

통합된 2-in-1 변압기 적용 150W급 LED 조명전원

강철하*, 노영재*, 최용욱*, 김은수†, 원종섭*, 김동희**, 이영수**
 전주대학교*, LG이노텍(주)**

150W LED Power Supply Using An Integrated 2-in-1 Transformer

C.H Kang*, Y.J Noh*, Y.U Choi*, E.S Kim†, J.S Won**, D.H Kim**, Y.S Lee**
 JeonJu University*, LG Innotek**

1. 서론

조명 분야에서는 기존 광원에 비해 에너지 절감효과가 뛰어나며 친환경적이고 수명이 거의 반영구적인 LED가 미래의 차세대 광원으로 국제적으로 주목받고 있으며, 각국에서는 LED조명시장을 선점하기 위해 저가격화와 고 효율화를 목표로 많은 연구가 진행되고 있다.[1][2] 이러한 국제적인 추세에 맞추어 높은 전력밀도 및 부품단가를 저감시키기 위해 역률 보정을 위한 PFC 컨버터의 인덕터와 LLC 공진컨버터의 변압기를 그림 1에서와 같이 하나의 통합된 변압기로 구현하였으며, PFC 인덕터와 LLC 공진변압기의 자속이 서로 커플링 되어 상호간섭에 의한 발진 문제를 최소화하기 위해 자기모델링(Magnetic Modelling)을 해석을 통해 결합계수를 추출하여 상호자속커플링 계수를 최소화하는 연구를 진행하였다.[3] 본 논문에서는 그림 2에서와 같이 PFC컨버터와 LLC공진컨버터의 동작주파수 영역을 고려하여 상호자속간섭영향을 최소화하기 위한 LLC 공진변압기 및 PFC 인덕터 설계 방안을 제안하고 Outdoor용 150W급 LLP(LED Lighting Power)보드에 적용 실험하였다.

2. 제안된 통합 2-in-1 변압기

그림 1의 제안된 2 in 1 통합변압기는 Outdoor용 150W LED Power 보드에 적용하기 위한 코어 형상이며 E자형 코어 2개와 I자형 코어 1개로 구성되어 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 하나로 통합한 것이 특징이다.

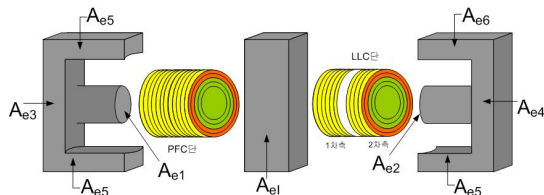


그림 1. 제안된 통합 2-in-1 변압기

또한 제안된 2 in 1 통합변압기 중간자로의 I자형 코어는 PFC 인덕터와 LLC공진변압기에서 생성된 자속이 통과하는 부분으로써 면적을 외각자로의 2배로 하여 자속밀도를 낮추어 코어손실 증가를 방지하고자 하였다. PFC단은 그림 1에 나타낸 바와 같이 PFC 단의 코어 중간자로면적(A_{e1})을 둘러싸여 권선되며 LLC단은 변압기단의 코어 중간자로(A_{e2})에 권선 된다. 그림 3(b)와 같이 PFC단에서 형성된 자속이 LLC 단에서 형성된 자속과 더해지는 중첩된 방향으로 흐를 경우 PFC단의 자속이 LLC단에 영향을 끼치게 된다. 특히 그림 4(a)와 그림 4(b)와 같이 PFC인덕터 동작주파수와

LLC공진 주파수가 같아지거나 정수배의 주파수가 될 경우에 LLC 공진전류의 한쪽 방향으로 DC offset되어 LLC공진전류(I_{T2})가 발진을 하는 문제가 발생된다.

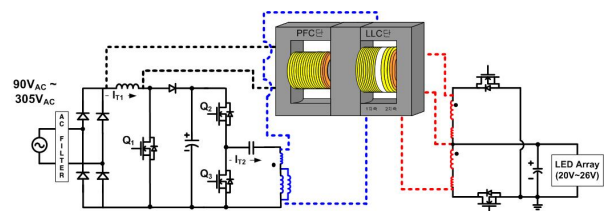
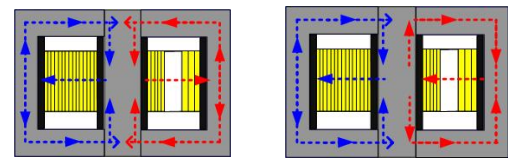
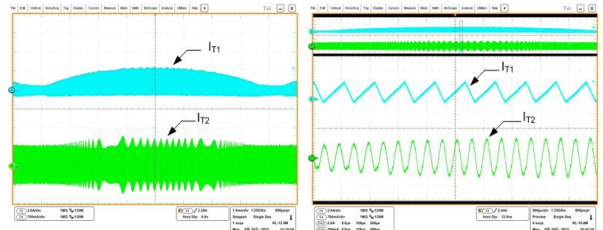


