

모드변환 및 모핑제어를 통한 넓은 입·출력전압 제어범위를 갖는 3-브리지 LLC 공진컨버터

오재성, 이지철, 김민지, 김은수[†], 국윤상*

전주대학교, (주)팩테크*

A 3-Bridge LLC Resonant Converter Operating with Wide Input and/ or Output Voltage Control Range Using Morphing Control for Mode Transitions

J.S Oh, J.C Lee, M.J Kim, E.S Kim[†], Y.S Cook*

JeonJu University, PACTECH*

1. 서 론

최근 E mobility 관련 전기골프카, 지게차 등 산업용 충전 어플리케이션에 다양한 종류의 배터리가 사용되고 있고, 이와 같은 다양한 종류의 배터리팩을 충전할 수 있는 넓은 출력전압(V_o) 제어범위를 갖는 충전시스템이 요구되고 있다.^[1] 본 논문에서는 동작모드변환 및 스위칭동작주파수 제어방법을 통해 최대 8배의 출력전압제어범위($18V_{DC} \sim 126V_{DC}$)를 갖는 LLC 공진컨버터를 제안하였고, 모드변환 및 모핑(Morphing) 제어를 통해 넓은 입·출력 전압제어범위를 갖는 3 브리지 LLC 공진컨버터 5kW급 시제품을 제작하여 실험 검증하였다.

2. 본 론

2.1 주파수가변 및 동작모드 변화를 통해 넓은 출력전압 제어범위를 갖는 LLC 공진컨버터

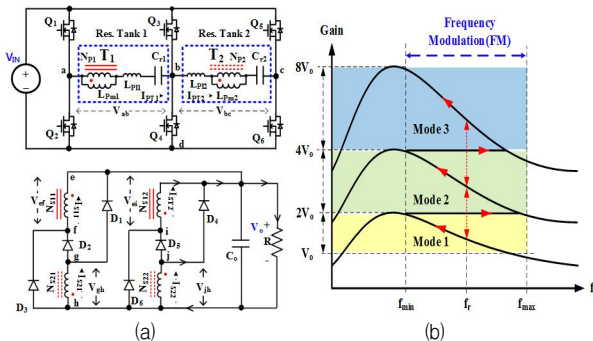


그림 1.(a) 제안된 LLC 공진컨버터 및 (b) 입·출력전압이득특성

본 논문에서 제안된 LLC 공진컨버터는 그림 1(a)과 같이 1차측 주스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)는 3 브리지로 연결되어 공진변압기(T_1, T_2) 1차권선(N_{P1}, N_{P2})과 공진커패시터(C_{r1}, C_{r2})로 구성된 공진회로 1(Res. Tank 1)과 공진회로 2(Res. Tank 2)를 갖으며, 2차측은 출력정류다이오드($D_1 \sim D_6$)에 공진변압기(T_1, T_2) 센터 탭 2차권선(N_{S1}, N_{S2})이 연결되어있다. 이때 3 브리지 LLC 공진컨버터 주스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)의 동작모드변환방식에 따라 그림 1(b)에서와 같이 3가지모드로 나누어지며 각 모드별로 스위칭주파수(f_s)를 최대주파수(f_{max}) 및 최소주파수(f_{min})제어를 통해 출력전압($V_o \sim 8V_o$) 제어범위를 갖는다.

2.2 제안된 LLC 공진컨버터 동작모드

동작모드 1에서는 주 스위칭소자 Q_3, Q_4 는 턴 오프 상태이고, 주스위칭소자 Q_1 과 Q_2 그리고 Q_5 와 Q_6 가 50% 듀티로 상호 교번동작하고, 이때 주스위칭소자 Q_1/Q_6 와 Q_2/Q_5 는 동시에

턴 온 또는 턴 오프 동작하며 풀 브리지 동작하고 공진회로1과 공진회로 2는 직렬연결 동작하며 입력전압(V_{IN})의 1/2이 인가된다. 2차측은 각 공진회로부 2차권선(N_{S1}, N_{S2}) 극성에 따라 출력정류다이오드($D_1/D_3, D_4/D_6$)에 병렬 연결되어 공진부하전류가 흐르고, 출력전압(V_o)을 $18V_{DC} \sim 30V_{DC}$ 까지 제어한다.

