

ELETRÔNICA ELETRÔNICA

33

para todos



AMPLIFICADORES
OPERACIONAIS



OPTO-ELETRÔNICA
DIGITAL



DADOS DOS
OPERACIONAIS



FLASH E
ESTROBOSCÓPIO



TRABALHAR EM
ALTA FREQUÊNCIA



Projeto n° 33:
FLASH SEQUENCIAL

SALVAT

 JACKSON
LIBRI®



Amplificadores operacionais

São os tijolos fundamentais da eletrônica analógica moderna

Quando se realizam circuitos com **componentes simples**, tanto ativos como passivos (transistores, resistores, condensadores, etc.), estes oferecem uma grande flexibilidade, embora não sejam a solução mais prática nem a mais conveniente.

É necessário que o projeto tenha assumido com precisão as **tolerâncias** e os limites de cada componente simples e das suas conseqüências no comportamento do circuito terminado.

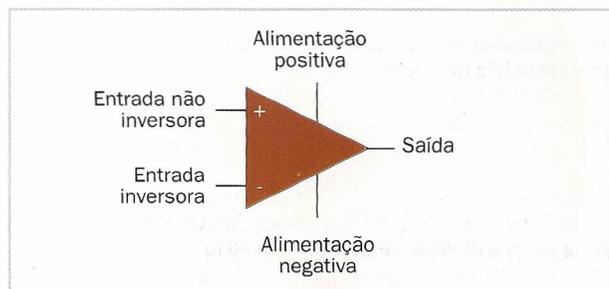
Além disso, cada componente implica um **custo** e uma ocupação do espaço, para além de representar também uma possível fonte de funcionamento errado no caso de se esgarar: quantos menos forem, melhor.



AMPLIFICADOR IDEAL

Como aconteceu com a eletrônica digital, a revolução no campo analógico esteve representada pela chegada dos **circuitos integrados**, que contêm um circuito completo num chip de poucos milímetros quadrados.

O integrado analógico fundamental é o **amplificador operacional** (operational amplifier ou "op-amp"), um amplificador diferencial com um altíssimo ganho e também uma alta impedância de entrada.



Trata-se de um **componente** aparentemente simples que, como as portas lógicas no campo digital, permite realizar uma grande variedade de circuitos de todos os tipos.

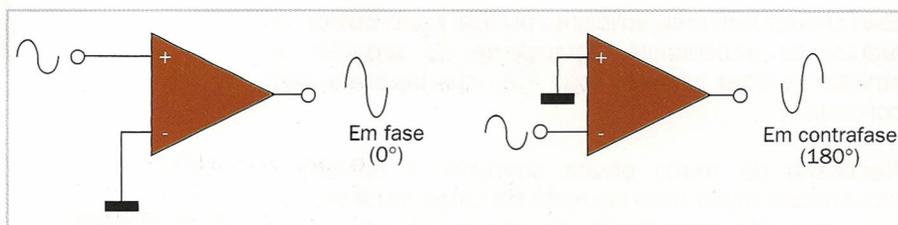
Símbolo de um amplificador operacional: amplifica a diferença entre as tensões nas duas entradas.

POLARIDADE DAS ENTRADAS

Um amplificador operacional tem duas entradas: a que está marcada com "+" é a não **inversora**, ou seja, que a tensão na saída tem a mesma fase da que está aplicada à entrada. A que está marcada com "-" é, no entanto, **inversora** pois a saída está invertida, ou seja, que está defasada em 180 graus, como acontece no amplificador comum de um transistor já ilustrado na lição 11.

A entrada positiva não inverte o sinal, mas a negativa sim que o inverte; amplifica-se a diferença entre os dois.

Apesar disso, um operacional (como se chama popularmente) não é utilizado diretamente como se indica na figura, pois têm de se acrescentar alguns **componentes externos** para conseguir que se comporte do modo desejado.





Operacionais e realimentação

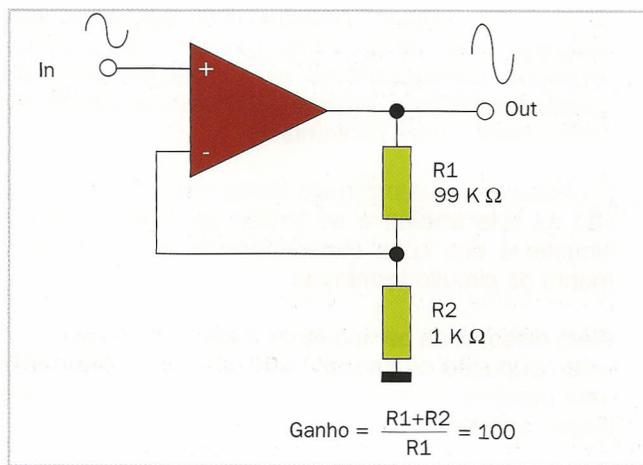
O comportamento de um op-amp está determinado pela realimentação

Um amplificador operacional tem um **ganho** muito elevado, de um milhão de vezes: não é aproveitado diretamente, embora seja controlado com a realimentação.

A figura mostra um amplificador não inversor com ganho de 100, obtido com uma **realimentação negativa** (ver lição 19), que leva para a entrada um centésimo do sinal da saída.

Como as **vantagens** da realimentação serão tão mais consistentes quanto maior for o ganho do amplificador utilizado, com um operacional podem-se obter características excelentes.

Levando para a entrada negativa um centésimo da saída, pode-se obter um ganho 100, estável e preciso.



SAÍDA GUIADA

Para se entender corretamente o funcionamento do amplificador não inversor é necessário assumir que o operacional amplifica a **diferença** entre as suas duas entradas.

Por exemplo, um aumento da tensão à saída fará incrementar a tensão na entrada inversora: o operacional, portanto, moverá a tensão para a saída no sentido oposto, **fazendo-a baixar**.

Na prática, e em especial no caso da realimentação negativa (ou seja, um regresso da saída para a entrada inversora), o dispositivo atuará para manter sempre as duas entradas com a **mesma tensão**.

O operacional corrige continuamente, de modo que se possa manter a saída no valor desejado.

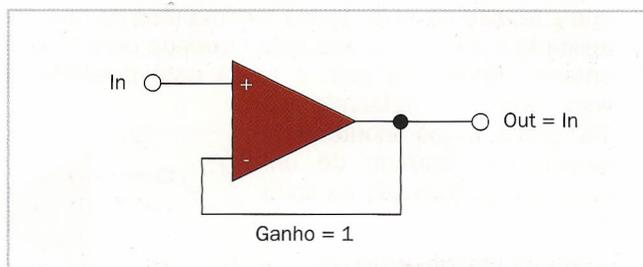


O SEGUIDOR DE TENSÃO

No caso limite de uma realimentação de 100%, como o mostrado na figura, a saída **segue exatamente** a tensão na entrada positiva, e o ganho é 1.

Este circuito tem uma aplicação prática: é um **buffer**, ou redutor de impedância, equivalente ao seguidor do emissor (emitter follower, lição 13), mas bastante mais concreto.

Necessita de muito pouca **corrente** à entrada e proporciona muito mais corrente na carga, ou seja, que tem uma alta impedância de entrada e uma baixa impedância de saída.



Buffer, ou seguidor da tensão, realizado com um operacional; não servem outros componentes.

Amplificador inversor

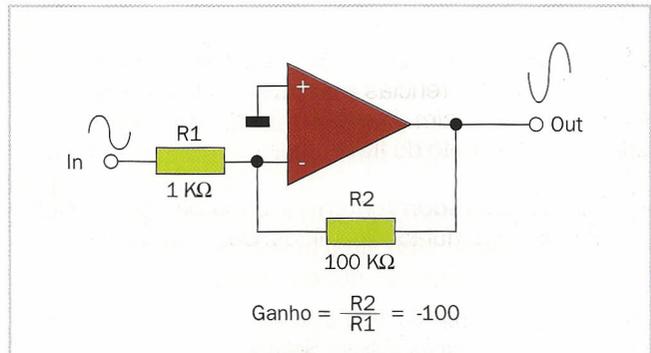
Pode-se obter um efeito interessante se ligarmos a entrada não inversora à massa

A figura mostra um amplificador inversor, realizado com um operacional: utilizam-se sempre **dois resistores**, mas dispostos de outro modo com respeito ao circuito da página anterior.

Também neste caso temos uma **realimentação negativa**, já que a saída volta para a entrada não inversora (negativa) conforme o R2.

Portanto, o op-amp tratará de manter as duas entradas no mesmo nível: como a entrada não inversora

(positiva) está com a **massa**, também na negativa haverá zero volts.



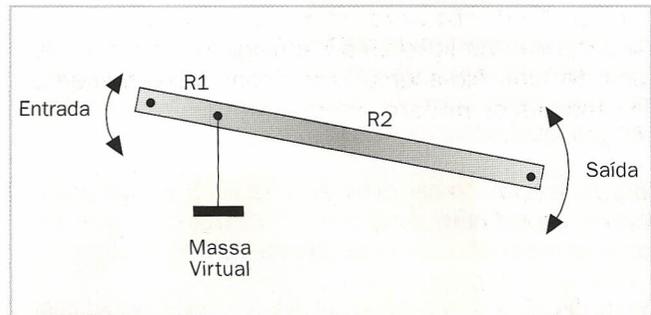
Amplificador inversor realizado com um operacional: quando a entrada baixa, a saída sobe.

MASSA VIRTUAL

Na prática, a entrada negativa comporta-se como uma “massa virtual”, ou seja, como se fosse um ponto **ligado à massa**, embora na realidade não seja assim: a saída é que a mantém.

É interessante observar que, como a entrada não absorve corrente (supondo um operacional perfeito), pelos dois resistores R1 e R2 passa a **mesma corrente**.

