www.mecatronicafacil.com.br

Ano 6 - nº42 - R$ 6,50

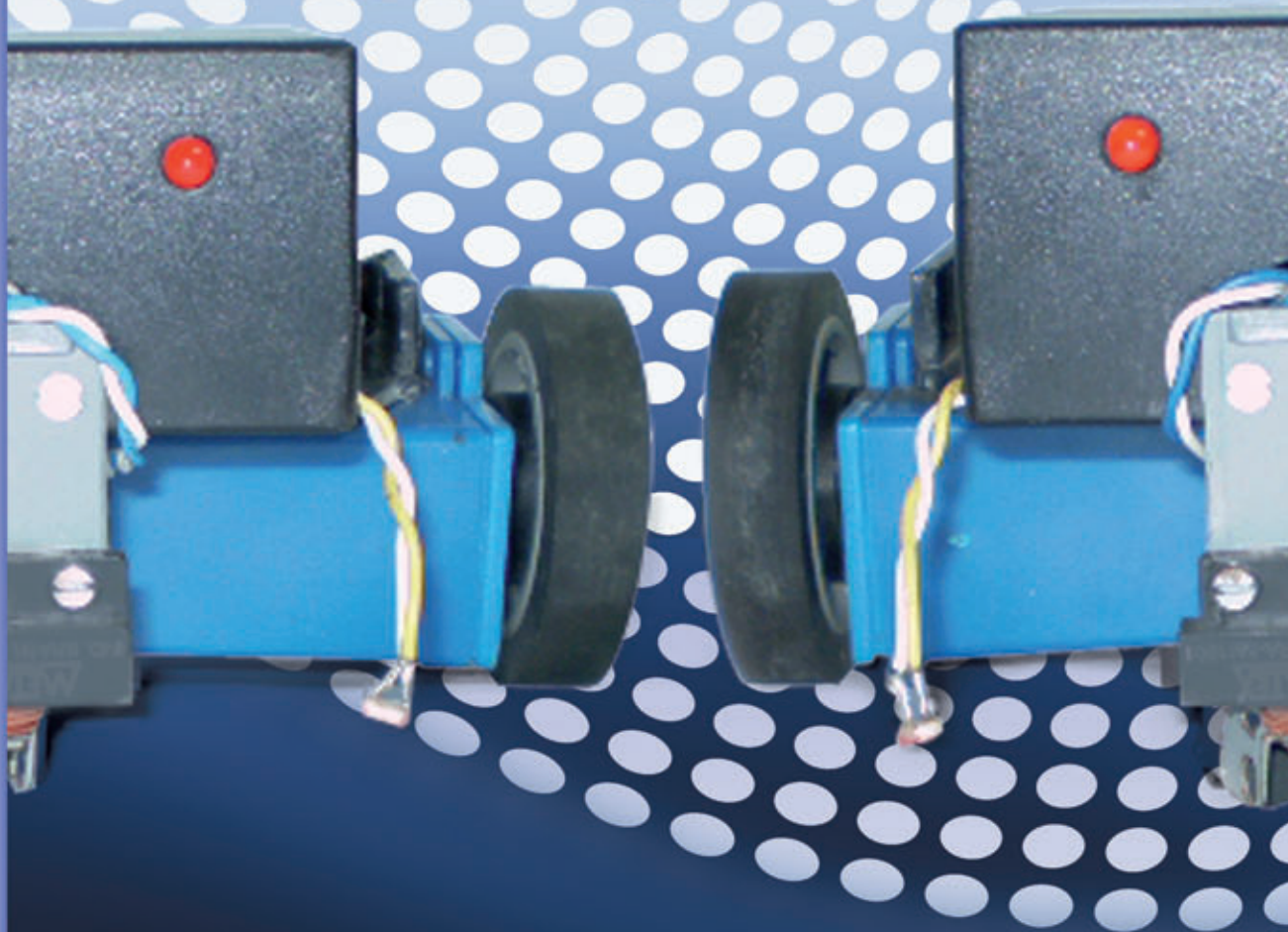
MECATRÔNICA FÁCIL

Circuitos para controlar motores

Veja circuitos simples para controlar motores DC e obter recursos para alterar rotação, velocidade e torque

Robô Luzocta

Confira como montar o robô que segue a luz de uma lanterna além de fazer curvas direcionais



Futebol de Robôs

Circuito eletrônico para transmissão e recepção de dados para categorias Small Sized League

Por dentro do HD

Saiba sua funcionalidade, as novas tecnologias e curiosidades para uma boa performance

ISSN 1676-0980

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

Publicidade
Carla de Castro Assis,
Ricardo Nunes Souza

PARA ANUNCIAR: (11)2095-5339
publicidade@editorasaber.com.br

Colaboradores
Jeff Eckert, Newton C. Braga

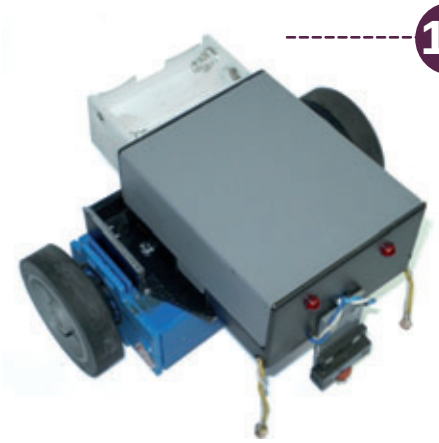
Capa
Arquivo Editora Saber

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 2

Robonews 7

Circuito para controlar motores 9
Confira os circuitos de Controle linear, Corrente constante, PWM Integrado etc

Robô Luzocta 12
Veja a montagem de um robô capaz de seguir a luz emitida pela lanterna

Futebol de Robôs 15
Proposta de um circuito eletrônico para transmissão e recepção de dados e controle de um robô

O que você precisa saber sobre motores elétricos 21
Veja as vantagens e desvantagens dos diversos tipos de motores e suas funcionalidades

Por dentro do HD 30
Conheça algumas funções e curiosidades sobre esse importante periférico

Efeito de Som de motor 36
Descrevemos neste artigo um efeito sonoro para automatismos

Robonews



FEI X-20 é caracterizado pela grande entrada de ar frontal que contrasta com os faróis em LED

Salão do Automóvel traz destaques para as tecnologias genuinamente brasileiras

Universidade FEI traz para o evento o primeiro roadster do país capaz de guiar-se sozinho

O FEI X-20 une beleza às mais novas ferramentas de engenharia. O carro é equipado com sistema autônomo de direção e estará exposto no 25º Salão do Automóvel, palco das grandes máquinas automobilísticas da América Latina, entre os dias 30 de outubro e 9 de novembro deste ano.

O roadster é fruto da dedicação de um grupo de alunos, professores e pesquisadores dos cursos de Engenharia Mecânica Automobilística, Engenharia Elétrica e Ciência da Computação da FEi (Fundação Educacional Inaciana), além do IPEI (Instituto de Pesquisas e Estudos Industriais).

A carroceria foi gerada via computador, eliminando a modelagem de protótipos e possui chassi totalmente feito em alumínio. "É nosso primeiro passo em um estudo para a construção de veículos com alto grau de autonomia, utilizando, entre diversas ferramentas, a Inteligência Artificial", afirma o reitor do Centro Universitário da FEI, Marcio Rillo.

Concebido pelo professor de Engenharia Mecânica Automobilistica da FEI, Ricardo Bock, o design traz as características de um moderno roadster. O professor explica que "os faróis traduzem a identidade de um carro, assim como o olhar de uma pessoa".

Seu funcionamento é basicamente simples, equipado com uma câmera de vídeo, localizada entre os dois pára-brisas e interligada ao software instalado no laptop, o carro identifica a imagem das duas linhas brancas paralelas que envolvem a pista e, a partir de então, o software traça uma linha 'imaginária' central do trecho. Ao receber a orientação, uma placa eletrônica, interligada ao motor elétrico que controla o sistema de direção, orienta o veículo a seguir a linha central para que, assim, não saia da pista.

Em caso de pane do sistema, o condutor conta com três mecanismos de segurança que, quando acionados, são capazes de desligar automaticamente o sistema autônomo e lhe passar o controle de direção. O primeiro deles é um botão de emer-

gência no painel, o segundo é ativado quando o motorista exerce pressão elevada sobre o pedal do freio, já o terceiro mecanismo passa a funcionar quando o volante é movimentado para um dos lados.

E, falando em máquinas nacionais, o Salão do Automóvel também também contou com outras atrações de protótipos 100% brasileiros. A FIAT divulgou o FCC II, também chamado de Bugster, que une soluções ecologimente corretas.

Para a construção de sua carroceria o FCC II utiliza fibras naturais de fontes renováveis para ter menor impacto ao meio ambiente e da nanotecnologia para fazer peças mais leves e resistentes. Os painéis de carroceria, como o capô, por exemplo, foram injetados em compósito com nanoargila, a chave de fenda que acompanha o kit de ferramentas foi injetada em plástico reciclado com fibras de curauá e sisal. Outro exemplo é a espuma que reveste os bancos que foi feita com 30% de poliol de óleo de soja reciclado.

Seu nome remete a buggy e roadster e seu conceito foi totalmente desenvolvido pela engenharia da Fiat no Brasil. O principio básico do modelo é a utilização de um sistema de propulsão com nenhum nível de emissões. O FCC II utiliza motor elétrico feito sob medida para ele, conciliando desempenho e, ao mesmo tempo, respeitando o meio ambiente.

Já a linha Chevrolet terá como destaque no Salão do Automóvel o GPiX, um crossover cupê. “De fato, o GPiX é um conceito que poderá resultar, no futuro, no desenvolvimento de vários modelos a partir de uma mesma arquitetura”, afirma o presidente da General Motors do Brasil e Mercosul, Jaime Ardila. O GPiX também é outra tecnologia genuinamente brasileira, totalmente desenvolvido pelo Centro de Design da General Motors da Divisão LAAM (que engloba as regiões da América Latina, África e Oriente Médio), localizado em São Caetano do Sul, São Paulo.

Seu nome está associado a uma combinação de letras: “G” é de global, e “Pix”, é a abreviatura de “Picture”, que em inglês significa “imagem”. Esta junção dá ao veículo o significado de “imagem global”. Neste carro-conceito o que mais chama a atenção é seu teto panorâmico de vidro, que abrange toda a superfície superior, favorecendo a entrada de luminosidade e aumentando ainda a mais a sensação de espaço e bem-estar. O 25º Salão do Automóvel acontece no Pavilhão de Exposições do Anhembi, São Paulo- SP. Para quem deseja visitar a exposição a organização disponibilizará transportes gratuitos da Estação Metrô Tietê até o Anhembi.

Com o tema “Carro para quem quer”, o objetivo da campanha deste ano vai além da divulgação do evento. Ela pretende atingir não só o público tradicional, mas agregar um público novo, passando o conceito de que a edição deste ano irá apresentar carros para todos os gostos e estilos.

Os ingressos custam R$ 30 para adultos e R$ 20 para crianças entre 5 e 12 anos, sendo encontrados à venda pelo site do evento (**www.salaodoautomovel.com.br**). Para este ano a expectativa é que 600 mil pessoas passem para prestigiar as atrações dos mais de 150 expositores.



FEI X-20 possui motor entre eixos traseiros o mesmo V8 7.01, de 32 válvulas.



Quadrimotor desenvolvido por alunos da UnB

Alunos da UnB constróem helicóptero de quatro hélices

Projeto de graduação inova sistema de controle de quadrirrotor

Os alunos Pedro Henrique e Marcelo Braga do curso Engenharia Mecatrônica da Universidade de Brasília - UnB- desenvolvem protótipo de quadrirrotor. O projeto foi trabalhado no Laboratório de Robótica e Automação (LARA/ENE) sob a orientação do professor Geovany Borges ao longo de 2008.O helicóptero possui quatro hélices, maior estabilidade, mecânica simplificada e boa manobrabilidade. “Incluímos o LARA como grupo de pesquisa na área de robótica aérea com quadrirrotores. O conceito de quadrirrotor já existia. O que criamos foi um sistema de controle inovador”, conta o estudante Pedro Henrique Santana.

Durante o trabalho “Concepção de um veículo aéreo não tripulado do tipo quadrirrotor” eles desenvolveram o modelo matemático do veículo e um software de simulação de vôo para indicar a viabilidade do projeto. A aeronave possui sistema de controle tecnicamente simples se comparado aos existentes. Pedro Henrique conclui que o projeto desenvolvido em apenas um ano custou menos de R$ 2 mil.

Este projeto chegou a receber a terceira colocação no Prêmio Jovem Inventor na Fundação de Apoio à Pesquisa, Distrito Federal, na categoria Graduado. Com a finalização do projeto o estudante Pedro Henrique continua o trabalho com o mestrado em Sistemas de Controle Híbridos, no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, onde o quadrirrotor está sendo aperfeiçoado a ponto de ter estabilidade durante seu vôo como um piloto automático.

Robôs saem da ficção e atacam a vida moderna

Federação Internacional de Robótica afirma que a população humanóide deve atingir meta de 55 milhões em 2010



Federação Internacional de Robótica relata crescimento de humanóides

Não é de hoje que os robôs tem tomado conta dos livros e das telas do cinema. Sempre em busca de uma qualidade de vida maior e sobrevivência no mercado mundial os robôs tem crescido substancialmente no mercado mundial. De acordo com a documentação anual da Federação Internacional de Robótica - IFR - os humanóides tem dominado as áreas doméstica e industrial. Estima-se que em 2010 a população mundial de robôs deve atingir a meta de 55 milhões de unidades, na grande maioria domésticos.

Os robôs industriais ainda são minoria, embora tenham crescido 3% em relação ao ano passado. Segundo a IFR, em 2007 existiam em média 1 milhão de máquinas industriais no mundo. Outras 5,5 milhões faziam serviços em mares, campos, hospitais, residências e até mesmo no espaço, superando os limites humanos. Neste segmento a Argentina e o Brasil tem crescido de modo notável, onde a demanda nos dois países quase duplicou na área industrial.

Já na parte de entretenimento, os robôs incluem-se no quadro de brinquedos e sistemas educacionais. Com a recreação e lazer estima-se que até o final do ano passado tenham sido vendidos cerca de dois milhões de unidades. Mas para os próximos anos a peça-chave para o desenvolvimento tecnólogico tem sido os avanços destinados aos portadores de deficiência e saúde. “A robótica é a fronteira mais avançada da tecnologia em cirurgia em procedimentos mais complexos”, destaca o diretor clínico do Hospital Sírio-Libanês, Riad Younes.

Grandes instituições de desenvolvimento já estão se preparando em pesquisas de protótipos e dispositivos juntamente com a robótica. Para mostrar a superação dos humanóides na medicina, no dia 28 de outubro deste ano, uma equipe de cirurgiões do Hospital Sírio-Libanês - HSL- realizou a primeira cirurgia de cabeça e pescoço da América Latina utilizando o robô Da Vinci S. O grupo de médicos removeu um câncer de faringe de um homem de 63 anos, durante duas horas de cirurgia. Este mesmo robô já fez cerca de 57 operações diferenciadas, como prostatectomia, histerectomia e pancreatectomia desde março, quando realizou sua primeira operação. As vantagens de uma da aquisição do robô, segundo o Hospital Sirio-Libanês são o tamanho do corte e a precisão. Com isso reduz-se o sangramento e dores na hora da recuperação.

Outra área em potêncial são os fornecedores que estão adaptando a necessidade de seus clientes para expandir a indústria metálica, farmacêutica e automobilística. A procura por Lowcost em mercados maduros na Europa Ocidental, América do Norte e Japão só é possível dado o crescimento tecnológico. Além disso, o custo-benefício com a operação das máquinas via automação industrial é bem maior e substituível por trabalhadores.

Novidades estarão a mostra no Salão do Inventor Brasileiro

Visitantes poderão conferir o Prêmio MCT Talento Brasileiro Online e melhor Participante do evento

Inovação é a característica fundamental para os desenvolvedores de projetos. É com esse distintivo que o 12º Salão do Inventor Brasileiro traz as exposições de projetos feitos por pesquisadores e inventores de diversas áreas do país. O evento, organizado pela Associação Brasileira de Inventores e Propriedade Industrial do Espírito Santo (ABRIPI_ES), acontece entre os dias 11 e 14 de novembro, em Vitória- ES. O salão conta ainda com o prêmio MCT Talento Brasileiro Online e a premiação destinada ao melhor participante do evento.

Na disputa pelo MCT Talento Brasileiro Online, inventores de todo o Brasil tiveram a oportunidade de participar através da internet, provando que para ser inovador basta ter uma boa idéia e ser persistente. Dentre os finalistas para a competição estão a "Máquina para lavar pés", "Biga - Triciclo Projetado para Cadeirantes" e o "Sinalizador Automotivo Multi-sinal". Vale ressaltar que os participantes precisam possuir em mãos o pedido de registro de patente no INPI ou a carta patente.

Durante o Salão, realizado no Ginásio da Escola de Medicina da Santa Casa de Misericórdia-EMESCAM, ainda serão apresentadas palestras sobre tecnologia, produtos orgânicos e trabalhos sobre experiências científicas desenvolvidas com alunos do 1º e 2º grau, afim de despertar o interesse dos alunos. Na programação estão previstas as palestras: Transferência de tecnologia, Gestão da Inovação, Registro de Patentes e Registro de Marcas.

Paralelamente ao evento os visitante terão a oportunidade de conferir o Fórum Nacional de Tecnologia Assistiva e Mercado de Trabalho. O Fórum terá as palastras: Projeto Catavento, Projeto Somar em busca da inclusão de pessoas com deficiência e PMUI (Universalização dos Serviços de Telecomunicações).

Alunos do CEFET fazem competição do Veículo Mecatrônico

Baseados na montagem do VM- 2, os professores incentivam os alunos a criarem uma nova versão do carrinho


Nova versão do VM-2

No dia 14 de outubro aconteceu no Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET/GRU - a corrida de carrinhos baseados na montagem do Veículo Mecatrônico II. Os alunos do curso técnico competiram sob comando dos professores Ricardo Formenton e Newton C. Braga, no pátio do colégio.

Os participantes do desafio modificaram o carrinho original para serem acionados à distância por um Laser Pointer, com disparo e manutenção através de SCR. O VM-2 foi publicado na revista Mecatrônica Fácil, edição nº 35, e sua montagem foi baseada em componentes do Modelix.

(*) Monte você também uma nova versão do Veículo Mecatrônico e mande para a redação da revista Mecatrônica Fácil através do e-mail: atendimento@mecatronicafacil.com.br.

