

# 낮은 LO 전력 구동 특성을 갖는 4-Port 직접 변환 수신기

## 4-Port Direct Conversion Receiver for BPSK Demodulation

조익균 · 이요셉 · 나 원 · 유종원\* · 이문규

Ik-Kyun Jo · Joseph Lee · Won Na · Jongwon Yu\* · Moon-Que Lee

### 요 약

본 논문에서는 BPSK 수신기를 제작함에 있어서 기존에 사용하던 6-port 수신기를 대신하여 4-port 수신기를 이용할 수 있음을 제안한다. 위의 수신기를 제작함에 있어서 1 Mbps의 데이터 율을 가지는 임의의 신호를 입력으로 사용하였고, 중심 주파수는 2.45 GHz에서 동작하는 직접 변환 수신기를 제작하였다. 수신기의 비교기는 OPA-847을 사용하여 제작하였다. 위의 실험을 바탕으로 BPSK 수신기 제작에 있어서 4-port 수신기의 동작 특성이 6-port 수신기 만큼의 효과를 나타냄을 보인다.

### Abstract

In this paper, we suggest a new 4-port receiver instead of 6-port schematic for the demodulation of BPSK. The designed receiver is implemented by a ring-hybrid balun, two power detectors, and a comparator. For the validity of the proposed receiver, we demonstrate a BPSK modulator/demodulator at 2.45 GHz. The measured data shows that the proposed 4-port receiver can successfully demodulate a data rate of 1 Mbps.

Key words : 6-Port, 4-Port, BPSK Receiver

### I. 서 론

새로운 표준과 프로토콜의 출현으로 무선 기술은 급속하게 발전하고 있다. 하지만 무선 기술이 발전하고 그에 따른 많은 응용 제품들이 나오면서 더 많은 표준과 프로토콜을 필요로 하게 되었다. 따라서 새로운 기준이 생길 때마다 그에 따른 시스템을 다시 구성하기 보다는 새로운 기준에도 적용 가능한 즉 시스템을 재구성 가능한 기술이 필요하게 되었다. 이와 같은 요구에 1990년대에 J. Mittra는 software defined radio(SDR)의 개념을 제시하였다. 이는 고속 디지털 신호 처리기, FPGA(Field Programmable Gate Array) 등 재구성 가능한 부품들을 사용하여 기

존의 시스템과 새로운 시스템에 모두 적용 가능한 시스템 구성을 가능하게 하는 기술이다<sup>[1]</sup>.

SDR을 구성하는 요소 중에서 RF가 차지하는 영역은 살펴보면 광대역 증폭기, 광대역 안테나 등이 된다. 이는 그 동작 영역에서의 상당한 유연성을 필요로 하게 된다. 특히 안테나를 통해 들어온 신호를 기저 영역으로 낮춘 다음부터는 디지털의 개념으로 신호를 처리하게 되므로 안테나에서 IF 영역까지가 RF 영역에서의 주된 쟁점이 되게 된다. 이에 1960년대에 제시된 6포트 구조를 이용하여 수신기를 설계하게 되었다<sup>[2]</sup>.

6포트 수신기는 마이크로파 믹서를 이용하지 않고 수신된 신호의 위상 변화를 쇼트키-다이오드를

「본 논문은 IT-SoC 사업단의 "mm-wave용 트랜시버 IP 및 플랫폼 검증" 과제 수행에 의한 결과입니다.」

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical, Computer and Engineering, University of Seoul)

\*한국과학기술원 전자전기공학부(Division of Electrical Engineering School of Electrical Engineering & Computer Science, KAIST)

· 논문 번호 : 20071130-13S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 1일

이용해 주파수를 변화시킴으로써 정보를 복원해 내는 직접 변환방식의 SDR 용 수신기로 많이 이용되고 있다. 6포트를 이용한 기술은 1970년대에 최초로 DUT의 복소 산란 계수를 값비싼 벡터 분석기를 대체해 비교적 저가격으로 간단하게 측정할 목적으로 연구되었다. 이를 높은 주파수에서 수신기로 응용을 함으로서 SDR에 적합한 새로운 구조의 직접 변환 수신기로 많은 연구가 진행되었다. 광대역 특성, 저전력 소모, 소프트웨어에 의한 재구성 등의 특징을 가지고 있는 6포트는 SDR의 요구 조건을 만족함으로써 새로운 구조의 SDR을 위한 아날로그 front-end로 관심을 받고 있다.

6포트 구조의 수신기는 QPSK-16QAM과 벡터 신호의 수신이 가능한 구조이다. QPSK-16QAM이나 벡터 신호를 복조하기 위해서는 기준이 되는 신호가 필요하기 때문에 6포트나 5포트를 사용한 수신기를 구성하여야만 한다. 하지만 BPSK와 같이 변조가 간단한 신호를 수신하는 데에는 보다 간단한 구조로도 수신이 가능하다. 본 논문에서는 6포트의 동작 원리를 설명하고 그 원리를 이용하여 BPSK 신호의 경우 6포트보다 그 구조가 간단한 4포트 구조를 사용한 4-포트 직접 변환수신기를 이용하여 수신이 가능함을 밝힌다. 제시한 4포트 직접 변환 수신기는 2.45 GHz를 중심주파수로 갖는 링 하이브리드(ring hybrid) 구조를 사용하여 제작되었다.

