

위상검파방식에 의한 AC Servomotor 속도 제어시스템의 구성에 관하여

On the Design of AC Servomotor Velocity Control System Based on Phase Detection Method

고 명 삼
김 동 일*

서울공대 제어계측공학과

1. 서론

전기써어보에 있어 직류전동기가 주류를 이루고 있으나 점차 교류전동기가 널리 사용되고 있다. 직류전동기가 장기간 주류를 접하고 있는 이유는 가변속도 제어가 용이하고 전류와 토크가 비례하는 특성때문이다 [1] [2]. 근래에 들어 반도체 기술과 재료공학의 발달로 교류전동기도 써어보 전동기의 조건을 만족시킬 수 있게 되었으며 특히 회전자가 영구자석인 동기전동기는 제어방식에 의하여 직류전동기와 동일한 특성을 갖추게 하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 이러한 동기교류 써어보 전동기의 가변속도 제어시스템을 구성하였다. 리졸버(Resolver)의 출력으로부터 전동기 각상의 권선에 흘려주어야 할 전류의 크기를 위상검파방식에 의해 결정하여 속도 제어증폭기의 피드백신호를 검출하기 위하여 전자식 타코제어랙이터를 구성하였다.

2. 속도 제어시스템의 구성 [3] [4]

2-1 교류써어보전동기의 구동원리

리졸버출력을 위상검파함으로써 전동기의 회전자 위치를 검출하여 영구자석인 회전자의 기자력과 계자의 기자력에 의한 토크가 최대가 되게 각상의 권선에 전류를 흘려줄 수 있다. 위상검파의 원리는 그림 2-1에 도시된 바와 같이 기준신호에 대한 입력신호의 위상차를 직류값으로 나타낸다. 실제로 리졸버는 $\sin \omega t$, $\cos \omega t$ 의 신호로 여자하게 되며 위상검파에서 기준신호가 $\sin \omega t$ 가 되며 입력신호는 리졸버의 출력 $\sin(\omega t + \theta)$ 가 된다. 여기서 θ 는 회전자의 회전각을 나타낸다. 이 출력신호를

기준신호로서 $\sin \omega t$, $\sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi)$, $\sin(\omega t + \frac{4}{3}\pi)$ 를 가지는 위상검파회로를 통하면 3상전압 $\sin \theta$, $\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi)$, $\sin(\theta + \frac{4}{3}\pi)$ 가 검출된다. 이들을 삼각파와 비교하여 전동기의 A, B, C상에 대응하는 PWM (Pulse Width Modulation) 신호를 발생시켜 인버터에 인가하면 각상의 권선전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \sin \theta \\ i_B &= I_m \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ i_C &= I_m \sin(\theta + \frac{4}{3}\pi) \end{aligned} \quad (2-1)$$

이때 각 권선에 흐르는 자속밀도 Φ_A, Φ_B, Φ_C

$$\begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_m \sin \theta \\ \Phi_B &= \Phi_m \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \Phi_C &= \Phi_m \sin(\theta + \frac{4}{3}\pi) \end{aligned} \quad (2-2)$$

로 주어진다. 이 경우 전동기에 발생하는 토크는

$$T = [\Phi_A \Phi_B \Phi_C] \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = 1.5 K \Phi_m I_m \quad (2-3)$$

K : constant

로 주어진다.

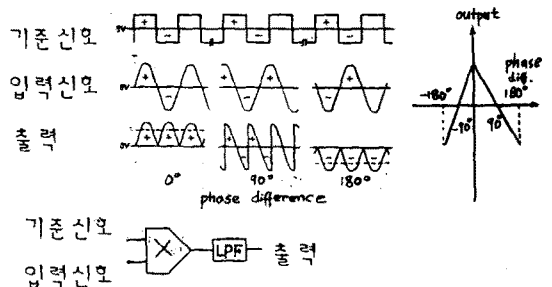


그림 2-1 위상검파의 원리

2-2 속도 제어시스템

속도 제어시스템의 전체 블록선도는 그림(2-2)에 도시되어 있으며 실제로 다음의 세부부분으로 나누어진다.

