

ELETRÔNICA

31

para todos



IGBT



**TRANSMISSÃO
DE DADOS**



DADOS DOS IGBT



**O FORNO
MICROONDAS**



**REALIZAÇÃO DOS CIRCUITOS
IMPRESSOS PROFISSIONAIS**



**Projeto nº 31:
DETETOR DE FUMAÇA**

SALVAT



**JACKSON
LIBRI**



IGBT

São transistores especiais, criados por exigência da eletrônica de potência

Os habituais transistores **bipolares** (BJT) têm uma tensão de saturação bastante baixa mesmo com correntes fortes, mas necessitam de corrente da base e têm um ganho escasso (ver lição 15).

Os **MOSFET**, pelo contrário, não têm estes problemas (ver lição 22), mas a queda de tensão nos seus extremos sobe rapidamente quando aumenta a corrente e a temperatura.

Os **IGBT** (Insulated-Gate Bipolar Transistor: transistor bipolar de porta isolada) reúnem as principais vantagens dos dois tipos anteriormente citados, pelo que encontraram muitas aplicações como comutadores de potência.

Um IGBT é, num determinado aspecto, um híbrido entre um MOSFET e um BJT, adequado para o seu "nicho ecológico".

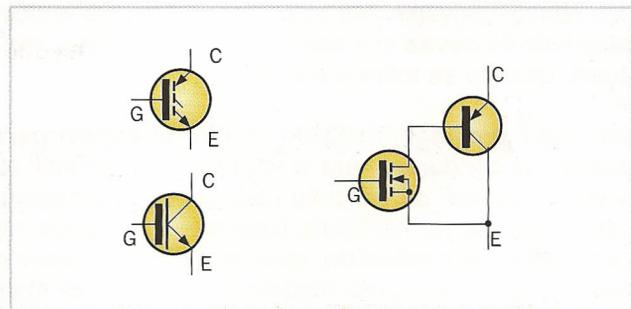


UM HÍBRIDO INTERESSANTE

A figura mostra o **símbolo** do IGBT que, como dizem as siglas, é um transistor BJT com uma porta isolada no lugar da união normal da base.

O **circuito equivalente** mostra que um IGBT está formado essencialmente por um MOSFET (do tipo enhancement) que controla um transistor bipolar PNP.

De fato, no encapsulamento não existem na realidade dois componentes **distintos**, o que acontece é que está realizado com silício de modo equivalente a um MOSFET; o esquema serve apenas para dar uma idéia do seu comportamento.



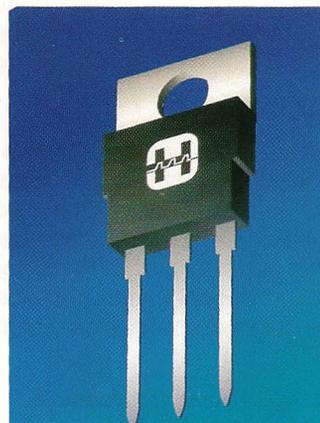
Símbolos de um IGBT, e o circuito equivalente (simplificado): comporta-se como um MOSFET que controla um BJT.

CONTROLE DA TENSÃO

Como acontece com um MOSFET, também se pode controlar um IGBT aplicando uma **tensão** à porta: este processo faz conduzir o MOSFET do circuito equivalente que, por sua vez, proporciona corrente da base para o transistor PNP.

A diferença que existe entre um IGBT e um BJT é que não há nenhuma absorção da corrente da porta, o que simplifica muito os circuitos de **controle** dos interruptores de potência, como com os MOSFET.

É interessante observar como o **coletor** de um IGBT (C na figura de cima) corresponde realmente ao



emissor do transistor equivalente, que é um PNP montado ao contrário.

Um IGBT apresenta-se como um transistor normal de potência.



Virtudes e defeitos dos IGBT

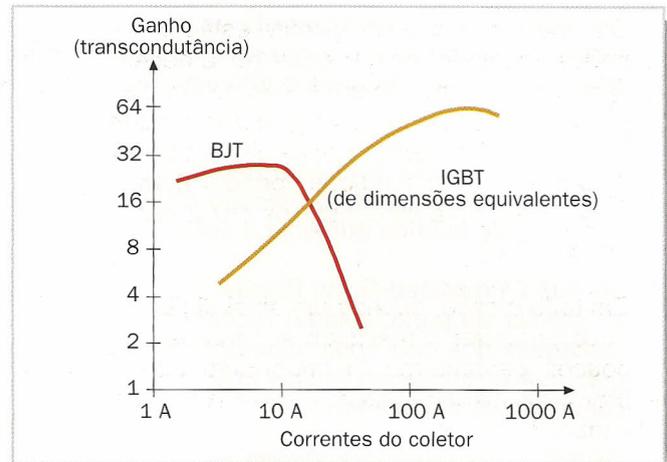
São interruptores muito bons para tensões altas e potências médias

A figura mostra que o **ganho** (transcondutância) de um IGBT não baixa quando aumenta a corrente do coletor, como acontece nos BJT; pelo contrário, varia para cima.

A **queda de tensão**, em comparação com o que acontece com os MOSFET, permanece baixa também com correntes elevadas, embora superior à de uma queda de diodo.

Os IGBT são também relativamente mais fáceis de pôr **em paralelo** entre si no que respeita aos BJT já que, de certo modo, não são tão cômodos e seguros como os MOSFET.

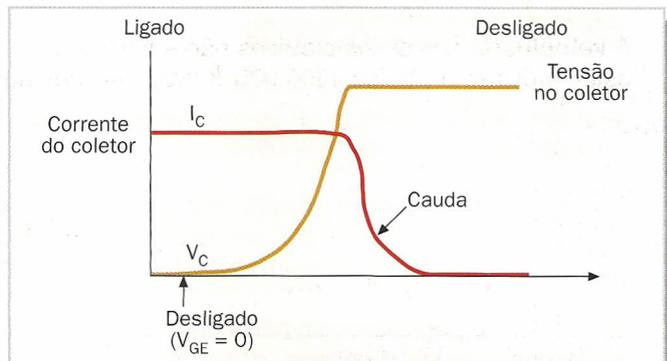
Enquanto o ganho de um transistor BJT baixa rapidamente para correntes fortes, o de um IGBT continua subindo.



CARGAS RESIDUAIS

Naturalmente, nem sequer os IGBT são perfeitos; um dos seus inconvenientes está constituído pela impossibilidade de **esvaziar** a base do PNP das cargas residuais, quando se retira o controle.

Um IGBT emprega, portanto, um certo **tempo** para passar da condução para a interdição, com uma incômoda "cauda" da corrente (que causa dissipação), como se pode ver na figura. Este fenómeno pode, de certa forma, **ser reduzido**, quer seja atuando sobre o controle quer utilizando modelos rápidos (mas mais delicados no caso de excesso de corrente), embora não possa ser totalmente eliminado.



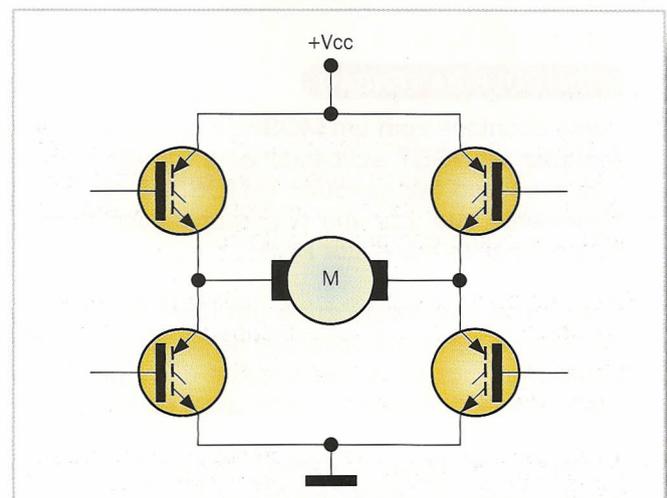
É preciso um certo tempo para que a base se esvazie e a corrente do coletor de um IGBT baixe para zero.

UTILIZAÇÃO DOS IGBT

As vantagens dos MOSFET e os transistores bipolares manifestam-se de um modo cada vez mais evidente com o aumento da **tensão** do trabalho nos extremos do componente.

Os IGBT são, portanto, muito utilizados como **interruptores**, especialmente em tensões bastante elevadas (mesmo por cima dos 1.000 V), como por exemplo no controle dos motores elétricos. Por distintos motivos, existe entre eles uma certa sensibilidade aos curto-circuitos breves; no entanto, o desenho dos circuitos com IGBT é um pouco mais **delicado** do que os circuitos equivalentes do MOSFET.

Motor controlado por uma ponte de IGBT: nas comutações é necessário dar tempo para a "cauda" da desligação.



GTO

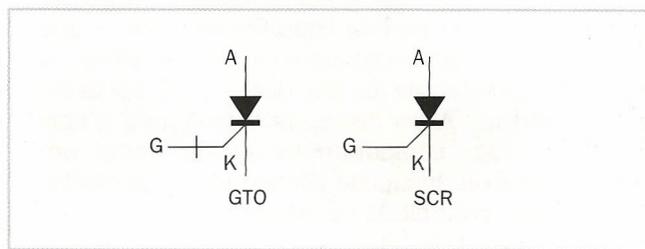
Para as potências altas existem diodos controlados que podem ser desligados com uma porta

Um dos inconvenientes dos SCR (diodos controlados, ver lição 30) está constituído pela necessidade de **interromper** a corrente que os atravessa, quando se desejam enviar para interdição.

