

Todo equipamento de bancada tem sua utilidade, mas apenas um deles é absolutamente necessário: a fonte de alimentação, em alguma de suas versões. Na mais comum delas, costuma fornecer até 25...30 volts de saída, com uma corrente máxima de 1 ampère. Esses níveis, entretanto, assim como a própria qualidade da fonte, são insuficientes para aplicações mais refinadas. Pois este modelo de precisão é capaz de entregar até 35 V a 3A, incorporando tanto limitação de corrente como proteção contra curto-circuitos. Tensão e corrente de saída podem ser monitoradas constantemente pelos medidores incluídos no projeto.



Alta potência e controle perfeito com esta... ...fonte de precisão

Para testar qualquer circuito com exatidão e segurança, é preciso dispor de uma excelente fonte de alimentação. Não basta uma simples fonte estabilizada; ela deve incluir também alguma forma de proteção contra falhas que possam surgir no circuito sob teste — ou seja, um dispositivo limitador de corrente e que proteja contra curto-circuitos.

Para desempenhar devidamente suas funções, uma fonte deve exibir então os seguintes recursos:

- * Capacidade de entregar correntes relativamente elevadas com tensões iguais ou superiores a 24 V;
- * Estabilidade total, com qualquer condição de saída;

- * Proteção contra curtos no estágio final;
- * Controle limitador de corrente, até a máxima corrente de saída;
- * Controle da tensão de saída plenamente variável, de zero ao valor máximo;
- * Indicação precisa dos níveis de tensão e corrente na saída;
- * Entradas sensoras para compensar quedas de tensão, sempre que for preciso utilizar cabos de ligação mais extensos. Note que, embora os dois últimos itens não sejam absolutamente necessários, sua inclusão torna a fonte ainda mais versátil e fácil de utilizar.

A fonte de precisão aqui sugerida segue os mesmos

padrões estabelecidos para equipamentos profissionais e inclui todos os recursos descritos. Pode fornecer de 0 a 35 volts e dispõe de limitação de corrente continuamente variável, até 3 ampères. Seu desempenho equipara-se ao de fontes comerciais bem mais caras, embora resolva os problemas de estabilização com uma abordagem inédita.

Princípio de operação

A grande maioria das fontes de alimentação emprega a regulação do tipo série, pela qual os

transistores estabilizadores de potência ficam ligados efetivamente em série ou em paralelo com a carga. Este circuito segue a tendência, mas inova no processo de estabilização.

O diagrama de blocos da figura 1a ilustra o princípio de funcionamento de um regulador série convencional. O elemento ativo do circuito é formado pelo operacional A, cuja saída fornece a corrente de carga — ou seja, encontra-se em série com a carga R_L . Sua entrada não inversora é mantida em uma tensão de referência (U_{ref}), enquanto a inversora assume um nível sempre proporcional à tensão de entrada, obtido a partir do potenciômetro P.

Sob tais condições, a saída do operacional vai estabilizar no ponto em que a diferença entre as duas entradas for nula. Em outras palavras, ele irá manter uma condição de igualdade entre a tensão de referência e aquela presente no cursor do potenciômetro P. É óbvio, portanto, que a tensão de saída depende sempre da posição assumida por esse cursor.

Com o potenciômetro a meio curso, por exemplo, a saída terá o dobro da tensão de referência. As desvantagens desse sistema residem no fator de estabilidade, que depende do ajuste de P, no fato de a tensão de saída não poder assumir um valor inferior à de referência e na operação pouco linear do potenciômetro. A primeira e a última podem não representar um grande empecilho, em certos casos, mas ter a saída restrita a um valor mínimo imposto pela referência é amadorístico, para não dizer coisa pior.

O diagrama da figura 1b propõe outra solução. Nesse caso, o operacional atua como um amplificador de ganho e P torna-se um divisor de tensão, mas ligado em paralelo com a tensão de referência. A saída do amplificador será agora proporcional ao nível de tensão presente no cursor do potenciômetro. Em tal configuração, a gama de tensões de saída estará situada realmente entre 0 e a própria referência. Soa melhor, mas ainda continua longe do ideal, pois a tensão de referência deve ter, pelo menos, o mesmo valor da máxima tensão de saída. O operacional vai exigir,

