

125kHz대에서 무선전력전송을 위한 전력증폭기와 송수신 Antenna 설계

Design of power amplifier and antenna for wireless power transmission in 125kHz

임 상 욱*, 김 용 상, 김 도 훈, 김 양 모

* 충남대학교 전기공학과(전화:(042)822-1998, 팩스:(042)823-7970, E-mail : swyim76@hotmail.com)

Abstract : Wireless power transmission system is one of the very interesting field not only in a technical and economical point of view but also that people are still trying to realize lossless power transmission.

This paper has a purpose on the efficient power transmission at the passive type IDcard by using wireless power transmission system.

The most difficult but important part of the passive type RF-ID system is building the system that supplies power from Reader-antenna to IDcard-antenna. To check what is the most efficient way to deliver power depending on what kind of specifications of the power-amp in reader, antenna and antenna in IDcard is for operating IDcard circuit efficiently receiving the power from reader-antenna. For this, we used 125kHz sinewave for RF signal as a basic specification, power-amp : OP-Amp for amplifying signal and AB Class push-pull power-amp for amplifying power, loop type antenna.

Keywords : RF-ID, Reader, IDcard, loop antenna, passive, power Amp

I. 서 론

과거에 우리는 전기에너지를 다른 장소로 보내기 위해서 반드시 전선이 필요하다고 생각했을 것이다. 하지만 근래에 들어 무선으로 전력을 이동시킬 수 있는 기술이 생겨나게 되었는데, 이로 인하여 전력공급을 위해서 항상 전선을 사용하여야 한다는 제약에서 벗어나 장소에 구애 받지 않고 전기를 생산하거나 공급할 수 있게 되었다.

전기적 에너지는 진폭과 주파수를 가지고 있는데 주파수가 높을수록 자유공간 사이에 에너지를 방사할 수 있는 전파(Radio Frequency)의 성질을 갖는다. 주파수가 높으면 전기적 에너지의 진동 길이 즉 파장이 짧기 때문에 빛과 같이 전파가 직진성을 가지게 되어 한곳으로 전기적 에너지를 모아 보낼 수가 있다. 이러한 원리를 이용하면 전깃줄 없이도 원하는 곳에 전력을 보낼 수 있는 Wireless Power Transmission system을 구성할 수 있다.

무선전력전송 시스템은 과거나 지금이나, 학술적으로 경제적으로 매우 관심이 높은 분야로서 저손실의 전력전송 시스템을 실현하려고 노력중인 분야이다.

본 논문에서는 125KHz 무선전력전송 시스템을 이용하여 Passive IDcard에 효과적으로 전력을 전송하는데 목적을 둔다.

Passive형 RF-ID(Radio frequency - Identification) System에서 가장 중요하면서도 구현이 어려운 분야는

IDcard에 전력을 공급하는 System으로서, Reader (전력송신/data 수신부) Antenna에서 IDcard (전력수신/data 송신부) Antenna로 효율적으로 전력을 송신하는 System이다.

Reader에서 보내는 전력을 IDcard가 받아서 회로를 효과적으로 작동시키기 위해서 Reader의 전력증폭기와 Antenna, 그리고 IDcard의 Antenna가 어떠한 형태와 환경하에서 가장 효과적으로 전력을 전달하는가를 알아내는 것이다. 이를 위해서 기본으로 주어지는 RF신호는 125KHz의 Sine Wave를 사용하였고, 전력증폭기 회로에는 신호증폭을 위한 OP-Amp와, 전력증폭을 위한 AB Class Push-Pull Power Amp를 사용하였으며, Antenna는 Loop형 안테나를 사용하였다.

II. 전력증폭기 설계

1. 증폭기의 기능과 급(class)

카세트나 CD의 입력은 수 mV이고, 안테나의 입력은 수 uV로 매우 작기 때문에 스피커나 다른 전력 장비를 구동시키기 위해서는 신호를 충분히 증폭시켜야 한다. 이때 사용하는 것이 전력증폭기이다. 증폭기는 여러 가지 급(class)으로 나누는데 그 기준은 입력받은 소신호를 출력측에 얼마만큼 왜곡없이 나타내고 얼마나 효율이 좋은가 하는 것이다.

2. 증폭기 설계시 고려사항

(1) I-V curve

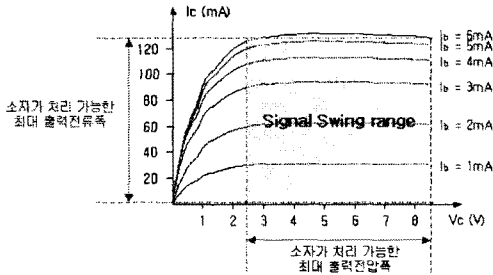


그림 1. I-V curve

증폭기에서 처리할 수 있는 신호는 그림 1에 나타난 signal swing range이다. 이 범위를 넘어가면 신호에 clamping이 생겨서 신호에 왜곡이 나타나게 된다.

