

## 무선전력전송을 위한 RF-DC 변환기 회로의 성능비교

### Performance comparison of the RF-DC converter circuit for wireless power transmission

최 기 주\*      황 희 용\*\*  
Choi, Ki-Ju    Hwang, Hee-Yong

---

#### Abstract

A RF-DC converter is one of the most important components for a wireless power transmission. It has been developed for many applications such as space solar power system, and Radio Frequency Identification(RFID). In this paper, we designed three types of RF-DC converter and compare the performance of each. All types RF-DC converter have a maximum conversion efficiency at input power level of 0 dBm~5 dBm and RF-DC converter of third type was the best performance that has a 21.9% of conversion efficiency.

키워드 : RF-DC 변환기, 변환효율, 무선전력전송  
Keywords : RF-DC converter, Conversion efficiency, Wireless Power Transmission

---

#### 1. 서론

무선전력전송이란 전선이 없이 무선으로 전력을 전송하는 것으로 무선으로 전력을 전송하기 위하여 주로 마이크로파를 이용한다.

마이크로파를 이용한 무선전력전송에 관한 연구는 1960년대 초반 미국으로부터 시작되었다. 이후로 무선전력전송에 대한 연구는 꾸준히 지속되어 왔으며 다양한 방법의 무선전력전송 방식이 개발되어 왔다. 이러한 무선전력전송 기술은 전기적으로 연결이 어려운 곳에 응용되고 있다. 최근에는

관내검사용 로봇, 전기자동차에 적용된 사례도 있으며, 특히 RFID(Radio Frequency Identification) 시스템의 수동형 태그에 소전력을 공급하는 것이 응용분야의 중요한 사례로 부각되고 있다[1].

무선전력전송에 있어 가장 중요한 것은 전송효율이다. 무선으로 전력을 공급하기 때문에 공기 중에서 적은 감쇠를 가지는 주파수를 선택하고 효율을 개선하기 위해서는 RF-DC 변환기의 RF-DC 변환효율을 높이는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다.

무선전력전송에 사용되는 무선 주파수 2.45 GHz의 주파수가 비교적 공중에서의 손실이 적고, 소자들의 가격이 낮아 연구를 위해 제작하는데 적합하다. 또한 이 주파수에서 높은 RF-DC 변환효율을 지니고 또한 파장이 짧아 회로가 소형이라는 장점을 지니고 있어 무선전력전송에 주로 쓰이는 주파수이다[2].

RF-DC 변환기와 안테나를 결합한 것을 렉테나

---

\* 강원대학교 전기전자공학과 학부과정  
\*\* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신저자

라고 하며 지금까지 다양하게 개발되어 왔다[3][4]. RF-DC 변환기는 고주파용 정류회로이며, 가장 중요한 소자는 다이오드로 높은 RF-DC 변환효율을 얻기 위하여 문턱전압이 낮은 다이오드를 선택하여야 한다.

보고에 의하면 개발되어진 RF-DC 변환기는 최대효율이 70~80%를 가지고 있다[3][4]. 이는 20dBm 수준의 입사전력에 대한 효율로 이러한 입사전력을 얻기 위해서는 W 단위의 큰전력을 송신해 주어야 한다. 하지만 송신할 수 있는 전파의 전력에는 주파수 규제에 의해 2.45GHz의 주파수에서는 100mW 이상의 전력을 송신할 수 없다[5]. 규제범위의 100mW의 전력을 송신한다고 했을 때 프里斯 전달 공식을 이용하여 1m의 거리에서 수신할 수 있는 전력을 계산하면 약 1.5mW이다. 따라서 규제범위 내에서 이 기술을 응용하기 위해선 0 dBm수준의 작은 전력에 대한 RF-DC 변환효율을 높여야 한다.

본 논문에서는 0~5 dBm의 입사전력에 대하여 최대 변환효율을 갖는 세 가지 형태의 RF-DC 변환기를 설계하였다. 이후 각 형태의 RF-DC 변환기들의 부하의 크기에 따른 출력전압 변화와 하나의 고정 부하를 사용하여 입력파위의 변화에 따른 RF-DC 변환효율을 비교 분석하였다.

