

방사 잡음 감소를 위한 인쇄회로기판의 접지 구조 개선 PCB Ground Structure Improvement for Radiation Noise Reduction

송 상 화 · 권 덕 규 · 이 해 영

Sang-Hwa Song · Duk-Kyu Kwon · Hai-Young Lee

요 약

고속 회로의 발전과 함께 고주파 잡음의 발생 가능성이 커지고, 이러한 시스템의 잡음 억제를 위해 다중 접지(multipoint ground)가 사용되고 있다. 이 가운데 스크류를 이용한 인쇄회로기판의 접지는 인접 스크류들 사이에 접지 루프를 형성하여 방사잡음을 유발한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 기구물(chassis)에 대한 인쇄회로기판의 접지 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 전파흡수체와 전도성 구리 테이프를 이용해서 전파 흡수량을 증가시킨 것이다. 1~3 GHz 대역에서 기판의 방사 잡음을 측정된 결과, 제안된 접지 구조는 스크류 접지 구조에 비해 2 GHz 이하의 대역에서 방사 잡음이 2.62 dBuV/m 감소되었다.

Abstract

With the growth of high speed circuit, unwanted system noise is increased and multipoint ground is used to reduce this noise. PCB screw ground structure has radiation noise by ground loop between screws. In order to solve this problem, in this paper, we proposed improved PCB ground structure. Proposed structure improves noise absorption by using microwave absorber and conductive copper tape. We measured radiation PCB noise in the range of 1 GHz to 3 GHz to investigate proposed structure usefulness. From these results, under 2 GHz range proposed structure has noise reduction by 2.62 dBuV/m, which compared with screw ground.

Key words : Screw, Ground, EMI, PCB, Microwave Absorber

I. 서 론

고속 디지털 회로의 발전과 함께 인쇄회로기판의 전원단(power bus)에서 발생하는 잡음이 전자파 장애 문제(EMI : Electromagnetic Interference)의 주요한 원인으로 대두되고 있다. 전원단의 잡음은 시스템 내부 회로의 오동작을 일으킬 뿐만 아니라, 기판에 연결된 케이블이나 보드 공간에 의해 외부로 방사된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여과(filtering), 격리(isolating), 접지(grounding)등의 EMC 기술이 디자인 초기에 적용되고, 디커플링 캐패시터

(decoupling capacitor), 페라이트 비드(ferrite bead)와 같은 소자들이 이용된다^{[1]-[7]}. 이 가운데 적절한 접지 방법의 사용은 적은 비용으로 좋은 잡음 억제특성을 갖는 장점이 있다. 따라서 디자인 초기 단계에서 아날로그 회로, 디지털 회로, 오디오 회로 등 각 회로의 특징에 맞게 접지가 설계되어야만 한다. 그러나 디자인 초기에 접지 방법을 고려하지 못하면, 접지 루프(ground loop)에 의한 방사 잡음이 발생하거나 신호 왜곡으로 시스템의 오동작이 일어날 수 있다.

일반적으로 스크류에 의한 접지는 기판과 차폐

「본 논문의 측정은 전자파 장애 공동 연구소의 도움을 받아 수행되었습니다.
아주대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Ajou University)
· 논문 번호 : 20020909-108
· 수정완료일자 : 2002년 12월 5일

기구물의 물리적인 고정이나, 입출력 회로(I/O port) 부분에서 주로 발생하는 ESD(Electrostatic Discharge)에 대한 대책으로 주로 사용되었다^[8]. 이외에도 최근에는 전자파 장해 문제를 해결하기 위해 스크류 사이의 간격을 $\lambda/20$ 이하로 유지하거나 회로 주위에 여러 개의 스크류를 설치하여 기구물을 접지시키는 방법 등이 연구되었다. 그러나, 회로의 고속, 고밀도화에 따라 이러한 방법들은 구현이 어렵게 되었다. 또한 스크류는 기관과 기구물을 전기적으로 연결하므로 기관의 전원단(power bus)에서 발생하는 잡음의 누설 경로를 제공한다. 스크류에 의해 기관 외부로 유기된 잡음은 기구물의 개구면(aperture)을 통해 방사되며 이는 전자파 장해 문제를 일으킨다. 따라서 스크류에 의해 유기된 잡음을 감소시키면 기구물의 개구면을 통해 외부로 방사되는 전자파의 양을 줄일 수 있다. 지금까지 기관 접지에 대한 연구는 접지 지점의 위치와 수를 변경시키면서 전자파 장해의 최소화를 위해서 접지 구조를 최적화하는 것이었다^{[4],[5]}. 그러나, 본 논문에서는 접지를 추가 하지 않고 기관의 접지 구조를 개선하여 전자파 장해 영향을 감소시키는 방법에 대하여 연구하였다.