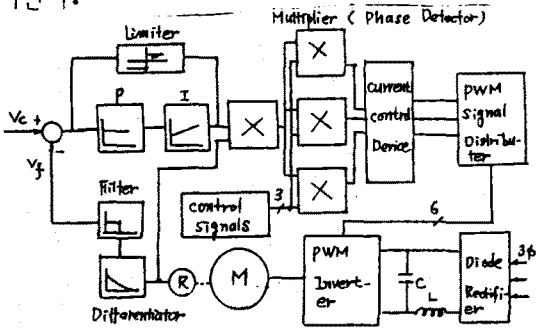


그림 2-2 속도 제어시스템 블록선도

1) 제어신호 발생기

제어신호 발생기는 플립플롭과 ÷10 카운터로 구성되어 속도 제어시스템에 필요한 모든 디지털 신호를 발생시킨다. 리졸버를 여자시키기 위한 $\sin\omega t$, $\cos\omega t$ 의 신호, 위상검파를 위한 $\frac{2}{3}$ 씩의 위상차를 가지는 기준신호 속도검출기에 필요한 제어신호들을 발생시킨다. 제어발생기에서 공급되는 모든 신호의 주파수는 5KHz이고 이 주파수를 얻기 위하여 1MHz의 기본주파수를 사용하고 있다. 이 부분은 전체시스템에서 가장 중요한 부분이며 회로는 그림(2-3a)에 표시되어 있다. 그림(2-3b)는 각 플립플롭의 출력파형과 리졸버를 여자시키기 위한 신호들을 나타내고 있다. 기본 클락으로 표시된 파형은 1MHz를 ÷10한 주파수를 가지고 있다.

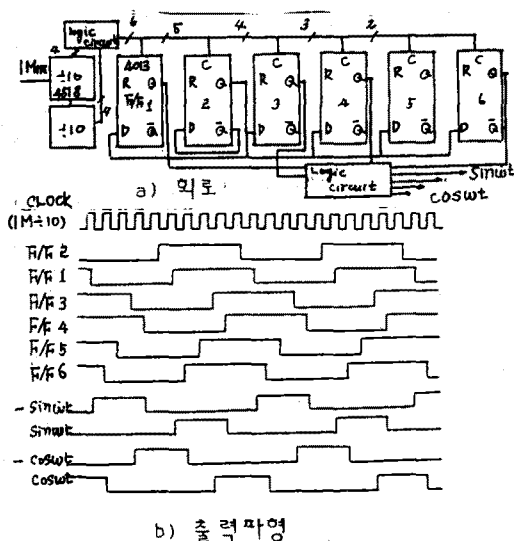


그림 2-3 제어신호 발생기와 출력파형

2) 속도검출기

전동기에 있어 타코 제너레이터는 속도정보를 검출하여 속도 제어증폭기에 피드백시키기 위해서 필수불가결한 요소이다. 리졸버의 출력전압은 식(2-4)에 표시된 바와 같이 회전자의 회전각만큼 위상변조된 교류전압으로 얻어짐으로 이를 이용하여 속도에 따라 선형적으로 변하는 직류값을 얻는 것이 필요하다. 식(2-4)를 미분하면 식(2-5)가 얻어진다.

$$e_r = E_m \sin(\omega t + \theta) \quad (2-4)$$

$$\frac{de_r}{dt} = E_m \left(\omega + \frac{d\theta}{dt} \right) \cos(\omega t + \theta) \quad (2-5)$$

여기서 만약 ω 와 θ 를 제거하면 속도는 위상의 시간적미분에 의해서 구할 수 있다. 또 속도는 아래 식들에서 주기의 변화분에 거의 비례함을 알 수 있다.

$$f_0 + \Delta f = \frac{1}{T_0 + \Delta T} \approx \frac{1}{T_0} \left(1 - \frac{\Delta T}{T_0} \right) = \frac{1}{T_0} - \frac{\Delta T}{T_0^2}$$

$$\Delta f = - \frac{\Delta T}{T_0^2} \quad (2-6)$$

실제로 구성한 속도검출기의 회로와 파형을 그림 2-4에 도시되어 있다. ω 와 θ 는 기준신호로서 플립플롭 2와 5의 출력을 사용하는 위상검파기에 의해서 제거된다. 위상에 대한 직류값의 크기를 나타내는 삼각파는 주파수 4채매기를 통하여 그림 2-4d의 형태를 가지며 이 신호를 시간에 대해 미분하면 속도에 대응하는 직류값을 얻게된다. 직류값과 속도의 관계는 다음과 같다.

$$E \propto \frac{w}{\omega} \quad (2-7) \quad (w: \text{전동기 각속도})$$

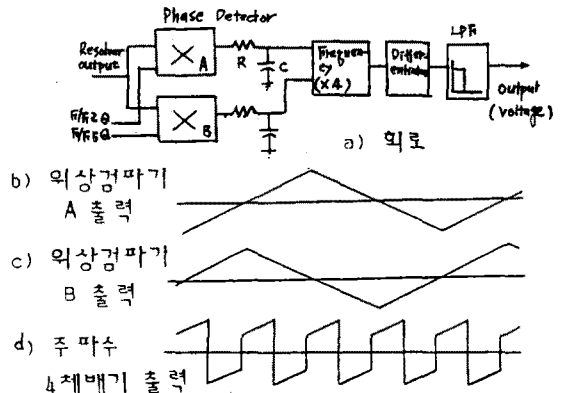
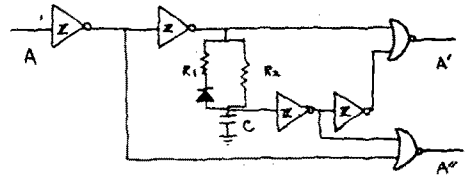


그림 2-4 속도검출기와 출력파형

3) PWM 신호발생기 (5)

PWM 신호발생기는 그림 2-5에 나타난 바와 같이 PI 속도 제어증폭기 외상검파기 PWM신호분배기로 구성된다.