Robonews USA

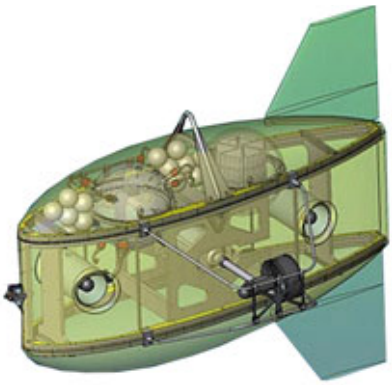


Hovers AUV Submarinos

Pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology - MIT - apresentam o novo Odyssey IV. O projeto é um pequeno robô submarino que pode pairar como um helicóptero, sendo interessante para exploradores de petróleo, arqueologistas marinhos, oceanógrafos e outros que precisem analisar o fundo do oceano por longos intervalos de tempo.

Enquanto os modelos anteriores só podiam movimentar-se para frente e para trás, o Odyssey IV pode parar em qualquer lugar, corrigindo sua posição de acordo com as correntes de água e obstáculos. Isso o torna útil para trabalhos como realizar inspeções detalhadas de uma plataforma ou da fauna e flora marinha.

Num teste completado em Woods Hole, MA, ele atingiu profundidades de 6.000 metros. Ele também pode ter uma braço mecânico, possibilitando o recolhimento de amostras e realizando manipulações como girar uma válvula. O Odyssey IV também é rápido, alcançando uma velocidade de 2 m/s. A meta é criar uma versão que possa ficar sob a água por até 1 ano, coletando e transmitindo dados, voltando à base sem precisar vir a superfície.



O esquema mostra o Odyssey IV, um robô submarino pequeno e barato.
Cortesia do MIT Sea Grant AUV Lab

Fique Seguro na Estrada

No CEATEC Japan Show, a Nissan mostrou o seu conceito para segurança automotiva na forma do Bioimimetic Car Robot Drive, também conhecido como BR23C. De acordo com a empresa, ele é baseado no sistema de visão das abelhas. Seus olhos compostos podem ver obstáculos num ângulo de 300º, permitindo um vôo seguro dentro de um espaço. Na versão automotiva, o sistema Laser Ranger Finder cobre 180º e tem um alcance de dois metros.

O LRF calcula a distância até outro objeto e envia os dados para um microprocessador on-board, que a transforma numa estratégia anticolisão. Uma abelha entretanto, pode subir, descer ou desviar para os lados de modo a evitar outras abelhas enquanto que o BR23C só pode mover-se em duas dimensões e dentro das limitações das rodas.

Presumivelmente, a faixa de operação de dois metros é uma limitação do protótipo, sendo talvez necessário ampliar isso para se obter mais tempo de reação. Supondo que você esteja dirigindo em direção a um poste a 90 km/h (25 m/s) e detecta um obstáculo a três metros de distância, isso lhe dá apenas 1/8 de segundo de tempo de reação, suficiente para acionar o air-bag mas não para tentar brecar ou desviar. Mas a Nissan diz que o dispositivo "somente precisa de entradas a cada poucos segundos e agir". A empresa espera aperfeiçoar o sistema para reduzir o número de acidentes.



O Nissan BR23C utiliza olhos compostos para evitar colisão
Cortesia da Nissan Motor Co. Advanced Technology Center

Novo Sistema de Visão Estéreo



Sistema visual estéreo Surveyor SVT com dois processadores e duas câmeras. Cortesia da Surveyor Corp

O Surveyor STV é um processador duplo com duas câmeras e sistema WiFi, indicado para robótica, processamento de imagem embutido e monitoramento remoto baseado em Web.

O projeto possui diversos destaques, incluindo programabilidade onboard, conectividade WiFi, interface simples de atuador e sensor, arquitetura de fonte aberta e um custo de lista de US$ 550. Observe pela foto que o STV emprega processadores Blackfin da Analog Devices, que são projetados para este tipo de coisa como áudio multiformato, processamento de vídeo e imagens etc. De acordo com a literatura da Surveyor, o sistema tira "vantagens completas da potência do processador, otimizado pelas instruções de vídeo, interface de vídeo de alta velocidade, e interfaceamento fácil com dispositivos periféricos".

Este projeto possui dois Blackfins de 32 bits BF537, duas câmeras OV9655 da Omnivision com 1,3 megapixel, controle de motor PWM, várias interfaces e uma regulagem de 3,3 V e 5 V para operação com bateria. Pode-se ainda obter um rádio Matchport 802 802.11bg. Tudo isso mede apenas 2,5 x 6 x 2 polegadas, e consome menos de 2 W. A programação pode ser feita via Windows, Mac OS X ou Linux.

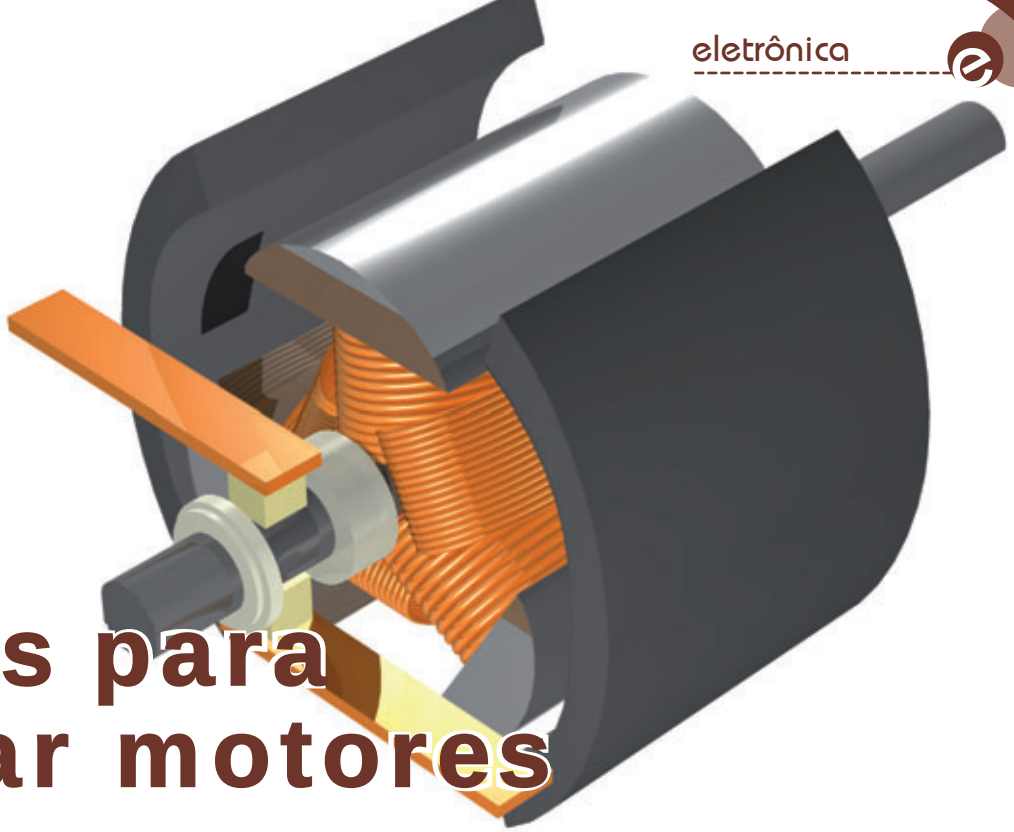
Cuidado com Objetos Voadores

O KillerBee UAS, é um UAS inteiramente autônomo, que deverá ser usado pela Marinha Americana. O sistema de aeronave não tripulada está sendo criado pela US Navy e Marine Corps por um time formado por Swift Engineering e Raytheon.

Esta arma mortal "tem capacidade de inserir inteligência persistente, segurança e reconhecimento (ISR) no espaço de batalha e rapidamente fornecer inteligência acionável aos comandos combatentes". Em setembro uma equipe de vôo da Raytheon simulou um ambiente de combate enviando o KillerBee a uma localização remota. No evento, em menos de 45 minutos a equipe ajustou o sistema e lançou o UAS. A nave é propulsionada por um motor de 8 HP, pesa aproximadamente 80 kg e sua autonomia é de 15 horas com um alcance de 972 milhas náuticas.



Aeronave desenvolvida pela US Navy e Marine Cortesia da Raytheon Corporation



Circuitos para controlar motores

Newton C. Braga

Nos projetos mecatrônicos mais avançados não basta simplesmente ligar e desligar um motor de corrente contínua. Mais do que isso, você pode obter recursos para alterar o sentido de rotação, velocidade e até mesmo o torque sem modificar a velocidade, além de outras características. Nesse artigo, focalizamos alguns circuitos simples que podem ser úteis para o controle de motores DC.

Um dos problemas dos pequenos motores de corrente contínua (CC ou DC) usados em muitos projetos mecatrônicos é que eles são dispositivos de alta velocidade e pequeno torque. Além disso, o controle de sua velocidade não é simples, pois depende da carga e da tensão aplicada. Assim, não basta variar a tensão nesses motores para se obter o efeito desejado, principalmente se a carga (força que ele deve fazer) também muda. Isso se torna evidente principalmente quando movimentos rápidos são necessários e caixas de redução não são utilizadas, caso em que o controle do motor se torna difícil ou errático.

Usando componentes comuns, como transistores e circuitos integrados de baixo custo, daremos a seguir uma série de circuitos que podem ajudar o projetista de dispositivos mecatrônicos obter mais de seus motores de corrente contínua.

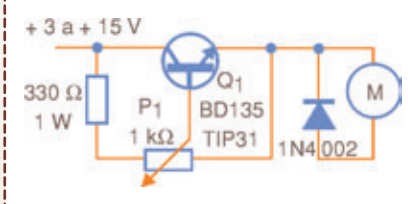
Controle Linear

O controle linear funciona como um reostato eletrônico, dosando a corrente no motor conforme a velocidade desejada. Não se trata de uma solução ideal para o controle preciso, pois nas baixas velocidades, o circuito não é linear, mas funciona muito bem nas aplicações menos críticas.

O circuito mostrado na **figura 1** pode controlar motores até 500 mA para o caso do transistor BD135 e até 2 A para o caso do TIP31.

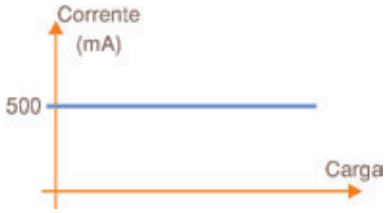
Em ambos os casos, o transistor deve ser dotado de um bom radiador de calor e a alimentação pode ficar entre 3 e 15 V. Veja que nesse circuito, nas posições intermediárias de velocidade, o transistor dissipa parte da energia aplicada na forma de calor. O potenciômetro de controle, entretanto, dissipa pouca potência e pode ficar longe do motor. Essa é a principal vantagem desse circuito.

1 Controle analógico para motor de 3 a 15 V. Transistores equivalentes ou de maior corrente podem ser utilizados

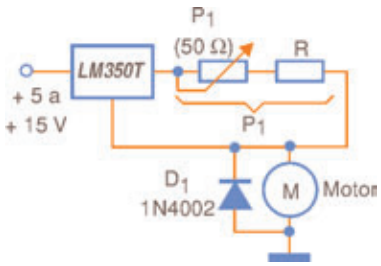


Para o caso de correntes maiores, o potenciômetro utilizado deve ser de fio e reduzido. Por exemplo, com um 2N3055 podemos controlar até 4 A, mas o potenciômetro deve ser de 220 ohms de fio e o resistor de 100 ohms com 2 W de dissipação.

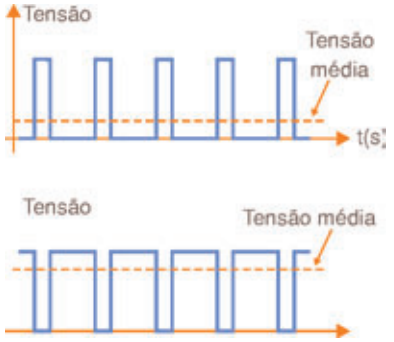
2 Num circuito de corrente constante, a corrente no motor independe da carga e da tensão aplicada, conforme mostra o gráfico



3 Controle de corrente constante utilizando um regulador integrado de tensão do tipo LM350 que pode conduzir até 3 A de corrente



4 A potência média pode ser controlada pela largura dos pulsos aplicados ao motor



Circuito de Corrente Constante

Um motor de corrente contínua típico tem consumo de corrente que depende tanto da carga como da tensão aplicada, conforme mostra a **figura 2**.

Isso significa que, se um motor for submetido a um esforço maior na aplicação, automaticamente compensa-se a redução da velocidade e aumento da carga com um aumento da corrente. Se o motor travar pode ser um perigo, pois a corrente pode aumentar a ponto de causar sua queima.

Uma forma de se limitar a corrente no motor e ao mesmo tempo mantê-la sempre na mesma intensidade, consiste em empregar como controle uma fonte de corrente constante. O circuito mostrado na **figura 3** tem justamente essa finalidade.

O potenciômetro ajusta a intensidade da corrente no motor segundo a seguinte fórmula:

$$I = 1,25 / P$$

Onde:

- I é a corrente no motor
- P é a resistência do potenciômetro mais a resistência R.

R determina a corrente máxima no motor, valendo então para quando a resistência ajustada no potenciômetro for nula. O circuito integrado LM350 pode operar com motores até 3 A e tensões de alimentações até mais de 20 V. Esse componente deve ser montado em um bom radiador de calor.

Controle PWM Simples

Uma forma eficiente de controlar velocidade e torque de um motor de corrente contínua é a que faz uso da modulação da largura de pulsos ou *Pulse Width Modulation*, abreviada por PWM.

A idéia é alterar a largura dos pulsos de modo a modificar a tensão média que eles representam, conforme mostra a **figura 4**.

Maior largura de pulso significa mais potência aplicada. Veja que, nessa modalidade de controle a amplitude dos pulsos se mantém, o que significa, de certo modo, a manutenção do torque. O controle PWM mantém o torque mesmo em baixas velocidades, o que não ocorre com os controles lineares.

Temos então na **figura 5**, um circuito prático que o leitor pode utilizar com motores até 500 mA (BD136) ou 2 a (TIP32), com excelente desempenho nas aplicações em que o controle nas baixas velocidades é crítico, principalmente com caixas de redução.

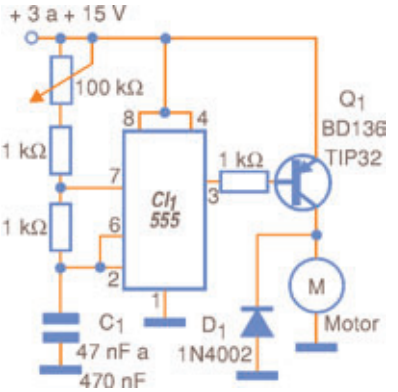
O transistor deve ser dotado de radiador de calor, assim o circuito funciona bem com tensões e motores de 5 V a 15 V sem problemas. O capacitor C_1 eventualmente deve ser alterado para casos de ocorrência de vibrações nos motores. Escolha o valor que dê o desempenho mais suave em toda a faixa de velocidades.

PWM e Ponte H

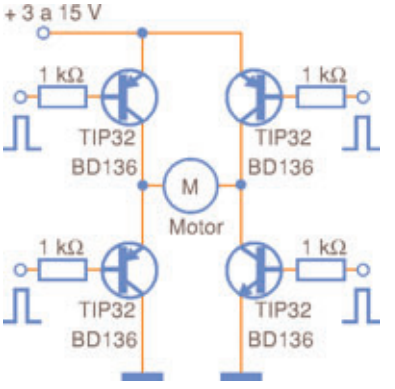
O circuito anterior pode ser associado a uma ponte H para que, além do controle de velocidade seja possível obter também a inversão do sentido de rotação a partir de um sinal lógico. Obtemos então o circuito mostrado na **figura 6**.

Os transistores da ponte H devem ser dotados de radiadores de calor e podem ser BD135/136 para motores até 500 mA ou TIP31/32 para motores

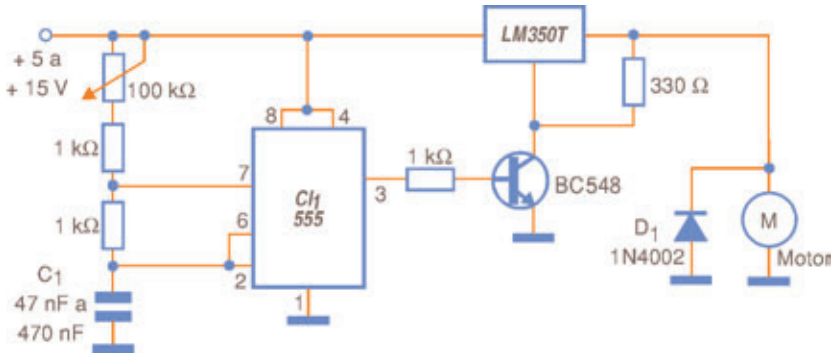
5 Controle quase-PWM utilizando um oscilador com o circuito integrado 555. A freqüência, neste circuito também se altera com a largura do pulso



6 Ponte H que permite inverter a rotação de um motor de corrente contínua



7 Controle PWM para correntes até 3 A utilizando dois circuitos integrados



até 2 A. A alimentação também pode ser feita com tensões de 5 a 15 V.

PWM Integrado

Um circuito interessante para controle PWM é o mostrado na **figura 7**, que faz uso de dois circuitos integrados.

Nesse circuito, os pulsos de controle obtidos a partir de um astável 555 são aplicados ao terminal de ajuste de um regulador de tensão do tipo LM350T capaz de controlar cargas até 3 A. Quando o pulso está no nível baixo temos a intensidade mínima do pulso aplicado, que é de 1,25 V (insuficiente para o acionamento).

Já no nível alto temos a aplicação da tensão ajustada no trimpot P_1, a qual depende do motor utilizado. O circuito funciona bem com motores até 3 A e tensões na faixa de 6 V a 15 V ou mesmo mais. O circuito integrado LM350T deve ser montado em um radiador de calor compatível com a potência do motor. Nesse caso também é conveniente selecionar o capacitor do astável (C_1) para que o motor opere em toda a faixa de velocidades sem oscilações.

Conclusão

O que vimos nesse artigo é apenas uma pequena amostra do que pode ser feito em termos de controles simples de motor DC, ponto fundamental de todo projeto mecatrônico.

Soluções com diversas tecnologias, incluindo circuitos integrados dedicados podem ser usadas nas aplicações mais sofisticadas, mas nos projetos simples são justamente as soluções baratas (e que usam componentes comuns) que mais atraem a atenção dos leitores.

