

보조스위치와 인덕터를 적용한 양방향 SLLC 공진컨버터

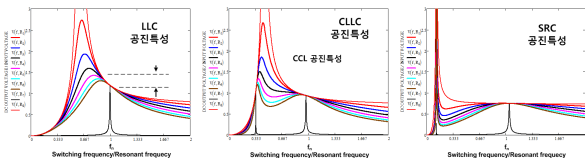
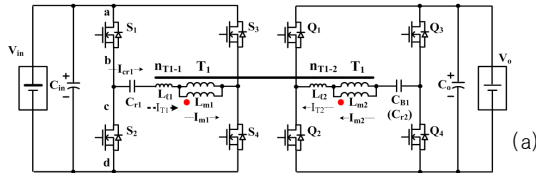
공영수¹, 강철하², 박진성², 최용욱², 김은수², 김광섭³
 국립과학수사연구원¹, 전주대학교², 카코뉴에너지(주)³

Bidirectional Secondary LLC Resonant Converter using Auxiliary Switches And Inductor

Y.S Kong¹, C.H Kang², J.S Park², Y.U Choi², E.S Kim^{2*}, K.S Kim³
 National Forensic Service¹, JeonJu University², KACO new energy Inc.³

1. 서론

최근 에너지 저장시스템을 위한 양방향 DC/DC 컨버터가 태양광발전 계통연계 PCS시스템 및 전기자동차 배터리 충·방전 시스템 등 여러 분야에 사용되며, 크기 및 스위칭 손실, EMI (Electro Magnetic Interference) 저감을 위한 소프트스위칭 LLC 공진컨버터가 주목된 양방향 DC/DC 컨버터의 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 그림 1(a)의 기존 CLLC 공진컨버터를 적용한 양방향 DC/DC 컨버터는 양방향 전력전달을 위해 1차측 및 2차측에 각각 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2} (또는 2차측 Blocking Capacitor C_{B1}))를 적용 하였으며, 이러한 경우 두 커패시터 값에 의해 순방향 및 역방향 전력전달 동작 시, 그림 1에서와 같이 기존 LLC 공진컨버터의 이득특성과는 다른 공진특성을 갖게 되어 양방향 전력전달에 있어서 어려움이 있다.^[2]



(b) LLC이득특성 (c) CLLC 이득특성 (d) SRC 이득특성
 그림 1 공진커패시터 값에 따른 양방향컨버터의 이득특성변화

본 논문에서는 그림 2와 같이 높은전압단인 변압기 2차측에 보조인덕터(L_A)와 보조스위치(S_{A3} , S_{A4})를 적용한 SLLC (Secondary Inductor Inductor Capacitor) 양방향 DC/DC컨버터를 제안하였고^[3], 양방향 전력제어를 위해 DSP (dsPIC33F16GS502)적용 제어회로를 구성하고, 순방향 및 역방향 전력변환 알고리즘을 구현하여 적용, 실험한 내용이다.

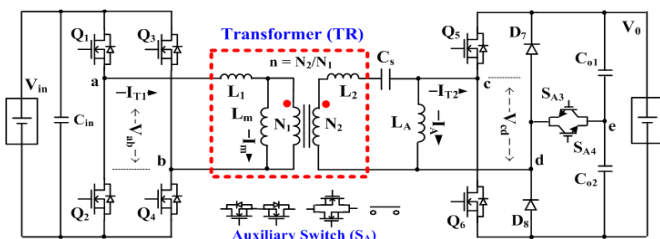


그림 2 보조인덕터 및 보조스위치적용 제안된 양방향 SLLC공진컨버터

2. 제안된 SLLC 양방향 컨버터 공진특성

제안된 양방향 SLLC 공진컨버터는 변압기(TR) 2차측에 보조인덕터(L_A)와 보조스위치(S_{A3} , S_{A4})를 적용하였고, 이러한 경우 순방향 전력전달 동작시에는 2차측 누설인덕턴스(L_2)와 공진커패시터(C_s), 2차측 보조인덕터(L_A)와의 공진특성을 이용하여 LLC 공진특성이 나타나도록 하였고, 역방향 전력전달 동작시에는 1차측 누설인덕턴스(L_1), 2차측 누설인덕턴스(L_2)와 공진커패시터(C_s), 변압기자화인덕턴스(L_m)와의 공진특성을 이용하여 LLC공진특성이 나타나도록 회로가 구성되어 있다.

