

디지털 노이즈와 휴대단말 안테나의 격리도 향상 방법 분석

Analysis of Improvement Method of Isolation Between Digital Noise and the Mobile Handset Antenna Title

김 준 철*[★]

Joonchul Kim*[★]

Abstract

In this paper, we analyze the degradation of receiving sensitivity due to the coupling between digital noise and mobile handset antenna using characteristic mode. First, we analyze the coupling mechanism between the antenna and digital noise, and analyze the role of the decoupling capacitor of the ground signal line, which is one of the ways to improve the antenna receiving sensitivity degradation due to camera noise.

For the analysis, the digital signal line and the ground line of the FPCB of the camera module are modeled as a loop type feeder that excites the characteristic mode of the PCB ground, and improved model which has a ground line with a capacitor are analyzed.

요 약

본 논문에서는 휴대단말기 내의 디지털 노이즈와 안테나 사이의 결합(coupling)으로 인한 수신감도 저하 현상을 특성 모드(characteristic mode)를 사용해서 분석한다. 우선, 안테나와 디지털 잡음의 결합 메커니즘(mechanism)을 분석하고, 카메라 노이즈로 인한 안테나 수신감도 열화현상의 개선 방법 중 하나인 그라운드(ground) 선의 디커플링 커패시터(decoupling capacitor, decap)의 역할에 대해서도 분석한다. 분석을 위해서 카메라 모듈의 FPCB의 디지털 신호 선과 그라운드 선을 PCB 그라운드의 특성 모드를 여기(excitation) 시키는 루프(loop)형 피더(feeder)로 모델링 했고, 그라운드 선과 커패시터를 추가한 개선 모델에 대해서 분석을 했다.

Key words : Digital noise, RF noise, sensitivity, ground mode, characteristic mode

1. 서론

휴대단말기의 소형화 및 다양한 기능의 추가로 최신 단말기의 인쇄회로기판(printed circuit board, PCB)은 하나의 PCB에 여러 개의 무선(radio frequency,

RF)회로 부품과 프로세서, 메모리 모듈, 전원회로 등의 디지털회로 부품들이 함께 실장(mount) 된다. 이 상황은 디지털 부품과 RF회로 부품 간의 결합(coupling)을 야기 시킬 수 있다. 원하지 않는 높은 주파수의 디지털 신호 고조파(harmonic) 성분이

* Dept. of Information Systems Engineering, Sungshin University

★ Corresponding author

E-mail : greensday@sungshin.ac.kr, Tel : +82-02-920-7563

Manuscript received Jun. 6, 2019; revised Jun. 17, 2019; accepted Jun. 17, 2019.

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.

RF 영역에 들어오게 되면, 디지털 신호가 RF 신호보다 크기가 매우 크기 때문에, 휴대단말기의 수신감도(receiving sensitivity)는 심각하게 저하 된다[1].

휴대단말기의 감도를 향상시키기 위해서는 내부 시스템 간섭(intra-system interference) 문제를 초기 PCB설계 단계에서부터 고려해야 한다. 하지만, 대부분 초기 개발단계에서는 PCB내의 디지털 부품과 RF 부품의 공존이 고려되지 않기 때문에, 개발 도중 심각한 수신감도저하 문제가 야기되고 이 문제를 해결하기 위해서 연구원들은 시행착오법(try and error method)을 통해 많은 시간을 소요하게 되고 이는 개발기간과 개발비에 직접적인 영향을 주게 되므로 이에 대한 많은 연구가 필요하다.

본 논문은 휴대단말기의 디지털노이즈로 인한 감도 저하 현상을 특성 모드(characteristic mode)를 사용해서 분석한다[2]. 우선, 안테나와 디지털 잡음의 결합 메커니즘(mechanism)을 분석하고, 수신감도 개선 방법의 하나인 그라운드(ground) 선의 디커플링 커패시터(decoupling capacitor, decap)의 역할에 대해서도 분석했다. 카메라 모듈 FPCB의 디지털 신호 선과 그라운드(ground) 선을 PCB 그라운드의 특성 모드를 여기(excitation) 시키는 루프(loop)형 피더(feeder)로 모델링 했고, 그라운드 선과 커패시터를 추가하여 아이솔레이터(isolator) 역할을 하도록 하였다[3].

