

주파수 가변형 헤어핀공진기를 이용한 동작감지용 도플러 레이더센서의 제작 및 설계

김은수* · 김규철**

Design and Fabrication of A Doppler Radar for Motion Detector Using
Frequency Tunable Hairpin Resonator

Eun-Su Kim* · Gue-Chol Kim**

요 약

주파수 가변형 헤어핀공진기를 이용하여 동작감지용 x-band 레이더를 설계하였다. 제안한 도플러 레이더센서는 바랙터 다이오드를 이용한 헤어핀 공진기를 발진기에 적용하여 발진주파수를 가변할 수 있으며 송수신 겸용 안테나를 이용해서 하나의 안테나로 신호를 송신하고 수신함으로써 사이즈도 줄일 수 있다. 제작된 도플러 레이더센서는 30×24mm로 제작되었고, 측정결과 10.52GHz에서 발진하였으며, 물체의 속도에 따라 펄스폭의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 측정된 결과를 이용하여 동작감지용 레이더로 충분히 활용 가능성을 확인하였다.

ABSTRACT

We designed an x-band radar for motion detector using a frequency tunable hairpin ring resonator. The proposed doppler radar sensor can vary the oscillation frequency by applying a hairpin resonator using a varactor diode to the oscillator, and this can also reduce the size by transmitting and receiving a signal from Tx/Rx dual antenna. The fabricated doppler radar sensor was fabricated in 30×24mm, and it was confirmed that the pulse width difference occurred according to the distance from the object. The measurement results showed oscillation at 10.525GHz. We confirmed that it is enough to use as radar for motion detection from the measured results.

키워드

Doppler Radar, X-Band, Antenna, Motion Detector
도플러 레이더, X-밴드, 안테나, 동작 감지

1. 서 론

도플러 레이더는 목표물의 탐지 및 위치, 속도측정을 위해 널리 사용되고 있으며 동작감지를 위해서는

직진성이 좋은 X-band를 많이 사용하고 있다. 또한 도플러 레이더센서를 이용해 심장의 호흡의 속도와 검출이 가능하며 맥박수를 측정하는 등 동작감지뿐만 아니라 원격진료 등에도 사용가능하다[1-2]. 도플러레

* 목포해양대학교 해양전자통신컴퓨터공학과
gckim@mmu.ac.kr

** 교신저자 : 목포해양대학교 해양전자통신컴퓨터공학과

• 접수일 : 2018. 09. 03
• 수정완료일 : 2018. 09. 24
• 게재확정일 : 2018. 10. 15

• Received : Sep. 03, 2018, Revised : Sep. 24, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018

• Corresponding Author : Gue-Chol Kim

Department of Marine Electronic, Communication and Computer Engineering,
Mokpo Maritime University.

Email : gckim@mmu.ac.kr

이더는 안테나와 발진기, 주파수 제어부, IF출력부 등으로 구성되어있다. 이중 시스템의 성능을 좌우하는 것은 발진기와 안테나 등으로 구성되어 있는 고주파 회로이다. 여기서 발진기는 안정적인 주파수를 발진시키는 것 뿐 아니라 저잡음으로 동작하여야 하는데 발진기 설계 시 가장 큰 영향을 끼치는 것이 공진기의 특성이다[3-5] 공진기는 위상잡음 특성에 밀접한 영향을 미치기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔고 특히 공진기의 Q-factor에 의해서 발진기의 잡음특성이 결정된다. 따라서 보다 높은 Q-factor를 가지기 위해 유전체공진기가 폭넓게 사용되어 왔으나, 특유의 입체적인 구조로 인하여 집적화가 어렵고 회로의 사이즈나 가격 면에서 불리하다는 단점이 있어 집적화가 가능하고 소형으로 제작이 가능한 헤어핀 공진기가 많이 사용되고 있다[6-7]. 하지만 유전체 공진기에 비해 발진주파수가 안정적으로 발진할 수 없다는 단점이 있기 때문에 본 논문에서는 바랙터 다이오드를 헤어핀 공진기에 연결하여 주파수를 가변할 수 있는 공진기를 설계하고 도플러 레이더센서에 적용하였다.

