

# 근거리 전자장 스캐닝 시스템의 잡음 대 성능 비 향상 기술

## Enhancement Technologies of Signal-to-Noise Ratio in the Near-Field Scanning Systems

신 영 산\*, 이 성 수\*

Youngsan Shin\*, Seongsoo Lee\*

### Abstract

Recently, EMC (electromagnetic compatibility) becomes very important, which demands the measurement of EMI (electromagnetic interference) in the chip level. NFS (near-field scanning) systems defined in IEC 61967 and IEC 62508 are typical methods to analyze EMI in the chip level. As chips becomes faster, frequency measurement of NFS system should become wideband, but it degrades SNR (singal-to-noise ratio) of the NFP (near-field probe). This paper surveys SNR enhancement technologies of the NFS while maintaining wideband characteristics.

### 요 약

최근 전자파 적합성(EMC: electromagnetic compatibility)의 중요성이 매우 높아짐에 따라 칩 수준에서의 전자파 간섭(EMI: electromagnetic interference) 측정이 자주 요구되고 있다. IEC 61967 및 IEC 62508에서 규정된 근거리 전자장 스캐닝(NFS: near-field scanning) 시스템은 칩 레벨에서의 전자파 간섭을 분석하는 대표적인 방법이다. 칩이 점점 고속화되면서 근거리 전자장 스캐닝 시스템의 측정 주파수는 광대역화되어야 하지만 근거리 전자장 탐침(NFP: near-field probe)의 신호 대 잡음 비(SNR: signal-to-noise ratio)가 저하된다는 문제가 있다. 본 논문에서는 근거리 전자장 스캐닝 시스템에서 광대역 특성을 가지면서도 잡음 대 성능 비를 향상시키는 기술에 대해 살펴본다.

*Key words* : EMC, EMI, NFS, NFP, IEC 61967, IEC 62508

### 1. 서론

반도체 칩에서 발생하는 전자기파 간의 간섭은

각종 전자기기의 오동작을 일으키는 주요 요인이다. 특히 안전에 민감한 자동차에서는 진장 시스템이 증가함에 따라 전자파 적합성(EMC: electromagnetic

\* School of Electronic Engineering and Research Institute of Future Automobile, Soongsil University

★ Corresponding author

E-mail: sslee@ssu.ac.kr, Tel: +82-2-820-0692)

※ Acknowledgment

“This research was supported by the Ministry of Science, ICT and Future Planning, supervised by the Institute for Information & communications Technology Promotion (2016-0-00136).”

Manuscript received Apr. 29, 2018; revised May. 24, 2018; Accepted May. 29, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

compatibility) 특성이 점차 엄격하게 요구되고 있다[1]-[3]. 이로 인해 시스템이나 보드 수준뿐만 아니라 칩 수준의 전자파 장애(EMI: electromagnetic interference) 및 전자파 감수성 (EMS: electromagnetic susceptibility)의 측정과 분석이 요구되고 있다. 칩 수준에서 EMI 및 EMS 측정 방법으로 그림 1, 2와 같이 IEC 61967[4] 및 IEC 62132[5] 표준이 제정되었다.

칩 수준 EMI 및 EMS 측정에서 주로 사용되는 방법은 근거리 전자장 스캐닝(NFS: near-field scanning) 시스템이다. NFS 시스템은 그림 3과 같이 EMI를 검출하기 위한 근거리 전자장 탐침(NFP: near-field probe), 미세 신호를 증폭하기 위한 증폭기, 증폭된 값을 분석하는 스펙트럼 분석기,

NFP의 위치를 변화시키는 위치 조절기와 시스템 전체를 제어하는 컴퓨터로 구성된다.

NFS 시스템에서 측정에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 NFP이다. 칩의 동작 속도가 빨라짐에 따라 NFP의 광대역화가 필수적이지만 신호 대 잡음 비(SNR: signal-to-noise ratio)가 나빠지는 문제가 있다[6]. 본 논문에서는 NFS 시스템에서 SNR 측정 성능을 향상하기 위한 다양한 기술에 대해 살펴본다.

