

집중소자를 이용한 Z-wave용 역 F형 안테나 소형화에 관한 연구 곽민길¹ · 김동식² · 원영수³ · 조형래[†]

(원고접수일 : 2009년 8월 11일, 원고수정일 : 2009년 10월 27일, 심사완료일 : 2009년 11월 24일)

A Study on Design of the Miniaturized Inverted-F Antenna Using Lumped Elements for Z-wave

Min-Gil Kwak¹ · Dong-Seek Kim² · Young-Soo Won³ · Hyung-Rae Cho[†]

요 약 : 안테나를 소형화하는 기법에는 많은 접근 방법들이 있다. 본 논문에서는 안테나에 집중소자를 이용한 정합회로를 통하여 안테나의 소형화를 시도하였다. 안테나의 크기의 큰 영향을 주는 그라운드를 PCB 회로 기판과 공유함으로써 형상적인 크기를 최소화하도록 시도하였으며, 안테나의 급전부에 고주파용 집중소자를 이용한 매칭회로를 구성하여 안테나의 임피던스 정합특성을 분석하였다. 본 논문에서 제안된 안테나는 공진주파수의 파장에 비해 매우 작은 크기인 7×24 mm로 제작되었으며, 860 MHz 대역에서 -18 dB의 반사특성을 보이며 Z-Wave 시스템에 적용가능성을 확인하였다.

주제어 : 지웨이브, 안테나, 홈 네트워크, 정합회로, 자기 공진주파수

Abstract: Currently, so many approaching methods are being developed to optimize the antenna size. In this paper, We fabricated Inverted-F type antenna attaching lumped components to solve the limitation of antenna size. Through experiments, a basic Inverted-F type antenna was fabricated and satisfied the adequate radiation pattern. After this, we researched the effect of antenna varied by matching circuit consist of chip type resistor, inductor, and capacitor. Using that elements, the antenna was matched at aim frequency. The proposed antenna's size is 7×24 mm that is very small size against the resonance frequency. Measuring the developed antenna, Its return loss was -18dB. Thus, this antenna can be used for Z-wave systems.

Key words: Z-wave, Antenna, Home network, Matching circuit, SRF.

1. 서 론

정보 통신 기술은 상업성을 기반으로 급변하고 있으며, 무선통신 기기들은 상업성을 충족시키기 위해 가격, 디자인, 기능, 편리함 등의 요건들을 만족시켜야 한다. 최근 집적회로 기술의 발달을 기반으로 무선통신 단말기들은 점차 소형화되고 있으며, 외형적인 디자인과 기구적 안정성을 만족시키

기 위한 방향으로 발전하고 있다. 이에 따라 무선 통신 단말기에 적용할 수 있는 안테나의 소형화가 절실히 요구된다.

안테나를 소형화하는 기법에는 선형, 평면형, 복합형의 안테나의 형태를 변화시키는 방법과 안테나의 급전부에 정합회로를 두어 소형화 하는 기술이 있으며[1-3] 다양한 형태의 안테나 개발이 시도되고 있다.

[†] 교신저자(한국해양대학교 전파공학과, E-mail:hrcho@hhu.ac.kr, Tel: 051-405-4933)

1 한국해양대학교 전파공학과

2 한국해양대학교 전파공학과

3 (주)엘웨이버

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^[4], 실제 PCB회로에 실장하는 경우 이에 대한 대책이 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 유럽 홈네트워크 기술로 각광받고 있는 Z-wave의 PCB회로에 안테나를 실장하였으며, 안테나를 소형화하는 기술인 집중소자 정합회로를 이용하여 안테나의 소형화를 시도하였다.

안테나는 제작이 쉽고 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, 유럽 홈네트워크 주파수인 860 MHz대역에서 공진하도록 L형 정합 회로를 이용한 임피던스 정합을 통하여 안테나의 크기 문제를 해결하였다.

