

# 독립된 다중출력을 위한 영전류 스위칭 LLC 공진형 Post-Regulator

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

## Zero-Current Switching LLC Resonant Post-Regulator for Independent Multi-Output

Sang-Ho Cho, Yong-Saeng Shin, Jong-Kyu Yoon, 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 다양한 종류의 전원을 구비해야 하는 다중출력 전원 시스템을 위한 영전류 스위칭 LLC 공진형 Post-regulator를 제안한다.

기존의 LLC 공진형 컨버터는 정밀한 다중 출력을 얻기 위해 추가의 DC/DC 컨버터가 구성되었고, 이는 전력 변환 효율 감소 및 제조 원가 상승의 단점을 갖고 있다. 제안된 컨버터는 각 소자의 내압 및 전류 스트레스가 작고, 요구되는 출력 당 1 개의 보조 스위치만으로 구현되므로 저가격화에 유리하다. 또한 전력이 전달되는 시점의 공진 전류의 초기값을 가변함으로써 정밀하게 제어되는 다중 출력 전압을 획득할 수 있고, 각 전압의 출력 순서 제어도 가능한 장점이 있다. 뿐만 아니라, 독립된 공진탱크를 이용하기 때문에 공진 탱크 설계가 용이하며, 최근 전자 제품의 추세인 슬림화의 요구에 부응할 수 있다. 또한, 제안된 Post-regulator의 모든 전력 스위치는 ZCS가 가능하므로 스위칭 손실을 최소화 할 수 있다.

최종적으로 본 논문에서 제안한 영전류 스위칭 LLC 공진형 Post-regulator를 제작하고, 고찰된 실험결과를 제시하여 제안된 컨버터 및 전원시스템의 우수성과 이론적 분석의 타당성을 검증한다.

### 1. 서론

고 전력밀도를 통한 시스템 소형화를 실현하기 위해서는 전력변환 컨버터를 높은 스위칭 주파수로 동작시키는 것이 일반적이며, 이 경우 스위칭 손실이 매우 중요한 요소로 작용한다.

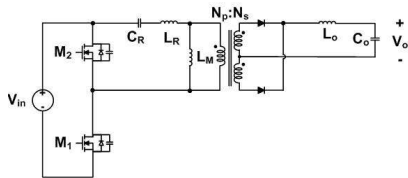


그림 1 기존 비대칭 하프브리지 DC/DC 컨버터

그러나 그림 1과 같이 중 용량급에서 가장 많이 채용되었던 비대칭 하프브리지 컨버터의 경우 스위치  $M_1$ 과  $M_2$ 의 동작 시비율을 비대칭으로 동작시킴으로써 출력전압을 제어하게 되는데 이 경우 모든 부하 영역에 대해 턴-오프 손실이 크고 경부하 시 영전압 스위칭(ZVS)이 보장되지 못해 주파수를 높이는 데 한계가 존재한다. 특히 비대칭 하프브리지 컨버터의 경우

큰 출력 인덕터가 요구되므로 시스템 부피나 제작단가 측면에서 불리하며, 높은 입력 전압에서 동작 시비율의 비대칭이 매우 커지므로 전류 파형의 비대칭 현상 또한 심해져 전도 손실과 스위칭 손실을 더욱 크게 하는 단점이 존재한다.

### 2. 기존 다중출력 LLC 공진형 컨버터

그림 2의 기존 LLC 공진형 컨버터는 동작 시비율은 항상 고정되는 대신 스위칭 주파수의 변조를 통해 출력전압을 제어하며, 턴-온 시 영전압 스위칭(ZVS)를 통해 스위칭 손실을 최소화 할 수 있어 최근 대부분의 중 용량급 전원회로에 매우 적합하게 적용되고 있다<sup>[1]</sup>. 또한, LLC 공진형 컨버터의 경우 높은 입력 전압 조건에서 입력 전류는 낮은 피크값과 RMS 값을 가지므로 전도 손실을 최소화 할 수 있다<sup>[1]</sup>.

