

홍순일, 김재준, 조철제 .
부산공업대학

김철우
부산대학교

The PWM Speed Control of DC servo Motor for Movable Robot Drives

S.I Hong, C.J Kim, C.J Jo
Pusan nat'l Univ. of Technology.

C.W Kim
Pusan National Univ.

Abstract- In this paper, PWM control is applied to the microprocessor-based adjustable speed dc motor drives. The motor drive system is composed of phase locked loop. Main drive circuit of the system is consisted of H-type bridge with switching transistors.

PWM drive circuit is linearized by adding flywheeling diodes. And also, We study the optimum PWM data and period time so that it has a nearly liner relationship between current and torque .

1. 서론

DC 전동기의 속도제어 방법에는 여러가지가 있으며 그 대표적인 것은 속도피드백방식과 동기화 제어방식이 있다. 이 중에서 비하여 후자의 위상동기화제어(PLL) 방식은 기준신호 위상에 전동기 회전위상을 동기화 하기 때문에 기준신호로 온도변화에 대하여도 주파수가 안정하게 되는 수정발진기에서의 신호를 사용함으로써 속도변동을 저감 시킬수있다.

본 연구의 내용은 직류 서보전동기 속도제어를 행하기 위하여 구동회로는 고속 스위칭 트랜지스터를 사용하여 H형으로 구성하였으며 트랜지스터 스위칭은 PWM로 하였다. 여기서 고안정도로 안정한 제어를 하기 위하여 PWM구동회로를 개선하여 선형화 하였고, 이때 가장 최적인 PWM기본펄스 반복주기와 PWM데이터 값에 대하여 연구검토 하였다.

2. DC서보 전동기의 제어특성 해석

2.1 DC 전동기의 전달함수

DC 서보전동기의 동특성을 해석하기 위해서 아래에 DC 전동기 전달함수를 구한다.

$$G(s) = \frac{\Omega_n^2/K}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2} \quad (2.1)$$

여기서

$$\omega_n = \sqrt{1/ T_e T_m} \quad (\text{고유각 주파수})$$

$$\xi = \sqrt{T_m/T_e} \quad (\text{감쇠정수})$$

$$T_e = L_a/R_a \quad (\text{전기적시정수})$$

$$T_m = J_m R_a / K^2 \quad (\text{기계적 시정수})$$

이상과 같은 전달함수에서 인가전압이 ΔV만큼 급격히 변화한 경우에 직류전동기 속도 Δω가 어느정도 변하는가를 검토하여 보면, 감쇠정수 ξ가 1보다 적을때의 응답은 감쇠진동하고, ξ ≥ 1보다 클 때는 비진동적이다. 때문에 ξ ≫ 2의 경우, 즉 4T_e ≪ T_m일때 전달함수는

$$G(s) = \frac{1/K}{(1 + T_e S)(1 + T_m S)} \quad (2.2)$$

의 형으로 근사화된다. 식 (2.2)의 의미는 인가전압이 스텝상으로 주어질때 전기적 시정수T_e에 따라 지연된 전기신호 (전류)가 얻어지고, 다음단계에서 기계적 시정수T_m에 따라 지연된 속도응답이 출력된다.

3. DC서보 전동기의 PWM속도제어 시스템

3.1.1 구동회로와 PWM제어방식 개요

DC 전동기는 그림3.1의 H형 구동회로에 의해 구동되고 그림에 나타낸 것과 같이 트랜지스터를 on-off 함에 따라 전동기는 단일 전원으로 시계방향회전(CW)과 반시계방향회전(CCW)으로 정역 운전한다.

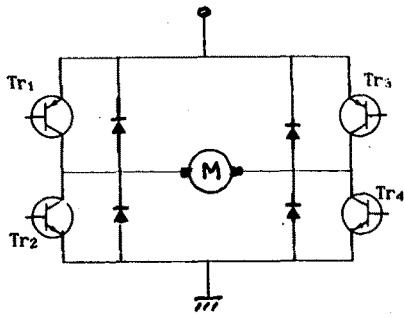
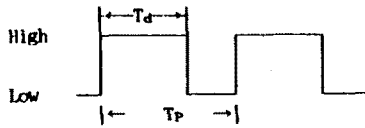


Fig.3.1. H-driving circuit and operations.

이 경우 PWM(Pulse Width Modulation)은 1KHz ~ 10KHz의 기본주기 T_p 를 갖는 기본펄스열의 듀티비를 가변하고, 이 듀티비에 따라 아나로그정보를 얻는 방식이다. 아래 그림3.2은 PWM신호의 예를 나타낸 것이고 이와 같은 PWM신호를 이용하여 트랜지스터에 스위칭 동작을 시키면 스위칭회로에 따라 등가적인 아나로그 제어가 가능하게 된다.



