다중 코어를 이용한 저전압, 대전류 변압기용 Mn-Zn ferrite의 전자기적 특성

김현식*, 이해연*, 김종령*, 허정섭*, 이준희*, 안용운**, 오영우**
(주)매트론 기술연구소*, 경남대학교**

Electromagnetic Properties of Mn-Zn ferrite for Low Voltage and High Current Transformer Application With Using Multi cores

Hyun-Sik Kim*, Hae-Yon Lee*, Jong-Ryung Kim*, Jeong-Seob Huh*, Jun-Hui Lee*, Yong-Woon An** and Young-Woo Oh**
MATTRON Co.,Ltd R&D Center*, Kyung-nam Univ.**

Abstract : 다중 코어를 이용한 대전류 변압기용 Mn-Zn ferrite를 제조하고 전자기적 특성을 분석하였으며, 제조된 자심재료를 이용하여 변압기를 제조하고 전원장치에 탑재하여 효율특성을 분석하였다. ZnO의 몰비가 증가할수록 혼합 스피넬의 형성을 통한 보아 자자의 증가로 인해 투자율은 증가하고 상대적으로 전력손실이 감소하여 Fe_2O_3 : MnO : ZnO = 53 : 36 : 11 mol% 일 때 가장 우수한 특성을 나타냈고, 열처리 공정의 승온 과정에서부터 산소 분압을 제어하고 최적의 대기압 상수를 산출함으로써 Zn-loss 현상을 최소화하여 ZnO 11 mol%, 대기압 상수 7.7일 때 투자율 2350, 밀도 4.9 g/cm^3, 비저항 480 Ωcm, 300 mT의 최대 자속 밀도 특성을 갖는 우수한 자심 재료를 개발하였다. 그리고 최소 손실 온도를 90 ℃ 이하로 감소시켰으며 100 kHz에서 250 kW/m^{3}의 낮은 전력손실을 나타냈다. 또한 개발된 자심재료를 이용하여 제조된 전원장치는 30 ~ 80 A의 출력 전류에서 85% 이상의 고효율을 얻었다.

Key Words : Mn-Zn ferrite, 변압기, 대전류, 고효율

1. 서 론

공장 자동화용 산업기기 및 전자·정보·통신 기기 등에서 시스템에 안정된 전력을 공급하는 아주 중요한 역할을 하는 전원장치는 소형·경량, 고기능, 고신뢰성이 요구되고 있으며, 특히 마이크로 프로세서를 이용하는 시스템에서는 정밀한 제어가 가능한 저전압, 대전류의 출력 전력을 갖는 고효율 특성이 절실히 요구된다. 그러나 현재까지 이러한 전원장치의 효율 증가를 위한 고밀도 전원장치의 회로 개발에만 집중되었기 때문에 대전류와 고주파에 의한 자심재료의 발열량이 매우 높아 하드웨어의 효율은 크게 떨어진다.

따라서 본 연구에서는 다중 코어를 이용한 대전류, 고효율 변압기용 Mn-Zn ferrite를 개발하기 위해 조성과 첨가제 그리고 대기압 상수를 조절하여 고주파 손실이 작고, 전기 비저항이 큰 자심재료를 제조하고 전자기적 특성을 분석하였으며, 제조된 자심재료를 이용하여 전원장치를 제작하여 효율특성을 분석하였다.

