

直流 電動機를 위한 디지털 P.I.D 豫測 補償 制御器

金 倫 鶴 · 尹 炳 道 · 梁 原 榮 · 趙 容 鉉
 증양 대학교 공과 대학 전기 공학과

P.I.D Predictive Controllers for The Various Types of D.C Drives

Yoon-Ho Kim, Byung-Do Yoon, Won-Young Yang, Yong-Hyun Cho.
 Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University

ABSTRACT

A Digital P.I.D Predictive Controller is applied to the various types of D.C drives. The system with predictive controllers is compared to the system with conventional P.I.D controllers.

The effect of the predictive control for the practical applications are investigated. The stability of the system with predictive controllers is also studied.

1. 序 論

D.C. SERVO MOTOR 驅動 SYSTEM의 마이크로프로세서에 의한 DIGITAL化는 制御.의 유연성 및 HARDWARE 簡略化 등 장점이 있으므로 廣範濶하게 利用된다.

그러나 디지털 제어는 샘플링 주파수가 낮거나 시간 지연이 큰 시스템에 있어서는 연속 제어시 보다 운전 특성에 좋지 않은 영향을 미친다. 지금까지 이러한 단점을 보상하기 위하여 몇가지의 보상 제어 이론이 특정한 분야에 적용되어 왔었다[1-2].

본 논문에서는 보상 제어 이론이 특히 여러가지 Type 의 DC 구동에 어떻게 적용되며 여기에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

따라서 각 Type에 맞는 보상기를 제안하고 또한 보상기 적용시의 시스템 안정도에 대해서도 고찰하고자 한다.

2. 예측 보상 P-I-D 制御器

2-1. 基本의 P-I-D 制御器

基本의 P.I.D. 制御器에서는 시간 지연을 고려하지 않는데 반하여 DIGITAL 制御時에는 시간 지연이 發生 된다.

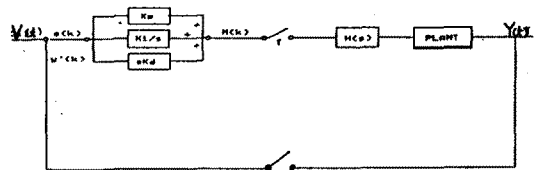


Fig 1. Conventional P.I.D. Controller

一般적으로 디지털 制御器에서 만일 TIME DELAY가 없는 즉

1) 이상적인 P.I.D. 制御器인 경우 출력과 error의 관계는 다음과 같이 주어진다.

출력 Y(k)는

$$Y'(k) = Y(k) \quad (1)$$

$$E(k) = R(k) - Y'(k) \quad (2)$$

그런데 시간 지연을 고려했을 경우 출력과 FEED BACK 입력과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

2) 그림 1에서 시간 지연을 고려했을 경우의 數식은 다음과 같다.

$$Y'(k) = Y(k-1) \quad (3)$$

$$E(k) = R(k) - Y(k-1) \quad (4)$$

그림 1에서 P.I.D. 制御器 出力을 M(k)라 하면 M(k)는 다음과 같이 주어진다.

$$M(k) = K_p \cdot E(k) + K_i \cdot T \cdot \int E(k) \cdot dt + k_d \frac{dE(k)}{dt} \quad (5)$$

(5)식을 다시 정리 하면

$$M(k) = K_p \cdot E(k) + K_i \cdot T \cdot \sum_{k=1}^n E(k) + \frac{k_d}{T} [E(k) - E(k-1)] \quad (6)$$

$$E(k) = R(k) - Y'(k) \quad (7)$$

이 된다.

그림 1에서 알 수 있는것 처럼 제어 이득 Kp, Ki, Kd의 크기는 시스템의 운전 특성에 직접적인 영향을 미치며 또한 디지털 제어시 일어나는 시간 지연이 시스

멘의 온건 특성에 영향을 미치는 정도도 제어 이득값에 따라 변화하게 된다.

