

독립된 공진탱크를 갖는 시비율 및 주파수 가변형 이중출력 LLC 공진형 DC/DC 컨버터

윤종규, 조상호, 한상규, 노정욱, 홍성수, 김종해*, 이효범*
 국민대학교 전력전자 연구소, (주)삼성전기 P&M 사업부*

Duty Ratio and Frequency Controlled Dual Output LLC Resonant DC/DC Converter with Independent Resonant Tank

Jong-Kyu Yoon, Sang-Ho Cho, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh, Sung-Soo Hong,
 Jong-Hae Kim*, Hyo-Bum Lee*
 Kookmin Univ. Power Electronics Center, Samsung Electro-Mechanics CO., LTD*

ABSTRACT

본 논문은 중용량 및 대용량에 적합하며 다중 출력 전원 시스템의 슬림화에 유리한 새로운 LLC 공진형 DC/DC 컨버터에 관한 것으로서, 별도의 Post-regulator 및 제어 IC의 추가없이 정밀한 이중출력이 가능한 새로운 방식의 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 두 개의 트랜스를 이용하여 각 출력 단에 대한 독립된 두 개의 공진탱크를 갖기 때문에 탱크 설계가 용이하고, 다중출력을 필요로 하는 전원시스템의 소형화 및 슬림화에 유리하다. 또한 두 개의 출력을 각각 주파수와 듀티로 제어함에 따라 Post-Regulator 가 필요 없으며, 이로 인해 기존 LLC 공진형 DC/DC 컨버터^[1]에 비해 효율 및 발열 특성이 매우 우수하며, 저가의 컨버터 구현이 가능하다.

최종적으로 제안된 컨버터의 우수성과 타당성 검증을 위해, 실제로 42" FHD급 PDP 용 전원회로를 위한 시작품을 제작하여 고찰된 실험결과를 제시한다.

1. 서론

최근 중용량 및 대용량급 전자기기의 고효율 및 슬림화의 추세가 지속됨에 따라 전원시스템에서 대부분을 차지하는 전력단의 소형화 및 높은 효율이 요구되고 있다. 고효율을 달성하기 위해 주 스위치의 ZVS달성이 보장되는 기존 LLC 공진형 컨버터가 널리 이용되고 있지만, 단일 출력이 아닌 정밀한 이중출력이 요구되는 전원시스템에 적용하기 위해 별도의 post regulator가 필수적이다. 이로 인한 손실 및 크기와 제작단가 측면의 단점이 존재한다. 따라서 기존 LLC 컨버터의 장점을 유지함과 동시에 별도의 post regulator가 없이 정밀한 이중출력을 얻고, 2개의 트랜스포머로 독립된 공진탱크를 이용하여 공진탱크의 설계가 용이하고 슬림화에 유리한 새로운 LLC 공진형 컨버터를 제안한다.

2. 기존 이중출력을 위한 LLC 공진형 컨버터

기존 LLC 공진형 컨버터에서는 단일 트랜스포머를 이용하여 이중출력을 구성하는 경우, 그림 1과 같이 Slave 출력을 위해 벡 컨버터를 채용하고 있으며, 이로 인해 제작단가 상승 및 효율저하와 같은 단점이 존재하므로 슬림화 및 저가격화를 위한 새로운 방법이 요구된다.

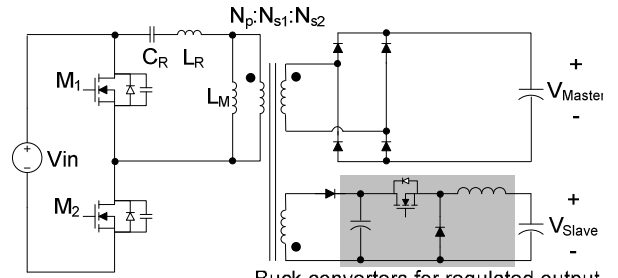


그림 1 이중출력을 위한 기존 LLC 공진형 컨버터

3. 제안된 LLC 공진형 컨버터

상기한 바와 같이 기존의 이중출력을 위한 LLC 공진형 컨버터는 동등 시비율을 갖는 스위칭 주파수로 한 개의 Master 출력전압만을 제어하기 때문에 정밀한 Slave 출력전압을 획득하기 위해서는 반드시 별도의 전력단 및 제어단이 필요하다는 단점이 있었다.

