

ELETRÔNICA ELETRÔNICA

15

para todos



**TRANSISTORES
DE POTÊNCIA**



FLIP-FLOP J-K



**DADOS DOS BJT
DE POTÊNCIA**



**RELÓGIOS
DIGITAIS**



**PROCURAR
OS DADOS TÉCNICOS**



**Projeto nº 15:
INTERRUPTOR
DE PALMAS**

SALVAT

 JACKSON
LIBRI®



Transistores de potência

Quando entram em jogo tanto correntes elevadas como potências, encontram-se problemas novos

Mesmo quando um transistor é bem refrigerado, existe um **limite** na potência máxima que pode ser dissipada, limite este indicado nos dados técnicos correspondentes (por exemplo, 100 W para um transistor de potência).

O **produto** da corrente que atravessa o transistor através da tensão nos seus extremos não pode superar este valor: 100 W permitem 5 A e 20 V, ou seja, 10 A e 10 V.

Um **impulso** único da corrente pode ser muito elevado, embora também muito breve: por exemplo, poderiam ser tolerados 10 A e 20 V durante 300 μ seg, mesmo que o produto dê 200 W.



SEGUNDA RUPTURA

Não é somente a temperatura da união o que estabelece um **limite** à corrente que pode atravessar um transistor BJT.

A corrente também está limitada pelos **fios de união** entre os terminais e a própria união, que podem aquecer e separar-se.

Além disso, com o aumento da tensão nos extremos do transistor verifica-se um fenômeno desagradável que é denominado **segunda ruptura** (ou second breakdown, em inglês).

A corrente concentra-se nos "pontos quentes" da união, atraindo mais corrente e aquecendo-a mais

do que seria necessário: é preciso, portanto, manter a corrente muito mais **baixa** do que o valor calculado, dividindo a potência pela tensão.



Transistor BJT de potência no típico encapsulamento metálico TO-3, adequado para uma boa eliminação do calor.

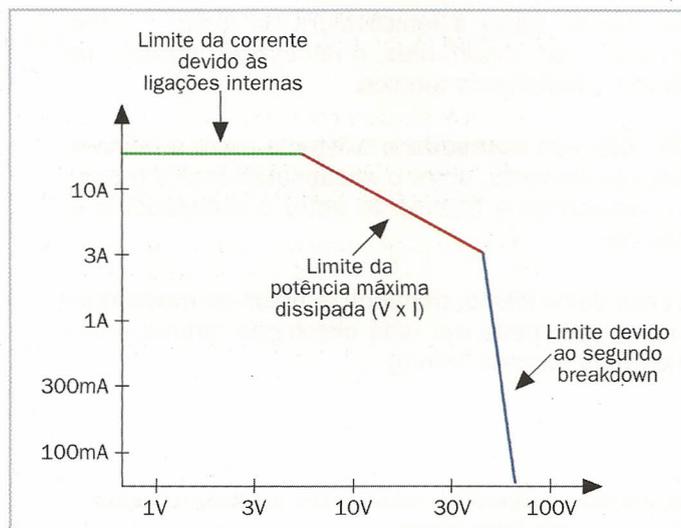
ÁREA DE TRABALHO

A figura resume os limites dos BJT mostrando uma característica zona **operativa segura** (SOAR: safe operating area).

As diferentes cores do traço indicam as possíveis **causas** da limitação da corrente tolerada de um modo continuado pelo transistor que, se sair desta zona, estraga-se.

Pode-se observar o efeito drástico do **second breakdown**, já bastante marcado pelas altas tensões; no entanto, há, realmente, uma discreta tolerância nas comparações dos impulsos da corrente que são muito breves.

Zona operativa segura de um BJT de potência: indica tensões e correntes que podem estar presentes ao mesmo tempo.





Resistência térmica

A temperatura melhor para a união depende da eficácia da eliminação do calor

A potência dissipada depende muito da capacidade de **eliminar** o calor que deveria ser transportado para longe da união.

Para se criar um fluxo térmico é necessária uma **diferença de temperatura**. Quanto mais alta for esta diferença, maior será o calor transportado.

Trata-se naturalmente de melhorar a condução do calor, ou seja, reduzir a **resistência térmica** entre a união e o ambiente do exterior.

Se considerarmos a diferença de temperatura como uma tensão, a potência dissipada como uma corrente e a resistência térmica como uma resistência, podemos aplicar a **lei de Ohm**.

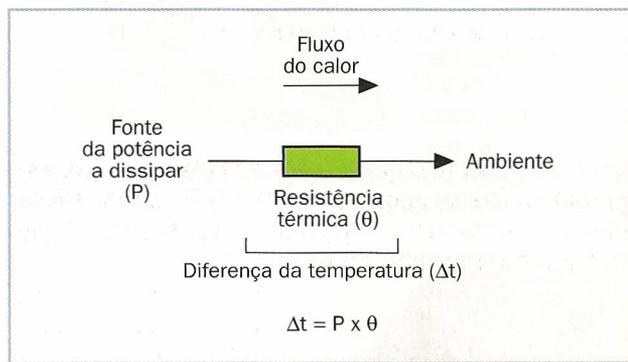


DA UNIÃO PARA O AMBIENTE EXTERIOR

A resistência térmica expressa-se em °C/W ou **graus célcus por watts**. Se for, por exemplo, de 8 °C/W, uma dissipação de 15 W provocará uma diferença de $15 \times 8 = 120$ °C.

A união do transistor (ou de outro semiconductor) encontrar-se-á com uma temperatura **superior** de 120 °C no que respeita à temperatura ambiente.

Considera-se como o **pioir caso** da temperatura ambiente, por exemplo, 70 °C, e acrescenta-se a diferença da temperatura causada pela passagem do calor. A **união** será, portanto, de 70 °C + 120 °C = 190 °C, presumivelmente dentro do limite aceitável (cerca dos 200÷250 °C para os transistores de silício).



A diferença da temperatura (ΔT), a potência dissipada (P) e a resistência térmica (θ) estão associadas de uma forma similar à da lei de Ohm.

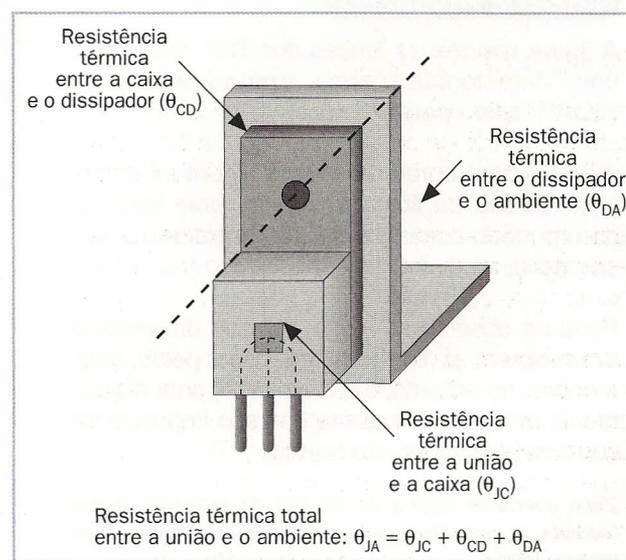
DISSIPADORES E FLUXO DE AR

Para manter baixa a temperatura da união mesmo com potências importantes, é necessário **reduzir ao mínimo** a resistência térmica.

Esta obtém-se **somando** a existente entre a união e o encapsulamento, entre o encapsulamento e o possível dissipador e finalmente entre o dissipador e o ambiente.

No caso desta última, depende também do **movimento** do ar que pode ser uma circulação natural (convecção) ou forçada (vento).

Componentes da resistência térmica: com potências elevadas, devem ser as três muito baixas.



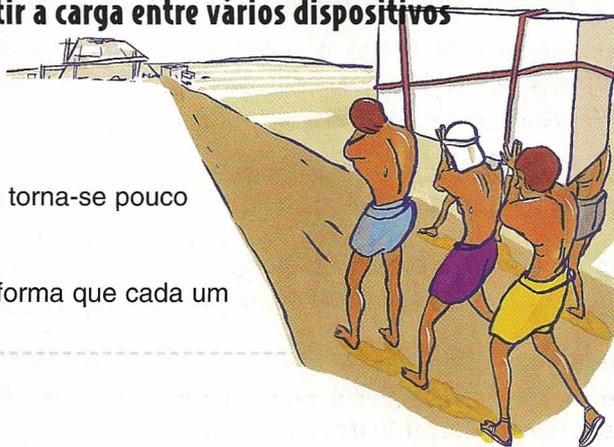
Transistores em paralelo

Para potências elevadas, convém repartir a carga entre vários dispositivos

Algumas considerações térmicas e o fenômeno second breakdown limitam a **corrente** que é controlada por um único transistor.

A produção de transistores de união de grande potência torna-se pouco **conveniente**.

Pode-se **dividir** a corrente entre vários transistores, de forma que cada um deles suporte apenas uma fração da carga.



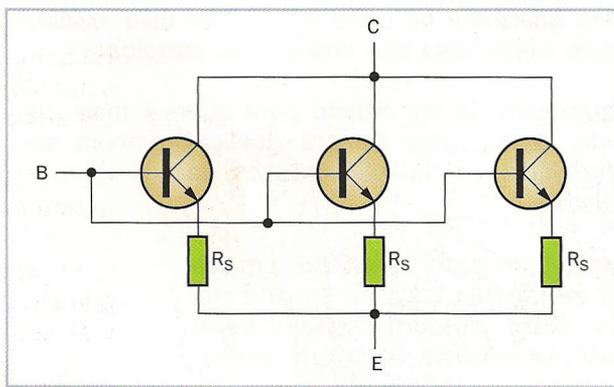
ESTABILIZAÇÃO TÉRMICA

Se ligarmos simplesmente em **paralelo** dois ou mais transistores BJT, este fato ocasionará pequenas diferenças de produção nos ganhos (β) e na tensão base-emissor (V_{BE}).

Um dos transistores conduziria, e ganharia calor mais do que os outros; mas o aquecimento produz uma **diminuição** do V_{BE} e, portanto, uma maior corrente de base (e de coletor).

O transistor que estivesse mais quente reclamaria para ele uma parte **sempre maior** da corrente total, aquecendo até destruir-se, e os outros seguiriam o mesmo caminho um de cada vez.