II. 본론

1. 디지털 신호와 수신감도 열화

휴대단말기에서 PCB 그라운드는 일반적으로 연속적인 그라운드 층을 가지고 있고 이는 전자기적 노이즈를 막는(shield) 중요한 역할을 한다[4]. 또한 그라운드 층은 안테나 소자와 함께 공진 주파수 결정과 대역폭에도 매우 중요한 역할을 한다[5]. 특히

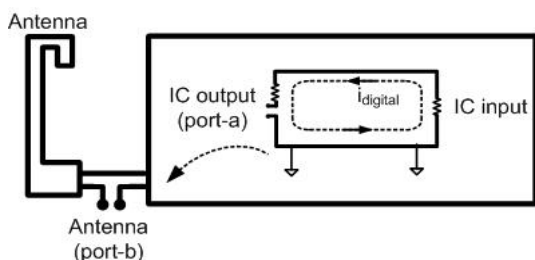


Fig. 1. Coupling between the digital signal and antenna.
그림 1. 디지털신호와 휴대단말 안테나의 결합

GSM(Global System for Mobile Communications) 등의 저주파수 영역에서 PCB 그라운드는 안테나의 성능에 크게 기여를 하고 있기 때문에 이 대역의 휴대기기 안테나의 성능은 PCB 그라운드를 얼마나 잘 활용하느냐가 중요하고, 이를 위해 안테나 설계 시 PCB 그라운드의 특성 모드에 대한 고려가 반드시 필요하다[6].

안테나의 수신 동작에서 PCB 그라운드의 특성 모드는 공기 중의 전파가 PCB 그라운드로 수신되어 여기 되고 안테나 포트를 통해 수신 신호가 RF 회로로 입력된다[7]. 마찬가지로 PCB의 디지털 부품에 의해 형성되는 디지털 고조파 노이즈도 마치 공기 중으로부터 전자기파가 수신되어서 특성 모드를 여기 시키듯이 동일하게 PCB 그라운드의 특성 모드를 여기 시키게 되고, 이 고조파 노이즈가 안테나에 결합 되어 RF 수신 감도는 심각하게 열화 된다.

2. 디지털 신호와 안테나의 결합 분석

그림 1은 바(bar) 형태의 휴대단말기의 모델을 나타낸다. PCB의 디지털 신호 선은 디지털 신호의 소스(source) 회로와 수신회로 사이를 연결(connection)한다. 소스로 부터 전류가 신호 선으로 흐를 때, 귀환전류(return current)는 PCB의 신호 선과 그라운드가 형성하는 전류 루프를 통해 소스로 돌아온다. 디지털 신호의 고조파 성분은 신호 선과 그라운드가 형성하는 루프를 피더로 PCB 그라운드 면의 특성 모드를 여기 시킨다. 여기 되는 특성 모드 전류는 아래의 식으로 표현된다[8], [9].

$$J = \sum_i \frac{-j\omega \int_v \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}_i^* dv}{(\omega_i^2 - \omega^2)} J_i \quad (1)$$

$$\approx \frac{-j\omega \int_v \mathbf{M} \cdot \mathbf{H}_0^* dv}{(\omega_0^2 - \omega^2)} J_0 = C_0 J_0$$

C_0 는 기본 모드 주파수(dominant resonance frequency)에서의 모드 여기 상수(coefficient)이고 J_0 는 PCB 공진으로 부터 여기 된 그라운드 특성 모드의 기본 모드 전류이다. H_0 는 기본모드의 자기장(magnetic field)이고, \mathbf{M} 은 PCB의 디지털 신호 전류의 루프로 형성된 자기 전류 소스(magnetic current source)이다. ω_0 는 기본모드의 복소 공진주파수(complex resonance frequency)이고, ω 는 디지털

텔 고조파의 주파수이다. J 는 PCB 전체에 여기된 그라운드 특성 모드 전류이고, 아래 첨자(sub index) i 는 i 번째 모드를 나타낸다.

