

## 평면변압기의 설계와 전자기적 특성

김현식\* · 이해연

(주) 매트론, 경남 마산시 월영동 449

김종령 · 오영우

경남대학교 신소재공학부, 경남 마산시 월영동 449

(2002년 3월 26일 받음, 2002년 6월 14일 최종수정본 받음)

평면변압기의 설계방법 확립과 응용가능성을 파악하기 위해 입/출력전압이 70 V/8.2 V인 8 W급 플라이-백 평면변압기를 설계하였다. 스위칭 주파수 120 kHz에서 인덕턴스는 1650  $\mu$ H로서 이론치의 약 85%~87%인 인덕턴스 효율을 나타내었고, 도전체의 교류저항은 주파수가 증가할수록 증가하여 스위칭 주파수 120 kHz에서 1차/2차 코일의 교류저항이 각각 3.9  $\Omega$ , 0.16  $\Omega$ 이었고, 성능지수는 각각 158, 75로 나타났으며, 결합인자 k값은 스위칭 주파수 120 kHz에서 0.96~0.97 범위의 값을 나타내었다. 또한 자성체의 평면부분의 두께가 1.4 mm까지는 인덕턴스가 평면두께가 증가할수록 큰 폭으로 증가하였고, 1.4 mm 이상의 두께에서는 거의 일정한 값을 나타내어 자성체의 입계 평면두께는 1.4 mm로 나타났다. 그리고 70 V의 입력 전압에 대하여 안정한 구형파의 출력 파형을 나타내었다.

주제어 : Planar Transformer, Skin Effect, Inductance, Coupling Factor, Proximity Effect

### I. 서 론

최근 전자·통신 분야에서 안정된 전원의 변환공급 및 에너지 절약과 효율의 증대에 대한 관심이 고조됨에 따라 에너지 저장·변환장치의 고성능화, 고효율화, 소형·경량화 등에 대한 중요성이 인식되어 세계 각국에서는 이 분야에 대한 투자와 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 현재 전자통신 기기에 있어 시스템부분은 반도체 집적회로의 발전에 수반하여 소형·경량화가 이루어지고 있는 반면 전원부분은 에너지 축적 또는 변환용 소자인 변압기 및 커패시터의 존재로 인하여 기대만큼의 소형·경량화가 이루어지지 못하고 있다[1,2]. 변압기의 소형화는 스위칭 주파수를 증가시킴으로써 가능해지지만, 소형화에 따른 방열 면적이 감소하여 손실이 증가하게 되며, 이 손실량은 스위칭 주파수의 증가에 따라 비례적으로 증가하게 되고, 권선형 3차원 변압기는 100 kHz 이상의 스위칭 주파수에서 표피효과(Skin effect)와 근접효과(Proximity effect)에 의한 손실의 증가로 인해 고주파의 스위칭 주파수를 갖는 전원장치에는 응용하기가 어렵다. 반면, 넓은 유효 단면적을 가진 평면 코어와 편편하고 넓은 도체를 이용한 평면변압기(Planar Transformer)는 고주파 손실을 감소시켜 고주파대역용 전원장치에의 채용이 가능하여 소형화와 고효율화를 동시에 이룰 수 있다는 특징이 있다[3].

평면변압기는 1990년대 초에 특성, 모델링 그리고 평면자

성체의 적합성에 대한 연구가 시작되었으며[2], 1990년대 중반부터 평면자성체의 여러 형태가 개발되어 현재 3 MHz의 스위칭주파수와 25 kW의 용량까지 개발되어 상용화되어 있다. 평면변압기에 대한 선진업체로는 Payton(이스라엘)사, TOKIN(일본)사, VISHAY(미국), ECI-world(미국)사가 대표적이며, Philips(네덜란드)사, TDK(일본)사, Siemens(독일)사 등에서는 평면 자성체가 개발되어 이미 시판되고 있다. 하지만 국내에서는 현재의 평면변압기의 좁은 시장성 때문에 기술개발에의 참여가 늦어지고 있으며, 현재 몇몇 업체에서 이루어지고 있으나, 설계 및 제조기술의 범위는 선진업체에 비해 협소한 형편이다.

따라서 본 연구에서 전원장치의 소형, 고성능화를 이루기 위한 핵심 기술인 변압기를 소형화하기 위해, 기존의 변압기와는 다른 평면 코어와 평면 코일로 이루어진 2차원의 평면 변압기의 설계 및 제조기술을 개발하고자 8 W급 플라이-백(Flyback) 평면변압기를 설계 및 제조하였으며, 입출력 신호에 대한 전·자기적 특성 등과 같은 기초 특성을 조사하였다.

### II. 실험방법

#### 2.1. 평면변압기의 설계

본 연구의 평면변압기 설계 및 특성평가에 대한 실험은 그림 1의 공정에 의해 이루어졌다. 설계사양은 Table II에 나타난 바와 같으며, 평면코어는 스위칭주파수, 최소손실온도 및 손실·주파수·자속밀도 특성 등을 고려하여 약 1 MHz까지 안

\*Tel: (055)248-0064, E-mail: hskim@matttrone.com

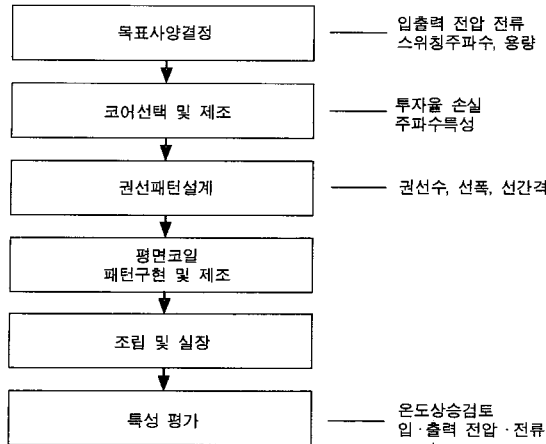


Fig. 1. Process of manufacturing for the planar transformer.

