

## Fonte de alimentação linear de alta corrente

**Mark Wilson, K1RO**

Artigo publicado no capítulo 11 do Handbook da ARRL de 1995 a 2003, e no capítulo 17 do Handbook da ARRL de 2004 a 2007.

Muitos transistores modernos de alta potência utilizados em amplificadores de potência de RF exigem 28 Volts DC para alimentar seus coletores, em vez da tradicional alimentação de 12 Volts DC. Indo até 28 V (ou até 50 V), os projetistas conseguem diminuir significativamente a corrente necessária para um amplificador de 100 watts ou de maior saída. A fonte de alimentação mostrada nas figuras **11.49** a **11.53** é de 28 Volts e 10 Ampères (o suficiente para um amplificador de saída de 150 watts) em regime contínuo! Ela foi projetada com simplicidade e componentes facilmente disponíveis. **Mark Wilson, K1RO** (ex-AA2Z), construiu este projeto no laboratório da ARRL.

### Detalhes do circuito

O diagrama esquemático da fonte de 28 Volts é mostrado na figura **11.50**. O transformador **T1** foi fabricado pela Avatar Magnetics (**NT: nos E.U.A.**) especificamente para este projeto. O primário é para a tensão 127 Volts AC, mas nada impedirá que se utilize um transformador para dupla tensão (127/220 Volts). O secundário é especificado para 32 Volts com capacidade de 15 Ampères em regime contínuo. O primário é filtrado por dois capacitores 0,01 µF e protegido dos transientes de linha por um varistor MOV. A ponte retificadora U1 é para 25 Ampères ou maior corrente. Ela requer um dissipador de calor nesta aplicação. O capacitor de filtro C1 é um eletrolítico de 22.000 µF.

O resistor de sangria (*bleeder*) **R1 (2K4, 5 watts)** foi incluído por segurança por causa do alto valor do capacitor **C1**; a corrente de sangria é de cerca de 12 mA. Existe um equilíbrio entre a tensão do secundário do transformador e o capacitor de filtro. Para manter a regulagem, a tensão mínima para o circuito regulador deve permanecer acima de 31 Volts. A tensão de *ripple* deve ser levada em conta. Se a tensão de entrada cair abaixo de 31 Volts, a regulagem pode ser perdida. Nesta fonte, a tensão do secundário do transformador foi escolhida para permitir a utilização de um capacitor de filtro facilmente encontrado.

O projetista verificou que capacitores eletrolíticos de 22.000 µF / 50 Volts eram comuns e os preços razoáveis; acima desse valor, os capacitores eletrolíticos costumam custar muito caro. Se você tem um capacitor de maior capacitância, você pode usar um transformador com uma tensão mais baixa no secundário, e da mesma forma, se você tiver um transformador na faixa de 28 a 35 Volts, você poderá calcular o tamanho do capacitor de filtro necessário. A equação abaixo mostra como calcular ondulação (*ripple*) para diferentes capacitores de filtro e valores de carga:

$$C \times E = I \times t$$

onde:

$C$  = a capacitância em microfarads,

$E$  = a queda de tensão (*voltage droop*), ou tensão de *ripple* pico-a-pico

$I$  = a corrente de carga (*load current*) em miliampéres e

$t$  = o tempo entre os meio-ciclos da forma de onda retificada, em milissegundos. Para retificadores de onda completa em 60 Hz,  $t$  é sobre 7,5 ms.

Como exemplo, vamos supor que precisamos determinar a tensão de pico-a-pico de *ripple* na saída de DC de uma combinação retificador de onda completa / capacitor que produza 13,8 Volts DC e alimente um transceptor com consumo de 2,0 Ampéres. O capacitor de filtro na fonte de alimentação é 5.000  $\mu\text{F}$ . Utilizando a relação acima:

