

IP제어기를 이용한 유도전동기의 센서리스 벡터제어

전기영¹⁾, 조정민²⁾, 함년근³⁾, 이승환⁴⁾, 이훈구⁵⁾, 한경희⁶⁾
 명지대학교¹⁾, 대덕대학²⁾, 용인송담대학³⁾

Sensorless Vector Control of Induction Motor using the IP Controller

Kee-Young Jun¹⁾, Jeong-Min Jho²⁾, Nyoun-Kun Hahm³⁾, Seung-Hwan Lee⁴⁾, Hoon-Goo Lee⁵⁾, Kyung-Hee Han⁶⁾
 Myongji University¹⁾, Taedok College²⁾, Yong-in Songdam College³⁾

Abstract - The compensation problem of error and various problems due to delay of speed sensor itself and speed detection have issued in case using speed sensor in the adjustable speed control of induction motor.

This paper have applied the stator flux oriented vector control algorithm and space voltage vector PWM method in order to improve an dynamic character of voltage-source inverter system, and also used the better IP controller in the speed response than PI controller as speed controller.

This paper estimated the rotator speed using input current of inductor motor and flux component invoked through voltage drop by terminal voltage and stator resistor.

1. 서 론

유도전동기의 정밀한 제어를 위해서 회전속도의 측정이 요구되고 있다. 그러나 저속의 경우 가변속제어시 속도검출의 지연에 의한 오차가 시스템 불안정의 원인이 되며 고속의 경우 속도검출의 정확도에 문제가 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그러므로 속도센서 없는 벡터제어 구현이 요구된다. 속도센서 없이 유도전동기를 제어하기 위하여 속도연산기와 자속연산기를 사용 하였다. 자속연산기의 고정자자속은 단자전압과 저항강하의 차로 구한 유효기전력을 적분하여 구할 수 있다.⁽³⁾⁻⁽⁶⁾

본 논문에서는 고정자자속 기준 벡터제어시 간접벡터 방식을 사용하였으며 개선된 공간벡터 PWM과 IP제어기를 적용하고, 유도전동기의 제어를 위한 자속과 회전속도를 자속연산기와 속도연산기로 추정하는 센서리스제어를 하였다. 또한, 제어시스템은 부동소수점 연산이 가능한 고성능 DSP소자인 TMS320C31 및 8ch./12bit 고속 AD컨버터, PLD를 사용함으로써 연산의 고속화 및 신뢰도를 향상시켰다.

2. 속도연산기의 속도추정

3상 고정좌표계에서의 등가회로는 다음과 같다.

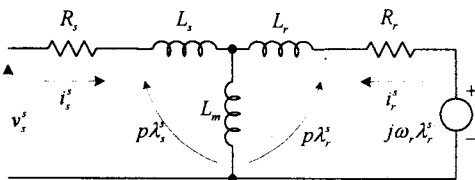


그림 1. 고정좌표계의 등가회로

3상 고정좌표계의 고정자 전압방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v_s^s = R_s i_s^s + \frac{d \lambda_s^s}{dt} \quad (1)$$

회전자 좌표계로 표현한 회전자 전압방정식은 다음과 같다.

$$v_r^r = R_r i_r^r + \frac{d \lambda_r^r}{dt} \quad (2)$$

유도전동기의 동작특성을 해석하기 위하여 회전자좌표계의 변수들을 고정자좌표계로 환산하여 나타내면 다음과 같다.

$$v_r^s = R_r i_r^s + \frac{d \lambda_r^s}{dt} - j \omega_r \lambda_r^s \quad (3)$$

속도검출기가 없는 유도전동기를 제어하기 위하여 고정좌표계에서 유도전동기의 전압방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v_{ds}^s &= R_s i_{ds}^s + p \lambda_{ds}^s \\ v_{qs}^s &= R_s i_{qs}^s + p \lambda_{qs}^s \\ 0 &= R_r i_{dr}^s + p \lambda_{dr}^s + \omega_r \lambda_{qr}^s \\ 0 &= R_r i_{qr}^s + p \lambda_{qr}^s - \omega_r \lambda_{dr}^s \end{aligned} \quad (4)$$

회전자 속도를 구하기 위해 필요한 자속은 식(5)와 식(6)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_{ds}^s &= \int (v_{ds}^s - R_s i_{ds}^s) dt \\ \lambda_{qs}^s &= \int (v_{qs}^s - R_s i_{qs}^s) dt \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{dr}^s &= \frac{L_r}{L_m} \lambda_{ds}^s - \frac{K}{L_m} i_{ds}^s \\ \lambda_{qr}^s &= \frac{L_r}{L_m} \lambda_{qs}^s - \frac{K}{L_m} i_{qs}^s \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $K = L_s L_r - L_m^2$ 이다.

