
Duplex-FSK 원격제어 무선 전송부 설계 및 제작

김 영 완*

Design and implementation of remote controlling wireless transmission unit using duplex-FSK

Young Wan Kim

이 논문은 2008년도 (재)전북테크노파크의 재원으로 2008 연구개발사업 지원을 받아 수행된 연구임

요 약

본 논문에서는 하나의 국부 발진기를 갖는 FSK 이중통신 방식의 원격제어 무선 전송부를 설계·제작한다. 전 이중 방식의 FSK 양방향 동시통신 회로에서는 양방향 동시 통신을 위한 송수신 주파수를 설정하고, 반 이중방식에서는 송수신 신호를 발생하는 절체형 발진기 회로를 설계한다. 양 FSK 이중통신 방식의 원격제어 무선 전송부는 채널 주파수간 간섭을 배제하기 위한 채널 사용 검지 및 자동 채널 설정 회로를 설계 구현하였으며, 400 MHz 대역에서 50 kHz 채널 간격을 갖는 위상동기회로 구성의 Colpitz 형 국부발진주파수 회로와 10 mW 이내의 소형 소출력 특성을 갖는다. 전 이중 방식의 송수신 주파수는 21.4 MHz IF 주파수의 2배 주파수인 42.8 MHz 주파수 간격으로 설계 구현하였다.

ABSTRACT

The FSK duplex remote controlling wireless transmission units with a common local oscillator circuit for transmitter and receiver are designed and implemented in this paper. In the FSK full-duplex the channel frequency for Tx/Rx is allocated, a common switching oscillator circuit for Tx/Rx is designed in the FSK half-duplex scheme. Both of FSK units get functions of automatic channel detection for busy channels and channel configuration for an idle channel in order to reduce the RF channel interference and are designed as a remote controller with small-sized low power of 10 mW and the 400 MHz-colpitz type PLL configuration of 50 kHz channel separation. The full-duplex Tx/Rx link frequency gets frequency difference of 42.8 MHz, which is double of 21.4 MHz IF frequency.

키워드

FSK duplex, Remote controller, Wireless communication transmission unit

I. 서 론

무선을 사용하여 원격지의 장비 및 제어 시스템을 운용하는 소출력 원격제어 장치가 널리 사용되고 있다 [1][2]. 소출력 원격 무선제어 장치는 FSK 변조 방식과 반 이중통신 방식(half-duplex)을 주로 사용하고 있다. 즉, 간단한 구조와 원격제어 및 모니터링에 적합한 전송방식인 FSK는 ISM 주파수 대역을 사용하여 송수신을 절체하는 방식으로 데이터를 전송한다[3][4]. 이러한 일정한 거리를 갖는 원격 무선제어 장치 전송 방식은 동일한 송수신 주파수를 사용하고 동일 대역내에 많은 무선기기가 사용되므로 채널간 간섭 현상이 자주 발생된다. 원격 무선제어 데이터는 저속 데이터로 데이터 오류 발생 시 오류 신호의 재전송에 의해 신뢰성있는 데이터를 확보하고 있으나, 간섭 현상이 빈번하거나 중저속 데이터 및 실시간 데이터 전송시에는 원하는 데이터 확보에 어려움이 상존한다.

ISM 대역의 FSK 전송을 위한 비교적 간단한 반 이중통신 방식의 전송 IC가 상용화되어 널리 활용되고 있으며, 서로 다른 송수신 주파수 설정으로 전 이중통신 방식도 가능하다[5][6]. 그러나 주파수 설정에 대한 회로가 복잡하고, 고정된 주파수 대역 운용으로 사용 채널 설정의 제한성과 채널 간섭 경감을 위한 채널 운용의 어려움이 발생할 수 있다. 또한 헤테로다인 방식 구조에 비해 저가 및 소형화에 대한 장점이 낮아지는 회로 구성이 요구될 수 있다.

본 논문에서는 하나의 송수신 국부발진 신호원을 사용하여 양방향 동시 통신을 하는 전 이중 FSK 구조와 하나의 발진회로에서 간단히 송수신 주파수를 절체하여 사용하는 반 이중 FSK 원격 무선제어 장치를 설계하고 제작한다. 양 방식의 FSK 방식은 채널 간섭에 대한 신호 열화를 경감하기 위하여 50 kHz 채널 간격의 다채널 운용으로, 사용 채널을 자동 감지하고 무통화 채널(idle channel)로 전송 채널을 자동 설정한다. 또한, 400 MHz 전송 대역의 위상동기 Colpitz 형 국부발진주파수 회로와 10 mW 이내의 소형 소출력 특성을 갖는다. 전 이중 방식의 전송 신호 주파수는 21.4 MHz IF 주파수의 2배 주파수인 42.8 MHz 주파수 간격으로 구현하여 반전 변환(inverting conversion)과 비 반전 변환(non-inverting conversion) 헤테로다인 구조로 설계하였다.

