

세라믹 패키지를 이용한 shunt 저항의 온도 특성 개선

강두원 · 조종열[†]

[†]아주대학교 전자공학과

Improvement of Temperature Characteristics in Ceramic-packaged Shunt Resistors

Doo-Won Kang and Jungyol Jo[†]

[†]Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

ABSTRACT

Electric power in large devices is controlled by digital circuits, such as switching mode power supply. This kind of power circuits require accurate current sensor for power distribution. We studied characteristics of shunt resistor, which has many advantages for commercial application compared to Hall-effect current sensor. We applied ceramic package to the shunt resistor. Ceramic package has good thermal conductivity compared to plastic package, and this point is important for space requirement in Printed Circuit Board (PCB). Another advantage of the ceramic package is that surface mount technology (SMT) can be used for production. Our experimental results showed that the ceramic packaged resistor showed about 50% lower temperature than the plastic packaged one. Burning point and frequency characteristics are also discussed.

Key Words : shunt resistor, ceramic package, plastic package, thermal conductivity, surface mount technology

1. 서 론

디스플레이 장치, 전기자동차 등 대용량 장치는 전원부 회로에서 정확한 전류량을 측정하는 것이 필요하다. 전류 측정을 위해 사용되는 전류 센서는 소자의 저항을 측정하는 shunt 방식과 자기장을 이용하는 Hall 전압 측정 방식이 있다. Hall 측정 방식은 자석이 필요하기 때문에 PCB (Printed Circuit Board)에서 상당한 면적을 차지한다 [1]. Shunt 저항 측정 방식은 작동 원리가 간단하고 PCB에서 적은 면적을 차지한다는 것이 장점이다[2].

본 연구는 shunt 저항에 요구되는 전기적 특성을 구현하기 위해 제품의 구조적인 특성을 분석하고 문제점을 개선하고자 한다. Shunt 저항에 요구되는 특성은 다음과 같다 [3,4].

- 온도변화에 대한 저항값 변화율이 작을 것
- 전류와 전압 사이에 선형적 관계가 있을 것

- 과전류 유입시 발화, 유해가스방출이 없을 것
- 고주파 대역에서 주파수 특성이 양호할 것
- 정격 전류에서 PCB의 발열이 크지 않을 것

위에 열거한 기본적인 요구사항 중에서, 회로의 장기적인 신뢰성에 영향을 주는 가장 중요한 문제는 PCB 발열 문제이다. 최근 전원부 회로가 저전압, 고전류의 경향을 보이며, shunt 저항에 유입되는 전류량이 상대적으로 높아지고 있다. 고전류 조건에서 발열량이 높아짐에 따라 shunt 저항의 저항값이 수십 mΩ 이하로 낮아져야 한다. 이러한 요구조건을 맞추기 위해서 여러 개의 저항을 직렬, 병렬로 연결해서 사용하고 있는데, 이런 구조는 PCB 상에서 큰 면적을 차지하기 때문에 보다 근본적인 개선책이 필요하다.

일반적으로 사용되는 기존의 플라스틱 패키지 shunt 저항은 Fig. 1과 같이 Cu, Ni 합금 저항체 위에 사출방식의 over-coat로 플라스틱 패키지를 만들고 단자 부위는 Ni/Sn조성으로 도금한다.

[†]E-mail : jungyol@ajou.ac.kr

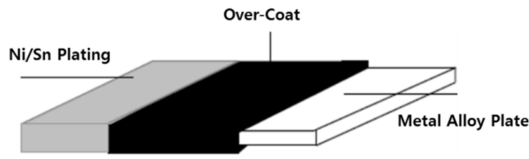


Fig. 1. Schematic diagram of plastic packaged shunt resistor.

