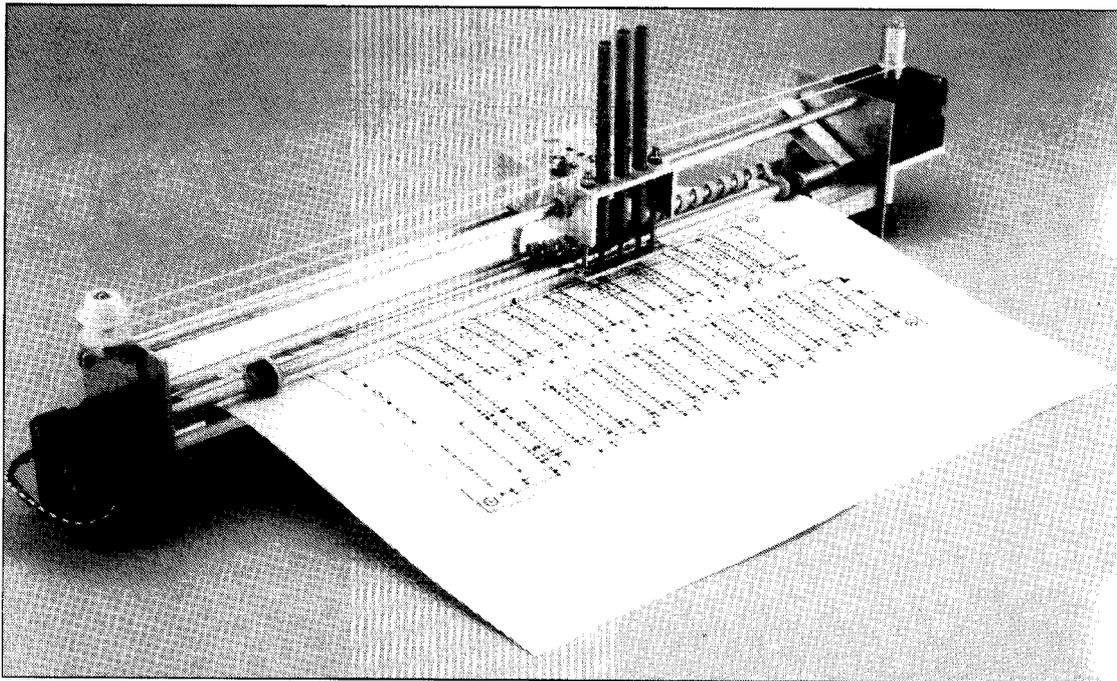


# mesa de desenho

melhor que o sistema de agulhas mais compacto



mecânica:  
J. Arkema

*A mesa de desenho é, depois da impressora, o periférico mais cobiçado pelos amadores de microinformática; é com efeito o único instrumento de desenho com resolução equivalente à do ecrã do computador e à da impressora. Contudo, o preço é normalmente o de muitos computadores. A mesa de desenho que lhe propomos caracteriza-se por uma relação preço/qualidade imbatível; a sua construção mecânica, extremamente simples, destina-se particularmente a todos aqueles que sonham montar a sua própria plotter.*

Hoje em dia, as técnicas de interface podem gabar-se de um interesse renovado. Uma vez atingido o objectivo da aquisição de um computador, e depois da escrita dos seus primeiros programas, o iniciado encontra-se confrontado com a necessidade económica de produzir resultados palpáveis (que justifiquem a soma investida na compra do material e do *software*). Se é impossível igualar o silêncio e rapidez de visualização de uma informação no ecrã, é preciso, contudo, reconhecer o carácter efêmero desta reprodução. O que são 25 linhas num programa que inclui muitas centenas senão um fragmento que provoca a perda rápida do fio da meada? Para as aplicações gráficas do computador é sobretudo a resolução do ecrã que surge como um factor crítico. A despesa mais lógica, após a

compra do computador, é, regra geral, a aquisição de uma impressora, instrumento ideal para a impressão de textos. Para o grafismo as coisas complicam-se sensivelmente. Um certo número de impressoras, de entre as mais baratas, não dispõem de possibilidades gráficas e as que as possuem trabalham geralmente com uma incrível lentidão, varrendo o papel linha a linha. Uma verdadeira mesa de desenho pode produzir um óptimo desenho num tempo notavelmente curto. O reverso da medalha é que se encontram nessas mesas de desenho profissionais etiquetas com preços que se esperariam antes encontrar nos 'objectos' expostos num *stand* de automóveis.

A nossa alternativa económica assenta sobretudo no seu preço relativamente baixo e na sua facilidade de construção.

## Características

A nossa mesa de desenho não é do tipo X-Y, como a maior parte das outras (vendidas por vezes em *kit*); pelo contrário, à semelhança de uma impressora, ela possui um carreto (que pode receber três canetas) que assegura o movimento ao longo do eixo dos X e de um rolo cilíndrico que faz deslizar o papel sobre o eixo dos Y. Graças a este princípio, a construção mecânica é muito simplificada (eis um argumento de peso na decisão da sua realização por um amador). Isto permite igualmente muita liberdade no que respeita ao formato da folha de papel sobre a qual se faz o desenho. O rolo de transporte do papel é directamente atacado por um motor passo-a-passo; o próprio porta-canetas é posto em movimento por um segundo motor pas-

