

Flat Transformer 코아의 설계와 컨버터 동작 특성

한세원, 조한구
한국전기연구원

Study on designing of Flat Transformer and operating characteristics of Converter

Han Se-Won, Cho Han-Goo
KERI

Abstract

The first attention in designing a transformer for low temperature rise should be to reduce losses. Leakage inductance and temperature rise are two of the more impotent problems facing the magnetic core technology of today's high frequency transformers. Excessive leakage inductance increases the stress on the switching transistors and limits the duty-cycle, and excessive temperature rise can lead the design limitation of high frequency transformer with high current. The flat transformer technology provides a very good solution to the problems of leakage inductance and thermal management for high frequency power. The critical magnetic components and windings are optimized and packaged within a completely assembled module. The turns ratio in a flat transformer is determined as the product of the number of elements or modules times the number of primary turns. The leakage inductance increase proportionately to the number of elements, but since it is reduced as the square of the turns, the net reduction can be very significant. The flat transformer modules use cores which have no gap. This eliminates fringing fluxes and stray flux outside of the core. The secondary windings are formed of flat metal and are bonded to the inside surface of the core. The secondary winding thus surrounds the primary winding, so nearly all of the flux is captured.

Key Words : Flat Transformer, Ferrite TR Core, DC/DC Converter, Module Design, Power Loss

1. 서론

낮은 온도에서 동작하는 페라이트 변압기를 설계 하기 위해서는 무엇보다 손실을 줄이는 것이 요구된다. FLAT 변압기는 페라이트 코아를 매트릭스로 설계 적용하여 주권선의 권선수를 줄여서 제작하기 때문에 매우 낮은 누설 인덕턴스를 가지게 되고 탁월한 고주파 응답특성을 나타낸다. 특히 기존 변압기의 낮은 열 분산성과 높은 누설 인덕턴스 그리고 낮은 주파수 특성과 큰 부피로 인해 발생하는 HOT SPOT와 같은 문제점을 페라이트 코아와 몰드 절연

에 따른 고밀도 전원형의 low profile 디자인으로 해결할 수 있다. 이러한 특성은 구동 전압은 낮지만 높은 전류가 요구되는 각종 인버터/컨버터에 적용하여 에너지 절감은 물론 가격 절감의 효과를 기대할 수 있다. 자성 코아는 어느 정도의 동작 주파수까지 증가시키면 이에 반비례하여 크기가 감소하여 소형 및 경량화가 가능하다. 현재 연자성체의 고주파화는 약 300kHz 영역까지 실용화 단계에 접어들고 있으며 이를 더 높이기 위해서는 저손실형 페라이트 코아의 개발이 필요하다. Mn-Zn계 페라이트 코아는 높은 포화 자속 밀도와 비저항을 가지고 있어 고주파 SMPS용 자심으로 각광받고 있다.

한국전기연구원 신소재응용연구그룹 Tel 055-280-1674
E-mail : swhan@keri.re.kr

본 연구에서는 고주파용 대전류 출력형 Flat

Transforme용 코아의 모듈화 설계 기술과 이를 컨버터에 적용하기 위한 회로 설계 및 동작 특성을 검토하였다.

2. 코아 제조

표 1은 제조된 Mn-Zn계 페라이트 코아 시제품의 전기적, 자기적 기본 물성을 비교한 것이다. Mn-Zn계 페라이트 코아의 경우 Ni-Zn계 페라이트 코아와 비교하여 고유 저항이 낮지만 포화 자속 밀도가 높기 때문에 고주파 SMPS용 자심으로 많이 채택된다. 파워 페라이트에서 손실은 히스테리시스 손실과 와전류 손실이지만 스위칭 주파수가 높아지면 주파수에 비례하는 와전류 손실의 저감이 중요하게 된다. 와전류는 페라이트상을 고저항화 하여 저감할 수 있다. 따라서 결정 입자를 가능하면 작게하여 고저항의 입계에서 절연을 해 주는 방법으로 제조된다. 여기서의 고유 저항은 표 3에서 보듯이 약 5Ωm로 측정되었다.

