

ELETROÔNICA ELÉTRONICA

21

para todos



JFET



ADC



DADOS DE
UM JFET



AMPLIFICADORES
DE ÁUDIO



CIRCUITOS
IMPRESSOS



Projeto nº 21:
TALK-OVER



SALVAT

JACKSON
LIBRI



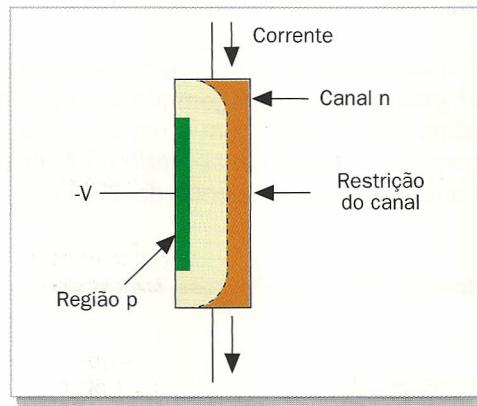
JFET

Os transistores de efeito de campo (FET: Field Effect Transistor) existem em duas versões. Começaremos pela de união ou JFET

Enquanto o **princípio** do funcionamento dos transistores BJT clássicos já era bastante complexo, o dos JFET é, no entanto, muito simples.

Existe um **canal** semicondutor por onde passa corrente, ao lado da qual se encontra uma união, parecida com a de um diodo.

Se esta união for **inversamente polarizada**, os portadores afastam-se da própria união, deformando o canal como se fosse um tubo de borracha (ver figura).



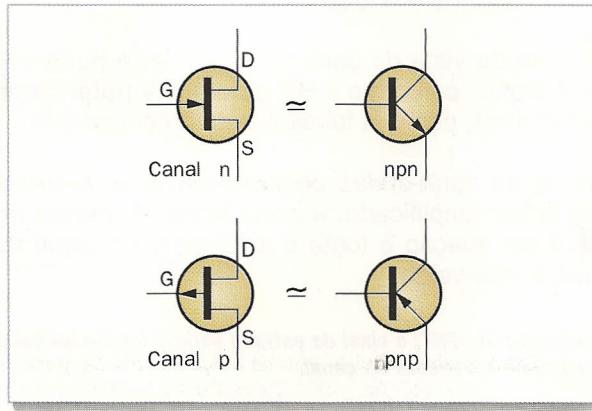
Aplicando tensão inversa para além da união, o canal fica restringido.

TERMINAIS DE UM JFET

Em lugar de um emissor, base e coletor existe uma **fonte** (O), **dreno** (D) e **porta** (G), como se pode ver na figura.

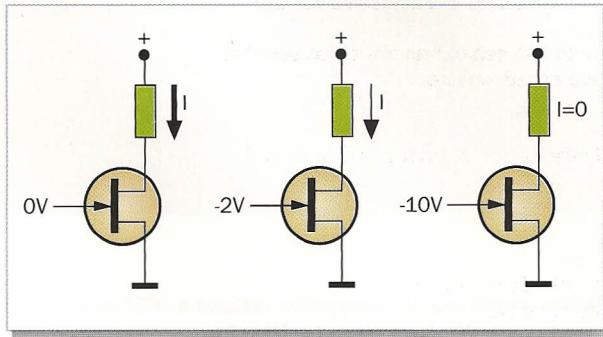
Tanto a fonte como o dreno são os extremos do canal, enquanto a porta funciona como **eletrodo de controle**; até aqui existe uma certa semelhança com o comportamento do transistor BJT normal. Também os JFET existem em duas polaridades: de **canal N** (similares aos transistores NPN) e de **canal P** (similares aos PNP).

Símbolos dos JFET de canal N e P, e correspondência (aproximada) com os transistores BJT.



CONTROLE SEM CORRENTE

A diferença fundamental entre os JFET e os BJT é que os primeiros são controlados pela **corrente** de base, ao passo que para os segundos também conta a tensão da porta.



A união, representada no símbolo por uma seta, está polarizada normalmente de forma inversa, o que significa que **não passa corrente** pela porta.

Além disso, na **ausência** de tensão na porta, passa corrente pelo canal, ao contrário do que acontece com os BJT normais.

Se aplicarmos uma tensão inversa à porta, por exemplo uma tensão negativa, no caso de um JFET de canal N tem-se um progressivo **vazamento** do canal, até ao seu bloqueio completo.

Se aumentarmos a polarização inversa (oposta à seta) na porta, reduz-se a corrente no canal até ficar anulada.

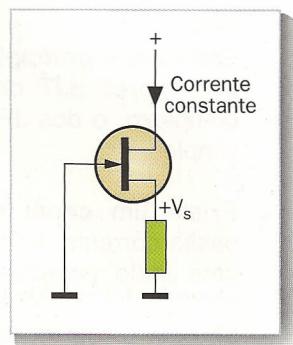


Polarização dos JFET

Pode-se fazer com que um JFET produza ele próprio a tensão inversa de que necessita

O circuito que aparece na figura é um **gerador de corrente constante** que, apesar da sua simplicidade, funciona perfeitamente.

Como não existe nenhuma tensão na porta e pelo canal passa corrente, ao atravessar a resistência R produz uma **tensão**. A origem torna-se positiva no que diz respeito à massa. No entanto, como a porta está com a massa, esta encontra-se **negativa** em relação à origem. É como se tivéssemos aplicado uma tensão negativa, que limita a corrente no canal (com um valor que depende do JFET).



Gerador de corrente constante do JFET: autopolariza-se, fazendo com que a porta seja negativa em relação ao canal.

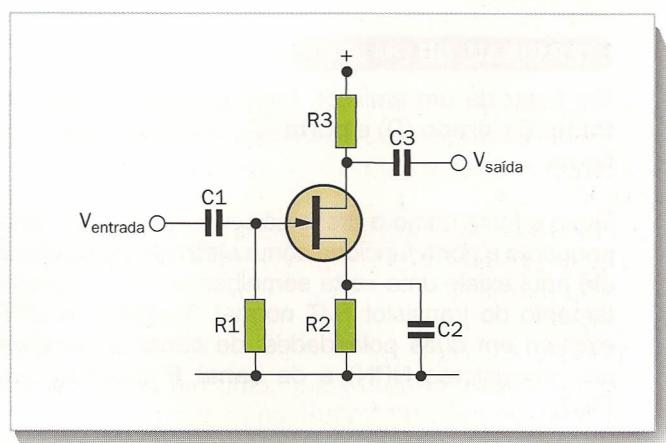
UM AMPLIFICADOR DE JFET

A figura mostra uma etapa amplificadora completa, parecida com o clássico circuito do **emissor comum** utilizado com os BJT (lição 11).

Do ponto de vista da corrente contínua, a porta está com a massa conforme o R1, pelo que a **polarização** é automática, como já foi explicado anteriormente.

Durante as semi-ondas positivas do sinal alternado que vai ser amplificado, a porta torna-se **menos negativa** em relação à fonte e a corrente no canal aumenta e vice-versa.

Amplificador de JFET; o sinal de entrada varia a tensão na porta, que controla a corrente no canal.



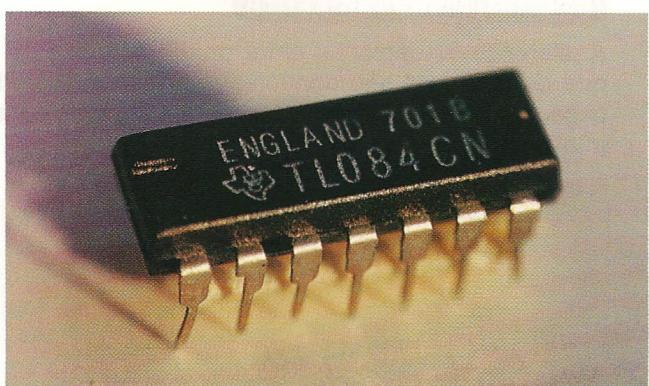
ALTA IMPEDÂNCIA

Como a porta não necessita de corrente, o circuito examinado tem uma **impedância de entrada** muito elevada: comporta-se, portanto, como uma resistência de alto valor (mas, na prática, a entrada apenas vê R1).

Pelo contrário, a **amplificação** é bastante baixa e a impedância da saída é relativamente alta, porque não pode proporcionar muita corrente à carga.

Os JFET são, portanto, adequados onde é necessário manter baixas as **correntes** em jogo, por exemplo para não danificar um sinal que vai ser amplificado.

Tanto os JFET como os BJT têm características de certo modo **complementares**, que os fazem ser adequados para trabalhos diversos, talvez até em partes diferentes do mesmo circuito.



Muitos amplificadores integrados utilizam o JFET na etapa da entrada, e o BJT nas etapas posteriores.

Transcondutância

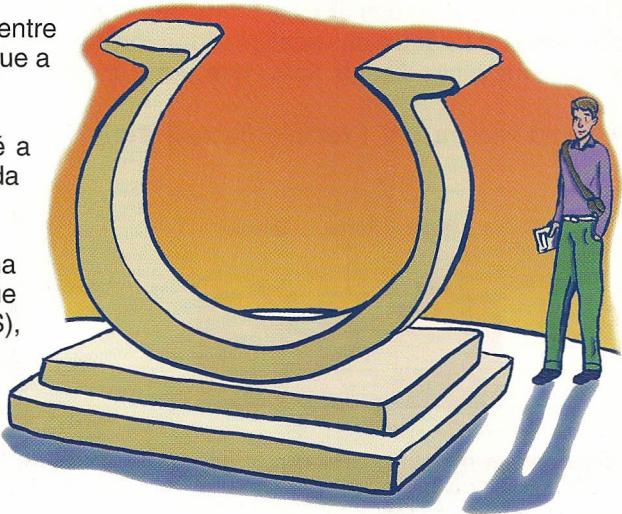
Um nome complicado para uma coisa tão simples: o ganho dos JFET

Nos transistores de união, ou BJT, o ganho é a **relação** entre uma variação da corrente do coletor e a variação da base que a provoca (lição 10).

Nos JFET, como não existe **corrente** na porta, o ganho é a relação entre uma variação da corrente (I) no canal e a da **tensão** (V) aplicada à porta.

Um I/V é o contrário de uma resistência; portanto, é uma **condutância**, ou melhor dito, uma transcondutância, porque o JFET está no meio a interferir; mede-se em Siemens (S), que são ohms invertidos ($1/\Omega$).

Se, por exemplo (em determinadas condições), quando se verifica uma variação da tensão da porta de 1 V, a corrente no canal varia também em 4 mA, sendo a transcondutância g de $4 \text{ mA} / 1 \text{ V} = 4 \text{ mS}$.



