

넓은 입력 또는 출력전압 제어 LLC 공진컨버터

주종성, 허예창, 마리우스, 김은수[†], 국윤상*
전주대학교, (주)팩테크*

LLC Resonant Converter Operating in Wide Input or Output Voltage Range

J.S Joo, Y.C Heo, Takongmo Marius, E.S Kim[†], Y.S Cook*
JeonJu University, PACTECH*

1. 서론

태양광모듈과 연료전지, 축전지 등을 사용하는 장치들은 전압변동 폭이 크게 나타난다. 이들 장치를 이용하는 마이크로그리드, 에너지저장시스템, 전기자동차 충전시스템 등 응용분야에서 넓은 입력전압(V_{in}) 또는 출력전압(V_o) 제어범위를 갖는 DC/DC 컨버터 전력변환장치가 요구되고 있으며, 태양광모듈을 이용한 태양광발전시스템의 경우 일사량에 따라 태양광모듈의 전압변동 폭이 2배 이상 나타난다. 그리고 충전시스템의 경우 다양한 차종의 배터리에 대응할 수 있도록 출력전압제어범위가 $50V_{DC} \sim 450V_{DC}$ 로 넓은 출력전압(V_o) 제어범위를 갖는 DC/DC 컨버터 전력변환장치가 요구되고 있다. 특히 이러한 DC/DC 컨버터 전력변환장치는 넓은 출력전압(V_o) 제어뿐만 아니라 고집적화와 고효율을 위해 고주파스위칭 및 모든 출력전압(V_o)과 부하조건에서 영전압스위칭(ZVS : Zero Voltage Switching)이 가능한 주회로방식이 요구된다. 이러한 조건을 만족하기 위해 LLC 공진컨버터가 적용되어왔다. LLC 공진컨버터의 경우 모든 동작조건에서 영전압스위칭(ZVS)이 가능하고 구성부품이 간단하나 넓은 출력전압(V_o) 범위를 대응함에 있어 한계성을 가지고 있어 넓은 입력전압(V_{in}) 또는 출력전압(V_o) 제어범위에 대응한 새로운 주회로가 발표되고 있다.^[1~2]

본 논문에서 넓은 출력전압($100V_{DC} \sim 450V_{DC}$) 제어에 대응할 수 있고, 고주파 스위칭 및 모든 부하범위에서 영전압스위칭(ZVS)이 가능한 LLC 공진컨버터를 제안^[3] 발표하고자 한다.

2. 넓은 입력전압/출력전압 제어 DC/DC 컨버터

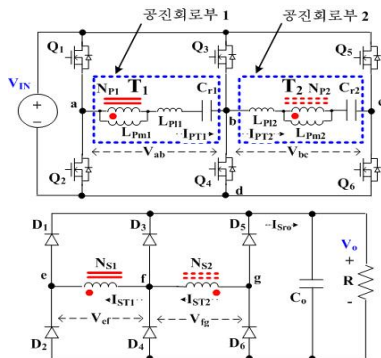


그림 1. 제안된 LLC 공진컨버터

제안된 LLC 공진컨버터는 그림 1과 같다. 1차측은 6개의 주 스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)가 6 브리지 형태로 연결되어 있고 공진변압기(T_1, T_2) 1차권선(N_{P1}, N_{P2}) 공진커패시터(C_{r1}, C_{r2})로 구성되고, 2차측 회로에는 6 브리지 형태의 출력 정류다이오드($D_1 \sim D_6$)와 공진변압기(T_1, T_2) 2차권선(N_{S1}, N_{S2})이 연결된다. 1차측 회로의

주 스위칭소자($Q_1 \sim Q_6$)를 6 브리지 형태로 연결하여 스위칭동작 방식에 따라 동작모드가 4가지로 나누어지며 출력전압(V_o)의 제어범위가 $(1/2)V_o \sim 8V_o$ 까지 가변되게 된다.

동작모드 0에서는 주 스위칭소자 Q_3, Q_4 는 턴 오프 상태이고, 주 스위칭소자 Q_5 는 턴 오프, Q_6 는 턴 온 상태를 계속 유지하고 있으며, 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_2 이 50% 듀티로 상호교번동작을 수행하므로 하프 브리지 형태로 동작하고, 공진회로부 1과 공진회로부 2가 직렬로 연결되어 각각의 1차권선(N_{P1}, N_{P2})에 인가되는 전압은 입력전압(V_{in})의 1/4전압이 인가된다. 그리고 2차측 회로는 2차권선(N_{S1}, N_{S2})의 극성에 따라 병렬 구조로 동작하게 되어 정류다이오드($D_1 \sim D_6$)에 각각 병렬로 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2})를 정류하여 부하에 전달하게 되고 출력전압범위가 $(1/2)V_o \sim V_o$ 까지 제어가 가능하다. 이때 스위칭동작패턴에 따라 1차권선(N_{P1}, N_{P2})이 직렬 결선되어 있어 두 변압기(T_1, T_2)간의 전류 불평형을 억제할 수 있으며, 2차권선(N_{S1}, N_{S2})에 흐르는 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2}) 또한 각각 1/2씩 분담하여 병렬로 흐르므로 권선사이즈 및 변압기 이용률을 높일 수 있다.

