www.mecatronicafacil.com.br

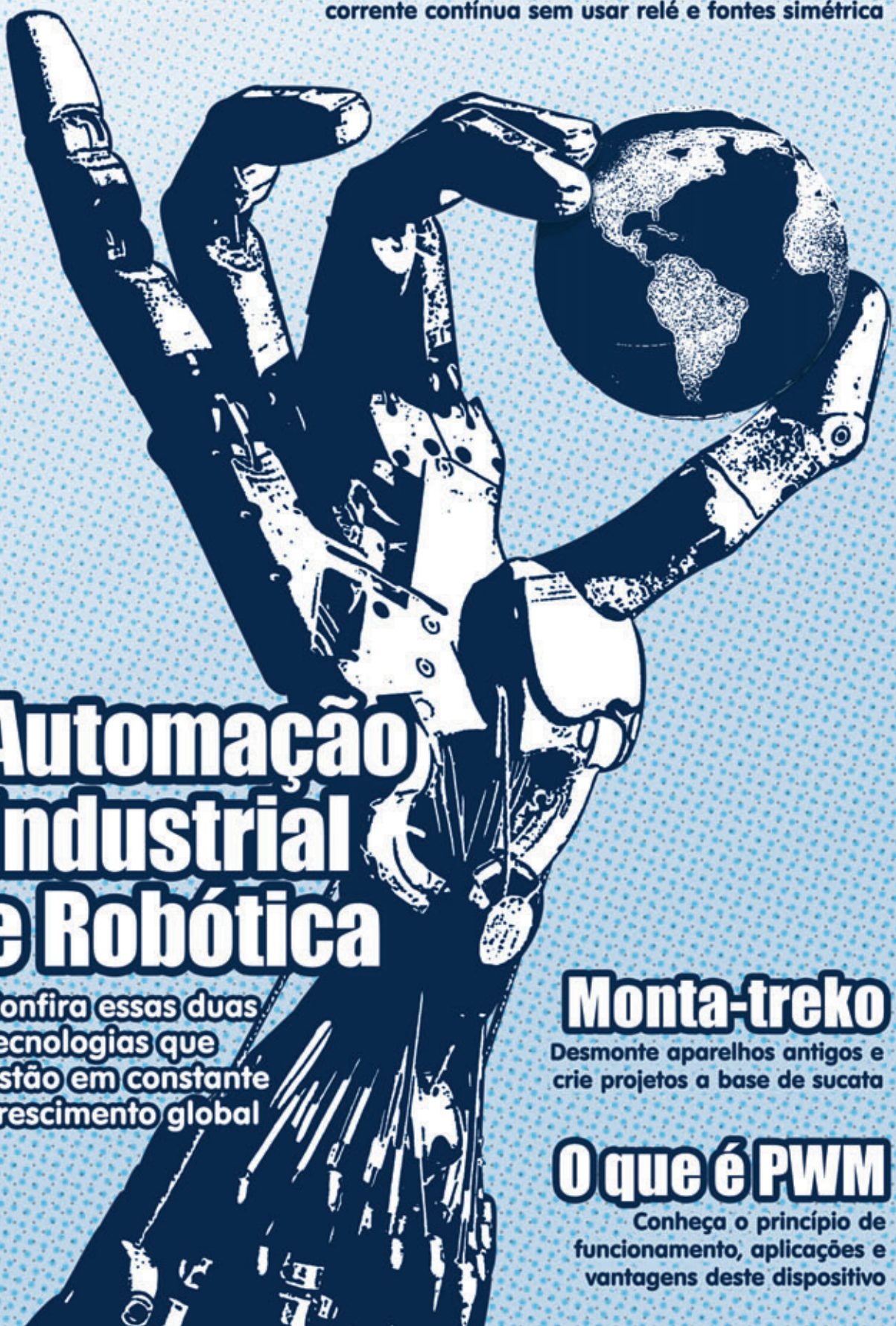
Ano 6 - nº45 - R$ 6,50

SABER

MECATRÔNICA FÁCIL

Controle bidirecional de motor

Inverta a rotação de um motor alimentado por um circuito de corrente contínua sem usar relé e fontes simétrica



Automação Industrial e Robótica

Confira essas duas tecnologias que estão em constante crescimento global

Monta-treko

Desmonte aparelhos antigos e crie projetos a base de sucata

O que é PWM

Conheça o princípio de funcionamento, aplicações e vantagens deste dispositivo

ISSN 1676-0980

0771676098004 45

VENHA FAZER PARTE
DA REVOLUÇÃO DA ELETRÔNICA NO BRASIL!



TENHA ACESSO AO MELHOR
CONTEÚDO DA ÁREA DE ELETRÔNICA
PAGANDO R$ 48,00 / ano
(Apenas R$ 4,00 / mês)

www.sabereletronica.com.br

Editora Saber Ltda.
Diretores
Hélio Fittipaldi
Thereza M. Ciampi Fittipaldi

MECATRÔNICA FÁCIL
www.mecatronicafacil.com.br

Editor e Diretor Responsável
Hélio Fittipaldi

Conselho Editorial
Luiz Henrique C. Bernardes,
Newton C. Braga

Auxiliar de Redação
Erika M. Yamashita

Produção
Diego M. Gomes

Design Gráfico
Carlos C. Tartaglioni
Edimáldia Ferreira

Colaboradores
Alessandra Dutra Coelho
Newton C. Braga
Wânderson de Oliveira Assis
Wellington R. Domingos

PARA ANUNCIAR: (11)2095-5339
atendimento@mecatronicafacil.com.br

Capa
Arquivo Editora Saber

ASSINATURAS
www.mecatronicafacil.com.br
Fone: (11) 2095-5335/Fax: (11) 2098-3366
Atendimento das 8:30 às 17:30 h

Associado da:

ANER
www.aner.org.br
Associação Nacional dos Editores de Revistas

anatec
www.anatec.org.br
Associação Nacional das Editoras de Publicações Técnicas, Dirigidas e Especializadas.





Notícias 4

Monta-treko 6
Confira a apresentação de projetos feitos a base de sucata

Multiplicadores de Entradas para PC 12
Adaptador para ligação de até dois dispositivos externos na entrada de áudio do wcomputador

Paquímetro Digital 14
Veja como este instrumento funciona e quais suas vantagens em relação ao modelo tradicional

Motores e Caixa de Redução 17
Conheça um pouco mais sobre os Motores e Caixas de Redução

Motores Piezoelétricos 20
Análise de funcionamento e emprego em um projeto

Controle Bidirecional de motor 24
Circuito proposto que inclui uma chave de habilitação onde é possível ligar um motor

Sensor de Pressão 27
Características e montagem deste circuito base para um sensível indicador de pressão mecânica ou detector de passos

Automação Industrial e Robótica 30
Neste Artigo você encontra essas duas tecnologias que estão intimamente relacionadas

Como estar bobinas ou indutores 34
Provas simples e imediatas para determinar as características e provas de um indutor

O que é PWM? 38
Princípio de funcionamento desses dispositivos

Robonews



3ª Mostra de Ciência e Tecnologia do Mercosul começa dia 17 de março

Objetivo da mostra é reunir os projetos em exposição não competitiva

A 3ª Mostra de Ciência e Tecnologia do Mercosul será realizada entre os dias 17 e 19 de março na Tenda da FEBRACE, localizada na Universidade de São Paulo - USP. A iniciativa é do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e da Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (Febrace).

A mostra é uma exposição não competitiva de projetos científicos e tecnológicos de estudantes do ensino médio.

De acordo com o MCT, serão convidados até seis projetos de cada país-membro do Mercosul e dois de cada país associado. A proposta inclui a participação de dois alunos e um professor.

O número de projetos participantes é definido e acordado na Reunião do Comitê Gestor de Popularização da Ciência do MERCOSUL/RECyT. Já no critério de seleção, cada país membro ou associado do MERCOSUL é responsável por indicar os projetos que irão participar, em geral, trabalhos premiados nas suas Feiras Nacionais de Ciência & Tecnologia. No caso do Brasil, o evento contou com a participação de um projeto representante de quatro regiões do país, premiado na Feira de Ciência e Tecnologia Estadual ou Regional.

A organização nacional será responsável pela hospedagem em hotel de até dois alunos e um orientador por projeto e um representante de país que participará da iniciativa.

O evento será coordenado no Brasil pelo Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia, da Secretaria de Ciência e Tecnologia para a Inclusão Social (Secis) do MCT.



Nasa e Caltech criam robô para rapel espacial

Tecnologia permitirá estudos mais aprofundados em terrenos irregulares

Axel Rover é o mais recente modelo de robô explorador espacial. Ele foi criado por engenheiros da NASA e do Instituto de Tecnologia da Califórnia - Caltech- e em breve será o primeiro robô capaz de fazer rapel espacial. O robô pequeno e versátil foi desenvolvido com o objetivo de subir ladeiras íngremes e ainda andar em terrenos irregulares e crateras profundas.

"O Axel aumenta a capacidade para explorar terrenos que não fomos capazes de explorar no passado, tais como escarpas quase verticais," afirma o coordenador do projeto, Issa A.D. Nesnas. "Este robô será útil para cenários, onde você pode realmente mergulhar em crateras, pegar algumas amostras, e analisá-las. enfim, dizer algo realmente novo e interessante sobre Marte ou a lua, por exemplo", conclui.

Lançado sobre uma pedra, por exemplo, o robô poderá fazer um rapel, descendo para explorar as profundezas de uma cratera, fotografar o local e capturar amostras do terreno. Feito isso seu cabo é recolhido, para içar o robô de volta a sua posição original.

Seu braço é capaz de girar de forma autônoma onde as câmeras podem capturar imagens panorâmicas 3D, com cobertura de 360º. Seu design simples e elegante, que pode funcionar até mesmo de cabeça para baixo, usa apenas três motores: um para controlar cada uma das suas duas rodas e um terceiro para controlar uma alavanca. Este instrumento contém uma colher para reunir material de estudo para o cientista e pesquisadores.

O corpo cilíndrico do robô leva todo o seu cérebro eletrônico, além dos sistemas de comunicação sem fios e de um sistema de sensores inerciais. Para descer ladeiras mais íngreme, o Axel possui um cabo que pode ser utilizado como âncora. "Além disso, como é relativamente leve, uma única missão poderá levar vários Axels. Isto dará a oportunidade de sermos mais agressivos com o terreno que iremos explorar, ao mesmo tempo mantendo o risco da missão como um todo em níveis aceitáveis," disse Nesnas.

"A colaboração com Caltech também tem sido fundamental para o sucesso deste projeto", finalizou o coordenador. Ele completa que os alunos contribuíram significativamente para a concepção do projeto. Seus trabalhos criativos permitiram analisar, projetar e construir novas rodas, de amostragem e de ferramentas de software. Os estudantes também desempenharam um papel-chave no campo de experimentação.

Até o momento não há previsão de quando o Axel será escalado para sua primeira missão, mas por enquanto os interessados podem conferir um de seus testes através do vídeo disponível em: **www.jpl.nasa.gov/video/index.cfm?id=806.**

Monta-treko

Confira a segunda parte da Série Monta-Treko com a apresentação de projetos "de sucata" que fazem uso de componentes obtidos de aparelhos desmontados ou em "desmanches" eletrônicos. Os leitores iniciantes com poucos recursos ou ainda os que têm dificuldades de compra, podem ter algumas idéias interessantes com os projetos que descrevemos a seguir.

Newton Braga



Antes de passarmos diretamente aos projetos, será importante darmos algumas "dicas" sobre o aproveitamento de componentes de sucata. Transistores e circuitos integrados são os componentes que basicamente podem ser encontrados em aparelhos antigos e que, por não mais serem fabricados, não são encontrados em lojas, e por isso também não são indicados em novos projetos de publicações técnicas. Existem, entretanto, muitos destes componentes que podem ser aproveitados em projetos interessantes, desde que o leitor os consiga.

Outro ponto importante que deve ser levado em conta é que em lojas de grandes centros, como as da Rua Santa Efigênia em São Paulo, existem ofertas de sucatas e placas que podem ser fonte de muitos componentes "aproveitáveis", os quais podem ser conseguidos a um custo muito baixo.

Não recomendamos que o leitor escolha um projeto dos que descrevemos neste artigo para depois sair atrás do componente especificado, pois certamente terá dificuldades. Para este caso, em que o projeto é interessante mas o leitor não tem o componente, haverá projetos semelhantes usando componentes mais modernos.

Transistores Japoneses

A maioria dos rádios transistorizados e gravadores antigos consistem em uma fonte de transistores de tipos comuns que podem ser aproveitados. Certamente, o leitor que desmontou alguns destes aparelhos deve ter uma pequena coleção de transistores cujos tipos começam com a sigla 2SA ou 2SB. Os números que vêm depois podem resultar em tipos como 2SB54, 2SB75, etc, conforme mostra a **figura 1**.

Estes são transistores de uso geral e de RF para baixa potência e em muitos casos têm características que se aproximam dos conhecidos BC558, já que na maioria dos casos são PNP, e que por isso podem ser usados em projetos semelhantes. Dizemos que apenas "lembram" porque estes transistores são de germânio, com características de ganho e polarização um pouco diferente dos BCs (que são de silício). No entanto, há diversas aplicações em que sua utilização pode ser equivalente como por exemplo:

- Acionamento de LEDs em circuitos de corrente contínua
- Amplificadores de áudio em circuitos de baixa potência
- Em alguns tipos de osciladores e multivibradores de baixa frequência

É claro que também existem projetos imediatos que o leitor pode fazer com estes transistores, desde que saiba identificar os seus terminais de emissor (E), coletor (C) e base (B). A maioria dos transistores deste tipo possui uma marca junto ao terminal de coletor, como ilustra a **figura 2**.

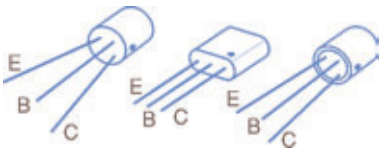
A melhor maneira de se identificar os terminais de um transistor desconhecido, quando isso não é possível por esquemas ou manuais é com a utilização do circuito da **figura 3**.

Trata-se de um "identificador de transistores" de sucata, válido para os tipos PNP com siglas 2SA, 2SB, OC e AC que o leitor poder ter no seu estoque e deseja saber o estado. Na **figura 4** temos o aspecto da montagem feita com base numa ponte de terminais.

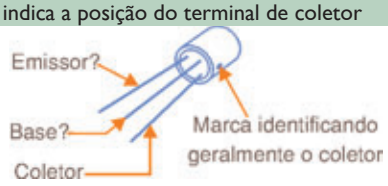
O procedimento para o uso deste provador é muito simples: basta ligar as garras jacaré nos terminais do transistor em combinações diferentes (que são 6), e a cada ligação apertar o interruptor observando o LED conforme vemos a **figura 5**.

Há combinações em que o LED não acende de modo algum, e existem outras em que ao se conectar as garras o LED já acende. No entanto, existe uma única combinação, que o leitor deve descobrir, em que o LED acende somente quando pressionamos o interruptor S_1. Nesta

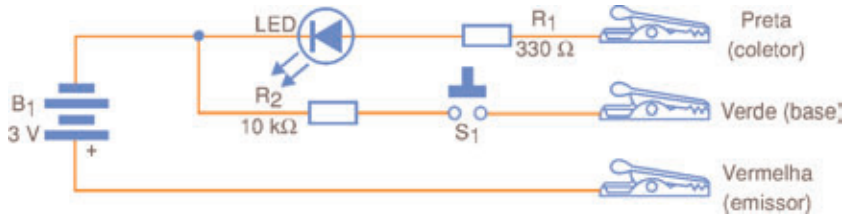
1 Transistores japoneses começam com 2SA, 2SB ou 2SD



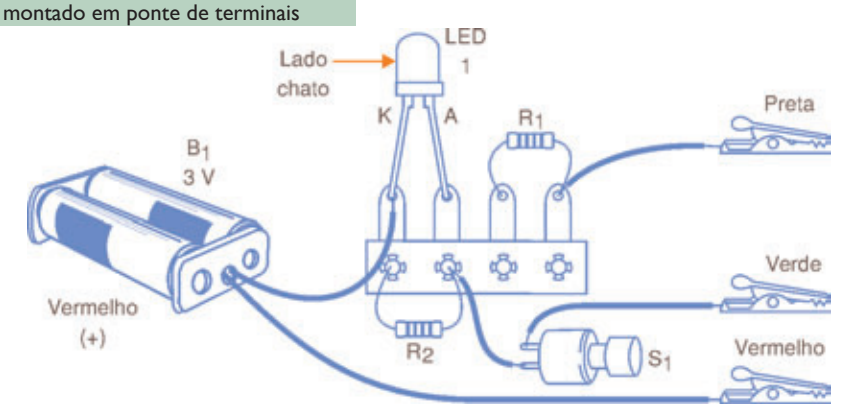
2 A marca, pinta ou triângulo no transistor indica a posição do terminal de coletor



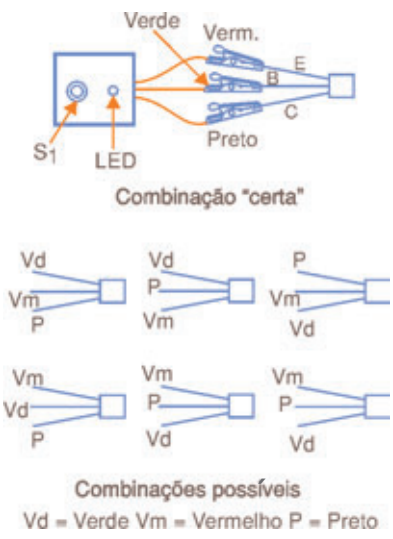
3 Circuito para identificar os terminais de um transistor



4 Circuito identificador de transistores montado em ponte de terminais



5 Utilizando o identificador de terminais de transistores



6 Um transistor com os terminais devidamente identificados



Lista de Materiais

B_1 - 2 pilhas - 3 V
R_1 - 330 ohms x 1/4 W - resistor (laranja, laranja, marrom)
R_2 - 10 k ohms x 1/4 W - resistor (marrom, preto, laranja)
LED_1 - LED vermelho comum
S_1 - Interruptor de pressão

Diversos: fios, garras jacaré de cores diferentes (preta, vermelha e verde), suporte de pilhas etc.

combinação temos a resposta para a disposição dos terminais do transistor misterioso: a garra vermelha estará no emissor (E), a garra preta estará no coletor (C) e a garra verde na base (B). É só anotar isso em pedacinhos de fita crepe (ou fita adesiva das cores das garras) e fixá-los nos terminais do seu transistor para futuro aproveitamento, como indicado na **figura 6**.

Se o LED permanecer aceso ou apagado na maioria das provas e não responder ao comando de S_1 em nenhuma delas, isso é sinal de que o transistor está ruim (curto ou aberto) e não pode ser utilizado.

Obs.: Digitando-se o tipo de transistor em mecanismos de busca da internet como o Google, podemos encontrar a folha de dados (datasheet) do transistor, normalmente no formato PDF. Abrindo esta folha teremos não só suas características como também a identificação de seus terminais.

Telecomunicações

As telecomunicações, com fio ou sem fio, oferecem uma ampla gama de possibilidades para a elaboração de projetos simples para aprender tecnologia, para demonstrações ou ainda feira de ciências. Em uma das seleções apresentadas a seguir, você verá o tema "telégrafo". Ele é o primeiro meio de comunicações eletrônicas que é o precursor do modem moderno, usado para transmitir bits. De fato, o código Morse utilizado, que se baseia em pontos e traços, pode facilmente ser considerado analógo ao binário em que se utilizam zeros e uns. Os telégrafos descritos são de montagem simples, consistindo em projetos ideais tanto para o ensino fundamental como médio.

Três telégrafos experimentais

Mesmo com os telégrafos superados pelos sistemas de comunicações mais eficientes, a montagem de um telégrafo tem uma importância didática importante. Ela nos leva à história das telecomunicações e pode ensinar algo sobre eletricidade. Utilizando componentes simples, os três projetos que apresentamos são ideais para estudantes, principalmente como introdução à eletrônica e mesmo eletricidade no ensino fundamental e médio.

Projeto 1:
Provador de continuidade

O circuito da **figura 7** utiliza um transistor PNP da série 2SB, 2SA, OC ou ainda AC e serve para acusar o estado do enrolamento de transformadores, bobinas, verificar capacitores e resistores além de muitas outras provas importantes.

Sua montagem pode ser feita com base numa ponte de terminais conforme temos na **figura 8**.

As pontas de prova podem ser do tipo comercial, ou improvisadas com pregos isolados com fita isolante comum.

Projeto 2:
Oscilador Hartley de Prova

Na **figura 9** analisamos um simples gerador de áudio, que aproveita basicamente dois componentes de sucata comuns: o transistor e o transformador.