Caso desejar maiores sugestões de circuito, ou se especializar sobre o assunto, sugerimos o livro "Eletrônica Para Mecatrônica" do mesmo autor desse artigo. Esta publicação pode ser encontrada na loja Nova Saber **(www.novasaber.com.br).**



Robô Luzocta



Neste artigo atendemos aos leitores que não possuem experiência com microcontroladores e circuitos lógicos. O robô apresentado é simples, sendo constituído apenas de transistores.

Wellington Rocha Domingos

O Luzocta é um robô capaz de seguir a luz emitida por uma lanterna, possibilitando curvas para esquerda e para direita, veja a **figura 1**. Para estudantes de eletrônica básica é uma ótima opção, pois demonstraremos o funcionamento de uma meia ponte (H) para cada motor.

O circuito

O circuito elétrico do Luzocta é mostrado na **figura 2**. R_1 e R_2 servem de proteção para os LEDs, o capacitor C_1 auxilia como filtro.

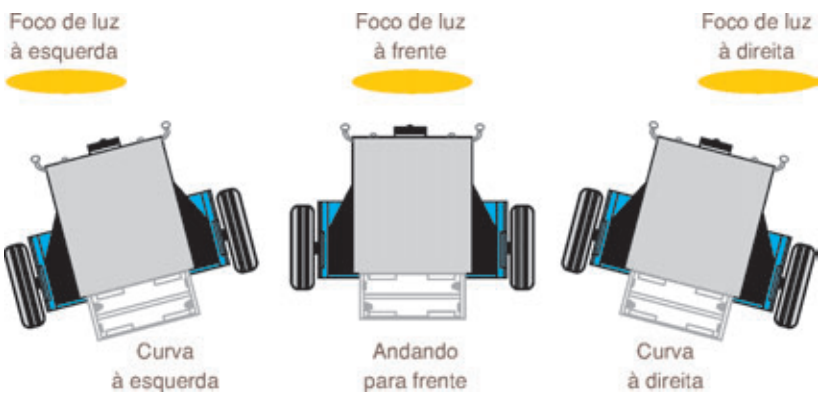
Os transistores Q_1, Q_2, Q_3 e Q_4 formam as chaves que ativam os motores, observe que Q_1 e Q_2 estão com seus coletores ligados nos pólos de contatos dos motores.

O que acontece é bem compreensivo, o transistor PNP conduz do emissor para o coletor e o transistor NPN procede inversamente. Quando ligamos o circuito imediatamente a base de Q_1 esta em nível alto e Q_2 em baixo.

Para que Q_1 sature é necessário ligar sua base no nível lógico (0). Já para Q_2 é preciso ligá-lo em um nível lógico (1), ou seja positivo da bateria se a base de Q_1 está em nível auto e a base de Q_2 está baixo.

Isso causaria um curto circuito se encostarmos as duas bases. Para evitar esse curto ligamos dois resis-

1 Movimentos do robô



tores em suas bases, deste modo a tensão positiva de Q_1 faz saturar Q_2 e a tensão negativa de Q_2 satura Q_1, evitando que o circuito trave. Esse mesmo processo é usufruído por Q_3 e Q_4 para ativar o motor 2.

Montagem em PCI

A montagem em PCI (Placa de circuito impresso) é mostrada na **figura 3**. Indicamos uma placa de 6 cm de largura e 7,5 cm de comprimento. Só alertamos para que não inverta as posições dos transistores NPN com PNP, pois isso os faz aquecerem e até mesmo queimarem. Na hora da confecção tenha cuidado ao soldar os seguintes componentes: LED_1, LED_2 e C_1, pois são polarizados e sua inversão pode parar todo o circuito.

Montagem mecânica

A montagem mecânica ou estrutura física do Luzocta, foi construída a partir de caixas plásticas comerciais, fabricadas pela Patola, mas se preferir adote outra estrutura. Deixamos essa parte para que o leitor coloque sua criatividade à tona!

Se preferir montar o robô com a estrutura padrão siga a **figuras 4 a 8**.

Teste e uso

Se tudo estiver correto com a montagem, introduza as pilhas no suporte e ligue S_1. O robô deve ser posicionado em um ambiente fora de luz solar, pois esta claridade ativa o funcionamento do robô fazendo-o andar para frente. Já a luz ambiente não ativa o robô.

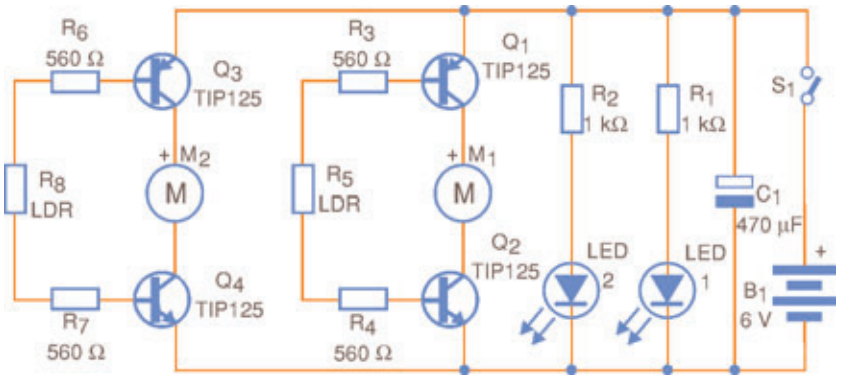
Após ligar S_1 os dois LEDs deverão acender e o Luzocta deve permanecer parado. Com uma lanterna aponte seu foco luminoso para o chão e aproxime, assim ele irá movimentar-se de acordo com a posição da lanterna. Aponte a luz para cada LDR de maneira independente para ter a certeza de ele obedece os comandos corretamente, se isso não acontecer verifique novamente a montagem.

Problemas comuns

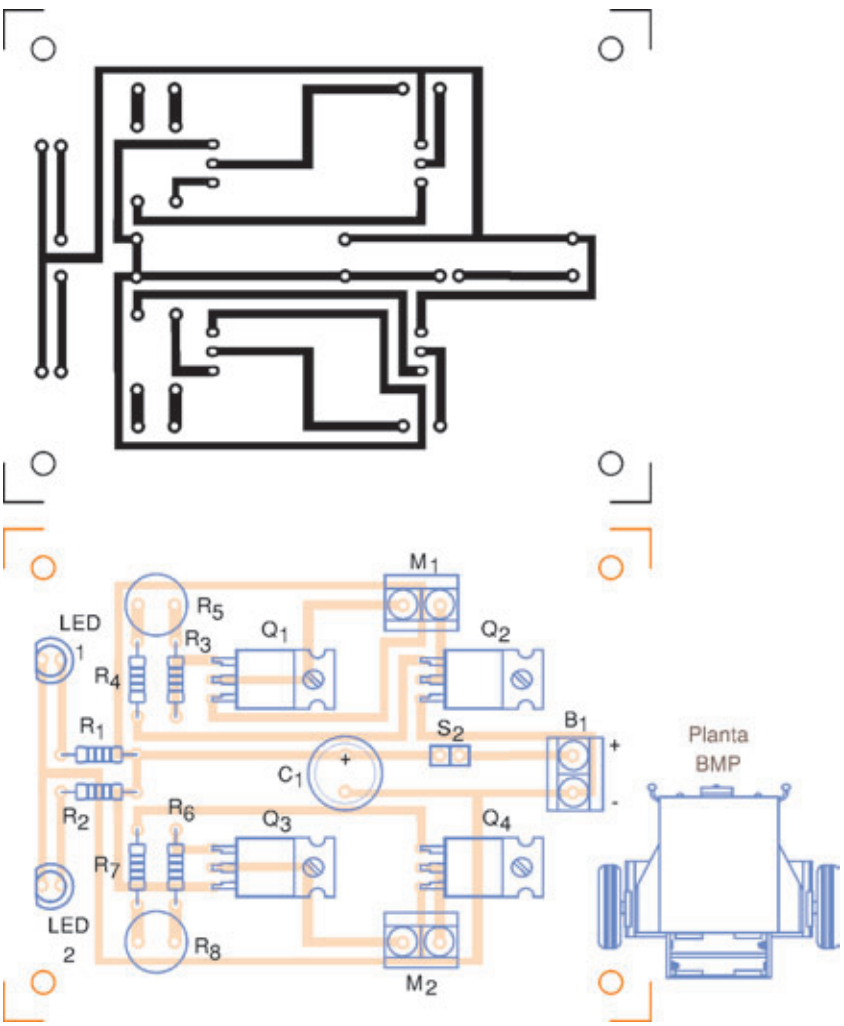
O Luzocta anda em círculos quando aproxima-se o foco luminoso da lanterna:

Analise se os motores estão ligados de maneira correta ou se estão invertidos. Esta mesma observação serve quando ele andar para traz.

2 Circuito elétrico do Luzocta



3 Desenho da Placa



Meu robô não obedece aos comandos de curvas:

Isso acontece quando os comandos estão trocados de posição, basta apenas troca-los ou simplesmente trocar os LDRs.

Dicas e usos

Promova uma competição entre amigos ou mesmo em feiras de ciências. Você pode também aumentar a velocidade do robô com motores mais potentes e rápidos.

Conclusão

Este artigo foi destinado aos iniciantes em eletrônica. Esperamos que a partir deste robô o leitor possa vir, em um futuro próximo, desenvolver seus próprios projetos com eletrônica básica ou digital, até a próxima!

Lista de materiais:

Semicondutores
Q_1 e **Q_3** - TIP125 - Transistor PNP de potência
Q_2 e **Q_4** - TIP120 - Transistor NPN de potência
LED_1 e **LED_2** - LEDs de 5mm comuns cor vermelho

Resistores
R_1 e **R_2** -1K - Resistores (Marrom, preto, vermelho)
R_3, **R_4**, **R_6** e **R_7** - 560R - Resistores (Verde, azul e marrom)
R_5 e **R_8** - LDR - Resistor dependente de luz de tamanho 5mm

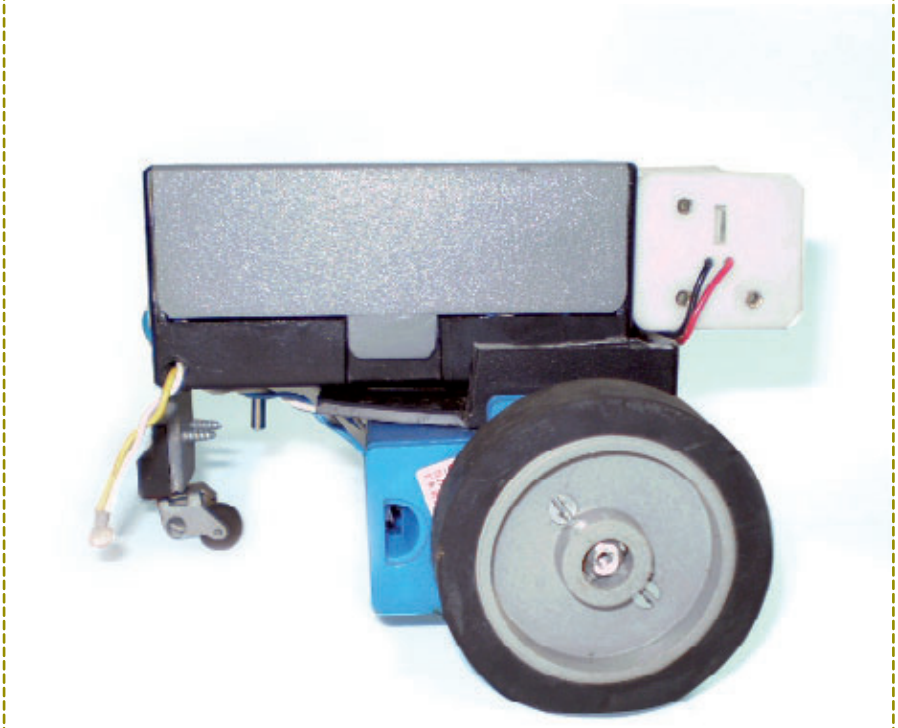
Capacitores
C_1 - 470 µF x 16V - Capacitor eletrolítico

Diversos
B_1 - 6V - Quatro pilhas AA ou equivalente bateria de 6V
M_1 e **M_2** - 6V - Motores de corrente continua de 5V a 6V com caixa de redução
S_1 - On / Off - Chave tipo Liga / Desliga
Fios, placa para montagem, solda, caixas plásticas para montagem mecânica e etc.

www.mecatronicafacil.com.br

Acesse o site da revista e confira o vídeo do robô Luzocta

4 Lateral do LuzOcta



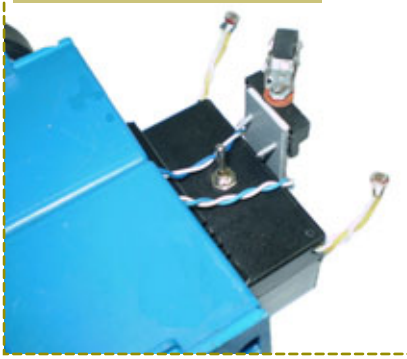
5 Vista frontal do robô



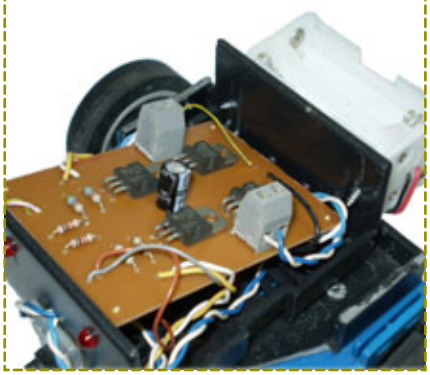
6 Posição do suporte de pilhas



7 Posição da chave S1, dos LDRs, dos motores e da roda boba



8 Placa do robô



Futebol de Robôs Proposta Eletrônica para Small Sized League



Este artigo descreve a proposta de um circuito eletrônico para transmissão e recepção de dados e controle dos robôs desenvolvidos pelo Grupo de Robótica Aplicada da Bahia em parceria com a equipe Pounce Engenharia.

Airton Miranda
Alexandre Costa
Felipe Catalupo
Murilo Plinio
Victory Fernandes

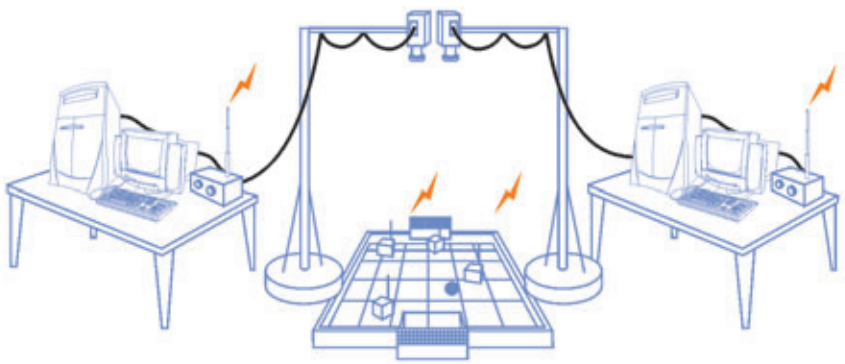
O Futebol de Robôs Small Sized League foi concebido com o intuito de apresentar e solucionar problemas relacionados à robótica mundial.

A proposta do futebol de robôs é apresentada em três categorias: Robôs Simulados, Robôs de Pequeno e Médio Porte. Os robôs da categoria de Médio Porte e Simulação são completamente autônomos. Já na competição de Pequeno Porte é permitida a utilização de um sistema de visão global, onde a imagem da câmera é processada e enviada para os robôs.

Os jogos na modalidade Small Sized League, tema deste artigo, acontecem com dois times de cinco robôs em um campo com dimensões determinadas pela Robocup. Veja **figura 1**.

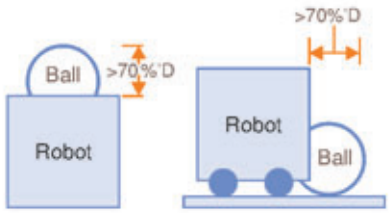
As imagens capturadas pelas câmeras são transmitidas para computadores e processadas de forma a definir as estratégias de movimentação de cada robô. Esta estratégia é enviada, via transmissores/receptores RF aos robôs afim de executarem as tarefas determinadas, se deslocando no campo.

1 Estrutura da competição conforme apêndice 2 da regra



Ter um bom processamento é indispensável, já que um grande número de informações são tratadas nos dois tempos de 15 minutos da partida. Nenhum dos robôs, a não ser o goleiro, terá permissão de prender ou

2 Contato permitido do robô e bola conforme apêndice 3 da regra



deslocar a bola encobrindo mais de 30% de sua vista superior ou lateral. Como demonstra a **figura 2**, 70% da bola terá que estar livre.

Para que seja possível a compreensão do futebol de robôs, é necessário antes de tudo entender como suas partes separadas correlacionam-se.

Conforme o diagrama da **figura 3**, as imagens são captadas através de uma câmera, e processadas por um computador que interpreta qual a melhor jogada que os robôs devem executar. Em seguida envia esta jogada destinada ao robô que está melhor posicionado.

Contudo, para as instruções de jogada chegarem aos robôs, ela é passada para um circuito de comunicação sem fio.

Este circuito de comunicação sem fio recebe as instruções das jogadas passadas pelo computador através da porta serial RS232 e por um dispositivo transmissor de rádio freqüência, passa as informações que são captadas pelos receptores de rádio freqüência instalados nos robôs.

O robô recebe as instruções, processa e em seguida envia os dados para a ponte H que é responsável pela inversão da polaridade do motor, executando assim um movimento referente às instruções, que pode ser: andar para frente, para trás, girar por um determinado período e com uma determinada intensidade.

Logo após a tomada de decisão do computador quanto ao movimento a ser realizado, a transmissão, e, finalmente, a execução do movimento, a câmera novamente capta novas imagens, que geram novas informações a serem processadas pelo computador e transmite aos robôs, fechando o ciclo de operações demonstrado no diagrama.

Circuito Transmissor

O circuito está implementado conforme o diagrama ilustrado na **figura 4.** Ele faz uso de um circuito integrado MAX232 passando estas informações para a antena RF de 433MHz da empresa TATO. Veja a **figura 5**.

Apesar do PIC 16F628A possuir o módulo USART, também conhecido como Interface de comunicação serial, ele não é completamente compatível com o RS232, sendo necessário o uso do MAX232 responsável por transformar os sinais RS232 para o padrão TTL lido e emitido pelo microcontrolador. Uma vez com as informações convertidas, estes dados são encaminhados ao dispositivo RF transmissor.

