

작은 크기와 부피의 인덕터를 가지는 고밀도 양방향 전력 변환 회로

임동빈, 김다솜, 강경수, 노정욱
국민대학교 전자공학과

High power density bidirectional power conversion circuit with small size and small volume inductor.

DongBin Lim, Dasom Kim, Kyung Soo Kang, Chung Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리 충·방전을 위한 고 승압이 가능하며 작은 인덕터를 가진 새로운 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안 회로는 인덕터를 $N1:N2$ 턴비의 Transformer로 사용하고 Transformer 사이에 스위치, 다이오드를 추가 하였다. 이는 방전 모드 동작에서 입력 전류가 두 개의 Transformer로 전류가 나누어 흐르도록 하였다. 기존 DC DC 컨버터는 입력 전류가 하나의 인덕터로 흐름으로써 고 전력 시스템에서 높은 전류에 의해 인덕터의 크기가 필요 이상으로 커지는 문제점이 있다. 이를 위해 기존 양방향 회로 방식보다 Transformer의 크기가 0.5배 정도 작은 회로를 제안 하였다. 그리고 기존 방전 Boost 회로는 최대 3배 이상의 승압이 안 되지만 제안 회로에서는 3배 이상의 고 승압이 가능하다. 이를 모의실험 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 친환경 자동차, 자동차 발전기, 풍력 발전기, 전기 자전거 등 여러 응용분야에서 배터리 충·방전을 위한 양방향 회로의 필요성이 증대되고 있다. 기존 배터리 충·방전 회로는 배터리를 방전시켜 모터로 전력을 전달하는 부스트 컨버터 동작과 모터의 회생에너지를 배터리로 충전하는 벡 컨버터 동작을 한다. 하지만 인덕터에 흐르는 높은 최대 전류와 실효 전류로 인해 지나치게 큰 인덕터가 필요하다. 이는 회로의 부피를 증가시켜 효율을 떨어뜨리며 원가 상승을 야기시킨다. 이와 관련하여 발명 회로는 하나의 인덕터를 두 개의 Transformer로 나누어 스위치, 다이오드와 결합함으로써 배터리 방전 시 높은 입력 최대 전류와 실효 전류에도 작은 크기의 Transformer로 동작이 가능하게 한다. 또한 각각의 인덕터에 걸리는 전압이 더 커지기 때문에 기존 회로보다 더 고 승압이 가능하다. 작은 인덕터의 크기에도 고 승압을 할 수 있으며 원가 저감 및 부피 감소가 가능하다는 것을 이론적 분석 및 실험을 통해 그 타당성을 검증한다.

2. 제안된 고밀도 양방향 전력 변환 회로

그림 1은 제안된 작은 크기와 부피의 인덕터를 가지는 고밀도 양방향 전력변환 회로도이다. 기존 회로와는 달리 인덕터를 2차 Transformer를 사용하여 2개로 나누었고 스위치 하나와

다이오드 2개가 추가 되었다.

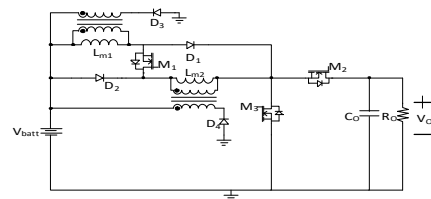


그림 1. 제안 고밀도 양방향 전력 변환 회로

2.1 Boost converter 동작 모드

배터리 방전 시, 저 전압(V_{batt})에서 고 전압(V_o)으로 승압 변환이 필요하다. 이 때, 스위치 M_3 은 스위칭 동작을 하지만 스위치 M_1 와 M_2 는 차단된다. 제안 회로는 승압 변환을 위해 Boost converter 동작을 하며 입력전류가 L_{m1} 과 L_{m2} 에 전류가 나누어져 흐름으로써 각 Transformer에 흐르는 최대 전류와 실효 전류를 절반씩 낮춰 줄 수 있다. 동작 해석은 스위치 M_3 의 On과 Off시로 나눌 수 있다.

