

보조스위치 및 인덕터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

이승민*, 권주일*, 김은수[†], 전용석*, 김광섭**, 공영수***
 전주대학교*, 카코뉴에너지(주)**, 국립과학수사연구원***

Bidirectional DC-DC Converter Using Auxiliary Switches and Inductor

S.M Lee*, J.I Kwon*, E.S Kim[†], Y.S Jeon*, Charles Kim**, Y.S Kong***
 JeonJu University*, KACO new energy Inc.**, National Forensic Service***

1. 서 론

태양광발전 전력 계통연계 PCS, 전기자동차 등에 절연형 양방향 DC DC 컨버터가 에너지저장시스템의 전력변환장치로 적용이 확대되고 있다. 에너지저장시스템의 전력변환장치는 높은 효율과 안전성을 요구하므로 기존에는 절연형 고주파 변압기를 적용한 양방향 DC DC 컨버터에 있어서 전압원 컨버터 또는 전류원 컨버터가 적용된 양방향 DC DC 컨버터 등이 개발되어 왔다.^[1] 최근 사이즈 및 스위칭 손실, EMI 저감을 위해 소프트 스위칭이 가능한 LLC 공진컨버터가 적용된 양방향 DC DC 컨버터가 적용되고 있다. 하지만 양방향 전력전달이 가능하기 위해서는 LLC 공진컨버터 1차측 및 2차측에 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2} (또는 C_{B1}))를 적용하게 되는데, 적용된 1차측 및 2차측 공진커패시터 값에 따라 순방향 및 역방향 전력전달 동작 시 기존 LLC 공진컨버터 이득특성과는 다른 CLLC 공진특성 및 SRC 공진특성을 갖게 되어 양방향 전력전달에 있어서 어려움이 있다.^[2]

본 논문에서는 순방향 및 역방향 전력전달 동작모드 시 높은 LLC 공진이득특성을 가질 수 있도록 SLCC 공진컨버터 특성을 적용하여^[3,4] 이득특성을 개선할 수 있는 양방향 DC DC 컨버터를 제안함으로써 전력변환손실을 최소화 할 수 있고 단가를 저감 할 수 있는 1kW급 양방향 DC DC 컨버터에 대해 적용 실험내용이다.

2. 보조스위치 및 인덕터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

보조스위치 및 인덕터 적용 제안된 양방향 DC DC 컨버터^[4]는 그림 1과 같이 1차측 입력단은 배터리 또는 직류전원이 있고, 1차측 스위칭소자(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)를 갖는 Full Bridge 컨버터가 연결되어 있다. 1차측 Full Bridge 컨버터 단자(a, b)사이에는 1차측 보조인덕터(L_{A1})와 1차측 양방향 보조스위칭소자(S_{A1}, S_{A2})로 구성된 보조회로가 연결되어 있고, 이와 병렬로 변압기(T_1) 1차측 단자가 연결되어 있다. 2차측 출력단은 스위칭소자(Q_5, Q_6)와 다이오드(D_7, D_8)로 구성된 2차측 정류부와 2차측 정류다이오드(D_7, D_8)의 Anode와 Cathode 사이 중간(d) 및 출력커패시터(C_{o1}, C_{o2})사이 중간(e)에 2차측 양방향보조스위치(S_{A3}, S_{A4})가 연결되어 있다. 또한 2차측 단자(c, d)에는 변압기(T_1) 2차측과 직렬 연결된 공진커패시터(C_r)로 구성된 2차측 공진부가 병렬 연결되어 있고, 이와 병렬로 2차측 보조인덕터(L_{A2})가 연결되어 있는 구조이다.

