

**Qualquer tipo de equipamento de teste é útil mas apenas um é absolutamente necessário: uma fonte de alimentação. Esta assegura, geralmente, uma tensão de saída até 25 ou 30 V e cerca de 1 A, o que é óptimo para a maioria dos casos. Contudo, este nível de corrente pode tornar-se limitativo aquando do teste de computadores, amplificadores de áudio e outro equipamento de potência elevada. É também essencial que alguma forma de protecção, tal como limitação de corrente, seja incluída no projecto do circuito. A fonte de alimentação de precisão deste artigo é capaz de fornecer até 3 A a 35 V incorporando limitação de corrente e protecção contra curtos-circuitos. Incluem-se um voltímetro e um amperímetro de modo a permitir a monitorização dos níveis de saída de tensão e corrente.**

mentação estabilizada, devendo também incluir algum esquema de protecção contra falhas oriundas do circuito em teste. Isto traduz-se geralmente numa limitação de corrente e numa protecção contra curtos-circuitos. Com o objectivo de desempenhar o seu papel correctamente, uma fonte de alimentação deverá apresentar as seguintes características:

- ser capaz de assegurar níveis de corrente bastante altos a tensões de 24 V ou superiores;
- deverá ser completamente estável para todas as condições de saída;
- a saída deverá possuir um esquema de protecção contra curtos-circuitos;
- presença de um controlo de limitação de corrente até ao valor máximo da corrente de saída;
- indicação precisa dos níveis de saída de tensão e corrente;
- entradas com sensor, de modo a permitir compensação em caso de quedas de tensão

# fonte de alimentação de alta precisão



controlo  
eficiente  
conjugado  
com alta  
potência

Se necessitar que um certo circuito seja testado de uma forma precisa e segura, deverá fazer uso de uma boa fonte de alimentação. Não é apenas necessário que seja uma ali-

quando se empregam cabos compridos. Embora os dois últimos pontos não sejam estritamente necessários, a sua inclusão torna a fonte de alimentação mais versátil e mais fácil de utilizar. A fonte de alimentação de precisão aqui descrita está de acordo com os equipamentos comerciais normalizados incluindo todas as especificações referidas acima. Possui uma gama de tensões de saída variável de 0 V a 35 V e uma limitação de corrente variável,

continuamente até 3 A. A performance equi-para-se à de fontes de alimentação comerciais bastante caras, resolvendo os problemas de estabilização através de um esquema revolucionário.

### Os princípios

A grande maioria das fontes de alimentação utiliza regulação em série ou em paralelo. Isto significa que os transistores de potência estabilizadores são ligados (efectivamente) em série ou em paralelo com a carga. Neste caso, utiliza-se uma regulação série como se faz, aliás, na maior parte dos projectos. A originalidade do projecto do circuito é o método utilizado na estabilização.

O diagrama de blocos na figura 1a ilustra o princípio de um regulador série convencional. O elemento activo do circuito é o ampop *A*, sendo a sua saída a fonte de corrente de carga, ou seja, em série com a carga  $R_L$ . A entrada não inversora do ampop é mantida a uma tensão de referência.  $U_{ref}$ . A entrada inversora do ampop está a um nível de tensão que é uma fracção da tensão de entrada — derivada a partir do potenciómetro *P*. Sob estas condições, a saída do ampop estabilizará no ponto onde a diferença de tensão entre as entradas for zero. Ou seja, o ampop permanecerá numa situação em que a tensão de referência e a tensão no cursor do potenciómetro *P* são iguais. Torna-se óbvio então que a

tensão de referência deverá ser pelo menos tão alta quanto a tensão máxima pretendida, situação esta não ideal. Por fim, o factor de estabilidade é ainda uma questão de potenciómetro (*P*).

A figura 1c encontra-se mais perto de eliminar os problemas, substituindo a tensão de referência, no que diz respeito ao ampop, por uma corrente de referência. A tensão de saída é agora definida pela corrente que passa por *P*. A vantagem é o facto de que o circuito deixa de depender do nível da tensão de referência.

Chegamos agora à figura 1d, a qual, em princípio, é bastante idêntica à 1c. A corrente de referência neste caso é retirada da tensão de saída através de uma resistência em série, *R*. A ideia não é inteiramente original, mas o método aqui utilizado é pouco ortodoxo.

Como mencionado previamente, consegue-se uma fonte de corrente colocando uma resistência em série com uma tensão de referência retirada da saída. Contudo, para que isto aconteça na prática, o valor do potenciómetro *P* terá de ser bastante inferior ao valor de *R*. O ampop tentará ainda contrabalançar a diferença entre os níveis de tensão nas suas entradas mas, agora, a tensão de saída será igual ao nível na sua entrada não inversora.