## II. 6포트의 동작 원리

6포트 수신기의 동작 원리를 설명하기 위하여 그림 1에 6포트 수신기의 블록도를 나타내었다. 6포트는 LO 신호와 RF 신호의 중첩을 이용하여 출력 포트에서 서로 다른 4개의 위상 조합을 생성한다. 이때 모든 위상 조합은 4개의 서로 다른 위상 천이, 즉 0도, 90도, 180도, 270도를 갖는 두 입력 신호의 합으로 구성된다.

위 구조를 수학적으로 보이기 위해서 LO 신호와 RF 신호를 식 (1)로 나타낸다.

$$\begin{aligned} V_{LO}(t) &= A_{LO} \cos(2\pi f_{LO}t + \phi_{LO}) \\ V_{RF}(t) &= A_{RF} \cos(2\pi f_{RF}t + \phi_{RF} + \Phi(t)) \\ A_{RF} &= A_c a(t) \end{aligned} \quad (1)$$

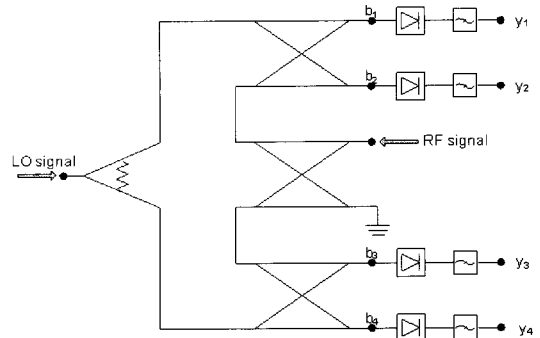


그림 1. 6-포트 수신기 블록도  
Fig. 1. The block diagram of 6-port receiver.

여기서  $A_{LO}$ 는 LO의 신호의 크기이고  $\phi_{LO}$ 는 LO의 위상이다.  $A_c$ 는 캐리어 신호의 크기이고 수신 신호에서 변조된 정보는  $\Phi(t), a(t)$ 를 통해 나타낸다. 즉 ASK와 PSK 변조 방식 모두 표현이 가능하다.

따라서 그림 1의 블록도에서 나타낸 4개의 출력 포트에 나타나는 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} b_i &= \alpha_i A_{LO} \cos(2\pi f_{LO}t + \phi_{LO} + \theta_i) \\ &+ \beta_i A_{RF} \cos(2\pi f_{RF}t + \phi_{RF} + \Phi(t) + \varphi_i) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\alpha_i, \beta_i$ 는 크기의 손실을 나타내고  $\theta_i, \varphi_i$ 는 위상의 변화를 나타낸다.

이렇게 얻은 4개의 출력 포트에서 얻은 신호를 쇼트키 다이오드의 제곱원리를 이용하여 정리하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} v_i &= K_i b_i^2 = K_i [\alpha_i A_{LO} \cos(2\pi f_{LO}t + \phi_{LO} + \theta_i) \\ &+ \beta_i A_{RF} \cos(2\pi f_{RF}t + \phi_{RF} + \Phi(t) + \varphi_i)]^2 \\ &= \frac{K_i \alpha_i^2 A_{LO}^2}{2} [\cos(4\pi f_{LO}t + 2\phi_{LO} + 2\theta_i) + 1] \\ &+ \frac{K_i \beta_i^2 A_{RF}^2}{2} [\cos(4\pi f_{RF}t + 2\phi_{RF} + 2\Phi(t) + 2\varphi_i) + 1] \\ &+ K_i \alpha_i \beta_i A_{LO} A_{RF} [\cos(2\pi f_{LO}t + \phi_{LO} \\ &+ \theta_i + 2\pi f_{RF}t + \phi_{RF} + \Phi(t) + \varphi_i) \\ &+ \cos(2\pi f_{LO}t + \phi_{LO} + \theta_i - 2\pi f_{RF}t - \phi_{RF} - \Phi(t) - \varphi_i)] \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)의 수식을 저역 통과 필터를 통과시키면 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$v_i = \frac{K_i \alpha_i^2 A_{LO}^2}{2} + \frac{K_i \beta_i^2 A_{RF}^2}{2}$$

낮은 LO 전력 구동 특성을 갖는 4-Port 직접 변환 수신기

$$+ K_i \alpha_i \beta_i A_{LO} A_{RF} \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO} + \theta_i - 2\pi f_{RF} t - \phi_{RF} - \Phi(t) - \varphi_i) \quad (4)$$

여기에서 LO 신호와 RF 신호의 주파수와 위상이 일치한다고 가정하면 식 (5)의 식을 얻을 수 있다.

$$f_{LO} = f_{RF}, \phi_{LO} = \phi_{RF}$$

$$v_i = \frac{K_i \alpha_i^2 A_{LO}^2}{2} + \frac{K_i \beta_i^2 A_{RF}^2}{2} + K_i \alpha_i \beta_i A_{LO} A_{RF} \cos(\theta_i - \Phi(t) - \varphi_i) \quad (5)$$

식 (5)에서  $i$ 에 각각 1부터 4를 대입하고 각 신호의 크기는 입력 신호의 크기의 절반씩 나누어진다고 가정한다. 그리고 각 포트의 위상차는 앞에서 언급했듯이 0도, 90도, 180도, 270도로 나타낼 수 있다. 또 같은 다이오드를 사용하므로 같은 계수를 가진다.

$$y_1 = \frac{KA_{LO}^2}{8} + \frac{KA_{RF}^2}{8} + \frac{KA_{LO}A_{RF}}{4} \cos(\Phi(t))$$

$$y_2 = \frac{KA_{LO}^2}{8} + \frac{KA_{RF}^2}{8} + \frac{KA_{LO}A_{RF}}{4} \cos(\Phi(t) + \frac{\pi}{2})$$

$$y_3 = \frac{KA_{LO}^2}{8} + \frac{KA_{RF}^2}{8} + \frac{KA_{LO}A_{RF}}{4} \cos(\Phi(t) + \pi)$$

$$y_4 = \frac{KA_{LO}^2}{8} + \frac{KA_{RF}^2}{8} + \frac{KA_{LO}A_{RF}}{4} \cos(\Phi(t) + \frac{3\pi}{2}) \quad (6)$$

위의 수식을 통해서 보였듯이 6포트 수신기를 이용하면 ASK, PSK, QAM 방식의 변조된 신호를 수신할 수 있게 된다.