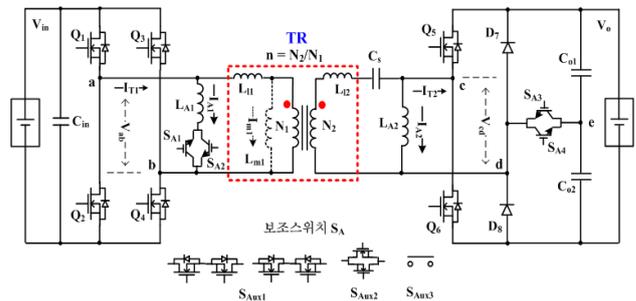


그림 1. 제안된 보조스위치 및 인덕터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

2.1 순방향 전력전달 동작모드

순방향전력전달 동작모드시는 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼, 1차측의 스위칭소자(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)가 각각 고정된 듀티비 50%로 턴 온/오프(Turn On/Off) 스위칭동작을 하며, 2차측 스위칭소자(Q_5, Q_6)도 턴 오프 상태를 유지하고 있다. 또한 순방향 전력전달 동작 시 1차측 양방향 보조스위칭소자(S_{A1}, S_{A2})도 턴 오프 되어 있어 1차측 Full Bridge 컨버터 스위칭 동작 시 1차측 보조인덕터(L_{A1})에 전류가 흐르지 않고, 변압기 1차측에만 전압이 인가되어 전류가 흐르게 된다. 이와 동시에 2차측 양방향 보조스위칭소자(S_{A3}, S_{A4})도 턴 오프 되어 있기 때문에 2차측 스위칭소자(Q_5, Q_6)의 역병렬다이오드와 다이오드(D_7, D_8)를 통해 전파공진 정류회로가 구성된다. 그리고 1차측단 및 2차측단에 각각 보조인덕터(L_{A1}, L_{A2})를 적용하여 SLCC 공진특성을 갖도록 하였기 때문에 변압기(T_1)에는 공극(Air gap)을 최소화하여 변압기자화인덕턴스(L_m) 값을 크게 하여 두고 설계를 한다.

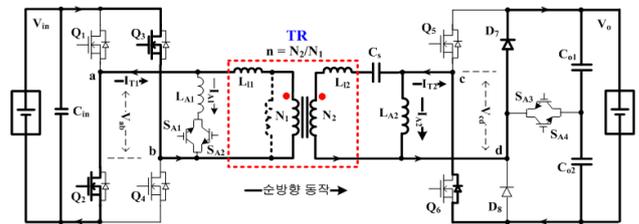


그림 2. 순방향 동작모드

2.2 역방향 전력전달 동작모드

높은 전압단에서 낮은 전압단으로 강압하는 역방향 전력전달 동작 시는 출력커패시터(C_{o1}, C_{o2}) 중간(e)과 다이오드(D_7, D_8) 중간(d) 사이에 연결되어 있는 2차측 양방향 보조스위칭소자

(S_{A3} , S_{A4})가 턴 온 연결되어 반파공진회로처럼 스위칭 동작되고, 2차측 스위칭소자(Q_5, Q_6)의 50% 듀티로 교번으로 턴 온, 턴 오프 동작에 따라 출력커패시터(C_{o1}, C_{o2})의 분압된 전압 $[(1/2)V_o]$ 이 변압기(T_1) 2차측과 직렬 연결된 공진커패시터(C_3)에 인가되어 공진전류가 흐르고, 이와 병렬로 2차측 보조인덕터(L_{A2})가 연결되어 있는 2차측 단자(c, d)에도 인가되어 2차측 보조인덕터(L_{A2})에도 전류가 흐르게 되지만 분압된 전압에 따라 1/2 저장된 전류(I_{A2})가 흐른다. 역방향 전력전달 동작 시 1차측 스위칭소자(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)는 턴 오프 되어 있어 1차측 스위칭소자(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4)의 역병렬 다이오드를 통해 흐르는 공진전류(I_{T1})와 변압기(T_1) 1차측과 병렬로 보조인덕터(L_{A1}) 및 양방향 스위칭소자(S_{A1} , S_{A2})로 구성된 보조수단을 통해 흐르는 큰 인덕터 전류(I_{A1})를 통해 역방향 전력전달 동작 시에도 LLC 공진특성을 갖도록 회로가 구성되어 있다.

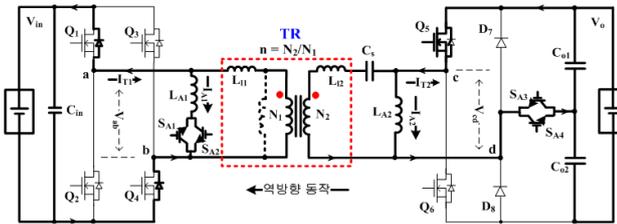


그림 3. 역방향 동작모드

3. 실험결과

본 논문에서는 1kW 정격출력용량을 갖는 보조스위치 및 인덕터 적용 양방향 DC DC 컨버터를 적용하여 순방향 모드 시 1차측 입력전압(V_{in} : 41V~60V) 조건에서 2차측 일정 출력전압(V_o : 400V) 및 최대정격용량 1kW에 대해 실험하였다. 그리고 역방향 모드 시 2차측 일정 출력전압(V_o : 400V) 조건에서 1차측 제어전압범위(41V~60V) 및 최대정격용량 1kW에 대해 실험하였다. 실험 파라미터에 대해 표 1에 나타냈다.