본 논문에서는 스크류 주위에 전파흡수체(microwave absorber)를 부착하고 그 표면에 구리 테이프를 접착하여 새로운 접지 구조를 구현하였고, 1 GHz~3 GHz 주파수 대역에서 방사 잡음의 변화를 관찰하였다. 측정 결과, 제안된 접지 구조의 경우 2 GHz 이하의 주파수 대역에서 일반적인 스크류 접지 구조보다 2.62 dBuV/m의 방사 잡음이 감소되었다. 이를 통해서, 본 논문은 접지구조에 따른 방사 잡음 감소에 효과적인 접지 구조를 제안하였다.

II. 측정 구조 및 환경

그림 1은 측정에 이용된 기관의 구조이다. 크기는 200 mm×300 mm이며, 두께는 1.6 mm인 FR-4 ($\epsilon_r = 4.2$) 기관을 이용하였다. 스크류의 위치는 기관의 모서리로부터 각각 20 mm 이격된 네 지점과 기관 중앙이고, 스크류의 직경은 3.5 mm이다. 잡음의 입력을 위한 port는 중앙의 스크류에서 가로, 세

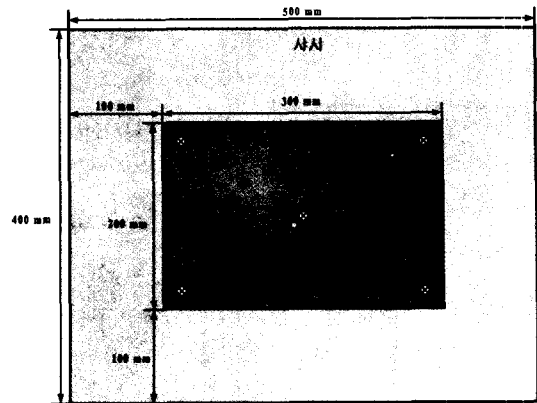


그림 1. 측정 기관 구조(평면도)
Fig. 1. Structure of DUT(Top View).

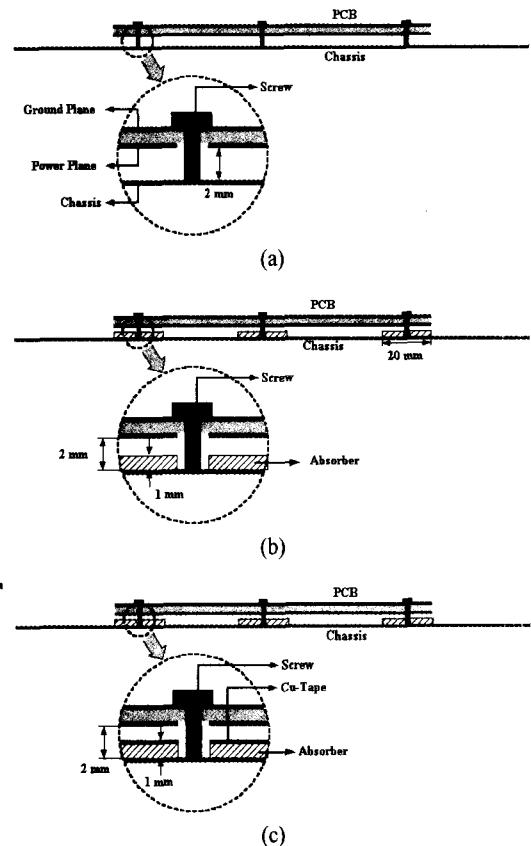
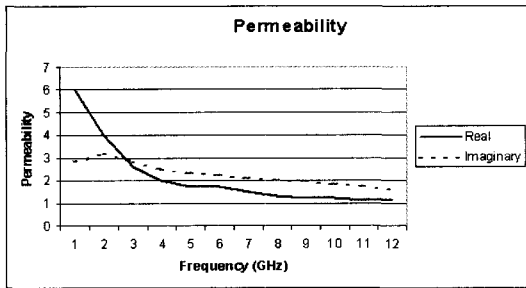
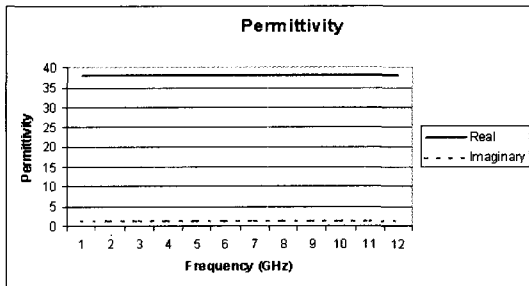


