

GSM 휴대폰 TDMA 잡음 전달 특성 분석을 통한 통화 품질 개선에 관한 연구

A Study on Improvement of QoS through Analyzing Transmission Characteristics of TDMA Noise in the GSM Mobile Set

하정욱 · 오태훈* · 강진석* · 윤영중

Jeung-Uk Ha · Tae-Hoon Oh* · Jin-Seok Kang* · Young-Joong Yoon

요 약

본 논문에서는 GSM(Global System for Mobile communication) 휴대폰에서 TDMA(Time Division Multiple Access) 잡음의 원인 및 TDMA 잡음원의 판별 방법에 대해서 기술한다. TDMA 잡음의 원인은 RF(Radio Frequency) 에너지 결합과 버스트 리플(Burst ripple)에 의한 저주파 에너지 결합으로 구성된다. TDMA 잡음원의 판별 방법을 출력(TDMA 잡음 측정)과 시스템(오디오 경로)의 주파수 응답을 통해 제안한다. 특히 RF 에너지 결합에 대해 삽입 손실(S_{21}) 분석 방법과 개선 방법을 제안한다. RF 에너지 결합을 줄이기 위해 커패시터(40 pF)가 해결책이고, 결과적으로 TDMA 잡음이 10 dB가 줄어들었다.

Abstract

In this paper, we describe the cause of TDMA noise and distinction method of TDMA noise source in a GSM mobile phone. The causes of TDMA noise are composed of RF(Radio Frequency) energy coupling and low frequency energy coupling by burst ripple. We propose the distinction method of TDMA noise source from output(TDMA noise measurement) and frequency response of a system(audio path). Especially we propose a method of insertion loss(S_{21}) analysis and the improvement method for RF energy coupling. Capacitor(40 pF) is a solution to reduce RF energy coupling and therefore TDMA noise was reduced by 10 dB.

Key words : TDMA Noise, Insertion Loss, GSM Handset

I. 서 론

현재 기업체 및 연구기관에서 GSM 방식 휴대폰 통화 품질의 핵심 인자인 TDMA 잡음에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 기존 연구는 휴대폰 오디오 경로를 가청 주파수 대역으로 정의하고 저주파 영역을 대상으로 연구를 진행했다. TDMA 잡음을 개선하기 위해서 신호 이격을 통한 PCB(Printed Circuit Board) 설계 수정에 대한 연구가 진행됐다. 그러

나 이러한 연구는 잡음을 일정 수준 이하로 감소시킬 뿐 근본적인 TDMA 잡음 개선에는 한계가 있다. 또한, 휴대폰의 특수 환경 즉, 고주파 송수신 주파수에 대한 영향을 배제한 한계를 갖고 있다. 최근에는 반도체 공정 기술의 급격한 발전을 통해 IC에서 저전력, 소면적의 ADC(Analog to Digital Converter) 개발을 가능하게 했고, ADC 알고리즘을 이용해 TDMA 잡음을 제거하는 제안도 이뤄지고 있다^[1].

본 논문에서는 체계적으로 TDMA 잡음에 대한

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*LG전자 MC사업부(Mobile Communications Company, LG Electronics Inc.)

· 논문 번호 : 20080116-008

· 수정완료일자 : 2008년 3월 25일

발생 원인을 분석하고, GSM TDMA 잡음 측정 결과를 토대로 잡음원을 판별하는 방법을 제안했다. 또한, 오디오 경로를 기존의 저주파 영역이 아닌 고주파 영역에서 삽입 손실(S_{21}) 해석을 통한 개선 작업을 진행했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2-1장에서 TDMA 잡음의 발생 원인을 기술하고, 2-2장에서는 시스템(오디오 경로) 및 출력(측정)을 토대로 입력을 규명하는 TDMA 잡음원 판별 방법을 제안한다. 3장에서는 고주파 에너지 결합인 경우, 삽입 손실 해석을 통한 접근 및 개선 내용에 대해 기술한다.

II. TDMA 잡음 분석

본 장에서는 TDMA 잡음의 발생 원인을 분석했고, GSM TDMA 잡음 측정 결과를 토대로 잡음원을 판별할 수 있는 방법을 제안한다.

