

자동나사제결기의 토크제어를 위한 AC 2상서보모터 제어회로 설계

김기엽 김일환 박찬응

한국기계연구소 자동제어실

A Two-phase Servo Motor Control Circuit for the Nut -Runners
employing the Tightening Torque Control Method

Gi-Yeop Kim Il-Hwan Kim Chan-Woong Bahk

Automatic Control Lab. Korea Institute of Machinery & Metals

Abstract

A simple hybrid circuit to control the two-phase AC motor of the nut-runners which employ the tightening torque control system is described in this paper. The circuit has emphasis on the low-cost implementation. The circuit constitutes of the V/F converter using a timer IC, the pulse width modulator using the fastening torque signal and the two-phase logic sequencer.

1. 서론

기계조립현장에서 나사의 토크를 제어하는 자동 나사 제결기의 모터는 신뢰성이 가장 큰 문제가 된다. 그리고 나사 제결기의 적용 범위를 넓히려면 모터가 소형이어야 하므로 적정 토크를 발생하기 위해서는 고속회전이 필요하고 시스템의 가격이 낮을 것이 요구된다. 따라서 나사제결기의 모터로서는 AC 유도 모터가 적절하다. 본 논문에서는 이와같은 용도로 개발된 2상 유도 모터 제어 회로를 소개한다. 이 회로설계의 주안점은 저가격화로서 나사의 토크제어가 목적이므로 토크 트랜스듀서가 제공되고 속도의 정밀도는 요구되지 않으므로 저가격화를 위하여 속도 트랜스듀서는 사용하지 않는다. 회전 속도 범위는 600-12,000 rpm의 범위로 하였다.

AC 모터의 회전속도 n은 다음과 같이 주어진다.

$$n = (120f/p) \cdot (1-s) \text{ [rpm]} \quad (1)$$

단, p : 극수

f : 구동 전원의 주파수 [Hz]

s : 슬립

따라서 AC 모터의 제어 방법에는 여러가지 있으나 [1,2] 근본적으로 p, f, s 중 어느 하나를 변화시켜 제어할 수 있다. 이중 극수 p를 변화시키는 방법은 모터의 구조가 복잡해지고 변속범위도 좁기 때문에 용도가 제한되며 슬립 s를 변화시키는 방법은 속도 트랜스듀서가 필요하다. 주파수 f를 변화시키는 방법은 넓은 범위에서 연속적이며 리니어하게 모터를 제어할 수 있다. 가장 많이 사용되는 방법으로는 전압/주파수 비(V/F)를 일정하게 제어하여 속도에 관계없이 최대 토크를 일정하게 유지시키는 방법이다. 여기에서는 변속 범위가 넓기 때문에 전압을 부하토크에 따라 변경시켜 효율향상을 도모하였다. 제어 회로는 타이머 IC를 이용한 전압-주파수 변환기(VFC)와 펄스폭 제어기 및 D형 플립 플롭을 사용한 로직시퀀서로 간단히 구성된다.

