

## 5.8GHz 마이크로파 무선전력전송을 위한 수신기 모듈 설계 및 구현

이성훈 · 손명식<sup>†</sup>

<sup>†</sup>순천대학교 전자공학과

### Design and Fabrication of a Receiver Module for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission

Seong Hun Lee and Myung Sik Son<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Electronic Engineering, Suncheon National University

#### ABSTRACT

In this paper, we have designed and fabricated a receiver module for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission. The receiver module was composed of an antenna, BPF (Band Pass Filter) and RF-DC converter. The antenna was designed to RHCP (Right Hand Circular Polarization). And we used  $\lambda/2$  open-circuited stubs for the BPF. In addition, the RF-DC converter used the tripler voltage circuit for voltage multipliers. The integrated receiver RF module for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission has been designed and fabricated. The voltage was measured to the distance of 50cm.

**Key Words** : Microwave, Wireless Power Transmission, BPF, Antenna, RF-DC Converter,  $\lambda/2$  Open stubs, Tripler, Rectenna

#### 1. 서 론

무선전력전송을 위한 마이크로파 방식으로 수신 효율을 높이기 위해서 안테나(Antenna), 필터(Filter), RF-DC변환기(Converter), DC-DC변환기(Converter) 등 수신기에 관한 연구는 다양하게 진행 중이다[1,2].

안테나는 원형편파 패치 안테나로 장애물 잡음에 강하고 건물투과성이 높고 다중반사간섭에 강하며 편파손실이 적고 안테나의 각도에 상관없이 전자파를 받을 수 있는 장점이 있어서 여러 분야에서 응용되고 있다[3,4].

필터는 간섭을 줄이고 원하는 주파수를 받아들이거나 제거하는 역할로 활용이 많이 되고 있다. RF분야에서는 필터의 역할이 중요하여 다양하게 연구를 진행하고 있다. 마이크로파 무선전력전송에서도 ISM밴드 대역인 2.45GHz

및 5.8GHz 의 주파수를 선정하여 사용하고 있기 때문에 한 주파수를 통과 시키기 위한 BPF(Band Pass Filter)가 필요하다[5,6].

RF-DC 변환기는 다이오드 병렬로 구성하여 전파(Full-wave)를 이용하거나 전압 체배기를 구성하여 연구를 진행하고 있다[7,8].

본 논문에서는 5.8GHz 마이크로파 무선전력전송을 위한 수신기 모듈을 설계 및 제작하였다. 수신기 모듈은 안테나, BPF(Band Pass Filter), RF-DC 변환기로 구성하였다. 안테나는 원형편파인 우현편파(RHCP) 패치 안테나를 설계하였고, BPF는  $\lambda/2$  Open-circuited stubs를 이용하여 설계하였다. 또한 RF-DC 변환기인 트리플러(Tripler)를 결합하여 일체형 수신기 모듈을 설계 및 제작하였다. 거리50cm까지 5cm간격으로 전압을 측정하였다.

<sup>†</sup>E-mail: sonms@sunchon.ac.kr

## 2. 수신기 모듈 설계 및 구현

### 2.1 원형편파인 우현편파(RHCP) 패치 안테나 설계

원형편파 안테나는 좌현편파(LHCP)와 우현편파(RHCP)로 설계할 수 있다. 그 중 우현편파 안테나를 선정하여 설계를 하였다. 우현편파를 가지는 패치 안테나의 목표는 다음과 같이 Table 1에 나타내었다. 원형편파 패치 안테나 설계 파라미터는 Table 2에 제시하였고, Fig 1은 안테나 레이아웃, Fig 2 반사손실, Fig 3 축비, Fig 4는 3D 방사패턴 및 이득을 각각 나타내었다. 설계 목표에 맞게 5.8GHz 주파수 대역 반사손실은 -10dB이하이고, 우현편파로 선로급전을 이용하여 이득 6.8dB 패치 안테나 설계를 하였다.

Table 1. Design Spec of the antenna.

