

플라이휠에 의한 에너지 저장 장치 개발

김원호, 김종수, 임근희
한국전기연구소

Development of Flywheel Energy Storage System

W. H. Kim, J. S. Kim, G. H. Rim
KERI

Abstract - With the development of power electronics, many new energy storage systems such as the superconducting magnetic energy storage, the flywheel energy storage, and the capacitive energy storage, etc. are being intensively studied recently in order to replace battery in some special applications, Among these innovative energy storage systems, the flywheel system exhibits some unique features such as high power density, easy maintenance and longer lifetime.

This paper introduces the novel flywheel energy storage system. Operation and features of the system are illustrated and verified on a 6kVA, 20kHz IPM based experimental circuit for O/A application. The Halbach Array Motor is selected for the design of the three-phase motor/generator for the flywheel energy storage system.

1. 서 론

최근들어, 반도체 소자로 구성된 전력변환장치와 발전전동기로 구성된 시스템을 이용하여 전기에너지를 플라이휠의 운동에너지로 변환하여 저장하는 기술에 대한 연구^{[1]-[3]}가 진행되고 있는데 플라이휠 에너지 저장장치는 축전지와 비교하여 환경 문제를 발생시키지 않는 큰 장점을 지니기 때문이다.

플라이휠 에너지 변환^{[4]-[5]}의 기본 원리는 각종 에너지를 이용하여 플라이휠에 운동에너지를 공급하며 플라이휠에 축적된 운동에너지를 다시 원하는 형태의 다른 에너지원으로 사용하는 것이다.

본 연구에서는 플라이휠을 이용한 에너지 저장장치 중에서 UPS(Uninterruptible Power Supply)에 관한 것으로서 정상운전 중에서는 컨버터/인버터에 의한 구성으로 부하측에 정상적인 전원을 공급하며, 입력

측 전원이 정전되는 경우와 같은 이상 사태 발생 시에는 플라이휠에 저장된 운동에너지에 의해 고속 발전전동기를 일정시간 동안 효율적으로 구동하여 전체시스템을 안정화 한다. 본 연구를 수행함에 있어서는 입력 전원 AC 220V, 6kVA급이며 플라이휠은 Halbach Array Motor(이하, HAM)에 의해 구동되는 에너지 변환 장치를 구성하고 그 실험결과 및 특성을 살펴보았다.

2. 플라이휠 에너지 변환장치 구성

본 연구에서 설계한 전력변환장치의 주회로도 그림 1과 같다. 이 회로의 특징을 기능에 따라 구분하여 설명할 때, 입력단은 boost 컨버터를 채택하여 평균전류를 연속모드에서 제어하여 역률개선 및 고조파 저감을 꾀하고, 출력단은 full-bridge의 컨버터 구조 및 L, C 필터를 채택하여 고조파 및 부하의 영향에 대해 우수한 특징을 가지도록 설계하였다. 또한, 제어가 용이하고 보수의 필요성이 거의 없으며 고출력인 HAM의 구동을 위해 PWM 방식의 3상 full-bridge 인버터를 채택하였다. 본 절에서는 플라이휠 에너지저장장치의 전체 구동시스템을 AD/DC, DC/AC 및 HAM 구동부의 3가지 부분으로 나누어 그 구성 및 동작 원리 그리고, 실험결과를 제시한다.

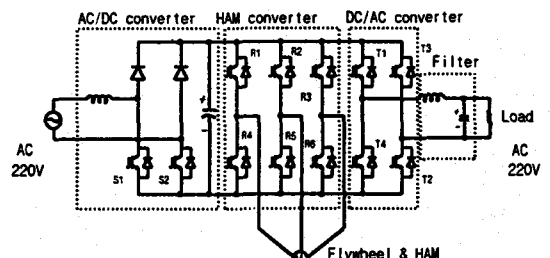


그림 1. 플라이휠 에너지저장장치 전체 시스템도

2.1 AD/DC변환부

HAM 구동을 위한 기존의 컨버터 토폴로지들이 있어서 속도와 부하의 변동에 관계없이 입력측의 전압과 전류가 항상 동위상이 되는 UPF(Unity Power Factor) 특성 및 정현과 입력 전류를 실현할 수 있는 변환부이다.