PROBLEMAS DE LINEARIDADE

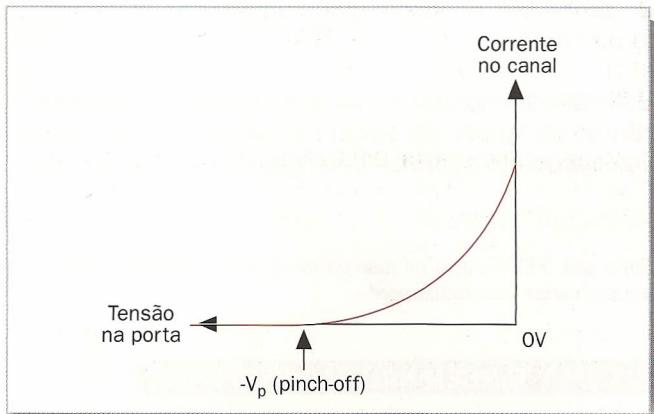
Se o sinal que está à entrada é amplo, o comportamento do JFET já não pode ser considerado linear. O **ganho varia** (como o que acontece com os BJT da lição 18), causando algumas distorções.

Quando a tensão inversa na porta supera um determinado valor (**pinch-off** ou cutoff), o canal é interrompido. A corrente baixa para zero e não responde a posteriores variações da própria tensão.

No extremo oposto, o canal não pode entrar na **condução** durante muito tempo, porque a união da porta nunca se polariza diretamente.

A curva não é linear: o ganho de um JFET varia conforme a corrente do canal.

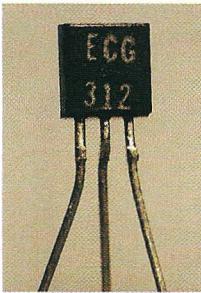
Se for necessário um comportamento linear, podemos adotar as técnicas de **realimentação** já descritas na lição 19.



UTILIZAÇÃO DOS JFET

Embora os JFET sejam utilizados como amplificadores onde for necessária uma **impedância alta** da entrada (ou seja, pouca absorção da corrente), também têm muitas outras aplicações.

São especialmente úteis como **interruptores** e também como **resistências variáveis**, como poderemos ver na próxima lição.



Além disso, os seus primos MOSFET são utilizados nos controles de **potência** e têm monopolizado praticamente a eletrônica **digital**.

Os JFET têm o aspecto de transistores normais: são reconhecidos apenas pelas siglas.

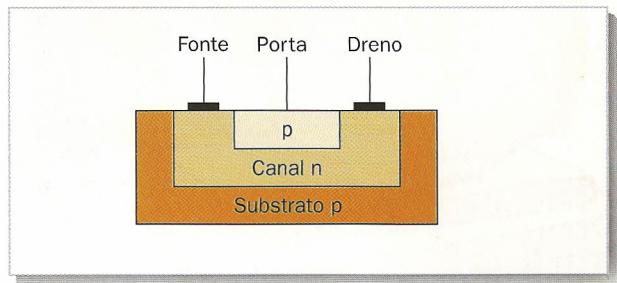


Construção e defeitos

Os JFET são fabricados de modo similar aos transistores BJT, num cristal de silício

O comportamento dos JFET é muito parecido com o dos **tubos de vácuo** ou válvulas termo-iônicas, mas a sua construção é mais típica dos semicondutores.

A figura mostra um exemplo de **estrutura** de um



JFET de canal N, que também pode ser parte de um complexo circuito integrado.

Vê-se nitidamente o **canal** (dopado N) que liga o dreno e a fonte com a porta (dopada P) no meio e a união correspondente.

Um JFET é teoricamente **simétrico**, mas na prática tanto a fonte como o dreno são construídas de maneira diferente para otimizar o comportamento na sua utilização normal (como acontece com os BJT).

Estrutura de um JFET de canal N visto por secção: comparando o primeiro e os BJT, a diferença reside em que nenhuma união separa a fonte e o dreno.

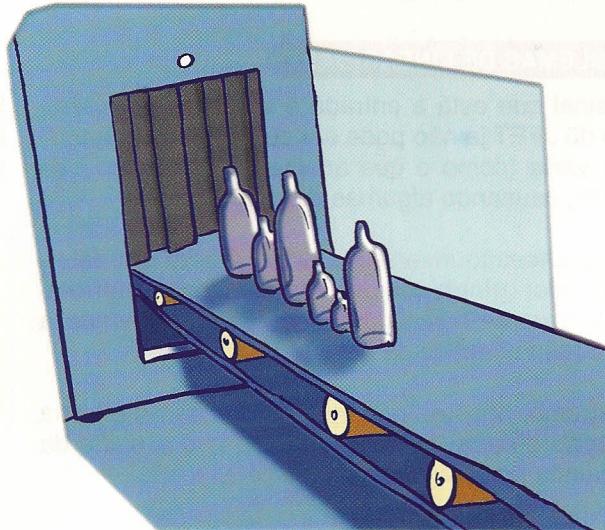
VARIABILIDADE DA PRODUÇÃO

Os JFET variam bastante entre cada exemplar do mesmo **modelo**, mais ainda do que acontece com os transistores de união.

Também altera, inclusive em vários volts, a **tensão de pinch-off**: a mesma que bloqueia completamente o canal.

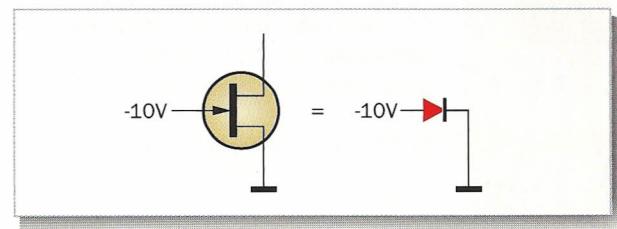
Este fato é importante, porque é o **ponto de referência** da tensão da porta: não importa tanto o seu valor absoluto como a diferença com a do pinch-off.

Entre um JFET e outro do mesmo modelo, as características podem variar acentuadamente.



OS JFET TAMBÉM NÃO SÃO PERFEITOS

Teoricamente, a corrente da porta é zero, mas na prática existe uma **mínima** corrente de perda, como acontece com um diodo que está inversamente polarizado (ver lição 8 de Componentes).



Além disso, é difícil obter uma **condução** perfeita do canal entre a fonte e o dreno, apenas comparável com a dos transistores BJT normais (entre coletor e emissor).

Os JFET têm a tendência para manter em qualquer caso uma certa **resistência**, que os torna inadequados para fortes correntes (o problema é menos notório nos MOSFET).

A corrente inversa da porta é muito baixa, normalmente por volta de nA, mas varia com a temperatura.



ADC

Para se poderem elaborar os sinais analógicos com circuitos digitais, é necessário convertê-los antes

Nos últimos tempos houve um crescimento explosivo da eletrônica **digital**, que apresenta numerosas vantagens no que diz respeito às técnicas analógicas (ver lição 1).

No entanto, muitos sinais são pela sua própria natureza **análogicos**: por exemplo, aqueles que representam o som, a temperatura, a velocidade, a pressão e, em geral, as medidas ou tamanhos físicos.

É necessário, portanto, fazê-los passar por um **conversor analógico-digital** ou ADC (Analog Digital-Converter), cuja saída seja aceita pelos circuitos lógicos de dois estados únicos.



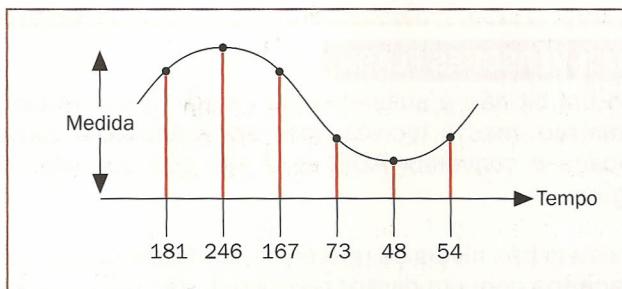
Os compact disc musicais gravam um sinal analógico (a música) em forma digital, ou seja, como se fossem grupos de bits.

AMOSTRA

Para converter um sinal analógico em forma digital **mede-se** o seu valor com intervalos regulares, obtendo assim uma série de números.

Cada um deles representa uma única amostra, mas quando formam um conjunto **descrevem** a forma do sinal, como a que se vê na figura.

O valor de cada um deles sai do conversor (ADC) em forma **binária** ou seja, como um grupo de bits, adequado para ser tratado por circuitos digitais.

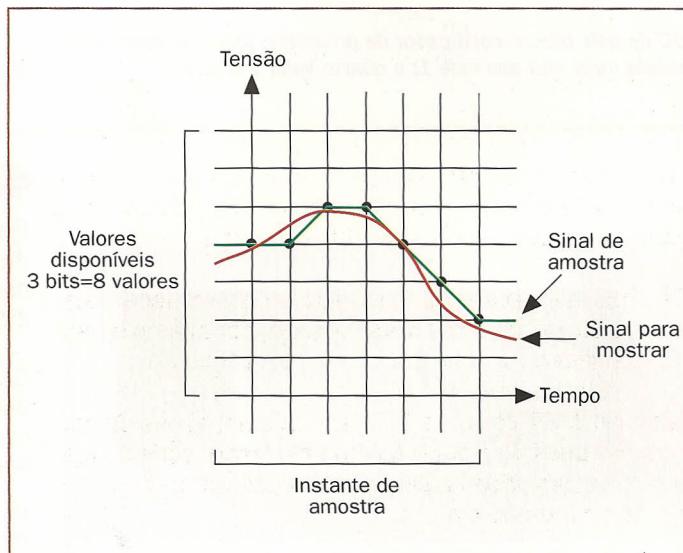


Amostra de um sinal analógico com intervalos regulares: resulta ser uma série de valores, mostrados aqui em forma decimal.

RESOLUÇÃO E FREQÜÊNCIA

O **número de bits** disponíveis determina a resolução de cada medida individual. Por exemplo, com 8 bits tem-se 256 possíveis valores, com 16 bits há 65.536.

Cada medida analógica está obrigatoriamente **quantificada**, ou seja, aproximada ao valor mais próximo disponível: quantos mais bits houver, mais fielmente representará o número binário o valor original. Também a **frequência de amostragem** é importante. Quantas mais medidas forem tomadas, melhor a série de números binários que descreve a forma do sinal analógico.



