

RDCLESS 회전자 위치 검출 및 델타 시그마 ADC를 활용한 계자 권

선형 동기전동기 제어 성능 향상 기법

오 현 민¹⁾ · 전 찬 우¹⁾ · 홍 정 의¹⁾ · 이 근 호²⁾

국민대학교 자동차모빌리티대학원¹⁾ · 국민대학교 자동차융합대학²⁾

Method for Improving the Control Performance of Wound Rotor Synchronous Motor Using RDCLESS Rotor Position Detection and Delta-Sigma ADC

Hyunmin Oh¹⁾ · Chanwoo Jeon¹⁾ · JeongEui Hong¹⁾ · Geunho Lee²⁾

Graduate School of Automobile Mobility at Kookmin University¹⁾,
College of Automotive Convergence at Kookmin University²⁾

Key words : Wound Rotor Synchronous Motor(WRSM), RDC-less, Delta-Sigma ADC, Resolver, Phase compensation

* 이근호, E-mail: motor@kookmin.ac.kr

최근 전동화 차량의 구동계에서는 회토티 자석의 가격 급등과 공급망 불확실성 문제로 인해 영구 자석을 배제한 계자 권선형 동기 전동기(Wound Rotor Synchronous Motor, WRSM)가 주목받고 있다. WRSM은 계자 전류 제어를 통해 자속을 능동적으로 조절할 수 있어 고속 영역에서의 전압 여유 확보에 유리하다. 그러나 정밀한 WRSM 제어를 위해 필수적인 회전자 위치 검출에는 전통적으로 RDC(Resolver-to-Digital Converter) 칩이 사용되어 왔는데, 이는 추가적인 비용과 PCB 면적 증가를 초래할 뿐만 아니라, RDC와 MCU 간의 통신 지연 및 비동기화로 인해 고속 영역에서 제어 위상 오차 및 성능 저하를 유발하는 한계가 있다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 RDC를 제거하고 MCU 내장형 델타-시그마 ADC(EDSADC) 모듈을 활용하여 레졸버 신호를 직접 처리하는 RDC-less 회전자 위치 추정 기법을 제안한다. 델타-시그마 ADC의 오버샘플링과 노이즈 셰이핑 특성을 이용해 고해상도의 신호를 획득하고, 제어 주기와 필터 출력 주기 사이의 비동기성으로 인해 발생하는 위상 지연을 타임스탬프(Timestamp) 보상으로 해결하였다. 또한, 신호의 진폭 변동을 억제하고 선형성을 높이기 위해 Min-Max 정규화(Normalization) 과정을 적용하였다.

제안하는 위치 추정 및 제어 기법의 타당성은 MATLAB/Simulink 시뮬레이션 및 실제 모터 다이내믹 실험을 통해 검증되었다. 부하 실험(1000r/min, 5000r/min) 결과, 보상 기법이 적용된 RDCLESS 방식은 기존 RDC 기반의 위치각과 거의 일치하는 높은 추정 정확성을 보였다. 나아가, 전류 제어 적용 시 3상 전류의 총 고조파 왜곡률(THD)이 RDC 방식(6.70%) 대비 RDCLESS 방식(4.18%)에서 오히려 감소하여 전류 품질과 고속 제어 안정성이 개선됨을 확인하였다. 본 연구는 별도의 RDC 소자 없이도 경제적이고 신뢰성 높은 WRSM 구동 제어가 가능함을 입증한다는 점에서 의의가 있다.

이 논문은 산업통상자원부가 지원한 '이종기술융합형'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다.

[과제명 : 통합형 전기 엔진 탑재용 가변형 동기 PWM 기법을 적용한 전류 전고조파 왜를 3% 이하 제어부 개발 / 과제고유번호 : 2410015957]

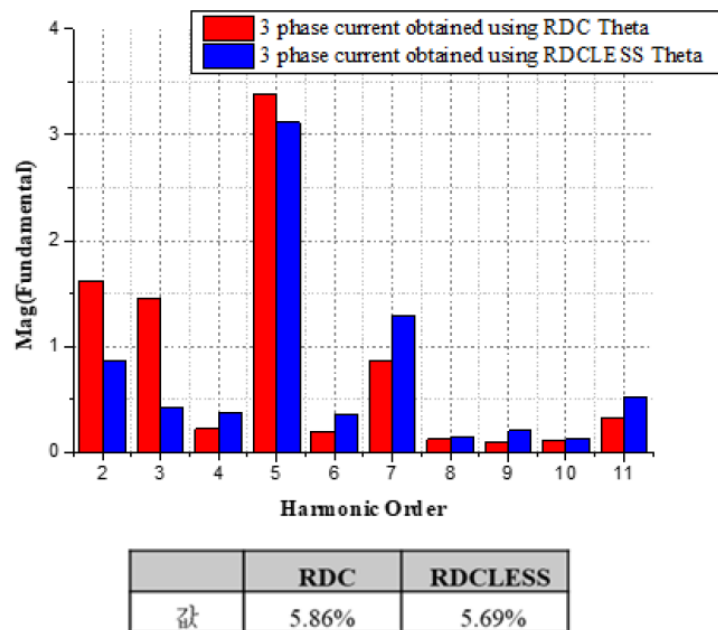


Photo. 1 Comparative FFT Analysis of 3-Phase Currents