

---

# 다층형 결합 선로를 이용한 반송파 복원 회로 설계 제작

김영완\*

Design and fabrication of PSK carrier recovery circuit 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 PSK 반송파 신호 복원 회로를 해석하고 설계·제작한다. 다층형 결합 선로 구조의 coupled line으로 구성되는 반송파 복원 6단자 소자는 다층형 구조를 가지며, 수신 전처리부의 6 단자 위상 상관기 구조와 동일한 구조를 갖는 일원화된 수신 구조 구현이 가능하다. 아울러 다층 결합 선로 6 단자 위상 상관기를 이용한 RML 기반 다중 모드 동기 복조형 반송파 신호 복원이 가능한 다층형 결합 선로 반송파 복원 회로 구조를 제안한다. 설계 제작된 다층형 결합 선로 구조 반송파 복원 회로에 의한 직교 위상편이 방식 신호의 반송파 신호는 일정한 위상값과 반사 소자에 의해 발생하는  $\pm 3\sigma$  이내인 위상차를 갖는 양호한 PSK 반송파 신호 특성을 나타내었다.

## ABSTRACT

The PSK carrier signal recovery circuit using multi-layer coupled line was analyzed and designed. The fabricated carrier recovery 6 port element with multi-layer coupled line structure gets the simple architecture. It is possible to implement the carrier signal recovery circuit of the same structure with the multi-layer six port phase correlator of the direct receiver front-end. Based on the analysis of RML carrier recovery circuit using the multi-layer coupled line 6-port phase correlator, the multi-layer coupled line carrier signal recovery structure for multi-mode coherent demodulation was proposed. The fabricated multi-layer coupled line carrier signal recovery circuit for quadrature phase shift-keying shows a good carrier signal characteristic with a constant phase and phase error below  $\pm 3\sigma$ .

## 키워드

Multi-layer coupled line, PSK carrier signal recovery, Multi-layer 6 port, DCR

I. 서 론

무선통신 서비스의 광역화와 저 가격, 저 전력의 이동 및 휴대 단말기의 계속되는 수요, 그리고 다중 모드 및 다중 전송 율을 갖는 소형 통합 단말에 대한 통신 방식 및 구조 연구에 대한 필요성이 증대되고 있다. 6 단자를 이용하는 직접변환 방식은 기존의 능동형 직접변환 방식과 같이 RF 수신 신호를 기저대역으로 바로 변환하여 수신 복조하는 RF 전 처리단으로, RF 칩의 집적도를 높여 이동 및 휴대 무선통신 시스템 및 단말에 요구되는 저 비용, 저 전력, low-profile 등의 효과를 갖는 RF 전 처리 단 플랫폼을 제공한다.

6 단자를 사용한 직접변환 방식은 Bosio 등에 의해 1994년 처음 제안되었으며[1] 그 이후로 구조의 크기를 줄이기 위한 연구[2]와 수신 복조 구조로 연구되고 있다[3]. 6 단자 직접변환 구조는 입력 RF 신호와 동일한 주파수를 갖는 국부발진기의 출력 신호를 공급하는 VCO 및 PLL 구조를 갖는 주파수 합성기 등 독립되고 복잡한 회로가 구성되어 국부발진 주파수 신호원으로 6 단자 회로에 여기된다. 또한 6 단자 회로는 전력 분배기 및 90° 또는 120° 위상 관계를 갖는 하이브리드 결합기를 사용하는 회로 구성으로, 2차원 평면상에서 마이크로 스트립 라인으로 구현하거나 등가 회로 집중 소자로 구현하는 일반적인 방식을 사용하고 있다. 이러한 수신 설계 이론 및 회로 구조 구현은 소형 기반 이동 및 휴대 통신 시스템 및 단말 방식에 제약 조건으로 나타난다[4][5].

