

외란에 강인한 I-P제어 기법의 BLDC 모터에 관한 연구

한상열*, 백수현*, 김 용*, 김재필*, 정일록**
 *동국대학교 전기공학과, **국립환경연구원

A Study On BLDC Motor Control by Using I-P Algorithm

S.Y. han*, S.H.Baek*, Y.Kim*, J.P.Kim*, I.R.Jung**
 *Dongguk University, **N.I.E.R

Abstract - BLDC Motor has many advantages for control. This paper presents to perform constant speed against disturbance during operation. BLDC motor control used I-P algorithm to have fast response, reliable stability and robust response. In this paper, I-P algorithm applied to 50W BLDC Motor. According to results, I-P algorithm characteristics is confirmed.

1. 서 론

BLDC 모터는 다른 모터에 비해 제어가 용이하고 효율이 높으며 소음 특성이 양호하며 저속에서 토크 특성이 탁월하여 가전제품의 가변속 용도로 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 일반 DC모터에 비해 정류자가 없으므로 소음이 작고, 정류자에 의한 전력손실이 없고, 유지비가 적게 들며 수명이 길고, 신뢰성이 높다. 또한 전기적, 기계적 노이즈제거 및 보수유지가 필요없다는 특성을 지니고 있다. 그리고 회전자와 관성이 적으며 유도전동기나 영구자석 동기전동기에 비해 토크 대 관성비 즉, 전력밀도가 크고 전력제어용 소자의 정격이 작아도 된다는 장점이 있다. 특히 BLDC 모터는 DC모터의 정확한 제어성과 AC모터의 견고성을 동시에 겸비하였다. BLDC 모터는 먼지가 많거나, 폭발성이나 부식성이 존재하는 환경하에서도 사용이 가능하다. 또한 선형적인 토크-전류특성을 가지고 있으며, 고정밀도, 양호한 전류 파형, 빠른 응답성, 광범위한 속도 제어범위를 갖고 있다. 그러므로 BLDC 모터는 위치, 속도, 토크제어에 적합한 특성을 갖고 있다. 본 논문에서는 CDM 방식으로 K_p , K_I 를 산출하고, 외란에 강인한 I-P제어를 통해 정속도제어를 구현하였다.

2. 본 론

2.1 BLDC 모터의 구동 회로부

BLDC 모터는 직류전동기의 기계적인 정류자를 전기적인 정류자, 즉 인버터로 대체하여 회전자의 위치에 따라 전기자 전류를 분배함으로써 모터에 지속적인 기전력을 발생한다. 이때 전기자 기전력과 제자 기전력의 상호 작용에 의해 발생하는 회전을 일정하게 유지하려면, 계사의 자극위치를 기준으로 전기자 전류의 분배시퀀스를 결정해 주어야 하는데 고정자의 전류방향 및 분배시퀀스를 바꾸기 위하여 회전자의 자극위치를 검출하는 자극위치 검출기를 이용한다. 가장 일반적인 위치 검출기는 홀소자와 엔코더를 사용한다.

2.1.1 인버터의 구동방식

본 논문에서 BLDC 모터는 홀센서를 통해 자극의 위치를 검출한다. 홀센서의 신호에 따라 게이트 선택 발생기(Gate Pattern Generator)에서 인버터의 스위칭 소자를 결정하게 되고 Controller내에서 계산된 PWM 신호가 게이트 선택 발생기에 전달되어 인버터의

Mosfet를 PWM 스위칭한다. 인버터는 6스텝 방식으로 동작하고 120° 도통 방식을 사용하였다. 또한 PWM 주파수는 20kHz로 하였다. 홀센서의 출력에 의한 3상 인버터의 각 스위칭에 따른 온/오프 상태는 표1과 같다.

