
인체감지 센서용 저 잡음 10GHz대역 송수신기 설계

채규수*

A low-noise transceiver design for 10GHz band motion sensor

Gyoo-Soo Chae*

요 약 본 논문에서는 X-band 대역용 인체감지센서에 적용될 저 잡음 송수신기 설계 방법을 제안 하였다. 제안된 송수신기에는 기존 송수신기의 출력 신호가 수신 단으로 유입되는 것을 줄이기 위한 회로가 추가되었다. 잡음 제거회로는 분배기와 90°위상 천이기를 포함하는 Hittite HMC908LC5(I/Q down converter)가 사용되었다. 송수신기 회로와 안테나는 CST MWS를 사용하여 시뮬레이션 하였고 FR-4 기판($h=1.0\text{mm}$, $\epsilon_r=4.4$)을 사용하여 제작하였다. 설계된 안테나의 특성이 인체감지용 센서에 사용되기에 적합하며 제안된 송수신기와 기존에 사용되고 있는 송수신기의 출력 특성을 비교 한 결과 동등한 특성을 얻었다.

주제어 : 저 잡음, 감지센서, X-대역 송수신기, 송신전력 누설, X-대역 안테나

Abstract In this study, we propose a low-noise transceiver for 10GHz motion sensor. The transceiver presented here has a circuit(Hittite HMC908LC5) that is composed of a two way-0° power splitter(the 1:2 block) and a 90° Hybrid. The noise reduction circuit utilizes an LNA followed by an image reject mixer which is driven by an LO buffer amplifier. A modeling and analysis have been pursued using CST MWS. A prototype sensor was manufactured to measure the performance and experimental results show that the proposed sensor is good enough to use for a accurate motion sensor.

Key Words : Low-noise, Motion sensor, X-band transceiver, Tx leakage, X-band antenna

1. 서론

통신기술의 발달과 함께 레이더 기술이 군사용 뿐 아니라 상용으로 사용되는 응용 제품에 대한 관심이 증가하고 있다. 최근에는 차량 충돌 방지, 인체 감지, 경비 시스템, 로봇 센서 등의 용도로 많이 개발되고 있다. 특히 미래형 자동차의 핵심 부품인 차량 충돌방지 시스템과 절전형 전원제어 장치에 사용되는 인체 감지용 모션센서에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에 세계적인 지구온난화와 환경문제가 인류의 공동 해결과제로 급부상 하고 있고 기후변화에 대응하기위한 국제적인 공조 노력들이 관련 국제기구를 중심으로 활발하게 진행 되고 있고 에너지를 효율적으로 사용하는 노력과 새로운 에너지원을 찾는 두 부분으로 구분 할 수 있다. 새로운 에너

지원을 찾는 것은 중장기적인 연구개발이 필요 하지만 기존 제품을 에너지 절감형으로 대체하는 기술은 단기적인 결과를 얻을 수 있고 우리나라가 선점하면 효과적인 투자가 될 것으로 생각된다.

본 논문에서는 이러한 세계적인 에너지 절감에 대한 관심에 부응하기위해 정부에서 권장하고 있는 에너지 절감용 시스템 구축에 사용되는 실내 전등의 효율적인 관리 장치에 사용되는 센서에 적용되는 저 잡음 X-밴드 (10GHz)용 송수신기를 설계하고자 한다. 현재 사용되는 절전 센서는 적외선 검출 방식을 사용하고 있다.

적외선 방식은 검출방식과 가격 면에서 많은 장점을 가지고 있으나 장애물을 통과하지 못하는 한계 때문에 여러 가지 문제를 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 고주파방식을 사용하는 절전 센서 개발이 이루어

*백석대학교 정보통신학부 교수

논문접수: 2012년 10월 22일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 20일

졌으나 국내에서는 자체 제작된 제품이 출시되지 않고 있다. 절전 센서를 만들기 위해서 먼저 레이더 기술이 적용된 고주파 송수신기 제작이 필요하고 정확한 인체 감지를 위해 기존에 사용되고 있는 송수신기의 특성을 개선하는 노력이 필요하다.

