https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019

Técnicas Adaptativas de Controle baseadas em Lógica Fuzzy aplicadas a um motor BLDC

Adaptative Control Techniques based on Fuzzy logic applied in a BLDC motor

Carlos da Conceição Castilho Neto
carlos.castilhoneto@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Fernanda Cristina Corrêa
fernandacorrea@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

RESUMO

O uso de motores de corrente contínua sem escovas (BLDC) é cada vez mais recorrente por possuírem um melhor rendimento e diversas qualidades quando comparados à um motor de corrente contínua, tais atributos fazem com que o motor BLDC seja usualmente utilizado em veículos elétricos e nas áreas da robótica e aviação. Em tais aplicações, o motor é exposto a distúrbios de carga, o que faz com que técnicas de controle empregadas a motores, como o PID, não alcancem suas variáveis com precisão em casos de perturbação súbita e variação de parâmetros. Para tal, técnicas de controle adaptativas podem ser empregadas, como a lógica Fuzzy, que por meio da utilização de tomadas de decisões previamente estabelecidas, consegue realizar ajustes no controlador PID podendo melhorar o desempenho e minimizar falhas no sistema. Assim, este trabalho tem como objetivo a comparação de um controlador PID e um controlador adaptativo Fuzzy-PID aplicados à um motor BLDC, controlando-se sua velocidade. Para o projeto e simulação utiliza-se o *software Simulink,* já a implementação experimental do controlador PID é feita em um módulo Arduino. Com base nos resultados obtidos, consegue-se notar uma melhora no tempo de resposta utilizando o controlador adaptativo em relação ao controlador PID.

PALAVRAS-CHAVE: Motor BLDC. Controlador adaptativo. PID.

Recebido: 19 ago. 2019.
Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

The usage of brushless direct current motors (BLDC) is increasingly recurrent as they have a better performance and several qualities when compared to a direct current motor, those atributes make the BLDC motor to be usually used in electrical vehicles and in areas such as robotics and aviation. In those appliances the motors are exposed to charge disturbances, which can make control techniques applied to motors, as PID, not to reach its variances with precision in case of sudden disturbance and parameters variation. In this case adaptative control techniques can be applied, such as Fuzzy logic, that through the usage of previously decision making establishment can do adjustments in the PID controller which may improve its performance and minimize flaws in the system. The purpose of this paper is to make a comparizon between a PID controller and an adaptative Fuzzy-PID controller for speed control of a BLDC motor. For the Project and simulation it's used the Simulink software, nevertheless the experimental implementation of the PID controller is done in na Arduino module. Based on the collected data, it's possible to note a better time response when the adaptative controler is applied rather than the PID controller.

KEYWORDS: BLDC motor. Adaptative controller. PID.

INTRODUÇÃO

Na indústria vários métodos de controle são utilizados para se obter máxima performance e eficiência de motores elétricos. Segundo Kumar et al.(2017) o método Ziegler-Nichols aplicado a um controlador PID vem sendo copiosamente utilizado em motores de corrente contínua (CC) na indústria devido sua simplicidade e robustez.

Conforme Ho, Chen e Chen (2016) por possuir um ajuste de forma fácil e empírica o método Ziegler-Nichols, é empregado principalmente na indústria para o controle de acionamentos de motores CC. No entanto, com o avanço da tecnologia a substituição de motores CC por motores de corrente contínua sem escovas (BLDC) vem ocorrendo, o que faz deste método não ser eficaz para tal motor. Para Muralidhar e Varanasi (2015), os motores BLDC oferecem uma grande vantagem sobre os motores CC como menor emissão de ruídos e maior vida útil.

Com isso Ghany, Shamseldin e Ghany (2017), diz que o motor BLDC tem sido usado em muitas aplicações industriais, como em carros elétricos, robótica e aviação. Em tais aplicações o motor BLDC é exposto a muitos tipos de distúrbios de carga o que faz com que os métodos de controles convencionais, como o PID, não alcancem suas variáveis com precisão em casos de perturbação súbita e variação de parâmetros.