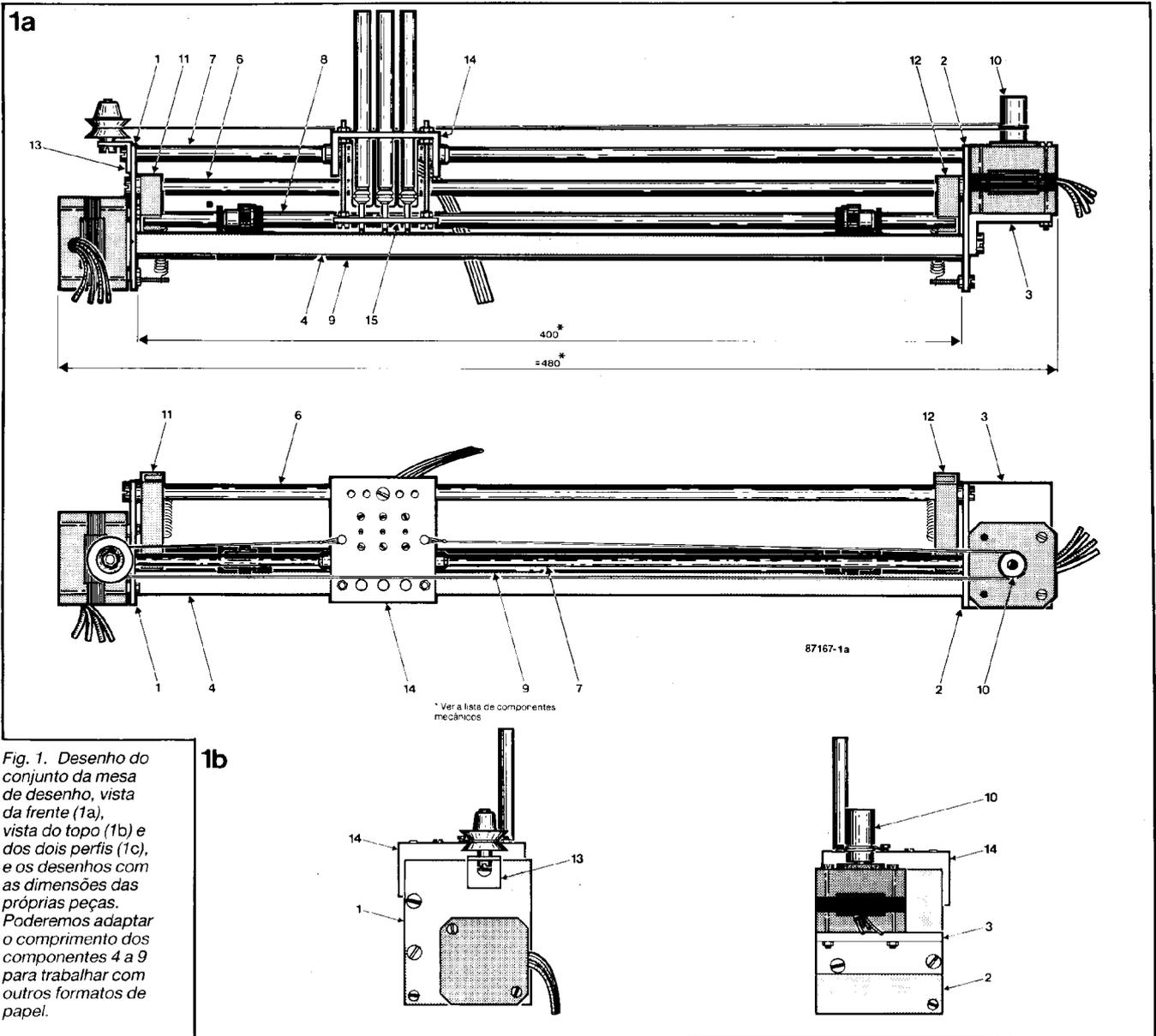


Fig. 1. Desenho do conjunto da mesa de desenho, vista da frente (1a), vista do topo (1b) e dos dois perfis (1c), e os desenhos com as dimensões das próprias peças. Poderemos adaptar o comprimento dos componentes 4 a 9 para trabalhar com outros formatos de papel.

**Componentes mecânicos**

- 1) Apoio lateral esquerdo, alumínio 60×70×2 mm.
- 2) Apoio lateral direito, alumínio 60×70×2 mm.
- 3) Esquadro de apoio do motor dos X, perfil de alumínio em L 20×40×4 mm, comprimento 60 mm.
- 4) Barra de reforço em alumínio, cuja secção é 10×10 mm e o comprimento é 500 mm\*.
- 5) Tubo de alumínio/aço, com 6 mm de diâmetro, comprimento 500 mm\*.
- 6) Tubo de apoio para o suporte das canetas, ver 5.
- 7) Tubo de guia do carreto, ver 5.
- 8) Eixo para as anilhas de pressão, alumínio/aço de 6 mm de diâmetro, comprimento 394 mm.
- 9) Barra de suporte, alumínio com 12 mm de diâmetro, comprimento 500 mm\*.
- 10) Polia de alumínio, 12 mm de diâmetro, comprimento 25 mm.
- 11) Suporte do rolamento de pressão, perfil de alumínio em U 10×10×1 mm, comprimento 48 mm.
- 12) Ver 11.
- 13) Esquadro de apoio da polia, perfil de alumínio 15×15×2 mm, comprimento 15 mm.
- 14) Carreto, perfil de alumínio em U, 25×50×3 mm, comprimento 60 mm.
- 15) Placa de posicionamento das canetas, alumínio, 8×50×2 mm..
- 16) Apoios do carreto de nylon, 8 mm, comprimento 23 mm.

**Material miúdo:**

- 6 apoios, nylon, Skify 08-6.
- 1 apoio para o rolamento do papel, nylon, Skify 08-4 (eventualmente 08-6).
- 2 anilhas int. = 3×2 mm (para o motor dos Y).

- 2 anilhas de pressão de borracha (anilhas passa-fio, por exemplo).
- 4 anilhas de fixação para eixo de 6 mm (por exemplo Skify 11-1-6).
- 1 polia.
- 3 parafusos M4×5.
- 2 parafusos M4×10 (fixação do motor 3).
- 1 parafuso M4×20 com 3 porcas.
- 5 parafusos M4×5 com a cabeça de embeber.
- 4 parafusos M3×40 (fixação dos motores passo-a-passo).
- 2 parafusos M3×50 (fixação da placa 15).
- 2 parafusos M3×10 (fixação do cordão).
- 2 parafusos M3×15 (guia das canetas).
- 2 parafusos de incrustar M3×4 sem cabeça (fixação da peça 9 e da polia 10).
- 6 porcas M2,6×5 (fixação dos electroimanes).
- 16 porcas M3.
- 2 molas de pressão para o rolamento de pressão.
- Cordão, fio de pesca torcido, comprimento 1100 mm\*.
- Papel de vidro (para o tambor de enrolamento de papel).

**Material electromecânico:**

- 2 motores passo-a-passo, 200 passos por volta, 2 fases bipolares, 200 mA/fase, por exemplo Berger (empregado nos leitores de disquetes).
- 3 electroimanes de 12 V.

\* Função do comprimento da mesa de desenho.



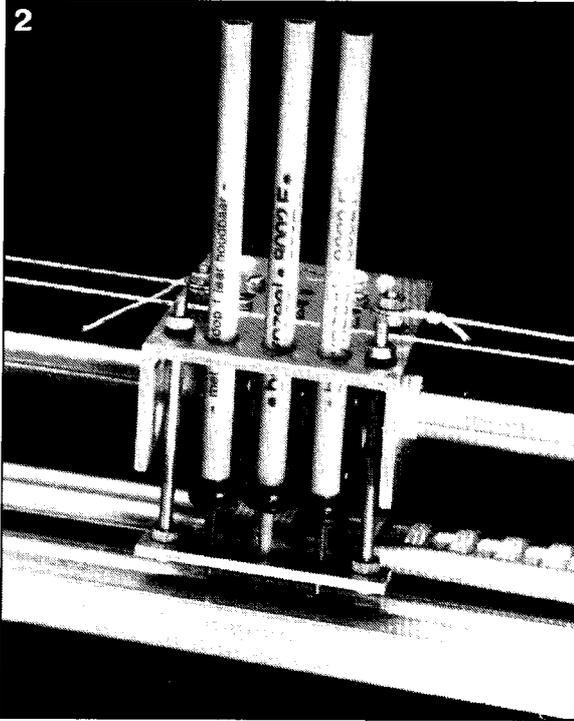


Fig. 2. O carrinho das canetas. Para subir e baixar as canetas de uma maneira fiável, podemos metê-las em passafios de borracha.

so-a-passo, e tem um cordão que constitui o órgão de transmissão. Uma das fraquezas inerentes a este tipo de transporte é uma acumulação de erros devidos ao deslizamento do papel entre os rolos de transporte e a derrapagem do cordão sobre a roldana. Na prática, parece que os desvios realmente consecutivos destes erros são muito fracos, contando que nada impeça o movimento do carrinho e do papel. Alguns electroimanes elevam e baixam as canetas. As próprias canetas são pontas de feltro que se encontram por poucos escudos em qualquer papelaria e em alguns grandes armazéns.

No que respeita à electrónica de comando dos dois motores passo-a-passo, precisamos de três entradas numéricas para cada uma delas. Para o controlo das canetas utilizámos um descodificador, o

que permite comandar as três canetas unicamente com a ajuda de dois bits. Isto limita-nos a oito bits para todos os comandos, valor normalizado para qualquer porto de entrada/saída. Esses oito bits são reunidos e soldados a um conector ligado directamente por um cabo plano a uma saída paralela para uma impressora (Centronics). Resta-nos (fazer) uma alimentação capaz de fornecer 1,5 A sob 12 V contínuos.

A activação dos motores passo-a-passo e dos electroimanes das canetas é bastante económico. A alimentação, à excepção do transformador, é também implantada no circuito impresso para constituir um conjunto compacto.

