

광대역성 2단 Power divider와 매칭 Hybrid coupler를 이용한 Six-port 위상 상관기 설계 및 제작

유재두 · 김영완

군산대학교

Design and Fabrication of Six-port Phase Correlator using Wideband Two
Section power divider and Matching Hybrid Coupler

Jae-du Yu · Young-wan Kim

Kunsan National University

E-mail : yjd2626@kunsan.ac.kr, ywkim@kunsan.ac.kr

요 약

Six-port 위상 상관기는 한 개의 divider 와 세 개의 coupler로 구성되어 진다. 일반적인 wilkinson power divider 와 90° hybrid coupler를 결합하여 제작시 10% 미만의 대역특성을 갖는다. 본 논문에서는 대역폭이 33%인 2 section power divider 와 15%인 external matching 90° hybrid coupler 세 개를 이용하여 six-port 위상 상관기를 시뮬레이션 후 제작하였다. ADS를 이용한 시뮬레이션 결과 중심 주파수 2.5GHz에서 RF port, LO port 모두 15%의 대역폭을 얻을 수 있었다. 이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 제작한 six-port 위상 상관기는 손실이 증가 하였으나 비슷한 대역폭 (600MHz)을 얻을 수 있었다. 또 이 구간에서의 위상 오차는 약 5°로 양호한 특성을 얻었다.

ABSTRACT

The generally six-port phase correlator is comprised of a wilkinson power divider and three 90° hybrid coupler, got bandwidth performance of less than 10%. in this paper, the six-port phase correlator using two section power divider has 33% bandwidth and external matching hybrid coupler has 15% bandwidth was designed with the center frequency of 2.5GHz. Analysis of the simulation result indicates that RF port and LO port got frequency bandwidth of 13%. Insert loss performance of fabricated six-port phase correlator is incremented, but bandwidth resembles simulation result. And phase tolerance within bandwidth is less than 5°

키워드

Six-port direct conversion, Two section power divider, Matching hybrid coupler, DSR

1. 서 론

Six-port 위상 상관기는 30년 전 개발되어 마이크로파 영역에서 저 비용 임피던스나 위상 측정 용에 이용되어 왔으며 1994년 직접 변환 수신기로 처음 제안되어 졌다.[1]

무선 통신 송·수신부에서 six-port 위상 상관기는 DSP나 FPGA를 이용한 SDR(Software Defined Radio)기반 직접 변환 RF 전 처리부 구

성에 중요한 기반이 될 수 있다.[2] Six-port 위상 상관기는 일반적으로 한 개의 power divider과 세 개의 hybrid coupler로 구성되어 일정한 대역 제한을 가진다. 그러나, 오늘날 무선통신 시스템은 단일 플랫폼에서 다수의 무선 주파수 채널을 이용하여 많은 서비스를 받을 수 있는 광대역성 six-port 구조가 필요하다.

본 논문에서는 중심 주파수 2.5GHz 에서 광대역 특성이 있는 2section power divider과

external matching hybrid coupler를 이용하여 six-port 위상 상관기를 설계 및 제작하였다. 제작된 six-port 위상 상관기의 대역폭은 약 600MHz(VSWR ≤ 1.5)을 얻을 수 있었다.

II. 제안된 Coupler, Divider, Six-port의 구조

A. External matching hybrid coupler의 구조

Hybrid coupler는 특성 어드미턴스가 Z_s 인 두 개의 series arm 과 Z_o 인 shunt arm이고 길이는 $\lambda/4$ 인 구조로 되어져있다. 주파수 변환 값에 따른 VSWR을 보기 위해 even·odd 모드 해석에 의한 ABCD 매트릭스 값은 다음과 같다.[3]

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

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

90° hybrid coupler의 경우 중심 주파수에 중심 주파수를 기준으로 완벽하게 정합하면 strip line의 두께는 고정되므로 주파수 변화에 따라 Y_o 와 Z_s 값과 $\lambda/4$ 이 변하게 된다. 식 3, 4, 5를 이용하여 주파수 변환에 따라 최대 10%의 대역폭 내에서 1.5이하의 VSWR 값을 얻을 수 있다.