(2) Transistor(Tr)의 방열

Power-Tr은 동작시에 매우 많은 열이 발생하는데 이를 방열시켜주지 않으면 Tr이 정상적인 동작을 할 수 없고, 심할 경우는 Tr이 파손될 수도 있다. 보통 Tr은 collector 단자가 metal-tab의 형태인데, 이 tab에 방열 장치를 부착하여 Tr의 방열을 돕게 된다.

(3) 입출력 임피던스의 매칭

그림 2에서 보듯이 증폭기에 사용할 Tr의 입출력 임피던스는 정해져 있는 것이 아니라 설계자가 적절히 결정해주는 것이다. 입출력 임피던스에 따라 noise gain, power 등의 특성이 변한다는 점에 주목해야 한다.

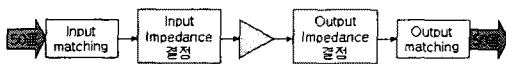


그림 2. 입출력 임피던스 매칭 개략도

그림 3에 나오는 스미스 차트에서 보듯이 3가지 특성이 가장 좋은 point는 서로 떨어져 있다. 따라서 어떤 기능을 중요시 하는가에 따라 최적의 임피던스 점을 결정하는데 보통 3가지 특성에 중간 임피던스인 50 옴으로 매칭한다.

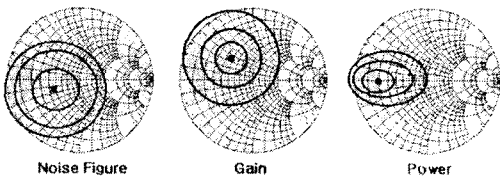


그림 3. 3가지 요소에 대한 스미스 차트

3. 증폭기 설계

효율적인 무선전력전송을 위해서는 loop antenna에 높은 전압보다는 많은 전류를 흘려주어야 한다. 그림 4의 회로도에서 OP-Amp는 입력신호의 크기를 증폭시

키기 위한 목적으로 사용된 것이며, 전류증폭 회로는 complementary 방식의 전류 버퍼이며, 다이오드는 각 Tr의 바이어스용으로 사용됐다. 출력 Tr의 최대 정격 전류가 큰 것을 사용하면 수십 ampere 이상의 대출력 전류도 얻을 수 있다.

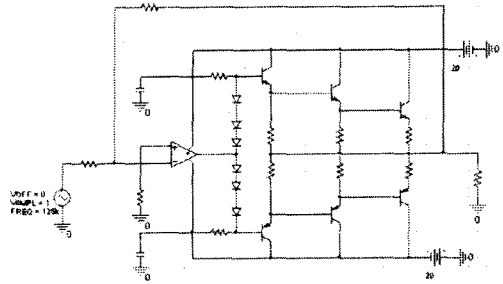
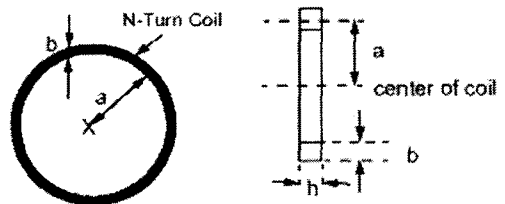


그림 4. 전력 증폭기 회로

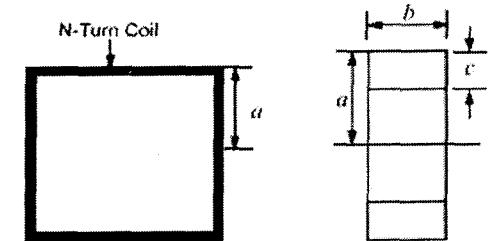
III. 송수신 antenna 설계

1. Multilayer loop antenna coil의 인덕턴스

multilayer 코일을 사용하는 것은 한정된 공간에서 큰 인덕턴스를 효율적으로 형성하기 위해서이다. multi-turn 구조의 RF-ID antenna coil은 평면적인 구조를 이룬다. 그림 5는 circular loop 구조와 square loop 구조를 보여준다.



$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a + 9h + 10b} (\mu H)$$



$$L = 0.008a^2N^2 \left(2.303 \log_{10} \left(\frac{a}{b+c} \right) + 0.2235 \frac{b+c}{a} + 0.726 \right) (\mu H)$$

그림 5. Circular and Square loop antenna coil

그림 5에 coil의 인덕턴스를 구하는 식이 기술되어 있다. 이 식은 인덕턴스와 turn수와의 관계를 나타내며

일반적으로 식에서 나온 turn수에 비해 약10%정도 더 감는다. 그 이유는 인덕턴스 값이 약간 달라질 수 있기 때문에 융통성 있는 설계를 하려고 하는 것이다.