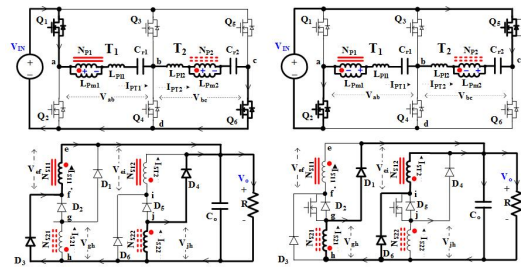


그림 2. 제안된 LLC 공진컨버터 동작모드 1 전류흐름도

동작모드 2는 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_5 는 턴 오프, Q_2 와 Q_6 는 턴 온 상태이고, 주 스위칭소자 Q_3 와 Q_4 가 50% 듀티로 상호교번동작하며 1차측 회로는 하프 브리지 형태로 스위칭 동작하게 되고 공진회로 1과 공진회로 2는 병렬연결 동작하며 입력전압(V_{IN})의 1/2이 인가되고, 2차측은 각 변압기 2차권선(N_{S1}, N_{S2}) 극성에 따라 출력정류다이오드(D_2, D_5)에 직렬 연결되어 공진부하전류가 흐르고, 출력전압(V_o)을 $30V_{DC} \sim 63V_{DC}$ 까지 제어한다.

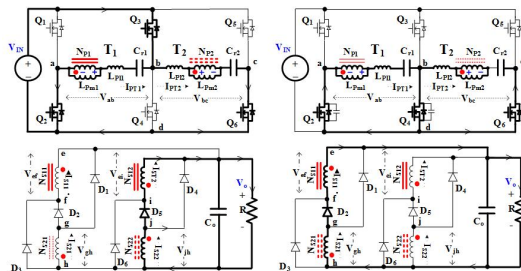


그림 3. 제안된 LLC 공진컨버터 동작모드 2 전류흐름도

동작모드 3은 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_2, Q_3 와 Q_4, Q_5 와 Q_6 가 50% 듀티로 상호교번 스위칭동작하게 되고, 주 스위칭소자 $Q_1/Q_4/Q_5$ 와 $Q_2/Q_3/Q_6$ 는 동시에 턴 온 또는 턴 오프 동작하게 된다. 이때 1차측은 풀 브리지로 동작하고 공진회로부 1과 공진회로부 2는 병렬연결 동작하며, 입력전압(V_{IN})이 인가되고, 2차측은 각 공진회로부 변압기 2차권선(N_{S1}, N_{S2}) 극성에 따라 출력정류다이오드(D_2, D_5)가 직렬 연결되어 공진부하전류가 흐르며, 출력전압(V_o)을 $63V_{DC} \sim 126V_{DC}$ 까지 제어할 수 있다.

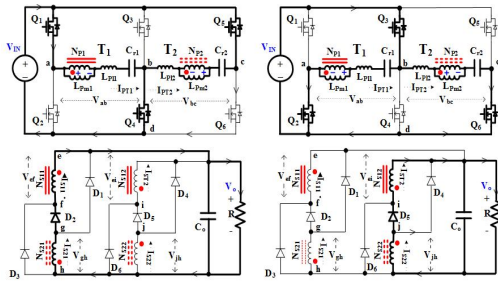


그림 4. 제안된 LLC 공진컨버터 동작모드 2 전류흐름도

2.3 모드변환을 위한 모핑제어

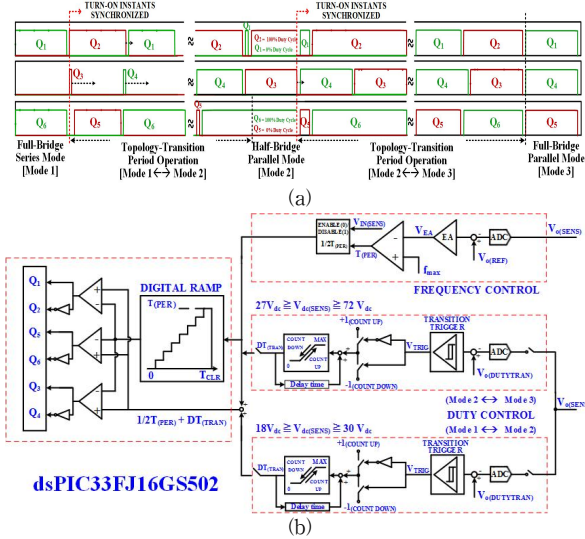


그림 5. (a) 동작모드변환 간 주 스위칭소자 듀티변화
(b) 제안된 LLC 공진컨버터 블럭선도

그림 5(a)는 동작모드변환을 위한 모핑제어 시 주 스위칭 소자의 듀티(Duty)변화를 나타내었다. 각 동작모드(Operating Mode)마다 주 스위칭 소자 패턴이 다르므로 각 동작모드 스위칭패턴으로 안정적인 모드변환을 달성하기 위해서 주파수 제어 및 듀티를 순차적으로 증가시켜주어야 한다.