### III. BPSK 복조에 적합한 4포트의 동작 원리

위 구조를 수학적으로 보이기 위해서 LO 신호와 RF 신호를 식 (7)에 나타내었다.

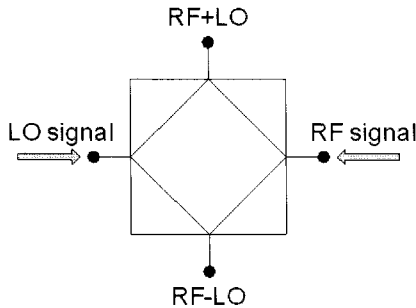


그림 2. 4-포트 수신기 블록도  
Fig. 2. The block diagram of 4-port receiver.

$$V_{LO}(t) = A_{LO} \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO})$$

$$V_{RF}(t) = A_{RF} \cos(2\pi f_{RF} t + \phi_{RF}) \quad (7)$$

RF 신호는 BPSK 복조 신호이므로 위상이 같은 경우와 다른 경우, 즉 위상차가 0도일 때와 180도 일 때로 나누어 보면 나타내면 다음과 같다.

이때에도 6포트의 경우와 같이  $A_{LO} = A_{RF}$ ,  $f_{LO} = f_{RF}$  을 가정한다.

1)  $\phi_{LO} - \phi_{RF} = 0$  일 경우

$$RF + LO = 2A_{LO} \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO})$$

$$RF - LO = 0 \quad (8)$$

2)  $\phi_{LO} - \phi_{RF} = \pi$  일 경우

$$RF + LO = A_{LO} (\cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO}) + \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO} + \pi))$$

$$= 2A_{LO} \cos(\frac{4\pi f_{LO} t + \pi + \phi_{LO} + \phi_{RF}}{2}) \cos(\frac{\pi}{2}) = 0$$

$$RF - LO = A_{LO} (\cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO}) - \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO} + \pi))$$

$$= -2A_{LO} \sin(\frac{4\pi f_{LO} t + \pi + \phi_{LO} + \phi_{RF}}{2}) \sin(\frac{-\pi}{2})$$

만약  $\phi_{LO} = \phi_{RF}$  라면

$$= 2A_{LO} \sin(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO} + \frac{\pi}{2})$$

$$= 2A_{LO} \cos(2\pi f_{LO} t + \phi_{LO}) \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)에서 보였듯이 4포트 수신기를 사용하면 BPSK 변조 신호를 복원할 수 있다.

### IV. 4포트 수신기 구조

#### 4-1 BPSK 변조기의 동작 원리와 구조

반사중단을 이용한 변조기의 원리는 그림 3에서 나타낸 BIPHASE 진폭 변조기의 원리로 나타내어진다<sup>[4]</sup>. BIPHASE 진폭 변조기는 하나의 90도 하이브리드와 그것의 커플링 포트와 다이렉트 포트의 임의의 로드로 구성된다.

식 (10)은 90도 하이브리드 S-parameter를 나타내었다<sup>[5]</sup>.

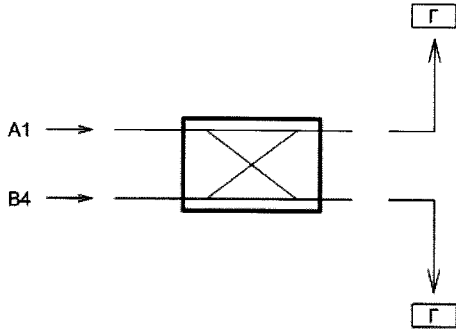


그림 3. 90도 하이브리드 블록도  
Fig. 3. The block diagram of 90 degree hybrid.

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

두 종단 포트(2, 3번 포트)에 반사계수  $\Gamma$ 를 가지는 로드 있다면, 90도 하이브리드는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다

여기서 두 종단 포트에서 입사/반사되는 관계는 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$A_i = j\Gamma \cdot B_i @ i = 2,3 \quad (11)$$

따라서 식 (10)과 식 (11)을 조합한 전체 Biphase 진폭 변조기의 S-parameter는 식 (12)로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \end{bmatrix} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1 \\ \Gamma B2 \\ \Gamma B3 \\ A4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

입력 신호가 1번 포트에 있을 경우 4번 포트에서의 출력을 식으로 표현하면 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} B4 &= -\frac{1}{\sqrt{2}} \Gamma (B2 + jB3) \\ B2 &= -\frac{1}{\sqrt{2}} (jA1 + A4) \\ B3 &= -\frac{1}{\sqrt{2}} (A1 + jA4) \\ \therefore B4 &= j\Gamma A1 \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에서 출력 값이 양 종단의 반사계수  $\Gamma$ 에 의해 변조가 이루어짐을 알 수 있다. 예를 들어 종단

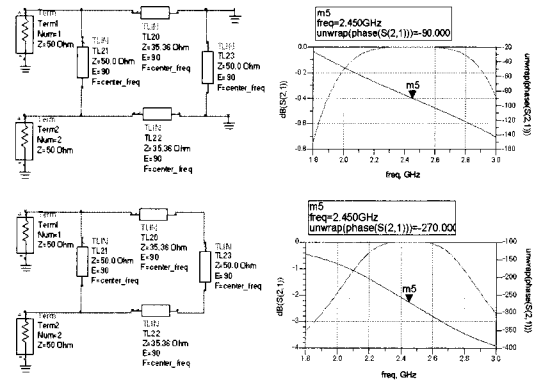


그림 4. 90도 변조기의 동작  
Fig. 4. Operation of 90 degree modulator.

