

Newton C. Braga

FONTES DE ALIMENTAÇÃO



Editora Saber
www.editorasaber.com.br



Como fazer projetos de fontes
Circuitos Práticos
Fontes Lineares
Fontes Chaveadas
Fontes Simétricas
Fontes de Muito Alta Tensão (MAT)
Fontes de Corrente Constante
Fontes Industriais
Proteção de Fontes
Conversores AC/DC
Conversores DC/DC
Multiplicadores de Tensão
Componentes usados em fontes (características)
Dissipadores de Calor

O autor, Newton C. Braga nestes quase 40 anos que atua no ramo eletrônico, observou a dificuldade de alguns leitores com os circuitos de fontes de alimentação.

Como todo projeto precisa de uma fonte, o autor, acumulou diversos circuitos que foram publicados em livros e nas revistas Saber Eletrônica e Eletrônica Total, muitas oriundas de aplicativos das fábricas de semicondutores.

Neste livro temos fontes lineares (ou analógicas), que são as mais comuns e as chaveadas, também denominadas SMPS - "switched mode power supplies".

O autor aborda principalmente fontes de corrente contínua, analisa seu princípio de funcionamento e vários projetos práticos. A seguir o conteúdo desta edição:

Fontes Lineares - O Transformador * Transformadores Toroidais * Retificação * Filtragem * Regulagem e Ajuste * Regulador Série * Regulador Paralelo (Shunt) * Proteção * Indicadores de Saída (Tensão x Corrente) * Fontes de Corrente Constante * Fontes de Alta Corrente

Circuitos Práticos - Fonte Simples de 6/12 V * Fonte Simples com Regulagem a Zener (3 a 12 V x 30 mA) * Fonte Simples sem Transformador (3 a 12 V x 20 mA) * Fonte Fixa com Transistor: 6/9/12 V x 500 mA/1 A * Fonte Ajustável de 0 a 12 V x 1 A com Transistor * Fonte Ajustável de 0 a 12 V x 2 A com Darlington * Fonte Transistorizada Protegida: 0 a 12 V x 1 A * Fonte Fixa Transistorizada com Regulador Paralelo * Reostatos (Simples e Darlington) * Fonte Redutora Transistorizada de 12 para 9 ou 6 V para carro * Fontes Simétricas Simples * Fonte Simétrica Transistorizada * Proteção para Fontes com Relé * Proteções Crowbar

Fontes Lineares com Reguladores Integrados - Fonte de 3 a 24 V x 3 A com Operacional * Fontes de 1 A com Reguladores 78 XX (5 a 15 V) * Fonte 6/12 V x 5 A * Fonte Fixa de 12/12,6/13,2 V x 10 A com o 7812 * Eliminadores de Pilhas com os CIS 78XX * Fonte Simétrica 12+12 V x 1 A * Fontes TTL

Fontes Variáveis com Circuitos Integrados - Fonte de 3 a 15 V x 3 A com o 741 * Seleção de Fontes com o Regulador de Tensão LM723 * Fonte de 1,2 - 2,4 V/1,5 A com LM317 * Fonte Fixa de 12/13,2 V com o LM317 (1,5 A) * Fonte de 1,2 - 24 V x 3 A com o LM350T * Fonte 0 - 12 V x 3 A * Fonte 4,5 - 25 x 10 A

Fontes de Corrente Constante - Carregador de Nicad * Fonte de Corrente Constante com: Transistor Bipolar, Darlington, o LM350, NPN, para LEDs

Fontes Chaveadas - Fontes Lineares * Chaveadas ou Comutadas * Redutor de Tensão CMOS * 2 Conversores DC/DC * Conversor 6 para 12 V x 800 mA * Fonte Chaveada de 100 W... e muito mais!



Índice

Apresentação

Onde são usadas as fontes

Tensão de entrada e saída.....	10
Corrente de saída.....	10
Regulagem.....	11

Fontes Lineares

3.1 - O Transformador.....	14
3.2.1 - Fase.....	15
3.2.2 - Transformadores toroidais.....	15
3.3 - Retificação.....	16
3.3.1 - Especificações dos diodos.....	18
3.4 - Fitragem.....	19
3.5 - Regulagem e Ajuste.....	21
3.6 - Regulador Série.....	21
3.7 - Regulador Paralelo (Shunt).....	23
3.8 - Proteção.....	24
3.9 - Indicadores de saída (Tensão x Corrente).....	25
3.10 - Fontes de Corrente constante.....	26
3.10.1 - Os circuitos	27
3.11 - Fontes de Alta corrente.....	29

Circuitos Práticos

4.1 - Fonte simples de 6/12 V.....	35
4.2 - Fonte simples com regulagem a zener (3 a 12 V x 30 mA).....	36
4.3 - Fonte simples sem transformador (3 a 12 V x 20 mA).....	38
4.4 - Fonte fixa com transistor: 6/9/12 V x 500 mA/1 A.....	39
4.5 - Fonte Ajustável de 0 a 12 V x 1 A com transistor.....	41
4.6 - Fonte Ajustável de 0 x 12 V x 2 A com Darlington.....	43
4.7 - Fonte transistorizada protegida 0 a 12 V x 1 A.....	46
4.8 - Fonte fixa transistorizada com regulador paralelo.....	48
4.9 - Reostatos (Simples e Darlington).....	50
Usando transistores.....	51
Circuitos Darlington.....	52
Transistores Darlington.....	53
4.10 - Fonte redutora transistorizada de 12 para 9 ou 6 V para o carro (I).....	55
4.11 - Fontes simétricas simples.....	56
4.12 - Fontes simétrica transistorizada.....	57
4.13 - Proteção para fontes com relé.....	59
4.14 - Proteções Crowbar.....	60
4.14.1 - Circuito com transistor.....	61
4.14.2 - Circuito com transistor SCR.....	62

4.14.3 - Circuito com SCR e relé.....	62
4.14.4 - Circuito para corrente alternada.....	63

Projetos de Fontes

Fontes lineares com reguladores integrados

4.15 - Fonte de 3 a 24 V x 3 A com operacional.....	65
4.16 - Fontes de 1 A com reguladores 78XX (5 a 15 V).....	67
4.17 - Fonte 6/12 V x 5 A.....	68
4.18 - Fonte fixa de 12/12,6/13,2 V x 10 A com o 7812.....	71
4.19 - Eliminadores de pilhas com os CIS 78XX.....	74
4.20 - Fonte simétrica 12+12 V x 1 A.....	78
4.21 - Fontes TTL.....	80

Projetos de Fontes

Fontes Variáveis com Circuitos Integrados

4.22 - Fonte de 3 a 15 V x 3 A com o 741.....	87
4.23 - Seleção de fontes com o regulador de tensão LM723.....	90
4.24 - Fonte de 1,2 - 2,4 V/1,5 A com o LM317.....	94
4.25 - Fonte fixa de 12/ 13,2 V com o LM317 (1,5 A).....	98
4.26 - Fonte de 1,2 - 24 V x 3 A com o LM350T.....	101
4.27 - Fonte 0 - 12 V x 3 A.....	104
4.28 - Fonte 4,5 - 25 V x 10 A.....	107

Fontes de Corrente Constante

5.1 - Configurações.....	112
5.2 - Carregador de Nicad.....	113
5.3 - Fonte de corrente constante com transistor bipolar.....	114
5.4 - Fonte de corrente constante com transistor Darlington.....	116
5.5 - Fonte de corrente constante com o LM350.....	117
5.6 - Fontes de corrente constante com transistores NPN.....	123
5.7 - Fonte de corrente constante para LEDs.....	124

Outras Fontes Lineares

6.1 - Fonte de 6 e 12 V x 1 A múltipla.....	127
6.2 - Fontes de muito baixa tensão.....	129
6.2.1 - Opção 1.....	129
6.2.2 - Opção 2.....	130
6.3 - Zener ajustável.....	131
6.4 - Fontes de muito alta tensão.....	132
6.4.1 - Fontes para aparelhos valvulados.....	132
6.4.2 - Multiplicadores de tensão.....	135
6.4.3 - Fontes de MAT.....	137
6.5 - Inversores.....	143

Fontes Chaveadas

7.1 - Fontes lineares.....	159
7.2 - Chaveadas ou comutadas.....	160

7.3 - Redutor de Tensão CMOS.....	169
7.4 - 2 Conversores DC/DC.....	170
7.5 - Conversor 6 para 12 V x 800 mA.....	173
7.6 - Fonte chaveada de 100 W.....	175

Características dos Componentes em Fontes

8.1 - Diodos da série 1N4000.....	179
8.1.1 - Os diodos 1N4000 ou 1N400X.....	180
8.2 - Diodos 1N5400.....	183
8.3 - Diodos da série SK.....	185
8.3.1 - Os Diodos SK.....	186
8.4 - SKB2 - Pontes retificadoras de onda completa.....	186
8.5 - Os transistores da série TIP.....	187
8.6 - Transistores da série BD.....	191
8.7 - O transistor 2N3055.....	194
8.8 - Diodo zener.....	196
8.9 - Transformadores.....	200
8.10 - Dissipador de calor.....	204

Fontes Industriais

Tipos de Fontes.....	210
Confiabilidade e degradação.....	211
As próximas gerações de fontes.....	212
Tipos de montagem.....	213

Fórmulas Úteis para Projeto de Fontes

10.1 - Diodo semiconductor.....	215
10.2 - Retificador de meia onda.....	215
Retificador de onda completa.....	216
Coeficiente de filtro LC.....	217
Coeficiente de filtro RC.....	218
Fator de Ripple.....	219
Indutância de filtro.....	220
Capacitância de filtro.....	220
Dobrador de tensão convencional.....	221
Dobrador de tensão em cascata.....	221
Dobrador de tensão em ponte.....	221
Triplificador de onda completa.....	222
Triplificador de tensão em cascata.....	222
Quadruplicador de onda completa.....	222
Zener.....	223
Divisor de tensão capacitivo.....	224
Regulador de tensão em série (Um Transistor).....	226
Regulador de tensão paralelo.....	230
Transformadas de Fourier.....	232

Apresentação

Todos os circuitos eletrônicos precisam de energia elétrica para funcionar. Porém, nem sempre essa energia está disponível numa tomada da rede de energia ou mesmo numa bateria, na forma como o circuito eletrônico requer.

Assim, considerando que a maioria dos circuitos eletrônicos opera com baixas tensões contínuas e que na rede de energia temos altas tensões alternadas, é preciso haver um meio de fazer a conversão para a sua utilização. Da mesma forma, existem circuitos que trabalham com tensões contínuas mais elevadas do que aquela que a fonte de energia disponível pode fornecer.

Nessa conversão da energia disponível para a forma adequada, são usadas configurações específicas que recebem o nome de "fontes de alimentação".

Uma fonte de alimentação consiste, portanto em um circuito que a partir da tensão elétrica disponível (alternada ou contínua) fornece a tensão contínua (ou mesmo alternada) na forma requerida pelo circuito alimentado. O tipo mais comum de fonte de alimentação é a que converte a tensão alternada da rede de energia de 110/220 V em baixas tensões contínuas, na faixa de 3 a 60 V.

No entanto, também há fontes especiais que convertem a tensão contínua mais baixa de uma bateria em uma tensão contínua mais alta para alimentar um circuito. Tais fontes recebem normalmente a denominação de conversores DC/DC (tensões contínuas para tensões contínuas), enquanto que existem ainda os conversores DC/AC ou inversores que convertem tensões contínuas em alternadas.

As fontes podem operar, basicamente, segundo duas tecnologias. Podem ser lineares (ou analógicas) que são as mais comuns ou podem ser chaveadas, denominadas também "*switched mode power supplies*" ou SMPS.

Neste livro abordaremos principalmente as fontes de corrente contínua, ou seja, aquelas que fornecem tensões contínuas em suas saídas, quer seja a partir de tensões alternadas da rede de energia ou de baterias de menor (ou maior) tensão. Analisaremos seu princípio de funcionamento e daremos uma boa quantidade de projetos práticos.

A tecnologia explicada será principalmente a linear ou analógica, por um simples motivo: são as fontes que podemos montar com facilidade e as que são mais empregadas nas aplicações práticas.

As fontes chaveadas, é claro, não serão esquecidas. Analisaremos seu princípio de funcionamento, sua utilização e como podem ser montadas. Até daremos alguns projetos, mas lembramos que essas fontes se destinam muito mais a aplicações industriais onde o rendimento e o espaço ocupado são fatores importantes. Para essas existem componentes específicos prontos e elas exigem o uso de componentes especiais, como o transformador de ferrite, que não estão ao alcance do montador comum na maioria dos casos.

Os projetos das fontes lineares abordadas neste livro utilizam componentes comuns, o que é muito importante para quem deseja ter uma fonte viável. De nada adianta darmos um projeto de uma fonte sofisticada que não só seja cara demais para a aplicação que o leitor tenha em mente, como ainda empregue componentes e tecnologia que não estejam ao seu alcance.

A finalidade deste livro é ser prático: fontes que possam ser montadas, que atendam às necessidades do leitor e sobretudo, que tenham um princípio de funcionamento que o leitor entenda. Observamos que diversas dessas fontes foram publicadas nas revistas Saber Eletrônica e Eletrônica Total, e que muitas delas foram desenvolvidas a partir de projetos das fábricas dos semicondutores básicos usados.

Onde são usadas as Fontes

Onde houver necessidade de uma alteração na forma da energia elétrica que deve ser utilizada por um circuito eletrônico, precisaremos de um bloco especial que faça essa modificação.

Esse bloco é a fonte de alimentação, que pode ter os mais diversos graus de complexidade dependendo dos seguintes fatores:

- a) A tensão de entrada
- b) A tensão de saída
- c) A corrente
- d) O número de saídas.

Normalmente, na obtenção de tensões contínuas a partir de tensões alternadas, que é o tipo mais comum de fonte, são usadas diversas tecnologias.

Essas tecnologias vão desde a mais simples, que consiste na retificação e filtragem até as mais complexas que envolvem circuitos reguladores analógicos ou ainda a conversão chaveada, que veremos em capítulos especiais deste livro.

As fontes de alimentação podem ser utilizadas embutidas em um equipamento (fornecendo a energia para os circuitos na forma que eles precisam), ou podem ser equipamentos isolados para uso em bancadas de reparo, desenvolvimento e testes. A tecnologia a ser aplicada vai depender justamente desse uso.

Assim, nos equipamentos em que a fonte é embutida existe a preocupação de que ela ocupe o menor espaço possível, tenha o máximo rendimento e seja a mais barata possível.

Para esses equipamentos há duas possibilidades:

Se o equipamento não exigir uma tensão estabilizada, e não for crítico, uma fonte simples do tipo analógico servirá perfeitamente. Todavia, se o equipamento for sofisticado e exigir uma fonte crítica como para a alimentação de microprocessadores, DSPs e outros circuitos desse tipo, a fonte deverá ser chaveada.

No primeiro caso temos os equipamentos de baixo custo ligados à rede, tais como brinquedos, órgãos eletrônicos muito simples, minuterias, etc. No segundo caso temos os equipamentos de som tipo pilha/luz, telefones celulares, etc.

Nestas fontes podem ser encontrados circuitos denominados conversores, que alteram as tensões tanto de uma entrada externa quanto da própria pilha para a tensão que os circuitos necessitam para funcionar.

Também utilizam fontes chaveadas, os equipamentos de consumo como televisores e monitores de vídeo que são ligados diretamente à rede de energia. Esses equipamentos precisam de diversas tensões contínuas, algumas de valores elevados, as quais podem ser obtidas diretamente a partir da rede de energia sem a necessidade de um transformador.

Como esses equipamentos não possuem partes expostas, é possível obter a tensão que eles requerem a partir de fontes que não façam uso de transformadores. Assim, é comum que nesses equipamentos sejam empregadas fontes chaveadas sem transformadores, que geram as tensões altas para algumas etapas e baixas para outras, conforme mostra a **figura 1**.

O transformador é um componente caro e pesado e sua eliminação pode ser um fator de economia muito importante para um fabricante de equipamentos eletrônicos. Porém, ele é importante em muitas aplicações pois isola o equipamento da rede de energia, agregando assim segurança. Pode-se tocar nos diversos pontos do circuito alimentado sem que isso signifique perigo de choques, conforme ilustra a **figura 2**.

Também são usadas fontes analógicas sem transformadores (FAST) em circuitos muito econômicos de baixa tensão. Nesses equipamentos, que não possuem partes expostas, uma fonte simples e sem a necessidade de uma corrente elevada serve perfeitamente.

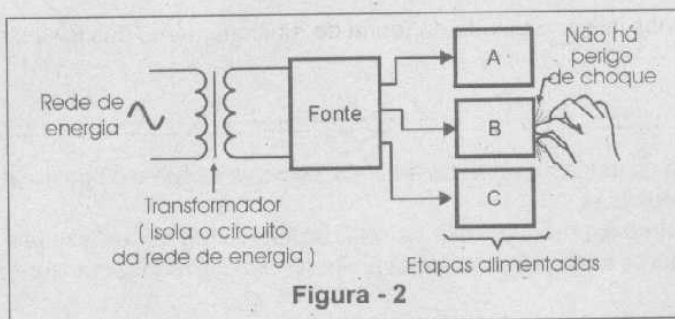


Figura - 2

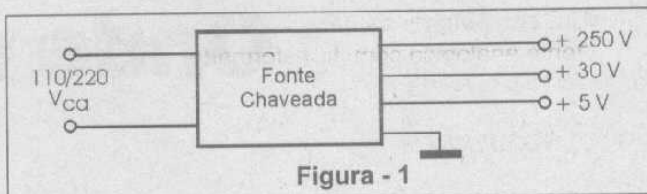


Figura - 1

Nas fontes de bancada, como a exibida na **figura 3**, o tipo mais comum é o analógico.

O que acontece é que em um circuito analógico é mais fácil alterar a tensão e fazer a implementação de recursos mais flexíveis como proteções, diversas tensões de saída, etc. A grande maioria das fontes utilizadas em bancadas é desse tipo.

Em vista do que vimos, a escolha de uma fonte para uma aplicação envolve os seguintes fatores:

A) TENSÕES DE ENTRADA E SAÍDA

Alta tensão de entrada - baixa tensão de saída:

- Opções - alta potência:
- fonte analógica com transformador
- fonte chaveada com transformador

Alta tensão de entrada - baixa tensão de saída:

- Opções - baixa potência:
- fonte sem transformador
- fonte analógica com transformador

Alta tensão de entrada - alta tensão de saída:

- fonte chaveada sem transformador
- fonte analógica com (ou sem) transformador

B) CORRENTE DE SAÍDA

Baixa corrente de saída:

- fonte sem transformador
- fonte analógica com transformador

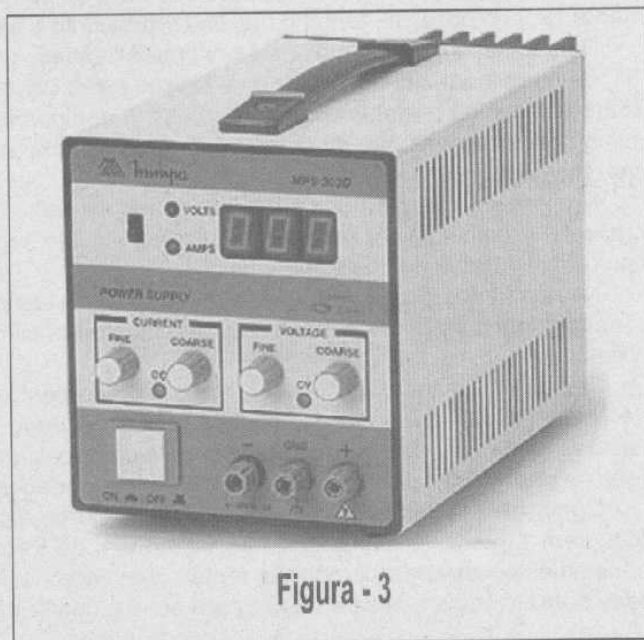


Figura - 3

Alta corrente de saída:

- fonte analógica com transformador
- fonte chaveada

C) REGULAGEM

Pequena regulagem:

- fonte analógica simples
- fonte sem transformador

Boa regulagem:

- fonte analógica
- fonte chaveada

A partir dessas considerações, podemos iniciar o estudo da teoria de funcionamento das fontes e circuitos práticos.

Fontes Lineares

As fontes lineares ou analógicas são as mais comuns e mais tradicionais na maioria das aplicações eletrônicas.

A estrutura básica de uma fonte desse tipo é apresentada na **figura 3.1**.

O primeiro bloco utiliza normalmente um transformador, e sua finalidade é alterar a tensão alternada de entrada para um valor que possa ser melhor usado pelas etapas seguintes.

O segundo bloco é o de retificação, empregando diodos semicondutores, válvulas ou outros dispositivos que apresentem a propriedade de conduzir a corrente num único sentido.

O bloco de filtragem consta basicamente de capacitores, mas podemos encontrar elementos adicionais como indutores e resistores, dependendo da configuração e aplicação do circuito.

Temos finalmente um bloco regulador de tensão, que tem por finalidade fornecer a tensão desejada na saída, sem variações, independentemente da carga alimentada.

Nas fontes lineares ou analógicas, esse bloco funciona como um resistor variável, cuja resistência muda com a corrente na carga de modo a formar um divisor em que a tensão na carga se mantém constante, independentemente da corrente que ela drene. Isso é exibido na **figura 3.2**.

Quando a corrente aumenta na carga, a resistência do dispositivo regulador diminui de modo a compensar essa variação, mantendo constante a tensão no dispositivo alimentado.

Veja que esse comportamento é diferente das fontes chaveadas, onde a tensão na carga é mantida pelo tempo de condução de um dispositivo que funciona como um interruptor, ligando e desligando a corrente.

Enquanto que em um caso temos uma operação no domínio das resistências, no outro temos uma operação no domínio dos tempos.

Elementos adicionais podem ser agregados a estes blocos a exemplo de um bloco de medida da tensão de saída para as fontes variáveis; blocos de proteção que desativam a fonte quando ocorre curto na saída ou quando a corrente ultrapassa determinado valor, etc.

Podemos a partir de agora fazer uma análise mais detalhada de cada um desses blocos.

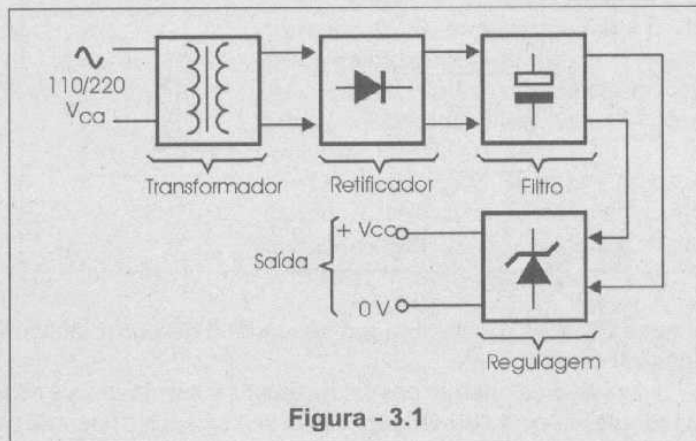


Figura - 3.1

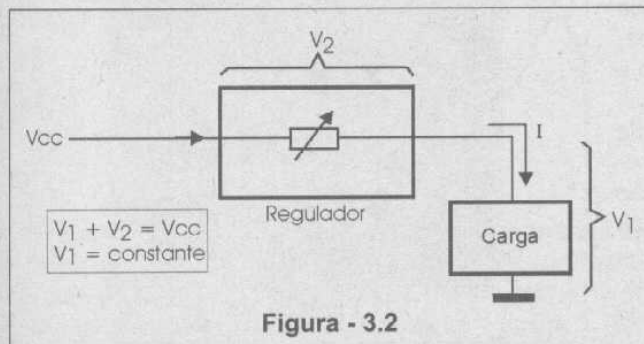


Figura - 3.2

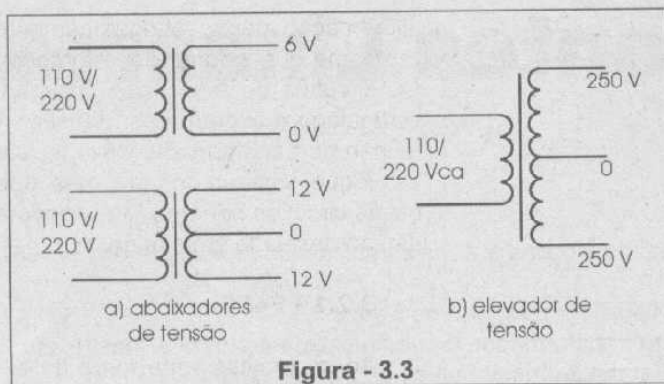


Figura - 3.3

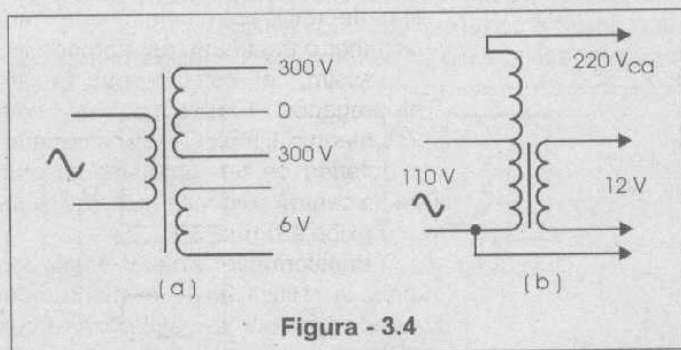


Figura - 3.4

3.1 - O TRANSFORMADOR

Na maioria das fontes lineares, o primeiro bloco que encontramos tem por componente básico um transformador. Sua finalidade é alterar a tensão alternada de entrada, passando-a para um valor que possa ser melhor usado pelos circuitos seguintes, conforme mostra a **figura 3.3**.

Na maioria dos casos é utilizado um transformador simples abaixador de tensão. No entanto, dependendo da fonte poderemos ter diversos outros tipos de transformadores os quais são destacados na **figura 3.4**.

Assim, em (a) temos um transformador com dois secundários, de modo a se obter duas tensões diferentes para setores diferentes de um mesmo equipamento.

Nos equipamentos valvulados antigos (ou mesmo nas versões modernas), é comum o uso de um transformador que tenha um secundário duplo de alta tensão para a alimentação dos denomi-

nados circuitos de placa, e um secundário de baixa tensão (normalmente 6,3 V) para os filamentos das válvulas.

As válvulas operam com altas tensões, sendo usuais os valores de 80 V a 450 V nesses transformadores. Os transformadores desse tipo são componentes pesados e caros, conforme ilustra a **figura 3.5**.

Em (b) temos um autotransformador no qual existe um enrolamento único, cujas derivações funcionam como primário e secundário.

É importante notar que a transferência da energia de um enrolamento para outro num transformador comum se faz exclusivamente pelo campo magnético. Dessa forma, o enrolamento primário é isolado do secundário, o que torna o transformador em um componente fundamental para dotar os circuitos de segurança.

No caso dos autotransformadores, esse isolamento não existe, havendo o perigo de choques para quem tocar suas partes expostas, quando se tratar de equipamento ligado à rede de energia.

Os transformadores usados nas fontes de alimentação comuns terão dimensões e especificações de acordo com a corrente e a tensão que devem fornecer. Na **figura 3.6** temos os símbolos desses transformadores.

Observamos que a tensão do secundário de um transformador colocado numa fonte de

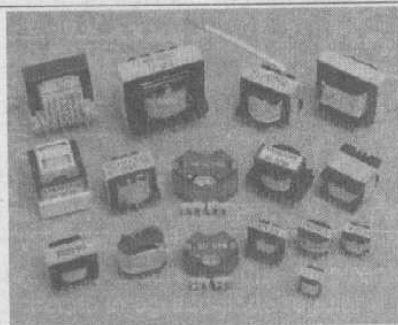


Figura - 3.5

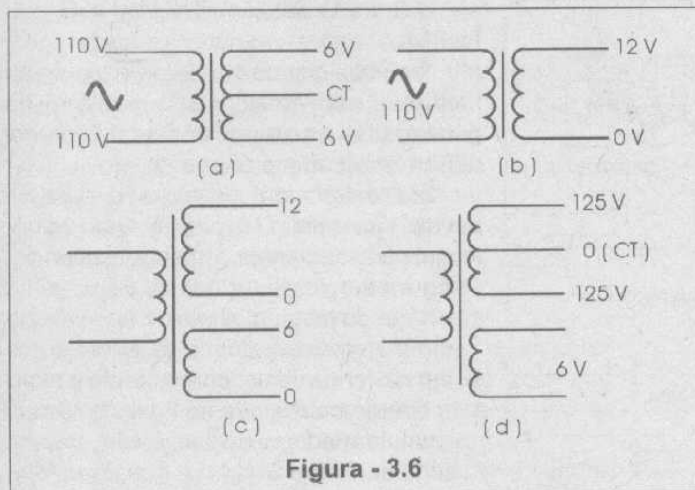


Figura - 3.6

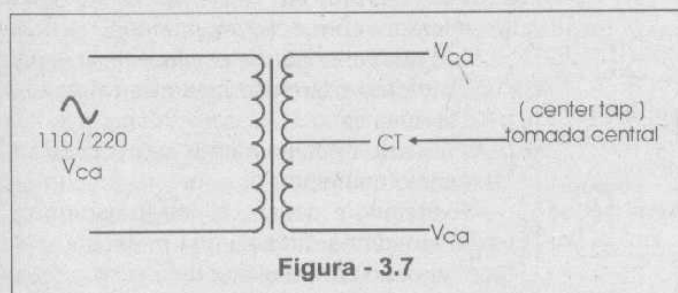


Figura - 3.7

alimentação não é obrigatoriamente a mesma que a fonte deve fornecer. Os circuitos de retificação, filtragem e regulagem alteram essa tensão. A tensão do transformador deve ter um valor que seja apropriado para que esses circuitos operem, fornecendo a tensão desejada em sua saída.

3.2.1 - FASE

Ao se projetar uma fonte de alimentação é preciso ter em mente que tipo de retificação será usada para escolher o transformador apropriado.

Assim, é comum que sejam empregados transformadores com enrolamentos simples e transformadores dotados de um enrolamento com tomada central ou *center tape* (CT) conforme exibe a figura 3.7.

O transformador simples é utilizado quando a retificação é de meia onda, ou ainda uma ponte retificadora, o que será visto no item seguinte.

O transformador com tomada central é aplicado quando se faz a retifica-

ção de onda completa com dois diodos.

O que acontece é que, se tomarmos como referência a tomada central, ligando-a ao terra do circuito, as tensões encontradas nas extremidades dos outros dois enrolamentos estarão em oposição de fase, veja a figura 3.8.

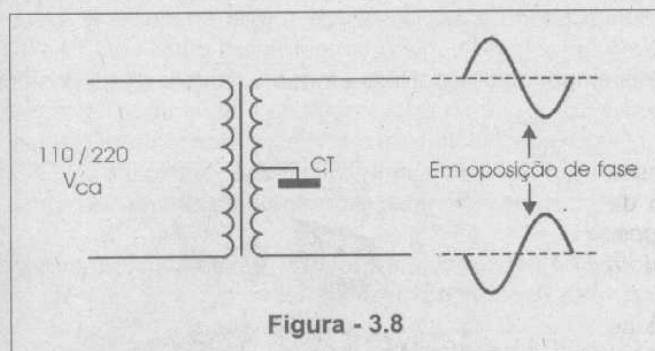


Figura - 3.8

Logo, quando o semiciclo positivo estiver presente no enrolamento superior, no inferior teremos o semiciclo negativo, e vice-versa. Essa oposição de fase é fundamental para o processo de retificação.

3.2.2 - TRANSFORMADORES TOROIDAIS

Os transformadores comuns colocados em fontes de alimentação utilizam ferro doce laminado como núcleo, em formatos semelhantes aos apresentados na figura 3.9.

Utilizando ferro laminado, com as lâminas isoladas umas das outras, são evitadas as correntes de turbilhão (Eddie) que causam perdas na transferência da energia de um enrolamento para outro. Essas perdas, além disso, provocam o aquecimento do componente, pois a energia das correntes no núcleo se transforma em calor, observe a figura 3.10.

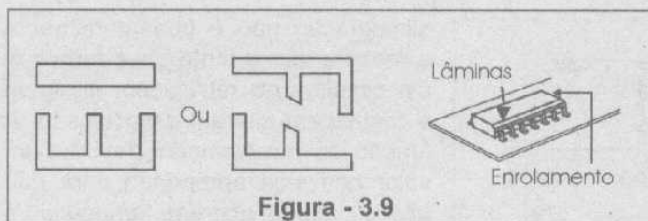


Figura - 3.9

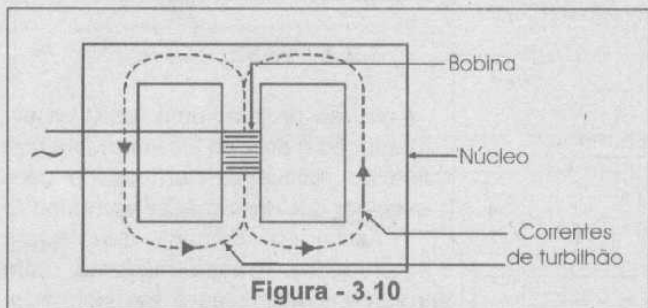


Figura - 3.10

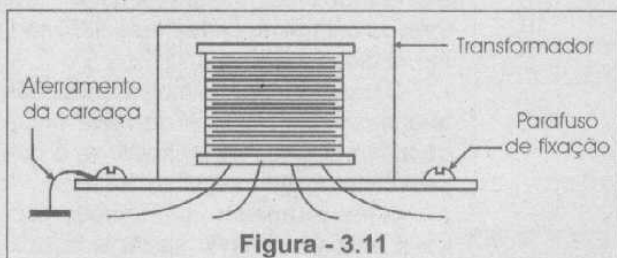


Figura - 3.11

Nas fontes chaveadas, como veremos, a utilização de correntes de altas frequências faz com que o uso desse tipo de transformador seja inviável. No entanto, usando transformadores de ferrite, eles podem ser muito menores e mais eficientes.

Uma tecnologia que já está sendo muito aplicada na fabricação de transformadores é a que emprega núcleos toroidais.

Conforme o nome sugere, o núcleo consiste num anel ou toróide em torno do qual são feitos os enrolamentos, veja a **figura 3.12**.

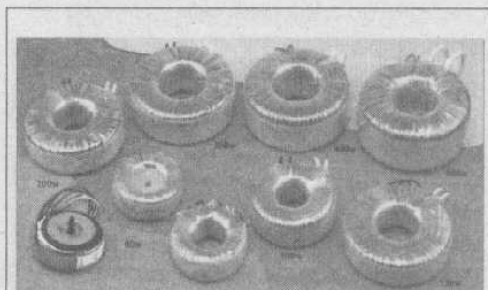


Figura - 3.12

O formato das lâminas é tal que elas fecham o campo magnético produzido pelo enrolamento primário, envolvendo totalmente o enrolamento secundário. Isso garante uma boa transferência da energia de um enrolamento para outro.

Esses transformadores são relativamente eficientes e baratos quando trabalhamos com correntes de baixa frequência, como a energia da rede local de corrente alternada ou mesmo sinais de áudio.

Veja que a quantidade de energia que será transferida de um enrolamento a outro está diretamente ligada ao fluxo do campo magnético criado no núcleo. Assim, quanto maior for a potência de um transformador, maior deverá ser o núcleo e, portanto, maior deverá ser o componente.

Entretanto, as fugas do campo magnético desses transformadores (além das perdas) têm um outro inconveniente que é a possibilidade de interferir em outros circuitos do mesmo aparelho.

É comum o uso de blindagens para os transformadores feitas com materiais diamagnéticos (como o alumínio e o cobre) e ainda o aterramento da própria carcaça do transformador, conforme mostra a **figura 3.11**.

Esses transformadores são muito mais eficientes, mas apresentam uma dificuldade técnica para sua construção: Como fazer o enrolamento através de máquinas?

Por essa dificuldade técnica, esses transformadores ainda são caros e pouco usados.

3.3 - RETIFICAÇÃO

A tensão obtida no secundário de um transformador é alternada e, como vimos, a finalidade de uma fonte, na maioria dos casos, é fornecer uma tensão contínua para a alimentação de um circuito eletrônico.

Para se obter uma tensão contínua a partir de uma tensão alternada, fazemos uso de circuitos retificadores. Os mais comuns se baseiam nas propriedades elétricas dos diodos semicondutores e nos equipamentos antigos das válvulas-diodos, representados na **figura 3.13**.

Esses componentes possuem curvas características de acordo com a **figura 3.14**, conduzindo a corrente num único sentido.

Desse modo, a maneira mais simples de se obter uma corrente contínua a partir da tensão alternada do secundário de um transformador consiste em se ligar um diodo, veja a **figura 3.15**.

A carga (R) será percorrida apenas pelos semiciclos positivos, ou seja, por uma corrente pulsante que circula apenas em um sentido. Observe que, neste circuito, os semiciclos negativos são perdidos, isto é, temos um sistema de retificação de meia onda.

Para obter a retificação aproveitando os dois semiciclos da corrente alternada temos duas possibilidades. A primeira delas, consiste no uso de um transformador com tomada central, conforme exhibe a **figura 3.16**, e dois diodos retificadores.

O diodo D_1 conduz apenas os semiciclos positivos, enquanto que o diodo D_2 conduz os semiciclos negativos. Os dois semiciclos são unidos e circulam no mesmo sentido pelo circuito de carga. Este sistema de retificação é denominado de retificação de onda completa.

É evidente que o aproveitamento da energia de um transformador com esse sistema é maior

do que no caso da meia onda. Existem outras vantagens que ficarão claras mais adiante.

Uma outra maneira de se obter a retificação de onda completa, mas colocando um transformador comum, é fazendo uso de uma ponte retificadora ou Ponte de Graetz como também é chamada. Essa ponte é ligada no secundário do transformador e na carga, conforme mostra a **figura 3.17**.

Um ponto importante que deve ser observado ao usarmos dois diodos e um transformador com tomada central, se comparado ao uso da ponte, é o referente à queda de tensão nos diodos.

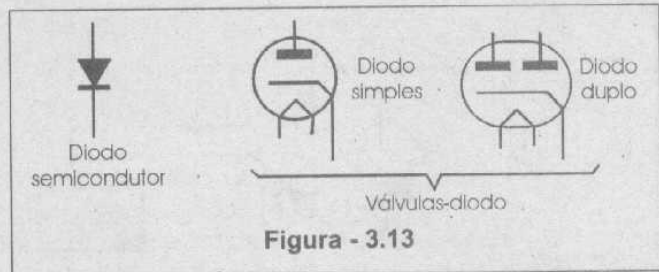


Figura - 3.13

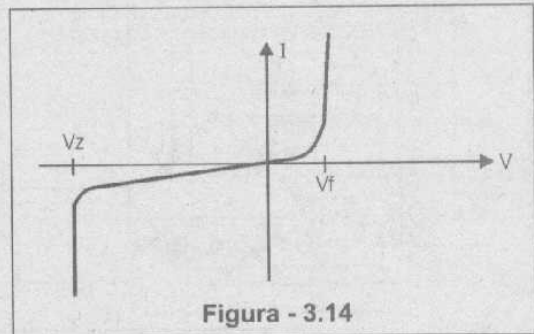


Figura - 3.14

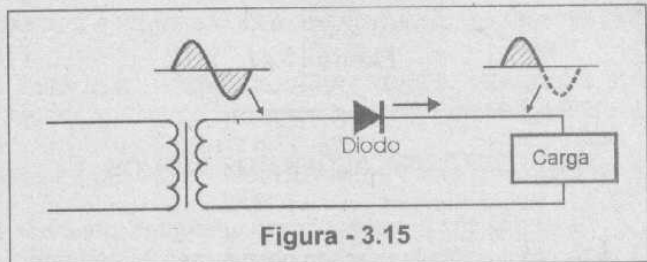


Figura - 3.15

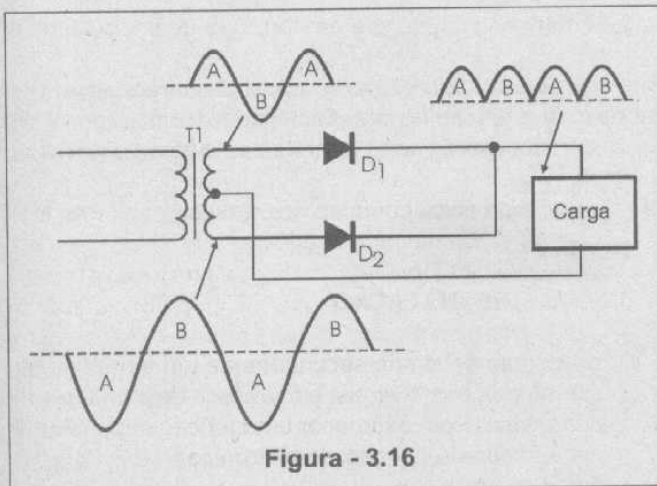
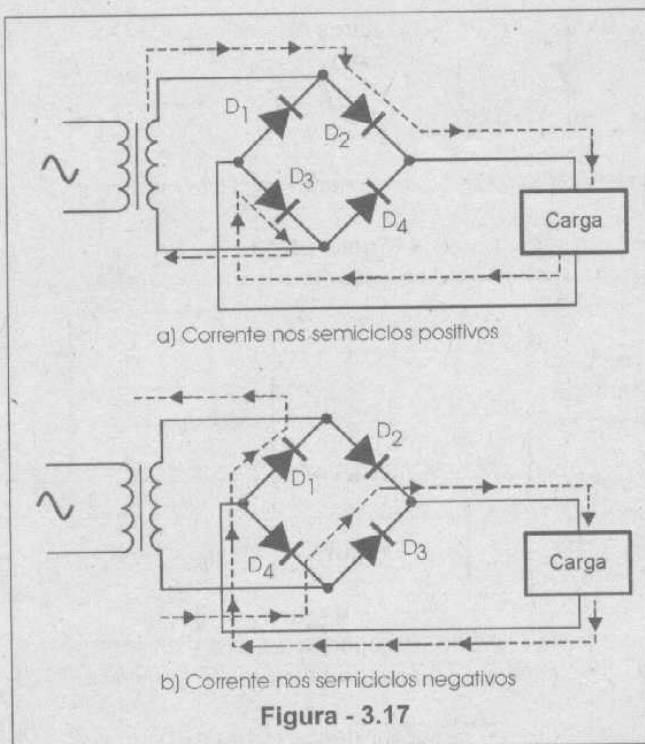


Figura - 3.16



Diodos retificadores de silício apresentam uma queda de tensão no sentido direto da ordem de 0,6 V, quando conduzem.

No circuito com tomada central, cada semiciclo conduzido passa apenas por um diodo, portanto a queda de tensão é de apenas 0,6 V. Todavia, no circuito em ponte, cada semiciclo passa por um diodo e depois por outro em série, o que significa uma queda de tensão de 1,2 V.

Em fontes de tensões relativamente altas essa queda não é importante, mas num circuito de baixa tensão essa queda deve ser considerada.

Lembramos que existem fontes especiais, principalmente aplicadas em equipamentos críticos, que usam diodos retificadores do tipo Schottky. Esses diodos se caracterizam por apresentarem uma queda de tensão no sentido direto extremamente baixa, menos de 0,1 V, não interferindo portanto no funcionamento do circuito.

3.3.1 - ESPECIFICAÇÕES DOS DIODOS

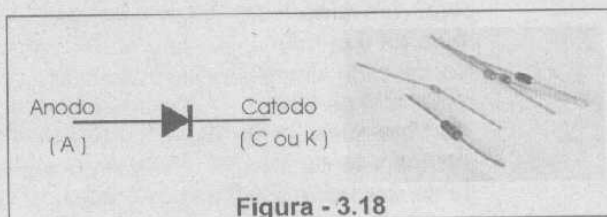
Os diodos são encontrados em diferentes tamanhos e tipos de acordo com a aplicação. Na **figura 3.18** temos o símbolo adotado para representar o diodo e alguns dos tipos mais comuns.

Os diodos são componentes polarizados, o que significa que sua posição num circuito deve ser observada. Assim, é comum utilizar algum tipo de indicação para o catodo ou lado do material N como, por exemplo, uma faixa.

ESPECIFICAÇÕES

a) **Tensão inversa** - Dado que um diodo representa um circuito aberto quando polarizado no sentido inverso, aparece nas suas extremidades toda a tensão do circuito. Para poder usar um diodo precisamos saber se ele suporta esta tensão, a qual é especificada como tensão inversa máxima ou V_{rrm} ou V_r .

b) **Corrente direta** - É a máxima corrente que o diodo pode conduzir quando polarizado no sentido direto. Indicada como nos manuais.



c) **Tipo** - Muitos fabricantes simplesmente indicam os seus diodos por um código de fábrica. Dessa forma, para os tipos americanos é comum que todos os diodos comecem por 1N. Assim temos 1N4002, 1N4148, etc. Para os tipos europeus é comum usar as letras A para diodos de uso geral, B para silício.

cio e Y para retificadores. Exemplos: BA315, AA115, BY127, etc. Outros fabricantes utilizam códigos próprios como SK02/1, MR751, P600D, V18, etc.

3.4 - FILTRAGEM

A tensão obtida depois do sistema retificador, se aplicada a uma carga resistiva, resulta em uma corrente contínua pulsante e não numa corrente contínua pura.

Para as aplicações práticas, entretanto, precisamos aplicar a uma carga uma tensão que seja a mais estável quanto possível, livre de quaisquer variações. Ou seja, precisamos fazer circular na carga uma corrente contínua pura, veja a **figura 3.19**.

Precisamos, então, usar um filtro para que a corrente contínua formada por pulsos aplicados à carga se transforme numa corrente constante que não sofra variações ciclo a ciclo.

A filtragem nas fontes de alimentação lineares comuns pode ser feita de diversas formas. O modo mais simples e que nos serve de exemplo é o que faz uso de um capacitor, observe a **figura 3.20**.

Supondo um capacitor de valor suficientemente elevado, e supondo uma retificação de meia onda, quando o diodo conduz, ele se carrega com a tensão de pico do secundário do transformador (desprezamos a queda de tensão no diodo).

Quando o semiciclo conduzido começa a sua queda o capacitor descarrega-se lentamente através da carga, mantendo a corrente mais ou menos constante, até que a tensão do semiciclo seguinte alcance o valor que recupere a carga perdida, conforme ilustra a **figura 3.21**.

Dessa forma, alternando os ciclos de carga e descarga durante os tempos de condução e não condução do diodo, o capacitor pode manter uma corrente mais ou menos constante sobre a carga.

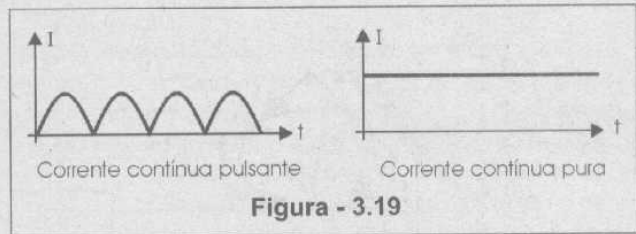


Figura - 3.19

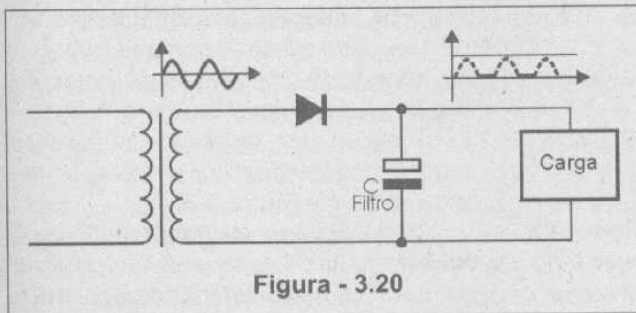


Figura - 3.20

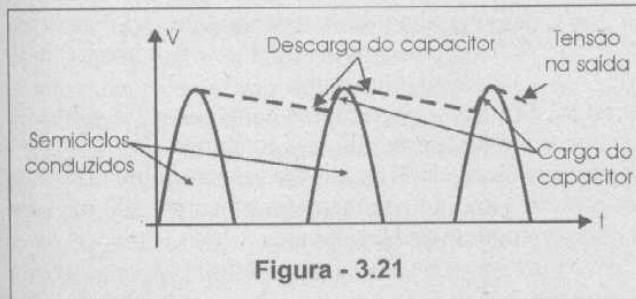


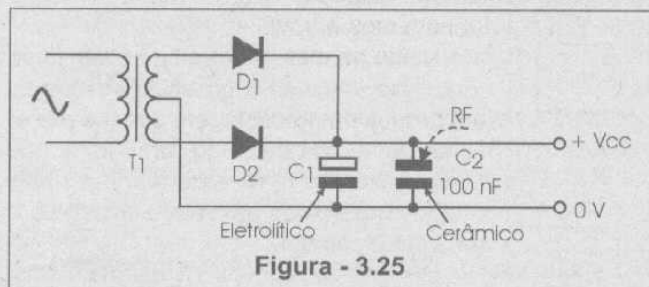
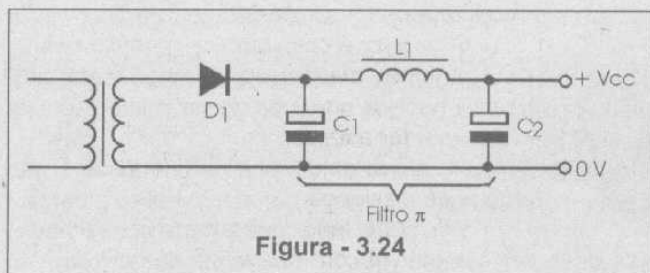
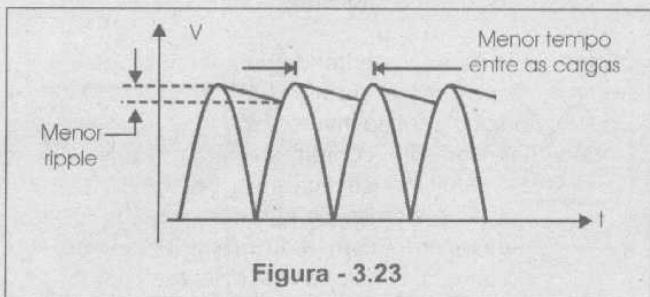
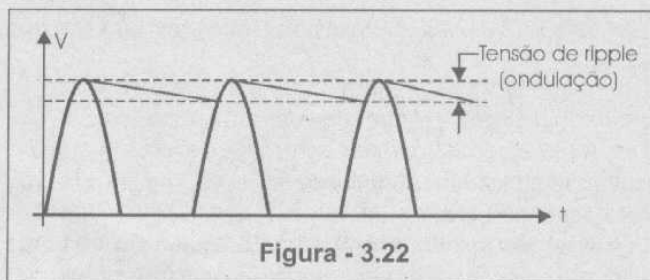
Figura - 3.21

A pequena variação que ocorre nessa tensão (que já está bem mais próxima do que seria uma tensão contínua pura) é denominada ondulação ou *ripple*, conforme exhibe a **figura 3.22**.

Normalmente, o *ripple* de uma fonte (que deve ser o menor possível) é expresso em termos da porcentagem que ele representa da tensão de saída. Uma fonte que oscile entre 9,5 e 10 volts tem um *ripple* de 5%. Trata-se de um valor elevado para uma fonte comum.

Uma fonte com um *ripple* elevado, quando alimenta um circuito de áudio, como um amplificador, faz com que um ruído na sua frequência seja reproduzido. No caso de uma fonte de meia onda, o ronco terá de 60 Hz.

Veja que, quanto maior for o capacitor, mais lenta será sua descarga entre os semiciclos e assim menor o *ripple*. Por



outro lado, quanto maior for a corrente exigida pela carga, mais rapidamente cai a tensão do capacitor e portanto maior será o *ripple*.

Existe então um compromisso entre o valor do capacitor de filtragem, a tensão da fonte e a corrente na carga. Uma regra simples que muitos projetistas seguem, e que funciona, é usar 1 000 μF de capacitor para cada ampère de corrente de carga em fontes entre 6 e 15 V.

Para a retificação de onda completa, a filtragem por um capacitor apenas pode ser mais eficiente.

Isso ocorre porque o intervalo entre os semiciclos é menor e, portanto, temos uma queda de tensão menor quando o capacitor se descarrega através da carga, de acordo a **figura 3.23**.

Para melhorar a filtragem, podemos colocar circuitos mais eficientes.

Uma configuração que é encontrada em muitas fontes, principalmente as de equipamentos valvulados mais antigos que operam com tensões mais elevadas e são mais críticos é a que faz uso do filtro π (PI), atente para a **figura 3.24**.

Esse circuito produz uma tensão de saída mais suave. No lugar do indutor podemos encontrar também um resistor.

Um outro ponto importante que deve ser observado em relação à filtragem é que em alguns tipos de fonte é comum a ligação de um capacitor cerâmico em paralelo com o capacitor eletrolítico, conforme mostra a **figura 3.25**.

Os capacitores eletrolíticos são construídos a partir de papel alumínio separado por uma folha de material poroso embebida no dielétrico. Esse conjunto forma um rolo que, pelo seu formato, apresenta as mesmas características de uma bobina de baixa indutância.

Assim, os capacitores eletrolíticos se comportam bem como capacitores com baixas frequências, mas a indutância aparece quando existe um componente de alta frequência no circuito.

É portanto um bom procedimento, principalmente nos circuitos de alta frequência como transmissores, osciladores, etc., ligar em paralelo com o eletrolítico um capacitor cerâmico de 100 nF para desacoplar os sinais de altas frequências que não conseguem passar por ele.

3.5 - REGULAGEM E AJUSTE

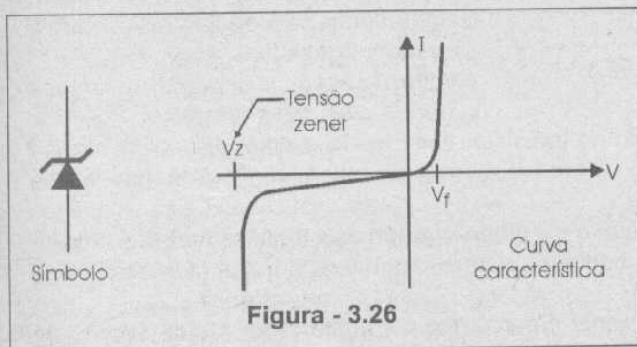
Utilizando um transformador, retificador e filtro como vimos até agora, já temos uma tensão contínua que pode ser usada para alimentar determinadas cargas. Porém, devido às características do capacitor e da própria corrente pulsante, a tensão sobre a carga irá variar conforme ela exija mais ou menos corrente. Em outras palavras, a tensão não é estabilizada ou regulada.

Para obter uma tensão constante sobre uma carga, uma tensão que não sofra variações quando o consumo da carga se altera ou mesmo quando a tensão de entrada do circuito varia, precisamos contar com um circuito regulador de tensão.

Para a regulagem da tensão de uma fonte existem diversas configurações que podem ser usadas. Algumas muito simples, baseadas em poucos componentes, e outras sofisticadas, baseadas em circuitos integrados complexos.

Começemos pela forma mais simples, pois através dela podemos entender como tudo funciona.

A forma mais simples de se fazer a regulagem de uma fonte é aproveitando as propriedades elétricas dos **diodos zener**. Tais diodos, quando polarizados no sentido inverso, mantêm constante a tensão entre seus terminais numa ampla faixa de valores de corrente, conforme ilustra a **figura 3.26**.



Assim, se ligarmos um diodo zener após o circuito de filtragem de uma fonte, de acordo com a **figura 3.27**, a tensão sobre o zener, que é a tensão na carga ligada em paralelo com ele, se mantém constante.

O resistor é calculado de modo que na corrente mínima de carga tenha uma corrente mínima no diodo zener que ainda o faça manter a tensão zener entre seus terminais, e que esteja abaixo de sua capacidade de dissipação.

Por outro lado, quando a corrente na carga for máxima, a queda de tensão no resistor deve ser compatível com a entrada de tensão do circuito.

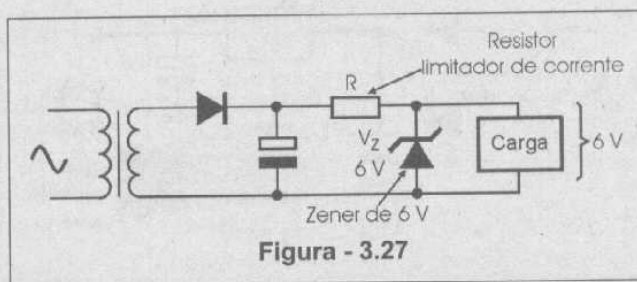
Como os diodos zener, em geral, são componentes de pequena dissipação, este tipo de regulador não é muito usado da forma como o descrevemos. Entretanto, podemos aproveitar as propriedades do diodo zener para elaborar circuitos que sejam mais eficientes, tanto na manutenção da tensão da carga como no manuseio de correntes elevadas.

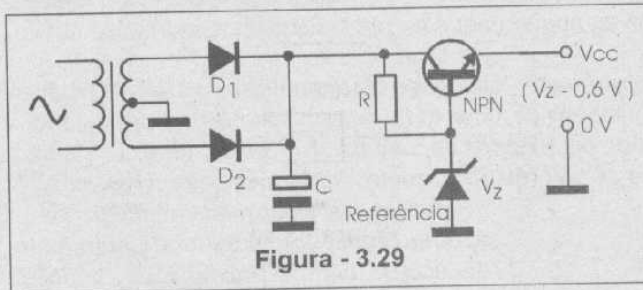
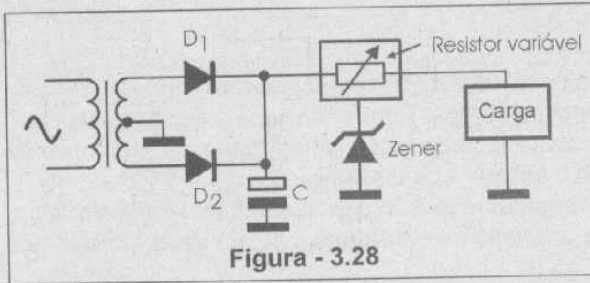
Assim sendo, existem duas configurações possíveis para os reguladores de tensão usados em fontes lineares: em série e em paralelo.

3.6 - REGULADOR SÉRIE

A idéia básica de um regulador série é ligar em série com a linha de alimentação da carga um circuito que funcione como um resistor variável tendo por referência um diodo zener, conforme exhibe a **figura 3.28**.

Com base nas informações do diodo zener e da própria tensão de saída através de um circuito de realimentação, o regula-





dor muda sua resistência de modo a manter a tensão na carga constante, independentemente da corrente que ela esteja drenando. A configuração mais simples para este circuito é a que faz uso de um transistor NPN, um diodo zener e um resistor, veja a **figura 3.29**.

O zener mantém constante a tensão na base do transistor, polarizado pelo resistor. Visto que para conduzir, a tensão de base do transistor deve ser aproximadamente 0,6 V maior que a tensão de emissor, com o uso do zener como referência, garantimos que o circuito sempre se comportará no sentido de manter a tensão de emissor 0,6 V abaixo da tensão de base, conforme mostra a mesma figura.

Assim, usando um diodo zener de 12,6 V, garantimos que no emissor do transistor, no qual é ligada a carga, a tensão será sempre 12 V.

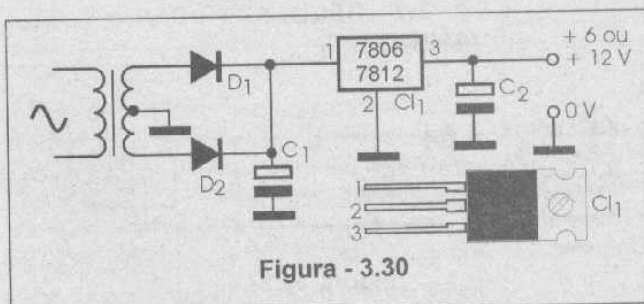
Veja que, para que este circuito funcione, devemos considerar a queda de tensão no transistor quando ele conduz. Isso significa que a tensão de entrada deste circuito deve ser pelo menos 2 V maior do que a tensão que desejamos na saída.

O resistor, por outro lado, deve ser calculado de modo que forneça a corrente que o transistor precisa para se saturar e, ao mesmo tempo, mantenha a tensão que o diodo zener precisa para funcionar.

A vantagem desse circuito é que o diodo zener é percorrido por uma corrente muito pequena em relação à corrente exigida pela carga, pois essa corrente é amplificada pelo transistor. A desvantagem está no fato de que o transistor se comporta como um resistor variável com uma dissipação elevada de potência, em função da corrente drenada pela carga. Mesmo nas fontes relativamente pequenas, os transistores usados neste tipo de circuito devem ser dotados de bons radiadores de calor. Na prática, apenas nas fontes mais simples a configuração dada como exemplo é usada. Circuitos mais elaborados podem ser conseguidos com o uso de Darlington, e mesmo recursos adicionais como proteções contra curto-circuitos, etc. Deste modo, seguindo essa configuração temos muitos reguladores de tensão de três terminais na forma de circuitos integrados.

Basicamente, existem dois tipos de reguladores-série para o uso em fontes de alimentação: fixos e variáveis.

Os reguladores fixos possuem um zener interno que já determina a tensão de saída. Assim, o terminal desse zener é ligado normalmente à



terminal desse zener é ligado normalmente à terra como no caso dos reguladores de 6 e 12 V - 7806 e 7812 - observe a **figura 3.30**.

Repare que esses reguladores são dotados de invólucros que permitem sua montagem direta em dissipadores de calor.

Pequenas alterações na tensão de saída podem ser conseguidas com o acrés-

cimo de um diodo adicional externo que somará sua tensão à do diodo interno, como no caso da **figura 3.31**.

Na configuração indicada, usando dois diodos comuns polarizados no sentido direto, eles somarão 1,2 V à tensão de um 7805 de 5 V de saída, obtendo-se assim 6,2 V de saída. Os circuitos integrados da série 78XX, conforme características dadas mais adiante neste livro, podem controlar correntes até 1 A em sua versão básica.

Para obter-se mais corrente do que o circuito pode fornecer, é normal o uso de transistores adicionais nas configurações apresentadas na **figura 3.32**.

Veja que, se transistores forem ligados em paralelo, resistores de emissor devem ser agregados para haver uma distribuição correta das correntes entre eles. Esse assunto será abordado nos projetos de fontes práticas de altas correntes e em fontes de alta corrente (item 3.7).

Também é importante observar que a regulagem não precisa ser feita obrigatoriamente na linha positiva de alimentação. Nas fontes simétricas é comum o uso de reguladores positivos e negativos de tensão ao mesmo tempo. Tanto o diodo zener como os próprios circuitos reguladores mais sofisticados podem fazer a regulagem negativa de tensão, conforme mostra a **figura 3.33**.

Os circuitos integrados da série 79XX por exemplo, são reguladores negativos de tensão.

É bom observar que existem reguladores que possuem zeners internos de valores muito baixos, o que permite adicionar um circuito externo para ajustar a tensão de saída.

Temos então os reguladores variáveis (que podem ser negativos ou positivos) capazes de controlar correntes até bastante altas. Citamos como exemplo os reguladores LM317 e LM350 de que trataremos neste mesmo livro com mais detalhes. Nessa categoria também podem ser incluído o 723.

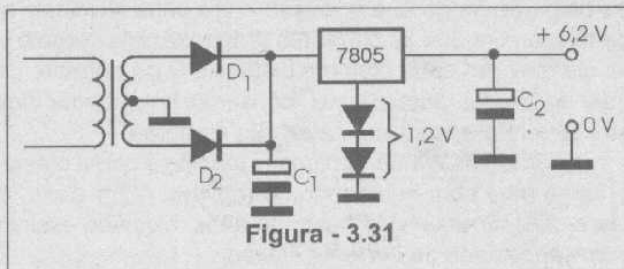


Figura - 3.31

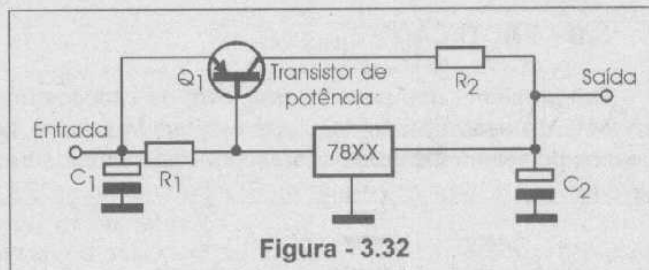


Figura - 3.32

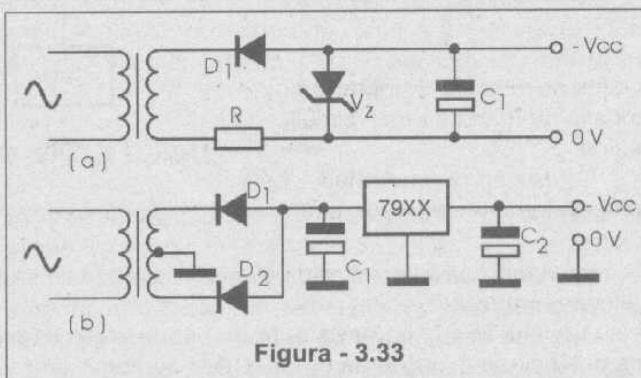


Figura - 3.33

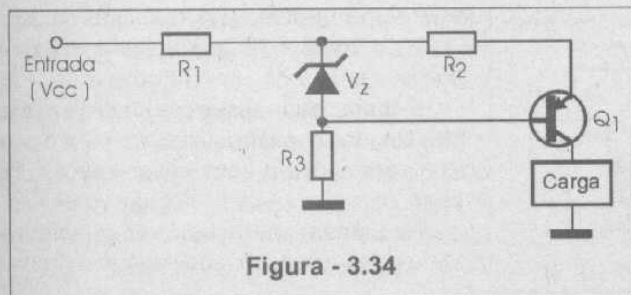


Figura - 3.34

3.7 - REGULADOR PARALELO (SHUNT)

Uma forma menos comum de obter-se a regulagem da tensão de uma fonte é através de um regulador paralelo, cuja configuração básica com um transistor é ilustrada na **figura 3.34**.

Esse regulador funciona como um zener de alta potência derivando a corrente

na carga de modo que a tensão entre seus terminais seja mantida constante. O circuito é calculado de tal maneira que as correntes drenadas pela carga e pelo regulador somadas, resultem numa resistência que, em série com a resistência R de entrada, gere a tensão de alimentação da carga. Assim, quando a carga aumenta seu consumo, o regulador diminui, o que faz com que a soma das correntes se mantenha e, com isso, a tensão na carga.

A grande desvantagem desse circuito é que a dissipação de potência é constante, mesmo quando a carga está com seu consumo mínimo. Além disso, em função da corrente da carga, o regulador pode dissipar potências bastante altas, exigindo assim o uso de grandes dissipadores e transistores com capacidade de corrente elevada.

3.8 - PROTEÇÃO

Um problema que pode ocorrer com os circuitos de fontes lineares até este ponto é que uma corrente excessiva na saída, como a causada por um curto-circuito, pode provocar a sobrecarga e queima dos elementos reguladores, principalmente do transistor ligado em série.

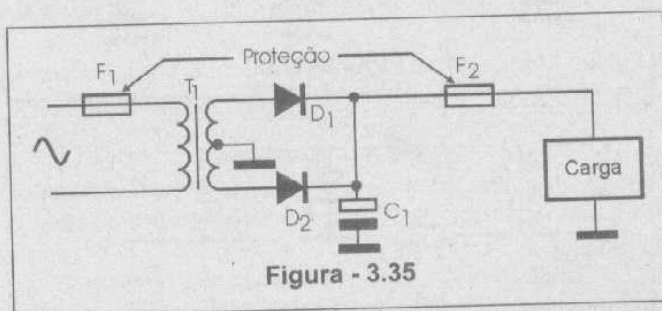


Figura - 3.35

Assim, como elemento final do circuito, podem ser agregadas proteções capazes de desabilitar a fonte em caso de curto ou ainda limitar sua corrente.

A forma mais simples de se obter proteção para uma fonte consiste em agregar-se um fusível em série com a entrada e com a saída, conforme exhibe a **figura 3.35**.

O fusível de saída é dimensionado para abrir com uma corrente um pouco maior do que a máxima que a fonte pode

fornecer. Já o fusível de entrada é dimensionado em função do consumo total da fonte em condições de carga máxima.

Veja que esse fusível de entrada não tem a corrente máxima de saída da fonte. Uma fonte de 12 V x 1 A, se ligada na rede de 110 V, ao fornecer 1 A de saída, drenará pouco mais de 100 mA da rede de energia (a potência se mantém constante). Assim, um fusível de 500 mA na entrada serve perfeitamente para proteger essa fonte.

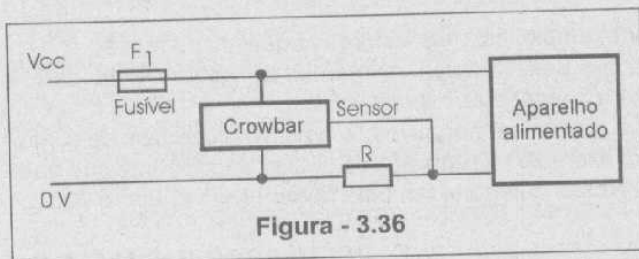


Figura - 3.36

Outra forma de se fazer a proteção de uma fonte é com o uso de um circuito "crowbar" (veja item 4.2.5 - Proteção Crowbar).

Nesse tipo de proteção, um circuito detecta a sobrecorrente ou curto-circuito na saída acelerando a queima do fusível de proteção, de acordo com a **figura 3.36**.

Um tipo mais empregado de proteção é o que limita a corrente na saída ou a corta quando ela se torna excessiva. Isso é feito a partir de um transistor sensor ligado em paralelo com o zener, atente para a **figura 3.37**.

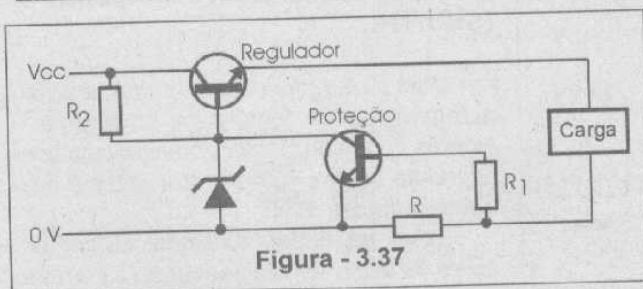


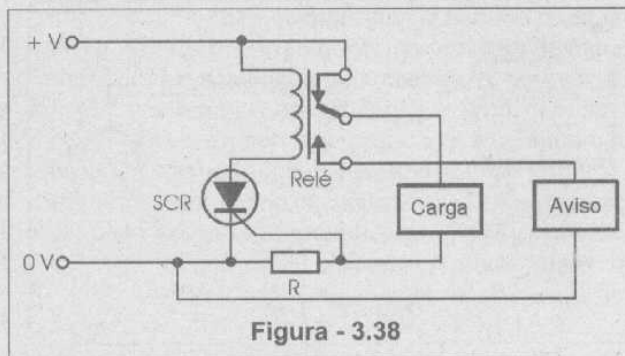
Figura - 3.37

Quando a corrente de saída eleva a tensão no resistor sensor (R) de modo que ela supere os 0,6 V, o transistor conduz colocando praticamente em curto o diodo zener. Dessa forma a tensão de referência cai para zero ou um valor muito baixo, cortando a corrente no circuito.

Outros componentes também podem ser colocados em circuitos de proteção, como um SCR ligado a um relé, conforme vemos no circuito da **figura 3.38**.

Nesse circuito, quando a corrente circulante pelo resistor R (que é a corrente de carga monitorada) alcançar um valor que faça aparecer sobre ele uma tensão da ordem de 1 V, o SCR irá disparar. Com isso, o relé fechará os seus contatos, desligando imediatamente a fonte e acionando um dispositivo de aviso, que pode ser um LED ou um oscilador. Para rearmar a fonte basta remover a causa da sobrecorrente e desligar a fonte por um instante.

Em algumas fontes protegidas, esse circuito é associado a um fusível, atuando como *crowbar*. Também é importante citar que alguns circuitos integrados reguladores de tensão possuem proteção térmica. Quando a temperatura do componente se eleva, passando dos limites pré-estabelecidos, quer seja por sobrecarga ou por curto, componentes internos entram em ação cortando a corrente na sua saída.



3.9 - INDICADORES DE SAÍDA (TENSÃO X CORRENTE)

Em uma fonte fixa (e principalmente numa fonte variável) pode ser necessário monitorar a tensão que está sendo aplicada à carga e a corrente que está circulando através dela. Para essa finalidade podem ser agregados aos seus circuitos instrumentos indicadores, conforme mostra a **figura 3.39**.

O indicador de corrente consiste de um amperímetro ligado em série com a saída, enquanto que o indicador de tensão é um voltímetro ligado em paralelo com a saída.

As opções que o montador de fontes tem são duas: indicadores analógicos e indicadores digitais. Observe a **figura 3.39**.

Os mais tradicionais são os indicadores analógicos, tratando-se de um galvanômetro de bobina móvel, como o ilustrado na **figura 3.40**. A escala é feita de acordo com a fonte.

A inclusão de um galvanômetro deste tipo para indicar tensão é simples: basta levar em conta a sua corrente de fundo de escala e calcular qual deve ser o resistor ligado em série que provoque, com essa tensão, a corrente de fundo de escala.

A fórmula é dada a seguir:

$$R = (V/I) - R_i$$

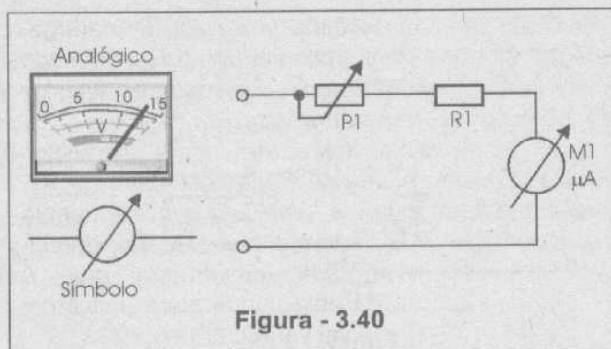
Onde:

R é a resistência multiplicadora a ser ligada em série com o indicador (ohms)

V é a tensão de fundo de escala desejada (tensão máxima de saída da fonte em volts)

I é a corrente de fundo de escala do instrumento usado (ampères)

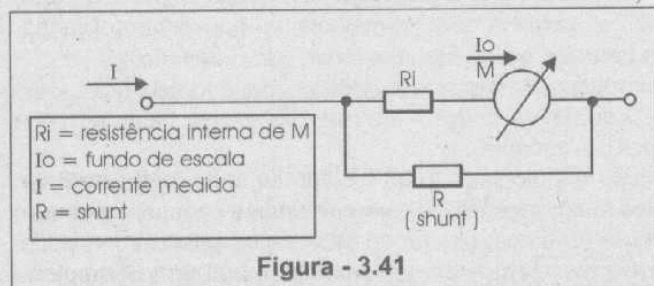




R_i é a resistência interna do instrumento usado (ohms) (*)

(*) Essa resistência pode ser facilmente medida com um multímetro comum.

Na prática, utiliza-se uma resistência um pouco menor e liga-se em série um *trimpot* para se fazer o ajuste do fundo de escala de uma forma mais precisa. O valor do trimpot pode ser da mesma ordem que a resistência calculada ou menor.

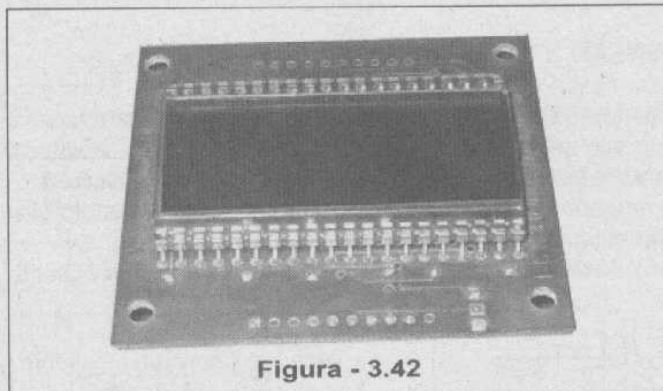


Para usar o indicador como amperímetro deve-se calcular a resistência de derivação (R) ou *shunt* a ser ligada em paralelo, conforme exibe a figura 3.41.

Para essa finalidade considera-se a corrente que deve passar pelo instrumento (seu fundo de escala) e a corrente que deve ser desviada. É preciso também conhecer a resistência do instrumento a ser usado.

Para a indicação digital podem ser usados módulos voltímetros, sendo o mais comum o de 3 ½ dígitos com o circuito integrado 7106 da Intersil, veja na figura 3.42.

Com uma rede de resistores externos, esse circuito pode ser facilmente programado para medir a tensão de saída na faixa desejada.



3.10 - FONTES DE CORRENTE CONSTANTE

Existem aplicações onde se deseja manter constante a corrente circulante por uma carga, mesmo quando a tensão de entrada varia ou a resistência da carga muda.

Para esta finalidade há circuitos denominados "fontes de corrente" ou "fontes de corrente constante" que são de grande utilidade. Com aplicações em automação industrial, robótica, eletrônica embarcada, mecatrônica e muitos outros campos da Eletrônica, estes circuitos merecem um destaque.

As baterias e fontes de alimentação comuns são fontes de tensão no sentido de que mantêm constante a tensão aplicada numa carga. No entanto, para fornecer energia a um circuito de carga, esta não é a única solução possível.

Há casos em que manter a corrente constante numa carga é muito mais importante do que manter a tensão. Isso pode ser visto, por exemplo, no caso de um carregador de baterias, em que a medida que ele se carrega a tensão em seus terminais sobe e, com isso, a corrente de carga tende a diminuir, veja a figura 3.43.

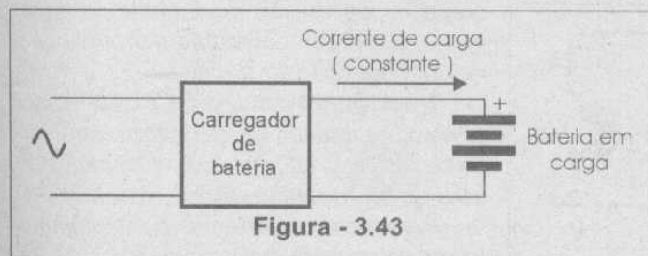


Figura - 3.43

O importante neste tipo de carregador é manter constante a carga de modo a se ter a bateria carregada no final do prazo esperado.

Outra aplicação é nos elementos resistivos de pequenas estufas ou aquários, onde a resistência do elemento depende da temperatura. Assim, dependendo de sua temperatura (que é influenciada pela temperatura ambiente)

podemos ter diversas potências de dissipação, uma vez que a corrente vai variar.

Há diversas configurações relativamente simples que podem manter constante a corrente num circuito. A seguir, veremos como elas funcionam e como podem ser calculadas para uma aplicação específica.

3.10.1 - OS CIRCUITOS

A configuração mais simples para uma fonte de corrente constante é apresentada na **figura 3.44** em que simplesmente agregamos um resistor em série com valor suficientemente grande para que variações da resistência de carga não influam de modo sensível na corrente do circuito.

Esta solução é adotada em muitos carregadores econômicos de baterias, onde temos simplesmente um resistor no qual aparece uma tensão da ordem de 5 a 10 vezes a tensão da carga de modo que ela não influa na corrente.

A tensão de entrada, neste caso, deve ser bem maior que a tensão aplicada à carga. Todavia, este tipo de configuração tem a grande desvantagem de apresentar perdas de energia elevadas no resistor, não se aplicando portanto a circuitos de alta corrente. Este é o caso típico dos carregadores de bateria de carro que encontramos à venda em algumas casas especializadas e que consistem simplesmente num diodo retificador e uma lâmpada que faz as vezes do resistor em série, conforme mostra a **figura 3.45**.

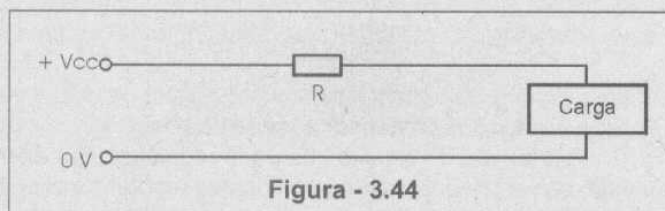


Figura - 3.44

A lâmpada acende com um brilho elevado durante a carga da bateria, mostrando que a maior parte de energia do sistema é convertida em luz e calor.

Uma configuração mais avançada de fonte de corrente constante pode ser elaborada em torno de transistores bipolares e diodos zener, conforme ilustra a **figura 3.46**.

Nesta configuração, o diodo zener em série com um resistor polariza um transistor de modo a levá-lo a condução. A corrente pela carga é determinada pelo resistor em série com o transistor. Pode-se usar um resistor ajustável ou potenciômetro para isso, desde que seja de fio, capaz de suportar a corrente desejada na saída.

Uma vez ajustada, o transistor passa a atuar como elemento estabilizador de corrente. As variações da resistência da

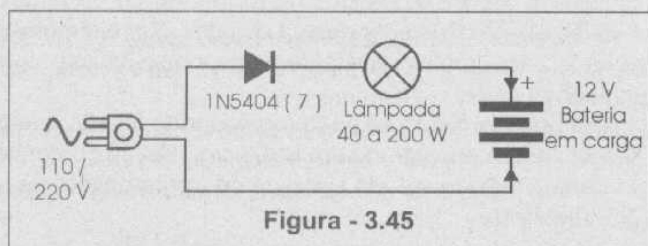
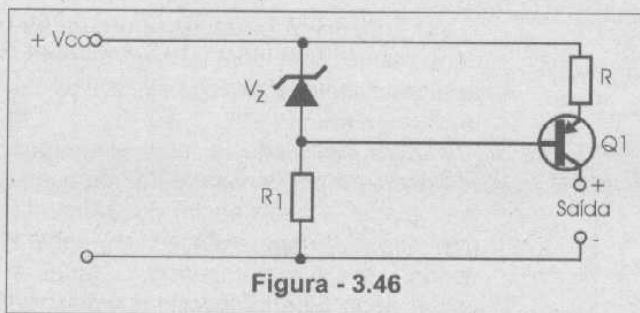


Figura - 3.45



carga ou da tensão de entrada passam, então, a ser compensadas pela maior ou menor condução do transistor.

Transistores como o TIP32 ou BD136 podem ser usados neste circuito para correntes até uns 500 mA, com os valores de zener e resistor indicados.

Para maiores correntes podem ser utilizados transistores Darlington e diodos zener de maior potência com uma redução correspondente do resistor de 1 k Ω da polarização de base do transistor. No entanto, para maiores correntes existe a solução do circuito integrado.

Há muitos reguladores de tensão integrados que podem ser facilmente ligados para funcionarem como reguladores de corrente.

Nosso primeiro exemplo está nos circuitos integrados da série 78XX, que podem

funcionar como reguladores de corrente de até 1 ampère. A ligação destes integrados nesta configuração é exibida na **figura 3.47**.

O resistor Rx é calculado em função da corrente desejada na carga e da tensão do circuito integrado regulador pela fórmula:

$$R_x = V_{xx}/I$$

Onde:

Rx é o valor do resistor em série, em ohms

Vxx é a tensão do circuito integrado regulador. Por exemplo: 5 V para o 7805 e 6 V para o 7806.

I é a corrente constante que se deseja manter no circuito de carga, em ampères.

A dissipação deste resistor é importante, uma vez que ele trabalha com correntes elevadas. Esta dissipação é calculada pela fórmula:

$$P = R_x \times I^2$$

Onde: P é a potência dissipada, em watts

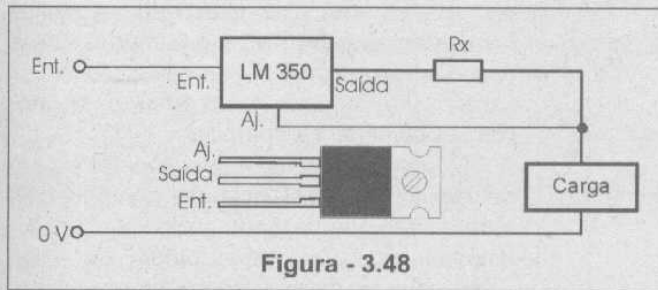
R é a resistência, em ohms

I é a corrente através do resistor, em ampères

Normalmente são usados resistores de fio de pequenos valores, mas podem ser empregadas associações de resistores de 1 Ω comuns. Por exemplo, para 0,25 Ω podem ser colocados 4 resistores de 1 Ω em paralelo. Evidentemente, nesta aplicação o circuito integrado deve ser montado em um radiador de calor.

Um outro circuito integrado regulador de tensão que pode trabalhar com correntes de até 3 A é o LM350T, que é encontrado em invólucro TO-220 conforme mostra a **figura 3.48**.

Este circuito integrado consiste de um regulador de tensão variável que tem um diodo zener de 1,25 V interno.



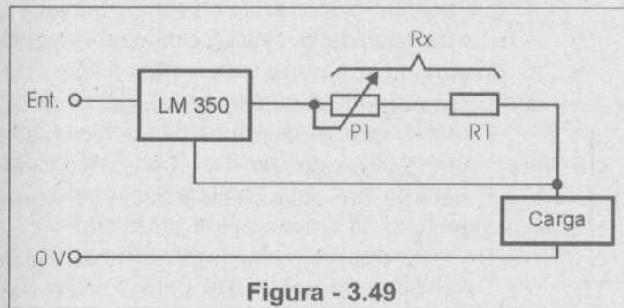
Desta forma, numa aplicação como a mostrada na **figura 3.48**, o resistor R_x é calculado pela seguinte fórmula:

$$R_x = 1,25/I$$

Onde:

R_x é o valor do resistor em série, em ohms

I é a corrente que se deseja manter constante na carga, em ampères.



A dissipação do resistor é calculada como no exemplo anterior, usando os integrados da série 78XX.

Para se obter um ajuste da corrente pode-se agregar um resistor variável em série (um potenciômetro de fio de 1 a 5 Ω , por exemplo) conforme ilustrado na **figura 3.49**.

Este potenciômetro deve ter dissipação compatível com a corrente ajustada.

Para correntes maiores, podemos utilizar o LM338 que é fornecido em invólucro metálico TO-20 e que pode controlar correntes de até 5 A. O circuito é apresentado na **figura 3.50**.

O diodo zener interno deste circuito integrado também é de 1,2 V e, por isso, os cálculos do resistor podem ser feitos utilizando-se a mesma fórmula usada para o LM350T, trocando-se 1,25 por 1,2.

Evidentemente, nas correntes limites o circuito integrado regulador deve ser montado em excelente dissipador de calor. Também pode ser adotada a solução de colocar um resistor variável em série para se ter um ajuste da corrente.

Outras opções para este tipo de regulador de corrente incluem o uso de transistores *booster* como o 2N3055 para se controlar correntes maiores. Entretanto, nas aplicações práticas, o limite de 5 A parece razoável para a maioria das necessidades.

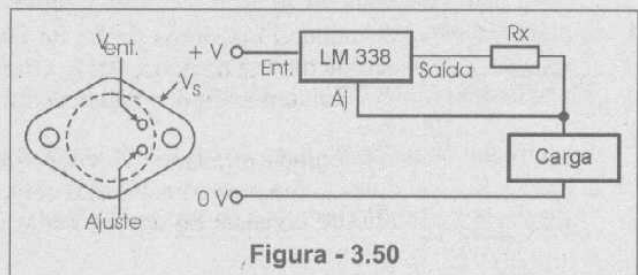
3.11 - FONTES DE ALTA CORRENTE

Fontes de alimentação de alta corrente são cada vez mais importantes em aplicações que abrangem desde a eletrônica industrial até a eletrônica de consumo, onde as correntes exigidas por certos equipamentos de alta potência podem chegar a dezenas de ampères.

Neste item discutiremos o projeto destas fontes e daremos alguns circuitos práticos.

Fontes de alimentação de baixa tensão (até uns 30 V) com correntes que no máximo atingem um ou dois ampères são comuns na maioria das aplicações eletrônicas, e não faltam circuitos para este tipo de aparelho.

A própria montagem não oferece maiores dificuldades devido à existência de muitos circuitos integrados reguladores que podem fornecer diretamente estas tensões



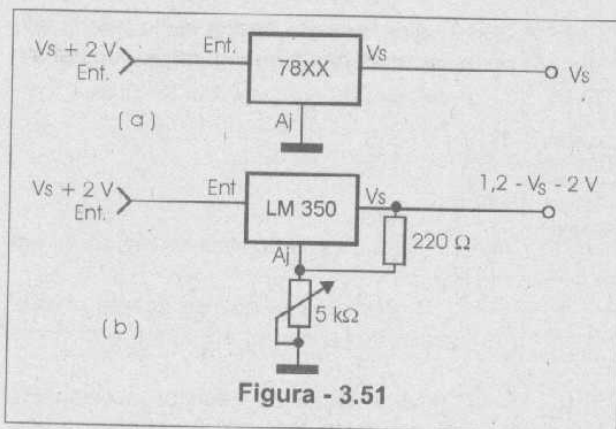


Figura - 3.51

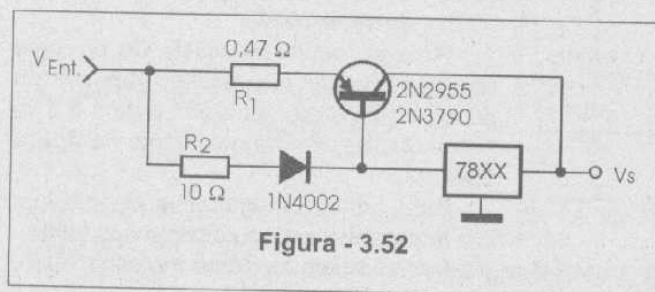


Figura - 3.52

e correntes sem a necessidade de muitos componentes externos, e o *layout* da placa não é crítico. Porém, quando as correntes ultrapassam a marca dos 5 ampères os problemas começam a aparecer.

O primeiro deles é justamente aquele devido à não existência de componentes apropriados que possam, sozinhos, fornecer tensões reguladas nesta ordem de valor. Exige-se o uso de circuitos *boosters* externos que possam suportar as correntes elevadas, e a complexidade destes circuitos aumenta quando a corrente se torna maior ainda.

O segundo é o próprio *layout* da placa que exige trilhas largas, compatíveis com a corrente, ou mesmo o uso de fiação externa com fios grossos de acordo com as correntes que devem ser fornecidas.

A seguir, vamos oferecer algumas soluções interessantes para a utilização de circuitos integrados comuns excitando etapas de alta corrente de modo a permitir a realização de fontes de até 50 ampères com tensões de até 30 V, aproximadamente.

ETAPAS DE ALTA CORRENTE

Existem diversos circuitos integrados reguladores de tensão de três terminais (fixos ou ajustáveis) que podem ser usados como base para projetos de fontes de alta corrente.

Em especial, tomaremos dois tipos comuns: o 7812 para 12 V x 1 A (de tensão fixa) e o LM350T de 3 A (para tensões de 1,25 a 30 V) para exemplificar seu uso em etapas de maior corrente.

Entretanto, os mesmos princípios válidos nos projetos com estes circuitos também o são para outros do mesmo tipo.

Os circuitos integrados 7812 e LM350T são empregados em configurações bastante simples, como revela a **figura 3.51**.

Para se obter maior corrente destes circuitos integrados, há a opção das etapas de potência com transistores bipolares. Há diversas maneiras de se fazer isso e que são dadas a seguir:

A primeira é válida para os circuitos integrados da série 78XX, como o 7812, e faz uso de um transistor PNP de alta corrente como *booster*. Esta configuração é apresentada na **figura 3.52**.

O valor de R_1 é calculado de acordo com a corrente máxima do regulador de tensão, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$R_1 = 0,9/I_{reg}$$

R_1 também depende do Beta do transistor, conforme a fórmula:

$$R_1 = (Beta \times V_{be}) / (I_{reg}(máx) \times (Beta + 1) - I_o(máx))$$

A corrente no regulador não deve ser maior que 1 A e seu valor também depende do ganho do transistor Q_1 . Dentre os tipos de transistores que podem ser colocados nesta configuração, destacamos os seguintes:

Transistor	Corrente
TIP36/A/B/C	25 A
TIP34/A/B/C	10 A
TIP2955	15 A

Na **figura 3.53** mostramos como agregar um transistor a este circuito de modo a fornecer proteção contra curto-circuito na saída.

O resistor R_s de proteção é calculado pela fórmula:

$$R_s = 0,8/I_s, \text{ onde } I_s \text{ é a corrente de curto-circuito}$$

Este tipo de configuração é válida até aproximadamente 5 ampères, visto que devemos considerar que mesmo que as correntes máximas dos transistores indicados sejam maiores, é preciso fazê-los operar dentro dos limites de sua dissipação.

Para o LM350 também podemos ter uma configuração equivalente que nos permita obter até aproximadamente 5 ampères de corrente com um transistor PNP de alta potência como o MJ4502. Esta configuração é exemplificada na **figura 3.54**.

O resistor R_e é quem determina a corrente de saída e a corrente no regulador de tensão de modo que ela fique dentro do limite suportado pelo CI.

Lembramos que, neste caso, tanto o circuito integrado como o transistor de potência devem ser montados em excelentes radiadores de calor.

Outra possibilidade interessante para os projetistas de fontes de alta corrente consiste no uso dos transistores 2N3055. Esses transistores, que são os "faz tudo" de alta potência e que, por isso, podem ser encontrados facilmente com custo reduzido, são a solução ideal para altas correntes quando for possível sua utilização. No entanto, os 2N3055 são do tipo NPN, o que nos leva à necessidade de uma configuração um pouco diferente para sua associação a reguladores de

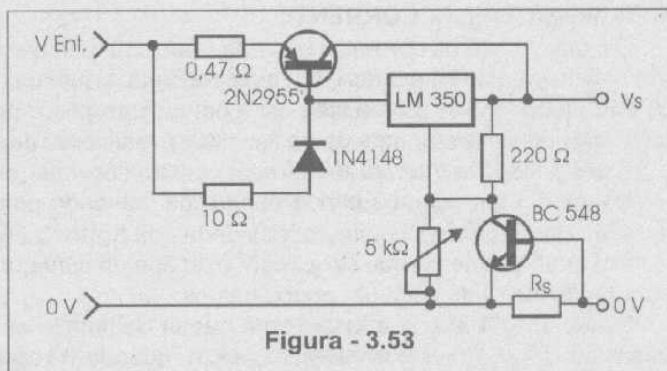


Figura - 3.53

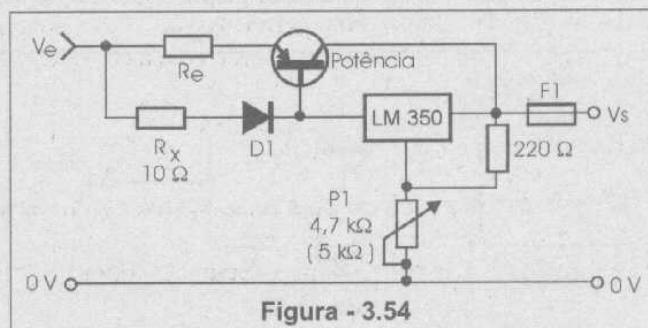


Figura - 3.54

tensão positiva de três terminais. Uma primeira forma é usando-se o mesmo circuito "invertido", ou seja, com o regulador negativo de tensão 7912, e com isso colocando a etapa de controle na linha negativa de alimentação, observe a **figura 3.55**.

A segunda maneira consiste em se adotar o circuito ilustrado na **figura 3.56**, que também pode ser bem útil para correntes de até 5 A.

Para correntes maiores, em todos os casos, existe a possibilidade de se ligar em paralelo diversos transistores 2N3055, mas aí temos de considerar dois problemas a serem resolvidos.

O primeiro deles é a necessidade de um circuito de excitação que forneça à base de cada transistor a corrente necessária.

Um único regulador de 1 A, por exemplo, não pode excitar suficientemente bem quatro ou cinco 2N3055, lembrando que cada um deles pode fornecer uma corrente de 5 A. Isso pode ser conseguido facilmente com um transistor intermediário (do mesmo tipo).

O segundo problema é a necessidade de se dividir a corrente por igual entre os transistores.

Esses componentes são encontrados numa ampla faixa de ganhos, mesmo os de tipo igual, o que significa que quando polarizados a partir de uma mesma fonte, eles conduzem de forma diferente.

Ligados em paralelo, esses transistores tendem a ser percorridos por correntes diferentes, conforme mostra a **figura 3.57**.

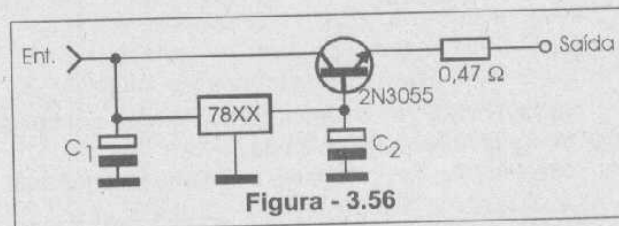
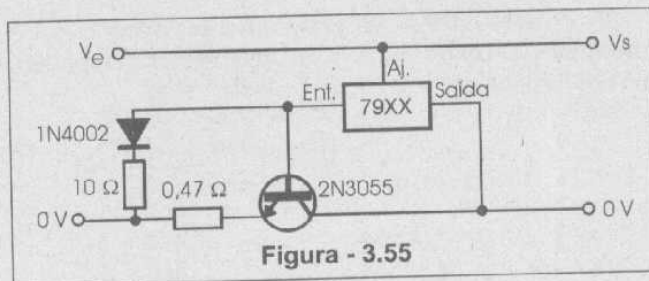
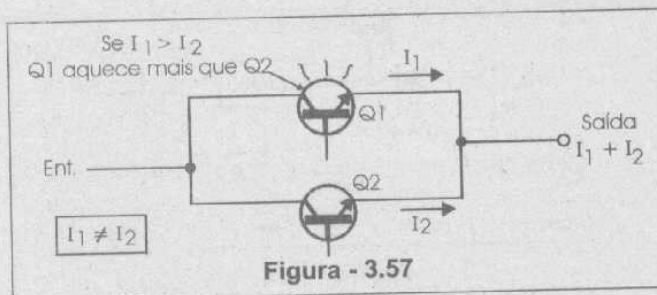
Em um circuito de correntes elevadas isso causaria a sobrecarga daquele que está sendo percorrido pela maior corrente e que, por isso, tenderia à queima.

Para termos uma distribuição por igual da corrente, o artifício que se faz é aumentar a tensão de base de cada transistor através da ligação de resistores de emissor em cada um.

Estes resistores (de pequeno valor) fazem com que os transistores fiquem mais próximos uns dos outros em termos de corrente conduzida, havendo portanto uma distribuição que não os sobrecarrega. Atente para as configurações dadas na **figura 3.58**.

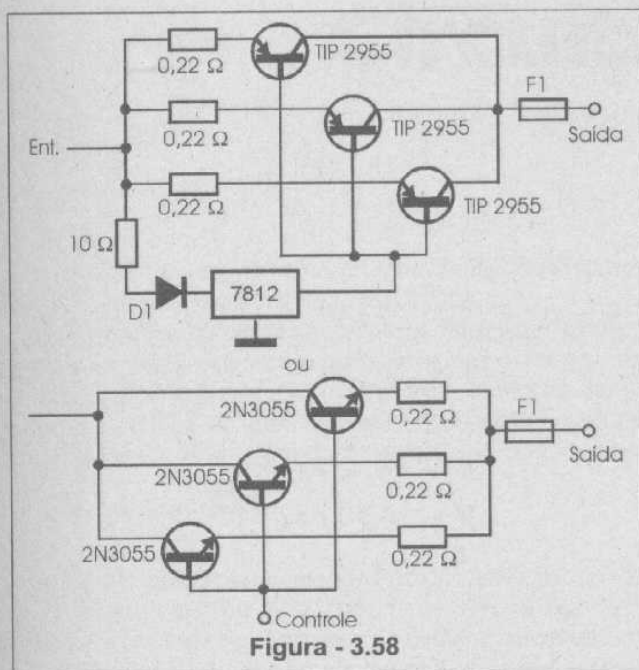
Um outro problema que surge com este tipo de configuração é que a tensão de saída não é exatamente de 12 V, mas sim um pouco menos.

O que acontece é que existe uma queda de tensão entre a base e emissor dos transistores da ordem de 0,7 V, a ser considerada. Assim, quando o regulador de tensão aplica 12 V na base do transistor, no seu emissor aparece apenas 11,3 V de tensão.



Uma solução interessante para resolver este problema consiste em se aumentar a tensão do regulador, utilizando-se para isso uma referência de tensão que compense a queda nos transistores. Isso pode ser feito com a configuração apresentada nessa figura.

Cada diodo colocado em série com o terminal de referência do circuito integrado aumenta em 0,7 V a tensão de



saída. Este recurso é em especial interessante quando a fonte visa substituir baterias de carro que, como se sabe, têm uma tensão de saída da ordem de 13,2 V ou mais.

Com dois diodos em série compensamos a queda de 0,7 V e ainda acrescentamos algo em torno de 1,4 V para obter na saída uma tensão um pouco maior do que os 13 V, mais próxima da exigida pelos equipamentos alimentados por baterias de carro.

Circuitos Práticos

A partir de agora veremos projetos práticos de fontes analógicas que o leitor pode montar com facilidade para as mais diversas aplicações.