## II. NFP 구조 개선을 통한 성능 향상

그림 3은 기존에 연구된 sub- $\mu\text{m}$  수준의 공간 분해능을 갖는 NFP의 구조이며, 그림 4는 NFP의 길이에 따른 반사계수 S11에 대한 측정 결과이다. 일반적인 안테나의 경우 원하는 주파수 구간에서 작은 값의 S11을 갖을수록 좋은 특성이지만 NFS와 같이 넓은 대역의 EMI를 측정하는 경우에는 균일한 S11 값을 갖는 것이 별도의 보정이 없어도 되는 장점이 있다. 길이가 긴 30mm NFP의 경우 공진 특성을 보이는 4, 6, 8 GHz 부근에서는



Fig. 1. IEC 61967 EMI measurement standard  
그림 1. IEC 61967 EMI 측정 표준



Fig. 2. IEC 62132 EMS measurement standard  
그림 2. IEC 62132 EMS 측정 표준

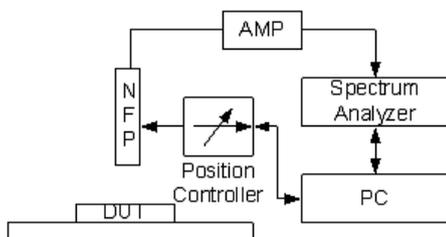


Fig. 3. NFS system architecture  
그림 3. NFS 시스템 아키텍처

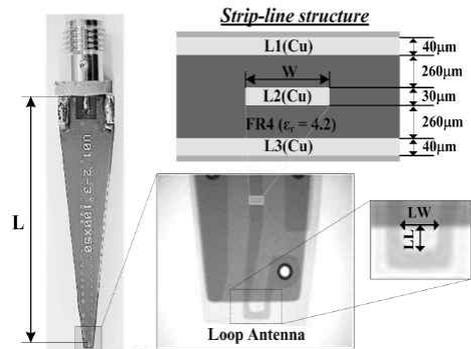


Fig. 4. NFP structure  
그림 4. NFP 구조

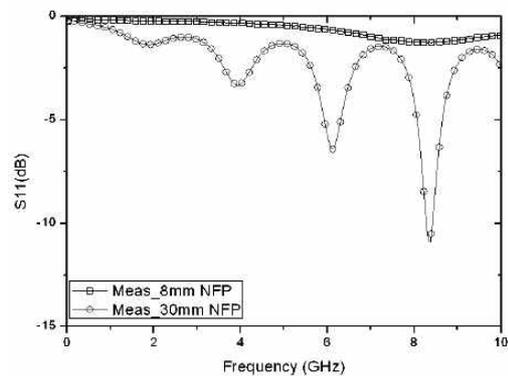


Fig. 5. Measurement results of S11 with NFP length  
그림 5. NFP의 길이에 따른 S11 측정 결과

복잡한 보정 없이는 사용이 어려운 단점이 있다. 하지만 길이가 짧은 8mm NFP는 칩 수준의 EMI를 측정하는데 있어 신호의 크기가 작고 상대적으로 높은 값의 S11 특성을 갖기 때문에 SNR 성능이 떨어진다는[7].

이러한 단점을 극복하기 위해 그림 6과 같이 더 큰 루프를 사용함과 동시에 의사 주기 노치(quasi-periodic notch)를 추가하는 방법이 있다[8]. 의사 주기 노치는 정지대역(stopband) 필터로 그림 7과 같이 특정 주파수에서의 공진 특성을 개선할 수 있다. 하지만 여전히 높은 값의 S11

특성을 갖기 때문에 SNR 성능이 떨어진다.

이 때문에 공진주파수에서의 좋은 S11 특성을 이용하는 가변 공명(tunable resonance) NFP를 사용하기도 한다. 그림 8과 같이 기존의 NFP에 능동형 소자인 버랙터 다이오드(varactor diode)를 추가하고 DC 바이어스를 조절하여 공진 주파수를 변화시킴으로써 NFP의 특성을 향상시키는 방법이 있다[9],[10]. 하지만 공진주파수별 S11 특성이 균일하지 못하기 때문에 복잡한 보정이 필요하며 공진 주파수를 변화시키기 위해 별도의 DC 전원과 그 제어 장치가 필요하다는 단점이 있다.

### III. 열 잡음 억제를 통한 성능 향상

NFP의 특성 개선은 검출되는 신호의 크기를 증가시켜 SNR을 개선시키지만 프로브와 케이블 발생하는 열잡음(thermal noise)으로 인한 SNR 저하를 해결하기는 힘들다. NFP에서 발생하는 열잡음의 경우 온도에 비례하기 때문에 냉각 작업을 통해 SNR을 향상시킬 수 있다[11]. 그림 9와 같이 NFP를 냉각하면 Q-팩터가 증가하며, 이로 인해 EMI 측정시 SNR을 3~6 dB 향상시킬 수 있다.

