

RF-DC 변환회로에 대한 설계 및 분석

김종범*, 김광수, 박석하, 진인수, 김양모
 충남대학교 전기공학과

Design and Analysis of RF-DC Conversion Circuit

Jong-Bum Kim, Kwang-Soo Kim, Seok-Ha Park, In-Soo Jin, Yang-Mo Kim
 Dept. Electrical Eng, Chungnam National Uni.

Abstract - Recently contactless ID system has emerged as new ID industry. It's called RF-ID. RF-ID is divided into active RF-ID and passive RF-ID. The passive RF-ID operates without battery and so has no limitation in its operating range and life time. But it needs the RF-DC conversion circuit. It also can be applied to batteryless sensor for many application.

This paper presents the study of the RF-DC conversion circuit for batteryless system in high frequency and confirms it by simulation and experiment.

1. 서론

RF-ID System은 사람들의 신분을 확인하고, 동물을 추적하고, 물체 등의 위치를 확인하기 위하여 radio 주파수를 사용하는 시스템이다. 이 때 전지를 내장하면 수명, 교환 문제라든가 카드의 두께를 얇게 할 수 없다는 등의 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 마이크로파로 RF-ID 측에 공간을 통하여 전력을 송전하고, 수신하여 내부전원으로 이용하면 된다. 마이크로파 주파수를 사용할 경우, 수m 정도이내의 동작거리에서는 송신 반송파를 RF-ID에서 직접 검파하여 내부회로를 동작시키기 위한 전력전송이 가능하다. RF-ID에 전지를 내장하지 않는다면 내환경성, 특히 사용온도 범위가 넓어지는 반면에 전력의 검파에는 RF-DC 전력변환소자가 요구된다. 본 논문에서는 RF-DC 전력변환회로를 마이크로 스트립 임피던스매칭 소자와 다이오드정류회로를 통하여 구성하고 이들 구조에 대한 출력값을 simulation과 실험을 통하여 제시하였다.

2. RF-DC 변환장치의 구조

RF를 DC에너지로 변환하려는 노력은 과거에서부터 시도되어 왔는데 이러한 목적을 달성하기 위하여 Rectenna라는 장치를 사용하였다. Rectenna라는 용어는 Rectifier와 Antenna를 합성한 말로서 다음과 같은 구조로 되어 있다.

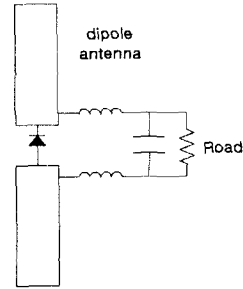


그림 1. Rectenna의 구조

Rectenna는 기본적으로 Dipole antenna의 맨 중앙부에 정류 다이오드를 접속한 구조로 다이오드 위치를 약간 조정하여 안테나와 다이오드의 임피던스 정합을 위한 다음 low pass filter를 거쳐 전력을 얻는 장치로 Rectenna를 필요한 수만큼 병렬로 연결하여 전력을 얻는 구조이다. Rectenna는 기본적으로 대용량의 전력을 무선으로 전송하기 위한 장치로 송신안테나로는 Horn Antenna 또는 집시안테나를 사용한다. 또한 전력전송이 목적이므로 기존의 Rectenna를 통신안테나로서 사용하는데 어려운 점이 있다. RF-DC 변환장치를 RF-ID, batteryless sensor 등에 적용하기 위해서는 전력전송 뿐만 아니라 통신이 가능하여야 하고, IC회로를 동작시키기 위한 전압이 나와야 된다. 원거리에서 IC회로를 동작시키기 위한 회로는 RF-DC 변환회로 외에 전력 저장장치가 필요하다. 이러한 전력 변환장치는 현재 Capacitor가 대부분 사용되며, 집적회로 기술이 발전하면서 사용되는 IC회로가 점점 저 전력화되고 통신하는 정보의 속도가 증가됨에 따라 sensor 및 ID에서 소모되는 전력은 점점 작아지고 있다. 그러나 IC회로의 동작전압이 일정함으로 회로에 맞는 출력전압을 갖는 RF-DC 변환장치가 필요하게 된다. 한 개의 rectenna에서의 출력전력이 적어 rectenna에서의 출력 DC전압을 DC-DC 변환하기에는 기술적으로 많은 어려움이 따른다. 따라서 이러한 목적을 갖는 RF-DC 변환장치로는 기존의 Rectenna로 불충분하게 된다. 본 논문에서는 출력전압이 반도체소자의 동작전압보다 높게 나오는 RF-DC 변환장치를 구성하기 위하여 그림 3과 같은 구조로 설계하였다. 그림 3은 AC로부터 DC 고전압을 발생시키는 Cockcroft-walton 회로이다. 그 동작원리는 그림 2와 3과 같다.