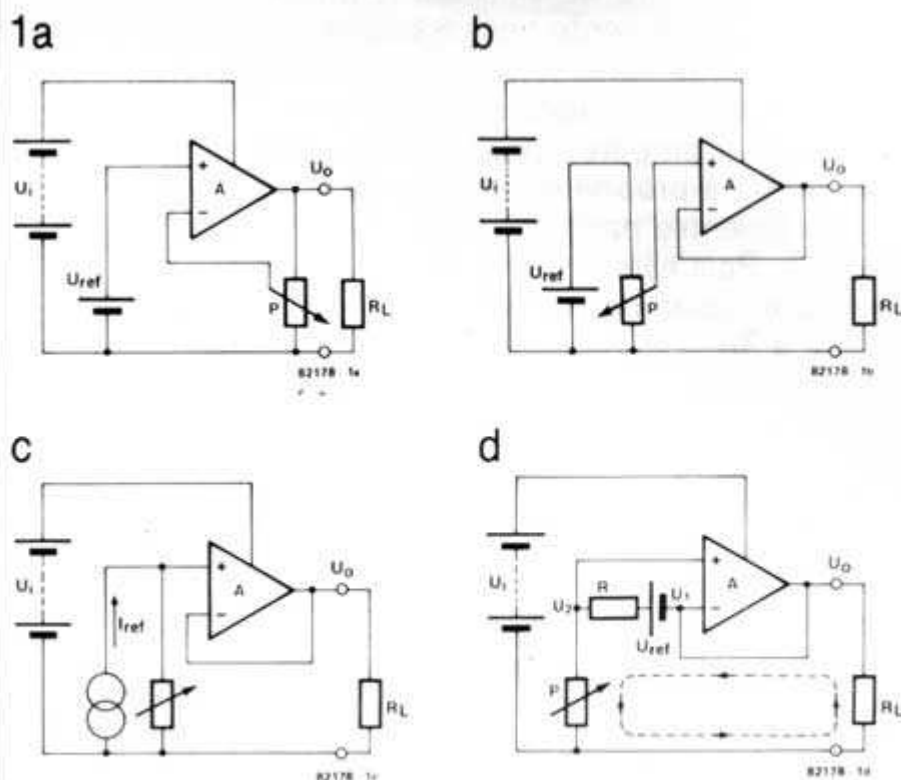


figura 1 — Estas ilustrações, juntamente com o texto, demonstram porque a utilização de uma fonte de corrente constante é preferível a uma tensão de referência.

além disso, uma linha de alimentação negativa, que pode ser considerada uma desvantagem adicional. E o fator de estabilidade, por fim, permanece dependente do potenciômetro P.

O circuito da figura 1c representa um grande avanço por substituir a tensão de referência, no que se refere ao operacional, por uma corrente. A tensão de saída é agora determinada pela corrente que atravessa o potenciômetro P. Como vantagem, ele deixa de depender do nível assumido pela tensão de referência.

Chegamos assim à figura 1d, que é bastante semelhante à anterior, em princípio. A corrente de referência, nesse caso, é obtida a partir da tensão de saída, por meio do resistor série R. Embora a idéia não seja inteiramente nova, o método aqui utilizado não foi dos mais ortodoxos.

Vimos que a fonte de corrente foi obtida pela inclusão de um resistor em série com uma tensão de referência proveniente da saída. Para que isso ocorra na prática, no

entanto, o valor do potenciômetro P deve ser bem inferior ao de R. O operacional continua tentando equilibrar a diferença entre os níveis de tensão aplicados às suas entradas, mas agora a tensão de saída será igual ao nível de sua entrada não inversora.

O resistor série é colocado, na verdade, entre as duas entradas do operacional. Devido porém à alta impedância das mesmas, nenhuma corrente pode ter acesso ao operacional — ao menos teoricamente. Assim, a corrente vinda da fonte de referência segue o trajeto indicado pela linha tracejada, no diagrama da figura 1d. Como $U_1 = U_2$ (igualdade garantida pelo operacional), o nível de corrente permanece constante, totalmente independente de P e da carga.

Esse nível de corrente equivale a U_{ref}/R . Como o operacional irá sempre equilibrar a tensão sobre P, a corrente de referência será compensada a cada variação da carga. E o resultado é exatamente o circuito que estávamos procurando: uma corrente

constante de referência (mesmo em 0 V), empregando uma tensão de referência e um resistor.

A fonte real

A principal diferença entre o diagrama de blocos da fonte de precisão, representado na figura 2, e o da figura 1d reside na inclusão de mais um operacional e de um transistor série. Já as partes referentes à fonte de corrente (U_{ref} e R) e ao potenciômetro (P1), continuam inalteradas.

O segundo operacional (A2) é responsável pela limitação da corrente na saída. Repare que a tensão sobre o resistor de emissor R_s , pertencente ao transistor T, é proporcional à corrente de carga. Ao mesmo tempo, uma parcela da tensão de referência é desviada pelo cursor de P2, para ser comparada por A2 com o nível presente em R_s . Toda vez que a tensão sobre esse resistor torna-se mais elevada que a estabelecida por P2, o operacional reage diminuindo a corrente de base do transistor, até que a diferença seja anulada. O LED na saída de A2 atua como um limitador de corrente.

Agora, ao esquema

Bem, já basta de teoria; vamos encarar a parte prática, começando pelo esquema da figura 3. O circuito, como se vê, é formado praticamente por duas fontes independentes: a etapa de potência ficou a cargo do transformador Tr2, enquanto que Tr1 alimenta o estágio de referência e os operacionais.

A referência foi obtida a partir do inevitável integrado 723, ainda atual apesar de sua idade. Seus componentes de apoio foram selecionados para fornecer uma tensão de referência de 7,15 V, a qual vai surgir na junção formada por R4/R5, R15/R16 e R9. Para facilitar a análise, convém esclarecer desde já que R4/R5 correspondem a "R" e IC2 ao A2, no diagrama teórico da figura 2.