$$C \times E = I \times t$$

$$5000 \mu\text{F} \times E = 2000 \text{ mA} \times 7.5 \text{ ms}$$

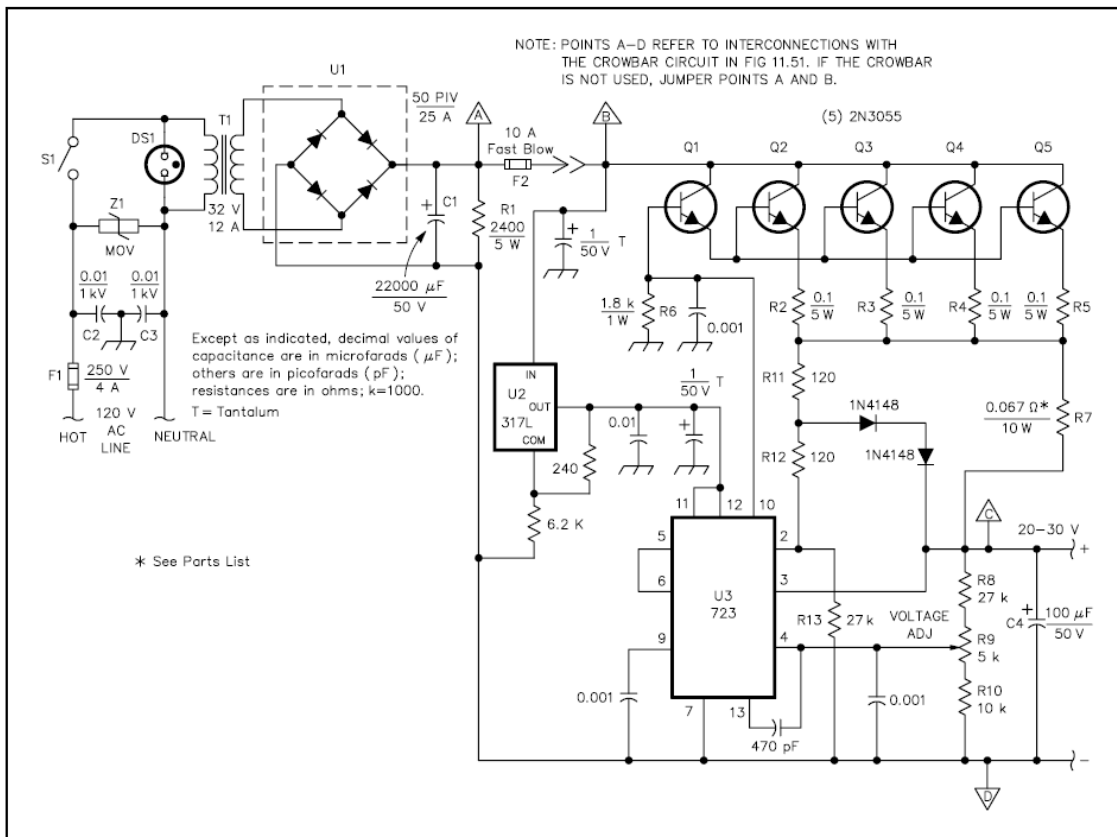
$$E = \frac{2000 \text{ mA} \times 7.5 \text{ ms}}{5000 \mu\text{F}} = 3 \text{ VP-P}$$

Obviamente, isto é muito *ripple*. Um capacitor com valor de cerca de 20.000  $\mu\text{F}$  seria mais adequado para esta aplicação. Se um regulador linear é utilizado após essa combinação retificador / capacitor de filtro, porém, e a fonte de tensão elevada para produzir uma tensão de 20 Volts DC, um capacitor de 5.000  $\mu\text{F}$  com seus 3 Volts pico-a-pico de *ripple* funcionará bem, desde que o regulador possa remover o conteúdo de *ripple* antes da potência de saída ser aplicada ao transceptor.

O circuito regulador leva vantagem de utilizar componentes comuns e encontráveis. O coração do circuito é o integrado **U3**, um regulador de voltagem **LM723**. Os valores dos resistores **R8** (27K), **R9** (trimpot 5 K) e **R10** (10 K) foram escolhidos para permitir que a tensão de saída possa variar de 20 a 30 Volts (**NT: alterando-se esses valores, poderemos modificar esta fonte para 13,8 Volts. Leia até o final**). O **LM723** tem uma tensão máxima de entrada de 40 Volts, ligeiramente inferior a tensão de entrada filtrada. O integrado **U2** (**LM317L**) é um regulador de tensão ajustável de 3 terminais, que é configurado para fornecer cerca de 35 Volts para alimentar o integrado **U3** (**LM723**). O integrado **U3** alimenta a base do transistor **Q1** (**2N3055**), que sua vez alimenta os transistores **Q2** a **Q5** (**2N3055**). Este arranjo foi escolhido para termos a vantagem de aproveitar componentes comuns.

À primeira vista, o número de transistores de passagem parece alto para uma fonte de alimentação de 10 Ampéres. A tensão de entrada é alta o suficiente para que os transistores possam dissipar cerca de 120 watts (na pior das hipóteses), as considerações de modo térmico ditam o uso de quatro transistores. Leia o capítulo “*Real World Component Characteristics*” no Handbook da ARRL uma explanação completa sobre *design* térmico. Se você usar um transformador com um potencial significativamente diferente no secundário, consulte o tutorial *thermal-design* naquele manual para verificar o tamanho do dissipador de calor necessário para uma operação segura.

O trimpot **R9** é usado para ajustar a tensão de saída da fonte. Desde que esta fonte foi projetada principalmente para aplicações de 28 Volts, o trimpot **R9** é um componente de ajuste montado internamente para “ajustar e esquecer”. Foi utilizado um trimpot de 25 voltas para permitir um ajuste de tensão preciso (**NT: para uma fonte de 28 Volts, o valor do trimpot multitoltas R9 será de 5 K ; para 13,8 Volts, será de 1 K**). Outros montadores podem querer montar esse controle, talvez junto com um Voltímetro, no painel frontal, para variar facilmente a tensão de saída.