표 1. Mn-Zn계 페라이트 코아의 기본 물성

Sample : [ZnO-MnO-Fe ₂ O ₃]-SiO ₂ -X Ferrite					
Shape	Tc[°C]	ρ[Ωm]			D[kg/m ³]
Toroidal	>220	F01	F02	F03	4.90
		2.6	5.2	4.3	

표 2는 페라이트 시편의 고주파 및 온도에 따른 자성 특성을 비교한 것이다. 시편의 차이는 첨가물의 조성 변화에 의한 것이다. 여기서는 포화 자속 밀도와 초기 투자율 및 손실 특성이 안정된 FO2 시리즈를 최적의 시편으로 선택하여 검토하였다.

표 2. Mn-Zn계 페라이트 코아의 자성 특성

Properties	Test Conditions			Values		
	Freq. kHz	Flux Density mT	Temperature °C	F01	F02	F03
Initial Permeability, μi	10	0.1	25	2500	2700	3000
Power Loss, Pv[kW/m ²]	500	50	25	240	200	224
			100	210	150	180
Saturation Flux Density, Bs[mT]	1	H=1000A/m	25	510	510	480
			100	400	400	360
Remanence Flux Density, Br[mT]	1	H=1000A/m	25	60	120	100
			100	40	70	80
Corectivity, Hc[A/m]	1	H=1000A/m	25	5.5	13.5	24
			100	-	8.9	10

그림 1은 Flat TR용으로 제조된 페라이트 코아 시편 FO2의 주파수에 따른 인덕턴스(Ls)와 품질 지수(Q)를 측정된 결과이다. 시편 FO2의 경우 사용하기 적합한 주파수 영역은 ~백kHz영역에 있음을 알 수 있고 인덕턴스는 전형적인 페라이트의 값을 갖는 것

을 나타냈다.

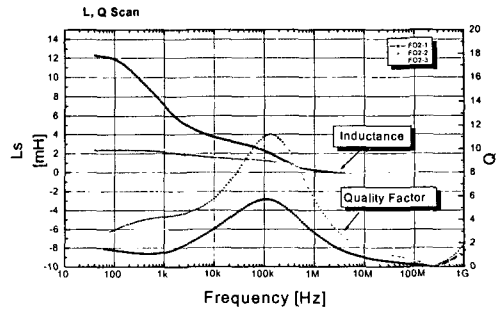


그림 1. 시편 FO2의 주파수에 따른 인덕턴스(Ls)와 품질지수(Q)

페라이트 코아는 동작 온도의 범위가 넓을수록 유리하다. 그러나 손실에 의한 발열로 인해 최적의 동작 온도, 즉 낮은 동작 온도에서 손실이 최소화되는 특성을 설정하게 된다. 그림 2는 사용 주파수를 250 kHz로 하고 온도에 따른 코아 손실 특성을 측정된 결과이다. FO2-1에서 FO2-3로 가면서 코아 손실이 최소화되는 동작 온도가 낮아진다. 일반적으로 저발열 설계를 하기 위해서는 100°C이하에서 최소 손실을 갖는 코아를 선택하는 것이 유리하다. FO2-2의 경우 동작 온도가 약80°C정도에서 가장 낮은 손실값을 가지고 있어 적절한 조성을 판단된다.

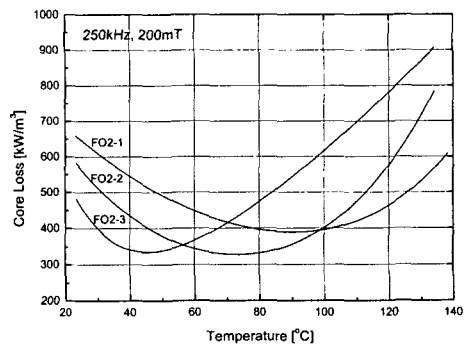


그림 2. 동작 온도에 따른 손실 특성

3. Flat TR 설계

3.1 Flat TR의 특징

기존 변압기는 단일 코아(single core)를 사용하여

1차측 주권선 턴수가 많아 동손, 철손 및 큰 누설 인덕턴스를 가지게 된다. 또한 고주파 스위칭에 대한 응답 특성이 나쁘고 부피가 커지는 경향이 있다. 결국 이러한 특성은 변압기의 효율을 향상시키는데 한계를 갖는다(표 3). 최근에 기존 변압기의 개념과는 다른 다중 코어를 채용하여 몰드 절연하는 Flat 형 변압기가 개발되어 고밀도, 고효율, 저가의 AC/DC 컨버터 또는 DC/DC 컨버터에 적용할 수 있는 주 변압기로 주목받고 있다. FLAT 변압기는 복수 코어를 매트릭스로 설계되어 주권선의 권선 수를 줄여서 제작하기 때문에 매우 낮은 누설 인덕턴스를 가지게 되고 탁월한 고주파 응답특성을 나타낸다.

