

# 배터리 충전기용 양방향 DC-DC Dual Active Bridge 컨버터 제어기 설계 및 구현

박성현, 김주원, 곽보승, 김인동  
부경대학교

## Design and Implementation of a Bidirectional DC-DC Dual Active Bridge Converter Controller for Battery Charger

Sunghyeon Park, Juwon Kim, Boseung Kwak In-dong Kim  
Pukyong National University

### ABSTRACT

최근 DC-DC 컨버터 중에서도 Dual Active Bridge (DAB) 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 배터리 충전기용으로 DAB 컨버터의 효율적인 구동을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 효율적으로 컨버터를 구동하기 위해 기존의 스위칭 방식을 보완한 SPS, DPS, TPS 세 가지 방식을 통합한 스위칭 방식을 이용한다. 제안하는 배터리 충전기용 양방향 DC-DC DAB 컨버터 제어기는 CC-CV 모드 전환 시 원활한 동작이 가능하며, 자체 보호 기능을 갖추고 있다. 또한, 10kW급 출력의 DAB 컨버터를 이용한 실험을 통해 제안된 제어기의 동작 특성을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 DAB 컨버터는 다양한 분야에서 DC-DC 컨버터로서 활발한 연구가 이루어지고 있다. 특히, DAB 컨버터는 변압기를 통한 절연이 가능하고 ZVS 동작과 대칭적인 Full-Bridge 구조로 양방향 전력 전달이 가능하다는 장점을 가지고 있어, 전기자동차 배터리 충전기를 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다.

DAB 컨버터를 효율적으로 구동하기 위해 다양한 스위칭 방식이 사용되고 있다[1]. 일반적으로는 2레벨 Phase Shift 방식 중 하나인 SPS 기법이 주로 사용된다. 그러나 이를 보완한 DPS, TPS 스위칭 방식도 사용되고 있지만, 이러한 방식을 사용하기 위해서는 많은 제어 변수가 필요하여 제어가 어려운 단점이 있다. 또한, 단일적으로 한 가지 스위칭 방식만을 사용하는 경우 여러 부하 영역에서 원하는 특성을 얻기 어려운 경우도 있다. 본 논문에서는 이러한 단점들을 보완하여 모든 부하 영역에서 효율적으로 스위칭을 할 수 있도록 TPS, DPS, SPS 세 가지 방식을 통합하여 스위칭 동작을 수행한다.

배터리 충전 시에는 반드시 보호 기능이 사용되어야 한다 [2]. 그렇지 않으면 배터리 절연 과피가 발생할 수 있으며, 특히 과전류로 인해 배터리 내부 분리가 손상을 입어서 장기적인 손상은 배터리 수명 단축 및 안전 위험을 초래할 수 있다. 제안하는 제어기는 CC-CV 모드를 원활히 동작하는 동시에 내부 전류 제한 동작을 수행하여 급격한 부하 변동에도 안전하게 보호 조치를 할 수 있다.

본 논문은 CC-CV 모드를 원활히 동작하고 자체 보호 동작을 수행할 수 있는 제어기를 제안하며, 10kW급 출력의 DAB 컨버터를 이용하여 실험을 통해 동작 특성을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 제안하는 배터리 충전용 DAB 컨버터 제어기

그림 1은 제안하는 DAB 컨버터 회로도와 제안하는 제어기이다. 그림 2는 제안하는 제어기가 배터리 충전 시 초기 기동부터 정상상태에 도달할 때까지의 전류, 전압, 변수 K값 출력을 나타내는 그래프이다. 배터리의 초기 전압이 0이라 가정하고  $V_{o\_ref}$ 까지의 출력을 제어할 때  $I_o$ 값은  $I_{o\_ref}$ 에 도달할 때까지 변수 K 값은 1로 최댓값을 가진다. 여기서  $I_{o\_ref}$ 는 배터리 충전제어에서  $I_{limit}$ (전류 제한 값)의 의미로 사용된다.  $I_{o\_ref}$ 구간에서 K는 0과 1사이의 값을 가지면서 출력에 비례하여 조절된다.  $I_{o\_ref}$ 값으로 고정이 되면서 정전류 제어를 하게 되고 배터리 출력전압은 상승하며,  $V_o$  error값은 0으로 수렴함에 따라  $\alpha$ 값이 점점 감소하게 된다.  $V_o$ 가  $V_{o\_ref}$ 값으로 거의 도달할 때  $I_o$ 값은 점점 줄어들게 되며 그에 따라  $I_{o\_error}$ 값이 증가함과 동시에 K값이 1로 수렴하게 된다.  $V_o$ 값이  $V_{o\_ref}$ 값에 도달하였을 때 정전압 제어 동작을 하게 된다.  $I_{o\_error}$ 값을 적분 시킨 변수 K값을 사용함으로써 인해 CC-CV모드 변환 시 체터링현상이 없으며 전압, 전류제어기 두 가지 제어기를 통합한 형태로 구성되어 있기 때문에 설계의 부담이 적다.  $V_{o\_ref}$ 와  $I_{o\_ref}$ 는 각각 정전류 모드일 때와 정전압 모드일 때  $V_{o\_limit}$ (전압제한값),  $I_{o\_limit}$ (전류제한값)으로 이용할 수 있어 제어기 내에서 자체 보호동작이 가능하다.

