

보조스위치 적용 공통커패시터 연결 3-브리지 LLC 공진컨버터

오재성, 김민지, 이지철, 유경중, 김은수[†], 국윤상*
 전주대학교, (✉)팩테크*

A Common Capacitor Connected 3-Bridge LLC Resonant Converter Using Auxiliary Switches

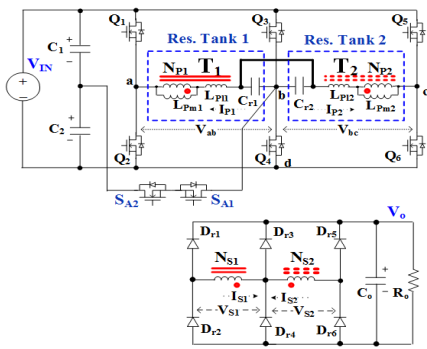
J.S Oh, M.J Kim, J.C Lee, K.J Yoo, E.S Kim[†], Y.S Cook*
 JeonJu University, PACTECH*

1. 서론

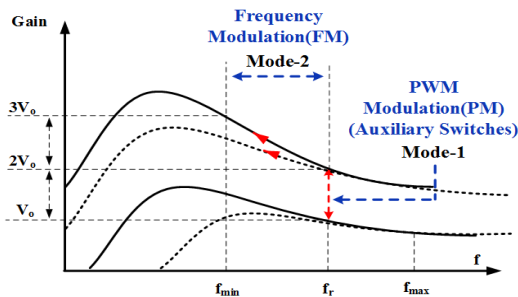
최근 자동차의 배출가스에 의해 대기오염문제가 심각해지고 있다는 인식에 따라 전 세계적으로 환경오염에 대한 규제가 강화되고 있다. 이에 대응방안으로 ESS와 전기자동차의 배터리 수요가 늘어나고 있고, 배터리 충전기에 대한 고밀도화 및 고효율화 개발 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 차세대 전력용 반도체인 SiC 반도체를 적용하여 기존 Si-MOSFET을 사용한 제품 대비 고효율 및 고집적화를 이끌어 내고 있다. 또한 하나의 배터리 충전시스템으로 다양한 배터리를 충전할 수 있는 넓은 출력전압제어범위($V_o \sim 2V_o$)를 갖는 DC-DC 컨버터가 요구되고 있고, 이를 위해 LLC 공진컨버터가 적용 검토되고 있다^[1,2]. 하지만, LLC 공진컨버터는 부하의존성이 커서 주파수 제어에 한계가 있다. 논문에서는 용량증대 및 고집적, 고효율을 위해 두 개의 공진탱크회로를 갖는 3-브리지 LLC 공진컨버터에 공통커패시터를 공통연결 적용하여 병렬 운전되고, 넓은 입·출력전압범위($V_o \sim 3V_o$)에서 제어 가능한 보조스위치 적용 3-브리지 LLC 공진컨버터를 제안하여 적용 실험 검토하였다.

2. 본론

2.1 보조스위치 적용 공통커패시터 연결 3-브리지 LLC 공진컨버터



(a) 1차측 보조스위치(S_{A1} , S_{A2})를 갖는 3-브리지 LLC 공진컨버터



(b) 보조스위치 적용 3-브리지 LLC 공진컨버터 전압이득특성
 그림 1. (a) 3-브리지 LLC 공진컨버터 주회로 (b) 전압이득특성

그림 1(a)에서 제안된 보조스위치 적용 공통커패시터 연결 3-브리지 LLC 공진컨버터의 회로도를 나타냈다. 1차측은 주 스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)가 3-브리지 형태로 연결되어 있고, 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2})는 1차측 병렬동작 및 2차측 병렬동작 하더라도 전류불평형을 억제하기 위해 공통으로 연결되어 있고 1차측 보조스위치(S_{A1} , S_{A2})의 각각은 입력커패시터 C_1 과 C_2 사이와 Q_3 의 소스와 Q_4 의 드레인 사이에 연결된다. 또한 공진회로 1(Res. Tank 1)과 공진회로 2(Res. Tank 2)는 1차권선(N_{P1} , N_{P2})과 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2})로 구성되며, 2차측은 3-브리지 형태로 연결된 변압기(T_1 , T_2) 2차권선(N_{S1} , N_{S2})과 출력정류부($D_{r1} \sim D_{r6}$)로 구성되어 있다. 그림 1(b)에서와 같이 스위칭 동작 모드는 보조스위치소자(S_{A1}, S_{A2})를 적용한 PWM(Pulse Width Modulation)제어(Mode-1)와 가변스위칭주파수(FM: Frequency Modulation)제어(Mode-2)로 2가지의 동작모드로 제어된다.