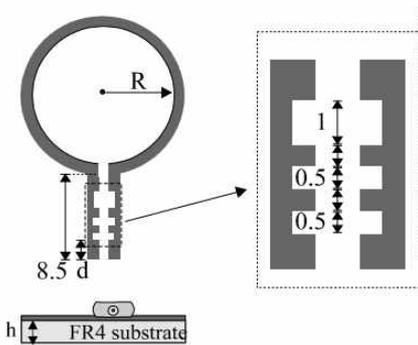


Fig. 6. NFP structure with quasi-periodic notch  
그림 6 의사 주기 노치를 사용한 NFP 구조

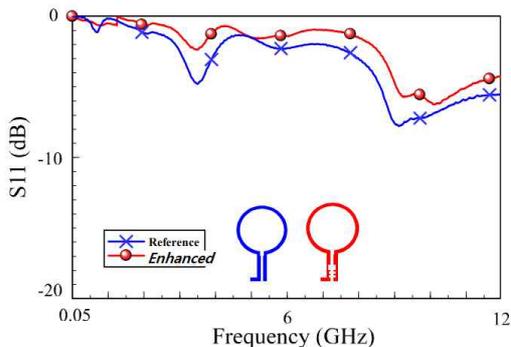


Fig. 7. Measurement results of S11 in quasi-periodic notch NFP

그림 7. 의사 주기 노치 NFP의 S11 측정 결과

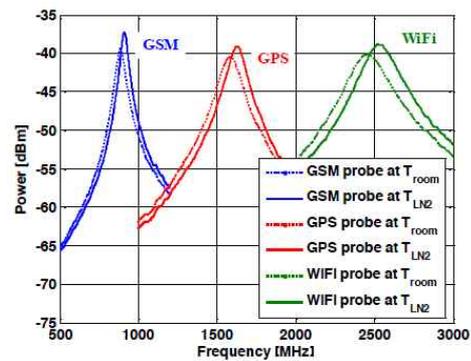


Fig. 9. Performance variation with NFP temperature ( $T_{room}$ : room temperature,  $T_{LN2}$ : cooled)

그림 9. NFP 온도에 따른 성능 변화 ( $T_{room}$ : 실온,  $T_{LN2}$ : 냉각)

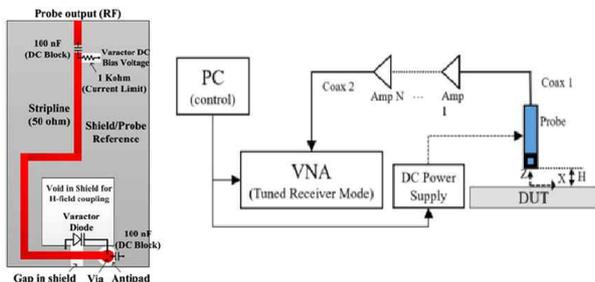


Fig. 8. NFP with a varactor diode and NFS 시스템  
그림 8 Varactor diode를 추가한 NFP와 NFS 시스템

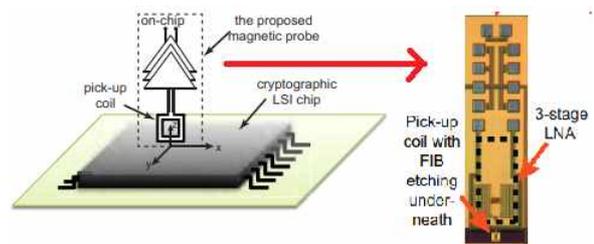


Fig. 10. On-chip NFP structure  
그림 10. 온 칩 NFP 구조

하지만 별도의 냉각 시스템이 필요하며 온도 변화에 따른 공진 주파수 변화를 보정해주어야 한다는 단점이 있다.

케이블에서 발생하는 열잡음의 경우 케이블과 NFP 사이에 저잡음 증폭기(LNA: low noise amplifier)를 추가함으로써 해결하며, LNA와 NFP가 근접할수록 SNR 특성이 뛰어나다[10].

