

마이크로프로세서에 의한 가변속 유도 전동기의 고효율 운전에 관한 연구

윤병도, 최승준, 김일환\*  
 중앙대학교 전기공학과, 제주전문대 전자과, 중앙대학교 전기공학과\*

A Study on the High Performance Driving of Variable Speed Control for Induction Motor used Microprocessor

Byung-Do Yoon, Sung-Jun Choi, Bel-Hwan Kim\*  
 Chung-Ang Univ, Che-ju junior college, Chung-Ang Univ\*

ABSTRACT

This paper describes a new pwm scheme of variable speed control for induction motor. The proposed scheme have the programmed pwm switching pattern which have the dominant harmonic elimination over the wide range of output speed in induction motor. Experimental results of proposed scheme have high quality output current, voltage and torque than that of conventional pwm scheme. Therefore proposed scheme have the smooth operation and suitable for variable speed control in induction motor.

1. 서론  
 직류기는 제어성능이 우수하지만 브러쉬에 의해 발생되는 불꽃과 브러쉬마모에 대한 대책이 필요하고 또 정기적인 유지보수를 필요로 한다. 따라서 반영구적인 시스템에 적용하기에는 불합리하다. 그래서 이러한 문제점을 해결해 주고 제어가 간단하며 가격이 저렴한 유도전동기가 가변속운전을 요하는 산업현장에서 널리 사용되고 있는데 제어시스템으로 인버터를 채용하여 운전하고 있다. 그러나 인버터에 의해 유도전동기를 가변속 할때 PWM 제어에 의해 이루어지는데 보편적인 시스템에서는 인버터 운전주파수 1 주기당 PWM 펄스수가 항상 일정한 펄스수를 갖는 시스템이 사용되고 있다. 이러한 제어방법을 사용하였을 경우 저속에서 전류파형이 아주 거칠어지고 DC link 회로에서 전류의 ripple도 더욱 나빠진다. 따라서 출력토크의 특성도 나빠진다. 또한 PWM 인버터 구동에 의한 고조파 발생으로 전동기에서 손실이 증대되고 노이즈까지 발생한다. 따라서 본 연구에서는 PWM 인버터 구동시 발생하는 전압 고조파 성분을 줄이고 [1], 전운전 주파수에서 최저 고조파 성분  $f_d$ 가 1Kz에서 1.5Kz 범위에 늘 유지하도록 하고 1 주기에서 PWM 펄스수를 6 구간으로 나누어 속도 지령에 따라서 1 주기당 펄스수가 32-198개 까지 가변하도록 하고 고속에서 저속으로 올수록 1 주기당 펄스수를 많이 발생하도록 하여 전류파형을 매끄럽게 하고 출력토크 특성을 개선시키고 고조파에 의해 발생하는 전동기에서의 손실과 [2], 발생 노이즈를 줄이도록 [3] 하는 특별한 스위칭 패턴을 갖는 PWM 인버터 제어 시스템을 제안하고자 한다.

2. 제어 이론

본 연구에서 제안된 시스템을 구성하기 위해서는 전동기 전운전주파수 영역에서 PWM 인버터에서 발생하는 고조파를 저차 고조파에서 1 KHz까지 동시에 제거할 수 있는 특별한 스위칭 패턴을 만들어야 한다. 따라서 전압 고조파를 제거하기 위한, 출력파형의 반주기내에서의 펄스수가 M개인 PWM 스위칭 패턴은 fig.1과 같이 나타낼 수 있고 이러한 패턴식을 프리에 급수로 나타내면 식(1)과 같이 주어진다.

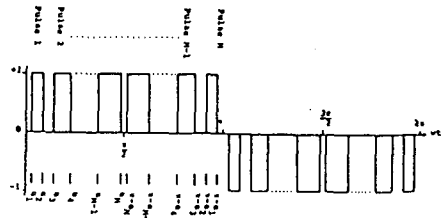


Fig.1 Generalized output waveform of full bridge inverter.

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)] \quad (1)$$

여기서

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (2)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (3)$$

반파 대칭 일때는

$$a_n = \frac{4}{n\pi} [1 + 2 \sum_{k=1}^M (-1)^k \cos n\alpha_k] \quad (4)$$

$$b_n = 0 \quad (5)$$

전압제어와 동시에 고조파 제거를 위한 비선형 방정식은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} -2\cos\alpha_1 + 2\cos\alpha_2 - 2\cos\alpha_3 & \dots & (-1)^M \cos\alpha_M \\ -2\cos5\alpha_1 + 2\cos5\alpha_2 - 2\cos5\alpha_3 & \dots & (-1)^M \cos5\alpha_M \\ -2\cos7\alpha_1 + 2\cos7\alpha_2 - 2\cos7\alpha_3 & \dots & (-1)^M \cos7\alpha_M \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2\cos(3M-2)\alpha_1 + 2\cos(3M-2)\alpha_2 - 2\cos(3M-2)\alpha_3 & \dots & (-1)^M \cos(3M-2)\alpha_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{5^M-1}{4} \\ -1 \\ -1 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