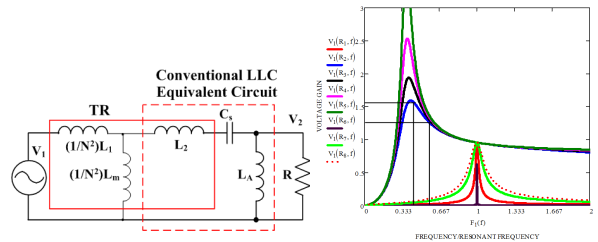


그림 3 순방향동작모드 등가회로 및 이득특성

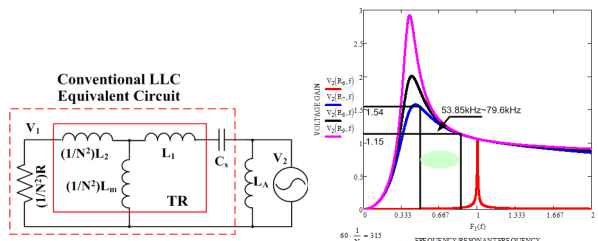


그림 4 역방향동작모드 등가회로 및 이득특성

3. 양방향전력제어를 위한 디지털제어

그림 5는 SLLC 양방향 공진컨버터의 디지털제어를 위한 구성도이다. 1차측의 저전압(V_{in} : 41V~63V)부와, 2차측의 고전압(V_o : 400V)부로 나누어져 있으며, DSP 제어부와, Gate Driver 부로 나누어져 있다. 기본적인 제어 동작으로는 1차측과 2차측 입출력 및 전류를 센싱받고, DSP A/D컨버터를 통해 디지털 값으로 변환시킨다. 변환된 A/D값은 프로그래밍을 통한 PID 연산을 거쳐 PWM 발생기를 통해 50%의 듀티비로 스위칭 동작하여 일정 출력전압(V_o)을 제어한다. 순방향 및 역방향 동작 모드전환은 고전압단 출력전압(V_o : 400V)을 센싱하여 그 값을 통해 순방향 및 역방향 동작 모드를 결정하고 동작모드변환에 대한 순서를 프로그래밍 하여 정해진 시퀀스에 따라 순방향 및 역방향 동작 시 전력 전달이 원활하게 이루어질 수 있도록 하였다.

3. 실험결과

본 논문에서는 1kW 정격출력용량을 갖는 양방향 SLLC 공진컨버터를 제작하여 실험하였으며, 그림 7은 입력전압이 41V_{DC}, 60V_{DC}에서 출력용량 1kW 조건에서의 순방향 동작시 실험파형이고, 그림 8은 일정 출력전압(V_o) 400V_{DC}에서 출력용량 1kW 조건에서의 역방향 동작시 실험파형이다. 그림 9는 동작모드 전환 실험파형이다. 순방향에서 역방향 동작시 27ms의 시간이 소요되고 역방향에서 순방향 동작시 25ms의 변환시간이 소요되었다. 순방향 및 역방향 동작제어 전압범위를 더 낮추는 등 최적 동작제어를 통해 순방향 및 역방향동작모드변환 시간을 최소화 할 수 있다.