두 개의 포트(port)의 결합을 살펴보기 위해서 리액션(reaction concept)을 이용할 수 있다. $port-a$ 의 등가 자계소스로 부터 생성된 자계장이 $port-b$ 의 등가 자계 전류로 영향을 미치는 것은 다음 식으로 정의된다[9].

$$\langle port-a, port-b \rangle = - \int_v \mathbf{H}_{ba} \cdot \mathbf{M}_b dv = V_b I_{ba} \quad (2)$$

$port-a$ 의 소스로 인해 생성된 $port-b$ 의 자계장과 전류는 \mathbf{H}_{ba} 와 I_{ba} 로 각각 표현했고, $port-b$ 의 등가 자기 전류 소스와 전압 소스는 \mathbf{M}_b 와 V_b 로 각각 표현했다. 전달 임피던스 파라미터(transfer impedance parameter)의 Z_{ba} 와 산란 파라미터(scattering parameter)의 S_{ba} 는 아래와 같이 표현 된다[9].

$$Z_{ba} = \frac{V_a V_b}{\langle port-a, port-b \rangle} = \frac{1}{Y_{ba}} \quad (3)$$

$$S_{ba} = \frac{-2Y_{ba}Y_0}{(Y_{aa} + Y_0)(Y_{bb} + Y_0) - Y_{ab}Y_{ba}} \quad (4)$$

디지털 고조파가 PCB 그라운드의 특성 모드를 여기하면 특성 모드 전류의 기본모드 J_0 가 여기 되기에 대응되는 자계장 \mathbf{H}_0 가 생성되며 $port-b$ 주변은 J_0 가 집중되기 때문에 \mathbf{H}_{ba} 는 강하게 생성된다. 따라서 전달 어드미턴스(transfer impedance) Y_{ba} 가 커지고, S_{ba} , 즉 결합이 강하게 일어난다.

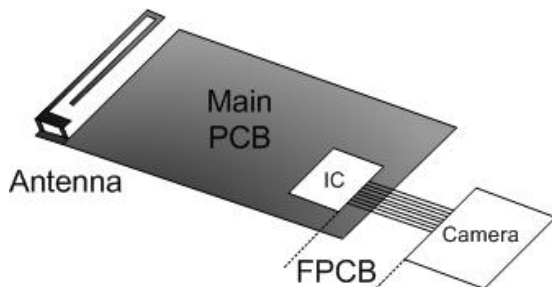


Fig. 2. Bar type model of mobile handset with a camera module.

그림 2. 카메라를 포함한 바 형태 휴대단말기의 내부 모델

3. 디지털 신호와 안테나의 결합 예제 및 격리방법 분석

그림 2는 카메라 모듈을 포함한 바 형태의 휴대

단말기 모델을 보여준다. 연성인쇄회로기판(Flexible PCB, FPCB)은 메인 PCB 위에 실장된 집적회로(Integrated Circuit, IC)와 카메라 모듈(Module)의 회로를 연결하는 신호 및 귀환 전류의 경로 역할을 한다. 정보를 전송하기 위해 고속 디지털 신호가 FPCB의 신호 선을 흐를 때 휴대단말기의 안테나 수신감도는 열화 된다. 이를 개선하기 위한 여러 가지 방법이 있지만, 개발자들이 사용하는 방법 중 하나로 그라운드 선에 작은 값의 커패시터를 삽입하는 방법이 있다.

