

저전압 배터리 충전용 절연형 양방향 DC-DC 컨버터

정동근*, 류명효**, 백주원**, 김희제*
부산대학교*, 한국전기연구원**

Isolated bidirectional DC-DC Converter for low voltage battery charger

Dong Keun Jeong*, Myung Hyo Ryu**, Joo Won Baek**, Hee Je Kim*
Dept. of Interdisciplinary Program in Robotics, Pusan National University*
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)**

ABSTRACT

본 논문은 군용 UPS 시스템에서 Dual Active Bridge(DAB) 컨버터를 이용한 절연형 양방향 배터리 충전기를 제안한다. 일반적인 군용 UPS 시스템은 AC-DC 정류기, DC-AC 인버터, 양방향 DC-DC 컨버터, 배터리 충전기, 배터리로 구성되며, 여러 부하상태들에 대한 지속적인 전력공급을 위하여 안정적인 에너지 저장 시스템이 요구된다. 다양한 양방향 DC-DC 컨버터들 중, DAB 컨버터는 buck, boost 동작이 가능한 고효율 절연형 양방향 컨버터이다. 본 논문에서는 6kW(입력 380Vdc, 출력 32/21Vdc) DAB 컨버터에 대한 토폴로지 분석하고, 파라미터 및 제어 알고리즘 설계를 제안하고 시제품을 통해 이를 검증하였다.

1. 서론

주전원에서 전원 장애가 발생하였을 때, 데이터 센터나 군장비와 같은 고신뢰도를 요구하는 시스템에서는 안정적인 전원을 위해서 UPS(Uninterruptible Power Supply) 시스템이 사용된다.[1] 일반적인 군용 UPS 시스템은 AC/DC 정류기, 양방향 DC/DC 컨버터, 배터리 충전기, 배터리, DC/AC 인버터로 구성이 된다. 배터리의 충전과 방전을 위해서 양방향 DC/DC 컨버터가 필요하다. 양방향 DC/DC 컨버터로는 Buck Boost 컨버터, CLLC 공진형 컨버터, Phase Shift Full Bridge/Boost 컨버터 등 여러 가지 방식들이 있다. Buck Boost 컨버터는 비절연형으로 승압비가 높은 단점이 있고, Phase Shift Full Bridge/Boost 컨버터는 active clamp 또는 flyback 컨버터 등의 클램프 회로가 요구되어 지며, CLLC 공진 컨버터는 전압제어범위가 좁은 단점이 있다. 반면에 DAB 컨버터는 Buck mode와 Boost mode의 양방향 동작을 쉽게 구현할 수 있으며, 추가적인 스너버 회로가 필요하지 않다. 또한 양방향으로 소프트 스위칭이 가능하기 때문에 고효율 양방향 DC/DC 컨버터로 사용이 가능하다. 따라서, 본 논문은 군용 UPS 시스템에 양방향 배터리 충전기로 DAB 컨버터를 제안하고, 6kW 시제품을 통해 성능을 검증하였다.

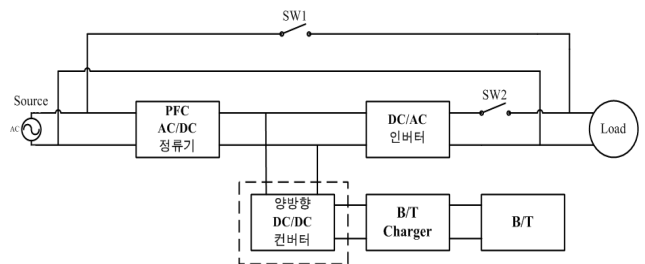


그림 1. 군용 UPS 시스템

2. 양방향 DAB DC/DC 컨버터

2.1 군용 UPS 시스템에서의 DAB 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 군용UPS 시스템의 구성을 보여준다. 주전원의 전력공급이 원활 할 때, 주전원을 통하여 부하에 전력공급과 동시에 AC/DC 정류기, 양방향 DC/DC 컨버터(DAB 컨버터)를 통하여 배터리를 충전한다. 주전원에 문제가 발생하게 되면, 충전된 배터리 전력을 이용하여 DC/DC 컨버터, DC/AC 인버터를 통하여 전력공급에 차질 없이 부하에 전력을 공급한다. 주전력의 유무에 따른 스위치 동작모드는 다음 표 1과 같다.