A resistência em série é efectivamente ligada entre as duas entradas do ampop. Contudo, devido à alta impedância das entradas, pelo

fonte de alimentação de alta precisão  
elektor Junho 1986

### Lista de componentes

Resistências:

$R_{11}, R_{13}, R_6, R_8, R_{12}, R_{13}, R_{14} = 4k7$   
 $R_2 = 22 \Omega$   
 $R_4, R_{16} = \text{ver texto}$   
 $R_5 = 10 k$   
 $R_7, R_{10} = 1 k$   
 $R_9 = 2k2$   
 $R_{11} = 470 \Omega/1 W$   
 $R_{15} = 15 k$   
 $R_{17} = 10 \Omega/1 W$   
 $R_{18}, R_{19}, R_{20}, R_{21} = 0,22 \Omega/3 W$   
 $R_{22} = 4k7/1 W$   
 $R_{23}, R_{24} = 47 \Omega$   
 $R_{25} = 5k6$   
 $R_{26} = 270 k$   
 $P_1 = \text{potenciómetro de } 50 k$   
 $P_2 = \text{potenciómetro } 1 k$   
 $P_3 = \text{resistência ajustável de } 2k5$   
 $P_4 = \text{resistência ajustável de } 250 k$

Condensadores:

$C_1, C_2 = 100 \mu/25 V$   
 $C_3 = 100 \mu/10 V$   
 $C_4 = 100 p$   
 $C_5 = 10 \mu/25 V$   
 $C_6 = 1 n$   
 $C_7 = 100 p$   
 $C_8 = 56 p$   
 $C_9 = 47 \mu/63 V$   
 $C_{10} = 4700 \mu/63 V$   
 $C_{11} = 820 n$   
 $C_{12} = 100 n$

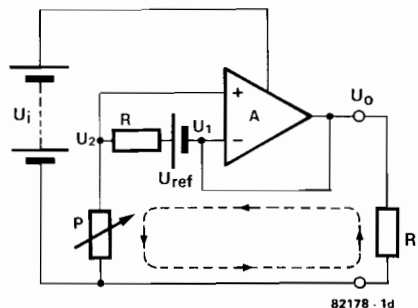
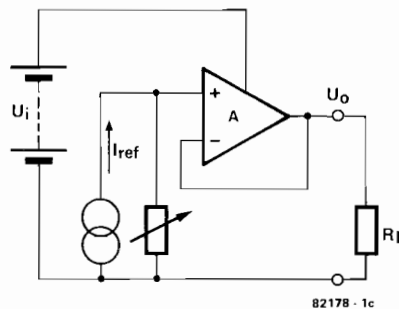
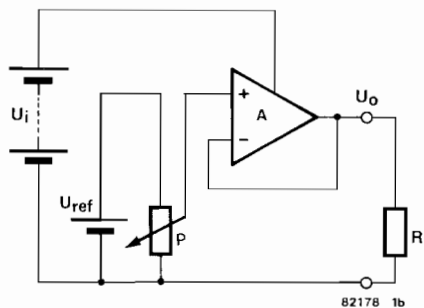
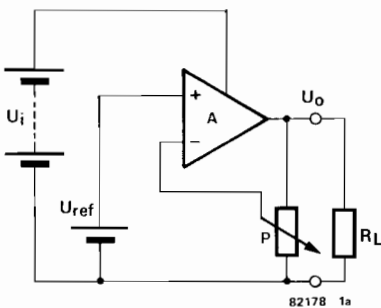
Semicondutores:

$B_1 = \text{ponte rectificadora B40C1000}$   
 $B_2 = \text{ponte rectificadora B80C5000/3300}$   
 $D_1, D_8 = 1N4001$   
 $D_2, \dots, D_5 = 1N4148$   
 $D_6 = \text{zener } 3V3/400 mW$   
 $D_7 = \text{LED vermelho}$   
 $T_1 = BC559C$   
 $T_2 = BD241$   
 $T_3, T_4, T_5 = 2N3055$   
 $IC_1 = 723$   
 $IC_2, IC_3 = 741$

Diversos:

$S_1 = \text{interruptor de sector, duplo}$   
 $M_1, M_2 = \text{indicador de } 100 \mu A$   
 $Tr_1 = \text{transformador de alimentação de } 2 \times 12 V / 400 mA$   
 $Tr_2 = \text{transformador de alimentação de } 33 V/4 A$   
 $F = \text{fusível de } 1 A$

1



tensão de saída é dependente da posição de *P*. Com o potenciómetro na posição intermédia, a saída será o dobro da tensão de referência. As desvantagens deste sistema são: o factor de estabilidade é dependente do ajuste do potenciómetro *P*, a saída nunca poderá ser inferior à tensão de referência; a operação de *P* não será linear. Dois destes aspectos podem não ser significativos em alguns casos. No entanto, um valor mínimo na saída que se encontra restringido pela tensão de referência será incomodativo, para não dizer mais!

