

# 고효율 특성을 갖는 양방향 SLLC공진컨버터

박준형\*, 이승민\*, 김은수\*†, 전용석\*, 김경환\*\*, 공영수\*\*\*  
 전주대학교, 카코뉴에너지(주)\*, 국립과학수사연구원\*\*

## Bidirectional SLLC Resonant Converter with High Efficiency Characteristics

J.H Park\*, S.M Lee\*, E.S Kim\*†, Y.S Jeon\*, K.H Kim\*\*, Y.S Kong\*\*\*  
 JeonJu University\*, KACO new energy Inc.\*\*, National Forensic Service\*\*\*

### 1. 서론

최근 태양광발전 계통연계 PCS시스템 및 전기자동차 배터리 충·방전시스템 등 여러 분야에 양방향 DC DC컨버터가 적용되고 있다. 그러나 기존 전압형 및 전류형 DC DC컨버터의 경우 하드스위칭에 따른 스위칭손실로 인해 효율개선에 있어서 어려움이 있다. 최근 EMI저감 및 영전압스위칭(ZVS)과 영전류스위칭(ZCS)이 모두 가능한 그림 1과 같은 양방향 전력수수를 위한 LLC 공진 DC DC컨버터가 연구되고 있으나, 이 또한 1차측 및 2차측 공진커패시터 값( $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$ (또는  $C_{B1}$ ))에 따라 양방향 전력전달에 있어 그림 2(a)와 같은 CCL 공진 이득특성과 LLC 이득특성이 혼합된 CLLC 공진이득특성 및 그림 2(b)와 같은 SRC 공진이득특성으로 순방향 및 역방향 전력전달 모드 시 요구된 전압이득 제어에 어려움이 따르게 된다.<sup>[1]</sup> 또한 낮은 전압에서 높은 전압으로 승압하고, 높은 전압에서 낮은 전압으로 강압하는 중·대용량 양방향 LLC 공진DC DC 컨버터에 있어서<sup>[1,2]</sup>, 낮은 전압단에서는 높은 전압단에 비해서 동일 부하용량에 대해 적용 스위칭소자 및 공진커패시터와 변압기 권선에 수십 암페어의 대전류가 흐르게 된다. 따라서 낮은 전압단에서는 전류내량이 큰 공진커패시터를 적용해야 하지만 적용 공진커패시터의 크기 및 부피가 증가하여 고 집적화 하는데 어려움이 있고, 적용 단가상승 등 단점을 갖는다.

본 논문에서는 양방향 전력수수를 위한 공진 DC DC 컨버터에 있어 낮은 전압단에서는 대전류 공진커패시터를 사용하지 않고 높은 전압단에 공진커패시터를 적용하였으며 별도의 보조 인덕터와의 공진특성을 이용하여 양방향 전력수수가 가능한 SLLC(Secondary Inductor Capacitor) 공진 DC DC 컨버터를 제안하였고,<sup>[3]</sup> 1.5kW 실험적용내용에 대해 나타냈다.

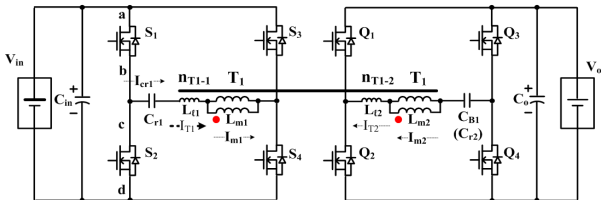
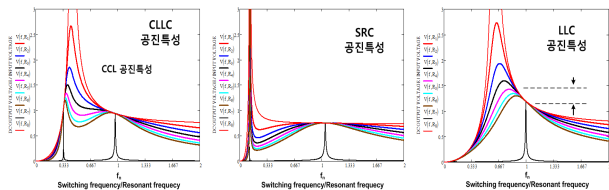


그림 1. 기존 양방향 전력수수 가능한 공진컨버터 주회로도



(a) CLLC 공진특성 (b) SRC 공진특성 (c) LLC 공진특성  
 그림 2. 기존 양방향 전력수수 가능한 공진컨버터의 이득특성

### 2. 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터

본 논문에서는 그림 3과 같이 양방향보조스위치( $S_{Aux1}$  또는  $S_{Aux2}$  또는  $S_{Aux3}$ )와 보조인덕터( $L_A$ )로 구성된 간단한 보조수단을 1, 2차측에 적용하여, 순방향 및 역방향 전력전달 시 양방향 보조스위치를 턴 온, 턴 오프 제어함으로써 각각의 순방향 및 역방향 동작에서 그림 2(c)와 같은 높은 전압이득특성을 갖는 양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터에 대한 내용이다.<sup>[3]</sup>