As resistências de estabilização impedem que por um transistor de união passe muito mais corrente do que os outros.



MELHORES SOLUÇÕES: IGBT E MOSFET

Os transistores de união já não são utilizados para as altas potências: **preferem-se** os IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor: transistor bipolar de porta isolada) ou os MOSFET.

Estes últimos não sofrem a segunda ruptura e são **auto-estabilizantes**: a sua tensão da "porta" (o equivalente da base) sobe quando aumenta a temperatura.

Portanto, podem-se ligar em paralelo **sem** resistores adicionais, e a conseqüente dissipação e queda da tensão, como poderemos ver na lição que lhes será dedicada mais adiante.

Para os carros elétricos, que necessitam de centenas de ampères (na fotografia aparece uma coluna de recarga), podem ser utilizados muitos transistores MOSFET em paralelo.





Comutadores de potência

Para a sua utilização como interruptor, a presença de correntes elevadas levanta muitos problemas específicos

Num transistor BJT que é utilizado como um interruptor, a **potência dissipada** ($V \times I$) é teoricamente sempre zero: na realidade está aberta ($I = 0$) ou fechada ($V = 0$).

Quando o transistor está fechado existe a dissipação causada pela pequena **tensão de saturação**.

Além disso, nos transistores de potência o β está normalmente bastante baixo, pois a **corrente da base** não é supérflua.

No pior dos casos deve assegurar a completa **saturação**, ou seja, o mínimo ganho (β) e/ou um excesso de corrente causado por uma carga capacitiva.



TRANSIÇÕES PERIGOSAS

Se a potência dissipada na saturação (fechada) estiver baixa e a do corte (aberta) for nula, existe, mesmo assim, uma fase crítica: a da **transição**.

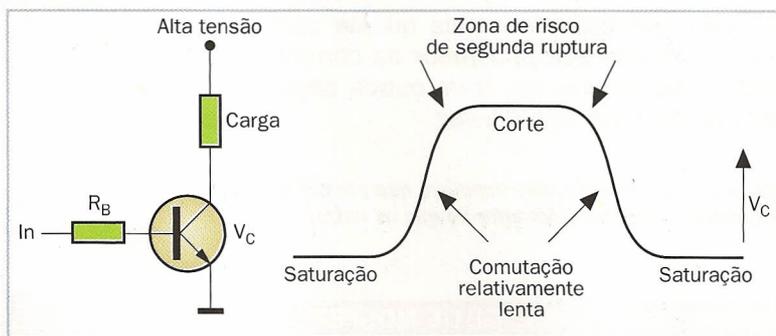
A passagem de um estado para outro é mais ou menos rápida, mas sempre **gradual**, embora se tenha uma certa dissipação da potência.

Quando o transistor está quase em corte, a tensão nos seus extremos é elevada: existe o risco do **second beak-down** mesmo com correntes relativa-

mente baixas, especialmente se a carga é indutiva.

Para evitar estragos, a transição deve ser o mais **rápida** possível, tanto mais se for repetida com uma frequência elevada.

Em comutação, o transistor deve estar durante o mínimo tempo possível (o ideal seria zero) na zona da segunda ruptura.



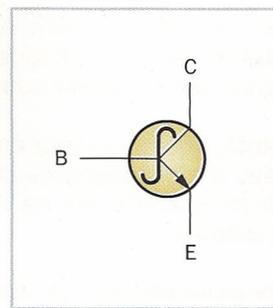
VELOCIDADE DE COMUTAÇÃO

As **capacitâncias internas** do transistor atrasam o fecho e, portanto, aumentam a dissipação: para se poderem carregar é necessário enviar mais corrente da que é precisa na base.

O **efeito Miller** que é causado pela capacitância C-B (ver lição 11 de Componentes) limita a velocidade da comutação, expressada no V/seg.

Na abertura, o transistor deve-se libertar das cargas de **resíduos** antes de se poder abrir. Este processo também requer tempo.

Os transistores Schottky não saturam completamente, de modo que não acumulam cargas e abrem-se com a maior velocidade.





Flip-flop J-K

O biestável mais revolucionário é um S-R simultâneo e sempre válido

Os flip-flop do tipo D são **simultâneos**: mudam de estado somente quando correspondem com a etapa ativa (subida ou descida) do sinal do relógio (clock).

Podem-se realizar flip-flop simultâneos também do tipo S-R, que são sensíveis à transição do relógio (diferentes do que já foi visto na lição 13, pois eram sensíveis ao nível).

No entanto, conservam um inconveniente dos S-R: se as duas entradas estiverem ativas, o estado das saídas **não é válido** (por exemplo, Q e \bar{Q} estão ambas a 1).

O verdadeiro flip-flop simultâneo com duas entradas independentes e sem problemas (pelo menos nas versões modernas) é o **tipo J-K**.

O flip-flop S-R provoca situações que não são válidas se as duas entradas estiverem ativas.



NENHUM ESTADO PROIBIDO

A tabela da verdade mostra como as entradas J e K podem **mudar** livremente, sem provocar nenhum efeito sobre a saída.

Somente no momento da **transição ativa** do relógio, o seu estado é "fotografado" na saída Q e no seu complemento \bar{Q} (que não foi indicado na tabela).

Como acontece com os flip-flop S-R, se as duas entradas estiverem inativas (0 no exemplo) no momento do relógio, a saída não se **altera** porque fica memorizada no estado anterior.

Continuando com o que estávamos dizendo, não está proibido (como acontecia com o S-R) tornar ativas ambas as entradas: neste caso, o impulso do relógio produz uma **inversão lógica** da saída.

CLK	J	K	Q
↑	0	0	Conserva o valor anterior (Q_0)
↑	0	1	0 (Reset)
↑	1	0	1 (Set)
↑	1	1	Complemento do valor anterior (\bar{Q}_0)

Tabela verdade do flip-flop J-K. Observe com atenção que um impulso do relógio com as duas entradas a 1 inverte as saídas.

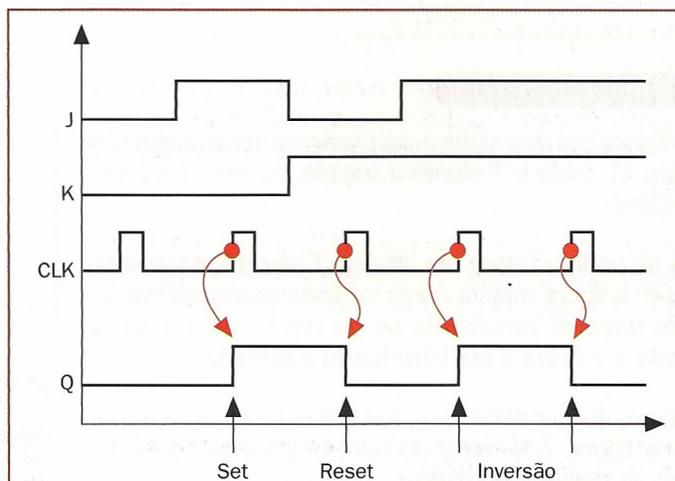
CLEAR ASSÍNCRONO

Alguns flip-flop do tipo J-K oferecem também a **possibilidade** de colocar a saída em zero $\bar{Q} = 0$, $Q = 1$) com uma entrada especial de Clear.

Esta função é, no entanto, **assíncrona**, pois acontece imediatamente sem esperar pela etapa ativa do sinal do relógio.

Como o momento da execução das operações assíncronas não está associado ao relógio, este é **menos previsível**; além disso, um breve impulso não desejado (glitch) pode, quase com certeza, criar problemas.

Funcionamento de um flip-flop simultâneo do tipo J-K: as alterações produzem-se somente na etapa da subida do relógio.





Divisor por dois

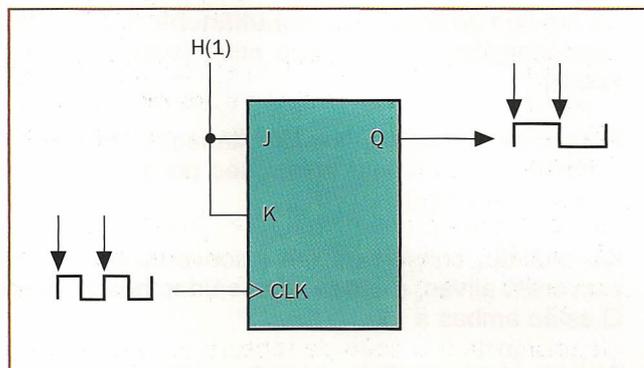
Com os flip-flop é possível reduzir pela metade a frequência de um sinal digital

Se ligarmos ao nível ativo (por exemplo 1) as duas entradas de um flip-flop J-K, um pulso de um relógio produz a **inversão** das saídas.

Uma posterior transição válida do relógio, sempre com as duas entradas ativas, **devolverá** as saídas ao seu estado anterior.

Com cada **dois impulsos** (por exemplo de 0 para 1 e depois novamente para 0) da entrada do relógio, tem-se apenas um único impulso à saída.

Portanto, o flip-flop comporta-se como um **divisor por dois**: à saída chega a metade dos impulsos que foram aplicados à entrada do relógio.



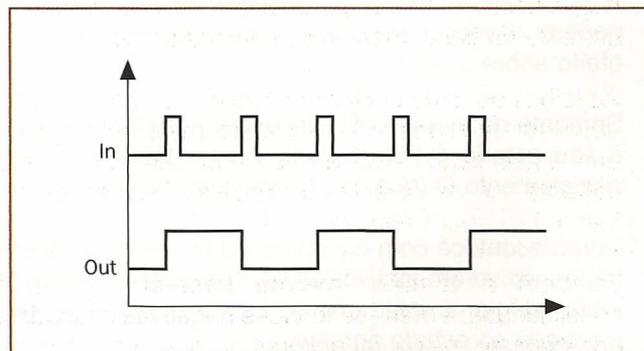
Divisor por dois: como cada transição ativa inverte Q, por cada dois períodos à entrada tem apenas um à saída.

PARTIR UMA FREQUÊNCIA AO MEIO

Se aplicarmos uma onda quadrada à entrada do divisor, ou seja, um sinal repetitivo e simétrico, à saída encontra-se ainda uma **onda quadrada**.

