

구조가 간단한 마이크로파 센서 개발

정순원¹, 이재진², 구경완³

한국전자통신연구원 융합부품소재연구부문¹, (주)텔트론², 호서대학교 국방과학기술학과³

Development of simple structure microwave sensor

Soon-Won Jung¹, Jae Jin Lee², Kyung-Wan Koo³

Convergence Components & Materials Research Laboratory, ETRI¹

Teltron Inc.², Department of Defense Science & Technology, Hoseo University³

Abstract - 물체의 움직임을 감지하는 이동물체 식별용 센서로는 적외선 센서, 초음파 센서, 마이크로파 센서 등이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 감도가 우수하면서도 간단한 구조로 가격을 최소화하여 제품의 경쟁력을 최대화한 마이크로파 센서를 개발하였으며, 실제 시제품으로 제작하여 그 특성을 확인한 결과 우수한 특성이 나타남을 확인되었다. 본 연구진은 개발된 센서의 특성 확인 결과로부터 다음과 같은 두 가지 효과가 있는 것으로 판단하고 있다. 첫째, 제품의 성능은 유지하면서 간단한 구조를 갖는 회로의 구성은 제조 원가를 줄일 수 있으므로 충분한 제품 가격 경쟁력을 갖을 것으로 생각된다. 둘째, 간단한 구조를 갖는 회로의 구성은 제품의 소형화, 경량화를 가능케 하는 효과도 있을 것이다.

부딪혀 반사되어 되돌아오는 초음파를 다시 이 진동자에 의해 감지하면 물체까지의 거리가 멀수록 반사되어 되돌아오는 시간이 길어지기 때문에 물체까지의 거리를 계산할 수 있는 것이다. 일 예로는 자동차 후방감지센서로 적용되고 있으며, 물속에서 해저 물체 식별장치에도 이용된다. 마이크로파 센서는 마이크로파를 송신한 후 해당 신호의 반사파를 감지하는 것으로서 도플러 효과에 의하면 마이크로파의 반사체가 송신원으로부터 가까워지거나 멀어지면 그 속도에 비례하여 반사파의 주파수가 변한다는 원리를 이용하여 주파수를 감지하는 것이다.

$$\Delta f = f_x (v/c) \text{ ----- (1)}$$

수식 (1)은 도플러 효과에 의한 주파수 변화의 크기를 나타낸 것으로 f 는 송신주파수, v 는 이동체의 속도, c 는 빛의 속도이다.

감도의 측면에서 보면 적외선 센서는 열을 발산하는 물체의 열을 감지하는 수동형이므로 감도는 센서의 수신부에서 결정되나, 초음파 및 마이크로파 센서는 수신부의 감도뿐 아니라 송신부의 송신전력이 커질수록 감도가 좋아지므로 감지수단의 성능을 향상시킬 경우에는 초음파 센서 및 마이크로파 센서를 적용함이 바람직하다.

구조적인 측면에서 보면 수신전용인 적외선 센서의 구조가 가장 간단하여 저가형으로 많이 채택되고 있다. 그러나, 주변의 온도와 이동체의 온도차를 감지하는 적외선 센서는 주위 환경에 따라 많은 오차가 발생할 수 있다는 문제점이 있었다. 좀 더 향상된 성능을 갖는 감지수단인 초음파 센서는 복잡한 구조로 저가의 소비자 시장에 응용하기에는 적합하지 않은 문제점이 있었다.

따라서, 본 논문에서는 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 감도는 향상된 성능을 유지하면서도 간단한 구조로 가격을 최소화하여 제품의 경쟁력을 최대화한 마이크로파 센서를 개발하였으며, 그 결과에 대하여 기술한다.