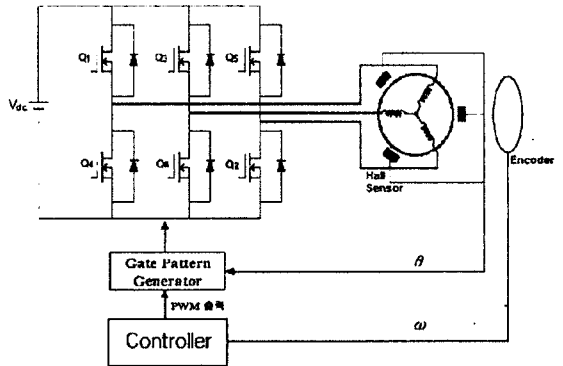


그림2.1 BLDC 모터의 전체시스템

표1. 홀센서의 정회전 스위칭 패턴

HA	HB	HC	Q1	Q3	Q5	Q4	Q6	Q2
0	0	1	1	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	1	1	1	1	0
1	0	1	0	1	1	1	0	1

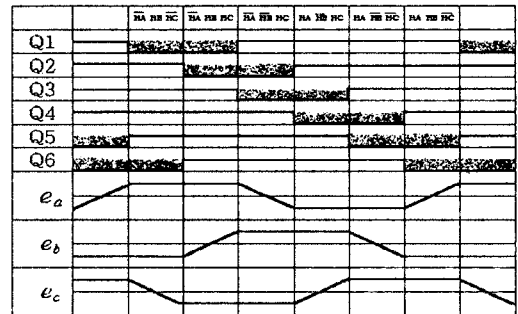


그림2.2 BLDC 모터의 정회전 구동 시퀀스

표1과2에서 홀센서가 동작할 때는 "1"로 표현했고, 동작하지 않을 때는 "0"으로 표현했다. 또 Mosfet는 게이트 선택 발생기가 Active Low로 작동하게 하였으므로 "0"일 때가 턴-온 상태이고, "1"은 턴-오프 상태이다. 정회

전시 스위칭 시퀀스를 표현하면 그림2.2와 같이 나타낼 수 있다. 120°도통 방식을 사용할 때 스위칭 패턴은 60°마다 변하므로 역기전력의 특성도 60°마다 변한다. 그림2.2는 120°도통방식에서 인버터 스위칭에 따른 역기전력의 파형을 나타낸 것이다. 또한 역회전의 경우는 표2와 그림2.3에 나타내었다.

표2. 홀센서의 역회전 스위칭 패턴

HA	HB	HC	Q1	Q3	Q5	Q4	Q6	Q2
1	0	1	1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0	1
0	1	1	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	0	1	1	1	0

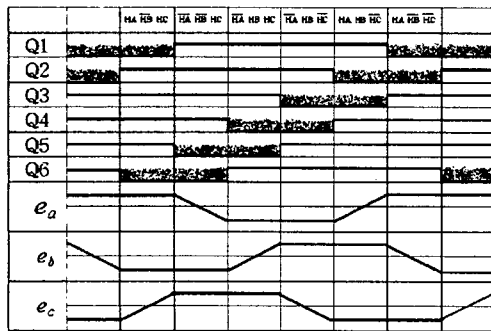


그림2.3 BLDC 모터의 역회전 구동 시퀀스

2.1.2 구동회로

그림2.4은 본 논문에서 사용한 BLDC 모터의 구동회로이다. DC링크전압은 약150[V]이고, 6개의 Mosfet 와 IGBT Gate 드라이브 포토커플러인 HP3120으로 구성되어 있다. 게이트 선택 발생기(GAL)는 홀센서의 신호와 PWM등 여러 정보를 입력으로 받아들인다. 게이트 선택발생기는 해당되는 Mosfet를 선택한 후 PWM스위칭하게 된다.

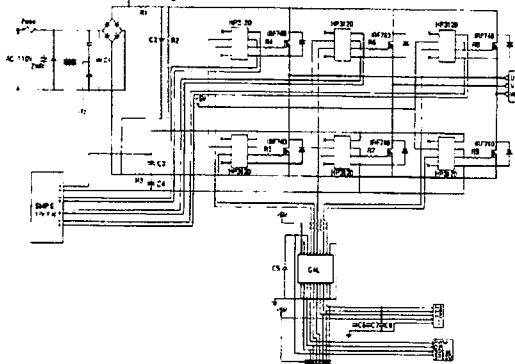


그림2.4 구동회로부와 게이트회로부

2.2 BLDC 모터 속도제어시스템의 구성

연속치계의 제어계통 설계에 있어서 가장 널리 쓰이고 있는 제어방식은 PID제어 방식이다. 여기서 미분제어는 잘 활용하면 안정도에 기여하고, 예측기능이 있어 응답 속도를 빠르게 할 수 있다는 장점이 있지만, 시스템에 잡음성분이 있을 때 미분값이 커지게 되어 제어 입력에 나쁜 영향을 미치는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 PID의 변형인 I-P제어를 통해 외란 발생시 빠른 응답속도를 얻고자 했다.

