

# 하이브리드 3레벨 다출력 DC-DC 컨버터

강철하\*, 이하석\*, 주종성\*, H.E Malon\*, 김은수\*†, 이승민\*\*, 김광섭\*\*  
 전주대학교\*, 카코뉴에너지(주)\*\*

## Multi Output Hybrid Three level DC-DC Converter

C.H Kang\*, H.S Lee\*, J.S Park\*, H.E Malon\*, E.S Kim\*†, S.M Lee\*\*, K.S Kim\*\*  
 JeonJu University\*, KACO new energy Inc.\*\*

### 1. 서론

최근 신재생에너지 및 전기자동차, 통신 IT 서버 전원 및 가전기기 등의 발전에 따라 고 전력밀도(High Power Density), 고 응답(Fast Transient Response) 및 고정밀(Tight Regulation) 출력제어를 위한 다 출력 절연형 DC/DC 컨버터가 개발 및 연구되고 있다.<sup>[1,2,3,4]</sup> 본 논문에서는 개별적인 정밀제어를 요구하는 다 출력 DC DC 컨버터에 대한 내용으로 위상천이(Phase shift) DC DC 컨버터와 LLC 공진컨버터 제어개념을 하나의 주회로를 사용하여 위상천이제어(Phase shifted Modulation, PM)와 가변주파수제어(Variable Frequency Modulation, FM)를 통해서 개별적으로 정밀 제어할 수 있는 하이브리드 다 출력 3레벨 DC DC 컨버터에 관한 내용이다.<sup>[5]</sup>

### 2. 다출력 3레벨 PSFM(Phase-Shift and Frequency-Modulation) 컨버터

다 출력전원장치의 경우에 Cross Regulation, Hold up Time, 효율(Efficiency) 등 모든 부분을 고려하여 적용해야 하고, 특히 넓은 입력전압 범위 및 부하 범위에서 충분한 Hold up 시간과 단가저감(Low Cost), 높은 전력밀도를 갖는 DC DC 컨버터를 요구한다.<sup>[1][2]</sup> 기존에 위와 같은 조건을 만족시키기 위한 세 가지 연구가 발표되었다. 첫 번째로 모든 출력단 전압을 어느 정도 허용범위(Tolerance) 내에 Cross Regulation을 할 수 있도록 Coupled Inductor를 사용한 다출력 컨버터가 연구되었다.<sup>[2]</sup> 하지만 고정밀 Cross Regulation 요구조건을 만족시키기 위해서 절연형 다 출력 컨버터의 2차 측에 별도로 Post Regulator (스위칭 또는 선형 Regulator)를 적용해야하기 때문에 손실증가에 따라 전원장치 전체 효율특성을 떨어뜨리게 되는 단점을 갖는다. 두 번째로 모든 입력전압 범위 및 부하 범위에서 1차 측 스위칭소자 및 2차 측 정류 다이오드가 소프트스위칭 동작이 가능하며 높은 스위칭 동작주파수에 따라 전력밀도를 높일 수 있는 다출력 LLC 공진컨버터가 검토되고 있다. 하지만 넓은 입력전압 및 부하 범위에서 동작되는 조건에서는 변압기 2차 측 누설인덕턴스에 따른 전압이득 차이에 의해 Cross Regulation 기능이 현저히 저감되는 특성을 갖는다.<sup>[3]</sup> 마지막으로 넓은 입력전압 및 부하 범위에서도 개별적인 독립제어 및 고정밀제어(Fully Regulated Control)를 위해 위상천이(Phase Shifted) 풀 브리지 DC DC 컨버터(FB DC DC Converter)와 풀 브리지 DC DC 컨버터 1차측 주 스위칭소자에 있어서 영전압 스위칭이 어려운 스위칭소자(Lagging Leg)에 가변 스위칭 주파수 제어 하프 브리지(Half Bridge) LLC 공진컨버터를 적용하여 다 출력 전원장치를 구현하였다.<sup>[4]</sup>

하지만 700V<sub>DC</sub> 이상 높은 입력전압에서 스위칭 동작되는 풀

브리지 DC DC 컨버터의 경우 900V<sub>DC</sub> 이상 높은 정격전압을 갖는 고전압 스위칭소자를 적용해야 함으로 스위칭주파수를 증가시키는데 한계성이 있고, 이로 인해 단가저감과 고 집적전원장치(High Integrated Power Supply) 개발에 어려움이 따른다.