2. 역 F형 안테나의 설계

역 F형 안테나는 모노폴 안테나를 응용한 L형 안테나에 Matching stub를 연결한 형태로 생각할 수 있으며, 일반적으로 모노폴 안테나 또는 L형 안테나보다 작은 크기로 구현이 가능하다. Figure 1에 역 F형 안테나의 기본형을 나타내었다.

Figure 1의 분포정수 회로는 Figure 2와 같이 집중정수 등가회로로 나타낼 수 있다[1]. 또한, 식 (1)의 관계를 토대로 역 F형 안테나의 등가회로인 Figure 2는 안테나의 공진주파수를 조절하기 위한 안테나의 파라미터를 예상할 수 있다.

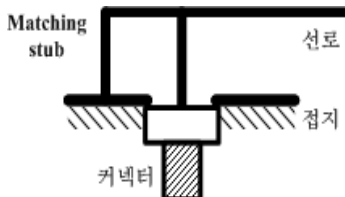


Figure 1: The basic structure of Inverted-F antenna

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{1}$$

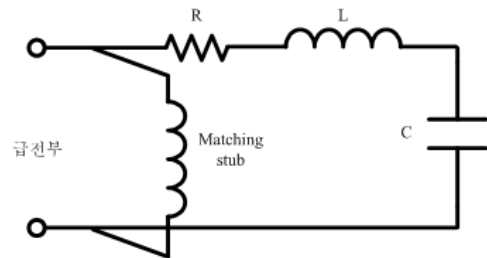


Figure 2: Equivalent circuit of Inverted-F antenna

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

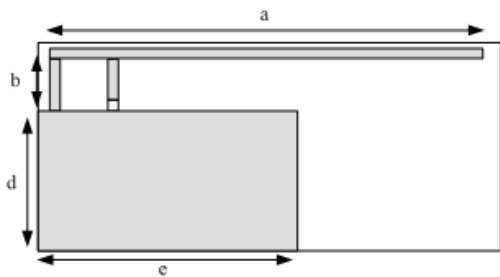
집중소자를 이용하여 안테나의 입력 임피던스를 조절하는 경우, 집중소자를 부가하기 전의 임피던스 값이 정합회로를 구성할 시 매우 중요한 요소가 된다. 불확실한 입력임피던스는 정합회로 구성이 달라지게 하며, 목표로 하는 주파수에서의 정합도 기대하기 힘들다. 따라서 반복적인 시뮬레이션과 실측정을 통하여 정확한 입력임피던스 값을 확보하는 것이 중요하다. 역 F형 안테나의 등가회로인 Figure 2로부터 역 F형 안테나의 입력 임피던스를 이론적으로 계산 할 수 있으며, 임피던스의 실수부와 허수부로 구분할 수 있다. 그 결과는 식 (2)와 같다.

식 (2)에서 L_T 는 Matching stub의 인덕티브 성분을 의미하며, 이 때 역 F형 안테나의 공진주파수 f_0' 는 같은 길이의 선로로 제작된 모노폴 안테나의 공진주파수 f_0 와 식 (3)과 같은 관계를 가진다.

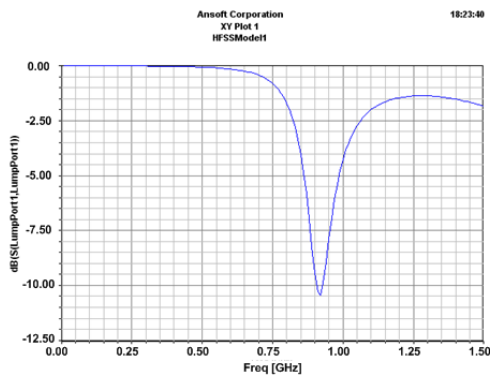
$$f_0' \leq f_0 \tag{3}$$

식 (3)으로부터 역 F형 안테나의 크기는 같은 주파수에서 공진하는 기본적인 모노폴 안테나보다 작은 크기를 가지며, 일반적으로, 모노폴 안테나 크기의 약 50 %정도로 작게 제작할 수 있으며 마이크로 스트립 선로를 이용하여 제작이 용이하므로 최근 이동통신분야에 많이 활용되고 있다[2].