발열량이 큰 고전류의 경우 플라스틱 패키지가 없는 저항체만의 구조도 있지만, 사용 중에 금속 등 이물질에 의하여 회로가 단락되는 것을 막기 위한 보호조치가 필요하다. 플라스틱 패키지의 특성 때문에 고온에서의 발화문제와 PCB의 온도 상승을 고려해야 한다. 이를 근본적으로 해결하기 위해 기존 플라스틱 패키지 대신에 방열 특성이 좋은 세라믹 패키지를 사용함으로써 발화와 PCB 온도 상승 문제를 동시에 해결할 수 있다. 또한 제품생산공정에서 플라스틱 패키지는 생산 속도가 느린 plastic molding 공정을 사용하는데 세라믹 패키지는 생산속도가 훨씬 빠른 SMT (surface mount technology) 공정을 사용한다는 장점이 있다.

2. 실험 방법

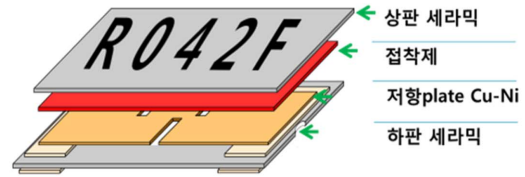
2.1. 시편 제작

본 논문에서 사용되는 플라스틱 패키지 소재는 Dupont Zenite LCP로 열전도도가 $0.16 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이며, 세라믹 패키지는 Nikko의 96% Al_2O_3 로써 열전도도는 $23 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이다[5]. Shunt 저항의 내부 구조는 Fig. 2(a)에 나와있다.

Fig. 2(b)에 보인 상판 세라믹은 concave형식으로 금속 단자의 가장자리를 파서 표면적을 늘리고 기판 접착시 solder량을 증가시켜서 과전류에 의한 단자 개방을 방지한다. Fig. 2(c)의 하판 세라믹 양면에 silver인쇄로 전극을 형성하여 아래쪽은 PCB soldering을 가능하게 하고, 윗쪽은 Fig. 2(d)의 합금 저항체와 연결되게 한다. 이후 접착제를 screen printing으로 형성하고 상판 세라믹이 접합된다. 합금 저항체, 접착제 도포, 상판 세라믹기판 접합의 모든 공정은 SMT공법으로 적용한다.

2.2. 측정 방법

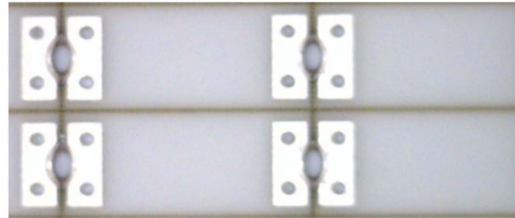
Shunt 저항의 특성측정을 위하여 전원으로 dc power supply (갑진 KJF-300T)를 정전류 방식에서 사용하였다. 전류가 인가된 소자의 온도는 열화상 카메라(NEC G100EX)로 측정되었다. 저항측정은 Hioki 3560 Milliohm Tester를 사용하였고, 저항의 고주파 특성은 HP



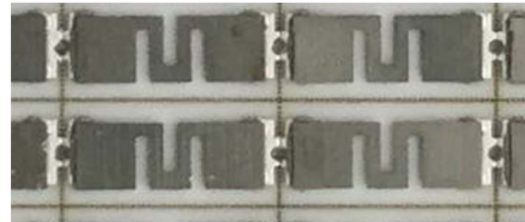
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. Details of ceramic packaged shunt resistor: (a) Internal structure, (b) Front and rear surfaces of upper ceramic, (c) Lower ceramic with metal connectors, and (d) Ni, Cu resistor plate.

4275A LCR meter를 사용하여 측정하였다. 온도변화에 의한 저항값 변화는 S&A 4220A Temperature Test Chamber 에서 측정되었다.

Shunt 저항은 Fig. 3에 보인 규격화된 test board에 SMT공법으로 접합하여 모든 실험에 사용되었다. 플라스틱 패키지와 세라믹 패키지 제품이 동일 조건에서 비교되었다.

