

호흡 및 심박수 측정을 위한 비 접촉방식의 6-포트 바이오레이더 시스템

나원*, 이문규*

서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부*, **

A Six-port Bio Radar System for Non-Contact Measurement of Heart and Respiration

Won Na*, Moon-Que Lee*

School of ECE, University of Seoul*, **

Abstract - 본 논문은 사람의 호흡과 심박 수를 0.5 m 의 거리에서 원격 측정하는 레이더 시스템 설계에 관한 내용을 기술한다. 기존에 많이 사용되었던 능동 주파수 혼합기 회로를 파형 간섭 효과를 이용한 6-포트 회로로 대체하여 설계하였으며 특히 전력 검출기 성능에 따라 낮은 국부 발진기 전력을 사용할 수 있다는 장점을 가짐을 보였다. 본 논문에서는 수신신호 감지를 위한 최적의 국부 발진기의 전력을 제시하였다.

1. 서 론

최근 각광 받고 있는 USN (Ubiquitous Sensor Network)와 함께 U-헬스라는 말이 새롭게 주목 받고 있다. U-헬스는 일반 사람의 생활공간 곳곳에 부착된 센서를 통해서 개인의 건강상태나 질병 여부를 측정하고, 의료기관에 전송해서 진단과 치료를 받도록 하는 서비스로서 앞으로 많은 부가가치를 창출해 낼 수 있으리라 생각된다. 이를 위해서는 센서 기술의 발전이 필수적이며 현재 많은 연구가 진행 중인 유망 분야이다.

이중 사람의 심박 및 호흡을 찾아내기 위한 레이더 시스템은 1975년에 처음 제시되었다 [1]. 이후 1980년대에 들어 벽이나 장애물 뒤에 있는 사람의 존재 유무를 판단하거나[2], 지진이나 붕괴현장 등에서 사람을 찾기 위한 레이더들이 제시되었다[3]. 그러나 위의 회로들은 모두 무겁고 가격이 비싼 고주파 소자들을 사용하여 일반 가정에서 사용하기에는 무리가 따른다. 이후 무선기술과 집적회로 기술이 발달함에 따라 점점 가볍고 가격이 싼 회로들이 구현되면서 근래에는 일반가정에서 노약자나 유아의 심박 수와 호흡을 모니터 하는 용도로 연구가 진행되고 있다. 또한 심박 및 호흡 신호를 측정하기 위해서는 전극을 몸에 부착하는 접촉식 측정법을 사용하는 것이 일반적이는데, 이는 장기간 사용이 어렵고 소아나 환자에게는 사용하기 어려운 단점이 있다[4].

또한 센서 회로의 특성상 저 전력 회로를 구현하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 기존의 능동 주파수 혼합기 회로 대신 국부 발진기 신호의 전력을 작게 가져갈 수 있는 6-포트 복조 회로로 대체하여 전체 시스템을 설계 하였다.

2. 6-포트 복조기의 위상 민감도

2.1 제안 회로의 기본 특성

기존 회로는 기본적으로 LO신호와 RF신호를 각각 4개 위상으로 혼합시켜주는 수동회로 부분과 이후 4개 출력단자의 전력을 검출하는 전력 검출기 회로로 나누어져 있다. 이중 일반적으로 많이 쓰이는 구조를 그림 1에 도시하였다. 이중 본 논문에서는 전력 검출기 회로 이후에 LOG 증폭기가 부착되어있는 전력 검출기를 사용하였다. 제안된 회로를 위상 검출기로서의 측면에서 분석하기 수식으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 LO 신호를 다음과 같이 놓았다.

$$V_{LO} = A_{LO} \cos(\omega_o t) \quad (1)$$

다음으로 위상 변조된 RF신호를 다음과 같이 놓았다.