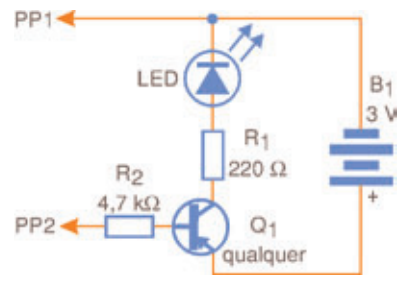
Este oscilador pode ser utilizado para a prova de alto-falantes e fones de ouvidos, como alarme sonoro, injetor de sinais ou ainda provador auditivo de continuidade. Na **figura 10** vemos a disposição dos componentes para a montagem numa ponte de terminais.

O transistor pode ser qualquer um da série 2SA, 2SB, OC ou AC e o capacitor C_1 assim como C_2 devem ser alterados na faixa de valores indicada no diagrama de modo a adaptar as características do transistor ao transformador para que as oscilações ocorram do modo desejado. O transformador é aproveitado de um rádio transistorizado, de preferência do tipo que usa duas ou quatro pilhas pequenas. Este transformador é identificado facilmente pois terá dois de seus terminais ligados ao alto-falante do rádio (que também pode ser aproveitado no projeto). O outro transformador, existente perto deste na mesma placa não serve pois é o driver.

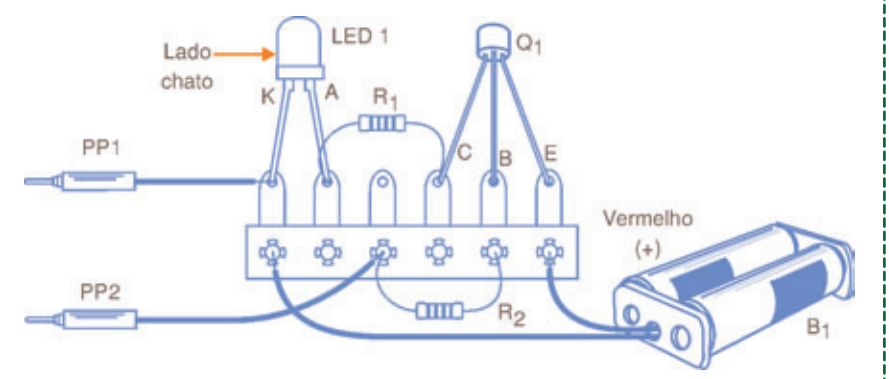
A frequência do oscilador será ajustada no potenciômetro. Se o transistor usado não oscilar o leitor pode tentar alterar os valores dos capacitores, mas se nada conseguir devido ao não casamento de suas características com as do transformador deve experimentar outro. Uma possibilidade é utilizar o próprio transistor que está ligado ao transformador na placa do rádio que foi desmontado.

Obtivemos bons resultados com este circuito usando transistores 2SB75, 2SB175, 2SB54, OC74, OC71, etc. Para o provador auditivo de continuidade, as pontas de prova serão ligadas conforme mostra a **figura 11.**

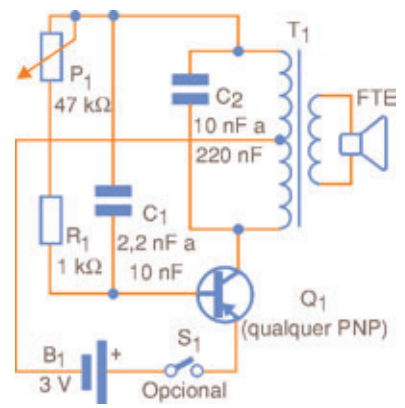
7 Provador de continuidade sensível com transistor de sucata



8 Montagem do provador de continuidade



9 Oscilador de áudio construído com transistor de sucata



Lista de Materiais - Projeto 1

LED - LED vermelho comum
B_1 - 3 V - 2 pilhas pequenas
R_1 - 220 ohms x 1/4 W - resistor (vermelho, vermelho, marrom)
R_2 - 4,7 k ohms x 1/4 W - resistor (amarelo, violeta, vermelho)
PP_1, PP_2 - pontas de prova - ver texto

Diversos: suporte de pilhas, ponte de terminais, caixa para montagem, fios, solda etc.

Exemplo de explicação

Peça para o alunos fazerem um trabalho sobre condutores e isolantes, explicando o motivo deles se comportarem desta maneira. Fale das utilidades dos condutores e isolantes. Dê o conceito de resistência elétrica.

Competição

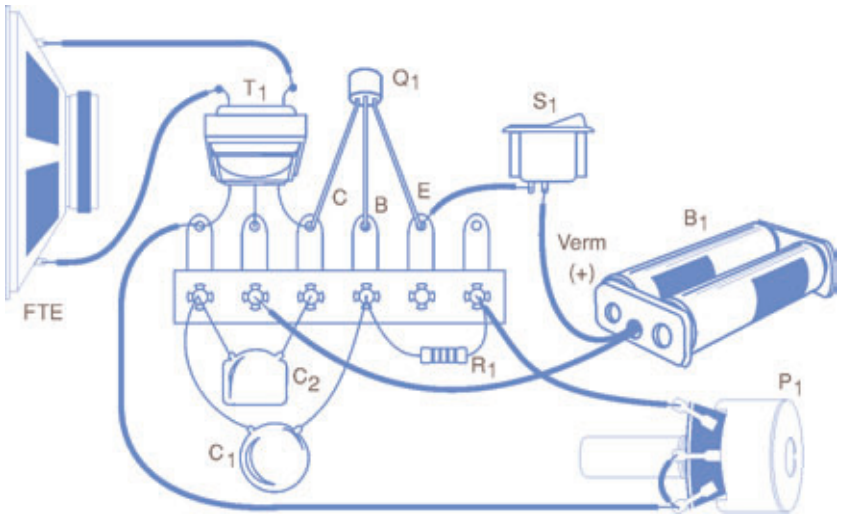
- Coloque caixas pretas ou objetos conhecidos, condutores

Lista de Materiais - Projeto 2

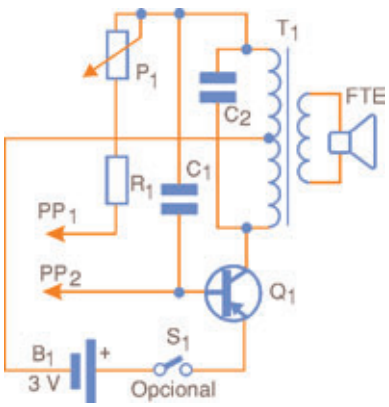
Q_1 - Qualquer transistor PNP (2SA, 2SB, AC ou OC)
B_1 - 2 pilhas pequenas
T_1 - Transformador de saída para transistores - ver texto
P_1 - 47 k ohms - potenciômetro
R_1 - 1 k ohms x 1/4 W - resistor (marrom, preto, vermelho)
FTE - 8 ohms - alto-falante pequeno
C_1 - 2,2 nF a 10 nF - capacitor cerâmico ou poliéster
C_2 - 10 nF a 220 nF - capacitor cerâmico ou poliéster

Diversos: ponte de terminais ou matriz de contatos, suporte de pilhas, base ou caixa para montagem, fios, solda, botão para o potenciômetro etc.

10 Montagem do oscilador de prova



11 Ligação das pontas de prova para o provador de continuidade



e isolantes. Quem separar os condutores dos isolantes no menor tempo ganha a competição.

- Entre um grupo de caixas pretas ou objetos, identificar o que apresenta maior resistência. Ganha quem fizer isso em primeiro lugar.

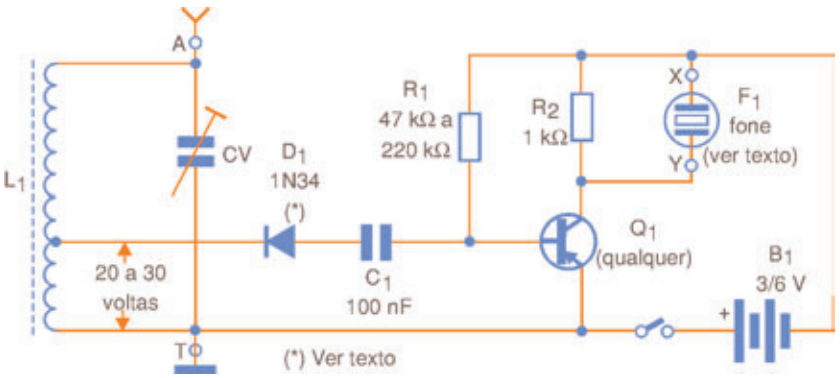
Projeto 3: Radio Experimental AM

Podemos aproveitar componentes montando um rádio AM transistorizado a partir de um rádio AM comum fora de uso. O trabalho será interessante como iniciação para os leitores menos experientes que poderão ter um projeto didático simples com este receptor. O rádio precisa de uma boa antena externa que pode ser um fio esticado e isolado nas pontas com pelo menos 10 metros de comprimento, pois a sensibilidade do circuito não é grande. Na **figura 12** você vê o diagrama completo do rádio experimental de AM com componentes de sucata.

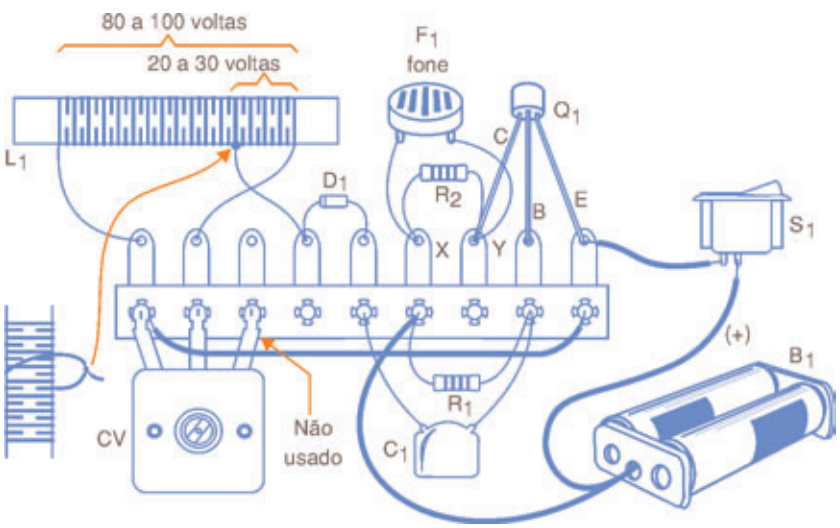
A disposição dos componentes numa ponte de terminais é ilustrada na **figura 13**.

A bobina é formada por 80 a 100 voltas de fio comum ou esmaltado 28 ou próximo disso, num bastão de ferrite de 0,8 a 1 cm de diâmetro e de 10 cm a 25 cm de comprimento.

12 Diagrama do rádio experimental



13 Aspecto da montagem

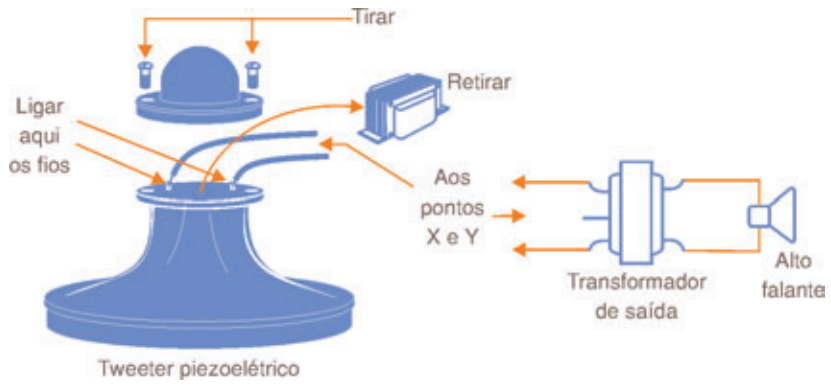


Lista de Materiais - Projeto 3

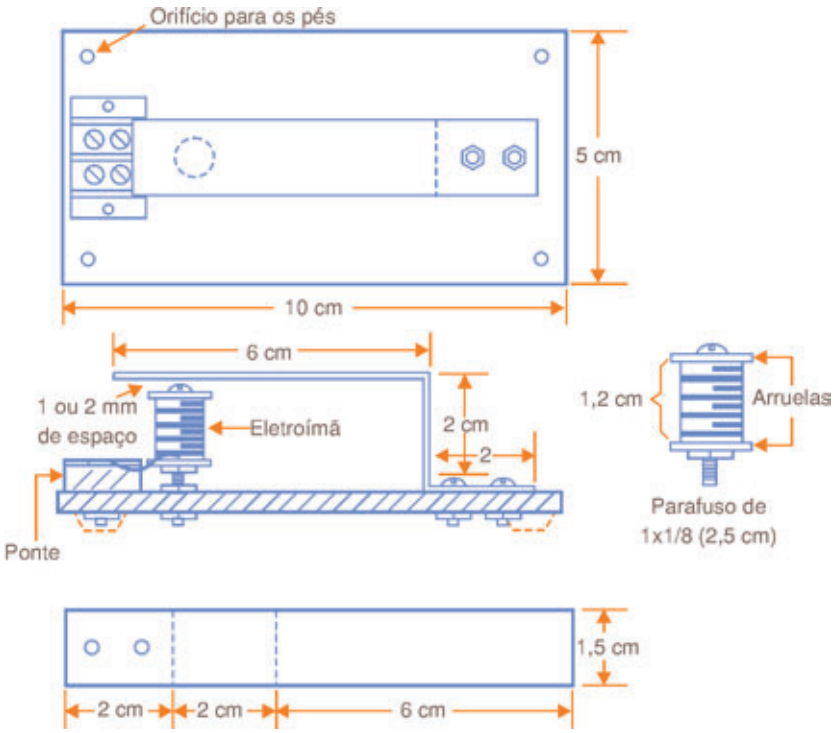
Q_1 - Qualquer transistor PNP (2SA, 2SB, BC, OA, etc desde que PNP)
D_1 - Qualquer diodo de germânio
L_1 - Bobina - ver texto
CV - capacitor variável de rádio AM
C_1 - 100 nF - capacitor de qualquer tipo
R_1 - 47 k a 220 k ohms x 1/8 W - resistor
R_2 - 1 k ohms x 1/8 W - resistor (marrom, preto, vermelho)
F_1 - Fone de ouvido - ver texto
B_1 - 3 V - 2 pilhas pequenas

Diversos: bastão de ferrite, ponte de terminais, suporte de pilhas, antena, fios, solda, etc.

14 Usando o tweeter piezoelétrico como fone



15 Construção do receptor



Este bastão de ferrite pode ser aproveitado de qualquer velho rádio AM e a tomada é feita entre a vigésima e a trigésima espira a partir do lado de ligação à terra. O capacitor variável usado para a sintonia também pode ser aproveitado de qualquer velhor rádio AM. Outro componente que pode ser aproveitado de alguns rádios ou mesmo de televisores antigos é o diodo. Qualquer diodo serve dando-se preferência aos tipos 1N ou OA de germânio. Como pelo tipo é difícil para o leitor saber qual é qual, o melhor é fazer experiências. Assim, se o leitor possuir vários tipos disponíveis deve experimentar qual deles dá mais sensibilidade ao seu rádio.

Para a escuta temos diversas possibilidades: O ideal é utilizar um fone de alta impedância ou cristal. No entanto, estes fones nem sempre são fáceis de encontrar. Podemos então empregar uma cápsula cerâmica de alta impedância, um buzzer ou mesmo um tweeter piezoelétrico depois de retirar o pequeno transformador que existe no seu interior fazendo uma "ligação direta" ao pequeno cristal, conforme exibe a **figura 14**.

Outra possibilidade consiste em se usar um alto-falante comum com um transformador de saída (aproveitado de um velho rádio). Em todos os casos, entretanto, como a amplificação é pequena deveremos usar fone ou alto-falante perto do ouvido. Para usar o rádio é só ligar sua alimentação (pilhas) e ajustar o capacitor variável para sintonizar a estação desejada. A ligação à terra é importante e deve ser feita em algum objeto de metal de grande porte, em contato com o solo como uma geladeira, esquadria de porta ou janela etc.

Competição

Premiar o melhor rádio, o mais seletivo, o mais sensível ou o que conseguir pegar mais estações.

Projeto 4: Telégrafo Sonoro de Uma e Duas Vias

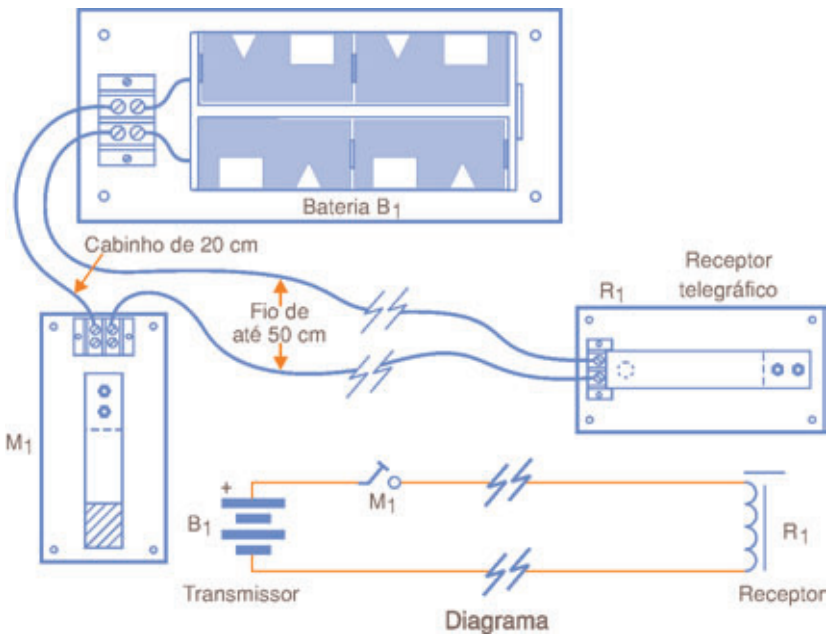
A base deste projeto é um receptor que consiste num dispositivo eletromagnético experimental capaz de converter pulsos de corrente codificados pelo manipulador em batidas audíveis que podem ser interpretadas como pontos e traços, exatamente como nos telégrafos antigos. O princípio de funcionamento deste receptor é bastante simples: um pequeno eletroímã é colocado

Lista de Materiais - Projeto 4-A

1 base de madeira ou acrílico de 10 x 5 cm
1 lâmina de metal (lata) de 10 x 1,5 cm
1 ponte de 2 terminais com parafusos
1 parafuso de 1"x 1/" para o eletroímã
2 arruelas e porcas para o parafuso
20 a 50 metros de fio esmaltado 30 a 34 AWG
6 parafusos de ¼ x 1/8" para fixação da lâmina e pés
4 pés de plástico ou borracha

nas proximidades de uma lâmina de metal flexível. Quando o eletroímã é percorrido por uma corrente, o campo criado faz a lâmina bater no seu núcleo produzindo um estalido audível. Quando a corrente é interrompida, a lâmina volta a sua posição normal, esperando então um novo pulso. Com um receptor bem feito podemos estender fios de até mais de 50 metros entre a estação transmissora e a receptora.

16 Circuito do telégrafo completo



O receptor tem sua construção detalhada na **figura 15**, observando-se que uma pequena base de madeira é utilizada para essa finalidade.

Veja na **figura 16** o circuito completo do sistema, observando-se que o manipulador pode também ser feito com uma chapinha de metal, ou ainda ser usado um interruptor de pressão.

Na mesma figura temos a construção de um sistema de uma via, ou seja, com a possibilidade de obter uma transmissão unilateral. Para uma transmissão em duas vias temos o circuito, confira na **figura 17**.

Nessa configuração é essencial observar a polaridade das baterias e dos diodos. Para montar, enrole de 200 a 1000 espiras de fio esmaltado fino para fazer o eletroímã. Dobre a lâmina da forma indicada deixando uma pequena separação de 1 a 2 mm entre ela e o núcleo do ímã, depois que ele for fixado. Raspe bem as pontas do fio esmaltado nos pontos de ligação para garantir um bom contato elétrico.

Observamos que o circuito também pode operar com tensões menores do que 6 V, no entanto, isso deve ser verificado experimentalmente em função da força obtida para o acionamento do eletroímã.

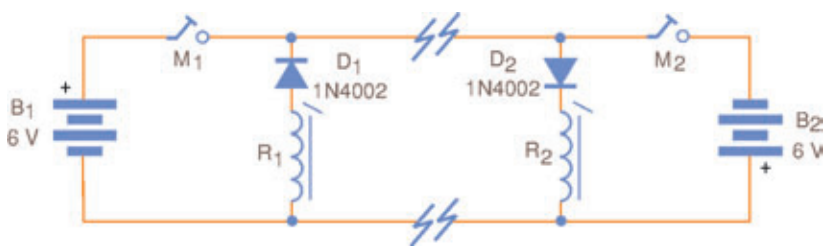
Competição

É possível fazer um concurso para ver quem transmite uma mensagem no menor tempo.