Table I. Specification for E18-3F3 core

symbol	conditions	value	unit
$\mu_i$	25°C : $\leq 10$ kHz : 0.1 mT	2000 $\pm$ 20%	-
$\mu_a$	100°C : $\leq 25$ kHz : 200 mT	$\approx 4000$	-
B	25°C : 10 kHz : 250 A/m	$\geq 400$	mT
	100°C : 10 kHz : 250 mT	$\geq 330$	
P <sub>v</sub>	100°C : 100 kHz : 100 mT	$\geq 80$	kW/m <sup>3</sup>
	100°C : 400 kHz : 50 mT	$\geq 150$	
$\rho$	DC : 25°C	$\approx 2$	$\Omega$ m
T <sub>c</sub>	-	$\geq 200$	°C
density	-	$\approx 4750$	kg/m <sup>3</sup>

정한 주파수 특성과 투자율 특성(약 2000)을 나타내는 Philips E18-3F3 코어를 사용하였으며, Table I에 E18-3F3 코어의 기본 특성을 나타내었다.

$$P_{core} = \frac{12 \cdot \Delta T}{\sqrt{V_e}(\text{cm}^3)} \quad [\text{mW/cm}^3] \quad (1)$$

최대 허용 자속밀도  $B_{peak}$ 는 식 (1)에서 산출된 코어손실  $P_{core}$ 를 이용하여 식 (2)에 의해 산출하였으며, 허용상승온도 45°C에 대한 평면코어의  $P_{core}$ 는 551 mW/cm<sup>3</sup>이었고, 최대 허용자속밀도( $B_{peak}$ )는 162 mT이었다. 이 때 3F3 재질 페라이트 코어의 재료상수 A, X, Y는 각각  $2.5 \times 10^{-4}$ , 1.63, 0.41이고 162 mT의  $B_{peak}$ 에 대하여 진폭투자율( $\mu_a$ )은 상온(25°C)에서 약 3800이다.

$$B_{peak} = \left[ \frac{P_{core}}{A \cdot f^X} \right]^Y \quad [T] \quad (2)$$

코일의 권선수는 자속( $\phi$ )이  $\phi \sin \omega t$ 로 변할 때 유기되는 기전력을 통해 산출되며, 자속이 전압과 시간에 대한 전류의 변화이므로 전압의 평균치와 전압/시간과의 관계를 감안하여 식

Table II. The design Specifications and results for planar transformer

설계사양		설계결과	
항목	사양	항목	결과
형태	Flyback	형태	Flyback
용량	8 W	용량	8W
입력전압	70 V	입력 전압	70 V
출력전압	8.2 V	출력 전압	8.2 V
IC 전압	8.2 V	1차 권선수	24 turns
1차 듀티사이클	0.48/0.5	2차 권선수	3 turns
2차 듀티사이클	0.48/0.5	IC용 권선수	3 turns
스위칭 주파수	120 kHz	1차 입력전류	190 mA
주위 온도	55°C	2차 출력전류	1593 mA
허용상승온도	45°C	허용상승온도	40.4°C

(3)의 관계식에 의해 산출하였다[3,11]. 산출된 1, 2차 권선수는 각각 22.7회, 2.7회이었지만 본 연구에서는 권선수의 정수화를 위해 설계치의 1, 2차 코일의 권선비를 기준으로 1차 권선수( $N_1$ )와 IC 레이어 또는 2차 권선수를 각각 24회, 3회로 간주하였다. 그리고 이 때의 입력전류에 대한 1차 코일과 2차 코일의 인덕턴스는 각각 1900  $\mu$ H, 118  $\mu$ H이었다. 권선수, 임피던스 및 입출력전류 등의 결과는 Table II에 나타내었다.

$$N = \frac{V_2 \cdot \delta}{2f \cdot B_{peak} \cdot A_e} \quad (3)$$

그리고 평면 코일에 전류가 인가되면 PCB의 온도가 상승하게 되므로 1, 2차 권선을 샌드위치 구조로 적층하도록 권선 패턴을 설계하였고, 각 레이어 사이에는 근접효과에 대한 고주파손실을 방지하기 위해 200  $\mu$ m 이상의 절연층을 삽입하였다. 또한 평면 구리 박판의 두께는 제조단가와 전류상승온도에 의해 결정될 수 있지만 상용되고 있는 35  $\mu$ m를 사용하였다. 선간격과 권선폭의 제어는 온도상승의 억제를 위해 200  $\mu$ m 이상으로 하였으며, 선폭은 식 (4)의 표피효과에 의해 전류가 침투할 수 있는 표면으로부터의 깊이  $D_{skin}$ 에 의해  $2D_{skin}$  이하가 되도록 하였다.