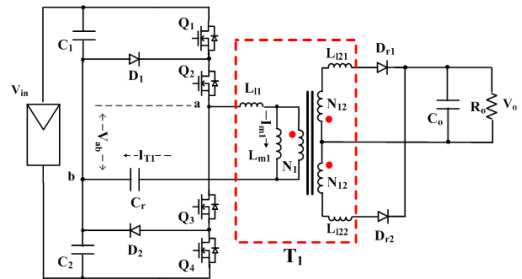


그림 1. 기존의 3레벨 컨버터 주회로

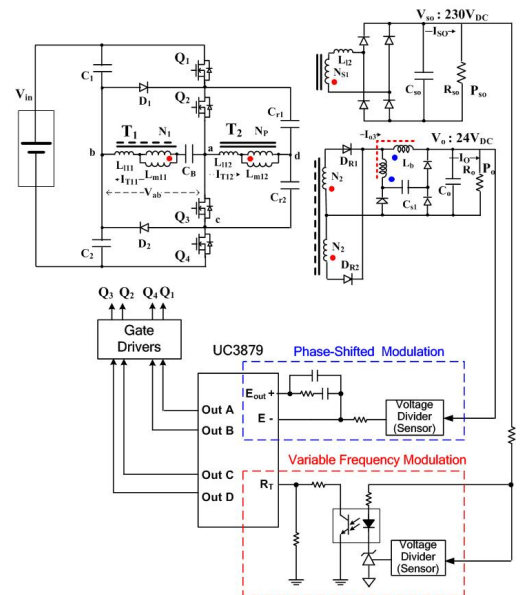


그림 2. 위상천이(PS) 제어와 가변스위칭주파수(FM) 제어를 할 수 있는 하이브리드 다출력 3레벨 DC-DC 컨버터와 제어회로 블록도

따라서 입력전압을 분배시켜 높은 입력전압(700V<sub>DC</sub>) 이상에서 600V<sub>DC</sub> 저전압 스위칭소자 사용이 가능한 3레벨 DC DC 컨버터가 연구되었지만 그림 1의 기존의 3레벨 컨버터의 경우 DC DC 컨버터 주회로에서 50% 듀티로 교번으로 동작하지만 영전압 스위칭에 어려움을 갖는 스위칭소자(Q2, Q3) 부분에서

경부하 및 높은 입력전압범위에서 하드스위칭을 함으로 손실을 증가시킨다. 따라서 본 논문에서는 이 부분에 LLC 공진컨버터 동작 개념을 적용하였고 그림 2와 같이 기존에 사용되던 Phase shifted 컨트롤러(UC3879)를 응용하여 하나의 주회로와 제어회로(위상천이 제어(PM) + 가변주파수 제어(FM))를 개별적으로 동시에 출력제어 해줄 수 있는 고정밀제어(Fully Regulated Control) 하이브리드 다출력 직류 직류 컨버터를 제안 적용하였다.

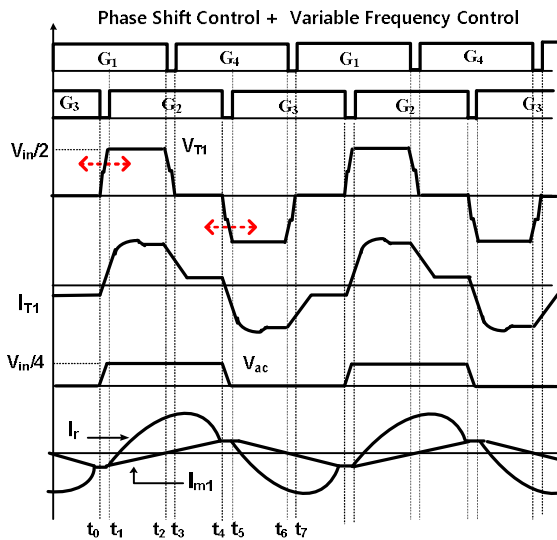


그림 3. 주요 동작 파형

그림 3은 PSFM(Phase Shifted and Frequency Modulation) 3레벨 DC DC 컨버터의 주요동작파형이다. Q1과 Q4, Q2와 Q3는 Complementary로 각각 50%의 고정 시비율로 동작하며, 입력전압과 출력부하 변화에 따라 3레벨 DC DC컨버터 Q1과 Q4,의 Leading Leg 스위칭소자에 대해 Lagging Leg Q2와 Q3가 위상천이(Phase Shifted)되어 출력전압(Vo)을 제어하고, 가변스위칭주파수 제어에 의해 LLC 공진컨버터 출력전압(V<sub>SO</sub>)이 제어된다.

### 3. 실험결과

본 논문에서는 입력 450V<sub>DC</sub>~700V<sub>DC</sub>에서 각각 출력 24V<sub>DC</sub>/29.17A(700W), 230V<sub>DC</sub>/1.04A(240W)인 940W 정격출력 용량을 갖는 다출력 3레벨 컨버터를 제작하여 실험하였으며, 변압기 주요 정격은 표 1과 같다.