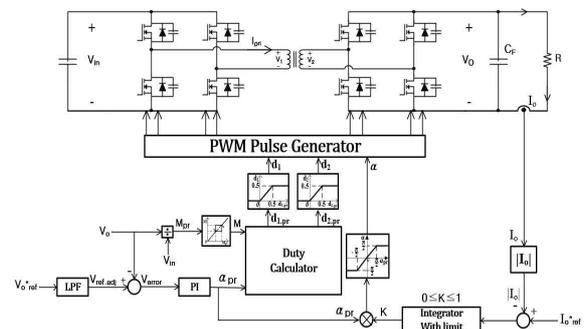


그림 1 DAB 컨버터 회로도 및 제안하는 제어기

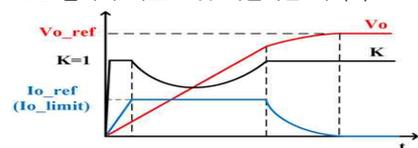


그림 2 제안하는 제어기의 배터리 충전 시 출력 그래프

## 2.2 제안하는 DAB 컨버터 제어기 실험

그림 3은 제안하는 Dual Active Bridge 컨버터 제어기를 실험하기 위한 DAB 컨버터 실험 구성이며, 그림 1의 회로도를 이용하여 표 1과 같은 파라미터로 실험을 하였다.

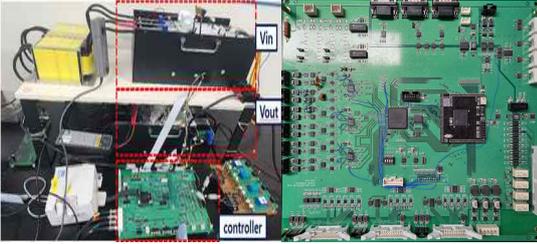


그림 3 DAB 컨버터 실험구성 전력회로 및 제어보드  
표 1 실험 사양

Parameter	Value
입력전압 $V_i$	450V
출력전압 $V_o$	0V - 450V
변압기 누설인덕턴스 L	20uH
변압기 권선비 $K = \frac{n_2}{n_1}$	1
스위칭 주파수 $f_{sw}$	40kHz
입, 출력 커패시터 $C_f$	600uF
부하 저항 R	19.8Ω-50Ω

### 2.2.1 정전압(CV) 및 정전류(CC) 제어

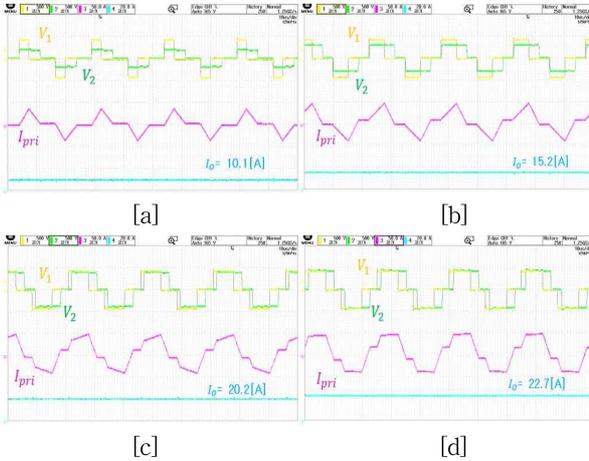


그림 4  $V_i=450V$  일 때, 정전압제어 출력 파형  
([a]  $V_o=200V$ , [b]  $V_o=300V$ , [c]  $V_o=400V$ , [d]  $V_o=450V$ )