De acordo com a lei de Ohm, as tensões da entrada e da saída são proporcionais às respectivas resistências: a amplificação depende exclusivamente da **relação** entre as duas.

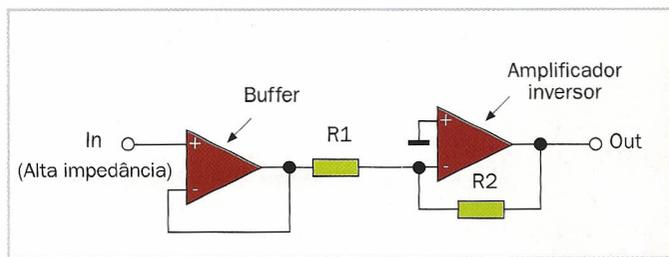


Um amplificador de massa virtual comporta-se como uma alavanca, cujo ponto de apoio é mantido fixo pelo operacional.

IMPEDÂNCIA DE ENTRADA

O amplificador não inversor (ver página anterior) tem uma **impedância de entrada** muito alta, idealmente infinita, ou seja, que não incomoda o sinal aplicado.

O amplificador inversor tem uma impedância de entrada exatamente **equivalente ao R1**; o sinal vê esta resistência, dado que o outro extremo do R1 é como se estivesse ligado à massa.



Se desejarmos obter uma alta impedância de entrada também neste caso, é suficiente acrescentar um **seguidor de tensão** (buffer), como se mostra na figura.

Amplificador inversor com entrada de alta impedância: o IC1 proporciona a corrente requerida pelo R1.



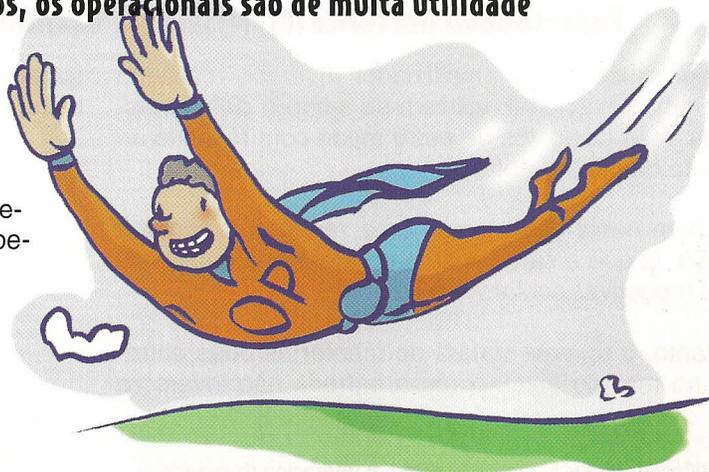
Limites e aplicações

Embora não sejam perfeitos, os operacionais são de muita utilidade

O elevado **ganho** dos op-amp permite aproveitar a realimentação ao máximo, obtendo uma correspondência precisa entre a saída e a entrada, ou seja, uma distorção baixa.

Não obstante, este ganho não é **infinito**; num determinado ponto podem-se encontrar limites, especialmente quando se desejam realizar circuitos com uma amplificação muito alta.

Além disso, este ganho produz-se quando aumenta a **frequência** do sinal aplicado; este fato implica, como veremos, outros limites e possíveis inconvenientes.



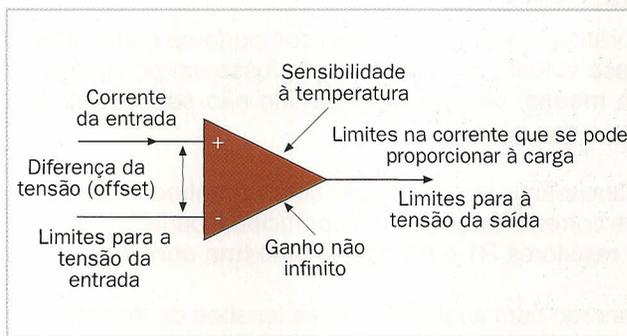
Os operacionais não serão perfeitos, mas resultam muito cômodos e versáteis.

CORRENTE DA ENTRADA E OFFSET

Também a **impedância da entrada**, teoricamente infinita, tem na realidade um limite: as entradas requerem uma certa corrente, baixa mas não nula, e nem sempre igual entre as duas.

Nas aplicações mais delicadas, esta corrente pode reduzir a **precisão** do circuito, ou fazer com que se torne excessivamente dependente da temperatura.

Além disso, é como se entre as entradas houvesse uma pequena **diferença de tensão**, também chamada "tensão de offset", que se pode traduzir por um erro à saída (por vezes pode ser compensado com um trimmer resistente).

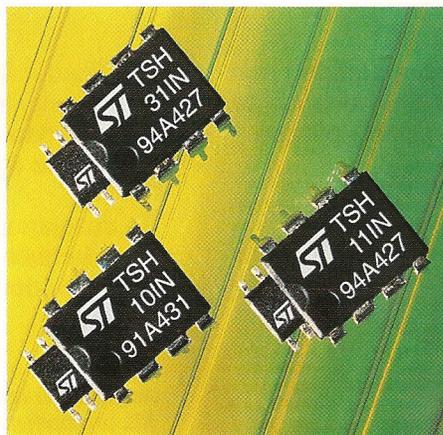


Um op-amp verdadeiro afasta-se do seu modelo ideal, mas é bastante menos imperfeito do que um transistor.

USOS DOS OPERACIONAIS

Até agora já vimos alguns usos dos op-amp, como os **amplificadores** de corrente contínua; no entanto, existem muitos outros, a partir naturalmente da amplificação dos sinais alternados (por exemplo, o áudio).

No entanto, estes **versáteis** dispositivos não são indicados para inúmeras aplicações: por exemplo, geração de sinais, filtros ativos, produção de corrente constante, controle de alimentadores, etc.



Praticamente já não são **projetados** juntamente com transistores simples: no seu lugar são utilizados os operacionais, construindo à sua volta uma adequada rede de componentes passivos.

Amplificadores operacionais: com estes simples dispositivos, no campo analógico pode-se fazer praticamente de tudo.



Opto-eletrônica digital

É utilizada, entre outros fatores, para isolamento elétrico e transmissão de dados

No mundo exterior, ou seja, fora de um circuito, costumam existir **interferências elétricas** de uma certa intensidade, causadas por exemplo por comutação de cargas pesadas (motores, raios, etc.).

Portanto, não é aconselhável ligar **diretamente** um delicado circuito digital com dispositivos eletricamente “barulhentos”, ou com linhas de transmissão compridas.

Convém que os dois circuitos estejam eletricamente isolados entre si, embora o sinal possa continuar a transitar: é possível obter este resultado com um **isolamento ótico**.

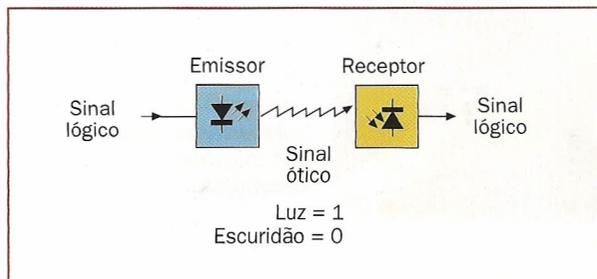
Um isolamento ótico permite a comunicação entre dois dispositivos, sem contato elétrico direto.



LÓGICA E LUZ

Os **foto-acumuladores**, já introduzidos na lição 29 de Analógica, encontram uma vasta aplicação no campo digital, exatamente como isoladores.

Recordemos que estão constituídos por um **emissor** de luz, situado à frente de um receptor; os dois dispositivos estão normalmente encerrados numa mesma caixa, na forma de um circuito integrado.



Os **níveis lógicos H e L**, correspondentes aos número binários 1 e 0, correspondem, portanto, à presença ou ausência da luz (ou vice-versa, conforme convenha).

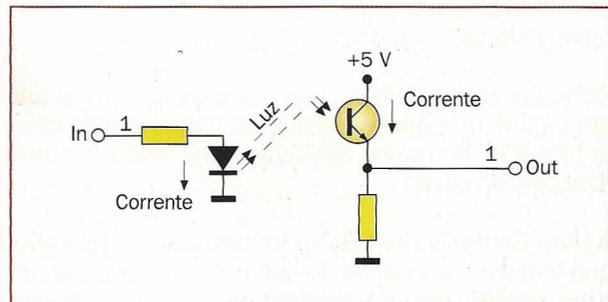
Num foto-acumulador, um valor binário está representado pela presença ou ausência de um ralo luminoso.

JUNÇÃO ÓPTICA

A figura mostra um **foto-acumulador elementar**, que está composto por um LED e um foto-transistor, situados um na frente do outro e separados por um material isolador.

Um nível lógico H (1) à saída do buffer deixa passar corrente no LED, que se acende; a luz bate no foto-transistor, que entra em **condução** e leva a saída para 1.

É importante observar que tanto o LED como o foto-transistor recebem tensão de dois **alimentadores separados** e isolados entre si, fazendo cada um parte de um circuito diferente.



Um foto-acumulador pode transmitir um sinal lógico entre dois circuitos separados, sem haver nenhum contato elétrico.



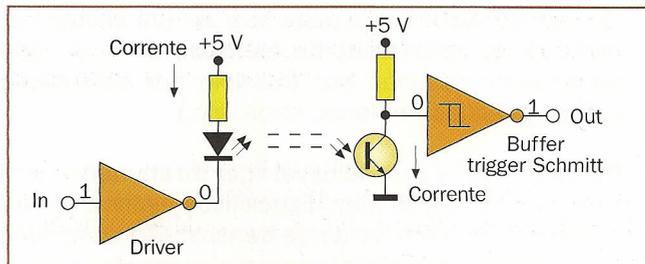
Limites dos foto-acumuladores

O problema mais importante está representado pela sua relativa lentidão

O circuito simples ilustrado na página anterior não é o isolador óptico **ideal** para os circuitos digitais; por este fato, apresenta alguns inconvenientes.

