

# 스마트폰 RF 무선충전을 위한 전압 체배기 회로 분석

손명식<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>순천대학교 전자공학과

## An Analysis of Voltage Multiplier Circuits for Smart Phone RF Wireless Charging

Myung Sik Son<sup>\*†</sup>

<sup>\*†</sup>Department of Electronic Engineering, Sunchon National University

### ABSTRACT

A 5.8-GHz 1W wireless power transmission system was used for charging a smart phone. The voltage of one RF power receiver with antenna was not enough for charging. Several power receivers for charging a smart phone was connected serially. The voltage of several RF power receivers are highly enough for charging a smart phone within 50cm. However, the lack of current from small capacitances of RF-DC converters is not suitable for charging smart phone. It means very long charging time. In this paper, the voltage multiplier circuits for RF-DC converters were analyzed to increase the current and voltage at the same time to reduce the charging time in smartphone RF wireless charging. Through the analysis of multiplier circuits, the 7-stage parallel multiplier circuit with voltage-doubler units are suitable for charging the smartphone, which supplies 5V and 700mA at 3V@5.8GHz.

**Key Words :** Microwave, Wireless power transmission system, Wireless charging, Smart phone

### 1. 서 론

현재 무선 모바일 통신기는 스마트폰 출시 이후 배터리 용량이 증대되고, 빠른 배터리 소모로 인해 불편한 충전방식을 개선하기 완전한 무선충전 방식인 RF 무선 충전방식이 발전하고 있다. 무선전력전송기술을 이용한 RF 무선 충전방식[1]은 5.8-GHz RF신호를 수신하여 RF-DC 변환기로 변환된 DC전력을 활용하여 스마트폰 충전에 활용하는 방식이다[2].

하지만 이러한 방식의 경우 RF 전력 송수신기간 거리, 주변 장애물, 수신기 효율 등에 따라 수신 세기가 불안정하게 변하므로 스마트 폰 충전에 필요한 5V를 안정적으로 공급하고 충분한 충전 전류를 제공하기 위한 최적화된 RF-DC 변환기 회로가 필요하다. 따라서 본 논문에서

는 스마트폰을 안정적으로 충전하기 위한 무선전력수신기 RF-DC 변환기 회로에 대해 기 제작된 RF 무선전력 수신기[3]를 통해 시험하고 Pspice 회로 시뮬레이션 툴[4]을 이용하여 분석하였으며, 이를 통해서 적절한 RF-DC 변환 회로인 전압 체배기(voltage multiplier) 회로를 제안하였다.

### 2. 전압 더블러 활용 스마트폰 충전

#### 2.1 RF 무선전력 수신기 출력 전압 측정

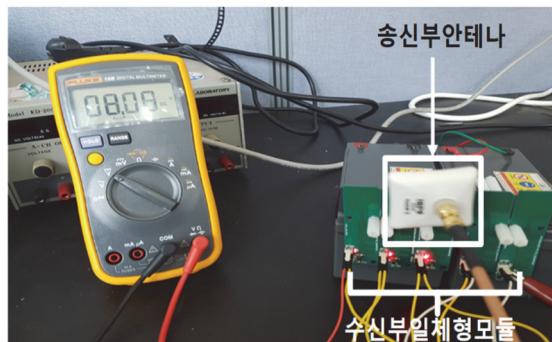
원형 편파 수신 안테나, 대역 통과 필터, RF-DC 변환기로 구성된 무선전력 수신기를 활용하여 스마트폰 RF 무선충전 시험하였다. 일체형 수신기는 Fig. 1과 같이 5.8-GHz RF신호를 수신하여 안테나와 대역 통과 필터 거쳐 원하는 주파수 대역을 RF-DC 변환기로 RF신호를 DC로 변환하여 출력하는 장치이다.

RF무선전력수신기를 활용한 스마트폰 충전 시스템 시

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

험 구성은 무선전력수신기와 Fig. 2와 같은 신호 발생기, 1W 증폭기, 원형 편파 송신 안테나로 구성되며 송수신 시험 구성도는 Fig. 1에 보인 바와 같다. 이 때 송수신기 간 측정 거리 및 RF무선전력수신기의 DC 출력을 직렬로 연결하여 사용한 개수에 따른 무선전력수신기의 출력 전압, 전류를 확인하여 수신기를 통해 전달되는 전류가 송수신기간 거리가 가깝고 수신기 개수가 많을수록 높다는 것을 확인 할 수 있었다.