O diagrama de blocos da figura 1b indica outra solução. Neste caso, o ampop é utilizado como amplificador de ganho unitário e *P* passa a ser um divisor de tensão ligado aos terminais da tensão de referência. A saída do ampop será agora proporcional ao nível de tensão no cursor de *P*. Nesta configuração, a gama de saída situar-se-á entre 0 e a tensão de referência. Isto já soa melhor, encontrando-se, no entanto, ainda longe do ideal. O ampop precisará de uma linha de alimentação de tensão negativa, uma desvantagem a incluir. A

Figura 1. Os esquemas aqui apresentados, em conjugação com o texto, ilustram as vantagens do uso de uma fonte de referência de corrente constante em vez de uma de tensão constante.

menos teoricamente, nenhuma corrente poderá entrar no ampop. Com efeito, a corrente retirada da fonte de referência segue o percurso indicado a tracejado no diagrama de blocos. Uma vez que  $U_1 = U_2$  (assegurado pelo ampop), o nível de corrente permanece constante, totalmente independente de  $P$  e da carga. O nível de corrente é igual a  $U_{ref}/U$ . O ampop contrabalançará a tensão aos terminais de  $P$ , e, ao fazê-lo, a corrente de referên-

cia é compensada por qualquer alteração na carga. O resultado de tudo isto reside no facto de o circuito se assemelhar àquilo que procuramos: uma corrente de referência constante (mesmo a 0 V), utilizando uma fonte de tensão de referência e uma resistência.

**A fonte de alimentação de precisão**

A diferença principal entre o diagrama de blocos da fonte de alimentação de alta precisão da figura 2 e o da figura 1d é o facto de que são incluídos dois ampops e um transistor de potência em série. A fonte de corrente ( $U_{ref}$  e  $R$ ) e o potenciômetro  $R_1$  são bastante idênticos.

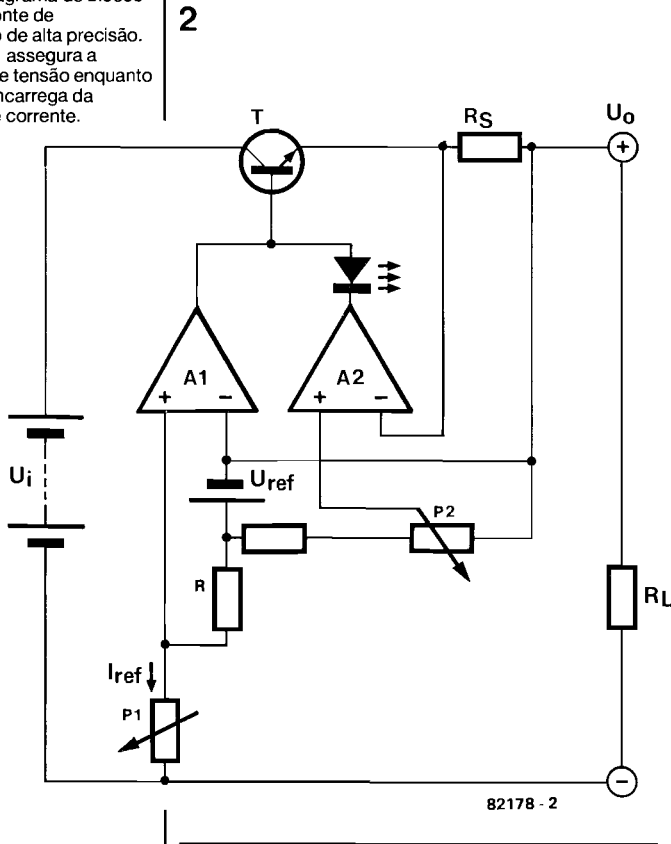
O segundo ampop,  $A_2$ , é responsável pela limitação da corrente de saída. A tensão aos terminais da resistência de emissor  $R_s$  do transistor  $T$  é proporcional à corrente de saída. No cursor de  $P_2$  temos uma fracção da tensão de referência, sendo esta comparada com a tensão aos terminais de  $R_s$  através do ampop  $A_2$ . Quando a tensão aos terminais de  $R_s$  se tornar superior à definida por  $P_2$ , o ampop reduz a corrente de excitação de base para  $T$  até que a diferença seja zero. O LED na saída de  $A_2$  funciona como limitador de corrente.

