

# 저전압 MEMS 스위치를 적용한 휴대단말기의 인체효과 보상회로 설계

## Hand-effect compensation circuit design using the low-voltage MEMS switch in the handset

김 왕 진\*\* , 이 국 주\* , 박 용 희\*\* , 김 문 일\*  
Wang Jin Kim\*\* , Kook Joo Lee\* , Yong Hee Park\*\* , Moonil Kim\*

### Abstract

In this paper, the external matching circuits were designed in order to compensate the efficiency which decreases by human body effect in the internal antenna phone. Comparing the two types of matching circuit, we selected the structure to minimize the switch stress. RF MEMS switch using low voltage was compared with FET switch and measured the performance in the handset. Here, the detection circuit which can couple th reflection power from antenna was added in the handset and we set up the demonstration system that can compensate the loss of hand effect automatically. In this system, when hand effect occurred, the radiation power increased 2.5dB by operation the matching circuit.

### 요 약

인체효과로 인해 발생된 안테나 성능의 저하를 보상하기 위하여 외부 보상회로를 설계하였다. 두 가지의 보상회로의 구조를 비교하여 스위치 스트레스를 최소화할 수 있는 구조를 선택하였다. 이후 선택된 보상 회로를 이용하여 저전압에서 사용할 수 있는 MEMS 스위치를 제공받아 FET스위치와 비교하고, 이 스위치를 휴대용 단말기에 적용하여 실험하였다. 이때 안테나로부터의 반사파를 감지하는 회로를 추가하여 인체효과 발생 시 자동적으로 보상회로가 동작되도록 프로그램 하여 데모시스템을 구축하였다. 이 시스템을 이용하여 인체효과 발생으로 인한 안테나의 성능을 보상회로를 동작시킴으로써 방사전력이 2.5dB 향상되는 것을 확인하였다.

*Key words : Antenna, Hand effect, MEMS switch, Matching circuit*

## 1. 서론

고객들에게 다양하고 빠른 신기술의 서비스를 제공하기 위하여 휴대용 단말기는 넓은 대역폭과 높은 효율의 안테나 설계 기술이 요구되어 진다. 그러나 단말기의 안테나는 주변 환경(Near-field)의 영향을 매우 크게 받는다. 이로 인해 발생하는 인체효과로 인한 방사파위의 손실은 이러한 서비스의 제약을 가져다준다. 따라서 이것을 보상하기 위한 매칭회로 설계와 더 나아가 최소의 스트레스를 갖는 회로를 적용함

\* 高麗大學校 電子電氣工學科  
(Dept. of Electrical Engineering, Korea University)

\*\* LG電子技術員  
(LG Electronics Institute of Technology)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment)  
본 연구는 과학기술부 기초과학연구사업 (R01-2006-000-10687-0)의 지원을 받아 수행되었습니다.

接受日:2009年 8月 29日, 修正完了日: 2009年 9月 28日

으로써, 인체효과에 둔감한 단말기를 설계가 필요하다. 그러나 단말기의 인체효과의 영향을 하나로 규정하기는 매우 어려운 일이다. 단말기의 구조, 안테나의 위치, 안테나 주변의 금속과의 거리, 인체효과가 발생하는 단말기에서의 위치에 따라 각각 다르게 나타난다. 그림 1은 이런 특징을 보여주기 위하여 단말기의 안테나가 위치한 부근에서 여러 방법으로 손의 위치를 이동시켰을 때 변화 되는 임피던스를 보여준다. 측정은 손을 16가지의 다른 방법으로 단말기를 잡았을 때, 각각 10번 반복하여 모두 160개의 측정 데이터를 얻었다. 스미스차트에서 표시된 점은 850MHz에서의 임피던스를 나타내고 있다. 손의 위치에 따라서 리액턴스 서클을 따라 움직이고 있음을 알 수 있다. 단말기에서는 인체효과의 영향으로 인한 반사손실은 유전율이 큰 손에 의하여 안테나가 크게 보여서 공진 주파수가 낮은 쪽으로 이동함으로써 발생하게 된다. 손의 위치에 따라 이동되는 정도가 다르며, 심하게는 200MHz정도까지도 이동하게 된다.

