

자립형 이동로봇 구동을 위한 직류서보전동기 PLL속도제어 시스템에 관한 연구

°업 상 오° 홍 순 일°

* 부산공업대학교 전기공학과

The PLL Speed Control of DC Servo Motor for Mobile Robot Drives

S. O. Eum* S. I. Hong*

*Pusan National University of Technology

Dept. of Electrical Engineering

Abstract - The speed control associated with dc servo motors for direct-drive applications of mobile robot is considered. In order to the high-performance operation of dc servo motor, drive circuits is controlled Pulse Width Modulations. In this case, PWM driving circuit has nonlinear characteristics. This circuit composed of H-type bridge with freewheeling diodes in order to deal with storage energy of motor's inductance and also control method is developed. As a result, speed characteristics of motor is shown linearly. In order to speed control of motor, the operation of phase-locked servo system is described and a linear discrete model is developed to their behavior. These models discussed are the design problems, speed variation.

1. 서론

본 연구의 목적은 방화, 방제로봇의 기초연구로서 개발중인 자립형 이동로봇의 "발"에 상당하는 구동장치에 이용될 직류서보 전동기의 속도제어 방식과 그 구동시스템에 대해서 연구 검토한다^{(1),(2)}.

직류전동기의 속도제어는 위상동기화(Phase Locked Loop) 제어방식이고, 기준신호 위상에 전동기 회전위상을 동기화 하기 때문에, 기준신호로 온도변화에 대해서도 주파수가 안정하게 되는 수정발전기에서의 신호를 사용함으로써 속도변동을 저감시킬 수 있다^{(3),(4)}.

본 연구에서는 직류서보 전동기의 제어특성과 PWM제어에 의한 구동원리에 관하여 해석하고, 전동기와 로봇의 특성과 정수를 측정한다. 그리고 전동기 인덕턴스의 축적에너지 처리회로를 부가하여 구동회로를 개선하고, 이 전동기 정수값에 기초하여 PWM제어시 가장 최적인 PWM기본펄스 반박주기를 구하여 PWM구동회로를 선형화 한다. 또한 PLL제어의 이론에 관하여 검토하고, 선형화된 구동회로와 특성측정에서 얻은 각 정수에 기초하여 고정도로서 안정성이 양호하고, 마이크로 컴퓨터등의 상성이 좋은 디지털 위상동기화 제어 루프 방식을 이용하여 속도제어 시스템을 구성하고 설계한다.

끝으로 이 시스템을 이용하여 실제 80[W] 직류서보 전동기의 속도제어를 행하였다. 그 결과 선형성, 안정성 및 속응성등에서 양호한 결과를 얻을 수 있었고, 더욱 목적으로 한 용도에 따라서 직류서보 전동기가 잘 제어되고 있음을 확인하였다.

2. 시스템의 제어특성해석

제작목표로 한 자립형 이동로봇은 두뇌에 해당하는 마이크로 컴퓨터, 동력원이 되는 배터리를 탑재한 자립형 이동로봇으로 차륜에 따라 이동 하도록 설계한다. 그 성능은 최대하중이 본체 포함 100Kg, 최대속도 1m/sec, 최대가속도 0.5m/sec² 이다. 또한 動輪 2개가 각각 독립한 직류전동기로 구동하는 PWS(Power Wheeled Steering)방식이고, 2 차륜의 회전방향에 따라서 전진, 후진, 또한 그 장소에서 좌우회전 하는 제어가 될 수 있다.

구정한 직류전동기 속도제어 시스템은 속도제어용 마이크로 컴퓨터(콤파우 2대), PLL제어회로, PWM구동회로 및 직류서보 전동기등으로 구성되어 있다. 동작은 마이크로 컴퓨터에서 속도지령 데이터를 PLL회로에 주므로서 개루프로 전동기의 속도제어를 하는 것이 된다.

사용한 피시험용 직류 80[W] 서보전동기 및 로봇의 특성 시험 결과 각 정수값은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 R_a &= 1.3[\Omega] & T_e &= 1.3[msec] & L_a &= 1.7[mH] \\
 K_T &= 0.0647[Nm/A] & K_e &= 0.0649[v.s/rad] \\
 T_m &= 12[msec] & J_B &= 1.96 \times 10^{-6}[Kg \cdot m^2] & n_G &= 20 \\
 J_M &= 3.92 \times 10^{-5}[Kg \cdot m^2] & T_n &= 0.0417[Nm] \\
 M &= 100[Kg] & J_T &= 2.148 \times 10^{-3}[Kg \cdot m^2] & r &= 0.0625[m] \\
 J &= J_M + J_B + J_T/n_G^2 + M r^2/2n_G^2 = 5.45 \times 10^{-4}[Kg \cdot m^2] \\
 \text{動토크} &= 7.06[Kg \cdot cm]
 \end{aligned}$$

3. PLL 에 의한 전동기 속도제어 시스템의

구성과 동작

3.1 PLL의 기본동작과 제어원리

PLL제어회로는 위상비교기, 저역필터(Low Pass Filter) 및 전압제어발전기(Voltage Controlled Oscillator)로 구성된다.