2-2 예측 보상 制御器

예측 보상 制御器를 이용한 D.C. MOTOR의 DIGITAL 制御시의 구성도는 그림 2와 같다.

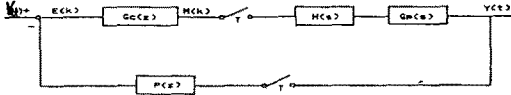


Fig2. Block Diagram of Predictive P.I.D. Controller

그림 2에서 현재 위치 Y(k)에 대한 예측 보상 제어기의 관계식은 다음과 같이 주어진다.

$$Y(k+1) = Y(k) - [Y(k) - Y(k-1)] = 2Y(k) - Y(k-1) \quad (8)$$

여기서 만일 예측 강도를 α 라 하면 (8)식을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$Y(k+1) - Y(k) = \alpha [y(k) - y(k-1)] \quad (9)$$

(9)식을 정리하면

$$Y(k+1) = (\alpha+1) \cdot Y(k) - \alpha \cdot Y(k-1) \quad (10)$$

과 같이 나타내진다.

그림 3은 예측 강도 " α "의 크기가 예측 보상 제어기의 입력 "Y(k+1)"에 미치는 영향을 보여준다.

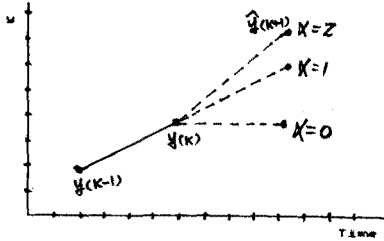


Fig 3. Predictive Value with α

그림 2에서 P(z)를 PREDICTIVE FACTOR라 하면 (10)식을 이용하여

$$Y(k+1) = (1 + \alpha) \cdot Y(k) - \alpha \cdot Y(k)z^{-1} = \frac{(1 + \alpha)z - \alpha}{z} Y(k) \quad (11)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

그러므로 Predictive Factor P(z)는 다음과 같이 주어진다.

$$P(z) = \frac{(1 + \alpha)z - \alpha}{z} \quad (12)$$

3. 豫側 補償器를 이용한 直流機 驅動

앞에서 언급한 豫側補償器를 直流機의 각 Type 즉 他勵磁 電動機, 分捲 電動機, 直捲 電動機에 적용하여 豫側補償 制御器가 미치는 영향에 대하여 考議하고자 한다.

3-1 他勵磁 電動機

MOTOR 數式은 다음과 같다.

$$V(t) = Ra \cdot ia(t) + La \frac{dia(t)}{dt} + Eg(t) \quad (13)$$

$$Eg(t) = Ke \cdot \omega(t) \quad (14)$$

$$T(t) = Tf(t) + TL(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B \cdot \omega(t) \quad (15)$$

$$V(t) = Ra \cdot ia + La \frac{dia(t)}{dt} + Ke \cdot \omega(t) \quad (16)$$

$$Gm(s) = \frac{N(s)}{V(s)} = \frac{Kt/Ra \cdot B}{\tau_m \cdot S^2 + \tau_m \cdot S + (Kt \cdot Ke + Ra \cdot B)/(Ra \cdot B)}$$

여기서

$$\frac{Kt \cdot Ke + Ra \cdot B}{Ra \cdot B \cdot \tau_m} = C, \quad \frac{Kt}{Ra \cdot B \cdot \tau_m} = D$$

여기서 속도 'N'는 다음과 같이 주어진다.

$$N(t) = \frac{D}{C} \{1 - (-1/2)^t (\cos(mt) + \frac{1}{2m} \sin(mt))\} \quad (17)$$