던스 변화(a)와 공진주파수의 이동(b). 손의 위치에 따라 리액턴스 서클을 따라 움직이고 있으며, 공진주파수는 낮은 쪽으로 이동하는 것을 보여줌

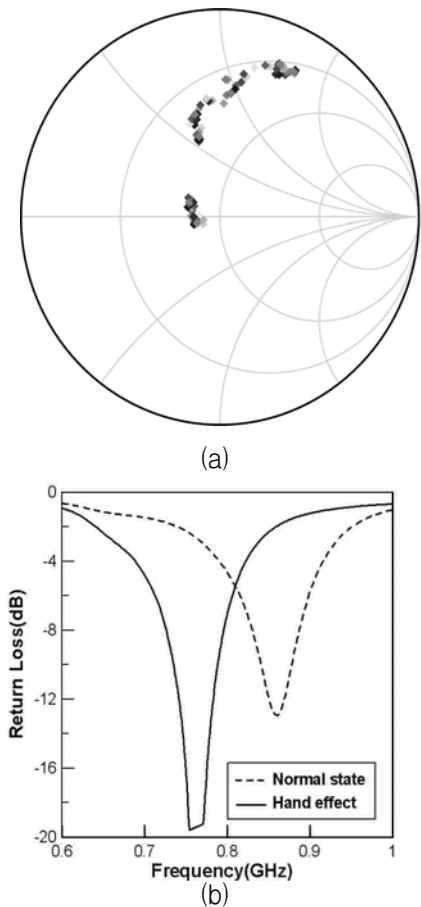


Fig. 1. The trace of antenna impedance at 850MHz(a) and the movement of resonant frequency(b) by hand-effect

그림 1. 인체효과에 따른 850MHz 주파수의 안테나 임피

이처럼 다양한 단말기의 인체효과에 대하여 특정 임피던스에서 인체효과와 동일한 특성을 갖는 2 포트 입출력 회로를 설계함으로써 유선환경에서의 인체효과에 따른 전달특성의 변화를 측정을 가능하도록 하였다. 이를 바탕으로, 변화된 안테나 특성을 보상할 수 있도록 전송선로(T-line)를 이용하는 2가지 외부 매칭회로를 제작하고, 네트워크 분석기를 통해 S21을 측정과 단말기에 실제 적용하여 얻어지는 수신감도 (Sensitivity)의 값을 서로 비교 분석함으로써 측정값의 일관성을 부여한다. 또한, 다양한 매칭회로의 구조에 따라 실제 보상되는 파워의 양을 확인하여, 더 나은 성능을 가진, 즉 최소의 스트레스를 갖는 회로를 선택하고자 한다. 여기에 LG전자기술원에서 제공받은 MEMS 스위치와 FET 스위치를 테스트 보드에 장착하여 특성 비교를 하였다. 마지막으로 실제 단말기에 적용 가능하도록 하기 위하여 전송선로 매칭회로를 집중정수소자(Lumped element)로 바꾸어서 설계를 하고, 인체효과 감지회로를 추가하여 LG단말연구소에서 개발한 단말기에 이 모든 회로를 통합 적용을 하였다. 그런 다음 인체효과 발생 시 이를 감지하고 자동으로 제어를 할 수 있도록 프로그램 설계하여 방사파워가 보상됨을 실험을 통해 확인을 하였다.

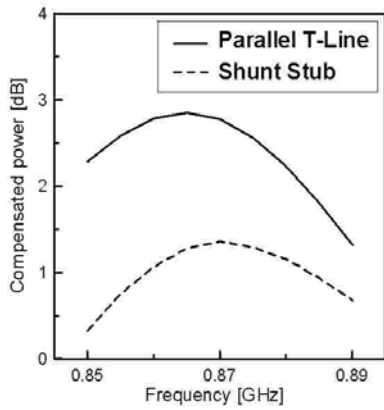
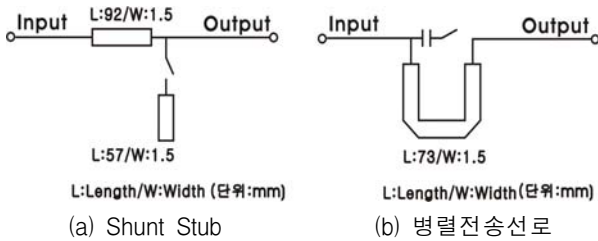
## II. 본론