**Diagrama do circuito**

Vamos passar agora da teoria para a prática. O circuito da fonte de alimentação, indicado na figura 3, apresenta duas fontes independentes (se isso faz sentido). A alimentação do andar de saída é assegurada pelo transformador  $Tr_2$ , o qual terá de ser bem robusto. O transformador  $Tr_1$  fornece a alimentação para a tensão de referência e para os ampops. A tensão de referência é obtida com a ajuda do inevitável 723 (o integrado mais velho do mundo?). Os componentes conjugados com este CI foram escolhidos de modo a obter uma tensão de referência de 7,15 V. Esta tensão está presente na junção de  $R_1/R_5$ ,  $R_{15}/R_{16}$  e  $R_9$ . Para facilitar a compreensão, deve referir-se que  $R_4/R_5$  representam  $R$  e  $IC_2$  corresponde a  $A_1$  no diagrama teórico da figura 2. A tensão de referência chega eventualmente à entrada não inversora de  $IC_2$  (pino 3), enquanto que a entrada inversora está ligada à massa através de  $R_8$ . Os díodos  $D_2$  e  $D_3$  estão incluídos de modo a proteger as entradas do ampop contra tensões transitórias. A saída de  $IC_2$  controla o andar de potência de saída, constituído pelos transístores  $T_3$ ,  $T_4$  e  $T_5$ , assegurando a corrente de excitação da base do transistor  $T_2$ .

Uma palavra acerca dos transístores  $T_3...T_5$ . Estes encontram-se ligados em paralelo e as suas saídas estão combinadas através das resistências de emissor para assegurar a saída da fonte de alimentação através de  $R_{21}$ . Esta resistência é a contrapartida de ordem prática

Figura 2. Diagrama de blocos básico da fonte de alimentação de alta precisão. O ampop  $A_1$  assegura a regulação de tensão enquanto que  $A_2$  se encarrega da limitação de corrente.



4

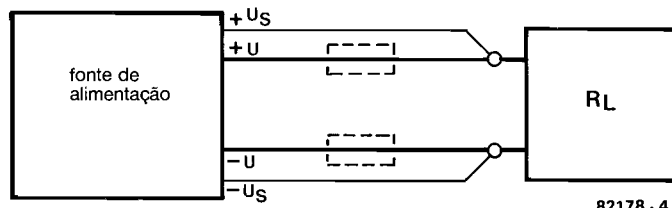


Figura 4. As duas entradas sensoras são utilizadas do modo aqui ilustrado, permitindo que o circuito compense quedas de tensão originadas pela utilização de condutores de grande comprimento.