Muitos desses projetos já foram montados por centenas de leitores das revistas Saber Eletrônica e Eletrônica Total, pois foram publicados nas mesmas nos últimos anos.

Lembramos que o leitor deve ter experiência na montagem desse tipo de circuito, principalmente no caso das fontes de altas correntes que exigem cuidados especiais no desacoplamento e na escolha dos componentes, além da dissipação apropriada de calor.

4.1 - FONTE SIMPLES DE 6/12 V

A maioria dos projetos eletrônicos que envolvem o uso de transistores e circuitos integrados precisa de tensões de 6 e 12 V. Uma fonte simples que forneça estas tensões é, então, algo que todo montador, projetista ou reparador de circuitos deve ter em sua bancada.

A fonte simples que apresentamos agora não é regulada e pode ser usada em muitos projetos não críticos, projetos esses que possam funcionar com tensões não reguladas, em torno de 6 ou 12 V com boa faixa de tolerância.

Esta fonte não é regulada, o que significa que na saída de 6 V, na verdade, a tensão poderá estar entre 6 V e pouco mais de 8 V e da mesma forma, na saída de 12 V poderá ter entre 12 V e 15 V ou pouco mais, dependendo do consumo do aparelho alimentado.

Se os aparelhos a serem alimentados não forem críticos, aceitando estas variações, a fonte poderá ser utilizada sem problemas.

A filtragem é boa, dada por um capacitor eletrolítico de 1 000 μF , e a monitoria do funcionamento é feita através de um LED comum.

Eletrólise, projetos mecatrônicos que envolvam pequenos motores, aquecedores, solenóides e outros dispositivos não críticos podem ser alimentados por esta fonte.

A corrente máxima disponível na saída é de 500 mA e a tensão de entrada depende apenas do transformador usado.

Na **figura 4.1** temos o diagrama completo desta fonte.

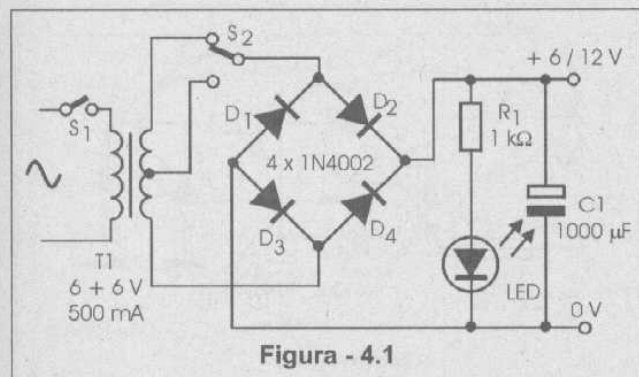


Figura - 4.1

Os poucos componentes usados podem ser soldados numa ponte de terminais conforme mostra a **figura 4.2**.

Os diodos admitem equivalentes e o transformador tem enrolamento secundário de 6 V + 6 V (com tomada central), com 500 mA ou mais de corrente.

O enrolamento primário deve ser de acordo com a rede de energia, ou seja, 110 V ou 220 V.

Para experimentar a fonte, é só ligá-la e medir a tensão de saída alimentando uma lâmpada de acordo com essa mesma

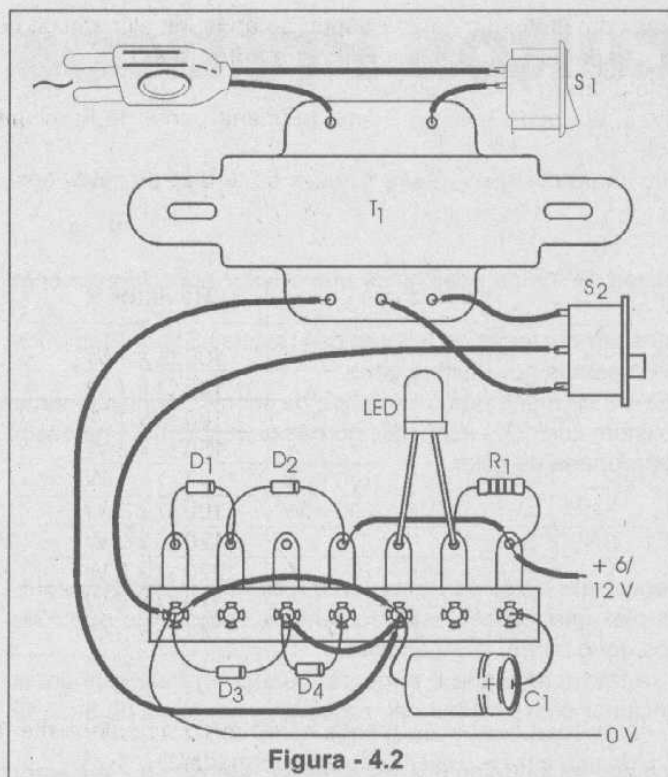


Figura - 4.2

Será interessante identificar as saídas com fios ou bornes de cores diferentes, por exemplo, o vermelho para o positivo e o preto para o negativo.

Se a tensão cair muito ao se alimentar algum aparelho, o que pode ser notado por uma queda acentuada do brilho do LED, é porque este aparelho tem maior consumo do que a fonte pode suportar. Desligue-o e não use o com esta fonte.

4.2 - FONTE SIMPLES COM REGULAGEM A ZENER (3 A 12 V X 30 mA)

Descreveremos uma fonte de alimentação simples, ideal para alimentar aparelhos de baixo consumo que normalmente empregam pilhas. Podemos dizer que se trata de um eliminador de pilhas econômico. O uso do transformador garante segurança ao circuito, isolando-o da rede de energia.

Lista de Material

Semicondutores:

D₁ a D₄ - 1N4002 - diodos de silício

LED - LED vermelho comum

Diversos:

S₁ - Interruptor Simples

S₂ - Chave de 1 pólo x 2 posições

C₁ - 1 000 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico

T₁ - Transformador - ver texto

R₁ - 1 k Ω x 1/8 W - resistor - marrom, preto, vermelho

Ponte de terminais, cabo de força, caixa para montagem, garras ou bornes para a saída, fios, solda, etc.

tensão de saída. Um multímetro comum pode ser empregado para se fazer a medida da tensão fornecida.

Para usar, observe sempre a tensão de saída e a polaridade.

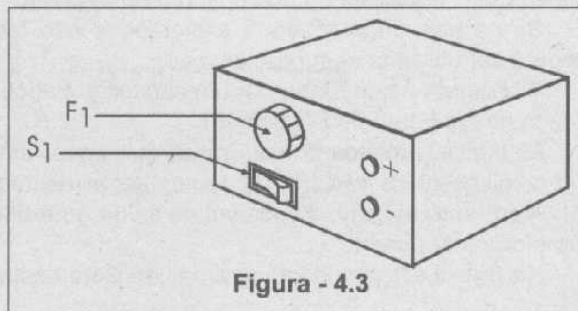


Figura - 4.3

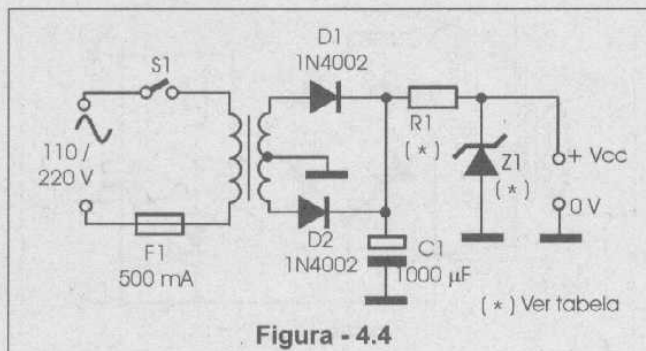


Figura - 4.4

(*) Ver tabela

Podemos montá-la numa pequena caixa com um plugue para adaptar ao aparelho alimentado ou ainda com bornes para conexão, se ela for usada na bancada, como mostra a **figura 4.3**.

Na **figura 4.4** temos o diagrama completo dessa simples fonte.

Como são usados poucos componentes, ela pode empregar uma pequena ponte de terminais como chassi, conforme mostra a **figura 4.5**.

O transformador e o diodo zener, assim como o resistor R são funções da tensão de saída desejada, conforme a seguinte tabela:

Tensão de saída	Transformador	Diodo zener	Resistor R
3 V	5 + 5 ou 6 + 6 V	3 V x 400 mW	100 Ω x 1 W
3 V	7,5 + 7,5 V	3 V x 500 mW	150 Ω x 1 W
3 V	9 + 9 V	3 V x 500 mW	180 Ω x 1 W
3 V	12 + 12 V	3 V x 1 W	150 Ω x 2 W
4,5 V	5 + 5 V ou 6 + 6 V	4V7 ou 4V5 x 400 mW	47 Ω x 1 W
4,5 V	9 + 9 V	4V7 ou 4V5 x 400 mW	100 Ω x 1 W
6,0 V	7,5 + 7,5 V ou 9 + 9 V	6 V x 1W	120 Ω x 2 W
6,0 V	12 + 12 V	6 V x 1 W	220 Ω x 2 W
9,0 V	12 + 12 V	9V x 1 W	270 Ω x 2 W
12 V	12 + 12 V	12 V x 1 W	47 Ω x 2 W

A corrente de secundário do transformador pode ficar entre 50 mA e 300 mA. Evidentemente, a corrente máxima de saída desta fonte simples não será a corrente do transformador.

Se for notada queda acentuada da tensão na saída quando alimentar algum aparelho, é sinal que ele consome mais do que a fonte pode fornecer.

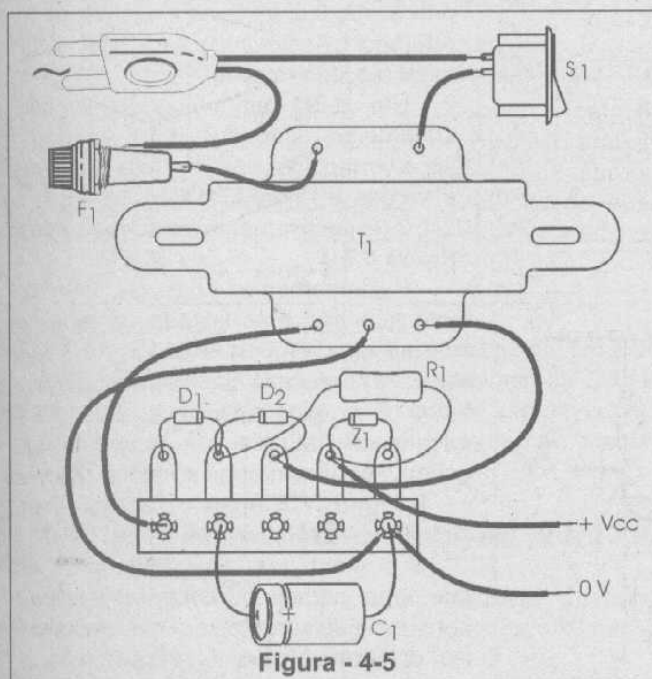


Figura - 4-5

Lista de Material

D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores

Z₁ - Diodo zener - ver tabela

C₁ - 1000 μ F - capacitor eletrolítico - ver texto

T₁ - Transformador - ver tabela

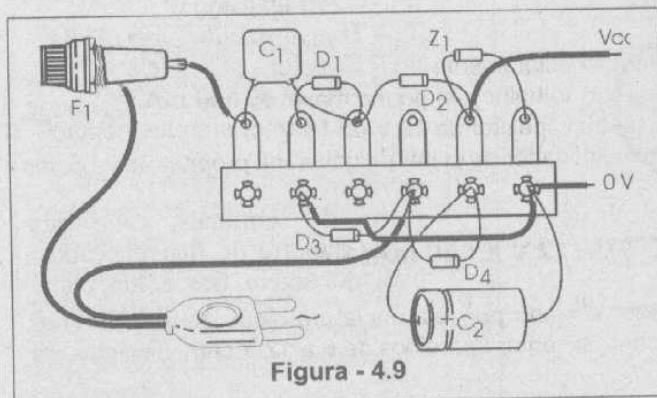
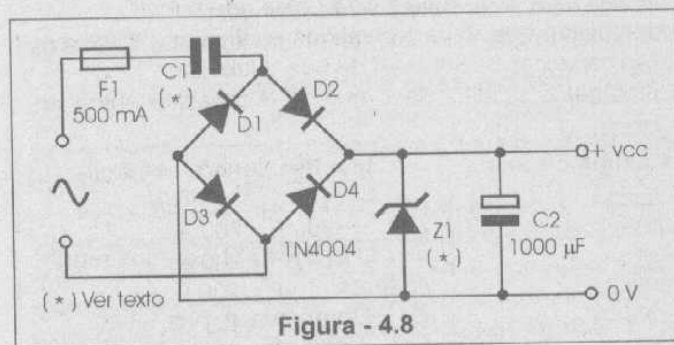
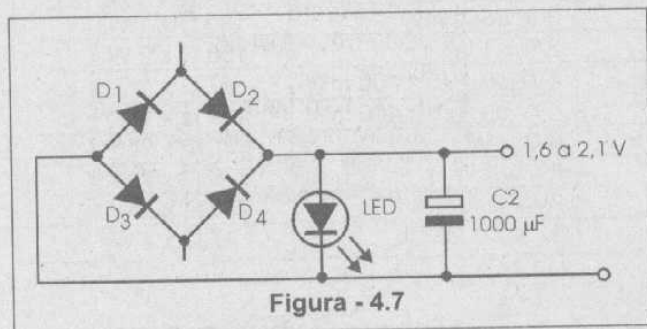
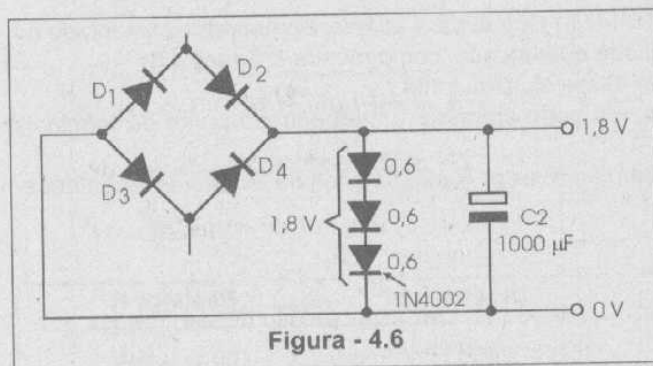
R₁ - Resistor - ver tabela

F₁ - Fusível de 500 mA

S₁ - Interruptor simples - opcional

Diversos:

Ponte de terminais, cabo de força, suporte de fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.



O capacitor deve ter uma tensão de trabalho de 12 V para transformadores até 7,5 V; 16 V para os tipos de 9 V; e 25 V para os de 12 V.

4.3 - FONTE SIMPLES SEM TRANSFORMADOR (3 A 12 V X 20 mA)

Para aplicações em que o isolamento da rede de energia não é importante pode-se economizar o transformador, que é um componente caro, pesado e volumoso.

Em seu lugar aproveita-se a reatância capacitiva de um capacitor de poliéster de boa qualidade para fazer a redução da tensão da rede de energia.

O projeto que apresentamos pode operar tanto na rede de 110 V como 220 V, e fornece uma corrente até 20 mA. A tensão de saída depende unicamente do diodo zener usado, ficando entre 3 V e 12 V. Tensões menores podem ser obtidas com uma referência formada por diodos comuns, conforme ilustra a **figura 4.6**.

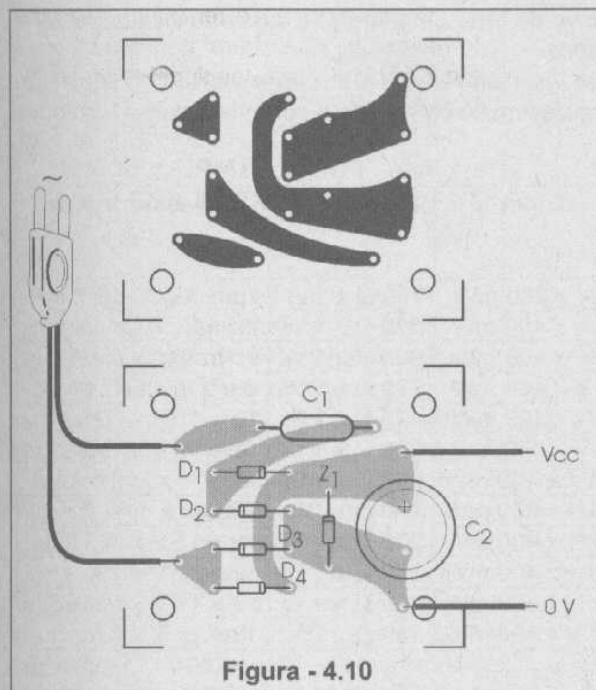
Cada diodo fornece uma tensão da ordem de 0,6 V, quando usado como referência. Assim, para 2,4 V basta colocar 4 diodos em série.

Um LED também pode ser utilizado como referência de 1,6 V para os tipos vermelhos. Para os tipos amarelos e verdes a referência será de 1,8 V e 2,1 V respectivamente conforme exibe a **figura 4.7**.

Evidentemente, como se trata de fonte que não está isolada da rede de energia, ela não deve ter partes expostas, nem os aparelhos que vão ser alimentados. Pequenos rádios, calculadoras e relógios são alguns dos aparelhos que podem ser alimentados por esta fonte.

Na **figura 4.8** temos o diagrama completo dessa simples fonte.

Sua montagem não exige mais do que uma pequena ponte de terminais para servir de suporte para os componentes, conforme apresenta a **figura 4.9**.



Lista de Material

D₁ a D₄ - 1N4004 - diodos de silício

C₁ - Capacitor de poliéster - ver tabela e texto

Z₁ - Zener de 3 a 12 V x 1 W - conforme tensão de saída desejada

C₂ - 1 000 µF - capacitor eletrolítico - ver texto

F₁ - 500 mA - fusível

Diversos:

Ponte de terminais ou placa de circuito impresso, cabo de força, suporte de fusível, fios, solda, caixa para montagem, etc.

Figura - 4.10

É claro que se o leitor tiver recursos para elaborar placas de circuito impresso, poderá usar o padrão da **figura 4.10** como referência.

O componente crítico deste projeto é o capacitor, que deve ter valores e tensões de trabalho conforme a seguinte **tabela**. Deve ser usado um capacitor de poliéster de boa qualidade:

O fusível de entrada é importante para proteger o circuito, dado que se o capacitor entrar em

Tensão de Entrada	Corrente Máxima de Saída	Capacitor (tensão mínima)
110/120 V	15 mA	390 nF x 200 V
110/120 V	20 mA	470 nF x 200 V
110/120 V	30 mA	1 µF x 200 V
220/240 V	15 mA	220 nF x 400 V
220/240 V	20 mA	270 nF x 400 V
220/240 V	30 mA	470 nF x 400 V

curto, é preciso que a alimentação seja desligada imediatamente.

O capacitor eletrolítico deve ter uma tensão de trabalho um pouco maior do que a desejada na saída. Por exemplo, para uma saída de 6 V, use um capacitor de 12 V ou 16 V.

O circuito cabe numa pequena caixa do tipo eliminador de pilha "plugável" na própria rede a partir de qualquer tomada comum.

4.4 FONTE FIXA COM TRANSISTOR: 6/9/12 V X 500 mA/1 A

Usando um único transistor como regulador e tendo por referência um diodo zener, podemos elaborar uma simples, porém eficiente, fonte para alimentar aparelhos de 6 a 12 V com correntes até 1 A, dependendo da versão escolhida.

Nesse circuito, o transformador abaixa a tensão da rede de energia, a qual é retificada por D_1 e D_2 , para depois ser filtrada pelo capacitor eletrolítico.

A regulagem é feita por uma etapa contendo um diodo zener e um transistor de potência. Em função desses componentes e do resistor R_1 temos a tensão de saída e a corrente máxima, conforme a seguinte tabela:

Tensão de Saída	Corrente (máxima)	Transistor usado	Zener	Resistor R_1	Transformador
6 V	500 mA	BD135/137/139	6 V x 400 mW	270 Ω x 1 W	7,5 + 7,5 V x 500 mA
6 V	1 A	TIP31A/B/C	6 V x 400 mW	220 Ω x 1 W	7,5 + 7,5 V x 1 A
6 V	500 mA	BD135/136/137	6 V x 400 mW	330 Ω x 1 W	9 + 9 V x 500 mA
6 V	1 A	TIP31A/B/C	6 V x 400 mW	270 Ω x 1 W	9 + 9 V x 1 A
6 V	500 mA	BD135/137/139	6 V x 400 mW	470 Ω x 1 W	12 + 12 V x 500 mA
6 V	1 A	TIP31A/B/C	6 V x 400 mW	390 Ω x 1 W	12 + 12 V x 1 A
9 V	500 mA	BD135/136/137	9V1 x 400 mW	220 Ω x 1 W	9 + 9 V x 500 mA
9 V	1 A	TIP31A/B/C	9V1 x 400 mW	150 Ω x 1 W	9 + 9 V x 1 A
9 V	500 mA	BD135/136/137	9V1 x 400 mW	220 Ω x 1 W	12 + 12 V x 500 mA
9 V	1 A	TIP31A/B/C	9V1 x 400 mW	270 Ω x 1 W	12 + 12 V x 1 A
12 V	500 mA	BD135/136/137	12 V x 400 mW	220 Ω x 1 W	12 + 12 V x 500 mA
12 V	1 A	TIP31A/B/C	12 V x 400 mW	180 Ω x 1 W	12 + 12 V x 1 A

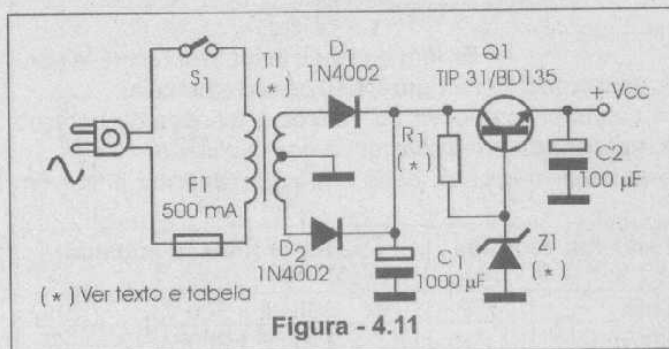


Figura - 4.11

Em todos os casos, se for utilizado um transformador com secundário de corrente menor que a máxima esperada, essa será a corrente obtida da fonte.

Na figura 4.11 temos o diagrama completo dessa fonte.

Diversas são as técnicas que podem ser aplicadas para a montagem. Se for usada placa de circuito impresso, o padrão da figura 4.12 pode servir de base.

O capacitor C_1 deve ter tensão de trabalho de pelo menos 50% da tensão do secundário do transformador usado.

O transistor deve ser dotado de um bom radiador de calor. Observe que a disposição dos terminais dos transistores da série BD é diferente da série TIP.

Para mais informações sobre esses componentes veja as seções finais deste livro.

Lista de Material

Q_1 - BD135 ou TIP31 - conforme corrente - ver tabela

D_1, D_2 - 1N4002 - Diodos retificadores de silício

C_1 - 1 000 μ F - capacitor eletrolítico - tensão de trabalho conforme transformador - ver texto

C_2 - 100 μ F - capacitor eletrolítico - tensão pouco maior do que a da saída da fonte.

R_1 - Resistor conforme versão - ver tabela

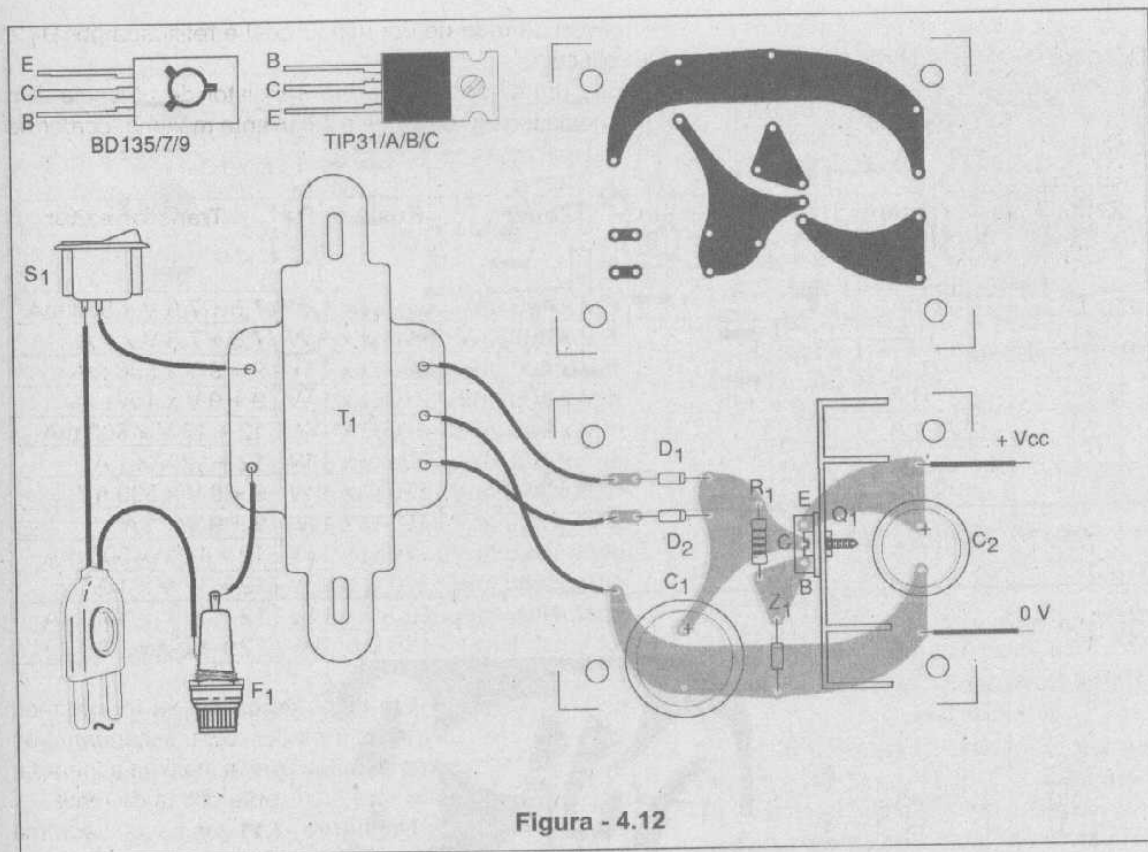
Z_1 - Ver tabela

T_1 - Transformador - ver tabela

S_1 - Interruptor simples

F_1 - 500 mA - fusível

Diversos: Ponte de terminais ou placa de circuito impresso, cabo de força, radiador de calor para o transistor, suporte para o fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.



4.5 - FONTE AJUSTÁVEL DE 0 A 12 V X 1 A COM TRANSISTOR

Eis uma fonte simples para a bancada que pode ser montada até mesmo com componentes de sucata. O transistor e o transformador são exemplos de componentes que podem ser aproveitados de aparelhos fora de uso.

Essa fonte pode fornecer tensões de saída ajustáveis entre 0 e 12 V aproximadamente, com corrente máxima de 1 A, sendo ideal para alimentar projetos em desenvolvimento ou teste numa bancada.

Nessa fonte usamos um transistor como regulador série da tensão de saída, cuja referência é fornecida por um diodo zener.

O potenciômetro ajusta a parcela da tensão do diodo zener a ser aplicada no transistor e, assim, a tensão de saída.

Pode ser utilizado um transformador com secundário de menos de 1 A (500 mA ou 800 mA, por exemplo), mas essa passará a ser a corrente máxima fornecida pela fonte.

Na **figura 4.13** temos o diagrama completo dessa fonte.

Diversas técnicas podem ser utilizadas para a montagem como ponte de terminais, placa de circuito impresso, etc.

Para os iniciantes, visto que são usados poucos componentes, damos uma idéia de como fazer a montagem empregando uma pequena placa de circuito impresso, na **figura 4.14**.

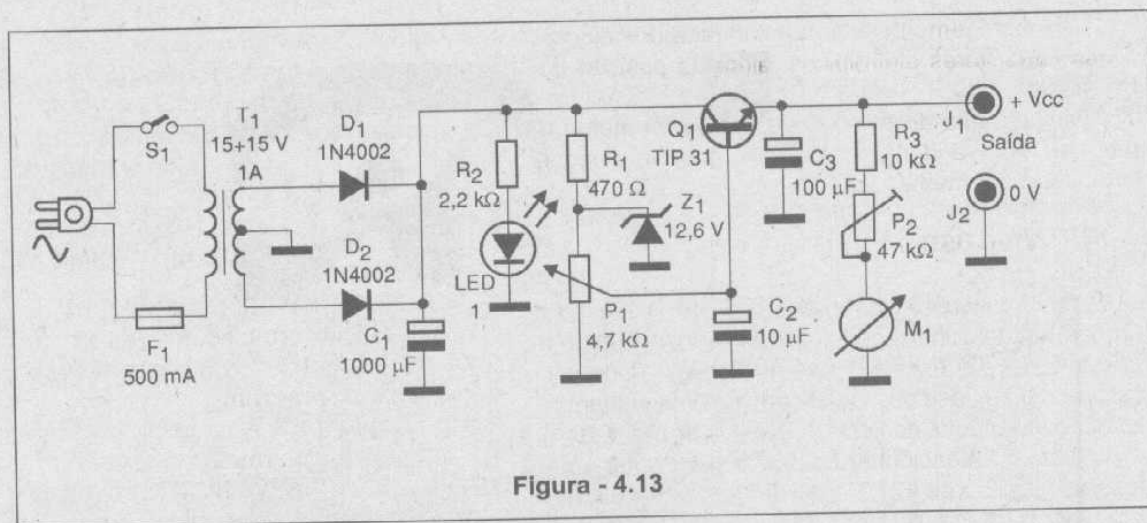


Figura - 4.13

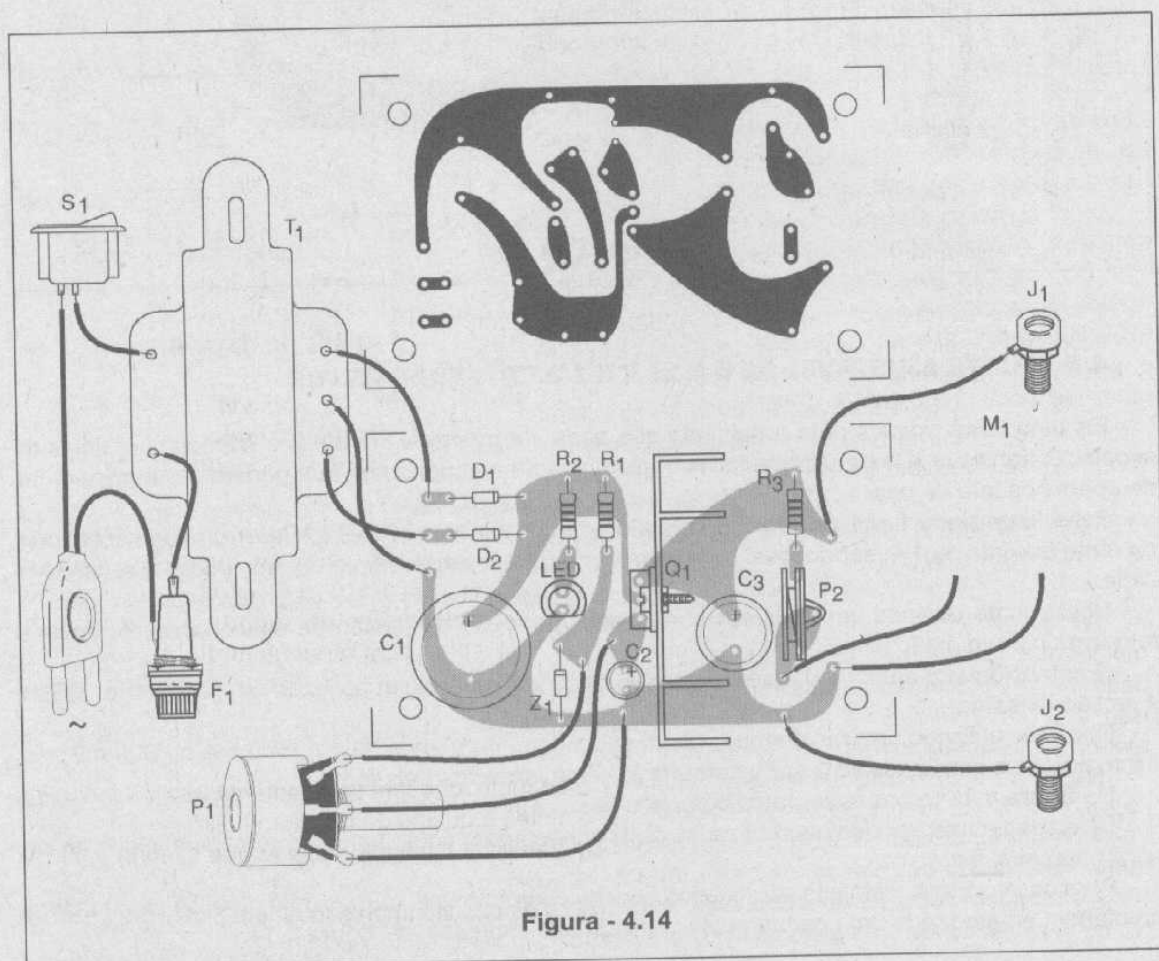


Figura - 4.14

Na montagem, observe a polaridade dos diodos e dos capacitores eletrolíticos, além da posição do transistor.

Para a saída de tensão use bornes vermelho e preto de modo a identificar os pólos positivo e negativo, respectivamente.

PROVA E USO

Para monitorar a tensão de saída pode ser usado um instrumento indicador analógico de 200 μ A a 1 mA de fundo de escala. Esse instrumento pode ser calibrado com base nas indicações de um multímetro ligado em paralelo, conforme mostra a **figura 4.15**.

Ajuste o potenciômetro da fonte para obter uma tensão de saída de 12 V, indicada pelo seu multímetro. Depois, ajuste o *trimpot* em série com o instrumento para que ele vá até o final da escala, onde será marcada a tensão de 12 V. Se o multímetro não alcançar os 12 V mesmo com o potenciômetro todo aberto, verifique:

- Se o transformador realmente fornece 15 V de secundário.
- Reduza o valor de R_1 para 220 Ω .

Se, ao usar a fonte, o transistor aquecer demais e houver uma queda acentuada da tensão indicada pelo instrumento na saída, é sinal que a carga exige uma corrente maior do que 1 A e não pode ser alimentada por esta fonte.

Observamos também que essa fonte não tem proteção contra curtos em sua saída, devendo o leitor tomar o máximo cuidado com o seu uso.

4.6 - FONTE AJUSTÁVEL DE 0 A 12 V X 2 A - COM DARLINGTON

A fonte anterior pode usar um potenciômetro de maior valor, com menor dissipação e maior estabilidade, se for colocado um transistor Darlington. Com isso, a corrente no zener é menor e ele pode ser de menor potência (400 mW).

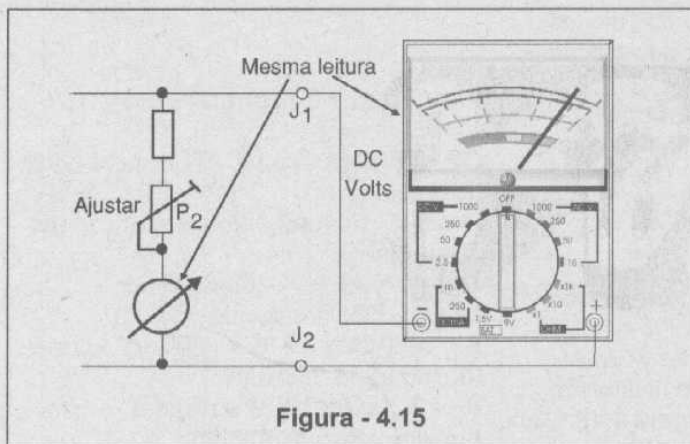
Na **figura 4.16** temos o diagrama completo dessa fonte, que tem praticamente a mesma configuração da anterior, exceto pelos valores dos componentes e do tipo de transistor utilizado.

A corrente máxima também é maior, graças ao transistor Darlington* usado que suporta uma corrente mais intensa de coletor.

A montagem pode ser feita com base numa placa de circuito impresso ou em ponte de terminais. Na **figura 4.17** temos uma sugestão de montagem.

Lista de Material

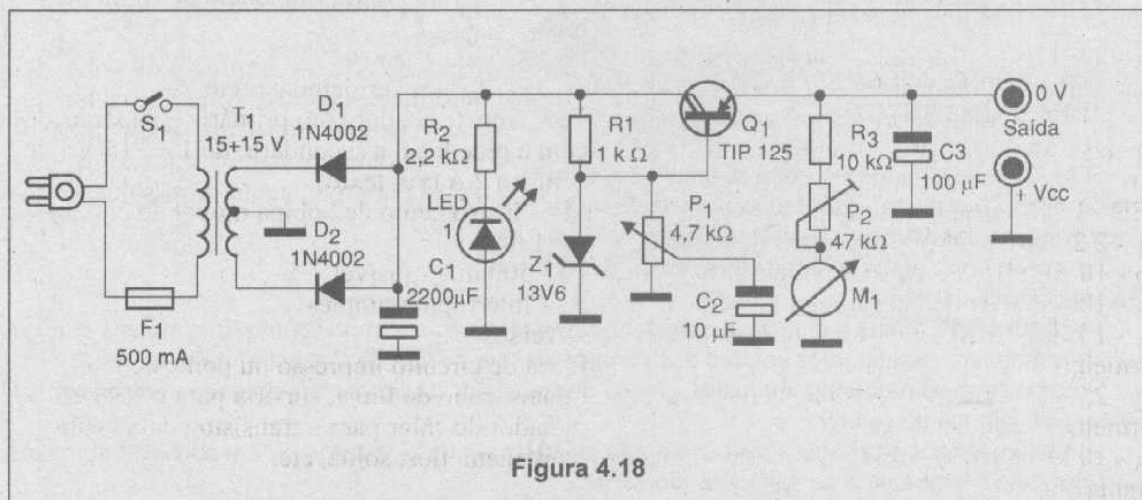
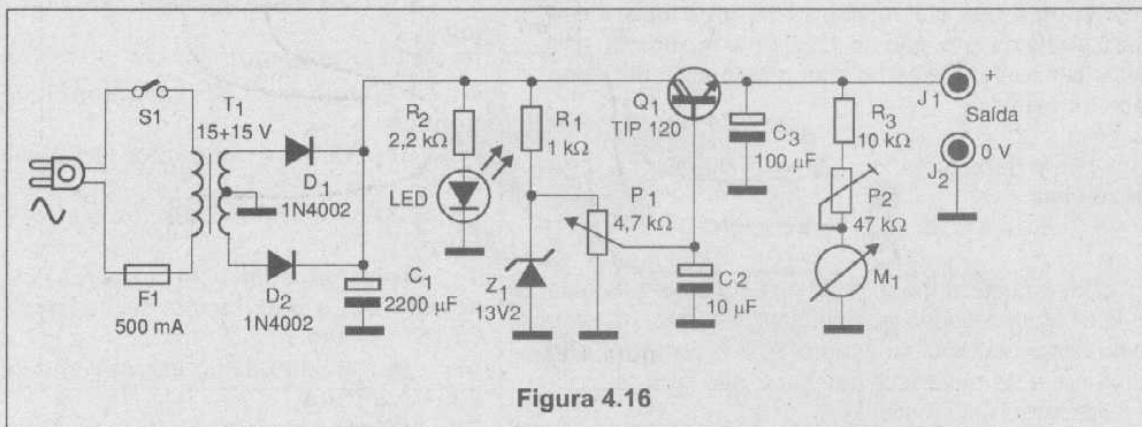
- Q_1 - TIP31/A/B ou C - Transistor NPN de potência
- D_1, D_2 - 1N4002 - diodos retificadores de silício
- Z_1 - 12V6 x 1 W - diodo zener
- LED1 - LED vermelho comum
- R_1 - 470 Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, amarelo, marrom
- R_2 - 2,2 k Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho
- R_3 - 10 k Ω x 1/8 W - resistor - marrom, preto, laranja
- P_1 - 4,7 k Ω - potenciômetro linear ou log
- P_2 - 47 k Ω - *trimpot*
- C_1 - 1 000 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico
- C_2 - 10 μ F x 16 V - capacitor eletrolítico
- C_3 - 100 μ F x 16 V - capacitor eletrolítico
- T_1 - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 15 + 15 V x 1 A
- M_1 - Instrumento de bobina móvel de 200 μ A a 1 mA
- F_1 - 500 mA - Fusível
- S_1 - Interruptor simples
- J_1, J_2 - Bornes vermelho e preto
- Diversos:
 - Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, cabo de força, radiador de calor para o transistor, botão para o potenciômetro, suporte para o fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.



Valem as mesmas recomendações do projeto anterior. Também neste caso, se for utilizado um transformador de menor corrente, o circuito funcionará normalmente, mas a corrente máxima será determinada por este componente.

Observe que o diodo zener deve ser um pouco maior, pois a queda de tensão num transistor Darlington é da ordem de 1,2 V em relação à base.

O radiador de calor do transistor deve ser bom, principalmente se o circuito for trabalhar com sua corrente máxima.



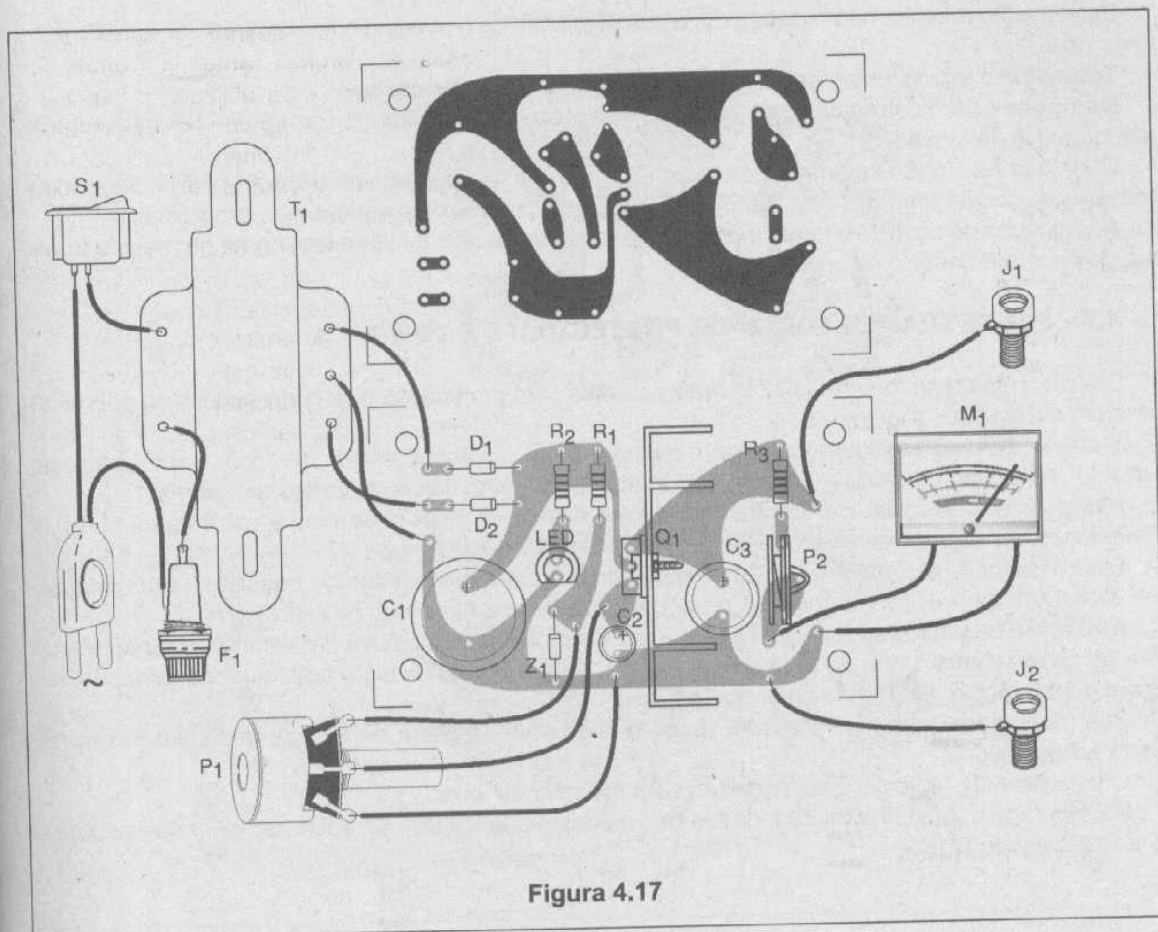


Figura 4.17

Lista de Material

Q₁ - TIP120/121 ou 122 - Transistor NPN Darlington de Potência
 Z₁ - 13V2 - Diodo zener de 400 mW ou maior
 D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores de silício
 LED - LED vermelho comum
 C₁ - 2 200 µF x 25 V - capacitor eletrolítico
 C₂ - 10 µF x 16 V - capacitor eletrolítico
 C₃ - 100 µF x 16 V - capacitor eletrolítico
 R₁ - 1 kΩ x 1/8 W - resistor - marrom, preto, vermelho
 R₂ - 2,2 kΩ x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho
 R₃ - 10 kΩ x 1/8 W - resistor - marrom, preto, laranja

P₁ - 4,7 kΩ ou 10 kΩ - potenciômetro lin ou log
 P₂ - 47 kΩ - *trimpot*
 J₁, J₂ - Bornes vermelho e preto
 T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 15 + 15 V com 1 a 2 A (ver texto)
 M₁ - Instrumento de bobina móvel de 200 µA até 1 mA
 F₁ - 500 mA - fusível
 S₁ - Interruptor simples
 Diversos:
 Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, cabo de força, suporte para o fusível, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, fios, solda, etc.

Este circuito também não é protegido, o que significa que o máximo cuidado deve ser tomado com o seu uso.

Transistores equivalentes da série TIP Darlington podem ser usados.

Na **figura 4.18** mostramos como fazer a versão equivalente usando transistor PNP para regulação negativa da tensão.

O circuito funciona exatamente da mesma forma que o original com transistor NPN. Se o leitor tiver em sua sucata um transistor Darlington PNP, poderá fazer esta versão sem problemas.

A colocação de um instrumento indicador de tensão na saída é feita exatamente da mesma forma que no projeto anterior.

4.7 - FONTE TRANSISTORIZADA PROTEGIDA: 0 A 12 V X 1 A

Descrevemos uma fonte transistorizada siomples com proteção contra curto-circuito ou sobrecorrente em sua saída.

Trata-se de uma configuração ideal para uma fonte de bancada até 1 A, com um instrumento indicador de tensão de saída implementado exatamente como nas duas fontes anteriores.

Nesse circuito, o resistor entre a comporta e o catodo do SCR determina a corrente de corte da alimentação, ou seja, a corrente que vai provocar o desarme da fonte.

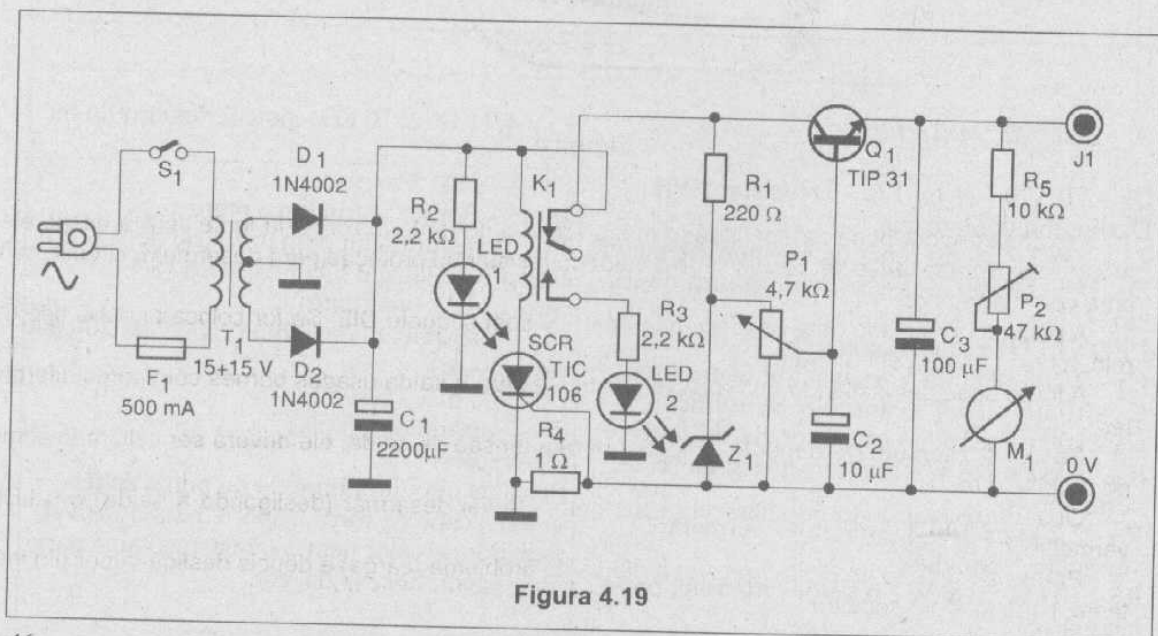
Esse resistor é calculado dividindo-se a tensão entre emissor e base do transistor para conduzir, que é de 1,0 V para o TIC106, pela corrente desejada para o desarme, no caso 1,0 A. Assim, temos um resistor de 1,0 Ω .

Assim, temos um resistor de $1,0\ \Omega$ para essa função. Pode-se utilizar um valor levemente inferior para se obter uma corrente de pouco mais de 1 A , já que até 1 A a fonte funciona normalmente. Na **figura 4.19** temos o diagrama completo da fonte.

Sua montagem pode ser feita com base numa pequena placa de circuito impresso, conforme ilustra a **figura 4.20**.

O transistor Q₁ deve ser dotado de um bom radiador de calor.

Na montagem, observe as polaridades dos diodos e capacitores eletrolíticos, além das posições do transistor e do SCR.



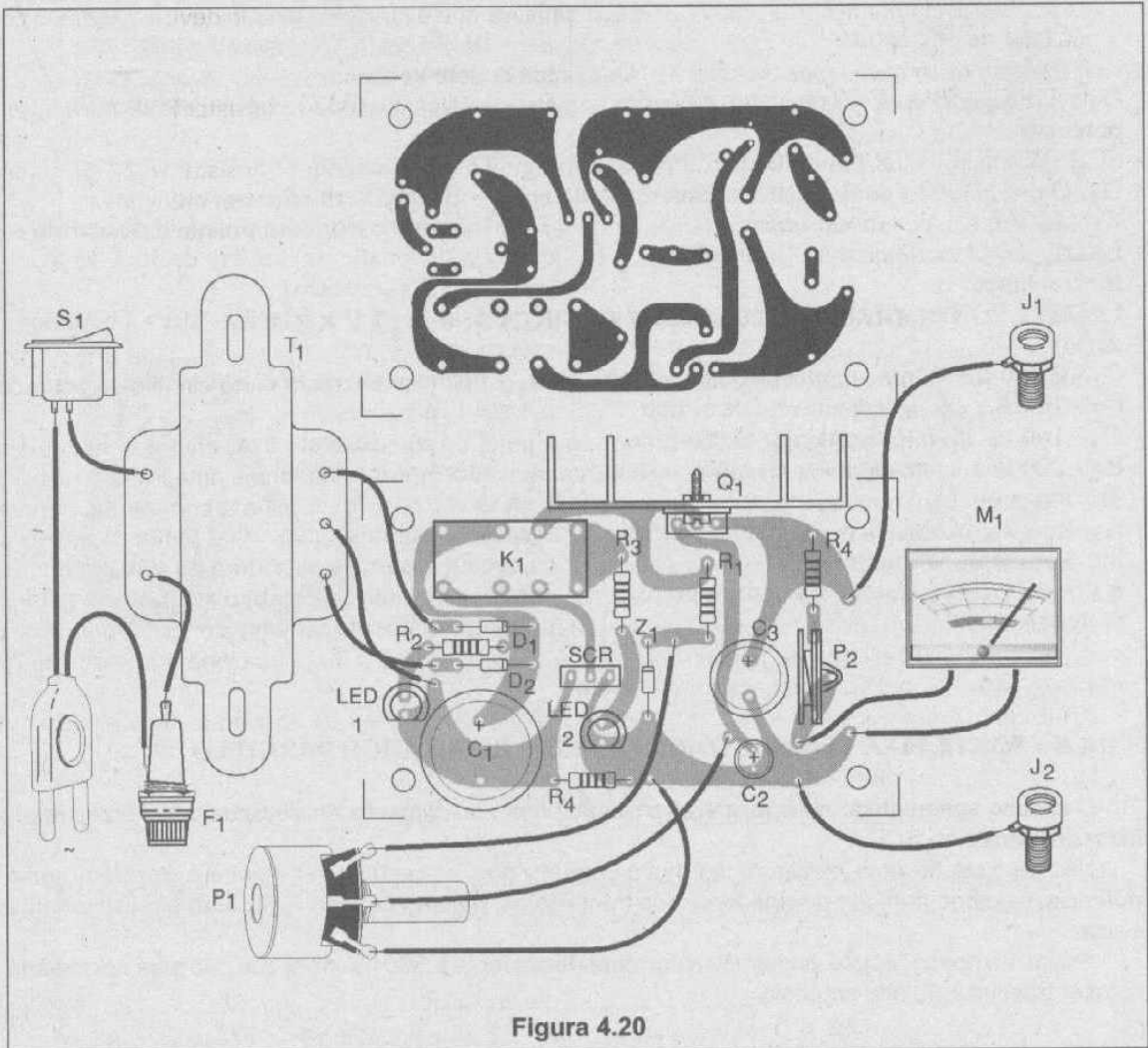


Figura 4.20

O transformador pode ter secundário menor, mas a corrente máxima da fonte será a desse elemento. Neste caso, deve ser recalculado o valor do resistor de proteção para desarmar o circuito com uma corrente menor.

A placa foi projetada para usar um relé de 12 V com soquete DIL. Se for colocado outro tipo de relé, a placa deverá ser alterada.

A fonte pode ser instalada numa caixa plástica e para a saída usados bornes com cores diferentes.

Se for utilizado um instrumento indicador para a tensão de saída, ele deverá ser calibrado como no projeto anterior.

Quando houver curto ou sobrecarga da fonte, ela vai desarmar (desligando a saída) e o LED vermelho vai acender.

Para rearmar a fonte basta remover a causa do problema (carga) e depois desligá-la por um instante, ligando-a em seguida.

Lista de Material

Q₁ - TIP31/A/B ou C - Transistor NPN de potência
 SCR - TIC106 - SCR para qualquer tensão
 D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores
 Z₁ - 12 V 6 x 1 W - diodo zener
 LED1 - LED verde comum (indicador de funcionamento)
 LED2 - LED vermelho comum (indicador de curto)
 C₁ - 2 200 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico
 C₂ - 10 μ F x 16 V - capacitor eletrolítico
 C₃ - 100 μ F x 16 V - capacitor eletrolítico
 R₁ - 220 Ω x 1 - resistor - vermelho, vermelho, marrom
 R₂, R₃ - 2,2 k Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho
 R₄ - 1 Ω x 2 W - resistor - marrom, preto, prateado

R₅ - 10 k Ω x 1/8 W - resistor - marrom, preto, laranja
 P₁ - 4,7 k Ω ou 10 k Ω - potenciômetro lin ou log
 P₂ - 47 k Ω - *trimpot*
 J₁, J₂ - Bornes vermelho e preto
 T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 15 + 15 V com 1 a 2 A (ver texto)
 K₁ - Relé de 12 V x 50 a 200 mA - 2 contatos reversíveis
 M₁ - Instrumento de bobina móvel de 200 μ A até 1 mA
 F₁ - 500 mA - fusível
 S₁ - Interruptor simples
 Diversos:
 Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, cabo de força, suporte para o fusível, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, fios, solda, etc.

4.8 - FONTE FIXA TRANSISTORIZADA COM REGULADOR PARALELO

O circuito apresentado na **figura 4.21** é de uma fonte de alimentação de 6, 9 ou 12 V com regulador em paralelo.

Não se trata de uma configuração muito comum, pois os reguladores-paralelo dissipam muita potência, exigindo grandes dissipadores dos transistores, mesmo quando a corrente é relativamente baixa.

Assim, no nosso projeto, limitamos a corrente dessa fonte a 500 mA para que não seja necessário colocar transistor de alta potência.

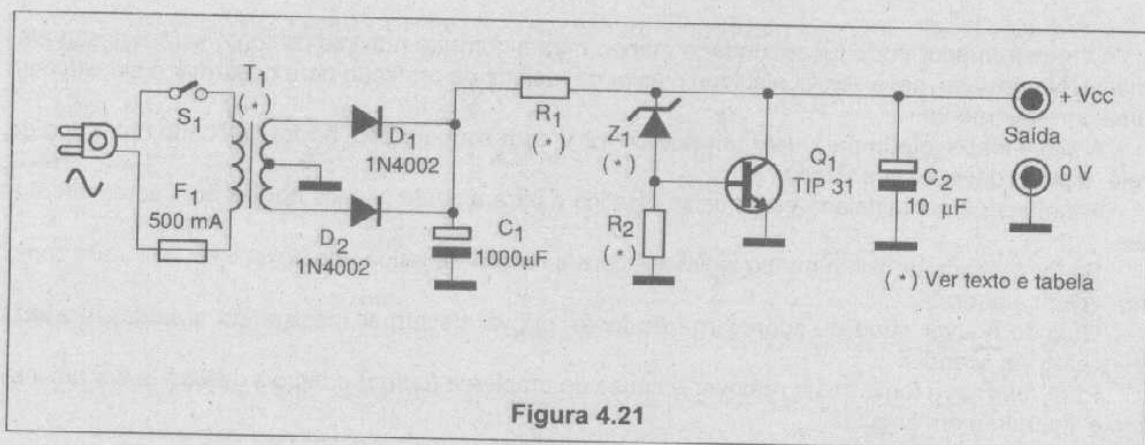
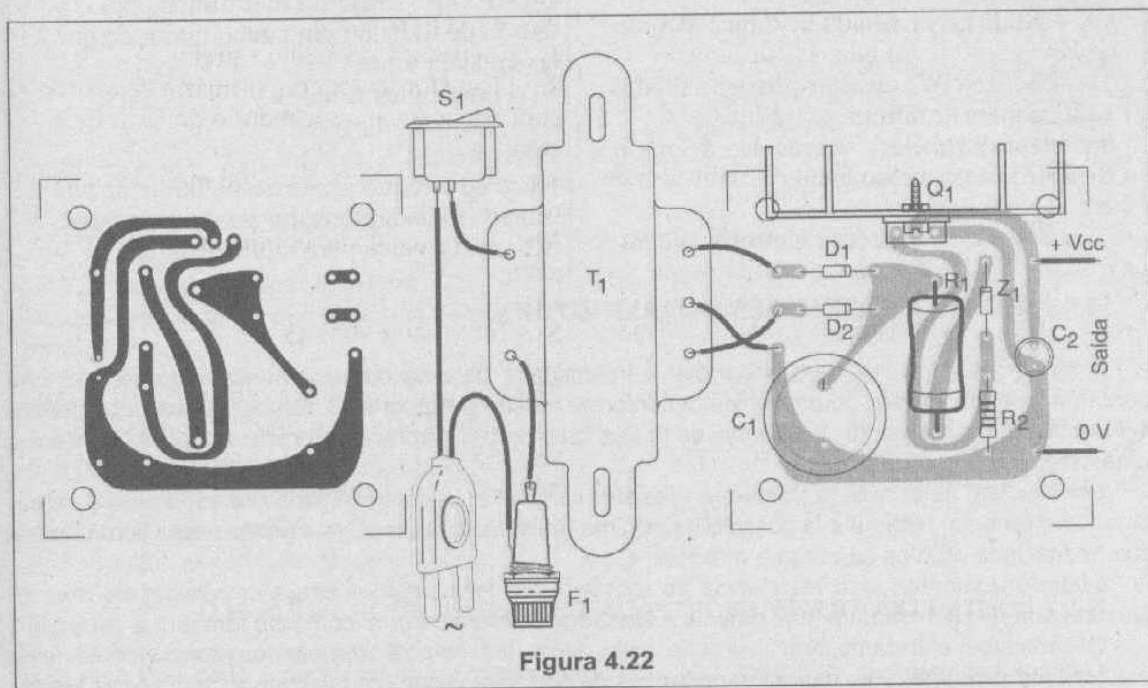


Figura 4.21

O diodo zener vai determinar a tensão de saída.

O transistor deve ser dotado de um bom radiador de calor.

Na **figura 4.22** damos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem dessa fonte.



Os principais componentes têm valores que dependem da tensão de saída e também das características do transformador usado. A **tabela** dada a seguir dá os valores desses componentes:

Tensão de saída	Secundário de T ₁	R ₁	R ₂	Z ₁
6 V	7,5 + 7,5 V x 500 mA	10 Ω x 5 W	150 Ω x ½ W	5,6 V
6 V	9 + 9 V x 500 mA	15 Ω x 5 W	220 Ω x ½ W	5,6 V
6 V	12 + 12 V x 500 mA	22 Ω x 5 W	390 Ω x ½ W	5,6 V
9 V	9 + 9 V x 500 mA	12 Ω x 2 W	330 Ω x ½ W	8,4 ou 8,6 V
9 V	12 + 12 V x 500 mA	22 Ω x 5 W	390 Ω x ½ W	8,4 ou 8,6 V
12 V	12 + 12 V x 500 mA	15 Ω x 5 W	470 Ω x ½ W	12 V
12 V	15 + 15 V x 500 mA	22 Ω x 5 W	560 Ω x ½ W	12 V

Podem ser utilizados transformadores com correntes menores de secundário, mas esta determinará a corrente máxima de saída.

Em função do ganho dos transistores e das próprias características dos transformadores podem ser necessárias pequenas alterações de valores dos componentes.

Lista de Material

Q₁ - TIP31 (A, B ou C) - transistor NPN de potência
 Z₁ - Diodo zener de 400 mW ou 1 W - ver texto
 D₁, D₂ - 1N4002 ou equivalentes - diodos retificadores de silício
 T₁ - Transformador - ver tabela - primário de acordo com a rede local
 R₁, R₂ - Ver tabela
 C₁ - 1 000 μ F - capacitor eletrolítico com

tensão de trabalho maior que o valor de pico do transformador
 C₂ - 10 μ F - capacitor eletrolítico com tensão de trabalho um pouco maior do que a de saída da fonte
 S₁ - Interruptor simples
 F₁ - 500 mA - Fusível
 Diversos:
 Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiador de calor para o transistor, fios, solda, caixa para montagem, etc.

4.9 - REOSTATOS (SIMPLES E DARLINGTON)

A forma mais simples de se controlar a intensidade de uma corrente numa carga de corrente contínua é obtida através de um reostato, conforme mostra a **figura 4.23**. Assim, os reostatos podem ser usados como elementos adicionais de fontes fixas para controlar sua tensão de saída (aplicada a uma carga) ou a corrente.

Um reostato nada mais é do que um resistor variável ou ajustável ligado em série com a carga. Quando o reostato está na sua posição de mínima resistência ou zero, a corrente passa livremente e sua intensidade através da carga é máxima.

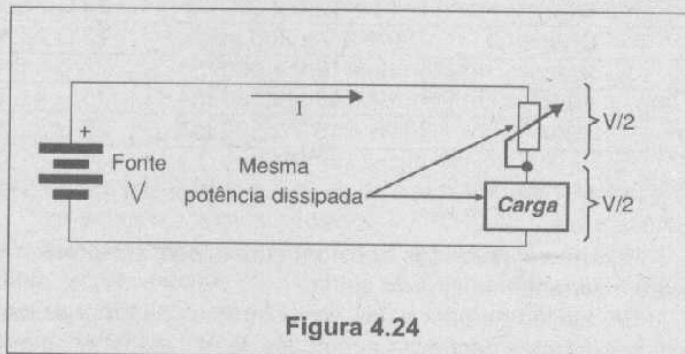
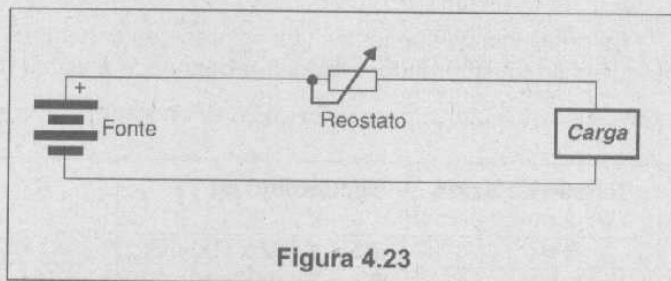
Quando aumentamos a resistência do reostato, ele forma com a carga um divisor de tensão. Quando sua resistência aumenta, diminui a tensão aplicada à carga e com isso também a corrente.

Os reostatos, entretanto, têm uma séria limitação de uso: como a corrente que passa através deles é a corrente da carga, eles devem ser capazes de controlar correntes relativamente intensas e mais do que isso, devem ser capazes de dissipar uma boa quantidade de calor.

Quanto maior a potência da carga controlada, maior deve ser a capacidade de dissipação do reostato. Isso torna inviável o uso desses dispositivos com cargas de alta potência, tanto pelo custo quanto pelo tamanho.

Assim, conforme mostra a **figura 4.24**, na condição em que o reostato está na posição em que a tensão aplicada à carga é metade da tensão de alimentação, ele dissipa tanta potência quanto a própria carga.

Tudo isso significa que, mesmo controlando cargas de pequena potência, precisamos usar reostatos de boa dissipação ou capacidade de corrente. Reostatos nada mais são do que potenciômetros com apenas dois terminais usados, e nas aplicações práticas podemos colocar potenciômetros de



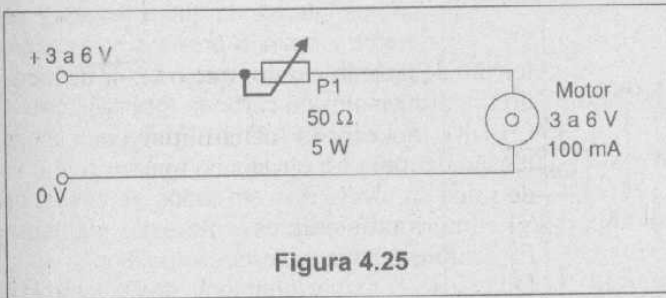


Figura 4.25

fio com boa dissipação. Dessa forma, na **figura 4.25** vemos como é possível usar um potenciômetro de fio de $50\ \Omega \times 5\ \text{W}$ para controlar um pequeno motor de corrente contínua que não exija mais do que uns $100\ \text{mA}$.

Para potências maiores, o uso do reostato da forma indicada não é recomendável.

USANDO TRANSISTORES

Lembrando através da **figura 4.26**, a curva característica de um transistor tem duas regiões importantes: uma em que ele opera como chave e outra que ele opera como amplificador, ou seja, no modo linear.

Se trabalharmos com um transistor no setor linear de sua curva característica podemos controlar com precisão a corrente que passa através dele e de uma carga ligada em série, tudo isso a partir de uma corrente muito menor que aplicamos à sua base, conforme ilustra a **figura 4.27**.

Como um transistor de potência pode controlar correntes intensas, podemos usar uma corrente muito menor para controlar correntes maiores. Essa corrente de controle pode ser suficientemente baixa para que um potenciômetro comum a suporte sem problemas.

Levando isso à prática podemos ter um controle de potência para carga de corrente contínua com facilidade, usando um potenciômetro de baixa potência e um transistor para fazer o "trabalho pesado".

Chegamos então a um primeiro tipo de controle linear de potência, que é exibido na **figura 4.28**.

Esse circuito faz uso de um transistor NPN de potência que pode ser o BD135 para cargas de até $500\ \text{mA}$, o TIP31 para cargas de até $2\ \text{A}$ ou o 2N3055 para cargas de até $4\ \text{ampéres}$.

Para os transistores BD135 e TIP31 podemos colocar um potenciômetro de fio de $1\ \text{k ohms}$ para controlar a velocidade de cargas com tensões de até uns $12\ \text{V}$. Para o 2N3055 precisamos utilizar um potenciômetro de fio de $470\ \Omega$ para controlar cargas com tensões de até $20\ \text{V}$. Empregamos potenciômetros de fio, pois em condições de menor resistência, mesmo sendo a corrente de base

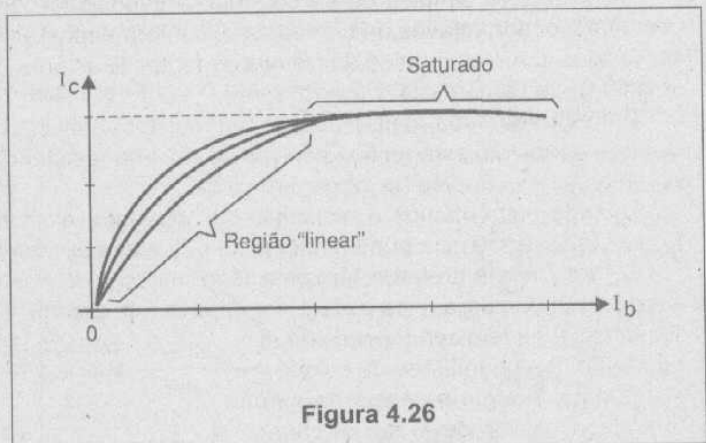


Figura 4.26

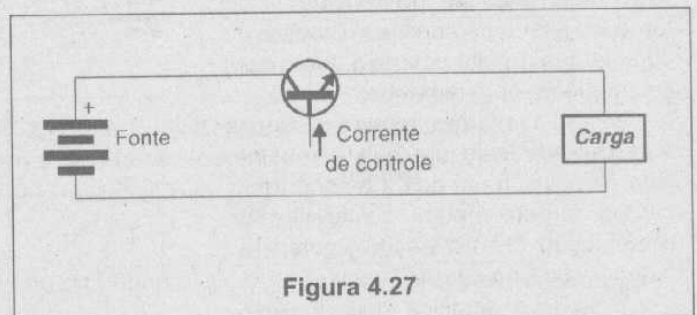
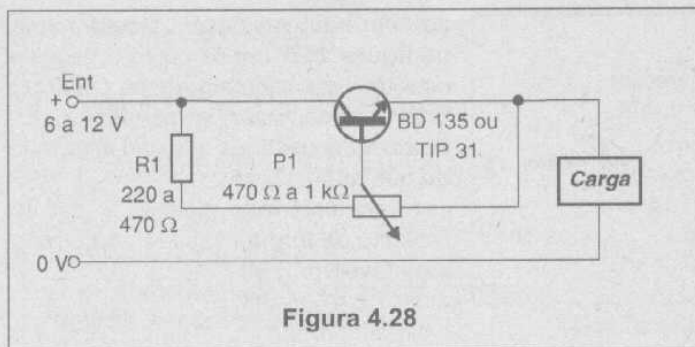


Figura 4.27

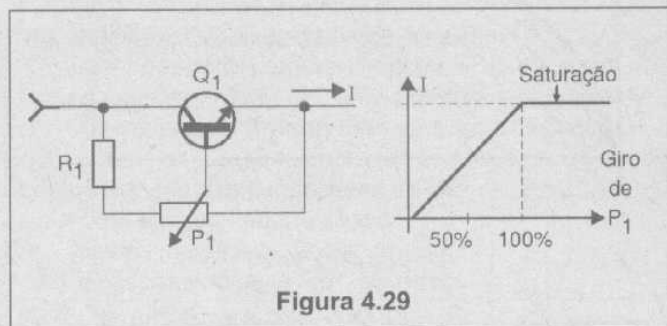


tor, a corrente em sua base é praticamente nula e ele permanece no corte, ou seja, não conduz a corrente. É a condição de potência mínima do controle.

À medida que deslocamos o cursor em direção ao resistor R_1 , a corrente de base aumenta suavemente e, com isso, aumenta a corrente no coletor do transistor, mas de forma multiplicada.

A corrente de coletor será tantas vezes maior que a corrente de base, quanto for o ganho do transistor.

Este aumento de corrente segue até o ponto em que ocorre a saturação do transistor, veja o gráfico da **figura 4.29**.

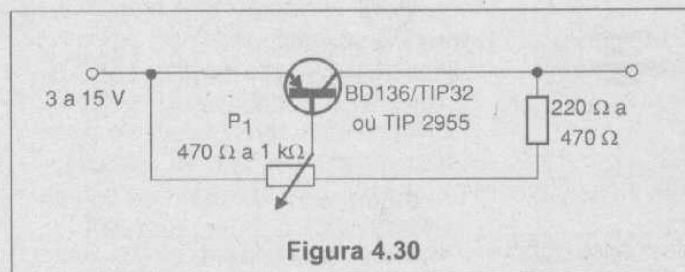


Na situação ideal, o resistor R_1 deve ser calculado para que esta saturação ocorra no extremo (máximo) do movimento do potenciômetro, mas na prática nem sempre isso é possível, pois os transistores variam muito de ganho mesmo entre os do mesmo tipo (com a mesma numeração).

Assim, o melhor nestes projetos, é que depois de montado, o próprio leitor verifique o ponto em que acontece a saturação. Se for antes do máximo do giro do potenciômetro, aumente R_1 e se não ocorrer mesmo quando ele chegar ao fim, diminua R_1 .

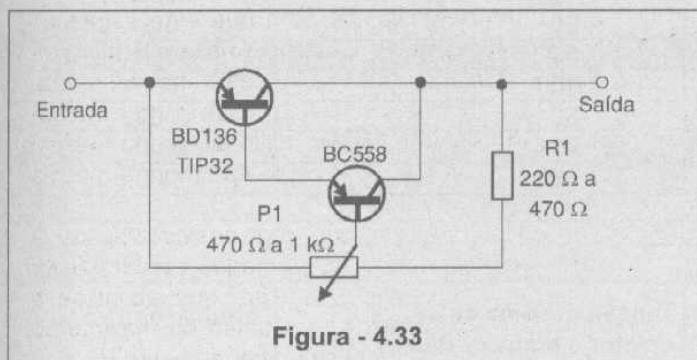
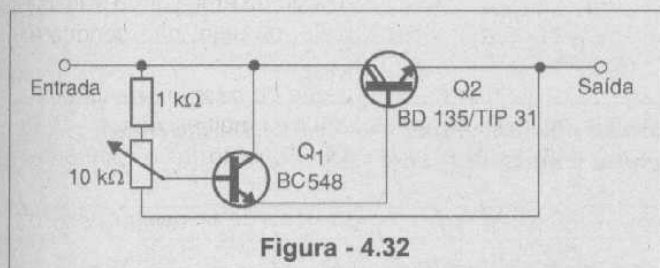
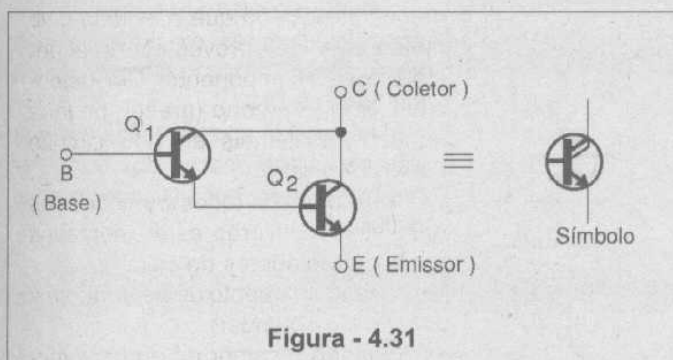
Este mesmo circuito pode ser elaborado com transistores PNP adquirindo então a configuração apresentada na **figura 4.30**.

O transistor pode ser o BD136 para 500 mA, TIP32 para 2 A ou TIP2955 para 4 ampéres. Valem as mesmas considerações que fizemos para os circuitos com transistores NPN.



CIRCUITOS DARLINGTON

Para podermos controlar as correntes elevadas de motores e outras cargas a partir de correntes ainda menores, podemos associar diversos transistores e a configuração mais comum é a denomi-



nada Darlington. Na **figura 4.31** temos o modo de conectarmos dois transistores NPN para obtermos uma etapa amplificadora Darlington. Este circuito se comporta como um único transistor, cujo ganho seja o produto dos ganhos dos transistores usados.

Por exemplo, se Q_1 tiver ganho 200 e Q_2 tiver ganho 50, o ganho do circuito será $50 \times 200 = 10.000$, ou seja, ele se comportará como um único transistor de ganho 10.000. Assim, para termos um controle linear de potência usando um circuito como este, basta agregarmos o dispositivo de controle, que pode ser um potenciômetro de valor bastante alto, observe a **figura 4.32**.

Um potenciômetro de 10.000 Ω , como o usado no circuito desta figura deixa passar uma corrente de apenas 1 mA quando alimentado com 10 V.

Com esta corrente, e com os transistores proporcionando um ganho de pelo menos 1.000 vezes, podemos controlar uma carga de até 1 ampère ($1.000 \times 0,001 = 1 \text{ A}$).

Veja que nestas condições não precisamos mais de um potenciômetro de fio no controle. Um potenciômetro comum de baixa dissipação (carbono) serve perfeitamente.

Para o circuito mostrado, com transistores BC548 e TIP31 podemos controlar cargas de até aproximadamente 2 ampères, sem problemas.

Transistores como o TIP41 em lugar do TIP31 podem controlar correntes ainda maiores.

A mesma configuração pode ser elaborada com transistores PNP, conforme ilustra a **figura 4.33**.

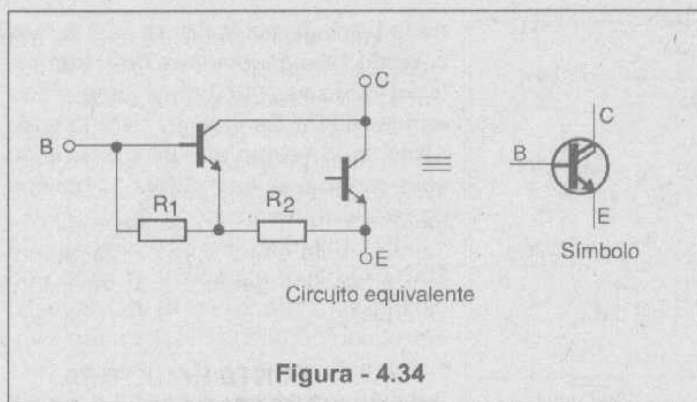
TRANSISTORES DARLINGTONS

Para o leitor que deseja usar esta solução no controle linear de motores e outras cargas existe uma alternativa interessante.

Há componentes que, na verdade, são formados por pares de transistores já ligados na configuração Darlington, disponíveis num invólucro único.

Estes componentes são chamados "transistores Darlington" e têm tipicamente o circuito equivalente e o símbolo, mostrados na **figura 4.34**.

A Texas Instruments fabrica uma série importante de transistores Darlington de boa potência, que são ideais não só para controles lineares de potência como para outras aplicações. Veja no final do livro.



Na **figura 4.35** mostramos, então, controles lineares de potência com transistores TIP da Texas que podem ser NPN ou PNP.

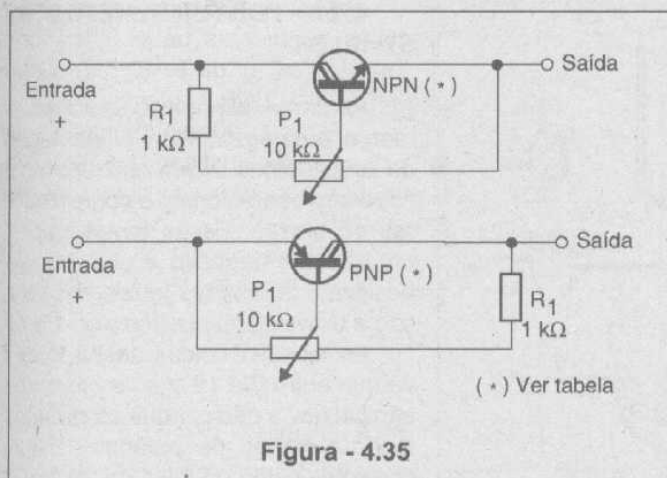
As tabelas apresentadas a seguir dão as características dos transistores que podem ser utilizados nestes circuitos:

Darlington NPN			
Tipo	Corrente Máxima (A)	Tensão máxima entre coletor e emissor (V _{ceo}) - (V)	Ganho (h _{FE})
TIP110	2	60	1000
TIP111	2	80	1000
TIP112	2	100	1000
TIP120	5	60	1000
TIP121	5	80	1000
TIP122	5	100	1000
TIP140	10	60	1000
TIP141	10	80	1000
TIP142	10	100	1000

Darlington PNP			
Tipo	Corrente Máxima (A)	Tensão máxima entre coletor e emissor (V _{ceo}) - (V)	Ganho (h _{FE})
TIP115	2	60	1000
TIP116	2	80	1000
TIP117	2	100	1000
TIP125	5	60	1000
TIP126	5	80	1000
TIP127	5	100	1000
TIP145	10	60	1000
TIP146	10	80	1000
TIP147	10	100	1000

OUTRAS CONFIGURAÇÕES

Os transistores bipolares comuns podem ser empregados em outras configurações para o controle linear de potência como, por exemplo, na velocidade de motores de corrente contínua.



Uma possibilidade de uso de transistores complementares (um PNP e um NPN) é mostrada na **figura 4.36**.

Nesta configuração, o transistor NPN (que pode ser um BC548) controla a corrente de base de um PNP de potência (um TIP32, por exemplo). O ganho desta etapa é aproximadamente o produto dos ganhos dos transistores usados.

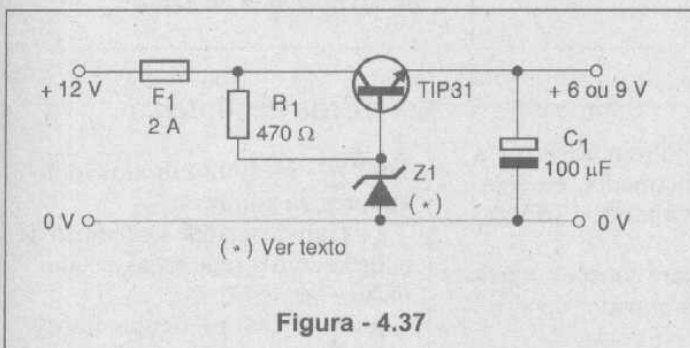
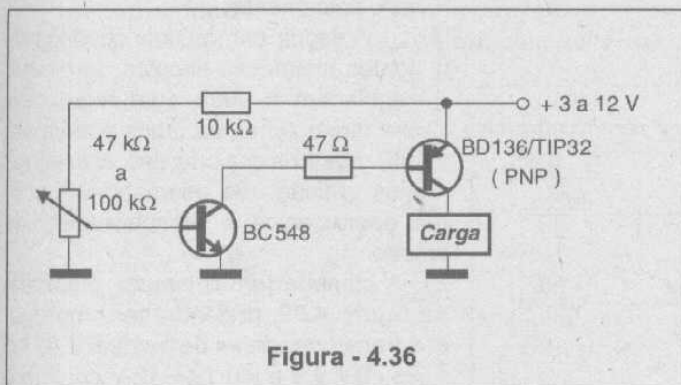
4.10 - FONTE REDUTORA TRANSISTORIZADA DE 12 PARA 9 OU 6 V PARA O CARRO (I)

Um circuito de grande utilidade é o ilustrado na **figura 4.37** que permite ligar aparelhos elétricos e eletrônicos com até 1 A de consumo numa tomada de acendedor de cigarros de 12 V de carro.

O circuito consiste basicamente em um simples redutor com diodo zener e transistor do tipo série, com uma boa capacidade de corrente, possibilitando assim a aplicação indicada.

A montagem pode ser feita com base em ponte de terminais ou placa de circuito impresso e como o circuito é bastante compacto, pode ser instalado em uma caixa plástica com plugue tipo acendedor de cigarros de um lado (12 V) e do outro um plugue de adaptador, conforme exibe a **figura 4.38**. O transistor deve ser montado num radiador de calor.

Mais adiante, neste mesmo livro, daremos adaptadores equivalentes usando circuitos integrados reguladores de 3 terminais.



Lista de Material

Q₁ - TIP31 (A, B ou C) - transistor NPN de potência
 F₁ - Fusível de 2 A
 Z₁ - 6,6 / 6,8 / ou 10 V - 1 W - diodo zener
 R₁ - 470 Ω x ½ W - resistor - amarelo, violeta, marrom

C₁ - 100 μF x 16 V - capacitor eletrolítico

Diversos:

Ponte de terminais ou placa de circuito impresso, caixa para montagem, adaptador para acendedor de cigarros de carro, adaptador para o aparelho alimentado, radiador de calor para o transistor, fios, solda, etc.

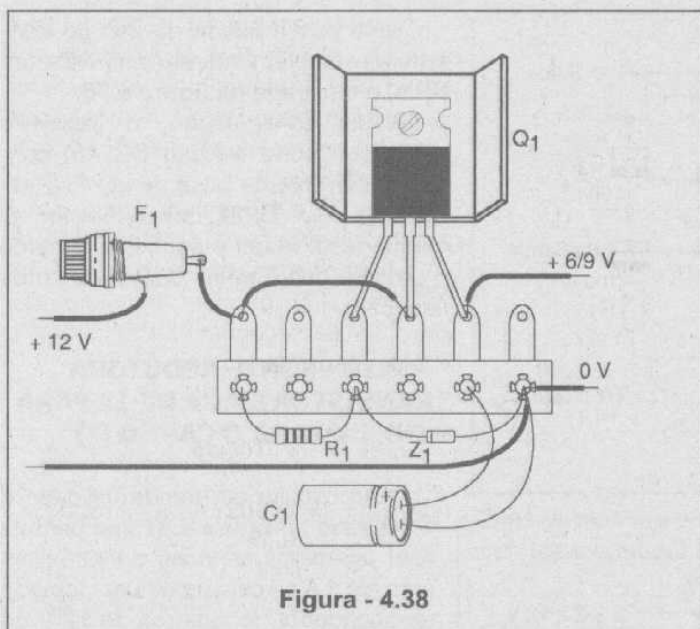


Figura - 4.38

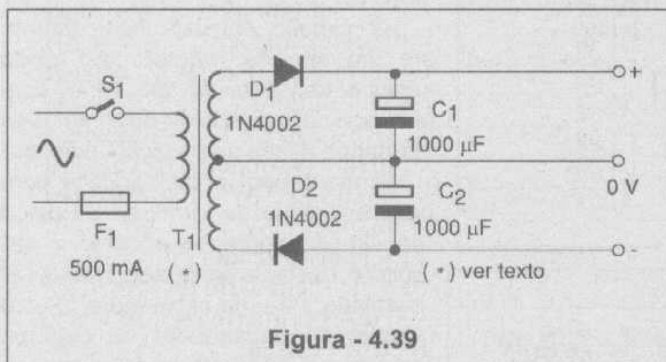


Figura - 4.39

Observamos que a tensão sem carga (em aberto) é a tensão de pico do secundário do transformador, ou seja, um valor bem mais alto, o qual pode chegar aos 18 V no caso dos transformadores de 12 V.

Assim, para operacionais que tenham tensões máximas de 15 V deve ser usado um transformador com, no máximo, 9 V de secundário.

A corrente máxima dessa fonte é dada pelo transformador. Para essa configuração recomendamos uma corrente máxima de 500 mA.

Os capacitores devem ter tensões de trabalho pelo menos 2 vezes maior que a tensão do secundário do transformador usado, pois eles carregam-se com a tensão de pico. A segunda fonte tem uma regulagem por diodos zener e é vista na figura 4.40.

4.11 - FONTES SIMÉTRICAS SIMPLES

As fontes simétricas são amplamente empregadas na alimentação de circuitos que fazem uso de amplificadores operacionais e comparadores de tensão. Essas fontes geram uma tensão negativa e uma tensão positivas, de valores iguais em relação a uma referência (terra ou 1 V).

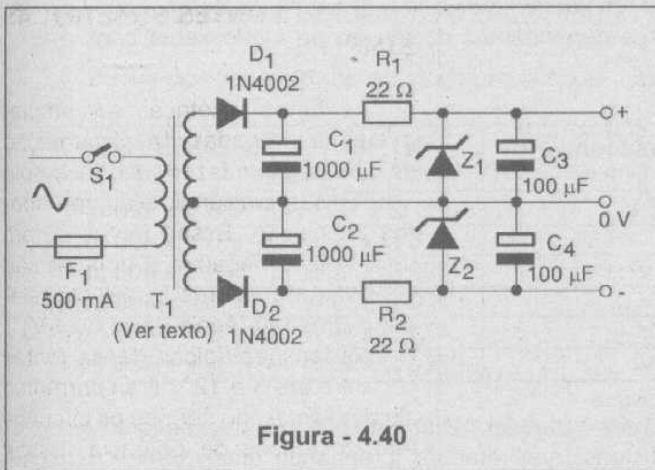
As tensões típicas dessa fontes variam entre 3 e 12 V e as correntes são baixas, a não ser que os circuitos tenham etapas de potência. Essas correntes estão na faixa de 10 a 500 mA, tipicamente.

A seguir damos dois circuitos de fontes simétricas simples, uma sem regulagem e outra com regulagem por diodo zener, as quais podem ser utilizadas na maioria das aplicações menos críticas que usem amplificadores operacionais e comparadores de tensão.

A primeira tem o circuito mostrado na figura 4.39, podendo ser empregados transformadores de 5 + 5, 6 + 6, 7,5 + 7,5, 9 + 9 V e até 12 + 12 V conforme a tensão desejada na saída.

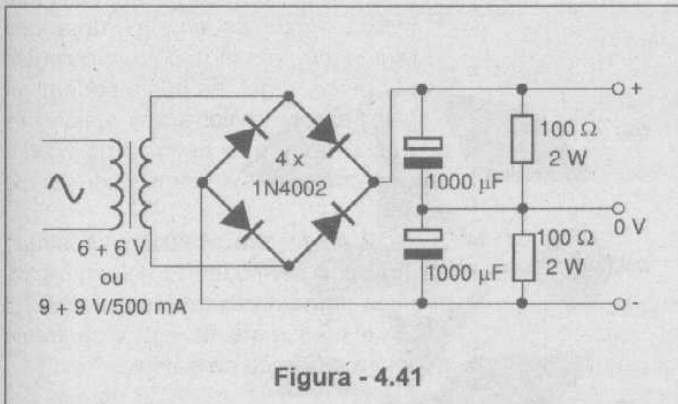
Lista de Material

- D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores de silício
- T₁ - Transformador - primário de acordo com a rede local, secundário - ver texto
- C₁, C₂ - 1 000 µF - capacitores eletrolíticos - ver texto
- S₁ - Interruptor simples
- F₁ - 500 mA - fusível
- Diversos:
- Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, cabo de força, suporte para fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.



A corrente máxima dessa fonte é menor, da ordem de apenas 50 mA, e a tensão será fixada em dois valores mais usados: 6 e 12 V. Para outras tensões, o zener e os resistores devem ter seus valores alterados.

A figura 4.41 mostra como podemos obter uma fonte simétrica usando um transformador com secundário simples. Veja que, para um transformador com 12 V de secundário, a fonte obtida será de aproximadamente 6 + 6 V.



Lista de Material

D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores de silício

Z₁, Z₂ - 6 ou 12 V x 1 W - diodos zener conforme a tensão de saída desejada

C₁, C₂ - 1 000 µF x 25 V - capacitores eletrolíticos

C₃, C₄ - 100 µF x 16 V - capacitores eletrolíticos

R₁, R₂ - 22 Ω x 1 W - resistores - vermelho, vermelho, preto para 6 V ou 10 Ω x 1 W - marrom, preto, preto, para 12 V

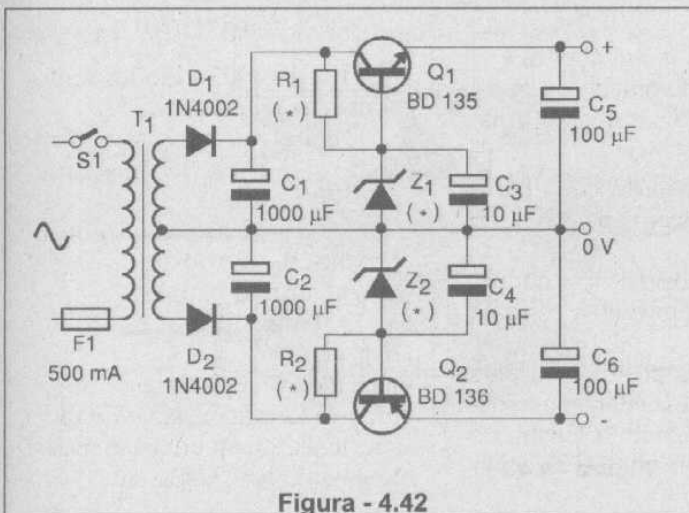
T₁ - Transformador com 12 V + 12 V de secundário de 50 mA a 300 mA - primário conforme a rede de energia

S₁ - Interruptor simples

F₁ - 500 mA - fusível

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, caixa para montagem, fios, solda, cabo de força, etc.



4.12 - FONTE SIMÉTRICA TRANSISTORIZADA

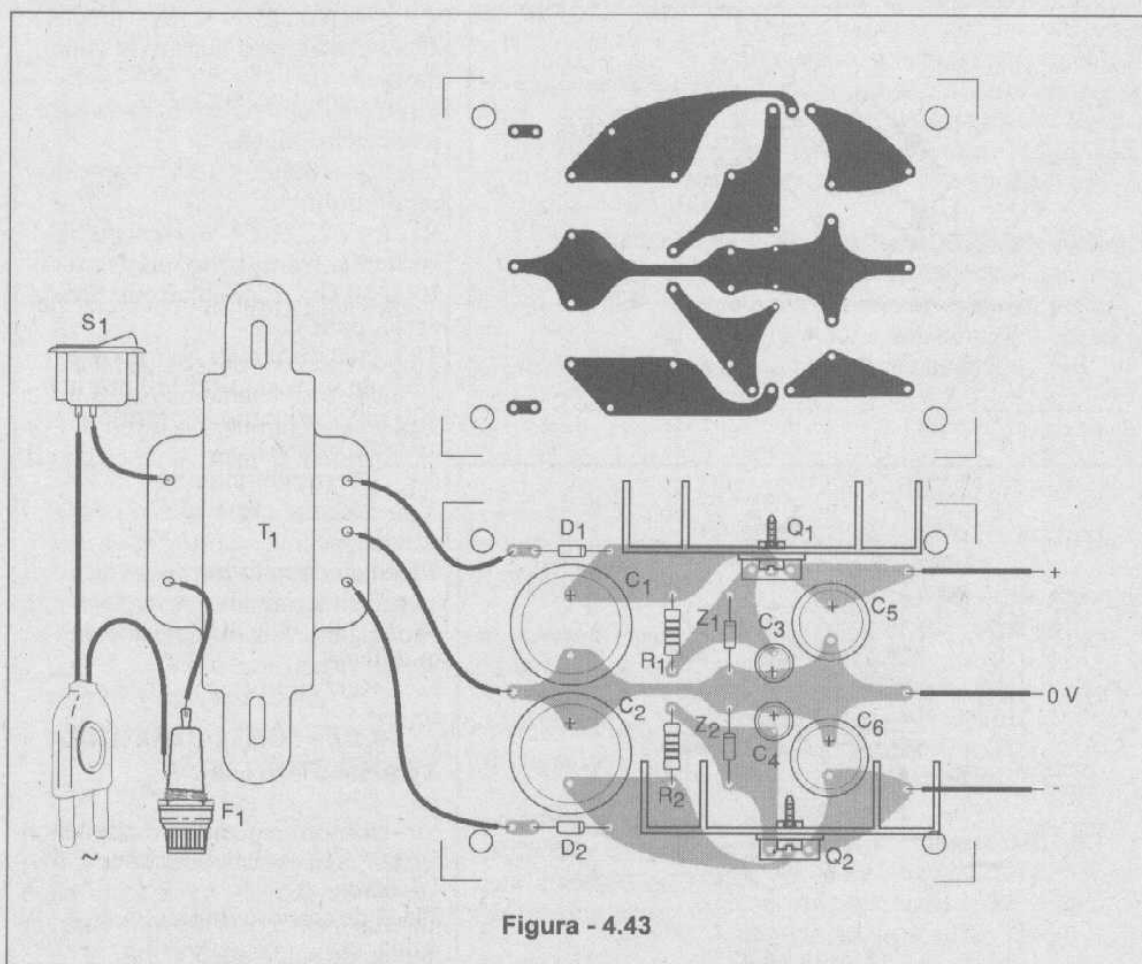
Usando reguladores transistorizados com transistores NPN e PNP podemos elaborar uma fonte simétrica de melhor desempenho para correntes de saída até 500 mA.

A fonte ilustrada na **figura 4.42** tem uma tensão de saída que é determinada pelos diodos zener. Os resistores R_1 e R_2 têm seus valores dependentes da tensão do diodo zener conforme a seguinte **tabela**:

Tensão de saída	Transformador (secundário)	R_1, R_2	Diodo Zener
6 + 6 V	7,5 + 7,5 V	150 Ω x 1/2 W	6,6 V x 400 mW
6 + 6 V	9 + 9 V	270 Ω x 1/2 W	6,6 V x 400 mW
6 + 6 V	12 + 12 V	390 Ω x 1/2 W	6,6 V x 400 mW
9 + 9 V	12 + 12 V	220 Ω x 1/2 W	9,8 V x 400 mW
9 + 9 V	15 + 15 V	470 Ω x 1/2 W	9,8 V x 400 mW
12 + 12 V	15 + 15 V	270 Ω x 1/2 W	12,6 V x 400 mW

A corrente recomendada de secundário para o transformador é de 500 mA, mas se forem usados transformadores menores, a fonte também funcionará embora fornecendo uma corrente máxima menor.

Na **figura 4.43** temos uma sugestão de placa de circuito impresso para essa fonte.



Os transistores devem ser dotados de radiadores de calor e sua posição deve ser observada com cuidado.

O circuito pode ser montado numa pequena caixa plástica, com bornes de cores diferentes para a saída.

Um LED indicador em paralelo com as saídas pode ser agregado para indicar o funcionamento. O resistor em série com esse LED será de 470 ohms para a fonte de 6 V, 560 ohms para a fonte de 9 V e 1 k Ω para a fonte de 12 V.**

Lista de Material

Q₁ - BD135 - transistor NPN de média potência
Q₂ - BD136 - transistor PNP de média potência
Z₁, Z₂ - Diodos zener de 400 mW - conforme tensão de saída - ver tabela
D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores de silício
R₁, R₂ - ver tabela - conforme tensão e transformador
C₁, C₂ - 1 000 μ F - capacitores eletrolítico - ver texto

C₃, C₄ - 10 μ F - capacitores eletrolíticos
C₅, C₆ - 100 μ F - capacitores eletrolíticos
T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede de energia e secundário conforme tabela

F₁ - 500 mA - fusível

S₁ - Interruptor simples

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiadores de calor para os transistores, suporte para o fusível, cabo de força, caixa para montagem, fios, solda, etc.

4.13 - PROTEÇÃO PARA FONTES COM RELÉ

Um tipo simples de proteção de fonte com relé, e que pode ser agregada a praticamente qualquer tipo de fonte, é a mostrada na **figura 4.44**.

O resistor R ligado entre o catodo e a comporta do SCR determina a sua corrente de disparo.

Para os SCRs da série TIC106 temos tensões de disparo que estão tipicamente entre 0,8 e 1,0 V. Assim, para calcular o valor do resistor basta dividir essa tensão pela corrente de disparo. Por exemplo, para uma corrente de 2 A, o resistor será de 0,5 Ω , utilizando-se o valor comercial mais próximo que é 0,47 Ω . Uma dissipação de pelo menos 1 W é

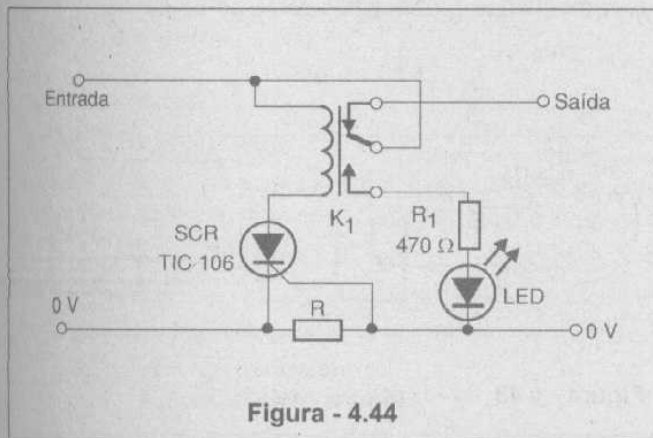


Figura - 4.44

Lista de Material

SCR - TIC106 - SCR para qualquer tensão

K₁ - Relé conforme a tensão da fonte

R - resistor - calculado conforme a corrente de disparo

R₁ - 470 Ω a 1 k Ω x 1/8 W resistor - conforme a tensão da fonte

LED = LED vermelho comum

Diversos:

Placa de circuito impresso, fios, solda, etc.

recomendável. Quando o SCR dispara, o relé fecha seus contatos acionando um dispositivo de aviso e ao mesmo tempo cortando a corrente de saída da fonte. Para rearmar a fonte basta desligá-la por um momento, depois de remover a causa do disparo, e ligá-la novamente.

O relé usado deve ter contatos que suportem a corrente da fonte.