### 1. 인체 효과 보상 회로 및 감지 회로 설계

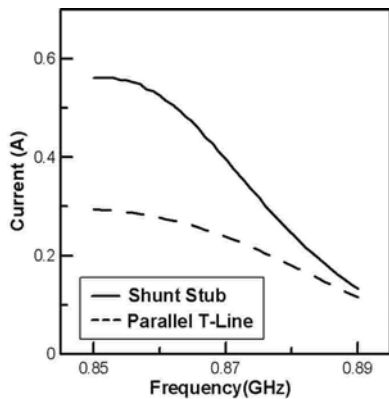
우선 안테나의 성능을 측정하기 위하여 현재 보편적으로 사용하고 있는 3D-챔버 테스트 시 측정 장비 (손과 유사한 형태의 지그 구입), 측정 공간(무반사실 챔버 필요), 측정 시간(3D-TIS 측정 시, 1시간 이상 소요)의 제약이 발생한다. 그러므로 이런 제약을 최소화 할 수 있는 측정 시스템의 도입이 필요로 하게 된다. 따라서 인체효과의 영향을 반영할 수 있는 2-port 회로를 제작하여서 유선 환경에서의 측정 기회를 제공할 수 있다. 이 회로를 이용하여 네트워크 분석기를 통한 전달 특성 및 수신감도의 측정이 가능하다.[1]

가. 인체효과 보상을 위한 전송선로 설계  
 인체효과 보상을 위한 매칭 회로의 경우, 매칭 구조에 따라서 스위치 스트레스의 차이가 발생함을 증명

하기 위해 두 가지 매칭회로에서 스위치를 가정한 저항을 장착하여 스트레스를 분석하였다. 그림 2와 같이, 첫 번째 매칭회로는 스위치로 병렬 스텐브(Shunt Stub)를 연결하여 매칭 시키고, 두 번째 회로는 50ohm 전송선로의 일정 두 포인트를 스위치 및 콘덴서로 연결시키는 구조이다.



(c)



(d)

Fig. 2. Shunt Stub type(a) and Parallel T-Line type(b) circuit for compensating hand-effect, the trace of compensated power(c) and consumed current(d) of two circuits

그림 2. 인체효과 보상을 위한 Shunt Stub 회로(a)와 병렬전송선로 회로(b) 그리고 두 가지 구조의 보상전력(c)과 소모전류 비교(d). Shunt Stub 구조가 스위치에서 발생하는 전류가 더 많이 소모되고, 보상되는 전력 또한 낮음

표 1은 앞서 제작한 인체효과 반영회로를 실제 단말기보드와 연결하여 인체효과의 영향을 측정 한 후, 2가지 구조의 보상회로를 각각 사용하였을 경우 측정되는 수신감도 결과를 보여주고 있다. 병렬전송선로 구조를 사용하였을 경우 보상이 더 많이 되는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. The sensitivity measurement

표 1. 수신감도 측정 결과. 인체효과 발생 시 12dB 정도의 수신감도 저하가 발생하고 매칭회로를 사용 할 경우 각각 2.5dB, 4.5dB 정도 보상

CDMA Band (881MHz)	Sensitivity (dBm)
without hand-effect(HE)	-109.5
with HE	-97.5
Shunt Stub with HE	-100.0
Parallel T-Line with HE	-102.0

나. MEMS 스위치의 RF 특성 분석

인체효과 보상을 위하여 사용되는 외부 매칭회로에 최소한의 스트레스를 갖도록 설계하기 위하여 LG전자 기술원으로부터 MEMS 스위치를 제공받아 RF특성을 측정 분석을 하였다. 전자 기술원에서 제공받은 MEMS 스위치는 동작 전원이 5V에 동작이 되도록 설계되어 있다. 기본 스위치 구조를 마이크로스트립 기판에 마운팅하고 DC 라인과 RF라인을 구성한 시뮬레이션 결과, DC-RF 커플링(Coupling)은 1.8GHz에서 최대 -36dB를 나타냈다. 이는 거의 스위치 내부에서 생긴 것으로 볼 수 있으므로 DC 라인과 RF 라인이 가까이 붙어있는 경우를 산정하여 추가 시뮬레이션을 수행하였다. 라인 길이를 100mm로 설정하고 DC-RF 라인간의 간격에 따라 시뮬레이션 한 결과 간격이 2mm일 때 최대 -27dB 정도를 나타냈다.