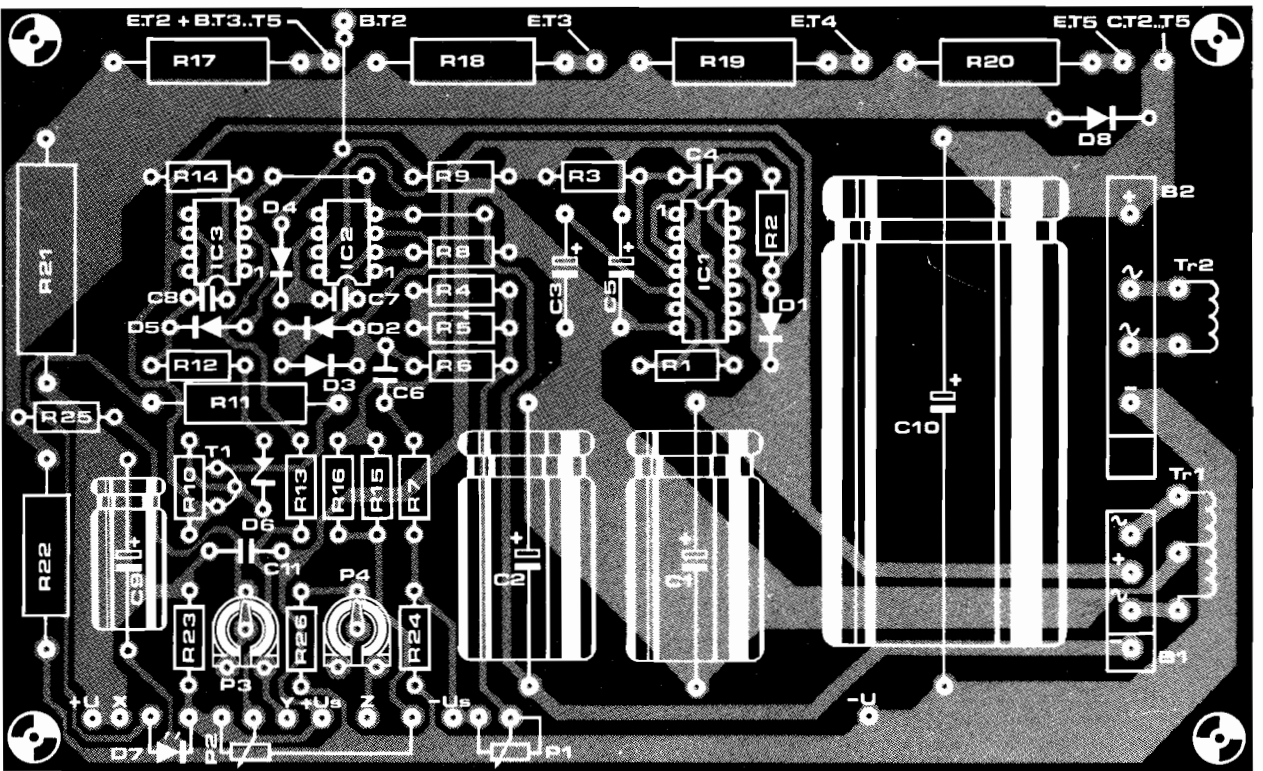
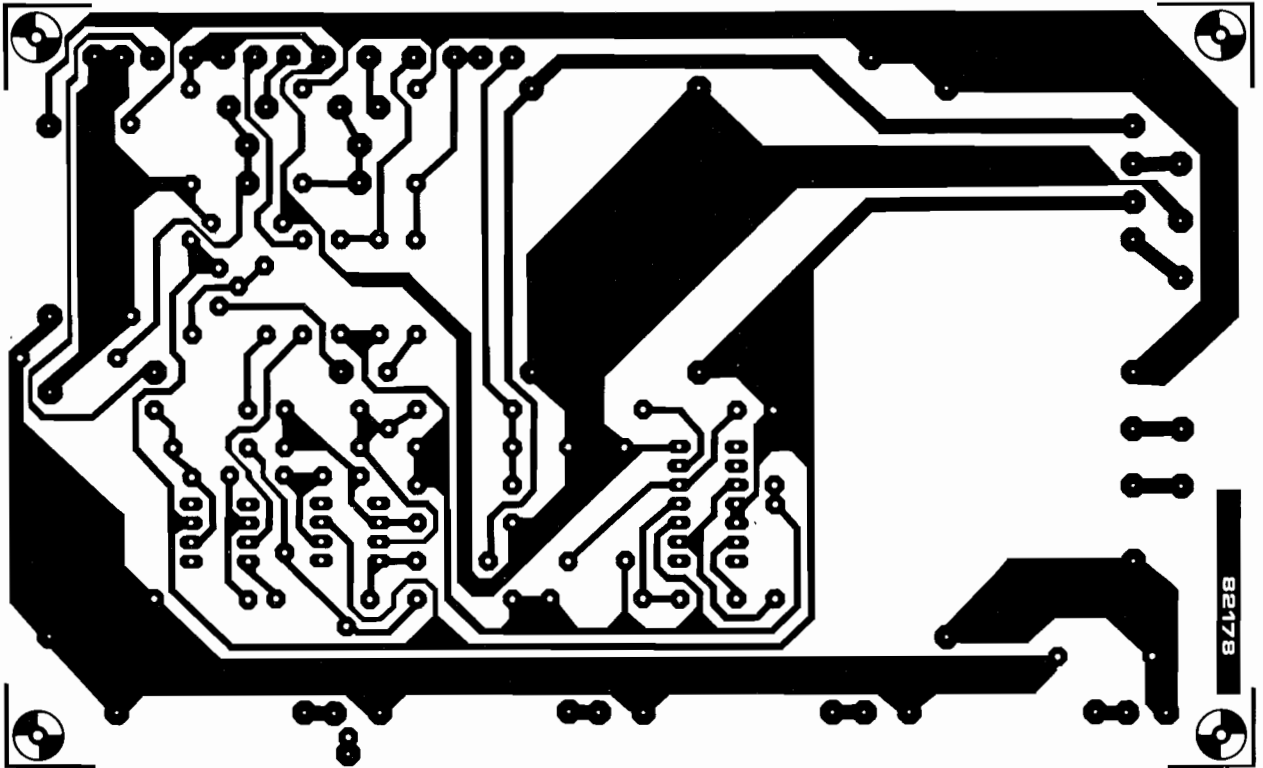