그리고 X-band용 안테나는 일반적으로 접시형 안테나가 이득이 높지만 무게와 부피가 작고 소자의 집적화와 제작이 간편한 마이크로스트립 안테나가 많이 이용되고 있다[8-10]. 제안된 도플러 레이더센서는 두 개의 패치를 배열한 마이크로스트립 안테나를 이용하여 X-band에서 작동하는 레이더를 설계하였으며 소형으로 제작하기 위해 안테나의 기판에 발진기와 전원부 등을 삽입하였다. 설계된 도플러 레이더센서를 측정하여 10.525GHz에서 동작하는 것을 확인하고 물체의 속도에 따라 펄스폭이 변화하는 것을 확인한다.

II. 도플러 레이더의 설계

동작감지용 도플러 레이더는 마이크로파 신호가 움직이는 물체에 반사될 때 도플러 효과로 인해 신호의 위상이 시간에 따라 변화하며 이 신호의 위상을 검출하여 목표물의 탐지 및 속도를 측정할 수 있다. 그림 1은 레이더 센서의 구성을 나타낸다.

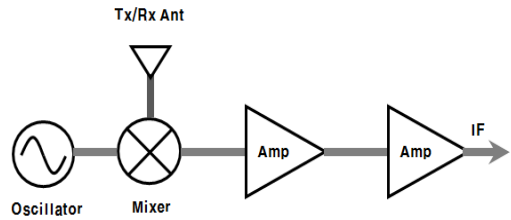


그림 1. 레이더 센서의 구성
Fig1. Structure of radar sensor

레이더 센서는 10.525GHz를 발진할 수 있는 발진기와 믹서, IF앰프 및 안테나로 구성되어 있다. 여기서 안테나는 2개의 패치를 이용하여 송수신안테나를 겸용하여 사용하며, 믹서는 공진기와 발진기의 레이아웃을 변형시켜 구성하였다.

2.1 가변형 헤어핀 공진기

발진기의 성능을 개선하기 위해서는 높은 Q값을 갖는 공진기를 사용하거나, 낮은 잡음지수를 갖는 능동 소자를 사용하는 방법이 있다. 본 논문에서 사용한 헤어핀 공진기는 공진기의 레이아웃을 변형시켜 Q값을 개선할 수 있으며 MMIC로도 제작이 가능해 소형화를 만족시킬 수 있고 제작비용도 적게 든다는 장점이 있다.

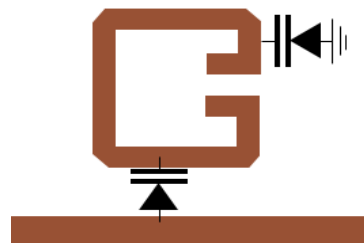


그림 2. 가변형 헤어핀 공진기의 구조
Fig. 2 Structure of variable hairpin-resonator

그림 2는 가변형 헤어핀 공진기의 구조를 나타낸다. 공진기는 바랙터 다이오드의 커패시턴스와 스트립 라인의 인덕터 값에 의해 공진주파수가 결정되므로 공진주파수를 가변하기 위해 두 개의 바랙터 다이오드를 이용하였다. 또한 전송 선로 양쪽 끝을 스파이럴 구조를 이용함으로써 공진기의 면적을 소형화하였고 Q-factor는 증가하였다.

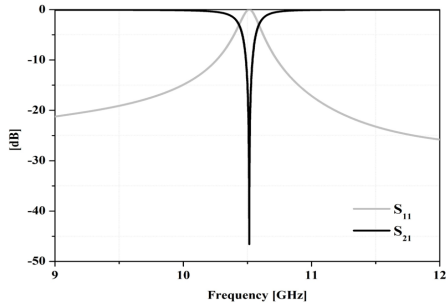


그림 3. 헤어핀 공진기의 특성
Fig. 3 Hairpin-resonator characteristic

그림 3은 헤어핀 공진기의 특성을 나타낸다. 특정 주파수에서 공진 주파수를 가지는 헤어핀 공진기를 설계하기 위하여 Agilent사의 ADS를 사용하여 설계하였으며, 설계결과 10.525GHz에서 공진되는 것을 확인하였고 Q-factor를 계산한 결과 66의 값을 얻을 수 있었다.