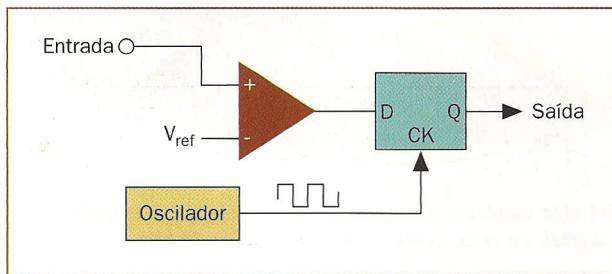
Cada medida aproxima-se do valor mais próximo disponível no momento em que é efetuada a amostra.



Conversão direta

Os métodos diretos são muito rápidos, mas o seu custo eleva-se rapidamente ao aumentar a resolução requerida

A figura mostra um conversor analógico-digital de **um bit!** Não é mais do que um comparador que, como já foi explicado na lição 14, tem um (H) à saída no caso de a entrada positiva superar a negativa.



Se, por exemplo, a entrada analógica puder variar entre o 0 e o 4 V, também se pode aplicar à entrada negativa uma tensão de **referência** de 2 V, isto é, o valor médio. Quando a **tensão à entrada**, quer dizer, o valor do sinal, é inferior ao valor de referência, a saída vale zero (L); caso contrário vale um (H).

O flip-flop do tipo D, que é controlado por um relógio de freqüência constante, armazena este valor com **intervalos regulares**, obtendo um valor digital que varia somente na transição do relógio.

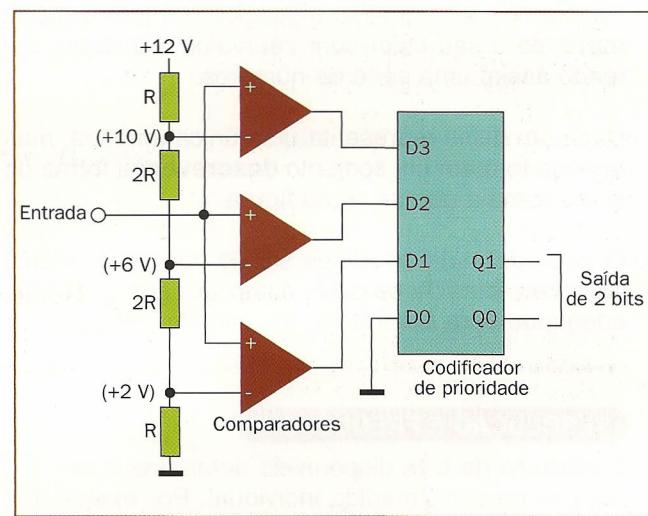
ADC de um bit, realizado com um comparador e um flip-flop.

CONVERSORES FLASH

Só um bit não é suficiente para medir um sinal com precisão, mas a técnica pode ser **estendida**, como mostra o conversor ADC de 2 bits que aparece na figura.

Existem três níveis de referência, **uniformemente espaçados** com um divisor resistivo, e três comparadores, cujas saídas vão para um codificador de prioridade (ver lição 9). Esta técnica é **muito rápida** (é por isso que se chama Flash), mas necessita de muitos comparadores: 255 para uma resolução de 8 bits; portanto, é utilizada onde for necessária uma elevada freqüência de amostragem.

ADC de dois bits: o codificador de prioridade indica o número da entrada mais alta que vale 1; o quarto valor é zero.



TENSÃO DE REFERÊNCIA

Entre os numerosos fatores que influem na **precisão** de um ADC, é muito importante a tensão de referência aplicada às entradas dos comparadores, produzida num circuito especial.

Esta tensão deve ser o mais **precisa e estável** possível, especialmente se o conversor tiver uma resolução elevada. O mais pequeno erro pode causar uma leitura errada.

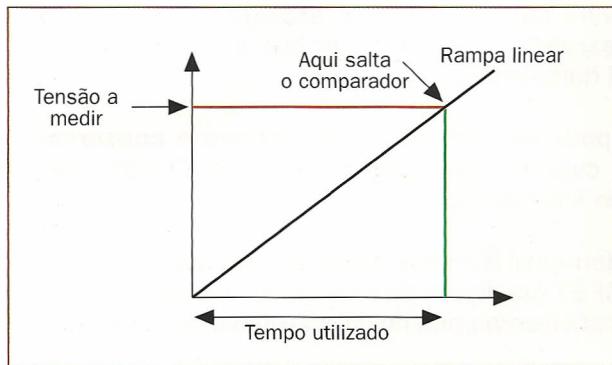
Os modernos ADC reúnem a parte analógica, a digital e a tensão de referência num único chip.



ADC de alta tensão

As técnicas de conversão mais exatas requerem tempos relativamente longos

Existe um sistema de conversão inteiramente diferente dos outros e que consiste em produzir uma **rampa**,



isto é, uma tensão que sobe linearmente no tempo, e medir o que se utiliza para poder alcançar o nível do sinal.

O **tempo** utilizado, que pode ser medido, por exemplo, por um contador ligado a um oscilador, é proporcional à tensão do sinal que vai ser medida.

Na prática utilizam-se sistemas mais complexos para reduzir os erros (por exemplo, uma rampa dupla), mas o princípio permite **resoluções** elevadas, embora ao preço de um tempo de conversão bastante longo.

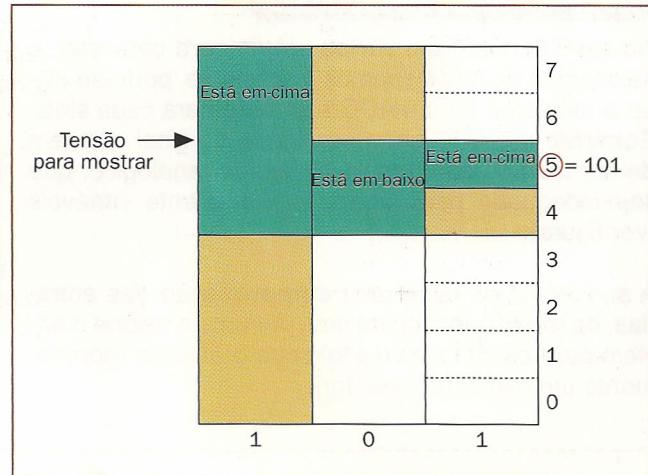
Num conversor de rampa, mede-se o tempo necessário para que a rampa alcance o sinal.

APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS

Uma das técnicas mais refinadas consiste em **produzir** um sinal analógico ao ponto médio dos valores possíveis, decidindo, através de um comparador, se o sinal que aparece à entrada está por cima ou por baixo deste valor. Se restringirmos **ao meio** o campo de medida, produz-se um sinal que aparece no meio do campo novo, comparando-se com a entrada, e assim sucessivamente (ver figura).

O mais interessante desta técnica é que cada medida produz diretamente um **bit** do valor da saída, a partir do que é mais significativo. É também razoavelmente rápida.

Princípio da aproximação sucessiva: em cada medida divide-se o campo ao meio e obtém-se um bit do resultado.

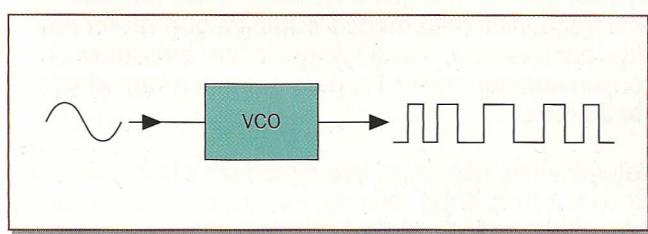


CONVERSÃO TENSÃO/FREQUÊNCIA

Em algumas situações pode ser útil utilizar um sistema completamente diferente: um **oscilador** cuja freqüência depende da tensão aplicada (VCO: Voltage Controlled Oscillator, oscilador controlado pela voltagem).

É um sistema prático e econômico se o valor for **transmitido** tanto por fios como por rádio, mas a saída não

pode ser utilizada imediatamente: antes é necessário medir a freqüência do sinal digital.

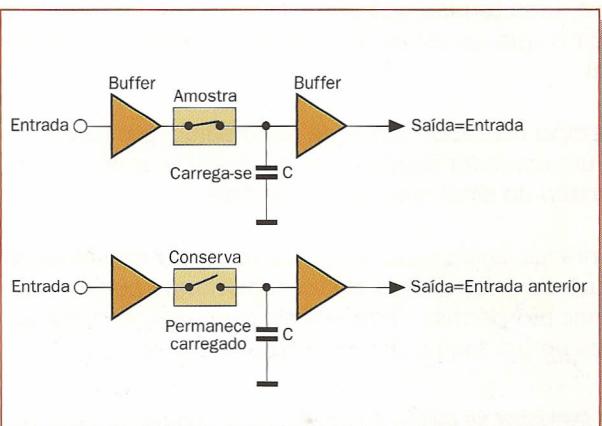


Conversor tensão/freqüência: alguns sensores incorporam-se dispositivos similares (como, por exemplo, de temperatura).



Melhorar a conversão

Se o sinal varia durante a conversão, o valor à saída pode resultar errado



Princípio da amostra e conservação: o sinal da entrada, que está reforçado com um buffer para não causar interferências, carrega um capacitor.

MULTIPLEXAÇÃO ANALÓGICA

No caso de existirem **vários sinais** para converter, e se o tempo de que dispomos é suficiente, pode-se evitar a utilização de um ADC separado para cada sinal. **Somente** um ADC pode ser ligado ao sinal que tem de ser medido com um multiplexador analógico, que seja adequado para sinais continuamente variáveis (ver figura).

A seguir vamos fazer uma **comprovação** das entradas, de modo que meçam uma por uma o valor e o enviem para os circuitos digitais que o utilizam (normalmente um microprocessador).

FREQÜÊNCIA DE NYQUIST

A **freqüência de amostra** é importante: se, por exemplo, à entrada de um ADC aparece uma onda senoidal (como um som), existe uma freqüência mínima sob a qual se perde.

Nyquist demonstrou que é necessário dar amostras a uma freqüência **pelo menos dupla** da que vai ser medida: por exemplo, um CD de áudio tem amostras com aproximadamente 44 KHz para garantir a reprodução até 20 KHz.

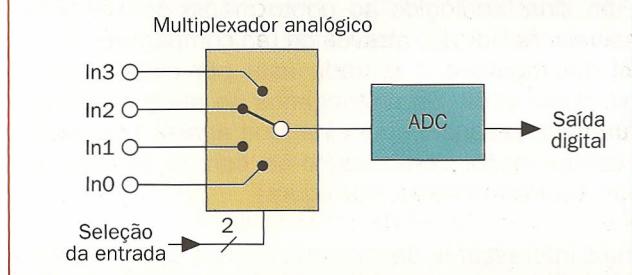
Naturalmente, não se poderá reproduzir a forma de onda com a freqüência referida, mas pelo menos a **fundamental** (ver lição 16 de Analógica) estará presente.