2-1 TDMA 잡음 발생 원인

TDMA 잡음은 GSM 통신 방식의 휴대폰에서 통화 중 발생하는 잡음의 한 종류이며, 크게 두 가지 원인에 의해서 발생한다. 첫 번째 원인은 휴대폰이 전송하고자 하는 정보를 고주파에 실어 높은 출력으로 보낼 때 오디오 경로에 고주파 에너지가 결합하는 것이다. 두 번째 원인은 휴대폰에서 전력을 가장 많이 사용하는 PAM 공급 전원의 버스트 리플에 기인한 저주파 에너지 결합이다.

첫 번째, 고주파 에너지 결합에 의한 TDMA 잡음 발생 메커니즘은 다음과 같다. 고주파 에너지는 AM(Amplitude Modulation) 이론에 의해 정류 회로 및 저역 통과 필터(low pass filter)를 통과하면 그림 1과 같이 포락선 형태의 에너지를 갖는다.

GSM 휴대폰에서 송수신 주파수 대역인 900 MHz (EGSM 대역)의 고주파 에너지는 한 파장의 1/4 정도(약 8 cm) 되는 오디오 패턴에 결합이 가능하다^[2]. 1,900 MHz (DCS 대역)의 고주파 에너지도 한 파장의 1/4 정도(약 4 cm) 되는 오디오 패턴에 결합이 가능하다. 따라서 그림 2와 같이 PCB 상의 오디오 패턴에 고주파 에너지가 결합되면 오디오 증폭기와 오디오 패턴에 의한 정류 및 고주파 여과 작용을 거쳐 가청 주파수 대역의 TDMA 잡음이 스피커 혹은 이

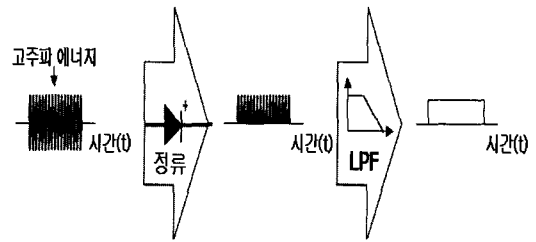


그림 1. 고주파 에너지의 AM 복조 과정
Fig. 1. AM demodulation process of RF energy.

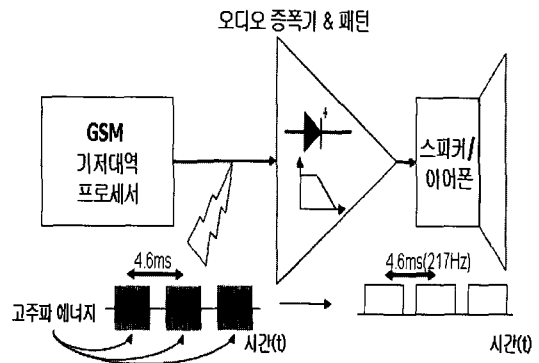


그림 2. 고주파 에너지 결합에 의한 잡음 발생
Fig. 2. Noise generation from RF energy coupling.

어폰으로 들리게 된다.

그림 3은 TDMA 방식(577 us 신호를 4.6 ms마다 송신)에서 송신되는 고주파 에너지 신호가 AM 복조된 후 푸리에 변환을 통해 주파수 영역에서 도식화한 것이다.

두 번째 저주파 에너지 결합에 의한 TDMA 잡음 발생 원인은 다음과 같다^[3]. 그림 4는 GSM 휴대폰의 통화 중 PAM 공급 전원을 오실로스코프로 측정된 것이다. PAM 공급 전원 리플은 배터리의 기생 직렬 레지스턴스(ESR: Electrical Serial Resistance)가 원인

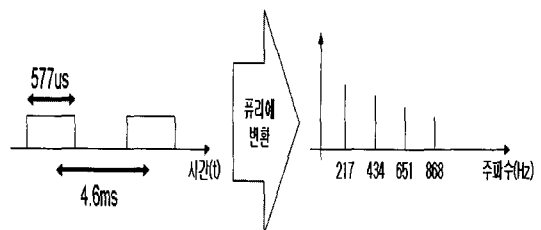


그림 3. TDMA 잡음의 스펙트럼
Fig. 3. The spectrum of TDMA noise.