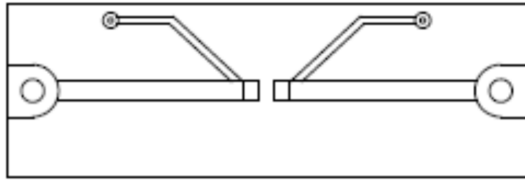


Fig. 3. Test board used to attach shunt resistor.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 온도변화에 대한 저항값 변화

이 실험은 shunt 저항의 전류 센서 기능이 주변 온도 변화에 의해서 변하는 것을 평가하는 것으로 통상적으로 100 ppm/K 이내의 변화를 보이면 기준을 만족한 것으로 본다. 밀폐된 test chamber 에 상온 25°C에서 10분간 유지한 후에 초기 저항치를 측정하고 125°C 까지 분당 2°C의 속도로 상승시켜서 10분간 유지한 후 다시 저항값을 측정한다. Fig. 4는 세라믹 패키지와 플라스틱 패키지의 온도 변화를 그린 것이다. 패키지 소재가 온도 특성에는 상관없다는 것을 보이고 있으며, 34 ppm/K이하의 양호한 온도특성 변화를 보이고 있다.

3.2. PCB 발열

이 실험은 본 연구의 중요한 요소로서 플라스틱 패키지와 세라믹 패키지의 발열 특성을 비교한다. Fig. 3의 test board에 실장된 소자에 DC 전류를 증가시키면서 열화상 카메라를 통해 단자부위의 온도를 확인한다. Fig. 5는 카메라의 화면을 보인 것으로, shunt 저항 부분이 가장 높은 온도를 보이고 있다.

Fig. 6은 각 전류에서 열화상 카메라에 보이는 최고점 온도를 그린 것이다. 세라믹의 높은 열전도도 때문에 방열이 잘되고, 세라믹 패키지의 온도가 플라스틱 패키지의 절반 정도임을 알 수 있다.

3.3. 과부하 발화

Shunt 저항 개별소자의 품질을 정하는 일반적인 방식은 Short Time Overload 방식으로서 짧은 시간에 높은 전력을 인가해서 저항값이 정격 구간 이내에 있으면 합격으로 간주한다. 통상적으로 5초간 정격 전압의 2.5배(전력은 6.25배)를 걸어주는 방법을 사용한다. 본 실험은 shunt 저항 개별소자의 특성이 아니고, test board에 장착한 저항의 과부하 특성이므로 PCB solder가 떨어지는 등의 차이점이 있다. 실험 결과 플라스틱 패키지 소자는 정격 전력의 10배에 해당하는 15 A 부근에서 연기와 함께 발화하기 시작하여 25초 후 solder

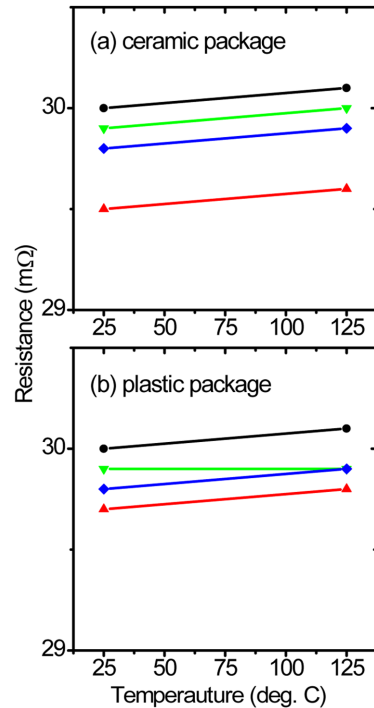


Fig. 4. Resistance changes in 4 samples between 25°C and 125°C. Ceramic (a) and plastic (b) packages are compared.



Fig. 5. Images of thermal camera.

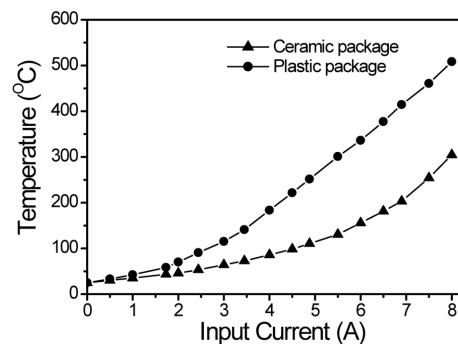


Fig. 6. Temperature change as a function of input current.

