

LTCC기술을 이용한 마이크로 인덕터에 관한 연구

최동찬*, 김찬영*
한양대 전자전기제어계측공학과*

김희준**
한양대 전자·컴퓨터 공학부**

A study on the micro inductor using LTCC technology

Dong-Chan Choi*, Chan-Young Kim*
Dept. of Electronic & Electrical
& Control & Instrumentation Engineering
Hanyang Univ.*

Hee-Jun Kim**
School of Electrical Engineering
& Computer Science
Hanyang Univ.**

Abstract - This paper deals with the design of a spiral micro inductor using LTCC(Low Temperature Cofired Ceramics) technology. The inductors using the LTCC technology have some prominent properties of high integration of circuits, high confidence and low cost comparing with previously fabricated thick-film inductors. In this paper, we designed a new spiral-type micro inductor comprising a magnetic material to improve the inductance and leakage flux. We, in addition, presented the simulation results for various shapes of the magnetic material in the micro inductor. Finally application of the micro inductor to the boost DC-DC converter is investigated.

1. 서 론

최근 이동통신 및 디지털 전자 기기의 소형화 및 고신뢰성을 위하여 수동소자 및 반도체 소자로 구성되는 회로를 칩이나 고밀도 패키지에 내장시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 각각 SOC(System On Chip) 및 SOP(System On a Package)로 정의한다. 특히, SOP의 경우 저온 동시 소성 세라믹 기판(LTCC: Low Temperature Cofired Ceramic)시스템을 중심으로 연구가 진행되고 있으며, 이때 저항의 경우는 RuO₂, Ag/Pd 등을 이용하여 구현하고 커패시터의 경우는 그린시트 자체의 유전상수를 이용하거나 BaTiO₃ 형태의 것들을 이용하여 구현하고 있다. 또한 인덕터의 경우는 모듈 내부에 내장되는 도체를 이용하여 구현하고 있다.[1]

하지만 이러한 LTCC 기술을 이용한 수동소자의 개발은 주로 고주파, 저전력에서 응용되는 이동통신 분야에 초점이 맞춰져 연구되어 왔으며, DC-DC 컨버터를 대표로 하는 이동통신 시스템내의 전원부와 같은 응용분야에서는 거의 개발이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

DC-DC 컨버터를 구성하는 수동소자 중 인덕터는 DC-DC 컨버터의 전체 체적에서 가장 많은 부분을 차지하며 에너지의 저장 및 방출을 담당하는 소자이다. 인덕터의 체적은 필요한 에너지를 저장하는데 필요한 양과 직접적인 관계가 있다. 그러나 휴대용 이동통신 장치에서 요구되는 전원부의 부피는 점점 더 소형화 되고, 그 용량은 증대되고 있는 실정이다. 따라서 인덕터를 중심으로 한 수동소자의 집적화 또는 마이크로화가 가장 중요한 연구

목표가 되고 있다.

본 논문에서는 LTCC 기술을 이용한 마이크로 인덕터의 설계를 논의 하였으며, 여러 형태의 자성체를 적용한 경우, 시뮬레이션 tool을 이용하여 얻어진 결과를 통하여 각각의 특성을 비교하였다. 또한, 이를 승압형 DC-DC 컨버터에 적용한 결과를 제시하였으며 이를 통하여 설계된 마이크로 인덕터의 효율성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 마이크로 인덕터의 설계

그림 1은 LTCC 기술을 적용하기 위한 마이크로 인덕터의 구조를 나타낸다. LTCC 기판의 2층에 각각 9턴 씩의 패턴을 맴돌이(spiral)구조로 구현하고 있으며 권선의 단면적은 0.35mm×0.015mm으로 주어진다. 각 턴 사이의 간격은 90°이고 중앙의 빛금친 부분(2.2mm×2.2mm)은 자성체 부분이다. 자성체는 ferrite powder를 이용하였다.

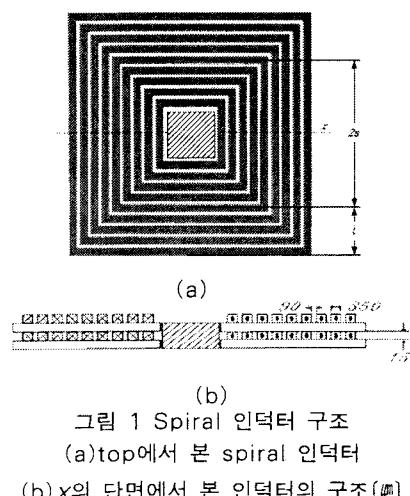


그림 1 Spiral 인덕터 구조
(a) top에서 본 spiral 인덕터
(b) X의 단면에서 본 인덕터의 구조(▲)

설계된 인덕터의 인덕턴스 값은 식 (1) 및 (2)에 의해 구해진다.[2]

$$L_0(nH) = 4.81\pi n^2 sP \quad (1)$$

$$P = \left[\left(\ln \frac{4s}{l} - 0.5 \right) + \frac{1}{24} \left(\frac{l}{s} \right)^2 \left(\ln \frac{4s}{l} + 3.853 \right) \right] \quad (2)$$

여기서 n 은 코일의 감긴 횟수, l 은 감긴 깊이의 $1/2$, s 는 측면의 평균 길이의 $1/2$ 을 각각 나타낸다. 이 두식을 통하여 air core상태에서의 인덕턴스의 값은 $2.52\mu\text{H}$ 로 구해진다.