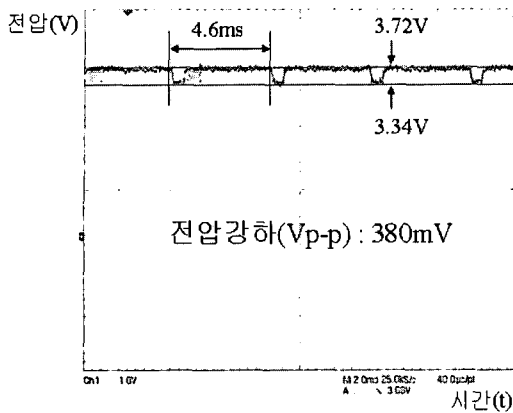


그림 4. PAM 공급 전압(측정)
Fig. 4. The supply voltage of PAM(measurement).

이며, 측정 결과 190 mΩ의 기생 성분이 존재함을 확인했다. 190 mΩ의 기생 성분으로 인해 4.6 ms마다 버스트 송신할 때 약 2 A(PAM 공급 전류) 전류를 소비하므로 기생 성분에 380 mV 정도의 전압 강하가 그림 4와 같이 발생한다.

전압 강하는 송신이 지속되는 때 4.6 ms(1/4.6 ms = 217 Hz)의 시간마다 반복된다. 이러한 저주파 에너지가 통화 중에 오디오 경로에 결합이 되면 가청 주파수(217 Hz) 대역의 TDMA 잡음으로 들리는 것이다. 실제로 측정해 본 결과, PAM 제조회사에 따라 다르지만 4.6 ms의 주기로 최대 500 mV 이상의 전압 강하(200 mΩ 기생 성분, PAM 공급 전류 2.5 A 설계)가 발생하는 경우도 확인할 수 있었다.

이러한 두 가지 발생 원인에 의한 잡음을 최종단(스피커/이어폰)에서 들었을 때 고주파 에너지 및 PAM 전원 버스트 리플에 의한 결합이 복합적으로 작용하여 나타나기 때문에 잡음원을 판단하기가 쉽지 않다. 그래서 그림 5 및 그림 6과 같이 TDMA 잡음의 발생원에 대한 스펙트럼 파형을 측정하여 판단 기준(입력)으로 정하고, 오디오 경로(시스템)을 정의한다면 역으로 오디오 측정 결과(출력)를 통해 잡음원을 판별하는 것이 가능하다. 그림 5는 RF 케이블을 통해 통화 연결한 후 통화 상태에서 저주파 분해능이 우수한 스펙트럼 분석기로 안테나 패드를 측정 한 결과이다. 그림 6은 RF 케이블을 통해 통화 연결한 후 통화 상태에서 스펙트럼 분석기로 PAM 전원 단자를 측정한 결과이다. 그림 5와 그림 6에서 보듯

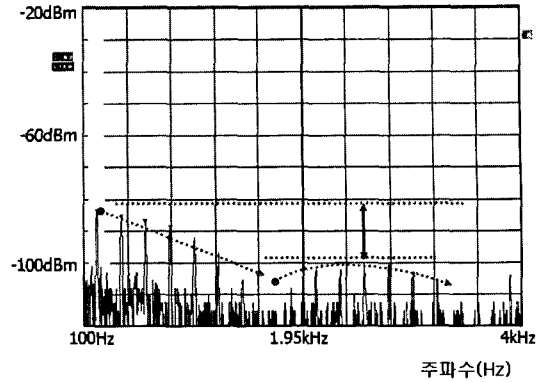


그림 5. 안테나 패드의 스펙트럼
Fig. 5. The spectrum on the antenna pad.