2.2 제안된 3-브리지 LLC 공진컨버터 동작모드

2.2.1 동작모드-1(Mode-1)

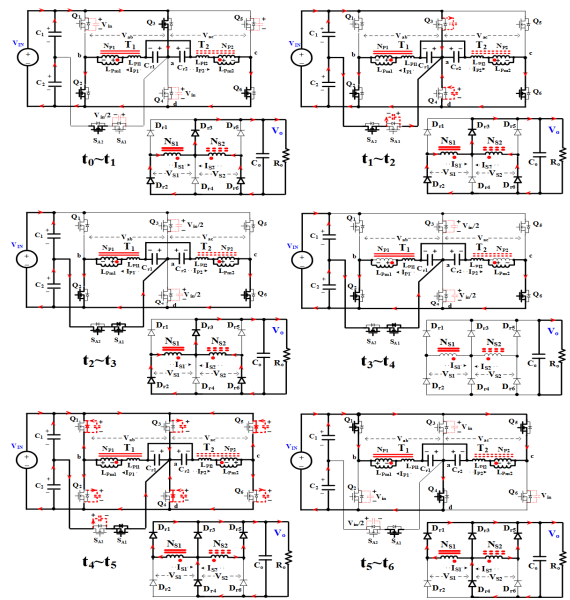


그림 2. 동작모드-1 (Mode-1)

동작모드-1(Mode-1)에서의 동작은 출력전압제어범위 ($V_o \sim 2V_o$: $200V_{dc} \sim 400V_{dc}$)가 동작모드-2(Mode-2)에 비해 상대적으로 낮고 1차측으로 유도된 자화전류가 작아 가변스위칭주파수제어(FM)를 통해 넓은 전압제어를 위한 이득제어가 어렵다. 따라서 낮은 출력전압제어범위($V_o \sim 2V_o$; $200V_{dc} \sim 400V_{dc}$)에서는 가변스위칭주파수제어(FM)가 아닌 공진주파수(f_r) 부근의 고정된 스위칭주파수에서 그림 1(b)과 그림 2에 나타난 것처럼 보조스위치(S_{A1} , S_{A2}) 및 주스위칭소자(Q_3 , Q_4)의 펄스폭변조

어(PM)에 의해 출력전압제어를 하면 자화인덕턴스(L_{pm1} , L_{pm2})를 크게 저감시키지 않아도 됨으로 자화전류 저감에 따른 도통손실 저감과 안정된 동작 구현이 가능하다.

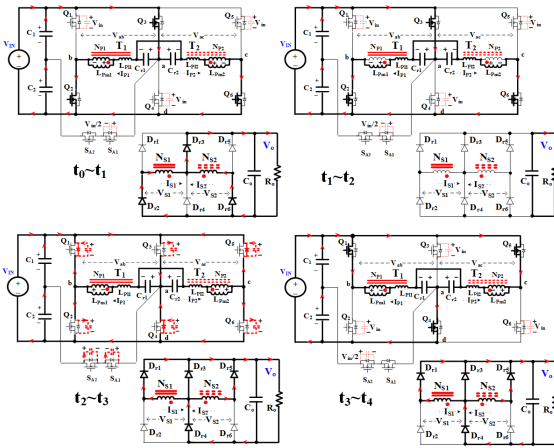


그림 3. 동작모드 2(Mode-2)

동작모드-2(Mode-2)에서의 동작은 그림 1(b)과 그림 3에 나타난 것처럼 1차측 보조스위칭소자(S_{A1} , S_{A2})가 턴-오프된 상태에서, 1차측 주 스위칭소자($Q_3/Q_2/Q_6$ 과 $Q_1/Q_4/Q_5$)가 50% 듀티로 교번스위칭동작과 가변스위칭주파수제어(FM)에 의해 1차측은 풀-브리지 스위칭동작을 하며 공진회로 1(Res. Tank 1)과 공진회로 2(Res. Tank 2)에 각각 병렬로 입력전압(V_{in})이 인가되어 공진전류가 흐르고, 2차측 출력정류부는 각 변압기(T_1 , T_2) 권선의 극성에 따라 2차측 턴-비 및 이득에 의한 전압이 인가되어 각 센타입 2차측 정류다이오드(D_{r1} ~ D_{r6})를 통해 정류되어 병렬로 부하공진전류가 흐른다.

3. 보조스위치 적용 3-브리지 LLC 공진컨버터 동작모드별 전압이득특성

3.1 입·출력 전압 이득특성

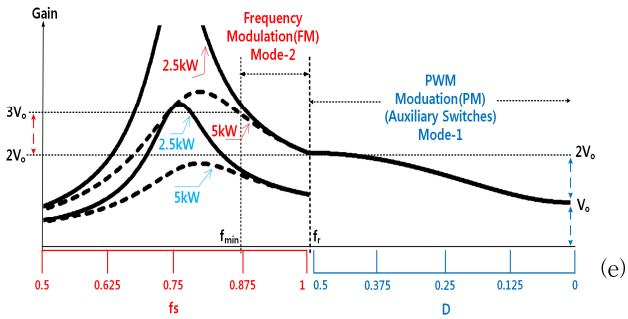
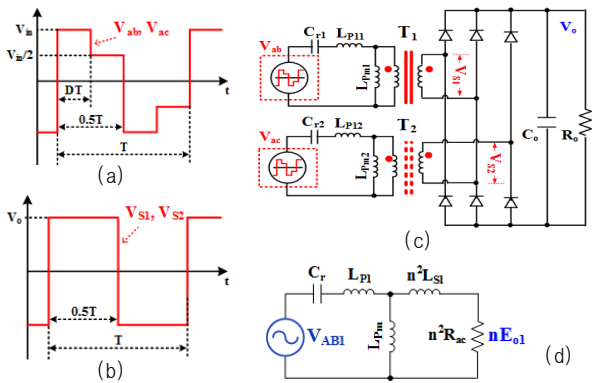
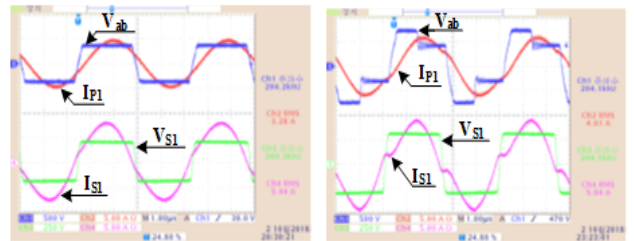


