

Planar Magnetic 소자를 사용한 부스트 인덕터의 최적 설계

신용희*, 장해진*, 김창선*, 이철경†, 윤대영†
 *목포대학교 전기공학과, †에스피에스 (주)

Optimal Design of Boost Inductor using Planar Magnetics Component

*Shin Yonghee, *Jang Haijin, *Kim Changsun, †Lee Chulkyung, †Youn Daeyoung
 †Dept. of Electrical Eng. Mokpo National University, †Smart Power Solution (SPS) Inc.

Abstract - Planar magnetic based design technologies have been widely applied to power design for better cooling and ease of fabrication. The planar transformer and the planar inductor have a low profile characteristics compare to the conventional transformer which would be more cubical in volume. High frequency operation of magnetic components is a main key to achieve high power density of the power module. However, at a high frequency, the skin effect and the proximity effect have to be considered very significantly in magnetic design and also the parasitics in the converter cannot be ignored. This paper deals with the design and the experiment of planar integrated magnetic component. The optimal design for planar magnetics is summarized.

1. 서 론

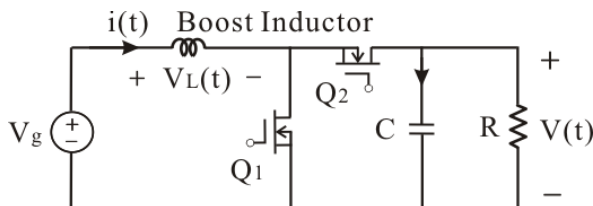
전력변환장치의 고성능화, 고효율화, 소형·경량형화 등의 추세에 따라 planar magnetic 을 이용한 설계기술이 연구되고 있다. 변압기의 소형화는 스위칭 주파수를 증가시키면 가능하지만, 주파수에 따른 손실이 증가하게 된다. 이 손실량은 주파수에 비례하여 증가하며 고주파수인 경우 표피효과(Skin effect)와 근접효과(Proximity effect)에 의한 손실이 증가하여 슬립형 전력변환장치에서는 응용하기가 어렵다. 이에 비해 planar magnetic 기술을 적용시킨 평면변압기(Planar Transformer)는 넓은 유효 단면적을 가진 코어로서 고주파수에서도 손실을 감소시켜 고주파에서 동작시켜야 하는 슬립형 전력변환장치에 적합하며 고효율, 고전력밀도를 얻을 수 있다.^{[1][4]}

따라서 본 연구에서 전력변환장치의 소형, 고성능화를 이루기 위해 평면 변압기의 최적 설계를 하였다. 기존의 인덕터와는 다른 평면 코어와 평면 코일로 이루어진 2차원의 평면 인덕터의 최적설계를 위해 동박(Copper foil)의 넓이에 따른 허용전류 등을 고려하여 90W급 부스트 인덕터를 설계하여 실험하였고 기존 트로이달 코어를 사용한 경우와 비교, 고찰하였다.

2. 부스트 컨버터 평면 인덕터의 설계

2.1 평면 인덕터

그림 1은 평면변압기를 적용하기 위한 동기(Synchronous) 정류 방식의 부스트 컨버터 회로를 보여주고 있다. 입력전압은 직류 10V~17V 이고 출력전압은 20V/4.5A인 90W급 동기(Synchronous) 부스트 컨버터이다. 스위칭 주파수는 110~150kHz로서 주파수가 변조되는 PFM방식이며 온 시간은 고정, 오프 시간이 변조된다. 인덕턴스는 28μH 이고 기존에 사용한 코어는 트로이달 코어를 사용하였으며 효율은 약 90%이다. 설계사양은 표 1에 나타내었다



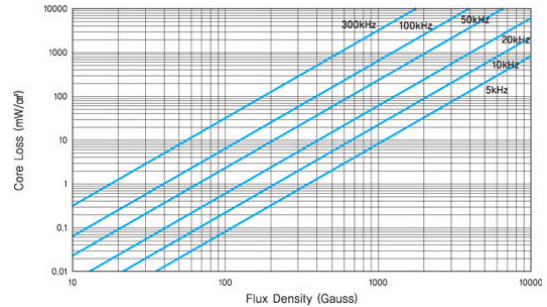
〈그림 1〉 부스트 컨버터

〈표 1〉 설계 사양

Parameters	Values
Input Voltage Range	11V~16Vdc
Output Voltage	19.5V
System Output Power	90W
DC/DC Efficiency	90%
System Efficiency	90%
Switching Frequency	110kHz~150kHz
Peak Input Current	10.0A
RMS Input Current	10.0A
Ripple Current (Peak to Peak)	0.9A
Inductance	28μH