입력신호 전압 v_i 및 VCO의 출력신호 전압 v_o 의 위상차를 $\theta_i(t)$, $\theta_o(t)$ 라 하고 각주파수를 각각 ω_i , ω_o 라 하면 입력신호와 VCO출력신호의 각주파수가 일치 ($\omega_i = \omega_o$)할 때 위상차 = $\theta_i(t) - \theta_o(t)$ 에 비례하는 오차전압 v_d 가 얻어진다.

$$v_d = K\phi F(s) \sin[\theta_i(t) - \theta_o(t)] \quad (3.1)$$

여기서 $K\phi[V/rad]$ 는 위상비교기의 변환이득·정수이며, $F(s)$ 는 LPF전달함수이다. 이와 같이 PLL회로가 트로킨된 경우는 선형시스템으로 되고, 이상의 결과에서 얻어진 블록전도는 Fig.3.1과 같이 표현된다.

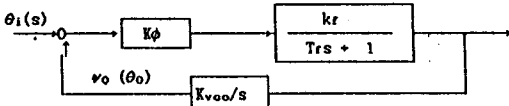


Fig.3.1 Linearized equivalent phase locked loop circuit

Fig.3.1에서 PLL의 위상전달함수 $H(s)$ 는

$$H(s) = \frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{s K_f K_\phi}{T_f s^2 + s + K_f K_\phi K_{vco}} \quad (3.2)$$

이다. 이 식에서 알 수 있는 바와 같이 이 시스템은 2차계이고, 시스템응답은 여러 파라메타에 의존한다. 특히 과도응답은 파라메타의 선정값에 매우 크게 좌우되므로 이 값들이 특정한 범위이내로 되도록 하여야 한다.

3.2 PLL에 의한 전동기속도제어 시스템의 구성

이상 검토한 PLL이론에 기초하여 구성한 전동기속도 제어시스템은 Fig.3.2와 같다. 이 시스템은 기준신호발생회로, 위상비교기, 저역필터(LPF), 전동기에 취부된 엔코드를 이용한 VCO, PWM제어회로, 프로그래머블 카운터 및 H형 구동회로와 속도지령을 주는 마이크로 컴퓨터(SAK-80)등으로 구성하였다.

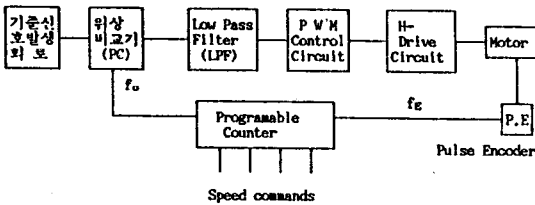


Fig.3.2 Schematic diagram of a PLL speed control system

구동회로는 고속트랜지스터 H형으로 구성하고, 1KHz~10KHz의 PWM변조파를 입력하여 트랜지스터를 on-off함에 따라 전동기를 단일 전원으로 정역 운전한다.

입력하는 PWM변조파는 본 펄스주기 T_p 내의 듀티비 T_d 를 변화시키므로서 T_p 내의 평균전압이 변화하며 T_p 를 전동기의 기계적 시정수보다 충분히 짧게하면 등가적으로 아나로그제어를 행하는 것이 된다. 이 때 실험에서 PWM 기본펄스 주기 T_p 는 142[μs]이다.

Table 3.1은 전동기의 PWM 제어신호방식이다.

Table 3.1 True table of motor operation states

회전방향지시Data		전동기제어신호			전동기동작 상태	
B_0	B_1	Tr_1	Tr_4	Tr_3	Tr_2	상 태
0	0	P	1	1	1	제 동
0	1	P	0	1	1	정 회 전
1	0	1	1	P	1	제 동
1	1	1	1	P	0	역 회 전

단 상기표 중 P는 변조회로에서의 PWM제어신호이다. $Tr_1 \sim Tr_4$ 의 전동기제어신호는 부논리이고 "0"일 때 트랜지스터는 ON, "1"일 때 트랜지스터는 OFF가 된다.

4. 직류서보 전동기 제어특성 측정과 검토

Fig.4.1은 속도지령 데이터를 변화시켜 회전수변화를 조사한 것이고, *는 실측값이다. 이론값과 측정값은 거의 일치하고 있어 목적으로한 제어가 잘 되고 있음을 알 수 있다. 속도지령 데이터를 1에서 15까지 변화시키면 전동기 회전수는 거의 원점을 통하는 직선 변화가 됨을 알 수 있다. 결국 직선성이 매우 양호하고, 그래프는 무부하때 이지 만 토오크도 충분히 낼 수 있는 범위에 있어 부하를 걸어도 직선성이 됨을 예측할 수 있다.