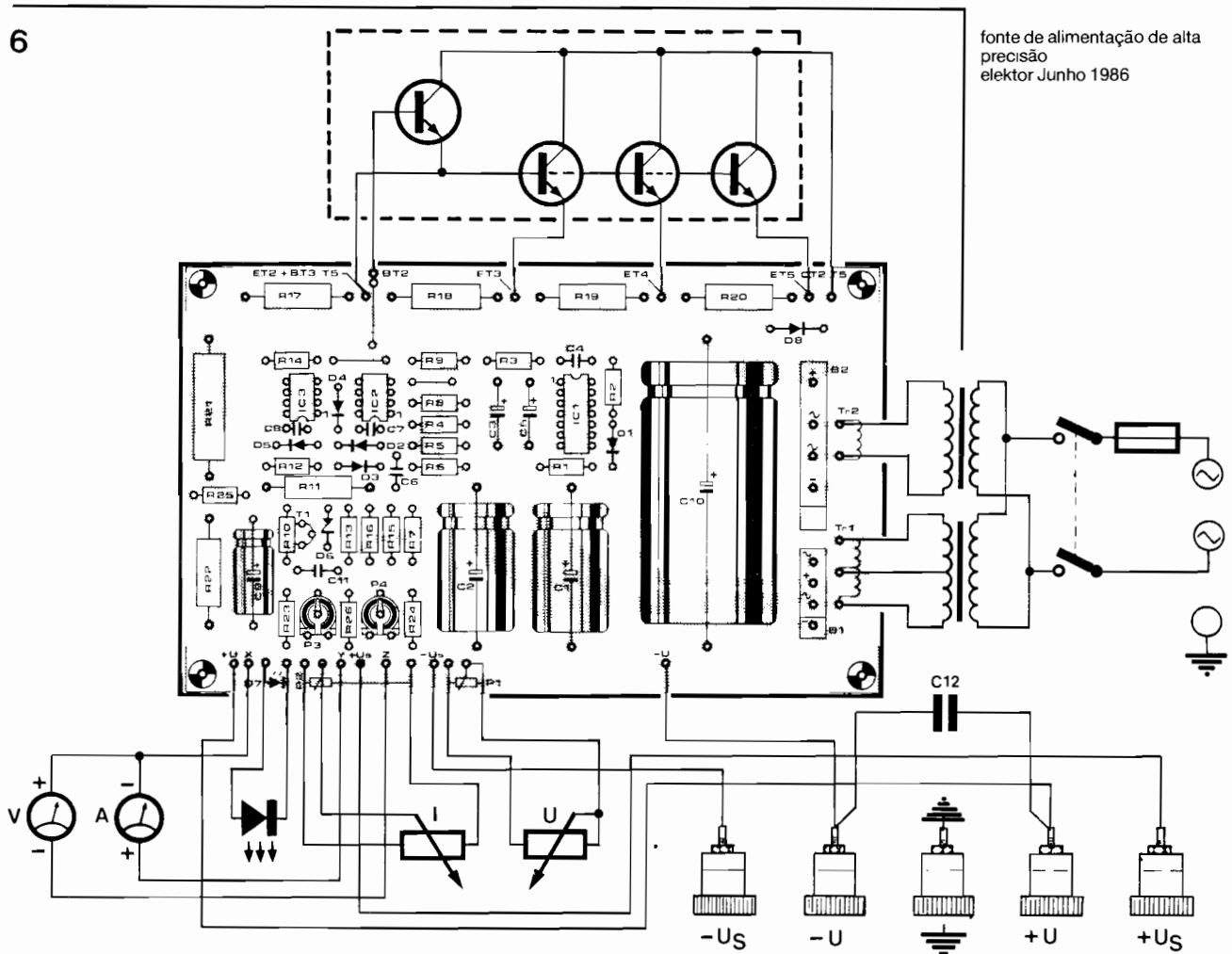
Figura 5. Desenho das pistas de circuito impresso e disposição dos componentes na placa da fonte de alimentação de alta precisão.

os dois níveis se igualem. O transistor  $T_1$  e os seus componentes directos fazem com que o LED  $D_7$  acenda quando existir uma limitação de corrente.

