

# Microcomputer에 의한 3상유도전동기의 속도제어에 관한 연구

(전동기의 효율향상을 중심으로)

論 文
31~4~4

## A Study on the Microcomputer-based Three Phase Induction Motor Speed Control

鄭 然 澤\*·李 仕 永\*\*  
(Yantack Chung·Sa-Young Lee)

### Abstract

This paper describes how to improve a induction moter efficiency by a slip frequency control. Digital filter controlled by microcomputer is introduced in control system of a constant speed-drive and it has prove that the moter can be driven with a high efficiency at a constant slip frequency.

The constant slip frequency control method has a merit of simplness.

### 1. 서 론

유도전동기는 구조가 간단하고 값이 싼 전동기로서 가장 널리 사용되고 있으나 저부하시는 저역율, 저효율이고 변속을 쉽게 할 수 없다는 단점을 가지고 있다 근래에는 반도체기술의 발전으로 가변주파수의 전원장치가 개발되고 이에 의한 가변속은 여러방면으로 응용되고 있으며 속도제어는 저속에서 공극자속의 감소를 방지하여 항상 큰 토크를 얻기 위한 방법으로 통상  $v/f$ 를 일정하게하는 제어방법<sup>(1)~(4)</sup>이 가장 일반적이였다.

그러나 공극자속을 일정하게 하는 제어방식에서 저부하시의 철손에 의한 손실은 효율을 저하시키므로 저부하시의 효율개선을 위하여는 공극자속이 부하에 따라 가변되어야 한다는 효율상의 가변속문제 및 저부하시의 효율향상에 관한 연구<sup>(5)</sup>도 활발히 진행되고 있다 본 논문은 전류형인버터에 의한 슬립주파수의 제어에 의한 방법<sup>(2)~(4)</sup>이며 최고효율운전이 좁은 슬립주파수의 범위인것을 입증하고 일정 슬립주파수로 고효율운전을 하였다.

제어계의 안정과 정속도운전을 위하여  $\mu$ -COM에 의한 digital-filter를 도입하였고 슬립주파수를 일정하게 하므로 제어계를 간단하게 하였다.

### 2. 유도전동기의 속도제어계

그림 1과 같은 유도전동기의 간이등가회로로부터 효율은

$$\eta = \frac{R_2/s - R_2}{K_1 f (2\pi L_1 + 2\pi L_2)^2 + (R_1 + R_2/s)^2} \cdot K_1 / f + (R_1 + R_2/s) \quad (1)$$

( $\because G = K_1 / f$ )

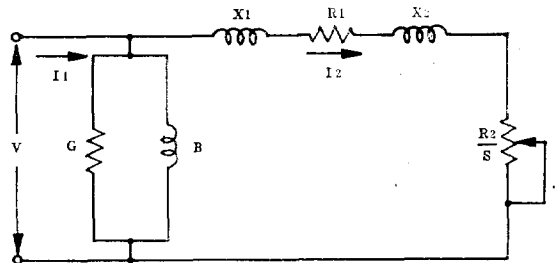


그림 1. 유도전동기의 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit

으로 되어 1차주파수와 슬립을 일정하게 유지하면 전동기 효율은 부하의 크기에 관계없이 일정하며 전동기의 속도가 정해지면 이에 따른  $f$ 와  $s$ 의 선정으로 고효율운전이 가능하다.

식 (1)을 슬립주파수  $f_s$ 로 표시하면

$$\eta = \frac{R_2 / f_s - R_2 / f}{K_1 (2\pi L_1 + 2\pi L_2)^2 + K_1 R_2^2 / f_s^2 + R_2 / f_s + K R_1^2 / f^2 + 2K_1 R_1 R_2 / f f_s + R_1 / f} \quad (2)$$

\* 正 會 員 : 明知大 電氣工學科 教授 · 工博  
\*\* 正 會 員 : 明知大 電氣工學科 助教  
接受日字 : 1982年 4月 1日

으로 되어 전동기의 회전속도가 높아지면 효율은 상승되며 전동기의 속도에 따르는 최고효율은 식 (2)에서  $dn/df_s=0$  (3)의 식으로 산출된다.