### A construção mecânica

A mesa de desenho é uma montagem em forma de paralelepípedo. Duas placas de alumínio (60×70×20 mm) constituem os lados sobre os quais se fixam os outros elementos, assegurando ao conjunto da montagem uma rigidez mecânica. Os motores passo-a-passo fixam-se sobre este dois batentes (ver a fotografia do início do artigo) bem como os tubos redondos (em alumínio ou aço inoxidável, de 6 mm de diâmetro) e um carro de desliz (em alumínio 10×10 mm). O comprimento destes tirantes, que delimita a largura máxima da folha de papel, determina-se em função das necessidades do leitor. A nossa preferência vai para o comprimento de 500 mm, o que permite uma utilização fácil das folhas de papel de formato A2. O rolo que transporta a folha de papel, colocado imediatamente atrás da barra, é um eixo de alumínio de 12 mm de diâmetro (se for impossível fazer de outro modo podemos eventualmente restringir a um diâmetro de 10 mm). Para assegurar um transporte conveniente do papel, proceder-se-á a uma redução muito ligeira do diâmetro

deste tirante em dois sítios (sobre um comprimento de 30 mm, aproximadamente, e sobre uma profundidade de alguns décimos de milímetro). Nestes sítios enrolar-se-á, de modo a juntar, uma banda estreita (4-5 mm) de lixa de muito pouca espessura e de grão fino. É importante que o eixo não aumente nos sítios onde está colocada a lixa. Introduzem-se duas anilhas de pressão num eixo móvel, e posicionadas na vertical destes dois pontos (na ausência da folha de papel), a assentar na lixa. A mobilidade deste eixo é necessária à colocação da folha de papel e obtém-se pela utilização de duas corrediças feitas de um perfil de alumínio em U. Uma vez solto, este eixo aperta fortemente os dois roletes sobre o rolo de transporte do papel graças a dois impulsos de chamamento. Um motor passo-a-passo de 200 pontos por volta controla directamente o rolo de transporte do papel. Com um tubo de 12 mm de diâmetro, isto dá-nos uma resolução de 0,19 mm por passo. Graças à possibilidade do comando de meio passo, é possível atingir uma resolução inferior a 0,10 mm. O carrinho de transporte das três canetas é um perfil de alumínio em U (50×25×60 mm). Fazem-se dois orifícios nos batentes verticais do perfil em U aos quais se aplica uma corrediça de guia em nylon, na qual desliza a barra de guia do carrinho das canetas. Uma segunda barra na qual repousa a parte traseira do carrinho impede-o de oscilar. O transporte do carrinho é assegurado por um cordão que dá duas voltas e meia à polia plana encaixada sobre o eixo do segundo motor passo-a-passo. Esta polia é feita no mesmo material que o rolo de transporte do papel.

Tendo a polia e o rolo de transporte do papel o mesmo diâmetro, estamos seguros de ter um deslocamento igual para um dado movimento segundo o eixo dos X e um movimento idêntico segundo o eixo dos Y. As canetas (de feltro) são guiadas através de um buraco na parte superior do perfil em U; as pontas são posicionadas com grande precisão sobre o papel graças a uma placa de controlo. A barra de alumínio de secção quadrada, colocada em frente do rolo de transporte do papel, serve de suporte aquando do traçado da linha. Os três electroimanes levantam as canetas que são utilizadas. Como um simples esquema vale mais do que um longo discurso, enviamos-lo para os pormenores de construção do esquema da montagem (fig. 1) bem como para as outras ilustrações que este artigo contém.

### A electrónica de comando

A montagem aqui apresentada

Fig. 3. A lixa que serve para prender bem o papel é enrolado no tambor de enrolamento do papel. Se o colocarmos em espiral evitamos espessamentos locais.

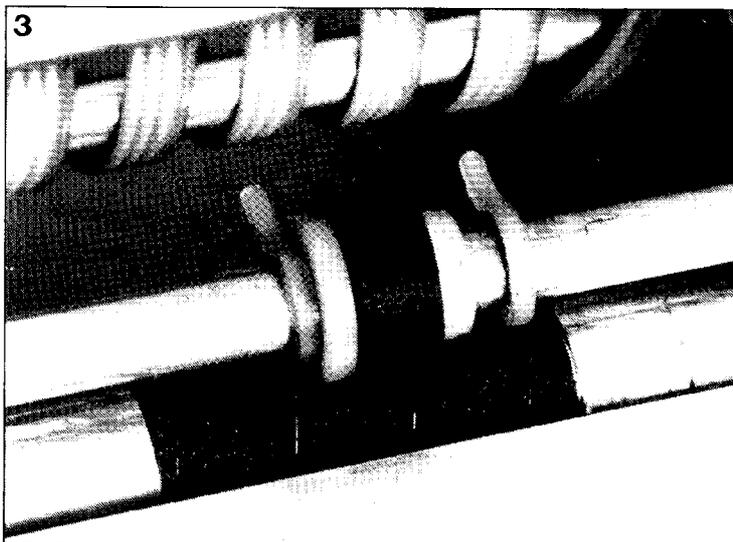
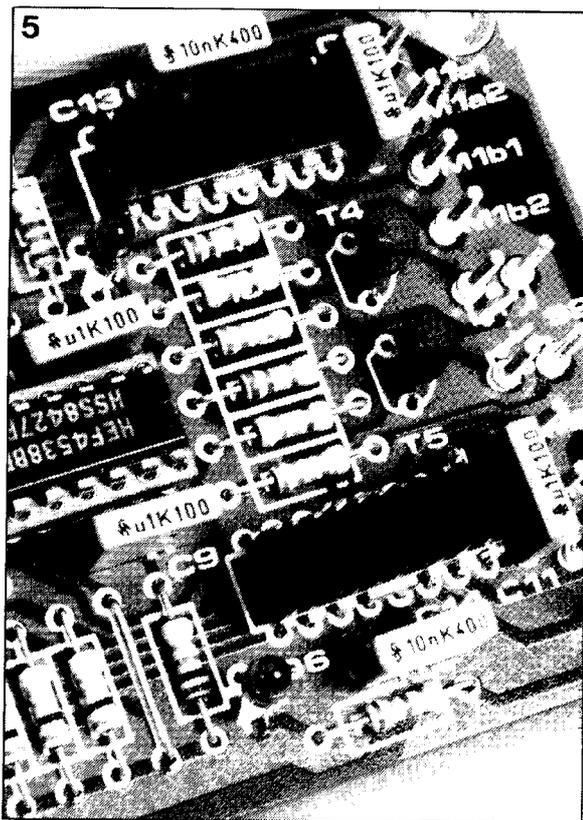




Fig. 4. A electrónica de comando: dois controladores para os motores passo-a-passo, comando triplo das canetas com descodificador, entrada TL de 8 bits com resistências de polarização e alimentação.

compreende a alimentação, os dois circuitos de comando dos motores passo-a-passo, os três andares de potência para o comando dos electroimanes, bem como uma entrada normalizada Centronics de 8 bits. Como mostra o esquema, a electrónica de comando dos motores passo-a-passo apela a circuitos integrados especializados (MC 3479 da Motorola ou SGS), que já examinámos minuciosamente no nosso número duplo 43/44, página 43-50. Três dos pinos dos circuitos de comando dos motores passo-a-passo (relógio, passo/meio passo e direcção) estão ligados à ficha de entrada. Uma quarta entrada (OIC) determina, em modo meio passo, se os enrolamentos são alimentados nesse preciso instante e se apresentam uma fraca impedância ou, pelo contrário, uma elevada impedância, o que permite uma redução da corrente do indutor (60 a 70 mA por fase) e uma limitação da dissipação nos motores, e dos circuitos integrados de comando e alimentação. Desde que o motor receba um impulso de relógio (um flanco positivo activo), o monostável é activado, o transistor torna-se condutor e a corrente do indutor fixa-se a perto de 200 mA/fase. O valor final da corrente do indutor depende da frequência dos impulsos e manter-se-á inferior a 200 mA devido ao carácter indutivo do indutor. Contudo, o circuito de comando tentará, dentro dos limites da tensão de alimentação, transportar a corrente a este nível. A abertura de  $S_2$  corta a alimentação do motor passo-a-passo. Podemos assim colocar

Fig. 5. Arrefecimento dos circuitos de comando dos motores passo-a-passo.



manualmente o rolo de transporte do papel e o carroto nas posições requeridas. A abertura de  $S_2$  obriga a uma pré-selecção da lógica interna do circuito integrado de comando em posição de saída, sendo esta posição visualizada pela iluminação dos diodos electroluminescentes. Todos os quatro passos (ou 8 meios passos) voltamos a esta posição e o diodo acende-se.

A electrónica de comando dos electroimanes de elevação das canetas é muito simples. Com a ajuda de  $IC_3$ , um descodificador de 2 para 4, selecciona-se uma das três canetas. Quando as duas entradas estão no nível alto ('1', ou abertas), todas as canetas estão levantadas. Os electroimanes são activados por transistores Darlington associados a uma rede RC. O condensador assegura um valor de corrente de descarga bastante elevado; por seu lado, a resistência limita o valor da corrente de manutenção a um nível razoável (que pode ser bem mais fraco). Os diodos de protecção completam o conjunto.