표. 1 측정된 통합변압기 파라미터

LLC 공진 컨버터	1차측자기인덕턴스	$L_p$	384.4uH
	2차측자기인덕턴스	$L_s$	323.5uH
	등가누설인덕턴스	$L_{eq}$	110.7uH
	$N(N_1/N_2)$		1.06(33/31)
Phase shifted 컨버터	1차측자기인덕턴스	$L_p$	724.1uH
	2차측자기인덕턴스	$L_s$	16.84uH
	$N(N_1/N_2)$		9.67(25/3)
	출력 인덕터	$L_b$	98.6uH

그림 4(a), (b)는 각각 입력전압 500V<sub>DC</sub>, 630V<sub>DC</sub>에서 Phase shifted단 부하(P<sub>0</sub>)를 700W로 LLC 공진컨버터단 부하(P<sub>SO</sub>)를 10W에서 실험한 파형이고 그림 4(c), (d)는 LLC 공진컨버터단과 Phase shifted단의 부하를 각각 240W, 700W 부하에서 실험

한 파형이다. 그림 4(e), (f)는 Phase shifted단 부하를 700W로 고정해 놓고 LLC 공진컨버터단의 부하를 10W에서 240W로 변화시켰을 때 갑작스럽게 변화시킨 파형이다. 파형을 보면 알 수 있듯이 LLC 공진컨버터단의 부하가 급변동하여도 Phase shifted단의 출력에 영향을 주지 않고 독립적으로 정밀하게 제어되는 것을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.

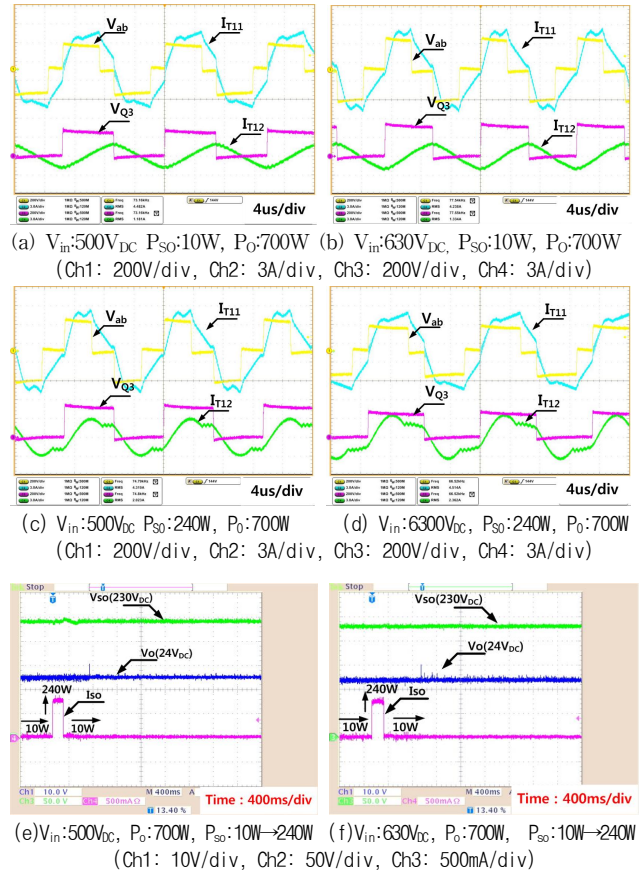


그림 4. PSFM 3레벨 DC-DC 컨버터의 주요 파형

### 4. 결론

본 연구에서는 600V<sub>dc</sub> 이상의 높은 입력전압 및 넓은 입력 전압범위(450V<sub>dc</sub>~700V<sub>dc</sub>)에 동작되는 응용분야에 적용이 가능하도록 다출력 하이브리드 3레벨 DC DC 컨버터를 제안 적용하였고 하나의 제어 IC로 개별 제어를 통해 각각의 출력전압을 정밀제어가 가능하도록 구현하여 실험을 통해 하였다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력 연구과제 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] Zhang, Yanjun, Dehong Xu, "Design and Implementation of an Accurately Regulated Multiple Output ZVS DC-DC Converter", IEEE Transactions on, Sept. 2007, Vol. 22, Iss. 5, pp.1731-1742
- [2] Zhanghe Nan, Ming Xu, Julu Sun, Wenchang Han, Yuan Yao, "Novel DC DC architecture for high efficiency SMPS with multiple outputs", IEEE ECCE 12 16 Sept. 2010, pp.3719-3726.
- [3] Chong Eun Kim, Ki Bum Park, Gun Woo Moon, Jun Young Lee, "New Multi Output LLC Resonant Converter for High Efficiency and Low Cost PDP Power Module", IEEE PESC 2006 June, pp.1-7.
- [4] Yu Chen, Xuejun Pei, Li Peng, Yong Kang, "A high performance dual output dc dc converter combined the phase shift full bridge and LLC resonant half bridge with the shared lagging leg", IEEE APEC 21 25 Feb. 2010, pp.1435-1440.
- [5] 김은수, 김정환, "하이브리드 다출력 DC DC 컨버터" 특허출원예정, 2014년 12월