따라서 본 논문에서는 별도로 추가되는 전력단과 제어단 없이 스위칭 주파수와 펄스폭을 동시에 가변함으로써 두 개의 출력전압 모두 정밀하게 제어 가능한 새로운 LLC 공진형 컨버터를 제안한다. 아울러, 제안된 컨버터는 이중 출력 각각을 위해 두 개의 트랜스포머를 채용함으로써 각 출력에 대해 서로 독립된 공진탱크를 구성하므로 공진탱크 설계가 용이하고 시스템의 슬림화가 유리한 장점을 가진다.

3.1 제안된 LLC 공진형 컨버터의 동작원리

그림 2는 제안된 LLC 공진형 컨버터의 전력단을 도시한 것으로 이중출력을 위해 크게 두개의 트랜스포머와 공진탱크로 구성된다. Master 출력전압의 경우 blocking capacitor C_b 가 삽입된 풀브리지 구조를 가지며, Slave 출력전압은 post regulator가 없이 단순한 반파 정류회로의 구조를 갖는다. 여기서 2차측의 blocking capacitor C_b 는 시비율의 변화에 따른 트랜스포머 2차측 전압의 최대치의 불평형으로 인해 출력 공진전류가 $d1, d2$ 또는 $d3, d4$ 의 한 방향으로만 흐르는 것을 제한하기 위함이다. 한편 제안된 컨버터는 Master 와 Slave의 공진탱크가 서로 분리되어 출력 부하전류 변동에 대해 서로 영향을 주지 않으므로 Master 단의 경우 일반적인 LLC 컨버터, Slave단의 경우 하프 브리지 플라이백^[2]으로서 서로 독립적으로 동작한다. 따라서 이론적 해석이 쉽고 스위칭 주파수 및 시비율의

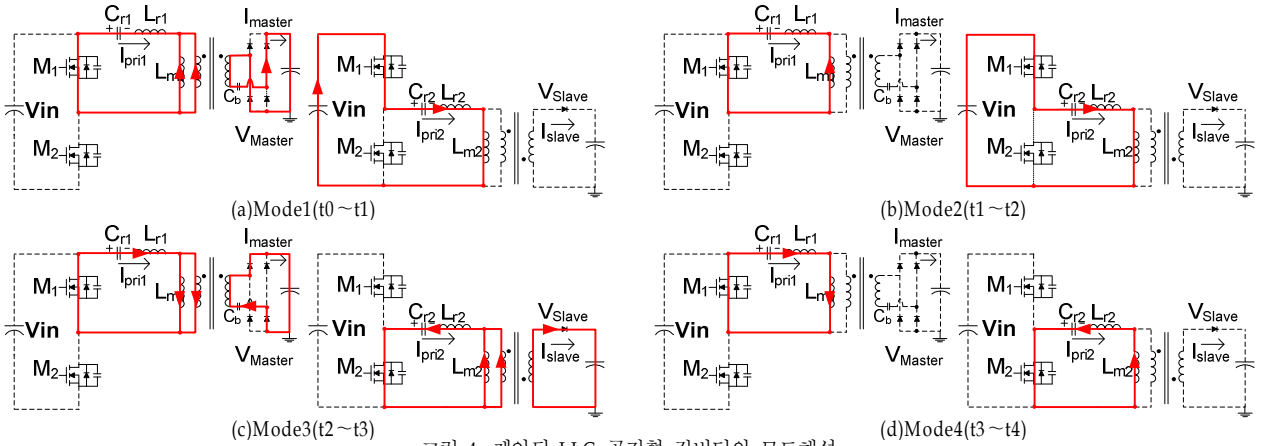


그림 4. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 모드 해석

변동폭이 매우 작기 때문에 설계가 매우 용이하다는 장점을 갖는다.

