

변압기 코아의 선정 기술 개발

이오걸*, 김수용* 박두한*
 동의공업대학* 양영공업고등학교* 동의공업고등학교*

Choice technique developement of transformer core

O.K.Lee*, S.Y. Kim* D.h. Park*
 Donggeui I.T* YangYoung T.H.S* Donggeui T.H.S*

Abstract-In this paper, investigated the core of transformer of high power factor and high effectiveness about design and choice technology.

Transformer that use existent general core and material is high no-load loss power. Presented core choice method that can reduce loss. Could do to reduce loss according to choice technology of use material more than about 10 [%].

Presented classification and check list by Core's type

1. 서 론

본 논문에서는 고역률 및 고효율의 변압기의 코아를 설계 및 선정 기술에 대해 고찰하였다.

기존의 일반 코아 및 철심 재료를 이용한 변압기는 무부하 손실 전력이 상당하므로 이러한 손실을 감소시킬 수 있는 코아의 선정 방법을 제시하였다[1-4].

변압기 코아의 사용 재료의 선택에 있어서 중요한 온도, 주파수에 따른 손실곡선을 제시하고, hysteresis 손실, eddy current 손실, 잔류 손실 감소 기술을 제시하였으며, Core의 type에 의한 분류와 체크리스트를 제시하였다.

2. 변압기의 구성

2.1. 개요

본 기술은 에너지 절약형 변압기의 코아 선정 기술에 관한 것으로서, 변압기의 효율을 10[%] 상승시키고, 손실을 10[%] 에너지 절약형 기술이다.

2.2. 변압기의 코아형태 및 재료 선정

Transformer 또는 inductor, reactor등에 coil이나 foil 안쪽에 magnetic flux의 path로 사용 되는 자성체로 일반적으로 자화율이 높은 강자성체(Ferromagnetic material)나 ferrite를 사용한다

1) Core 재료

코어의 자성 재료는 자기적 성질에 따라 다음과 같이 분류한다. 물(H₂O) 과 같이 자성이 없는 반자성체와 자성이 있으나 상업적 사용이 불가능한 상자성체 및 Iron, nickel cobalt ,rere-earth 원소의 합금으로 자성이 강하여 상업적으로 이용된다. Ferrite는 자기 특성이 좋고 고유 저항이 높아 고주파용 Core에 적합하다

Core로 사용 되는 자성 재료로는 앞에서 언급한 강자

성체 중에서도 보자력 (Coresive force)이 작은 중요 값을 갖는 연성자성체(Soft magnetic material)를 적층하여 사용하거나 고유저항이 큰 Mn-Zn,Ni-Zn ferrite, 또는 합금을 급냉 시켜 결정을 이루지 못하게 하여 높은 고유 저항과 투자율을 얻을 수 있는 Amorphous를 사용 한다.

2) Hysteresis loop

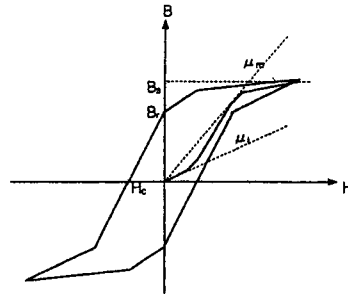


그림 1 히스테리시스 특성 곡선

강자성체를 자화시켜 얻은 B-H 곡선으로 그림과 같은 이력을 갖는다. 각각의 자성체 마다 달라 core의 특성을 알 수 있으며, permeability(투자율)은: 자성재료의 permeability는 진공 중에 permeability와 비교하여 나타내며 원자의 magnetic moment M에 의해 결정 된다.

3) 온도 특성 곡선

Core의 inductance 특성은 온도에 따라 안정된 것이 필요하다. 일반적으로 강자성체는 어느 정도 이하의 온도영역에서는 온도 상승이 자기쌍극자 moment에 정렬에 도움이 되지만 그 이상의 온도가 되면 질서가 파괴되어 투자율이 급격히 떨어진다. 이러한 이유로 core의 온도 상승 요인이 되는 power loss를 줄이는 노력이 core 업계에서 진행 중이다.