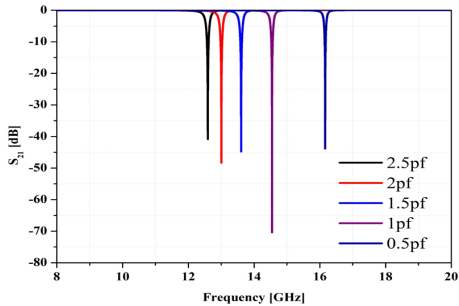


그림 4. 헤어핀 공진기에 커패시터의 영향
Fig. 4 The effect of capacitance in hairpin-resonator

그림 4는 바랙터 다이오드의 커패시턴스 변화에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸다. 바랙터 다이오드는 Skyworks사의 SMV1231을 사용하였다. 헤어핀 공진기에 사용된 두 개의 바랙터 다이오드를 0.5pF에서 2.5pF 까지 0.5pF단위로 변화시키며 공진주파수를 살펴본 결과 16.1GHz에서 12.6GHz로 공진주파수가 낮아지는 것을 확인하였다. 따라서 삽입된 커패시터의 값이 증가할수록 공진주파수는 낮아지게 됨을 알 수 있다.

2.2 발진회로의 설계

발진기를 설계하기 위해서는 먼저 발진주파수에서 잠재적으로 불안정한 영역을 가지는 소자를 선택하여야 한다. 본 논문에서는 CEL사의 CE3512K2를 사용하여 설계하였으며 선정된 FET의 정상적인 동작을 위해서 RF회로에 최소한의 영향을 주도록 바이어스 회로를 구성하였다. 그림 5는 발진회로를 구성하여 발진 가능성조사를 한 시뮬레이션 결과이다. 10.525 GHz에서 위상이 0에 가깝고 높은 입력반사계수를 얻어 발진가능성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

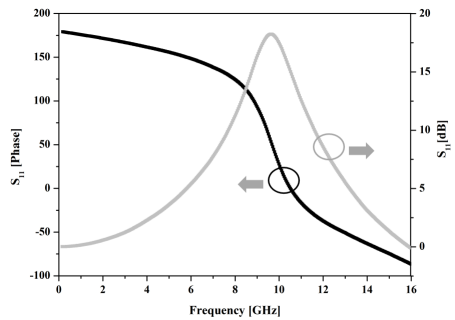


그림 5. 발진조건 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results of oscillation condition

그림 6은 본 논문에서 제안한 발진회로의 구조를 나타낸다. 주파수 제어부를 통해서 발진주파수가 조절이 가능하고 발진부의 출력부에 하나의 안테나를 연결하여 송신과 수신을 할 수 있게 하였다. 또한 공진기와 발진기의 레이아웃을 변형해서 믹서회로를 구성하였으며 IF신호는 발진기의 입력측에서 출력하여 IF회로에 인가한다. IF회로에서는 필터와 저주파증폭기 그리고 위상검출기 등으로 구성하였다. 그림 7은 발진회로의 입력과 출력측에 연결한 급전라인의 소신호 특성을 나타낸다. 고주파 회로에 영향을 주지 않도록 10.525GHz에서 동작하도록 설계하였다.

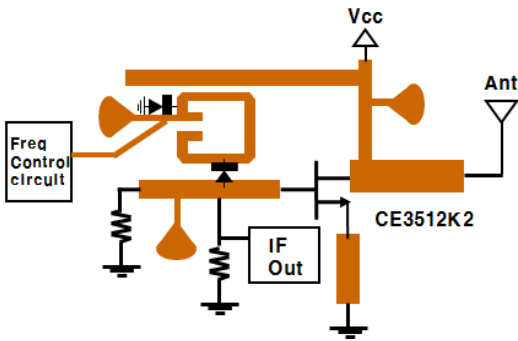


그림 6. 발진회로의 구조
Fig. 6 Structure of oscillator

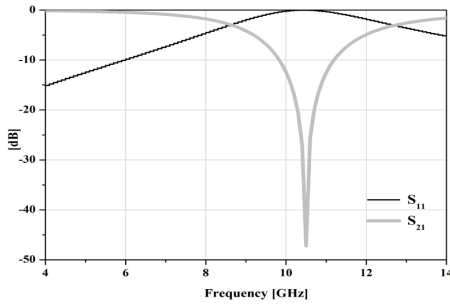


그림 7. 바이어스 회로의 소신호 특성
Fig. 7 Small signal characteristic of bias circuit

그림 8은 제안한 발진기의 대신호 결과를 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과 10.525GHz에서 7.65dBm의 출력을 얻을 수 있었다.