그림 1의 AC/DC부에서 S1과 S2의 스위칭 동작을 통하여 UPF 및 정현과 입력전류를 실현한다. S1은 입력 전압 극성이 정(+)인 구간에만 스위칭동작을 하며 S2는 입력전압이 부(-)인 구간에만 스위칭을 한다. S1과 S2의 스위칭 주파수는 약 20kHz가 되도록 하였으며 제어 방식은 Sinusoidal Pulse Width Modulation을 채택하였다. 부스터 컨버터의 구성과 제어 회로와의 결합도가 그림 2에 나타내어져 있다. 이러한 부스터 컨버터를 채용하면 부하의 변동에 관계없이 항상 컨버터의 입력 역률이 '1'이 되게 하며 입력측의 고조파 성분을 상당부분 제거할 수 있다.

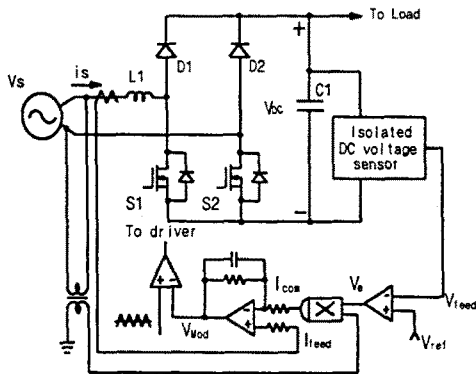


그림 2. AC/DC부와 제어회로와의 결합도

2.2 DC/AC 변환부

DC/AC부는 입력전압으로부터 정류된 DC 전압을 입력전압과 똑같은 형태의 전원인 AC로 다시 변환하여 부하에 전력을 전달하는 시스템으로서 기본 구조는 full-bridge 인버터이다. full-bridge 인버터는 스위칭 소자의 수가 많다는 단점이 있으나 부하의 변동이나 시스템의 안정화 측면에서 우수하며 제어가 간단하다는 장점이 있다.

그림에서 필터용 L과 C는 스위칭 주파수가 5kHz에 출력전압이 AC 220V가 되도록 설계하였으며 제어회로는 정현과 지령치 전압 신호를 기준으로 출력전류를 센싱 받아서 제어를 한다.

2.3 HAM 구동부

그림 3은 HAM의 간이화된 형태를 나타내는 그림

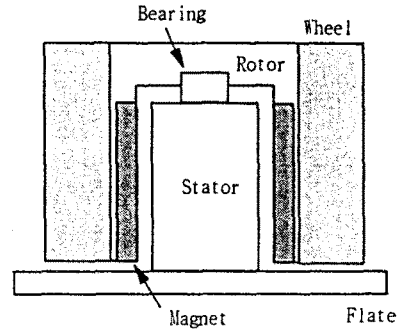


그림 3. HAM의 간이화된 구조

이다. HAM은 brushless DC 모터의 일종으로서 일반 모터와는 달리 회전자가 고정자의 외부에서 자기 베어링에 의해 지지된다. 권선은 내부의 고정자에 감겨있으며 회전자에는 영구자석이 있고 이 회전자의 외부를 플라이휠이 감싸는 형태이다. 60,000RPM까지의 고속 회전을 위해 자기베어링에 의해 회전자가 지지되며 복합재 플라이휠은 epoxy/graphite로 만들어져 무게가 가볍고 단위체적당 토크가 크다. 플라이휠이 부착된 HAM은 최종적으로 진공 챔버 속에서 구동되므로 우수한 시스템 효율을 얻을 수 있다.

HAM 구동 인버터의 구성은 입력 전원측의 전압 크기와 제어 대상인 전동기의 설계치에 따라서 결정된다. 주 회로는 입력전압을 고려하여 AC 220V인 3상 인버터로 구성되었으며 스위칭 소자는 IGBT를 사용하였다. 주 회로의 동작원리는 전동기의 U, V, W상에 따른 각 상의 상전류와 엔코더를 통하여 받은 속도 및 위치를 연산제어된 기준명령치의 전류치와 비교하여 6개의 스위치를 독립적으로 구동시킨다.

