

# 단일 제어 IC를 사용한 새로운 이중출력 LLC 공진형 DC/DC 컨버터

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

## A New Dual Output LLC Resonant DC/DC Converter using Single Control IC

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 중용량에 적합한 새로운 이중출력 LLC 공진형 DC/DC 컨버터에 관한 것으로서, 별도의 Post-regulator 및 추가되는 제어 IC 없이 정밀한 이중출력이 가능한 새로운 방식의 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터의 제어방식은 펄스폭 변조(PWM)와 동시에 주파수 변조(PFM)를 통해 이루어지며 Master와 Slave 출력을 각각 주파수, 듀티로 제어함으로써 Slave 출력을 위한 별도의 Post-Regulator 및 제어 IC가 필요 없기 때문에, 저가의 컨버터 구현이 가능하다.

또한 기존 LLC 공진형 DC/DC 컨버터와 같이 스위칭 소자의 영전압 스위칭이 보장되는 동시에, Post-Regulator 로 인한 손실이 없기 때문에 효율 및 발열 특성이 매우 우수하다.

본 논문에서는 제안된 컨버터의 우수성과 신뢰성 검증을 위해, 실제로 50" FHD급 PDP용 전원회로를 위한 시작품을 제작하고 이를 이용한 실험결과를 바탕으로 제안된 컨버터의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

최근 중용량급의 전원시스템의 높은 효율 달성과 소형화가 가능한 저가의 컨버터를 구성하기 위해서는 다른 토폴로지에 비해 구성소자의 개수가 비교적 적고 구성이 간단하며, 영전압 스위칭(ZVS)이라는 큰 장점을 갖는 LLC 공진형 컨버터<sup>[1]</sup>가 널리 이용된다. 그러나 이중출력을 위한 기존 LLC 공진형 컨버터는 Master 출력만을 제어함에 따라 두개의 정밀한 출력이 필요한 경우 별도의 Post regulator이 없이는 Slave 출력을 얻을 수 없다. 때문에 별도의 post regulator 로 인한 손실 및 크기, 비용을 감수해야 하는 단점이 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 기존 LLC 공진형 컨버터의 장점은 유지함과 동시에 별도의 post regulator 없이 정밀한 이중출력이 가능한 컨버터를 제안하고 이론적 및 실험을 통해 타당성을 검증한다.

### 2. 기존 이중출력을 위한 LLC 공진형 컨버터

그림 1과 같이 기존 LLC 공진형 컨버터에서는 Master 출력 전압을 제외한 별도의 출력전압을 얻기 위해서는 턴비를 이용한 Cross-regulation이 쓰일수 있으나, 정밀한 출력을 필요로 하는 전원시스템의 경우에는 오차 범위의 한계가 있기 때문에

보통 백 컨버터와 같은 비절연형 Post regulator를 이용하여 정밀한 출력전압을 얻게된다. 이에 따라 Post regulator 로 인한 제작단가 상승과 효율저하 및 부피증가와 같은 여러가지 단점이 존재하므로 이를 대체할 방법이 요구된다.

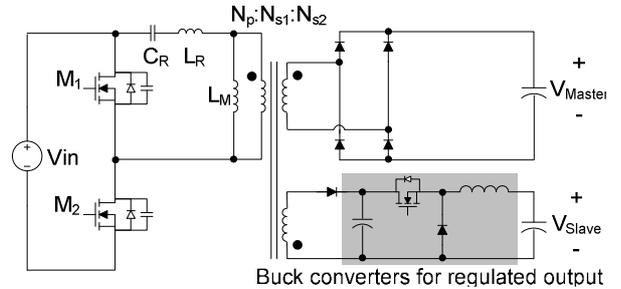


그림 1 이중출력을 위한 기존 LLC 공진형 컨버터

### 3. 제안된 LLC 공진형 컨버터

상기한 바와 같이 기존의 LLC 공진형 컨버터를 이용하여 이중출력을 얻고자 하는 경우 Master 출력전압을 제어함과 동시에 Slave 출력을 얻기 위해서 별도의 제어단이가 필수적이였다. 이는 출력 전압 제어를 위한 제어 변수가 주파수밖에 없으므로 그에 대응한 Master 출력전압만 제어가 가능하기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 스위칭 주파수와 함께 시비율이라는 제어 변수를 추가하여 이중출력을 모두 제어하는 방법을 제안하고 이를 이론적 분석과 실험을 통해 검증한다. 특히, 제안된 회로는 별도의 post-regulator가 필요없으며 이에 따라 추가되는 제어단이가 요구되지 않아 단일 IC로 제어단 구성이 가능하므로 고효율 및 저가격형 구현이 용이한 장점을 가진다.의 새로운 LLC 공진형 컨버터를 제안한다.

