

두개의 변압기와 공진 탱크로 구성된 LLC 공진 컨버터

김주훈, 강성인, 김은수[†], 허동영*, 정용채**
 전주대학교, LG 이노텍*, 남서울대학교**

LLC Resonant Converter Composed of Two Transformers and Resonant Tanks

JH Kim, SI Kang, ES Kim[†], DY Huh*, YC Chung**
 JeonJu Univ, LG Innotek*, Namseoul Univ.**

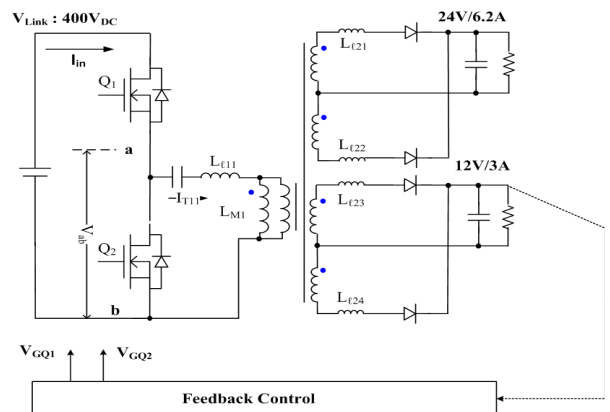
ABSTRACT

본 논문에서는 전원장치의 슬림화 및 저 가격을 위해 독립된 공진 탱크로 구성된 LLC 공진 컨버터를 제안하였다. 적용된 변압기는 슬림화를 위하여 두 개로 나누었으며 각 변압기에 독립된 공진 탱크를 구성하였다. 또한 두 개의 변압기의 2차 측 권선을 각각 교차하여 직렬로 연결하였고 부하변동에 대해서 상호 커플링 되어 있어서 12V출력 단 및 24V 출력 단 전압변동을 최소화 할 수 있는 250W 시제품을 제작하여 실험한 결과 내용이다.

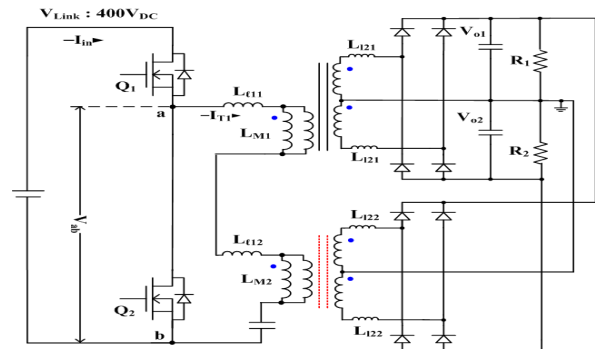
1. 서론

최근 이슈화 되고 있는 Display 가전기기의 슬림화 추세에 맞춰 이에 대응 할 수 있는 슬림화된 전원장치 개발이 요구되고 있다. 그림 1(a)는 기존 단일 변압기로 구성된 하프-브릿지(Half Bridge) LLC 공진 컨버터의 경우 그림 1(c)에서 볼 수 있듯이 상측 스위칭 소자(Q₁)가 턴-온 할 때에만 입력 측에서 전류(I_{in})가 흐르고 턴-오프 했을 때 전류가 흐르지 않기 때문에 입력의 피크 전류가 커지게 된다. 입력 최대전류가 커지면 입력 커패시터의 리플전류가 증가하게 되고, 특히 단일변압기로만 적용 시 변압기 1차 측 권선 실효전류 증가에 따른 권선 손실에 따라 발열이 발생하는 등 슬림화된 전원장치 개발에 한계를 준다. 그리고 단일 변압기로 되어 있어 2차 측의 대 전류와 다 출력 구조로 인해 변압기 창 면적 제한이 많아 크기저감 및 적용 등에 여러 가지 제약성을 가지고 있다. 그림 1(b)은 슬림화 및 적용변압기 크기저감을 위해 두 개의 변압기를 직렬연결하고 2차 측 정류부는 병렬 연결된 Dual-output LLC 공진컨버터가 발표되고 있지만 입력피크전류에 따른 입력커패시터 전류스트레스는 마찬가지로 크다.[1]