Lista de Materiais - Projeto 4-B

B_1 – 6 V – bateria ou 4 pilhas pequenas
M_1 – Manipulador
R_1 – Receptor telegráfico
20 cm de cabinho
30 metros de fio flexível ou 15 de fio duplo

17 Versão de duas vias



Multiplicador de entradas para PC

Neste artigo propomos a montagem de um adaptador que permite ligar até dois dispositivos externos na entrada de áudio do PC. É um projeto simples e de fácil realização e indicado para o iniciante e também para o leitor que pretenda montar um circuito sem o uso de microcontroladores, baterias, pilhas ou outro tipo de alimentação externa.

Wellington Rocha Domingos

Atualmente, o computador comum possui apenas uma porta de entrada de áudio. Essa, por sua vez, é adaptada para o uso de um microfone comum apropriado para PC, tornando teoricamente impossível plugar outro dispositivo nessa mesma entrada. O projeto a seguir, que trata de um pequeno adaptador com a função de ampliar a entrada de áudio do PC, permite que dois dispositivos sejam conectados ao PC.

O circuito

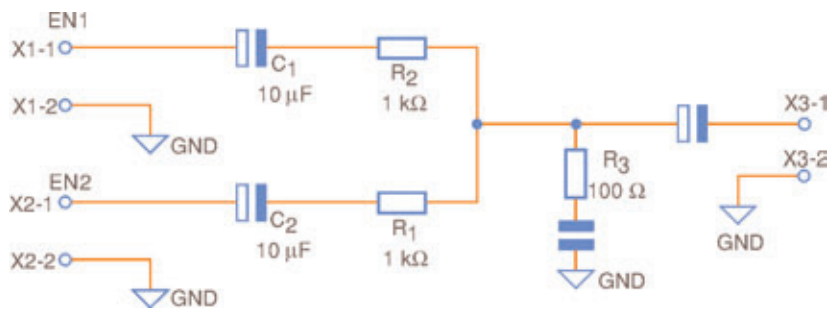
O circuito do projeto é mostrado na **figura 1**. Ele é um circuito simples, onde todos os componentes são de valores adequados para seu funcionamento e somente os capacitores C_1 e C_2 podem ser alterados.

Alertamos o leitor para que seus valores não sejam maiores que 100 µF, uma vez que os resistores não podem passar de 10 K ohms, pois podem bloquear o sinal de entrada.

Montagem em PCI

A montagem em PCI (Placa de Circuito Impresso), é vista na **figura 2**. Note que a placa é de face simples. Nesta etapa os capacitores eletrolíticos não podem ser invertidos, pois o sinal de entrada será bloqueado. Caso o leitor não tenha experiência em confecção de PCI, poderá montar o circuito em uma ponte de terminais comum.

1 Circuito elétrico do projeto



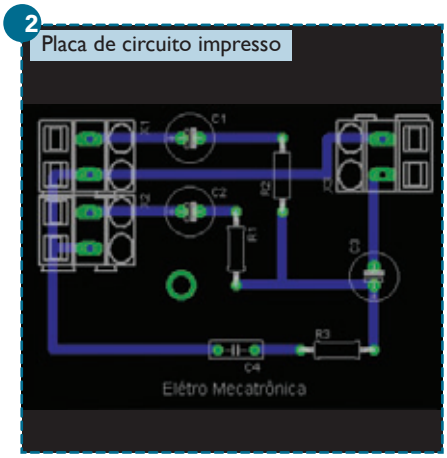
Montagem mecânica

A montagem mecânica pode ser feita de várias formas, mas isso irá depender da criatividade do leitor. Em nosso caso utilizamos um caixa Patola pequena de baixo custo, acompanhe as **figuras 3 e 4** para realizar a montagem mecânica do projeto.

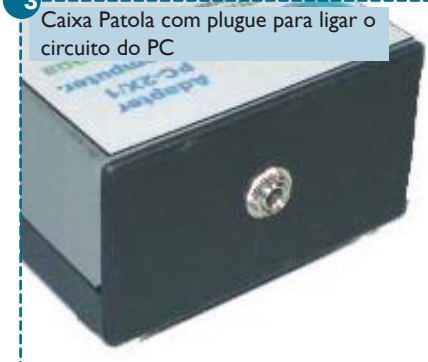
Como funciona

O funcionamento do circuito é bem simples. O que acontece é que os capacitores C_1 e C_2 junto com os resistores R_1 e R_2, permitem que os sinais passem para o capacitor C3, de maneira ordenada, ou seja, sem complicações e sem perder a sua qualidade e estabilidade. Isto dá a impressão de que passa um sinal de cada vez, como nos adaptadores profissionais, assim o PC recebe os sinais como se fossem um só.

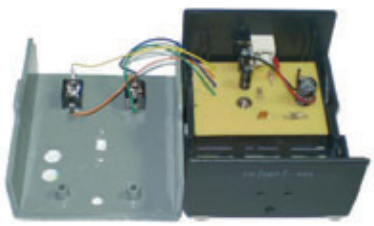
2 Placa de circuito impresso



3 Caixa Patola com plugue para ligar o circuito do PC



4 PCI e plugues de entrada e saída



Modos de uso

Com este projeto você pode criar sua própria música, ou até mesmo um áudio para duas pessoas utilizarem.

Para conectar seus dispositivos usando o adaptador apresentado, confira as **figuras 5, 6 e 7**.

Conclusão

Neste artigo você pôde analisar um circuito simples que permite conectar até dois dispositivos na entrada de áudio do PC.

Lista de materiais:

Resistores

R_1 e **R_2** - 1KΩ - Resistores (marrom, preto e vermelho)

R_3 100 - Ω - Resistor (marrom, preto e marrom)

Capacitores

C_1 e **C_2** - 10 µF x 25V - Capacitores eletrolíticos

C_3 - 22 µF x 25V - Capacitor eletrolítico

C_4 - 10 nF - Capacitor cerâmico

Diversos

En_1, **En_2** e **S_1** - Plugues de áudio comum

Placa para montagem, fios, solda, caixa plástica para montagem e etc.

5 Conexão de microfone e Violão por meio de adaptador



6 Ligação de dois microfones



7 Entrada para dois violões



Paquímetro Digital



A precisão das dimensões de pequenos objetos, peças de um projeto mecânico ou mecatrônico é fundamental. Para essa finalidade um dos instrumentos mais usados é o paquímetro. Na versão tradicional ele consiste apenas em uma régua de precisão totalmente mecânica, mas hoje já podemos contar com esse instrumento na versão eletrônica. Veja neste artigo como funciona o paquímetro eletrônico e quais são suas vantagens e desvantagens em relação aos tipos tradicionais mecânicos.

Newton C. Braga

Um dos problemas encontrados pelos projetistas de qualquer dispositivo mecânico ou mecatrônico é a medida precisa de pequenas peças. A precisão é fundamental, por exemplo, no projeto de um sistema de redução, onde uma diferença de fração de milímetro pode significar folgas que se traduzem em vibrações ou mesmo fazer com que o sistema fique duro e trave, desperdiçado energia ou forçando um motor. Por esse motivo, todos aqueles que trabalham com esse tipo de projeto devem contar com um paquímetro.

Na versão tradicional, totalmente mecânica, que já analisamos em outros artigos desta revista, o paquímetro é formado por uma régua onde corre uma garra com uma segunda escala graduada, conforme mostra a **figura 1.**

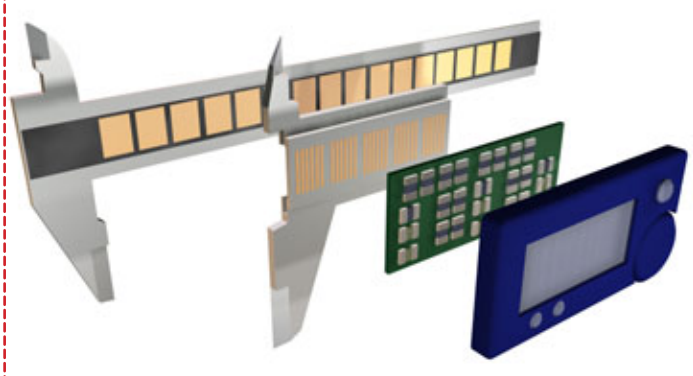
Os paquímetros tradicionais possuem uma segunda régua graduada que permite fazer uma aproximação para a leitura das dimensões de um objeto com maior precisão, denominada “nônio”.

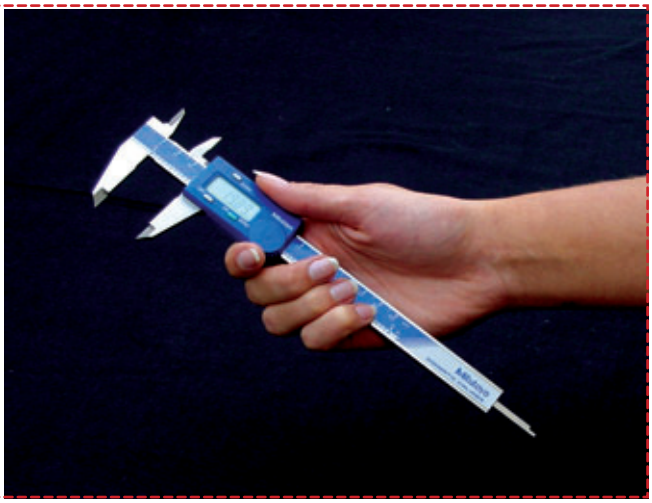
A utilização de um paquímetro desse tipo não é tão simples, exigindo um certo preparo do operador na aproximação dos resultados através do nônio. No entanto, com os recursos modernos da Eletrônica, a aproximação dos resultados para obter

1 Paquímetro tradicional



2 Paquímetro digital





uma leitura precisa das dimensões de um objeto pode ser feita com um paquímetro que contenha um nônio digital, fornecendo já um resultado da medida em um mostrador de cristal líquido conforme ilustra a **figura 2**.

Veja que ainda temos a vantagem de que a leitura das dimensões não deixa margem a dúvidas, pois os números são grandes, o que é especialmente bom para quem tenha problemas de visão, não conseguindo ler as divisões muito pequenas de um paquímetro mecânico convencional.

Mas, como funciona um paquímetro digital? De que modo ele pode medir com precisão pequenas distâncias, da ordem de fração de milímetros?

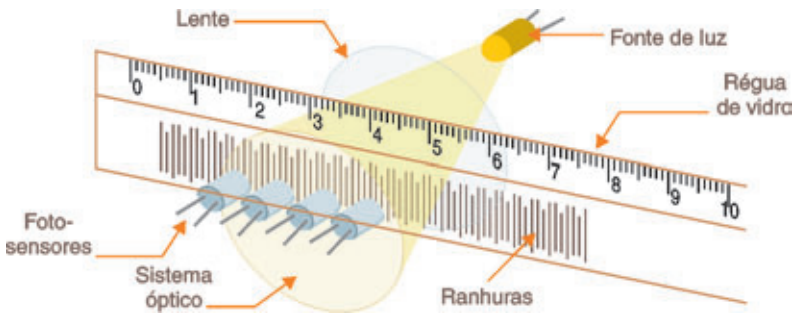
Como Funciona

Existem basicamente dois sistemas usados nos paquímetros digitais eletrônicos.

No sistema optoeletrônico, visto na **figura 3**, temos uma régua de vidro transparente graduada, cujas divisões podem ser lidas por elementos foto-sensíveis quando ela se desloca. O princípio de funcionamento é o mesmo dos encoders incrementais empregados na determinação da posição de máquinas industriais. Por esse motivo, esse paquímetro também é chamado de digital incremental.

A codificação lida pelos sensores determina a posição em que a régua se encontra, fornecendo no mostrador digital o valor da dimensão do objeto que está entre as garras. Um sistema desse tipo permite a construção de um paquímetro que tenha uma precisão de 1/1000 (um milésimo) de milímetro.

3 Paquímetro digital



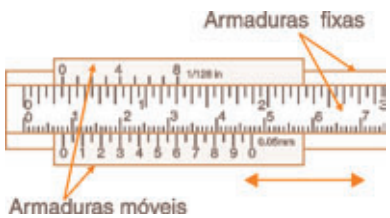
O outro sistema, utilizado por algumas empresas por ser menos crítico (a presença de uma régua de vidro no interior do instrumento torna-o limitado sob diversos aspectos, principalmente os que estão ligados à fragilidade), é o que faz uso de um capacitor diferencial, veja a **figura 4.**

Nesse sistema temos um conjunto de armaduras fixas maiores, separadas por pequenos intervalos, e sobre elas correm acionadas pela parte móvel do paquímetro, armaduras menores, conforme mostra a mesma figura. A distância entre as armaduras é mantida constante, mas a capacitância muda com o movimento.

O circuito eletrônico mede então as variações da capacitância, quando as armaduras se movimentam. Pela disposição das armaduras obtém-se uma variação linear da capacitância com o movimento e, portanto, pode-se realizar uma medida do deslocamento dessas armaduras móveis com grande precisão.

Veja que essa técnica utiliza a variação da distância entre as armaduras fixas e móveis. Assim, o que o circuito mede é o número de armaduras pequenas que se desloca sobre as grandes, quando faz a medida de uma distância.

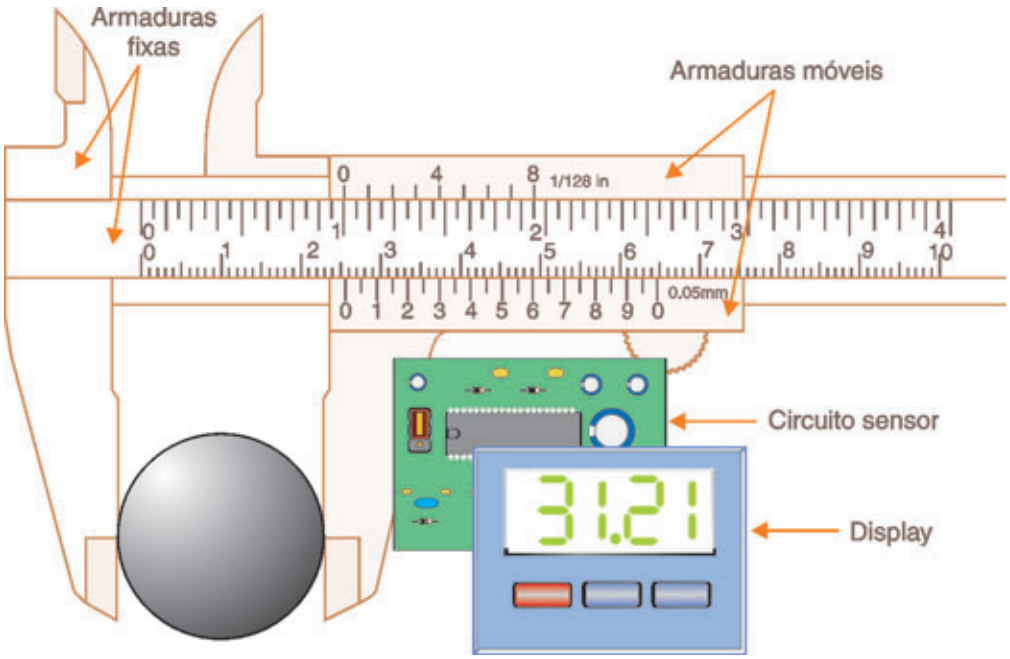
4 Sistema que utiliza o capacitor diferencial



Note que a utilização de diversos conjuntos de armaduras que se deslocam possibilita uma leitura simultânea do circuito e com isso a precisão é aumentada, com a redução de possíveis erros.

A vantagem em relação ao paquímetro óptico é que os capacitores podem ser feitos de armaduras de cobre num material flexível, o que o

5 Circuito acoplado na armadura móvel



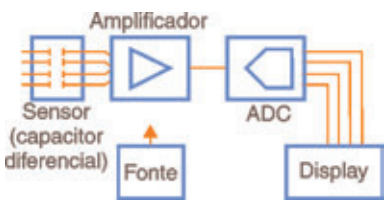
torna mais robusto. A construção final de um paquímetro desse tipo é apresentada na **figura 5**.

Repare que as armaduras maiores são fixas, enquanto que as menores são móveis, presas à garra do instrumento que se desloca.

O circuito eletrônico que processa o sinal fica logo acima, juntamente com sua fonte de alimentação, normalmente uma pequena pilha tipo botão, e finalmente temos a escala digital com os controles externos.

Esses controles podem consistir em um interruptor geral, uma chave que permita comutar as indicações de polegadas para milímetros e um ajuste de nulo. É muito importante que toda a parte eletrônica esteja próxima das armaduras, para evitar qualquer tipo de influência de campos elétricos externos.

6 Diagrama do circuito do paquímetro digital



Nos tipos comerciais, como o exemplificado na figura 2, obtém-se uma precisão de 0,01 milímetro para as indicações, o que é mais do que suficiente para as aplicações de robótica, mecatrônica e mecânica.

Na **figura 6** temos um diagrama de blocos que corresponde ao circuito típico de um paquímetro digital.

As variações das tensões nos capacitores são integradas e convertidas numa tensão que é aplicada a um conversor analógico para digital (ADC). Esse circuito converte essas tensões, passando-as para o display de cristal líquido. Evidentemente, para as aplicações que exigem muito maior precisão, o instrumento usado deve ser o micrômetro.

No emprego de um instrumento desse tipo é preciso levar em conta que a precisão da indicação numérica é semelhante à precisão de qualquer outro instrumento digital como, por exemplo, os multímetros.

Assim, pelo processo de amostragem do circuito, temos de considerar que o último dígito não é exatamente preciso, podendo em alguns casos ficar "oscilando" pelo processo de amostragem.

Em uma medida típica, é possível que a indicação seja de 10,45 ou oscile em torno desse valor, o que significa que o valor real deve estar entre 10,44 e 10,46.

Conclusão

Uma elevada quantidade de instrumentos de medida tradicionais como trenas, termômetros, fios de prumo, medidores de torque e força estão, na forma digital. Sem dúvida, eles trazem uma comodidade muito maior tanto na leitura como no uso. Até mesmo pelas dimensões e forma como os resultados são apresentados, eles significam uma menor possibilidade de erro.

Porém, como qualquer instrumento digital, eles possuem suas limitações e exigem cuidados especiais quando em uso, como é o caso dos paquímetros digitais. Manter sempre a bateria em boas condições, zerar o instrumento antes de usar, e principalmente tomar cuidado com quedas e batidas, pois tanto a parte eletrônica como o mostrador de cristal líquido são bastante delicados. F

Motores e Caixas de redução

O ponto de transição entre o circuito eletrônico de um projeto mecatrônico e a parte mecânica é o sistema de propulsão, normalmente um motor elétrico. Na prática, são utilizados dois tipos principais de motores: o motor de passo e o motor de corrente contínua ou motor DC. O trabalho com estes motores exige conhecimento tanto para o motor como é feito o acoplamento às partes mecânicas, quanto para os circuitos eletrônicos que vão alimentá-los. Neste artigo trataremos um pouco destes motores DC e das caixas de redução.

Newton C. Braga

A forma mais simples e barata de se obter propulsão para um mecanismo é através de um motor elétrico. No entanto, os motores são encontrados em diversos formatos e tamanhos com características elétricas diferentes. Isso significa também cuidados especiais para sua utilização, os quais serão abordados a seguir.

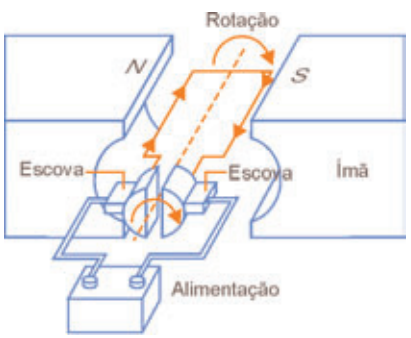
Os motores DC

Os principais tipos de motores de corrente contínua (DC) são: ímã permanente, sem escovas ou ainda de relutância variável. Os mais comuns (e baratos), que podem ser encontrados numa enorme faixa de tamanhos e tensões de trabalho, são os que fazem uso de escovas.

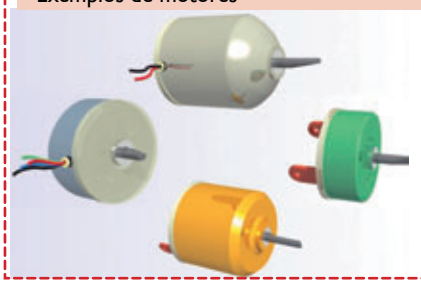
Nestes motores, conforme mostra a **figura 1**, existe um conjunto de bobinas giratórias tendo sua corrente comutada por escovas que invertem o sentido da corrente a cada meia volta de modo a manter o movimento. Na figura ilustramos o funcionamento com uma espira apenas.

O rendimento destes motores é razoável quando usados em projetos de Robótica e Mecatrônica simples. Podemos encontrá-los numa ampla

1 Princípio de funcionamento do motor



2 Exemplos de motores



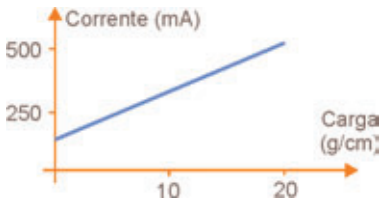
faixa de tensões nominais, tipicamente entre 1,5 e 48 volts. Mas, os mais comuns pela facilidade de uso de pilhas e baterias como fontes são os especificados para tensões de 1,5 a 12 V. A **figura 2** exibe alguns destes motores.