표 1. 주전력원에 따른 스위치 동작 모드

주전력원	SW1	SW2
정상	On	Off
비정상	Off	On

2.2 DAB 컨버터 및 디지털 제어기

그림 2는 군용 UPS 시스템의 DC/DC컨버터에 적용한 DAB 컨버터 회로도이다. DAB 컨버터는 기본적으로 양방향 DC/DC 컨버터 구조를 가진다. 양방향으로 전력을 전달하기 위하여 1차 측과 2차 측 모두 풀 브리지 스위치단으로 구성됨을 알 수 있고, 스위칭 동작에 따라 1차 측에서 2차 측으로, 또는 2차 측에서 1차 측으로 전력을 전달할 수 있다. 또한, DAB 컨버터는 1차 측은 모든 부하 영역에서, 2차 측은 일정 부하 이상에서 영전압 스위칭이 가능하므로 대용량의 양방향 DC/DC 컨버터에 많이 적용되고 있다. DAB 컨버터는 높은 전압에서 낮은 전압으로 전력을 전달하는 Buck Mode의 동작과 낮은 전압에서 높은 전압으로 전달하는 Boost Mode로 나눌 수 있다.

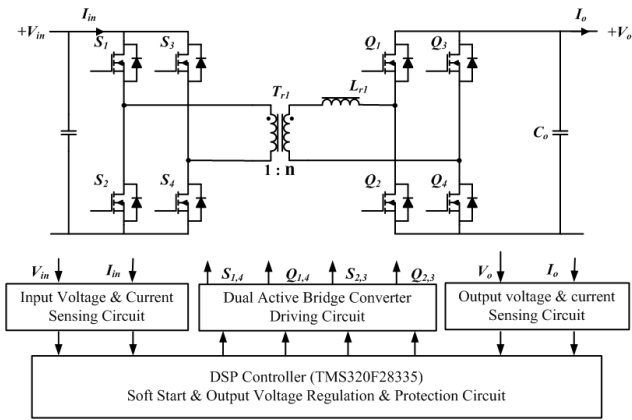


그림 2. DAB(Dual active bridge) 컨버터

2.2.1 Buck mode

1차측 스위치 신호의 위상을 고정시키고 2차측 스위치 신호의 위상을 변화 시킨다. 위상을 변화시키면 인덕터에 걸리는 전압이 최대 $nV_{in} + V_o$, 최소 $nV_{in} - V_o$ 의 전압차가 발생하며,[2] 이를 이용하여 출력을 제어한다.

2.2.2 Boost mode

Buck mode와 반대로, 2차측 스위치 신호의 위상을 고정시키고 1차측 스위치 신호의 위상을 변화 시킨다. 위상을 변화시키면 인덕터에 걸리는 전압이 최대 $V_o + nV_{in}$, 최소 $V_o - nV_{in}$ 의 전압차가 발생하며,[2] 이를 이용하여 출력을 제어한다.

2.2.3 디지털 제어기

그림 3과 같이 DSP TMS320F28335를 이용하여 제어 알고리즘을 DAB 양방향 DC/DC 컨버터에 적용하였다. 입력전압이 들어오면 DSP에서 인식하여 충전모드로 동작하여 배터리를 정전류로 제어하여 충전한다. 입력전압이 기준전압($V_{in,nom}$) 이하가 되면, 방전모드로 전환하여 배터리에 충전된 전력을 정전압으로 제어하여 방전 시킨다.

