

Z-Wave 시스템용 역 F형 안테나 설계

정희원 송 윤 원*, 윤 현 민*, 이 형 기*

Design of Inverted F-Type Antenna for Z-Wave Systems

Yun-Won Song*, Hyun-min Yun*, Hyung-Ki Lee* *Regular Members*

요 약

최근 정보통신 기술의 발전과 더불어 무선 단말의 소형화와 그에 따른 내장형 안테나의 소형화가 핫 이슈가 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 집중소자를 이용한 정합회로를 통하여 역 F형 안테나를 소형화하여 PCB 기판에 실장 할 수 있도록 제작하였다. 목표 주파수는 860MHz의 Z-Wave 시스템을 지향하였으며, 제작된 안테나의 임피던스 특성, S-파라미터 및 방사패턴을 분석하였다. 본 논문에서 제안된 안테나는 공진주파수에 비해 매우 작은 크기인 7×24 mm로 제작되었다. 시뮬레이션 결과, 860MHz의 목표 주파수 대역에서 -18 dB의 반사손실을 보이며 Z-Wave 시스템에 적용 가능함을 확인하였다.

Key Words : Z-Wave, 역 F형 안테나, 정합회로, 자기공진주파수

ABSTRACT

Recently minimization of wireless devices and minimization of embedded antennas are hot issues, along with the development in the telecommunication technology. Therefore, in this paper, we fabricate a small size inverted F-type antenna that can be mounted PCB by matching circuit using lumped elements. The target frequency is 860MHz and orients Z-Wave system. The fabricated antenna is analyzed in impedance characteristic, S-parameter, and radiation pattern. The antenna that is suggested in this paper is very small, 7×24 mm, compared with resonant frequency. We verify that it has -18dB return loss in 860MHz, target frequency, and is possible to apply Z-Wave system with simulation results.

I. 서 론

최근 정보 통신 기술의 발달과 더불어 무선 단말기의 소형화가 요구되며, 이에 따라 무선 단말기에 적용 가능한 안테나의 소형화가 절실히 요구된다. 안테나를 소형화하는 기법에는 선형, 평면형, 복합형의 안테나의 형태를 변화시키는 방법과 안테나의 급전부에 정합회로를 두어 소형화 하는 기술이 있으며 다양한 형태의 안테나 개발이 현재 시도되고 있다¹⁻³⁾.

본 논문에서는 크기가 작고 저가로 대량 생산이 가능한 특징을 가지는 마이크로 스트립 선로를 이용하여 안테나를 제작하였다. 그러나 단말기에 내장되는

경우 주위에 존재하는 각종 금속 등 다양한 환경적 요소들에 의해 안테나의 입력 임피던스가 변할 수 있으므로 실제 PCB회로에 실장하는 경우 이에 대한 대책이 필요하다⁴⁾. 본 논문에서는 Z-Wave 시스템을 고려하였다. Z-Wave는 현재 홈오토메이션과 같이 장치를 제어하기 위해 가장 폭넓게 사용되고 있는 RF 기술로, 주요 경쟁기술인 ZigBee와는 달리 서로 다른 밴드의 제품들과 어플리케이션 레벨에서 상호 운용되며 더욱 저렴하기 때문이다^{5,6)}. 또한, Omnidirectional 한 지향성, 소형화 가능성 및 제작의 용이성도 고려하였다. 따라서 개발된 안테나를 Z-Wave의 PCB 회로에 실장하였으며 집중소자 정합회로를 이용하여 안테나를 소

* 재능대학 정보통신과(syw527@mail.jnc.ac.kr, yhm@mail.jnc.ac.kr, leehk@mail.jnc.ac.kr)

논문번호 : 10024-0402, 접수일자 : 2010년 4월 2일

형화 하였다. 안테나는 저가의 마이크로스트립 선로를 이용한 안테나로 모노폴이나 다이폴 안테나보다 작은 크기로 공진 주파수를 만족 할 수 있는 역 F형 안테나를 선정하여 설계하였다. 시뮬레이션을 통한 안테나의 이득 향상과 복사패턴을 고려하여 안테나의 크기를 결정하였으며, 유럽형 Z-Wave 주파수인 860MHz 대역에서 공진하도록 L형 정합회로를 이용한 임피던스 정합을 통하여 안테나 크기의 문제를 해결하였다.