É importante observar que a tensão nominal não é obrigatoriamente a tensão de trabalho de um motor DC. Um motor de 6 volts funcionará com 3 ou 4 volts, mas certamente não rodará na mesma velocidade e nem terá a potência máxima esperada. Da mesma forma, este motor pode trabalhar também com 9 V, porém deve-se evitar isso por tempos prolongados dado o esforço e aquecimento. Na verdade, um motor deste tipo poderá em alguns casos funcionar com tensões até 40 ou 50% maiores que a nominal, mas por curtos períodos de tempo.

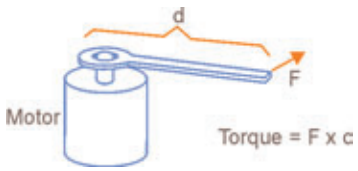
A corrente de um motor depende de sua potência e também da carga. Um motor girando livre terá maior velocidade do que um motor que tenha que deslocar algum tipo de mecanismo que lhe exija maior força. A corrente demandada dependerá da "carga" ou do peso movimentado, observe o gráfico típico da **figura 3.**

Em aplicações típicas, entre a corrente mínima com um motor rodando

3 Corrente x carga (peso) para motor



4 A caracteríustica de torque em um motor



"em vazio", ou sem carga, e a corrente máxima que ocorre com o peso máximo que ele consegue movimentar, pode haver uma relação de até 1:10 de valores. A velocidade é outro fator importante a ser observado em um motor DC. O motor tem uma velocidade de rotação que depende da força que ele deve fazer, ou seja, da carga. Por este motivo os fabricantes dos pequenos motores especificam seus produtos pela velocidade "em vazio", ou seja, pela velocidade máxima que eles atingem, e novamente esta velocidade pode cair numa proporção de 10:1 quando ele atingir a potência máxima.

Motores comuns têm velocidades especificadas na faixa de 3000 a 10 000 rotações por minuto (rpm). Entretanto, tipos especiais podem rodar com velocidades menores (faixa de 1500 a 2000 rpm), como os encontrados em toca-fitas e outras aplicações mais críticas.

Outra característica importante de um motor é o torque. De acordo com a f**igura 4**, aplicando-se o princípio da alavanca a um motor, vemos que a "força" que ele pode exercer quando gira, depende não só das características do próprio motor, mas também do comprimento do braço da alavanca.

Considerando que o braço é uma variável, é mais correto levar-se em conta seu comprimento especificando a força que o motor pode fazer de uma forma absoluta pelo que se denomina torque. O torque é, portanto, o produto força x distância, e se mantém constante para um determinado motor, pois quando aumentamos a distância (comprimento da alavanca), a força diminui na mesma proporção.

Caixas de Redução

Conforme vimos, os motores comuns de corrente contínua são motores de baixo torque e elevada rotação. Isso significa que eles não podem ser usados diretamente para transferência de força e movimento para a maioria dos mecanismos. Por exemplo, se acoplarmos uma "roda propulsora" ao eixo de um motor DC comum para movimentar um robô, teremos duas possibilidades desagradáveis: ou o robô "disparará" em alta velocidade, se ele for suficientemente leve, ou então o motor não terá força para movimentá-lo e não conseguirá sair do lugar.

Para usarmos este motor numa aplicação comum de Robótica ou Mecatrônica é preciso reduzir sua velocidade e, ao mesmo tempo, aumentar seu torque. Isso é feito acoplando-se ao motor algum sistema mecânico que possa realizar essas operações. O sistema mais simples consiste de uma correia semelhante à ilustrada na f**igura 5.**

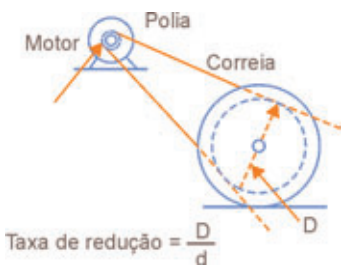
A relação entre o diâmetro do eixo do motor e o diâmetro da roda maior que vai propulsionar ou realizar o movimento nos dará a propoção em que a velocidade é reduzida e o torque é aumentado. Por exemplo, se acoplarmos um motor de 3000 rpm a uma roda propulsora com diâmetro 30 vezes maior, ela "rodará" a 100 rpm e fará uma força 30 vezes maior do que a obtida diretamente pelo eixo. 100 rpm significam aproximadamente 1,6 voltas por segundo. Um motor que não consiga movimentar mais do que 20 gramas diretamente pelo eixo, poderá movimentar um robô de 600 gramas. Outra forma é por meio de engrenagens, conforme a **figura 6**.

A relação entre os tamanhos e o número de dentes das engrenagens nos fornece a taxa de redução da velocidade e também de aumento da força obtida. Se acoplarmos ao motor uma engrenagem com 10 dentes e a esta engrenagem uma maior com 50 dentes, teremos uma taxa de redução de 1:5. Poderemos obter uma taxa ainda maior, acoplando sucessivamente outras engrenagens, veja a **figura 7**.

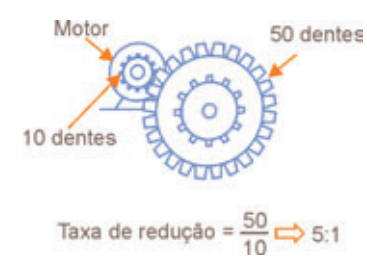
Nesta figura mostramos como temos uma taxa de 1:05 e depois uma de 1:10 e depois 1:20, obtendo-se assim uma taxa final de redução de 1 para 1000!

É claro que o aumento do torque e a redução da velocidade nestas taxas são teóricas, pois precisamos considerar uma pequena perda que ocorre pelo atrito das partes mecânicas.

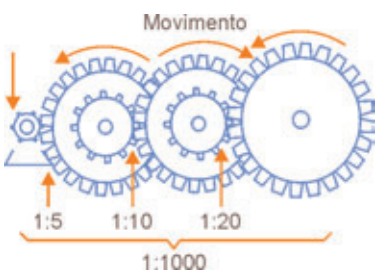
5 Sistema simples de redução



6 Redução por engrenagens



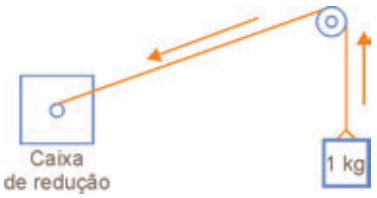
7 Obtenção de maior taxa de redução com diversas engrenagens



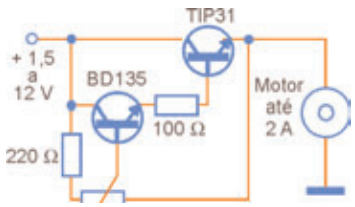
8 Exemplar de Caixa de Redução



9 Levantamento de peso por caixa de redução



10 Controle linear simples de potência



Na prática, é possível obter motores que já disponham de caixas de redução ou então as próprias caixas que podem ser acopladas aos motores. Na **figura 8** temos o exemplo de uma caixa de redução.

Esta caixa já vem com um motor de 3 V, mas que pode ser trocado por outro dependendo da aplicação. Com este motor, a rotação do eixo principal após a redução será da ordem de 120 a 500 rpm, dependendo da carga. A força exercida pelo eixo diretamente puxando um fio, como é mostrado na **figura 9**, permite levantar um peso de mais de 1/2 quilo.

Com esta velocidade e força, a caixa poderá ser utilizada com o motor para movimentar pequenos robôs, braços mecânicos, elevadores em maquetes e outros dispositivos de Mecatrônica.

Controles Eletrônicos

Para controlar torque e velocidade de sistemas movimentados por motores é preciso contar com circuitos eletrônicos apropriados.. Estes circuitos podem controlar a velocidade e o sentido de rotação.

O sentido de rotação dependerá da polaridade da tensão aplicada, ou seja, do sentido da corrente pelos enrolamentos, enquanto que a velocidade pode ser controlada de duas maneiras: pela tensão aplicada de forma contínua ou na forma de pulsos (em artigo tratando dos controles PWM já explicamos como controlar a velocidade por pulsos).

O modo mais simples de controlar a velocidade é através de um controle linear ou reostato eletrônico, como o exibido na **figura 10.**

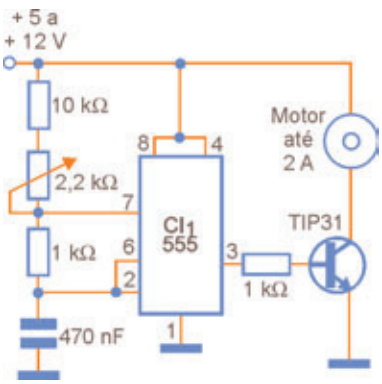
O circuito apresentado pode controlar motores com correntes de até uns 2 ampères. Para obter-se um controle PWM temos um circuito básico utilizando o circuito integrado 555 na configuração de multivibrador astável, que é visto na **figura 11**.

A relação entre a largura dos pulsos produzidos e a separação pode ser controlada pelo potenciômetro e determina a potência aplicada ao motor. Com este tipo de controle pode-se ter um comportamento mais linear em toda a faixa de ajuste de velocidade, principalmente nas baixas velocidades, onde o torque não é mantido com os controles lineares. O único cuidado que o montador deverá ter é no sentido de encontrar o melhor valor de C_1 para o motor que está sendo usado.

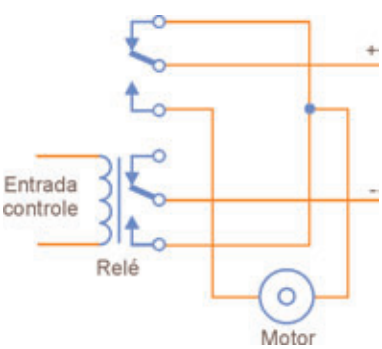
Este capacitor deverá ter seu valor "casado" com as características do motor de modo que ele não vibre nas baixas velocidades, de forma inconveniente. Para reversão da velocidade poderá ser utilizada uma meia ponte com base em relé, como a exemplificada na **figura 12**.

Com o relé aberto o motor gira em um sentido, e com ele fechado, no sentido oposto. O sentido pode ser controlado pelo nível lógico do sinal aplicado à base do transistor que tem por carga o relé.

11 Controle PWM com um 555



12 Invertendo o sentido de rotação de um motor



Conclusão

O emprego de motores em dispositivos mecatrônicos não exige muito.

Podemos obter motores de diversos tipos ou de aparelhos comuns fora de uso, ou em casas especializadas, com facilidade, o que simplifica bastante o trabalho do projetista de Robótica e Mecatrônica ou automatismos diversos. Entretanto, é preciso saber trabalhar com este pequenos motores respeitando suas características elétricas e mecânicas. Utilizando-se caixas de redução apropriadas e controles de velocidade e sentido, é possível conseguir qualquer tipo de movimento com estes motores, desde os mais suaves até o movimento rápido de propulsão de um veículo controlado à distância. f

Motores Piezoelétricos

A forma tradicional de se obter força e movimento para os projetos de mecatrônica é a que faz uso de motores de indução eletromagnética. Estes motores, tanto de corrente contínua (DC), quanto de alternada (AC), se baseiam no efeito magnético da corrente elétrica. De acordo com sua construção e aplicação eles têm vantagens e desvantagens que podem levar os projetistas a pensar em novas alternativas para a propulsão de seus mecanismos.
Uma destas alternativas, que está se tornando importante nos projetos que envolvem a precisão no movimento de peças delicadas, é a que tem por opção os motores piezoelétricos. Veja neste artigo como estes motores funcionam e quando devem ser empregados em um projeto.

Newton C. Braga

Os motores piezoelétricos se baseiam na deformação que certos materiais manifestam quando submetidos a uma tensão elétrica. Normalmente, são usadas cerâmicas que podem suportar tensões bastante elevadas e que são fáceis de serem produzidas, além de terem um custo relativamente baixo.

Montando-se estas cerâmicas de modo que estas deformações possam ser usadas para transferir a força mecânica gerada para um dispositivo mecânico externo, podem ser construídos motores piezoelétricos de características peculiares que tornam estes dispositivos parte de uma opção inteiramente nova para os projetistas de equipamentos mecatrônicos.

Os motores piezoelétricos possuem tempos mais rápidos de resposta, uma parada instantânea sem oscilação, uma relação excelente peso/potência e um tamanho menor que os equivalentes eletromagnéticos.

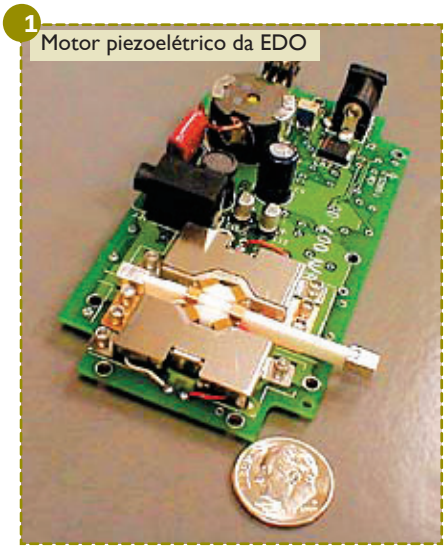
Além disso, sua construção é extremamente simples com menos peças móveis e pode ser usada no posicionamento de grande precisão.

Os motores piezoelétricos, ademais, geram menos ruído (EMI/RFI) dos que os motores comuns.

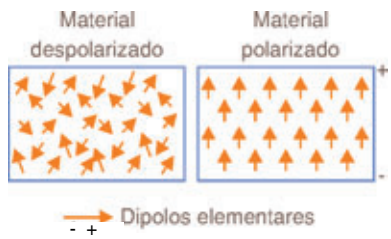
Na **figura 1** temos um motor piezoelétrico da EDO.

O custo de um motor piezoelétrico diminuiu bastante nos últimos anos e o avanço da tecnologia de sua fabricação tem possibilitado seu uso em diversos campos importantes como:

1 Motor piezoelétrico da EDO



2 Campos elétricos intensos são usados para polarizar o material



- Dispositivos que exigem micropo-sicionamento
- Controle de processos de fabrica-ção
- Posicionamento de fibras ópticas
- Autofoco de câmeras fotográficas
- Aplicações médicas diversas
- Teste de equipamentos semicon-dutores
- Movimentação de discos rígidos
- Posicionamento em robótica
- Manuseio de substâncias na in-dústria farmacêutica
- Indústria aeroespacial
- Aplicações automotivas

O Efeito Piezoelétrico

Em 1881, Pierre Curie e Jacques Curie observaram que os cristais de quartzo geravam um campo elétrico quando sofriam uma deformação ao longo de seu eixo primário.

Para expressar este fenômeno foi adotado o termo "piezoeletricidade", derivado das palavras gregas "piezo", que significa pressionar, e eletricidade.

Além do cristal de quartzo, exis-tem muitas substâncias que podem apresentar a mesma propriedade, ou seja, manifestar uma diferença de potencial elétrico entre suas faces quando pressionadas ou deforma-das mecânicamente.

Uma das mais comuns, e que é usada numa infinidade de dispositivos eletrônicos, é a cerâmica piezoelétrica policristalina de zirconato/titanato de chumbo, ou ainda titanato de bário.

Conforme mostra a **figura 2**, quan-do a cerâmica se encontra em condi-ções normais, os dipolos elementares, que são características do material, estão em posições aleatoriamente distribuídas, de modo que o campo elétrico total produzido seja nulo. Nes-tas condições, a tensão elétrica que se manifesta entre as faces do bloco de material é nula.

Submetendo-se o material a um forte campo elétrico (2 500 V/mm), os dipolos elementares de seu interior se orientam e entre as faces aparece uma tensão elétrica, observe a **figura 3.**

Para obter estes materiais, titana-tos e zirconatos de bário e de outros elementos na forma de pó são pres-sionados.

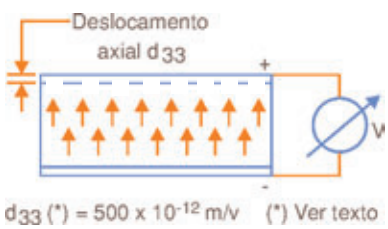
O processo é semelhante ao usado para se conseguir ímãs permanentes em que materiais magnéticos, na forma de pó, são comprimidos e depois sub-metidos a fortes campos magnéticos.

Uma vez que o material seja pola-rizado da forma indicada, ele passa a manifestar as propriedades que possibilitam seu uso nos motores piezoelétricos.

Para um material típico deste tipo, quando uma tensão da ordem de 200 V é aplicada entre suas faces, ocorre uma deformação da ordem 500 pm/V o que corresponde a um deslocamen-to de apenas 0,1 mícrons.

Embora possa parecer uma defor-mação extremamente pequena, deve-se considerar o modo como ela pode ser aproveitada.

3 Ao ser forçado mecanicamente, o material gera tensão e vice-versa



Alguns Termos Técnicos

Antes de prosseguirmos, damos alguns termos técnicos usados no es-tudo do efeito piezoelétrico, e também na terminologia dos motores deste ti-po, cujos significados são importantes que os leitores conheçam:

Orientação dos Eixos

Na terminologia comum, os eixos que determinam a orientação de um corpo no espaço são chamados X, Y e Z. Na especificações dos materiais piezoelétricos, os eixos são indicados pelos números 1, 2 e 3.

Para os cristais piezoelétricos, o ei-xo 3 é o eixo polar, ou seja, o eixo em que é feita a polarização do material no processo de fabricação.

Especificações

As quantidades que especificam as características de um material são dadas por uma letra que possui dois índices, um correspondente à orien-tação do campo elétrico associado à tensão aplicada, e o outro à força ou deformação mecânica resultante.

Temos, então, os seguintes casos:
T = esforço constante = mecanica-mente livre
E = campo constante = curto-cir-cuito
D = deslocamento elétrico constan-te = circuito aberto
S = esforço constante = mecanica-mente preso

Por exemplo, KT3 indica a cons-tante dielétrica relativa (K) medida na direção polar (3), sem carga mecânica aplicada.

Constantes Piezoelétricas: Constante d

Estas constante ou indicam a defor-mação deslocamento mecânico pro-duzido quando um campo elétrico é aplicado ao material piezoelétrico. As unidades podem ser expressas em metros por volt.

d = deslocamento/campo elétrico aplicado

Neste caso temos dois índices usa-dos, sendo um indicando a direção em que o esforço mecânico é aplicado, e o outro a direção em que o campo é medido.

Portanto, d33 indica o coeficiente obtido quando a força é aplicada na direção 3 (eixo de polarização), e o campo é medido no mesmo eixo.

O índice 15 na especificação d15 é usado para indicar que o esforço resul-ta em um campo perpendicular ao eixo de polarização.

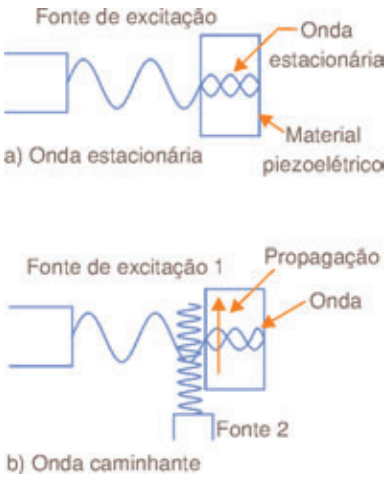
Constante Elástica

Relação entre a tensão aplicada (em volts) e a deformação do material piezoelétrico.

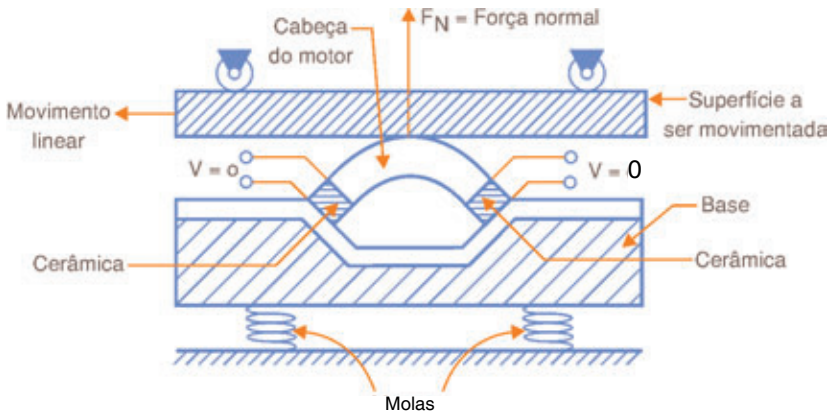
Ponto Curie

Temperatura em que o material dei-xa de manifestar as propriedades piezo-elétricas. Para os materiais comuns esta temperatura é da ordem de 350° C.

4 Dois modos de operação dos motores piezoelétricos



5 Modelo simplificado de um motor piezoelétrico



Coeficiente de Acoplamento Eletromecânico

Relação entre a energia mecânica acumulada em resposta a um impulso elétrico. Este coeficiente é usado para calcular a constante d.