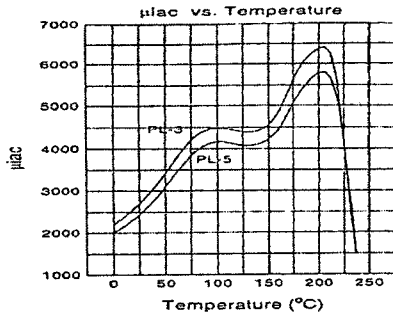


그림 2 온도 특성

4) 주파수 특성곡선

강자성체는 일반적으로 낮은 주파수 범위에서는 initial permeability(초기 투자율)의 변화가 없으나 주파수가 높아지면 자기 공명으로 인해 약간 높아 졌다가 어느 주파수 이상에서는 지구 이동이 주파수를 따라가지 못하므로 초기투자율이 급격히 낮아지는 특성을 보인다. 또한 주파수의 증가에 따라 hysteresis curve 면적이 eddy current(와전류: 외부 교류 자계로 core 내에 유가 되는 전류)에 의해 넓어지는 특성도 갖고 있다.

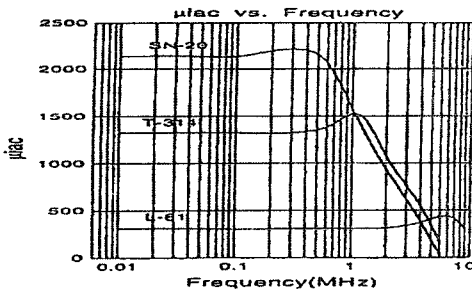


그림 3 주파수 특성

2.3 Core의 전력 손실

재료의 선택에 있어서 중요한 점으로 고려해야 될 것으로는 주위 온도, 주파수에 따른 손실곡선이다. Core의 온도가 Tc 이상이 더 이상 자성재료의 특성을 갖지 못하므로 core의 온도가 core 손실로 인해서 Tc 이상 상승되는 것을 방지하여야 한다. Core에서 발생하는 손실은 다양한 원인이 있지만 크게 hysteresis 손실, eddy current 손실, 잔류 손실로 나누어 볼 수 있다. 낮은 주파수에서는 hysteresis 손실이 주가 되며 수백 kHz 부근에서는 eddy current 손실이, 1MHz 가까이 되면 잔류 손실이 손실의 대부분을 차지한다. 따라서 사용 주파수 대에 맞추어 주된 core의 손실을 줄이려는 방향으로 제품이 개발되고 있다.

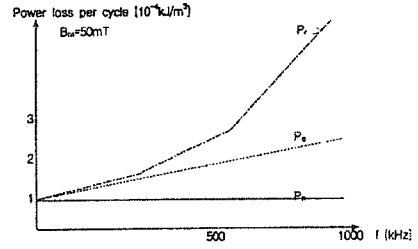


그림 4 주파수 변화시 전력손실 특성

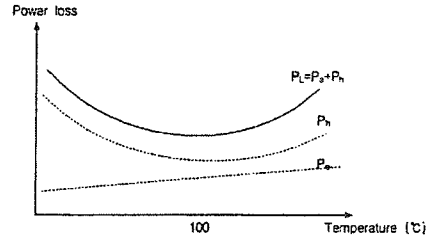


그림 5 온도에 따른 전력손실

2) Hysteresis 손실

DC bias에서의 hysteresis loop 면적에 해당하는 손실로 한 방향으로 정렬되어 있는 자기쌍극자 moment를 다른 방향으로 정렬 시키기 위해 필요한 에너지이다. 이러한 Hysteresis 손실은 사용 주파수에 비례하는 크기로 구해진다.

$$W_h = k_h \cdot f \cdot B_m^{1.6} [W/cm^3]$$

(1)

k_h : hysteresis 손실 계수

f : switching frequency

B_m : maximum flux density

온도에 따라 hysteresis 손실이 줄어들다가 다시 증가하는 것은 자기이방성(magnetic anisotropy) 에너지에 의한 것으로 재료의 조성에 의해 결정되는 특정한 온도 이하에서는 자기 이방성 상수가 음의 값을 갖다가 점차 증가하여 0이 된다. 이 때가 hysteresis 손실이 가장 적으며 그 이상의 온도에서는 다시 양의 값으로 증가하므로 자기 이방성 에너지가 증가해 hysteresis 손실 또한 증가 하게 된다.

3) Eddy current 손실

Eddy current 손실은 다음과 같이 계산된다.

$$W_e = k_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot 2/p [W/cm^3] \quad (2)$$

k_e : eddy current 손실 계수

f : switching frequency

B_m: maximum flux density
 2 : area pf eddy current path
 ρ : resistivity

4) Residual 손실

자성 재료를 교류자계 중에 놓고 주파수를 증가 시키게 되면 flux density의 변화에 위상지연이 생겨 손실의 원인이 된다. 보통 무시되는 손실 항목이지만 주파수를 키우게 될 수록 고려해야하는 손실이다. 즉 주파수가 증가하여 위상차가 커지면 $m r = m r' - j m r''$ 의 허수부가 증가하고 결국 임피던스 $Z = w m r'' Lo + j w m r' Lo$ 의 등가 저항 증가로 나타낸다.