Considerando que há uma queda de tensão da ordem de 2 V no SCR em condução, o relé deve ser capaz de fechar seus contatos com a tensão disponível menos esse valor. Como o circuito é ligado depois da etapa de retificação, não há problema em usar relés com a tensão do secundário do transformador empregado.

4.14 - PROTEÇÕES CROWBAR

Um dos circuitos de proteção que o leitor deve aprender como funciona, pela sua importância em muitos equipamentos industriais e de laboratório, é o *crowbar* ou "pé-de-cabra" pela sua analogia com a ferramenta em forma de alavanca.

Forçando a queima de um fusível de forma rápida, ele corta a alimentação de uma carga antes que o excesso de corrente possa lhe causar danos.

Veja neste item como funciona o circuito de proteção *crowbar* e como projetá-lo.

A PROTEÇÃO CROWBAR

Um fato que pode acontecer num equipamento com problemas é que, quando a anormalidade de funcionamento se manifesta, a subida da intensidade da corrente até o ponto em que o fusível queima é lenta.

No intervalo de tempo que decorre desde a manifestação do problema até o ponto em que o fusível queima podem ocorrer sérios danos no equipamento alimentado.

Para se evitar este problema, acelerando a queima do fusível quando o problema se manifesta, existem os circuitos *crowbar*.

Conforme mostra a **figura 4.45**, quando a anormalidade surge, um circuito sensor acelera o crescimento da corrente no circuito, praticamente colocando-o em curto, de modo que o fusível queima-se rapidamente evitando maiores problemas para os componentes.

Podemos comparar o efeito deste circuito a uma alavanca ou "pé de cabra" que interrompe rapidamente o circuito em caso de excesso de corrente, mesmo que este excesso seja apenas um pouco maior que o limite previsto e que, por isso, faria com que o fusível não tivesse uma ação suficientemente rápida.

O nome *crowbar* em inglês, designa a ferramenta que conhecemos como pé-de-cabra.

COMO FUNCIONA

O circuito *crowbar* básico consiste numa chave que é acionada por um circuito sensor de corrente conforme ilustra a **figura 4.46**.

A chave é ligada de tal forma que ao ser acionada, coloca em curto o circuito de modo a provocar a rápida queima do fusível. Desta forma, o circuito sensor que aciona a chave pode ser programado para ter uma ação

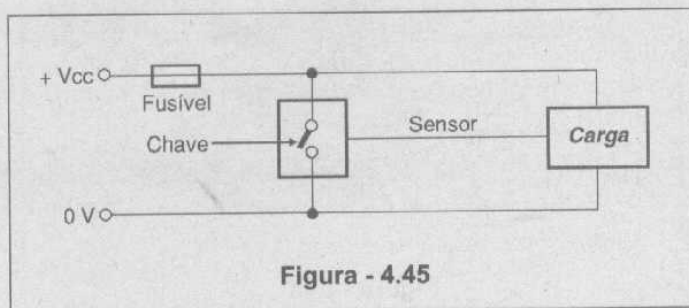
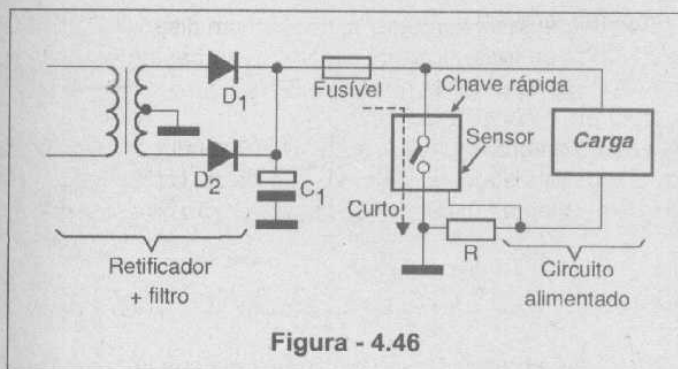


Figura - 4.45



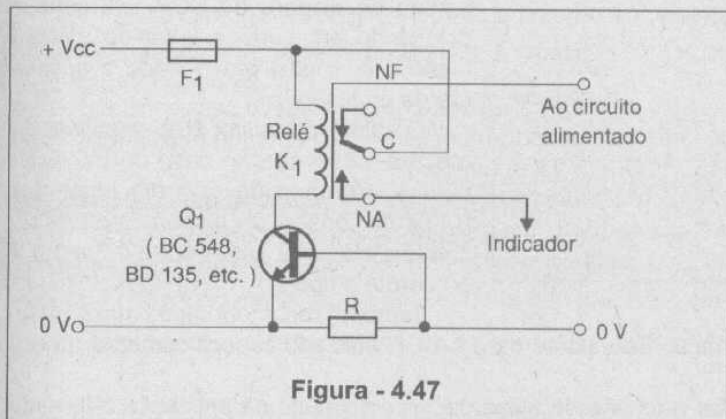
Os circuitos *crowbar* são úteis na proteção de máquinas industriais, fontes de alimentação, e diversos outros equipamentos que possam ser sensíveis à elevação da corrente.

CIRCUITOS PRÁTICOS CROWBAR

Damos a seguir alguns circuitos práticos para implementação de proteção *crowbar*, a qual pode ser implementada na maioria das fontes descritas neste livro.

4.14.1 - CIRCUITO COM TRANSISTOR

Na figura 4.47 temos um primeiro circuito *crowbar* simples que faz uso de um transistor e de um relé.



O resistor R é calculado para que, com a corrente programada, leve o transistor à condução e com isso ao fechamento dos contactos do relé. Nestas condições, o relé coloca momentaneamente em curto o circuito que alimenta a carga provocando a queima do fusível F₁.

O relé deve ter uma bobina de acordo com a tensão de alimentação do circuito e uma bobina de até 100 mA para o transistor indicado.

Os contactos do relé devem ser capazes de suportar a corrente elevada instantânea que vai circular pelo circuito na condição de curto-circuito. R é calculado para provocar uma queda de tensão da ordem de 0,7 V com a corrente de disparo do sistema de proteção. A fórmula será:

$$R = 0,7/I$$

Onde: R é a resistência em Ω
I é a corrente em ampères.

Por exemplo, para uma corrente de 2 ampères temos:

$$R = 0,7/2 = 0,35 \, \Omega$$

A dissipação será dada por:

$$P = R \times I^2$$

Para 2 ampères temos:

$$P = 0,35 \times 2 \times 2$$

$$P = 1,4 \, W$$

Na prática, usamos um resistor com pelo menos o dobro desta capacidade de dissipação.

Observamos que os valores indicados não são exatos, pois os transistores na verdade começam a conduzir entre 0,6 e 0,7 V, o que significa que o ideal é pré-ajustar este circuito fazendo testes e escolhendo o melhor valor de R nas proximidades do valor calculado.

4.14.2 - CIRCUITO COM SCR

Na **figura 4.48** apresentamos um outro circuito em que usamos um SCR para colocar diretamente em curto a linha de alimentação da carga.

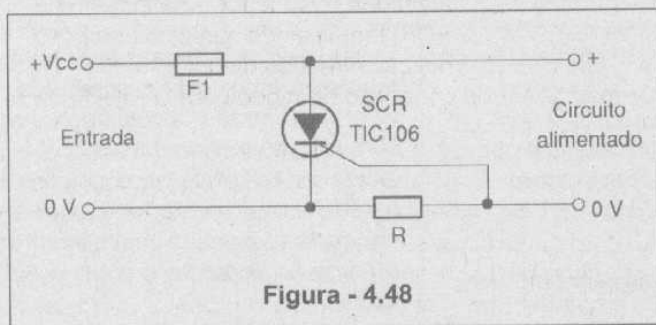


Figura - 4.48

Quando a corrente atinge o valor que provoca sobre R o aparecimento da tensão de disparo do SCR, ele conduz colocando em curto a linha de alimentação e com isso provocando a queima rápida do fusível.

O valor do resistor R é calculado da mesma forma que no caso do transistor com a diferença de que em lugar dos 0,7 V da tensão de disparo, nos SCRs comuns ela pode variar entre 0,7 e 1,2 V conforme o tipo.

Também recomendamos que o projetista faça antes os testes de determinação de valores para o SCR utilizado especificamente no seu caso.

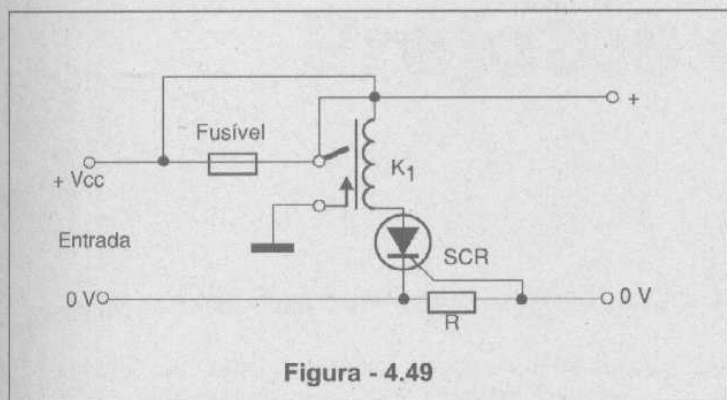
O SCR deve ser capaz de suportar a tensão de alimentação do circuito na aplicação e ter uma corrente de pico maior do que a necessária à queima do fusível.

Veja que não será preciso montar o SCR num dissipador de calor, visto que a corrente vai circular através dele por um intervalo muito pequeno de tempo.

4.14.3 - CIRCUITO COM SCR E RELÉ

Podemos usar um SCR de corrente relativamente pequena para disparar um relé que tenha correntes de contato mais elevadas em um circuito de proteção *crowbar*. Na **figura 4.49** mostramos como isso pode ser feito.

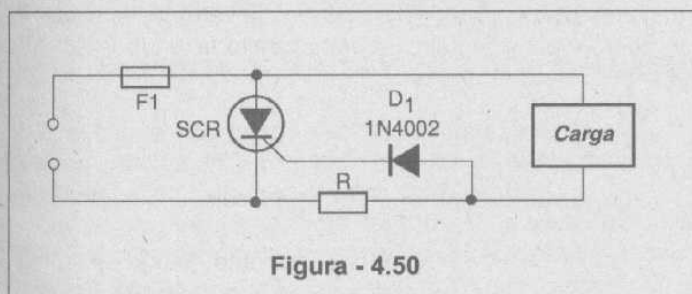
O resistor R deve ser calculado da mesma forma que nos casos anteriores.



Devemos ainda considerar que em um SCR em condução ocorre uma queda de tensão no sentido direto da ordem de 2 V, o que deve ser compensado na escolha do relé colocado na aplicação, principalmente se ela for inferior a 12 V.

A bobina do relé utilizado pode ter correntes entre 50 mA e 500 mA.

4.14.4 - CIRCUITO PARA CORRENTE ALTERNADA



Na figura 4.50 temos um circuito de proteção usando SCR para operação numa rede de corrente alternada com tensões a partir de 12 V.

O resistor R é calculado da mesma forma que nos casos anteriores.

Também devemos considerar que além dos 0,7 V a 1,2 V de disparo do SCR, temos ainda que vencer a polarização direta do diodo 1N4002.

Deve ser somado ao valor entre 0,7 e 1,2 V mais 0,7 V da condução do diodo para o cálculo de R. Tipicamente teremos:

$$R = 1,4/I$$

Onde: R é a resistência em Ω

I é a corrente desejada para o disparo, em ampères

Dada a condução muito rápida do SCR, ele não precisará ser dotado de radiador de calor.

Projetos de Fontes

FONTES LINEARES COM REGULADORES INTEGRADOS

Os projetos práticos de fontes dados a seguir utilizam circuitos integrados como referências de tensão, controle ou mesmo como reguladores completos.

Temos projetos com amplificadores operacionais, reguladores fixos e variáveis de 3 terminais e outros reguladores como o tradicional 723.

4.15 - FONTE DE 3 A 24 V X 3 A COM OPERACIONAL

Na **figura 4.51** temos o circuito de uma fonte de alimentação ajustável que pode fornecer tensões de saída de 3 a 24 V com uma corrente de saída máxima de 3 ampères. O amplificador operacional pode ser o 741 ou qualquer outro equivalente.

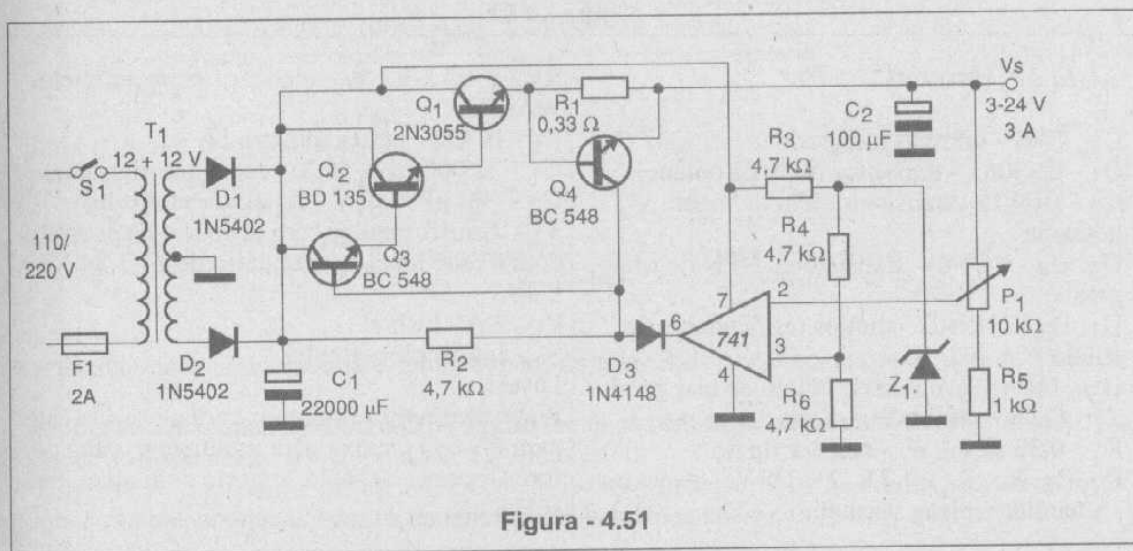
A montagem dessa fonte deve ser feita de tal forma que os circuitos de referência fiquem em uma placa de circuito impresso, mas o transistor de potência seja instalado externamente em um bom radiador de calor.

Na **figura 4.52** observamos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem desse circuito.

A referência para a tensão de saída é dada por um diodo zener de 6,2 V. Essa tensão de referência é aplicada a uma etapa com três transistores na configuração Darlington para se obter uma boa corrente de saída.

O transformador deve ter secundário de 24 + 24 V com uma corrente máxima de 3 A.

Os diodos são 1N5402 ou equivalentes. Podem ser usados transformadores de menor corrente e



mesmo menor tensão, mas a tensão e corrente máximas da fonte serão reduzidas proporcionalmente. Na verdade, o transformador deve fornecer uma tensão de até 4 V acima da tensão máxima desejada na saída.

O circuito possui um limitador de corrente formado por um transistor BC547 e um resistor de $0,33 \Omega$. Esse resistor pode ser obtido pela ligação em paralelo de três resistores de 1Ω .

A filtragem é excelente, sendo dada por um grande capacitor de $22\,000 \mu\text{F}$.

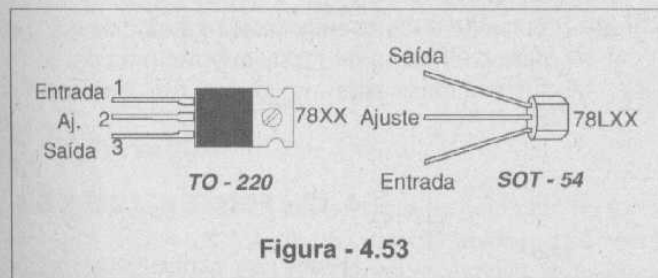
4.16 - FONTES DE 1 A COM REGULADORES 78XX (5 A 15 V)

Os circuitos integrados reguladores de tensão de 3 terminais da série 78XX fornecem uma excelente solução para o projeto de fontes até 1 A com tensões de saída entre 5 e 15 V.

Damos agora a configuração básica de fontes estabilizadas com esses reguladores, as quais podem ser usadas numa infinidade de aplicações em que se exija uma tensão fixa, com excelente regulação e filtragem, para alimentação de circuitos eletrônicos.

Esses circuitos integrados consistem em reguladores positivos de tensão já contando com a referência interna, de modo que não exigem o uso de nenhum componente adicional em seus circuitos.

Os circuitos integrados da série 78XX podem ser obtidos basicamente em duas versões, que são mostradas na **figura 4.53**.



Na versão básica, temos um invólucro TO-220 para montagem em radiador de calor e uma corrente máxima de saída de 1 A.

A versão 78LXX fornece uma corrente máxima de 100 mA e não precisa de dissipador de calor. O XX do componente indica a tensão que ele fornece na saída. Assim, para o 7806 temos 6 V de saída e para o 7812 temos 12 V.

As tensões com que podem ser encontrados esses circuitos integrados são:

Tipo	Tensão de Saída
7805	5 V
7806	6 V
7808	8 V
7812	12 V
7815	15 V
7818	16 V
7824	24 V

A tensão máxima de entrada é de 35 V para os tipos até 18 V de saída e 40 V para o tipo de 24 V.

Na **figura 4.54** exibimos o circuito de aplicação típico para uma fonte usando esses reguladores de tensão de 3 terminais.

A tensão do secundário do transformador é escolhida de tal modo que tenha uma tensão de entrada no CI pelo menos 2 V acima da tensão desejada na saída.

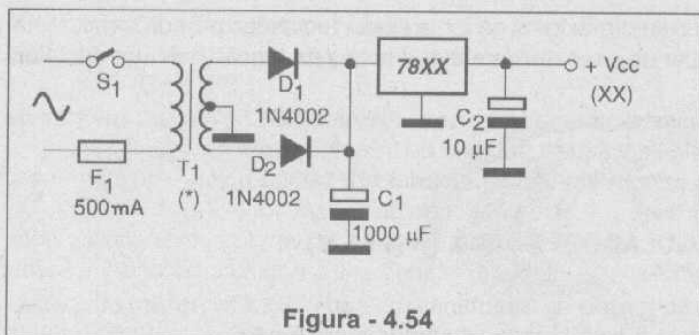


Figura - 4.54

Um recurso interessante que pode ser utilizado quando se desejar uma tensão levemente maior do que a fornecida pelo circuito integrado disponível é a apresentada na **figura 4.55**.

Assim, como não existe um regulador da série 78XX para 9 V, podemos obter essa tensão a partir de um 7808 agregando dois diodos ao terminal de referência de modo que eles somem uma tensão da ordem de 1,2 V ao circuito.

Lista de Material

CI₁ - Regulador 78XX conforme tensão de saída desejada

D₁, D₂ - 1N4002 ou equivalentes - diodos retificadores de silício

C₁ - 1 000 µF - capacitor eletrolítico - tensão conforme secundário do transformador

C₂ - 10 µF - capacitor eletrolítico - tensão um pouco acima da saída

T₁ - Transformador - primário conforme rede de energia e secundário conforme tensão de saída

F₁ - 500 mA - fusível

S₁ - Interruptor simples

Diversos:

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o CI, cabo de força, suporte para o fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.

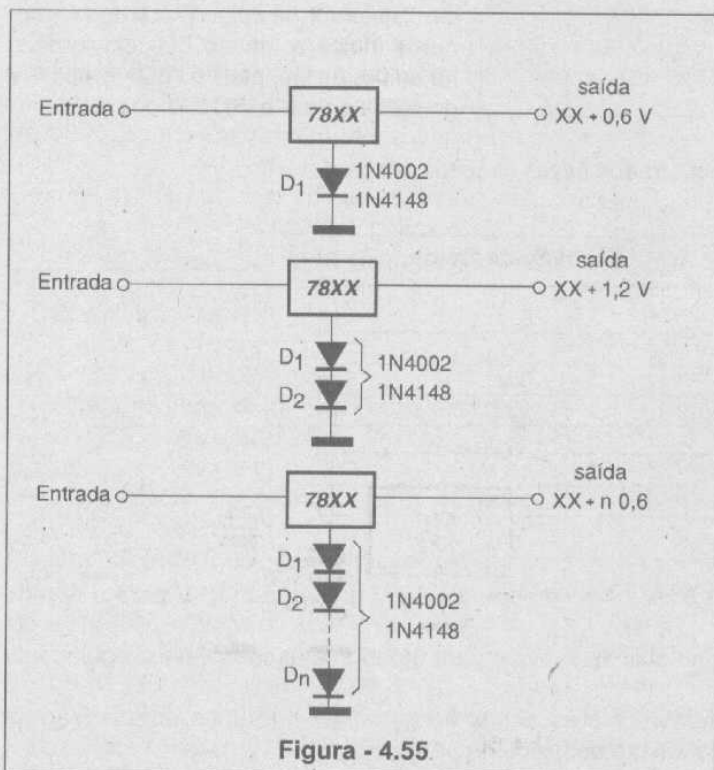


Figura - 4.55

4.17 - FONTE 6/12 V X 5 A

Fontes com capacidades de corrente mais elevadas podem ser necessárias em diversos tipos de aplicações. Nessas condições, as configurações comuns que fazem uso apenas de reguladores de 3 terminais não se aplicam.

Nesses casos, como os circuitos integrados da série 78XX só podem fornecer 1 A, é preciso empregar uma etapa amplificadora capaz de fornecer a corrente desejada.

Então, apresentamos uma fonte estabilizada simples que pode fornecer tensões de saída de 6 ou 12 V (conforme o circuito integrado) com correntes máximas que chegam aos 5 ampères.

Trata-se da fonte ideal para a bancada de desenvolvimento de projetos, ou ainda para o laboratório de Física, onde alguns experimen-

tos exigem correntes algo elevadas. O circuito se baseia nos conhecidos integrados da série 78XX e utiliza de um transistor PNP de potência que deve ser montado em um excelente radiador de calor.

COMO FUNCIONA

A tensão da rede de energia é reduzida por um transformador que também serve de elemento de isolamento, proporcionando a segurança necessária a este tipo de aplicação.

O secundário desse transformador determina a tensão de saída, devendo ser de acordo com o regulador usado para que não exista uma diferença muito grande entre a tensão de entrada e saída (ela determina a dissipação) e a corrente máxima desejada.

A retificação é feita por diodos 1N5404 que podem trabalhar com correntes da ordem de intensidade exigida para este projeto.

A etapa reguladora de tensão tem por base um circuito integrado 7806 ou 7812, de acordo com a tensão desejada na saída. Esse circuito fornece apenas a tensão de referência para o transistor de potência.

O transistor de potência é um PNP, semelhante ao 30555 (que é NPN), o qual deve conduzir a corrente principal da fonte. Esse transistor aquece-se bastante nas aplicações de maior corrente, devendo portanto ser montado em um excelente radiador de calor.

O circuito integrado regulador também deve ter um radiador de calor, mas ele pode ser menor.

A filtragem e desacoplamento são feitos por capacitores de valores apropriados. Destaca-se C_1 que é o responsável pelo *ripple* ou ondulação da fonte, o qual pode ter valores entre 2 200 μF e 4 700 μF .

MONTAGEM

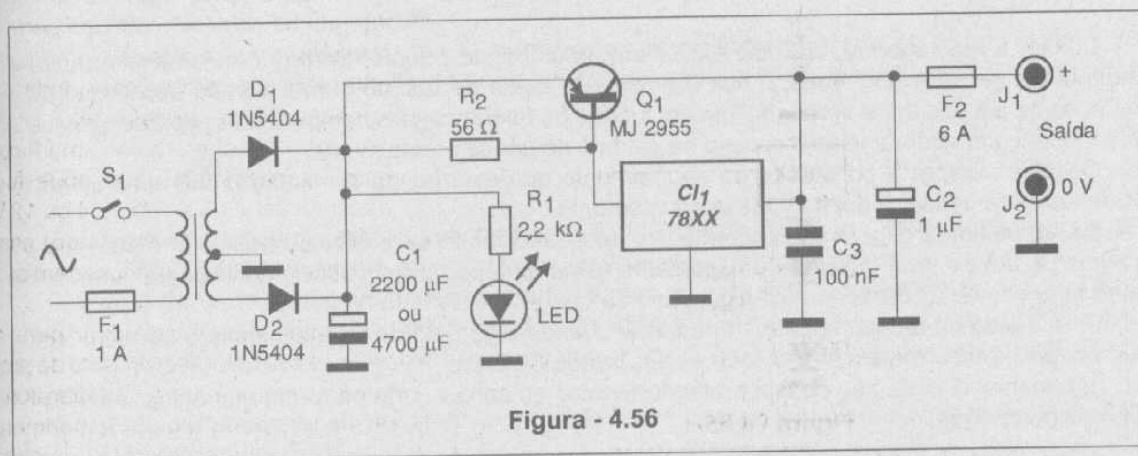
Na **figura 4.56** damos o diagrama completo da fonte de alimentação.

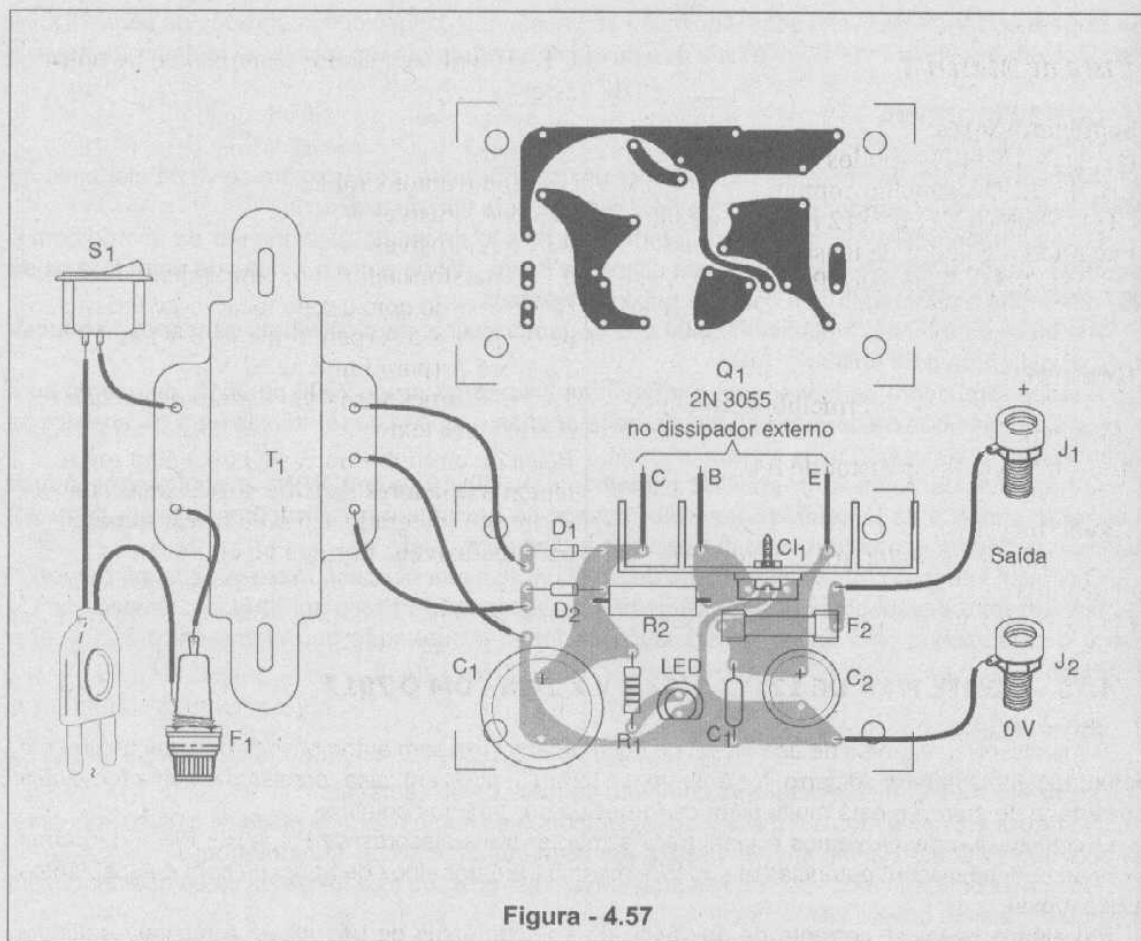
Na **figura 4.57** exibimos a disposição dos componentes numa pequena placa de circuito impresso, se bem que os poucos componentes usados admitam outras técnicas de montagem.

Os fios de conexão de correntes elevadas devem ser grossos e as trilhas da placa que conduzem correntes intensas devem ser largas.

Para a conexão do circuito externo podem ser usados bornes ou fios com garras. Os bornes ou garras devem ter cores diferentes (vermelho e preto) para indicar a polaridade.

Os fusíveis devem ser acessados externamente para uma rápida troca em caso de queima.





PROVA E USO

Confira a montagem e, se tudo estiver em ordem, ligue a fonte. Com um multímetro na escala contínua de tensões (DC Volts) meça a tensão de saída de acordo com a versão escolhida. Uma variação de até uns 0,7 V será admitida em função da tolerância dos componentes. Verificando que a fonte se encontra com a tensão correta na saída é só usá-la normalmente.

Observe sempre a polaridade do equipamento que está sendo alimentado, pois uma inversão acidental pode causar a queima desse equipamento.

Se, ao alimentar algum equipamento houver aquecimento excessivo do transistor e/ou o fusível queimar, é um sinal de que esse equipamento exige uma corrente maior do que aquela que a fonte pode fornecer, ou ainda apresenta algum tipo de curto-circuito.

Uma queda de tensão excessiva na saída quando algum aparelho é alimentado também indica curto-circuito ou corrente maior do que a capacidade da fonte.

Importante: a fonte não possui proteção térmica ou contra curto na forma eletrônica. Apenas os fusíveis a protegem.

Lista de Material

Semicondutores:

D₁, D₂ - 1N5404 - diodos retificadores
 LED1 - LED vermelho comum
 CI₁ - 7806 (6 V) ou 7812 (12 V) - circuito integrado regulador de tensão positiva
 Q₁ - MJ2955 - Transistor PNP de alta potência

Resistores:

R₁ - 2,2 k Ω x ½ W - vermelho, vermelho, vermelho
 R₂ - 56 Ω x 2 W - resistor de fio

Capacitores:

C₁ - 2 200 μ F ou 4 700 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico
 C₂ - 1,0 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico

C₃ - 100 nF - capacitor cerâmico ou de poliéster

Diversos:

S₁ - Interruptor simples
 F₁ - 1 A - fusível
 F₂ - 6 A - fusível
 T₁ - Transformador com enrolamento primário de acordo com a rede local e secundário de 9 + 9 V x 5 A (para fonte de 6 V) ou 12 + 12 V x 5 A (para fonte de 12 V).
 J₁, J₂ - Bornes vermelho e preto de saída ou garras - ver texto
 Placa de circuito impresso, caixa para montagem, radiadores de calor para o transistor e circuito integrado, cabo de força, suporte para os fusíveis, fios, solda, etc.

4.18 - FONTE FIXA DE 12/12,6/13,2 V X 10 A COM O 7812

Transmissores potentes de uso móvel ou equipamentos de som automotivo podem ser facilmente alimentados pela bateria do carro. No entanto, se forem usados em casa, precisam de uma fonte cuja capacidade de corrente está muito além da fornecida por projetos comuns.

O circuito que descrevemos é ideal para alimentar transmissores de PX, VHF, FM e de outras faixas de uso móvel com potências até 50 W e mesmo para trabalhos de bancada com equipamentos de uso móvel.

Em alguns casos, a corrente de operação de equipamentos de uso móvel à máxima potência pode chegar perto dos 10 ampères, o que inviabiliza o emprego de fontes comuns ou simples eliminadores de pilhas.

O que propomos neste artigo é a construção de uma excelente fonte de alimentação de bancada 12 a 13,2 V, que pode fornecer correntes de até 10 A, servindo pois para a alimentação de todos os equipamentos descritos na introdução.

A utilização de um circuito integrado de precisão como referência de tensão torna esta fonte muito estável e segura para a alimentação de qualquer equipamento indicado para o carro ou que opere com 12 V.

COMO FUNCIONA

O circuito de entrada consta de um transformador que abaixa a tensão da rede de energia de 110 V (ou 220 V) para uma tensão menor, entre 15 e 20 V sob corrente máxima de 10 A.

Existem transformadores que podem ser encontrados prontos para esta finalidade. Mas, se isso não for possível, o leitor terá duas alternativas: uma será mandar enrolá-lo e a outra será usar um de tensão na faixa indicada, mas com corrente menor, caso em que a capacidade da fonte ficará reduzida.

Neste segundo caso, se ela puder ainda ser usada com o equipamento que o leitor dispuser, não haverá problema algum.

A tensão reduzida pelo transformador é então retificada por uma ponte de diodos. Podem ser utilizados diodos separados ou pontes completas como as indicadas na lista de material. Uma vez que cada diodo só conduz durante metade do ciclo de alimentação, sua especificação de corrente deve ser apenas um pouco maior que o valor máximo de saída. Assim, diodos para 8 A ou mais podem ser empregados. Sua tensão inversa de pico (PIV) deve ser de pelo menos 100 V para maior segurança.

Logo após a retificação temos a filtragem, que deve ser excelente para que não ocorram zumbidos na transmissão ou reprodução de som na recepção.

É prática segura usar 1 000 μF para cada ampère de corrente de saída com uma fonte de até 12 V. Recomendamos então um capacitor de 10.000 μF ou ainda dois capacitores de 4.700 μF x 35 V ligados em paralelo.

Temos, finalmente, a etapa de regulação: a referência de tensão é dada pelo circuito integrado 7812 que deve ser montado em um bom radiador de calor.

Ligando ao terminal de referência deste integrado diodos comuns de silício, podemos alterar levemente a tensão de saída. A chave S_2 se encarregará disso.

Para cada diodo colocado no circuito temos um acréscimo da ordem de 0,6 V, o que nos leva a 13,2 V, que é aproximadamente a tensão que encontramos nos terminais de uma bateria de carro de 12 V quando completamente carregada.

O circuito integrado 7812 só fornece correntes de até 1 A, mas essa intensidade é suficiente para excitar três transistores 2N3055 ligados em paralelo. Cada transistor pode então controlar 3,33 ampères, o que está dentro de sua capacidade.

Veja que nos emissores dos transistores temos resistores de 0,22 Ω . Sua finalidade é distribuir igualmente a corrente entre estes componentes, pois suas características não são exatamente iguais.

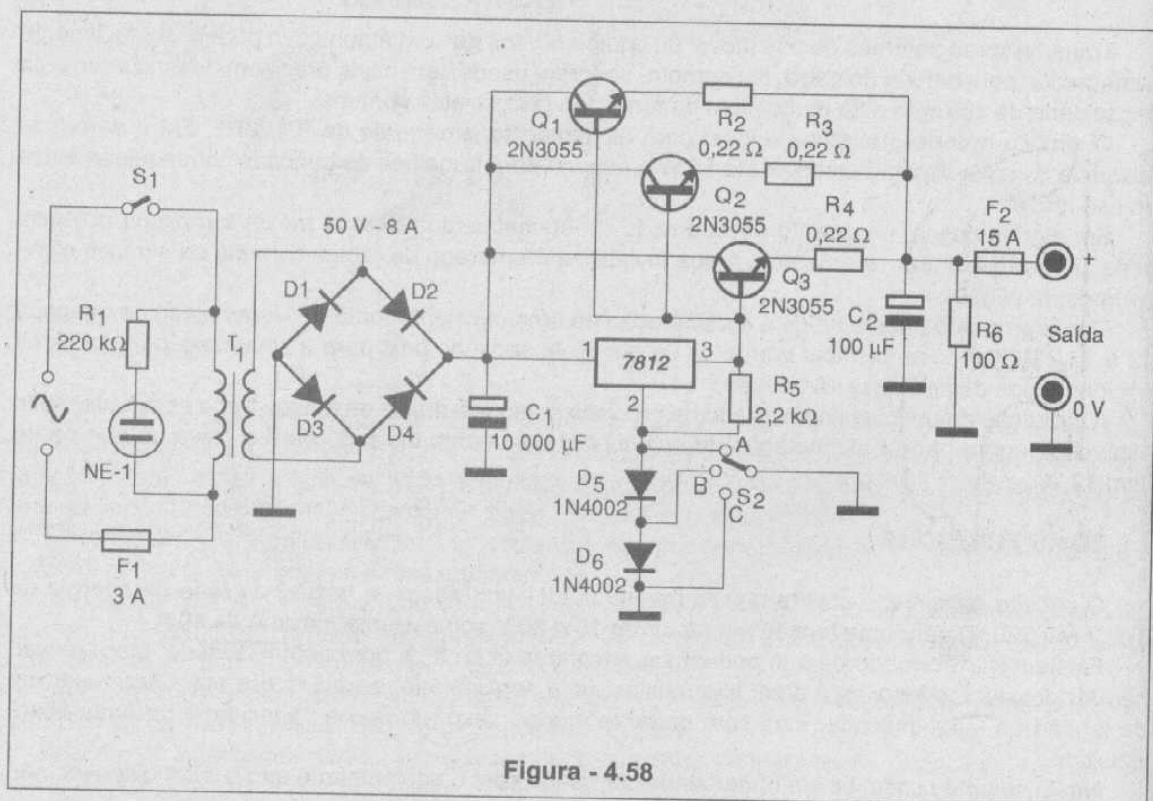


Figura - 4.58

Sem os resistores, existe o perigo de um transistor ter de conduzir uma corrente maior que outro, sofrendo com isso uma sobrecarga que pode levá-lo à queima.

Na saída do circuito, além de um fusível adicional de proteção de 15 A, temos também um capacitor de filtro e um resistor de carga cuja finalidade é manter a tensão nos terminais, mesmo na ausência de uma carga externa.

MONTAGEM

O circuito completo da fonte é apresentado na **figura 4.58**.

A disposição dos componentes numa placa de circuito impresso é mostrada na **figura 4.59**.

Os transistores devem ser montados em radiadores de calor de pelo menos 50 cm quadrados (5 x 10 cm) com fixação em local de boa ventilação. O regulador de tensão CI-1 deve ter um radiador de calor menor.

Para a retificação pode ser usada uma ponte Semikron SKB 7/02 ou então os diodos SK₂, ou SK₃ para 200 V.

O capacitor eletrolítico de filtragem de 10.000 μF pode ser obtido com a ligação de dois eletrolíticos de 4.700 μF x 35 V. Pode-se também melhorar a filtragem com um capacitor de 15.000 μF ou 22.000 μF .

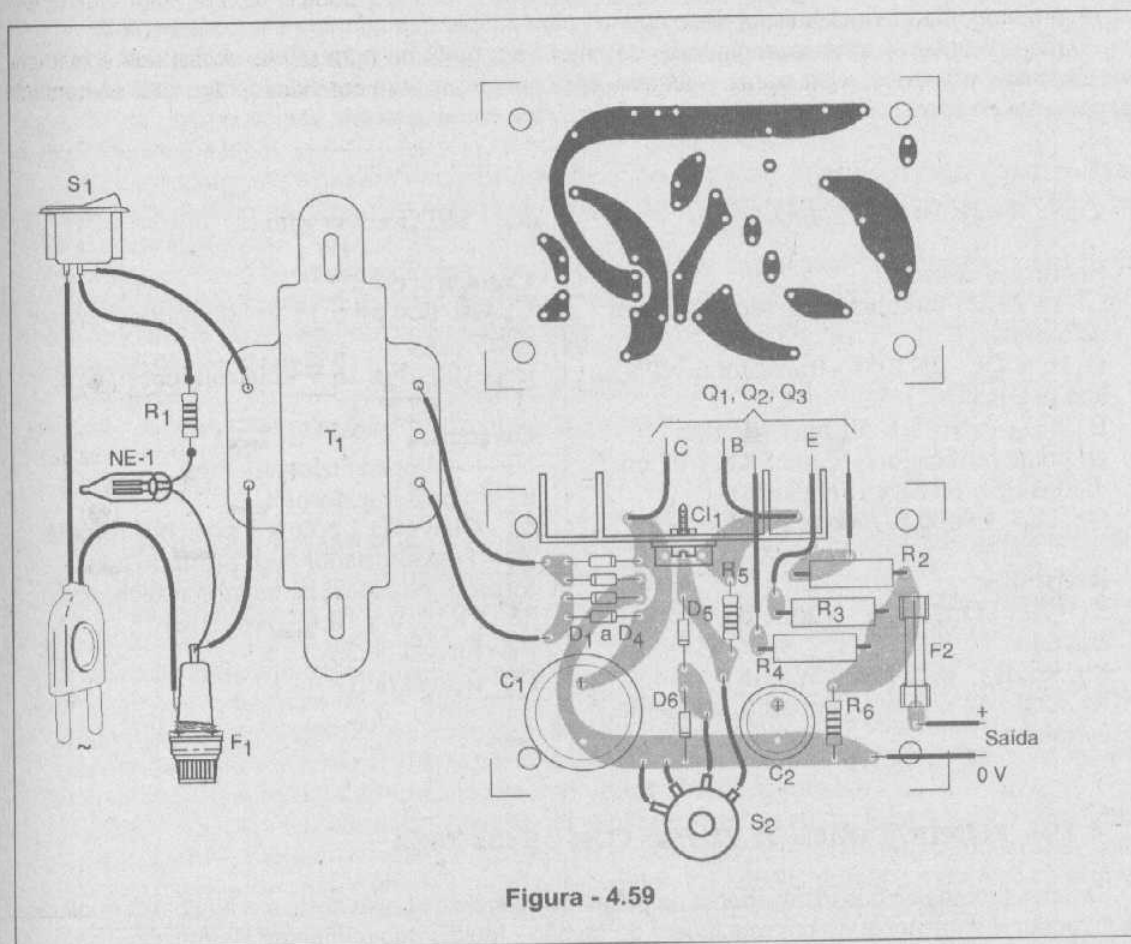


Figura - 4.59

Os resistores R_2 , R_3 e R_4 são de fio de $0,22 \Omega$ com pelo menos 2 W de dissipação. Tendo-se dificuldades em conseguir esses valores, existem alternativas:

- Ligação de dois resistores de $0,47 \Omega \times 1 \text{ W}$ em paralelo.
- Ligação de quatro resistores de $1 \Omega \times 1 \text{ W}$ em paralelo.

A chave S_2 seleciona a tensão de saída: na posição A temos 12 V, na posição B temos 12,6 V e na posição C temos 13,2 V.

O resistor R_6 deve ser de fio com pelo menos 5 W de dissipação.

Lembramos que os fios de ligação que conduzem as correntes principais devem ser todos grossos (18 ou 16).

PROVA E USO

Para provar a fonte é só ligar algum aparelho com consumo conhecido e verificar se a tensão se mantém estável na saída. Uma lâmpada de 12 V de farol de carro é uma boa carga para essa prova.

Na ligação de aparelhos de som, transceptores e toca-fitas é preciso observar a polaridade dos fios. Observamos que esta fonte não tem proteção contra curtos na saída, apenas um fusível e que, portanto, deve ser tomado máximo cuidado com seu uso.

A lâmpada néon é opcional, servindo apenas para indicar que a fonte se encontra ligada.

Placa de circuito impresso, radiadores de calor para os transistores, fios, solda, cabo de força, suporte para os fusíveis, caixa para montagem, fios com garras para conexão ao aparelho alimentado ou conector do tipo acendedor de cigarros de carro, fios comuns, solda, etc.

LISTA DE MATERIAL

Semicondutores:

CI-1 - 7812 - circuito integrado regulador de tensão

Q_1 , Q_2 , Q_3 - 2N3055 - transistores NPN de alta potência

D_1 a D_4 - 50 V x 8 A (min) - diodos ou ponte retificadora. Ponte SKB 7/02 ou diodos SK_2 ou SK_3 (Semikron)

D_5 , D_6 - 1N4002 - diodos de silício

Resistores:

R_1 - 220 k Ω x 1/8 W - vermelho, vermelho, amarelo

R_2 , R_3 , R_4 - $0,22 \Omega$ x 2 W - fio

R_5 - 2,2 k Ω x 1/2 W - vermelho, vermelho, vermelho

R_6 - 100 Ω x 5 W - fio

Capacitores:

C_1 - 10 000 μF x 35 V - eletrolítico - ver texto

C_2 - 100 μF x 16 V - eletrolítico

Diversos:

NE-1 - lâmpada néon comum

S_1 - Interruptor simples

S_2 - Chave de 1 pólo x 3 posições rotativa

T_1 - Transformador com primário conforme a rede local de energia e secundário de 15 a 22 V x 10 A - ver texto

F_1 - fusível de 3 A

F_2 - fusível de 15 A

4.19 - ELIMINADORES DE PILHAS COM OS CIs 78XX

Um dos problemas dos eliminadores de pilhas comerciais de baixo custo é a sua baixa qualidade de filtragem e a ausência de um regulagem de tensão. Muitos equipamentos eletrônicos mais críticos

cos, que não tenham regulação e filtragem interna poderão apresentar sérios problemas de funcionamento.

Veja, agora, como montar um último eliminador de 4 ou 8 pilhas pequenas, médias ou grandes com excelente desempenho de filtragem e regulação de tensão.

Os eliminadores de pilhas que compramos nas casas especializadas possuem configurações bastante simples, sem regulação alguma e filtragem deficiente, conforme ilustra a **figura 4.60**.

Nesses circuitos, a tensão em aberto é muito menor que a prevista para a saída (uma vez que o capacitor de filtro se carrega com a tensão de pico do secundário do transformador), caindo para um valor próximo ao esperado quando a carga é ligada.

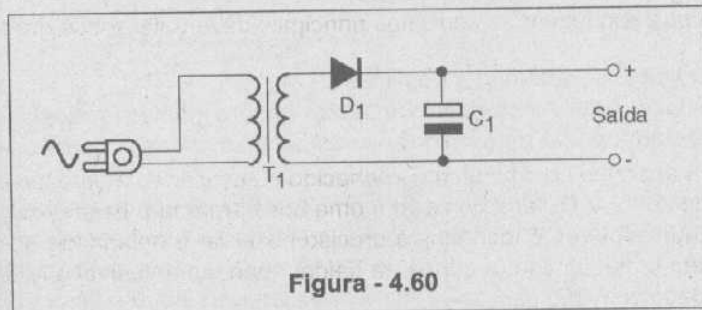


Figura - 4.60

Além da falta de regulação da tensão, que pode até afetar alguns equipamentos alimentados, normalmente, por economia e pequena disponibilidade de espaço interno, são utilizados capacitores de filtros pequenos, de valores insuficientes para proporcionar uma boa filtragem.

Um tipo de equipamento que sente muito as deficiências dos elimi-

nadores comuns de pilhas são os CD-players, que passam a apresentar fortes distorções nos sons graves ou nos picos de áudio quando o volume é aberto. Embora em alguns casos a conexão de um capacitor de valor maior em paralelo com a saída possa minimizar ou mesmo eliminar esse problema, a solução não é a ideal.

Outra aplicação interessante para esse eliminador de pilhas é que ele pode melhorar a qualidade de som, substituindo as pilhas das caixas multimídia dos computadores que são alimentados pelo próprio computador.

O que propomos neste artigo é uma fonte um pouco mais sofisticada, com regulação de tensão por circuito integrado, com proteção térmica e contra curto-circuitos, e que por isso se presta muito melhor à alimentação de aparelhos sensíveis que possam ter seu desempenho afetado por uma fonte comum de má qualidade.

O eliminador proposto pode funcionar com aparelhos de 4 ou 8 pilhas (pequenas, médias ou grandes), com uma corrente máxima de saída de 1 ampère.

COMO FUNCIONA

No nosso projeto, o transformador abaixa a tensão da rede para um valor que possa ser usado pelo circuito integrado em função da tensão desejada na saída.

O transformador deve ter uma tensão pelo menos uns 2 V maior que a desejada na saída, e uma corrente da mesma ordem que a prevista para o aparelho que vai ser alimentado ou maior. O máximo para o circuito integrado sugerido é 1 ampère.

Assim, para uma fonte de 6 V poderemos usar um transformador de 7,5 + 7,5 V ou 9 + 9 V de secundário e para uma fonte de 12 V um transformador com 15 + 15 V de secundário.

Depois de retificada pelos diodos, a baixa tensão contínua obtida é filtrada pelo primeiro capacitor (C_1) e aplicada à entrada de um circuito integrado estabilizador de tensão.

O tipo de circuito integrado escolhido irá determinar a tensão de saída. Para 6 V usamos o 7806, e para 12 V o 7812. Existem versões de tensões intermediárias que eventualmente podem ser utilizadas. Esse circuito integrado, além de excelente regulação de tensão, possui um sistema de proteção térmica e proteção contra curto-circuito na saída que o desabilita evitando sua queima.

Um capacitor adicional ligado à saída do circuito proporciona o desacoplamento da fonte do aparelho que está sendo alimentado.

Para as aplicações normais esse capacitor é de 10 μF , mas o leitor deve prestar atenção quando comprar o CI para que seja do tipo tradicional.

Existem outros mais modernos com sufixos junto ao tipo, que indicam que se tratam de dispositivos de ação rápida que exigem capacitores menores.

Se o leitor quiser, poderá incluir um LED indicador em série com um resistor de 1 k Ω na saída do circuito de modo a poder monitorar o funcionamento do eliminador de pilhas.

MONTAGEM

Na **figura 4.61** temos o diagrama completo do eliminador de pilhas.

Se não houver necessidade de se fazer uma montagem compacta, dado o número reduzido de componentes, podemos usar uma pequena ponte de terminais isolados como chassi, observe a **figura 4.62**.

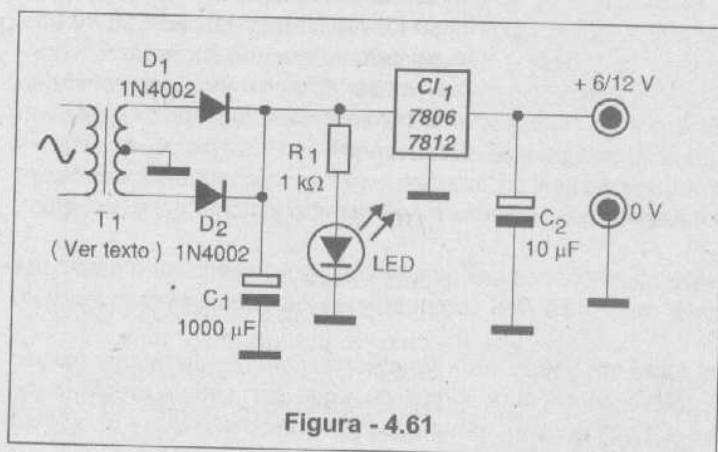


Figura - 4.61

É claro que pode ser obtida uma montagem muito mais compacta com a utilização de uma placa de circuito impresso, mas isso fica à critério do leitor.

O circuito integrado deve ser dotado de um radiador de calor que consiste numa chapinha de metal dobrada em forma de U. Nesse caso, o montador também pode contar com um dissipador comercial encontrado nas casas de materiais eletrônicos.

O transformador deve ser escolhido de acordo com a rede local de energia e com a tensão de secundário necessária ao circuito específico, conforme a seguinte **tabela**:

Tensão de Saída	Secundário
6 V	7,5 + 7,5 V 9 + 9 V
12 V	15 + 15 V

Lembramos que, quanto maior a corrente de secundário, maior será o tamanho do transformador, o que deve ser levado em conta no dimensionamento da caixa que vai alojar o eliminador.

A **tabela** abaixo dá as correntes necessárias conforme o tamanho das pilhas que o aparelho usa.

Pilhas	Corrente de Secundário
Palito (AAA)	50 - 100 mA
Pequenas (AA)	100 a 250 mA
Médias (C)	30 a 500 mA
Grandes (D)	600 a 1000 mA

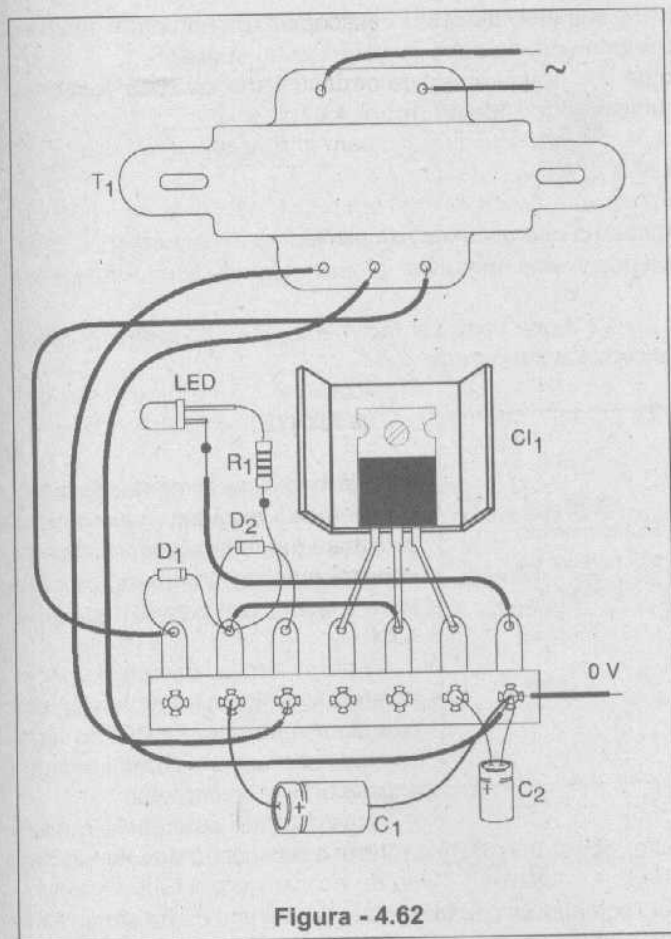


Figura - 4.62

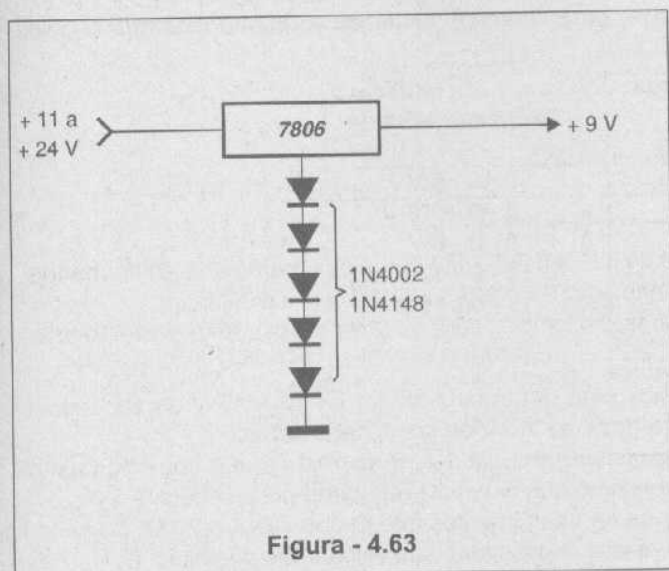


Figura - 4.63

A saída do eliminador deve ser feita com um cabo que termine com um plugue de acordo com a entrada do aparelho que vai ser alimentado. Verifique se o conector do aparelho que vai ser alimentado tem o pólo positivo ou negativo no centro.

PROVA E USO

Para provar o aparelho, ligue-o numa tomada da rede de energia e com o multímetro, na escala de tensões DC apropriada, confira a tensão de saída.

Se a tensão estiver correta, experimente alimentar o aparelho com que vai usá-lo, verificando agora se a tensão não cai com sua conexão. Se isso ocorrer talvez seja preciso usar um transformador com maior corrente.

Lista de Material

Semicondutores:

CI-1 - 7806 (6 V) ou 7812 (12 V)
- circuito integrado regulador de tensão

D1, D2 - 1N4002 ou equivalente - diodos de silício

LED - LED vermelho comum, opcional

Resistor: (1/8 W, 5%)

R1 - 1 k Ω - marrom, preto, vermelho - opcional

Capacitores:

C1 - 1 000 μ F - eletrolítico - tensão (ver texto)

C2 - 10 μ F x 12 V - eletrolítico

Diversos:

T1 - Transformador com primário de acordo com a rede de energia e secundário conforme a tensão desejada - ver texto

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, caixa para montagem, cabo de força, cabo com conector do eliminador, fios, solda, etc.

Caso note ruído ou distorção (se for um aparelho de som o alimentado), aumente o valor do capacitor de desacoplamento e reduza o comprimento do cabo de conexão ao aparelho.

Finalmente, observamos que a tensão de 9 V pode ser obtida de um regulador 7808 com cinco diodos ligados ao terminal de referência, conforme indicado na **figura 4.63**.

4.20 - FONTE SIMÉTRICA 12+12 V X 1 A

Muitos circuitos que empregam amplificadores operacionais exigem fontes de alimentação simétricas. Essas fontes devem fornecer tensões positivas e negativas iguais em torno de uma referência comum de 0 V ou terra.

Descrevemos, a seguir, uma fonte de 12 + 12 V que pode ser facilmente alterada para fornecer 6 + 6 V ou 15 + 15 V com a simples troca dos circuitos integrados.

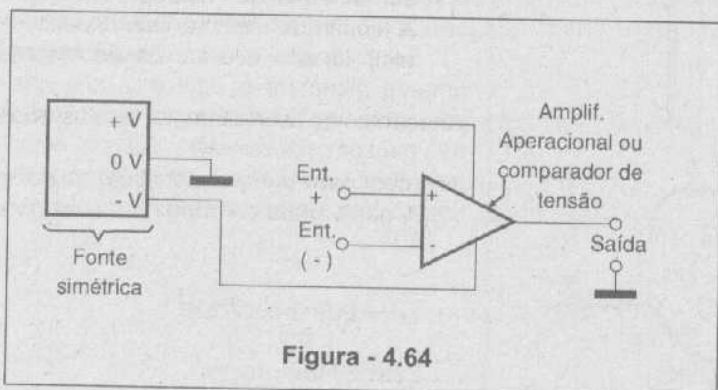


Figura - 4.64

A FONTE

As fontes de alimentação simétricas são exigidas em muitos projetos que usam amplificadores operacionais e comparadores de tensão como o ilustrado na **figura 4.64**.

Essas fontes devem fornecer tensões positivas e negativas em relação a um ponto de 0 V ou terra comum, com seus valores variando entre 6 e 15 V tipicamente.

Não é difícil obter uma tensão positiva e uma negativa a partir de um transformador único. Basta fazer a retificação dos semiciclos positivo de um lado e negativo do outro.

Temos ainda a facilidade de poder utilizar reguladores positivos de tensão como os da série 78XX e negativos como os da série 79XX. É justamente isso o que fazemos neste projeto.

Basta usar o regulador apropriado para se obter a tensão desejada conforme mostra a seguinte tabela:

Par de CIs	Tensões de Saída
7805/7905	5 - 0 - 5 V
7806/7906	6 - 0 - 6 V
7808/7908	8 - 0 - 8 V
7812/7912	12 - 0 - 12 V
7815/7915	15 - 0 - 15 V

Para todas as tensões de saída podemos usar um transformador de 15 + 15 V de secundário. Para tensões de 5 e 6 V, um transformador a partir de 7,5 V de secundário serve.

A corrente do transformador pode ser qualquer uma até 1 A, lembrando que a corrente final de saída depende deste componente, e que o máximo que o circuito integrado pode regular é 1 A.

Observamos que existe a possibilidade de se usar circuitos integrados 78XX e 79XX da série L que são para correntes máximas de 100 mA e não necessitam de dissipadores de calor.

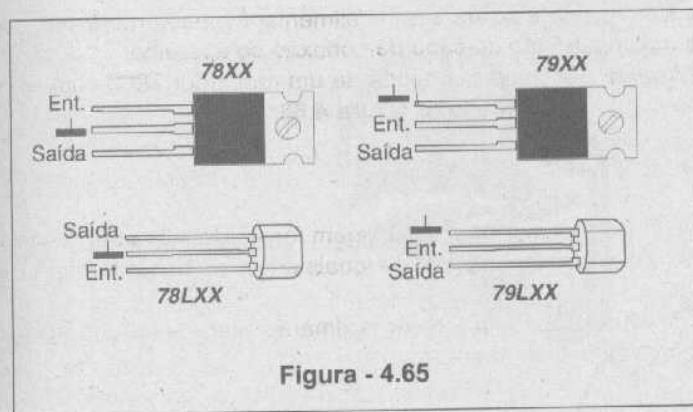


Figura - 4.65

Esses Circuitos Integrados têm as pinagens exibidas na **figura 4.65**.

MONTAGEM

Na **figura 4.66** temos o diagrama completo da fonte de alimentação simétrica.

A placa de circuito impresso para a montagem é apresentada na **figura 4.67**.

Os circuitos integrados precisam ser dotados de radiadores de calor. A tensão de trabalho dos capacitores eletrolíticos deve ser observada com

cuidado.

Será interessante dotar o circuito de entrada de uma proteção como, por exemplo, um fusível de 1 A.

Para a conexão ao circuito externo podem ser usados fios com garras. Para identificar as polaridades, o pólo positivo pode ter garra vermelha, o neutro (0 V) garra preta e o negativo uma garra verde.

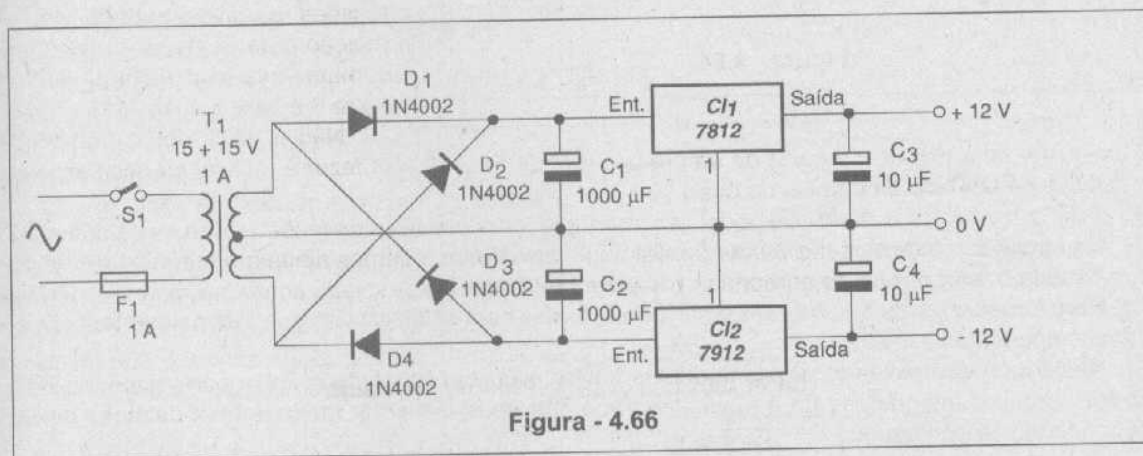


Figura - 4.66

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - 7812 ou equivalente - circuito integrado - ver texto

CI₂ - 7912 ou equivalente - circuito integrado - ver texto

D₁ a D₄ - 1N4002 ou equivalentes - diodos retificadores

Capacitores:

C₁, C₂ - 1 000 µF x 25 V - capacitores eletrolíticos
C₃, C₄ - 10 µF x 16 V - capacitores eletrolíticos
Diversos:

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 15 + 15 V até 1 A - ver texto

F₁ - Fusível 1 A

Placa de circuito impresso, radiadores de calor para os circuitos integrados, cabo de força, fios, solda, etc.

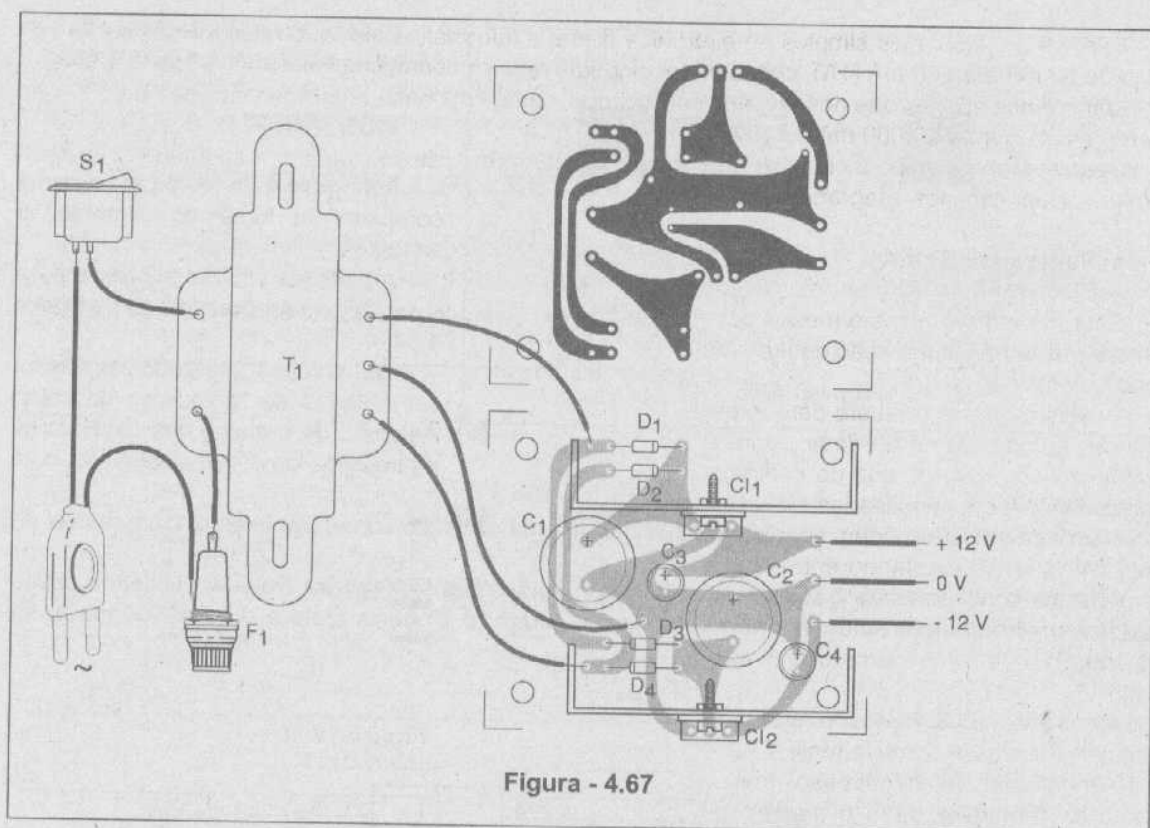


Figura - 4.67

4.21 - FONTES TTL

Os circuitos integrados digitais da família TTL, que são os mais usados em eletrônica digital de cursos técnicos, precisam de uma tensão de alimentação de 5 V.

Para fornecer essas tensões são necessárias fontes bem estabilizadas que, normalmente, empregam componentes especiais.

Neste item descrevemos algumas destas fontes, algumas bastante simples para alimentar dois ou três circuitos integrados, até a mais elaborada que pode alimentar mais de uma dezenas deles, dependendo do consumo.

OS CIRCUITOS

Para se obter uma tensão de 5 V é preciso usar uma fonte estabilizada e isso pode ser conseguido a partir de diodos zener ou de circuitos integrados especiais.

Cada circuito integrado TTL, dependendo da família e da função exercida, pode exigir correntes que variam entre 10 mA e 200 mA.

Assim, quando vamos alimentar um conjunto de circuitos integrados TTL numa aplicação digital, ou mesmo num circuito mais simples, um ponto de grande importância está no dimensionamento da fonte. Somamos agora as correntes dos circuitos integrados e projetamos uma fonte que possa fornecer uma corrente MAIOR que o valor encontrado.

A tensão, ou seja, o número de volts, entretanto, deve sempre permanecer o mesmo: 5 volts.

Para os projetos mais simples de eletrônica digital e informática, em que as correntes estão na faixa de 50 mA a 1.000 mA (1A), podemos ter circuitos relativamente simples.

Lembramos apenas que nos projetos sofisticados, como um computador "de verdade", um PC, as correntes chegam a 10.000 mA ou 10 A.

Descreveremos então 3 circuitos que podem ser utilizados pelos leitores na maioria dos projetos que envolvam circuitos integrados TTL.

a) Fonte para 50 mA

Esta é a mais simples e menos potente das fontes, servindo para experiências com um ou dois integrados ou na alimentação de projetos menos sofisticados.

Podemos usá-la também para experimentar funções como *flip-flops*, portas e monoestáveis numa matriz de contatos, principalmente com finalidades didáticas.

Dois ou três LEDs podem ser acionados, não se recomendando entretanto a alimentação de *displays* de 7 segmentos que já exigem uma corrente maior, principalmente quando o número 8 é acionado.

Na **figura 4.68** temos o diagrama completo de nossa primeira fonte TTL.

A montagem, tendo por base uma ponte de terminais, dado o número reduzido de componentes, é mostrada na **figura 4.69**.

Os componentes devem ser instalados numa caixinha plástica para maior segurança, e para a ligação ao circuito externo deixamos dois bornes, um preto e um vermelho. As cores servem para identificar a polaridade. O vermelho será o pólo positivo.

O transformador tem uma corrente de secundário de 100 mA ou mais que isso, até um máximo de 300 mA.

O enrolamento primário deve ser de acordo com a tensão da rede de energia local.

O capacitor tem uma tensão de trabalho de 12 ou 16 volts.

O diodo zener é para 5,1 V com dissipação de 1 W.

Se o leitor usar um zener maior, por exemplo de 5 W, poderá reduzir o

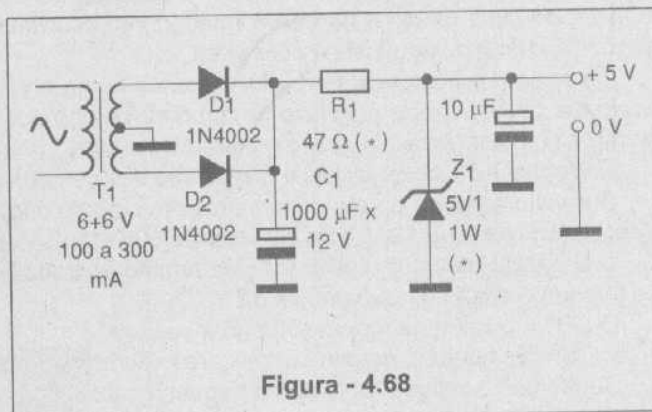


Figura - 4.68

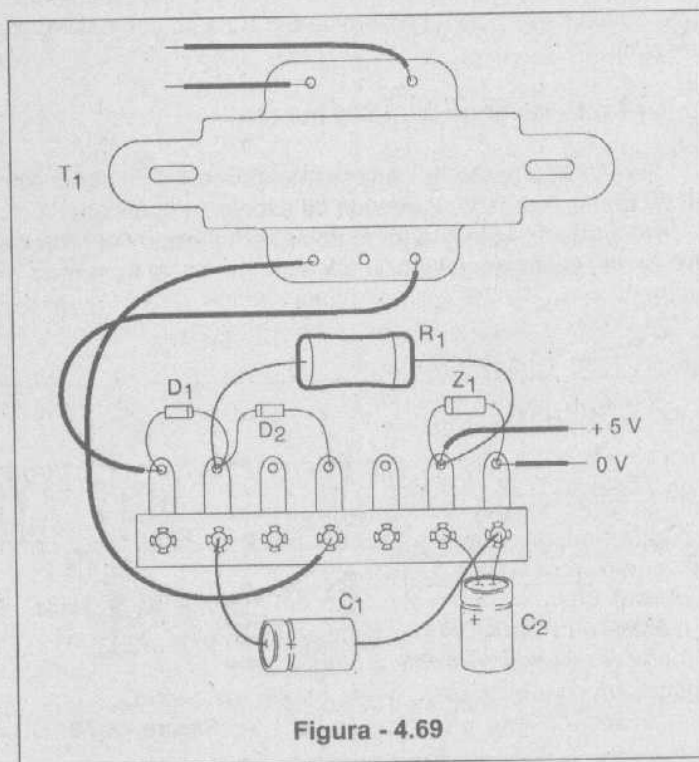


Figura - 4.69

resistor de $47\ \Omega$ para $10\ \Omega$, mas com uma dissipação maior, da ordem de $5\ \text{W}$ e a corrente máxima de saída ser aumentada para algo em torno de $100\ \text{mA}$.

b) Fonte de 500 mA

Essa fonte já tem maior capacidade de corrente, o que possibilita sua utilização na alimentação de diversos circuitos integrados TTL e até dois *displays* de 7 segmentos, numa configuração de contador até 99, por exemplo.

Na **figura 4.70** temos o circuito completo desta fonte, observando-se que colocamos um transistor de potência para controlar a corrente principal, aliviando assim o zener deste trabalho.

Com um transistor TIP31 podemos facilmente controlar correntes até $500\ \text{mA}$, dependendo do radiador de calor usado e do transformador. Um equivalente para este transistor é o BD135, mas a disposição de seus terminais é diferente.

O radiador de calor do transistor consiste numa chapa de metal de uns $4\ \text{cm} \times 6\ \text{cm}$, dobrada em forma de U e fixada por meio de um parafuso no corpo deste componente. Pode ser usado um radiador de calor comercial, caso o montador prefira.

Na **figura 4.71** observamos a disposição dos componentes da montagem.

O transformador empregado tem um enrolamento primário de acordo com a rede local de energia e secundário de 9 ou 12 V, com corrente de $500\ \text{mA}$ ou mais.

O capacitor eletrolítico deve ter uma tensão de trabalho de 16 ou 25 V, enquanto que o capacitor C_2 tem uma tensão de trabalho de 12 V.

O LED indicador de funcionamento é opcional.

Os bornes também devem ser de cores diferentes para permitir a identificação da polaridade.

Sugerimos instalar a fonte numa pequena caixa plástica.

Observe que o zener usado não é de 5 V, mas um pouco maior: $5,6\ \text{V}$. Isso ocorre porque existe uma queda de tensão da ordem de $0,6\ \text{V}$ na junção base-emissor do transistor, a qual deve ser compensada.

c) Fonte Integrada de 1.000 mA (1A)

Esta fonte é bastante interessante, pois além de poder alimentar diversos circuitos integrados, ela emprega um regulador integrado de excelente qualidade.

Na verdade, este integrado pode ser utilizado em projetos realmente profissionais, devido a sua excelente regulação, estabilidade e também pela existência da proteção contra curto-circuito em sua saída.

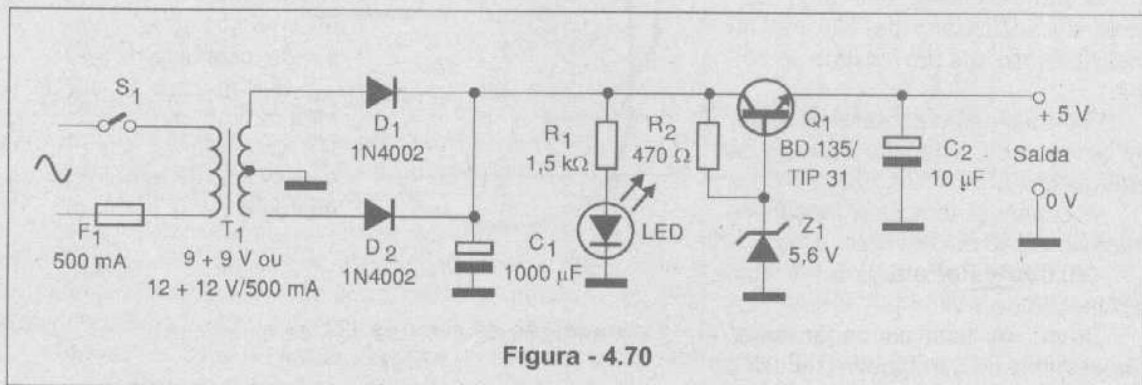


Figura - 4.70

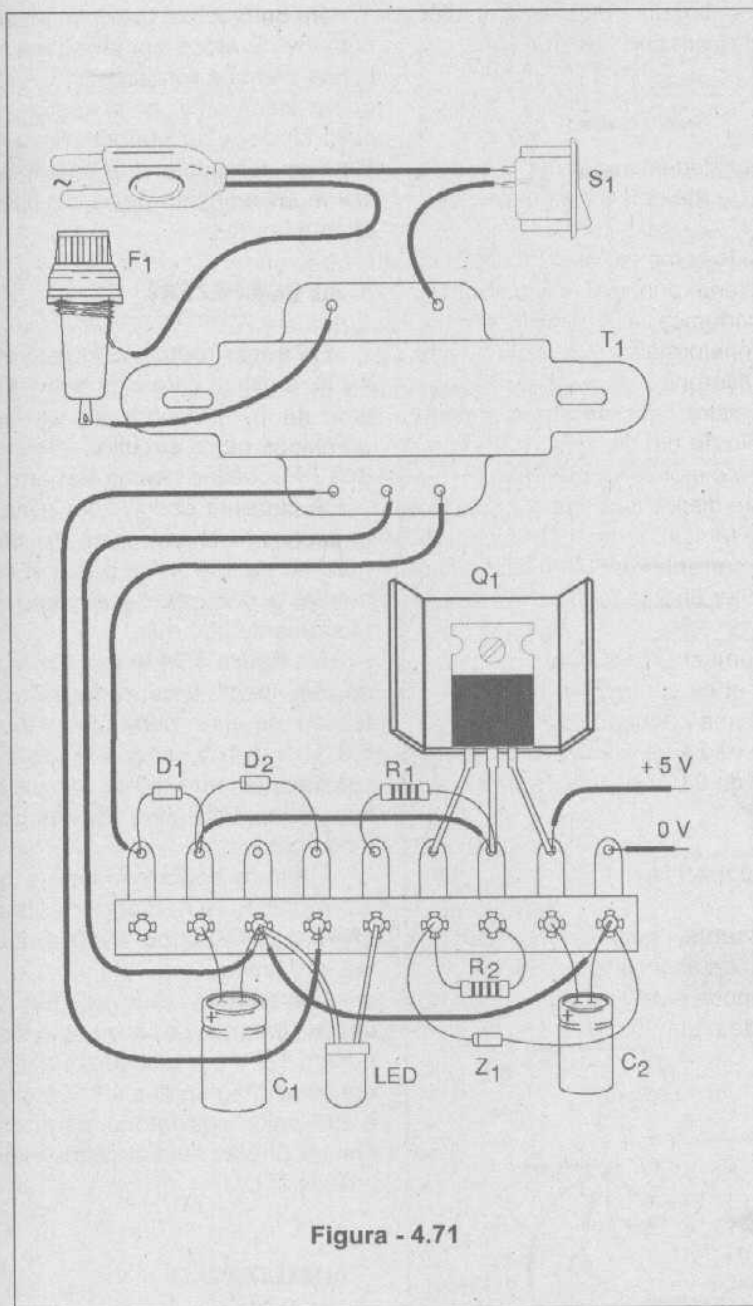


Figura - 4.71

O circuito integrado empregado admite tensões de entrada de 7 a 35 V e "solta" em sua saída sempre 5 V com uma corrente máxima de 1 A.

O circuito completo desta fonte é apresentado na **figura 4.72**.

Na **figura 4.73** temos a montagem desta fonte com base numa ponte de terminais isolados.

Sugerimos também a instalação desta fonte numa caixa plástica de modo a facilitar seu uso e evitar que partes vivas do circuito possam ser tocadas acidentalmente.

Na parte externa da caixa temos o LED indicador, o interruptor geral e os bornes de ligação do circuito externo. O circuito integrado 7805 deve ser dotado de um bom radiador de calor pois, com maior consumo, ele tende a se aquecer.

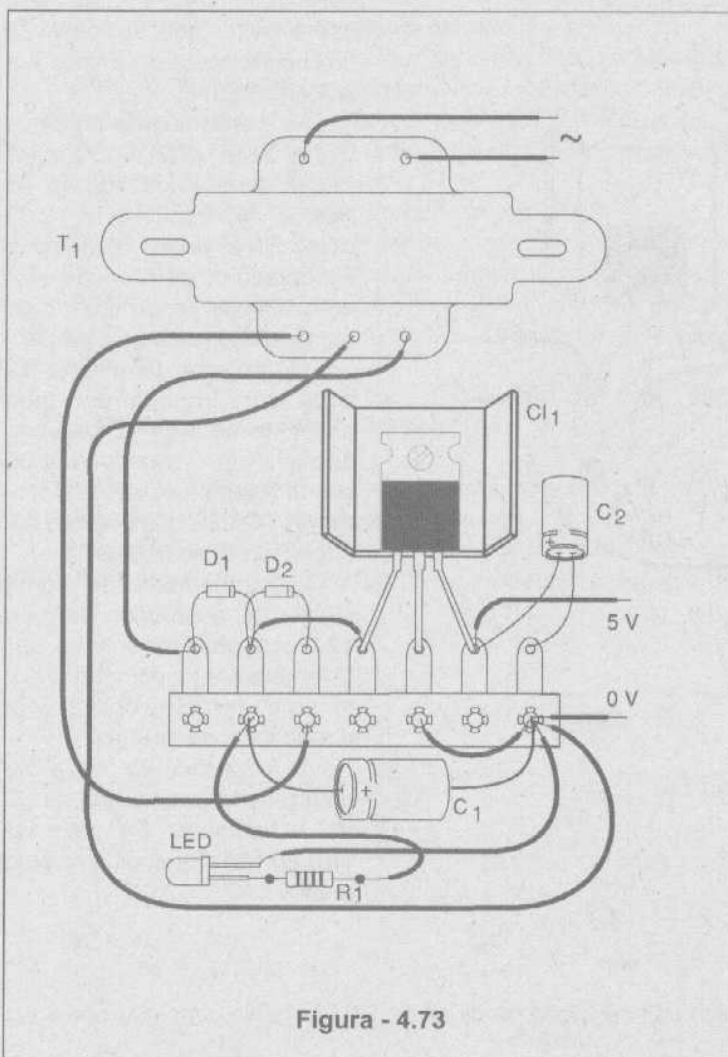
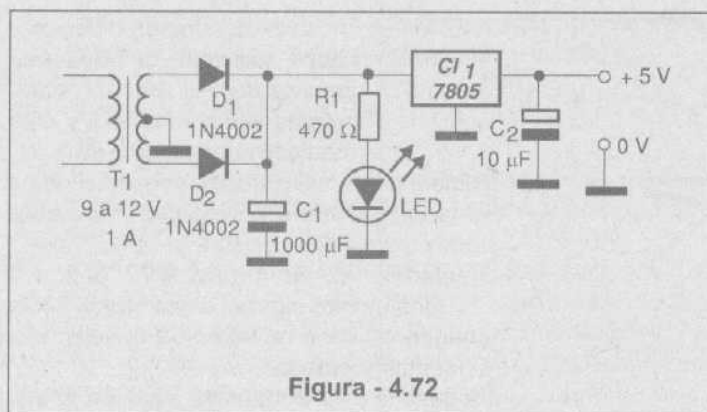
O radiador para este CI pode ser formado por uma chapa de metal de 4 cm x 6 cm, dobrada em U, ou ainda pode ser do tipo comercial para invólucros TO-220 como o empregado pelo componente.

O transformador tem uma tensão de secundário de 9 ou 12 V com uma corrente de 1 A. O enrolamento primário deve ter uma tensão de acordo com a rede local de energia.

O capacitor C_1 deve ter uma tensão de trabalho de 25 V. O capacitor C_2 deve ter uma tensão de trabalho de pelo menos 6 V.

d) Fonte Portátil

Para experiências de bancada ou na alimentação de circuitos TTL de baixo consumo podemos usar pilhas.



No entanto, se usarmos pilhas comuns, teremos um problema: 3 pilhas comuns fornecem 4,5 V, o que é insuficiente para que o circuito funcione satisfatoriamente, e 4 pilhas fornecem 6 V que está acima do admitido pelos circuitos integrados TTL.

O QUE FAZER?

Podemos reduzir a tensão de 6 V de 4 pilhas para algo bem próximo de 5 V, dentro dos limites admitidos pelos circuitos integrados TTL usando diodos comuns.

A corrente obtida com pilhas pequenas está em torno de um máximo de 100 mA e para pilhas médias podemos obter até aproximadamente 300 mA.

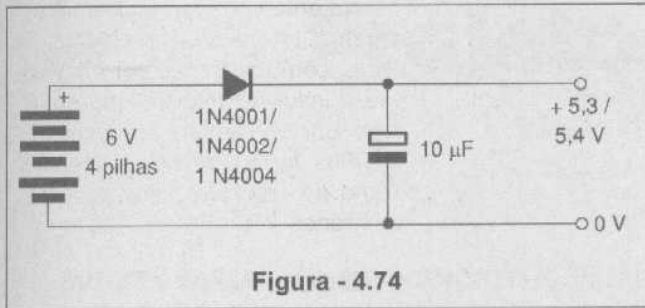
Na **figura 4.74** temos o modo de se fazer uma redução da tensão de 6 V para algo entre 5,3 V e 5,4 V, o que é aceito satisfatoriamente pelos circuitos integrados, utilizando apenas um diodo comum.

Ligamos então em série com as 4 pilhas um diodo do tipo 1N4001, 1N4002 ou 1N4004 que faz a redução.

Lembramos que se forem usadas baterias de Nicad, que fornecem 1,2 V por unidade, 4 delas em série chegam aos 4,8 V o que é um valor satisfatório para alimentar diretamente circuitos integrados TTL.

UTILIZAÇÃO

Na utilização de qualquer uma das fontes que descrevemos é sempre importante observar os limites de corrente. Não alimente mais do que o suportado pela fonte, porque além do aparelho



não funcionar satisfatoriamente, pois a tensão cairá para menos de 5V, podem ocorrer sobrecargas que acabam por danificar a própria fonte.

É igualmente importante observar cuidadosamente a polaridade da fonte. Uma inversão queima facilmente os circuitos integrados TTL que devem ser alimentados.

Finalmente, não deixe a fonte ligada quando estiver fora de uso, uma vez que acidentalmente poderão ocorrer curtos

na saída e isso poderá afetar os componentes internos com a queima ou alteração de suas características.

Projetos de Fontes

FONTES VARIÁVEIS COM CIRCUITOS INTEGRADOS

Os projetos dados a seguir são de fontes ajustáveis ou variáveis, usando circuitos integrados tanto do tipo de três terminais quanto amplificadores operacionais e outros.

4.22 - FONTE DE 3 A 15 V X 3 A COM O 741

Descrevemos uma fonte de alimentação estabilizada de excelente rendimento, usando componentes tradicionais da primeira e segunda gerações de semicondutores, e que pode fornecer corrente de até 3 ampères.

Esta fonte é ideal para os cursos técnicos, pois permite colocar em prática ensinamentos teóricos básicos, além de ser útil em trabalhos de bancada de diversos setores como eletrônica, robótica e mecatrônica.

O montador, ou mesmo reparador de equipamentos eletrônicos, também encontrará muitas utilidades para esta fonte.

Se o leitor estiver pensando numa boa fonte, que tal analisar este projeto?

O PROJETO

Não preciso dizer que uma fonte de alimentação é indispensável em qualquer bancada de trabalhos eletrônicos, porque o leitor sabe disso.

Esta fonte substitui pilhas e baterias na alimentação de aparelhos em fase de montagem, desenvolvimento e teste, facilitando os trabalhos de ajuste e reparação e evitando gastos desnecessários.

A fonte descrita possui características que atendem à maioria dos trabalhos eletrônicos, uma vez que pode fornecer tensões na faixa de 3 volts (equivalente a duas pilhas) até 15 V (correspondente a 10 pilhas ou à bateria do carro).

Com excelente estabilização graças ao uso de um amplificador operacional, e pelo potente transistor empregado na saída, ela pode fornecer corrente de intensidade maior que a maioria das fontes comuns.

Por outro lado, o circuito é relativamente simples e não tem elementos críticos que possam causar dificuldades a um montador menos experiente.

Características:

- Tensão de entrada: 110 V ou 220 VCA
- Tensões de saída: 3 a 15 VDC
- Corrente máxima de saída: 3 A

COMO FUNCIONA

O transformador T_1 abaixa a tensão da rede de energia para um valor entre 15 e 18 Vrms, conforme o transformador usado, e isso para uma corrente de até 3 A.

Depois, temos a retificação feita pelos diodos D_1 e D_2 e uma filtragem proporcionada pelo capacitor C_1 . Esse capacitor deve ser de grande valor, podendo ficar na faixa de 2 200 μF a 4.700 μF para ser mais eficiente. Valores maiores resultam em tensão contínua com menor nível de *ripple* (ondulação), e portanto menor possibilidade de aparecerem rancos nos aparelhos de áudio alimentados.

Após a retificação e filtragem, temos no capacitor C_1 a tensão de pico do secundário do transformador, o que corresponde a um valor maior que a tensão rms. Assim, para um transformador de 15 volts a tensão no capacitor supera os 24 V. Esta tensão é usada para alimentar a etapa reguladora que tem por base um amplificador operacional na forma de circuito integrado e dois transistores.

Com o emprego de um resistor (R_1) e um diodo zener, fixamos em 15 volts a tensão de alimentação do circuito integrado e a máxima tensão de referência que irá também determinar a máxima tensão de saída.

Através de outro resistor (R_2) e outro diodo zener (Z_2) fixamos uma nova referência no pino 3 do circuito integrado em 6,8 V (podem ser utilizados valores próximos como 4,7 e mesmo 5,6 V para este ponto).

Se a tensão na entrada inversora (pino 2), que é obtida via P_1 da saída, for menor que a tensão de referência, a tensão de saída do operacional se elevará e polarizará Q_1 no sentido de aumentar sua condução de corrente.

Dessa forma, a tensão de saída do circuito se elevará, havendo assim uma compensação no caso da carga exigir mais corrente.

Conseqüentemente, dependendo do ajuste de P_1 , o amplificador operacional irá reagir de modo a manter sempre constante a tensão de saída, conforme o valor ajustado, mesmo quando ocorrerem variações do consumo da carga.

O potenciômetro P_1 permite que o operador ajuste a tensão de saída entre 3 e 15 V, sendo o valor máximo fixado previamente por P_2 . Na saída da fonte podemos ligar um voltímetro comum ou até o multímetro para fazer o controle da tensão que está sendo aplicada ao circuito de carga.

Observe que o transistor Q_1 é que conduz a corrente principal do circuito, tendendo por este motivo a dissipar mais energia na forma de calor. Por essa razão, este transistor deve ser montado em um excelente dissipador de calor.

Veja também que a corrente máxima da fonte é limitada pelo transformador e pelas características deste transistor principal.

MONTAGEM

Na **figura 4.75** temos o diagrama completo da fonte de alimentação.

A disposição dos componentes principais numa placa de circuito impresso é apresentada na **figura 4.76**.

O transformador, que será fixado na caixa através de parafusos, tem enrolamento primário de acordo com a tensão da rede de energia e secundário de 15 ou 18 V com corrente de 3 A.

Transformadores de correntes menores podem ser utilizados, mas seu valor determinará o máximo que a fonte fornecerá.

Os diodos podem ser de 2 ou 3 A como os 1N5404, ou equivalentes para 50 V ou mais.

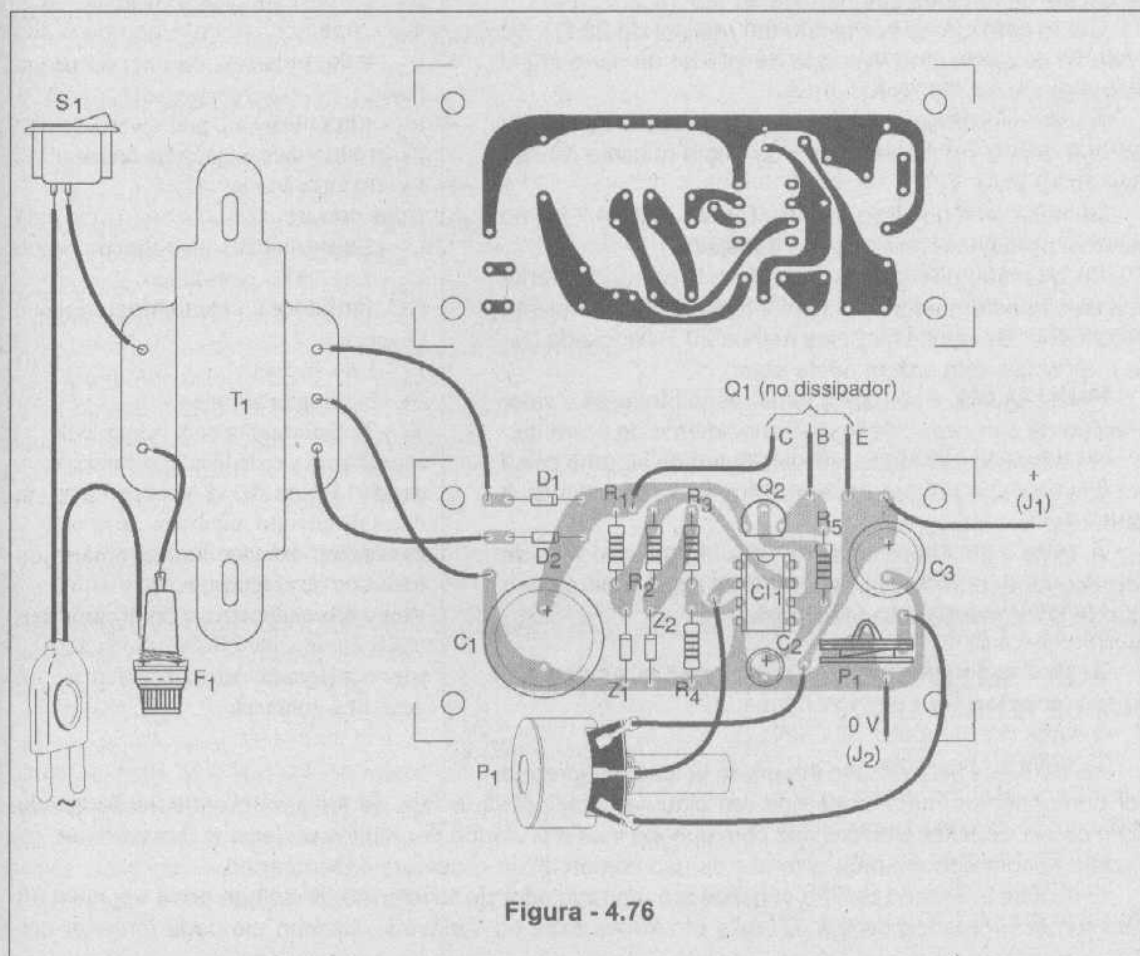
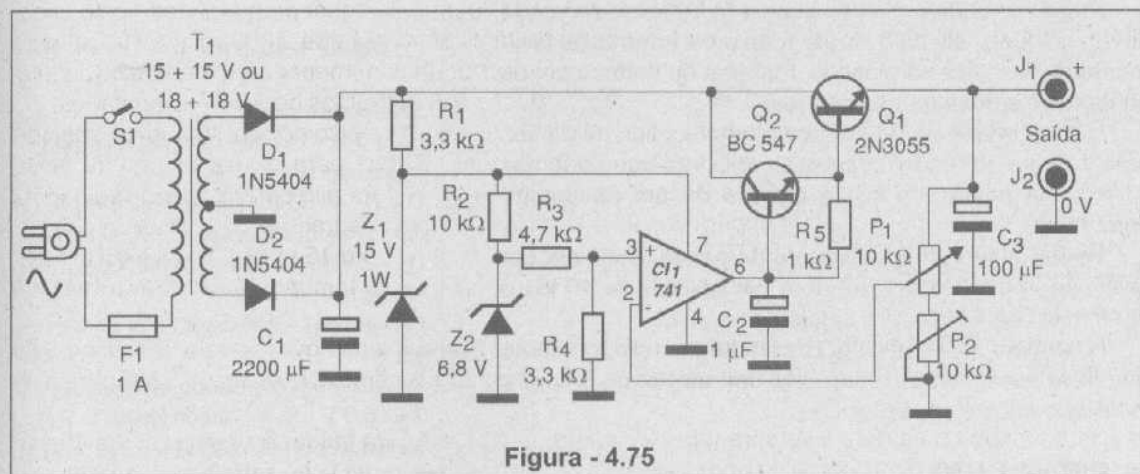
Os resistores são de $\frac{1}{4}$ W ou maiores, exceto R_1 que deve ser de 1 W ou maior.

O capacitor eletrolítico C_1 deve ter uma tensão de trabalho de pelo menos 40 V.

C_2 deve ter pelo menos 25 V de tensão de trabalho e os demais eletrolíticos são de 16 V ou mais. O transistor 2N3055 precisa ser montado em um bom radiador de calor e preferivelmente fixado do lado externo da caixa para melhor ventilação.

Os diodos zener são de 1 W.

O potenciômetro P_1 é linear, enquanto que P_2 é um *trimpot* comum para montagem na placa de circuito impresso.



Sugerimos que o circuito integrado 741 seja montado em um soquete DIL de 8 pinos. Todo o conjunto cabe facilmente numa caixa de plástico, madeira ou metal, com os controles e saídas na parte frontal.

Um voltímetro de 0-15 V pode ser colocado no painel, mas trata-se de recurso opcional, uma vez que podemos controlar a tensão de saída através de um multímetro comum.

Se for usado um instrumento de painel, pode ser um miliamperímetro de 0-1 mA com um resistor de 10 k Ω e um *trimpot* de 47 k Ω para ajuste da escala.

É também opcional o LED indicador de funcionamento que deve ser ligado em série com um resistor de 3,3 k Ω x 1/2 W logo após o capacitor C₁.

PROVA E USO

Para provar a fonte, ligue na sua saída um multímetro na escala de tensões que permita ler até 15 V.

Como carga pode ser usado um resistor de 22 Ω x 10 W de fio ou ainda uma lâmpada de interior de carro (12 V com pelo menos 500 mA).

Ajuste inicialmente P₁ para ter a máxima tensão de saída e depois retoque P₂ para que esta máxima tensão seja de 15 V.

Se não conseguir isso, reduza R₂ até obter 4,7 k Ω no mínimo, para conseguir o ajuste desejado.

Se a tensão não chegar aos 15 volts na saída, verifique se o transformador está com a tensão correta em seu secundário. Devemos ter pelos menos 20 V depois de D₁, se tudo estiver em ordem neste setor.

Feito o ajuste, é só usar a fonte respeitando-se o valor máximo da sua capacidade de fornecimento de corrente.

Se a tensão cair muito, quando ligarmos alguma coisa em sua saída, é porque essa carga precisa de mais de 3 ampères.

A fonte não é protegida e uma carga maior pode sobrecarregar o transistor Q₃ que, com isso, poderá queimar-se por excesso de aquecimento.

4.23 - SELEÇÃO DE FONTES COM O REGULADOR DE TENSÃO LM723

Se bem que este circuito integrado já esteja superado por componentes mais modernos em algumas aplicações, o fato de ter uma grande versatilidade, além de ser de obtenção fácil, faz com que ele seja o preferido por muitos projetistas. Na verdade, ele ainda é encontrado em muitas fontes de uso comercial de excelente desempenho.

O circuito integrado LM723 consiste em um regulador de tensão integrado que pode ser ajustado para fornecer tensões de 2 a 37 volts em fontes fixas ou variáveis. Sozinho ele pode fornecer cor-

Lista de material

Semicondutores:

CI₁ - 741 - circuito integrado, amplificador operacional

D₁, D₂ - 1N5404 ou equivalente - diodos retificadores para 3 A ou mais

Q₁ - 2N3055 - transistor NPN de potência

Q₂ - BC547 - transistor NPN de uso geral

Z₁ - 15 V x 1 W - diodo zener

Z₂ - 6,8 V x 1 W - diodo zener

Resistores: (1/4 W, 5%)

R₁ - 3,3 k Ω x 1 W - laranja, laranja, vermelho

R₂ - 10 k Ω - marrom, preto, laranja

R₃ - 4,7 k Ω - amarelo, violeta, vermelho

R₄ - 3,3 k Ω - laranja, laranja, vermelho

R₅ - 1 k Ω - marrom, preto, vermelho

P₁ - 10 k Ω - potenciômetro linear

P₂ - 10 k Ω - *trimpot*

Capacitores:

C₁ - 2 200 μ F/40V - eletrolítico

C₂ - 1 μ F/25V - eletrolítico

C₃ - 100 μ F/16V - eletrolítico

Diversos:

F₁ - 1 A - fusível

S₁ - Interruptor simples

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 15+15 V ou 18+18 V x 3 A

Placa de circuito impresso, caixa para montagem, radiador de calor para o transistor de potência, botão plástico para o potenciômetro, cabo de alimentação, suporte para fusível, soquete para o integrado, caixa para montagem, fios, solda, etc.

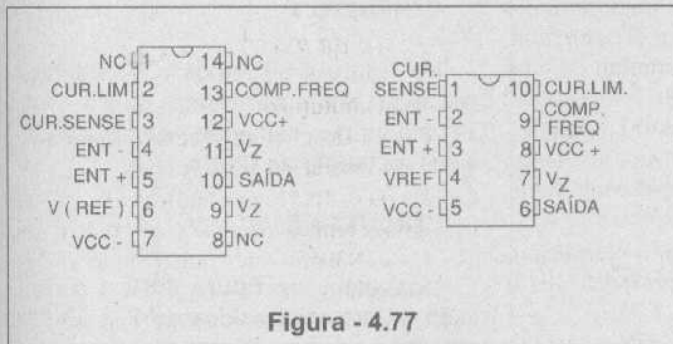


Figura - 4.77

rentes até 150 mA, mas com etapas de potência não há limite para a corrente de saída.

O LM723 é semelhante ao LM723C exceto pela faixa de temperaturas de operação.