PI 속도 제어증폭기는 속도 지령전압과 속도 검출기에서 피이드백되는 전압으로 부터 두 전압의 오차를 발생시켜 PWM 신호발생의 기본정보를 제공하게 된다. 속도 지령전압은 전동기가 정격속도일때 10V이고 정지상태에서 0V가 되며 속도 검출기에서 피이드백되는 전압은 정격속도에서 4.17V 정지상태에서 0V의 값을 가진다. PI 속도 제어증폭기는 제한기에 의해 $\pm 0.4V$ 의 범위의 오차신호 ε 을 출력한다. 이때 ε 의 값은 승산기에서 리플버출력 $E_m \sin(\omega t + \theta)$ 와 곱해진 후 외상검파기들에 의해 $\varepsilon E_m \sin \theta$, $\varepsilon E_m \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi)$, $\varepsilon E_m \sin(\theta + \frac{4}{3}\pi)$ 의 3상 전압을 출력하게 된다. 승산기의 역할은 ε 값에 의해 리플버출력 전압의 크기를 변화시켜 속도 지령에 비례한 속도로, 전동기를 운전하는 것이며 외상검파기는 3상전압을 출력하여 계자의 각 전선에 공급되어야 하는 전류를 결정하는 PWM 신호에 관한 정보를 제공한다. 그림 2-5는 인버터의 각 트랜지스터에 인가되는 PWM 신호발생회로를 도시하고 있다. 그림에서 A, B, C의 신호는 앞서 얻어진 3상전압을 삼각파와 비교한 후 얻어진 것이므로 인버터의 각상의 트랜지스터를 구동하기 위해서는 PWM 신호분배기를 통하여야 한다. 그림 2-5b는 PWM 신호분배기의 회로를 나타내고 있다.



b) PWM 신호분배기

그림 2-5 PWM 신호발생기

3. 실험 및 결과

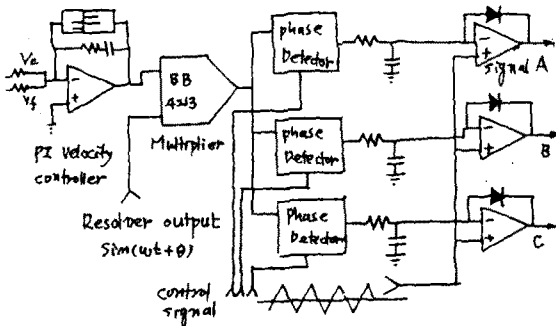
구성한 속도 제어시스템으로 리플버가 부착된 100W동기교류써어보전동기의 가변속도 제어를 행하였다. 실험에서 속도 지령전압 0-10V에 대하여 전동기회전속도가 0-2500rpm(정격)까지 가변됨을 확인하였고 속도 검출기의 출력도 0-4.17V 범위에서 피이드백되었다.

4. 결론

본 연구에서는 외상검파방식에 의한 교류써어보전동기 속도 제어시스템을 구성하였으며 이 방식에서는 항상 외전자의 직전각을 검출하여 전동기가 최대토크에서 동작하도록 각상의 권선에 전류를 공급할 수 있었다. 실험에서 정격까지 가변속도 제어를 행하여 속도 지령전압에 대하여 속도가 선형적으로 가변됨을 관찰할 수 있었다.

5. 참고문헌

- 1 A.C. Servo Motor RA10/RA20, Series, Toshiba Electric Co., Japan, 1983.
- 2 Technical Manual for Brushless Servo Systems, Toei Electric Co., Japan, 1983
- 3 Bimal K. Bose, "Adjustable Speed A.C. Drive-A Technology Status Review," Proceeding of IEEE, vol.70, No.2, pp.116-134, Feb., 1982
- 4 F. Harashima, "Dynamic Performance of self-controlled Synchronous Motor Fed by Current-Source Inverter," IEEE Trans. on IA, vol.15, pp.33-46, Jan/Feb, 1979
- 5 H.S. Patel, R.G. Hoff, "Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverter : Part I Harmonic Elimination," IEEE Trans. on IA, vol. 9, No.1, pp.310-317, May/June, 1973



a) PWM 신호발생회로