**Fig. 11.50 — Diagrama esquemático da fonte de 28 Volts de alta corrente. Os resistores são de 1/4 watt, salvo indicação em contrário. Os capacitores são cerâmicos, salvo indicação em contrário; capacitores marcados com polaridade são eletrolíticos.**

C1 - capacitor eletrolítico, 22.000  $\mu\text{F}$ , 50 Volts. C2, C3 – capacitores de passagem de 0,010  $\mu\text{F}$  X 1000 Volts . C4 - capacitor eletrolítico 100  $\mu\text{F}$ , 50 Volts. DS 1 - lâmpada piloto, 127 Volts AC. Q1 a Q5 - transistores de potência 2N3055. R2 a R5 – resistores de fio de 0,1 Ohm, 5 W (ou de maior potência). R7 – resistor de fio de 0,067 Ohms, 10 watts (ou superior), feito a partir de três resistores de 0,2 Ohms, 5 watts em paralelo. T1 - transformador de alimentação, primário de 127 Volts AC, secundário, 32 Volts, 15 Ampéres. U1 - ponte retificadora, 50 Volts, 25 Ampéres. U2 - regulador de tensão ajustável de três terminais, 100 mA (LM-317L ou equivalente - ver texto). U3 – regulador de tensão LM723. Z1 – varistor MOV 130 Volts.

O integrado **LM723** apresenta um limitador de corrente que atua se a carga puxar uma corrente excessiva. O valor do limite é estabelecido pelo resistor **R7** (resistor de fio **0,067 Ohm, 10 watts** (ou superior), feito a partir de **três resistores de 0,2 Ohm, 5 watts em paralelo**), em aproximadamente 14 Ampéres, de modo que o fusível **F2** deve abrir se ocorrer algum problema. Os terminais de saída, entretanto, podem ser curto-circuitados indefinidamente, sem prejuízo de danificar quaisquer dos componentes da fonte. Se o circuito regulador falhar, ou se um transistor de passagem entrar em curto, a tensão de alimentação não regulada aparecerá nos terminais de saída. A maioria dos transistores RF que funcionam em 28 Volts irá falhar com mais de 40 Volts no coletor, daí a perspectiva do autor em integrar o circuito de proteção contra sobretensão mostrado na figura **11.51** na fonte de alimentação.

Este circuito é opcional. Ele se conecta através dos terminais de saída e pode ser adicionado ou suprimido sem qualquer efeito sobre o resto da fonte. Se você optar por usar o *crowbar*, faça as interligações, como mostrado. Note que o resistor **R11** (120 Ohms) e o fusível **F3** da **Fig. 11.51** são adicionados entre os pontos **A** e **B** da **Fig. 11.50**. Se o *crowbar* não for utilizado, coloque um fio entre os pontos **A** e **B** da **Fig. 11.50**.

O circuito do *crowbar* foi retirado de uma nota de aplicação da Motorola para o integrado sensor de sobretensão **MC3423**. Este integrado contém uma referência de 2,5 Volts e dois comparadores. Quando a tensão no pino 2 chega a 2,5 Volts, a saída sobe (de 0,0 Volts para a tensão de entrada positiva) para acionar o *gate* do SCR **Q6** (SK6502 ou SCR equivalente, 20 Ampéres 100 Volts), um SCR de alta corrente. Quando o SCR **Q6** é acionado, curto-circuita os terminais de saída da fonte. Este circuito é barato e fácil de implementar, mas no entanto, permite que o montador ajuste precisamente a tensão de limite. Ele fornece um excelente drive para o *gate* do SCR, e é um pouco mais rápido e mais confiável do que os circuitos *crowbar* que usam diodos Zener. O resistor **R11** e o fusível **F3** protegem os transistores de passagem de danos em caso de transientes de alta corrente.

O limite de tensão é determinado a partir da **Fig. 11.51** na fonte de alimentação. Este circuito é opcional. Ele se conecta através dos terminais de saída e podem ser adicionadas ou excluídas, sem qualquer efeito sobre o resto do circuito. Se você optar por usar um circuito *crowbar*, faça as interligações, como mostrado. Note que o resistor **R11** e o fusível **F3** da **Fig. 11.51** são adicionados entre os pontos **A** e **B** da **Fig. 11.50**. Se o *crowbar* não for usado, coloque um fio entre os pontos **A** e **B** da **Fig. 11.50**. **(NT: este esquema só foi publicado nos Handbooks de 1995 a 2000, sendo posteriormente este circuito substituído por outro regulado por diodo zener)**