2. 마이크로파 센서

2.1 기존의 마이크로파 센서 기술

그림 1은 기존기술에 의한 마이크로파 센서의 기능부를 개략적으로 나타낸 블록도이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 기존기술에 의한 마이크로파 센서는 주파수변위 에 따른 초고주파(극초단파)를 연속적으로 발전시키는 능동소자로 이루어진 국부신호발생부와, 국부신호발생부

1. 서 론

물체의 움직임을 감지하는 이동물체 식별용 센서로는 적외선 센서, 초음파 센서, 마이크로파 센서 등이 많이 사용되고 있다[1-3]. 이러한 움직임은 물체를 식별하는 센서는 침입 경보기, 자동문, 납성용 소변기, 조명, 자동차 후방 물체 감지기 등 일상 생활에서 여러 가지 형태로 적용되어 사용되고 있다. 또한, 상기의 센서들은 그 작동 원리가 각각 구별되며 응용에 있어서도 차이가 있어 일부 보안시스템에서는 상기와 같이 다양한 이동물체 식별용 센서를 동시에 적용함으로써 오차율을 낮추기도 한다. 적외선 센서는 주변에서 방사되는 열을 감지하여 전기적인 신호로 변환시키는 센서이다. 따라서 일종의 변환기(transducer)라 할 수 있으며, 검출 원리에 따라 광 검출기(photon detector)[4-6]와 열 검출기(thermal detector)[7-8]로 나뉜다. 광 검출기는 반도체 재료로 제작되는데, 입사되는 적외선이 에너지 밴드 갭(energy band gap)보다 큰 에너지를 가질 경우 적외선 입사에 의해 가전자대(valence band)의 전자가 전도대(conduction band)로 여기 되면서 EHP(electron-hole pair)가 형성되어 검출기의 전기적 특성이 변화하는 것을 이용한다. 열 검출기는 목표물로부터 입사되는 적외선에 의해 물질의 온도가 상승함으로써 유발되는 물성의 변화를 감지하는 원리를 이용한다. 초음파 센서는 인간의 귀로 들을 수 없는 40-250 kHz 대역을 갖는 단일 주파수 초음파 펄스를 송신한 후 물체에 반사된 동일 주파수의 초음파 신호를 감지하여 물체의 존재 및 거리를 계산하는 센서이다. 더욱 상세하게는, 두께 2-3mm의 진동막에 전압을 가하면 초음파가 발생하고 물체에

에서 생성된 주파수를 공간으로 송출하기 위한 수동소자인 안테나송신부, 안테나송신부로부터 송출된 신호를 수신하기 위한 수동소자인 안테나수신부, 대상으로 투여된 후 되돌아 온 주파수 출력신호와 송신주파수로부터 발신된 주파수가 서로 혼합되어 중심주파수의 변환이 일어날 수 있도록 하는 수단인 주파수혼합부, 주파수혼합부에서 고주파대역의 주파수가 저주파대역의 주파수로 변환될 때 바로 변환되지 않고 다른 형태의 주파수로 변환되게 하는 수단인 중간주파수출력단, 마이크로파 센서의 각 회로부에 동작전원을 인가하기 위한 전원공급부를 포함하여 구성된다.

이러한 마이크로파 센서의 동작은, 먼저 국부신호발생부에서 생성된 X-band 대역의 마이크로파는 수동소자인 안테나송신부를 통해 공간으로 송출되고, 송출된 전파는 공기중을 진행하다 특정 물체를 만나면 신호의 흡수, 통과, 반사가 일어나게 된다. 이때, 반사된 신호중 센서로 되돌아오는 신호를 수동소자인 안테나수신부에서 수신한 후 주파수혼합부를 통해 주파수 하향 변환하며, 주파수 하향 변환된 신호는 중간주파수출력단을 통해 베이스밴드 파트로 전달된다.

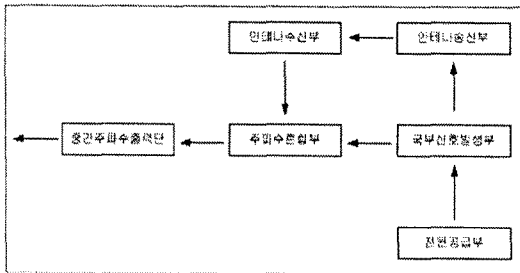


그림 1. 이전 기술에 의한 마이크로파 센서의 기능부.