Fig.4.2는 전동기에 부하를 연결한 경우에 회전수의 변화를 조사한 것이고, 어느 정도까지의 토오크에 대하여는 정확히 일정속도를 유지함을 알 수 있다. 속도지령 데이터가 9에서 14까지 범위는 토오크가 2.0[Kg.cm]이상으로 충분히 힘을 발하지만, 15일 때는 토오크가 1.6[Kg.cm]에서 회전수가 급히 감속되었다. 이것은 전동기 발생토오크가 부족하기 때문이고, 그 이상 토오크로 되면 지정된 속도를 유지할 수 없다고 생각된다.

지정된 속도지령값이 적은 경우, 약 2.1[Kg.cm] 범위까지는 토오크가 충분히 발생되었다. 그러나, 이 이상토오크를 걸면 탈조상태로 되어 이상진동하고 과대전류가 흘러 측정이 불가능하였다.

5. 결 론

이상에서 검토한 결과와 같이 PLL제어시스템을 이용한 방법으로 직류서보전동기의 속도제어시스템을 구성하여 80[W] 직류서보 전동기를 구동한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 직류서보 전동기 속도제어를 행하기 위하여 구동회로는 고속스위칭 트랜지스터를 사용하여 개선된 H형 브릿지회로로 구성하였고, 또한 PWM구동회로를 선형화하였다. 피시험전동기 80[W]의 경우 가장 최적인 PWM기본펄스 반복주기 T_p 는 142[μs]이었다.

(2) PLL제어시스템을 이용한 방법으로 직류서보 전동기의 속도제어를 만족하게 행할 수 있었고, 속도지령데이터를 변화시키면 거의 순간적으로 다른속도로 이행되었다. 또한 토오크의 변동에 대하여도 매우 안정한 속도제어가 행하여져서 속응성, 안정성에도 좋은 결과가 얻어진 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) Neram Hemati, "Robust nonlinear Control of Brushless dc motor for Robotic Application," IEEE Trans. on Indus. Electronics, Vol.37, No. 6, Dec.1990, pp460-468.
- (2) 見城尙志, 松井信行 共著, "モータのマイコン制御." 龍合電子出版社, 1987.
- (3) 洪淳一, 등 "자립형 이동로봇 구동을 위한 직류서보 전동기 PWM제어." 대한전기학회, 92하계학술대회 논문집, Vol. B, 1992, pp1185-1187.
- (4) Axel Brickwede, "Microprocessor-based Adaptive Speed and Position-control for Electrical Drive," IEEE/IAS, Annual Meeting, pp411-417, Sep./Oct. 1985.
- (5) Fumio harashima, et. "A Microprocessor-PLL Speed Control System Converter-Fed Synchronos Motor." IEEE Trans. Industry Electronic, Vol. IECI-27, No. 3, pp196-201, Aug.1980.

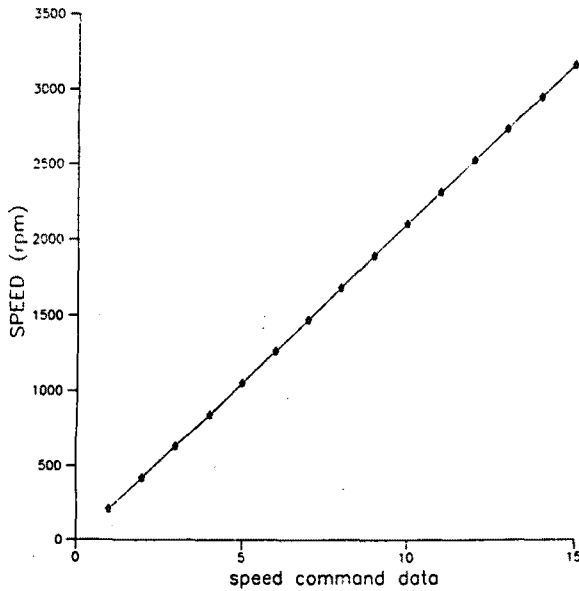


Fig. 4.1 Relations between speed command data and motor speed at no-load

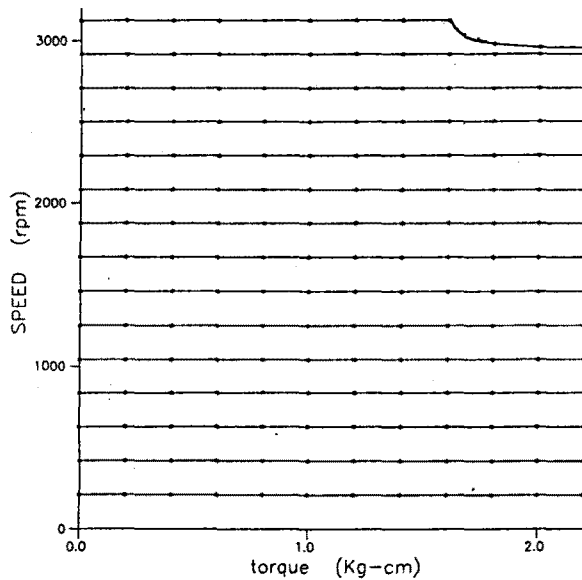


Fig. 4.2 Speed-Torque characteristics of motor by PLL control