Em primeiro lugar, o **foto-transistor** não se fecha por completo, ou seja, não fica saturado e a corrente que pode comutar é limitada; além disso, o LED requer uma corrente discreta.

Deste modo, costuma-se acrescentar um controlador para o LED e um buffer para a saída; este último é normalmente do tipo **trigger Schmitt**, que garante uma comutação mais limpa.



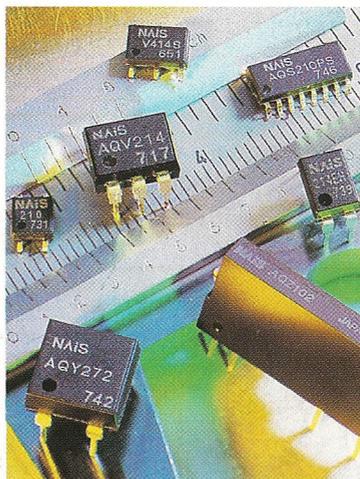
A incorporação de um controlador e um buffer melhora as características do isolador óptico digital.

CTR

O “ganho” de um foto-acumulador é a **relação** entre a corrente do foto-transistor e a do LED que a ocasiona. Chama-se CTR (Current Transfer Ratio: relação de transferência da corrente).

Por exemplo, um CTR de 20% significa que 100 mA no LED deixam passar 2 mA para o foto-transistor; este valor **varia** não apenas entre um modelo e outro, mas também de uma unidade para outra.

Este problema piora também com o **envelhecimento** do dispositivo: é necessário, portanto, examinar com precisão os dados e projetar o circuito para o pior CTR previsível no final do seu período de vida.



Os foto-acumuladores são de uso comum no campo industrial, para isolar os circuitos lógicos das máquinas eletricamente barulhentas.

VELOCIDADE E DISTORÇÃO

Os foto-transistores são relativamente lentos e, muitas vezes, **assimétricos**: empregam menos tempo para se fecharem do que para se abrirem (a base deve ser esvaziada das cargas acumuladas).

Portanto, um **impulso** pode ser prolongado ou encurtado, conforme a sua polaridade; naturalmente que este fato é muito pouco desejável, pois altera as temporizações do sinal.

A situação melhora muito se for utilizado um **foto-diodo**, que é muito mais rápido do que um foto-transistor, unido a um amplificador, que também deve estar no pacote; de qualquer maneira, este fato faz aumentar o custo do dispositivo.

Um foto-acumulador assimétrico, ou seja, com tempos de encerramento e abertura distintos, altera a forma do sinal.

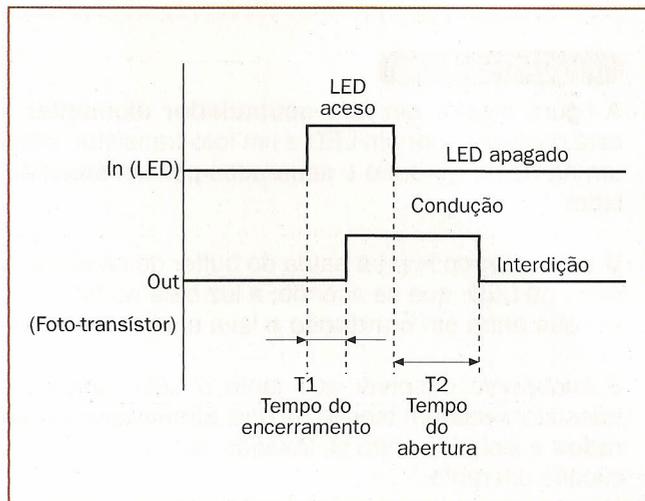


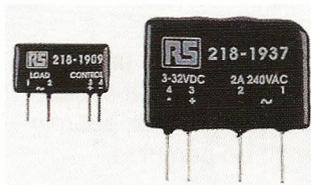
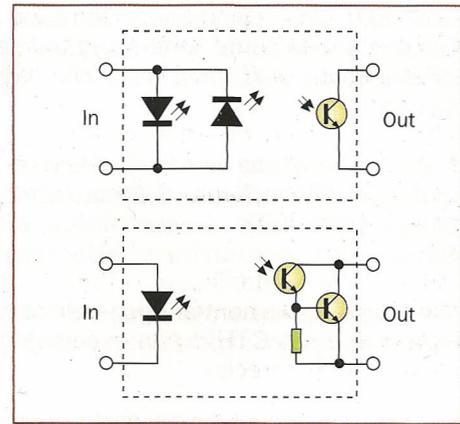
Foto-acumuladores especiais

Nos dois lados da junção óptica podem haver vários dispositivos

O primeiro foto-acumulador que foi mostrado na figura tem uma entrada de **corrente alternada**, devido aos dois LED que estão situados no anti-paralelo: um deles conduz nas semi-ondas positivas e o outro nas negativas.

O segundo tem, no entanto, uma saída **Darlington**, na qual o foto-transistor controla um segundo transistor, obtendo desta forma um CTR elevado, por exemplo até mesmo de 2000% (1 mA no LED = 20 mA à saída). Normalmente esta vantagem se paga com um **agravamento** das características dinâmicas, quer dizer, um tempo de trânsito mais longo para o sinal, e uma assimetria mais marcada entre a subida e a descida.

Exemplos da entrada alternada e da saída Darlington; esta saída oferece maior sensibilidade para a entrada.



Um relé estático (ou "em estado sólido") aproveita uma junção óptica para isolar a entrada de controle da carga.



FOTO-TRIAC E RELÉS ESTÁTICOS

Também os **diodos controlados** e os seus primos alternados, os triac, podem ser construídos de modo que sejam sensíveis à luz, como já vimos na lição 30 de Analógica. O elevado isolamento entre a entrada e a saída permite utilizar uma lógica de baixa tensão (por exemplo 5 V_{CC}) para controlar dispositivos de **tensão da rede** (220 V_{AC}), com segurança absoluta.

Portanto, é possível construir com facilidade **relés estáticos**, ou seja, sem componentes mecânicos que estejam em movimento (e por isso mesmo duradouros e silenciosos), dos quais já falamos na lição 3 de Componentes.

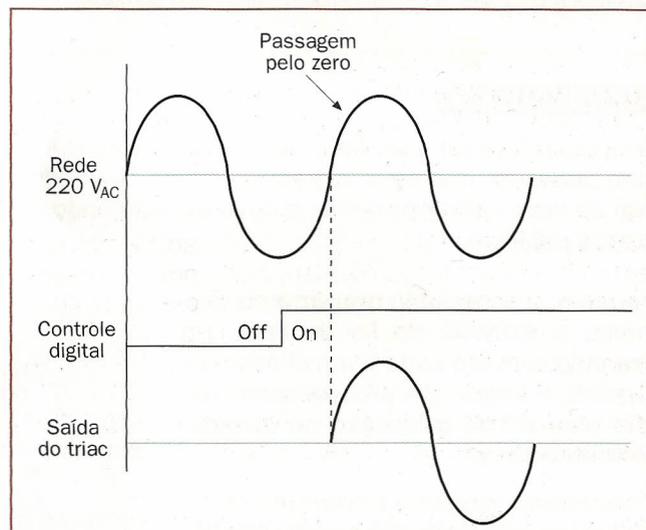
CIRCUITOS AUXILIARES

Dentro de um foto-acumulador **estão integrados**, com freqüência, outros dispositivos para melhorar as suas características, como o amplificador para o fotodiodo e/ou um trigger Schmitt.

Um dos circuitos mais comuns, utilizado nos relés estáticos, é o do **zero-crossing**, que fecha um foto-triac somente no momento em que a tensão da alimentação (senoidal) passa pelo zero.

Deste modo se evita (pelo menos com carga resistente) causar um **escalão de corrente** para a saída, que poderia ser fonte de interferências de rádio não desejadas e de outros possíveis problemas.

Um circuito de zero-crossing faz com que o triac se feche sempre, e apenas, no início de uma semi-onda, quando a tensão é zero.





Dados sobre as fibras ópticas

Como linhas de transmissão, têm um comportamento quase perfeito

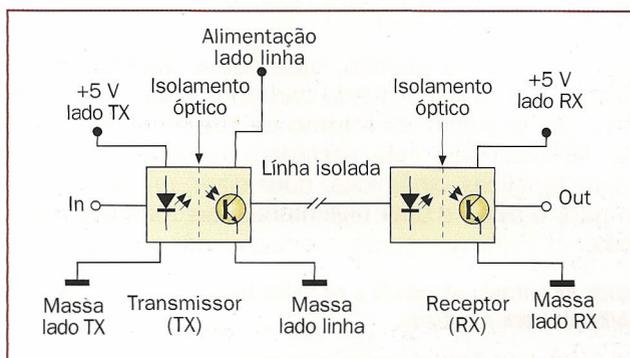
Para **ligar** dois dispositivos situados a uma certa distância um do outro, pode-se utilizar um fio de cobre adequado, ou seja, uma linha de transmissão (ver lição 31).

Depois de superada uma certa distância, ou num ambiente com interferências elétricas como é o setor industrial, ainda assim é aconselhável **isolar eletricamente** a linha, tanto do transmissor como do receptor.