Essa tensão de referência vai alcançar a entrada não inversora de IC2 (pino 3), ao passo que a inversora fica acoplada à linha de terra, via R8. Os diodos D2 e D3

2

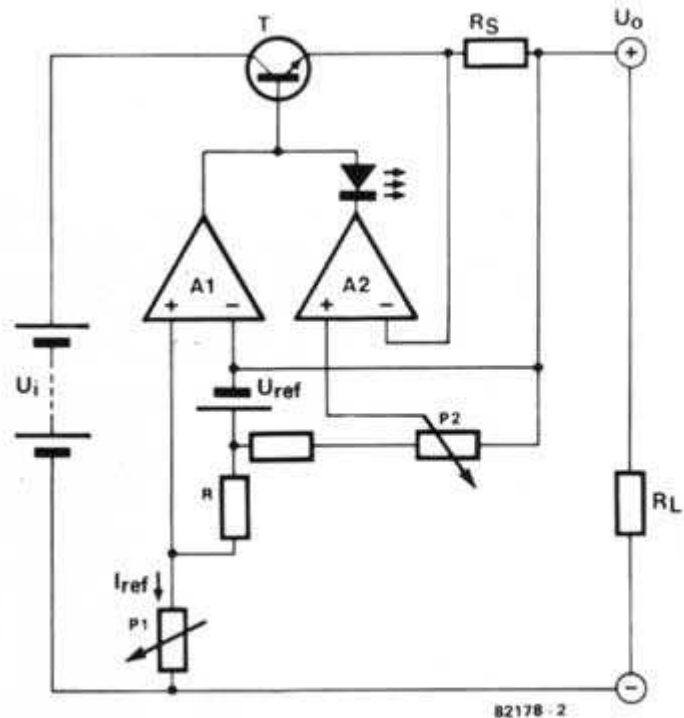


figura 2 — Diagrama de blocos básico referente à fonte de precisão. O operacional A1 proporciona a regulação de tensão, enquanto A2 cuida da limitação de corrente.

foram incluídos para proteger as entradas do operacional contra transientes. A saída de IC2 controla todo o estágio final da fonte (composto pelos transistores T3...T5), fazendo a "dosagem" da corrente de base em T2.

Falando dos transistores finais, eles estão ligados em paralelo e suas saídas são combinadas através dos resistores de emissor, para fornecer a corrente necessária, via resistor R21 — que é o equivalente prático de R_s , na figura 2. A adoção de três 2N3055 nessa configuração proporcionou um estágio de potência razoavelmente econômico, capaz de manipular até 3 ampères confortavelmente.

A tensão sobre R21 é comparada, em IC3, com o nível estabelecido pelo cursor de P2; este provém da fonte de referência, por intermédio do par R15/R16. Note que a saída de IC3, assim como a de IC2, fica ligada (via D5) com a base de T2. Sempre que a corrente de saída for superior à determinada por P2, aquela será reduzida por IC3, até

que os dois níveis sejam iguais. O transistor T1 e os componentes associados acendem o LED D7 para indicar o acionamento da limitação de corrente.

Dois microamperímetros iguais foram incluídos no circuito, a fim de permitir a monitoração direta da tensão e da corrente de saída. Ambos contam com um trimpot de ajuste, colocado em série, para a calibração fina da leitura. Uma vez encontrado o valor exato de resistência, os dois podem ser substituídos por resistores fixos.

Quanto ao capacitor C3, no estágio da tensão de referência (IC1), assume duas funções: reduz qualquer ruído provocado pelo zener interno do 723 e proporciona uma "partida lenta" para a fonte da tensão de referência. Isto quer dizer que quando a fonte é ligada, os operacionais têm algum tempo para estabilizar, antes que sejam solicitados ao trabalho. Caso essa partida lenta não fosse incluída no projeto, o máximo nível de tensão poderia surgir repentinamente na saída — por breves instantes, é

verdade, mas mesmo assim potencialmente devastador.

Os diodos D1...D8, posicionados em pontos estratégicos do circuito, estão presentes para protegê-lo contra a possibilidade de conexão acidental de tensões externas aos terminais de saída, quando ele é delisgado. É o que pode facilmente ocorrer, por exemplo, quando se trabalha com circuitos contendo alimentação de reserva por baterias.

Os componentes R7 e C6 melhoram a reação do circuito na troca de níveis de tensão na saída, enquanto C7 e C8 eliminam a possibilidade de oscilação dos operacionais. Para uma operação mais estável da fonte, por fim, é preciso dispor de uma mínima resistência de carga; isto foi previsto com a inclusão de R22.

Você já deve ter notado também que existem mais terminais de saída que o normal em fontes de alimentação. É que os dois terminais adicionais, $+U_s$ e $-U_s$, são entradas e não saídas, também conhecidas como "entradas sensoras". São utilizadas na compensação das quedas de tensão, quando se trabalha com longos cabos de conexão entre a fonte e sua carga.

A figura 4 ilustra um caso prático de utilização. Dois fios adicionais são conectados, estendendo-se entre a carga e as entradas sensoras; como resultado, a tensão de alimentação pode ser realmente medida na carga e não nos terminais de saída da fonte. Ficam compensadas assim quaisquer quedas provocadas pela resistência dos cabos principais.

