

코일 형태에 따른 변압기의 특성

김현식, 김종령*, 이해연, Ustinov Evgeniy, 오영우*
(주)매트론 기술연구소, 경남대학교*

Characteristics of Transformer as a function of Coiling method

Hyun-Sik Kim, Jong-Ryung Kim*, Hae-Yon Lee, Ustinov Evgeniy, Young-Woo Oh*
MATTRON Co. Ltd. R&D Center, Kyungnam Uni.*

Abstract

변압기는 권선방법에 따라 많은 특성의 변화를 나타내게 되는데, 일반적인 동선의 권선법과 코일형태로 동판을 가공하여 사용하는 평면 권선방법, 그리고 고전류용 변압기에 이용되는 것으로 코어의 권선창 표면을 감싸는 형태의 관형 권선방법의 3가지의 코일 형태 또는 권선방법에 따른 변압기의 특성 변화와 컨버터에 채용되었을 때의 전력효율에 대하여 고찰하였다. 평면 코일을 이용한 변압기는 높은 코일간의 결합도로 인해 가장 낮은 누설인덕턴스와 가장 높은 성능지수 및 결합계수를 나타내었고, 관형코일을 이용한 변압기는 높은 누설특성으로 인해 가장 낮은 성능지수와 결합계수를 나타내었다. 그리고 이들을 DC-DC 컨버터에 채용하여 분석한 결과 평면변압기가 가장 높은 효율을 발휘하였다. 관형변압기는 저전력에서는 높은 누설량으로 인해 효율이 상대적으로 낮지만 출력전력이 증가할수록 상승하는 발열량에 대한 방열효과가 높아 효율의 감소폭이 작아서 고주파 또는 대전류용 변압기 응용이 기대된다.

Key Words : planar Transformer, Flat Transformer, coupling factor, Leakage Inductance

1. 서 론

오늘날 전기·전자 및 통신 분야의 급속적인 기술발전으로 효율적이고 안정적인 전원의 공급과 집속화 기술에 대한 관심이 고조됨에 따라 전원장치의 고효율화, 소형화, 단면의 슬림화 등에 대한 기술개발 연구가 광범위하게 이루어지고 있다. 전원장치의 소형화 및 고효율화는 가장 큰 부피와 발열량을 나타내는 변압기로 인해 어려움을 겪고 있다^{1~2)}. 변압기의 소형화와 고효율화는 전원장치 뿐만 아니라 이를 채용하는 모든 전자기기의 소형화와 고효율화를 이루는 것이므로 중요한 부분이라고 할 수 있다. 하지만 적용되는 변압기는 일정한 권선비와 출력, 용량 등의 기본적인 특성이 만족되면 적용되고 있고, 이에 대한 이론적인 연구 및 접근이 체계적이지 못한 것이 사실이다.

일반적으로 변압기의 소형화는 스위칭 주파수를 증가시키면 가능해지지만, 자심재료의 유효단면적

의 축소에 따른 방열 면적이 감소하여 손실이 증가하게 되며, 이 손실량은 스위칭 주파수의 증가에 따라 비례적으로 증가하게 되고, 권선형 변압기는 수 백 kHz 이상의 스위칭 주파수에서 표피효과(Skin effect)와 근접효과(Proximity effect)에 의한 손실의 증가로 인해 고주파의 스위칭 주파수를 갖는 전원장치에는 응용하기가 어려운 실정이다.^{3~4)} 이 변압기의 특성은 권선방법에 따라 상당한 특성 변화를 나타내게 되는데, 사용되는 전압과 전류 그리고 공간 및 생산단가 등에 따라 권선은 변화시킬 수 있다.

변압기의 권선에 이용될 수 있는 권선방법은 크게 3가지 정도가 가능한데, 첫째는 동선을 이용하는 일반적인 권선법으로서, 이 권선법은 현재 일반적인 전원용 변압기에 적용되고 있는 구조이다. 이것은 전원이 점점 고주파화됨에 따라 발생하는 표피효과와 근접효과 등에 의한 고주파손실이 급증하여 더 이상의 고효율화 및 소형화에 한계를 드

러내는 구조이므로, 또 다른 형태의 구조설계를 통한 소형화와 고효율화를 이끌어낼 필요가 있다.