#### 3.1 제안된 LLC 공진형 컨버터의 동작원리

그림 2는 제안된 LLC 공진형 컨버터의 전력단을 도시한 것으로 Master 출력전압은 2차측이 blocking capacitor Cb가 삽입된 폴브리지 구조를 가진다. 여기서 Master 출력단의 폴브리지 정류기에 삽입된 blocking capacitor Cb는 시비율의 변화에 따른 트랜스포머 2차측 전압 최대치의 불평형으로 인해 출력 공진전류가 d1,d2 또는 d3,d4의 한방향으로만 흐르는 것을 제한

하기 위함이다. 반면 Slave 출력전압을 위한 정류단의 구조는 기존 LLC 공진형 컨버터에서 Slave 출력을 위해 사용하는 벽 컨버터를 대신하여 하나의 다이오드로 구성된다.

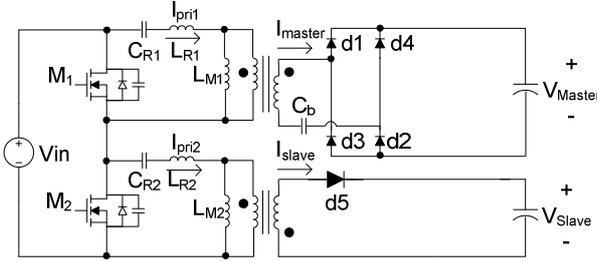


그림 2. 제안된 LLC 공진형 컨버터

그림 3은 본 논문에서 제안하는 LLC 공진형 컨버터 구현을 위한 제어단의 구성도이다.

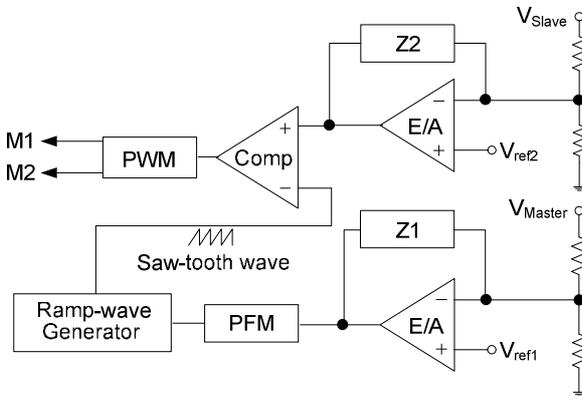


그림 3. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 제어단 구성도

$V_{master}$ 를 제어하기 위해서는 기존 LLC 공진형 컨버터와 같이 주파수 변조를 통해 공진전류의 초기치를 변화시켜 제어하지만  $V_{slave}$ 의 경우 M1 스위치가 'On'인 구간동안 Cr에 저장해 놓은 에너지를 M2 스위치가 'On'인 구간에 2차측으로 전력 전달하는 하프 브리지 플라이백<sup>[3]</sup> 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. 예를들어  $V_{master}$ 의 출력 부하가 증가하는 경우 제어를 위해 스위칭 주파수가 감소하며 이에 따라  $V_{slave}$  전압이 상승하므로 M1 스위치의 듀티를 감소시켜 최종적으로 정상상태에 도달한다. 다시말해 각 부하조건에 따라 1차측 주 스위치 M1, M2의 스위칭 주파수와 펄스폭을 동시에 변화시켜 별도의 제어 IC 없이 원하는 이중 출력 전압을 얻게된다.

### 3.2 제안된 LLC 공진형 컨버터의 동작 해석

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.

