

Six-port 직접 변환 수신을 위한 광대역 Power detector 설계 제작

이 용 주*, 김 영 완**, 박 동 철***

Design and Implementation of Broadband Power Detector for Six-port Direct Conversion Receiver

Yong-ju Lee*, Young-wan Kim** Dong-chul Park***

요 약

본 논문에서는 직접 변환 방식인 six-port의 RF 출력 신호를 검파하고 요구 대역폭에서 입력 주파수 신호에 대한 진폭 및 위상 신호를 선형적으로 출력하는 광역 power detector를 설계 제작한다. Six-port 출력단에 접속되는 power detector는 높은 정합도를 갖고 반사파로 인한 Six-port 간 위상 불일치를 방지하고, 넓은 대역폭에서 낮은 VSWR을 유지하여야 하는 광역 특성을 갖는 power detector 설계가 필요하다. 광역 정합을 위하여 사용 주파수 대역에 따라 강제 정합과 다단 LC 정합 회로, 그리고 isolator를 사용한 낮은 VSWR 특성을 갖는 설계 방법을 비교 분석한다. 설계 제작된 power detector의 주파수 대역에 대한 동적 동작 영역(dynamic range) 성능을 측정하여 Six-port의 수신 전송 신호 검파기로 활용될 수 있는 타당성을 평가한다.

Key Words : Six-port, Direct conversion receiver, Power detector

ABSTRACT

The broadband power detector for power amplitude envelope detection of the direct-conversion Six-port output signal was designed and implemented in this paper. The power detector should be linearly operated to produce the linear amplitude and phase signal for input RF signals in required broadband frequency range. The power detector should be designed under conditions of matching circuit with low VSWR, which protect unbalanced phase signal from reflection signal due to mismatch between the output port of a six-port and the input port of a power detector. The designed power detectors, which were implemented in L-band with 50 ohm matching and Ku-band with multiple LC matching circuits and isolator, respectively, were analyzed in viewpoints of the utilization as a power detector of direct conversion Six-port. The dynamic range of designed power detectors were also measured and evaluated as a power detector of Six-port circuit.

I. 서론

무선통신 시스템에서 직접 변환 수신기는 일반적으로 사용되는 헤테로다인 수신기보다 회로의 복잡도가 감소하고 집적화가 높은 장점을 갖고 있기 때문에 직접 변환 방식을 사용하는 시스템 구성이 가속화 되고 있다^[1]. 직접 변환 방식인 Six-port 방식은 passive 형태의 2-4 port의 입·출력 신호를 갖

는 RF 전처리 회로와 수신 입력 신호를 검파하는 power detector 및 저역 통과 필터 회로, 그리고 변조 신호 복원을 위한 신호처리부로 구성된다^{[2][3]}. Six-port 직접 변환 방식은 넓은 주파수 대역에서 수신 전송 신호를 직접 기저 대역 신호로 변환한다. 따라서, 직접 변환 회로를 구성하는 RF 전 처리부 및 power detector 그리고 기저 대역 신호 처리부도 광대역 신호를 처리 할 수 있는 회로 설계 및 접속

* 한국폴리텍대학 메카트로닉스 공학과(yoongju@tjpc.ac.kr), ** 군산대학교 전자정보공학부(ywkim@kunsan.ac.kr)

*** 충남대학교 전자공학과

논문번호 : KICS2006-01-xxx, 접수일자 : 2006년 x월 x일, 최종게재논문통보일자 : 2006년 x월 xx일

특성을 갖는다.

Power detector 회로는 입력 전송 신호의 기저 대역 신호를 복원하여야 하므로 진폭 및 위상 신호를 선형적으로 검파하여야 한다. 또한, power detector 회로는 넓은 대역폭에서 낮은 정재파비(VSWR)를 갖고 RF 전 처리 회로인 Six-port와 접속되며, 요구 전송 신호 대역폭의 신호를 직접 검파하여 기저 대역 신호를 재생하여야 한다. 즉, Six-port 출력단에 접속되는 power detector는 높은 정합도를 갖고 반사파로 인한 Six-port 간 위상 불일치를 방지하여야 한다.

