

전동기 구동 시스템의 인버터 스위치 고장에서의 데드타임에 따른 고조파 분석에 관한 연구

강명석*, 최영준**

제주대학교 전기에너지연구센터*, 제주대학교 전기공학과**

Study on harmonic analysis to dead time in inverter switch failure of motor drive system

Myeong-Seok Kang*, Yeong-Jun Choi**

Electric Energy Research Center, Jeju National University*, Jeju National University Electrical Engineering**

ABSTRACT

매입형 영구자석 동기 전동기는 전력밀도가 높고 효율이 좋은 특징으로 대부분의 전기차 모델에 적용되어 있다. 전기차에 적용되는 전동기 구동 시스템은 사람의 안전과 직결되어 높은 시스템 신뢰성을 요구한다. 본 논문에서는 매입형 영구자석 동기 구동 시스템의 인버터 스위치 개방 고장에 대하여 고조파 분석을 통한 고장분석 시 데드타임이 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

1. 서론

매입형 영구자석 동기 전동기는 다양한 산업 분야에서 많이 활용되고 있으며, 특히 지속적인 성장을 보이는 전기차 시장에서 대부분의 전기차 모델에 적용되고 있다.^[1] 높은 신뢰성과 안전성을 요구하는 전기차에서 구동 시스템은 매우 중요한 구성품으로 사용자의 안전성을 확보하기 위해 정확한 고장 진단과 모니터링이 필요하다.

선행 연구를 통하여 인버터 스위치 개방 고장에 대하여 3상 전류 및 전동기 토크의 고조파 특성을 분석하여 두 가지 특성을 조합하여 인버터 스위치 개방 고장 진단 알고리즘을 제안하였다.^[2] 이후 DSP 28377D 프로세서를 활용하여 실제 매입형 영구자석 동기 전동기 구동 시스템을 구성하여 실험을 진행하는 과정에서 IGBT의 데드타임에 대한 이슈를 확인하였다.

본 논문에서는 PSIM tool을 활용하여 인버터 스위치 고장에 대하여 고조파 분석을 통한 고장분석 시 데드타임이 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

2. 본론

2.1 데드타임 구현을 위한 모델링

인버터의 동일한 극에서 직렬 연결된 두 스위칭 소자가 동시에 켜지는 경우 직류 전원이 단락되어 큰 전류가 흘러 소자가 파괴될 수 있다. 이러한 단락 사고를 방지하기 위하여 턴 온 신호를 일정 시간 지연시킨다. 이러한 지연시간을 데드타임이라고 한다.^[3] 이러한 IGBT의 데드타임을 구현하기 위하여 PSIM tool을 활용하여 그림 1과 같이 전동기 구동 시스템을 모델링 하였다. 시뮬레이션에 사용된 전동기는 매입형 영구자석 동기 전동기로 파라미터는 표 1과 같다. 또한 인버터 스위

치 개방 고장을 모의하기 위하여 게이트 신호에 fault signal을 추가하였으며, 데드타임은 그림 2와 같이 10us를 적용하였다.

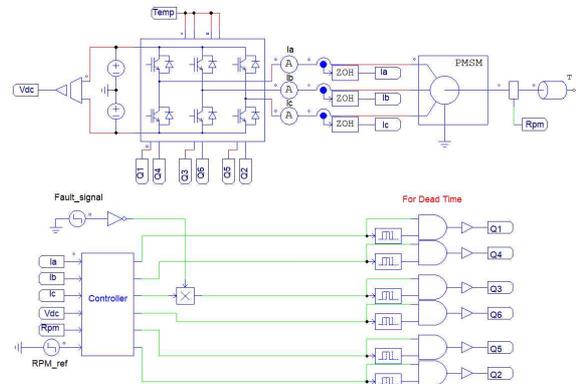


그림 1 인버터 스위치 개방 고장 및 데드타임 적용을 위한 시뮬레이션 모델

Fig. 1 A simulation model of inverter switch open fault and dead time

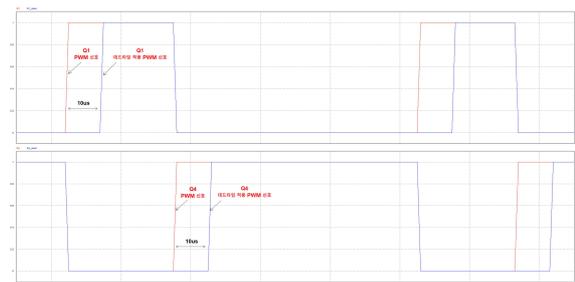


그림 2 10us 데드타임이 적용된 PWM 신호

Fig. 2 PWM signal with 10us dead time

표 1 5.5kW 매입형 영구자석 동기 전동기 파라미터

Table 1 5.5kW IPMSM parameter

Rated Power	5.5kW	Rs	0.2Ω
Rated Voltage	380V	Ld	2.638mH
Rated Current	8.9A	Lq	15.331mH
Rated Torque	17.5Nm	EMF	150.2Vpeak
Poles	6	Inertia	0.0125kgm ²

고조파 분석을 위해 전동기 속도 1,000rpm / 2,000rpm / 3,000rpm 상태에서 인버터 B상의 Top 스위치 개방 고장에 대하여 고조파 분석을 진행하였으며, 고조파 분석을 위한 속도별 주파수는 식(1)과 같이 계산된다.

$$F = rpm \times \frac{Pole}{120} \quad (1)$$

2.2 고조파 특성 분석 결과

그림 3은 데드타임 적용 전/후의 3상 전류 파형을 비교한 것으로, 데드타임이 적용되면 고조파가 포함된 것을 확인할 수 있다. 속도별 인버터 B상 Top 스위치 고장 시 데드타임 전/후 3상 전류에 대하여 기본 주파수의 크기를 기준으로 고조파 성분의 비율을 확인하였으며 그 결과는 그림 4, 5, 6과 같다.

