

# 제안된 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터

권주일<sup>1</sup>, 이승민<sup>1</sup>, 김은수<sup>1\*</sup>, 황인갑<sup>1</sup>, 김광섭<sup>2</sup>, 공영수<sup>3</sup>  
 전주대학교<sup>1</sup>, 카코뉴에너지(주)<sup>2</sup>, 국립과학수사연구원<sup>3</sup>

## Proposed SLLC bidirectional DC/DC converter

J.I Kwon<sup>1</sup>, S.M Lee<sup>1</sup>, E.S Kim<sup>1\*</sup>, I.G Hwang<sup>1</sup>, Charles Kim<sup>2</sup>, Y.S Kong<sup>3</sup>  
 JeonJu University<sup>1</sup>, KACO new energy Inc.<sup>2</sup>, National Forensic Service<sup>3</sup>

### 1. 서론

최근 신재생에너지 및 스마트그리드 관련하여 배터리 충방전 시스템 적용을 위한 양방향 DC/DC 컨버터에 대한 연구가 진행되고 있으며, 크기 및 스위칭 손실, EMI(Electro Magnetic Interference) 저감을 위한 소프트스위칭 LLC 공진컨버터가 접목된 양방향 DC/DC 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 기존 CLLC 공진컨버터를 적용한 양방향 DC/DC 컨버터는 양방향 전력전달을 위해 1차측 및 2차측에 각각의 공진 커패시터( $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$ (또는  $C_{B1}$ ))를 적용 하였으며, 이러한 경우, 두 커패시터 값에 의해 순방향 및 역방향 전력전달 동작 시, 그림 1의 기존 LLC 공진컨버터 이득특성과는 다른 동작특성을 갖게 되어 양방향 전력전달에 있어서 어려움이 있다.<sup>[2]</sup> 따라서 본 논문에서는 그림 2와 같이 높은 전압단인 변압기 2차측에 보조 인덕터와 보조스위치를 적용한 SLLC(Secondary Inductor Capacitor) 양방향 DC/DC 컨버터를 제안하였고<sup>[3,4]</sup>, 1kW의 정격 출력용량의 실험을 통해 회로의 적용 가능성을 검증하였다.

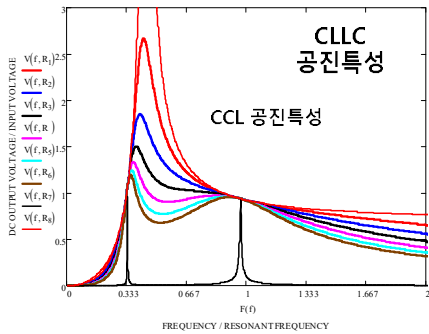
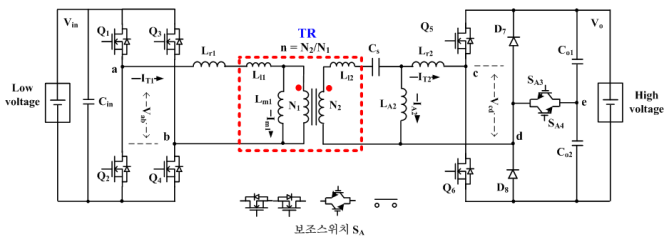
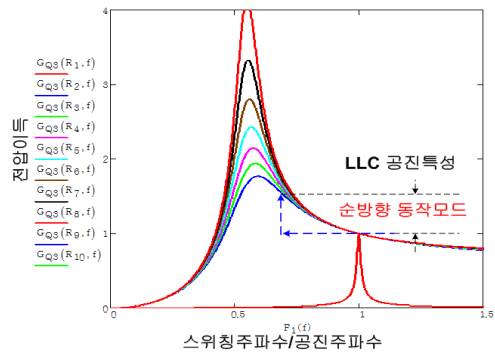


그림 1 CLLC 양방향 DC/DC 컨버터의 전압이득 특성

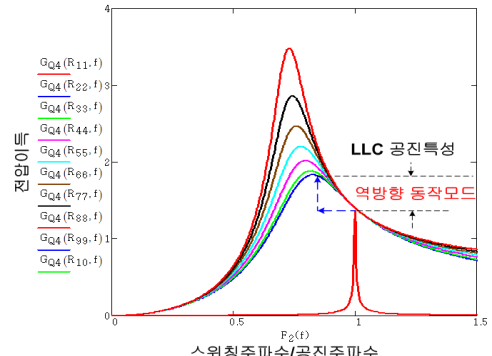
Fig. 1 Voltage gain characteristics of CLLC bidirectional DC/DC converter