3-1-1 制御 알고리즘

豫側 補償 制御器를 포함한 制御 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

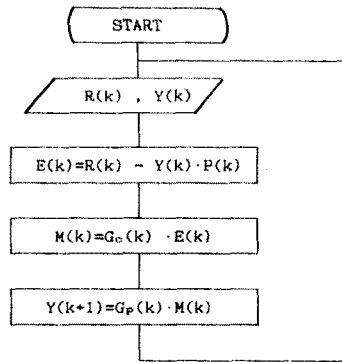


Fig 4. 豫側 補償器를 포함한 制御 알고리즘

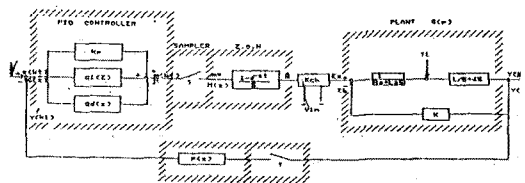


Fig 5. PREDICTIVE P.I.D. CONTROLLER를 갖는 타여자 電動機

他勵磁 直流 電動機의 PARAMETER를 이용한 PREDICTIVE 制御器의 速度 OVERSHOOT과 PEAK TIME은 다음과 같다.

3-2. Simulation 結果 및 考 察

위에서 언급한 制御 알고리즘과 電動機 모델을 이용 豫測 補償 制御器를 고려한 전체의 시스템에 대하여 Simulation을 하였다. 그림 6과 Table 1은 예측 제어 보상기를 갖는 타여자 전동기 시스템의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

위 그림에서 기본 P.I.D. 제어기는 시간 지연이 없는 이상적인 경우를 'REF'로 나타냈고, 시간 지연이 있는 경우를 'DELAY'로 나타냈다. Simulation결과 시간 지연이 있는 경우는 OVERSHOOT가 크게 발생한 것을 알 수 있다. simulation 결과에서 알 수 있는 바와같이 일반적으로 豫測 補償 制御器의 α 값이 커짐에 따라 overshoot가 감소함을 알 수 있다. 그러나 α 값이 2.5 이상으로 커질 때는 시스템이 不安定하게 됨을 고찰할 수 있었다. 이는 α 의 값이 시스템의 파라미터에 따라서 안정 영역 범위 내에서 결정 되어야 한다는 것을 말 해준다.

또한 일반적으로 α 의 값이 커짐에 따라 最大速度에 도달하는 時間도 줄어들음을 알 수 있다.

120V 60Hz 1000 rpm				
α	max	Peak time	N avr	Peak time
0.2	4300	0.096 (48)	1000	0.19 (95)
0.8	3455	0.09 (45)	1000	0.18 (90)
1.2	3048	0.09 (45)	1000	0.164 (82)
2.0	2465	0.086 (43)	1000	0.15 (75)
2.4	2250	0.084 (42)	진 동	0.144 (72)
3.2	1927	0.082 (41)	진 동	
4.8	1687	0.056 (38)	진 동	
6.0	1293	0.07 (35)	진 동	
10.	진 동	0.002 (2)	진 동	

RA=8.09 , La = 83.4 mH , B=0.008 , J = 0.009

TABLE 1. Simulation results for the separately excited d.c motor with predictive controllers

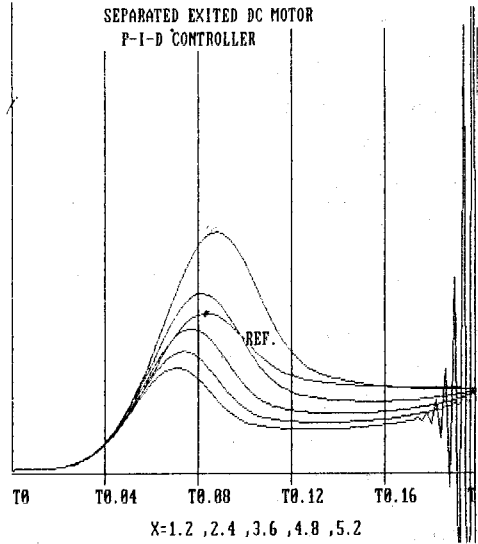
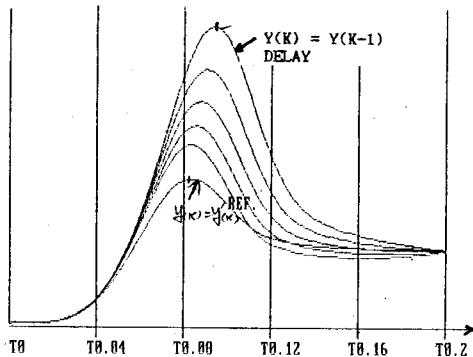