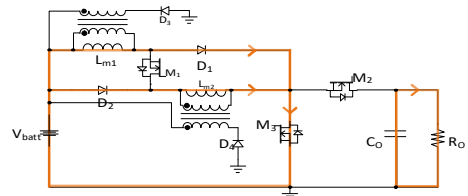


그림 2. 제안 방전회로 스위치 On 동작 시

그림 2에 스위치 On 동작 시($M_3=High$)를 표기하였다. 저 전압(V_{batt}) Transformer(L_{m1} , L_{m2}) 스위치(M_1)의 경로로 동작하여 energy를 buildup 한다.

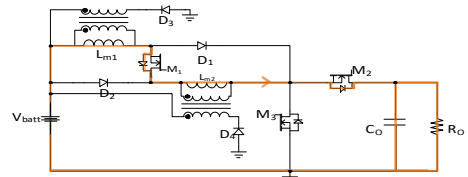


그림 3. 제안 방전회로 스위치 Off 동작 시

상기 그림 3은스위치 Off 동작시($M_3=Low$) 회로이다. 저 전압(V_{batt}) Transformer(L_{m1}) 스위치 바디 다이오드(M_1) Transformer(L_{m2}) 스위치 바디 다이오드(M_2) 전압(V_o)의 경로로 Transformer(L_{m1}, L_{m2})에 저장된 에너지는 출력으로 전달된다. 이 때 L_{m1} 과 L_{m2} 는 직렬로 연결된 것처럼 보이며 전류가 같은 Path로 이동하게 된다.

하나의 Transformer에 흐르는 최대 전류를 절반으로 낮춰 줌으로써 Transformer의 turn 수를 각각 절반으로 낮출 수 있으며, 실효 전류 또한 절반으로 줄어들기 때문에 필요한 최소 동선 굵기가 절반으로 줄어들게 된다. 그로 인해 인덕터의 크기를 절반 이상으로 줄일 수 있다.

제안회로 Tmnsformer(Lm1,Lm2)에 Voltages.second 평형법칙을 이용하면 Boost converter mode 시, 다음과 같은 입·출력 전압 변환 관계식을 얻을 수 있다.

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

2.2 Buck converter 동작 모드

배터리 충전 시, 고 전압(Vo)에서 저 전압(Vbatt)으로 강압 변환되며 Buck Converter 동작을 한다. 이 때 스위치 M1, M2는 동일한 스위칭 동작을 하고, 스위치 M3는 차단된다.

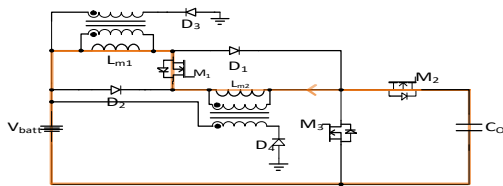


그림 4. 제안 충전회로 스위치 On 동작 시

그림 4에 스위치 On 동작 시(M1=M2=High)를 표기하였다. 고전압(Vo) 스위치(M2) Transformer(Lm2) 스위치(M1) Transformer(Lm1) 저 전압(Vbatt)으로 동작하여 Powering 한다.

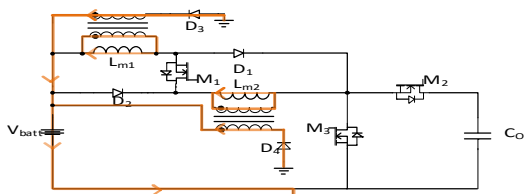


그림 5. 제안 충전회로 스위치 Off 동작 시

상기 그림 5는 스위치 Off 동작 시(M1=M2=Low) 회로이다. Freewheeling을 하는 구간이며, Transformer(Lm1,Lm2)의 전류가 Secondary쪽으로 넘어가 다이오드를 도통시켜 저 전압(Vbatt)으로 이동하여 동작한다.

$$\frac{V_{batt}}{V_o} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + 16 \frac{L_o}{R_o T_s D^2}}} \quad (2)$$

3. 모의실험 및 실험 결과

그림 6은 충 방전 시 실험 결과 파형을 나타내었다. 첫 번째 파형은 Buck 모드 파형이며 CC/CV모드로 Battery를 충전 시켰으며 3A의 정전류로 Battery를 48V로 충전시키는 동작이다.