구분	설계목표
중심주파수	5.8GHz
편파	우현편파(RHCP)
급전방법	선로급전
임피던스	50Ω
반사손실	-10dB 이하

Table 2. Summary of the antenna parameters

파라미터	길이(mm)
$P_L$	17
$P_w$	17
Cut	1.5
$EF_w$	0.97
$EF_L$	9.74
$F_w$	2.4
$F_L$	15.8

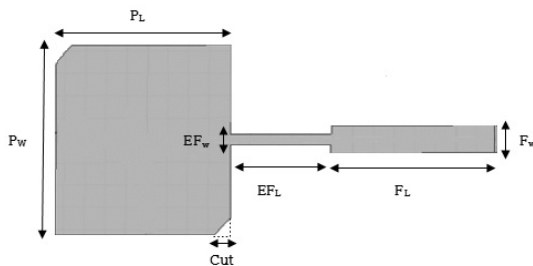


Fig. 1. The antenna Layout.

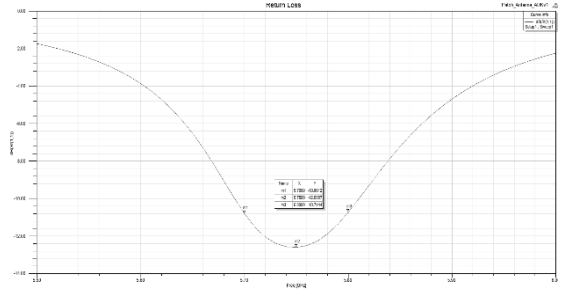


Fig. 2. Axial ratio of the antenna.

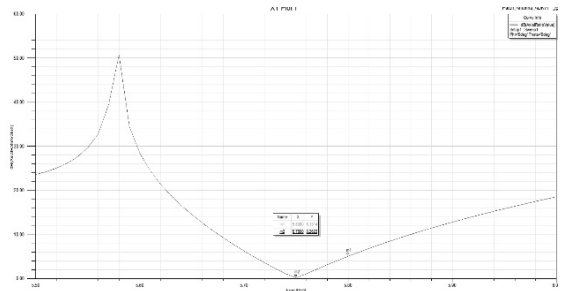


Fig. 3. The return loss of the antenna.

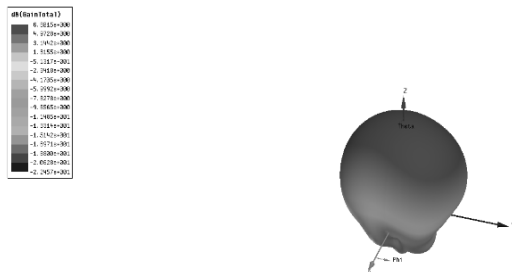


Fig. 4. 3D directivity of the antenna.

### 2.2 $\lambda/2$ Open-circuited stubs BPF 설계

$\lambda/2$  Open-circuited stubs BPF는  $\lambda/4$  Short-circuited stubs를 사용하여 설계한다. 공식 (1) ~ (8)을 이용하여 중심 주파수 5.8GHz, 차수는 3차수, Chebyshev low-pass 0.1dB passband ripple 파라미터를 사용하고 Table 3에 나타내었다. Table 4에는  $\lambda/4$  Short-circuited stubs을 위한 설계 파라미터이며, Fig 5에 회로도를 제시하였다. Table 5는 공식 (9), (10)을 이용하여  $\lambda/2$  Open-circuited stubs의 설계 파라미터를 나타내었다[10]. Table 4와 Table 5에 파라미터들을 기초로 하여 회로를 구성한 것을 Fig 6에 나타내었다. Fig 7에는 반사손실과 Fig 8은 전달특성을 확인할 수 있다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{FBW}{2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{J_{1,2}}{Y_0} = g_0 \sqrt{\frac{hg_1}{g_2}}, \quad \frac{J_{n-1,n}}{Y_0} = g_0 \sqrt{\frac{hg_1g_{n+1}}{g_0g_{n-1}}} \quad (2)$$

$$\frac{J_{i,i+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{hg_0g_1}{g_i g_{i+1}}} \quad \text{for } i = 2 \text{ to } n-2 \quad (3)$$

$$N_{i,i+1} = \sqrt{\left(\frac{J_{i,i+1}}{Y_0}\right)^2 + \left(\frac{hg_0g_1 \tan\theta}{2}\right)^2} \quad (4)$$

for  $i = 1 \text{ to } n-1$

$$Y_1 = g_0 Y_0 \left(1 - \frac{h}{2}\right) g_1 \tan\theta + Y_0 \left(N_{1,2} - \frac{J_{1,2}}{Y_0}\right) \quad (5)$$