Z-wave시스템의 크기를 고려하여 안테나를 내장할 경우, 안테나의 크기는 40 × 50 mm 이내의 크기가 적절하다고 판정하였다. 우선 일반적인 안테나 소형화 기법으로 많이 활용되고 있는 형상변형을 통한 안테나의 최적 크기를 확인해 보았다. 제작할 안테나의 목표 주파수는 860 MHz로 기본적인 역 F형 안테나를 마이크로 스트립 선로에 제작할 경우를 고려하여 Figure 3과 같이 안테나에 5개의 파라미터(a~e)를 변수로 설정하여 시뮬레이션 하였다.



(a) Schematic diagram of Inverted-F antenna



(b) Simulated S-parameter

Figure 3: Modified Inverted-F antenna without the matching circuit

Table 1: Optimized parameters of the antenna

a	75 mm
b	9 mm
c	6 mm
d	24 mm
e	45 mm

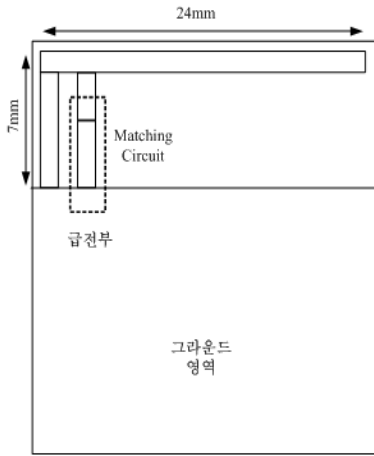
시뮬레이션 결과 860 MHz에서 공진하기 위한 최적의 파라미터를 Table 1에 나타내었다. 전체 안테나의 크기는 75 × 35 mm였으며 860 MHz에서 -13 dB의 반사손실특성을 Figure 3에 나타내었다. Z-wave 단말기 크기를 고려할 때 75 × 35 mm 크기의 안테나는 Z-wave시스템에 내장시키기에 적합하지 못하다. 분포정수적인 요소만으로 안테나를 소형화 하는 기법에는 안테나의 그라운드와 선로사이의 공기층 삽입이나 안테나를 3차원적으로 설계하는 방법 및 선로 변형 등이 있으나 실제 시뮬레이션 및 제작상의 어려움이 따를 수 있다.

본 논문에서는 안테나의 분포정수회로에서 부족한 부분을 급전부에 집중정수회로를 부가함으로써 안테나 크기의 문제를 해결하고자 하였다. 우선 안테나의 크기를 7 × 24 mm로 고정하여 제작하였고 그라운드 영역은 별도로 구현하지 않고 Z-wave시스템의 PCB기판에 사용될 그라운드 부분을 공유하도록 하여 안테나의 크기가 그라운드 영역을 제외한 선로 부분만을 차지하도록 하였다. 이로써, 일반적으로 마이크로스트립 기판의 안테나 선로 반대면이나 아랫면을 그라운드로 사용하는 경우보다 안테나의 크기를 작게 할 수 있을 뿐만 아니라 방사패턴을 개선시킬 수 있다.

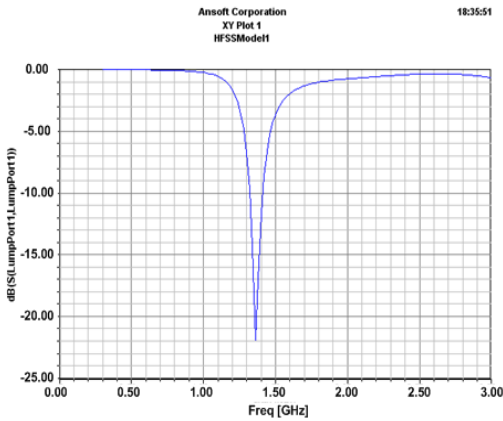
Figure 4는 Z-wave PCB에 실장할 안테나를 마이크로 스트립 선로를 이용하여 시뮬레이션 한 것으로 Figure 4(a)에서 그라운드 영역은 PCB회로의 그라운드와 공유하는 영역으로 실제 PCB회로의 그라운드크기와 다르므로 Figure 4(b)의 안테나 반사특성은 안테나를 PCB에 실장시 특성이 달라질 것임을 예측 할 수 있다.