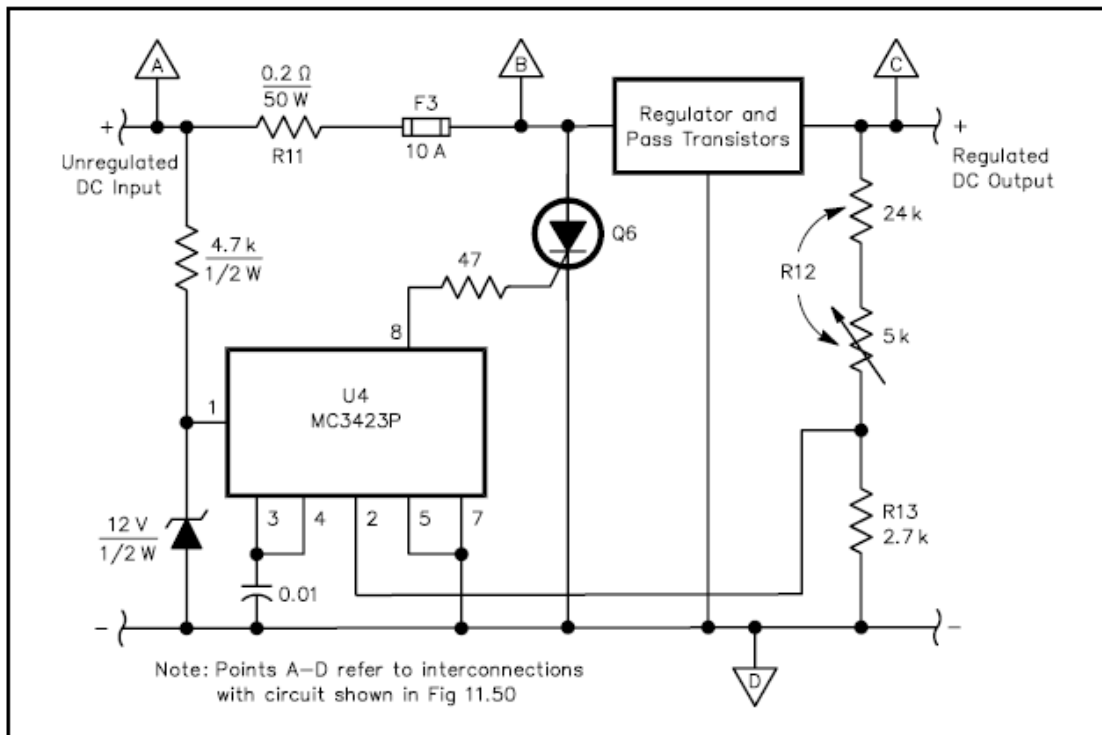


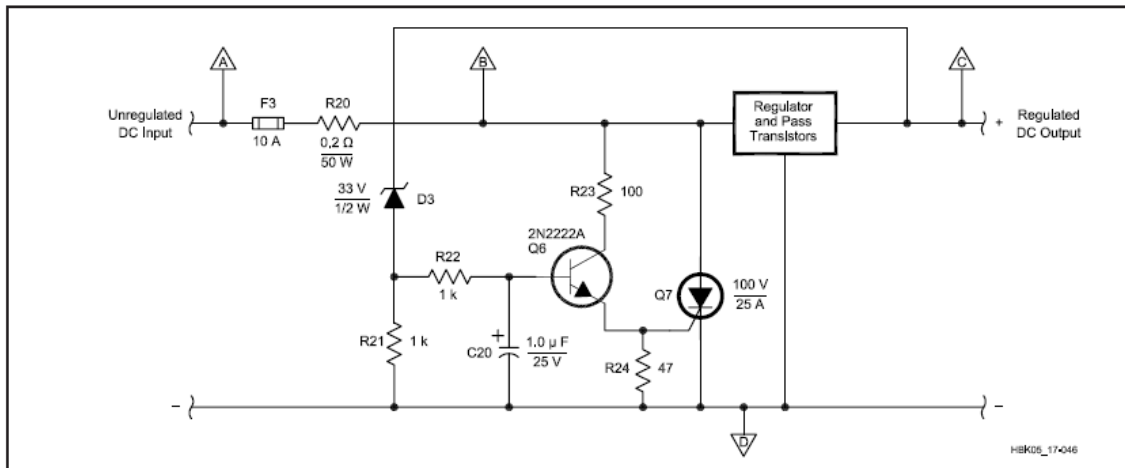
Fig. 11.51 - Esquema do circuito de proteção contra sobretensão. Os resistores são de ¼ de watt, salvo especificação em contrário. Q6 – SCR metálico para 20 Amperes e 100 Volts (RCA SK6502 ou equivalente). R12 – trimpot 5 K Ohms, 10 voltas - em série com um resistor de 24 K Ohms, ¼ watt. U4 – integrado sensor de sobretensão Motorola MC3423.

A tensão de limite é determinada a partir da equação:

$$V_{TRIP} = 2.5 \left( 1 + \frac{R11}{R12} \right)$$

A nota de aplicação da Motorola recomenda que o resistor **R13** deve ser inferior a 10 K Ohms para o mínimo desvio (*drift*) e sugere um valor de 2,7 K Ohms. Nesta versão, o resistor **R12** é constituído por um resistor de 24 K Ohms e um trimpot de 10 voltas de 5 K Ohms, para um preciso ajuste do ponto de limite.

**NT: nos Handbooks de 2001 a 2007, o circuito de proteção de sobretensão acima foi substituído por este outro (Fig. 17.46):**



**Fig. 17.46** — Diagrama esquemático do circuito de proteção de sobretensão. Os resistores são de ¼ watt, salvo especificação em contrário. D3 — diodo zener 33 Volts, 1 watt (1N4752A). Q6 — Transistor 2N2222A ou equivalente. Q7 — SCR 100 Volts, 25 Ampères.