본 논문에서는 Schottky 다이오드를 사용하여 L/Ku-band의 광역 정합 특성을 갖는 power detector 회로를 설계·제작하고 성능을 평가한다. 제작된 power detector 모듈의 성능을 측정하여 광대역 주파수 특성을 갖는 Six-port 회로의 직접 변환단 출력 검파기로 사용할 수 있음을 평가한다. 광역 정합을 위하여 사용 주파수 대역에 따라 강제 정합과 다단 LC 정합 회로, 그리고 isolator를 사용한 낮은 VSWR 특성을 갖는 설계 방법을 비교 분석한다. 설계 제작된 power detector의 주파수 대역에 대한 동적 동작 영역(dynamic range) 성능을 측정하여 Six-port의 수신 전송 신호 검파기로 활용할 수 있는 타당성을 평가한다.

II. Power detector 설계

Power detector 회로는 낮은 주파수 영역의 L-band와 초고주파 영역의 Ku-band 영역에서 설계한다. 광대역 정합 특성을 위하여 L-band power detector 입력 단은 50Ω 강제 정합, Ku-band는 다단 LC 정합 및 isolator를 사용한 입력 단을 구성한다.

1. L-band

950~1450 MHz 직접 변환 수신을 위한 power detector는 광대역 특성을 위하여 강제 정합 회로로 구성한다. 출력 회로는 RF 신호 및 harmonics 신호를 제거하기 위하여 1.2 GHz 중심 주파수를 갖는 RF 단락 회로(short circuit)와 800 MHz 차단 주파수를 갖는 저역 통과 필터로 구성된다.

Power detector에 입력되는 신호를 다음 식 (1)과 같이 표현하면^[4],

$$f(x) = \sin(\omega t) \pm \cos(\omega t + \theta) \quad (1)$$

Schottky diode 출력 신호는 다음 식 (2)와 같다.

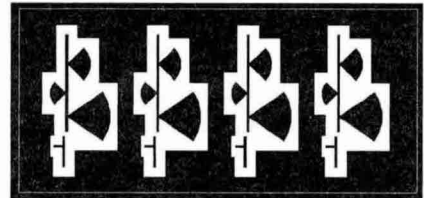
$$D_{output} = f(x)^2 = \sin^2(\omega t) \pm 2\sin(\omega t)\cos(\omega t + \theta) + \cos^2(\omega t + \theta) \quad (2)$$

저역 통과 및 RF short 회로를 통과 한 신호는 다음 식 (3)과 같이 기저 대역 신호로 출력된다.

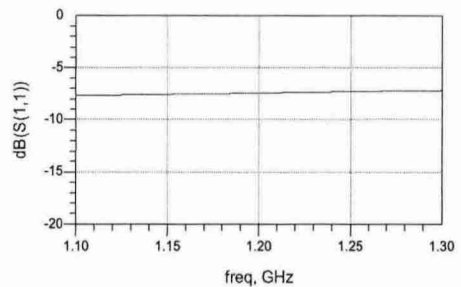
$$S_{low-pass\ filter} = 1 \mp \sin(\theta) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 power detector의 출력 신호인 기저 대역 신호는 식 (1)과 같은 수신되는 입력 신호의 위상차 신호에 의존하며, 전송 신호의 위상 신호를 검파함을 알 수 있다.

그림 1은 L-band power detector layout 및 ADS 성능 실험 결과를 보여준다. 입력 단의 50 Ω 강제 정합에 의해 설계 전 주파수 영역에서 약 -8 dB의 return loss가 발생한다.



(a)



(b)

그림 1. L-band power detector layout(a) 및 성능(b).
Fig. 1. Layout(a) and performance(b) of L-band power detector.