$$D_{skin} = \frac{2230}{\sqrt{f(\text{kHz})}} \quad [\mu\text{m}] \quad (4)$$

한편 E18 평면 코어의 활용 가능한 권선 창(Window)이 4.6 mm이므로 선간격은 200  $\mu$ m 이상, 선폭은 식 (4)에 의해 406  $\mu$ m 이하 이어야 1차 코일에서의 근접효과와 표피효과에 의한 손실을 방지할 수 있다. 하지만 24회의 1차 코일의 권선은 4.6 mm라는 권선 창에서 위의 조건을 만족하는 조건으로 권선하는 것은 불가능하며 근접효과에 의한 손실을 감수하고 선폭을 200  $\mu$ m 미만으로 설계한다고 하더라도 50°C 이상까지 상승온도를 유발하여 45°C의 총 허용상승온도를 초과하게 되어 불가능하다. 따라서 24회 권선을 4개의 6회 권선

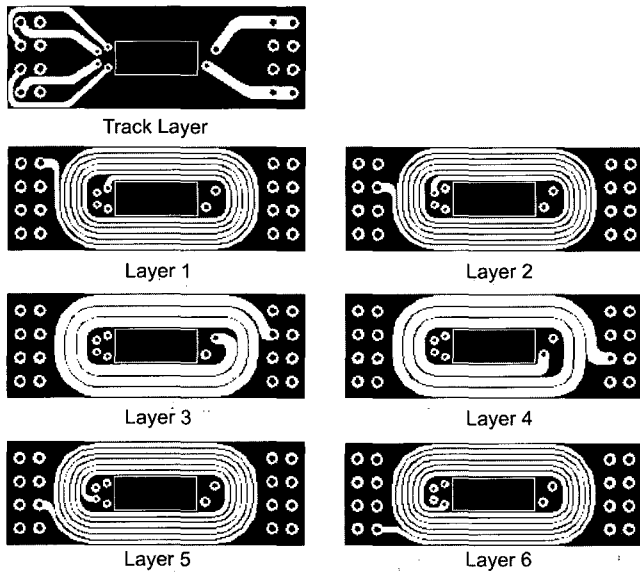


Fig. 2. Layer design for the planar transformer.

레이어로 직렬 연결하는 방법을 채택하여 근접효과를 방지할 수 있는 선폭을 확보함으로써 허용상승온도 이상의 온도상승을 방지하였다. 즉 1차 코일의 선간격과 선폭을 각각 300  $\mu\text{m}$ , 405  $\mu\text{m}$ 로 6회 권선하여 설계 조건을 모두 만족시켰다. 그리고 IC와 2차 코일의 경우 선간격과 선폭을 각각 300  $\mu\text{m}$ , 1140  $\mu\text{m}$ 로 설계하였다. 이 때 구리막의 두께는 35  $\mu\text{m}$ 로 하였다.

이와 같은 설계결과를 토대로 각 레이어에 대한 패턴 설계 결과를 그림 2에 나타내었다.

### 2.2. 특성평가

제작된 평면변압기의 샘플은 LRC meter(HP4194A)를 이용하여 인덕턴스, 교류저항, 성능지수, 결합지수 등을 측정하였으며, Oscilloscope(Agilent 54622D) 및 Function Generator(Agilent 34401A)를 이용하여 전기적 특성을 측정하였으며, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 평면변압기의 구조를 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

그림 3은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 평면변압기의 단면을 관찰한 것으로서, 1차 코일과 2차 코일의 평균 선폭은 각각 410  $\mu\text{m}$ , 1120  $\mu\text{m}$ 로 나타났으며, 이는 설계치 405  $\mu\text{m}$ , 1140  $\mu\text{m}$ 와는 약 2%의 오차를 나타내지만 도전체 선폭-유효전류-상승온도 관계의 검토결과 변압기의 온도상승(손실 증가)에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단되었다. 이 오차범위는 동막의 식각 과정에서 발생하는 것으로서, 일반적으로 PCB 제작 시  $\pm$ 수십  $\mu\text{m}$  정도의 오차범위를 발생시킬 수 있

