
대역폭이 향상된 Six-port 위상 상관기 설계 및 성능 분석

김영완* · 유재두*

Design and Performance Analysis of Wideband Six-port Phase correlator

Young-wan Kim* · Jae-Du Yu*

요 약

Six-port 위상 상관기는 한 개의 power divider 와 세 개의 hybrid coupler로 구성되어진다. 본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 three-arm branch 90° hybrid coupler를 사용한 six-port 위상 상관기를 ADS2003A을 사용하여 중심 주파수 11.85 GHz에서 설계하여 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 모의실험 결과 three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용한 six-port 위상 상관기의 대역폭은 약 1.5 GHz(10.8 ~ 12.3)로 기존의 90° hybrid branch-line coupler를 이용한 six-port 위상 상관기보다 약 5배 정도의 광대역 특성을 보였다. Six-port 위상 상관기의 port 간 위상 오차는 5° 이하로 양호한 특성을 보였으며, 모의 실험한 결과를 바탕으로 six-port 위상 상관기의 실질적인 성능을 비교 검증하기 위하여 six-port 위상 상관기를 제작하고 성능을 측정하였다. 측정된 six-port 위상 상관기의 특성은 시뮬레이션 데이터와 거의 일치하였다.

ABSTRACT

The six-port correlator is comprised of a power divider and three hybrid couplers. In this paper, the six-port phase correlator using three-arm branch 90° hybrid coupler were designed with the center frequency of 11.85 GHz. The performances for the six-port phase correlator was analyzed by using ADS2003A tool. Three-arm six-port phase correlator provides more wide dynamic frequency range than that of six-port using the conventional hybrid coupler in range of circa five times, which is range of 10.8 to 12.3 GHz (1.5 GHz). The phase errors among the output ports of the six-port phase correlator are below 5°. The six-port phase correlator was fabricated to evaluate the performance of the proposed six-port phase correlator. The measured performance of the six-port phase correlator shows the good accordance with the simulation data.

키워드

Six-port direct conversion, Six-port phase correlator, Three-arm six-port correlator

I. 서 론

직접 변환 방식은 혼합기를 사용하는 구조와 six-port 위상 상관기와 다이오드를 결합하는 구조로 구분할 수

있다. Six-port 위상 상관기를 이용한 직접 변환 방식은 혼합기를 사용한 방식보다 회로 구조가 간단하고 직접 화도 쉬운 장점을 가지고 있다. 또한 국부발진 회로에서의 소비전력이 낮고 광대역으로 구현하기 유리한 점을

보이고 있다. 이러한 유리한 이점들 때문에 six-port 위상 상관기를 이용한 직접 변환 방식이 많이 연구되어지고 있다[1]. Six-port 위상 상관기를 이용한 직접 변환 복조기는 직교 변조 방식을 사용하는 통신 방식에 유리하며, SDR(Software Defined Radio)기반의 RF 수신 전 처리부 구성에 중요한 기반이 될 수 있다.

Six-port 위상 상관기는 일반적으로 세 개의 90° hybrid branch-line coupler와 한 개의 power divider로 구성되어진다[2]. 기존의 일반적인 90° hybrid branch-line coupler를 이용한 six-port 구조는 일정한 대역폭 제한을 가지며, 중심 주파수 11.85 GHz에서의 대역폭은 약 300 MHz 정도이다. 그러나 단일의 송/수신 시스템을 통해 다양한 통신 방식과 전송 모드를 수용할 수 있는 SDR 기반 광대역 직접 변환 방식에서는 보다 넓은 동작 주파수 대역을 갖는 six-port 구조가 필요하다.