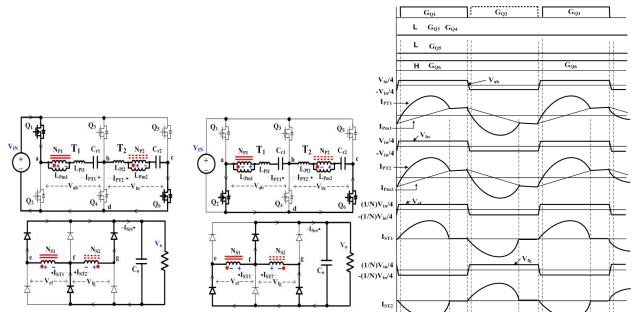


그림 2. 동작모드 0 스위칭 동작시의 전류흐름도 및 동작파형

동작모드 1에서는 주 스위칭소자 Q_3, Q_4 는 턴 오프 상태이고, 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_2 그리고 Q_5 와 Q_6 가 50% 듀티로 상호교번동작을 수행한다. 이때 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_6 는 동시에 턴 온 또는 턴 오프하고, 주 스위칭소자 Q_2 와 Q_5 가 동시에 턴 온 또는 턴 오프 동작하며 풀 브리지 형태로 동작하고 공진회로부 1과 공진회로부 2가 직렬로 연결되어 각각의 1차권선(N_{P1}, N_{P2})에 인가되는 전압은 입력전압(V_{in})의 1/2전압이 인가되게 된다. 그리고 2차측 회로는 2차권선(N_{S1}, N_{S2})의 극성에 의해 병렬로 동작하게 되어 정류다이오드($D_1 \sim D_6$)에 각각 병렬로 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2})를 정류하여 부하에 전달하게 되고 출력전압범위가 $V_o \sim 2V_o$ 까지 제어가 가능하다. 이때 스위칭동작패턴에 따라 1차권선(N_{P1}, N_{P2})이 직렬 결선되어 있어 두 변압기(T_1, T_2)간의 전류 불평형을 억제할 수 있으며, 2차권선(N_{S1}, N_{S2})에 흐르는 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2})는 각각 1/2씩 분담하여 병렬로 흐르므로 동작모드 0처럼 권선사이즈 및 변압기 이용률을 높일 수 있다.

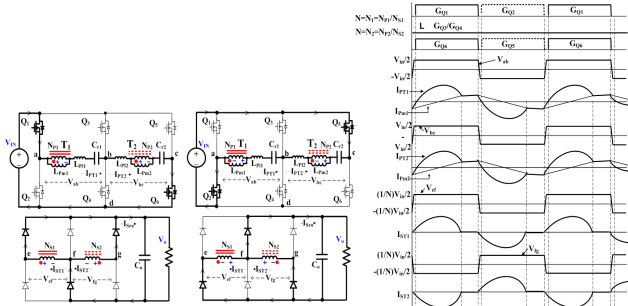


그림 3. 동작모드 1 스위칭 동작시의 전류흐름도 및 동작파형

동작모드 2는 주 스위칭소자 Q_3 는 턴 오프 Q_4 는 턴 온 상태이고, 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_2 , Q_5 와 Q_6 가 50% 듀티로 상호 교번동작하게 되는데 이때 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_5 그리고 Q_2 와 Q_6 가 동시에 턴 온 또는 턴 오프 동작하게 된다. 이러한 스위칭 동작방식에 따라 1차측 회로는 하프 브리지 형태로 동작하게 되고 공진회로부 1과 공진회로부 2가 병렬 구조로 동작하며 각각의 1차권선(N_{P1}, N_{P2})에 인가되는 전압은 입력전압(V_{in})의 1/2전압이 인가되게 된다. 2차측 회로는 2차권선(N_{S1}, N_{S2})의 극성 방향에 따라 정류다이오드($D_1 \sim D_6$)에 직렬 연결되어 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2})를 정류하여 부하에 전달하게 된다. 따라서 1차측 회로는 하프 브리지 형태로 각각의 1차권선(N_{P1}, N_{P2})에 인가되는 전압은 입력전압(V_{in})의 1/2전압이 인가되고 2차측 회로의 2차권선(N_{S1}, N_{S2})은 직렬 연결되어 출력전압범위가 $2V_o \sim 4V_o$ 까지 제어가 가능하다.

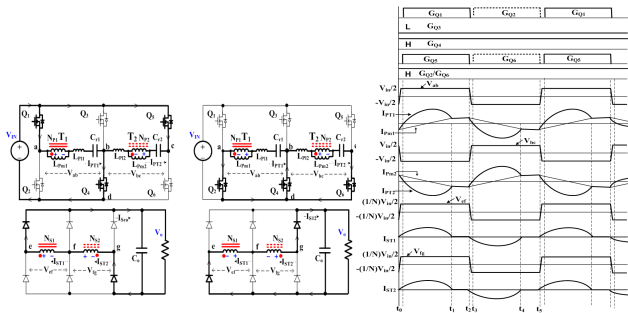


그림 4. 동작모드 2 스위칭 동작시의 전류흐름도 및 동작파형

동작모드 3은 주 스위칭소자 Q_1 과 Q_2 , Q_3 와 Q_4 , Q_5 와 Q_6 가 50% 듀티로 상호 교번동작하게 되고, 주 스위칭소자 Q_1 , Q_4 , Q_5 와 Q_2 , Q_3 , Q_6 가 동시에 턴 온 또는 턴 오프 동작하게 된다.