Fig 6. Speed response for the separately excited D.C MOTOR with Predictive controllers

3-3 直 流 電 動 機

直 流 電 動 機 의 비 선형 모델에서 數式을 유도하면 다음과 같다.

$$E_a = R_a \cdot i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_a f \cdot \omega \cdot N + K_{res} \cdot N \quad (18)$$

$$K_a f \cdot i_a^2 = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_L \quad (19)$$

위 數式을 BLOCK DIAGRAM으로 나타내면 그림 7과 같이 주어진다.

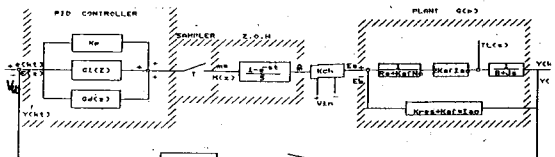


Fig 7. PREDICTIVE P.I.D. CONTROLLER를 갖는 직권 전동기

1PH 120V 60Hz 1800 rpm				
α	N max	peak time	N avr	peak time
0.2	5680	0.124 (62)	1800	0.18 (90)
0.8	4804	0.118 (59)	1800	0.172 (86)
1.2	4306	0.116 (58)	1800	0.164 (82)
2.0	3497	0.116 (58)	1800	0.15 (75)
2.4	3281	0.108 (54)	1800	0.144 (72)
3.2	2832	0.104 (52)	진 동	
4.8	2232	0.098 (49)	"	
6.0	1930	0.094 (47)	"	
10.0	1347	0.086 (43)	"	

Ra=1.0 , La= 32 mH , B= 0.004 , J=0.0465

TABLE 2. Simulation results for the series d.c motor with predictive controllers

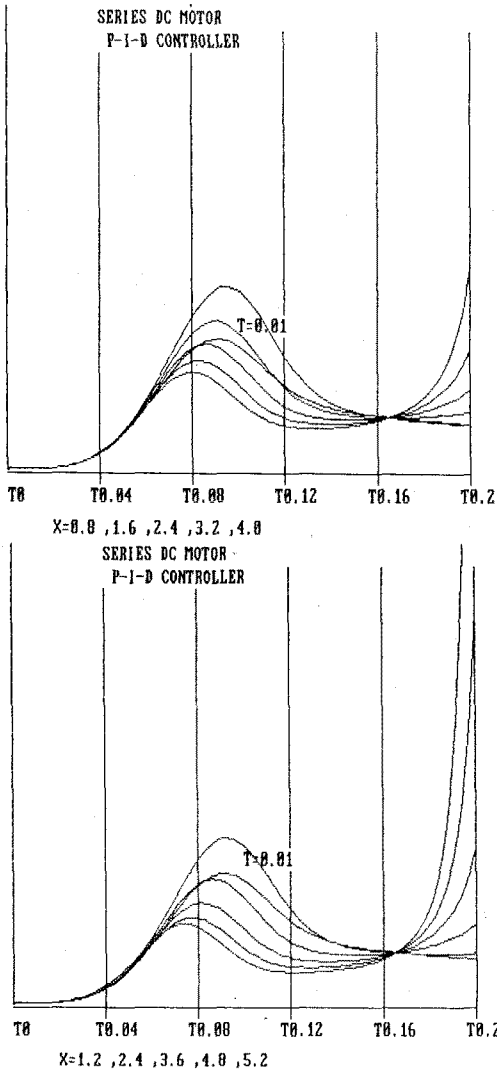


Fig 8. Speed response for the series d.c motor with predictive controllers

직권 전동기의 시뮬레이션에 있어서는 정확도를 기하기 위하여 비선형 모델을 채택하였다. 직권 전동기의 경우에 있어서도 시뮬레이션 결과는 타여자 전동기의 경우와 비슷한 경우를 나타냄을 그림 8과 Table 2에서 볼 수 있다. 이 경우에도 α 값의 크기가 일정값 이상이 되면 시스템에 전체적으로 발산하여 불안정하게 됨을 알 수 있다.