그림 2는 x 의 단면에서 본 인덕터의 자속 밀도의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 2(a)는 air core의 자속 밀도를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과 인덕턴스의 값은 $2.48\mu\text{H}$ 로 구해졌으며 이론적인 계산 값과 큰 오차를 보이지 않음을 알 수 있다. 하지만, air core를 사용하여 인덕터를 설계하는 경우 누설 자속에 의한 손실이 증가하고 충분한 인덕턴스 값을 얻지 못하므로 DC-DC 컨버터에 적용하기에는 부적합하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 자성체를 추가할 수 있는데 우선 인덕터의 중심에 ferrite powder를 적용할 수 있다. 그림 2(b)는 ferrite powder를 적용한 마이크로 인덕터의 자속 밀도를 보여주고 있다. 이때의 인덕턴스 값은 $3.8\mu\text{H}$ 로 구해진다. 이 결과는 air core의 경우보다 증가하지만, 그다지 큰 차이를 보이지 않는다.

이 점을 보다 더 개선하기 위하여 그림 3(a)에 나타내는 것처럼 두께 0.1mm의 EI형태의 자성체를 적용하였다. 그림 3(b)는 자속 밀도의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 이때의 인덕턴스 값은 $24\mu\text{H}$ 로 구해지며 앞의 두 가지 형상에 비해 크게 증가함을 알 수 있다.

시뮬레이션의 조건으로서는 silver conductor paste (sheet conductivity(σ): $7 \times 10^4 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)에 I_{Lrms} 는 100mA 가 흐르고, 주파수는 500kHz 로 설정 하였으며, 또한 자성체는 선형 자성체로 가정 하였다.

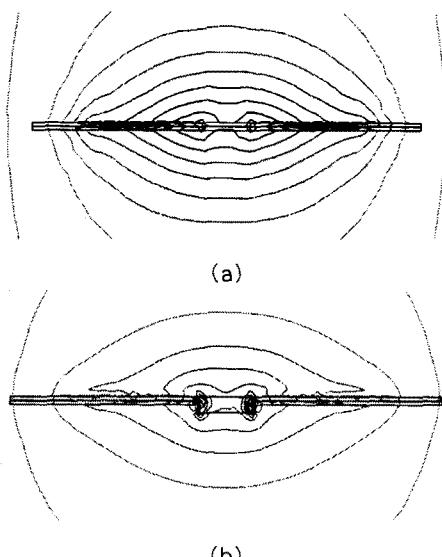


그림 2 자성체에 따른 자속 밀도
(a)air core (b) ferrite power at center

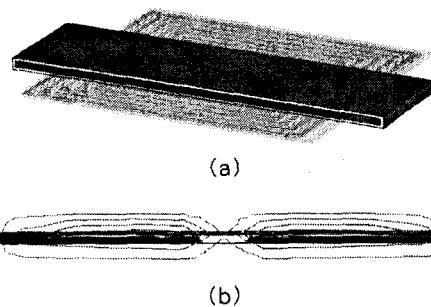


그림 3 EI core
(a) 0.1mm 두께의 EI core의 형상을 가진 인덕터
(b)EI core 의 자속 밀도

2.2 Lamination구조에 의한 특성 개선

그림 3의 구조를 가진 인덕터의 자계 분포는 그림 4와 같이 나타나며, 자성체의 상부와 하부에 자계가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 현상은 자성체에 와전류가 발생하는 것을 보여 주고 있으며 자성체의 낮은 저항에 기인하는 것이다.[3],[4] 이로 인하여 와전류손이 추가로 발생하게 된다.

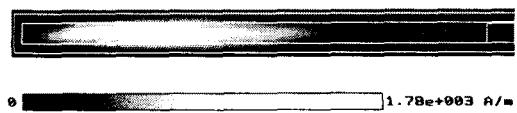


그림 4 EI core의 자계분포

이를 개선하기 위하여 자성체에 5의 폭을 갖는 얇은 판으로 구성된 lamination구조를 적용시켰고, 그림 5(a)는 그 구조를 나타내고 있다. 그림 5(b)는 이 자성체를 적용시킨 인덕터의 자계분포를 보여주고 있는데 자계가 자성체 부분에서는 거의 발생하지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 와전류는 거의 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다.[5]

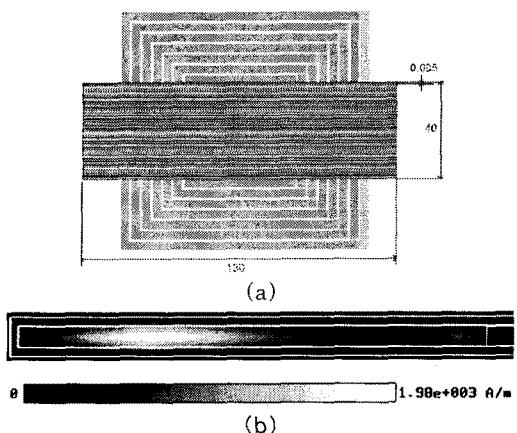


그림 5 lamination 자성체에 의한 인덕터
(a)자성체 lamination구조(mm) (b)자계 분포

2.3 마이크로 인덕터에 의한 Boost DC-DC 컨버터

그림6은 Boost type의 DC-DC 컨버터의 회로도이다.[6],[7] 앞서 설계된 마이크로 인덕터를 적용하였으며, 나머지 소자들도 LTCC 기판에 내장 및 탑재 시키는 형태로 구현 되었다.

