BLDC모터 속도제어 성능 개선을 위한 새로운 PI-P제어기에 관한 연구

이경환, 조내수, 권우현, 최연호*, 임성운*
경북대학교 전자전기컴퓨터공학부
경일대학교 로봇응용공학부*

The Study about New PI-P Controller for Performance Improvement of BLDC Motor Speed Control

Kyung-Hoan Lee, Nae-Soo Cho, Woo-Hyen Kwon, Youn-Ho Chol*, Sung-Woon Im*
School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University
Dept. of Appiled Robotics Kyungil University*

ABSTRACT

BLDC 모터의 속도제어기로 주로 사용되는 PI제어기의 응답성능을 개선하기 위하여 본 논문에서는 PI-P구조를 가지는 새로운 속도 제어기를 제안한다. 제안된 방법은 PI 제어기의 출력과 시스템의 출력의 차에 P 이득을 추가하는 방법이다. 추가된 P 이득으로 인해 기존의 제어기에서 발생되는 오버슈트와 느린 정착시간을 개선 할 수 있다. 제안된 방법의 성능을 확인하기 위해서 Matlab Silmulink를 이용한 모의실험을 통해 제안된 제어기의 유용성를 확인한다.

1. 서 론

최근 산업기술의 정밀화, 다기능화가 진행됨에 따라 FA, OA, 정보기기 분야 등에서 BLDC 모터는 수요가 급속도로 증가되고 있다. 일반적으로 BLDC 모터 제어를 위해 PI 제어기가 사용 되고 있다.

PI 제어기는 그 설계방식에 있어서 종래의 유압식, 공압식, 전기식 등의 아날로그 방식을 거쳐 마이크로프로세서에 의한 디지털 방식으로 발전하였으며, 온라인 자동조정 방식의 PI제어, I-P제어, PI-IP제어, 2자유도 PI제어 등의 다양하고도 새로운 방법이 제안되어져 왔다. 그러나 이러한 제어기는 오버슈트와 느린 정착시간을 가지는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 PI 제어기 출력과 시스템 출력의 차에 P 이득을 추가하는 새로운 제어기를 제안한다. 제안한 제어기의 이득 설정은 추가된 P 이득을 1로 두고 기존 PI 제어기와 응답특성이 유사한 PI 이득을 구한 후 응답특성을 개선하기 위하여 P 이득을 추가 설정 한다. 제안한 방법과 기존 방법의 성능을 비교하기 위하여 MATLAB Simulink를 이용한 모의실험을 수행한다. 모의실험 결과, 제안한 방법이 기존 방법보다 우수한 성능을 가짐을 확인한다.[1]

2. 본 론

2.1 BLDC모터의 수학적 모델

일반적으로 BLDC 모터는 구동전압의 형태에 따라 정현파 구동 형과 구형파 구동 형으로 분류 할 수 있다. 구형파 구동 BLDC 모터는 정현파 구동 형에 비하여 스위칭 방식이 비교적 간단하고, 경제적인 운영 시스템의 구성이 가능한 장점을 갖는다.[1][2]

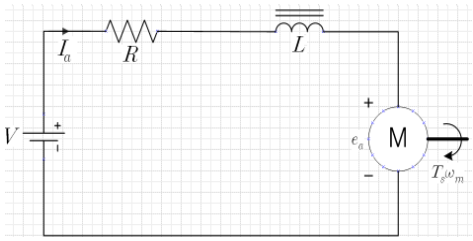

그림 1. BLDC 모터 등가회로
Fig 1. Equivalent circuit of BLDC Motor.