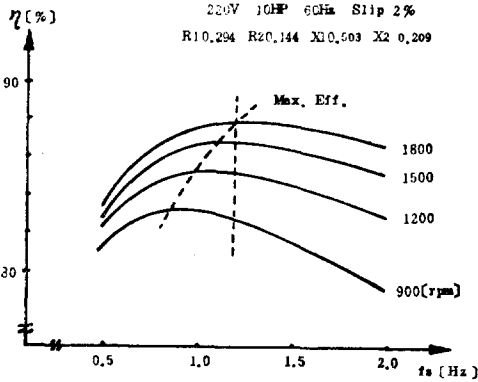


그림 2. 슬립주파수와 효율  
Fig. 2. Efficiency for slip frequency

전동기의 속도가 일정한 경우는 식 (3)에 의한 1차주파수와 슬립주파수로 최고효율운전이 가능하지만 가변되는 속도가 요구될때는 그림 2와 식 (2)로부터 효율적인 운전은 공극자속을 가변시키기 위한 다음 두가지 방법으로 제시될 수 있다.

- ①  $v$ 와  $f_s$ 의 동시가변
- ②  $v$ 만의 가변

위의 방법중 첫째방법은  $f$ 와  $f_s$ 의 관계가 최고 효율

점으로 하는 최고효율을 위한 제어방식으로 전압 혹은 전류제어에 의하여 전동기의 속도를 요구되는 속도로 유지하고  $f_s$ 를 가변하는 슬립주파수의 제어방식으로 최고 효율점을 찾아야 한다.

둘째방법은 슬립주파수를 고정시키므로 전동기의 속도에 의해서 전압 혹은 전류를 가변하는 제어방식으로 제어계가 상당히 간편해지며 고효율운전이 가능하다. 이와 같은 점에서 두번째 방법을 택하였으며 그림 3은 유도전동기의 속도제어계 block diagram이다.

### 3. Hardware

그림 2의 제어계를 위하여 전류원은 analog회로에 의하고  $\mu$ -COM과의 접속은 그림 4와 같이 hardware를 구성하였다.

그림 4의 회로는 전동기의 회전속도가 1회전주기마다 16bit로 검출되며  $\mu$ -COM에 interrupt가 지령된다.

frequency divider는 16bit, D-A converter는 12bit로  $\mu$ -COM에서 지령된 data에 의하여 인버터의 주파수 및 전류의 크기를 결정한다.

이들 주변회로는 모두 data BUS에 직접 연결하였으며 속도는 key board에서 지령한다.

$\mu$ -COM의 실행은 speed encoder에서 interrupt가 요구되면 검출된 전동기의 주기와 key board에서의 속도에 의하여 frequency divider 및 D-A converter에 data를 지령한다.

### 4. Software

#### (1) Digital Filter 및 기동

그림 3의 filter는  $\mu$ -COM에 의한 digital filter이고 오차검출기의 출력이 정상상태에서 0이 되도록 저분기 형태의 low pass filter로서 전달함수가  $K_2(s+\lambda_1)/s$ 으로 되도록 하였다.

이를 만족하는 Z-transform에 따른 block diagram은 그림 5로 표시되며

$$I_R(z)/C(z) = K_2\lambda_1(Z/Z-1) + K_2 = \{K_2 + K_2\lambda_1(1+Z^{-1}+Z^{-2}+\dots)\} \quad (4)$$