## Construção

A **Fig. 11.52** mostra o interior da fonte de 28 Volts. Ela foi montada numa caixa Hammond 1401K. Todas as peças foram montadas dentro da caixa. Os componentes do regulador foram montados em uma pequena placa de circuito impresso fixada atrás do painel frontal. Veja a **Fig. 11.53**. A maior parte das peças podem ser compradas em qualquer loja de componentes eletrônicos. Muitas peças, como o dissipador de calor, os transistores de passagem, resistores de fio e capacitores de filtro podem ser obtidos a partir de sucata. Os transistores **Q2** a **Q5** foram montados num dissipador de calor Wakefield modelo 441K. Os transistores foram montados no dissipador de calor com isolantes de mica, buchas isolantes para os parafusos e pasta térmica para ajudar a transferência de calor. A superfície do dissipador de calor sob os transistores deve ser absolutamente lisa.



**Fig. 11.52 - Interior da fonte de 28 Volts e alta corrente. O ventilador de arrefecimento só é necessário se os transistores de passagem e os dissipadores forem montados dentro do gabinete. Veja o texto.**

Elimine cuidadosamente todas as rebarbas dos furos do dissipador após a perfuração e lixe levemente as bordas com uma lixa fina. Uma ventoinha de cinco polegadas fará circular o ar caso os dissipadores forem montados dentro do gabinete. A ventilação por ar forçado só será necessária caso o dissipador de calor for montado dentro do gabinete. Se o dissipador de calor foi montada no painel traseiro com as aletas na vertical, por convecção natural haverá refrigeração adequada e não será necessária uma ventoinha. A ponte retificadora **U1** é montada no interior do painel traseiro com um dissipador de

calor adequado. Esse dissipador de calor é parafusado à parte externa do painel traseiro para tirar vantagem do arrefecimento por convecção.

O **LM317L** é uma versão de 100 mA do popular regulador ajustável LM317, de 1,5 Ampère. O **LM 317L** é encapsulado no formato TO-92, enquanto que o LM317 normal é encapsulado no formato TO-220. Se você não conseguir encontrar um **LM317L**, você pode usar um regular LM317 (encontrável até em sucata). O resistor **R7** é feito com três resistores (**NT: o artigo original grafa erroneamente dois**) de 0,1 Ohm 5 watts ligados em paralelo. Estes resistores se aquecem em operação contínua, e por isso devem ser montados cerca de 3 mm acima da placa de circuito impresso para permitir a circulação de ar e impedir que a placa fique escurecida ou descolorida. Da mesma forma, o resistor **R6** fica quente ao toque, e também deve ser montado longe da placa para permitir que o ar circule. O transistor **Q1** (2N3055) torna-se ligeiramente quente durante o funcionamento contínuo, e dessa forma deve ser montado num pequeno dissipador TO-3 para placa PCB.

O que não ficou evidente na fotografia foi a utilização de um único ponto de terra para evitar problemas de *loop* de aterramento. A conexão de aterramento da placa de circuito impresso deve ser ligada diretamente ao terminal negativo do capacitor **C1**, em vez do chassi. O circuito *crowbar* é montado sobre um dissipador de calor pequeno perto dos terminais de saída. O SCR **Q6** é montado isolado sobre um dissipador de calor. Qualquer SCR metálico de 20 Ampères e 50 Volts funcionará nesse circuito. Os outros componentes são montados em uma pequena placa de circuito impresso ligada ao dissipador de calor por braçadeiras.

Embora a corrente de saída não seja muito alta, apenas fios de bitola 14 AWG (3 mm) ou 12 AWG (2 mm) devem ser utilizados para todas as ligações, incluindo a ligação entre o capacitor **C1** e os coletores dos transistores **Q2** a **Q5**, entre os resistores **R2** a **R5** e **R7**, entre o fusível **F2** e o terminal positivo de saída, e entre o capacitor **C1** e o terminal de saída negativo. Fios semelhantes devem ser usados entre os terminais de saída e a carga.

