

선량계의 무선전력 전송 메카니즘과 데이터 통신 시스템 구현

논문
59-4-24

Power Transmission Mechanism and Data Communication of the Dosimeter using Contactless Powerless Transmission

이 승 민* · 정 성 인** · 이 흥 호†
(Seung-Min Lee · Sung-In Chung · Heung-Ho Lee)

Abstract - This study proposes the antenna circuit design for the transmitting wireless power, the development of the RF non-contact type Dosimeter. That is, the study designed the optimization and numerical analysis of the antenna circuit for the antenna design of 13.56MHz over the frequency bands for transmitting wireless power. We studied the needed items in the existing RF type Dosimeter with battery to implement the wireless power non-contact Dosimeter within the battery. We compared to the real measurement value as calculating the value of the inductance and capacitance through the numerical analysis for the antenna LC resonance using the theory of the electromagnetic induction method. This method to drive low power is designed to simplify the circuit and to improve the efficiency of the rectifier. We convince our research contributes not only to understand the simplified circuit and miniaturization, but also to help the design and application technology of the wireless power transmit system which is received power supply with wireless.

Key Words : Dosimeter, Battery, LC resonance, Miniaturization, Power supply, Frequency bands

1. 서 론

방사선 피폭량을 실시간으로 산출하는 전통적인 선량계 시스템은 유선 혹은 배터리 내장형 비접촉식 선량계가 개발되었다. 유선형의 선량계의 경우에는 유지 및 관리가 주기적으로 필요하며 무선 방식에 비하여 전기적 혹은 자기적 노이즈에 노출되어 신호 취득에 많은 어려움이 있다. 또한 배터리가 내장된 선량계에서는 배터리의 충전주기를 빠르게 하며 선량계의 무게가 늘어나는 단점이 있다. 더욱이 배터리를 모두 소모한 경우에는 아무 곳이나 편리하게 배터리를 충전하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라 선량계에 내장된 배터리가 주기적으로 교체해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 방사선 피폭량을 실시간으로 산출하기 위해 선량계의 무선 전력 전송 메카니즘과 데이터 통신 시스템 구현을 제시하고자 한다. 즉 전자기 유도 방식의 원리를 이용하여 방사선량을 측정하기 위해 Pin 다이오드 센서를 사용하여 적절한 정전류 값을 센서에 인가하여 방사선량을 산출할 수 있는 선량계 시스템을 설계 및 제작하였다.

본 논문에서 주안점을 둔 내용은 이미 제작된 안테나를 수치적으로 해석하여 도출된 값과 실제 측정된 값과 비교

및 분석을 수행하였으며, 리더기의 전력증폭기가 최대전력으로 안테나에 유기될 수 있도록 시뮬레이션으로 분석하였으며, 선량계가 본연의 임무를 수행하기 위한 기술적 향상을 위한 방법들을 제시하였다.

이러한 연구는 비단 배터리를 제거하여 소형화하는데 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 무전원형 비접촉 선량계의 설계 및 활용될 수 있으며, 무선으로 전력을 공급 받을 수 있는 무선전력 전송 시스템에 응용되어 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

2. 전자기 유도 방식 및 안테나의 수치적 해석

2.1 전자기 유도 방식

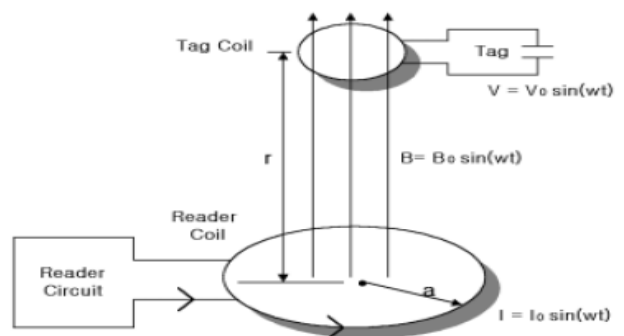


그림 1 리더기와 태그 안테나의 분구성도[6]
Fig. 1 The configuration of reader and tag antenna

* 정 회 원 : 충남대학교 사범대학 전기전자통신 공학교육과 초빙교수 · 공박

** 정 회 원 : 충남대학교 전기공학과 공박

† 교신저자, 종신회원 : 충남대학교 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : leehh@cnu.ac.kr

