

PMA 구동 동기화를 위한 다중 조작회로 연구

윤대건, 양형규, 황대연, 박상민, 현병조, 김진홍[†]
 한국전자기술연구원 전력제어시스템연구센터

A Study on Multiple Operation Circuits for PMA Drive Synchronization

Dae-Geon Yun, Hyoung-Kyu Yang, Dae Yeon Hwang, Sang Min Park, Byoung Jo Hyon, Jin-Hong Kim[†]

Korea Electronics Technology Institute Power System Research Center

ABSTRACT

전력 계통 내 고압 차단기의 다중 조작을 위한 영구자석형 액추에이터(Permanent Magnetic Actuator, PMA)의 향상된 동작 방식을 제안한다. 기존의 PMA 구동 드라이브는 직류 전압을 병렬로 연결된 PMA에 출력하는 구조를 가지고 있었다. 하지만 이러한 구조는 연속 구동 시켰을 경우 PMA의 동작이 동기화되지 못하고 높은 전류를 요구한다는 문제점을 야기하였다. 본 논문에서는 PMA 구동 드라이브의 출력을 직렬로 연결하고, 고전압 커패시터를 적용하였다. 제안하는 방안의 효과 검증에 위하여 PMA 구동 드라이브 시제품 제작 및 구동 시험을 수행하였다.

1. 서론

전력 계통 내 고장이 발생하였을 경우 다중 선로를 신속하게 분리하기 위한 목적으로 영구자석과 코일을 이용한 전자식 액추에이터(Permanent Magnetic Actuator, PMA)^[1]가 사용되는데, 이러한 고압 차단기용 PMA를 구동하기 위해서는 전력 변환 회로로 구성된 구동 드라이브가 요구된다. 기존의 PMA 구동 드라이브는 직류 전압을 병렬로 연결된 각 상의 PMA에 출력하는 구조를 가지고 있다. 이러한 구조는 미세하지만 각각 다른 저항값을 가지고 있는 PMA 코일의 구조 상, 연속 구동 시 PMA 간 열차이를 발생시킨다. 이러한 열의 차이는 저항값의 차이를 더 벌어지게 하고 병렬 연결된 각 PMA의 전류값이 달라지게 하여 각 상의 동기화를 어렵게 한다는 문제를 야기한다.

본 논문에서는 PMA 구동 드라이브의 각 상의 연결을 직렬 연결함으로써 문제를 해결하고자 한다. 이는 연속된 PMA 구동으로 인해 각 코일에 열이 발생하여 PMA 간의 저항 차이가 발생하더라도 각 상의 전류의 차이를 없애 동작은 동기화되도록 만들 수 있으며 사용된 전력 반도체의 전류 부담을 완화할 수 있는 장점이 있다. 제안하는 방식의 효과 검증을 위해 PMA의 다중 동작을 비교하는 실험을 진행하였다.

2. PMA 구동 드라이브 설계

2.1 하드웨어 설계

본 논문에서 사용한 PMA는 One-coil 구조로 구성되었으며, 이를 Open 및 Close로 양방향 동작시키기 위해 PMA 구동 드

라이브는 Full-bridge 인버터로 설계되었다. 이에 대한 상세한 그림이 그림 1에 나타나 있다. 기존 PMA 구동 드라이브의 정격 입력전압은 한국전력공사의 기준 상 125V이다. 본 논문에서는 직렬 연결을 구현하기 위한 고전압 적용을 위해 Full-bridge 인버터 앞단에 전원공급장치(Switching Mode Power Supply, SMPS)를 추가하여 구동 가능 전압을 400V로 증압하였다.