Quando se trabalha com **corrente contínua**, a sua utilização resulta bastante problemática; no entanto, os SCR suportam correntes e tensões elevadas e são bons comutadores.

O símbolo de um GTO é muito parecido com o do seu primo que não pode ser interrompido, o SCR.

Portanto, foram desenvolvidos os GTO (Gate Turn-off Thyristor: tiristor de desativação da porta): são SCR nos quais a corrente pode ser interrompida com um simples **impulso negativo** na porta.



CONTROLE DA PORTA

Devido aos fenômenos especiais internos do dispositivo, o circuito que controla a porta (ou seja, o controlador) deve **respeitar** uma série que tem as características exigidas pelo construtor.

Por exemplo, a **velocidade de variação** da corrente negativa da desligação (di/dt) não deve ser nem baixa demais nem elevada demais; é necessário também ter bem presente as induções parasitas.

Além disso, a desligação necessita de um certo **tempo** com uma "cauda" relativamente comprida, no fim da qual convém manter uma determinada corrente negativa na porta.



Os GTO encontram-se principalmente nos encapsulamentos habituais para semicondutores de elevada potência.

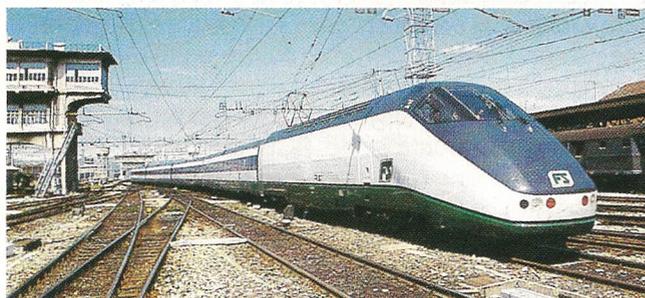
USOS DOS GTO

A principal vantagem destes dispositivos reside na capacidade de suportar tensões e correntes muito **elevadas**, por exemplo 4.000 V e 2.000 A.

Portanto, resultam especialmente úteis naquelas situações nas quais estão em jogo potências bastante elevadas, como no caso da **tração elétrica** (especialmente no campo ferroviário).

Para as aplicações com potências inferiores prefere-se geralmente empregar os **IGBT**, mais manipuláveis

Os GTO encontram aplicação nas situações em que estão em jogo centenas ou milhares de KW, e não se requerem comutações muito rápidas.



e velozes, cujo controle é muito mais simples, especialmente através de circuitos digitais.



Transmissão de dados

O processo de enviar informação à distância implica uma série de complicações

Os sinais lógicos nem sempre estão confinados no interior de um aparelho; é necessário freqüentemente **enviá-las** de um dispositivo para outro. Este processo pode produzir-se em **série**, com os bits um atrás do outro num mesmo fio, ou em **paralelo**, com um fio para cada um dos bits a ser transportado.

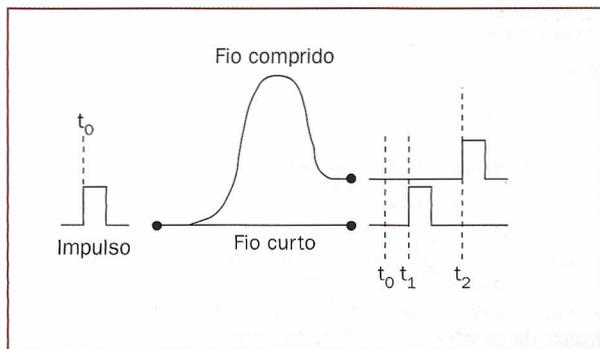
Em todo o caso, quando um sinal digital deve percorrer **distâncias** superiores a poucos centímetros, é importante lembrar vários fenômenos que não devem ser esquecidos.



TEMPO DE TRÂNSITO

A **velocidade** dos sinais elétricos não é infinita: pode estar próxima à da luz (300.000 Km/s), ou mesmo

muito mais baixa, conforme as características do fio no qual viagem.



Registra-se, portanto, um **atraso**: para percorrer três metros de fio, por exemplo, o sinal emprega pelo menos 10 ns (nano-segundos), no que se considera o caso ideal da velocidade máxima possível.

Trata-se, eletronicamente falando, de um **tempo** que não deve ser desprezado, equivalente ao atraso introduzido pelo cruzamento de várias portas lógicas.

O trânsito de um sinal elétrico através de um fio necessita de um certo tempo, que depende do comprimento do fio que se vai percorrer.

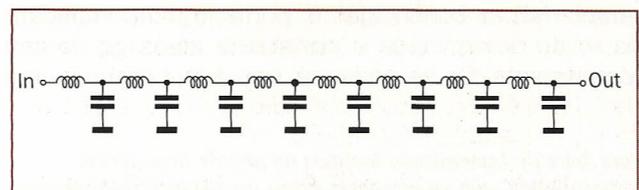
LC DISTRIBUÍDOS

Qualquer fio tem uma **indução** própria e uma **capacidade** em direção à massa; estas características não estão concentradas num ponto, mas sim distribuídas a todo o comprimento do fio.

Este fato pode ser considerado como uma **série** infinita de minúsculos indutores e capacitores, colocados um atrás do outro ao longo do próprio fio, como se mostra na figura.

Um simples fragmento de fio comporta-se como uma linha de transmissão, com indução e capacidade distribuídas.

Por outras palavras, comporta-se como uma **linha de transmissão** (ver lição 20 de Analógica), que atenua o nível do sinal, e pode alterar a forma.



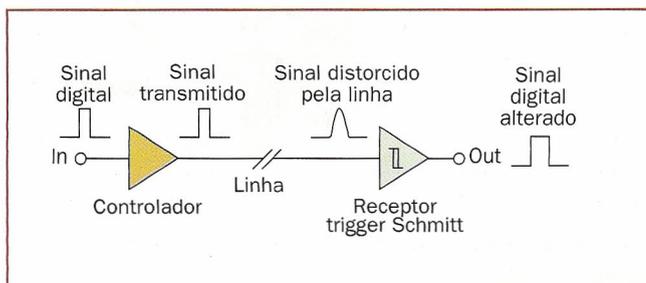


Alterações do sinal

O que se recebe nunca é idêntico ao que foi transmitido

Numa primeira aproximação, um fio comporta-se como um filtro **passa-baixa**, que deixa passar as frequências mais baixas e atenua as mais elevadas.

Portanto, são atenuados os harmônicos superiores por arredondamento das frentes inclinadas dos sinais digitais, causando alguns possíveis **erros de temporização** (ver figura).



Deste modo, não é suficiente voltar a amplificar o sinal após o trânsito realizado por um fio comprido: é preciso atuar de forma a **evitar**, dentro do possível, as distorções do mesmo sinal.

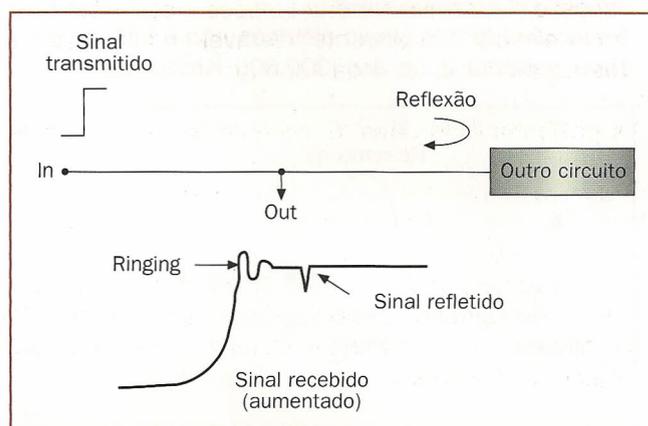
Um sinal digital, reconstruído após a passagem pelo fio comprido, pode sofrer distorções temporárias da informação original.

REFLEXÕES E RINGING

Quando um sinal digital chega ao final do fio, a parte da energia que não é absorvida pelo receptor **reflete-se**, percorrendo novamente o fio mas desta vez ao contrário.

Esta energia **interfere** com o sinal em trânsito, causando interferências que também podem ser bastante amplas, podendo chegar mesmo a falsear a leitura do nível lógico. No entanto, algumas possíveis ressonâncias podem causar **ringing**, ou seja, oscilações atenuadas de acordo com cada transição digital (mudança do estado lógico).

Um simples fio, ou mesmo um longo trilho do circuito impresso, podem introduzir alterações não desejadas no sinal.



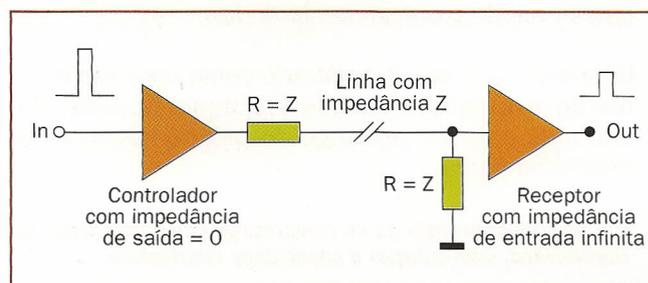
IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA

Como acontece com a alta frequência, a solução para estes problemas baseia-se numa correta **adaptação da impedância** (ver lição 28 de Analógica) entre o transistor, a linha de transmissão e o receptor.

Este fato significa que o fio (ou trilho de cobre) deve ter características conhecidas e, portanto, uma impedância muito determinada e **constante** ao longo do seu comprimento. Se se pode ver nos dois extremos uma

resistência pura de valor equivalente à da própria impedância, os problemas desaparecem e permanece apenas um simples enfraquecimento.