Princípio de Funcionamento

Para aproveitar a força mecânica e deslocamento que são obtidos quando uma tensão é aplicada em um material piezoelétrico, como os descritos, de modo a se conseguir movimento ou deslocamento, existem diversas técnicas que passaremos a descrever em seguida.

Evidentemente, os números extremamente pequenos que envolvem estes deslocamentos fazem com que o melhor aproveitamento do efeito ocorra quando a tensão seja aplicada ao material numa velocidade muito alta.

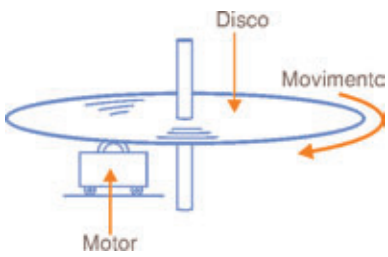
Desse modo, os motores piezoelétricos são excitados por sinais cuja frequência está acima do limite audível, daí serem eles também denominados "motores piezoelétricos ultrassônicos".

Nas frequências elevadas em que os materiais são excitados as deformações não acontecem de maneira uniforme, pois há um tempo para a propagação do sinal através do material.

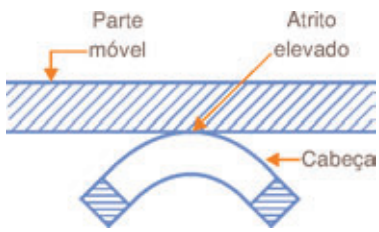
Desta forma, as deformações criam ondas de deformação que levam a dois modos de operação para o motor.

Na **figura 4** são exibidos os dois modos principais de operação.

6 Convertendo o movimento linear em rotatório



7 Deve haver bom coeficiente de atrito entre a cabeça e a parte móvel



No modo por "onda estacionária", a frequência de operação é tal que forma-se uma onda estacionária no material piezoelétrico, sendo para esta finalidade usada uma fonte única de vibração. Na outra modalidade, que é a de onda caminhante, são empregadas duas fontes de ondas estacionárias com uma diferença de fase de 90º.

Outros modos de operação, estes mais sofisticados, podem ser encontrados em motores de diversas procedências, conforme a finalidade a que se destinam e também seu custo e performance.

Para entendermos melhor como funcionam será interessante partir de um modelo mais simples, com a estrutura apresentada na **figura 5**.

Este arranjo produz um movimento linear que pode ser convertido em rotatório com a utilização de um disco, veja o exemplo na **figura 6**.

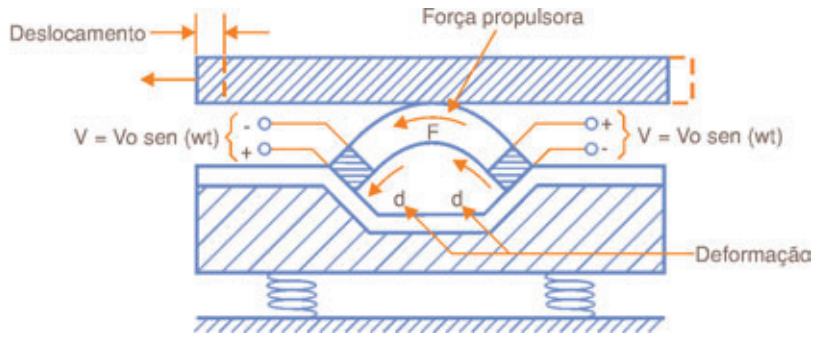
Neste arranjo, os cristais piezoelétricos são postos em um suporte com molas que pressionam o conjunto contra a superfície que deve ser movimentada (linear ou um disco para obter rotação).

Na cabeça do motor temos duas peças de cerâmicas piezoelétricas que são alimentadas por circuitos elétricos externos.

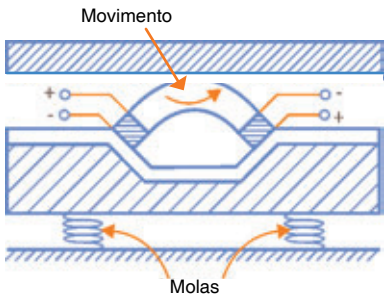
Na condição em que nenhuma tensão é aplicada aos transdutores, a força exercida pela cabeça do motor à peça móvel é perpendicular, e portanto não há resultante que provoque seu movimento, conforme ilustra a **figura 7**. Um ponto importante a ser considerado é que entre a cabeça e a superfície que deve ser movimentada haja um bom coeficiente de atrito.

Quando a tensão senoidal é aplicada numa das cerâmicas, surge uma força cujo sentido depende do fato da cerâmica se deformar em um sentido, ou noutro, causando desta forma um movimento da parte móvel que é mostrado na **figura 8**.

8 Ciclo de propulsão com aplicação da força pela cabeça do motor



9 Ciclo de retorno da cabeça do motor



Supondo que a tensão aplicada tenha a forma:

V = Vo sen (ωt)

A força que aparece sobre a parte móvel será dada por:

Fk = η. Fn

Onde:
V_o é a tensão de pico aplicada
ω é a pulsação e equivale a 2 x π x f
f é a frequência em hertz
t é o tempo em segundos
Fk é a força cinética em newtons
Fn a força normal em newtons
η é o coeficiente de atrito

Para os motores comuns esta força resultante no sentido lateral será da ordem de 2 a 3 newtons.

Quando no semiciclo seguinte do sinal, a tensão aplicada aos cristais se inverte, o cristal se contrai, criando uma pequena separação entre a base do motor e a lâmina que deve ser movimentada. Isso faz com que a cabeça retorne a sua posição original, mas sem trazer de volta a peça móvel que então avança uma pequena distância, confira na **figura 9**.

No ciclo seguinte, a tensão aplicada é novamente positiva e a força faz com que a peça móvel avance mais um pouco.

Observe que a cabeça do motor faz um movimento rotatório, empurrando num sentido único a peça que lhe faz contato, vide **figura 10**.

Este processo se repete numa razão de 130 000 vezes por segundo em um motor comum, resultando numa velocidade típica de 130 mm/s.

A velocidade pode ser facilmente alterada modificando-se a tensão aplicada, pois ela determina o tamanho de cada um dos pequenos "passos" que a peça móvel dá.

Na **figura 11** é mostrado a curva característica de velocidade de um motor como função da tensão aplicada ao cristal piezoelétrico.

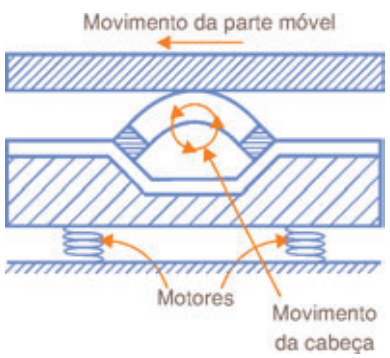
Tipos de Motores

Na prática, diversos arranjos para a cabeça ou cabeças e a peça móvel pode ser usados para se obter mais forças ou diversos tipos de movimentos. Na **figura 12** apresentamos alguns deles.

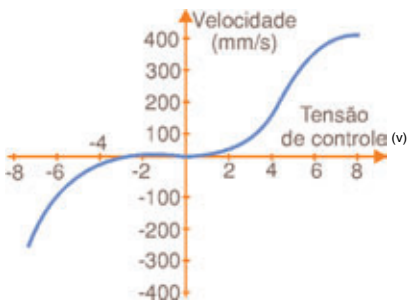
Em **(a)** temos o uso de duas cabeças em oposição para se obter mais força. Mais força ainda poderá ser conseguida com o arranjo exibido em **(b)**, em que são usadas quatro cabeças. Finalmente, em **(c)** temos um arranjo em que a peça movimentada é um disco, com o que é possível alcançar um movimento rotatório.

Motores de grande precisão já são industrializados para as mais diversas aplicações como, por exemplo, para aplicações em encoders sem contatos, e outros.

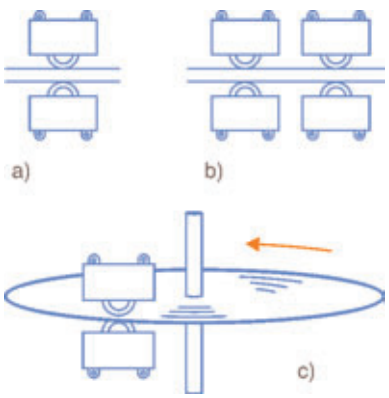
10 Movimento da cabeça do motor



11 Curva característica velocidade x tensão de controle



12 Tipos de motores



Controle bidirecional de motor

Newton C. Braga

Em projetos de mecatrônica pode ser necessário inverter o sentido de rotação de um motor de corrente contínua a partir de um sinal digital de controle. O circuito proposto é interessante, pois inclui uma chave de habilitação que permite desligar o motor.

Motores de corrente contínua controlados a partir de circuitos digitais são encontrados na maioria dos projetos de mecatrônica: robôs, braços mecânicos, automatismos, etc.

Como inverter a rotação de um motor alimentado por um circuito de corrente contínua sem usar relés e sem a necessidade de fontes simétricas?

Se este é o problema do leitor, veja neste circuito como isso pode ser feito de maneira simples usando componentes comuns.

O circuito proposto pode funcionar com motores de 6 a 12 volts e com correntes que podem chegar a vários ampères, dependendo apenas dos transistores de efeito de campo de potência empregados.

O sinal lógico de controle deve ser compatível com tecnologia CMOS, mas nada impede que seja usado um circuito TTL LS com alimentação de 5 volts para interface com a porta paralela de um PC.

Observamos que, embora o circuito seja dado com base em transistores de efeito de campo de potência (*Power FETs*), ele também funcionará com rendimento levemente menor se forem usados Darlingtons de potência do tipo NPN com resistores limitadores de corrente nas bases. Como fazer esta modificação será explicado no decorrer do artigo.

Como funciona

No nosso projeto ligamos um motor de corrente contínua a quatro transistores de efeito de campo de potência, que formam uma ponte denominada Ponte H.

No entanto, neste circuito os transistores estão ligados de modo que a ponte só se equilibra quando os quatro estão no corte, que é a condição de parada que veremos mais adiante.

Nas outras duas condições possíveis os transistores conduzem, dois a dois.

Assim, quando Q_1 e Q_3 estão saturados, os transistores Q_2 e Q_4 obrigatoriamente estão no corte e a corrente flui no sentido indicado na **figura 1**.

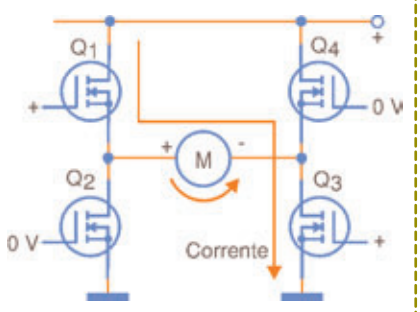
Nestas condições, temos um sentido de rotação para o motor determinado pelo sentido de circulação da corrente em seus enrolamentos.

Na segunda condição possível de funcionamento para o circuito, os transistores Q_2 e Q_4 estão saturados enquanto que Q_1 e Q_3 estão no corte. O resultado é a inversão do sentido de rotação do motor, pois a corrente circulará da forma mostrada na **figura 2.**

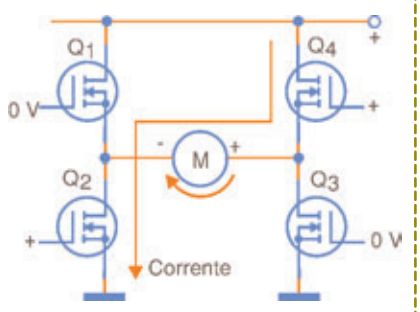
Para obter as duas condições iniciais de rotação do motor usamos dois inversores retirados de duas portas disparadoras de um circuito integrado 4093.

Estas portas são ligadas de duas formas: quando a chave S_1 está na posição **(a)** e a entrada de controle das portas vai ao nível alto,

1 Corrente quando Q_1 e Q_3 conduzem



2 Corrente quando Q_2 e Q_4 conduzem



elas funcionam como inversores. Assim, garantimos que nos transistores Q_1 e Q_3 os níveis lógicos são opostos aos dos transistores Q_2 e Q_4 e tenhamos dois sentidos de rotação.

Porém, quando a chave for levada à posição **(b)** as saídas das portas serão obrigatoriamente zero e os transistores estarão no corte. Isso fará com que o motor não receba alimentação.

Se em lugar desta chave colocar essas entradas no nível baixo, ela conectar um circuito externo de contole, este poderá fazer com que o motor gire ou não. O sentido dependerá do nível de sinal da outra entrada.

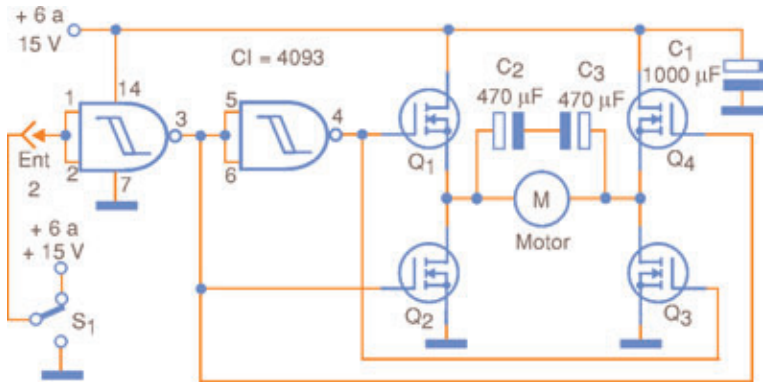
Montagem

Na **figura 3** temos o diagrama completo do controle.

A disposição dos componentes numa placa de circuito impresso é ilustrada na **figura 4**.

Os transistores devem ser dotados de radiadores de calor conforme a potência do motor. Motores de até 2 ou 3 ampères podem ser

3 Diagrama do controle de motor usando ponte H



Pontes H

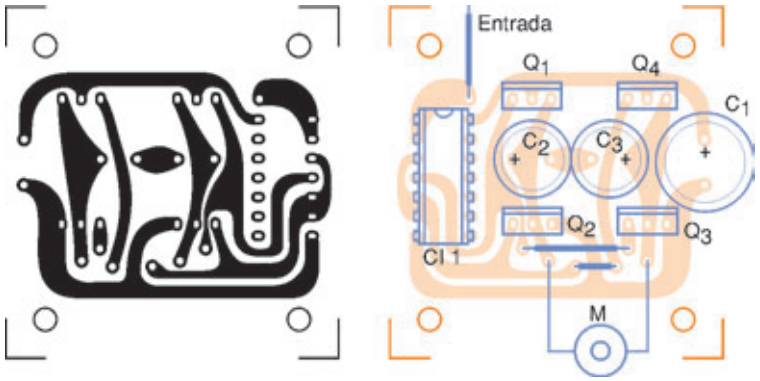
As pontes H (*H Bridges*) constituem a base de uma infinidade de projetos de controle de robótica e mecatrônica, já que podem inverter o sentido de circulação de uma corrente por uma carga sem a necessidade de relés ou de fontes simétricas.

Elas podem ser elaboradas a partir de transistores bipolares comuns de potência ou Power FETs, mas existem circuitos integrados que são especialmente projetados para o controle de motores em robótica, controle industriais, etc e que contêm pontes de alta potência em seu interior.

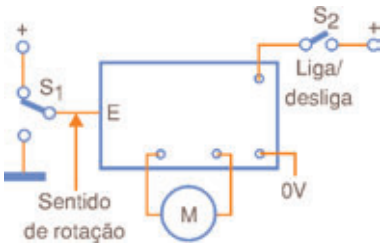
A National Semiconductor, por exemplo, tem nos circuitos integrados LMD18200, LMD18201 e LM18400 exemplares de pontes H com todos os elementos para o controle por sinais digitais ou mesmo a partir de portas de computadores. Informações sobre aplicações destes integrados podem ser obtidas no *site* da National Semiconductor (**www.national.com**).



4 Placa de controle bidirecional



5 Utilizando chaves no controle



controlados sem problemas pela maioria dos FETs de potência disponíveis no mercado.

Qualquer FET de potência de canal N com tensão acima de 100 volts e corrente acima de 3 ampères pode ser usado sem problemas neste circuito.

Os capacitores em oposição em paralelo com o motor são importantes para eliminar transientes que tanto podem afetar os transistores como também o próprio circuito integrado, a partir da fonte de alimentação.

O circuito integrado pode ser montado em um soquete DIL para maior segurança e sua posição deve ser rigorosamente observada.

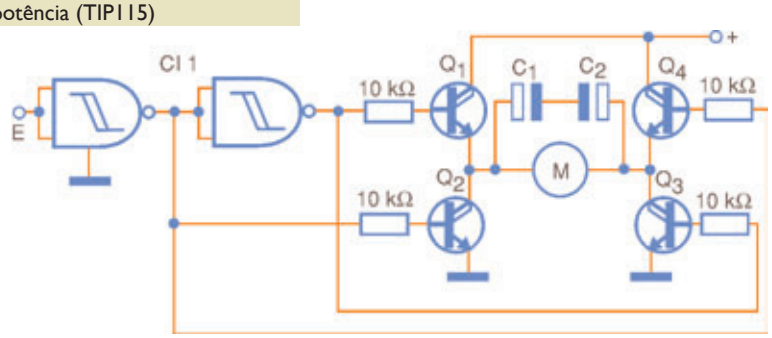
Para um controle manual do motor podemos usar o circuito da **figura 5**.

Este circuito usa duas chaves comuns para inverter a rotação do motor e para acioná-lo.

A configuração com base em Darlingtons de potência, é dada na **figura 6.**

Qualquer Darlington NPN com tensão máxima entre coletor e emissor de pelo menos 50 volts e corrente a partir de 2 ampères ou de acordo com o motor usado, pode ser experimentado. Para os Darlingtons, pode-se notar uma pequena queda de rendimento com alimentação de 6 V dado que a queda de tensão nestes componentes é maior do que nos FETs de potência.

6 Configuração com uso Darlingtons de potência (TIP115)



Prova e uso

Para provar o aparelho, basta montar o circuito de controle com as chaves e verificar se o motor responde aos controles.

Se notar aquecimento excessivo dos transistores, aumente o tamanho dos radiadores de calor.

Para usar lembre-se dos limites de tensão de controle uma vez que não podemos aplicar na entrada uma tensão maior do que a usada na alimentação do CI.

Uma ideia interessante que pode ser estudada pelos leitores é aplicar pulsos com relação marca-espaço controlada de modo a se ter a rotação no sentido desejado e também se controlar a velocidade. Os pulsos com esta relação marca-espaço controlada seriam aplicados à entrada de controle de parada e não à entrada de controle de sentido de rotação.

Lista de materiais:

Semicondutores
CI_1 - 4093 - circuito integrado CMOS
Q_1 a **Q_4** - IRF632 ou qualquer equivalente - transistor de efeito de campo de potência.

Capacitores
C_1 - 1000 µF x 16V - eletrolítico
C_2, **C_3** - 470 µF x 25V - eletrolíticos

Diversos
M - Motor de corrente contínua - ver texto
S_1 - Chave de 1 polo x 2 posições

Placa de circuito impresso, soquete para o circuito integrado, radiadores de calor para os transistores, fios, solda, fonte de alimentação etc.

Sensor de pressão

Este circuito pode servir de base para um sensível indicador de pressão mecânica ou detector de pesos experimental. O sensor é uma esponja condutora, cuja resistência depende de seu grau de compressão. A precisão do aparelho depende do modo como o sensor for montado, mas o aparelho serve perfeitamente para aplicações em mecatrônica, por exemplo, associado a garras e inclusive como sensor de obstáculos, ou ainda com finalidades didáticas, experimentais ou em demonstrações.

Newton C. Braga

O sensor deste circuito é um pedaço de esponja condutora, do tipo usado para proteger circuitos integrados contra descargas de eletricidade estática. Esta esponja pode ser obtida em lojas de semicondutores, sucatas ou mesmo empresas que utilizem circuitos integrados em grande quantidade, principalmente os circuitos sensíveis com FETs (transistores de efeito de campo) como os empregados em microcomputadores para proteger memórias e outros componentes sensíveis.

Usando esta esponja como sensor, convertemos pressões em tensões e com isso acionamos um instrumento indicador, ou ainda um circuito de acionamento qualquer. Uma das possíveis aplicações para este projeto é uma balança experimental. Outra possibilidade é a montagem de um sensor de presença em que temos o acionamento de um alarme pelo peso de uma pessoa ou um objeto. Podemos ainda citar sua colocação em uma garra de robô com um instrumento que serve para indicar a pressão que está sendo feita no objeto manipulado. Finalmente, o sensor pode ser utilizado numa armadilha que seria acionada pelo peso do animal que se pretende capturar.

Como a deformação da esponja não obedece a uma proporção linear, a precisão de indicação deixa a desejar no caso de se pretender a utilização do aparelho como balança ou com finalidades mais críticas.