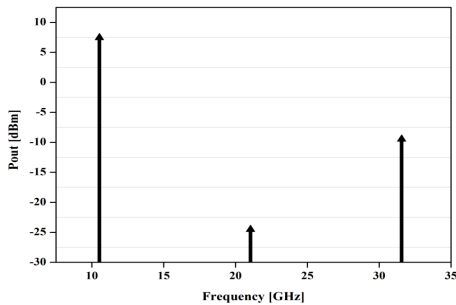


그림 8. 발진기의 대신호 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Large signal simulation results of oscillator

2.3 안테나의 설계

본 논문에서 사용한 안테나는 2개의 패치안테나를 배열하여 구성하였으며 매칭회로는 inset급전을 이용하였다. 그림 9는 CST사의 Microwave Studio를 이용하여 안테나의 입력반사계수를 시뮬레이션한 결과이다. 10.525GHz에서 입력반사계수가 약 -28dB로 최소가 됨을 확인하였다. 그림 10은 설계된 안테나의 레이아웃과 방사특성을 3D로 나타낸 그림이다. 시뮬레이션 결과 10.525GHz에서 8dBi의 이득을 얻을 수 있었다.

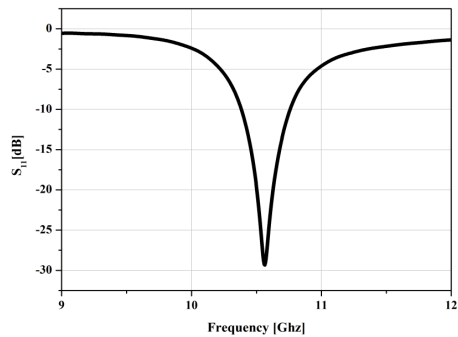


그림 9. 설계된 안테나의 입력반사계수
Fig. 9 Input reflection coefficient of designed antenna

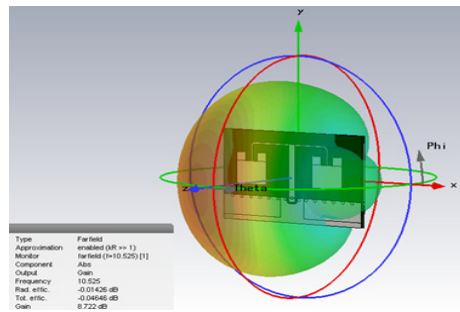


그림 10. 설계된 안테나의 방사패턴
Fig. 10 Farfield of designed antenna

III. 도플러 레이더의 제작 및 측정

그림 11은 제작된 도플러 레이더센서의 사진을 나타낸다. 제작된 도플러 레이더는 유전율 4.4에 두께 18μm인 Fr-4를 사용하였고, 안테나와의 간섭을 줄이기 위하여 서로 다른 면에 회로를 배치하였으며 사

이즈는 30×24mm로 제작하였다. 그림 12는 발진기의 측정결과를 나타낸다. 측정결과 10.525GHz에서 -3.8dBm의 결과를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 결과보다 출력이 낮은 것은 안테나의 급전선로에서 신호를 측정하였기 때문에 측정 장비와의 미스매칭에 의해 생긴 결과이다.

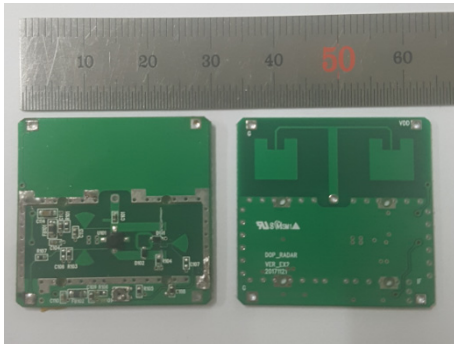


그림 11. 제작된 레이더 센서
Fig. 11 Fabricated radar sensor

그림 13은 IWATSU_Lecroy사의 LT-344L를 이용해 레이더의 센서에 물체가 빠른 속도로 움직인 경우와 느린 속도로 움직인 경우의 경우 감지결과를 나타낸다. 측정결과 물체의 속도에 따라 신호의 출력주파수의 펄스폭이 확연히 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

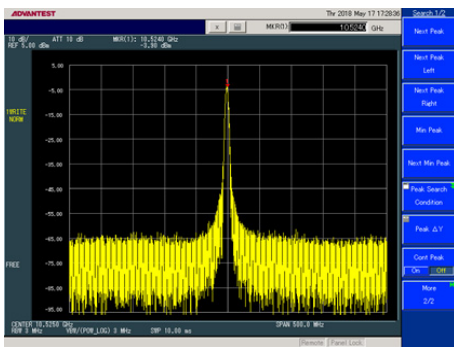
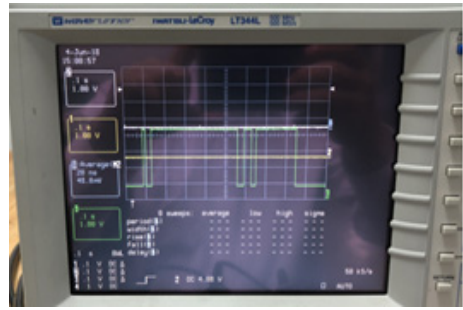