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

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

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

External matching hybrid coupler는 4개의 포트 모두 shunt arm으로부터 $\lambda/4$ 의 거리에 특성 어드미턴스 Z_o 인 $\lambda/2$ 길이의 open stub를 추가하거나 $\lambda/4$ 길이의 short stub를 추가하면 식 6, 7과 같은 ABCD 매트릭스를 얻을 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 매트릭스를 이용해 VSWR 값이 1.5이하인 대역폭은 15%를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 크기를 줄이기 위해서 굽어진 형태로 그림 1과 같은 구조의 external matching hybrid coupler를 설계하였다.

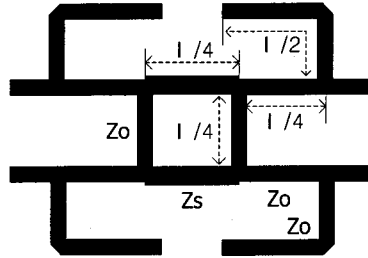


그림 1. 외부 매칭 Hybrid coupler

B. Two section power divider의 구조

가장 간단한 형태의 wilkinson power divider은 특성 임피던스가 $\sqrt{2} * Z_o$ 인 $\lambda/4$ 길이의 전송선로 2개와 두 개의 outport를 격리시키기 위한 $2 * Z_o$ 의 저항 1개로 구성되어 지며 대역폭은 약 18%으로 제한된 대역의 응용 분야에 사용되어진다. 본 논문에서는 six-port 위상 상관기에서 좀더 넓은 대역폭에서 사용하기 위해서 그림 2와 같은 광대역 특성이 있는 two section power divider를 이용하여 설계하였다.

Two section power divider의 구조는 그림 2와 같이 두 개의 $\lambda/4$ 전송선로와 하나의 격리 저항을 추가하여 대역폭이 33%인 광대역 특성을 얻을 수 있다.[4]

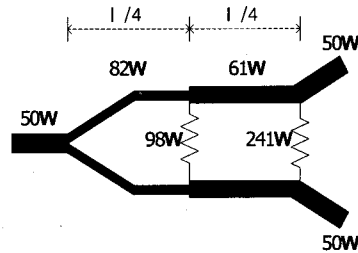


그림 2. 2단 Wilkinson power divider

C. 제안된 Six-port의 구조

본 논문에서 제안한 six-port 위상 상관기는 그림 3과 같이 한 개 2section power divider과 세 개의 external matching hybrid coupler로 결합되어진다. LO, RF Signal 입력을 위한 Port 5, port 6와 네 개의 출력 포트를 갖는다.

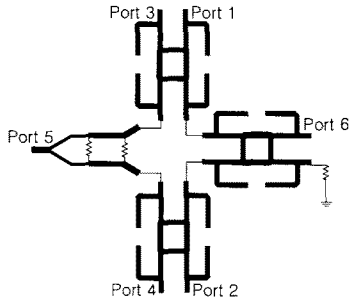


그림 3. 제안된 Six-port 위상 상관기

여섯 개 port 상호 간에 위상과 진폭을 나타내는 S-parameter은 식 8과 같은 매트릭스로 나타낼 수 있다.[5]

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

III. Six-port 설계 및 성능 분석

설계를 위한 시뮬레이션은 ADS2003A를 사용하여 실행하였고 기판은 중심주파수가 2.5GHz 이기 때문에 작은 사이즈로 제작하기 위하여 유전율이 10.2로 높고 기판 두께가 1.27mm인 Roger사의 RO3210을 사용하였다.