M:3보다 큰 홀수 m:변조지수  
 최저발생 고조파 성분 D는 M값에 따라 식(7)과 같이 나타내어질 수 있다.  
 $D=3M+2$  (7)  
 최저발생 고조파 성분 주파수  $f_d$ 는 식(8)과 같이 주어진다.  
 $f_d=(3M+2)f$  (8)  
 그러므로 가변속 범위를 0.1PU 까지 갖고 최저발생 고조파성분  $f_d$ 를 1.0Kz <  $f_d$  < 1.5Kz 범위로 제안하기 위해 요구되는 M 값은 fig.2 와 같이 나타내어질 수 있다.

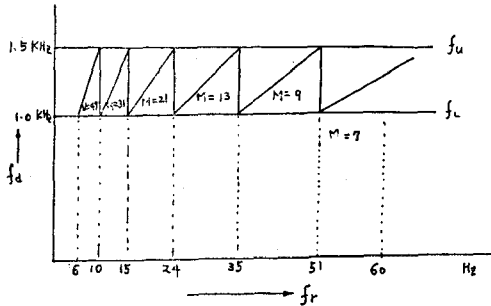


fig.2 dominant harmonic component( $f_d$ ) vs pu speed

따라서 속도 범위가 정속속도에서 저속으로 내려올수록 M 값은 커진다. 그러므로 각각의 주파수에 해당하는 M 값이 주어지면 1 주기에 PWM 펄스수는  $PN=4M+2$ 개가 된다. 그러면 제거되는 고조파는 (M-1) 차 까지 제거된다. 그리고 식(6)의 비선형 연립방정식의 해를 구한 다음 [1], 그 해를 가지고 각각의 주파수에 해당하는 값에 따라서 프로그램으로 처리된 PWM 패턴을 Look up Table 화시킨다. 가변속 범위가 6 Hz - 60 Hz 이기 때문에 1 주기에서의 PWM 펄스수 변화가 fig.2와 같이 6 구간이기 때문에 즉 Model 에서 Mode6로 볼 수 있고 인버터 출력은 주파수 지령에 따른 모드선택을 위한 불럭선도는 fig.3과 같이 나타내어질 수 있다. 그리고 주파수 [PU] 당 PWM 펄스수의 변화를 fig.4에 나타내어진다.

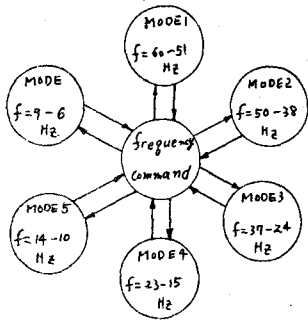


fig3. Mode selection block diagram as the inverter frequency command

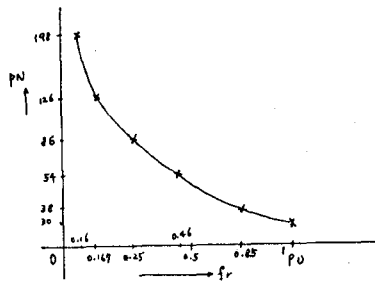


fig.4 Variation of PWM number vs speed ratio.

3. 시스템 구성

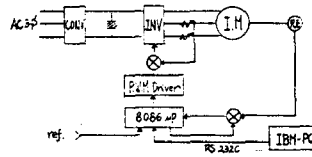
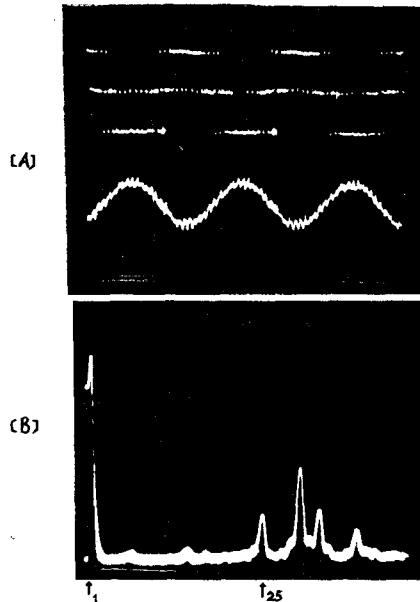


fig.5 block diagram of control system.