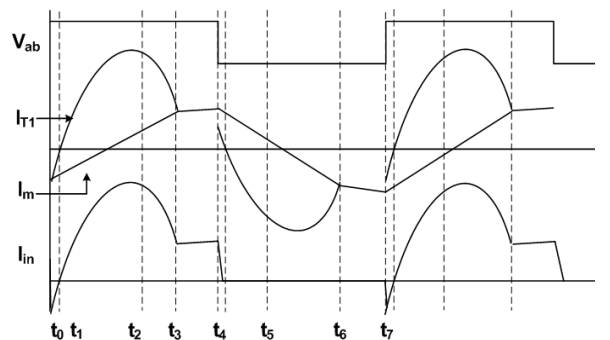
본 논문에서는 최근 Display 가전기기의 슬림화 추세에 맞추어 집적화된 전원장치를 위한 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 고주파 변압기를 두 개로 나누어 집적화에 용이하고, 변압기 간에 독립된 공진 탱크로 구성되어있으며 두 개의 변압기 2차 측 권선을 각각 교차하여 직렬로 연결하였고, 또한 부하변동에 대해서는 상호 커플링 되어 있어서 12V출력단 전압 및 24V 출력단 전압을 큰 차이 없이 용이하게 제어 할 수 있는 250W급 시제품을 제작하여 실험한 결과에 대하여 서술하였다.