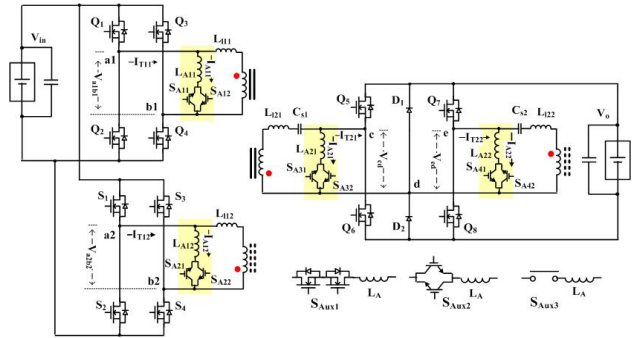


그림 3. 제안된 SLLC 공진 컨버터 회로도

#### 2.1 양방향 SLLC 공진컨버터 순방향 동작

순방향 동작시 그림 3과 그림 4와 같이 1차측 스위칭소자 ( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ,  $S_1, S_2, S_3, S_4$ )는 각각 고정된 듀티비(50%)를 가지고 턴 온, 턴 오프 스위칭동작되고, 2차측스위칭소자( $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ )는 턴 오프 상태로 유지되어 2차측스위칭소자( $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ ) 역병렬다이오드가 정류다이오드로 동작한다. 1차측보조스위치 ( $S_{A11}, S_{A12}, S_{A21}, S_{A22}$ )는 턴 오프 되어 공진에 영향을 주지 않으며, 2차측양방향보조스위치( $S_{A31}, S_{A32}, S_{A41}, S_{A42}$ )가 턴 온 동작되어 2차측보조인덕터( $L_{A21}, L_{A22}$ )와 각 변압기( $T_1, T_2$ )등가누설인덕턴스, 2차측공진커패시터( $C_{S1}, C_{S2}$ )와의 공진특성으로 인해 그림 2(c)의 LLC 공진특성처럼 높은 전압이득특성을 가지게 된다.

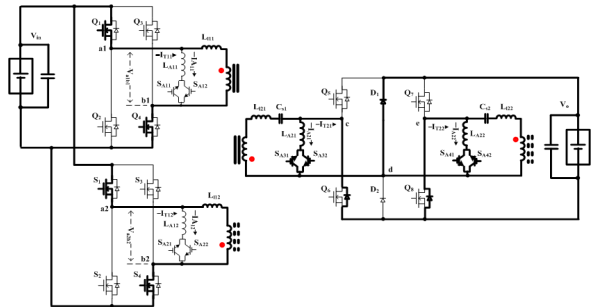


그림 4. 보조스위치와 보조 인덕터 적용 순방향 모드 동작

## 2.2 양방향 SLLC 공진컨버터 역방향 동작

역방향 동작시 그림 3과 그림 5와같이 2차측스위칭소자(Q<sub>5</sub>, Q<sub>6</sub>, Q<sub>7</sub>, Q<sub>8</sub>)는 각각 고정된 듀티비(50%)를 가지고 턴 온, 턴 오프 스위칭 동작되고, 1차측스위칭소자(Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>)는 턴 오프 상태로 유지되어 1차측스위칭소자의 역병렬다이오드는 정류다이오드로 동작된다. 2차측양방향보조스위치(S<sub>A31</sub>, S<sub>A32</sub>, S<sub>A41</sub>, S<sub>A42</sub>)는 턴 오프 되어있어 동작하지 않고 1차측 보조스위치(S<sub>A11</sub>, S<sub>A12</sub>, S<sub>A21</sub>, S<sub>A22</sub>)가 턴 온 동작되어 1차측보조인덕터(L<sub>A11</sub>, L<sub>A12</sub>)와 각 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)등가누설인덕턴스 및 2차측 공진커패시터(C<sub>s1</sub>, C<sub>s2</sub>)와의 공진으로 인해 그림 2(c)의 LLC공진 특성처럼 높은 전압이득특성을 가지게 된다. 이때 2차측스위칭소자가 스위칭동작시 2차측단자전압(V<sub>cd</sub>, V<sub>cd</sub>)에 (1/2)V<sub>o</sub>이 인가됨으로 순방향동작시와 마찬가지로 공진주파수에서부터 낮은 주파수로의 가변주파수제어를 통해 불연속구간동안 동작된다.