Esta última tem, no entanto, **metade da frequência** no que respeita à anterior: por exemplo 10 KHz (10.000 períodos por segundo) à entrada produzem 5 KHz à saída.

Deve-se observar atentamente que o sinal da saída é uma onda quadrada embora a da entrada esteja, por exemplo, formada por **impulsos** muito estreitos. Também conta a regularidade da **distância** entre os impulsos, e não a sua largura, dado que cada impulso contém apenas uma transição ativa.



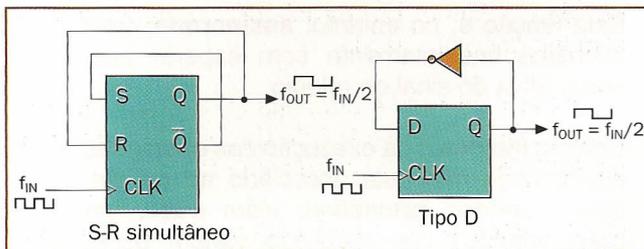
Cada impulso inverte a saída: se os impulsos estiverem espaçados regularmente, à saída há uma onda quadrada.

FLIP-FLOP DO TIPO T

Um divisor por dois chama-se genericamente "biestável do tipo T", onde o T significa **toggle**, ou seja, inversão do estado.

Para se poder realizar um flip-flop T não é fundamental um J-K: a figura mostra como se pode **construir** partindo de um S-R simultâneo ou de um D, com a saída negada e voltada a ser introduzida à entrada.

Devemos ter presente que, em todos os casos mostrados na figura, o terminal do relógio dos flip-flop faz as vezes da **entrada** do divisor.



Outros dois modos de realizar um flip-flop T, ou seja, um divisor por dois. A versão S-R deve-se acender quando está num estado válido.

Contadores

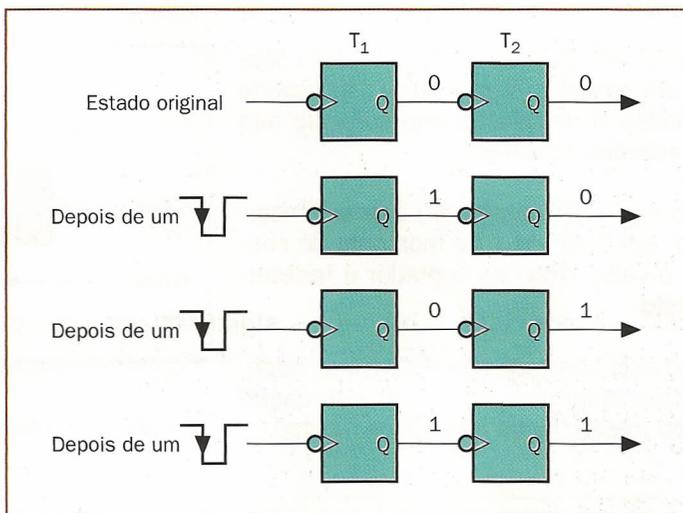
Uma cadeia de biestáveis do tipo T pode contar os impulsos da entrada

Quando um flip-flop funciona como divisor, partindo a freqüência de uma onda quadrada ao meio, ao ligar a sua saída à entrada de um segundo T obtém uma **divisão por 4**.

Na figura mostra-se como o circuito passa pelos 4 **estados** distintos, recuperando após o quarto impulso da entrada o seu estado original (os circuitos indicam que é válida a etapa da descida do relógio).

O primeiro flip-flop pode ser considerado como um **contador** que vai de 0 para 1 e depois, para o impulso seguinte, volta, em seguida, para zero dando transporte (borda da descida na saída).

O segundo biestável recebe este **transporte** e sobe uma cifra (de 0 para 1), o mesmo que acontece com o velocímetro do automóvel.



Os quatro estados sucessivos dos dois flip-flop T estão ligados em cascata, ou seja, um atrás do outro.

CONTADOR DE 2 BIT

Os quatro possíveis estados, que podem ser lidos da esquerda para a direita, parecem-nos familiares: trata-se dos primeiros 4 **números binários**, correspondentes aos decimais de 0 a 3.

Cada um dos flip-flop representa **um bit** deste número, que, no seu conjunto é o contador dos impulsos da entrada.

O flip-flop da esquerda contém o bit menos significativo (LSB: Least Significant Bit), aquele que se altera

mais freqüentemente; o flip-flop da direita contém o bit **mais significativo** (MSB: Most Significant Bit).

Impulsos	T ₂	T ₁
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0

As saídas dos dois flip-flop constituem as cifras binárias de um número, que representa o total dos impulsos recebidos.

CONTADORES DE N BITS

É possível ligar em cascata qualquer número de um flip-flop do tipo T, obtendo-se assim um contador de **n bits**, onde o "n" significa o número dos biestáveis que foram utilizados.

Cada bit que é acrescentado **duplica** o valor máximo que poder ser memorizado pelo contador, como se mostra na figura.

Por exemplo, com 8 flip-flop (número muito comum) têm-se 256 combinações possíveis, que podem **representar** os números de 0' a 255.

Número das combinações possíveis do n bits e o campo correspondente do contador obtido com o n flip-flop.

Número do bit	Combinações	Contador
1	2	0..1
2	4	0..3
3	8	0..7
4	16	0..15
5	32	0..31
6	64	0..63
7	128	0..127
8	256	0..255
9	512	0..511
10	1024	0..1023
11	2048	0..2047
12	4096	0..4095
13	8192	0..8191
14	16384	0..16383
15	32768	0..32767
16	65536	0..65535



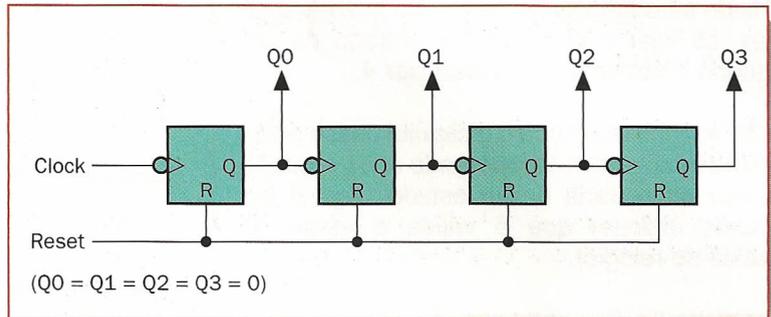
Problemas dos contadores

O contador simples com cascata e com flip-flop tem alguns inconvenientes

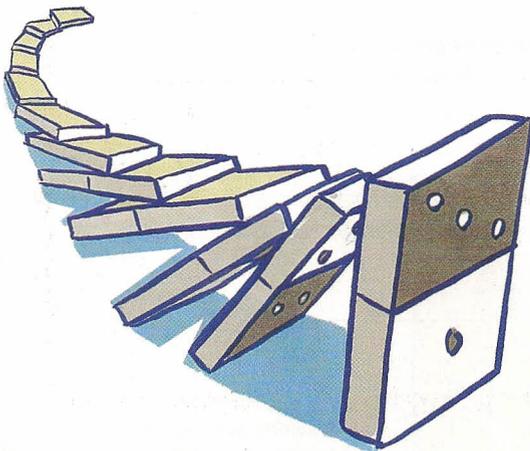
Quando oito flip-flop do tipo T estão ligados em cascata (“ripple carry”: transporte da onda), o circuito do seu conjunto tem 256 **estados** possíveis.

Dado que cada biestável pode ser “acordado” em 0 ou em 1 no momento do contato, o valor inicial do contador é **indeterminado**.

Como esta condição não é a melhor, pode-se acrescentar uma entrada de **colocação a zero** (reset) ligada a todos os flip-flop.



A entrada do reset configura no contador o número binário 0000.



Nos contadores assíncronos, as mudanças devem-se propagar do bit menos significativo para o mais significativo.

RELÓGIOS ASSÍNCRONOS

Embora tenha sido construído com flip-flop simultâneos, que somente mudam de estado na etapa do relógio, o nosso contador é do tipo **assíncrono**.

De fato, os diferentes biestáveis não recebem **simultaneamente** o relógio, porque cada um deles introduz um atraso.

O segundo flip-flop saltará após o tempo de comutação do primeiro, o terceiro após o segundo, e assim sucessivamente: o sinal deve ser **propagado** ao longo da cadeia.

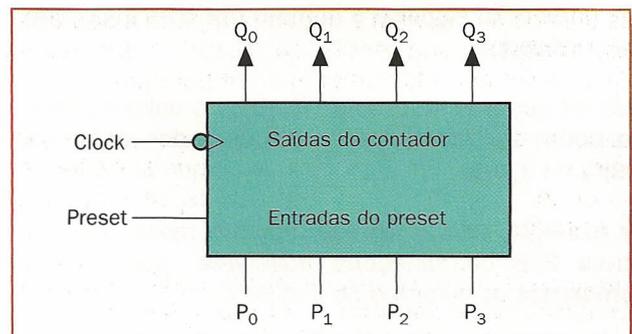
Este tempo **varia** conforme o contador: por exemplo, a passagem de 7 (0111 em binário) para 8 (1000) é muito mais lenta que a passagem de 8 (1000) para 9 (1001). Portanto, o valor na saída é válido depois de um **atraso** que, no pior dos casos, é a soma dos atrasos de todos os flip-flop; além disso, os fios da saída não mudam todos ao mesmo tempo.

PRESET

Quando utilizamos flip-flop dotados de entradas de preset e reset, é possível aproveitar estas entradas para **configurar** no contador o valor binário desejado.

No entanto, trata-se de uma operação posterior **assíncrona**, que nos circuitos complexos pode causar problemas (como a colocação a zero). Veremos como resolvem os circuitos simultâneos este problema.

Contador com preset (configuração) do valor desejado: um impulso sobre o preset copia o P0..P3 nas saídas Q0..Q3.





Dados dos BJT de potência

As correntes e as potências que estão em jogo precisam de examinar os dados sob uma perspectiva diferente

Os transistores de união (BJT) para as potências elevadas são conceitualmente iguais aos mais pequenos (ou “do sinal”) mas os **dados** mais importantes mudam.

