

---

# 다층형 결합 선로를 이용한 반송파 복원기와 위상 변위기를 갖는 6-단자 직접변환 수신 전처리부

김 영 완\*

Six-port direct conversion receiver front-end with carrier recovery circuit and phase shifter  
using multi-layer coupled line

Young-Wan Kim\*

---

2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의  
지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00271)

---

## 요 약

본 논문에서는 다층형 결합 선로를 이용한 6-단자 위상 상관기와 동일한 구조를 갖는 반송파 복원기 그리고 위상 변위기를 갖는 일원화된 6-단자 직접변환 수신 전처리부를 설계·제작한다. 전력 분배기와 하이브리드 결합기로 구성되는 6-단자 소자는 다층형 결합 선로 구조로 이루어지며, 수신부 위상 상관기와 반송파 복원기 그리고 위상 변위기의 기본 구조 요소로 작용한다. 다층형 결합 선로 구조로 구성되는 일원화된 수신 전처리부는 구성이 간단하고 집적화가 용이하다. 설계 제작된 다층형 결합 구조 6-단자 수신 전처리부는 일정한 반송파 신호를 재생하고, PSK 전송 신호를 복원한다.

## ABSTRACT

The six-port direct conversion receiver front-end that is comprised of a carrier recovery and a phase shifter, which gets the same structure with six-port phase correlator using the multi-layer coupled line, was designed and fabricated in this paper. The six-port element that is comprised of the power divider and the hybrid coupler is designed by multi-layer coupled line structure. The multi-coupled structure is utilized as the basic structure in receiver phase correlator, carrier recovery circuit and phase shifter. The receiver front-end with the same multi-layer coupled line structure for the receiver elements shows the simple structure and no difficulty in integration. The fabricated multi-layer coupled six-port receiver front-end re-generates the carrier signal with a constant phase and demodulates the PSK transmission signal.

## 키워드

수신 전처리부, 위상편이변조 DCR, 다층 구조 DCR

## Key word

Receiver front-end, PSK DCR, Multi-layer DCR

I. 서 론

6-단자 회로를 사용한 직접변환은 6-단자로 구성되는 위상 상관기, 전력 검파기, 그리고 I/Q 신호 재생을 위한 I/Q 신호 재생(복조)부로 구성된다. 6-단자를 이용한 직접변환 구조는 혼합기를 이용한 능동형 직접변환 구조에서 문제가 되는 회로의 불완전성을 해결하고 열화 발생 에러들을 I/Q 재생부와 연동하여 보상할 수 있다[1]. 또한 전력 검파기의 다이오드 작동을 위한 전압이 혼합기를 작동시키기 위한 전압보다 낮은 장점이 있으며, 낮은 구부 발전기 출력 신호 전력 사용이 가능하다. 그리고 다중 모드 및 다중 대역의 수신기 구현이 용이하고 시스템의 구조가 간단하고 제작 단가를 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다[2]. 이러한 이유들로 인하여 6-단자 직접변환 방식을 이용한 단말 수신기 전처리부 플랫폼으로 연구되고 있는 추세이다[3][4].

기존의 6-단자 직접변환 방식 연구는 통상적인 직접변환 구조를 사용하여 다양한 전송 신호에 적용한 6-단자 직접변환 방식의 신호 복조 능력 등, 방식의 적합성 평가와 성능 분석 위주의 연구 결과로, 6-단자 직접변환 방식의 소형화를 위한 구조·설계 연구 수행이 미흡하여 저 전력 및 간단한 직접변환 방식 구현이 어렵고, 관련 회로의 2차원 평면형 회로 구성으로 소형화 설계 및 통합 구현이 어려운 문제점이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 소형화 및 집적화가 가능한 다층형 결합 선로 구조를 갖는 6-단자 위상 상관기와 동일한 구조를 갖는 반송파 복원기 그리고 위상 변위기를 갖는 일원화된 6-단자 직접변환 수신 전처리부를 설계·제작한다. 다층형 결합 선로 구조는 반송파 복원 회로와 위상 변위기의 기본 구조로 사용되어 직접변환 수신기 구성 성분들은 동일한 구조를 가지므로 일원화된 수신 전처리부 구성이 간단하고 집적화가 용이하다. 직접변환 수신 구조가 모의 실험되며, 설계 제작된 다층형 결합 구조 6-단자 수신 전처리부는 일정한 반송파 신호를 재생하고, PSK 전송 신호를 복원한다.

