

고승압 양방향 배터리 충전/방전 회로

이운민, 김병석, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Boosting two-way about battery charge and discharge circuit.

Yoon min Lee, Byeong seok Kim, Chung wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리 충·방전을 위한 새로운 고승압 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 하나의 회로로 양방향 스위치가 가능하게 하였다. 기존 DC DC 컨버터는 고주파 스위칭 동작 시 손실분 저항의 증가로 승압이 어려운 문제점이 있다. 이를 위해 기존 Boost converter 회로 방식보다 승압비가 높은 회로를 제안하였다. 그리고 기존 충전회로는 10배 이상의 입·출력 강압변환 시, 낮은 duty cycle로 소자 스트레스가 높아 고 사양의 소자를 사용해야 했다. 제안회로는 충전 시, Buck converter 동작을 하면서 기존 duty cycle 보다 3배가량 높아 소자 스트레스를 줄였다. 이를 모의실험 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 친환경 자동차, 자동차 발전기, 풍력 발전기, 전기 자전거 등 여러 응용분야에서 배터리 충·방전을 위한 양방향회로의 필요성이 증대되고 있다. 기존 배터리 충·방전 회로는 배터리를 방전시켜 모터로 전력을 전달하는 Boost converter 동작과 모터의 회생에너지를 배터리로 충전하는 Buck converter 동작을 한다. 하지만 높은 승압비를 갖는 컨버터의 개발이 요구되는 시점에 Boost converter의 입·출력 비의 한계로 고 승압이 어렵다. 이와 관련하여 배터리 방전 시 제안된 회로는 Boost converter와 Flyback converter의 결합으로 기존 부스트 컨버터가 갖는 승압의 한계를 극복하였다. 그리고 별도의 클램프 회로 없이 제안회로의 1차 측 스위치가 부스트 컨버터 동작으로 기존 Flyback converter 사용 시 스위치 내압보다 낮은 내압의 소자가 사용 가능하여 컨버터 회로의 가격 인하도 가능한 회로를 제안하고 이론적 분석 및 실험을 통해 그 타당성을 검증한다.

2. 제안 회로

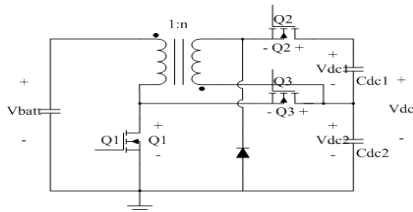


그림 1 제안 고승압 양방향 배터리 충전 회로

1.1 Boost converter 동작 모드

배터리 방전 시, 저 전압(V_{batt})에서 고 전압(V_{dc})으로 승압 변환이 필요하다. 이 때, 스위치 Q1은 스위칭 동작을 하지만 스위치 Q2와 Q3는 차단된다. 제안 회로는 승압 변환을 위해 Boost converter 동작을 하지만 Boost converter의 인덕터 동손 등 손실분 저항 존재 시, 5배 이상의 입·출력 비가 어렵다. 제안 회로는 Flyback converter와 Boost converter의 결합으로 5배 이상의 입·출력 비를 얻을 수 있다. 동작 해석은 스위치 Q1의 On과 Off시로 나눌 수 있다.

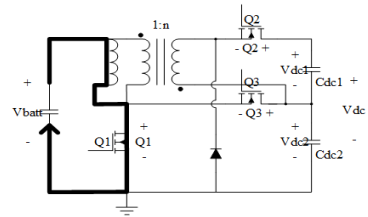


그림 2 제안 방전회로 스위치 On 동작 시

그림 2에 스위치 On 동작 시($Q1=High$)를 표기하였다. 저 전압(V_{batt}) 인덕터(L_m) 스위치(Q1)의 경로로 동작하며 Boost converter의 energy buildup구간과 동일하다.

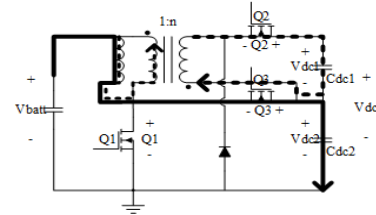


그림 3 제안 방전회로 스위치 Off 동작 시

상기 그림 3은 스위치 Off 동작 시($Q1=Low$) 회로이다. 인덕터(L_s) 스위치(Q2) 전압(V_{dc1})의 경로(Flyback mode)와 저 전압(V_{batt}) 인덕터(L_m) 스위치(Q3) 전압(V_{dc2})의 경로(Boost discharge mode)로 인덕터(L_m)에 저장된 에너지는 출력으로 전달된다. 이 때, 스위치 Q1은 Boost converter의 출력인 캐패시터 Cdc2의 출력으로 Clamp되어 별도의 Clamp 회로를 추가하지 않아도 된다.