2. 제어회로의 구성

본제어기의 구성은 그림1과 같다. 그림2는 이 제어기의 동작을 보여 주기 위해 그림1의 각 부위의

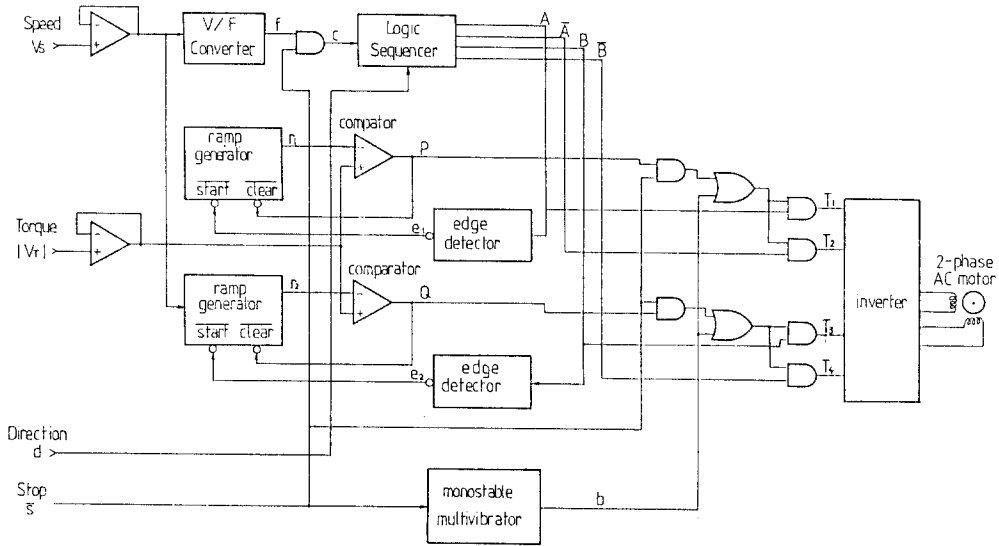


그림1. 제어기 구성도

Fig.1. Block diagram of the control circuit

신호파형을 나타낸 것이다. 그림1에서 로직 시퀀서(Logic Sequencer)는 2상AC 모터의 상을 여자시키는 순서를 제어하는 신호를 출력한다. 이 신호는 2상 여자방식의 바이폴라(bipolar) 구동을 위하여 4개의 제어신호 A, \bar{A}, B, \bar{B} 로 구성된다. 램프(ramp)신호 r_1, r_2 는 같은 기울기를 가지며 그 값의 크기는 속도리퍼전압 V_s 에 비례한다. 이 두 신호는 A, \bar{A}, B, \bar{B} 의 상 여자 개시때 발생되어 그 크기가 부하 토크전압 V_t 와 같아질 때 클리어 된다. A, \bar{A}, B, \bar{B} 상 여자 개시점은 여자제어신호 A, B 의 에지(edge)를 검출하여 찾는다. 이렇게 램프신호가 발생되어 클리어 되는 동안의 시간이 실제 상 여자 시간이 되며, 이 시간은 부하토크 V_t 의 크기에 비례하게 된다. 이것은 램프발생기와 에지검출기가 펄스폭제어기의 역할을 하는것을 말한다. 나사체결기는 나사가 규정된 토크로 체결이 완료된 순간 즉시 모터를 정지시켜야 하는데 모터를 정지시키는 방법으로 기계적인 보수가 필요없는 DC브레이크 방법이 효과적이다. 이 방법은 모터의 고정자 권선에 일정시간동안 직류전류를 공급함으로써 정지토크를 발생시키는 방법이다. 그림1에서 정지신호 $\bar{s}=0$ 이 되는데 로직시퀀서의

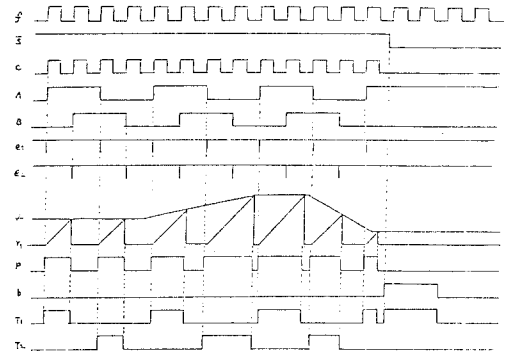


그림2. 제어기의 동작 파형

Fig.2. Important Waveforms of the circuit

클럭신호 c 가 0으로 정지되어 여자신호 A, \bar{A}, B, \bar{B} 는 상태변화 없이 정지된다. 한편 $\bar{s}=0$ 이 되는 순간 단안정 멀티 바이브레이터가 트리거 되어 일정시간 동안 그때 여자되어 있는 권선에 전류를 흐르게 하여 DC브레이크가 이루어진다. 그림1의 각부분의 회로는 다음과 같다.

(1) 전압/주파수 변환기(VFC)

VFC는 속도리퍼전압 V_s 에 비례하는 펄스를

출력하는 회로로 그림3 과 같이 구성하였다. 여기서 A1은 연산증폭기, T1은 타이머IC이다. 이 회로의 동작원리는 다음과 같다.

$$V_3 = R_2 + R_3 / R_2 \cdot V_1 \quad (2)$$

이고

$$i_c = (V_3 - V_1) / R_4 + (V_s - V_1) / R_1 \quad (3)$$

이므로

$$i_c = (R_3 / R_2 R_4 - 1 / R_1) V_1 + V_s / R_1 \quad (4)$$

따라서

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (5)$$

이면

$$i_c = V_s / R_1 \quad (6)$$

이고

$$\begin{aligned} V_1 &= 1/C \int i_c dt \\ &= V_s \cdot t / (R_1 C_1) \end{aligned} \quad (7)$$