본 논문에서는 다층형 결합 선로를 사용하여 6 단자 소자를 구현하며, 다층형 결합 구조를 갖는 6 단자 소자에 의해 반송파 신호를 복원하는 구조를 해석하고 회로를 설계 제작한다. 설계 제작된 다층형 구조의 직교 위상 편이 방식 반송파 복원 신호는 일정한 위상값과 반사 소자에 의해 발생하는 ±30 이내인 위상차를 갖는 양호한 PSK 반송파 신호 특성을 나타내었다. 제안된 반송파 복원 구조는 6 단자 직접변환 수신기의 6 단자 위상 상관기와 동일한 구조로 구현되어 일체화된 수신기 구조 구현이 가능하다.

II. 다층형 결합 선로 및 반송파 복원

2-1 다층형 결합 선로 결합기

다층형 결합 선로 결합기(coupler)는 그림 1과 같다.

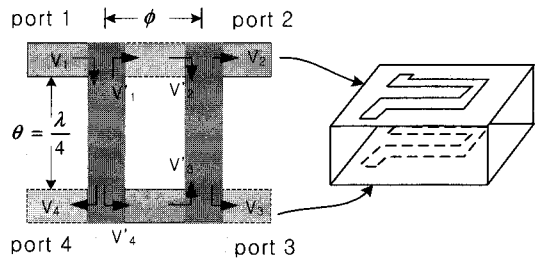


그림 1. 다층형 결합선로 구조 결합기.

Fig. 1. Coupler with multi-layer coupled line structure.

그림 1에서  $\theta (= \lambda/4)$ 는 다층형 결합 선로의 전기적 길이이며, 단자 1의 신호를  $V_1$ 이라 하면 그림 1의 좌측 다층형 결합 선로에 의해 결합 현상이 나타나며 결합 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$V_4' = V_1 \frac{\sqrt{1-k^2}}{\sqrt{1-k^2} \cos \theta + j \sin \theta} \tag{1}$$

$$V_1' = V_1 \frac{j k \sin \theta}{\sqrt{1-k^2} \cos \theta + j \sin \theta}$$

결합 신호  $V_4'$ 와  $V_1'$ 는 비 결합 선로를 진행한 후, 다음과 같은 위상 변화를 갖는다.

$$V_3' = V_4' e^{-j\phi} \tag{2}$$

$$V_2' = V_1' e^{-j\phi}$$

여기서, 결합 계수  $k$ 는 우모드 및 기모드 특성 임피던스( $Z_{oo}, Z_{oe}$ )로 다음과 같이 나타낸다.

$$k = \frac{Z_{oe} - Z_{oo}}{Z_{oe} + Z_{oo}} \tag{3}$$

$$\sqrt{1-k^2} = \frac{2 Z_o}{Z_{oe} + Z_{oo}}$$

이러한 결합 현상은 그림 1의 우측 결합 선로에서도 발생되며, 단자 2에서는 상측 선로의 진행 신호( $V_3'$ )와 하측 결합 선로 신호( $V_2'$ )의 결합 신호가 함께 나타난다. 동일한 결합 현상은 단자 3에서도 발생되어 진행 신호와 결합 신호가 나타나게 되며 각 단자의 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_2 = V_3' \frac{\sqrt{1-k^2}}{\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta}} + V_2' \frac{jk \sin \theta}{\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta}}$$

$$= V_1 \left[ \frac{1-k^2(1+\sin^2 \theta)}{(\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta})^2} \right] e^{-j\phi}$$

$$V_3 = V_2' \frac{\sqrt{1-k^2}}{\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta}} + V_3' \frac{jk \sin \theta}{\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta}}$$

$$= V_1 \left[ \frac{2jk \sqrt{1-k^2} \sin \theta}{(\sqrt{1-k^2 \cos \theta + j \sin \theta})^2} \right] e^{-j\phi}$$

$$V_4 = 0 \tag{4}$$

식 (4)로부터 다층형 결합 선로 구조 결합기는 평면형 6 단자 소자의 90o 하이브리드 결합기와 같은 전기적 특성을 나타내고 있으며, 다층형 결합 구조에 의해 90o 하이브리드 결합기(hybrid coupler)를 구현할 수 있음을 알 수 있다.

### 2-2 다층형 결합 구조 반송파 복원 회로

다층형 결합 선로 결합기 구조를 갖는 6 단자 소자와 반사 소자에 의한 PSK 반송파 복원 회로 구조는 그림 2와 같다.