Além disso, os **inconvenientes** da linha são somados aos dos acumuladores óticos, degradando as ca-

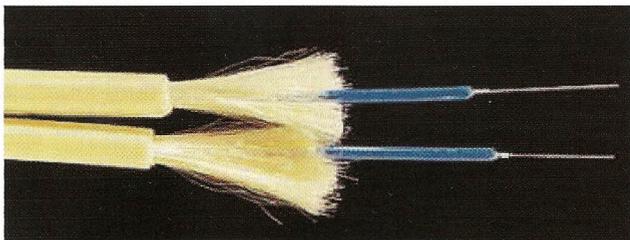
Transmissão de dados em linha de cobre (ou seja, feita de fio normal ou coaxial) eletricamente isolada.

racterísticas do sinal e introduzindo um discreto atraso.



VANTAGENS DAS FIBRAS

Em lugar de um fio de cobre, pode-se empregar uma **fibra óptica** (ver lição 29 de Analógica): na prática, é como ter um foto-acumulador... com o comprimento de centenas ou milhares de metros!



Na medida em que não é transportada por um sinal elétrico retardado nem pela indução nem pela capacidade, a informação viaja à **velocidade da luz**, apenas sujeita a uma atenuação ao longo do percurso.

A **freqüência máxima** da comunicação está limitada, na prática, pelas características do emissor e do receptor: com laser e foto-diodos velozes podem-se alcançar centenas de MHz.

Apesar das suas pequenas dimensões, as fibras ópticas oferecem uma largura de banda (freqüência máxima) muito respeitável.

TERMINAÇÕES

O ponto crítico de uma fibra óptica está na **ligação** com cada um dos seus extremos: o raio luminoso não se deve refletir para trás e deve ser atenuado o menos possível.

Portanto, é necessário **preparar** corretamente o extremo do fio de fibra, por exemplo com um corte e um afiado adequados, e seguir um procedimento correto para a sua colocação no conector correspondente.

Transmissores, receptores e conectores para fibra óptica (com molde para a montagem dos conectores).





Dados dos operacionais

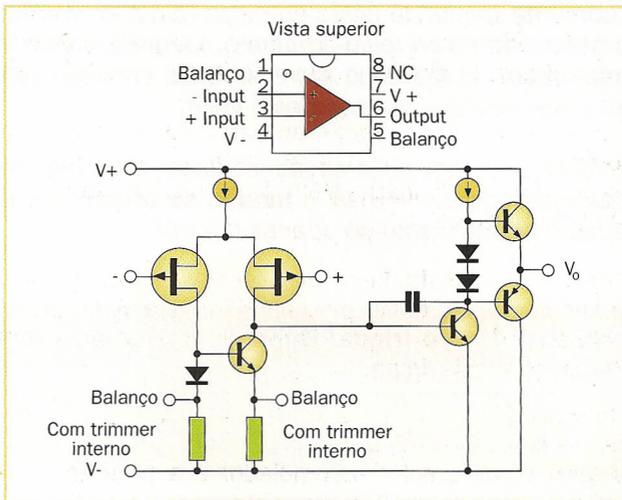
Começamos com as características que se referem ao comportamento da corrente contínua

O integrado **LF451** (National Semiconductor) é um amplificador operacional com entrada de JFET, do tipo "general purpose", isto é, adequado para as mais variadas aplicações.

A figura mostra a estrutura interna, que está muito simplificada: trata-se na prática de um sofisticado **amplificador diferencial** (ver lição 18 de Analógica).

No entanto, para poder utilizá-lo, não é suficiente conhecê-lo apenas: um amplificador operacional é considerado um **componente** simples, como um resistor ou um transistor.

Disposição dos contatos e estrutura simplificada do amplificador operacional LF451.



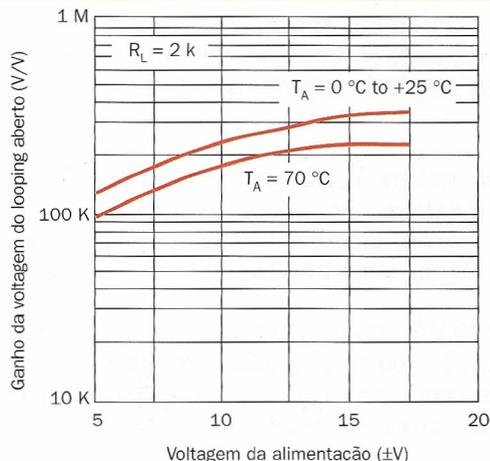
LIMITES MÁXIMOS

O circuito suporta até 36 V entre as alimentações, mas para que **funcione** (operating ratings) não se deve superar os 32 V; normalmente se utilizam ± 12 V ou ± 15 V. A tensão da entrada V_{IN} pode chegar até às alimentações, mas a **diferença** entre as duas entradas (differential input voltage) não deve superar os 30 V.

Finalmente, a saída está **protegida** de curto-circuitos, mas é necessário ter cuidado com o limite da potência máxima dissipável, que é de meio Watt (500 mW), com os habituais limites devidos à dissipação.

Limites que não se devem superar para evitar danos, e para um correto funcionamento do operacional.

Valores máximos absolutos	
Voltagem de alimentação ($V+ - V-$)	36 V
Classe da voltagem da entrada	$V- \leq V_{IN} \leq V+$
Voltagem da entrada diferencial	± 30 V
Temperatura da união (T_J MÁX)	150 °C
Duração do curto-circuito da saída	Continua
Dissipação de potência	500 mW
Pacote SO: Fase do vapor (60 seg)	215 °C
Infravermelhos (15 seg)	220 °C
Valor do funcionamento	
Classe da temperatura LF451CM	$0\text{ °C} \leq T_A \leq +70\text{ °C}$
Temperatura da união (T_J máx)	125 °C
Voltagem da alimentação ($V+ - V-$)	10 V a 32 V



GANHO

O gráfico mostra o ganho na tensão da **anel aberto**, ou seja, sem realimentação, devido à tensão da alimentação e da temperatura.

Normalmente varia entre 100.000 e 300.000, mas o **valor mínimo garantido** é mais baixo: 50.000 testado nas amostras da produção, e 25.000 no pior dos casos, considerado no projeto.

Depois, o ganho será **reduzido** pela realimentação, no entanto, quanto maior for a **anel aberto**, melhores poderão ser as características do circuito terminado.

Ganho na tensão, ou seja, na aplicação, com uma carga de 2 K Ω e sem resistores de realimentação.



Entradas e saídas

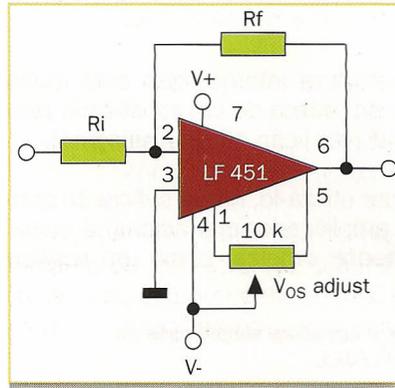
As características da entrada deste op-amp são quase perfeitas

A **corrente** requerida pelas entradas (bias) é mínima: normalmente 50 pA (pico-amperes), aumentam com a temperatura; a diferença entre as duas entradas (off set) pode alcançar metade deste valor.

Devido a uma regulação de fábrica (laser-trimming) de duas resistências internas, a **tensão de offset** na entradas é normalmente de apenas 0,3 mV.

Símbolo	Parâmetro	Condições	LF451CM			Unidade
			Típico	Limite testado	Limite do desenho	
V_{OS}	Voltagem de deslocção da entrada máxima	$R_S = 10\text{ K}\Omega$	0.3	5		mV
I_{OS}	Corrente da deslocção da entrada máxima	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 70^\circ\text{C}$	25	100	2	pA nA
I_B	Corrente da inclinação da entrada máxima	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 70^\circ\text{C}$	50	200	4	pA nA

Esta tensão se verá amplificada pelo ganho configurado com a realimentação, embora posteriormente possa ser reduzida através de um **trimmer externo**, ligado na forma que se vê na figura.



A tensão de offset à entrada pode ser compensada acrescentando um trimmer resistente.

MODO COMUM

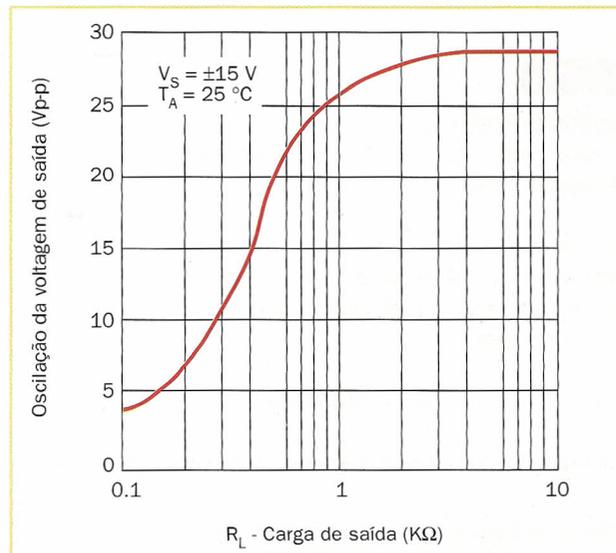
Um bom op-amp deve poder amplificar apenas a diferença entre os dois sinais da entrada, e não mover a saída se as duas entradas se deslocarem **ao mesmo tempo**, ou seja, “de um modo comum”.

O **CMRR** indica a relação que existe entre a amplificação desejada e a que não é desejada, e é expresso em dB: 100 dB indica que a amplificação no modo comum é de 1/100.000 da diferencial.

