
다중결합 Power divider 와 Coupler를 이용한 Six-port 위상 상관기 제작

유재두* · 김영완**

Fabrication of Six-port Phase Correlator using Multi-section Power Divider and Coupler

Jae-Du Yu* and Young-Wan Kim**

2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00271, KRF-2007-511-D00169).

요 약

기존의 six-port 위상 상관기는 한 개의 Wilkinson power divider와 세 개의 90° Hybrid coupler로 구성된다. 일반적으로 Wilkinson power divider의 대역폭은 최대 18%이고 90° hybrid coupler의 대역폭은 최대 10%이기 때문에 기존 six-port 제작시 10 % 미만의 대역특성을 갖는다. 본 논문에서는 대역폭이 33 %인 2 단 Wilkinson power divider와 15 % 대역폭 향상을 갖는 정합된 90° hybrid coupler를 이용하여 six-port 위상 상관기를 중심 주파수 2.5 GHz에서 설계 및 제작하였다. ADS를 이용한 시뮬레이션 결과 제안된 six-port 위상 상관기의 RF port와 LO port에서의 대역폭이 약 14 % 증가하였으며, 실제 제작한 six-port 위상 상관기의 대역폭은 시뮬레이션 결과와 비슷하게 약 12 % 이었다. 또한 대역폭내의 최대 위상 오차와 삽입 손실은 각각 6°와 2.5 dB를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

The general six-port phase correlator is comprised of a Wilkinson power divider and three 90° hybrid coupler, which has less than 10 % bandwidth. In this paper, the six-port phase correlator using two section power divider has 33 % bandwidth and external matching 90° hybrid coupler with 15 % bandwidth was designed at the center frequency of 2.5 GHz. The simulation result by ADS2003A indicates that RF port and LO port of proposed six-port phase correlator got wide frequency bandwidth of 14 % for VSWR of 1.5. The fabricated six-port phase correlator has a bandwidth of 12 % similar to the simulation result. The maximum phase discrepancy and insertion loss are 6° and 2.5 dB over a bandwidth, respectively.

키워드

Six-port direct conversion, External matching 90° Hybrid coupler, two section Wilkinson power divider

* 군산대학교 전자정보공학부

** 군산대학교 전자정보공학부(교신저자)

I. 서 론

최근 무선통신시스템의 주요 관심사는 회로를 단순화 시켜 크기와 제작 비용을 최소화 시키는 것과 많은 데이터를 전송시키기 위하여 대역폭을 증가시키는 것이다[1].

Six-port를 이용한 직접변환 방식은 회로 구조가 간단하여 직접화가 쉽고, 소비전력이 낮고 광대역으로 구현하기 유리한 점을 보이고 있다. Six-port 위상 상관기는 30년 전 개발되어졌으며, 마이크로파 영역에서 저 비용 임피던스나 위상 측정용으로 널리 사용되다 직접변환 방식에 이를 적용한 연구가 많이 이루어지고 있다[2].

Six-port 위상 상관기를 이용한 직접변환 변복조기는 직교 변조 방식을 사용하는 통신 방식에 유리하며, DSP나 FPGA를 이용한 DSR(Software Defined Radio) 기반 직접변환 RF 전 처리부 구성에 중요한 기반이 될 수 있다[3].

기존의 six-port 위상 상관기는 18% 대역폭을 갖는 한 개의 Wilkinson power divider와 10% 대역폭을 갖는 세 개의 90° hybrid coupler로 구성되어져 일정한 대역 제한 특성을 갖는다.

본 논문에서는 대역폭 향상을 위하여 중심 주파수 2.5 GHz에서 광대역 특성이 있는 2단 power divider (33%)와 외부 매칭 hybrid coupler (15%)를 이용하여 넓은 대역 특성을 갖는 six-port 위상 상관기를 설계하고 제작하였다. 설계 및 제작한 광대역성 six-port 위상 상관기는 2.5 GHz 중심 주파수에서 약 600 MHz 대역폭을 얻을 수 있었다.

II. Coupler, Divider, Six-port 구조

A. 외부 매칭 90° hybrid coupler 구조

기존의 six-port에 사용되어진 90° hybrid coupler는 길이가 $\lambda/4$ 이며 특성 어드미턴스가 Z_s 인 두 개의 series arm과 두 개의 Z_o 인 shunt arm으로 구성된다. 정재파 값 산출을 위한 90° hybrid coupler의 우수·기수 모드 ABCD 파라미터는 식 (1)과 식 (2)와 같이 표현할 수 있다[4].