다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자는 전력 분배기(power divider)와 지연소자(delay line) 그리고 다층형 결합 선로 결합기로 구성된다. 다층형 결합 선로 결합기는 90o 하이브리드 결합기 특성을 가지므로 다층형 결

합 구조 6 단자 소자의 산란계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

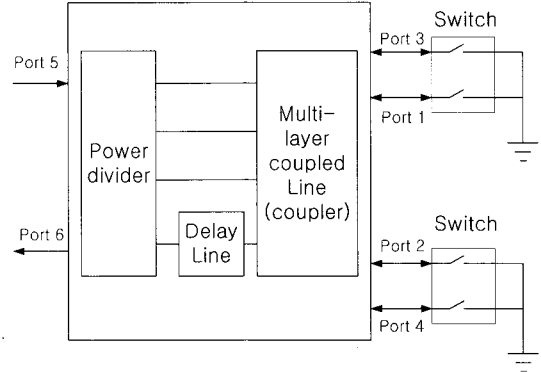


그림 2. 다층형 결합 선로 구조를 사용한 직교 위상편이 신호 반송파 복원회로 구조도.

Fig. 2 Circuit diagram of the PSK carrier signal recovery using the multi-layer coupled line structure.

$$[S] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & +j & +j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +j & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & +j \\ +j & +j & -1 & -1 & 0 & 0 \\ +j & -1 & +1 & +j & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

6 단자 산란 계수(5)로부터 그림 2의 6 단자 소자 출력 단자(단자 1~단자 4)에 반사 소자를 연결할 경우, 단자 5에 입력되는 신호는 단자 1~ 단자 4에서 반사되어 단자 6으로 다음과 같은 신호가 나타난다[7].

$$P_6 = -\frac{1}{4} p_{\in} \Gamma_4 e^{j\phi_1} - \frac{j}{4} p_{\in} \Gamma_2 e^{j\phi_2} - \frac{1}{4} p_{\in} \Gamma_3 e^{j\phi_3} - \frac{j}{4} p_{\in} \Gamma_1 e^{j\phi_4} \tag{6}$$

여기서,  $P_{in}$ 은 단자 5에 입력되는 신호이며,  $\Gamma_n e^{j\phi_n}$ 은 단자 n의 반사계수이다.

단자 1과 단자 3 ( $\Gamma_{1,3} e^{j\phi_{1,3}}$ ), 그리고 단자 2와 단자 4 ( $\Gamma_{2,4} e^{j\phi_{2,4}}$ )에 각각 동일한 반사 소자를 연결하면, 식 (6)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_6 = -\frac{1}{2} p_{\in} (\Gamma_{1,3} e^{j\phi_{1,3}} + j p_{\in} \Gamma_{2,4} e^{j\phi_{2,4}}) \quad (7)$$

식 (7)에서 개방 또는 단락 반사 소자를 사용할 경우, 동일한 크기를 가지면서 일정한 위상 변화를 갖는 신호를 발생시킬 수 있다. 따라서 PSK 역 위상 관계를 갖는 반사 소자를 사용하면 입력 변조 신호로부터 일정한 위상 값을 갖는 반송파 신호가 재생된다.

### III. 다층형 결합 선로를 이용한 반송파 복원회로 설계 및 제작

다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자는 1.69 GHz 영역의 L-대역 주파수를 사용하여 설계·제작되었다. 설계된 회로 기판(substrate)은  $\epsilon_r = 2.2$ 와 10 mil을 갖는 단일 기판을 사용하였으며, 다층형 결합 선로 결합기 구조 6 단자 소자 구조는 그림 3과 같이 구현된다.

6 단자 소자는 전력 분배기와 지연소자 그리고 결합 선로 구조 결합기로 구성되어 있으며, 입출력 단자의 정합을 위한 정합회로를 설계하였다.

반사 소자는 SWM 스위치를 사용하여 개방 stub와 단락 stub를 스위칭하는 회로로 설계되었다. 그림 4는 SWM 스위치를 사용한 개방 및 단락 반사 계수 발생 구조를 설계한 회로 구현을 보여준다.