접수일자 : 2009년 9월 7일

최종완료 : 2010년 3월 19일

그림 1에서 보이는 바와 같이, 테그 안테나의 수평면과 리더 안테나의 수평면이 서로 마주보고 있는 상태에서 가장 큰 자장의 힘을 얻을 수 있다. 테그가 받는 유도기전력은 페리데이 법칙에 의해 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_0 = 2\pi f_0 N Q S B_0 \cos a [V] \quad (1)$$

f_0 = 도착 신호의 resonance frequency

N = 테그 코일의 감은 횟수

S = 테그 안테나의 면적

a = 도착 신호의 각도

Q = quality factor of circuit ($\frac{1 \text{ Cycle당 시스템에 저장된 Energy}}{1 \text{ Cycle당 시스템에서 방사된 Energy}}$)

$$\left(= \frac{B}{f_0} = R \sqrt{\frac{C}{L}} \right)$$

식 (1)에서 알 수 있듯이, 유도 기전력은 공진 주파수에 비례하고 코일에 감은 횟수에 비례함을 알 수 있다. 또한 유도 기전력은 시스템에서 방사된 에너지가 적을수록, 시스템에 저장된 에너지가 클수록 크다는 것도 알 수 있다.

2.2 13.56MHz 안테나의 L/C 공진을 위한 수치적 해석

안테나 설계 및 제작에 있어서 중요한 파라미터는 안테나 회로에서의 L(안테나 코일) 제작 방법, 전력 전송 주파수 13.56MHz에서의 공진을 일으키기 위한 적절한 L과 C값의 선택, 안테나 단자 상호간의 스위칭 방법이다.

본 논문에서는 L과 C 값을 MicroChip사의 Application Note을 참조하였으며[4], 전력 전송 주파수 13.56MHz에서 공진을 시키기 위해 그림 2에서 제시된 조건으로 L과 C값을 산출하였다.

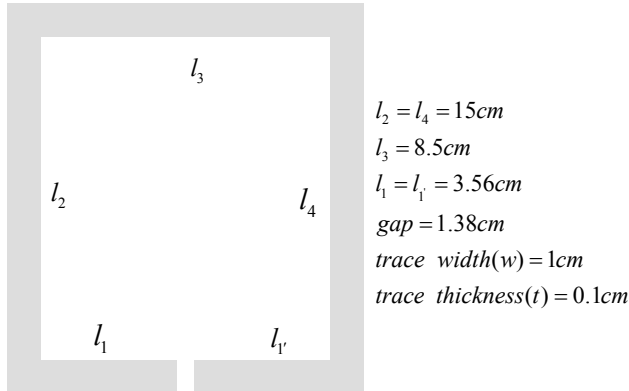


그림 2 원 턴 리더 안테나
Fig. 2 One turn reader antenna

실제로 13.56MHz을 안테나 코일에 유기하기 위해 측정된 값은 다음과 같다.

$$R_s : 1.15\Omega, \quad L_s : 331\text{nH}$$

A. 저항값 계산

식 (2)에서 알 수 있듯이, 저항은 면적에 반비례하고 길이에 비례한다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

구리의 비저항은 $1.67\mu\Omega\text{-cm}$ 이며 식 (2)을 이용하여 식 (3)으로 저항 값을 산출할 수 있다.

$$R = 1.67 \frac{45.62}{1,815.6} = 1.19\Omega \quad (3)$$

B. 커패시터 값 계산

$$\begin{aligned}
 Z(j\omega) &= r + j(X_L - X_C) \quad (\Omega) \\
 &= r + 2\pi fL + \frac{1}{2\pi fC} \\
 X_L &= 2\pi fL, \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC} \\
 L &= \frac{X_L}{2\pi f}, \quad C = \frac{1}{2\pi fX_L} \quad (4)
 \end{aligned}$$