그림 2. 제안된 통합 2-in-1 변압기 적용 LLP PSU 주회로도



(a) 자속이 상쇄되는 방향 (b) 자속이 중첩되는 방향
 그림 3. 교번 동작에 의한 자속방향



(a) 공진전류발진파형(1ms/div.) (b) 발진 부분 확대파형(800us/div.)
 그림 4. 입력90V_{AC} 출력60W 일때 공진전류(I_R)와 PFC인덕터전류(I_{PFC})

이러한 문제점들은 출력전압 및 출력전류리플로 이어지고 LED조명시스템의 경우에는 전원의 특성 변화에 따라 광 출력 특성이 변동하게 되므로 본 논문은 이러한 문제점들을 해결하기 위해 LLC 공진컨버터 및 PFC 컨버터의 동작주파수범위를 고려하여 설계방안을 제안하였다.

3. 제안된 통합변압기 설계

그림 5의 경우는 현재 적용된 2 in 1 통합변압기의 CRM (Critical Conduction Mode) PFC 컨버터의 입력실효전압(V_{AC}) 변화에 따른 스위칭동작 주파수 변화곡선이다. PFC의 경우에는 입력 전압과 부하에 따라 주파수가 가변되는 데 만약 PFC AC/DC 컨버터 동작주파수와 LLC공진컨버터 스위칭 동작주파수가 그림4와 같이 동일해지거나 정수배가 된다면 LLC공진전류가 발진하게

되어 2 in 1 통합변압기 설계시 PFC 동작주파수와 LLC 공진 주파수는 무시할 수 없는 요인이 된다. 그러나 경부하시 또는 높은 입력전압(180V_{AC} 이상) 상태에서는 인덕터 전류가 작아지기 때문에 기자력(Magnetic Force)이 작아진다. 따라서 PFC의 동작주파수가 LLC 공진주파수와 동일해지거나 정수배로 동작하더라도 발진하는 현상을 찾기가 어렵다. 이러한 이유로 경부하시 스위칭주파수 고려는 무시해도 좋다. 그러므로 낮은 입력전압(90V_{AC}~200V_{AC})과 PFC의 중부하 조건에서의 주파수 범위를 고려하여 그림6과 같이 LLC 공진컨버터를 설계 하였다. 부하가 커질수록 PFC컨버터와 LLC공진컨버터의 동작주파수는 낮아지지만 LLC공진컨버터의 주파수의 동작범위를 높게 설계하였기 때문에 동일주파수나 정수배주파수에 의한 발진영향은 일어나지 않는다.

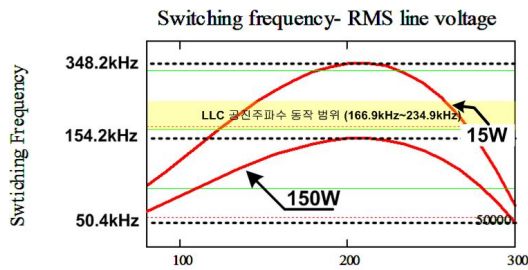


그림 5. 입력전압(V_{AC})과 부하에 따른 CRM PFC컨버터 스위칭주파수

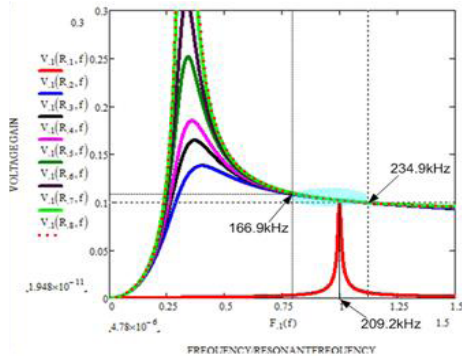


그림 6. LLC 공진컨버터의 이득특성과 실제 동작범위

3. 실험결과

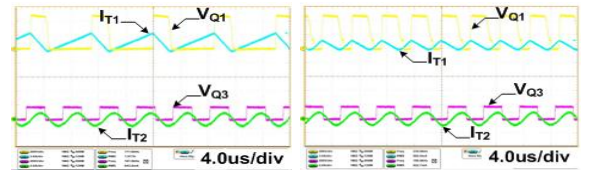
본 논문에서는 150W 정격출력용량을 갖는 Out Door용 LLP(LED Lighting Power)보드에 PFC인덕터와 LLC공진컨버터를 하나로 통합한 변압기를 제작하여 입력전압 90V_{AC}~305V_{AC}에서 최대 정격출력용량 23V/6A를 Dimming 제어를 통해 10%~100%(15W~150W)부하까지 실험하였다.

