

논문 2009-46TC-12-5

단일평면 초광대역 발룬을 이용한 초광대역 부품

(Ultra-wideband Components Utilizing a Uniplanar Ultra-wideband Balun)

김영곤*, 우동식*, 김인복*, 송선영*, 김강욱**

(Young Gon Kim, Dong Sik Woo, In Bok Kim, Sun Young Song, and Kang Wook Kim)

요약

마이크로스트립-CPS (coplanar stripline)의 초광대역 발룬을 이용하여 초광대역 부품을 개발하였다. 초광대역 발룬은 DC 근처부터 40 GHz 이상의 대역에서 동작하고 있으며, 이를 응용한 초광대역 부품 또한 10 GHz 이상의 주파수 대역을 가지고 있다. 개발된 초광대역 부품은 초광대역 안테나, 주파수 혼합기, 주파수 체배기 및 검파기가 있으며, 주로 상용으로 판매되는 캐리어(carrier) 형태 및 하우징 형태의 소자로 개발이 되었다. 뿐만 아니라, 새로운 구조의 표면실장형 전이구조를 개발하여 이러한 소자를 표면실장형의 형태로 구현하였다. 표면 실장형 소자의 한 예로, 체배기는 출력 주파수 8 ~ 28 GHz의 초광대역의 특성을 가지고 있다. 고성능, 저가의 초광대역 소자는 기존의 비싼 소자들을 대체 할 수 있으며, 향후 UWB의 여러 응용분야에 사용 되리라 예상된다.

Abstract

Various types of ultra-wideband components with 10's of GHz bandwidth have been developed utilizing a uniplanar ultra-wideband balun, which is a simple microstrip-to-coplanar stripline (CPS) transition structure with the operating frequency range from near DC to over 40 GHz. Developed ultra-wideband components include antennas, mixers, doublers, and detectors in a carrier type and in a surface mountable type. One of surface mountable components, for example, single balanced doubler has output frequency 8 ~ 28 GHz. These high-performance, low-cost ultra-wideband components may replace expensive conventional components, and also can be used to develop new multi-GHz UWB application areas.

Keywords : ultra-wideband (UWB), balun, coplanar stripline (CPS), microstrip line, surface mountable

I. 서론

현대전에서는 전자전의 중요성이 부각되고 있는데 이러한 전자전의 중요한 요소인 신호 탐지, 전파 방해, 펄스 레이더 등을 제작하는데 있어 초광대역 소자들이 필수적이고, 현재까지는 필요부품을 주로 외국의 회사로부터의 수입에 의존 하였으나, 최근 해당국에서의 수출규제에 의해 핵심부품 확보가 어려울 때가 많아지고

있다. 따라서 이러한 초광대역 소자들의 국산화가 절실해 지고 있다. 또한 최근 이동무선통신을 통해 요구되는 데이터의 속도가 수십 Mb/s ~ 수백 Mb/s 로 증가함에 따라 무선통신 소자들의 광대역특성이 요구되고 있다. 이러한 빠른 데이터 전송속도에 대한 요구는 향후 제 4세대 통신의 구현을 위해서는 필수적일 것이다. 또한 최근 초광대역(UWB; Ultra- wideband) 차량 충돌방지 레이더를 비롯한 UWB 센서 또한 민수용 뿐 아니라 군사용으로도 관심이 증가하면서, 초광대역 특성을 갖는 소자들의 개발의 요구가 절실해 지고 있다.

본 논문에서는 이러한 초광대역 소자 개발의 필요성에 따라, 초광대역 발룬을 이용한 10 GHz 이상의 대역을 가지는 초광대역 소자를 제안하고 있다. 평면형 구

* 학생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)
** 정회원, 이엠와이즈 통신 (EM-wise Communications Co.)
접수일자: 2009년11월16일, 수정완료일: 2009년12월14일

조의 초광대역 발룬의 장점을 활용하여^[1], 초광대역 부품인 안테나, 주파수 혼합기, 체배기 및 검파기 등을 제안하였으며, 또한 표면실장이 가능한 소자를 구현하여 저가의 대량 생산이 가능하게 하였다.