PCB에 실장할 것을 고려하여 Figure 4(a)와 같이 안테나의 크기를 줄이고 급전부분에 여유를 두어 정합회로를 구성할 수 있도록 하였다. 이때, 시뮬레이션 결과는 1.35 GHz에서 공진함을 Figure 4(b)에 나타내었다. Z-wave 안테나로 사용하기 위해서는 860 MHz에서 공진하도록 정합회로가 필요함을 알 수 있다. 그라운드 부분은 Z-wave의 PCB기판의 그라운드가 용도에 따라 달라질 수 있으나 각 시스템마다 적용시킬 집중정

수회로로 구성된 정합회로를 조절함으로써 정합을 시켜보았다.



(a) Schematic diagram of the inverted F antenna



(b) Simulated S-parameter

Figure 4: Inverted-F antenna to apply matching circuit

3. 집중소자에 의한 안테나의 특성

일반적인 정합회로에는 T형과 π 형이 있으며 각각의 정합회로에 따른 선로의 특성이 달라지게 된다[4-5].

Figure 5로부터 정합소자의 종류와 배치에 따라 선로의 임피던스 변화를 알 수 있다. 3단으로 구성하는 T형 정합회로와 π 형 정합회로는 적절한 Q 값을 갖도록 하는데 주로 사용된다. 단수를 늘릴수록

Q 값을 작게 설계할 수 있으며 식 (4)로 부터 선로의 공진특성은 광대역화시킬 수 있다.

$$Q = \frac{\text{Center Frequency}}{3dB \text{ Bandwidth}} \quad (4)$$

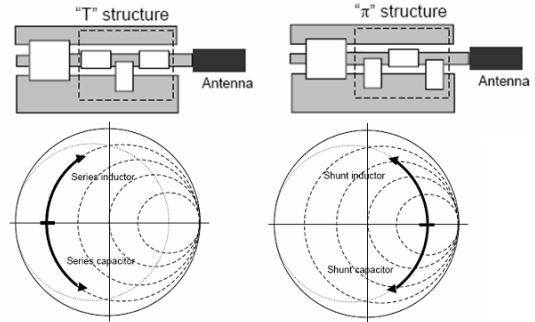


Figure 5: Impedance variation of matching circuits

본 논문에서 구현한 Z-wave시스템용 안테나는 일정한 Q 값과 광대역 특성이 요구되지 않는다. 따라서 가장 간결하게 선로를 매칭할 수 있는 L형 정합회로 즉, 인덕터와 캐패시터 하나씩 두 개의 직병렬 소자로 2 단 매칭 정합회로를 Figure 6과 같이 구성 하였다. RF출력으로부터 안테나로 전송 효율을 높이기 위해 Z_M 을 Z_A 와 공액정합을 할 경우 식 (5)로부터 각 소자의 값을 계산할 수 있다. 식 (5)~(7)에서 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 (6)로부터 $B_C = 18.31 \text{ m}\Omega$ 이고 $X_L = 76.20 \Omega$ 이므로 $C = 3.39 \text{ pF}$, $L = 14.10 \text{ nH}$ 를 구할 수 있다.