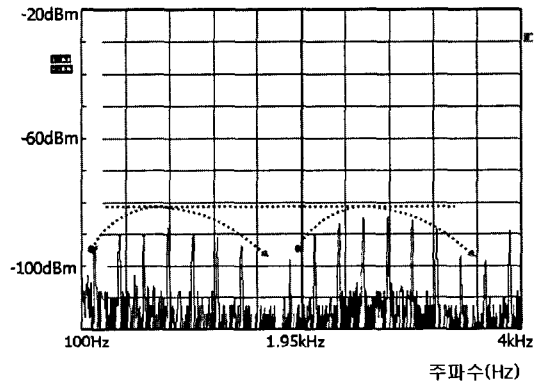


그림 6. PAM 전원 단자의 스펙트럼
Fig. 6. The spectrum on the power lead of PAM.

이 파형의 형태가 경향이 다를 수 있다. 안테나 패드를 측정 한 그림 5의 스펙트럼은 217 Hz에서 가장 진폭이 크고 점차 낮아지는 형태를 보인다. 그리고 첫 번째 포락선과 두 번째 포락선의 최대 값을 비교했을 때 차이가 약 20 dB 정도 된다. PAM 전원 단자를 측정 한 그림 6의 스펙트럼은 217 Hz가 낮고 433 Hz가 더 높으며 반원 모양을 보인다. 그리고 첫 번째와 두 번째 포락선 크기 차이는 유사하다.

2-2 TDMA 잡음원 판별

GSM 오디오 측정은 GSM 규격 11.10 시험 절차 중 시험항목 30.3 Receiving Sensitivity/Frequency Response를 기준으로 측정한다^[4]. 그림 7은 GSM 휴대폰에 대한 오디오 측정 시스템에 대한 구성도로 통화 연결 장비(CMU200)에서 방사 안테나 또는 RF 케이블

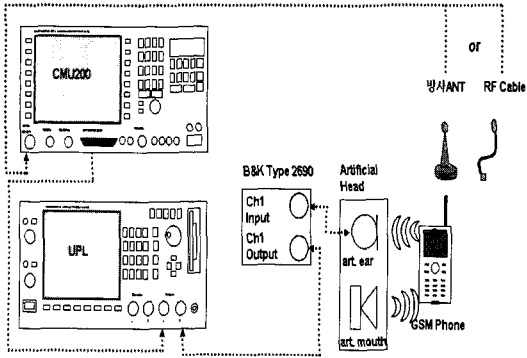


그림 7. GSM 오디오 측정 시스템 구성도
Fig. 7. The configuration of the GSM audio measurement system.

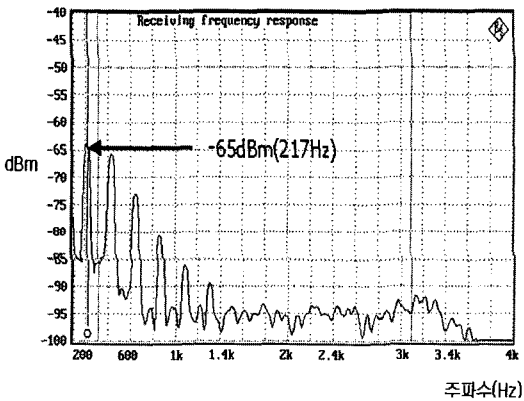


그림 8. TDMA 잡음 측정 결과
Fig. 8. The measured result of TDMA noise.

블을 통해 통화 연결한 후 오디오 분석기(UPL)를 통해 GSM 휴대폰의 TDMA 잡음에 대한 측정 결과를 얻는다.

그림 8은 GSM 오디오 측정 시스템을 통한 TDMA 잡음에 대한 측정 결과이다. 217 Hz에서 -65 dBm으로 가청 주파수 대역에 속해 있어, 실제 통화 음질을 떨어뜨리는 원인이 된다.

GSM 휴대폰의 오디오 경로는 증폭기, 패턴, 저항, 커패시터, 인덕터 등으로 구성되어 있으며, 그림 9에서 시스템으로 정의할 수 있다. 증폭기의 이득은 가청 주파수 대역에서 일정한 값을 가지며, 오디오 경로는 수동 소자와 패턴으로 구성되기 때문에 시스템을 LTI(Linear Time Invariant) 시스템이라고 가정할 수 있다. 그림 9에서 입력은 고주파 및 저주파 에너지에 의한 잡음원이고, 출력은 TDMA 잡음에 대한

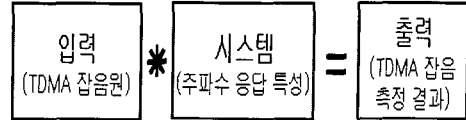


그림 9. 입력 및 출력 시스템 정의
Fig. 9. Definition of input & output system.