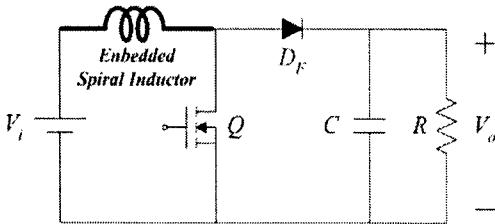


그림 6 내장형 마이크로 인덕터를 적용한 Boost DC-DC Converter

표 1은 boost 컨버터의 설계 사양이다.

표 1 컨버터의 설계 사양

Parameter	Contents
입력 전압(V_i)	1.8~4V
출력 전압(V_o)	5V
출력 전류(I_o)	5~50mA
최대 스위칭 주파수(f_{smax})	770kHz
출력 전압 리플(ΔV)	100mV
효율(η)	84% 이상

Boost 컨버터에 있어서 인덕턴스의 값은 식(3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$L = \frac{V_{in\min} \times (V_{out} - V_{in})}{I_{peak} \times f_{smax} \times V_{out}} \quad (3)$$

식 (3)에서 I_{peak} 의 값은 스위치 전류의 피크치로서 400mA로 구해지지만 스위치의 delay time 100ns를 고려하면 454mA의 값을 갖는다. 이 값을 적용하여 식 (3)으로부터 인덕턴스값을 구하면 $3.3\mu H$ 가 된다. 앞에서 시뮬레이션 한 결과를 고려하면 ferrite powder 자성체를 사용한 인덕터와 거의 일치 하므로 이를 DC-DC 컨버터에 적용하였다.

인덕터에 흐르는 전류의 실효치(root mean square) I_{Lrms} 의 값은 100mA가 되는데, 이 값은 도체의 단면적을 결정하는데 중요한 파라미터가 된다. silver conductor paste를 사용하여 맴돌이 패턴으로 구현할 때 최대 허용 전류의 기준을 $20[A/mm^2]$ 으로 가정하면 도체의 단면적은 $0.005mm^2$ 으로 계산된다.

silver conductor paste의 두께는 0.015mm가 되므로 폭을 0.35mm로 설계하면 앞에서 제시한 단면적이 된다. 결국, 인덕터의 패턴에 사용된 도체의 단면적은 $0.00525 mm^2$ 이 된다.

3. 결 론

LTCC 기술을 이용한 마이크로 인덕터를 설계 하였으며 그 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 시뮬레이션 결과로부터 lamination 형태의 EI 자성체를 적용한 경우 그 특성이 제일 우수하다는 점을 알 수 있었다. 끝으로 Boost DC-DC 컨버터에 마이크로 인덕터를 적용하는 경우 마이크로 인덕턴스 값의 계산식과 설계 방법을 제시 하였으며 이를 통하여 구해진 인덕터의 특성이 앞서 제시한 시뮬레이션 결과와 일치함을 보았다. 이상의 결과는 boost 이외의 다른 DC-DC 컨버터에도 충분히 적용 될 수 있을 것으로 기대 된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박성대; 강현규; 박윤휘; 문제도 "Multichip module 개발을 위한 LTCC 및 LTCC-M 기술", Microelectronics & Packaging Society, Vol.6.No.3 ,pp25-35, 1999
- [2] 김인태; 박성대; 강현규; 공선식; 박윤휘; 문제도 "LTCC-M 기술을 이용한 내부실장 R,L,C 수동소자의 특징 및 L MR용 PAM 개발", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol.7.NO.1, pp13-18, 2000
- [3] David K. Cheng "Fundamentals of engineering Electromagnetics", ADDISON-WESLEY, pp234-235, 1994
- [4] Colonel Wm. T. McLyman "Designing Magnetic Components for High Frequency dc-dc Converters", Kg Magnetics,pp11-13, 1993
- [5] J.M. Boggetto; Y. Lembeye; J.P. Ferrieux; Y. Avenas "Micro Fabricated Power inductors on Silicon", IEE E, pp1225-1229, 2002
- [6] Tomasz Zawada; Jaroslaw Kita; Henryk Roguszczak; Leszek J.Golonka "Low Power DC-DC Converter with integrated LTCC inductor", 25th Int Conf. and exhibition IMPAS 2001,pp275-278,2001.
- [7] 김희준; "스위칭 전원의 기본설계" 성안당, pp36-45,2002