표 1. 보조스위치 및 인덕터 적용 양방향 DC-DC 컨버터 파라미터

순방향(1차측에서 바라본)/역방향(2차측에서 바라본) 변압기 파라미터	
1차측자기인덕턴스(L_p)	83.75 μ H
등가누설인덕턴스(L_{eq}) / (L_{eq}')	5.213 μ H / 158.3 μ H
2차측자기인덕턴스(L_s)	2.582mH
1차측누설인덕턴스(L_{l1}) / (L_{l1}/N^2)	1.875 μ H / 55.476 μ H
2차측누설인덕턴스(N^2L_{l2}) / (L_{l2})	3.48 μ H / 104.039 μ H
자화인덕턴스(L_m) / (L_m/N^2)	81.875 μ H / 2.478mH
턴수비 $N(N_1/N_2)$	0.182 (6 : 33)
1,2차측 보조인덕터(L_{A1}) / (L_{A2})	9.757 μ H / 385.2 μ H
공진커패시터(C_3)	44nF

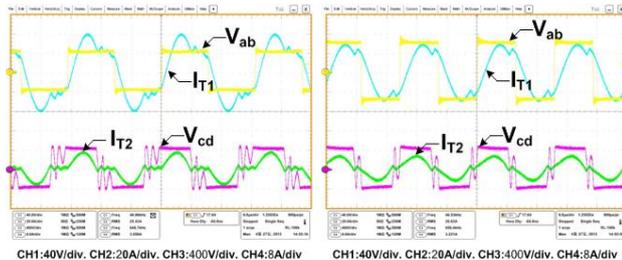


그림 4. 입력전압(V_{in}) 41V, 60V일 때 2차측 부하 용량(1kW) 제어 시 단자전압(V_{ab}, V_{cd})과 전류파형(I_{T1}, I_{T2})

그림 4는 그림 1의 실험과형으로, 순방향 모드 일 때 1차측 입력 제어전압(V_{in}) 41V, 60V 일 때 2차측 일정 출력전압(V_o) 400V에 대하여 1kW일 때, 단자전압(V_{ab}, V_{cd}), 전류(I_{T1} , I_{T2})를 측정 한 파형이다.

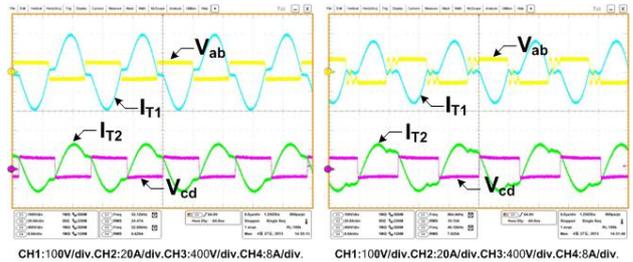


그림 5. 입력전압(V_{in}) 41V, 60V일 때 1차측 부하 용량(1kW) 제어 시 단자전압(V_{ab}, V_{cd})과 전류파형(I_{T1}, I_{T2})

그림 5는 그림 1의 실험과형으로, 역방향 모드 일 때 2차측 일정 출력전압(V_o) 400V일 때 1차측 입력 제어전압(V_{in}) 41V, 60V에 대하여 1kW일 때, 단자전압(V_{ab}, V_{cd}), 전류(I_{T1} , I_{T2})를 측정 한 파형이다.

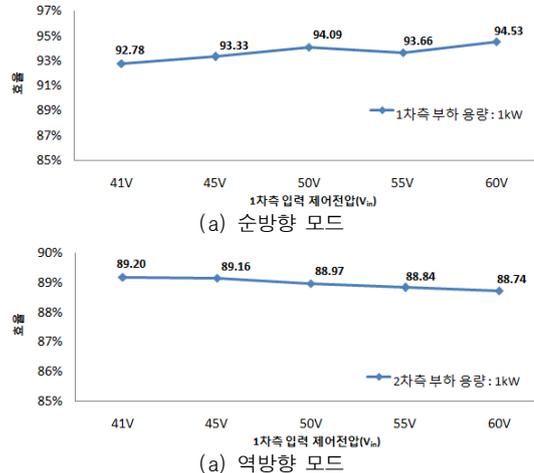


그림 6. 순방향, 역방향 모드 일 때의 1kW 부하 용량 효율

그림 6은 그림 1의 효율측정으로 순방향 모드 시 1차측 입력 제어전압(V_{in}) 60V, 2차측 일정 출력전압 및 부하 용량 400V/1kW 일 때 최대 94.53%의 효율 특성을 보여주었고, 역방향 모드 시 2차측 일정 출력전압(V_o) 400V, 1차측 입력 제어 전압 및 부하 용량 41V / 1kW 일 때 최대 89.2%의 효율 특성을 보여주었다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력연구과제 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] F. Krismer, J. Biela, J. W. Kolar, "A Comparative Evaluation of Isolated Bi directional DC/DC Converters with Wide Input and Output Voltage Range", IEEE IAS 2005, pp.599-606.
- [2] Wei Chen, Ping Rong, and Zhengyu Lu, "Snubberless Bidirectional DC DC Converter With New CLLC Resonant Tank Featuring Minimized Switching Loss", IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 57, No. 9, September 2010., pp.3075-3086.
- [3] 김은수, 김경환, "양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 (10 2012 0133728)
- [4] 김은수, "보조스위치와 인덕터 적용 양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 예정, 2013 6 7.