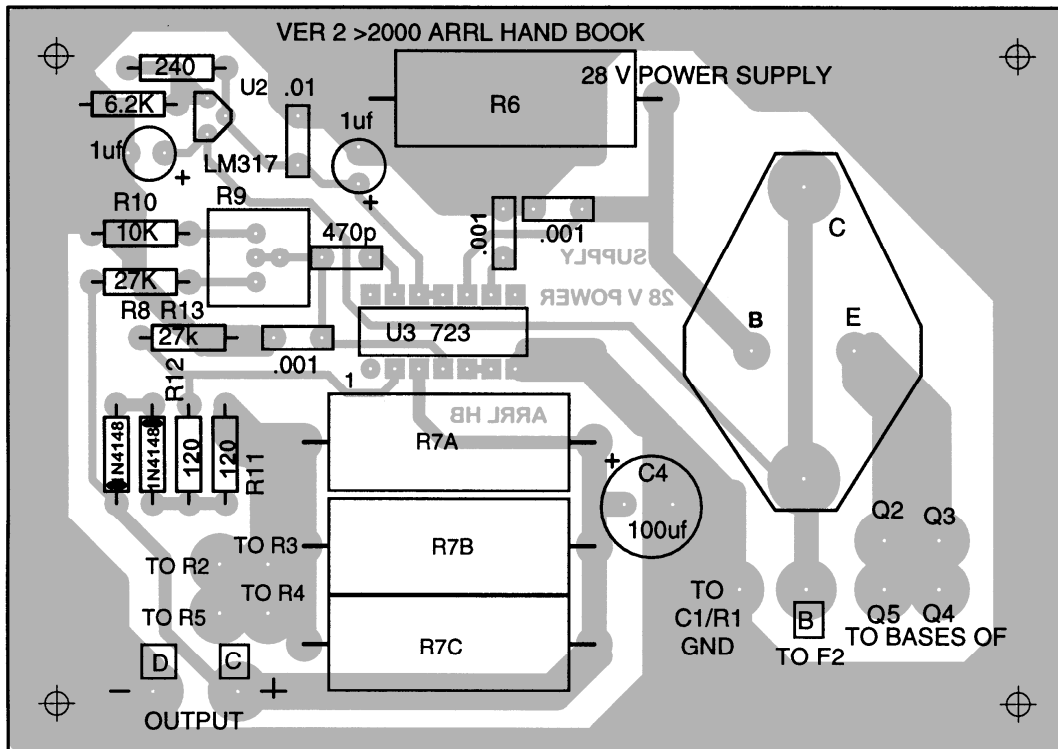


Fig. 11.53 – Localização dos componentes na placa da fonte de alimentação de 28 Volts. O layout em tamanho real poderá ser obtido no site da ARRL.

## Testando

Primeiro, conecte o transformador **T1**, a ponte retificadora **U1** e o capacitor **C1** e verificar se a tensão sem carga é de aproximadamente 44 Volts DC. Em seguida, ligue a tensão desregulada à placa de circuito impresso e aos transistores de passagem. Deixe o *gate* do SCR **Q6** desconectado do pino 8 do integrado **U4** neste momento. Você deve ser capaz de ajustar a tensão de saída entre aproximadamente 20 e 30 V. Ajuste a saída para 28 Volts.

Em seguida, curto-circuite os terminais de saída para verificar se o limite de corrente está funcionando. A tensão deve retornar a 28 Volts quando o curto for desligado. Isso conclui testes e instalação.

A fonte mostrada nas fotos teve uma queda de tensão de cerca de 0,1 V entre sem carga e uma carga resistiva de 12 Ampères. Durante os testes no laboratório ARRL, esta fonte ficou em operação por quatro horas contínuas com uma carga resistiva de 12 Ampères em diversas ocasiões, sem qualquer dificuldade.

Em seguida, ajuste o *crowbar* para disparo em 29 V ou qualquer tensão de limite que você escolher. Ajuste o potenciômetro **R12** da placa de proteção de sobretensão (5 K) para a máxima resistência. Ligue um Voltímetro ao pino 8 do integrado **U4**. O Voltímetro deve indicar 0,0 V. Aumente a tensão de alimentação para 29 Volts e ajuste o trimpot **R12** até a tensão do pino 8 subir, até aproximadamente 28 Volts. Reduza a tensão da fonte de alimentação; a tensão do pino 8 do integrado **U4** deve

baixar novamente. Conecte o *gate* do SCR **Q6** novamente e aumente a tensão até 29 Volts. O circuito *crowbar* deve ser acionado, curto-circuitando a saída da fonte de alimentação. Um pequeno ajuste do trimpot **R12** pode ser necessário. Remova a alimentação e ligue o resistor **R9** para reduzir a tensão de alimentação abaixo do ponto de limite. Aplique energia e reajuste a tensão de saída em 28 Volts. (NT: HB 1995 a 2000)

Em seguida, curto-circuite os terminais de saída para verificar se a proteção contra curtos está funcionando. A tensão deve retornar aos 28 Volts, quando o curto-circuito for removido. Isto completa os testes e ajustes.

A fonte de alimentação mostrada nas fotos caiu cerca de 0,1 Volt entre sem carga e uma carga resistiva de 12 Ampères. Durante os testes no laboratório ARRL, esta fonte ficou em operação por quatro horas contínuas com carga resistiva de 12 Ampères em diversas ocasiões, sem qualquer dificuldade.

## Alteração dessa fonte para 13,8 Volts

Essa fonte foi projetada originalmente para 28 Volts. No entanto, esse mesmo circuito regulador poderá ser modificado para uma fonte de **13,8 Volts**. Os valores foram calculados por Euclides Chuma, PY2EAJ.

Para essa modificação para **13,8 Volts**, deverão ser alterados os seguintes componentes:

Transformador **T1** – o transformador deverá ter o secundário com **18 Volts**

Para melhor proteção contra RF, o integrado **U3** deverá ser de encapsulamento metálico (**LM723CH**)

Resistor de **6K2** (na saída de U2, LM317L) ► deverá ser alterado para **2K2**

Resistor de **240 Ohms** (entre o negativo e a saída de U2, LM317L) ► deverá ser substituído por um resistor de **120 Ohms**

Resistor **R8 (27 K)** ► deverá ser substituído por um resistor de **2K2**

Trimpot **R9 (5 K)** ► deverá ser substituído por um trimpot **multivolts** de **1K**

Resistor **R10 (10K)** ► deverá ser substituído por um resistor de **3K3**

## Lista de componentes

**T1** - transformador com entrada para a tensão de rede local e secundário para **33 Volts (para fontes de 13,8 Volts, secundário para 18 Volts)**, 15 Ampéres