SNR 특성을 극대화하기 위하여 그림 10과 같이 NFP와 LNA를 하나의 칩에 내장하는 방법이 연구되고 있다[12]. 온 칩 NFP는 작은 루프를 구현할 수 있기 때문에 공간 분해능이 뛰어나며 공진 특성이 없어 별도의 보정이 필요하지 않는다. 여기에 충분한 증폭도를 갖는 LNA를 내장하는 경우 SNR 특성 또한 향상시킬 수 있다. 하지만 양산에 대한 수요가 높지 않기 때문에 온 칩 제작으로 인한 비용이 증가한다는 단점이 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 최근 연구되고 있는 NFS 시스템의 SNR 향상 기술에 대하여 살펴보았다. 칩의 동작 속도가 계속 빨라짐에 따라 칩 수준 EMI 분석이 중요해지고 이를 측정하는 NFS 시스템도 점차 복잡한 구성과 요소 기술을 필요로 한다. 점점 더 엄격해지는 EMC 규정으로 인해 EMC 대응 기술 뿐만 아니라 EMC 측정 기술도 또한 중요해지고 있으며 이에 따라 NFP의 성능 개선에 대한 연구가 더욱 활성화되어야 할 것으로 보인다.

#### References

[1] T. Park, J. Wee, and S. Lee, "A Low EMI Spread Spectrum Clock Generator Using TIE-Limited Frequency Modulation Technique," *J. Inst. Korean. Electr. Electron. Eng.*, vol. 17, no. 4, pp. 537-543, 2013. DOI : 10.7471/ikeee.2013.17.4.537

[2] M. Choi, Y. Shin, and S. Lee, "Effects of PCB Patterns on EMI Measurement in TEM Cell and Proposal of PCB Design Guidelines," *J. Inst. Korean. Electr. Electron. Eng.*, vol. 21, no. 3, pp. 272-275, 2017.

[3] J. Park, I. Song, B. Kim, and E. Kim, "A Study on the Evaluation Method of Shielding Effectiveness Using NFS in Near-Field Tests," *Journal of IEIE*, vol. 53, no. 8, pp. 76-82, 2016. DOI :10.5573/ieie.2016.53.8.076

[4] IEC 61967-1:2002, "Integrated Circuits - Measurement of Electromagnetic Emissions, 150KHz to 1GHz - Part 1: General Conditions and Definitions," <https://webstore.iec.ch/publication/6193>

[5] IEC 62132-1:2015, "Integrated Circuits - Measurement of Electromagnetic Immunity - Part 1: General Conditions and Definitions," <https://webstore.iec.ch/publication/23626>

[6] P. Lee, J. Wee, B. Kim, J. Choi, and S. Yeo, "Chip-level NFP Calibration and Verification Using Improved Probe for NFS Standardization," *Journal of IEIEK*, vol. 49-SD, no. 6, pp. 25-34, 2012.

[7] H. Funato and T. Suga, "Magnetic Near Field Probe for GHz Band and Spatial Resolution Improvement Technique", in *Proc. of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 284-287, 2006. DOI: 10.1109/EMCZUR.2006.214926

[8] S. Lin, S. Yen, W. Chen and P. Cheng, "Printed Magnetic Field Probe with Enhanced Performances," in *Proc. of Asia Pacific Microwave Conference*, pp. 649-652, 2009. DOI: 10.1109/APMC.2009.5384134

[9] S. Shinde, S. Marathe, G. Li, R. Zoughi, and D. Pommerenke, "A Frequency Tunable High Sensitivity H-Field Probe Using Varactor Diodes and Parasitic Inductance," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 58, no. 1, pp. 331-334, 2016. DOI: 10.1109/TEMC.2015.2508898

[10] G. Maghlakelidze, X. Yan, L. Guan, S. Marathe, Q. Huang, B. Bae, C. Hwang, V. Khilkevich, J. Fan, and D. Pommerenke, "SNR Analysis and Optimization in Near-Field Scanning and EMI Applications," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 60, no. 4, pp. 1087-1094, 2018. DOI: 10.1109/TEMC.2018.2792778

[11] G. Li, W. Huang and D. Pommerenke, "Effect of Cooling on the Probe System Sensitivity for Low Signal Strength RFI Problems," in *Proc. of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 134-137, 2013. DOI: 10.1109/ISEMC.2013.6670396

[12] N. Mai-Khanh, T. Iizuka, M. Yamada, O. Morita and K. Asada, "An Integrated High-Precision Probe System for Near-Field Magnetic Measurements on Cryptographic LSIs," *IEEE Sensors*, pp. 1-4, 2012. DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411173