O circuito impresso representado na figura 7 recebe a electrónica da figura 4. Não é mais largo do que a mesa de desenho propriamente dita, de modo que se pode deste modo construir um bom conjunto em forma de paralelepípedo bastante estreito.

### Medir, serrar e montar...

O trabalho mecânico exigido por esta montagem é razoável. Nada nos impede de redefinir as dimensões da nossa mesa de desenho. O esquema da figura 1 servirá de fio condutor na execução dos trabalhos. Começaremos por fabricar as 16 peças ilustradas na figura 1c. Depois efectua-se o corte das duas placas laterais com a tesoura de chapa. Para garantir uma precisão de simetria conveniente, proceder-se-á à perfuração simultânea das duas placas laterais apertadas uma contra a outra. Marca-se com um punção o ponto central dos orifícios a perfurar. A utilização de álcool como lubrificante facilita o desprendimento das limalhas. Com a ajuda de uma broca prepara-se o buraco superior do batente direito, para receber um parafuso M4 com cabeça direita. Esta cabeça não deve estar saliente por razões de proximidade directa do motor passo-a-passo de transporte do carroto. No batente esquerdo perfuram-se dois buracos suplementares de 3 mm, que servirão para a fixação do motor de deslocação sobre o eixo dos Y. Os eixos 4, 5, 6 e 7 serão cortados com o mesmo comprimento (comprimento a definir em função das suas próprias necessidades) e providos de rosca interna do tipo M4 (preperfurado a 3,3 mm). Teremos de ter uma centragem perfeita da rosca no pino. Como estes pinos são fixos, a

operação não é muito crítica e não necessita da utilização de um torno. O ponto delicado situa-se mais ao nível do rolo de transporte do papel, cujo diâmetro deverá ser ligeiramente reduzido (com uma lima fina ou uma lixa) nos sítios destinados a receber a lixa. Uma perfuração descentrada de um dos buracos para o pino do motor passo-a-passo traduzir-se-á num avanço irregular do papel. Com a ajuda de um torno reduziremos os 4 mm da extremidade livre a um corte de 4,2 mm de modo a que ela possa pousar numa chumaceira de nylon. Esta peça é a única que precisa ser feita num torno. Fabricaremos a roldana a encaixar sobre o pino do segundo motor passo-a-passo com o mesmo material utilizado para fazer o rolo de transporte do papel. As restantes peças (11 a 16) realizam-se com um simples trabalho de serra e berbequim. Repare nas figuras 1 a 5 para a montagem mecânica da mesa de desenho.

### ... e soldar

Eis-nos de regresso a um campo conhecido, pelo menos para os electrónicos. Como a serigrafia da implantação dos componentes sobre a placa (fig. 7) e as fotografias falam por elas mesmas, poderemos passar rapidamente sobre tudo o que respeita à colocação dos componentes e à soldadura. Deve-se montar as resistências  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  e  $R_{12}$  (potência 1 W) a alguns milímetros do circuito impresso para permitir uma boa dissipação do calor. Os circuitos integrados  $IC_1$  e  $IC_2$  deverão ser dotados de um dissipador. Para facilitar o arrefecimento, evitar-se-á utilizar um suporte e implantá-los-emos directamente sobre o circuito impresso para que os pinos e o plano de massa destes circuitos integrados façam o serviço de dissipador. O integrado  $IC_4$ , um circuito da série 4000, apresenta o inconveniente de ter uma entrada que não é perfeitamente compatível com ITL. Contudo, na prática, não há razão para preocupações com eventuais problemas (e isto graças às resistências de polarização  $R_4$  e  $R_{20}$ ). No caso de haver problemas (assinalados pelo não funcionamento de um motor passo-a-passo) a solução é dar a  $IC_4$  a versão HCT (infelizmente mais cara) deste circuito. Não é necessário implantar as duas pontes de ligação ( $JP_1$  e  $JP_2$ ).

A ficha de entrada é directamente fixada à placa, de modo a permitir uma ligação directa a uma saída Centronics com a ajuda de um cabo multicondutor. As linhas dos sinais de entrada não são utilizadas. Uma vez terminada a implantação dos componentes sobre o circuito impresso, poderemos ligá-lo à alimentação e à parte mecânica da mesa de desenho. Os dois interruptores e o interruptor de sector

são conduzidos para o exterior. Aquando da implantação do interruptor de sector, tenha em conta as precauções de uso neste caso. Podemos eventualmente empregar um cabo de alimentação que integre o interruptor de sector e o porta-fusíveis. O respeito das especificações legais no que diz respeito ao transformador é imperativo. Não é indispensável que os dois LEDs sejam visíveis do exterior, mas a sua utilidade como controlo aquando da programação é indiscutível.

### Programa de controlo

Antes de os primeiros desenhos aparecerem na mesa de desenho é preciso dar voltas à cabeça. Não lhe podemos propor uma receita já feita para o programa de comando da mesa de desenho. Ela não tem inteligência própria. Se se quiser atingir uma velocidade de desenho aceitável, é preciso escrever uma parte do programa em linguagem máquina, se trabalharmos com uma linguagem interpretada (traduzida linha por linha), como é o caso da maior parte dos microcomputadores.

A figura 10 dá a estrutura da palavra de comando da mesa de desenho. O motor passo-a-passo avançará de um passo ou meio passo (em função do nível presente na respectiva entrada) a cada flanco positivo do sinal aplicado à entrada pelo relógio. Os impulsos do relógio devem manter-se pelo menos 10 µs no nível lógico alto ('1'). A rotação de um dos motores (X ou Y) produz o desenho de uma linha direita. A rotação simultânea dos dois motores traça linhas a 45°. Se um dos motores roda de passo em passo enquanto o outro roda de meio passo em meio passo, obtemos linhas a 26° 34' ou 63° 27' (ângulos cujas tangentes valem respectivamente 0,5 e 2). Para dar o arranque do programa do comando, propomos-lhe algumas rotinas e alguns algoritmos que servirão de base ao programa geral da mesa de desenho. Não iremos dizer que é a única maneira de comandar a mesa de desenho; trata-se de uma ajuda para as pessoas que não estão habituadas a estas técnicas ou se assustam com elas.

### Sub-rotinas de base

A rotina aqui proposta faz o que de mais fundamental se faz com uma mesa de desenho. Em função da palavra de comando de 8 bits, obteremos um avanço de um passo ou de meio passo, sobre o eixo dos X e/ou dos Y e/ou selecção de uma das canetas. Os bits 0 e 3 determinam que motor(es) deve(m) efectuar um passo. Se o bit respectivo está a zero, o motor correspondente avança um passo. O sentido

de rotação e a medida do movimento (passo ou meio passo) dependem dos 4 bits de comando (2 para cada motor) restantes. O estudo do fluxograma da figura 12 mostra que a palavra de comando começa por ser enviada ao porto de entrada ao qual está ligada a mesa de desenho. Determina-se assim o modo de avanço (passo ou meio passo) e o sentido de rotação; a entrada do relógio mantém-se a zero. A atenção recai agora sobre os bits 0 e 3 para determinar quais

os motores que devem dar um passo. Cada motor concede a si próprio um contador de 16 bits (que memoriza as coordenadas instantâneas), cujo conteúdo é actualizado em função do sentido de rotação e da medida de passos requeridos. Em seguida, os bits 0 e 3 são postos a '1' e a palavra de comando é mais uma vez enviada à saída. Os motores seleccionados efectuem então um passo.

Os dois bits mais significativos permitem uma selecção da caneta

Fig. 6. A característica desta bela mesa de desenho compacta é a sua simplicidade de construção mecânica.