De fato, deve-se ter em mente que se a resistência total desses cabos for de 1 ohm, por exemplo, a queda de tensão será de 1 volt com uma corrente de carga de 1 ampère. Em uso normal, pode-se deixar em curto os terminais $+U/+U_s$ e $-U/-U_s$.

Montagem

Como dissemos, a máxima corrente entregue pelo circuito é de 3 A a 35 V, mas nada impede, em princípio, que outros valores sejam obtidos. Não se deve esquecer, porém, que qualquer alteração nesse sentido deve ser

4

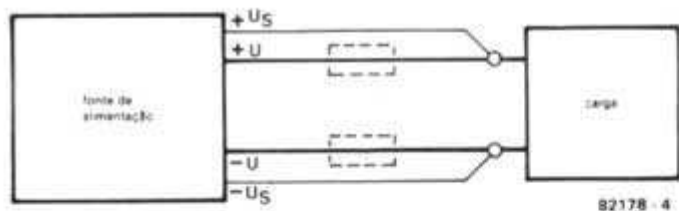


figura 4 — As duas entradas sensoras são utilizadas da maneira aqui ilustrada, para permitir que o circuito compense as eventuais quedas de tensão provocadas pelo uso de cabos longos.

5

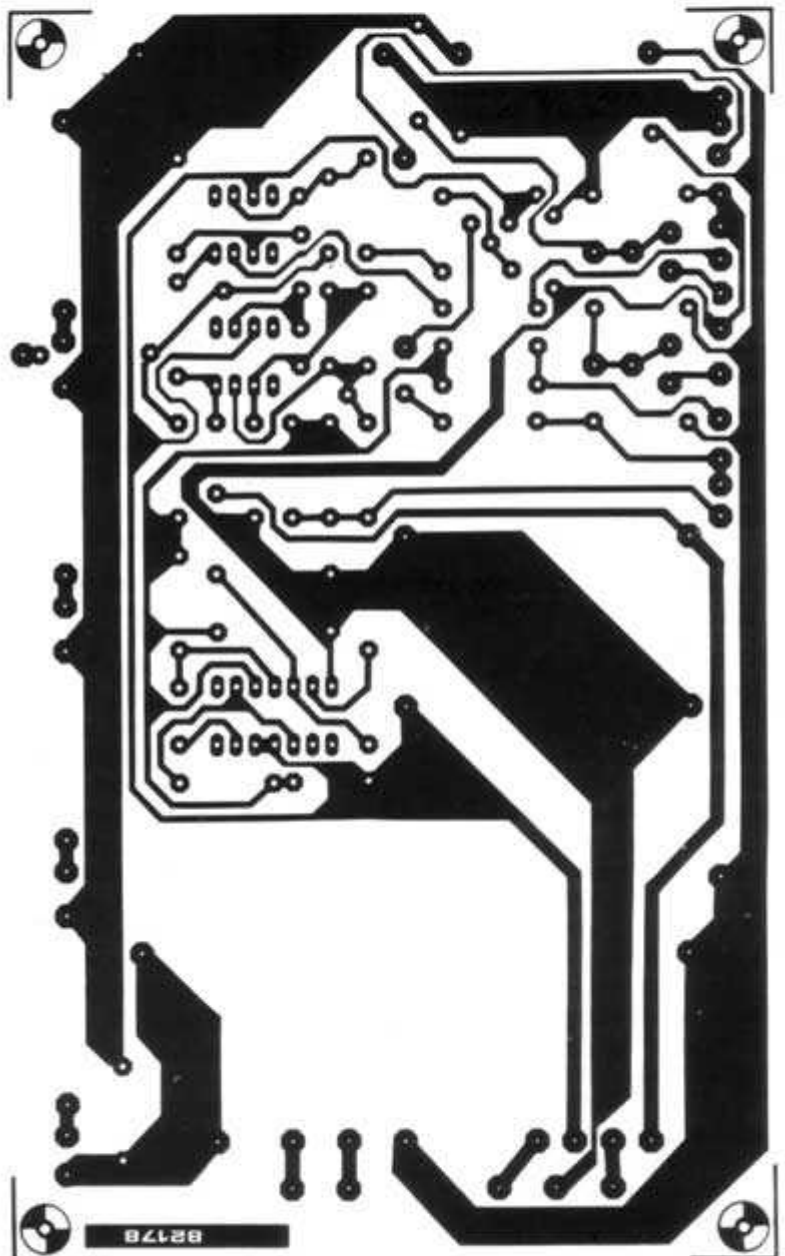


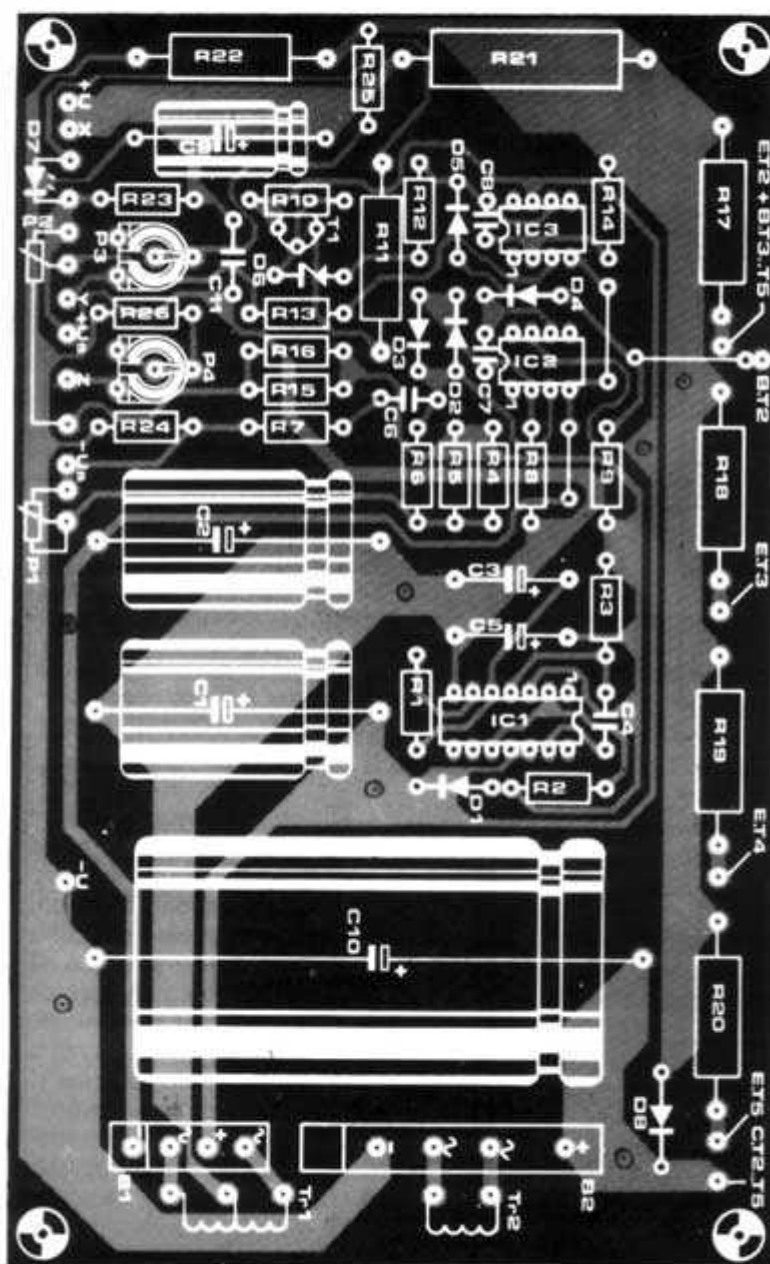
figura 5 — Traçado do cobre e disposição dos componentes relativos à placa impressa da fonte de precisão.

acompanhada por mudanças adequadas nos valores de C9 e C10. O fator restritivo, nesses casos, consiste na máxima tensão coletor/emissor dos transistores T2...T5 — a qual, no caso do 2N3055, é de 60 V. Outro parâmetro decisivo será, obviamente, a capacidade de corrente projetada para o transformador de potência. Lembre-se que a saída máxima da fonte é sempre $1/\sqrt{2}$ inferior à corrente fornecida pelo secundário, o que explica um transformador de

4 A para uma saída final de apenas 3 A.