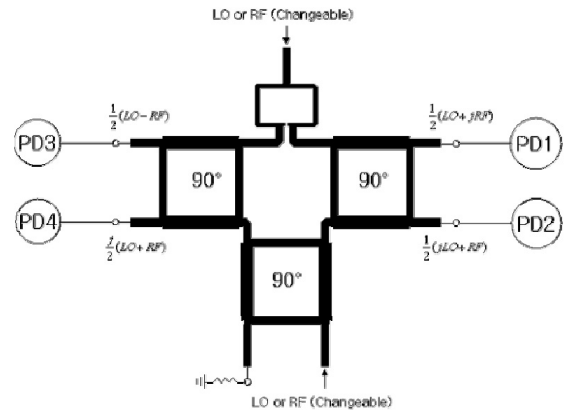
$$V_{RF} = \beta A_{LO} \cos(\omega_o t + \theta_{sig}) \quad (2)$$

즉 RF신호와 LO신호의 주파수는 같고 RF신호의 위상이 심장 혹은 폐에 의해 변하게 된다. 이후 두 신호가 6포트의 수동회로 부분을 통과한 후 전력을 구하면 다음과 같다.

$$P = 10 \log \frac{A_{LO}^2}{2R} [1 + \beta^2 + 2\beta \cos \theta_{sig}] \quad (3)$$

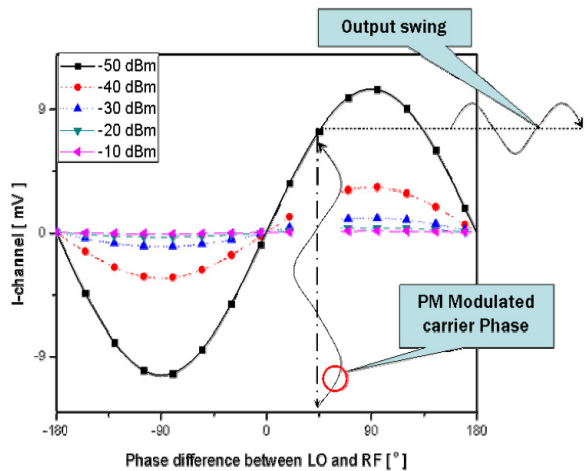
이때 전력 검출기 회로의 출력이 입력전력을 dBm으로 환산한 것에 비례하므로 dBm으로 구하였다. 이후 전력 검출기의 변환이득을 곱해줌으로써 최종 출력 전압이 나오게 된다. 즉,

$$V_{out} = K \times \Delta \left(10 \log \frac{A_{LO}^2}{2R} [1 + \beta^2 + 2\beta \cos \theta_{sig}] \right) \quad (4)$$



<그림 1> 일반적인 6-포트 회로의 모식도

이때 K는 전력 검출기의 변환상수로 사용한 전력 검출기는 19 mV/dB의 값을 갖는다. 이 값이 위상의 값이 변화함에 따른 출력 전력의 dB 변화량에 곱해지므로 변환상수 값이 위상민감도에 큰 영향을 주게 된다. 위의 수식을 그래프로 도시하면 그림2와 같이 표시된다. 그림2는 LO와 RF의 위상차에 따른 6포트-복조회로의 출력 전압 값을 나타낸 그림이다. 이때 LO신호는 -10 ~ -50 dBm 까지 변화를 주었으며 RF는 -80 dBm으로 설정하였다. 이때 수신 신호의 위상이 주기적으로 바뀌게 되면 출력전압이 같은 주파수로 나오게 되어 최종 복조가 가능하다. 또한 그래프를 살펴보면 먼저 LO신호와 RF신호의 전압 비인 β 의 값이 1에 근접함에 따라 점점 민감도가 높아짐을 알 수 있다. 즉 RF신호와 LO신호의 전력이 같을 때 가장 민감도가 높지만 실제 전력 검출기가 -65 dBm 이하에서는 동작하지 않기 때문에 LO신호의 전력 값을 계속 낮출 수는 없다.



<그림 2> 6-포트 회로의 위상 검출 특성

2.2 송신단 누설전력과 6-포트 복조기의 위상 검출 성능

앞에서 전력 검출기 회로 뒤에 LOG증폭기를 사용하였을 때의 일반적인 특성에 대해 살펴보았다. 다음은 송신단 누설전력이 수신단에 결합되어 동식에 들어올 때 6-포트 복조기의 특성에 관하여 기술하였다. 일반적으로 송신단 누설전력은 레이더시스템의 저 잡음증폭기 포화나 DC 오프셋 문제 등 여러 악영향을 미친다. [5] 특히 본 논문에서 사용한 방법처럼 LO신호와 RF신호의 상대적인 크기 차이를 이용할 경우 RF보다 매우 큰 송신단 누설전력은 민감도를 둔화시킨다. 이번 장에서는 송신단 누설전력이 유입되었을 때 최대 신호를 얻을 수 있는 LO신호 전력 설정 방법에 대해 서술하였다.