(a) 기존 LLC 공진 컨버터 주회로도



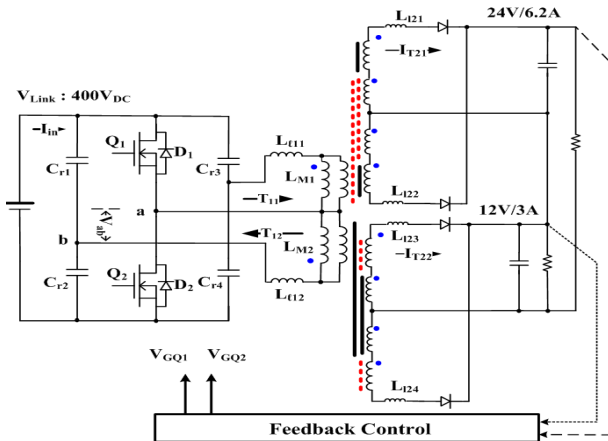
(b) Dual-output LLC 공진 컨버터 주회로도



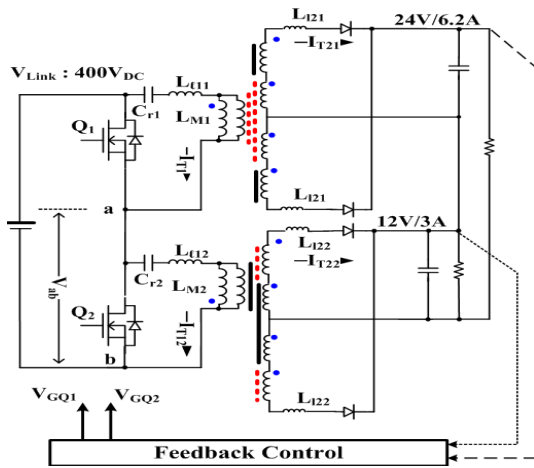
(c) LLC공진 컨버터 각부 전압 전류 파형

그림 1. LLC 공진 컨버터 주회로도 및 각 부 파형

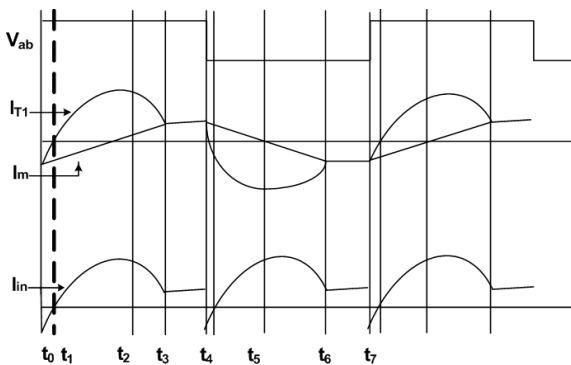
2. 제안된 LLC 공진 컨버터



(a) 제안회로 1



(b) 제안회로 2



(c) 제안된 회로의 각부 파형

그림 2. 제안된 독립된 공진탱크를 갖는 LLC 컨버터와 각부 파형

기존 LLC 공진 컨버터의 문제점을 보완하기 위하여 그림 2(a)와 (b) 같은 독립된 공진 탱크를 갖는 LLC 공진 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 슬림화를 위해 변압기를 두개로 나누었다. 그리고 각각의 독립된 공진탱크회로를 구성함으로써 기존 LLC 공진 컨버터에서 반주기 동안에 입력전류(I_{in})가 전달되는 것과는 달리 그림 2(c)과 같이 모든 주기 동안에 입력에서 전류가 흐르게 되므로 입력 최대전류(I_{in})가 1/2로 감소

된다. 이에 따라 입력 전류리플이 반으로 줄게 되어 입력 커패시터 용량을 저감 시킬 수 있다. 또한 1차측 공진 Tank회로가 병렬 연결된 회로구성에 따라 적은 공진 전류가 흐르므로 전류 스트레스가 반으로 줄일 수 있고, 이에 따라 변압기권선에서 발생하는 발열을 최소화 할 수 있어 집적화에도 용이하다.

본 논문에서 적용된 LLC 공진 컨버터의 다 출력 변압기 구성 원리는 그림 2(a), (b)의 회로로 설명된다. 각각의 변압기를 변압기 1과 변압기 2로 나누고, 변압기 1의 2차 측을 점선으로 변압기 2의 2차 측을 실선으로 표시하였다. 두 개의 변압기의 1차 측 권선을 병렬로 결선하고 2차 측 권선을 상호 직렬로 결선함에 있어 변압기 2의 2차 측을 표시한 바와 같이 서로 교차하여 연결하였기 때문에 전류 불평형 문제를 저감 할 수 있다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 250W급 LLC 공진 컨버터를 제작하여 입력 전압 300V~400V에서 출력 용량 12V/3A, 24V/6.2A에 대해 각각 실험 하였다. 그리고 적용된 그림 3의 LLC 공진 컨버터의 실험 조건과 주요 정격에 대해 표 1에 나타내었고, 표 2에는 각각의 컨버터의 독립된 두개의 변압기의 파라미터를 각각 측정하여 나타내었다.

표 1. LLC 공진 컨버터 주요 정격

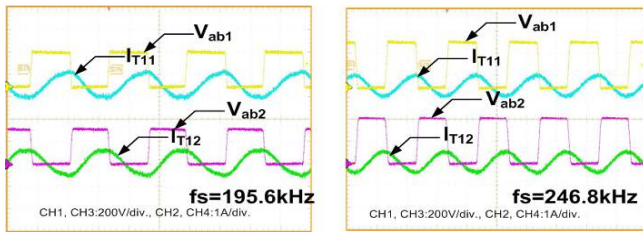
	제안회로1	제안회로2
입력 전압(V_{link})	300 ~ 400V	
출력 전압 및 전류	12V/3A, 24V/6.2A	
출력 용량	250W	
스위칭주파수(fs)	185.3kHz ~ 246.8kHz	177.4kHz ~ 232.5kHz
공진 커패시터(C_r)	1.5nF($C_{r1}, C_{r2}, C_{r3}, C_{r4}$)	1.5nF(C_{r1}, C_{r2})
스위칭 소자	P9NK50ZFP 500V, 7.2A	
출력 다이오드	FCQ20B06 60V, 20A	