T_p ; 기본펄스주기, T_d ; 듀티비

Fig.3.2 Principle of the PWM signals

지금 그림3.2와 같은 PWM신호를 출력의 듀티비와 전압과의 관계를 조사해 본다. 여기서 PWM신호의 기본펄스 반복주기를 $T_p (=const)$, 가변듀티비를 T_d 라 한다. 따라서 PWM파의 이득률 $G_0[V]$, 얻어지는 전압을 $V[V]$ 라 하면 V 는 다음식이 된다.

$$V = G_0 \frac{T_d}{T_p} [V] \quad (3.1)$$

여기서, 80[W] DC서보전동기는 정격전압 30[V]를 가하여 구동하므로 (3.1)식에서 이득 G_0 는 30[V]로 된다. 이때 T_p 는 일정하므로 전동기에 가하는 전압 V 는 PWM펄스의 T_d 에 비례하여 변화한다. 때문에 T_d 는 8비트 PWM데이터에 비례하여 변화함으로써 결국 원비적으로 전동기회전수는 PWM데이터값에 비례하여 변화하는 것이 된다.

3.1.2 PWM 구동회로의 非線形性

전동기 전원전압을 $V=30[V]$ 로 설정하고 8비트 부하토크를 파라미터로한 8비트 PWM데이터와 전동기회전수

속정하여 제어특성을 조사하였다. 그런데, PWM데이터와 회전수관계는 이론상으로는 선형이지만 실험결과 실제부하시에는 포화하는 형이되고 PWM데이터가 작을 때에는 전동기가 충분한 토크를 발생할 수 없는 문제점이 판명되었다.

3.2 PWM구동회로의 改良

3.2.1 전동기 인덕턴스에 의한 전자에너지의 처리

그림3.3은 인덕턴스에 축적된 에너지 처리회로가 있는 경우의 동작과 그때의 전류파형을 나타낸다. 그림에서 $t=0$ 에서 SW_1 을 닫고 SW_2 를 개방하며, $t=T$ 에서 SW_1 을 개방함과 동시에 SW_2 를 닫으면 R_a, L_a 에 흐르는 전류 I 는

$$0 < t < T \quad I = \frac{E}{R_a} \{ 1 - e^{-(R_a/L_a)t} \} \quad (3.2)$$

$$T < t \quad I = \frac{E}{R_a} \{ e^{-R_a/L_a(t-T)} - e^{-(R_a/L_a)t} \} \quad (3.3)$$

가 된다.

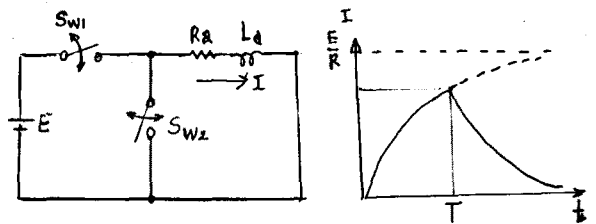
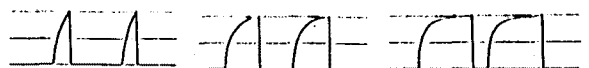


Fig.3.3. Operation of charging circuit and Current waveform

즉 PWM펄스가 off되어도 전동기전류는 급격히 0로 되지않고 전동기의 전기적 시정수는 T_e 에 따라 서서히 방전한다.

3.2.2 비선형특성의 원인

다음 PWM데이터와 전동기 회전수와의 관계가 비선형인 원인에 대하여 고찰한다. 일반적으로 전동기회전수는 전동기에 흐르는 전류에 비례하여 증가한다.



PWM 데이터 소 PWM 데이터 중 PWM 데이터 대

Fig.3.4. Motor current waveforms for PWM data.

그림 3.4에 PWM데이터와 전류파형의 관계를 나타내었다. 앞에서 논란과 같이 전동기전류는 전동기의 전기적 시정수 T_e 에 따라 입상하지만 그 입상형태는 지수함수적으로 나타난다. 따라서 전동기 전류가 지수함수적으로 증가하기 때문에 전동기 회전수특성도 포화한 곡선이 된다.