II. 다층형 결합 선로 구조 수신 전처리부

다층형 결합 선로로 구성되는 6-단자 소자는 그림 1과 같이 구성되며, 다층형 결합 구조 6-단자 소자의 산란 계

수는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[5].

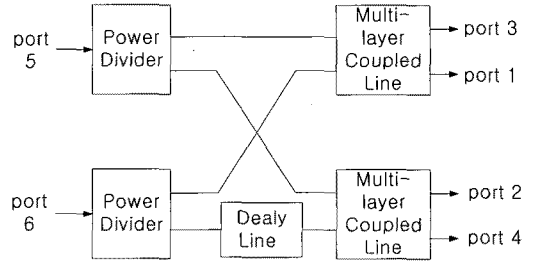


그림 1. 다층형 결합 선로 6-단자 소자 구성도.  
Fig. 1. Six-port diagram using multi-layer coupled line.

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

그림 1과 같은 6-단자 구조로 구성된 수신 전처리부 구성은 그림 2와 같다.

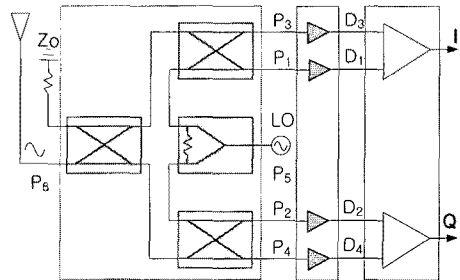


그림 2. 다층형 결합 선로 6-단자 소자를 갖는 수신 전처리부 구성도.  
Fig. 2. Receiver front-end diagram with multi-layer coupled line six-port element.

다층형 결합 선로 구조 6-단자 소자의 출력 신호는 산란 계수로부터 나타낼 수 있다. 두 개의 입력 신호의 크기를 각각 다음과 같이 나타낼 경우,

$$p_5 = a \exp(j\varphi_5) \quad (2)$$

$$p_6 = \alpha a \exp(j\varphi_6) = \alpha a_5 \exp(j\Delta\varphi)$$

여기서, 두 신호의 위상차는  $\Delta\varphi = \varphi_6 - \varphi_5$ 이고,  $\alpha$ 는 두 입력 신호의 크기 비율이며, 6-단자 소자의 출력 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{a}{2} e^{j(\varphi_5 - \frac{\pi}{2})} \times \{1 + \alpha e^{j(\Delta\varphi)}\} \\ p_2 &= \frac{a}{2} e^{j(\varphi_5 - \frac{\pi}{2})} \times \{1 + \alpha e^{j(\Delta\varphi - \frac{\pi}{2})}\} \\ p_3 &= \frac{a}{2} e^{j(\varphi_5 + \pi)} \times \{1 + \alpha e^{j(\Delta\varphi - \pi)}\} \\ p_4 &= \frac{a}{2} e^{j(\varphi_5 + \pi)} \times \{1 + \alpha e^{j(\Delta\varphi + \frac{\pi}{2})}\} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)의 출력 신호는 전력 검파기에서 다음과 같은 신호로 나타난다.

$$\begin{aligned} D_1 &= k|p_1|^2 = k \frac{a^2}{4} [1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos(\Delta\varphi)] \\ D_2 &= k|p_2|^2 = k \frac{a^2}{4} [1 + \alpha^2 + 2\alpha \sin(\Delta\varphi)] \\ D_3 &= k|p_3|^2 = k \frac{a^2}{4} [1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos(\Delta\varphi)] \\ D_4 &= k|p_4|^2 = k \frac{a^2}{4} [1 + \alpha^2 - 2\alpha \sin(\Delta\varphi)] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $k$ 는 전력 검파기의 전압 감도이다.

다층형 결합 구조 6-단자 위상 상관기와 전력 검파기를 거쳐 출력되어진 신호는 I/Q 신호 재생부에서 다음과 같은 I/Q 신호를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} I &= D_1 - D_3 = \alpha k a^2 \cos(\Delta\varphi) \\ Q &= D_2 - D_4 = \alpha k a^2 \sin(\Delta\varphi) \end{aligned} \quad (5)$$

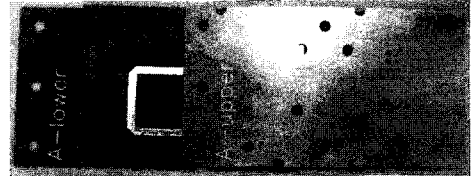
따라서, 식 (5)로부터 I/Q 신호가 재생될 수 있다.

