

인버터 구동 유도기 계의 전류맥동저감에 관한 연구

* 하태현[○] * 이기철 ** 우정인
* 한국전기연구소 ** 동아대학교

Minimization of Current Ripple in Inverter Fed 3 ϕ I.M. Drive System

* Tae-Hyun Ha * Ki-Chul Lee ** Chung-IN U
* K.E.R.I ** Dong-A Univ.

ABSTRACT

All Inverter fed induction motor systems which the switching patterns are determined by the approximated sinusoidal modulation techniques have many troublesome problems such as the current ripple duing to harmoic components. Therefore, in this paper, the current and torque pulsations for a inverter fed induction motor drive system are analyzed and specified theoretically and the determination techniques of optimal switching patterns for minimization of these factors are presented. Also, these simulation results are compared to the ones obtained from the realized experimental system by one-chip microcomputer, 8751.

I. 서론

유도전동기의 가변속구동에는 여러가지의 방법이 연구되고있지만, 그 중에서도 3상 트랜지스터 인버터를 이용한 PWM 제어법이 가장 널리 사용되어지고 있다. PWM 제어에 있어서 큰 문제점으로 지적되고 있는 것은 PWM 제어패턴의 결정 및 제어신호의 발생에 대한 것이며, 이 외에도 인버터 출력전압의 정현파 변조에 따른 토크 맥동, 소음 및 진동, 스위칭 주파수의 상승등이 수반되는 것이다. [1]-[4]

본 논문에서는 인버터와 유도전동기를 한 Loop로

된 구동계로 고찰하고 정현파와 삼각파 캐리어와의 고점에 부터 스위칭 각을 구한 다음, 인버터 출력 전압 벡터의 시간 폭을 구하여, 평가함수로서 고조파 값이 최소로 되는 최적 스위칭 지점을 찾아서 이를 인버터에 의해 출력함으로써 전류맥동을 저감시키고자 한다.

II. 전압형 PWM 인버터의 제어이론

그림1은 삼각파와 정현파의 고점에 의한 인버터의 스위칭 패턴을 나타낸것이다. 그림 2에서 정의한 전압벡터를 이용하여 이들의 패턴을 표시하면 그림1의 최하측에 있는 전압벡터열 V 가 얻어진다. [5]-[7] 이 전압벡터열 V 를 시간적분한 값을 X 라 하면 X 는 그림 3 (a)의 벡터궤적으로 표시된 공간적으로 회전하는 벡터로 된다. (60° 분만 표시)

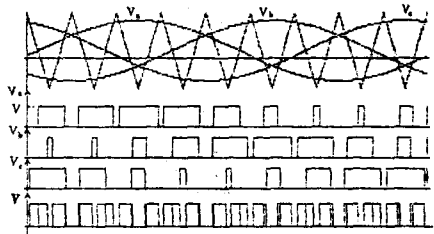
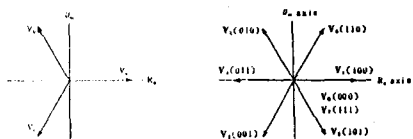


그림1. 인버터의 단자전압과 전압벡터의 스위칭 패턴



2. 복소평면에서의 전압벡터의 정의

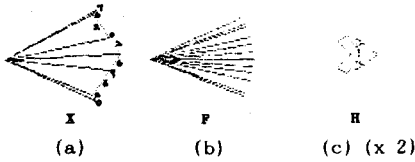


그림 3. 인버터 출력전압에 의한 공간전압벡터의 궤적

또한, V 는 인버터의 출력전압벡터를 구성하고 있으므로 이것을 각 고조파 전압성분으로 나타내면 식 (1)과 같이 된다.