본 논문에서는 중심 주파수 11.85 GHz에서 three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 넓은 대역 특성을 갖는 six-port 위상 상관기를 구현하였다. Three-arm 구조를 갖는 90° hybrid branch-line coupler는 넓은 대역 특성을 가지므로 통상적인 90° hybrid branch-line coupler를 이용한 six-port 위상 상관기의 협대역성을 보완하고, 넓은 수신 대역을 갖는 수신 전 처리단으로 사용할 수 있다. 따라서, three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용한 six-port 위상 상관기를 설계·제작하고, 일반적인 90° hybrid branch-line coupler를 갖는 six-port 위상 상관기와 대역 특성을 비교 측정하여 대역폭이 보다 향상된 six-port 위상 상관기 구조를 제안하였다.

II. Six-port 및 three-arm branch 90° hybrid coupler의 구조

Six-port 위상 상관기는 그림 1과 같이 세 개의 coupler와 한 개의 power divider로 구성되고 두 개의 입력단과 네 개의 출력단으로 이루어진 여섯 개의 포트를 가지고 있다. 입력 신호(RF)와 국부 발진 신호(LO)를 더해서 4개의 다른 신호를 갖는 출력 신호를 생성한다[2].

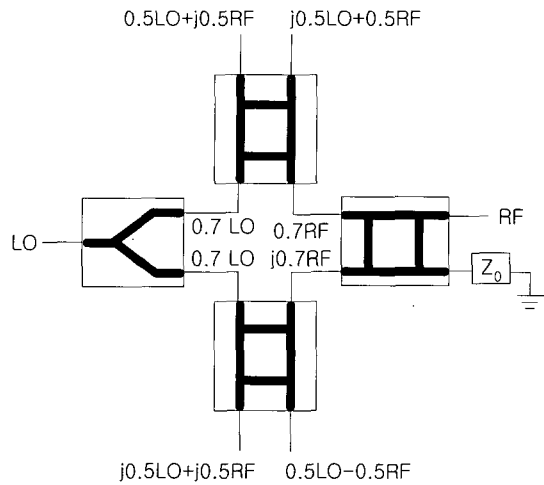


그림 1. Six-port 위상 상관기 구성도.
Fig. 1. Six-port phase correlator block diagram.

동등한 전력 분배와 출력 신호간 90° 위상차를 갖는 hybrid coupler에 의해 입력 신호인 RF 수신 신호(RF)와 국부 발진 신호(LO)에 대한 six-port 위상 상관기 출력 신호는 이상적으로 그림 1과 같은 신호를 갖는다. 그림과 같이 위상 상관기의 출력 신호는 일정한 위상차를 갖는다. 이러한 출력 신호의 위상차에 의해 six-port 위상 상관기를 통하여 수신 신호의 정보 신호를 복원할 수 있다.

기존의 six-port 위상 상관기 구성을 위해 사용되어진 90° hybrid branch-line coupler는 두 개의 입력 포트와 두 개의 출력 포트 구성되어진다. 모든 포트가 정합되었을 때 입력 포트에 들어간 전력은 2개의 출력 포트에 90°의 위상차를 가지고 균등한 크기를 가지고 나누어 전달된다[3]. 결합도는 shunt arm과 series arm의 임피던스 비로 정의되며 기존의 six-port에 이용되어진 3 dB coupler의 경우 기본적인 두 개의 shunt arm으로 구성되어진다. 이러한 90° hybrid branch-line coupler로 구성된 six-port의 경우, 11.85 GHz 중심 주파수에서 약 300 MHz의 대역폭을 가지나, 광대역 six-port를 설계하는데 제한된 조건을 가지고 있다.

본 논문에서는 three-arm branch 90° hybrid coupler를 사용하여 보다 넓은 대역폭을 갖는 six-port 위상 상관기 구조를 갖는다. Three-arm branch 90° hybrid coupler는 일반적인 90° hybrid branch-line coupler의 구조에 1개의 shunt arm을 추가하여 90° hybrid coupler를 두 개 합친 것과 같은 다단형태로 만들어 대역폭을 확장시킨 구조이다[3].