2. 실 험

고상법을 통한 Mn-Zn 페라이트의 합성에서 Fe_2O_3를 53 mol%로 고정하고, ZnO를 저손실 특성을 나타내는 조성인 8~12 mol% 범위로 변화시켰고, SiO_2와 CaO를 동시에 첨가하면 입계에서 저항층을 형성하여 와전류 손실이 저하되고 투자율이 증가한다는 기존의 보고에 의해 SiO_2와 CaO를 각각 100 ppm, 400 ppm 첨가하였다. 준비된 과립은 내경 7 mm, 외경 20 mm인 torroid형 몰드로 1.5 ton/㎠의 압력으로 일축 가압 성형하였고 4℃/min의 승온속도로 1280℃에서 3시간동안 소결하였으며, Mn-Zn 페라이트의 등조성선(Isocomposition line)에 부합하는 산소분압을 유지시키고, 대기압 상수(Atmosphere constant, A)를 6.8~8.0의 범위로 변화시켰다. 그리고 승온구간, 소성온도 유지구간 및 냉각구간으로 나누어 각각의 구간부터 별도로 분위기 제어하여 특성변화를 관찰하였다. 제조된 자심재료를 이용하여 변압기를 제작하였으며, 전원장치에 탑재하여 동작특성을 측정하였다.

미세구조를 분석하기 위해 주사전자현미경을 이용하였고 B-H Analyzer (IWATSU/SY-8232)를 이용하여 자속밀도, 전력손실 특성을 평가하였다. Impedance Analyzer (HP4294A)를 이용하여 인덕턴스와 품질계수(Quality Factor)를 측정하였고, Power Meter를 이용하여 전원장치의 효율 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 대기압 상수에 따른 최소손실을 나타내는 온도의 변화를 나타낸 것이다. 대기압 상수가 증가할수록 전력손실의 최소온도가 증가하고 있는데, 이것은 산소분압의 증가에 다른 Ferrous ion의 감소현상을 나타내는 증거라고 볼 수 있다. 그리고 온도 증가에 따라 이방성 상수가 0에 접근하게 되고 최소 손실온도를 지나면 이방성 상수는 다시 증가하여 손실이 증가하게 된다. 그리고 산소분압이 증가함에 따라 양이온 공공에 의한 결함이 감소하여 결정립 크기는 증가하고, 결정립 크기가 증가할수록 최소손실온도는 고온으로 이동된다고 판단된다.

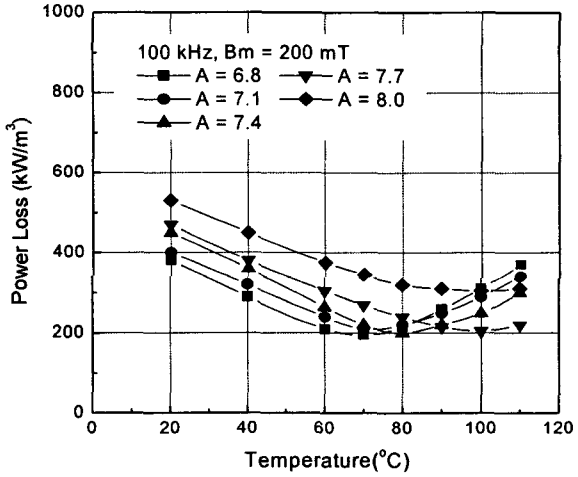

그림 1. 대기압 상수에 따른 온도-손실 특성

그림 2는 대기압 상수에 따른 미세구조 변화를 나타낸 것으로써, 대기압 상수가 증가함에 따라 결정 크기는 증가하였으며, 이 때 A가 7.7 이후에서는 불균일한 결정성장이 나타나기 시작하였다. 즉 산소분압이 증가함에 따라 양이온 공공이 증가하여 결정립의 성장이 촉진된 것으로 판단된다.

