

브러쉬없는 직류전동기의 디지털 속도제어

오 성 보*

On the Digital Speed Control of Brushless DC Motor

Sung-Bo Oh*

ABSTRACT

Digital speed control of brushless DC motor is one of the attractive and interesting research subjects in the field of industrial robot. A direct-drive(D-D) system is being developed to control the forces and the high speed and the constant speed. The PI control without any additional control process has very poor response and inaccuracy of speed. It is one of the important problems to reduce the speed fluctuation caused by the arm weight. In order to improve those problems, we proposed a repetitive control for the constant speed by learning process. It provides us the good response of system and the improvement of speed accuracy.

Key words : Brushless DC motor, Speed control, Digital control

1. 서 론

산업용로봇의 motion control 분야에서 direct-drive(D-D)방식을 이용한 브러쉬없는 직류전동기의 속도제어는 로봇에대한 고속, 정속도운동 및 힘의 제어를 실현하기 위하여 D-D방식의 개발이 진행 되어지고 있다.⁽¹⁾

종래의 로봇아-암에서는 감속전달기구가 채용되므로 (a)기어에 의한 마찰토크가 크고 (b)아-암의 강성이 낮아 진동의 원인이 된다. (c)회전자가 고속회전하므로 관성이 커져 응답성이 낮아지는 등의 결점을 지니고있다. 이 결

점을 극복하기 위하여 개발되고 있는 D-D아-암은 고속, 고정도동작을 가능하게 하였으나, 아-암중량으로 인한 비선형력이 현저한 영향을 준다.따라서 이와같은 변동부하시의 속도제어에 종래부터 사용되어 지고있는 PI제어를 적용해도 속도 변동이 크게된다.⁽²⁾

본 논문에서는 회전자에 영구자석을 매입한 영구자석병용형 반과정류 브러쉬없는 동기전동기와 PWM인버터및 제어회로로 브러쉬없는 직류전동기 시스템을 구성하고,회전축에 직접 아-암을 부착하여 D-D방식으로 주기변동부하시 전동기의 정속도운동을 실현하기 위해 학습제어법을 도입하고, 실험을 통하여 검증하였다.

* 제주대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng., Cheju Nat'l Univ.

II. 이 론

2.1 전동기의 구성

Fig. 1에 브러쉬없는 직류전동기의 구성도를 나타내었다.

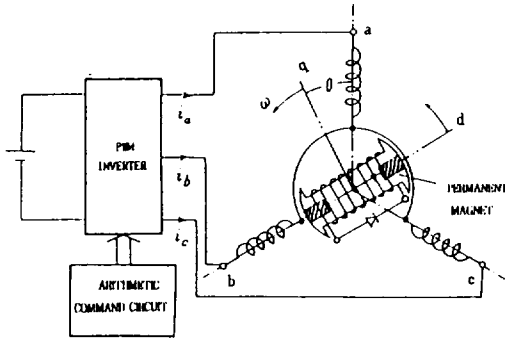


Fig. 1 Composition diagram

그림에서와 같이 본 전동기는 다음과같이 구성된다.⁽³⁾

- (1) 다이오드로 단상단락된 계자권선을 지녔으며, 영구자석이 매입되어 있고, 회전자와 평형 다상고정자권선으로 구성된 전동기.
- (2) 회전자 위치에 동기하여, 필요한 다상교류 파형지령을 발생하는 전류파형연산지령회로.
- (3) 지령되어진 파형의 다상교류전류를 발생하는 PWM인버터.

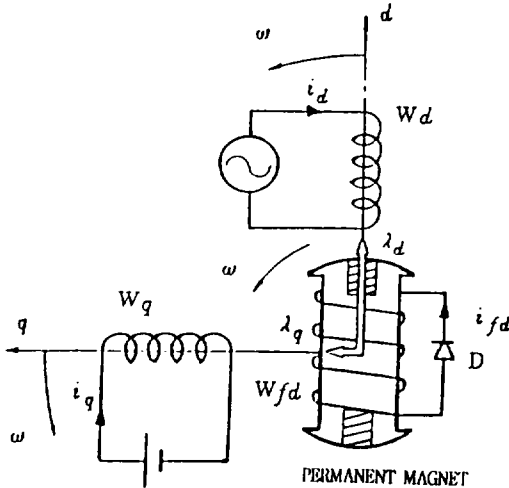


Fig. 2 Principle diagram

2.2 d, q축 전압방정식

Fig. 2에 영구자석을 병용한 반파정류 브러쉬 없는 동기전동기의 원리도를 나타내었다. 본 브러쉬 없는 동기전동기의 d,q축에대한 전압방정식은 다음과같다.⁽⁴⁾