$$Y_n = Y_0 \left(g_n g_{n+1} - g_0 g_1 \frac{h}{2}\right) \tan\theta + Y_0 \left(N_{n-1,n} - \frac{J_{n-1,n}}{Y_0}\right) \quad (6)$$

$$Y_i = Y_0 \left(N_{i-1,i} + N_{i,i+1} - \frac{J_{i-1,i}}{Y_0} - \frac{J_{i,i+1}}{Y_0}\right) \quad (7)$$

for  $i = 2 \text{ to } n-1$

$$Y_{i,i+1} = Y_0 \left(\frac{J_{i,i+1}}{Y_0}\right) \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n-1 \quad (8)$$

$$Q_{en} = \frac{g_n g_{n+1}}{FBW} \quad (9)$$

$$t = \frac{2L}{\pi} \sin^{-1} \left( \sqrt{\frac{\pi Z_0 / Z_i}{Q_e}} \right) \quad (10)$$

**Table 3.** Chebyshev low-pass 0.1dB passband ripple.

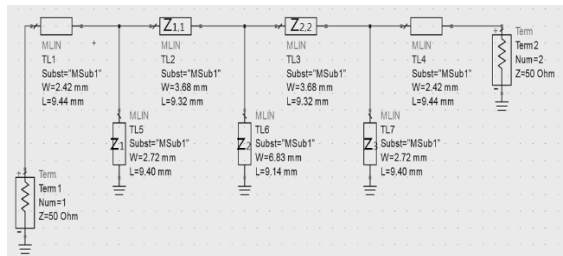
N	$g_1$	$g_2$	$g_3$
3	1.0316	1.1474	1.0316

**Table 4.** Circuit design parameters of a three-pole, stub bandpass filter with  $\lambda g/4$  short-circuited stubs

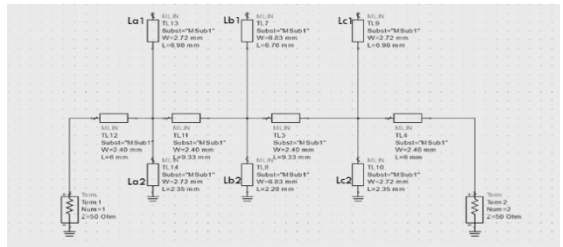
i	$Y_i$	$Y_{i,i+1}$
1	0.23670	0.02682
2	0.47340	0.02682
3	0.23670	

**Table 5.** Circuit design parameters of a three-pole, stub bandpass filter with  $\lambda g/2$  open-circuited stubs

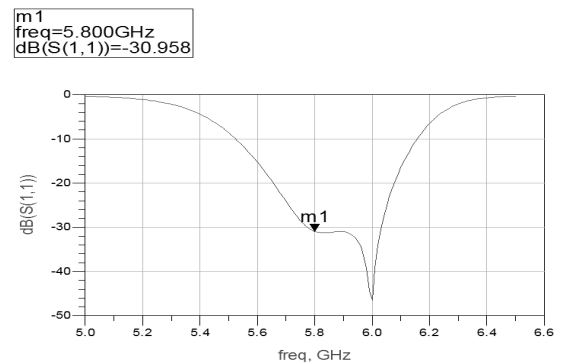
i	$L_{ai}$	$L_{bi}$	$L_{ci}$
1	6.98	6.76	6.98
2	2.35	2.28	2.35



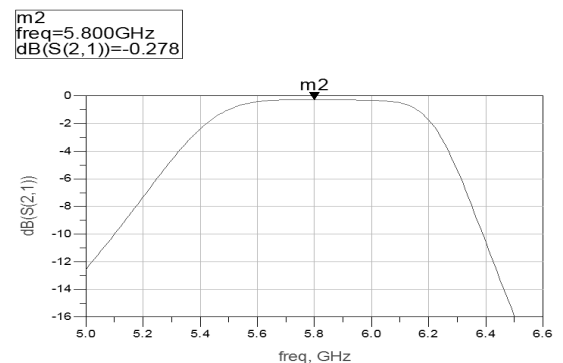
**Fig. 5.** The circuit of  $\lambda g/4$  short-circuited stubs.



**Fig. 6.** The circuit of  $\lambda g/2$  open-circuited stubs.



**Fig. 7.** The return loss of BPF.



**Fig. 8.** The performance of BPF.

### 2.2 RF-DC 변환기인 트리플러

RF-DC 변환기는 전압 체배기인 트리플러를 이용하여 설계를 하였고 기본 회로도에는 Fig. 9과 같다. 다이오드는 Microwave Schottky Detector Diode HSMS-286L를 이용하였고, 앞 단에 임피던스 매칭을 하여 Fig. 10와 같이 설계를 하였다. Fig. 11은 스미스 차트로 50Ω 임피던스 매칭한 결과를 나타내었다.

