

ELETRÔNICA ELETRÔNICA

23

para todos



**INTERRUPTORES
ANALÓGICOS**



DAC



**DADOS DOS INTERRUPTORES
ANALÓGICOS**



TELEVISÃO



ESQUEMAS PROFSSIONAIS



**Projeto nº 23:
CARREGADOR DE BATERIAS
DE NiCd PARA AUTOMÓVEIS**

SALVAT

 JACKSON
LIBRI



Interruptores analógicos

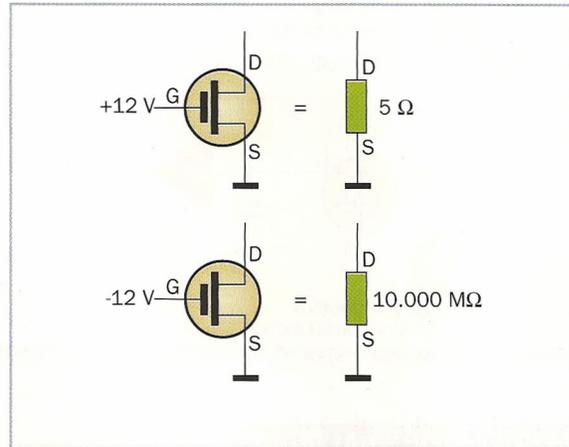
Os transistores MOSFET podem controlar a passagem dos sinais que estão variando continuamente

Quando um MOSFET está em **condução** plena, a resistência do canal é muito baixa: ele comporta-se como um interruptor fechado (ver figura).

Quando se encontra **cortado** totalmente e o isolamento entre a drenagem e a fonte é bastante bom, quase se poderia pensar que se trata de um interruptor aberto.

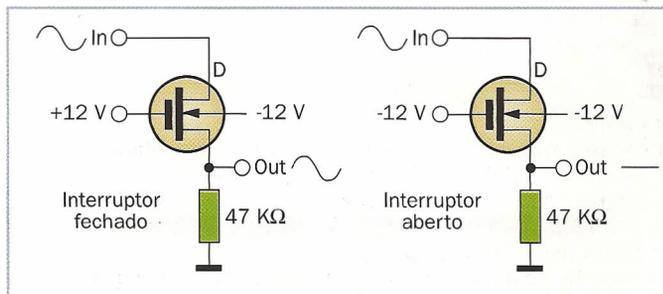
Em lugar de se utilizar este interruptor para comutar uma carga, como na lição anterior, este pode ser utilizado para deixar passar ou para bloquear um **sinal analógico**.

A resistência do canal de um MOSFET varia drasticamente consoante a tensão aplicada entre a porta e a fonte.



CONTROLAR UM SINAL

A figura mostra uma **aplicação** prática: se aplicarmos +12 V à porta, o MOSFET está em condução e o sinal passa; se aplicarmos -12 V, o canal bloqueia-se e não pode passar praticamente nada.



A **dupla polaridade** da tensão de controle em relação à massa (+12 V e -12 V) é necessária para que o sinal da entrada possa ser tanto positivo como negativo.

O **substrato** (body) está ligado à tensão negativa, para evitar que a união canal-substrato, já explícita na estrutura do MOSFET, possa entrar em condução.

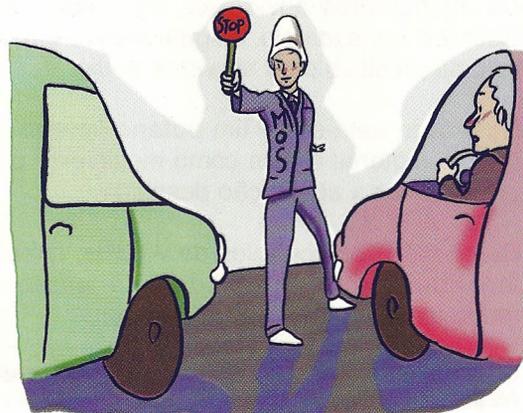
Embora não esteja bem indicada na figura, o MOSFET é do tipo de melhoria.

Interruptor analógico de MOSFET: a tensão na porta controla a passagem do sinal.

LIMITES DO INTERRUPTOR DO MOSFET

Se os **picos positivos** do sinal se aproximarem aos +12 V durante a condução, é como se a tensão na porta se reduzisse e a resistência do canal aumentasse.

Mas se os **picos negativos** do sinal ficarem abaixo dos -12 V durante o corte, é como se a porta se tornasse positiva: o MOSFET começará a conduzir e a sua resistência baixa. Estes problemas são solucionados habitualmente utilizando um circuito mais sofisticado, com dois MOSFET (ou JFET) **complementares**, como já foi explicado na lição de Componentes).

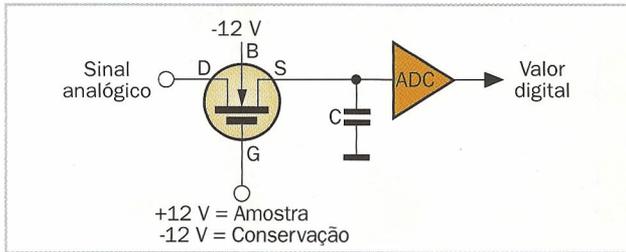




Comutar com os MOSFET

Os interruptores analógicos do MOSFET são muito utilizados, por exemplo nas etapas de entrada dos ADC

A **amostra e conservação** já explicadas na lição 21 de Digital pode ser realizada se usarmos um MOSFET como interruptor analógico, como mostra a figura.



Quando o MOSFET se comporta como um interruptor fechado (porta positiva), a entrada **carrega** o condensador até levá-lo à sua mesma tensão.

Abrindo o MOSFET (porta negativa), o condensador **mantém** estável a tensão, de modo que o conversor analógico-digital possa medi-la comodamente.

Um MOSFET como amostra e conservação à entrada de um conversor analógico-digital (ADC).

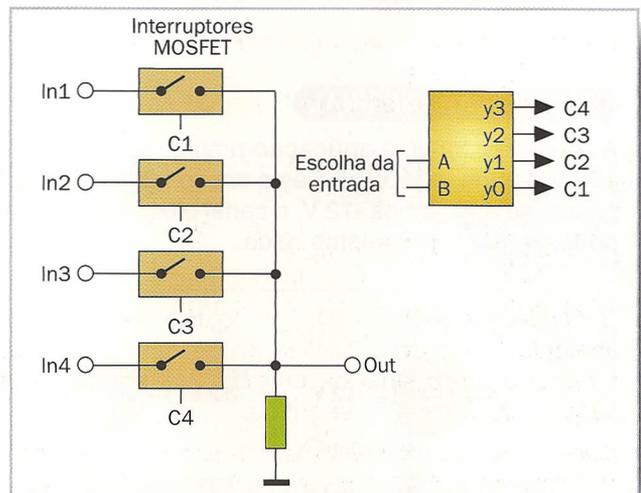
MULTIPLEXOR ANALÓGICO

Se o mesmo ADC deve medir **por turnos** o valor da tensão nas diferentes entradas, podem-se utilizar vários interruptores para realizar um multiplexor analógico.

Na figura mostra-se um multiplexor de **quatro entradas**, realizado com outros tantos interruptores MOSFET, cujas entradas de controle (C) são controladas, por sua vez, por um multiplexor digital.

Se a parte digital funcionar entre o 0 e +5 V, também se podem utilizar **drivers** para converter os sinais lógicos para os níveis requeridos pelos comutadores analógicos, por exemplo -12 V e +12 V.

Multiplexor analógico: fazendo conduzir um interruptor de MOSFET, escolhe-se a entrada que se vai ligar à saída.



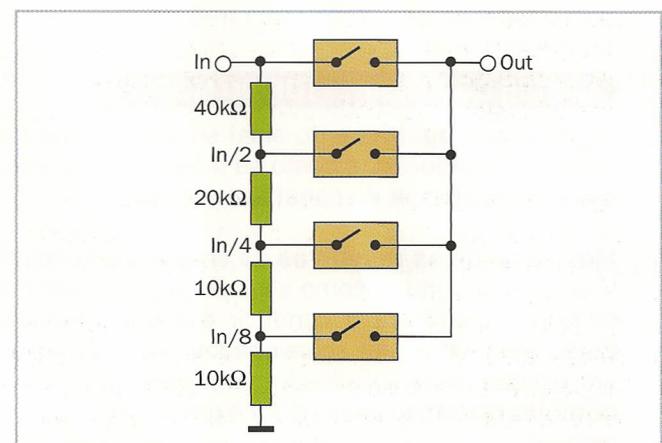
CONTROLE DO VOLUME

Os interruptores analógicos têm outras **aplicações** distintas: por exemplo, a figura mostra um controle de volume primitivo para sinais de áudio.

Na prática trata-se de um **potenciômetro de saltos**: os interruptores atuam como multiplexor para poderem escolher a atenuação desejada.

Como todos os controles de volume, também este é **logarítmico**: cada "salto" divide a tensão do sinal e reduz o mesmo em 6 dB (decibéis).

Simples controle de volume de quatro posições, realizado com um multiplexor analógico.



Problemas dos comutadores

Como todos os dispositivos eletrônicos, nem mesmo o interruptor do MOSFET está livre de inconvenientes

Para se conseguir uma forma ideal, a resistência do canal deve ser **zero** com interruptor fechado, seja qual for o sinal da entrada.

Realmente, se variarmos a tensão da entrada durante a condução também se altera, conseqüentemente, a tensão entre o canal e a porta, ou seja, a mesma que **controla** a corrente no canal.

A resistência, portanto, não é constante, o que pode causar a **distorção** do sinal se a saída estiver ligada a uma impedância relativamente baixa, por exemplo, um resistor de valor não elevado.

A variação da condução do canal conforme o nível do sinal pode causar uma distorção.