위에서 국부신호발생부는 X-band 발진기의 경우 Q(quality factor)를 일정 이상 확보해야 하므로 대부분 절연체 공진기(DR:dielectric resonator)를 이용한 발진기를 이용하며, 능동소자는 일반적으로 pHEMT이며, 절연체 공진기를 이용하여 주파수를 조절하기 위한 것으로 절연체 공진기와 간격을 조절할 수 있는 나사를 삽입할 수 있도록 보통 금속으로 제작된 캔 모양의 캐비티(cavity)로 회로를 덮는다. 주파수혼합부는 일반적으로 다이오드 혼합기를 사용하는데 감도면에서 보면 pHEMT 등의 능동소자를 적용한 혼합기의 성능이 뛰어나다. 그러나 전원쪽의 리플(ripple)에 의한 잡음의 경우에는 능동소자로 이루어진 혼합기가 취약하므로 전원이 필요없는 수동소자 혼합기인 다이오드 혼합기가 많이 사용되고 있다. 보통 다이오드 혼합기는 antiparalleled diode로 혼합기를 만드는데 이는 밸런스(balanced) 구조이므로 LO feed-thru를 최소화하는 장점이 있다.

본 논문에서는 상술한 것과 같은 기존 기술에 의한 마이크로파 센서의 구조를 간략화하기 위한 것으로 발진기와 혼합기가 결합된 형태로 구현하였다.

2.2 직렬 케환 자가발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서

그림 2는 직렬 케환 자가 발진(self-oscillating) 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 감지부를 개략적으로 도시한 블록 회로도이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 하나의 트랜지스터 소자가 적용되며, 트랜지스터 소자의 소스(S:source)단에 직렬 케환을 위한 보통 마이크로스트립 라인으로 이루어진 제1수동소자와, 바이어스를 위한 사

분의 일 램다선 및 저항, 바이패스 축전기 등으로 이루어진 소스단 바이어스회로부가 연결되고, 게이트(G:gate)단에는 공진주파수를 결정하기 위한 절연체 공진기와, 상기 절연체 공진기를 게이트단과 커플링하기 위한 수동소자로 보통 직렬 마이크로스트립라인으로 이루어진 제2수동소자가 연결되며, 드레인(D:drain)단에는 출력단 정합회로와, 드레인단 바이어스회로부가 연결되며, 각 회로부에 동작전원을 인가하는 전원공급단자를 형성하고 있다.

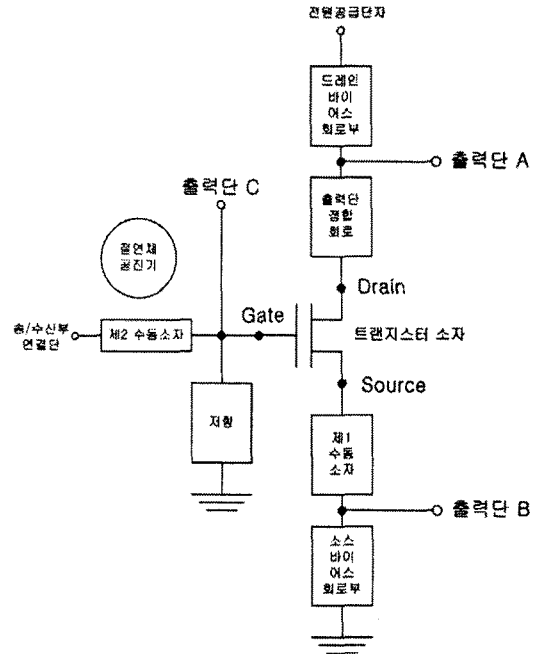


그림 2. 직렬 케환 자가 발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 감지부를 개략적으로 나타낸 블록 회로도.

그림 2에서, 게이트단으로부터 연장된 소정의 위치에는 발신 신호의 송신과 수신 가능하며 그 위치를 단일 송·수신부연결단으로 나타내었다. 상기의 단일 송·수신부연결단에는 마이크로파 발진 신호의 출력과 반송파의 수신기능을 겸하는 송·수신 안테나가 연결된다. 일반적으로 출력 전력이 최대가 되는 부분은 드레인단으로 출력 전력과 비례하는 센서의 감도는 해당 위치가 가장 좋다고 할 수 있으나, 드레인단에서는 케환이 일어나지 않으므로 해당 위치에서는 주파수 혼합이 일어나지 않아 센서로 동작할 수 없으며, 소스단은 50 Ω 정합이 용이하지 않으므로 발진 신호의 단일 송·수신부로 적합하지 않다. 이에 반해, 주파수 혼합이 일어나는 게이트단은 입력이 가능하므로 단일 송·수신부로 적용이 가능하다.