(a) 제안된 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터의 주회로



(b) 순방향시의 전압이득 특성



(c) 역방향시의 전압이득 특성

그림 2. 제안된 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터 전압이득 특성

Fig. 2 Proposed SLLC bidirectional DC/DC converter and its forward/reverse voltage gain characteristics

### 2. 제안된 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터

제안된 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터는<sup>[4]</sup> 높은 전압단의 공진을 이용하여 양방향 전력을 전달하는 방법으로, 변압기 2차측에 보조인덕터( $L_{A2}$ )와 보조스위칭 소자( $S_{A1}, S_{A2}$ )를 적용하였다. 이러한 경우, 순방향 전력전달 동작 시에는 2차측 누설인덕턴스( $L_{A2}$ )와 공진커패시터( $C_s$ ), 2차측 보조인덕터( $L_{A2}$ )와의 공진특성을 이용하여 LLC 공진특성이 나타나도록 하였고, 역방향 전력전달 동작 시에는 1차측의 누설인덕턴스( $L_{A1}$ ), 2차측 누설인덕턴스( $L_{A2}$ )와 공진커패시터( $C_s$ ), 변압기의 자화인덕턴스( $L_{m1}$ )와의 공진특성을 이용하여 LLC 공진특성이 나타나도록 하는 회로를 구성하였다.

## 2.1 순방향 동작

그림 3에서 볼 수 있는 것처럼, 1차측의 낮은 전압단에서 2차측의 높은 전압단으로의 순방향 전력전달은 1차측의 스위칭소자( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ )가 각각 고정된 듀티비 50%로 온/오프(On/Off) 스위칭 동작을 하며, 2차측의 양방향 보조스위칭소자( $S_{A3}, S_{A4}$ )는 오프(Off) 상태이고, 2차측 스위칭소자( $Q_5, Q_6$ )도 오프(Off) 상태이기 때문에, 2차측 스위칭소자( $Q_5, Q_6$ )의 역 병렬 다이오드와 다이오드( $D_7, D_8$ )로 구성된 전파정류회로를 통해 2차측 공진전류( $I_{T2}$ )가 흐르면서 전력이 전달된다.

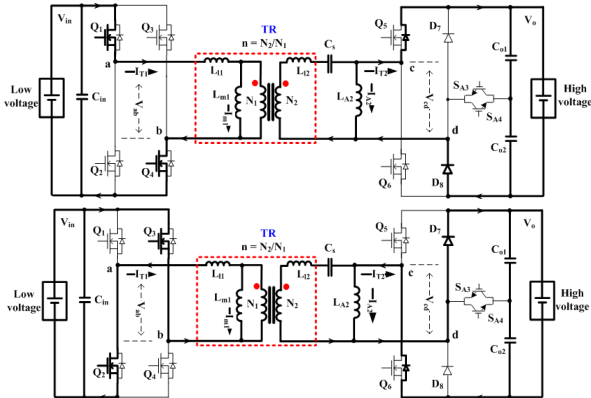


그림 3 순방향 동작모드  
Fig.3 Forward switching mode

## 2.2 역방향 동작 시

그림 4에서 볼 수 있는 것처럼, 2차측의 높은 전압단에서 1차측의 낮은 전압단으로의 역방향 전력전달 동작은 2차측의 스위칭소자( $Q_5, Q_6$ )는 각각 고정된 듀티비 50%를 가지고 턴 온/오프 스위칭 동작되고, 출력커패시터( $C_{O1}, C_{O2}$ ) 중간과 다이오드( $D_7, D_8$ ) 중간 사이에 연결되어 있는 2차측 양방향 보조스위칭소자( $S_{A3}, S_{A4}$ )가 턴 온 상태로 연결되어 있어 반파공진회로처럼 스위칭 동작된다. 따라서 출력커패시터( $C_{O1}, C_{O2}$ )의 분압된 전압 [ $(1/2)V_o$ ]이 변압기(TR) 2차측과 직렬연결된 공진커패시터( $C_s$ )에 인가되어 공진전류가 흐르고, 이와 병렬로 연결된 2차측 보조인덕터( $L_{A2}$ )에도 전류가 흐르지만 분압된 전압이 인가됨에 따라 보조인덕터 전류( $I_{A2}$ )가 1/2만큼 저감되어 흐른다. 역방향 전력전달 동작 시 1차측의 스위칭소자( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ )는 오프(Off) 상태로 유지되어 있어 스위칭소자( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ )의 역병렬 다이오드를 통해 공진전류( $I_{T1}$ )가 흐르면서 전력을 전달한다.