그림 2. 스크류 연결 구조
(a) 스크류, (b) 전파흡수체, (c) 제안된 접지 구조

Fig. 2. Screw connection structure.
(a) Screw, (b) Absorber, (c) Proposed ground structure



(a)



(b)

그림 3. 전파흡수체의 재료특성
(a) 투자율, (b) 유전율

Fig. 3. Material characteristics of absorber.
(a) Permeability, (b) Permittivity

로 10 mm 떨어진 지점에 위치한다. 기구물의 크기는 400 mm×500 mm이고, 기판과의 간격은 2 mm이다.

그림 2는 측정에 적용된 기판의 접지 구조이다. 그림 2(a)는 스크류를 이용한 일반적인 기판의 접지 구조로서 스크류는 접지평면과 구조물을 전기적으로 연결하지만 전원평면과는 분리된다. 그림 2(b)는 상용의 전파흡수체를 가로, 세로 20 mm×20 mm의 크기로 스크류 주위에 부착한 것으로 두께는 1 mm이다. 그림 2(c)는 본 논문에서 제안한 접지 구조로 그림 2(b)의 구조에서 구리 테이프를 전파흡수체에 부착한 것이다. 그림 3은 측정에 사용된 전파흡수체의 재료 특성으로, 2 GHz부터 자성손실(magnetic loss)이 증가한다. 자성 손실은 투자율(permeability)의 허수부(μ'')와 실수부(μ')의 비로 나타나며 식 (1)과 같이 표현된다. 전파흡수체는 EMERSON & CUMING사의 제품을 사용하였다^[9].

$$\text{magnetic tangent loss} = \frac{\mu''}{\mu'} \quad (1)$$

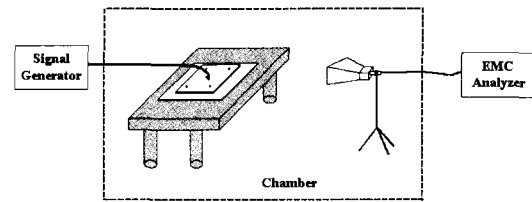


그림 4. 측정 환경

Fig. 4. Measurement environment.

방사 잡음의 측정은 무반향실(anechoic chamber)에서 이루어졌으며, 측정 구조는 그림 4와 같다. 커넥터로 인가되는 방사 잡음원은 1 GHz~3 GHz 까지 15 MHz 간격 출력되는 10 dBm 크기의 신호이며, 이는 'ROHDE & SCHWARZ'사의 신호발생기(signal generator)를 이용하였다. 측정 안테나는 혼안테나(horn antenna)로 EMC Analyzer(HP E7405A)에 연결되며, 측정 기판과 안테나는 무반향실 내에 위치한다.