둘째는 넓은 유효 단면적을 가진 평면 코어와 코일형태로 가공된 평면형 도체를 이용한 평면형 변압기(Planar Transformer)로서, 권선과 권선사이를 일정한 거리를 유지하여 권선되고, 평면형의 코일을 이용하므로 1차 코일과 2차 코일의 결합도를 증가시킴으로서 고주파 손실을 감소시켜 고주파대역용 전원장치에의 채용이 가능하여 소형화와 고효율화를 동시에 이루고자 하는 방법이다

마지막 세 번째 형태는 코어의 권선창 표면을 감싸는 형태의 권선방법을 취하는 것으로, 코일이 자심재료의 권선창에 밀접하여 방열효과를 극대화하여 변압기에서 발생하는 온도상승을 최소화하고자 하는 형태이다.

따라서 본 연구에서는 위에서 제시한 세 가지의 권선방법으로 300W급 변압기를 설계/제작하고 코일형태에 따른 결합도 및 품질계수 등에 대한 특성평가를 통하여 각각의 장단점을 파악하고, 이를 DC-DC 컨버터에 채용하여 출력 특성을 측정 및 고찰하여 최적의 권선방법을 찾고자 하였다.

2. 실험

각종 변압기의 샘플 제조에 사용된 자심재료는 Ferroxcube社의 3F3- E32 Mn-Zn 페라이트 코어를 사용하였다. 3F3- E32 코어는 약 1800의 투자율과 1 MHz의 주파수 안정성을 가지는 자심재료이다. 본 연구에서 제작된 변압기의 사양은 표 1과 같이 300 W급으로서, 입력부 권선은 200 μm 두께의 동선을 가공하여 6회 권선 패턴을 형성시켜 고정하였고, 출력부의 권선은 위에서 제시한 세 가지의 방법에 대한 코일을 각각 가공하여 샘플을 제조하였다. 즉, 동선을 이용한 권선은 지름이 1.5 mm인 절연동선을 이용하였으며, 평면형 권선은 200 μm 두께의 동판을 가공하여 권선하였다. 그리고 권선창 표면을 감싸는 형태의 관형 권선은 200 μm 두께의 동판을 가공하여 제조하였다. 이때 세 가지의 권선방법은 형태는 상이하지만 제조된 후의 코일의 유효길이, 단면적 및 직류저항은 일치시켰으며, 그림 1에 가공된 코일형상과 결합형식에 대한 사진을 나타내었다.

그리고 변압기의 출력전류는 20A로 고전류이므로 400 μm 의 air gap을 형성시켜 자심재료의 투자

율을 약 200으로 저하시켰고, 자심재료에 의한 특성의 오차를 방지하기 위해 동일한 자심재료에 코일 교체하여 샘플을 각각 제조하였다.

이들 권선들의 구조는, 일반 변압기(Conventional Transformer)용 코일은 자심재료의 중심 축을 기준으로 감겨있는 형태이고, 평면 변압기(Planar Transformer)용 코일은 자심재료의 권선창 폭에 맞게 권선형태로 가공되어 권선창에 수형하게 삽입되는 형태이다. 그리고 관형 변압기(Flat Transformer)용 코일은 EE형의 자심재료 권선창의 내부표면 전체를 코일이 감싸고 있는 형태로 1차 코일이 2차 코일에 둘러싸이는 형태이다. 여기서는 일반변압기, 평면변압기, 관형 변압기를 각각 CT, PT, FT로 표현하기로 한다.

이렇게 제조된 각종 변압기는 LCR meter (HP4294A)를 이용하여 누설 인덕턴스, 결합계수, 성능지수 등에 대한 특성분석을 하였다. 이렇게 제조된 각각의 변압기들은 300W급 Forward 식 DC-DC 컨버터에 채용하여 효율과 출력신호 등에 대한 특성분석을 실시하였다.

표 1. 제작된 변압기의 사양

Item		Specification
Topology		Forward Type
Power		300 W
Turns Ratio		6 : 1
Air Gap		400 μm
Coil Type	Primary	Planar Type
	Secondary	(a) Conventional (b) Planar (c) Flat

3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 연구에서 비교 평가하고자 하는 각종 2차 권선형태를 가공한 것으로서, (a)는 CT용 코일이고, (b)는 PT용 코일이며, (c)는 FT용 2차 코일이다.