논문에서 사용된 K_p , K_I 값은 CDM(Coefficient Diagram Method)을 통해 산출하였다. CDM방식을 통해 계수를 산출방식은 다음과 같다.

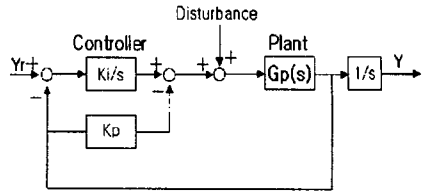


그림2.5 I-P제어 시스템 구성도

- ① 제어기형을 결정 ($\tau=1, \gamma_3=\gamma_2=2, \gamma_1=2.5$)
- ② Open Loop System 전달함수
- ③ Plant(제어대상)

$$G_P = \frac{B(s)}{A(s)}$$

- ④ 안정도 평가지수(Stability Index) γ_i 계산

$$\gamma_i = \frac{a_i^2}{a_{i+1}a_{i-1}} \quad \gamma_i = [2 \ 2 \ 2.5]$$

- ⑤ Closed Loop System 특성 방정식

$$P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0$$

- ⑥ Closed Loop System 특성방정식의 계수를 선택

- ⑦ a_i 의 관계식으로부터 a_0 를 계산한 후 a_i 의 목표치를 계산

- ⑧ 제어기 파라미터와 값을 계산

- ⑨ Equivalent Time Constant(τ) 계산 및 tuning

$$\tau = \frac{a_1}{a_0}$$

- ⑩ 제어기 설계

본 논문에 사용한 전동기의 파라미터는 다음과 같다.

파라미터(Parameter)	값(Value)
관성모멘트 (J_m)	$1.8 \times 10^{-3} [Kg \cdot m^2]$
인덕턴스(L)	10 [mH]
저항(R)	3 [Ω]
역기전력 상수 (K_E)	0.14 [V · sec/ rad]
토크 상수 (K_T)	0.14 [Nm/A]

최적의 I-P계수를 산출하기 위해서는 플랜트의 정확한 파라미터를 알아야 하나 플랜트 자체의 정확한 동작특성이 파악될 수 없기 때문에 실험적으로 결정해야한다. 먼저 주어진 플랜트에 단위계단입력을 넣은 후 그 출력 응답을 구하고, 이 단위계단 응답곡선으로부터 어떤 특성계수를 구하여 계수를 산정한다.

τ 의 값을 0.5, 1, 2, 5등 여러값으로 변화하여 얻은 계수중 τ 가 2일 때 얻어진 $K_p=3.962, K_I=1.953$ 의 값을 산출하였다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

Matlab을 이용해서 전체시스템의 Closed Loop System의 전달함수에 대한 스텝응답은 그림3.1과 같다. 본 논문에서는 엔코더의 펄스를 4채배하는 회로를 구성하여 1000(ppr)의 엔코더를 4000(ppr)의 엔코더로 이용하는 것과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 4채배 클럭을 만드는 방법으로 D 플립플롭(F/F)과 XOR로직을 사용하였다. 그림3.2와 3.3은 정격속도 3000(rpm)으로 운전중 갑작스런 부하 변동에 따른 속도응답특성이