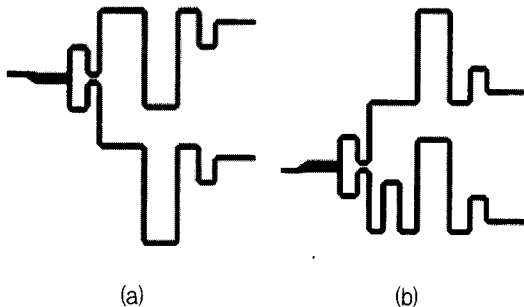


그림 3. 다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자 구현도, (a) 상층면과 (b) 하층면.

Fig. 3. 6-port element layout using multi-layer coupled line, (a) upper side and (b) lower side.

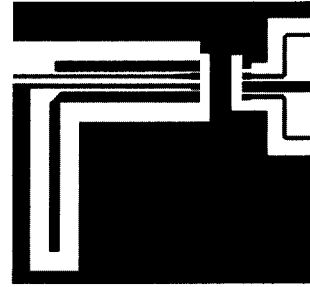
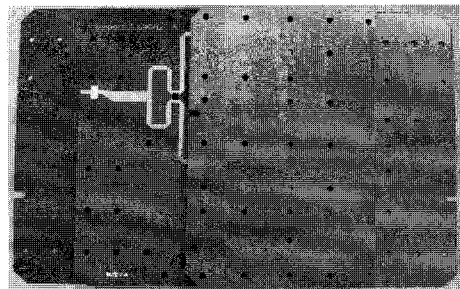


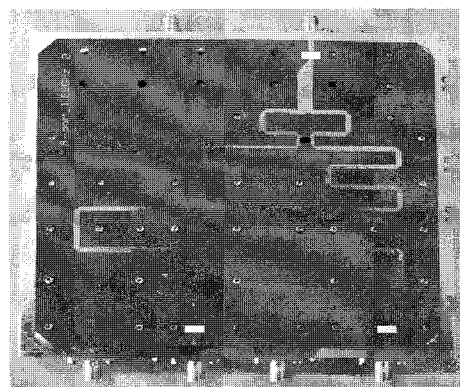
그림 4. 반사 계수 발생 회로 구현도.  
Fig. 4. Circuit layout of reflection generating element.

그림 3의 다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자는 상층면과 하층면의 결합(coupling)을 위하여 그림 5와 같이 상층면 접지 기판과 하층면 접지 기판을 구현하여 실장된다.

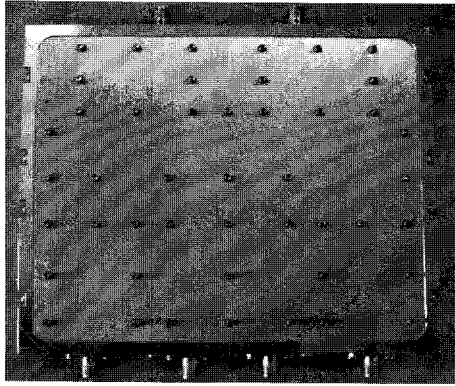
그림 5(a)는 3개의 다층면으로 구성된 다층형 결합기 구조의 6 단자 회로 구조도를 보여주며, 그림 5(b)는 다층면 기판이 실장되는 모습을 나타내었다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자, (a) 다층형 기판 구조, (b) 6 단자 실장도 그리고 (c) 6 단자 소자.

Fig. 5. 6-port element with multi-layer coupled line, (a) multi-layer structure, (b) implementation of 6-port element and (c) 6-port element.

그림 6은 설계 제작된 반사 소자이다. 제어 신호(전송 데이터)에 의해 개방 stub와 단락 stub가 선택되어 1과 -1의 반사 계수를 발생한다.