II. 이중통신 방식 FSK 무선 전송부

2-1. 전 이중통신 방식 FSK 원격 무선전송 구조 및 설계

전 이중통신 방식의 양방향 동시 통신은 헤테로다인 송수신 주파수 설정이 요구된다[7]. 간단한 통신 구조를 위하여 송수신 채널에서 동일한 국부발진 신호를 사용할 경우, 양방향 무선 전송부(모듈)는 같은 중간 주파수 ($f'_{IF}=f_{IF}$)를 사용한다. 따라서, 그림 1과 같이 송수신한 채널은 비 반전 변환 방식을 사용하며, 다른 송수신 채널은 반전 변환 방식의 송수신 주파수를 사용한다.

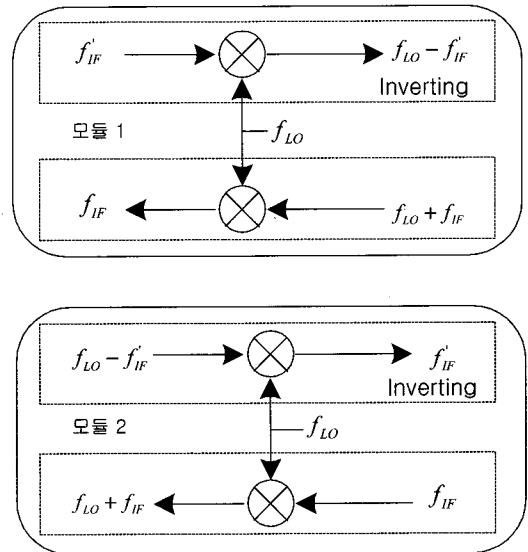


그림 1. 전 이중 FSK 통신을 위한 헤테로다인 송수신 주파수 설정

Fig. 1 Tx/Rx Frequency plan for heterodyne full-duplex FSK communication.

그림 1로부터 반전 변환에서는 주파수 변환기(mixer) 출력 신호의 하측대파를 사용하고, 비 반전 변환 채널에서는 상측대파를 사용하여 송신 신호와 동일한 중간주파수 스펙트럼 신호를 수신할 수 있다. 주파수 변환기의 상측대파와 하측대파 사용으로 송수신 전송 신호의 주파수 차이는 중간 주파수의 2배($2 \cdot f_{IF}$)이다.

전 이중 FSK 통신방식에서는 그림 1과 같이 헤테로다인 구조를 사용한다. 송신 채널의 중간 주파수 신호(모듈 1의 f'_{IF} 와 모듈 2의 f_{IF})는 디지털 영역의 성형 필터

(shaping filter)에 의해 대역 제한된 정보 신호(전송 디지털 신호)에 의해 주파수 변조된 신호이다. 즉, 성형 필터는 전송 디지털 신호의 높은 주파수 영역 성분을 억압하여 FSK 변조에 의한 대역폭 확산을 제한하여 일정한 전송 대역폭을 갖도록 한다. 또한 수신 채널에서 성형 필터는 대역 제한된 정형 검파 신호를 디지털 신호로 성형한다. 그림 2는 중간 주파수 영역의 주파수 변조 회로를 나타내며, 변조 신호는 성형된 정보 신호이다.

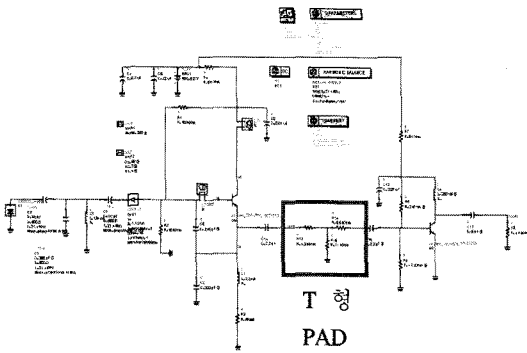


그림 2. 중간 주파수 영역의 주파수 변조 회로 구성도

Fig. 2 Frequency modulation circuit layout in range of Intermediate frequency.