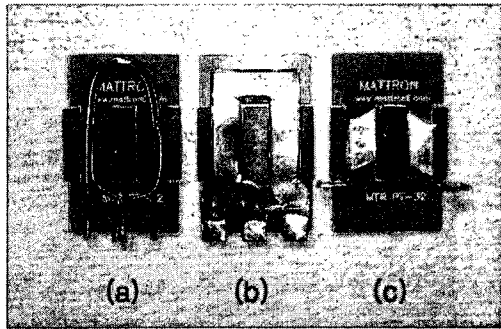


그림 1. 각종 형태의 권선 (a) Conventional Coil, (b) Planar Coil, (c) Flat Coil

그림 2는 1차 코일을 고정된 상태에서, 2차 코일의 형태에 따른 누설 인덕턴스 변화를 나타낸 것이다. 관형 코일에서 1.0 μH 이상의 값으로 가장 높은 누설량은 나타났고, 평면형 동선 코일에서 0.5 μH 내외의 가장 낮은 누설 인덕턴스를 나타내었다. 이것은 관형 코일의 경우, 코일이 자심재료 권선창의 내부표면을 둘러싼 형태에서 1차 코일과 2차 코일간에 구조상 발생하는 많은 공극으로 권선 간의 결합도가 떨어짐으로서 누설자속이 증가하게 된 것으로 보이며, 평면형 코일의 경우는 1차 코일과 2차 코일의 표면이 서로 치밀하게 접촉하고 있어 상대적으로 누설 인덕턴스는 낮은 것으로 보인다.

그림 3은 각종 코일 형태에 따른 결합계수를 나타낸 것으로서, 평면형 코일의 경우 1차 코일과 2차 코일이 서로 치밀하게 접촉하여 낮은 누설량과 높은 상호 인덕턴스의 발현으로 거의 1에 근접하여 완벽한 결합도를 나타내고 있으나, 관형 코일의 경우는 0.7 내외의 비교적 낮은 결합계수를 나타내었다. 이것은 그림 2의 누설인덕턴스의 발생량과 일치하는 경향을 나타내는 것으로, 1차 코일과 2차 코일의 자기 인덕턴스는 코일의 형태에 따라 동일하지만 누설을 통한 상호인덕턴스가 서로 상이하게 나타나기 때문이다.

그림 4는 코일 형태에 따른 성능지수를 나타낸 것으로서, 성능지수의 절대값을 비교했을 때, 평면 변압기가 가장 높은 값을 나타내었고, 일반 변압기가 가장 낮은 값을 나타내었다. 평면변압기에서 가장 높은 성능지수를 나타내는 것은 코일간의 높은 결합도로 누설 자속이 감소하여 상대적으로 높은 값을 나타내는 것으로 판단된다.

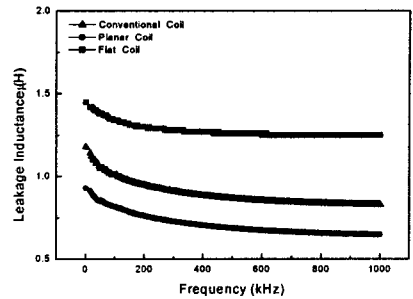


그림 2. 각종 코일형태에 따른 누설 인덕턴스

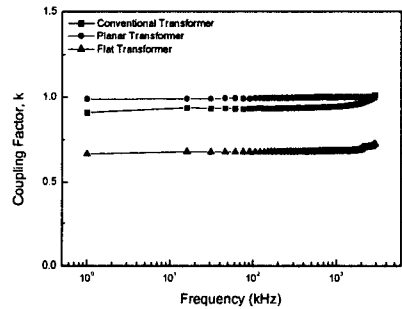


그림 3. 각종 코일형태에 따른 결합계수

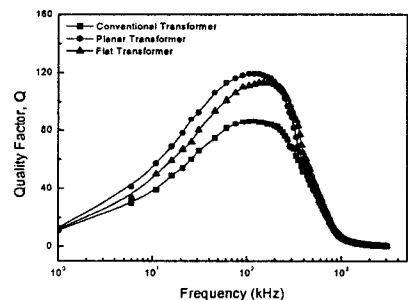


그림 4. 각종 코일형태에 따른 성능지수

그리고 최대의 성능지수를 나타내는 주파수는 관형 변압기의 경우 200~300 kHz로 가장 높은 대역을 나타내었고, 평면변압기는 100~200 kHz, 일반 변압기는 100 kHz 주위에서 나타났다. 이것은 주파수가 증가함에 따른 동선의 저항과 자심재료의 주파수손실이 증가하여 일정 주파수 이상에서 성

능지수가 급격히 감소하게 되는데, 관형 변압기의 경우, 평면변압기보다 낮은 성능지수를 나타내지만 2차 코일이 자심재료의 권선창 내부표면을 감싸고 있어 방열효과가 극대화됨으로서 피크점이 보다 고주파 대역으로 이동한 것으로 판단된다. 즉 관형 코일은 고주파대역에서 대전류를 필요로 하는 변압기에 응용되어 높은 효율을 발휘할 수 있을 것으로 추측된다.