Não são apenas as performances requeridas as que são diferentes, mas também o **componente** mesmo que tenha diferentes pontos de força e de debilidade.

Naturalmente a **tensão de ruptura** do coletor (V_{CEO}) e a corrente máxima (I_C) devem ser, de certo modo, adequadas para os requisitos do circuito.

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
V_{CBO}	Voltagem do coletor-base ($I_E = 0$)	100	V
V_{CER}	Voltagem do coletor-emissor ($R_{BE} = 100 \Omega$)	70	V
V_{CEO}	Voltagem do coletor-emissor ($I_B = 0$)	60	V
V_{EBO}	Voltagem do emissor-base ($I_C = 0$)	7	V
I_C	Corrente do coletor	15	A
I_B	Corrente da base	7	A

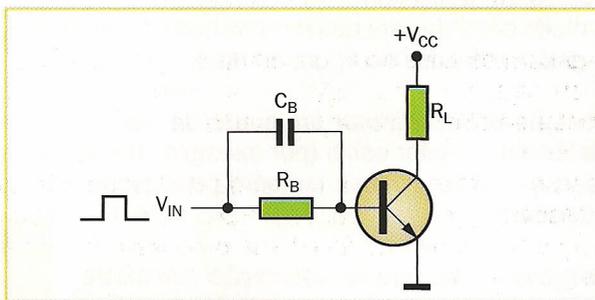
Limites máximos das tensões e das correntes para o transistor 2N3055; deve-se observar com atenção a elevada corrente tolerada da base.

CORRENTE DA BASE

Partindo do princípio de que o ganho da corrente (β o h_{FE}) é bastante **baixo**, pode existir uma substancial corrente da base, mesmo com vários ampères.

As folhas de dados indicam o limite máximo: este não deve ser **ultrapassado** enviando mais corrente do que a necessária para a base. Por outro lado, se a corrente for insuficiente, o transistor não se satura bem e acaba por aquecer.

Também a **tensão inversa** base-emissor está condicionada; evitam-se tensões negativas causadas, por exemplo, pelos capacitores na base em determinadas configurações do circuito.



Um capacitor em paralelo com a resistência de controle acelera a comutação, mas pode provocar uma tensão inversa na base.

POTÊNCIA E TEMPERATURA

A **dissipação** mais elevada obtém-se com um funcionamento linear, ou seja, não na saturação nem no corte, como no transistor regulador de um alimentador estabilizado.

A potência indicada é um engano, já que se dá para a **temperatura ambiente** (25 °C) da caixa; representa um limite e não um valor sustentado.

O encapsulamento estará certamente **mais quente** do que o ambiente (de outro modo não se poderia eliminar o calor), e este último ultrapassará provavelmente os 25 °C.

Veremos na próxima lição como determinar a potência **efetivamente** dissipada conforme o dissipador adotado.

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
P_{tot}	Dissipação total a $T_c \leq 25 \text{ °C}$	115	W
T_{stg}	Temperatura de armazenamento	-65 a 200	°C
T_j	Temperatura da união operativa máx.	200	°C
$R_{thj-case}$	União-caixa de resistência térmica	1.5	°C/W

A potência indicada é um limite: na prática, tanto a temperatura da união como a resistência térmica são consideradas uma união-ambiente.



Limites dos BJT de potência

Sob muitos aspectos, estes componentes comportam-se muito pior do que os seus irmãos menos potentes

Considera-se já muito baixo o valor do **ganho da corrente** (β ou h_{FE}) mas pode ser ainda pior se aumentar a corrente do coletor.

Deste modo, seriam necessários 2 A de base para ter 10 A do coletor, salvo que se utilize um transistor **selecionado** para que seja um ganho mais elevado.

Nos dados do 2N3055, por exemplo, a β mínima garantida é de 20 com 4 A do coletor, mas **baixa** para 5 se a corrente é de 10 A.

O ganho pode variar muito, e costuma ser baixo para as outras correntes do coletor; os grupos indicados na tabela referem-se a diferentes opções que possam estar disponíveis.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Mín.	Máx.
h_{FE}	Ganho da corrente DC	$I_C = 0.5 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$ Grupo 4	20	50
		$I_C = 0.5 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$ Grupo 5	35	75
		$I_C = 0.5 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$ Grupo 6	60	145
		$I_C = 0.5 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$ Grupo 7	120	250
		$I_C = 4 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$	20	70
		$I_C = 10 \text{ A}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$	5	

CORRENTES E TENSÕES NÃO DESEJADAS

No **corte**, os transistores de potência não se comportam muito bem: deixam passar uma certa corrente (I_{CEO} que estão indicados na figura ao lado).

ser alcançados os 3 V quando passam 10 A, apesar de haver um excesso de corrente na base de (3,3 A).

A situação pode melhorar um pouco se usarmos uma **resistência** de valor baixo (por exemplo, 100 Ω) entre a base e o emissor, mas também pode piorar com a temperatura.

Estes são dois dos motivos que deram lugar a uma **redução** na utilização dos BJT para as comutações de potência, beneficiando outros dispositivos, tais como os IGBT e os MOSFET.

Mais grave é a **tensão de saturação** que existe entre o coletor e o emissor: no 2N3055 podem

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Mín.	Máx.	Unidade
I_{CEO}	Corrente de perda do coletor ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 30 \text{ V}$		0.7	mA
$V_{CE(sat)}$	Voltagem de saturação coletor-emissor	$I_C = 4 \text{ A}$ $I_B = 400 \text{ mA}$ $I_C = 10 \text{ A}$ $I_B = 3.3 \text{ A}$		1 3	V V
$I_{s/b}$	Corrente do coletor da segunda ruptura	$V_{CE} = 40 \text{ V}$	2.87		A

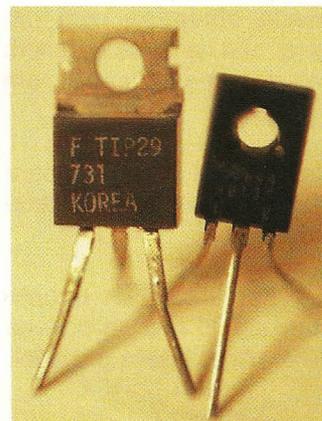
A corrente de perda no corte e a tensão de saturação estão bastante longe do zero ideal.

SEGUNDA RUPTURA

Outro dos limites dos BJT é a segunda ruptura, ou seja, a possibilidade da ruptura da união em **condições** especiais: tensão elevada e corrente relativamente baixa.

Pode também ser indicado nos dados como uma combinação **corrente-tensão**, ou em forma de gráfico da zona operativa de segurança (SOAR).

Uma ruptura (primária ou secundária) não é propriamente destrutiva se durar apenas alguns microssegundos, mas pode chegar a sê-la se a condição **persistir**: o estrago que pode provocar na união é de natureza térmica.



Os transistores de potência estão disponíveis em diversos tipos de encapsulamento.

Dados dos flip-flop J-K

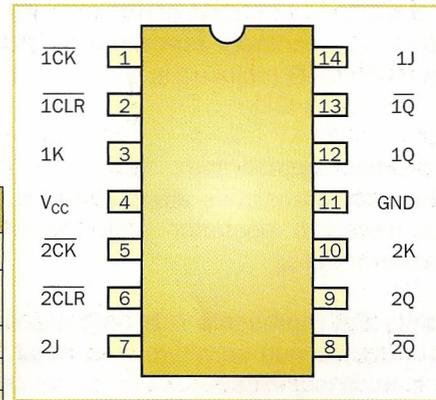
A disposição dos terminais é similar à de um flip-flop S-R, mas o seu comportamento é mais complexo

A figura mostra a disposição e descrição dos terminais **74HC73**, que é um integrado lógico e que contém dois flip-flop do tipo J-K.

Cada um dos circuitos **independentes** tem duas entradas J e K, duas saídas complementares Q e \bar{Q} , uma entrada do relógio (CK) e uma de reset (CLR, CLEAR).

A entrada do relógio é sensível à **transição negativa** (borda da descida), enquanto a entrada do reset (clear) é assíncrona, porque atua imediatamente.

Terminal nº	Símbolo	Nome e função
1, 5	$\overline{1CK}$, $\overline{2CK}$	Entradas do relógio
2, 6	$\overline{1CLR}$, $\overline{2CLR}$	Entradas do reset assíncronas
12, 9	1Q, 2Q	Saídas flip-flop autênticas
13, 8	$1\bar{Q}$, $2\bar{Q}$	Saídas flip-flop complementares
14, 7, 3, 10	1J, 2J, 1K, 2K	Entradas simultâneas; flip-flop 1 e 2
11	GND	Terra (0 V)
4	V _{CC}	Voltagem da alimentação positiva



Nesta disposição dos terminais não se desenhou nada dentro do retângulo do integrado; existe, no entanto, uma descrição à parte.

TABELA DA VERDADE

A tabela da verdade deste flip-flop J-K é relativamente complexa, mas é suficiente lê-la com atenção e da forma adequada para que seja **entendida**.

Tanto a primeira linha como a coluna indicam que um valor ativo (baixo, L) na entrada CLR **obriga** que as saídas se encontrem no estado indicado: Q = 0, \bar{Q} = 1.

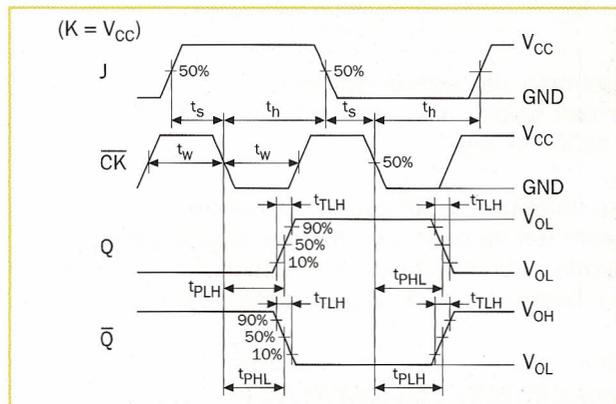
Na última linha especifica que, quando o relógio avança **não acontece nada**, o Q permanece com o seu valor anterior Q_n . O mesmo acontece na segunda linha se o relógio desce quando J e K estão ambos baixos.

