

Two Phase LLC 공진 컨버터

김주훈, 강성인, 정봉근, 김은수, 허동영*, 정용채**
 전주대학교, LG이노텍(주)*, 남서울대학교**

Two Phase Interleaved LLC Resonant Converter

JH Kim, S Kang, BG Chung, ES Kim, DY Huh*, Yung-Chae Jung**
 JeonJu Univ, LG Innotek*, NamSeoul Univ**

ABSTRACT

최근 가전기기의 고집적화와 고효율을 위한 연구가 이슈화 되고 있다. 이러한 고효율과 고집적화의 효과를 얻기 위한 방법으로 Multiphase LLC 공진 컨버터가 연구되고 있으며 본 논문에서는 제어회로를 간단화 하면서 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터를 제안하였고 총 250W급 변압기를 적용하여 실험한 결과에 대하여 서술 하였다.

력 단은 직렬 연결함으로써 각 컨버터의 이득특성 차이에 따른 전류 불 평형문제를 최소화 하였고, 제어회로에 있어서는 기존에 사용되던 공진컨버터 제어IC(L6599)의 기능과 간단한 제어 회로를 구성하여 입-출력 리플전류를 감소시킬 수 있는 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터의 250W 시제품을 제작하여 적용 실험하였다.

1. 서 론

최근 사용되는 모든 가전기기의 전원장치들은 고효율과 집적화를 요구하고 있으며, 이러한 전원장치의 고효율과 고집적화를 위해 손실이 적은 컨버터에 대한 연구와 컨버터의 사이즈(Size)를 줄이기 위한 연구가 이슈화 되고 있다. 특히 스위칭 손실을 줄이기 위해, 모든 부하 범위 내에서 ZVS(Zero Voltage Switching) 동작하여 높은 효율을 가지는 LLC 공진 컨버터가 널리 사용되고 있다. 또한 회로의 집적화를 통해 기기의 사이즈를 줄이기 위한 연구가 이루어지고 있다.[1, 2]

하지만 전체 회로의 전력밀도를 높이기 위해서는 커패시터의 사이즈 감소가 가장 중요한 요소로 작용하여 커패시터의 사이즈감소를 위해서는 입력 리플전류와 출력 리플전류의 감소가 불가피하다. 하지만 단일 LLC 공진 컨버터에서는 입출력 리플전류를 저감시키는 데엔 한계를 가지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 LLC 공진컨버터를 여러 대 병렬 연결된 Multiphase LLC 공진 컨버터를 적용함으로써 입-출력 리플전류 저감에 따른 커패시터의 발생손실 저감과 커패시터의 사이즈를 저감시킬 수 있는 Multiphase LLC 공진컨버터에 대해 연구되고 있다.[3, 4] 하지만 Multiphase LLC Resonant Converter의 2차 측을 병렬로 연결하여 출력 전압제어 시 각각의 공진회로를 구성하는 적용소자의 파라미터 값 차이에 따른 입출력전압 이득차이에 따라 각 컨버터에는 전류 불 평형이 발생하게 되고, 이득이 큰 한 쪽 컨버터에만 전력이 전달되는 문제점을 갖는다. 뿐만 아니라 이러한 컨버터를 구현하기 위해서는 제어회로가 복잡해지거나 별도의 제어회로를 추가해야하는 단점이 있고, 복잡한 제어회로 구성 시 손실이 발생하는 문제점이 발생된다.[4]

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 개선하기 위해 주회로 구성에 있어서는 입력 단은 병렬 연결이지만 2차 측 정류된 출