무선전력수신기의 개수와 거리에 따른 출력전압을 확인하기 위하여 Fig. 1의 구성에서 거리와 수신기 개수를 바꿔보며 측정하였고 그 결과는 Table 1과 같다. 무선전력수신기 2개 이상을 직렬로 연결하여 사용시 50cm 이내의 거리에서 컨버터 입력 전압은 3V~9V이며 DC-DC 컨버터를 사용한다면 5V로 전환하여 스마트폰 충전에 활용 가능하다. 하지만 실제적으로 충분한 전압이 뜨더라도 RF-DC 변환 회로에 충전된 커패시턴스 용량이 매우 작아 이를 통해 흘러나오는 전류의 양이 스마트폰을 충전하기에는 매우 부족하다는 사실이다.



**Fig. 1. 5 RF power receivers connected serially for charging a smart phone.**

**Table 1. Voltage by distance and Receiver count**

거리 (cm)	Receiver Count				
	1	2	3	4	5
2	2.6	3.9	6.6	8.6	9.3
5	2.1	3.7	5.8	7.4	9
10	1.7	3.5	5.1	7	8.3
15	1.7	3.2	4.9	6.3	7.3
20	1.5	3	3.9	5.6	8.3
25	1.2	2.5	3.5	5.5	6.6
30	1.1	2.1	3.2	5.1	5.7
35	0.6	1	2.5	4.1	4.5
40	0.9	1.4	1.9	3.5	3.9
45	0.6	1.3	1.8	2.9	3.6
50	0.4	1.2	1.4	2.6	3.2

**Table 2. Spice parameters for HSMS-2860 Schottky diode**

Parameter	Units	Value
$B_V$	V	7.0
$C_{JO}$	pF	0.18
$E_G$	eV	0.69
$I_{BV}$	A	1 E - 5
$I_S$	A	5 E - 8
N		1.08
$R_S$	$\Omega$	6.0
$P_B$ (VJ)	V	0.65
$P_T$ (XTI)		2
M		0.5

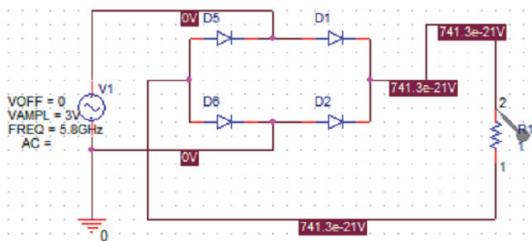
충전을 위한 안정적인 전류를 공급하기 위한 추가 회로 구성이 필요하다. 스마트폰 충전 전류를 높여주기 위해 본 논문에서는 전압 더블러(voltage doubler) 및 전압 체배기 회로를 Pspice 시뮬레이터[4]을 이용해 분석하였고, 동시에 무선전력수신기의 출력 전압을 높이기 위한 RF-DC 변환 회로를 다음 시뮬레이션 소절들에서 비교 분석하면서 새로운 RF-DC변환기 회로를 제안하였다.

무선전력 수신기에 사용된 HSMS-2860 쇼트키 장벽 다이오드를 사용한 전압 더블러 회로를 분석하기 위하여 표 2에 보인 HSMS-2860 쇼트키 장벽 다이오드의 파라미터[5]를 사용하여 Pspice 회로 시뮬레이션을 수행하였다.

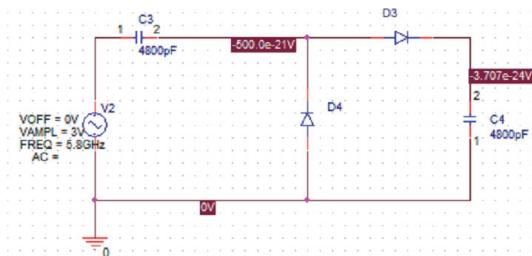
## 2.2 전압 더블러 회로 시뮬레이션 비교 분석

기 제작된 무선전력 수신기[3]의 RF-DC 변환기 회로는 전압 더블러를 사용하였는데 이를 비교 분석하기 위하여 Fig. 2의 (a)전파 브릿지 정류 회로, (b)반파 전압 더블러 회로, (c)전파 전압 더블러 회로를 시뮬레이션하고 그 결과를 분석하였다.