2. Ku-band

Ku-band power detector는 11.85 GHz 중심 주파수와 500 MHz 대역폭을 갖는다.

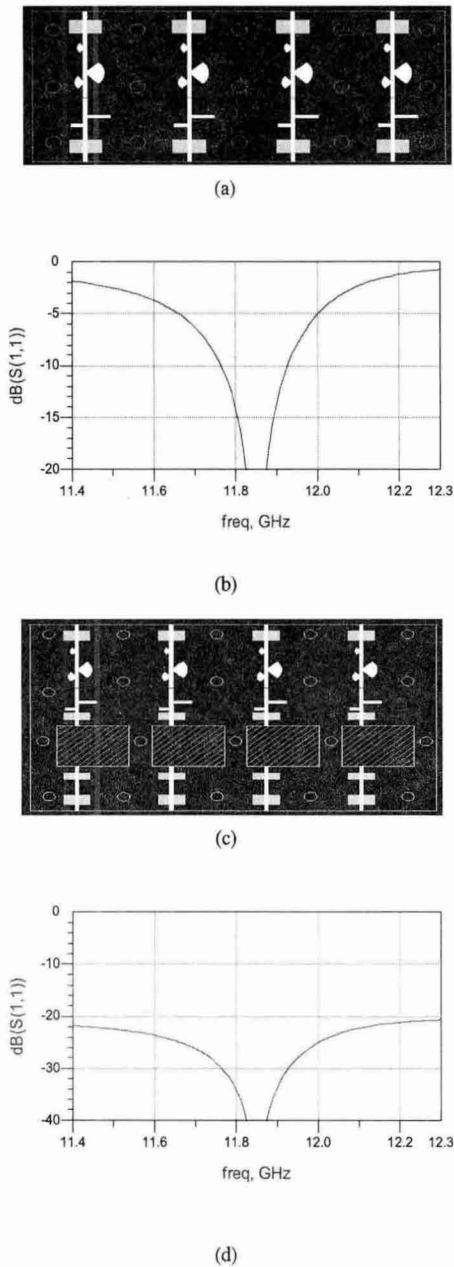


그림 2. 정합 회로를 갖는 Ku-band power detector layout 및 성능 (a)(b)와 isolator와 정합 회로를 갖는 power detector layout 및 성능 (c)(d).

Fig. 2. Layout and performance of Ku-band power detector with matching circuit(a)(b) and layout and performance of Ku-band power detector with matching circuit and isolator(a)(b).

고주파 영역의 입력 정합을 위하여 2단 정합 회로를 사용하며, six-port 출력단과의 정합을 위하여 power detector 입력 단에 isolator를 사용한 정합

회로를 구현한다. 또한 11.85 GHz RF 단락 회로와 9.5 GHz 차단 주파수를 갖는 저역 통과 필터를 갖는 출력 회로를 구성한다. 그림 2는 입력 정합 회로를 갖는 power detector와 isolator와 정합회로를 갖는 power detector 회로를 보여준다. 정합 회로를 갖는 power detector는 약 -8 dB return loss 기준 300 MHz 대역폭을 가지며, isolator를 입력 단에 구성하는 power detector는 약 -20 dB return loss를 갖는 isolator특성으로 설계할 경우의 return loss 및 11.85 GHz에서의 정합도를 보여준다.

III. 제작 및 실험

Power detector는 L-band에서는 유전율 10과 50 mil 그리고 Ku-band에서는 2.2의 유전율과 10 mil 기판을 사용하여 제작하였다.