이 된다. 즉 C1에 흐르는 전류 i_c 는 속도지령전압에 따라 결정되고 전압 V_1 은 V_s 에 비례하는 기울기를 갖는 램프신호가 되며 그 기울기는 $V_s / (R_1 C_1)$ 이다. $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ 로 정하면 $V_3 = 2V_1$ 이 되어 V_3 는 V_1 보다 2배의 기울기로 증가한다. V_3 가 증가하여 타이머IC의 제어전압($V_{control}$)보다 커지면 즉시 C1이 방전하여 $V_1=0$ 이 된다. 이 때 V_4 도 0V 가까이 떨어지게 되고 C2는 R6를 통하여 방전하게 된다. C2는 R6와 함께 C1이 충분히 방전할 시간을 확보하도록 타이머IC의 트리거 신호를 늦추어주는 역할을 한다. C2가 방전되어 트리거 전압이 되면 타이머IC의 출력전압 V_4 는 4V 이상의 논리1의 전압으로 올라가며 C1은 다시 원래의 충전상태로 되돌아가게 된다. 이와같은 동작을 반복함으로써 타이머IC의 출력에는 속도지령전압 V_s 에 비례하는 주파수의 펄스가 출력된다. 이 회로의 주요부위의 신호파형은 그림4와 같다. 플립플롭 D1은 타이머IC 출력펄스의 주파수를 1/2로 낮추며 동시에 듀티 사이클 50%의 펄스로 정형한다.

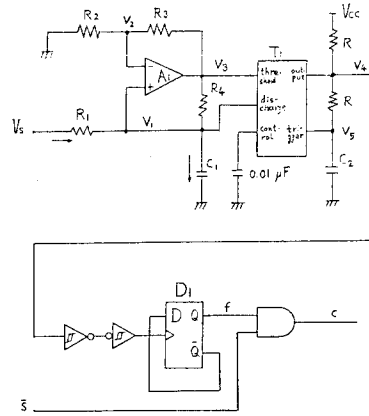


그림3. 전압/주파수 변환회로(VFC)
Fig.3. V/F Converter

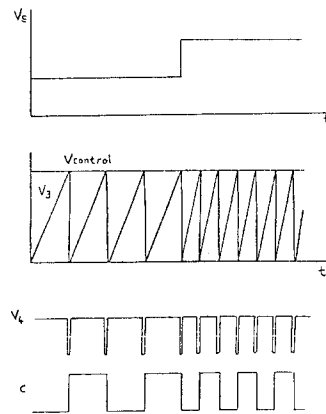


그림4. VFC 동작 신호 파형
Fig.4. Waveforms of the VFC

(2) 로직시퀀서

이 회로는 모터의 회전방향 d에 따라 상여자 순서를 제어하는 신호를 출력한다. 2상 모터를 대상으로 하였으므로 상태천이도는 그림5와 같이 된다. 이 상태천이도로부터 두 상태 A, B는

$$A(k+1) = d \cdot \bar{B}(k) + \bar{d} \cdot B(k) \quad (8)$$

$$B(k+1) = d \cdot A(k) + \bar{d} \cdot \bar{A}(k) \quad (9)$$

가 됨을 쉽게 알 수 있다.

(8), (9) 두 식을 이용하면 그림6과 같이 D형 플립플롭으로 간단히 실현된다.

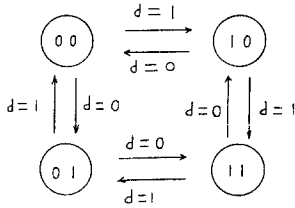


그림5. 상태전이도

Fig.5. State transition diagram

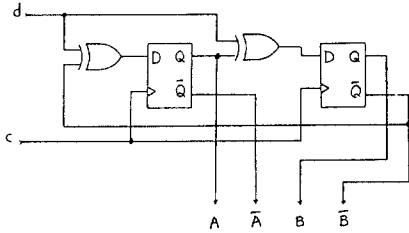


그림6. 로직시퀀서 회로

Fig.6. Logic Sequencer

(3) 펄스폭 제어기

펄스폭 제어기는 그림7과 같이 램프발생기와 타이머IC에 내재된 비교기기능 및 타이머IC를 트리거하기 위한 예지검출기로 구성된다. 펄스폭 T_p 는 부하토크 신호 전압이 V_t ($V_t > 0$)일 때 (7)식으로부터

$$V_s / (RC) \cdot T_p = V_t \quad (10)$$

이므로

$$T_p = V_t RC / V_s \quad (11)$$

로 된다. 즉 V_s 가 일정할 때 모터에 전압을 가하는 시간은 부하토크 V_t 에 비례하게 되어 부하가 커지면 모터에 더 많은 전력을 공급하게 된다.

