

커플인덕터를 적용한 Interleaved PFC 컨버터

윤광호, 품소피악, 김은수[†], 박준호*, 강성인*
 전주대학교, LG이노텍(주)*

Interleaved PFC Converter using A Coupled Inductor

K.H Yoon, S. Phum, E.S Kim[†], J.H Park*, S.I Kang*
 Jeon-Ju University, LG Innotek*

1. 서론

최근 기술의 발전으로 가전제품들 간의 기능적인 면에서는 평균화가 되고 있다. 이러한 가전제품의 전원장치에는 상용전원에서 고조파저감 및 입력역률개선을 요구함에 따라 입력역률 개선 회로인 PFC컨버터가 널리 이용되고 있고, 전류연속모드(CCM), 전류불연속모드(DCM)시 발생될 수 있는 단점을 보완하기 위해 인덕터의 보조권선을 이용하여 전류경계점모드(CRM)에서 동작시켜 주 스위칭소자의 턴-온 손실과 승압다이오드의 역회복특성에 따른 손실을 줄여 효율 및 역률을 개선시키는 장점을 가지고 있다. 또한 PFC컨버터의 입력전류(I_{in}) 리플저감 및 효율개선을 위해 두 개의 개별 인덕터를 사용한 Interleaved PFC 컨버터가 적용되고 있다. 이러한 개별 인덕터를 적용하여 시스템을 구성할 경우 시스템의 가격상승과 집적화 하는데 어려움이 있다. 최근 인덕터의 집적화와 비용을 저감하기 위해 Interleaved PFC컨버터에 커플인덕터를 적용하여 사용하고 있지만^[1-3], 커플인덕터를 제작하기 위해 코어 중간자로나 코어 측면자리에 공극이 필요하며 이러한 공극을 만들기 위해 커팅작업이 반드시 필요함에 따라 가공을 위한 제작단가가 증가하는 등 인덕터 제작비용과 공극관리에 어려움을 가지고 있다. 본 논문에서는 두 개의 인덕터코어 형상과 권선방법을 통해 하나로 통합된 커플인덕터를 구성하였고 기존 제작방식처럼 공극을 적용하기 위해 커팅 없이 겹치나 보빈 등으로 단순하게 공극을 뚫어 따라 커플인덕터를 제작할 수 있으며, 315W Interleaved PFC컨버터에 적용하여 실험 및 분석하였다.

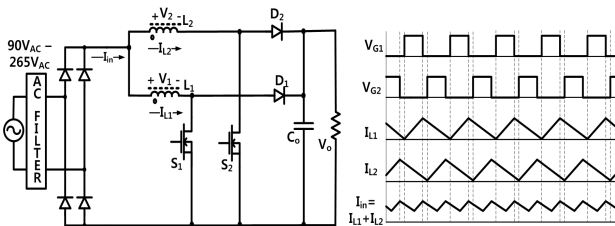


그림 1. Interleaved PFC 컨버터 주회로도 및 각부 파형

2. 본론

2.1 Interleaved PFC회로에 적용되는 커플인덕터

그림 1에서 Interleaved PFC 컨버터는 두 개의 스위칭소자를 같은 Duty로 일정한 180도 위상차를 가지고 교호방식으로 동작되고, 병렬로 구성된 승압컨버터로써 낮은 스위칭주파수에서 동작 시 입력전류의 리플(I_{in}) 및 인덕터에 흐르는 전류스트레스가 줄어들어 인덕터의 사이즈를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 출력전압리플을 저감하여 입출력 커패시터의 용량을 줄일 수 있다. 그림 2에서 나타낸 것처럼 커플 인덕터를 구성

하기 위해 U코아 또는 ㄷ자모양의 Core 1과 I 코아인 Core 2 사이에 권선인 Coil 1과 Coil 2를 직렬 연결하여 인덕터 1(L1)을 구성하였고, U코아 또는 ㄷ자모양의 Core 3과 I 코아인 Core 2 사이에 권선 Coil 3, Coil 4를 직렬 연결하여 인덕터 2(L2)을 구성하였다. 이러한 커플인덕터는 공극을 두기 위해 자로를 커팅하기보다는 요구된 겹치나 저 투자율 코아 (분말코아 등)와 같은 다른 재질을 적용함으로써, 커팅가공을 위한 제작단가를 줄일 수 있고, 전원장치의 직접화에 용이한 제안된 커플인덕터를 그림 2에 나타내었다.