2.1.1 코어 선택

평면 인덕터를 최적으로 설계하기 위해서는 우선 스위칭 주파수, 최소 손실온도, 자속밀도 등의 기초특성에 영향을 주는 코어 재료의 선택이 중요하다. 코어 재질은 제조회사 마다 특성이 다르기 때문에 특성곡선과 전기적 파라미터를 고려하여 선택한다. 그림 2는 코어의 특성곡선이다.



〈그림 2〉 특성 곡선

평면코어의 크기를 선정하기 위해서는 여러 가지 파라미터 값들을 구하여 선택하면 된다. 평면코어의 크기를 Area product $[A_p]$ 를 이용하여 구하였다.

$$A_p = W_a A_c [mm^4] \quad (1)$$

식(1)은 Area product에 관한 식이고 코어의 Effective parameter로서 구하게 된다. W_a 는 Available window area이고, A_c 는 Effective cross-sectional area이다. 코어의 Effective parameter로 구한 값은 식(2) 인덕터의 Energy-Handling Capability으로 구한 값에 비교하여 최종으로 코어 크기를 결정하게 된다.

$$A_p = \left(\frac{2(Energy) \times 10^4}{B_m J K_u} \right)^{(1.14)} [mm^4] \quad (2)$$

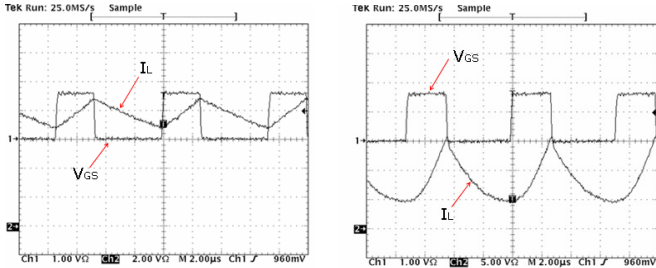
B_m 은 operating flux density로서 재질특성 데이터에서 산출하였으며 자속밀도는 0.4T이고 J 는 current density coefficient, K_u 는 window utilization factor이다. 값들을 대입하여 인덕터의 Energy-Handling Capability를 구하면 $737mm^4$ 산출 되고, 식(1)의 Area product를 비교하여 구하여 코어를 선택하게 되었다.

2.1.2 권선수

코일의 권선수는 자속(ϕ)이 $\phi \sin \omega t$ 로 변할 때 유기되는 기전력을 통해 산출되며, 자속은 전압과 시간에 대한 전류의 변화이다. 식(3)의 관계식은 (2)식의 인덕터의 Energy-Handling Capability 의해 선택된 코어의 Effective parameter로서 구해지며, 산출된 권선수는 12회이고 공극을 고려하여 권선수를 다시 계산하면 8회가 된다

$$N = \frac{W_{a(eff)}(S_2)}{A_w(B)} \quad (3)$$

이론적으로 산출된 권선수를 실험을 통해 검토하였다. PEI1808S 코어에 USTC 코일 (0.10mm*20)사용하였으며, turns =11 [turns], lg=0.1mm 일 때 인덕턴스는 31[μ H]가 측정되어 약 3턴 정도 오차가 발생하였다. 기존 트로이달 코어를 대체해서 PEI1808S 코어에 USTC 코일을 감은 인덕터로 실험한 결과, 인덕터는 포화가 되었다. 포화월인은 열손실 때문이었고 열손실을 줄이기 위해서 코일 두께와 공극을 변화시켜 실험하였다.