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Even} = \begin{bmatrix} -Y_o Z_s & jZ_s \\ j(Y_s - Y_o^2 Z_s) & -Y_o Z_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Odd} = \begin{bmatrix} Y_o Z_s & jZ_s \\ j(Y_s - Y_o^2 Z_s) & Y_o Z_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

중심 주파수를 기준으로 모든 포트를 정합하였을 경우, 마이크로스트립 라인의 길이와 두께는 고정되므로 주파수 변화에 따라 Y_o , Z_s , $\lambda/4$ 값이 변하게 된다. 식 (3), 식 (4), 그리고 식 (5)를 이용하여 주파수 변화에 따른 정재파 값을 구할 수 있다. 정재파 값이 1.5 이하인 구간을 대역폭으로 설정할 경우, 90° hybrid coupler는 최대 10%의 대역폭을 얻는다[4].

$$S_i^{(o,e)} = \frac{(A - D) + (BY_o - CZ_o)}{(A + D) + (BY_o + CZ_o)} \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{S_i^e + S_i^o}{2} \quad (4)$$

$$V.S.W.R = \frac{1 + |\Gamma|}{2} \quad (5)$$

외부 매칭 90° hybrid coupler는 4개의 출력 포트 모두 shunt arm으로부터 $\lambda/4$ 의 거리에 특성 어드미턴스가 Z_o 인 $\lambda/2$ 길이의 open stub나 $\lambda/4$ 길이의 short stub 결합 구조를 갖는다. 이러한 구조의 ABCD 파라미터는 식 (6)과 식 (7)로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Even} = \begin{bmatrix} -Y_o Z_s & -jZ_s \\ -jY_o^2 Z_s & Y_o Z_s - Z_o Y_s \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{Odd} = \begin{bmatrix} -Y_o Z_s & jZ_s \\ jY_o^2 Z_s & Y_o Z_s - Z_o Y_s \end{bmatrix} \quad (7)$$

ABCD 파라미터를 이용해 정재파 값이 1.5 이하인 대역폭은 최대 15%까지 얻을 수 있다. 본 논문에서는 크기를 줄이기 위해 그림 1과 같이 구부러진 $\lambda/2$ 길이의 open stub를 구성하였다.

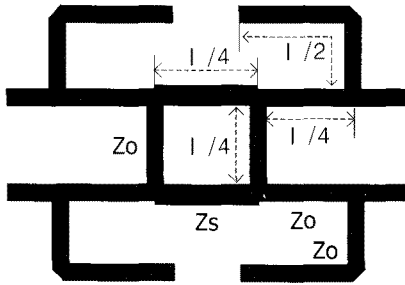


그림 1. 외부 매칭 Hybrid 90° coupler.
Fig. 1. External matching 90° hybrid coupler.

B. 2단 Wilkinson power divider 구조

기본적인 형태의 Wilkinson power divider는 특성 임피던스가 $\sqrt{2} * Z_0$ 인 $\lambda/4$ 길이의 전송선로 2개와 두 개의 출력 포트를 격리시키기 위한 $2 * Z_0$ 저항 1개로 구성되어진다. Coupler와 같은 방식의 우수·기수 모드 해석에 의해 대역폭은 약 18 % 이다. 본 논문에서는 six-port 위상 상관기를 좀 더 넓은 대역폭에서 사용하기 위해 그림 2와 같은 광대역 특성의 2단 Wilkinson power divider를 이용하여 설계하였다.

대역폭 33 %를 가질 수 있는 2단 Wilkinson power divider 구조는 Young's transformer table를 이용하여 길이가 $\lambda/4$ 이며, 특성 임피던스가 $Z_1 = Z_0(1.2197)$, $Z_2 = Z_0(1.6398)$ 인 전송선로와 $R_1 = Z_0(4.8204)$, $R_2 = Z_0(1.9602)$ 인 저항으로 그림 2와 같이 구성된다 [5].

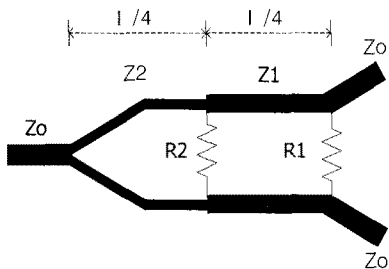


그림 2. 2단 Wilkinson power divider.
Fig. 2. 2 section Wilkinson power divider.