O circuito integrado LM723 tanto pode ser encontrado em invólucro DIL de 14 pinos com a pinagem mostrada na **figura 4.77** quanto em versão mais rara em invólucro DIL de 10 pinos.

O circuito equivalente interno, em

blocos, para circuito integrado é apresentado na **figura 4.78**.

Os principais destaques deste circuito integrado são:

- 150 mA de corrente de saída sem transistores externos
- Correntes até 10 A são possíveis com o uso de transistores externos
- Tensão de entrada máxima de 40 V
- Tensão de saída ajustável de 2 a 37 V
- Pode ser usado tanto em fontes lineares quanto em chaveadas.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Tensão máxima de entrada: 40 V
- Faixa de tensões de saída: 2 a 37 V
- Corrente no diodo zener: 25 mA (máx)
- Regulação de linha: 0,3% (tip)
- Regulação de carga: 0,15% (tip)
- Rejeição de ripple: 74 dB (tip)
- Corrente de curto-circuito limitada em: 65 mA (tip)
- Tensão de referência: 7,15 V (tip)
- Faixa de tensões de entrada: 9,5 a 40 V
- Corrente em *standby*: 1,7 mA (tip)

As fórmulas para tensões intermediárias são dadas na **figura 4.79**.

CIRCUITOS

Os circuitos seguintes foram obtidos de manuais de fabricantes (Motorola, National, Texas, etc.) que têm em suas linhas de produtos esse mesmo componente.

Sugerimos que os leitores interessados em mais informações acessem pela Internet o *datasheet* desse componente em um dos fabricantes, os quais os disponibilizam em formato PDF.

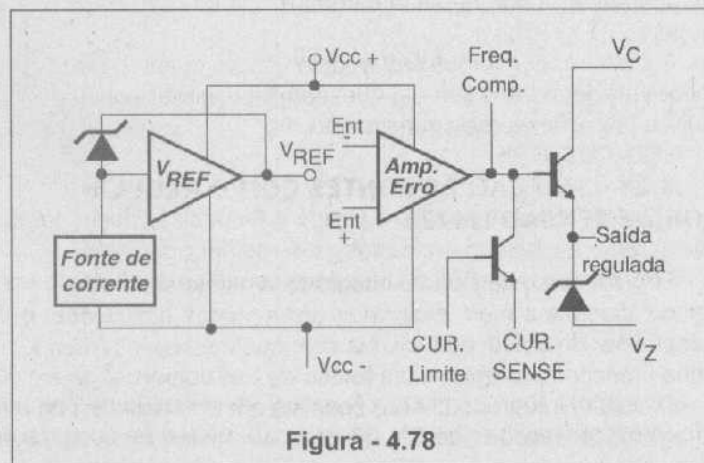
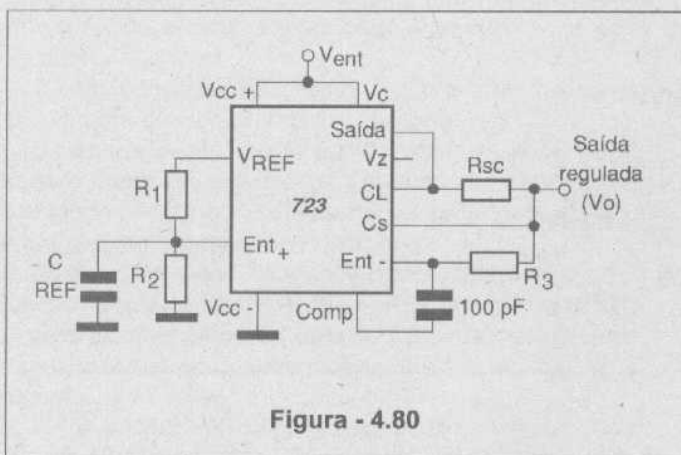
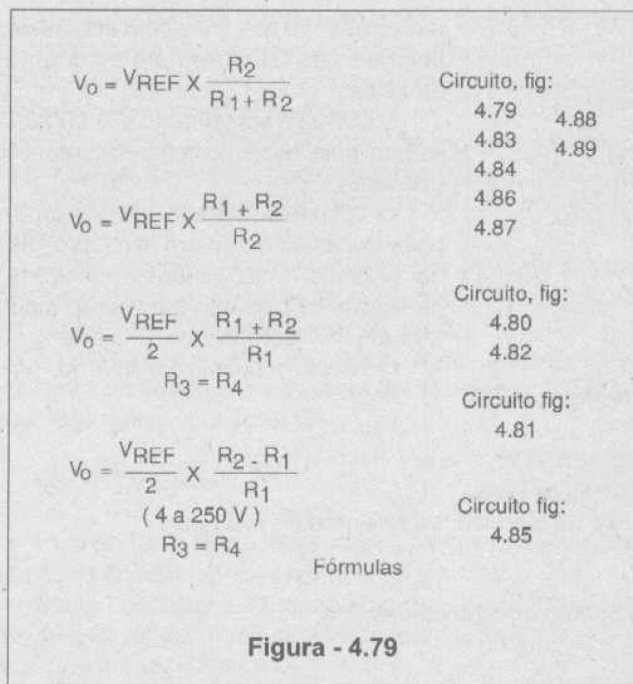


Figura - 4.78



CIRCUITO 5

O circuito apresentado na **figura 4.84** pode fornecer correntes de saída de 1 A sob tensão de 5 V, devendo o transistor ser montado em radiador de calor.

Para outras tensões o leitor deve consultar a tabela de resistores.

CIRCUITO 6

Na **figura 4.85** temos um circuito com limitação de corrente do tipo "foldback" com a capacidade de fornecer uma corrente de saída de 10 mA e uma corrente de curto-circuito de 20 mA.

CIRCUITO 1

Na **figura 4.80** temos a configuração básica do LM723 para saídas de 2 a 7 volts. Os valores dos componentes básicos são dados na **tabela da figura 4.79**.

CIRCUITO 2

Mostramos na **figura 4.81** a configuração básica para saídas de 7 a 37 volts também com os valores dos resistores dados na **tabela da figura 4.79**.

Lembramos que este circuito e o anterior têm suas correntes de saída limitadas a 150 mA, visto que não há etapa adicional de potência com transistores.

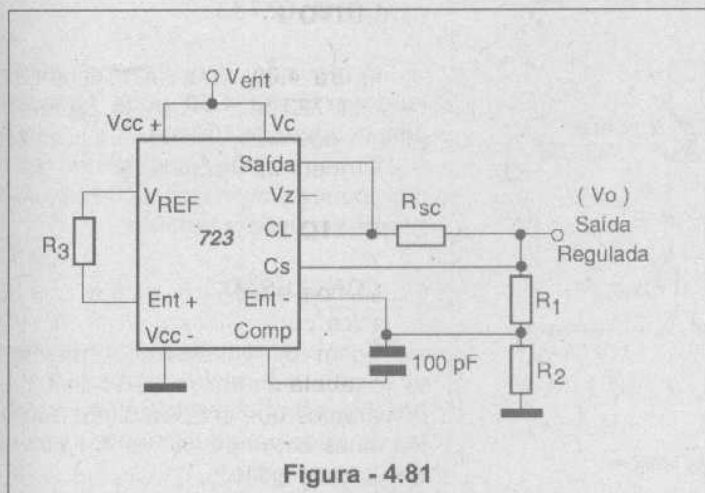
CIRCUITO 3

O circuito ilustrado na **figura 4.82** é de um regulador de tensão negativo para uma tensão de saída de 15 V.

Este circuito apresenta uma regulação de carga de 1 mV para uma corrente de 100 mA.

CIRCUITO 4

Na **figura 4.83** temos um regulador de tensão positivo com saída de 15 V que pode fornecer uma corrente de 1 A com uma regulação de carga de 15 mV. Para outros valores de tensões consulte a **tabela da figura 4.79**.



Para outras tensões de saída a **tabela 1** pode ser consultada.

CIRCUITO 7

No circuito da **figura 4.86** temos um regulador positivo flutuante com a capacidade de fornecer tensões de saída de 50 V com regulagem de 20 mV para uma corrente de 50 mA.

Para outras tensões os valores dos componentes são dados na tabela. O transistor admite equivalentes.

CIRCUITO 8

Um regulador negativo flutuante capaz de fornecer uma tensão de saída de -100 V com regulagem de 20 mV para uma corrente de carga de 100 mA, é mostrado na **figura 4.87**.

CIRCUITO 9

Uma fonte chaveada com saída de 5 V e corrente de 2 A é ilustrada na **figura 4.88**.

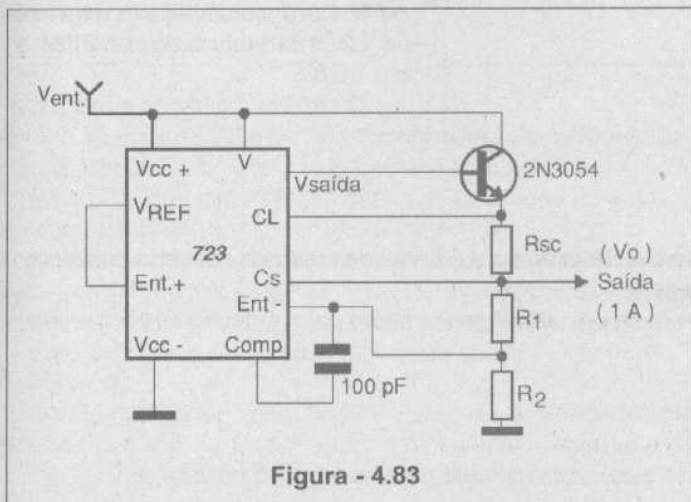
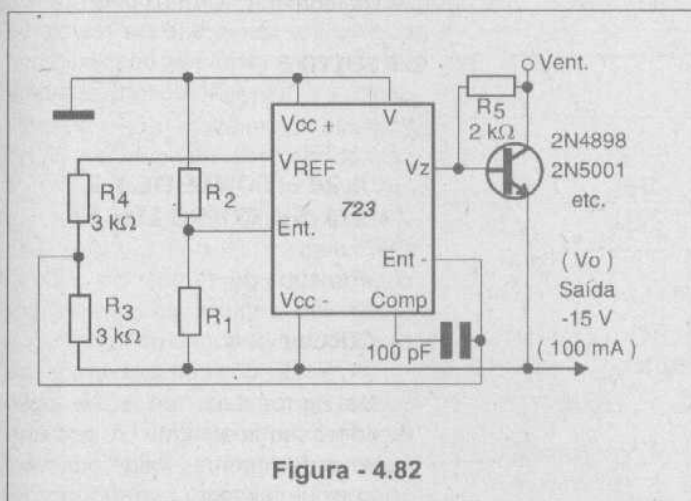
Para 2 A de saída, a regulagem de carga é de 80 mV. Os transistores admitem equivalentes.

A **tabela da figura 4.79** também fornece dados para se obter outras tensões em função dos resistores usados.

CIRCUITO 10

O aplicativo mostrado na **figura 4.89** pode ser cortado a partir de controle lógico remoto. O shutdown pode vir de uma saída TTL.

A corrente de saída é de 100 mA para uma tensão de 5 V. Outras tensões podem ser obtidas, consultando-se para isso os valores de componentes na **tabela 1**.



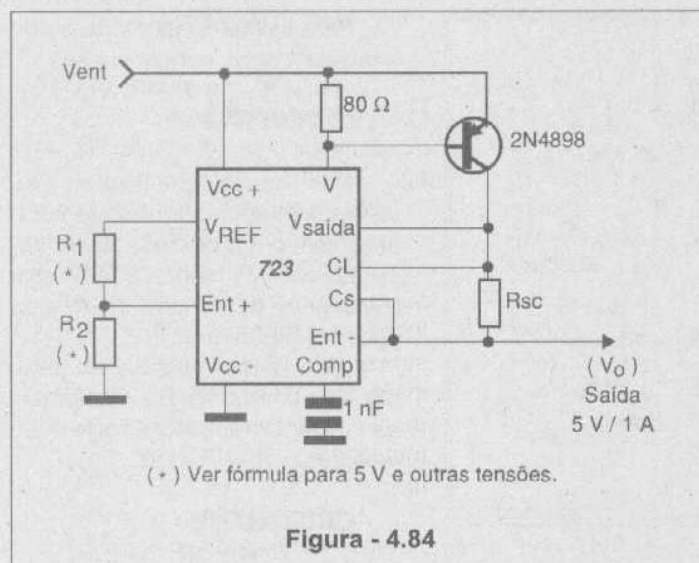


Figura - 4.84

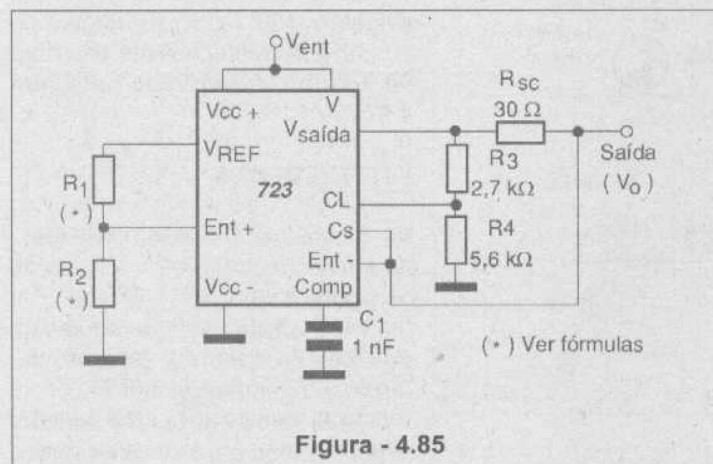


Figura - 4.85

CIRCUITO 11

O regulador tipo *shunt* apresentado na **figura 4.90** pode fornecer uma corrente de 100 mA.

Outras tensões podem ser obtidas com a troca de valores de componentes segundo a **tabela 1**.

CONCLUSÃO

Com a utilização de transistores de correntes e ganhos apropriados é possível obter correntes muito maiores de saída para qualquer dos circuitos apresentados.

Da mesma forma, pela tabela pode-se ver quais são os resistores que são mais variáveis, possibilitando assim a elaboração de fontes ajustáveis.

4.24 - FONTE DE 1,2-24 V/1,5 A COM O LM317

Projetos de fontes de alimentação são sempre procurados por montadores de todos os tipos.

A fonte que descrevemos se baseia no regulador de tensão positiva de 3 terminais LM317, de baixo custo e facilmente obtido no mercado especializado, podendo fornecer tensões ajustáveis em uma faixa de 1,2 a 24 volts com correntes de até 1,5 A.

O circuito é simples e tem exce-

lente desempenho, sendo recomendado para fontes de bancada.

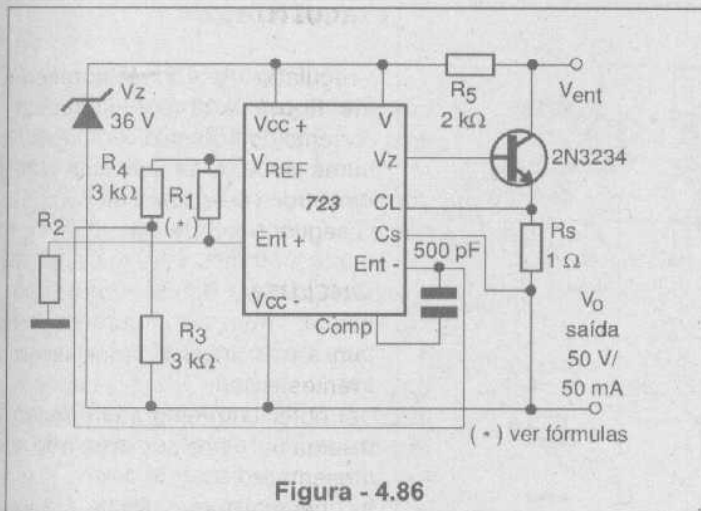
O PROJETO

Descrevemos uma excelente fonte de alimentação para a bancada que utiliza poucos componentes e tem excelente estabilidade e regulação.

Com base no circuito integrado LM317, ela se caracteriza também pela proteção térmica e contra curtos.

Características:

- Tensão de saída: 1,25 a 24 V - ajuste contínuo
- Corrente máxima de saída: 1,5 A
- Proteções: térmica e contra curto



COMO FUNCIONA

O circuito integrado LM317 pode ser encontrado tanto em invólucro metálico como em plástico do tipo TO-220.

Os circuitos integrados com sufixo T são os que vêm em invólucro plástico e os de sufixo K são os que usam invólucro metálico. Existe também uma versão de sufixo H que é apresentada em invólucro metálico de menor dissipação e que deve ser usada em fontes para correntes de até 500 mA.

No nosso caso especificamente, indicamos a versão de invólucro plástico para a qual a placa de circuito impresso foi projetada.

Este regulador de tensão se caracteriza por poder ser usado em fontes de até 37 V de saída, e possui limitação de corrente interna em caso de curto-circuito.

Existe um diodo zener interno de 1,2 V que fornece a referência de tensão ao circuito.

Ligando um circuito divisor de tensão externo formado pelo resistor R_2 e por P_1 (no nosso projeto), podemos alterar a referência no circuito de saída e assim alterar a tensão fornecida pela fonte.

Com o terminal de referência

aterrado vale a tensão mínima de saída que é de 1,2 volts, e com o terminal sendo levado a tensões maiores pelo divisor, obtemos a tensão de saída subindo na faixa desejada.

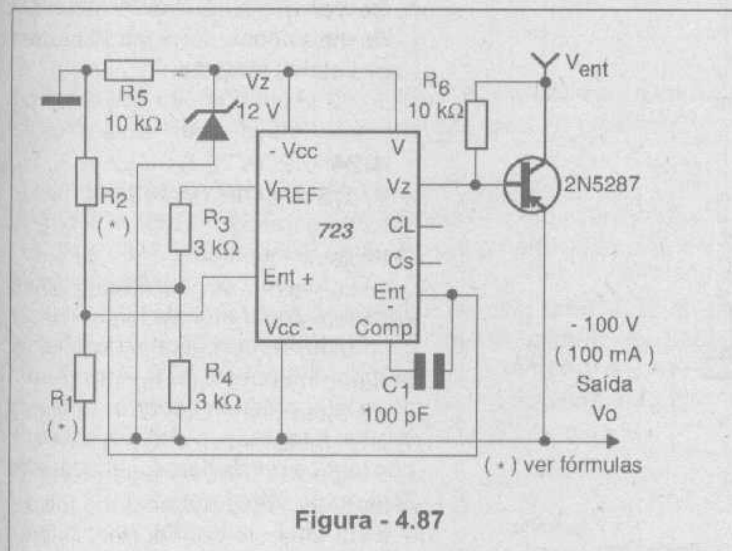
Na nossa fonte a tensão da rede é abaixada até 25 V por meio de um transformador, sendo então feita sua retificação por D_1 e D_2 e filtragem por C_1 .

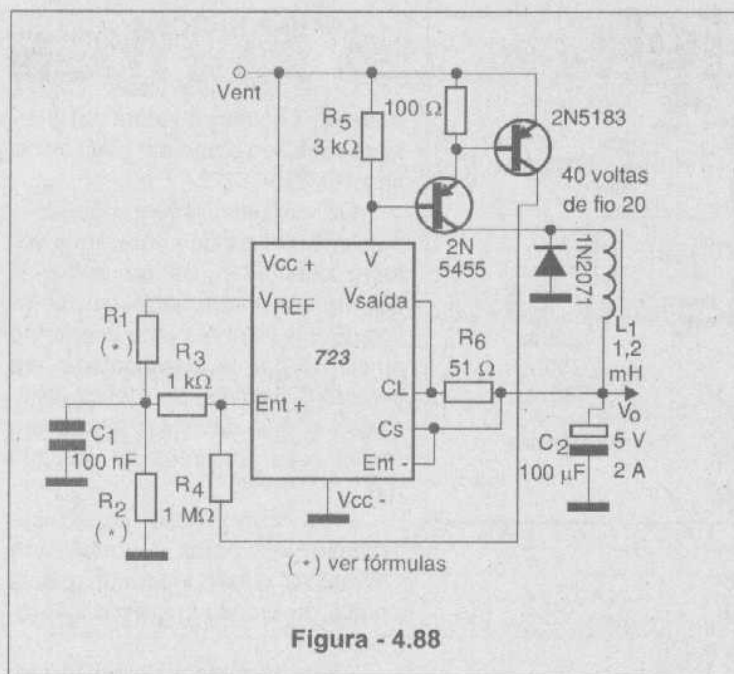
A tensão obtida é aplicada à entrada do circuito integrado regulador e entregue na saída, onde existe um voltímetro. Pode ser usado um voltímetro comum de bobina móvel de baixo custo ou mesmo um módulo digital, caso o leitor deseje uma montagem mais sofisticada.

Para instalar o voltímetro de bobina móvel, veja outras fontes que o utilizam descritas neste mesmo livro.

O voltímetro é opcional, pois é possível monitorar a tensão de saída utilizando um multímetro comum.

O LED indicador de funcionamento também é opcional.





MONTAGEM

Na **figura 4.91** temos o diagrama completo desta fonte.

A disposição dos componentes numa placa de circuito impresso é mostrada na **figura 4.92**.

Observe que as trilhas de maior corrente são mais largas. Costuma-se deixar aproximadamente 1 mm de largura de trilha para cada ampère de corrente a ser conduzida.

O circuito integrado regulador de tensão deve ser instalado em um bom radiador de calor.

Os resistores são de 1/8 W e os capacitores eletrolíticos devem ter as tensões mínimas indicadas na lista de material.

O potenciômetro de ajuste de tensão deve ficar instalado no painel.

Este componente pode incluir a chave geral S_1 que liga e desliga a fonte de alimentação.

O fusível é importante para garantir a segurança da fonte, apesar de haver proteção contra curtos no próprio integrado. Ele entrará em ação se o problema ocorrer antes do circuito integrado, como por exemplo nos diodos retificadores, capacitor de filtro ou no transformador.

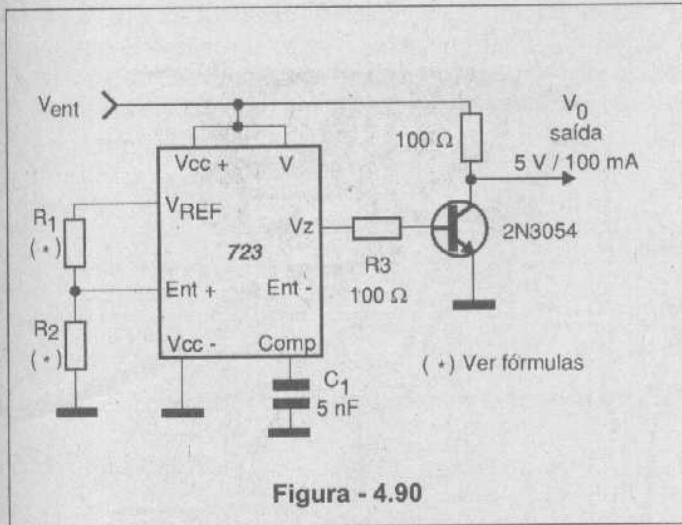
O LED indicador de funcionamento ficará no painel e para a conexão da fonte aos circuitos alimentados podem ser colocados bornes isolados comuns. Estes bornes devem ser nas cores vermelha e preta para identificação da polaridade de saída.

Um cabo com garras jacaré e

plugues que se encaixem na saída da fonte é um recurso interessante para alimentar circuitos em teste ou em reparação.

O voltímetro, para a versão analógica, pode ser do tipo ferro-móvel ou ainda um miliamperímetro em série com um resistor de 10 kΩ e um *trimpot* de 100 kΩ, conforme já vimos em outras fontes deste livro.

No *trimpot* será ajustada a escala com base nas indicações de um multímetro comum.



PROVA E USO

Para provar a fonte, é só ligá-la na rede de energia e verificar se a tensão na saída pode ser ajustada na faixa desejada.

Eventualmente o valor máximo pode diferir dos 24 volts indicados, dependendo do transformador usado e da tolerância de certos componentes como R_2 e o próprio potenciômetro de ajuste.

Comprovado o funcionamento, é só usar a fonte de alimentação. Ao operá-la, observe sempre a polaridade dos fios na hora de alimentar o equipamento.

Nunca altere a tensão da fonte com o equipamento alimentado ligado.

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - LM317-T - circuito integrado regulador de tensão

D₁, D₂ - 1N5404 - diodos retificadores de silício

LED - LED vermelho comum

Resistores: (1/8 W, 5%)

R_1 - 3,3 k Ω - laranja, laranja, vermelho

R_2 - 220 Ω - vermelho, vermelho, marrom

P₁ - 4,7 k Ω - potenciômetro

Capacitores:

C₁ - 2 200 μ F/40 V - eletrolítico

C₂ - 10 μ F/35 V - eletrolítico

Diversos:

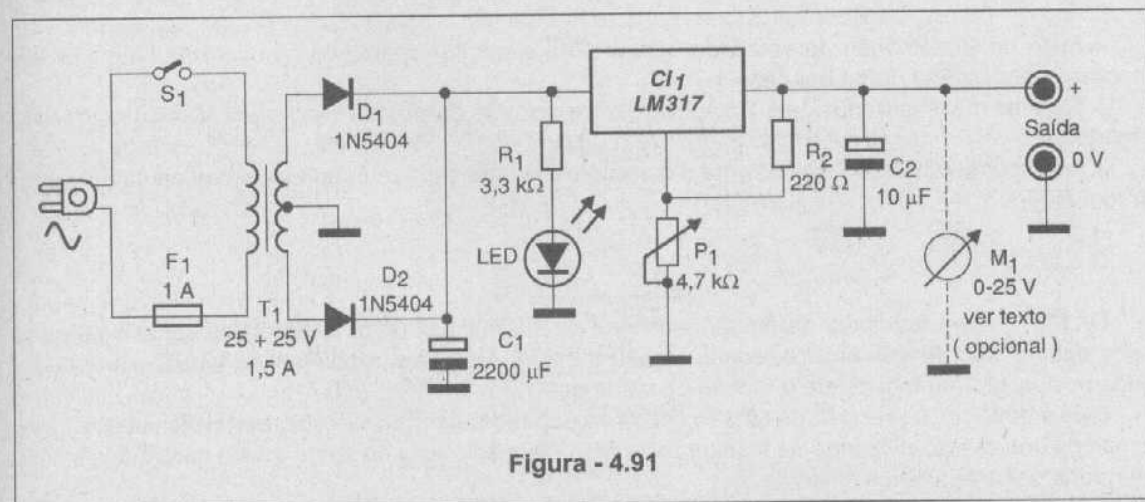
T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 25+25V x 1,5 A

S₁ - Interruptor simples (pode ser conjugado com P₁)

F₁ - 1 A - fusível

M₁ - Voltímetro de 0-25 V ou 0-30 V - ver texto

Placa de circuito impresso, caixa para montagem, cabo de força, bornes de saída, botão para o potenciômetro, radiador de calor para o circuito integrado, fios, solda, etc.



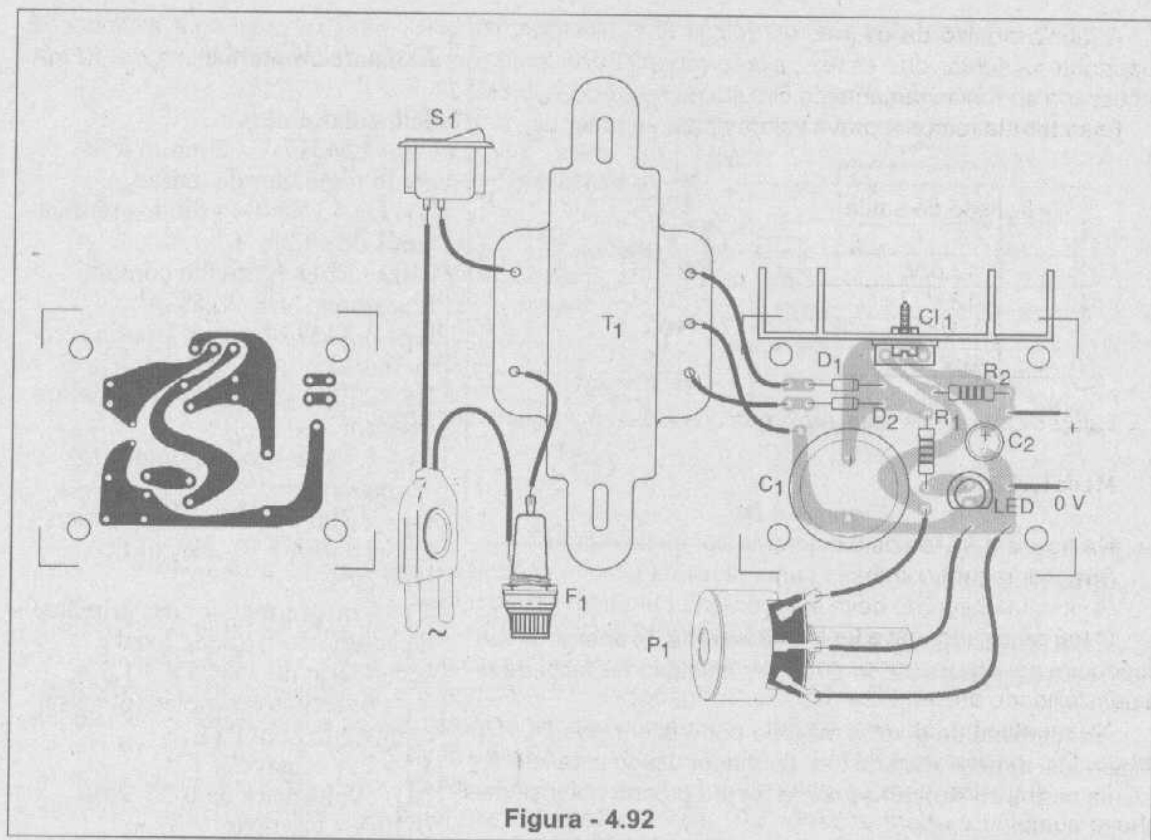


Figura - 4.92

Se ao conectar um aparelho na fonte, a tensão cair, é porque seu consumo é superior a 1,5 A e, portanto, ele não deve ser alimentado por ela.

Se o circuito integrado aquecer-se demais, o dissipador usado deverá ter suas dimensões aumentadas.

4.25 - FONTE FIXA DE 12/13,2 V COM O LM317 (1,5 A)

A fonte de alimentação apresentada é ideal para alimentar aparelhos de uso automotivo ou alimentados por bateria numa bancada.

A corrente máxima fornecida é 1,5 A, que é a capacidade do circuito integrado LM317 usado neste projeto.

A fonte possui limitação de corrente e corte térmico, que são recursos existentes no circuito integrado usado.

O CIRCUITO

O LM317 é um regulador de tensão ajustável de 3 terminais, onde a tensão de saída é determinada pela tensão de referência aplicada ao seu terminal *Adj.* Com um divisor de tensão apropriado, podemos programar facilmente a tensão de saída dessa fonte.

Evidentemente, a precisão da tensão obtida irá depender da precisão dos resistores usados. Para a maioria dos casos, utilizando-se resistores de 5%, a tensão obtida na saída estará dentro dos limites tolerados pelos aparelhos alimentados.

A tabela abaixo dá os valores típicos dos resistores R_1 e R_2 para se programar a tensão. É importante observar que esses valores garantem a circulação de uma corrente mínima de 10 mA, necessária ao funcionamento do circuito de referência do LM317.

Essa **tabela** também prevê valores para se obter tensões fixas menores:

Tensão de saída	R_1	R_2
13,6 V	100 Ω	1 k Ω
12 V	100 Ω	860 Ω
9 V	100 Ω	620 Ω
6 V	100 Ω	390 Ω

Valores comerciais mais próximos dos indicados podem ser usados.

MONTAGEM

Na **figura 4.93** temos o diagrama completo da fonte.

Sua montagem com base numa placa de circuito impresso é exibida na **figura 4.94**.

O circuito integrado deve ser montado num bom radiador de calor.

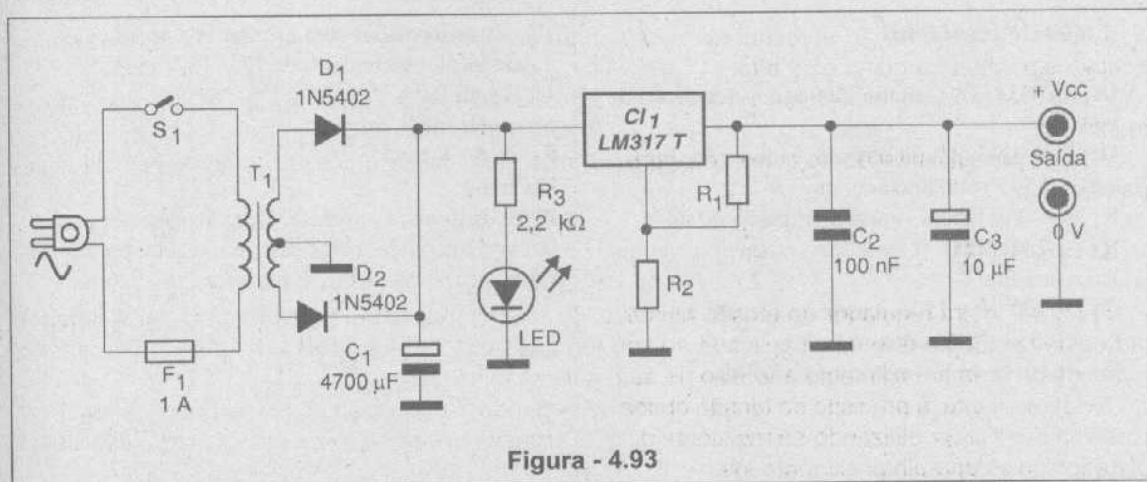
O transformador deve ter secundário de 12 + 12 V ou 15 + 15 V com uma corrente de 1,5 A. Se for usado um transformador de corrente menor, ela determinará a saída máxima da fonte. Também existe a possibilidade de se utilizar um transformador até 3 A e substituir o circuito integrado pelo LM350T.

Na montagem, observe as polaridades dos capacitores eletrolíticos e a posição do circuito integrado. O capacitor de 4 700 μ F pode ter tensões de trabalho entre 25 e 40 V.

Uma sugestão para se obter uma fonte com tensões selecionáveis consiste em se usar uma chave comutadora para escolher os resistores das diversas tensões. Para os que desejarem uma fonte variável, sugerimos consultar os outros projetos deste mesmo livro.

PROVA E USO

Terminada a montagem, ligue a fonte e meça a tensão de saída. Se houver uma diferença muito grande entre o valor medido e o valor esperado, verifique os resistores R_1 e R_2 , fazendo eventualmente sua troca.



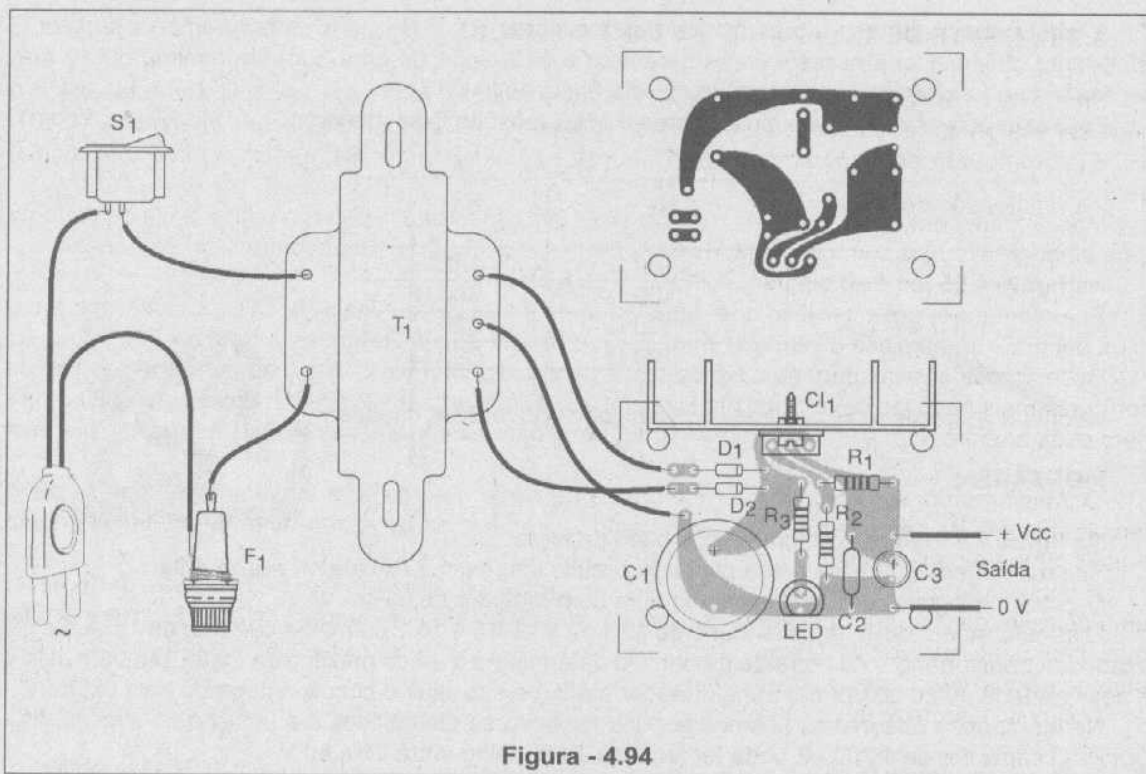


Figura - 4.94

Ao usar, observe sempre a polaridade do circuito alimentado e respeite os limites de corrente da fonte.

Se a tensão cair demais ao se ligar uma carga, é sinal de que seu consumo é maior do que 1,5 A e essa fonte não o suporta.

Lista de Material

CI₁ - LM317T - Circuito Integrado - regulador de tensão

D₁, D₂ - 1N5402 - diodos retificadores de silício

LED - LED vermelho comum

R₁, R₂ - Ver tabela - conforme tensão de saída

R₃ - 2,2 kΩ x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho

C₁ - 4 700 μF x 25 V - capacitor eletrolítico

C₂ - 100 nF - capacitor cerâmico

C₃ - 10 μF x 16 V - capacitor eletrolítico

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 12 + 12 V ou 15 + 15 V com 1,5 A

S₁ - Interruptor simples

F₁ - 1 A - fusível

Diversos:

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o circuito integrado, caixa para montagem, bornes de saída, fios, cabo de força, solda, etc.

4.26 - FONTE DE 1,2 - 24 V X 3 A COM O LM350T

Uma excelente fonte variável para a bancada com capacidade para fornecer correntes até 3 A pode ser elaborada facilmente, com poucos componentes, utilizando-se o circuito integrado LM350T.

Essa fonte tem proteção contra curto-circuitos na saída, *shutdown* térmico e excelente regulação.

Mais adiante, em outros projetos deste mesmo livro, mostraremos como usar a base desta fonte para elaborar circuitos com capacidades de corrente ainda maiores, usando transistores *booster*.

Na figura 4.95 temos o diagrama completo da fonte.

Sua montagem pode ser feita com base em uma ponte de terminais (já que o circuito não é crítico), ou ainda numa placa de circuito impresso com o padrão apresentado na **figura 4.96**.

Observamos apenas que, no caso da placa de circuito impresso, as trilhas por onde passam as correntes mais intensas devem ser mantidas largas. É costume deixar pelo menos 1 mm de largura para cada ampère, o que implica em trilhas de 3 mm para as correntes principais fornecidas por esta fonte.

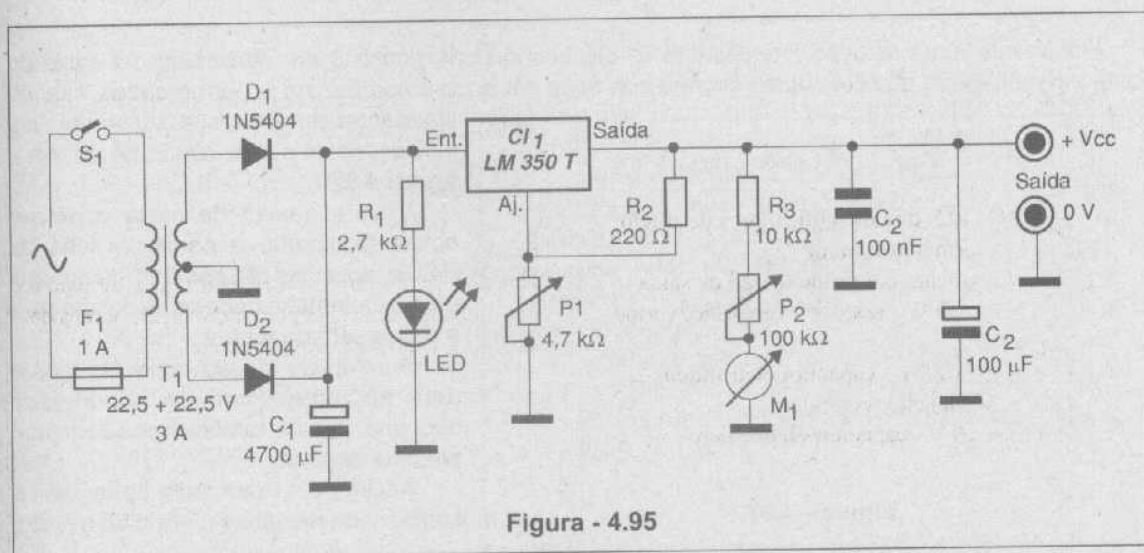
O transformador é o componente que basicamente irá determinar a tensão máxima de saída. A tensão máxima de saída será aproximadamente 2 V abaixo da tensão de entrada do circuito. Essa tensão também dependerá do valor de P_1 que pode ser de 2,2 k Ω a 4,7 k Ω .

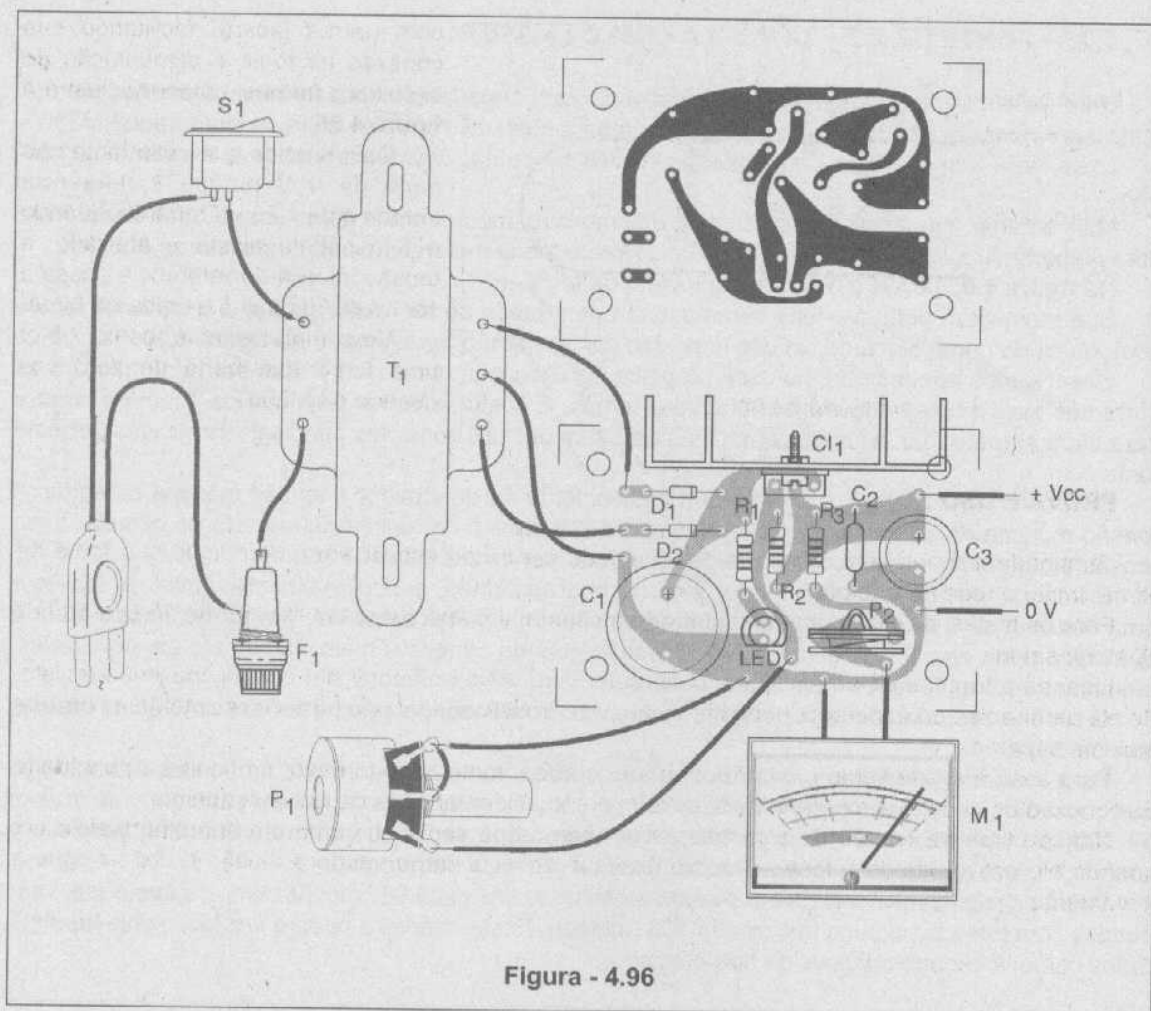
É importante que o transformador seja de boa qualidade, sendo realmente capaz de fornecer uma corrente de 3 A, principalmente com as tensões mais altas de saída. Um transformador de má qualidade pode apresentar uma queda de tensão quando correntes mais intensas forem solicitadas, afetando assim as tensões mais altas de saída.

O circuito integrado deve ser montado em um bom radiador de calor, e se for possível até mesmo fora da caixa.

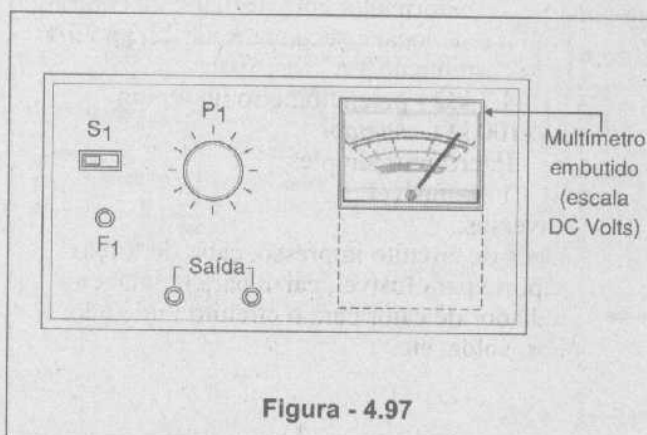
Para indicar a tensão de saída, há diversas opções como, por exemplo, um indicador analógico que consiste num microamperímetro de 0-200 μA com um resistor de 10 $\text{k}\Omega$ em série com um *trimpot* de 100 $\text{k}\Omega$. Um miliamperímetro de 0-1 mA também pode ser usado com a mesma finalidade e a calibração será obtida com base nas indicações de um multímetro comum.

Outra possibilidade consiste em se usar um módulo digital de 3 1/2 dígitos como os que podem ser obtidos com base no circuito integrado 7106 (Intersil). Esses módulos podem ser facilmente configurados como voltímetros digitais de boa precisão.





Finalmente, uma solução interessante (e até econômica), consiste em se embutir na caixa da fonte um multímetro de baixo custo, do tipo que pode ser encontrado até em supermercados, fixando sua escala em DC Volts e usando suas indicações de saída, conforme mostra a figura 4.97.



Uma sugestão de caixa pode ser obtida facilmente a partir da linha da Patola (www.patola.com.br), que possui uma excelente variedade de caixas para a montagem de fontes.

A saída de tensão pode ser feita a partir de bornes (vermelho e preto), do tipo que possui também encaixe para plugues banana.

Assim, o leitor ainda pode contar com um par de cabos (vermelho e preto)

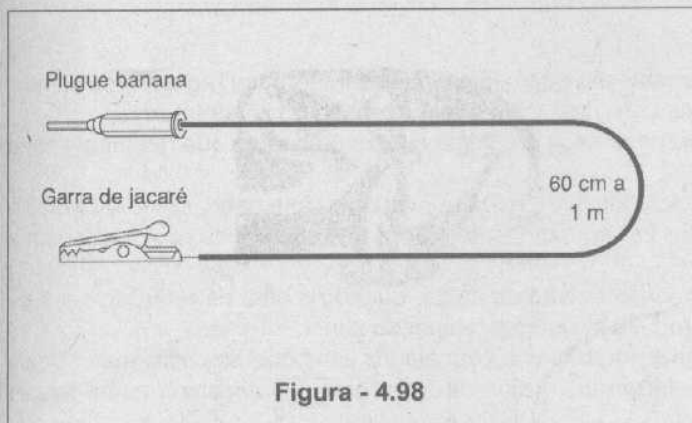


Figura - 4.98

com garras jacaré, facilitando sua conexão na fonte e alimentação de circuitos externos, conforme ilustra a **figura 4.98**.

Observamos que essa fonte não parte de 0 V porque a referência interna é de 1,25 V. Portanto, quando o terminal de ajuste é aterrado, a tensão interna de referência passa a ser 1,25 V e essa é a saída da fonte.

Veja mais adiante como obter uma fonte que parta de zero volt usando o LM350T.

PROVA E USO

Terminada a montagem, confira-a com cuidado e se tudo estiver em ordem ligue sua fonte de alimentação à rede de energia.

Para os testes iniciais ligue um multímetro na saída, e como carga um resistor de $15\ \Omega$ a $50\ \Omega \times 10\text{ W}$ na saída.

Ligando a fonte, a tensão indicada pelo multímetro deve aumentar até o valor máximo previsto. Se ela parar antes do esperado, pode ser sinal que o transformador não fornece realmente a corrente máxima esperada.

Para usar, respeite sempre a corrente máxima que a fonte pode fornecer e observe a polaridade da conexão do circuito alimentado pois, uma inversão acidental pode causar sua queima.

Nunca mude de tensão de alimentação de uma carga sensível, como um aparelho eletrônico, quando ele estiver ligado à fonte. Sempre desligue antes a carga, mude a tensão e depois ligue-a novamente.

Lista de Material

CI₁ - LM350T - circuito integrado, regulador de tensão

D₁, D₂ - 1N5404- diodos retificadores de silício

LED1 - LED vermelho comum

C₁ - 4.700 μF ou 10.000 $\mu\text{F} \times 40\text{ V}$ - capacitor eletrolítico

C₂ - 100 nF - capacitor cerâmico

C₃ - 100 $\mu\text{F} \times 36\text{ V}$ - capacitor eletrolítico

R₁ - 2,7 k $\Omega \times 1/8\text{ W}$ - resistor - vermelho, violeta, vermelho

R₂ - 220 $\Omega \times 1/2\text{ W}$ - resistor - vermelho, vermelho, marrom

R₃ - 10 k $\Omega \times 1/8\text{ W}$ - resistor - marrom,

preto, laranja

M₁ - 100 μA - indicador de bobina móvel

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 22,5 a 25 V com corrente de 3 A - ver texto

P₁ - 4,7 k Ω - potenciômetro lin ou log

P₂ - 100 k Ω - *trimpot*

S₁ - Interruptor simples

F₁ - 1 A - fusível

Diversos:

Placa de circuito impresso, cabo de força, suporte para fusível, caixa para montagem, radiador de calor para o circuito integrado, fios, solda, etc.

4.27 - FONTE 0-12 V X 3 A

Um dos problemas das fontes de alimentação que usam circuitos integrados reguladores como o LM350, é que elas não partem de 0 V, mas sim de 1,25 V que é a tensão do zener interno.

Veja neste artigo, como podemos contornar esse problema e fazer uma fonte que realmente parta de zero volt.

Conforme mostra a **figura 4.99**, os circuitos integrados reguladores de tensão, como o LM350 e outros da mesma família, possuem diodos zener internos de 1,25 V que servem de referência para a regulação.

O resultado é que na condição de mínima tensão de saída, quando o pino de referência é aterrado, não obtemos 0 V de saída, mas sim 1,25 V, que é a tensão do zener.

Existe uma forma simples de superar esse problema com alguns componentes adicionais. O que fazemos é, em lugar de simplesmente aterrarmos o pino de referência, o colocamos numa tensão negativa de 1,25 V.

Assim, de acordo com a **figura 4.100**, em lugar de termos uma tensão de saída variando entre 1,25 V e 12 V ou pouco mais, teremos uma tensão de saída variando entre $1,25 - 1,25 \text{ V} = 0 \text{ V}$ e $12 - 1,25 = 10,75 \text{ V}$.

Basta, então, alterar um pouco o valor dos componentes do divisor resistivo de referência para que os 10,75 V sejam aumentados e passemos a ter uma tensão de saída na faixa de 0 a 12 V ou mesmo mais.

É justamente isso que faremos em nosso projeto de fonte que, usando o circuito integrado LM350T, pode fornecer uma corrente máxima de saída de 3 A.

COMO FUNCIONA

O transformador com tomada central é comum, fornecendo uma tensão de 16 V com uma corrente máxima de 3 A, que é o que precisamos para a saída.

No entanto, usamos dois circuitos retificadores. Um deles, de onda completa, fornece a tensão principal, que servirá para alimentar a carga. O outro, mais simples, com apenas um diodo, fornece uma tensão negativa que servirá de referência para o circuito integrado.

Assim, usamos um amplificador operacional do tipo TL091 ou equivalente, para gerar uma tensão negativa de 1,25 V, dada pelos resistores de uma rede de realimentação negativa. Na saída deste operacional é que será ligado o circuito variável de referência para o regulador de tensão.

Evidentemente, a precisão do zero volt obtido dependerá dos resistores do divisor, podendo ser necessário que o

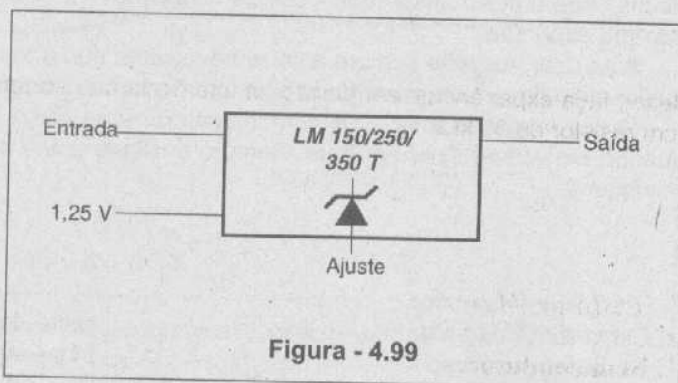


Figura - 4.99

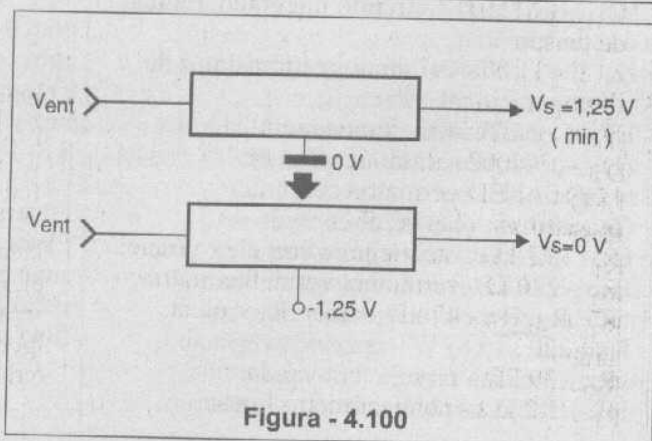


Figura - 4.100

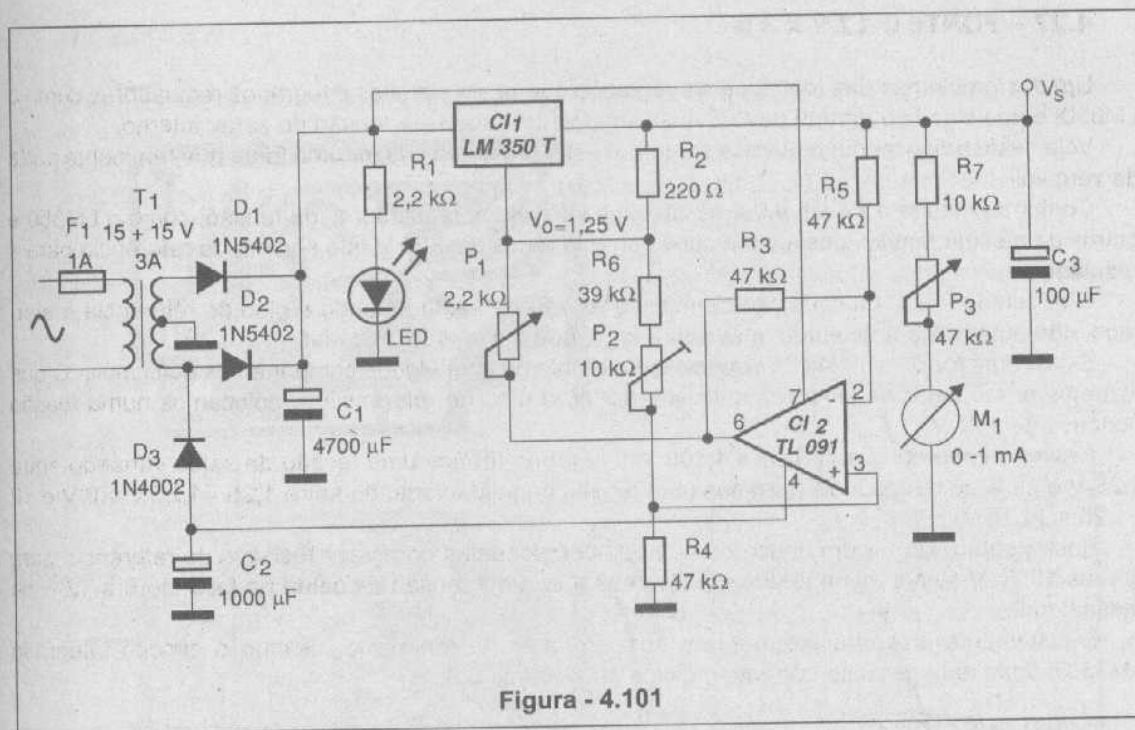


Figura - 4.101

leitor, faça experiências em função da tolerância ou use para R_3 um *trimpot* de 10 kΩ em série com um resistor de 39 kΩ.

Lista de Material

Semicondutores:

CI1 - LM350T - circuito integrado regulador de tensão

CI-2 - TL091 - circuito integrado amplificador operacional

D1, D2 - 1N5402 - diodos retificadores

D3 - 1N4002 - diodo retificador

LED1 - LED vermelho comum

Resistores: (1/8 W, 5%)

R1 - 2,2 kΩ - vermelho, vermelho, vermelho

R2 - 220 Ω - vermelho, vermelho, marrom

R3, R4, R5 - 47 kΩ - amarelo, violeta, laranja

R6 - 39 kΩ - laranja, branco, laranja

P1 - 2,2 kΩ - potenciômetro linear

P2 - 10 kΩ - *trimpot*

P3 - 47 kΩ - *trimpot*

Capacitores:

C1 - 4 700 µF x 25 V - eletrolítico

C2 - 1 000 µF x 25 V - eletrolítico

C3 - 100 µF x 16 V - eletrolítico

Diversos:

F1 - 1 A - Fusível

T1 - Transformador com primário conforme a rede local e secundário de 15 + 15 V x 3 A

Placa de circuito impresso, suporte de fusível, radiador de calor para CI1, cabo de força, bornes de saída, caixa para montagem, botão para o potenciômetro, fios, solda, etc.

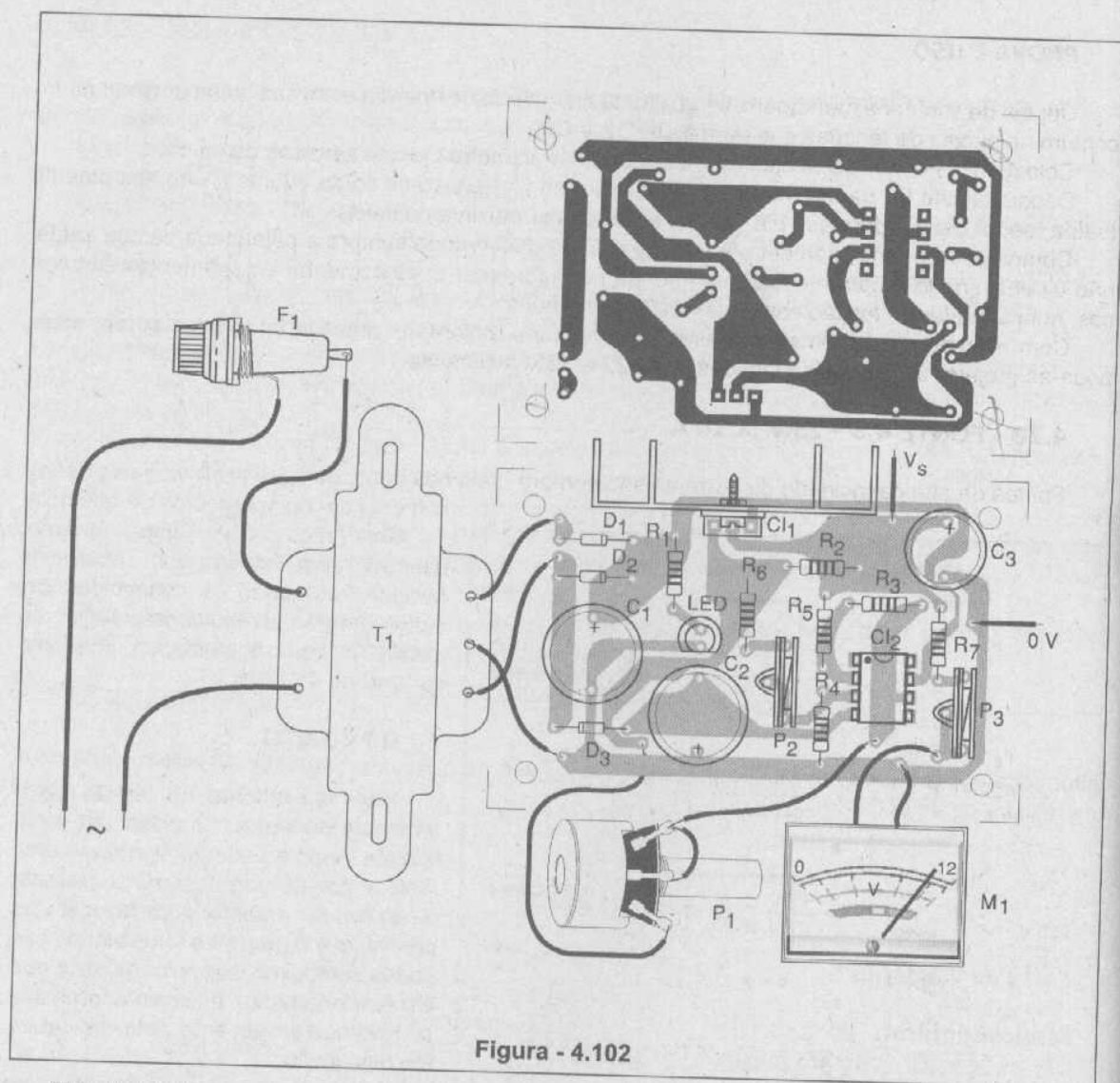


Figura - 4.102

MONTAGEM

Na **figura 4.101** temos o diagrama completo da fonte de alimentação.

Uma placa de circuito impresso para a montagem é sugerida na **figura 4.102**.

O circuito integrado regulador de tensão LM350T deve ser montado em um bom radiador de calor.

Observe que as trilhas de entrada e saída da corrente principal do circuito devem ter pelo menos 3 mm de largura (1 mm para cada ampère).

Os capacitores eletrolíticos da filtragem devem ter tensões de trabalho de pelo menos 25 V.

O potenciômetro de ajuste é comum, linear, e para maior controle da tensão de saída pode ser agregado ao circuito um voltímetro. Uma idéia consiste em se usar um miliamperímetro de 0-1 mA em série com um *trimpot* de 47 kΩ e um resistor de 10 kΩ para se fazer um voltímetro. Sua calibração pode ser feita com base nas indicações de um multímetro comum.

PROVA E USO

Depois de conferir a montagem, ligue a fonte na tomada de energia e em sua saída um multímetro comum na escala de tensões que permita ler 12 V DC.

Coloque P_1 no mínimo, e ajuste P_2 para que o multímetro indique zero volt de saída.

Depois, ajuste P_1 para o máximo e verifique qual é a tensão de saída. Ajuste P_3 do instrumento (saída) se for usado, para que ele indique essa tensão máxima de saída.

Comprovado o funcionamento, é só usar a fonte observando sempre a polaridade de sua saída, não ultrapassando a corrente máxima que ela pode fornecer e, se alimentar equipamentos eletrônicos, nunca mudar de tensão com eles em funcionamento.

Com o emprego de transformadores para tensões maiores e circuitos integrados apropriados, pode-se projetar fontes de 0 a tensões entre 22 e 30 V facilmente.

4.28 - FONTE 4,5 - 25 V X 10 A

Fontes de alta capacidade de corrente são sempre úteis nas bancadas dos profissionais que trabalham com equipamentos de potência.

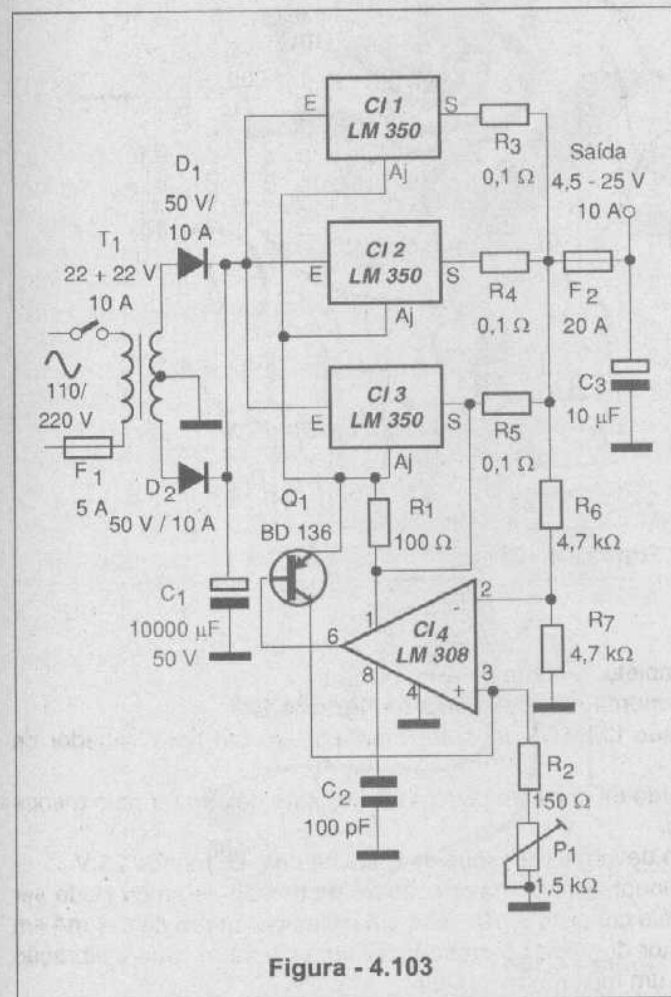
Mostramos com este projeto, baseado em *Application Note da National*, utilizando os conhecidos circuitos integrados reguladores de tensão LM350T(*) como implementar uma fonte variável de 4,5 a 25 V.

O PROJETO

Sim, reguladores de tensão de 3 terminais podem ser ligados em paralelo, de modo a poder implementar uma fonte capaz de fornecer maior corrente de saída. No entanto, para fazer isso é preciso que o projetista tome alguns cuidados como, por exemplo, garantir que em funcionamento, a corrente fornecida se distribua igualmente entre os circuitos reguladores.

A solução apresentada pela *National Semiconductor*, com base no LM350, mostra como isso pode ser feito e a partir dela elaboramos o circuito completo da fonte que apresentamos neste artigo, cuja corrente pode chegar perto dos 10 A e a tensão máxima de saída aos 25 V.

Algumas alterações, com o uso de outros CIs e também de um transformador com tensão maior, podem resultar em fontes com tensões máximas de saída ainda mais altas.



Na **figura 4.103** temos o diagrama completo dessa fonte que usa 3 CIs LM350T ligados em paralelo, os quais devem ser instalados em excelentes radiadores de calor.

Para garantir uma distribuição de corrente por igual entre os CIs foram ligados em suas saídas resistores de fio de $0,1 \Omega \times 5 \text{ W}$. Esses resistores, em caso de dificuldade de obtenção, podem ser "fabricados" ligando-se em paralelo 5 resistores de $0,47 \Omega \times 1 \text{ W}$.

Em lugar do tradicional potenciômetro de ajuste ligado ao terminal de ajuste dos circuitos integrados, como temos que controlar uma corrente maior optamos pelo uso de um transistor de média potência (BD136), controlado por um amplificador operacional.

Esse amplificador operacional, a partir da referência dada por um potenciômetro comum de $1,5 \text{ k}\Omega$, fornece a tensão de referência para os reguladores e assim determina a tensão de saída.

Na **figura 4.104** temos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem dessa fonte.

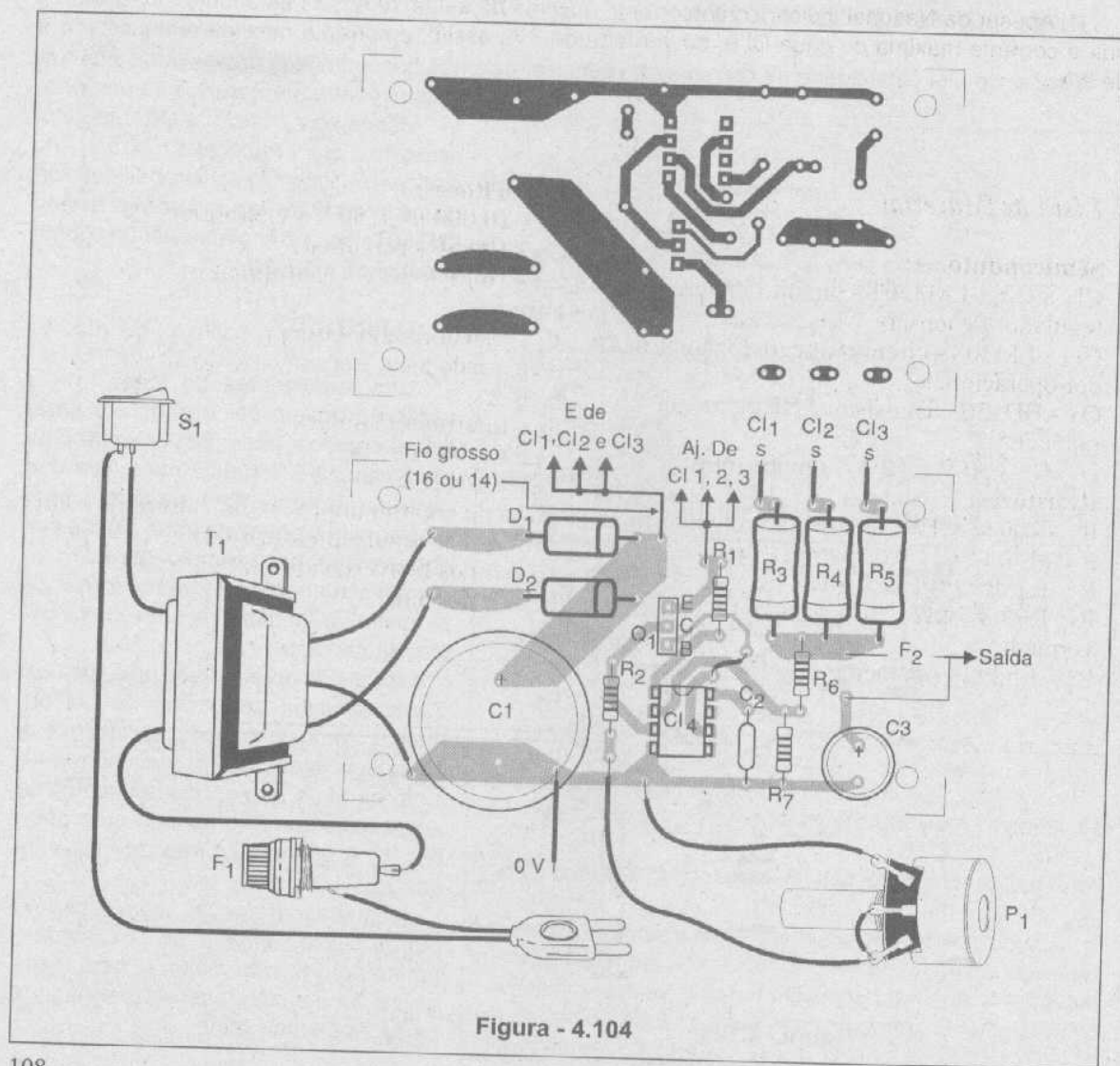


Figura - 4.104

Como correntes intensas devem ser conduzidas, essas devem ficar restritas a fios externos. Apenas os diodos e o capacitor de filtro são montados na placa, assim como o setor de baixa corrente formado pelo circuito integrado.

A filtragem é feita por um grande capacitor de 10 000 μF que, dependendo de suas dimensões reais, poderá ser instalado fora da placa.

O circuito possui duas proteções que consistem em fusíveis na entrada da alimentação e na saída para a carga.

Um LED indicador pode ser ligado após a retificação em série com um resistor de $5,6 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ W}$.

Opcionalmente, também pode ser ligado em paralelo com a saída um voltímetro analógico com fundo de escala de 30 V. Tipos digitais em módulos (como o ICL7107 de 3 $\frac{1}{2}$ dígitos) também podem ser utilizados como indicadores para esta fonte.

Ao usar, nunca altere a tensão com a carga ligada, pois causará danos.

(*) Apesar da National indicar como corrente máxima de saída 10 A para esta fonte, observamos que a corrente máxima de cada CI é, na verdade de 3 A, assim, a corrente máxima real indicada é de 9 A.

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ a CI₃ - LM350T - circuito integrado regulador de tensão

CI₄ - LM308 - circuito integrado, amplificador operacional

Q₁ - BD136 - Transistor PNP de média potência

D₁, D₂ - 50 V x 10 A - diodos retificadores

Resistores:

R₁ - 100 Ω x 1 W - marrom, preto, marrom

R₂ - 150 Ω x $\frac{1}{2}$ W - marrom, verde, marrom

R₃, R₄, R₅ - 0,1 Ω x 5 W - fio

R₆, R₇ - 4,7 k Ω x $\frac{1}{2}$ W - amarelo, violeta, vermelho

P₁ - 1,5 k Ω - potenciômetro linear

Capacitores:

C₁ - 10 000 μF x 50 V - eletrolítico

C₂ - 100 pF - cerâmico

C₃ - 10 μF x 36 V - eletrolítico

Diversos:

T₁ - transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 22 + 22 V x 10 A

S₁ - Interruptor simples

F₁ - Fusível de 5 A

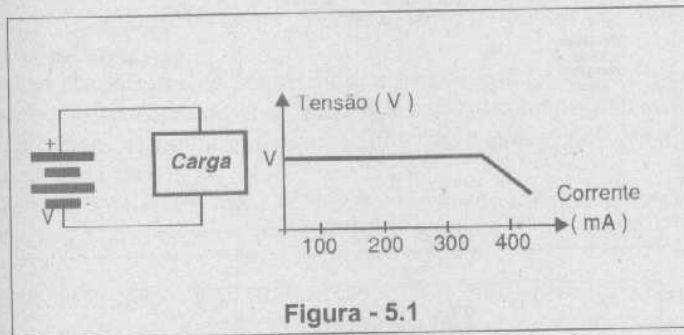
F₂ - Fusível de 20 A

Placa de circuito impresso, radiadores de calor para os CIs reguladores, cabo de força, suportes para os fusíveis, caixa para montagem, bornes de saída.

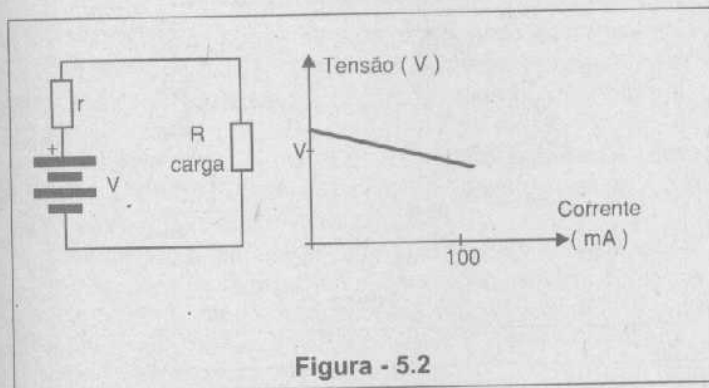
Fontes de Corrente Constante

As fontes que vimos até agora são fontes de tensão. Essas fontes têm por finalidade manter constante a tensão entre os terminais de uma carga, dentro de uma faixa de corrente drenada pela mesma.

A **figura 5.1** ilustra o que acontece.

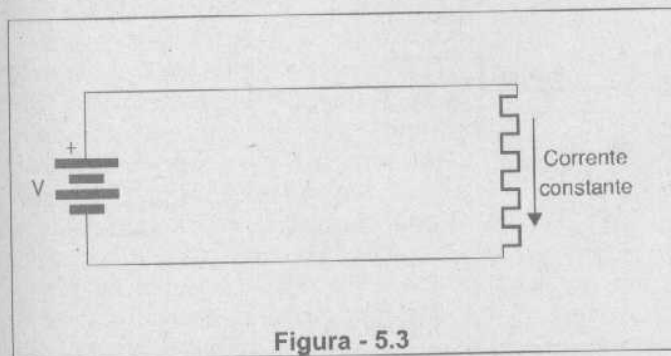


Na prática, uma fonte de tensão não é perfeita, justamente devido ao fato de que ela possui uma resistência interna. Conforme mostra a **figura 5.2**, essa resistência divide a tensão da fonte com a carga, de modo que à medida que a corrente drenada aumenta, a tensão na carga cai levemente.



As fontes estabilizadas eletronicamente, graças à ação dos circuitos estabilizadores, conseguem manter a tensão dentro de uma boa faixa de correntes, o que não acontece com uma fonte comum. Para que isso ocorra, a fonte comum deve ter a menor resistência interna possível, minimizando assim os efeitos das variações da corrente de carga.

Todavia, em algumas aplicações é muito mais importante manter a corrente constante numa carga, e não a tensão aplicada. Um exemplo disso é um elemento de aquecimento, observe a **figura 5.3**, que deve manter sua temperatura (função da corrente), mesmo quando a tensão de entrada varia.



Um outro caso é o de um LED, que precisa manter seu brilho, independentemente das variações da tensão de entrada, veja exemplo na **figura 5.4**.

Da mesma forma que as fontes de tensão, as fontes de corrente (constante) podem ter as mais diversas configurações.

5.1 – CONFIGURAÇÕES

O modo mais simples de se obter uma corrente constante para uma carga consiste em utilizar uma tensão de alimentação bem mais alta do que ela precisa e ligar em série um resistor de valor elevado, conforme ilustra a **figura 5.5**.

Nessas condições, considerando-se a variação da resistência da carga entre 0 e 10% da resistência ligada em série, essa será a variação da corrente no circuito. Para aplicações menos críticas como carregadores de baterias, fontes para eletrólises (galvanoplastia), etc., esse tipo de configuração serve perfeitamente.

Indo um pouco além, podemos usar circuitos eletrônicos com base em diodos zener, transistores e circuitos integrados para obter uma corrente constante numa carga, de uma forma muito mais precisa. Assim, para o caso dos transistores, uma configuração muito utilizada é a exibida na **figura 5.6**, que faz uso de um diodo zener como referência e um transistor.

Nessa configuração, a tensão do zener somada a 0,6 V (que é a queda de tensão entre o emissor e base do transistor), dividida pelo resistor em série com o transistor (R) determina a corrente constante que vai circular pela carga. Trata-se de um circuito regulador bastante simples que é encontrado em muitos carregadores de baterias e pilhas de Nicad.

Uma forma mais elaborada de se obter uma regulagem de corrente é a que emprega circuitos integrados. Os reguladores de tensão de 3 terminais, em especial, são bastante eficientes nessa tarefa.

Apresentamos, na **figura 5.7** a configuração típica de uma fonte de corrente constante usando um circuito integrado LM317 (até

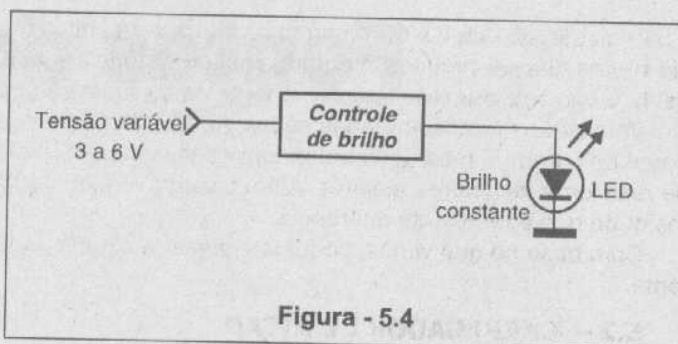


Figura - 5.4

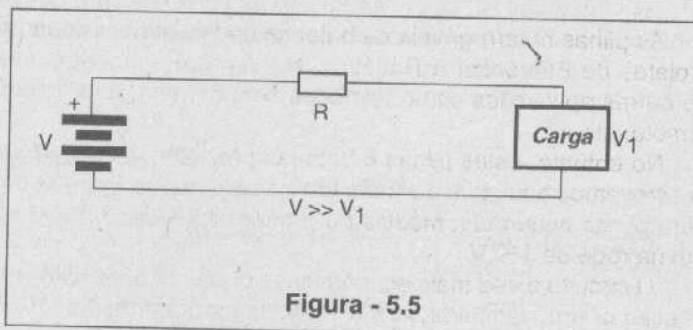


Figura - 5.5

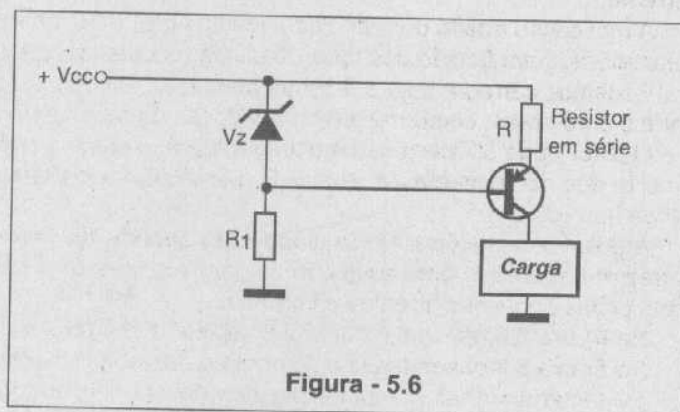


Figura - 5.6

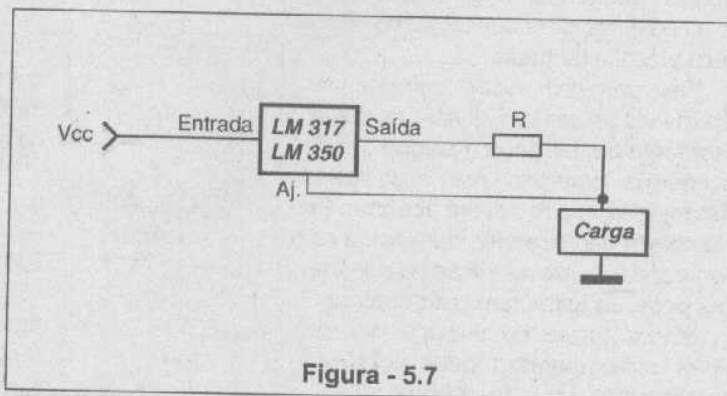


Figura - 5.7

1,5 A) ou LM350 (até 3 A). A corrente na carga será obtida dividindo-se a tensão de 1,25 V da referência interna desses circuitos integrados pela resistência ligada em série. Por exemplo, uma resistência de 12,5 ohms, o que resultará numa fonte de corrente constante de 100 mA.

Veja que os reguladores das séries 78XX e 79XX também podem ser empregados como reguladores de corrente, mas apresentam uma desvantagem. A tensão de referência mais alta exige o uso de resistores de valores maiores. Além disso, a tensão de entrada deve ser sempre pelo menos 2 V maior do que a tensão de referência.

Com base no que vimos, podemos passar a alguns projetos práticos de fontes de corrente constante.

5.2 – CARREGADOR DE NICAD

As pilhas recarregáveis ou baterias de Nicad consistem nas fontes de energia mais usadas para projetos de Eletrônica e Robótica. Na verdade, podemos encontrá-las alimentando uma infinidade de outras aplicações como telefones sem fio, brinquedos, automatismos, transmissores de controle remoto, etc.

No entanto, estas pilhas e baterias precisam ser recarregadas. O carregador muito simples que descrevemos aqui, tem a versão básica com resistor redutor de que tratamos na introdução. Ele serve para pilhas pequenas, médias ou grandes fornecendo uma corrente de carga da ordem de 20 a 50 mA na rede de 110 V.

O circuito é dos mais econômicos por não usar transformador, uma vez que a redução da tensão é feita por uma lâmpada de 5 a 15 watts para a rede de 110 V, que também atua como limitadora de corrente.

A retificação é feita por um diodo 1N4004 e a redução final por um resistor (R_1) que pode ter seu valor alterado em função dos tipos de pilhas ou baterias que devem ser recarregadas.

Podemos carregar de 1 a 4 pilhas pequenas, médias ou grandes com este aparelho, por tempos entre 5 e 16 horas, conforme a recomendação do fabricante.

O leitor pode utilizar o seu multímetro para verificar a corrente real de carga em função das tolerâncias dos componentes e ajustar R_1 para obter a corrente que precisa para o tipo específico de pilhas que usa.

A polaridade na ligação do diodo e do suporte de pilhas é fundamental para o funcionamento correto do aparelho. Com a ligação de dois suportes de 4 pilhas em série podemos fazer a carga de até 8 pilhas pequenas, médias ou grandes.

Na **figura 5.8** temos o diagrama completo do carregador.

Na **figura 5.9** observamos a disposição real dos componentes para esta montagem.

Evidentemente, os componentes não devem ficar expostos a um toque accidental que causaria choques perigosos, uma vez que temos a conexão direta na rede de energia.

O conjunto deve ser colocado numa caixa plástica fechada.

Em primeiro lugar coloque no suporte as pilhas que deseja carregar, e somente depois ligue o plugue à rede de energia. Havendo uma carga ligada (pilhas), a lâmpada deverá acender. Se a lâmpada não acender, desligue a alimentação e ajuste as pilhas no suporte, pois poderão estar com mau contato.

Nunca toque no suporte ou nas pilhas com o aparelho ligado, pois você poderá tomar um forte choque.

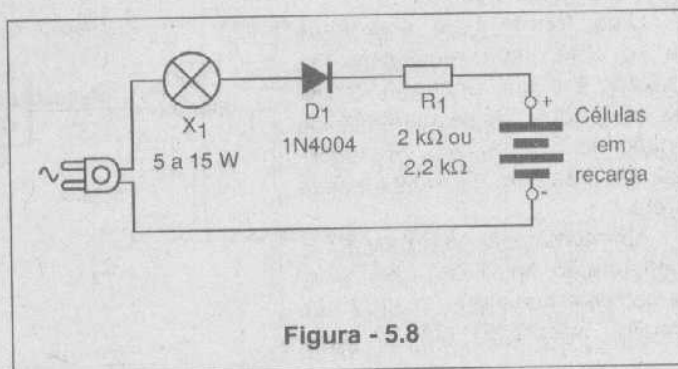


Figura - 5.8

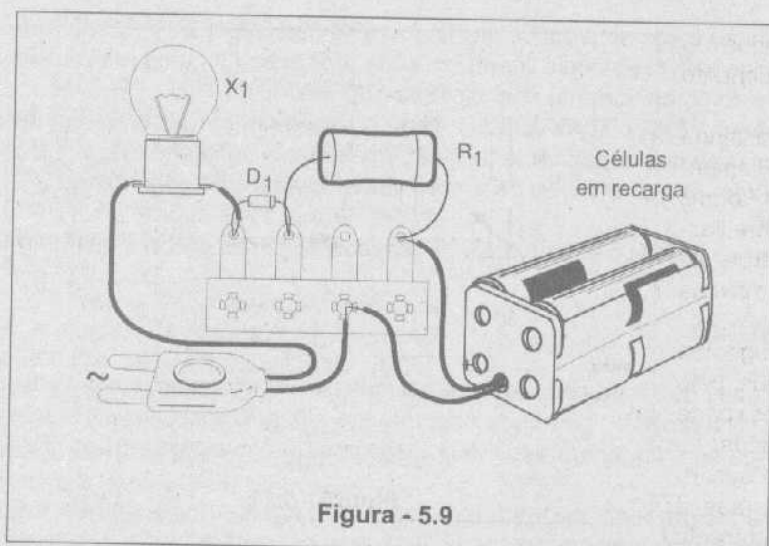


Figura - 5.9

Lista de Material

D₁ - 1N4004 ou equivalente
 - diodo de silício
 X₁ - 5 watts a 15 watts x 110 V - lâmpada comum
 R₁ - 2 kΩ ou 2,2 kΩ x 5 watts - resistor de fio
 B₁ - Pilhas a serem recarregadas - ver texto

Diversos - Suporte de pilhas, ponte de terminais, soquete para a lâmpada, cabo de alimentação, caixa para a montagem, fios, solda, etc.

O brilho da lâmpada deve ser um pouco inferior ao normal durante toda a carga.

Se alguma pilha no processo de recarga não armazenar energia, é sinal de que ela poderá estar estragada. Não a use mais em conjunto com as que estão em bom estado. Nunca misture tipos diferentes de pilha na recarga.

5.3 - FONTE DE CORRENTE CONSTANTE COM TRANSISTOR BIPOLAR

Na figura 5.10 temos o diagrama de uma fonte de corrente constante que pode ser programada para fornecer valores de corrente entre 10 e 200 mA tipicamente, a uma carga que exija tensão menor ou igual a um máximo de 12 V.

O transistor deve ser montado em um bom radiador de calor e o transformador tem corrente de secundário pelo menos duas vezes maior que a corrente constante que se deseja na carga.

O potenciômetro de ajuste deverá ser obrigatoriamente de fio, se a corrente máxima programada for superior a 50 mA.

O diodo zener pode ter tensões entre 2,7 e 3,3 V com dissipação entre 400 mW e 1 W.

O circuito pode ser usado como um excelente carregador para baterias e pilhas de Nicad. Até 6 pilhas ou uma bateria de 12 V podem ser recarregadas simultaneamente com esse circuito.

Outra aplicação consiste na alimentação de uma sequência de LEDs

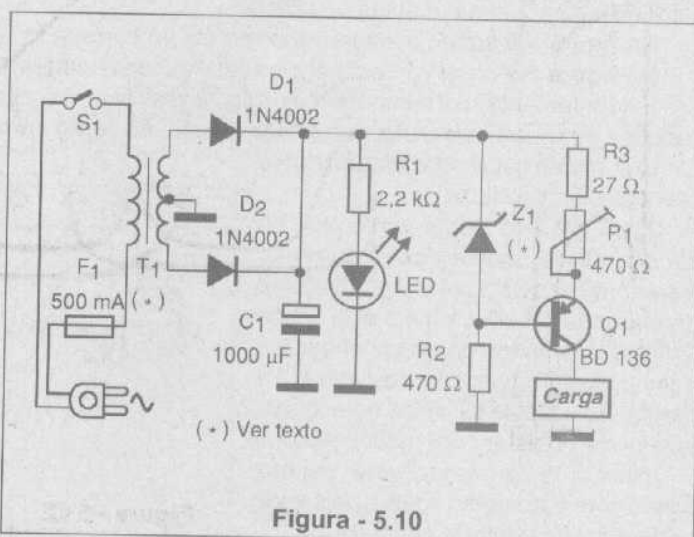


Figura - 5.10

para iluminação de um mostrador ou painel. LEDs brancos de alto rendimento podem ser utilizados.

A corrente é ajustada com a ajuda de um multímetro na escala de miliampères. Use um resistor de carga de 47 ohms x 5 W para fazer o ajuste, conforme ilustra a **figura 5.11** ou a própria carga alimentada, partindo da posição de máxima resistência de P_{L1} .

Na **figura 5.12** damos uma sugestão de montagem para esse circuito que, pelo pequeno número de componentes, pode usar uma ponte de terminais isolados.

Um transformador de 6 V de secundário também pode ser usado, mas a tensão máxima na carga, sob a corrente desejada, não pode superar essa tensão.

No caso de pilhas recarregáveis, a quantidade máxima em recarga deverá ser apenas 4. Baterias de 12 V não poderão ser recarregadas nestas condições.

Alterando-se o resistor R_1 para 220 ohms e trocando-se o transistor por um TIP31, a corrente máxima obtida poderá chegar a 1 A.

Na montagem, observar as polaridades do capacitor eletrolítico, diodos retificadores e diodo zener, assim como a posição do transistor.

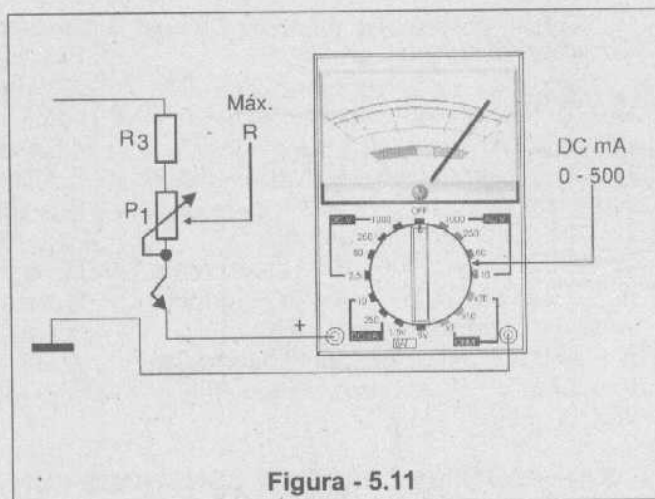


Figura - 5.11

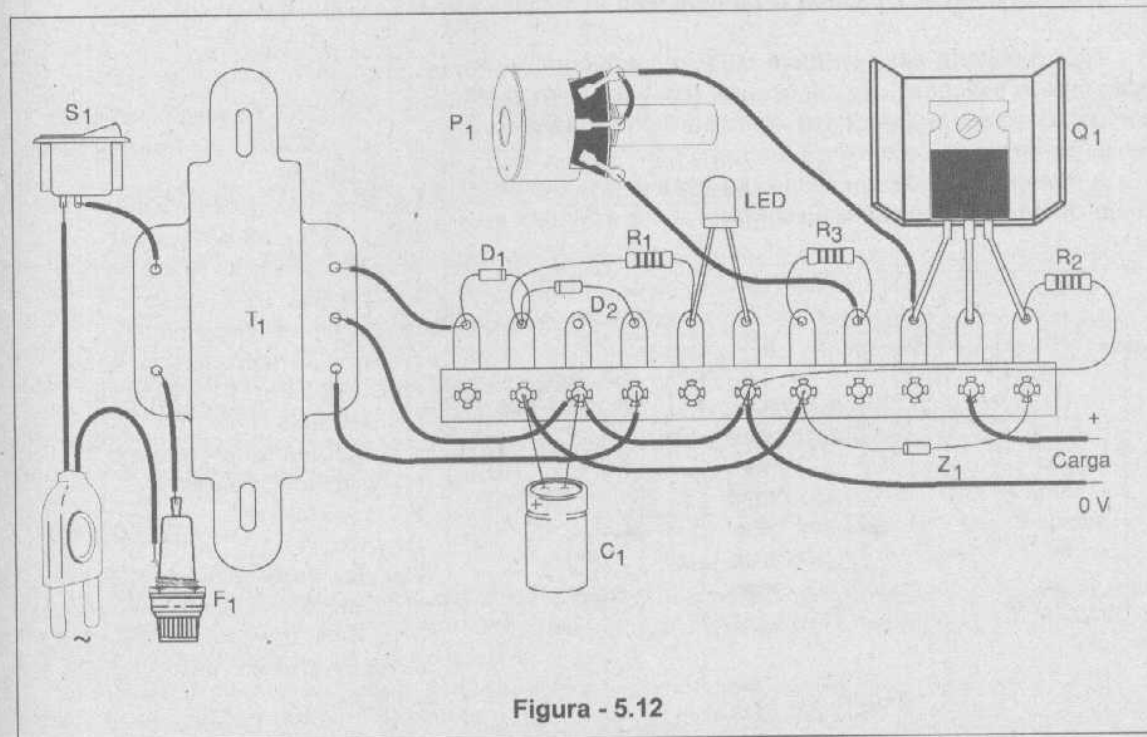


Figura - 5.12

Lista de Material

Q_1 – BD136 ou equivalente – transistor PNP de uso geral

D_1, D_2 – 1N4002 ou equivalentes – diodos retificadores

LED1 – LED vermelho comum

Z_1 – 2,7 a 3,3 V x 400 mW – diodo zener

R_1 – 2,2 k Ω x 1/8 W – resistor – vermelho, vermelho, vermelho

R_2 – 470 Ω – amarelo, violeta, marrom

R_3 – 27 Ω x 1 W – resistor – vermelho, violeta, preto

P_1 – 470 Ω – potenciômetro de fio

T_1 – Transformador com primário de acordo com a rede local, e secundário de 12 + 12 V x 300 mA ou mais

S_1 – Interruptor simples

F_1 – 500 mA – fusível

C_1 – 1000 μ F x 25 V – eletrolítico

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiador de calor para o circuito integrado, cabo de força, suporte para o fusível, fios, solda, etc.

5.4 – FONTE DE CORRENTE CONSTANTE COM TRANSISTOR DARLINGTON

A fonte de corrente constante que descrevemos agora usa um transistor Darlington, podendo fornecer correntes de saída até 2 A. A tensão máxima da carga, no caso de carga de baterias, é da ordem de 12 V. Isso permite que baterias sejam recarregadas ou até 8 células de Nicad simultaneamente.

A utilização de um transistor Darlington tem como principal vantagem a possibilidade de se usar um potenciômetro de ajuste de baixa dissipação, ou seja, um potenciômetro comum.

O circuito completo da fonte é apresentado na **figura 5.13**.

O transistor pode ser o TIP125 para correntes até 2 A. Para correntes menores pode ser usado o TIP115. Nos dois casos, o transistor deve ser montado num bom radiador de calor.

O ajuste da intensidade da corrente é feito no potenciômetro.

Para monitorar essa corrente deve ser empregado um instrumento indicador. Se for usado um miliamperímetro comum, deve ser calculado um *shunt* para uma corrente de fundo de escala da ordem de 3 A.

A montagem pode ser feita com base numa pequena placa de circuito impresso, ou mesmo ponte de terminais,

Lista de Material

Q_1 – TIP125 – Transistor Darlington
 D_1, D_2 – 1N5402 – diodos retificadores de silício

LED – LED vermelho comum

R_1 – 2,2 k Ω x 1/8 W – resistor – vermelho, vermelho, vermelho

R_2 – 3,9 k Ω x 1/8 W – resistor – laranja, branco, vermelho

P_1 – 4,7 k Ω – potenciômetro linear

C_1 – 2 200 μ F x 25 V – capacitor eletrolítico

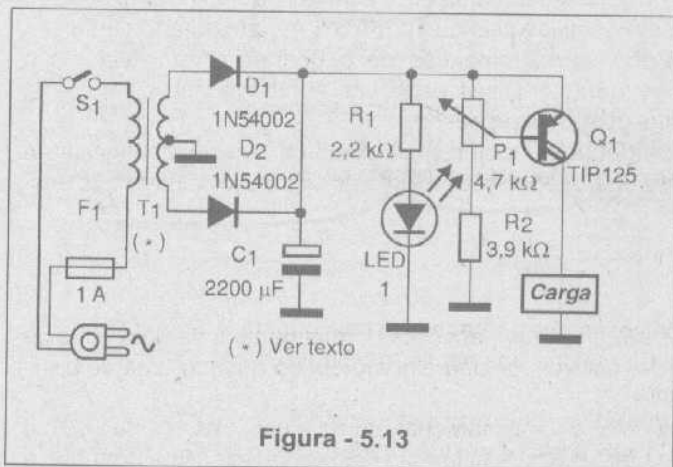
T_1 – Transformador – ver texto

S_1 – Interruptor simples

F_1 – 1 A – fusível

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiador de calor para o transistor, suporte de fusível, cabo de força, caixa para montagem, fios, solda, etc.



uma vez que poucos componentes são utilizados. A **figura 5.14** dá um exemplo de disposição de componentes numa placa.

Na montagem, observar as polaridade dos diodos, LED, capacitores eletrolíticos e a posição do transistor.

O transformador deve ter enrolamento primário de acordo com a rede de energia e secundário de 12 + 12 V com uma corrente de 2 A. Se for usado um transformador com menor corrente, o circuito ainda funcionará, mas a sua corrente determinará o limite da fonte.

