

# Placa de circuito impresso para controle de velocidade e posição de motor DC de baixo custo

Alexandre Magno de S Thiago Filho\*  
Paulo Henrique dos Santos\*

\* Departamento de Engenharia de Controle e Automação (DECAT)  
Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP  
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

## Abstract:

**Resumo:** Motores de corrente contínua de baixo custo, por serem feitos com baixa qualidade, apresentam funcionamento com ruídos e falhas. Visando uma resposta mais fiel do motor em relação ao seu acionamento, pode-se acoplar sensores de modo a permitir a inserção de um controle em malha fechada para a correção dos erros. Para tal, uma placa de circuito impresso, junto de um microcontrolador e uma ponte h torna possível a implementação e o desenvolvimento de um algoritmo de controle, afim de minimizar respostas incorretas do motor.

## Keywords:

*Palavras-chaves:* controle; motor dc; PCI; PIC;

## 1. INTRODUÇÃO

Motores elétricos de corrente contínua são largamente utilizados em diversas aplicações, uma delas é a robótica. A maioria dos robôs móveis possuem rodas e utilizam motores de corrente contínua para a tração do robô. Para a construção de um robô preciso faz-se necessário a utilização de motores que executem com precisão os comandos de posição ou velocidade enviados para eles. O acionamento desses motores são feitos geralmente com PWM, se o valor de PWM é o máximo pressupõe-se que o motor gira na velocidade máxima e se o valor é zero, pressupõe-se que o motor está parado. Através dessa relação, estabelece-se valores lineares de PWM que executam determinadas velocidades. Porém, sabe-se que essa relação não é verdadeira para os motores, principalmente para os de baixa qualidade. Assim, faz-se necessário um controle que, através da medição da velocidade do motor compense o valor de para que o motor gire na velocidade desejada.

Sendo assim, este trabalho visa desenvolver um controle de velocidade e posição para motores de corrente contínua com escovas. O método de controle escolhido é o PID, sendo esse controle sintonizado por do métodos de curva de reação descritos na subseção a seguir. Logo após, é feita uma descrição do controle PID.

### 1.1 Método da curva de reação

Cohen-Coon e Ziegler-Nichols propuseram regras para determinar os valores do ganho proporcional, do tempo integral e do tempo derivativo de um controlador PID. A proposta por Cohen-Coon melhora a sintonia do controlador levando a uma menor dependência em relação à constante de tempo  $\tau$  e ao atraso  $L$  do sistema. Já a proposta

por Ziegler-Nichols revela uma elevada sensibilidade de desempenho para diferentes valores da razão entre o atraso  $L$  e a constante de tempo  $\tau$  do sistema Torga (2016).

A constante de tempo  $\tau$  e o atraso  $L$  do sistema, podem ser obtidos, experimentalmente, por meio da curva de reação do processo em malha aberta, em resposta a uma entrada degrau Ogata (2009). Se o sistema não possuir polos complexos conjugados dominantes, então a curva de resposta será em forma de “S”, de acordo com a figura 1.

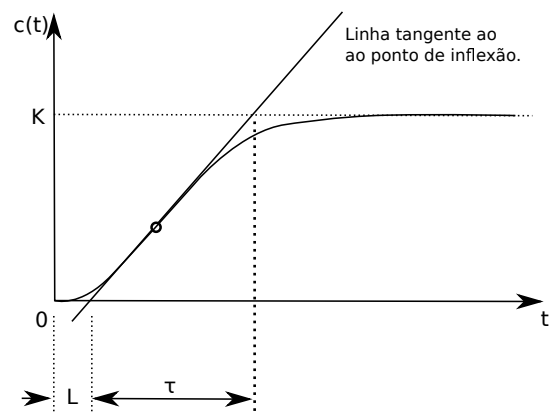


Figura 1. Curva de reação em função do tempo.

O tempo de atraso ( $L$ ) e a constante do tempo ( $\tau$ ) caracterizam a dinâmica do sistema e permitem sua representação simplificada pela função de transferência de primeira ordem ( $G_s$ ), determinada pela Equação 1.

$$G_s = \frac{K_s e^{-Ls}}{1 + \tau s} \quad (1)$$

Os parâmetros da Equação 1 são obtidos traçando-se uma reta tangente ao ponto de inflexão da curva “S” (ponto caracterizado por apresentar a derivada máxima em regime transiente) e estabelecendo os pontos de interseção da reta tangente com o eixo do tempo e a curva  $c(t) = K$ , de acordo com a Figura 1.

