

스크린 인쇄 기법을 이용한 초소형 DC-DC 컨버터용 파워인덕터

방동현, 박재영
 광운대학교 전자공학과

Screen Printed Power Inductors for Miniaturized DC-DC Converter Applications

Dong H. Bang, Jae Y. Park
 Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문에서는 초소형 DC-DC 컨버터에 쓰이는 파워인덕터를 설계하였다. 제안된 인덕터는 Ni-Zn 페라이트와 Polyimide 혼합물질을 이용하여, 경화온도를 낮추어 유기기판(FR-4)에서도 적용될 수 있는 인덕터를 설계했다. 인덕터의 크기는 5mm x 4.5mm x 0.5mm 이고, 도선의 물질은 구리(Cu)를 사용하였으며, 18 μ m의 두께, 85 μ m의 선폭, 85 μ m의 선 간격으로 디자인 하였다. 그리고 구조는 2층 적층의 스파이럴 구조를 제안하여 소형화에 보다 유리하도록 설계를 하였다. 페라이트 혼합물질을 샌드위치 타입으로 EMI shielding한 인덕터의 경우 동작 주파수 5MHz에서 912nH의 인덕턴스, 29의 품질계수 특성을 나타냈으며, 그 결과 초소형 DC-DC 컨버터용 인덕터로서 소형화와 높은 효율을 만족하였다.

1. 서 론

오늘날 이동 및 정보통신 시스템의 발달로 기기의 고성능화와 소형화가 이슈화되고 있다. 특히 휴대용 단말기의 박형화를 위해 DC-DC 컨버터의 두께를 줄이는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구를 위해, DC-DC 컨버터 내부의 파워인덕터의 높이를 줄여야 하는데, 기존의 권선형 코일 인덕터로는 한계가 있다. 이를 극복하기 위한 방법으로 평면형 인덕터의 사용을 들 수 있다. 두께가 얇은 평면형 인덕터는 차지하는 공간에 비해 인덕턴스가 작으나, DC-DC 컨버터의 동작주파수 증가와 SET 내에서 소용량 전압의 다변화 요구, SET 업체의 모듈 두께 감소 요구 등으로 그 응용가능 분야가 조금씩 열리고 있다[1].

한편, 페라이트를 제조하는 과정에서, Ni-Zn과 Ni-Mn과 같이 파워인덕터를 이용해 소결공정을 하는 방법이 있다. 이러한 연성 페라이트 물질을 이용하는 방법에는 공정과정이 비교적 간단한 스크린 인쇄 기법이 많이 쓰이고 있고, 최근에는 스펀 스프레이 플레이팅을 이용한 증착방법 또한 많이 쓰이고 있다[1,2]. 또한, Ni-Fe 페라이트 플레이팅과 같은 μ m 단위의 라미네이션 방법을 이용해 증착하는 방법을 이용한 많은 연구들이 진행되고 있다[3]. 이 방법은 연성 페라이트와 비교했을 때, 면적대비 높은 효율을 가지는 솔레노이드 타입의 구조물을 형성할 수 있는 장점이 있는 반면에, 많은 공정 과정에 있어서 낮은 양산화와 높은 생산비에서 볼 수 있듯이, 비용적인 측면에서 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 스크린 인쇄 기법을 사용한 평면형 파워인덕터를 제안하고 있다. 양산화를 위해 페라이트 파워인덕터에 결합제인 Polyimide를 섞어 줌으로 경화온도를 100 $^{\circ}$ C 로 낮추어 유기기판(FR-4)에도 사용할 수 있는 환경을 마련하였고, 이를 응용하여 PCB 내에 내장된 파워인덕터는 향후 박형화, 저가화 등의 많은 이점을 가진 SOP/SIP 기반의 DC-DC 컨버터 연구의 기반이 될 것이다.

2. 본 론

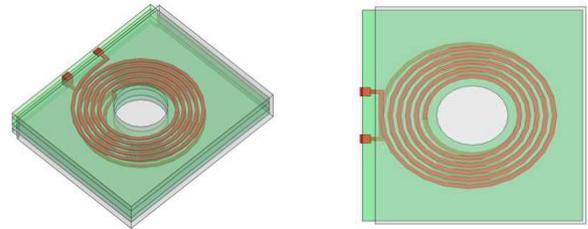
2.1 Design

파워인덕터를 제작하는데 있어서, 가장 먼저 선행되어야 할 것은, 소자가 사용될 용도에 맞추어, 인덕터 구조와, 페라이트 물질, 페라이트 증착 방법의 선택이다. 본 논문에서는 5MHz의 동작주파수를 갖는 인덕터 설계를 목표로 하고, 낮은 높이를 가지는 평면형 인덕터, PCB 양산이 가능한 Ni-Zn 페라이트와 Polyimide의 혼합물질, 그리고 비교적 공정순서가 간단해 생산비용을 줄일 수 있는 스크린 인쇄기법을 사용한 인덕터의 설계를 제안하였다.