III. 측정 결과 해석 및 고찰

그림 5는 1 GHz~3 GHz의 주파수 대역에서 접지 구조에 따라 기판의 측면에서 측정된 방사량을 나타낸 것이다. 표 1은 측정 결과로부터 EMI가 높은 10개의 peak를 각 구조별로 나타낸 것이다. 최대 peak 비교 결과, 일반적인 스크류 접지구조에 비해 전파흡수체 구조는 1.44 dB μ V/m, 제안구조는 2.62 dB μ V/m 정도 방사 잡음이 감소되었다. 그림 6은 표 1에서 확인된 10개의 EMI peak를 다시 주파수별로 나타낸 EMI peak 분포이다.

표 1에서 확인할 수 있듯이 보통의 전파흡수체보다 제안된 구조와 같이 구리 테이프를 이용하는 것이 저주파 영역의 방사 잡음 감소에 더 효과적임을 알 수 있다. 제안 구조는 대부분의 EMI peak가 82 dB μ V/m 정도를 유지하고 있으며 측정 주파수 전체 대역에 골고루 분포되어 있다. 그러나, 전파흡수체의 경우는 peak가 제안 구조보다 높을 뿐만 아니라 모두 2 GHz 이하의 주파수 대역에 존재한다. EMI peak가 1 GHz 대역에 집중되어 있는 것은 전파흡수체의 재료 특성에 의한 것이다. 전파흡수체는 복소 투자율이 증가하면서 자성손실이 커지는 재료

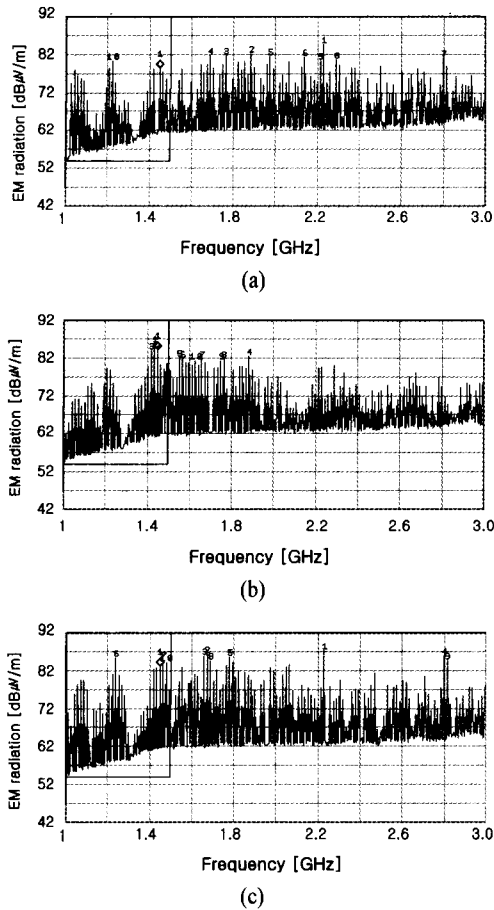


그림 5. 기관 측면의 EMI 측정 결과
(a) 스크류, (b) 전파흡수체, (c) 제안된 접지 구조
Fig. 5. EMI Measurement result of board edge.
(a) Screw, (b) Absorber, (c) Proposed ground structure

표 1. 방사 잡음 첨두치

Table 1. EMI peak point.

구 분	스크류		흡수체		슬리부		흡수체효과 [dBuV/m]	슬리브효과 [dBuV/m]
	주파수	EMI 레벨	주파수	EMI 레벨	주파수	EMI 레벨		
1	2.73	87.3	1.435	85.86	2.23	84.68	-1.44	-2.62
2	1.675	86.23	1.45	84.09	1.885	82.21	-2.14	-4.02
3	1.66	85.82	1.42	83.85	1.765	81.77	-1.97	-4.05
4	2.8	85.72	1.885	82.44	1.69	81.7	-3.28	-4.02
5	1.78	82.46	1.555	81.86	1.975	81.4	-0.6	-1.06
6	1.24	85.22	1.57	81.72	2.14	81.18	-3.5	-4.04
7	1.465	84.78	1.66	81.65	2.8	81.02	-3.13	-3.76
8	1.69	84.6	1.765	81.64	2.29	80.54	-2.96	-4.06
9	2.815	84.58	1.75	81.23	2.215	80.35	-3.35	-4.23
10	1.48	84.15	1.63	81.14	1.225	80.3	-3.01	-3.85