본 연구에서 사용된 시스템 구성은 fig.5와 같고 PWM 펄스와 속도제어는 8086 프로세서로 처리하도록 하여 시스템을 간략하게 구성하도록 하였다. 또한 인버터 주파수 명령은 전 정격운전 주파수 영역을 256 가지로 나누어 명령을 줄 수 있도록 시스템을 구성하고 그 주파수 지령에 해당하는 Mode로 자동적으로 선택되도록 Software로 처리하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 제안된 시스템을 이용하여 57 Hz, 7 Hz, 주파수에서 운전하였을 경우와 일반적인 PWM 인버터 시스템 즉 1 주기당 PWM 펄스수가 항상 일정한 펄스수를 갖는 시스템에서 운전하였을 경우와 비교해보면 다음과 같다.



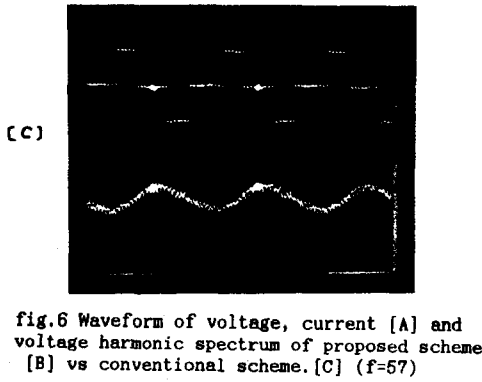


fig.6 Waveform of voltage, current [A] and voltage harmonic spectrum of proposed scheme [B] vs conventional scheme. [C] (f=57)

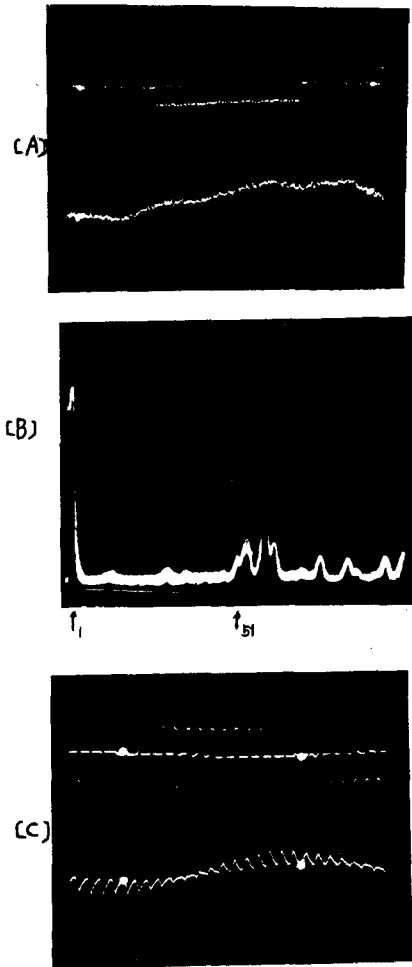


fig.7 Waveform of voltage, current[A] and voltage harmonic spectrum of proposed scheme [B] vs conventional scheme. [C](f=7 Hz)

fig.6에서 일반적인 pwm방법과 본 연구에서 제안된 방법을 사용하여 인버터 출력 특성을 비교해 보면 고속 운전에서는 비교적 전류 및 토오크 특성이 큰 차이가 없지만 fig.7에서 비교해보면 저속에서 본 연구에서 제안된 시스템의 출력특성들이 훨씬 우수함을 알 수 있었다.

5. 결론  
본 연구에서 제안된 시스템을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1). 특성 고조파 전압을 제거하는 특별한 PWM switching pattern을 미리 Look up Table화 하므로써 on-line으로 처리 할때의 어려움을 해결할 수 있고

(2). 전 운전 주파수 범위에서 일반적인 PWM 인버터 시스템으로 운전하였을 경우보다 dc link에서의 전류 ripple, 전동기 구동전류 그리고 출력 토오크 특성이 훨씬 우수하였다.

따라서 본 연구에서 제안된 시스템을 가변속 제어에 필요로 하는 산업현장에서 적용하여 운전하였을 경우 종래의 인버터 운전 방법으로 한 결과보다 훨씬 우수한 출력특성을 얻을 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

[1] H.S.Patel and R.G.Hoft, "Generalized techniques of harmonic elimination and voltage control in thyristor inverters - Part 1. Harmonic elimination", IEEB Trans. Ind. Appl., Vol. IA-9, pp. 310-317, May/June 1973.  
 [2] I.Takahashi and T.H.Mochikawa, "A new control of PWM inverter waveform for minium loss operation of an induction motor drive", IEEB Trans. Ind. Appl., Vol. IA-21, No. 4, pp. 580-587, May/June 1985  
 [3] I.Takahashi and T.Noguchi, "Optium PWM inverter waveforms of an inverter for decreasing acoustic noise of an induction motor", IEEB Trans .Ind. Appl., Vol. IA-22, No. 5, pp. 828-834, May/June 1986.  
 [4] Mahmoud Shaker and Santio Lorenzo, "Microp-rocessor Control for Induction Motor Using Boxes Theory", IEEB Trans. Ind. Appl Meeting., Vol part1. pp.773-779, 1987.