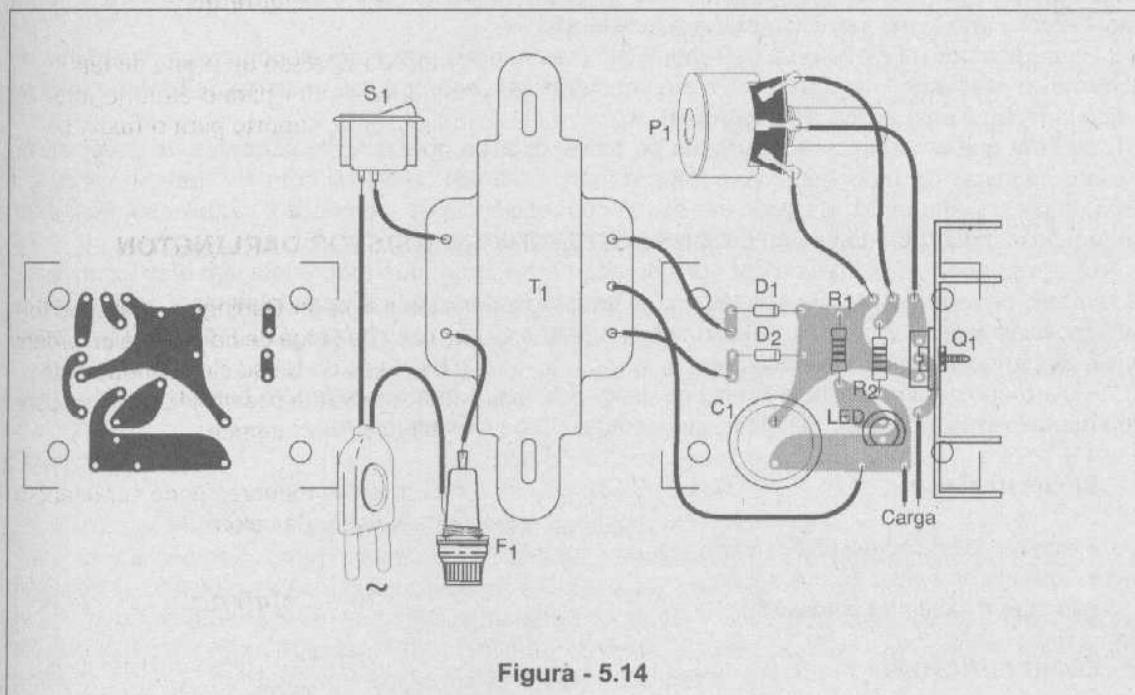


Figura - 5.14

5.5 - FONTE DE CORRENTE CONSTANTE COM LM350

Esta fonte é indicada para a cromeação de objetos, ou ainda em trabalhos de Eletroquímica como eletrólises. Ela pode fornecer correntes constantes ajustáveis de 10 mA a 3 A, aproximadamente.

Processos experimentais ou de laboratório para cromeação de pequenos objetos exigem o emprego de fontes de corrente contínua com características especiais. A intensidade da corrente determina a velocidade de deposição do metal usado no processo.

Se o leitor trabalha com a cromeação de pequenos objetos, ou costuma fazer experiências de eletroquímica como, por exemplo, eletrólises e eletrodeposição, a fonte de corrente contínua que descrevemos poderá lhe interessar.

O PROJETO

Para a alimentação de aparelhos eletrônicos, o que se necessita normalmente é de uma fonte de tensão constante. O funcionamento normal da maioria dos aparelhos é obtido quando uma determinada tensão fixa é usada na sua alimentação.

Em aparelhos em que a corrente varia durante o funcionamento, como amplificadores de áudio e rádios, a fonte deve ser estabilizada de modo que, mesmo em função dessas variações de corrente, a

tensão seja mantida. Nos trabalhos de Eletroquímica, entretanto, em que o importante não é a tensão, mas sim a corrente, uma fonte comum não tem o mesmo desempenho, se bem que possa ser utilizada.

Muito mais interessante é uma fonte que possa manter constante a corrente no dispositivo que está sendo alimentado, tal como, uma cuba de galvanoplastia, o que exige uma configuração especial de circuito.

Usamos, então, uma fonte de corrente constante, que nada mais é do que um circuito cuja corrente não varia de intensidade, mesmo que ocorram variações das condições de alimentação da carga e consumo como, por exemplo, sua resistência.

Para trabalhos de eletrólises, galvanoplastia e outros que envolvam eletroquímica, uma fonte de corrente constante pode ter interesse e até em outras aplicações, como na carga de baterias (que no fundo também é uma aplicação eletroquímica).

Se bem que os processos industriais de galvanoplastia operem com correntes de dezenas, ou mesmo centenas de ampères, nossa fonte é mais modesta: com uma corrente máxima da ordem de 3 ampères, entretanto, ela pode ser usada com eficiência na cromeação, niquelação, douração, prateação ou cobertura de pequenos objetos com eficiência.

Uma vantagem importante a ser considerada nessa fonte, que tem regulação eletrônica, é seu isolamento da rede de energia através de um transformador, o que a torna totalmente segura: podemos tocar em qualquer parte do circuito que alimenta a cuba, mesmo com ela ligada, sem que exista qualquer perigo de choque elétrico.

É claro que no uso em laboratórios de escolas temos a grande vantagem de economizar pilhas, que normalmente são as fontes empregadas nesse tipo de experimento.

Características:

- Tensão de entrada: 110/220 VCA
- Corrente de saída: 25 mA a 3 A
- Tensão máxima de saída: 25 V

COMO FUNCIONA

Circuitos integrados comuns, que são usados como reguladores de tensão em fontes de alimentação lineares, também podem ser empregados eficientemente como reguladores de corrente.

Um desses circuitos integrados, que é bastante usual no nosso mercado, é o LM350T que, fornecido em invólucro TO-220, pode fornecer correntes de carga de até 3 ampères. Este circuito integrado será usado como base para nosso projeto.

Assim, a partir da alta tensão da rede de energia, temos inicialmente um transformador redutor que possui um secundário com tomada central. Essa tomada central permite o uso de dois diodos apenas em um circuito retificador, que transforma a tensão alternada da rede em tensão contínua.

A tensão depois do diodo é contínua pulsante, exigindo uma filtragem que é feita por um capacitor de valor alto.

Neste ponto do circuito já dispomos de uma tensão contínua que poderia ser usada em processos de galvanoplastia, mas sem controle algum, podendo até haver a sobrecarga do transformador. A regulação é feita pelo circuito integrado.

O circuito integrado é ligado da forma mostrada na figura 5.15. Nesta configuração um resistor funciona como elemento que vai determinar a intensidade de corrente de saída.

O circuito integrado possui um diodo zener interno, que serve de referência fixando a tensão em sua saída. Então, se o terminal de referência for ligado da forma indicada, a tensão de referência sobre o circuito interno do integrado passará a ser dependente da corrente sobre o resistor.

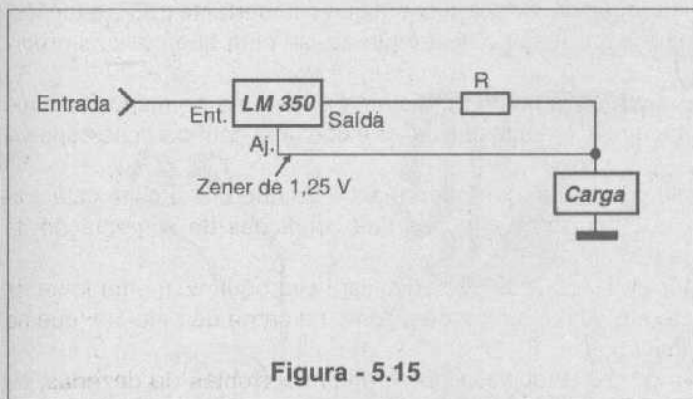


Figura - 5.15

Se esta corrente for ajustada para um determinado valor e ocorrerem variações, também variará a tensão no circuito de referência, que então agirá no sentido de fazer a correção.

O valor do resistor determina a corrente. Para obter-se a corrente, basta dividir a tensão de referência (1,2 volts) pelo resistor utilizado. Por exemplo, para obter 3 ampères (que a corrente máxima do circuito integrado), o resistor deve ser de 0,4 ohms.

Usando um resistor variável, no nosso caso, e um potenciômetro de

47 ohms, é possível variar a corrente de um máximo de 3 ampères (limitado pelo resistor) até um mínimo, algo em torno de 25 mA.

Para indicar a corrente que está circulando pelo circuito alimentado pode ser empregado um amperímetro, mas trata-se de recurso opcional. Neste caso, usando-se um instrumento convencional de baixa corrente deve ser calculado o *shunt* necessário à medida da corrente máxima prevista, da ordem de 3 A.

MONTAGEM

Na figura 5.16 temos o diagrama completo do aparelho.

A disposição dos componentes numa placa de circuito impresso é apresentada na figura 5.17, podendo ser usada uma pequena caixa para a fixação dos maiores, como o transformador.

O transformador tem enrolamento primário de 18 V+18 V com uma corrente de 3 ampères (se for usado um transformador de menor tensão e corrente, o aparelho ainda funcionará, mas com a corrente e tensão máximas que serão dadas por este componente).

O resistor de 0,4 ohms é algo crítico, mas pode ser conseguido de duas formas: uma delas consiste em se ligar dois resistores de 0,22 ohms X 2 W em série. Outra, consiste em se ligar 5 resistores de 2,2 ohms x 1 W em paralelo, observe a figura 5.18.

Os diodos são do tipo 1N5404 ou equivalentes para 50 V x 3 A e o capacitor eletrolítico deve

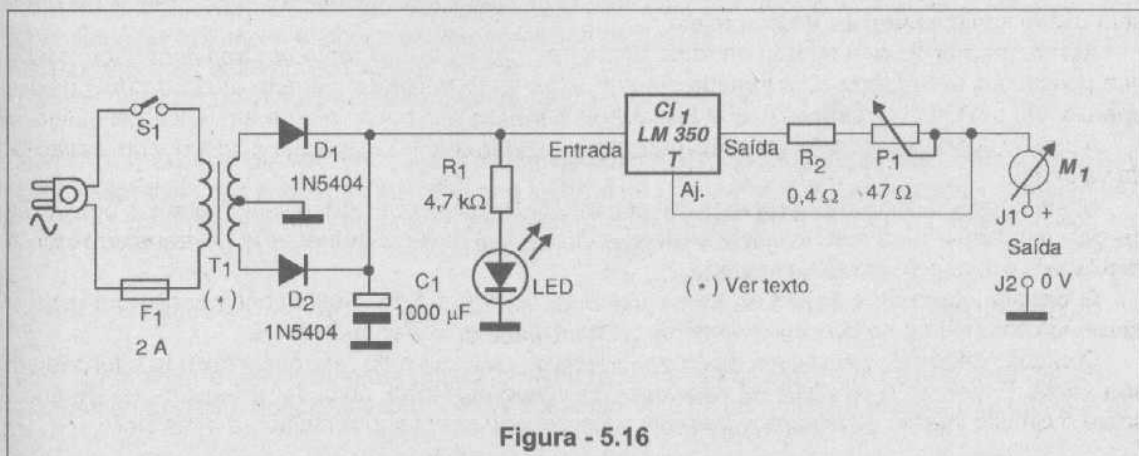


Figura - 5.16

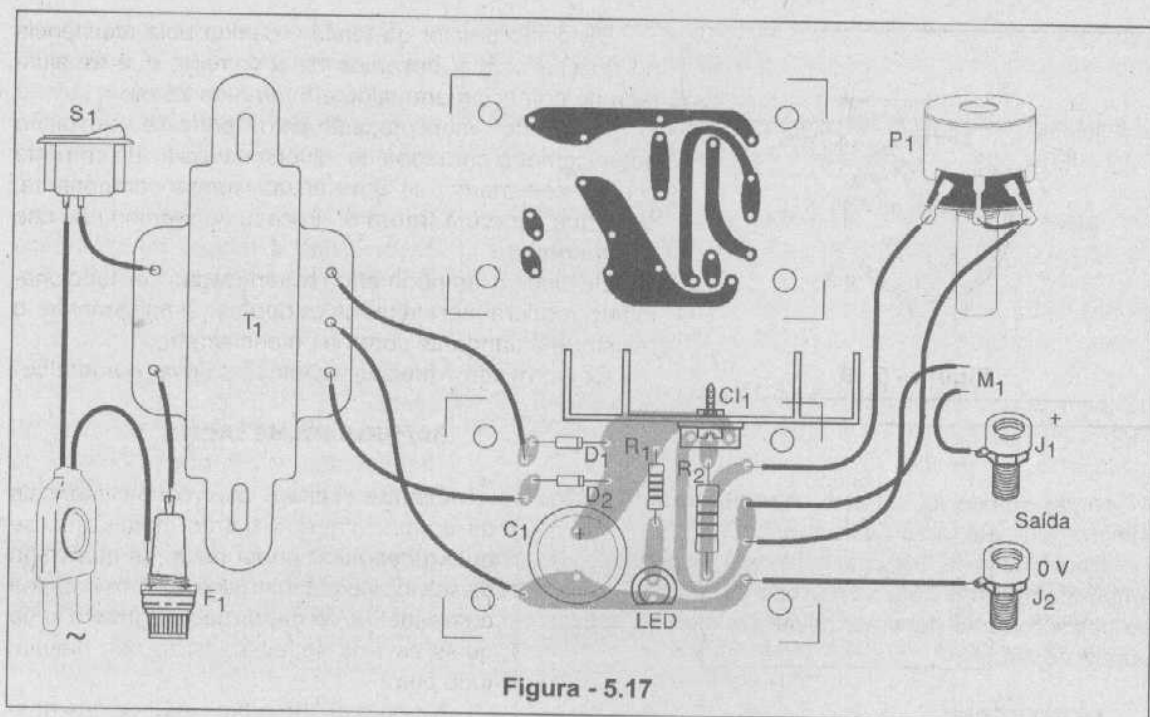


Figura - 5.17

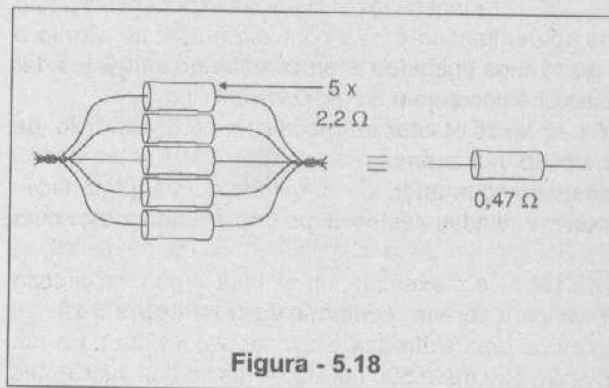


Figura - 5.18

ter uma tensão de trabalho de pelo menos 40 V. O LED indicador de funcionamento, juntamente com o resistor em série são opcionais.

O circuito integrado LM350T deve ser dotado de radiador de calor. Para esse componente, equivalentes da mesma série como o LM150T e LM250T podem ser empregados sem problemas. O equivalente de invólucro metálico também pode ser utilizado.

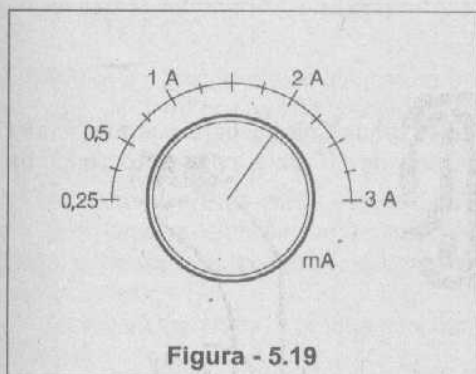
Para conexão do circuito externo pode ser usado um par de bornes de cores diferentes, de modo a identificar a polaridade, ou ainda dois fios grossos com garras para conexão à cuba de experiências ou cromeação.

ção.

Se for utilizar um amperímetro, para maior economia ele poderá ser do tipo de ferro-móvel, com fundo de escala entre 3 e 5 ampêres. Lembramos que estes instrumentos são bastante imprecisos nos extremos da escala. Para maior precisão deve ser empregado um amperímetro de bobina móvel.

PROVA E USO

Para provar o aparelho basta ligá-lo à alimentação e ajustar sua saída para a mínima corrente. Ligue, então, um resistor de carga de 10 a 47 ohms x 5 W na saída verificando a tensão neste resistor.

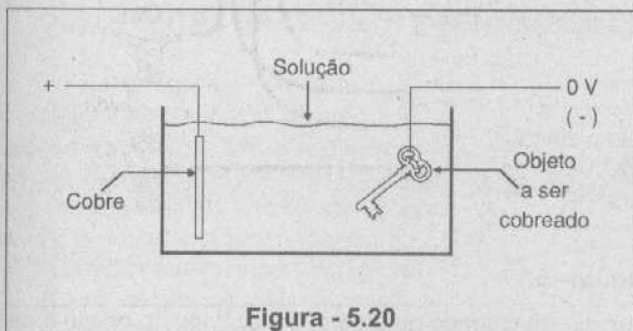


Dividindo o valor da tensão medida pela resistência do resistor usado, devemos ter a corrente que foi ajustada no potenciômetro, algo em torno de 25 mA.

Utilizando este procedimento, pode-se ajustar o potenciômetro para fornecer diversos valores de corrente e com isso marcar-se uma escala nesse componente, conforme sugere a **figura 5.19**, caso o aparelho não use o amperímetro.

Se usar o amperímetro, a verificação de funcionamento poderá ser feita utilizando-se simplesmente o resistor e atuando-se sobre o potenciômetro.

Comprovado o funcionamento, é só usar o aparelho.



BANHOS DE METAL

O que se faz em laboratório é usar sais de cromo, níquel e outros metais que se queira depositar numa peça, os quais são dissolvidos em água. Se o leitor já trabalha com este tipo de deposição e portanto sabe quais os sais necessários ao que deseja, tudo bem.

No entanto, há outros leitores que gostariam de fazer algumas experiências neste sentido e não conhecem os sais. Como o

trabalho com substâncias químicas sem conhecimento dos cuidados básicos é perigoso, vamos dar uma aplicação mais simples, que utilize substâncias que não sejam tão perigosas.

Ensinaresmos ao leitor a maneira de "cobrear" pequenos objetos de metal como, por exemplo, de alumínio, ferro ou mesmo carbono (um eletrodo de pilha, por exemplo).

Numa cuba de vidro dissolveremos sulfato de cobre, que pode ser adquirido com alguma facilidade em farmácias (não pegue diretamente as pedras azuladas deste sal, pois são venenosas, como a maioria das substâncias químicas!).

Como eletrodo positivo usaremos uma placa de cobre, por exemplo, uma placa virgem de circuito impresso e como eletrodo negativo, o objeto que vamos "cobrear", conforme ilustra a **figura 5.20**.

Para a operação de cobrear, é só ligar a fonte nos dois eletrodos e ajustar a corrente para um valor que depende do tamanho do objeto (valores entre 100 mA e 500 mA são mais do que suficientes para o caso de pequenos objetos). Observe a polaridade!

Depois de alguns minutos, o objeto irá se recobrir de uma capa de cobre, ou seja, ficará "cobreado".

Obs.: O que ocorre, realmente, explicado pela Química, é o deslocamento do metal do objeto pelo cobre, acelerado pela corrente elétrica.

MISTURAS PARA OUTRAS DEPOSIÇÕES

a) Cromação

Fórmula diluída: 250 gramas de óxido crômico
2,5 gramas de ácido sulfúrico
1 litro de água

Fórmula concentrada: 400 gramas de óxido crômico
4 gramas de ácido sulfúrico
1 litro de água

A temperatura da solução deverá ser mantida em torno de 45 graus Celsius, para que a cobertura se torne brilhante, segundo os manuais recomendam. Com mais de 50 graus corre-se o perigo da deposição ser imperfeita.

b) Douração

Fórmula: 7 gramas de cloreto de ouro
1 litro de água

A corrente recomendada é da ordem 0,2 ampères por litro.

c) Zincagem

Fórmula: 20 gramas de cianeto de potássio e zinco
20 gramas de hidróxido de sódio
10 gramas de cianeto de potássio
4 gramas de cloreto de sódio
1 litro de água

O anodo deve ser de zinco e o catodo pode ser de chumbo ou grafite, consistindo no objeto a ser recoberto. A corrente deverá ficar entre 500 mA e 1 ampère.

d) Niquelação

Fórmula para capa fina: 75 gramas de sulfato de níquel amoniacal
1 litro de água

A corrente deverá ficar entre 300 e 500 mA.

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - LM350T - circuito integrado
D₁, D₂ - 1N5404 - diodos retificadores
LED - LED vermelho comum

Resistores:

R₁ - 4,7 k Ω x 1/2W - amarelo, violeta, vermelho
R₂ - 0,4 Ω x 5W - ver texto - fio
P₁ - 47 Ω - potenciômetro de fio

Capacitores:

C₁ - 1000 μ F x 40V - eletrolítico

Diversos:

F₁ - 2 A - fusível
S₁ - Interruptor simples
T₁ - Transformador com primário conforme a rede local e secundário de 18+18 V x 3 A
M₁ - 0-3 A - amperímetro
J₁, J₂ - Bornes de saída - preto e vermelho
Placa de circuito impresso, caixa para montagem, botão para o potenciômetro, radiador de calor para o circuito integrado, cabo de alimentação, suporte para o fusível, caixa para a montagem, fios, solda, etc.

e) Prateação

Fórmula: 20 gramas de cianeto de potássio
10 gramas de cianeto de prata
1 litro de água

A corrente recomendada é da ordem de 200 mA.

É importante lembrar que muitos dos produtos usados são altamente tóxicos, exigindo pois cuidados especiais e experiência no tratamento de substâncias químicas, além de local apropriado, com boa ventilação.

Para os estudantes, o banho mais simples e menos perigoso é justamente o que envolve o cobre-mento.

5.6 – FONTES DE CORRENTE CONSTANTE COM TRANSISTORES NPN

As duas fontes de corrente constante que descrevemos usando transistores (bipolar e Darlington) utilizam componentes do tipo PNP. No entanto, é possível elaborar configurações semelhantes empregando transistores NPN, tanto comuns como Darlington.

Essas fontes são ideais para a carga de baterias e pilhas de Nicad, além da excitação de dispositivos que necessitem de uma corrente constante para operação.

Assim, para transistores bipolares comuns, podemos empregar o BD135, caso em que as correntes máximas estarão limitadas a pouco mais de 200 mA para uma operação segura. Para uma corrente maior pode ser usado o TIP31, o qual suportará correntes até uns 2 A para uma operação segura. Veja que o potenciômetro de ajuste deve ser de fio para agüentar as correntes intensas.

Na **figura 5.21** temos o circuito para uma fonte que pode ter entradas entre 6 e 20 V, sendo indicadas para a carga até 8 pilhas de Nicad ou um pequeno acumulador de 12 V.

O transistor deve ser montado em um bom radiador de calor e o transformador pode ter secundários de 9 a 15 V.

A corrente de saída é ajustada com a ajuda de um miliamperímetro,

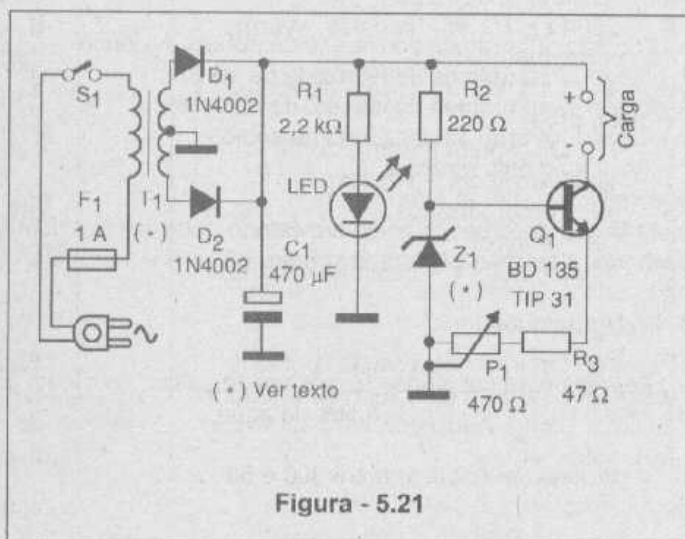


Figura - 5.21

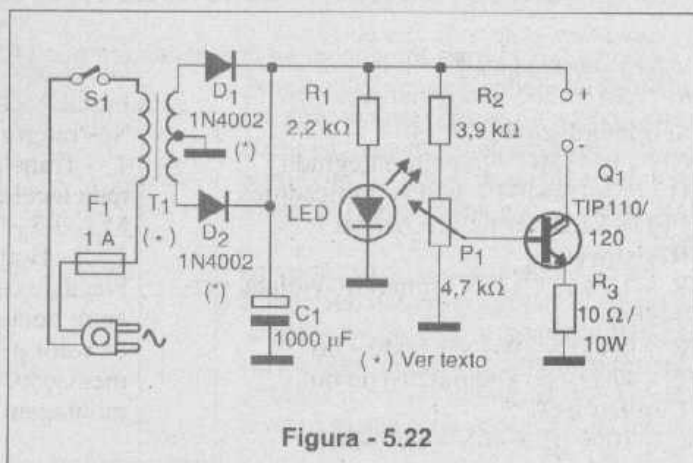


Figura - 5.22

através do potenciômetro P_1 . A versão com transistor Darlington emprega um TIP110 para correntes até uns 800 mA (operação segura) ou TIP120 para 3 A. O circuito é ilustrado na **figura 5.22**.

Neste caso também, o transistor deve ser montado num bom radiador de calor e o transformador é o mesmo da versão anterior, porém com capacidade de corrente maior.

Lista de Material – Fonte 1 (bipolar)

Q_1 – BD135 ou TIP31 – Transistor NPN de média potência – ver texto
 D_1, D_2 – 1N4002 – diodos retificadores de silício
 Z_1 – 2,7 a 3,3 V x 400 mW – diodo zener
 $LED1$ – LED vermelho comum
 R_1 – 2,2 k Ω x 1/8 W – resistor – vermelho, vermelho, vermelho
 R_2 – 220 Ω x 1/2 W – resistor – vermelho, vermelho, marrom
 R_3 – 47 Ω x 1 W – resistor – amarelo, violeta, preto
 P_1 – 470 Ω – potenciômetro de fio
 T_1 – Transformador – ver texto
 S_1 – Interruptor simples
 F_1 – 1 A – fusível
 C_1 – 470 μ F x 25 V – capacitor eletrolítico
 Diversos:
 Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, suporte para fusível, radiador de calor para o transistor, cabo de força, fios, solda, etc.

Lista de Material – Fonte 2 (Darlington)

Q_1 – TIP110 ou TIP120 – Transistor NPN Darlington de Potência
 D_1, D_2 – 1N4002 ou 1N5402 – diodos de silício
 LED – LED vermelho comum
 R_1 – 2,2 k Ω x 1/8 W – resistor – vermelho, vermelho, vermelho
 R_2 – 3,9 k Ω x 1/8 W – resistor – laranja, cinza, vermelho
 R_3 – 10 Ω x 10 W – resistor de fio
 P_1 – 4,7 k Ω – potenciômetro linear comum
 C_1 – 1 000 μ F x 25 V – capacitor eletrolítico
 T_1 – Transformador – ver texto
 F_1 – 1 A – Fusível
 S_1 – Interruptor simples
 Diversos:
 Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, suporte para fusível, radiador de calor para o transistor, cabo de força, fios, solda, etc.

5.7 - FONTE DE CORRENTE CONSTANTE PARA LEDs

São cada vez mais freqüentes as aplicações em que LEDs são usados como fontes de luz em lugar das lâmpadas comuns. No entanto, nestes casos é preciso garantir uma circulação de corrente constante nos LEDs para que a intensidade da luz produzida não varie, o que exige circuitos especiais.

Se bem que exista uma ampla gama de novos circuitos integrados destinados especificamente a este tipo de aplicação, reguladores de tensão de 3 terminais da "velha guarda" como o LM317L podem ser utilizados sem deixar a dever

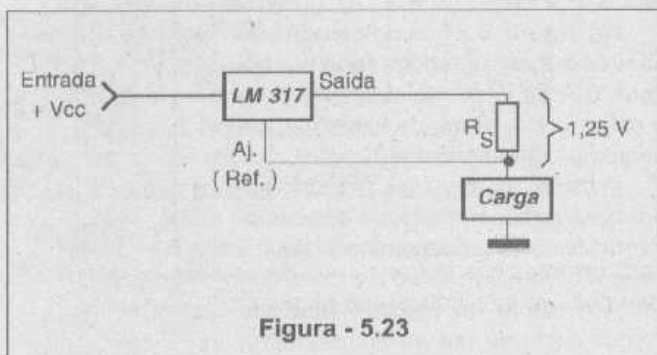
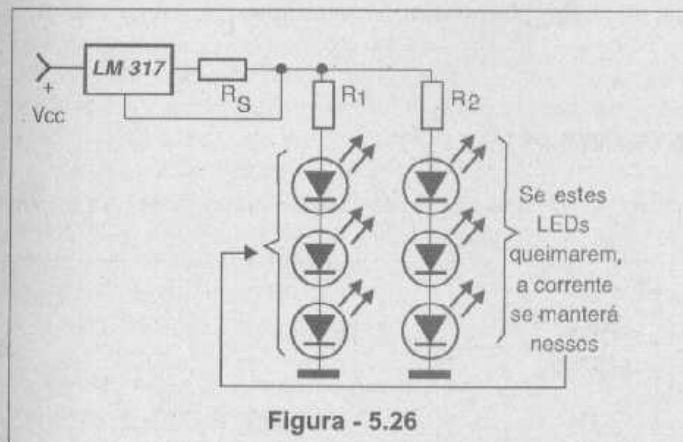
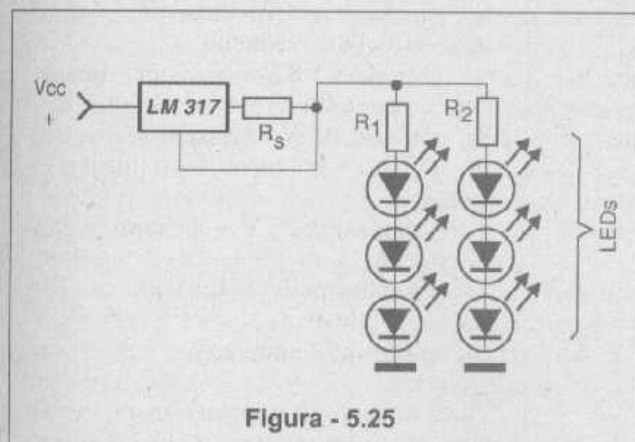
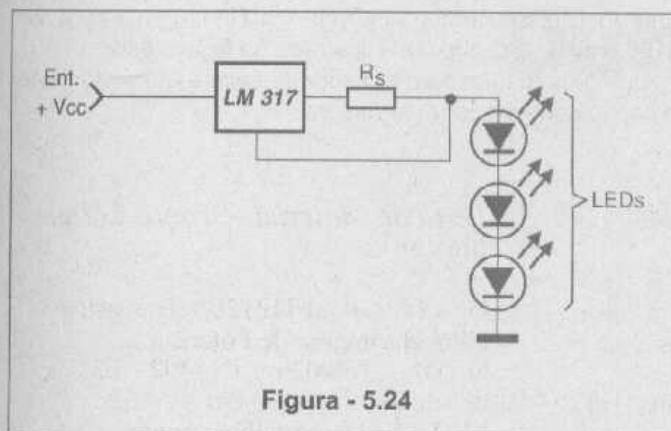


Figura - 5.23



nada em termos de desempenho. É justamente isso que descrevemos neste item a partir de *Application Note* da ON Semiconductor.

Conforme podemos ver pelo diagrama da **figura 5.23**, o regulador de 3 terminais LM317L precisa "ver" uma tensão de 1,25 V entre sua saída e o terminal de ajuste para formar uma fonte de corrente constante.

Isso significa que, para termos uma fonte de corrente constante de determinada intensidade, por exemplo 10, basta dividir 1,25 pela resistência sensora R_s .

$$I_0 = 1,25/R_s$$

A alimentação de um conjunto de LEDs a partir deste circuito torna-se então muito simples, conforme podemos verificar pelo circuito da **figura 5.24**.

Não é preciso usar resistor limitador de corrente, pois o próprio circuito integrado como fonte de corrente constante faz isso. É preciso cuidar apenas para que a tensão de entrada, menos os 1,25 V de queda no circuito regulador resultem numa tensão maior do que a exigida para acender os LEDs ligados em série.

Para um maior número de LEDs podemos associá-los em grupos conforme ilustra a **figura 5.25**.

Finalmente, temos a versão sofisticada do circuito que garante que em cada ramo dos LEDs acionados tenhamos correntes iguais, caso em que três resistores sensores são utilizados.

Observe a **figura 5.26**. A grande vantagem dessa configuração é que se um LED de um dos ramos queimar-se, os LEDs dos outros ramos não serão afetados.

No circuito anterior, por exemplo, se um dos LEDs queimar-se, a soma das correntes nos outros ramos deverá permanecer constante e eles receberão uma corrente maior. Isso pode-rá lhes causar sobrecarga.

Outras Fontes Lineares

Além das fontes que vimos nos itens anteriores, existem diversas outras opções para o montador. Daremos alguns circuitos práticos que podem ser de grande interesse para os leitores.

6.1 - FONTE DE 6 E 12 V X 1 A - MÚLTIPLA

A fonte que mostramos na **figura 6.1** fornece duas tensões ao mesmo tempo, ou seja, é uma fonte dupla, de grande utilidade na bancada do projetista.

A corrente máxima para cada saída é de 1 ampère, o que leva à necessidade de se usar um transformador capaz de fornecer uma corrente de pelo menos 2 ampères.

O circuito utiliza os integrados 7806 e 7812, os quais devem ser montados em bons radiadores de calor.

O transformador tem primário conforme a rede de energia e secundário de 12 + 12 V ou 15 + 15 V com corrente de 2 A. Podem ser utilizados transformadores menores, mas a corrente máxima da fonte será proporcionalmente reduzida.

O capacitor eletrolítico maior deve ter uma tensão de trabalho de 25 V ou mais.

Na **figura 6.2** damos uma sugestão de montagem em placa de circuito impresso, se bem que os poucos componentes usados permitem que até mesmo uma ponte de terminais seja empregada.

Na montagem, o leitor deve observar as polaridades de diodos e capacitores eletrolíticos, além da posição dos circuitos integrados.

Para os pólos negativos, comuns às duas tensões, podem ser utilizados bornes pretos. Para diferenciar as duas tensões sugerimos usar borne azul para a tensão de 12 V e verde para 6 V, ou outras cores de que o leitor disponha.

Uma possibilidade interessante para aqueles que trabalham com circuitos lógicos é substituir a tensão de 6 V por 5 V, utilizando um 7805, ou mesmo fazer uma fonte com uma tensão adicional, conforme ilustra a **figura 6.3**, caso em que o transformador deve ter secundário de pelo menos 3 A.

Se o leitor não dispuser de um transformador com mais de 1 A, poderá fazer a fonte comutada por uma chave, observe a **figura 6.4**, mas neste caso, teremos apenas uma tensão disponível de cada vez.

Ao usar a fonte, lembre-se que o negativo é comum às duas tensões.

Na **figura 6.4** orientamos como alimentar dois aparelhos, um de 6 V e outro de 12 V, de forma independente usando esta fonte.

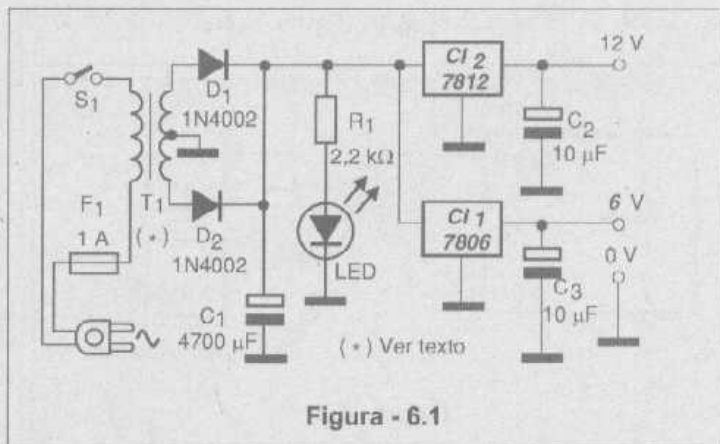


Figura - 6.1

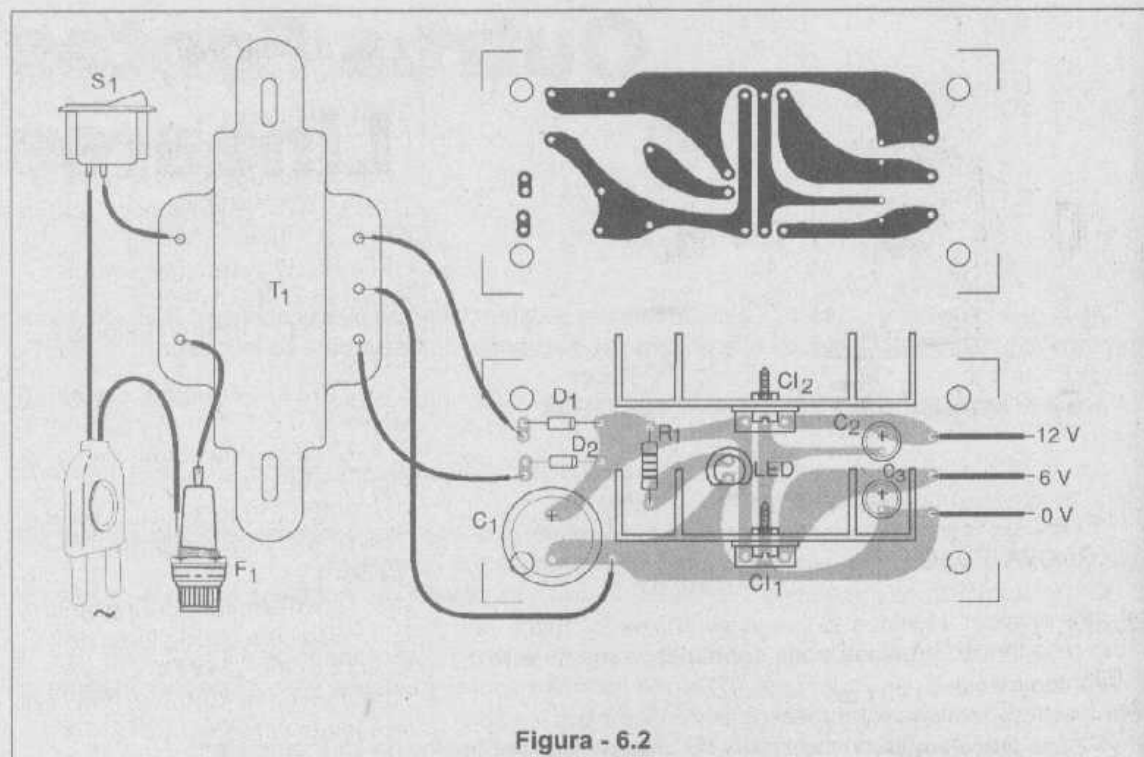


Figura - 6.2

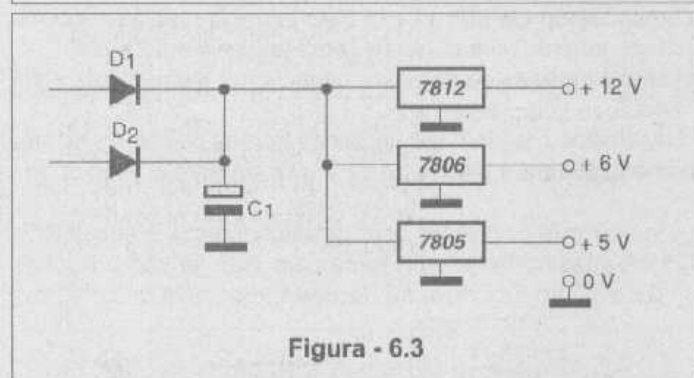


Figura - 6.3

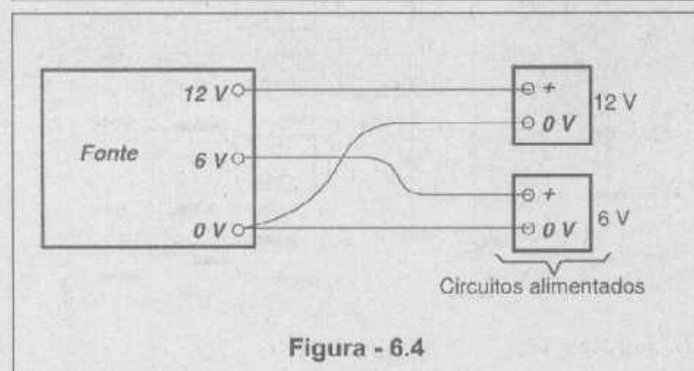


Figura - 6.4

Lista de Material

CI₁ - 7806 - circuito integrado, regulador de tensão

CI₂ - 7812 - circuito integrado, regulador de tensão

D₁, D₂ - 1N4002 - diodos retificadores

LED - LED vermelho comum

C₁ - 4 700 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico

C₂, C₃ - 10 μ F x 16 V - capacitores eletrolíticos

R₁ - 2,2 k Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho

T₁ - Transformador - ver texto

S₁ - Interruptor simples

F₁ - 1 A - fusível

Diversos: Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, suporte para fusível, radiadores de calor para os circuitos integrados, fios, solda, cabo de força, caixa para montagem, etc.

6.2 - FONTES DE MUITO BAIXA TENSÃO

Existem aparelhos eletrônicos e mesmo circuitos que precisam de tensões muito baixas para sua alimentação. Neste caso, destacamos os aparelhos que operam com uma, duas e três pilhas tipo botão ou mesmo comuns, o que representa tensões na faixa de 1,2 a 4,5 V tipicamente.

Para alimentar esses circuitos é preciso contar com circuitos especiais, pois os reguladores comuns e mesmo os zeners não são encontrados em tensões menores do que 5 V. Assim, para obter tensões nesta faixa, o leitor tem algumas opções interessantes que dependem basicamente da corrente de saída desejada.

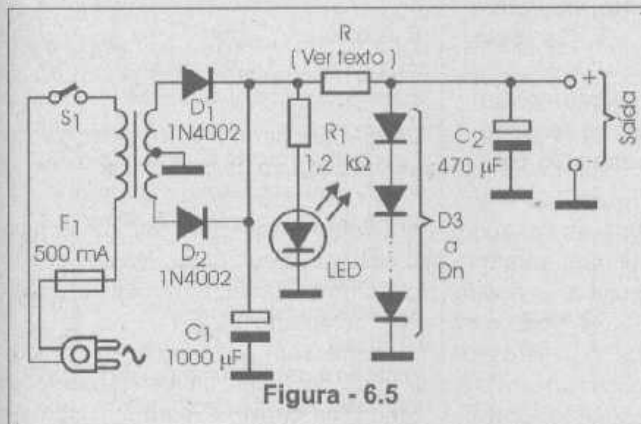


Figura - 6.5

6.2.1 - OPÇÃO 1

A primeira opção é apresentada na figura 6.5 e consiste em um regulador que faz uso de diodos de silício comuns como referência de tensão.

Cada diodo proporciona uma queda de tensão de aproximadamente 0,6 V quando polarizado no sentido direto. Desse modo, com um diodo obtemos 0,6 V; com dois diodos 1,2 V; com 3 diodos 1,8 V e assim por diante.

A corrente máxima depende do resistor R que pode ser calculado da seguinte maneira, em função da tensão de entrada (secundário do transformador empregado).

$$R = (V_{in} - V_s) / I$$

Onde:

R é a resistência do resistor de redução, em ohms

V_{in} é a tensão no secundário do transformador, em volts

V_s é a tensão de saída, dependente do número de diodos, em volts

I é a corrente máxima na carga, em ampères,

Na prática, não se recomenda a utilização desse tipo de redutor na alimentação de aparelhos que exijam mais do que 100 mA.

Por exemplo, para um transformador de 6 V, e uma tensão de saída de 1,2 V com uma corrente de 0,05 A (50 mA) o resistor será:

$$R = (6 - 1,2) / 0,05$$

$$R = 4,8 / 0,05$$

$$R = 96 \text{ ohms}$$

O valor comercial mais próximo é de 100 ohms.

A dissipação será dada por:

$$P = R \times I^2$$

$$P = 100 \times 0,05 \times 0,05$$

$$P = 0,25 \text{ W}$$

Pode-se utilizar um resistor de $\frac{1}{2}$ W, pois um resistor de $\frac{1}{4}$ W (0,25 W) trabalharia no limite e, portanto, muito quente.

Uma possibilidade interessante de uso de referência para baixa tensão, para a faixa de 1,6 V a 2,1 V consiste no emprego de LEDs, conforme ilustra a **figura 6.6**.

Os LEDs vermelhos quando em condução se comportam como referências de 1,6 V aproximadamente, enquanto que os amarelos como 1,8 V e os verdes 2,1 V. Os tipos azuis (mais raros) têm uma tensão maior.

No entanto, as correntes máximas dessas fontes estão limitadas a algo em torno de 50 mA. O resistor de redução R é calculado exatamente como no caso do exemplo com diodos comuns.

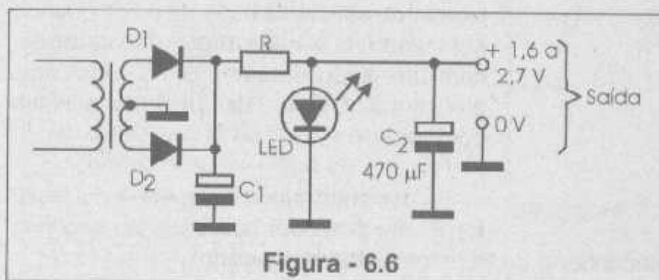


Figura - 6.6

6.2.2 - OPÇÃO 2

A opção 2 é a mostrada na **figura 6.7** podendo fornecer tensões de 1,2 V e acima, dependendo apenas do número de diodos a serem colocados no terminal de referência.

Para o LM317 teremos uma corrente máxima de 1,5 A e para o LM350 uma corrente máxima de 3 A.

A **tabela** dada a seguir fornece as tensões de saída para diferentes números de diodos:

Número de diodos	Tensão de saída
0	1,25 V
1	1,8 V
2	2,4 V
3	3,0 V
4	3,6 V
5	4,2 V
6	4,8 V

Lista de Material

D₁, D₂ - 1N4002 ou equivalentes

D₃ a D_n - Diodos 1N4148, 1N914, 1N4002 ou equivalentes em quantidade conforme a tensão desejada

LED - LED vermelho comum

C₁ - 1 000 µF - capacitor eletrolítico - 12 V ou mais

C₂ - 470 µF - capacitor eletrolítico - 6 V ou mais

R₁ - 1,2 kΩ x 1/8 W - resistor - marrom, vermelho, vermelho

R - ver texto

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 3 a 6 V com corrente de 50 mA a 200 mA

F₁ - Fusível de 500 mA

S₁ - Interruptor simples

Diversos:

Ponte de terminais ou placa de circuito impresso, soquete para o fusível, cabo de força, caixa para montagem, fios, solda, etc.

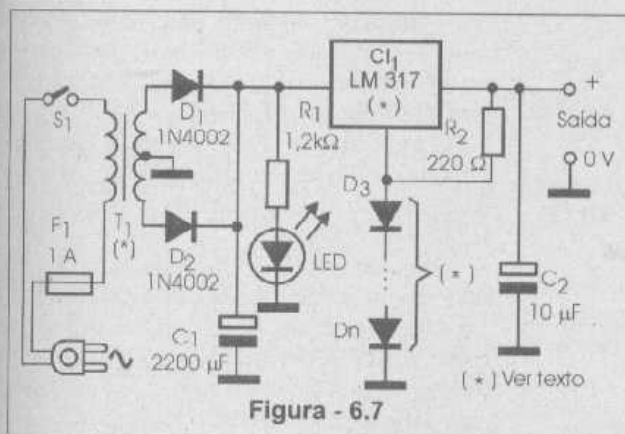


Figura - 6.7

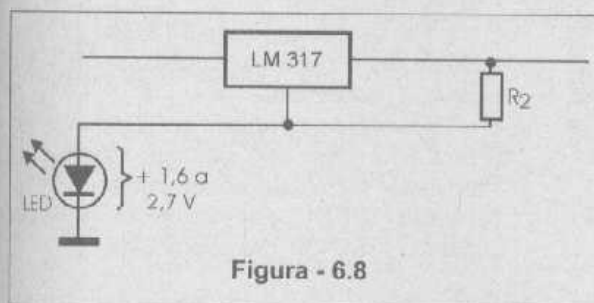


Figura - 6.8

Podem ocorrer variações em torno dos valores dados na tabela em função das tolerâncias dos componentes, principalmente porque existem diferenças quanto às tensões nos diodos.

Neste caso também, o uso de LEDs em lugar de diodos comuns pode ajudar a obter baixas tensões, conforme exibe a **figura 6.8**.

Um LED vermelho soma 1,6 V aos 1,25 de referência dos circuitos integrados, gerando uma tensão de saída de 2,8 V.

O resistor de realimentação é importante para garantir a circulação de uma corrente mínima pelo terminal de referência.

Mesmo fornecendo baixas tensões, o circuito integrado deve ser dotado de um radiador de calor, especialmente se a corrente de saída for maior que 1 A.

O transformador tem enrolamento primário de acordo com a rede de energia e secundário de 5 ou 6 V, com corrente conforme a desejada na carga.

6.3 - ZENER AJUSTÁVEL

Na falta de um diodo zener para referência numa fonte de alimentação, existem diversos meios de se simular esse componente. Já vimos nos itens anteriores como fazer isso usando diodos comuns e até mesmo LEDs.

O circuito mostrado na **figura 6.9** é um pouco mais sofisticado, pois pode ser ajustado com certa precisão e é capaz de manusear uma corrente até 100 mA. Sua montagem pode ser feita numa pequena placa de circuito impresso conforme ilustra a **figura 6.10**.

Lista de Material

CI₁ - LM317 ou LM350 - Circuito integrado regulador de tensão - ver texto

D₁, D₂ - 1N4002 ou 1N5402 - diodos retificadores (conforme corrente)

D₃ a D_n - diodos de uso geral 1N4148, 1N914, etc - conforme tensão de saída - ver texto

LED - LED vermelho comum

R₁ - 1,2 kΩ x 1/8 W - resistor -

marrom, vermelho, vermelho
R₂ - 220 Ω x 1/8 W - vermelho, vermelho, marrom

C₁ - 2 200 μF a 4 700 mF x 12 V - capacitor eletrolítico

C₂ - 10 μF x 6 V ou mais - capacitor eletrolítico

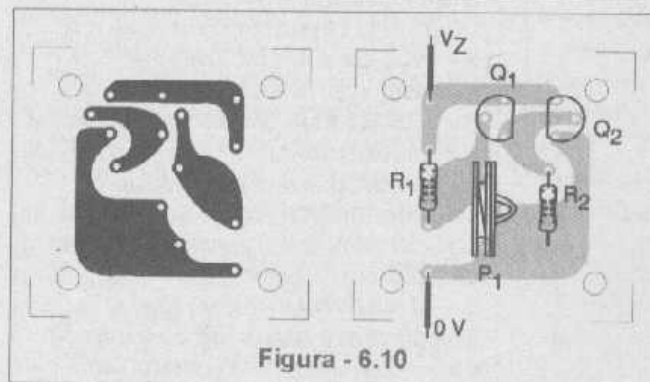
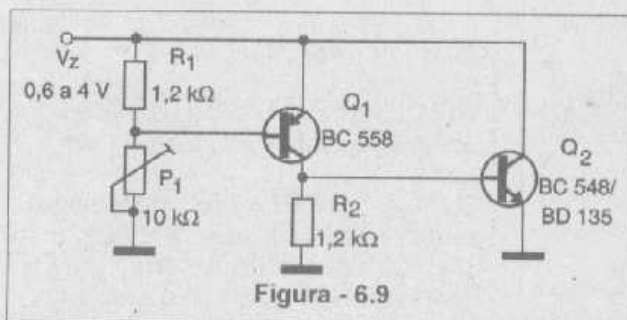
T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 5 + 5 V ou 6 + 6 V - corrente conforme a desejada na saída

F₁ - 1 A - fusível

S₁ - Interruptor simples - ver texto

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiador de calor para o circuito integrado, fios, solda, cabo de força, caixa para montagem, etc.



A tensão zener deste circuito simulador pode ser ajustada entre 0,6 e 4 V, tipicamente. Tensões maiores podem ser obtidas com alteração do valor de R_1 e R_2 .

O transistor Q_2 deve ser montado num pequeno radiador de calor, principalmente se o circuito operar com sua capacidade máxima de corrente.

Observamos que, apesar de simular um diodo zener, a linearidade deste circuito não é tão boa como a de um componente real. Assim, a tensão zener ajustada pode variar sensivelmente com as mudanças da tensão de entrada e da própria corrente no circuito.

Para maior precisão no ajuste, o *trim-pot* comum pode ser substituído por um do tipo multivoltas.

Observamos que o diodo zener também pode ser simulado de forma "inversa" com o uso de um transistor NPN para Q_1 (BC548, por exemplo) e um PNP para Q_2 (BD136, por exemplo).

Lista de Material

Q_1 - BC558 - transistor PNP de uso geral
 Q_2 - BC548 ou BD135 - transistor NPN de uso geral (até 50 mA) ou média potência (até 100 mA)

R_1, R_2 - 1,2 kΩ x 1/8 W - resistor - marrom, vermelho, vermelho

P_1 - 10 kΩ - *trim-pot*

Diversos:

Placa de circuito impresso, radiador de calor para Q_2 (se necessário), fios, solda, etc.

6.4 - FONTES DE MUITO ALTA TENSÃO

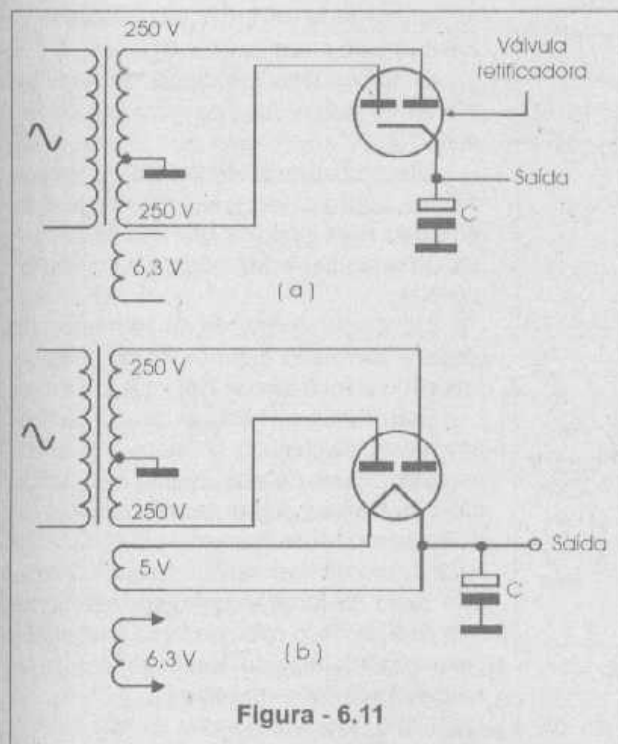
Tensões acima de 80 V são consideradas altas e acima de 2 000 volts são consideradas muito altas (MAT). Há diversos tipos de circuitos que precisam dessas tensões tanto para alimentação quanto para a simples polarização de componentes.

Em um primeiro caso temos os circuitos valvulados que operam com tensões na faixa de 80 a 500 V (amplificadores, transmissores, etc. e num segundo caso tubos de raios catódicos e câmaras de ionização, que operam com tensões na faixa de 2 000 a 40 000 volts.

A seguir damos algumas sugestões de fontes que podem ser utilizadas na alimentação desses circuitos.

6.4.1 - FONTES PARA APARELHOS VALVULADOS

As fontes típicas de aparelhos valvulados fazem uso de um transformador com dois ou mais secundários, conforme mostra a **figura 6.11**.



Em (a) temos uma fonte com um transformador dotado de secundário de alta tensão para os circuitos de placa (anodo) e outro secundário de 6,3 V para alimentação dos filamentos das válvulas.

Em (b) temos uma fonte com transformador dotado de dois secundários de baixa tensão. Um deles fornece 5 V para o filamento da válvula retificadora e o outro 6,3 V para os secundários das demais válvulas.

Atualmente, as válvulas retificadoras podem ser substituídas por diodos como os tipos 1N4004 e 1N4007, o que elimina a necessidade de um enrolamento para filamento da válvula retificadora. No entanto, deve continuar presente o enrolamento para os filamentos das demais válvulas.

Na figura 6.12 observamos fontes típicas de alta tensão para equipamento valvulado, usando diodos 1N4007. No primeiro caso uma fonte de meia onda e no segundo caso, uma fonte de onda completa.

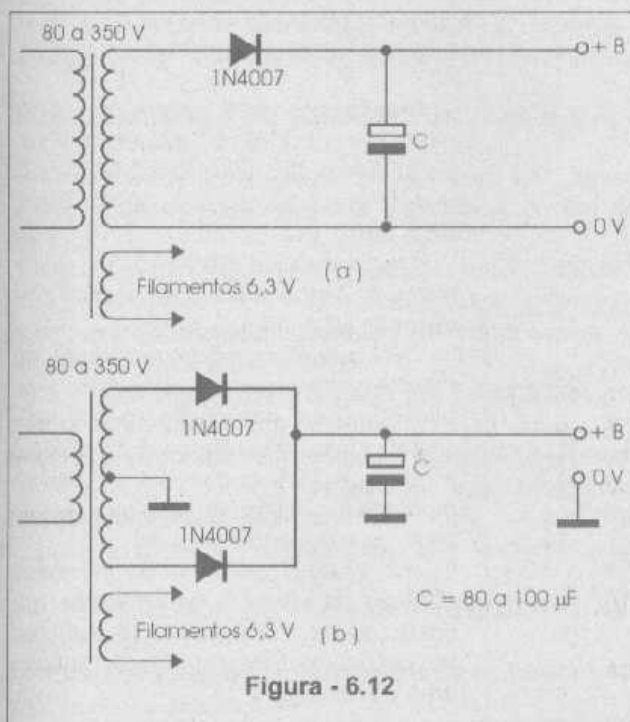
As correntes dos transformadores empregados nessas fontes variam bastante, dependendo da potência do aparelho. Os secundários de alta tensão têm correntes de 25 mA a 500 mA tipicamente, enquanto que os secundários de baixa tensão têm correntes de 1 A ou mais.

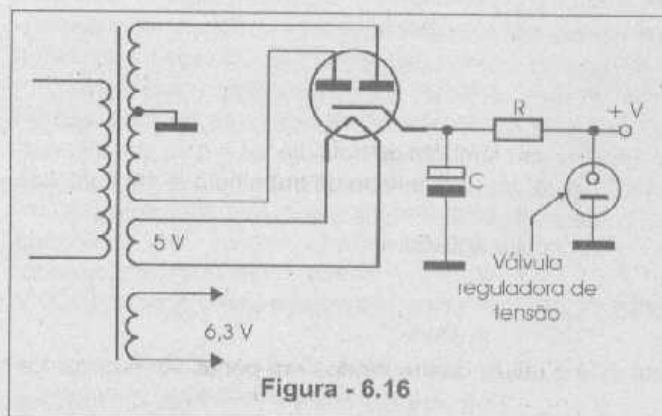
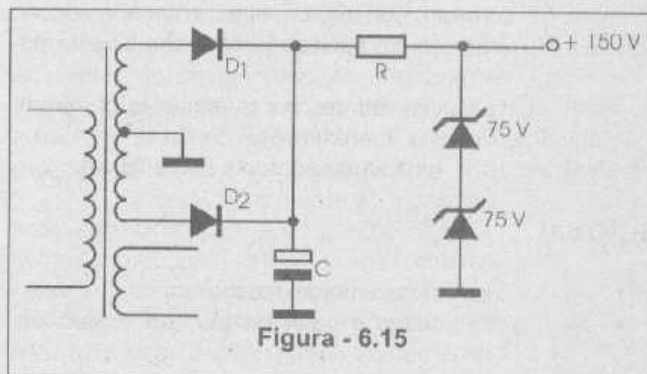
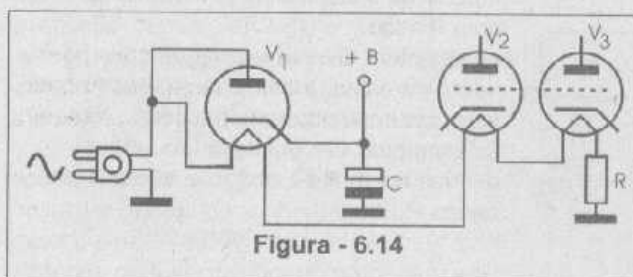
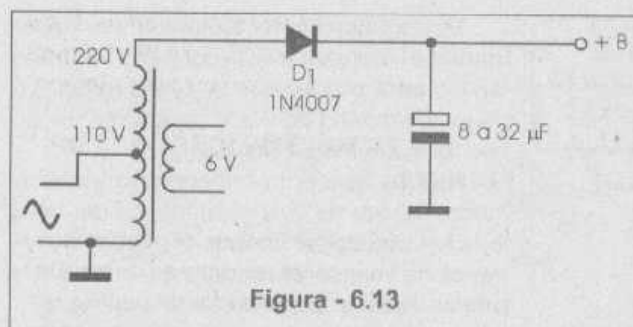
Lembramos que os transformadores usados nessas fontes são componentes pesados e volumosos. Atualmente, existem casas especializadas que podem fornecer esses componentes, quer seja com tensões padronizadas quer seja sob encomenda.

Alternativas para fontes de altas tensões que alimentam circuitos valvulados podem ser elaboradas com base em transformadores comuns ou mesmo sem transformadores.

Assim, na figura 6.13 vemos um circuito onde um transformador de duas tensões de entrada comum, com secundário de 6 V, é usado como autotransformador em uma fonte que pode chegar aos 300 V de saída.

O primário do transformador funciona como um autotransformador, elevando a





tensão da rede de 110 V para 220/240 V. Essa tensão é retificada e filtrada.

O secundário de baixa tensão alimenta os filamentos das válvulas do circuito.

Um problema inerente a esse tipo de fonte é que ela não é isolada da rede de energia. Isso significa que contatos com suas partes expostas podem causar choques.

Uma outra forma de se alimentar um circuito valvulado (sem o uso de transformador) é a ilustrada na **figura 6.14**.

Esse tipo de fonte era muito comum em rádios valvulados econômicos, denominados "rabo quente". Essa denominação curiosa vem do fato do resistor redutor de tensão para os filamentos das válvulas ligadas em série estar "embutido" no próprio cabo de força. Assim, em função de sua dissipação, o cabo de força funcionava levemente aquecido, justificando a denominação desses aparelhos.

Veja que a retificação da alta tensão é feita a partir da própria rede de energia, não havendo qualquer isolamento. Isso significa o perigo de choques ao se tocar em qualquer parte exposta desses circuitos.

Recuperadores de aparelhos antigos podem encontrar rádios que usam a válvula 35W4 como retificadora (35 V de filamento), e outras como a 6BA6, 6AV6, 6BE6, 50C5, etc.

A regulagem de alta tensão de aparelhos valvulados também é possível e há diversas alternativas.

Nos aparelhos modernos podem ser utilizados zeners de alta tensão, exatamente como nas configurações transistorizadas, veja a **figura 6.15**. Zeners a partir de 75 V podem ser obtidos no mercado especializado, se bem que não sejam componentes comuns.

No entanto, existem componentes da "era da válvula" equivalentes aos diodos zener. Na **figura 6.16** exibimos um circuito regulador de tensão usando uma válvula a gás.

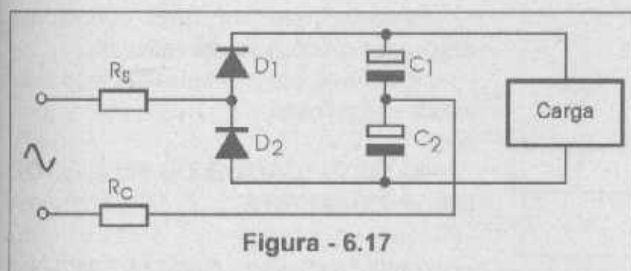


Figura - 6.17

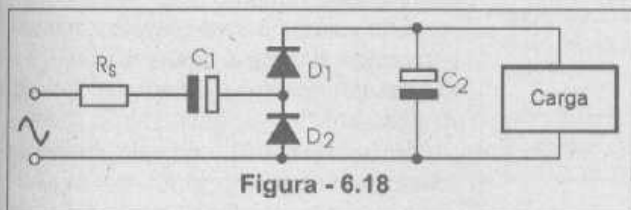


Figura - 6.18

É claro que esses componentes dificilmente são encontrados, pois já não mais são usados nos equipamentos modernos.

6.4.2 - MULTIPLICADORES DE TENSÃO

No projeto de fontes de alimentação ou ainda inversores, geradores de tensões muito altas e eletrificadores podem ser necessários circuitos capazes de dobrar, triplicar ou multiplicar por valores mais altos uma tensão.

Existem diversas configurações possíveis para estes circuitos, baseadas exclusivamente em diodos e capacitores. A seguir, focalizamos as principais configurações usadas na multiplicação de tensões alternadas.

COMO FUNCIONAM

Obter uma tensão contínua maior do que o valor de pico de uma tensão alternada a partir de um processo de retificação e filtragem não é muito difícil. Na verdade, podemos multiplicar tensões alternadas, obtendo tensões contínuas de valores muito mais altos usando apenas componentes passivos como diodos e capacitores.

As configurações de dobradores, triplicadores ou ainda multiplicadores por qualquer fator inteiro positivo são bastante comuns em fontes de alimentação de muitos aparelhos eletrônicos.

Para o leitor que deseja fazer uso destas configurações, damos algumas delas neste item.

1. DOBRADOR DE TENSÃO CONVENCIONAL

Essa configuração é mostrada na **figura 6.17**, tendo dois diodos e dois capacitores.

As tensões de trabalho dos capacitores devem ser no mínimo o valor de pico da tensão de entrada.

Os valores de R_s e R_c são bastante baixos, servindo normalmente para limitar os surtos de corrente no momento em que o circuito é ligado, encontrando os capacitores descarregados. Uma corrente muito intensa neste momento poderia causar danos aos diodos.

2. DOBRADOR DE TENSÃO EM CASCATA

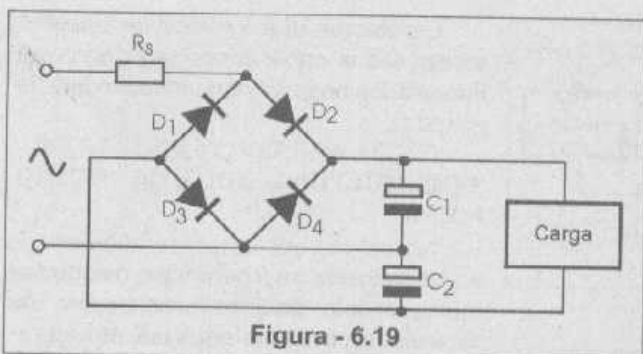
Esta configuração é ilustrada na **figura 6.18** e faz uso também de dois diodos e dois capacitores.

O capacitor C_2 nesta configuração, entretanto, deve ter uma tensão de trabalho que seja o dobro da tensão de pico de entrada.

A finalidade de R_s neste circuito é a mesma do circuito anterior.

3. DOBRADOR DE TENSÃO EM PONTE

Essa configuração trabalha em onda completa e utiliza quatro diodos em ponte. Apresentamos seu circuito na **figura 6.19**.



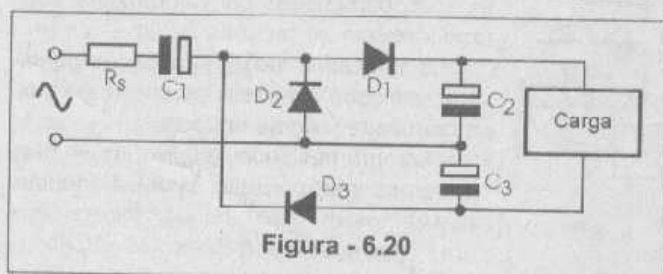
Observe que os dois capacitores devem ter tensões de trabalho que sejam pelo menos do mesmo valor que o pico da tensão de entrada.

4. TRIPLICADOR DE TENSÃO DE ONDA COMPLETA

A tensão de saída do circuito da figura 6.20 é aproximadamente o triplo do valor da tensão de entrada.

São usados 3 diodos e três capacitores, sendo as tensões mínimas de trabalho dos capacitores indicadas no próprio diagrama.

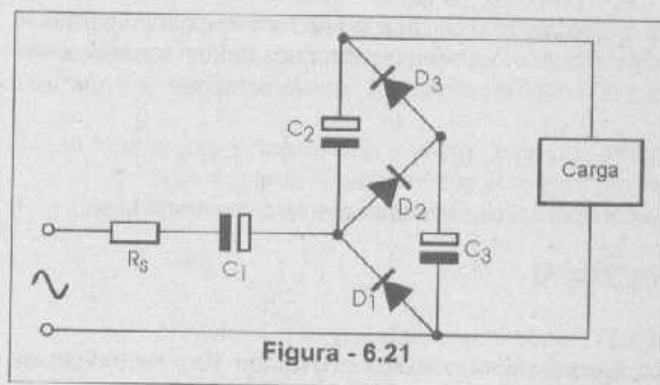
V_m neste circuito é o valor médio da tensão de entrada.



5. TRIPLICADOR DE TENSÃO EM CASCATA

O circuito da figura 6.21 fornece em sua saída uma tensão que é aproximadamente o triplo da tensão de entrada.

As tensões mínimas de trabalho dos capacitores são indicadas no próprio diagrama, onde V_m é o valor médio da tensão de entrada. O resistor R_s limita a corrente no momento em que o circuito é ligado e encontra os capacitores descarregados.

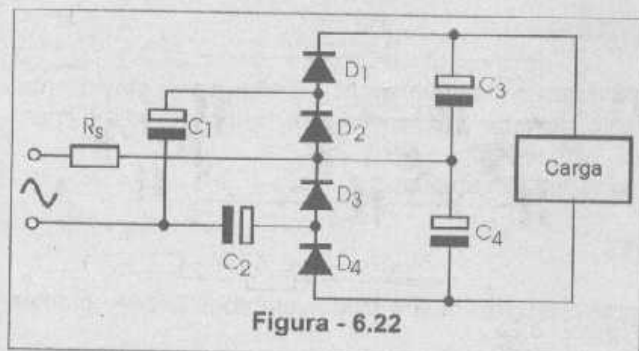


6. QUADRUPLICADOR DE TENSÃO DE ONDA COMPLETA

O circuito mostrado na figura 6.22 fornece em sua saída uma tensão aproximadamente 4 vezes maior que a tensão aplicada em sua entrada.

Os valores das tensões de trabalho mínimas dos capacitores são indicados no próprio diagrama.

Novamente, V_m é o valor da tensão média de entrada.



7. QUADRUPLICADOR DE TENSÃO DE MEIA ONDA

Este circuito usa quatro diodos e quatro capacitores, multiplicando por 4 a tensão de entrada.

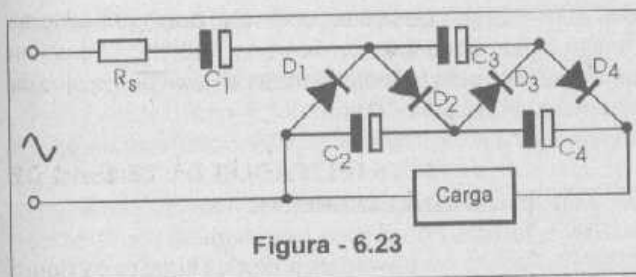


Figura - 6.23

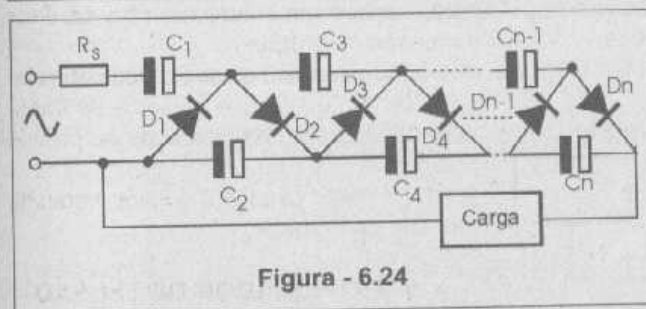


Figura - 6.24

Os valores das tensões de trabalho mínimas dos capacitores são dados na figura 6.23, onde V_m é a tensão média de entrada.

8. MULTIPLICADOR DE TENSÃO POR N

No circuito da figura 6.24, n pode ser qualquer fator positivo inteiro, e por ele ficará multiplicada a tensão de entrada.

Os capacitores colocados neste circuito devem ter tensões mínimas de trabalho indicadas no diagrama, segundo sua posição. V_m neste circuito, é o valor médio da tensão de entrada.

Lembramos aos leitores que não podemos criar energia. Assim, à medida que vamos obtendo tensões maiores com a multiplicação dada por estes circuitos,

as correntes disponíveis na carga vão se tornando proporcionalmente menores.

Leve-se em consideração também que no processo de multiplicação de tensão existem perdas a serem consideradas, o que reduz ainda mais a corrente que podemos obter nas saídas e conseqüentemente a potência.

6.4.3 - FONTES DE MAT

Para gerar tensões acima de 1.000 volts existem diversas técnicas que mostramos agora. A seguir, apresentaremos alguns circuitos práticos para o leitor.

1. FONTE COM MULTIPLICADOR

A mais simples é a que faz uso de um multiplicador de tensão ligado diretamente à rede de energia, como mostra a figura 6.25.

Esse tipo de fonte pode gerar tensões de 1 000 a 5 000 V a partir da tensão de 110 ou 220 V da rede de energia, evidentemente com correntes extremamente baixas.

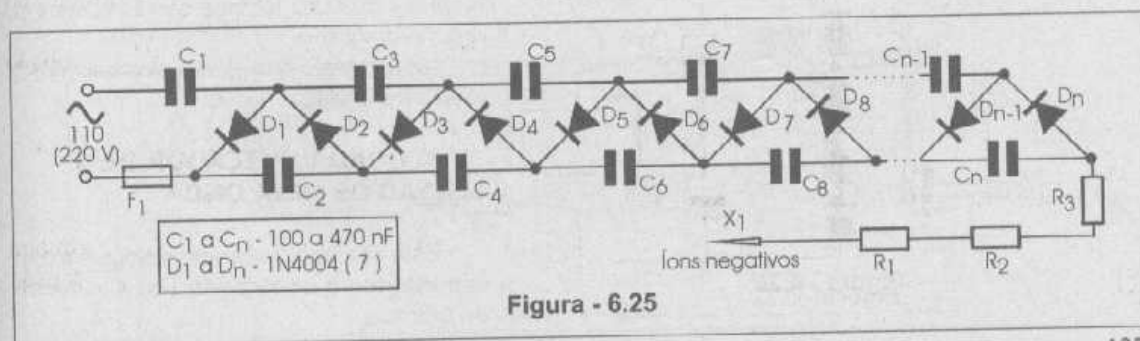


Figura - 6.25

Sua maior utilização é nos gerador de íons, semelhantes ao ilustrado na **figura 6.25**, que gera íons negativos, ou ainda para a alimentação de filtros eletrostáticos.

Os capacitores devem ser de poliéster com uma tensão de trabalho de 250 V ou mais (se a rede for de 110 V) e de 400 V ou mais, se a rede for de 220 V.

Os capacitores podem ter valores entre 100 nF e 470 nF, conforme a "potência" desejada para a fonte.

Na **figura 6.26** temos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem desta fonte.

Para se obter a tensão de saída, multiplica-se a tensão de entrada pelo número de ramos do multiplicador (n).

Observamos que essa fonte está ligada diretamente à rede de energia e portanto não deve ter nenhuma parte exposta, sob o risco de choques.

Para gerar íons poder ser usado um alfinete ou agulha, que os expulsará no meio ambiente, pelo efeito das pontas.

Lista de Material

D₁ a D_n - 1N4004 (rede de 110 V) ou 1N4007 (rede de 220 V) - diodos retificados de silício

C₁ a C_n - 100 nF a 470 nF - capacitores de poliéster

F₁ - 500 mA - fusível

R₁, R₂, R₃ - 1 MΩ x 1/8 W - resistores - marrom, preto, verde - opcional - apenas para gerador de íons

Diversos:

Placa de circuito impresso, cabo de força, fios, solda, etc.

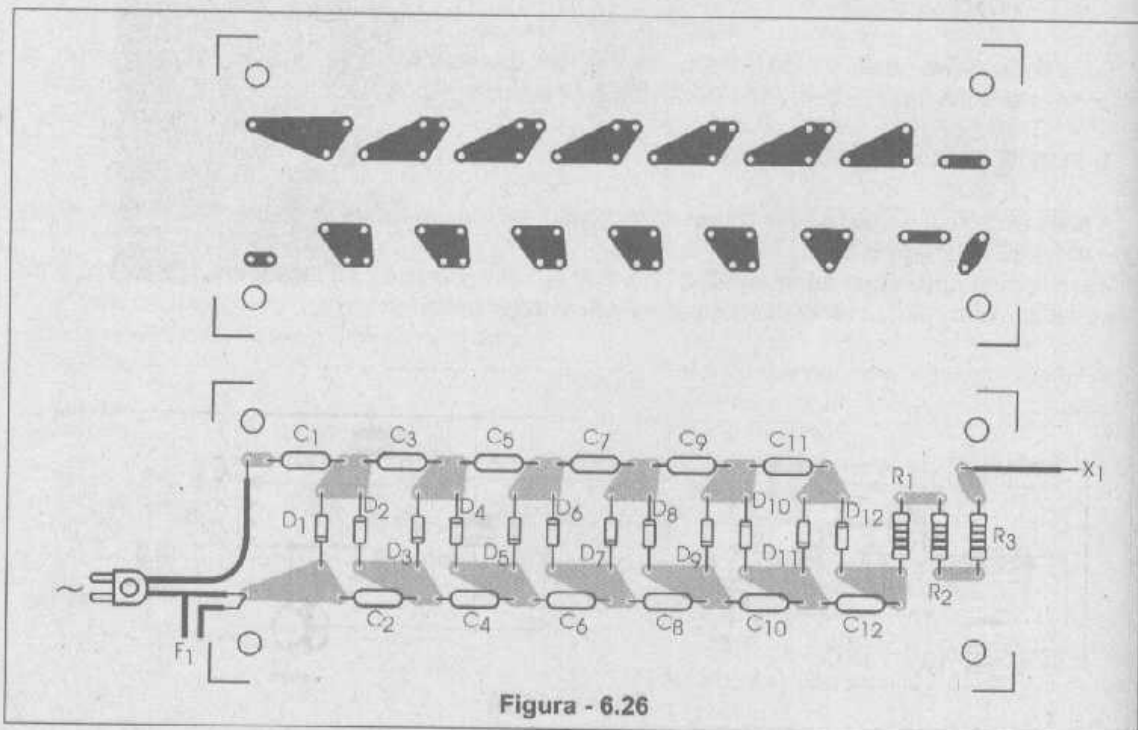


Figura - 6.26

2. FONTE DE MAT COM TRANSISTOR BIPOLAR

Nos televisores e monitores de vídeo, a alta tensão é gerada aproveitando-se o sinal do oscilador horizontal (varredura horizontal), o qual é aplicado a um transformador que tem um enrolamento de alta tensão (transformador de saída horizontal ou TSH), observe a **figura 6.27**.

Este tipo de transformador ou mesmo bobinas de ignição de automóveis podem ser usados para se gerar alta tensão a partir de 6 a 18 V de entrada, com a ajuda de um oscilador, contendo um transistor de alta potência.

Um exemplo desta configuração é exibido na **figura 6.28**.

Este circuito utiliza um transistor 2N3055 como oscilador Hartley, onde a frequência é determinada pelo capacitor em paralelo com a bobina no circuito de realimentação.

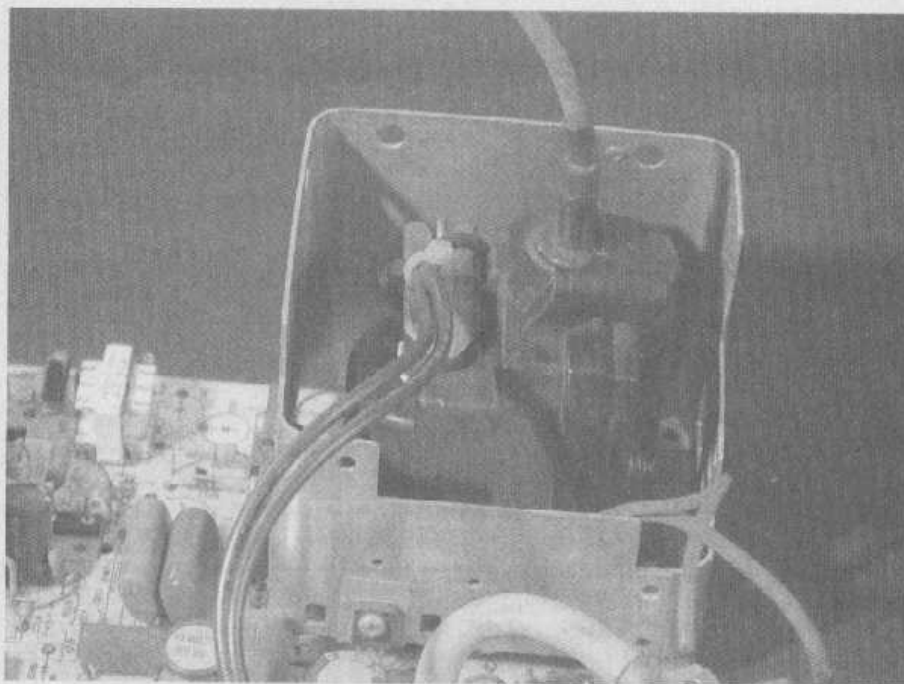


Figura - 6.27

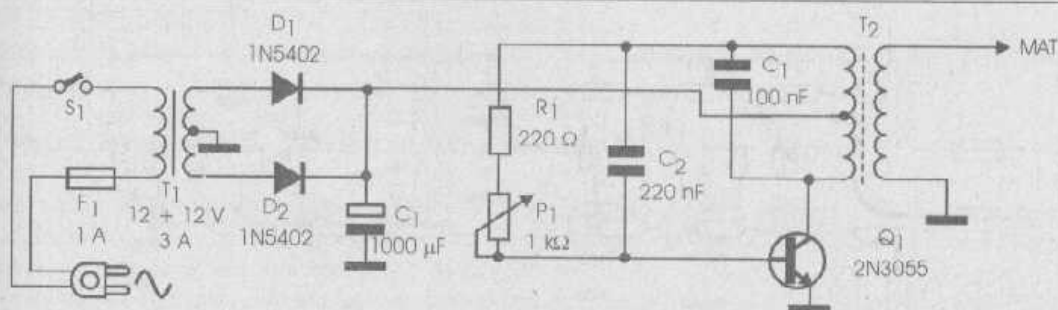
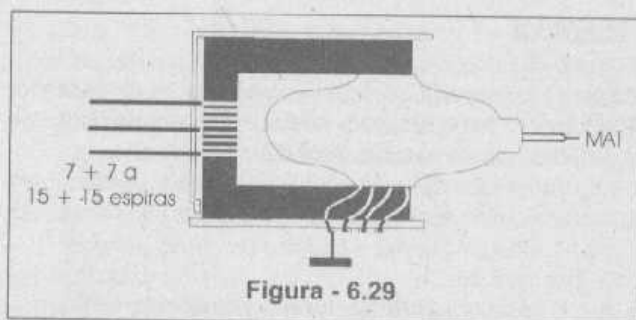


Figura - 6.28



A bobina consiste em 7+7 a 15 + 15 espiras de fio esmaltado 22 ou mais grosso, enroladas na parte inferior do núcleo do transformador de saída horizontal, conforme mostra a **figura 6.29**.

O transistor deve ser montado num bom radiador de calor e o potenciômetro permite ajustar a frequência para maior rendimento.

A tensão obtida neste circuito depende muito do transformador, ficando na faixa dos 4 000 a 20 000 volts tipicamente.

Em função das características dos componentes usados podem ser necessárias alterações nos valores de C_2 e C_3 para se obter melhor rendimento do circuito.

Lista de Material

Q_1 - 2N3055 - transistor NPN de potência

D_1, D_2 - 1N5402 - diodos retificadores de silício

R_1 - 220 Ω x 1 W - resistor - vermelho, vermelho, marrom

P_1 - 1 k Ω - potenciômetro de fio

C_1 - 1 000 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico

C_2 - 220 nF - capacitor de poliéster

C_3 - 100 nF - capacitor de poliéster

T_1 - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 12 + 12 V x 3 A

T_2 - Transformador de saída horizontal de televisor antigo (sem triplicador)

F_1 - 1 A - fusível

S_1 - Interruptor simples

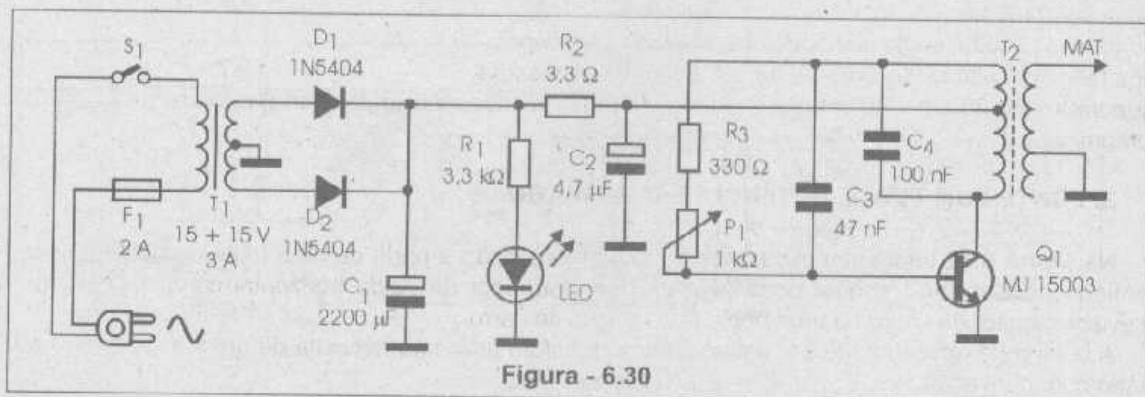
Diversos:

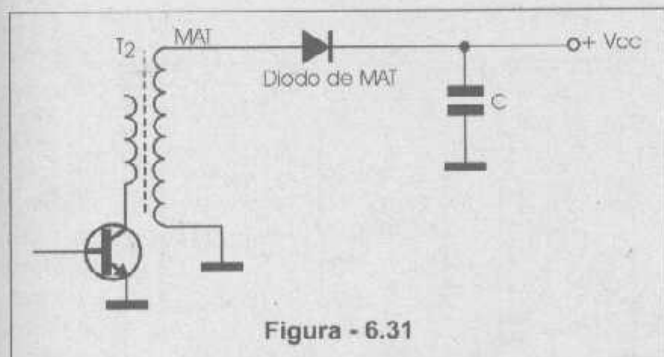
Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, suporte para o fusível, caixa para montagem, cabo de força, fios, solda, etc.

Uma versão de maior potência é ilustrada na **figura 6.30**.

Ela faz uso de um transistor NPN de potência Motorola MJ15003 e pode fornecer tensões ultrapassando os 30 000 V, dependendo apenas do transformador colocado.

A tensão de alimentação do setor de baixa tensão é bem mais elevada, chegando aos 30 V, e a corrente também é mais intensa. O resultado é uma potência de algumas dezenas de watts para excitar o transformador de alta tensão.





Neste caso também, o transformador T_2 é um *flyback* de televisor, e o enrolamento primário é formado por 6 + 6 a 15 + 15 espiras de fio esmaltado 22 ou mesmo fio comum com capa plástica.

Deve ser utilizado um transformador que tenha núcleo exposto sem triplicador para que essa bobina primária possa ser enrolada. Observamos que as altas tensões produzidas por esse circuito são perigosas, devendo o mesmo ser utilizado com o máximo de cuidado.

O transistor de potência deve ser montado num excelente dissipador de calor, e em alguns, pode até ser necessário utilizar algum sistema de ventilação forçada.

R_2 deve ter seu valor experimentado na faixa de 2,7 ohms a 10 ohms para se obter o melhor desempenho sem superaquecimento do transistor.

O transformador T_1 pode ter tensões de secundário de 15 + 15 V a 22 + 22 V com uma corrente mínima de 3 ampères. O primário deve ser de acordo com a rede local de energia.

Dependendo das características do transformador de alta tensão usado, C_3 e C_4 devem ter seus valores alterados para se obter o melhor desempenho do circuito.

Para uma aplicação em que se deseje altas tensões contínuas pode ser agregado um circuito retificador semelhante ao da **figura 6.31**.

Nesse circuito temos um diodo de alta tensão e o capacitor é feito com placas de vidro de 0,4 a 0,5 mm de espessura (quadrados de 20 cm x 20 cm ou maiores, conforme a capacitância desejada) e folhas de alumínio comum.

3. FONTE COM FET DE POTÊNCIA E INTEGRADO

Na **figura 6.32** temos um circuito de fonte de alta tensão a partir de uma fonte de baixa tensão contínua de 6 a 15 V, o qual pode usar um transformador de saída horizontal comum (TSH) de televisor/monitor de vídeo ou uma bobina de ignição de carro.

A bobina de ignição pode ser usada, pois o transformador não necessita de um enrolamento primário com derivação.

Lista de Material

Q_1 - MJ15003 - Transistor NPN de alta potência e alta tensão

D_1, D_2 - 1N5404 - diodos retificadores de silício

LED - LED vermelho comum

R_1 - 3,3 k Ω x 1/8 W - resistor - laranja, laraja, vermelho

R_2 - 3,3 Ω x 10 W - resistor de fio

R_3 - 330 Ω x 5 W - resistor de fio

R_4 - 1 k Ω - potenciômetro de fio

C_1 - 2 200 μ F x 40 V - capacitor eletrolítico

C_2 - 4,7 μ F x 40 V - capacitor eletrolítico

C_3 - 47 nF - capacitor de poliéster

C_4 - 100 nF - capacitor de poliéster

T_1 - Transformador com secundário de 15 + 15 V a 22 + 22 V x 3 A - ver texto

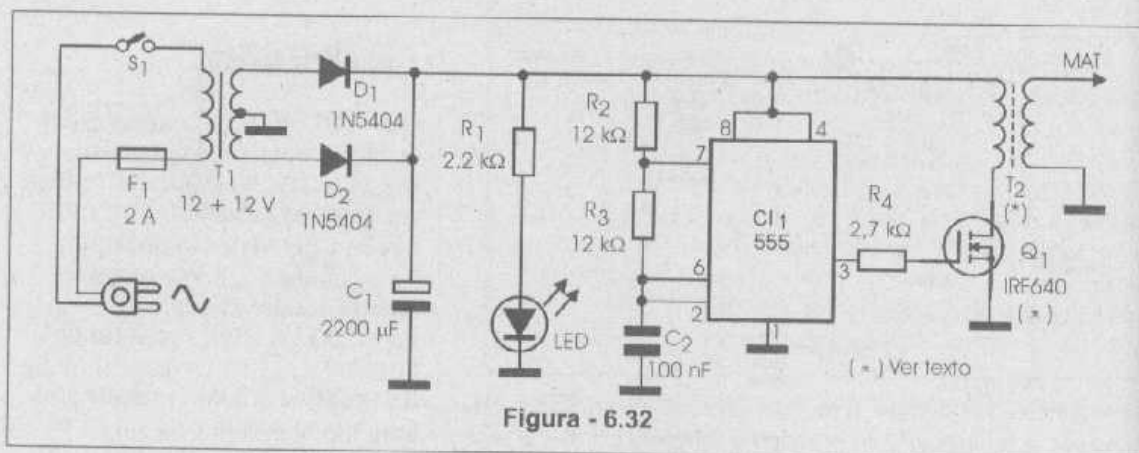
T_2 - Transformador de saída horizontal - *flyback* - ver texto

F_1 - 2 A - fusível

S_1 - Interruptor simples

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, radiador de calor para o transistor, cabo de força, suporte para o fusível, caixa para montagem, fios, solda, etc.



O circuito basicamente emprega um oscilador com o circuito integrado 555, o qual excita a comporta (*gate*) basicamente de um transistor de efeito de campo de potência. Esse circuito também funcionará se em lugar do FET de potência for colocado um Darlington de potência NPN. Nos dois casos, o transistor deverá ser montado em um excelente radiador de calor.

Para o caso de um transformador de saída horizontal, deve ser utilizado o tipo sem triplicador com núcleo exposto para se fazer o enrolamento primário. Esse enrolamento consiste de 10 a 25 espiras de fio comum 22. O melhor número de espiras para máximo rendimento deve ser obtido experimentalmente.

Lista de Material

CI₁ - 555 - circuito integrado, *timer*

D₁, D₂ - 1N5402 - diodos rectificadores de silicio

LED - LED vermelho comum

Q₁ - IRF640 ou qualquer *Power MOSFET* de canal N

R₁ - 2,2 kΩ x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho

R₂, R₃ - 12 kΩ x 1/8 W - resistor - marrom, vermelho, laranja

R₄ - 2,7 k Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, violeta, vermelho

C₁ - 2 200 μ F x 25 V - capacitor eletrolítico

C_2 - 100 nF - capacitor de poliéster

T₁ - Transformador com primário de acordo com a rede local e secundário de 12 + 12 V x 2 A

T₂ - Transformador de saída horizontal - ver texto

F₁ - 2 A - fusivel

S₁ - Interruptor simples

4. FONTE COM SCR

Um outro circuito de fonte bastante simples para tensões muito altas, usando um SCR como componente básico, é mostrado na **figura 6.33**.

Esse circuito consiste em um oscilador de relaxação com base numa lâmpada néon que, ao produzir pulsos, os utiliza para disparar um SCR.

O SCR está ligado em série com um capacitor e o enrolamento primário da bobina de alta tensão.

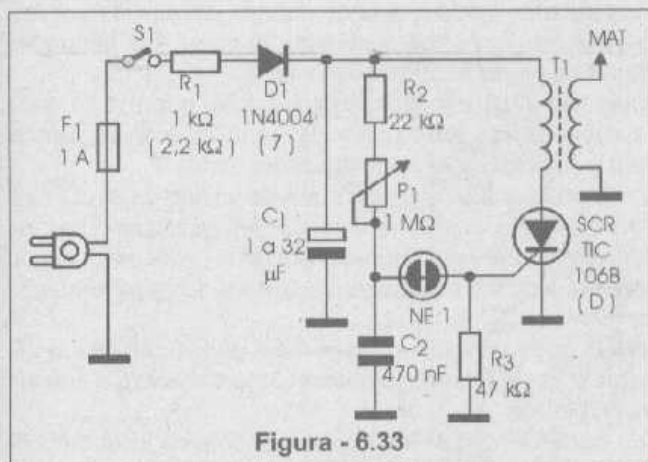


Figura - 6.33

O capacitor carrega-se com uma tensão elevada, da ordem de 40 a 400 V, o qual ao descarregar-se através da bobina produz pulsos de tensão muito alta.

Este tipo de circuito é bastante empregado em sistemas de ignição automotiva, onde a alta tensão para a etapa do SCR é produzida por um circuito inversor, fazendo-o operar com tensões entre 400 e 600 volts tipicamente.

No circuito da **figura 6.33** a potência do circuito depende basicamente do valor do capacitor de alta tensão C_1 .

Esse capacitor deve ser do tipo de alta tensão, com valores típicos entre 1 μF e 47 μF para as aplicações comuns.

Na rede de 110 V, esse capacitor deve ter uma tensão de trabalho de pelo menos 200 V e na rede de 220 V, sua tensão mínima de trabalho deve ser de 400 V.

A bobina de alta tensão pode ser do tipo usado em ignição de carro ou ainda um *flyback* comum de TV, onde o enrolamento primário consiste em 10 a 30 espiras de fio comum.

O potenciômetro P_1 serve para ajustar a frequência do circuito e, com isso, a intensidade dos pulsos de alta tensão.

O resistor R_1 deve ser de fio, com pelo menos 10 W de dissipação. Seu valor depende da rede de energia.

A lâmpada néon pode ser substituída por um DIAC. O SCR não precisará ser montado em dissipador de calor.

Atenção: Esse circuito não é isolado da rede de energia, portanto todas suas partes expostas devem ser protegidas. Qualquer contato pode causar choques perigosos.

6.5 - INVERSORES

Os inversores são usados quando se deseja obter tensões mais elevadas (contínuas ou alternadas) a partir de fontes de corrente contínua de baixas tensões.

Exemplos de aplicações de inversores estão nos tipos utilizados em carros ou casas de campo sem energia, com a finalidade de alimentar eletro-eletrônicos a partir de baterias. Também

Lista de Material

SCR - TIC106B ou D - conforme rede de energia - diodo controlado de silício

D_1 - 1N4004 (110 V) ou 1N4007 (220 V) - diodo de silício

NE-1 - lâmpada néon comum

NE-2H ou equivalente

R_1 - 1 k Ω x 10 W (110 V) ou 2,2 k Ω x 10 W (220 V) - resistor de fio

R_2 - 22 k Ω x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, laranja

R_3 - 47 k Ω x 1/8 W - resistor - amarelo, violeta, laranja

P_1 - 1 M Ω - potenciômetro lin ou log

C_1 - 1 a 32 μF - capacitor eletrolítico - ver texto

C_2 - 470 nF x 100 V - capacitor de poliéster

T_1 - Transformador *flyback* ou bobina de ignição - ver texto

F_1 - 1 A - fusível

S_1 - Interruptor simples

Diversos:

Placa de circuito impresso ou ponte de terminais, caixa para montagem, cabo de força, botão para o potenciômetro, fios, solda, etc.

podemos citar os *no-braks* que mantêm um computador ligado à rede de energia em funcionamento, quando a energia falta e é suprida por uma bateria. Podemos finalmente lembrar das lâmpadas fluorescentes, que podem ser alimentadas a partir de pilhas ou baterias comuns.

Na maioria dos casos de inversores simples não há a preocupação em manter a forma de onda senoidal e a frequência de 60 Hz da rede de energia. Isso ocorre principalmente quando aparelhos não críticos são alimentados, tais como lâmpadas fluorescentes, eletrificadores, etc.

Entretanto, para aplicações mais críticas é preciso que a forma de onda da tensão de saída seja senoidal e a frequência seja mantida em 50 Hz ou 60 Hz, conforme o caso. Para esses circuitos, as configurações são bem mais críticas, pois envolvem controles adicionais com microprocessadores ou outros circuitos sofisticados. É o caso de *no-breaks* e outros equipamentos destinados a alimentação de aparelhos eletrônicos.

Um ponto importante que deve ser observado ao se usar um inversor é em relação ao seu rendimento. Energia não pode ser criada, então o que o inversor fornece a uma carga é a energia que ele retira das baterias, descontando-se as perdas no circuito.

Um inversor comum com transformador de núcleo laminado tem um rendimento na faixa de 50% a 70%. Os inversores sofisticados que utilizam transformadores com núcleos de ferrite e outros recursos podem chegar aos 90%.

Assim, conforme mostra a **figura 6.34**, se um inversor deve fornecer uma potência de 10 W de saída num circuito de 110 V, o que implica em uma corrente aproximada de 100 mA, a bateria usada deve ser capaz de fornecer essa potência.

Uma bateria de 12 V para fornecer essa potência precisará ter uma capacidade que lhe permita fornecer pelo menos 900 mA de corrente. Descontando-se as perdas, a capacidade da bateria deverá ser ainda maior.

Veja que os inversores de potências mais altas devem operar com baterias de grandes capacidades, e à medida que o equipamento alimentado tem um consumo maior, a autonomia da bateria ou fonte se reduz proporcionalmente.

A seguir, damos alguns circuitos simples de inversores que basicamente servem para a alimentação de lâmpadas fluorescentes em sistemas de iluminação de emergência,

sinalização e *camping* além de circuitos eletrificadores e de polarização, e inclusive de alimentação de válvulas Geiger e outros.

1. INVERSOR SIMPLES TRANSISTORIZADO

O circuito ilustrado na **figura 6.35** é basicamente um oscilador Hartley de potência que pode usar transistores de média ou alta potência como os BD135, TIP31 e 2N3055.

Para o BD135, a potência chegará a 4 ou 5 W possibilitando a alimentação de pequenas lâmpadas fluorescentes comuns e mesmo ultravioleta.