변조 회로는 Colpitz 형 발진회로이며, 21.4 MHz 발진 주파수와 그림 3과 식 (1)을 만족하는 전송율과 주파수 편이값을 갖는다.

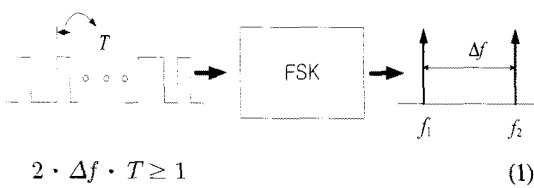
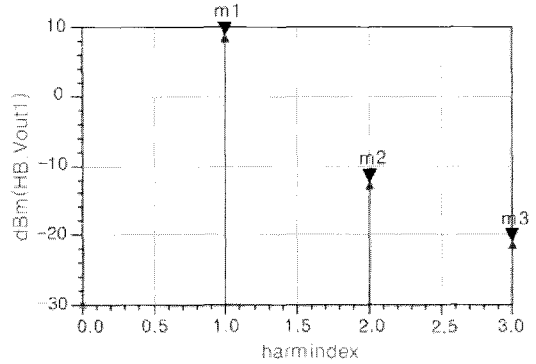


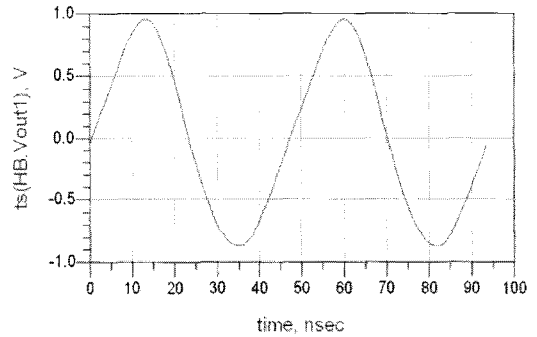
그림 3. FSK의 주파수 편이 및 전송율 관계
Fig. 3 Relation between transmission data rate and frequency shift keying.

일정한 크기의 변조 신호와 부하의 영향을 최소화하는 버퍼(buffer) 회로와 21.4 MHz 신호 선택을 위한 대역 통과 필터를 출력단에 사용한다. 그림 4는 변조 회로의 출력 신호이다. 21.4 MHz 및 고주파 출력 신호(그림 4(a))

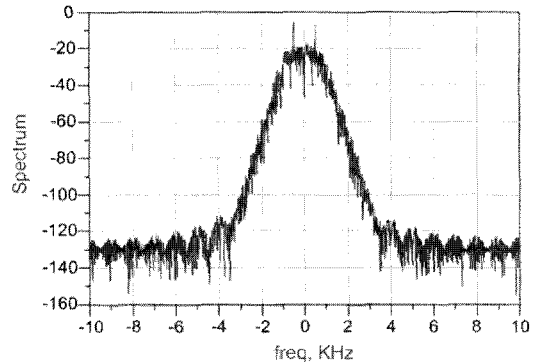
와 여과된 21.4 MHz의 주파수 신호 발생(그림 4(b)) 및 변조 신호(그림 4(c))를 보여준다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 변조 회로 출력 신호
(a) 필터전 신호, (b) 필터후 신호 그리고
(c) 성형필터 사용한 변조 신호

Fig. 4 Output signal of modulation circuit
(a) before BPF, (b) after BPF, (c) modulation signal by using data shaping filter.

그림 4에서 $m1=21.4 \text{ MHz}$, 8.93 dBm , $m2=42.8 \text{ MHz}$, -12.27 dBm 그리고 $m3=64.2 \text{ MHz}$, -20.88 dBm 이다.

변조 회로와 버퍼 회로는 T-패드(pad)에 의해 정합 및 전력 조절되며, 불요 고주파 신호는 -21.2 dBc 크기를 가지나, -60 dBc 이하의 감쇠 특성을 위하여 대역통과필터 회로를 출력단에 설계한다.