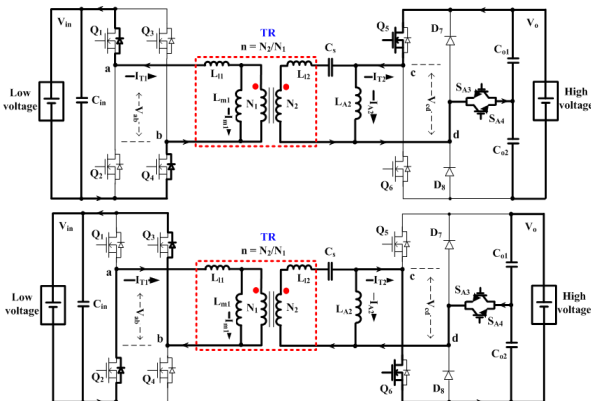


그림 4 역방향 동작모드  
Fig.4 Reverse switching mode

## 3. 실험결과

본 논문에서는 1kW 정격출력용량을 갖는 SLLC 양방향 DC/DC 컨버터를 제작하여 실험하였으며, 그림 5는 입력전압이 41V<sub>DC</sub>, 60V<sub>DC</sub>에서 출력용량 1kW 조건에서의 순방향 시 실험파형이고, 그림 6은 입력전압이 400V<sub>DC</sub>에서 출력용량이 950W 및 1kW 조건에서의 역방향 시 실험파형으로서, 기존 LLC 공진 컨버터의 특성과 동일한 실험결과를 얻을 수 있었다.

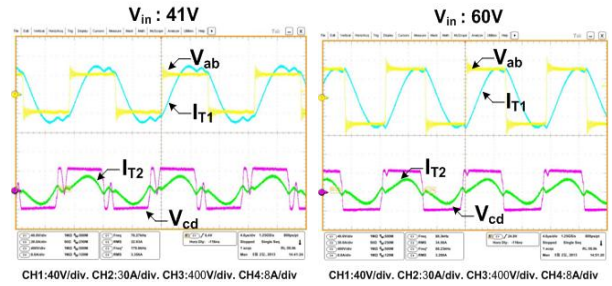


그림 5 입력전압 40V<sub>DC</sub> 및 60V<sub>DC</sub>에서의 실험파형  
Fig. 5 Experimental waveform of input voltage for 40V<sub>DC</sub> and 60V<sub>DC</sub>

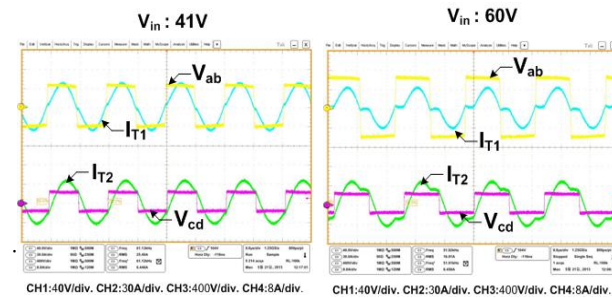


그림 6 입력전압 400V<sub>DC</sub>에서의 실험파형  
Fig. 6 Experimental waveform of input voltage for 400V<sub>DC</sub>

순방향 전력전달 동작시 효율특성은 공극이 큰 변압기 적용에 따라 큰 자화전류( $I_{m1}$ )와 2차측 보조인덕터에 흐르는 전류( $I_{A2}$ )로 인해 89% ~ 91.1% 정도의 낮은 효율특성을 보여주고 있고, 역방향 전력전달 동작시 효율특성은 2차측 보조인덕터( $L_{A2}$ )에 인가되는 전압이 출력전압( $V_o$ )의 1/2이 인가되어 순방향 전력전달 동작시 보다 적게 흐르므로 90 ~ 92.4% 정도로 효율특성을 보여주었다. 향후 최적 스위칭소자 선정 및 최적설계를 통해 효율특성을 개선 및 보완하고자 한다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력연구과제 지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] F. Krismser, 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.