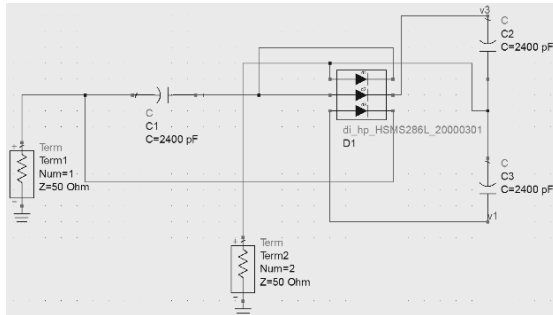


Fig. 9. The basic tripler circuit.

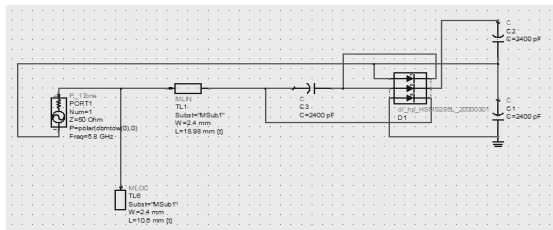


Fig. 10. The impedance matching circuit for tripler.

m1  
freq=5.800GHz  
S(1,1)=0.002 / 3.516  
impedance = Z0 \* (1.004 + j2.623E-4)

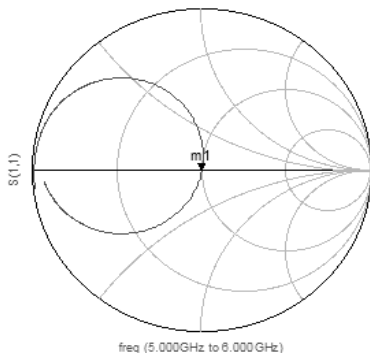


Fig. 11. The impedance matching result of tripler.

### 2.3 일체형 수신기 모듈 설계

수신기를 안테나, BPF, RF-DC 변환기로 구성을 하여 일체형으로 설계를 하였다. Fig. 12에 회로도를 나타내었으며, Fig. 13은 수신기 회로도에 대한 반사손실을 제시하였다.

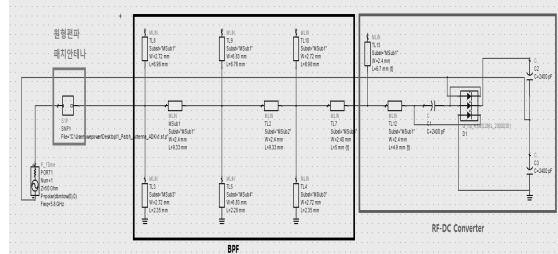


Fig. 12. The circuit of the receiver.

m1  
freq=5.800GHz  
dB(S(1,1))=-15.783

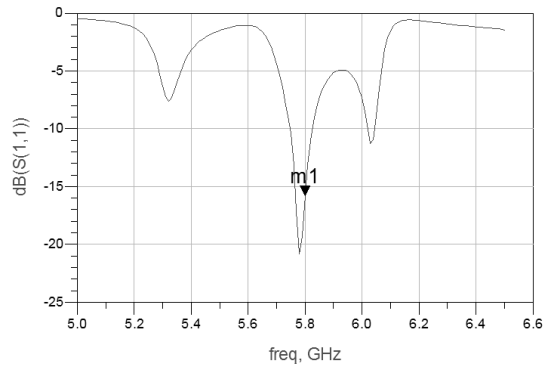


Fig. 13. The return loss of the receiver.

### 2.4 일체형 수신기 모듈 제작

기판 특성은 Table 6에 제시하였다. 회로도에 따라 Fig. 14에 레이아웃을 설계하였고 Fig. 15에 제작된 기판을 나타내었다.

Table 6. The characteristics of PCB(FR4) board.

모델명	특성	
TLY-5A	유전율(Er)	2.17
	유전체 두께(H)	0.8mm

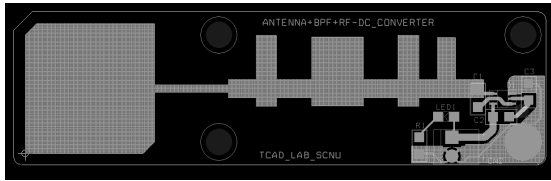


Fig. 14. The Receiver Module Layout.

