

이 운중
정 동화 한 양 대
오 원석*

1. 서 론

최근의 보고(1)에 의하면 전체 전기에너지의 60% 이상이 구동용 전동기에 사용되고 있으며 그 대부분이 일반 산업계에 갖는 우수한 장점 때문에 유도기가 사용된다. 그러므로 에너지절약의 입장에서 가변속 유도전동기 운전의 효율 향상이 매우 중요한 문제라 하겠다.

최근의 powerelectronics와 microelectronics의 눈부신 발전은 가변속전동기 계통의 제어성 향상과 효율, 신뢰성 향상등에 기여할 수 있게 되어 이에 관한연구가 활발히 진행되고 있다.(2, 3)

유도전동기를 가변속 운전할 때 전력변환기를 사용하게 되는데 전력변환기의 출력측에 발생하는 전압 및 전류파형의 왜형은 고조파에 의해 발생되는 장애로서 유도전동기의 손실을 증가시키고 토크 맥동과 자기 소음등의 원인이 된다.(4) 또한 가장 일반적으로 적용되는 가변속운전은 전압/주파수 비를 일정하게 함으로써 부하에 관계없이 최대 토크를 일정하게 유지하는 방법이므로(5) 최대 토크 보다 작은 부하를 갖는 기기들이 운전될 때 자속 차에 따른 손실을 동반하는 문제점이 있다.(6) 이에 대한 해결로서 국내 외적으로 많은 연구(3, 7, 8)가 되어 왔으나 고조파에 의한 손실을 저감시키고 v/f를 제어하여 효율을 개선하는 문제까지 발전하지는 않은 것으로 사료된다.

따라서 본연구에서는 Optimal PWM inverter를 사용하여 고조파 손실을 저감시키고 슬립 주파수 제어회로와 이의 실험을 위한 소프트웨어를 개발하여 부하상태에 따른 효율 향상을 도모하였다.

2. Optimal PWM방식에 의한 고조파 손실저감

Optimal PWM방식은 인버터에 의해 전동기를 운전할 때 고조파에 의한 손실을 저감시키기 위하여 적절한 평가함수를 선정하고 이를 최소화하여 스위칭각을 구하는 이론이다. 그림1과 같은 $\pi/2$ 대칭인 PWM파형을 가정하자.

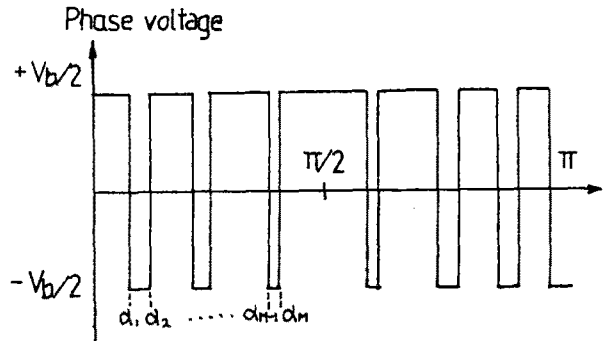


그림 1. PWM Inverter 상전압

k고조파 전압의 크기는 식(1)과 같다.

$$V_k = \frac{2V_b}{k\pi} \left[1 + 2 \sum_{i=1}^m (-1)^i \cos kd_i \right] \quad (1)$$

유도전동기의 고조파 손실은 주로 동손이므로(9) 동손을 평가함수로 선정한다. 고조파 주파수에서 고정자 저항과 회전자 저항은 전동기의 누설 리액턴스에 비해 매우 적게 나타므로 무시한다고 가정하면(3) k차 고조파 전류는

$$I_k = \frac{V_k}{k f_1 X} \quad (2)$$

이때 V_k 는 k 차 고조파 전압이고 f_1 는 기본 주파수(p.u)이며 X 는 누설 리액턴스(p.u)이다. k 차 고조파 동손은 $I_k^2 R_k$ 이며 전 고조파동손은 식(3)과 같다.

$$P_{loss} = \sum_{k=5}^{\infty} I_k^2 R_k \quad (3)$$

R_k 는 k 차 고조파의 전동기 저항이며 표피 효과를 고려하면 k 차 회전자 주파수 f_{2k} 의 제곱근에 비례하게 되고 $f_{2k} = (k \pm 1) f_1 \approx k f_1$ 이므로 식(2)(3)에서 평가 함수 식(4)를 얻을 수 있다.

$$\alpha = \sum_{k=5}^{\infty} \frac{V_k}{(k f_1)^{3/2}} \quad (4)$$

따라서 식(1)을 식(4)에 대입하고 식(1)의 기본파 성분의 모든 조건에서 구한 α_i 를 식(4)에 대입하여 식(4)를 최소화하는 스위칭각 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ 을 구한다. 이 스위칭각을 이용하여 PWM inverter 출력 파형의 고조파성분을 최소화함으로써 전동기의 고조파 손실을 줄일 수 있다.

3. 슬립 주파수 제어

그림2는 유도전동기의 슬립주파수 제어 시스템의 블록 선도를 나타낸다. 점선 부분은 마이크로 프로세서로서 제어하는 부분이다. 유도전동기의 위치 및 속도 정보는 전동기 측에 연결된 opto encoder를 사용하여 얻게 되며 이 정보와 기준속도의 차에 따라 속도제어를 목적으로 PWM 인버터의 입력 주파수와 전압을 조절하게 하여 넓은 범위의 속도제어와 토크 제어를 가능하게 한다.