3.2.3 改良方法

그 개량방법은 전동기인덕턴스 성분에 의한 축적에너지를 처리를 위하여 PWM펄스 OFF시에도 전류경로를 만들어 주어야한다. 때문에 PWM데이터와 전동기 회전수와의 관계를 선형화 하기 위해서는 전동기에 흐르는 전류를 PWM데이터에 비례하여 증가시켜야 힘을 검토에서 알 수 있다. 따라서 구체적 개량법은 다음과 같다

(1) PWM기본펄스 주기 T_p 를 전동기 시정수 T_e 에 비하여 짧게한다 80 [W]전동기의 경우 $T_e = 1.3$ [msec] 이므로 T_p 는 이것보다 짧은 것이 좋고 어느정도가 최적인가는 실험적으로 구한다.

(2) 전동기 인덕턴스 성분에 의한 축적에너지를 보다 유효하게 활용한다. H형구동회로에서 PWM펄스가 OFF시 전동기 양단이 개방되어도 축적된 에너지의 전류경로가 확보되도록 한다.

4. 실험 결과와 고찰

4.1 PWM 기본펄스의 반복주기 t_p 결정

PWM펄스의 기본펄스 반복주기 t_p 는 전동기의 전기적 시정수 T_e 에 비하여 짧은 것이 좋지만 T_p 가 너무 짧으면 절연에 사용된 포토카플러의 응답등이 H형구동회로의 파워트랜지스터 스위칭속도에 추종하기 어렵다. 그러므로 이를 고려하여 최적어되는 t_p 의 값을 구한 결과 가장 적합한 기본펄스 반복주기 T_p 는 $100[\mu s] < T_p < 200[\mu s]$ 범위가 적합함을 실험적으로 구하였다. 여기서는 $T_p=142[\mu s]$ 에 설정한다.

4.2 PWM구동회로의 특성측정

4.2.1 T_p 변화시 PWM데이터와 전동기 회전수

기본펄스 반복주기 T_p 를 변할때 PWM데이터와 전동기 회전수와 관계를 측정한다. 앞절의 파형관측에서 기본펄스 반복주기 T_p 의 적당한 값을 구했다. 여기서는 T_p 를 $835[\mu s]$, $284[\mu s]$, $142[\mu s]$, $94.8[\mu s]$ 로 변화 할때의 PWM데이터와 전동기회전수와의 관계를 측정한다. 이상의 실험에서 PWM펄스 기본펄스 반복주기 T_p 는 $142[\mu s]$ 부근이 적합함을 알았다.

4.2.2 PWM데이터가 일정시의 부하토크와 회전수

이 실험에서는 기본펄스 반복주기 T_p 를 $142[\mu s]$ 로 일정히 하고 전동기에 부하토크를 가했을때 전동기 회전수변화를 PWM데이터를 파라미터로하여 측정한다. 실험은 PWM데이터가 40, 80, 100, 128의 각 경우에 대하여 측정하였다. 전동기 인덕턴스 성분에 의한 축적에너지 처리효과를 조사하기 위해 전동기 양단을 다이

오드로 단락한 경우와 그렇지 않는 경우를 비교 측정하였다. 실험결과 축적에너지처리를 아니한 것은 부하토크의 증가에 대하여 전동기 회전수의 감소가 심하다. 특히 PWM데이터가 40의경우는 부하토크가 $0.1[\text{kg}\cdot\text{cm}]$ 에서 전동기 회전이 정지하였다. 이것에 반하여 축적에너지 처리를 한 경우는 부하토크의 증가에 대하여 회전수는 조금씩 감소하였지만, 그 변화도 전동기 특성에 따라 직선적으로 감소하다. 이때 직선의 기울기 Δ 은 이론값과 실험값이 대체로 일치함을 알 수 있다.

5. 결론

이상과 같이 80[W] 직류서보전동기를 PWM제어하여 구동한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1). PWM구동회로를 선형화하였고
- 2). 최적인 PWM 기본펄스주기 T_p 는 $100[\mu s] < T_p < 200[\mu s]$ 위가 적합함을 실험적으로 구하였다.
- 3). 80[W]시험전동기의 경우 가장 최적인 기본펄스 주기 T_p 는 $142[\mu s]$ 였다.

參考文獻

- (1) Kenji KUBO, et., "A Softwer-based Speed Regulator for motor Drive", International Power Elec. Conf., Tokyo, pp1500-1511, 1983.
- (2) Haruq NAITOH, et., "Microprocessor-based Adjustable Speed DC Motor Drives Using Model Reference Adaptive Control.", IEEE/IAS. Annual Meeting, pp524-528, 1985.
- (3). Gerhard Henneberger. , " Servo Drives for Machine Tools and Robotics.", International Conf.on Ele. Machines, pp21- 33, sept.1986.
- (4) 金山 裕, 油田一 共著 "マイコンによる ロボット制御", CQ 出版社
- (5) 見城 尚志, 松井 信行 共著, "モータのマイコン制御 総合電子出版社", 1987