## 2. 본론

### 2.1 RF-DC 변환기의 구성

그림 1~그림 3 각각은 RF-DC 변환기의 구성을 보여주는 그림이다. 모든 구성에서 다이오드 앞단은 정합회로와 연결하여 다이오드에 의해 발생하여 입력측으로 반사되는 하모닉들을 막아주고 2.45GHz의 RF전력을 모두 다이오드에 공급해 주도록 하였다. RF-DC 변환기에 사용된 다이오드는 적은 입사전력에서의 변환효율을 높이기 위하여 Zero Bias Schottky Diode HSMS2850을 사용하였다.  $Z_L$ 는 부하저항이며, 부하와 병렬로 연결된 캐패시터는 RF-bypass 및 부하에 안정적인 DC공급을 위한 역할을 한다.

그림 1은 다이오드 하나만을 사용한 RF-DC 변환기로 가장 단순한 형태의 RF-DC 변환기이다. RF전력이 정합회로를 통하여 들어오면 다이오드에 의해 정류하고 정류된 DC전원은 부하에서 소모된다. 그림 2는 다이오드 두개를 사용한 RF-DC 변환기이며 다이오드 한 개를 더 사용하여 부하에 인가되는 전압의 크기를 키울 수 있다. 그림 3은 다이오드 두개를 사용한 RF-DC 변환기로 그림 1, 그림 2의 변환기와 달리 부하에 바로 그라운드가 달려 있지 않고 플로팅 되어있으며 +전압이 인가될 시에는 위의 다이오드가 동작하고 -전압이 인

가 될 시에는 아래의 다이오드가 동작한다.

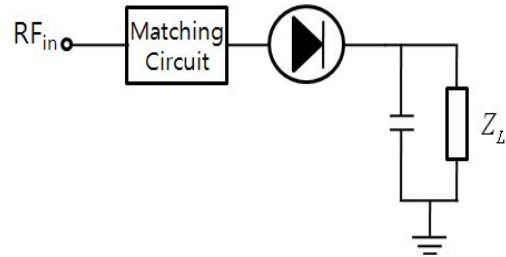


그림 1 다이오드 하나를 사용한 RF-DC 변환기 구성(Type 1)

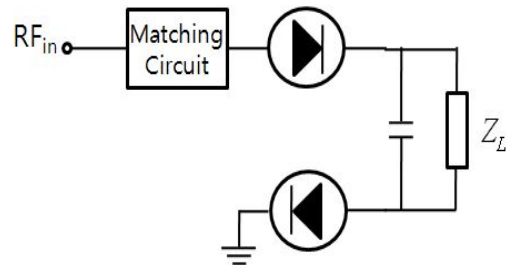


그림 2 다이오드 두개를 사용한 RF-DC 변환기 구성(Type 2)

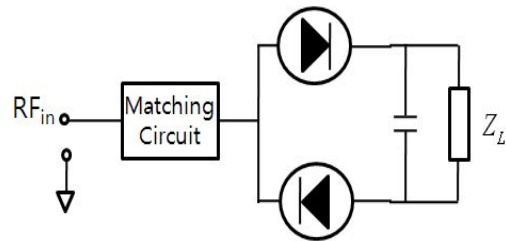


그림 3 다이오드 두개를 사용한 RF-DC 변환기 구성(Type 3)

위의 구성을 시뮬레이션 해보기 위하여 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)을 사용하였다. 시뮬레이션 조건은 이후 제작할 것을 목적으로 마이크로 스트립라인으로 회로들을 구성하였으며, FR4 기판의 특성값인 유전율 = 4.4, Loss tanδ = 0.025, 기판두께 = 0.762 mm를 입력하여 시뮬레이션 하였다.

## 2.2 RF-DC 변환기들의 성능 비교

첫 번째 형태의 RF-DC 변환기 회로의 성능을 알아보기 위하여 ADS 시뮬레이션 툴을 사용하여 그림 4와 같이 구성하였다. 최초 시뮬레이션 조건은 부하저항 100 ohm, 부하와 병렬로 연결된 캐패시터는 1000 pF, 입력된 RF전력은 0 dBm으로 하여 시뮬레이션 하였다. 다이오드는 시뮬레이션 툴에서 제공하는 HSMS2850 모델을 사용하였다. 정합회로는 오픈 스타브를 사용하였고, 그림 5와 같이 2.45GHz에서 50 ohm에 정합된 것을 확인할 수 있다.