식(4), (5), (6)을 이용하여 회전자 속도 ω_r 을 구할 수 있다.

$$\omega_r = \frac{S_1 p \lambda_{qr}^s - S_2 p \lambda_{dr}^s}{S_1 \lambda_{dr}^s + S_2 \lambda_{qr}^s} \quad (7)$$

여기서 $S_1 = (\lambda_{ds}^s - L_s i_{ds}^s)$ 이다.
 $S_2 = (\lambda_{qs}^s - L_s i_{qs}^s)$

그러므로 엔코더 없이 회전자 속도를 구하기 위한 불력도를 나타내면 그림 2와 같이 된다.

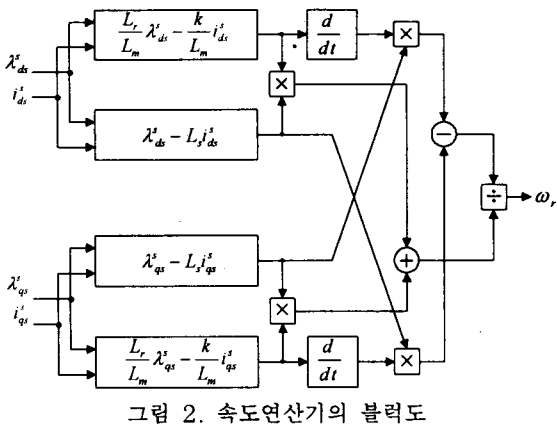
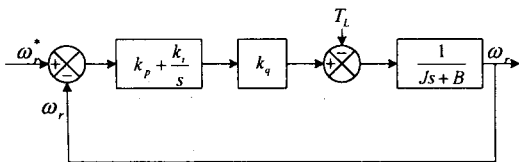


그림 2의 속도연산기에서와 같이 회전자성분을 고정자성분으로 환산하여 속도연산을 하므로써, 정확한 연산을 할 수 있다.

3. 제어기구성 및 시스템

3.1 IP 제어기의 원리

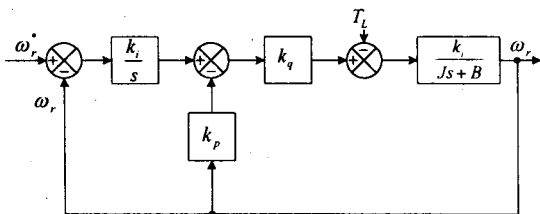
기존의 DC모터 드라이브에는 PI제어기가 일반적으로 사용되어져 왔다. 그러나 IP제어라고 불리는 비교적 새로운 제어기는 PI 제어기에 비해 보다 나은 장점들을 제공한다. PI속도제어기에 비교해서 IP속도제어기는 전달함수의 분자에 s항이 없으면서 PI 속도제어기와 동일한 loop 전달함수를 갖는다. 그러므로 PI 속도제어기에 비하여 속도응답특성이 계인조정에 의해 쉽게 예측되어질 수 있다. PI 제어기의 블록도 및 전달함수는 다음과 같다.



PI 제어기의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{\omega_r^*}{\omega_r} = \frac{k_q k_p s + k_q k_i}{J s^2 + (B + k_q k_p) s + k_q k_i} \quad (8)$$

IP 제어기의 블록도 및 전달함수는 다음과 같다.

