

무선 비디오 스트림 시스템 EMI 잡음 개선 방안

Optimized Design Technique of The EMI(Electro Magnetic Interference) Noise Reduction for Wireless Video Stream System

박 경 진*
(Kyoung-Jin Park)

김 종 민**
(Jung-Min Kim)

나 극 환***
(Keuk-Hwan Ra)

요 약

본 논문에서는 무선으로 비디오를 데이터 전송하여 접근하는데 필요한 스트림 시스템을 구현하여 시스템 내에서 발생하는 EMI(Electro Magnetic Interference) 잡음을 각 인터페이스, 회로 그리고 PCB(Printed Circuit Board) 상에서 주파수 대역별로 분석하였고 각각 기능 블럭에 대한 잡음 개선 방안을 제시하였다. 개선방안으로 저역통과 대역 필터링, 고속 데이터 라인들의 내층 배선, 그라운드의 최적화를 수행하였다. 구현된 시스템은 EMI 규제치 30~230[MHz]대역과 230~1000[MHz]대역에서 각각 40[dBuV/m]와 47[dBuV/m]내로 약 2~20[dB] 마진을 확보하여 잡음 개선을 하였다.

Abstract

In this paper, we manufactured the wireless video stream system after we scanned EMI(Electro Magnetic Interference)noise in the system. and then, we analysed the noise frequency in the interface, circuit and PCB(Printed Circuit Board). we suggested EMI noise reduction technique. The applied reduction method is low pass filtering, the internal layer placement for high speed video data line and optimization of the system ground condition. the manufactured system improved about 2~20[dB] margin for EMI limit 40[dBuV/m] at 30~230[MHz] and 47[dBuV/m] at 230~1000[MHz].

Key words : EMI Noise, HDMI/USB Noise, EMI Noise Reduction

I. 서 론

최근 무선 통신 시스템은 지속적으로 많은 기능을 포함하였고 제품의 크기 또한 줄어들고 있어 휴대성은 좋아졌으나, 제품에 잡음, 사용시간, 소프트웨어 동작등 문제점이 많이 증가 하고 있다.

시스템 내의 잡음은 주로 그라운드의 불안정 현

상, 데이터 라인의 고속화, 임피던스 부정합, 불안정한 전원 등으로 인한 불요파 발생 등의 여러 원인들이 복합적으로 나타나 분석하기 어려운 형태로 나타난다. 본 논문에서는 무선 비디오 스트림 시스템에 노이즈 발생원인 및 분석을 통하여 노이즈 개선 방안을 제시하여 성능을 최적화 하였다.

† 본 논문은 2012년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

* 주저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자공학과

** 공저자 : 광운대학교 전자공학과

*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과

† 논문접수일 : 2012년 7월 4일

† 논문심사일 : 2012년 8월 6일

† 게재확정일 : 2012년 8월 21일

II. 시스템 내 잡음 발생

시스템 내의 잡음의 발생은 그라운드 불안정, 고속 신호라인의 임피던스 부정합, 누화, 전원 라인의 불연속 임피던스, PCB의 공진 주파수 등에 의해 발생된다.

1. 고속 디지털 신호의 잡음 발생

구형파 신호를 푸리에 변환을 하게 되면 다음과 같이 고조파 성분을 함유한다. 구형파에서는 홀수 차 고조파만 발생되며, 이들 고조파 성분들의 신호 크기는 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다[1].

$$A_n = \frac{2}{\pi \times n} \quad (1)$$

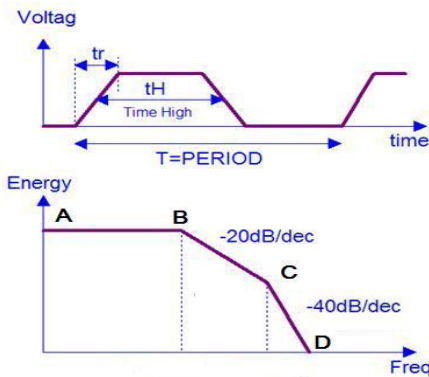
여기서,

$A_n = n$ 번째 고조파의 진폭

$\pi = 3.14159.....$

$n =$ 홀수 차 고조파 성분

위의 식에서와 같이 고조파 성분 차수가 증가함에 따라 신호의 크기가 줄어드는 것을 알 수 있다. 디지털 신호가 고속화 될수록 많은 고차의 고조파 성분들을 함유하며 고속 디지털 신호를 시간 영역과 스펙트럼으로 표현하고 그래프로 표현하면 다음과 같다[2].