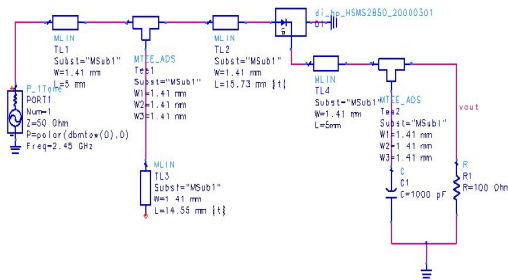


그림 4 하나의 다이오드를 사용한 RF-DC 변환기

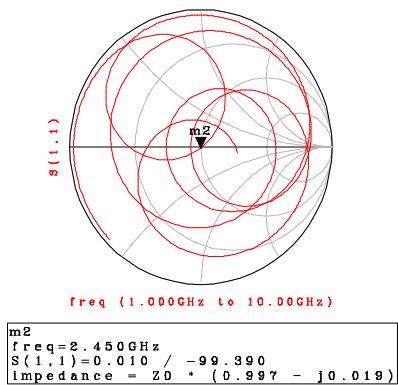


그림 5 RF-DC 변환기의 정합 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과 최초 조건에서 부하저항에 100 mV 전압이 인가된 것을 확인하였다. 이후 부하저항의 크기를 부하는 100 ohm 에서부터 50 Kohm 까지 변화해가며 출력전압의 변화를 확인해보았다. 그 결과 그림 5와 같은 출력전압 특성을 얻을 수 있었는데 부하의 크기가 커지더라도 일정한 부하의 크기가 되면 전압이 크기가 더 이상 증가하지 않고 일정하게 되는 것을 확인할 수 있다.

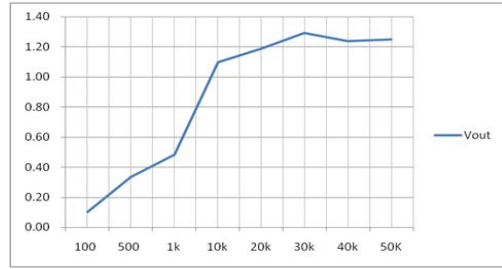


그림 6 부하저항에 변화에 따른 출력전압의 변화

두 번째 형태의 RF-DC 변환기의 성능을 알아보기 위하여 그림 7과 같이 회로를 구성하였다. 두 번째 형태의 RF-DC 변환기는 다이오드 두개를 사용한 Half wave RF-DC 변환기이고 정합회로는 첫 번째 형태의 회로와 같은 오픈 스타브를 이용하여 정합하였다.

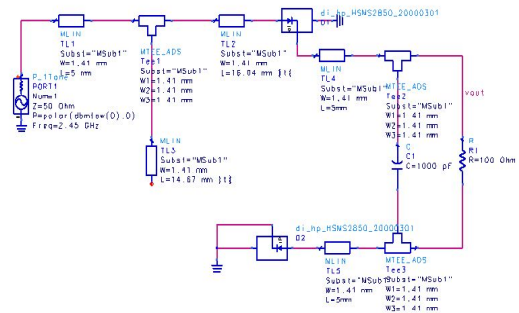


그림 7 두개의 다이오드를 사용한 RF-DC 변환기

최초 시뮬레이션 조건은 첫 번째 형태와 동일하도록 입사전력은 0 dBm, 부하저항은 100 ohm, 캐패시터는 1000 pF를 사용하였다.

시뮬레이션 결과 부하에 인가된 전압은 192 mV로 첫 번째 형태의 RF-DC 변환기의 약 2배의 전압을 얻을 수 있었다.