본 논문에서 X-밴드용 인체감지 센서에 적용 가능한 저 잡음 송수신기와 송수신 패치 어레이 안테나를 설계한 결과를 제시하였다. 먼저 시뮬레이션 툴을 사용하여 특성을 분석 하였고 송수신기가 제작 되었다. 제작된 송수신기와 안테나의 특성이 측정 되었고 양호한 결과를 얻었다.

2. 본론

2.1 고주파 송수신 회로 설계

인체감지나 정밀 관성항법 장치에 사용되는 고주파 센서에 대한 연구가 다양하게 소개되었다[4-7]. 일반적으로 사용되는 고주파센서는 그림 1과 같이 안테나, RF 송수신 회로, 신호처리 회로 등으로 구성된다. 고주파 센서는 10GHz, 24GHz, 76GHz 대역의 3종류가 주로 사용되고 있다. 최근에는 자동차용 센서로 79GHz 대역의 제품에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 10GHz 대역에서 사용되는 CW(Continuous Wave) 레이더 센서를 설계하였다. 그림 2에서 널리 사용되고 있는 CW 고주파 센서의 구성도가 나타나 있다. 발진기(Oscillator)에서 생성된 신호가 증폭되어 분배기(Divider)를 통해 송신 안테나와 혼합기(Mixer)로 전달된다. 송신 안테나를 통해 방사된 신호는 감지대상 물체 표면에서 반사되어 수신 안테나로 들어오게 된다. 송신신호($S_t(t)$)는 식 (1)과 같이 표시된다. 여기서 $A_t(t)$ 는 신호의 크기, $\theta_t(t)$ 는 신호의 위상이다. 수신안테나로 들어오는 수신신호($S_r(t)$)는 식 (2)와 같이 표현되고, $A_r(t-\tau)$ 는 수신신호의 크기, $\theta_r(t-\tau)$ 는 수신신호의 위상, τ 는 신호가 물체에 반사되어 수신 안테나로 돌아오는 시간 지연이다. 그리고 혼합기에서 혼합된 신호는 식 (1), (2)의 곱으로 표현 할 수 있다.

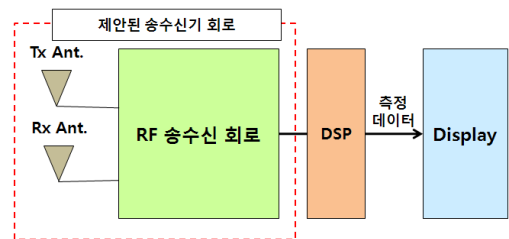
$A_m(t-\tau)$ 는 혼합된 신호의 크기, $\theta_d(t) - \theta_t(t-\tau) - \phi_0$ 는 혼합된 신호의 위상, $U_d(t)$ 는 송신기에서 누설된 신호의 크기, A_t 은 누설 신호의 이득, $\theta_d(t)$ 는 누설신호의 위상이다.

$$S_t(t) = A_t(t) \cos(\theta_t(t)) \tag{1}$$

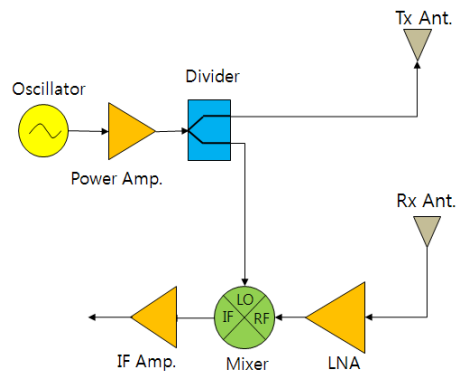
$$S_r(t) = A_r(t-\tau) \cos(\theta_r(t-\tau) + \phi_0) \tag{2}$$

$$S_m(t) = A_m(t, \tau) \cos(\theta_d(t) - \theta_r(t-\tau) - \phi_0) + A_t U_d(t) \tag{3}$$