III. Six-port 설계 및 성능 분석

Six-port의 설계 및 성능 분석을 위해 본 논문에서는 Agilent사의 ADS2003A를 사용하였고, 기판은 유전율 2.2, 기판 두께 0.254 mm, 동판 두께 0.035 mm, 기판 손실을 0.0009인 Rogers사의 RT/Duroid 5880을 사용하였다. 중심 주파수는 위성 방송 수신용으로 사용되는 주파수 대역인 11.85 GHz를 기준으로 설계하였다.

그림 2는 three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 설계한 six-port 위상 상관기를 나타내고 있다. Six-port 위상 상관기는 그림에 나타난 바와 같이 세 개의 coupler와 한 개의 Wilkinson power divider를 결합하여 설계하였다. 결합된 구성들 사이의 접속은 정확한 위상 관계를 유지하기 위해 동등한 길이로 설계해야 한다. 만약, 마이크로스트립 선로 길이 차이에 의해 위상 지연이 발생할 경우, 디지털부에서 이를 교정하여 지연을 보상할 수 있다[4].

그림 2의 구조를 갖는 six-port 위상 상관기의 시뮬레이션 결과는 그림 3에 나타나 있다. Six-port 위상 상관기의 중심 주파수 11.85 GHz에서 네 개의 출력 포트는 약 -6.3 dB의 손실 특성으로 이상적인 six-port 위상 상관기보다 -0.3 dB 정도의 손실이 더 증가하였다. 손실 특성에 관한 주파수 대역폭을 -6.5 dB 이하로 설정한다면 port 6 (RF 신호)과 port 5 (LO 신호)에 대한 출력 단자 간 손실 특성은 그림에서 나타나듯이 각각 10.8 ~ 12.3 GHz와 10.4 ~ 13.2 GHz 사이에서 -6.5 dB 이하로 1.5 GHz의 넓은 주파수 대역 특성을 보여주고 있다.

Port 5와 port 6에서의 반사 손실은 설계 대역폭을 포함한 비교적 넓은 주파수 대역폭에서 -20 dB 이하의 값을 나타내었다. Six-port 위상 상관기의 위상 특성은 그림 4에 나타나듯이 port 6에 RF 신호를 입력할 경우, port 1과 port 4가 동위상이고, port 2와 port 3은 각각 90°의 위상차가 발생한다. Port 5와 port 6에서의 반사 손실은 설계 대역폭을 포함한 비교적 넓은 주파수 대역폭에서 -20 dB 이하의 값을 나타내었다. Six-port 위상 상관기의 위상 특성은 그림 4와 같이 port 6에 RF 신호를 입력할 경우, port 1과 port 4가 동위상이고, port 2와 port 3은 각각 90°의 위상차가 생긴다. 또한, port 5에 LO 신호를 입력할 경우, port 1과 port 2 그리고 port 3과 port 4가 동위상이고, 이들은 각각 90°의 위상 차이가 발생한다[5]. 여기서, port 간 위상 오차는 약 5° 이하이다.

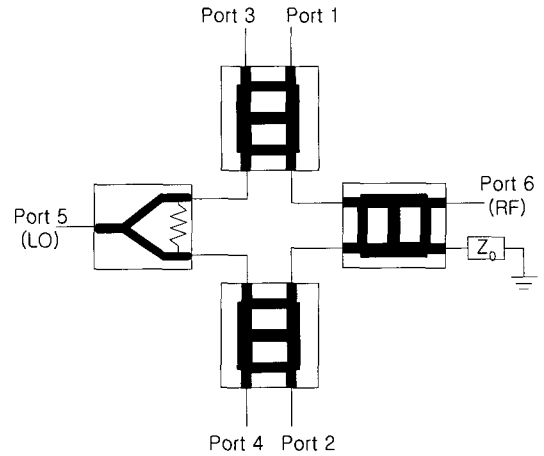


그림 2. Three-arm branch 90° hybrid coupler를 갖는 Six-port 위상 상관기 구조도.
Fig. 2. Configuration of six-port phase correlator with three-arm branch 90° hybrid coupler.