그러나 직권 전동기의 경우는 α 값이 타여자 전동기의 경우에 비하여 조금 더 큰값에서 시스템이 불안정하게 되었다.

3-3 分捲 電動機

分捲 電動機 MODEL에서 數式을 나타내면 다음과 같이 요약 된다.

$$E_a = (R_a + L_a \cdot S) \cdot I_a + K_b \cdot \Phi \cdot N \quad (20)$$

$$E_a = (R_f + L_f) \cdot I_f \quad (21)$$

$$K_t \cdot \Phi \cdot I_a = T_L + S \cdot N \cdot J \quad (22)$$

$$N = \frac{F}{D} \{ 1 - e^{-(1/2) \sqrt{D} \cdot t} (\cos(xt) + (c/2x) \cdot \sin(xt)) \} \quad (23)$$

$$\sqrt{D - (C^2/4)} = X$$

위 수식을 block diagram으로 나타내면 그림 9와 같이 주어 진다.

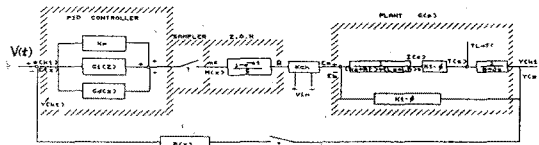


FIG 9. PREDICTIVE P.I.D. CONTROLLER를 갖는 본권 전동기

본권 전동기의 경우에도 타여자 또는 직권 전동기의 경우처럼 α 의 값이 증가함에 따라 overshoot와 peak-time이 줄어드는 경향을 보여주었으며 α 값이 어느 한계 보다 크면 시스템이 불안정함을 볼 수 있다.

그러나 본권 전동기의 경우는 다른 타입의 직류 전동기의 경우 보다 α 에 대한 안정 영역이 상대적으로 줄어들었음을 table 3과 그림 10에서 알 수 있다.

120V 60Hz 1000 rpm				
α	N max	Peak time	N avr	Peak time
0.2	4700	0.1 (50)	1000	0.194 (97)
0.8	4055	0.092 (46)	1000	0.184 (92)
1.2	3548	0.086 (43)	1000	0.016 (89)
2.0	2765	0.08 (40)	1000	0.16 (80)
2.4	2450	0.078 (39)	진 동	0.152 (76)
3.2	2027	0.074 (37)	진 동	
4.8	1887	0.07 (35)	진 동	
6.0	1428	0.07 (35)	진 동	
10.	진 동	0.002 (02)	진 동	