A terceira e quarta linhas dizem que, se somente uma das entradas J e K está alta, os seus valores são **transferidos** para as saídas Q e \bar{Q} na descida (o impulso do

relógio está ativo). A quinta linha, finalmente, representa a inversão das saídas se o J e o K estão ambos altos para a descida do relógio: o Q converte-se em \bar{Q}_n , ou seja, o **complemento** do valor anterior.

CLR	Entradas			Saídas		Funções
	J	K	CK	Q	\bar{Q}	
L	X	X	X	L	H	CLEAR
H	L	L	\downarrow	Q_n	\bar{Q}_n	SEM ALTERAÇÕES
H	L	H	\downarrow	L	H	-
H	H	L	\downarrow	H	L	-
H	H	H	\downarrow	\bar{Q}_n	Q_n	TOGGLE
H	X	X	\downarrow	Q_n	\bar{Q}_n	SEM ALTERAÇÕES

A tabela verdade descreve num resumo o funcionamento do 74HC73: o relógio atua sobre a borda da descida.



TEMPORIZAÇÃO

Como de costume, a folha de dados especifica o **tempo** utilizado pelo flip-flop para as diferentes operações, e os tempos mínimos e máximos que devem ser respeitados.

A figura mostra a enorme quantidade de **parâmetros** que um bom projetista deve levar em conta para lhes garantir um funcionamento correto.

Indicação gráfica do que representam as distintas temporizações; os valores associados são especificados depois na folha de dados.



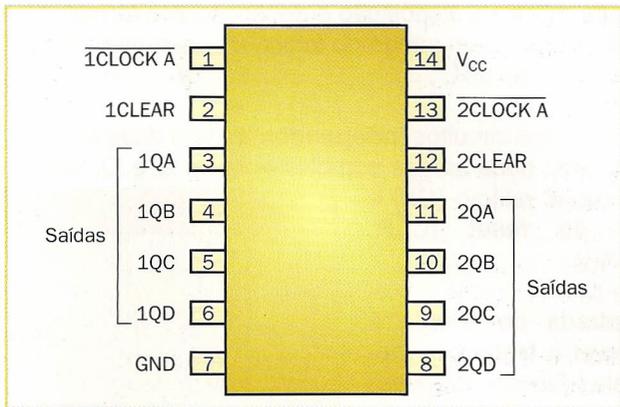
Um contador assíncrono

As saídas representam numa forma binária o número dos impulsos recebidos pelo relógio

O **74HC73** contém dois contadores assíncronos de 4 bits: cada contador tem uma entrada de relógio, uma de CLEAR (colocação a zero) e quatro saídas: QA, QB, QC e QD.

As saídas representam, numa forma **binária**, o número das transições ativas do relógio: de 0 a 15. Uma transição posterior pode pôr novamente o contador a zero.

A saída QA representa o **bit menos significativo**, que é aquele que se altera com mais frequência e QD o mais significativo. Quando se ligam os dois contadores **em cascata**, porque se está utilizando a saída QD do primeiro como relógio do segundo, obtém-se apenas um contador de 8 bits, que pode contar de 0 a 255.



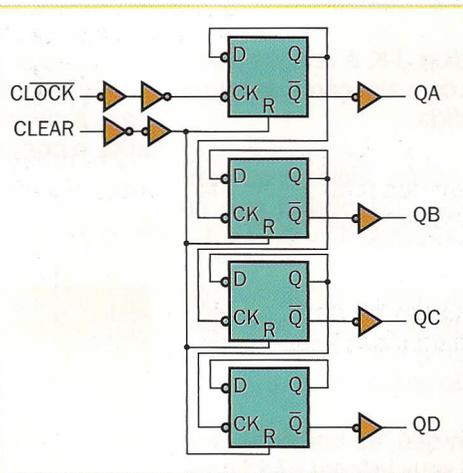
Disposição dos terminais do 74HC73: dois contadores de 4 bits, ou então, ligando o terminal 6 ao terminal 13, consegue-se um contador de 8 bits.

ESTRUTURA INTERNA

O esquema funcional mostra que cada contador está constituído por quatro flip-flop do **tipo T**, ligados em cascata.

Realmente os biestáveis são do tipo D, mas a **ligação** entre cada saída Q e cada entrada D, invertida (está no circuito), faz com que funcionem de um modo "toggle", ou seja, como T.

No entanto, a entrada de CLEAR está ligada aos quatro biestáveis: se se puser

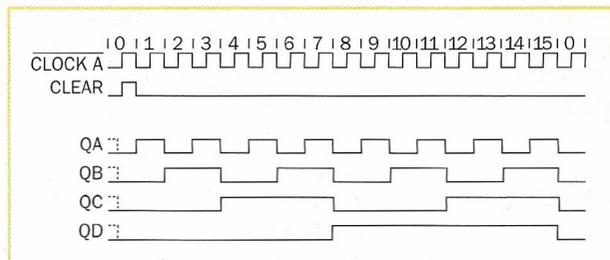


alta, **ficará a zero** imediatamente (ou seja, de um modo assíncrono) o contador inteiro.

Esquema funcional de cada metade do 74HC73: quatro divisores por dois (flip-flop T) em cascata.

SAÍDAS E CONTADOR

O diagrama de temporização ilustra o comportamento do contador: quando a entrada clear está baixa,



Seqüência do funcionamento do contador de 4 bits.

cada descida do relógio faz com que ele **avance** uma cifra.

Por exemplo, na descida que termina no período 7, o **valor** das saídas (na ordem DCBA) passa de 0111 para 1000, ou seja, de 7 para 8 em decimal.

Por se tratar de um contador **assíncrono**, os flip-flop comutam um de cada vez: durante alguns instantes, nas saídas encontram-se 0110, depois 0100, depois 0000 e finalmente 1000 quando salta o último (QD).

Portanto, convém observar, nos dados, o **tempo de propagação** entre a entrada do relógio e a saída QD.



Relógios digitais

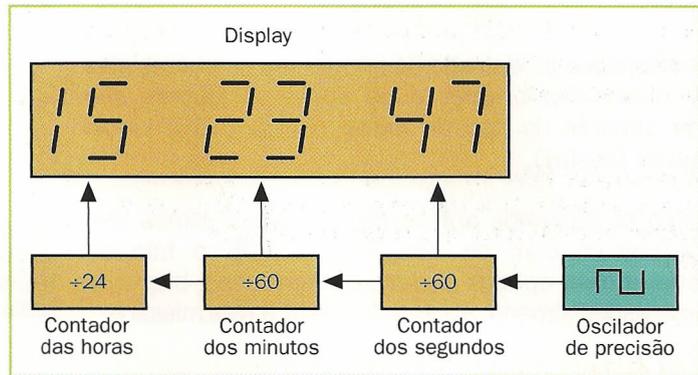
Os integrados CMOS permitiram a passagem da mecânica de precisão para a eletrônica

O centro mais importante de um relógio eletrônico é o **oscilador**, correspondente ao pêndulo do relógio mecânico: produz uma onda quadrada muito estável, devido a um cristal de quartzo.

A frequência da oscilação é alta no que diz respeito à que se necessita, por exemplo 32.768 Hz, pois um **divisor** se encarrega de reduzi-la: com 15 flip-flop T em cascata consegue-se baixar a 1 Hz, um período por segundo.

O sinal entra assim num **contador**, retificamos, em três contadores: um para os segundos, outro para os minutos e ainda outro para as horas.

Esquema dos blocos de um relógio digital simplificado.



CMOS E CONSUMO

A **pilha** de um relógio de pulso costuma durar alguns anos. Este fato é possível devido tanto ao limitado consumo do circuito CMOS como da cobertura de cristal líquido (LCD).

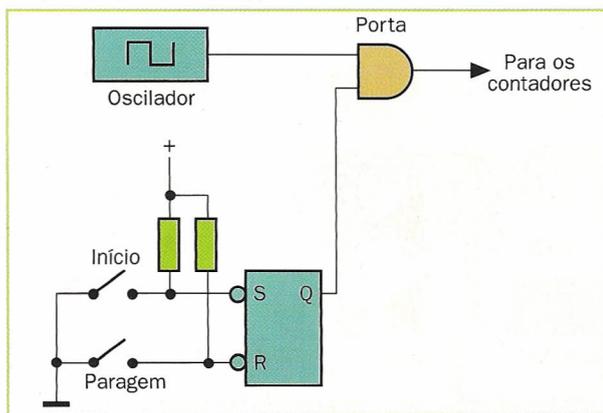
Praticamente, apenas as **transições** consomem corrente, que são bastante limitadas, com a exceção do oscilador, que é relativamente lento.

O circuito completo, por razões de economia da produção, é fabricado **num único chip** especialmente projetado; o investimento necessário é recuperado

facilmente devido à enorme quantidade de peças produzidas.



Um relógio tem, pelo menos, três componentes fundamentais: visor, circuito integrado e pilha.



O cronômetro é um contador simples ao qual se pode acrescentar ou tirar o sinal do relógio (é preciso, além disso, um reset para o poder colocar a zero).

ACERTADO

O circuito real é mais complexo do que aquele que foi mostrado, porque é necessário poder **configurar** a hora desejada, modificando o conteúdo dos contadores.

Deste modo, utilizam-se botões, com circuitos adequados **anti-ressaltos**, e uma seção lógica dedicada a este trabalho, obviamente integrado também no chip.

Outros **circuitos auxiliares** podem também ser utilizados para as funções de cronômetro, despertador, calendário ou temporizador etc.

Se é para um cronômetro, a frequência base será, provavelmente de **100 Hz**, de modo que se possa dispor de um impulso por centésimo de segundo.



Visor e sons

Como acontece com todos os dispositivos eletrônicos, o relógio necessita de comunicar com o exterior

Uma **interface** é um dispositivo que comunica dois ambientes diferentes, como a eletrônica do relógio e a pessoa que o utiliza; são interfaces as entradas e as saídas.

As interfaces da **entrada** do relógio são os botões e as da **saída** são o visor e os sons; os visores são normalmente do tipo do cristal líquido (LCD: Liquid Crystal Display).

Como já dissemos anteriormente, estes últimos têm em comum com os integrados CMOS o fato de **consumirem** apenas durante as transições, o que os torna especialmente adequados para a sua missão.