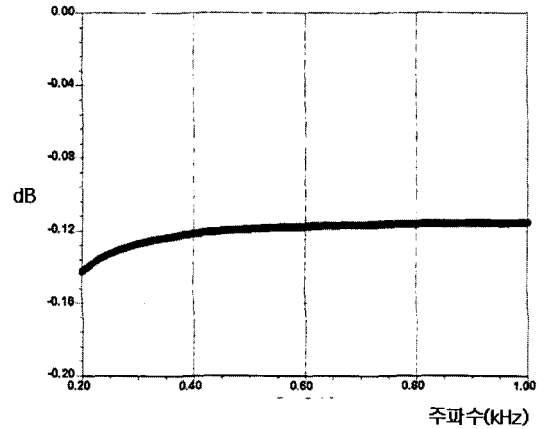


그림 10. 오디오 경로의 주파수 전달 특성
Fig. 10. The frequency response of the audio path.

측정 결과이다. 일반적으로 시스템 특징은 임펄스 응답(impulse response)으로 나타낼 수 있고, 휴대폰 오디오 경로에 대한 전달 특성(주파수 응답)의 해석 결과는 그림 10과 같다^[5].

결론적으로 그림 8에서와 같이 출력(측정 결과)을 알고 있고, 또한 시스템의 전달 특성(주파수 응답)을 해석을 통해 안다면 입력(TDMA 잡음원)을 예측할 수 있다. 그림 11의 입력 파워 산출 관계식에 따라 다음과 같이 예측이 가능하다. 특정 모델의 217 Hz에서 측정값이 -57 dBm이면 1 mW 기준의 출력 파워는 $1.995 \times 10^{-6} \text{ mW}$ 이다. 해석을 통한 주파수 응답 특성은 -0.142 dB이므로 입출력의 비로 계산된 입력 파워는 $1.93 \times 10^{-6} \text{ mW}$ 이고, 예측되는 잡음원은 약 -57.14 dBm이다.

같은 방법으로 200 Hz에서 약 1 kHz까지 계산해 보면 결과는 그림 12와 같다. 이러한 결과는 그림 5의 통화 중 안테나 패드에서 측정된 스펙트럼과 유사함을 알 수 있고, TDMA 잡음원은 고주파 에너지 결합에 의한 것임을 예측할 수 있다.

제안된 판별법과 같이 오디오 경로의 주파수 응

$$10\log \frac{x_1 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} = -57\text{dBm}$$

$$x_1 = 1.995 \times 10^{-6} \text{ mW} : \text{출력파워}$$

↓

$$-10\log \frac{1.995 \times 10^{-6} \text{ mW}}{x_2} = -0.142\text{dB}$$

$$x_2 = 1.93 \times 10^{-6} \text{ mW} : \text{입력파워}$$

↓

$$10\log \frac{1.93 \times 10^{-6} \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \cong -57.14\text{dBm}$$

그림 11. 입력 파워 산출 관계식
Fig. 11. The equation for the prediction of input power.

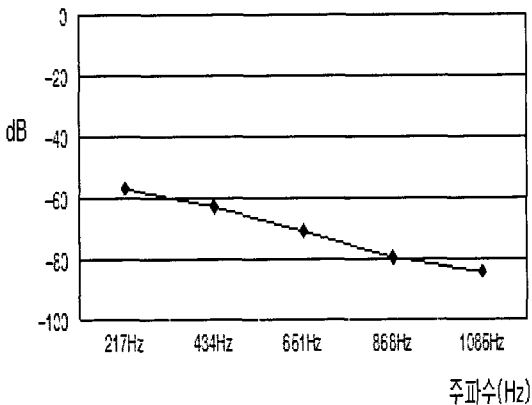


그림 12. 측정 결과에서 유추된 잡음원의 스펙트럼
Fig. 12. The spectrum of the predicted noise source from the measured result.