주파수 하향 변환된 신호의 출력단 역시 세 군데가 가능하다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 그 위치는 각각 A, B, C로 표시할 수 있다. 상기에서 드레인단의 A 위치는 가장 일반적인 출력단으로 사용되나 전원에 의한 리플이 잡음으로 문제가 되는 경우에는 가장 취약한 부분이다. 따라서 소스단의 B 위치와, 게이트단의 C 위치를 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 하는 경우는 출력단의 전압이 발생하기 위해 소스단 바이어스회로부에 저항이 필요하며 이 경우에는 자기-바이어스(self-bias) 효과

로 전류가 줄어들어 출력 전력이 값이 작아져 감도가 나빠질 수 있다는 문제점이 작용한다. 또한, 게이트단의 C 위치를 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 사용시 출력단의 전압을 발생시키기 위해서는 그라운드로 연결된 저항이 필요하나 이 경우에는 출력 전력의 값에 변동은 없다.

2.3 병렬 궤환 자가발전 혼합기를 적용한 마이크로파 센서

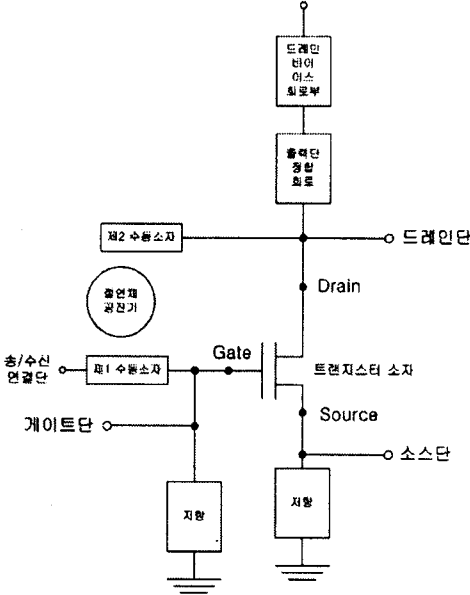


그림 3. 병렬 궤환 자가 발전 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 감지부를 개략적으로 나타낸 블록 회로도.

그림 3은 발전 신호의 단일 송·수신이 가능한 위치는 게이트단과, 드레인단이 가능하다. 일반적으로 선호되는 부분은 센서의 감도와 비례하는 출력 전력이 가장 최대가 되는 드레인단이다. 그러나, 주파수 혼합이 일어나는 부분은 게이트가 입력이 되므로 게이트단을 단일 송·수신부로 사용하는 것도 바람직하다. 소스단은 50 Ω 정합이 용이하지 않으므로 단일 송·수신부로 적합하지 않다. 주파수 하향 변환된 신호의 출력단 역시 세 군데가 가능하다.

그림에서 나타낸 것과 같이, 그 위치는 각각 드레인단, 소스단, 게이트단으로 표시할 수 있다. 드레인단은 가장 일반적인 출력단으로 사용되나 전원에 의한 리플 잡음으로 문제시에는 가장 취약한 부분이다. 따라서, 이러한 경우에는 소스단과, 게이트단이 더욱 좋은 감도를 준다고 볼 수 있다. 소스단에서 주파수를 하향 변환된 신호의 출력으로 적용시 출력단의 전압이 발생하기 위해서는 소스단에 저항이 필요하며 이 경우에는 자기-바이어스(self-bias) 효과가 줄어들어 출력 전력이 값이 작아져 감도가 나빠질 수 있다. 또한, 게이트단을 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 사용시 출력단의 전압을 발생시키기 위해서는 그라운드로 연결된 저항이 필요하나 이 경우에는 출력 전력의 값에 변동은 없다.