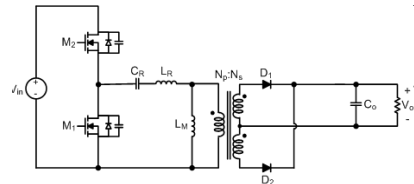


그림 2 기존 LLC 공진형 컨버터

그러나 그림 2의 기존 LLC 공진형 컨버터는 단 한 개의 출력 전압을 제공한다. 따라서 다중출력을 요하는 전력 시스템은 그림 3과 같이 2 차 측 정류단을 추가 구성해 직류 전압을 얻고, 출력 전압 제어를 위한 벡 컨버터를 추가 구성해 다중출력 전압을 얻고 있으며, 이 경우 원하는 다중출력의 개수만큼 벡 컨버터를 구성해야 하므로 제작 단가가 상승하는 단점이 있다. 특히, 각 벡 컨버터의 전력 스위치가 소프트 스위칭을 하지 못해 전체 시스템의 전력변환 효율이 낮아지는 단점이 있다<sup>[1][2]</sup>.

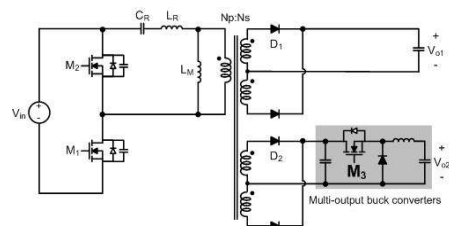


그림 3 기존 다중출력 LLC 공진형 컨버터

### 3. 제안 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator

상기한 바와 같이 기존의 다중출력 LLC 공진형 컨버터는 벽 컨버터의 추가 구성에 의한 높은 제조 원가 문제, 전력 스위치의 하드 스위칭으로 인한 스위칭 손실 등으로 인해 전체 시스템의 전력변환 효율이 낮은 문제가 있었다. 따라서 본 논문에서는 기존 LLC 공진형 컨버터를 이용하여, 기존 다중출력 LLC 공진형 컨버터의 문제점을 해결하는, 새로운 다중출력 전원 시스템을 위한 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator를 제안하고, 이를 이론 및 실험적으로 검증한다.

#### 3.1 제안 LLC 공진형 Post-regulator의 동작 원리

그림 4는 제안 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator의 가능한 Slave 전력단을 도시하고 있다. 그림 4와 같이 출력 전압  $V_{o2}$ 를 제어하기 위한 정류단은 단 한 개의 스위치  $M_3$ 로 구성함으로써 저가의 Post-regulator를 구성할 수 있는 장점이 있다. 또한, 다중출력 전원 시스템에 요구되는 출력 전압·출력 전류의 크기에 따라 반파 정류[그림 4.(a)], 전파 정류[그림 4.(b)], 센터-탭 정류[그림 4.(c)]와 같은 다양한 구조의 응용이 가능하고, 스위치  $M_3$ 의 턴-온/오프 동작을 통해 전압의 출력 순서도 제어할 수 있어 전압의 출력 순서가 중요한 전원 시스템에 적합하다.

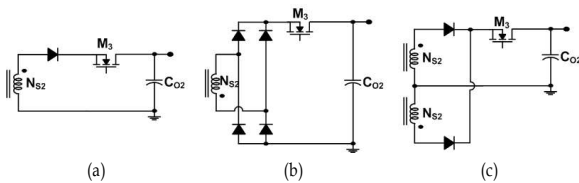


그림 4 제안 LLC 공진형 Post-regulator의 가능 구조

그림 5는 본 논문에서 제안하는 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator의 출력 전압  $V_{o2}$ 의 제어 방법을 나타내고 있는 개념도이다.