<그림 1> 상승 시간에 따른 주파수 스펙트럼상의 에너지 분포
<Fig. 1> The frequency Spectrum of changing to the rising time

스펙트럼은 주파수에 따라 A-B영역, B-C영역, C-D영역으로 분류 할 수 있다. A-B영역은 저차 고조파 영역으로 고조파의 레벨은 일정하다. B-C영역은 주파수가 높아짐에 따라 20dB/dec의 기울기로 고조파 레벨이 낮아진다. C-D영역은 40dB/dec 기울기로 빠른 속도로 감쇠 한다. 각 영역을 나누는 주파수는 다음과 같이 표현할 수 있으며, 각각 신호의 펄스폭 t , 상승(하강)시간에 의해 정해진다.

$$f_B = \frac{1}{\pi \times tH} \quad (2)$$

$$f_C = \frac{1}{\pi \times tr} \quad (3)$$

여기서,

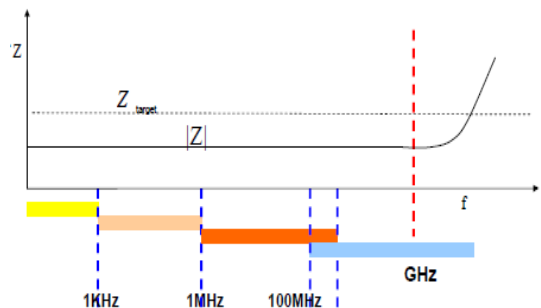
$tH =$ 디지털 신호 상승 시간

$tH =$ High 유지 시간

위 표현식과 같이 High 유지 시간과 상승 시간은 고조파 레벨과 상관관계로 인해 시간을 고려하여 설계 하여야 한다. 또한, 고주파 레벨이 증가하면서 C-D영역의 고조파레벨이 증가하게 된다.

2. 전원에서의 잡음 발생

PCB에서는 구조적 형상, 재질 등에 따라 고유의 공진 주파수가 발생하고, 그것에 의해 전류가 집중 될 수 있다[3]. 주파수 변화에 따른 임피던스의 변화는 다음 그림과 같이 표현된다.



<그림 2> 전원라인 과 소자 상에서 주파수에 따른 임피던스 변화

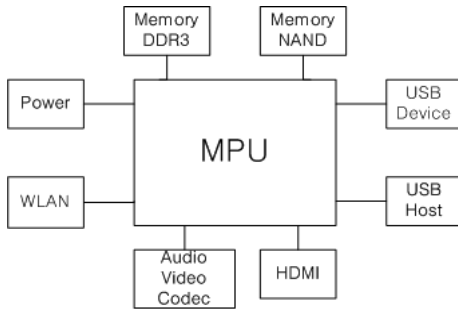
<Fig. 2> The Impedance change according to the increase of frequency between power line and device

특정 주파수 대역의 잡음을 제거하기 위해서 잡음을 최소화 할 임피던스 값을 정의 하게 되는데 이것을 목표 임피던스 (Target impedance)라 부른다. 저 주파수대역 (1KHz ~ 100MHz)에서의 임피던스는 수십m[ohm]으로 유지되지만, 고 주파수대역에서는 유지되기 어렵기 때문에 잡음원으로 될 수 있다.

III. 무선 비디오 스트림 시스템

1. 시스템 구성

차량용 무선 비디오 스트림 시스템 블럭도는 다음과 같다.