식 (4)로부터 커패시터 값을 구하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \frac{1}{2\pi fX_L} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 13.56 \times 10^6 \times 28.229} \cong 415.992\text{pF} \quad (5)$$

C. 인덕턴스 값 계산

상호 인덕턴스는 다음과 같이 나타나며 안테나의 총 인덕턴스는 식 (6)과 같은 결과 값을 도출될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F_{2,4} &= \ln \left\{ \frac{l_2}{d_{2,4}} + \left[1 + \left(\frac{l_2}{d_{2,4}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{2,4}}{l_2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_2}{d_{2,4}} \\
 F_3 &= \ln \left\{ \frac{l_3}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_3}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_3}{d_{1,3}} \\
 F_1 &= \ln \left\{ \frac{l_1}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_1}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_1}{d_{1,3}} \\
 F_1' &= \ln \left\{ \frac{l_1'}{d_{1,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_1'}{d_{1,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1,3}}{l_1'} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_1'}{d_{1,3}} \\
 F_{1+gap} &= \ln \left\{ \frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} + \left[1 + \left(\frac{l_{1+gap}}{d_{1+gap,3}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{d_{1+gap,3}}{l_{1+gap}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{l_{1+gap}}{d_{1,3}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_T &= L_0 - M_- = L_0 - 2(M_{2,4} + M_{1,3}) \\
 &= 430.718 - 2(30.51 + 13.1402) \\
 &= 343.4176 \quad (nH) \quad (6)
 \end{aligned}$$

3. 제안된 비접촉식 RF형 선량계 설계

3.1 비접촉식 RF형 선량계

그림 3은 안테나를 포함한 선량계 모듈을 나타낸 것이다. 선량계부와 측정된 방사선량을 무선으로 송신하는 RF 신호

발생부, 무선으로 수신된 전력을 정류하는 정류 회로부로 나눌 수 있다. 선량계부는 정전류 출력에 의한 전류 스위칭부, 센서 데이터 취득부, 신호 처리부, 마이크로컨트롤러로 구분되었다.

선량계 시스템의 주요 동작을 살펴보면, 리더기가 내장된 이동 로봇이 통신거리가 확보된 선량계에 접근하게 되면, 안테나 회로를 통하여 전력이 선량계로 유기된다. 전력을 공급 받은 선량계는 정류회로를 거쳐 마이크로컨트롤러에 전원을 공급하면서 본연의 임무를 수행하게 된다.

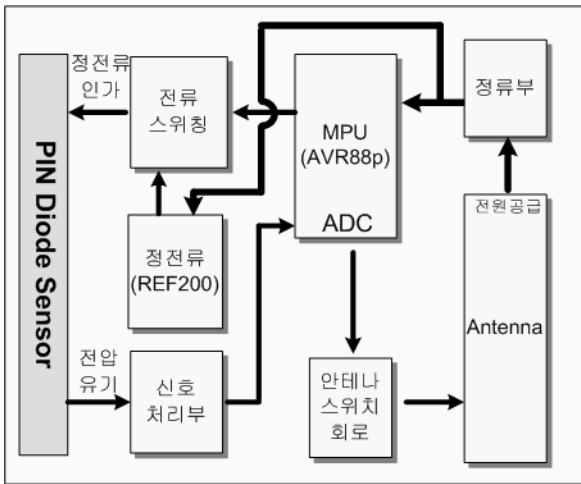


그림 3 안테나를 포함한 선량계 모듈
Fig. 3 The dosimeter module with the antenna

3.2 제안된 전력 증폭기 설계

전자기 유도 방식은 테그에 유기될 수 있도록 리더기에서 최대의 전력(전류)을 증폭하여야 한다. 무선통신의 경우 유선 통신에 비해 감쇄, 잡음, 왜곡 등이 매우 심하여 일반적으로 신호를 송신할 때에는 최대의 전력으로 증폭하여 그 신호를 수신단으로 보내야 한다.

일반적으로 외부에 릴레이 스위치를 장착하여 부동시간(Dead Time)을 설정하지만, 공진 주파수인 13.56MHz에 맞는 게이팅 드라이브(Gating Drive) 소자를 구동할 수 있는 못한다. 본 논문에서는 외부의 릴레이 스위치 대신에 마이크로 컨트롤러에서 부동시간을 100ms를 발생하여 스위치의 On/Off를 제어할 수 있도록 설계하였다.