II. 역 F형 안테나의 설계

역 F형 안테나는 모노폴 안테나를 변형하여 소형화가 가능하고, 휴대폰 등의 내부에 내장이 가능한 형태의 안테나로, 일반적으로 모노폴 안테나 또는 L형 안테나보다 소형으로 구현이 가능하다. 그림 1에는 역 F형 안테나의 기본형을 보인다⁷⁻⁹⁾.

그림 1의 분포정수 회로는 그림 2와 같이 집중정수 등가회로로 나타낼 수 있다¹⁾.

또한, 식(1)의 관계를 토대로 역 F형 안테나의 등가회로인 그림 2는 안테나의 공진주파수를 조절하기 위한 안테나의 파라미터를 예상할 수 있다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

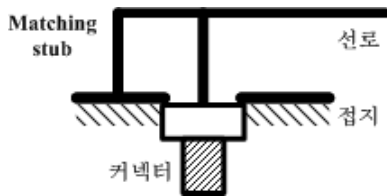


그림 1. 기본형 역 F형 안테나
Fig. 1. The basic structure of Inverted-F antenna

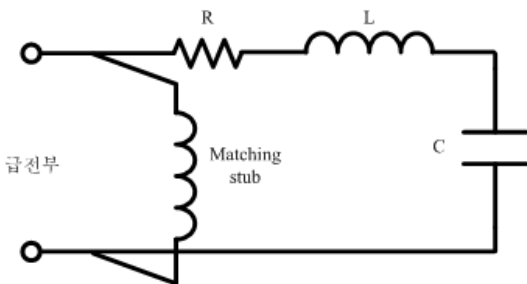


그림 2. 역 F형 안테나의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of Inverted-F antenna.

$$Y_{in} = \frac{R}{R^2 + (wL - \frac{1}{wC})^2} - j \left[\frac{1}{wL_T} + \frac{wL - \frac{1}{wC}}{R^2 + (wL - \frac{1}{wC})^2} \right] \quad (2)$$

집중소자를 이용하여 안테나의 입력 임피던스를 조절하는 경우, 집중소자를 부가하기 전의 임피던스 값이 정합회로를 구성할 시 매우 중요한 요소가 된다. 불확실한 입력임피던스는 정합회로 구성이 달라지게 하며, 목표로 하는 주파수에서의 정합도 기대하기 어렵다. 따라서 반복적인 시뮬레이션과 실측정을 통하여 정확한 입력임피던스 값을 확보하는 것이 중요하다. 역 F형 안테나의 등가회로인 그림 2로부터 역 F형 안테나의 입력 임피던스를 이론적으로 계산 할 수 있으며, 임피던스의 실수부와 허수부로 구분할 수 있으며, 그 결과는 식(2)와 같다.

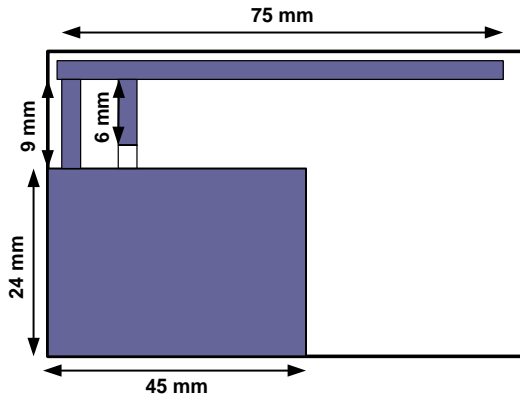
식(2)에서 L_T 는 Matching stub의 인덕터 성분이며, 이 때 역 F형 안테나의 공진주파수 f'_0 은 같은 길이의 선로로 제작된 모노폴 안테나의 공진주파수 f_0 와 식(3)과 같은 관계를 가진다.

