

SLLC 공진컨버터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

박준형, 서함, 강철하, 이승민, 김은수[†], 김광섭*
 전주대학교, 카코뉴에너지(주)*

Bidirectional DC-DC Converter Using SLLC Resonant Converter

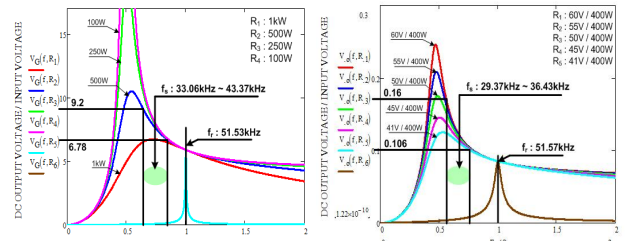
J.H Park, Han Xu, C.H Kang, S.M Lee, E.S Kim[†], Charles Kim*
 JeonJu University, KACO new energy Inc.*

1. 서론

절연된 양방향전력전달을 위해 전압원 또는 전류원 양방향 DC DC 컨버터가 축전지 충·방전시스템을 위해 개발되어 왔다. 컨버터의 크기 및 중량을 최소화 하기위해 스위칭 주파수를 증가시켜야 하지만 스위칭주파수의 증가는 스위칭손실을 초래하게 되어 효율특성을 저감시킨다. 효율증대를 위해 공진 및 준공진, CLLC 공진회로를 이용한 양방향 DC DC 컨버터가 최근 연구들이 이루어지고 있지만 공진동작특성에 따라 전압, 전류스트레스가 증가하게 되고, 특히 CLLC 공진회로를 이용한 양방향 DC DC 컨버터의 경우 1차측 및 2차측 공진커패시터 값(C_{r1} , C_{r2} (또는 C_{B1}))에 따라 양방향 전력전달에 있어 CCL 및 LLC 이득특성, CLLC 이득특성 및 SRC 이득특성으로 순방향 및 역방향 전력전달모드시 요구된 전압이득 제어에 어려움이 따르게 된다.^[1]

본 논문에서는 순방향 및 역방향 전력전달시 보조인덕터(L_{A2})와 변압기 자화인덕턴스(L_{m11}, L_{m12}), 직 병렬 구조의 풀 브리지 회로로 구성된 높은 이득특성을 갖는 양방향 SLLC 공진컨버터를 제안하였고^[2,3], 1kW용량에 대해 적용 실험하였다. 그리고 제어회로는 DSP(Microchip 16bit dsPIC33F)를 적용 구동하였다.

상승 등 어려움이 있었다. 본 논문에서는 기 제안된 직병렬 구조의 양방향 SLLC 공진 DC DC 컨버터에 포함되어 있는 1차측 보조인덕터와, 1, 2차측 양방향보조스위치를 제거하여 보다 간단한 회로구성을 가지면서도 높은 LLC 공진이득특성을 갖는 회로를 제안하였다.^[3] 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터의 경우 순방향 동작시 병렬로 연결된 보조인덕터(L_{A21}, L_{A22})를 이용하여 SLLC 공진이득특성을 이용하였고, 역방향 동작시에는 공극(Gap)에 따라 1차측 변압기 자화인덕턴스(L_{m11}, L_{m12})를 이용하여 LLC 공진특성을 갖도록 양방향 이득특성을 개선하였다.