$$\begin{aligned}
 e_d &= (d/dt)\lambda_d - \omega\lambda_q + r_a i_d \\
 e_q &= (d/dt)\lambda_q + \omega\lambda_d + r_a i_q \\
 e_{fd} &= (d/dt)\lambda_{fd} + r_{fd} i_{fd}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 \lambda_d &= L_d i_d + M_{fd} i_{fd} + (M_{fd}/L_{fd})\lambda_{PM} \\
 \lambda_q &= L_q i_q \\
 \lambda_{fd} &= M_{fd} i_d + L_{fd} i_{fd} + \lambda_{PM}
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서

e_d, e_q : d, q 축전압, i_d, i_q : d, q 축전류, λ_d, λ_q : d, q 축쇄교자속, e_{fd} : 계자권선전압, i_{fd} : 계자권선전류, λ_{fd} : 계자권선쇄교자속, λ_{PM} : 영구자석에 의한 쇄교자속, L_d, L_q : d, q축 자기인덕턴스, L_{fd} : 계자권선자기인덕턴스, M_{fd} : 상호인덕턴스, r_a, r_{fd} : 권선저항, d축과 q축이 이루는 각도를 θ , d축과 q축이 일치되는 순간을 $t=0$, 동기각속도를 ω 라면 $\theta = \omega t$ 이다.

2.3 학습제어법

Fig. 3에 학습제어의 블럭선도를 나타내었다. 로보트아-암의 D-D구동을 행하는 경우, 종래부터 사용되는 PI제어에서는 정도가 낮아 본연구에서 사용한 제어법에서는 전주기의 PI제어량을 기억하여 다음 주기의 토오크보상의 보정치로 사용하기 위하여 주기를 반복 할 때마다 제어정도가 향상된다.⁽⁵⁾ 이 제어법을 학습제어법이라 한다.⁽⁶⁾

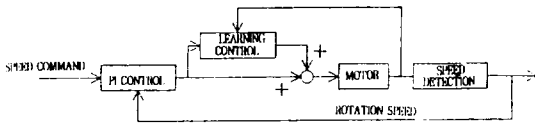


Fig. 3 Block diagram of learning control

III. 시스템구성

전동기를 구동하는 PWM 트랜지스터인버터 및 16비트 마이크로프로세서 V20를 이용한 게이트제어회로에 의하여 Fig. 4와 같이 구성된다⁽⁷⁾. 회전자 위치검출에는 12비트 absolute형 로타리엔코더를 이용하고 있다. CPU는 500 μ s 마다 회전자위치를 검출하여 그것에 동기된 여자전류와 토오크전류의 위상을 나타내어 3상파형을 출력한다. 동시에 회전자속도를 연산하고 지령속도와 비교하여 디지털 PI제어 또는 학습제어를 행하여, 토오크전류의 진폭지령을 출력한다.

여자전류의 위상을 나타내는 삼상파형을, 승산기를 이용하여 바이어스주파수 125Hz의 삼각파에 의해 진폭변조하여 여자전류지령 a가 얻어지고, 다시금 토오크전류지령 b를 가산하여 삼상전류지령 c가 만들어진다. 이 지령치는 아이소레이션암프로부터 얻어진 실제의 전류파형 d와 비교하여 인버터의 PWM제어지령이 만들어진다.

IV. 실험결과

Fig. 5에 실험장치도를 나타냈으며, 3상 돌극형 반파정류브러쉬 없는 동기전동기에 길이 20cm 아-암을 연결하고, 아-암의 선단에는 중량 Wkg 추가 접속되어 있고,⁽⁸⁾ 실험에 사용한 전동기의 규격은 다음과 같다.