O circuito transmissor implementado está conectado à porta serial RS232 e à porta USB do computador. Esta idéia surgiu para simplificar o circuito de uma maneira geral, pois, a USB fornece 5 volts de potencial nos pino 1 (VCC) e na carcaça ou no pino 2 corresponde ao GND, e todos os componentes do circuito necessitam ser alimentados com esta mesma tensão, evitando assim a necessidade de um regulador de tensão ou fonte de tensão auxiliar. Desta maneira utilizamos a porta USB apenas para fornecer tensão de 5 V ao circuito. O resultado final da montagem pode ser visto na **figura 6**.

Circuito do Robô – Recepção, Processamento e Controle

O circuito do robô possui um dispositivo RF receptor para receber as intruções a serem executadas. Cabe ao microcontrolador PIC modelo 16F628A instalado no robô processar estas informações e executar os comandos.

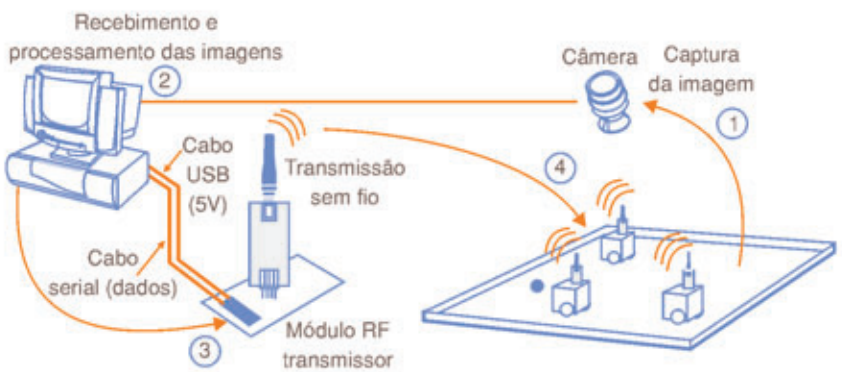
Assim como no circuito transmissor, muitos elementos do circuito devem estar alimentados com uma tensão de 5 volts. Como os robôs não podem estar ligados a nenhum outro dispositivo por umbilical, foi escolhido para a alimentação uma bateria de 9 volts comum. A este circuito foi adaptado um regulador de tensão LM7805, responsável por fixar a tensão de saída em 5 V para grande parte dos componentes do robô, com exceção dos motores que utilizam a tensão de 9 V diretamente.

O microcontrolador, devido a sua grande versatilidade, é o componente chave do circuito, pois pode-se obter uma vasta possibilidade de operações. Já o microcontrolador PIC 16F628A foi escolhido devido ao seu tamanho reduzido e suporte a comunicação serial, além de ser facilmente encontrado no mercado.

Para controlar os dois motores CC utilizados no projeto, o PIC envia 4 bits que indica se os motores estão ligados e o sentido de rotação.

Um circuito integrado de ponte H, L293d, foi escolhido para executar a inversão de polaridade nos terminais

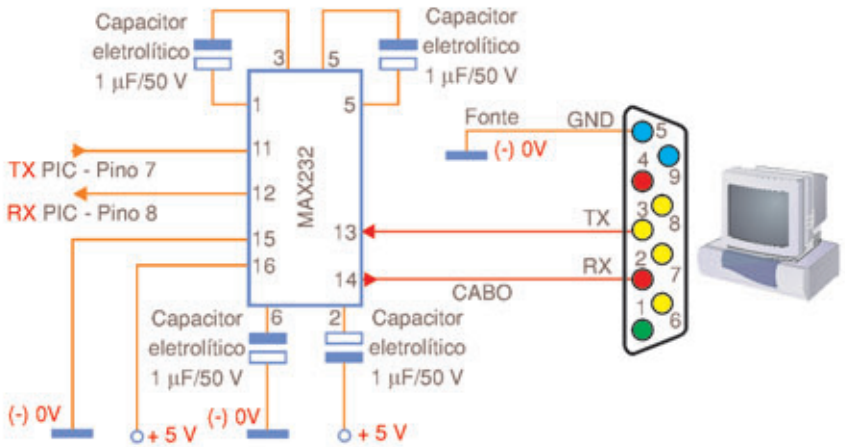
3 Diagrama do conjunto



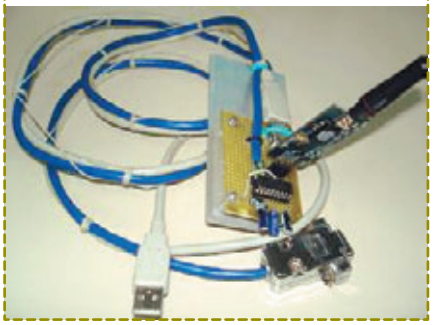
4 Diagrama de Comunicação Serial RS232 PC - PIC



5 Conversor RS232-TTL (fonte: www.rogercom.com)



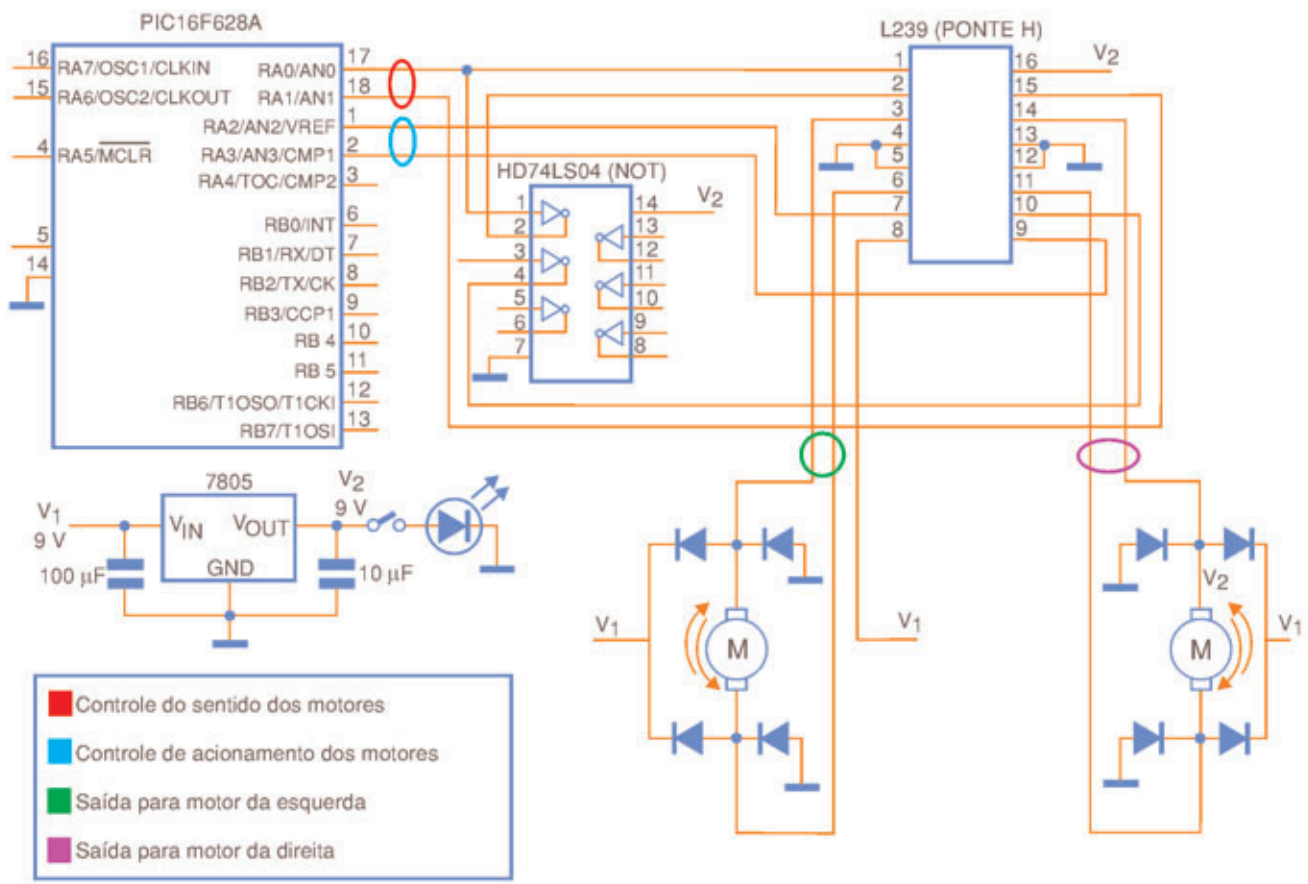
6 Foto do módulo de comunicação implementado no projeto



dos motores e conseqüentemente a inversão no sentido do giro de seus eixos, resultando na possibilidade de executar movimentações para frente, para trás, esquerda e direita.

Os pinos 7 e 15 acionam o funcionamento da ponte H, como mostra o diagrama. O outro bit é enviado para um CI de porta lógica NOT, 74LS04, que nega o bit recebido e o envia para a ponte H. A ponte H recebe o bit original e o bit negado (oriundo do 74LS04) nos pinos 1 e 2 para motor da esquerda e 9 e 10 para motor direito. Estes bits indicam o sentido de rotação dos motores, como exibe o diagrama da **figura 7** que implementa a simulação eletrônica do processo no software LabCenter Proteus. Além disso, para proteger o CI de ponte H de cargas indutivas contidas nas bobinas dos motores, que quando invertida a polaridade, geram tensões mais elevadas que as normalmente cedidas, foram adicionados diodos de proteção conforme sugestão de uso contida no datasheet do LM293d.

7 Diagrama de inversão de motores



Estrutura Computacional e de Software

Uma vez abordados os aspectos eletrônicos do projeto, é preciso implementar os softwares que serão executados no computador.

Para o desenvolvimento do software de comunicação com o robô foi utilizado o ambiente de programação orientado a objeto Borland Delphi 6, acrescido do componente freeware opensource TCommPortDriver para suporte a comunicação serial no Delphi.

O software desenvolvido é composto de duas telas, uma para configurar a conexão serial e outra para o controle do usuário, na qual os dados são enviados.

A proposta deste artigo é apresentar um software simples, capaz de controlar o robô através do pressionamento do teclado, abstraindo aspectos avançados da programação de tratamento digital das imagens recebidas das câmeras e definições de táticas.

Com base nos conceitos apresentados é possível construir seu próprio projeto e progredir no sentido da implementação dos recursos avançados.

A tela de configurações, conforme apresentado na **figura 8**, modifica os parâmetros de configuração da porta serial, tais como: qual porta será usada na comunicação, velocidade em baud rate, bits de dados, paridade, bits de parada e controle de fluxo.

A tela de controle, ilustrada na **figura 9**, é composta de um botão conectar/desconectar que ativa a conexão previamente configurada e cinco botões de controle que são responsáveis pelos movimentos do robô, conforme as teclas do teclado: w, s, a, d, q (frente, trás, esquerda, direita, desliga, respectivamente).

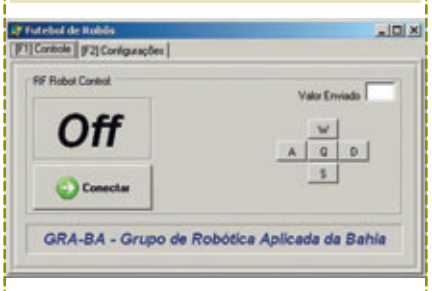
Exceto pelo código responsável pela configuração e demais parametrizações do sistema e seus componentes, o sistema de envio de dados para porta serial a uma única função.

No evento OnClick de cada botão implementa-se a chamada a função genérica de envio de Strings do componente da Classe TCommPortDriver, passando como parâmetro o conteúdo do botão respectivo que executou o procedimento, conforme apresentado a seguir. Uma vez corretamente configurado e conectado à porta, o acionamento do botão "w" por exemplo, envia o caractere "w" para a porta serial RS232, que por sua vez chega ao circuito transmissor de RF e é recebido no circuito receptor instalado no robô. O mesmo ocorre para os outros botões. Para 'Parar' (ou 'Desligar' o sistema), use a tecla "q".

8 Software de comunicação (Tela de configuração)



9 Software de comunicação (Tela de controle)



Código-fonte

```
procedure TFutebolFrm.SpeedButton4
Click(Sender: TObject);
  begin
  CommPortDriver1.SendString(TButton
(Sender).Caption);
  end;
```

* Para ter acesso ao código completo acesse o site da GRA-Ba

Software Embarcado no Robô

Para o desenvolvimento do software embarcado no robô foi utilizada a linguagem de programação Assembler para o PIC16F628A. Para tanto foi necessário dominar todos os conceitos gerais da linguagem bem como dominar os conceitos específicos relacionados à configuração e uso de porta serial USART e tratamento de interrupções. O software embarcado que opera no robô foi implementado em 3 etapas:

- **Teste ECHO**: Primeiramente foi desenvolvido um aplicativo de testes onde foram aplicados todos os conceitos de configuração de porta serial USART e tratamento de interrupções para um sistema que recebesse bytes via porta serial, detectasse a chegada destas informações e enviasse de volta as informações recebidas numa aplicação clássica de programa ECHO. Desta maneira foi possível garantir o funcionamento de toda a programação que seria base para o aplicativo final do robô.

- **Teste Movimentação**: Uma vez garantido que toda a programação base operava de forma devida, foi implementado aplicativo que tratava o recebimento dos caracteres w, s, a, d, q (frente, trás, esquerda, direita, desliga, respectivamente) realizando movimentação do robô, de forma que fosse possível comandá-los de forma simples através do teclado do computador.

- **Aplicativo Final:** O aplicativo final do robô inclui alterações apenas no protocolo de comando e controle do robô que é um pouco mais elaborado que a implementação da versão "Teste de Movimento", uma vez que inclui tratamentos de PWM para regulação da potência usada no movimento a depender da situação desejada e controle de múltiplos robôs individualmente.

Teste Movimentação

Conforme enunciado o aplicativo "Teste de Movimentação" utiliza como base toda a implementação do aplicativo Teste ECHO adicionando à funcionalidade de identificação dos caracteres w, s, a, d, q (frente, trás, esquerda, direita, desliga, respectivamente) de forma a realizar a movimentação do robô como mostrado no diagrama geral de comunicação da **figura 10**.

A correta interpretação e entendimento por parte do desenvolvedor dos dados recebidos pelo PIC dependem do conhecimento de bases numéricas e da tabela ASCII uma vez que as informações enviadas pelo computador

sob a forma de caracteres representam na verdade um byte que trafega sob a forma de bits e tem seu valor especificado conforme a tabela ASCII.

A implementação do aplicativo "Teste Movimentação" foi feita conforme o seguinte algoritmo descritivo sob a forma de diagrama de blocos na **figura 11**.

Para melhor compreender a proposta é aconselhável que o leitor tenha conhecimentos acerca de programação Assembler para microncontroladores PIC para recursos como tratamentos de interrupções seriais.

De forma identificar qual caractere foi recebido via porta serial USART, mova o caractere para o registrador "W" e faça uma subtração com o dado recebido (previamente armazenado na variável DADO_RX). Para uma subtração com resultado igual a zero, o flag "Z" do registrador STATUS é setado, indicando que o caracter recebido é igual ao caracter esperado, caso contrário aplicasse o mesmo teste para cada caracter individualmente. Então, para comparar se o dado recebido é igual a um caractere específico basta seguir o seguinte raciocínio:

A seguir apresentamos partes relevantes do tratamento abordado. Para acesso ao código completo acesse o site do Grupo de Robótica Aplicada da Bahia - GRA-Ba .

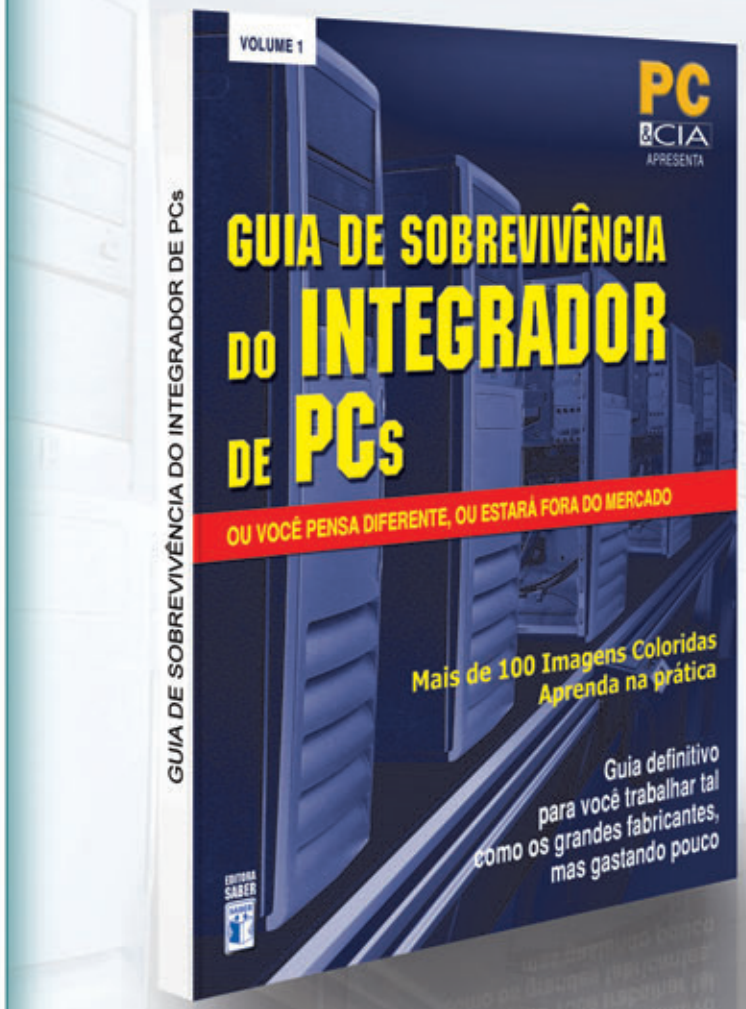
O projeto completo da eletrônica foi então acrescido a uma proposta mecânica de chassi implementado em acrílico conforme especificações contidas no relatório completo do projeto. As peças devem ser montadas conforme mostrado na simulação 3D em Google SkecthUp da **figura 12**, podendo ser utilizada cola (Super-Bonder por exemplo) ou parafuso para unir as partes da estrutura entre si.

Optamos por trabalhar com parafusos, pois os mesmos permitiam desmontar completamente o robô, caso necessário, enquanto o uso de cola dificulta este tipo de operação no futuro.

