

기준모델 적응방식에 개선된 보조변수를 사용한 유도전동기 속도제어

서영수^{*} 백동현^{**} 송호빈^{*} 이범용^{**}
^{*}영지대학교 ^{**}경원전문대학

Speed Control of Induction Motor Using Improved Auxiliary Variable in Model Reference Adaptive System

Young-Soo Seo Dong-Hyun Baek^{**} Ho-Bin Song^{*} Bum-Yong Lee^{*}
^{*}Myongji University ^{**}Kyongwon College

Abstract - When the vector control, which does not need a speed signal from a mechanical speed sensor, it is possible to reduce the cost of the control equipment and to improve the control performance in many industrial application. This paper describes a rotor speed identification method of induction motor based on the theory of Model Reference Adaptive System(MRAS). The identifier execute the rotor speed identification so that the vector control of the induction motor may be achieved. The improved auxiliary variable are introduce to perform accurate rotor speed identification. Simulation and experimental result show the validity of the proposed control method.

가하여 자속추정의 정확도를 높여 적응메카니즘의 신뢰도를 향상시키고자 하였다. 제한한 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션과 실험결과를 통하여 양호한 속도 응답특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 속도 추정기.

기준모델 적응방식(MRAS)에서 사용되는 기준모델과 조절모델의 수식 관계를 얻기 위해 유도전동기 모델링으로부터 얻은 동기회전좌표계 식을 고정좌표계로 변환하여 나타내면 회전좌표계에서와는 다르게 고정자측의 회전에 의한 기전력 부분이 생략된 상태에서 다음과 같이 나타낼수 있다.

1. 서 론

유도전동기의 구동을 위한 현대의 제어기법은 디지털 제어기술과 고속의 전력용 반도체소자의 발달과 더불어, 4상한 운전이 가능한 고성능의 DC 서보 드라이브와 같은 성능을 가지면서 비용의 문제를 절감하고자 하는 대안적인 연구의 결과로서 크게 발전하였다.

이러한 분야에서 효율적인 벡터제어 방식을 구현하기 위해 전동기 측에 부착된 센서로부터 속도를 검출받아 제어기법에 적용하는 방식이 널리 사용되어져 왔으나 이 방식은 엔코더가 없는 경우에 비해 검출기 자체가 전동기에 직결되어야 하고, 엔코더를 설치함에 따라 비용이 증가하게 되는 등 여러 단점들을 포함하게 된다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위해 속도센서를 제어 시스템에서 제거한 센서리스 벡터제어 방식에 대한 연구가 진행되어 왔다.

이러한 방식 중 기준모델 적응방식(MRAS)은 속도추정을 위한 별도의 속도 연산기가 필요하지 않고, 추정값을 발생하는 적응 메카니즘의 입력을 이와 관계된 보조변수로 대체함으로써 각 모델이 가지는 단점들을 보완하여 좀 더 정확한 추정값을 얻을 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 유도전동기의 고정자에서 측정된 단자전압과 전류를 입력으로 이용하여 자속정보를 얻고 이로부터 회전자 속도정보를 얻는 기준모델 적응방식(MRAS)을 적용하여 센서리스 벡터제어를 구현하였다. 여기서 기준모델은 유도전동기 즉, 고정자측 방정식이 되며 조절모델은 이상적으로 벡터제어된 유도전동기의 모델링 즉, 회전자측 방정식이 되게 하였다. 또한 각 모델의 출력값을 보조변수로 대체할수 있다는 사실에 기인하여 기준모델의 순수적분의 문제를 해결하고, 고조파 잡음을 제거하기 위해 각 모델의 입·출력에 적절한 필터를 인가하고 또한 페루프 자속보상기를 각 모델의 출력에 부