4 결 론

본 논문에서 BLDC 모터를 구동하기 위해서는 모터의 회전자의 위치정보가 필요하다. 이러한 회전자의 위치정보는 홀센서를 이용하여 검출할 수 있다. 또한 홀소자를 이용하여 속도제어가 가능하나 이러한 경우 정속도 제어가 제대로 되지 않고 많은 오차가 발생한다. 따라서 1000(ppr)을 이용하여 오차를 줄일 수 있었다. 이 실험을 통해 I-P제어 시스템이 페루프 제어 시스템 보다 외란에 강인함을 알 수 있었다. 또한 더욱 정밀한 제어를 하기 위해서는 부하변동시 빠른 응답과 회전속도의 오차를 줄일 수 있는 제어 알고리즘과 빠른 마이크로 프로세서가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] W. Leond, "Control of Electrical Drives", Springer-Verlag, 1990.
- [2] Bahram Shaijan, Michael Hassul, "Control System Design using Matlab", Prentice-Hall, 1993.
- [3] G.F. Franklin, "Feedback Control of Dynamic Systems", Addison-Wesley, 1994.
- [4] Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", Prentice-Hall, 1997.
- [5] B.C. Kuo, "Digital Control Systems", Prentice-Hall, 1992.
- [6] Ahmed F.I, EI-Tobshy A.M, "P-I and I-P Controllers in a Closed Loop for DC motor drives", Power Conversion Conference, Vol.2, pp613-618, 1997.
- [7] R.H Comstock, "Trends in Brushless PM Drivers and Motor Technology-Overview", Motor-Con, pp1-15, 1986.

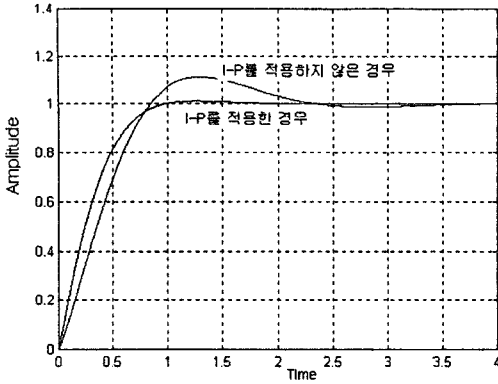


그림3.1 I-P 제어 시스템의 스텝응답

정상상태에 도달하기 전에 감쇄진동을 하는 과도응답특성을 나타내고 있다. Open Loop System인 경우는 이와 같은 부하 발생시 3000[rpm]에서 2300[rpm]으로 속도가 떨어지면서 결국 2300[rpm]에서 계속 정속도 운전하게 된다. 그러나 그림 3.2의 I-P제어기가 없는 Closed Loop System의 경우 부하 발생시 과도응답을 보이면서 약 0.3[s]정도 정정시간이 걸리고 약 0.5[s] 이후부터는 정격속도 3000[rpm]으로 정속도 운전하게 된다. 그림 3.3의 I-P제어기가 있는 경우는 최대오버슈트도 적고 정정시간은 약 0.1[s]이내이고 정속도 운전하기까지 걸리는 시간은 약 0.25[s]이다. 이를 통해 I-P 제어 시스템이 부하 외란에 강인함을 알 수 있다. 또한 과부하 정도의 부하를 1[s]간격으로 계속 가하면 제어기가 없는 Closed Loop System의 경우는 제어능력이 상실하면서 속도제어가 제대로 이루어지지 않는다.

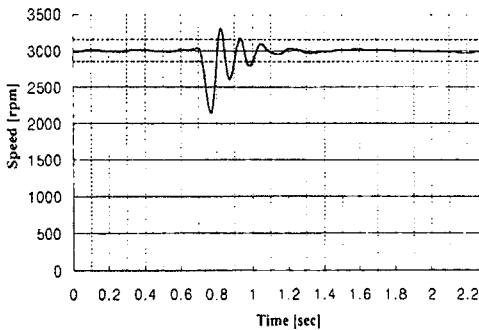


그림3.2 I-P 제어를 사용하지 않은 경우

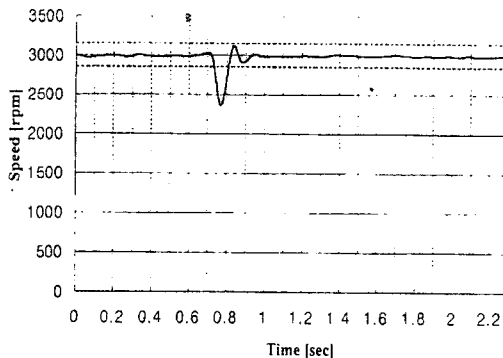


그림3.3 I-P제어를 사용한 경우