그림 5는 각종 변압기를 DC-DC 컨버터에 채용했을 때의 출력 전력에 대한 효율특성을 나타낸 것으로서, 평면변압기가 약 90%의 가장 높은 전력 효율을 나타내어 누설 인덕턴스, 성능지수, 결합계수 등의 결과를 뒷받침하였다. 그리고 일반 변압기와 관형 변압기의 경우, 출력 전력이 약 150W 이하에서는 일반 변압기가 높지만, 그 이상의 출력전력에서는 관형 변압기가 보다 높은 효율을 나타내었다.

표 2. 각종 변압기가 적용된 컨버터의 사양

Item	Specification
Topology	Forward
Power	300 W (400 W _{max})
Input Voltage	220 VAC ± 10 %
Output Voltage	15 V _{DC}
Output Current	20 A
Switching Frequency	300 kHz

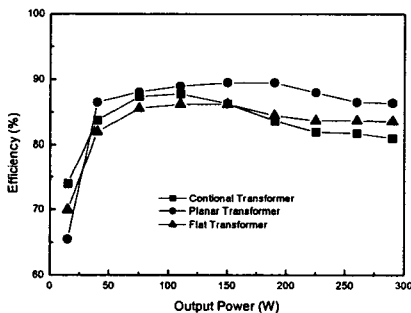


그림 5. 각종 변압기가 DC-DC 컨버터에 채용되었을 때의 효율

이것은 관형 코일이 1차 코일과의 결합도가 낮아 낮은 효율을 나타내지만, 출력전력이 상승할수록

증가하는 코일에서의 발열량에 대한 방열효과가 높아 주파수 증가에 따른 효율의 감소폭이 낮기 때문이다. 이것은 그림 4의 성능지수의 변화와 일치하는 것으로서, 관형 변압기는 출력전류가 높음에도 불구하고 출력전력의 증가에 따른 효율 변화가 적어 대용량 및 대전류용 변압기로의 응용에 적합할 것으로 판단된다.

4. 결론

코일의 형태 또는 권선방법에 따른 변압기의 특성변화와 응용성에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평면변압기는 코일간의 높은 결합도로 인해 가장 낮은 누설자속과 가장 높은 성능지수 및 결합계수를 나타내었고, 관형변압기는 높은 누설 특성으로 인해 가장 낮은 특성 나타내었다.
2. DC-DC 컨버터에 대한 응용성 분석 결과, 평면 변압기가 가장 높은 효율을 발휘하여 일반적인 동선 권선방법보다 우수한 특성을 나타내었다.
3. 관형변압기는 출력전력이 증가할수록 상승하는 발열량에 대한 방열효과가 높아 효율의 감소폭이 아주 작아, 고주파 또는 대전류용 변압기에 응용될 수 있을 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] 김현식, 이해연, 김종령, 오영우, "평면 변압기의 설계와 전자적 특성", 한국자기학회지, 12권, 3호, p. 109, 2002.
- [2] 이배원, "고효율 변압기를 이용한 파워드 컨버터 설계", 중앙대, p.1-18, 1999
- [3] 이해연, 허정섭, 김현식, 김종령, 오영우, "300W급 평면 변압기의 설계 및 분석", 한국전기전자재료학회, 춘계 학술대회 논문집, p. 46, 2003.
- [4] 김현식, 허정섭, 김종령, 민복기, "초소형 고효율 평면변압기의 기술동향", 전력전자학회지, 6권, 5호, p. 22, 2001.
- [5] Ferroxcube, "Design of Planar Power Transformer", Application note, 2000.
- [6] 윤희중, 정명희, "저전력, 고주파, 고효율 자성박막 변압기 설계 및 제작에 대한 연구", 대한전기학회지, Vol. 50C, No. 11, p. 555, 2001.