Raciocínio

```
CHAMA_FUNCAO
   movlw  "X"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   MINHA_FUNCAO
```

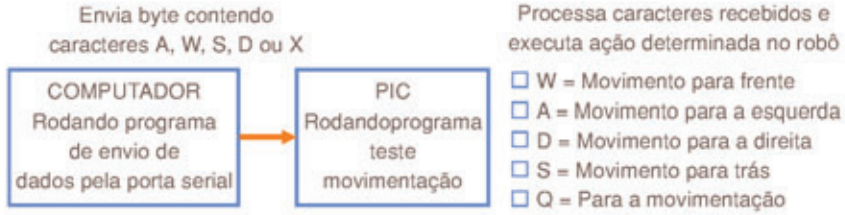

Trabalhe como os grandes, mas gastando pouco!



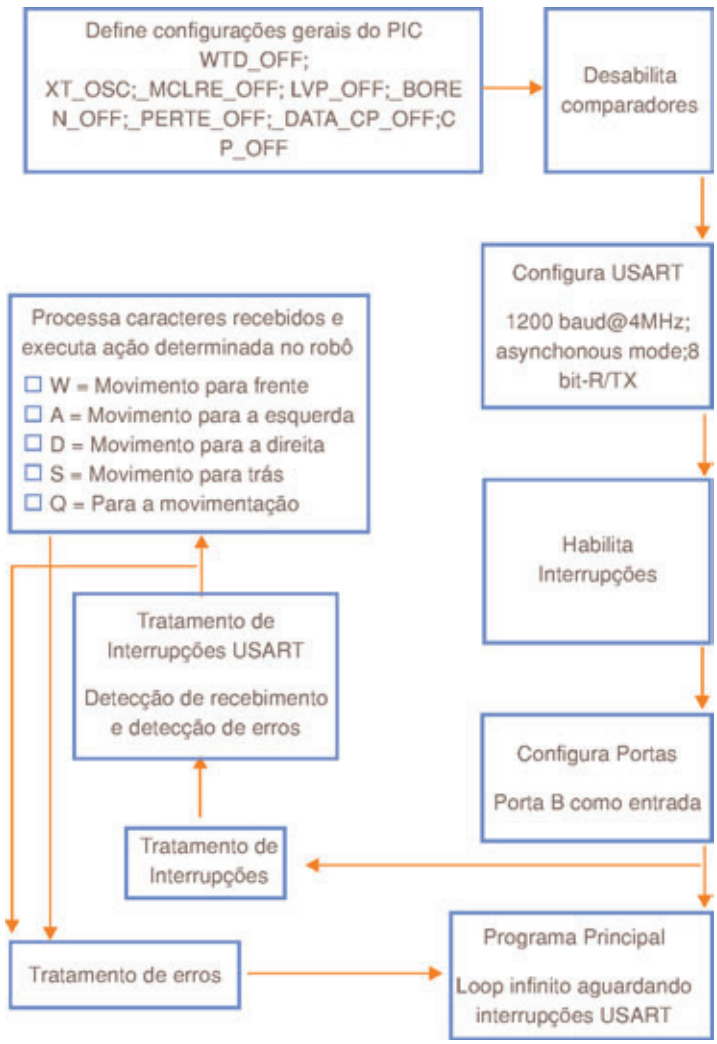
Aprenda sobre:
- Construção de um laboratório técnico
- Mitos e verdades sobre o aterramento elétrico, como fazer e medir corretamente
- Equipamentos ideais para proteção elétrica
- Montagem passo a passo de uma bancada de baixo custo protegida contra ESD
- PCs confiáveis, o que você precisa saber para 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

10 Diagrama de Comunicação PC-PIC do Aplicativo TesteEcho



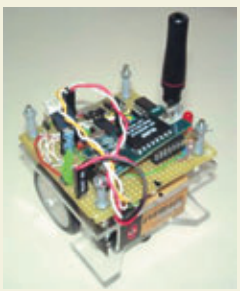
11 Simulação 3D da montagem final em acrílico



12 Simulação 3D da montagem final em acrílico



13 Montagem final do robô



Código-fonte

```
(...)
;*****************************************
;*      ROTINA IDENTIFICA FUNCAO         *
*****************************************

CHAMA_FUNCAO
   movlw  "a"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   Go_ESQ

   movlw  "d"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   Go_DIR

   movlw  "w"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   Go_FRENTE

   movlw  "s"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   Go_TRAS

   movlw  "q"
   subwf  DADO_RX,W
   Btfsc  STATUS,Z
   call   Go_STOP
RETURN
(...)
```

Após concluída a montagem final da estrutura mecânica, adicionamos ao conjunto a placa de circuito contendo toda a eletrônica de controle do robô proposta, bem como a bateria de 9V que é fonte de alimentação, conforme a **figura 13**.

Neste ponto as dimensões do robô são de exatamente 7 cm cúbicos, e o robô já está pronto para ser testado. No entanto, para a competição nos campeonatos oficiais é preciso ainda construir mais uma etapa mecânica, a carenagem.

Conclusão

A dificuldade das equipes em evoluir para modalidades mais complexas, dado o pouco amadurecimento da robótica na região norte-nordeste e a dificuldade ao acesso de informações, fez as equipes GRA-Ba (**www.roboticaaplicada.com.br**) e Pounce Engenharia (**www.pounce.eng.br**) trabalharem juntas no desenvolvimento de um projeto de Futebol de Robôs Small Sized League, com toda sua documentação disponível gratuitamente no site da GRA-Ba.

O que você precisa saber sobre motores elétricos

Os motores elétricos são parte integrante de uma infinidade de equipamentos. Máquinas industriais, automatismos domésticos e automotivos, portões elétricos, dispositivos mecatrônicos e robôs são alguns exemplos de lugares onde podemos encontrá-los.
Os motores podem ser dos mais diversos tipos, formas e tamanhos, o que leva a necessidade de todo profissional de Eletrônica ter um conhecimento mais profundo desses dispositivos.
Neste artigo analisaremos os diversos tipos de motores, suas vantagens e desvantagens e a tecnologia que cada um emprega.

Newton Braga



Os motores são transdutores que convertem energia elétrica em energia mecânica. Nesta função, eles fazem parte de uma grande quantidade de equipamentos que encontramos no dia-a-dia.

Nos últimos tempos, com a união crescente da eletrônica à mecânica na criação de dispositivos mecatrônicos, os motores aparecem cada vez mais em maior quantidade e numa variedade de tipos até então nunca vista.

Como funcionam os diversos motores que encontramos nos equipamentos de uso cotidiano e como trabalhar com eles, são conhecimentos que todo profissional deveria ter, e é isso que vamos levar neste artigo.

Fundamentos

A idéia de se obter energia mecânica a partir de energia elétrica criando-se, assim, o primeiro motor de corrente contínua, vem de 1830 quando Michael Faraday desenvolveu o primeiro motor de disco. Na **figura 1** podemos ter uma idéia de como ele funcionava.

No entanto, naquela época as próprias fontes de energia elétrica eram limitadas, o que fez com que esse motor apenas se tornasse uma curiosidade de laboratório sem aplicação prática. Os motores modernos se baseiam num princípio muito conhecido de todos os estudantes de Física e Eletrônica , que é ilustrado na **figura 2**.

Quando uma corrente elétrica percorre um fio imerso em um campo magnético surge uma força perpendicular ao fio, que tende a movê-lo.

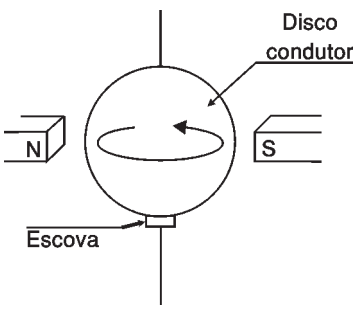
Se em lugar de um simples condutor usarmos uma bobina com muitas espiras de fio, mesmo uma corrente relativamente fraca poderá gerar forças bastante intensas quando a mesma configuração for montada.

Uma bobina com o formato mostrado na **figura 3**, quando percorrida por uma corrente e imersa num campo uniforme, ficará sujeita a um binário que tenderá a girá-la.

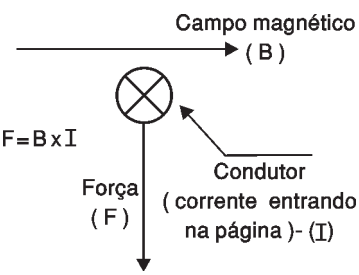
Evidentemente, nessas condições, se a bobina puder girar livremente, ela só irá fazê-lo por um certo percurso, até que as forças não mais atuem no sentido de produzir esse movimento, conforme exibe a **figura 4**.

A configuração é interessante, pois pode produzir força mecânica em

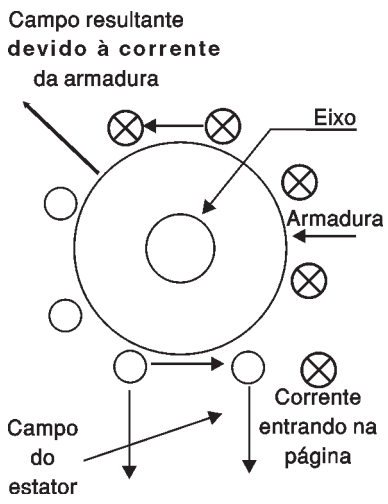
1
Motor elementar de disco



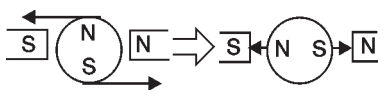
2
Força num condutor imerso num campo magnético



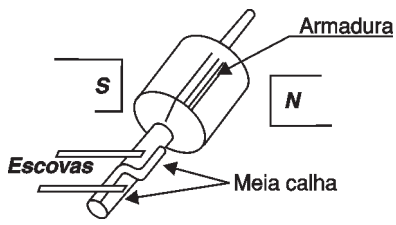
3 Princípio de funcionamento de um motor DC



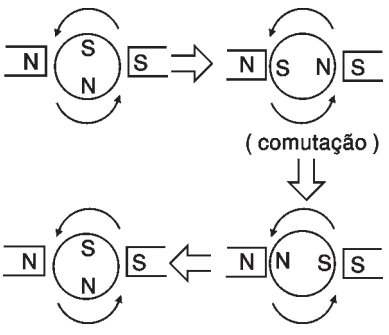
4 Movimento da armadura até a estabilidade



5 O sistema de escova



6 Rotação constante



boa quantidade, mas persiste o problema de como obter um movimento contínuo da bobina, ou seja, de fazê-la girar sem parar.

Isso pode ser conseguido por um processo denominado comutação, mostrado na **figura 5**, e que já nos leva a um motor com possibilidade de apresentar aplicações práticas.

A bobina é enrolada num cilindro que é montado num eixo capaz de girar sobre mancais.

Nesse eixo deixamos duas regiões isolantes onde colocamos "meia calhas" de contatos comutadores, que são ligados aos fios da própria bobina. Dois contatos fixos ou "escovas" fazem contato elétrico com essas meia calhas de modo a transferir energia para as bobinas.

A ligação desses comutadores é tal que, em meia volta do percurso, os comutadores A e B são ligados à bobina e com isso a corrente circula num sentido. Na outra meia volta, os comutadores C e D é que são ligados na bobina e a corrente circula no sentido oposto.

Tudo isso nos leva ao seguinte comportamento mecânico do dispositivo assim formado:

a) Quando aplicamos corrente nos contatos que alimentam a bobina, circula uma corrente em um sentido tal que tende a movimentá-la de meia volta , dependendo o sentido de giro justamente do sentido de circulação da corrente.

b) Quando a bobina alcança a posição que seria de repouso, meia volta depois, as escovas comutadoras mudam os contatos e, com isso, a corrente inverte seu sentido de circulação.

c) O resultado disso é que a posição que a bobina alcançou não é mais a posição de repouso, uma vez que surge uma nova força que tende a fazê-la continuar girando. A nova posição de repouso estará, agora, meia volta adiante.

d) A bobina gira mais meia volta para alcançar a nova posição de repouso, mas ao chegar próximo dela, novamente entram em ação os comutadores e a corrente é novamente invertida. Uma nova posição de repouso aparece.

e) A nova posição de repouso estará outra vez meia volta à frente e a bobina continua girando.

É fácil perceber que a bobina nunca irá parar enquanto houver disponibilidade de corrente para alimentar o circuito e obteremos, com isso, um movimento giratório da bobina e de seu eixo constante. A **figura 6** ilustra o que sucede.

A força que aparece no eixo desse tipo de motor vai depender de diversos fatores, tais como o número de espiras da bobina, a intensidade do campo magnético e também a intensidade da corrente.

Motor DC com escovas

Este tipo de motor é o mais tradicional, conhecido por "brush DC motor", onde "brush" significa escova para designar a operação com o sistema comutador.

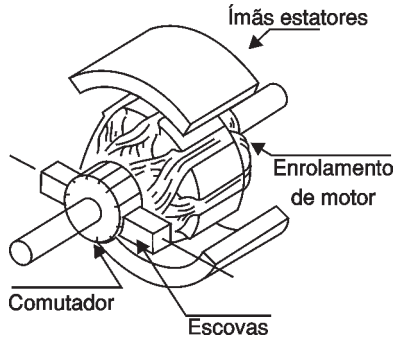
Na **figura 7** temos um motor desses, (visto em corte), como os muito encontrados em aplicações vide como brinquedos, ventiladores de carro etc.

Observe que são usados ímãs permanentes no estator, e que o rotor onde é enrolada a bobina é feito de metal ferroso para concentrar as linhas de força do campo magnético criado pela mesma tornando-o mais intenso, e que as escovas são confeccionadas com pedaços de grafite ou ainda com lâminas de cobre, dependendo do tipo.

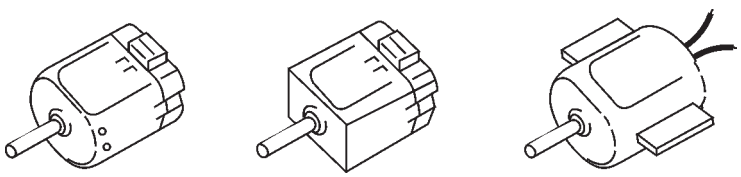
Esses motores podem ser encontrados em versões de todos os tamanhos e tipos, sendo as mais comuns as alimentadas por pilhas na faixa de 1,5 a 12 V, conforme ilustra a **figura 8**.

Esses pequenos motores podem operar com potências de poucos watts, uma vez que as correntes drenadas variam entre 50 mA e 2 A, tipicamente.

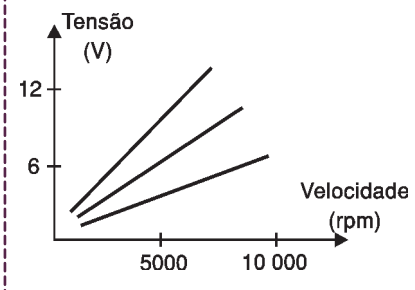
7 Motor DC com escovas (em corte)



8 Pequenos motores de corrente contínua



9 Curvas típicas de motores



Características

Esses motores, na verdade, são especificados para operar dentro de uma faixa de tensões. Assim, um motor de 3 V realmente funcionará quando alimentado com tensões na faixa de 1,5 a 4,5 V, sem problemas.

Acima dessa tensão o problema maior é a dissipação de calor pelo enrolamento. Aquecendo demais, os fios podem ter sua isolação queimada, já que são do tipo esmaltado.

A velocidade de rotação do motor depende da tensão aplicada e também da carga, ou seja, da força que deve fazer.

Desse modo, é comum termos um gráfico para especificar a relação tensão x velocidade conforme apresenta a **figura 9**.

Pequenos motores para a faixa de 1,5 a 12 V podem ter rotações sem carga na faixa de 1000 a 10 000 rpm. Quando carregados, a corrente aumenta e a rotação cai, levando- nos a um gráfico de acordo com a **figura 10.**

Por esse motivo, numa aplicação prática é preciso especificar tanto a tensão aplicada quanto a carga para que se possa ter uma idéia exata da rotação em que ele vai trabalhar.

Nas aplicações mais críticas onde o motor necessita manter uma rotação constante, existem diversas técnicas que podem ser empregadas para essa finalidade.

- Uma delas é a regulagem mecânica da velocidade que pode ser conseguida com contrapesos conforme mostra a **figura 11**.

Essa regulagem opera fazendo com que, ao aumentar a velocidade, os pesos se afastem do eixo de rotação e, com isso, seja requerida uma força maior para mantê-los em rotação compensando o ganho de velocidade.

Outra possibilidade é a regulagem eletrônica que pode empregar diversas configurações práticas.

Uma delas consiste no uso de algum tipo de circuito regulador de corrente ou fonte de corrente constante, veja exemplo na **figura 12**.

Esse circuito é utilizado quando o motor deve acionar uma carga com uma força constante e manter a velocidade dentro de certos limites.

Parte-se da idéia de que a corrente depende da carga e da rotação e, uma vez ajustada, uma alteração na velocidade tende a modificar a corrente, que é compensada pelo circuito. Outra opção consiste no uso de algum tipo de sensor acoplado ao eixo do motor que faça a leitura de sua rotação, conforme mostra a **figura 13.**

Um sensor magnético (ou ainda óptico) informa ao circuito qual é a rotação e a compara com o valor ajustado, gerando um sinal de erro. Esse sinal é usado para aumentar ou diminuir a tensão no motor, corrigindo-se assim a velocidade até que ela chegue ao valor desejado.

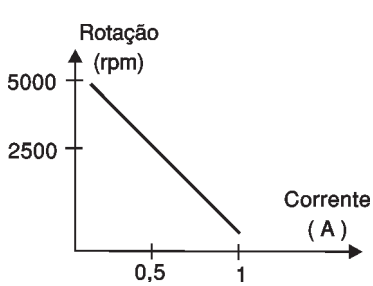
Esse tipo de motor tem várias limitações como:

a) A velocidade máxima está limitada não apenas pelas características mecânicas das escovas, mas também pelo núcleo. Em altas rotações, a corrente inverte e desinverte milhares de vezes por segundo, gerando assim correntes de Foucault no núcleo ferroso do motor. Estas correntes fazem com que o núcleo se aqueça, provocando a queda no rendimento do motor.

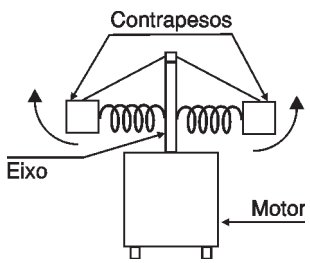
b) Nas comutações é gerado ruído elétrico, que pode interferir nos circuitos mais sensíveis do aparelho em que o motor funciona. Não obstante possam ser usados filtros para eliminar esses ruídos como, por exemplo, capacitores em paralelo, existe um limite para sua ação.

c) As escovas ou contatos se desgastam com o tempo, reduzindo a vida útil do motor.