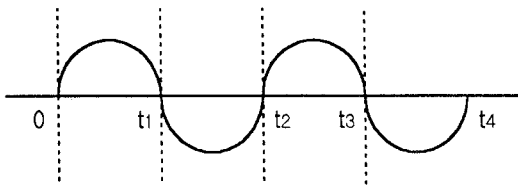


그림 2. 입력 파형

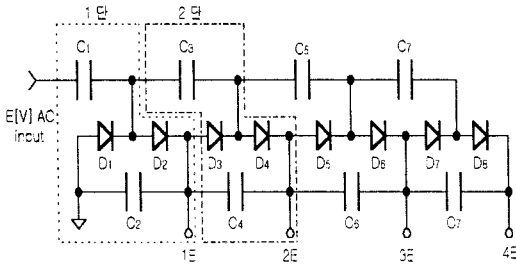


그림 3. Cockcroft-walton 배압기

i) $0 \leq t < t_1$

C_1 은 E전압으로 충전이 되고, D_2 가 도통되어 C_2 에 E전압이 걸리게 된다.

ii) $t_1 \leq t < t_2$

D_1 이 도통되어 C_2 의 E전압과 전원의 E전압의 합인 2E전압이 C_1 에 걸리게 된다.

iii) $t_2 \leq t < t_3$

2차단인 C_3 가 2E전압으로 충전이 되고, D_4 가 도통되어 C_4 에 2E전압이 걸리게 된다. 결국 이런 방법으로 반복을 하게 되어 다음 단에는 배의 전압이 걸리게 된다.

임피던스 매칭회로는 micro-strip line을 사용하여 open stub로 구성하였다. 그림 4는 매칭회로를 포함한 전체회로이다. 여기서 제시된 strip line 및 stub의 길이는 simulation시에 사용된 값으로서 Network Analyzer를 사용하여 실측하여 제작된 매칭회로의 길이 보다 다소 길게 나타났다.

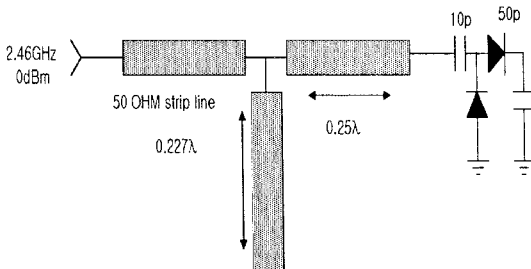


그림 4. 1단 배압기 및 임피던스 정합회로

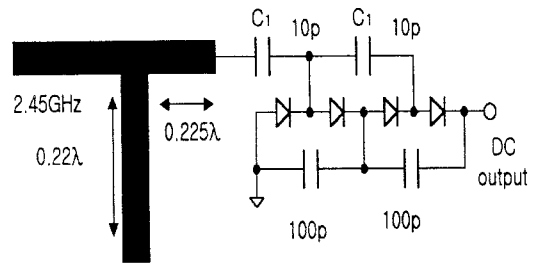


그림 5. 2단 배압기 및 임피던스 정합 회로

다음은 마이크로 스트립라인의 사양과 사용된 다이오드의 parameter 값이다.

표 2. 사용된 Micro strip line 규격

기판두께	1mm
비유전율	4.65
동판두께	35μm
특성임피던스	50Ω

사용된 다이오드는 HP사의 HSMS-2852 Schottky diode이고 SPICE Parameter는 아래와 같다. (Bv=3.8V, Cjo=0.18pF, Eg=0.69 eV, Ibv=3E-4, Is=3E-6, N=1.06, Rs=25, Vj=0.35, XTI=2, M=0.5)

3. Simulation 및 실험 결과

RF신호의 전력은 0dBm(=1mW)이고 주파수는 2.46GHz이다. 이 때 그림 6과 그림 7은 각각 그림 4와 그림 5의 simulation 파형이다. 각각의 DC 출력은 그림 6에서 대략 3.8V이고, 그림 7에서 대략 5.2V를 조금 넘는 것을 알 수 있다. 또한 최대전압에 도달되는 시간은 그림 7에서 더 걸림을 알 수 있다.

