

듀얼 3상 모터 구동 시스템의 DC-Link 커패시터 리플 저감을 위한 제안하는 PWM 기법

정 채 영¹⁾ · 정 지 현¹⁾ · 이 현 석¹⁾ · 임 희 선²⁾

국민대학교 자동차모빌리티대학원¹⁾ · 국민대학교 자동차융합대학²⁾

A proposed PWM Method for DC-Link Capacitor Ripple Reduction in Dual Three-Phase Motor Drive Systems

Chaeyoung Jeong¹⁾ · Jihyeon Jeong¹⁾ · Hyunseok Lee¹⁾ · Heesun Lim²⁾

Graduate School of Automobile Mobility at Kookmin University¹⁾,

College of Automotive Convergence at Kookmin University²⁾

Key words : Interleaving, Random PWM, SVPWM, Semi-Hybrid PWM

* 이근호, E-mail: motor@kookmin.ac.kr

제안된 세미 하이브리드 PWM 기법의 성능을 검증하기 위해 다이내모 실험을 수행하고, DC 링크 커패시터 전류 및 DC 링크 전압을 측정하여 기존 방식과 비교하였다. 실험 결과 제안된 기법을 적용할 경우 DC 링크 커패시터 전류의 RMS 값이 감소하였으며, 동시에 DC 링크 전압 리플 또한 감소하는 것을 확인하였다. 이를 통해 제안된 기법이 다중 인버터 구동 시스템에서 DC 링크 커패시터 전류 리플을 저감하는 데 효과적임을 확인하였다.

듀얼 모터-인버터 시스템은 하나의 DC-Link 커패시터를 통해 두 대의 인버터와 모터를 동시에 구동하는 구조로, 구동계의 자유도 향상과 시스템 경량화 측면에서 장점을 가진다. 그러나 두 인버터가 동일한 DC-Link를 공유하기 때문에 싱글 인버터 시스템 대비 DC-Link 커패시터에 흐르는 전류 리플이 최대 두 배까지 증가할 수 있다는 문제가 존재한다. 이러한 전류 리플 증가는 DC-Link 커패시터의 전류 RMS 증가와 전압 리플 증가로 이어져 커패시터의 수명 저하 및 시스템 신뢰성 저하의 원인이 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 인터리빙(Interleaving) 기법이 제안되었으며, 이는 두 인버터에 인가되는 캐리어 파형에 위상차를 부여하여 각 인버터에서 유효 전압 벡터가 출력되는 시점을 분산시킴으로써 DC-Link 커패시터에 흐르는 전류 리플을 감소시키는 방법이다.

한편, SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) 방식을 이용하여 고정된 스위칭 주파수로 모터를 구동할 경우, 인버터 출력 전압의 고조파 성분이 스위칭 주파수 및 그 정수배에 해당하는 특정 주파수 대역에 집중되는 특성이 있다. 이러한 고조파 집중 현상은 전동기 구동 시 진동 및 소음 문제를 유발하고, 전자기 간섭(Electromagnetic Interference, EMI)을 증가시키는 요인이 될 수 있다. 이러한 문제를 완화하기 위한 방법으로 Random PWM 기법이 제안되었으며, 이는 랜덤 함수를 이용하여 스위칭 주파수를 변화시킴으로써 특정 주파수 대역에 집중되어 있던 고조파 성분을 광대역으로 분산시키는 기법이다. 이를 통해 특정 주파수 대역에서의 고조파 에너지를 감소시켜 진동 및 소음 문제와 EMI 문제를 완화할 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 인터리빙 기법과 Random PWM 기법을 결합한 새로운 PWM 구동 방식을 제안한다. 제안하는 방법은 인터리빙 기법을 통해 듀얼 모터-인버터 시스템에서 DC-Link 커패시터에 흐르는 전류 리플을 감소시키는 동시에, Random PWM 기법을 적용하여 스위칭 주파수에 집중되는 고조파 성분을 분산시켜 고조파로 인한 진동, 소음 및 EMI 문제를 완화하는 것을 목표로 한다. 또한 제안된 기법의 효과를 검증하기 위해 DC-Link 커패시터 전류 RMS 값 및 DC-Link 전압 리플 특성을 분석하고, 기존 스위칭 방식과의 비교를 통

해 제안 기법의 유효성을 확인한다.