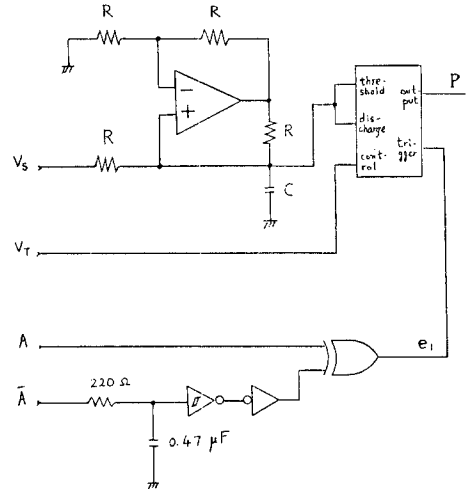


그림7. 1상당 펄스폭 제어 회로

Fig.7. per phase PWM circuit

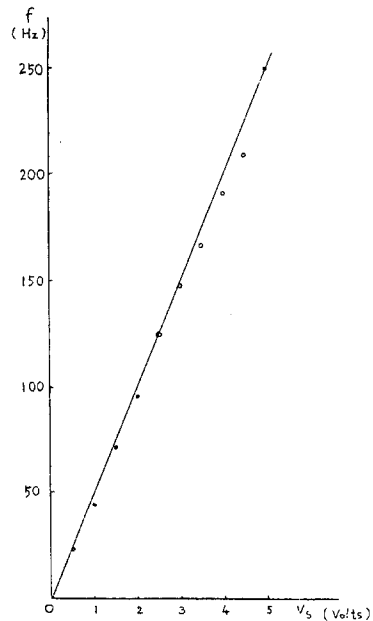


그림8. VFC 실험 자료

Fig.8. Test results of the VFC

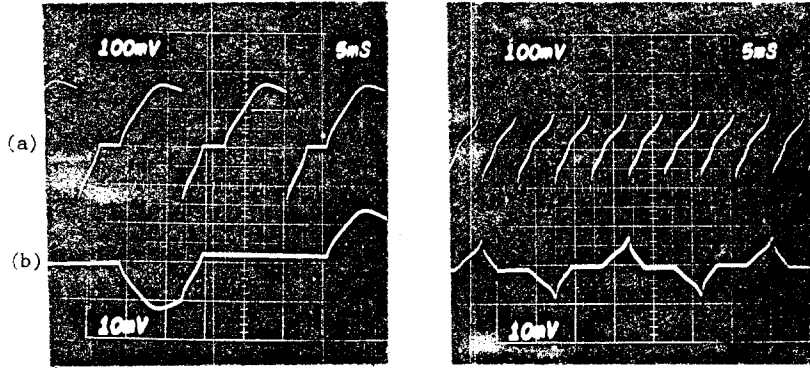


그림9. 전류파형 (a) 전원 전류 (b) 1상 전류

Fig.9. Current Waveforms

- (a) Power Supply Current
- (b) per phase motor current

3. 실험 및 결과

연산증폭기로 LM324, 타이머IC로는 NE555을 사용하여 VFC와 펄스폭제어기를 구성하였다. VFC는 그림3에서 $R1=R2=R3=R4=15K\Omega$, $R5=1.2K\Omega$, $R6=3.3K\Omega$, $C1=0.1\mu F$, $C2=0.0047\mu F$ 로 하였는데, 이것은 $0 < V_s < 5V$ 때 $f=50V_s[Hz]$ 의 관계를 갖도록 한 것이다.

그림8은 이 VFC의 실험치를 보여준다. 그림9의 사진은 이 제어기를 트랜지스터 인버터와 결합하여 실제 모터를 구동할 때의 모터 구동 전원 전류 파형과 1상에 흐르는 전류 파형을 보여준다.

4. 결론

부하 토크 신호를 이용하여 모터 구동 전압을 제어하며 VFC로 회전 속도를 제어하는 AC 모터 제어 회로를 설계하였다. 회로는 매우 간단하나 실험을 통하여 충분히 실용적임을 확인하였다.

참고문헌

1. B.K.Bose "Adjustable Speed AC Drives - A Technology Status Review" Proc. IEEE Vol.70, No.2, Feb. 1982, pp116-135
2. D.P.Connors, D.A.Jarc and R.H.Daugherty "Considerations in Applying Induction Motors with Solid - State Adjustable Frequency Controllers" IEEE Trans. on Ind. Application Vol.IA-20, No.1, Jan. 1984, pp113-121