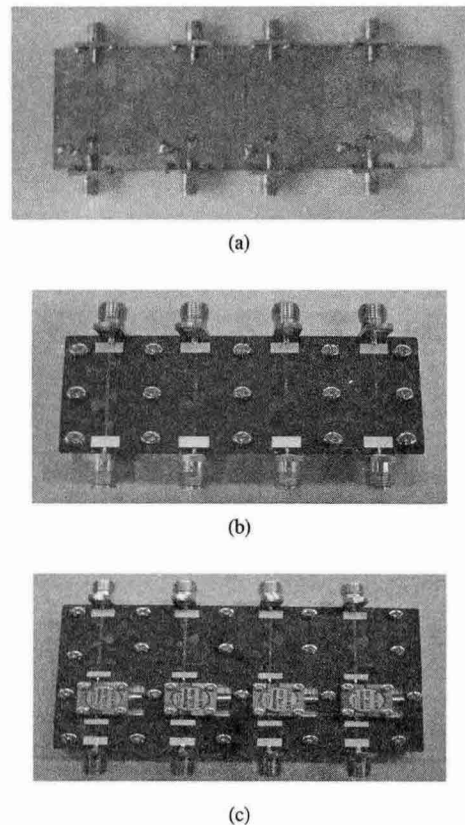


그림 3. 설계된 power detector, (a) L-band, (b) 정합회로를 갖는 Ku-band 그리고 (c) isolator와 정합 회로를 갖는 Ku-band 회로

Fig. 3. Designed power detector, (a)L-band, (b) Ku-band with matching circuit and (c) Ku-band circuit with matching circuit and isolator.

Power detector는 각각 Six-port 4단자 출력단과의 접속을 위하여 4개의 검파 회로로 설계 제작하였다. 그림 3은 제작된 L-band 및 Ku-band의 power detector를 보여준다.

Power detector검파 다이오드로는 L-band에서는 HSMS-2850 그리고 Ku-band에서는 HSCH-9161 Schottky diode를 사용하였다^{[5][6]}.

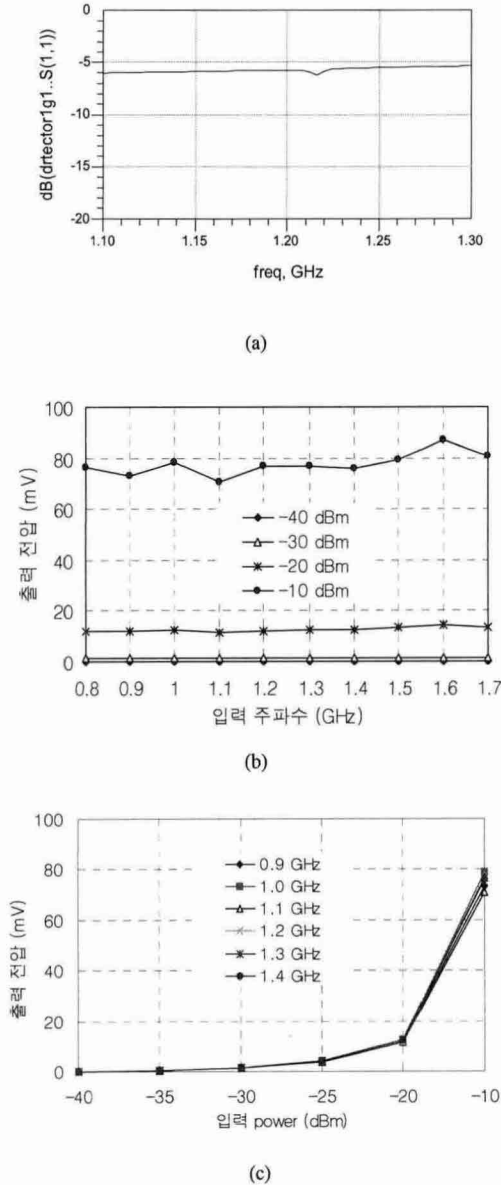


그림 4. L-band power detector 측정 성능.
Fig. 4. Measured performance of L-band power detector.

설계된 power detector의 측정 성능은 그림 4와 그림 5-1 그리고 그림 5-2와 같다.

