

공간벡터 PWM을 이용한 유도전동기의 속도제어에 관한 연구

김 영곤^{*}, 최 정환[†], 이 승환[‡], 김 성남^{***}, 이 훈구^{**}, 한 경희^{*}

^{*}명지대학교, ^{**}충남전문대학, ^{***}대호건설주식회사

A Study on Speed Control of Induction Motor using Space Vector PWM

Young-Gon Kim^{*}, Jung-IIwan Choi[†], Seung-IIwan Lee[‡],

Sung-Nam Kim^{***}, Hoon-Goo Lee^{**}, Kyung-Hee Han^{*}

*Myong Ji University, **Chung Nam Junior College, ***Dae Il Construction Co.

ABSTRACT

This paper is on speed control of induction motor using space vector PWM. Indirect vector control which controls independantly flux and torque current component in order to drive induction motor, is applied for driving motor.

Voltage sourced inverter with space vector PWM is used to generate the practically perfect sinusoidal flux density in induction motor. The appropriateness of speed control is proven by applying IP(Integral - proportional) controller which is known to have a good speed response and still to have less overshoot than the now used PI(Proportional - Integral) controller.

1. 서 론

유도전동기는 구조가 단순하고 유지, 보수가 용이하며 소형, 경량, 저가격의 장점이 있는 반면 고정자와 회전자 사이의 자속과, 상호유도 작용에 의해 회전자에 여기된 전류가 모두 시변이고, 서로 간섭을 하는 복잡한 다변수 비선형결합시스템으로 제어가 복잡하다. 따라서, 유도전동기를 직류전동기와 유사하게 제어할 수 있는 벡터제어가 널리 사용되어지고 있다. 간접벡터제어방식은 회전자 각속도와 고정자 전류로부터 연산에 의하여 자속벡터를 추정함으로 저속시에도 선형성있게 동작할 수 있고, 마이크로 프로세서의 발달에 힘입어 현재 일반적으로 사용된다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾

본 연구에서는 공간벡터PWM (Pulse Width Modulation-on) 방식에 의한 전압형 인버터를 사용하여 회전자계를 발생시켰고, 일반적으로 사용되어져 오고있는 기존의 PI (Proportional-Integral) 속도제어기에 비교하여 외란에 동일한 응답특성을 가지면서 속도지령의 변화에 대한 속도 응답 오비슈트가 적고, 응답 특성이 개인 조정에 의해 쉽게 예측되어 질 수 있는 IP(Integral-Proportional) 제어기를 시스템에 적용하여 유도전동기의 속도특성을 연구하였다.

2. 간접벡터제어

d-q 모델링에 의한 유도전동기의 전압방정식을 동기속도로 회전하는 동기회전좌표계로 나타내면 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_r \\ v_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_d + SL_d & w_r L_d & SL_m & w_r L_m \\ -w_r L_d & R_q + SL_q & -w_r L_m & SL_m \\ SL_m & (w_r - w_s)L_m & R_r + SL_r & (w_r - w_s)L_r \\ (w_s + w_r)L_m & SL_m & (-w_r + w_s)L_r & R_r + SL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_m \\ i_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 고정자축 전압방정식을 정리하면 다음과 같다.

$$d\psi_{qr}/dt + \frac{R_r}{L_r}\psi_{qr} - \frac{L_m}{L_r}R_s i_{qs} + w_{sl}\psi_{dr} = 0 \quad (2)$$

$$d\psi_{dr}/dt + \frac{R_r}{L_r}\psi_{dr} - \frac{L_m}{L_r}R_s i_{ds} - w_{sl}\psi_{qr} = 0 \quad (3)$$

여기서 $w_{sl} = w_r - w_s$ 이다.

자속성분전류와 토크성분전류가 상호 비간섭화하여 제어되기 위해서는 다음식을 만족해야 한다.

$$\psi_{qr} = 0 \quad (4)$$

$$\psi_{dr} = \widehat{\psi}_r = \text{constant}$$

따라서, 식 (2),(3)에 식 (4)를 대입하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$w_{sl} = \frac{L_m}{\widehat{\psi}_r} \left(\frac{R_r}{L_r} i_{qs} \right), \quad \frac{L_r}{R_r} \frac{d\widehat{\psi}_r}{dt} + \widehat{\psi}_r = L_m i_{ds} \quad (5)$$

자속성분전류 i_{qs} 를 동기회전좌표축인 d 축상의 $\widehat{\psi}_r$ 에 일치시키기 위한 단위벡터는 다음과 같은 관계식에 의하여 추정한다.

$$w_s = w_r + w_{sl}, \quad \theta_s = \int w_s dt = \int (w_r + w_{sl}) dt \quad (6)$$

이때, 발생토오크는 다음과 같이 나타내어진다.

$$T_s = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) \frac{L_m}{L_r} i_{qs} \widehat{\psi}_r \quad (7)$$

식 (5)로부터 $\widehat{\psi}_r$ 이 결정되어지며, 보통 일정하게 유지하므로 발생토오크는 i_{qs} 에 의해 제어된다.