2-2. 반 이중통신 방식 FSK 원격 무선전송 구조 및 설계

반 이중통신 방식 FSK 전송은 동일한 송수신 주파수를 사용하며, 송수신 신호는 자동 절체된다. 수신 채널은 헤테로다인 방식을 사용하며, 송신 채널은 모노다인 방식을 사용한다. 반 이중통신 방식 FSK는 그림 5와 같은 구조를 갖는다. 그림 5의 전압제어 발진부(VCO)는 하나의 회로로 구성되고, 송수신시에 변조 회로와 국부발진회로로 절체 동작된다. 전압제어 발진부의 송수신 주파수 차는 수신 채널의 중간 주파수 신호와 같다. 반 이중통신 방식 FSK의 전압제어 발진부는 그림 6과 같다. 송수신시에는 절체 회로에 의해 변조 신호(modulation signal)와 Tx 단이 연결되며, C2 성분에 의해 송신 주파수 f_T 를 갖는 FSK 변조가 발생된다. 수신시에는 Rx와 C1 단이 연결되어 식 (2)와 같은 신호를 각각 발생한다.

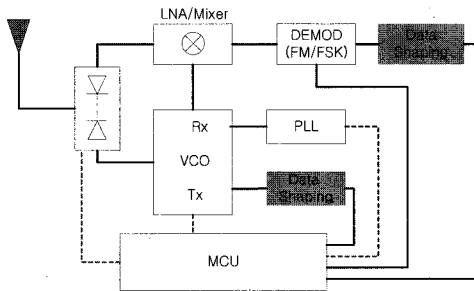


그림 5. 반 이중통신 방식 FSK 송수신 채널 구조
Fig. 5 Block diagram of half-duplex FSK Tx/Rx channel.

$$f_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}} \quad (2)$$

$$f_{LO} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)}}$$

여기서, 국부발진 신호 $f_{LO} = f_T(f_R) - f_{IF}$ 이며, $f_R (= f_T)$ 및 f_{IF} 는 수신 주파수와 수신 채널의 중간 주파수이다.

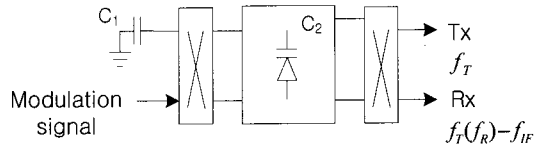


그림 6. 송수신 전압제어 발진부의 구성
Fig. 6 Configuration of VCO for Tx/Rx.

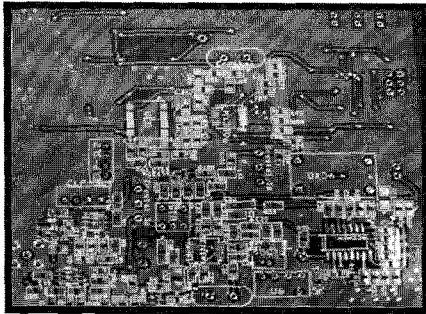
수신 중간주파수는 전 이중통신 방식과 동일한 21.4 MHz 회로로 설계된다. 송신 신호 및 수신 국부발진 신호는 위상동기회로(PLL)에 의해 제어되며, 채널간 격리도를 위하여 50 kHz 채널 간격으로 설정된다.

복조에서는 잡음(noise) 스킴치 회로와 RSSI 신호를 사용한다. 잡음 스킴치 회로는 원하는 신호가 선택되지 않을 경우 복조시 검출된 잡음을 이용하여 검파 신호를 차단하며, 15 KHz 대역 잡음을 감지한다. RSSI 신호는 수신 반송파 세기를 검출하여 채널의 사용 여부를 감지하고, MCU 및 위상동기 회로에서 자동 채널을 설정할 수 있도록 한다. 데이터 성형 필터는 2.5 kHz 이상의 정보 신호를 제거하는 능동형(active) 6차 저역통과필터로 구성되며, 고주파에 의한 수신 에러를 방지하고 송신 대역을 제한하도록 한다.

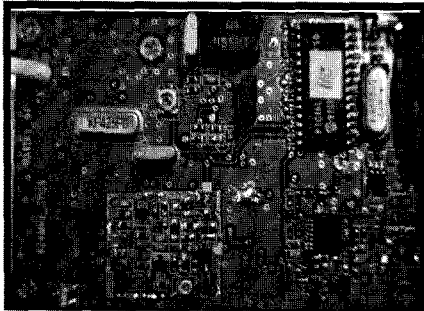
III. 제작 및 성능 실험

400 MHz ISM 대역과 50 kHz 채널 간격을 갖는 다채널 위상동기 회로를 기반으로 전 이중방식과 반 이중방식 FSK 원격제어 무선 전송부를 각각 제작하였다. 전송 속도는 2.4 kbps 를 지원하는 성형 필터와 하나의 송수신 신호 발생부를 구현하였다. 전 이중방식 FSK는 403.5 MHz 와 446.3 MHz 전송주파수, 21.4 MHz IF 주파수와 424.9 MHz 대역 국부발진 신호를 가지며, 반 이중방식 FSK는 424.7 MHz 대역 전송 주파수, 21.4 MHz IF 주파수와 403.3 MHz 대역 수신 국부발진 신호를 갖는다.