$$f'_0 \leq f_0 \quad (3)$$

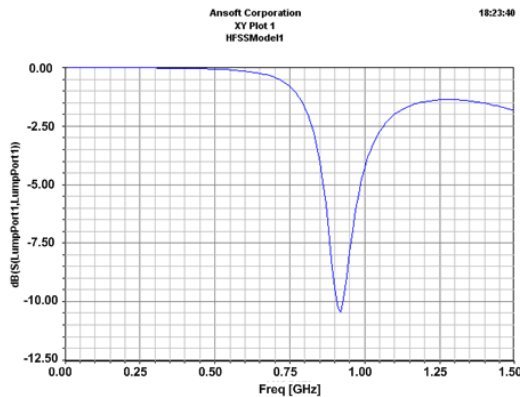
식(3)으로부터 역 F형 안테나의 크기는 같은 주파수에서 공진하는 기본적인 모노폴 안테나 크기의 약 50 % 정도로 소형화 할 수 있으며 마이크로스트립 선로를 이용하여 제작이 용이하므로 최근 이동통신 분야에 많이 활용되고 있다²⁾.

Z-wave 시스템의 크기를 고려하여 안테나를 내장할 경우, 안테나의 크기는 40 × 50 mm 이내의 크기가 적절하며 제작할 안테나의 목표 주파수는 860 MHz로 기본적인 역 F형 안테나를 마이크로스트립 선로에 제작할 경우를 고려하여 시뮬레이션한 결과, 860MHz 대역에서 공진하기 위한 최적의 안테나를 그림 3(a)와 같이 설정하였다.

전체 안테나의 크기는 75 × 35 mm 었으며 그림 3(b)와 같이 860MHz에서 -10dB 정도의 반사손실 특성을 나타내었다. Z-Wave 단말의 크기를 고려할 때 75 × 35 mm 크기의 안테나는 Z-Wave 시스템에 내장시키기에 적합하지 못하다. 즉, 분포정수회로만으로 안테나를 소형화하기에는 설계상의 문제 및 제작상의 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 안테나의 분포정수회로에서 부족한 부분을 급전부에 집중정수회로를 부가함으로써 안테나 크기의 문제를 해결하였다.



(a) 역 F형 안테나의 개요도
(a) Schematic diagram of inverted F-type antenna

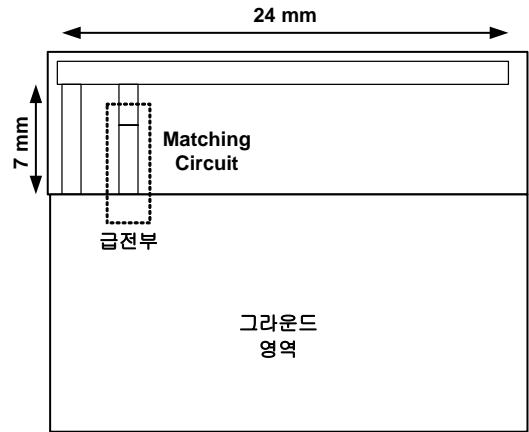


(b) S-파라미터
(b) S-parameter

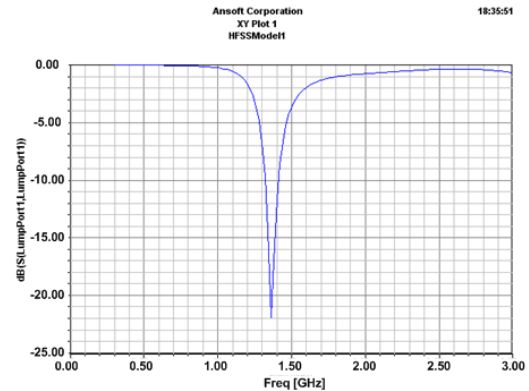
그림 3. 정합회로없이 변형된 역 F형 안테나
Fig. 3 Modified Inverted F-type antenna without the matching circuit.