C. 제안된 six-port 위상 상관기 구조

본 논문에서 제안한 six-port 위상 상관기는 그림 3과 같이 한 개의 2단 Wilkinson power divider와 세 개의 외부 매칭 90° hybrid coupler를 갖는 두 개의 입력단과 네 개의 출력단으로 구성된다.

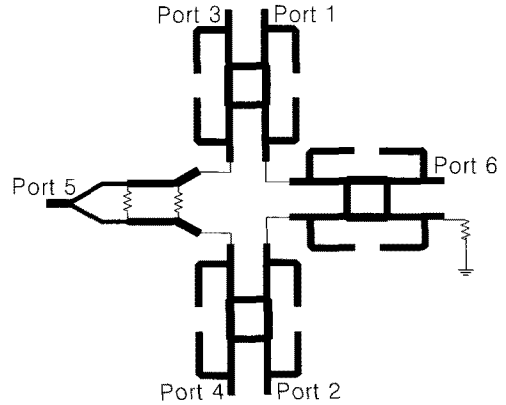


그림 3. 제안된 six-port 위상 상관기
Fig. 3. Proposed six-port phase correlator.

6개의 입출력 port 상호 간에 위상과 진폭을 나타내는 S-parameter는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다[6]. Six-port 위상 상관기의 port 5에 국부 발진신호(LO)를 입력하고, port 6에 RF 수신신호(RF)를 입력한다. Port 5와 port 6에서 입력되어진 신호는 S-parameter에 나타나듯이 네 개의 출력 port에서 서로 다른 위상과 진폭이 결합되어 port 1, port 3는 port 5와 port 6에 대해 각각 0°, 180° 위상차가 나타나고, port 2와 port 4는 90°, 270° 위상차를 갖는다.

$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +1 & +j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +j & +j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & +j & +1 \\ +1 & +1 & +j & +j & 0 & 0 \\ -1 & +j & +j & +1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

III. 설계 및 성능 분석

설계를 위한 시뮬레이션은 ADS2003A를 사용하였고, 중심 주파수가 2.5 GHz 위상 상관기를 설계하였다. 기판으로는 유전율이 10.2이고, 두께가 1.27 mm, 그리고 동판 두께가 0.035 mm인 RO3210을 사용하였다.

그림 3과 같은 구조로 설계한 six-port 위상 상관기의 대역폭은 그림 4와 같다. Six-port 위상 상관기의 대역폭은 2.5 GHz 중심 주파수를 중심으로 750 MHz(15%) 특성을 갖는다. 그러나 그림 4와 같이 six-port 위상 상관기의 port 5, port 6의 정재파 값 1.5 이하를 기준점으로 대역폭을 설정하였을 경우, 약 700 MHz(2.12 ~ 2.82 GHz)이었으며, 반사 손실은 15 dB 이하로 양호한 특성을 얻을 수 있었다.

손실 특성은 중심 주파수 2.5 GHz에서 두 개의 입력 port 모두 -6.5 dB로 -0.5 dB의 손실이 증가하였다. 대역폭 내에서 port 5와 port 6에 대한 출력 단자 간 손실 특성은 그림 5와 같이 각각 -6.5 ~ -6.9 dB 그리고 -6.5 ~ -7.5 dB로 양호한 특성을 얻을 수 있었다. Six-port 위상 상관기의 위상 특성은 그림 6과 같이 port 5(LO)에 대해 port 1과 2 그리고 port 3과 4가 동위상이고, 각각 90°의 위상차가 발생하며, port 6(RF)에 대해서는 port 1과 4가 동위상이고, port 2와 port 3은 각각 90°, 270°의 위상차가 발생한다. 여기서, 대역폭 내 port간 위상 오차는 3° 이하이다.

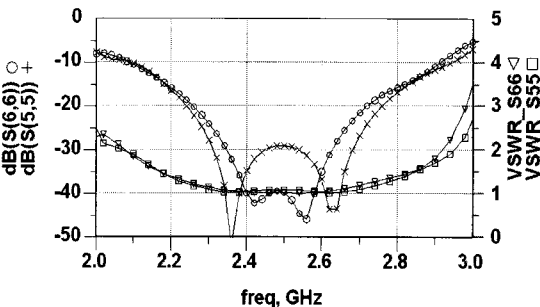


그림 4. Six-port 위상 상관기의 반사손실과 정재파
Fig. 4. Return loss and VSWR of six-port phase correlator.