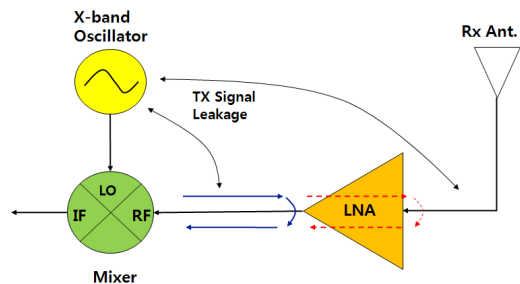
그림 3에서는 송신기로부터 누설된 신호가 수신기에 서 들어오는 신호에 어떻게 영향을 주고 있는지 보여주고 있다. 누설신호는 혼합기를 지나 저잡음증폭기(LNA) 단에서 반사되는 성분이 있고 일부는 저잡음증폭기를 지나 안테나 급전부에서 반사되기도 한다. 이렇게 되면 수신안테나를 통해 수신된 신호에 누설 신호가 더해져서 센서의 정확도가 떨어지게 된다.



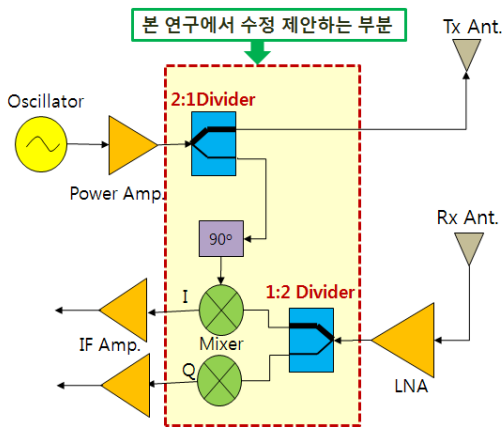
[그림 1] 고주파 센서 구성도



[그림 2] 일반 고주파 센서 구성도



[그림 3] 누설신호의 영향



[그림 4] 제안된 저 잡음 고주파 센서

본 논문에서는 이러한 누설신호의 영향을 줄이기 위한 소자(Hittite HMC908LC5)를 사용하였다. 이 소자의 내부 구조는 그림 4에 자세하게 나타나 있다. 먼저 송신 신호 누설을 줄이기 위해 송신부의 전력 분배기의 구조를 변경하였다. 기존 분배기는 1:1 분배이나 2:1 분배구조로 변경하였다. 이렇게 하면 혼합기로 가는 전력을 줄일 수 있어 누설신호의 영향을 줄일 수 있다. 그리고 송신기 쪽의 분배기와 혼합기 사이에 위상천이기(phase-shift)를 추가하여 혼합기의 오프셋(off-set) 전압이 최소화 될 수 있도록 하였다. 송수신 안테나 사이에 $\lambda/4$ 슬롯(slot)을 추가하여 안테나간의 상호간섭(mutual-coupling)을 감소시키는 기술이 적용되었다. 마지막으로 수신신호를 I, Q 신호로 분리하여 더욱 정밀한 위치정보 수집이 가능한 기술도 적용되었다.

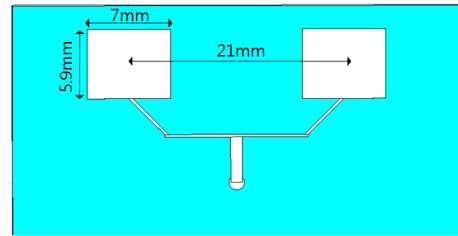
2.2 송수신 안테나 설계

절전용 시스템에 사용되는 다양한 패치 안테나가 소개 되었고 이미 상용제품에 적용되어 출시되었다. 그러나 기본적인 배열 안테나 이론이 적용되지 않은 안테나들이 대부분이라 전체 송수신기 개발의 국산화와 더불어 안테나를 새롭게 설계 할 필요성이 제기 되었다.