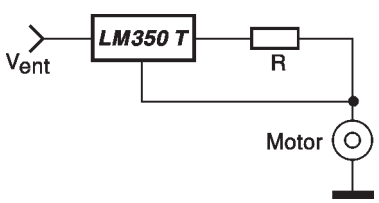
10 Curva típica rotação x corrente de um motor DC



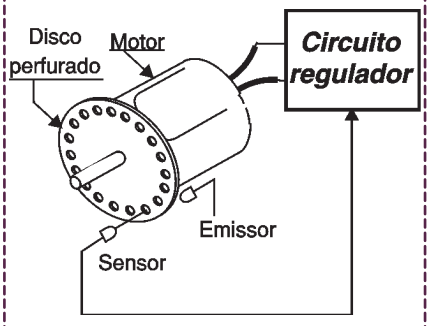
11 Regulando a velocidade com contrapesos



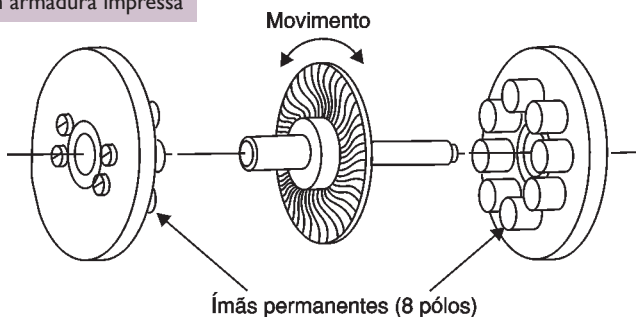
12 Usando uma fonte de corrente constante



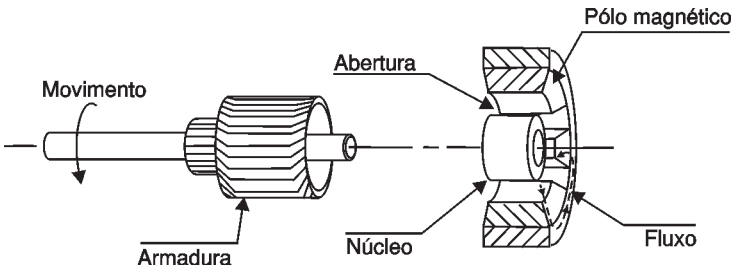
13 Regulagem da velocidade com sensor óptico



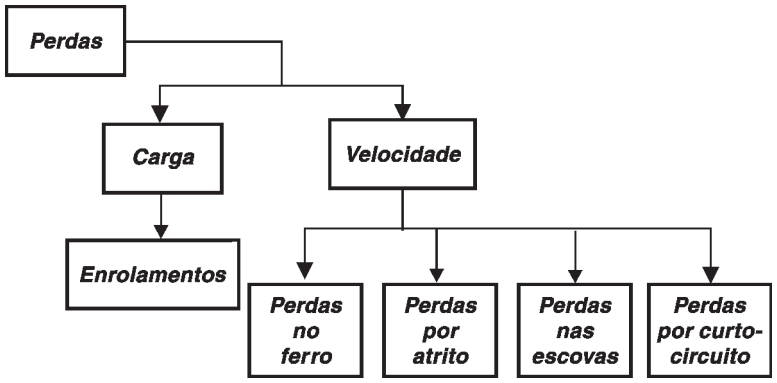
14 Motor com armadura impressa



15 Motor com armadura em concha



16 Perdas nos motores com escovas



Diversas tecnologias possibilitam a construção de motores DC com escovas com rendimento mais elevado, uma das quais é a que possui a armadura em forma de disco gravado e que pode ser vista na **figura 14**.

Esse motor não possui partes de ferro móvel, o que elimina os problemas do aquecimento do núcleo nas altas rotações pelas correntes de turbulência ou Foucault geradas pelas altas freqüências.

Na **figura 15** temos um outro tipo de motor DC que possui uma armadura em forma de concha, sendo chamado também de "shell armature", em inglês.

Sua grande vantagem em relação aos tradicionais é que eles podem alcançar rotações muito mais altas.

Perdas nos motores DC

A finalidade básica de um motor é converter energia elétrica em energia mecânica. Evidentemente, o melhor motor é aquele que consegue converter a maior parte da energia elétrica em energia mecânica, ou seja, tem o maior rendimento ou menores perdas.

As perdas nos motores de corrente contínua, além das que já comentamos no item anterior, podem ter diversas outras origens.

Na **figura 16** mostramos um diagrama com diversos tipos de perdas que podem afetar o rendimento desse motor.

a) Perdas nos enrolamentos

Tais perdas ocorrem porque os fios usados nos enrolamentos dos motores apresentam certa resistência elétrica. Para vencê-la, energia elétrica é convertida em calor e não em força mecânica. As perdas pela resistência do enrolamento podem ser calculadas pela expressão:

$$P = R \times I^2$$

Onde:
P é a potência elétrica perdida - transformada em calor (W)
R é a resistência do enrolamento (ohms)
I é a intensidade da corrente no motor (em ampères).

Um fator importante que deve ser levado em conta nessas perdas é que a resistência do enrolamento aumenta quando ele se aquece, ou seja, quando o motor passa a rodar em regime de maior potência.

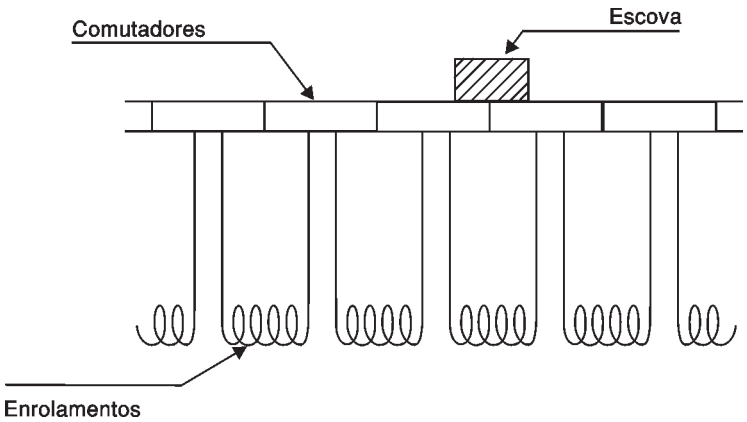
b) Perdas pelos contatos

As escovas não possibilitam a realização de um contato elétrico perfeito quando o motor gira. Na verdade, a eficiência desse tipo de contato diminui bastante à medida em que a velocidade do motor aumenta.

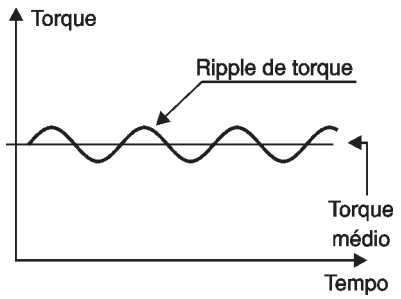
Com a redução da eficiência do contato, a resistência aumenta e com isso a quantidade de calor que é gerado nesse ponto do motor.

A análise da forma como os contatos atuam é bastante complexa, uma vez que existe o problema do repique

17 As perdas por curto-circuito



18 Ondulação (ripple) no torque do motor



que gera pulsos de transientes quando comutam uma carga altamente indutiva, como é o caso do enrolamento do motor.

Em lugar do simples estabelecimento da corrente temos a produção de uma seqüência de pulsos muito rápidos que, atuando sobre a indutância do motor, fazem com que a corrente estabelecida não alcance imediatamente o valor esperado e, além disso, seja gerada uma tensão de retorno mais alta.

c) Perdas no Ferro

As características de magnetização do ferro empregado como núcleo nos motores devem ser consideradas ao analisarmos o funcionamento de um motor de corrente contínua com escovas.

A principal se deve às correntes de turbulência ou Foucalt, que são geradas devido à histerese do material usado no núcleo.

Como esse material não consegue acompanhar as inversões muito rápidas de polaridade do campo magnético quando o motor gira em alta velocidade, são induzidas correntes no núcleo que causam seu aquecimento.

Tal aquecimento pode influir no aumento da resistência do enrolamento (como já vimos) e também nas próprias características magnéticas do material utilizado no núcleo do motor.

Em suma, maior velocidade para esse tipo de motor pode significar perdas consideráveis pelas correntes induzidas dessa forma. O uso de chapas de metal em lugar de núcleos sólidos reduz o problema, mas não o elimina completamente.

d) Perdas por Fricção

Estas perdas se devem às características mecânicas do motor que deve rodar sobre mancais com o mínimo de atrito possível. Evidentemente, na prática não podemos reduzir este atrito a zero e, assim, as perdas ocorrem.

A própria pressão mecânica das escovas sobre os contatos no rotor do motor também induz perdas por atrito que, além do inconveniente de atuarem como um freio, também geram calor que, conforme vimos, é um dos fatores que causa uma perda de rendimento para esse motor.

Materiais como a grafite que, além de serem bons condutores elétricos, têm um coeficiente de atrito muito baixo, ajudam bastante a se obter motores com baixas perdas por atrito dos contatos, mas elas não são totalmente eliminadas e devem ser consideradas em certas aplicações mais críticas.

e) Perdas por curto-circuito

Quando as escovas mudam de contato passando de um enrolamento para outro no giro de um motor, por uma fração de segundo o contato ocorre em dois enrolamentos ao mesmo tempo, conforme ilustra a **figura 17**.

Neste instante, temos um curto-circuito de curta duração que absorve energia convertendo-a em calor.

Outro problema que esse curto causa é atuar como um freio eletrodinâmico, uma vez que as espiras são momentaneamente colocadas em curto gerando, assim, uma carga para o motor.

Outras Perdas

Além das causas analisadas, existem outras que afetam o desempenho de motores de corrente contínua que utilizam escovas. Analisemos algumas delas:

A) Ripple de Torque

Devido às características indutivas do enrolamento do motor e também à inversão incessante da corrente pela ação nas escovas dos motores de corrente contínua, não é possível manter constante a corrente e com isso o torque.

Na prática, o torque varia conforme uma curva com ondulação (ripple) que é mostrada na **figura 18**.

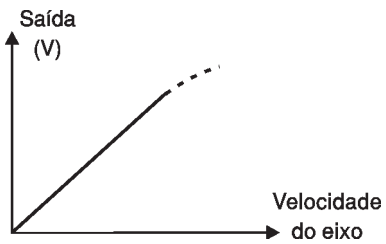
Essa característica costuma trazer problemas de funcionamento, principalmente em altas velocidades, e pode ser minimizada com a utilização de enrolamentos múltiplos no motor ou ainda aumentando-se o número de pólos de comutação, mas isso, sem dúvida, encarece o dispositivo.

Outras técnicas podem ser empregadas para se minimizar tal tipo de problema.

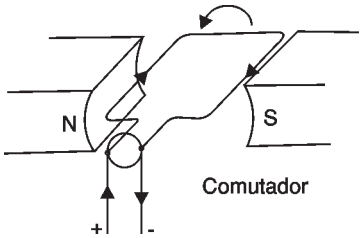
B) Desmagnetização

Os ímãs permanentes usados nos motores de corrente contínua para criar o campo sobre o qual se baseia seu funcionamento, não são tão permanentes assim, perdendo seu magnetismo com o tempo.

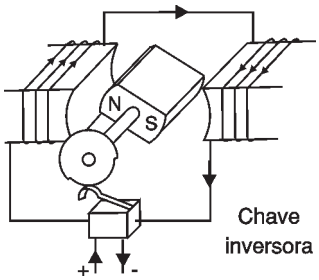
19 Característica de c.f.e.m.



20 Motor convencional com escovas



21 Usando uma chave inversora mecânica



Outro fator que tem influência na desmagnetização do ímã permanente é a própria corrente que circula pelos enrolamentos.

O campo magnético criado pelos enrolamentos atua sobre o ímã permanente e, com o tempo, faz com que seu magnetismo se reduza até o ponto em que ele começa a afetar de modo sensível o rendimento do motor.

É importante observar que uma intensidade de corrente acima de certo valor nos enrolamentos do motor, poderá criar um campo suficientemente intenso para desmagnetizar de modo completo os ímãs permanentes.

Assim, pulsos de correntes intensas devem ser evitados de qualquer forma, pois podem causar esse tipo de problema.

C) Ressonância Mecânica

Todos os corpos tendem a vibrar com maior intensidade em certas freqüências e isso é válido para as partes mecânicas de um motor.

Desse modo, se deixarmos um motor de corrente contínua girar livremente sem carga, ele tenderá a se acomodar numa rotação em que suas partes mecânicas oscilem na sua freqüência de ressonância.

Nessa freqüência podem surgir esforços mecânicos que, tanto podem afetar a integridade do motor quanto o seu rendimento.

Na prática, o que se faz é utilizar partes que tenham freqüências bem diferentes de ressonância e até girem em sentidos contrários para que este efeito seja anulado.

D) Contra - FEM Induzida

A comutação rápida das escovas de uma carga indutiva faz com que surja uma tensão induzida, que é conhecida como força contra-eletromotriz.

Na **figura 19** temos a característica dessa força com a velocidade de rotação de um motor comum.

Observe que essa força contra-eletromotriz aumenta com a velocidade de rotação. Normalmente, para os motores comuns, ela é expressa para uma rotação de 1000 rpm. Ela faz com que o motor funcione como um gerador que “devolve” parte da energia para o circuito que o alimenta, atuando assim como uma espécie de freio.

Motores sem escovas

Conforme vimos, a maior limitação para a operação dos motores de corrente contínua está na necessidade de se adotar um sistema comutador mecânico que inverta e desinverta a corrente durante o movimento de modo a manter as forças atuando sempre no mesmo sentido, e assim ser obtida uma rotação contínua.

Essas escovas se desgastam, geram ruídos e além disso estão sujeitas a problemas de contatos que se agravam à medida que as rotações aumentam.

A terminologia usada especifica os motores sem escovas como um tipo especial de servomotor. Essa observação deve ser feita, pois os motores de passo também são motores sem escovas do mesmo modo que um motor de indução de corrente alternada.

Na categoria dos motores sem escovas temos dois tipos básicos: o trapezoidal e os motores para ondas senoidais.

O motor trapezoidal, na verdade, é um servo DC enquanto que o senoidal se assemelha a um motor AC síncrono.

Para entender melhor como eles funcionam, vamos partir da evolução dos motores sem escovas.

Um motor convencional com escovas, conforme ilustra a **figura 20**, consiste num rotor com uma bobina que gira num campo magnético produzido pelo estator. Se as conexões da bobina são feitas através de anéis deslizantes, ele se comporta como um motor de passo (invertendo a corrente, o rotor gira de 180 graus).

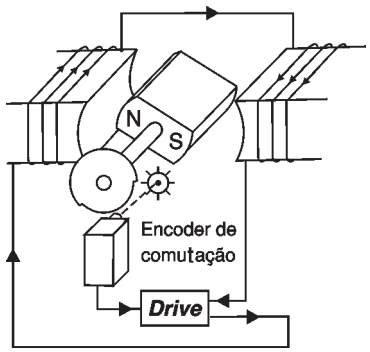
Incluindo o comutador e escovas, a reversão da corrente será feita automaticamente e o rotor continuará girando na mesma direção.

Para transformá-lo em um motor sem escovas, devemos partir da eliminação dos enrolamentos do rotor. Isso pode ser conseguido virando “ao avesso” o motor. Em outras palavras, colocamos o ímã permanente como parte rotativa do motor e as bobinas nos pólos do estator.

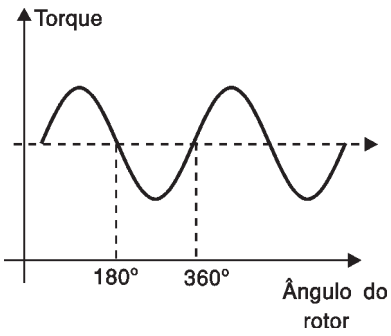
É claro que precisamos ainda pensar em algum meio de inverter a corrente automaticamente - uma chave acionada por um ressalto poderia ser usada para esta finalidade, conforme mostra a **figura 21**.

Note que um arranjo que ainda inclua um dispositivo mecânico de comutação não é a melhor solução para o problema.

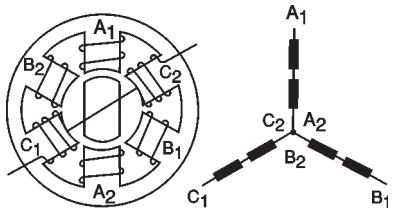
22 Usando um enconder



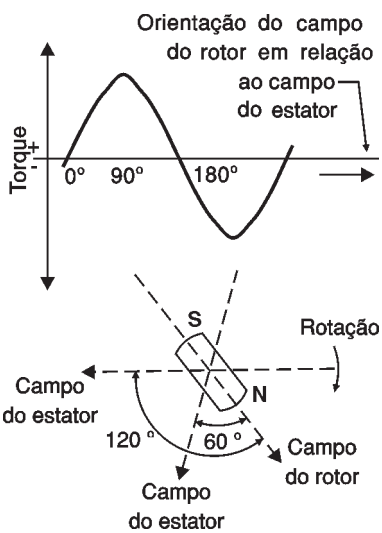
23 Característica de torque



24 Construção de um motor sem escovas



25 Característica senoidal de torque



Podemos, em lugar da chave mecânica, colocar um amplificador para excitar as bobinas, que seja acionado por algum dispositivo que possa verificar a posição do rotor em cada instante, por exemplo, um sensor óptico ou um sensor de efeito Hall; veja a **figura 22**.

Esse circuito de leitura da posição e acionamento das bobinas é denominado "encoder de comutação" na linguagem técnica.

Fica claro que um motor desse tipo não pode ser conectado diretamente a uma fonte de corrente contínua para funcionar.

O motor deve ser ligado a um circuito que inverta constantemente a corrente, o que, em última análise, significa que ele é acionado por uma corrente alternada.

Voltando aos motores comuns com escovas, vemos que um rotor que tenha apenas uma bobina, apresenta uma característica de grande variação de torque com a rotação.

De fato, a característica será senoidal com o máximo torque, uma vez que o rotor corta o campo magnético de uma forma que resulta nesse comportamento; observe a **figura 23**.

Um motor DC, na prática, possui diversas bobinas no rotor e cada uma é ligada não somente ao seu próprio par de comutadores, mas também a outras bobinas. Dessa forma, temos um torque mais constante pelo efeito da média da corrente circulando através delas.

Como obter o mesmo comportamento para um motor sem escovas? Isso exigirá um grande número de bobinas no estator, o que em princípio não é difícil de conseguir, mas tem o agravante de que precisaremos de um circuito excitador para cada uma delas.