TABLE 3. Simulation results for the shunt d.c motor with predictive controllers

RA=8.09, La = 83.4 mH, B=0.008, J = 0.009

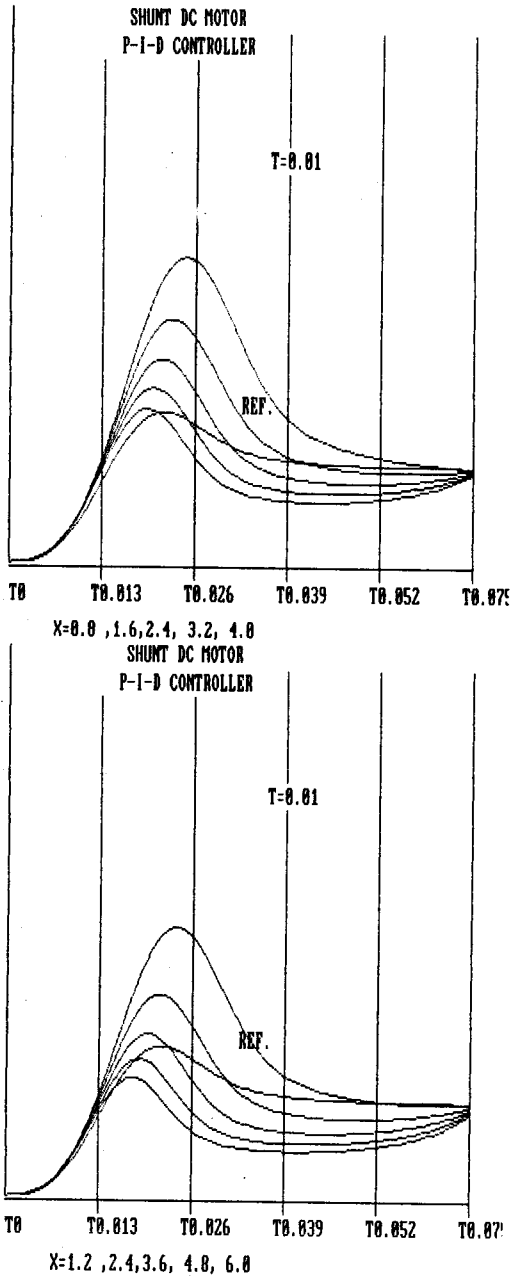


Fig 10. Speed response for the shunt d.c motor with predictive controllers

5. 결론

앞에서 예측 보상기를 도입한 결과 타여자 전동기는 α 값이 0-2.5정도까지 안정하고 직권 전동기는 α 값이 0.2-3.0정도까지 안정하며 본권 전동기는 타여자 와 거의 유사함을 알 수 있다.

일반적으로 주어진 α 값이 커짐에 따라 특성이 좋아 지는것을 관찰 했고 또한 SYSTEM이 안정하게 되며 그러나 α 값이 특정값 이상보다 크면 SYSTEM이 불안정하다는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 논문에서 사용한 예측 제어 보상은 모든 타입의 직류 기기 PID제어에 있어 유용하게 이용될 수 있음을 보여준다. 그러나 α 값이 너무 크면 전체 시스템이 불안정하게 되므로 주어진 시스템의 파라미터에 따라 α 값을 적절히 경해주어야 함을 알 수 있다.

여기에 부가해서 중요한 점은 일단 α 값을 설계시 적절히 정해 주었다 해도 시스템의 파라미터가 외부 또는 내부의 영향에 의하여 변화가 있을시는 전체 시스템이 불안정하게 되어서 여기에 대한 추가 보상이 필요하다는 것이다.

참 고 문 헌

[1] JAMES H. AYLOR, ROBERT L. RAMEY AND GERALD COOK "DESIGN AND APPLICATION OF A MICROPROCESSOR P.I.D. PREDICTOR CONTROLLER." IEEE TRANS. IND. APPL. IECEI-27, AUG 1980.

[2] M. INAEDA AND K. HASHIMOTO "PRACTICAL CONSIDERATIONS FOR APPLICATION OF DIGITAL P.I.D PREDICTIVE CONTROL "DEPT OF PRECISION MECHANICS, THE UNIVESRSITY OF TOKUSHIMA, IECON 1988.

[3] "THYRISTOR D.C. DRIVES "P.C. SEN PROFESSOR OF ELECTRICAL ENGINEERING QUEEN'S UNIVERSITY KINGSTON, ONTARIO, CANADA.

[4] R. L. RAMCE, J. H. AYLOR, AND R. D. WILLIAMS . "A MICROCOMPUTER AIDED EATING FOR THE SEVERELY HANDICAPPED," COMPUTER, VOL.12, NO.1, PP. 54-61, JAN. 1979.

[5] A. B. CORRIPIO, C. L. SMITH, AND P. W. MURRI-LL, "EVALUATION DIGITAL PI AND PID CONTROLLER PERFORMANCE," INSTRUM. CONTR. SYST., VOL.46, NO. 7, PP. 56-58, JULY 1973.