

전기자동차용 유도전동기를 위한 반포화 적분-비례 전류제어기

서은성, 신휘범
경상대학교

Anti-windup IP Current Controller of Induction Motor for EVs

Eun Sung Seo, Hwi Beom Shin
Gyeongsang National University

ABSTRACT

전기자동차에 적용되는 배터리 전압은 배터리의 용량, 크기, 중량 및 가격 등과 같은 사항에 의해 제한을 가진다. 따라서 전기자동차 구동을 위해 전류 제어를 수행할 경우 배터리 전압 제한에 따라 제어기의 포화가 발생할 수 있고, 이는 와인드업 현상을 야기한다. 와인드업 현상은 울렁거림 현상, 큰 오버슈트 및 느린 정착 시간과 같은 과도상태 응답 특성을 저하시키고 심각한 경우 시스템의 불안정을 초래한다. 자동차의 특성상 가·감속 및 정지, 출발과 같이 급변하는 기준 명령의 변화가 빈번하기 때문에 승차감 및 안정성에 있어 과도상태의 응답 특성이 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 전기자동차용 유도전동기를 위한 반포화 적분 비례 제어기를 제안하고, 실험을 통해 제어 성능의 우수함을 보인다.

1. 서 론

농형 유도전동기는 신뢰성, 내구성, 낮은 유지보수 및 비용, 그리고 고속운전 능력과 같은 이점으로 인해 전기자동차용 추진 장치의 가장 유망한 대체로 널리 인정받고 있다^[1]. 이런 유도전동기의 제어 방법은 비례 및 적분 동작을 전류, 토크 및 속도 제어에 직결한 형태로 구성하여 사용하는 것이 일반적이다. 하지만 적분 동작을 이용한 제어는 입력 제한에 걸릴 경우 제어기의 포화로 인해 제어 성능의 급격한 저하를 가져온다. 특히 전기자동차에 적용되는 배터리 전압은 배터리의 용량, 크기, 중량 및 가격 등과 같은 사항에 의해 제한의 정도가 더 엄격해진다. 또한 전기자동차의 주요 운전영역은 약계자영역이다. 약계자영역에서 전압 여유는 상당히 줄어들어 전압 제한에 걸리기 쉽다. 따라서 전기자동차 구동을 위해 전류 제어를 수행할 경우 배터리 전압 제한에 따라 제어기의 포화가 발생할 수 있고, 이는 와인드업 현상을 야기한다. 와인드업 현상은 울렁거림 현상, 큰 오버슈트 및 느린 정착 시간과 같은 과도상태 응답 특성을 저하시키고 심각한 경우 시스템의 불안정을 초래한다^[2]. 자동차의 특성상 가·감속 및 정지, 출발과 같이 급변하는 기준 명령의 변화가 빈번하기 때문에 승차감 및 안정성에 있어 과도상태의 응답 특성이 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 전기자동차용 유도전동기를 위한 반포화 적분 비례 제어기를 제안하고, 이를 실험에 적용하여 제어 성능의 우수함을 보인다.

2. 반포화 적분-비례 전류 제어기

2.1 유도전동기의 입력제한

벡터제어로 제어되는 유도전동기의 전류 방정식은 단위계에 서 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{i}_{ds} &= -\frac{1}{\sigma\tau_s}i_{ds} + \omega_c i_{qs} + \frac{\omega_b}{\sigma X_s}v_{ds} \\ \dot{i}_{qs} &= -\frac{1}{\sigma\tau_s}i_{qs} - \frac{\omega_c}{\sigma}i_{ds} + \frac{\omega_b}{\sigma X_s}v_{qs} \end{aligned} \quad (1)$$

진압원 인버터가 만들 수 있는 전압 벡터의 크기는 다음과 같이 제한된다.

$$v_s = \begin{cases} U_{hs} & \text{if } u_s > U_{hs} \\ u_s & \text{if } U_{ls} \leq u_s \leq U_{hs} \\ U_{ls} & \text{if } u_s < U_{ls} \end{cases} \quad (2)$$

U_{hs} 와 U_{ls} 는 각각 인버터가 출력할 수 있는 양의 최대 및 음의 최소전압을 의미한다.