$$\begin{aligned} v_{ds}^s &= R_s i_{ds}^s + p \lambda_{ds}^s \\ v_{qs}^s &= R_s i_{qs}^s + p \lambda_{qs}^s \\ v_{dr}^s &= R_r i_{dr}^s + p \lambda_{dr}^s - \omega_r \lambda_{qr}^s = 0 \\ v_{qr}^s &= R_r i_{qr}^s + p \lambda_{qr}^s + \omega_r \lambda_{dr}^s = 0 \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)을 이용하여 구한 기준모델 식(2)와 조절모델 식(3)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p \lambda_{dr}^s &= \frac{L_r}{L_m} v_{ds}^s - \frac{L_r}{L_m} (R_s + \sigma L_s p) i_{ds}^s \\ p \lambda_{qr}^s &= \frac{L_r}{L_m} v_{qs}^s - \frac{L_r}{L_m} (R_s + \sigma L_s p) i_{qs}^s \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} p \lambda_{dr}^s &= -\frac{1}{T_r} \lambda_{dr}^s - \hat{\omega}_r \lambda_{qr}^s + \frac{1}{T_r} L_m i_{ds}^s \\ p \lambda_{qr}^s &= -\frac{1}{T_r} \lambda_{qr}^s + \hat{\omega}_r \lambda_{dr}^s + \frac{1}{T_r} L_m i_{qs}^s \end{aligned} \tag{3}$$

식(2)는 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 값의 영향을 받지 않으므로 유도전동기의 기준모델이 되며, 식(3)은 $\hat{\omega}_r$ 값의 영향을 받으므로 조절모델이 된다. 식(2)와 식(3)을 바탕으로 한 속도추정기의 구조는 그림 1.과 같다.

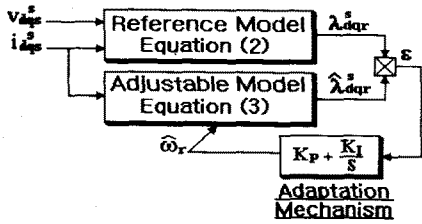


그림 1. MRAS 속도 추정기의 기본구조

그림 1.에서 보인 것처럼 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 은 기준모델과 조절모델의 출력의 차이를 비교함으로써 식(4)와 같이 얻을수 있으며 이 추정속도가 다시 조절모델의 입력이 되어 기준모델과의 오차를 줄여 정확한 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 을 발생시키게 된다.

$$\hat{\omega}_r = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) \cdot \epsilon \quad (4)$$

여기서,

$$\epsilon = (\lambda_{qr}^s \hat{\lambda}_{dr}^s - \lambda_{dr}^s \hat{\lambda}_{qr}^s) \quad (5)$$

2.2 보조변수의 사용.

기준모델의 식(2)를 기초로한 회전자 자속추정기는 측정된 변수들을 순수적분기를 사용해서 적분하게 되면 초기조건과 드리프트의 문제를 일으키게 되어 구현하기가 어렵게 된다. 기준모델 적용방식의 구조는 각 모델의 출력이 반드시 실제 전동기의 자속성분일 필요는 없으며, 그것과 관계된 보조변수일 수 있다는 장점을 가진다. 따라서 순수 적분기를 제거하는 것이 바람직하다 할지라도 제안된 시스템의 구현을 위해서는 순수적분의 문제를 해결하고 또한 전동기의 단자전압에서 보통 존재하게 되는 고주파 성분을 제거하기 위하여 저역통과필터(Low-pass Filter)를 사용였다. 또한 시스템에서 요구되는 안정도를 유지하기 위하여 기준모델의 출력과 조절모델의 입력에 고역통과 필터(High-pass Filter)를 인가하였다.

한편 저역통과 필터를 사용한다 할지라도 차단주파수의 크기에 따라서 운전영역의 제한이 있기 때문에 페루프 자속보상 방식을 도입하여 이를 해결하고 자속추정의 정확도를 높이고자 하였다.

순수적분기의 표현식은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$y = \frac{1}{s + \frac{1}{\tau_c}} x + \frac{\frac{1}{\tau_c}}{s + \frac{1}{\tau_c}} y \quad (6)$$

여기서 x, y 는 순수적분기의 입력, 출력신호이고 $1/\tau_c$ 는 차단 주파수이다. 우변의 첫째항은 저역통과 필터를 나타내고 둘째 항은 저역통과 필터에 의한 오차를 보정하는 피드백 신호를 말한다. 따라서 $1/\tau_c$ 값과 피드백 변수

y 를 적절히 조절하면 자속추정의 정확도가 향상되게 된다. 그림 2.에 자속크기 보상기를 나타내었다.