Foram adotados três transistores de potência em paralelo porque cada 2N3055 não pode dissipar mais que 50 W, isoladamente. Levou-se em conta, aqui, que com uma tensão nula na saída a máxima dissipação corresponde ao maior nível da tensão retificada, multiplicado pela corrente máxima. Em tais condições, apenas um 2N3055 seria suficiente, considerando-se uma saída de 1 A a 35 V.

O circuito pode aceitar mais um transistor de potência, sem modificação alguma no circuito, desde que o resistor de emissor seja adequadamente calculado. De qualquer modo, cada um deles pede um dissipador de 2°C/W (que pode ser substituído por outro de 1°C/W para cada par de transistores). Note que o capacitor C12 vai acoplado diretamente aos terminais de saída, conforme ilustra o mapa de conexões da fonte (figura 6).



Lista de componentes

Resistores
R1, R3, R6, R8, R12, R13, R14- 4,7 k
R2- 22
R4, 416- veja texto
R5- 10 k
R7, R10- 1 k
R9- 2,2 k
R11- 470/ 1 W
R15- 15 k
R17- 10/1 W
R18, R19, R20- 0,22/3 W
R22- 4,7k/1 W
R22, R23- 47
R25- 5,6 k
R26- 270 k
P1- pot. 50 k
P2- pot. 1 k
P3- trimpot de 2,5 k
P4- trimpot de 250 k
Todos os valores em ohms

Capacitores
C1, C2- 100 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ 1000 μF
C3- 100 $\mu\text{F}/10\text{ V}$
C4- 100 pF
C5- 10 $\mu\text{F}/25\text{ V}$
C6- 1 nF
C7- 100 pF
C8- 56 pF
C9- 47 $\mu\text{F}/63\text{ V}$
C10- 4700 $\mu\text{F}/63\text{ V}$ \rightarrow aumentar 10.000 μF ou mais
C11- 820 nF
C12- 100 nF

Semicondutores
B1- 4 diodos ou ponte 40 V/1 A
B2- 4 diodos ou ponte 80 V/5 A
D1, D8- 1N4001
D2...D5- 1N4148
D6- zener de 3,3 V/400 mW
D7- LED vermelho
T1- BC559C
T2- BD241
T3, T4, T5- 2N3055
IC1- 723
IC2, IC3- 741