2.2 제안한 반포화 적분-비례 전류 제어기

제안한 비례 적분 전류 제어기의 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u_{ds} &= -K_p i_{ds} + K_i q_{ds} + u_{ffds} \\ u_{qs} &= -K_p i_{qs} + K_i q_{qs} + u_{ffqs} \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 적분상태 q_s 는 다음과 같이 개선한다.

$$\dot{q}_s = \begin{cases} e_s & \text{if } u_s = v_s \\ \omega_i(q_{ss} - q_s) & \text{if } u_s \neq v_s \end{cases} \quad (5)$$

q_{ss} 는 정상상태에서의 적분 상태를 계산한 값이다.

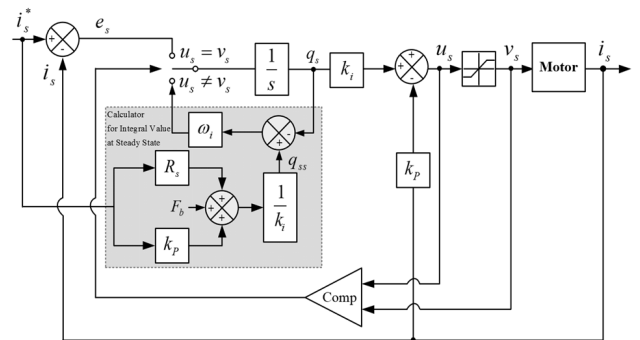


그림 1 제안한 반포화 IP 전류 제어기

Fig. 1 Proposed anti-windup IP current controller

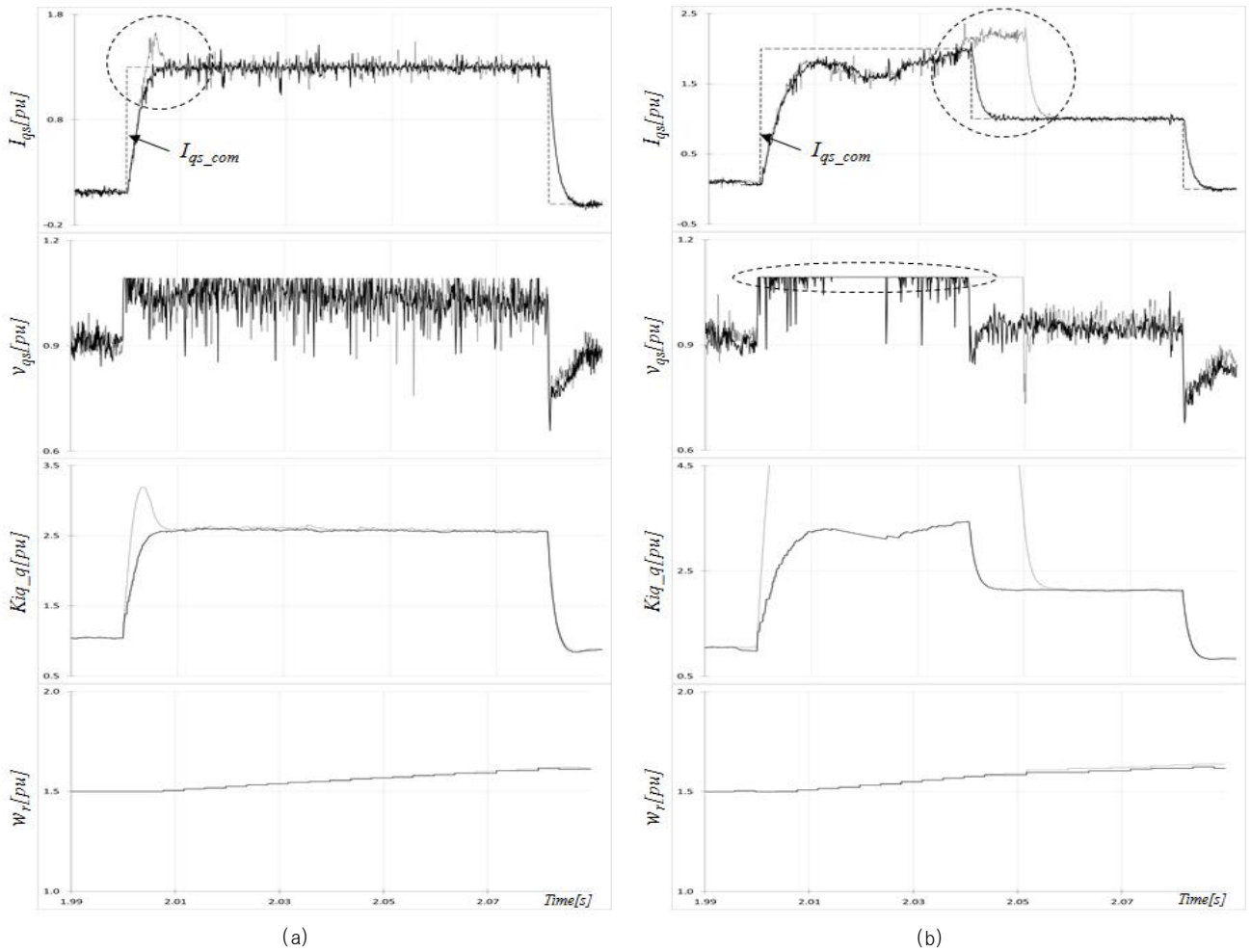


그림 2 약계자 영역에서 제어기 성능 실험결과(점선: 기존 IP 제어기, 실선: 제안한 IP 제어기)
 Fig. 2 Experimental results of controller performance at field weakening region(dotted line: Conventional IP controller, solid line: Proposed IP controller)

3. 실험 결과

표 1 전기자동차용 유도전동기 파라메타
 Table 1 Parameter of induction motor for EVs

정격출력:[kW]	7
정격전압:[V]	45
극수:[pole]	4
정격주파수:[Hz]	90
R_s, R_r, X_s, X_r, X_m :[mΩ]	10.9, 9.4, 1213, 1200, 1161

