

마이크에 의한 표시형 다기능 수직 상승 자동 용접캐리지 개발

김동원^{*}, 신동률^{*}, 황영민^{**}, 우정인^{**}, 안인모^{**}
동명대학^{*}, 동아대학교^{**}, 마산대학^{**}

A Development of the Multi-Function Vertical Digital Automatic Welding Carriage With the Display Type by MICOM

D.W.Kim^{*}, D.R.Shin^{*}, Y.M.Hwang^{**}, J.I. Woo^{**}, I.M.Anh^{**}
Tong-Myung Coll.^{*}, Dong-A Univ.^{**}, Masan Coll.^{**}

Abstract - 본 연구에서는 표시형 디지털 정속주행 자동용접캐리지를 개발하고자 한다. 먼저, 용접조건을 결정하는 전류와 전압값의 입력과 출력을 디지털 입력 스위치와 D/A 컨버터 출력회로를 구성하여 디지털 제어를 구성한다. 또한 디스플레이제어기의 구성은 정확한 용접조건에 의해서 용접할 수 있는 환경을 설정하여 용접의 효율성을 높이고자 한다. 시스템 제어기는 저가격과 출력전류의 특성이 개선된 RISK-Like 방식의 PIC16C74A를 이용하여 가격과 부피 및 노이즈에 강한 제어기를 구성하였다. 워빙 및 주행모터의 효율성과 응답특성을 개선하기 위해서 디지털 제어기(Digital PID Controller)를 설계하고, 이 제어기법을 이용하여 PWM인버터를 설계 및 제어 사용하여 용접 조건과 효율을 개선하였다.

1. 서 론

현대사회에서 고임금화, 인력부족, 4D작업(difficult, dangerous, dirty, dull)의 기피현상, 삶의 질을 향상 시키고자하는 욕구 등은 필연적으로 로봇을 이용한 자동화를 요구하고 있다. 특히, 조선이나 건설분야는 강 구조물을 조립할 때, 주행대차를 이용한 자동용접을 적용하고 있다. 그러나, 이러한 방법은 실제 작업자인 사람의 손으로 용접조건을 설정하게 되므로 용접의 불안정성과 재현성의 부족과 용접조건을 결정하는 데이터(전류, 전압, 용접속도 등)의 정량적 관리가 현실적으로 어려운 실정이다.

본 논문에서는 마이크(PIC16C74A)에 의한 다기능 수직상승 디지털 자동용접기 컨트롤러와 고효율 자동 용접을 위한 전류, 전압, 워빙속도, 주행속도의 표시기를 제안한다. 자동 용접캐리지는 주로 아날로그방식과 디지털방식으로 구성되어 있으며, 기존의 자동 용접기에서는 다음과 같은 문제점이 제기되고 있다.

첫째, 기존의 아날로그방식의 자동 용접캐리지는 릴레이에 의한 구동방식으로 기능에 대한 한계와 워빙모터와 주행모터의 제어에서는 기계적 스위치에 의한 단순 ON, OFF제어로 이루어지므로 워빙모터의 속도와 위치 제어의 응답특성이 떨어지며, 또한 주행모터의 속도 응답특성 효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

둘째, 기존의 디지털 방식의 자동용접 캐리지는 마이크 등으로 주로 intel사의 80계열(8051, 8096 또는 80196 등)이나 모토롤라사의 68000계열 등을 사용하고 있다. 이와 같은 마이크를 이용하는 경우는 마이크 제어기의 특성에 의해서 저장 용량과 입·출력 단자의 포트 수와 출력전류의 크기 때문에 외부단자에 부하제어용 컨트롤러 IC소자를 사용해야 하므로 부피가 크고 가격이 상승한다는 단점을 가지고 있다.

셋째, 디지털 자동 용접기의 경우, 다기능이라 하여도 용접성능을 가능하는 전류와 전압의 조건은 아날로그소자에 의해서 출력된다. 따라서 입력치의 변동에 의하여 출력치가 연동하므로 정확한 용접조건을 맞추기가 현실상 어려우며, 단순히 용접자의 경험에 의거하여 용접조

건을 맞추고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 기존의 문제점들을 개선하기 위하여 여러 가지 새로운 기법들을 도입하여 문제를 해결하였다.