Os ADC, especialmente os de maior resolução, requerem um certo **tempo** para efetuar a conversão.

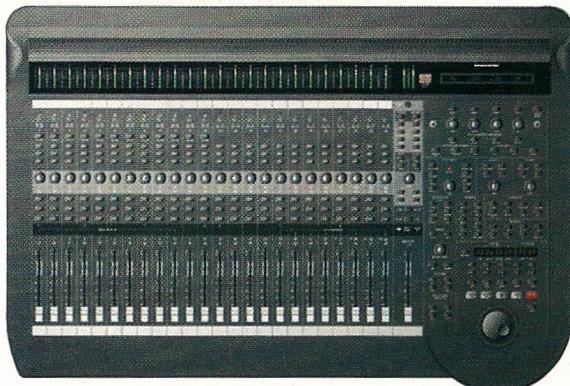
Convém fotografar o sinal analógico, isto é, ler e **conservar** o valor de modo que se mantenha estável durante toda a operação.

Isto pode ser feito com uma **amostra e conservação**, cujo princípio aparece na figura. O sinal analógico é armazenado em um capacitor.

O interruptor é normalmente um **transistor FET** ou MOSFET (ver lições de Analógica), que algumas vezes está incorporado no próprio conversor integrado.



Um multiplexador analógico funciona como um comutador: escolhe o sinal que vai ser ligado à sua saída.



Os processos de áudio já conseguem ser desenvolvidos exclusivamente sobre o sinal digital, depois da conversão com um ADC.



Dados de um JFET

O 2N5484 é um exemplo de um transistor de efeito de campo do canal N que serve para uso genérico

A tensão máxima entre uma porta e uma fonte (V_{GS} , ver figura) é apenas a tensão de rotura da única união porta-canál, como se esta fosse um diodo normal.

Na medida em que a fonte e o dreno estão ligados pelo canal, a tensão de rotura entre o dreno e a porta (V_{DG}) é normalmente idêntica à V_{GS} ; a polaridade indicada é oposta porque é vista do outro lado.

Límites máximos absolutos para o JFET 2N5484, para além dos quais o dispositivo pode danificar-se.



O I_{PA} indica qual é a corrente máxima suportável pela união, no caso improvável de que esta última seja polarizada diretamente. A corrente que passa pelo canal está, no entanto, limitada pela dissipação permitida.

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidades
V_{DG}	Voltagem do dreno-porta	25	V
V_{GS}	Voltagem da porta-fonte	-25	V
I_{GF}	Corrente direta da porta	10	mA
T_J, T_{stg}	Qualidade da temperatura da união operativa e de armazenamento	-55 a +150	°C

CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS

A **corrente inversa** da porta (I_{GSS} na figura) é apenas de 1 nA, mas aumenta mais de 200 vezes a temperatura ambiente de 100 °C.

A importante **tensão de cutoff** ou pinch-off, $V_{GS(off)}$, varia muito de um exemplar para outro: de 0,3 V até 3 V; outras versões (2N5485, 2N5486) são selecionadas por diferentes tensões de cutoff.

Também a corrente que passa na

Os dados mostram uma importante variabilidade das características: o projetista deve ter em conta esta questão.

ausência da tensão da porta, isto é, com $V_{GS}=0$, varia consideravelmente, como se pode ver pelo dado associado (I_{DSS}).

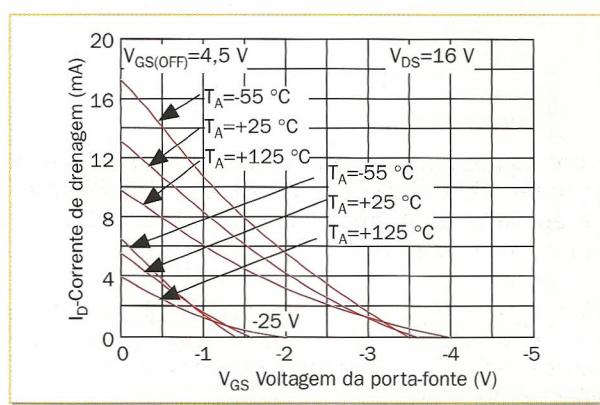
Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Min.	Tip.	Máx.	Unidades
CARACTERÍSTICAS DESLIGADO						
$V_{(BR)GSS}$	Voltagem da rotura porta-fonte	$I_G = -1.0 \mu A, V_{DS} = 0$	-25			V
I_{GSS}	Corrente inversa da porta	$V_{GS} = -20 V, V_{DS} = 0$ $V_{GS} = -20 V, V_{DS} = 0$ $T_A = 100 ^\circ C$			-1.0 -0.2	nA μA
$V_{GS(off)}$	Voltagem de cutoff da porta-fonte	$V_{DS} = 15 V, I_D = 10 nA$	-0.3		-3.0	V
CARACTERÍSTICAS LIGADO						
I_{DSS}	Corrente de drenagem com voltagem da porta zero	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0$	1.0		5.0	mA

DADOS NA FORMA GRÁFICA

O gráfico mostra a **característica de transferência** do 2N5848, isto é, a corrente no canal conforme a tensão da porta (à semelhança da tensão entre desgaste e origem: 15 V).

As três curva de cima descrevem o comportamento de um exemplar que tenha 4,5 V como **tensão de cutoff**, enquanto as abaixo de um que tenham 2,5 V, na prática, são as mesmas desviadas para a esquerda.

A **corrente** máxima é obtida com a porta ligada à origem ($V_{GS}=0$) ao passo que com a tensão de cutoff passam somente 10 nA (por definição nos dados); a temperatura tem um efeito notável.



Corrente no dreno conforme a tensão da porta: depende tanto do exemplar como da temperatura.



Transdutância e resistência

Outros dados úteis de um JFET: o seu ganho e o controlo da resistência do canal

A figura mostra como a **transdutância** (condutância de transferência direta) g_{fs} é menos variável do que os outros parâmetros, e no conjunto, menos do que o beta de um transistor BJT típico.

A unidade de medida utilizada nestes dados é o **Siemens**, que, como já dissemos anteriormente, é a unidade de medida da condutividade ou o oposto da resistência.

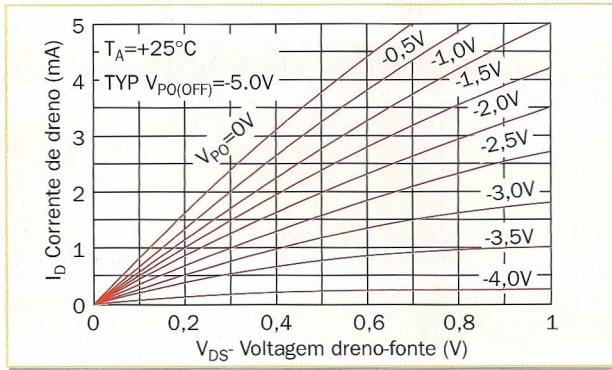
Ganho com baixa freqüência (1 KHz) e com alta freqüência (100 MHz) e capacitâncias parasitas do 2N5484.

Para **altas freqüências**, onde os JFET são bastante utilizados, o valor mínimo garantido $R_e(Y_{fs})$ é em todo o caso bastante bom, mas o projetista deve ter muita atenção com as capacitâncias relativamente altas.

Símbolo	Parâmetro	Condições do teste	Min.	Tip.	Máx.	Unidades
g_{fs}	Condutância direta de transferência	$V_{DS} = 15, V_{GS} = 0$ $f = 1.0 \text{ KHz}$	3000		6000	μmhos
$R_e(Y_{fs})$	Condutância da entrada	$V_{DS} = 15, V_{GS} = 0$ $f = 100 \text{ MHz}$			100	μmhos
C_{iss}	Capacitância da entrada	$V_{DS} = 15, V_{GS} = 0$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		5.0		pF
C_{rss}	Capacitância de transferência inversa	$V_{DS} = 15, V_{GS} = 0$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		1.0		pF
C_{oss}	Capacitância de saída	$V_{DS} = 15, V_{GS} = 0$ $f = 1.0 \text{ MHz}$			2.0	pF

ZONA LINEAR

A figura mostra como se altera a **corrente** no canal ao variar a **tensão** aplicada entre os dois extremos (drenagem e fonte), com uma tensão porta-origem fixa.



nagem e fonte), com uma tensão porta-origem fixa.

Cada curva mostra o comportamento **numa determinada tensão** da porta, sempre acompanhada com a referência de um exemplar que tenha 5 V como tensão de cutoff.

O trajeto **retilíneo** na zona próxima ao zero indica que a corrente é proporcional à tensão aplicada, na medida em que o JFET se comporta como uma resistência (ver lição 23 de Analógica).

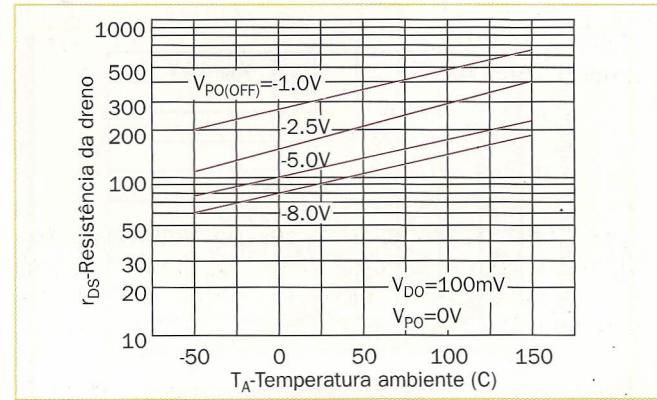
Para tensões muito baixas nos extremos do canal, o JFET é uma resistência cujo valor depende da tensão da porta.

EFEITOS TÉRMICOS

Na figura vê-se como a **resistência** do canal na condução completa (quer dizer, com 0 V na porta) depende do exemplar, e precisamente da sua tensão de cutoff $V_{GS(off)}$.

Além desta dependência das amplas tolerâncias da produção, o efeito da **temperatura** é especialmente importante, tornando o JFET pouco prático onde se necessite de estabilidade térmica.

Em compensação, como a resistência aumenta com a temperatura, a corrente e o aquecimento que provoca diminuem: o JFET tem tendência a **autoproteger-se**, pelo menos parcialmente.



A resistência do canal varia tanto de um exemplar para outro como acontece com a temperatura.