5. 시스템 및 제어기의 구성

제어기는 80C196KC 단일칩 마이크로프로세서를 사용하였고, 각 제어부는 그림 5와 같다.

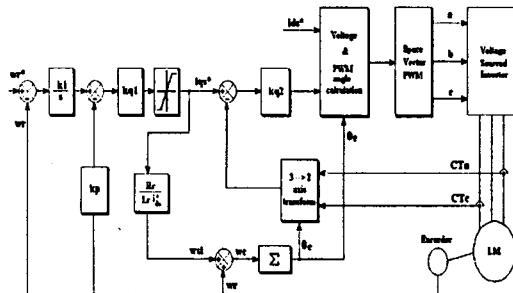


그림 5 속도제어기 제어 블록도

시스템은 그림 6과 같으며, IGBT를 사용하여 10 kHz 스위칭변조를 하는 인버터부와 3상브리지 다이오드를 이용한 정류부, 발전제동부 그리고 제어부로 구성된다..

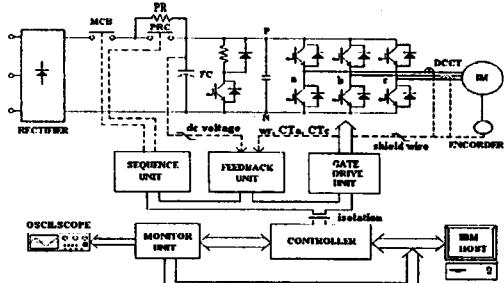
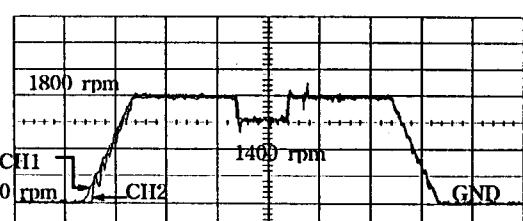


그림 6 시스템 블록도

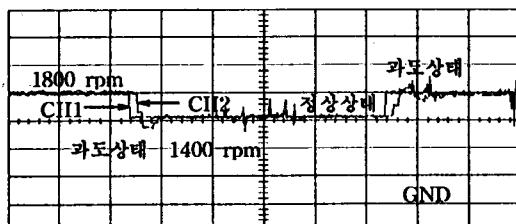
6. 실험 및 고찰

그림 7과 그림 8은 IP제어기의 비례이득 $K_p = 0.0145$, 적분이득 $K_i = 0.034$ 인 경우 1800 rpm 운전 중 1400 rpm으로 33%의 유니트스텝 속도변동을 가했을시의 속도응답 과정이다. CII1은 속도지령치를 나타내고 CII2는 속도응답 과정을 나타낸다. 그림 8에서 약 0.2 sec의 과도상태를 거쳐 속도추종을 하는 것을 알 수 있다. 이때 오버슈트는 약 13%이다.



CII1, CII2 : 450 rpm/div, 1 sec/div

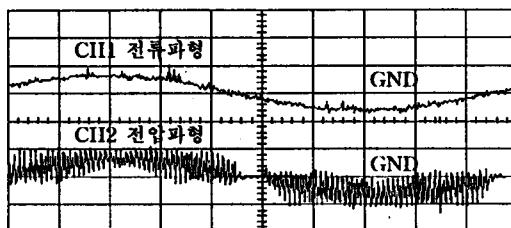
그림7 속도 응답 과정



CH1, CH2 : 450 rpm/div, 0.2 sec/div

그림8 유니트스텝 속도 변동시 응답 과정

그림 9의 CII1은 a-b 선간전압파형이고, CII2는 전류파형으로 전류는 거의 정현파이다.



CII1 : 1.5 A/div, 2 msec/div

CII2 : 310 V/div, 2 msec/div

그림9 a-b 선간전압파형 및 전류파형

5. 결론

본 논문은 전압형인버터를 이용한 IP 속도제어기를 갖는 유도전동기의 속도응답특성을 연구하였다. 실험결과, IP 속도제어기는 K_p 및 K_i 이득이 서로 비간섭하므로 기존의 PI 제어기에 비해 이득설정이 용이함을 확인하였다. 또한, 유도전동기에 회전자계를 발생시키기 위하여 10kHz 공간배터 PWM을 적용시켜 고정자축에 공급되는 전류의 파형이 정현파임을 확인하였다. 향후과제로는 자속추정 관측기등의 알고리즘을 본 연구에 연계시킨다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S.Sathikumar, Joseph Vithayathil, "Digital Simulation of Field-oriented Control of Induction Motor," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IE-31, No. 2, May 1984.
- [2] B.K.Bose, "Power Electronics and AC Drives," Prentice Hall, pp. 28~51, 1986.
- [3] F.Blaschke, "The Principle of Field Orientation as Applied to the New Transvector Closed loop Control System for Rotating Field Machines," Siemens Review, Vol. 34, pp. 217~221, 1972.