표 3. Flat Transformer의 특징

	기존기술 문제점	Flat TR 기술
기술 항목	누설 인덕턴스	최적 코어 소재 개발/메트릭스 설계
	코어 손실	Thin wall 코어 설계 (Eddy current 손실 감소, 자속밀도 향상)
	동손	최소 권선 방식/최적 열확산 및 저온 55도 기술
	낮은 주파수 응답특성	최적 코어 소재/다중 코어 방식/광대역 설계 (각종 손실 및 누설 인덕턴스 개선)
	큰 부피	다중 코어 방식/메트릭스 TR 설계 (기존 대비 1/3)
	Hot Spot 현상	다중 코어 방식/최대 권선 방식/최대 권선수 감소 설계(기존 대비 75%)
	DC/DC 컨버터 효율유지 및 고신뢰성	고효율 Flat TR 적용/최적 구동 회로 방식 설계

3. 2 Flat Transformer 설계

기존 변압기는 단일 코어(single core)를 사용하여 1차측 주권선 턴수가 많아 동손, 철손 및 큰 누설 인덕턴스를 가지게 된다. 또한 고주파 스위칭에 대한 응답 특성이 나쁘고 부피가 커지는 경향이 있다. 결국 이러한 특성은 변압기의 효율을 향상시키는데 한계를 갖는다. 최근에 기존 변압기의 개념과는 다른 다중 코어를 채용하여 몰드 절연하는 FLAT형 변압기가 개발되어 고밀도, 고효율, 저가의 AC/DC 컨버터 또는 DC/DC 컨버터에 적용할 수 있는 주 변압기로 주목받고 있다. FLAT 변압기는 복수 코어를 매트릭스로 설계되어 주권선의 권선 수를 줄여서 제작하기 때문에 매우 낮은 누설 인덕턴스를 가지게 되고 탁월한 고주파 응답특성을 나타낸다. 특히 기존 변압기의 낮은 열 분산성과 높은 누설 인덕턴스 그리고 불안정한 주파수 특성과 큰 부피로 인해 발생하는 HOT SPOT와 같은 문제점을 매트릭스 코어 방식 채택과 몰드 절연에 의한 고밀도 전원형의 low profile 디자인으로 해결할 수 있다. 이러한 특성은

구동 전압은 낮지만 높은 전류가 요구되는 각종 인버터용 주변압기 또는 인덕터 등에 적용하여 에너지 절감은 물론 가격 절감의 효과를 크게 기대할 수 있다. 그림 3은 Flat TR 형상을 나타낸 것이다.

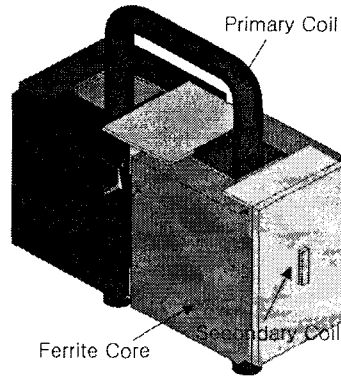


그림 3. Flat Transformer TR 형상 설계

3. 3 Flat Transformer Module 형상

그림 4는 Flat TR과 인덕터가 적용되어 설계된 150W급 TR 모듈이다.