Dados de um ADC

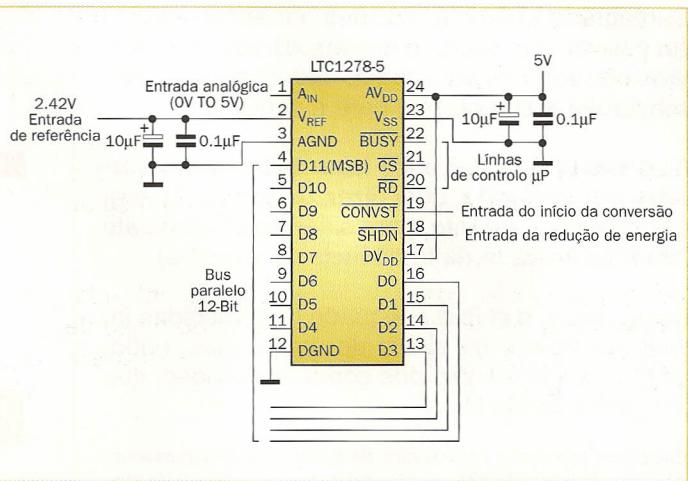
Um moderno conversor analógico-digital contém também todos os circuitos complementares

O circuito integrado LTC1278 (Linear Technology) inclui um ADC de 12 bits, uma amostra e conservação, um gerador de tensão de referência e um oscilador digital para uso interno.

A figura mostra como deve ser utilizado: aplica-se o sinal analógico a um terminal de 1 (A_{IN}), e lê-se o valor digital sobre os 12 bits da saída (DO..D11).

Se o sinal analógico for bipolar, quer dizer, também puder ser negativo, tem de se ligar V_{SS} a uma alimentação negativa (-5 V) no lugar onde está a massa.

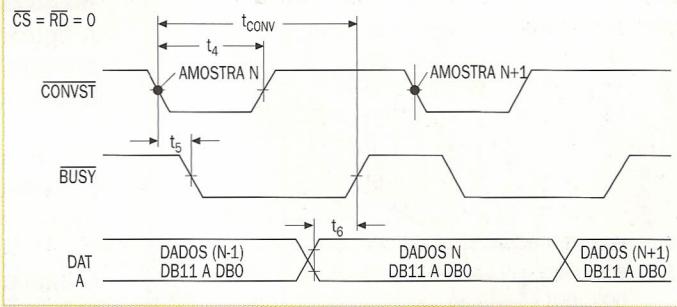
O esquema de aplicação de um ADC completo com o LTC1278 é muito simples: o A_{IN} (terminal 1) é a entrada analógica.



SEQUÊNCIA DE CONVERSÃO

As entradas \overline{CS} (seleção do chip) e \overline{RD} (leitura ou ativação da saída) permitem uma cômoda ligação com um microprocessador; para uma simples conversão podem-se manter sempre ativos, quer dizer, para a massa.

A conversão não é automática pois inicia-se com uma descida frontal na entrada CONVST (início da conversão): a saída BUSY baixa para indicar que o ADC está ocupado. Quando o BUSY sobe de novo, o dado está preparado nas saídas digitais; a figura continua com o procedimento na forma de temporização dos sinais.



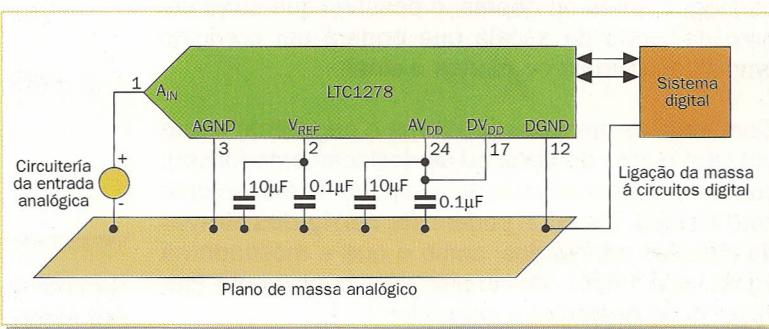
Pondo o CONVST a zero H->L) inicia-se a conversão, e a subida do BUSY (L->H) indica que está terminada.

SEPARAR A ALIMENTAÇÃO E A MASSA

Como 12 bits dão 4.096 combinações, o conversor tem uma resolução de $5\text{ V} / 4.096 = 1.22\text{ mV}$ aproximadamente, quer dizer, indica que pode medir variações desta grandeza.

Para evitar interferências, é sempre útil separar a alimentação e a massa da parte digital (por vezes eletricamente ruidosas) que vêm da delicada secção analógica.

Disposição sugerida para a montagem: as correntes analógicas circulam para a esquerda e as digitais para a direita.





Tempos e erros

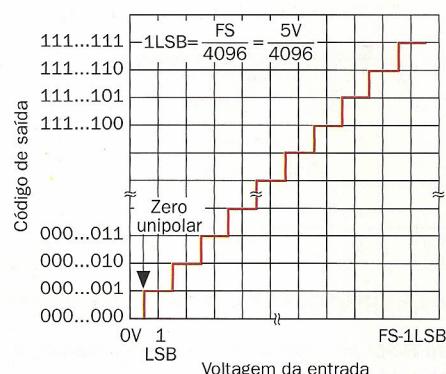
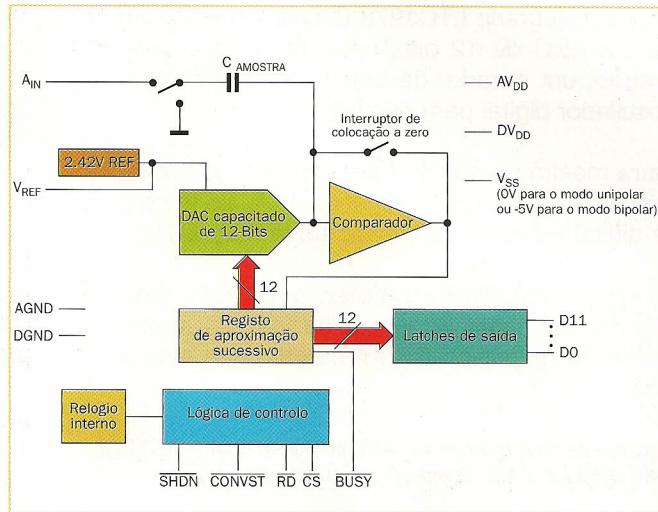
Para a avaliação de um ADC é necessário examinar numerosos fatores

O integrado LTC1278 funciona por aproximações sucessivas (ver lição de Analógica), sendo assim, leva um determinado **tempo** até completar uma conversão e preparar-se para a seguinte.

A versão LTC1278-5 pode fazer 500.000 **conversões por segundo**, quer dizer, uma cada 2 μ seg, e é indicada, portanto, para sinais analógicos até 250 KHz (metade da freqüência da amostra).

Deste modo, o chip é adequado para medidas industriais típicas ou sinais de áudio, mas inadequado para sinais **rápidos** como os de vídeo, que chegam a vários MHz.

Estrutura interna: o registrador de aproximação sucessiva contém a lógica digital; a amostra e conservação é de tipo especial.



LINEARIDADE

A figura mostra o **comportamento ideal** do DAC com entrada unipolar, de 0 V a +5 V: na horizontal está a tensão da entrada e na vertical o valor digital à saída.

Realmente, os **degraus** da escada não são perfeitos e podem-se produzir inversões: a tensão na entrada aumenta, mas o valor digital diminui.

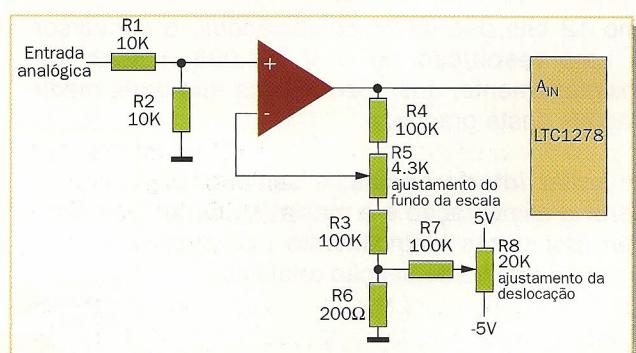
O circuito LTC1278 acusa um **erro de linearidade** muito baixo: ± 1 LSB ao máximo: isto significa que se o valor correto é de 3.042, a saída poderá indicar 3.041 a 3.043.

Característica da transferência ideal do valor analógico (horizontal) para o digital com 12 bits (vertical).

FUNDO DA ESCALA E DESLOCAMENTO

A saída digital deveria atingir o máximo de (1111 1111 1111) com cerca de 4,998 V à entrada; se o conseguir antes ou depois, é possível que surja um **erro de fundo da escala** que poderá ser corrigido amplificando mais ou menos o sinal.

Com tensões bipolares (positivas e negativas) existe também o **erro do zero**, ou de deslocamento (offset): com zero volts à entrada não se pode ler exatamente zero à saída. Os erros podem ser **corrigidos** através de circuitos adequados, como o que é mostrado na figura, que utiliza um amplificador operacional (ver lição 33 de Analógica e seguintes).



Correção do erro de fundo da escala e do deslocamento sobre o zero (ajuste do deslocamento) para a máxima precisão.



Amplificadores de áudio

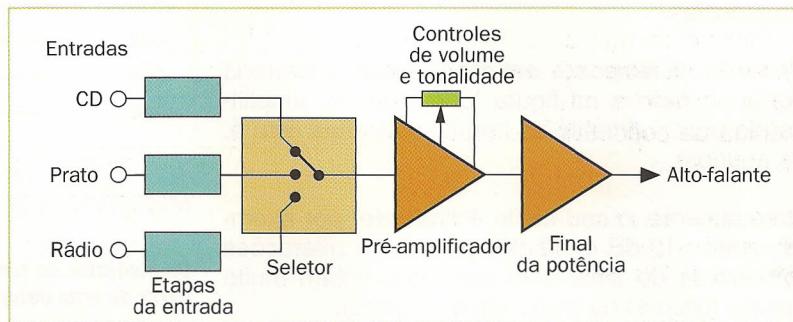
Observemos algumas das soluções de circuitos utilizadas nestes dispositivos

“O compacto”, que é um típico amplificador de alta fidelidade, está composto por várias **partes** totalmente diferentes, como se pode ver na figura. Nos modelos mais caros, alguns componentes estão fisicamente separados.

O **seletor**, ou comutador, escolhe a entrada (por exemplo, o leitor de CD, o rádio, o gravador) que vai ser ligada a um **pré amplificador** que, para além de ampliar, também permite regular o volume e a tonalidade. A saída do pré amplificador vai para a etapa final

Esquema dos blocos de um amplificador com áudio incorporado, quer dizer, com o pré amplificador incluído.

da potência, que amplifica a tensão e a corrente com um nível adequado para os alto-falantes. Tudo está em duplicado para os canais direito e esquerdo.