Podem ser incorporados dois indicadores analógicos, de modo a permitir uma leitura e controlo directos dos níveis de tensão e de corrente na saída. Cada indicador está equipado com uma resistência ajustável em série,  $P_3$  e  $P_4$ , que possibilitam uma calibração fina. Estes podem ser substituídos por resistências

fixas, se pretendido, uma vez determinados os seus valores.

O condensador  $C_3$  no circuito de tensão de referência ( $IC_1$ ) possui duas funções: reduz qualquer ruído produzido pelo zener interno do 723, assegurando também um atraso de activação da alimentação da tensão de referência. Isto quer dizer que, quando se liga a fonte de alimentação, é dado algum tempo aos ampops para estabilizarem antes de começarem a funcionar: uma espécie de intervalo para o



fonte de alimentação de alta  
precisão  
elektor Junho 1986

café logo ao princípio da manhã! Se este atraso de activação não fosse previsto, o nível de tensão máximo poderia aparecer na saída, mesmo que por breves instantes, o que seria potencialmente prejudicial.

Os díodos  $D_1...D_8$  são incluídos em várias partes do circuito, para evitar a ligação accidental de uma tensão externa aos terminais de saída da fonte de alimentação quando ela estivesse desligada. Por exemplo, isto poderia ter lugar quando se estivesse a trabalhar com um circuito que possuísse internamente uma bateria para alimentação de emergência.

Os componentes  $R_7$  e  $C_6$  aumentam o tempo de reacção do circuito enquanto se varia o nível da tensão de saída, enquanto que os condensadores  $C_7$  e  $C_8$  eliminam a possibilidade de oscilação dos ampops. Para termos um funcionamento estável por parte do circuito, é necessária uma resistência de carga mínima na saída. Isto é assegurado por  $R_{22}$ .

De referir o facto de parecer existirem mais terminais de saída do que aqueles que uma fonte de alimentação normal necessita. As duas saídas extra,  $+U_s$  e  $-U_s$ , são na realidade entradas. Estas entradas designadas por 'sensores' são utilizadas para permitir uma compensação das quedas de tensão, quando se estiver a trabalhar com cabos de ligação de grande comprimento entre a fonte de alimentação e a carga a ela ligada. A figura 4 ilustra o modo de utilização das entradas. São ligados, como se mostra, dois fios extra entre a carga e as entradas 'sensoras'. Isto faz com que o nível da tensão de alimentação seja efectivamente medido na carga e não nos ter-

minais de saída da fonte de alimentação. Esse facto permite que o circuito compense qualquer queda de tensão resultante da resistência nos condutores de alimentação principais. Deve referir-se que se a resistência total dos dois cabos de alimentação for  $1\ \Omega$  com um nível de corrente de  $1\ \text{A}$ , a queda de tensão será de  $1\ \text{V}$ . Em funcionamento normal, podem ligar-se dois pequenos condutores que curto-circuitam entre si  $+U$  e  $+U_s$ , e  $-U$  e  $-U_s$ .

### Construção

A corrente de saída máxima desta fonte é de  $3\ \text{A}$  a  $35\ \text{V}$ , como foi dito. Em princípio, podem conseguir-se valores de corrente diversos. Deve ser lembrado que qualquer alteração neste campo deve ser acompanhada de uma alteração nas características de  $C_9$  e  $C_{10}$ . O factor limitador é a tensão colector/emissor máxima dos transistores  $T_2...T_5$ . Esta é de  $60\ \text{V}$  para o 2N3055. O outro factor decisivo será, claro, a característica de corrente do transformador para o andar de saída de potência. A corrente de saída máxima da fonte de alimentação é  $1/\sqrt{2}$  da corrente eficaz fornecida pelo transformador, facto que explica o porquê da necessidade de um transformador de  $4\ \text{A}$  para se ter uma saída de  $3\ \text{A}$ .