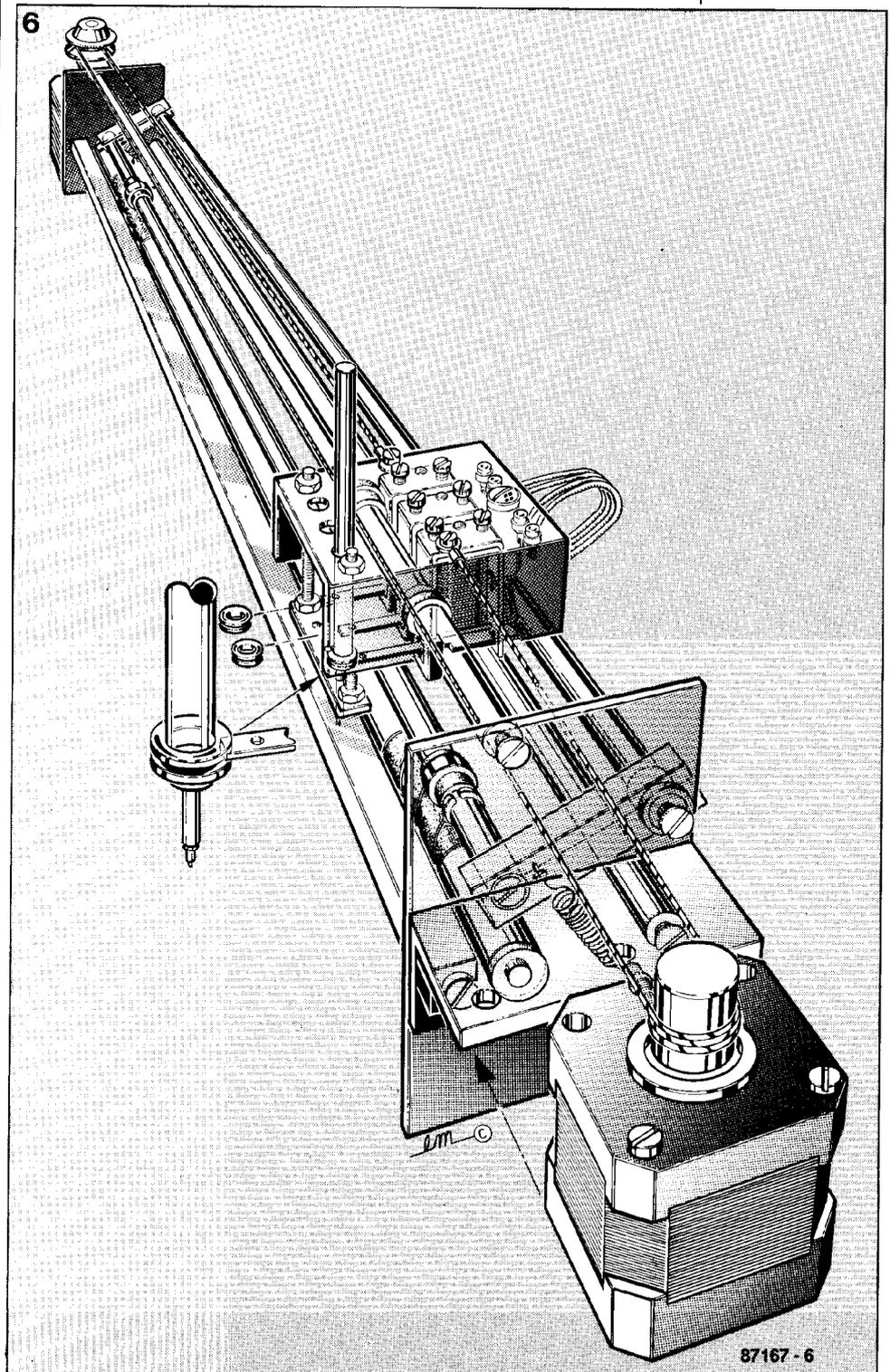
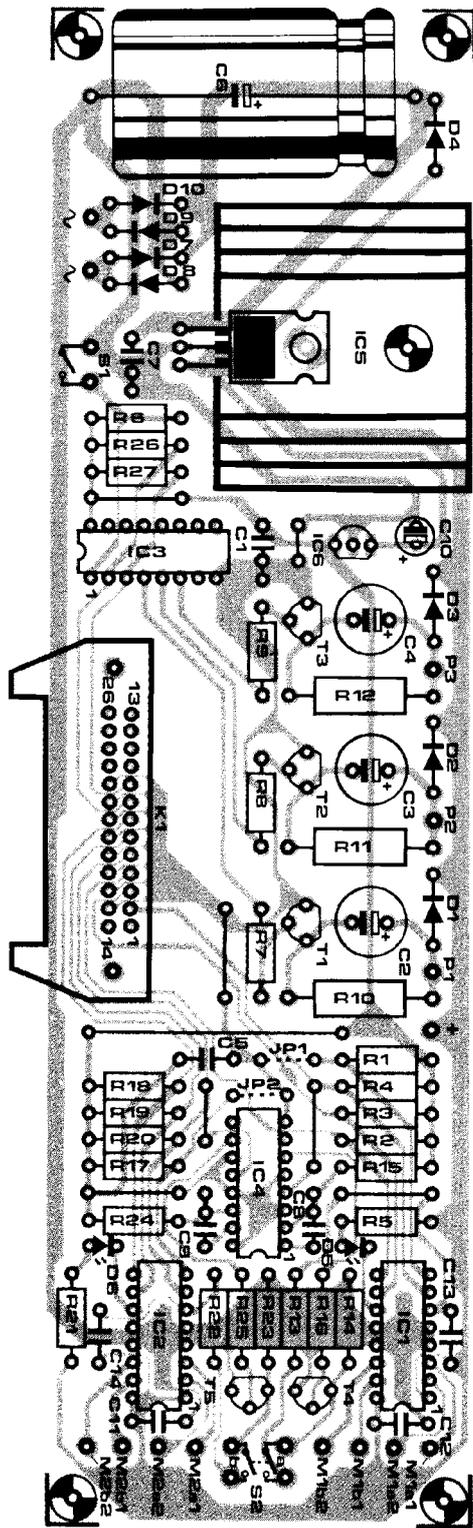


Fig. 7.  
Representação da  
serigrafia da  
implantação dos  
componentes do  
circuito impresso da  
mesa de desenho.  
Além do regulador  
de tensão (IC<sub>3</sub>), tem  
igualmente que  
zelar pelo  
arrefecimento  
de IC<sub>1</sub> e IC<sub>2</sub>.

7



**Lista de componentes**

**Resistências:**

- R<sub>1</sub>...R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>17</sub>...R<sub>26</sub>, R<sub>27</sub> = 10 k
- R<sub>5</sub>, R<sub>21</sub> = 1 kΩ
- R<sub>7</sub>...R<sub>9</sub> = 15 k
- R<sub>10</sub>...R<sub>12</sub> = 47 Ω/1 W
- R<sub>13</sub>, R<sub>22</sub> = 56 k
- R<sub>14</sub>, R<sub>23</sub> = 220 k
- R<sub>15</sub>, R<sub>24</sub> = 1 M
- R<sub>16</sub>, R<sub>25</sub> = 47 k

**Condensadores:**

- C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub> = 100 n
- C<sub>7</sub>...C<sub>4</sub> = 470 μF 16 V rad.
- C<sub>6</sub> = 4 700 μF 25 V
- C<sub>7</sub> = 220 n
- C<sub>10</sub> = 10 μF 16 V
- C<sub>13</sub>, C<sub>14</sub> = 10 n

**Semicondutores:**

- D<sub>1</sub>...D<sub>3</sub> = 1N4148
- D<sub>4</sub>, D<sub>7</sub>...D<sub>10</sub> = 1N4001
- D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub> = LED, vermelho
- T<sub>1</sub>...T<sub>3</sub> = BC 517
- T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> = BC 547
- IC<sub>1</sub>, IC<sub>2</sub> = MC3479 (MOTOROLA, SGS)
- IC<sub>3</sub> = 74LS139
- IC<sub>4</sub> = (74HTC) 4538
- IC<sub>5</sub> = 7812
- IC<sub>6</sub> = 78L05

**Diversos:**

- S<sub>1</sub> = interruptor unipolar
- S<sub>2</sub> = interruptor bipolar
- K<sub>1</sub> = ficha encartável 2×13 contactos com intervalo de 2,54 mm (0,1")
- Tr = transformador 12...15 V/1,5 A
- F = fusível de 200 mA com suporte e eventualmente com interruptor e fio com ficha para ligar à rede
- Dissipadores para IC<sub>1</sub>, IC<sub>2</sub> (DIL) e I<sub>5</sub> (TO220)

(que pode igualmente traduzir-se pelo levantamento das três canetas). Como na maior parte dos casos não se quer fazer passos neste momento, os bits 0 e 3 serão colocados a '1'. O teste de um bit repete-se frequentemente na rotina de base. O Z80 tem instruções especiais e particulares para este tipo de teste. Em relação aos outros microprocessadores chega-se ao mesmo resultado pela utilização da função lógica E (AND). Efectua-se esta operação lógica (mascarar) entre a palavra de oito bits que se quer testar e um bit, na qual um bit (o bit a testar) é posto a '1'. O resultado desta operação é legível no indicador de zero (ZF = zero flag).