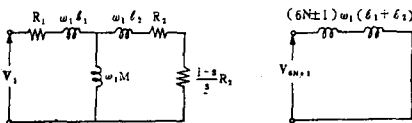
$$V = V_1 e^{j\omega_1 t} + \sum_{N=1}^{\infty} V_{6N\pm 1} e^{j((6N\pm 1)\omega_1 t)} \\ = V_1 + \sum_{N=1}^{\infty} V_{6N\pm 1} \quad (1)$$

식(1)을 시간적분한 X 는 식(2)와 같이 된다.

$$X = \int_{initial}^{final} V dt \\ = \frac{1}{j\omega_1} V_1 e^{j\omega_1 t} + \sum_{N=1}^{\infty} \frac{V_{6N\pm 1}}{j(6N\pm 1)\omega_1} e^{j(6N\pm 1)\omega_1 t} \\ = \frac{V_1}{\omega_1} e^{-j90^\circ} + \sum_{N=1}^{\infty} \frac{V_{6N\pm 1}}{(6N\pm 1)\omega_1} e^{j90^\circ} \\ = F + H \quad (2)$$

X 는 기본파성분 벡터 F 와 고조파성분 벡터 H 로 분리될 수 있고, 그림 3(b)와 (c)의 궤적으로 각각 나타낼 수 있다. 궤적 H 는 벡터 X 의 정지시간 (V_2 와 V_7 벡터)와 이동시간 (V_3 와 V_6 벡터)를 고려하여 벡터 X 와 벡터 F 와의 차의 벡터를 그린 것이다.

고조파를 함유한 전압벡터 V 를 유도전동기에 인가한 경우, 기본파와 고조파에 대응하여 각각 그림 4(a)와 (b)와 같은 등가회로가 얻어진다. [8] 그림 4(b)에서 저항분은 인버터의 스위칭 주파수가 높고, 실존하는 전압고조파성분의 차수 ($6N\pm 1$)이 상당히 높으면 무시할 수 있으므로 무시하였다.



여기서, $L_1 = \ell_1 + M$ $L_2 = \ell_2 + M$ $\omega_s = \omega_1 - \omega_2 = s\omega_1$
 ℓ_1 : 고정자 인덕턴스 ℓ_2 : 회전자 인덕턴스
 M : 1,2차 상호인덕턴스 s : 슬립

(a) 기본파 회로 (b) 고조파 회로

그림 4. 유도전동기의 등가회로

따라서 등가회로를 사용하여 계산한 기본파 전류와 고조파 전류는 각각 식 (3) 과 식 (4) 로 나타낼 수 있다. [9],[10]

$$I_{1f} = \frac{(R_2/s)^2 + (\omega_1 L_2)^2}{\left\{ \frac{R_1 R_2}{\omega_s} - \omega_1 (L_1 L_2 - M^2) \right\}^2 + \left\{ \frac{R_2 \omega_1 L_1}{\omega_s} + L_2 R_1 \right\}^2} \cdot e^{j(90^\circ - \alpha)} \quad (3)$$

단,

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\omega_1 \left\{ L_1 \left(\frac{R_2}{s} \right) + \omega_1^2 L_2 (L_1 L_2 - M^2) \right\}}{R_1 \left(\frac{R_2}{s} \right) + \omega_1^2 (R_1 L_2^2 + M^2 \cdot \frac{R_2}{s})}$$

$$I_{1h} = \sum_{N=1}^{\infty} I_{6N\pm 1}$$

$$= \sum_{N=1}^{\infty} \frac{V_{6N\pm 1}}{(6N\pm 1)\omega_1(\ell_1 + \ell_2)} e^{j(6N\pm 1)\omega_1 t + 90^\circ} \\ = \frac{1}{\ell_1 + \ell_2} H \quad (4)$$

III. 최적 PWM 패턴의 결정법

그림 5는 그림 1의 공간전압벡터 파형의 대칭성으로부터 60° 구간만을 나타내었다. 삼각파와 정현

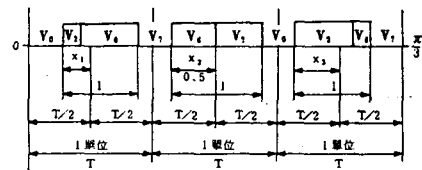


그림 5. 전압벡터의 타이밍 결정법

파의 주파수비율 9로 한 경우, 변조형태에 따른 고조파의 함유특성을 고찰하기 위하여 삼각파의 반주기를 1단위로 하고, 전압벡터 $V_2 + V_6$ 의 전체 폭을 1로 한 뒤, 1단위의 중심에서 전압벡터 V_3 의 좌측입상지점까지의 거리를 x_2 라 정하고, 이 x_2 를 가진 $V_2 + V_6$ 의 위치를 정의한다.