임피던스가 단락이나 개방이 되면 반사계수가 1 또는 -1이 되므로 BPSK가 이루어지고, 단락이나 50 옴 종단이면 ASK 변조가 이루어짐을 알 수 있다. 본 논문에서는 단락과 개방의 종단 임피던스를 통해 BPSK신호 변조를 구성하였다.

그림 4에 ADS를 이용하여 90도 변조기의 동작을 나타내었다. 종단 부분이 단락이나 개방된 경우 모두 중심 주파수에서  $S_{21}$ 이 0 dB가 됨을 확인할 수 있다. 또한 위상을 보면 두 경우 180도의 차이를 보여 본 논문에서 사용한 BPSK 신호를 만들어 낼 수 있음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 종단의 반사계수의 변화를 위해서 GaAs 기반의 p-HEMT를 이용하여 전력소모가 적고 빠른 스위칭 속도를 갖는 반사계수 발생 회로를 설계하였다. p-HEMT를 이용하여 가변 저항을 만들기 위해선 cold-Bias 기법을 이용했다. 즉, 트랜지스터의 드레인-소스 간의 접압(VDS)를 0 V로 유지하고 게이트 전압(VGS)에 따른 채널저항의 변화를 이용한다. 이를 이용하여 그림 5의 BPSK 변조 회로를 제작하였다.

#### 4-2 BPSK 수신기의 동작 원리와 구조

그림 6은 ring hybrid 구조를 이용해 두 개의 출력이 180도 위상차를 가지도록 구성한 4 포트 구조이다.

Ring hybrid 구조의 S-parameter 값을 나타내면 식 (14)와 같다<sup>[5]</sup>.

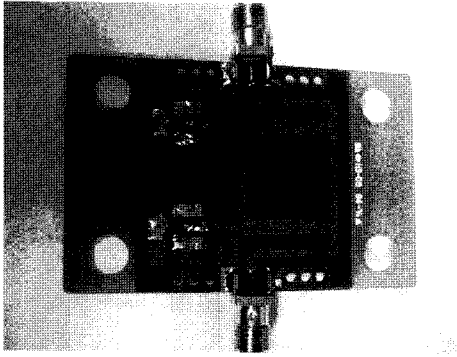


그림 5. 실제 제작한 BPSK 변조 회로  
Fig. 5. Designed BPSK modulator(60×35 mm).

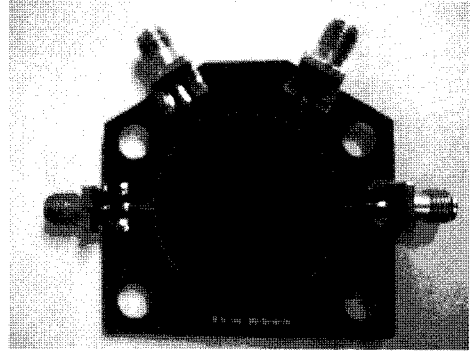


그림 8. FR4로 구현한 링 하이브리드  
Fig. 8. Designed ring hybrid with FR4.

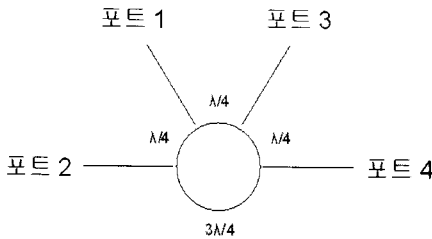


그림 6. 4포트 링 하이브리드 구조  
Fig. 6. The structure of 4-port ring hybrid.

$$[S] = -\frac{j}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

식 (14)에서도 알 수 있듯이 포트 1로 들어간 신호는 포트 2와 포트 3에 분배되고 포트 4는 신호가 나오지 않게 된다. 또한, 포트 2와 포트 3에 신호가 인가되면 포트 1에는 두 신호의 합이, 포트 4에는 두 신호의 차의 값이 출력된다.

그림 7은 이 과정을 보여준다.

따라서, 같은 크기를 가지는 두 신호 중, 한 입력이 포트 2(LO)로 입사되고 다른 입력이 포트 3(RF)



그림 7. 4-포트 링 하이브리드 블록도  
Fig. 7. The block diagram of 4-port ring hybrid.

로 입사될 때, 둘의 위상차가 0도이면 포트 1이 두 입력의 합의 값을 가지게 되고, 포트 4는 0의 값을 가지게 된다. 이와 반대로 위상차가 180도 이면 포트 4에서는 두 입력의 합의 값을 가지지만, 포트 1은 0의 값을 가지게 된다. 따라서 두 개의 출력 단자를 통해 나온 값을 비교해 줌으로서 송신된 신호의 위상, 즉, 데이터를 알 수 있게 된다.

직접적인 비교를 위해 출력 신호들을 전력 검출기를 통해 값을 얻고 두 신호의 차를 증폭시켜 주는 차동 증폭기를 통해 값을 비교하면 인가된 신호, 즉, 데이터를 복원할 수 있게 되는 것이다.