2. Antenna coil의 모양

(1) IDcard antenna coil

IDcard antenna coil을 설계하는 방법은 상황에 따라 여러 가지가 있다. antenna coil은 125KHz에서 보편적으로 수 mH의 인덕턴스를 갖고 얇은선으로 만들어진다. 일반적으로 125KHz에서는 100번을, 13.56MHz에서는 3~5번을 감는다. 그리고 그림 6에서 보는 것과 같이 coil을 커패시터로 병렬공진을 시켜주어서 회로의 임피던스를 최대로 만든다. 그래야 회로 양단에 최대의 전압을 유지할 수 있게 된다.

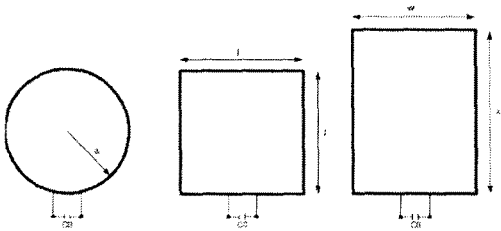


그림 6. RD ID card antenna coil의 여러 종류

(2) Reader antenna coil

Reader antenna coil의 인덕턴스는 일반적으로 저주파 사용시 수백에서 수천 uH이다. Reader antenna는 일반적으로 직렬공진회로를 형성하는 하나의 코일이나 병렬 공진회로를 형성하는 double loop antenna coil 들 중 한 가지 종류로 만들어 질 수 있다.

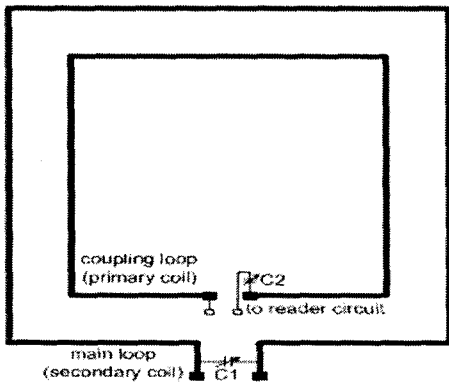


그림 7. Reader의 변한 loop antenna

직렬공진회로는 공진 주파수에서 최소의 임피던스를 가지므로 최대의 전류를 흘릴 수 있고, 병렬공진회로는 공진 주파수에서 최대의 임피던스를 가지므로 최대의 전압을 인가 할 수 있다. 따라서 직렬공진은 최대 전류를 얻고자 할 때, 병렬공진은 최대전압을 얻고자 할 때 이용한다.

그림 7은 transformer loop antenna를 보여준다. main loop는 큰 frame에 전선을 감은 coil과 공진시키기 위한 커패시터로 형성된다. 또 다른 loop(coupling loop)는 main loop보다 2~3회 작게 감아서 형성된다. 이 loop는 main loop와 가능한 가깝게 위치시킨다. 이 loop의 목적은 main loop에서 reader로 혹은 그 반대로 생성되는 신호를 더 좋은 임피던스 정합을 해주는데 있다.

Coupling loop는 reader의 입출력 임피던스를 이용해서 정합을 한다. coupling loop는 reader 회로와 연결되고 main loop는 물리적으로 reader 회로와 연결되지 않는다.

Coupling loop는 항상 동조시키지 않지만, 가끔은 동조 커패시터를 coil에 직렬로 연결한다. 왜냐하면 main loop보다 coupling loop가 적게 감겨있기 때문에 coupling loop의 인덕턴스가 작다. 결과적으로 공진을 위한 커패시턴스는 대개 크다.

3. RD-ID 장치의 read range

Read range는 reader와 card 사이의 최대 통신거리를 말한다. 일반적으로 passive형 RF-ID의 read range는 2.5cm에서 1m로, antenna의 형상에 따라 다르다. 일반적으로 RF-ID의 read range는 다음의 요인에 의해 결정된다.

- (1) antenna coil의 작동 주파수와 성능
- (2) antenna와 동조회로의 Quality
- (3) antenna의 지향 방향
- (4) 여자 전압과 전류
- (5) 수신기의 감도
- (6) 코딩과 디코딩의 방식
- (7) data bit수와 해석방식
- (8) 작동하는 환경 (주변의 금속체들, 전기적 잡음..)