그림 4는 본 논문에서 제안한 전력 전송용 안테나에 전류를 증폭하여 보내주기 위하여 풀브릿지 증폭기의 회로도도 나타낸 것이며, MOSFET 4개를 구성하였으며, 게이트 입력 신호는 마이크로컨트롤러에서 나오는 신호를 각 MOSFET에 입력으로 사용하도록 설계하였다.

3.3 선량계 시스템의 저전력화를 위한 최적화된 설계

선량계 시스템은 실시간으로 산출된 피폭된 방사선량을 리더기로 그 정보를 전송하기 위해 저전력화가 되어야 한다. 선량계 시스템이 저전력화를 위한 근본 이유는 배터리를 내장하고 있지 않기 때문이며, 선량계를 구동하기 위한

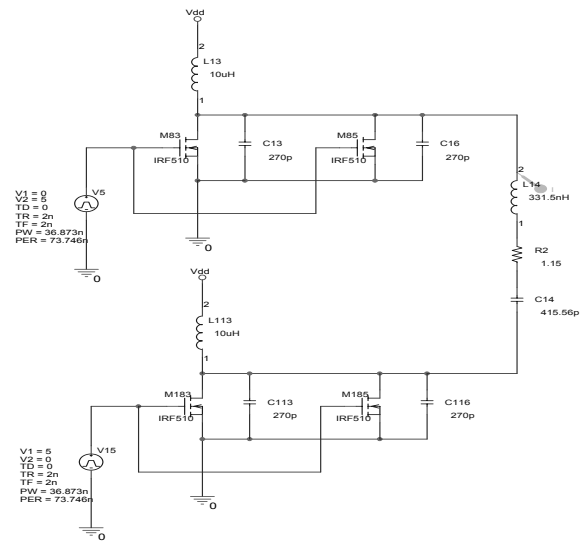


그림 4 제안된 풀브릿지 전력 증폭기 회로도
Fig. 4 Proposed full bridge power amplifier circuit

전력이 일정 기준 이상으로 높으면, 리더기로부터 많은 전력이 선량계로 유기되어야 하기 때문이다.

저전력 구동을 위한 기준 값은 리더기에서 선량계의 송신 전력은 3W이상이며, 그 때의 효율은 30%이상이다. 또한 선량계에서는 전력 공급은 5V로서 정상 상태에서의 소비전력은 150mA이며 본 연구에서는 선량계에서의 전체 소비전력은 40mA로 측정되었다.

A. 마이크로컨트롤러의 저 클럭 구동

선량계부에 공급되는 제한된 전원과 주파수를 연동하여 조절함으로써 에너지 소모량을 최소화하기 위한 저전력 구동 방법으로서, 마이크로컨트롤러(ATmega88p)의 동작 클럭을 낮춤으로써 소모전력의 최소화를 구현할 수 있다. 전통적인 방법은 선량계에서 동작하는 주파수가 수십 MHz를 사용하였으나, 본 논문에서는 수백 kHz의 비교적 낮은 주파수를 사용하여 소모전력의 최소화로 구동하는 방법을 적용하였다.

시스템이 동작하는 동안 소모되는 에너지를 수식으로 표현하면 식 (7)과 같다.

$$P = C_{eff} V_{dd}^2 f \quad (7)$$

여기서 C_{eff} 는 회로의 커패시턴스 부하성분, V_{dd} 는 공급 전압, f 는 회로의 동작 주파수를 의미한다.

식 (7)에서 알 수 있는 바와 같이, 주파수를 낮춤으로써 소모 전력을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 빠른 처리를 요구하지 않는 선량계에서 탑재된 마이크로컨트롤러의 기본 동작 클럭을 낮추어 전체 소모 전력을 줄일 수 있도록 구현하였다. 또한 대기 모드 상태에서는 아이들 모드(Idle Mode)로 설정하여 저전력 구동을 실현하였다.