Símbolo	Parâmetro	Condições	LF451CM			Unidade
			Típico	Limite testado	Limite do desenho	
V_{CM}	Classe de voltagem do modo comum da entrada máxima		+14.5 -11.5	+11 -11	+11 -11	V V
CMRR	Taxa de rejeição do modo comum mínima	$R_S \leq 10\text{ K}\Omega$	100	80	80	dB
PSRR	Taxa de rejeição da voltagem da alimentação mínima		100	80	80	dB

Conhece-se um dado equivalente (o PSRR) que mede a insensibilidade das variações de **alimentação**, supondo que as duas alimentações se movam em conjunto (como se fosse apenas uma; o efeito será bastante mais marcado).

Se as entradas se moverem juntas, devem-se manter no campo da tensão indicado pelo V_{CM} .



LIMITES DAS SAÍDAS

Se a entrada de um operacional for quase perfeita, a saída é, de certo modo, mais **limitada**, especialmente no que se refere à corrente que pode proporcionar à carga.

O gráfico mostra como uma carga pode reduzir a **tensão máxima** que consegue alcançar a mesma saída; o “swing” indica a variação da tensão entre o extremo negativo e o positivo.

Com 10 KΩ de carga (extremo direito do gráfico) é quase de 30 V, ou seja, o máximo disponível, mas com 100 Ω de carga (extremo esquerdo) **baixa** à volta dos 4 V, isto é, somente ± 2 V.

Com uma carga à saída, reduz-se drasticamente a tensão que se pode obter: este operacional não é um controlador de potência.



Foto-acumuladores rápidos

No campo digital é necessário um tempo de propagação baixo

O 6N137 é um acumulador ótico preparado para o isolamento elétrico de **sinais digitais**; é muito mais rápido do que o 4N55 já ilustrado na página anterior.

Inclui uma porta lógica, para **autorizar** ou desautorizar a saída, e um transistor adicional do tipo Schottky rápido; na prática, tanto a porta como o transistor formam um NAND.

A saída pode, portanto, ser utilizada como se fosse uma **porta lógica** normal open-collector, sem ter de se preocupar do CTR ou da escolha de uma resistência de carga precisa.

Estrutura do 6N137; o transistor final é do tipo Schottky, que não se satura e também é mais rápido.

VELOCIDADE

O gráfico mostra como o **tempo de propagação** do 6N137 é muito melhor do que o dos foto-acumuladores econômicos como o 4N55.

Quando se utiliza um resistor de 350 Ω , os tempos da descida (t_{PHL}) e da subida (t_{PLH}) estão muito **próximos** entre si, e por baixo de 60 ns em todo o campo da temperatura.

Em qualquer caso, não devemos esquecer que são valores **típicos**; num projeto é necessário contar com os tempos máximos garantidos, que são indicados nos dados com 100 ns.

Tempos de propagação da comutação da corrente no LED, com a correspondente variação da subida.

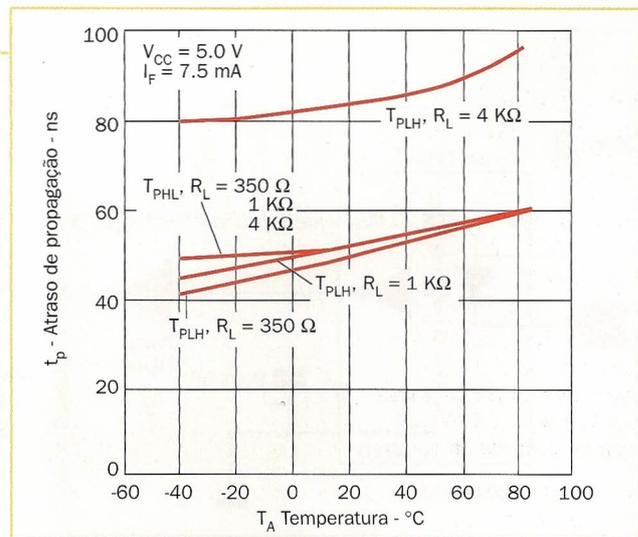
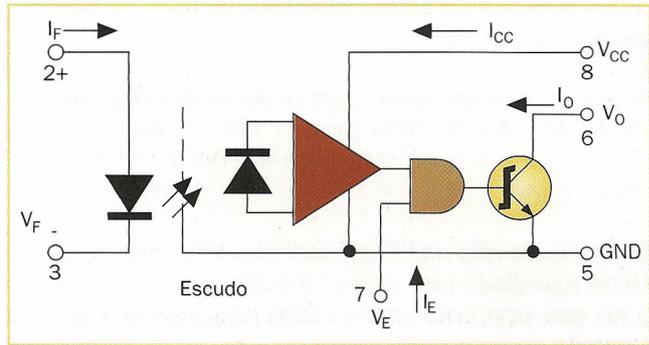
PROBLEMAS PRÁTICOS

Quando vários sinais lógicos são enviados em paralelo através de outros tantos foto-acumuladores, os tempos de propagação serão **diferentes**, atrasando cada sinal de um modo diferente.

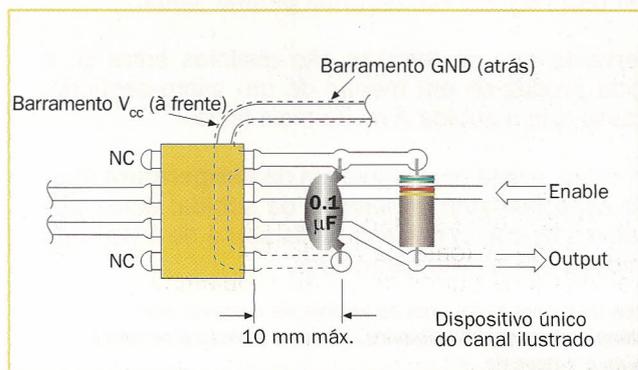
Este fato sugere uma possível utilização para a entrada do **enable**: após os dados que podem enviar o sinal de "dados preparados" num foto-acumulador especial independente, para que possa controlar o enable dos outros.

Para evitar **interferências** e acoplamentos capacitivos, convém prestar muita atenção ao desajuste

Disposição aconselhada, com pista do monitor nas duas faces, e condensadores de desajuste o mais próximos possível.



(condensador na alimentação) e à disposição dos trilhos no circuito impresso.





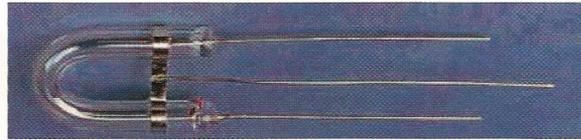
Flash e estroboscópio

Os dois dispositivos estão baseados no mesmo princípio de funcionamento

Para que se possa produzir um raio luminoso de forte intensidade, utiliza-se, através de um flash eletrônico para fotografia, uma lâmpada especial de **xénon**, que é um elemento da família dos gases nobres.

Trata-se de um tubo de vidro que contém o gás, nos extremos do qual se encontram dois eletródos: se aplicarmos uma tensão que seja bastante alta pode-se obter uma **descarga** através do próprio gás.

A descarga elétrica leva os átomos do xénon para um estado excitado de modo que, ao saírem do mesmo, emitem uma **energia luminosa**; a duração da descarga deve ser muito breve para não danificar a lâmpada.



Os tubos de xénon são também aplicados, entre outras possibilidades, nos indicadores luminosos possíveis.

DESCARGA DO IMPULSO

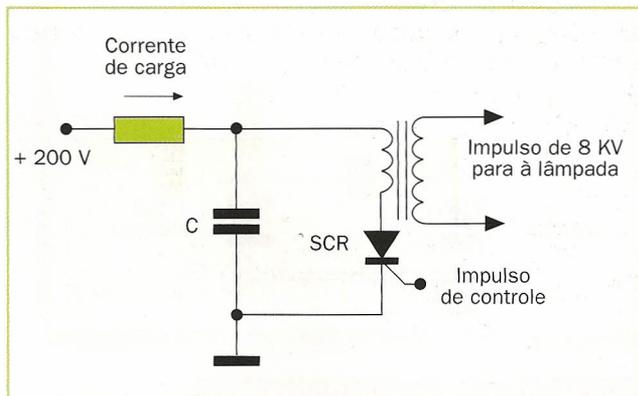
A técnica que é normalmente utilizada para produzir um impulso de alta tensão está ilustrada na figura: é um **condensador** que adquire carga e depois se descarrega sobre o primário de um transformador.

Quando o secundário tem um número de espirais muito superior ao do primário, forma-se nos seus extremos um **pico de tensão** que, além de ser bastante elevado, é suficiente para fazer saltar uma descarga na lâmpada.

A descarga do condensador é causada normalmente pela condução de um diodo controlado (ver lição 30 de

Quando o SCR é ativado com um impulso na porta, descarrega o condensador produzindo um impulso de alta tensão.

analgica), que se abre de novo quando a tensão fica invertida pela ressonância L-C.

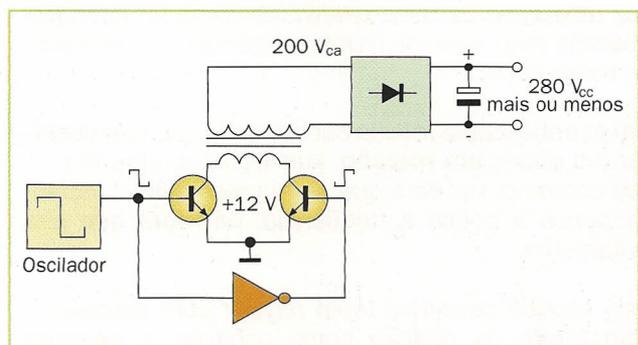


MAIOR EFICÁCIA

Partindo dos poucos volts que tem uma bateria, a corrente no primário resultaria excessiva; seria necessário utilizar um condensador enorme e o **desempenho** resultaria baixo, pelo que seria melhor utilizar uma tensão mais alta.