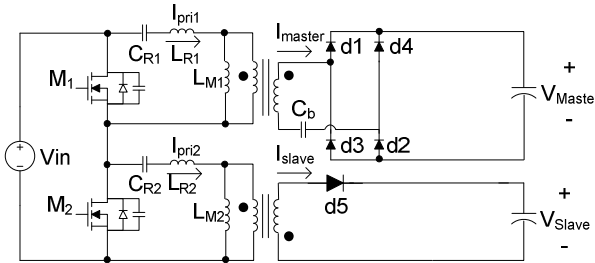


그림 2. 제안된 LLC 공진형 컨버터

V_{master} 를 제어하기 위해서는 기존 LLC 공진형 컨버터와 같이 주파수 변조를 통해 공진전류의 초기치를 변화시켜 제어하지만 V_{slave} 의 경우 M1 스위치가 'On'인 구간동안 C_{r2} 에 저장해 놓은 에너지를 M2 스위치가 'On'인 구간에 2차측으로 전력 전달하는 하프 브리지 플라이백 구조를 갖기 때문에 펄스폭 변조로 제어 가능하다. 펄스폭 변조에 따라 V_{master} 역시 변화하지만 풀 브리지 타입의 정류단 구조로 인해 펄스폭 변조에 큰 영향을 받지 않는다. 예를 들어 V_{master} 의 출력 부하가 증가하는 경우 제어를 위해 스위칭 주파수가 감소하며 이에 따라 V_{slave} 전압이 상승하므로 M1 스위치의 듀티를 감소시켜 최종적으로 정상상태에 도달한다. 다시 말해 그림 3과 같이 각 부하조건에 따라 1차측 주 스위치 M1, M2의 스위칭 주파수와 펄스폭을 동시에 변화시켜 별도의 제어 IC 없이 원하는 이중 출력 전압을 얻게 된다.