그림 8은 FR4 기판을 이용하여 제작한 실제 ring hybrid 구조의 그림이다. 중심 주파수는 2.45 GHz를 갖도록 디자인하고 설계했다.

### 4.3 위상 천이기

앞의 BPSK의 동작 원리에서 설명했듯이 BPSK 변조 신호를 정확하게 복원하기 위해서는 RF 신호와 LO 신호의 주파수와 위상이 같아야 한다. 왜냐하면 BPSK 변조 신호를 송수신하기 위해서는 4포트 수신기는 동기 시스템으로 작동하여야 하기 때문이다.

보통 이와 같은 역할을 하는 부분이 PLL과 캐리어 복원 회로이다. 그러나 본 논문에서는 하나의 신호 발생기를 전력 분배해 사용함으로써 주파수 일치하는 문제는 해결하였으나, 변조기 등을 거치며 생성된 위상의 차이를 맞춰주기 위하여 위상 천위기를 제조하였다. 원리는 변조기를 만드는 원리와 같

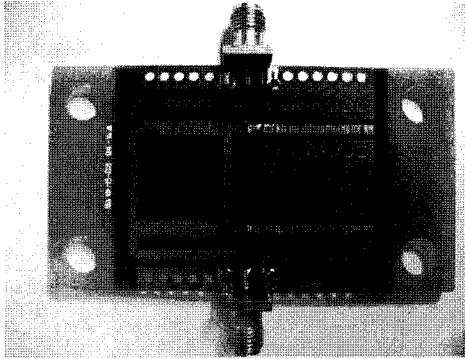


그림 9. 위상 천이기(70×35 mm)  
Fig. 9. Phaser shifter(70×35 mm).

이 중단 임피던스 값을 조정하여 위상의 변화를 조정하여 준다.

그림 9는 FR4 기판을 이용하여 제작한 실제 위상 천위기의 그림이다. 로드 중단에 라인을 연장할 수 있도록 구성하였다. 한 칸을 연장해서 연결할 때마다 10도의 위상을 조절할 수 있도록 길이를 계산하여 제작하였다.

#### 4.4 차동 증폭기의 원리와 구조

4포트 BPSK의 수신기의 신호 복원은 두 출력단자 값의 비교를 통해 이루어진다. 따라서 두 출력 값을 비교, 그 차이를 출력으로 갖는 구조가 필요하고, 여기서는 가장 간단한 차동 증폭기에 대해 간략히 설명한다.

그림 10은 차동 증폭기의 구조를 보여준다<sup>[6]</sup>.

그림 10과 같은 구조의 차동 증폭기의  $V_i$ 와  $V_n$  노드에 KCL을 적용하여 식 (6)과 식 (7)을 나타내었다.

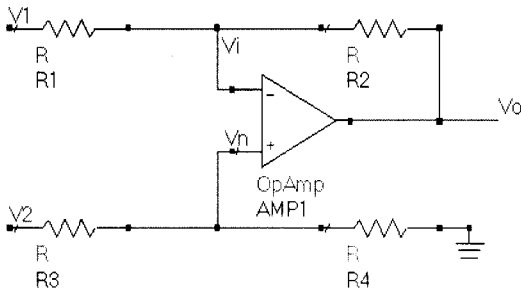


그림 10. 차동 증폭기의 ADS 구조  
Fig. 10. ADS structure of differential amplifier.

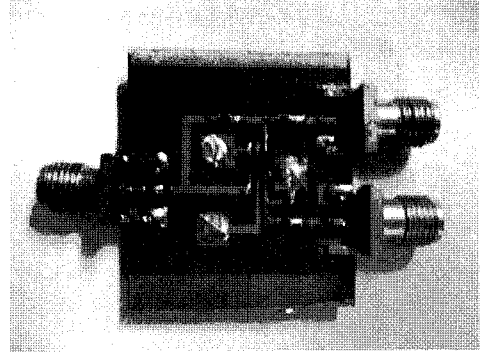


그림 11. 차동 증폭기(30×30 mm)  
Fig. 11. Differential amplifier(30×30 mm).

$$V_n = V_i \frac{R_4}{R_3 + R_4} = V_i \quad (15)$$

$$0 = \frac{V_i - V_i}{R_1} + \frac{V_o - V_i}{R_2} \quad (16)$$

만약  $R_1=R_3$ ,  $R_2=R_4$ 라면 출력은 식 (8)과 같이 된다.

$$V_o = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1} \quad (17)$$

따라서 두 입력이 같을 경우 결과는 0이 되고, 다를 경우 그 차이를 증폭시켜 준다. 증폭의 정도는  $R_1$ 과  $R_2$ 를 조정함으로 얻어 낼 수 있다. 차동 증폭기는 OPA-847을 이용하여 구성하였다. 이때 gain은 unit gain으로 설정하였다.

## V. 실험 및 측정 결과

### 5-1 송수신 테스트 환경

8341B Synthesized sweeper를 이용하여 생성한 2.45 GHz의 캐리어 주파수를 윌킨슨 구조를 통해 LO와 RF로 나누었다. 이를 이용하여 LO 신호와 RF 신호의 크기를 같게 해준다.

LO 신호는 ring 구조의 한 쪽 입력 포트에 인가하고, RF신호는 변조기와 통해 위상천위기와 연결, 신호의 위상을 맞추어서 ring 구조의 다른 한 쪽 입력에 인가했다. 이때 변조기의 디지털 신호의 인가는 3325B function generator를 통해 했다.