Uma linha de transmissão fechada na própria impedância característica, não se comporta como um simples resistor nem altera o sinal.



Linhas para utilização digital

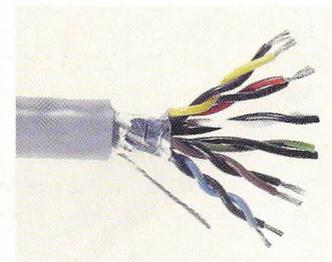
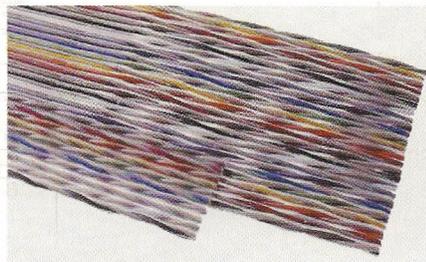
Conforme a distância que se vai ter de cobrir, podem ser utilizadas diferentes técnicas

Os problemas de transmissão vão se tornando cada vez mais graves à medida que aumenta a **distância** à qual se tem de transmitir o sinal, a **freqüência** que está em jogo e a velocidade de comutação.

Para requisitos menos exigentes, pode-se utilizar uma simples linha de transmissão realizando um **trançado** com o fio do sinal e o da massa: a impedância torna-se relativamente constante.

Para as freqüências elevadas, como as das redes locais, é útil recorrer aos **cabos coaxiais** (ver lição 13 de Componentes), de características conhecidas, com grande precisão.

Fios multi-fio trançados, na versão plana (impedância declarada de 105 Ω) e na versão blindada (77 Ω).

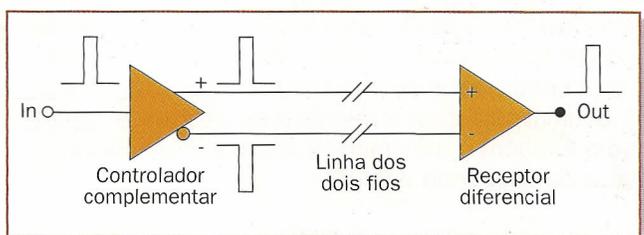


LINHAS EQUILIBRADAS

Uma linha de transmissão pode captar interferências eletromagnéticas; além disso, as absorções da corrente podem produzir pequenas **tensões** entre as massas dos aparelhos nos extremos do fio.

Uma possível interferência deslocará o nível da tensão nos dois fios, pelo que será uma interferência **comum** e será ignorada pelo receptor, que está apenas atento às diferenças entre os dois.

Para evitar que interfiram no sinal, podem-se enviar dois sinais com **fase oposta** nos dois fios e no receptor e medir apenas a diferença entre as duas tensões.



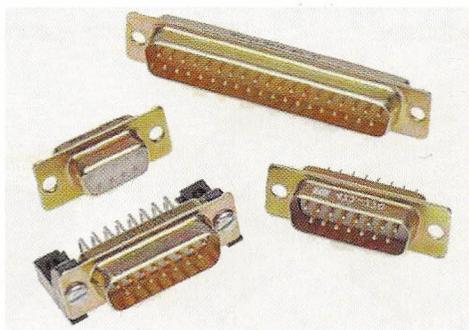
Transmissão em linha equilibrada: os dois fios movem-se no sentido oposto, para eliminar o efeito das interferências comuns.

OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Tanto as distorções como as leituras erradas não são os únicos problemas da **transmissão** de dados entre dois aparelhos distintos.

contida na capacidade do fio é suficiente para danificar os circuitos.

Por exemplo, é possível que as **massas** dos dois dispositivos se encontrem com potenciais muito distintos, especialmente se estão distantes e não estão ligadas à mesma instalação elétrica.



Além disso, no momento da ligação corre-se o risco de uma **descarga eletrostática**: a energia

Os conectores do tipo D, que são utilizados nos PC, empregam uma arandela metálica para descarregar a eletricidade estática antes de que os contatos se toquem.



Standards e controladores

É necessário que os dispositivos que se ligam adotem os mesmos convênios

As **características** dos já habituais CMOS não são adequadas para a transmissão dos dados: a impe-



dância não é conhecida, as possibilidades de ruídos são baixas e as proteções também são inadequadas. Portanto, foram definidos **standards** mais adequados para este objetivo, com a finalidade de que dois ou mais dispositivos possam enviar entre si sinais digitais de um modo garantido.

Por exemplo, o standard **RS-232**, que é muito utilizado para ligações curtas, define tanto as características do sinal como as dos conectores, embora existam muitas variantes destes últimos.

Os modems estão freqüentemente ligados ao PC através de uma "porta série", que utiliza o standard RS-232.

CONTROLADORES PARA O RS-232

Para que possa haver uma boa imunidade contra as interferências, o **transmissor** (controlador) RS-232 utiliza níveis H e L mais espaçados entre si com respeito à lógica normal, pelo menos +3 e -3 V, mas normalmente +12 V e -12 V. Além disso, está protegido contra o curto-circuito e limitado pelo **slew rate** (inclinação das transições), para reduzir as reflexões e não produzir harmônicos com freqüência elevada e, portanto, interferências de rádio. O **receptor** tem um trigger Schmitt para ignorar interferências fracas, e resiste (como também o transmissor) às descargas electrostáticas de uma certa energia.

O sinal RS-232, devido também ao amplo percurso, apresenta uma discreta imunidade às interferências, pelo menos em distâncias curtas.

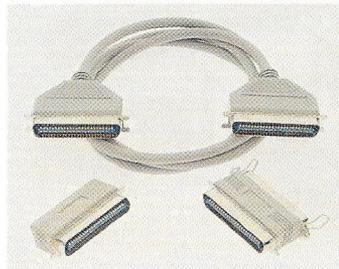


OUTROS PADRÕES

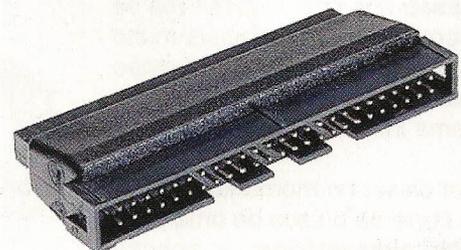
Existem outros padrões, vários dos quais indicados para a transmissão de dados nas linhas digitais, criados também como resposta às diferentes **exigências** da velocidade, fiabilidade, consumo e robustez.

Por exemplo, o RS-422 e o RS-485 são utilizados para as **linhas equilibradas**, ao passo que os USB e FireWire (IEEE-1394), mais recentes, estão projetados para velocidades de transmissão elevadas.

Os terminais utilizados nos fios do SCSI standard servem para adaptar a impedância e eliminar as reflexões.



Alguns standards permitem ligar **vários dispositivos** num único par de fios: citamos por exemplo o CAN (Controller Area Network: rede da área do controlador), utilizado no campo industrial e automobilístico.



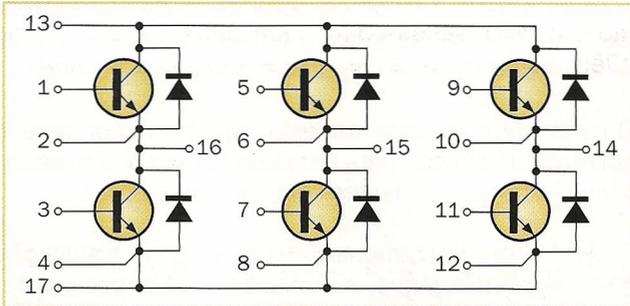


Dados dos IGBT

Como é previsível, os IGBT contêm elementos dos BJT e elementos dos MOSFET

O BSM 20 GD 60 DN2 (Siemens) é um “módulo de potência”, ou seja, um módulo que contém vários dispositivos de potência, neste caso em especial, seis IGBT dispostos para formar três semi-pontes, como a que é mostrada na figura.

Existe uma aplicação que já é habitual e que consiste no controle de um motor trifásico, ligado aos contatos 14, 15 e 16; a configuração toma o nome de **ponte trifásica** (ver lição 27 de Digital). Cada IGBT está protegido por um robusto **diodo** em anti-paralelo, para evitar problemas com cargas indutivas e com tensões geradas pelo motor em movimento.



Disposição de contatos do módulo de potência, que contém seis IGBT com diodos rápidos de proteção associados.

LÍMITES MÁXIMOS

A tabela mostra os limites que não devem ser superados: o dispositivo suporta tensões e correntes bastante elevadas; a corrente tolerável durante **breves instantes** (1 ms) é ainda superior.

A **potência dissipável** é, no entanto, relativamente baixa: 90 W (para cada transistor), o que significa que não podem ser aplicadas ao mesmo tempo tanto tensões como correntes altas.

A **tensão na porta** é a habitual dos pequenos MOSFET, e pode ter as duas polaridades; se superar os 20 V indicados, o fino estrato isolador pode ser perfurado irremediavelmente.

Parâmetro	Símbolo	Valores	Unidade
Voltagem do coletor-emissor	V_{CE}	600	V
Voltagem do coletor-porta $R_{GE} = 20 \text{ K}\Omega$	V_{CGR}	600	V
Voltagem do porta-emissor	V_{GE}	± 20	V
Corrente do coletor contínua $T_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	I_C	20	A
Corrente do coletor de impulsos, $t_p = 1 \text{ ms}$	I_{Cpuls}	40	A
Dissipação de potência para o IGBT $T_C = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	P_{tot}	90	W

Limites elétricos dos IGBT contidos no módulo; além disso há também um limite térmico: a união não pode ultrapassar os 150 °C.