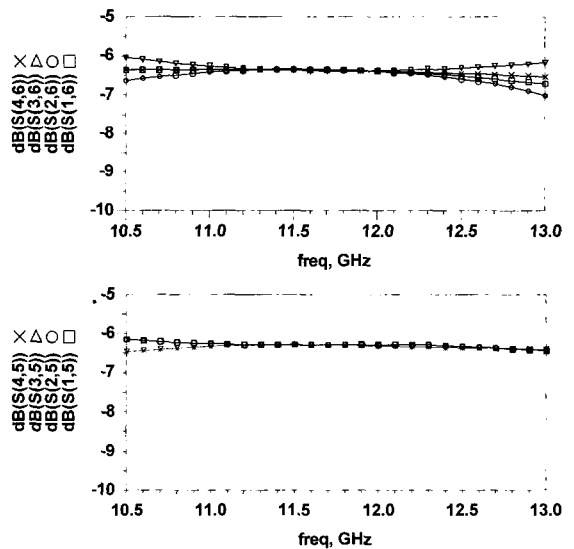


그림 3. Three-arm branch 90° hybrid coupler 구조의 six-port 위상 상관기의 손실 특성.
Fig. 3. Insertion loss of six-port phase correlator with three-arm branch 90° hybrid coupler.

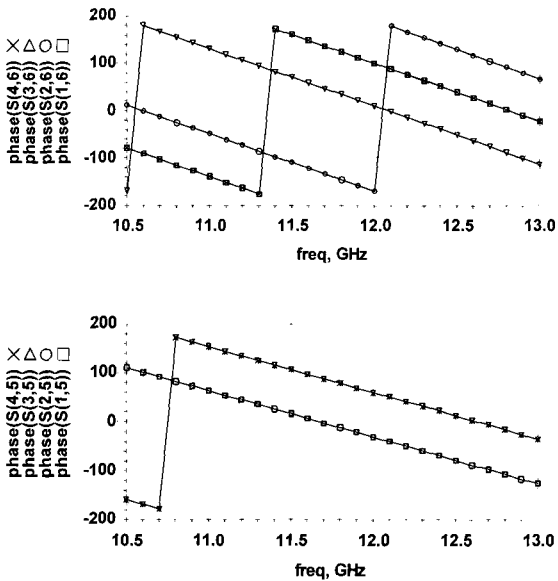


그림 4. Three-arm branch 90° hybrid coupler 구조의 six-port 위상 상관기의 위상 특성.
 Fig. 4. Phase characteristics of six-port phase correlator with three-arm branch 90° hybrid coupler.

IV. 제작 및 측정

그림 5는 광대역 특성이 있는 three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 제작한 six-port 위상 상관기이다. Three-arm 구조로 제작된 six-port 위상 상관기는 58×48 mm의 크기를 갖는다.

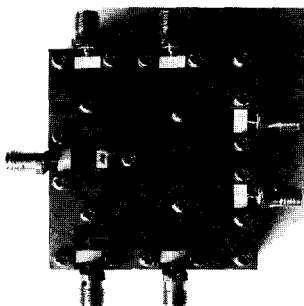


그림 5. 제작된 three-arm branch 90° hybrid coupler 구조 six-port 위상 상관기.
 Fig. 5. Fabricated three-arm branch 90° hybrid coupler six-port phase correlator.

그림 6은 제작된 six-port 위상 상관기의 손실 특성을 기존의 일반적인 90° hybrid branch-line coupler 구조를 갖는 six-port 위상 상관기의 특성과 비교 측정한 결과를 보여준다.