B. 정류기 효율의 향상

전통적으로 사용된 풀 브릿지 다이오드 대신에 보다 안정

적인 직류 전압을 공급할 수 있는 NMOS 게이트 교차연결 전류 미러형 브리지 정류기로 대체하였다.[8]

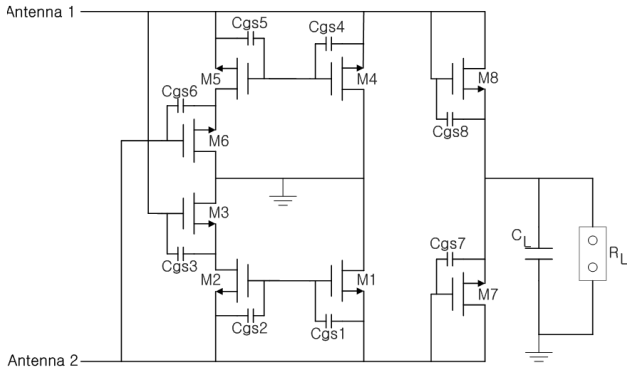


그림 5 적용된 NMOS 게이트 교차연결 전류미러형 브리지 정류기
Fig. 5 Proposed NMOS Gate cross-connected current-mirror type bridge rectifier

적용된 교차 연결 전류 미러형 브리지 정류기는 주파수 증가에 따른 게이트 누설전류를 효과적으로 줄일 수 있으며, 고주파 영역에서 게이트 누설전류가 1/4이하로 감소하고, 부하저항에서의 소비전력도 30% 이상 감소하며, 부하저항의 변화에 대해 보다 안정적인 직류 전압을 공급할 수 있는 특징이 있다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 안테나의 수치적 해석 분석

안테나의 L/C 매칭에 대한 실제로 측정된 값은 331.6nH이며, 이론적 수치적 계산에 의한 도출된 값은 343.4176nH였다. 이러한 오차는 안테나를 제작하는 과정에서 나타나는 오차로 판단되며 이론적 수치 값과 실제적인 수치 값이 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

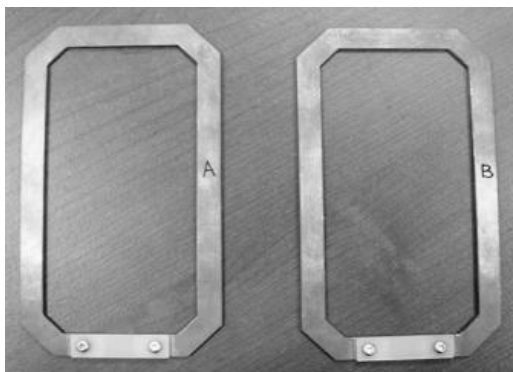


그림 6 제작된 보드 형태의 안테나
Fig. 6 Manufactured board type antenna

본 실험을 위해 판형 및 직사각형 안테나를 제작하였으며 그 외형은 그림 6과 같다. 또한 안테나의 L값은 판형 안테나의 13.56MHz에서 L=331.5nH의 값을 가지며, 안테나를 회

로에 적용할 때 안테나가 회로와 연결되는 종단부분은 트위스트로 처리하여야 주파수에 따른 안테나 특성 등에 도움을 줄 수 있다.

제작된 안테나의 주파수 특성을 관찰하기 위하여 설계된 2개의 안테나 중에서 판형 A 안테나의 주파수에 따른 Ls 값의 변화를 LCR 미터 측정기를 이용하여 13.56MHz를 중심 주파수로 하여 관측한 결과는 그림 7과 같으며, 13.56MHz에서 Ls는 331.5nH 값을 가졌고, 주변 주파수에서 다. 따라서 설계 제작된 안테나는 13.56MHz의 주파수에서 사용 가능하다.