O circuito pode ser alimentado por bateria ou fonte e tem um consumo bastante baixo. Todos os componentes usados são comuns, uma vez que a base é o conhecido circuito integrado 741 - um amplificador operacional de uso geral.

Características

- Tensão de alimentação: 9 V
- Corrente drenada: 5 mA (tip)
- Ganho de tensão do circuito: 1 a 100

Como funciona

Um amplificador operacional do tipo 741 tem ligado na sua entrada não inversora (pino 3) um divisor de tensão, cuja finalidade é estabelecer uma tensão de referência aproximadamente igual à metade da tensão de alimentação.

Na entrada inversora ligamos um segundo divisor de tensão, formado por um potenciômetro e o sensor de pressão.

Este sensor de pressão nada mais é do que um pedaço de esponja condutora colocada entre duas chapinhas de metal que funcionam como eletrodos.

Quando as chapinhas são apertadas e a esponja comprimida, sua resistência diminui. A diminuição será proporcional à pressão exercida pelas chapinhas.

Ajustamos então em P_1 a tensão na entrada inversora de modo que ela seja da mesma ordem que a tensão de referência.

Neste ponto a tensão de saída fica perto de zero. Com um ajuste preciso, levando em conta o ganho do operacional, dado pelo ajuste de P_2, podemos chegar a este ponto de zero.

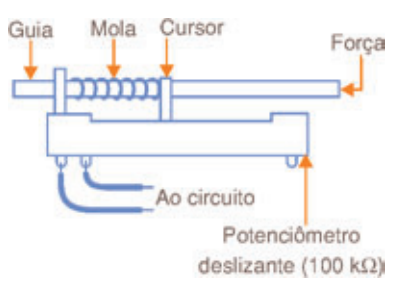
Sensor Alternativo

Podemos elaborar sensores de pressão utilizando outras tecnologias diferentes da que faz uso da esponja condutora. Uma forma simples de se obter um sensor de pressão é com um potenciômetro deslizante e uma mola, conforme mostra a **figura A**.

A pressão sobre o pino atua sobre o cursor do potenciômetro que, então, apresentará uma resistência proporcional. Esta configuração pode ser usada perfeitamente em lugar do sensor com esponja de nosso projeto.

A

Circuito simples p/ um Sensor de Pressão



A partir daí, com o aumento da pressão no sensor, sua resistência diminui e com isso a tensão na entrada inversora aumenta. O resultado é que teremos maior corrente no instrumento indicador. O ajuste de P_2 permite determinar a faixa de pressões que deve ser coberta pela escala do instrumento indicador usado.

Uma limitação para a corrente de fundo de escala é dada pelo ajuste de P_3.

Veja que, usando um divisor como referência na entrada não inversora, não precisamos de fonte simétrica para o amplificador operacional, o que simplifica bastante o projeto.

Montagem

Na **figura 1** temos o diagrama completo do aparelho.

Na **figura 2** observamos a disposição dos componentes em uma placa de circuito impresso.

Como parte de uma montagem experimental, entretanto, o circuito pode ser facilmente montado numa matriz de contatos pequena.

O circuito integrado, para maior segurança, pode ser instalado num soquete DIL de 8 pinos. Também é possível trabalhar com amplificadores operacionais equivalentes, inclusive os que possuem transistores de efeito de campo na entrada como o CA3140 ou TL071. Os resistores são de1/8 W e o capacitor eletrolítico deve ter uma tensão de trabalho mínima de 12 V.

O indicador M_1 é um microamperímetro de aproximadamente 200 µA de fundo de escala. Na verdade, instrumentos de 100 µA a 1000 µA (1mA) podem ser usados, já que o *trimpot* P_3 permite ajustar sua corrente de escala àquela que o circuito fornece.

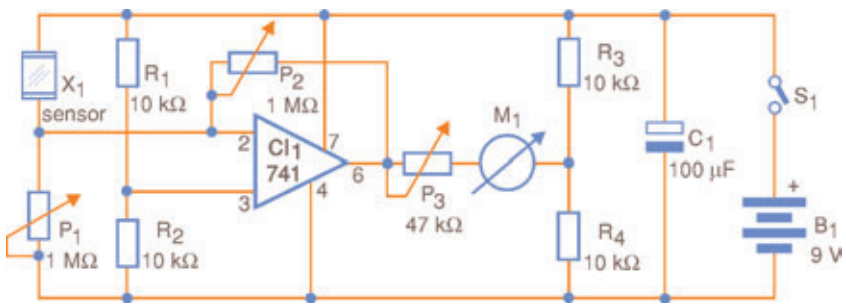
Para o sensor pode ser usada uma esponja condutora de 1 a 3 cm de lado e com 0,3 a 0,8 cm de espessura. Os eletrodos são chapinhas de metal ou mesmo dois pedacinhos de placas de circuito impresso sem corrosão.

Na **figura 3** damos uma sugestão de como o sensor deve ser utilizado numa balança eletrônica experimental.

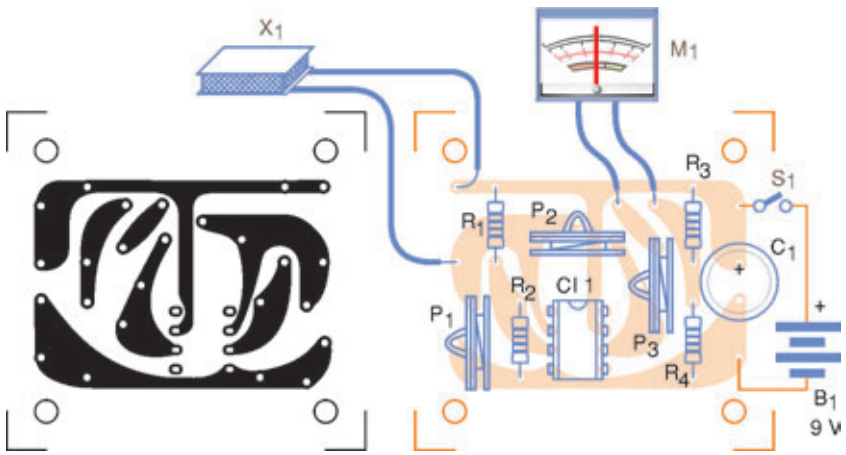
Para acionar um relé quando a pressão sobre o sensor atingir um valor que pode ser ajustado no potenciômetro, pode ser usado o circuito da **figura 4**.

O relé é do tipo sensível com tensão de acordo com a alimentação e

1 Diagrama do sensor de pressão



2 Placa de circuito impresso para o sensor de pressão



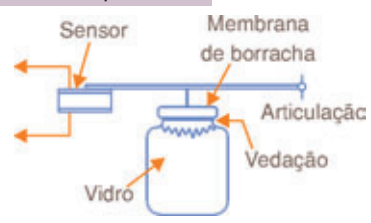
Sensores de Pressão Atmosférica

Uma aplicação interessante para este tipo de sensor de forma experimental, consiste em se fazer um barômetro experimental que tenha a construção mostrada na **figura B**.

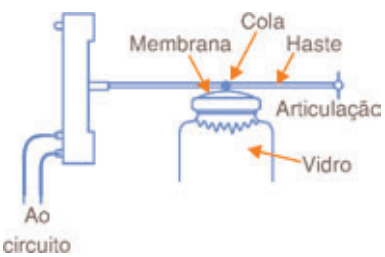
Uma membrana de borracha (que pode ser obtida de balões de festas de aniversário) é acoplada ao sensor de modo que a pressão exercida depende da diferença entre a pressão do ar no interior do vidro e a pressão atmosférica. É fácil perceber que a pressão da membrana sobre o sensor varia com a pressão atmosférica, podendo desta forma ser elaborada uma escala para o instrumento.

Uma forma mais precisa de se medir esta pressão usando-se um potenciômetro deslizante é mostrada na **figura C**.

B Barômetro experimental



C Medida da pressão com um potenciômetro deslizante



corrente máxima de bobina de 50 mA. Os contatos dependem do que se pretende acionar como carga controlada.

Prova e uso

Para usar o aparelho, coloque inicialmente P_2 na posição de mínima resistência e ajuste P_1 até obter a leitura de zero no instrumento.

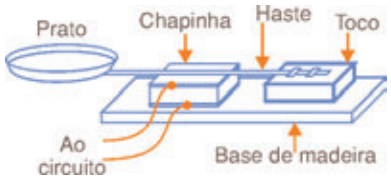
A seguir, vá apertando gradualmente o sensor e ajustando P_2 para obter a resposta desejada. Se o ponteiro não atingir o fundo de escala ou tentar ultrapassá-la com pressões maiores, ajuste P_3.

Comprovado o funcionamento, é só usar o aparelho. Com base em pesos de objetos conhecidos pode ser elaborada uma escala para o instrumento, caso em que podemos ter uma razoável balança experimental.

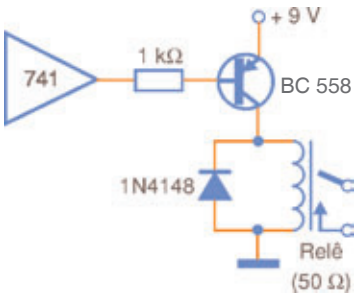
Outra possibilidade é ligar na saída do operacional em lugar do instrumento indicador um multímetro digital na escala apropriada de tensões e, com isso, termos uma balança digital.

Finalmente, podemos acoplar à saída do circuito um conversor analógico/digital e conseguir passar para um computador informações sobre a pressão exercida sobre o sensor.

3 Sugestão de montagem como balança experimetal



4 Acionamento com o aumento da pressão sobre o sensor



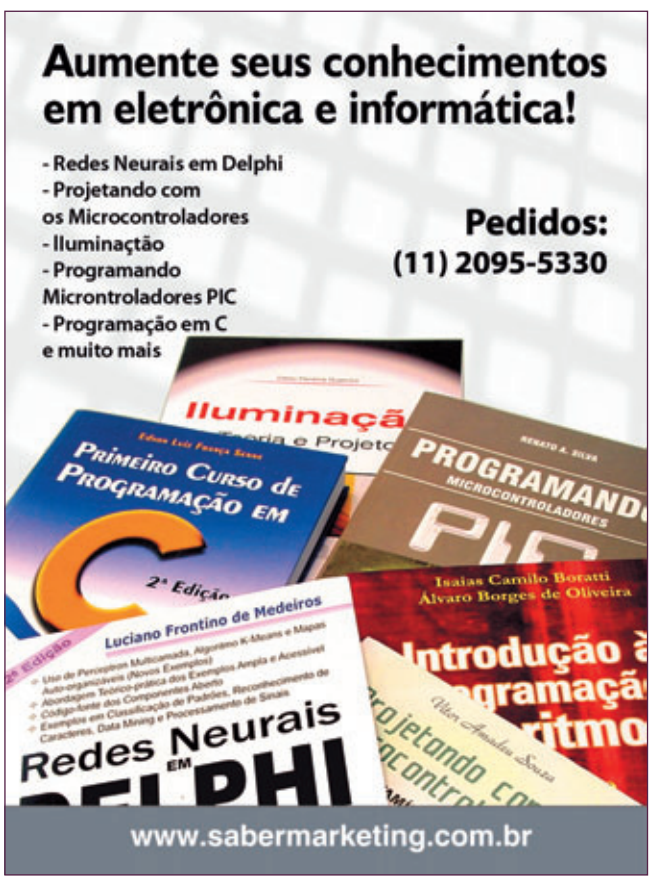
Lista de materiais:

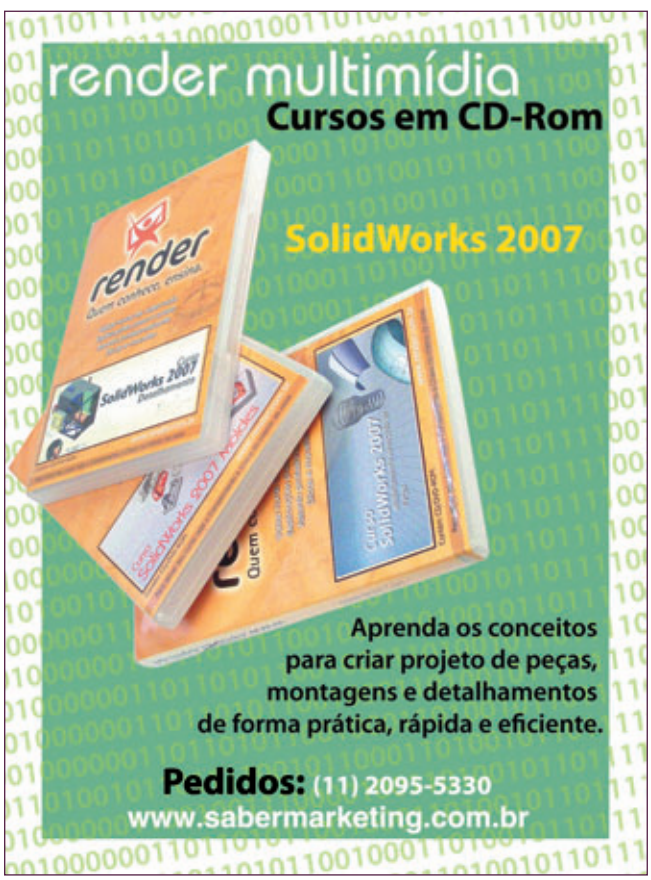
Semicondutores
CI_1 - 741 - circuito integrado - amplificador operacional

Resistores (1/8 W, 5%)
R_1, R_2, R_3, R_4 - 10 k ohms - marrom, preto, laranja
P_1, P_2 - 1 M ohms - potenciômetros ou trim pots
P_3 - 47 k ohms - potenciômetro ou trim pot

Capacitores
C_1 - 100 µF/12V - eletrolítico
Diversos
X_1 - Sensor de pressão - ver texto
M_1 - 100 µA a 1 mA - indicador - ver texto
S_1 - Interruptor simples
B_1 - 9 V - bateria

Placa de circuito impresso, caixa para montagem, conector de bateria, botões para os potenciômetros, soquete para o circuito integrado, fios, solda etc.





Automação Industrial e Robótica



Confira neste artigo as características dessas duas tecnologias que estão intimamente relacionadas. Ambas se encontram em constante e acelerado crescimento, graças ao avanço de pesquisas em áreas como eletrônica, mecânica, informática e inteligência artificial.

Wânderson de Oliveira Assis[1]

Alessandra Dutra Coelho[2]

A Robótica é a tecnologia que se preocupa com o desenvolvimento de robôs ou dispositivos robóticos, e constitui-se numa área multidisciplinar altamente ativa que busca o desenvolvimento e integração de técnicas e algoritmos para a concepção de equipamentos. Ela visa executar ações em substituição ao homem.

Os robôs foram introduzidos inicialmente na indústria automobilística, a partir da década de 60, sendo constituídos de dispositivos manipuladores programáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais e efetuar movimentos controlados de forma a executar tarefas repetitivas ou que exigiam esforços extremos tais como transporte, soldagem e pintura em veículos.

Hoje os robôs são utilizados nos mais diversos processos de fabricação industrial e apresentam capacidade de executar tarefas com eficiência e precisão. Além isso, eles incorporam dispositivos sensoriais, tornando-se capazes de tomar decisões, executar tarefas com precisão e ainda interagir com o ser humano.

Em alguns setores, o uso de robôs nas indústrias é questão de sobrevivência. Afinal, em tempos de globalização, com a concorrência cada vez mais acirrada, e com a queda no preço dos robôs, a sua utilização é bastante vantajosa e garante, na maioria dos casos, um aumento de produtividade com menor custo e maior qualidade. Ademais, o sucesso que as empresas e países usuários de robôs vem obtendo é alto. No Japão, por exemplo, conseguiu-se quadruplicar a produção de automóveis em dez anos, mantendo praticamente a mesma força de trabalho.

Além da utilização na indústria automobilística, são exemplos de aplicações com robôs:

- Desarmamento de bombas, procura e resgate de sobreviventes em zonas de guerra;
- Transporte de diversos tipos de materiais na indústria ou em operações militares;
- Uso em serviços domésticos, como exemplo os aspiradores de pó automatizados, robôs que cortam grama, lavam e enxaguam o chão, dentre outros, encontrados principalmente nos EUA, Japão e Europa;
- Entretenimento, em brinquedos eletrônicos automatizados como o cãozinho AIBO® da Sony e os dinossauros e robôs da Wow Wee®;
- Competições estudantis de robótica, a exemplo da RoboCup® e a Robocore®.

Em algumas aplicações os robôs realizam tarefas em lugares onde a presença humana se torna difícil, arriscada e até mesmo impossível, Exemplos: fundo do mar, onde haja presença de gases tóxicos, em zonas de guerra ou na exploração espacial.

Adicionalmente os robôs podem ser utilizados em trabalhos de pesquisa com o objetivo de permitir a avaliação de novas tecnologias. É o caso, por exemplo, do uso de robôs em competições estudantis.

Robótica e Processamento de Imagem na Indústria

Certamente, o grande crescimento tecnológico das últimas décadas e a queda nos preços impulsionaram o aumento do número de robôs utilizados na indústria.

Segundo números da Comissão Econômica Européia das Nações Unidas, de 2005, sobre a população de robôs distribuídos no mundo, o núme-

([1])Coordenador de pós-graduação em Instrumentação, Automação e Controle de Centro universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

([2])Professora e Coordenadora do projeto de Iniciação Científica da Mauá

1 Aplicações realizadas com robôs

Desarmamento de Bomba
iRobot PackBot EOD
fonte: **www.irobot.com**





Transporte
R-Gator: AUGV
fonte: **www.irobot.com**

Exploração
Mars Exploration Rover Mission
fonte: **marsrovers.jpl.nasa.gov**





Entretenimento
AIBO Entertainment Robot
fonte: **news.sel.sony.com**

Prestação de Serviços
Trilobite 2.0 Vacuum Cleaner
fonte: **trilobite.eletrolux.co.uk**





Competições
RoboCup 2005 Osaka
fonte: **www..robocup.org**

ro de robôs para cada dez mil trabalhadores nos Estados Unidos e Europa é da ordem de 63 a 93 robôs, e atinge cerca de 740 robôs na indústria automobilística. Estes números mostram a importância da robótica no mundo de hoje, principalmente na execução de tarefas repetitivas na indústria.

A utilização de robôs na automação de processos na indústria ocorre de várias formas. Os robôs executam tarefas como soldagem e montagem de peças mecânicas, pintura, transporte de peças e alimentação de máquinas, armazenagem etc. Conceitos associados à robótica são aplicados em vários sistemas industriais, como por exemplo nos AGV's (*Automated Guided Vehicles*) desenvolvidos principalmente para fazer a manipulação de materiais em sistemas de manufatura.

Na indústria alimentícia, farmacêutica e química, robôs são usados para manipular produtos frágeis como frascos e alimentos. Na indústria eletrônica, braços robóticos permitem efetuar a soldagem automática de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso.

O uso de câmeras acopladas a robôs permite a aplicação de conceitos de visão computacional na automação industrial. A visão computacional é uma tecnologia relativamente recente utilizada não somente em sistemas de segurança, mas também em aplicações mais sofisticadas.

São exemplos de aplicações: seleção e classificação de frutas e vegetais, detecção de defeitos e classificação de produtos; verificação da presença e correção de informações impressas em caixas de alimentos; análise do fechamento de embalagens; ausência de produtos ou quantidade incorreta de produtos em embalagens; confirmação do nível de envasamento de frascos e garrafas; averiguação da inserção e fechamento de tampas; identificação de elementos estranhos no interior de frascos e garrafas etc. Portanto, a combinação de conceitos de robótica e visão computacional permite o desenvolvimento de aplicações automatizadas com eficiência e com controle de qualidade.

Aplicações Médicas utilizando Robótica e Processamento de Imagem

Atualmente, uma das áreas mais promissoras para o desenvolvimento de aplicações de robótica é a medicina. Em todo o mundo robôs já são empregados em várias tarefas na medicina e biomedicina. Podemos citar, por exemplo, os robôs cirúrgicos, usados como auxiliares em cirurgias, com a capacidade de executar procedimentos com segurança, de forma menos invasiva e podendo inclusive executá-los de forma remota, mesmo a longas distâncias. O comando de alguns robôs cirúrgicos pode ainda ser efetuado por voz.

São também aplicações que utilizam conceitos de robótica na medicina:

- Manipulação de medicamentos e preparação de receitas médicas;
- Desenvolvimento de próteses e membros artificiais, como por exemplo braços e pernas robóticos;
- Robôs "cadeira de rodas" para permitir a movimentação de deficientes e como instrumento em fisioterapia;
- Desenvolvimento de órgãos artificiais.

O avanço de pesquisas em "nanotecnologia" e "nanorrobótica" promete para os próximos anos o desenvolvimento de várias aplicações que envolvem a utilização de microrrobôs na medicina.

Novamente, a utilização de visão computacional permite também automatizar processos na medicina. Podemos citar: o diagnóstico automatizado por imagens obtidas por tomografia computadorizada, ressonância magnética ou ultrassonografia.