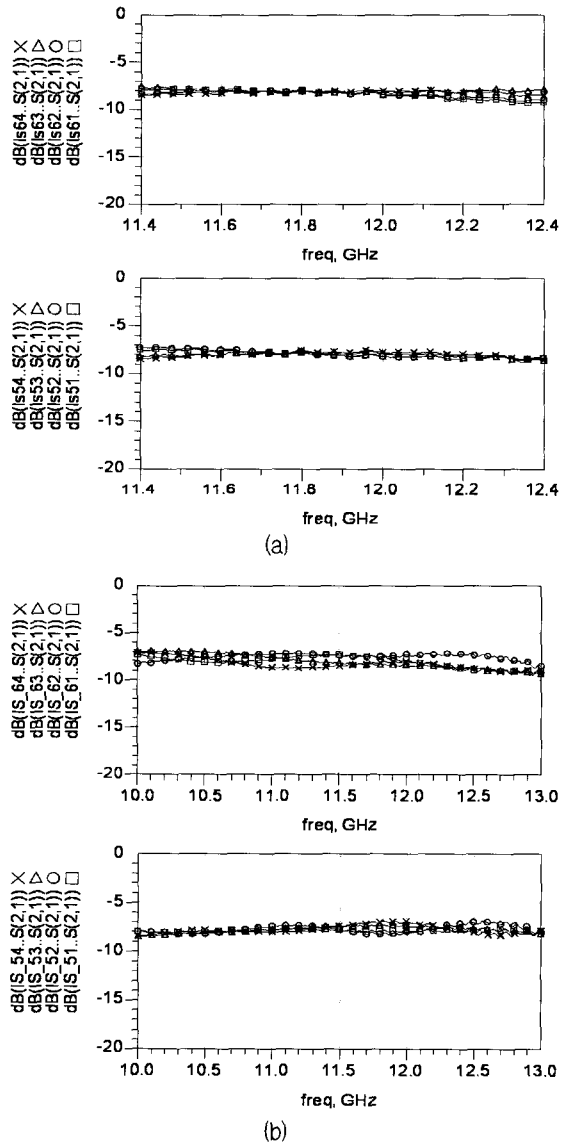


그림 6. 제작된 Six-port 위상 상관기의 손실 특성, (a) 90° hybrid branch-line coupler와 (b) three-arm branch 90° hybrid coupler.
 Fig. 6. Insertion loss of fabricated six-port phase correlator, (a) 90° hybrid branch-line coupler and (b) three-arm branch 90° hybrid coupler.