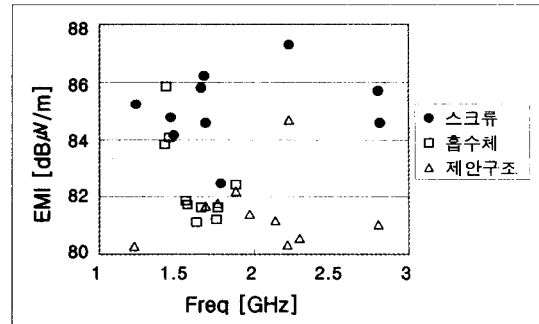


그림 6. 방사 잡음 첨두치 분포
Fig. 6. EMI peak distribution.

로서 전자파 에너지를 열에너지로 변화시킨다^[10]. 측정에서 사용된 전파흡수체는 그림 3에서 보는 것과 같이 2 GHz부터 복소 투자율이 증가하므로 1 GHz 대역에서는 자성손실에 의한 전파 흡수 특성이 미미하다. 따라서 전파흡수체를 이용하여 방사 잡음을 감소시키는 데에는 주파수에 따른 제약이 따르게 된다.

본 논문에서는 이처럼 2 GHz 이하 저주파 영역의 방사 잡음 문제를 개선하기 위하여 새로운 접지 구조를 제안하였다. 실험에 사용된 전파흡수체는 자성손실 뿐만 아니라, 비유전율($\epsilon_r = 38$)도 상당히 큰 재료이다. 제안 구조는 구리 테이프를 이용하여 전파흡수체의 캐패시턴스를 증가시켰으며, 따라서 전파흡수체로 입사되는 전자파도 증가한다. 전파 흡수체의 성능은 입사되는 전자파에 비례해서 증가하므로 제안 구조에서는 전파흡수체로 입사되는 방사 잡음은 증가하고 기관 외부로 방사되는 잡음의 양

주파수 : GHz
EMI 레벨 : dBuV/m

방사 잡음 감소를 위한 인쇄회로기판의 접지 구조 개선

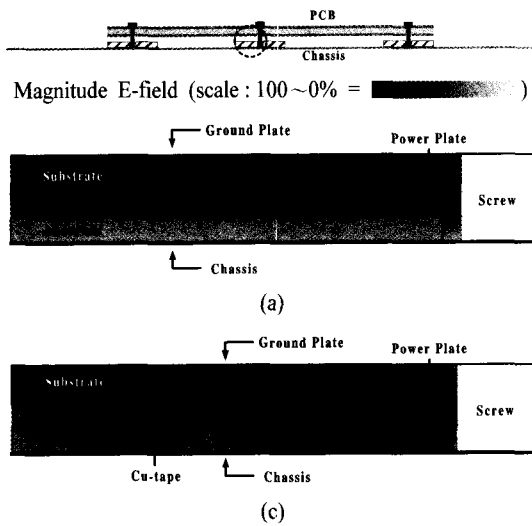


그림 7. 스크류 주위의 전계 분포
 (a) 전파흡수체, (b) 제안된 접지 구조
 Fig. 7. Electric-field around screw.
 (a) Absorber, (b) Proposed ground structure

은 감소한다. 전파흡수체 내부로 입사되는 전자파의 증가는 컴퓨터 해석을 통해서 확인할 수 있다. 그림 7은 전파흡수체의 특성이 저하되는 1 GHz에서 흡수체 내부의 전계를 해석한 결과이다. 이때의 투자율과 유전율은 각각 $\mu'=5$, $\mu''=3$, $\epsilon''=1$ 이고, 해석 조건에서 loss(magnetic loss, electric loss)를 설정하여 재료 특성을 반영하였다. 해석은 유한요소법(FEM: Finite Element Method)을 사용하는 해석 도구인 HFSSTM을 이용하였다^[11]. 결과에서 확인할 수 있듯이 제안 구조에서 전파 흡수체 내부로 인입되는 전자파가 더 큰 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