Diversos
S1- chave de dois pólos
M1, M2- medidores de 100 μA
Tr1- trafo 2x12 V, 400 mA
Tr2- trafo 33 V/4 A \rightarrow 5 A
F- fusível de 1 A
Placa nº 82178
Bornes de entrada e saída (4)

(*) (para de força dissipador)

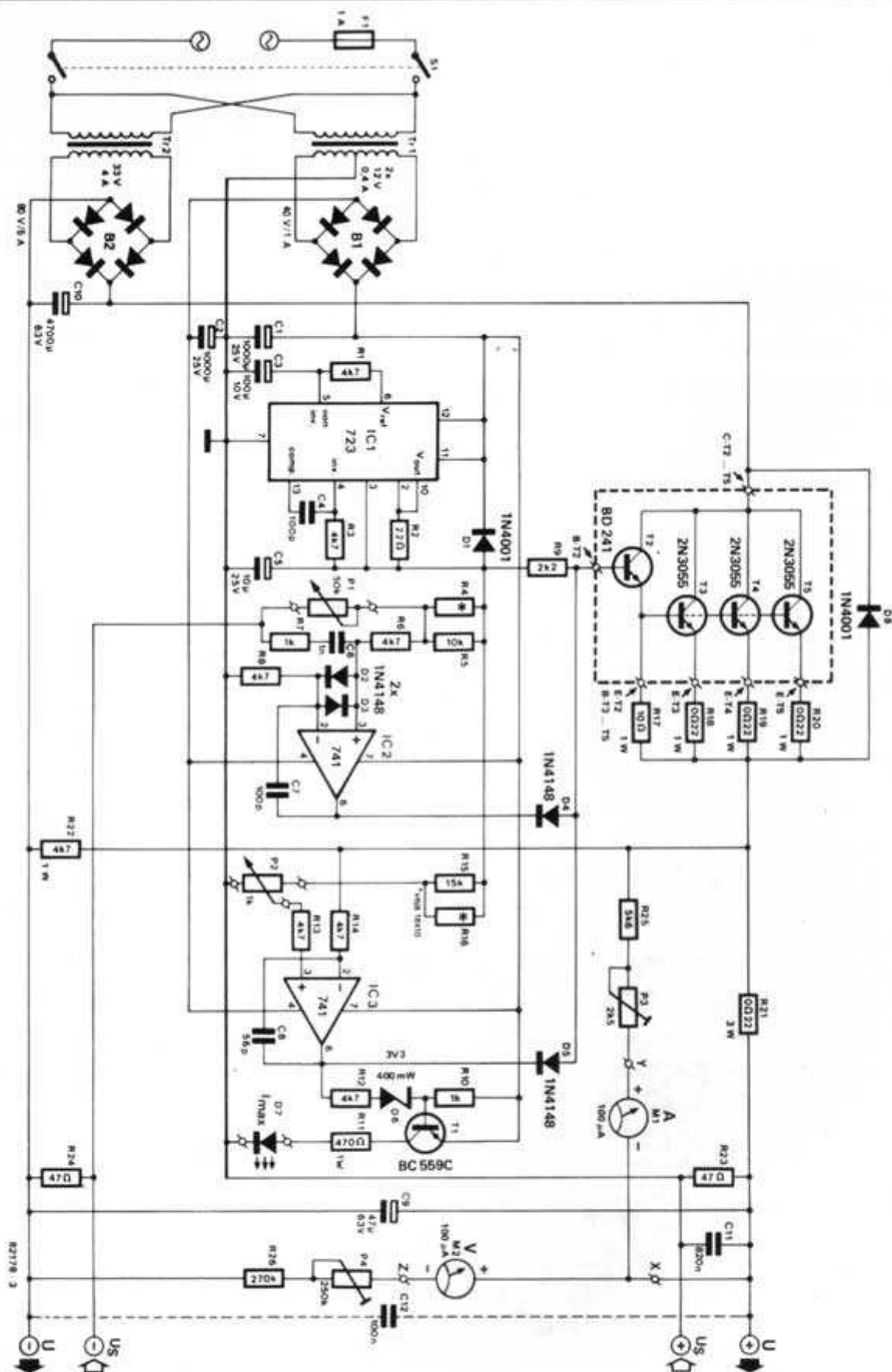


figura 3 — Esquema completo da fonte de alimentação. Os resistores R4/R5 correspondem ao R da fig. 2, ao passo que IC2 corresponde a A1, IC3 a A2 e R21 a Rs.

Dos dois transformadores, Tr1 se encarrega da corrente de referência e Tr2, de alimentar o estágio final.