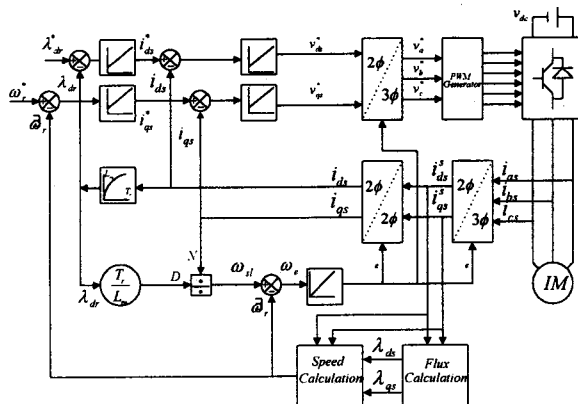


IP 제어기의 전달함수는 다음과 같다.

$$\frac{\omega_r^*}{\omega_r} = \frac{k_q k_i}{J s^2 + (B + k_q k_p) s + k_q k_i} \quad (9)$$

3.2 시스템의 구성

본 논문에서 사용되는 제어기는 디지털 IP제어에 의하며 속도 제어기 및 전류제어기를 갖는다. 속도제어 주기는 10(msec)로 하며 고속제어가 요구되는 전류제어기의 제어주기는 200(μsec)이다.



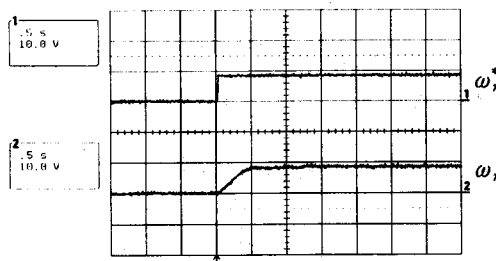
센서리스벡터제어 시스템의 성능평가를 위하여 실험에 사용된 유도전동기의 정격 및 파라미터들은 다음과 같다.

표1. 유도전동기의 정격

출 력	5[Hp]
정 격 전압	3상 220[V], 60[Hz]
정 격 전류	15[A]
정 격 회전수	1750[RPM]
Rs	0.435[Ω]
Rr	0.816[Ω]
Ls	0.073[H]
Lr	0.073[H]
Lm	0.35[H]
J	0.89[kg · m ²]
a	0.0032[Kg · m ² /sec]

4. 실험파형

그림 6은 무부하 상태에서 지령속도를 0(rpm)에서 800(rpm)으로 스텝기동시의 속도파형을 나타낸다.

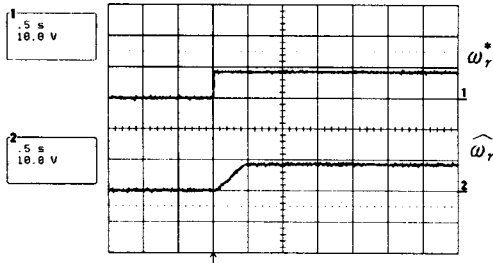


(y축 : 1000 rpm/div , x축 : 0.5 sec/div)

(ω*_r : 지령속도 , ω : 측정속도)

그림 6. 800[rpm] 스텝지령시엔코더의 속도파형

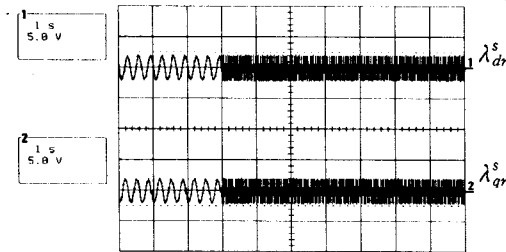
그림 7은 무부하 상태에서 지령속도를 0[rpm]에서 800[rpm]으로 스텝기동시의 속도파형을 나타낸다.



(y축 : 1000 rpm/div , x축 : 0.5 sec/div)
(ω_r^* : 지령속도 , $\hat{\omega}_r$: 추정속도)

그림 7. 800[rpm]스텝지령시 속도연산기의 속도파형

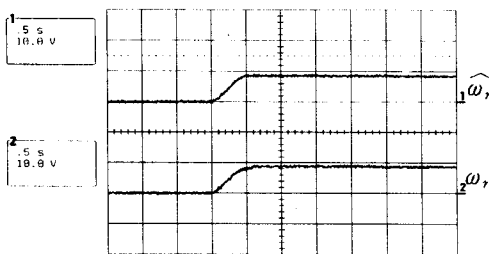
그림 8은 지령속도를 200[rpm]에서 800[rpm]으로 변화시의 d축과 q축의 자속파형을 나타낸다. 지령속도가 변화하여도 자속파형이 안정됨을 알수있다.