BPSK 변조 신호를 생성해 내는 과정에서 로드 중

**Response Function**  
2086-6000-00

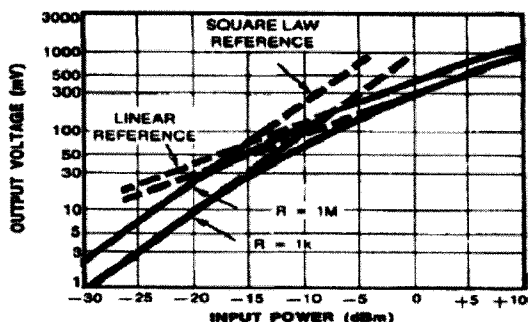


그림 12. Power detector의 datasheet  
Fig. 12. Datasheet of power detector.

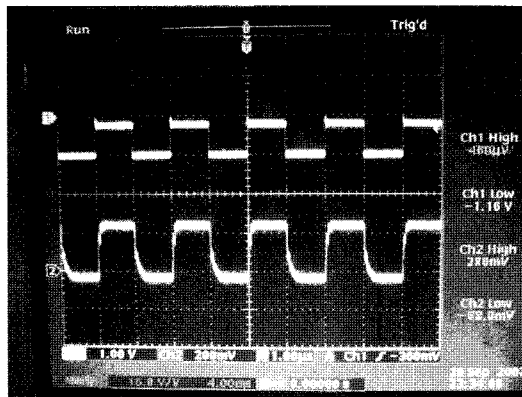
단의 임피던스가 완전히 open과 short를 유지시키기 어려워서 정확히 180도 차이 나는 신호를 만들기 어렵다고 생각해서 BPSK 변조 신호를 신호 발생기에서 생성하고 위의 실험을 반복하였다. 이때에는 신호 발생기로 Agilent사의 E4438C를 사용하였다. BPSK 신호의 데이터율은 1 Mbps에서 10 Mbps로 바뀌어 가며 실험하였다.

위상 천위기와 ring-hybrid 구조를 통해 전달된 신호를 각각 그림 6의 1번과 4번 포트에서 파워 검출기인 2086-6000-00 모델을 이용 전력을 검출한 후 차동 증폭기를 통해 최종 데이터를 얻어냈다. 사용한 파워검출기의 데이터시트를 그림 12에 첨부시켰다. 그림의 표를 보면 0 dBm의 파워가 인가될 때 500 mV의 출력을 내고 -10 dBm 이하의 파워에서는 50 mV 이하의 출력을 내는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 캐리어 파워를 0 dBm, -10 dBm로 놓고 실험에 임하였다.

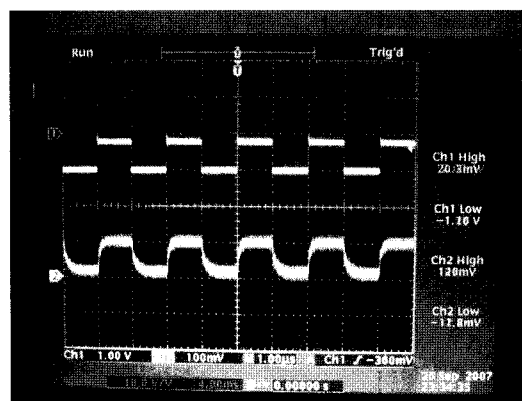
5-2 측정 결과

1 Mbps의 디지털 신호를 0 dBm, -10 dBm, -20 dBm의 캐리어 파워로 나누어 입력을 인가하였다. 그에 따른 검출 결과를 그림 13에 나타내었다.

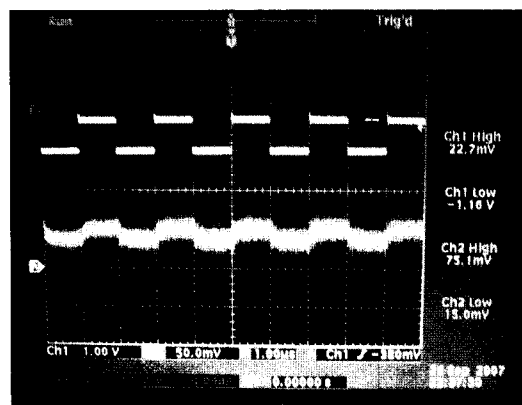
다음으로 BPSK 변조 신호를 랜덤으로 생성하였다. BPSK 변조 신호는 FPGA와 그림 5의 변조기를 이용하여 100 kbps와 1 Mbps 신호로 생성하였다. 이때 캐리어 신호의 파워로 0 dBm, -5 dBm, -10



(a)



(b)

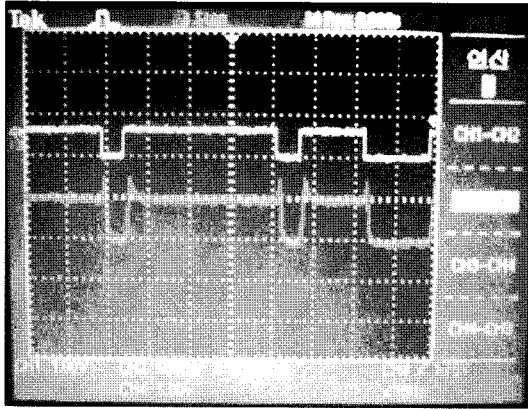


(c)