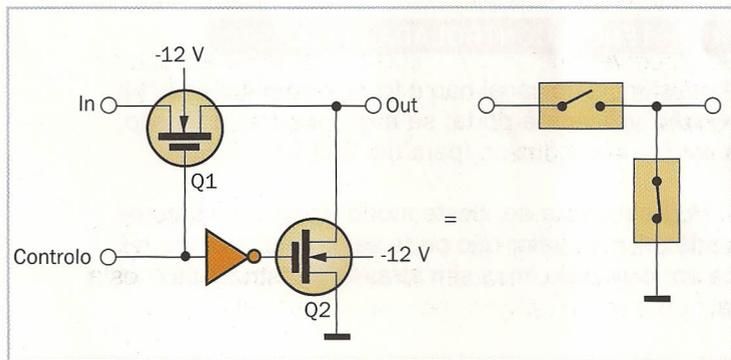


PASSAGEM NÃO DESEJADA

Se a carga for de **alta impedância**, como um resistor de valor elevado, a distorção que se verifica na condução é supérflua... mas, por outro lado, verifica-se um outro inconveniente.

A pequena **capacidade** registrada entre a origem e a descarga deixa passar os sinais de frequência bastante elevada, embora parcialmente, quando o interruptor está aberto.

Pode-se tentar resolver o dilema com dois **interruptores**, um dos quais se fecha enquanto o outro se abre, como é possível ver na figura: quando o Q1 está aberto, o segundo interruptor Q2 envia para a massa todo o sinal não desejado.



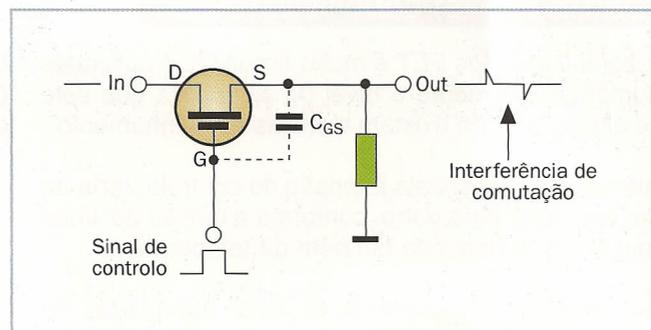
Dois interruptores asseguram alta impedância na condução (mínima distorção) e baixa na abertura (passagem parcial mínima).

JUNÇÃO DA PORTA

A capacidade mais incômoda, no entanto, é a que existe entre a porta e o canal: faz com que o sinal de controle (na porta) **interfira** no que sucede no mesmo canal.

Na amostra e conservação, por exemplo, a carga adicional que passa através desta capacidade pode **falsificar** o valor da amostra, especialmente se este se encontra próximo ao zero.

O problema pode ser resolvido empregando dois MOSFET de **polaridade oposta** (P e N) que, por sua vez, são controlados pelas tensões complementares: as duas interferências se anularão reciprocamente ou quase.



A capacidade entre a porta e o canal ocasiona uma interferência à saída em cada transição do sinal de controle.



FET como resistores variáveis

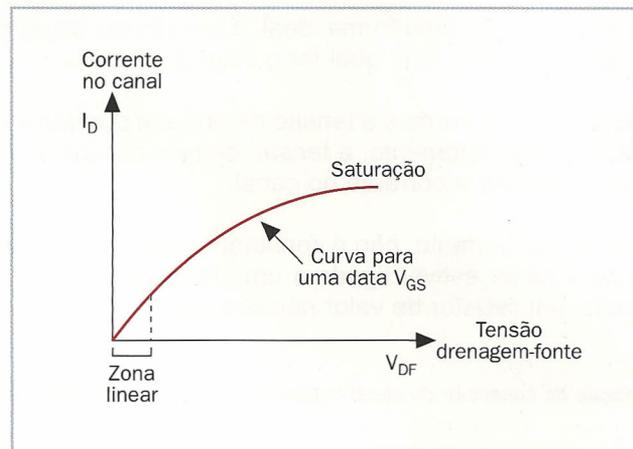
A resistência do canal pode ser controlada variando a tensão da porta, embora com um determinado limite

A corrente no canal de um FET (de união ou MOS) depende da tensão da porta, mas podendo variar-se a tensão da drenagem, a corrente alcança um **limite**, como se pode ver na figura.

No entanto, a **primeira parte** da curva sofre uma evolução diferente: para as tensões de drenagem inferiores com algumas dezenas de mV, a curva é praticamente uma linha reta.

Este fato significa que a corrente no canal é **proporcional** à tensão entre a drenagem e a fonte: por outras palavras, o FET comporta-se como um resistor.

Para as tensões muito baixas entre a drenagem e a fonte, o FET e o MOSFET comportam-se como resistores puros.

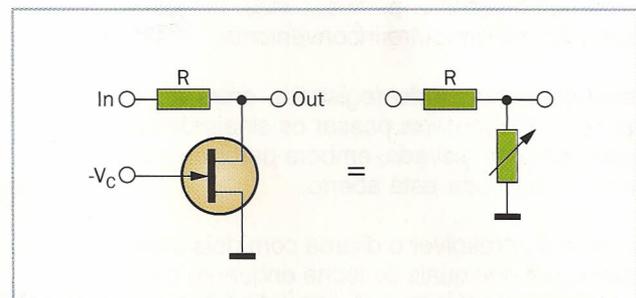


RESISTÊNCIA CONTROLADA EM TENSÃO

A resistência do canal não é fixa, porque depende da **tensão** aplicada à porta: se aumentarmos a tensão, a resistência reduz-se (para um FET do canal N).

O FET comporta-se, deste modo, como um **resistor variável**, cujo valor não pode ser controlado através de um comando, mas sim através da tensão da porta.

A figura mostra como realizar um **potenciômetro** controlado em tensão, utilizando um JFET e uma tensão negativa de controle, que determina o nível da saída.



A tensão de controle V_C varia a resistência do canal, e portanto o nível do sinal à saída.

LIMITES DOS FET COMO RESISTÊNCIAS

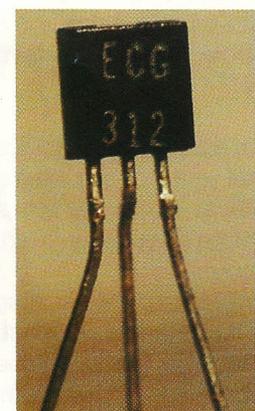
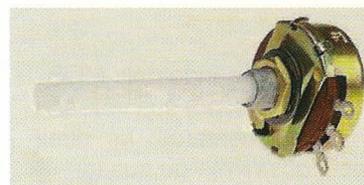
A zona linear dos FET é muito **limitada**: é suficiente aumentar levemente o nível do sinal para que este se altere, embora existam técnicas de "alinhamento".

Além disso, a resposta à tensão de controle **varia** de um exemplar para outro, conforme a tensão do limiar (pinch off), e depende também da temperatura.

No entanto, com algumas técnicas adequadas de **compensação**, os FET encontram aplicação também como resistores variáveis, por exemplo no con-

Um potenciômetro mecânico é mais preciso e previsível do que um FET, mas não pode ser controlado através de uma tensão.

trole automático de ganho (AGC) de alguns amplificadores.





DAC

Uma informação digital pode ser convertida numa forma analógica se utilizar o dispositivo recíproco do ADC

Da simples lógica combinatória aos microprocessadores, muitos circuitos utilizam os sinais **digitais**; o mundo exterior tem, no entanto, um comportamento analógico que é continuamente variável.

Para se poder regular a luminosidade de uma lâmpada ou produzir uma onda acústica (dois exemplos de fenômenos **analógicos**), é necessário converter a informação.

Um **conversor digital-analógico**, ou DAC (Digital to Analog Converter), produz sinais analógicos a partir da informação digital, ou seja, a partir de um determinado número de bits.



Grande parte da música que ouvimos procede de dados digitais, e foi reconstruída por um DAC.

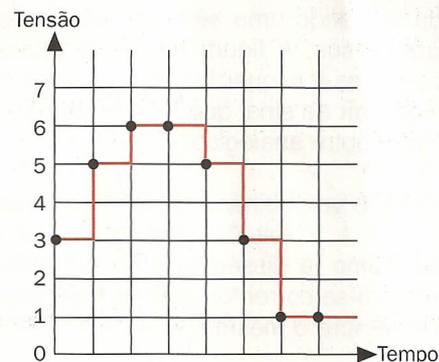
DESCREVER UMA ONDA

Um DAC realiza a operação **oposta** no que diz respeito à amostra (ver lição 21): também permite recriar um sinal analógico ponto por ponto.

A figura mostra que uma **série** de valores numéricos pode ser utilizada para construir um sinal de escalões, produzindo com intervalos regulares a tensão correspondente a cada valor.

O sinal que se obtém deste modo não é exatamente analógico, mas **de escalões**: se aumentarmos com o número um o sinal da entrada, o valor da saída passa para o escalão seguinte.

Convertendo cada valor numérico na tensão correspondente, este aproxima-se a um sinal analógico.



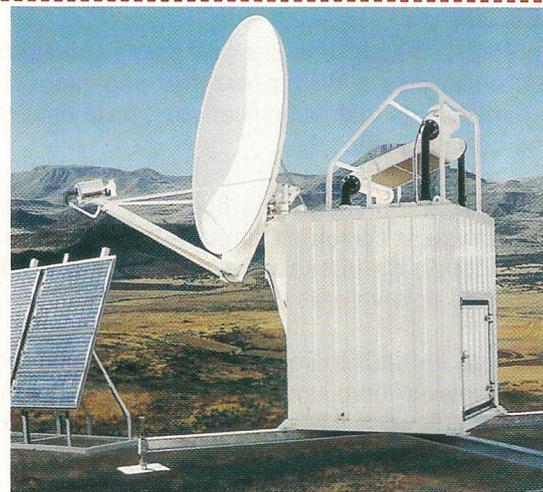
Valores digitais = 3, 5, 6, 6, 5, 3, 1, 1

APLICAÇÕES DOS DAC

Muitos campos de aplicação, anteriormente dominados pela eletrônica analógica, utilizam hoje em dia circuitos **digitais**: por exemplo, a gravação de áudio nos compact disc, DVD ou fitas DAT (digital audio tape).

Também na telefonia, a **voz** transforma-se numa série de valores numéricos, para poder ser enviada com melhor confiabilidade e menos problemas.