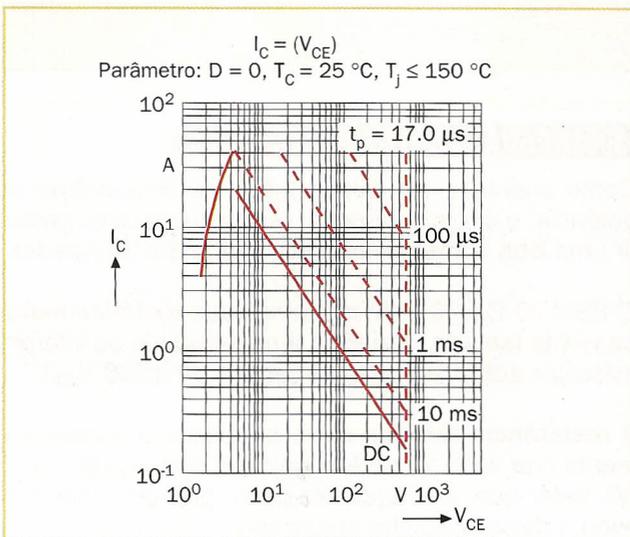
BREVES CURTO-CIRCUITOS

O gráfico da “zona de funcionamento segura” mostra que os IGBT podem realmente suportar elevadas tensões e correntes contemporâneas, mas apenas durante **breves instantes** (linhas interrompidas).

Em especial, durante um tempo máximo de 17 ms (ângulo de cima e à direita) é possível finalmente aplicar 600 V e 40 A, correspondentes a **24 KW** de dissipação.

Observemos a quase total **ausência** nestes IGBT do incômodo fenômeno da segunda ruptura (ver lição 15 de Analógica), característico dos transistores de união.

Combinações admissíveis de tensão e corrente nos extremos dos IGBT: para além da linha contínua, há um tempo máximo tolerável.





IGBT como interruptores

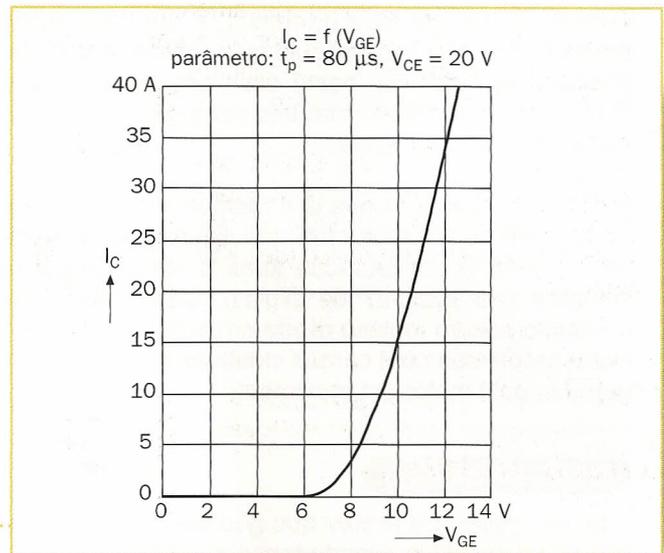
O controle da tensão é cômodo, mas a comutação não é muito rápida

A figura mostra a típica **característica de transferência** dos IGBT: se aumentar a tensão da porta V_{GE} num determinado limiar, o dispositivo começa a conduzir.

Quanto mais elevada for esta tensão, maior será a **corrente** do coletor: para uma boa comutação é necessário controlar a porta com amplas variações.

Os IGBT têm infelizmente uma **tensão de saturação** (C-E) significativa que, no entanto, permanece aceitável mesmo com correntes altas: com 10 A, o nosso dispositivo declara 2,8 V máximos.

O ganho de um IGBT é uma transcondutância, ou seja, a relação entre (variação de) corrente do coletor e tensão da porta.



TEMPOS DE COMUTAÇÃO

Na tabela estão especificadas as características da

Parâmetro	Símbolo	Valores			Unidade
		Min.	Tip.	Máx.	
Tempo de atraso do início da condução $V_{CC} = 300 V$, $V_{GE} = 15 V$, $I_C = 20 A$ $R_{Gon} = 47 \Omega$	$t_{d(on)}$	-	40	-	ns
Tempo da subida $V_{CC} = 300 V$, $V_{GE} = 15 V$, $I_C = 20 A$ $R_{Gon} = 47 \Omega$	t_r	-	70	-	ns
Tempo do atraso do início da interdição $V_{CC} = 300 V$, $V_{GE} = -15 V$, $I_C = 20 A$ $R_{Goff} = 47 \Omega$	$t_{d(off)}$	-	250	-	ns
Tempo da descida $V_{CC} = 300 V$, $V_{GE} = -15 V$, $I_C = 20 A$ $R_{Goff} = 47 \Omega$	t_f	-	500	-	ns

comutação: ao atraso do **início** da condução é somado o **tempo da subida**.

Quando se inverte a polaridade na porta para desligar o dispositivo, o tempo do **início de interdição**, é seguido pelo **tempo de descida** da corrente.

A carga acumulada na porta torna a abertura mais lenta quando se fecha (750 ns contra 110 ns): uma vez que se desliga um IGBT de semi-ponte, é necessário **esperar** antes de ligar o oposto.

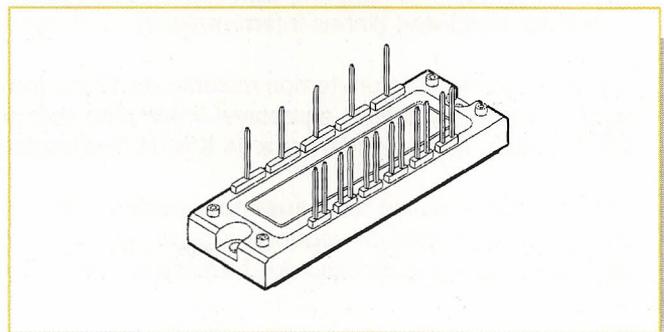
Características da comutação: o fechamento é relativamente rápido, mas a reabertura requer muito mais tempo.

ENCAPSULAMENTOS ADEQUADOS

Como acontece em quase todos os dispositivos de potência, o encapsulamento ou invólucro deve garantir uma **boa transferência** do calor até o dissipador.

O BSM 20 GD 60 DN2 tem uma base **metálica eletricamente isolada**, que evita a necessidade de interpor materiais adicionais (o isolamento é de 2.500 V_{CA}).

A **resistência térmica** entre a união e o encapsulamento (ver lição 15 de Analógica) é apenas de 1,6 $^{\circ}C/W$, valor que, em qualquer caso, põe um limite térmico à dissipação global dos seis IGBT.



Aspecto físico do dispositivo: à esquerda os terminais de potência e à direita os de controle.

Dados das interfaces de linha

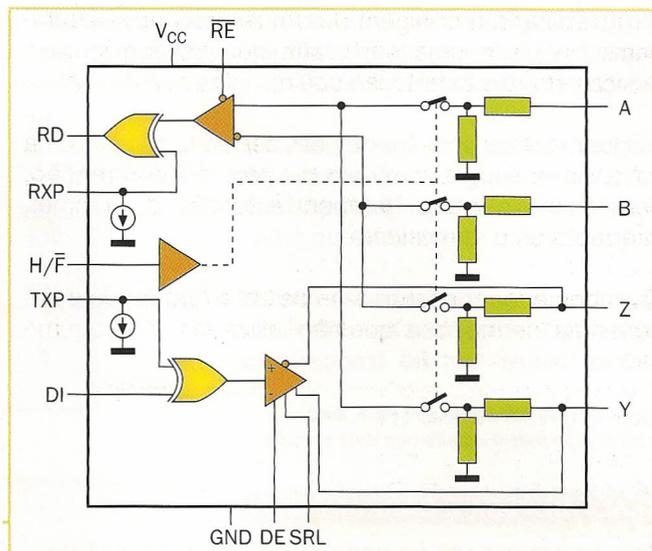
Examinamos as características de um transceptor versátil, ou seja, um receptor-transmissor

O **MAX3089** (MAXIM) contém um transmissor e um receptor de RS-485 e RS-422 standards: permite realizar uma completa interface de comunicação.

O dispositivo está previsto para linhas **equilibradas**: o controlador (transmissor) produz duas tensões de polaridade oposta, ao passo que o receptor se baseia na diferença da tensão entre os dois fios.

Na figura, o A e o B são as **entradas** do receptor, e o Y e o Z são as **saídas** do transmissor. A polaridade dos sinais (DI e RD) podem ser definidos respectivamente pelos TXP e RXP, que atuam nas duas portas XOR.

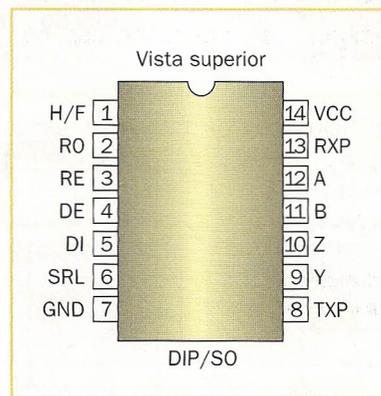
Esquema interno do MAX3089: em cima o receptor de linha e em baixo o controlador, à esquerda a entrada (DI) e a saída (RD).



PROTEÇÕES

Uma interface de comunicação sofre **stress elétrico**: curto-circuitos, descargas eletrostáticas, controladores múltiplos que tratam de controlar a linha com polaridade oposta.