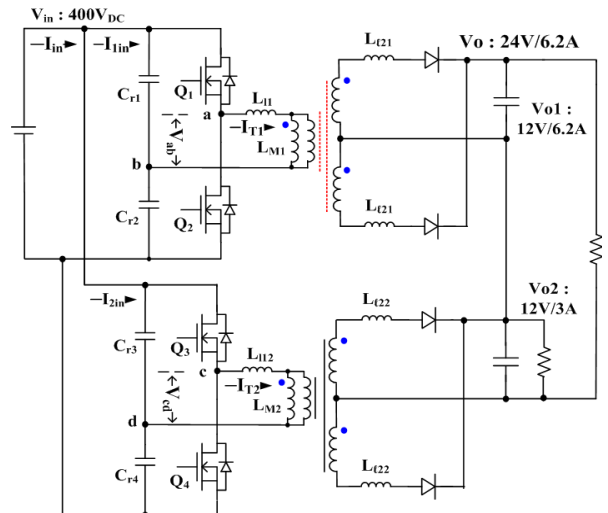


그림 1. 제안된 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터

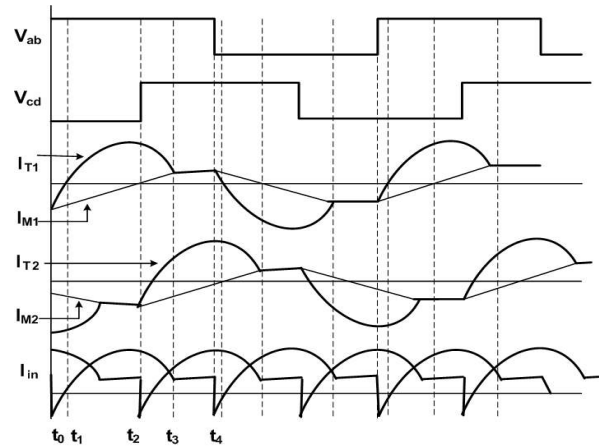


그림 2. 제안된 컨버터 전압 전류 파형

2. 제안된 Two Phase LLC 공진 컨버터

하나의 공진 Tank회로로 구성된 기존 LLC 공진컨버터 주 회로 방식은 입력전류가 반주기 동안에만 전달되어 입력 Peak 전류에 의한 리플 증가에 따른 많은 손실이 발생하게 된다. 이 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 두개의 LLC 공진 컨버터가 병렬 구조로 구성된 그림 1의 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터 주회로는 1차 측은 병렬로 연결되고 2차 측 출력 단 정류부는 직렬 연결된 구조로 주회로가 구성되어 있다. 그림 1과 그림 2에서처럼 Two Phase LLC 공진 컨버터의 스위칭은 90° Phase shift된 Interleave 방식으로 구동되며 이에 따라 입력전류파형은 모든 주기 동안에 전류가 흐르므로 Peak 전류는 1/4로 감소하게 된다. 이에 따라 입출력 리플을 저감시킬 수 있어 입출력 커패시터의 용량을 저감할 수 있다.

또한 기존의 복잡한 제어회로의 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 ST사의 L6599 IC를 적용하여 하나의 IC로 90° Phase shift된 스위칭 제어회로를 구현하였다. 여기에서 그림 3의 제어 IC의 동작특성은 다음과 같다. 제어회로 IC의 CF단자는 매 주기마다 0.9~3.9V로 변하는 삼각파형을 출력하고, 삼각파형의 전압이 0.9V와 3.9V점에서 H.B(Half Bridge) 공진컨버터를 구동하기 위한 Gate Signal인 HVG와 LVG 파형(Q₁, Q₂)이 생성된다. 이 파형과 90° Phase Shift 시키기 위하여 삼각 파형의 중간전압(2.4V)을 Reference로 선택하고, 이 전압과 CF단자전압을 비교기(Comparator)를 통하여 90° Phase Shift된 Gate signal(Q₃, Q₄) 이 생성된다. 따라서 적용된 제어 IC 하나로 90° Phase Shift 된 컨버터의 제어회로를 간단히 구현할 수 있다.

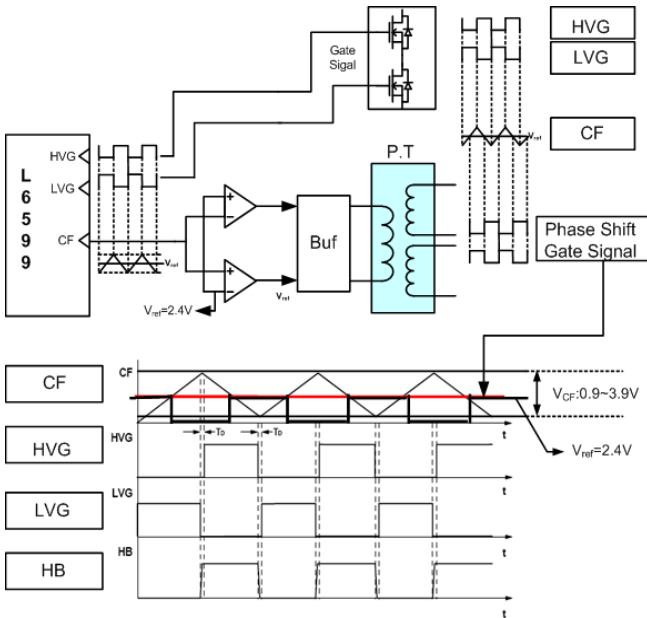


그림 3. 90° Interleaved Switching 구동을 위한 제어회로 구성도

3. 실험 결과

본 논문에서의 주회로 동작특성을 나타내기 위하여 LCD TV PSU 전원장치를 위한 250W급 시제품을 제작하여 실험 결과를 서술하였다. 그리고 본 논문에 적용된 그림 3의 LLC