(a) Sendust

(b) PEE1808S

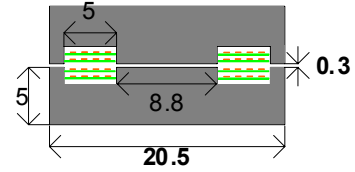
<그림 3> 인덕터 전류파형: $V_o=19.27V$ $I_o=4.0A$

그림 3 (a)는 기존 트로이달 코어의 중부하일 때 전류 파형이며, 그림 3(b)는 PEI1808S 코어에 USTC 코일 (0.10mm*20)사용했으며, turns =11 [turns], lg=0.1mm 값일 때 포화되는 파형이다. 코일 두께와 공극을 각각 0.10mm*50(USTC 코일), lg=0.3mm 일 때 중부하에서 포화되지 않고 동작하였고 권선수는 14회이다.

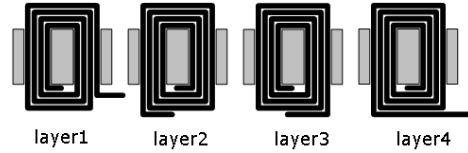
2.2 평면인덕터의 설계

앞의 실험결과에서 포화에 가장 영향을 주는 것은 열손실이며 열손실을 줄이기 위해서는 Wire의 단면적이라는 결과를 얻었다. 실제 평면 인덕터에서는 PCB동박(Copper Foil)을 사용하기 때문에 동박의 단면적에 따른 허용전류가 중요한 요소가 된다. 와인딩 디자인 차트를 참고하여 $I_{rms}=4A$ 이고 온도변화율이 30도일 때의 동박 단면적은 $0.12mm^2$ 이었다. 동박두께는 3oz로 약 0.1mm 이기 때문에 넓이는 1.2mm를 산출하였다. 동박 넓이는 코어의 공간적 제약 때문에 1mm로 수정하여 실험하였다.

그림 4는 평면 인덕터의 단면적이다. 권선사이의 공간은 0.2mm이며 층당 4턴을 감았고 총 4층 16턴으로 설계하였다. 그림 5는 평면 인덕터를 나타낸다. 실험 결과, 높은 열손실은 동박 단면적에 따른 손실을 크게 하기 때문에 USTC코일과 동일한 문제점이 된다. 0.10mm*50(USTC 코일)의 단면적은 $0.39mm^2$ 이고 앞서 계산된 평면 인덕터의 단면적과는 차이가 많다. 따라서 평면 인덕터 동박의 단면적을 늘리기 위해서 코어의 공간적 제약으로 인해 층수당 권선수를 줄여 설계하였다. 표 2는 설계된 평면 인덕터 사양이고 그림 6은 평면 인덕터의 1층 단면을 나타낸다.



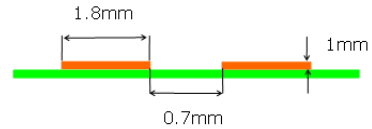
<그림 4>평면 인덕터의 단면



<그림 5>평면 인덕터 패턴설계

<표 2> 설계된 평면인덕터 사양

Parameters	Values
Width of Copper Trace	1.8mm
Thickness of Copper Trace	0.10267
Trace Spacing	0.7mm
Thickness of Insulator	0.10287mm
Number of Turns	16turns
Number of Layers	8 layers
Air Gap Length	0.3mm



<그림 6> 평면 인덕터의 1층 단면

3. 결 론

본 논문에서는 평면 코어와 평면 코일로 이루어진 2차원의 평면 인덕터의 최적설계를 하여 90W급 부스트 인덕터에 적용하였고 트로이달 코어와 비교, 고찰하였다. 평면 인덕터는 기생 캐패시턴스, 누설 인덕턴스와 같은 기생 리액턴스를 최소화하고 고주파에서 ringing을 최소화 할 수 있다. 실험을 통하여 최적으로 설계된 평면 인덕터의 동작특성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김현식, 이해연, “평면변압기의 설계와 전자기적 특성”, 한국자기학회, Volume 12, Number 3, June 2002.
- [2] Ferroxcube, “Design of Planar Power Transformer”, 1-14 (2000).
- [3] Colonel Wm. T. Mclyman, “Transformer and Inductor Design Handbook”, pp.20-1~20-19, Marcel Dekker, 2002
- [4] Bloom, E., “Planar Power Magnetics: New Low Profile Approaches for Low-Cost Magnetics Design,” Magnetic Business & Technology, June 2002, pp.26,27