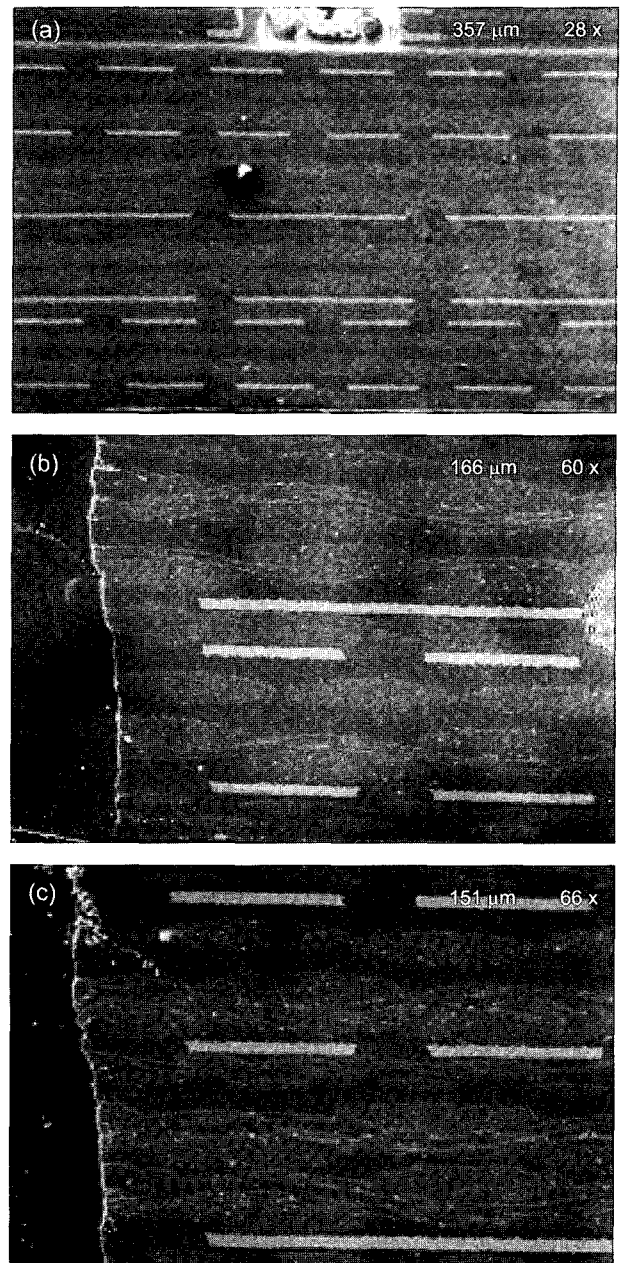


Fig. 3. Profile structures of the planar transformer.

으므로 특성변화 여부에 대한 검증이 필요하다. 또한 평균 선간격은 1차 코일이 230  $\mu\text{m}$ , 2차 코일은 250  $\mu\text{m}$ 로 설계치의 300  $\mu\text{m}$ 보다 약 50~70  $\mu\text{m}$  정도 작지만, 도전체의 두께가 35  $\mu\text{m}$ 일 때 150  $\mu\text{m}$  이상, 70  $\mu\text{m}$ 일 때 200  $\mu\text{m}$  이상이면 근접효과에 의한 손실을 최소화할 수 있다[3,4]. 따라서 오차범위는 약 25%로 크지만 근접효과에 의한 손실증가는 우려되지 않으므로 변압기의 특성발휘에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 하지만 IC용 레이어와 1차 레이어 사이의 절연층 두께가 설계치 200  $\mu\text{m}$  보다 작은 120  $\mu\text{m}$ 로서 근접효과를

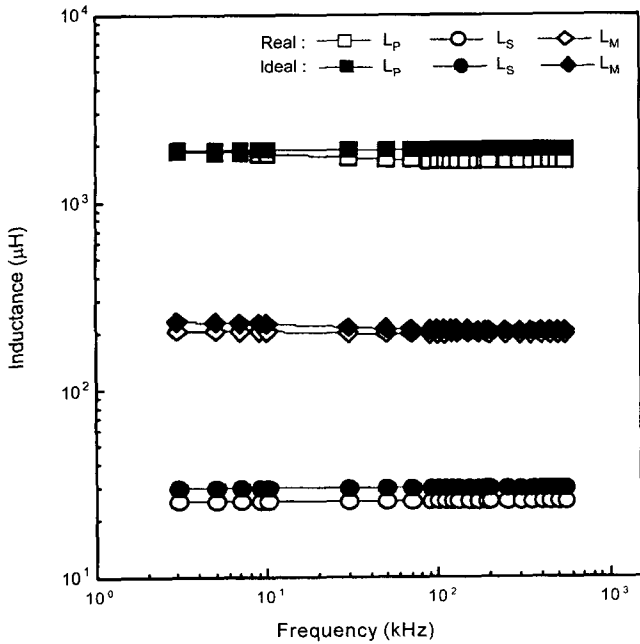


Fig. 4. Self ( $L_p$ ) and Mutual Inductance ( $L_s$ ) of Primary and secondary coils.

최소화할 수 있는 절연층의 최소 두께(150 μm)보다 작으므로 근접효과에 의한 손실이 예상된다.

그림 4는 1차 코일 자기인덕턴스( $L_p$ )와 2차 코일 자기인덕턴스( $L_s$ ) 그리고 상호 인덕턴스( $L_M$ ) 이론치와 실제 측정치를 나타낸 것이다. 자기 인덕턴스( $L$ )는 코일에서 유도 기전력의 유도 능력을 나타내는 것으로서, 인덕턴스의 이론 값은 식 (5)을 이용하여 산출하였다. 인덕턴스 특성은 일정한 외부 에너지에서 자성체의 형상과 재질에 의한 자속의 발생과 코일에서의 에너지유도에 대한 해석이므로 이에 대한 해석은 중요하다. 그리고 상호 인덕턴스는 식 (6)에 의해 산출되었으며, 여기서  $L_{p+s}$ 는 극성이 같은 방향으로 1차 코일과 2차 코일을 연결하여 측정된 인덕턴스 값이고,  $L_{p-s}$ 는 극성이 서로 반대 방향으로 1차 코일과 2차 코일을 연결하여 측정된 인덕턴스 값이다[7].

$$L = N^2 \cdot A_L$$

$$= N^2 \cdot \frac{\mu_0 \mu_e A_e}{L_e} \quad [nH] \quad (5)$$

$\mu_e$ : effective permeability,  $A_e$ : effective area  
 $L_e$ : effective length,  $N$ : turns