3. 실험결과

본 장에서는 전력변환 장치의 각 부에 따른 실험 결과를 제시한다. HAM의 외부에는 epoxy/graphite로 제작된 복합재 플라이휠이 부착되어 있다. 복합재 플라이휠은 단위체적당 토크가 크고 무게가 아주 가벼운 장점을 지닌다.

실험은 입력 220V, 6kVA급 HAM에 대하여 행하고 그 특성을 살펴본다.

그림 3은 부하 변동에 따른 인버터 출력 전류와 전압을 나타내는 그림이며 그림 4는 입력 전원이 정전되는 경우의 입력 전압과 출력 전류 및 출력 전압을 나타내는 파형이다. 컨버터의 특성이 이상적으로 잘 나타남을 알 수 있다.

그림 5는 HAM의 상권선에 흐르는 전류 파형을 나타내는 그림으로서 BLDC의 일정 전류 제어 때와 비교하여 파형의 형태가 거의 유사함을 알 수 있다.

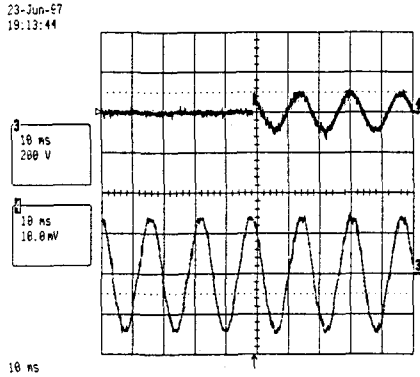


그림 3. 부하 변동 시 출력 전류, 전압 파형 (10A/div, 200V/div)

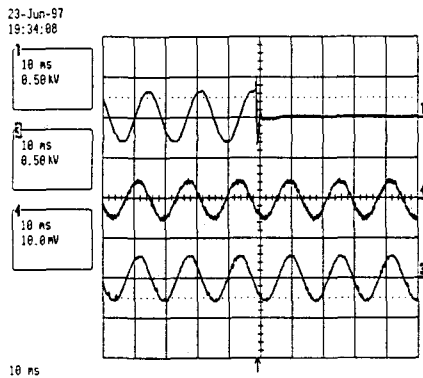


그림 4. 정전 시 입력 전압, 출력 전류, 전압 파형 (10A/div, 200V/div)

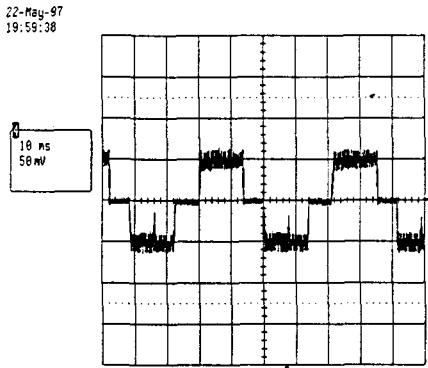


그림 5. HAM 상전류 파형(50A/div)

본 논문에서는는 플라이휠 에너지 저장장치를 이용한 O/A용 6kVA급, 220V UPS에 대하여 설명하였다. 이상의 결과를 토대로 정리하자면,

- (1) 부하의 변동에 무관하게 항상 입력측 전압, 전류가 동위상이 되는 UPF 제어 및 정현파 입력전류의 실현으로 인한 시스템 성능 향상.
- (2) 부하 변동에 관계 없이 정현파 출력 전압 및 전류 실현.
- (3) HAM 및 복합재 플라이휠 사용에 의한 시스템 효율향상 기대.
- (4) 정전 등의 전원 이상 시에 안정한 특성을 가지는 UPS 특성.

(참 고 문 헌)

- [1] T. J. E. Miller, "Blushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", Oxford, U.K., Oxford Univ. Press, 1989
- [2] E. S. Kim at al, "A 12kW Switching Mode Power Supply with Free Input-Voltage", APEC '94, Cof. Rec., pp839-846, 1994
- [3] S. A. Nasar at al, "Permanent Magnet, Reluctance and Self-Synchronous Motors", CRC Press, 1993
- [4] J. A. Kirk, A. Khan, "Maximization of Flywheel Performance", M. S. Thesis, Univ. Maryland, 1984
- [5] G. E. Rodriguez, P. A. Bear at al, "Assessment of Flywheel Energy Storage for Space Craft Power System", NASA Technical Memorandum 85061

4. 결 론