첫째, 워빙 및 주행모터 컨트롤러는 단상인버터를 이용하여 모터의 효율성과 응답특성을 개선하였다. 단순 비례제어의 제어기법에서 얻어지는 출력특성은 모터의 관성과 점성마찰 및 부하에 따라 정위치제어나 정속도제어에 어려움을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 디지털 비례미적분제어기(Digital PID Controller) 방식의 도입으로 오차의 개선에 따른 응답특성의 향상과 펄스폭 변조방식에 의한 PWM제어기법을 이용하여 시스템의 속도 및 위치제어의 효율성을 향상시켰다.

둘째, 디지털 자동 용접기의 경제성과 컨트롤러의 부피감소를 위하여 저가격과 출력전류의 특성이 [mA] 수준으로 개선된 RISK-Like 방식의 마이크로칩사의 PIC16C74A를 이용하여 컨트롤러의 부피면 및 노이즈에 강한 마이크를 이용한 컨트롤러를 개발하였다.

셋째, 용접조건을 결정하는 전류와 전압값의 입력을 디지털 스위치에 의한 D/A 컨버터를 구성하여 디지털 제어를 수행하여 정확한 용접조건을 설정을 가능하게 하였다. 또한, VFD를 이용하여 디스플레이제어기를 구성하므로써 정확한 용접조건에 의해서 용접할 수 있는 환경을 설정하여 용접의 효율성을 높일 수 있다.

본 논문에서 제안한 방식은 Pilot system의 구현하여 실험을 수행하므로써 제안한 방식의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 디지털 수직 상승 자동 용접캐리지

디지털 자동 용접캐리지 부분은 용접시 여러 가지 용접조건으로 용접의 효율화를 높이기 위해서 구성된 부분으로 용접부분과 워빙부분 및 주행부분으로 나누어진다.

○ 용접부분

용접시에 용접조건을 맞추는 부분으로 디지털 전류 및 전압 입력 신호 부분과 용접/비용접 스위치 부분으로 구성된다.

전류(A) : 용접기 전류를 세팅용 디지털 입력 S/W.
전압(V) : 용접기 전압을 세팅용 디지털 입력 S/W.
용접/비용접 : 용접, 비용접 선택 S/W.
인칭 : 용접 Wire를 나오게 하는 Push Button S/W.

○ 워빙부분

용접시에 용접의 형태를 조절하는 부분으로 워빙모터에 의한 용접속도를 제어하는 워빙속도 신호, 용접폭을 제어하는 워빙폭 신호, 용접의 위치를 이동하는 용접중심이동 신호 및 용접형태(방법)를 지정하는 워빙선택 신호, 우땀춤 신호, 좌땀춤 신호 부분으로 구성되어 진다.

워빙속도 : 워빙모터의 속도조정용 Volume 저항.

위빙폭 : 위빙모터의 위빙폭조정용 Volume 저항.
 중심이동 : 위빙모터의 동작중심 이동용 Volume 저항.
 위빙선택 : 각종 용접 형태를 조절용 S/W.
 우뭇춤 : 위빙모터의 우뭇춤시간 조정용 Volume 저항.
 좌뭇춤 : 위빙모터의 좌뭇춤시간 조정용 Volume 저항.

○ 주행부분

용접시에 주행모터에 의해서 용접 주행 속도를 제어하는 부분으로 주행속도 신호에 의해서 제어되어지고, 정방향 주행과 역방향 주행 신호인 전진과 후진 신호 부분으로 구성되어 진다.

주행속도 : 주행모터의 속도조정용 디지털 입력 S/W.
 전진/후진 : 주행모터의 전진, 후진 조정 S/W.

2.1 DC 모터의 위치제어

디지털 자동 용접 캐리지의 위빙과 주행의 신뢰성을 향상시키며, 제어회로의 소형·간이화를 위하여 DC 서보모터를 사용하여 캐리지의 위빙 및 주행방식을 제어해야만 한다.