우선 안테나의 크기를 7×24 mm로 고정하여 제작하고 그라운드 영역은 별도로 구현하지 않고 Z-Wave 시스템의 PCB 기판에 사용될 그라운드 부분을 공유하도록 하여 안테나의 크기가 그라운드 영역을 제외한 선로 부분만을 차지하도록 함으로써 일반적인 마이크로스트립 기판의 안테나 선로 반대면이나 아랫면을 그라운드로 사용하는 경우보다 안테나의 크기를 작게 할 수 있을 뿐만 아니라 방사패턴도 개선시킬 수 있었다.

그림 4는 Z-wave PCB에 실장할 안테나를 마이크로스트립 선로를 이용하여 시뮬레이션 한 것으로 그림 4(a)에서 그라운드 영역은 PCB 회로의 그라운드와 공유하는 영역으로 실제 PCB 회로의 그라운드 크기와 다르므로 그림 4(b)의 안테나 반사특성은 안테나를 PCB에 실장시 특성이 달라질 것임을 예측 할 수 있다.



(a) 역 F형 안테나의 개요도
(a) Schematic diagram of inverted F-type antenna



(b) S-파라미터
(b) S-parameter

그림 4. 정합회로를 적용한 역 F형 안테나
Fig. 4 Inverted F-type antenna to apply matching circuit

PCB에 실장할 것을 고려하여 그림 4(a)와 같이 안테나의 크기를 줄이고 급전부분에 여유를 두어 정합회로를 구성할 수 있도록 하였다. 이때, 시뮬레이션 결과는 그림 4(b)에 나타나는 것과 같이 1.35GHz에서 공진함을 알 수 있다. 따라서, Z-wave 안테나로 사용하기 위해서는 860MHz에서 공진하도록 정합회로가 필요함을 알 수 있으며 그라운드 부분은 Z-wave의 PCB 기판의 그라운드가 용도에 따라 달라질 수 있으나 각 시스템마다 집중정수회로로 구성된 정합회로를 조절함으로써 정합을 시켰다.

일반적인 정합회로에는 T형과 π 형이 있으며 각각의 정합회로에 따른 선로의 특성이 달라진다^{[4][10]}. 즉, 정합소자의 종류와 배치에 따라 선로의 임피던스 변화를 알 수 있으며 3단으로 구성하는 T형 정합회로와 π 형 정합회로는 적절한 Q 값을 갖도록 하는데 주로

사용된다.

본 논문에서 구현한 Z-wave 시스템용 안테나는 인덕터와 캐패시터 하나씩 두 개의 직병렬 소자로 2단 매칭 정합회로를 그림 5와 같이 구성하였다.

RF 출력으로부터 안테나로 전송 효율을 높이기 위해 Z_M 을 Z_A 와 공액정합을 할 경우 식(4)로부터 각 소자의 값을 계산할 수 있으며, B_C 는 C의 서셉턴스 값이며, X_L 은 L의 리액턴스 값을 의미한다. 또한, $R_T > R_A$ 이므로 B_C 는 양의 값을 선택한다.

식(5)와 식(6)에 의해 각각 $B_C=18.31 \text{ m}\Omega$ 이고, $X_L=76.20 \text{ }\Omega$ 이므로 $C=3.39\text{pF}$, $L=14.10 \text{ nH}$ 가 된다

$$\begin{aligned} Z_A^* &= Z_M = \frac{1}{Z_T^* + jB_C} + jX_L \\ &= \frac{R_T + jX_T}{1 + jB_C(R_T + jX_T)} + jX_L \quad (4) \\ &= R_A - jX_A \end{aligned}$$

$$B_C = \frac{X_T \pm \sqrt{\frac{R_T}{R_A}(R_T^2 + X_T^2) - R_T^2}}{R_T^2 + X_T^2} \quad (5)$$