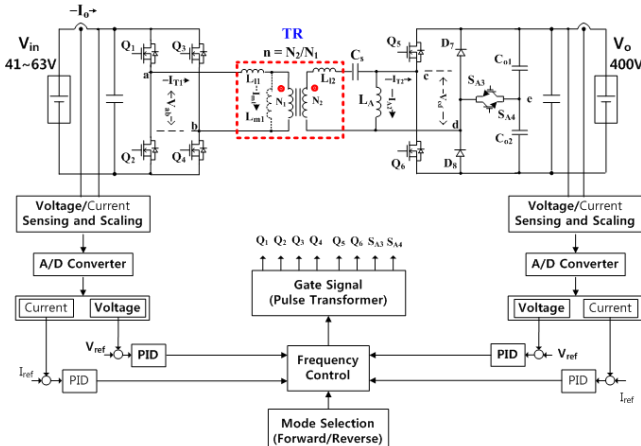


그림 5 DSP적용 양방향 SLLC 공진컨버터 제어 블록다이어그램

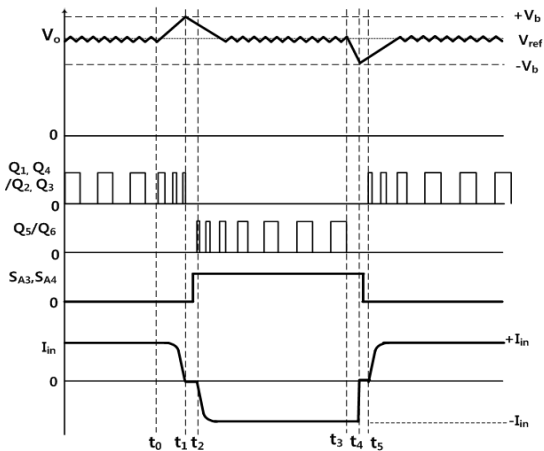


그림 6 순방향 및 역방향 동작모드 전환 제어프로세스 동작파형

기본적인 동작모드변환 파형은 그림 6과 같고, 순방향 및 역방향 동작모드 변경에 대한 전압레벨은 정상동작 출력전압(V_o) 레벨 400V에서, 순방향에서 역방향으로 동작모드 변경시 430V(V_o+V_b), 역방향에서 순방향으로 동작모드 변경시 370V(V_o-V_b)로 각각 전압레벨 도달 시 소프트 스타트를 거쳐 정상 전압레벨로 일정 정전압 출력되도록 스위칭주파수 가변제어 동작을 한다. 그림 6과 같이 순방향 전력전달 t₀ t₁ 구간에서는 외부전원유입에 의해 출력전압(V_o)이 상승함으로써 2차측 피드백 전압이 상승되어 제어기준전압(V_{ref})보다 높은 전압을 감지함으로써 이득을 낮추기 위해 1차측스위칭소자(Q₁,Q₄, Q₂,Q₃)의 스위칭주파수가 상승되어 순방향전류가 0로 저감된다. t₁시점에서 출력전압(V_o)이 430V에 이르면 1차측 스위칭소자(Q₁,Q₄, Q₂,Q₃)는 턴 오프 되고, 이전에 턴 오프 되어 있던 보조스위치(S_{A3},S_{A4})는 턴 온 되고, 턴 오프 되어 있었던 2차측 스위칭소자(Q₅, Q₆)는 높은 스위칭주파수에서 스위칭하며 소프트스타트 동작을 개시하고, 역방향전류가 흐르기 시작하며 순방향에서 역방향으로 동작모드변환이 일어난다. 이후 역방향 정상동작을 하다가 t₃ t₄ 구간에서 출력전압(V_o)이 감소하여 2차측 피드백 전압이 제어기준전압(V_{ref})보다 낮은 전압을 감지함으로써 이득을 높이기 위해 2차측스위칭소자(Q₅, Q₆)의 스위칭 동작주파수가 낮아지고, t₄시점에서 출력전압(V_o)이 370V까지 감소가 되면 2차측 스위칭소자(Q₅, Q₆)는 턴 오프 되고, 이전에 턴 온 되어 있던 보조스위치(S_{A1},S_{A2})는 턴 오프 되며, t₅시점 이후 1차측스위칭소자(Q₁,Q₄, Q₂,Q₃)는 높은 스위칭주파수에서 스위칭하며 소프트스타트 동작을 개시하며 순방향전류가 흐르기 시작하며 정상동작을 하게 된다.

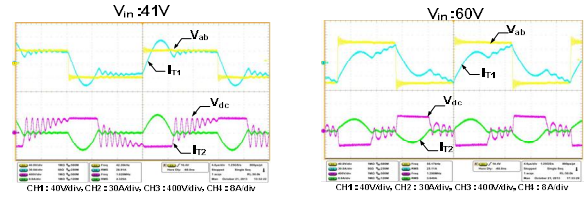


그림 7 순방향동작시 입력전압 40V_{DC} 및 60V_{DC}에서의 실험파형

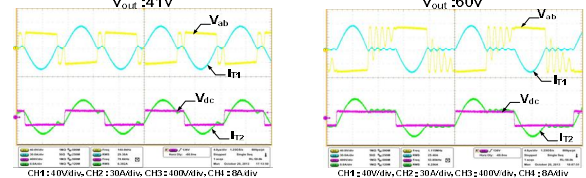


그림 8 역방향 동작시 일정출력전압 400V_{DC}에서의 실험파형

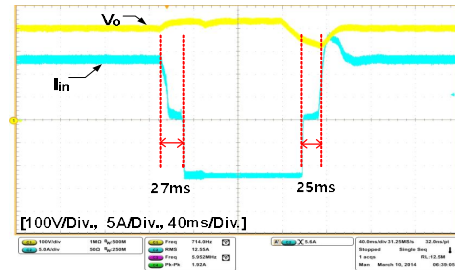


그림 9 동작모드 변환 실험파형

4. 결론

본 논문은 DSP적용 제어회로를 이용한 양방향 SLLC 공진컨버터의 순방향 및 역방향 동작제어에 대해 실험하였고 순방향 및 역방향 전력 전달시의 전압 제어 및 동작모드 변환에 대한 제어 루틴들을 구현함으로써 제안된 양방향 SLLC 공진컨버터의 적용 가능성과 유용성을 검증하였다.

이 논문은 2013년도 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, "보조스위치와 인덕터 적용 양방향 전력수수를 위한 SLLC 공진컨버터", 특허출원 10 2013 0122489, 2013. 10. 15.