그림 1은 BLDC 모터를 등가모델을 나타내고 있다. BLDC 모터의 동작은 전기자 전류 I_a에 의해 발생하는 토크 T와 토크상수 k_T 및 축의 회전 속도 ω_m에 의해 발생하는 기전력 e_a와 역기전력상수 k_E로 표현하는 것이 보다 일반적이므로, 모터의 전압 및 토크 방정식은 다음이 같이 표현 할 수 있다.[1][2]

$$G_M(s) = \frac{\omega_m(s)}{V(s)} = \frac{k_T}{[(sL+R)(sJ_m+D)+k_E k_T]} \quad (1)$$

2.2 기존의 제어기

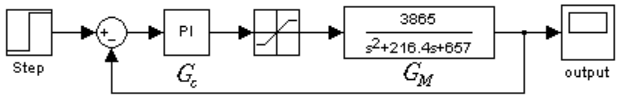

그림 2. PI제어기를 갖는 BLDC 모터 속도제어
Fig 2. BLDC Motor speed control with PI Controller.

일반적으로 모터의 속도제어기로 PI 제어기가 많이 이용된다. PI 제어기를 포함한 BLDC 모터의 블록도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 PI 제어기의 전달함수는 일반적으로 $G_c = (k_p s + k_i)/s$ 로 나타내며, P 이득과 I 이득은 Ziegler-Nichols 동조법을 이용하여 구할 수 있다.[1][3][4]

그림 2의 전체 전달함수는 식(2)와 같다.

$$G = \frac{G_M G_c}{1 + G_M G_c} \quad (2)$$

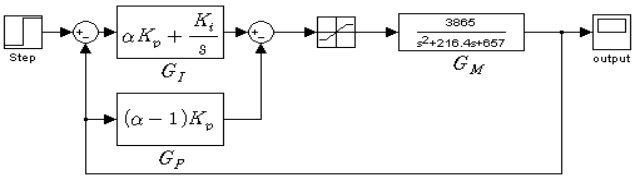

그림 3. PI-IP제어기를 갖는 BLDC 모터 속도제어
Fig 3. BLDC Motor speed control with PI-IP Controller.

그림 3에 보는 바와 같이 PI-IP 제어기는 α값에 따라 PI 제어기와 IP 제어기 사이의 특징을 가지며, 시스템의 설계사양에 따라 α값를 조정함으로써, 원하는 응답을 구한다. 식(3)은 그림 3의 전체 전달함수를 나타낸 것이다.[3]

$$G = \frac{G_I G_M}{1 + G_I G_M + G_P G_M} \quad (3)$$

2.3 제안한 제어기

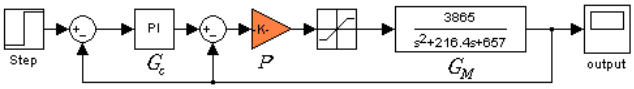

그림 4. PI-P제어기를 갖는 BLDC 모터 속도제어
Fig 4. BLDC Motor speed control with PI-P.

본 논문에서는 기존 PI 제어기나 PI-IP 제어기의 문제점을 해결하기 위하여 그림 4와 같은 새로운 구조의 PI-P 제어기를 제안 한다. 제안한 제어기의 구조는 먼저 제어명령과 시스템 출력과의 오차를 이용해 PI 제어기를 구성하고, PI 제어기 출력과 시스템 출력과의 차를 P 제어기를 통해 증폭하여 시스템에 입력하는 방법이다.

그림 4의 전체 전달함수는 식(4)으로 주어진다.[1][4]

$$G = \frac{G_M G_c P}{1 + (1 + G_c) G_M P} \quad (4)$$

제안된 방법은 추가된 P 이득에 의해 기존 PI 제어기, PI-IP 제어기의 문제점인 느린 정착시간과 오버슈트를 개선할 수 있다. 제안한 방법에서 제어기의 이득을 구하는 방법은 다음 순서에 따른다.[1]

① 추가된 P 제어기의 이득을 1로 설정한다.
② 전체 전달함수를 구한다.
③ 기존의 PI 제어기와 제안된 제어기의 출력 특성이 유사하게 되는 새로운 PI 제어기 이득을 구한다.
④ 마지막으로 제어기 성능을 개선하기 위해 추가된 P 제어기의 이득을 구한다.

3. 모 의 실 험

표 1. BLDC 모터의 사양
Table 1. The specification of BLDC Motor.