5) Ferrite core

Spinel 구조를 갖고 있는 ferrite는 자기 특성이 우수하고 고유 저항이 다른 자성 재료보다 10⁶배정도 크므로 고주파수용 core로 가장 널리 사용되고 있다. Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mg등이 ferrite가 중요한 재료인데 이들의 relative permeability는 수 십에서 수 백을 넘지 않지만 이들 ferrite에 Zn ferrite 및 파인 Fe를 혼합하여 만들면 높은 relative permeability의 재료가 얻어진다. 이들 중 가장 많이 쓰이는 것은 Mn-zn ferrite, Mg-Zn ferrite, NiZn ferrite이다. Ferrite재료는 압축하여 소성하므로 대량 생산에 적합하고 자유스런 type의 core를 생산할 수 있다는 장점이 있다. 또한 고유저항이 크므로 소용량 고주파수로 구동시키는 최근의 SMPS의 경향에 맞다. Ni-Zn ferrite 경우 Mn-Zn 보다도 고유저항이 크므로 더욱 높은 주파수 범위에서 사용가능한 재료이다. SMD type에 응용되고 있으나 가격이 Mn-Zn ferrite 보다 약 10배정도 하므로 Mn-Zn ferrite로 대체하는 제품을 개발하고 있고 제품화 된 것도 있다.

2.4. Core의 type에 의한 분류

Core의 typed은 다음과 같이 분류 될 수 있으며, 현재는 비용대 성능 비가 가장 좋은 EE, EER type의 core를 많이 사용하고 있다.

표 1. Core의 type에 의한 분류

Geometrt	Merit	Demerit	Application
pot	Radition magnetic field크 적다.	Winding이 관란하여 공정비용 증가	~ 125 W의 Low power
EE	Lowest cost, 널리 사용되고 있다	Radition magnetic 가 크다.	5W~10kW
EER (Ec,ETD)	EE type보다 wire의 길이가 짧아 들 수 있어 동손면에서 우수하다.	EE type 보다는 적지만 radiation magnetic field가 비교적 크다.	5W~10kW
PQ	Vol/a coil winding가 최적화 되어 있다. 열 방출 특성이 좋다.	EE, EER type 보다 가격이 비싸고 wire를 감을 공간이 좁다.	EE, EER type과 비슷

2.5 Check lists

Ferrite material은 고주파수에서 low power loss 위해서 개발된 것으로 성능을 검사하기 위해서는 다음과 같은 성능 check를 실시한다.

표 2 Check lists 및 성능 기준

No.	Description	심볼	Unit	조건	PM7	
1	Initial permeability	mi		25°	2400 ± 20%	
2	Flux density	B at H	mT	25°C	460	480
				100°C	380	400
			A/m		400	1600
3	Coercive force	Hc	A/m	25°C	11.8	12.8
				100°C	7.3	8.1
4	Curie temperature	Tc	°C		min.210	
5	Cut-off frequency	fc	MHz		1.1	
6	Power loss	Pl	mW/cm ³	100 kHz	25°C	600
					60°C	430
				200 mT	80°C	370
					100°C	440
7	Resistivity	ρ	Ωm		6	
8	Density	d	g/cm ³		4.7	

3. 결 론

본 논문에서는 고역률 및 고효율의 요구를 만족하는 변압기의 코어를 설계 및 선정 기술과 코어의 특성에 대해 고찰하였다. 기존의 일반 코어 및 철심 재료를 이용한 변압기는 무부하 손실 전력이 상당하고 있는 반면 이를 보다 감소시킬 수 있는 코어구성 및 선정 방법과 사용 재료의 선정 기술에 따라 손실을 약 10[%] 이상 감소시킬 수 있는 기술을 제시하였다.

제안된 변압기의 코어선정 기술로 우수한 특성을 갖고 있으며, 히스테리시스손을 감소시킬 수 있는 우수한 변압기의 코어선정 기술을 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) 竹,内太郎, "電機設計大學講義", Ohm's, 1991.
- 2) L. Genuit, "Maximizing Converter Reliability with a Thyristor High Frequency Resonant Technique", Proc. Powercon 8, A-3, pp.1~11., 1981
- 3) P. M. Espelage and B. K. Bose, "High-Frequency Link Power Conversion", IEEE 변압기 Ind. Appl. vol.IA-13, pp.387~394., 1977.
- 4) R. L. Steigerwaid, "High-Frequency Resonant Transistor DC-DC Converters", IEEE 변압기 Ind. Elec., vol.IE-31, No.2, pp.181-191., 1984.