Assim, novas técnicas de controle vêm sendo empregadas como a união de um controlador PID a um controlador *Fuzzy*, conhecido como controlador híbrido *Fuzzy*-PID. Segundo Goswami e Joshi (2018), o controlador híbrido integrou a vantagem de ambas as estruturas de controle, em consequência, ótimos resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

Para se realizar o controle de velocidade em malha fechada do motor BLDC E-max CF2822, foram utilizados um disco de *enconder* com 100 furos e um sensor infravermelho (IR) ligado a um Arduino.

De acordo com Nise (2002), a obtenção da função de transferência de forma analítica não é comum, sendo mais pertinente a realização de ensaios experimentais que resultam em uma representação matemática próxima da realidade em que o sistema opera. Desta maneira, foram realizados ensaios em malha aberta afim de se obter a velocidade máxima do motor, ou a quantidade de pulsos emitidos pelo sensor em relação a cada período de amostragem T_S .

Inicialmente, com o propósito de se obter o período de amostragem mais adequado para ser utilizado no microcontrolador, foram realizadas 5 medidas. Aplicando-se 12 volts na entrada do motor e utilizando uma janela de observação de trinta segundos, nota-se a velocidade máxima do motor que é dependente do período de amostragem utilizado. Desta maneira, a Tabela 1 mostra os valores de T_S empregados com suas respectivas velocidades e resoluções.

Com base nos resultados obtidos experimentalmente (Tabela 1), foi adotado o T_S de 50 ms por ter a melhor resolução e que apresenta valor de 0,1053% e 950 pulsos por T_S.

Tabela 1 – Velocidade máxima e resolução por período de amostragem

Ts (ms)	A (Pulsos/Ts)	R(%)
1000	19000	0,0053%
500	9500	0,0105%
275	5250	0,0190%
200	3800	0,0263%
100	1900	0,0526%
50	950	0,1053%

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com os dados obtidos, nota-se que a resposta do motor se comporta como um sistema de primeira ordem. Assim, os parâmetros necessários para serem determinados são os valores de ganho estático do motor BLDC e a constante de tempo τ. Conforme Nise (2002), sistemas de primeira ordem podem ter sua constante de tempo mensurada no momento em que o seu sistema leva para atingir 63% de sua velocidade máxima, o que neste caso é aproximadamente 598,5 pulsos/T_s. Logo, τ= 0,35 s.

Desta maneira a função de transferência discreta obtida é representada pela Eq.1. Com o propósito de se obter o controle de velocidade do motor BLDC optou-se por realizar o projeto de um controlador Proporcional Integral (PI), sem a necessidade do uso de um ganho derivativo (Kd) por se tratar de um sistema de primeira ordem. Assim com o ganho integral (Ki) é possível corrigir o erro estacionário e com o ganho proporcional (Kp) obter uma melhora na velocidade de resposta.

$$P(z) = \frac{10.54}{z - 0.8669} \quad (1)$$

A equação diferença implementada no microcontrolador é representada pela Eq.2.

$$U_{(k)} = u_{(k-1)} + 0.07423e_{(k)} - 0.03962e_{(k-1)} \quad (2)$$

Utilizou-se como variáveis de entrada para o controlador *Fuzzy,* o erro e a derivada do erro, e as variáveis de saída são os valores de Kp e Ki que circundam os valores de Kp e Ki estabelecidos no projeto convencional. O método de defuzzificação adotado é o método da centroide.

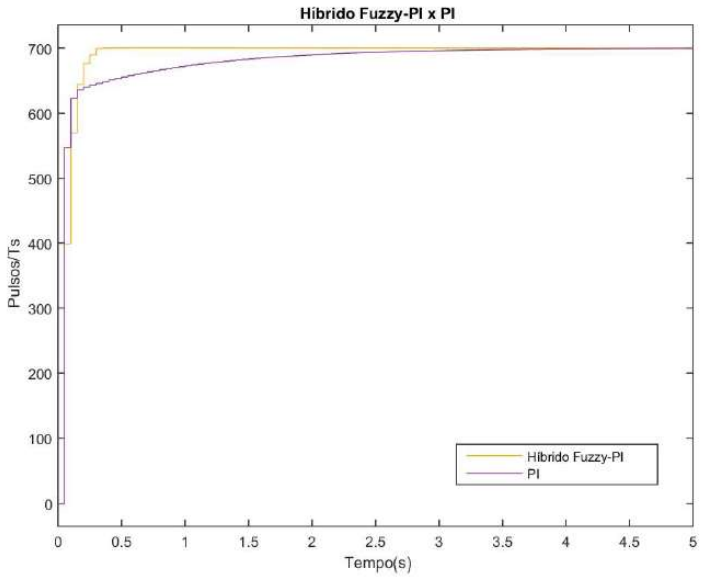
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o propósito de se obter o maior número de informações do experimento, foram realizadas simulações do controlador PI e do controlador Hibrido *Fuzzy*-PI sem nenhuma carga com o auxílio do *software Simulink* e comparado seus resultados, que estão representados pela Figura 1 e a Tabela 2. Logo após foram realizados os testes de bancada apenas com o controlador PI, primeiramente sem carga e depois com carga que foi simulada com um freio de feltro direcionado ao rotor do motor.