### III. 수신 전처리부 설계 및 수신 성능

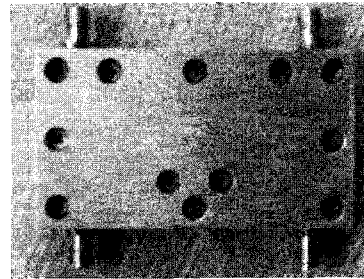
#### 3-1 수신 전처리부 설계

그림 2와 같은 수신 전처리부 구성은 다층형 결합 선로 구조로 구현한다[5].

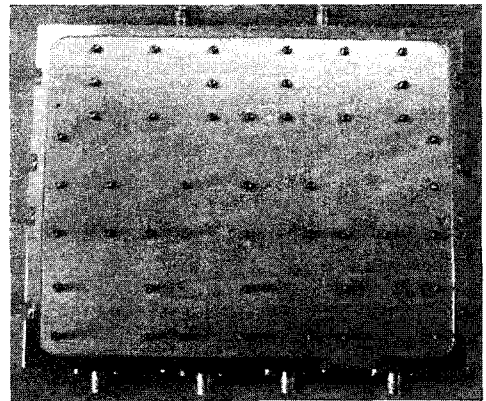
그림 3(a)는 다층형 결합 선로 구조로 설계 제작된 위상 변위기이며, 그림 3(c)는 다층형 결합 구조 6-단자 소자를 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 다층형 결합 선로를 사용한 직접변환 구성 소자, (a) 위상 변위기 layout, (b) 위상 변위기 소자 그리고 (c) 6-단자 소자.

Fig. 3. Direct conversion components using multi-layer coupled line, (a) phase shifter layout, (b) phase shifter element and (c) six-port element.

그림 3(c)와 반송파 복원 회로를 구성하기 위하여 반사 소자를 설계하였으며, 설계된 반사 소자는 전송 데이터에 의해 개방 stub와 단락 stub를 스위칭한다[5][6].

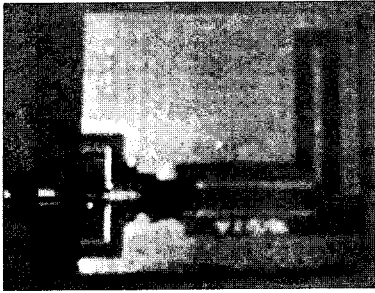
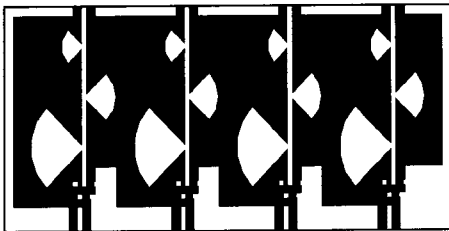


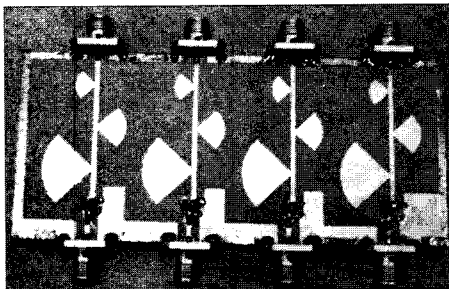
그림 4. 제작된 반사 소자.

Fig. 4. Fabricated reflection generating element.

그림 5는 CAD를 사용하여 설계한 layout과 제작된 전력 검파기를 보여준다. 유전율 10.2, 두께가 50 mil인 RF3210 기판을 사용하였다.



(a)



(b)

그림 5. 전력 검파기

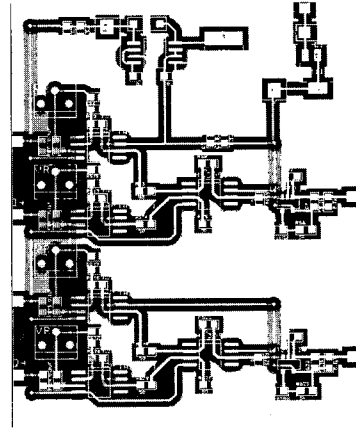
(a) layout과 (b) 제작된 전력 검파기.