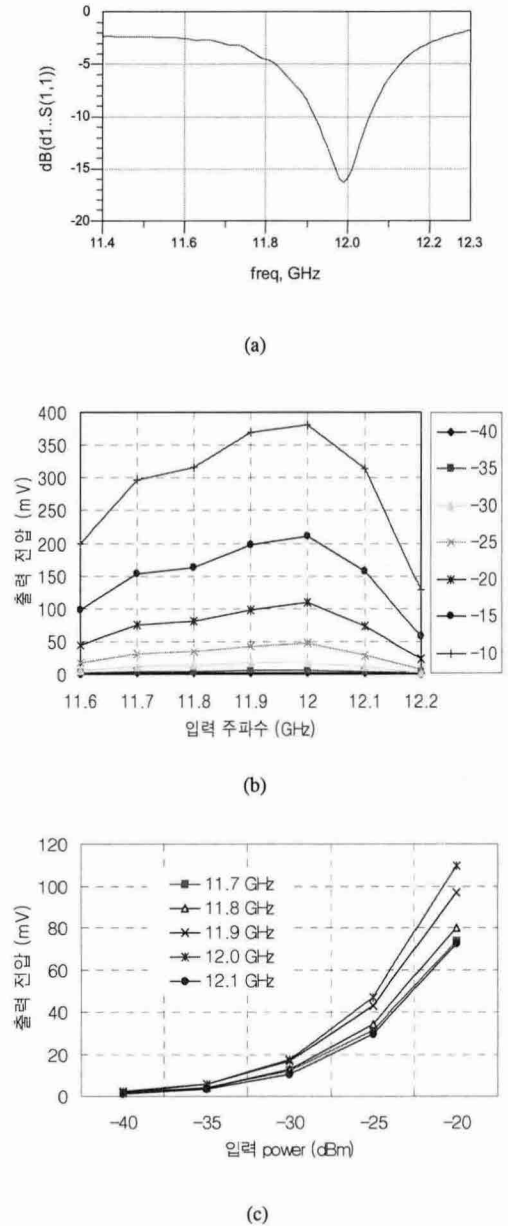
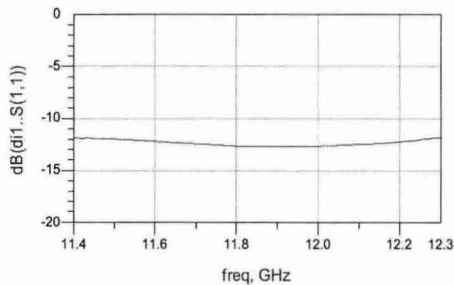


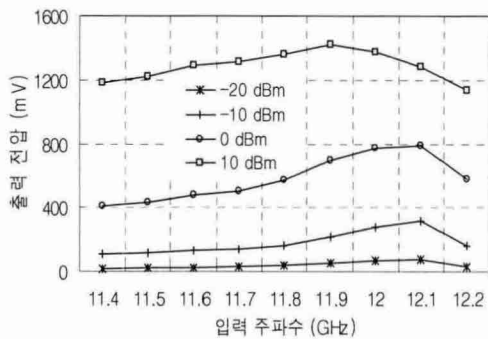
그림 5-1. 정합 회로를 갖는 Ku-band power detector 측정 성능.
Fig. 5-1. Measured performance of Ku-band power detector with matching circuit.

그림 4와 5로부터 측정 성능은 시뮬레이션 결과와 일치하나, 중심 주파수가 1.22 그리고 12 GHz로

이동하였으며, 입력 단의 return loss는 1.2 GHz에서 약 -6 dB 그리고 11.85 GHz 대역에서는 정합 회로와 isolator 정합 회로에 의한 성능이 약 -16 dB 및 -14 dB로 각각 측정되었다. 또한, L-band의 입력 전력에 대한 출력 전압은 사용 주파수 대역에서 거의 일정한 분포를 가지나, Ku-band에서는 $\pm 20\%$ (90 ~ 110 mV)의 전압 분포를 갖는다. 또한, power detector의 동적 동작 영역은 L-band에서는 60 dB(-40 dBm~20 dBm)이며, Ku-band에서는 40 dB(-45 dBm~-5 dBm)의 특성을 보여준다. 따라서, L-band 및 Ku-band power detector는 500 MHz 이상의 대역폭에서 신호를 검파하며, 40 dB 이상의 동적 동작 영역 특성으로 직접 변환 Six-port의 출력 단자 신호를 검파할 수 있는 특성을 갖는다.