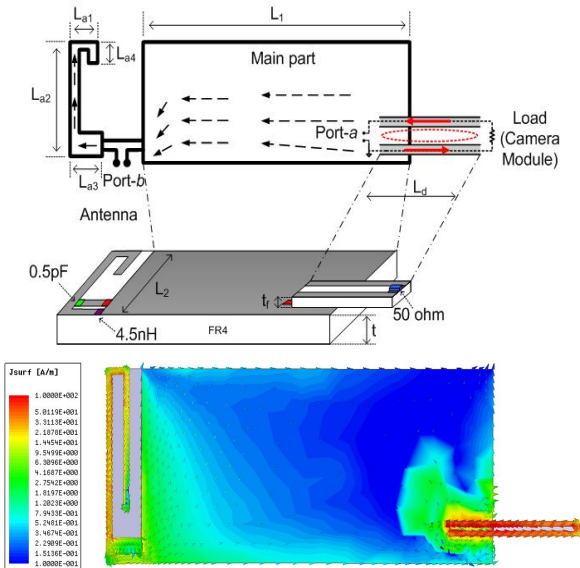
그림 3은 FPCB에 흐르는 디지털 신호로 인한 수신감도 열화 현상 및 그라운드 선에 추가된 커패시터 영향을 분석하기 위해서 만든 바 형태의 휴대단말기 모델 및 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 $L_1=90$ mm, $L_2=40$ mm, $L_d=30$ mm, $L_{a1}=6$ mm, $L_{a2}=39$ mm, $L_{a3}=8$ mm, $L_{a4}=7$ mm, $t=1.6$ mm, $t_f=0.8$ mm이고 FPCB 모델의 너비와 신호 선 간격은 0.5 mm, 소스와 부하 임피던스는 50 Ω, PCB의 유전율은 4.5이다. 시뮬레이션의 전류분포 그림은 PCB의 첫 번째 공진의 전류 분포이다. 디지털고조파에 의해 안테나로 신호가 커플되는 양을 확인하기 위해서 port-a(디지털 신호 루프 입력)에서 신호를 가한 후 PCB 및 안테나에 분포하는 전류 크기 및 벡터를 나타냈다.

그림 3 (a)는 카메라 모듈을 갖는 휴대단말기의 바 타입 모델 및 870MHz 주파수에서의 특성 모드 전류 분포를 보여준다. 실제 FPCB에는 많은 신호 및 그라운드 선이 있지만 모델을 단순화하기 위해서 FPCB는 하나의 신호 선과 하나의 그라운드 선만을 고려했고, 카메라 모듈은 50ohm으로 모델링했다. FPCB에 디지털 고조파가 흐를 때, 여기 되는 PCB의 특성 모드 전류는 식 (1)과 같다.

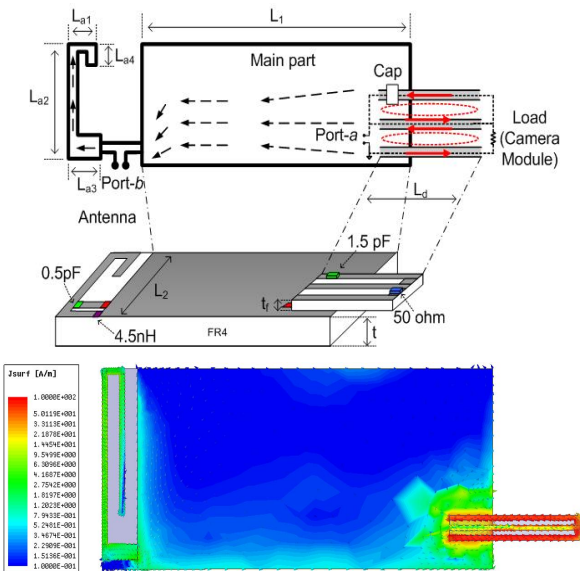
그림 3 (b)는 그림 3 (a)에 더미 그라운드 선과 디커플링 커패시터를 사용한 격리도 향상 방법에 대한 결과를 보여준다. 추가된 더미 그라운드 선은 소스 전류의 귀환 경로를 하나 더 형성하는 역할을 하지만, 적절한 커패시터를 추가함으로써 특정 주파수에서 동작하는 루프형 공진기가 설계 될 수 있다. 그림의 더미 그라운드 선 및 커패시터를 적용시킨 FPCB의 전류 흐름을 보면 원하는 주파수에서 더미 그라운드 선과 그라운드 선 사이에 아이솔레이터 역할을 하는 전류 루프가 추가로 형성되어 있다. 이 더미 그라운드 선의 전류 루프가 디지털