답 특성을 일반화 시키면 측정된 데이터만으로도 잡음원을 판별할 수 있다. 특히 고주파 에너지 결합으로 분석된 잡음원은 오디오 경로상의 삽입 손실 해석을 통해 TDMA 잡음을 개선할 수 있다.

III. TDMA 잡음 해석 및 개선 방안

본 장에서는 고주파 에너지 결합에 기인한 TDMA 잡음에 대해 삽입 손실 분석 및 개선 방안에 대해 기술한다.

일반적인 오디오는 가청 주파수 대역으로 저주파 영역이다. 그러나 휴대폰은 다른 전자기와 달리 오디오 경로가 고주파 에너지에 결합되는 현상이 발

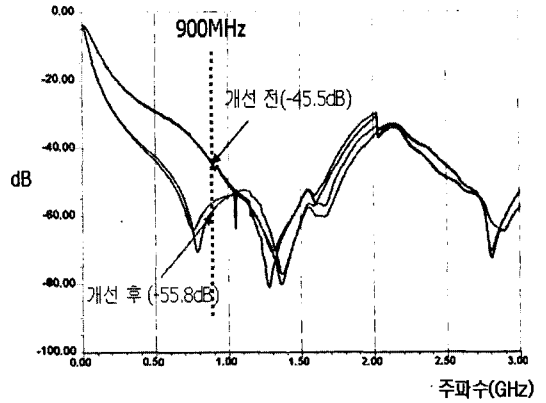


그림 13. 오디오 경로에 대한 S₂₁ 해석 결과
Fig. 13. S₂₁ simulation result for the audio path.

생한다. 따라서 오디오 경로를 저주파의 시간축 과도 응답이 아닌 주파수에서 에너지 흐름을 쉽게 나타낼 수 있는 삽입 손실 분석 방법을 도입한다^[6]. 삽입 손실이 크면 고주파 에너지의 전달이 용이하지 못하므로 TDMA 잡음이 낮은 것을 의미한다. 본 논문에서는 그림 13과 같이 해석 프로그램을 활용했다. 그림 13은 오디오 경로에 대한 삽입 손실 통한 개선 전·후의 결과이다. 본 논문에서 900 MHz RF 잡음을 여과하기 위해서 40 pF 커패시터를 오디오 패턴 종단에 추가로 삽입하였다. 40 pF의 기생 인덕턴스 성분을 고려하기 위해 해석 프로그램을 활용했고, 특정 주파수(900 MHz)에서 삽입 손실의 크기를 조절하면 오디오 패턴 상의 불필요한 TDMA 잡음을 제거할 수 있다.

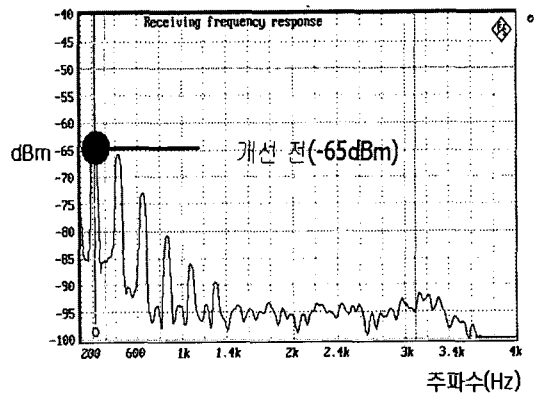


그림 14. 개선 전 측정 결과
Fig. 14. The measured result of the original board.

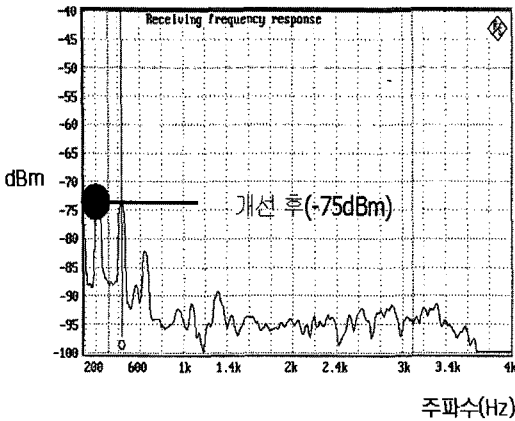


그림 15. 개선 후 측정 결과
Fig. 15. The measured result of the improved board.