Portanto, utiliza-se um **inversor** (que não tem nada que ver com o NOR lógico do mesmo nome), como se pode ver na figura: um oscilador desenvolve uma tensão alterna, aplicada a um transformador.

A saída no secundário de tensão mais alta é dirigida de novo de forma que se pode obter uma tensão contínua, da ordem de algumas centenas de volts.



Para produzir uma tensão contínua mais elevada do que a da entrada, um inversor a converte em alternada.



Energia da lâmpada

Pelo menos é útil poder controlar a luz emitida pela lâmpada

Os modernos flash eletrônicos são capazes de **dosificar** a intensidade do raio, tanto para conseguir melhores fotografias como para conservar a energia das pilhas.

Quando não é possível mudar o valor do condensador, e tendo que manter a tensão acima de um certo valor, só nos resta atuar sobre a **duração** do impulso.



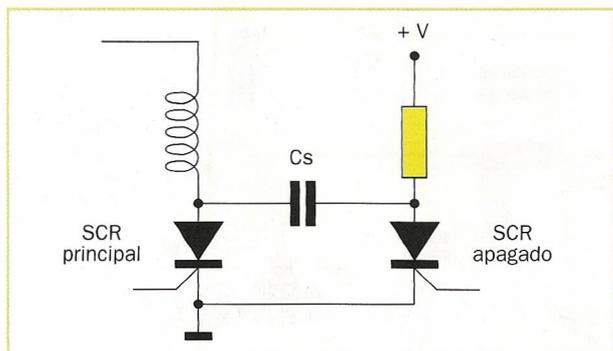
Deste modo, trata-se de descarregar apenas **parcialmente** o condensador, de forma que possa ser transferida para a lâmpada somente uma parte da energia acumulada no mesmo.

Os flash para fotografia regulam a duração do raio, também em função da luz refletida pelo modelo.

APAGAR UM SCR

O único modo de abrir novamente um SCR consiste em **interromper** a passagem da corrente, por exem-

plo aplicando em paralelo um condensador carregado com polaridade oposta, como se pode ver na figura.



Estes circuitos são sempre bastante **delicados**, dada a tendência dos SCR para se fecharem na presença de escalões da tensão, ou seja, variações rápidas (dV/dt).

Os progressos no campo dos **transistores de potência** permitem, em algumas situações, empregar um MOSFET ou um IGBT em lugar do SCR principal, simplificando muitíssimo o circuito.

O diodo controlado S2 produz (através do condensador C_s) um impulso negativo em S1, de modo que o volta a abrir.

ESTROBOSCÓPIOS E MOVIMENTO

Um estroboscópio é equivalente a um flash, mas produz uma série de raios relativamente fracos com **frequência** mais elevada (basta utilizar um condensador de baixo valor).

Um estroboscópio resulta ser bastante útil para observar um objeto **em rotação**: iluminando-o uma vez no seu contorno, ver-se-á que permanece quieto; variando pouco a pouco a frequência, parecerá que gira lentamente.

Esta técnica permitem tanto regular com precisão a **velocidade** de rotação como controlar a **posição**

exata (ou seja, o ângulo) no momento em que ativa a lâmpada.

Uma pistola estroboscópica mostra a posição do volante do motor no momento em que se produz a faísca nas velas.





Trabalhar em alta frequência

Tanto os circuitos lógicos como a frequência de áudio são mundos diferentes

Normalmente um fio é apenas um **fio**; no entanto, se falarmos de frequência, já não é possível pensar deste modo, sob pena de obtermos desagradáveis surpresas.

Um simples fragmento de fio pode-se transformar numa **antena** (transmissor e receptor), num indutor em série, num condensador para a massa, numa bobina de um transformador... tudo de uma vez.

A primeira regra para minimizar este problema é que os fios devem ser o mais **curtos** possível: tanto a ordem como a estética do circuito ficam em segundo plano no que respeita a esta exigência.

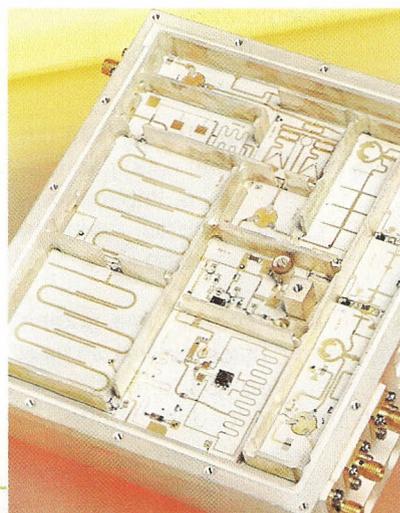


JAULA DE FARADAY

As diferentes etapas de um circuito de alta frequência têm tendência a **deixar-se influir reciprocamente**, através das ondas eletromagnéticas irradiadas por um deles e recebidas pelo outro.

Portanto, também nos protótipos a **proteção** é essencial: cada etapa deve-se encontrar numa caixa metálica própria, para formar uma "jaula Faraday", que evite tanto a entrada como a saída das ondas de rádio.

Este processo consegue-se normalmente utilizando caixas especiais de material ferroso, com **paredes metálicas** que são inseridas e soldadas, de modo que o



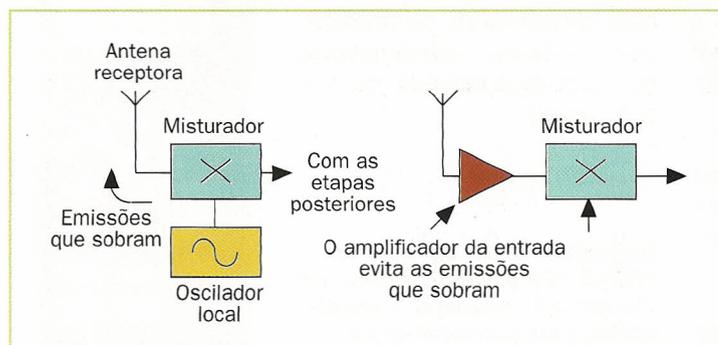
espaço fique dividido em compartimentos distintos.

As paredes metálicas isolam cada etapa (por exemplo, um oscilador, um amplificador e um misturador) das adjacentes.

EVITAR EMISSÕES

Quando se testam circuitos de alta frequência é necessário evitar totalmente a geração dos sinais, que podem **interferir** em alguns serviços importantes, como as comunicações com os aviões.

Deste modo, podem ser emitidas diretamente pelos circuitos (por exemplo, um oscilador ou um misturador), ou produzidas **acidentalmente**, como as emissões falsas ou não desejadas de um transmissor.



Ainda antes da antena transmissora deve haver um **filtro passa-banda**, também para impedir que os sinais de outros transmissores entrem e, por inter-modulação, produzam frequências falsas.

Num receptor, o amplificador da entrada também serve para evitar a transmissão acidental do sinal do oscilador local.



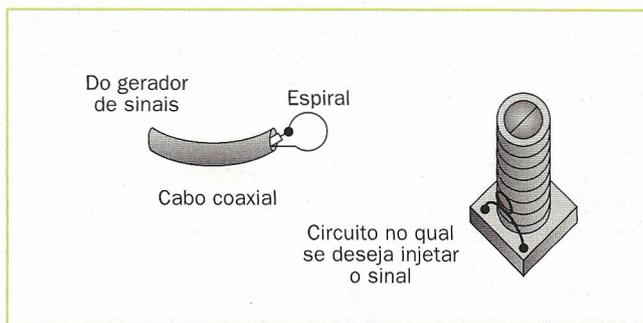
Medições em alta freqüência

Também a utilização das ferramentas necessita de técnicas adequadas

Na alta freqüência não se pode simplesmente **ligar** o pontal de uma ferramenta ao circuito que vai ser medido, pois este processo modificaria drasticamente o seu comportamento.

Para que se possa extrair uma parte do sinal pode-se chegar uma **espiral** ao circuito, ou seja, uma anilha de fio situado no extremo de um cabo coaxial, como o que está ilustrado na lição 28.

A mesma técnica pode ser utilizada ao contrário, ligando a espiral a um gerador para **injetar** um sinal, simplesmente aproximando-a do mesmo circuito (preferentemente a uma bobina).



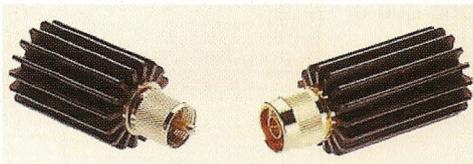
Uma espiral no extremo de um cabo coaxial como "pontal" para injetar um sinal no circuito por via indutiva.

APENAS COAXIAL

As **ligações** entre os aparelhos são efetuadas com um cabo coaxial, normalmente de 50 Ω ; este cabo não irradia e, se as impedâncias forem corretas, também não interfere no sinal.



Para simular uma antena sem irradiar utiliza-se uma



carga fictícia especial; na prática, é um resistor peculiar de 50 Ω com uma indução e capacidade parasitas mínimas.

Para extrair uma fração do sinal de um fio não se pode utilizar uma espiral; é preciso empregar um **divisor** especial, sempre com impedância constante.

À direita estão duas cargas fictícias de 15 Ω para simular antenas transmissoras, à esquerda está um comutador para sinais de rádio de potência.

RISCOS DAS ALTAS FREQUÊNCIAS

Como as correntes de alta freqüência andam sobre a **superfície** dos condutores, com potências elevadas em jogo, (por exemplo transmissor de 200 W) qualquer um de nós se arrisca a sofrer uma queimadura na pele.

Com algumas centenas de MHz começam-se a correr perigos de tipos diferentes, já com alguns watts de potência: possíveis **danos** na vista e no aparelho reprodutor, e ainda outras conseqüências sobre a saúde.