루프와 안테나의 결합에 영향을 주게 되고 그 영향은 아래 식으로 표현할 수 있다.

$$Z'_{ba} = Z_{ba} - \Delta Z_{ba} \tag{5}$$



(a) Digital signal loop model and current distribution.
(a) 디지털 신호 루프 모델 및 전류분포



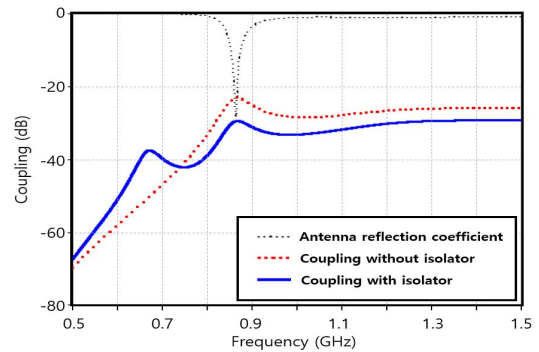
(b) Adding dummy ground line with capacitor to a digital signal loop and current distribution.
(b) 더미 그라운드 선과 커패시터를 추가한 디지털 신호 루프 모델 및 전류분포

Fig. 3. Current distribution of the first PCB ground resonance mode of a bar type mobile handset with a camera module.

그림 3. 카메라모듈을 포함한 바 형태의 휴대단말기의 PCB 그라운드의 첫 번째 공진 전류 분포

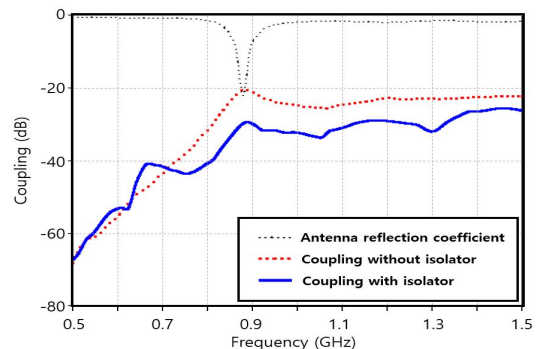
여기서 ΔZ_{ba} 는 아이솔레이터 루프에 의해 새로 발생하는 전달임피던스의 변화를 나타낸다. 여기서 Z_{ba} 와 ΔZ_{ba} 는 복소수 이므로 서로의 위상차를 잘 조절하면 $|Z'_{ba}|$ 값을 $|Z_{ba}|$ 값보다 작게 설계 할 수 있고 결과적으로 결합을 줄일 수 있다.

그림 4는 안테나가 870MHz에 공진이 맞춰져 있을 때 결합의 시뮬레이션 및 측정 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과와 측정된 결과에서, 그라운드에 적절한 디커플링 커패시터를 사용한 모델은 안테나와의 결합이 안테나 공진주파수에서 10 dB가 감소된다. 또한 아이솔레이터에 사용된 커패시터의 커패시턴스(capacitance) 값에 따라 ΔZ_{ba} 를 다르게 할 수 있고 결합 특성을 변화시킬 수 있다. 아이솔레이터 영향으로 670MHz 주변에 결합이 상승되는 부분이 생기지만 사용하지 않는 주파수 대역 이므로 큰 영향이 없고, 커패시턴스 값 조절로 다른 대역으로 이동시킬 수도 있다. FPCB의 신호선을 여러 개로 늘려 실험해도 결합 억제 효과는 동일하게 나타난다.



(a) Simulation results.

(a) 시뮬레이션 결과



(b) Measurement results.