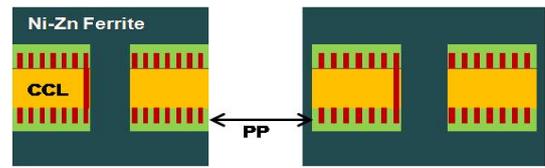
그림 1은 설계한 인덕터의 구조로서 총 기판 두께는 0.5mm이고, 1/2 oz Cu의 두께, 85 μ m의 선폭 및 간격으로 디자인하였고, 2층 적층 구조를 제안하여 소형화에 더욱 유리하게 설계하였다. 또한 사각형 스파이럴 타입에 비해 품질계수의 특성이 좋은 원형 스파이럴 인덕터 구조를 채택하였다.

본 논문은 파워인덕터의 두 가지 구조를 제안했다. 그림 2에서 Type A는 기판의 위, 아래, 인덕터의 코어(core)에 페라이트를 스크린 프린팅하는 구조이고, Type B는 Type A의 구조에 추가하여 기판 옆면까지

페라이트를 스크린 프린팅 하는 방식, 즉 샌드위치(sandwich) 방식을 제안하며 Type A보다 전자방해(EMI) 특성을 향상시키기 위해 제안했다.



<그림 1> (a) 파워인덕터의 3D 모형도 (b) 파워인덕터의 평면도



<Type A> <Type B>
 <그림 2> Type 별 파워인덕터의 단면도

2.1.1 Power Inductor

신호부에서 쓰이는 인덕터와는 달리, 전원부에서 전력을 효과적으로 제어하는 것이 목적인 파워인덕터는 고용량의 인덕턴스와, 고효율의 품질계수, 높은 정격전류를 요구한다. 스파이럴 인덕터의 인덕턴스는 수식으로 구할 수 있다. 하나의 층으로 구성된 평면 인덕터뿐만 아니라 두 개 층 이상의 적층 구조 형태의 인덕터 구조 또한 인덕턴스 값을 얻을 수 있다. 다음의 수식은 m layer, N tern의 인덕턴스를 구하는 수식이다 [4].

$$L = m^2 \sum_{j=1}^N (L_{jj} + 2 \sum_{k=j+1}^N L_{jk}) - L_1 \quad (1)$$

수식 (1)에서 L_{jj} 는 자기 인덕턴스 값이고, L_{jk} 는 j와 k 번째 turn 사이의 상호 인덕턴스 값을, 그리고 L_1 은 누설 인덕턴스 값을 나타낸 것이다

품질계수는 인덕터 등 소자의 효율을 나타내는 요소이다. 같은 조건에서 품질계수 값이 크면, 큰 인덕턴스와 낮은 에너지 소모를 보인다. 즉, 품질계수는 기기의 배터리의 유지 시간에 있어서 중요한 요소이다. 수식 (2)에서 f는 주파수를, L은 인덕턴스를, R은 소자의 저항 성분을 나타낸다. R 성분이 작으면 작을수록 품질계수 값이 커짐을 알 수 있다.

$$Q = \frac{\omega L}{R}, \quad (\omega = 2\pi f) \quad (2)$$

정격전류(Rated Current)는 인가된 전류가 증가함에 따라 임계치로부터 인덕턴스가 떨어지게 되는데, 이때 허용 가능한 인덕턴스까지의 전류를 나타낸다. 본 논문에서는 인덕턴스가 10% 떨어지게 되는 전류를 정격전류로 정의했다. 이는 전류를 너무 올리게 되면 코일저항에 의한 발열이 발생 하면서 열에 약한 폴리머 기판에서 열 변형이 발생하기 때문이다.