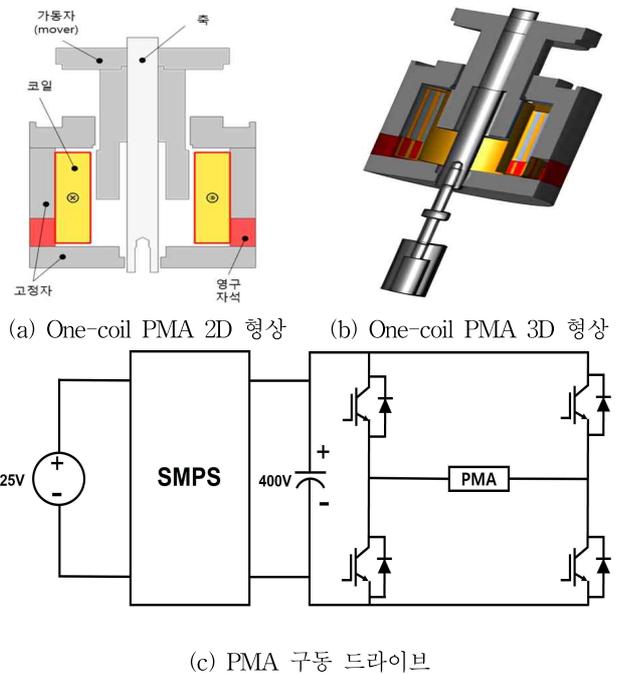


그림 1. PMA 시스템 하드웨어 구조

Fig 1. PMA system hardware structure

2.2 PMA 인가전압 선정

PMA 구동 드라이브가 Full-bridge 인버터의 형태이기 때문에 펄스폭 변조(Pulse-Width Modulation, PWM) 스위칭을 통한 출력 전압의 가변이 가능하다. 따라서 PMA의 연결 방식에 따라 다른 듀티비(D) 조절을 통해 PMA 인가전압 제어를 진행한다. 병렬 및 직렬 연결 구조에서 인가전압은 각각 150V 및 300V로 선정하였으며, 이 때 듀티비는 각각 0.375 및 0.75로 설정된다. 이에 대한 상세한 그림은 그림 2에 나타나있다.

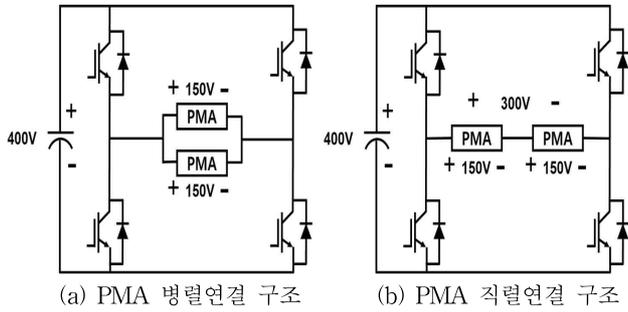


그림 2. 다중 PMA 연결 방식
Fig 2. Multiple PMA connection type

3. 하드웨어 실험 및 결과

제안한 PMA 연결 방식의 적용 방안의 효과를 검증하기 위해 하드웨어 실험을 진행하였다. 실험은 PMA Close 동작을 수행하였다. 하드웨어 실험 세팅은 그림 3에 나타나 있으며, 발열로 인한 기생 저항 성분을 모의하기 위해 임의의 저항을 PMA#2에 직렬로 추가하였다. 세부 실험 조건은 표 1에 정리되었다.