그림 4. 3-브리지 LLC 공진컨버터 입·출력 이득특성

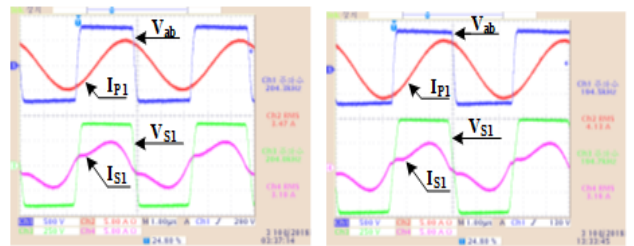
그림 4는 제안된 LLC 공진컨버터의 입·출력이득특성으로 동작모드1(Mode-1)에서 스위칭동작은 펄스폭변조제어(PM)제어로 공진주파수(f_r : 205.8kHz) 부근의 고정된 스위칭주파수(204.3kHz)에서 듀티(D)제어에 따른 출력전압제어를 수행하며, 부하변화(R_o : 2.5kW/5kW)에 따른 이득변화($V_o \sim 2V_o$)는 동일함을 볼 수 있다. 가변스위칭주파수제어(FM) 동작모드-2(Mode-2)에서의 동작특성은 보조스위치(S_{A1} , S_{A2})는 턴-오프되고, 주스위칭소자 $Q_2/Q_3/Q_6$ 와 $Q_1/Q_4/Q_5$ 는 상호교번되어 동작되어 풀-브리지(Full-Bridge) 모드에서 가변스위칭주파수(FM : 180kHz ~ 204.9kHz)제어에 의한 이득제어를 통해 원하는 출력전압을 제어할 수 있다.

4. 실험결과

입력전압(V_{in}) 700V_{dc}를 인가받아 각 동작모드에 따라 출력전압범위는 200V_{dc}~480V_{dc}를 실험 구현하였다. 각 공진회로부에 적용된 공진커패시터(C_{r1} , C_{r2} : 3.3nF)는 동일한 값을 사용하였고, 스위칭주파수(f_s : 204.3kHz)는 공진주파수(f_r : 205.8kHz)에서 동작을 하며, 변압기(T_1, T_2) 자화인덕턴스(L_{mp1} : 228.7uH, L_{mp2} : 229.8uH)를 적용하여 주 스위칭소자와 보조스위칭소자 PWM제어(Mode-1)를 통해 그림 5와 같이 200V_{dc}~400V_{dc}를 제어할 수 있었고, FM제어(Mode-2)를 통해 그림 6과 같이 400V_{dc}~480V_{dc}를 제어할 수 있었다. 실험에 적용된 전하로드(Croma : DC Electronic Load 63202)의 전압범위가 500V_{dc}이기 때문에 출력전압제어(V_o)를 480V_{dc}로 제한하여 실험을 진행하였다. 각 동작모드 조건에서 최대효율은 동작모드1(Mode-1) 200V_{dc}/1kW 조건에서 96.21%로 가장 높게 측정되었다.



(a) 실험파형 (출력용량: 200V_{dc}/2kW) (b) 실험파형 (출력용량: 300V_{dc}/2kW)
그림 5. Mode-1 동작시 실험 [입력전압(V_{in} : 700V_{in})]



(a) 실험파형 (출력용량: 400V_{dc}/2kW) (b) 실험파형 (출력용량: 480V_{dc}/2kW)
그림 6. Mode-2 동작시 실험 [입력전압(V_{in} : 700V_{in})]

이 논문은 2018년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 중견연구사업 임 (NRF-2018R1A2B6008925)

참고 문헌

[1] Hongliang Wang, Member, IEEE, Yang Chen, Yan-Fei Liu, Jahangir Afsharian and Zhihua (Alex) Yang, "A common inductor multi-phase LLC resonant converter", 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 548 - 555, 2015
[2] Xiaofeng Sun; Xiaohua Li; Yanfeng Shen; Baocheng Wang; Xiaoqiang Guo, "Dual-Bridge LLC Resonant Converter With Fixed-Frequency PWM Control for Wide Input Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 32, No. 1, pp. 69-80, 2017