No caso de surgir uma **sobrecarga**, o controlador limita a corrente que é fornecida; se o problema persistir e ocasionar um aquecimento do chip, desliga o transmissor colocando-o em impedância alta. O receptor, no entanto, vai para o nível H, tanto no caso de que a linha se interrompa como no de que se encontre em curto-circuito, de modo que se possam evitar **falsas leituras**.



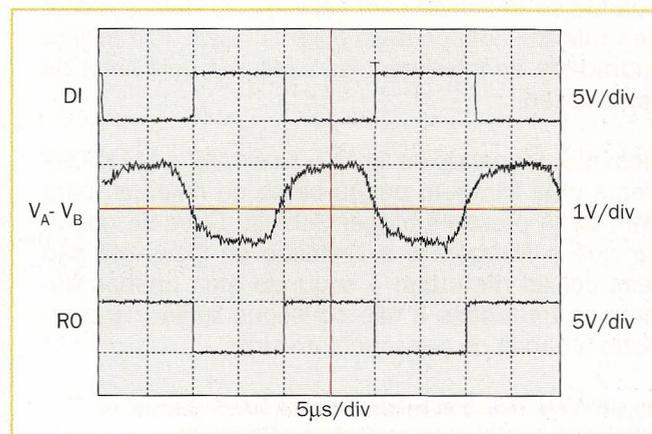
Disposição dos contatos do MAX3089: para poupar contatos, algumas entradas têm três estados (a massa com V_{CC} aberto).

CONTROLE DO SLEW RATE

O MAX3089 com uma linha de impedância correta, pode alcançar os **10 Mbps** (megabits por segundo), ou seja, na prática 10 MHz. Para velocidades inferiores, pode-se **limitar** a transição do sinal (slew rate) para reduzir as interferências produzidas (EMI: Electromagnetic Emissions, emissões electromagnéticas), atuando sobre o contato 6.

A figura mostra um sinal de 50 KHz "suavizada" na transmissão, mas depois perfeitamente **reconstruída** pelo receptor, após 1.200 m de fio.

Transmissão no fio comprido: em cima a entrada do transmissor, no meio o sinal na linha e em baixo a saída do receptor.





Ligações dos transceptores

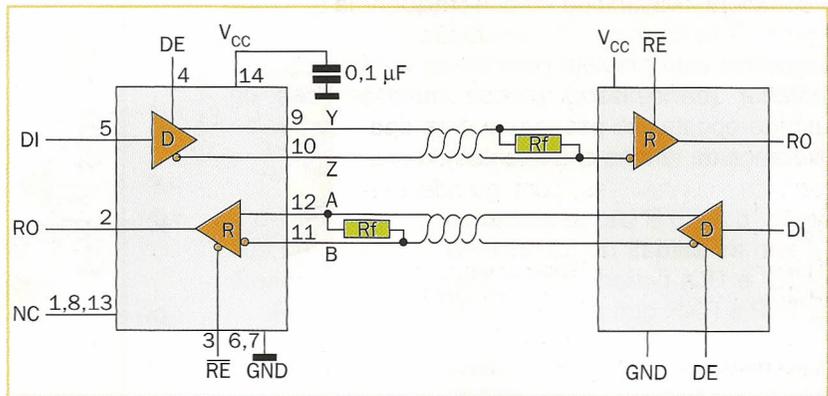
Uma linha de comunicação não liga necessariamente dois pontos únicos

A ligação mais simples entre dois dispositivos é o **full-duplex**: o transmissor do primeiro está ligado ao receptor do segundo e vice-versa. A impedância conhecida; também se indica a resistência da terminação.

A figura mostra uma ligação deste tipo: a comunicação num determinado sentido é totalmente **independente** daquela que se desenvolve no outro.

As linhas foram desenhadas entrelaçadas para indicar que é preciso, pelo menos, utilizar um **fio trançado** de

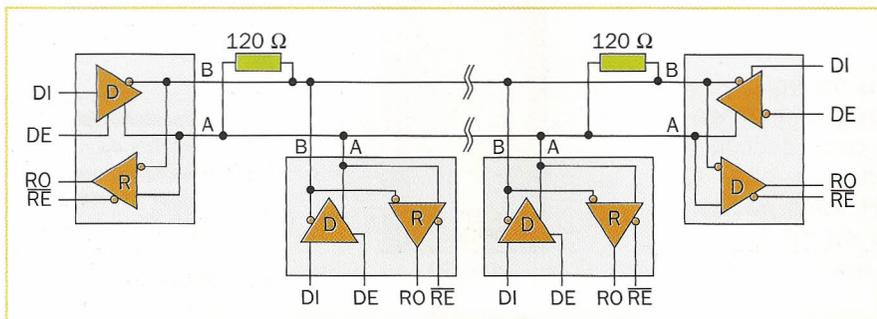
Típica ligação full-duplex, ou seja, com transmissão independente nos dois sentidos.



HALF-DUPLEX E BARRAMENTO

Para se poupar um fio pode-se trabalhar em half-duplex, ou seja, **alternar** a transmissão tanto num sentido como no outro, utilizando os interruptores especiais do MAX3089 (ver esquema da página anterior).

Quando se ligam mais de dois dispositivos no mesmo fio, como se indica na figura, converte-se no **barramento ou bus** de uma rede local: apenas um dispositivo pode transmitir, os outros só podem receber.



Como acontece neste caso, a linha nem sempre está controlada; portanto, é necessária uma resistência de terminação **nos dois** extremos do fio trançado.

Linha de comunicação utilizada como barramento: emprega-se a entrada DE (driver enable) para ativar apenas um transmissor de cada vez.

AUMENTAR A MARGEM

Quando se transmite com velocidades baixas e com slew rate limitado, pode-se obter também uma melhor **imunidade** às interferências captadas pela linha de transmissão.

Além disso, quando se limita o slew rate, o MAX3089 efetua uma filtragem **passa-baixa** no receptor, para além da já presente trigger Schmitt. Deve-se observar que a filtragem e a limitação do slew rate são duas coisas **distintas**: o segundo atua apenas durante as transições e não consegue limitar de outro modo a banda da passagem do sinal.

No ambiente industrial existem muitas interferências: se reduzirmos a velocidade, aumentará a fiabilidade.





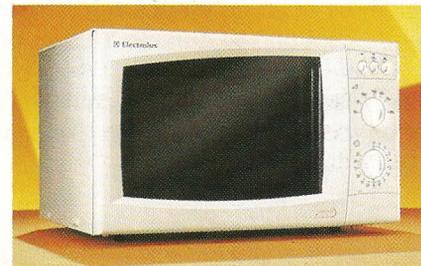
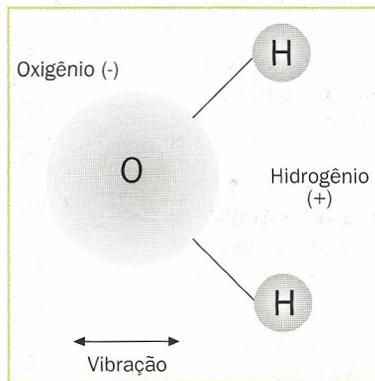
O forno micro-ondas

Um campo eletromagnético de altíssima frequência que serve para aquecer os alimentos

As moléculas de água estão ligeiramente **polarizadas**, ou seja, têm carga negativa por uma parte e positiva pela outra; tendem, portanto, a alinhar-se num possível campo elétrico.

A componente elétrica deste campo faz **vibrar** as numerosas moléculas de água contidas nos alimentos, produzindo calor (é, de certo modo, como esfregar as mãos uma na outra).

Um forno micro-ondas contém um **oscilador**, normalmente com a frequência de 2,45 GHz, que produz um potente campo eletromagnético (de 1 KW ou mais).



Num forno microondas, o aquecimento é provocado pelas vibrações das moléculas da água.

O MAGNETRÃO

O oscilador de potência utilizado nos fornos microondas resulta dos **radares** utilizados na Segunda Guerra Mundial. Estão baseados num tubo eletrônico especial chamado "magnetron".

Os elétrons emitidos por um eletrôdo aquecido (catodo), e guiados por ímãs ao longo de um percurso em espiral, excitam uma série de **cavidades ressonantes** situadas à sua volta.

É suficiente **alimentar** o magnetron com uma tensão contínua bastante elevada, normalmente à volta de



2 KV, para obter uma enérgica emissão de microondas com uma frequência precisa.

Os magnetrons também são utilizados em muitas atividades industriais, para aquecer ou descongelar, nem sempre no setor alimentar.

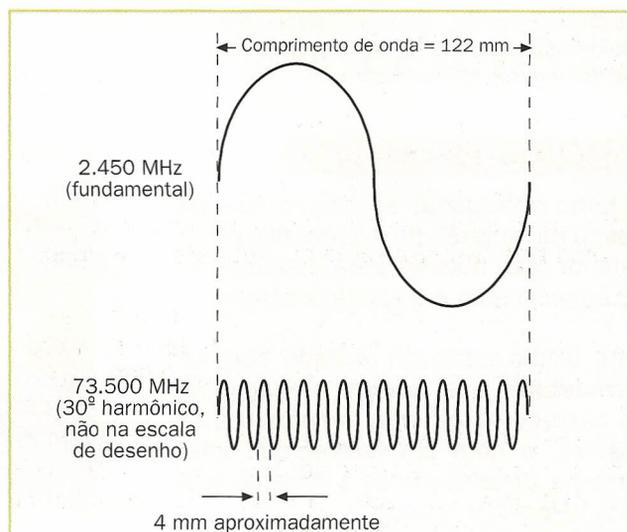
CONTER AS MICRO-ONDAS

As micro-ondas **refletem-se** nas paredes do forno e na grelha metálica de proteção que reveste o vidro, cujas malhas são pequenas demais para deixá-las passar.