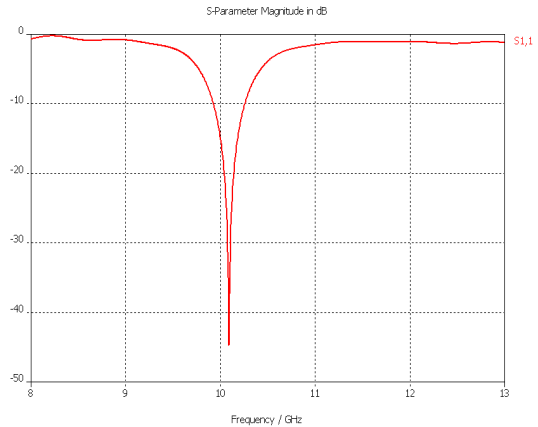
본 논문에서는 절전센서 시스템의 RF 송·수신 안테나를 1x2배열 안테나로 설계하였다. 안테나는 그림 5에서와 같이 일반적인 어레이 안테나 구조로 설계되었다. 패치의 크기는 일반적인 구형 패치 설계방법에 따라 설계 하였으며 급전은 급전라인 방식으로 설계하였다[6-8].

안테나 구조에서 급전라인을 0.2mm로 정했는데, 제안된 구형 안테나의 입력 임피던스와 제작상의 치수 한계

를 고려하여 0.2mm(110Ω)로 결정 하였다. 실제 상용으로 판매된 몇 가지 안테나의 설계에서는 안테나의 입력임피던스를 고려하지 않고 급전라인을 설계한 경우가 대부분이었다. 안테나의 입력임피던스와 급전라인의 임피던스를 고려하여 급전라인을 0.2mm(125Ω)로 결정 하였다.

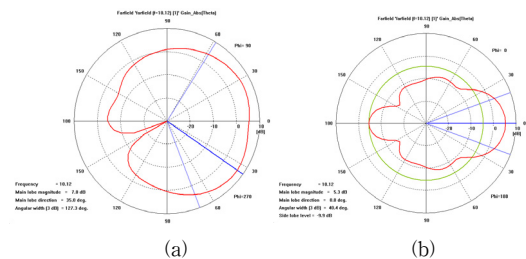


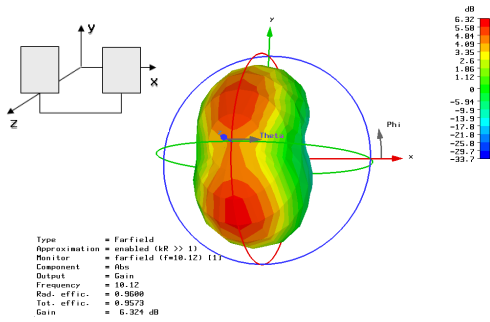
[그림 5] 안테나 시뮬레이션 모델



[그림 6] 시뮬레이션 반사손실

본 논문에서 제안하는 안테나는 구형패치 안테나의 설계방법은 일반적인 방법을 사용하였으나 급전 라인 설계에서는 안테나 특성을 보다 효과적으로 설계하였다.



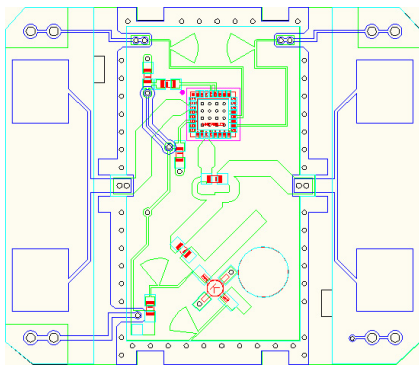


(c)
[그림 7] 시뮬레이션 방사패턴
 (a) 2-D y-z plane, (b) 2-D x-z plane,
 (c) 3D pattern

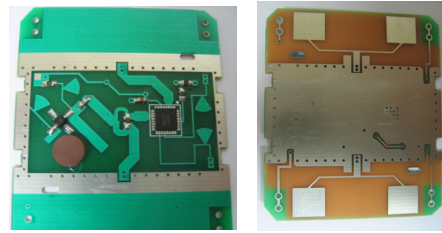
배열 안테나의 방사 특성을 고려하여 안테나 간의 이격거리는 중심주파수(@10.12GHz)의 반 파장 길이(~17mm)로 정하였다. CST MWS를 사용하여 시뮬레이션한 방사손실 특성이 그림 6에 나타나 있다. 안테나의 이격거리가 정확히 중심주파수의 반 파장(~15mm) 길이보다 약간 길게 조정하여 특성을 최대로 설계하였으며 대역폭은 약 4%(VSWR≤2) 정도로 예상되었다. 그리고 2차원, 3차원 시뮬레이션 방사패턴이 그림 7에 나타나 있다. 안테나 이득은 약 6.3dBi 정도이고 빔 폭은 수직면(y-z)에서 약 60°이고 수평면(x-z)에서 15°로 안테나의 감지센서에서 사용하기에 적합한 것으로 예상되었다.