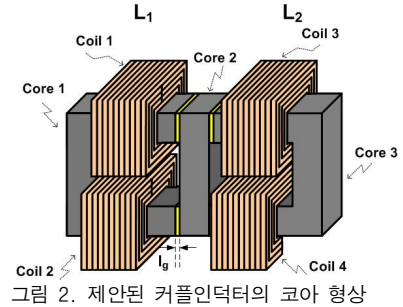


그림 2. 제안된 커플인덕터의 코어 형상

2.2 제안된 커플인덕터 설계

본 논문에서 제안된 커플 인덕터를 설계하기 위해 인덕턴스의 값을 구해야 하는데 교류입력전압(V_{AC})이 인가되므로 인덕터 전류가 상승구간인 최대 온-타임($Turn\ on_{max}$)을 구해야 하는데 입력전압이 가장 낮고($V_{in_{min}}$) 인덕터 전류는 가장 큰 값을 가질 때 조건으로 식 (1)에서 구할 수 있다.

$$Turn\ on_{max} = \frac{2 \cdot L \cdot P_{out}}{\eta \cdot (V_{in_{min}})^2} \quad (1)$$

인덕터 전류가 하강구간인 오프타임($Turn\ off_{max}$)은 인덕터의 스위치 on-off시 전압과 시간의 곱은 같다는 조건을 이용하여 식 (2)에 나타내었다.

$$Turn\ off_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{in_{min}} \cdot Turn\ on_{max}}{V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_{min}}} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 이용하여 최대부하(P_{out})에서 최소 입력전압 및 최대듀티와 인덕터 전류가 경계점에서 동작하기 위해 요구된 인덕턴스(L)은 식 (3)에 나타내었다.

$$L = \frac{\eta \cdot V_{in_{min}}^2 \cdot (V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_{min}})}{2 \cdot f \cdot P_{out} \cdot V_o} \quad (3)$$

위 식을 토대로 설계한 인덕터의 턴-수는 75턴으로 제작하

였고, 측정된 인덕턴스는 각각 220 μ H로 측정되었다. 제작된 커플 인덕터의 사진을 그림 4에 표시하였고, 또한 다른 설계사양은 표 1에 나타내었다.

표 1. 인덕터 설계 사양

	인덕터 L_1		인덕터 L_2	
인덕턴스(μ H)	L_1	220 μ H	L_2	220 μ H
턴수	N_1	75턴	N_2	75턴
적용된 코아	UU2537			
적용된 코아용량(AP)	0.5789 cm^4			
ZCD 권선 턴수	4턴			
권선의 면적	0.1*40 심 (0.314 mm^2)			
인덕터 최대전류(A)	5.46A			

이와 같이 동작하게 되는 커플인덕터 적용 Interleaved PFC컨버터는 입력이 넓은 상용전원(90V $_{AC}$ ~ 265V $_{AC}$)에 일정한 출력전압 (390V $_{DC}$)을 제어하기 위하여 CRM모드 PFC전용 IC (R2A20112)를 적용하였다.

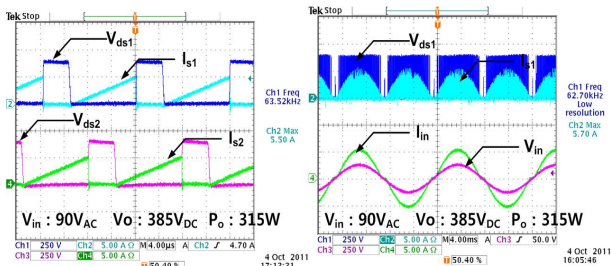
3. 실험결과

본 논문에서는 315W급 정격출력용량을 갖는 제안된 커플 인덕터를 적용한 Interleaved PFC컨버터를 제작하였고, 입력전압 90V $_{AC}$, 220V $_{AC}$ 의 두 가지의 입력조건과 100W~315W의 부하 조건으로 실험하였으며, 제안된 커플인덕터를 적용한 Interleaved PFC컨버터의 실험조건과 주요정격에 대하여 표 2에 나타내었다.