Com base nos dados simulados é possível ver uma diferença significativa dos controladores, por mais que o controlador Hibrido *Fuzzy-PI* possua um percentual

de sobressinal (PSS) quase nulo o seu tempo é de 0,13 s e seu tempo para entrar em regime permanente é 0,23 s sendo 1,43 s mais rápido que o controlador PI.

Figura 1 – Curva do controlador Hibrido Fuzzy-PI x PI para referência= 700 pulsos



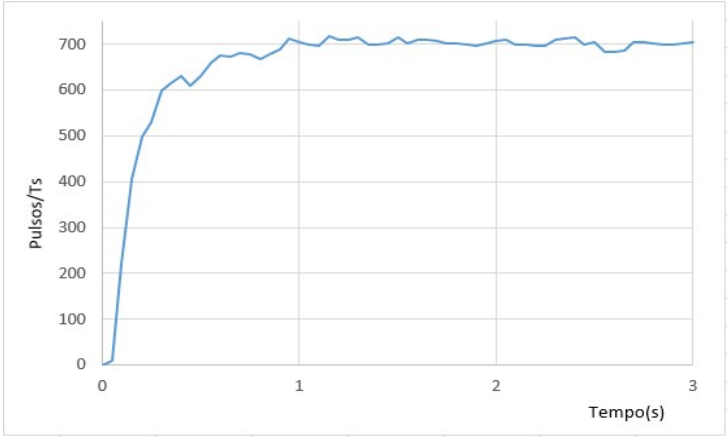
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2 – Resultados obtidos das curvas de controle simuladas

Seção	PI	Hibrido *Fuzzy-PI*
Tempo de Subida (s)	0.1202	0.1316
Regime Permanente(s)	1.6680	0.2361
Percentual de Sobressinal (%)	0	0.0554

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 – Curva do controlador PI implementado sem carga para ref= 700 pulsos

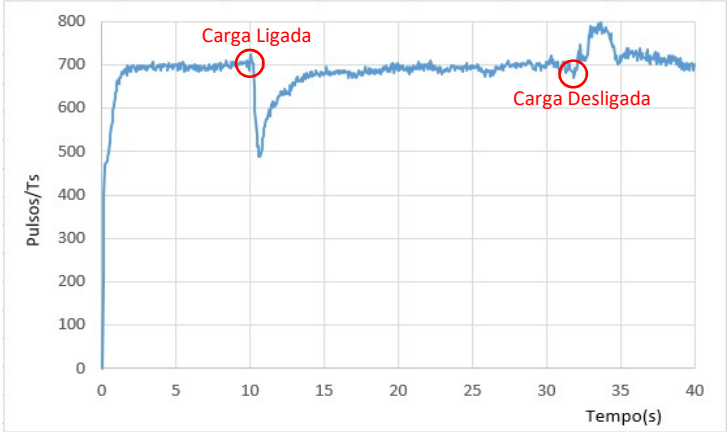


Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com os resultados obtidos na Figura 2, pode-se notar que sem carga o controlador PI conseguiu atingir os resultados esperados pelo qual foi projetado, vale destacar também a sua robustez, pois havendo uma variação de

carga, o sistema não ficou instável e conseguiu se comportar de tal maneira a manter o valor de referência de 700 pulsos.