정격속도 (n_0)	1000[rpm]
선간인덕턴스 (L)	15[mH]
선간저항 (R)	3.2[Ω]
역기전력상수 (k_E)	0.17[Vs/rad]
토크상수 (k_T)	0.16[Nm/A]
관성모멘트 (J_m)	2.76×10^{-3}[kgm^2]

표 1은 본 논문의 연구를 위해 모델링한 BLDC 모터의 사양을 나타내었다. 제안한 방법과 기존 방법의 응답 성능을 확인하기 위해서 저속도 영역과 중간속도 영역 및 고속도 영역에서의 속도응답 특성을 비교하였다. PI제어기와 PI-IP 제어기의 P 이득은 1.686, I이득은 51.413 그리고 PI-IP제어기의 α는 0.11로 하여 모의실험을 수행 하였으며, PI-P 제어기의 이득 $P = 0.686$, $I = 41.48851$ 그리고 추가된 이득$P = 2.27$로 선정하였다.[1]

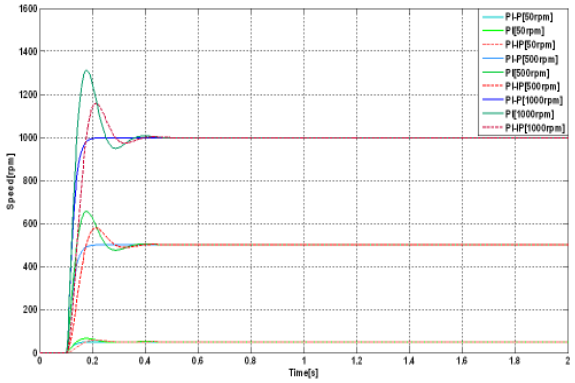

그림 5. PI, PI-IP 그리고 PI-P 비교파형
Fig 5. PI , PI-IP and PI-P of output compare.

시뮬레이션한 결과, 그림 5에서 PI 제어기와 PI-IP 제어기 그리고 제안한 PI-P 제어기의 50rpm, 500rpm, 1000rpm 입력에 대한 응답 특성을 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 제안한 PI-P 제어기는 PI-IP 제어기나 PI 제어기보다 정착시간과 오버슈트가 개선됨을 알 수 있으며, 오버슈트는 거의 나타나지 않으며, 정착시간은 기존의 제어기보다 약 0.2 sec 개선된 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존 PI 제어기의 문제점인 큰 오버슈트와 느린 정착시간을 개선하기위한 새로운 방법의 PI-P 제어기를 제안하였다. 제안된 방법은 기존 PI 제어기에 추가로 P 제어기를 두는 구조이다. 추가된 P 제어기의 이득 변화는 시스템의 극점을 변화 시켜 시스템의 동특성을 크게 개선하는 역할을 한다. 따라서 제안된 방법의 PI-P 제어기로 기존 PI 제어기의 문제점을 해결 할 수 있었다. 모의실험을 통해 제안된 PI-P 제어기의 유용함을 확인하였으며, BLDC 모터제어 응용에 제안된 방법이 널리 활용되기를 기대한다.

참 고 문 헌

[1] 이경환·조내수·권우현·김우현·박철우, “새로운 PI-P 제어기를 이용한 BLDC Motor의 속도제어에 관한 연구”, 전기학회 춘계학술대회 논문집 2010. 4, (pp. 38 ~ 46)
[2] 윤신용·백수현·김용·김철진·임태빈, “디지털 PI제어에 의한 브러시리스 직류모터의 안정도 향상”, 조명설비학회논문지 제14권 제1호, 2000. 1, (pp. 102 ~ 104)
[3] 황우현·안성모, “MATLAB을 이용한 제어시스템 설계”, 대광서림, 1997.6.30 (pp.229~273)
[4] 신춘식·안영주·변기식, “MATLAB과 함께한 제어시스템 해석 및 설계”, 동일출판사,1999 .5. 10, (pp.373~407)