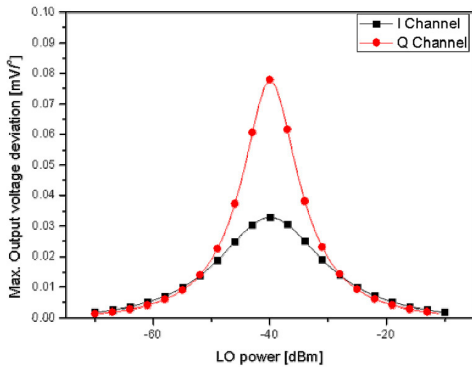
앞의 수식 4를 누설전력이 입사되었을 때의 수식으로 바꾸어 주면 다음과 같다.

$$V_{out} = K \times \Delta 10 \log \frac{A_{LO}^2}{2R} [1 + \alpha^2 + \beta^2 + 2\alpha \cos \theta_{LK} + 2\beta \cos \theta_{sig} + 2\alpha\beta \cos(\theta_{sig} - \theta_{LK})] \quad (5)$$

이때 α 는 누설전력과 LO신호와의 비이며 θ_{LK} 는 누설전력의 위상이다. 위 식을 통해 위상신호에 대한 출력 전압의 민감도를 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Sensitivity} = \max \left[\frac{\Delta V_{out}}{\Delta \theta_{sig}} \right] \quad (6)$$

즉 그림 2에서 그래프의 최대 기울기를 위상 민감도로 정하였다. 이후 위 수식을 사용하여 송신단 누설전력이 -40 dBm 이고 RF신호가 -80 dBm 인 경우에 대하여 그림 3에 도시하였다. 이때 LO전력을 바꾸어 주며 I와 Q채널의 민감도를 살펴보았다.

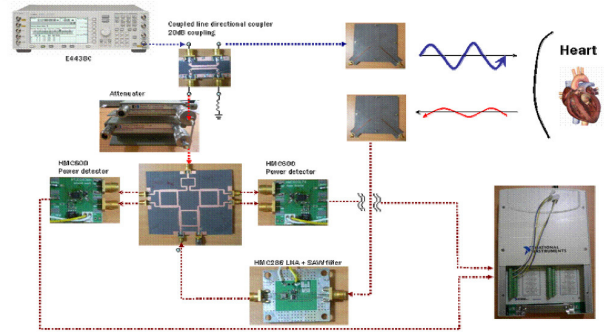


<그림 3> -30dBm 누설전력이 있는 경우 6-포트 복조기의 위상 검출 특성

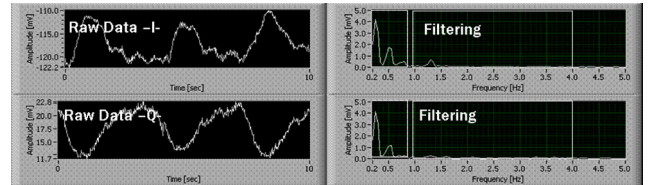
결과를 보면 LO신호와 누설전력의 크기가 같을 때 가장 출력 신호가 크게 나올 수 있다. 출력신호의 크기는 위의 민감도에 심장의 움직임에 의한 위상 차이를 곱해서 결정된다. 참고논문[6]을 통해 계산한 결과 약 13°의 위상 차이가 생기므로 1.14 mV 정도의 출력 전압 스윙이 생길 것을 예상할 수 있었다. 또한 I와 Q채널의 민감도 값이 다른 이유는 수식 5의 마지막 항에 의한 것이다.