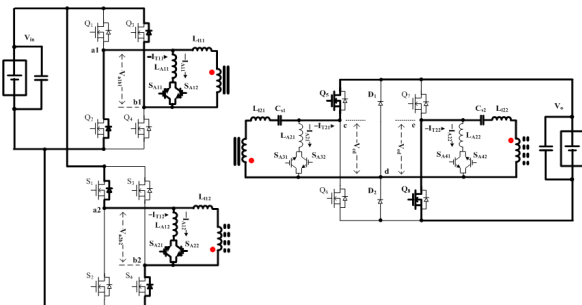


그림 5. 보조스위치와 인덕터 적용 역방향 모드 동작

## 3. 실험결과

본 논문에서는 그림 3의 보조스위칭(S<sub>Aux1</sub>)소자 적용 고효율 SLLC 양방향 공진컨버터에 대해 1.5kW급 출력용량으로 실험 적용하였다. 순방향 모드시에는 1차측 입력전압(V<sub>in</sub>)범위(41V~60V)에서 일정 출력전압(V<sub>o</sub>) 400V/3.75A 정격출력 1.5kW에 대해 실험하였고, 역방향 모드시에는 2차측 일정 출력전압(V<sub>o</sub>) 400V조건에서 1차측 입력제어전압(V<sub>in</sub>)범위(41V~63V/25A~36.59A)와 정격출력 1.5kW에 대해 각각 실험하였다. 그리고 적용된 실험조건과 주요정격에 대해 표 1, 2에 나타내었다.

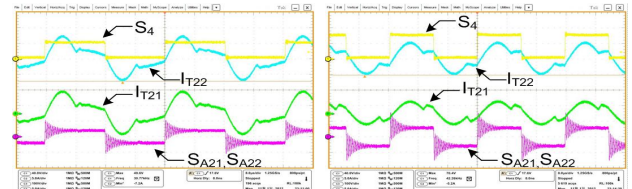
표 1. 양방향 공진컨버터 실험조건

순방향모드	
전압(V <sub>in</sub> )	41V~60V
순방향 출력용량(P <sub>o</sub> )	400V/3.75A (1.5kW)
위칭주파수(f <sub>s</sub> )/공진주파수(f <sub>r</sub> )	30.77kHz~42.26kHz/56.10kHz
역방향모드	
전압(V <sub>o</sub> )	400V
역방향 출력용량(P <sub>in</sub> )	41V~60V/25A~36.59A(1.5kW)
위칭주파수(f <sub>s</sub> )/공진주파수(f <sub>r</sub> )	41.29kHz~48.31kHz/57.68kHz

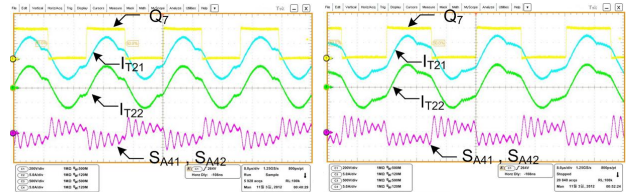
표 2. 양방향 공진컨버터 파라미터 및 사용된 소자

자기인덕턴스(L <sub>p</sub> / L <sub>s</sub> )	40.96uH / 1.539mH
순방향시 1,2차측누설인덕턴스(L <sub>l11</sub> /N <sup>2</sup> L <sub>l12</sub> )	1.68uH / 3.47uH
역방향시 1,2차측누설인덕턴스(L <sub>l11</sub> /N <sup>2</sup> L <sub>l12</sub> )	59.27uH / 123.7uH
등가누설인덕턴스(L <sub>eq</sub> )	4.868uH
턴수비(N <sub>1</sub> /N <sub>2</sub> )	0.1667
공진 커패시터 (C <sub>s1</sub> , C <sub>s2</sub> )	44nF
보조 인덕터(L <sub>A11</sub> , L <sub>A12</sub> / L <sub>A21</sub> , L <sub>A22</sub> )	14.49uH / 826.2uH
1차측 주 스위칭소자(Q <sub>1</sub> ~Q <sub>4</sub> , S <sub>1</sub> ~S <sub>4</sub> )	IRFP4468(100V, 290A)
2차측 주 스위칭소자(Q <sub>5</sub> ~Q <sub>8</sub> )	47N60CFD(600V, 46A)
2차측 다이오드(D <sub>1</sub> ~D <sub>2</sub> )	DSEP30 06(600V, 30A)
1차측 보조스위치(S <sub>A11</sub> , S <sub>A12</sub> , S <sub>A21</sub> , S <sub>A22</sub> )	IRFP4468(240V, 130A)
2차측 보조스위치(S <sub>A31</sub> , S <sub>A32</sub> , S <sub>A41</sub> , S <sub>A42</sub> )	H30R1602(1600V, 30A)
적용된 제어 IC	MC34067