**U1** – ponte retificadora para **50 Ampéres** – use dissipador

**U2** – circuito integrado **LM317L** (100 mA) ou **LM317** (1,5 Ampére) (leia o texto)

**U3** – circuito integrado **LM723** – se possível, utilize a versão metálica **LM723CH**, mas compare os pinos no *datasheet* (veja a figura no final do texto)

**U4** – circuito integrado **MC3423P** (apenas se for utilizar o módulo de proteção contra sobretensão – leia o texto)

**TR1 a TR5** – transistor **2N3055** (utilize isoladores de mica e dissipadores) – **OBS: o 2N3055 (115 Watts) pode ser substituído com grande vantagem pelos transistores 2N3771 (150 Watts), MJ802 (200 Watts) ou MJ15003 (250 Watts)**

**Não numerados no esquema:** dois diodos **1N4148**

### Capacitores:

**C1** - capacitor eletrolítico **22.000 µF, 50 Volts** (entre o ponto A (saída de tensão positiva da ponte retificadora) e o ponto negativo da placa)

**C2, C3** - capacitores cerâmicos ou poliéster **0,01 µF (10 n) X 1000 Volts** (entre os fios de entrada de tensão AC no primário do transformador e o terra)

**C4** - capacitor eletrolítico **100 µF, 50 Volts** (entre os pontos C e D na placa)

### Capacitores não numerados no esquema:

**1 µF, 50 Volts**, eletrolítico ou tântalo (entre o ponto B da placa e a entrada do LM317L)

**1 µF, 50 Volts**, eletrolítico ou tântalo (entre os pinos 11 e 12 do LM723 e o capacitor de 0,01 µF (10 n) ligado à saída do LM317L)

**0,01 µF (10 n)**, cerâmico (entre o capacitor de 1 µF, 50 Volts e a saída do LM317L)

**0,001 µF (1 n)**, cerâmico (entre o pino 9 do LM723 e o terra)

**0,001 µF (1 n)**, cerâmico (entre o pino 4 do LM723 e resistor R9 e o terra)

**0,001 µF (1 n)**, cerâmico (entre o pino 10 do LM723 e resistor R6 e o terra)

**470 pF**, cerâmico (entre os pinos 4 e 13 do LM723)

### **Resistores:**

**R1** - resistor de fio, **2 K 4, 5 watts** (entre o ponto A da placa e o terra do LM317L)

**R2, R3, R4 e R5** - resistores de fio, **0,1 Ohm, 5 watts** (nos emissores dos transistores de passagem)

**R6** - resistor de fio, **1 K 8 Ohms, 1 watt** -

**R7** - **0,067 Ohm** (deverá ser feito com três resistores de 0,1 Ohm 5 watts ligados em paralelo - vide texto) -

**R8** - **27 K** (vermelho - violeta - laranja) **(para fontes de 13,8 Volts, este resistor deverá ser substituído por um de 2K2 -vermelho - vermelho - vermelho)**

**R9** - trimpot multivoltas **5 K** **(para fontes de 13,8 Volts, este trimpot deverá ser substituído por outro trimpot multivoltas de 1 K)**

**R10** - **10 K** (marrom - preto - laranja) **(para fontes de 13,8 Volts, este resistor deverá ser substituído por um de 3K3 - laranja - laranja - vermelho)**

**R11, R12** - **120 Ohms** (marrom - vermelho - marrom)

**R13** - **27 K** (vermelho - violeta - laranja)

### **Resistores não numerados no esquema:**

**240 Ohms** (vermelho - amarelo - marrom) (entre o terra e a saída do LM317L) **(para fontes de 13,8 Volts, este resistor deverá ser substituído por um de 120 Ohms - marrom - vermelho - marrom)**

**6 K 2 Ohms** (azul - vermelho - vermelho) (entre o resistor de 240 Ohms e o terra do LM 317L e o terra da placa) **(para fontes de 13,8 Volts, este resistor deverá ser substituído por um de 2K2 -vermelho - vermelho - vermelho)**