2.1.2 Magnetic Core Materials

본 연구에서는 스크린 인쇄 기법을 이용해서 Ni-Zn 페라이트 파워인

를 증착시키는 방법을 제안한다. 하지만 순수한 Ni-Zn 파우더는 소결 과정에서 800°C 이상의 경화온도를 필요로 한다. 또한 고온으로 인한 재료 손상 등의 문제점이 제기된다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 Polyimide를 사용하여 페라이트 파우더와 혼합하게 된다. 그렇게 되면 100°C의 경화온도를 가질 수 있고, 또한 낮은 경화온도에 의해 실리콘보다 상대적으로 열에 약한 PCB기판에도 적용할 수 있게 된다. 결과적으로 생산 단가가 싼 PCB의 사용으로 인하여 가격적인 경쟁력을 갖는 것이다.

한편, Ni-Zn/Polyimide 혼합물을 사용의 단점은 초기 투자율이 낮다는 것이다. 초기 투자율은 인덕턴스 값을 결정하는 주요 요소인데, 일반적인 Ni-Zn 페라이트의 소결 후 초기 투자율이 100 전후에 비해 혼합물의 경우 30 전후의 낮은 초기 투자율을 보인다. 그래서 혼합 자성물질을 사용하면 결과적으로 낮은 인덕턴스를 보인다. 앞에서 언급한 것처럼 DC-DC 컨버터에서 동작주파수가 점점 높아지고 있고, Ni-Zn 페라이트 원자재의 특성이 점점 발전하고 있기 때문에, 이러한 문제점들이 점점 보완되고 있다.

표1은 본 논문에서 제안한 인덕터의 자성물체의 특성을 요약한 표이다.

<표 1> Ni-Zn 페라이트/Polyimide 혼합물의 특성

| | |
|------------------------------|------|
| Thickness (μm) | 70 |
| Permeability | 25 |
| Coercivity (A/m) | 1400 |
| Saturation Magnetization (T) | 0.23 |

2.2 결과 및 분석

본 논문은 3D EM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 파워인덕터의 전제적인 설계를 하였다. 앞에서 제안한 인덕터와 자성물질 특성을 적용한 결과 표 2의 Type A 과 Type B의 결과를 얻었다. 그리고 그림 3은 인덕턴스와 품질계수의 주파수별 특성을 나타낸 그래프이다.

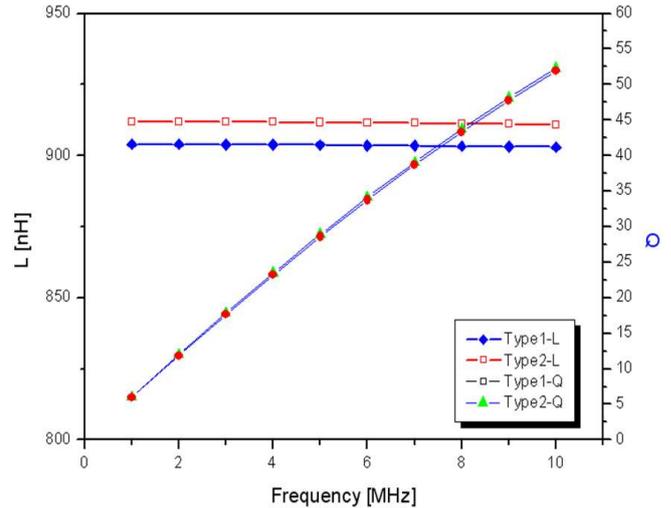
Type A의 경우 903nH의 인덕턴스, 28.6의 품질계수를 얻었다. Type B의 경우 Type A보다 조금 더 많은 값인 912nH와 29.17의 인덕턴스와 품질계수를 얻었다. 앞에서 언급한 것처럼 본 논문에 적용된 자성물질의 초기 투자율이 25로서 낮기 때문에 결과적으로 10nH정도의 차이의 인덕턴스를 보인다고 사료된다. 실제로 제작을 하고 스크린 프린팅된 페라이트를 측정해서 전류(Current) 대비 Flux(Gauss)를 비교해야 정확한 차이점을 찾을 수 있을 것이다.

또한, 본 연구와 선행되었던 다른 연구들을 비교해 봤을 때, 2층 구조의 적층형 구조이기 때문에 소자 면적에서 소형화의 장점을 보였다 [1,3,5]. 역으로 2층 구조이기 때문에 소자의 높이가 높아지는 결과를 얻었지만, 최근의 DC-DC 컨버터 모듈 전체의 높이가 1.2mm 정도인 것을 감안할 때, 0.5mm정도의 두께는 충분히 소형화에 이점이 있다고 볼 수 있다.