MEMS스위치와 FET 스위치의 성능 비교를 위해서 NEC사의 uPG2156과 LG전자기술원 MEMS 스위치를 테스트기판에 장착하여 S21과 수신감도를 측정하였다. S21측정에서는 미리 측정된 기판 및 와이어본딩(Wire Bonding)의 손실을 Thru line을 측정 한 후, 디임베딩(De-embedding)해서 스위치 자체의 손실만을 비교했다. S21측정 결과 0.8-1.0GHz 대역에서는 MEMS스위치가, 1.0-1.4GHz 대역에서는 FET스위치가 0.1dB정도 우수한 성능을 보였지만, 전체적으로는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 수신감도 측정은 실제 휴대폰 PCB 기판에 테스트기판을 연결하여

CDMA, WCDMA 밴드(Band)에서 각각 3개 채널에 대해서 측정하였다.

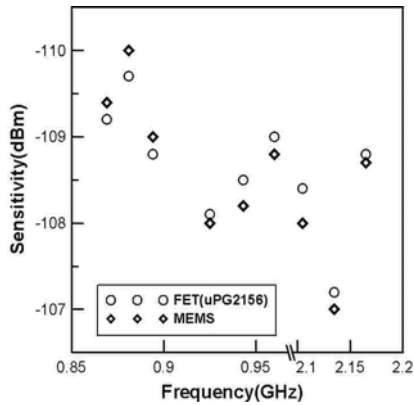


Fig. 3. Sensitivity measurement of FET and MEMS switch at the CDMA, GSM, and WCDMA band

그림 3. CDMA, GSM, WCDMA 3개 밴드에서의 수신감도 측정 결과. 삽입손실 측정결과와 비슷한 경향을 가지며 전반적 비슷한 수준의 성능을 보임

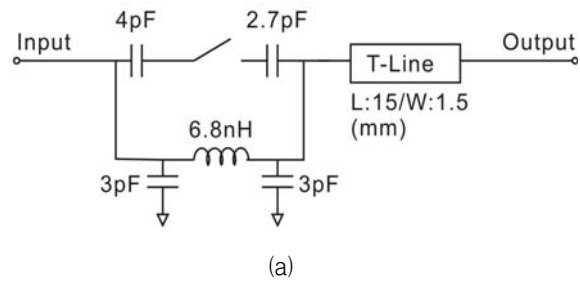
다. 인체효과 감지 회로 구성

단말기에서 인체효과 발생 여부는 안테나의 부정합 (Mismatch)에 의한 반사파가 증가를 통해 감지 할 수 있다. 반사파 측정은 AVX사의 CP1608A1880EL Directional Coupler를 이용하여 출력 Couple단자에서 나오는 파워를 통하여 반사된 파워를 감지한다. 추가적으로 RF 파워를 DC전압으로 바꾸어주는 National사의 LMV228 HDET 부품을 장착하여 전압에 따라 인체효과의 영향을 크기로 확인할 수 있다. 반사파가 없을 경우 입력전압 대비 -50dB 에서 -25dB로 증가하는 하였고, Coupler의 출력에 DC전환 회로를 장착한 측정 결과는 신호발생기에서 16dBm 인가할 경우 검출되는 DC전압은 200mV에서 323mV로 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.[2]

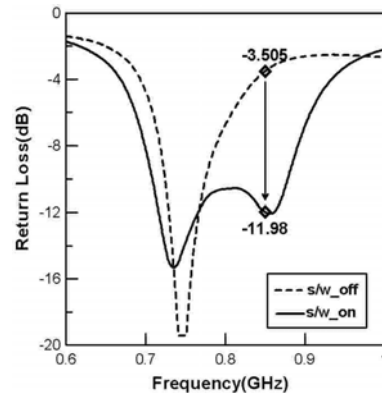
2. 보상회로의 단말기적용 및 자동 보상회로 구현

외부 매칭 회로와 인체효과 감지 회로를 단말기 내부에 장착해 인체효과 보상을 확인하는 검증 시스템 구현을 했다. 외부 매칭회로는 스위치의 스트레스를 감소시키기 위한 병렬전송선로 매칭 방법을 사용할 경우 마이크로 스트립 라인에 의해 회로 크기가 증가

해 PCB 기판에 장착하는 것이 부적합하다. 이를 개선하기 위해 전체 매칭회로의 구성은 유지하면서 전송선로 대신 집중정수소자 L과 C를 사용한 매칭회로를 그림4와 같이 재설계 하였다.