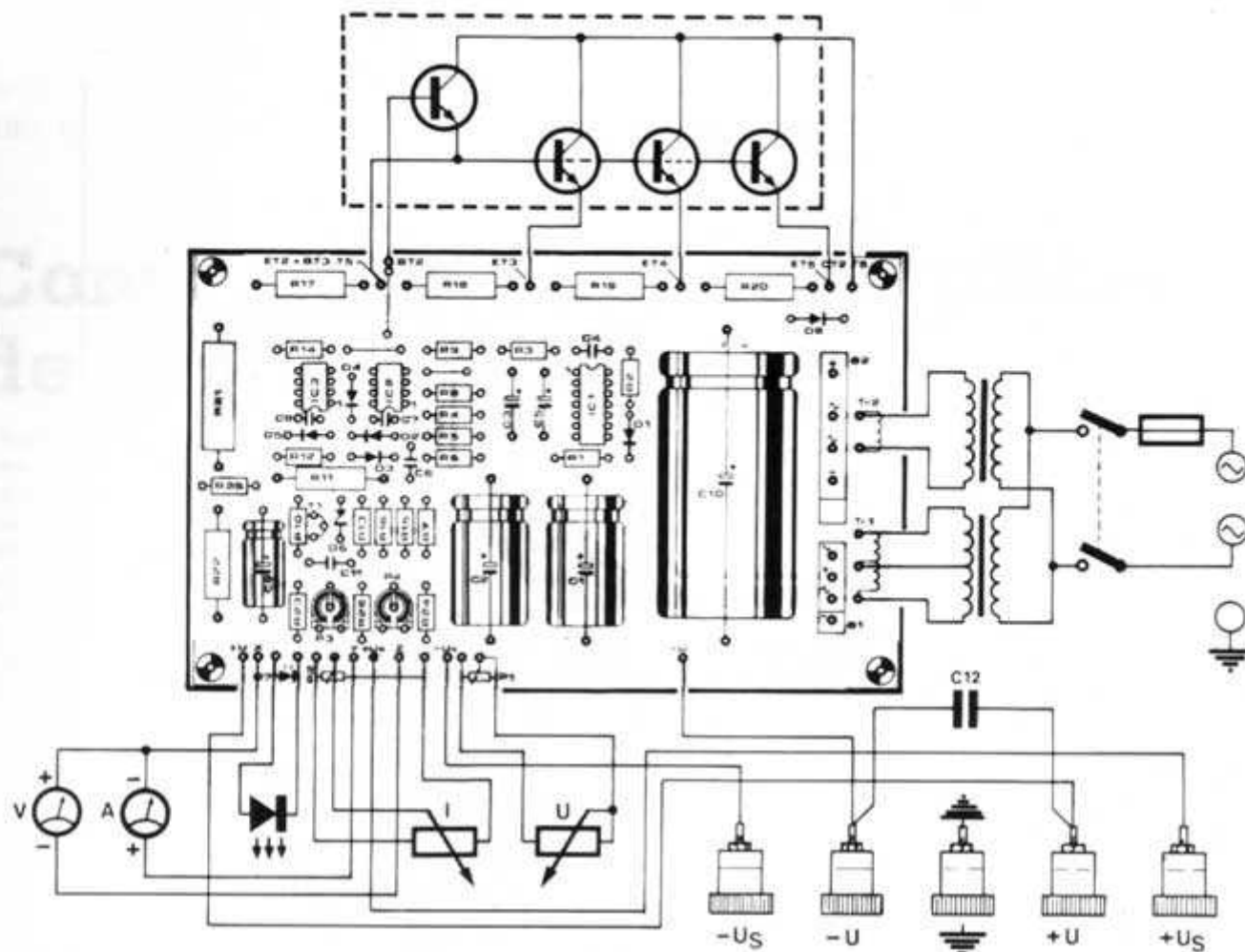


figura 6 — Diagrama de fiação da fonte, mostrando as conexões entre a placa e os demais componentes.

Deixe a montagem dos resistores R4 e R16 para o fim, já que seus valores vão depender da tensão e da corrente máximas de saída. Por esse mesmo motivo, não é conveniente instalar a placa impressa no gabinete antes de completar os testes e a calibração do circuito.

Para isso, comece posicionando P1 no máximo, para depois ligar a fonte e acoplar um multímetro à saída da mesma. Determine então o valor de R4 por tentativa e erro, para ter a máxima tensão de saída; basta ligar diferentes resistores em paralelo com R5. Uma vez encontrado o valor correto, o resistor poderá ser soldado no local reservado na placa. Em seguida, repita o processo com P2 e R16 (em paralelo com R15), até



alcançar o valor desejado de corrente.

Falta apenas calibrar os medidores, para terminar, que é feito através de P3 e P4. Também é possível montar a fonte com um só microamperímetro, por medida de economia; é só ligar uma chave de 2 pólos/2 posições aos pontos x, y e z, para efetuar a comutação entre volts e ampères.