식 (4)에서  $C(z)$ 를 다음과 같이 표시하며

$$C(z) = C_0 + C_1Z^{-1} + C_2Z^{-2} + \dots \quad (5)$$

출력  $I_R(z)$ 는

$$I_R(z) = C(z) \cdot G(z) = A_0 + A_1Z^{-1} + A_2Z^{-2} + \dots$$

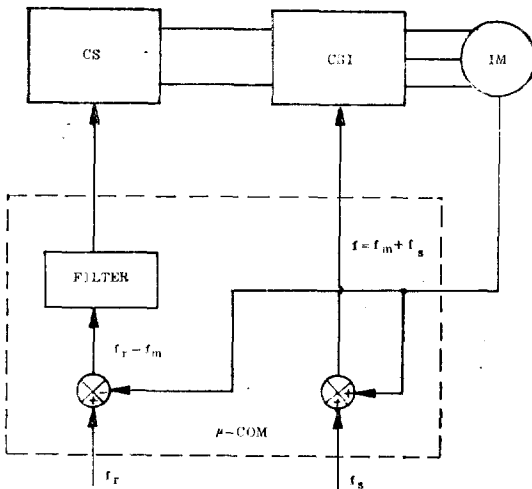


그림 3. 유도전동기의 속도제어계  
Fig. 3. Speed control system of induction motor

으로

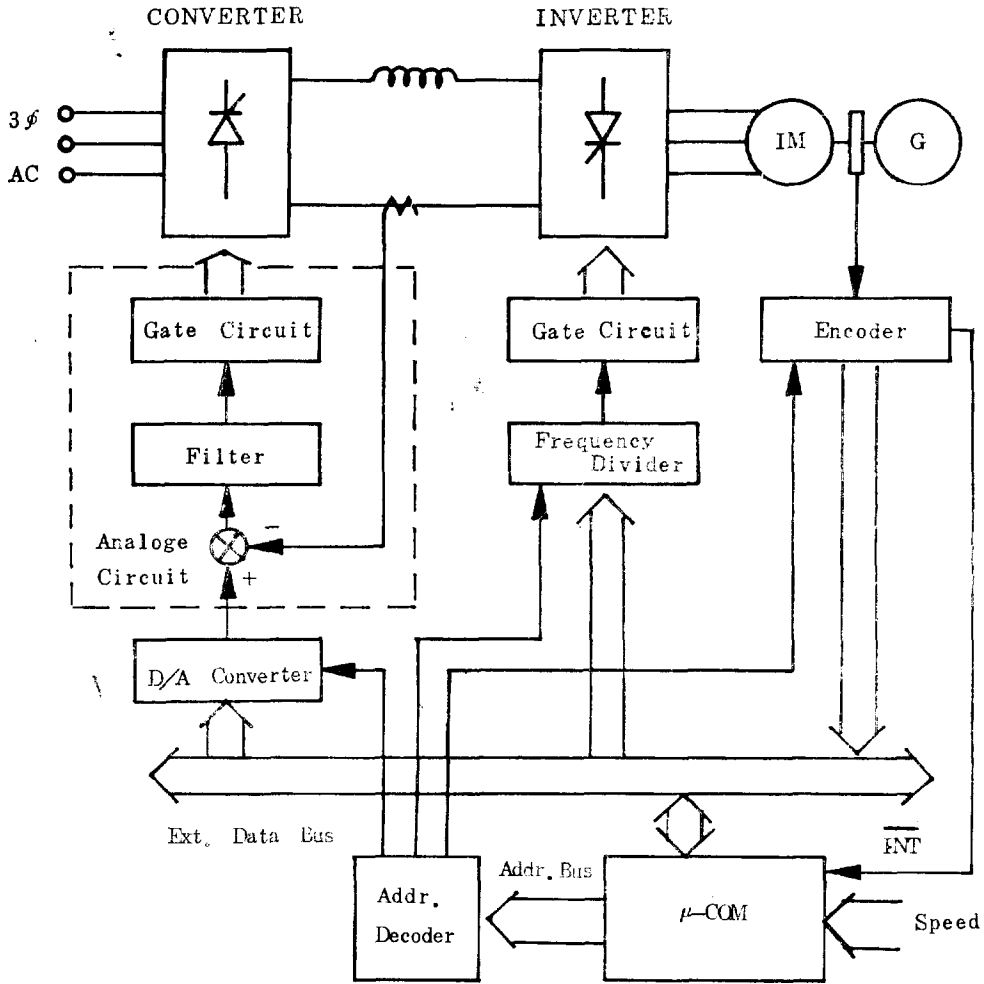


그림 4. 하드웨어  
Fig. 4. Hardware

유도전동기의 토크는  $f_s$ 가 정해지면 다음식으로 표시된다.

$$T \propto I_2^2 \propto I_1^2 \quad (7)$$

식 (7)에 의하여 1차전류에 의한 간접적인 2차전류]는 큰 토크를 발생시키고 이 토크에 의하여 급속한 기동이 가능하다.

(2) Flow-Chart

식(6) 식(7)에 의한 전프로그램의 flow-chart는 그림 6과 같으며 전동기축의 1주기 회전시마다 interrupt에 의하여 프로그램을 실행한다.