É necessária a presença de uma **carga** (por exemplo, comida que vai ser aquecida) que a absorva, pois de outro modo a energia volta para o magnetron, aquecendo-o.

Não se devem introduzir materiais metálicos, porque nas suas **arestas** condensa-se uma concentração do campo elétrico, com prováveis descargas (chispas).

Uma grelha metálica para as ondas eletromagnéticas, se as suas malhas forem pequenas de acordo com o comprimento da onda.





Regular o cozimento

O magnetrão funciona com potência fixa, e a regulagem produz-se em fases alternadas

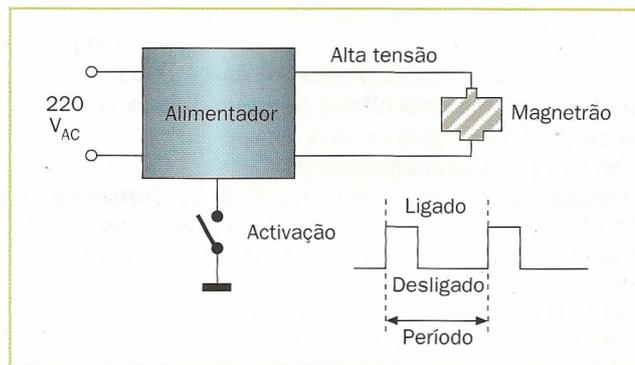
Dado que **variar** a potência emitida pelo magnetrão sairia bastante caro, é preferível ligar e desligar o próprio oscilador com intervalos regulares.

Por exemplo, produzindo 1.000 W durante 5 segundos e mantendo o magnetrão **desligado** durante outros 5, obtém-se mais ou menos o mesmo efeito que aquecendo com 500 W durante 10 segundos.

Além disso, se diluirmos o aquecimento, pode-se obter uma **cocção melhor** dos alimentos, devido à difusão

são do calor no seu interior: as microondas não podem aquecer em profundidade.

A potência obtida é controlada variando o tempo de ligação do magnetrão de acordo com o tempo de funcionamento total.



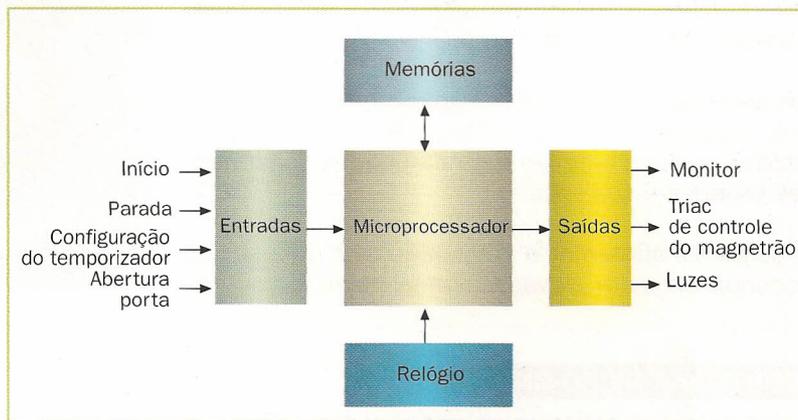
O TEMPORIZADOR

O dispositivo que permite escolher a potência e configurar o **tempo** de cocção deve receber também as ordens do utilizador e proporcionar-lhe informação.

Este dispositivo é, quase sempre, **digital**: além disso, entre os botões de seleção sobressai um relógio (ver lição 15) e um monitor numérico (ver lição 9 de Digital).

Normalmente é resolvido com um **microprocessador** (ver lição 35 de Digital

e seguintes), com interfaces de entrada e saída adequadas, como a mostrada na figura.

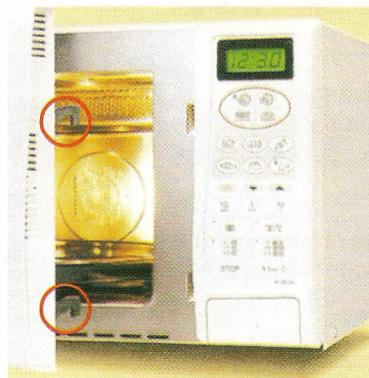


O microprocessador recebe informação dos botões e do relógio (entrada) e controla o monitor e o magnetrão (saída).

SISTEMAS DE SEGURANÇA

O forno microondas apresenta dois **riscos**: o da emissão de microondas para o exterior (são nocivas para a saúde) e o do aquecimento e possível incêndio.

Este último pode ser evitado com um **termostato**, que desliga o magnetrão no caso de surgir uma temperatura excessiva, e com um fusível que interrompe a alimentação se a corrente subir para valores perigosos.



A **vedação** da porta está garantida pelos interruptores de segurança, que impedem a ligação no caso do encerramento incorreto ou da falta de alinhamento mecânico.

Os elementos que sobressaem da porta do forno devem controlar os interruptores na seqüência correta.



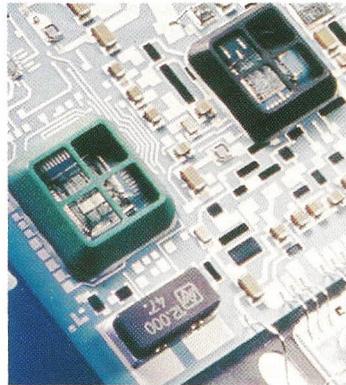
Realização dos circuitos impressos profissionais

Industrialmente utilizam-se diversos materiais e técnicas

Para além do vidro de resina, também se utiliza ainda a velha **baquelite** nos circuitos de grande consumo (como em alguns televisores), onde o baixo custo adquire uma grande importância.

No extremo oposto, para a alta frequência são necessários materiais que ofereçam perdas menores; utilizam-se habitualmente compostos **cerâmicos** de diferentes tipos.

Os circuitos impressos **flexíveis** resultam convenientes quando não está disponível uma zona perfeitamente plana, ou quando se deseja evitar o uso de fios e conectores.

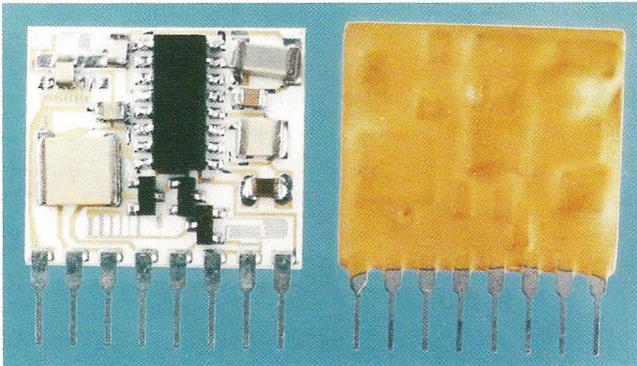


Exemplo de um circuito impresso feito de material cerâmico com uma montagem superficial (ver página seguinte).

HÍBRIDOS

Com frequência vê-se um circuito impresso que desenvolve uma **função** específica, montado num

circuito maior; este fato permite que sejam montados e testados à parte.



Alguns componentes são realizados de um modo equivalente; no seu interior encontra-se um minúsculo **circuito**, tecnicamente “de película compacta” ou de “película fina”, composto, por sua vez, por distintos sub-componentes.

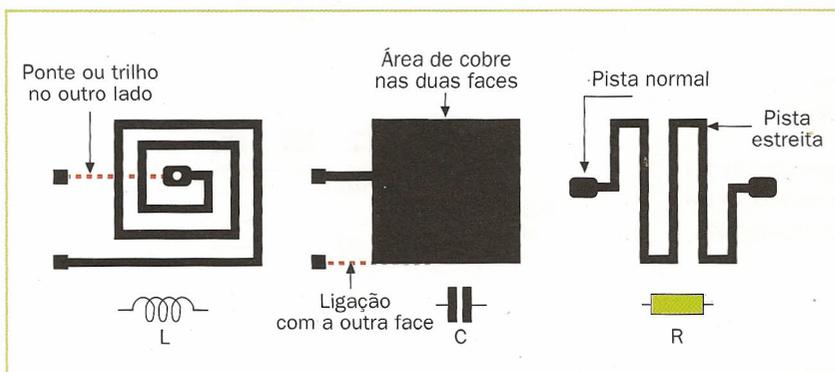
Esta técnica é utilizada especialmente na alta frequência e também na realização de **módulos** construídos com várias tecnologias diferentes, não integráveis num mesmo chip.

Os circuitos híbridos estão a meio caminho entre os circuitos impressos tradicionais e os chips integrados.

COMPONENTES IMPRESSOS

Às vezes é possível realizar alguns componentes utilizando os trilhos **do próprio circuito**: por exemplo, duas placas enfrentadas nos dois lados da base formam um capacitor.

Um trilho disposto em espiral forma um **indutor**, ao passo que um trilho fino se comporta como um resistor (quer seja de baixo valor ou suporte pouca corrente).



No entanto, é necessário um exato **controle** da fabricação: espessura e material da placa, espessura do cobre e dimensões dos trilhos que devem estar dentro das mais estritas tolerâncias.

Exemplos de componentes realizados diretamente com os trilhos do circuito impresso.