- 용 량 : 2.0 kW 정격회전수 : 1800 rpm
- 전 압 : 200 V 정격주파수 : 60 Hz
- 극 수 : 4

4.1 속도제어

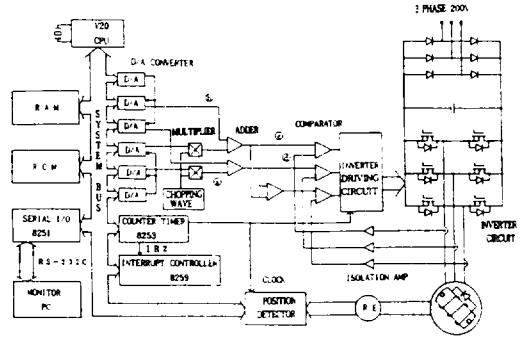


Fig. 4 System configuration

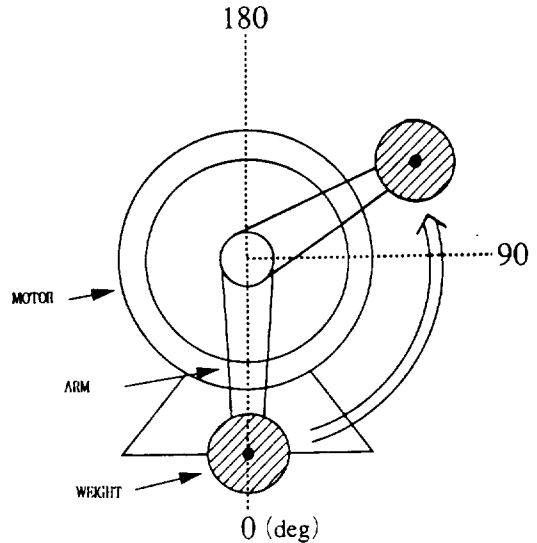


Fig. 5 Diagram of experimental apparatus

Fig. 5와 같이 전동기에 아-암을 접속하여 전동기가 주기적으로 변동하는 부하를 갖고있는 경우의 속도제어 실험을 하였다.

Fig. 6 - Fig. 7에 학습제어를 이용한 속도응답을 나타냈으며 파라메타로 아-암선단에 부착된 추의 중량을 0.5(kg)과 1.0(kg)인 경우와 지령 회전속도 n을 30(rpm), 60(rpm)으로 각각 네가지로 변화시켰을 때의 응답을 보았다.

PI제어만으로 속도제어를 행한 구간에서는 본 시스템이 전류벡터제어를 했고, 속도계산에 늦음이 있는 등의 이유로 제어제에 늦게 발생하는 토오크 전류 지령치도 왜형 정현파가 되었다.⁽⁹⁾

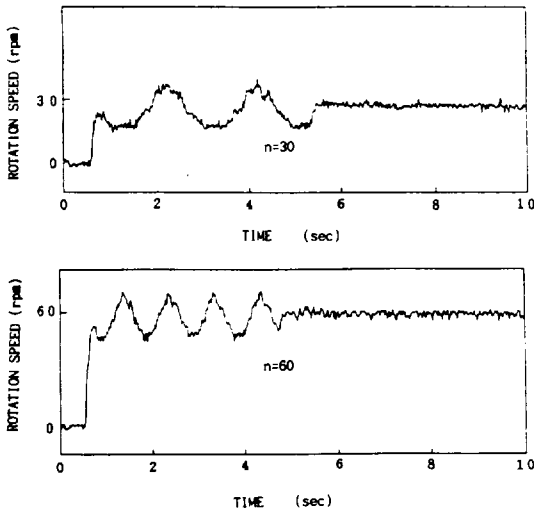


Fig. 6 Speed response of learning control in $W=0.5\text{kg}$

또한 각 지령속도치 n 에 있어 속도변동은 아-암 선단 추의 중량 W 에 의해 Table 1과같이 변화함을 알 수 있었으며, 각각의 지령속도 및 추중량에 따른 속도변동이 커져서 정속도 제어성이 나쁘게 됨을 알 수 있었다.