스크류를 이용한 접지 구조는 기판의 내부를 관통하는 스크류에 의해 전원 노이즈가 기판과 기구물 사이로 유기(guiding)되어 인쇄회로기판의 방사 잡음에 영향을 미치게 되므로, 접지 구조를 개선하면 방사 잡음을 감소시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 접지 구조에 따른 인쇄회로기판의 방사 잡음의 영향을 확인하였고, 잡음 감소에 효과적인 구조를 제안하였다. 제안된 접지구조는 EMI 대책으로 사용되는 전파흡수체를 이용한 것으로 전도성 구리

테이프를 흡수체 표면에 부착하여 전파 흡수 특성을 보강하였다. 1 GHz~3 GHz 대역에서 각 접지구조에 따른 방사량을 측정된 결과, 제안 구조는 2 GHz 이하의 대역에서 일반적인 스크류 접지 구조에 최대 2.62 dBuV/m의 감쇄 효과가 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 기판 접지 구조는 스크류에 의한 기판의 전자파 장해 문제의 대책으로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. H. Hubing, J. L. Drewniak, T. P. Van Doren and D. M. Hoskanson, "Power bus decoupling on multilayer printed circuit boards", *IEEE Trans. on EMC.*, vol. 37, no. 2, pp. 155-166, May 1995.
- [2] J. Fan, J. L. Knighten, N. W. Smith and J. Neely, "Evaluation of SMT Decoupling Design in a Functioning High-Speed PCB", in *Proc. IEEE Int. Symp. on EMC.*, Montreal, Canada, vol. 2, pp. 1097-1101, Aug. 2001.
- [3] J. Fan, J. L. Knighten, A. Orlandi, N. W. Smith and J. L. Drewniak, "Quantifying Decoupling Capacitor Location", in *Proc. IEEE Int. Symp. on EMC.*, Washington, D.C., vol. 2, pp. 761-766, Aug. 2000.
- [4] D. Moongilan, T. S. Palaniswamy, "Backplane grounding models for controlling common-mode noise and mechanism", in *Proc. IEEE Int. Symp. on EMC.*, Seattle, Washington, vol. 1, pp. 212-217, Aug. 1999.
- [5] D. Moongilan, "Grounding optimization techniques for controlling radiation and crosstalk in mixed signal PCBs", in *Proc. IEEE Int. Symp. on EMC.*, Denver, Colorado, vol. 1, pp. 495-500, Aug. 1998.
- [6] J. Chen, T. H. Hubing, T. P. Van Doren and R. E. Duroff, "Power Bus Isolation Using Power Islands in Printed Circuit Boards", *IEEE Trans. On EMC.*, vol. 44, no. 2 pp. 373-380, May 2002.

[7] J-N. Hwang, T-L. Wu, "The Bridging Effect of the Isolation Moat on the EMI Caused by Ground Bounce Noise between Power/Ground planes of PCB", in *Proc. IEEE Int. Symp. on EMC.*, Denver, Colorado, vol. 1, pp. 495-500, Aug. 1998.

[8] Henry W. Ott, *Noise Reduction Technique in*

Electronic System, John Wiley & Sons, 1998.

[9] EMERSON & CUMING MICROWAVE PRODUCTS, INC, ECCOSORB & MCS.

[10] 신재영, 오재희, "Ferrite를 이용한 전파흡수체", *요업재료의 과학과 기술*, 6(1), pp. 4-12, 1991년.

[11] HFSS(High Frequency Simulator Structure). ver 8.0, Ansoft

송 상 화



1998년 2월: 아주대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년~현재: 아주대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] EMI/EMC 및 초고주파 수동 소자

이 해 영



1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1982년~1986년: 국방부 연구사무원
 1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)
 1990년~1992년: 금성 중앙 연구소 기초1실장 책임연구원
 1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수
 [주 관심분야] 초고속/고밀도 반도체 Package의 설계/측정, 초고주파소 및 광전자소자의 설계/측정, 초소형 안테나 해석/설계, 초전도체의 고속 전송 특성 모델링

권 덕 규



1999년 2월: 아주대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학석사)
 2001년~현재: 아주대학교 전자공학부 박사과정
 [주 관심분야] EMI/EMC 및 초고주파 수동 소자