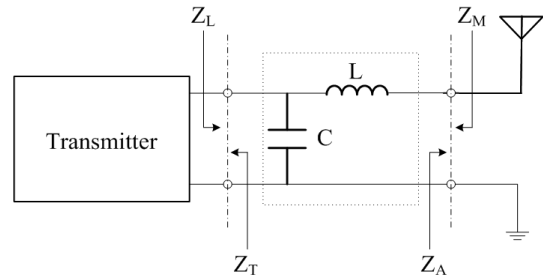


Figure 6: Matching circuit analysis

$$Z_A^* = Z_M = \frac{1}{Z_T^{-1} + jB_C} + jX_L \quad (5)$$

$$= \frac{R_T + jX_T}{1 + jB_C(R_T + jX_T)} + jX_L$$

$$= R_A - jX_A$$

$$B_C = \frac{X_T \pm \sqrt{\frac{R_T}{R_A}(R_T^2 + X_T^2) - R_T^2}}{R_T^2 + X_T^2} \quad (6)$$

$$X_L = \frac{R_T - R_A - R_T X_A B_C}{R_T B_C} \quad (7)$$

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 Figure 7과 같이 Z-wave 리모컨 PCB모델에 역 F형 안테나를 실장하여 제작하였다. 이때 실장된 안테나의 크기는 7 × 24 mm로 제작되었으며, L형 정합회로를 부가 할 수 있게 여유를 두어 제작하였다. 제작된 안테나를 Figure 7과 같이 SMA커넥터를 부착하여 Network Analyzer로 반사손실 및 임피던스 특성을 측정 및 분석하였다.

860 MHz에서 측정된 Z_A는 27.2 - j51.3 옴이었으며, 이를 이용하여 직렬 L과 병렬 C의 값은 식 (6)를 이용하면 L = 14.10 nH, C = 3.39 pF를 구할 수 있다. 계산된 정합소자에 의한 스미스차트상의 임피던스변화를 Figure 8에 나타내었다.

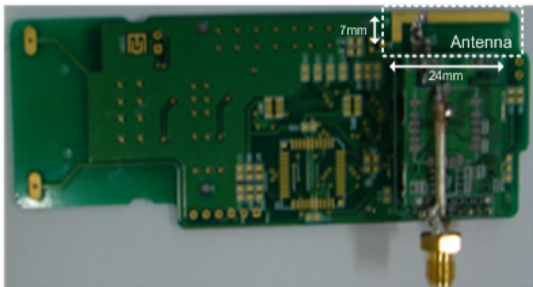


Figure 7: Mounted antenna to Z-wave

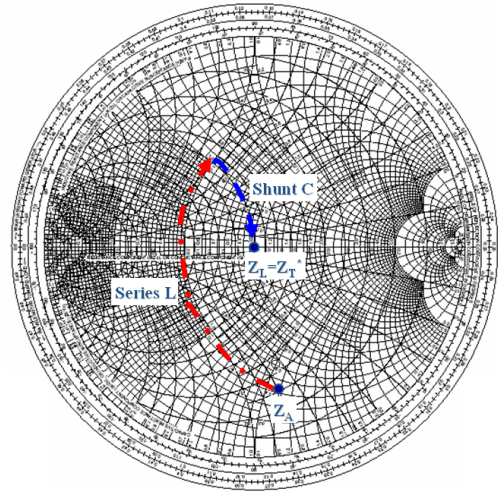


Figure 8: Impedance variation at the smith chart

계산된 소자값과 정확히 일치하는 집중소자를 구현하는 것은 현실적으로 불가능하므로 근사값인 L = 14.10 nH ≃ 15 nH, C = 3.39 pF ≃ 3 pF으로 결정하고 Figure 9와 같이 정합회로를 구성하였다. 사용된 L과 C는 칩세라믹 인덕터와 캐패시터로 SRF값이 2 GHz 이상인 소자를 사용하였다.

Figure 7과 같이 안테나가 실장된 PCB기판에 Figure 9와 같은 정합회로를 구성하여 안테나의 특성을 측정한 결과를 Figure 10에 나타내었다.