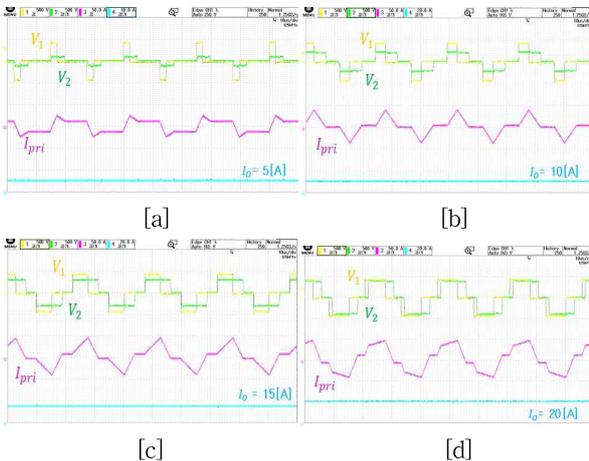


그림 5  $V_i=450V$  일 때, 정전류제어 출력 파형  
([a]  $I_o=5A$ , [b]  $I_o=10A$ , [c]  $I_o=15A$ , [d]  $I_o=20A$ )

그림 4는 입출력 전압비가 1:1이 아닌 구간에서 부하저항이 19.8[Ω]일 때 정전압 제어 파형을 나타낸 것이다. 큰 출력을 내기 위해 변압기 1,2차 측 전압인  $V_1$ ,  $V_2$ 는 듀티비 및 위상차가 커지게 되며, 최종적으로 출력 전압이 450[V]일 때 약 10[kW]의 출력을 내는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 정전류 출력 제어 파형을 나타낸다. 출력  $V_o$ 는 최고 지령치 450[V]로 고정시키고  $I_o$ 만 이용하여 5, 10, 15, 20[A]로 고정 전류값을 가지는 출력이 나오는 것을 확인할 수 있다.

### 2.2.2 보호동작 제어

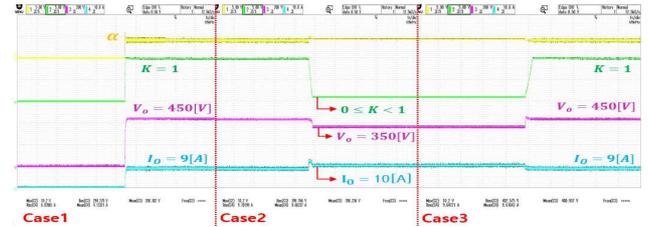


그림 6 부하 급변 시 보호동작 및 CC-CV모드 출력 파형

그림 6은 부하 급변으로 인한 보호동작 및 CC-CV모드 출력 파형을 나타낸다. Case1의 동작은 부하저항 50[Ω]과  $V_o$ ref=450[V]로 설정하여  $I_o$ ref(= $I$ limit)=10[A]로 고정하여 기동을 한 것이다. Case1 동작에서 출력전류는 10[A]를 초과하지 않으므로 450[V]와 9[A]의 출력이 나오게 된다. Case2의 경우는 부하저항을 50[Ω]에서 35[Ω]으로 급변하는 동작으로 전류제한을 하지 않을 시 450[V], 12.8[A]가 출력으로 나와야 하지만 전류제한제어로 인해 10[A]와 그에 따른 전압 350[V]가 출력으로 나오게 된다. 이것은 CV모드였던 동작이 전류 지령치에 맞춰 K값이 0과 1사이 값을 가지고, CC동작으로 자동 변환 동작이 가능함을 보여준다. Case3인 경우 Case1일 때와 같이 50[Ω]으로 저항을 변경하였으며, K값이 다시 1로 수렴하면서 원활한 CC-CV모드 변환을 보여준다.

## 3. 결론

제안하는 배터리 충전기용 양방향 DC-DC DAB 컨버터 제어기는 전 부하 영역에서 높은 효율을 얻기 위해 SPS, DPS, TPS 통합 스위칭방식을 이용하였으며, CC-CV 모드 변환 시 자동으로 전압 및 전류 제한이 가능하기 때문에 제어기 내에서 자체 보호동작을 수행하고 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 배터리 충전기용 제어기는 10kW급 DAB 컨버터에 적용하여 동작 및 특성을 실험을 통해 검증하였고, 독립적 동작이 가능하기 때문에 모듈로 구성된 DC-DC컨버터에 제한한 제어기를 이용하여 제어 시스템을 구현하는데 활용될 것으로 기대된다.

이 논문은 2024년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0012451, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

### 참고 문헌

- [1] A. Kumar, A. H. Bhat and P. Agarwal, "Comparative analysis of dual active bridge isolated DC to DC converter with single phase shift and extended phase shift control techniques," ,Roorkee, India, 2017, pp. 397-402,
- [2] A. Masakure, A. Gill and M. Singh, "The Impact of Battery Charging and Discharging Current Limits on EV Battery Degradation and Safety," , India, 2023, pp. 1-5