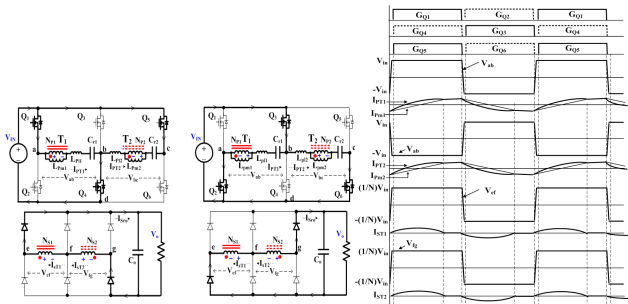


그림 5. 동작모드 3 스위칭 동작시의 전류흐름도 및 동작파형

위와 같은 스위칭동작으로 인해 1차측 회로가 풀 브리지 형태로 동작하고 공진회로부 1과 공진회로부 2가 병렬 구조로 동작하며 각각의 1차권선(N_{P1}, N_{P2})에는 입력전압(V_{in})이 인가되게 된다. 2차측 회로는 동작모드 2와 같이 2차권선 극성에 따라

정류다이오드($D_1 \sim D_6$)에 직렬 연결되어 공진전류(I_{ST1}, I_{ST2})를 정류해 부하에 전달한다. 1차측 회로는 풀 브리지 형태로 각각의 1차권선에 인가된 전압은 입력전압이고 2차측 회로의 2차권선은 직렬 연결되어 있어 출력전압범위가 $4V_o \sim 8V_o$ 까지 제어가 가능하다.

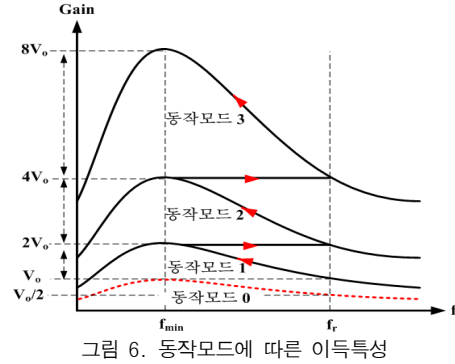


그림 6. 동작모드에 따른 이득특성

그림 6은 네 가지 동작모드에 따른 입출력 전압 이득특성을 나타내었다. 각 동작모드에 따라 $(1/2)V_o \sim 8V_o$ 까지 이득제어가 가능함을 제시하였다. 향후 제안된 넓은 입력전압 또는 출력전압 제어범위를 갖는 LLC공진컨버터에 대해 실험 구현된 내용을 발표하고자 한다.

또한 제안된 주회로 방식은 그림 7에 나타낸바와 같이 Loosely magnetic coupling의 비접촉변압기가 적용된 무선전력 전송(Contactless power transfer)에 적용 가능하여 향후 이에 대한 연구를 진행 할 예정이다.

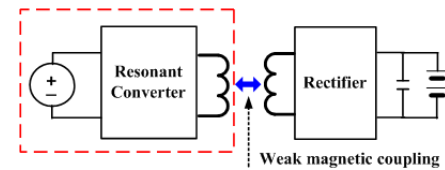


그림 7. 제안된 공진컨버터가 적용된 무선전력전송 시스템

4. 결론

본 논문에서는 넓은 출력전압(V_o) 제어범위에 대응할 수 있고 모든 출력전압(V_o) 및 부하 범위에서 영전압스위칭(ZVS)가 가능한 LLC 공진컨버터를 제안하였다. 제안된 LLC 공진컨버터는 낮은 출력전압(V_o) 범위($(1/2)V_o \sim 2V_o$)에서 대전류(I_o)가 흐르는 동작모드 0와 동작모드 1에서는 2차측 회로가 병렬 연결되어 전류분담 할 수 있으므로 전류스트레스를 감소시킬 수 있고, 높은 출력전압범위($2V_o \sim 8V_o$)에서의 동작시는 동작모드 2와 동작모드 3으로 동작하여 2차측 회로가 직렬 연결되어 흐르므로 변압기 2차권선 이용률을 높일 수 있다.

본 과제(결과물)는 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Haibing Hu, Xiang Fang, Qian Zhang, Z. John Shen, Issa Batars, "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
- [2] Milan M. Jovanovic, Brian T. Irving, "On-the-Fly Topology-Morphing Control-Efficiency Optimization Method for LLC Resonant Converters Operating in Wide Input-and/or Output-Voltage Range", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 33, No. 3, pp2596-2608, 2015.6
- [3] 김은수, "넓은 입력 전압 범위 또는 넓은 출력 전압 범위에서 동작하는 LLC 공진 컨버터", 2016년 11월 특허출원