$$L_M = \frac{L_{p+s} - L_{p-s}}{4} \quad (6)$$

그림 4에서 1차 코일은 선폭과 선간격이 각각 405 mm, 300 μm인 4개의 6회 권선 레이어 각각의 주파수에 대한 인

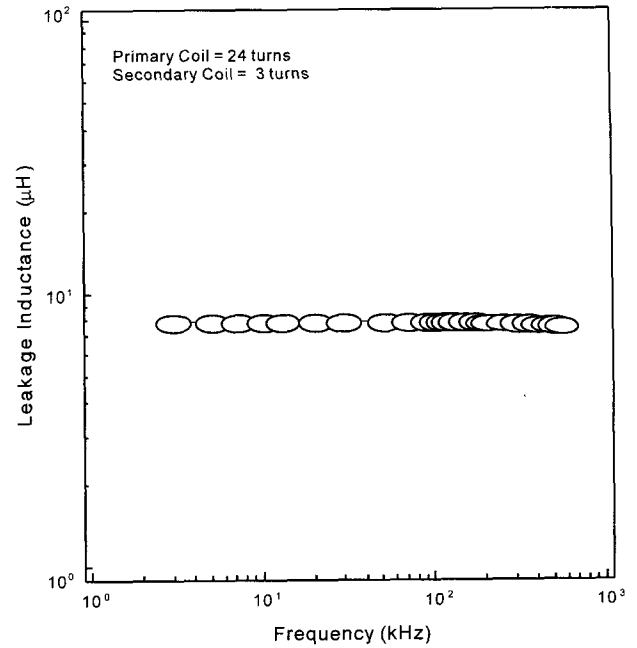


Fig. 5. Leakage inductance of the planar transformer.

덕턴스 특성과 이들 4개의 레이어를 직렬 연결하여 24회 권선을 구현한 1차 코일의 인덕턴스 특성을 나타낸 것이고, 2차 코일은 선폭과 선간격이 각각 1050 μm, 300 μm인 3회 권선 레이어의 주파수에 대한 인덕턴스 특성을 나타낸 것으로서, 모든 권선 레이어에서 스위칭 주파수 120 kHz 이상까지 아주 균일한 인덕턴스 특성을 나타내었다. 1차 코일과 2차 코일의 자기 인덕턴스 측정치는 각 이론치 1900 μH, 29.7 μH에 대하여 각각 1650 μH, 25.3 μH이었으며, 이는 약 87%와 85%의 인덕턴스 효율을 나타내는 것이다. 손실된 약 13~15%의 인덕턴스는 두 개의 E-코어사이에서 미세한 공극에 의한 누설 인덕턴스가 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

그러나 일반적인 변압기의 인덕턴스 효율이 75% 이하이므로, 기존의 원형 동선을 사용하는 일반적인 권선형 변압기보다 고주파대역에서의 표피효과와 근접효과에 의한 손실이 10% 이상 감소되어 기존의 변압기보다 우수한 효율 특성을 나타내었다.

그림 5는 2차 코일을 단락시킨 상태에서 1차 코일의 인덕턴스, 즉 누설 인덕턴스를 측정된 것이다. 이 누설 인덕턴스는 1차 코일과 2차 코일의 자속이 자성체에 완전히 집중되지 못하고 자속의 일부가 자성체 외부로 흘러 나와 발생하는 것으로서, 1차 코일과 2차 코일의 자속이 서로 완전히 상쇄되지 못하고 일부가 누설되는 것이다. 스위칭 주파수 120 kHz에서 누설 인덕턴스는 약 7.83 μH였으며, 주파수가 증가할수록 아주 작은 폭으로 감소하였다. 본 연구에서 설계 및 제작된 평면변압기의 누설 인덕턴스 7.83 μH는 인덕턴스 이론치

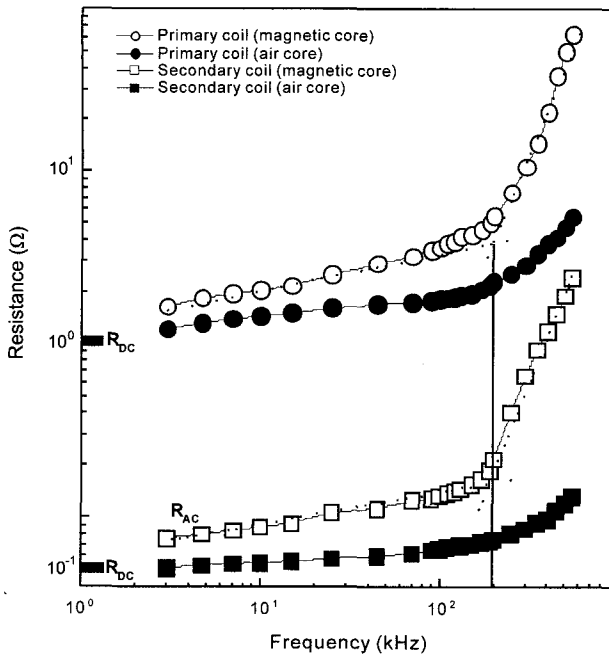


Fig. 6. Resistance of Primary and secondary coils.

의 약 0.4%를 차지하는 것으로서 무시해도 좋을 만큼 아주 작은 값으로 판단된다.

그림 6은 1차 코일과 2차 코일의 주파수에 따른 직류저항 ( $R_{DC}$ )과 공심(Air Core)과 자심(Magnetic Core)일 경우의 교류저항( $R_{AC}$ ) 특성을 나타낸 것이다. 선폭이 405  $\mu\text{m}$ 일 때 동선의 직류 저항  $R_{DC}$ 는 1.2  $\Omega$ 이었고, 선폭이 1050  $\mu\text{m}$ 인 2차 코일의 직류저항은 0.075  $\Omega$ 으로 나타났다. 이것은 도체의 직류저항이 도체의 길이에 비례하고, 도체의 단면적에 반비례하므로 선폭의 증가는 도체 단면적의 증가를 의미하므로 직류저항이 감소하게 된 것이다.