O perigo efetivo depende da **concentração** da energia: é pouco aconselhável permanecer diante de uma pará-

bola transmissora, ou trabalhar com antenas transmissoras num ambiente fechado (ou num automóvel).

Um telefone celular não deve ser utilizado num ambiente fechado, por exemplo num automóvel: a energia emitida pode concentrar-se em excesso em alguns pontos.





Flash seqüencial

Um dispositivo para criar jogos de luz que se perseguem

Costuma-se dizer que a **publicidade** é a alma do negócio, mas sobretudo é o complexo de meios e técnicas com as quais um produto é apresentado e recomendado ao consumidor.

O objetivo principal da mensagem publicitária é **atrair a atenção**, objetivo que não é nada fácil de conseguir, dado que é partilhado por um grande número de possíveis vendedores.

Há quem gaste milhões numa série de “passes” de anúncios publicitários, tanto no rádio como na televisão, e quem, gastando menos e com maior comodidade, cuida muito do aspecto das **vitrines** do seu negócio.



UMA LUZ... MAGNÉTICA

À primeira vista ninguém diria, mas decorar vitrines é uma verdadeira **arte**, praticada por especialistas que sabem dosear com cuidado produtos, fundos, cartazes e iluminação.

Claro está que, de certa maneira, uma luz **em movimento** constitui uma atração natural, também para os olhos do pedestre mais distraído, sobre o produto ou sobre a promoção que se quer colocar em primeiro plano.

Portanto, temos um circuito que é capaz de produzir **luzes que se perseguem entre si**, acendendo duas séries de oito lâmpadas segundo uma das diferentes seqüências previamente definidas, através dos interruptores correspondentes.

O circuito de controle do flash seqüencial já terminado.

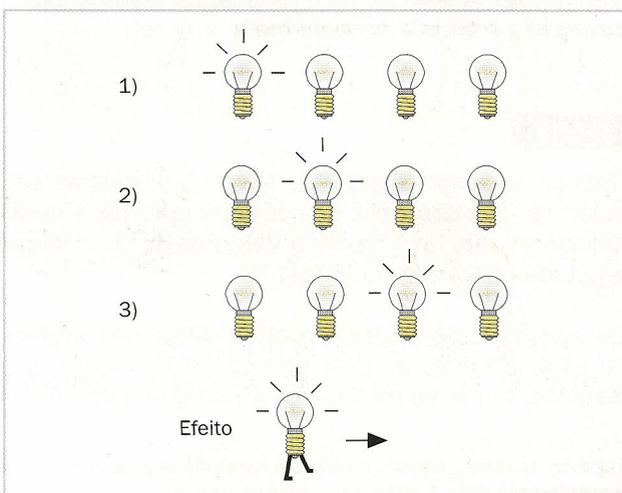
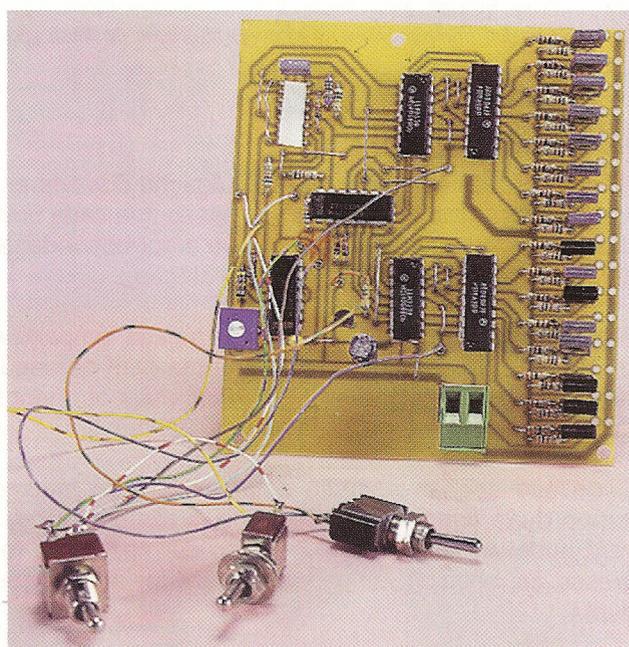
NÃO APENAS NAS VITRINES

Naturalmente, o uso destas luzes móveis não está limitada ao campo comercial ou publicitário: com um pouco de **imaginação**, podem ser úteis em muitas outras ocasiões.

Por exemplo, para uma **festa** de aniversário, como decoração para o salão (utilizando luzes coloridas de baixa luminosidade ou LEDs) e, naturalmente, para a tradicional árvore do Natal.

Na realidade, a luz não se move, mas o seu acendimento seqüencial (ou seja, uma depois da outra) faz com que os nossos olhos sintam a **ilusão** de um movimento contínuo.

Acendendo as lâmpadas uma a seguir à outra, parece que a luz se move.





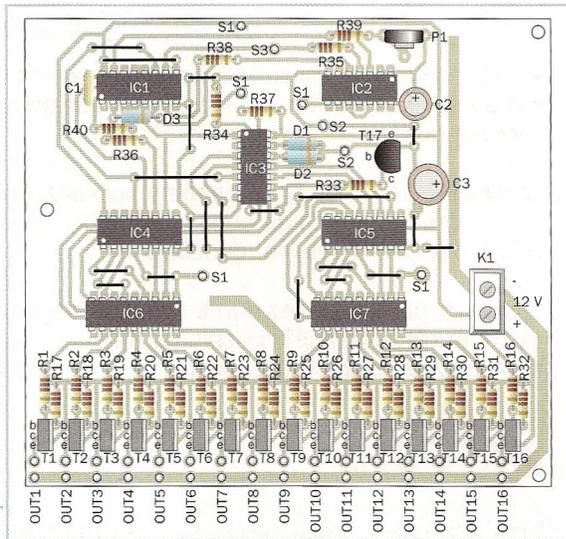
Montagem do circuito

O flash seqüencial requer um discreto número de componentes, que devem ser colocados numa ordem correta na grande superfície que se pode ver na figura; portanto, têm de ser montados com **atenção** e paciência.

Como sempre, convém começar pelas pontes e pelos componentes de menor altura, e controlar bem a **orientação** dos componentes polarizados (diodos, transistores e circuitos integrados).

Os integrados, especialmente do IC1 ao IC5, são muito sensíveis com as **cargas eletrostáticas**, pelo que convém não esquecer de que sejam descarregadas para a terra (por exemplo, tocando um aquecimento central) antes de colocá-las em funcionamento.

Disposição dos componentes no circuito impresso do flash seqüencial.



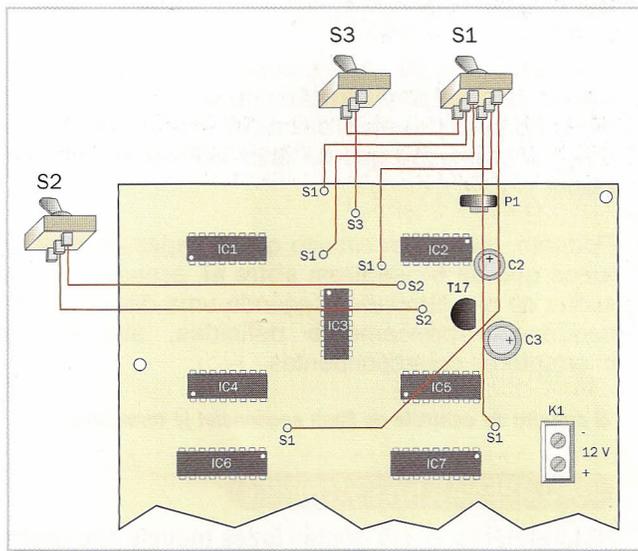
CABLAGEM EXTERNA

A figura que está ao lado mostra a ligação dos diferentes **interruptores** de controle, ao passo que cada uma das lâmpadas deve ser ligada entre a correspondente saída e a massa (negativo de alimentação).

A **corrente máxima** que se fornece a cada lâmpada é de 2 A que, quando tem uma certa margem de segurança, limita a sua potência em 20 W mais ou menos (convém utilizar fios de, pelo menos, 0,5 mm²).

Dado que apenas poderão estar acesas ao mesmo tempo **duas lâmpadas** no máximo, o alimentador deverá poder proporcionar 4 A e o fio da massa (de regresso às mesmas lâmpadas) deverá ter uma seção dupla.

Ligação dos três interruptores e comutadores externos, que controlam a seqüência do acendimento.



TESTE

Depois de serem ligadas as lâmpadas, mesmo sendo de pouca potência, bastará aplicar a alimentação para verificar o correto funcionamento do circuito; a **velocidade** da cintilação poderá ser regulada utilizando o trimmer P1.

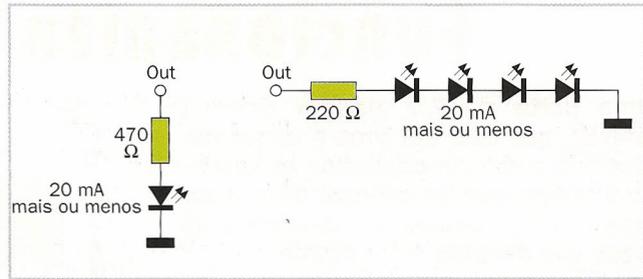
Os interruptores permitirão obter diferentes **efeitos luminosos**, ou seja, acender os dois grupos de lâmpadas com seqüências distintas, como se mostra na tabela que está ao lado.

Ligando os interruptores, podem-se obter diferentes seqüências de acendimento, isto é, diferentes efeitos visuais.