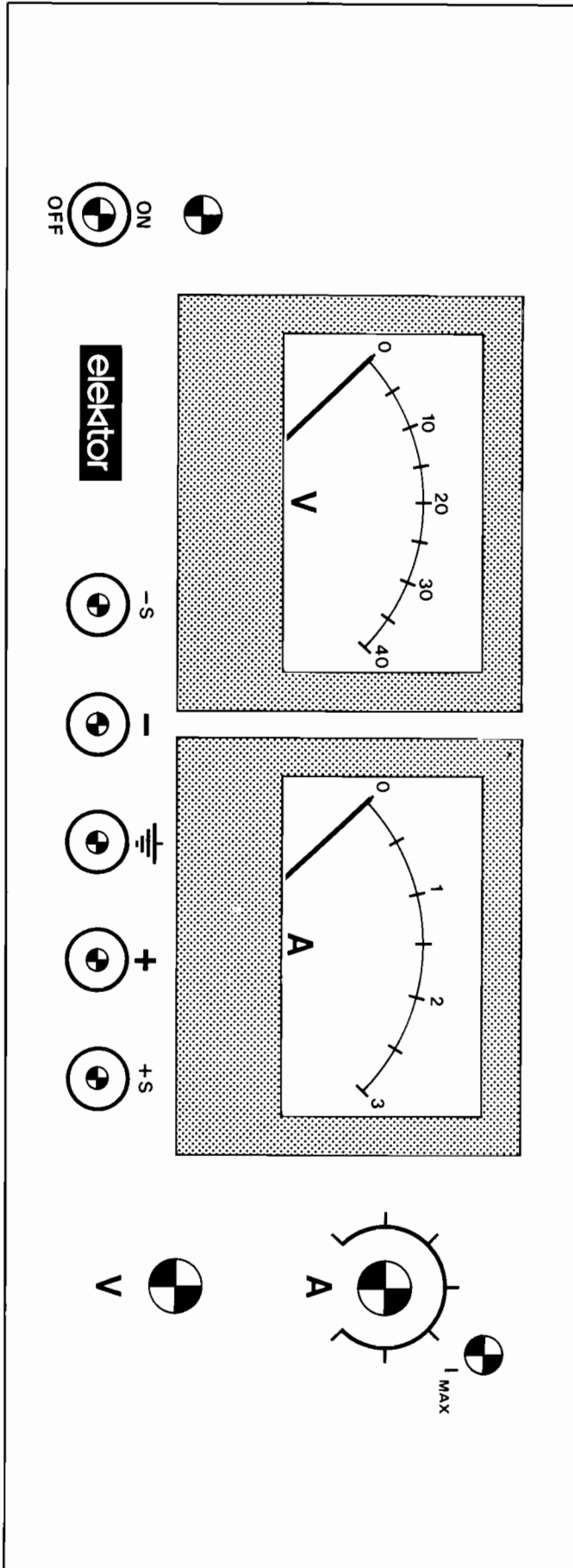
Os três transistores de potência são ligados em paralelo, pois cada 2N3055 não pode dissipar mais de  $50\ \text{W}$ . A questão está em que quando a tensão de saída for  $0\ \text{V}$ , a dissipação máxima necessária é o nível máximo da tensão rectificadada multiplicada pela corrente máxima. Para se ter uma saída de  $1\ \text{A}$  a  $35\ \text{V}$ , será

82178 - 6

Figura 6. Diagrama de ligações prático para a fonte de alimentação. Deve dedicar-se grande atenção às ligações, especialmente no tocante aos transformadores e aos transistores de potência. Os erros que forem cometidos só serão visíveis quando o fumo desaparecer.

Figura 7. Concepção do painel frontal, executado na *Elektor*. A ilustração é em escala reduzida, sendo o tamanho real de 11 cm por 30 cm.

7



suficiente apenas um 2N3055. Pode incluir-se mais um transistor de potência, sem qualquer modificação do circuito, desde que se calcule o valor correcto para a resistência de emissor. Um dissipador de 2 k/W é suficiente para cada transistor de potência, ou um de 1 k/W para cada dois. O condensador  $C_{12}$  está montado directamente nos terminais de saída como se mostra na figura 6.

Não instale as resistências  $R_4$  e  $R_{16}$  de início, pois o seu valor dependerá da tensão e corrente máximas de saída. Por esta razão, não será conveniente montar a placa de circuito impresso na caixa antes de se completarem os testes e a calibração. Coloque  $P_1$  no valor máximo, ligue a fonte e coloque um multímetro à saída do circuito. Através de ensaios determine o valor real de  $R_4$ , o qual assegura a tensão de saída máxima pretendida. Isto pode ser levado a cabo ligando várias resistências de valores diferentes em paralelo com  $R_5$ . Quando se encontrar uma com o valor correcto, ela poderá ser soldada na placa. Repita a operação com  $R_2$  e  $R_{16}$  (em paralelo com  $R_{15}$ ), até obter o nível máximo de corrente pretendido.

A calibração que resta é a dos indicadores, e que é feita através de  $P_3$  e  $P_4$ . É possível construir a fonte de alimentação utilizando apenas um indicador. Neste caso, é necessário um interruptor de 2 posições, 2 circuitos ligado aos pontos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , de modo a fazer a comutação entre tensão e corrente. M