O rádio, a televisão e as comunicações com os satélites, estão cada vez mais baseadas nas técnicas digitais: em todos estes casos é necessário depois **reconstruir** o sinal analógico com um DAC.



As técnicas digitais permitem uma maior flexibilidade e também a correção dos erros de transmissão.

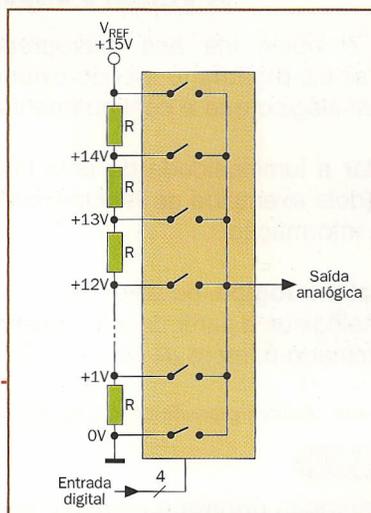


Técnicas de conversão

Algumas soluções podem ser concretizadas com muita facilidade, especialmente na forma de um circuito integrado

A figura mostra um **DAC elementar**: um divisor produz uma série de tensões uniformemente dimensionadas, uma das quais é escolhida e enviada para a saída.

O **comutador analógico** que faz a seleção é controlado por um descodificador digital, cuja entrada possui o valor binário que deve ser convertido: por exemplo "0101" fecha o interruptor 5, produzindo 5 V. No entanto, este circuito é complexo e **custoso**: mesmo tendo somente 8 bits, estes necessitariam de 256 interruptores analógicos, um para cada possível valor da saída.

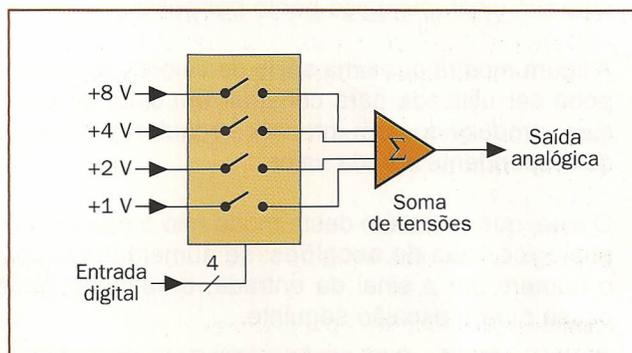


Este é um simples DAC de comutador analógico: o valor digital à entrada escolhe um dos valores da tensão.

SOMA DE PESOS

Na medida em que cada bit de um número binário tem um **peso** distinto (1, 2, 4, 8...), a tensão na saída pode ser obtida somando uma série de tensões correspondentes aos pesos. A figura mostra o princípio deste DAC: as tensões à esquerda são cada uma o dobro da outra, e cada **bit** do sinal que se tem de converter controla um interruptor analógico.

Por exemplo, o valor binário "0101" envia para a saída 4 V (bit 2) e 1 V (bit 0), que depois de **somados** produzem, como já dissemos anteriormente, 5 V. Na prática utilizam-se correntes em vez de tensões, mas o princípio é sempre o mesmo.



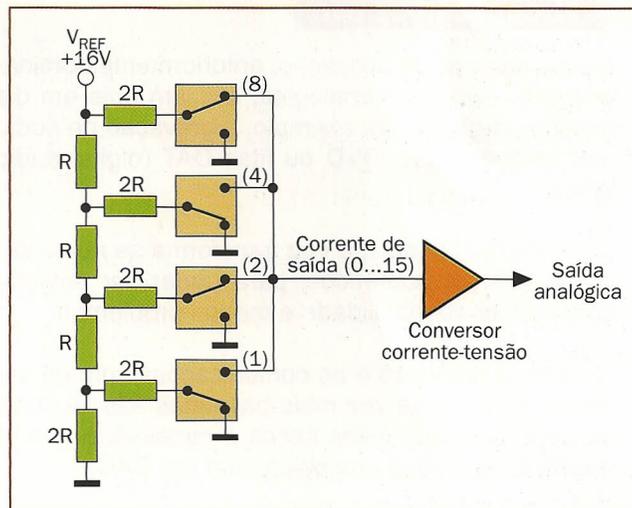
DAC de soma de pesos: utiliza o mesmo princípio da conversão de um número binário com papel e lápis.

REDE R-2R

Não é prático produzir resistores de valores muito **diferentes** entre eles e de grande precisão (especialmente para os bits mais significativos); para este fim utiliza-se outra solução.

A **rede de escada** mostrada na figura tem a característica de produzir correntes umas a seguir das outras, procedendo da direita para a esquerda, e utilizando apenas dois valores da resistência.

A corrente da saída transforma-se depois numa **tensão**, normalmente com um amplificador operacional visto pelo circuito como se fosse uma massa (como veremos em Analógica).



DAC com rede R-2R: cada bit de nível lógico produz uma corrente proporcional ao seu peso binário.

Referência e precisão

A tensão na saída de um DAC pode ser mais ou menos próxima da que se deseja obter

O **fundo da escala** de um DAC é o valor que se obtém quando todos os bits da entrada valem 1: trata-se portanto da tensão mais elevada que se pode ser obtida na saída.

Como esta deriva da **tensão de referência** aplicada à entrada da rede resistente, é importante que o valor desta última seja estável e precisa.

Normalmente pode-se **variar** esta tensão de modo a que se possa obter o fundo da escala desejado: o certo é que os DAC normais também podem produzir à saída algumas tensões negativas.

| Valor digital à entrada | Valor analógico à saída |
|-------------------------|-------------------------|
| 0 | 0 V |
| 1 | 0,01 V |
| 2 | 0,02 V |
| 3 | 0,03 V |
| ... | ... |
| ... | ... |
| 1022 | 10,22 V |
| 1023 | 10,23 V |

Com 10 bits existem 1.024 valores possíveis, de 0 a 1.023; se utilizarmos 10,24 V como tensão de referência, a saída vai de 0 para 10, 23 V.

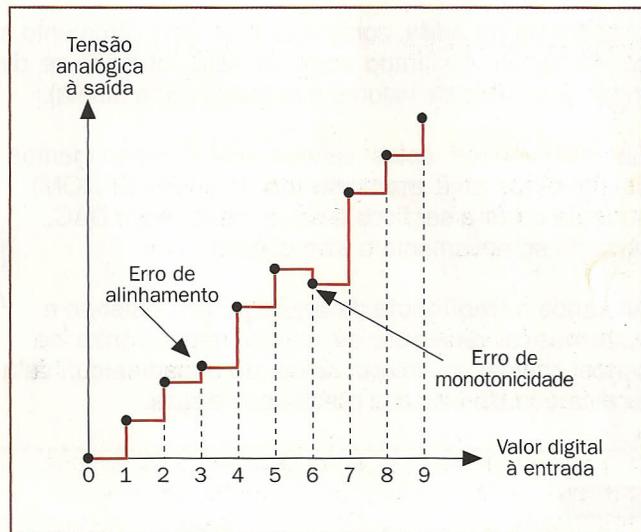
ERROS DOS DAC

Embora seja fácil corrigir alguns possíveis erros do fundo da escala, outros defeitos são mais difíceis de eliminar: estes dependem da **precisão** dos resistores e dos interruptores analógicos.

A figura ilustra um erro de **alinhamento**: convertendo números binários crescentes, obtêm-se valores analógicos também crescentes, mas não uniformemente escalonados.

Na mesma figura mostra-se um erro de **monotonicidade**: se aumentarmos com 1 o valor digital (binário) à entrada, a tensão na saída baixa, em vez de aumentar.

Dois possíveis erros de conversão: não ao alinhamento e não à monotonicidade: o DAC perfeito teria de ter uma escala regular.



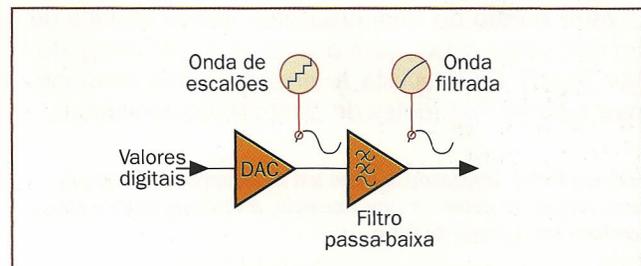
FILTRO À SAÍDA

Um sinal de **escalões** não é exatamente analógico; se queremos que varie de um modo contínuo é necessário uma forma de filtragem.

Utiliza-se normalmente um **filtro passa-baixa** calculado para deixar passar o sinal analógico, mas também que diminua de uma forma consistente a frequência da amostra.

O filtro passa-baixa elimina a frequência da amostra e, portanto, os escalões do sinal analógico.

Naturalmente, a filtragem é mais fácil quanto maior for a **distância** existente entre a frequência da amostra e a do sinal.



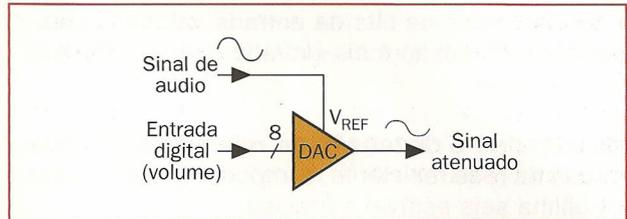


Controles analógicos

Tanto o DAC como outras técnicas permitem utilizar circuitos digitais em campos que são normalmente analógicos

A tensão que existe à saída de um DAC típico é **proporcional**, não somente ao valor digital configurado, mas também à tensão da entrada de referência.

Portanto, um DAC pode ser utilizado para construir um **atenuador** de controle digital, que na prática é o equivalente a um potenciômetro.



A figura mostra um **potenciômetro digital** de 256 passos, realizado com um DAC: a saída pode variar entre zero e 255/256 do sinal da entrada.

Potenciômetro digital: a tensão de referência (entrada) é mais ou menos atenuada conforme o valor configurado.

TABELAS DE ONDAS

Uma **forma de onda**, como o som de um instrumento musical, pode ser misturado com um ADC, obtendo-se deste modo uma série de valores numéricos (uma tabela).

