

전류 제어형 PWM인버터로 구동되는 유도 전동기의 벡터제어에 관한 연구

한양대 이 운 종 한양대 임 남 혁  
한양대 정 필 선 한양대 이 현 상\*

A study on Vector Control of Induction Motor driven by Current Controlled PWM Inverter

1. 서 론

최근, 유도 전동기를 가변속 운전 할 때 속응성을 향상시키기 위해 Blaschke 씨에 의해 제안된 벡터 제어 방식을 사용하고 있는데, 이는 유도 전동기의 고정자 전류 벡터를 회전축에서 두개의 벡터성분 즉 회전자속 벡터와 같은 방향인 자화전류 성분과 수직을 이루는 보조전류 성분으로 분리하여 각각 보조와 자속을 제어하게 되므로 직류 전동기와 같은 제어를 할 수 있다. (1) (2)

벡터제어에는 자속의 직접 검출을 필요로 하는 자속 검출형 제어와 슬립 주파수형 제어가 있는데, 슬립 주파수형 벡터제어는 자속의 직접 검출이 필요없고 단지 고정자 전류의 벡터성분과 전동기 정수를 이용하여 슬립 각속도를 구하고 이에 회전자의 각속도를 더해 이를 자속의 위치로 추정하여 좌표변환에 이용해서 지령전류를 출력하는 방법으로 많이 사용되고 있다. (3)(4)

그러므로 벡터제어를 이용한 유도 전동기의 고속 응답 제어를 위해서는 전동기의 실제전류가 지령전류에 순시적으로 정확하게 추종되어야 한다.

이를 위해 전류제어형 PWM 기법을 적용하고 있는데 주로 히스테리시스 (hysteresis) 제어 방법이 많이 사용되고 있으며 (5), 이는 실제전류와 지령전류를 비교하여 설정된 히스테리시스 폭을 초과 할때 스위칭 패변이 결정되는 방법으로 실제전류는 지령전류에 추종하게 된다. 이방법은 전류 추종성이 좋고 제어기 구성이 간단하다는 장점이 있지만 히스테리시스 폭이 고정적으로 저속도 영역에서는

인버터의 스위칭 주파수가 증가하여 인버터의 소자의 동작이 문제가 되는 단점이 있다. (6)

따라서 본 연구에서는 제안된 인버터의 스위칭 주파수를 고려하여 저속도영역과 고속도 영역에서도 항상 일정한 스위칭 주파수를 갖게 하는 삼각파 비교 제어 방법을 벡터제어에 의해 가변속 운전되는 유도 전동기 모델에 적용하여 과도상태와 정상상태의 특성을 해석하였으며 히스테리시스 제어방법과 비교, 검토하여 보았다.

2. 벡터제어 이론

동기속도  $\omega_s$  로 회전하는 축을 기준으로 하여 유도 전동기의 전압방정식을 세우면 식(1) - (4)와 같다.

$$V_{ds} = R_s \dot{\lambda}_{ds} + \frac{d}{dt} \phi_{ds} - \omega_s \phi_{qs} \quad (1)$$

$$V_{qs} = R_s \dot{\lambda}_{qs} + \frac{d}{dt} \phi_{qs} + \omega_s \phi_{ds} \quad (2)$$

$$0 = R_r \dot{\lambda}_{dr} + \frac{d}{dt} \phi_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \phi_{qr} \quad (3)$$

$$0 = R_r \dot{\lambda}_{qr} + \frac{d}{dt} \phi_{qr} + (\omega_s - \omega_r) \phi_{dr} \quad (4)$$

$$T = \frac{3 P_f L_m}{2 \sigma L_s L_r} (\phi_{qs} \phi_{dr} - \phi_{ds} \phi_{qr}) \quad (5)$$

식(5)는 보조를 나타내며 여기서  $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$  이다. 자속과 전류와의 관계는 식(6)-(9)와 같다.