$$X_L = \frac{R_T - R_A - R_T X_A B_C}{R_T B_C} \quad (6)$$

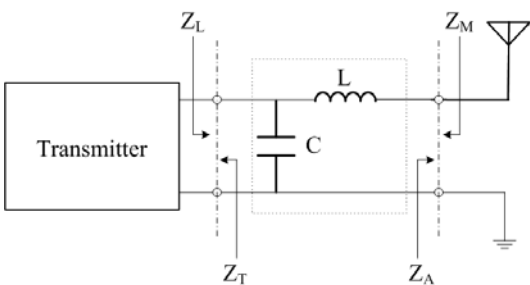


그림 5. L형 정합회로
Fig. 5 L-type matching circuit

III. 시뮬레이션 및 결과분석

본 논문에서는 그림 6과 같이 Z-wave 리모컨 PCB 모델에 역 F형 안테나를 실장하여 제작하였다. 이때 실장된 안테나의 크기는 $7 \times 24 \text{ mm}$ 로 제작되었으며,

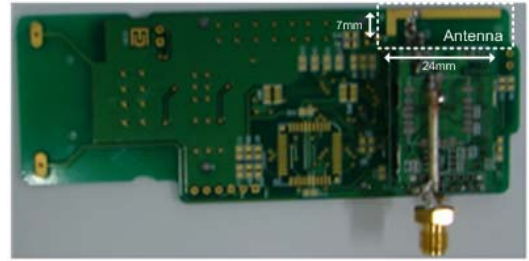


그림 6. Z-Wave에 실장된 안테나
Fig. 6 Mounted antenna to Z-wave

L형 정합회로를 부가 할 수 있게 여유를 두어 제작하였다. 제작된 안테나를 그림 6과 같이 SMA 커넥터를 부착하여 네트워크분석기로 임피던스 특성, S-파라미터 및 방사패턴 측정하였다.

860MHz에서 측정된 Z_A 는 $27.2 - j51.3 \text{ }\Omega$ 이었으며, 이를 이용하여 직렬 L과 병렬 C의 값은 식(6)과 식(7)을 이용하면 각각 14.10nH 및 3.39 pF 을 얻을 수 있다.

계산된 소자값과 정확히 일치하는 집중소자를 구현하는 것은 현실적으로 불가능하므로 근사값인 $L=14.10 \text{ nH} \approx 15 \text{ nH}$, $C=3.39\text{pF} \approx 3\text{pF}$ 으로 결정하고 그림 8과 같이 정합회로를 구성하였다. 사용된 L과 C는 칩 세라믹 인덕터와 캐패시터로 SRF값이 2GHz 이상인 소자를 사용하였다.

그림 6과 같이 안테나가 실장된 PCB 기판에 그림 7과 같은 정합회로를 구성하여 측정된 임피던스 특성을 그림 8에 나타내었다.

안테나는 860MHz에서 $41.6 + j6.9 \text{ }\Omega$ 으로 50 Ω 에 근사되어 정합됨을 알 수 있으며 이때의 반사손실은 -18.437 dB 의 특성을 보이고 있으며 -10dB 이하의 대역폭이 200MHz 이다.