900 MHz 대역에서 -45.5 dB에서 -55.8 dB로 약 10 dB가 개선되었다. 그림 14는 개선 전의 TDMA 잡음 측정 결과에 대한 스펙트럼이고, 217 Hz에서 -65 dBm으로 높게 형성이 되어 있다. 실제 통화 연결 후 들어보면 TDMA 잡음을 들을 수 있다. 그림 15는 삽입 손실 10 dB 개선 후 GSM 오디오 측정 시스템으로 TDMA 잡음을 측정한 결과이다. TDMA 잡음이 -65 dBm에서 -75 dBm으로 약 10 dB가 개선됨을 확인할 수 있다. 실제 통화 연결을 통해 확인한 결과 통화 음질이 개선됨을 확인하였다.

IV. 결 론

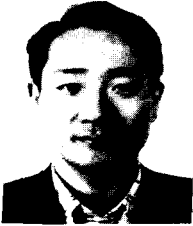
본 논문은 GSM 방식 휴대폰 통화 품질의 핵심인자인 TDMA 잡음의 발생 원인과 잡음원에 대한 분석법을 제안하였고, 해석적 방법을 통한 개선 사항에 대해 기술했다. 측정된 결과와 시스템(오디오 경로)의 주파수 응답 특성을 통하여 TDMA 잡음원을 판별하는 방법을 제안하였다. 이를 통해서 고주파 결합과 저주파 결합에 대한 체계적 개선이 가능하

다. 본 논문에서는 오디오 경로를 고주파 해석 영역으로 나타내어 잡음원 판별을 통해 고주파 에너지 결합일 경우, 삽입 손실 해석을 통해 빠르고 쉽게 개선할 수 있음을 증명했다. 분석법 및 제안된 방법은 TDMA 잡음으로 개발에 어려움을 겪고 있는 개발자에게 도움을 줄 것으로 생각된다. 향후 저주파 에너지 결합에 대한 해석 방법 및 개선에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 유시욱, 박용현, 문경준, 이세원, 김동일, 유필선, 최희철, 이승훈, "A 12b 1MS/s 1.9 mW 0.56 mm² algorithmic A/D converter for TDMA noise reduction", 제 14회 한국 반도체 학술대회 논문집, pp. 891-892, 2007년 2월.
- [2] Kai Chang, Inder Bahl, and Vijay Nair, *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless Systems*, New York John Wiley & Sons, 2002.
- [3] Tourmier Pascal, System & Application Engineer, Portable Business Unit, ON Semiconductor, Phoenix, "Low audio amplifier PSSR saves LDO costs in GSM cellular phones", *White Paper from An EE Times Community, Planet Analog*, Feb. 2003.
- [4] ETSI TS 100 607-1, V8.2.0(2000-11), Mobile Station conformance specification, European Standard(Telecommunications series)
- [5] Simon S. Haykin, *Signals and Systems*, New York John Wiley & Sons, 1999.
- [6] Dennis Roddy, John Coolen, *Electronic Communication 3'rd Edition*, Prentice-Hall International Editions, 1984.

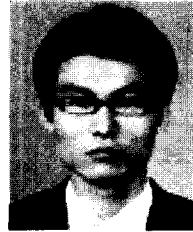
하 정 욱



1994년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 1월~현재: LG전자 MC연구소 책임연구원
2001년 8월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템

강 진 석



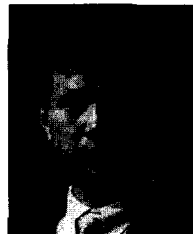
2003년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 4월~현재: LG전자 MC연구소 주임연구원
[주 관심분야] EMI/EMC, SOC, Multi Media 구현 등

오 태 훈



1996년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월~현재: LG전자 MC연구소 책임연구원
[주 관심분야] Noise Reduction, 통신시스템, EMI/EMC 등

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC