

전압·전류 합성자속 추정기를 이용한 유도전동기의 전 속도영역 제어

조문택*, 김은기**, 김영춘**, 주해중***, 이의수***, 송호빈****, 김상수*****
 *대원대학, **수자원공사, ***공주대학교, ****동국대학교,
 *****(주)휴스컴, *****(주)에이씨애텍
 e-mail:songhobin@paran.com

Voltage and current synthetic flux estimator using all the speed range control of induction motors

Moon-Taek Cho*, Eun-Gi Kim**, Young-Chun Kim***, Hae-Jong Joo****, Euy-Soo Lee****, Ho-Bin Song****, Sang-Soo Kim*****
 *Dae-Won Univ. College, **K-Water, ***Kong-Ju National Univ., ****Dong-Guk Univ., *****HUSCOM CO, *****ACMTech CO.

요약

본 논문에서는 유도전동기의 저속운전영역에서 고속운전영역에 이르기까지 모든 영역에 걸친 안정된 속도제어를 목적으로 전압·전류 모델 합성 자속 추정기를 구현하였다. 제시한 시스템의 유용성을 확인하기 위해 3.7[kW]용량의 농형 유도전동기에 적용하여 시뮬레이션의 편의를 위해 각각의 제어기를 Matlab/Simulink를 통해 모델링하여 검토하였으며, 실험을 통해 확인하였다.

1. 서론

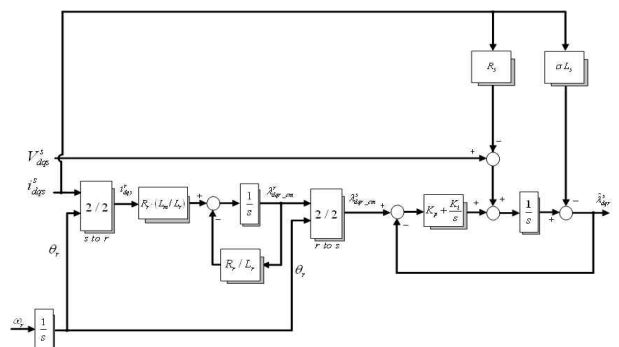
고성능 유도전동기 벡터제어에는 자속의 회전각과 자속의 크기 정보가 필수적이다[1]. 자속에 대한 정보를 얻기 위해서는 자속센서를 설치하거나 적절한 자속모델을 사용해야 하는데 홀소자 등의 자속센서에 의한 자속검출은 전동기에 기계적인 가공을 필요로 함으로 유도전동기 기계적인 구조를 약화시킨다. 자속모델을 이용하는 방법은 고속에서 정확한 자속벡터를 추정할 수 있지만 저속영역에서는 전동기 파라미터 변동에 의한 영향이 크고, 작은 역기전력으로 신뢰성을 저하시킨다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 전 속도영역에서 고성능 벡터제어가 가능하도록 하기 위한 연구가 진행되어 왔다.

본 논문에서는 유도전동기의 저속운전영역에서 고속운전영역에 이르기까지 모든 영역에 걸친 안정된 속도제어를 목적으로 전압·전류 모델 합성 자속 추정기를 통해 저속영역에서와 고속영역에서 각각 다른 모델에 의한 자속을 추정하고 이로부터 자속각을 추정하는 알고리즘을 사용한다. 특히 저속영역에서 부하가변시의 전류의 변화와 자속의 변화를 실시간으로 추정하여 저속영역에서의 제어특성을 향상시켜 부하가변시에도 전영역에서 보다 안정된 제어특성을

얻고자 한다[2][3].

제시한 시스템의 유용성을 확인하기 위해 3.7[kW]용량의 농형 유도전동기에 적용하여 시뮬레이션의 편의를 위해 각각의 제어기를 Matlab/Simulink를 통해 모델링하여 검토하였으며, 부하로는 동일한 용량의 직류발전기를 MG세트로 구성하여 실험에 사용하였다.

2. 전압·전류 모델 합성 자속 추정기

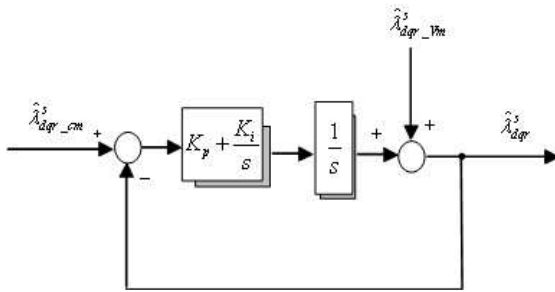


[그림 1] 전압·전류 모델 합성 자속 추정기

일반적으로 역기전력이 큰 고속운전영역에서는 고정자 전압을 적분하여 구한 전압모델이 전동기 제정수의 변동에 강인하여 자속 추정에 유리하고, 역기

전력이 작은 저속운전영역에서는 회전자 회로를 이용한 전류 모델이 측정신호의 오차에 강인하여 추정 특성이 우수하다. 그러므로 저속운전영역에서는 전류 모델 자속 추정기를 사용하고, 고속운전영역에서는 전압 모델 자속 추정기를 사용하여 자속을 추정하는 것이 유리하다[3]. [그림 1]은 전압 모델과 전류 모델을 함께 사용하는 자속 추정기의 블록도이다.

전압모델로 얻어진 자속을 외란으로 간주하여 주파수가 PI 제어기의 주파수 대역보다 낮은 영역(저속운전영역)에서는 추정된 자속이 전류모델 자속 추정기로 얻어진 자속을 따라가게 되고, 주파수가 PI 제어기의 주파수 대역보다 큰 영역(고속운전영역)에서는 추정된 자속은 전류모델 자속 추정기로 얻어진 자속을 추정하지 않고 주로 외란항(전압모델로 얻어진 자속)에 의하여 결정된다. 그러므로 [그림 1]의 전압·전류 모델 합성 자속 추정기는 저속운전영역에서는 전류모델 자속 추정기를 활용하고, 고속운전영역에서는 전압모델 자속 추정기를 이용하여 자속을 추정하는 기법이다. [그림 1]의 전압·전류 모델 합성 자속 추정기는 [그림 2]와 같이 간략화 하여 해석할 수 있다.



[그림 2] 간략화한 합성 자속 추정기

[그림 2]에서 추정된 자속은 전압모델 자속 추정기와 전류모델 자속 추정기로 구해진 회전자 자속으로 표현하면 다음과 같은 전달함수를 얻을 수 있다.

$$\hat{\lambda}_{dqr}^s = \frac{s^2}{s^2 + K_p s + K_i} \hat{\lambda}_{dqr-Vm}^s + \frac{K_p s + K_i}{s^2 + K_p s + K_i} \hat{\lambda}_{dqr-cm}^s \quad (1)$$

여기서, 전류 모델 자속 추정기로 추정된 자속은 $\hat{\lambda}_{dqr-cm}^s$ 이고, 전압 모델 자속 추정기로 추정된 자속은 $\hat{\lambda}_{dqr-Vm}^s$ 이다.

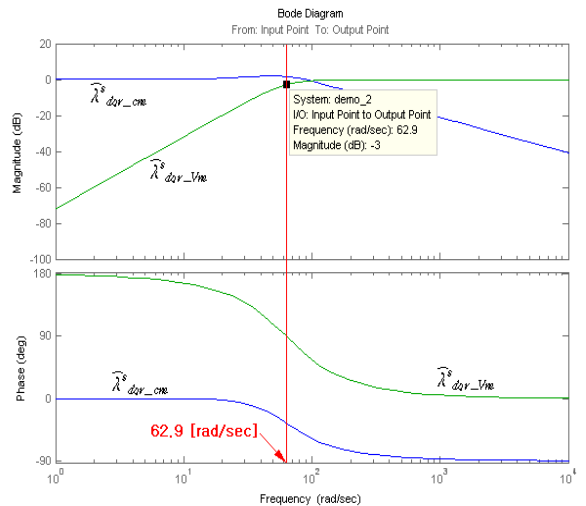
전류모델에서 전압모델로 전이되는 주파수는 차단 각 주파수 개념으로 다시 정의 할 수 있다. 이 경우

PI제어기의 이득에 따라 다양한 종류의 필터를 형성하는 것으로 이해될 수 있다. PI제어기의 이득을 2차 버터워스 필터의 개념에서 설계하면 다음과 같다.

$$K_p = \sqrt{2} \omega_c, \quad K_i = \omega_c^2 \quad (2)$$

여기서, ω_c 는 2차 버터워스 필터의 차단각 주파수이다.

전압·전류 모델 합성 자속 추정기의 전류모델에서 전압모델로의 전이시점에 대한 전이 주파수를 MATLAB/Simulink LTI Viewer를 이용하여 주파수 영역에서 bode 선도를 통해 전이 주파수를 선정한다. 식 (1)에서 전류 모델 자속 추정기로 추정된 자속 $\hat{\lambda}_{dqr-cm}^s$ 에는 저주파 통과 필터가 곱해진 형태로, 전압 모델 추정기로 추정된 자속 $\hat{\lambda}_{dqr-Vm}^s$ 은 고주파 통과 필터가 곱해진 형태로 재해석될 수 있다. 그러므로 추정된 자속은 저속운전영역에서는 전류모델이 우세하고 고속운전영역에서는 전압모델이 우세하게 된다.