DC 서보모터의 구조를 그림 1에 나타내었다. 기계적 지지를 목적으로 하는 원통형의 프레임과 프레임 내경에는 영구자석이 부착되어 있다. 회전자축 구성은 샤프트와 샤프트외경에 정류자 및 회전자 철심이 부착되어 있고, 회전자 철심내에는 전기자 권선이 감겨져 있다. 정류자를 통하여 전기자 권선에 전류를 공급하는 브러쉬 및 브러쉬 홀더가 부착되어 있다. 브라켓 뒤쪽에는 회전속도를 검출하는 검출기가 회전자와 연결되어 있는데, 이러한 검출기로는 광학식 엔코더 혹은 타코제네레이터가 많이 사용된다.

DC 서보모터는 토오크와 전류가 비례하여 선형제어계의 구성이 가능하므로 비교적 간단한 회로로 안정된 제어계 설계가 가능하다. DC서보모터의 구동방식은 반도체 스위칭 소자를 이용한 펄스폭 변조방식(PWM 방식)이 주류를 이룬다. 이 방식은 상용 AC전원을 정류하여 DC전원을 얻고, 이러한 DC전원이 모터에 인가되는 시간폭을 가변시킴으로써 결국 모터에 인가되는 평균전압의 크기를 조절하는 방식이다.

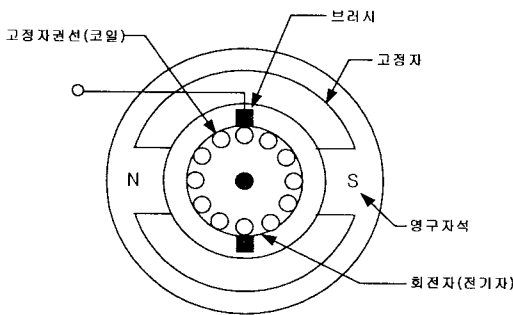


그림 1. DC 서보모터의 내부구조

2.1.1 DC 모터의 수학적 모델링

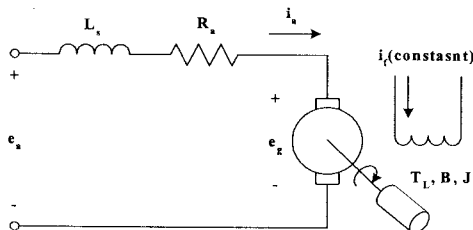


그림 2. DC 모터의 모델링 등가회로

타여자 DC 모터는 그림 2와 같은 등가회로로서 모델링 할 수 있다. 타여자 DC 모터의 기본적인 특성방정식들은 다음과 같다.

$$e_a = e_g + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

$$e_g = K_a \Phi n \quad (2)$$

$$T = T_L + Bn + J \frac{dn}{dt} \quad (3)$$

$$T = K_a \Phi i_a \quad (4)$$

Laplace 변환을 수행하면,

$$E_a(s) = E_g(s) + R_a i_a(s) + L_a s I_a(s) \quad (5)$$

$$E_g(s) = K_a \Phi N(s) \quad (6)$$

$$T(s) = T_L(s) + B N(s) + J s N(s) \quad (7)$$

$$T(s) = K_a \Phi I_a(s) \quad (8)$$

식 (5)와 식 (7)로부터

$$I_a(s) = \frac{E_a(s) - E_g(s)}{R_a + sL_a} = \frac{[E_a(s) - E_g(s)]/R_a}{1 + \tau_a s} \quad (9)$$

$$N(s) = \frac{T(s) - T_L(s)}{B + Js} = \frac{[T(s) - T_L(s)]/B}{1 + \tau_m s} \quad (10)$$

여기서, $\tau_a = L_a/R_a$ 는 모터의 전기자 회로의 전기적 시정수이고, $\tau_m = J/B$ 는 모터의 기계적 시정수이다. 따라서 블록선도의 형태로 표현하면 그림 3으로 표현할 수 있다.

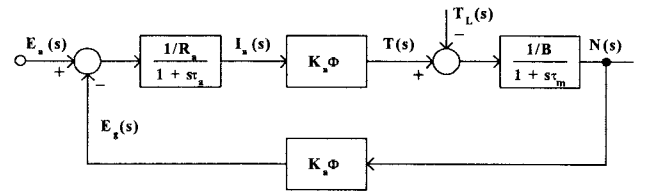


그림 3. DC 모터 등가 블록선도

그림 3으로부터 식 (11), 식 (12)를 구할 수 있다.

$$\frac{N(s)}{I_a(s)} = \frac{K_a \Phi / B}{1 + s\tau_m} \quad (11)$$

$$\frac{I_a(s)}{E_a(s)} = \frac{I_a(s)}{N(s)} \times \frac{N(s)}{E_a(s)} = \frac{k_m (1 + s\tau_m)}{1 + s\tau_{m1}} \quad (12)$$

단

$$k_m = \frac{B}{(K_a \Phi)^2 + R_a B}, \quad \tau_{m1} = \frac{R_a B}{(K_a \Phi)^2 + R_a B} \tau_m$$

고, $\tau_a \ll \tau_m$ 이다.