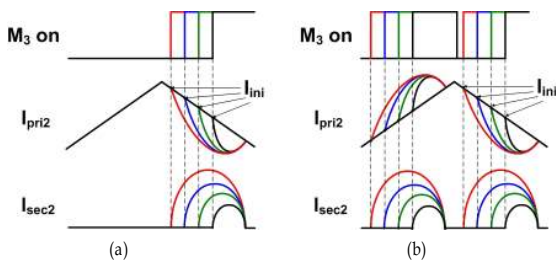


그림 5 출력 전압  $V_{o2}$ 의 제어 개념도

그림 5.(a)는 그림 4.(a)의 반파 정류에 대한 개념도, 그림 5.(b)는 그림 4.(b)의 전파 정류 및 그림 4.(c)의 센터-탭 정류에 대한 개념도이다. 1 차 측 주스위치  $M_1$ ,  $M_2$ 의 스위칭 상태에 따라 출력 전압  $V_{o2}$  정류단으로 전력이 공급될 수 있는 조건이 되지만 출력 전압  $V_{o2}$  정류단의 스위치  $M_3$ 가 턴-오프 상태이면 출력 전압  $V_{o2}$  정류단으로 전력이 공급되지 않는다. 이 때, 스위치  $M_3$ 가 턴-온 되면 1 차 측 공진 전류가 2 차 측 출력 전압  $V_{o2}$  정류단으로 공급된다. 이 때 공진 전류( $i_{sec2}$ )의 크기는 식 (1)과 같이 스위치  $M_3$ 의 턴-온 시점의 공진전류 초기 값( $I_{ini}$ )에 의해 결정된다.

$$i_{sec2}(t) = I_{ini} \cos \omega t - \frac{V_{cr,ini} - V_{IN} - V_{o1}/n}{\sqrt{L_R/C_R}} \sin \omega t \quad (1)$$

즉, 스위치  $M_3$ 의 턴-온 시점을 가변 하는 방법으로 출력 전압  $V_{o2}$ 는 일정한 정전압으로 제어 가 된다. 또한, 그림 3의 기존 다중출력 LLC 공진형 컨버터의 스위치  $M_3$ 가 하드 스위칭 동작 하는 것과 달리 그림 4의 제안 LLC 공진형 Post-regulator의 스위치  $M_3$ 는 전류의 공진이 완전히 끝나고, 출력 전압  $V_{o2}$  정류단에 전력이 완전히 공급된 이후 턴-오프 하므로, 영전류 스위칭(ZCS)을 보장하고, 스위칭 손실을 감소시켜 전력 변환 효율이 개선되는 장점이 있다.

#### 3.2 제안 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator의 구성

그림 6은 본 논문에서 제안 하는 다중 출력 공진형 Post-regulator의 구성도를 나타내고 있다. 그림 6에서와 같이 다중출력 전원 시스템에서 필요로 하는 출력 전원의 개수만큼 Post-regulator를 구성함으로써 고정밀도로 제어되는 출력 전압을 획득할 수 있다. 각각의 Post-regulator는 기존의 벽 DC/DC 컨버터에 비해 소자수가 감소해 원가 절감의 효과가 있으며, 스위칭 소자가 영전류 스위칭(ZCS) 동작을 하기 때문에 전력 변환 효율이 개선된다. 또한, 각각의 독립적인 공진 탱크를 이용하기 때문에 공진 탱크 설계가 용이하며, 최근 전자 제품의 추세인 슬림화의 요구에 부응할 수 있다.

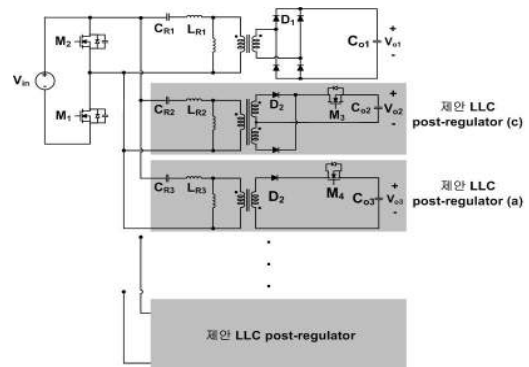


그림 6 제안 LLC 공진형 Post-regulator의 실시 예

#### 3.3 제안 다중출력 LLC 공진형 컨버터의 실험 결과

본 논문에서 제안한 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator의 우수성과 이론적 분석의 타당성 검증을 위해 42" FHD PDP용 전원 회로를 위한 시작품을 제작, 고찰된 실험결과를 제시한다.

설계 조건 및 실험에 사용된 제어 IC는 아래와 같다.