그림 6의 flow-chart에서

$$f = f_u + f_s' \quad (8)$$

여기서  $f_s'$  = 최대토크에의 슬립주파수

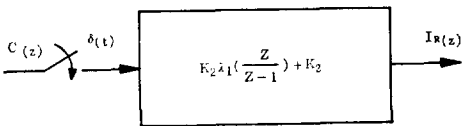


그림 5. 디지털 필터  
Fig. 5. Digital filter

$$A_n = K_2 \lambda_1 \sum_{i=0}^n C_i + K_2 C_n \quad (6)$$

이며

식 (6)에 의한 프로그램으로 원하는 filter를 구성한다.

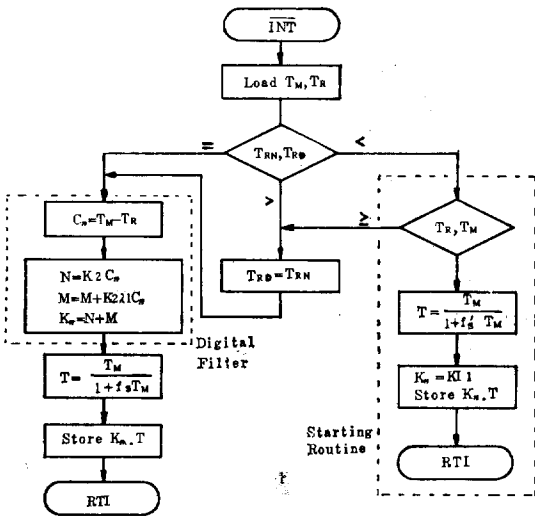


그림 6. 플로우 차트  
Fig. 6. Flow-Chart

의 관계로 식(8)은 다시

$$T = T_M / (1 + f_s T_M) \quad (9)$$

으로 전동기의 주파수를 starting routine에서 계산하며 일정한 기동전류에 의하여 전동기는 가속된다.

가속된 전동기는 starting routine을 벗어나 digital filter에 의하여 정속도로 운전이 되며 슬립주파수는 항상 일정치로 유지된다.

### 5. 실험 및 결과

#### (1) 제어계의 안정

Digital filter를 analog계로 변환하고 전동기의 전기적시정수는 전류원의 시정수가 크므로 무시하여 제어계는 그림 7과 같이 된다.

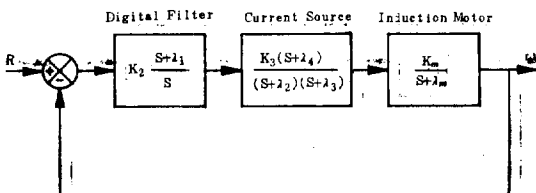


그림 7. 제어계의 Block-diagram  
Fig. 7. Block-diagram of control system

제어계의 GH는

$$GH = \frac{K_2 K_s K_m (s + \lambda_1) (s + \lambda_4)}{s (s + \lambda_2) (s + \lambda_3) (s + \lambda_m)} \quad (10)$$

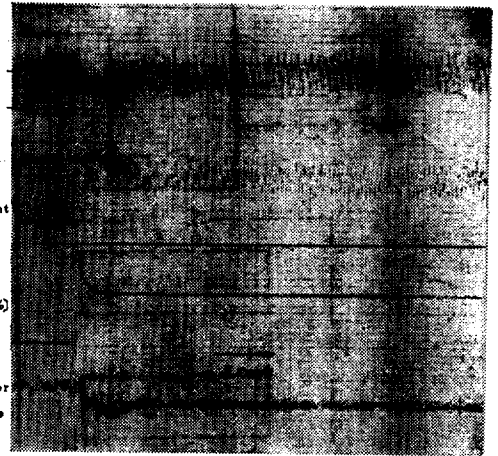


그림 8. 제어계의 step 응답  
Fig. 8. Step response of control system

이며 각정수와 전동기정수의 변동범위내에서 filter정수  $K_2$ 와  $\lambda_1$ 에 의하여 제어계를 안정하게 하였다.

#### (2) 결과 및 고찰

$\mu$ -COM은 모토롤라 6,800으로 구성되어 있으며 사용된 유도전동기는 4극, 2HP, 1,700rpm의 3 $\phi$ 전동기이고 2HP 110V의 D.C발전기가 직결되어 있다.