Para o TIP31, a potência será um pouco maior e, finalmente, para o 2N3055 poderemos passar dos 10 W com a alimen-

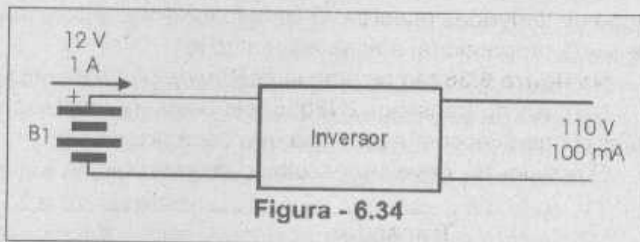


Figura - 6.34

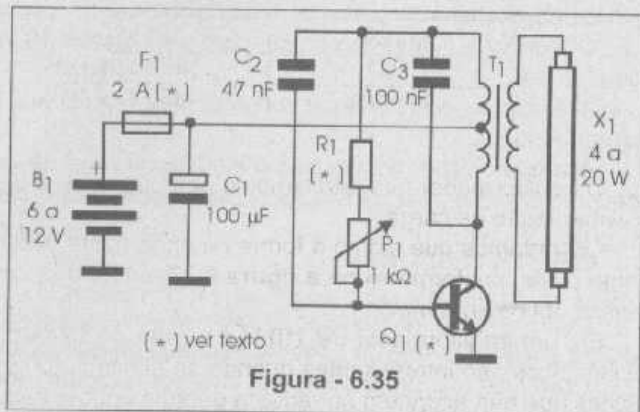
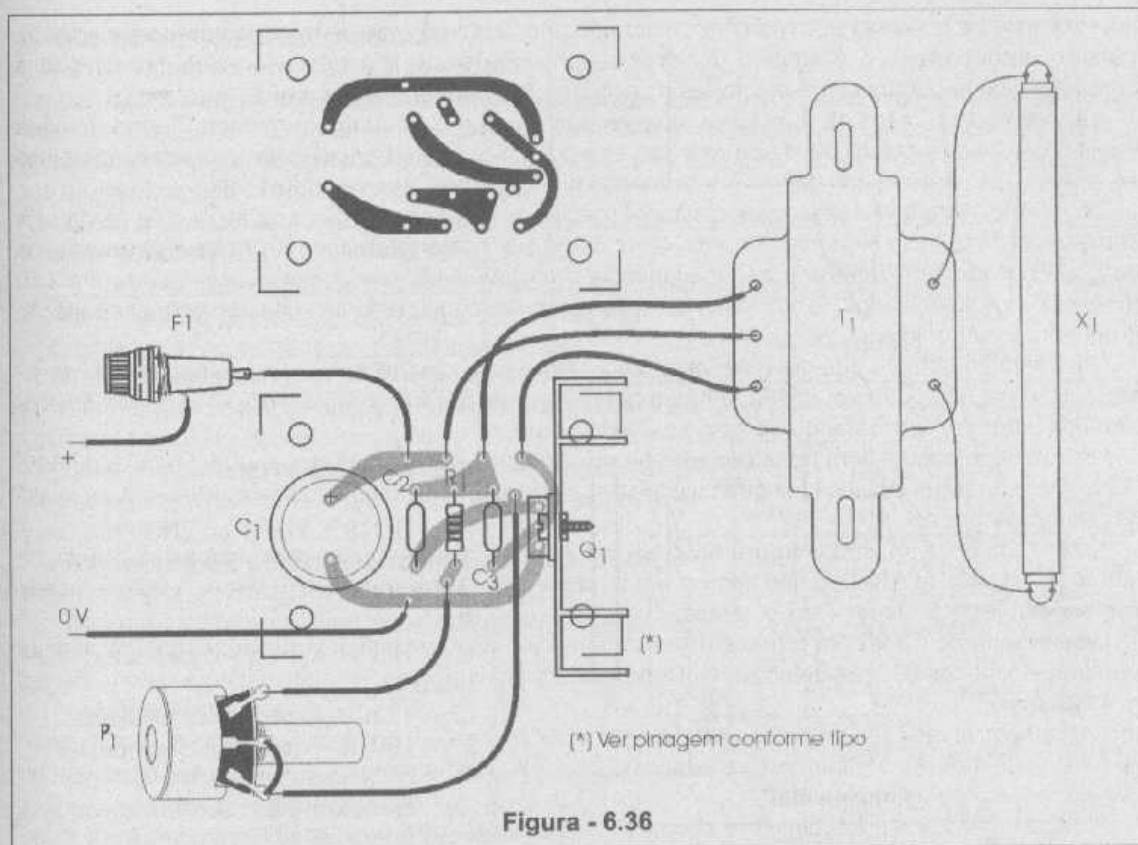


Figura - 6.35



tação de lâmpadas maiores. O circuito funcionará com tensões de entrada de 6 a 12 V, com potência de saída proporcional a essa alimentação.

Na **figura 6.36** temos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem.

No caso do transistor 2N3055, ele deve ser montado externamente à placa em um dissipador de calor compatível com a potência que deve dissipar.

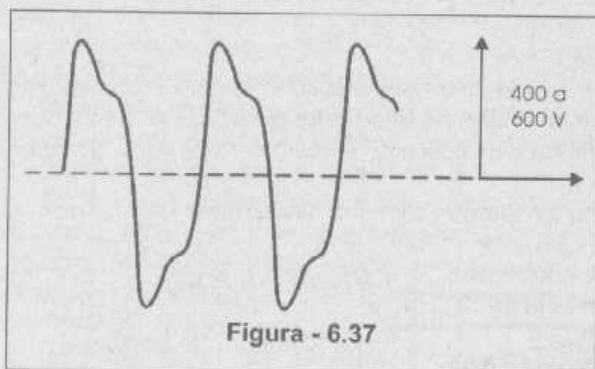
O resistor R_1 deve ser escolhido de acordo com o transistor usado, conforme a seguinte tabela:

Transistor	R_1
BD135	$1\text{ k}\Omega \times \frac{1}{2}\text{ W}$
TIP31	$470\ \Omega \times \frac{1}{2}\text{ W}$
2N3055	$220\ \Omega \times 1\text{ W}$

O transformador tem enrolamento primário de 110 V ou 220 V, conforme a tensão desejada para a alimentação da carga.

Observamos que, como a forma de onda deste circuito não é perfeitamente senoidal, mas apresenta picos, conforme exibe a **figura 6.37**, mesmo utilizando transformadores de 110 V ou 220 V a tensão obtida será maior.

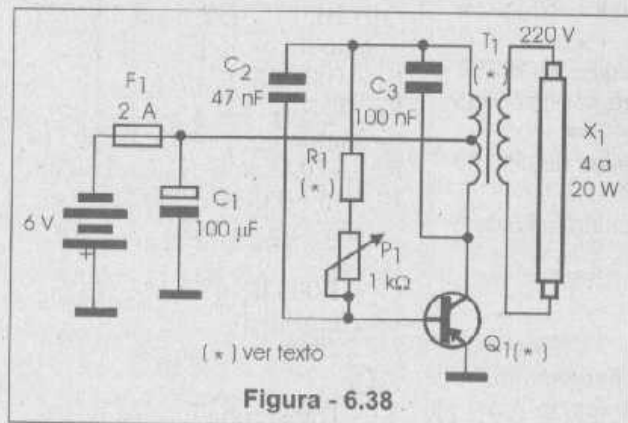
Em um transformador de 110 V a tensão de saída pode ter picos que alcançam mais de 250 V. Esses picos são interessantes quando se alimenta lâmpadas fluorescentes, pois mesmo aquelas já gastas que não acendem na rede de energia podem funcionar perfeitamente no inversor.



O secundário do transformador pode ter tensões de 6 a 12 V com correntes na faixa de 250 mA a 800 mA, conforme o transistor colocado.

A tabela abaixo dá as características do transformador em função do transistor.

Transistor	Transformador
BD135	250 a 500 mA
TIP31	300 a 600 mA
2N3055	500 a 800 mA



Evidentemente, os componentes do circuito não são críticos, inclusive os capacitores, caso em que o leitor pode fazer experiências com a troca de valores de modo a obter o melhor rendimento.

O potenciômetro serve para ajustar a realimentação do circuito de modo a se obter o máximo rendimento, em função das características do transformador usado.

Veja que é possível usar lâmpadas maiores do que a potência fornecida pelo inversor. No entanto, o brilho da lâmpada, nesses casos, será menor, dado apenas pela potência que o inversor pode fornecer.

Para as versões com o BD135 a alimentação pode vir de 4 a 8 pilhas comuns. Sugere-se o uso de pilhas médias ou grandes, dado o consumo do aparelho.

O ideal é usar pilhas C ou D recarregáveis, pois sua autonomia será de apenas algumas horas num circuito como esse. Baterias recarregáveis de 6 a 12 V também podem ser usadas, e as de maior capacidade nas versões com o TIP31 ou 2N3055.

A figura 6.38 apresenta a versão deste circuito, o qual faz uso de transistores PNP equivalentes, no caso os BD136, TIP32 e 2N2955, este último em invólucro plástico.

Observamos que o cabo de conexão à lâmpada pode ser longo, mas deve ser bem isolado para que choques sejam evitados, devido à alta tensão presente.

Lista de Material

- Q₁ - BD135, TIP31 ou 2N3055 - Transistores NPN conforme versão - ver texto
- R₁ - Ver texto
- C₁ - 100 µF x 16 V - capacitor eletrolítico
- C₂ - 47 nF - capacitor de poliéster
- C₃ - 100 nF - capacitor de poliéster
- P₁ - 1 kΩ - potenciômetro
- T₁ - Transformador conforme versão - ver texto
- X₁ - Lâmpada fluorescente de 4 a 20 W - conforme versão
- F₁ - 2 A - fusível
- B₁ - 6 a 12 V - Pilhas médias, grandes ou bateria
- Diversos: Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, suporte para o fusível (opcional, apenas para versões alimentadas no carro), fios, solda, etc.

2. INVERSOR COM O 555

Na **figura 6.39** mostramos um simples inversor que utiliza um circuito integrado 555 como oscilador. O princípio de funcionamento é simples de entender: os sinais retangulares, cuja frequência é ajustada em P_1 , são aplicados a Q_1 que os amplifica e os aplica ao enrolamento de baixa tensão de um transformador.

O transformador tem um enrolamento de alta tensão que alimenta diretamente a carga externa, no caso uma lâmpada fluorescente de 4 a 20 W.

A potência dependerá do transistor utilizado, da tensão de alimentação e também do transformador. A **tabela** do circuito anterior vale perfeitamente para este circuito.

Podemos apenas acrescentar a possibilidade de se usar um MOSFET de potência, com a redução do valor do resistor ligado ao pino 3 do circuito integrado.

Esse componente pode ser de 1 k Ω . Qualquer MOSFET de potência com corrente a partir de 1 A pode ser colocado neste circuito.

Na **figura 6.40** temos uma sugestão de placa de circuito impresso para a montagem desse inversor.

O circuito pode ser alimentado por tensões na faixa de 6 a 12 V.

3. INVERSOR CMOS

Descrevemos agora a montagem de um pequeno inversor que permite acender lâmpadas fluorescentes de 4 a 15 watts a partir de 4 pilhas recarregáveis de Nicad, ou 4 pilhas comuns tamanho C ou D, ou ainda baterias tanto de 6 como de 12 V.

O circuito é ideal para ser agregado a um sistema de iluminação de emergência, agora que estamos diante da possibilidade de cortes inesperados de energia.

Com o rendimento elevado do circuito é possível aumentar a autonomia de pilhas ou baterias nos sistemas de emergência.

Lista de Material

CI1 - 555, circuito integrado - timer

Q1 - BD135, TIP31 ou 2N3055 - como no projeto anterior

P1 - 100 k Ω - *trimpot*

R1, R2 - 4,7 k Ω x 1/8 W - resistor - amarelo, violeta, vermelho

R3 - 470 Ω para as versões com BD135 e TIP31 e 220 Ω para a versão com 2N3055 - 1/8 W - resistor

C1 - 1 000 μ F x 16 V - capacitor eletrolítico

C2 - 100 nF - capacitor de poliéster

T1 - Transformador - como no projeto anterior - ver texto

F1 - 2 A - fusível

S1 - Interruptor simples

X1 - Lâmpada fluorescentes de 4 a 20 W

Diversos:

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor de potência, caixa para montagem, suporte para o fusível (opcional), fios, solda, etc.

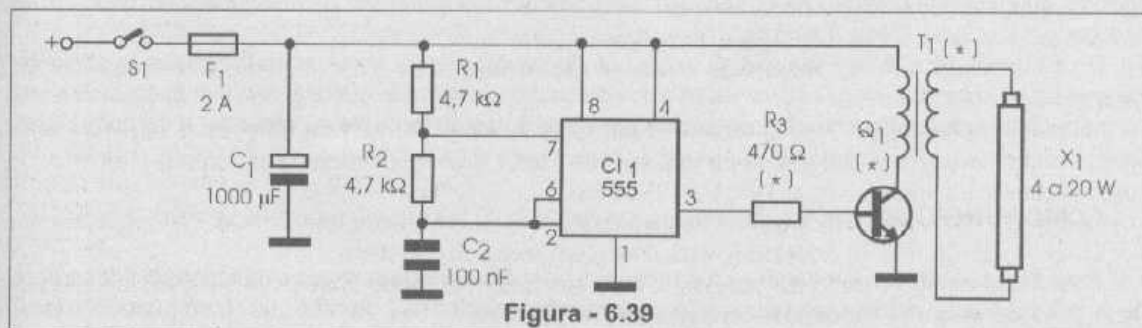
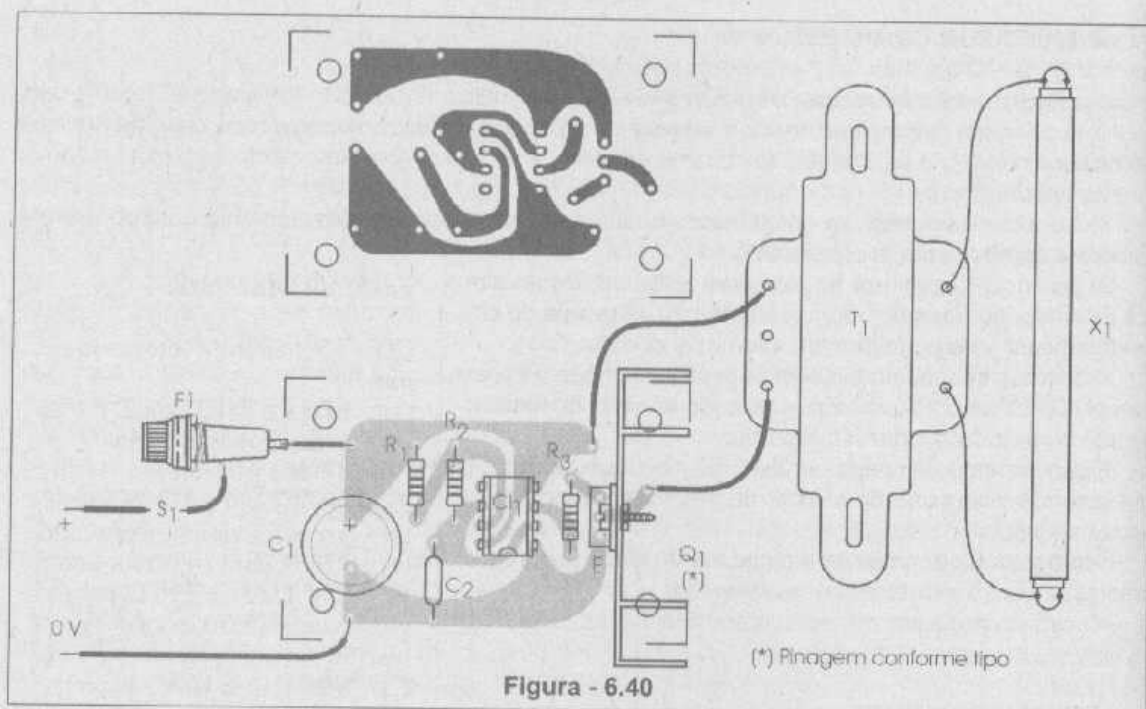


Figura - 6.39



O CIRCUITO

As lâmpadas incandescentes possuem um baixo rendimento na conversão de energia elétrica em luz. De fato, menos de 30% da energia é convertida em luz, o que significa a necessidade de compensarmos com a potência o nível de iluminação desejado.

Este problema é, em especial, grave nos sistemas de iluminação de emergência que fazem uso de lâmpadas incandescentes, pois precisamos de uma potência maior, o que reduz a autonomia da fonte.

Com a utilização de um inversor podemos empregar lâmpadas fluorescentes, e mesmo que seu rendimento não seja 100%, a possibilidade de usarmos lâmpadas mais eficientes significa que a autonomia da bateria pode ser ampliada com a geração maior de luz.

O inversor que apresentamos é de pequena potência para pequenas lâmpadas fluorescentes e pode funcionar até a partir de pilhas, o que o torna ideal para um sistema doméstico de baixo consumo.

Basta ter pilhas recarregáveis em carga constante (ou bateria) ou mesmo pilhas comuns, que uma ou mais lâmpadas fluorescentes podem ser mantidas acesas por algumas horas no caso do corte de energia.

O uso de MOSFETs de Potência na excitação do transformador torna o circuito bastante eficiente, mesmo usando um transformador comum e sua simplicidade permite que ele seja instalado facilmente numa pequena caixa. Esta caixa pode incluir também todo o sistema de emergência e carga da bateria.

COMO FUNCIONA

Para elevar-se a tensão de 6 ou 12 V de pilhas e baterias para o valor necessário à ionização de lâmpadas fluorescentes precisamos de um circuito oscilador de potência que, normalmente, opera

entre 500 e 5000 Hz dependendo do transformador usado. No nosso caso utilizamos um circuito integrado CMOS do tipo 7555 (equivalente ao bipolar 555 que também pode ser empregado) na configuração astável, onde a frequência depende de R_1 , R_2 e C_2 .

Com os valores indicados, levando-se em conta a tolerância dos componentes, o circuito oscilará na faixa indicada.

Os leitores que desejarem poderão trocar R_1 por um *trimpot* de 100 k Ω em série com um resistor de 1 k Ω e, com isso, terão um ajuste da frequência de modo a encontrar a ressonância do transformador e portanto, o maior rendimento.

Os pulsos retangulares do 7555 são aplicados à comporta (*gate*) de um FET de potência.

Este tipo de transistor pode controlar correntes muito altas, passando para um estado de muito baixa resistência entre o dreno e a fonte, quando saturado.

Isso possibilita a transferência com alto rendimento da energia da bateria que alimenta o circuito para o secundário do transformador que ele tem como carga.

O transformador utilizado é do tipo com primário de acordo com a rede local e secundário de 6 ou 12 V, e corrente na faixa de 100 a 250 mA (tipo pequeno, portanto). O secundário de baixa tensão funciona como primário recebendo os pulsos do oscilador, e no primário aparece uma alta tensão com picos de intensidade suficiente para ionizar a lâmpada e acendê-la.

Como a forma de onda do circuito não é senoidal e nem a frequência é de 60 Hz, mesmo quando usamos um transformador de 110 V ou 220 V de primário, a tensão que aparece neste enrolamento não tem estes valores.

Em alguns casos, seus picos podem superar os 400 V, o que faz com que até mesmo lâmpadas gastas que já não funcionem na rede de energia acendam sem problemas neste inversor.

É importante observar que a potência do circuito não é a potência da luz usada, logo, para uma lâmpada maior (15 W, por exemplo), ela acenderá com brilho reduzido.

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Não se pode criar energia. Lembre-se que a energia que você obtém na saída de um inversor é a energia que sua bateria entrega. Assim sendo, não espere obter mais do que pilhas ou baterias podem fornecer num circuito deste tipo.

Muitos pensam que podem aumentar tanto a tensão quanto a corrente que uma pilha ou bateria pode fornecer, o que significa "criar energia". Como na natureza nada se cria, nada se perde, mas tudo se transforma (Lavoisier), nenhum inversor poderá ser utilizado para aumentar a "energia" de pilhas ou baterias.

MONTAGEM

O diagrama completo do inversor é mostrado na **figura 6.41**.

A disposição dos componentes numa pequena placa de circuito impresso é ilustrada na **figura 6.42**.

Para correntes até 200 mA, o transistor não precisa de radiador de calor. No entanto, se a corrente tender a um valor maior, o que pode ser percebido pelo aquecimento do transistor, será interessante dotá-lo de um pequeno dissipador de calor. Este dissipador pode ser uma plaquinha de metal dobrada em "U" com uns 4 a 5 cm² de área.

Qualquer FET de potência que tenha uma corrente de dreno de 1 A ou mais pode ser colocado no projeto.

O transformador pode ser de 110 V ou 220 V de enrolamento primário e secundário de 5 ou 6 V, com corrente entre 100 e 300 mA. Dependendo da lâmpada será interessante usar o menor.

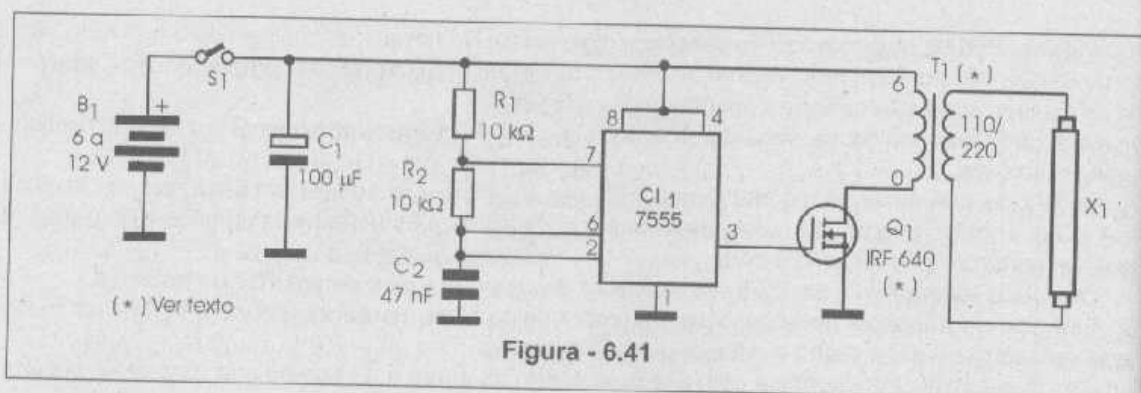


Figura - 6.41

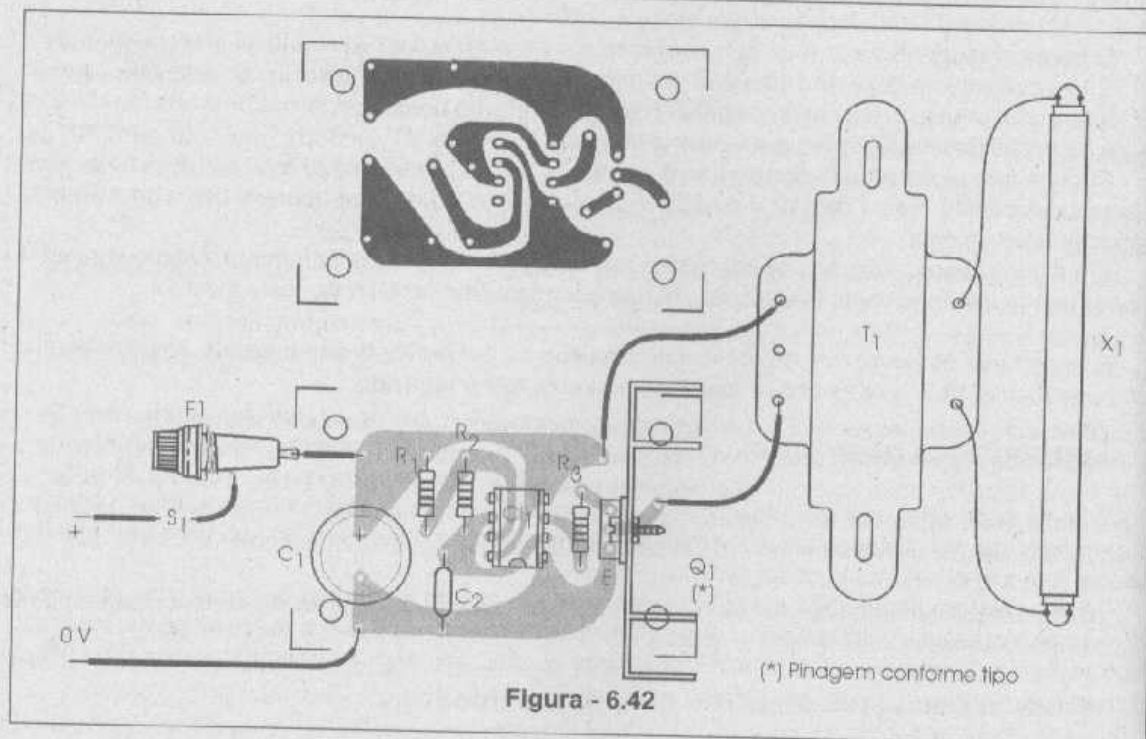


Figura - 6.42

A lâmpada fluorescente pode ser de qualquer tipo de 4 a 15 watts.
Para a alimentação existem diversas possibilidades:

- 4 pilhas comuns médias ou grandes - Com esta alimentação teremos algumas horas de autonomia, dependendo da corrente específica de seu projeto, a qual é dada pelas características do transformador. A desvantagem desta alimentação é que só podemos usar as pilhas uma única vez.
- 4 pilhas recarregáveis de Nicad médias ou grandes - Teremos uma boa autonomia com a vantagem de que podemos recarregar as pilhas para serem utilizadas novamente.
- Bateria de 6 ou 12 V - Neste caso a vantagem está na maior autonomia e também na possibilidade de recarregarmos a bateria.

Será interessante pensar na possibilidade de agregar ao circuito um carregador que fique permanentemente ligado na rede de energia.

INVERSORES PARA ELETRODOMÉSTICOS

Este tipo de circuito com sinais retangulares e frequência diferente de 60 Hz não serve para alimentar muitos eletrodomésticos e eletrônicos. De fato, os picos de alta tensão podem ser perigosos para estes aparelhos e a própria frequência é usada em eletrodomésticos que têm motores para sincronizar seu movimento.

Eleto-eletrônicos sensíveis à forma de onda e frequência da rede só devem ser alimentados por inversores apropriados que gerem uma tensão senoidal regulada de 60 Hz.

PROVA E USO

Para provar o aparelho basta colocar a fonte de alimentação (pilhas ou bateria), a lâmpada deve acender.

Se o brilho não for grande pode-se alterar R_1 e R_2 na faixa de 2,2 k Ω a 47 k Ω de modo a se obter uma frequência de oscilação que resulte em melhor rendimento, casando com as características do transformador usado.

Uma possibilidade já discutida consiste em se agregar um *trimpot* de ajuste. Não toque nos fios que vão para a lâmpada.

Embora sendo alimentado por pilhas e bateria, a tensão chega a ultrapassar a 400 V o que, apesar de não ser mortal, causa um choque bastante desagradável.

A lâmpada fluorescente pode ficar longe do aparelho, sem problemas, dependendo da aplicação.

Comprovado o funcionamento, é só fazer a instalação em uma caixa de modo a facilitar seu transporte e uso.

Obs.: Com a alimentação por um plugue do tipo acendedor de cigarros de carro, o inversor pode funcionar no carro.

4. CINCO CIRCUITOS SELECIONADOS DE INVERSOR

Alimentar lâmpadas fluorescentes pequenas a partir de pilhas ou baterias pode ter diversas utilidades: iluminação de emergência, *camping*, sinalização, efeitos especiais, entre outras.

Para completar este item selecionamos 5 circuitos simples de inversores de baixa potência que podem ser usados com as finalidades acima. Os circuitos utilizam transformadores comuns e não possuem regulagem de frequência ou forma de onda, não servindo portanto para outras aplicações.

Usando como base o versátil circuito integrado CMOS 4093, os 5 circuitos que apresentamos se caracterizam por empregar componentes comuns. Lembramos que os inversores de maior potência e que fornecem sinais com frequência da rede de energia usam transformadores especiais que precisam ser enrolados em empresas especializadas.

O circuito integrado 4093 consiste de quatro portas NAND disparadoras CMOS que podem ser usados de forma independente, conforme exige a pinagem da **figura 6.43**.

Nos nossos projetos usamos as portas como osciladores e como amplificadores digitais para excitar transistores Darlington de potência. Em todos os circuitos colocamos pequenos transformadores

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - TLC7555 ou TLC555 - circuito integrado CMOS

Q₁ - IRF640 - Transistor de Efeito de Campo de potência - ou equivalente - ver texto

Resistores: (1/8W, 5%)

R₁, R₂ - 10 k Ω - marrom, preto, laranja

Capacitores:

C₂ - 47 nF - poliéster ou cerâmico

C₁ - 100 μ F x 16 V - eletrolítico

Diversos:

T₁ - Transformador com primário de 110 V ou 220 V, e secundário de 5 ou 6 V com corrente de 100 a 300 mA - ver texto

X₁ - lâmpada fluorescente pequena de 4 a 15 W

S₁ - Interruptor simples

B₁ - Pilhas ou bateria - 6 a 12 V - ver texto

Placa de circuito impresso, caixa para montagem, soquete para lâmpada fluorescente, suporte de pilhas, fios, solda.

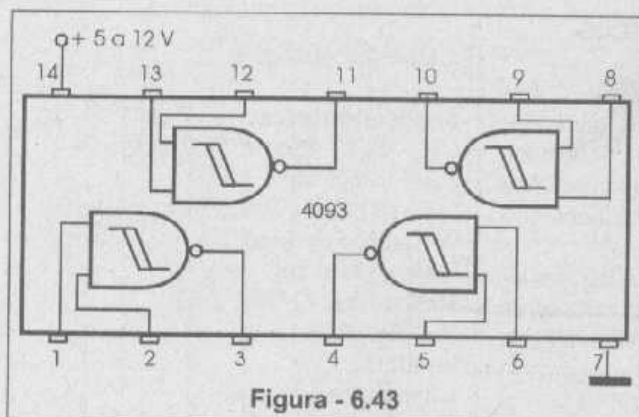


Figura - 6.43

de alimentação com secundários de 6 ou 12 V e correntes de 250 a 500 mA.

Lembramos ainda que, como o circuito é de baixa potência, as lâmpadas maiores não acenderão com a máxima potência. O rendimento dependerá muito do transformador usado e da frequência ajustada para a operação.

Inversor Simples

O primeiro circuito que apresentamos simplesmente acende uma lâmpada fluorescente pequena a partir de pilhas (6 V) ou bateria (9 ou 12 V). Não deve ser usada bateria pequena de 9 V, pois sua corrente é insuficiente para alimentar o circuito. Na figura 6.44 temos este primeiro inversor.

O primeiro oscilador determina a frequência do sinal que vai excitar o circuito. O resistor R_1 eventualmente deve ser alterado na faixa de 10 k Ω a 47 k Ω de modo a se obter a frequência que, com o transformador usado, proporcione o maior rendimento.

As lâmpadas podem ser até mesmo as que já estejam fracas demais para funcionar na rede de energia. A forma de onda pulsante do circuito, com picos que podem chegar a mais de 400 V, apesar

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS
Q₁ - TIP120 - transistor NPN Darlington de potência

Resistores: (1/8 W, 5%)

R_1 - 33 k Ω - laranja, laranja, laranja
 R_2 - 2,2 k Ω - vermelho, vermelho, vermelho

Capacitores:

C_1 - 220 nF - cerâmico ou poliéster
 C_2 - 100 μ F x 16 V - eletrolítico

Diversos:

T₁ - transformador - ver texto

X₁ - Lâmpada fluorescente de 4 a 20 W

S₁ - Interruptor simples

B₁ - 6 V a 12 V (pilhas médias, grandes ou bateria grande)

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, suporte de pilhas médias ou grandes, fios, solda, etc.

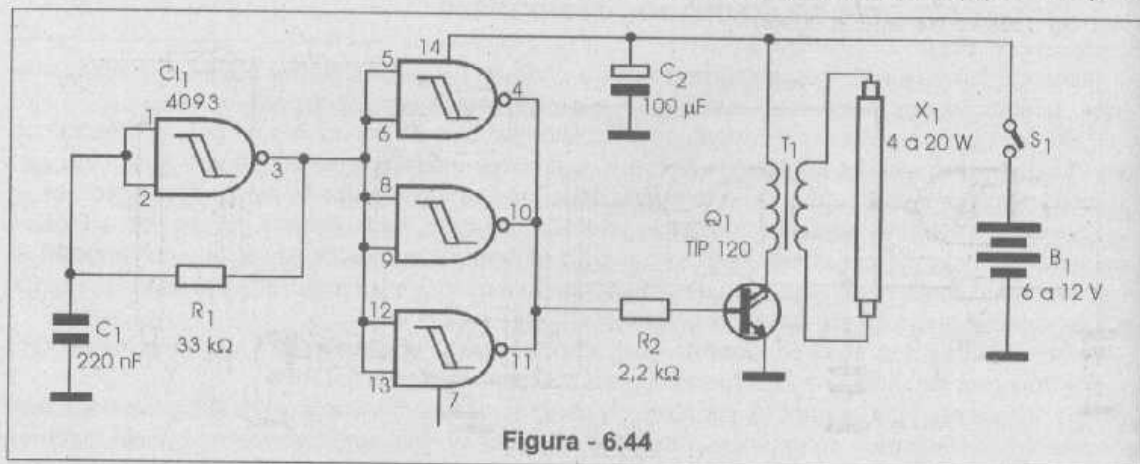
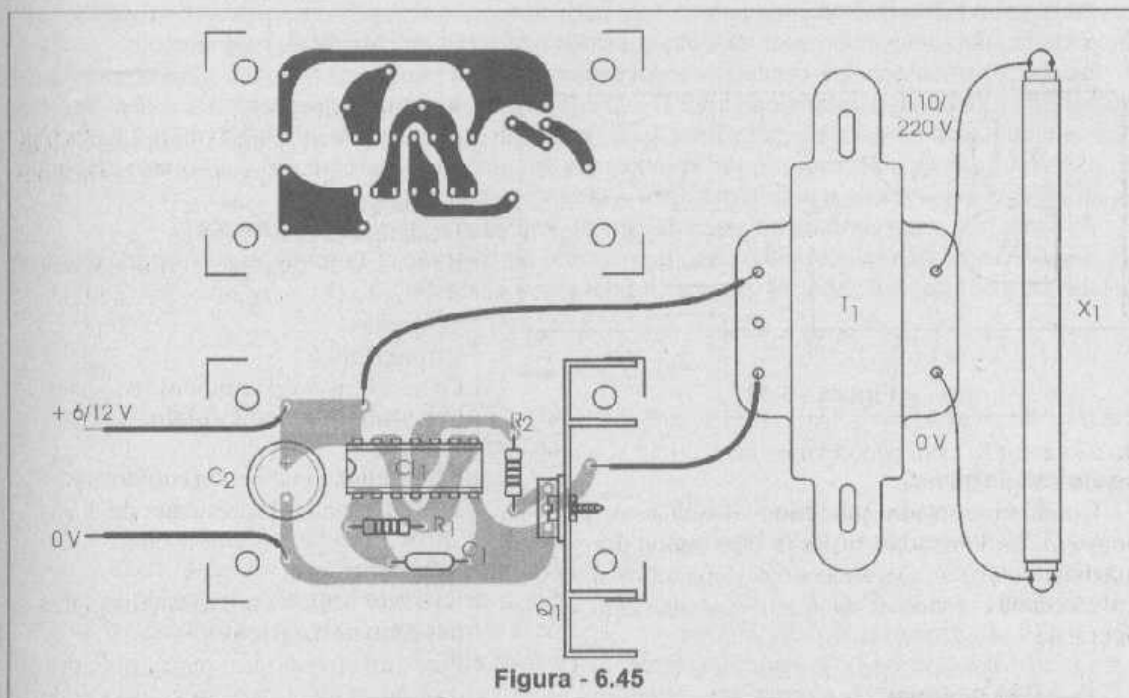


Figura - 6.44



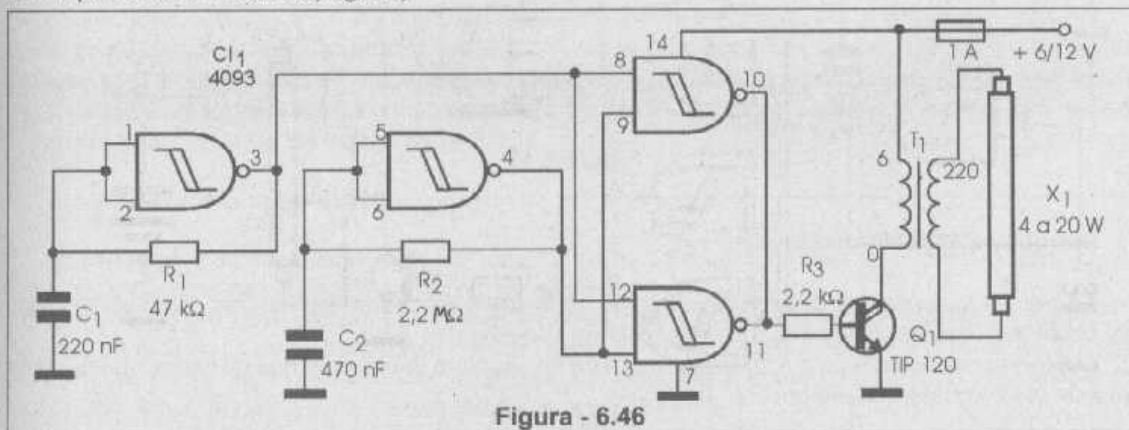
do transformador ter primário de 110 V ou 220 V, é suficiente para se obter uma boa ionização. A montagem do circuito pode ser implementada numa pequena placa de circuito impresso com a disposição de componentes mostrada na **figura 6.45**.

O transistor de potência admite equivalentes da mesma série e deve ser dotado de um radiador de calor.

O cabo para a lâmpada fluorescente pode ser longo, mas deve ser isolado, pois a alta tensão presente pode causar choques em caso de toque acidental.

Pisca-Pisca Fluorescente

O circuito da **figura 6.46** faz uma lâmpada fluorescente piscar com um ciclo ativo de 50% (metade do tempo acesa e metade apagada).



Da mesma forma que no caso anterior, ele pode funcionar com pilhas pequenas ou médias, bateria, portanto, lâmpadas fluorescentes enfraquecidas não terão problemas de acionamento.

Neste circuito temos dois osciladores: um determinando a frequência mais apropriada para excitar o transformador e que é determinada por C_1 . O outro fixa a velocidade das piscadas, a qual depende fundamentalmente do valor do capacitor C_2 que pode ser alterado na faixa de 100 nF a 2,2 μ F.

Os sinais dos dois osciladores são combinados em um amplificador digital e aplicados ao transistor amplificador que excita o transformador e a lâmpada com alta tensão.

A montagem pode ser feita na placa de circuito impresso ilustrada na **figura 6.47**.

Também recomendamos neste caso que o cabo de conexão à lâmpada, se for longo, seja bem isolado para não causar choques em caso de um toque acidental.

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ - TIP120 - transistor NPN Darlington de potência

Resistores: (1/8 W, 5%)

R₁ - 47 k Ω - amarelo, violeta, laranja

R₂ - 2,2 M Ω - vermelho, vermelho, verde

R₃ - 2,2 k Ω - vermelho, vermelho, vermelho

Capacitores:

C₁ - 220 nF - cerâmico ou poliéster

C₂ - 470 nF - cerâmico ou poliéster

Diversos:

T₁ - transformador - ver texto (como na primeira montagem)

X₁ - 4 a 20 W - lâmpada fluorescente

F₁ - 1 A - fusível

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, fios, solda, etc.

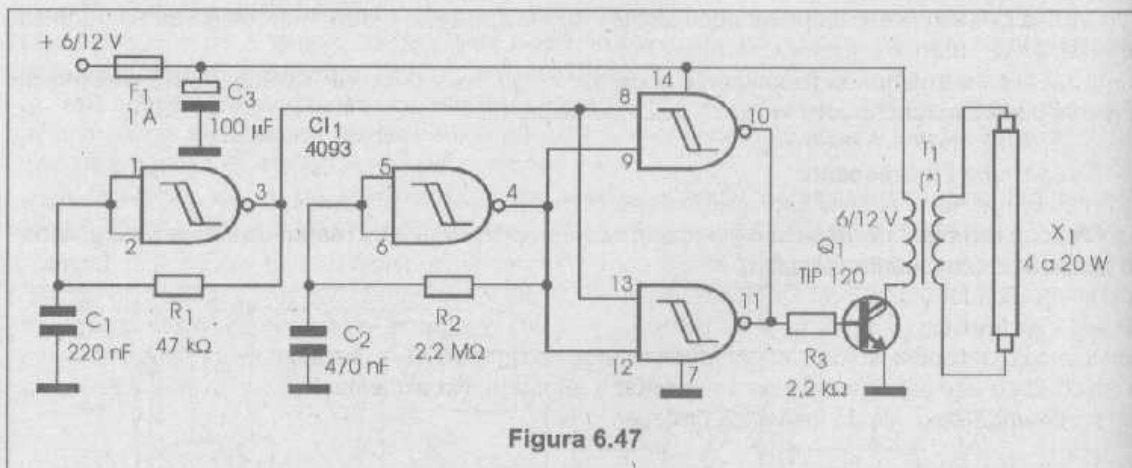


Figura 6.47

Estroboscópica Fluorescente

As piscadas rápidas do circuito apresentado na **figura 6.48** podem ser usadas como efeito especial em festas, decorações e em outras aplicações semelhantes.

O diferencial deste circuito é a possibilidade de se ajustar a velocidade das piscadas numa ampla faixa de valores determinada por P₁.

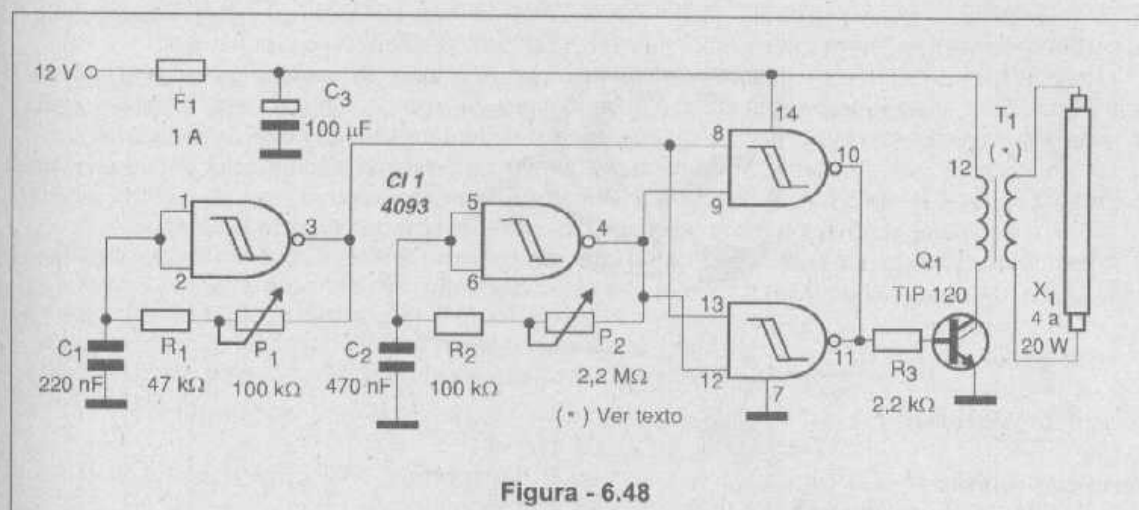


Figura - 6.48

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ - TIP120 - transistor NPN Darlington de potência

Resistores: (1/8 W, 5%)

R₁ - 47 kΩ - amarelo, violeta, laranja

R₂ - 100 kΩ - marrom, preto, amarelo

R₃ - 2,2 kΩ - vermelho, vermelho, vermelho

P₁ - 100 kΩ - potenciômetro

P₂ - 2,2 MΩ - potenciômetro

Capacitores:

C₁ - 220 nF - cerâmico ou poliéster

C₂ - 470 nF - cerâmico ou poliéster

C₃ - 100 μF x 16 V - eletrolítico

Diversos:

T₁ - Transformador - como no primeiro projeto

X₁ - 4 a 20 W - lâmpada fluorescente comum

F₁ - 1 A - fusível

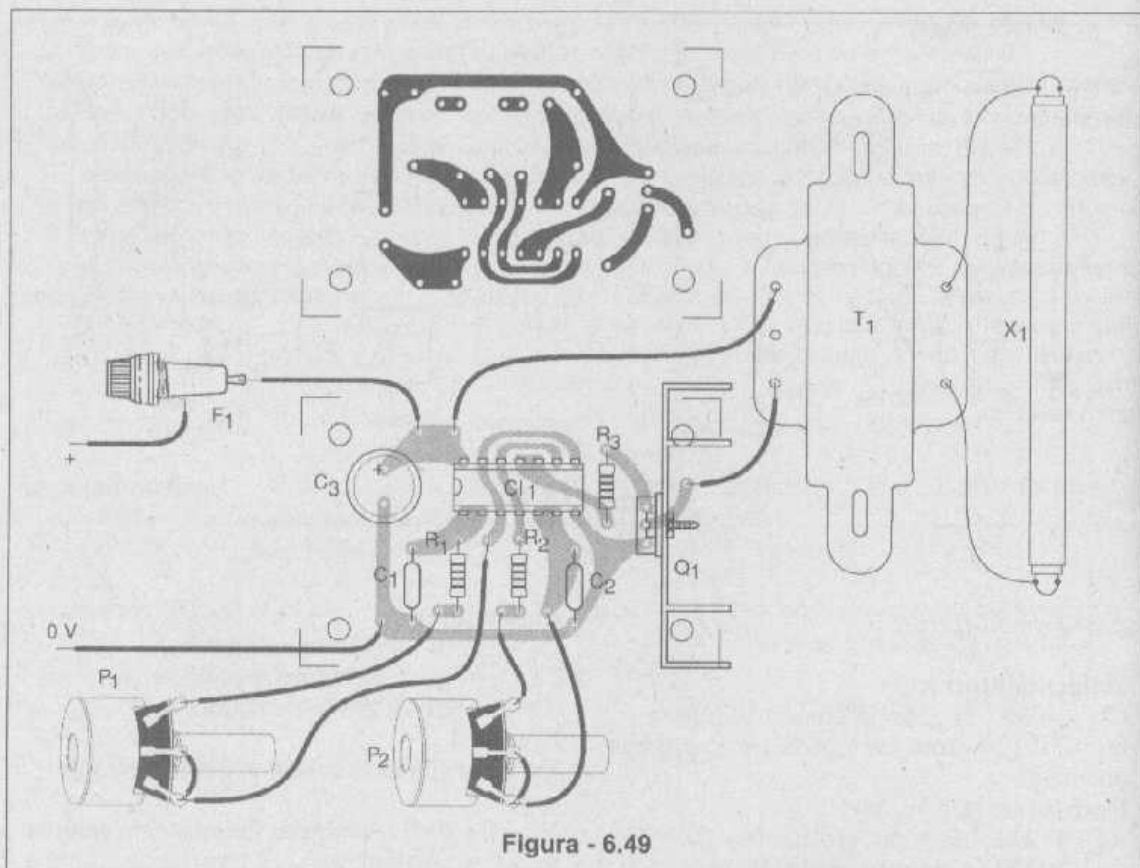
Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, fios, suporte para fusível, solda, etc.

O que temos neste circuito são dois osciladores de frequências diferentes. O primeiro determina a frequência de inversão, necessária a geração de uma boa alta tensão. O segundo define a velocidade das piscadas e tem sua frequência ajustada por P₂. Os sinais dos dois osciladores são combinados em um amplificador digital formado por duas portas do circuito integrado. Os sinais dessas portas são aplicados ao transistor amplificador de potência. A montagem pode ser feita numa placa de circuito impresso com a disposição de componentes exibida na **figura 6.49**. Instale o conjunto em uma caixa bem fechada e use cabo isolado para alimentar a lâmpada. Na alimentação com bateria externa de 12 V recomenda-se o uso do fusível de proteção.

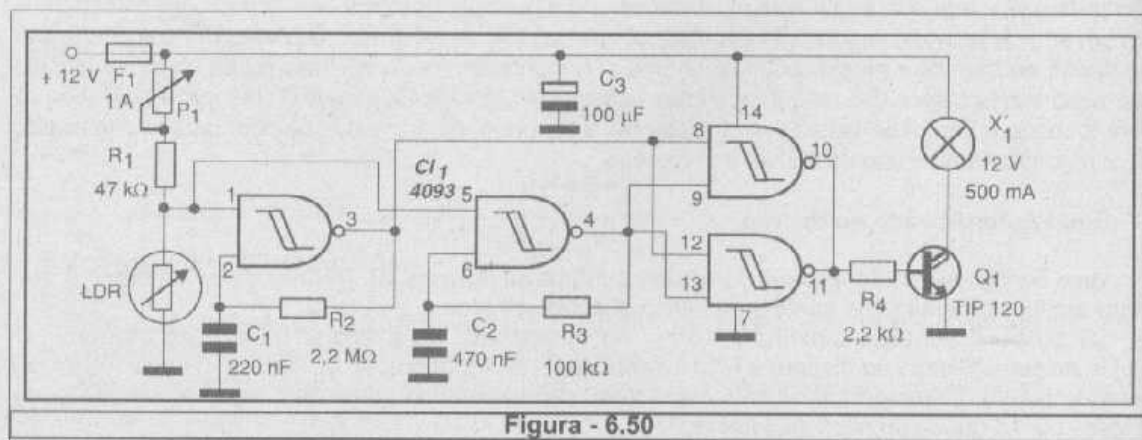
Sinalizador Ativado no Escuro

Uma configuração interessante é a que mostramos na **figura 6.50**. Trata-se de um sinalizador que entra em funcionamento de modo automático quando anoitece.

O sensor é um LDR comum, que deve ser posicionado para receber iluminação ambiente. O ajuste da sensibilidade ao disparo é feito através de P₁. A configuração básica é a mesma do circuito anterior, com a diferença que os dois osciladores são habilitados somente quando a primeira porta dispara com a queda do nível de iluminação.



O sistema pode ser utilizado em sinalização noturna de funcionamento automático. Para alimentação com 12 V de bateria externa é recomendável o uso do fusível de proteção. O conjunto pode ser inslatado em pequena caixa plástica e, dependendo da aplicação, ela pode incluir as pilhas médias ou grandes de alimentação.



5. CONCLUSÃO

Os circuitos de inversores apresentados se destinam basicamente à alimentação de fluorescentes. Entretanto, com o acréscimo de circuitos retificadores, multiplicadores de tensão e outros, eles podem ser usados para se obter altas tensões contínuas, sempre com correntes baixas.

Na maioria dos casos, a corrente máxima obtida destes circuitos será, no máximo, da ordem de algumas dezenas de miliampêres, sempre supondo o máximo rendimento, o qual varia de circuito para circuito. Assim, para alimentações mais críticas, o leitor deverá partir para projetos específicos que levem em conta potência, rendimento, frequência e também forma de onda.

Lista de Material

Semicondutores:

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ - TIP120 - transistor NPN Darlington de potência

Resistores: (1/8 W, 5%)

R₁ - 47 k Ω - amarelo, violeta, laranja

R₂ - 2,2 M Ω - vermelho, vermelho, verde

R₃ - 100 k Ω - marrom, p'reto, amarelo

R₄ - 2,2 k Ω - vermelho, vermelho, vermelho

LDR - Foto-resistor redondo comum

P₁ - 1 M Ω - potenciômetro ou trimpot

Capacitores:

C₁ - 220 nF - cerâmico ou poliéster

C₂ - 470 nF - cerâmico ou poliéster

C₃ - 100 μ F x 16 V - eletrolítico

Diversos:

F₁ - 1 A - fusível

X₁ - 12 V até 500 mA - lâmpada incandescente comum

Placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, caixa para montagem, fios, solda, etc.

FONTES CHAVEADAS

Pelo seu rendimento e pelo fato de não necessitarem de transformadores volumosos e pesados, as fontes chaveadas são as preferidas para os equipamentos de consumo. Realmente, o emprego de transformadores com núcleos de ferrite, a operação em frequência fixa e a ausência de isolamento da rede em parte de seu circuito, limitam seu uso a este tipo de aplicação.

Nas bancadas dos laboratórios de desenvolvimento, para o montador amador, ou para quem esteja desenvolvendo um projeto, as fontes lineares ainda são as preferidas.

Neste item de nosso livro vamos tratar dessas fontes, mostrando quais são suas vantagens e onde são utilizadas. Também teremos alguns projetos práticos. Para que o leitor entenda melhor o seu funcionamento, iniciaremos com uma breve revisão do funcionamento das fontes lineares de modo que elas possam ser comparadas com as fontes digitais. •

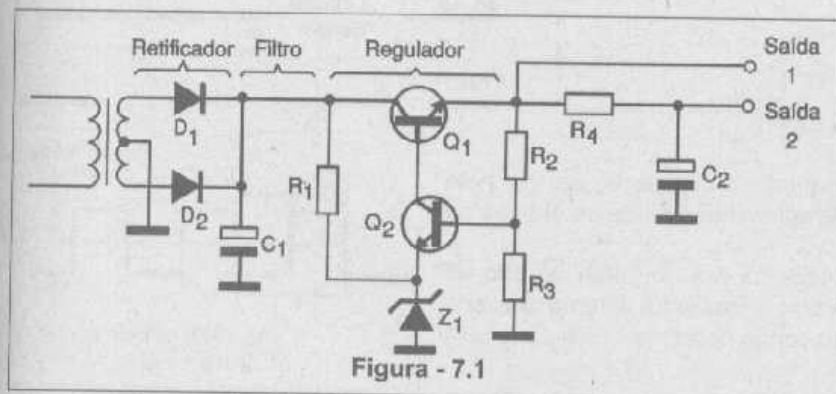
FONTES LINEARES

Os aparelhos mais antigos como televisores e outros usavam fontes do tipo linear. Nestas fontes, cujo circuito básico é ilustrado na **figura 7.1**, temos uma etapa retificadora, outra de filtragem e um circuito regulador linear que se comporta como um resistor variável ou reostato.

Neste circuito, o transistor Q_1 controla a corrente na saída.

De acordo com as variações da tensão de saída, um circuito sensor "diz" ao regulador como sua resistência deve variar, aumentando ou diminuindo de modo a agir sobre o circuito de carga compensando as variações de tensão. Desta forma, a tensão no circuito de carga pode ser mantida com boa precisão.

Se bem que este tipo de circuito funcione bem e ainda seja encontrado em muitas aplicações práticas, ele possui algumas limitações importantes. Uma delas é que a tensão do circuito é dividida entre o elemento regulador, normalmente um transistor de potência, e a carga. Isso significa que o transistor regulador estará sendo percorrido sempre por uma corrente intensa e submetido a uma tensão que varia, dissipando assim muita potência na forma de calor.



O rendimento deste tipo de regulador é, portanto, baixo, e com perdas que podem se tornar grandes em circuitos que exigem altas correntes.

O segundo problema está no custo do circuito que exige a utilização de transistores de potência com altas capacidades de dissipação e ainda

empregando grandes dissipadores de calor. O próprio uso de grandes dissipadores de calor traz ainda um outro problema adicional: o circuito precisa ocupar muito espaço e ser bem ventilado.

Para superar estes problemas, os equipamentos de consumo que exigem potências elevadas passaram a empregar um outro tipo de fonte de alimentação que se mostra muito mais eficiente.

7.2 - CHAVEADAS OU COMUTADAS

As fontes chaveadas, comutadas ou SMPS (*Switched Mode Power Supply*) do inglês são fontes que controlam a tensão numa carga, abrindo e fechando um circuito comutador de modo a manter, pelo tempo de abertura e fechamento deste circuito, a tensão desejada. Para entender como isso é possível, partimos do diagrama de blocos da **figura 7.2**.

Nele, temos um transistor que funciona como uma chave controlando a tensão aplicada no circuito de carga. Este circuito é ligado a um oscilador que gera um sinal retangular, mas cuja largura do pulso pode ser controlada por um circuito sensor.

Se o tempo de condução do transistor for igual ao tempo em que ele permanece desligado, ou seja, se ele operar com um ciclo ativo de 50%, na média a tensão aplicada na carga será de 50% da tensão dos pulsos conforme se observa na **figura 7.3**.

Se a tensão na carga cair, por um aumento de consumo, por exemplo, isso será percebido pelo circuito sensor que, atuando sobre o oscilador, fará com que seu ciclo ativo aumente. Nestas condições, a tensão aplicada aumenta para compensar a queda. Podemos portanto, controlar a tensão sobre a carga variando a largura do pulso que comanda o transistor comutador.

Este processo de controle é denominado PWM (*Pulse Width Modulation*) ou Modulação por Largura de Pulso, e tem várias vantagens quando o usamos numa fonte deste tipo. A mais importante é que o transistor que controla a corrente na carga funciona como uma chave e, portanto, ou está desligado (corrente nula) ou está ligado (corrente máxima).

Ocorre que, quando o transistor está desligado, com a corrente sendo nula não há dissipação de calor; e quando ele está ligado, sua resistência é mínima, quase zero, e da mesma forma, não há dissipação de calor.

Se o transistor fosse um comutador ideal apresentando resistência nula quando ligado, e infinita quando aberto, e ainda comutasse instantaneamente, a dissipação de calor nele seria nula, ou seja, não haveria nenhuma perda de energia ou geração de calor na fonte.

Todavia, isso não acontece na prática: além de não ter uma resistência nula ao conduzir, o transistor demora um certo tempo para comutar com um comportamento que é dado pela forma de onda da **figura 7.4**.

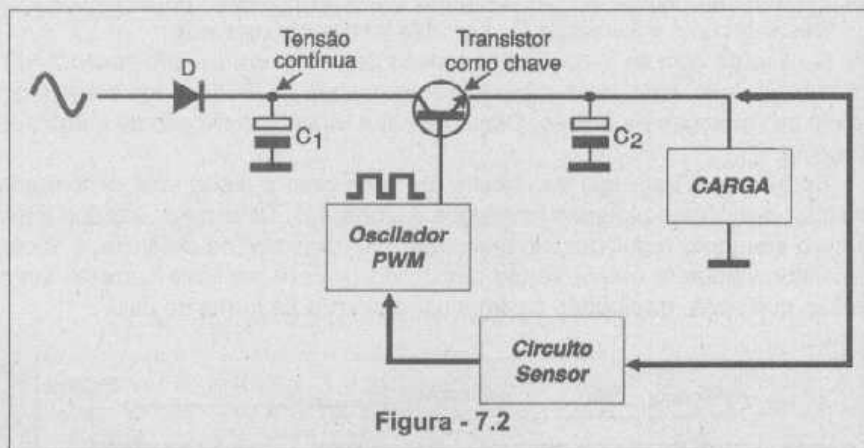


Figura - 7.2

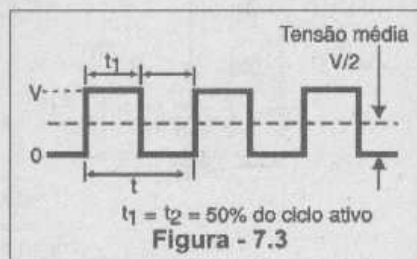
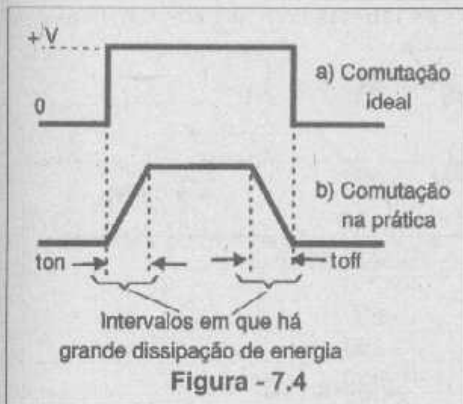


Figura - 7.3



Temos, então, que durante o tempo em que a corrente demora para ir de zero até o máximo e vice-versa, o transistor passa por um estado "intermediário" em que energia é transformada em calor. Isso significa que mesmo as fontes comutadas geram calor, mas ele é muitas vezes menor que aquele das fontes lineares comuns.

Nos equipamentos de consumo como televisores, monitores de vídeo, etc., as fontes comutadas podem usar tanto transistores bipolares de potência como *Power FETs* e até mesmo *SCRs*. Estas fontes se caracterizam pelo seu alto rendimento, não necessitando de grandes dissipadores de calor e podendo fornecer toda energia que o circuito de um monitor precisa para o funcionamento normal.

COMO FUNCIONAM

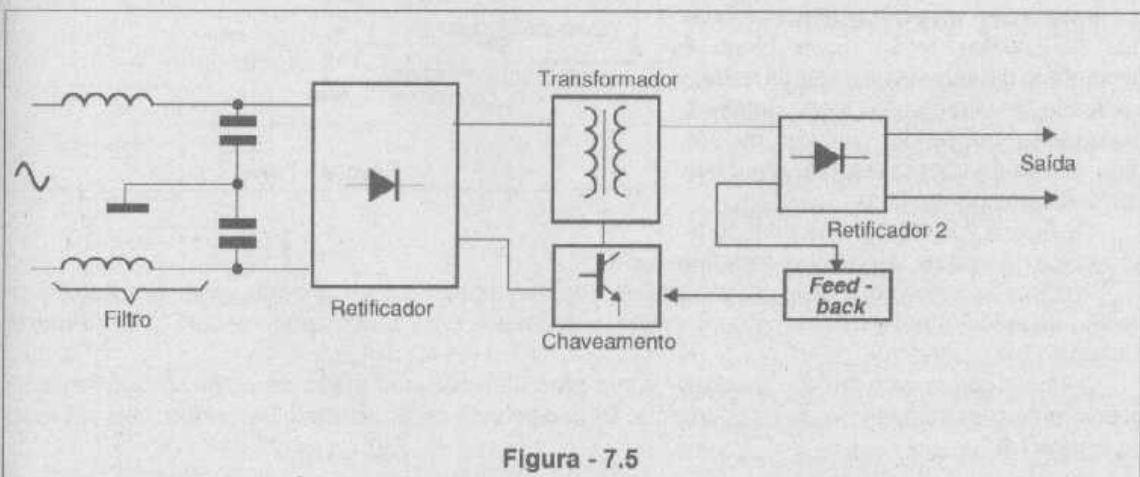
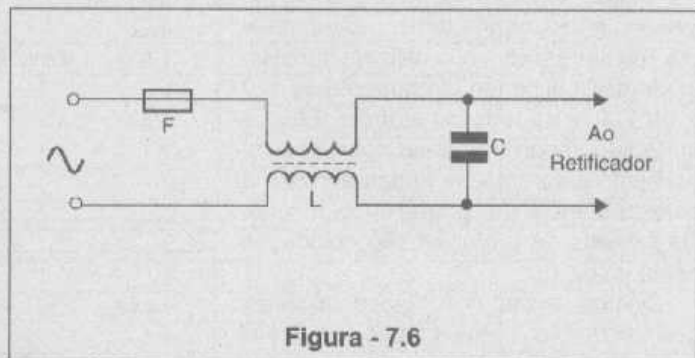
Para que o leitor entenda seu princípio de funcionamento, vamos analisar um circuito prático, inicialmente dado em blocos na **figura 7.5**.

Esses blocos correspondem a uma fonte comum, com os mínimos elementos. Fontes mais sofisticadas com blocos adicionais podem ser encontradas na prática.

O bloco de entrada ligado à rede de energia possui um retificador e um filtro contra EMI.

O filtro é normalmente formado por um par de bobinas e capacitores numa configuração típica como a exibida na **figura 7.6**.

O filtro é importante porque uma fonte chaveada ou comutada, como também é chamada, produz variações de corrente muito grandes quando em funcionamento.



O chaveamento corresponde praticamente a uma carga que drena um sinal quadrado (da rede de energia), gerando assim uma enorme quantidade de harmônicas que podem causar interferências em aparelhos próximos. Essas interferências, que consistem em componentes de frequências que vão desde a própria frequência da rede até vários megahertz, devem ser evitadas.

As bobinas, na configuração indicada, e mais os capacitores funcionam como um filtro passa-baixas que só deixa passar a frequência da rede, bloqueando tudo que estiver acima, em qualquer sentido.

Na maioria das fontes, a retificação é feita por diodos comuns de silício que podem estar ou não ligados em ponte, em configurações típicas como a mostrada na **figura 7.7**.

Mesmo as fontes que devem fornecer baixas tensões de saída, como as usadas em computadores, videocassetes, monitores, etc., não utilizam transformadores, retificando diretamente os 110 V ou 220 V da rede de energia. Esse é um ponto importante a ser considerado, pois este setor dessas fontes apresenta perigo potencial de choque se for tocado. Os fusíveis de proteção são colocados nesta etapa.

Temos, a seguir, o bloco oscilador que produz o chaveamento da fonte, sendo formado normalmente por circuitos integrados especificamente projetados para esta função. Esse bloco é alimentado diretamente a partir da tensão retificada e filtrada do bloco anterior, geralmente passando por um circuito redutor formado por resistores, um diodo zener e capacitor de filtro.

Na **figura 7.8** temos uma configuração típica de circuito usado com esta finalidade.

Observe que, como o ciclo ativo do sinal que esse circuito produz deve variar em função da tensão de saída, mantendo-a constante, existe uma entrada para sensoriamento, cujo funcionamento será visto mais adiante.

O sinal obtido neste circuito oscilador serve para chavear uma etapa de potência que funciona usualmente com transistores de alta potência, tanto bipolares como de efeito de campo, veja exemplo na **figura 7.9**.

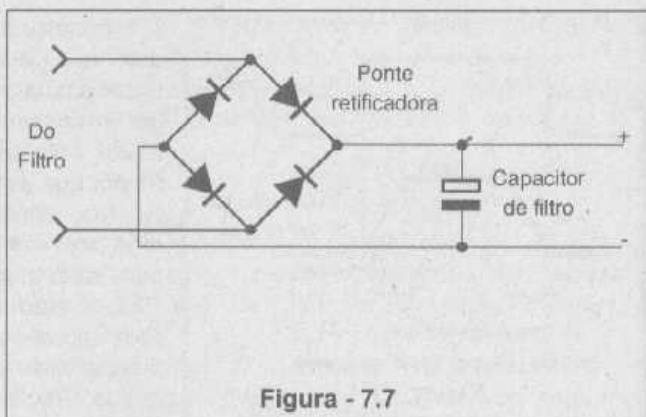


Figura - 7.7

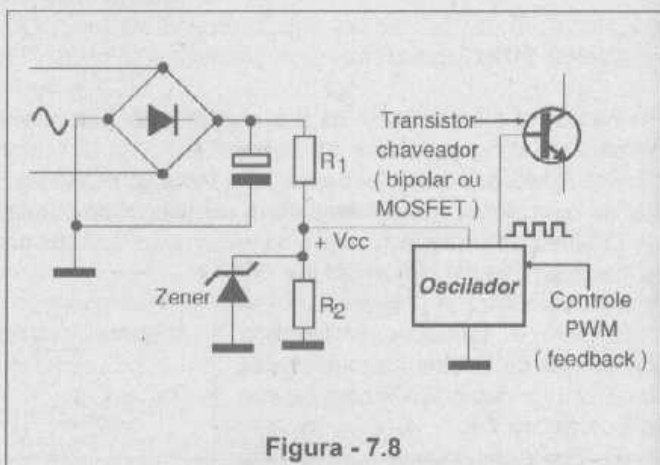


Figura - 7.8

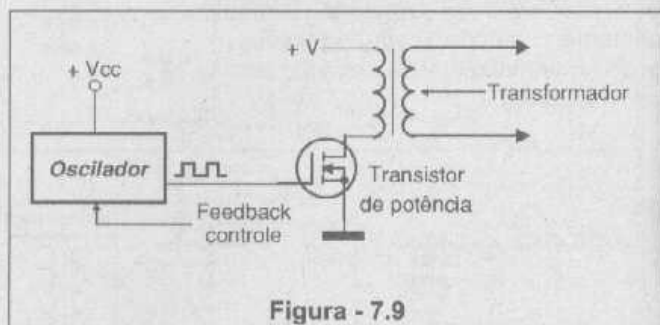


Figura - 7.9

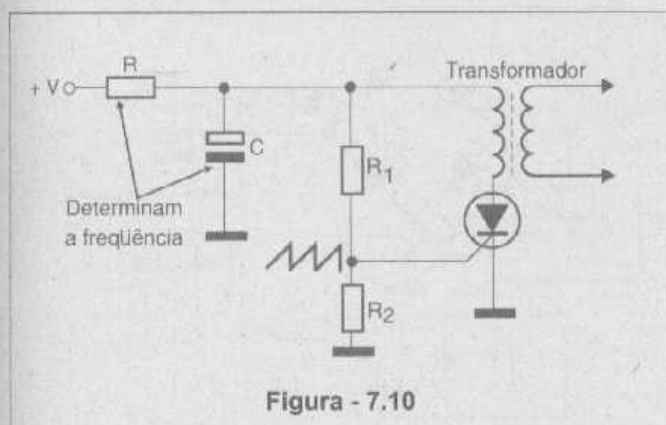


Figura - 7.10

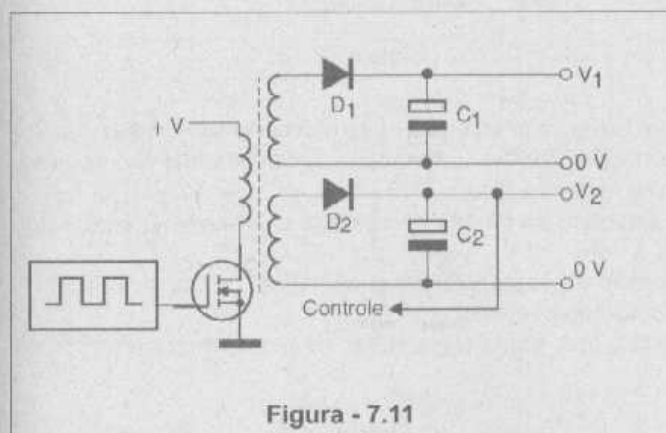


Figura - 7.11

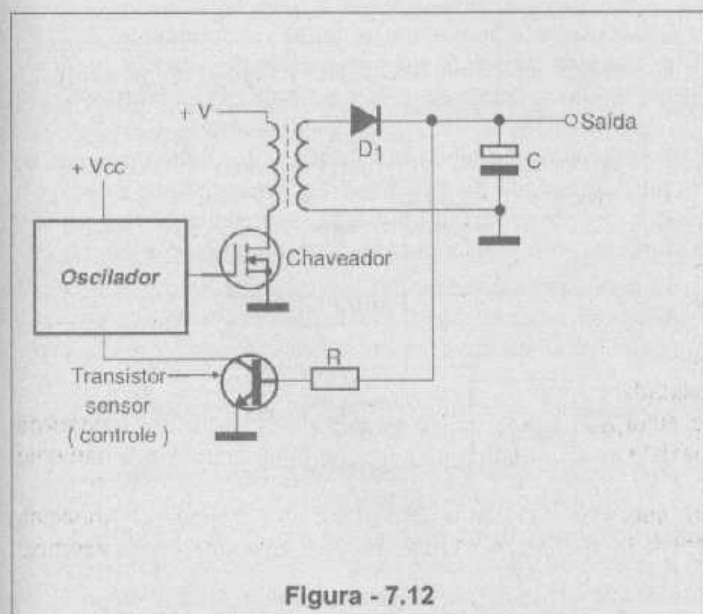


Figura - 7.12

Os transistores possuem como carga o enrolamento primário de um transformador com núcleo de ferrite.

Como este circuito de chaveamento funciona diretamente com a tensão retificada e filtrada da rede de energia, são usados transistores de alta potência capazes de manusear altas correntes sob tensões que podem ultrapassar os 400 V de pico.

O transistor chaveador é o componente mais crítico dessas fontes, pois, trabalhando em condições limites, facilmente se queima.

Existem variações para esta configuração tais como fontes encontradas em monitores de vídeo e televisores que, em lugar do circuito oscilador com um CI e um transistor de potência, empregam unicamente um SCR como oscilador de relaxação. Esse SCR, ligado numa configuração conforme ilustra a **figura 7.10**, chaveia a tensão contínua de um capacitor que se carrega, com uma velocidade que pode ser alterada por um sinal de sensoramento. Assim, controlando-se o ponto de chaveamento, pode-se regular a tensão de saída da fonte.

O bloco seguinte da nossa fonte é o circuito secundário do transformador com núcleo de ferrite. Esse transformador pode ter um ou mais secundários, conforme o número de tensões necessárias à alimentação do aparelho.

Normalmente, os secundários podem ser elaborados com fios muito grossos, fornecendo correntes de dezenas de ampères, como no caso das fontes de computadores.

Na **figura 7.11** temos uma configuração típica para os secundários de uma fonte chaveada de duas tensões.

Nesses secundários, geralmente, a retificação é simples e com uma excelente filtragem garantida por um capacitor eletrolítico de valor

muito elevado. Reguladores de tensão comuns, como os de 3 terminais, raramente são usados neste ponto, pois a regulação da tensão é feita a partir do chaveamento do próprio transistor no primário do transformador. Essa regulação é feita por um bloco sensor que pode ter as mais diversas configurações.

O modo mais simples de fazer a regulação consiste em se derivar essa tensão para o circuito oscilador diretamente, usando para essa finalidade um transistor, observe a **figura 7.12**.

As variações da tensão de saída são "sentidas" pelo CI que as corrige, mudando o ciclo ativo do sinal gerado. No entanto, há casos em que o isolamento da saída deve ser total, onde não deve haver uma conexão entre o circuito sensor dessa saída e o oscilador, diretamente ligado à rede de energia. Para essa finalidade, a solução mais adotada é a que faz uso de um acoplador óptico, conforme mostra a **figura 7.13**.

O brilho do LED emissor do acoplador depende da tensão de saída, e esse brilho é sensoriado pelo fototransistor do acoplador.

Variações desse brilho, e portanto da tensão de saída, alteram a condução do transistor-sensor, modificando assim o ciclo ativo do circuito integrado oscilador.

Há variações em torno desta configuração, mas como regra geral, os blocos funcionais são os mesmos.

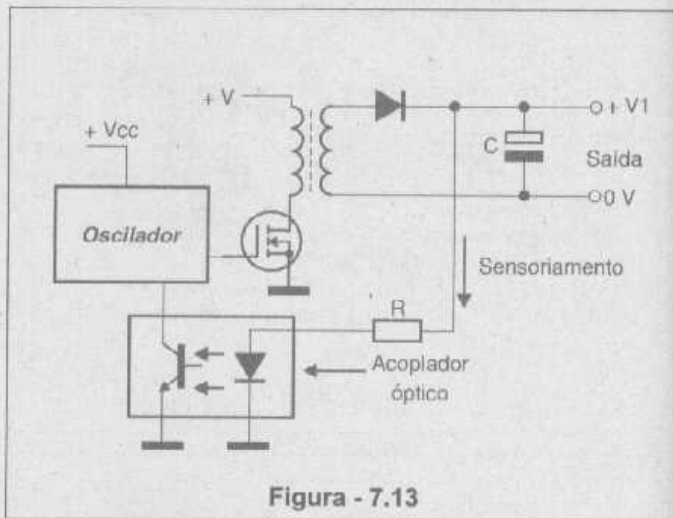


Figura - 7.13

CONVERSORES DE TENSÃO

Um tipo de circuito usado em fontes chaveadas é o conversor de tensão ou conversor DC/DC, porque converte baixas tensões contínuas. Trata-se de um circuito chaveado que abaixa ou eleva uma tensão contínua obtida de uma fonte como um conjunto de pilhas ou baterias, conforme ilustra a **figura 7.14**.

Esses circuitos são utilizados principalmente em aparelhos alimentados por pilhas e baterias, onde a tensão das pilhas e baterias deve ser aumentada ou diminuída de forma precisa para a alimentação dos circuitos. Nessas aplicações o circuito chaveado torna-se importante devido ao seu rendimento elevado e ao uso de poucos componentes, sem a necessidade do pesado e caro transformador.

Essas fontes podem ter rendimentos que ficam tipicamente na faixa dos 70% aos 90%.

Existem basicamente dois tipos de conversores: *boost* e *buck*.

Conversores Boost

Este tipo de conversor também conhecido por "step up", eleva a tensão

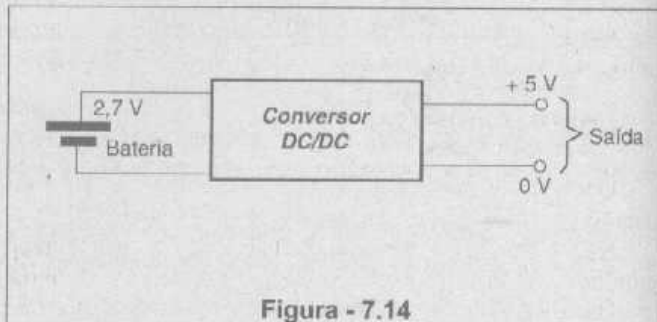
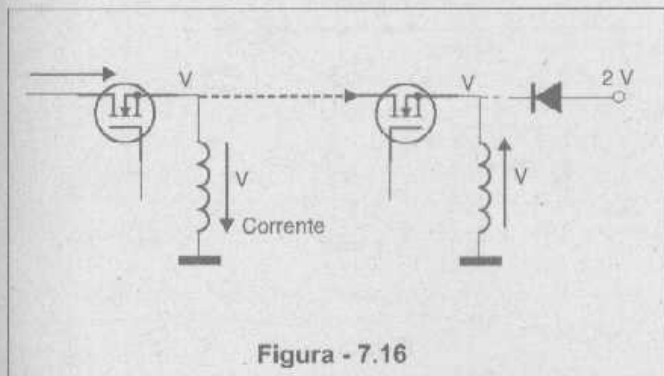
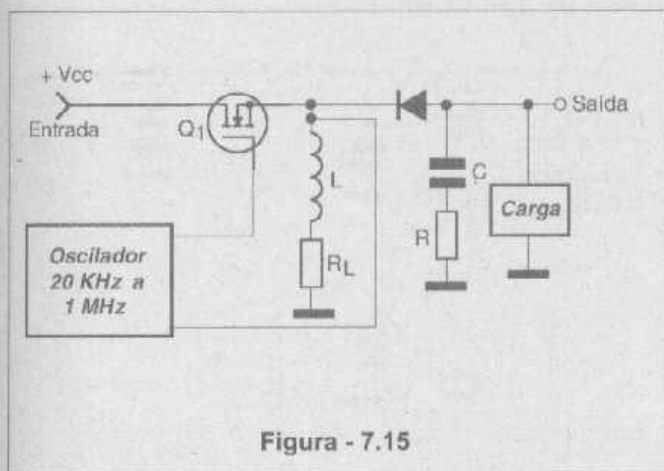


Figura - 7.14



de uma fonte, de modo que ela alcance o valor desejado para a aplicação. Por exemplo, pode-se usar um conversor desse tipo para obter 5 V para alimentação de um microprocessador, ou de circuitos lógicos, em um circuito alimentado por 2 baterias de NiMH que fornecem apenas 2,4 V.

Aplicações como telefones celulares, *paggers*, transceptores, instrumentos médicos e de medidas utilizam este tipo de circuito.

Na **figura 7.15** temos um circuito típico para esse tipo de conversor.

Trata-se de um oscilador que gera um sinal retangular numa frequência que tipicamente está entre 20 kHz e 1 MHz, dependendo da aplicação.

Lembramos que as frequências dos circuitos são escolhidas em função do rendimento desejado, e também da interferência (EMI) que podem gerar.

O sinal retangular é aplicado a um transistor chaveador, normalmente um MOSFET de potência que tem por carga um circuito LC. Este é ligado de tal maneira que, quando o transistor MOSFET conduz, sua corrente carrega o capacitor e ao mesmo tempo provoca

uma forte corrente através do indutor, o que significa o armazenamento de energia no seu campo magnético.

Quando o transistor desliga, as linhas de força do campo armazenado no indutor se contraem, gerando uma tensão no indutor, porém com polaridade invertida àquela da corrente que o gerou.

Essa tensão se soma à tensão no capacitor que foi carregado, e com isso temos na saída uma tensão maior do que a aplicada na entrada do circuito. Observe a **figura 7.16**.

Essa tensão de saída pode ser, então, regulada ou não para resultar no valor desejado.

Nos circuitos integrados comerciais projetados para este tipo de aplicação podemos ter o MOSFET já integrado, alguns com uma capacidade de corrente que chega a 1 A, ou podemos ligar o MOSFET externamente para controlar correntes ainda maiores.

A regulação da tensão é obtida geralmente pelo próprio dimensionamento correto do indutor que gera, na descarga, a tensão que deve ser somada à do capacitor para se obter a tensão desejada.

CONVERSORES BUCK

Conhecidos como conversores "step down" como o nome diz, eles se destinam à obtenção de uma tensão de saída menor do que a aplicada à entrada.

Na **figura 7.17** temos um circuito típico de um conversor desses que se baseia também nas propriedades de um circuito LC para gerar a tensão contínua de saída desejada.

Nesse circuito ainda temos um oscilador de alta frequência que gera o sinal de chaveamento,

e o transistor chaveador. Na carga, para filtrar a tensão obtida, uma vez que neste caso não é necessária a elevação, temos um circuito LC. Os circuitos integrados existentes para esta aplicação podem ou não incluir o transistor MOSFET de chaveamento. Para os tipos que possuem esse componente integrado, as correntes de saída podem chegar a 1 A.

CONFIGURAÇÕES BOOST

Conforme vimos, na configuração básica temos um transistor constantemente chaveado que, entregando pulsos a um circuito formado por um indutor e um capacitor, possibilita a obtenção de uma tensão contínua de saída.

Controlando-se o ciclo ativo do sinal chaveado pelo transistor, é possível regular a tensão de saída.

Para efeito de análise mais detalhada de um circuito típico deste tipo, temos um diagrama simplificado na figura 7.18.

Neste, o transistor Q_1 é a chave de potência e consiste em um MOSFET de canal N.

O diodo CR_1 é normalmente denominado "diodo de captura" ou diodo *freewheeling*. O indutor L e o capacitor C formam o filtro de saída.

O capacitor, a ESR, R_C (resistência equivalente em série) e o indutor, além de R_L são incluídos na análise do princípio de funcionamento.

O resistor R representa a carga vista a partir da etapa de potência de saída.

O funcionamento deste tipo de circuito pode ocorrer tanto no modo contínuo quanto descontínuo da corrente pelo indutor. No modo contínuo, a corrente flui continuamente pelo indutor durante o ciclo completo de chaveamento na operação do circuito. No modo descontínuo, o indutor tem um valor máximo de corrente e depois um certo intervalo em cada ciclo do sinal de chaveamento em que a corrente é zero.

Analisemos o funcionamento nos dois modos:

a) Modo Contínuo

No modo contínuo a etapa de potência assume dois estados por ciclo de comutação. O estado ON ocorre quando o transistor Q_1 está em condução e CR_1 está desligado. O estado OFF ocorre quando Q_1 está no corte e CR_1 está em condução.

O estado do circuito pode ser representado de forma simplificada veja figura 7.19.

A duração do estado ON é determinada pelo circuito de controle.

b) Modo descontínuo

Para entender como funciona o conversor *buck* no modo descontínuo começamos por verificar

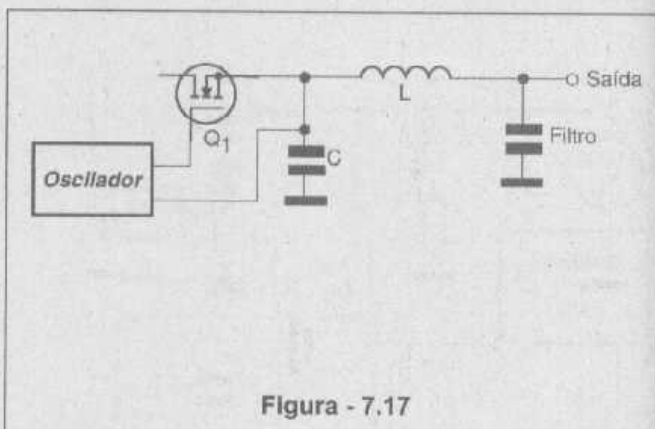


Figura - 7.17

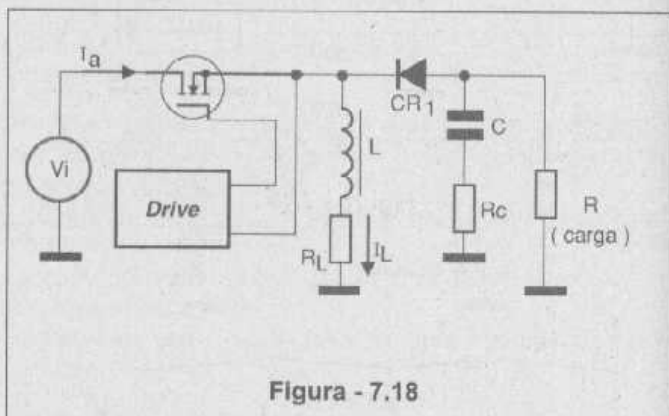


Figura - 7.18

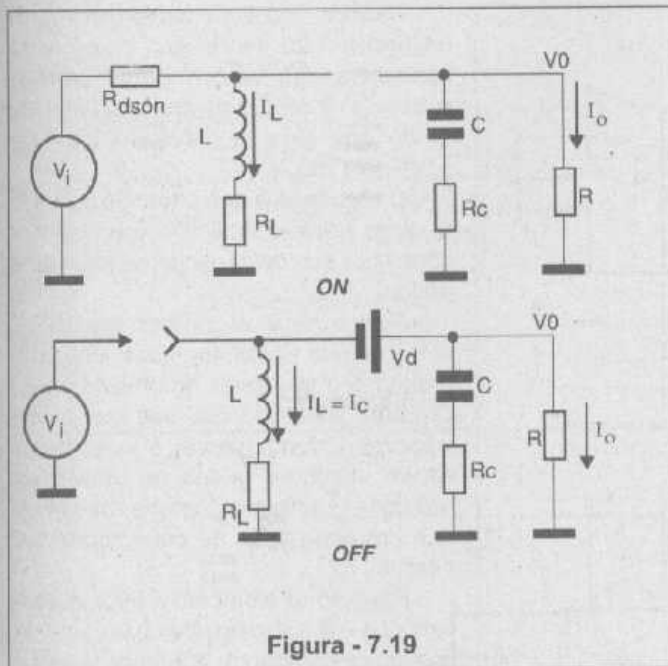


Figura - 7.19

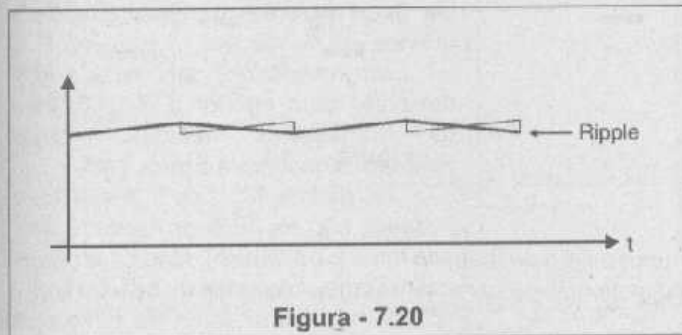


Figura - 7.20

que a corrente na etapa de potência é a corrente média no indutor.

Observe que a corrente flui pelo capacitor de saída e pelo resistor de carga de modo que a corrente média através do capacitor (carga e descarga) seja nula. Se a corrente na carga cair abaixo de um valor crítico, a corrente no indutor será zero durante parte do ciclo de comutação.

Isso pode ser melhor observado na figura 7.20, uma vez que a corrente de ripple pico-a-pico não muda com a corrente de carga.

Em uma etapa não sincronizada a corrente tende a ser menor que zero no indutor, mas isso não pode acontecer na prática porque o diodo, conduzindo em um único sentido, não deixa.

Assim, etapas que funcionam dessa forma possuem três estados por ciclo de funcionamento os quais são representados no gráfico da figura 7.21.

Na figura 7.22 temos as formas de onda nos diversos elementos do circuito, quando operando no modo contínuo.

Na figura 7.23 mostramos as formas de onda no modo descontinuo.

O elemento crítico para a operação nos dois modos é a indutância, além das tensões de entrada e de saída e da corrente na carga.

O modo de calcular este indutor para uma aplicação no modo conti-

nuo pode ser visto na documentação disponibilizada pela Texas: "Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies".

OUTROS TIPOS DE CONVERSORES

Além das técnicas apresentadas para se fazer o chaveamento e alteração da tensão de um conversor de tensão, existem outras. Uma delas é a denominada "flyback", que tem a configuração básica apresentada na figura 7.24.

Temos também circuitos mais simples como dobradores ou triplicadores de tensão, usando osciladores comuns como o 555 que geram um sinal retangular capaz de excitar um conjunto de diodos e capacitores, porém com um rendimento muito mais baixo. Esse circuito emprega uma técnica muito comum nos conversores DC/DC, que é a que utiliza as bombas de carga ou "charge pumps".

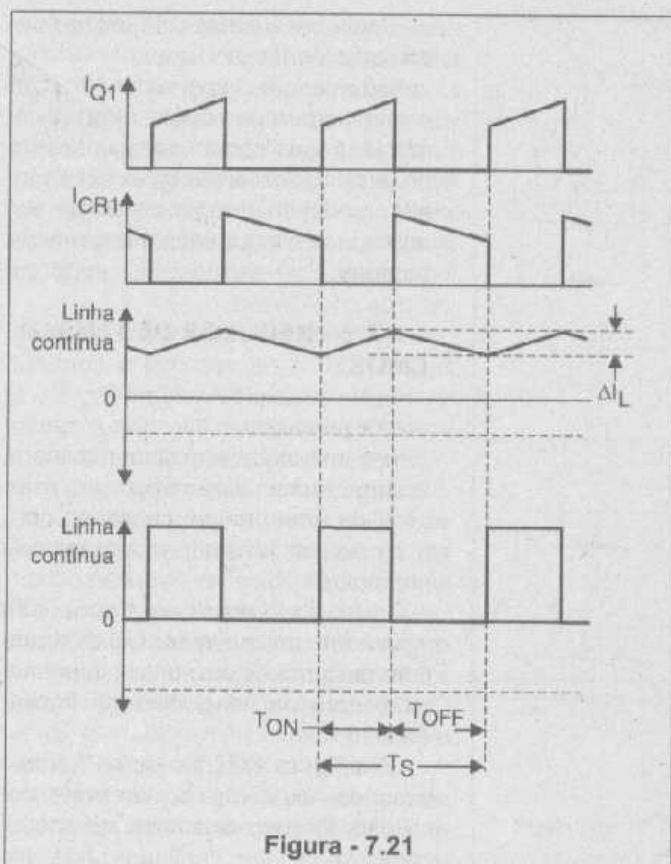
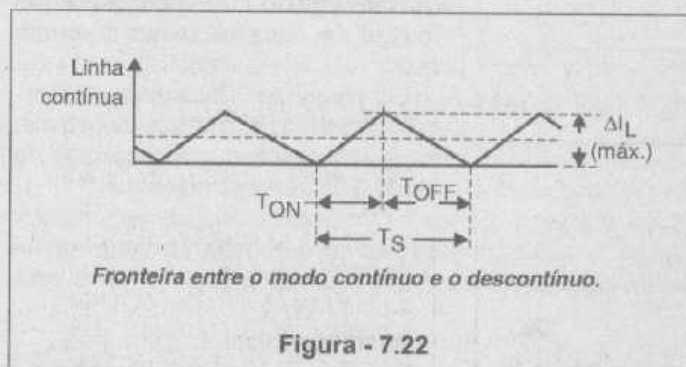


Figura - 7.21



Fronteira entre o modo contínuo e o descontinúo.

Figura - 7.22

Nesses circuitos, conforme vemos na **figura 7.25**, temos um conjunto de capacitores que se carrega em paralelo e depois é feito seu chaveamento de modo que eles se descarreguem em série pela carga.

O resultado é que a tensão aplicada à carga corresponde à soma das tensões com que os capacitores são carregados.

Nos circuitos de conversores DC/DC como os que vimos, um ponto crítico do projeto é o transistor de chaveamento. Em uma aplicação que use esses conversores é fundamental o rendimento. Assim, qualquer queda de tensão em um componente de controle, que implique em dissipação de calor, significará perdas.

Por isso, o elemento básico desses circuitos é o transistor de chaveamento, que deve apresentar a menor resistência possível entre o dreno e a fonte quando em condução.

Essa resistência, denominada R_{ds} , deve ser bem inferior a 1 ohm, para os transistores usados nessas aplicações, observe a **figura 7.26**.

Normalmente, os transistores usados são os FETs de canal N (seta da fonte para dentro), mas há uma tendência mais moderna de se usar MOSFETs de canal P (seta do fonte para fora) que apresentam características melhores para esse tipo de aplicação.

A **figura 7.27** mostra os símbolos desses dois transistores de efeito de campo de potência.

Observamos que em aplicações menos críticas podem ser empregados transistores bipolares, mas eles não são tão comuns, pelas suas caracterís-

ticas de condução que levam a um rendimento menor.

CIRCUITOS PRÁTICOS

Um dos problemas da montagem de fontes chaveadas é que o transformador de núcleo de ferrite normalmente não é encontrado pronto. Trata-se de um componente que deve ser fabricado pelo próprio montador, o que nem sempre é muito simples.

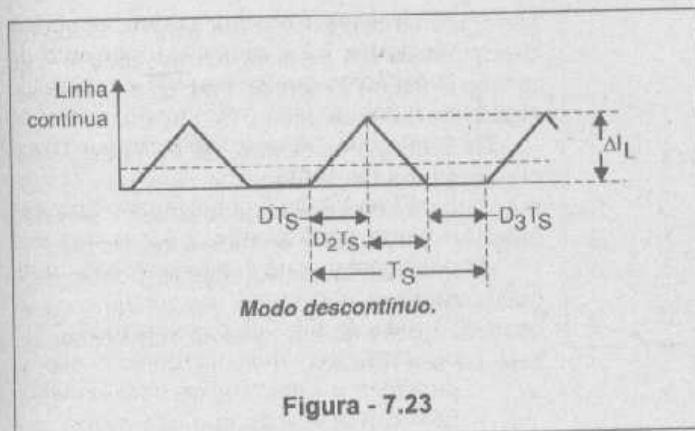


Figura - 7.23

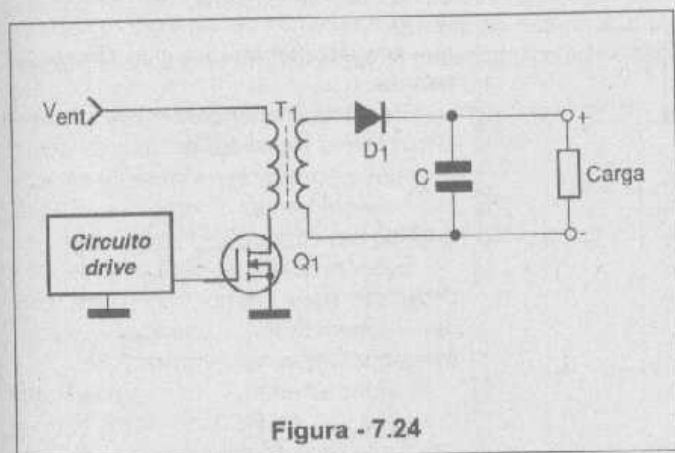


Figura - 7.24

nível alto para o nível baixo e vice-versa, em cada oscilação

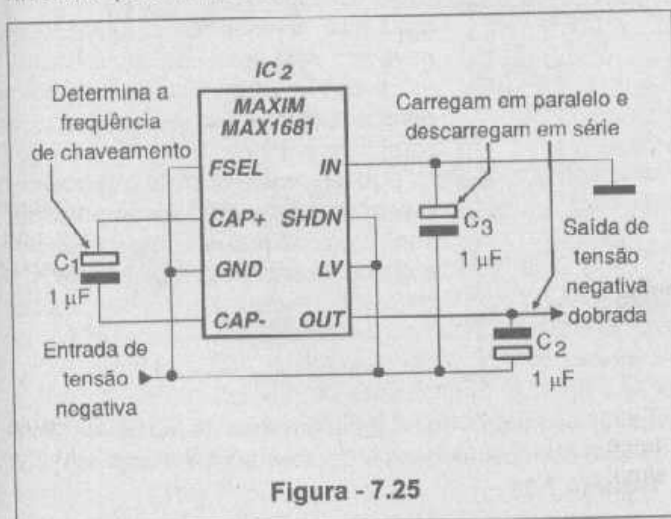


Figura - 7.25

Muito mais acessíveis são os conversores de tensão, que não exigem transformadores, apenas um indutor, e que podem ser encontrados facilmente. Esses podem ser usados em projetos que exijam tensões fixas com alto rendimento, principalmente em aplicações alimentadas por pilhas ou baterias.

7.3 - REDUTOR DE TENSÃO CMOS

O primeiro circuito que apresentamos utiliza a técnica denominada "charge pump" para reduzir a tensão de 9 V de uma bateria, passando para 4,5 V, mas com uma capacidade de corrente maior.

O circuito, exibido na figura 7.28 consiste em um conversor DC/DC onde a primeira porta de um circuito integrado CMOS gera um sinal de aproximadamente 10 kHz.

O sinal é aplicado em 6 outras portas de dois CIs do mesmo tipo, as quais formam o circuito de chaveamento, pois são configuradas como inversores. Esses inversores, ao irem do

Lista de Material

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ a Q₄ - Qualquer MOSFET de potência

R₁ - 47 kΩ x 1/8 W - resistor - amarelo, violeta, laranja

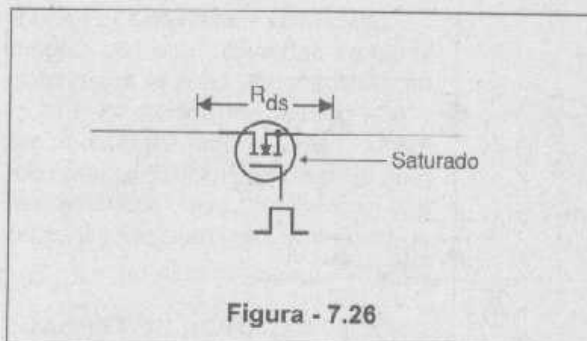
C₁ - 2,2 nF - capacitor cerâmico ou de poliéster

C₂ - 47 μF x 12 V - capacitor eletrolítico

C₃, C₄ - 10 μF x 12 V - capacitores eletrolíticos

Diversos:

Placa de circuito impresso, bateria de 9 V, fios, solda.



Carregam os capacitores em série e depois os descarregam em paralelo. O resultado é uma tensão reduzida à metade, mas com uma capacidade de corrente maior.

Os transistores devem ser FETs de potência com uma capacidade de pelo menos 200 mA. Dada a baixa potência do circuito, eles não precisam ser dotados de radiadores de calor.

O rendimento desse circuito dependerá basicamente da resistência que os transistores usados apresentarem quando saturados, ou seja, de sua $R_{ds(on)}$.

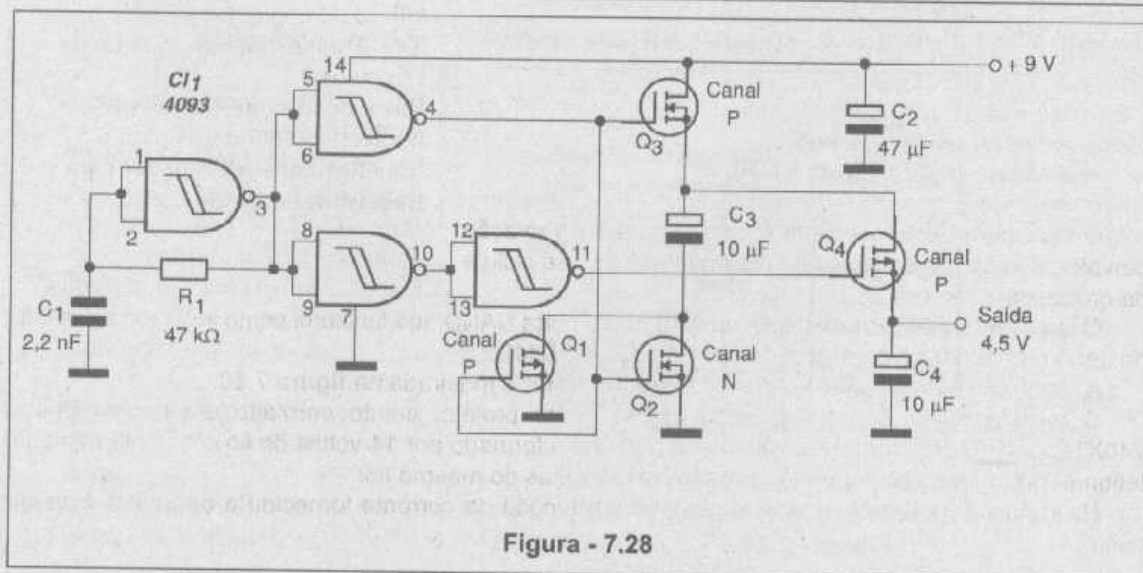
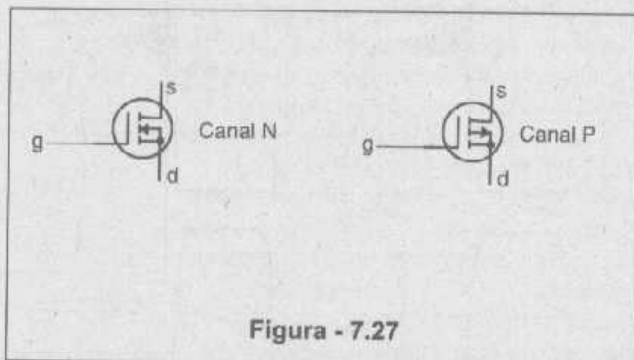
7.4 - 2 CONVERSORES DC/DC

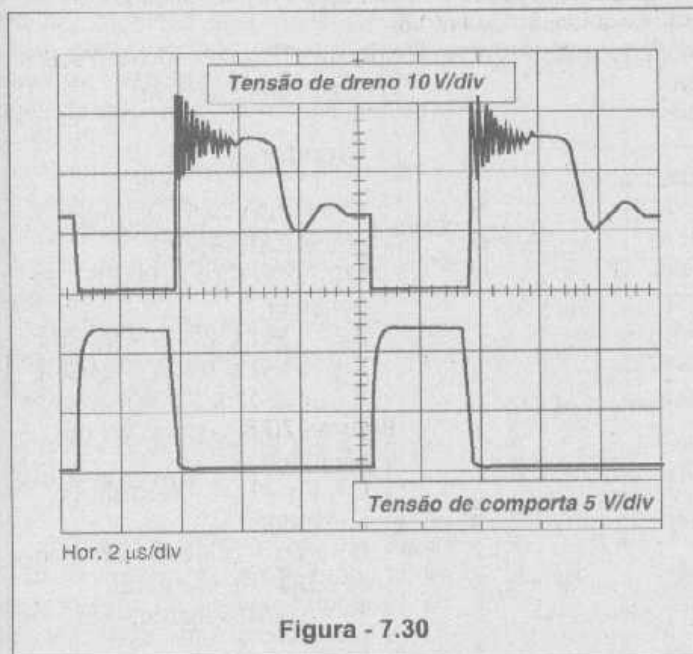
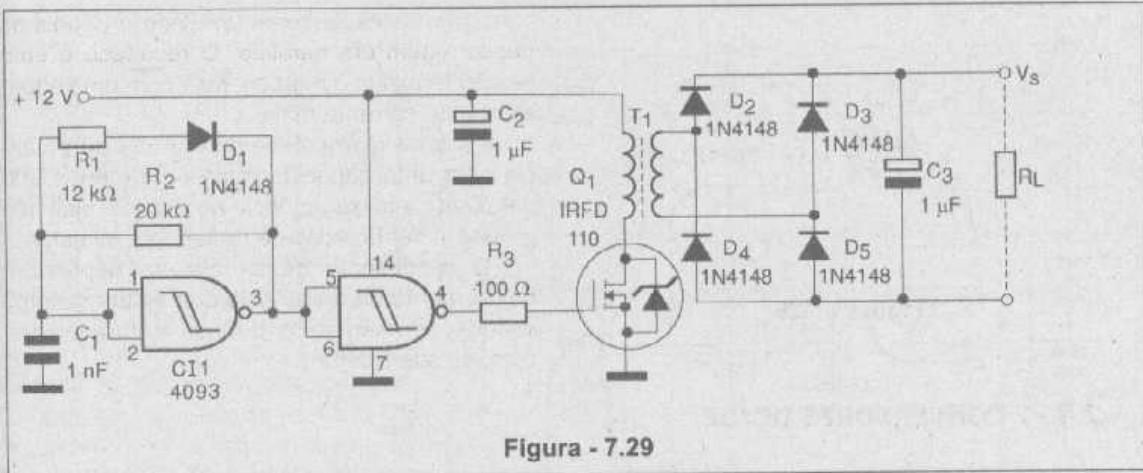
Os conversores DC/DC são cada vez mais empregados em aplicações alimentadas por bateria, onde a tensão de saída deve ser maior do que a tensão de entrada.