Um dos visores alternativos são os **ponteiros** controlados por um pequeno motor: o efeito estético paga-se com um consumo maior.

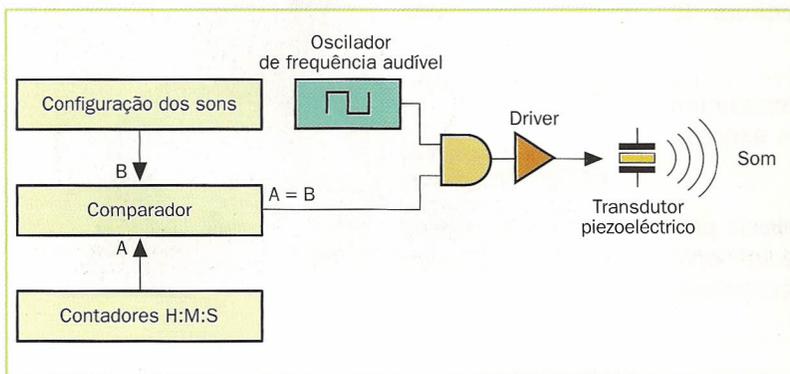


Visor LCD de 7 segmentos: ativando-os em diferentes combinações podem-se mostrar cifras de 0 a 9.

O SOM DO RELÓGIO

O característico “bip” dos relógios é produzido normalmente por um **transdutor piezoelétrico**, uma espécie de alto-falante composto por um cristal sensível à tensão e uma lâmina metálica.

É controlado por uma onda quadrada com a frequência desejada, por exemplo 2 KHz, e está concebido para **ressoar** a esta frequência, ou seja, dar o máximo volume acústico possível.



O **consumo**, ainda que esteja aqui referido apenas em relação às transições, é relativamente elevado: portanto, é preferível produzir sons de duração breve.

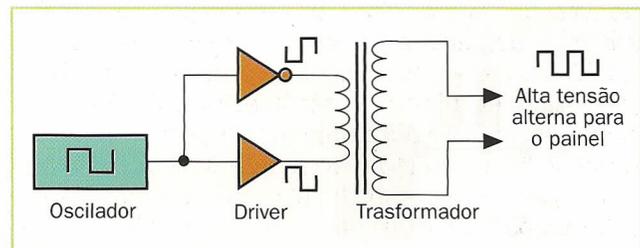
Sons: uma onda quadrada é enviada para um transdutor piezoelétrico (não se indica o circuito de intermitência).

ILUMINAÇÃO POSTERIOR

Para iluminar o quadrante do relógio, em vez de se usarem as pouco práticas e quase ineficazes lâmpadas, utilizam-se painéis **eletro-fluorescentes**.

Estes produzem uma iluminação uniforme se alimentados com uma **tensão** bastante alta, por exemplo 100 V alternados.

Esta tensão pode ser conseguida através de um oscilador ligado a um pequeno **transformador**: o primeiro produz uma tensão alternada ao passo que o segundo eleva o seu valor (reduzindo a corrente).



Alimentador de alta tensão para um painel eletro-luminescente do relógio.



Procurar os dados técnicos

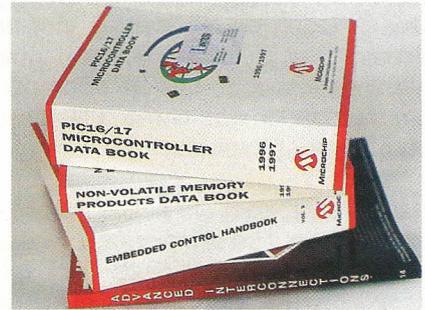
Para utilizar os componentes da melhor forma, ou simplesmente saber que existem, é necessário documentar-se bem sobre eles

A procura de dados e de informação pode ser um pouco **complicada**, especialmente para um adepto que costuma ser ignorado pelos distribuidores oficiais dos fabricantes de componentes.

As lojas de eletrônica e os vendedores por correio informam geralmente através dos seus **catálogos** quais os dados mais essenciais dos componentes que têm em venda.

Os autênticos livros de dados podem ser encontrados em algumas **livrarias técnicas** ou, também, nas feiras e nas exposições realizadas para adeptos de rádio e para usuários.

O livro mais importante é o **Master Selection Guide**, um índice geral com os componentes divididos por categorias ou campos de aplicação, e as características principais de cada grupo de uma forma resumida.



Os livros de dados são frequentemente um objetivo inatingível para muitos adeptos.

DADOS NO CD-ROM

Para evitar custo de impressão, dificuldades de distribuição e problemas de atualização, os fabricantes proporcionam com frequência os dados técnicos no **formato eletrônico**.

Trata-se normalmente do **CD-ROM**, que pode ser lido com um computador pessoal; cada disco pode conter o equivalente a vários livros.

Em geral, os dados reproduzem exatamente o que vem escrito nos livros; em todo o caso existe um **índice** mais ou menos válido para encontrar o componente desejado. Os CD-ROM que contêm os dados encontram-se com bastante facilidade nas lojas, nos vendedores por correio ou em revistas e, além disso, nas **feiras** para adeptos (embora nem sempre atualizados).



Dados técnicos no CD-ROM: econômicos e fáceis de conseguir.

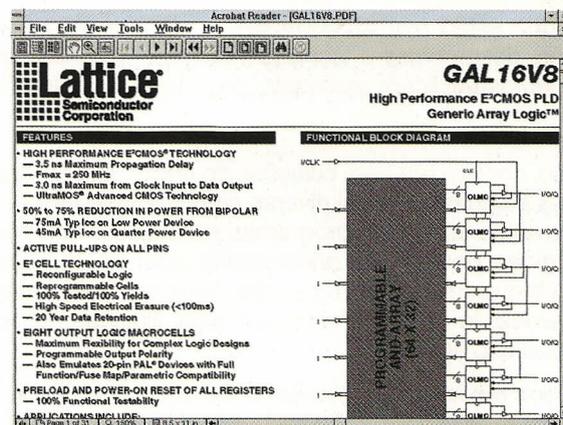
FORMATO PDF

Alguns CD-ROM de dados necessitam de um determinado sistema operacional, normalmente o Windows, embora outros, com um pouco mais de discernimento, utilizem um formato **portátil**.

Trata-se normalmente do formato **Adobe Acrobat**, ou PDF (pela extensão dos arquivos), legível por quase todos os sistemas operativos.

A consulta nem sempre é fácil, mas pode-se **imprimir** no papel o documento desejado para se poder estudar depois com tranquilidade.

Dados no formato PDF visualizados com Acrobat Reader, o leitor gratuito da Adobe para documentos portáteis.





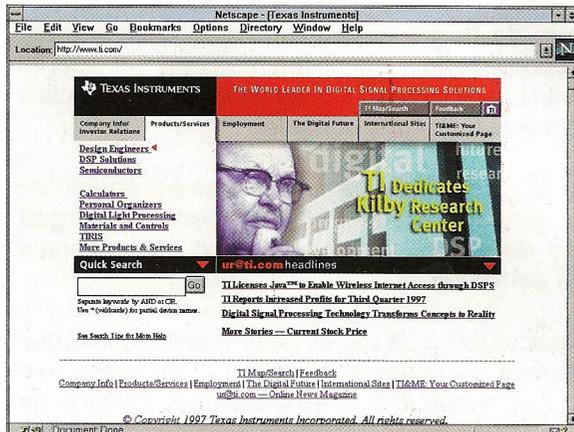
Dados da Internet

A rede é uma ótima fonte de informação para quem trabalha com a eletrônica a todos os níveis

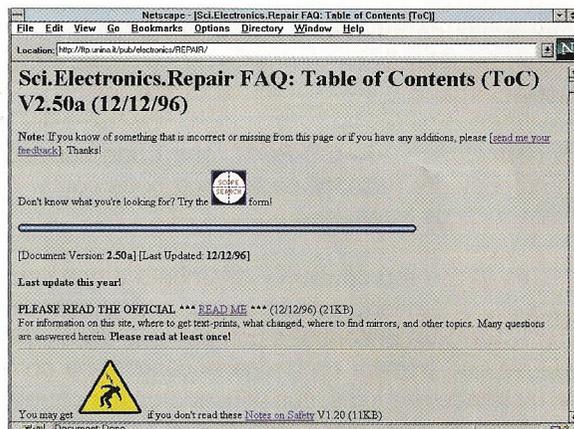
Se os CD-ROM são a fonte mais econômica de dados técnicos, a Internet é o meio mais **rápido** para procurar uma informação.

Quase todos os fabricantes têm um **site www**, por exemplo, o da SGS/Thomson que se encontra no <http://www.st.com>, que se pode pôr em contato com um navegador web como o Netscape Communicator ou a Internet Explorer.

Nestes sites, com um pouco de paciência, costuma-se **encontrar** quase sempre informação atualizada, dados técnicos e notas adicionais. É quase sempre possível **descarregar**, ou seja, receber no seu próprio PC, os dados técnicos completos de um componente (normalmente no formato PDF) de forma que se podem ler depois ou imprimi-los com tranquilidade.



Página home, ou seja, a primeira página do site web de um fabricante de componentes eletrônicos.



Página web que contém as respostas às perguntas solicitadas (FAQ) referentes às reparações eletrônicas.

GRUPOS DE NEWS

A Internet não é apenas a Web; também estão, entre outras, as **news**, onde todos os usuários interessados podem ler e escrever.

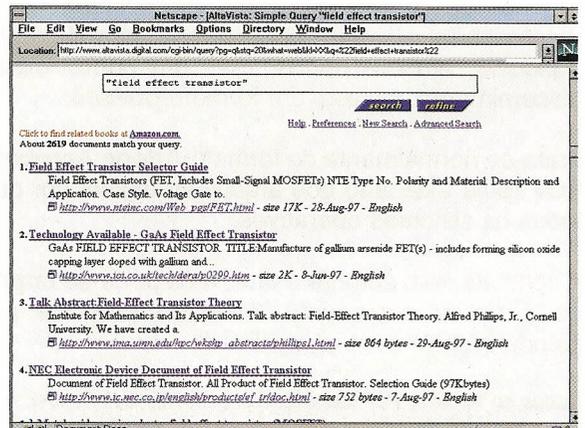
Por exemplo, a **news://alt.sci.electronics** assistem interessados de todas as partes do mundo, muitos dos quais estão na disposição de estender uma mão ou de trocar duas palavras. Nas news há muito **ruído**: mensagens inúteis ou fora do tema, ou ainda repetições contínuas das mesmas perguntas, ou, o que é pior, publicidade que não é desejada e totalmente fora do tema em questão. Para não aborrecer ninguém convém atender às **normas de comportamento** ou "etiqueta", por exemplo lendo as FAQ (Frequently Asked Questions: perguntas feitas (muitas vezes) antes de começar a escrever.