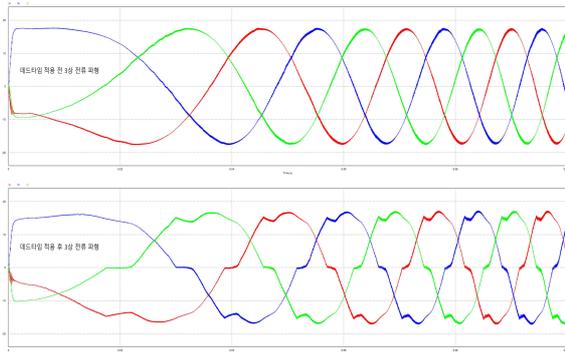


그림 3 데드타임 적용 전/후 3상 전류 비교 파형
Fig. 3 3-phase current waveform before and after applying dead-time

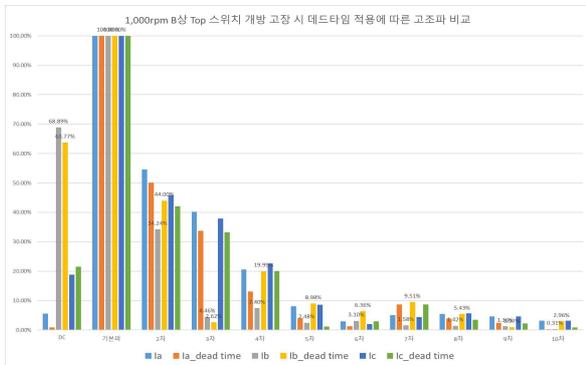


그림 4 1,000rpm 조건에서의 고조파 분석
Fig. 4 Harmonic analysis under 1,000rpm conditions

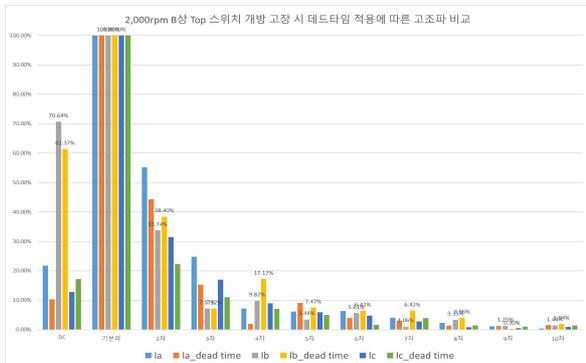


그림 5 2,000rpm 조건에서의 고조파 분석
Fig. 5 Harmonic analysis under 2,000rpm conditions

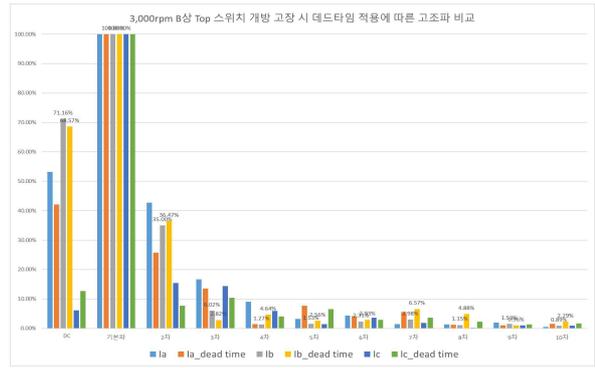


그림 6 3,000rpm 조건에서의 고조파 분석
Fig. 6 Harmonic analysis under 3,000rpm conditions

인버터 B상 Top 스위치 고장 시 데드타임에 의해 3상 전류에 동일하게 2차, 4차, 5차, 6차 7차, 8차, 10차 고조파 성분의 비율이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 그 가운데 4차, 7차 고조파 성분의 비율이 크게 증가함을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 매입형 영구자석 동기 전동기 구동 시스템에서 인버터 스위치 고장 시 데드타임 적용 여부에 따른 고조파 특성을 분석하기 위해 PSIM tool을 사용하여 데드타임을 적용할 수 있게 전동기 구동 시스템을 모델링하고, 각 속도별 고장 상황에 대하여 데드타임 적용 여부에 따른 3상 전류의 고조파 특성을 비교하였다. 그 결과 3상 전류에 4차, 7차 고조파 성분의 비율이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “전기차 통합유지보수 기반구축사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임(과제번호 : P0013681, 과제명 : 전기차 통합유지보수 플랫폼 기술개발)

참고 문헌

- [1] Tae-Sik Park, "Switch Open Circuit Fault Detection for Power Conversion System of Hybrid Electric Vehicles", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 18, No. 2, April 2013.
- [2] 강명석, “매입형 영구자석 동기 전동기 구동 시스템에서의 인버터 스위치 개방 고장에 관한 연구”, 전력전자학술대회 논문집 2023. 7. 4-6.
- [3] 김상훈, “모터제어 제 4판”, 북두출판사, 2022.