A Robótica nas Instituições de Ensino

O Instituto Mauá de Tecnologia é uma das instituições que agregam a Robótica em sua grade escolar com destaque no ensino e pesquisa. O curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação e o curso de pós-graduação em Instrumentação, Automação e Controle possuem disciplinas específicas relacionadas à robótica.

Na Mauá há ainda o projeto de iniciação científica "Desenvolvimento de Robôs Autônomos", criado em 2002, que estimula o desenvolvimento de robôs visando a participação de competições estudantis de robótica do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) e da RoboCup®. O projeto envolve a participação nas seguintes categorias: Futebol de Robôs, Iniciantes, Simulação e Livre.

O Futebol de Robôs tem sido adotado internacionalmente como um problema padrão, uma vez que possibilita a avaliação de várias teorias, algoritmos, arquiteturas e desempenhos, onde uma grande variedade de tecnologias pode ser integrada e analisada, propiciando desenvolvimentos ligados à Inteligência Artificial e Robótica Inteligente.

Com a internacionalização da idéia do Futebol de Robôs, surgiu a necessidade de regras definidas para garantir a compatibilidade dos "times". Os pesquisadores coreanos fundaram a FIRA (*Federation of International Robot-soccer Association*), estabelecendo que os jogos sejam disputados entre dois times cada qual composto de três microrrobôs.

Paralelamente aos desenvolvimentos na Coréia, no Japão a empresa Sony incentivou o surgimento de competições de Futebol de Robôs em escolas e universidades, o que levou à criação de uma outra federação denominada RoboCup®, com três categorias distintas.

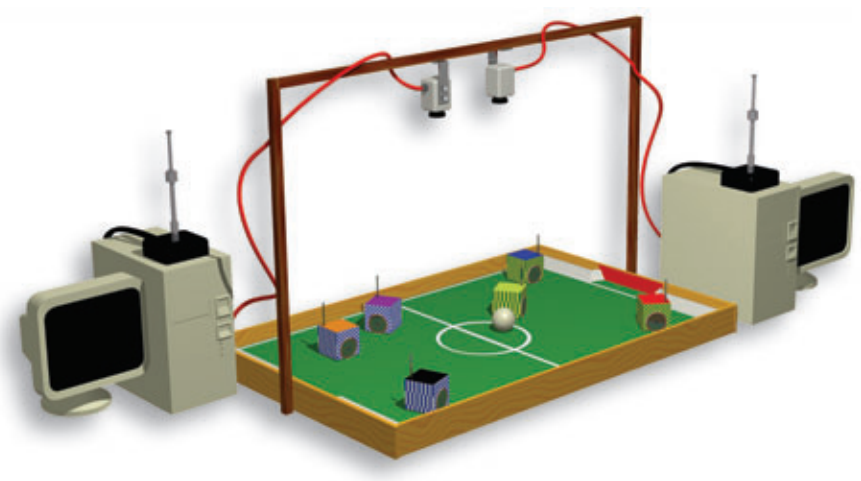
As regras da categoria *Very Small Robot Soccer* da Competição IEEE Brasileira de Robôs baseiam-se nas regras da FIRA, sendo constituída de equipes com três robôs com dimensões máximas de 75 mm x 75 mm x 75 mm.

O princípio de funcionamento do sistema é simples:

- Existe uma câmera posicionada acima do campo que coleta imagens do campo de jogo. Estas imagens são enviadas a um computador que identifica a posição dos robôs (inclusive dos robôs adversários) e da bolinha (que deve ser uma bola de golfe laranja);
- As posições dos robôs e da bola são enviadas a um programa de estratégia que decide sozinho qual a atitude que cada um dos robôs deve tomar, ou seja, não é um humano que decide o que o robô deve fazer. A estratégia, sim, é desenvolvida pelo pesquisador;
- A estratégia é transmitida aos robôs por um sistema de transmissão de radiofrequência similar aos utilizados em aeromodelos;
- Os robôs são formados por um sistema receptor que converte as ondas de rádio em impulsos elétricos para os motores que impulsionam os robôs. Os robôs ainda podem ter um sistema de chute.

Para os interessados em entrar em competições há diversas categorias para participar, como a "Robocup SSL" (*Small Size League*) também conhecida como F-180, que tem como objetivo a pesquisa e desenvolvimento de robôs capazes de jogar futebol de forma autônoma. Esta categoria apresenta as seguintes características: equipes de cinco robôs de 180 mm de diâmetro; visão global e controle centralizado - altura de até 150 mm - ou visão local - altura máxima permitida de 225 mm; campo com dimensões de 5 m por 3,5 m; tamanho do gol: 700 mm; iluminação mínima: 500 lux; bola: cor laranja, de aproxi-

2 Partida de futebol de robôs



Saiba Mais

Maiores detalhes podem ser obtidos nos artigos publicados na revista Mecatrônica Fácil, que mostram todo o processo de construção de robôs jogadores de futebol. Estes artigos podem ser vistos no *site* do Instituto Mauá: **www.maua.br**.

Os artigos recomendados são:

Construção de Robôs Jogadores de Futebol - Parte I (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/4abdc0ed3767e6123fb5c34cb54b7edf**);

Construção de Robôs Jogadores de Futebol - Parte II (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/71c3288a91d33c938507f0eec14b9e78**);

Construção de Robôs Jogadores de Futebol - Parte III (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/59e513fe83714eba37d3f8794421bae2**)

Construção de Robôs Jogadores de Futebol - Parte IV (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/446a5cb6d8f3aa3b8196f0fe27a2c65d**)

madamente 46 g e diâmetro de 43 mm; duração do jogo: dois tempos de 15 minutos cada, com intervalo de 5 minutos.

Já a categoria "Iniciantes" baseia-se no controle de robôs móveis construídos com blocos educativos. Esta é uma alternativa interessante para incentivar a educação baseada na prática, e também a pesquisa tecnológica voltada para robótica e mecatrônica. O fundamental é construir robôs e programá-los de forma que estes possam executar ações de forma autônoma, geralmente incluindo tarefas como transporte de objetos, reconhecimento de cores, detecção de obstáculos, mapeamento de ambiente etc.

Na categoria "Livre" os robôs são maiores, com um projeto mecânico mais arrojado. De modo geral o objetivo é construir robôs e programá-los de forma que estes possam executar ações como transporte de objetos, reconhecimento de cores por processamento de imagem, detecção de obstáculos, mapeamento de ambiente etc.

Por fim, na categoria "Simulação 2D", da RoboCup, o objetivo é simular uma partida de futebol de robôs. A competição consiste no desenvolvimento de estratégia para implementar o futebol de robôs utilizando um simulador bidimensional (2D). Isto significa que os robôs são virtuais e as equipes devem concentrar seus esforços na programação dos robôs.

No "Sumô de Robôs", a idéia é expulsar o robô adversário da arena, de forma similar ao que ocorre nas competições com humanos no Japão. Na "Guerra de Robôs" (RoboCore®) é preciso promover o combate entre robôs que duelam dentro de uma arena fechada até a paralisação ou destruição do robô adversário.

Outras categorias de competições utilizam robôs humanóides. Eles são robôs que se movimentam sobre duas pernas e que tentam realizar atividades ditas exclusivas de humanos. Suas principais características são:

- Possuem inteligência artificial que permite execução de ações pré-programadas comandadas remotamente ou controladas por sensores;
- Têm grande número de articulações e servomotores que proporcionam grande grau de liberdade de movimentos;
- Sistema de visão robótica (câmera CMU-CAM embarcada) e sensores (por exemplo: audição, proximidade, etc.

Na Mauá, por exemplo, estes robôs são utilizados em projetos de pesquisa, onde os objetivos são fazer o mapeamento de regiões e detecção de obstáculos e participar de competições estudantis de robótica autônoma, como na RoboCup®.

Saiba Mais

Para saber mais atente aos artigos já publicados em revistas da Editora Saber como: Reconhecimento de Trajetória de Robôs Utilizando Redes Neurais (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/c5898845ef231ceba06686ba959c34c7**) e Um Robô Capaz de Encontrar o Caminho de Saída de um Labirinto (**www.maua.br/arquivos/artigo/h/88754571609f53aa7f661e82880cccd5**).



Como testar Bobinas ou Indutores

O modo de testar esses componentes é algo que preocupa muito os leitores. Veja neste artigo como fazer isso. Ele é baseado no livro "Como Testar Componentes", que ensina praticamente a fazer o teste de qualquer componente eletrônico comum.

Newton C. Braga

As bobinas ou indutores são componentes formados por voltas de fios esmaltados em formas que podem (ou não) ter núcleos de metal. Na **figura 1** temos os símbolos e os aspectos dos principais tipos de bobinas que podemos encontrar nas diversas aplicações eletrônicas.

Esses componentes se caracterizam por apresentarem uma indutância que é medida em henry (H), ou por seus submúltiplos como o milihenry (mH) e o microhenry (μH).

Nos trabalhos práticos podemos encontrar bobinas com indutâncias muito baixas da (ordem de microhenrys) até muito altas da ordem de henrys.

As indutâncias pequenas se caracterizam por poucas voltas de fio e por isso, quando testadas, apresentam resistências ôhmicas muito baixas (menores que 10 ohms). Já as indutâncias elevadas constam de muitas voltas de fio muito fino e, por esse motivo, apresentam resistências maiores chegando até a 10 000 ohms, em alguns casos.

O que se deve testar?

No teste simples dessas bobinas verificamos se o seu fio se encontra ou não interrompido, medindo sua continuidade. No teste completo, medimos sua indutância e até mesmo o fator de qualidade (Fator Q).

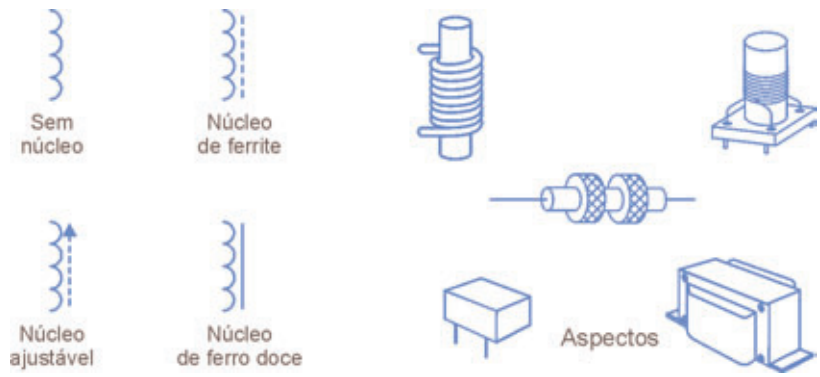
Se a bobina estiver boa, ela deve apresentar continuidade conduzindo a corrente. Se não estiver, a resistência será extremamente alta ou infinita.

Veja que, se existir um curto-circuito entre as espiras, conforme mostra a **figura 2**, a corrente pode passar normalmente e o teste indicará bom estado. Não será possível detectar essa condição de falta.

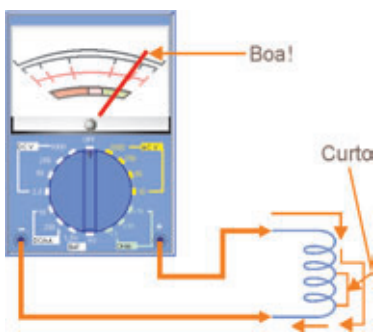
Instrumentos usados

Multímetro
Provador de continuidade
Indutímetro
Ponte de indutâncias
Osciloscópio e gerador de sinais

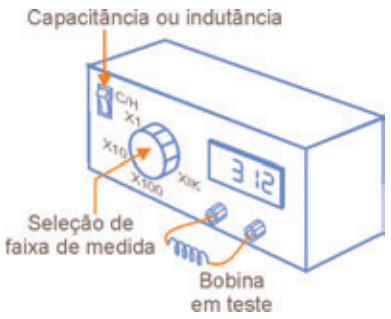
1 Símbolos e aspectos das bobinas comuns



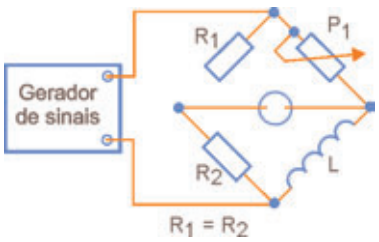
2 Teste com o multímetro



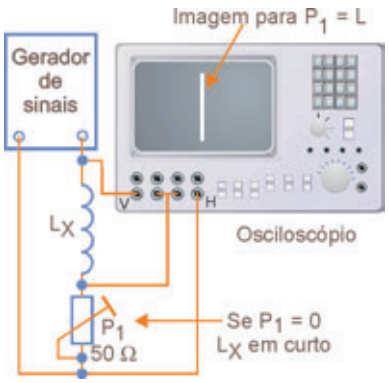
3 Um indutímetro comum



4 Circuito de uma ponte de indutâncias



5 Teste de indutor com o osciloscópio



Com instrumentos comuns também não é possível ter uma idéia da indutância do componente testado.

Com o multímetro e o provador de continuidade verificamos se a bobina está interrompida, não sendo possível obter informações sobre eventuais curto-circuitos entre espiras ou ainda a própria resistência ôhmica da bobina.

Para se obter a indutância de uma bobina em teste é preciso contar com dois tipos de instrumentos: os indutímetros e as pontes de indutâncias. Recurso adicional consiste no uso de um gerador de sinais e um osciloscópio.

Os indutímetros são instrumentos de leitura direta, em alguns casos agregados a capacímetros, como o ilustrado na **figura 3**.

Esses instrumentos são de grande utilidade, principalmente nas bancadas de trabalhos que envolvam circuitos de altas frequências, onde a medida de indutância é algo comum.

Uma boa precisão é obtida, devendo apenas o operador tomar cuidado com as indutâncias muito baixas, pois nesse caso a própria indutância do cabo de prova pode se somar ao valor da indutância medida.

Outro recurso é a ponte de indutâncias, observe a **figura 4**, onde parte-se da reatância indutiva que depende da frequência, para se determinar a indutância pela expressão:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Onde:
X_L é a reatância indutiva em ohms
$\pi = 3,14$
f é a frequência usada no teste
L é a indutância em henry

Quando a ponte alcança o equilíbrio, ou seja, desaparece o sinal no detector (que pode ser um fone de alta impedância, ou transdutor piezoelétrico se a frequência usada estiver na faixa audível), a resistência ajustada em P_1 é igual a X_L.

Conhecendo a frequência e X_L, é possível calcular L pela fórmula indicada.

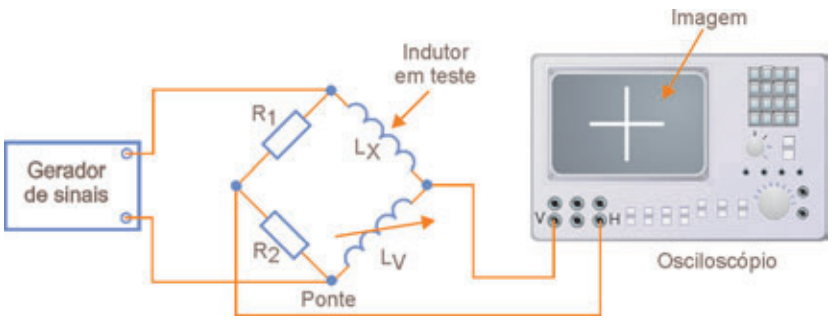
Finalmente, temos a possibilidade de se testar um indutor medindo sua indutância com a ajuda de um gerador de sinais e um osciloscópio. Na **figura 5** temos o arranjo usado para essa finalidade.

Nesse caso é preciso contar com uma bobina ajustável ou ainda bobinas com valores conhecidos.

Quando as impedâncias das bobinas (ou indutâncias) se igualam, a imagem na tela será uma linha horizontal. A frequência de entrada deve ser escolhida de acordo com a faixa de indutânias medidas, dadas pela **tabela 1**.

Evidentemente o osciloscópio usado deve ser capaz de permitir a observação de sinais nas frequências usadas pelo oscilador.

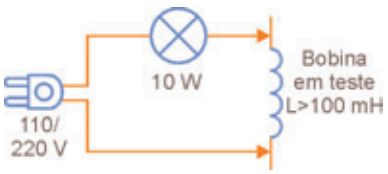
6 Sinal obtido de uma bobina em curto



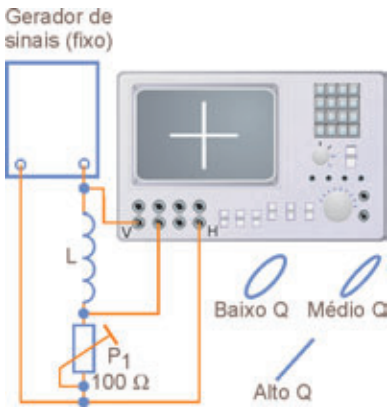
T1

Faixa de Indutâncias	Faixa de Frequências Recomendada
1 a 10 µH	10 a 100 MHz
10 µH a 1 mH	100 kHz a 10 MHz
1 mH a 100 mH	10 kHz a 100 kHz
100 mH a 1 H	100 Hz a 10 kHz

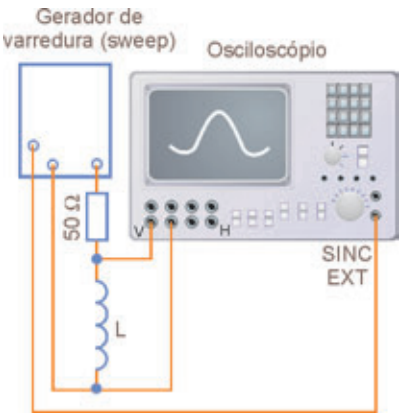
7 Circuitos simples para testar bobinas



8 Medindo o fator Q



9 Outro mode de medir o fator Q



Quais Indutores podem ser Provados?

Qualquer tipo de indutor, fixo ou variável, com qualquer tipo de núcleo pode ser provado com os procedimentos descritos neste item.

1. Com o Multímetro e Provador de Continuidade

Nesta prova verifica-se apenas se a bobina está ou não interrompida. Nada se comprova em relação à existência de curtos ou ao valor da indutância.

a) Desligue a bobina do circuito em que ela se encontra.

b) Encoste em seus terminais as pontas de prova do provador de continuidade.

c) Deve ser indicada uma resistência baixa, cuja ordem de grandeza depende da indutância do dispositivo provado, normalmente menor que 100 ohms para indutores abaixo de 1 mH.

Interpretação da Prova

A leitura de uma resistência nula ou muito baixa indica, em princípio, que o componente não está aberto, mas nada diz se as espiras apresentam algum curto-circuito (uma espira encostando na outra).

Isso não pode ocorrer em um indutor, pois ele perde suas propriedades, não funcionando.

Se a leitura for uma resistência muito alta (acima de 100 k ohms) ou ainda infinita, isso indica que o componente está aberto. Uma resistência da ordem de alguns megohms pode ser lida num indutor aberto do tipo de grande indutância, onde o isolamento entre as diversas camadas de fio pode apresentar umidade, dando essa indicação de fuga.

2. Com o Indutímetro

a) Ligue o indutímetro na escala apropriada de indutâncias. A escala é escolhida de acordo com o valor da indutância que se espera do componente em teste.

b) Encoste as pontas de prova nos terminais do componente e leia o valor da indutância, ou eventualmente uma indicação de que ele se encontra com problemas.

c) Pode também haver a indicação de que ele tem valor fora da escala escolhida, devendo ser feita a mudança.

Outras Medidas

As provas que vimos indicam apenas se o indutor está bom ou não, nada revelando sobre suas especificações, a não ser no caso do indutímetro. No entanto, existem outras características de um indutor que precisam ser medidas em alguns casos e que são muito importantes. Os curtos entre espiras e fator de qualidade (Q) são alguns exemplos.

Detectando Curtos

Existem diversos procedimentos que permitem detectar curto-circuitos entre espiras de bobinas, caso o leitor não conte com um indutímetro ou outro instrumento apropriado.

Parte-se do fato de que uma bobina com curto entre as espiras passa a apresentar uma baixa impedância, praticamente consistindo num curto-circuito para um sinal, conforme mostra a **figura 6**.

Assim, na prova com o osciloscópio verifica-se que a indutância é zero ou próximo disso, mesmo quando há continuidade. Para bobinas de grandes indutâncias, e isso é válido para os enrolamentos primários de transformadores, pode-se detectar curto-circuitos com um circuito simples, veja a **figura 7**.

O que se faz é ligar em série com a bobina uma lâmpada de 10 W (para indutâncias acima de 100 mH).

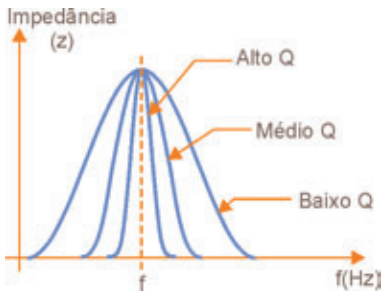
Se a bobina estiver boa (sem curtos ou interrupções), a lâmpada acenderá com brilho reduzido devido à reatância apresentada. No entanto, se ela estiver aberta a lâmpada não acenderá e se tiver curtos entre as espiras de seu enrolamento primário, ela acenderá com brilho máximo.