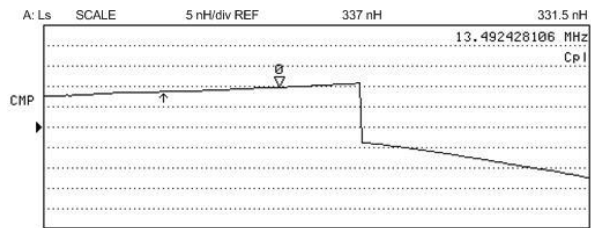


그림 7 13.56MHz에서 보드 형태의 안테나 Ls 값
Fig. 7 The antenna Ls value of the board type at 13.56MHz

4.2 전력 증폭기에 대한 시뮬레이션 결과

그림 8은 제안한 풀 브릿지 전력 증폭기에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 8의 시뮬레이션 결과를 보면 기존의 전통적인 전력 증폭기보다 매우 안정적으로 전류가 증폭되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 최대 약 ±2A까지 전류가 안테나에 흐르는 것을 알 수 있다. 전통적인 전력 증폭기 보다 약 2배 정도 높은 전류를 안테나에 보낼 수 있으며 본 논문에서 전력 증폭기로 사용함에 문제가 없는 것으로 확인하였다.

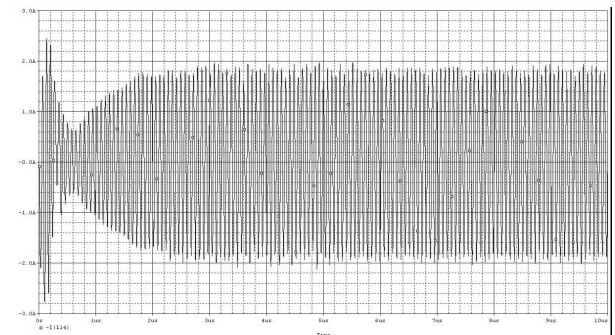


그림 8 제안한 풀 브릿지 전력 증폭기에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation result on the proposed full bridge power amplifier

4.3 선량계의 저전력화를 위한 최적화된 실험 결과

선량계를 구동하기 위한 설정 기준은 공급전압이 5V이며 전류소모량이 150mA로서, 총 전력이 750mW이다. 본 연구에서 측정된 전류 값은 40mA이며, 총 전력이 200mW로 저전력화를 위해 기술적으로 개선하였다.

4.4 정류기 효율의 측정

제안된 교차연결 전류미러형 브릿지 정류기의 효율을 측정하기 위해서는 부하저항을 1KΩ로 고정된 상태에서 주파수를 1MHz ~ 100MHz까지 가변 하였을 때, 입력 전력에 대한 출력전력을 측정하여 주파수에 대한 정류효율을 살펴 보았으며, 그 결과는 그림 9와 같다.

또한, 실제로 사용될 전력송신 주파수인 13.56MHz로 주파수를 고정된 상태에서 부하저항을 100Ω ~ 10KΩ까지 가변하며 부하저항에 따른 정류기 효율을 측정한 결과는 그림 10과 같다.

주파수 및 부하저항이 증가함에 따라 주파수 50MHz, 부하저항 5KΩ을 기점으로 다소 급속한 효율의 감소가 발생됨을 알 수 있었다.