그림 5(b)에서는 제안된 LLC 공진컨버터의 제어블럭선도를 나타냈다. 그림에서 나타내었듯이 주파수제어(Frequency Control)부에서 가변되는 제어전압($V_{O(REF)}$)값과 출력전압($V_{O(SENS)}$)값을 비교해 LLC 공진컨버터 입·출력 전압이득 특성에 따라 지정된 스위칭주파수제어범위($f_{min} \sim f_{max}$)에서 출력전압을 제어하게 된다. 이때 원하는 이득제어를 위해서는 최소 스위칭주파수(f_{min}) 또는 최대스위칭주파수(f_{max})제어범위 내에서 모드변환이 이루어져야 하고 듀티 제어(Duty Control)부에서 모드변환을 위한 모핑제어(Morphing control)를 수행하게 된다. 모핑제어는 각 동작모드 스위칭패턴에 따라 각 주 스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)의 듀티증가 및 감소를 순차적으로 수행하게 되고, 듀티변화에 따라 달라지는 전압이득에 대해서는 주파수 제어(Frequency Control)부에서 순시적으로 가변제어 된다.

3. 실험결과

그림 6에서는 각 동작모드별 실험결과 파형으로 그림6 (a)와 그림 (b)의 파형은 동작모드 1(Mode 1)의 스위칭동작에 따라 출력전압 및 출력용량(18Vo/750W 및 29Vo/1.45kW)의

범위에서 실험을 진행하였다. 그림 6(c)와 그림 6(d)는 동작모드 2(Mode 2)의 스위칭동작에 따라 출력전압 및 출력용량(36Vdc/1.8kW, 58Vdc/2kW)의 범위에서 실험진행 하였다.

그림 7(a)은 동작모드 1(Mode 1, 하위모드)에서 동작모드 2(Mode 2, 상위모드)로 모드변환을 위해 20A 부하 정전류에서 모핑제어를 통한 동작모드 전환 실험한 파형으로 출력전압이 30V_o 이상일 때 동작모드 2로 모드변환 되고 출력전압이 27V_o 이하로 내려올 때는 동작모드 2에서 동작모드 1로 모드변환 된다. 그림 7(b)는 동작모드 2(Mode 2, 하위모드)에서 동작모드 3(Mode 3, 상위모드)로 모드변환을 실험한 파형으로 출력전압이 63V_o 이상일 때 동작모드 2에서 동작모드 3으로 모드변환 되고 출력전압이 59V_o 이하로 내려올 때는 동작모드 3에서 동작모드 2로 변환됨을 확인 할 수 있었다.

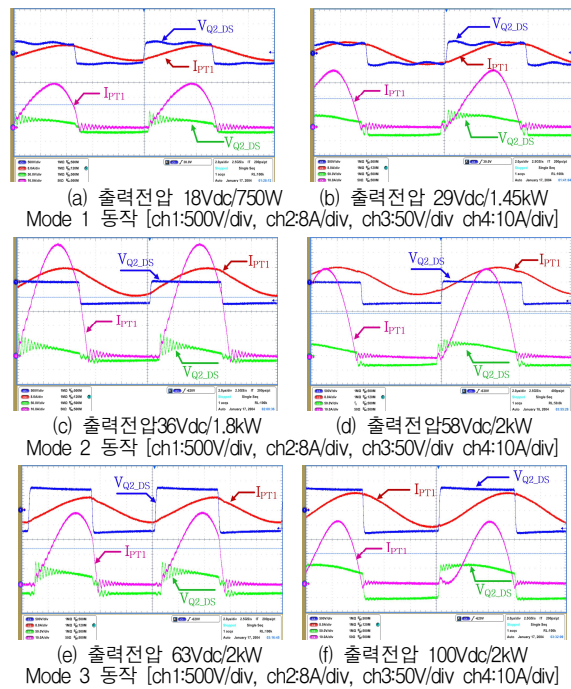
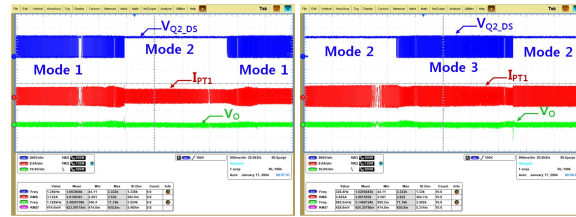


그림 6. 각 동작모드(Mode)의 실험결과 파형



(a) Mode1→Mode2 (b) Mode2→Mode3
그림 7. 모핑제어를 통한 동작모드변환 실험결과파형
입력전압(V_p) 조건 : 700V_{dc}, 부하조건 : 정전류모드(CC Mode) 20A
[Ch 1: 500V/div, Ch 2: 8A/div, Ch 3: 10V/div]

「본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 지원
한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한
연구과제(NO.20172020108500)입니다.」

참고 문헌

- [1] Haibing Hu, Xiang Fang, Qian Zhang, Z. John Shen, Issa Batarseh, "Optimal Design Considerations for a Modified LLC Converter with Wide Input Voltage Range Capability Suitable for PV Applications", 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp3096-3103, 2011.11