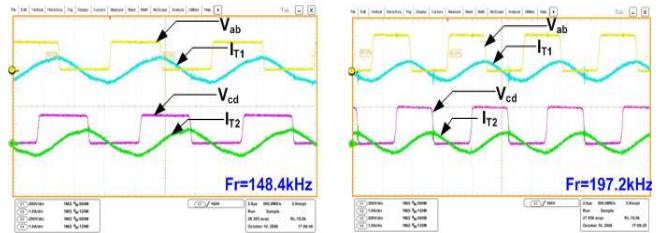
공진 컨버터의 실험 조건과 소자정격에 대해 표 1에 나타내었고, 표 2에는 각각의 컨버터의 독립된 두개의 변압기의 파라미터를 각각 측정하여 나타내었다.

표 1 LLC 공진 컨버터 주요 정격

입력전압 (V_{in})	300 ~ 400V
출력전압 ($V_{o1}, V_{o2}/V_o$)	12V/24V
출력 전류	3A/6.2A
출력 용량	250W
스위칭주파수(fs)	141 ~ 198kHz
공진커패시터	2.7nF ($C_{r1}, C_{r2}, C_{r3}, C_{r4}$)
스위칭 소자	P9NK50ZFP 500V, 7.2A
출력 다이오드	FCQ20B06 60V, 20A

표 2 측정된 두개의 컨버터 파라미터

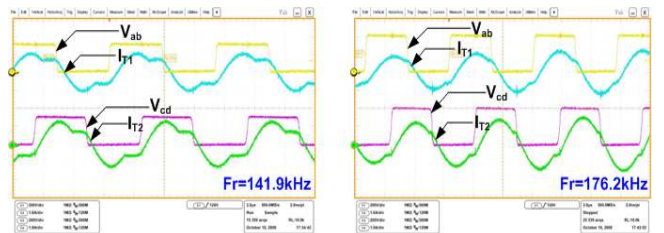
	첫 번째 변압기	두 번째 변압기
1차측 누설인덕턴스	L_{l1} : 23.45uH	L_{l12} : 23.54uH
2차측 누설인덕턴스	L_{l21} : 0.207uH	L_{l22} : 0.24uH
자화 인덕턴스	L_{M1} : 472.8uH	L_{M2} : 464uH
$A(L_{l1}/L_m)$	0.05	-0.051
$B(N^2L_{l2}/L_m)$	0.175	0.207
등가누설인덕턴스	L_{eq1} : 94.01uH	L_{eq2} : 103.13uH
$N(N_p, N_s)$	40:2	40:2



(a) 300V

(b) 400V

그림 4. 12V/0.05A(경부하), 24V/0.8A(경부하)일 때 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터의 단자 전압/단자 전류실험 파형 (200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)



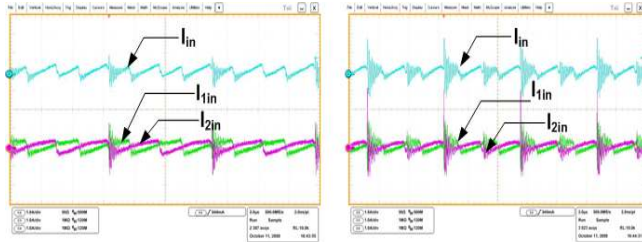
(a) 300V

(b) 400V

그림 5. 12V/3A, 24V/6.2A일 때 Two Phase Interleaved LLC 공진컨버터의 단자 전압/단자 전류실험파형 (200V/Div, 1A/Div, 2us/Div)

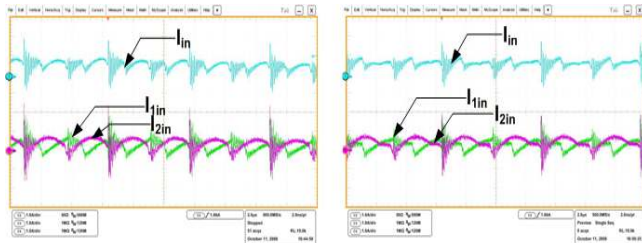
그림 4와 그림 5에서는 24V(V_o) 출력단 정전압 제어시 입력 전압변화 (300V_{in}, 400V_{in})와 부하변동에 따른 각각의 독립된 LLC 공진 컨버터의 단자전압/전류를 측정된 파형이다. 측정 결과 두개의 컨버터가 90° Interleaved 스위칭 동작하는 것을 볼 수 있고, 각각 공진Tank회로에 흐르는 공진전류 불 평형이 나타나지 않음을 확인할 수 있다. 또한 그림 6과 그림 7에서는 입력 측 주 회로구성이 병렬연결 구조된 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터 동작특성에 따라 개별 공진컨버