전기자동차의 주요 운전영역은 약계자영역이다. 따라서 전동기가 약계자영역에서 동작하도록 설정한다. 이 시점에서 급변하는 기준 명령 변화에 대한 전류응답 특성을 보기 위해 q축 전류를 대상으로 사각과 전류명령을 수행한다. 제어기 성능은 정착 시간 2[ms], 제동비 1로 설정 하였다.

그림 2는 사각과 전류 명령에 대한 과도상태에서의 제어기특성을 나타낸다. 기존의 IP 제어기와 달리 제안한 반포화 전류 제어기의 경우 울렁거림 현상 및 오버슈트를 가지지 않는 과도상태에서의 안정적인 제어 성능을 볼 수 있다. 이는 제어기가 포화되었을 경우 정상상태에서의 적분상태 값을 계산하고 이를 제어기가 선형 영역으로 진입할 때 적분상태의 초기치로 이용하여 오차를 최소화했기 때문이다.

4. 결 론

전기자동차용 유도전동기를 위한 정상상태에서의 적분 상태 값을 이용한 반포화 적분 비례 전류 제어기를 제안하였고, 이를 실험에 적용하여 제어 성능의 우수함을 보였다.

이 논문은 (주)삼현의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

- [1] Yang Liu, Jin Zhao, Rui Wang and Chengguang Huang, "Performance Improvement of Induction Motor Current Controllers in Field Weakening Region for Electric Vehicles", IEEE Trans. Power Electron., Vol. 28, No. 5, pp. 2468-2482, MAY, 2013.
- [2] J.G. Park, J.H. Chung, H.B. Shin "Anti windup Integral Proportional Controller for Variable Speed Motor Drives", Journal of Power Electronics, Vol. 2, No. 2, pp. 130-138, 2002, April.