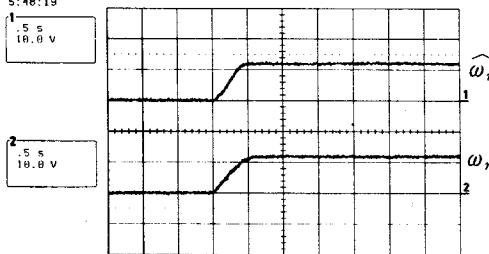
(y축 : 0.3 wb/div , x축 : 1 sec/div)
(λ_{dr}^s : d축분자속 , λ_{qr}^s : q축분자속)

그림 8. 지령속도 변동시 λ_{dr}^s , λ_{qr}^s 의 자속파형

그림 9의 (a)는 무부하 상태에서 지령속도를 0[rpm]에서 800[rpm]으로 그리고 (b)는 0[rpm]에서 1200[rpm]으로 스텝기동시의 속도파형을 나타낸다.



(a) 800[rpm] 지령시의 속도 파형 비교

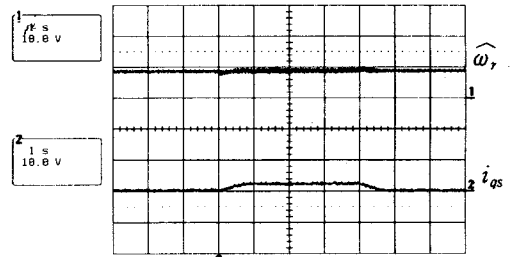


(b) 1200[rpm] 지령시의 속도 파형 비교

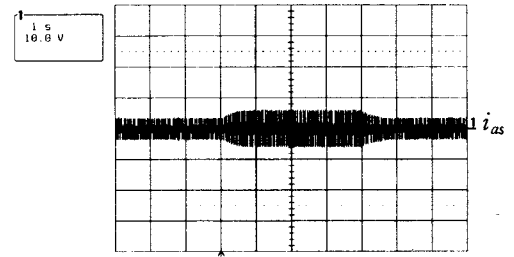
(y축 : 1000 rpm/div , x축 : 0.5 sec/div)
($\hat{\omega}_r$: 추정속도 , ω_r : 측정속도)

그림 9. 800[rpm]과 1200[rpm]의 속도 파형 비교

그림 10은 기준속도를 800[rpm]으로 일정하게 유지 하면서 무부하 상태에서 정격부하의 1/6로 부하를 증가시키고 다시 무부하로 감소시킬 경우의 파형이다. 그림 (a)는 속도추정파형과 토오크분전류 파형이고, 그림 (b)는 고정자분전류 파형이다.



(a) 속도 및 토오크분 전류 파형



(b) 고정자분 전류 파형

(y축 : 1000 rpm/div, 4 A/div , x축 : 1 sec/div)

($\hat{\omega}_r$: 추정속도 , i_{qs} : 토오크분 전류)

(i_{as} : 고정자분 전류)

그림 10. 800[rpm]으로 기동시 부하응답파형

5. 결 론

본 논문은 속도검출기를 부착하지 않고 속도연산기에 서 추정한 속도로 유도전동기의 간접벡터제어방식을 구현하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지령속도의 스텝적 변화에 대한 빠른 응답특성을 확인하였고, 제안한 IP속도제어기 알고리즘의 우수성을 확인하였다.
- (2) 속도연산기를 통하여 입력되는 전류와 전압에 대한 정보만으로 실제속도를 양호하게 추정함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- (1) Hisao Kuboat, Kouki Matsuse. "Speed Sensorless Field-Oriented Control of Induction Motor with Rotor Resistance Adaptation." IEEE Trans.Indus pp.1219~1224
- (2) X.Xu,Rik. De Doncker, Donald W.Novotny,"A Stator Flux Orented Induction Machine Drive" 1988 Conference Record,pp870~876
- (3) 현동석, 안성찬, 김정현. "회전자 자속 관측기를 사용한 유도전동기의 속도센서리스 벡터제어" ,KIEE Trans.1996. pp.1026~1032
- (4) Hirokazu, Tajima, Yoichi. "Speed Sensorless Field-Orientation Control of the Indu Machine."IEEE. Trans.1993. pp.175~180
- (5) Toshiyuki Kanmahi, Isao Takahashi."Sensorless Speed Control of An Indution Resistance Motor with No Influence of secondary Resistance Variation". Ias. Mag.1993. p.408~413
- (6) S.Tamai, H.Sugimoto, and M.Yano."Speed Sensorless Vector Control of Induction Motor a MRAS" IEEE .Mtg. 1985. pp.613~620