

VCR의 서보 시스템을 위한 새로운 위상 오차 예측기

이상락*, 박정배*, 유태운*, 박귀태*, 신용호**

* 고려대학교 전기공학과 자동제어 연구실

** LG 전자 영상 미디어 연구소

A Novel Phase Error Predictor for VCR Servo Systems

Sang-Lak Lee*, Jung-Bae Park*, Ji-Yoon Yoo*, Gwi-Tae Park*, Yong-Hoo Sheen**

* Dept. of Electrical Eng. Korea University, Seoul 136-701 Korea

** Image & Media Lab. LG Electronics Inc., Seoul 137-140 Korea

Abstract - A novel phase error predictor is proposed for servo system in home-use VCRs. The multirate system in VCRs is converted into a single period sampling system with faster sampling time by using the proposed novel phase error predictor. And the disturbances can be measured much faster. From the experimental results, we can see that the performance of the control system is improved greatly. The phase lock time of the proposed servo system is ten times faster than that of the conventional system.

1. 서 론

VCR의 서보 시스템은 속도와 위상, 두 가지 목표를 제어하는 이중 투프 PLL(phase-locked loop) 구조로 되어 있으며, 속도를 제어하는 속도 제어기와 위상을 제어하는 위상 제어기, 두 개의 제어기가 사용된다. 이 두 제어기는 VCR 서보 시스템의 구조상 샘플링 시간이 서로 다르기 때문에 VCR의 서보 시스템은 다중률 샘플링 시스템(multi-rate sampling system)이 되며 이로 인해 그 해석과 설계가 매우 어렵다. 현재는 수십 배의 차이가 나는 이 두 샘플러의 시간차를 이용해 다중률 샘플러를 처리하는 연속 투프 연결법(successive loop closure)이 많이 사용된다. 연속 투프 연결법에서는 상대적으로 샘플링 시간이 짧은 속도 제어기를 먼저 설계한 후 이를 근사적으로 연속치 계통으로 보고 샘플링 시간이 긴 위상 제어기를 설계한다. 이 근사화 때문에 이론적 해석과 실제 실험 결과 사이에 차이가 생긴다.

본 연구에서는 매 속도 샘플링 시간마다 위상 오차를 예측할 수 있는 새로운 위상 오차 예측기를 제안한다. 제안된 위상 오차 예측기는 속도 정보로부터 위상 오차를 예측한다. 위상 오차 예측기를 사용하여 VCR의 서보 시스템은 위상 제어계의 샘플링 시간을 수십 분의 일로 줄일 수 있으며, 속도 제어계와 같은 샘플링 시간을 갖도록 하여 전체 시스템의 해석을 간단히 할 수 있고, 분석된 결과를 통해 제어기의 설계를 간단히 할 수 있게 되었다. 따라서 다양한 현대 제어 이론의 도입이 가능하다. 또한 위상 제어계의 샘플링 시간이 줄어 외란에 의한 위상 오차를 즉시 보상할 수 있는 장점이 있다.

2. 상태 공간에서의 디지털 제어 시스템 설계

2.1 상태 계환에 의한 극점 배치 설계

dc 전동기의 상태 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (1)$$

여기서

$$x(t) = \begin{bmatrix} \theta(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}, \quad u = e_a(t)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{BR+K_t K_e}{JR} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ K_t \end{bmatrix}$$

이 모델에서 $x_1(t)$ 는 전동기 각의 각도이며 새로운 위상 오차 예측기에 의해 예측할 수 있다. 상태 $x_2(t)$ 는 각속도이며 FG에 의해 측정된다. 따라서 이 시스템의 경우 모든 상태 벡터가 측정 가능하다.

dc 전동기의 시스템 파라미터는 다음과 같이 주어진다.