부하에 따른 출력전압의 특성을 확인하기 위하여 첫 번째 형태의 조건과 동일하게 부하를 변화시켜가며 부하에 걸리는 전압을 확인하였다. 그림 8은 부하의 크기에 따른 출력전압을 나타낸 그림이다. 두 번째 형태에서와 마찬가지로 20 Kohm부터 부하저항의 크기가 증가하여도 전압의 크기가 일정해지는 것을 확인할 수 있다. 최초 100 ohm의 부하저항에서의 전압 크기는 두 번째 형태의 2배의 값을 얻을 수 있었지만 부하의 값을 증가시키면 따라 출력전압특성은 비슷한 결과를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

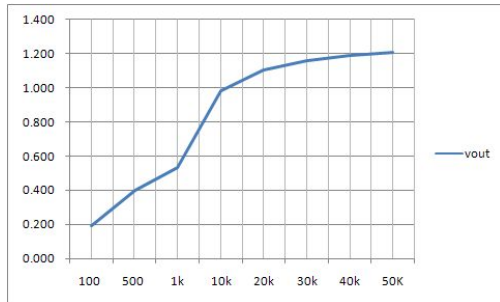


그림 8 부하저항에 변화에 따른 출력전압의 변화

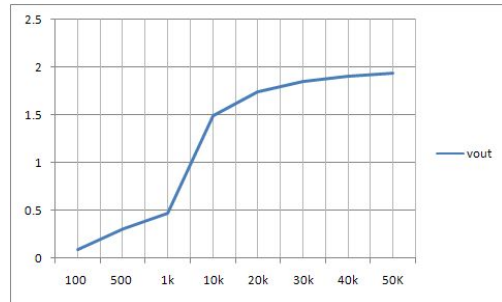


그림 10 부하저항에 변화에 따른 출력전압의 변화

마지막으로 세 번째 형태의 RF-DC 변환기의 성능을 확인하기 위하여 그림 9와 같이 회로를 구성하였다. 정합회로는 전 형태들과 동일하게 하여 정합하였고 입사전력, 부하, 캐패시터의 값도 전 형태들과 조건을 동일하게 하였다.

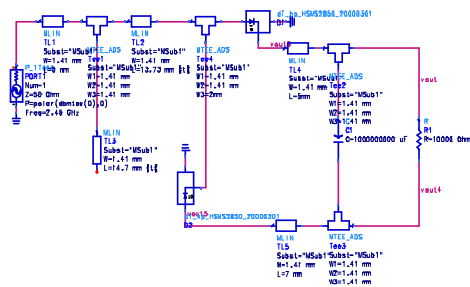


그림 9 두개의 다이오드를 사용한 Full wave RF-DC 변환기

시뮬레이션 결과 100 ohm 부하저항의 양단에 전압은 88 mV로 전의 두 형태에 비하여 낮은 전압이 인가되었다. 하지만 부하저항의 크기를 크게 변화해가며 전압특성을 확인한 결과 그림 10과 같은 결과를 얻었고 10 Kohm의 부하에서부터 기존 회로들보다 500 mV 이상 큰 전압을 얻을 수 있었다. 전압의 크기가 일정해지기 시작한 점의 부하는 20 Kohm으로 전 회로들과 동일한 지점이었다.

각 형태들의 부하에 따른 출력전압 특성을 확인한 결과 부하의 크기가 커지더라도 일정 부하에서부터 전압이 포화되는 지점을 가지는 것을 확인하였다.

이러한 결과는 변환효율을 계산할 때 입사전력과 부하에서 소모하는 전력의 비로 계산하게 되는데 부하저항이 이 포화점을 지나게 되면 전압은 일정해지고 분모항인 저항만이 커지므로 부하에서 소모되는 전력이 작아지고 따라서 변환효율이 줄어 들 것을 예상 할 수 있다.

부하에 따라 변화하는 포화되는 전압특성 그래프를 바탕으로 최대 변환효율을 얻기 위해서는 부하는 전압이 포화되는 20 Kohm의 바로 전의 값인 10 Kohm의 부하를 사용하여야 한다. 따라서 세 가지 형태의 RF-DC 변환기들의 부하를 10 Kohm으로 고정시키고 입사전력의 변화에 따른 전압특성과 RF-DC 변환효율을 개선하였다. 입사전력은 -35 dBm ~ 20 dBm까지 변화시켜보았다.

그림 11은 입사전력의 변화에 따른 세 가지 타입의 RF-DC 변환기 출력전압 특성을 비교한 그림이다.