$$\dot{\lambda}_{ds} = \frac{1}{\sigma L_s} (\phi_{ds} - \frac{L_m}{L_r} \phi_{dr}) \quad (6)$$

$$\dot{\lambda}_{qs} = \frac{1}{\sigma L_s} (\phi_{qs} - \frac{L_m}{L_r} \phi_{qr}) \quad (7)$$

$$\dot{\lambda}_{dr} = \frac{1}{\sigma L_r} (\phi_{dr} - \frac{L_m}{L_s} \phi_{ds}) \quad (8)$$

$$\dot{\lambda}_{qr} = \frac{1}{\sigma L_r} (\phi_{qr} - \frac{L_m}{L_s} \phi_{qs}) \quad (9)$$

이때 2차 자속과 기준축의 d 축을 일치시키면 식(10) - (13)과 같이 된다.

$$\phi_{dr} = \phi_r, \quad \phi_{qr} = 0 \quad (10)$$

$$T = \frac{3}{2} P_f \frac{L_m}{L_r} \phi_r i_{qs} \quad (11)$$

$$\frac{d}{dt} \phi_r + \frac{1}{T_r} \phi_r = \frac{L_m}{T_r} i_{ds} \quad (12)$$

$$\frac{\omega_{sl}}{i_{qs}} = \frac{L_m}{T_r} \frac{1}{\phi_{dr}} = \frac{L_m}{T_r} \frac{1}{\phi_r} \quad (13)$$

식(11), (12)에서 알 수 있는 바와 같이 자속과 토크는 각각  $i_{ds}$ 와  $i_{qs}$ 에 의해 분리 제어 될 수 있다. 그리고 슬립은 식(13)과 같이 구할 수 있다. 그림1은 슬립 주파수형 벡터제어의 기본 구성도를 보인다.

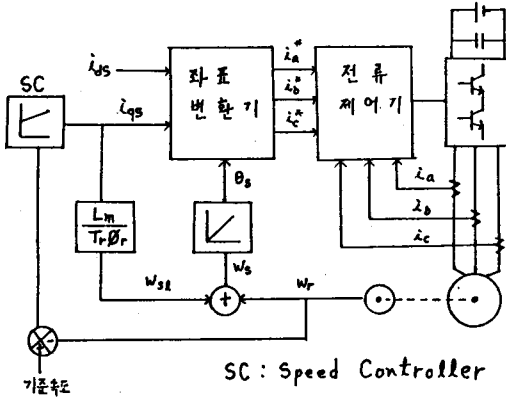


그림 1. 벡터제어 시스템 구성도

### 3. 전류 제어형 PWM 기법

#### 가. 히스테리시스 제어방법

그림2는 히스테리시스 제어기에 의한 전류제어를 나타내며 그림3은 실제전류와 지령전류가 비교되어 히스테리시스 폭을 초과할 때 스위칭 패턴이 결정됨을 보인다.

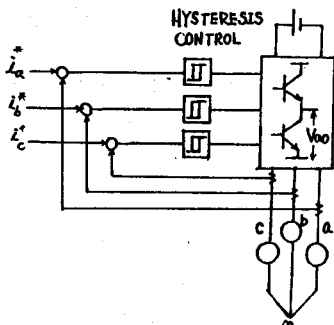


그림 2. 히스테리시스 제어기

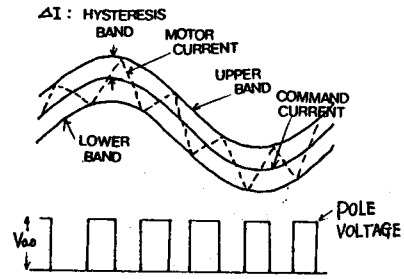


그림 3. 히스테리시스 제어기의 스위칭 패턴

이 기법에 대한 알고리즘은 식(14)와 같다.

$$i_{au} = i_a^* + \text{band limit current}$$

$$i_{al} = i_a^* - \text{band limit current}$$

$$\text{만약 } i_a > i_{au} \quad V_{ao} = 0.0$$

$$i_a \leq i_{al} \quad V_{ao} = V_{dc} \quad (14)$$

#### 나. 삼각파 비교 제어 방법

그림 4는 삼각파 비교 제어기를 사용했을 때의 시스템 구성도로 지령전류와 실제전류의 오차가 일정 주파수를 갖는 삼각파와 비교되어 스위칭 패턴이 결정된다.