〈그림 3〉 무선 비디오 스트림 시스템 블럭도
 〈Fig. 3〉 Wireless video stream system block diagram

무선 비디오 시스템 구성은 기본적으로 메모리, 인터페이스(HDMI, USB), WLAN 통신, 전원 블록으로 구성 되어 있다. 동작 방법은 스마트폰과 각종 기기와 무선으로 연결하고 디스플레이장치와 유선으로 연결 되어 스마트폰내의 비디오 데이터를 전송한다. 무선으로 연결할 때에는 WLAN(Wireless Local Area Network)으로 연결하고 디스플레이 장치와 연결할 때는 HDMI 케이블로 연결하여 비디오를 시청할 수 있다.

IV. 무선 비디오 스트림 시스템 잡음 주파수 분석

1. 전자파 방사 기준

전자파 방사기준은 국립전파연구원 KN22 전자파 장애방지 기준 문서의 제시 되어 있다[3].

〈표 1〉 전자파 장애 방지 기준
 〈Table 1〉 Electro-Magnetic Wave radiation limit

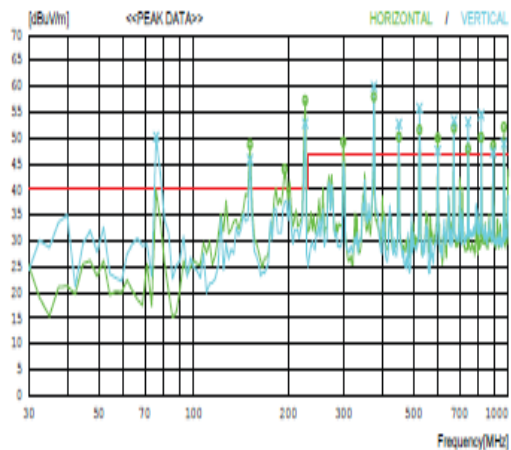
주파수범위 [MHz]	준 침두치 허용기준 [dBuV/m]	
	A급기기	B급기기
30 ~ 230	40	30
230 ~ 1000	47	37

EMI 규격인 전자파 장애 방지 기준은 사용 용도에 따라 A급과 B급기기로 분류되며, A급기기는 산업용으로 사용이 되고, B급기기는 가정용으로 사용이 되는 기기를 말한다.

본 논문에서 측정된 기기는 B급 기기로 분류 하여 기기를 시험 하였다. 시험은 3m 챔버에서 측정하였고, 허용 한도치는 30 ~ 230[MHz]대역 에서는 40[dBuV/m] 이고, 230 ~ 1000[MHz]대역에서는 47[dBuV/m]를 적용하여 측정 하였다. 3m 챔버는 간이 시험용 측정 챔버로서 여기서 허용기준치40[dBuV/m]과 47[dBuV/m]를 통과하게 되면 실제 측정 챔버인 10m 챔버에서의 규격을 통과할 수 있다.

2. 무선 비디오 스트림 시스템 잡음 원인 및 분석

처음 제작된 무선 비디오 시스템을 EMI 챔버에서 초기 측정하였다.



〈그림 4〉 시스템 초기 측정 결과
 〈Fig. 4〉 system start measurement result

거의 모든 시스템들은 제작 후 초기 상태는 전압, PCB 아트웍 상태, 부품 배치, 그라운드 임피던스 상태 등이 불안정하여 EMI 규격 한도치를 초과하는 경우가 대부분이기 때문에 잡음 발생 원인을 파악하여야 한다.

〈표 2〉 시스템 초기 잡음 주파수 대역 결과
 〈Table 2〉 System start noise frequency band result

No.	Frequency		Result		Limit
	[MHz]		[dBuV]		[dBuV]
	H	V	H	V	
1	X	76.075	X	64.2	40
2	151.25	151.25	55.8	56.3	40
3	194.9	X	53.8	X	40
4	226.425	226.425	60.2	65.4	40
5	299.175	X	57.1	X	47
6	374.35	374.35	65.2	63.9	47
7	449.524	449.524	59.6	54.5	47
8	522.274	522.274	61.3	56.3	47
9	597.449	597.449	52.3	57.1	47
10	672.623	672.623	54.7	54.1	47
11	745.373	745.373	51.9	50.1	47
12	820.547	820.547	53.5	52.6	47
13	895.722	895.722	47.4	50.5	47
14	968.472	968.472	48.8	53	47

무선 비디오 스트림 시스템의 잡음 주파수 대역의 분포를 근거로 하여 다음과 같은 불안정 현상이 발생한 것을 분석 하였다.