Na realidade, um motor sem escovas possui dois ou três conjuntos de bobinas ou "fases" de acordo com a **figura 24**.

O motor mostrado na figura é do tipo de dois pólos e três fases. O rotor possui normalmente quatro ou seis pólos no rotor com um aumento correspondente no número de pólos do estator.

Note que isso não aumenta o número de fases, pois elas podem ser distribuídas entre diversos estatores.

A característica de torque deste tipo de motor é vista na **figura 25**.

Através dessa figura podemos ver que o torque máximo é conseguido quando os campos do estator e do rotor estão com uma defasagem de 90 graus.

Limitando o número de fases a três, isso significa que se pode avançar o campo do estator apenas em incrementos de 60 graus da rotação do eixo, o que quer dizer que não dá para manter essa diferença de fase de 90 graus.

Na verdade, o que se faz é manter essa diferença oscilando entre 60 e 120 graus de modo que, na média, teremos 90 graus com o que se consegue uma boa aproximação da condição de maior torque.

O Motor Trapezoidal

Com uma intensidade de corrente fixa nos enrolamentos, pode-se conseguir um bom aumento do torque.

Logra-se com isso um achatamento de sua característica de torque mostrada na **figura 26** que, pela sua forma, dá nome a esse tipo de motor.

Na realidade, isso não é muito simples, já que um certo grau de não linearidade sempre permanece. O efeito principal é um pequeno "soquinho" no ponto de comutação do circuito, o que pode ser importante nas aplicações de baixíssima rotação.

O ripple ou ondulação de torque resultante dessa característica tende a produzir uma espécie de modulação de velocidade na carga. No entanto, em um sistema que use um feedback de velocidade de grande ganho o problema é eliminado. Isso quer dizer que um pequeno aumento da velocidade gera num grande sinal de erro, reduzindo a demanda de torque para corrigir a velocidade.

Na prática, a corrente do amplificador tende a ser um espelho da característica de torque, resultando numa modulação de velocidade muito pequena, observe a **figura 27**.

O motor senoidal

No motor senoidal, que também é chamado de servo AC sem escovas, nenhum cuidado é tomado para se

corrigir as características senoidais básicas de torque. Ele pode ser alimentado como um motor AC sincronizado, simplesmente aplicando-se aos enrolamentos tensões senoidais com o deslocamento de fase apropriado, 120 graus no caso de motores de três fases.

Se for necessária uma precisão em baixas velocidades, uma precisão maior nas tensões deve ser conseguida. Isso significa que o drive deve gerar três correntes que estejam em fase de acordo com a posição do eixo. Para obter a necessária precisão nessa codificação, normalmente são utilizados codificadores ópticos.

Torque Constante

Para entender melhor como obter torque constante deste tipo de motor, é conveniente analisar um caso em que tenhamos apenas duas fases.

Este motor tem dois conjuntos de bobinas que são alimentadas com um sinal trapezoidal, defasadas de 90 graus, uma em relação à outra.

Se representarmos a posição do eixo por um ângulo x, as correntes nos enrolamentos estarão na forma:

$$I = Io \text{ sen } x$$
$$I = Io \cos x$$

Voltando ao modelo básico de motor, podemos observar que a característica de torque fundamental também é senoidal, o que quer dizer que o torque instantâneo será dado por:

$$T_1 = Io\ K \text{ sen } x$$

Onde K é a constante de torque do motor.

Tornando a corrente no motor senoidal e em fase com as características de torque do motor, o torque conseguido de uma das fases será:

$$T_1 = (Io \text{ sen } x)\ K \text{ sen } x = Io\ K \text{ sen}^2\ x$$

E, da mesma forma, o torque obtido será dado por:

$$T_2 = Io\ K \cos^2\ x$$

O torque total alcançado (nas duas fases) será, então:

$$T_1 + T_2 = Io\ K\ (\text{sen}^2\ x\ + \cos^2\ x)$$

Mas, como:

$$\text{sen}^2\ x\ + \cos^2\ x = 1$$

concluímos que:

$$T_1 + T_2 = Io \times K$$

Assim, para correntes senoidais aplicadas ao motor, o torque resultante será independente da posição do eixo.

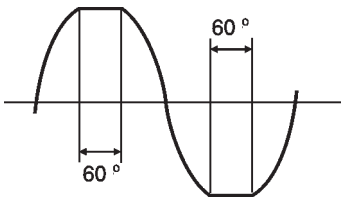
Veja, entretanto, que, para que isso ocorra, deve haver precisão na aplicação dessas correntes no motor, o que exige o emprego de um encoder apropriado para enviar a informação necessária ao circuito de processamento que a gera.

Servos híbridos

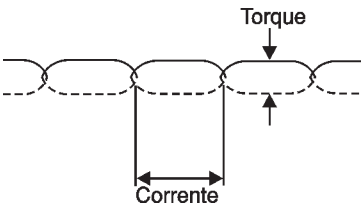
Com relação ao princípio de funcionamento, o motor de passo e o servomotor sem escovas são semelhantes.

Cada um possui um sistemas de ímãs rotativos e um estator com bobinas enroladas. A única diferença consiste no fato de que eles possuem números de pólos diferentes. São apenas 3 pares no servo híbrido e até 50 no motor de passo.

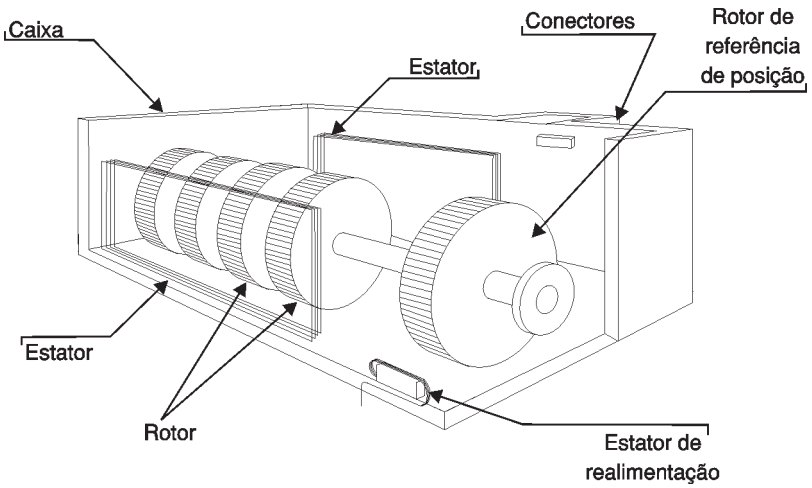
26 Achatamento da característica de torque



27 Mantendo o torque constante



28 Um servo híbrido



Assim, para efeito de análise, podemos considerar um servo híbrido como um motor de passo simplificado.

Baseados nos mesmos princípios, podemos utilizar um motor de passo como servo simplesmente agregando algum recurso de feedback como, por exemplo, um encoder óptico.

O nome híbrido vem justamente do fato de que sua construção se baseia nos princípios de funcionamento dos servos comuns e nos dos motores de passo. Eles até são chamados, em alguns casos, de "servos de passo".

Na **figura 28** temos uma vista em corte de um motor desse tipo.

Nesse motor, um drive de 2 fases fornece as correntes defasadas (seno e cosseno) que os enrolamentos necessitam para a excitação, sempre comandados pelo dispositivo de realimentação. Esse dispositivo tanto pode ser um encoder óptico quanto um sensor de contatos. Como o motor tem 50 pares de pólos, devem ser gerados 50 ciclos de sinal para cada volta do eixo.

Um servo híbrido tem aproximadamente o mesmo torque do motor equivalente de passo quando alimentado pela mesma tensão e corrente, mas deve-se considerar que a operação tem que ser sempre em laço fechado.

Um servo híbrido é mais caro que um motor de passo em um determinado sistema, porém mais barato do que um servo sem escovas.

Da mesma forma que nos motores de passo, a operação contínua em altas velocidades não é recomendada para esse motor, pois podem ocorrer muitas perdas no núcleo. Outra de suas vantagens é que ele costuma operar de modo mais silencioso e aquecer menos do que os motores de passo comuns.

Motores de acionamento direto

Esse tipo de motor é acoplado diretamente nas cargas que deve movimentar sem o uso de caixas de redução, engrenagens ou correias. Em algumas aplicações, motores sem escovas e mesmo motores de passo podem apresentar torque e resolução adequadas para essa aplicação específica.

Em outros, entretanto, as caixas de redução e correias são utilizadas para se modificar o torque e a velocidade de acordo com as especificações exigidas pelo projeto.

Na **figura 29** é mostrado um tipo de motor de acionamento direto, em corte.

Um motor como esse não possui escovas e nem engrenagens de modo a se obter maior torque e maior resolução sacrificando, entretanto, a velocidade e a precisão.

Uma vantagem fundamental do acionamento direto é a eliminação do atrito e fricção das engrenagens, que são responsáveis por perdas importantes de potência.

Esse motor contém componentes de precisão e um sistema de feedback em um invólucro muito compacto.

Seu torque depende primeiramente do diâmetro e, em segundo lugar, do número de dentes que criam o campo magnético de modo a se obter o maior número de passos de acionamento.

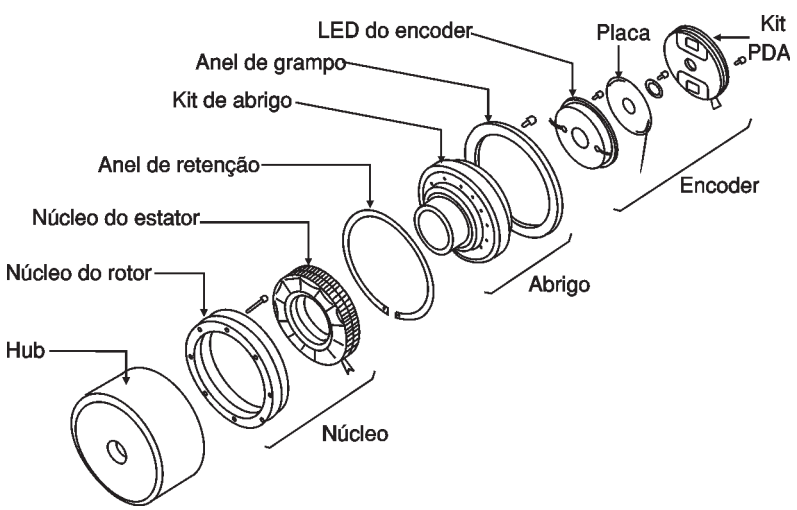
Esses motores têm como principais vantagens a alta precisão, maior velocidade de reposta, maior torque em altas velocidades e rotação suave.

Conclusão

Motores de todos os tipos são encontrados numa variedade enorme de aplicações na indústria, na eletrônica de consumo e embarcada. O profissional desse setor deve conhecer cada tipo e, se for um projetista, deve saber que tipo empregar em uma aplicação específica. O que vimos neste artigo foi apenas uma breve introdução ao princípio de funcionamento dos principais tipos de motores encontrados nos diversos equipamentos modernos.

O leitor interessado pode ir além, aprofundando-se em cada tipo de modo a saber como realizar projetos específicos e tirar o máximo proveito das vantagens que cada um oferece.

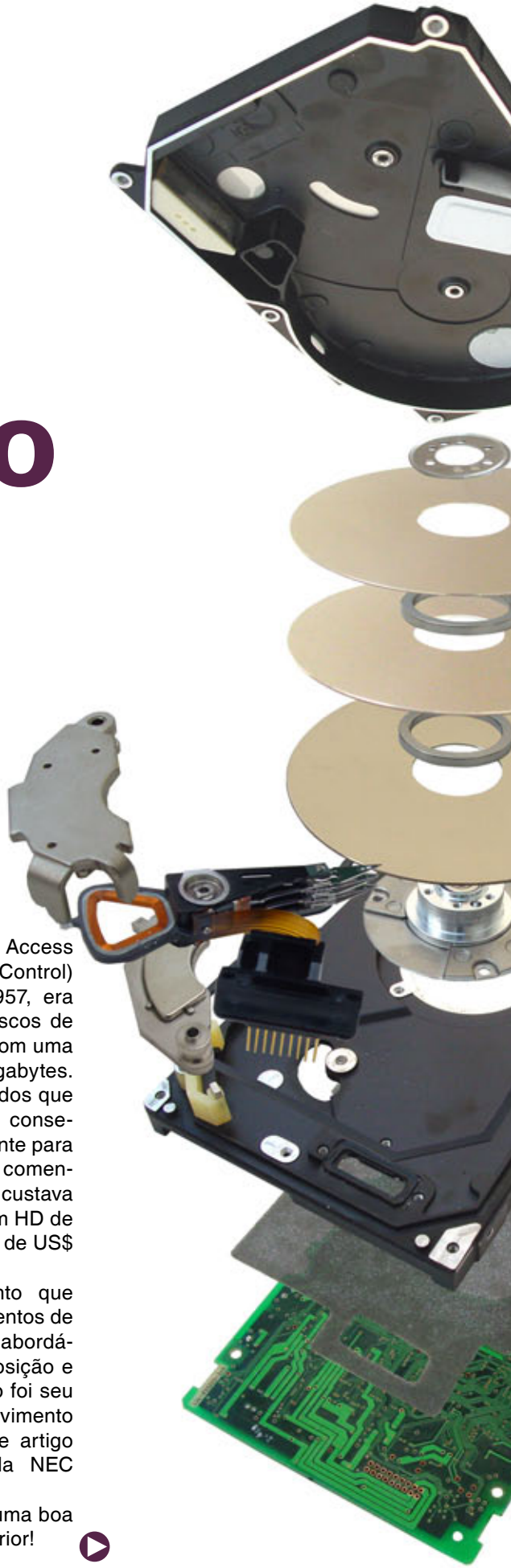
29 Motor de acoplamento direto



Por dentro do HD

Conheça mais sobre a tecnologia desse importante periférico e os avanços que lhe proporcionam melhor performance.

Da Redação



O HD é um sistema de armazenamento de massa, isto é, guarda grande volume de dados. Ele é um conjunto de discos transparentes, sendo que cada um possui duas cabeças de leitura e gravação (uma por face). O motor gira em uma velocidade de 3600 rpm a 15.000 rpm (no caso dos SCSI) . É lacrado para evitar a entrada de partículas, o que seria um desastre nessa velocidade.

Nessa rotação cria-se uma camada de ar de aproximadamente 0,000056 mm que evita que as cabeças entrem em contato com a superfície de gravação. Por esse motivo logo que seja detectada alimentação elétrica, o disco entra em funcionamento e assim permanece. Caso ele pare e funcione apenas quando ocorrer acesso, a inércia fará com que esse processo seja lento.

Os primeiros HDs tinham motores que possuíam filtros mecânicos para tirar os discos da inércia. O pioneiro foi o RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control) construído pela IBM em 1957, era formado por cerca de 50 discos de 24 polegadas de diâmetro, com uma capacidade total de 5 megabytes. Esses discos eram tão pesados que o motor girava em falso até conseguir energia potencial suficiente para movê-los. Nem é necessário comentar que um aparelho desses custava uma fortuna. Nos anos 80 um HD de 10 megabytes custava cerca de US$ 2000!

Por ser um equipamento que possui grande dose de elementos de alta tecnologia, resolvemos abordá-lo e desmistificar sua composição e funcionamento. Outro motivo foi seu destaque pelo seu desenvolvimento nos ultimos anos. Para este artigo escolhemos um modelo da NEC DSE2100A com 2.1 GB.

Primeiramente daremos uma boa observada em sua parte interior!



Atuador

Armação de metal conhecida como braço, posicionada entre um conjunto parecido com um sanduíche feito de ferrite de bário (BaFe), que tem uma ação eletromagnética forte. Serve para posicionar o braço de metal, no qual estão fixadas as cabeças, através da superfície do disco. Para fazer isso, utiliza-se os ímãs do atuador que respondem às variações de tensão enviadas pela placa lógica.

Esse sistema é mais preciso que os anteriores, que eram acionados por motores de passo e engrenagens. Esses sistemas antigos já foram descartados visto que as respostas dos ímãs são incomparavelmente mais rápidas.



Cabeças de Leitura/Gravação

É um eletroímã composto por uma bobina de fios enrolada em um núcleo de ferro. Este eletroímã é pequeno e capaz de gravar trilhas de um centésimo de milímetro. Como serve para ler e gravar informações opera de duas maneiras: durante a gravação, onde o campo magnético da cabeça organiza as moléculas de óxido de ferro da superfície do disco que irá ser gravada de modo que os pólos positivos fiquem alinhados com o pólo negativo da cabeça e vice-versa. Para gravar as seqüências de bits, a polaridade da cabeça é mudada milhões de vezes por segundo, sempre em ciclos pré-determinados.

E também durante a leitura, de modo que cada bit é formado por várias moléculas. Para que seja lido, seu campo magnético é captado pela cabeça de leitura e a variação entre os sinais obtidos gera uma corrente elétrica que é interpretada pela placa lógica como uma seqüência de bits 0 e 1.



Discos

Mídia onde as informações serão lidas e gravadas, a qual é composta de duas camadas: a primeira é o substrato e trata-se de um disco metálico geralmente feito de ligas de alumínio. Para armazenar os dados, estes discos são recobertos pela a segunda camada, desta vez de material magnético, como o óxido de ferro.

Como os materiais magnéticos moles (como o Silicato de Ferro ou Granada -Yttrium-iron-garnet), possuem uma alta permeabilidade e são facilmente magnetizados, eles figuram como sendo a primeira escolha para aplicações de mídia.

Visto que as informações precisam ser permanentemente armazenadas e no momento em que a mídia move-se entre as cabeças os documentos podem ser apagados, no lugar destes materiais preferiu-se o uso do óxido de ferro por possuir alta permeabilidade e coercibilidade. Ou seja, o óxido de ferro evita que a magnetização seja apagada ou alterada, quando exposta a campos magnéticos externos.

A densidade da área de um disco rígido aumentou de uma taxa de 60 % para a incrível taxa de 100% ao ano, recentemente. Se esta tendência continuar, alcançaremos uma densidade próxima a 100 Gb/in^2 em pouco tempo.

Eixo e Motor

Os discos são montados no eixo de um motor que, por sua vez, é acionado magneticamente por um conjunto de bobinas e controlado por um sistema especial chamado *voice coil*. Como não vivemos em um mundo físico ideal, onde fios não têm peso e perdas elétricas não são levadas em conta, o grande inimigo dessa equação é o atrito.