3. 실험 결과

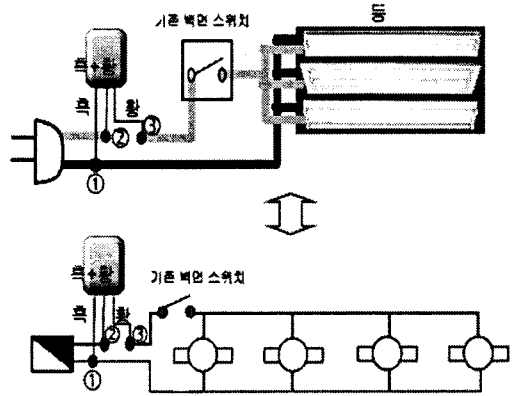
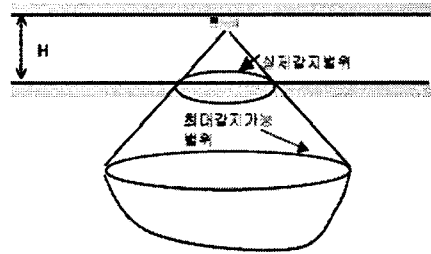


그림 4. 감지범위 확인을 위해 설치된 마이크로파 센서.



감지 영역	감지 범위
좌우 감지	$\pm 3 \text{ M} (\pm 51^\circ)$
앞뒤 감지	$\pm 0.9 \text{ M} (\pm 21^\circ)$

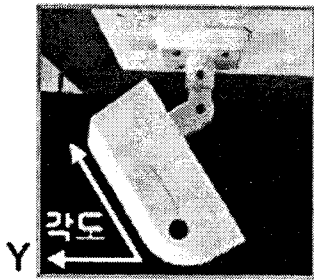
그림 5. 개발된 센서를 천장에 수평 설치했을 경우의 감지 범위.

그림 4는 본 연구를 통해 개발된 구조가 간단한 마이크로파 센서가 내장된 제품을 감지 범위 확인 실험을 위해 기존 건물의 벽면에 설치한 모습을 개략적으로 나타낸 그림이다.

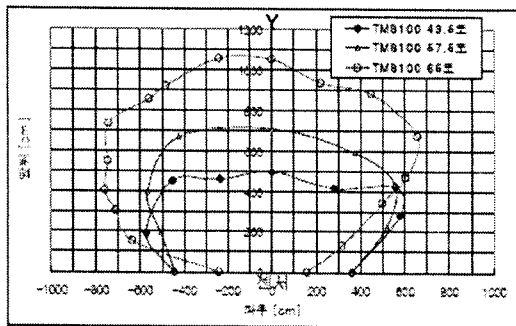
그림 5는 개발된 마이크로파 센서를 건물의 천장에 수평으로 설치했을 경우의 감지 범위를 측정된 실험 결과이다. 센서가 설치된 천장의 높이는 2.4미터이고, 사람이 서 있는 상태에서 팔꿈치를 1회 아래로 움직일 때 감지하는 거리를 측정된 것이다. 실험에서 확인된 감지 범위는 표에 정리한 것과 같이 좌우 3미터, 앞뒤 0.9미터였다. 그러나, 그림에서 확인할 수 있듯이 천장의 높이에 따라 감지 범위가 결정되기 때문에 천장의 높이가 충분히 확보된 건물에서 사용할 경우 보다 넓은 감지 영역을 확보하게 될 것으로 판단된다.

그림 6은 개발된 마이크로파 센서를 건물의 천장에 수평으로 설치하고, (a)와 같이 각도를 기울여 설치한 경우에 측정된 감지 범위를 나타낸 그래프이다. 센서가 설치된 천장의 높이는 2.4미터이고, 사람이 서 있는 상태에서 팔꿈치를 1회 아래로 움직일 때 감지하는 거리를 측정된 것이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 설치하는 각도에 따라 감지 범위가 수평 설치(그림 5)에 비해 많이 넓어졌음을 알 수 있다. 실험에서 확인된 감지 범위는 기울임 각도가 크질수록 감지할 수 있는 영역의 넓이가 증가함을 확인할 수 있었으며, 기울임 각도가 65도일 경우