- 1) 그라운드 불안정
- 2) HDMI RGB 라인의 PCB 외층 배선으로 인한 불요파 방사
- 3) USB 인터페이스 회로 전원 라인 고주파 대역 잡음

V. 시스템 EMI 개선 방안

무선 비디오 스트림 시스템의 잡음 주파수 대역을 분석하여 기능 블록에 따른 발생원을 찾아 분류하였고, 그에 따른 잡음 원인 분석과 개선을 위한 대책을 세웠다. 본 논문에서 잡음 주파수 대역을 분류하여 개선하는 방법을 구체적으로 제시하였다.

1. PCB(Printed Circuit Board) 구조

무선 비디오 스트림 시스템에서 사용된 PCB의 구조는 4층 기판을 이용하였고 Fr-4($\epsilon_r = 4.2 \sim 4.5$) 기판을 사용하였다. 4층은 Top층과 Bottom층이 있고 그 내부에 두 개의 층이 삽입된 구조이다.

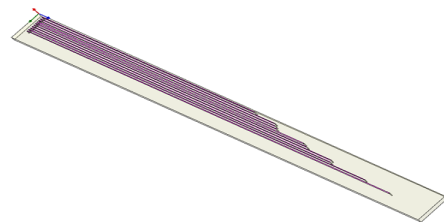
2. 그라운드

시스템이 전체적으로 전류 소모특성이 불안정하기 때문에 30MHz에서 1GHz까지 전체 대역에서 30[dBuV/m] ~ 40dB[dBuV/m] 정도의 레벨로 높게 나타나게 된다. 따라서, 그라운드 면적이 넓어질 수 있도록 비아의 보강 PCB 내에 떨어져 있는 그라운드 간 연결 등의 PCB 아트웍을 수정하였고, 전류 소모 특성과 각 기능의 특성을 최적화하여 그라운드의 안정성을 높였다.

3. HDMI 인터페이스 회로

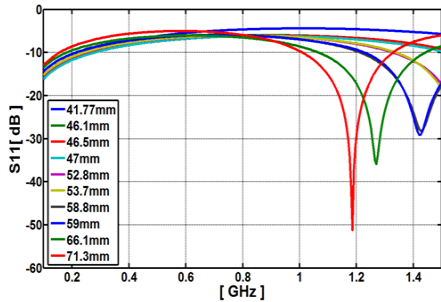
HDMI(High Definition Multimedia Interface) 는 고속 비압축 방식의 디지털 오디오/비디오 규격으로 10 Gbit/s의 고속 통신을 한다. HDMI 회로에서는 151.25MHz, 194.9MHz, 226.425MHz, 299.17MHz, 449.524MHz, 895.722MHz, 의 대역이 잡음으로 방사되고 있는 것으로 분석 되었다.

HDMI 인터페이스에서 RGB 데이터라인은 고속 데이터 신호여서 고주파 하모닉 성분을 많이 포함하고 있다. 따라서 신호라인이 고속 데이터 신호가 전송될 수 있을 정도의 라인의 신호 전송 대역폭을 유지해야 한다.



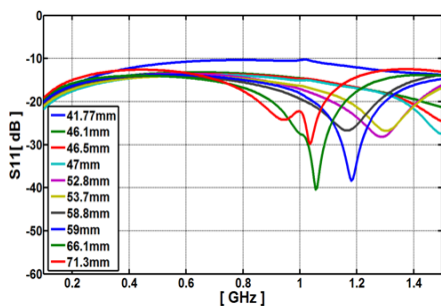
〈그림 5〉 데이터 라인 구조 시뮬레이션
 〈Fig. 5〉 Data line structure simulation

내층 배치의 효과를 알기 위해 Ansys사의 HFSS를 이용하여 데이터라인의 3D구조 해석을 통해 마이크로스트립 라인 구조와 스트립 구조 라인의 s-parameter를 비교하여 반사 손실 특성(S11)을 확인하였다.