안테나는 860 MHz에서 41.6 + j6.9 옴으로 50 옴에 근사되어 정합됨을 알 수 있다. 이때의 반사손실은 -18.437 dB의 특성을 보이고 있으며 -10 dB이하의 대역폭이 200 MHz이다.

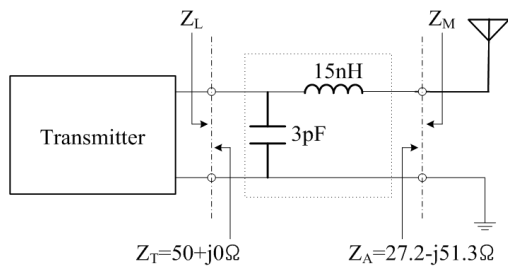


Figure 9: Applied matching circuit to the antenna

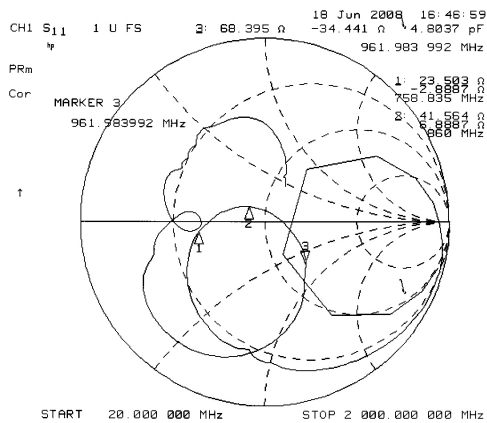


Figure 10: Measured Impedance characteristic of the antenna

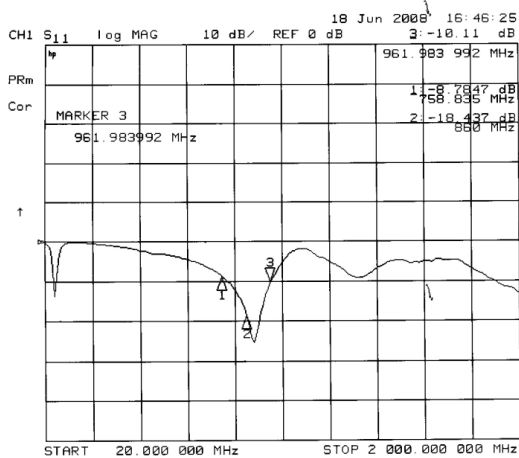


Figure 11: Measured S-parameter

Figure 11은 매칭회로 적용후 안테나의 삽입손실을 네트워크 아날라이저로 측정한 사진이며, L형 정합회로의 L값과 C값이 각각 $L = 14.10 \text{ nH} \approx 15 \text{ nH}$, $C = 3.39 \text{ pF} \approx 3 \text{ pF}$ 의 근사값으로 대처한 매칭소자로 인해 정확하게 860 MHz에서 공진이 이루어지고 있지않으나, 860 MHz 중심으로 -10 dB이하 대역폭이 758 MHz에서 961 MHz로 양호한 정합 특성을 가진다.

Figure 12에서는 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 측정시 그림 12(c)와 같이 놓여진 상태로 측정 하였으며, 안테나의 방사패턴은 시뮬레이션 결과

과와 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 예상할 수 있다.