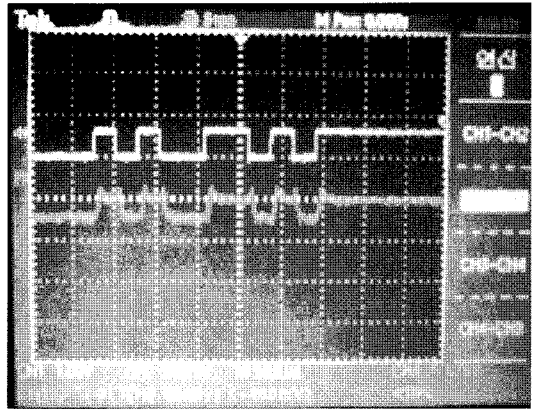
그림 13. (a) 캐리어 파워 0 dBm, (b) 캐리어 파워 -10 dBm, (c) 캐리어 파워 -20 dBm

Fig. 13. (a) Carrier power 0 dBm, (b) carrier power -10 dBm, (c) carrier power -20 dBm.

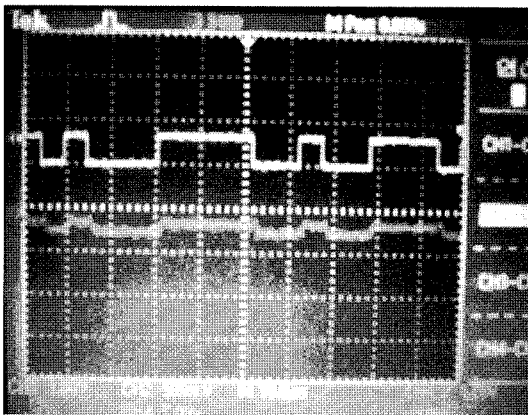
dBm의 신호를 사용하였다. 그에 따른 검출 결과를 그림 14와 그림 15에 나타내었다.



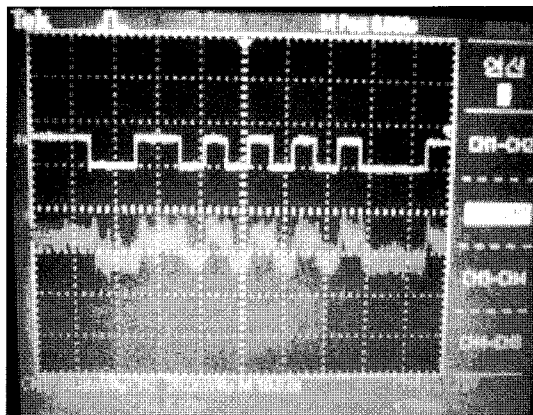
(a) 캐리어 파워 0 dBm  
(a) Carrier power 0 dBm



(b) 캐리어 파워 -5 dBm  
(b) Carrier power -5 dBm



(c) 캐리어 파워 -10 dBm  
(c) Carrier power -10 dBm



(d) 캐리어 파워 -20 dBm  
(d) Carrier power -20 dBm

그림 14. 100 kbps의 BPSK 변조 신호  
Fig. 14. 100 kbps BPSK modulated signal.

다음으로 BPSK 신호를 신호 발생기에서 발생시켜서 측정 한 결과이다. 이때 data rate은 1 Mbps에서 10 Mbps로 바꾸어 가며 실험에 임하였다. 아래의 실험 결과에서 보면 알 수 있듯이 정확히 만들어진 BPSK 변조 신호를 수신하였을 경우 수신 가능한 데이터율이 10 Mbps로 증가되는 것을 볼 수 있다. 그에 따른 검출 결과를 그림 16에 나타내었다.

## VI. 결 론

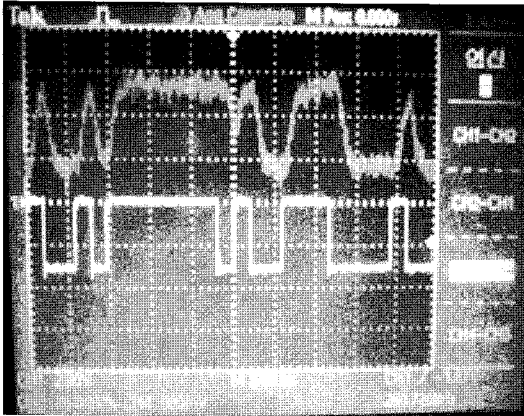
본 논문에서는 직접 변환 방식을 위해 기존의 많이 사용되던 6포트 방식을 벗어나, BPSK 신호를 위한 간단한 4포트 송수신기를 제안하고 설계, 제작하

였다. IF단에서 소모되는 전력의 손실을 줄여 저전력(-20 dBm)에서 작동하는 장점이 있으며, RF 수동 회로를 사용하였기 때문에 구조가 매우 단순함을 볼 수 있다.

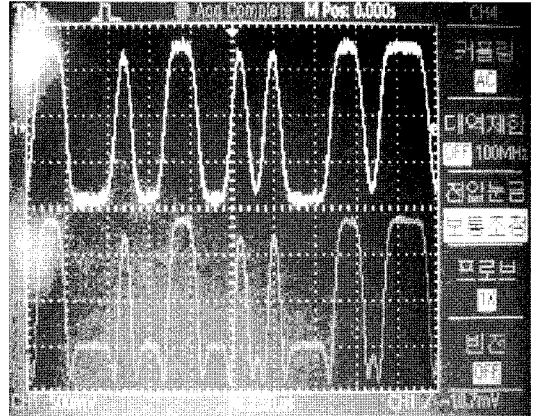
또한, BPSK 변조 신호를 신호 발생기로 생성하였을 때에는 10 Mbps의 신호를 수신 가능함을 확인할 수 있다.