〈그림 6〉 마이크로스트립 구조 데이터 라인 시뮬레이션 결과

〈Fig. 6〉 The Simulation result of Microstrip data line



〈그림 7〉 스트립 구조 데이터라인 시뮬레이션 결과
〈Fig. 7〉 The Simulation result of Strip data line

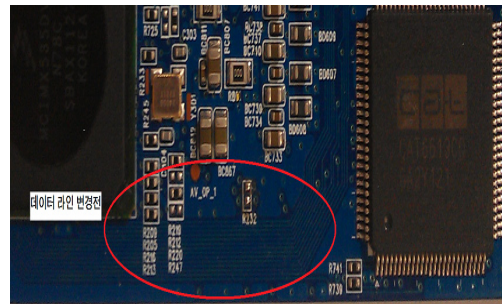
해석 방법은 PCB에 사용된 길이에 따라 라인을 배치하였고, 라인 간 간격은 0.25mm, 라인의 폭은 0.13mm의 마이크로 스트립 라인 구조를 취하여 각 라인별 반사 손실 특성을 확인하였고 차폐 효과를 알기 위해 스트립라인 구조를 이용하여 해석하였다.

스트립 라인 구조가 0.1~1.5GHz에 걸쳐서 마이크로 스트립 라인 대비 약 5dB 이상의 반사손실이 향상되었고 전 대역에 걸쳐서 약 11dB 이하의 반사 손실 값을 유지하고 주 잡음 발생 대역인 200MHz ~ 800MHz 사이의 반사 손실이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

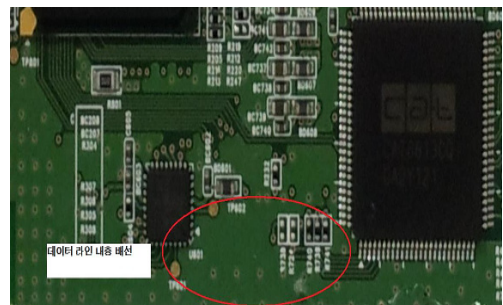
〈표 3〉 마이크로 스트립 라인과 스트립 라인 반사손실
(Table 3) The return loss of Micro-strip and Strip line

라인 길이	300MHz		800MHz	
	초기값[dB]	개선값[dB]	초기값[dB]	개선값[dB]
41.77mm	-8.75	- 11.73	-4.67	- 7.37
46.1mm	-9.19	- 11.94	-6.05	-10.51
46.5mm	-9.55	- 12.51	-6.19	-10.76
47mm	-9.62	- 12.66	-6.23	-10.98
52.8mm	-8.98	- 11.96	-6.11	-11.43
53.7mm	-8.91	- 12.46	-6.07	-11.72
53.8mm	-8.36	- 11.99	-6.01	-12.53
59mm	-8.40	- 11.78	-6.08	-11.99
66.1mm	-7.73	- 11.46	-6.56	-13.76
71.3mm	-6.64	- 10.30	-5.95	-14.53

내선 배선 전의 데이터 라인과 배선 후의 데이터 라인은 다음과 같다.