[그림 3] 전압·전류 합성 자속 추정기의 전이 주파수[rad/sec]

전류모델 자속 추정기에서 추정된 자속 $\hat{\lambda}_{dqr-cm}^s$ 과 PI제어기 형태의 저주파 통과 필터에 대한 주파수 응답을 확인한 후 전압모델 자속 추정기에서 추정된 자속 $\hat{\lambda}_{dqr-Vm}^s$ 과 PI제어기 형태의 고주파 통과 필터에 대한 주파수 응답을 확인하여, 각 모델의 전이 시점을 선정한다. [그림 3]은 식 (2)의 전압·전류 모델 합성 자속 추정기의 PI제어기의 이득과 [그림 2]를 이용하여 Simulink 파일을 작성한 후 전류

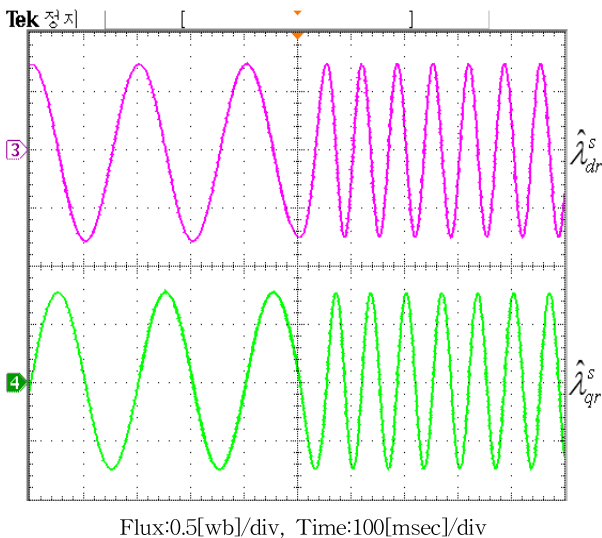
모델과 전압모델에서 추정된 자속을 Input point로 하여 나타낸 주파수응답이다. 정격의 10%이상부터 전압모델 자속 추정기가 안정화되므로 본 논문에서는 전류모델에서 전압모델로의 전이 주파수를 약 62.9[rad/sec](10[Hz])로 설정하였으며, 이를 기준으로 하여 전류모델에서 전압모델로 전이 되게 된다.

3. 실험

모든 제어변수들의 파형은 실제의 전력회로에서 측정하기가 매우 곤란하므로 이를 측정하기 위한 회로를 설계하였으며, AD 7865AS, DA 7725N을 이용하여 DSP가 출력하도록 함으로써 외부에서 측정가능 하도록 하였다. 또한 실험에 사용된 각각의 파라미터는 시뮬레이션에서와 마찬가지로 [표 1]과 같다.

[표 1] 유도전동기 파라미터

항 목	기 호	값
정격 출력	kW	3.7[kW]
정격 전압	V	220[V]
정격 전류	I	12.9[A]
정격 속도	ω_{rpm}	1720[r/min]
극 수	P	4극
고정자저항	R_s	0.9210[Ω]
회전자 저항	R_r	0.5830[Ω]
고정자 인덕턴스	L_s	0.0671[H]
회전자 인덕턴스	L_r	0.0671[H]
상호 인덕턴스	L_m	0.0650[H]
관성 모멘트	J	0.0418[kg · m ²]
마찰 계수	B	0.0045[kg · m ² /s]



[그림 4] 기준속도 변화시 추정자속 파형(100→400[r/min])

[그림 4]는 기준속도를 100[r/min]에서 400[r/min]으로 가변 하여 저속영역에서 저속이상영역으로의 속도가변시 저속영역에서 전류모델 자속 추정기, 전이주파수(10[Hz]:무부하시 약 300[r/min])이상에서 전압모델 자속 추정기의 추정성능을 알아보기 위한 실험이다. 저속영역에서 저속이상영역으로 속도가변 시에도 전압·전류 모델 합성 자속 추정기의 저속영역과 저속이상영역 모두에서 정확하게 자속을 추정하고 있음을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 유도전동기의 저속영역에서 저속이상영역에 이르기까지 모든 영역에 걸친 안정된 속도 제어를 목적으로 전압·전류 합성 자속 추정기를 통해 저속영역과 저속이상영역에서 각각 다른 모델에 의한 자속을 추정하고 이로부터 자속각을 추정하는 알고리즘을 사용하는 직접벡터제어 시스템을 구현하였다.

저속영역에서 전류모델 자속추정기, 저속이상영역에서 전압모델 자속추정기의 전압모델과 전류모델의 장점을 살린 전압·전류 모델 합성 자속 추정기 알고리즘을 사용함으로써 모든 속도영역에서 양호한 자속 추정이 이루어짐을 확인 하였다.

참고문헌

- [1] Ion Boldea and S. A. Nasar, "Electric drives", CRC Press, 1999.
- [2] Marko Hinkkanen, "Analysis and Design of Full-Order Flux Observer for Sensorless Induction Motors", IEEE 2002, 77~82, 2002.
- [3] Hou-Tsan Lee, Li-Chen Fu and Su-Hau Hsu, "Adaptive Speed/Position Control of Induction Motor with Unknown Load Torque", Proceedings of American Control Conference Anchorage, pp.4583~4588, 2002. 5.
- [4] 유재성, 원충연 "가변계인 회전자 자속관측기에 근거한 스핀들 유도전동기의 센서리스 속도제어" p417~425 2006