## 1.2 Controle PID

O controle proporcional-integrativo-derivativo (PID) fornece a solução mais simples e eficiente para vários problemas de controle do mundo real. Ambas as respostas, transiente e permanente, são atendidas com sua funcionalidade de três termos (ou seja, P, I e D). Desde a sua invenção, a popularidade do controle PID cresceu tremendamente. Os avanços na tecnologia digital tornaram o sistema de controle automático. Mesmo assim, o sistema de controle automático oferece um amplo espectro de opções para esquemas de controle, mais de 90% dos controladores industriais ainda são implementados com base nos algoritmos PID, particularmente no nível mais baixo, já que nenhum outro controlador pode corresponder à simplicidade, aplicabilidade e facilidade de uso oferecidas pelos controladores PID.

Por este se apresentar como o método mais simples e eficiente de controle, com base em abordagens da literatura, será utilizado neste trabalho e irão ser determinados os parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , segundo a lei de controle da Equação 2.

$$U(s) = K_p E(s) + \frac{K_i}{s} E(s) + s K_d E(s) \quad (2)$$

## 2. OBJETIVOS

Tem-se como objetivo a criação e produção de uma placa de circuito impresso, que permite a implementação de um controle PID de velocidade e posição em motores de corrente contínua de baixo custo. Visando facilitar a utilização desta placa, pretende-se criar a comunicação para o envio dos *setpoints* dos motores utilizando o protocolo i2c.

## 3. REQUISITOS

**Descrição do sistema:** Circuito para controle de velocidade e posição de um motor de corrente contínua.

- Alimentação 7.4 V.
- Comunicação através do Protocolo I2C.
- Alteração de parâmetros do PID via I2C.
- Memória EEPROM para armazenar parâmetros.
- Timer para definir frequência de controle.
- Timer para contagem de pulsos dos encoders.
- Placa de circuito impresso com tamanho máximo de 7,5 cm de lado.

## 4. ESPECIFICAÇÃO DO HARDWARE

- Ponte H - TB6612FNG O TB6612FNG é um driver que possibilita o interfaceamento de até dois motores DC com microcontroladores Robotics&Eletronic (2018). A utilização dos transistores de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico (MOSFET) na ponte H garante maior eficiência do que

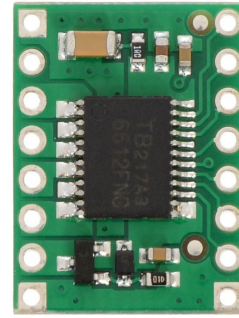


Figura 2. Ponte H - TB6612FNG.



Figura 3. Micromotor CC

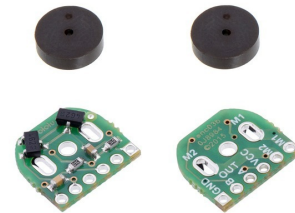


Figura 4. Encoder Magnético

transistores bipolares de junção (BJT) usados em outros drivers, como o L298N Toshiba (2008).

### • Micromotor CC

Serão utilizados dois micro motores CC Pololu com caixa de redução de 51.45:1 e rotação a vazio, sob tensão nominal de 6 [V], de 590 [rpm] no eixo acoplado à roda, de 32 [mm] de diâmetro. O conjunto roda-motor pode ser observado na Figura 3.

### • Encoder Magnético

Para medição da velocidade do motor, serão utilizados dois kits da Pololu compostos por um disco magnético de seis polos e dois sensores de efeito hall de dois canais. Esse kit é capaz de contar 12 vezes por revolução do motor. Os sensores operam de 2.7V a 18V e provêm saídas digitais que podem ser conectadas diretamente ao microcontrolador. O kit pode ser visto na Figura 4.

- Bateria Li-poly A bateria Lipo, é uma versão da bateria lítio-íon mais moderna e mais barata. Sua composição química é similar à células de lítio-íon, em termos de densidade de energia. Por ser fabricada com pequena geometria e permitir embalagem simplificada, suas aplicações principais incluem telefones

celulares e aeromodelos Trindade (2006). Neste trabalho optou-se por baterias recarregáveis de 2 células, com tensão nominal de 7,4V, capacidade de 1000mAh e regime de descarga de 25C.