그림 12. 발진기의 측정결과
Fig. 12 Measured results of oscillator



(a)



(b)

그림 13. 레이더 센서 동작결과 (a) 물체가 빠른 속도인 경우 (b) 물체가 느린 속도인 경우

Fig. 13 Measured results of radar sensor operation (a) case of high speed (b) case of low speed

IV. 결론

본 논문에서는 주파수 가변형 헤어핀 공진기를 적용한 전압제어 발진기를 이용해서 도플러 레이더센서를 설계 제작하였다. 제안한 레이더센서는 집적화가 용이하고 제작이 간편한 헤어핀공진기를 이용하여 발진기를 설계하였고 바랙터 다이오드를 이용해서 주파수를 가변할 수 있음을 확인하였다. 또한 시스템의 전체적인 사이즈를 고려하여 송수신겸용안테나를 사용하여 30×24mm의 작은 사이즈로 제작할 수 있었다. 측정결과 10.525GHz에서 발진하는 것을 확인하였고 물체의 속도에 따라서 출력주파수의 펄스폭이 달라지는 것을 확인하였다. 이러한 특성을 이용하여 원격진료와 같은 의료 사업 및 모션센서로의 이용이 가능함을 확인하였다.

References

[1] T. Kim, Y. Rhee, and S. Kim, "Implementation of a microwave Doppler Sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 2, 2009, pp. 75-81.

[2] K. Chen, D. Misra, H. Wang, H. Chuang, and E. postow, "An X band microwave life-detection system," *IEEE Trans. On Biomedical Engineering*, vol. 33, no. 1, 1986, pp. 697-701.

[3] G. Kim, "Design of Voltage Controlled Oscillator for X-band Radar Using CSRR loaded microstrip line," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 9, 2013, pp. 1277-1283.

[4] H. Lee, W. Yoon, K. Lee, S. Han, S. Pyo, and Y. Kim, "Low Phase Noise VCO Using Complimentary Bifilar Archimedean Spiral Resonator(CBASR)," *J. of the Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 6, 2010, pp. 627-634.

[5] G. Kim, "Design and Implementation of Local Oscillator for X-Band Radar," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 11, 2014, pp. 1215-1220.

[6] G. Kim, "Design and Implementation of X-Band Oscillator Using Compact Hairpin Resonator," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1131-1137.

[7] S. Seo, J. Jeong, and C. Park, "An X-band Oscillator Using a new Harippin Resonator," *J. of the Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 2, 2008, pp. 250-256.

[8] M. Yoo and S. Lim, "SRR and CSRR Loaded UWB Antenna with Tri-Band Notch Capability," *J. of the Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 3, 2012, pp. 320-327.

[9] Y. Dong, H. Toyao, and T. Itoh, " Design and Characterization of Miniaturized Patch Antennas Loaded With Complementary Split-Ring Resonators," *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. 60, no. 2, Feb, 2012, pp. 772-784.

[10] J. Yoon, "Design and fabrication of a dual-band open-ended circular ring monopole antenna for WLAN application," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 7, 2013, pp. 987-994.

저자 소개



김은수(Eun-Su Kim)

2016년 2월: 목포해양대학교 전자공학과(공학사)

2016년 3월 ~ 현재: 목포해양대학교 해양전자통신컴퓨터공학과 석사과정

※관심분야 : 고주파회로 및 안테나설계



김규철(Gue-Chol Kim)

2000년 2월: 목포해양대학교 해양전자통신공학과(공학사)

2003년 8월: 목포해양대학교 해양전자통신공학과(공학석사)

2007년 3월: 오사카대학 전자정보에너지공학과(공학박사)

2006년 11월 ~ 2008년 2월: 파나소닉 덴코 중앙연구소 연구원

2008년 3월 ~ 현재: 목포해양대학교 해양메카트로닉스학부 교수

※관심분야 : 고주파 모델링, 고주파회로설계