그리고 1차 코일과 2차 코일의 공심상태에서의 교류저항은 주파수 증가에 따라 증가하여 160 kHz 부근에서 변곡점을 나타내며 저항의 증가폭이 크게 증가하였다. 이것은 근접효과에 의한 저항( $R_p$ )과 표피효과에 의한 저항( $R_s$ )을 나타내는 것으로서, 160 kHz까지는 식 (4)에 의해 선폭을 결정하여 표피효과는 최소화하였으므로 근접효과에 의한 저항부분으로 판단되며, 160 kHz 이상에서는 근접효과와 표피효과에 의한 저항증가가 동시에 발생하여 증가폭이 상승한 것으로 사료된다. 또한 공심과 자심에서의 저항 차이는 주파수 증가에 따른 히스테리시스 손실( $R_h$ )과 와전류 손실( $R_e$ )을 나타내는 것으로서, 일반적인 페라이트 코어의 교류특성과 같이 200 kHz 부근의 변곡점을 기준으로 200 kHz 이하의 주파수에서는  $R_h$ 가 지배적으로 작용하고, 그 이상의 주파수에서는  $R_e$ 에 의한 저항증가가 지배적으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. 그리고 200 kHz 이상에서는  $R_p$ 와  $R_s$ 가 포함되어 저항의 증가폭은 크게 상승

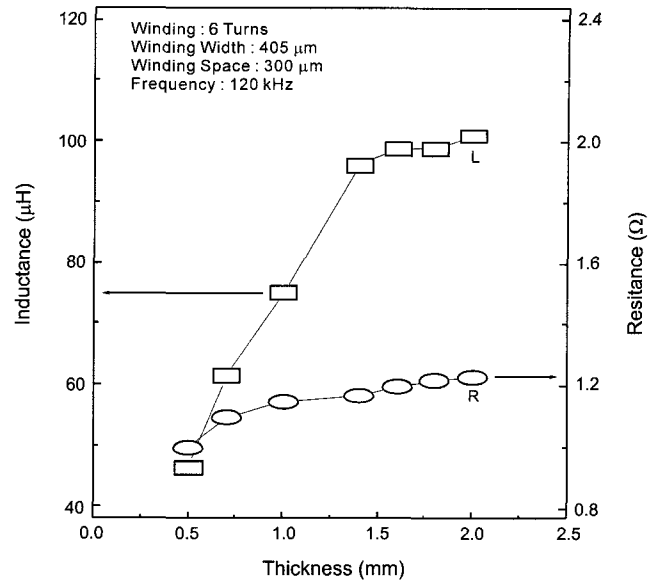


Fig. 7. Inductance and Resistance for 6 turns windings as a function of plate thickness for magnetic core.

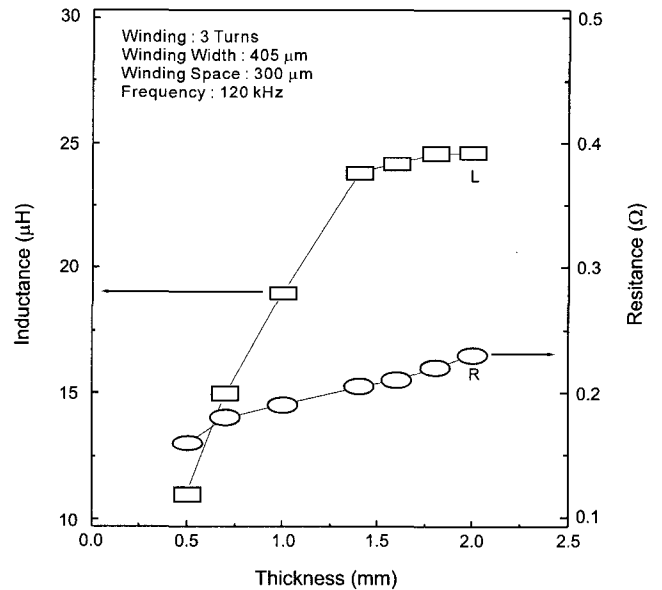


Fig. 8. Inductance and Resistance for 3 turns windings as a function of plate thickness for magnetic core.

하였다. 하지만 스위칭 주파수 120 kHz에서 각각의 교류저항은 3.92  $\Omega$ , 0.14  $\Omega$ 으로 200 kHz까지 완만한 저항증가를 나타내어 비교적 안정한 저항-주파수 특성을 나타내고 있으므로 본 평면변압기의 특성에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

그림 7과 그림 8은 6회 및 3회 권선층에서 자성체 E코어의 평면두께에 따른 저항과 인덕턴스 변화를 120 kHz에서 측정된 것이다. 저항은 자성체의 평면두께가 증가할수록 증가하였다. 6회 권선층은 두께 증가에 따라 1.0  $\Omega$ ~1.23  $\Omega$  사이에

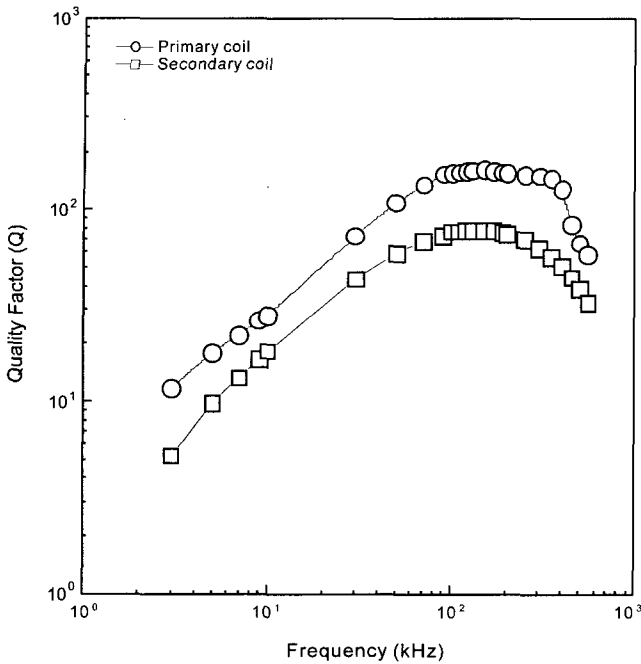


Fig. 9. Quality factor of the planar transformer.