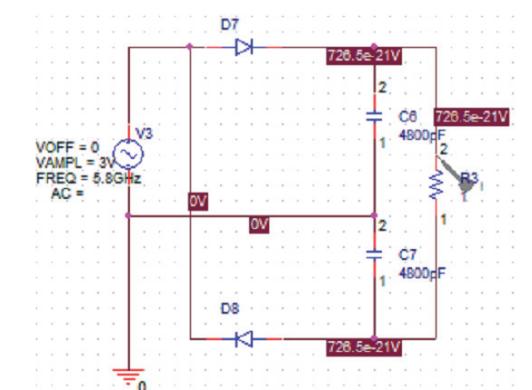
시뮬레이션 결과를 비교 분석해 보면, 입력 3V, 커패시터 4800pF, 5.8GHz를 주었을 때 Table 3과 같이 반파 전압 더블러와 전파 전압 더블러가 높은 전압과 전류를 가져 전파 브리지 정류 회로에 비해 RF-DC 변환 회로에 적합한 것을 알 수 있었다. 또한, 반파 전압 더블러와 전파 전압 더블러의 커패스터 충전 속도를 비교하여 보면 Fig. 3에서 보인 바와 같이 전파 전압 더블러 회로의 충전 속도가 반파 전압 더블러에 비해 커패시터 충전 특성이 우수하다는 것을 알 수 있었다. 스마트폰 RF 무선충전에 적용하기 위한 단위 기본 전압 체배기 회로를 전파 전압 더블러 회로로 선정하였다. 이것을 기본 단위로 하여 직렬과 병렬 특성을 파악하여 전압과 전류를 시뮬레이션해 비교 분석해보면 보다 적합한 스마트폰 충전용 무선전력 수신기의 RF-DC 변환 회로[6]를 구성할 수 있을 것이다.



(a) Full-wave bridge rectifier



(b) Half-wave voltage doubler

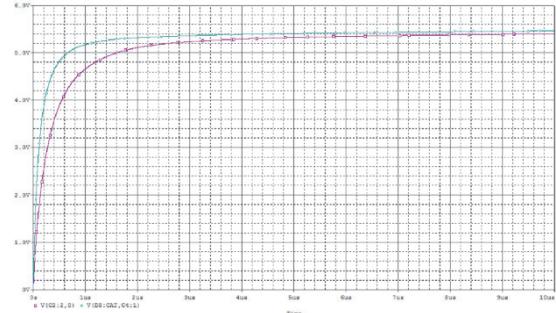


(c) Full-wave voltage doubler

**Fig. 2.** Pspice simulation circuits of (a) full-wave bridge rectifier, (b) half-wave voltage doubler, and (c) full-wave voltage doubler.

**Table 3.** Simulation results of full-wave bridge rectifier, half-wave and full-wave voltage doubler

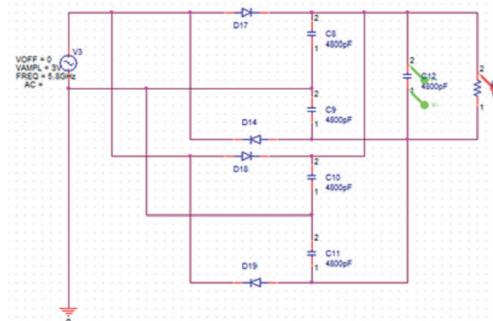
	Full-wave Bridge	Half-wave Doubler	Half-wave Doubler
Voltage	2.5V	5.4V	5.5V
Current	95mA	122.5mA	122.5mA



**Fig. 3.** Charging speed of half-/full-wave voltage doubler.

### 3. 전압 체배기 회로 시뮬레이션 비교 분석

Fig. 4에서 사용된 전파 전압 더블러 병렬 연결에 따른 전압 및 전류를 비교하여 Table 4과 같이 병렬 개수 증가에 따라 출력 전류를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.



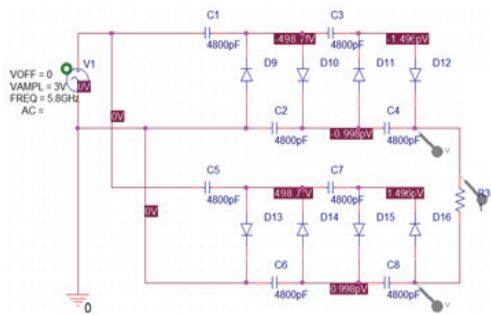
**Fig. 4.** Parallel connection of full-wave voltage doubler.

**Table 4.** Simulation result of parallel connecting full wave voltage doubler

병렬	2개	4개	6개	8개	10개
전압	4.8V				
전류	0.35A	0.53A	0.71A	0.86A	1A

Fig. 5 및 Table 5에 보인 바와 같이 전압 체배기 직렬 회로와 반대 극성 전압 체배기 직렬 회로의 전압과 전류를 비교 분석하였다. 전압 더블러의 직렬 연결과 이를 반대 극성 전압 체배기로 구성하면 전압을 최대 4배까지 상승 가능하나 전류 증가는 되지 않음을 알 수 있었다.

이를 기반으로 전압 체배기를 Fig. 4와 같이 병렬 회로로 사용하는 것이 전류 증가로 인해 커패시터 충전 속도를 개선하여 스마트폰 충전시간을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.