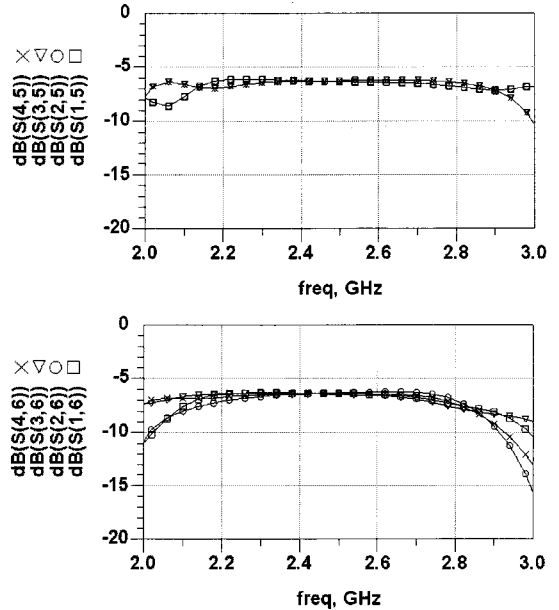


그림 5. Six-port 위상 상관기의 손실 특성
Fig. 5. Insertion loss of six-port phase correlator.

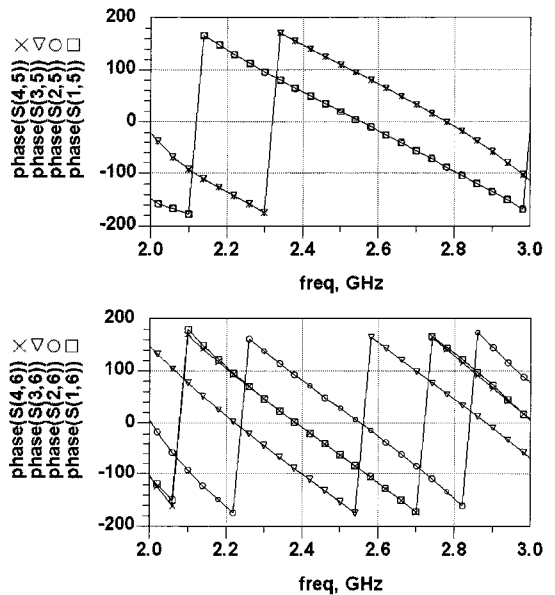


그림 6 Six-port 위상 상관기의 위상 특성
Fig. 6. Phase characteristics of six-port phase correlator.

IV. 제작 및 측정

그림 7은 본 논문에서 제안한 한 개의 2단 Wilkinson power divider와 세 개의 외부 매칭 90° hybrid coupler를 사용하여 제작한 six-port 위상 상관기이다. 실제 제작한 크기는 121 mm × 93 mm이다.



그림 7. 제작된 six-port 위상 상관기
Fig. 7. Fabricated six-port phase correlator

실제 제작된 six-port 위상 상관기의 S-parameter 측정은 그림 8과 같다. 측정 결과 port 5와 port 6에서의 반사손실과 정재파 특성은 그림에 나타난 바와 같이 port 5에 대한 대역폭은 시뮬레이션 특성과 비슷하지만, port 6에서의 대역폭은 2.15 ~ 2.75 GHz 대역으로 약 0.5 GHz 낮은 대역으로 이동하였다. 그러므로 six-port 위상 상관기의 전체 대역폭은 약 12% (600 MHz)로 시뮬레이션 대역폭보다 약간 감소하였다. 제작된 six-port 위상 상관기의 손실 특성은 그림 9에 나타나듯이 대역폭 내에서 port 5는 -6.1 ~ -7.4 dB 이고, port 6은 -6.2 ~ -8.5 dB로 시뮬레이션 값보다 1 dB 증가하였다.

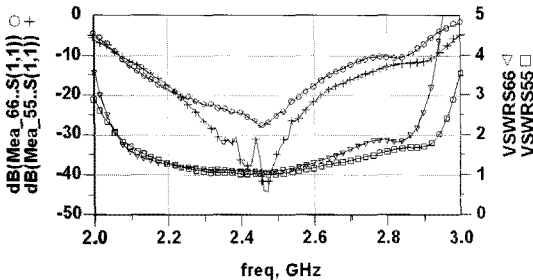


그림 8. 제작된 six-port의 반사손실과 정재파
Fig. 8. Return loss and VSWR of fabricated six-port.