(a)



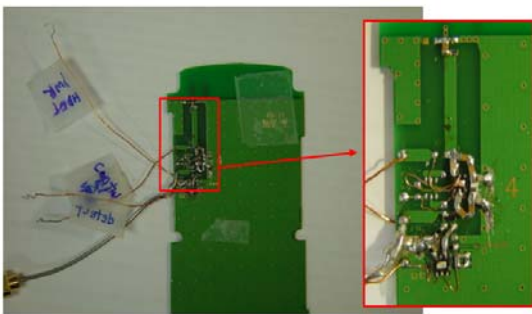
(b)

Fig. 4. The matching circuit which is composed of lumped L and C(a) and the measured return loss at switch on and off(b)

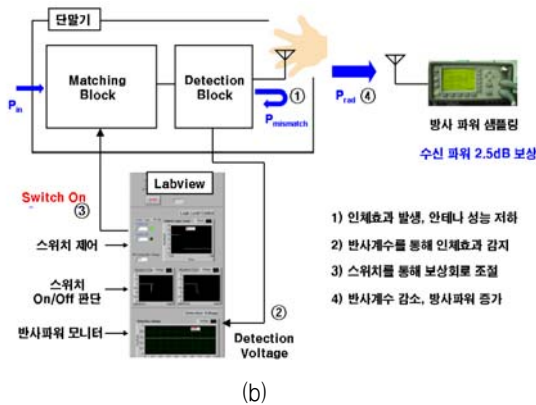
그림 4. 집중정수소자 L과 C로 구성된 외부매칭회로(a)와 스위치 On/Off시의 측정 결과(b) 850MHz 주파수에서 반사손실이 8.5dB 향상되는 것을 확인함

집중정수소자 L과 C로 구성된 외부 매칭회로와 감지 회로를 그림 5와 같이 휴대폰 단말기 내부 PCB에 장착하여 인체효과가 발생한 경우와 매칭회로에 의해 보상된 경우에 대한 안테나의 공진주파수 변화와 방사파워 변화를 측정하였다. 방사파워 측정 시에는 National Instrument사의 Labview 프로그램을 통하여 스위치가 자동적으로 컨트롤 가능하도록 하였다. 즉, 인체효과가 발생되어 안테나의 성능이 저하되고, 반사되는 파워의 양이 증가함에 따라 이때 반사되는 파워를 커플링 하여 파워 검출회로를 통하여 전압으로 출력된다. 이 전압을 USB용 DAQ(Data Acquisition) 하드웨어를 통하여 PC로 전달한다. Labview 프로그

램을 통하여 입력되는 전압을 실시간으로 계속 모니터링 하면서 특정 기준전압 이상인 경우, 외부 매칭 회로의 스위치가 on이 될 수 있도록 전압을 출력하게 된다. 이로 인해 외부 보상 회로가 동작하게 되어, 안테나 공진 주파수를 이동시켜서 다시 방사파워가 증가하게 된다. 이때 입력받은 전압이 인체효과 없을 때의 감지된 전압인지 아니면 보상회로를 통해 보상되어 감지된 전압인지를 구분하는 조건문을 꼭 삽입하여 입력 전압의 유동이 없도록 해야 한다.



(a)



(b)

Fig. 5. External matching circuit fabricated on PCB board including the circuit for detecting hand-effect(a) and the block diagram of total system which can automatically control the switch through Labview program(b)

그림 5. 인체효과를 감지하는 회로를 포함해 PCB에 제작된 외부 매칭 회로(a)와 Labview 프로그램을 통해 자동적으로 스위치 컨트롤 하는 시스템 블록 다이어그램(b). 실시간으로 전압을 입력받아 기준전압 이상이 들어올 경우 보상회로가 동작되도록 제어신호를 출력함

네트워크 분석기를 사용해 안테나의 반사계수 변화와 1m거리에서 수신 안테나를 사용해 파워미터로 샘플링 수신파워를 측정 한 결과 인체효과에 의해 안테나 반사계수가 -3.5dB에서 -11.9dB로 개선되며, 방사파

워가 약 2.5dB정도 보상되는 것이 측정되었다.