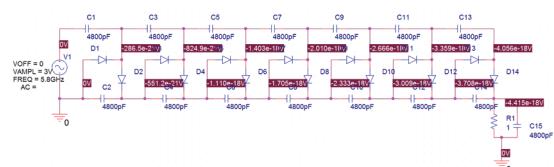
**Fig. 5.** Simulation circuit of serial and opposite-polarity connecting full wave voltage doubler.

**Table 5.** Simulation result of serial and opposite-polarity serial connecting full wave voltage doubler

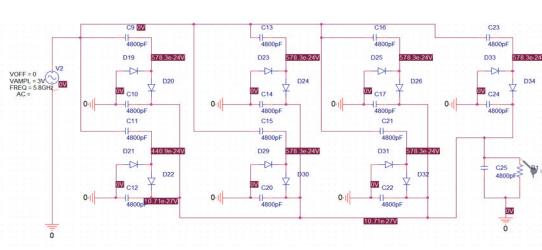
분류	전압 체배기 직렬회로	반대 극성 전압 체배기 직렬회로
전압	10.5V	22V
전류	120.5mA	120.5mA

**Table 6.** Simulation results of serial and parallel connections of 7-stage voltage multiplier

	7-stage voltage multiplier Serial	7-stage voltage multiplier Parallel
Voltage	37.5V	5.38V
Current	130mA	700mA



(a) 7-stage voltage multiplier Serial



(b) 7-stage voltage multiplier Parallel

**Fig. 6.** Suggested circuit of 7-stage parallel connecting full wave voltage doubler circuits for Smart Phone Wireless Charging.

Fig. 6에서 보인 바와 같이 7단의 직렬 연결과 7단의 병렬 연결시 전압 체배기의 전압 및 전류 결과를 비교하여 Table 6에 보였다. Table 6에 보인 바와 같이 직렬 연결 7단의 전압 체배기는 전압을 37.5V로 증가시키나 전류 증가는 1단과 같다는 것을 알 수 있었다. Table 6의 결과로 7단의 병렬 연결은 전압 5.38V, 전류 700mA의 값을 가지며 이는 스마트 폰 충전에 적합하다는 결론을 도출하였다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 스마트폰 RF 무선 충전 성능을 개선하기 위한 전압 체배기 회로에 대해 비교 분석하였다. 무선전력전송을 이용한 스마트폰 RF 충전은 5.8GHz RF신호를 안테나로 수신된 전력을 대역 통과 필터 거쳐 원하는 주파수 대역을 RF-DC 변환기로 출력된 DC 전압을 스마트폰 충전 전력으로 활용하는 방식이다. 하지만 이 값은 송수신기간 거리, 수신기 개수, 주변 전파 환경에 따라 그 값이 일정하지 않게 변하며 세기가 낮아 충전 전압으로 적합하지 않은 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 전압 체배기를 활용한 스마트폰 충전 전압 출력 및 안정적으로 전류를 공급하는 방안에 대하여 연구하였다.

안정적인 전압 더블러의 효율적 연결 방법에 대한 연구를 통해 전압 5V와 700mA를 공급할 수 있는 7단 병렬 연결 전압 체배기 회로를 시뮬레이션 하였고 제안하였다. 따라서 이를 이용한다면 불안정한 무선전력수신기 수신 전압을 스마트 폰 RF 충전에 적합한 전압 5V를 안정적으로 공급하면서 충전 전류 부족으로 인한 충전 시간이 길어지는 단점을 보완할 수 있으리라 기대된다.

## 감사의 글

순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. Biao Hu, Hao Li, Tianming Li, Haiyang Wang, Yihong Zhou, Xiaoyun Zhao, Xin Hu, Xuekun Du, Yulong Zhao, Xiang Li, Tian Qi, Mohamed Helaoui, Wenhua chen, Fadhel Ghannouchi, “A long-distance high-power microwave wireless power transmission system based on asymmetrical resonant magnetron and cyclotron-wave rectifier”, Energy Reports 7, pp.1154-1161, 2021.
2. Seong Hun Lee and Myung Sik Son, “5.8GHz 25W Microwave Wireless Power Transmission System Development and Measurement”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol.16, No.1, pp.

- 21-24, 2019.
3. Seong Hun Lee and Myung Sik Son, "RF-DC Voltage Multiplier Design and Fabrication for 5.8GHz Microwave Wireless Power Transmission", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol.16, No.2, pp. 1-4, 2017.
  4. Pspice simulation tool, OrCAD ver.10.5, Cadence Design Systems, Inc.
  5. Spice Parameters, Datasheet of HSMS-286x, AVAGO Technology.
  6. Voltage multiplier Circuits, [https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage\\_multiplier](https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_multiplier), Wikipedia.

---

접수일: 2021년 5월 3일, 심사일: 2021년 6월 9일,  
제재확정일: 2021년 6월 18일