## 5. ESPECIFICAÇÃO DO SOFTWARE

O código a ser gravado no microcontrolador será implementado na linguagem C e deverá ser capaz de:

- Receber e enviar dados para calibragem e configuração do controle PID pela interface I2C;
- Ler e escrever dados em uma memória EEPROM por I2C;
- Realizar a leitura dos pulsos enviados pelo encoder e transformar essa leitura em uma velocidade que será utilizada no controle;
- Realizar um controle PID discreto com uma frequência de no mínimo 30Hz;
- Atualizar a saída PWM de acordo com o cálculo feito pelo controle;

## 6. RESULTADOS

Seguindo as especificações propostas anteriormente, alcançou-se parcialmente os objetivos, abaixo segue a descrição dos sucessos e problemas encontrados durante a execução do projeto.

Conseguiu-se com sucesso, realizar toda a configuração de timers do PIC. Timer1, responsável pela geração de PWM, sinal este, que comanda a ponte H e faz o movimento do motor. Timer2, configurado em modo CCP para a contagem do período da onda gerado pelo encoder, em teste visualizou-se a correta contagem do PIC através de osciloscópio, mesmo em frequências altas de 1.5 KHz, quando o motor estava girando em seu máximo. Timer3, configurado para gerar a frequência de controle de modo que quando estourado gere uma interrupção para ação do controle.

A comunicação I2C também foi realizada com sucesso, mesmo tendo sido o ponto de maior dificuldade do projeto. O primeiro ponto é que a comunicação I2C em PIC utiliza endereços de 8 bits, enquanto no Arduino utiliza-se endereços de 7 bits, para contornar o problema é necessário que o endereço utilizado no Arduino para comunicação com o PIC seja deslocado em uma unidade para a esquerda. Como exemplo, um PIC tem um endereço 0x58, para que o Arduino consiga comunicar é necessário que ele escreva no endereço  $0x58 < 1$ , correspondente a 0x2C. Outra dificuldade encontrada foi como fazer uma comunicação eficiente entre os componentes de maneira que fosse fácil a leitura ou a escrita entre eles. Para isso criou-se um frame, que é uma estrutura padrão de mensagem com 4 bytes, sendo 1 byte para o endereço da I2C, 1 byte para ID de identificação que relaciona a mensagem com uma ação e 2 bytes para valor, por fim criou-se um dicionário para utilização da mesma, baseou-se na mesma ideia do protocolo de comunicação CAN. Este protocolo de comunicação permitiu a leitura e configuração de variáveis como, frequência de controle, constantes dos ganhos do controlador, períodos e PWM.

O controle foi mais um ponto positivo no trabalho, com timers e leituras de sinais funcionando corretamente,

verificou-se através de gráficos, que o controle está atuando de maneira satisfatória. Para tal feito, sintonizou-se o PID com o método da curva de reação, onde foi possível descobrir as constantes e ganhos do sistema.

A alimentação do circuito foi também um desafio, pois quando havia apenas uma fonte para alimentar todo o circuito o PIC resetava e perdia-se a comunicação e valores passados, por conta do motor demandar picos de corrente. Para solucionar o problema, utilizamos uma segunda fonte para alimentar exclusivamente o motor, de modo que o pico de corrente não fosse percebido pelo microcontrolador.

Utilizou-se o microcontrolador com oscilador interno de 8MHz, que se mostrou suficiente para o problema, porém notou-se que se a frequência de trabalho for maior a precisão também aumentará. No entanto não conseguiu-se configurar corretamente o cristal externo para o aumento da frequência.

Outro ponto negativo é que não foi possível criar a placa de circuito impresso em tempo hábil e então a apresentação do trabalho se deu em protoboard.

## 7. TRABALHOS FUTUROS

- Aumento da frequência do microcontrolador.
- Criação de placa de circuito impresso, para evitar mal contatos.
- Utilização de bateria ao invés de fontes.
- Implementação de filtros nos sinais do encoder.
- Métodos de sintonia do PID mais atuais.
- Implementação de diferentes técnicas de controle.

## 8. CONCLUSÕES

Apesar de não ter atingido todos os requisitos propostos, este trabalho realizou de forma satisfatória o seu fim, que era de controlar a velocidade de um motor de corrente contínua de baixo custo. Além disso, a implementação mostrou sua viabilidade e aplicabilidade podendo ser replicada e melhorada. Criou ainda uma forma eficiente de comunicação entre PIC e Arduino, o que possibilita sua utilização em outros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- Ogata, K. (2009). *Modern control engineering*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Robotics&Eletronic, P. (2018). TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier. <https://www.pololu.com/product/713>. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- Torga, D.S. (2016). Desenvolvimento de uma plataforma didática para práticas de controle de velocidade de motor de corrente contínua.
- Toshiba (2008). TB6612FNG Driver IC for Dual DC motor Datasheet. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- Trindade, R.H.L. (2006). Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT. *12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA-XII ENCITA*.