(a) 순방향 LLC 공진 이득 특성 (b) 역방향 LLC 공진 이득 특성
 그림 3. 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터 이득특성

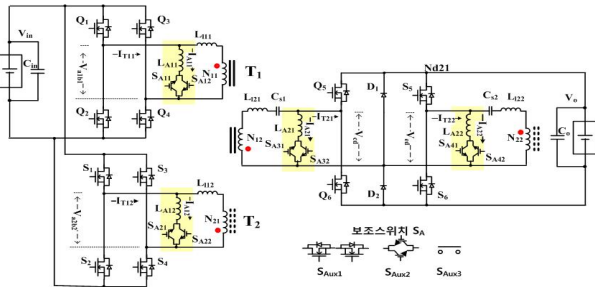


그림 1. 기 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터^[2]

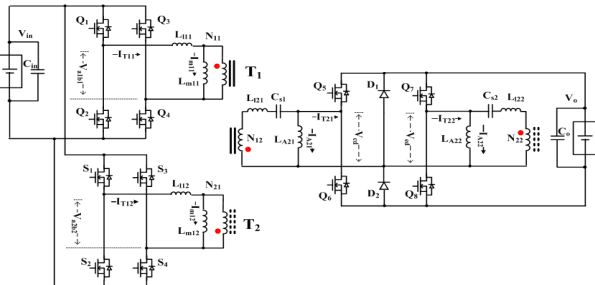


그림 2. 제안된 SLLC 공진컨버터 적용 양방향 DC-DC 컨버터^[3]

2. 제안된 고효율 양방향 SLLC 공진컨버터

기 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터는^[2] 1차측과 2차측 보조스위칭소자($S_{A11}, S_{A12}, S_{A21}, S_{A22}, S_{A31}, S_{A32}, S_{A41}, S_{A42}$)와 1차측보조인덕터($L_{A11}, L_{A12}, L_{A21}, L_{A22}$)의 적용으로 인해 회로가 복잡하고, 가격

2.1 순방향 동작

제안된 양방향 SLLC 공진컨버터는 순방향 동작 시 그림3과 같이 1차측 스위칭소자(Q_1, Q_4, Q_3, Q_2)와 (S_1, S_4, S_3, S_2)는 각각 고정된 듀티비(50%)로 턴 온/오프 동작되고, 2차측 스위칭소자(Q_5, Q_8, Q_7, Q_6)는 턴 오프 상태를 유지하고 있기 때문에 2차측 스위칭소자의 역병렬다이오드가 정류다이오드로 동작된다. 적용된 주회로에 있어서 변압기는 공극(Gap)이 상당히 크므로, 자화전류(I_{m11}, I_{m12})의 크기가 증가하지만, 1차측은 병렬운전 동작되기 때문에 순방향 동작시 각각의 변압기(T_1, T_2)에 1/2의 분담전류가 흐르므로, 자화전류 증가에 대응할 수 있고, 또한 넓은 입력전압변화에 따른 이득특성에도 대응할 수 있는 회로이다.