2.3 송수신기 설계 및 측정

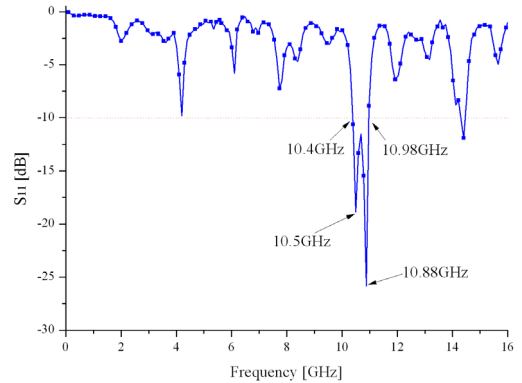
시뮬레이션 결과에 따라 실제 절전센서 회로기판(RO-4003)에 안테나가 제작 되었고 제작된 안테나의 모양이 그림 8에 나타나 있다.



[그림 8] 10GHz 대역 고주파센서 설계도면
 (RO-4003기판, h=0.5mm, εr=3.38)



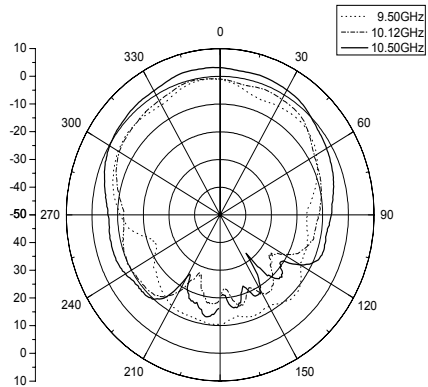
[그림 9] 제작된 레이더 센서 송수신회로
 (a) 고주파 회로부 (b) 패치 안테나 부



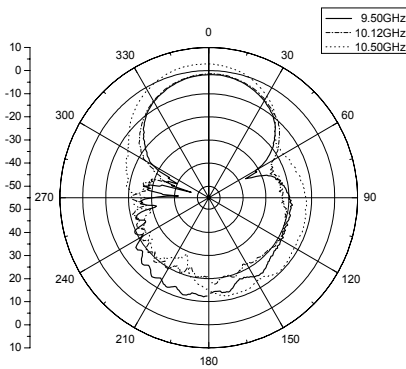
[그림 10] 안테나 반사손실 측정 결과

2.2 고주파 송수신기 측정 결과

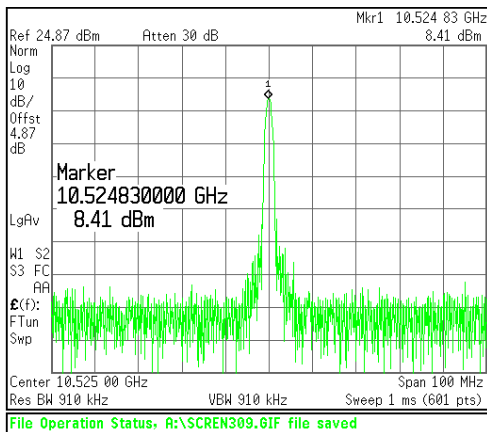
그림 9에서는 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과가 나타나 있다. 안테나의 중심 주파수가 10.5GHz 정도로 설계한 중심 주파수와 거의 유사한 특성을 보였다. 대역폭(600MHz, SWR≤2.5)은 충분히 확보 되고 있음을 알 수 있다. 그림 10에서는 제작된 안테나의 방사특성이 나타나 있다.