(b) 측정 결과

Fig. 4. Simulation and measurement results of coupling(S_{ba})
그림 4. 결합(S_{ba})에 대한 시뮬레이션과 측정 결과

고속 디지털 신호가 전달되는 회로에서 귀환 선에 커패시터를 연결할 때, 커패시턴스 값을 잘못 선정 할 경우 신호무결성(Signal integrity, SI)에 문제가 생길 수 있다. 실제 휴대단말기 모델의 개발 시 고려해야 하는 사항이고, 상황에 따라서 무리하게 큰 커패시턴스의 사용은 신호무결성에 좋지 않은 영향을 미치게 되므로 적절한 값을 찾아야 한다.

III. 결론

본 논문에서는 휴대단말기에서 디지털 신호와 안테나 간의 결합 원리를 분석하고 카메라 모듈의 디지털 신호와 안테나 간의 결합 억제 방법인 그라운드 선에 디커플링 커패시터를 삽입하는 방법에 대한 분석을 했다. 카메라 모듈 FPCB상의 디지털 신호 선 및 그라운드 선은 그라운드의 특성 모드를 여기 시키는 루프형 피더로 모델링 했고, 아이솔레이터는 더미 그라운드 선과 커패시터의 추가로 형성시켰다. 본 모델로 실험한 결과 디지털 신호의 귀환선에 사용하는 디커플링 커패시터는 디지털 고조파 잡음에 의한 PCB 그라운드 특성 모드의 여기를 줄이고 결합을 10dB 억제시키는 결과를 볼 수 있었다. 이 방법은 간단하고 효율적이어서 개발 시 고조파 잡음에 의한 감도 저하에 대한 좋은 해결책이지만 설계 시 신호무결성 문제를 고려하여야 한다.

References

- [1] D. Lim, Y. Kim, and A. Kim, "Digital to RF coupling analysis methodology for mixed-signal," *IEEE Int'l. Symp. Electromagn. Comp.*, pp.1-5, 2008. DOI: 10.1109/ISEMC.2008.4652067
- [2] R. F. Harrington and J. R. Mautz, "Theory of characteristic modes for conducting bodies," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.19, no.5, pp.622-628, 1971. DOI: 10.1109/TAP.1971.1139999
- [3] L. Qu, R. Zhang, and H. Kim, "High-sensitivity ground radiation antenna system using an adjacent slot for bluetooth headsets," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.63, no.12, pp.5903-5907, 2015.

DOI: 10.1109/TAP.2015.2481919

- [4] J. Villanen, J. Ollikainen, O. Kivekas, and P. Vainikainen, "Coupling element based mobile terminal antenna structures," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, no.7, pp.2142-2153, 2006.

DOI: 10.1109/TAP.2006.877162

- [5] O. Kivekas, J. Ollikainen, T. Lehtiniemi, and P. Vainikainen, "Bandwidth, SAR, and efficiency of internal mobile phone antennas," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol.6, no.1, pp.71-86, 2004.

DOI: 10.1109/TEMC.2004.823613

- [6] P. Vainikainen, J. Ollikainen, O. Kivekas, and I. Kelder, "Resonator-based analysis of the combination of mobile handset antenna and chassis," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.50, no.10, pp.1433-1444, 2002. DOI: 10.1109/TAP.2002.802085

- [7] M. Cabebo, E. Antonia-Daviu, A. Valero-Nogueria and M. F. Bataller, "The theory of characteristic modes revisited: A contribution to the design of antennas for modern applications," *IEEE Antennas and Propag. Magazine*, vol.49, no.5, pp.52-68, 2007.

DOI: 10.1109/MAP.2007.4395295

- [8] J. Kim and H. Kim, "Decoupling Method Between Digital Signals on FPCB and Mobile Handset Antenna," *ETRI Journal*, vo.33, no.1, pp.121-124, 2011. DOI: 10.4218/etrij.11.0210.0268

- [9] R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, Macgraw-Hill, 1961.

BIOGRAPHY

Joonchul Kim (Member)



2011 : Ph.D degree in Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

2005.2~2007.2 : Mobile Handset R&D Center, LG Electronics

2011.3.1~2016.12 : Mobile Communication Division, Samsung Electronics

2017.3.1~Present : Dept. of Information Systems Engineering, Sungshin University