Medindo o Fator de Qualidade (Fator Q)

O fator de qualidade ou Fator Q mede a capacidade que a bobina tem de sintonizar sinais numa faixa estreita quando usada em um circuito ressonante, conforme ilustra a **figura 8**.

Em outras palavras, o fator Q mede a seletividade da bobina quando usada num circuito ressonante. Essa seletividade depende basicamente da relação entre sua indutância e a resistência ôhmica que seu enrolamento apresenta.

10 Formas dos sinais observados no circuito p/ medida do fator Q c/ Osciloscópio e gerador de Sinais (fixo)



Podemos medir o fator de qualidade utilizando um gerador de varredura (*) e um osciloscópio, conforme mostra a **figura 9**.

Ligamos em paralelo com a bobina um capacitor para formar um circuito ressonante, e levantamos a curva de resposta do circuito assim formado.

Na **figura 10** mostramos uma forma de se medir o mesmo fator de qualidade usando um osciloscópio e uma fonte de sinais fixa (caso o leitor não possua um gerador de varredura).

As formas dos sinais que devem ser observados neste circuito são mostradas na mesma figura. O fator de qualidade é dado pela relação que a componente horizontal e vertical apresentam, uma vez que a componente de 45 graus representa uma resistência pura e o círculo uma indutância pura.

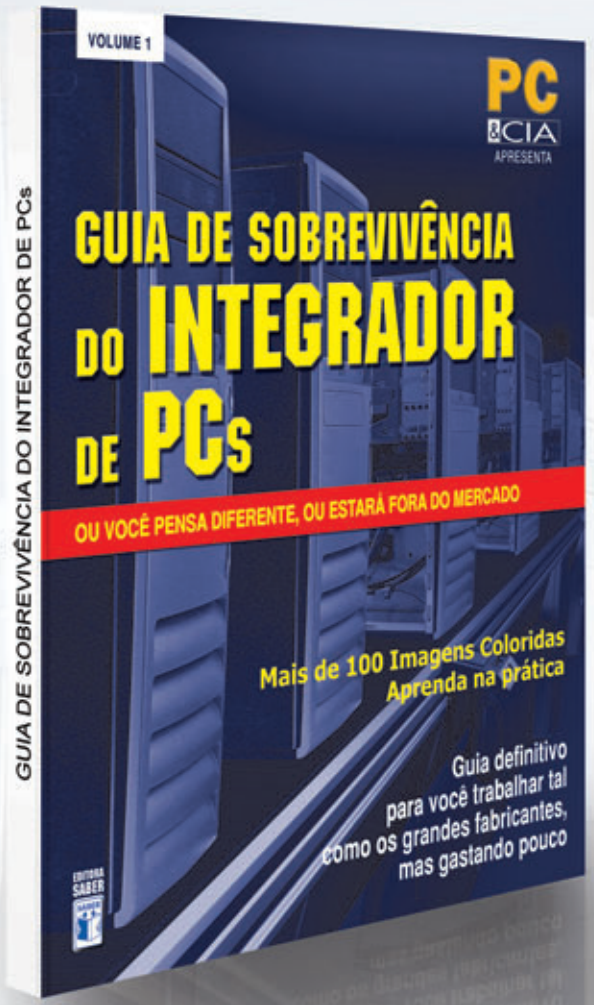
Observações

Há muitas formas de se determinar as características de um indutor ou simplesmente fazer sua prova com os mais diversos instrumentos. Tudo depende do valor do indutor e do que se deseja medir.

As provas que vimos são as mais simples e imediatas, possibilitando ao leitor saber se um indutor que tem em mãos está (ou não) em bom estado. f

(*) Um gerador de varredura é um circuito de prova que gera sinais que varrem constantemente uma faixa de frequências pré-ajustada. É muito empregado em ajustes de televisores e circuitos de telecom.

Trabalhe como os grandes, mas gastando pouco!



Aprenda sobre:
- Construção de um laboratório técnico
- Mitos e verdades sobre o aterramento elétrico, como fazer e medir corretamente
- Equipamentos ideais para proteção elétrica
- Montagem passo a passo de uma bancada de baixo custo protegida contra ESD
- PCs confiáveis, o que você precisa saber para ter uma montagem à prova de falhas
- Execução de testes de estresse e burn-in
- Restauração automatizada do sistema: entregue mais valor para seus clientes
- Medição de temperatura
- Check-List para montagem e testes de micro

Veja mais detalhes em
www.editorasaber.com.br/livros

O que é PWM?

Controles de potência, fontes chaveadas, conversores DC/DC, AC/DC e muitos outros circuitos utilizam a tecnologia do PWM como base de seu funcionamento. Analisamos neste artigo as características dos dispositivos PWM para que os leitores que trabalham na área de projetos, manutenção e montagem de equipamentos que usam esta tecnologia saibam exatamente como ela funciona.

Newton C. Braga



A maneira mais simples e tradicional de se controlar uma carga de potência é utilizando-se um reostato em série, observe a **figura 1**.

Variando-se a resistência apresentada pelo reostato (potenciômetro), pode-se modificar a corrente na carga e, portanto, a potência aplicada a ela. Este tipo de controle é encontrado nas lâmpadas de painéis de alguns carros mais antigos.

A grande desvantagem deste tipo de controle, denominado "linear", é que a queda de tensão no reostato multiplicada pela corrente que ele controla significa uma grande quantidade de calor gerada.

O controle passa a dissipar (e perder) mais potência que a aplicada na própria carga em determinadas posições do ajuste.

Além desta perda ser inadmissível, principalmente nas aplicações em que a energia disponível é restrita, ela faz com que o componente usado no controle dissipe potências.

Isso exige componentes caros e grandes (normalmente reostatos ou potenciômetros de fio, mesmo para potências relativamente baixas).

O uso de transistores ou circuitos integrados em um controle mais elaborado, mas que ainda varia linearmente a potência aplicada pelo controle direto da corrente pode ser feito conforme mostra a **figura 2**.

Se bem que o potenciômetro usado no controle possa dissipar pequena potência, pois a corrente nele é menor, este tipo de controle ainda tem um problema: a potência dissipada pelo dispositivo que controla a corrente principal é elevada.

Esta potência depende da corrente e da queda de tensão no dispositivo e, da mesma forma, em certas posições do ajuste pode ser maior que a própria potência aplicada ao dispositivo.

Na eletrônica moderna, o rendimento com pequenas perdas e a não necessidade de grandes dissipadores que ocupam espaço é fundamental, principalmente quando circuitos de alta potência estão sendo controlados.

Consequentemente, este tipo de controle de potência linear não é conveniente, sendo exigidas outras configurações com maior rendimento como as que fazem uso das tecnologias PWM.

PWM

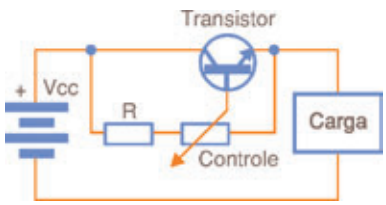
PWM é a abreviação de *Pulse Width Modulation* ou Modulação de Largura de Pulso.

Para que o leitor entenda como funciona esta tecnologia no controle de potência, vamos partir de um circuito imaginário formado por um interruptor de ação muito rápida e uma carga que deve ser controlada, exemplo na **figura 3**.

1 Controle de uma carga através de um reostato



2 Controle de uma carga com o uso de transistor



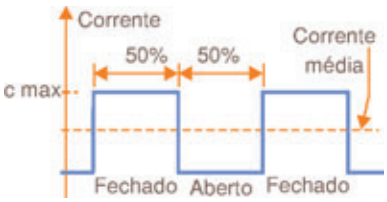
Quando o interruptor está aberto, não há corrente na carga e a potência aplicada é nula. Quando o interruptor é fechado, a carga recebe a tensão total da fonte e a potência aplicada é máxima.

Como fazer para obter uma potência intermediária, digamos 50%, aplicada à carga? Uma ideia é fazermos com que a chave seja aberta e fechada rapidamente, de modo a ficar 50% do tempo aberta e 50% fechada.

3 Circuito de controle de uma carga c/ interruptor muito rápido



4 Corrente x Tempo pela ação do interruptor



5 Definição do ciclo ativo



Isso significa que em média teremos metade do tempo com corrente e a outra metade sem corrente, veja a **figura 4.**

A potência média e portanto a própria tensão média aplicada à carga é neste caso 50% da tensão de entrada.

Observe, então, que o interruptor fechado pode definir uma largura de pulso pelo tempo em que ele fica nesta condição e um intervalo entre pulsos pelo tempo em que ele fica aberto. Os dois tempos juntos definem o período e portanto uma frequência de controle.

A relação entre o tempo em que temos o pulso e a duração de um ciclo completo de operação do interruptor nos define ainda o ciclo ativo, conforme é indicado na **figura 5**.

Variando a largura do pulso e também o intervalo de modo a termos ciclos ativos diferentes, podemos controlar a potência média aplicada a uma carga. Assim, quando a largura do pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia na mesma proporção, observe na **figura 6**.

Este princípio é justamente usado em um controle PWM: modulamos (variamos) a largura do pulso de modo a controlar o ciclo ativo do sinal aplicado a uma carga, e com isso a potência aplicada a ela.

Na prática

Na prática, substituímos o interruptor por algum dispositivo de estado sólido que possa abrir e fechar o circuito rapidamente como, por exemplo, um transistor bipolar, um FET de potência ou até mesmo um SCR. A este dispositivo é ligado um oscilador que possa ter seu ciclo ativo controlado numa grande faixa de valores.

Na verdade é difícil chegar à duração zero do pulso e a 100%, uma vez que isso implicaria na parada do oscilador, mas podemos chegar bem perto disso.

Na **figura 7** temos um exemplo de circuito que pode ser usado em um controle PWM simples para um motor DC de pequena potência (com corrente de até alguns ampères).

O oscilador, usando um circuito integrado 4093, tem sua saída no nível alto determinada pelo ajuste do potenciômetro, enquanto sua saída no nível baixo é determinada pelo resistor R_1 (fixo).

Assim, fazendo R_1 suficientemente pequeno em relação ao valor do potenciômetro, o circuito pode gerar sinais numa ampla faixa de ciclos ativos. Estes sinais são então aplicados ao transistor de potência que comanda a carga.

Tipos de PWM

O exemplo de aplicação que analisamos é o que se denomina de "simple magnitude PWM" ou "PWM de magnitude única", em que o sinal aplicado à carga simplesmente determina a potência que ela deve receber pela largura do pulso.

No entanto, existe um segundo tipo de controle PWM denominado "Locked anti-phase PWM", que pode incluir na modulação do sinal tanto informações sobre a potência aplicada à carga quanto o sentido da corrente que deve circular por ela.

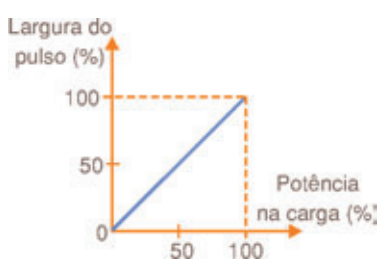
Este tipo de controle, em especial, é interessante quando se trata de motores elétricos onde o sentido da corrente determina o sentido da rotação. O seu princípio de funcionamento é simples de ser entendido.

Se os pulsos aplicados à carga não variarem entre 0 V e um valor máximo de tensão +V por exemplo, mas entre uma tensão negativa e uma tensão positiva (-V a +V), o ciclo ativo também determinará o sentido de circulação da corrente pela carga.

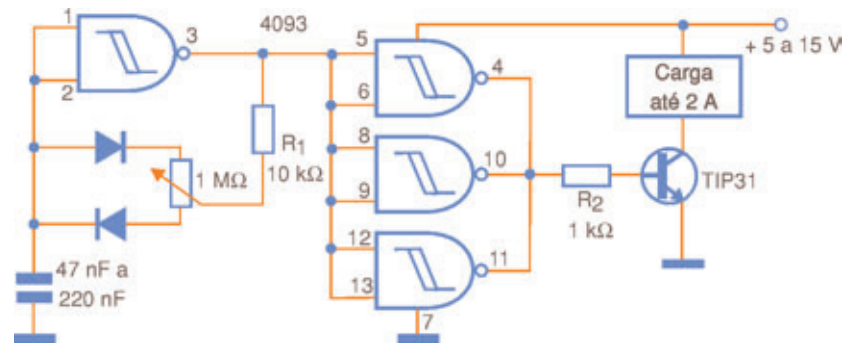
Se, por exemplo, o ciclo ativo for de 50% conforme mostra a **figura 8**, a tensão média na carga e portanto a potência será zero.

Agora, variando o ciclo ativo para mais e para menos de 50%, teremos

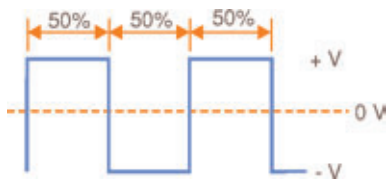
6 Potência x Largura do Pulso



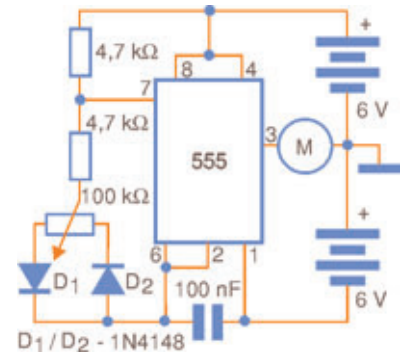
7 Circuito de controle PWM para motor DC



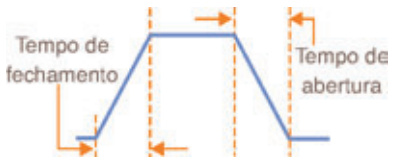
8 Ciclo ativo de 50%



9 Circuito de Controle tipo "Locked anti-phase PWM"



10 Curva de comutação do dispositivo de controle



uma predominância dos pulsos positivos ou negativos, de modo que a corrente média tenderá a circular em um sentido ou noutro, veja a ilustração na mesma figura.

Assim, neste tipo de circuito a corrente na carga variará entre -100% e +100% de acordo com o ciclo ativo do sinal aplicado.

Um circuito simples de aplicação para este tipo de controle é apresentado na **figura 9**.

Usamos uma fonte simétrica de +6/-6 V para controlar um pequeno motor de 50 mA a partir de um circuito integrado 555. Uma etapa de potência com transistores pode ser acrescentada a este circuito.

O potenciômetro ajusta tanto a largura quanto com os intervalos entre os pulsos de modo que a carga e descarga do capacitor sejam derivadas por diodos diferentes, agindo assim no ciclo ativo do sinal de saída.

Um ponto importante que deve ser observado neste tipo de circuito é que na posição de 50% de ajuste do potenciômetro (potência média nula na carga), na verdade, temos uma corrente circulando o tempo todo por ela, o que vai causar dissipação de calor.

Desta forma, para cargas elevadas este tipo de controle não é dos mais indicados e não funcionaria, por exemplo, se a carga controlada fosse justamente um elemento de aquecimento ou uma lâmpada!

Mesmo no caso de motores DC, é preciso ter muito cuidado na escolha da frequência de operação do circuito para que na condição de parado (0% de potência) ele não se mantenha vibrando na frequência do oscilador. Eventualmente, componentes adicionais devem ser previstos em paralelo com o motor como, por exemplo, um capacitor, para se evitar este problema.

Vantagens do PWM

Na operação de um controle por PWM existem diversas vantagens a serem consideradas e alguns pontos para os quais o projetista deverá estar atento para não jogar fora estas vantagens.

Na condição de aberto, nenhuma corrente circula pelo dispositivo de controle e consequentemente sua dissipação é nula.

Na condição de fechado, teoricamente, se ele apresenta uma resistência nula, a queda de tensão é nula e ele não dissipa também nenhuma potência. Isso significa que, na teoria, os controles PWM não dissipam potência alguma, e portanto consistem em soluções ideais para este tipo de aplicação. Na prática, entretanto, isso não ocorre.

Em primeiro lugar, os dispositivos usados no controle não são capazes de abrir e fechar o circuito em um tempo infinitamente pequeno. Eles precisam de um tempo para mudar de estado e neste intervalo sua resistência sobe de um valor muito pequeno até infinito e vice-versa, numa curva de comutação como a mostrada na **figura 10**.

Neste intervalo de tempo, a queda de tensão e a corrente através do dispositivo não são nulas e uma boa quantidade de calor pode ser gerada conforme a carga controlada.

Dependendo da frequência de controle e da resposta do dispositivo usado, uma boa quantidade de calor pode ser gerada neste processo de comutação.

Todavia, mesmo com este problema, a potência gerada num controle PWM ainda é muito menor do que em um circuito de controle linear equivalente.

Transistores de comutação rápidos, FETs de potência e outros componentes de chaveamento podem ser suficientemente rápidos para permitir que projetos de controles de potências elevadas sejam implementados sem a necessidade de grandes dissipadores de calor, ou ainda tenham problemas de perdas de energia por geração de calor que possam ser preocupantes.

O segundo problema que pode ocorrer vem justamente do fato de que os transistores de efeito de campo ou bipolares usados em comutação não se comportam como resistências nulas, quando saturados. Os transistores tipo FET podem apresentar uma queda de tensão de até alguns volts quando saturados, o mesmo acontecendo com os bipolares.

Deve-se observar em especial o caso dos FETs de potência que são, às vezes, considerados comutadores perfeitos com resistências de fração de ohm entre o dreno e a fonte quando saturados (Rds(on)) e, na prática, não é o que acontece.

A baixíssima resistência de um FET de potência quando saturado (resistência entre dreno e fonte no estado *on* só é válida para uma excitação de comporta feita com uma tensão relativamente alta).

Deste modo, dependendo da aplicação, principalmente nos circuitos de baixa tensão, os transistores de potência bipolares, ou mesmo os IGBTs, podem ser ainda melhores que os FETs de potência.

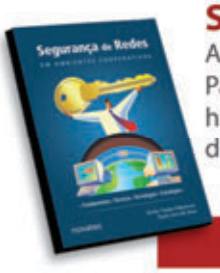
Conclusão

Numa infinidade de aplicações práticas que envolvem desde o controle de potência de motores e outras cargas até fontes chaveadas, esta técnica do PWM é usada.

Saber exatamente como ela funciona é muito importante para todos os leitores que trabalham com eletrônica de potência, principalmente aqueles ligados à manutenção e instalação de equipamentos industriais.

LITERATURA TÉCNICA

Que não pode faltar em sua biblioteca



Segurança de Redes em Ambientes Cooperativos

A segurança da informação possui influência cada vez maior no sucesso dos negócios.
Para aplicar a melhor estratégia de defesa, é preciso conhecer os principais riscos e ataques realizados por hackers, além de entender os principais conceitos de segurança e tecnologias, mecanismos e protocolos disponíveis para a proteção.

R$ 81,00

LANÇAMENTO



Como Construir um Compilador Utilizando Ferramentas Java
Autor: Márcio Eduardo Delamaro

R$ 69,00



SQL - Curso Prático
Autor:
Celso Henrique Poderoso de Oliveira

R$ 42,00



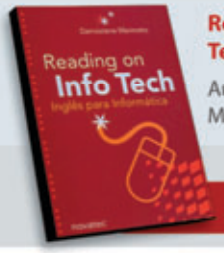
Java Guia do Programador
Autor: Peter Jandl Junior

R$ 119,00



UML - Uma Abordagem Prática
Autor: Gilleanes T. A. Guedes

R$ 69,00



Reading on Info Tech – 2ª edição
Autor: Demóstene Marinotto

R$ 39,00



Programando em C++
Autor: Joel Saade

R$ 79,00



Manutenção de micros na prática
Autor: Laércio Vasconcelos

R$ 99,00



Montagem e Configuração de Micros
Autor:
Laércio Vasconcelos

R$ 39,00



Aprenda ASP.NET AJAX em 15 Passos
Autor: Roque Fernando Marcos Sousa

R$ 53,10



CorelDRAW X3 - Interagindo com as Ferramentas
Autor:
Carlos Alberto Garcia

R$ 74,70



Informação em Marketing
Autor: Alexandre Luzzi e Maria Tereza Garcia

R$ 63,00



Web Interativa com Ajax e PHP
Autor: Juliano Niederauer

R$ 62,00

Compre pelo site **www.sabermarketing.com.br**
ou fone **(11) 2095-5330**

*Os preços estão sujeitos a alteração sem prévio aviso. Para maiores informações acesse www.sabermarketing.com.br
*O frete não esta incluído no valor do produto, sendo calculado de acordo com a localidade e tipo de envio.

Faça parte desta comunidade tecnológica e troque informações, exponha suas idéias, mostre o que você conhece, converse com outros usuários on-line, combine a sua ida aos eventos com outros membros da comunidade e tenha a sua própria página, para fazer dela a sua apresentação ao mundo tecnológico.

Estamos esperando por você!
http://novasaber.ning.com

novasaber