Mais sobre os circuitos impressos

Várias técnicas de produção e desenho permitem obter melhores resultados

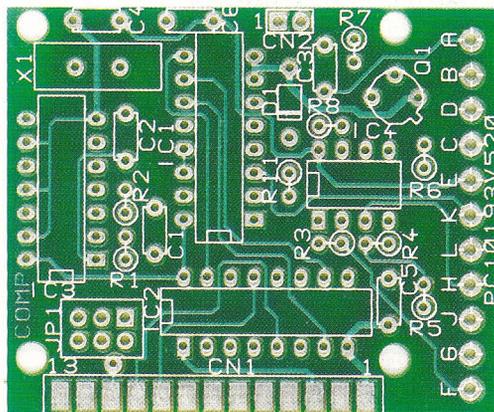
Para facilitar a montagem de um circuito, deve-se imprimir na placa uma **serigrafia** que indique tanto a posição como a orientação dos distintos componentes.

Também no caso da montagem ser efetuada por uma máquina, a serigrafia resulta útil para a **manutenção**, para além de indicar também a função do trimmer, interruptores e equivalentes.

Quando se lêem os números de **referência** dos componentes, os mesmos que são utilizados no esquema

A serigrafia proporciona informação, como por exemplo a disposição e numeração dos conectores.

elétrico, é muito mais fácil seguir este último de modo que se possam diagnosticar possíveis problemas.





Detetor de fumaça

Um simples sensor de alarme que não se utiliza apenas em casos de incêndio

Quando os edifícios eram todos de madeira, como o são ainda em determinados países (por exemplo, em várias zonas dos Estados Unidos), o **fogo** representava um perigo constante.

Nem por isso as nossas casas de tijolo resultam ser mais seguras sob este ponto de vista: cortinas, móveis, papel, plásticos e outros materiais são uma **isca** fácil no caso de incêndio.

O maior perigo está representado pelas **fumaças** tóxicas que se desprendem tanto dos plásticos como dos enchimentos; no entanto, a própria fumaça nos permite realizar um sistema de alarme.

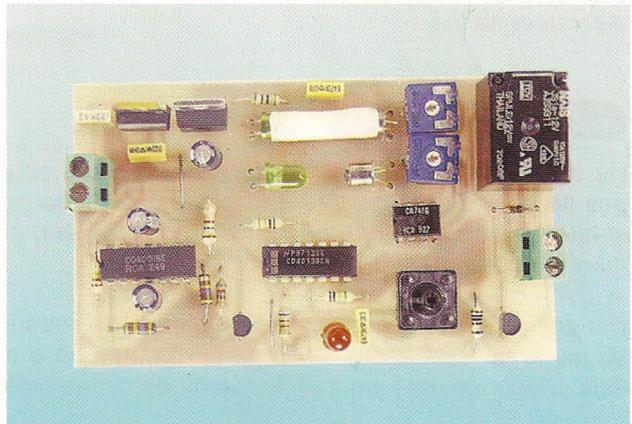


FUMAÇA E OPACIDADE

De fato, o ideal consiste em **prevenir** os incêndios, por exemplo não deixando ligados nem os televisores nem os monitores quando se sai de casa, e mantendo os aparelhos elétricos longe dos materiais inflamáveis.

No entanto, se tivesse que acontecer o pior, seria necessário **dar o alarme** o quanto antes; neste caso, a eletrônica pode ajudar, permitindo-nos detectar a presença de fumaça no ambiente.

Descartando um delicado e caro sistema "olfativo" eletro-químico, nos baseamos numa simples observação: a fumaça é **menos transparente** do que o ar: podemos, portanto, detectar a sua presença.



O circuito do detetor de fumaça já terminado.

MEDIR POR DIFERENÇA

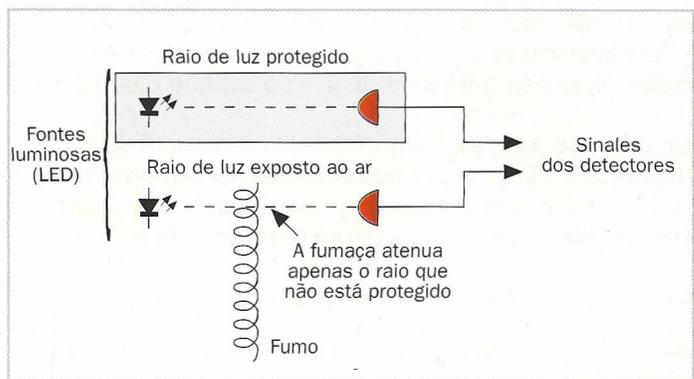
Como se pode ver na figura, o detetor aproveita **dois raios luminosos** idênticos, um dos quais está exposto ao ar do ambiente, enquanto o outro está separado.

A fumaça atenuará **apenas um** dos dois, causando uma diferença facilmente detectável, ao passo que algumas possíveis variações comuns (devidas por exemplo à temperatura) serão ignoradas.

NOTA: este circuito está proposto para fins **didáticos**, dado que não tem a fiabilidade de um detetor profissional; no entanto, pode ser útil por

Princípio do funcionamento: a fumaça atenua apenas um dos dois raios, causando uma diferença entre os sinais dos detectores.

exemplo para desanimar os fumadores empedernidos.



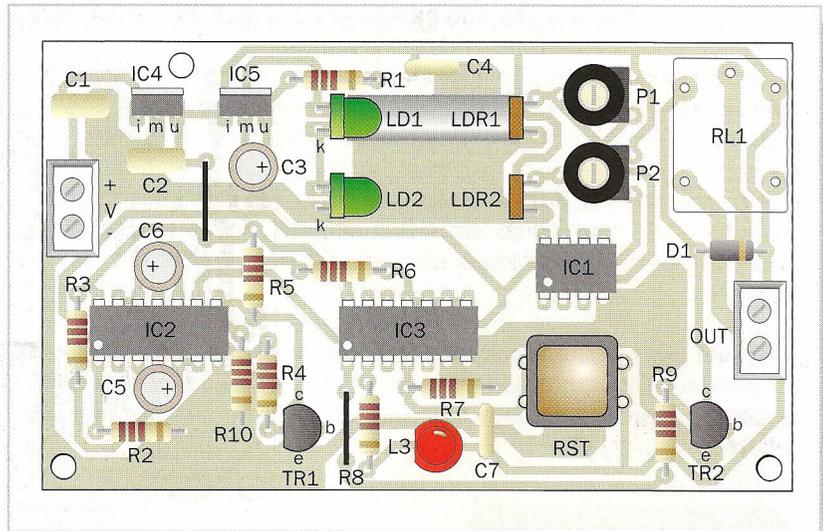


Montagem do circuito

Para este projeto foi preparado uma **placa** de dimensões médias que reúne todos os componentes ativos e passivos necessários; como sempre, convém começar pelos componentes mais baixos. Não devemos esquecer as seis **pontes** de fio sem proteção, que evitam que se tenha de recorrer a um circuito impresso muito mais caro de dupla face com orifícios metalizados.

Deve-se prestar atenção à correta **orientação** dos eletródos, diodos, transistores e circuitos integrados, estes últimos preferivelmente montados num soquete.

Disposição dos componentes na base do detector de fumaça.



OS GRUPOS ÓTICOS

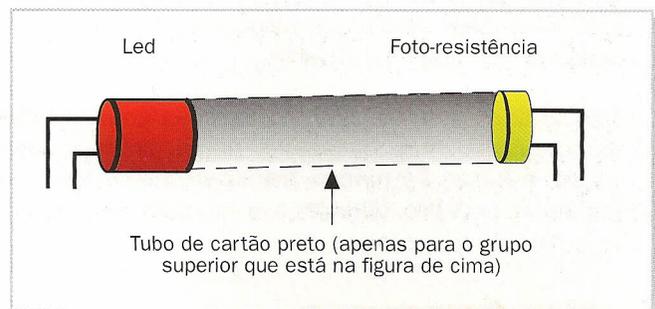
Os dois grupos LED/foto-resistência que estão situados no centro da base são encaixados de modo que as superfícies ativas **se enfrentem** uma à outra, como se mostra na figura.

Um dos dois, o que está reproduzido na parte superior do plano de montagem, **protege-se** da luz que o rodeia, utilizando um tubo de plástico ou de cartão preto.

Também é aconselhável **vedar** as “correntes de ar” nos extremos do tubo, utilizando fita isoladora preta,

Disposição do LED e da foto-resistência que formam os grupos óticos, um dos quais vai isolado do ar do ambiente.

que cubra também a parte posterior do LED, de modo que se evite toda a entrada de ar e de luz.



TESTE E AFINAÇÃO

Em primeiro lugar, extrai-se o IC3 do seu soquete e aplica-se a alimentação de 15 a 18 V para os extremos + e -; funcionando de agora para a frente **quase na escuridão**, regula-se o P1 para ler 6 V no contato 3 do IC1.

Deslocando depois o voltímetro para o contato 6 do IC1, regula-se o P2 de modo que se possa ler um nível alto (12 V aproximadamente), e depois volta para trás **muito lentamente** até a tensão chegar bruscamente a zero.

Neste ponto, quando se interpõe o extremo de uma

Regulação do trimmer resistente P2 para a máxima sensibilidade do detector.

chave de fendas entre o LD2 e o LDR2, o nível no contato 6 do IC1 deverá **se tornar alto**, indicando o funcionamento correto; deverá acontecer a mesma coisa com a fumaça.