- 42" FHD PDP용 전원으로 설계 사양
  - 입력 : PFC 출력 전압  $V_{DC}=400V$
  - 출력 : 유지 전원( $V_{o1}$ )=200V (0.1~1.4A), 기입전원( $V_{o2}$ )=50V (0.1~2.0A)
- 공진 탱크 설계 값
  - 트랜스포머 1 권선비=29.24 (EER5455),  $C_{R1}=66nF$ ,  $L_{R1}=18\mu H$ ,  $L_{M1}=362\mu H$
  - 트랜스포머 2 권선비=35.8 (EER4445),  $C_{R2}=47nF$ ,  $L_{R2}=76\mu H$ ,  $L_{M2}=380\mu H$
- 실험에 사용된 제어 IC
  - High voltage resonant controller : L6598
  - Switch mode pulse width modulation control circuit : TL494

그림 7은 42" FHD PDP용 전원회로를 위해 구성한 전력단으로 유지 전원( $V_{o1}$ )단은 높은 출력 전압·낮은 출력 전류 특성으로

인해 전파 정류단으로 구성하였고, 기입 전원( $V_{o2}$ )단은 낮은 출력 전압·높은 출력 전류 특성으로 인해 센터-탭 정류단으로 구성하여 시작품을 제작하였다.

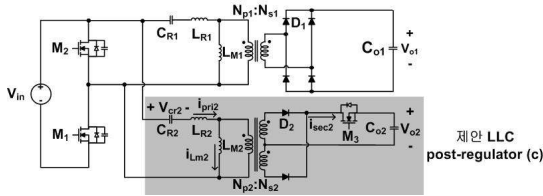


그림 7 42" FHD PDP용 전원회로를 위해 구성한 전력단

그림 8은 출력 부하 별 각 주요 동작 파형으로 앞서 고찰된 이론적 파형과 동일함을 알 수 있다. 또한 출력단의 부하 조건에 따라 출력 전압  $V_{o2}$ 의 제어를 위해 스위치  $M_3$ 의 턴-온 시점이 변화됨을 알 수 있고, 스위치  $M_3$ 의 전류  $i_{sec2}$ 가 0A가 된 이후 스위치  $M_3$ 를 턴-오프 하므로 영전류 스위칭(ZCS)이 보장됨을 알 수 있다.

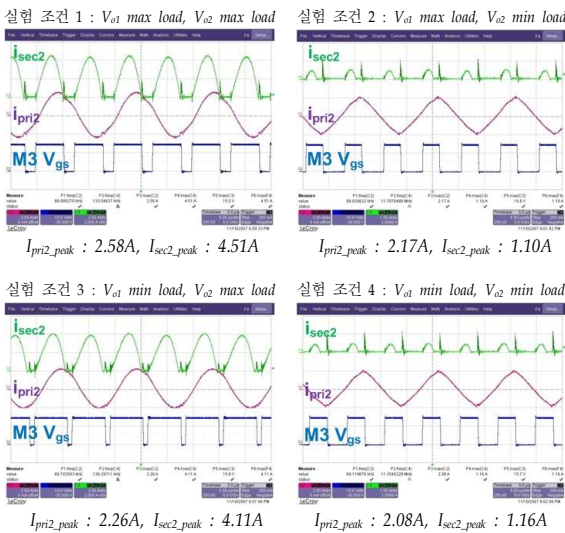


그림 8 출력 부하 별 각 주요 동작 파형

그림 9(a)는 최대 출력 부하 조건에서 공진 캐패시터  $C_R$ 의 양단 전압  $V_{CR}$ , 출력 전압  $V_{o2}$  정류단의 다이오드  $D_2$ 의 양단 전압  $V_{D2}$ 를 나타내고 있다. 각 주요 소자는 작은 내압의 소자 사용이 가능해 전원 시스템의 단가 절감에 유리하다. 그림 9(b)는 스위치  $M_1, M_2$ 의 영전압 스위칭(ZVS) 파형을 보이고 있다. 스위치  $M_1$ 의  $V_{ds}$  전압이 0V가 된 이후 스위치를 턴-온 하므로 영전압 스위칭(ZVS)이 보장됨을 알 수 있다. 따라서, 제안된 회로는 전 부하영역에 대해 1 차 측 스위치는 영전압 스위칭(ZVS)을, 2 차 측 스위치는 영전류 스위칭(ZCS)을 함으로써 스위치의 스위칭 손실을 줄여 전력 변환 효율 및 소자 발열 개선에 매우 효과적이다.