다중구동 이 논문은 2026 년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임('과제번호 02633028,RS-2025-02633028', 고효율 운전영역 능동제어용 고응답 다중구동 전동모듈 기술)

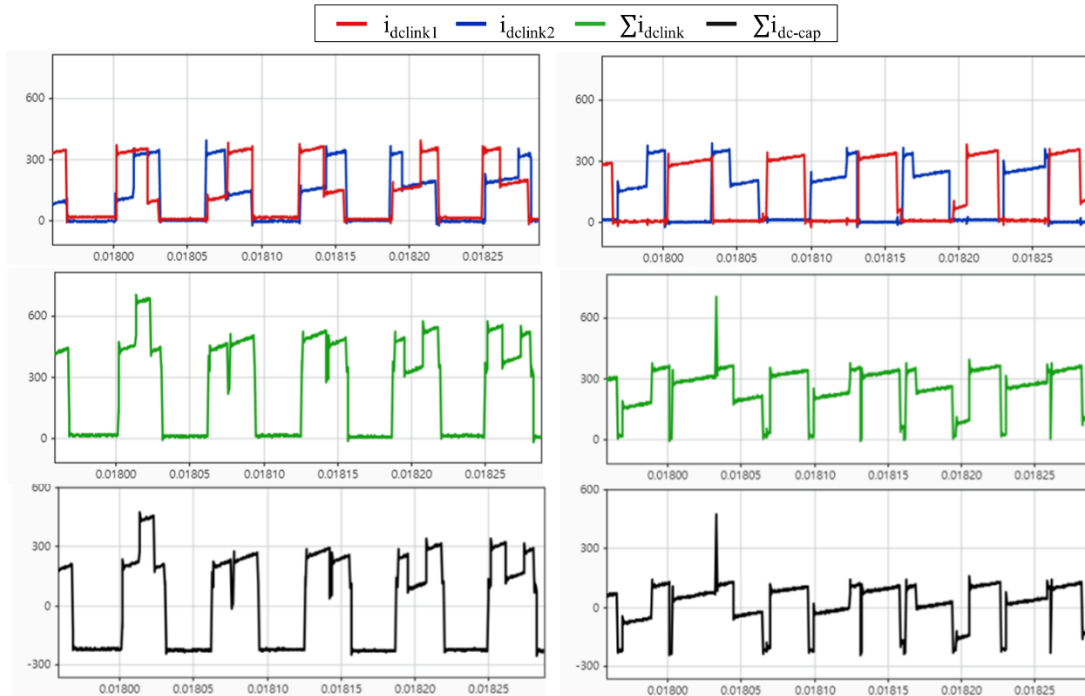


그림1. Worst case에서 i_{dlink1} , i_{dlink2} , Σi_{dlink} , Σi_{dc-cap} 순시 전류 값 (a) without (b) with Semi-Hybrid

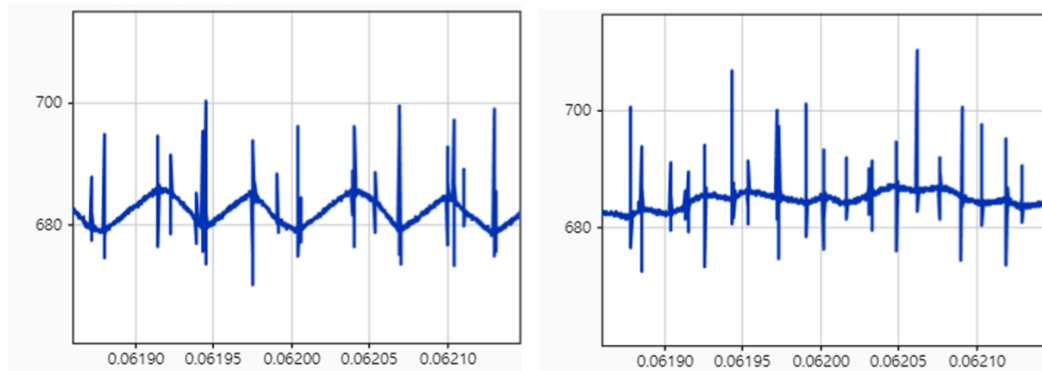


그림 2. Worst case 에서 리플 전압 V_{pp} (a) without, (b) with Semi-Hybrid