Figura 3 – Curva do controlador PI implementado com carga para ref= 700 pulsos



Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se que no momento em que a carga foi colocada, em 10 segundos, houve uma queda de velocidade e após aproximadamente 10 segundos (tempo igual a 20 segundos), a referência foi atingida conforme pode ser visualizado na Figura 3. Para variações constantes de carga, o mesmo controlador não seria adequado, pois seu tempo de resposta é lento e quando a carga é retirada um PSS de quase 10% ocorre, deste modo para manter a rotação de forma constante mesmo havendo variação de carga torna-se necessário a implementação de um controle adaptativo.

CONCLUSÕES

A necessidade de se otimizar os processos é cada vez mais presente devido ao aumento de complexidade dos sistemas e o avanço da tecnologia, para isso, novas técnicas de controles necessitam ser aplicadas. Métodos de controle como o PI tradicional, neste caso específico, para o motor BLDC não conseguem suprir suas necessidades por não se comportar de forma linear em momentos que há variações de carga. Para isso um outro método foi empregado, o controlador Híbrido *Fuzzy*-PI o qual obteve um melhor desempenho na simulação, porém para tal controlador funcionar de forma adequada é necessário pleno conhecimento do sistema a ser controlado e por se tratar de um controle completamente empírico os valores utilizados na simulação e implementação podem não ser os ideais. Vale destacar que devido a complexidade da implementação do controlador Híbrido *Fuzzy*-PI, não foi possível a apresentação de resultados experimentais deste controlador para serem usados na comparação com o controlador PI.

Como alternativa para tal problema pode ser efetuado o uso de um algoritmo para a otimização de funções, o PSO (otimização de enxame de particulas) que cria um universo de possíveis resultados e em poucas iterações pode conseguir os melhores valores para se projetar as funções de pertinência e seus respectivos graus, bem como a organização da base de regras.

REFERÊNCIAS

GOSWAMI, Rakesh; JOSHI, Dheeraj. Performance Review of Fuzzy Logic Based Controllers Employed in Brushless DC Motor. **Procedia Computer Science**, [s.l.], v. 132, p.623-631, 2018.
Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.061 Acesso em: 20 Set.2018.

GHANY, M.a. Abdel; SHAMSELDIN, Mohamed A.; GHANY, A.m. Abdel. A Novel Fuzzy Self Tuning Technique of Single Neuron PID Controller for Brushless DC Motor. **International Journal Of Power Electronics And Drive Systems (ijpeds)**, [s.l.], v. 8, n. 4, p.1705-1713, 1 dez. 2017. Institute of Advanced Engineering and Science.
Disponível em: http://dx.doi.org/10.1109/MEPCON.2017.8301374 Acesso em: 20 Set.2018.

HO, Tze-yee; CHEN, Yuan-joan; CHEN, Po-hung. The design and implementation of a motor drive for foot rehabilitation. **Computers & Electrical Engineering**, [s.l.], v. 56, p.795-806, nov. 2016. Elsevier BV.
Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.07.017 Acesso em: 20 Set.2018

KUMAR, Brajesh et al. Controller Design for Closed Loop Speed Control of BLDC Motor. **International Journal On Electrical Engineering And Informatics**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.146-160, 31 mar. 2017. School of Electrical Engineering and Informatics (STEI) ITB. Disponível em: http://dx.doi.org/10.15676/ijeei.2017.9.1.10 Acesso em: 20 Set.2018

MURALIDHAR, J.e.; VARANASI, P.. A Progressive Rugged Appearance of Fuzzy Controller Fed Four-switch BLDC Drive. **Procedia Computer Science**, [s.l.], v. 47, p.144-152, 2015. Elsevier BV.
Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.193 Acesso em: 20 Set.2018.

NISE, Norman S; SILVA, Fernando Ribeiro da. Engenharia de sistemas de controle. [S.l.]: LTC, 2002. v. 3.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Araucária pelo fornecimento de auxílio financeiro por intermédio do programa de bolsas de iniciação científica (PIBIC).

A Dra. Fernanda Cristina Corrêa pela paciência, dedicação, compreensão e apoio que foram fundamentais para a elaboração desta pesquisa.

A UTFPR, por suprir todas minhas necessidades e facilitar o acesso ao conhecimento.