그림 9는 매칭회로 적용 후 S-파라미터를 네트워크 분석기로 측정한 결과이며, L형 정합회로의 L값과 C

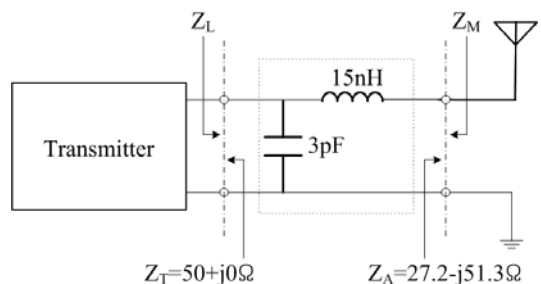


그림 7. 안테나에 적용된 정합회로
Fig. 7 Applied matching circuit to the antenna

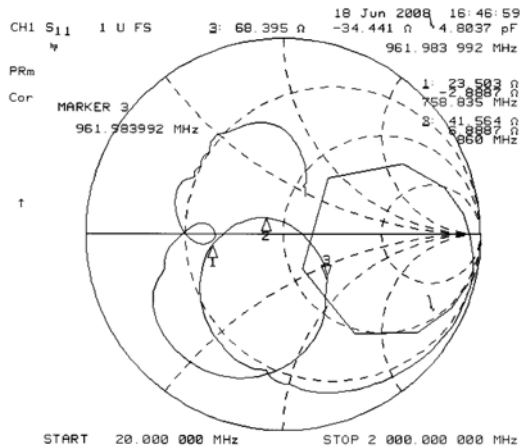


그림 8. 안테나의 임피던스 특성
Fig. 8 Impedance characteristic of the antenna.

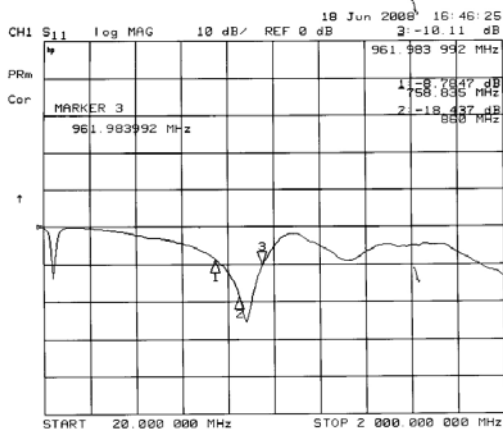


그림 9. 측정된 S-파라미터
Fig. 9. Measured S-parameter.

값이 각각 $L=14.10 \text{ nH} \approx 15 \text{ nH}$, $C=3.39 \text{ pF} \approx 3 \text{ pF}$ 의 근사값으로 대체한 매칭소자로 인해 정확하게 860MHz에서 공진이 이루어지고 있지는 않지만 860MHz 중심으로 -10dB이하 대역폭이 758 MHz에서 961MHz로 양호한 정합 특성을 보임을 알 수 있다.

그림 10에는 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 측정시 그림 10(c)와 같이 놓인 상태로 측정 하였으며 안테나의 방사패턴은 시뮬레이션 결과와 측정치가 다소 차이가 있으나 대체적인 특성을 만족하고 있으며 일그러짐의 원인은 커넥터 연결로 인한 영향과 PCB에 실장된 안테나의 그라운드와 시뮬레이션시 사용된 안테나의 그라운드 모형의 차이에 대한 영향으로 예상된다.

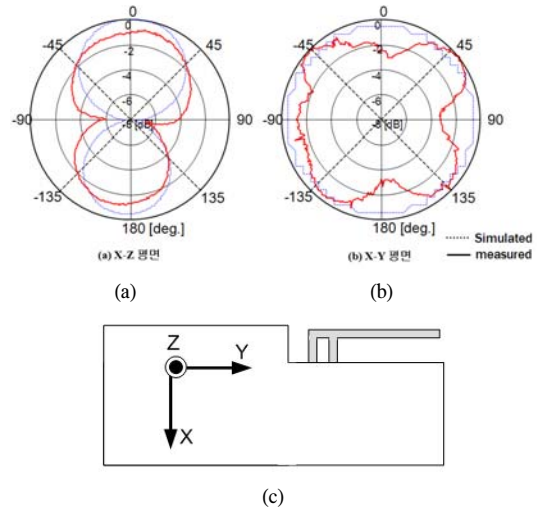


그림 10. 860 MHz 안테나의 방사패턴
Fig. 10 Radiation pattern of the antenna at 860 MHz.