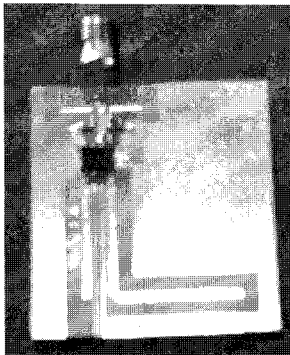
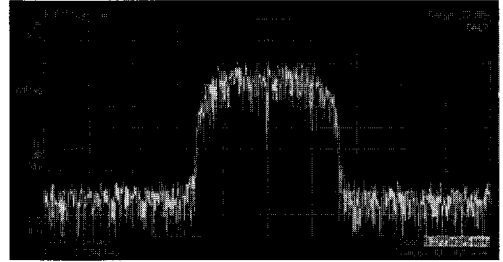


그림 6. 제작된 반사 소자.

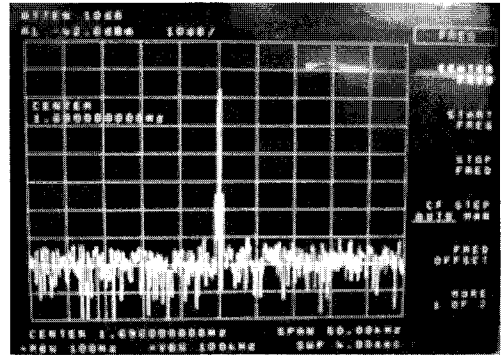
Fig. 6 Fabricated reflection generating element.

그림 6과 같은 반사 소자를 그림 5(c)의 다층형 결합 선로 구조 6 단자 소자의 출력 단자에 연결하고 단자 5로 PSK 변조 신호(그림 7(a): QPSK, 2 Msps)를 인가하여 전송 데이터에 의해 반사 계수를 발생하면, 그림 7(b)과 같은 PSK 반송파 신호를 재생할 수 있다. 재생된 반송파 신호는 일정한 위상을 가지며, 반사 소자에 의

한 스위칭 현상에 의해 위상차가 발생되며, 약  $\pm 3^\circ$  이내인 위상차를 갖는 양호한 PSK 반송파 신호 특성을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 7. 재생된 반송파 신호, (a) PSK 변조 신호(QPSK, 2 Msps)와 (b) 재생된 PSK 반송파 신호.  
Fig. 7. Recovered PSK carrier signal, (a) PSK modulation signal(QPSK, 2 Msps) and (b) recovered PSK carrier signal.

#### IV. 결론

본 논문에서는 다층형 결합 선로 구조의 반송파 복원 회로 구조를 해석하고 설계·제작하였다. 반송파 복원 회로는 6 단자 소자와 반사 소자로 구성된다. 설계 제작된 다층형 결합선로 구조 반송파 복원회로에서 재생된 PSK 반송파 신호는 일정한 위상값과 반사 소자에 의해 발생하는  $\pm 3\sigma$  이내인 위상차를 갖는 양호한 신호 특성을 나타내었다.

설계 제작된 6 단자 소자는 직접변환 수신기 전처리부의 6 단자 위상 상관기와 동일한 구조를 가지며, 아울러 다층형 결합 선로 결합기로 일원화되어 구현 가능하므로 일체화 구조를 갖는 수신기 구현이 가능하다.

### 참고문헌

- [1] J. Li, R. G. bosio, and K. Wu, "A six-port direct digital millimeter wave receiver", in *Proc. IEEE MTT-S 94*, pp. 1659-1662, May 1994.
- [2] S.O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R.G. Bosio, "New results on MMIC six-port used Ka band direct digital receiver", in *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S international*, vol. 1, pp. A9-A12, June 2003.
- [3] X. Xu, R. G. Bosio, 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.
- [4] S. O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R. G. Bosio, "Ka band direct digital receiver", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 50, no. 11, pp. 2436-2442, November 2002.
- [5] J. F. Gagne, J. Gauthier, et al, "Low cost architecture of direct conversion digital receiver," *IEE Proc. Microw. Antenna Propagation*, vol. 151, no. 1, pp. 71-76, Feb. 2004.
- [6] K. Wakino, T. Nishikawa and Y. Ishikawa, "Miniaturization technologies of dielectric resonator filters for mobile communications", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 42, no. 12, pp. 1295-1300, 1994.
- [7] 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