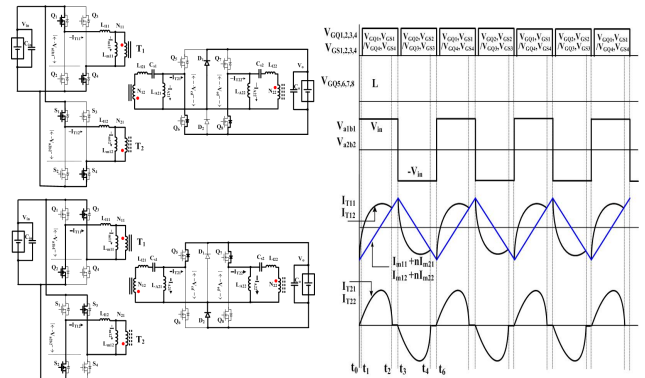


그림 4. 적용된 회로의 순방향 모드 동작

2.2 역방향 동작

제안된 양방향 SLLC 공진컨버터 역방향동작은, 그림5와 같이 2차측 스위칭소자(Q₅, Q₈, Q₇, Q₆)는 고정된 듀티비(50%)로 턴 온/오프 동작되고, 1차측 스위칭소자(Q₁, Q₄, Q₃, Q₂, S₁, S₄, S₃, S₂)는 턴 오프 상태로 유지되어있기 때문에 1차측 스위칭소자의 역병렬 다이오드는 정류다이오드로 동작된다. 2차측 스위칭소자(Q₅, Q₈, Q₇, Q₆)의 동작에 의해 2차측 공진커패시터(C_{S1}, C_{S2}) 및 변압기 누설인덕턴스와 자화인덕턴스로 구성된 공진부와 공진부와 병렬로 연결되어 있는 보조인덕터(L_{A21}, L_{A22})에 전압이 인가되어 공진전류가 흐른다. 이때 변압기공극(Gap)에 따른 자화인덕턴스(L_{m11}, L_{m12})를 통해 흐르는 자화전류에 의해 LLC 공진특성과 같은 높은 전압이득특성을 얻을 수 있다. 또한, 보조인덕터(L_{A21}, L_{A22})에는 2차측 스위칭소자 동작시 직렬 연결되기 때문에 출력전압(V_o)의 1/2이 인가되어 보조인덕터 전류(I_{A21}, I_{A22})는 순방향동작시에 비해 적게 흐르며, 전압이득특성에는 영향을 주지 않는다.

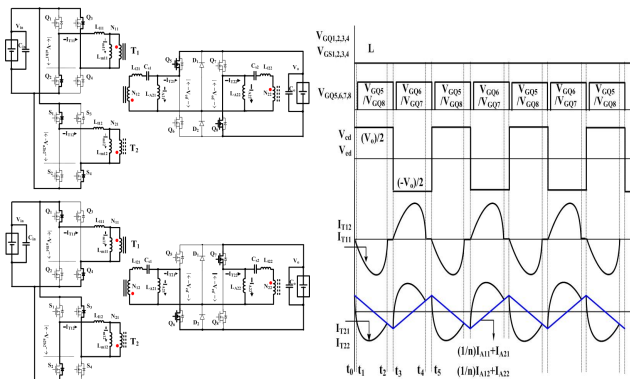


그림 5. 적용된 회로의 역방향 모드 동작

3. 실험결과

본 논문에서는 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터에 대해 1kW 출력용량으로 실험 적용하였다. 순방향 동작 시에는 입력전압(V_{in}) 41V~60V 조건에서 최대정격출력용량 400V/2.5A로 1kW에 대해 실험하였고, 역방향 모드 시에는 높은 전압단 출력전압(V_o) 400V조건에서 정격출력용량 41V~60V / 13.3A~19.5A로 800W에 대해 각각 실험하였다. 그리고 적용된 실험조건과 주요정격에 대해 표 1, 2에 나타내었다.

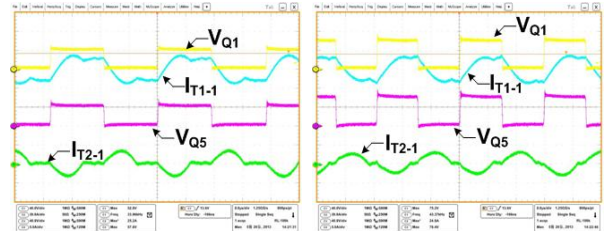
표 1. 양방향 공진컨버터 실험조건

순방향모드	
낮은 전압단 입력전압(V _{in})	41V~60V
순방향 출력용량(P _o)	400V / 2.5A (1kW)
스위칭주파수(f _s)/공진주파수(f _r)	33.82kHz ~ 43.8kHz / 51.52kHz
역방향모드	
높은 전압단 출력전압(V _o)	400V
역방향 출력용량(P _{in})	41V~60V / 13.3A~19.5A (800W)
스위칭주파수(f _s)/공진주파수(f _r)	29.54kHz ~ 36.58kHz / 51.57kHz