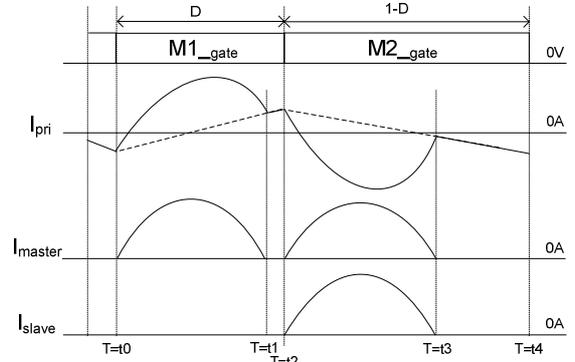


그림 4. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 주요 동작 파형

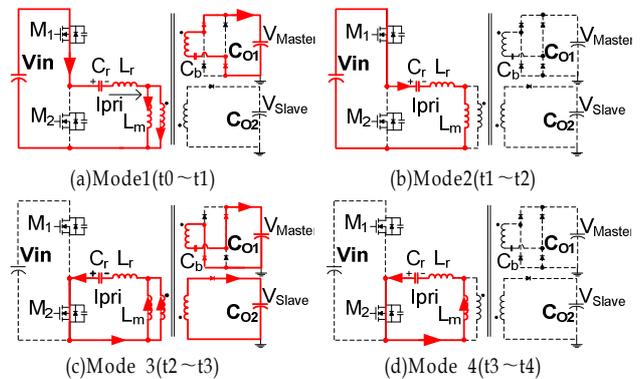


그림 5. 제안된 LLC 공진형 컨버터의 모드해석

제안된 컨버터의 동작은 1 차 측 스위치 M1, M2의 스위칭 상태에 따라 간단히 4개의 Mode로 나눌 수 있다. 그림 4에 제안된 LLC 공진형 컨버터의 주요 이론적 파형을 나타내었다.  $t_0$  이전의 dead time 은 생략하며 M2는 턴-온 되어 있고, M1은 턴-오프 되어 있다.

- ①Mode 1( $t_0 \sim t_1$ ) M1이  $t_0$ 시점에서 턴-온 됨으로써 Mode 1이 시작되며, Mode 1의 전류 도통 경로를 그림 5(a)에 나타내었다. M1이 턴-온되면서 Cr 및 Lr 로 인한 공진전류가 형성되며 Master 단으로 전달된다. 또한 Master 전압과 blocking-capacitor의 전압차의 턴비로 형성된 전압에 의해 Lm 전류가 선형적으로 증가한다. 반면 Slave 출력의 경우 트랜스포머의 권선방향으로 인해 2차측 다이오드가 턴-온 될 수 없다.
- ②Mode 2( $t_1 \sim t_2$ ) Lr과 Cr로 인한 공진이 끝나게 됨에 따라 Mode 2가 시작되며 Mode 2의 전류 도통 경로를 그림 5(b)에 나타내었다. 2차측의 다이오드가 모두 오프된 상태로 전력전달이 일어나지 않는다.
- ③Mode 3( $t_2 \sim t_3$ ) M1이  $t_2$ 시점에서 턴-오프 되고, M2가 턴-온 됨으로써 Mode 3이 시작되며 Mode 3의 전류 도통 경로를 그림 5(c)에 나타내었다. 트랜스포머 1차측의 역전압으로 인해 Master 및 Slave 단의 다이오드가 모두 도통하는 조건이 형성되며 Cr 및 Lr로 인한 공진전류가 형성되어 Master 및 Slave의 정류단 다이오드를 통해 전력전달이 일어난다.

④Mode 4(t3~t4) Lr과 Cr로 인한 공진이 끝나게 됨에따라 Mode 4가 시작되며 Mode 4의 전류 도통 경로를 그림 5(d)에 나타내었다. 2차측의 다이오드가 모두 오프된 상태로 전력전달이 일어나지 않는다.

### 3.3 제안된 LLC 공진형 컨버터의 실험 결과

본 논문에서 제안한 LLC 공진형 컨버터의 타당성 및 우수성 검증을 위해 50" 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 = 210V(0.0A~2.3A), Slave = 55V(0.0A~2.5A)
- 트랜스포머 권선비 및 공진 탱크 값(EER4445 Ferrite Core)  
Np:Ns1:Ns2=39:36:9, Cr=94nF, Lr=50μH, Lm=380μH
- 제어 IC : TL494

각 부하에 따른 주요파형을 측정하여 그림 6에 나타내었다. 실험 결과 이론적 해석과 동일하며 별도의 post regulator없이도 표 1에서와 같이 Master와 Slave 출력전압의 변동폭이 0.02V로 나타나 우수한 레귤레이션 특성을 갖는 것을 확인하였다.