전동기의 각회전수에 슬립주파수를 변화시켰을때 효율(DC발전기출력/콘버터AC입력)은 그림 9와 같이 나타났다.

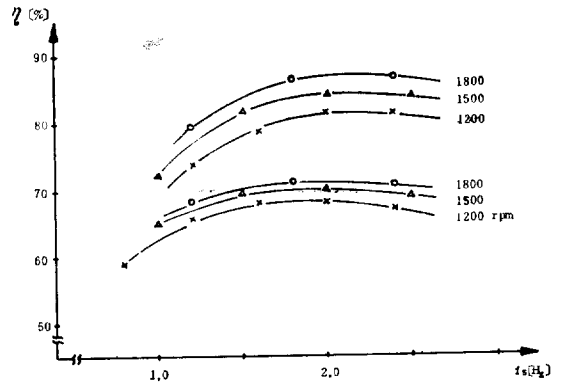


그림 9. 슬립주파수에 의한 효율  
Fig. 9. Efficiency for slip frequency

진술한 바와 같이 최적 운전에 있어 슬립주파수의 변화는 미소하고 슬립주파수를 일정하게 유지했을때에도 고효율 운전이 됨을 알 수 있다.

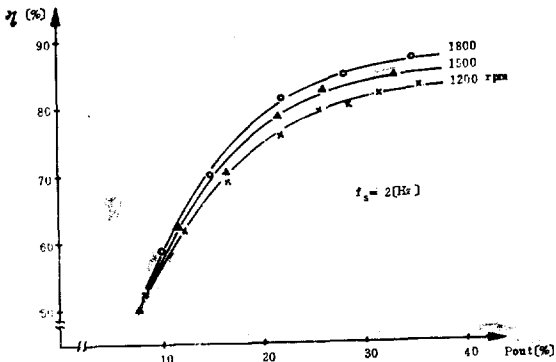


그림 10. 일정슬립주파수에 의한 효율  
 Fig. 10. Efficiency for constant slip frequency

그림 10은 슬립주파수를 2(Hz)로하여 운전했을때의 부하에 따른 효율을 측정 한 것이다.

유도전동기가 저속 운전되는 경우에 있어서  $f_s$ 를 일정하게 하므로 슬립의 증가는 2차전류를 증가시키고 이에 의하여 적은 출력에서 자속포화가 일어난다.

따라서 저속운전의 경우는 부하의 크기가 자기포화점에서 제한 되어야 한다.

## 6. 결 론

유도전동기의 운전에 있어서  $\mu$ -COM을 사용한 Digital 제어계를 Analoge계로 변화시켜 안정성을 판별하고 전동기의 고효율운전에 다음과 같은 결론을 얻었다

- ① 유도전동기의 운전에서 최고효율은 좁은 슬립주파수 범위이다.
- ② 일정 슬립주파수의 운전으로 고효율운전이 가능

하며

③ 이와같은 제어방법은 제어계통 제어방법 등을 간편화시킬 수 있으며

④ digital filter의 도입으로 부하의 크기에 관계없는 정속도운전이 가능하였다.

이상과 같은 결과에 일정 슬립주파수의 제어방법은 고효율 운전이되므로 유도전동기의 광범위한 속도제어에 적합한 방식이다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Mauch & M.R.Ito; "A multimicroprocessor AC drive controller" IEEE Conference Record IAS Annual Meeting pp.634~640, 1980.
- [2] P.C SEN & W.S. Mok; "Induction moter drives with microcomputer control system". IEEE Conference Rocord IAS Annual Meeting pp.653~662, 1980.
- [3] Honbu Mitsuyuki, Matsuda Yasuo, Okawa Tadashi, Matsudaira Nobunori, Nagato Yuichiro; "Speed control of thyristor inverter/induction moter drive" vol. 60, No. 6, pp.23~28, 1978.
- [4] J.M.D. Murphy; "Thyristor control of AC motor" Pergamon PRESS pp.104~122, 1975.
- [5] Min Ho, Park and Seung Gi, Sul; "The microprocessor based optimal efficiency drive of induction motor" IEEE IECI Proc, pp. 387~392, 1981.
- [6] S.A. NASAR; "Electromagnetic energy conversion devices & system" Prentice-Hall INC pp.261~265, 1970