**Desenho de linhas simples e selecção de uma caneta**

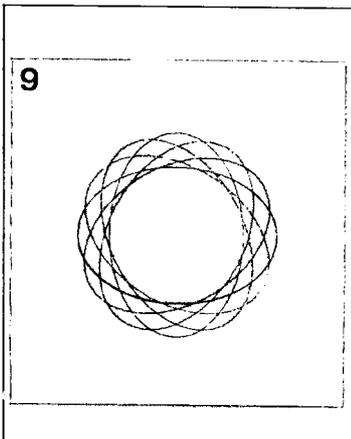
Valorizando um pouco a rotina de base, é fácil traçar segmentos direitos de um certo comprimento nas direcções fixas acima mencionadas. Começa-se por reactualizar a palavra de comando, tendo em conta desta vez a escolha da caneta. Pode-se indicar o comprimento da linha requerida sob a forma de uma relação relativamente a uma coordenada X ou Y dada. Após cada passo tem lugar uma verificação para ver se o ponto de destino foi atingido. Se não for o caso, efectua-se o passo seguinte após uma breve temporização que se pode realizar ou por um ciclo no programa ou por um temporizador que existe no VIA6522 ou no Z80-CTC. Um temporizador tem a vantagem de dar uma frequência de passos independente (em certos limites) da sub-rotina a executar entre dois passos sucessivos. Será adoptada uma temporização entre dois passos, de tal modo que os motores passem suavemente de um passo a outro tanto em meio passo como em passo inteiro. Podemos afinar o comando dos motores fazendo-os abrandar ou acelerar regularmente no início e no fim do movimento, diminuindo assim o risco de ver o motor saltar um passo e o nível das vibrações longitudinais do carrão (causadas pela sua inércia e a elasticidade do cordão de tracção). Fazendo rodar num sentido ou noutro um e/ou o outro motor passo-a-passo, em meio passo ou passo inteiro, podemos desenhar a rosados-ventos da figura 11 (o número de passos ou de meios passos mantém-se constante). Se parecer que um motor roda ao contrário, basta inverter uma das fases. Cada vector é obtido com a palavra de comando correspondente. A tabela 1 mostra como determinar a palavra (seria mais rigoroso falar de número) de comando adequado. A escolha de uma ou de outra caneta faz-se com a ajuda dos bits 6 e

7. A sua colocação simultânea a '1' da lugar ao levantamento de todas as canetas. Nos outros casos, há sempre uma caneta pousada sobre o papel. Aquando de uma mudança de caneta, procede-se a uma deslocação fixa (58 ou 116 passos) sobre o eixo dos X para compensar a distância (*offset*) entre as canetas.

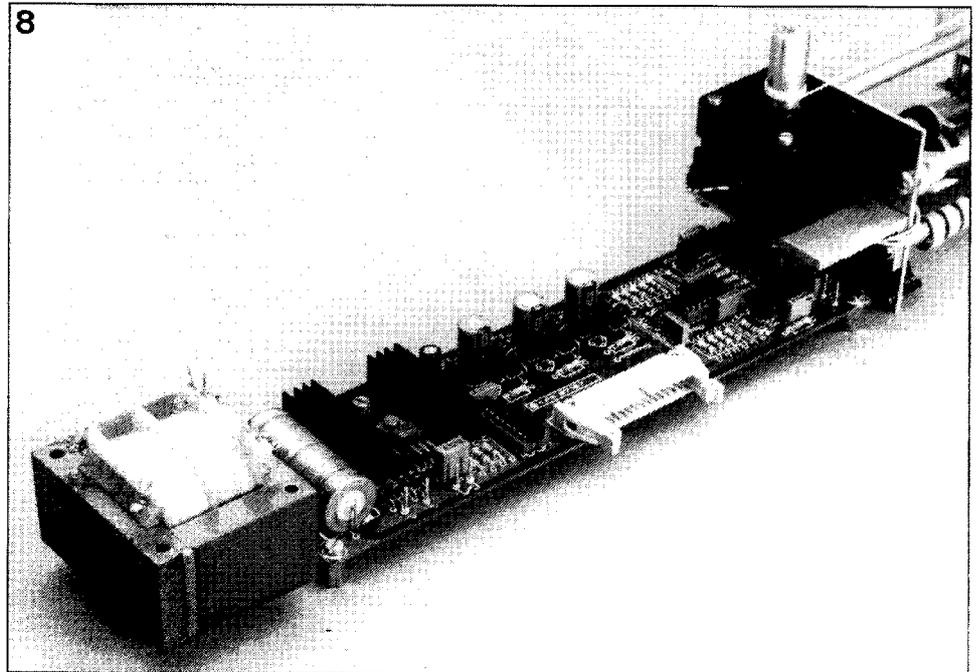
### Linhas em todos os sentidos

As rotinas aqui descritas são destinadas ao traçado de linhas direitas em certas direcções bem determinadas. Se se quiser desenhar linhas fora destes 'sentidos', as coisas complicam-se.

Na maior parte das vezes, nestas aplicações gráficas, trabalha-se em sistemas de coordenadas X-Y. A mesa de desenho deve estar preparada para traçar uma linha entre dois pontos de quaisquer coordenadas conhecidas. A linha real vai-se desviar ligeiramente da linha ideal, pois a caneta só pode tomar um certo número de posições discretas. Podemos aproximar a linha desejada o mais possível, empregando o algoritmo de traçado das linhas direitas de Bresenham. A figura 13 esquematiza uma das situações possíveis. A linha vai do ponto  $X_1, Y_1$  [para simplificação adoptámos (0,0)] ao ponto  $X_2, Y_2$  (5,3) por exemplo.



Como o ângulo com o eixo dos X é inferior a  $45^\circ$  ( $Y_2 \leq X_2$ ), podemos traçar a linha fazendo dar um passo quer só o motor X, quer fazendo dar um passo aos motores X e Y. A escolha entre estas duas possibilidades depende da diferença entre a e b. Se a é maior do que b, só o motor X deve dar um passo, senão os dois motores devem dar um passo. De facto procede-se à avaliação do ângulo entre a posição instantânea do aparato e o ponto de destino. Se este ângulo ultrapassa  $22^\circ 30'$  ( $2 dY - dX > 0$ ), faz-se um passo a  $45^\circ$  em direcção ao ponto seguinte ( $X+1, Y+1$ ). No caso contrário só o motor X dará o passo.



A vantagem deste algoritmo é que o processo de decisão resulta de um cálculo simples: as derivadas  $dX$  e  $dY$  são determinadas por uma subtracção, a multiplicação por 2 faz-se ao nível da linguagem máquina pelo deslocamento do número de uma posição para a esquerda. Para uma linha entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$  emprega-se o mesmo algoritmo

invertendo os papéis de X e de Y. Nos outros quadrantes pode-se traçar facilmente uma linha qualquer, seguindo o método abaixo descrito, determinando primeiro em que octante (semiquadrante) se situa o ponto de destino em relação ao ponto de origem. O fluxograma da figura 14 mostra como se pode traçar uma linha de um ponto a outro

Fig. 8. Nós demos ao circuito impresso a mesma largura da mesa de desenho, o que permite uma montagem elegante do dispositivo.

Fig. 9. The proof is the best of the pudding. Um dos primeiros desenhos.