Fig. 5. Power detector

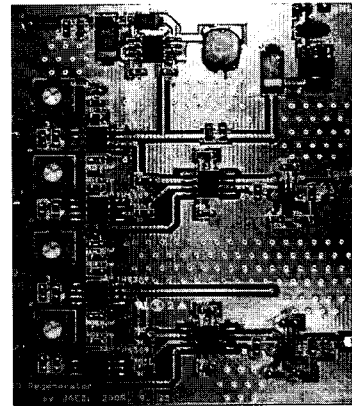
(a) layout and (b) fabricated power detector.

제작된 전력 검파기는 50 Ω 입력 임피던스 매칭으로 넓은 대역폭(1.2 GHz ~ 2 GHz) 내에서 -15 dB 이하로 양호한 특성을 얻을 수 있다. 그리고 중심 주파수 1.69 GHz 에서 입력 전력 -30 dBm ~ 10 dBm일 때 출력 전압 레벨은 0.1 mV ~ 481.4 mV이다.

그림 5는 설계 제작한 I/Q 신호 재생기의 layout과 I/Q 신호 재생 모듈을 나타낸다. 두께가 1.27인 RF-4 기판을 사용하였다.



(a)



(b)

그림 6. I/Q 신호 재생기, (a) layout and

(b) 제작된 I/Q 신호 재생기.

Fig. 6. I/Q signal re-generator, (a) layout and

(b) fabricated I/Q signal re-generator.

### 3-2 모의 성능 분석 및 수신 성능

그림 7은 다층형 결합 선로 구조 6-단자 소자로 구성된 수신 전처리부의 성능을 모의 실험하기 위하여 그림 2의 구성도를 나타낸 것이다. 2 Msps QPSK 전송 신호를 발생하여 수신 전처리부에서 반송파 신호를 복원하고, 전송 신호를 복조하는 성능을 모의 실험하였다.

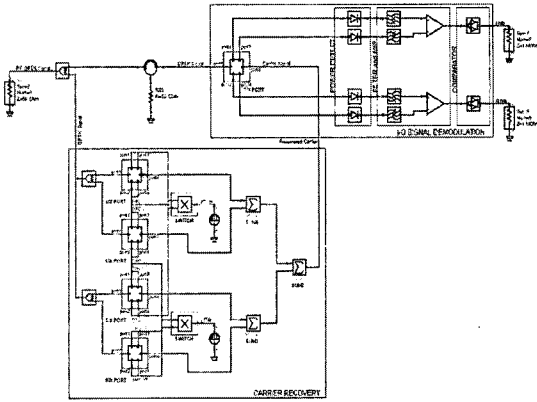


그림 7. 다층형 결합 선로 구조 수신 전처리부의 모의 실험 구성도.

Fig. 7. Simulation diagram of receiver front-end using multi-layer coupled line structure.

그림 8은 복원된 반송파 신호와 전송 데이터의 복원 성능을 나타내고 있다. 복원된 반송파 신호는  $-42$  dBc의 신호대 잡음 성능을 가지며, 일정한 위상을 갖는 신호로 재생된다. 아울러 I/Q 전송 신호를 효과적으로 복조하고 있음을 알 수 있다.

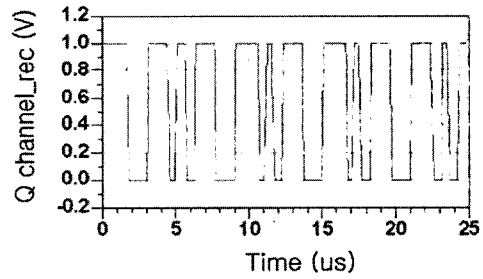
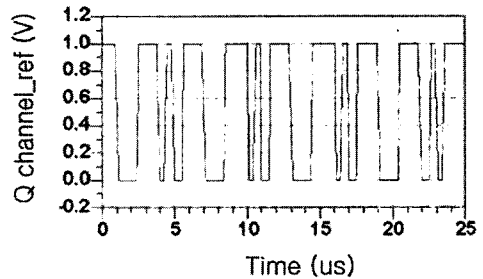
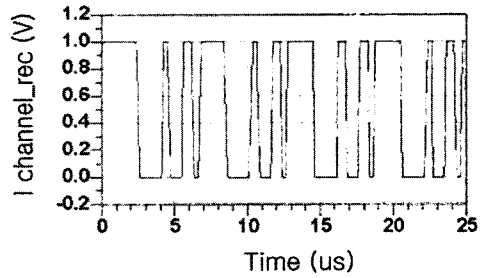
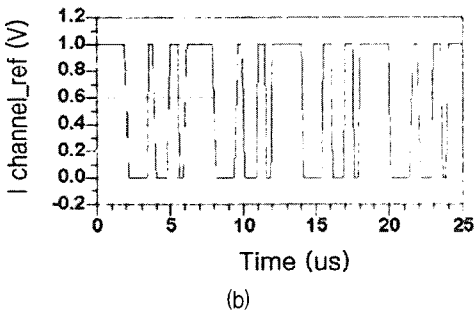
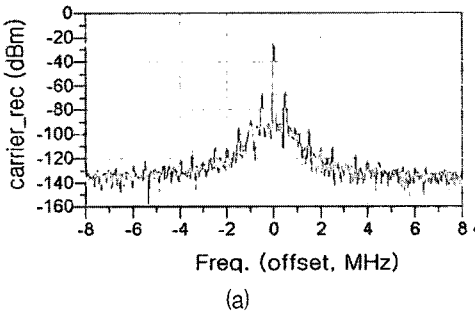