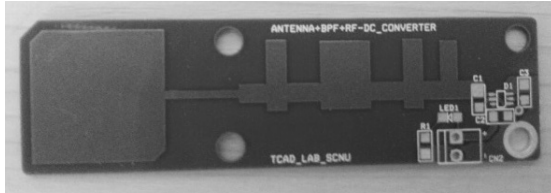


Fig. 15. The fabricated Receiver Module board.

### 3. 5.8GHz 마이크로파 무선전력전송을 위한 수신기 모듈 측정

제작된 수신기 모듈을 이용하여 거리 50cm까지 간격 5cm마다 전압을 측정을 하였다. Table 7에 제시하였으며 거리가 떨어 질수록 전압이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 송신기는 5.8GHz 마이크로파 신호발생기(Signal Generator), 전력증폭기(Power Amplifier), 원형편파 패치 안테나로 구성하였다. 신호발생기는 Agilent E8257D 모델을 이용하였고, 전력증폭기는 HD사의 HD24678모델로 최대 1W까지 증폭하며, 안테나는 원형편파 패치 안테나로 ImmersionRC 사 5.8GHz 우현편파(RHCP) 8dBi를 활용하고 구성하였다.

Table 7. The receiver module measurement for 5.8GHz microwave

거리(cm)	수신기 모듈 전압(V)
0~2	2.64
5	1.76
10	1.77
15	1.70
20	1.63
25	1.56
30	1.46
35	1.35
40	1.14
45	0.82
50	0.63

## 4. 결 론

본 논문에서는 5.8GHz 마이크로파 무선전력전송을 위한 수신기 모듈을 설계 및 제작하였다. 수신기 모듈은 안테나, BPF, RF-DC 변환기를 일체형으로 구성하여 설계를 하였다. 안테나는 원형편파인 우현편파(RHCP) 패치 안테나이고, BPF는  $\lambda/2$  Open-circuited stubs를 이용하여 10%이내 대역으로 설계를 하였으며, RF-DC변환기는 전압 제배기인 트리플러로 적용하였다. 무선전력전송을 확인 및 거리 50cm까지 거리마다 전압을 측정하였다.

## 감사의 글

이 논문은 2016년 순천대학교 학술연구비 공모과제로 연구되었음.

## 참고문헌

1. M.Venkateswara Reddy, K.Sai Hemanth, CH.Venkat Mohan, "Microwave Power Transmission – A Next Generation Power Transmission System," IOSR\_JEEE, 2278-1676 Volume 4, Issue 5, pp. 24-28, 2013.
2. Naoki Shinohara, "Rectennas for microwave power transmission," IEICE Electronics Express, Vol. 10, No. 21, pp. 1-13, 2013.
3. Prafull Ranjan, Saurabh Mishra, "Design of Circularly Polarized Rectangular Patch Antenna with single cut," CAC2S, pp. 174-177, 2013.
4. Yong-wook Park, "Characteristics of Circularly Polarized Antenna," The Korea Institute of Electronic Communication Sciences 5, pp. 563-567, 2010.
5. Ki-Cheol Yoon, Hee Nam, Fang Zhang, Hyun-Wook Lee, Tae-Ui Hong, and Jong-Chul Lee, "Design of a 5.8GHz Narrow Band-pass Filter With second Harmonic Suppression Using the Open stubs," Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, 2007.
6. Li Ke, Wang Wenping, Zhao Lei, Mei Xiaohan, "Microstrip Bandstop Filter Using Open Stub and Spurline," IEEE, pp. 223-236, 2011.
7. Choi Ki-Ju, Hwang Hee-Yong, "Performance comparison of the RF-DC converter circuit for wireless power transmission," Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ, No. 29 B, pp. 145-149, 2009.
8. Seong Hun Lee and Myung Sik Son, "Design and Fabrication of RF-DC Converters for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission," Journal of KSDT, Vol. 14, No. 4, pp. 84-87, 2015.

- 
9. Jia-Sheng Hong, M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications," John Wiley & Sons, 2001. 접수일: 2016년 10월 31일, 심사일: 2016년 12월 16일, 게재확정일: 2016년 12월 16일