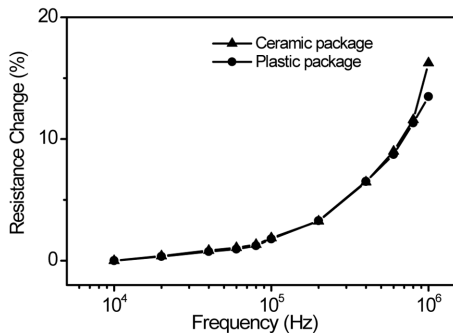


Fig. 7. Resistance change as a function of frequency.

부위가 떨어졌다. 반면 세라믹 패키지는 연기, 발화가 없으며 17 A 부근에서 solder가 떨어졌다.

3.4. 주파수 특성

SMPS (switching mode power supply)는 디지털방식으로 전력 공급을 조절하므로, 회로의 전압 파형은 구형파로 구성된다. 구형파는 Fourier 특성으로 분석할 때 고주파에 많은 성분이 있다. 한편 shunt 저항에는 inductance 성분이 있고 금속의 표면에만 전류가 흐르는 skin effect도 있는데, 고주파에서는 이들이 저항을 증가시키는 역할을 한다. 만약 shunt 저항의 고주파 성분 저항값이 높으면 디지털 파형의 고주파 성분 때문에 많은 열이 발생하게 된다[6]. 전력반도체는 일반적으로 100 kHz 이하의 주파수를 사용하므로 이 구간에서 현저한 저항 증가가 없으면 shunt 저항을 디지털 회로에 적용해도 문제가 없다고 할 수 있다. Fig. 7에 보인 고주파 저항 특성은 100 kHz에서 2%, 1 MHz에서 20% 정도의 저항 증가를 보이고 있다. 또한 패키지 재료는 주파수 특성에 관련이 없다는 것을 보이고 있다.

4. 결 론

기존 제품인 플라스틱 패키지 shunt 저항은 절연체

의 낮은 열전도도로 인해 높은 전류 대역에서 PCB 온도가 상승하게 되고 과부하 조건에서 발화 현상을 보이고 있다. 반면 세라믹 패키지의 경우 높은 열전도도와 내열온도 특성으로 낮은 PCB 온도를 보였고, 과부하 조건에서 양호한 결과를 보였다. 주파수 특성 및 온도 변화에 따른 저항치 변화 실험은 내부 합금 저항체의 소재 특성이기 때문에 두 시편 모두 비슷한 특성을 보였다.

참고문헌

1. Lenz, J. and Edelstein, A. S., "Magnetic sensors and their applications," IEEE Sensors J., Vol. 6, no. 3, pp. 631-649, 2006.
2. Braudaway, D. W., "Behavior of resistors and shunts: With today's high-precision measurement capability and a century of materials experience, What can go wrong?," IEEE Trans. Instr. and Meas., Vol. 48, no. 5, pp. 889-893, 1999.
3. Kraft, M., "Measurement techniques of low-value high-current single-range current shunts from 15 Amps to 3000 Amps," Measure, Vol. 2, no. 1, pp. 44-49, 2007.
4. Ziegler, S., Iu, H. H., Woodward, R.C., and Borle, L.J., "Theoretical and practical analysis of a current sensing principle that exploits the resistance of the copper trace," Power Electronics Specialists Conference, pp. 4790-4796, 2008.
5. Xu, Y., Kinugawa, J., and Yagi, K., "Constitutional dependence of thermal conductivity in dispersion composites," Materials Trans., Vol. 44, no. 9 (2003) pp. 1709-1712, 2003.
6. Ziegler, S., Woodward, R. C., Iu, H. H., and Borle, L. J., "Current sensing techniques: A review," IEEE Sensors J., Vol. 9, no. 4, pp. 354-376, 2009.

접수일: 2015년 9월 1일, 심사일: 2015년 9월 14일,
게재확정일: 2015년 9월 22일