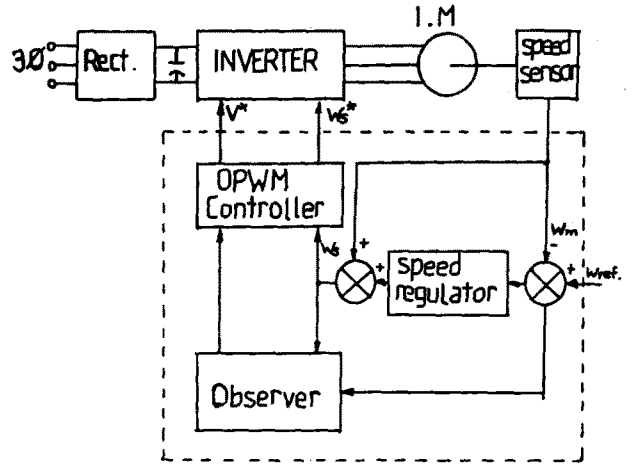


그림 2. System의 블록선도

먼저 v/f 비를 일정하게 제어하여 전동기가 기준 속도에 도달하고 속도오차가 허용범위에 있어 안정 운전이 되면 그림3과 같이 전압을 천천히 감소시키고 인버터의 주파수를 증가시켜 v/f 의 상태로 조정한다. 이 과정 도중 전동기 속도가 변화하면 먼저 인버터 주파수를 조정하여 전동기를 기준속도로 운전되게 하고 다시 v 를 감소시켜 속도의 변동이 없는 안정 영역에서 운전할 수 있는 최적 v_e 를 구한다. 이논리에 의하여 입력 전압을 줄이는 전력이익을 얻을 수 있다.

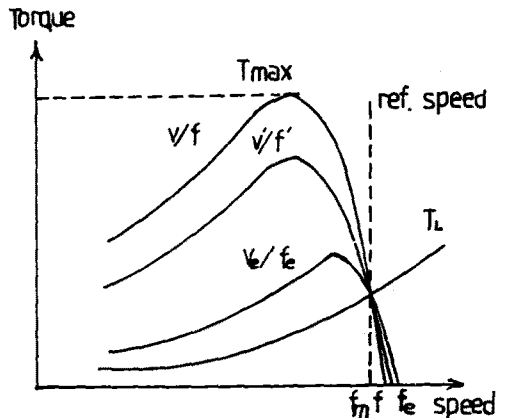


그림 3. 효율향상을 위한 속도-토크 곡선

4. 결 론

- 1) 본 연구에서는 Optimal PWM기법을 이용하여 인버터의 출력단에 나타나는 고조파 전압을 최소화함으로써 고조파 성분에 의한 전동기 손실을 줄일 수 있었으며
- 2) 경 부하 기기의 운전시 문제가 되는 계통의 효율을 개선할 수 있었고 하드웨어의 변경없이 소프트웨어의 변경만으로 기존의 제어기에 적용할 수 있었다.

REFERENCE

- (1) BIMAL K. BOSE, "ADJUSTABLE SPEED AC DRIVES - A TECHNOLOGY STATUS REVIEW", PROCEEDINGS OF THE IEEE VOL. 70, NO. 2, PP. 116-135, FEB. 1982
- (2) 難波江章 "最近の可變速電動機の技術動向", 電氣學友雜誌, 103卷(9號), pp. 869-870, 昭58-9.
- (3) YOON-JONG LEE, KI-YOUNG SEO, DONG-WHA JOUNG, "THE STUDY ON OPTIMAL PWM FOR 3 PHASE INDUCTION MOTOR DRIVE", KIEE TRANS., VOL. 34, NO. 9, PP. 28-35, 1985.

- (4) 戸田孝, 寺嶋正之, "高調波の影響と低減", 電氣學友雜誌, 103卷(9號), pp. 887-890, 昭58-9.
- (5) B. K. BOSE, "ADJUSTABLE SPEED AC DRIVE SYSTEMS", IEEE PRESS, NEW YORK, PP. 1-21, 1981.
- (6) N. MOHAN, "IMPROVEMENT IN ENERGY EFFICIENCY OF INDUCTION MOTORS BY MEANS OF VOLTAGE CONTROL", IEEE TRANS. POWER APPR. SYST., VOL. PAS-99, NO. 4, JULY/AUG. 1980.
- (7) M. H. PARK AND S. K. SUL, "MICROPROCESSOR-BASED OPTIMAL-EFFICIENCY DRIVE OF AN INDUCTION MOTOR", IEEE TRANS. IND. ELECT. VOL. IE-31, NO. 1, FEB. 1984.
- (8) J. M. D. MURPHY AND V. B. HONSINGER, "EFFICIENCY OPTIMIZATION OF INVERTER FED INDUCTION MOTOR DRIVES", IEEE IAS ANNU. MEETING 1982.
- (9) E. A. KLINGSHIRN AND H. E. JORDAN, "POLYPHASE INDUCTION MOTOR PERFORMANCE AND LOSSES ON NON SINUSOIDAL VOLTAGE SOURCE", IEEE TRANS. POWER APPR. SYST., VOL. PAS-87, MAR. 1968.