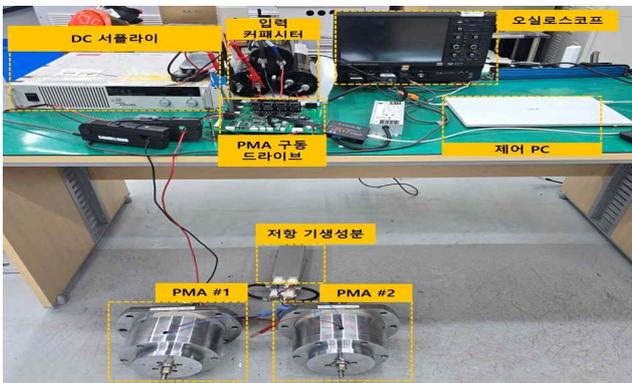


그림 3. 하드웨어 실험 세팅
Fig 3. Experimental test setup

표 1. 하드웨어 실험 조건

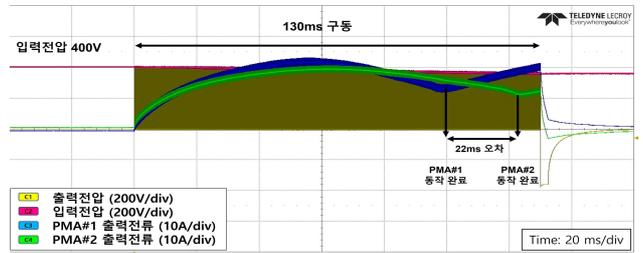
Table 1. Experimental test conditions

항목		사양
SMPS (입력 커패시터 충전)	정격용량	200 [W]
	입력전압	125 [V]
	출력전압	400 [V]
	SMPS 모델	HLG-185H-C500A
플브릿지 인버터 (PMA 구동)	입력전압	400 [V]
	출력전압	-400 ~ 400 [V]
	출력전류	90 [A _{pk}]
실험조건	전력반도체 모델	IKW75N65ES5 (IGBT)
	병렬인가전압 (Case 1)	150 [V]
	직렬인가전압 (Case 2)	300 [V]
	기생 저항 성분	PMA#1: 4.4Ω PMA#2: 6Ω

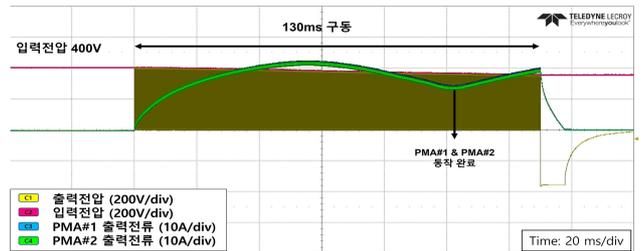
PMA에 병렬연결 구조를 적용시킨 Case 1은 듀티 0.375를 적용하여 PMA에 150V를 인가하였고, 그 결과가 그림 4(a)에 나타나있다. 실험 결과, PMA#1보다 PMA#2가 기생 저항성분으로 인해 22ms만큼 동작이 늦어져 동기화에 실패하였음이 확인되었다.

PMA에 직렬연결 구조를 적용시킨 Case 2는 듀티 0.75를 적용하여 PMA에 300V를 인가하였고, 그 결과가 그림 4(b)에 나타나있다. 실험 결과, PMA#1에 비해 PMA#2는 기생 저항성분을 포함함에도 불구하고 두 PMA에 동일한 전류가 흘러 동기화에 성공함이 확인되었다.

따라서 PMA에 직렬연결 구조를 적용하면 PMA의 기생 저항 성분이 달라져도 동기화를 완수할 수 있다는 사실을 검증하였다. 특히 Case 1과 Case 2의 결과 비교 시, 본 논문에서 수행한 실험에서는 동작시간의 차이를 22ms 만큼 감소시킬 수 있다는 사실 또한 확인하였다.



(a) 병렬연결 구조 적용 결과(Case 1)



(b) 직렬연결 구조 적용 결과(Case 2)

그림 4. 하드웨어 실험 결과 비교

Fig 4. Comparison of experimental test results

4. 결 론

본 논문에서는 다중 연결된 PMA를 연속 동작하여 PMA의 기생 저항 성분이 변하더라도 동기화를 완수하기 위한 PMA 간 직렬연결 구조를 제안하였다. 제안한 방안은 하드웨어 실험을 통해 검증되었으며, PMA간 동기화와 전력 반도체의 전류 부담을 완화하여 안정성을 높이는 효과가 기대됨이 확인되었다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20221A1010001C)

참 고 문 헌

- [1] S.-J. Kim, J.-H. Hur, T.-H. Kim, Y.-I. Kim, and H.-S. Jung, "Improvement of Operation Characteristics of One-coil PMA Applied to Protection Device in Power System," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 70, no. 12, pp. 2041-2045, 2021.