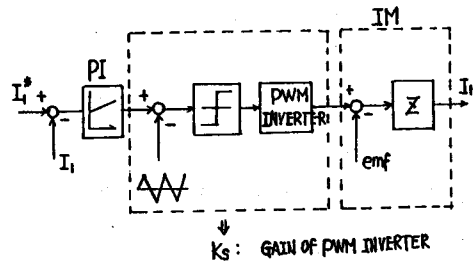


그림 4. 삼각파 비교 제어기의 구성도

그림 4에서 주파수 영역에서의 전달 함수는 식(15)가 된다.

$$I_t = \frac{K_s K_c \left( \frac{1+j\omega T_c}{j\omega} \right) I_i^* - E}{\frac{1}{s} + K_c K_c \left( \frac{1+j\omega T_c}{j\omega} \right)} \quad (15)$$

$$K_s = \frac{V_{dc}}{z A_t}, \quad A_t \text{ 삼각파의 최대값} \quad (16)$$

$$C = K_c \frac{1 + \omega T_c}{j\omega} \quad (17)$$

여기서

$K_S$ 는 삼각파 비교기의 이득을 표시하고 식(16)과 같다.

그리고 PI 전달함수  $C$ 는 식(17)과 같이 나타낸다.

$Z$ 는 유도전동기의 임피던스이다.

#### 4. 결 론

벡터제어에 의해 가변속 운전되는 유도 전동기 모델에 히스베리시스 제어방법과 삼각파 비교 제어 방법을 적용하여 동작특성을 해석한 결과,

- 1) 히스베리시스 제어방법은 모든 운전범위에서 고속 전류추종이 됨을 보였지만 저속도 영역에서 인버터백의 스위칭 주파수가 제한된 값 보다 증가하였고 이를 줄이기 위해 히스베리시스 폭을 크게 하면 전류리플(ripple)이 커짐을 알수 있었다.
- 2) 삼각파 비교 제어방법은 저속도 영역에서도 스위칭 주파수를 일정한 값으로 제한할 수 있었으나 고속도 영역에서는 고속전류 추종을 위해 전류 제어기의 이득이 필요하였고 이때문에 전류리플은 증가 하였다.
- 3) 이를 개선하기위해 삼각파 크기를 전동기 속도에 따라서 변화시킴으로서 전류리플의 감소와 고속 전류 추종성을 모두 만족시킬 수 있었다.

#### 5. 참 고 문 헌

- 1) T. Matso and T. A. Lipo , " A Rotor parameter identification scheme for Vector controlled Induction Motor " IEEE Trans. , Vol. IA-21, No.4, PP 624-632, 1985
- 2) Masanori Miyazaki, " High performance Vector control drive system by microprocessor-based current source Inverter" IECON '84, PP. 821-826
- 3) S. Sathiakumar , " Microprocessor-based field-oriented control of a GSI-fed Induction Motor drive " IEEE Trans. Ind. Elec. , Vol. IE-33, No.1, 1986
- 4) L. J. Graces , " parameter adaption for the speed controlled static AC drive with squirrel cage Induction Motor " IEEE IAS Cof. Proc. , PP. 843-850, 1979
- 5) Edward Y. Y. ho , " digital simulation of PWM Induction Motor drives transient and steady-state performance " IEEE Trans. Ind. Elec. , Vol. IE-33, No.1 , 1986
- 6) V. R. Steafanovic , " Present trends in variable speed AC Motors " IPEC-Tokyo'83