3. 실험 결과

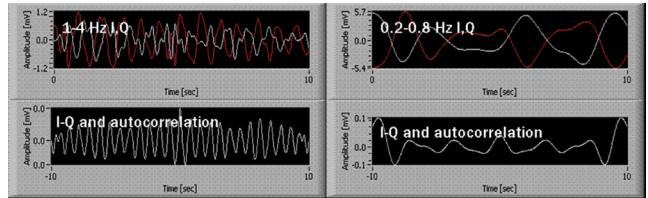
앞의 내용을 바탕으로 실험을 구성하였다. 그림 4는 구성한 실험의 모식도이다. 안테나는 두 개의 패치 안테나를 사용하였으며 각각의 이득은 7 dB로 측정되었다. 송신 안테나 직전의 전력은 -11 dBm으로 측정되었으며 6-포트 복조 회로의 로컬 전력은 -43 dBm으로 측정되었다. 6-포트 복조 회로의 출력을 NI사의 DAQ 보드를 사용하여 아날로그-디지털 처리를 하였다. 최종적으로 0.5m 거리에서 측정된 결과가 그림 5이다. 이중 그림 5(a)는 디지털 신호 처리전의 데이터와 푸리에 변환한 데이터이다. 이중 심박과 호흡수를 분리하기 위하여 0.2 - 0.8 Hz 대역 통과 필터와 1 - 4 Hz 대역 통과 필터를 사용하였다. 그림 5(a)의 I채널 데이터를 푸리에 변환한 그래프에서 1.3Hz에서 1 mV 피크가 생김을 확인할 수 있었다. 이후 그림 5(b)는 필터를 통과한 I,Q파형과 I와 Q신호의 차이를 자기상관한 그래프이다. 다음으로 그림 5(c)는 자기상관한 신호의 영점검출을 통해 심박과 호흡수를 분당 회수로 도시하였다. 디지털 신호처리는 현재 1초 측정 데이터와 이전 9초 측정 데이터를 함께 시간 윈도우 하여 처리된다. 처리결과 10초 평균 심박은 약 78 BPM, 10초 평균 호흡수는 약 21 BPM이었다.



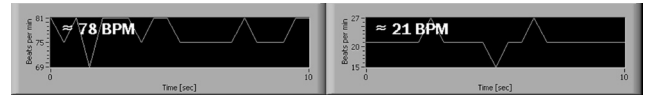
<그림 4> 실험 모식도



(a)



(b)



(c)

<그림 5> 6-포트 회로의 위상 검출 특성

4. 결 론

기준에 많이 사용되는 믹서 회로를 6-포트 복조 회로로 대체하여 레이더 시스템 설계를 수행하였다. 특히 전력 검출기 이후 LOG증폭기를 사용하여 작은 수신 전력의 위상을 검출해 낼 수 있었다. 또한 LOG증폭기를 사용한 6-포트 회로의 최적 LO구동지점을 찾아내었다. 이를 바탕으로 최종 실험을 진행하였다. 약 0.5 m 거리에서 사람의 심박과 호흡수를 원격 측정할 수 있었으며 I와 Q신호의 분리를 통해 이를 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.C.Lin, "Microwave sensing of physiological movement and volume change: A review," *Bioelectromagnetics*, vol. 13, pp. 557-565, 1992.
- [2] J. Seals, S.R. Crowgey, and S.M. Sharpe, "Electromagnetic vital signs monitor," *Georgia Tech. Res. Inst., Atlanta, GA, Final Rep. Project A-3529-060*, 1986.
- [3] K.M.Chen, Y.Huang, J.Shang, and A. Norman, "Microwave life-detection systems for searching human subjects under earthquake rubble of behind barrier," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 27, pp. 105-114, Jan. 2000.
- [4] 이용진, 장병준, 유종관, "호흡 및 심박수 측정을 위한 비 접촉 방식의 2.4 GHz 바이오 레이더 시스템," 2007년도 한국 전자과학회 종합학술 발표회 논문집, 17(1), pp. 267-3270, 2007년 11월.
- [5] Wan-Kyu Kim, Moon-Que Lee, Jin-Hyun Kim, Hyung-sun Lim, Jong-Won Yu, Byung-Jun Jang, Jun-Seok Park, "A passive circulator with high isolation using a directional coupler for RFID," *Microwave Symposium Digest*, pp. 1177-1180, June. 2006.
- [6] C. Gabriel, "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies," <http://niremf.ifac.cnr.it/>.