또한 인버터 출력전압의 선간전압파형은 반주기에서 9개의 펄스가 존재하므로 60° 구간에서의 공간전압 벡터는 20°를 1단위로 하여, 각각 제1단위, 제2단위 및 제3단위라 칭하고, 제2단위는 파형의 대칭성으로부터 $x_2 = 0.5$ 로 되어야 하며, 제1단위와 제3단위에서 $x_1 + x_3 = 1$ 이면 대칭성에 필요한 조건을 만족하게 된다. 이외 같은 조건에서 서 맥동 PWM 패턴의 최적

지점을 구하기 위해서는 x를 적당히 조정하면 된다.

IV. 시스템 구성

그림6은 본 실험에 사용한 시스템 구성도로써, 8751 One-Chip Micom, 베이스 구동회로, 정류기, 인버터로 구분되어 있으며, 또한 정격전압 200[V] 정격주파수 60[Hz], 정격출력 0.75[KW], 4극, 3상 유도전동기를 사용하였다.

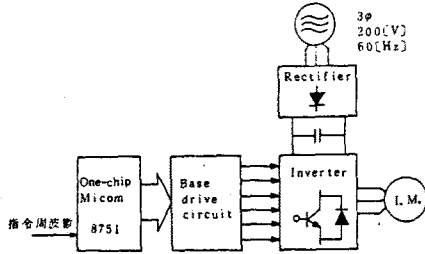


그림 6. 시스템 구성도

저택동 최적 PWM 패턴 운전때의 고정자 상전압의 주파수에 대응한 펄스모드는 그림7과 같으며, 각각

5	8	9	20	21	60 (Hz)
33		21		9	

그림 7. 각 주파수에 대응한 펄스 모드

의 주파수에 따른 최적시간상수를 ROM Table와 하였다. 그리고 PWM 패턴의 스위칭각에 해당하는 시간 제어는 16 bit Upcount용의 [타이머/카운터 모드] 을 사용하였으며, 그림8은 실제 전압벡터를 출력시키는 흐름선도이다.

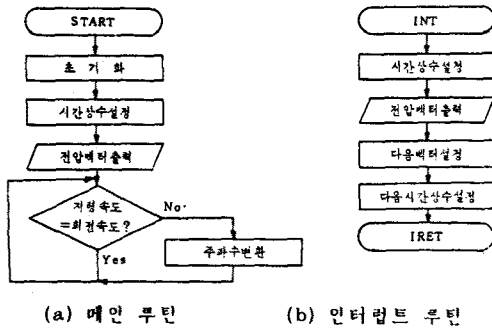


그림 8. 전압벡터 출력 흐름선도

메인 루틴에서는 각각의 입출력모드를 초기화하고, 영(Zero)에 해당하는 시간상수를 설정한뒤 그벡터를

출력시킨다. 내부 타이머 인터럽트에 의하여 영역 터 출력이 끝나고, 인터럽트 루틴에서 계속적으로 다음 구간의 전압벡터를 출력하게 되며, 인터럽트 수행이 끝난뒤에는 CPU에서 항상 저령속도와 회전속도를 비교하도록 하여 가변속제어를 용이하게 하였다. 그리고 PWM 패턴을 안전하게 출력하기 위하여 아암단락방지시간을 약 12(μS) 정도 주었다.

V. 시뮬레이션 및 실험결과

저택동 PWM 패턴의 최적지점을 구하기 위해서는 그림6의 x를 조정하면 되는데, 이는 기본파에 대한 고조파 실효치의 비를 평가함수 δ인

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{N=1}^{\infty} \{ (V_{6N-1} / \sqrt{(6N-1)})^2 + (V_{6N+1} / \sqrt{(6N+1)})^2 \}}{V_1}} \quad (5)$$

로 구해지며, 이 값이 최소로 될때의 x값에 해당하는 스위칭 패턴을 구하면 전류리플이 최소로 되는 양호한 파형을 얻을수 있으며, 그림9는 x와 δ의 관계를 변조지수 d에 따라 나타내었다.