O HD em que estou salvando este texto provavelmente possui um motor com rolamento de esferas, o Ball Bearing Spindle Motor, onde está montado todo o conjunto dos discos. Ele é bem eficiente, mas com os HDs sendo cada vez mais usados à medida que cresce a demanda por computadores, o mercado criou expectativas onde espera-se maior capacidade e diminuição na geração de ruído. Neste sentido, criou-se um motor com rolamento fluído, o Fluid Dynamic Bearing Spindle Motor. O motor minimizou o NRRO (*Non Repeatable Runout*), fazendo com que houvesse uma diminuição na geração de ruídos e um aumento no rendimento. Se o Runout for excessivo os discos podem trepidar.



Placa Lógica

Centro nervoso do HD que comanda todos os outros dispositivos. A placa recebe as informações da controladora IDE ou SCSI, presente na placa-mãe, e interpreta para a tomada de decisão. Os elementos mais comuns que estão sob sua supervisão são: rotação do motor, deslocamento do atuador e cabeças de leitura/gravação e uso do *cache* de memória do HD.



T1

Comparativo entre dois HDs distanciados tecnologicamente em 5 anos			
Característica		NEC DSE 2100A	Maxtor D740X
Ano de Fabricação		1.997	2.001
Capacidade		2,1 GB	40 GB
Cilindros		4.092	16.383
Discos		3	1
Tamanho dos Discos		3,5”	3,5”
Cabeças		5	2
Rotação		5200 RPM	7.200 RPM
Superficie de dados		5	2
Trilhas por Superfície		5045	58.980
Densidade de Trilhas		5.350 trilhas por polegada	60.000 trilhas por polegada
Densidade de Bits		111.000 bits por polegada	568.425 bits por polegada
Taxa de Erro		1 por 10^{10} bits lidos	1 por 10^{14} bits lidos
Choque	Choque Mecânico em Operação	5 Gs, 11ms, sem erros	30 Gs, 2ms, sem erros
	Choque Mecânico fora de Operação	75 Gs sem danos	300 Gs sem danos
Peso		0,6 kg	0,58 kg
Altura		25,4 mm	26,1 mm
Largura		101,6 mm	102,1 mm
Comprimento		146 mm	147 mm
Temperatura	Em Operação	5° C a 55° C	5º C a 55° C
	Fora de Operação	-40° C a 60° C	-40° C a 65° C
Controladora Integrada		PIO modo 4/DMA modo2	Ultra ATA/133
Taxa Máxima de Transferência	Externa(interface)	16,6 MB/s	133 MB/s
	Interna(mídia)	12,6 MB/s	54 MB/s
Tempos de Busca	Trilha por Trilha	3 ms	0,8 ms
	Médio	8,5 ms	11 ms
	Máximo (*Full Stroke*)	22 ms	17,8 ms
	Médio de Latência	5,7 ms	4,2 ms
Cache de Memória		128 KB	2 MB

Obs.: Gs (Máxima aceleração)
E10 = 1 x 10^{11}
Full Stroke (tempo que a cabeça leva para ir da trilha mais externa à mais interna)

Comparativo entre HDs

O HD da NEC é de 1997 e estava em funcionamento até poucos dias antes da realização deste artigo, quando deu seu último suspiro e doou “seu corpo” para a ciência. Por tratar-se de um modelo defasado, resolveu-se fazer um comparativo com um outro HD de fabricação recente: um Maxtor Diamond Plus D740X com 40 GB, um modelo topo de linha da Maxtor. Vamos compará-los na **tabela 1** e ver a evolução que houve em cinco anos de pesquisas e inovações dedicadas a este periférico.

Geometria do HD

A geometria de um HD **(figura 1)** é basicamente composta de três elementos: trilhas, cilindros e setores.

Quando nos referimos a trilha, estamos falando da trilha de um determinado disco isoladamente. Já o cilindro refere-se ao conjunto de trilhas que ocupam a mesma posição espacial no total de discos presentes no HD. Enquanto isso, os setores são células que compõem tanto a trilha quanto o cilindro, e estão distribuídos pelas faces do disco. Para um melhor desempenho de busca, os setores ocupados pela gravação de um arquivo, deverão estar distribuídos de forma seqüencial. A capacidade de um HD é calculada levando-se em conta esses componentes, sendo expressa através da fórmula:

Capacidade = cilindros x número de setores por trilha x número de cabeças

Para termos o valor expresso em *bytes*, multiplicamos o valor por 512, visto que cada setor comporta 512 bytes de informação.

O formato físico de um setor segue o seguinte padrão:

- **GAP:** espaço vazio entre os setores
- **Header:** Cabeçalho que contém informações sobre a localização física do setor
- **CRC - Cyclical Redundance Check:** valor de verificação para o cabeçalho do setor
- **Dados:** Campo de armazenamento de dados
- **ECC - Error Correction Code:** informações referentes ao método de correção de erros

As interfaces de comunicação

Os HDs podem ser encontrados sob duas interfaces de comunicação: IDE e SCSI. Veja a **figura 2**.

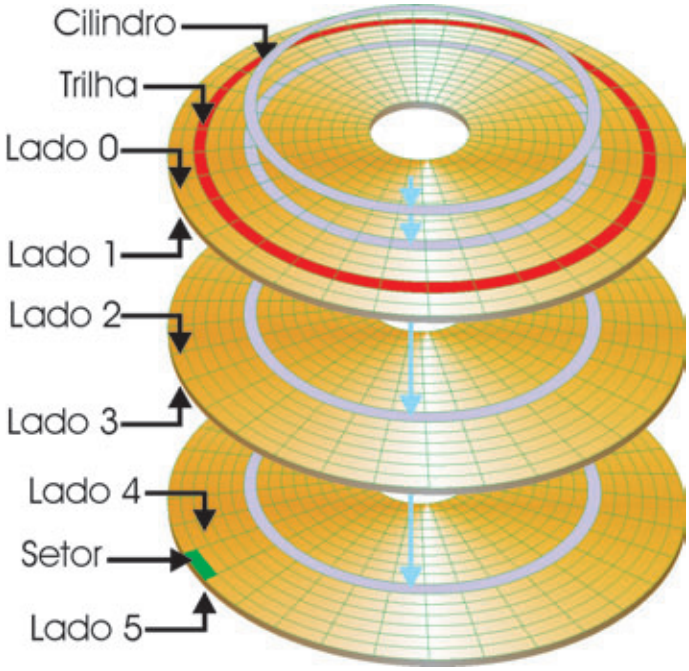
IDE, acrônimo para *Integrated Drive Electronics*, recebeu esse nome por sua controladora estar integrada ao próprio disco rígido. Esta controladora faz a comunicação do HD com a interface IDE integrada nas placas-mãe. A conexão do HD IDE ao micro segue o padrão ATA (*AT Attachement*) e tem como ponte de ligação um *flat cable* (cabo de dados) de 40 vias. A partir do padrão ATA 66 (66 MB/s), o flat cable passou a ter 80 vias, já que sob tal velocidade, faz-se necessário prover o cabo de vias de aterramento elétrico para evitar que ruídos venham a corromper a informação.

Para se comunicarem com o computador, os HDs IDE faziam uso de um circuito chamado PIO (*Programmed I/O*), que exigia a supervisão do processador para transferir dados do HD para a memória RAM do PC.

Com a advento do sistema DMA, (Acesso Direto à Memória), os dados são movidos diretamente do disco para a memória RAM, liberando o processador para a execução de outras atividades. Na **tabela 2** vemos a evolução das taxas de transferência entre HD e placa-mãe, através da interface IDE.

SCSI, acrônimo para *Small Computer System Interface*, é uma interface mais difundida em servidores do que em computadores padrão desktop (PC). Ela é mais rápida, confiável e cara que a IDE.

1 Organização lógica de um HD em trilhas, cilindros e setores



2 HD IDE (à esquerda) e SCSI (à direita)



T2 **Modos de operação e taxas de transferência para a interface IDE**

Modo de Operação	Taxa Máxima de Transferência (MB/s)
PIO modo 4	16,6
PIO modo 5	20,0
Fast ATA	11,1
Fast ATA2	16,6
DMA Mode 1	13,3
DMA Mode 2	16,6
Ultra - ATA	33,3
Ultra DMA 33 (ATA - 33)	33,3
Ultra DMA 66 (ATA - 66)	66,6
Ultra DMA 100 (ATA - 100)	100
Ultra DMA 133 (ATA - 133)	133



3 Cabeça de leitura do sinal de servo

Esta interface não segue o padrão de configuração *master-slave* da interface anterior, mas sim um sistema de identificador (ID), onde cada periférico SCSI tem seu número de controle (*target* ou *ID*). A conexão entre eles é feita através de um cabo, conectado a uma controladora SCSI, resultando em um barramento no qual não pode haver dois periféricos com o mesmo ID.

Um canal SCSI suporta até 15 periféricos e o flat cable utilizado normalmente possui 68 vias. Todavia, assim como para a IDE, a interface SCSI já teve várias revisões, cujos padrões estão demonstrados na **tabela 3.**

T3 **Especificação aos vários padrões SCSI já definidos.**

Padrão	Taxa de Transferência	Largura de Barramento	Conector
SCSI-1	2-4 MB/s	8	25 pinos
SCSI-2	5 MB/s	8	pinos
Wide SCSI-2	10 MB/s	16	pinos
Fast SCSI-2	10 MB/s	8	pinos
Fast Wide SCSI-2	20 MB/s	16	pinos
Ultra SCSI-3	20 MB/s	8	pinos
Wide Ultra SCSI-3	40 MB/s	16	pinos
Ultra2 SCSI-3	40 MB/s	8	pinos
Wide Ultra2 SCSI-3	80 MB/s	16	pinos
Ultra 160	160 MB/s	16	pinos
Ultra 320	320 MB/s	16	pinos

A Formatação

Para tornar-se funcional, o HD precisa ser formatado no sistema operacional escolhido para que as informações possam ser gravadas e lidas de modo organizado.

O processo de formatação tem três etapas distintas: formatação física, particionamento e lógica.

A formatação física é a divisão da superfície magnética dos discos em trilhas e setores, a qual já é realizada na fábrica. Além disso, não deve-se reformatá-los fisicamente, pois causaria sua destruição.

Atualmente, a formatação física, concernente ao usuário, consiste em procurar setores com defeito, atualizar o mapa de tais setores e substituí-los por setores reservas, os *sectors sparings*.

Os próprios fabricantes de HDs fornecem programas de formatação de baixo nível (física) para impedir que os setores defeituosos sejam mapeados pela FAT (tabela de alocação de arquivos), que é utilizada pelo sistema operacional para localizar arquivos no HD.

O desuso da formatação física deu-se pela substituição dos motores de passo pelos *motores voice coil*. No motor de passo, cada passo distanciava uma trilha da outra. No voice coil, foi introduzido um sinal chamado de servo que tem a mesma função, e também uma cabeça especial para a sua leitura. Se formatarmos o HD fisicamente, este sinal é apagado, acarretando na inutilização do HD. No HD NEC DSE2100A existem 3 discos, sendo que 5 faces são utilizadas para o armazenamento de dados e 1 para o sinal de servo, de acordo com a figura.

A partilha do disco, como o próprio nome sugere, implica em sua segmentação. Podemos segmentá-lo em uma ou mais vezes, as quais serão utilizadas para conter diferentes sistemas operacionais. Cada partição terá o seu sistema de arquivos (*file system*), que corresponde a estrutura lógica mediante a qual os arquivos são organizados na superfície dos discos do HD.

Pode-se utilizar o Fdisk no WINDOWS, o Disk Druid no LINUX ou programas como o Partition Magic da PowerQuest.

Os sistemas de arquivo mais comuns são: FAT16, FAT32, NTFS, EXT2 e EXT3 (LINUX), UFS (Unix File System).

A formatação lógica é feita pelo sistema operacional e consiste na preparação do HD para o seu uso, a qual criará o MBR (Master Boot Record) e o diretório raiz.

Conclusão

A finalidade deste artigo foi trazer algumas curiosidades e um pouco da teoria relacionada ao funcionamento deste periférico, bem como auxiliá-lo em uma aquisição futura.

Procure considerar três parâmetros essenciais para a boa performance de um HD. O primeiro é a taxa de transferência interna. Ela diz respeito à velocidade com que os dados são transferidos do disco para a sua memória interna (cache) a qual depende da quantidade de bytes gravados em cada trilha do disco. Portanto, quanto maior a densidade da mídia e a velocidade de rotação, maior será essa taxa.

O segundo é o tempo médio de acesso, que é calculado com base em acessos a pares de trilhas sobre toda a superfície do disco. Obviamente, quanto menor, melhor. E o último é a taxa de transferência externa, que se traduz na velocidade de transferência entre o HD e a controladora (IDE ou SCSI) presente na placa-mãe. Quanto maior for esse valor, melhor será.

Sem dúvida, a taxa de transferência interna é a mais importante. Como exemplo, se você estiver comprando um HD IDE e estiver em dúvida quanto a dois modelos, um ATA 133 e outro ATA 100, e o segundo tiver uma taxa de transferência interna maior, opte pelo último. Seu rendimento será melhor. Mesmo sob o padrão ATA/133, o outro HD não lerá 133 MB em um segundo, visto que por possuir uma memória cache de 1 ou 2 MB(ou um pouco superior), quando essa esvaziar-se, os dados terão que ser lidos novamente da mídia e, nessa hora, a taxa de transferência interna fará a diferença.





Efeito de Som de motor

Descrevemos um circuito simples de efeito de som que pode ser utilizado em braços mecânicos, robôs e outros automatismos para agregar realismo produzindo-se ruído de motor.

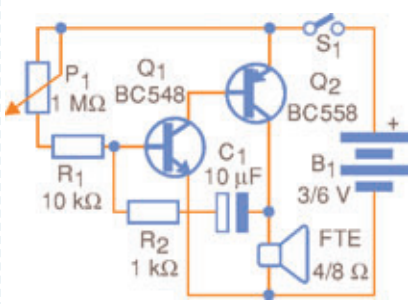
Em uma demonstração pode ser interessante possuir algum tipo de efeito sonoro que imite o ruído de um motor de forma mais intensa, de modo a dar mais realismo ao funcionamento de certos projetos eletrônicos.

O circuito que propomos é simples, podendo ser alimentado com tensões de 3 a 6 volts retiradas do próprio aparelho com o qual deve funcionar. O rendimento do circuito é bom e o pequeno alto-falante pode ser embutido no automatismo ou brinquedo, até mesmo instalado em uma caixinha de apropriada.

O circuito possui ainda um ajuste de freqüência que serve como acelerador para o efeito e que pode ficar ao alcance do operador, ou mesmo ser acoplado a algum dispositivo de acionamento automático.

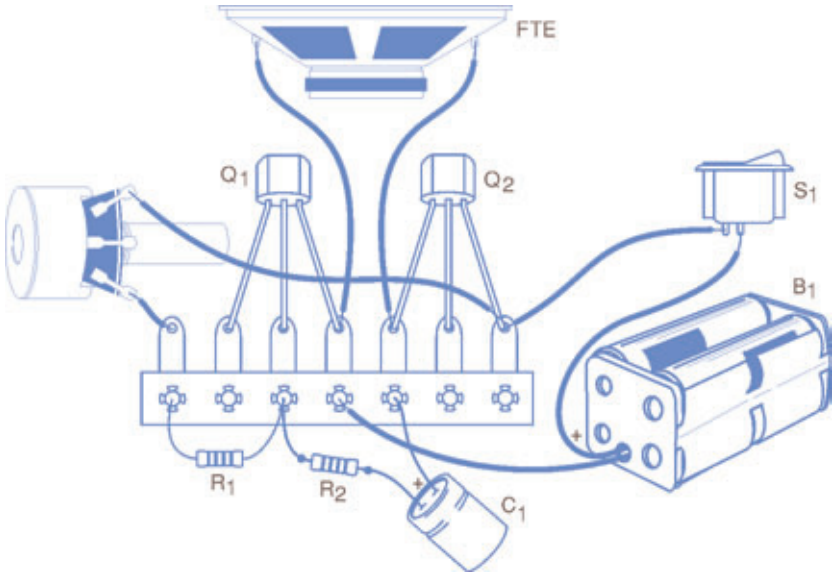
Com a troca do potenciômetro por um LDR o circuito “acelera” quando o sensor recebe luz. O LDR também pode ser ligado em série com o potenciômetro, caso em que ele atua como um ajuste de sensibilidade para o efeito.

1 Diagrama completo do sistema que imita o som de um motor



2

Montagem simples baseada em ponte de terminais dado o reduzido número de componentes utilizados



Lista de Materiais

Q_1 - BC548 ou equivalente - transistor NPN de uso geral
Q_2 - BC558 ou equivalente - transistor PNP de uso geral
FTE - 4 ou 8 ohms - alto-falante pequeno
S_1 - Interruptor simples - opcional
B_1 - 3 ou 6 volts - 2 ou 4 pilhas - ver texto
P_1 - 1 M ohms - potenciômetro
R_1 - 10 k ohms - marrom, preto, laranja
R_2 - 1 k ohms - marrom, preto, vermelho
C_1 - 10 µF/12V - capacitor eletrolítico

Diversos
Ponte de terminais, caixa para montagem, suporte para duas ou quatro pilhas (opcional), botão para o potenciômetro, fios, solda etc.

Como Funciona

Basicamente o projeto consiste em um oscilador onde a freqüência tanto é determinada por C_1 (que pode ser alterado) como pelo ajuste de P_1 (que funciona como "acelerador").

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

Já a disposição dos componentes em uma ponte de terminais que é a versão mais simples e imediata, principalmente para iniciantes, é mostrada na **figura 2**. Evidentemente, a montagem também poderá ser feita em uma placa de circuito impresso ou agregada ao projeto do sistema.

O circuito também pode ser montado com facilidade em uma matriz de contatos. Os transistores admitem equivalentes e inclusive Q_2 pode ser um BD136 ou TIP32 e o circuito alimentado com 12 V para maior potência. Neste caso, entretanto, a alimentação deve vir de fonte ou bateria, pois um simples conjunto de pilhas não teria condições de fornecer a energia exigida. O alto-falante pode ser de 5 a 10 cm com 4 ou 8 ohms de impedância. Os resistores são de 1/8 W ou maiores e o eletrolítico é para 12 V.

Teste e Uso

Para testar o aparelho é só ligar sua alimentação. Devem ocorrer estalidos em maior ou menor velocidade conforme ajustamos o potenciômetro. Faça o ajuste para obter o som equivalente a um motor.

Comprovado o funcionamento é só instalar o conjunto em uma caixa e usar o aparelho da melhor maneira, embutindo-o na sua montagem de robótica ou mecatrônica.





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