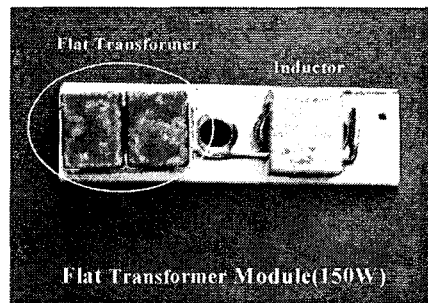


그림 4. Flat Transformer Module 설계

3. 4 Flat TR 모듈의 손실 특성

그림 5는 모듈화된 TR과 인덕터에 대한 손실을 계산한 결과이다. TR의 경우 300kHz에서 약 50mT의 자속밀도가 걸리면 손실은 약 0.2W로 나타났다. 한편 인덕터의 경우 50mT에서 약 50mW의 손실값을 갖는다. 모듈을 3개 사용하는 경우 총 손실은 0.6W+0.15W=0.75W가 된다. 이러한 결과는 일반적인 고주파 동작 TR에서 나타나는 손실값과 비교하여 매우 낮은 손실 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

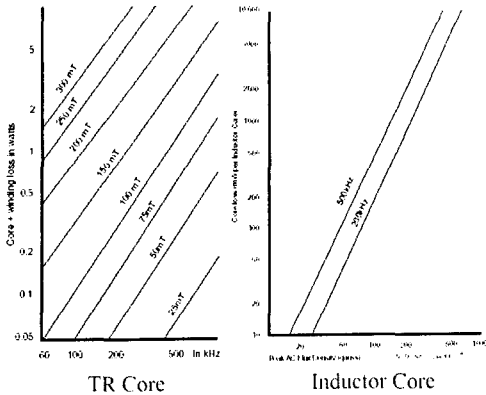


그림 5. TR과 인덕터 손실 특성

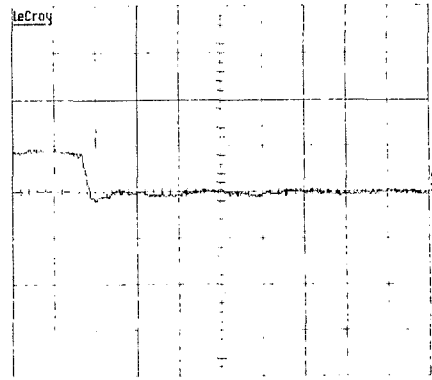


그림 7. 스위칭 동작 특성 (switching turn on)

3. 5 DC/DC 컨버터 회로 설계

그림 6은 Flat TR 모듈을 적용하여 DC/DC 컨버터 (Half Bridge)를 설계한 것이다. 입력 전압은 5V, 출력은 최대 500W로 250~500kHz에서 동작이 가능하도록 설계되었다.

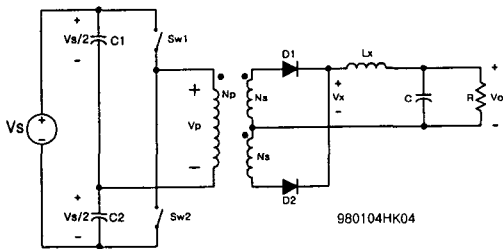


그림 6. DC/DC 컨버터 회로

그림 7은 Flat TR 모듈을 적용한 DC/DC 컨버터 (Half Bridge) 회로의 손실 특성을 알아 보기 위해 스위치 손실 특성을 측정된 결과이다. 이때 효율은 약 83%의 안정된 값을 나타내었다. 특히 스위칭 동작의 속응성이 우수한 것을 알 수 있다.

4. 결론

고주파용 대전류 출력형 Flat Transformer 용 코아의 모듈화 설계 기술과 이를 컨버터에 적용하기 위한 회로 설계 및 동작 특성을 검토하였다. 특히 고주파 동작 특성을 시험하여 Flat TR 코아의 적용한 컨버터 회로의 동작 특성을 비교 분석한 결과 Flat TR이 적용 설계된 모듈과 컨버터 회로에서 낮은 손실율과 안정한 동작 특성을 갖는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] L. L. James and K. K. Sum, "Flat Transformer Technology", Internet materials, 2001
- [2] 한세원, 조한구, "대전류 출력형 Flat Transformer 설계 및 해석기술", 2002 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문지 pp15~17, 2002
- [2] Flat Matrix Transformer, Edward Herbert, US Patent 4,665,357, 1987
- [3] SMPS 기술 현황, SMPS 기술 조사 위원회, 대한전기학회, 기술조사보고, 제11호, 1997
- [4] High Frequency Switching Power Supplier : Theory and Design, George Chrysis, McGRAW HILL BOOK, 1984 old electrical insulation", 1984.
- [5] 한세원, 조한구 외, "Flat TR용 핵심코아의 제조와 동작 특성 안정화 연구", 2003 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문지 pp23~26, 2003