전기가 저항	R = 9 [Ω]
전기자 인터던스	L = negligible
전동기와 부하 관성	J = 0.45 [kg·cm·sec ²]
접속 마찰 계수	B = negligible
토크 상수	K _t = 459 [kg·cm/A]
역기전력 상수	K _e = 0.045 [V/rad/sec]

이 연속치 계통을 이산화하면 차분 방정식으로 표시되는 상태 방정식은 다음과 같다.

$$x(k+1) = \Phi(T)x(k) + \Gamma(T)u(k) \quad (2)$$

여기서

$$\Phi(T) = e^{AT} = L^{-1}[(sI - A)^{-1}] \quad (3)$$

그리고

$$\Gamma(T) = \left(\int_0^T e^{Ar} dr \right) B \quad (4)$$

시스템의 고유치는 다음의 상태 계환에 의해 임의로 배치할 수 있다.

$$u(k) = -Kx(k) \quad (5)$$

여기서 K는 계환 행렬이고 다음과 같이 주어진다.

$$K = [K_1 \ K_2] \quad (6)$$

입력 u(k)를 상태 방정식에 대입하면 페루프 시스템의 상태 방정식을 얻을 수 있다.

$$x(k+1) = (\Phi(T) - \Gamma(T)K)x(k) \quad (7)$$

페루프 시스템의 특성 방정식은 다음과 같다.

$$\det |zI - \Phi + \Gamma K| = 0 \quad (8)$$

설계 문제는 페루프 디지털 제어 시스템의 고유치가 λ₁, λ₂가 되는 K₁과 K₂를 찾는 것이다.

상태 공간 설계는 비례 미분 계환의 일반화된 결과를 가져오기 때문에, VCR 시스템에서의 램프 입력에 대한 정상 상태 오차를 영

으로 제거할 수 없다. 따라서 제어 시스템에 템프 입력을 오차 없이 추종할 능력을 주기 위해 전향 제어를 도입한다.

2.2 전향 제어

전향 제어는 다양한 입력에 대해 원하지 않는 응답을 효과적으로 제거하는 중요하고 널리 사용되는 프로세스 제어 기술이다. 전향 제어는 프로세스 출력에 대한 명령 입력의 효과를 예측하거나 폐루프 제어 시스템에 의해 생성된 제어를 프로세스 출력의 오차를 줄이는 방향으로 수정하는데 사용된다. 원리는 제어 입력 신호를 전향 제어기를 통해 전향 입력하고 이를 채환 제어기에 의해 생성된 제어와 결합시키는 것이다.

채환 제어기는 안정도와 응답의 속도를 얻기 위해 설계한다. 반면에 전향 제어기는 시스템의 응답에 영향을 주지 않고 원하는 정상 상태 응답을 얻기 위해 설계한다.

VCR 서보 시스템에서 정상 상태 오차를 없애기 위해 전향 제어기의 전달 함수를 다음과 같이 선택한다.

$$G_H(s) = K_H s \quad (9)$$

여기서 K_H 는 전향 이득이다.

그림 1은 전향 제어를 갖는 상태 채환 제어기의 블록 다이어그램이다.

3. 새로운 위상 오차 예측기

앞 절의 상태 채환 제어기 설계에서, 상태 $x_1(t)$ 은 새로운 위상 오차 예측기로부터 매 FG 필스의 상승 모서리마다 예측될 수 있다고 가정하였다. 이 경우 이산화된 시스템은 단일 샘플링 시간을 갖게 된다. 이 단일 주기 샘플링 기법 (single period sampling scheme) 때문에 시스템의 해석과 설계가 매우 간단해진다.

3.1 단방향 위상 오차 예측기

그림 2에 나타낸 것처럼 $\Delta\theta_{REF}$ 를 FG 한 주기 동안 REF 필스의 위상 증가량으로, $\Delta\theta_{CTL}$ 를 FG 한 주기 동안 CTL 필스의 위상 증가량으로 정의한다. 제안된 위상 오차 예측기는 FG 필스에 포함된 정보로부터 $\Delta\theta_{REF}$ 와 $\Delta\theta_{CTL}$ 를 구한다. FG 한 주기 동안의 위상 증가량을 계산하기 위해 일차 선형 근사화 방법을 사용하였다. 샘플링 구간 내에서 k 번째 위상 오차는 k-1 번째 위상 오차에 $\Delta\theta_{REF}$ 를 더하고 $\Delta\theta_{CTL}$ 를 뺀으로서 구할 수 있다.

$$\theta_i^k = \theta_i^{k-1} + \Delta\theta_{REF}^k - \Delta\theta_{CTL}^k \quad (10)$$

제안된 새로운 위상 오차 예측기를 사용하면 VCR의 다중 샘플링 시스템(multirate system)은 더 빠른 쪽의 샘플링 시간을 갖는 단일 주기 샘플링 시스템으로 변환된다. 그리고 외란도 훨씬 빠른 시간에 측정 가능하다.