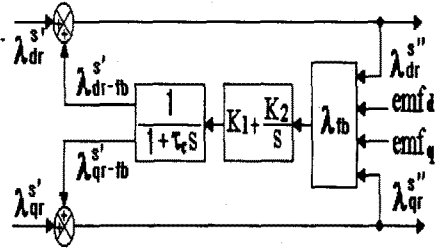


그림 2. 자속크기보상기

PI제어기는 오차신호를 통해 보상크기를 적절하게 결정하는 부분으로 다음과 같은 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{comp}^s = \left(k_1 + \frac{k_2}{s} \right) \frac{\hat{\lambda}_{qr}^s emf_q + \hat{\lambda}_{dr}^s emf_d}{|\hat{\lambda}_s|} \quad (7)$$

이식에 의해서 자속이 변화하는 상황에서도 적절한 보상 크기가 자동으로 결정될수 있다.

그림 3.은 2.1절의 기준모델 적용방식 구조에 2.2절에서 사용한 보조변수를 적용하여 속도동정 알고리즘을 나타낸 블록 다이어그램이다.

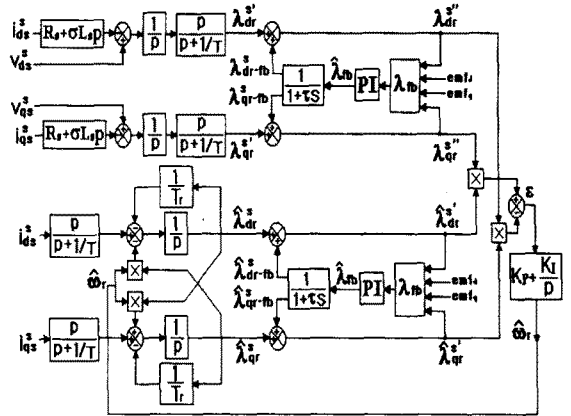


그림3. MRAS 속도 동정기의 블록 다이어그램

2.2 유도전동기 속도제어 블록도.

그림 4.는 본 연구에서 사용한 유도전동기의 속도제어 블록도를 나타내고 있다. 이 시스템은 크게 속도제어기, 자속제어기, 전류제어기, 속도 동정기, PWM발생기 등으로 구성되며 이러한 모든 제어기의 오차보상에는 PI제어 방식을 사용하였다.

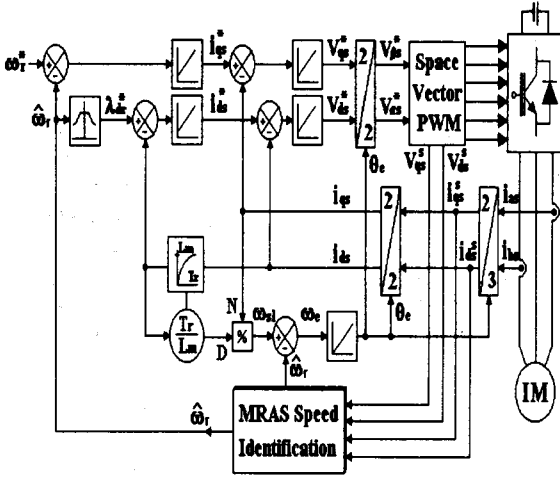


그림 4. 속도제어 블록도.

2.3 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 기준모델 적용방식 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 이 시스템에서 사용한 유도전동기 모델의 파라메타는 표 1과 같다.

표1. 전동기 상수

고정자 저항	R_s	0.6992 [Ω]
회전자 저항	R_r	0.3552 [Ω]
고정자 인덕턴스	L_s	0.0661 [H]
회전자 인덕턴스	L_r	0.0661 [H]
상호 인덕턴스	L_m	0.0632 [H]
관성 모멘트	J	0.0918 [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

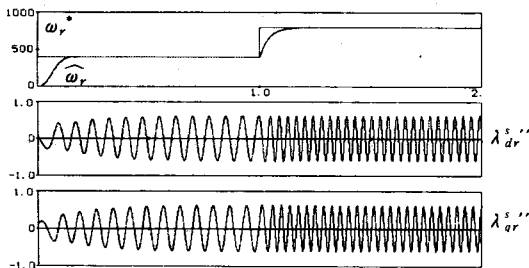


그림 5. 기준모델의 추정속도 및 자속파형.
(무부하, 400 → 800 [rpm])