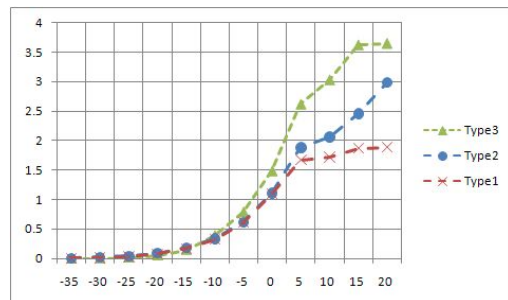


그림 11 입사전력 변화에 따른 세 형태의 출력전압 변화

-20 dBm의 입사전력에서부터 mV단위의 전압을 얻을 수 있었으며 0 dBm에서 각 회로는 1.1 V, 1.11 V, 1.48 V의 전압을 얻을 수 있었다. 위의 결과로부터 각 회로의 변환효율을 구할 수 있는데 변환효율은 식(1)을 이용하여 구하였다.

$$\eta = \frac{V_{dc}^2/R_L}{P_m} \times 100 \% \quad (1)$$

여기서  $V_{dc}$ 는 부하저항에 인가된 전압이며,  $R_L$ 은 부하저항의 크기,  $P_m$ 은 입사전력량이다. 위의 식을 이용하여 각 입사전력에 대한 변환효율을 구하여

그림 12에 나타내었다.

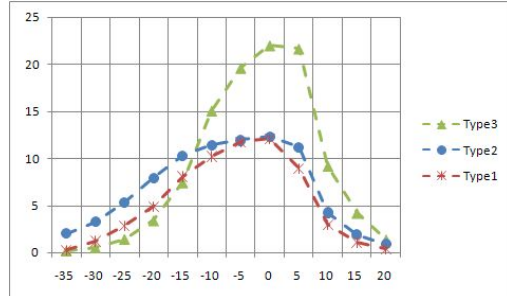


그림 12 입사전력에 따른 변환효율 비교

그림에서 확인 할 수 있듯이 각 형태들은 0~5 dBm의 입사전력에 대하여 최대 변환효율을 가지며 세 번째 형태의 RF-DC 변환기 회로가 가장 우수한 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 세 번째 형태의 최대 변환효율은 21.9%로 다른 두 가지 형태의 회로들에 비해 2배에 가까운 높은 효율을 가졌다.

무선전력전송에 있어 전송할 수 있는 전력은 규제에 의하여 제한을 받게 되어 수신되는 전력이 거리 1m에서 불과 0~5 dBm의 전력을 받는다. 이것은 현재 설계된 RF-DC변환기가 최대 변환효율을 지니는 지점으로 규제범위에서 무선전력전송 시스템을 만들었을 시 적합한 RF-DC변환기라고 할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 무선전력전송 시스템의 핵심부분인 RF-DC 변환기 회로를 세 가지 형태로 설계하고 이들의 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과 부하저항에 따라 전압이 선형적으로 변화하지 않고 일정 부하에서부터 포화되어 저항의 값에 따라 효율이 달라질 수 있음을 확인하였다. 또한 최적의 부하를 선택하여 입사전력을 변화시켜가며 RF-DC 변환 효율을 확인한 결과 0~5 dBm의 입사전력에서 모두 최대 효율을 가졌다. 세 가지 형태 중 세 번째 형태가 최대 효율 21.9 %의 효율을 지니며 다른 회로의 두 배에 가까운 우수한 성능을 지니고 있었다. 향후 설계된 각 RF-DC 변환기들을 제작하여 효율 및 결과들을 비교하여야 하며, 저전력에서 더 높은 변환효율을 지닐 수 있는 회로에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

### 참 고 문 헌

[1] William C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Wave", *IEEE*

*Trans. on MTT*, Vol. MTT-32, No. 9, Sept, 1984.

- [2] Young-Ho Suh, Kai Chang, "A High-Efficiency Dual-Frequency Rectenna for 2.45-and 5.8-GHz Wireless Power Transmission", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 50, NO. 7, July 2002 page(s), 1784-1789.
- [3] J.O.McSpadden, L.Fan and K.chang, "A High conversion Efficiency 5.8GHz Rectenna", *IEEE MTT-S Digest*, pp.547-550,1997.
- [4] J.O.McSpadden, L.Fan and K.chang, "Design and experiments of a high-conversion -efficiency 5.8GHz rectenna", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol.45, pp.2053-2060, Dec.1998.
- [5] *Ministry of Inforamation and communication bulletin*, Article, No, 2007-49, pp.9.