O circuito que apresentamos aqui é sugerido pelo *Application Note* da IRF (*International Rectifier*) - **www.irf.com**, podendo ter suas características alteradas para fornecer tensões diferentes das originais.

Esse conversor DC/DC, na realidade, consiste numa fonte chaveada que opera numa frequência de 100 kHz determinada pelos resistores de 12 k Ω e 20 k Ω e pelo capacitor de 1 nF no oscilador formado por uma das portas do circuito integrado 4093.

O circuito completo deste conversor DC/DC é exibido na **figura 7.29**.





O ciclo ativo deste oscilador é determinado pela relação de valores entre os resistores de realimentação. Esse ciclo é da ordem de 33%.

O sinal retangular gerado excita uma segunda porta NAND que funciona como inversor, passando posteriormente para a comporta de um HexFET IRFD110.

A forma de onda do sinal no dreno desse transistor é mostrada na **figura 7.30**.

O transformador é o componente crítico deste projeto, sendo enrolado em núcleo Philips 240XT250-3EA2 (toróide). O enrolamento primário é formado por 14 voltas de fio com isolamento de teflon AWG 30, e o secundário é formado por 24 voltas do mesmo fio.

Na **figura 7.31** temos a curva de tensão em função da corrente fornecida à carga por este circuito.

Lista de Material

Circuito 1

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ - IRFD110 - HexFET de potência

R₁ - 12 kΩ x 1/8 W - resistor

R₂ - 20 kΩ x 1/8 W - resistor

R₃ - 100 Ω x 1/8 W - resistor

C₁ - 1 nF - poliéster ou cerâmico

C₂, C₃ - 1 μF - eletrolítico ou tântalo

D₁ a D₅ - 1N4148 - diodos de silício de uso geral

T₁ - Transformador - ver texto

Diversos:

Placa de circuito impresso, núcleo toroidal e fios para o transformador, dissipador para o transistor, fios, solda, etc.

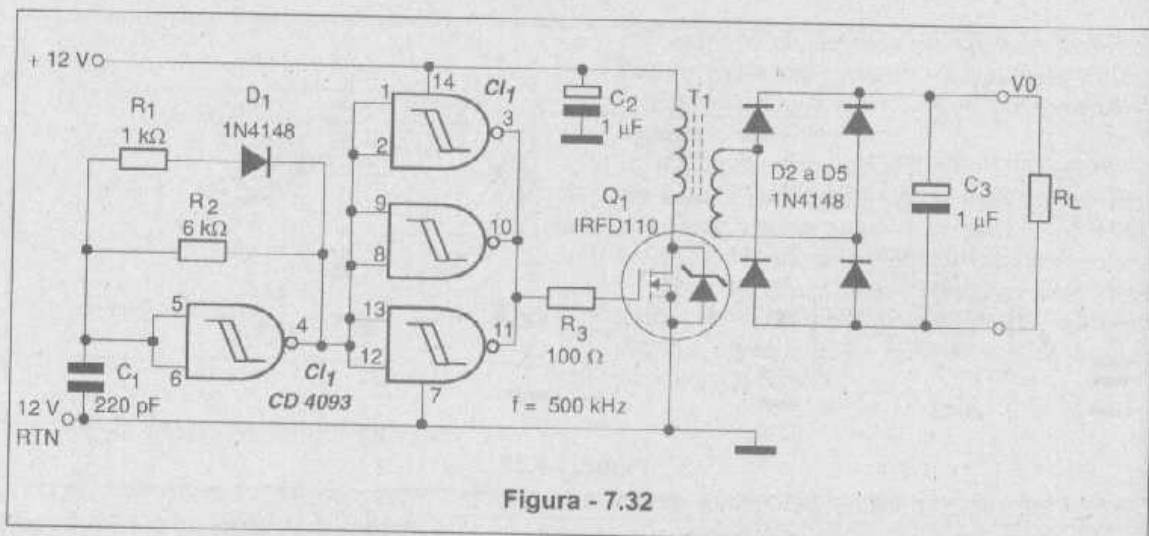


Figura - 7.32

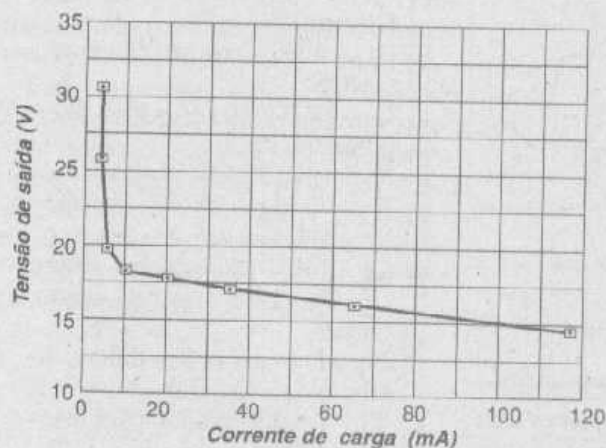


Figura - 7.31

Observe que são usados diodos de uso geral na retificação de onda completa e um capacitor de filtro de $1 \mu\text{F}$. A tensão com corrente abaixo de 10 mA na carga eleva-se até um máximo em torno de 33 V. Assim, para se limitar a tensão de saída a um máximo de 15 V, é importante manter a corrente na carga em pelo menos 5 mA.

Para uma operação com frequência maior, a International Rectifier sugere o circuito da **figura 7.32** que opera em 500 kHz, também tendo por base um oscilador com o circuito integrado 4093.

Neste circuito, os resistores que determinam a frequência e o ciclo ativo têm valores menores, assim como o capacitor. O ciclo ativo nesse caso é menor e as três portas NAND restantes

Lista de Material

Circuito 2

CI₁ - 4093 - circuito integrado CMOS

Q₁ - IRFD110 - HexFET de potência

R₁ - $1 \text{ k}\Omega \times 1/8 \text{ W}$ - resistor

R₂ - $6 \text{ k}\Omega \times 1/8 \text{ W}$ - resistor

R₃ - $100 \Omega \times 1/8 \text{ W}$ - resistor

C₁ - 220 pF - poliéster ou cerâmico

C₂, C₃ - $1 \mu\text{F}$ - eletrolítico ou tântalo

D₁ a D₅ - 1N4148 - diodos de silício de uso geral

T₁ - Transformador - ver texto

Diversos:

Placa de circuito impresso, núcleo toroidal e fios para o transformador, dissipador para o transistor, fios, solda, etc.

do 4093 são usadas como um *buffer* inversor digital para excitar o HexFET de potência IRFD110.

A forma de onda do sinal obtido no dreno do transistor de efeito de campo de potência é mostrada na figura 7.33.

O uso de uma frequência maior permite que o transformador tenha menores dimensões. Esse componente é enrolado num núcleo toroidal Philips 266CT125 e seus enrolamentos têm as seguintes características: primário com 4 voltas de fio AWG 30 e secundário de 7 voltas do mesmo fio.

Na figura 7.34 temos as características de funcionamento desse circuito, observando-se que a corrente deve ser mantida acima de 5 mA para que a tensão de saída não ultrapasse os 15 V.

Uma idéia para obter-se maior rendimento com este tipo de conversor consiste em usar osciladores com 50% de ciclo ativo e etapas de saída com dois transistores em *push-pull*.

Na figura 7.35 mostramos como isso pode ser feito usando a mesma configuração básica.

7.5 - CONVERSOR DE 6 PARA 12 V X 800 mA

O circuito apresentado na figura 7.36 é um exemplo de conversor "boost" que, através de um oscilador e de um indutor, eleva uma tensão de 6 V aplicada na entrada para 12 V, sob corrente até 800 mA.

O circuito nada mais é do que um multivibrador astável que gera um sinal retangular aplicado a uma etapa de potência. Essa etapa de potência consiste de um transistor (que deve ser montado num bom radiador de calor) e tem por carga um indutor.

A expansão do campo magnético e a sua contração fazem com que seja induzida nesse componente uma tensão maior do que a do circuito que o excita. O resultado é que temos um aumento da tensão de alimentação. Para manter essa tensão em 12 V é usado um diodo zener de 12 V.

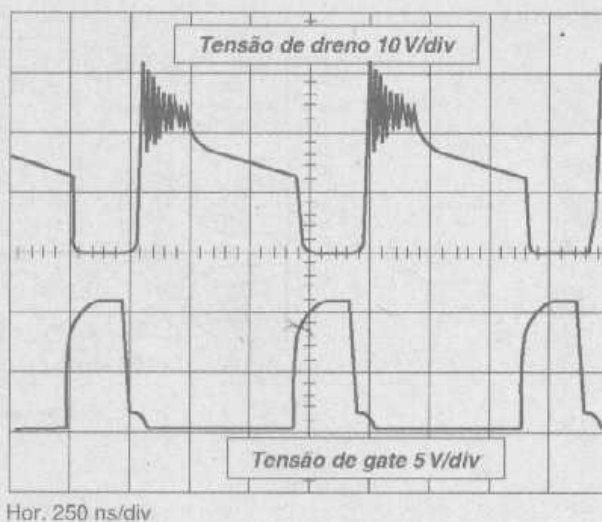


Figura - 7.33

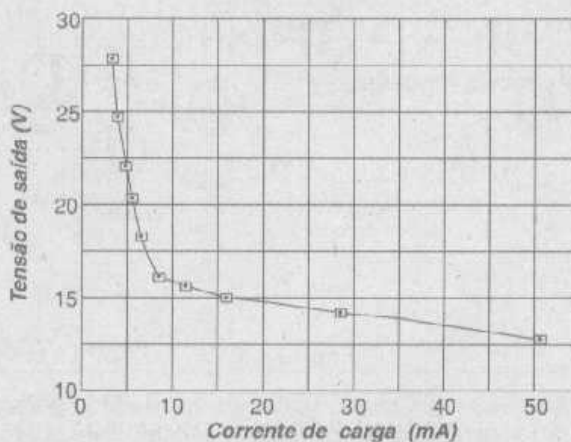


Figura - 7.34

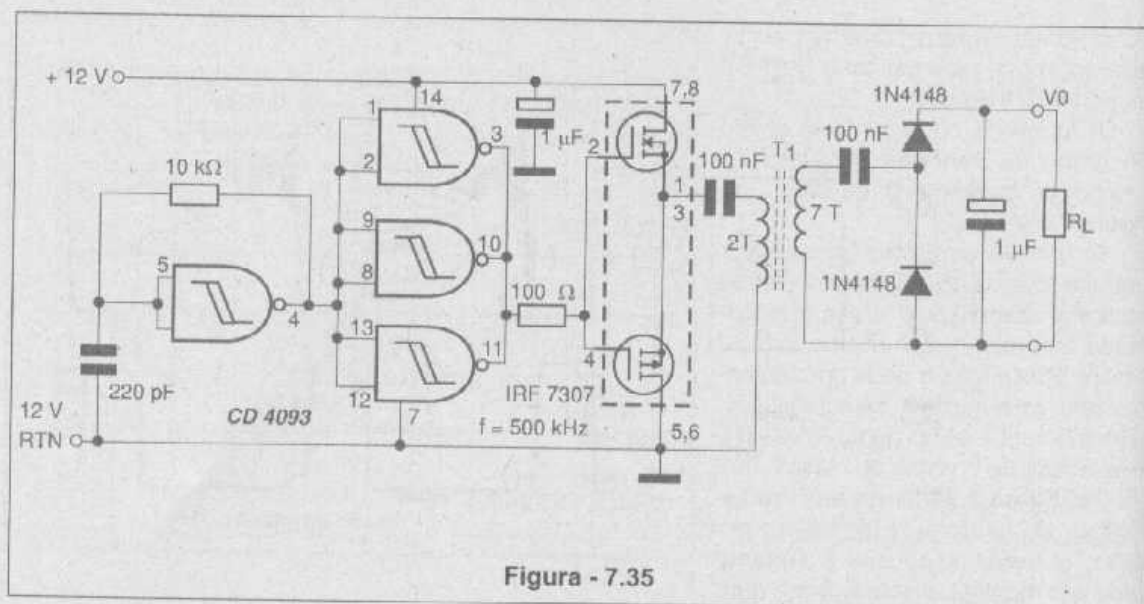


Figura - 7.35

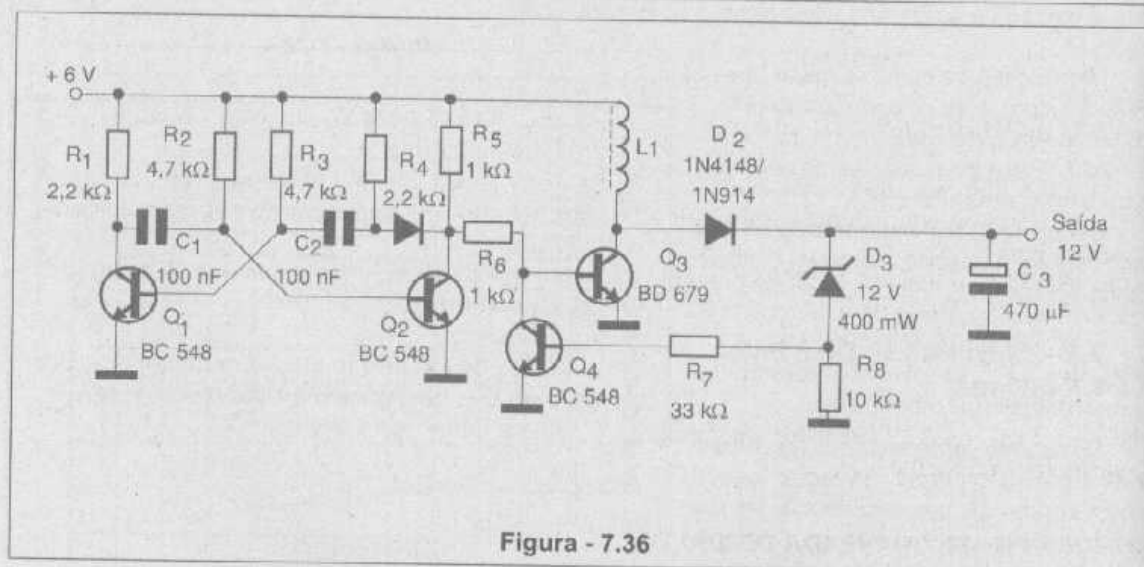


Figura - 7.36

A mesma configuração pode ser aproveitada para outros tipos de conversores. Basta trocar o diodo zener para se obter tensões de saídas mais altas, até aproximadamente 25 V.

Lembramos que nenhum circuito pode criar energia, assim sendo, levando em conta que seu rendimento é da ordem de 70%, a fonte deve ser capaz de fornecer a corrente que o circuito vai drenar. Por exemplo, para 12 V x 500 mA, o que resulta em 6 W, com uma fonte de 6 V, levando em conta o rendimento da ordem de 70% a corrente de entrada deve ser de pelo menos 1,4 A.

Uma variação do circuito é mostrada na **figura 7.37** em que usamos como oscilador um astável 555.

A bobina L₁ é o componente crítico da montagem, sendo formada por 80 espiras de fio de 0,5 mm em um núcleo toroidal de 40 mm de diâmetro externo.

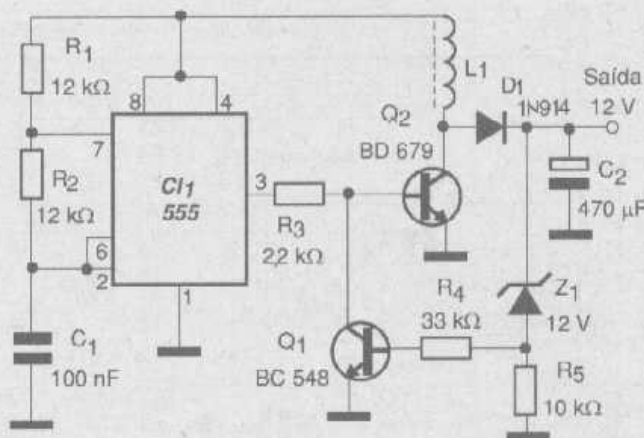


Figura - 7.37

Lista de Material

CI₁ - 555 - circuito integrado, *timer*
 Q₁ - BC548 ou equivalente - transistor NPN de uso geral
 Q₂ - BD679 - transistor NPN de potência
 D₁ - 1N914 - diodo de uso geral
 Z₁ - Zener de 12 V x 400 mW
 R₁, R₂ - 12 kΩ x 1/8 W - resistores - marrom, vermelho, laranja
 R₃ - 2,2 kΩ x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho

R₄ - 33 kΩ x 1/8 W - resistor - laranja, laranja, laranja
 R₅ - 10 kΩ x 1/8 W - marrom, preto, laranja
 C₁ - 100 nF - capacitor de poliéster ou cerâmico
 C₂ - 470 μF x 25 V - capacitor eletrolítico
 L₁ - Ver texto
 Diversos:
 Placa de circuito impresso, radiador de calor para Q₃, fios, núcleo toroidal para L₁, fios, solda, etc.

7.6 - FONTE CHAVEADA DE 100 W

A fonte que descrevemos agora é sugerida pela Motorola em seu *Linear/Interface Integrated Circuits*, servindo apenas para que o leitor tenha uma idéia da topologia deste tipo de aplicação, conforme explicamos na parte inicial deste capítulo.

Isso ocorre dada a dificuldade em se obter o transformador pronto, o qual deve ser projetado para a aplicação específica.

O circuito é ilustrado na **figura 7.38** e tem por base o circuito integrado TDA4600.

O circuito integrado TDA4600 consiste em um regulador conversor integrado do tipo *Flyback* já incorporando às etapas de potência, daí seu invólucro ser dotado de recursos para montagem em dissipador de calor, conforme exhibe a **figura 7.39**.

Esse circuito integrado admite ainda a entrada direta da alimentação da rede de energia, conforme podemos ver pelo diagrama, excitando diretamente o transistor de chaveamento.

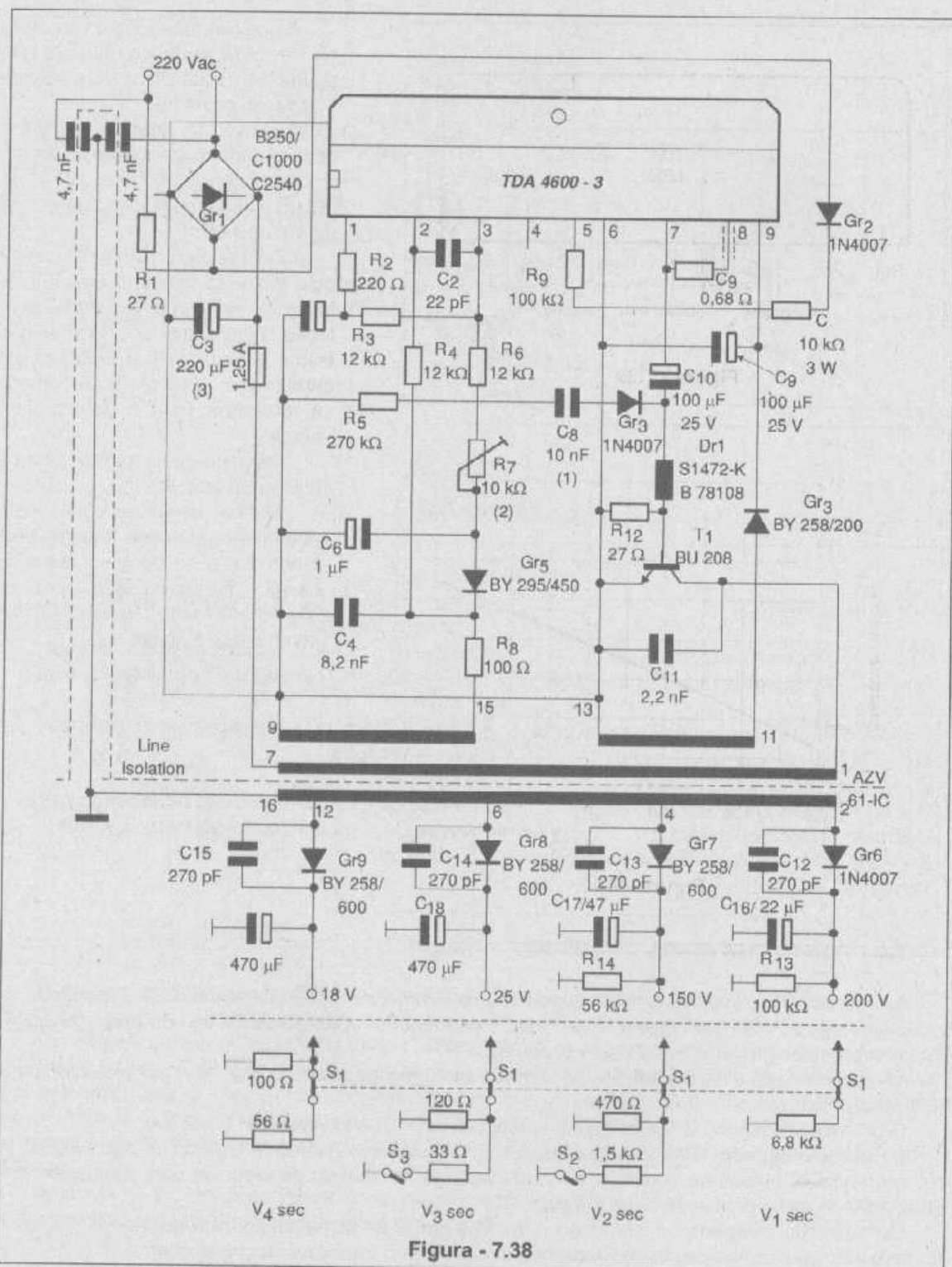
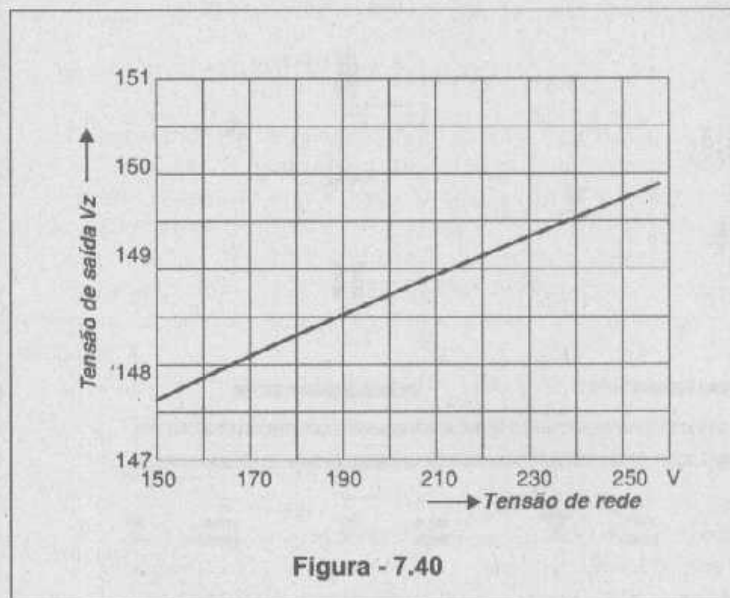
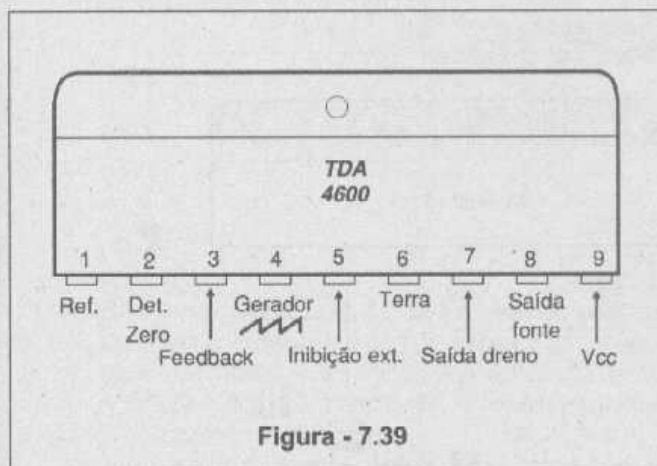


Figura - 7.38



A frequência depende da potência de saída, variando entre 70 kHz (saída zero) até 20 kHz (saída de 100 W) tipicamente.

A curva de rendimento desse circuito é mostrada na **figura 7.40**.

A eficiência do circuito é da ordem de 80% na faixa de potências de 40 a 80 W.

Observe que no projeto sugerido pela Motorola temos diversos enrolamentos secundários para alimentação de circuitos de baixa tensão, e que a regulagem é feita por um enrolamento adicional que fornece a referência para o circuito integrado.

O ajuste da tensão de saída é feito no *trimpot* R.

Muitos circuitos como este podem ser obtidos na Internet, bastando digitar no Google o nome do circuito integrado usado, ou ainda "Switched Mode Power Supply" como palavra-chave.

Características dos componentes em Fontes

Uma grande quantidade de componentes, principalmente circuitos integrados, transistores e diodos, é usado intensamente nos projetos de fontes de alimentação.

Se bem que muitos deles também possam ser utilizados em outras aplicações como circuitos de controle, amplificadores e mesmo RF, o conhecimento de suas características é fundamental para a realização de projetos de fontes.

Assim, neste item vamos focalizar as características dos componentes mais empregados, com destaque aos que aparecem nos projetos de fontes publicados neste livro.

8.1 - DIODOS DA SÉRIE 1N4000

Talvez, de todos os componentes usados nas fontes descritas neste livro e na maioria das publicações técnicas, os diodos da série 1N4000 sejam os mais utilizados.

Esses diodos (do 1N4001 até 1N4007) são empregados numa infinidade de aplicações que vão desde a retificação em fontes de alimentação até a proteção contra transientes gerados na comutação de cargas indutivas tais como relés, solenóides e motores.

Para usar bem estes componentes é interessante conhecer suas características. Neste item vamos tratar desses diodos, ajudando o leitor a fazer a escolha correta do tipo da série conforme a aplicação.

Os diodos da série 1N4000 (com os tipos de 1N4001 a 1N4007) são diodos retificadores de silício para correntes até 1 ampère. Cada um desses diodos pode operar com uma tensão máxima diferente. Portanto, antes de passarmos a indicar quais são estas tensões para os diversos tipos da série, será interessante conhecer seu significado.

Conforme o leitor sabe, os diodos de Si quando polarizados no sentido direto, conduzem totalmente a corrente, mas apresentam sempre uma tensão da ordem de 0,7 volts, veja na **figura 8.1**.

Observe que esta tensão varia muito pouco com a corrente exigida pelo circuito em que está o diodo, o que permite que este componente seja usado, quando polarizado desta forma, como um diodo zener de 0,6 a 0,7 volts tipicamente.

No sentido inverso, o diodo apresenta uma elevada resistência não permitindo praticamente a circulação de nenhuma corrente. Nestas condições, toda a tensão do circuito aparece sobre o diodo, ou seja, entre seu anodo e seu catodo conforme ilustra a **figura 8.2**.

Isso significa que os diodos devem ser capazes de suportar o valor máximo que a tensão atinge no circuito quando são polarizados no sentido inverso. Por

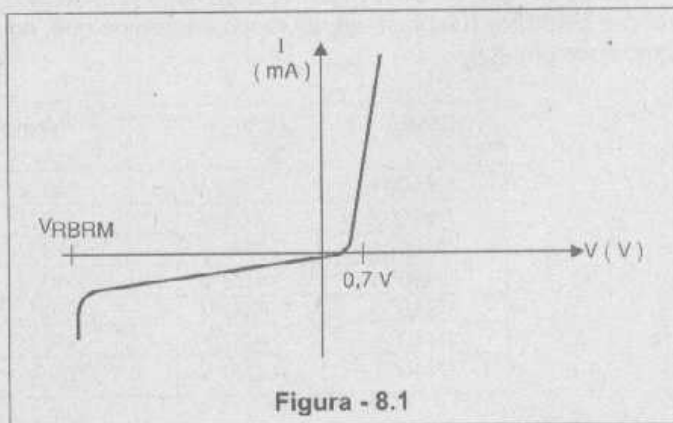
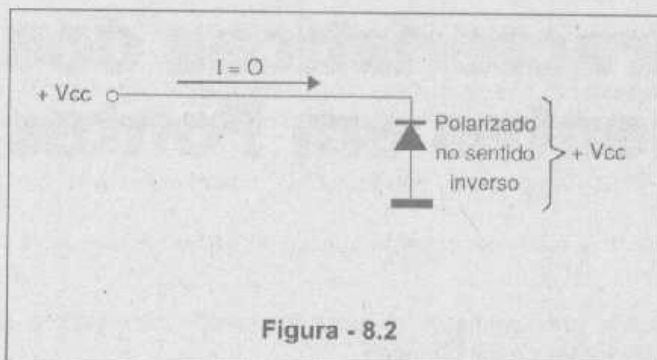


Figura - 8.1



esta razão, existem duas especificações importantes para os diodos:

a) A corrente máxima que eles podem conduzir quando polarizados no sentido direto. Esta corrente é abreviada por I_o nos manuais.

b) A tensão de pico máxima que podem suportar quando polarizados no sentido inverso. Ela é abreviada nos manuais por V_{rm} , podendo haver duas variações conforme elas sejam dadas

para um pico único ou para picos repetitivos.

Veja que, em um circuito de corrente alternada, quando o diodo é usado como retificador, a tensão que o diodo deve suportar não é a tensão *rms*, mas sim seu valor de pico. Por exemplo, numa rede de 110 V (127 V) o valor de pico da tensão passa de 150 volts, o que quer dizer que o diodo utilizado em tal aplicação deve suportar uma tensão bem maior que esta.

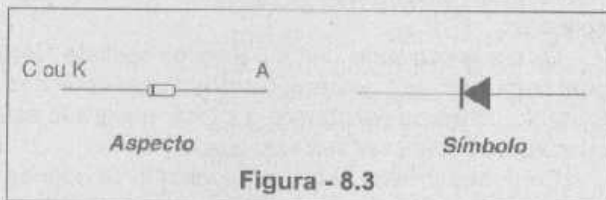
Conforme veremos, para a rede de 110 V (127 V) indicamos o 1N4004 que suporta 400 V, o que dá uma boa tolerância em relação ao valor de pico. Para a rede de 220 V, indicamos sempre o 1N4007 (para 700 V) o que também dá uma boa margem de segurança em relação aos valores de pico da tensão da rede.

Entendidas estas especificações, podemos passar à série 1N4000 propriamente dita.

8.1.1 - OS DIODOS 1N4000 OU 1N400X

Os diodos da série 1N4000 são apresentados nos invólucros DO-41 (Motorola) e suas variações, dependendo do fabricante (que são muitos), conforme mostra a **figura 8.3**.

Desse modo, para a série temos as seguintes tensões de pico inversas e a tensão *rms* inversa recomendada máxima (ver abaixo).



Obs.: Essas especificações são para os diodos da Motorola (ON), podendo haver pequenas diferenças conforme o fabricante, daí recomendarmos que, na prática, seja dada uma margem de segurança nos projetos.

Diodo	V_{rm}	V_{rms}
1N4001	50 V	35 V
1N4002	100 V	70 V
1N4003	200 V	140 V
1N4004	400 V	280 V
1N4005	600 V	420 V
1N4006	800 V	560 V
1N4007	1000 V	700 V

Para escolher um diodo desta série para uma aplicação é preciso observar a corrente direta e a tensão inversa.

Nos projetos comuns, tais quais os que apresentamos neste livro e em nossas publicações, indicamos os tipos 1N4004 para a retificação da rede de 110 V (127 V) e 1N4006 ou 1N4007 para aplicações na rede de 220 V (240 V).

Para fontes de 6 a 15 V indicamos os 1N4002. Para tensões entre 5 e 6 V também é possível usar seguramente o 1N4001.

Note que sempre podemos usar um diodo de tensão maior que a especificada, sem problemas de comprometimento do projeto.

APLICAÇÕES

a) Retificação

Na **figura 8.4** temos os circuitos típicos de retificação usando os diodos da série 1N4000.

No circuito **(a)**, de meia onda, é preciso observar que a corrente circula no diodo apenas nos semiciclos positivos e que, portanto, a corrente exigida na carga em média é a corrente no diodo. Então, a corrente máxima de carga é de 1 ampère, para uma fonte que use apenas um diodo nesta configuração.

Nos circuitos **(b)** e **(c)** cada diodo conduz metade do ciclo. Dessa forma, quando na carga circula uma corrente de 2 ampères, em cada diodo passa uma corrente média de apenas 1 ampère. Isso significa que, mesmo usando diodos de 1 ampère, é possível empregar estas configurações em fontes de até 2 ampères, sem problemas.

b) Proteção

Os diodos da série 1N4000 podem ser empregados para absorver os pulsos de alta tensão que são gerados na comutação de cargas indutivas e que podem afetar os semicondutores que fazem a comutação, como no circuito exibido na **figura 8.5**.

Neste circuito, quando o relé é desligado, aparece na sua bobina uma tensão inversa de valor muito alto que pode

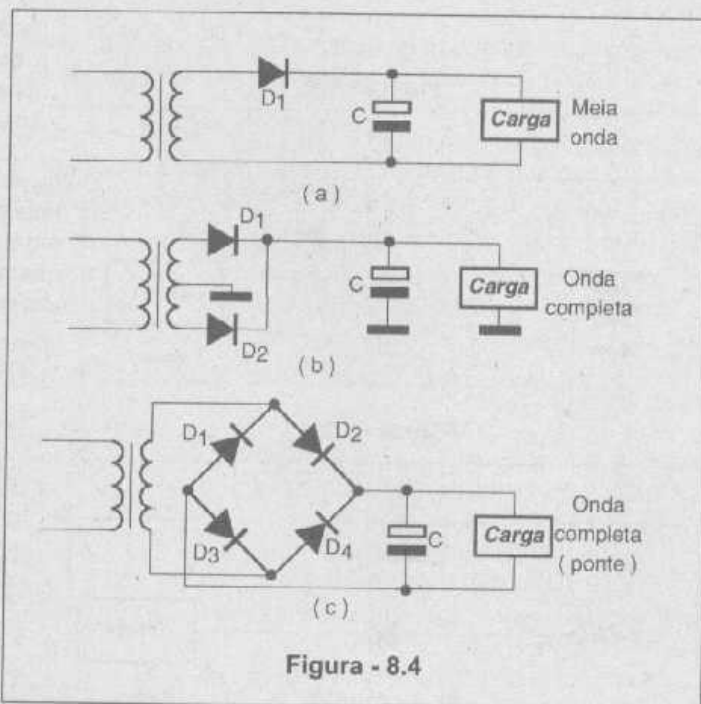


Figura - 8.4

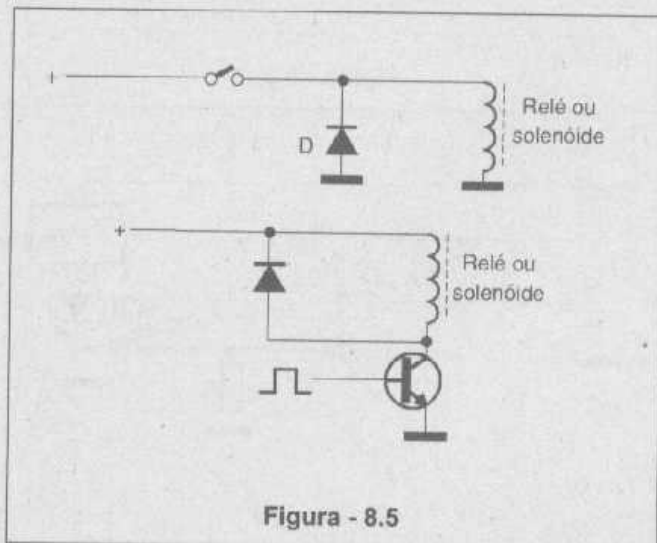
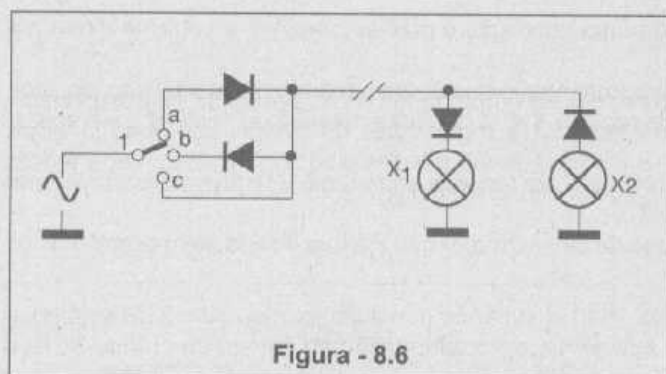


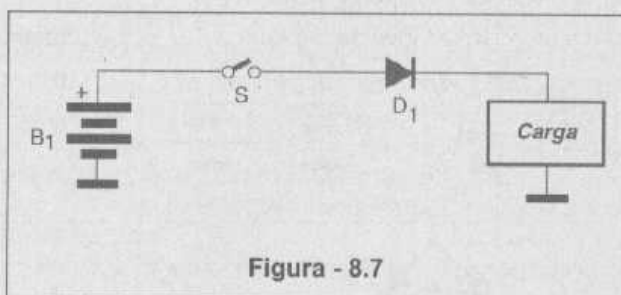
Figura - 8.5



superar a capacidade de isolamento do transistor comutador. Se esta tensão não tiver um circuito externo para ser aplicada e a energia gerada absorvida, o transistor poderá sofrer as consequências.

Este percurso pode ser dado pelo diodo que, para a polaridade da tensão gerada, estará polarizado no sentido direto. O pico da corrente que circula pelo diodo nestas condições pode superar bastante o valor normal de 1 ampère, mas sua duração é extremamente pequena.

Como os diodos podem operar com picos altos de corrente de duração muito pequena, nada acontece com o componente e o transistor (ou outro semicondutor usado) não sofre as consequências da aplicação de um pulso de alta tensão.



c) Funções lógicas

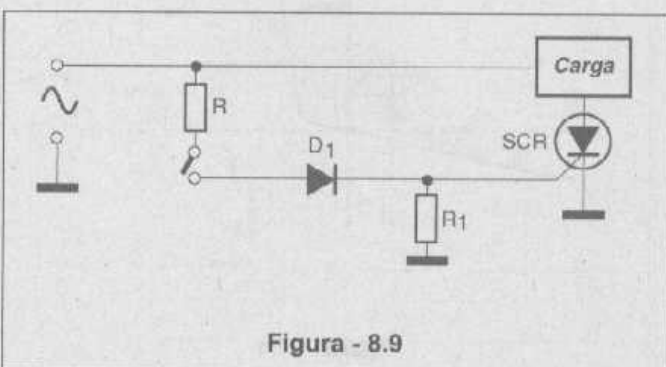
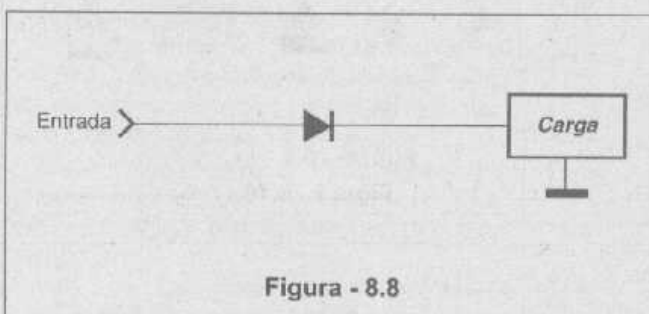
Algumas funções lógicas simples podem ser obtidas com a ajuda de diodos. Uma delas é a visualizada na **figura 8.6** em que temos o acionamento seletivo de duas cargas usando para esta finalidade apenas um par de fios.

Na posição (a) da chave a lâmpada X₁ acende; na posição (b) a lâmpada X₂ acende, e na posição (c) as duas lâmpadas acendem.

No circuito da **figura 8.7** temos diodos usados para evitar o "retorno" do acionamento de uma carga.

Conseqüentemente, se a saída do circuito A for ao nível alto, ocorrerá o acionamento da carga, mas esta tensão não aparece na saída do circuito B.

Na **figura 8.8** temos um circuito de proteção contra inversão de polaridade para um circuito alimentado por uma fonte. Se a polaridade da fonte for invertida, o diodo estará polarizado no sentido inverso não deixando passar corrente para o circuito alimentado.



d) Zener

Os diodos polarizados no sentido direto podem ser empregados como zeners de menor precisão, ou para alteração da tensão de referência em circuitos reguladores de tensão, conforme já vimos neste mesmo livro em diversas fontes. Podemos usar também esses diodos para aumentar a tensão de saída de reguladores fixos, a exemplo do que já vimos neste livro também.

e) Outras aplicações

No circuito da **figura 8.9** temos um diodo 1N4004 evitando que a comporta de um SCR seja polarizada no sentido inverso quando o anodo estiver negativo em relação ao catodo do próprio SCR, o que poderia causar sua queima.

No circuito da **figura 8.10** usamos um diodo 1N4002 ligado de tal forma a permitir a alimentação de um LED em um circuito de corrente alternada. O diodo conduz quando o LED é polarizado no sentido inverso, evitando que ele fique submetido a uma tensão inversa superior a 5 V, o que poderia danificá-lo.

8.2 - DIODOS 1N5400

Os diodos retificadores da série 1N5400 (1N5401 até 1N5406) são empregados numa infinidade de aplicações que vão desde a retificação em fontes de alimentação até a proteção contra transientes gerados na comutação de cargas indutivas tais como relés, solenóides e motores.

Os diodos da série 1N5400 (com os tipos de 1N5401 a 1N5406) são diodos retificadores de silício para correntes de 3 ampères.

Cada um dos diodos da série pode operar com uma tensão máxima diferente. Por isso, antes de passarmos a indicar quais são estas tensões para os diversos tipos da série, será interessante conhecer seu significado.

Como já é do conhecimento do leitor, os diodos quando polarizados no sentido direto, conduzem totalmente a corrente, mas apresentam sempre uma tensão da ordem de 0,7 volts, observe a **figura 8.11**.

Perceba que esta tensão varia muito pouco com a corrente exigida pelo circuito em que está o diodo, o que permite que este componente seja usado, quando polarizado desta forma, como um diodo zener de 0,6 a 0,7 volts tipicamente. No sentido inverso, o diodo apresenta uma

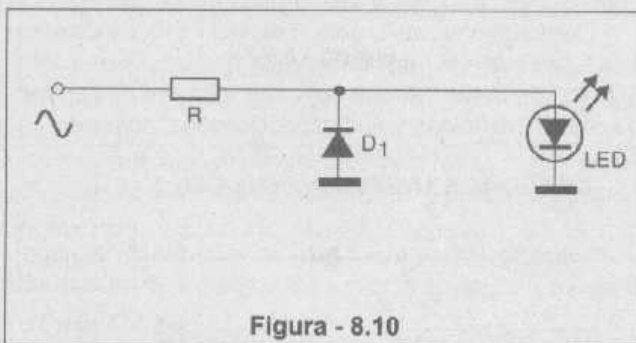


Figura - 8.10

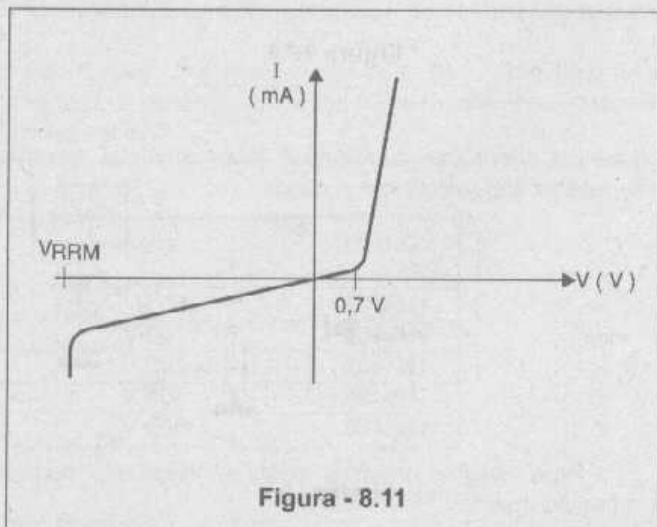


Figura - 8.11



elevada resistência, não permitindo praticamente a circulação de nenhuma corrente.

Nestas condições, toda a tensão do circuito aparece sobre o diodo, ou seja, entre seu anodo e seu catodo veja a **figura 8.12**.

Isso quer dizer que os diodos devem ser capazes de suportar o valor máximo que a tensão atinge no circuito, quando são polarizados no sentido inverso.

Desse modo, existem duas especificações importantes para os diodos:

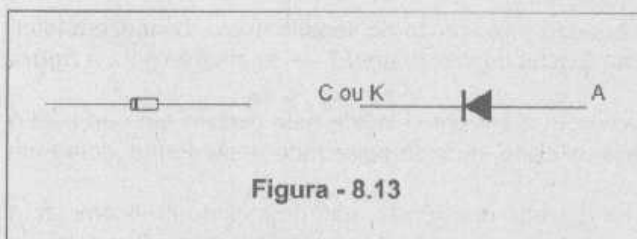
a) a **corrente máxima** que eles podem conduzir quando polarizados no sentido direto. Esta corrente é abreviada por I_o nos manuais.

b) a **tensão de pico máximo** que podem suportar quando polarizados no sentido inverso. Esta tensão é abreviada nos manuais por V_{rm} ou V_{rrm} .

Veja que, em um circuito de corrente alternada, quando o diodo é usado como retificador, a tensão que ele deve suportar não é a tensão rms, mas sim seu valor de pico. Por exemplo, numa rede de 110 V o valor de pico da tensão se aproxima de 155 volts, o que quer dizer que o diodo empregado em tal aplicação deve suportar uma tensão maior que essa.

Conforme veremos, para a rede de 110 V indicamos o 1N5404 que suporta 400 V, o que dá uma boa tolerância em relação ao valor de pico. Para a rede de 220 V, indicamos sempre o 1N5406 (para 600 V), o que também dá uma boa margem de segurança em relação aos valores de pico da tensão da rede. Entendidas estas especificações, podemos passar à série 1N5400 propriamente dita.

OS DIODOS 1N5400 OU 1N54XX



Os diodos desta série são apresentados nos invólucros 267 plástico (Motorola) e suas variações, observe a **figura 8.13**.

Assim, para a série temos as seguintes tensões de pico inversas e a tensão rms inversa recomendada máxima (ver abaixo).

Obs.: Essas especificações são para os diodos da Motorola (ON), podendo haver

pequenas diferenças conforme o fabricante, daí recomendarmos que, na prática, seja dada uma margem de segurança nos projetos.

Diodes	V_{rrm}	V_{rms}
1N5401	50 V	35 V
1N5402	100 V	70 V
1N5403	200 V	140 V
1N5404	400 V	280 V
1N5406	600 V	420 V

Para escolher um diodo desta série em alguma aplicação é preciso observar a corrente direta e a tensão inversa.

8.3 - DIODOS DA SÉRIE SK

Os diodos das séries SK e SKa da Semikron são diodos retificadores de silício de uso geral, utilizados em aplicações de baixa frequência e fontes de alimentação. Esses diodos podem, na maioria dos casos, realizar as mesmas funções dos diodos da série 1N4000, sendo por isso bastante empregados nos projetos de fontes que encontramos.

Os diodos da série SK, de SK 1/12 a SK 1/17, além dos tipos SK 3/12 a SK 3/17, são usados numa infinidade de aplicações que vão desde a retificação em fontes de alimentação até a proteção contra transientes gerados na comutação de cargas indutivas tais como relés, solenóides e motores.

Para utilizar bem estes componentes é interessante conhecer suas características. Neste item vamos tratar desses diodos, ajudando o leitor a fazer a escolha correta do tipo da série de acordo com a aplicação.

Os diodos da série SK 1/X (onde o X vai de 12 a 17) são diodos retificadores de silício para correntes até 3 ampères (rms), enquanto os SK 3/X para 6,7 A. Na verdade, as correntes médias recomendadas para esses diodos são de 1,15 e 1,8 I_{fav} .

Cada um dos diodos da série pode operar com uma tensão máxima diferente. Dessa forma, antes de passarmos a indicar quais são essas tensões para os diversos tipos da série, será interessante conhecer seu significado.

Como já foi dito anteriormente, os diodos quando polarizados no sentido direto, conduzem totalmente a corrente, mas apresentam sempre uma tensão da ordem de 0,7 volts, ante para a **figura 8.14**.

Observe que esta tensão varia muito pouco com a corrente exigida pelo circuito em que está o diodo, o que permite que este componente seja utilizado, quando polarizado desta forma, como um diodo zener de 0,6 a 0,7 volts tipicamente.

No sentido inverso, o diodo apresenta uma elevada resistência, não permitindo praticamente a circulação de nenhuma corrente. Nestas condições, toda a tensão do circuito aparece sobre o diodo, ou seja, entre seu anodo e seu catodo, veja a **figura 8.15**.

Isso significa que os diodos devem ser capazes de suportar o valor máximo que a tensão atinge no circuito, quando são polarizados no sentido inverso.

Portanto, existem duas especificações importantes para os diodos:

a) A corrente máxima que eles podem conduzir quando polarizados no sentido direto. Esta corrente é abreviada por I_o nos manuais ou I_{fav} (av = average = médio).

b) A tensão de pico máxima que podem suportar quando polarizados no sentido inverso.

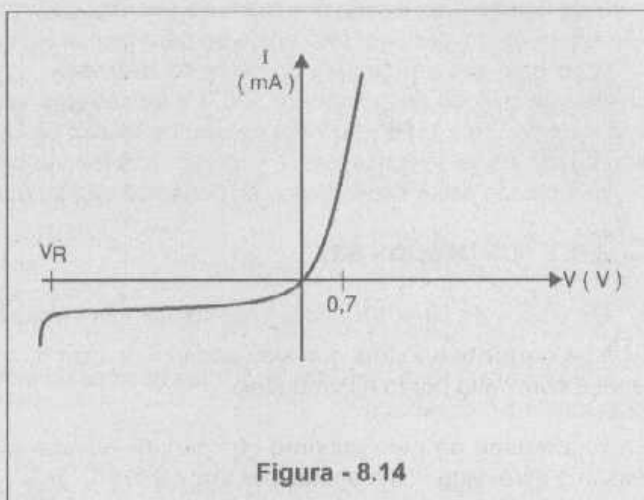


Figura - 8.14

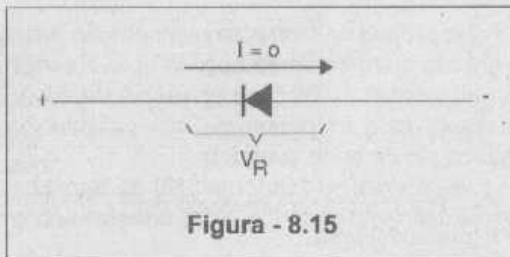


Figura - 8.15

Esta tensão é abreviada nos manuais por V_{rm} ou V_{rrm} , podendo haver duas variações conforme elas sejam dadas para um pico único ou para picos repetitivos.

Note que, em um circuito de corrente alternada, quando o diodo é usado como retificador, a tensão que o diodo deve suportar não é a tensão rms, mas sim seu valor de pico. Por exemplo, em uma rede de 110 V (127 V) o valor de pico da tensão passa de 150 volts, o que quer dizer que o diodo empregado em tal aplicação deve suportar uma tensão bem maior que esta.

Entendidas estas especificações, podemos passar à série SK propriamente dita.

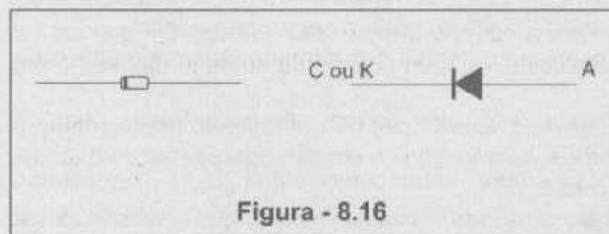
8.3.1 - OS DIODOS SK

Os diodos da série SK são apresentados nos invólucros E-33 e E-34, conforme ilustra a **figura 8.16**.

Então, para a série temos as seguintes tensões de pico inversas e a tensão rms inversa recomendada máxima (ver **tabela**).

Tipo	V_{rsm} (V)	I_{fav} (A)
SK 1/12	1200	1,15
SK 1/14	1400	1,15
SK 1/16	1600	1,15
SK 1/13	1300 (*)	1,15
SK 1/17	1700 (*)	1,15
SK 3/12	1200	1,8
SK 3/14	1400	1,8
SK 3/16	1600	1,8
SK 3/13	1300	1,8
SK 3/17	1700	1,8

(*) $V_{(br)min}$ - tensão inversa de ruptura mínima



Para escolher um diodo desta série para uma aplicação é preciso observar a corrente direta e a tensão inversa. Veja que sempre podemos usar um diodo de tensão maior que a especificada, sem problemas de comprometimento do projeto.

8.4 - SKB2 - PONTES RETIFICADORAS DE ONDA COMPLETA

No projeto de fontes de alimentação o setor de retificação sempre merece atenção especial, dada a grande quantidade de opções para a escolha de componentes.

As pontes SKB2 para correntes de até 2,5 ampères, da Semikron, consistem numa escolha interessante para os projetistas que pensam em usar transformadores com secundários simples com retificação de onda completa.

As pontes retificadoras SKB da Semikron contam com quatro diodos já ligados de modo a formar um circuito retificador de onda completa com a configuração mostrada na **figura 8.17**.

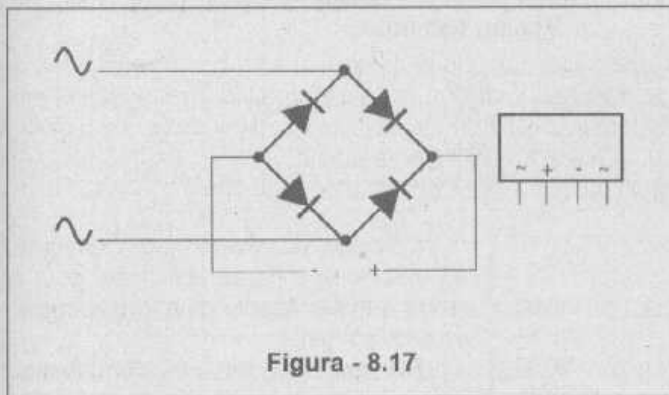


Figura - 8.17

O invólucro usado é do tipo G4 também exibido na mesma figura juntamente com suas dimensões visando facilitar o projeto da placa de circuito impresso para sua implementação. Observe a separação de 5 mm entre os terminais.

Na especificação dessas pontes retificadoras, após a designação do tipo, temos um sufixo que indica a tensão máxima RMS recomendada para o circuito em que elas sejam utilizadas conforme a seguinte **tabela**.

V _{rrm}	V _{rms}	Tipo	C _{máx} (μ F)	R _{min} (ohms)
20	60	SKB2/02 L5A	3 000	1
400	125	SKB2/04 L5A	2 200	1,5
800	250	SKB2/08 L5A	1 000	3
1200	500	SKB2/12 L5A	500	6

Repare que nesta tabela temos também a indicação do valor máximo do capacitor a ser usado como filtro e a resistência mínima que deve ser ligada em série para limitar a corrente inicial no circuito quando ele, ao ser ligado, estiver com o capacitor completamente descarregado.

8.5 - OS TRANSISTORES DA SÉRIE TIP

Transistores de potência para correntes contínuas (baixas e médias) encontram uma infinidade de usos. Fontes de alimentação lineares e chaveadas, inversores, controles de potência, amplificadores de áudio são alguns exemplos de circuitos onde tais transistores podem ser empregados.

Uma das séries mais importantes de transistores de potência é a formada pelos componentes cujos tipos começam pelas letras TIP.

Lançados originalmente pela Texas Instruments, hoje eles podem ser encontrados com as mesmas designações em diversos outros fabricantes.

A seguir, daremos as características dos principais tipos, tendo como referência as dos originais da Texas Instruments.

Os mesmos tipos de outros fabricantes podem ter pequenas diferenças em relação às características. Isso significa que, nos projetos mais críticos, o montador deve tomar cuidado ao usar algum que não seja original.

Série de Bipolares NPN e PNP

Esta série conta com transistores bipolares NPN e PNP que vão do TIP29 ao TIP41. Nela, os tipos com números ímpares são NPN e os tipos com números pares são PNP. Os sufixos podem ser A, B ou C, conforme as tensões máximas entre coletor e emissor.

Desse modo, temos como regra geral para os transistores dessa série as seguintes tensões máximas, conforme sufixo:

Sufixo	Vce ou Veb (máx)
sem sufixo	40 V
A	60 V
B	80 V
C	100 V

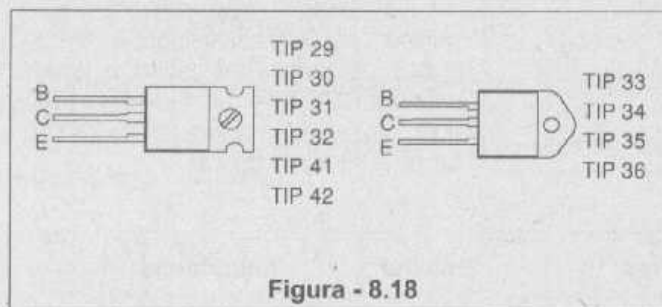


Figura - 8.18

Sempre é possível usar um transistor do mesmo tipo numa aplicação, com o sufixo que represente uma tensão maior do que o original.

Por exemplo, um TIP31B substitui com vantagem um TIP31A ou TIP31. Para esses transistores temos dois tipos básicos de invólucros que são exibidos na figura 8.18.

Observe que eles são dotados de recursos para fixação direta em um dissipador de calor.

A seguir daremos as **tabelas** com as características dos principais tipos:

NPN					
Tipo	Vce (V)	Ic (máx) (A)	h _{FE} (min)	Pd (W)	f _T (MHz)
TIP29	40	1	20	30	3
TIP29A	60	1	20	30	3
TIP29B	80	1	20	30	3
TIP29C	100	1	20	30	3
TIP31	40	3	20	40	3
TIP31A	60	3	20	40	3
TIP31B	80	3	20	40	3
TIP31C	100	3	20	40	3
TIP33	40	10	20	80	3
TIP33A	60	10	20	80	3
TIP33B	80	10	20	80	3
TIP33C	100	10	20	80	3
TIP35	40	25	25	125	3
TIP35A	60	25	25	125	3
TIP35B	80	25	25	125	3
TIP35C	100	25	25	125	3
TIP41	40	6	20	65	3
TIP41A	60	6	20	65	3
TIP41B	80	6	20	65	3
TIP41C	100	6	20	65	3

PNP					
Tipo	V _{ce} (V)	I _c (máx) (A)	h _{FE} (min)	P _d (W)	f _T (MHz)
TIP30	40	1	20	30	3
TIP30A	60	1	20	30	3
TIP30B	80	1	20	30	3
TIP30C	100	1	20	30	3
TIP32	40	3	20	40	3
TIP32A	60	3	20	40	3
TIP32B	80	3	20	40	3
TIP32C	100	3	20	40	3
TIP34	40	10	20	80	3
TIP34A	60	10	20	80	3
TIP34B	80	10	20	80	3
TIP34C	100	10	20	80	3
TIP36	40	25	25	125	3
TIP36A	60	25	25	125	3
TIP36B	80	25	25	125	3
TIP36C	100	25	25	125	3
TIP42	40	6	20	65	3
TIP42A	60	6	20	65	3
TIP42B	80	6	20	65	3
TIP42C	100	6	20	65	3

Significado dos parâmetros:

V_{ce} é a tensão máxima entre o coletor e o emissor. Quando essa especificação é acompanhada de "o" (*open*) como em V_{ceo}, significa a tensão máxima entre coletor e emissor quando a base está aberta.

I_c é a corrente máxima de coletor. Trata-se da corrente contínua máxima que o componente pode conduzir.

h_{FE} é o ganho estático de corrente, normalmente especificado para uma tensão entre coletor e emissor de 10 V, quando o componente conduz uma corrente de 1 A.

P_d é a potência máxima que o componente pode dissipar quando montado em um dissipador ideal.

f_T é a frequência de transição, ou seja, a frequência em que o ganho de corrente do componente cai para 1. Além dessa frequência, o componente deixa de amplificar os sinais.

Série de Darlingtons NPN e PNP

Da mesma forma que para os transistores bipolares, existe uma série TIP de transistores Darlington. Em um único invólucro temos então dois transistores montados na configuração Darlington, NPN ou PNP conforme ilustra a **figura 8.19**.

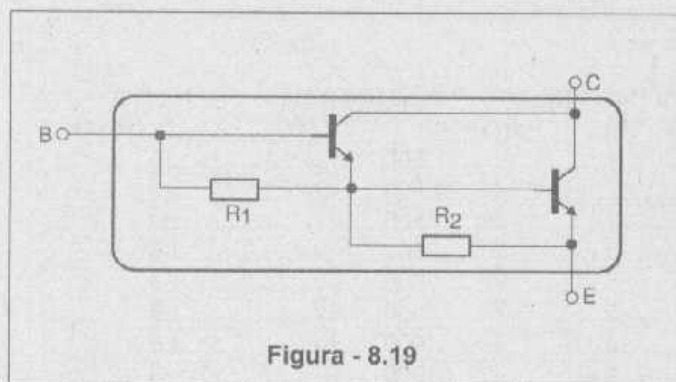


Figura - 8.19

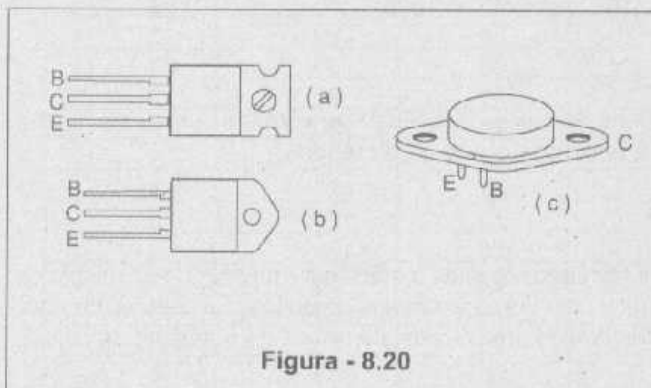


Figura - 8.20

Observe a existência de resistores internos de polarização. Esses transistores, conforme sua capacidade de dissipação, podem ser encontrados em três invólucros diferentes que são exibidos na **figura 8.20**.

Evidentemente, pela sua alta dissipação, esses invólucros também possuem recursos para sua montagem em um radiador de calor.

Para os transistores Darlington da série TIP, em lugar de sufixos, temos uma sequência de números a partir do tipo básico indicando a tensão máxima entre coletor e emissor.

Assim, os NPN começam de "0" e vão até "2" com a seguinte graduação de tensões:

0 - 60 V

1 - 80 V

2 - 100 V

Por exemplo, o TIP110 é para 60 V, o TIP111 é para 80 V e o TIP112 é para 100 V.

Para os PNP, a numeração começa no 5 e vai até o 7, com a seguinte graduação de tensão conforme o número final:

5 - 60 V

6 - 80 V

7 - 100 V

Então, temos o TIP115 para 60 V, TIP116 para 80 V e TIP117 para 100 V, todos PNP.

As frequências de transição desses componentes são sempre muito baixas, menos de 1 MHz, o que limita suas aplicações praticamente a controles de potência e circuitos de fontes lineares ou amplificadores de áudio.

Damos a seguir a **tabela** com as características dos tipos principais desta série:

Darlington NPN				
Tipo	V _{ce} (V)	I _c (máx) (A)	h _{FE} (min)	P _d (W)
TIP110	60	2	500	50
TIP111	80	2	500	50
TIP112	100	2	500	50
TIP120	60	5	1000	65
TIP121	80	5	1000	65
TIP122	100	5	1000	65
TIP140	60	10	1000	125
TIP141	80	10	1000	125
TIP142	100	10	1000	125

PNP				
Tipo	Vce (V)	Ic (máx) (A)	h _{FE} (min)	Pd (W)
TIP115	60	2	500	50
TIP116	80	2	500	50
TIP117	100	2	500	50
TIP125	60	5	1000	65
TIP126	80	5	1000	65
TIP127	100	5	1000	65
TIP145	60	10	1000	125
TIP146	80	10	1000	125
TIP147	100	10	1000	125

Conclusão:

Nas aplicações de altas correntes sob regime de baixas frequências e correntes contínuas esses transistores, pela sua facilidade de obtenção e baixo custo, são os preferidos.

8.6 - TRANSISTORES DA SÉRIE BD

Os transistores de potência para correntes contínuas (baixas e médias frequências) são utilizados numa infinidade de aplicações práticas. Podemos citar como exemplos de aplicações desses componentes as fontes de alimentação lineares e chaveadas, inversores, controles de potência, amplificadores de áudio, etc.

Uma das séries mais importantes de transistores de potência é a formada pelos componentes cujos tipos começam pelas letras BD. Ela é formada por transistores bipolares e Darlington tanto NPN quanto PNP.

As letras vêm do código *Pro Electron* para semicondutores americanos.

A letra B indica que o dispositivo é de silício (A para germânio); a letra D indica que se trata de um transistor de potência para baixas frequências (áudio, DC, etc).

Lançados originalmente pela Philips Components, hoje eles podem ser encontrados com as mesmas designações de tipos em diversos outros fabricantes.

A seguir, daremos as características dos principais tipos, tendo como referência as características dos originais da Philips Components. Os mesmos tipos de outros fabricantes podem ter pequenas diferenças em relação às características. Isso significa que, nos projetos mais críticos, o montador deve tomar cuidado ao usar algum que não seja original.

SÉRIE DE BIPOLARES NPN E PNP

Esta série conta com transistores bipolares NPN e PNP que vão do BD136 a BD438. Nela, os tipos com números ímpares são NPN e os tipos com números pares são PNP.

É sempre possível usar um transistor do mesmo tipo (mesma corrente de operação máxima - Ic) em uma aplicação, com o tipo que apresente uma tensão maior do que o original. Por exemplo, um BD139 substitui com vantagem um BD137 ou BD135.

Para esses transistores temos invólucros que são exibidos na figura 8.21. Observe que eles são dotados de recursos para

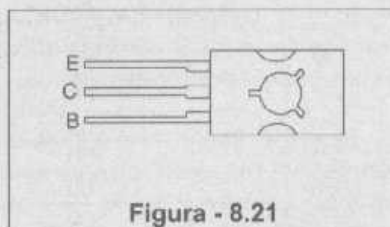


Figura - 8.21

fixação direta em um dissipador de calor. A seguir, fornecemos as **tabelas** com as características dos principais tipos:

NPN				
Tipo	Vce (V)	Ic (máx) (A)	hFE	Pd (W)
BD135	45	1,5	40-250	8
BD137	60	1,5	40-250	8
BD139	80	1,5	40-250	8
BD233	45	2	40-250	25
BD235	60	2	40-250	25
BD237	80	2	40-250	25
BD329	20	3	85-375	15
BD433	22	4	85-475	36
BD435	32	4	85-475	36
BD437	45	4	85-475	36

PNP				
Tipo	Vce (V)	Ic (máx) (A)	hFE	Pd (W)
BD136	45	1,5	40-250	8
BD138	60	1,5	40-250	8
BD140	80	1,5	40-250	8
BD234	45	2	40-250	25
BD236	60	2	40-250	25
BD238	80	2	40-250	25
BD330	20	3	85-375	15
BD434	22	4	85-475	36
BD436	32	4	85-475	36
BD438	45	4	85-475	36

Significado dos parâmetros:

Vce é a tensão máxima entre o coletor e o emissor. Quando essa especificação é acompanhada de "o" (*open*) como em Vceo, significa a tensão máxima entre coletor e emissor quando a base está aberta.

Ic é a corrente máxima de coletor. Trata-se da corrente contínua máxima que o componente pode conduzir.

hFE é o ganho estático de corrente, normalmente especificado para uma tensão entre coletor e emissor de 10 V quando o

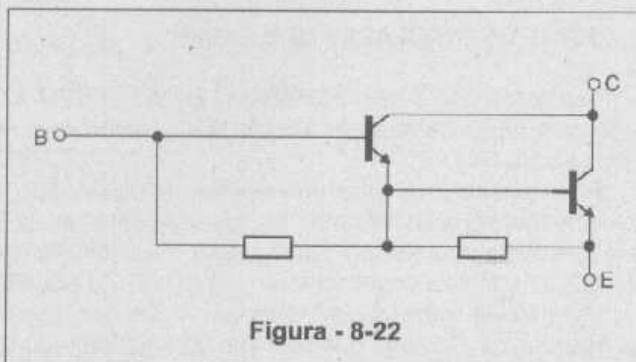


Figura - 8-22

componente conduz uma corrente de 1 A. No caso, é dada a faixa de ganhos para uma corrente determinada entre 0,15 e 0,5 A.

P_{tot} é a potência máxima que o componente pode dissipar quando montado num dissipador ideal.

SÉRIE DE DARLINGTONS NPN E PNP

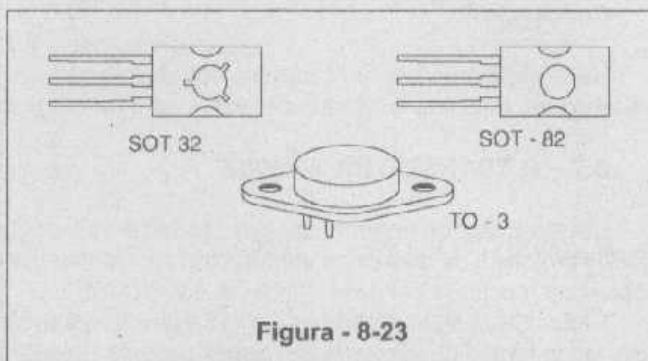
Da mesma forma que para os transistores bipolares, existe uma série BD de transistores Darlington. Em um único invólucro temos então dois transistores montados na configuração Darlington, NPN ou PNP, conforme ilustra a **figura 8.22**.

Esses transistores, de acordo com sua capacidade de dissipação, podem ser encontrados em três invólucros diferentes que são mostrados na **figura 8.23**.

Evidentemente, pela sua alta dissipação, esses invólucros também possuem recursos para sua montagem em um radiador de calor.

As frequências de transição desses componentes são sempre muito baixas, menos de 1 MHz, o que limita suas aplicações praticamente a controles de potência e circuitos de fontes lineares ou amplificadores de áudio.

Damos a seguir, a **tabela** com as características dos tipos principais desta série:



Darlington NPN

Tipo	V _{ce} (V)	I _c (máx) (A)	h _{FE} (min)	P _d (W)
BD331	60	6	750	60
BD333	80	6	750	60
BD335	100	6	750	60
BD675	45	4	750	40
BD677	60	4	750	40
BD679	80	4	750	40
BD681	100	4	750	40
BD683	120	4	750	40

Darlington PNP

Tipo	V _{ce} (V)	I _c (máx) (A)	h _{FE} (min)	P _d (W)
BD332	60	6	750	60
BD334	80	6	750	60
BD336	100	6	750	60
BD676	45	4	750	40
BD678	60	4	750	40
BD680	80	4	750	40
BD682	100	4	750	40
BD684	120	4	750	40

Conclusão

Nas aplicações de altas correntes sob regime de baixas frequências e correntes contínuas, esses transistores, pela sua facilidade de obtenção e baixo custo, são os preferidos.

8.7 - O TRANSISTOR 2N3055

Um transistor de enorme utilidade, considerado ideal para o "serviço pesado", e que todo montador ou projetista de aparelhos eletrônicos (principalmente envolvendo aplicações industriais, controle, robótica e mecatrônica) deve conhecer é o 2N3055.

Capaz de dissipar potências até 115 W e de operar com correntes de coletor de até 15 A podemos usá-lo em fontes de alimentação, amplificadores de áudio, controles de potência e em muitas outras aplicações que envolvam corrente contínua e baixas frequências.

O transistor 2N3055 pode ser encontrado nos catálogos de diversos fabricantes, dada a sua grande aceitação. Trata-se de um transistor NPN de alta potência de silício, apresentado em invólucro TO-3 de metal, observe a figura 8.24.

Uma versão de menor dissipação e mais "econômica" é encontrada em invólucro plástico TO-220, como TIP3055, exibido na figura 8.25.

Exceto pela dissipação, a versão em invólucro plástico tem as mesmas características da versão original do invólucro de metal.

O 2N3055 é um transistor de baixa frequência, ou seja, consegue-se controlar correntes elevadas, sacrificando-se sua velocidade, razão pela qual ele não consegue operar em frequências que estejam muito acima de algumas dezenas de quilohertz.

Todavia, isso não é problema para as aplicações mais comuns, que são:

- a) Em fontes de alimentação comuns (não comutadas) controlando a corrente principal.
- b) Como reostato, controlando a intensidade da corrente em cargas de potência como lâmpadas, motores, etc.
- c) Na saída de amplificadores de áudio de alta potência, podendo ser ligados em paralelo para se obter saídas de centenas de watts.

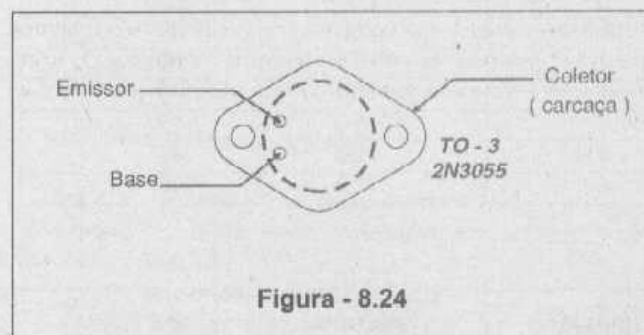


Figura - 8.24

d) Em circuitos comutadores que devam acionar dispositivos de correntes elevadas como solenóides, eletroímãs, etc.

e) Em carregadores de baterias, controlando a corrente principal.

f) Em inversores, gerando ou amplificando os sinais que devem ser aplicados aos transformadores.

Damos a seguir os máximos absolutos deste transistor:

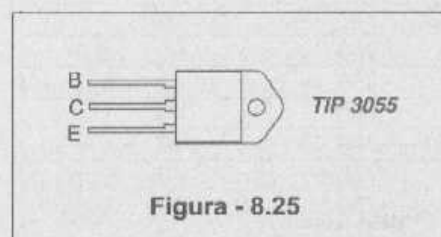


Figura - 8.25

Máximos a 25 graus Celsius:

- Tensão coletor/base..... 100 V
- Tensão coletor/emissor..... 70 V
- Tensão emissor/base 7 V
- Corrente contínua de coletor..... 15 A
- Corrente contínua de base 7 A

- Dissipação máxima 115 W
- Faixa de temperaturas de operação.. -65 a 200 graus Celsius

Características Elétricas:

- Frequência de transição..... 10 kHz (min)
- Ganho de corrente 15 (min)
120 (tip)

QUESTÃO DE POTÊNCIA

Leitores que já "queimaram" transistores como o 2N3055 em experiências que envolveram correntes menores que 15 A (às vezes muito menores) devem estar se perguntando se não haveria algo de errado nestas especificações. Por isso, algumas explicações importantes devem ser dadas a esse respeito.

O que acontece é que a corrente máxima que um transistor pode conduzir entre seu coletor e emissor não é um valor absoluto, mas depende também da tensão que existe entre esses dois elementos.

Os transistores possuem algo que se denomina SOAR, que é a abreviação de *Safe Operating Area Region*. Isso significa que existe uma certa área no gráfico tensão x corrente em que opera o transistor, dentro da qual a dissipação se mantém nos limites que o componente pode admitir, veja exemplo na **figura 8.26**.

Assim, um transistor 2N3055 realmente pode conduzir uma corrente de até 15 ampères, mas somente se neste momento, a tensão entre o coletor e o emissor for menor que um determinado valor: 7,66 V.

Por que este valor? Se a tensão for inferior a ele, o produto tensão x corrente será menor que os 115 watts, que ele pode dissipar, e tudo correrá bem.

Entretanto, se for maior como, por exemplo, 10 A, a potência desenvolvida será de $10 \times 15 = 150$ watts e o transistor não conseguirá dissipá-la, queimando-se.

Perceba então, que podemos trabalhar com correntes maiores se a tensão for menor e vice-versa.

Por isso, é comum que em fontes que usem esse transistor a corrente por 2N3055 seja limitada a apenas 5 ampères, porque existem instantes em que a tensão entre o coletor e o emissor do transistor, com esta corrente, se torna suficientemente elevada para gerar uma boa quantidade de calor, maior do que aquele que ele consegue dissipar.

Devemos pois, manter esta dissipação dentro daquilo que o transistor pode admitir. Isso vale para os projetistas "novatos" que, ao verem nos manuais de transistores tipos com dissipações de 150 watts ou mais, logo imaginam que podem usar estes componentes em "potentes" amplificadores da mesma potência. Não é nada disso! A potência que um transistor pode dissipar, de longe, não é a máxima potência que ele pode controlar ou fornecer a um circuito externo.

De um modo geral, para o 2N3055 é comum que, ao serem usados em

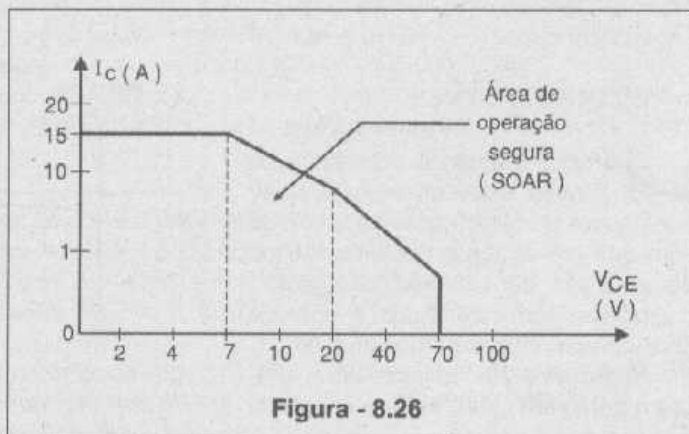


Figura - 8.26

fontes, cada um deles conduza no máximo 4 ou 5 ampères. Se precisarmos mais do que isso, é conveniente que eles sejam ligados em paralelo, da forma que já vimos em fontes publicadas neste mesmo livro.

Nessa ligação surge ainda o problema da distribuição por igual das correntes. Dois transistores não se comportam exatamente da mesma forma quando conduzem a corrente. Um pode apresentar menor resistência que o outro e isso faz com que por ele circule maior corrente.

Em uma fonte, isso pode causar a sobrecarga de um deles, que tenha menor resistência de condução.

Uma maneira de se garantir a correta distribuição da corrente nestes casos é agregando em série com seus emissores, um resistor de baixo valor, conforme ilustra a **figura 8.27**.

Esse resistor tem valores tipicamente entre 0,1 ohm e 0,47 ohms, devendo serem usados sempre tipos de fio de pelo menos 5 W de dissipação.

Mais detalhes, o leitor poderá ver nas próprias fontes de alta corrente deste livro.

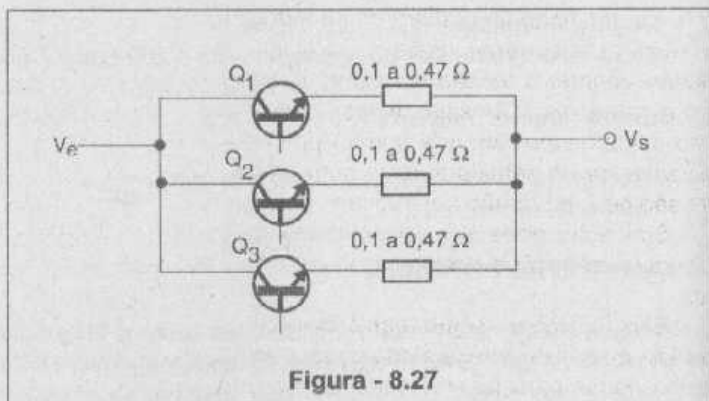


Figura - 8.27

8.8 - DIODOS ZENER

Os diodos zener são elementos fundamentais no projeto de muitos tipos de fontes, reguladores de tensão, referências, circuitos de limitação de sinais e muitos outros. No trabalho com esses componentes existem algumas séries de diodos bastante utilizadas, para as quais o praticante de Eletrônica deve estar preparado no que se refere ao atendimento dos seus códigos.

Um dos problemas encontrados por quem usa diodos zener é saber qual é a sua tensão de operação ou tensão zener, com base no seu código de identificação.

Há duas formas mais comuns de se especificar os diodos zener atualmente: uma é dada pela nomenclatura européia e a outra pela nomenclatura americana.

Para que o leitor saiba como identificar os diodos zener, vamos começar por lembrar o que é um diodo zener.

OS DIODOS ZENER

Quando um diodo é polarizado no sentido inverso, existe uma tensão limite que podemos aplicar neste componente sem que ele se torne condutor. Acima desta tensão, denominada "de ruptura", o diodo se torna condutor, e para os tipos comuns ocorre sua destruição.

Na **figura 8.28** mostramos num gráfico o ponto em que a ruptura ocorre.

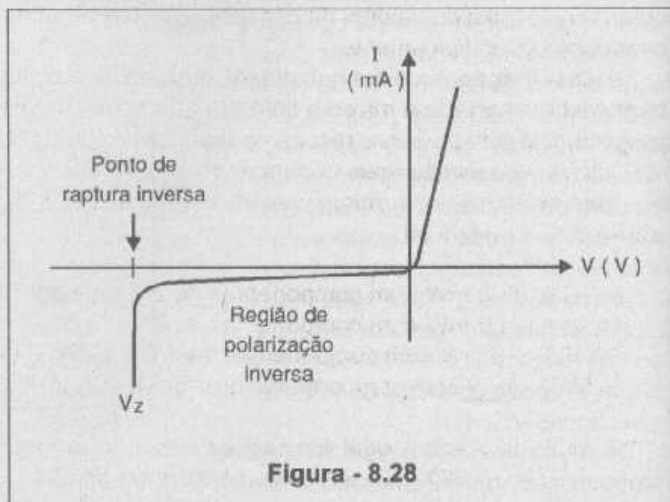


Figura - 8.28

Se um diodo for construído de modo a suportar a corrente nesta ruptura, ele poderá manter a tensão constante entre seus terminais. Ou seja, diodos zener são diodos especiais que podem operar polarizados no sentido inverso com uma tensão de ruptura não destrutiva.

Sua ação pode ser aproveitada em diversas aplicações eletrônicas importantes.

Eles funcionam como reguladores de tensão ou de corrente, e ainda podem ser empregados para fazer o corte de picos de sinais.

Os diodos zener são encontrados em diversos tamanhos e tipos de acordo com a corrente e tensão com que devem trabalhar.

Na figura 8.29 temos o símbolo usado para representá-lo e os aspectos mais comuns deste componente. Os diodos zener, conforme podemos observar, são componentes polarizados normalmente havendo um anel ou marca para indicar o catodo (k).

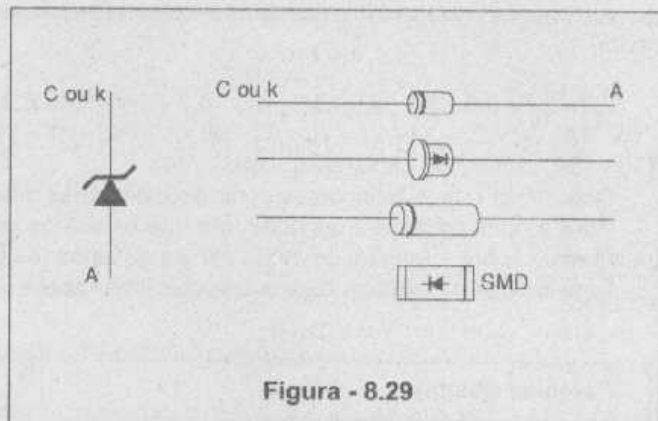


Figura - 8.29

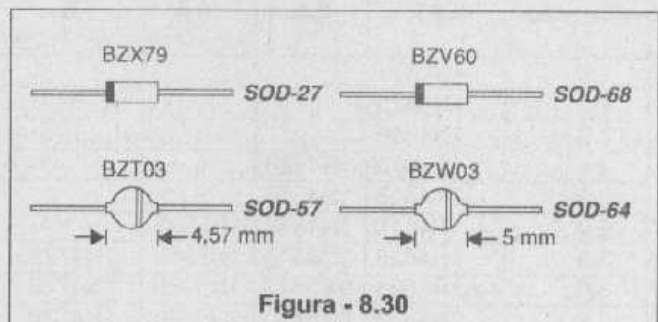


Figura - 8.30

Especificações

A maioria dos fabricantes especifica seus diodos zener por códigos que tanto podem levar a nomenclatura 1N quanto BZX ou BZY para os tipos europeus.

As principais características elétricas que devemos observar em um diodo zener são:

a) **Tensão zener** - que é a tensão inversa que faz o diodo conduzir e que ele mantém constante numa ampla faixa de valores de corrente. Os diodos zener comuns possuem tensões zener entre 1,5 e mais de 200 V, tipicamente.

b) **Dissipação** - que é a quantidade máxima de calor que o componente pode dissipar e que, portanto, está associada à máxima corrente que podemos manter através dele. A máxima corrente multiplicada pela tensão zener resulta na potência ou dissipação máxima. Os tipos mais comuns são de 400 mW de dissipação, mas dependendo da aplicação, podemos encontrar diodos zener maiores.

Para as séries com nomenclatura européia temos 4 dissipações possíveis, com os invólucros exibidos na figura 8.30.

BZX79 - 500 mW com componentes de 2,4 V a 68 V (tolerância de 5%)

BZV60 - 400 mW com componentes de 2,4 V a 68 V (tolerância de 5%)

BZT03 - 3,25 W com componentes de 7,5 V a 270 V (tolerância de 5%)

BZW03 - 6 W com componentes de 7,5 V a 270 V (tolerância de 5%)

É muito fácil saber qual é a tensão zener de qualquer diodo desta série, pois ela é dada pelo prefixo. Assim, o BZX79C2V4 é um diodo zener de 500 mW para 2,4 V (a tensão é o 2V4).

As tensões nominais normalmente seguem a seguinte progressão: (para os tipos Philips Components).

2,4 - 2,7 - 3,0 - 3,3 - 3,6 - 3,9 - 4,3 - 4,7 - 5,1 - 5,6 - 6,2 - 6,8 - 7,6 - 8,2 - 9,1 - 10 - 11 - 12 - 13 - 15 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24 - 27 - 30 - 33 - 36 - 39 - 43 - 47 - 51 - 56 - 62 - 75 - 82 - 91 - 100 - 110 - 120 - 130 - 150 - 160 - 180 - 200 - 220 - 240 - 270.

Obs.: Para outros fabricantes podem existir séries diferentes e até mesmo mais amplas.

Para a nomenclatura americana, em que os diodos começam por 1N, o número que segue não indica nada sobre a tensão, devendo ser consultadas tabelas ou manuais do fabricante.

Para auxiliar os leitores, damos a seguir uma **tabela** com os tipos mais usados e suas tensões:

Potência (Watts)								
Tensão	0,25	0,4	0,5	1,0	1,5	5,0	10,0	50,0
1,8	1N4614							
2,0	1N4615							
2,2	1N4616							
2,4	1N4617	1N4370						
2,7	1N4618	1N4370						
3,0	1N4619	1N4372	1N5987					
3,3	1N4620	1N5518	1N5988	1N4728	1N5913	1N5333		
3,6	1N4621	1N5519	1N5989	1N4729	1N5914	1N5334		
3,9	1N4622	1N5520	1N5844	1N4730	1N5915	1N5335	1N3993	1N4549
4,7	1N4624	1N5522	1N5846	1N4732	1N5917	1N5337	1N3995	1N4551
5,6	1N4626	1N5524	1N5848	1N4734	1N5919	1N5339	1N3997	1N4553
6,2	1N4627	1N5525	1N5850	1N4735		1N5341		1N4553
7,5	1N4100	1N5527	1N5997	1N4737	1N3786	1N5343	1N4000	1N4556
10,0	1N4104	1N5531	1N6000	1N4740	1N3789	1N5347	1N2974	1N2808
12,0	1N4106	1N5532	1N6002	1N4742	1N3791	1N5349	1N2976	1N2810
14,0	1N4108	1N5534	1N5860			1N5351	1N2978	1N2812
16,0	1N4110	1N5536	1N5862	1N4745	1N3794	1N5353	1N2980	1N2814
20	1N4114	1N5540	1N5866	1N4747	1N3796	1N5357	1N2984	1N2818
24	1N4116	1N5542	1N6009	1N4749	1N3798	1N5359	1N2986	1N2820
28	1N4119	1N5544		1N5871			1N5362	
60	1N4128		1N5264				1N5371	
100	1N4135	1N985		1N4764	1N3813	1N5378	1N3005	
120		1N987	1N6026	1N3046	1N5951	1N5380	1N3008	1N2841

Em muitas aplicações práticas é possível obter-se tensões diferentes das fornecidas pelos diodos individualmente fazendo sua ligação em série. No entanto, nesse tipo de ligação, para que a dissipação seja uniforme e para que não ocorram outros problemas de operação, os valores dos diodos devem ser mantidos os mais próximos possíveis. Por exemplo, para obter 15 V, pode-se ligar um diodo de 6,8 V em série com um de 8,1 V, mas deve-se evitar o uso de um de 12 V com um de 3,1 V.

Para que um diodo zener opere satisfatoriamente, a corrente nele deve ser tal que ele fique entre 10% e 80% da sua dissipação. Nessas condições, sua operação é mais estável.

Para determinar a corrente ideal para uma dissipação da ordem de 25% do máximo, pode ser usada a seguinte fórmula:

$$I = (P / V) / 4$$

Onde I é a corrente

V é a tensão do zener

P é a potência do zener

Por exemplo, um diodo de 2,7 V x 1 W deve ser operado com uma corrente de aproximadamente:

$$I = (1 / 2,7) / 4 = 0,0926 \text{ A} = 92,6 \text{ mA} \quad (\text{para uma potência de } 0,25 \text{ W})$$

Uma forma de se obter um zener de maior dissipação consiste em utilizar uma etapa adicional de potência comum a transistor.

Na **figura 8.31** mostramos como obter um "zener de potência".

A potência desse zener será a potência do transistor. Deve ser somada a queda de tensão entre o emissor e a base com a tensão do zener, para se obter a tensão equivalente desse diodo. Os zeners com transistores reforçadores são denominados zeners assistidos, e possuem uma característica dinâmica melhor do que a dos diodos comuns, conforme ilustra o gráfico da **figura 8.32**.

Onde São Encontrados

Na **figura 8.33** mostramos alguns circuitos típicos onde os diodos zener são usados para regular tensões.

No primeiro caso, um diodo zener opera sozinho controlando totalmente a tensão na carga, enquanto no segundo ele utiliza um transistor para controlar a maior corrente de modo que ele pode ser de um tipo de menor potência (como no exemplo dado na **figura 8.31**).

Teste

Se bem que possamos testar um diodo zener da mesma forma que um diodo comum, este teste nada revela sobre a tensão zener e, portanto, se o componente está dentro de suas características.

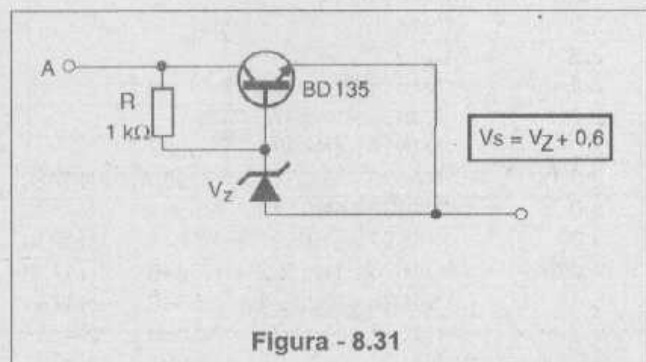


Figura - 8.31

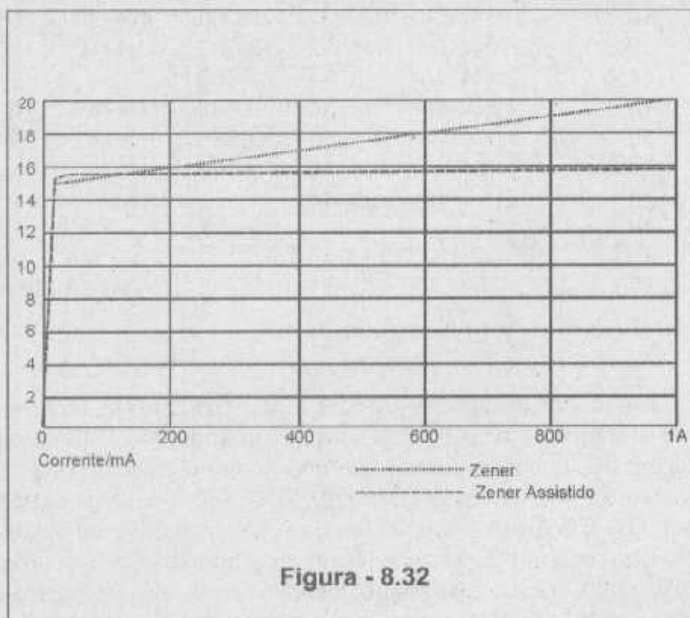
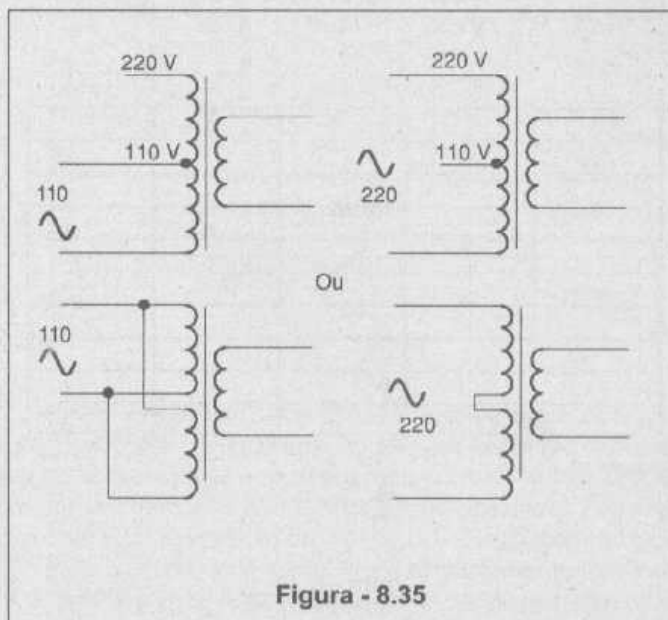
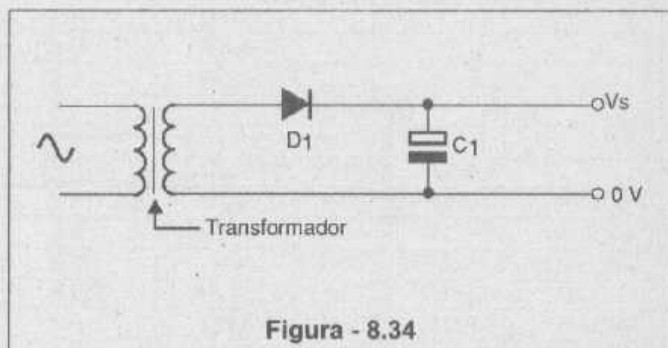
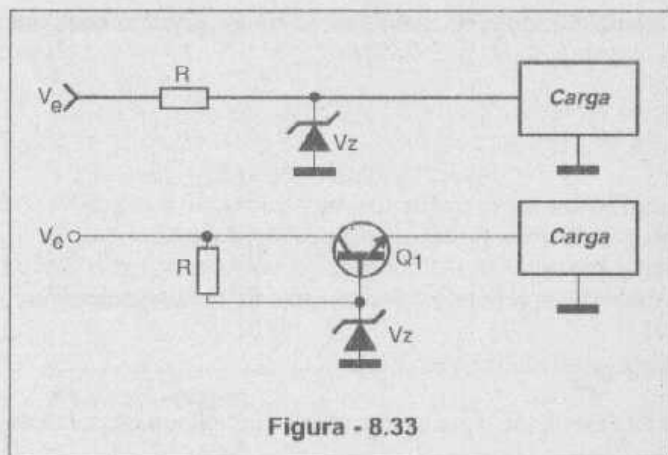


Figura - 8.32



Todavia, quando os diodos zener apresentam problemas, o mais comum é que entrem em curto apresentando uma baixa resistência nos dois testes com o multímetro.

Na substituição, devemos usar sempre um que tenha a mesma tensão que o original. A potência pode ser igual ou maior que a do original.

8.9 - TRANSFORMADORES

Não obstante a tendência seja a de se usar cada vez menos transformadores em fontes de alimentação de muitos equipamentos, principalmente de consumo, dado seu custo, tamanho e peso, esse componente ainda é fundamental no projeto de fontes tradicionais.

De fato, o isolamento da rede, a simplicidade de projeto de uma fonte linear e outras características semelhantes só são obtidas quando um transformador é usado na entrada do circuito. Assim, conforme vimos na parte teórica deste livro, em que estudamos as fontes lineares, o transformador de força ou alimentação é o componente de entrada da maioria das fontes, observe a figura 8.34.

A escolha de um bom transformador para uma aplicação é um detalhe importante que precisa ser analisado em um projeto. Então, temos as seguintes possibilidades:

a) Tensões de Entrada

A maioria dos transformadores usados em fontes de alimentação possui enrolamentos primários duplos, ou com derivações que permitem sua alimentação tanto nas redes de 110 V quanto 220 V (*)

(*) Observamos que usamos os termos gerais 110 V e 220 V para indicar as redes mais comuns. Na verdade, para o que chamamos de rede

de 110 V, a tensão real pode ser de 117 V ou 127 V, enquanto que para a rede de 220 V, o valor real tanto pode ser 220 V quanto 240 V, dependendo da região do país considerada.

O modo como o enrolamento primário vai ser ligado depende então da rede de energia, veja exemplo na **figura 8.35**.

Podemos agregar uma chave comutadora de tensão, que permite usar o transformador nas duas redes de energia, com a comutação manual, conforme ilustra a **figura 8.36**.

Há circuitos que permitem a comutação automática da tensão de entrada, sendo usados principalmente em fontes chaveadas.

A maioria dos eletro-eletrônicos modernos é do tipo "bi-volt" ou seja, funciona igualmente na rede de 110 V como 220 V, sem a necessidade de comutação.

b) Número de Secundários

Em muitas fontes é preciso contar com mais de uma tensão de saída. Neste livro, por exemplo, descrevemos diversas fontes duplas e múltiplas que exigem o emprego de transformadores com mais de um secundário.

As próprias fontes para circuitos valvulados são exemplos de aplicações em que transformadores de secundários duplos ou múltiplos são empregados, observe a **figura 8.37**.