〈그림 8〉 HDMI 데이터 라인 내층 배선 전 PCB
〈Fig. 8〉 The PCB HDMI data line before inner routing

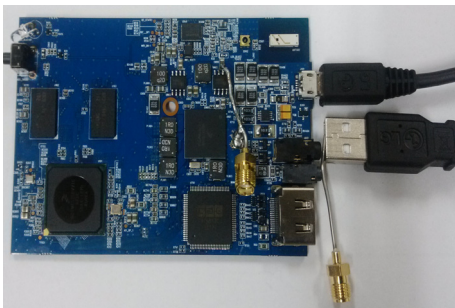


〈그림 9〉 데이터 라인 내층 배선 후 PCB
〈Fig. 9〉 The PCB HDMI data line after inner routing

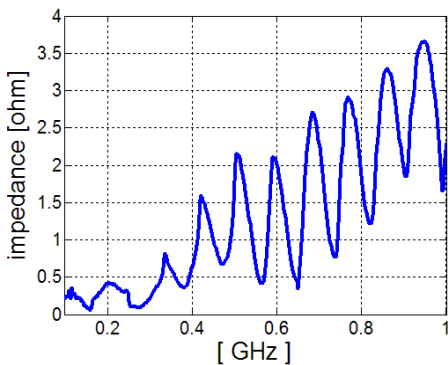
HDMI 데이터 라인들 내층으로 배선하여 차폐 효과가 발생할 수 있도록 하여 잡음원의 방사를 최소화 하였다.

4. USB 인터페이스 전원 라인

EMI 시험을 할 때에는 USB 케이블과 연결하여 기능이 동작하도록 하여 방사되는 잡음을 확인하였다. 시스템 내에서 USB 인터페이스 전원 라인에서는 374.35MHz, 672.623MHz, 820.547MHz, 968.472MHz가 잡음으로 분석되었다. 위의 주파수 분석을 위해서 다음과 같이 연결하여 USB 전원 라인의 임피던스를 측정하였다.



〈그림 10〉 USB 전원 라인 임피던스 측정
 (Fig. 10) The impedance measurement of USB power line

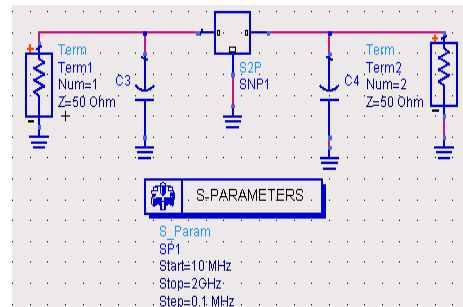


〈그림 11〉 USB 전원 라인 임피던스 측정 결과
 (Fig. 11) The impedance measurement result of USB power line

200MHz 이상의 고주파 대역이 임피던스의 불균일성을 초래하여 과전류 소모가 되며, EMI로 방사되게 된다. 이를 개선하기 위해 USB 전원 배선에

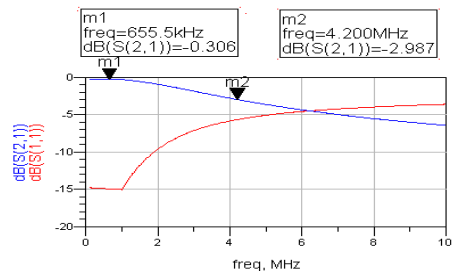
Murata사의 power bead 470[ohm]과 10pF 을 연결하여 저역 통과 대역 필터 형태로 구현하여 개선하였다. 디커플링 캐패시터를 여러 개 사용하는 방법은 저주파수 대역에서의 잡음을 개선하지만 잡음으로 분석된 고주파수대역이 저감이 되지 않기 때문에 저역 통과 필터를 설계를 하여 시스템내의 USB 전원 라인에 삽입을 하였다.

ADS(Advanced Design System) 회로시뮬레이션을 위해 Murata사 power bead를 이용하였고 제조사에서 제공한 S-parameter를 이용하여 저역 통과 대역 필터를 설계하였다.



〈그림 12〉 저역 통과 대역 필터 회로도
 (Fig. 12) The Low pass filter circuit

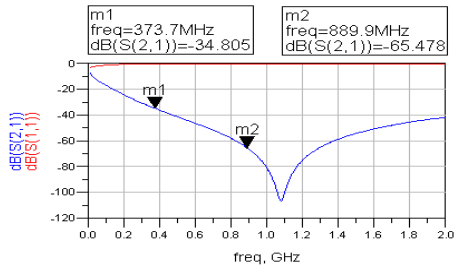
수백KHz의 저 주파수 대역을 통과 대역으로 하고 수백MHz 이상의 대역 저지 특성을 각각 나누어서 특성 결과를 확인하였다.