그러나 학습제어를 적용시킨 경우 Fig. 6과 Fig. 7에 나타난 바와같이 지령속도 $n=30(\text{rpm})$ 인

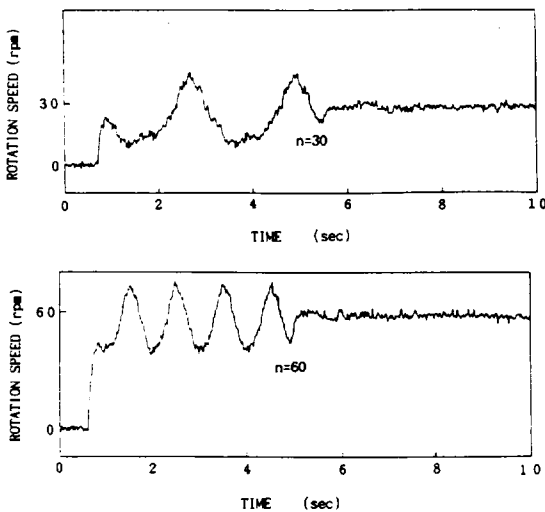


Fig. 7 Speed response of learning control in $W=1.0\text{kg}$

때 중량 W 에 무관하게 속도변동이 $\pm 2(\text{rpm})$, $n=60(\text{rpm})$ 인 때는 $\pm 3(\text{rpm})$ 이 됨을 알 수 있어, 주기적으로 변하는 부하에 따른 속도변동의 오차가 크게 개선 됨을 알 수 있었다.

Table 1 Experimental data of PI control

추무게 $W(\text{kg})$	0.5	0.5	1.0	1.0
지령 속도 $n(\text{RPM})$	30	60	30	60
속도 변동 (RPM)	± 12	± 15	± 18	± 20

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 회전자에 영구자석을 매입한 반파정류 브러쉬 없는 동기전동기와 PWM 인버터 및 제어회로로 브러쉬 없는 직류전동기 시스템을 구성하고, 전동기 회전자측에 직접 아-암을 접속한 D-D방식으로 주기변동 부하시에 있어 전동기의 정속도제어를 실험을 통하여 검토했다. PI제어만을 행한 경우는 토오크 전류지령치가 왜형정현파가 되었고, 각 지령속도 n 에 있어 선단의 추 중량 W 에 따라 속도변동 오차가 크게되어 제어성이 나쁘게 되었다.

학습제어를 이용한 정속도제어에 있어서는 추의 중량 W 에 거의 무관하게 $n=30(\text{rpm})$ 에서는 $\pm 2(\text{rpm})$ 그리고 $n=60(\text{rpm})$ 일 때는 $\pm 3(\text{rpm})$ 만의 적은 오차가 발생하므로 주기적으로 변동하는 부하에서 속도변동 문제가 크게 개선됨을 알 수 있었다.

그러므로 학습제어를 이용한 안정된 정속도제어를 바탕으로 산업체의 공장자동화 및 로봇트레이더 등에 응용될 수 있으리라 사려된다.

참고 문헌

1. 小山 外3人, 1993, 繰り返し制御おういたD.D

- ア-ム制御, J.IEE, 113(8).
2. 須田信英, 1993, PID制御, 朝創書店, PP.52-53.
 3. 小山外3人, 1987, 半波整流ブラシなし同期電動機の原理と基礎特性, J.IEE, 10.
 4. 宮入歴太, 1976, 電氣.機械エネルギー-變換工學, 丸善(株), PP.151-153.
 5. 中野道雄 外3人, 1989, 繰返し制御, 計測自動制御學會, PP.16-22.
 6. 小山正人外2人, 1991, ACサーボシステムの理論と設計の實際, 総合電子, pp.72-74
 7. 小山, 吳性寶外4人, 1993, 繰返し制御お用いたACサーボモータのオートチューニング, 九州大會, No 438.
 8. 小山, 山田, 吳性寶 外3人, 1994, 繰返し制御お用いたACサーボモータのオートチューニングについて, 全國大會, No 690.
 9. 오성보, 1994, 반파정류 브러쉬없는 동기전동기의 디지털 위치제어, 제대공대 산업기술연구소보, 제5권.