그림 8. 모의 실험 성능, (a) 복원 반송파 신호, (b) 기준 I 채널 신호, (c) 복원된 I 채널 신호, (d) 기준 Q 채널 신호 그리고 (e) 복원된 Q 채널 신호.  
Fig. 8. Simulation results, (a) recovered carrier signal, (b) reference I-signal, (c) recovered I-signal, (d) reference Q-signal and (e) recovered Q-signal.

제작된 I/Q 신호 재생기와 다층형 결합 구조 6-단자 위상 상관기와 반송파 복원 회로 그리고 전력 검파기를 결합시켜 수신 전처리기의 입력 단자 6에 중심 주파수  $1.69$  GHz로 변조된  $2$  Msps QPSK 신호를 입력하여 수신 복조 실험을 하였으며, 그림 9와 같이 전송 신호를 복조하는 양호한 수신 성능을 나타내었다.

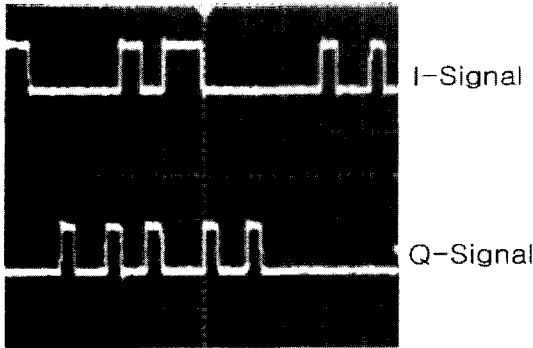


그림 9. 수신 복원 데이터.  
Fig. 9. Receiver demodulation data.

#### IV. 결론

본 논문에서는 다층형 결합 구조를 갖는 6-단자 소자를 이용한 위상 상관기, 반송파 복원기 그리고 위상 변위기를 사용하여 수신 전처리부를 구성하고, 일원화된 다층형 결합 구조 수신 전처리부를 설계 제작하였다.

다층형 결합 선로 구조는 동일하게 반송파 복원 회로, 위상 변위기 그리고 위상 상관기에 적용되어 직접변환 수신기 구성 성분들이 동일한 구조를 가지므로 일체화된 수신 전처리부 구성이 가능하고 집적화가 용이하다. 다층형 결합 구조 직접변환 수신 구조를 모의 실험하고, 회로를 설계 제작한 결과 양호하게 PSK 전송 신호를 복원하는 수신 성능을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] B. Razavi, "Design considerations for direct conversion receivers," *IEEE Trans. on Circuits Syst.*, vol. 44, no. 6, June 1997.
- [2] A. A. Abidi, "Direct conversion radio transceivers for digital communications," *J. Solid-State Circuit*, vol. 30, no. 12, pp. 1399-1410, Dec. 1995.
- [3] S.O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, et al, "Ka-band analog front-end for software- defined direct conversion receiver", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 53, no. 9, Sep. 2005.
- [4] X. Xu, R. G. Bosisio, and Ke Wu, "Analysis and

implementation of six-port software- defined radio receiver platform," *IEEE Trans. on MTT*, vol. 54, no. 7. pp. 2937-2943, July 2006.

- [5] 김영완, "다층형 결합 선로를 이용한 반송파 복원 회로 설계 제작," 한국해양정보통신학회논문지, 제 13권, 제 10호, pp. 2039-2044, 2009.
- [6] 김영완, 신추연, "6-단자 위상 상관기를 이용한 PSK 반송파 신호 복원 회로 해석," 한국전자과학회논문지, 제 19권, 제 11호, pp. 1281- 1286, 2008.

#### 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