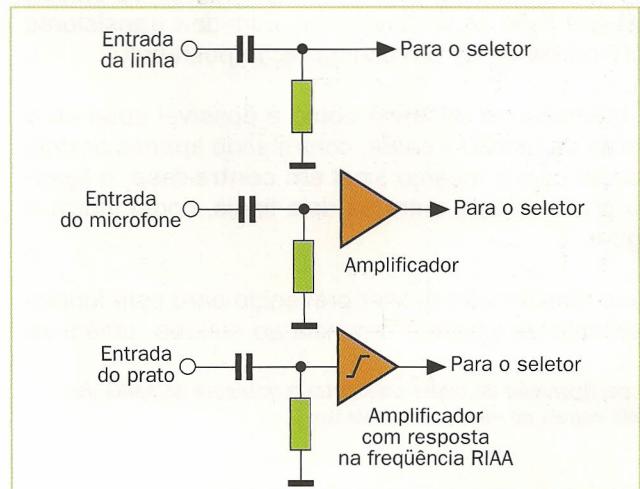
NÍVEIS DA ENTRADA

As entradas de linha como o CD, rádio, AUX (auxiliar) ou fita, deixam simplesmente passar o sinal sem causar nenhuma alteração à parte da **amplitude**.

A **sensibilidade** é o nível normal do sinal, por exemplo 150 mV; indica-se também a impedância da entrada, quer dizer, a resistência que apresenta o sinal, por exemplo 47 KΩ.

A entrada para o **microfone** é muito mais sensível (poucos mV), ao passo que a entrada phone para os antigos toca-discos ou pratos amplifica de forma diferente as diversas freqüências.

Este fato deve **compensar** a técnica de gravação e o comportamento da cabeça de leitura do prato para as distintas freqüências, conforme a curva da resposta já predefinida (RIAA).



Etapas da entrada para os diferentes dispositivos: as entradas de linha entram diretamente.

CONTROLE DE VOLUME

O controle de volume pode ser um simples **potenciômetro** (logarítmico, ver lição 3 de Componentes) que permite enviar para a etapa seguinte apenas uma parte do sinal.

Estão muito difundidos os controles do tipo **digital**, que utilizam resistências fixas e interruptores analógicos (ver lição 23 de Analógica) para substituir os contatos dos potenciômetros.



Controle de volume digital: não tem partes mecânicas e é silencioso e forte (existe também a versão com botão de comando).



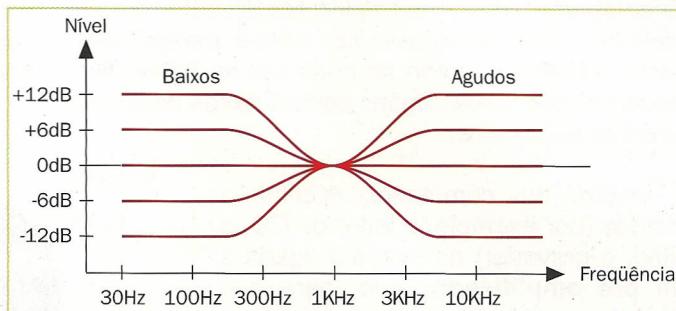
Tons e etapa final

Uma vez estabelecido o nível do sinal, este é amplificado para proporcionar potência ao alto-falante

Os **controles de tonalidade** obtêm-se normalmente quando se atua sobre a realimentação (ver lição 19 de Analógica) do pré-amplificador, de modo que possa variar o ganho a diferentes freqüências.

Portanto, a **resposta em freqüência** é alterada como se mostra na figura, por exemplo, amplificando principalmente as freqüências altas (isto é, os agudos).

Normalmente, o seu efeito é **limitado**, por exemplo entre +12 dB e -12 dB, para evitar alterações excessivas do sinal com sons que sejam muito graves (baixos) ou muito agudos (altos).



Os controles de tonalidade aumentam ou reduzem a amplificação a partir de uma determinada freqüência.

ETAPA FINAL

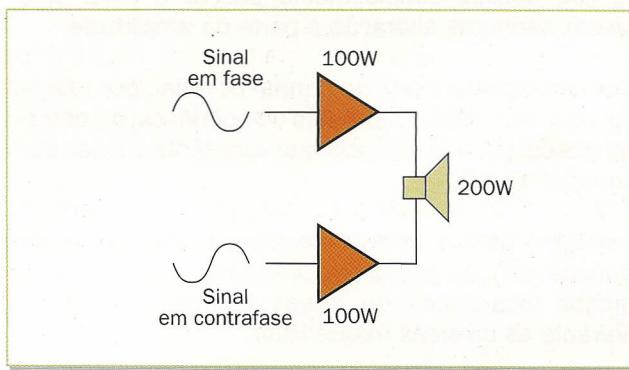
A etapa final de potência é normalmente da **classe AB** (ver lição 18 de Analógica), com dois transistores BJT ou MOSFET em configuração push-pull.

É interessante observar como é possível obter-se o dobro da tensão à saída, controlando apenas os dois canais com o mesmo sinal **em contra-fase**, e ligando o alto-falante entre os dois finais, como indica a figura.

- Se o amplificador estiver prevenido para este funcionamento **de ponte** e renuncia ao estéreo, obtém-se

A configuração de ponte concentra a potência da saída dos dois canais no mesmo alto-falante.

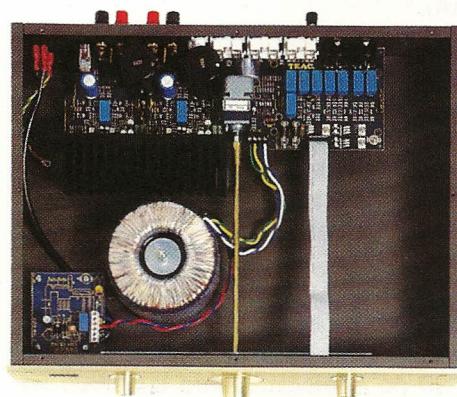
o dobro da potência num único alto-falante (que deverá ter uma impedância dupla).



ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação utiliza freqüentemente **capacitores eletrolíticos** de grande capacidade, de modo que possa proporcionar energia suficiente durante os picos do sinal. Para evitar **auto-oscilações**, que de certo modo poderiam destruir os tweeter das caixas acústicas, a alimentação do pré-amplificador é filtrada com precisão.

O zumbido existente na freqüência da rede é reduzido ao mínimo através de **transformadores toroidais** (com baixo campo magnético disperso) e estudando com muita atenção as trajetórias da massa.



No interior de um amplificador observam-se tanto o transformador toroidal como os capacitores eletrolíticos de filtro.



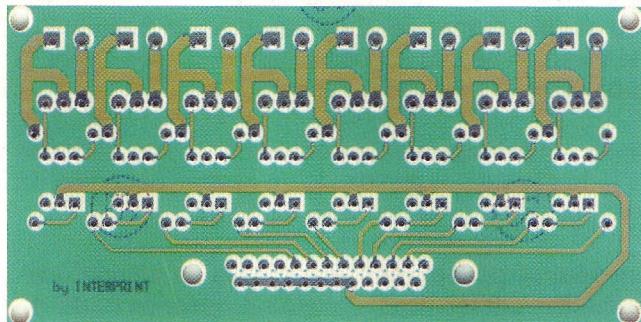
Circuitos impressos

Queremos apresentar agora uma primeira panorâmica sobre estes componentes fundamentais de qualquer projeto eletrônico

Um circuito impresso (c.i. ou PCB: printed circuit board, placa de circuito impresso) é formado por um **suporte isolador** que pode ser de baquelite, no qual se depositam **trilhas condutoras**, que são normalmente de cobre.

As trilhas terminam em **pontos terminais** que são normalmente circulares, por cujo centro passa o terminal do componente através de um orifício especial.

A solda de estanho **une**, tanto mecânica como eletricamente, o terminal à pista de cobre, que faz as vezes de fio de transporte da corrente até aos outros componentes.



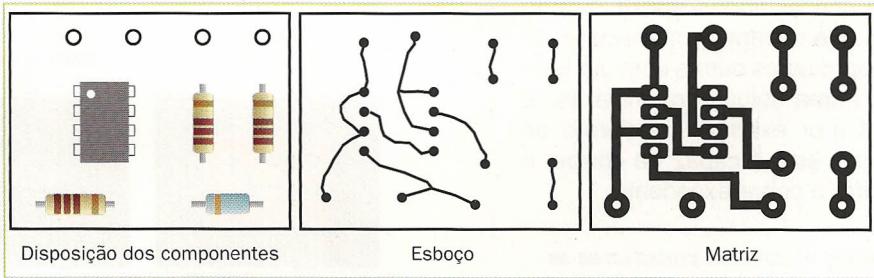
Um circuito impresso permite ligações seguras, corretas e que podem ser repetidas na produção em série.

FASES DO PROJETO

Para desenhar um circuito impresso, tem de se partir do esquema elétrico e desenhar uma primeira **disposição** dos componentes.

Realiza-se depois um **esboço** do desenho das trilhas que deverão ligar os diferentes componentes; esta é a fase mais complexa, embora já possam, em parte, ser automatizadas.

Fases do projeto de um circuito impresso: disposição dos componentes, esboço e matriz.

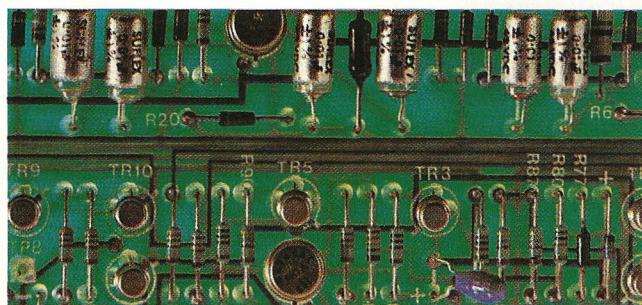


A partir deste momento realiza-se a **matriz**, isto é, a imagem exata do circuito, que depois será utilizado para produzi-lo, com técnicas diferentes no campo artesanal e também no profissional.

NÚMERO DE ESTRATOS

Os circuitos artesanais são quase sempre de uma **única face**, isto é, com o cobre apenas num dos lados; as trilhas de cobre encontram-se no lado oposto à dos componentes. Profissionalmente, é muito utilizado o sistema de **dupla face**, na qual há trilhas pelos dois lados e os furos são **metalizados** para permitirem ligações entre ambas.