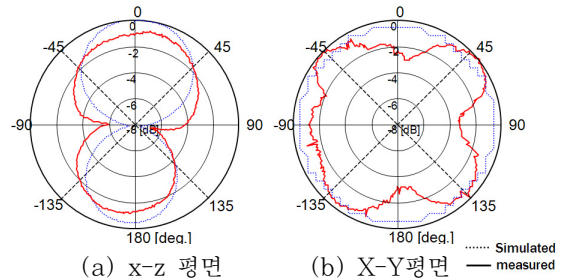


Figure 12: Radiation pattern of the antenna at 860 MHz

5. 결 론

본 논문에서는 유럽의 홈네트워크 기술인 Z-wave에 적용 가능한 방사패턴과 크기를 가지는 역 F 안테나를 PCB에 실장하였다. 임피던스 정합을 위하여 안테나의 급전부에 고주파용 집중소자를 이용하여 매칭회로를 구성하였다. 일반적인 Fr 4 기판을 사용한 $\lambda_g/4$ 모노폴 안테나의 경우, 선로 폭 = 2.81 mm, 선로길이 $\lambda_g/4 = 46.43 \text{ mm}$ 를 고려하면, 제작된 안테나는 PCB에 실장 함으로써 얻는 공간 절약의 이점을 고려하지 않더라도 매우 작은 크기로 구현하였음을 알 수 있다. 실험적인 결과들을 바탕으로 제안된 안테나는 공진 주파수가 외부 집중소자를 사용함으로써 직접적으로 제어될 수 있음을 나타내었다.

본 논문에서 제작된 안테나는 Z-wave 주파수인 860 MHz 대역에서 -18 dB의 특성을 나타내었으며 -10 dB이하의 대역폭이 약 200 MHz 였다. 본 논문에서 제안한 안테나는 유럽의 홈네트워크

기술인 Z-wave시스템에 응용될 수 있을 만큼 충분히 작고 이득이 양호하였으며 다른 RF 회로에 적용 가능함을 확인하였다. 향후 2단 이상의 다단 정합회로를 적용한 안테나의 광대역 특성과 기존의 선로의 변형을 통한 광대역 안테나의 특성을 비교 분석하고자 한다.

참고문헌

- [1] 추호성, “안테나 소형화 기법”, 안테나 소형화 기법 및 소형 안테나 성능측정 기법, 한국과학기술원 전자부품 재료설계 인력교육센터, pp. 60-80, 2006.
- [2] 최병하, “안테나를 소형화하는 여러 가지 방법”, Antenna Technology, 2007.
- [3] 준마이크로파대 RFIC 일체형 패치 안테나 설계 및 제작에 관한 연구(1), 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] 윤영, RF능동회로, 홍릉과학출판사, 2005.
- [6] RF회로기술 워크샵, 한국전자과학회, pp 87-113, 2008.
- [7] 박민길, 김동식, 정용진, 원영수, 조형래, “집중 소자를 이용한 Z-wave 시스템용 역 F형 안테나의 소형화에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 학술대회논문집, pp. 157-158, 2008. 10.
- [8] Guillermo Gonzalez, “Microwave transistor amplifiers analysis and design”, pp 92-200, 1997.
- [9] <http://www.zen-sys.com>

저 자 소 개



박민길(郭旼吉)

2007년 2월 한국해양대학교 (공학사), 2007년 3월 - 현재 한국해양대학교 전파공학과(공학석사). 관심분야 : UWB, RF 회로 설계, 소형안테나



김동식(金東識)

2003년 2월 한국해양대학교 전파 공학과(공학사), 2005년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사), 2005년 3월 - 현재 한국해양대학교 전파공학과(박사과정수료). 관심분야 : UWB, Zigbee, WPAN, OFDM, CR, Spread-Spectrum



원영수(元榮秀)

1976년 3월 - 1994년 10월 KBS 한국방송 부장, 1997년 3월 - 2002년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사, 1994년 10월 - 2007년 5월 KNN 기술국장 / 뉴미디어 정보센터장 / 기술연구소장 역임, 2001년 3월 - 2003년 2월 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 겸임교수, 2003년 3월 - 2006년 2월 동명정보대학교 정보통신공학과 겸임교수, 2009년 1월 - 현재 (주)엘 웨이버 대표이사, 2007년 3월 - 현재 동아대학교 전자공학과 겸임교수.



조형래(趙炯來)

1982년 광운대학교 응용전자 공학과(공학사), 1984년 연세대학교 전자공학과(공학석사), 1993년 연세대학교 전자공학과(공학박사), 2002년 - 현재 한국해양대학교 전파공학과 교수. 관심분야 : OFDM, UWB, Spread-Spectrum