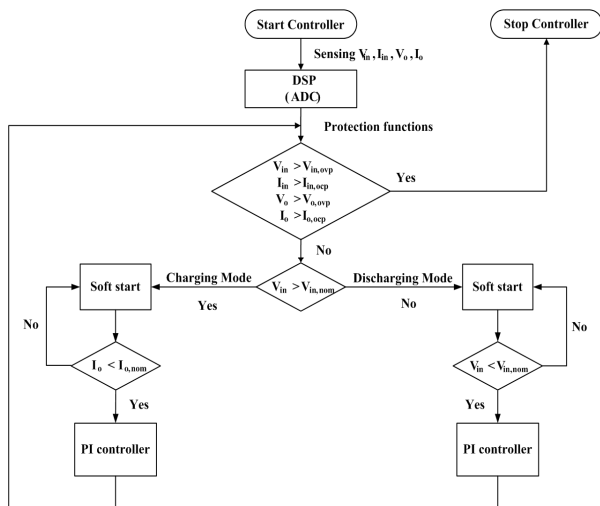


그림 3. DAB 제어 알고리즘

3. 실험결과

제안된 DAB 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여 다음과 같은 사양으로 시제품 DAB를 설계하고 제작 및 실험하였다.

- 1차측 전압 $V_1 = 380V$
- 2차측 전압 $V_2 = 32V/21V$

- 최대 출력 $P_{o,max} = 6kW$
- 스위칭 주파수 $f_s = 100kHz$
- 커플링 인덕턴스 $L = 0.3uH$
- 변압기 턴비 = 10 : 1

실험 결과를 통해서 DAB 컨버터를 이용하여 2.1kW까지 배터리 충전을 실험하여 하였고, 그림 4는 충전모드일 때의 동작 파형이다. 주전원이 기준전압 이하로 떨어졌을 때, 배터리에 충전된 전력을 이용하여, 원활히 전력전달 방향을 전환, 동작하는 것을 2.1kW까지 확인하였다. 그림 5는 방전모드 일 때의 동작 파형이다.

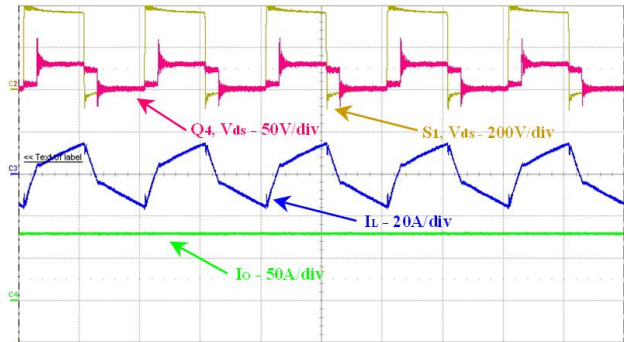


그림 4. 충전모드 DAB 동작파형

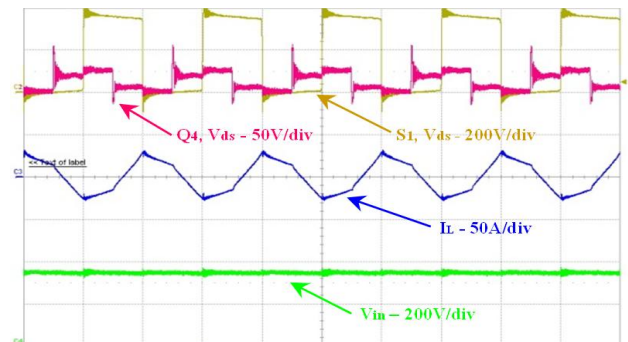


그림 5. 방전모드 DAB동작파형

4. 결 론

본 논문에서 군용 UPS 시스템에서 배터리 충전, 방전을 하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터로 DAB 컨버터를 제안하였다. 제안된 DAB 컨버터는 저전압 대전류 6kW로 설계하였으며, 2.1kW까지 실험을 통하여 양방향 DC/DC 컨버터의 동작을 확인하였다. 추가적인 실험으로 6kW까지의 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 확인과 PFC AC/DC 정류기, AC/DC 인버터와 결합하여 상호연계의 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Shuhei Okada "Digital Control Scheme of Single Phase Uninterruptible Power Supply", Proceedings of the IEEE, Conference Publications, 2009, October.
- [2] Naayagi, R.T "High Power Bidirectional DC DC Converter for Aerospace Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 27, No. 11, pp. 4366 4379, 2012, November.