Para os circuitos mais complexos, especialmente no campo digital, utilizam-se circuitos de **várias camadas (multi-layers)**: por exemplo duas camadas (layer) para as ligações, uma para cada alimentação e outra para a massa.



Circuito impresso de dupla face; o material permite ver as trilhas do outro lado, ligadas através dos orifícios dos terminais.



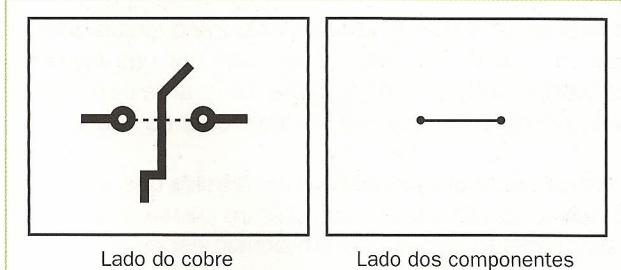
Realização

Os circuitos impressos de uma única face podem ser produzidos com bastante facilidade

Nos circuitos impressos de uma única face as trilhas não podem **cruzar-se**. Este fato dificulta bastante, e até mesmo chega a impossibilitar em muitos casos, o trabalho de disposição e esboço.

Deste modo recorre-se a **pontes** de fio que, situadas no lado dos componentes, ligam os dois extremos da pista, saltando uma por cima da outra.

Também se podem **realizar** circuitos de complexidade média com técnicas artesanais, evitando o uso de dupla face ou de furos metalizados que os atravessam de um lado ao outro.



Ponte de ligação para cruzar trilhas num circuito ou dupla face, vista pelos dois lados.

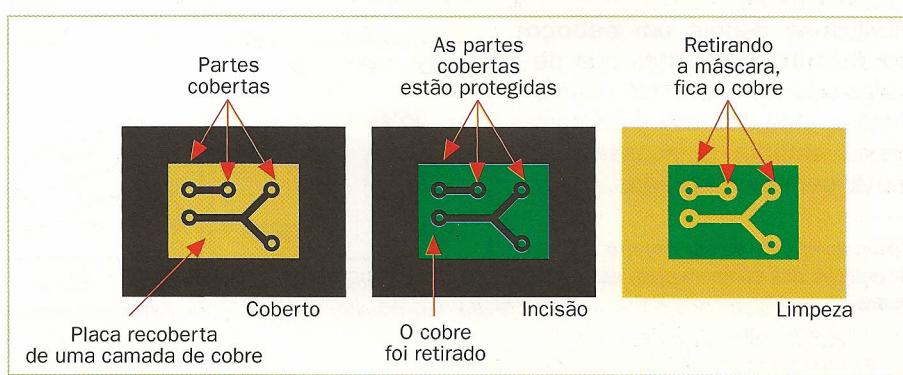
INCISÃO

A técnica clássica da realização requer uma placa já **recoberta de cobre** por um dos lados. Trata-se de tirar o cobre que já não serve, deixando apenas trilhas e pontos terminais.

É possível cobrir também, como veremos, através de procedimentos **fotográficos**; para uma ou duas peças pode mesmo ser aceitável desenhar diretamente sobre o cobre com transferíveis ou lápis especiais.

Se conseguirmos **cobrir** as partes que devem permanecer e eliminarmos as outras com um banho numa solução química especial (por exemplo percloroeto de ferro), este é capaz de corroer e retirar o cobre excedente.

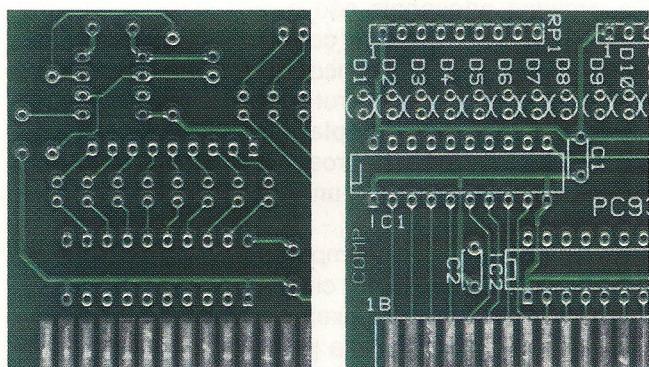
Incisão do circuito: protegem-se as partes onde deve permanecer o cobre, e depois retira-se o resto com uma solução corrosiva.



PROCESSOS FINAIS

Depois de terminada a incisão retira-se a proteção das trilhas e realiza-se os **orifícios** no centro dos pontos terminais, pelos quais deverão passar os terminais dos componentes. Nos circuitos profissionais, quando se chega a este ponto acrescenta-se uma camada de **proteção** que cobre todas as trilhas e deixa apenas descobertos os pontos terminais ou outras zonas nas quais se deverá aplicar soldas.

Finalmente, podem-se acrescentar textos e desenhos, por exemplo, a posição e os valores dos componentes, com uma operação de **serigrafia**. O circuito impresso está terminado e pronto para a montagem.



No circuito impresso já terminado, executam-se freqüentemente dois tratamentos posteriores: proteção e serigrafia.



Talk-over

Um misturador automático para inserir a voz sobre outro sinal

Com o nome de talk-over - literalmente traduzido como “falar em cima” - é identificado um dispositivo eletrônico quase desconhecido para os desentendidos, mas muito útil numa **mesa de controle** de áudio.

Consegue realizar a **sobreposição automática** de duas fontes de som como, por exemplo, os comentários do disk-jockey sobre o fragmento musical que está sendo escutado.

Em geral, torna-se prático cada vez que um comentário oral deva ser sobreposto a uma **base** musical (ou mesmo falada), sem intervenção do operador.



PRIORIDADE DA VOZ

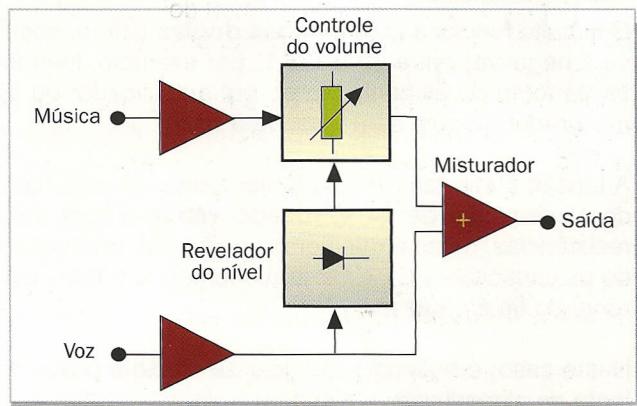
Se utilizarmos um **misturador** normal com dois potenciômetros, um para a música e outro para a voz, será necessário baixar o volume do primeiro quando se comece a falar.

Para evitar esta incomodidade, que também se traduz numa mistura imperfeita à mínima distração, pode-se controlar o potenciômetro com **o mesmo sinal** da voz.

Deste modo, o **volume** da voz já não é aumentado, o da música reduz-se automaticamente, realizando-

Princípio do funcionamento do talk-over: o nível do sinal vocal controla o do sinal musical.

se assim uma mistura perfeita, sem nenhuma intervenção manual.



O talk-over permite a mistura automática: quando se fala pelo microfone, a música baixa sozinha.

APLICAÇÕES

A utilização mais óbvia do dispositivo consiste naturalmente em **falar sobre** um fragmento musical, por exemplo, durante uma festa, fazendo com que a voz nunca esteja tapada pela música.

Habitualmente, na televisão pode-se observar o uso que se faz deste dispositivo para substituir a voz original com a sua **tradução simultânea**, isto é, no tempo real.

De fato, não é necessário que o sinal prioritário (isto é, aquele que atenua o outro) seja precisamente uma voz. Por exemplo, pode-se realizar uma **dissolução automática** entre dois fragmentos musicais.



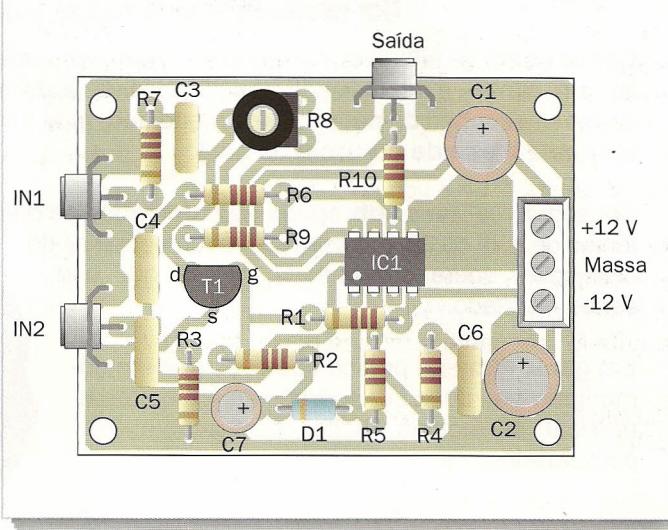
Montagem do circuito

A placa que alberga o projeto é de pequenas dimensões, com o fim de permitir (se o desejarmos) a sua cômoda colocação **no interior** de um misturador ou de um pré-amplificador já existente.

Por norma, as primeiras que devem ser inseridas e soldadas são as resistências, seguidas pelos capacitores de poliéster e depois pelos elementos **polarizados**: seguem-se os capacitores eletrolíticos, o diodo, o transistor JFET e o integrado.

Este último pode **ser soldado** diretamente sem a base, tendo muito cuidado de não se demorar muito tempo com o soldador. Finalmente, deverão ser montadas os conectores de áudio RCA e a braçadeira.

Disposição dos componentes na placa do circuito impresso do talk-over.

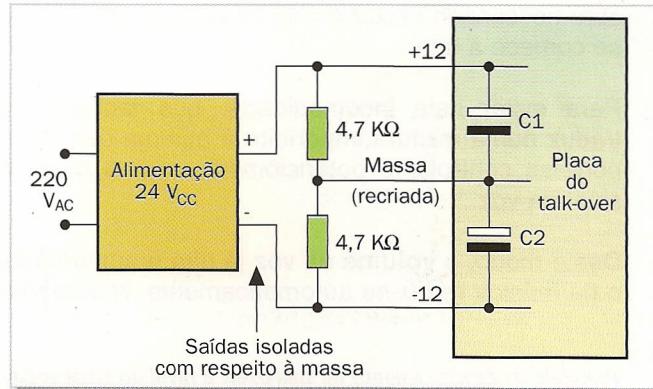


ALIMENTAÇÃO

O circuito funciona com **tensões duplas** (isto é, positiva e negativa) entre ± 9 e ± 15 V, por exemplo, tirando-as da fonte de alimentação do pré-amplificador ou do misturador no qual será inserida a base.

