

상호 인덕턴스 변동을 고려한 계자 권선형 동기 전동기의

상호 간섭 성분 보상에 관한 연구

김 철 민¹⁾ · 이 원 식¹⁾ · 성 창 현¹⁾ · 이 근 호²⁾

국민대학교 자동차모빌리티대학원¹⁾ · 국민대학교 자동차융합대학²⁾

A Study on the Cross-Coupling Compensation of WFSM Considering Operation Point Dependent Mutual Inductance Variation

Cheolmin Kim¹⁾ · Wonsik Lee¹⁾ · Changhyun Seoung¹⁾ · Geunho Lee²⁾

Graduate School of Automobile Mobility at Kookmin University¹⁾,

College of Automotive Convergence at Kookmin University²⁾

Key words : Wound-Field Synchronous Motor(계자 권선형 동기 전동기), Cross-coupling compensation(상호 간섭 성분 보상), Mutual inductance variation(상호 인덕턴스 변동)

* 이근호, E-mail: motor@kookmin.ac.kr

최근 희토류 자석의 가격 상승과 수급 불안정성으로 인해 비 희토류 전동기인 계자 권선형 동기 전동기(WFSM)가 관심을 받고 있다. WFSM은 회전자에 영구자석 대신 계자 권선을 배치하여 자속의 세기를 실시간으로 조절할 수 있는 운전 유연성을 갖지만, 고정자 d축과 계자 권선 사이의 강한 자기적 결합으로 인해 제어 성능이 저하되는 한계가 있다. 특히 고속 운전이나 부하 변동 시 d축 전류가 급변하면 계자 권선에 큰 유도 기전력이 발생하며, 이는 계자 전류의 리플을 유발하고 결과적으로 토크 응답 특성을 악화시킨다.

본 연구에서는 이러한 상호 간섭 성분을 정밀하게 상쇄하기 위해 자기 포화 특성을 반영한 가변 상호 인덕턴스(L_{md}) 기반의 비간섭 제어 전략을 제안한다. 먼저 전동기의 비선형적인 자속 특성을 모사하기 위해 d축 및 계자 전류에 따른 자속 데이터를 3차 다항식으로 회귀 분석하고, 최소자승법(LSM)을 적용하여 시스템 파라미터를 최적화한다. 이를 통해 운전점마다 가변하는 상호 인덕턴스를 도출하고 실시간 2D-LUT(Look-Up Table)를 구축하여 전향 보상(Feed-forward) 제어기에 반영한다.

제안된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 실험을 수행한 결과, d축 전류 변동 시 발생하는 계자 전류 리플이 기존의 상수 보상 방식 대비 약 56% 저감됨을 확인하였다. 이는 제안한 기법이 상호 간섭 성분을 효과적으로 상쇄하고 있음을 입증한다. 본 연구의 결과는 WFSM 구동 시스템의 전류 제어 정밀도를 높여 전기자동차 구동 및 산업용 응용 분야에서의 제어 안정성을 향상시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

이 논문은 산업통상자원부가 지원한 '패키지형(특허연계형)'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명 : 실차 구동조건 기반의 접지 부품 안정성, 내구성 평가기술개발 / 과제고유번호 : 2410002549]

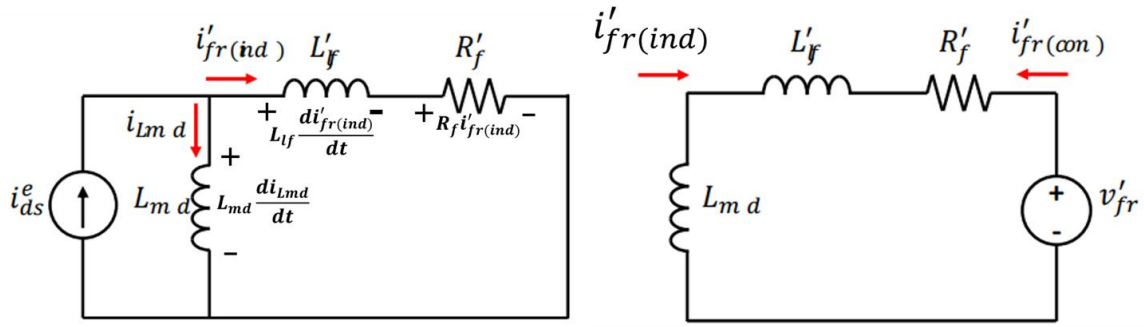


Fig. 1 d-axis equivalent circuit for WFSM

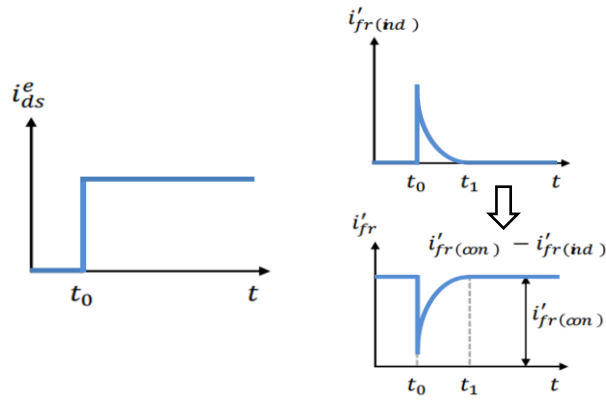


Fig. 2 Induced field current waveform and total field current waveform resulting from the d-axis current