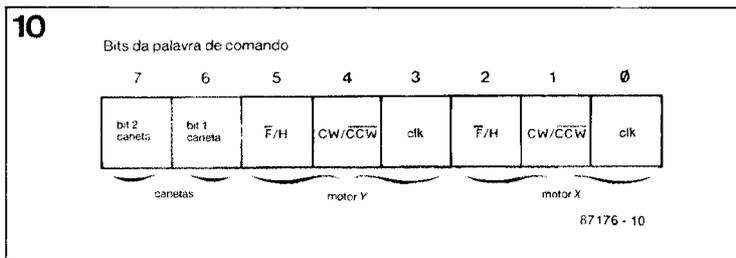


Fig. 10. Constituição das palavras de comando utilizadas para dar as ordens à mesa de desenho: três bits para o motor passo-a-passo e dois bits para o comando das canetas.

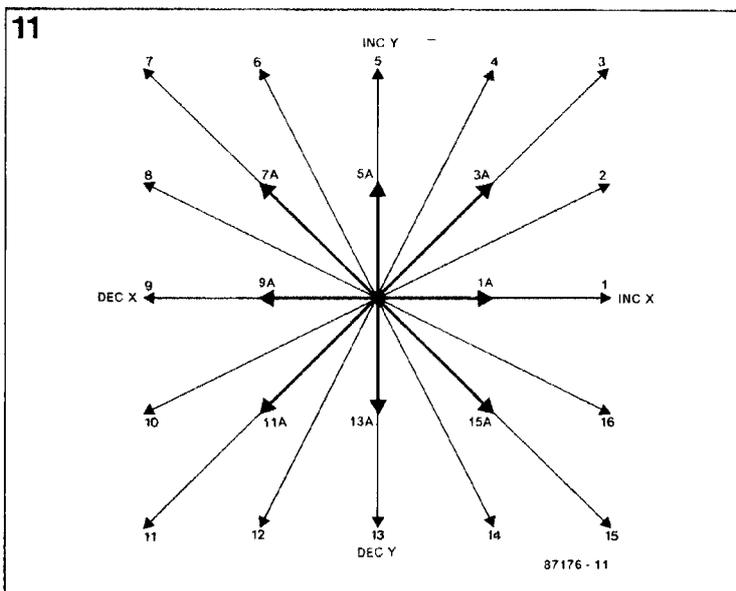
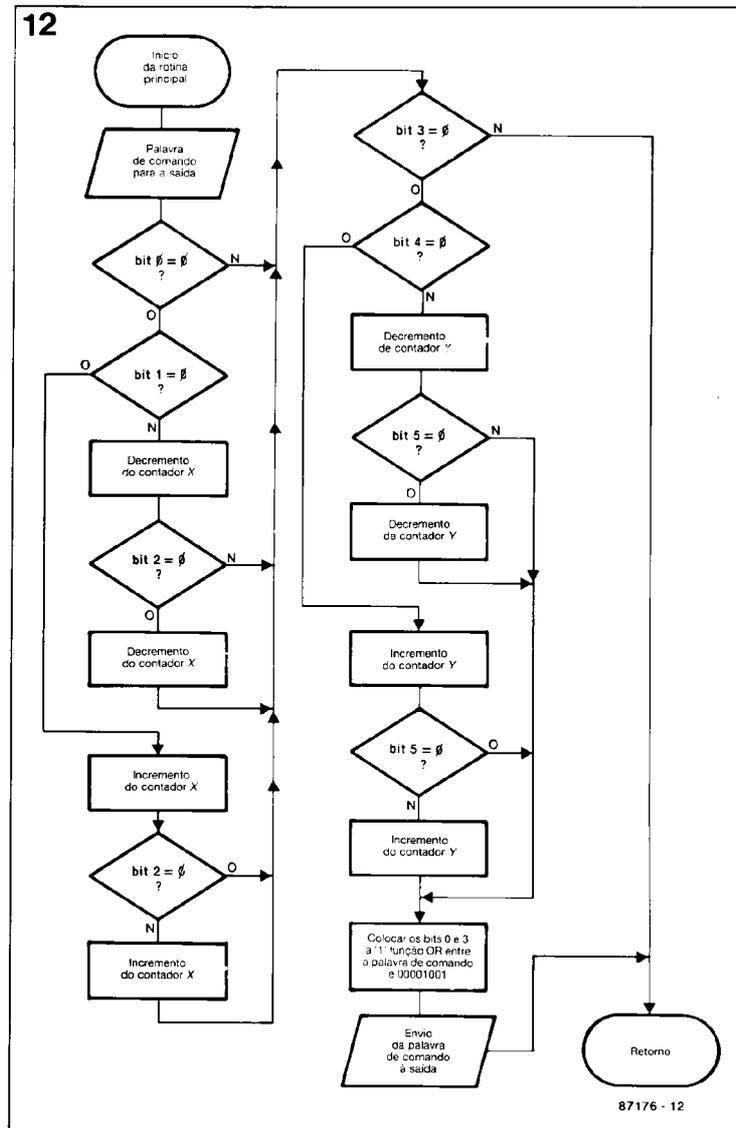


Fig. 11. As linhas direitas são relativamente fáceis de desenhar utilizando certos ângulos particulares (cardinais e intercardinais). O número colocado na extremidade de cada vector representa a palavra de comando correspondente da tabela 1. Os vectores a cheio são os do modo de meio passo (são duas vezes mais pequenos, mas com resolução dupla).

Fig. 12. Fluxograma da rotina da base. Os contadores nos quais são memorizadas as coordenadas X e Y deverão ser de 16 bits.



utilizando o método precedente. Procura-se primeiro em que octante (semiquadrante) as coordenadas de destino se encontram em relação às coordenadas de origem. Em função disto, fixa-se um ponteiro que designará um dos oito processos de decisão (tabela 2). Nos processos de decisão prepara-se a palavra de comando que determina que motor, naquele momento preciso, vai dar um passo e em que direcção o vai fazer. Finalmente para a execução do passo chama-se a rotina principal. Após alguns passos, as coordenadas instantâneas são comparadas com as coordenadas finais ( $X_2, Y_2$ ) e o algoritmo pára quando elas são iguais.

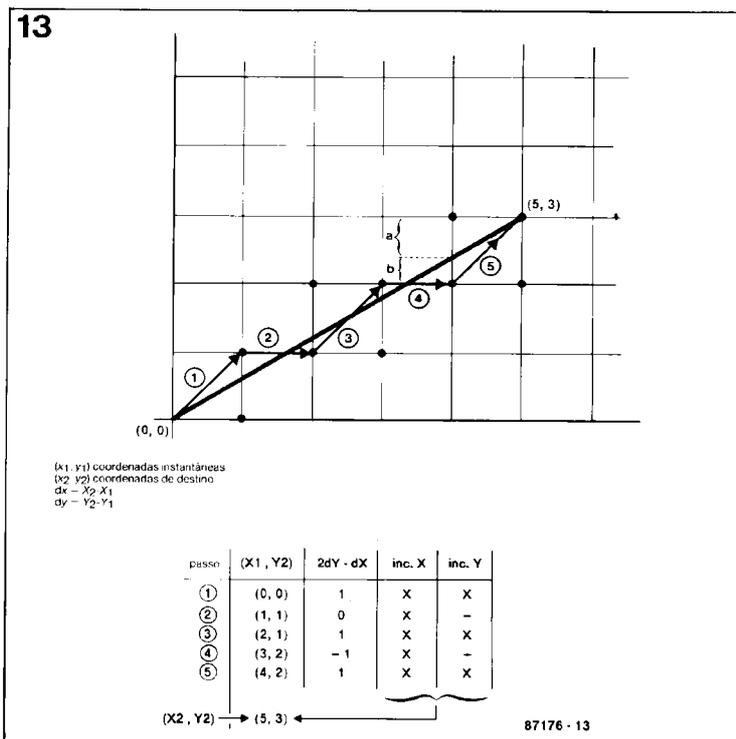
### Circunferências e elipses

Em grafismo, um dos traçados mais frequentemente utilizados é o círculo. Podem-se calcular as coordenadas dos pontos de um círculo empregando uma tabela dos valores de uma função seno sobre um período e uma tabela dos valores da função co-seno correspondente (arredondadas para números inteiros). Na primeira tabela encontramos informações para a coordenada X e na segunda para a coordenada Y. Se os valores têm a mesma amplitude, temos um círculo. Caso contrário obtém-se uma elipse, cujos eixos são paralelos aos eixos X e Y. Se se efectuar uma deslocação de uma das tabelas em relação à outra, obtém-se uma elipse, mas com os eixos inclinados em relação aos eixos X e Y (de facto, muda-se a relação de fase entre as duas funções sinusoidais). É exactamente porque o cálculo das coordenadas toma muito tempo que se utilizam tabelas para este trabalho. Pode-se finalmente traçar os círculos, fazendo a mesa de desenho andar de ponto em ponto utilizando o algoritmo de Bresenham.