OUTROS RECURSOS DA REDE

Os sites que estão nas **universidades** contêm, muitas vezes, informação, documentos e técnicas interessantes, mas também muitos adeptos publicam recompilações úteis nas suas páginas web.

Além disso, contêm também coleções de **links**, ou seja, ligações com outras páginas, material diverso como, por exemplo, cursos sobre diferentes temas, ou programas para ajudar nos projetos. Estas páginas podem ser encontradas com os **motores de busca** ou browsers (por exemplo <http://www.infoseek.com>), embora se necessite de muita paciência para filtrar as numerosas páginas que não servem.

Se os browsers têm um defeito, é porque encontram muitas páginas: é preciso uma certa prática para saber utilizá-los bem.





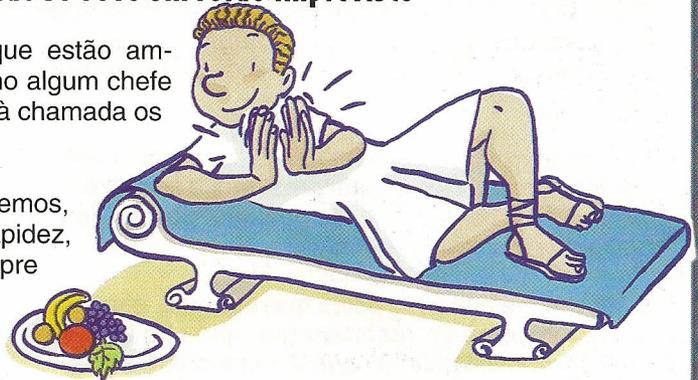
Interruptor de palmas

É um circuito que se ativa quando se ouve um ruído imprevisto

Já temos visto em numerosos filmes da série B que estão ambientados nos tempos antigos, tanto o imperador como algum chefe de turno bater as **palmas**, e imediatamente acudiriam à chamada os seus servidores.

Hoje, felizmente, já não existem escravos, mas podemos, do mesmo modo, fazer-nos **servir** com a mesma rapidez, através de um simples dispositivo eletrônico, sempre disponível às nossas indicações.

No silêncio não se ouve senão um ruído seco que parece uma palmada; o nosso circuito, como reação a esse ruído, aciona um **relé**; para desativá-lo basta repetir o comando.



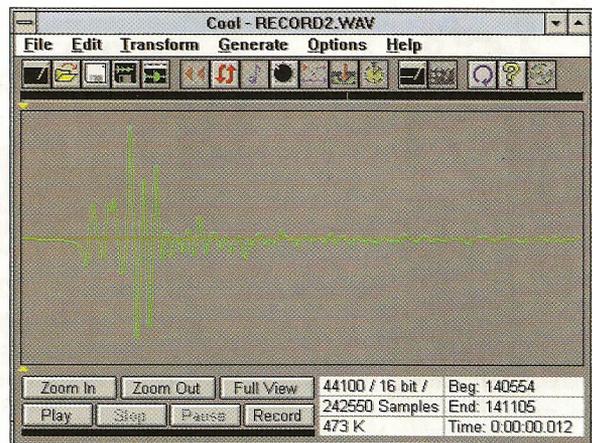
SENSAÇÕES ARTIFICIAIS

Este circuito demonstra, mais uma vez, a **versatili-**
dade da eletrônica. Podemos construir dispositivos capazes de receber sensações diferentes.

De fato, já passamos do tato do interruptor **táctil** (projeto 2) para a vista do interruptor crepuscular (projeto 14) e, finalmente para o **ouvido** deste projeto.

A eletrônica permite-nos também ir mais longe do que as capacidades naturais do nosso corpo, como nos receptores de **infravermelhos** (projeto 8) e dos **ultra-sons** (10).

Deste modo pode-se apresentar o sinal de áudio de uma palmada, tomada de um microfone e capturada numa memória digital.

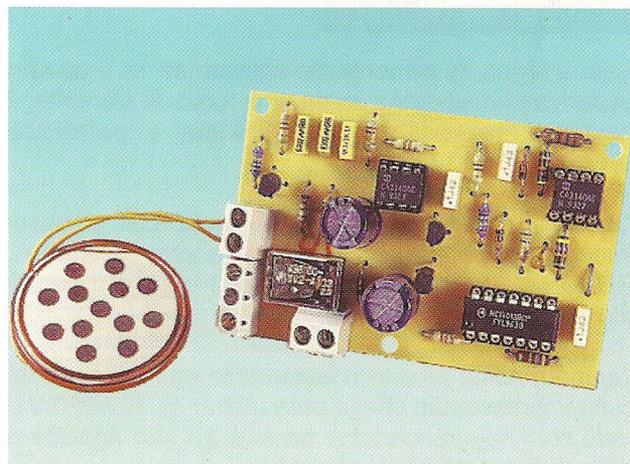


APLICAÇÕES

Uma das utilizações mais óbvias do circuito consiste em **controlar** o acender e o apagar de uma luz, estando comodamente sentados num sofá.

No entanto, podem-se realizar outras aplicações úteis, tais como pôr música ou parar o **despertador** logo de manhã sem ter a necessidade de se levantar da cama (sistema perfeito para voltar a adormecer...). Finalmente, não se deve menosprezar a possibilidade de surpreender os **amigos**, fazendo, por exemplo, uma brincadeira com um carrinho elétrico que transporte os biscoitos para acompanhar o café ou outras "diabru-ras" similares.

Na figura ao lado vê-se o circuito do interruptor de palmas já terminado.





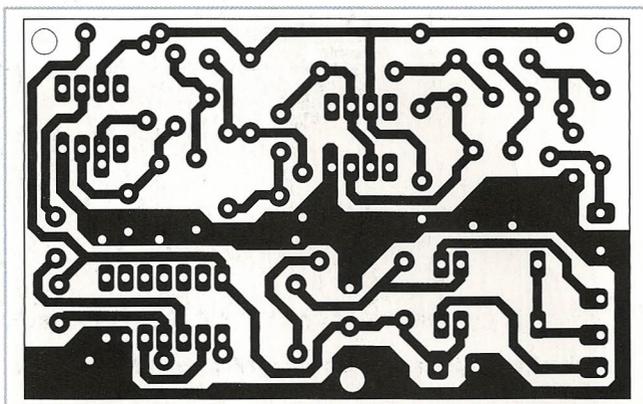
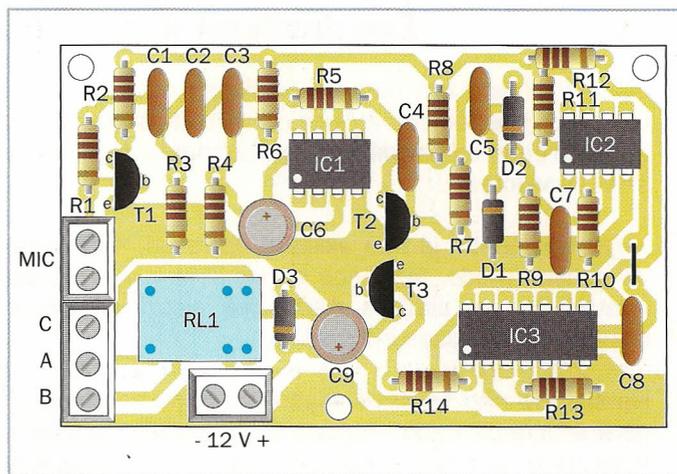
Montagem do circuito

A sua realização não apresenta dificuldades especiais mas, dado o número relativamente elevado dos componentes, convém proceder **por etapas** e sem pressa, pois esta é inimiga do trabalho bem feito.

Em primeiro lugar convém dividir os componentes por **tipo** (resistores, capacitores, etc) e também por **valor**, de forma que se evite qualquer possível confusão nas fases seguintes.

É importante começar pelos que têm uma espessura menor, como as **resistências**, que são também as menos delicadas, já que é mais difícil estragá-las devido à alta temperatura do soldador.

Disposição dos componentes no circuito impresso do interruptor de palmas.



O lado das soldas do circuito impresso, com as trilhas de cobre que ligam os diferentes componentes.

ELEMENTOS POLARIZADOS

As bases já prontas para a montagem dos circuitos integrados, orientam-se com a marca de **referência** que corresponde com o círculo indicado no plano da montagem.

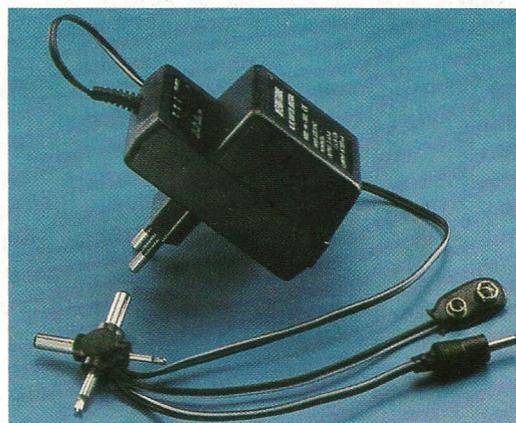
Também os transistores, os capacitores eletrolíticos e os diodos devem ser inseridos com a polaridade e orientação corretas; cuidado de não esquecer a **ponte** do fio que está perto do C8. Quando, uma vez realizadas as soldas, se inserem os circuitos integrados nos respectivos soquetes, devemos recordar que o IC1 e o IC2 são diferentes, embora ambos tenham 8 pinos. Também o T3 é diferente do T1 e do T2.