〈그림 13〉 저역 통과 대역 필터 대역 통과 특성 시뮬레이션 결과
 (Fig. 13) Low pass filter simulation result

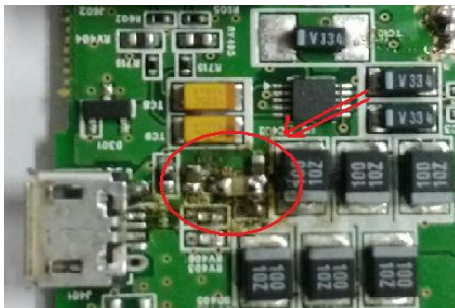
설계된 저역 통과 필터의 대역 통과 특성은 2MHz 이하이고, 저지특성은 4MHz 대역이다.

저지대역은 300MHz ~ 1GHz 대역으로 -30dB ~ -50dB의 대역 저지 특성을 갖게 설계하였다.



〈그림 14〉 저역 통과 대역 필터 저지대역 특성 시뮬레이션 결과
 〈Fig. 14〉 Low pass filter simulation result

전원 라인에서의 저역 통과 대역 필터 설계시 일반 인덕터를 사용시에는 높은 Q값으로 인해 peaking 현상이 나므로 전원 발진이 발생하게 된다. 반드시 Power bead를 사용하여야 한다.



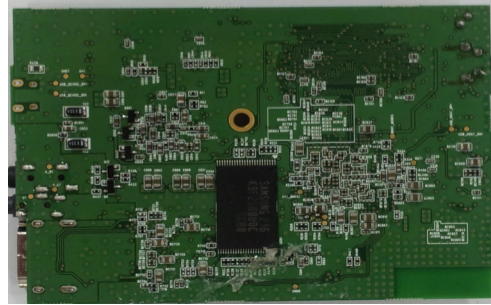
〈그림 15〉 USB 전원 라인 저역 통과 필터
 〈Fig. 15〉 USB power Low Pass Filter

VI. 시스템 EMI 잡음 개선 결과

무선 비디오 스트림 시스템의 EMI 잡음을 분석하여 각 기능 블록 별로 개선책을 적용하여 다음과 같이 PCB를 제작하였다.

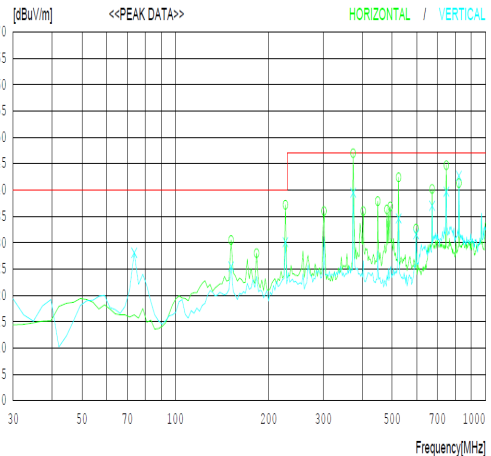


〈그림 16〉 제작된 시스템 전면
 〈Fig. 16〉 The manufactured system of top layer



〈그림 17〉 제작된 시스템 후면
 〈Fig. 17〉 The manufactured system of bottom layer

제작된 시스템 보드를 EMI 챔버에서 측정하여 다음과 같이 개선된 결과를 보였다.



〈그림 18〉 시스템 EMI 잡음 개선 후 결과
 〈Fig. 18〉 The system measurement result after EMI noise reduction

전체적인 잡음 레벨은 시스템의 각 기능을 최적화하여 그라운드를 안정화 하여 20[dBuV/m] ~ 30[dBuV/m]로 약10 ~ 20[dB]정도가 저감되었다. 각 기능별로 분석된 잡음 주파수 대역에 대하여 잡음 레벨을 개선하여 규제치 이하로 저감하였다.