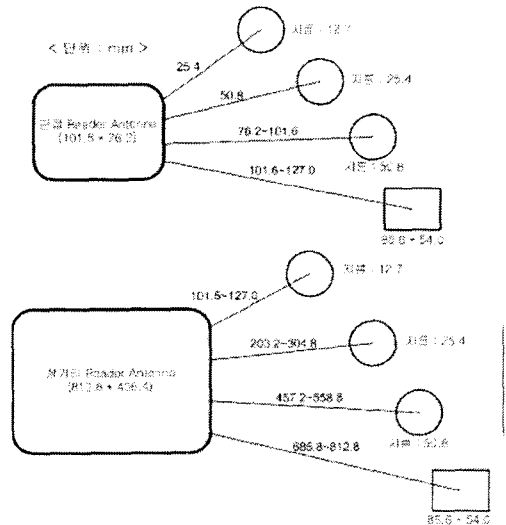


그림 8. Antenna 구조와 크기에 따른 read range

(1)~(3)는 antenna의 구조와 동조회로에 관련된다. (4)~(5)는 reader의 회로에 관련된 요소이다. (6)은 장치의 통신 프로토콜이라고 하고, (7)은 data 해석을 위한 firmware program과 관련이 있다.

대개 주어진 상황에서 작동하는 장치의 read range는 antenna coil의 성능에 크게 영향을 받는다. 즉, 더 큰 크기의 antenna가 더 먼 read range를 갖는다. 그림 8는 다양한 passive RF-ID 장치의 read range의 보편적인 예를 보여준다.

IV. 실험과 시뮬레이션

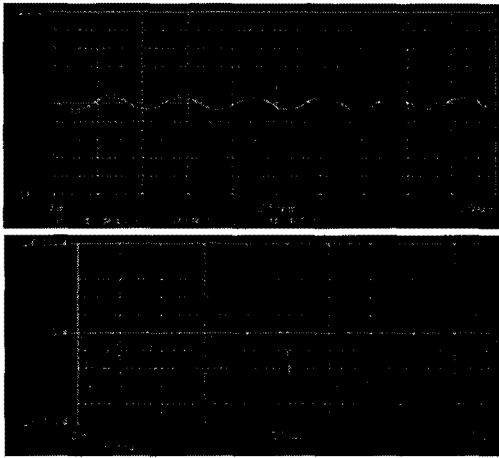


그림 9. 전력증폭기 회로의 입출력 전력

그림 4에서 제시한 회로를 시뮬레이션해서 입력측과 출력측의 전력을 보았는데, 결과를 보면 입력평균전력은 50uW, 출력평균전력은 30W로 약 60만배 증가하는 것을 볼 수 있다.

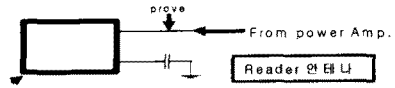
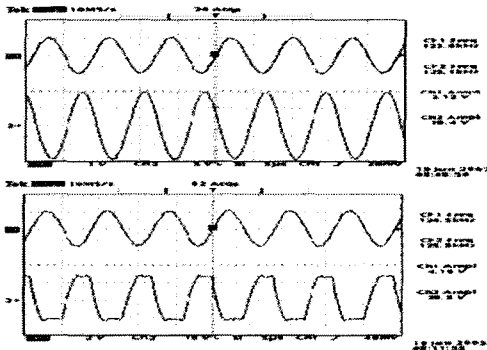


그림 10. single loop reader antenna와 측정값

그림 10은 실제로 구성된 전력증폭기에 각각 1V와 2V의 신호를 입력하고 출력된 신호를 reader antenna에 입력시켜 주었다.

V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 RF-ID 시스템에서 reader와 IDcard 사이에 무선전력전송을 위한 전력증폭기와 antenna를 설계해 보았다. 단순히 전력증폭기와 안테나라고 쉽게 생각할 수도 있는 문제이지만, 실제로 구현하기는 그렇게 만만치 않다는 걸 알 수 있다. 이번에 다룬 것은 RF-ID 시스템에서 제일 비용도 많이 들어가고 구현하기도 어려운 분야로서 RF-ID의 핵심이라고 할 수 있다. 무선전력전송이 얼마나 효과적으로 이루어지냐에 따라 passive형 RF-ID의 성능이 좌우될 수도 있다.

참고 문헌

- [1] Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers - Analysis and Design", Prentice Hall
- [2] Keith Henry, "Radio Engineering Handbook," McGraw-Hill, 1963
- [3] "MicroID 125kHz RFID System Design Guide", MicroChip Technology Inc, 1998.
- [4] Hyoung-sun Ryu, Kyeong-Rok Yang, Hyeon Kim, Yang-mo Kim, "Design of RF-ID System for the Gateless Fare Collection System", ITC-CSCC 2001, Proceedings Vol.1, pp. 514-517
- [5] Fredrick W.Grover, "Inductance Calculations", Dover publication, New York, 1946.

본 연구는 미세 정보 시스템 연구센터(MICROS)의 연구지원으로 수행되었음.