2.1.2 DC 모터의 속도제어 System

그림 3의 DC 모터의 등가 블록선도를 바탕으로 DC 모터의 PID 속도제어기를 그림 4와 같이 구성하였다. 여기서 K_p 는 속도제어기의 P gain, K_i 는 속도제어기

의 I gain, K_d 는 속도제어기의 D gain을 각각 나타낸다. 그리고, K_q 는 모터의 torque 계수를 나타낸다.

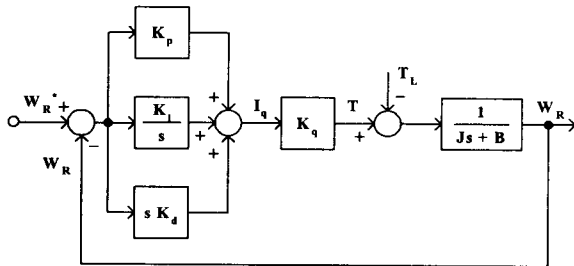


그림 4. DC 모터 PID 속도제어기

그림 4로부터 속도지령 w_R^* 및 부하 torque에 대한 모터의 속도 w_R 의 전달함수를 구하면 각각 식 (13), 식(14)와 같다.

$$\frac{w_R}{w_R^*} = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) K_q}{(J + K_d K_q) s^2 + (B + K_p K_q) s + K_i K_q} \quad (13)$$

$$\frac{w_R}{T_L} = \frac{s}{(J + K_d K_q) s^2 + (B + K_p K_q) s + K_i K_q} \quad (14)$$

2.2 디지털 자동 용접 캐리지의 Display Part

용접의 효율화를 높이기 위해서 필수조건인 전류와 전압 신호를 디지털화하여 용접시에 일정한 조건을 유지하며, 용접자가 용접값을 정확하게 읽을 수 있도록 용접 신호 부분을 디스플레이하는 부분으로 구성된다.

2.3 디지털 자동 용접 캐리지의 마이컴

용접의 효율성과 다기능을 수행하는 부분으로 마이컴 중 RISK-Like방식의 PIC계열인 PIC16C74A를 이용하여 다기능 자동 용접 캐리지의 입력과 출력을 제어하기 위한 컨트롤러를 구성한다.

3. Pilot System 제작

본 연구에서 제안한 마이컴(PIC16C74A)에 의한 표시형 다기능 수직상승 디지털 자동 용접캐리지의 사양은 표 1과 같고 자동 용접기의 콘트롤 Box의 정면도는 그림 5와 같다. 그리고 자동 용접캐리지의 기계적인 구조는 그림 6과 같이 설계하였다.

표 1. 디지털 자동용접기 사양 및 특성

종 류	사양 및 특성
입력전원	AC 220(V)
용접방법	수직상승 Butt Joint (평면/곡면: Flexible Rubber Type)
위빙모터 (DC모터)	CJGR-12530-3.17W, 24V, 0.06A, 6200rpm, 320g·cm (Torque)
주행모터 (DC모터)	TD6015S24-15W, 24V, 0.8A, 3000rpm, 0.48kgf·cm (Torque)
단상인버터	L298-Dual Full-Bridge Drive
디스플레이기	VFD(20T202DA1J)-Vacuum Fluorescent Display Module
제어기부분	PIC16C74A-A/D 입력 단자 8개, 디지털 입/출력 단자 24개로 구성
DRIVING ASS'Y	주행부분(모터와 구조)
WEAVING ASS'Y	위빙부분(모터와 구조)