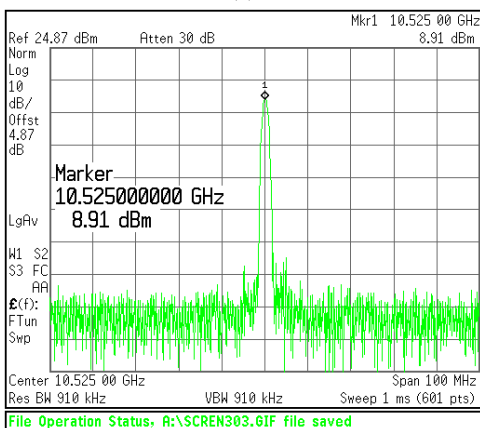
(a)



(b)
[그림 11] 안테나 방사패턴 측정 결과
 (a) y-z plane, (b) x-z plane



(a)



(b)

[그림 12] 측정된 송신기 출력 파형
 (a) 일반 송수신기, (b) 잡음제거 회로 포함된 회로

3. 결론

밀리미터파 레이더 기술은 위험 감지 및 상황 인식 센서(Sensor)를 사용하여 여러 가지 종류의 충돌 경보 및 에어백 조기팽창, 차선 변경, 자동 가감속 등 주행 상황에 맞는 능동 대처를 하여 안전하고 편리한 운행을 추구하는 미래 지능형 자동차 산업의 핵심 기술이다.

본 논문에서는 절전 시스템용 X-밴드 대역 마이크로 스트립 구형패치 배열 안테나의 설계 방법을 제안 하였다. 안테나 구성은 송수신안테나가 각각 1x2배열로 구성 되었으며, 안테나의 이득은 4dBi 이상이며 대역폭은 약 7%(VSWR \leq 2)로 설계되었다. 그리고 안테나의 급전라인을 기존에 제시된 안테나보다 효율적인 방법으로 설계 하여 이득과 대역폭을 충분히 확보 하였다. 제안된 안테나는 1x2배열이지만 향후 더 세밀한 탐지센서에 사용되기 위해서는 더 많은 수의 배열을 사용한 안테나가 설계 되어야 한다.

참고 문헌

- [1] S. Pruvost, L. Moquillon, E. Imbs, M. Marchetti, P. Garcia, "Low Noise Low Cost Rx Solutions for Pulsed 24GHz Automotive Radar Sensors," *Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, 2007 IEEE*, pp. 387-390, 2007.
- [2] Choul-Young Kim, Jeong-Geun Kim, Song-Cheol Hong "A Quadrature Radar Topology With Tx Leakage Canceller for 24-GHz Radar Applications," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 55, no. 7, pp. 1438-1444, 2007.
- [3] Choul-Young Kim et. al., "Tx Leakage Canceller for 24 GHz and 77 GHz Vehicular Radar Applications," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 2006*, pp. 1402-1405, 2006.
- [4] C. Zhou, J. Downey, D. Stancil, and T. Mukherjee, "A Low-Power Shoe-Embedded Radar for Aiding Pedestrian Inertial Navigation," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech*, vol. 58, no. 10, pp. 2521-2528, Oct. 2010.
- [5] P. H. Lien, L. Lin, and H. R. Chuan, "Computer simulation of the RF system effects on a

- millimeter-wave Doppler radar for human vital-signal estimation,” *European Radar Conf. Dig.*, pp. 465 - 468, Sep. 2009,
- [6] Heidari, A. A., Simrooni, M., Nakhkash, M., “Analysis and Design of an X-Band Microstrip Patch Array Antenna for ESM Application,” *ICEAA 2007*, pp. 559-562, Sep. 2007.
- [7] R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, vol. 1 & 2, IEEE-Series, Peter Peregrinus Ltd., 1989.
- [8] Garg, Ramesh, *Microstrip antenna design handbook*, Artech House, 2001.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna theory*, 3rd edition, Wiley, 2005.

채 규 수



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : Virginia Tech 전기공학과(공학박사)

- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile, RF manager
- 2003년 2월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수
- 관심분야 : 초고주파 소자, 안테나
- E-Mail : gschae@bu.ac.kr