표 2 측정된 두개의 컨버터 변압기 파라미터

	첫 번째 컨버터		두 번째 컨버터	
	변압기1	변압기2	변압기1	변압기2
1차측누설인덕턴스	L_{l11} 20.65uH	22.67uH	L_{l12} 25.93uH	24.08uH
2차측누설인덕턴스	L_{l21} 0.107uH	0.105uH	L_{l22} 0.104uH	0.115uH
자화인덕턴스	L_{M1} 463.6uH	441.9uH	L_{M2} 457uH	459.8uH
$A(L_{l1}/L_{M1})$	0.045	0.051	0.057	0.052
$B(N^2 L_{l2}/L_{M2})$	0.369	0.38	0.365	0.402
등가누설인덕턴스	L_{eq1} 145.56uH	144.4uH	L_{eq2} 148.07uH	156.03uH
$N(N_p, N_s)$	40:1	40:1	40:1	40:1

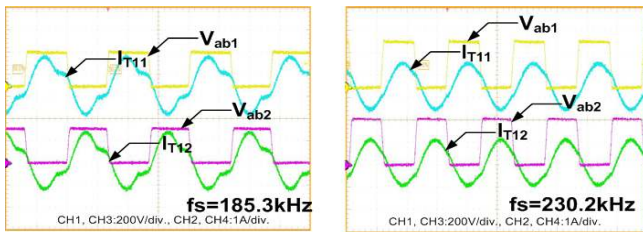
그림 3와 그림 4는 그림 2(a)제안회로 1의 실험파형으로 입력전압이 300~400V에 대하여 12V출력단과 24V출력단이 서로 경부하(12V/0.05A, 24V/0.8A)일 때와 12V/3A, 24V/6.2A일 때의 각각의 1차측 단자 전압과 전류를 측정한 파형이다. 그리고 그림 5와 그림 6은 그림 2(b)제안회로 2의 실험파형으로 입력전압이 300~400V에 대하여 12V출력단과 24V출력단이 서로 경부하(12V/0.05A, 24V/0.8A)일 때와 12V/3A, 24V/6.2A일 때의 각각의 1차측 단자 전압과 전류를 측정한 파형이다. 실험파형을 통해서 각각의 변압기 사이에 전류 불평형 문제가 없는 것을 확인할 수 있으며, 부하변화에 따라서 단자 전류는 항상 지

상전류가 흐르기 때문에 스위칭 소자는 항상 ZVS (Zero Voltage Switching) 동작을 하는 것을 확인할 수 있었다.



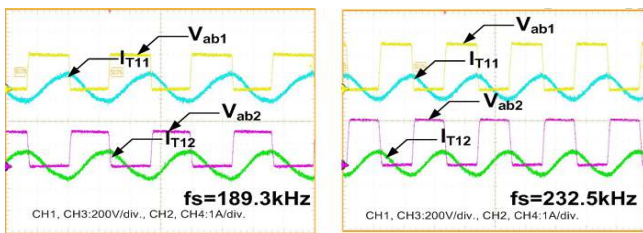
(a) $V_{in}=300V$ 일 때 (b) $V_{in}=400V$ 일 때

그림 3. 제안회로1의 12V/0.05A, 24V/0.8A일 때 입력전압(300V ~ 400V) 변화에 대한 1차측 단자전압/전류 측정파형(200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)



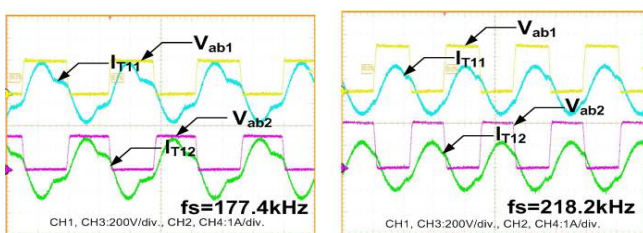
(a) $V_{in}=300V$ 일 때 (b) $V_{in}=400V$ 일 때

그림 4. 제안회로1의 12V/3A, 24V/6.2A 일 때 입력전압(300V ~ 400V) 변화에 대한 1차측 단자전압/전류 측정파형(200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)



(a) $V_{in}=300V$ 일 때 (b) $V_{in}=400V$ 일 때

그림 5. 제안회로2의 12V/0.05A, 24V/0.8A일 때 입력전압(300V ~ 400V) 변화에 대한 1차 측 단자전압/전류 측정파형(200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)