그림 7은 제작된 이중통신 방식의 FSK 무선 전송 모듈이다. 전 이중통신 방식 FSK 무선 전송 모듈은 RF 전처리단 및 반전 변환, 비 반전 변환부 그리고 변복조부와 기저대역으로 구성되며, 신호 발생부는 위상동기 회로로 구현하였다. 반 이중통신 방식의 FSK 무선 전송 모듈은 전 이중통신 방식 FSK 모듈과 같은 구성을 가지며, 송수신을 위한 절체 기능이 신호 발생부와 송수신 안테나부에 구현되었으며, 또한 송수신 절체 및 채널 감지, 채널 자동 설정이 자동적으로 수행되도록 MCU부에 구현되었다.



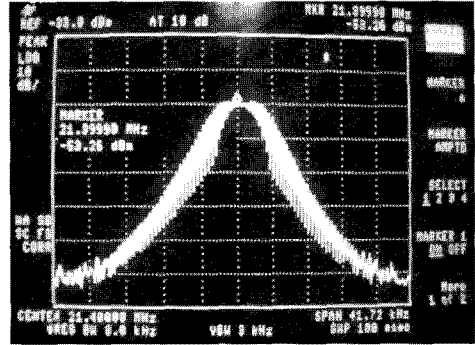
(a)



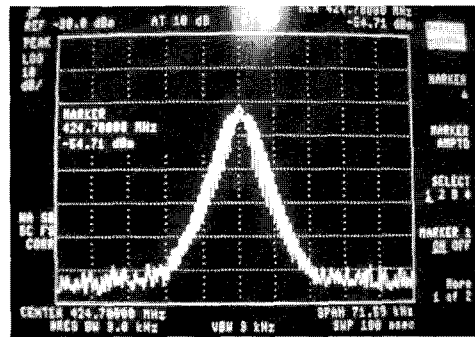
(b)

그림 7. 제작된 이중통신 방식 FSK 전송 모듈,
(a) 전 이중방식 배치도와 (b) 반 이중방식 조립도
Fig. 7 Implemented duplex FSK module,
(a) full-duplex layout and (b) half-duplex assembly.

그림 8은 21.4 MHz와 424.7 MHz FSK 변조 신호 특성을 보여준다. 불요 고주파 신호는 -60 dBc 이하이며, $\pm 2.5 \text{ kHz}$ 의 주파수 편이를 갖는 변조 신호를 갖는다. 정보 변조신호는 데이터 성형 필터에 의해 대역 제한되므로 주파수 변조(FM) 신호 스펙트럼 특성을 갖는다.



(a)



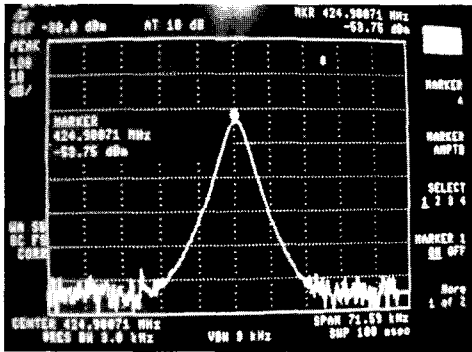
(b)

그림 8. FSK(FM) 변조 신호 특성
(a) 21.4 MHz와 (b) 424.7 MHz

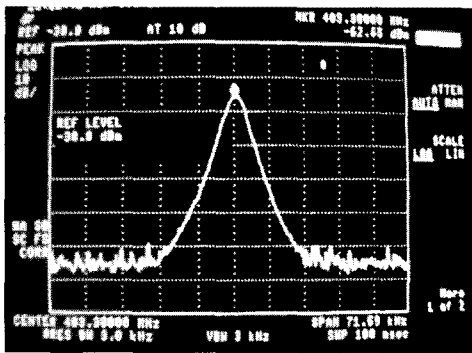
Fig. 8 Signal characteristics of FSK modulation
(a) 21.4 MHz and (b) 424.7 MHz.