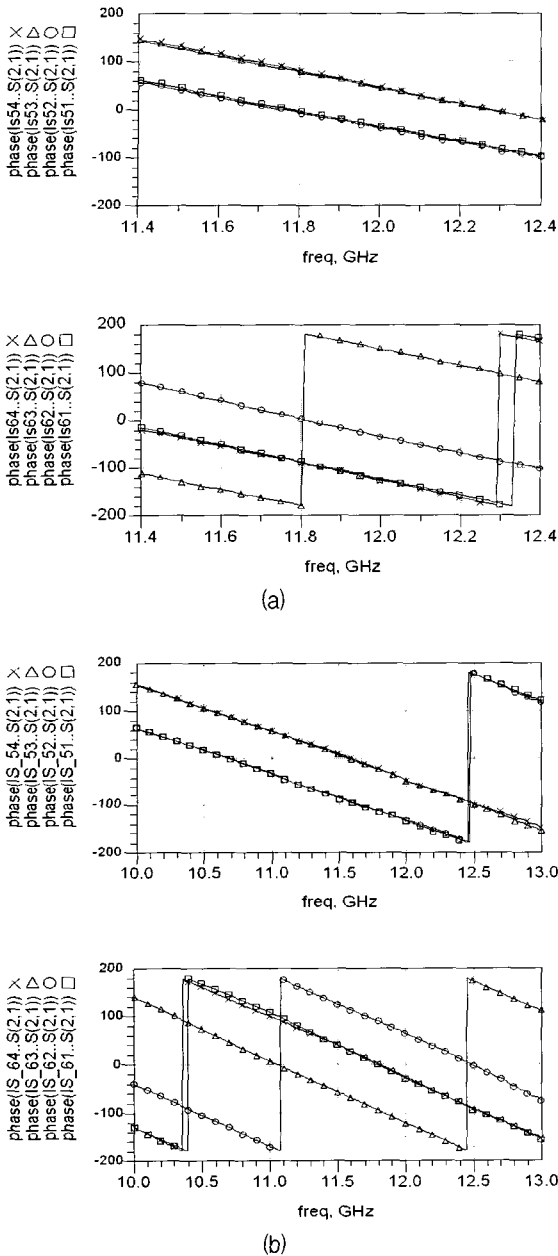


그림 7. 제작된 Six-port 위상 상관기의 위상 특성, (a) 90° hybrid branch-line coupler와 (b) three-arm branch 90° hybrid coupler.

Fig. 7. Phase characteristics of fabricated six-port phase correlator, (a) 90° hybrid branch-line coupler and (b) three-arm branch 90° hybrid coupler.

Three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 제작한 six-port 위상 상관기의 경우, 그림 6(b)에 나타나듯이 설계 대역(10.8 ~ 12.3 GHz)에서 -7.8 ± 0.8 dB 손실 특성으로 시뮬레이션 결과보다 약 2 dB 증가하였으나, 90° hybrid branch-line coupler를 사용한 six-port 위상 상관기보다 약 5배 정도 대역폭이 증가함을 알 수 있다[6]. 또한, 그림 7과 같이 six-port 위상 상관기 출력 단자 간 위상차는 동 위상 및 $\pm 90^\circ$ 위상 관계를 가지며, 약 5° 이내의 양호한 위상 오차를 나타내고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 중심 주파수 11.85 GHz에서 광대역 특성을 갖는 three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 six-port 위상 상관기를 제작하여 성능을 비교 분석하였다.

Three-arm branch 90° hybrid coupler를 이용하여 제작한 six-port 위상 상관기는 기존의 일반적인 90° hybrid branch-line coupler를 이용한 six-port 위상 상관기보다 크기는 약간 증가하였으나 대역폭은 약 5 배 정도 향상되고, 대역내 이득 평탄도와 위상 특성 또한 양호하게 나타났다. 설계 제작되어 측정된 데이터는 시뮬레이션 결과와 거의 일치하고 있으며, 설계 대역폭에서 약 5°의 위상차와 약 2 dB의 양호한 이득차가 발생하였다. Six-port 위상 상관기는 상대적인 이득차 보다는 위상차가 중요하므로, 제안된 대역 향상된 three-arm branch 구조의 위상 상관기는 직접 변환 수신 전 처리단으로 적합함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] J. Hyrylainen, L. Bogod, S. Kangasmaa, H. O. Scheck, and T. Yamurto, "Six-port direct conversion receiver," in *Proc. 27th Eur. Wireless Technol. Conf.*, pp. 139-142., 2000.

[2] J. Li, R. G. Bosisio, and Ke Wu, "A six-port direct digital millimeter wave receiver," in *Dig., IEEE MTT-S 94*, San Diego, pp. 1659-1662, 1994.

[3] David M. Pozar, *Microwave Engineering*,

Addison-Wesley Publishing Company. Inc., pp. 379-383 and pp. 632-634, 1990.

- [4] A. Kolpin, S. Winter, T Eireiner, and R Weigel, " The passive structure of a six-port receiver for the K-band" *Microwave Symp.*, Athens, 2005.
- [5] O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R. G. Bosisio, "New results on MMIC six-port used Ka band direct digital receiver", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE Trans. on MTT-S international*, Vol. 1, pp. A9-A12, 2003.
- [6] 양우진, 김영완, " Six-port 직접변환을 이용한 QPSK 수신기 설계 및 제작", *한국전자과학회 논문지*, vol. 18 no. 1, pp. 15-23, 2007.

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 전자정보공학부 교수

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



유재두(Jae-Du Yu)

2007년 군산대학교 전자정보공학사

2007년 ~ 현재 군산대학교 정보통신
전파공학과 석사과정

※관심분야: RF 회로설계, 무선통신 시스템