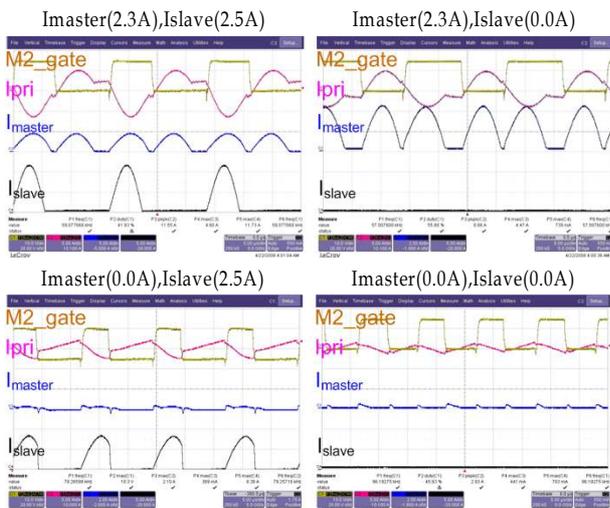


그림 6. 각 부하별 주요 전압 전류 파형

또한 표 2와 같이 최대부하조건에서 96.87%의 고효율을 기록하였으며 최대 효율은 97.27%로 제안된 컨버터의 우수성을 확인하였다. 시스템의 신뢰성을 좌우하는 발열의 경우 표 3에 보여진 바와 같이 풀부하 상태에서 1시간의 Aging을 거친 후 전원시스템의 발열의 대부분을 차지하는 주요 소자의 온도를 측정한 결과 발열특성 또한 매우 우수함을 확인할 수 있다.

표 1. 각 부하에 따른 동작 주파수 및 출력 전압

Vs(Master)		Va(Slave)		Freq (Khz)
I(A)	V(V)	I(A)	V(V)	
2.3	210.13	2.5	55.15	59.94
2.3	210.13	0.0	55.15	59.49
0.0	210.14	2.5	55.13	87.74
0.0	210.15	0.0	55.14	87.40

표 2. 각 부하에 따른 전력 변환 효율

Master(A)	Slave(A)	Efficiency(%)
2.3	2.5	96.87
2.3	0.1	97.27
0.1	2.5	94.46
0.1	0.1	84.87

표 3. 주요 소자의 발열 데이터

Location	온도(℃)
Transformer Core	66.0
Transformer Wire	66.9
Switch (Heat Sink)	67.8
Diode (Heat Sink)	56.9

## 4. 결론

이중 출력을 위한 기존 LLC 공진형 컨버터에서는 이중 출력 중 하나의 출력전압에 대해 주파수 제어를 통하여 정밀한 출력을 얻을 수 있으나, 나머지 출력에 대해서는 크로스 레귤레이션을 이용해 적당히 구현하거나 정밀한 출력전압이 요구되는 경우 벅 컨버터와 같은 post regulator와 이에 따른 별도의 제어 IC가 필수적이었다. 이로 인해 가격, 효율, 부피 등 여러 측면에서의 단점이 존재하였다. 따라서 본 논문에서는 기존 LLC 공진형 컨버터에 비해 간단하고 별도의 post regulator 없이 단일 IC로 이중 출력을 모두 제어하는 새로운 방식의 LLC 공진형 컨버터를 제안하였다. 기존 스위칭 주파수만을 변화시켜 제어하는 방법과는 달리 펄스 폭 변조(PWM)이라는 추가된 제어변수를 이용하여 스위칭 주파수와 동시에 펄스 폭 변조를 통해 각각의 전압을 제어함으로써 벅 컨버터와 같은 고가의 post regulator 없이 정밀제어 가능한 Slave 전압을 획득할 수 있으므로 간단한 구조의 저가격형 및 고효율의 컨버터를 구현할 수 있다. 실험결과 저가의 구조임에도 부하별 각 출력의 우수한 레귤레이션 특성은 물론, 높은 전력 변환 효율과 우수한 발열특성을 나타냄을 확인하였다.

최종적으로 본 논문에서 제안된 LLC 공진형 컨버터는 중용량급의 이중출력을 위한 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] 우스이 히로시 외 2인, "다출력 전류 공진형 DC-DC 컨버터" 대한민국특허청, 출원 번호 : 10-2006-7009809, pp5-6, 2006.
- [3] Tso-Min Chen, Chern-Lin Chen. "Charicterization of Asymmetrical Half Bridge Flyback Converter", IEEE 2002, pp921 - 916.