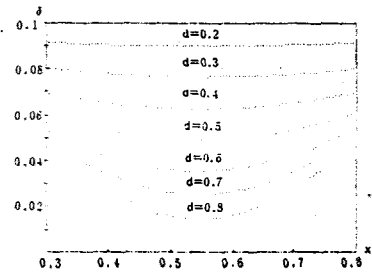


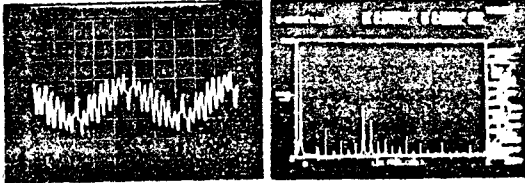
그림 9. x와 δ의 관계

이 시뮬레이션 결과를 보면 평가함수 δ는 변조지수 d에 관계없이 x=0.53 부근에서 최소로 되므로, 이때의 PWM 패턴이 최적인것을 알수있다. 그림10은 40 [Hz], 9 Pulse 에서 x=0.3, x=0.53, x=0.7일때의 선전류 및 고조파 스펙트럼을 나타낸것이다. 고조파 스펙트럼을 비교해 보면, x=0.53 일때 전체적으로 고조파성분이 저감됨을 볼수있다.



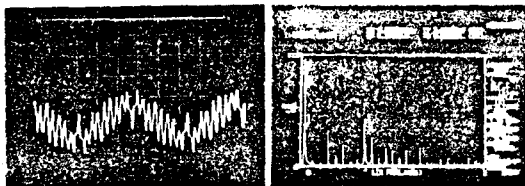
H:5[mS/div] V:1[A/div] H:2[KHz] V:316[mV]

(a) $x = 0.3$



H:5[mS/div] V:2[A/div] H:2[KHz] V:316[mV]

(b) $x = 0.53$



H:5[mS/div] V:2[A/div] H:2[KHz] V:316[mV]

(c) $x = 0.7$

그림 10. 선전류와 고조파 스펙트럼 (40Hz, 9 Pulse)

VI. 결론

평가함수 δ 와 스위칭 각 변조계수 x 에 의해서 전류맥동이 저감되는 최적 PWM 패턴을 얻을 수 있었으며, 공간전압벡터 패턴이 60° 대칭성을 가지므로 계산알고리즘을 간략화하여 Micom 실행시간을 60 (μ S) 까지 축소시켜 실시간제어의 가능성을 보였다. 또한 One-Chip Micom 8751을 사용함으로써, 모든 제어를 소프트웨어화 하였으므로, 제어기의 소형화, 고신뢰성, 저가격화가 가능하여 산업기기의 가변속 구동에 폭 넓게 적용될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 村牛由宏, 淺野勝宏 外, "인버터 구동 유도기 계의 전류맥동 저감에 관한 연구", 日本電

氣學會誌, Vol.101-B.6, pp.315-322.

2. 見城尚志 外, "AC サーボモータと マイコン制御", 日本総合電子出版社, 1984, pp.139-234.

3. Dewan, Slemon & Straughen, "Power Semiconductor Drives", Wiley-Interscience Pub., New York, 1984.

4. B.K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice-Hall, New York, 1986.

5. 曾根 悟, 田中 致, "電壓型 PWM 인버터로誘導機を駆動した時のトルクリブルの低減策", 電氣學會半導体電力變換硏究會資料, SPC-86-7, pp.55-63, 1986.

6. 吉田祐三 外, "ドライブシステムにおける整合化技術", 電氣學會技術報告, II部, 第235號, pp.16-57, 1986.

7. 矢野昌雄 外, "半導体電力變換回路", 電氣學會, pp.137-140, 1987.

8. 難波江 肇 外, "電氣機器學", 電氣學會, 1985.

9. 우정민, "3상 인버터 운전 유도기 계에서 최적화 스위칭에 의한 Torque 맥동의 저감에 관한 연구", 동아대 한국자력개발연구소 연구보고, 제12권, 제2호, pp.131-137, 1988.

10. 하태현, "인버터구동 유도기 계의 전류맥동저감에 관한 연구", 동아대학교 석사학위논문, 1988.