7

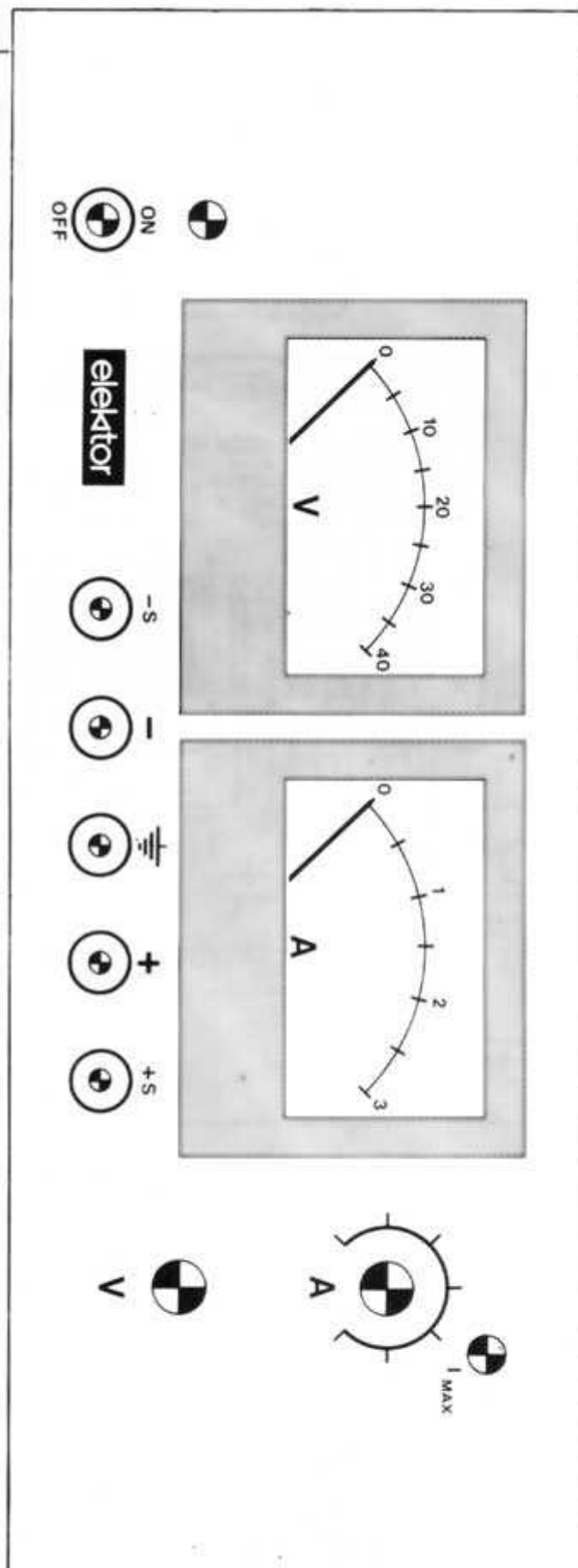


figura 7 — Sugestão para o painel da fonte, aqui representado em escala reduzida; as dimensões reais são 30 por 11 cm.

10. Proteção embutida para fontes

As fontes de alimentação com altas correntes de saída, e particularmente aquelas com tensão ajustável, impõem severos castigos ao transistor-série final, sob a forma de níveis elevados de dissipação. Isto pode ser "aliviado" através de um pequeno circuito adicional, que permitirá reduzir consideravelmente as dimensões do dissipador destinado a esse transistor — podendo ser até substituído pelo painel traseiro da fonte em questão.

Além disso, nos casos em que são usados dois ou três transistores finais em paralelo pode-se voltar a usar apenas um. Em suma, o custo extra representado por este circuito poderá ser "amortizado" pela economia com os dissipadores, as próprias dimensões da caixa e o número de transistores empregados na saída.

Como se vê pela figura, o estágio adicional vai ligado entre o

lado positivo do retificador em ponte e o transistor-série final. Ele possui, de fato, duas saídas: uma delas fica acoplada diretamente ao coletor daquele transistor (no caso, um NPN) e a outra, ao regulador original da fonte. Veja ainda que a tensão de saída, entregue pelo emissor do transistor final, também é realimentada para o estágio adicional.

O operacional 741 atua comparando a tensão no emissor do transistor final, que é aplicada à sua entrada não inversora, com a tensão presente no coletor do mesmo. O zener ali incluído encarrega-se de manter o nível da entrada inversora 5,6 V mais baixo que a do coletor. A saída do operacional, portanto, dispara o tiristor toda vez que a tensão coletor-emissor do transistor de saída cair abaixo de 5,6 V — ocasião em que o capacitor de filtragem de 4700 μF é ligeiramente recarregado.

O circuito regulador da fonte é alimentado separadamente, por meio de um diodo e de seu próprio capacitor filtrante, de forma a permanecer sempre energizado e independente da alimentação pulsada principal. Quando ao 741, é alimentado através de um

simples estabilizador de tensão, que o protege contra excessos da alimentação.

Da maneira como está sugerido aqui, o estágio adicional pode ser incluído em praticamente qualquer fonte capaz de fornecer uma saída de 25 V, no máximo. Como o capacitor de filtro deve ter 2200 μF por ampère de saída, conclui-se que o valor dado (4700 μF) refere-se a uma fonte de 2 A. A corrente nominal do tiristor precisa ser pelo menos três vezes superior que essa corrente máxima de saída.

Para fontes com tensão fixa de saída, pode-se reduzir ainda mais a tensão coletor/emissor. Esse fator é determinado pelo diodo zener, cujo menor valor prático é de 3,3 V. Para maior segurança, é recomendável incluir mais um resistor de 470 ohms em série com o transistor de potência. Caso o circuito comece a "falhar" com tensões de saída inferiores a 3 V, pode-se remediar trocando o 741 por um 3140.