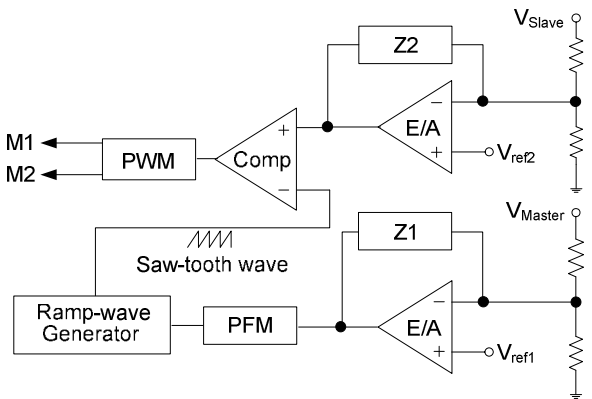


그림 3. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 제어단 구성도

3.2 제안된 LLC 공진형 컨버터의 동작 해석

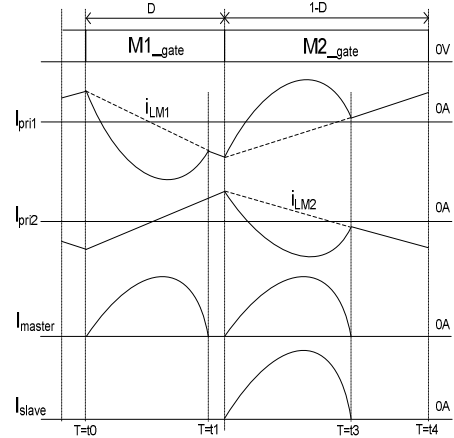


그림 5. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 주요 동작 파형

제안된 LLC 공진형 컨버터의 간단한 동작 해석을 위해 다음을 가정한다

- i. 모든 소자는 이상적이다. (단, 변압기는 자화 인덕터(Lm) 누설 인덕터(Lr)를 제외하고 이상적이며, MOSFET은 기생 병렬 다이오드 및 출력 커패시터를 제외하고 이상적인 스위치로 가정한다.)
- ii. LLC 컨버터는 정상 상태 (Steady-State)에서 동작한다.
- iii. 출력단의 커패시턴스는 충분히 크므로 출력 전압, Master와 Slave를 일정하다고 가정한다.
- iv. 1차측 I_{pri} 의 전류변환 구간과 Dead time은 생략한다.

- ① Mode 1(t0~t1) M1이 턴-온되면서 C_{r1} 및 L_{r1} 로 인한 공진전류가 Master 단으로 전달된다. Slave 출력의 경우 트랜스포머의 권선방향으로 인해 2차측 다이오드가 턴-온 될 수 없다.
- ② Mode 2(t1~t2) C_{r1} 과 L_{r1} 로 인한 공진이 끝나게 됨에 따라 Mode 2가 시작되며 2차측의 다이오드가 모두 오프된 상태로 전력전달이 일어나지 않는다.
- ③ Mode 3(t2~t3) M1이 t2지점에서 턴-오프 되고, M2가 턴-온됨으로써 Mode 3가 시작되며 각 공진탱크의 Cr 및 Lr로 인한 공진전류가 2차측으로 전달된다.

④Mode 4(t3~t4) 공진이 모두 끝나게 됨에 따라 Mode 4가 시작되며 2차측의 다이오드가 모두 오프된 상태로 전력전달은 일어나지 않는다.

3.3 제안된 LLC 공진형 컨버터의 실험 결과

본 논문에서 제안한 LLC 공진형 컨버터의 타당성 및 우수성 검증에 위해 42" FHD급 PDP용 전원회로를 위한 시작품을 제작하여 다음과 같은 실험결과를 제시한다. 실험에 사용된 각 부 사양과 소자값은 다음과 같다.

- 입력전압 Vin : 400V
- 출력전압 및 부하조건
Master = 200V(0.1A~1.6A), Slave = 50V(0.1A~2.0A)
- 트랜스포머 권선비 및 공진 탱크 값
Tank #1(Master) EER5445 Ferrite Core
Turns Ratio Np:Ns = 29:24. Cr=43nF, Lr=70μH, Lm=370μH
Tank #2(Slave) EER4445 Ferrite Core
Turns Ratio Np:Ns = 35:7. Cr=33nF, Lr=90μH, Lm=340μH
- 제어 IC : TL494

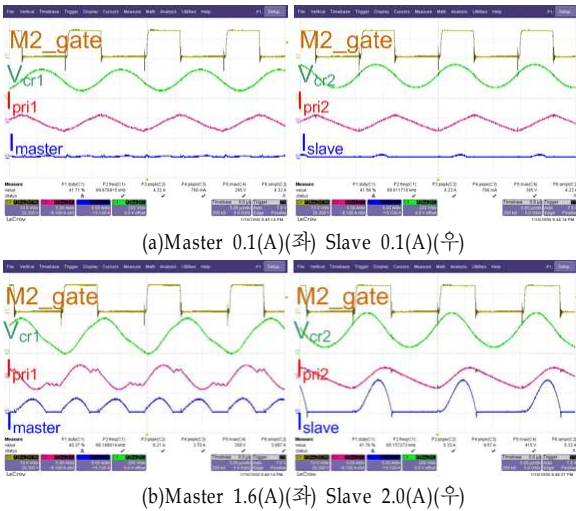


그림 4. 최소 및 최대 부하시 주요 전압 전류 파형

그림 4는 최소 부하 및 최대 부하 시 각부 주요파형을 보이고 있다. 실험결과 이론적 해석과 동일하며 별도의 post regulator 없이 표 1에서와 같이 Master 와 Slave 출력전압의 변동폭이 최대 0.1V로 나타나 우수한 레귤레이션 특성을 갖는 것을 확인하였다. 또한 스위칭 주파수의 변동폭이 최소 및 최대부하 사이 최고 5.4kHz로 매우 작아 특정 주파수에 대한 최적 설계가 용이하며, 신뢰성에 많은 영향을 미치는 발열 테스트에서도 표 2와 같이 매우 우수한 특성을 보이고 있어 방열판의 소형화가 가능하다.