터의 입력전류(I_{1in} , I_{2in})가 불 평형이 발생하지 않고 90°위상차 제어되고 있음을 알 수 있고, 전체 컨버터의 입력전류(I_{in})는 개별 입력전류(I_{1in} , I_{2in}) 파형에 비해 2배의 주파수가 되고 입력리플이 저감 되는 것을 확인 할 수 있다.



(a) 300V (b) 400V

그림 6. 12V/0.05A(경부하), 24V/0.8A(경부하)일 때 입력전류(I_{in})와 각 컨버터에 흐르는 입력전류(I_{1in} , I_{2in}) 실험파형 (1A/Div, 2us/Div)



(a) 300V (b) 400V

그림 7. 12V/3A, 24V/6.2A일 때 총 입력전류 (I_{in})와 각 컨버터에 흐르는 입력전류(I_{1in} , I_{2in}) 실험파형 (1A/Div, 2us/Div)

그림 8은 입력전압을 각각 300V와 400V에서 24V(V_o) 출력단 정전압제어 시 부하 조건별 각각의 출력전압(V_o , V_{o2}) 변동 폭을 측정 한 그래프이다. 그리고 출력전압(V_o , V_{o2}) 측정 시 부하 조건은 표 4에 나타내었다. 측정 결과 입력전압 변화시(300V/400V) 모든 부하변화에 대해 출력전압 변동 폭은 최대 12V출력(V_{o2})에서는 4.13%, 24V출력(V_o)에서는 1.89% 오차범위로, 적은 오차범위 내에서 안정되게 동작됨을 확인하였다.

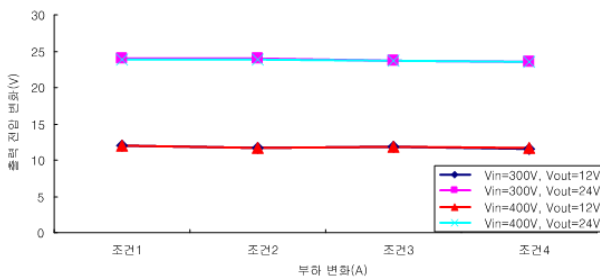


그림 8. 입력전압(V_{in} =300V, 400V)에서의 부하 변화에 따른 출력전압(V_o , V_{o2}) 변화 범위 측정

표 2 부하조건

부하변동조건	12V출력단	24V출력단
조건 1	0.05A(경부하)	0.8A(경부하)
조건 2	3A	0.8A
조건 3	0.05A(경부하)	6.2A
조건 4	3A	6.2A

4. 결론

본 논문에서는 전원장치의 리플을 저감과 고효율, 고집적화를 위한 다 출력 Two Phase Interleaved LLC 공진 컨버터를 제안하였고, 250W의 시제품을 제작 실험한 결과 입력전압 300 ~ 400V변화와 모든 부하 범위조건에서 각각 컨버터의 공진 전류 불 평형 없이 안정되게 90° Interleaved 스위칭동작에 의해 입력 리플전류가 감소하여 집적화를 위한 전원장치에 적용 가능성을 실험을 통해 나타내었다.

이 논문은 LG이노텍(주)과 전주대 산학협력 연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Jiangtao Feng, Yuequan Hu, Wei Chen and Chau-chun Wen, "ZVS Analysis of Asymmetrical Half-Bridge Converter," IEEE PESC '01, Vol.1, pp.243-247, 2001. 6.
- [2] Lin, B.-R., Chen, J.-J. and Yang, C.-L. "Analysis and Implementation of Dual-Output LLC Resonant Converter" IEEE International Conference, Industrial Technology, 2008. pp. 1-6
- [3] T Jin, K Smedley, "Multiphase LLC Series Resonant Converter for Microprocessor Voltage Regulation," 2006. 41st IAS
- [4] Kang-Hyun Yi, Gun-Woo Moon, Tae-Won Heo, "Novel two phase interleaved LLC series resonant converter using a phase of the resonant capacitor," 전력전자학술대회 논문집, 2008, 6, pp. 526 ~ 528