서 작은 증가폭을 보였고, 3회 권선층은 0.16 Ω~0.23 Ω 사이에서 두께 증가에 따른 작은 증가폭을 보였다. 이 두께에 따른 저항의 증가는 평면두께가 증가할수록 자성체 내부에서 자화를 방해하는 방향으로 발생하는 와전류에 의한 손실이 증가하기 때문이다.

그리고 인덕턴스는 두께가 1.4 mm까지 평면두께가 증가할수록 큰 폭으로 증가하였으며 그 이후 2 mm까지는 거의 일정한 값을 나타내었다. 이것은 1.4 mm 미만까지는 두께 증가에 따라 자속의 집속량이 증가되기 때문에 큰 증가폭을 보이는 것이고, 두께가 1.4 mm 이상이 되면 발생하는 자속을 모두 집속할 수 있으므로 인덕턴스는 일정한 값을 나타내며, 두께의 증가는 변압기의 특성발화에 아무런 영향을 미치지 못하고 변압기의 부피 증가만 초래하였다.

따라서 자성체 E코어의 평면두께는 1.4 mm가 최적점이라고 판단되며, 평면변압기의 설계사양 및 설계조건에 따른 평면두께의 최적점은 변하므로 이에 대한 파악이 중요한 것으로 판단된다.

그림 9는 1차 코일과 2차 코일의 성능지수 특성의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 성능지수는 임피던스 분석기 (Impedance Analyser, HP 4192A)를 이용하여 측정하였으며, 식 (7)을 이용하여 측정치의 정확도를 확인하였다.

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} \quad (7)$$

Q : Quality factor, L : Inductance (H)

R : Resistance (Ω), f : Frequency (Hz)

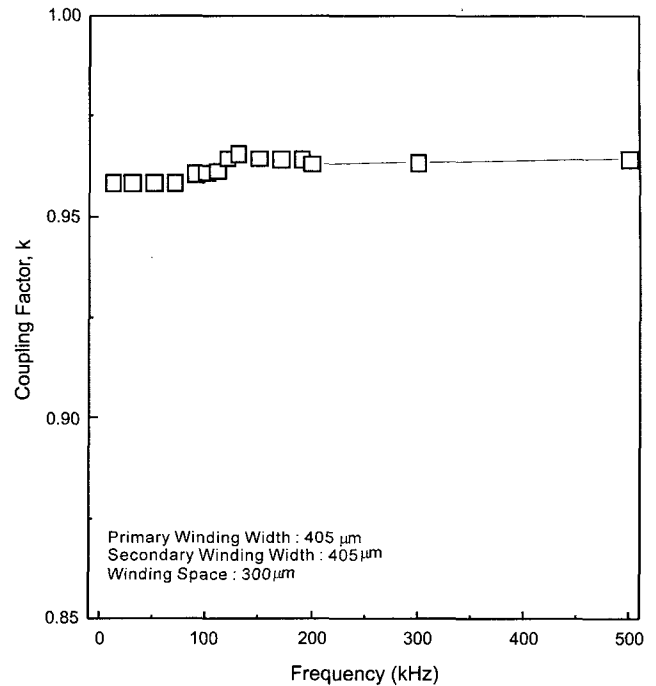


Fig. 10. Coupling factor(k) as a function of frequency.

1차, 2차 코일에 대한 성능지수는 200 kHz까지 비교적 큰 폭으로 증가하였고, 스위칭 주파수 120 kHz에서의 성능지수는 각각 158, 75로 높은 값을 나타내었다. 그리고 200 kHz 이상의 주파수 대역에서는 감소하는 경향을 나타내었는데, 이것은 그림 6에서 200 kHz 이상부터 교류저항의 급속한 증가로 인해 발생하는 결과이다.

그림 10은 본 연구에서 제작된 평면변압기의 결합인자(k)-주파수 특성을 나타낸 것으로서, 식 (5)와 식 (6)에 의해 산출된 1차 코일과 2차 코일의 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스를 이용하여 식 (8)에 의해 산출되었다. k값은 주파수 증가에 따라 비교적 일정한 값을 나타내었으며, 스위칭 주파수 120 kHz에서 0.96~0.97 범위의 높은 값을 나타내었다.