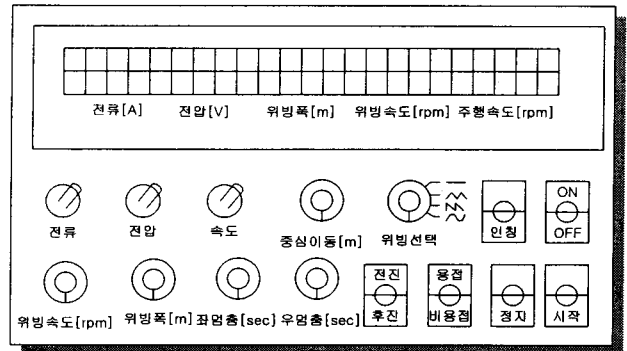


그림 5. 표시형 다기능 수직상승 디지털 자동 용접캐리지의 정면도

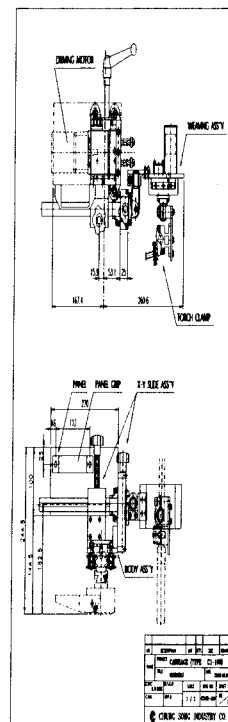


그림 6 자동 용접캐리지의 구조 설계

4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 제안한 System의 타당성을 검증하기 위하여 Psim을 이용한 시뮬레이션과 Pilot System의 제작을 통한 실험을 수행하였다.

표 2는 제어대상인 타여자 DC 서보 모터의 사양을 나타낸다.

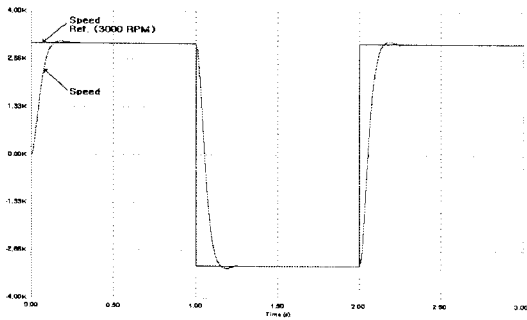
표 2. DC 서보 모터의 사양

전기자 인덕턴스	1.02 mH
전기자 저항	2.1 Ω
전기자 관성	1.3×10^{-3} Kgf·cm sec ²
토크오 정수	2.01Kgf·cm/A
마찰토크	0.5 Kgf·cm
유기전압정수	22.5 V/K rpm

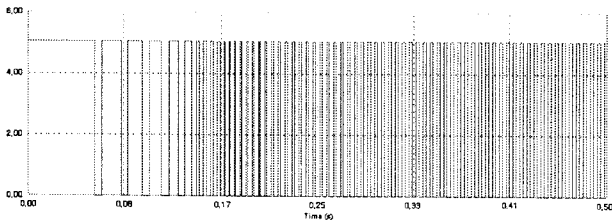
그림 7은 표 1의 사양으로 Psim을 이용하여 시뮬레

이션을 수행한 결과를 나타내고 있다. 그림 7 (a)는 모터의 속도파형으로서 입력에 대한 출력파형이다. 속도지령치로는 정·역방향으로 3000[rpm]을 입력하였다. 출력의 상승시간은 약 0.2[sec]를 나타내고 있으며, 지령치의 도달 후 양호한 수렴특성을 보인다. 그림 7(b)는 0[sec] ~ 0.5[sec] 구간동안 모터의 속도제어용 PWM 파형을 나타내고 있다.

그림 8은 실제 Pilot System을 제작하여 실험을 수행한 경우의 속도파형 및 제어용 PWM 파형을 나타낸다. 제어용 Processor로는 경제성과 성능을 동시에 고려하여 PIC16C74A를 사용하였다. 그림 8(a)는 모터의 정·역전 신호와 그에 따른 모터의 속도파형을 나타내고 있다. 시뮬레이션과 거의 동일하게 지령치에 응답하는 것을 볼 수 있다. 그림 8(b)는 모터의 제어용 PWM 파형을 나타내고 있다. 그림 9(a)는 개발된 자동 용접 캐리지의 용접 작업을 보여주며, 그림 9(b)는 용접 시편 비드형성을 나타낸다. 기존의 아나로그 캐리지보다 비드형성이 잘되는 것을 알 수 있다.