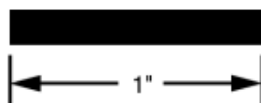
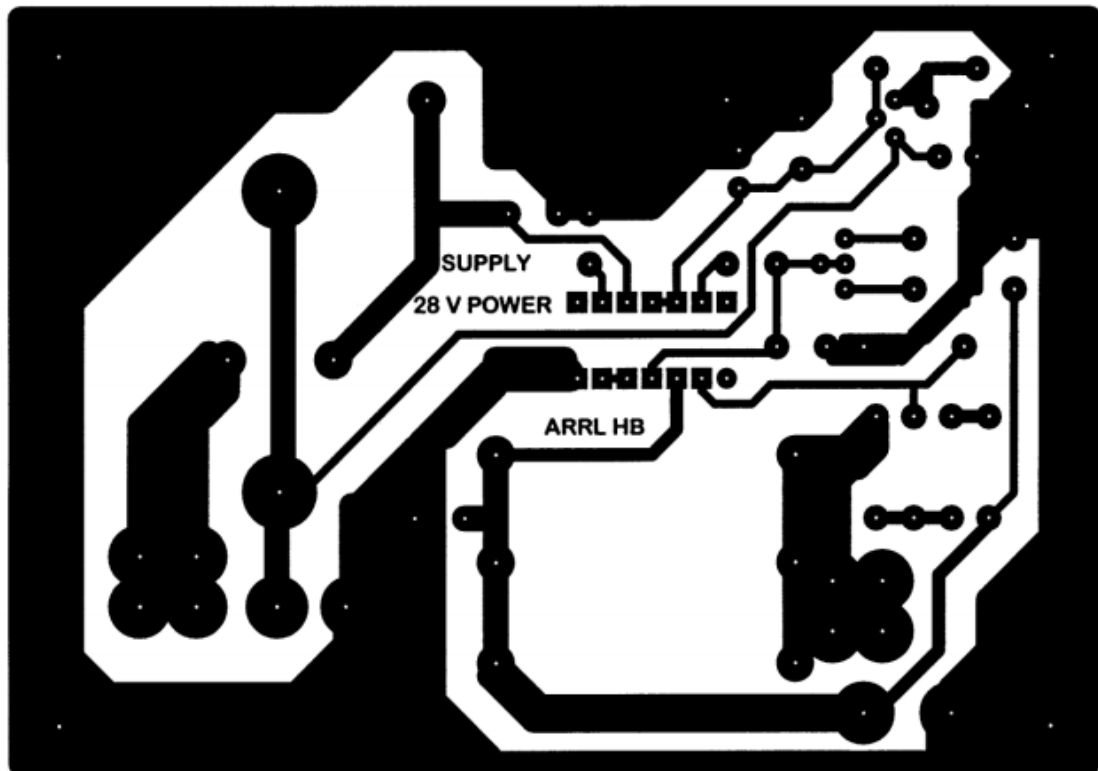
**Z1** - varistor MOV de **130 Volts** (entre os fios de entrada do primário do transformador)

**Diversos:** porta fusíveis, dissipadores para os transistores e para a ponte retificadora, isolantes de mica para os transistores, fio 3 mm (12 AWG) para as interligações da placa

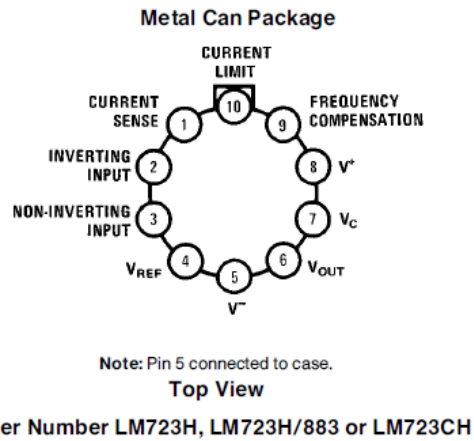
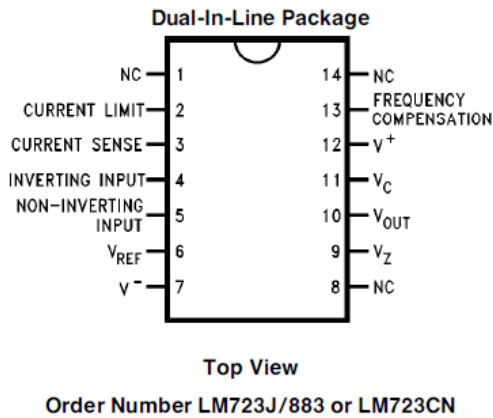
O *layout* de placa dessa fonte pode ser obtido em tamanho original no site da ARRL:

<http://www.arrl.org/notes/hbk-templates/28vsup.pdf>

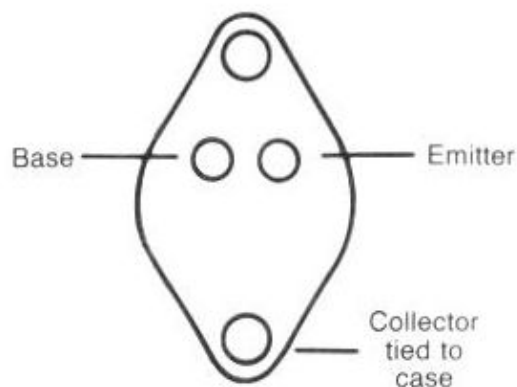
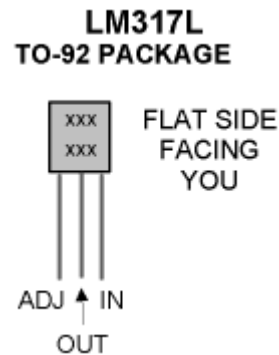
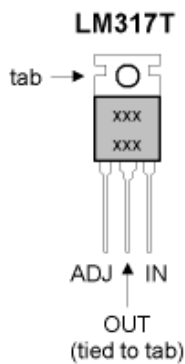
No entanto, aqui está o mesmo, **fora de escala**:



Caso você aproveite o *layout* deste artigo, fique atento à escala, utilizando a tarja de **uma polegada** como referência.



Pinagem dos integrados LM723, vistos **por cima**. Caso utilize o de encapsulamento metálico (melhor!), compare devidamente os terminais correspondentes.



*Pin Diagram of 2N3055 transistor*



1 = Anode, 2 = Cathode, 3 = Gate