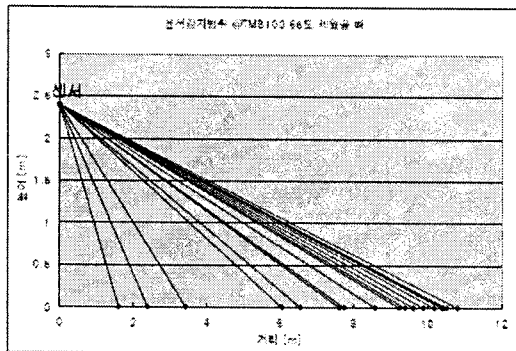
최대 감지 영역이 나타났다. 수평설치와 마찬가지로 설치 높이에 따라 감지 범위가 영향을 받기 때문에 천장의 높이가 충분히 확보된 건물에서 사용할 경우 보다 넓은 감지 영역을 확보하게 될 것으로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 개발된 센서를 천장에 기울임 설치했을 경우의 감지 범위. (a)기울임 각도를 갖고 설치된 센서의 모습, (b)일정 각도를 갖고 설치된 센서의 감지 범위, (c)65도 세위 설치된 센서의 거리별 감지 범위.

4. 결 론

본 연구에서는 상술한 바와 같은 간단한 구조를 갖는 마이크로파 센서를 성공적으로 구현했으며, 실제 시제품으로 제작하여 그 특성을 확인한 결과 우수한 특성이 확인되었다. 따라서 본 연구팀에서는 다음과 같은 두 가지 효과가 있는 것으로 판단하고 있다. 첫째, 제품의 성능은 유지하면서 간략한 구조를 갖는 회로의 구성은 제조 원가를 줄일 수 있으므로 충분한 제품 가격 경쟁력을 갖출 것으로 생각된다. 둘째, 간략한 구조를 갖는 회로의 구성

은 제품의 소형화, 경량화를 가능케 하는 효과도 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. Wood, "High-performance infrared thermal imaging with monolithic silicon focal planes operating at room temperature", Proc. IEDM Tech. Digest, p. 175, 1993.
- [2] C. Hanson, "Uncooled thermal imaging at texas instruments", SPIE, Vol. 2020, p. 330, 1993.
- [3] T. Kanno and M. Saga, "Uncooled infrared focal plane array having 128×128 thermopile detector elements", SPIE, Vol. 2269, p. 450, 1994
- [4] S. Friedrich, "Superconducting tunnel junction photon detectors: Theory and applications", Journal of Low Temperature Physics, Vol. 151, p. 277, 2008
- [5] T. Haseyama, T. Arai, A. Fukuda, H. Funahashi, S. Ikeda, K. Imai, Y. Isozumi, T. Kato, Y. Kido, A. Matsubara, S. Matsuki, T. Mizusaki, T. Nishimura, D. Ohsawa, A. Sawada, Y. Takahashi, M. Tosaki, K. Yamamoto, "A high-sensitivity microwave-single-photon detector with Rydberg atoms at low temperature", Journal of Low Temperature Physics, Vol. 150, p. 549, 2008
- [6] R. H. Hadfield, P. A. Dalgarno, J. A. O'Connor, E. Ramsay, R. J. Warburton, E. J. Gansen, B. Baek, M. J. Stevens, R. P. Mirin, S. W. Nam, "Submicrometer photoresponse mapping of nanowire superconducting single-photon detectors", Applied Physics Letters, Vol. 91, p. 241108, 2007
- [7] S. Almaviva, M. Marinelli, E. Milani, G. Prestopino, A. Tucciarone, C. Verona, G. Verona-Rinati, M. Angelone, D. Latanzi, M. Pillon, R. M. Montereali, M. A. Vincenti, "Thermal and fast neutron detection in chemical vapor deposition single-crystal diamond detectors", Applied Physics Letters, Vol. 103, p. 054501, 2008
- [8] K. Ramadurai, L. Lewis, C. Cromer, R. L. Mahajan, K. E. Hurst, K. E. J. H. Lehman, "Carbon based coatings for thermal detectors: Laser damage and thermal efficiency", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 6403, p. 64031G, 2007