그림 3과 같은 구조를 갖는 six-port 위상 상관기의 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 입출력 포트를 완벽하게 매칭하고 그림 3과 같이 설계하였을 경우 six-port 위상 상관기 대역폭은 15%로 중심주파수가 2.5GHz일 경우 약 750MHz를 얻어야 한다. 시뮬레이션 결과는 그림 4의 스미스 차트에 임피던스 값으로 나타내면 port 5, 6의 에서의 VSWR값 1.5 이하를 기준점으로 대역폭을 잡을 경우 약 700MHz (2.16 ~ 2.86GHz)로 divider와 coupler의 결합특성에 의해 대역폭이 감소하였다. port5, 6에서 의 반사 손실 특성은 그림 5와 같이 대역폭이 낮은 주파수 쪽으로 내려갔지만 -15dB 이하 값을 얻을 수 있다. port 5와 port 6에 대한 출력단자 간의 손실 특성은 중심 주파수에서 -6.5dB이며 이는 이상적인 Six-port 위상 상관기 보다 -0.5dB 정도 손실이 더 증가 하였고 대역 내에서 약 1dB의 리플이 발생하였다. 또 위상 특성은 그림 6에 나타나듯이 port 6에 대해, port 1 과 port 4가 동위상이고 port 2, 3은 각각 90°의 위상차가 생기고 port 5에 대해서는 port 1 과 port 2 그리고 port 3과 port 4 동위상이고 이들은 각각 90°의 위상차가 발생한다. 대역 내에서의 출력 포트 간 위상 오차는 3°이하이다.

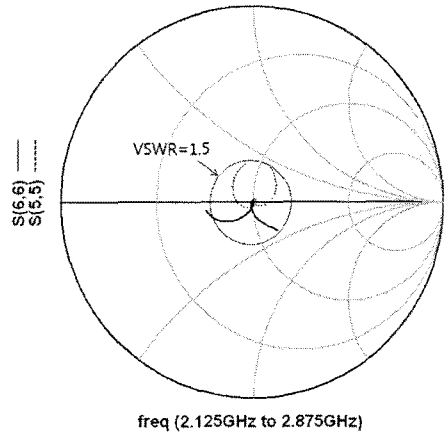


그림 4. Six-port 위상 상관기의 입력 임피던스

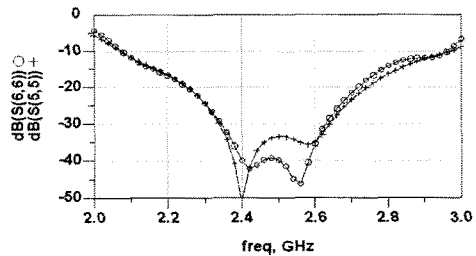


그림 5. Six-port 위상 상관기의 반사 손실

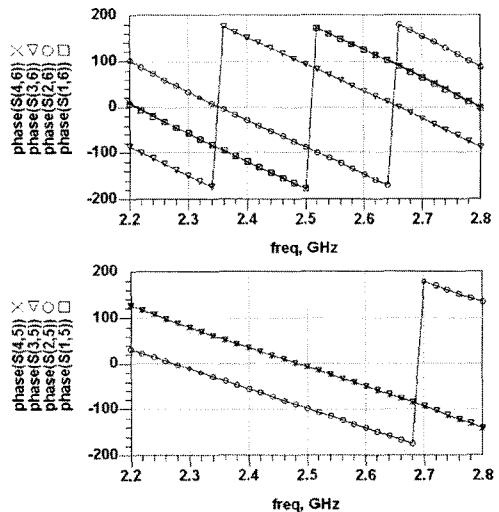


그림 6. Six-port 위상 상관기의 위상 특성

IV. 제작 및 측정

그림 7은 본 논문에서 제안한 한 개의 2section power divider과 세 개의 external matching hybrid coupler을 사용하여 제작한 six-port 위상 상관기이다. 실제 제작한 크기는 121mm×93mm 의 크기를 갖는다.