(a)



(b)

그림 5-2. 정합 회로와 isolator를 갖는 Ku-band power detector 측정 성능.
Fig. 5-2. Measured performance of Ku-band power detector with matching circuit and isolator.

IV. 결론

본 논문에서는 Six-port의 RF 출력 신호를 검파하고 진폭 및 위상 신호를 선형적으로 출력하는 광역 power detector 회로를 설계·제작하고 성능을 측정하였다. 광대역 정합을 위하여 낮은 주파수 대역인 L-band power detector는 강제 정합을 그리고 Ku-band에서는 다단 LC 정합 회로와 isolator를 갖는 power detector를 구성하였다. 설계 제작된 power detector 특성은 설계 값과 거의 일치하였으며, 40 ~ 60 dB의 동적 동작 영역을 갖고 -40 dBm 이상의 입력 power에서 동작함을 알 수 있었다. 제작된 power detector는 500 MHz 대역과 낮은 정합 특성을 갖는 광대역 Six-port의 수신 전송 신호 검파를 power detector로 활용할 수 있는 타당성을 평가하였다.

참고 문헌

- [1] Schiel J. C, Tatu S. O, Ke Wu, Bosisio R. G, "six-port direct digital receiver (SPDR) and standard direct receiver (SDR) results for QPSK modulation at high speeds", Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International, vol. 2, pp. 931-934, 2002.
- [2] Tatu S.O, Moldovan E, Wu K, Bosisio R.G. "A new direct millimeter-wave six-port receiver", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 49, no. 12, pp. 2517-2522, 2001.
- [3] B. Razavi, "Design Considerations for Direct-Conversion Receiver," IEEE Trans. on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 44, no. 6, pp. 428 -435, 1997.
- [4] 장명신, 김영완, 고남영, "6-단자를 이용한 직접 변환 수신 전 처리부 설계", 한국해양정보통신학회논문지, 제 9권, 7호, pp. 1534-1540, 2005
- [5] Agilent, Surface mount Zero Bias Schottky Detector Diodes: HSCH-9161 Technical data, Agilent, 2005
- [6] Agilent, Surface mount Zero Bias Schottky Detector Diodes: HSMS-2850 Series Technical data, Agilent, 2005

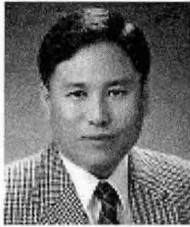
저 자

이 용 주 (Yoong-ju Lee)

1987년 중앙대학교 전자공학사
1989년 중앙대학교 전자공학석사
2000년 충남대학교 전자공학박사과정 수료
1991~1992 럭키중앙연구소 연구원
1992~1996 쌍용중앙연구소 연구원
1996~현재 한국폴리텍대학 교수

<관심분야> Microwave 및 광파, 디지털 통신,

김 영 완 (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 회로설계, 디지털 위성
방송/통신, Microwave devices, 무선통
신시스템

박 동 철 (Dong-chul Park)

1974년 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1976년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(공학석사)

1984년 University of California, Santa Barbara
(공학박사)

1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전파공학과 교수
1977년~1978년 : Ruhr University, Bochum, Germany,
방문교수

1994년~1998년 : IEEE MTT Korea Chapter
Chairperson

1994년~2001년 : IEEE EMC Korea Chapter
Chairperson

2000년~2001년: 한국전자파학회 회장

<관심분야> Microwave and millimeter-wave
passive devices, EMC/EMI topics,
and Antennas