### Melhoramento do programa de comando

Com a rotina de base aqui descrita, e com os algoritmos gerais, escreveremos um programa de comando universal. Podemos fazê-lo em linguagem de alto nível, apelando, nas partes em que o tempo urge, para as rotinas (em linguagem máquina) acima descritas. Com tal programa, traçaremos as linhas entre os pontos de quaisquer coordenadas (absolutas), as linhas entre a posição actual e a caneta e um ponto definido a partir desta posição (coordenadas relativas), as figuras usuais, como os círculos, os quadrados, etc. É ainda prático o facto de podermos incorporar texto nas figuras. Cada carácter é então considerado como um conjunto de coordenadas relativas. Se

Fig. 13. O algoritmo de Bresenham para traçar as linhas direitas. A linha ideal é traçada a cheio. Os pontos do desenho formam as posições discretas que poderão ter as canetas. É a diferença entre a e b que vai determinar se o passo seguinte é um passo sobre os eixos X ou dos Y.



elektor Novembro 1988  
 multiplicarmos estas coordenadas por um factor constante, poderemos aumentar (ou reduzir, se multiplicarmos por um factor inferior a 1) os caracteres.

O leitor atento e interessado por esta realização deverá compreender a leitura dos últimos parágrafos e, uma vez terminada a realização mecânica e electrónica desta mesa de desenho, deverá escrever o seu próprio programa-piloto para o carreto (com a ajuda dos fluxogramas dados neste artigo) antes de ver a caneta traçar uma elipse ou uma coroa como a da figura 9. A escrita das rotinas de base em linguagem máquina para 6502 e para o Z80 está em curso e propomo-nos publicá-las proximamente.

Tabela 1

VECTOR (FIGURA 11)	PALAVRA DE COMANDO		
	BIN. 7 6 5 4 3 2 1 0	HEX.	DEC.
1	x x x x 1 0 0 0	0 8	0 8
1A	x x x x 1 1 0 0	0 C	1 2
2	x x 1 0 0 0 0 0	2 0	3 2
3	x x 0 0 0 0 0 0	0 0	0 0
3A	x x 1 0 0 1 0 0	2 4	3 6
4	x x 0 0 0 1 0 0	0 4	0 4
5	x x 0 0 0 x x 1	0 1	0 1
5A	x x 1 0 0 x x 1	2 1	3 3
6	x x 0 0 0 1 1 0	0 6	0 6
7	x x 0 0 0 0 1 0	0 2	0 2
7	x x 1 0 0 1 1 0	2 6	3 8
8	x x 1 0 0 0 1 0	2 2	3 4
9	x x x x 1 0 1 0	0 A	1 0
9A	x x x x 1 1 1 0	0 E	1 4
10	x x 1 1 0 0 1 0	3 2	5 0
11	x x 0 1 0 0 1 0	1 2	1 8
11A	x x 1 1 0 1 1 0	3 6	5 4
12	x x 0 1 0 1 1 0	1 6	2 2
13	x x 0 1 0 x x 1	1 1	1 7
13A	x x 1 1 0 x x 1	3 1	4 9
14	x x 0 1 0 1 0 0	1 4	2 0
15	x x 0 1 0 0 0 0	1 0	1 6
15A	x x 1 1 0 1 0 0	3 4	5 2
16	x x 1 1 0 0 0 0	3 0	4 8
SELECÇÃO DA CANETA			
CANETA 1	0 0 x x 1 x x 1	0 9	0 9
CANETA 2	0 1 x x 1 x x 1	4 9	7 3
CANETA 3	1 0 x x 1 x x 1	8 9	1 3 7
TODAS AS CANETAS LEVANTADAS			
	1 1 x x 1 x x 1	C 9	2 0 1

x = indiferente supostos a «0» no presente caso

Tabela 1. Constituição da palavra de comando.

Tabela 2a

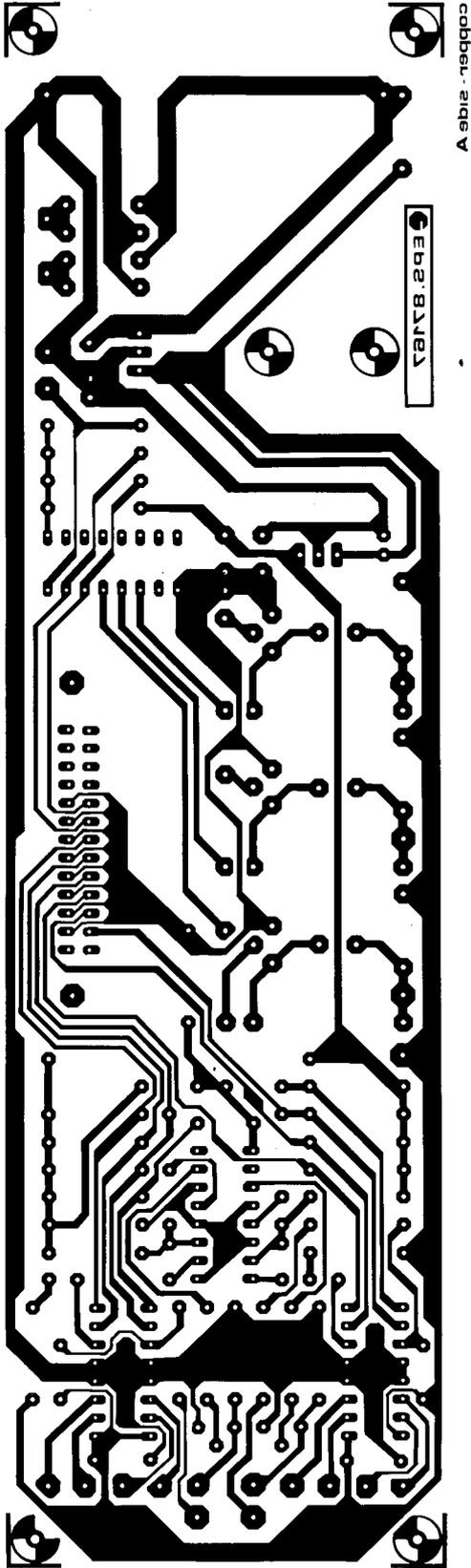
octante	procedimento	passo a efectuar para resultado	
		≤ 0	> 0
0 ... 45°	2 * (y2 - y1) - (x2 - x1)	inc. x	inc. (x, y)
45° ... 90°	2 * (x2 - x1) - (y2 - y1)	inc. y	inc. (x, y)
90° ... 135°	2 * (x1 - x2) - (y2 - y1)	inc. y	dec. x, inc. y
135° ... 180°	2 * (y2 - y1) - (x1 - x2)	dec. x	dec. x, inc. y
180° ... 225°	2 * (y1 - y2) - (x1 - x2)	dec. x	dec. (x, y)
225° ... 270°	2 * (x1 - x2) - (y1 - y2)	dec. y	dec. (x, y)
270° ... 315°	2 * (x2 - x1) - (y1 - y2)	dec. y	inc. x, dec. y
315° ... 360°	2 * (y1 - y2) - (x2 - x1)	inc. x	inc. dec. y

Tabela 2. O procedimento a utilizar depende do octante no qual se situam as coordenadas do ponto de destino em relação ao ponto representado pelas coordenadas instantâneas.

Tabela 2b

	palavra de ordem
inc. x	x x x x x 0 0
dec. x	x x x x x 1 0
inc. y	x x x 0 0 x x x
dec. y	x x x 1 0 x x x

8716 mesa de desenho



copiada - aiba A

880030 sistema de coluna activa