표 2. 양방향 공진컨버터 파라미터 및 사용된 소자

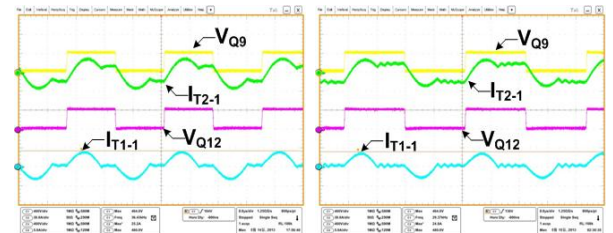
자기인덕턴스(L _p / L _s)	34.95uH / 1.529mH
순방향시 1차측 누설인덕턴스(L _{d1} / N ² L ₂₁)	3.884uH / 3.77uH
역방향시 1차측 누설인덕턴스(L _{d1} / L ₁₁ /N ²)	163.96uH / 168.94uH
등가누설인덕턴스(L _{ex1} , L _{ex3})	7.246uH / 634.8uH
턴수비(N ₁ /N ₂), 공진커패시터(C _{S1} , C _{S2})	0.151, 30nf
보조 인덕터(L _{A21} , L _{A22})	974.5uH
1차측 주 스위칭소자(Q ₁ ~Q ₈)	IRFP4468(100V, 290A)
2차측 주 스위칭소자(Q ₉ ~Q ₁₂)	47N60CFD(600V, 46A)
2차측 다이오드(D ₁ ~D ₂)	DSEP30-06(600V, 30A)
적용된 제어 IC	dsPIC33FJ16GS502

그림6과 그림7은 그림2의 고효율 특성을 갖는 SLLC 양방향 공진컨버터 실험파형으로, 그림 6은 입력전압(V_{in}) 41V 60V 조건에서 출력전압(V_o) 400V / 2.5A 1kW일 때, 주 스위칭 소자 전압(Q₁, Q₅), 단자전류(I_{T21}, I_{T22})를 측정된 파형이다. 그림 7은 출력전압(V_o) 400V 조건에서 입력전압(V_{in}) 41V~60V / 13.3A~19.5A 800W일 때, 주 스위칭소자 전압(Q₉, Q₁₂), 단자전류(I_{T22}, I_{T22})를 측정된 파형이다.



(a) V_{in}:41V V_o:400V, I_o:2.5A (b) V_{in}:60V V_o:400V, I_o:2.5A

그림 6. 순방향 동작시 실험파형 (1kW)



(a) V_o:400V V_{in}:41V, I_{in}:19.5A (b) V_{in}:400V V_{in}:60V, I_{in}:13.3A

그림 7. 역방향 동작시 실험파형 (800W)

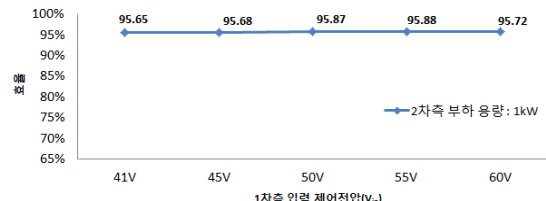


그림 8. 순방향동작시 전압(V_{in})과 각 부하별 효율

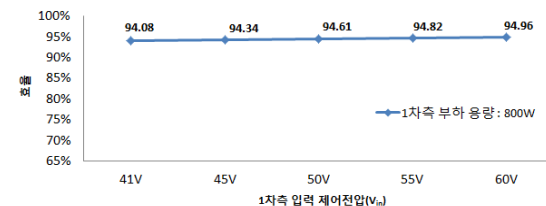


그림 9. 역방향동작시 전압(V_o)과 각 부하별 효율

그림 8과 그림 9는 그림 2의 양방향 SLLC 공진컨버터 입력전압(V_{in})범위에 따른 효율증정 값으로, 순방향 모드 시 입력전압 55V에서 최대부하(1kW)일 때 95.88% 효율이 측정되었고 역방향 모드 시 출력전압 60V에서 최대부하(800W)일 때 94.96%의 효율 특성을 보여주었다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력연구과제 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- 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.
- 김은수, 김경환, "양방향 전력수송을 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 (10 2012 0133728)
- 김은수, "보조인덕터 적용 양방향 전력수송을 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 예정, 2013. 6~7.