두 번째 파형은 방전 모드 실험 파형을 나타내었다. Boost 스위치 DS파형과 인덕터 전류, 출력 전압이다. 출력 전압은 360V로 CV모드로 제어하였으며 Psim Simulation 결과 파형과 같음을 확인하였다.

모의 실험 결과 기존 충 방전 양방향 회로에 비해 제안 충 방전 양방향 회로에서 인덕터의 부피가 1/3까지 줄어드는 효과를 얻었다. 그림 7에 모의실험 결과 EE5555 core를 사용하였을 때 기존 17개 Core가 필요했던 충 방전 회로에서 제안 충 방전 회로에서는 6개만으로 동작이 가능한 효과를 나타내었다.

표 1 모의실험 입 출력 사양

Buck converter 동작(충전)		Boost converter 동작(방전)	
Input voltage	48V	Input voltage	175V
Output power	147W	Output power	144W
Output voltage	140V	Output voltage	48V
indcutor(Lm1,Lm2)	56uH	indcutor(Lm1,Lm2)	56uH
Switching frequency	25kHz	Switching frequency	25kHz

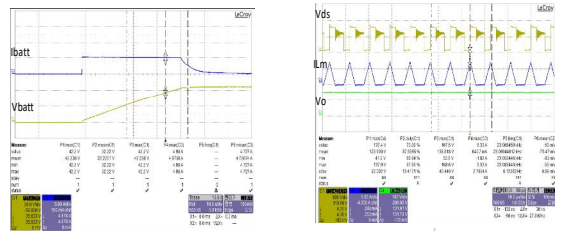


그림 6. 제안 충·방전 회로 결과 파형

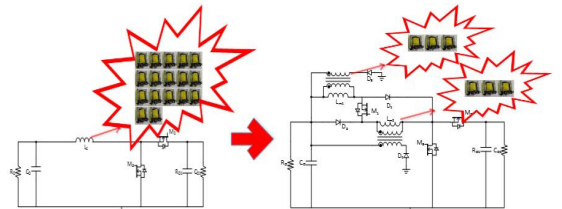


그림 7. 제안 충·방전 회로 효과

4. 결 론

본 논문에서는 작은 크기와 부피의 인덕터를 가지는 고밀도 양방향 전력 변환회로를 제안 하였다. 제안회로는 Buck converter 동작과 Boost converter동작으로 충전과 방전을 하나의 회로로 양방향 동작을 가능하게 하였다. 그 결과 방전 시 Transformer(Lm1,Lm2)에 흐르는 최대 전류와 실효전류가 모두 절반으로 줄어들기 때문에 Transformer 2개를 사용하더라도 전체적으로 Transformer의 부피가 0.5배 이하로 줄어드는 효과가 있으며 Lm1과 Lm2에 더 높은 Buildup 전압이 걸리기 때문에 고 승압이 가능하다. 그리고 모의실험과 PBA보드 실험을 통해 작은 Transformer로 고주파 동작 조건에서 고승압비 변환을 확인함으로 제안 DC DC 컨버터 방안의 유용성을 확인하였다.

이 논문은 국민대학교의 연구비 지원과 2014년도 미래창조과학부 정보통신산업진흥원의 대학 ICT연구센터육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2014 H0301 1005)

참 고 문 헌

- [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] 오세철, 박준성, 권민호, 최세완, “친환경 자동차 HDC를 위한 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터”, 전력전자학회 논문지 제 17권 제 4호, 2012.8, page(s): 322 329