DESLOCAMENTO	COMUTADORES		
	S1	S2	S3
→ → →	1	1	1
→ → →	1	1	2
→ → →	1	2	1
→ → →	1	2	2
→ → →	2	vontade	vontade

LÂMPADAS E LED

Em lugar de lâmpadas podem ser utilizadas as **luzes de posição** dos automóveis (5 W) ou então, se desejar ter menos luminosidade, as que se comercializam para usar nas árvores do Natal, desde que sejam de 12 V e não cintilantes. Também os **diodos luminosos (LED)**, talvez de diferentes cores, constituem uma alternativa interessante; neste caso, é necessário acrescentar um resistor em série, como a que mostra a figura.

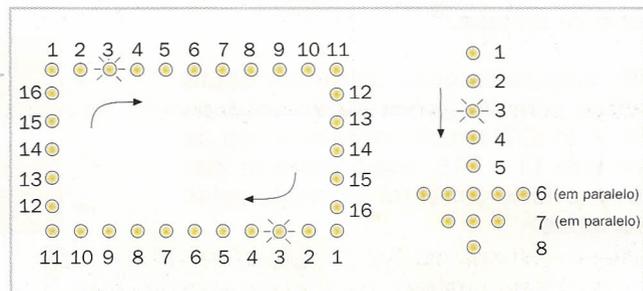


Como ligar um LED, ou uma série de LED, no lugar de cada lâmpada; com vários LED é suficiente um resistor de menos valor.

Quando se utilizam três ou quatro LED em série, pode-se obter uma maior luminosidade com paridade da corrente; também se pode aumentar mais a intensidade luminosa empregando LED **ultra-luminosos**, equivalentes aos que foram utilizados para a terceira luz dos freios.

FORMAS DE LUZ

Se colocarmos simplesmente as luzes em fila não se produz um efeito espetacular: é melhor colocarmos as lâmpadas de modo que se possa **desenhar** um forma, por exemplo, uma onda.



Uma das mais conhecidas disposições clássicas é a do **quadrado giratório**, na qual as luzes parecem perseguir-se entre si ao longo de um percurso que tanto poderia ser retangular como circular, conforme o exemplo que se mostra na figura.

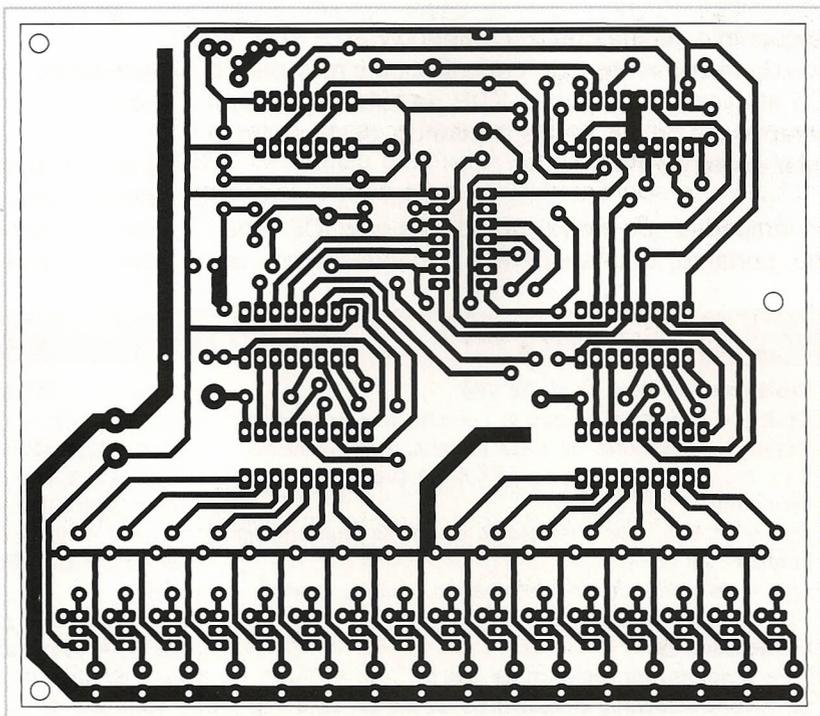
Ligações das lâmpadas para obter um efeito de quadrado ou de seta; as lâmpadas com o mesmo número são colocadas em paralelo.

Também se ilustram as ligações necessárias para desenhar uma **seta**, na qual as luzes naturalmente se poderão mover sempre na direção indicada pela ponta da própria seta.

LUZES DO EXTERIOR

Quando se deseja utilizar as lâmpadas no exterior, por exemplo para fazer grinaldas luminosas, será necessário empregar uma **caixa transparente** e totalmente impermeável. Por exemplo, para o efeito, poderá servir um **tubo de plástico** transparente, no interior do qual deverão ser dispostas as lâmpadas e, na parte posterior (mas sempre no interior), o molho de fios que as alimentam.

Dado o **escasso resfriamento** devido à falta de circulação do ar, também será conveniente utilizar lâmpadas de baixa potência (por exemplo de 3 W), que permitirão o uso de fios mais finos.



Disposição dos trilhos no circuito impresso do flash seqüencial, pelo lado das soldagens com escala reduzida.



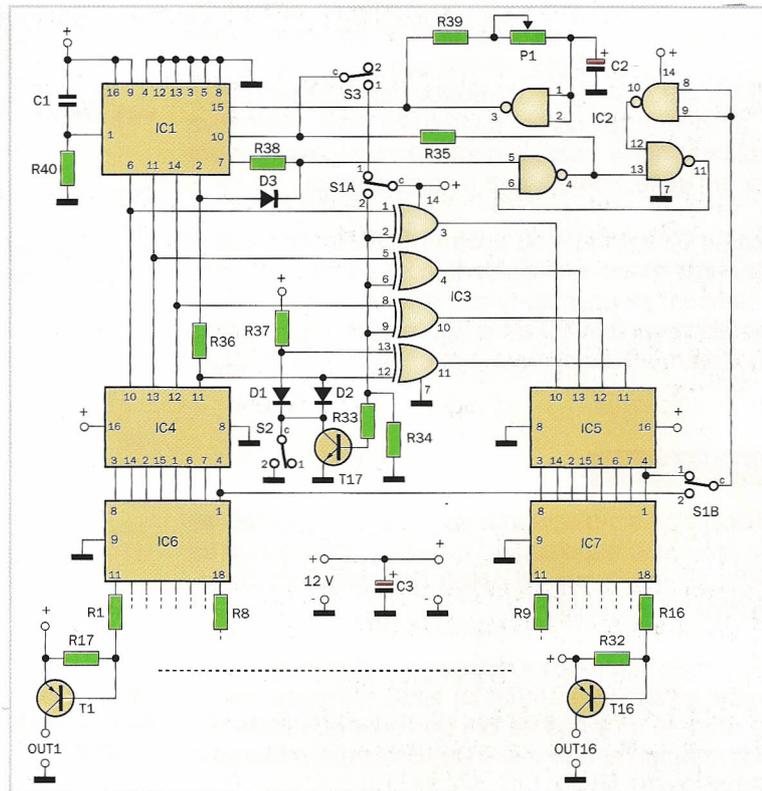
Funcionamento do circuito

Uma porta do IC2 (trigger Schmitt NAND), que está em cima à esquerda, funciona como um **oscilador**, produzindo o relógio que faz avançar o contador binário IC1: o seu estado determina as luzes que deverão estar acesas.

As quatro saídas binárias do contador são aplicadas a dois **decodificadores**: o IC4 e o IC5; cada decodificador ativa **uma única saída** (ver lição 7 de Digital), a que corresponde ao número binário da entrada.

Em cada saída encontra-se um **duplo buffer**: primeiro os que estão dentro do IC6 e do IC7, depois os transistores de potência T1 a T16, que finalmente atenuam a forte corrente absorvida pelas lâmpadas.

Esquema elétrico do flash seqüencial.



MUDANÇA DE SEQUÊNCIA

Enquanto o decodificador IC4 está controlado diretamente pelo contador, os sinais para o IC5 atravessam as portas XOR do IC3, que podem **inverter** um ou vários bits, mudando, deste modo, o valor numérico.

As lâmpadas que estão controladas pelo IC5 seguirão, portanto, uma seqüência dependente dos **co-**

mutadores S1 e S2, que controlam o comportamento dos XOR.

As portas lógicas que estão em cima à direita estabelecem, portanto, a **direção** da contagem do contador, conforme o S3: a entrada do contato 10 estabelece se a contagem vai subir ou descer.

LISTA DOS COMPONENTES

Resistores (os fixos de 1/4 W 5%)

R1÷R16 = resistores de 220 Ω (vermelho, vermelho, marrom)

R17÷R32 = resistores de 1 K Ω (marrom, preto, vermelho)

R33, R34, R35 = resistores de 5,6 K Ω (verde, azul, vermelho)

R36, R37, R38, R40 = resistores de 10 K Ω (marrom, preto, laranja)

R39 = resistores de 47 K Ω (amarelo, violeta, laranja)

P1 = trimmer de 220 K Ω

Condensadores

C1 = condensador cerâmico de 100 nF

C2 = condensadores electrolíticos de 2,2 μ F, 16 V

C3 = condensadores electrolíticos de 100 μ F, 16 V

Semicondutores

D1, D2, D3 = diodos 1N4148

T1 ou T16 = BD240

T17 = BC547

IC1 = 4029, não do tipo HC

IC2 = 4093, não do tipo HC

IC3 = 4030, não do tipo HC

IC4, IC5 = 4028, não do tipo HC

IC6, IC7 = ULN2804

Vários

S1 = comutador de alavanca, circuito duplo

S2, S3 = comutadores de alavanca

K1 = terminal de dois pólos

2 soquetes de 14 contatos

3 soquetes de 16 contatos

2 soquetes de 18 contatos

Circuito impresso