2.45 GHz의 캐리어 주파수를 사용하여 송수신 시스템의 구현 가능성에 대해 초점을 맞추어 전체 실험을 진행하였다. 송신시 전송 속도는 반사계수 발생 회로의 패키징 된 pHEMT에 의해 제한되고, 수신시의 복원 능력은 전력 검출기와 아날로그 디코딩

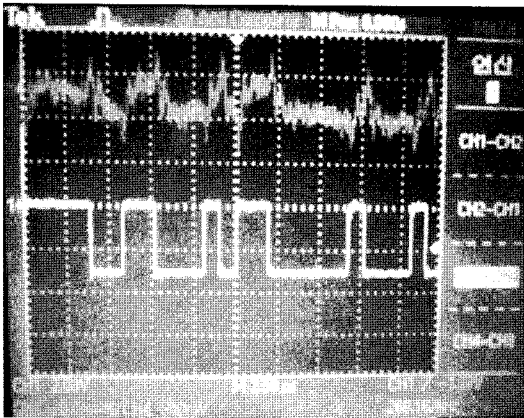




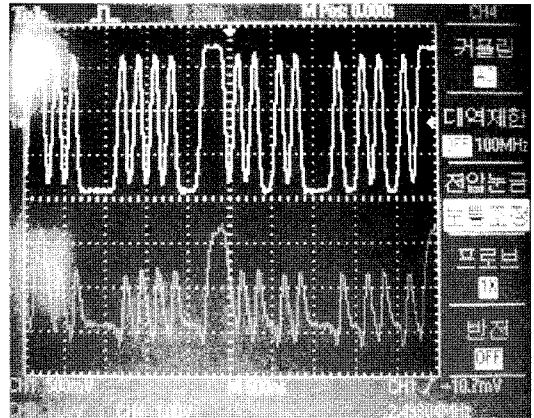
(a) 캐리어 파워 0 dBm  
(a) Carrier power 0 dBm



(a) 데이터율 1 Mbps  
(a) Data rate 1 Mbps



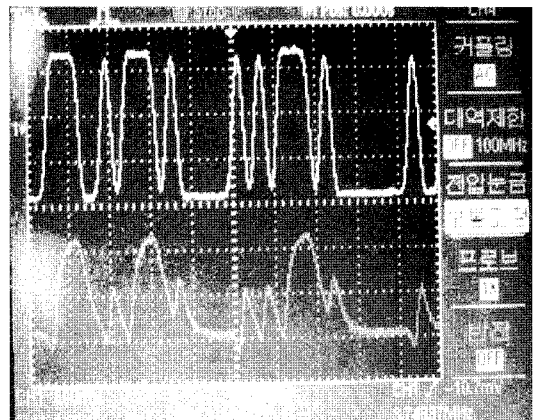
(b) 캐리어 파워 -5 dBm  
(b) Carrier power -5 dBm



(b) 데이터율 10 Mbps  
(b) Data rate 10 Mbps



(c) 캐리어 파워 -10 dBm  
(c) Carrier power -10 dBm



(c) 데이터율 15 Mbps  
(c) Data rate 15 Mbps

그림 15. 1 kbps의 BPSK 변조 신호  
Fig. 15. 1 kbps BPSK modulated signal.

그림 16. 0 dBm의 BPSK 변조 신호  
Fig. 16. 0 dBm BPSK modulated signal.

회로에 의해 제한됨을 예측할 수 있다.

전력 검출기와 디코딩 방법에 대한 제안과 다양한 ring 구조의 모양에 대한 연구가 된다면, 2.45 GHz 대역에서 BPSK 송수신에 적합한 시스템으로 응용될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] SDR Forum, [www.sdrforum.org](http://www.sdrforum.org)  
 [2] Peter B. Kenington, *RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio*, Artech House, Norwood MA, 2005.

[3] G. F. Engen, "The six-port reflectometer : An alternative network analyzer", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 25, no. 12, pp. 1080-1083, Dec. 1977.  
 [4] Kai Chang, *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, vol. 49, pp. 3964-3967.  
 [5] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Third Edition, Wiley.  
 [6] Sedra/Smith, *Microelectronic Circuits*, Fifth Edition, Oxford.

### 조 익 균



2000년 3월~2007년 2월: 서울시립대학교 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부 석사과정  
 [주 관심분야] RF 수동 및 능동 회로, 안테나 분야, RFIC 및 MMIC

### 이 요 셉



2000년 3월~2008년 2월: 서울시립대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 [주 관심분야] RF 수동 및 능동 회로

### 나 원



2002년 3월~2006년 2월: 서울시립대학교 (공학사)  
 2006년 9월~현재: 서울시립대학교 전자전기 컴퓨터 공학부 석사과정  
 [주 관심분야] RF 수동 및 능동회로

### 유 중 원



1988년 3월~1992년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학사)  
 1992년 3월~1994년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 3월~1998년 7월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학박사)  
 1995년 6월~2000년 3월: 삼성 Senior Researcher in System LSI CDMA T/F team  
 2000년 4월~2001년 9월: Wide Telecom의 IMT2000 division 팀장역임  
 2001년 10월~2004년 1월: 미국 텔슨연구소  
 2004년 2월~현재: 한국과학기술원 전자공학과 부교수  
 [주 관심분야] RF 시스템 설계, 안테나 설계

### 이 문 규



1988년 3월~1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)  
 1992년 3월~1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 3월~1999년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1999년 3월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2002년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수  
 [주 관심분야] RFIC, RF 부품 및 시스템 설계