표 1. 각 부하에 따른 효율 및 출력 전압

Vs(Master)		Va(Slave)		Efficiency (%)
I(A)	V(V)	I(A)	V(V)	
0.1	201.10	0.1	49.31	67.87
1.6	201.02	0.1	49.32	94.63
0.1	201.04	2.0	49.23	87.44
1.6	201.00	2.0	49.24	94.63

표 2. 주요 소자의 발열 데이터

Test Conditions			
Vin=400V Master:1.4A Slave:2.0A Aging time : 1hour			
Location	Temperature	Δtemp	Unit
Tank (Master)			
Core	50.7	25.7	[°C]
Wire	41.7	16.7	[°C]
Tank (Slave)			
Core	45.9	20.9	[°C]
Wire	57.1	32.1	[°C]
Switching & Regulation Devices			
M1 switch	44.9	19.9	[°C]
M2 switch	46.8	21.8	[°C]
Diode#1(Vs)	44.5	19.5	[°C]
Diode#2(Vs)	46.8	21.8	[°C]
Diode#3(Vs)	44.0	19.0	[°C]
Diode#4(Vs)	45.0	20.0	[°C]
Diode(Vs)	49.7	24.7	[°C]

4. 결론

이중 출력을 위한 기존 LLC 공진형 컨버터에서는 이중 출력 중 하나의 출력전압에 대해서는 주파수 제어를 통해 정밀한 출력을 얻을 수 있으나, 나머지 출력에 대해서는 크로스 레귤레이션을 이용해 적당히 구현하거나, 정밀한 출력 전압이 요구되는 경우 백 컨버터와 같은 별도의 post regulator가 필수적이었다. 따라서 크로스 레귤레이션을 이용하는 경우 가격 및 효율측면에서는 우수하나 정밀한 출력전압은 얻을 수 없으며, 정밀한 출력을 위해서는 post regulator를 반드시 사용해야 하므로 가격, 효율, 부피 측면의 단점이 존재했다. 또한 기존 LLC 공진형 컨버터에서 이중출력을 단일 트랜스포머로 구현하여 고전력 시스템에 적용할 경우 공진탱크의 설계가 까다롭고 사이즈가 큰 고가의 트랜스포머를 사용해야 했다.

따라서 본 논문에서는 새로운 제어방식을 통해 별도의 post regulator 없이 정밀한 이중출력의 획득이 가능하고 2개의 트랜스포머를 사용하기 때문에 각 출력에 대해 서로 독립된 공진 탱크로 그 구현이 가능하므로, 공진탱크의 설계가 용이하고 비교적 작은 부피 및 크기를 갖는 트랜스포머 구현이 가능한 새로운 LLC 공진형 컨버터를 제안하였다. 실험결과 각 출력의 우수한 레귤레이션 특성은 물론 높은 전력변환효율, 우수한 발열특성을 나타냄을 확인하였다. 최종적으로 본 논문에서 제안된 LLC 공진형 컨버터가 이중출력을 요구하는 중용량 및 대용량급의 슬림화 및 고효율을 요구하는 전원시스템에 매우 적합할 것으로 기대된다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다

참고 문헌

[1] Fred C. Lee, "Topology investigation for front end DC/DC power conversion for distributed power system", Bo yang, pp.94-95, pp.129, pp.109-116, 2003

[2] Tso-Min Chen, Chern-Lin Chen. "Characterization of Asymmetrical Half Bridge Flyback Converter", IEEE 2002, pp921 - 916.