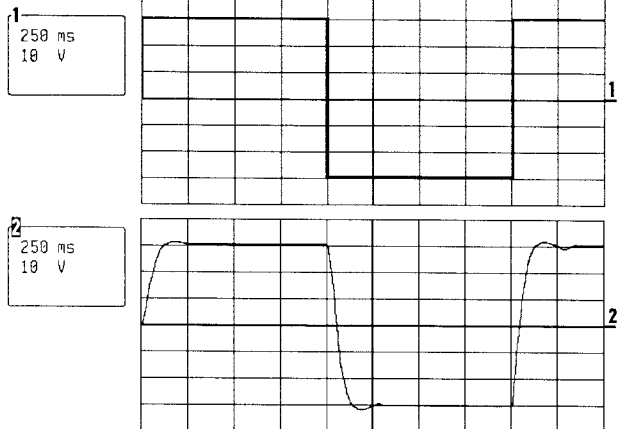
(a) 속도 (입력에 대한 출력파형)



(b) PWM 신호 (0.00 sec ~ 0.5 sec 구간)

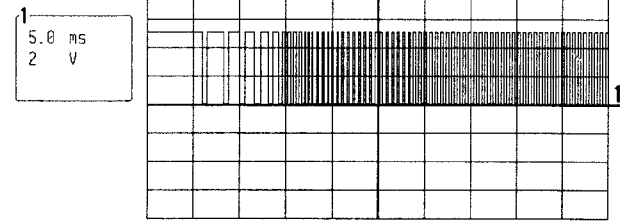
그림 7. DC 서보모터 속도제어의 시뮬레이션결과

9-May-02
23:24:17



(a) 속도 (입력에 대한 출력파형)

9-May-02
23:26:35



(b) PWM 신호

그림 8. DC 서보모터 속도제어의 실험결과



(a) 용접 장면

(b) 비드형성

그림 9. 시편의 비드 형성

5. 결 론

본 논문에서는 마이컴(PIC16C74A)에 의한 다기능 수직상승 디지털 자동용접기 컨트롤러와 고효율 자동 용접을 위한 전류, 전압, 위빙속도, 주행속도의 표시기를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 System은 digital PID 제어를 이용한 DC 서보모터의 제어로 고난이도의 용접작업에 있어서 용접의 불안정성과 재현성의 부족을 해결할 수 있을 것으로 보여진다. 또한, 위빙모터 및 주행모터의 견실한 제어로 인하여 용접조건을 결정하는 데이터(전류, 전압, 용접속도 등)의 정량적 관리도 추후 가능할 것으로 보여진다.

현재 외국기술에 의존도가 높은 기술인 자동화 다기능 수직상승 디지털 자동용접기 컨트롤러 및 고효율 자동 용접을 위한 전류, 전압, 위빙속도, 주행속도의 표시기의 국내기술로서의 개발은 단순한 수입대체효과 뿐만 아니라 국내의 자동용접기의 수요 시장인 현대중공업, 한진중공업, 대우중공업 등에서도 수입대체 효과에 따른 시간의 절약과 비용의 절감에 따른 중공업의 대외경쟁력이 상승할 것으로 기대된다.

[감 사 의 글]

본 논문은 부산·울산 지방중소기업청에서 주관한 2001년 중소기업 기술혁신개발사업 과제의 지원으로 연구되었습니다. 이에 저자일동은 감사의 말씀을 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.Krishnan, "Electric Motor Drives", Prentice Hall, 2001.
- [2] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall, 1998.
- [3] Richard C.Dorf, Robert H.Bishop, "Modern Control System", Addison-Wesley Lingman, Inc., 1998.
- [4] B.K.Bose, K.J.Jentzen, "Digital speed control of a DC motor with phase-locked loop regulation", IEEE Trans. Ind. Electron. Contr. Instr., Vol. IECI-25, No. 1, pp.10-13, 1978.
- [5] Itsuya Muta, Masahiko Iguchi, "DC Motor Control by Model Following Servo Controller", SICE-B, Vol. 61, No. 3, pp. 25-32, 1986