IV. 결론

본 논문에서는 Z-wave 시스템에 적용 가능한 방사패턴과 크기를 가지는 역 F형 안테나를 제작하여 PCB에 실장하였다. 임피던스 정합을 위하여 안테나의 급전부에 고주파용 집중소자를 이용하여 매칭회로를 구성하였다. 일반적인 Fr 4기판을 사용한 $\lambda/4$ 모노폴 경우, 선로폭 = 2.81 mm, 선로길이 $\lambda/4 = 46.43 \text{ mm}$ 를 고려하면, 제작된 안테나는 PCB에 실장함으로써 얻는 공간적 이점을 고려하지 않더라도 매우 소형으로 구현하였음을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안된 안테나는 공진 주파수가 외부 집중소자를 사용함으로써 직접적으로 제어될 수 있음을 알 수 있다.

제작된 안테나는 Z-wave 주파수인 860MHz 대역에서 -18 dB의 반사손실 특성을 나타내었으며 -10 dB 이하의 대역폭이 약 200MHz 였다. 또한, 제안한 안테나는 Z-wave 시스템에 응용될 수 있을 만큼 충분히 작고 이득이 양호하였으며 다른 RF 회로에 적용 가능성을 확인하였다. 향후 미국, 홍콩, 호주 등에서 사용되는 900MHz 대역을 만족하는 2단 이상의 다단 정합회로를 적용한 안테나의 광대역 특성과 기존의 선로의 변형을 통한 광대역 안테나의 특성을 비교 분석하고자 한다.

참고 문헌

[1] 추호성, “안테나 소형화 기법”, 안테나 소형화 기

- 법 및 소형 안테나 성능측정 기법, 한국과학기술원 전자부품 재료설계 인력교육센터, pp.60-80, 2006.
- [2] 최병하, “안테나를 소형화하는 여러 가지 방법”, Antenna Technology, 2007. 8.
- [3] 준마이크로파대 RFIC 일체형 패치 안테나 설계 및 제작에 관한 연구(I), 전파연구소, 한국전자과학회, 1999.
- [4] 정병운, “집중형 소자를 이용한 공진 주파수 및 입력 임피던스 선택형 다중 대역 튜너블 안테나”, 한국ITS학회논문지, 제7권, 제2호, pp.50-55, 2008. 4.
- [5] <http://www.zen-sys.com>
- [6] <http://www.zwavealliance.org>
- [7] C. Soras, M. Karaboikis, G. Tsachtsiris, and V. Makios., “Analysis and Design of an Inverted-F Antenna Printed on a PCMCIA Card for 2.4GHz ISM band,” IEEE Antenna’s and Propagation Magazine, Vol.44, No.1, pp.37-44, Feb 2002.
- [8] Kuo, Y.L., Cheng, Y.T., and Wong, K.L., “Printed Inverted-F Antennas for Applications on Wireless Communication,” 2002 IEEE AP-S Symposium, pp. 454~457, 2002.
- [9] Mignyan Fan, Zhenghe Feng, and Xuexia Zhang, “Dual Frequency Double-Branch Printed Inverted-F Antenna,” Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol.3, pp.508~511, June 2002.
- [10] 윤영, RF능동회로, 홍릉과학출판사, 2005.

윤 현 민 (Hyun-min Yun)

정회원



1986년 원광대학교 전자공학과
1988년 인하대학교 대학원 전자공학과(석사)
2006년 2월 인하대학교 전자공학과(박사)
1988년 1월~1991년 2월 LG 반도체연구소근무

1991년 3월~현재 재능대학 정보통신계열 교수
<관심분야> 반도체소자 및 VLSI회로설계

이 형 기 (Hyung-Ki Lee)

정회원



1985년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)
1987년 8월 인하대학교 전자공학과(공학석사)
2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학박사)
1992년 3월~현재 재능대학 정

보통신과 교수
1989년 6월~1992년 3월 LG 텔레콤 네트워크센터 연구원
<관심분야> MIMO, WLAN, UWB

송 윤 원 (Yun-Won Song)

정회원



1983년 제주대학교 통신공학과(학사)
1985년 : 인하대학교 전자공학과(석사)
1997년 2월 인하대학교 전자공학과(박사)
1992년 3월~현재 재능대학 정 보통신과 교수

<관심분야> 광통신, 광집적회로