표 1 은 측정된 2 in 1 통합변압기 파라미터이다.

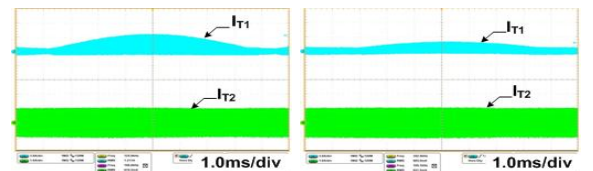
표. 1 측정된 통합변압기 파라미터

LLC 공진 컨버터	1차측자기인덕턴스	L_p	452.7uH
	2차측자기인덕턴스	L_s	4.2uH
	등가누설인덕턴스	L_{eq}	48.2uH
	$N(N_1/N_2)$		10(33/3)
PFC	인덕턴스	L	205.6uH
	턴수	N	42T
적용된 공극 방법		Center Gap	

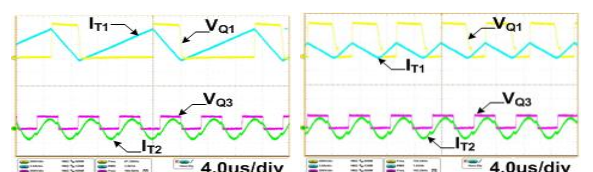
그림 7은 입력전압 90V_{AC}, 200V_{AC} 출력용량 75W,150W 조건에서 제안된 통합변압기를 사용하여 실험한 파형이다. 실험결과 제안된 통합 변압기 사용시 PFC단과 LLC단과의 상호 간섭 없는 안정된 동작특성을 볼 수 있으며 그림 8은 2 in 1 통합변압기 적용 150W LLP보드를 PCB제작하여 기존 제품과 비교한 사진이다.



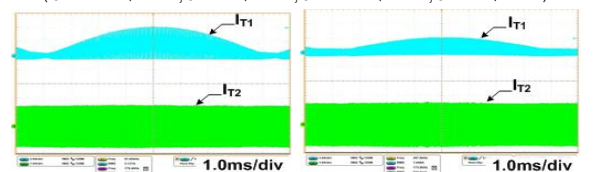
(b) 입력 200V_{AC}, 출력용량 75W (Ch1:200V/div.,Ch2:3A/div.,Ch3:200V/div.,Ch4:2A/div.)



(d) 입력 200V_{AC}, 출력용량 75W (Ch2:3A/div.,Ch4:1A/div.)



(f) 입력 200V_{AC}, 출력용량 150W (Ch1:200V/div.,Ch2:3A/div.,Ch3:200V/div.,Ch4:2A/div.)



(h) 입력 200V_{AC}, 출력용량 150W (Ch2:3A/div.,Ch4:1A/div.)

그림 7. LED부하 및 2-in-1변압기 적용 주요파형



그림 8. PSU 비교 사진

4. 결론

본 논문에서는 PFC인덕터와 LLC공진컨버터를 통합하였을 때 발생하는 상호간섭을 최소화하기 위한 설계방법을 제안하였고 150W급 Outdoor용 LLP보드에 적용하여 Dimming 제어를 통한 부하 변화에도 상호 영향 없이 안정된 동작특성을 보여주었으며, 제품으로 적용 가능성을 나타냈다. 또한 기존의 PFC단과 LLC단에 각각 적용되어 있던 인덕터와 변압기를 하나의 변압기 형태로 통합하여 부품수감소 및 단가저감을 실현하였다.

이 논문은 LG이노텍(주) 산학협력연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] 문태원, 장우진, "LED 국내·외 표준화 동향과 보급정책에 대한 연구" 한국조명·전기설비학회, 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, 2011.11, 11 12(2 pages)
- [2] 이장원, 임지원, 이경한, "LED 제품의 시장동향에 관한 연구" 한국조명·전기설비학회, 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, 2010.5, 59 62 (4 pages)
- [3] 노영재, 권주일, 김은수, 원종섭, 김동희, 이영수, "통합된 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기 적용 PSU" 전력전자학회 2013년도 전력전자학술대회 논문집, 2013.7, 7 8 (2 pages)