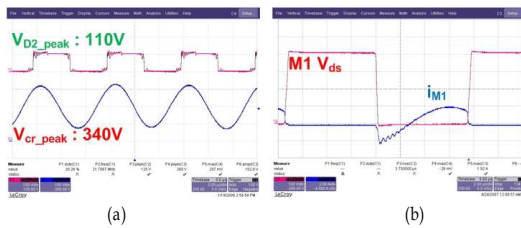


그림 9 출력 부하 별 각 주요 동작 파형

표 1은 출력 전압  $V_{o1}$ 과  $V_{o2}$ 의 부하별 전력 변환 효율을 나타낸 표이다. 전력 변환 효율은 최대 부하 조건에서 95.3%로 우수한 효율 특성을 확인할 수 있었다. 또한, 부하 변화에 대한 출력 전압의 변동폭도  $\Delta V_{o1}=0.15V$ ,  $\Delta V_{o2}=0.10V$ 의 변동 결과를 보여 우수한 출력 전압 제어 특성을 보였다. 주파수 변동은 그 변동 범위가 2.72kHz로 매우 작아 특정 주파수에 대한 최적 설계가 용이하다는 장점이 있다. 또한 표 2는 최대 출력 부하 조건에서 각 소자별 발열을 나타낸 표로서 우수한 전력 변환 효율에 따라 온도 상승이 크지 않음을 알 수 있다. 이는 방열판 크기의 축소가 가능해 제조 원가 절감에도 유리하다.

표 1 각 부하별 출력 전압 및 전력 변환 효율

$V_{o1}$ (Master)		$V_{o2}$ (Slave)		Efficiency (%)
$I_{o1}$ (A)	$V_{o1}$ (V)	$I_{o2}$ (A)	$V_{o2}$ (V)	
0.1	200.25	0.1	49.95	73.0
1.4	200.15	0.1	49.90	95.3
0.1	200.20	2.0	49.90	90.1
1.4	200.10	2.0	49.85	95.3

표 2 최대 부하 조건에서 각 주요 소자의 발열 데이터 [°C]

	$\Delta t$		$\Delta t$
스위치 $M_1$	25.9	트랜스포머1 코어	18.4
스위치 $M_2$	25.8	트랜스포머1 권선	19.6
스위치 $M_3$	28.5	트랜스포머2 코어	15.1
다이오드 $D_1$	24.3	트랜스포머2 권선	19.2
다이오드 $D_2$	27.3	주변 온도	0.0

1 hour aging, Ambient temp.=28°C

#### 4. 결 론

본 논문에서는 새로운 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator를 제안하였다. 제안 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator는 하나의 컨버터로 다수의 출력 전압을 얻을 수 있으며, 벡 컨버터를 제거하여 소자 수 감소 및 제조 원가를 절감하고, 2 차 측 스위치의 영전류 스위칭(ZCS)을 보장함으로써 전력 변환 효율을 개선했다. 또한, 본 논문에서 제안한 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator는 스위치  $M_3$ 의 동작에 따라 전압의 출력 순서 제어가 가능하며, 독립된 공진탱크를 이용함으로써 공진탱크 설계가 용이함은 물론 전자 제품의 슬림화 요구에도 부응할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 다중출력 LLC 공진형 Post-regulator는 다중출력을 필요로 하며 슬림화가 요구되는 DC/DC 컨버터에 매우 적합하게 적용될 수 있을 것이다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참 고 문 헌

- [1] Fred C. Lee, "Topology investigation for front end DC/DC power conversion for distributed power system", Bo yang, pp.94-95, pp.109-116, 2003
- [2] 우스이 히로시 외 2 인, "다출력 전류 공진형 DC-DC 컨버터" 대한민국특허청, 출원 번호 : 10-2006-7009809, pp5-6, 2006.