(a) $V_{in}=300V$ 일 때 (b) $V_{in}=400V$ 일 때

그림 6. 제안회로2의 112V/3A, 24V/6.2A일 때 입력전압(300V ~ 400V) 변화에 대한 1차측 단자전압/전류 측정파형(200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)

그림 7과 그림 8은 입력전압 300V와 400V 입력전압 조건에서 두 출력(12V, 24V) 부하를 Dual-feedback 제어에 의해 부하 조건별 출력전압 변동 폭을 측정한 그래프이다. 그리고 주어진 입력전압 조건(300V/400V)에서 부하 조건은 표 3에 나타내었다. 측정결과 제안된 회로1과 제안회로 2가 모든 부하변화에서 일정범위의 출력전압 변동이 나타남을 확인하였다 [제안회로 1 (12V:6.47%, 24V:3.15%), 제안회로 2 (12V:5.63%, 24V:3.77%)]. 회로배선과 최적제어회로 및 변압기 설계를 통해서 각 출력전압 변동범위 오차를 최소화 할 수 있다.

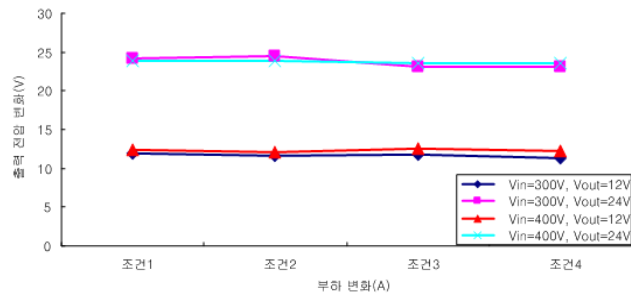


그림 7. 제안회로 1의 부하 조건에 따른 출력 전압 변동

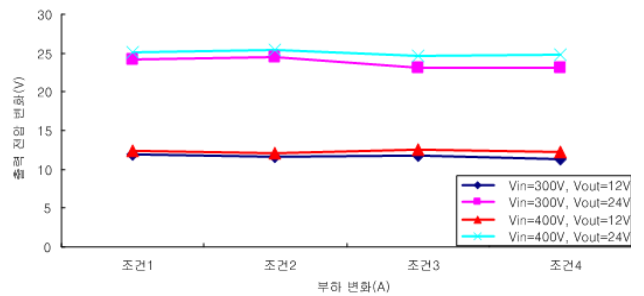


그림 8. 제안회로 2의 부하 조건에 따른 출력 전압 변동

표 3 부하조건

부하 조건	12V출력단	24V출력단
조건 1	0.05A	0.8A
조건 2	3A	0.8A
조건 3	0.05A	6.2A
조건 4	3A	6.2A

5. 결론

본 논문에서는 전원장치의 슬림을 위한 새로운 LLC 공진 컨버터를 제안하였고, 제안된 LLC 공진 컨버터의 이점에 대해 서술하였다. 또한 250W의 시제품을 제작하여 실험한 결과 입력전압 300 ~ 400V에서 부하 범위에 대해서 12V 출력을 제어하면서 24V 출력단의 출력전압을 일정하게 제어하였고, 입력전류의 리플(ripple)이 줄어들음을 확인하였고 실험 파형을 측정하여 두 변압기간의 전류 불평형 문제가 없다는 것을 확인하였다. 따라서 제안된 컨버터가 슬림을 위한 전원장치에 적용이 가능하다는 것을 실험을 통해 나타내었다.

이 논문은 LG 이노텍(주)와 전주대 산학협력 연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] Lin, B.-R., Chen, J.-J., Yang, C.-L, "Analysis and Implementation of Dual-Output LLC Resonant Converter", IEEE ICIT2008,
 [2] 윤종구, 조상호, 한상규, 노정욱, 홍성수, 김종해, 이효범, "독립된 공진탱크를 갖는 시비율 및 주파수 가변형 이중출력 LLC 공진형 DC/DC 컨버터", 전력전자학술대회 논문집, pp. 484 -486, 2008.6.