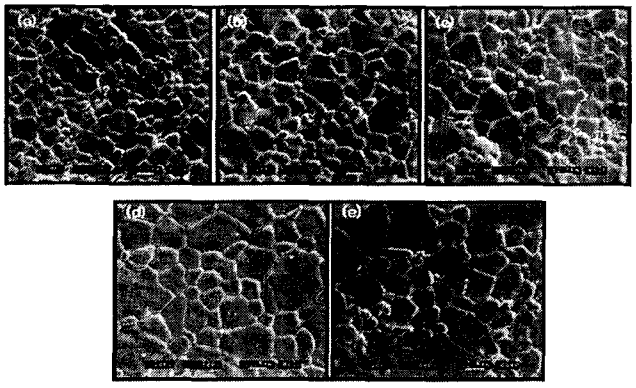

그림 2. 대기압 상수 A에 따른 미세구조 변화 :
(a)6.8, (b)7.1, (c)7.4, (d)7.7, (e)8.0

그림 3은 출력 전류에 따른 변압기의 효율 변화를 나타낸 것이다. 30 ~ 80 A의 출력 전류하에서는 85% 이상의 고효율을 얻었고, 그 이상의 출력전류에서는 변압기 효율이 다소 감소하였다. 일반적으로 변압기의 효율은 출력 전류에 반비례하므로 기존의 컨버터에서는 단일 코어에 높은 전류가 가해져 낮은 효율을 가지지만 본 연구에서 개발된 변압기는 다중 페라이트 코어를 메트릭스로 설계 적용하여 각각의 코어에 출력전류를 분배하기 때문에 손실을 감소시켜 고효율을 달성할 수 있으며 2차 코일이 자심재료의 권선창 내부표면을 감싸고 있어 방열효과를 극대화함으로써 변압기에 hot spot을 형성하지 않아 컨버터의 신뢰성은 훨씬 향상된다.

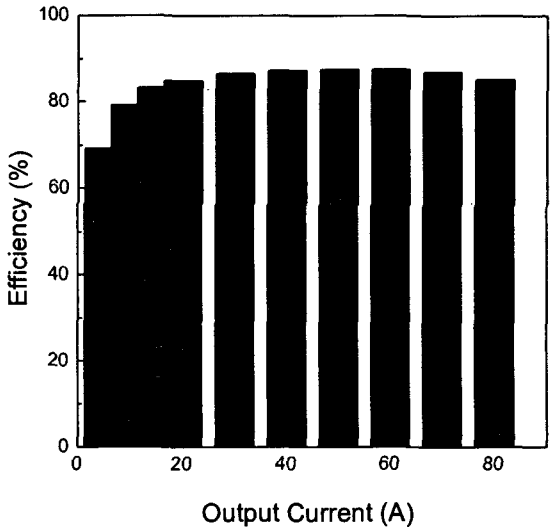

그림 3. 출력 전류에 따른 변압기 효율 변화

4. 결 론

다중 코어를 이용한 변압기에 적용하기 위한 고저항 고주파용 자심 재료의 조성과 첨가제 그리고 대기압 상수를 조절하여 전자기적 특성을 분석하였으며, 제조된 자심재료를 이용하여 전원장치를 제작하고 효율특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SiO_2와 CaO를 첨가하여 입계 저항층 형성함으로써 비저항 증가와 손실을 감소시켜 전자기적 특성을 극대화 시킬 수 있었으며, 승온 과정에서부터 산소 분압을 제어하고 최적의 대기압 상수를 산출함으로써 대기압 상수 7.7일 때 투자율 2350, 비저항 480 Ωcm 특성을 갖는 우수한 자심 재료를 개발하였다. 또한 최소 손실 온도를 90 ℃ 이하로 감소시켰으며 100 kHz에서 250 kW/m3의 낮은 전력손실을 나타냈다.

2. 개발된 자심재료를 이용하여 입력전압 130 ~ 170 VDC, 출력전압 5 VDC, 전력용량 400 W, 스위칭 주파수 200 kHz인 half-Bridge형 컨버터를 설계 및 제작제조된 전원장치는 30 ~ 80 A의 출력 전류에서 85% 이상의 고효율을 얻었다.

참고 문헌

[1] 김종령, 오영우, 안용운, 김현식, "공정에 따른 Mn-Zn 페라이트의 자성손실 거동", 한국전기전자재료학회 2003 하계학술대회 논문집, p. 541, 2003.

[2] Toshitaka Minamisawa, "A new multi-polar flat transformer and its application to a planr type DC/DC converter", IEEE, p.1548, 1998