제안회로 인덕터(L_m)에 volt.second 평형법칙을 이용하면 Boost converter mode 시, 다음과 같은 입·출력 전압 변환 관

계식을 얻을 수 있다.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{nD + 1}{1 - D} \quad (1)$$

1.2 Buck converter 동작 모드

배터리 충전 시, 고 전압(Vdc)에서 저 전압(Vbatt)으로 강압 변환되며 Buck converter 동작을 한다. 기존 Buck converter는 10배 이상의 입·출력 강압 변환 시, 약 0.1의 Duty cycle로 스위치 전류의 최대값이 높아 고 사양의 소자를 사용해야하는 단점이 있다. 하지만 제안 회로는 기존 Buck converter duty cycle보다 3배정도 크기 때문에 기존보다 저 사양의 소자 사용이 가능하다. Buck converter 동작 시에 스위치 Q2와 Q3이 동일한 스위칭 동작하고, 스위치 Q1은 차단된다. 스위치 On 동작 시(Q2=Q3=High), Powering을 하며, 전압(Vdc1) 스위치(Q2) 스위치(Q3) 전압(Vbatt)의 경로로 동작한다. 그에 따른 회로 동작은 다음 그림 4와 같다.

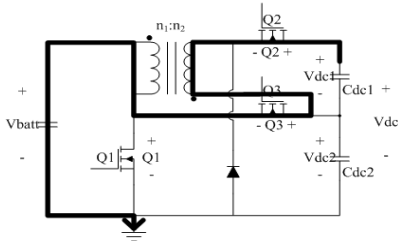


그림 4 제안 충전회로 스위치 On 동작 시

또, 스위치 Off 동작 시(Q2=Q3=Low), Freewheeling을 하는 구간이며, 인덕터(Lm) 전압(Vbatt) 스위치(Q1)의 경로로 동작한다. 이를 그림 5에 표기 했다.

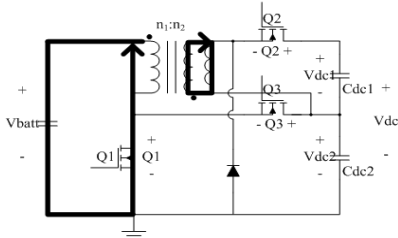


그림 5 제안 충전회로 스위치 Off 동작 시

$$\frac{V_{batt}}{V_{DC}} = \frac{D}{1 + n(1 - D)} \quad (2)$$

식(2)은 제안 충전회로 Buck converter의 입·출력 전압 변환 관계식이며, 이는 제안회로 인덕터(Lm)에 Volt second 평형법칙을 이용하여 얻을 수 있다.

3. 모의실험 및 실험 결과

그림 6은 각 충전과 방전 시 PSIM 시뮬레이션 결과 파형이다. 모의실험의 입·출력 사양은 표 1에 나타내었다. 제안 회로 컨버터의 제어를 위하여 범용 PWM IC인 TL494를 이용하여 스위칭을 구현 하였다.

그림 7은 방전 시 실험 결과 파형이다. 모의실험결과와 동일

한 파형을 나타냄을 알 수 있다.

Buck converter 동작 (충전)		Boost converter 동작 (방전)	
Input voltage	380Vdc	Input voltage	48Vdc
Output power	48W	Output power	80W
Output voltage	48V	Output voltage	365V
inductor	100uH	inductor	100uH
Switching frequency	53kHz	Switching frequency	53kHz

표 1 모의실험 입 출력 사양

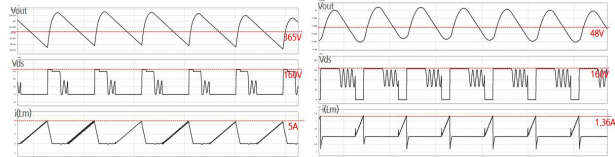


그림 6 제안 충전 회로 PSIM 시뮬레이션 결과 파형

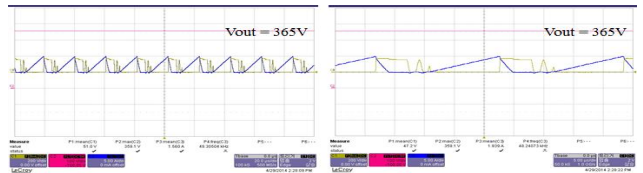


그림 7 제안 방전회로 실험 시뮬레이션 결과

4. 결론

본 논문에서는 고승압 양방향 배터리 충전·방전 회로를 제안 하였다. 제안회로는 Buck converter-동작과 Boost converter-동작으로 충전과 방전을 하나의 회로로 양방향 동작을 가능하게 하였다. 그 결과 방전 시, Boost converter와 Flyback converter의 동시 동작으로 Boost converter 단일동작 보다 더 높은 승압이 가능하게 되었고, 충전 시에는 기존 Buck converter보다 큰 duty cycle로 스위치 소자 내압을 감소 시킬 수 있었다. 그리고 모의실험과 PBA보드 실험을 통해 소형 인덕터로 고주파 동작 조건에서 고승압비 변환을 확인함으로 제안 DC DC 컨버터 방안의 유용성을 확인하였다.

본 연구는 2014년도 미래창조과학부 정보통신산업진흥원의 대학CT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2014 H0301 14 1005).

참고 문헌

- [1] 강정민, 이상현, 홍성수, 한상규, “고승압비를 갖는 전압 클램프 탭인덕터 부스트 컨버터” 전력전자학회 논문지 제 17권 제 1호 2012.2 page(s): 34 40,
- [2] 양진영, 이상원, 최세완, 김태훈 “고승압비를 갖는 인터리빙 양방향 DC DC 컨버터”, 전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집, 2008.6, page(s): 200 202
- [3] 오세철, 박준성, 권민호, 최세완, “친환경 자동차 HDC를 위한 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터”, 전력전자학회 논문지 제 17권 제 4호, 2012.8, page(s): 322 329