-  Regular o P3 para ter 6 V no contato 3 do IC1
-  Rodar o P2 até que se leiam mais de 10 V no contato 6 do IC1
-  Voltar para trás devagar com P2 até que o contato 6 do IC1 não se ponha baixo

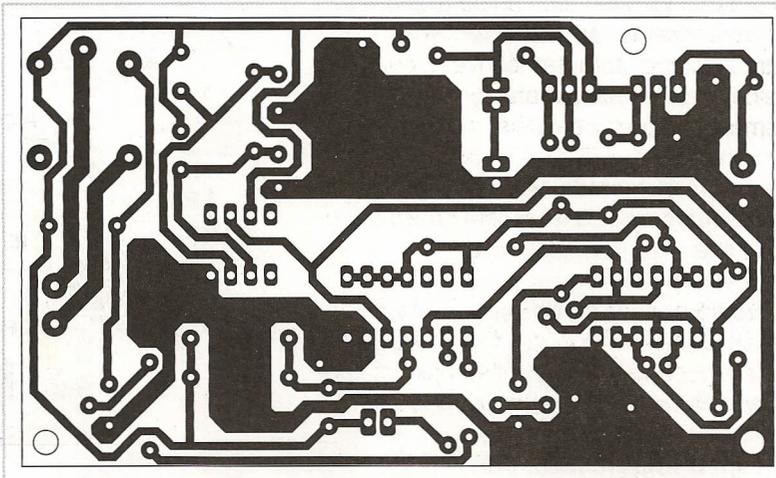
RELÉ E ALIMENTAÇÃO

Depois de eliminada a alimentação e inserido o IC3, pode-se dar novamente tensão para testar a **segunda parte** do circuito: interrompendo de novo o raio luminoso, após alguns instantes o relé deverá saltar.

Se deixarmos livre o raio, o relé se manterá ativado; deverá voltar para a sua posição de repouso em resposta à pressão do **botão de reset** (colocação a zero) RST. Quando se dispõe de um bom **alimentador estabilizado** de 12 V, pode-se prescindir do regulador IC4: é suficiente

Circuito impresso do detector de fumaça, visto pelo lado das soldagens.

ligar juntos os dois terminais e e s (entrada e saída) com uma ponte.

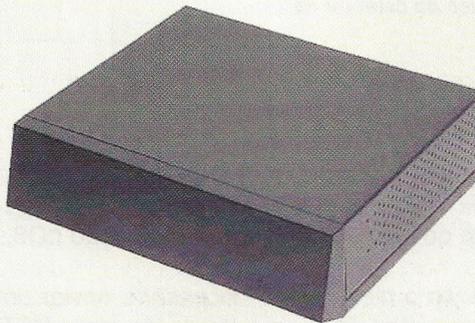


CAIXA E POSICIONAMENTO

O detector de fumaça pode ser colocado numa **caixa plástica** normal; esta deve ser colocada preferentemente no alto para expô-la melhor a uma possível fumaça (pode-se colocar longe do botão RST).

É importante atuar de modo que no interior possa **entrar o ar**, mas não a luz: também se podem utilizar, por exemplo, duas grelhas opacas aplicadas nas aberturas praticadas nas paredes inferior e superior da caixa.

Não deve ser colocada num lugar onde haja vapor (por exemplo, na cozinha) ou condensação (especialmente no exterior); além disso, lembramos de novo que se trata de um projeto **didático**, e não um verdadeiro dispositivo de segurança.



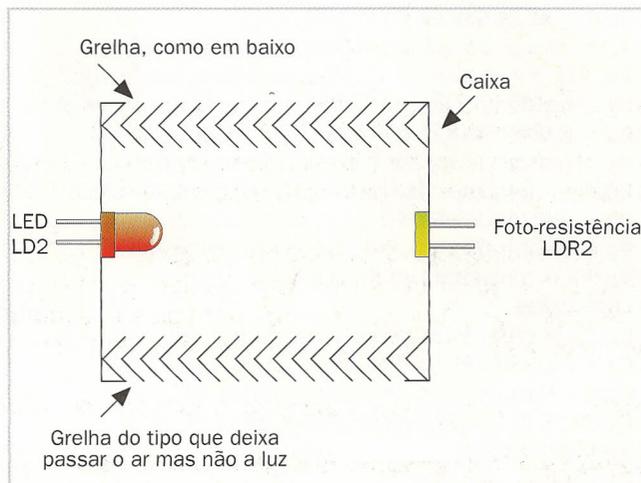
O ideal é uma caixa com aberturas de ventilação; poderá ser orientada de modo que se encontrem em cima e em baixo.

SENSOR SEPARADO

Para aumentar a eficácia do detector, pode-se **separar** o grupo ótico detector (LD2 e LDR2), de forma que se exponha melhor o ar do ambiente externo, como no exemplo que se mostra na figura. Neste caso, convém acrescentar um **capacitor** de 100 nF entre o contato 2 do IC1 e a massa, montado onde estava o LDR2, para evitar problemas devidos aos fios de ligação.

Os sensores óticos são sensíveis à sujeira e também à presença de pequenos insetos, pelo que é aconselhável uma **limpeza** periódica do grupo LD2-LDR2, seguida por uma nova calibragem.

Montagem do grupo ótico detector numa caixa separada; a distância entre o LED e a foto-resistência deve ser igual à do outro grupo.





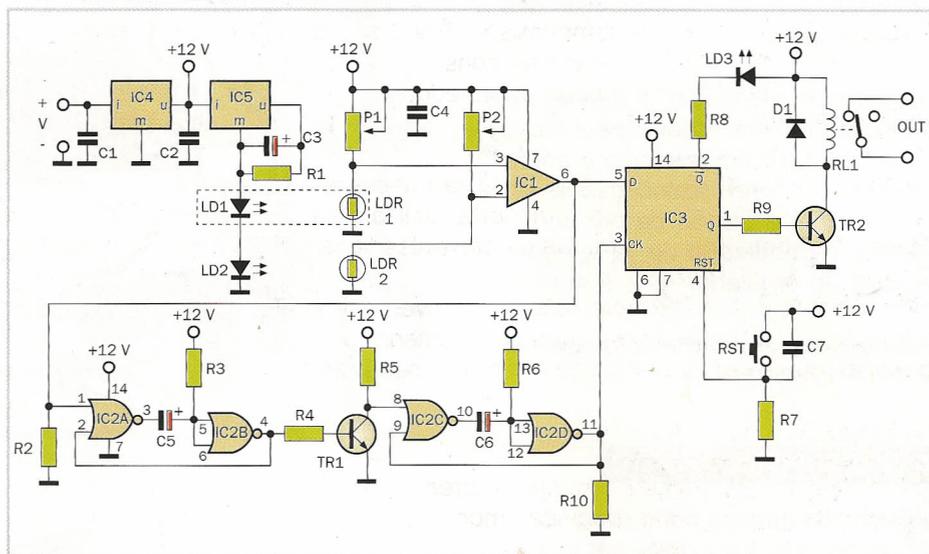
Funcionamento do circuito

O op-amp IC1 faz as vezes de **comparador**: compara os potenciais aplicados às suas próprias entradas 2 e 3, dependendo da luz que chega às duas foto-resistências, e proporcionando a resposta no contato 6.

Quando a sua saída se põe alta, o **flip-flop** IC3 vê a entrada alta mas não salta: como é do tipo D, requer uma transição à entrada do relógio.

A transição é produzida pelo duplo **mono-estável** realizado com o IC2A: chega, portanto, tarde, contribuindo pa-

ra ignorar possíveis falsos alarmes devidos a interferências externas.



Esquema elétrico do detector de fumaça.

MEMÓRIA E LUMINOSIDADE

Quando o flip-flop IC3 salta, a sua **saída Q** envia para a condução o TR2, que ativa o relé; a saída negativa Q faz com que acenda o LED da indicação LD3.

Para **pôr a zero** o biestável, é necessário enviar um impulso com o botão RST na entrada do reset RST; este processo é feito automaticamente na ligação do capacitor C7.

O regulador IC5 estabiliza a tensão nos extremos do R1 e, portanto, mantém estável a **corrente** que o atravessa e que passa também pelos LED de forma que a sua luminosidade resulte constante.

Finalmente, o IC4 estabiliza a **alimentação** do aparelho inteiro, para evitar comutações acidentais produzidas por interferências na rede.

LISTA DE COMPONENTES

Resistores (todos de 1/4 W 5%)

- R1 = resistor de 150 Ω (marrom, verde, marrom)
- R2, R10 = resistores de 47 KΩ (amarelo, violeta, laranja)
- R3 = resistor de 220 KΩ (vermelho, vermelho, amarelo)
- R4 = resistor de 820 Ω (cinzento, vermelho, marrom)
- R5 = resistor de 1,5 KΩ (marrom, verde, vermelho)
- R6, R7 = resistores de 100 KΩ (marrom, preto, amarelo)
- R8 = resistor de 680 KΩ (azul, cinzento, marrom)
- R9 = resistor de 1 KΩ (marrom, preto, vermelho)
- P1, P2 = trimmer de 10 KΩ, linear

Capacitores

- C1, C2 = capacitores de poliéster de 220 nF
- C3 = capacitor eletrolítico de 10 µF, 16 V
- C4, C7 = capacitores de poliéster de 47 nF
- C5, C6 = capacitores electrolíticos de 10 µF, 16 V

Semicondutores

- D1 = diodo 1N4148

- TR1, TR2 = BC546

- LD1, LD2 = diodos LED verdes de 5 mm

- LD3 = diodo LED vermelho de 5 mm

- LDR1, LDR2 = foto-resistências BPX43

- IC1 = 741

- IC2 = 4001 (não HC)

- IC3 = 4013 (não HC)

- IC4 = 7812

- IC5 = 7805

Vários

- RL1 = relé em miniatura de 12 V, 1 intercâmbio

- 1 terminal de circuito impresso de 2 pólos

- 1 terminal de circuito impresso de 3 pólos

- 1 botão n.a. de circuito impresso

- 1 soquete para integrados de 8 contatos

- 1 soquete para integrados de 14 contatos

- 1 circuito impresso