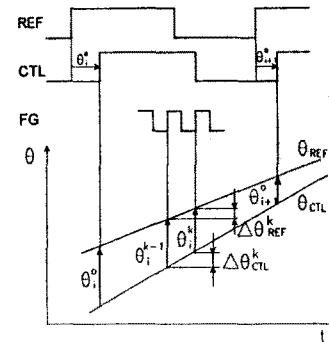


Fig. 2 Phase error prediction method.

그림 3은 단방향 위상 오차 예측기를 사용한 시스템의 응답이다. 속도와 위상 오차가 기존 시스템과 비교해 볼 때 매우 빠른 시간인 약 0.1초 이내에 제어됨을 알 수 있다.

큰 위상 오차가 발생하면, 그림 4에 나타난 것처럼 커다란 오버슈트를 일으킨다. 이 오버슈트를 줄이기 위해 양방향 위상 오차 예측기 (bidirectional phase error predictor)를 설계하였다.

3.2 양방향 위상 오차 예측기

만약 양의 부호를 갖는 커다란 위상 오차가 발생하면 이를 다음 수식에 의해 같은 양의 음의 위상 오차로 변환할 수 있다.

$$\theta^k = \begin{cases} \theta^k & \text{if } \theta^k < \frac{\theta_{REF}}{2} \\ \theta^k - \theta_{REF} & \text{if } \theta^k > \frac{\theta_{REF}}{2} \end{cases} \quad (11)$$

여기서 θ_{REF} 는 REF 필스 한 주기의 위상 증가량이다. k 번째 위상 오차는 단방향 위상 오차 예측기에서 사용한 것과 같은 방법으로 예측할 수 있다:

$$\theta_i^k = \theta_i^{k-1} + \Delta\theta_{REF}^k - \Delta\theta_{CTL}^k \quad (12)$$

그림 5은 양방향 위상 오차 예측기를 사용한 시스템의 응답이다. 커다란 위상 오차가 발생했음에도 불구하고 속도와 위상 오차가 양방향 위상 오차 예측기의 도움으로 빠르게 제어된다.

그림 6은 기존 시스템의 응답이다. 위상을 일치시키기까지 약 0.8초가 소요된다.

실험 결과로부터 제어 시스템의 성능이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 제안된 서보 시스템의 위상 일치 시간은 기존 시스템 보다 약 10배정도 빠르다.

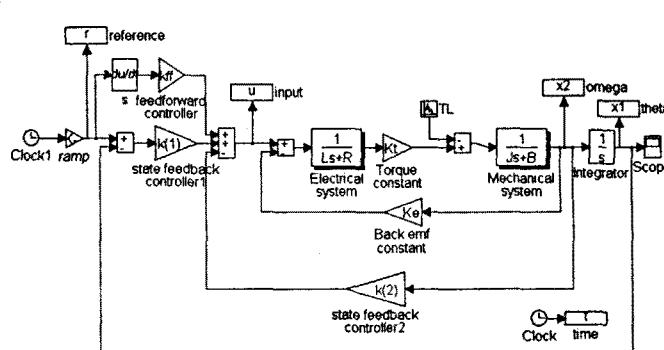


Fig. 1 State feedback controller with feedforward control.

4. 결 론

본 연구에서는 배 속도 샘플링 시간마다 위상 오차를 예측할 수 있는 새로운 위상 오차 예측기를 제안하였다. 제안된 위상 오차 예측기를 사용하여 VCR의 서보 시스템은 위상 제어계의 샘플링 시간을 수십 분의 일로 줄일 수 있으며, 속도 제어계와 같은 샘플링 시간을 갖도록 하여 전체 시스템의 해석을 간단히 할 수 있고, 분석된 결과를 통해 제어기의 설계를 간단히 할 수 있게 되었다. 따라서 다양한 현대 제어 이론의 도입이 가능하다. 또한 위상 제어계의 샘플링 시간이 줄어 외관에 의한 위상 오차를 즉시 보상할 수 있는 장점이 있다.