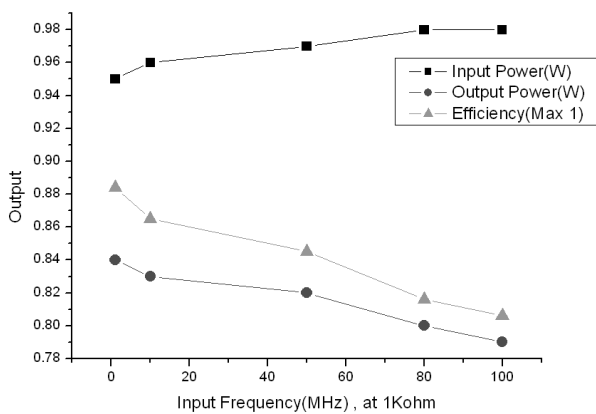


그림 9 부하저항 1KΩ에서 주파수별 정류기 효율
Fig. 9 Efficiency in frequency rectifiers

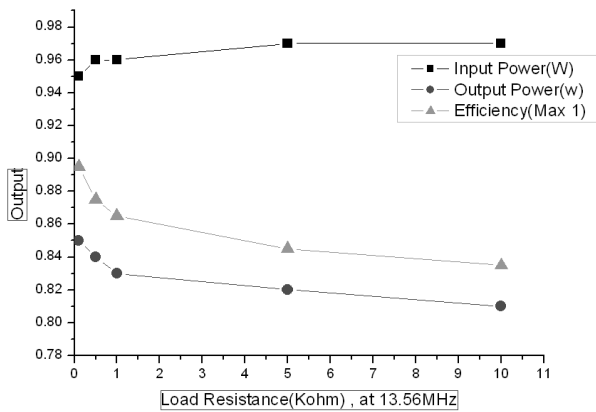


그림 10 주파수 13.56MHz에서 부하저항별 정류기 효율
Fig. 10 Rectifier efficiency due to load resistance

5. 결 론

본 논문은 안테나를 수치적으로 해석하여 실제 측정된 값과 비교 및 분석을 하였으며, 데이터 통신을 위한 리더기의 최대 전력 증폭기 설계 및 저전력화를 위한 기술적 개선 방안을 제시하였다.

안테나 설계의 경우 안테나 회로의 최적화 및 수치적 해

석을 통해 안테나 LC공진을 위한 실제 측정치 값은 331.6nH 였으며, 수치적 해석을 통한 값은 343.417nH 였다. 이론적 수치와의 오차는 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 전력 증폭기는 전통적인 설계치보다 2배 정도 높은 전류를 안테나로 유기될 수 있음을 검증하였다. 선량계의 저전력화를 위한 최적화 설계에서는 3.5배의 전력을 줄일 수 있음도 확인하였다.

본 연구는 배터리를 제거하여 소형화하는데 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 무전원형 비접촉 선량계의 설계 및 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Antenna Circuit Design for RFID Application, Microchip Technology Inc.
- [2] HA Antenna Design Notes Technical Application report, 11-08-26-003, Texas Instruments
- [3] Constructing a 1000x600 HF Antenna Technical Application Report, 11-08-26-007, Texas Instruments
- [4] MicroChip Technology Inc, "MicroID 13.56MHz Design Guide, 2001.
- [5] 김효정, "원자력 과학기술 발전사", 대한기계학회, 기계저널, 제44권, 제2호, pp. 60-65, 2004.
- [6] 강대규, 이광만, "MOSFET 선량계를 이용한 In-vivo 선량의 확인" 한국센서학회, 한국센서학회지, 15권, 2호, pp. 102-105, 2006.
- [7] 이홍호, 이승민, "RF 방식의 실시간 선량계 구현", 대한공업학회, 대한공업교육학회지, 제33권, 제2호, pp. 325-333, 2008.
- [8] 박광민, "UHF RFID 응용을 위한 NMOS 게이트 교차연결 전류미러형 브릿지 정류기의 설계 및 해석", 대한전자공학회, 전자공학회논문지-SD 電子工學 會論文誌 第45卷 SD編 第6號, pp. 10-15, 2009.

저 자 소 개



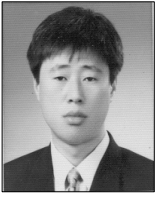
이 승 민 (李 承 珮)

2000년 충남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 2007~2009년 한국원자력연구원 연구원. 2009년~ 현재 충남대학교 사범대학 전기전자통신공학과 육과 초빙교수

Tel : 042-821-8578

Fax : 042-821-8886

E-mail : zbus@cnu.ac.kr



정성인 (鄭盛仁)

2010년 충남대학교 대학원 전기공학과
(박사). 1992년~2008년 한국과학기술원
인공위성 연구센터 선임연구원

Tel : 042-821-7605

Fax : 042-821-8895

E-mail : sichung6@hanmail.net



이흥호 (李興浩)

1973년 서울대 공업교육과(전기전공) 졸업.
1977년 동 대학원 공업교육과 졸업
(석사). 1994년 동 대학원 컴퓨터공학과
졸업(박사). 1979년 ~ 현재 충남대학교
전기공학과 교수.

Tel : 042-821-5656

Fax : 042-821-8895

E-mail : hhlee@cnu.ac.kr