그림 9는 424.9 MHz와 403.3 MHz의 국부발진 신호 특성을 보여준다. 위상동기회로(PLL)에 의한 안정된 주파수 신호를 나타내고 있다. 채널간 주파수 간격은 50 kHz이며, 다채널 국부발진 신호를 발생한다.

그림 10은 이중방식 FSK 무선 원격 제어 전송부의 수신 정보 신호이다. 무선 수신 감도는 약 $0.35 \mu\text{V}$ (@12 dB SINAND)이며, 10 mW 이하의 소출력 특성을 갖는다. 또한, 5%(@ 1 kHz 변조 신호) 이하의 오디오 왜곡 특성으로 전 이중방식과 반 이중방식의 FSK 무선 전송부는 양호한 신호를 송수신한다.



(a)



(b)

그림 9. 국부발진 신호 특성
 (a) 424.9 MHz와 (b) 403.3 MHz
 Fig. 9 Signal characteristics of FSK modulation
 (a) 424.9 MHz and (b) 403.3 MHz.

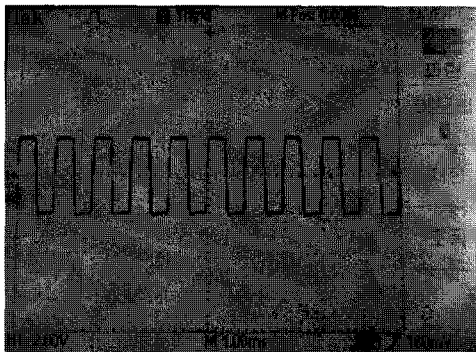


그림 10. 수신 정보 신호(@ 0.35 μ V, 1 kHz)
 Fig. 10 Receiver demodulated digital shaping
 signal(@ 0.35 μ V, 1 kHz).

IV. 결론

본 논문에서는 하나의 송수신 국부발진 신호원을 사용하여 양방향 동시 통신을 하는 전 이중 FSK 구조와 하나의 발진회로에서 간단히 송수신 주파수를 절체하여 사용하는 반 이중 FSK 원격 무선 전송부를 설계하고 제작하였다. 하나의 신호 발생부를 송수신 채널에 공용하는 송수신 주파수 설정과 이중 발진 회로를 구성하고, 주파수 간섭을 방지하기 위한 자동 채널 설정 기능을 구현하였다. 전 이중방식에서는 양방향 동시통신을 위하여 반전 변환 방식과 비 반전 변환 방식을 사용하여 채널을 구성하고, 반 이중방식에서는 송수신 채널을 절체하는 회로로 구성하였다. 설계 제작된 무선 전송부의 수신 감도는 12 dB SINARD에서 약 0.35 μ V이며, 1 kHz 변조 신호에서 5% 이하의 오디오 왜곡 특성으로 양호한 전송 특성을 갖는다.

참고 문헌

- [1] Ghovanloo, M and Najafi, K., "A wideband frequency-shift keying wireless link for inductively powered biomedical implants", *IEEE Trans. on Circuits and Systems I*, vol. 51, no. 12, pp. 2374-2383, 2004.
- [2] Ro-Min Weng, Shu-Ya Li, J.C. Wang, "Low Power Frequency-shift keying Demodulators for Biomedical Implants", *Conf. on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC)*, pp. 1079-1082, Dec. 2007.
- [3] Jung, L,H, et al, "A Dual Band Wireless Power and FSK Data Telemetry for Biomedical Implants", *Conf. on Engineering in Medicine and Biology Society(EMBS)*, pp. 6596-6599, Aug. 2007.
- [4] Chen, C, Huang, E, White, B, "A mixed analog digital secondary channel FSK modem", in *Digest of Technical Papers of Conf. on Solid- State Circuits*, pp. 266-267, Feb. 1989.
- [5] <http://www.analog.com>
- [6] <http://www.rfm.com>
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed, New York: McGraw-hill, 1995

저자소개



김영완(Young-wan Kim)

1983년 경북대학교 전자공학사
1985년 경북대학교 전자공학석사
2003년 충남대학교 전자공학박사
1984~1990 동양정밀공업(주)
중앙연구소 과장

1990~1992 (주) 유영통신 이사

1992~2004 한국전자통신연구원 책임연구원

2004~현재 군산대학교 방송매체공학과 교수

※ 관심분야: RF/Microwave 시스템 및 회로설계,
디지털 위성방송/통신시스템, 마이크로파 소자