ALIMENTAÇÃO E RELÊ

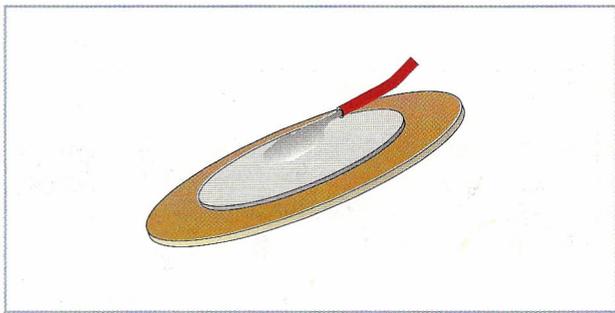
Para a régua da alimentação aplicam-se 12 V que procedem de uma bateria ou de uma fonte de alimentação contínua, respeitando naturalmente a **polaridade** indicada.

Os contatos do **relê** podem ser utilizados como um interruptor que está normalmente aberto (usando A e B), ou mesmo como um interruptor que está normalmente fechado (A e C).

Também neste projeto o isolamento das trilhas do circuito impresso não chega para utilizar os 127/220 V da rede com segurança total: **ao relê só são ligados os dispositivos de baixa tensão.**



A alimentação pode ser tomada de uma fonte de alimentação normal estabilizada a 12 V, que pode ser adquirida em qualquer loja de eletrônica.



O transdutor piezoelétrico transforma tensões em sons e vice-versa, com preferência pelos agudos.

O MICROFONE

Como microfone também utiliza um **transdutor piezoelétrico**, do tipo normalmente usado nas campainhas e nos geradores de melodias (que também podem ser encontrados em alguns cartões de parabéns).

É formado por um **disco metálico** fixo a um elemento cerâmico; este último deforma-se ligeiramente quando se aplica tensão sobre ele, fazendo vibrar o próprio disco.

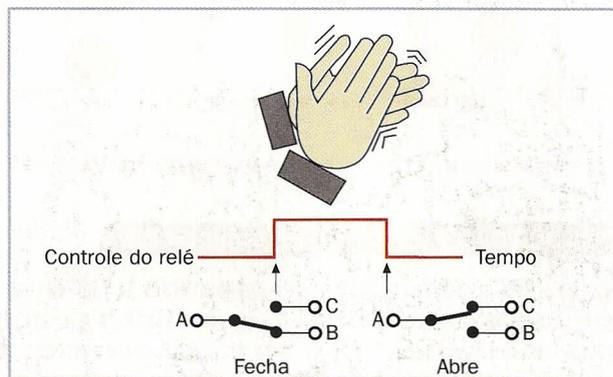
Aqui utilizamos ao contrário, ou seja, como microfone: as suas características acústicas são péssimas, na medida em que **ressoa** numa frequência média-alta, mas, neste caso, é justamente o que queremos.

TESTE

Se a montagem tiver sido efetuada sem erros, o relê deve **comutar** ciclicamente, entre a abertura e o fechamento, com cada palmada.

No entanto, ficará “surdo” tanto o som de uma **conversa** normal como de música de fundo, embora continue sendo sensível a alguns ruídos fortes e imprevistos.

Como a ativação do **relê** pode ser interpretado como um destes sons (alguns relês são mais ruidosos que outros), convém não colocar o microfone muito perto do próprio relê.



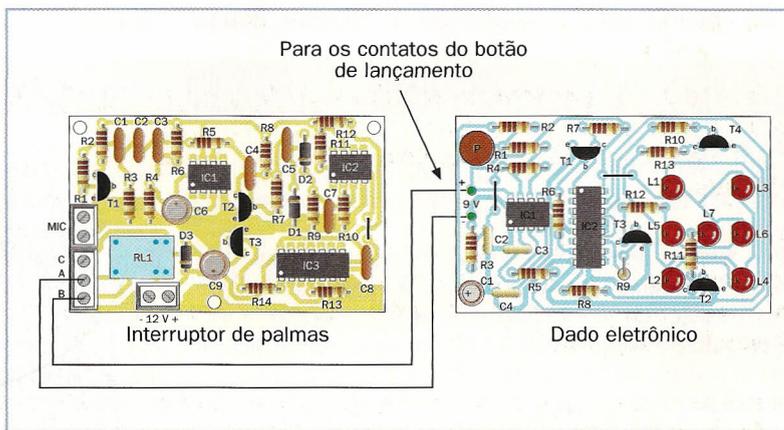
O circuito comporta-se como um flip-flop do tipo T: muda de estado com cada palmada.

CONTROLAR OUTROS CIRCUITOS

O interruptor de palmas pode ser utilizado como um **interface de entrada**, ou seja, como dispositivo de entrada de outros circuitos, por exemplo, o dado eletrônico do projeto 7.

Se utilizarmos os contatos do relê em vez de o fazermos com o botão de **lançamento do dado**, uma simples palmada fará girar os números, ao passo que a seguinte os fará parar num número qualquer.

No entanto, o contador do projeto 12 indicará o **número de saltos** (dividido por dois), por exemplo para apostar sobre “na tua opinião, quantos disparos há neste filme?”



Como ligar o circuito ao dado eletrônico do projeto 7, para lançar o dado dando duas palmadas.



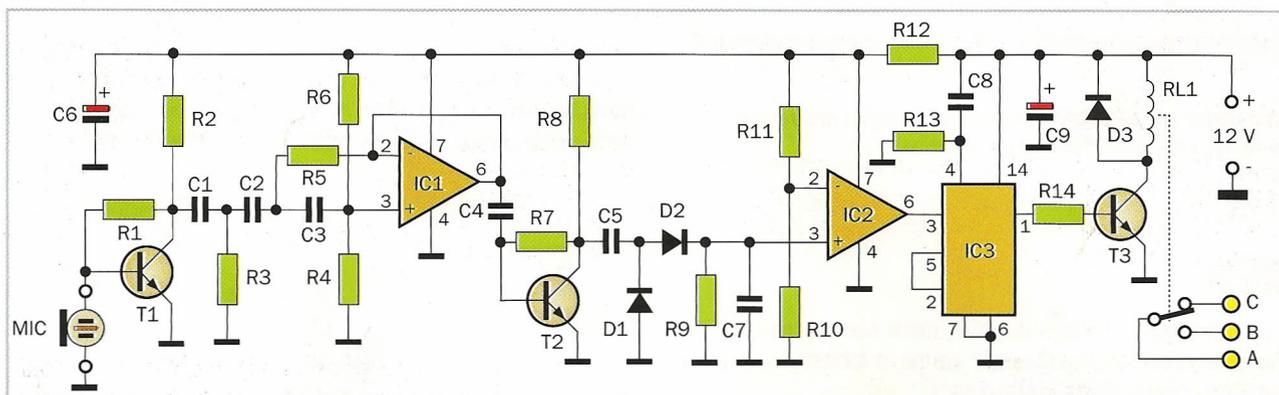
Funcionamento do circuito

O sinal procedente do microfone é ampliado pelo T1 e enviado para o IC1, que funciona como um **filtro** que só deixa passar as frequências mais altas, ou seja, os sons agudos.

Depois de uma segunda **amplificação** ocasionada pelo T2, um detector (D1 e D2) obtém a extensão do

sinal, que o IC2 compara com uma tensão fixa, ou mesmo a metade da alimentação.

Cada vez que a saída do IC2 salta para o positivo e depois volta para zero, o flip-flop IC3 **inverte** o estado lógico da sua saída, ativando ou não o relê RL1 através do transistor T3.



Esquema elétrico do interruptor de palmas.

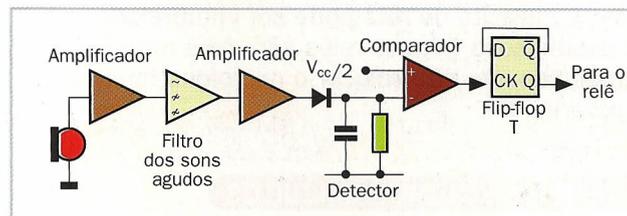
COLOCAÇÃO A ZERO E SENSIBILIDADE

O grupo RC que está formado pelos R13 e C8 atua sobre a entrada do **reset** do IC3 (pino 4), para garantir que, no instante em que o circuito seja alimentado, se possa configurar a condição do relê em repouso.

O valor do **R9** é um compromisso entre a sensibilidade aos sons fracos e à seletividade, ou mesmo à discriminação dos ruídos secos, surdos e prolongados; pode-se modificar à vontade.

O filtro formado pelo R12 e C6 têm a responsabilidade de impedir que as **mudanças de tensão**, causa-

das pela comutação do relê, possam ser captadas como sinais de entrada.



Esquema dos blocos do circuito.

LISTA DOS COMPONENTES

Resistores

- R1,R7 = resistores de 1 MΩ (marrom, preto, verde)
- R2,R5,R8,R14 = resistores de 4,7 KΩ (amarelo, violeta, vermelho)
- R3 = resistor de 8,2 KΩ (cinza, vermelho, vermelho)
- R4,R6 = resistores de 100 KΩ (marrom, preto, amarelo)
- R9 = resistor de 150 KΩ (marrom, verde, amarelo)
- R10,R11,R13 = resistores de 47 KΩ (amarelo, violeta, laranja)
- R12 = resistor de 270 Ω (vermelho, violeta, marrom)

Capacitores

- C1,C2,C3 = capacitores de 2,2 nF de poliéster
- C4,C5,C8 = capacitores de 100 nF de poliéster
- C6,C9 = capacitores eletrolíticos de 220 µF 16 V
- C7 = capacitor de 470 nF de poliéster

Vários

- D1,D2,D3 = diodos 1N4148
- T1,T2 = transistores NPN tipo BC549C ou equivalentes
- T3 = transistor NPN tipo BC547 ou equivalentes
- IC1 = operacional TL081 ou LF356
- IC2 = operacional CA3140
- IC3 = 4013
- RL1 = relê miniatura de 12 V, 1 circuito
- MIC = transdutor piezoelétrico de disco
- 2 soquetes de 8 pinos
- 1 soquete de 14 pinos
- 1 circuito impresso
- 2 réguas de parafusos de dois pólos para o circuito impresso
- 1 régua de parafusos de três pólos para o circuito impresso