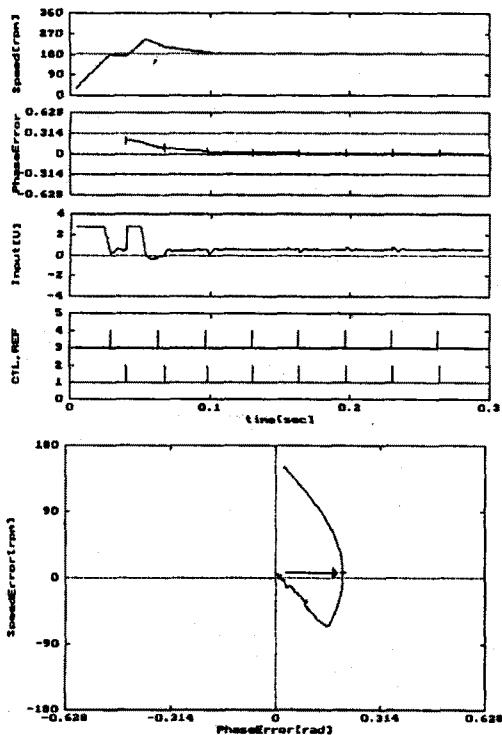


Fig. 3 Response of the unidirectional phase error predictor.

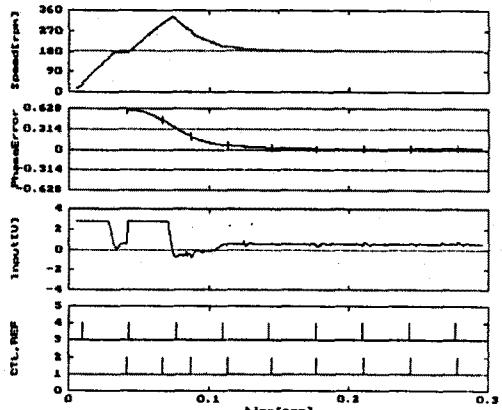


Fig. 4 Response of the unidirectional phase error predictor in case of large phase error.

REFERENCES

- [1] Jeong-Tae Kim, "Stability Analysis of VCR Servo System via Discrete and Nonlinear Method", ICCE Digest of Technical Papers, 24-25, June 1995.
- [2] Sang-Lak Lee, Gwi-Tae Park, et al, "Skip Play Technology for Home-use Digital VCRs", ICCE Digest of Technical Papers, 23-24, June 1995.
- [3] T. Tomitaka et al., "New Software Servo System with a Single-chip Microprocessor for VCRs", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.34, No.3, Aug. 1988.

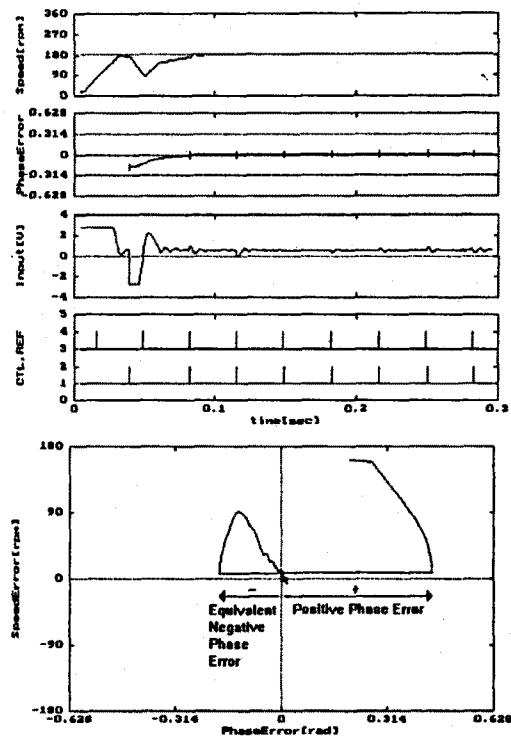


Fig. 5 Response of the bidirectional phase error predictor.

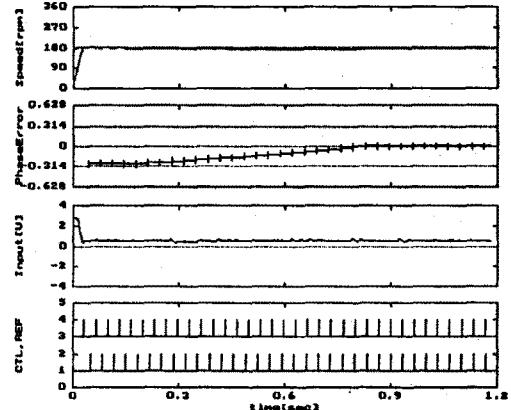


Fig. 6 Response of the conventional system.