동작주파수 측면에서 보면, 그림 3의 인덕턴스 특성에서 보이듯이 10MHz까지 인덕턴스 감소폭이 작은 것을 확인할 수 있었다. 이는 인덕터를 설계할 때 Cu의 두께와 선폭이 크기 때문에 기생 캐패시턴스(capacitance) 성분이 작아서 LC공진 주파수가 높기 때문으로 보인다. 그리고 인덕턴스를 비교했을 때, 상대적으로 낮은 인덕턴스를 보이지만, 이는 같은 구조의 평면 인덕터와 비교한 결과, 저온공정을 하기 위해 초기 투자율이 낮은 혼합 자성물질을 썼기 때문으로 보인다. 품질계수의 경우 다른 논문들에 비해서 우수한 특성을 보인 것으로 나타났다. 이것은 도선 간 간격이 85μm로 넓기 때문에 도선 간 저항성분이 작아서 나타나는 현상으로 보인다. 또한 다른 연구에 쓰인 평면 인덕터 구조는 사각형(Rectangular)구조인 반면, 본 논문이 사각형 구조보다 품질계수 값이 상대적으로 5~10% 정도 높은 원형(Circular)구조로 쓰였다는 점이 품질계수 값에 다소 영향을 미쳤을 것이라고 예상된다[6].

<표 2> 제안된 파워인덕터의 결과 및 비교

| Research | size (mm) | Inductance (μH) | Q | Magnetic core Material | Geometry |
|----------|--------------|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|
| [1] | 6x6x0.2 | 1.29(5MHz) | 23 | Ni-Zn (Spin Spray) | Spiral (planar) |
| [3] | 11.5x5.7x0.7 | 2.3(3MHz) | 9.2 | Ni-Fe (Electroplating) | Toroidal |
| [5] | 6x6x0.23 | 1.4(5MHz) | 40 | NiCuZn | Spiral (planar) |
| Type A | 5x4.5x0.5 | 0.903(5MHz) | 28.61 | Ni-Zn /Polyimide | Spiral (2stack) |
| Type B | 5x4.5x0.5 | 0.912(5MHz) | 29.17 | Composite (screen print) | Spiral (2stack) |



<그림 3> Type 별 주파수대비 L, Q 특성

3. 결론

본 논문에서는 초소형 DC-DC 컨버터에 쓰이는 파워인덕터를 설계하였다. 제안된 인덕터의 특징은 2층 적층의 스파이럴 구조를 제안하여 소형화에 보다 유리하도록 설계를 한 것이다. 또한 경화온도를 낮추어 PCB(Printed Circuit Board)에서도 공정이 가능하도록 하고, 공정단계가 간단한 스크린 인쇄 방법을 제안해서 생산비를 줄일 수 있도록 설계 한 것이다. 향후 본 파워인덕터 설계를 바탕으로 직접 공정을 진행하여 인덕터를 제작하고, 나아가 제작된 파워인덕터를 사용하여 초소형 DC-DC 컨버터를 설계, 제작하는 것이 목표이다.

4. 감사의 글

본 연구는 Seoul Research and Business Development Program (Grant No.10583)과 한국 과학기술부의 지능형 RF연구센터 (Communication and Intelligent RF Engineering Research Center(ERC))의 지원을 받아 수행하였음.

[참고 문헌]

- [1] 배석, 마노 야스히코 “PCB기판에 임베디드 된 페라이트 필름 인덕터”, Korean Magnetics Society, Vol. 15, pp. 30-36, 2005
- [2] Jae Y. Park, Laure K. Lagorce, and Mark G. Allen “Ferrite-Based Integrated Planar Inductors and Transformer at Low Temperature”, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.33 No.5, pp. 3322-3324, 1997
- [3] Jin-Woo Park and Mark G. Allen “Ultralow-Profile Micromachined Power Inductors With Highly Laminated Ni/Fe Cores : Application to Low-Megahertz DC-DC Converters”, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.39, No.3, pp. 3184-3186, 2003
- [4] A. Balakrishnan, W. Palmer, W. Joines, and T. Wilson, “The Inductance of Planar Structures”, Proceedings of IEEE APEC, pp. 912-921, 1993
- [5] Yasutaka Fukuda, Tetsuo Inoue, Tetsuhiko Mizoguchi, Shigeru Yatabe, and Yoshihito Tachi, “Planar Inductor With Ferrite Layers for DC-DC Converter, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.39, No.4 pp. 2057-2061, 2003
- [6] S.Chaki, S Aono, N. Andoh, Y. Sasaki, N. Tanino, and O. Ishihara, “Experimental Study on Spiral Inductors”, IEEE MTT-S Digest, pp. 753-756, 1995