Se escrevermos estes valores nos compartimentos contíguos de uma **memória** (por exemplo EPROM), poderão voltar a ser lidos e enviados para um DAC, obtendo-se novamente o som original.

Alterando a **freqüência** da leitura poderá obter-se a nota musical desejada, se mantivermos (dentro de certos limites) o timbre típico do instrumento; esta técnica é muito utilizada no campo musical.

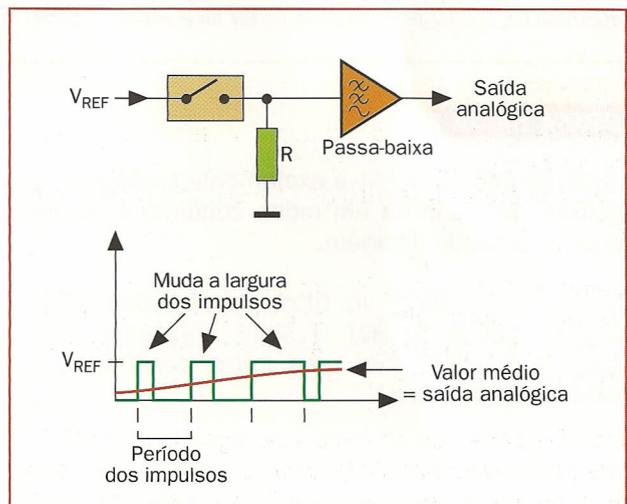


PWM

Uma técnica completamente diferente de conversão digital-analógica é a da modulação de **largura do impulso** (PWM: Pulse Width Modulation).

A mesma consiste em produzir um impulso digital periódico, embora mudando a sua **duração** (ou, como variante, a freqüência) conforme o valor analógico que se produza.

O **valor médio** do sinal produzido, obtido através de um filtro passa-baixa, será o sinal analógico desejado (ver figura). Esta técnica é utilizada, como veremos mais adiante, nas fontes de alimentação comutadas.



Técnica PWM: utilizando apenas um interruptor, é adequada para cargas de potência (por exemplo, motores), onde a carga também faz o papel de filtro.



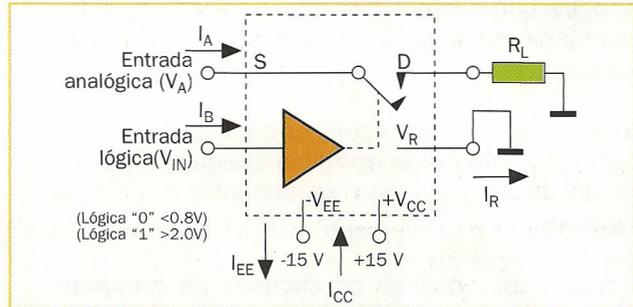
Dados dos interruptores analógicos

O circuito LF11331 contém quatro interruptores analógicos independentes, controlados por um sinal lógico

O esquema funcional do LF11331 (National Semiconductor) que consta na figura mostra um interruptor analógico, com o driver associado, que é o circuito de controle.

Podem-se comutar sinais analógicos, também bastante amplos: de -10 a +10 V, se está alimentado com +15 V (+V_{CC}) e -15 V (V_{EE}).

O sinal digital V_{IN} que controla o interruptor pode proceder tanto de um CMOS como de um TTL, e refere-se à "massa lógica" V_R, separada pelas alimentações analógicas.



Esquema funcional de um dos 4 interruptores analógicos contidos no integrado LF11331.

DADOS PRINCIPAIS

Quando um interruptor está fechado, a sua resistência (R_{ON}, ver tabela) é relativamente alta: mesmo 200 Ω com 1 mA de corrente: o interruptor é, portanto, apenas adequado para correntes baixas.

Como compensação, a resistência entre dois interruptores do mesmo integrado (Comparação R_{ON}) não supera os 20 Ω: este fato é importante se, por exemplo, são comutados os dois canais de uma instalação estéreo.

Características no fechamento (resistência) e na abertura (corrente de perda) dos interruptores analógicos do LF11331 à temperatura ambiente.

Se o interruptor está aberto, a sua corrente de perda (I_{S(ON)}+I_{D(ON)}) é, no pior dos casos, de 100 nA à temperatura ambiente: existe um bom isolamento entre os dois extremos.

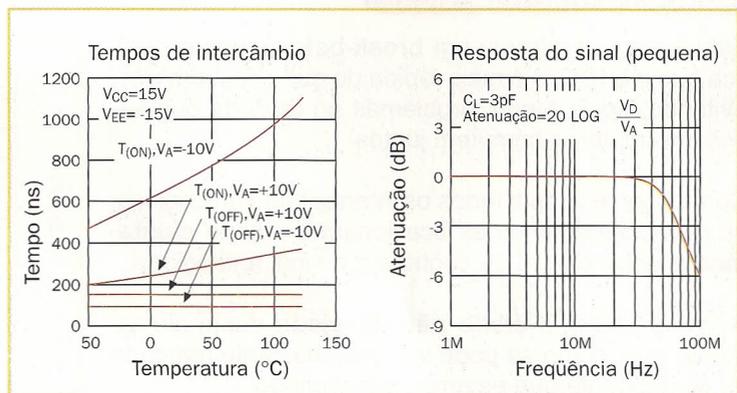
| Símbolo | Parâmetro | Condições | LF11331/2/3 LF11201/2 | | | LF13331/2/3 LF13201/2 | | | Unid. |
|--|--|---|--------------------------|------|------|--------------------------|------|------|-------|
| | | | Min. | Tip. | Máx. | Min. | Tip. | Máx. | |
| R _{ON} | Resistência "ON" | V _A = 0, I _D = 1 mA T _A = 25°C | | 150 | 200 | | 150 | 200 | Ω |
| Comparação R _{ON} | Comparação da R _{ON} Resistência "ON" | T _A = 25°C | | 5 | 20 | | 10 | 50 | Ω |
| V _A | Qualidade analógica | | ±10 | ±11 | | ±10 | ±11 | | V |
| I _{S(ON)} + I _{D(ON)} | Corrente de perda na condição "ON" | Interruptor "ON" V _S = V _A = ± 10 V T _A = 25°C | | 0.3 | 5 | | 0.3 | 10 | nA |

BANDA DE PASSAGEM E TEMPOS

A resposta em frequência (ver figura) mostra como o interruptor deixa passar com atenuação mínima os sinais até 50 MHz aproximadamente, o que o torna útil em muitas aplicações.

O tempo utilizado pelo interruptor para se fechar (T_{ON}) na figura) ou abrir (T_{OFF}) muda de acordo com a tensão analógica que está à entrada, e também com a temperatura. Pode-se observar que o pior que poderia acontecer é o fechamento com

entrada negativa (-10 V), sensivelmente mais lenta do que as outras operações.



Resposta em frequência (para sinais pequenos) e tempos de comutação dos interruptores analógicos do LF11331.



JFET e driver

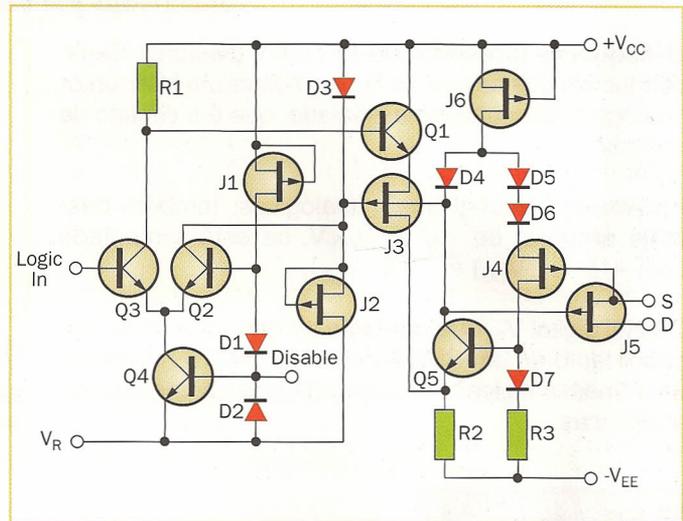
Existem interruptores analógicos com MOSFET e com JFET; o nosso exemplo pertence à segunda categoria

O **esquema interno** do LF11331 (ver figura) demonstra que o interruptor não é senão um JFET normal de canal P (J5): os dois pólos são a fonte e a drenagem.

O lado esquerdo do circuito tem a missão de produzir uma **tensão de controle** adequada, partindo do sinal lógico que se encontra à entrada (Logic in).

O lado direito contém os circuitos **de compensação**, que asseguram uma resistência de fechamento relativamente constante, e minimizam as derivações térmicas (ou seja, os efeitos da temperatura).

Esquema de cada um dos interruptores analógicos do LF11331: o J5 é o interruptor, o resto é um apurado circuito de controle.

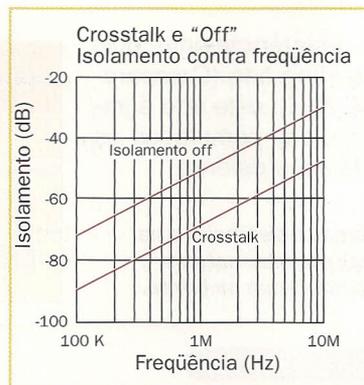


CARACTERÍSTICAS NÃO DESEJADAS

O isolamento que vai até ao sinal do interruptor aberto (ver figura) não é perfeito: com 1 MHz o sinal não se anula mas pode **ser atenuado** em 50 dB, que são correspondentes a aproximadamente 300 vezes em tensão.

O **crosstalk**, ou seja, a junção entre distintos interruptores, é no entanto de -65 dB: cerca de 1/2000 do sinal pode passar para o interruptor adjacente.

Os dois dados dependem principalmente da **junção** capacitada entre os contatos e as suas ligações: na realidade sofrem variações conforme a frequência.



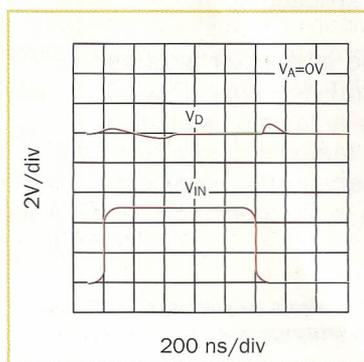
O isolamento de um interruptor, e também entre interruptores, depende muito da frequência do sinal analógico aplicado.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

Este integrado garante um **break-before-make**: significa que a abertura é mais rápida do que o fechamento, evitando, deste modo, problemas no caso de que vários interruptores comutem juntos.

Como acontece com todos os interruptores analógicos, as capacidades internas ocasionam um certo **ajustamento** entre o sinal de controle e o sinal analógico.

A figura mostra o **efeito não desejado** deste ajustamento que, como se pode ver, está bastante marcado no componente que estamos examinando.



O sinal que está na saída (em cima) mostra interferências na correspondência com as comutações do interruptor (abaixo).

Dados dos DAC

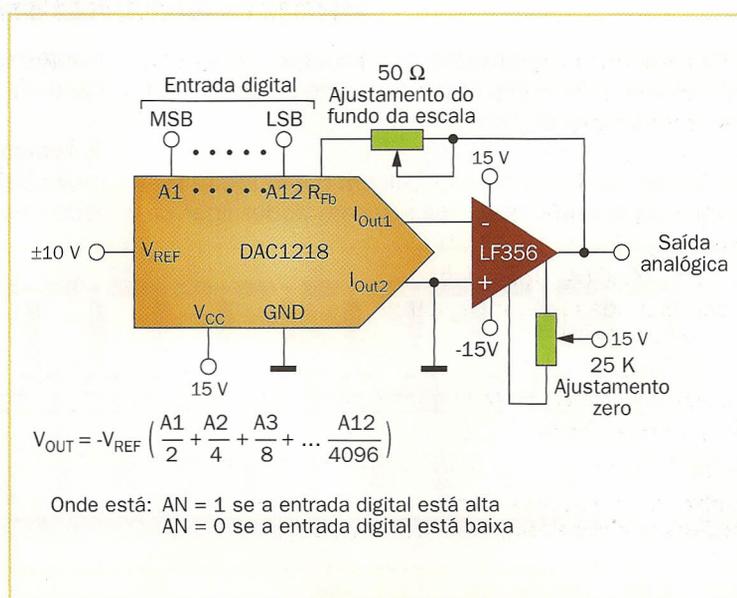
O DAC1218 é um conversor digital-analógico de 12 bits, baseado numa rede R-2R

A figura mostra as típicas ligações do DAC1218 (National Semiconductor); em cima vêm-se 12 entradas digitais A1-A12, que representam o valor que se tem de converter.

Pelo lado esquerdo entra a **tensão de referência** V_{REF} , que se poderá encontrar novamente na saída, que está atenuada pela fração indicada pelas entradas digitais, com 4.096 possíveis passos (escadas).

Realmente na saída IOUT1 não existe uma tensão mas sim uma **corrente**: além disso também se necessita de um amplificador operacional externo (LF356 no esquema) para convertê-la numa tensão.

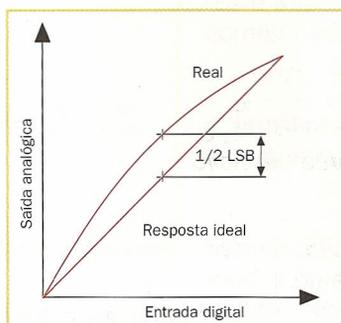
Esquema aplicativo do DAC de 12 bits DAC1218: também se necessita de um amplificador operacional para se ter tensão na saída.



ZERO E FUNDO DA ESCALA

Os dois potenciômetros já mostrados na figura anterior servem para **regular** o zero e o fundo da escala do conversor, de modo que se possa obter a máxima precisão.

A regulação do **zero** é feita com todas as entradas digitais que estão a 0, compensando o amplificador diferencial (tema tratado em Analógica) até que também se tenha 0 V na saída.



A regulação do **fundo da escala** é, no entanto, um simples controle de ganho: põem-se todas as entradas a um e regula-se até que a saída tenha 4095/4096 da tensão de referência.

Quando o zero e o fundo da escala são corretos, permanece um erro de alinhamento que é, em qualquer dos casos, inferior a 1/2 escalões.

ERROS

A figura mostra os dados de **alinhamento** do conversor, uma vez que fica ajustado corretamente o zero e o fundo da escala; são indicados como percentagem do fundo da escala (FSR: Full Scale Range).

O **erro de alinhamento** é a separação máxima do valor analógico esperado na saída: como se pode ver, a versão DAC1219 é menos precisa do que a DAC1218.

| Parâmetro | Condições | Limite testado | Limite do desenho | Unids. |
|-----------------------------|---|----------------|-------------------|----------|
| Erro de alinhamento | Zero e fundo da escala exatos | ±0.018 | ±0.018 | % de FSR |
| | DAC1218 | ±0.024 | ±0.024 | % de FSR |
| Não alinhamento diferencial | Zero e fundo da diferencial escala exatos | ±0.018 | ±0.018 | % de FSR |
| | DAC1218 | ±0.024 | ±0.024 | % de FSR |

O erro de alinhamento diferencial é, portanto, o erro máximo entre **dois escalões** consecutivos: observemos como o 0,024 % corresponde a 1/4166, ou seja, a quase um escalão.

Alinhamento garantido do DAC1218 e da versão menos precisa do DAC1219.



Dentro de um DAC

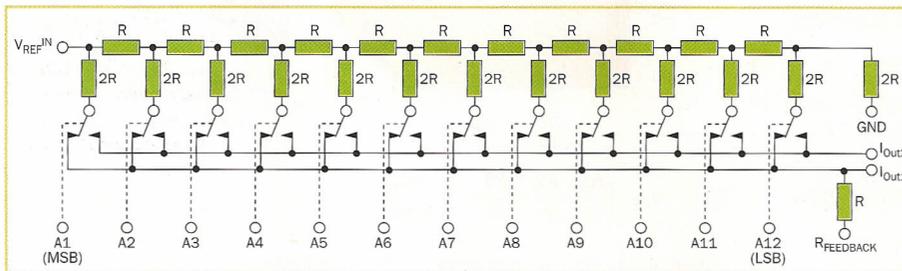
Um DAC é muito mais simples do que um ADC; principalmente o que é mais importante é a precisão e a estabilidade dos resistores

A figura mostra o **esquema funcional** do DAC1218: este é uma rede R-2R de resistores de precisão, ligadas a uma série de comutadores.

Os dados técnicos não especificam como foram realizados os comutadores, mas devem poder ligar co-

rentes das **duas polaridades**: a tensão de referência pode ser tanto positiva como negativa.

A **resistência fechada** dos interruptores deve ser muito baixa, de forma que não possa interferir com a rede resistente, alterando assim as correntes que estão em jogo.



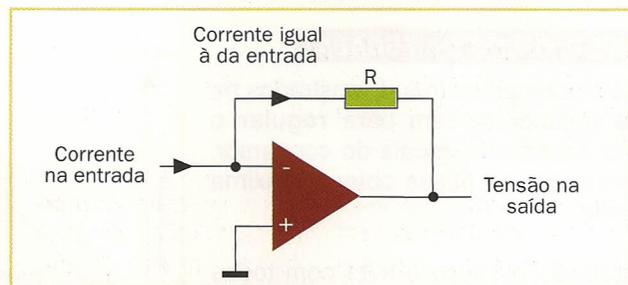
Os comutadores dirigem a corrente de cada pista para a saída IOUT1 (normalmente a massa) ou para a saída IOUT2.

O CONVERSOR CORRENTE-TENSÃO

Referimo-nos ao **funcionamento** do operacional que converte a corrente em tensão: a figura mostra o esquema, incluindo também os componentes internos ao DAC.

O ponto A (entrada negativa) é uma **massa virtual**: o amplificador faz todo o possível para a manter igual à da entrada positiva, que está com a massa.

Para consegui-lo tem que mover a sua saída de maneira que se faça passar uma corrente **igual e contrária** por R: pela lei de Ohm, este processo requer uma tensão de saída proporcional à da própria corrente.



Princípio do funcionamento do conversor corrente-tensão na saída do DAC: utiliza um amplificador operacional.

MULTIPLICADOR E TEMPOS

Dado que a tensão de referência pode também ser **negativa**, o DAC1218 pode funcionar como um multiplicador ou, mais exatamente, como um atenuador controlado de forma digital.

Por exemplo, é possível utilizá-lo como **potenciômetro digital**, para variar o volume de um sinal de áudio aplicado à entrada V_{REF} .

No entanto, se for utilizado para produzir um sinal continuamente variável (com V_{REF} fixa), o tempo de adaptação (**setting time**) limita a frequência máxima de trabalho.

| Parâmetro | Condições | Tip. | Unids. |
|--------------------------------|--|------|---------|
| t_s Tempo de parâmetro atual | $R_L = 100\Omega$, saída apoiada em 0,01% Todas as entradas digitais mudadas simultaneamente | 1 | μs |

Devido à mudança do valor digital configurado, passa um micro-segundo antes de que a saída analógica seja perfeitamente estável.



Televisão

A transmissão à distância das imagens utiliza diversas tecnologias; começamos com uma visão do conjunto

A **câmara de televisão** explora a imagem através de linhas sucessivas, percorrendo cada linha da esquerda para a direita como se estivesse lendo uma folha de papel. A câmara produz um sinal analógico chamado **sinal de vídeo**, cuja tensão corresponde à luminosidade (intensidade) da imagem em cada um dos seus pontos.

Se reconvertemos estas variações da tensão numa maior ou menor luminosidade na tela do receptor, é possível **reconstruir** a imagem explorada pela câmara de televisão.

Cada linha de exploração descreve a luminosidade da imagem, variando o nível do sinal, ou seja, a sua tensão.

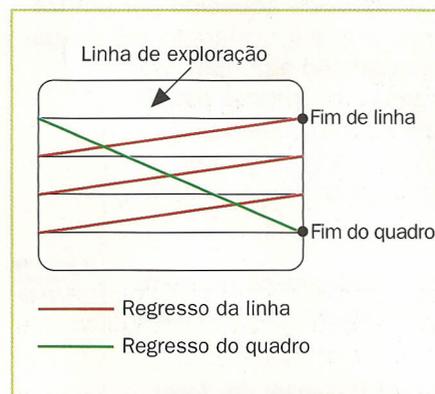


SINCRONISMOS

Para se reproduzir corretamente a imagem, é necessário que a tela de televisão do **receptor** seja explorada exatamente do mesmo modo.

Portanto, ao sinal de vídeo devem-se acrescentar dois dados, como veremos na lição 26: o primeiro é o **sincronismo** de linha (“horizontal”), ou seja, um sinal de “aqui acabo a linha e volto ao princípio”.

Quando termina a exploração e se alcança a margem inferior da imagem, a câmara de televisão, no entanto, acrescenta um **sincronismo de quadro** (“vertical”) e começa explorar novamente a imagem.



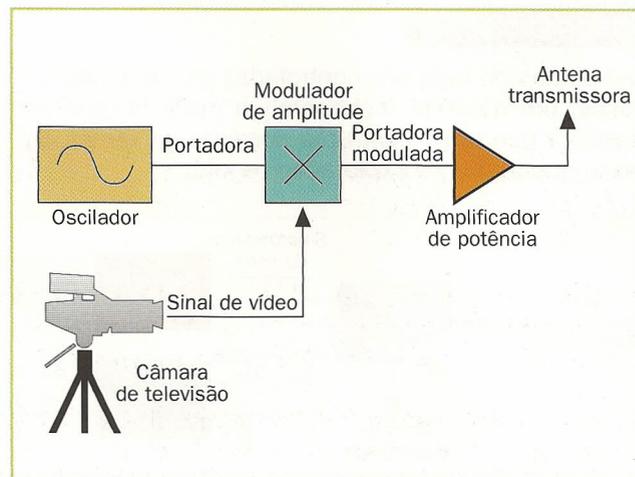
Ao sinal de vídeo são acrescentados os sincronismos, para indicar os pontos do fim de linha e fim do quadro.

ENTRELAÇAMENTO

No standard europeu PAL, a imagem é explorada **50 vezes por segundo**, e cada exploração (quadro) é composta por 625 linhas. Na realidade a imagem é explorada por **semi-quadros**: uma vez são as linhas pares e outra vez as ímpares; este “entrelaçamento” permite explorar a velocidade inferior, sem complicar demasiadamente a qualidade.

Têm-se, portanto, 25 imagens completas por segundo, cada uma delas com 625 linhas, para atingir o total de 15.625 linhas por segundo: a **freqüência de linha** é de 15.625 Hz, a mesma do (semi)quadro de 50 Hz.

Para a transmissão, o sinal de vídeo modula com amplitude uma portadora de rádio (lição 18) que a transporta a uma grande distância.

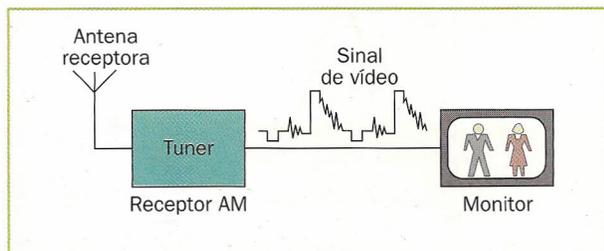




O televisor

Na recepção é necessário reproduzir fielmente a imagem codificada no sinal de vídeo

A figura mostra o esquema de blocos de um televisor: um **receptor** normal (ver lição 18) ou “tuner” (sintonizador), não modula o sinal de rádio, obtendo assim novamente o sinal de vídeo transmitido.



O **monitor**, similar ao que é utilizado com os computadores pessoais (mas normalmente de qualidade inferior), tem a missão fundamental de reproduzir a imagem descrita pelo sinal de vídeo.

Um raio de elétrons explora a superfície interna de um **tubo de raios catódicos** iluminando cada ponto conforme a intensidade do sinal de vídeo; o olho humano capta como se fosse uma imagem inteira.

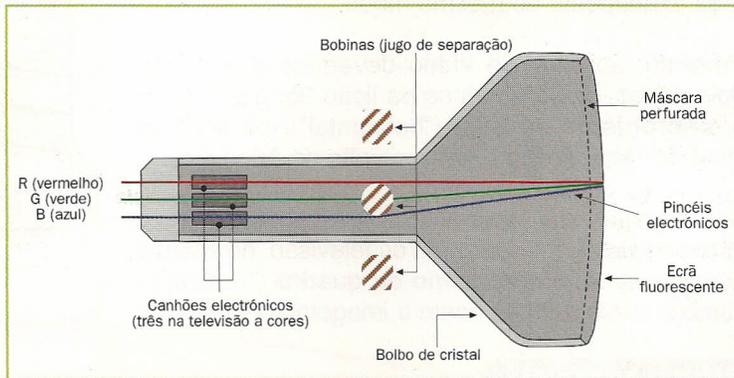
As duas seções principais de um receptor de televisão: o receptor não vale se o sinal de vídeo chegar através de um fio.

JUGOS DE SEPARAÇÃO

O raio de elétrons é produzido por um **canhão eletrônico**: um “cátodo” metálico aquecido por um filamento incandescente, e que é acelerado até chegar à tela através de uma tensão alta (EAT, por exemplo 25 KV). O raio, ou **pincel eletrônico**, desvia-se até ao ponto desejado devido ao campo magnético produzido por duas bobinas chamadas em conjunto, “jugo de separação”.

Os “fósforos” da tela **iluminam-se** no ponto em que foi batido, mais ou menos fortemen-

Tubo de raios catódicos (CRT: Cathode Ray Tube) visto por detrás e por seção.

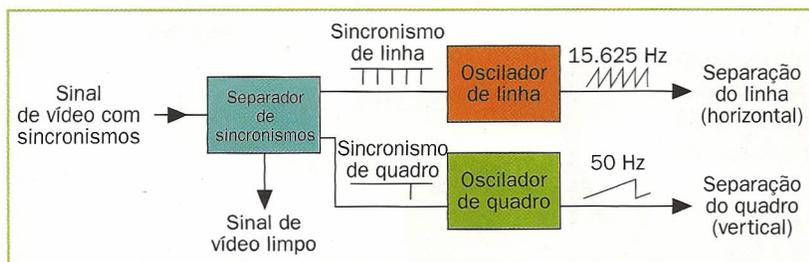


te, conforme tenha sido a intensidade do raio. Durante os regressos ao princípio da linha, o raio se apaga (blanking).

SINCRONIZAÇÃO

As bobinas do jugo são controladas por dois **osciladores**, um de linha (horizontal) e outro de quadro (vertical) que produzem uma corrente de rampa de modo que têm uma exploração regular.

Os dois osciladores, respectivamente de 15.625 HZ e de 50 Hz, estão **enganchados** com os correspondentes sinais de sincronismo, de maneira que sigam fielmente a exploração original da câmara de televisão.



Os sincronismos, de linha e de quadro, são extraídos do sinal de vídeo com um circuito separador especial.

O separador de sincronismos extrai os dois sinais, utilizados para enganchos os osciladores de linha e de quadro.



Esquemas profissionais

Quando um esquema elétrico não é somente para uso pessoal, existem importantes fatores que devem ser levados em consideração

Se um esquema é publicado e enviado aos clientes, convém que respeite tanto as normas (por exemplo, UNI, ISO) como também os **convênios**; pode ser necessário que tenha que responder a determinados standards nacionais ou internacionais. Em todo o caso, o esquema deve ser **coerente**: ou se usam os símbolos europeus ou os norte-americanos; também podem ser utilizados os símbolos lógicos tradicionais, ou os IEC (conforme alguns exemplos mostrados na figura).

Estes últimos são provavelmente menos legíveis no que se refere às portas lógicas elementares, mas des-

crevem melhor a **função** dos circuitos integrados mais complexos.

| | Tradicional | IEC |
|------|-------------|-----|
| AND | | |
| OR | | |
| XOR | | |
| NAND | | |

Alguns símbolos de componentes lógicos, na versão tradicional e na correspondente versão em IEC standard.

INFORMAÇÃO SOBRE O ESQUEMA

Muitos circuitos eletrônicos são produzidos normalmente em distintas **versões** (ou "revisões") correspondentes a posteriores modificações ou melhorias.

É fundamental que o esquema indique com clareza o número de **revisão**: ou seja, versão e subversão (por exemplo 2.3) do circuito ao qual se refere, para evitar possíveis confusões.

Um esquema profissional informa sobre todos os dados úteis para quem tenha que utilizá-lo mesmo quando tenham passado alguns anos:

Outra **informação** importante é a data, o fabricante e o esquema, se este não está inserido numa única folha com a indicação do número da folha em relação ao total, por exemplo: parte 3 de 5.

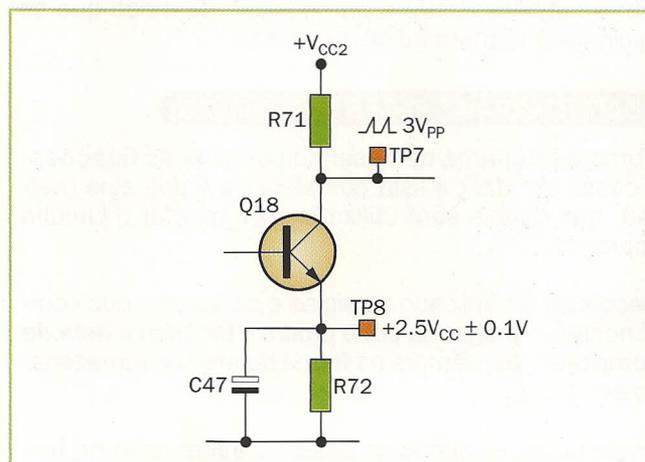
| | | |
|--------------|---------------|-------------------------|
| DRAWN | DETAIL, BOARD | |
| CHECKED | | |
| ENGINEER | | |
| DATE | | |
| CONTRACT NO. | SIZE A | DRAWING NO. 6602 AKT |
| ENG. RELEASE | SCALE FULL | SHEET 1 OF 1 |

INFORMAÇÃO ELÉTRICA

Se o esquema vai ser utilizado para um teste ou para uma possível e posterior **reparação** do circuito, convém acrescentar informação que facilite o trabalho.

Nos esquemas analógicos podem-se indicar as **tensões** que devem estar presentes nos diferentes pontos, e nos digitais os níveis lógicos em determinadas condições.

Certamente, seria melhor poder acrescentar as **formas de onda** que devem estar presentes nos pontos estabelecidos, freqüentemente correspondentes aos terminais adequados de medida (test point) no circuito impresso.



Em correspondência com os test point (TP) são indicadas as tensões e as formas de onda correspondentes ao funcionamento normal.



CAD para esquemas elétricos

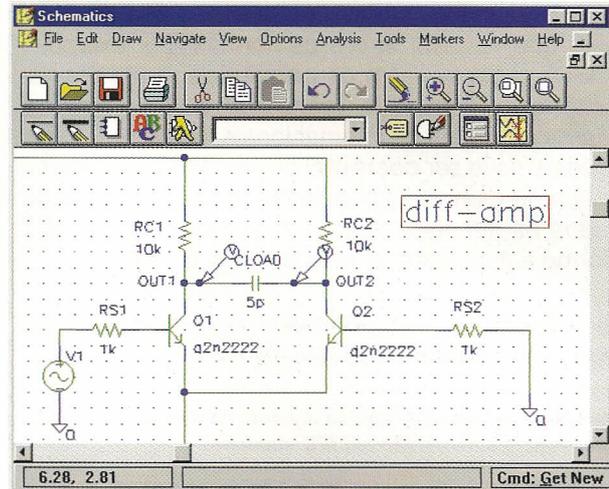
Não se justifica que se tenha que desenhar os esquemas à mão ou com o tecnígrafo: convém utilizar programas especiais

Para além dos programas do CAD (Computer-Assisted Design: desenho ou projeto auxiliado por um computador) para a arquitetura e peças mecânicas, existem também outros para os projetistas eletrônicos.

Além disso, permitem também desenhar esquemas utilizando **componentes** standard, como um resistor ou um 74HC04, retirados de coleções (bibliotecas) proporcionadas pelo mesmo programa ou acrescentadas pelo utilizador.

Uma das primeira vantagens reside na impossibilidade de cometer erros produto da **distração**, como a numeração errada dos contatos dos componentes.

Captura de um programa típico para desenho de esquemas elétricos ou eletrônicos (MicroSim Schematics).



LOCALIZAÇÃO E MODIFICAÇÕES

Os componentes podem ser facilmente citados no esquema, virados na orientação desejada e **ligados** com linhas ou barramentos (fios múltiplos).

Antecipando algumas possíveis posteriores **modificações**, será suficiente tomar um componente que se tenha de transferir e arrastá-lo para a nova posição, utilizando ainda uma "quadrícula" que garante um novo alinhamento.

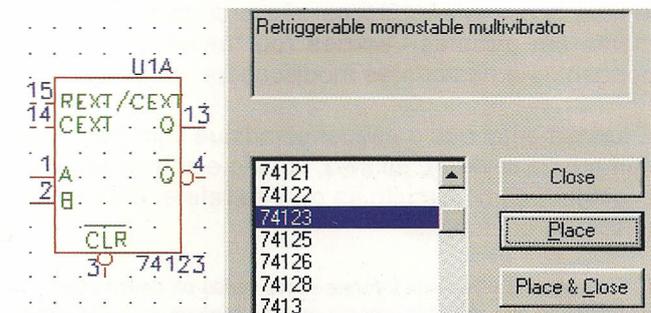
Nos melhores programas, os fios de ligação são **conservados** mesmo tendo que transferir os componentes, e também mudar a sua posição de modo que se minimize o número de cruzamentos.

DADOS PARA AS FASES SUCESSIVAS

Como o programa de desenho conhece as **ligações**, é capaz de fazer a lista completa de todas elas (netlist), que depois será utilizada para montar o circuito impresso.

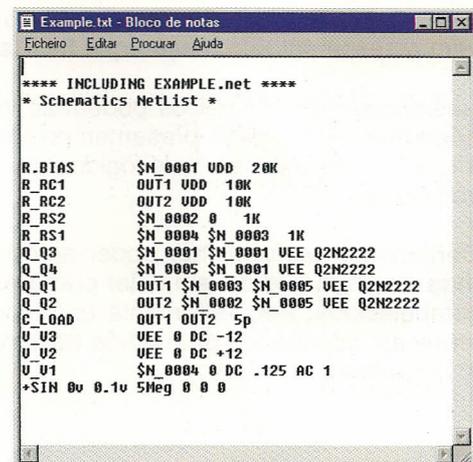
Depois de ter indicado as siglas e os valores dos componentes, o programa pode produzir também a **lista de componentes**, sempre na forma de arquivo armazenado em disco.

Deste modo, podendo-se passar a informação **na forma eletrônica** sem ter que copiá-la de novo à mão, minimiza-se o número de documentos e reduz-se consideravelmente a probabilidade de cometer erros.



Os programas profissionais oferecem bibliotecas bem fornecidas, das quais se escolhem os componentes já prontos e com a disposição de contatos completa.

A netlist, ou lista de ligações, descreve com minúcia o esquema sob o ponto de vista elétrico.





Carregador de baterias de NiCd para automóveis

Um dispositivo portátil para carregar de energia os acumuladores descarregados

Há mais de cinquenta anos que o adjetivo **portátil** podia querer referir-se a um compartimento com seis quilos de componentes eletrônicos e oito de baterias para a sua alimentação. A tecnologia da época parece estar a anos-luz deste momento, mas a utilização de **baterias** como fonte de energia é ainda necessária, embora com uma relação peso/desempenhos muito mais favorável.

Certas **aplicações** de baixa potência, como os relógios e as calculadoras, funcionam há alguns anos com uma minúscula bateria, mas outras, como as do tipo leitores do disco compacto, devoram as baterias a um ritmo bastante elevado.



CARGA

Agora, quando a ecologia é um tema que está em moda, não convém **jogar** fora as pilhas descarregadas, mas sim tornar a carregá-las para que possam ser utilizadas mais vezes.

Naturalmente, não se devem utilizar as habituais pilhas alcalinas, porque devem ser substituídas pelas **recarregáveis**, por exemplo, as de níquel e cádmio (NiCd), cujo custo é amortizado perfeitamente com o uso.

As baterias recarregáveis de níquel e cádmio estão disponíveis em diferentes formatos, entre os quais se encontram os das pilhas normais de usar e jogar fora.



Acumulam talvez um pouco menos de energia e proporcionam uma tensão levemente mais baixa, mas esta tensão tem a vantagem de que se mantém **constante** durante toda a duração da carga.

TRANSFUSÕES DE ELÉTRONS

Se para recarregar as baterias em casa é suficiente ligar a tomada do carregador, como se faz com a máquina de barbear ou com um pequeno aspirador, a situação pode se complicar se nos encontramos **longe** das tomadas de corrente.

Quer se trate de um automóvel rádio-controlado ou de um brinquedo das crianças, seria muito mais cómodo poder recarregar as pilhas enquanto os mesmos estão em **funcionamento**. Deste modo pensamos que seria mais útil um carregador de baterias capaz de funcionar com os 12 V da **bateria do automóvel**: na prática, transfere uma minúscula parte da energia desta última para a pilha que queremos recarregar.

As baterias NiCd encontram aplicação num bom número de dispositivos, embora recentemente se prefiram as mais modernas NiMH.



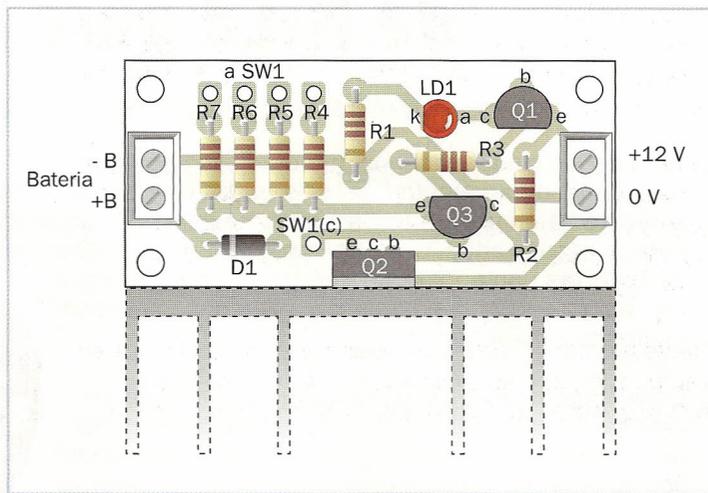


Montagem do circuito

Na simples **placa** visível na figura, todos os componentes têm o seu devido lugar, com a exceção do comutador SW1, que está destinado ao painel frontal da caixa.

A montagem não apresenta dificuldades dignas de serem mencionadas: é suficiente ter cuidado, como sempre, com a correta **orientação** dos transistores e diodos, e além disso não queimar os transistores. Para soldar os nove terminais, também chamados **fixações**, convém utilizar uma pinça para que não se queimem os dedos; os fios serão soldados depois na ponta para evitar dessoldar os extremos do fio.

Disposição dos componentes na placa do carregador de baterias; na figura inferior indica-se o dissipador para o Q2.



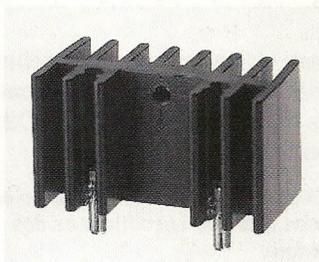
DISSIPACÃO

Como o transistor Q2 pode ter que admitir uma potência discreta (até uns 5-6 W), é preciso que esteja fixo (com parafusos) num **dissipador** adequado, ou na parede de uma caixa metálica.

Deste modo ficaria ligado eletricamente ao positivo, pelo que se interpõe um kit adequado de **isolamento** (lâmina de mica e guia de teflón para os parafusos).

Como alternativa, poderá colocar-se o circuito e o dissipador numa caixa de plástico fechada, mas neste

caso terão de ser feitos vários **orifícios** nos dois lados, para assegurar uma boa ventilação.



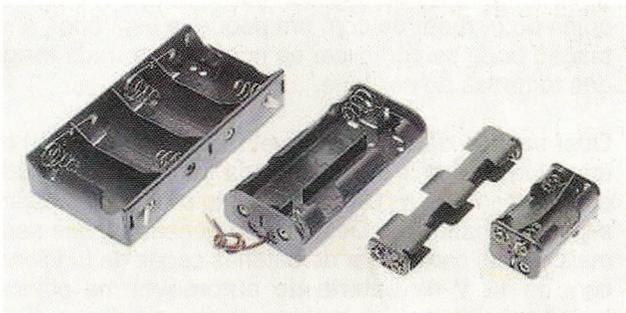
Exemplo de um dissipador de alumínio anodizado, adequado para o transistor regulador do carregador de baterias.

LIGAÇÕES

O **comutador** será montado no painel da caixa, tendo o cuidado de se informar corretamente no mesmo painel os parâmetros indicados no esquema elétrico, mostrado na página 92.

Para se poder extrair os 12 V do automóvel convém utilizar **um plugue** especial que possa ser inserido na tomada do isqueiro, ou com um fusível rápido de 1A em série para evitar problemas.

No lado da bateria, podem-se utilizar **porta-pilhas** normais, do tipo adequado ao formato dos elementos de níquel-cádmio que devem ser recarregadas (mesmo mais de um em série).



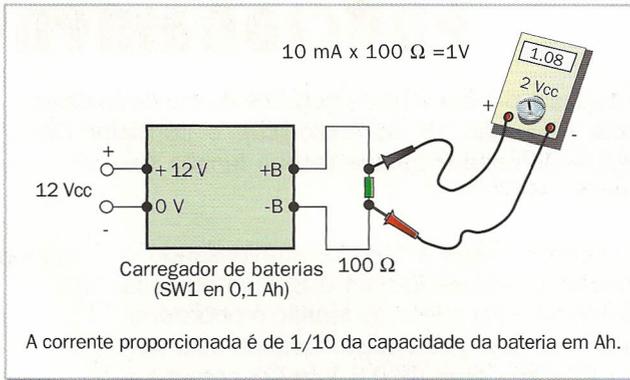
Porta-pilhas de plástico, que se podem utilizar para inserir as baterias NiCd descarregadas e que se ligam ao carregador.

TESTE

Antes de ligar as baterias que vão ser recarregadas, convém **verificar** o funcionamento correto do dispositivo, aplicando os 12 V à entrada e colocando o seletor em 0,1 Ah.

O LED LD1 deverá manter-se apagado, mas se ligarmos um **resistor** de $100\ \Omega$ à sua saída deverá acender-se; o multímetro no resistor deverá indicar 1 V ou um pouco mais (correspondentes a 10 mA de corrente).

Neste momento é possível ligar a **bateria NiCd** que se vai recarregar, naturalmente com a polaridade correta, e configurar o comutador como se descreve a seguir.



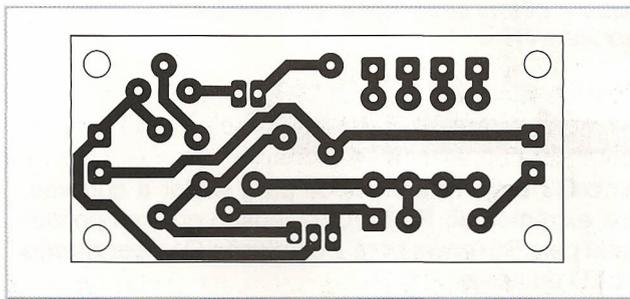
Ligações a serem efetuadas para testar o carregador de baterias: o resistor simula o elemento que está sendo carregado.

CONFIGURAR A CORRENTE

O seletor é regulado com um valor igual ou inferior à **capacidade** (em Ah, ampères por hora) indicada na bateria; nunca deve ser superada para evitar o risco de aquecimento ou mesmo de explosão da pilha.

Como a carga tem lugar na corrente constante, pode-se carregar vários elementos em **série** (nunca em paralelo), contanto que se descarreguem igualmente e o total não ultrapasse os 9 V.

A carga completa durará várias horas, normalmente uma dezena (as quais deverão ser apagadas) se a bateria estiver totalmente descarregada. Utilizam-se apenas elementos **NiCd**, e nunca de outros tipos.



Circuito impresso do carregador de baterias para automóveis, visto pelo lado das soldas.

EFEITO MEMÓRIA

Convém deixar **descarregar completamente** os acumuladores de níquel e cádmio antes de os recarregar já que, de outro modo, têm tendência a "lembrar" o tempo que foram utilizados e duram menos.

Na prática, **restituem** uma quantidade de energia proporcional à recebida durante a carga: se forem recarregadas demasiadamente depressa, (e de fato se recarregam em seguida), admitem menos carga.

Também não devemos **exceder** com a descarga: se deixarmos durante muito tempo uma bateria completa-

mente descarregada, pode-se produzir uma inversão da polaridade que a danifica irremediavelmente.



Uso incorreto das NiCd: a capacidade diminui.



Uso correto: a bateria mantém a capacidade durante mais tempo.

Para evitar o efeito memória, convém não recarregar as baterias até estarem totalmente descarregadas.



Funcionamento do circuito

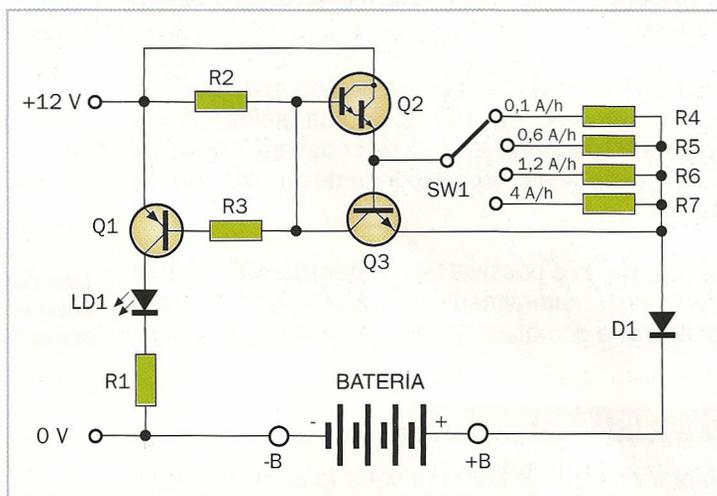
O dispositivo é um simples **gerador de corrente constante** (ver lição 13 de Analógica): o transistor Darlington Q2 conduz porque recebe tensão segundo o R2.

A corrente chega à bateria, atravessando o **resistor** selecionado com o SW1 e provoca no mesmo uma queda de tensão proporcional à corrente que o atravessa. Quando esta tensão alcança cerca de 0,6 V, o Q3 começa a conduzir e **rouba corrente** à base do Q2, impedindo que a corrente de saída possa subir posteriormente.

A corrente proporcionada (em A ou em mA) é mais ou menos **um décimo** da capacidade da

bateria (em A/h ou mA/h) selecionada com SW1, valor correto para os acumuladores de níquel e cádmio.

Esquema elétrico do carregador de baterias NiCd para automóveis.

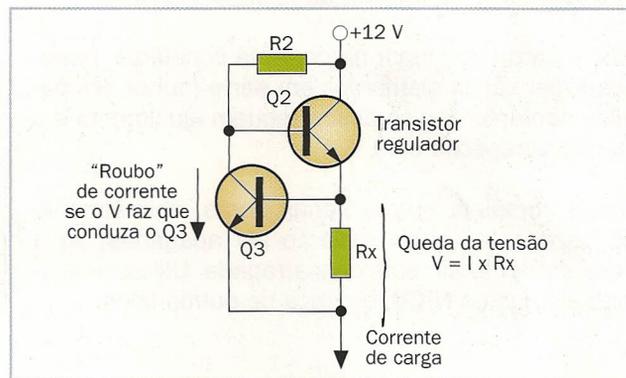


INDICADOR DE PROTEÇÃO

Se o Q3 estiver trabalhando para limitar a corrente, nos extremos do R2 há uma tensão que, proporcionada pelo R3, envia para a condução Q1 **acendendo** o LED de carga.

O diodo D1 tem a função de proteger tanto a bateria como o circuito de acidentais **inversões de polaridade**, que ocasionariam estragos a ambos.

Não serve uma proteção do **curto-circuito**, já que a corrente máxima está limitada pelo próprio regulador; é suficiente que o dissipador de Q2 seja eficaz e esteja bem ventilado.



O estabilizador de corrente Q3 intervém quando a queda de tensão no resistor escolhido o envia para a condução.

LISTA DE COMPONENTES

Resistores (todos de 1/4 W, 5%)

- R1 = resistor de 820 Ω (cinzento, vermelho, marrom)
- R2 = resistor de 4,7 KΩ (amarelo, violeta, vermelho)
- R3 = resistor de 1 KΩ (marrom, preto, vermelho)
- R4 = resistor de 56 Ω (verde, azul, preto)
- R5 = resistor de 10 Ω (marrom, preto, preto)
- R6 = resistor de 4,7 Ω (amarelo, violeta, ouro)
- R7 = resistor de 1,5 Ω (marrom, verde, ouro)

Semicondutores

- D1 = diodo 1N4004
- LD1 = diodo LED vermelho de 5 mm
- Q1 = transistor PNP BC557 ou equivalente
- Q2 = transistor Darlington NPN TIP110 ou equivalente
- Q3 = transistor NPN BC547 ou equivalente

Vários

- SW1 = comutador de painel de 1 via - 4 pos. e botão de comando
- 1 circuito impresso
- 9 fixações para circuito impresso
- 1 asa de alumínio para o transistor T1 (ou então 1 dissipador Fischer SK18)
- 2 pedaços de fio vermelho/preto de 0,5 mm²
- 1 porta-pilhas adequado ao tipo de baterias que se vai recarregar
- 1 plugue para o isqueiro do automovel, com porta-fusível
- 1 porta-fusível portátil
- 1 fusível rápido de 1 A