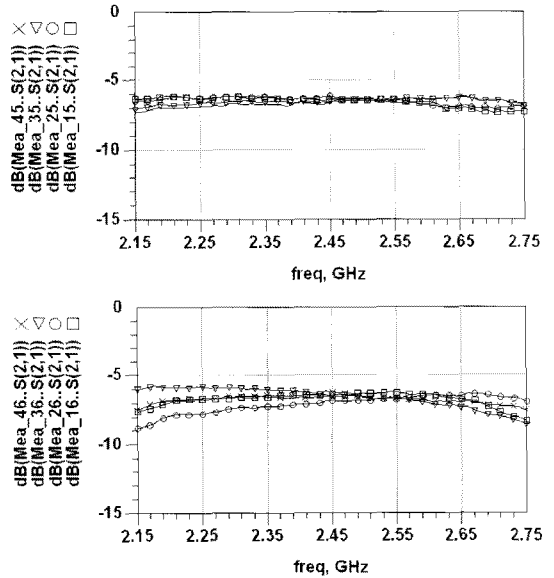


그림 9. 제작된 six-port 의 손실 특성
Fig. 9. Insertion loss of fabricated six-port.

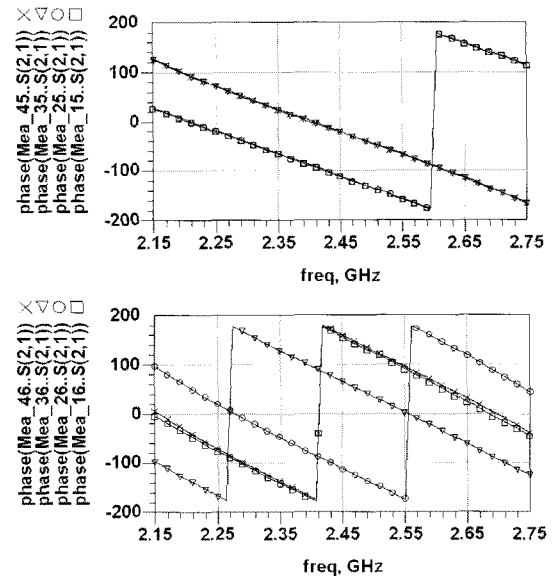


그림 10. 제작된 six-port 의 위상 특성
Fig. 10. Phase characteristics of six-port.

제작된 six-port 위상 상관기의 위상 오차는 그림 10에 나타나듯이 대역폭 내에서 port 5의 경우 3° 이하로 매우 좋은 특성을 얻었고, port 6의 경우 6° 이하이다. 이는 실

협실상의 간단한 제작으로 나타날 수 있는 오차로 해석할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 중심 주파수 2.5 GHz에서 33 % 대역폭을 갖는 2단 Wilkinson power divider와 15 % 대역폭을 갖는 외부 매칭 90° hybrid coupler를 결합하여 six-port 위상 상관기를 설계 및 제작하여 성능을 측정하였다. 제작된 six-port 위상 상관기의 정재파 값에 관한 주파수 대역폭을 1.5이하로 설정하였을 경우, 약 12 %의 대역폭을 얻을 수 있었다. 이는 이론값 15%와 시뮬레이션값 14 % 보다 작지만 기존의 1단 Wilkinson power divider와 90° hybrid coupler를 이용하여 제작된 six-port 위상 상관기보다 향상된 대역폭을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] T. Hentschel, "A simple IQ-regeneration technique for six-port communication receivers". *Communications, Control and Singnal Processing Symposium* , 2004 IEEE, pp.311-314, 2004.
- [2] J. Hyrylainen, L. Bogod, S. Kangasmaa, H. O. Scheck, and T. Yamurto, "Six-port direct conversion receiver," in *Proc. of 27th Eur. Wireless Technol. Conf.*, pp. 139-142, 2000.
- [3] S. O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R. G. bosisio, T. A. Denidni, "Ka-band analog front-end for softwave-defined direct conversion receiver", *IEEE Trans. on MTT*, vol.53, no.9, pp. 2768-2776, Sep. 2005
- [4] E. H. Fooks, R. A. Zakarevicius, *Microwave Engineering using Microstrip Circuits*. Prentice hall, 1990.
- [5] Cohn, S.B., "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids", *IEEE Trans. on MTT*, vol. 16, no. 2, pp.110-116, Feb. 1968.
- [6] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc. 1998.

저자소개



유재두(Jae-Du Yu)

2007년 군산대학교 전자정보 공학사

2007년 ~ 현재 군산대학교 정보통신전파공학과 석사과정

※관심분야: RF 회로설계, 무선통신 시스템



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