Table 2. The received radiation power measurement  
표 2. 스위치 On/Off상태에 따라 파워미터를 사용해 측정한 수신파워 측정. 스위치를 On이 됨에 따라 반사되는 파워가 줄고 전달되는 파워가 2.5dB 보상되는 것을 확인할 수 있음

인체효과 발생	반사파 검출 전압	수신 방사 파워
스위치 off	0.76V	-16.1dBm
스위치 on	0.54V	-13.6dBm

### III 결론

RF-MEMS스위치는 우수한 삽입손실과 선형성 특성을 갖는 반면, 낮은 내전력성으로 인해 인체효과 보상 안테나 시스템 적용에 문제점으로 작용할 수 있다. 이로 인해 스위치 스트레스를 낮추기 위한 Tunable 안테나 설계가 요구된다. 외부 매칭의 스위치의 스트레스를 절감시키는 기법에 대한 연구를 통해 내전력성이 비교적 낮은 스위치 소자에 대해서도 인체효과 보상 시스템에 적용 가능성을 높였다. 인체효과 감지회로와 외부 매칭회로를 실제 단말기 모델에 장착해 인체효과 발생 시 자동으로 방사파워가 보상됨을 실험으로 확인하였고, 이를 통해 인체효과 보상회로의 휴대폰 단말기 적용 가능성을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

차후, 다수의 스위치를 사용한 다단계(Multi-state) 매칭회로를 사용할 경우 특정 임피던스가 아닌 넓은 영역의 임피던스에 대해서 매칭이 가능하다. 이는 휴대폰 디자인에 따라 별도의 매칭회로 설계 없이 범용으로 사용하는 것이 가능하게 해주며, 인체효과 보상 외에 파워앰프의 효율 개선을 위한 회로에도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

[1] 김왕진, 김진용, 김문일, 박용희, “단말기 인체효과 보상을 위한 안테나 매칭회로의 스위치 스트레스 분석,” 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, vol. 31, no. 1, pp. 399-402, 2008  
[2] J. Kim, M. Kim, Y. H. Park, K. Chung, and K. H. Lee, “Tunable Matching Network Designs for

Minimum Loss from Switching Devices”, IEEE APS/URSI Symposium, San Diego, CA, USA, July 5-12, 2008

[3] A. Fukuda, H. Okazaki, T. Hirota, and Y. Yasushi, "Novel Band Reconfigurable High Efficiency Power Amplifier Employing RF-MEMS Switches," *IEICE Trans. Electronics*, vol. E88-C, no.11, pp. 2141-2149, Nov. 2005

[4] A. C. K. Mak, C. R. Rowell, and R. D. Murch, "High Power Performance for Reconfigurable Multi-band Mobile Antenna," *IEEE AP-S International Symposium*, pp. 1032-1035, June 2007

[5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd edition, Wiley, 2005

저 자 소 개

김 왕 진 (학생회원)



2000년 : 고려대학교 전파공학과 졸업 (공학사)  
 2000년 3월~현재 : LG전자 MC연구소 (선임연구원)  
 2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (석사과정)  
 <주관심분야> 소형 안테나

이 국 주 (비회원)



2005년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업 (공학사)  
 2008년 : 고려대학교 대학원 전파공학과 졸업 (공학석사)  
 2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (박사과정)  
 <주관심분야> phased array antenna

박 용 희 (비회원)



1992년 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1995년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)  
 2005년 : 애리조나 대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2005년 ~ 현재 : LG전자기술원

(책임연구원)

<주관심분야> RF MEMS switches and Tunable Antenna

김 문 일 (비회원)

1987년 : 일리노이 공대 전기공학과 졸업 (공학석사)

1992년 : 캘리포니아 공대 전기공학과 졸업 (공학박사)

2000년 ~ : 고려대학교 전자전기공학과 교수