A tensão dupla também pode ser obtida de uma fonte de alimentação de 24 V, (**desdobrando-a** com duas resistências, como a que vemos na figura), aproveitando os capacitores C1 e C2 já presentes, e a fraca corrente do fio da massa.

Neste caso, é essencial verificar se os **dois pólos** da fonte de alimentação estão bem isolados da massa, já que, de outro modo, se occasionaria um curto-círcuito com os consequentes danos.

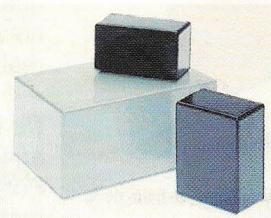


Como realizar uma massa virtual, para utilizar apenas uma tensão de alimentação.

LIGAÇÕES

Quando se trata de sinais de áudio de baixo nível, é necessário utilizar **fios blindados** para as entradas e as saídas, curtos e afastados das fontes de ruído, como o transformador da rede do aparelho que vai receber o circuito.

Pode-se realizar uma versão **portátil** com uma caixa metálica, duas pilhas de 9 V e um interruptor bipolar para a alimentação, levando novamente as tomadas RCA para o painel.



Podemos observar que, com apenas uma placa só, só podemos tratar de sinais auxiliares **monoaurais**, pelo que a sua possível utilização com fontes estéreo requeria a montagem de dois exemplares do circuito.

Uma caixa de alumínio revestida de nylón concilia as exigências estéticas com as de protecção.

TESTE DO TALK-OVER

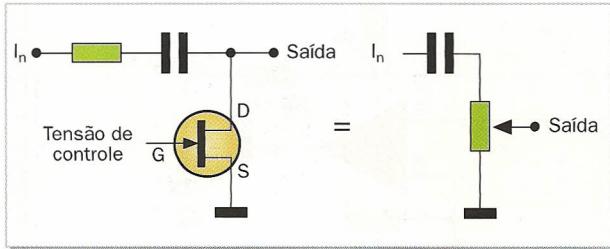
Para se poder **verificar** o funcionamento do dispositivo é necessário aplicar a alimentação de 9 a 15 V sobre a polaridade dupla, com os pontos +12 V, -12V e a massa, e também proporcionar todas as ligações de áudio. Se for regulado o cursor do trimmer R8 a meio do caminho percorrido, e aplicando um **sinal musical** à entrada IN1 de nível não muito elevado, deverá poder escutar-se de novamente à saída.

Se emitirmos na **entrada prioritária** IN2 outro sinal, por exemplo, a saída de um pré-amplificador microfônico (como o do projeto 13), deverá ser possível escutá-lo, enquanto a música baixa de volume.

Circuito impresso do talk-over, visto pelo lado das trilhas de cobre.

REGULAÇÃO DO NÍVEL

O **trimmer** R8 permite regular a amplificação do sinal submetido (normalmente a música), isto é, aquele que se atenua quando entra o sinal prioritário (voz).



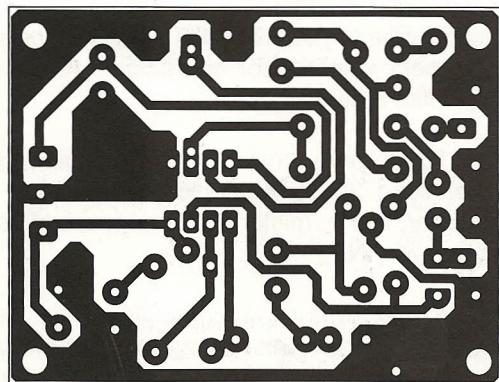
TEMPOS DE RESPOSTA

Também num circuito automático, como na mistura manual, existe um tempo de **ataque**, isto é, de inserção, e um recíproco de **libertação**, após o qual volta a música.

É preferível que o ataque seja **quase imediato**, para não se perder a primeira sílaba do discurso, uma vez que convém que a libertação seja relativamente lenta e progressiva.

Não sendo assim, o dispositivo elevaria novamente o volume sonoro, aproveitando também as breves **pausas** entre uma palavra e outra, com um efeito acústico extremamente desagradável.

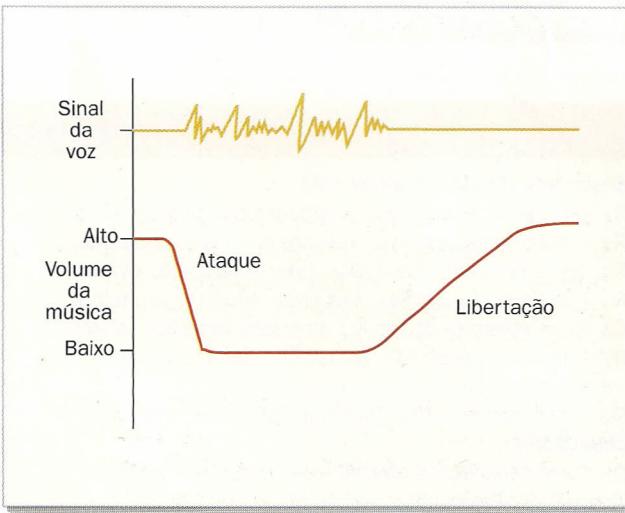
Para se obter o melhor efeito acústico, o tempo de libertação deve ser mais longo do que o tempo de ataque.



Deste modo pode-se **equilibrar** o nível da música proporcionalmente ao da voz (ou do sinal IN2), de modo que se obtenha um efeito da dissolução mais eficaz.

O **nível do sinal** aplicado à entrada IN1 deve ser bastante baixo, para evitar distorções; mas se for excessivamente reduzido o ruído de fundo poderia tornar-se perceptível.

O talk-over utiliza um JFET como potenciômetro controlado em tensão (o princípio deste processo é explicado na lição 23 de Analógica).





Funcionamento do circuito

O sinal submetido (música) atravessa o potenciômetro eletrônico formado pelos R7, C3 e T1, e depois é **amplificado** pelo amplificador operacional IC1A, alcançando por fim a saída.

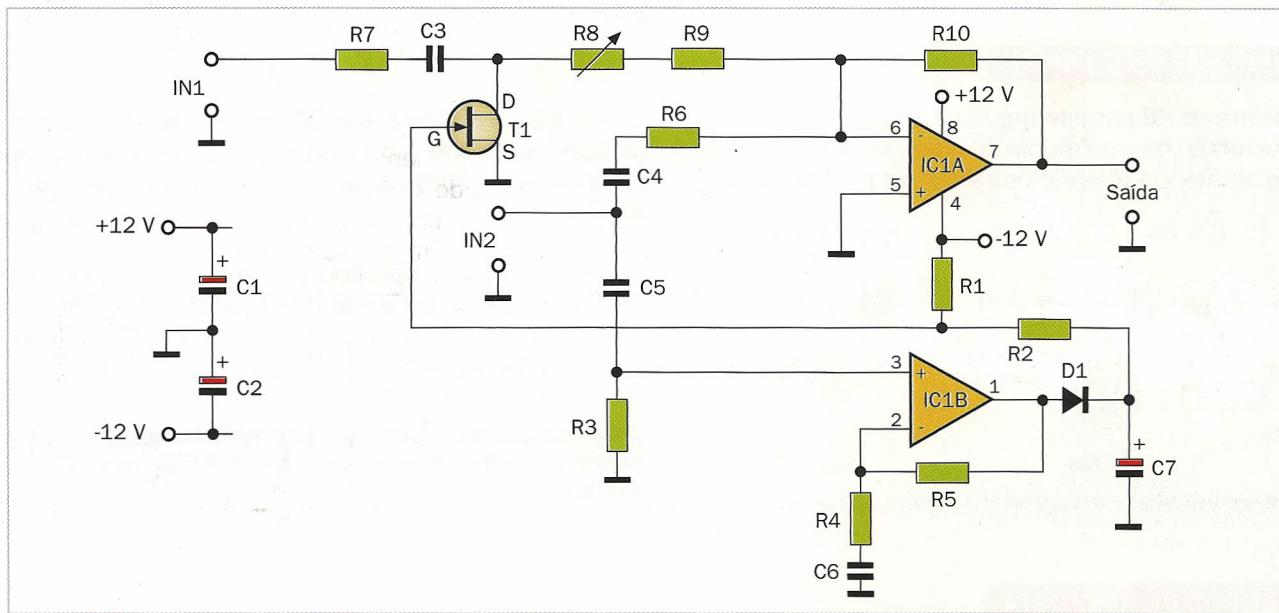
O IC1A está ligado para funcionar como amplificador inversor (ver lição 34 de Analógica) e também se ocupa de somar, isto é, misturar o sinal musical com o da outra entrada IN2.

Este segundo sinal, que é normalmente a voz, está também ligado à entrada de um **segundo amplificador** (no inversor): o IC1B, que levanta bastante o nível.

O resultado (recordemos que é a voz amplificada) é **redirigido** pelo D1 e carrega C7, produzindo uma tensão positiva, dependente da entrada IN1, quer dizer, baixando o volume da música.

Aplica-se à porta (terminal de controle) do T1, reduz a sua **resistência** e, portanto, atenua o sinal procedente da entrada IN1, isto é, baixando o volume da música.

Quando a voz falta (IN2), o C7 **descarregase** lentamente através do R1, aumentando assim a resistência do T1 e devolvendo a música ao nível anterior à intervenção.



Esquema elétrico do talk-over.

LISTA DOS COMPONENTES

Resistores (todos de 1/4 W 5%)

- R1 = resistor de 2,2 MΩ (vermelho, vermelho, verde)
- R2 = resistor de 470 KΩ (amarelo, violeta, amarelo)
- R3, R5 = resistores de 1 MΩ (marrom, preto, verde)
- R4 = resistor de 4,7 KΩ (amarelo, violeta, vermelho)
- R6, R10 = resistores de 120 KΩ (marrom, vermelho, amarelo)
- R7 = resistor de 47 KΩ (amarelo, violeta, laranja)
- R8 = trimmer de 10 KΩ horizontal
- R9 = resistor de 1 KΩ (marrom, preto, vermelho)
- Capacitores**
- C1, C2 = capacitores eletrolíticos de 220 µF 25 V

C3, C4, C5, C6 = capacitores de poliéster de 100 nF

C7 = capacitor eletrolítico de 1 µF 25 V

Semicondutores

D1 = 1N4148

T1 = BF245B

IC1 = LF353

Vários

3 conectores RCA

1 régua de parafusos de três ligações

1 circuito impresso

1 possível caixa metálica