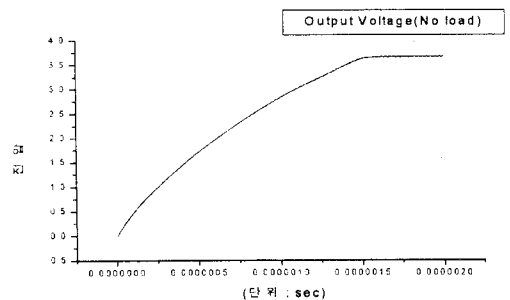


그림 6. 1단으로 구성된 RF-DC 변환회로의 simulation 결과

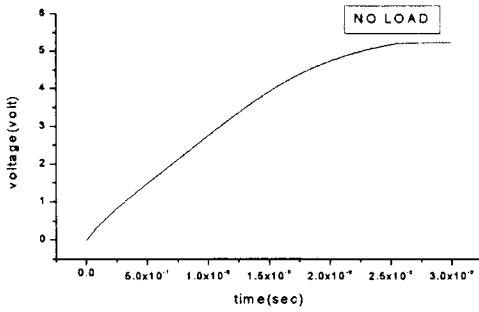


그림 7. 2단으로 구성된 RF-DC 변환회로의 simulation 결과

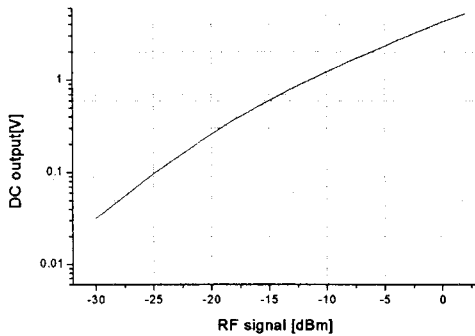


그림 8. 2단으로 구성된 RF-DC 변환회로의 입력전력 변화에 따른 출력전압 측정값

그림 8은 그림 5의 회로에 대해서 Signal Generator의 RF신호를 -30dBm에서 2dBm까지 가변시켜 측정된 값이고, 표 2는 부하연결시 출력전압의 변화이다. 최대출력은 15.22k Ω 부하에서의 0.3122mW이므로 변환효율이 30% 정도인 것을 알 수 있다. 그림 4의 회로에 대한 최대 출력은 10k Ω 에서 2V 정도로 0.4mW(40%)의 출력이 나와 그림 5의 회로에 비해 전압은 낮지만 효율은 약간 증가됨을 알 수 있다.

표 3. 2단으로 구성된 RF-DC변환회로에 RF신호 1mW입력시 부하에 따른 출력전압의 측정값

부하[k Ω]	출력전압[V]	출력전력[mW]
5.13	1.16	0.2623
10	1.7	0.289
15.22	2.18	0.3122
17.49	2.28	0.2972

4. 결 론

본 논문에서의 Simulation 및 실험결과를 보면 Voltage Multiplier의 단수를 높일수록 높은 전압이 나올 수 있다. 그러나 회로가 커질수록 microwave 주파수대에서는 집중정수회로로 해석하기가 어려워진다. 실제로 simulation 값과 실측값에서 차이가 나고, 최대출력을 갖는 임피던스매칭회로의 stub 길이와 strip line의 길이가 상당히 차이가 있었다. 이러한 결과는 매칭회로 및 정류회로에 대한 분포정수회로로 정확한 Modeling이 되지 않았고 실제 제작시에도 반사손실을 최소화하지 못하였기에 발생한 것으로 사려된다. 그러나 고압발생기로 사용되는 Cockcroft-walton 회로가 Microwave 주파수대에서 응용됨으로서 RF-DC 변환 및 승압효과를 동시에 얻을 수가 있었다. 또한 signal generator 대신 전력 송신용으로 Array patch 안테나를 사용하고, 수신측은 Single Patch Antenna를 사용하여 수신안테나의 출력 0dbm의 위치에서 실험·측정하여 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

[참고문헌]

- [1] 김광수, 이교성, 김양모, "Passive 트랜스폰더에서의 전력변환 효율 향상을 위한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1951~1953, 1998. 7.
- [2] 丁性桂, 李德出, "高電壓工學", pp. 261-262, 文運堂, 1998.
- [3] U. Kaiser and W. Steinhagen, "A low power transponder IC for high performance identification systems" Proc. CICC 1994, pp. 14.4.1-14.4.4, May 1994.
- [4] W.C.Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves", Trans. of Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-32, No.9, Sept. 1984.
- [5] W.C.Brown, "Experiments Involving a Microwave Beam to Power and Position a Helicopter," IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, vol AES-5, no. 5, pp 692-702, Sept 1969.