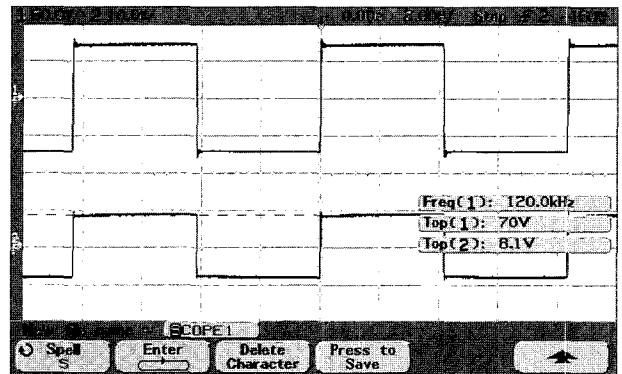


Fig. 11. Input and Output waveforms of planar transformer.

$$k = \frac{L_M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (8)$$

그림 11은 본 연구에서 설계 및 제작된 평면변압기의 스위칭 주파수 120 kHz에서 입력전압과 출력 파형을 나타낸 것으로, 70 V 입력전압에 대하여 8.1 V의 안정한 구형파의 출력 파형이 나타났다. 이 안정적인 평면변압기의 구동은 본 연구에서 제작된 평면변압기의 설계조건이 오류 없이 설계되었음을 나타내며, 본 연구의 목적과 일치하는 것이라고 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 기존의 변압기와는 다른 평면 코어와 평면 코일로 이루어진 8W급 플라이-백(Flyback) 평면 변압기를 설계 및 제조하였으며, 입출력 신호에 대한 전·자기적 특성 등과 같은 기초 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 1차 코일과 2차 코일의 권선수를 각각 24회, 3회로 하고, 선간격 300 μm, 선폭을 각각 405 μm, 1140 μm으로 하여 총 상승온도가 40.4°C이고 입/출력 전압과 용량이 각각 70 V/8.2 V, 8 W인 평면 변압기를 설계 및 제작할 수 있었다.
2. 스위칭 주파수 120 kHz에서 약 85~87%의 인덕턴스 효율을 나타내었고, 1차 코일과 2차 코일의 교류저항은 각각 4.2 Ω, 0.25 Ω이었으며 주파수가 증가할수록 증가하였고, 성능 지수는 각각 158, 75이었다. 그리고 코어의 인덕턴스 변곡점인 임계 평면두께는 1.4 mm이었으며, 결합 인자 k는 주파수 증가에 따라 비교적 일정한 값을 나타내었으며, 스위칭 주파

수 120 kHz에서 0.96~0.97 범위의 값을 나타내었다.

3. 70 V 입력전압에 대하여 8.1 V의 안정한 구형파의 안정한 출력파형을 나타내어 평면변압기의 설계방법을 확립하였으며, 평면변압기의 응용 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김현식, “Co-계 비정질 자성 박막을 이용한 평면 인덕터의 제조와 특성”, 경남대, 1-4(1998).
- [2] 이배원, “고효율 변압기를 이용한 파워드 컨버터 설계”, 중앙대, 1-18(1999).
- [3] Ferroxcube, “Design of Planar Power Transformer”, 1-14 (2000).
- [4] Conor Quinn, Karl Rinne, “A review of Planar Magnetic Techniques and Technologies”, IEEE, (2001).
- [5] 김희준, “스위치모드 파워스플라이”, 성안당, 3-48(2000).
- [6] PHILIPS, “Soft Ferrites and Accessories”, 2000 Data Handbook, 7-38(2000).
- [7] 윤희중, 정명희, “저전력, 고주파, 고효율 자성박막 변압기 설계 및 제작에 대한 연구”, 대한전기학회지, **50**(11), 555-561(2001).
- [8] Mulder S. A., “Application note on the design of low profile high frequency transformers, Ferroxcube Components”, (1990).
- [9] 김현식, 허정섭, 김종령, 민복기, “초소형 고효율 평면변압기의 기술동향”, 전력전자학회지, **6**(5), 22-27 (2001).
- [10] Mulder S. A., “Loss formulas for power ferrites and their use in transformer design, Philips Components”, (1990).
- [11] 김관중, 김철진 “트랜스포머/인덕터 설계테크닉 및 응용기술”, 과학기술정보연구소, 57-188(2001).
- [12] PHILIPS, “25 Watt DC-DC converter using intergrated Planar Magnetics” Ferroxcube Components technical note, (1996).

## Design and Electromagnetic Characteristics of Planar Transformer

**Hyun-Sik Kim\* and Hae-Yeon Lee**

*MATTRON Co., Ltd. 449 Wolyoung-Dong, Masan, Kyungnam 631-701, Korea*

**Jong-Ryung Kim and Young-Woo Oh**

*Kyungnam University, 449 Wolyoung-Dong, Masan, Kyungnam 631-701, Korea*

(Received 26 March 2002, in final form 14 June 2002)

**Abstract** – We designed the flyback planar transformer, which had 8 W capacity, with 70 V input voltage and 8.2 V output voltage for the establishment of design method and the confirmation of application possibility. The numerical value of inductance measured under the switching frequency of 120 kHz was 1650  $\mu\text{H}$ , which was the inductance efficiency of 85~87% against theoretical value. The A.C. resistance of primary and secondary coil was 4.2  $\Omega$  and 0.25  $\Omega$  respectively, On the other hand, the quality factor for each wound numbers showed quite a high value of 158 and 75 respectively. And the Coupling Factor was 0.96~0.97 under 120 kHz switching frequency. The inductance rapidly increased as the thickness of the core plane increased until it became 1.4 mm but under the thickness more than 1.4 mm, there was no substantial change. Therefore, the critical value of the plane thickness of core was 1.4 mm. And the shape of the output wave of the planar transformer at 70V input voltage was a stable square wave.

**Key words** : Planar Transformer, Skin Effect, Inductance, Coupling Factor, Proximity Effect