그림 6과 그림 7은 그림 3의 양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터 실험파형으로, 그림 6은 순방향모드시 입력전압(V<sub>in</sub>) 41V~60V 각각의 조건에서 출력전압(V<sub>o</sub>) 400V/3.75A 2차측 부하용량이 1.5kW일 때, 주스위칭소자전압(S<sub>4</sub>), 단자전류(I<sub>T21</sub>, I<sub>T22</sub>)와 보조스위치 전압(S<sub>A21</sub>, S<sub>A22</sub>)를 측정된 파형이다. 그림 7은 역방향 모드시 일정 출력전압(V<sub>o</sub>) 400V 조건에서 입력전압(V<sub>in</sub>) 41V~60V/25A~36.59A 1차측 부하용량이 1.5kW일 때, 주 스위칭소자 전압(Q<sub>7</sub>), 단자전류(I<sub>T21</sub>, I<sub>T22</sub>)와 보조스위치 전압(S<sub>A41</sub>, S<sub>A42</sub>)를 측정된 파형이다.



(a) V<sub>in</sub>:41V V<sub>o</sub>:400V, I<sub>o</sub>:3.75A (b) V<sub>in</sub>:60V V<sub>o</sub>:400V, I<sub>o</sub>:3.75A  
그림 6. 순방향 동작시 실험파형



(a) V<sub>o</sub>:400V V<sub>in</sub>:41V, I<sub>in</sub>:36.59A (b) V<sub>o</sub>:400V V<sub>in</sub>:60V, I<sub>in</sub>:25A  
그림 7. 역방향 동작시 실험파형

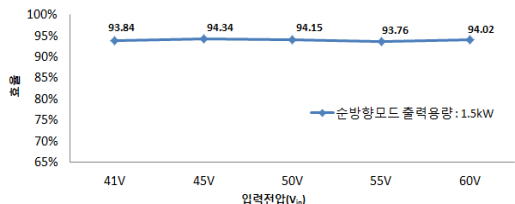


그림 8. 순방향동작시 입력전압(V<sub>in</sub>)범위에 대한 효율특성

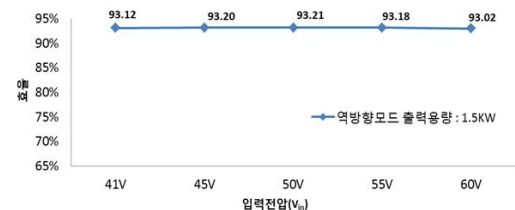


그림 9. 역방향동작시 입력전압(V<sub>in</sub>) 제어범위에 대한 효율특성

그림 8과 그림 9는 그림 3의 고효율 특성을 갖는 양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터 효율측정으로, 순방향 모드시 입력전압 45V에서 최대부하(1.5kW)일 때 94.34% 효율이 측정되었고 역방향 모드시 출력전압 50V에서 최대부하(1.5kW)일 때 93.21%의 효율 특성을 보여주었다.

이 논문은 카코뉴에너지(주)와 전주대 산학협력연구과제지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] Wei Chen, etc., "Snubberless Bidirectional DC DC Converter With New CLLC Resonant Tank Featuring Minimized Switching Loss", IEEE Trans. Ind. Electron. vol.57, No.9, Sep. 2010., pp.3075-3086.
- [2] 김은수, "양방향 직류 직류 컨버터", 특허출원(10 2011 0111497).
- [3] 김은수, 김경환 "양방향 전력수수 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 준비 중, 2012.11.