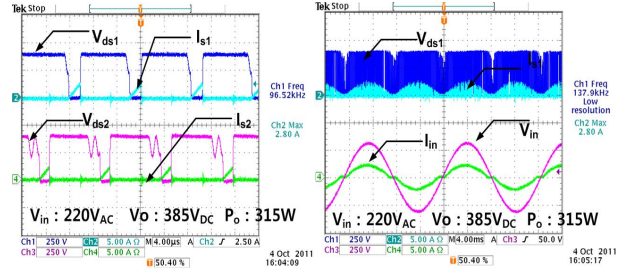
표 2. 제안된 커플인덕터를 적용한 Interleaved PFC컨버터 주요 정격

	제안된 컨버터
입력 전압(V_{in})	90V $_{AC}$ ~220V $_{AC}$
출력전압 및 전류	390V $_{DC}$ / 0.8A
출력 용량(P_o)	315W / 각 인덕터 155W
스위칭주파수(f_s)	197kHz~63kHz
출력 커패시터(C_o)	330 μ F(450V)
주스위칭 소자(S_1, S_2)	W20NK50Z(500V/ 20A)
환류 다이오드(D_1, D_2)	FCQ20B06 (600V/ 20A)
적용된 제어 IC	R2A20112(르네사스 社)

그림 3에서 나타낸 것처럼 실험결과 ZCD(Zero Current Detect) 제어동작에 따라 스위칭 제어함으로써 부하변화에 따라서 스위칭동작범위는 낮은 입력전압 90V $_{AC}$ 에서는 146kHz에서 63kHz의 스위칭 동작범위를 보였고, 역률은 0.994를 나타내었다. 또한 높은 입력전압 220V $_{AC}$ 에서는 197kHz에서 96.52kHz의 스위칭동작범위를 보였고, 역률은 0.972를 보였다. 여기서 주스위칭소자 S_1, S_2 에 흐르는 전류를 I_{s1}, I_{s2} 로 나타내었고, 주스위칭소자 양단전압 V_{ds1}, V_{ds2} 을 나타내었다. 또한 입력전압 V_{in} , 입력전류 I_{in} 으로 나타내었다.



(a) 입력전압 90V $_{AC}$ 일 때의 각부 파형



(b) 입력전압 220V $_{AC}$ 일 때의 각부 파형
그림 3. 입력전원 전압변화에 따른 각부 파형

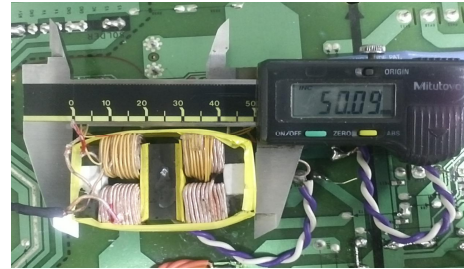


그림 4. 제작된 커플인덕터 시제품 사진

4. 결론

본 논문에서는 기존 별도로 제작된 두 개의 인덕터를 적용한 Interleaved PFC 컨버터의 부피와 단가를 줄이기 위해서 하나로 통합된 커플인덕터를 제안 하였으며, 실제 315W급 인덕터를 제작하였고, 실제 파워 보드에 적용하여 실험하였다. 실험결과 스위칭소자에 흐르는 전류는 별개의 인덕터를 적용한 전류 파형과 동일함을 알 수 있었다.

이 논문은 LG이노텍(주) 연구비지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Jieli Li, Charles R. Sullivan, Aaron Schultz "Coupled-Inductor Design Optimization for Fast-Response" APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE, APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE
- [2] X Huang, X Wang, "Parasitic Ringing and Design Issues of High power interleaved boost converters", Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual, Volume: 1, 23-27 June 2002 Pages:30 - 35 vol.1
- [3] P.L Wong; P. Xu, P. Yang, F.C Lee, "Performance improvements of interleaving VRMs with coupling inductors", Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 16, Issue: 4, July 2001 Pages:499 - 507
- [4] 北島 伸夫, "인터리브용 PFC choke 코일", 特願 2009-110104(2009.04.28)