〈표 4〉 시스템 EMI 잡음 개선 후 결과값
 (Table 4) The system measurement result after EMI noise reduction

No	Frequency		Result		Limit
	[MHz]		[dBuV]		[dBuV]
	H	V	H	V	
1	X	73.65	X	28.1	40
2	151.25	151.25	30.5	25.5	40
3	182.775	182.775	28	28.5	40
4	226.425	226.425	37.2	30.1	40
5	301.6	301.6	36	36	47
6	374.35	374.35	47	39.5	47
7	449.524	449.524	37.9	37	47
8	481.049	481.049	36.3	36	47
9	493.174	493.174	36.9	37	47
10	524.699	524.699	42.4	34.6	47
11	597.449	597.449	32.7	31.6	47
12	672.623	672.623	40.2	37	47
13	747.798	747.798	44.7	39.7	47
14	820.547	820.547	41.3	42.7	47

참고문헌

- [1] Eric Bogatin, "Signal Integrity - Simplified", September 15, 2003
- [2] (주)무라타제작소 디바이스사업부 (주)동역메카트로닉스연구소 기술분석팀 공저, "전자회로의 노이즈 대책기술", August. 2007
- [3] Ansoft, "Power Integrity and Ground Bounce Simulation", WORLDWIDE WORKSHOP 2002 of High Speed PCBs
- [4] 국립전파연구원고시 제2012-13호 "전자파 장해 방지기준", Jul. 2012

VII. 결 론

본 논문에서는 무선 비디오 스트림 시스템을 구현하여, 시스템 내에서 발생하는 EMI 잡음을 챔버에서 스캔하여 전자파 장해방지 기준에 제시된 허용한도치 30 ~ 230[MHz]는 40[dBuV/m]이고, 230 ~ 1000[MHz]는 47[dBuV/m]를 적용하여 측정 하였다. 측정 결과를 토대로 각 기능 블록 별로 발생하는 잡음 주파수 대역을 분석 후 USB 전원에서 케이블간 임피던스 측정과 HDMI RGB 데이터 라인의 라인에 따른 구조 해석을 통하여 스트림 라인 구조의 차폐효과를 설명하였고, 그라운드 최적화, 고속 통신 라인은 내층 배선, 비드를 이용한 저역 통과 대역 필터 설계를 통해서 EMI 잡음을 개선하였다. 개선 후 결과는 개선 전과 비교하여 약 2 ~ 20[dB] 마진을 확보하며 잡음 개선을 하여, 우수한 EMI 잡음 개선 특성을 보였다. 추후 HDMI, USB 등의 기능 블록을 가진 제품들에 대하여 비슷한 잡음 주파수 대역 저감 대책에 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

저자소개



박 경 진 (Park, Kyoung-Jin)

2001년 : 광운대학교 전자공학부 졸업
2003년 : 광운대학교 전자공학과 석사 졸업
2012년 : 광운대학교 전자공학과 박사 수료
2003년 1월 ~ 2004년 1월 : 텔슨 아이티 모바일 연구원
2005년 5월 ~ 2008년 1월 : 블루버드소프트 전임 연구원
2008년 2월 ~ 2010년 9월 : 애니데이터 코리아 선임 연구원



김 중 민 (Kim, Jung-Min)

1988년 : 광운대학교 전자공학과 졸업
1990년 : 광운대학교 전자공학과 석사 졸업
1999년 : 광운대학교 전자공학과 박사 수료
1993년 3월 ~ 2000년 1월 : KT 무선인터넷 사업기획 차장
2000년 1월 ~ 2006년 8월 : (주)고미드 대표
2006년 9월 ~ 2011년 6월 : (주)페타모스 대표



나 극 환 (Ra, Keuk-Hwan)

1981년 7월 : 프랑스ENSEEIHТ 국립종합과학대학(공학박사)
1981년 9월 ~ 1986년 12월 : 광운대학교 전자공학과부교수
1987년 1월 ~ 1988년 1월 : 미국COS-MST연구소객원연구원
1988년 2월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자공학과 교수