Em um transformador de diversos secundários é importante que eles sejam isolados uns dos outros, conforme a aplicação. Lembramos ainda que a potência total do transformador será dada pela soma das potências (produto tensão x corrente) de cada enrolamento secundário.

c) Especificações do Secundário

Ao escolher um transformador para uma fonte é preciso levar-se em conta a corrente e a tensão de cada secundário, pois elas determinam a potência e portanto o tamanho do componente, preço e peso. Por isso, para uma aplicação, a tensão

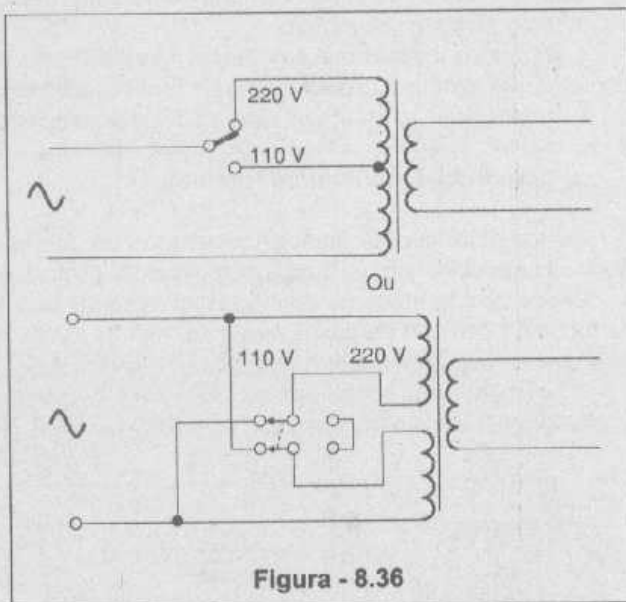


Figura - 8.36

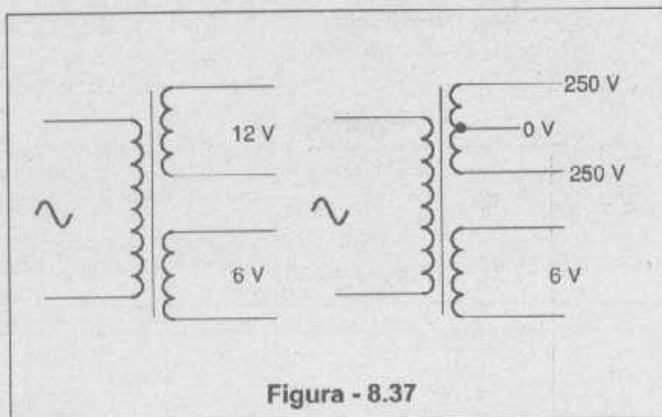


Figura - 8.37

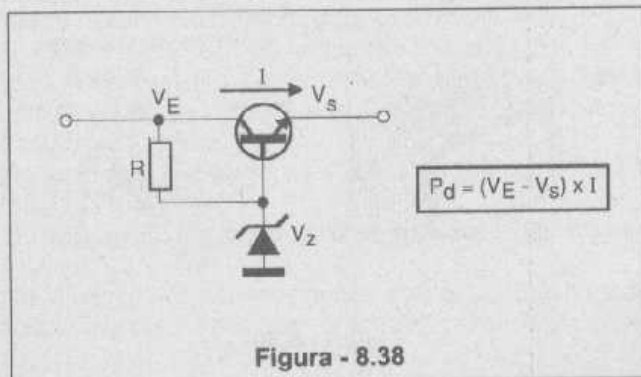


Figura - 8.38

deve ser rigorosamente a mesma exigida pelo projeto e nos circuitos regulados admite-se uma tolerância para mais.

Então, numa fonte de 12 V podemos usar um transformador com 12 V, 15 V, e em alguns casos até mesmo 18 V de secundário.

Lembramos apenas que a potência dissipada pelo circuito regulador vai ser dada pelo produto da corrente que ele conduz pela queda de tensão, exemplo na **figura 8.38**.

Em vista disso, com um transformador de maior tensão, o regulador pode aquecer-se mais.

d) Construção (comum ou toroidal)

Os transformadores tradicionais usados em fontes de alimentação de fontes lineares possuem núcleos laminados tipo E, F ou I, combinados, conforme ilustra a **figura 8.39**.

Esses transformadores têm razoável rendimento e a utilização de lâminas evita que as correntes de turbilhão causem perdas. Entretanto, muitas fontes modernas podem usar transformadores toroidais que apresentam maior rendimento e são menores.

Infelizmente, na época em que este livro foi escrito, os transformadores com núcleos toroidais ainda não podiam ser encontrados com facilidade nas tensões mais comuns, exigidas principalmente para o projeto de fontes.

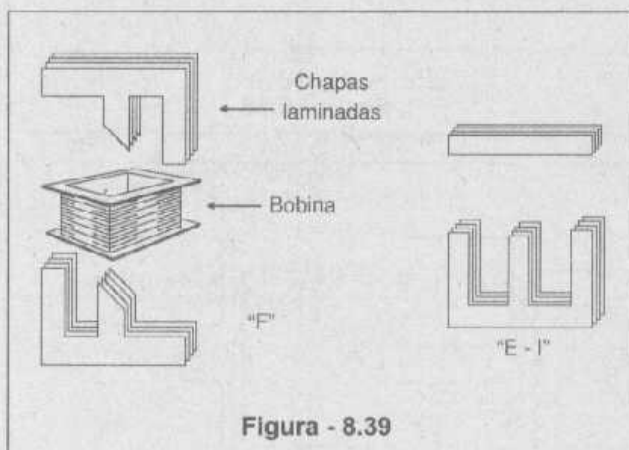


Figura - 8.39

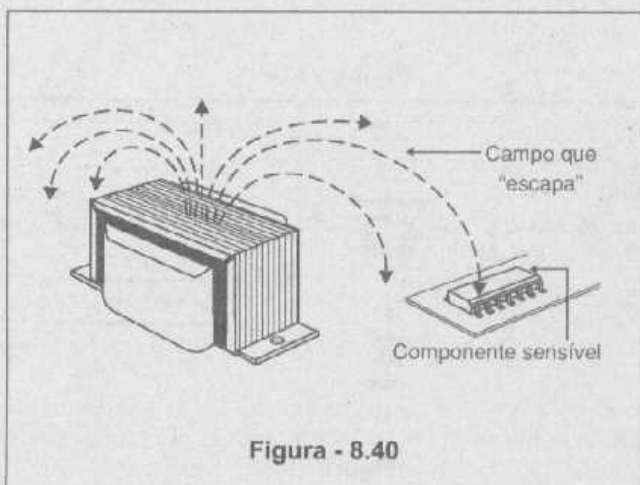


Figura - 8.40

e) Considerações sobre Ruído

Os transformadores, quando em funcionamento, criam à sua volta um campo magnético (que escapa do núcleo) e que pode induzir roncos e ruídos nos circuitos sensíveis próximos, veja a **figura 8.40**.

A própria corrente induzida na sua parte metálica externa pode ser responsável por ruídos que acabam por aparecer nos circuitos mais sensíveis, principalmente os que trabalham com sinais de áudio. Uma prática comum para evitar a ação desses ruídos consiste em se aterrar a carcaça do transformador, conforme mostra a **figura 8.41**.

Outra prática importante consiste em se posicionar o transformador de forma que ele cause o mínimo de interferência possível em um circuito. Observamos que a orientação das linhas do campo magnético em relação a trilhas e fios que possam captar ruídos, é que determina a sua indução ou não.

f) Aquecimento e rendimento

Nem toda a potência aplicada ao enrolamento primário de um transformador é disponível no secundário. Existe uma certa perda. Essa perda, devido às correntes

de turbulência no núcleo e ao próprio escape das linhas de força do campo magnético do enrolamento primário, faz com que o rendimento de um transformador seja sempre menor do que 100%.

As correntes de turbulência e a própria resistência do fio do enrolamento fazem com que parte das perdas aconteça na forma de calor. Isso significa que os transformadores tendem a aquecer, e para os tipos maiores esse aquecimento pode ser significativo. Existem até casos de potências muito altas em que é preciso prover o transformador de algum tipo de ventilação forçada. Transformadores que trabalham com temperaturas suficientemente altas para que não possamos tocá-los são comuns nas fontes de maior potência.

De qualquer maneira, também é preciso estar atento para o fato de que um transformador trabalhando sobrecarregado (tentando fornecer uma potência maior do que pode ou ainda tendo espiras em curto) também aquece-se além do esperado e isso pode causar sua queima.

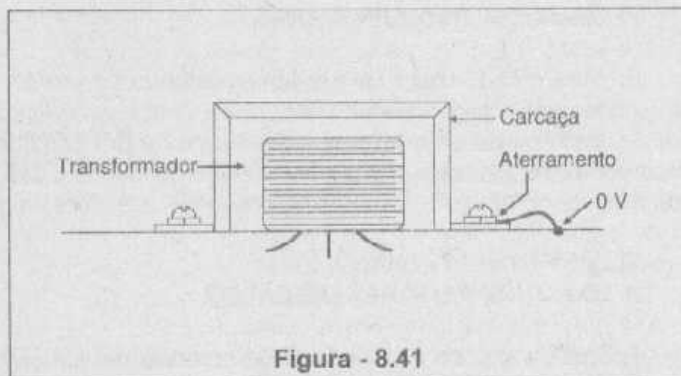


Figura - 8.41

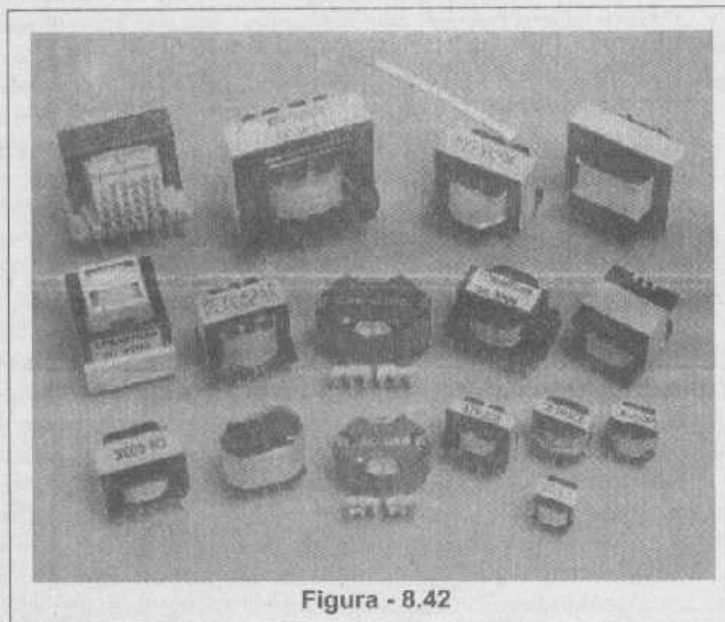


Figura - 8.42

g) Transformadores Especiais - como obter

Transformadores comuns de núcleo laminado podem ser obtidos nas casas especializadas numa variedade muito grande de tensões e correntes de secundário, conforme ilustra a **figura 8.42**.

Tensões de 6, 7,5, 9, 12, 15, 18, 22,5 e 24 V não são difíceis de obter na faixa de 200 mA a 5 A. Contudo, para o projeto de uma fonte pode ser necessário utilizar um transformador que tenha um secundário com corrente e tensão não muito fáceis de encontrar. A solução, neste caso, é enrolar ou mandar enrolar o transformador em uma casa especializada.

Em São Paulo, podemos indicar a Peçanha Produtos Eletrônicos Ltda., Rua Baependi, 146 - Tatuapé, CEP: 03077-070, telefone: (011) 6196-4159 e 6196-4274.

Dadas as especificações do secundário ou dos secundários e a tensão de entrada, essas empresas enrolam os transformadores.

Observamos que não basta levar em conta a relação de espiras para se enrolar um transformador. O tamanho do núcleo conforme a potência, a espessura dos fios conforme a potência e outros fatores entram o cálculo.

h) Cálculo de Transformadores

Embora o ideal seja comprar um transformador pronto, conforme dissemos, existem casos em que pode ser necessário um transformador com características pouco comuns.

O ponto crítico para quem pretende enrolar um transformador é obter os fios esmaltados. Normalmente eles não são vendidos em pequenas quantidades, o suficiente para se enrolar apenas um transformador, mas tão somente em carretéis que contêm muito mais fio do que o necessário para isso.

8.10 - DISSIPADORES DE CALOR

Apesar da maioria dos circuitos de potência modernos terem um rendimento elevado, a quantidade de calor gerado (e que deve ser dissipado), é uma preocupação crescente.

Os dispositivos operam com potências cada vez mais elevadas e no limite de suas capacidades de dissipação. O uso do dissipador de calor correto, instalação perfeita e ventilação adequada são preocupações tão importantes quanto a própria parte elétrica do circuito.

As fontes de alimentação são apenas alguns exemplos de circuitos que operam com potências elevadas, empregando componentes que trabalham próximos de seus limites.

Como transferir o calor gerado por esses componentes para o meio ambiente é uma grande preocupação que os projetistas devem enfrentar para não terem problemas posteriores de funcionamento. Um dos pontos de partida para a escolha do dissipador apropriado está na própria durabilidade de um componente semicondutor como um transistor, MOSFET, TRIAC ou mesmo circuito integrado de potência.

A confiabilidade e a durabilidade de um dispositivo semicondutor é inversamente proporcional ao quadrado das variações de temperatura da junção. Isso significa que reduzindo-se à metade a temperatura de um dispositivo, podemos esperar uma durabilidade quatro vezes maior.

O processo de transferência do calor gerado na junção de um dispositivo semicondutor envolve um circuito térmico com diversas etapas, observe a **figura 8.43**.

Três componentes se destacam nesse circuito: a resistência térmica do invólucro do dispositivo ao passar para o dissipador, a inércia térmica do dissipador de calor (que é grande), e a resistência térmica entre o dissipador e o meio ambiente.

Nesse circuito deve-se encontrar um estado de equilíbrio térmico, que permita a transferência do calor gerado para o meio ambiente, sem entretanto que a temperatura da junção do dispositivo semicondutor ultrapasse os limites estabelecidos pelo fabricante.

TIPOS DE DISSIPADORES

Partindo-se da idéia de que qualquer corpo que conduza e irradie calor pode funcionar como um

radiador de calor, podemos ter diversas técnicas para a construção de dissipadores destinados a aplicações eletrônicas.

A maioria dos tipos têm na circulação do ar a transferência da maior parte do calor gerado, conforme mostra a **figura 8.44**.

Os principais tipos são, cujos formatos são exibidos na **figura 8.45**, são:

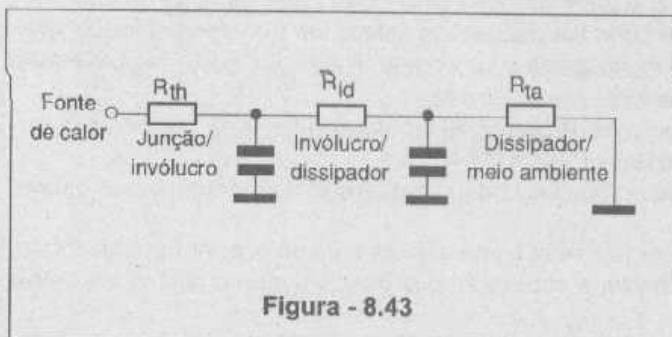
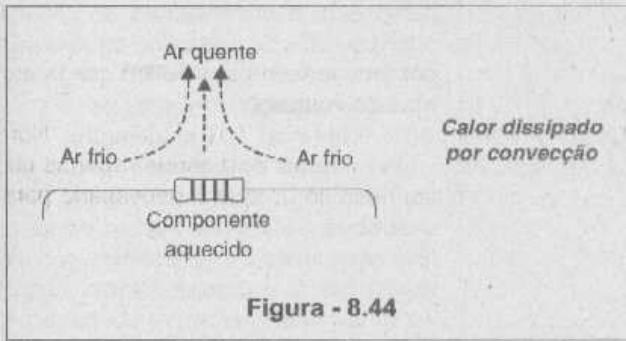


Figura - 8.43



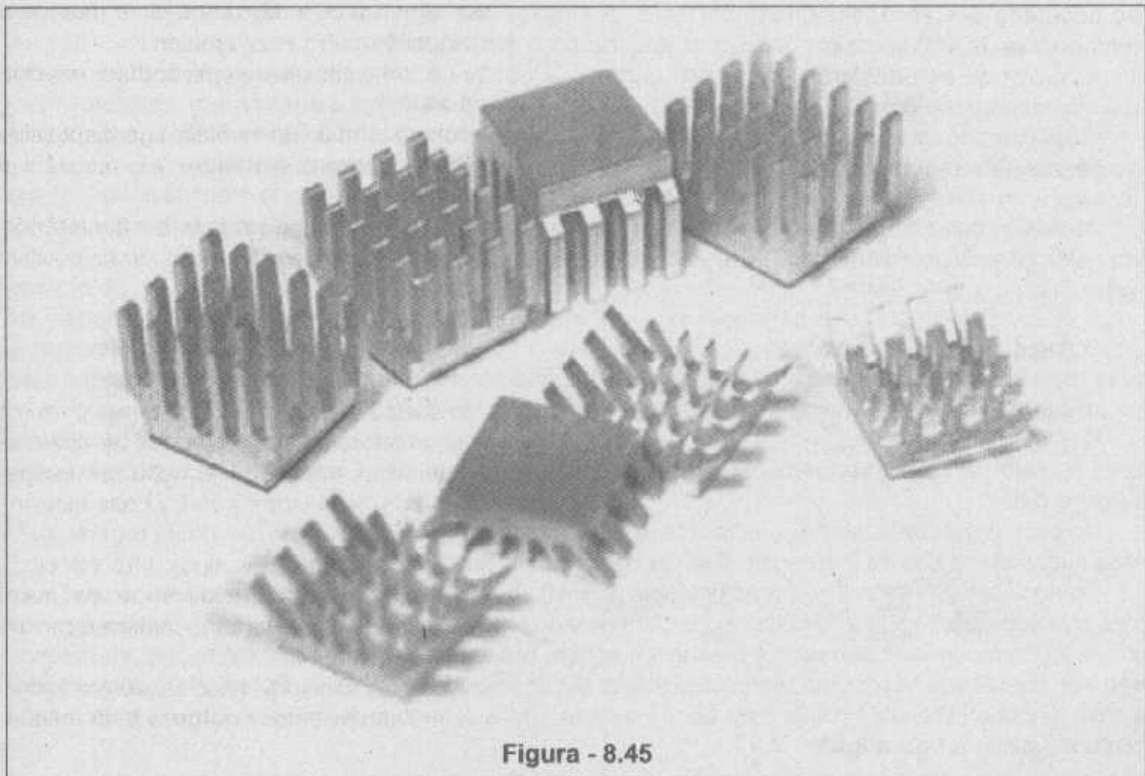
a) **Estampados** - São dissipadores formados por folhas de cobre ou alumínio, estampados de modo a adquirir o formato desejado. Esse tipo de dissipador é bastante usado na maioria das aplicações eletrônicas por serem baratos e terem fabricação fácil.

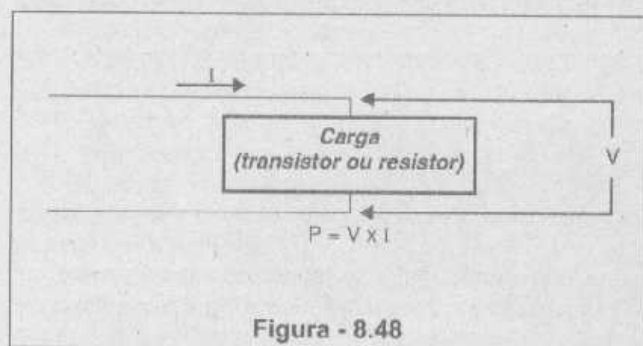
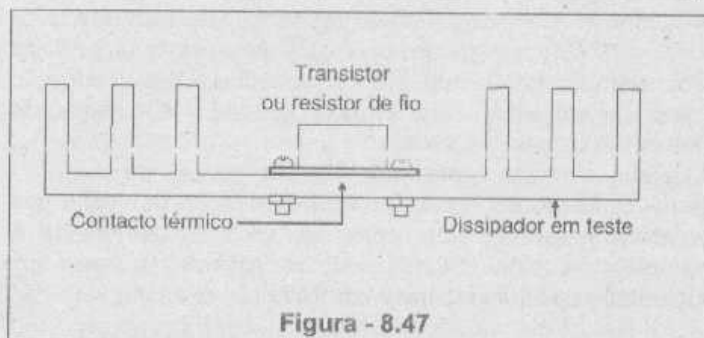
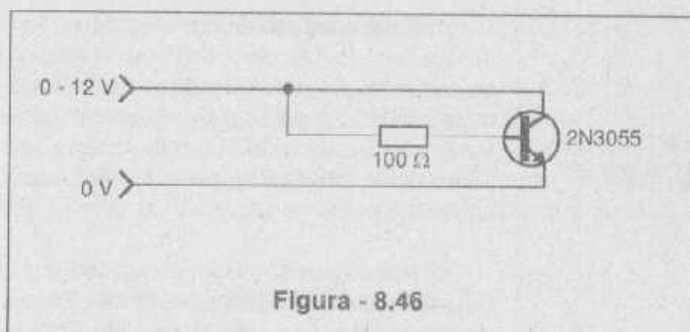
b) **Por extrusão** - São os mais comuns em aplicações de potência como fontes de alimentação, amplificadores, etc. O processo de extrusão facilita a obtenção de formatos bidimensionais com a capacidade

de dissipar grandes quantidades de calor. Além disso, eles podem ser cortados e trabalhados de diversas maneiras. A possibilidade de se cortar aletas em corte cruzado permite a elaboração de padrões que possibilitam o aumento da performance de 10 a 20%.

c) **Juntas de Tiras Pré-fabricadas** - A limitação da capacidade de dissipação dos tipos que operam por convecção pode ser contornada se a superfície de contato com o ar for aumentada. A maior exposição à corrente de ar facilita a transferência do calor gerado. Os dissipadores desse tipo são formados por aletas de alumínio coladas com epoxi a uma base fabricada por extrusão.

d) **Fundidos** - Areia, um cerne e processo de fundição para dissipadores podem ser feitos em alu-





minio sem a necessidade de vácuo, cobre ou bronze. Esse tipo de dissipador tem maior desempenho em sistemas de ventilação forçada.

e) **Aletas dobradas** - Folhas de alumínio ou cobre corrugado são usadas para aumentar a área da superfície em contato com o ar nesse tipo de dissipador. O sistema é, então, fixado a uma placa que serve de base ou mesmo colado na superfície de onde o calor deve ser removido.

COMO MEDIR A RESISTÊNCIA TÉRMICA DE UM DISSIPADOR

O método descrito é empírico, servindo para determinar com razoável precisão a resistência térmica de um dissipador de calor. Tudo que o leitor precisa é de um termômetro (preferivelmente do tipo de contato digital) e de uma fonte de calor conhecida.

A fonte de calor pode ser um resistor de potência ou ainda um transistor, conforme mostra a **figura 8.46**, ligados a uma fonte ajustável de tensão.

O resistor ou o transistor devem ser capazes de fornecer uma boa potência, por exemplo o 2N3055.

Será interessante que na determinação das características do dissipador, ele esteja o mais próximo possível das condições

reais em que será usado. Por exemplo, ele já pode ser fixado na caixa do aparelho em que será instalado de modo a se verificar se o sistema de ventilação é eficiente.

O que se faz, então, é montar o dissipador em contato com o resistor ou transistor colocado como fonte de calor. O contato térmico perfeito é essencial para a precisão das medidas, conforme ilustra a **figura 8.47**.

No caso de um transistor é mais fácil fazer esse contato, pois já podemos usar pasta térmica para essa finalidade, como na montagem final do componente que será utilizado.

Comece aplicando uma pequena potência ao resistor ou transistor e espere pelo menos uma hora para que ocorra o equilíbrio térmico. Se o calor gerado for insuficiente para aquecer o dissipador (que estará ainda muito frio), aumente a potência e espere mais uma hora até a estabilização. Vá fazendo isso por etapas até obter uma temperatura final do dissipador na faixa de 50 a 60° C, aproximadamente. Anote a potência P_h que está sendo gerada, multiplicando a corrente no circuito pela tensão conforme exhibe a **figura 8.48**.

Anote a temperatura final medida no dissipador (t_h) e a temperatura ambiente (t_a). Podemos então aplicar as seguintes fórmulas:

Variação da temperatura (t_r)

$$t_r = t_h - t_a \quad (1)$$

Onde:

t_h - temperatura do dissipador ($^{\circ}\text{C}$)

t_a - temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

Potência dissipada (aplicada ao dissipador) - W

$$P = V \times I \quad (2)$$

Onde

P - potência aplicada e dissipada, em watts

V - tensão no elemento de aquecimento (V)

I - corrente no elemento de aquecimento (I)

Finalmente, temos o modo de se encontrar a resistência térmica em $^{\circ}\text{C}/W$:

$$R_{th} = T_r/P \quad (3)$$

Onde:

R_{th} - resistência térmica em $^{\circ}\text{C}/W$

T_r - variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

P - potência aplicada/dissipada (W)

Para obter maior precisão nos cálculos, o leitor pode realizar a medida várias vezes e tirar a média.

Na maioria dos casos, a determinação será razoável pois os próprios fabricantes dos dissipadores especificam seus produtos com uma tolerância que chega aos 25% (para mais e para menos!).

Vamos dar um exemplo de cálculo:

Ao aplicar uma tensão de 12 V, a corrente circulante no elemento de aquecimento usado como prova é de 3 A. A temperatura ambiente é 20°C e a temperatura final medida depois de uma hora no dissipador 60°C . Qual é a resistência térmica do dissipador?

Temos:

$t_a = 20^{\circ}\text{C}$

$t_h = 60^{\circ}\text{C}$

$V = 12\text{ V}$

$I = 3\text{ A}$

Começamos por calcular t_r :

$$t_r = 60 - 20 = 40^{\circ}\text{C}$$

Depois calculamos P:

$$P = 12 \times 3 = 36 \text{ W}$$

A resistência térmica será:

$$R_{th} = T_r/P = 40/36 = 1,11 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

COMPOSTOS OU PASTAS TÉRMICAS

De modo a facilitar a transferência de calor entre o componente (onde ele é gerado) e o dissipador de calor é comum o emprego de compostos térmicos ou pastas térmicas, veja a **figura 8.49**.

Muitos projetistas pensam que se a utilização de um pouco de pasta térmica é bom, colocar mais é melhor. Um erro grave que pode comprometer a aplicação. Os compostos ou pastas térmicas possuem uma resistência térmica que não é desprezível, e um excesso de pasta em lugar de ajudar, pode agregar resistência ao circuito térmico, diminuindo, em lugar de aumentar, a capacidade de dissipação.

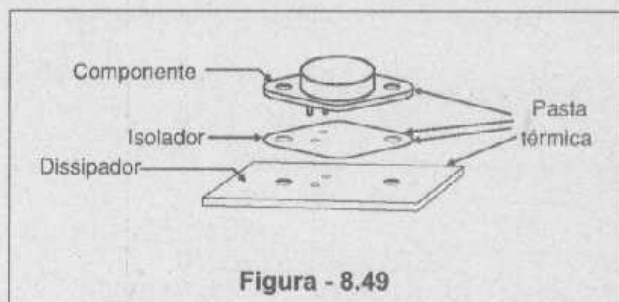


Figura - 8.49

INÉRCIA TÉRMICA

Como o calor gerado não é transferido para o meio ambiente imediatamente, precisando de um certo tempo de "trânsito" através do dissipador, isso se traduz numa inércia térmica. Leva tempo para o dissipador "responder" às variações de temperatura do componente nele montado.

Essa inércia deve-se basicamente à massa do dissipador, a qual deve ser aquecida, absorvendo ou cedendo calor quando a temperatura do ar ambiente ou do componente variam.

Quanto maior for um dissipador mais tempo ele demora para atingir a temperatura final de funcionamento, conforme vemos no gráfico da **figura 8.50**.

Veja então que um dissipador maior não significa necessariamente que ele pode dissipar mais calor, mas sim que ele demora mais tempo para chegar à temperatura de equilíbrio. Uma grande inércia térmica pode ser interessante em algumas aplicações, pois ela significa a capacidade de absorver o calor gerado em transientes.

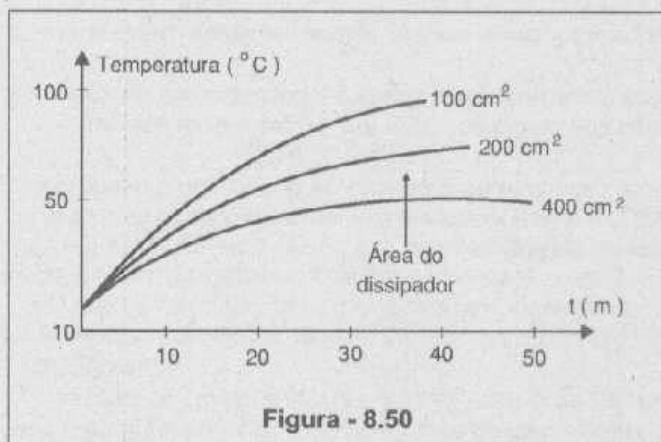


Figura - 8.50

Deve-se também tomar cuidado com uma inércia excessiva, pois a temperatura do radiador pode demorar para subir atuando sobre um eventual dispositivo de proteção conectado a ele, quando a temperatura do próprio componente já atingiu um valor capaz de causar sua queima.

Fontes Industriais

Com o crescente aumento na quantidade de equipamentos eletrônicos usados no controle de processos industriais além do crescente grau de sofisticação, o mercado de fontes de alimentação industriais está crescendo e exigindo fontes cada vez melhores.

Neste item analisamos os tipos de fontes utilizadas na indústria e o que há de novo neste segmento da Eletrônica.

FONTES INDUSTRIAIS

Durante muito tempo a indústria não foi vista como um bom mercado pelo segmento das fontes de alimentação, quando comparada com os mercados de computadores e de telecomunicações.

No entanto, com a adoção de tecnologias cada vez mais sofisticadas de automação, operando num ambiente hostil, como é o chão de fábrica, os fabricantes começaram a observar que esse segmento exigiria uma atenção especial para as fontes de alimentação utilizadas.

As fontes de alimentação para aplicações industriais devem apresentar características diferenciadas em relação às fontes de alimentação comuns, tais como:

- Faixas de temperaturas de operação mais amplas, atendendo às condições do ambiente hostil em que operam
- Tolerância mais estreita para os componentes usados
- Estabilidade maior
- Baixos valores de *ripple* (50 mV a 100 mV)
- Imunidade a EMI, surtos e transientes
- Proteções contra curtos e sobreaquecimento diferenciadas
- Capacidade de operar em sistemas com redundância
- Possibilidade de troca com os equipamentos ligados (*hot-swap*)
- Serem resistentes a choques e vibrações.

Num sistema em que a confiabilidade é importante e que a interrupção do funcionamento é algo altamente indesejável, a redundância é um fator muito importante a ser considerado.

Conforme mostra a **figura 9.1**, é comum que um mesmo circuito seja alimentado por diversas fontes ligadas em paralelo.

Isso significa que no caso de falha de uma delas, ela simplesmente abra interrompendo o fornecimento de energia, que continuará de forma normal sendo suprido pelas demais.

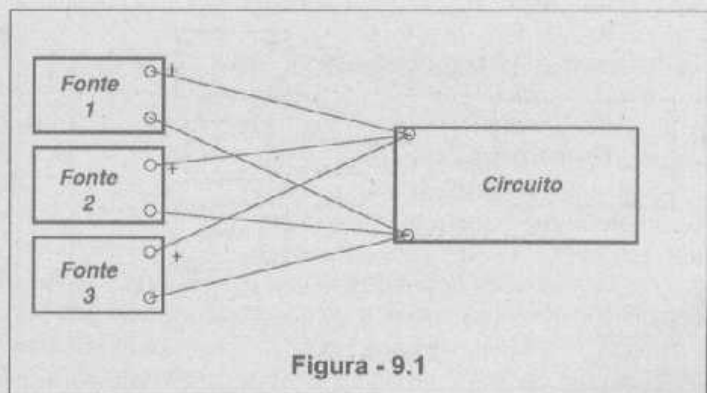


Figura - 9.1

Assim, o conjunto deve ser dimensionado para absorver o consumo previsto para uma fonte que sofra sobrecarga.

O "hot-swap" ou "troca a quente", é outro recurso que encontramos nas fontes para aplicações industriais. No caso de falha de um módulo de uma fonte numa aplicação industrial, é possível fazer sua substituição sem desligar o circuito, mantendo assim constante o funcionamento do circuito alimentado.

Observe que o *hot swap* é um recurso bastante crítico, pois a introdução de um circuito com capacitores descarregados ou ainda com a ligação simultânea da alimentação e cargas poderá causar problemas se a fonte não for preparada para esta operação.

Por outro lado, num ambiente onde a fonte pode vibrar ou sofrer choques mecânicos dado o próprio funcionamento da máquina em que ela opera, deve ser prevista uma resistência especial.

Para todos esses fatores que podem afetar as características de uma fonte existem normas técnicas. Dessa forma, para choques e vibrações existem normas IEC e européias, assim como para filtragem e harmônicas. Essas normas são a IEC 68 para choques e vibrações, e EN 61 000 para EMI, filtragem e surtos).

TIPOS DE FONTES

As fontes de alimentação para aplicações industriais podem ser analógicas (lineares) ou chaveadas.

Nos dias atuais, a grande maioria das fontes é do tipo chaveado, tanto pelo seu rendimento

quanto pela confiabilidade. Os tipos comuns podem fornecer potências que variam entre alguns watts a mais de 1 kW, dependendo apenas da aplicação. Veja a **figura 2**.

Sua finalidade básica, que determina sua tensão de saída, é alimentar microcontroladores, CLPs, atuadores, motores de corrente contínua, solenóides, em máquinas industriais, conforme ilustra a **figura 9.3**.

As tensões de entrada variam entre 100 e 240 VAC tipicamente, e as tensões de saída mais comuns são: 5 V, 12 V, 15 V ou 24 V.

As correntes podem ficar entre 0,1 A até mais de 10 A.

Apesar de serem especificadas para uma faixa de tensões de 100 a 240 V, as fontes devem ser capazes de ter uma operação normal em uma faixa um pouco mais ampla, entre 95 V e 265 V como máximos absolutos.

As fontes podem ainda ser duplas ou múltiplas, fornecendo tensões positivas e negativas (simétricas) ou diversas tensões, conforme os exemplos apresentados na **figura 9.4**.

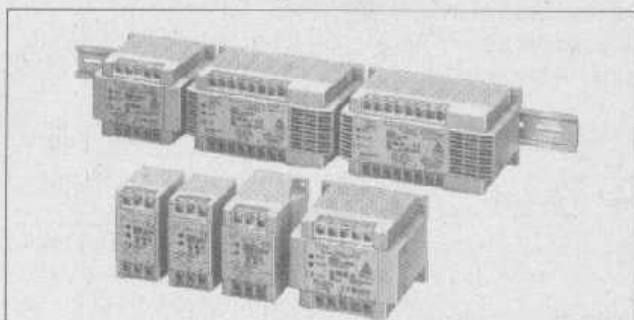


Figura 9.2 - Fonte da Série S82K da Omron disponível em potências de 3 W a 240 W com tensão de entrada universal na faixa de 100 - 240 V.

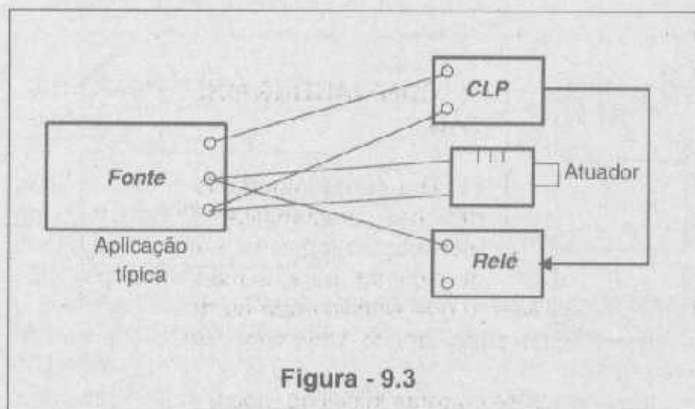


Figura - 9.3



Figura - 9.4

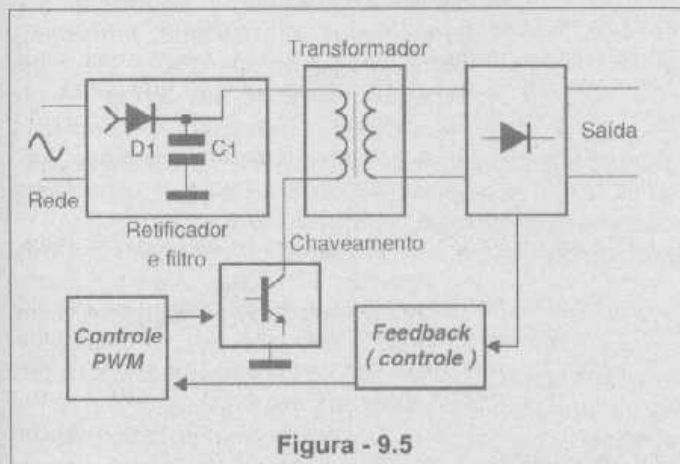


Figura - 9.5

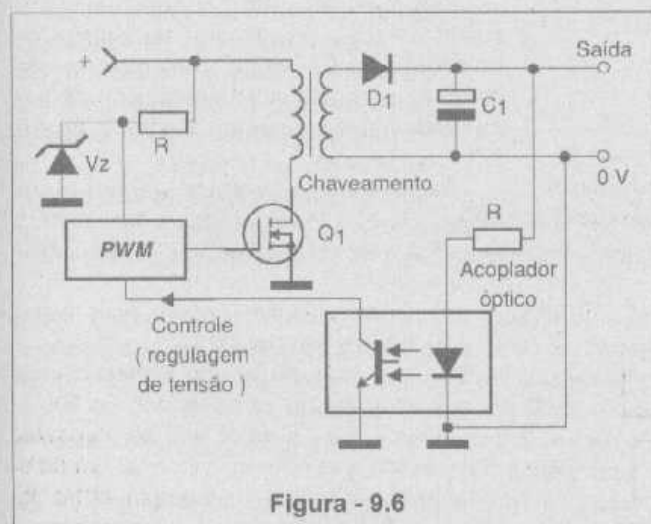


Figura - 9.6

Na **figura 9.5** temos o circuito típico de uma fonte chaveada para aplicações industriais.

Conforme podemos ver, na entrada temos um filtro passa-baixas que evita a propagação de harmônicas pela rede de alimentação, bloqueando os componentes de frequências mais altas.

A tensão de entrada dessa fonte é então retificada por uma ponte e filtrada por um capacitor. A tensão contínua obtida nessa etapa alimenta um circuito chaveador controlado por um microcontrolador ou por um circuito específico para essa aplicação.

A carga desse circuito é um transformador com núcleo de ferrite, que tem por secundário um enrolamento de baixa tensão conforme a aplicação. Esse circuito secundário tem seu retificador e filtro próprios realimentando o circuito chaveador de modo a manter a tensão no valor correto.

A frequência de chaveamento varia entre algumas dezenas de quilohertz a mais de um megahertz, conforme a aplicação.

A realimentação para se fazer a regulação normalmente é feita por um circuito com isolamento galvânico. Isso pode ser realizado, por exemplo, através de um acoplador óptico, veja a **figura 9.6**.

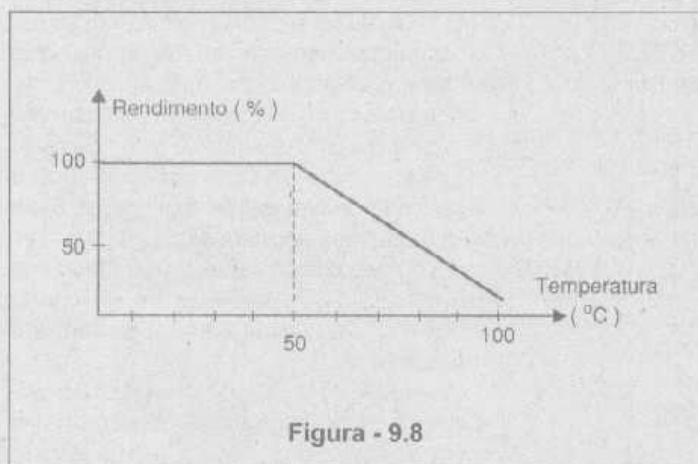
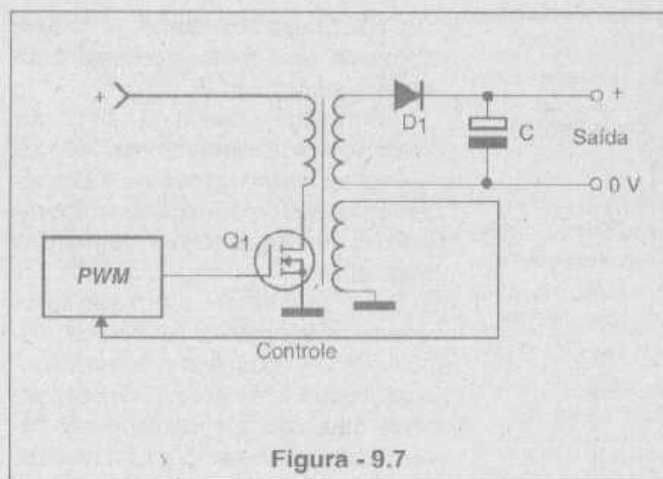
Outra forma de se fazer essa realimentação é através de um enrolamento adicional no transformador, observe a **figura 9.7**.

CONFIABILIDADE E DEGRADAÇÃO

Um ponto importante a ser considerado nas características de uma fonte de alimentação industrial é que ela é usada geralmente para alimentar cargas não

lineares. Muitas dessas cargas são altamente capacitivas, o que significa que no momento em que são ligadas encontram em suas saídas praticamente um curto-circuito. Uma capacidade adicional de corrente é, portanto, fundamental para essas fontes.

As fontes industriais costumam ter uma capacidade de corrente inicial ou "boost" de 10% até mais



de 50% para alimentar essas cargas, em condições de acionamento.

O que acontece é que ao ser ligada a carga, a corrente inicial pode ser muitas vezes mais alta que a corrente nominal da fonte. Mesmo que esse consumo adicional dure apenas uma fração de segundo, a fonte deverá estar preparada para ele.

Em um ambiente industrial, além de temperaturas elevadas, há também elevados graus de umidade, em alguns casos chegando aos 100%. Os componentes utilizados nas fontes devem ser capazes de suportar temperaturas e graus de umidade elevados com atenção especial para os capacitores e transformadores.

Os diodos devem ser de tipos com invólucros de vidro passivado para terem uma estabilidade térmica melhor. Os gabinetes também devem estar dentro das especificações exigidas para essas aplicações.

Componentes sensíveis devem ter proteções ou invólucros que os tornem imunes à ação da umidade.

A degradação das características de uma fonte deve ser analisada com muito cuidado numa aplicação. Por degradação entendemos a perda das características nominais, quando os limites para os quais elas são especi-

ficadas são ultrapassados.

A forma com que essa perda ocorre pode ser especificada tanto na forma de tabelas, dados diretos como na forma de gráficos.

O gráfico da **figura 9.8**, por exemplo, mostra que para a faixa de temperaturas de operação entre 0 e 50 °C deve-se considerar um fator de degradação de 20% para cada 10 graus Celsius adicionais.

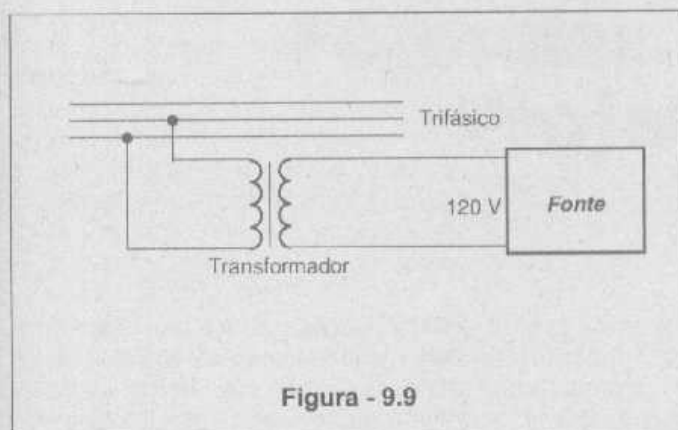
Se a faixa de temperaturas de operação for de 0 a 70 °C então, a potência nominal deve estar disponível até 50 °C e depois uma degradação de 1,5% por grau Celsius até os 70 °C.

Pode-se ainda ter uma outra especificação para a degradação (*derating*): 100% a plena carga em 50 °C e depois 75% a 60 °C, degradando 10% para cada °C até 65 °C.

Muitas fontes industriais exigem ainda o uso de refrigeração forçada para operarem nas condições máximas especificadas. O tipo de *cooler*, quando não incorporado, deve ser especificado.

AS PRÓXIMAS GERAÇÕES DE FONTES

Para as próximas gerações, as fontes devem incluir recursos importantes para atender as exigências de novas aplicações. Assim, por exemplo, além da redundância, as tensões de saída



devem ser aumentadas de 24 V para 28 V devendo ser incorporados recursos para o ajuste.

Outra exigência está no fato de que muitas fontes alimentam controles de motores trifásicos onde a tensão de alimentação é de 480 V. Dessa forma, para alimentar as fontes devem ser usados transformadores que reduzem a tensão para os 120 V que elas precisam, conforme exibe a **figura 9.9**.

A eficiência dos transformadores é pequena (da ordem de 50%) e além disso, eles são componentes caros, volumosos e incômodos, ocupando um

espaço nem sempre disponível. Isso significa que os novos projetos de fontes devem incluir a possibilidade de uma alimentação com tensões de 380 V, 480 V e 575 V AC.

Novas tecnologias com a alimentação direta para essas tensões possibilitarão a criação de fontes compactas sem a necessidade de se usar transformadores intermediários.

TIPOS DE MONTAGEM

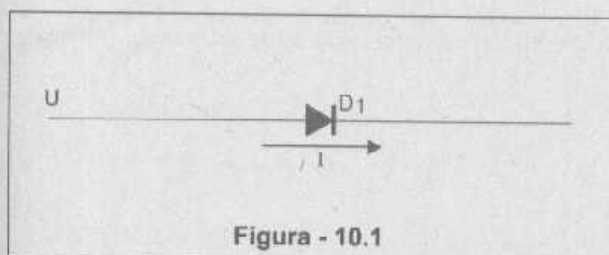
As fontes para uso industrial têm seus modos de montagem padronizados. Um dos tipos de montagem é o dado pela Norma DIN para montagem em trilhos. As fontes que seguem essas normas têm dimensões tais que se encaixam em *racks*, o que facilita tanto seu uso como manutenção e troca.

Fórmulas Úteis para o Projeto de Fontes

As fórmulas dadas a seguir são de grande utilidade quando se trabalha com o projeto de fontes de alimentação de qualquer tipo. Observamos, sempre, a necessidade de se manter coerentes as unidades usadas para que os resultados sejam corretos.

Muitas dessas fórmulas são empíricas, ou seja, fórmulas simplificadas que levam a resultados onde as aproximações são satisfatórias para projetos práticos. Em muitos casos, as fórmulas completas não são dadas por envolverem cálculos trabalhosos, uso de cálculo integral ou diferencial, além do emprego de logaritmos.

10.1 - DIODO SEMICONDUTOR



Para um diodo semicondutor ideal (junção PNP), a corrente que flui quando polarizado no sentido direto depende da tensão e também da temperatura, conforme a seguinte fórmula:

Fórmula 1

$$I = I_{\text{max}} = [e^{(U/U_t)} - 1]$$

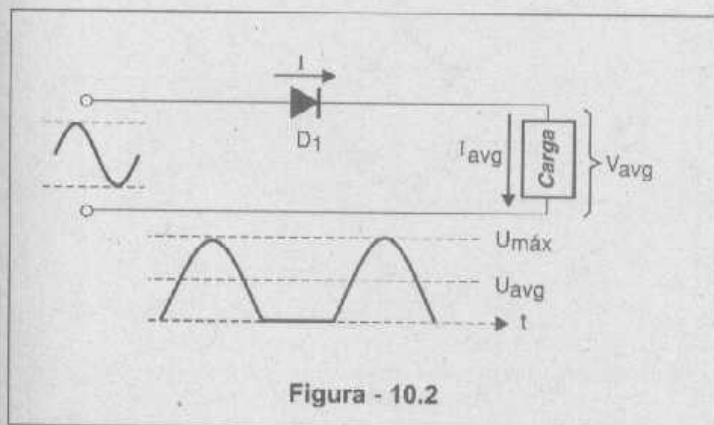
Onde: I é a corrente direta em ampères (A)

I_{max} é a corrente de bloqueio ou saturação, em ampères (A)

U é a tensão aplicada em volts (V)

U_t é o potencial térmico em volts (V)

$e = 2,71828$



10.2 - RETIFICADOR DE MEIA ONDA

Este tipo de retificador usa apenas um diodo e fornece uma tensão contínua pulsante com a mesma frequência da corrente alternada de entrada. As fórmulas dadas a seguir são utilizadas para calcular a corrente e a tensão numa carga:

Fórmula 2

$$U_{avg} = U_{max}/\pi$$

Onde: U_{avg} é a tensão média na carga, em volts (V)

U_{max} é a tensão de pico ou máximo, em volts (V)

$$\pi = 3,1416$$

Obs.: A queda de tensão nos diodos (em torno de 0,2 V nos tipos de germânio e 0,6 V nos tipos de silício) não é considerada.

Fórmula 3

$$I_{avg} = I_{max}/\pi$$

Onde: I_{avg} é a corrente média através da carga, em ampères (A)

I_{max} é a corrente de pico ou corrente máxima, em ampères (A)

$$\pi = 3,1416$$

Exemplo de Aplicação:

Determine a corrente média numa fonte de alimentação de meia onda onde a corrente retificada máxima é 600 mA.

Dado: $I_{max} = 600 \text{ mA}$

$$\pi = 3,14$$

$$I_{avg} = ?$$

Usando a fórmula 3:

$$I_{avg} = 600/3,14 = 191,08 \text{ mA}$$

Obs.: Pode-se também usar I_{max} em ampères, calculando I_{avg} em ampères.

RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA

Corrente e tensão num retificador de onda completa podem ser calculadas pelas seguintes fórmulas. Elas são válidas para sistemas que usam dois diodos ou ainda pontes..

Fórmula 4:

$$U_{avg} = 2 \times U_{max}/\pi$$

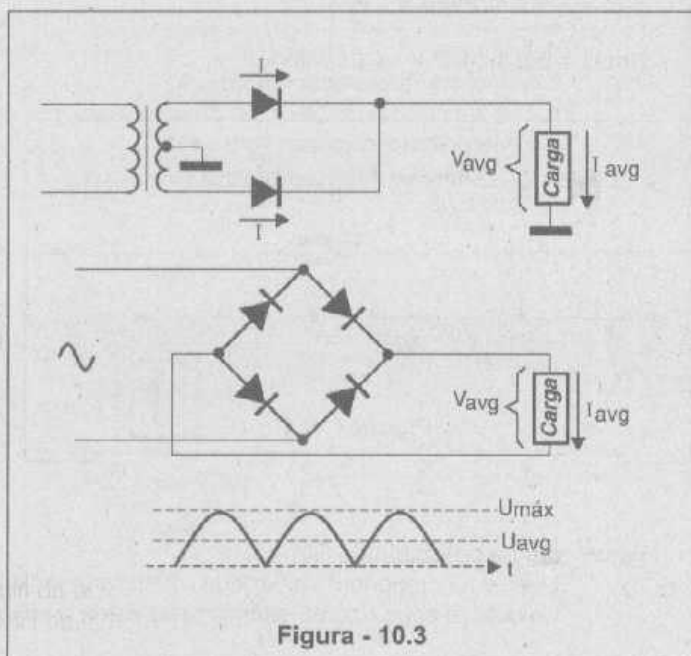


Figura - 10.3

Onde: U_{avg} é a tensão média na carga, em volts (V)

U_{max} é a tensão pico ou a tensão máxima, em volts (V)

$\pi = 3,1416$

Fórmula 5

$$I_{avg} = 2 \times I_{max} / \pi$$

Onde: I_{avg} é a corrente média na carga, em ampères (A)

I_{max} é a corrente de pico ou máxima, em ampères (A)

$\pi = 3,1416$

Fórmulas derivadas:

Fórmula 6

$$I_{max} = I_{avg} \times \pi / 2$$

Obs.: A queda de tensão nos diodos não é considerada nestas fórmulas.

Exemplo de Aplicação:

Calcule a tensão de pico num retificador de onda completa onde a tensão média de saída aplicada à carga é 9 V.

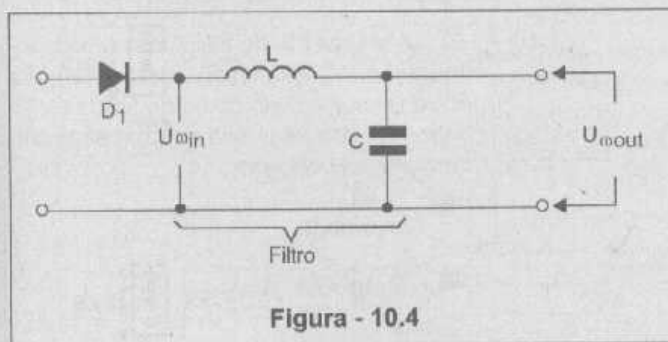
Dados: $U_{avg} = 9 \text{ V}$

$\pi = 3,14$

$U_{max} = ?$

Aplicando a fórmula:

$$U_{max} = 9 \times 3,14 / 2 = 14,13 \text{ volts}$$



COEFICIENTE DE FILTRO LC

O coeficiente de filtro é definido como a relação entre a amplitude a componente alternada na entrada e a amplitude da componente alternada na saída do filtro. O coeficiente de filtro é calculado pelas seguintes fórmulas:

Fórmula 7

$$\alpha = U_{\omega in} / U_{\omega out}$$

Onde: α é o coeficiente do filtro

$U_{\omega in}$ é a componente alternada na entrada do filtro, em volts (V)

$U_{\omega out}$ é a componente alternada na saída do filtro, em volts (V)

Fórmula 8

$$\alpha = \omega^2 CL - 1$$

Onde: α é o coeficiente de filtro

$\omega = (2 \times \pi \times f)$, sendo f a frequência da corrente alternada na entrada do filtro em hertz (Hz)

C é a capacitância, em farads (F)

L é a indutância, em henry (H)

Exemplo de Aplicação:

Determine a amplitude da componente alternada na saída de um filtro RC operando na rede de energia de 60 Hz, com uma saída de 12 V. O filtro é formado por um capacitor de 1 000 μF e um indutor de 10 H.

Dados: $L = 10 \text{ H}$

$C = 1.000 \mu\text{F} = 10^{-3} \text{ F}$

$f = 60 \text{ Hz}$

$U_{\omega\text{in}} = 12 \text{ V}$

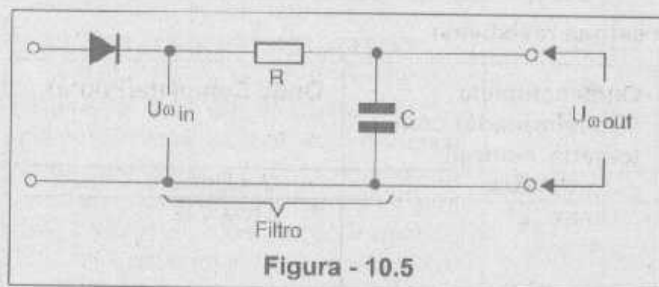
$U_{\omega\text{out}} = ?$

Aplicando a fórmula 8 para calcular α :

$$\alpha = [(2 \times 3,14 \times 60)^2 \times 10^{-3} \times 10] - 1 = 141,9 - 1 = 140,9$$

Calculando $U_{\omega\text{out}}$:

$$U_{\omega\text{out}} = 12/140,9 = 0,085 \text{ V ou } 85 \text{ mV}$$

**COEFICIENTE DE FILTRO RC**

O coeficiente de filtro para uma configuração RC é definido como a relação entre $U_{\omega\text{out}}$ e $U_{\omega\text{in}}$ como no filtro LC. As seguintes fórmulas são usadas para calcular esse coeficiente:

Fórmula 9

$$\alpha = U_{\omega\text{out}}/U_{\omega\text{in}}$$

Onde: α é a coeficiente de filtro

$U_{\omega\text{out}}$ é a amplitude da componente alternada na saída do filtro, em volts (V)

$U_{\omega\text{in}}$ é a amplitude da componente alternada na entrada do filtro, em volts (V)

Fórmula 10

$$\alpha = \sqrt{(\omega \times R \times C)^2} = 1$$

Onde: α é o coeficiente de filtro

$\omega = 2 \times \pi \times f$ onde f é a frequência da tensão alternada na entrada do filtro, em hertz (Hz)

R é a resistência em ohms (Ω)

C é a capacitância em farads (F)

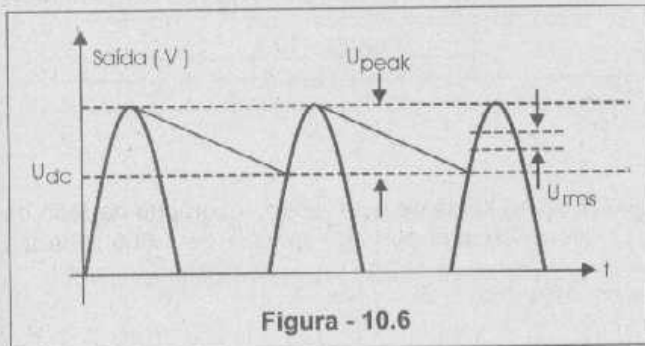


Figura - 10.6

FATOR DE RIPPLE

O fator de *ripple* (γ) é definido como a relação entre o valor rms da tensão de saída e o o valor DC da tensão de saída, em porcentagem ($\times 100$). As seguintes fórmulas são utilizadas para calcular o fator de *ripple* conforme a definição:

Fórmula 11

$$\gamma = U_{rms}/U_{dc} \times 100$$

Onde: γ é o fator de *ripple*

U_{rms} é o valor rms da tensão na saída, em volts (V)

U_{dc} é o valor médio da tensão de saída, em volts (V)

Fator de Ripple: (Carga Resistiva)

- a) Retificador de meia onda = 120%
- b) Retificador de onda completa = 48%

Características dos Retificadores (com cargas resistivas)

	Meia Onda	Onda completa (Transformador com tomada central)	Onda Completa(Ponte)
U_{dc} na carga	U_{max}/π	$2 \times U_{max}/\pi$	$2 \times U_{max}/\pi$
U_{rms} na carga	$U_{max}/2$	$U_{max}/\sqrt{2}$	$U_{max}/\sqrt{2}$
Tensão inversa nos diodos			
$U_r = (max)$	U_{max}	$2 \times U_{max}$	U_{max}
Fator de <i>ripple</i> (γ)	120%	48%	48%
Fator de armazenamento do transformador em relação a potência de saída na carga	$3,49 \times P_{dc}$ (primário e secundário)	$1,75 \times P_{dc}$ (secundário) $1,23 \times P_{dc}$ (primário e secundário)	$1,23 \times P_{dc}$ (primário)

P_{dc} = potência de saída em watts (W)

INDUTÂNCIA DE FILTRO

A fórmula dada a seguir é usada para calcular a indutância que deve ser colocada num filtro. O valor depende do coeficiente de filtro, do capacitor e da corrente de saída, além da frequência aplicada ao filtro.

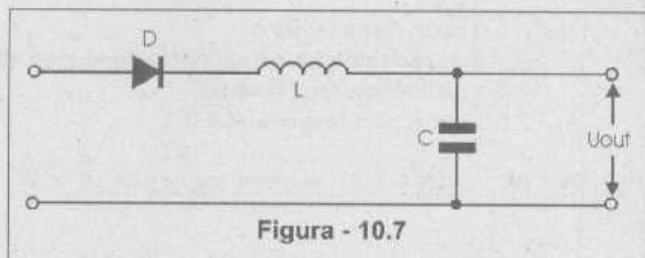


Figura - 10.7

Fórmula 12

$$L = 1 + \alpha / \omega^2 \times C$$

Onde: L é a indutância, em henry (H),

α é o coeficiente do filtro

$\omega = 2 \times \pi \times f$, onde f é a frequência em hertz (Hz)

C é a capacitância em farads (F)

Obs.: Podemos definir a grandeza como a eficiência do filtro, e o seu valor pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\eta = 1/\alpha$$

Onde: α é o coeficiente do filtro

η é a eficiência do filtro

CAPACITÂNCIA DE FILTRO

A capacitância de filtro pode ser calculada em função da indutância do filtro, da frequência AC e do coeficiente do filtro. A fórmula seguinte é usada para se fazer esse cálculo.

Fórmula 13

$$C = 1 + \alpha / \omega^2 \times L$$

Onde: C é a capacitância de filtro, em farads (F)

α é o coeficiente de filtro

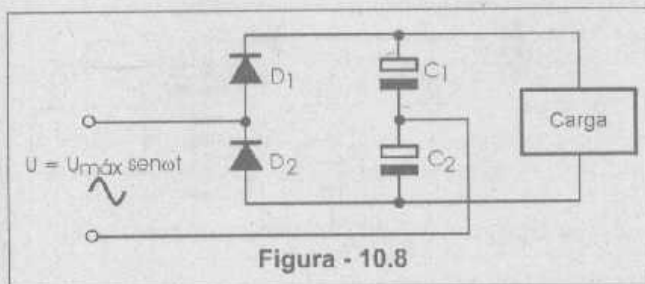
$\omega = 2 \times \pi \times f$ onde f é a frequência AC em hertz (Hz)

L é a indutância da bobina, em henry (H)

Fórmulas derivadas**Fórmula 14**

$$C = 1 + \eta / \eta \times \omega^2 \times L$$

Onde todas as grandezas são as mesmas das fórmulas anteriores, exceto η que é a eficiência do filtro.



DOBRADOR DE TENSÃO CONVENCIONAL

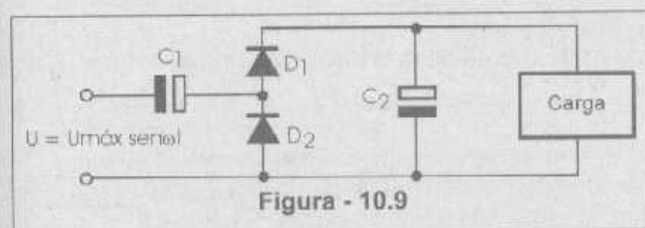
A **figura 10.8** mostra a configuração básica de um dobrador de tensão convencional. A tensão de trabalho do capacitor é calculada pela seguinte fórmula:

Fórmula 15

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{max}$$

Onde: V_{C1} e V_{C2} são as tensões de trabalho dos capacitores, em volts (V)

Obs.: As tensões inversas de pico mínima dos diodos (PIV) são $2 \times V_{max}$



DOBRADOR DE TENSÃO EM CASCATA

Este circuito usa apenas dois diodos. As tensões de trabalho dos capacitores são calculadas pela seguinte fórmula:

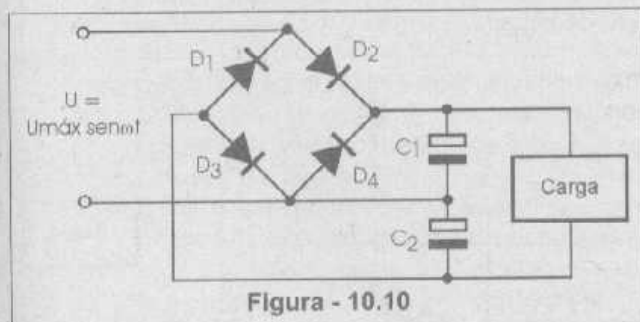
Fórmula 16

$$V_{C1} = V_{max} \quad V_{C2} = V_{max}$$

Onde: V_{C1} e V_{C2} são as tensões de trabalho dos capacitores, em volts (V)

V_{max} é a tensão de pico ou valor máximo da tensão na entrada AC do circuito, em volts (V)

Obs.: PIV dos diodos é $2 \times V_{max}$ (mínimo).



DOBRADOR DE TENSÃO EM PONTE

A **figura 10.10** mostra a configuração do dobrador usando 4 diodos. A tensão de saída é o dobro da tensão de entrada.

Fórmula 17

$$V_{C1} = V_{C2} = V_{max}$$

Onde: V_{C1} e V_{C2} são as tensões mínimas de trabalho dos capacitores, em volts (V)

V_{max} é o valor de pico da tensão aplicada, em volts (V)

Obs.: PIV mínimo dos diodos é $2 \times V_{max}$.

TRIPLICADOR DE ONDA COMPLETA

O circuito ilustrado na **figura 10.11** fornece em sua saída uma tensão que é três vezes o valor de pico aplicado a sua entrada. Os componentes desse circuito são calculados pela seguinte fórmula:

Fórmula 18

$$\begin{aligned} V_{C1} &= V_{C3} = V_{\max} \\ V_{C2} &= 2 \times V_{\max} \end{aligned}$$

Onde: V_{C1} , V_{C2} , V_{C3} são as tensões mínimas de trabalho dos capacitores, em volts (V)
 $V_{\max}$ é o valor de pico da tensão AC de entrada, em volts (V)

Obs.: Tensão mínima de pico dos diodos (PIV) : $2 \times V_{\max}$.

TRIPLICADOR DE TENSÃO EM CASCATA

O circuito apresentado na **figura 10.12** fornece em sua saída uma tensão que é três vezes o valor da tensão alternada aplicada à entrada. As características dos capacitores usados são calculadas pela fórmula seguinte:

Fórmula 19

$$\begin{aligned} V_{C1} &= V_{\max} \\ V_{C2} &= V_{C3} = 2 \times V_{\max} \end{aligned}$$

Onde: V_{C1} , V_{C2} e V_{C3} são as tensões mínimas de trabalho dos capacitores, em volts (V)
 $V_{\max}$ é o valor de pico da tensão AC de entrada, em volts (V)

Obs.: Tensão inversa de pico mínima (PIV) dos diodos: $2 \times V_{\max}$.

QUADRUPLICADOR DE ONDA COMPLETA

A **figura 10.13** exibe o circuito que faz uso de quatro diodos.

A tensão mínima de trabalho dos capacitores é calculada pelas seguintes fórmulas:

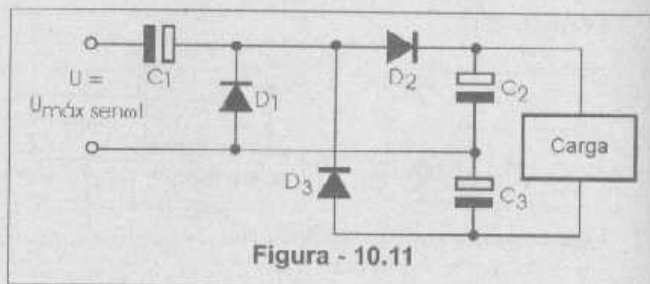


Figura - 10.11

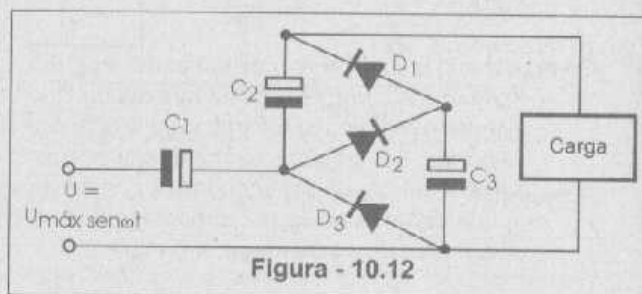


Figura - 10.12

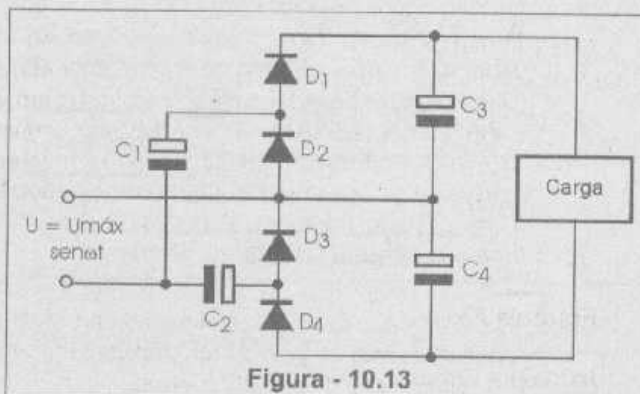


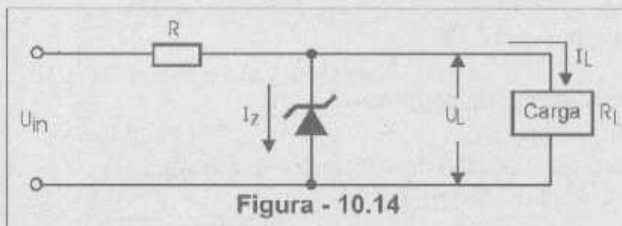
Figura - 10.13

Fórmula 20

$$V_{c1} = V_{c2} = V_{c3} = V_{c4} = 2 \times V_{max}$$

Onde: V_{c1} , V_{c2} , V_{c3} e V_{c4} são as tensões mínimas de trabalho dos capacitores, em volts (V)
 V_{max} é o valor de pico da tensão AC de entrada, em volts (V)

Obs.: Tensão inversa de pico (PIV) mínima dos diodos usados: $2 \times V_{max}$.

**ZENER**

As fórmulas dadas a seguir são usadas num circuito regulador de tensão com diodo zener como o mostrado na **figura 10.14**.

Fórmula 21

$$I_Z(\max) = U_{in}(\max) - (U_L + R \times I_L) / R$$

$$I_Z(\min) = U_{in}(\min) - (U_L + R \times I_L) / R$$

Onde: $I_Z(\max)$ é a corrente máxima através do diodo zener, em ampères (A)

$I_Z(\min)$ é a corrente mínima através do diodo zener, em ampères (A)

$U_{in}(\min)$ é a tensão mínima de entrada, em volts (V)

$U_{in}(\max)$ é a tensão máxima de entrada, em volts (V)

U_L é a tensão de saída ou tensão na carga, em volts (V)

I_L é a corrente na carga, em ampères (A)

R é a resistência da carga, em ohms ()

Fórmula 22

As fórmulas seguintes são calculadas para calcular a faixa de valores de R .

$$R(\min) = U_{in}(\max) - U_L / I_Z(\max) = I_L$$

$$R(\max) = U_{in}(\min) - U_L / I_Z(\min) + I_L$$

Onde: $R(\min)$ é o valor mínimo de R , em ohms (Ω)

$R(\max)$ é o valor máximo de R , em ohms (Ω)

$U_{in}(\max)$ é a tensão máxima de entrada, em volts (V)

$U_{in}(\min)$ é a tensão mínima de entrada, em volts (V)

$I_Z(\min)$ é a corrente mínima no diodo zener, em ampères (A)

$I_Z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A)

U_L é a tensão na carga, em volts (V)

I_L é a corrente na carga, em ampères (A)

Fórmula 23

$$I_Z(\max) = P(\max) / U_Z$$

Onde: $I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A)

$P(\max)$ é a dissipação máxima do diodo zener, em watts (W)

U_z é a tensão zener, em volts (V)

Fórmulas derivadas:

Fórmula 24

$$P(\max) = U_z \times I_z(\max)$$

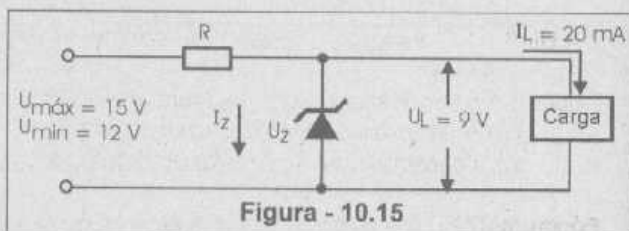
Onde: $P(\max)$ é a dissipação do diodo zener, em watts (W)

U_z é a tensão zener, em volts (V)

$I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A)

Exemplo de Aplicação:

Uma carga de 20 mA deve ser alimentada por uma fonte regulada de 9 V. A tensão de entrada no regulador varia entre 12 V e 15 V e a corrente no diodo zener deve ser mantida entre 10 e 50 mA. Calcular o valor e a dissipação de R.



Dados: $I_L = 20 \text{ mA}$

$U_L = 9 \text{ V}$

$U_{in}(\max) = 15 \text{ V}$

$U_{in}(\min) = 12 \text{ V}$

$I_z(\max) = 50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$

$I_z(\min) = 10 \text{ mA} = 0,01 \text{ A}$

a) Calculando $R(\min)$ e $R(\max)$ - fórmulas 22:

$$R(\min) = 15 - 9/0,05 - 0,02 = 6/0,03 = 200 \text{ ohms}$$

$$R(\max) = 12 - 9/0,02 - 0,01 = 3/0,01 = 300 \text{ ohms}$$

Podemos adotar o valor 220 ohms como o padronizado mais próximo dentro da faixa calculada

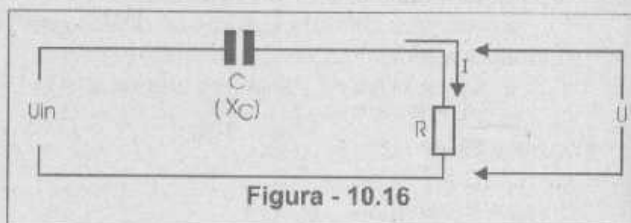
b) Determinando a potência dissipada pela fórmula 24:

$$P(\max) = 0,05 \times 9 = 0,45 \text{ Watts}$$

Um diodo zener de 1 W é o recomendado para esta aplicação.

DIVISOR DE TENSÃO CAPACITIVO

A reatância capacitiva de um capacitor pode ser usada num redutor de tensão a



partir do qual é possível projetar fontes de alimentação sem transformador, conforme ilustra a **figura 10.16**. Supondo uma carga resistiva, podemos calcular R e C usando as seguintes fórmulas:

Fórmula 25

$$R = U/I$$

Onde: U é a tensão na carga, em volts (V)

I é a corrente na carga, em ampères (A)

R é a resistência da carga, em ohms (Ω)

Os valores são rms (*root mean square*)

Fórmula 26

$$Z = U_{in}/I$$

Onde: Z é a impedância do circuito, em ohms (Ω)

U_{in} é a tensão de entrada, em volts (V)

I é a corrente total no circuito ou carga, em ampères (A)

Fórmula 27

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Onde: X_C é a reatância capacitiva do capacitor usado, em ohms (Ω)

Z é a impedância do circuito, em ohms (Ω)

R é a resistência da carga, em ohms (Ω)

Fórmula 28

$$C = 10^6 / 2 \times \pi \times f \times X_C$$

Onde: C é a capacitância do capacitor, em microfarads (F)

$\pi = 3,1416$

f é a frequência da rede de alimentação, em hertz (Hz)

X_C é a reatância capacitiva, em ohms (Ω)

Exemplo de Aplicação:

Determinar a capacitância de C no circuito da **figura 10.17** para alimentar a lâmpada de 12 V x 50 mA a partir da rede de 117 V x 60 Hz.

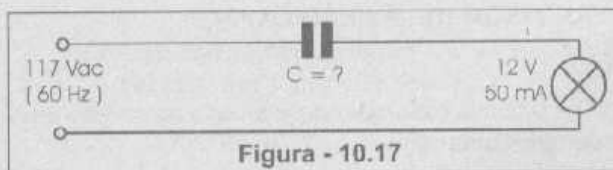
Dados: U = 12 V

$U_{in} = 117$ V

I = 0,02 A (20 mA)

f = 60 Hz

C = ?



a) Calculando R (fórmula 25)

$$R = 12/1,02 = 600 \text{ ohms}$$

b) Determinando Z (fórmula 26)

$$Z = 117/0,02 = 5,850 \text{ ohms}$$

c) Então, X_c será encontrado usando a fórmula 27:

$$X_c = \sqrt{(5,850)^2 - (600)^2} = \sqrt{31,9 \times 10^6 - 0,36 \times 10^6} = \sqrt{31,56 \times 10^6} = 5,618 \text{ ohms}$$

d) Encontrando C (fórmula 28):

$$C = 10^6/2 \times 3,14 \times 60 \times 5,618 = 10^6/2,116 \times 10^6 = 1/2,116 = 0,47 \mu\text{F} \text{ ou } 470 \text{ nF}$$

REGULADOR DE TENSÃO EM SÉRIE (UM TRANSISTOR)

A configuração apresentada na **figura 10.18** é de um regulador de tensão básico com um diodo zener como referência e um transistor para controlar a corrente na carga. As seguintes fórmulas são usadas para calcular os elementos desse circuito:

Ponto de partida:

No projeto de um regulador é importante partir de alguns parâmetros fixos e depois calcular os componentes. Os parâmetros fixos usados nas fórmulas seguintes são:

Fixar:

U_L = tensão da saída (carga), em volts (V)

$U_{in(min)}$ = tensão mínima de entrada, em volts (V)

$U_{in(max)}$ = tensão máxima de entrada, em volts (V)

U_{in} = tensão de entrada (valor entre $U_{in(max)}$ e $U_{in(min)}$ - normalmente a variação da tensão da entrada adotada nos projetos é de 10%.

$I_{z(min)}$ = corrente mínima no diodo zener (indicada pelo fabricante)

$I_{B(max)}$ = valor máximo da corrente de base do transistor (indicado pelo fabricante e escolhida de acordo com o ganho do transistor conforme a corrente de carga)

Importante: $U_{in} > U_z$

Fórmula 29

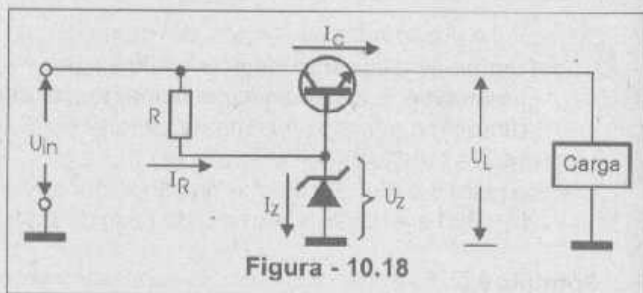
Tensão na carga:

$$U_L = U_Z + U_{BE}$$

Onde: U_L é a tensão na carga, em volts (V)

U_Z é a tensão zener, em volts (V)

U_{BE} é a queda de tensão na junção emissor-base do transistor (tipicamente 0,6 V nos transistores de silício).



Fórmula 30

Tensão em R:

$$U_R = U_{in} - U_z$$

Onde: U_R é a tensão em R, em volts (V) U_{in} é a tensão de entrada, em volts (V) U_z é a tensão zener, em volts (V)

Obs.: A tensão de entrada deve ser maior do que tensão zener para uma operação perfeita. Uma diferença de pelo menos 3 V é recomendada na maioria das aplicações.

Fórmula 31 $I_z(\max)$

$$I_z(\max) = [U_{in}(\max) - U_z / U_{in}(\min) - U_z] \times (I_z(\min) - I_B(\max))$$

Onde: $I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A) $U_{in}(\max)$ é a tensão máxima de entrada, em volts (V) $U_{in}(\min)$ é a tensão mínima de entrada em volts (V) U_z é a tensão zener, em volts (V) $I_z(\min)$ é a menor corrente no zener, em ampères (A) $I_B(\max)$ é a corrente máxima na base do transistor, em ampères (A)**Fórmula 32** $I_B(\max)$

$$I_z(\max) = I_c(\max) / \beta(\min)$$

Onde: $I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A) $I_c(\max)$ é a corrente máxima no coletor do transistor, em ampères (A) $\beta(\min)$ é o ganho mínimo do transistor usado**Fórmula 33**

Dissipação do Zener

$$P_z = I_z(\max) \times U_z$$

Onde: P_z é a menor potência dissipada pelo zener, em watts (W) $I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A) U_z é a tensão do zener, em volts (V)**Fórmula 34**

Calculando R:

$$\begin{aligned} R_{\min} &= U(\max) - U_z / I_z(\max) \quad \text{e} \\ R_{\max} &= U_{in}(\min) - U_z / I_{B\max} = I_z(\min) \\ R_{\min} &< R < R_{\max} \end{aligned}$$

Onde: R é o valor do resistor escolhido, em ohms (Ω)
 $R_{\min}$ é o valor mínimo de R , em ohms (Ω)
 $R_{\max}$ é o valor máximo de R , em ohms (Ω)
 $U_{in}(\max)$ é a tensão máxima de entrada, em volts (V)
 $U_{in}(\min)$ é a tensão mínima de entrada, em volts (V)
 U_z é a tensão do diodo zener, em volts (V)
 $I_z(\max)$ é a corrente máxima no diodo zener, em ampères (A)
 $I_z(\min)$ é a corrente mínima no diodo zener, em ampères (A)
 $I_B(\max)$ é a corrente de base máxima no transistor, em ampères (A)

Fórmula 35

Dissipação de R :

$$P = U_R^2 / R$$

Onde: P é a potência dissipada em R , em watts (W)
 U_R é a tensão em R , em volts (V)
 R é a resistência, em ohms (Ω)

Fórmula 36

Tensão mínima de entrada:

$$U_{in}(\min) = U_z + R(I_z(\min) + I_B(\max))$$

Onde: $U_{in}(\min)$ é a tensão mínima de entrada, em volts (V)
 U_z é a tensão do diodo zener, em volts (V)
 R é a resistência, em ohms (Ω)
 $I_z(\min)$ é a corrente mínima do diodo zener, em ampères (A)
 $I_B(\max)$ é a corrente máxima na base do transistor, em ampères (A)

Fórmula 37

Determinando o β mínimo do transistor:

$$\beta(\min) = I_c(\max) / I_B(\max)$$

Onde: $\beta(\min)$ é o ganho mínimo do transistor usado
 $I_c(\max)$ é a corrente máxima no coletor do transistor (corrente de carga), em ampères (A)
 $I_B(\max)$ é a corrente máxima de base do transistor, em ampères (A)

Exemplo de Aplicação:

Calcular os elementos do circuito regulador de tensão com a configuração dada na figura 10.19 partindo dos seguintes dados:

$U_{in} = 10$ V (10% de variação)
 $U_{in}(\max) = 11$ V
 $U_{in}(\min) = 9$ V
 $U_L = 6$ V
 $I_L = 500$ mA

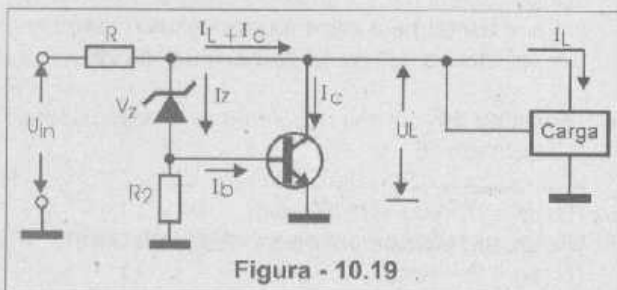


Figura - 10.19

Os parâmetros do zener serão fixados depois da tensão ser determinada.

a) Calculando U_z , usando a fórmula 29:

$$U_z = U_{in} + 0,6 \quad (\text{vamos usar transistor de silício})$$

$$U_z = 10 - 3,4$$

$$U_z = 6,6 \text{ V}$$

(adotamos o valor médio da tensão de entrada)

b) Calculando U_R

$$U_R = U_{in} - U_z$$

$$U_R = 10 - 6,6$$

$$U_R = 3,4 \text{ V}$$

c) Determinando $I_z(\text{max})$ usando a fórmula 32:

$$I_z(\text{max}) = [U_{in}(\text{max}) - U_z / U_{in}(\text{min}) - U_z] \times (I_z(\text{min}) = I_B(\text{max}))$$

$$I_z(\text{max}) = [11 - 6,6 / 9 - 6,6] \times (0,01 + 0,02)$$

$$I_z(\text{max}) = 4,4 / 2,4 \times 0,03 = 0,054 \text{ A}$$

d) Determinando R : (fórmula 34)

$$R_{\text{min}} = 11 - 6,6 / 0,054$$

$$R_{\text{min}} = 4,4 / 0,054 = 81,4 \, \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 9 - 6,6 / 0,02 + 0,01$$

$$R_{\text{max}} = 3,4 / 0,03 = 113 \, \Omega$$

$$81,4 < R < 113 \, \Omega$$

Usaremos um resistor de $100 \, \Omega$ para R .

e) Determinando o β para o transistor (fórmula 37)

$$\beta(\text{min}) = 0,5 / 0,02 = 25$$

f) Determinando a dissipação de potência de R : (fórmula 35)

$$P_R = (3,4)^2 / 100 = 0,11 \text{ W}$$

O valor usado para U_R é para $U_{in}(\text{max})$.

Um resistor de $1/4$ ou $1/2 \text{ W}$ pode ser usado na prática.

g) Calculando a dissipação do diodo zener, usando a fórmula 33.

$$P_z = 6,6 \times 0,054 = 0,356 \text{ W}$$

Um diodo zener de $1/2$ ou 1 W pode ser usado.

Valores de π

π	3,141592
2π	6,283185
3π	9,424779
4π	12,566379
5π	15,707963
6π	18,849556
7π	21,991486
8π	25,132741
9π	28,274334
10π	31,415926
$1/\pi$	0,318310
$1/2\pi$	0,159155
$\pi/2$	1,570796
$\pi/3$	1,047197
$\pi/4$	0,785398
$\pi/5$	0,628318
$4\pi/3$	4,188790
$4/\pi$	1,273239
$3/\pi$	0,954929
$\pi/2$	9,869604
π	1,772453
$1/\pi^2$	0,101321
$1/\pi$	0,564190
$3/\pi$	0,977205
$3/\pi$	1,464592
$\lg\pi$	0,497715
$\lg 2\pi$	0,798180

REGULADOR DE TENSÃO PARALELO

A configuração básica de um regulador tipo *shunt* ou paralelo é vista na **figura 10.19**. O transistor é ligado em paralelo com a carga derivando a corrente de uma forma a manter a corrente constante na carga.

Os elementos a serem calculados são as características do zener, R_1 e R_2 e também as características do transistor. As fórmulas dadas a seguir são usadas fixando-se alguns parâmetros iniciais. Os parâmetros fixos são:

V_L = tensão de carga (V)

$I_L(\max)$ = corrente máxima na carga (A)

U_{in} = Tensão de entrada (V)

U_{inmax} = tensão máxima de entrada (normalmente 10% acima de U_{in})

U_{inmin} = tensão mínima de entrada (normalmente 10% abaixo de U_{in})

Fórmula 38

Determinando U_z

$$U_z = U_L - 0,6$$

Onde:

U_z é a tensão no zener, em volts (V)

U_L é a tensão na carga, em volts (V)

0,6 é a queda de tensão na junção de um transistor de silício, em volts

Fórmula 39

Corrente através de R_2

$$I_{R2} = I_z(\min) - (I_{cmin}/\beta_{max})$$

Onde:

I_{R2} é a corrente através de R_2 (A)

$I_z(\min)$ é a corrente mínima através do diodo zener (A)

I_{cmin} é a corrente mínima através do diodo zener (A)

β_{min} é o ganho mínimo do transistor

Fórmula 40

Determinando $I_z(\max)$

$$I_z(\max) = [(U_{inmax} - U_z)/(U_{inmin} - U_z)]$$

Onde:

I_{zmax} é a corrente máxima através do zener (A)

U_{inmax} é a tensão máxima de entrada (V)

U_{inmin} é a tensão mínima de entrada (V)

U_z é a tensão zener (V)

I_{zmin} é a corrente mínima através do zener (A)

I_{zmax} é a corrente máxima através do zener (A)

I_{cmin} é a corrente mínima de coletor (A)

β_{min} é o ganho mínimo do transistor

I_{R2} é a corrente através de R_2 (A)

Fórmula 41

Calculando I_{cmax}

$$I_{cmax} = \beta_{min}(I_{zmax} - I_{R2})$$

Onde:

I_{cmax} é a corrente máxima no transistor (A)

β_{min} é o ganho mínimo do transistor

I_{zmax} é a corrente máxima no zener (A)

I_{R2} é a corrente através de R_2 (A)

Fórmula 42

Dissipação do Transistor

$$P_{max} = (U_z + 0,6) \times I_{cmax}$$

Onde:

P_{max} é a potência máxima dissipada pelo transistor (W)

U_z é a tensão do zener (V)

I_{cmax} é a corrente máxima de coletor do transistor (A)

Fórmula 43

Determinando R_2

$$R_2 = 0,6 / I_{R2}$$

Onde:

R_2 é a resistência de R_2 (ohms)

I_{R2} é a corrente em R_2 (A)

0,6 é a queda de tensão na junção do transistor (V)

Fórmula 44

Dissipação de R_2

$$P_{R2} = R_2 \times I_{R2}^2$$

Onde:

P_{R2} é a potência dissipada por R_2 (W)

R_2 é a resistência de R_2 (ohms)

I_{R2} é a corrente através de R_2 (A)

Fórmula 45Calculando R_1

$$R_1(\max)$$

$$R_1(\max) = (U_{inmin} - U_z - 0,6) / (I_{zmin} + I_{cmin} + I_{Lmax})$$

$$R_1(\min) = (U_{inmax} - U_z - 0,6) / (I_{zmax} - I_{cmax})$$

$$\text{Ainda: } R_1\min < R_1 < R_1\max$$

Onde:

 $R_1\min$ é o valor mínimo de R_1 (ohms) $R_1\max$ é o valor máximo de R_1 (ohms) R_1 é o valor recomendado de R_1 (ohms) U_{inmin} é a tensão mínima de entrada (V) U_{inmax} é a tensão máxima de entrada (V) U_z é a tensão zener (V) I_{zmin} é a corrente mínima no zener (A) I_{zmax} é a corrente máxima no zener (A) I_{cmin} é a corrente mínima de coletor (A) I_{cmax} é a corrente máxima de coletor (A)

0,6 é a queda de tensão na junção de silício (V)

Fórmula 46Dissipação de R_1

$$P_{R1} = R_1 \times I^2$$

Onde:

 P_{R1} é a potência dissipada em R_1 (W) R_1 é a resistência de R_1 (ohms) I é a corrente total no circuito (A)**TRANSFORMADAS DE FOURIER**

O Teorema de Fourier estabelece que sempre é possível selecionar números de 1 a 10 para que em uma das seguintes séries φ_1 a φ_2 de tal maneira que qualquer vibração periódica tendo a frequência f ($\omega\tau$) pode ser representada na forma de uma soma de vibrações harmônicas.

Fórmula 47

Teorema de Fourier:

$$x = \alpha_1 \cos(\omega\tau + \varphi_1) = \alpha_2 \cos(2\omega\tau + \varphi_2) - \alpha_3 \cos(3\omega\tau + \varphi_3) \dots \alpha_n \cos(n\omega\tau + \varphi_n)$$

Onde: x é a amplitude instantânea da onda α_1 a α_n são as amplitudes das harmônicas $2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$ são os sobretons ou harmônicas $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ são ângulos de fase

Nas **tabelas** que se seguem damos a composição harmônica de algumas formas de onda comuns, determinadas pela Transformada de Fourier. A porcentagem correspondente de cada componente (harmônica) também é dada, facilitando os cálculos.

Onda Quadrada
Composição Harmônica

Harmônica	Magnitude Relativa	Magnitude Porcentual(%)
Fundamental	$4/\pi(U)$	127
2ª	0	0
3ª	$4/3\pi(U)$	42,5
4ª	0	0
5ª	$4/5\pi(U)$	25,5
6ª	0	0
7ª	$4/7\pi(U)$	18,2

Onda Triangular
Composição Harmônica:

Harmônica	Magnitude Relativa	Magnitude Porcentual(%)
Fundamental	$8/\pi^2(U)$	81
2ª	0	0
3ª	$8/9\pi^2(U)$	9
4ª	0	0
5ª	$8/25\pi^2(U)$	3,2
6ª	0	0
7ª	$8/49\pi^2(U)$	1,16

Onda Dente-de-Serra
Composição Harmônica:

Harmônica	Magnitude Relativa	Magnitude Porcentual(%)
Fundamental	$2/\pi(U)$	63,6
2ª	$1/\pi(U)$	31,8
3ª	$2/3\pi(U)$	21,2
4ª	$1/2\pi(U)$	15,9
5ª	$2/5\pi(U)$	12,7
6ª	$1/3\pi(U)$	10,6
7ª	$2/7\pi(U)$	9,1

Forma de Onda no Retificador de Meia Onda
Composição Harmônica:

Harmônica	Magnitude Relativa	Magnitude Porcentual(%)
Fundamental	$1/\pi(U)$	31,8
2ª	$2/3\pi(U)$	21,2
3ª	0	0
4ª	$2/15\pi(U)$	4,2
5ª	0	0
6ª	$2/35\pi(U)$	1,8
7ª	0	0

Forma de onda no Retificador de Onda Completa
Composição Harmônica:

Harmônica	Magnitude Relativa	Magnitude Porcentual(%)
Fundamental	$2/\pi(U)$	63,6
2ª	$4/3\pi(U)$	42,3
3ª	0	0
4ª	$4/15\pi(U)$	8,5
5ª	0	0
6ª	$4/35\pi(U)$	3,6
7ª	0	0

CIRCUITOS & SOLUÇÕES

Imperdível



Circuitos e Soluções, é uma série de 5 volumes, que apresenta em linguagem clara e objetiva projetos de alarmes, circuitos, interface PC, som, amplificadores e efeitos, controles de potência, RF, rádios e transmissores, fontes e circuitos DC, instrumentação, timers, osciladores, filtros, correntes e muito mais.



CURSO BÁSICO DE TELEFONIA

Conseguimos reunir neste livro, alguns assuntos básicos da Telefonia em geral, onde combinamos com algumas práticas que podem ser desenvolvidas em alguns casos, para aplicação direta como produtos acabados, onde o leitor poderá usufruir desses equipamentos, bem como comercializá-los, se for o caso.

Procuramos utilizar uma linguagem simples e direta, onde mesmo um leitor com pouco conhecimento no assunto, consiga tirar proveito servindo de alavanca propulsora para a sua entrada nesta área, cada vez mais promissora. Para os que já trabalham no setor, o conteúdo servirá como fonte de consulta constante; para os alunos que frequentam cursos regulares e profissionalizantes, será uma referência didática muito útil podendo aplicar a parte prática diretamente em sala de aula.

Vários circuitos eletrônicos apresentados empregam componentes que podem parecer estranhos para o leitor que teve pouco contato com a Eletrônica. Para esses leitores sugerimos que entrem em contato com a Editora SABER, para a qual o Prof. Newton C. Braga já escreveu algumas dezenas de

livros que tratam desde a Eletrônica Básica até a mais avançada, e peçam via reembolso postal o livro de seu interesse, a fim de ajudá-los na compreensão do funcionamento desses componentes.



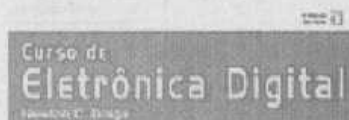
Cabeamento de Redes

Um livro de Pedro A. Medeiros, que trata do assunto, de maneira interessante, desde noções básicas, fios e cabos de cobre, fibra em LAN, infra-estrutura, energia, aterramento elétrico, projeto de redes, cabeamento em automação residencial, PABX digital, até a ética do profissional na área de instalação.

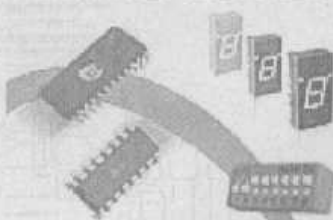
Curso de Eletrônica Digital

Neste livro, o leitor encontrará um Curso de Eletrônica Digital que levará os fundamentos dessa ciência aplicados à informática, automação industrial, instrumentação, telecomunicações e mecatrônica. Discorreremos sobre uma eletrônica digital aplicada a todos os equipamentos que a utilizem, de uma forma que todos possam entender sem muitas dificuldades.

Nosso curso foi preparado visando os leitores que, possuindo um conhecimento básico de eletrônica, desejem preencher a lacuna que existe entre a eletrônica tradicional (que em grande parte se ocupa de circuitos analógicos) e a eletrônica digital moderna na forma como ela é encontrada nos equipamentos de todos os tipos, dos computadores aos robôs, dos instrumentos de laboratório aos equipamentos médicos e de telecomunicações, dos equipamentos de automação industrial aos brinquedos.



• Computação • Circuitos de Potência • Eletrônica •
• Microprocessadores • Microcontroladores • CMOS •
• Parâmetros de Transistores • Técnicas de Montagem •
• Eletrônica de Potência • VLSI • E mais...



Multímetros I e II

No primeiro volume apresentamos como funciona o multímetro, como escolher um de acordo com a necessidade do seu uso e uma parte prática muito importante para o técnico. Neste segundo e último volume de multímetros, tratamos das aplicações em eletricidade, automóveis, etc... e principalmente da utilização dos multímetros True RMS. O bom funcionamento de equipamentos eletrônicos de uma maneira geral e em especial os das indústrias, dependem da qualidade da energia elétrica. Hoje, em dia, devido ao uso intensivo da tecnologia eletrônica, a preocupação não está apenas na instalação correta do equipamento, mas na monitoria da energia que pode apresentar alterações na forma de onda, presença de transiente, surtos e variações indevidas de tensão. O multímetro comum não atende às necessidades do técnico ou engenheiro, sendo necessário uso dos multímetros True RMS. Veja a seguir o itens abordados neste livro.



Curso Básico de Eletrônica - 4

Um livro com linguagem simples para o leitor iniciar com facilidade, no ramo da eletrônica. Neste livro você pode encontrar circuitos, osciladores, som, amplificadores, transistores e muito mais.



Instalações Elétricas sem Mistério

Economizar ou ganhar dinheiro. Eis duas palavras importantes em nossos dias, quando a visita de um eletricista para um simples reparo ou ainda a realização completa das instalações elétricas de uma casa em construção ou reforma, de um prédio comercial ou de uma pequena indústria representam um investimento elevado.

Todo o procedimento básico para realização segura de instalações, reparos, colocação de extensões e trabalho com eletrodomésticos comuns é abordado de forma simples e objetiva.

Nele, o leitor vai encontrar os procedimentos que vão desde a simples troca de um fusível até a instalação completa de todos os elementos de uma casa ou ainda a colocação de tomadas, ligações à terra necessárias ao correto funcionamento de dispositivos modernos como fornos de microondas e computadores, além das normas de segurança fundamentais neste tipo de trabalho.

Eletrônica Básica para Mecatrônica



Newton C. Braga é o mais profícuo escritor da área eletroeletrônica da atualidade. Já escreveu mais de 100 títulos editados em português, espanhol e inglês. Suas obras são indicadas como leitura obrigatória pelas mais renomadas universidades do mundo como a Universidade de Nova York, Universidade de Nevada, Instituto de Tecnologia de Hanoi, Universidade de Monash da Austrália, Queen Mary School, London University, Universidade de Munich, UCLA de San Diego, Duke University Washington, Universidade Islâmica da Tailândia e várias outras. Seu livro "Robotics, Mechatronics and Artificial Intelligence" foi indicado como referência para o ensino de tecnologia nas escolas de nível médio dos Estados Unidos da América pelo IEEE.

Ao escrever esta obra, Newton C. Braga procurou usar uma abordagem bastante acessível para quem tem conhecimentos básicos de Eletrônico, facilitando, portanto, o profissional ou estudante que tenha boa formação mecânica, mas que precise reciclar, complementar ou mesmo adquirir conhecimentos específicos da eletrônica aplicada à Mecatrônica.

Mecatrônica Industrial

A tecnologia de automação integrou-se definitivamente aos processos de produção industrial. Hoje, a necessidade de alta produtividade em conjunto com a "excelência" da qualidade somente pode ser atendida com equipamentos rápidos, precisos, e, principalmente, confiáveis.

Ao mesmo tempo que exige-se um melhor desempenho dos equipamentos, também a performance do técnico ou engenheiro de campo sofreu uma grande valorização nos últimos tempos. Isso gerou um novo tipo de profissional: o integrador. A missão dele na indústria é, como o próprio nome "diz", integrar as diversas tecnologias de modo que todo o sistema opere de acordo com a proposta do projeto.

Reunimos os principais assuntos relacionados ao "chão-de-fábrica" - de energia a robótica - passando por redes de comunicação, CLP's, CNC's, e outros mais. Tudo de uma forma inédita, ou melhor, prática. Não nos preocupamos muito com a abordagem matemática das tecnologias e equipamentos, mas sim com os aspectos funcionais práticos, e de aplicação real em campo.



Manutenção de Monitores



Neste livro, o técnico de computadores, o usuário avançado e o futuro técnico precisam saber sobre configuração, defeitos e utilização racional. Interpretação das mensagens de erro com as possíveis causas e procedimentos para sanar problemas de hardware e software. As ameaças ao PC: como evitar problemas devidos a má instalação, energia elétrica imprópria e até mesmo fenômenos atmosféricos como descargas elétricas e tempestades.

Como deve funcionar um computador bom: racionalize o uso e configure de modo a obter o melhor desempenho. Como instalar periféricos e placas de expansões. Como instalar uma nova fonte, uma placa de expansão ou ligar uma nova impressora. Defeitos explicados por sintomas e causas - quase tudo que o usuário ou técnico precisa saber quando o computador não funciona ou funciona de modo incorreto. Dicas para compra de peças e partes de computadores que tenham problemas.