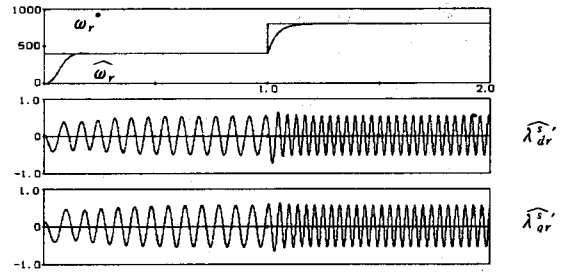
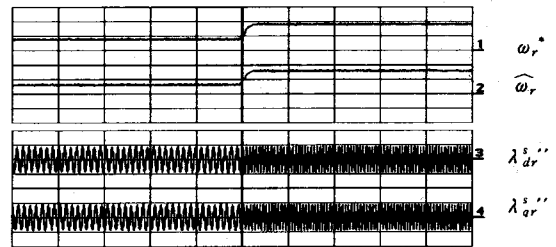


그림 6. 조절모델 추정속도 및 자속파형.
(무부하, 400 → 800 [rpm])

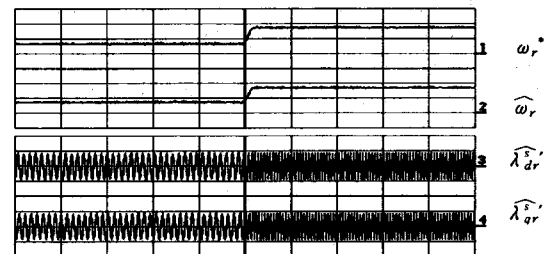
그림 5와 그림 6은 전동기를 무부하 상태에서 기준속도 400[rpm]으로 스텝 기동하고 800[rpm]으로 기준속도를 변화시킴에 따른 추정속도와 이에 따르는 기준모델(그림 5)과 조절모델(그림 6)의 자속응답 파형을 나타낸 것이다. 기준모델과 조절모델의 자속의 응답이 양호함을 알 수 있으며 이를 통해 얻어진 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 의 응답이 기준속도와 거의 일치함을 보임으로서 제안된 방법이 우수한 응답특성을 나타냄을 확인할 수 있다.

2.4 실험 및 결과

본 연구에서 제안한 기준모델 적용방식을 사용한 속도 추정 알고리즘의 타당성을 확인하기 위해 5[HP], 220[V] 60[Hz], 4극, 정격속도 1750[rpm]인 3상 농형 유도전동기를 사용하여 실험을 수행하였다.



Speed:500[rpm/div], Flux:1.0[wb/div], Time:0.5[sec/div]
그림 7. 기준모델 추정속도 및 자속파형.
(무부하 : 400 → 800 [rpm])



Speed:500[rpm/div], Flux:1.0[wb/div], Time:0.5[sec/div]
그림 8. 조절모델 추정속도 및 자속파형.
(무부하 : 400 → 800 [rpm])

그림 7.과 그림 8.은 유도전동기를 무부하 상태에서 기준 속도 400[rpm]에서 800[rpm]으로 기준속도를 변화시켰을 때의 기준모델(그림 7.)과 조절모델(그림 8.)의 자속과형 및 이로부터 발생된 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 의 속도응답 특성을 나타낸 실험과형이다.

3. 결 론

본 연구에서는 센서리스 벡터제어 방법중 고정자 전압 및 전류를 입력으로 하여 추정속도를 얻는 기준모델 적용방식(MRAS)을 제안하였다. 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 를 발생시키는 기준모델과 조절모델의 출력인 추정 자속의 정확성을 높이기 위해 사용한 필터와 페루프 자속보상기의 타당성을 입증하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과 각 모델의 추정자속이 양호하게 나타남을 알수 있었고 이로부터 발생되는 추정속도가 기준속도와 거의 일치하는 빠른 응답특성을 얻을수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Hirokazu Tajima, Yoichi Hori "Speed Sensorless Field-Orientation Control of Induction Machine", IEEE Trans.indus. Appli, vol.29 pp175-180, 1993
- [2] Shinzo Tamai, Hidehiko Sugimoto, Masao Yano "Speed Sensorless Vector Control of Induction Motor with Model Reference Adaptive System", IEEE IAS, pp189 - 195, 1987
- [3] Colin Schauder, "Adaptive Speed Identification for Vector Control of Induction Motor without Rotational transducers", IEEE Trans vol.28, pp1054-1061, 1992