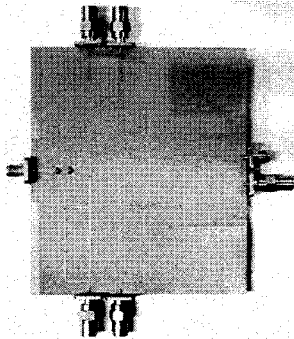


그림 7. 제작된 Six-port 위상 상관기

제작된 six-port 위상 상관기는 네트워크 분석기를 통해 S-parameter를 측정하였다. 측정 결과 port 5 와 port 6에서의 VSWR 과 반사 손실은 그림 8, 9와 같다. port 5에 대한 대역폭은 시뮬레이션 특성과 비슷하지만, port 6에서의 대역폭은 VSWR 과 반사 손실 특성에서 나타나듯이 낮은 주파수대로 이동하였다. 그림 8, 9와 같은 특성을 바탕으로 대역폭은 약 600MHz(12%)를 얻을 수 있다. 출력 단자 간 전송 손실은 시뮬레이션 결과보다 리플이 1dB 정도 증가한 2 dB이고, 출력 포트 간 위상 오차는 약 5°로 양호하게 나타났다.

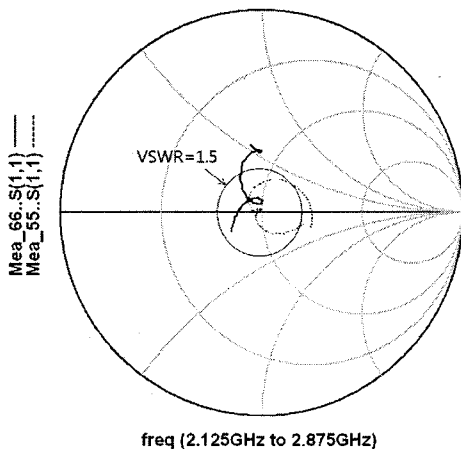


그림 8. 제작된 Six-port 위상 상관기의 입력 임피던스

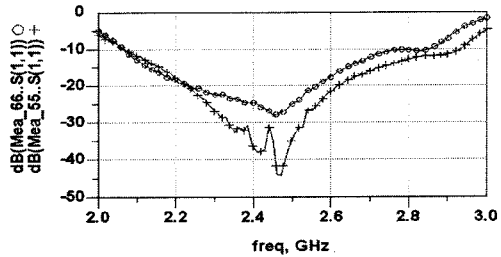


그림 9. Six-port 위상 상관기의 반사 손실

V. 결론

본 논문에서는 중심 주파수 2.5GHz에서 two section power divider과 external matching hybrid coupler를 결합하여 six-port 위상 상관기를 제작하여 성능을 측정하였다. 측정 결과 12%로 이론과 시뮬레이션 값 15%보다 작지만 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 제안된 six-port 위상 상관기는 기존의 power divider과 hybrid coupler를 이용하여 제작된 six-port 위상 상관기보다 향상된 대역폭을 얻을 수 있다. 제안된 six-port 위상 상관기는 DSR 기반의 무선 통신 수신부의 전처리 부에서 QPSK, QAM demodulator나 송신부에서 modulator로 사용되어 질 수 있다.

참고문헌

- [1] G. F. Engen, "The six-port reflectometer: An alternative network analyzer", IEEE Trans. vol.MTT-25, no.12, pp.1075-1080, Dec. 1977
- [2] S. O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R. G. bosio, T. A. Denidni, "Ka-band analog front-end for software-defined direct conversion receiver", IEEE Tran. vol.53, no.9, Sep. 2005
- [3] E. H. Fooks, R. A. Zakarevicius, "Microwave Engineering using Microstrip Circuits
- [4] Cohn, S.B., "A class of broadband three-port TEM-mode hybrids", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.16, no.2, Feb. 1968, pp.110-116.
- [5] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 1998.