II. 본 론

본 논문에서 제안하는 여러 초광대역 부품을 구현하기 위해서는 초광대역의 발룬 구현이 필수적이다. 현재 상용적으로 가장 많이 사용되고 있는 발룬은 평행판 스트립라인 발룬으로, 단일 평면형이 아닌 기판의 양면을 사용하고 있어, 소자 장착의 어려움, 기생성분의 해석 및 대량 생산에 있어 어려움이 있다. 따라서 평면상의 초광대역의 우수한 성능의 발룬이 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서 사용한 초광대역 발룬의 모습은 그림 1에 나타내었다. 전체적인 구조의 모습과 (그림 1 (a)) 각 단계에서의 전계 분포의 모습 (그림 1 (b))을 나타내고 있다. 대체적으로 수직적인 전계 분포인 마이크로스트립 선로에서 대체적으로 수평적인 전계 분포인 coplanar stripline (CPS)로의 전이를 위해서, 마이크로스트립 선

로에서 via가 포함된 선로를 B-B'와 같이 두게 되고, B-B'에서 C-C'와 같이 아래쪽 접지면의 변화를 통하여, CPS의 전계분포로 전이 되는 구조로 되어 있다. 즉, 마이크로스트립 선로에서 CPS로의 전이는 최적의 임피던스의 정합 및 자연스러운 전계 분포 변환을 이루도록 설계하였다^[1].

1. 초광대역 안테나

최근 초고속 및 광대역 신호 전송의 소비자 수요가 급증함에 따라 새로운 주파수 자원으로써 밀리미터파를 이용하는 광대역 시스템이 여러 산업 분야에서 응용되고 있다. 광대역 시스템이 요구하는 안테나는 넓은 대역폭을 가져야한다. 일반적으로 사용되는 마이크로스트립 안테나(Microstrip Antenna: MSA)는 크기가 작고, 가볍고, 대량생산이 가능하여 저가의 장점을 가진다. 하지만 주파수 대역폭이 좁아 광대역 시스템에 적용하기 어렵다. 반면, 테이퍼 슬롯 안테나(TSA: Tapered Slot Antenna), quasi-Yagi 안테나, Bow-Tie 및 스파이럴 (spiral) 안테나 등은 넓은 대역폭을 가져 다양한 마이크로파 광대역 시스템의 방사체로 널리 사용되고 있다. 기존의 대부분의 광대역 안테나는 마이크로스트립-슬롯, 마이크로스트립-CPS(Coplanar stripline) 혹은 CPW(Coplanar Waveguide)-슬롯 등의 전이구조(혹은 발룬)의 특성에 의해 대역과 방사특성이 제한되는 단점이 있었다^[2]. 따라서 [1]에서 소개된 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬을 이용하면 대역 제한의 문제점을 극복할 수 있다. 발룬 넓은 대역 특성을 이용하여 안테나 고유의 대역 및 방사 특성을 그대로 유지하도록 하였으며, 또한 마이크로스트립으로 급전되어 다른 소자들과의 집적이 쉽게 하였다. 그리고 임피던스 매칭의 측면에서 간단한 연결을 통해 설계도 쉽도록 하였다. 안테나의 설계를 위해 먼저 발룬을 참고논문 [1]을 참고하여 설계한 다음 CPS혹은 슬롯선로 급전되는 안테나를 설계하여 연결하는 방식으로 완성하였다. 그림 2는 초광대역 발룬을 이용한 광대역 안테나의 예로서 그림 2(a)는 24 GHz 대역에 사용 가능한 광대역 TSA를 보여 주고 있다. 제작된 안테나의 슬롯형상은 페르미-디랙(Fermi-Dirac) 테이퍼 함수를 따르며, 개구면의 측면에 주름(corrugation)을 주어 측면 부엽 성분을 개선한 구조이며 측정 결과 18 GHz에서 30 GHz까지의 넓은 임피던스 대역폭과, 12~13 dB의 비교적 높은 이득과 30도 정도의 빔폭을 가졌다. 또 다른 광대역 안

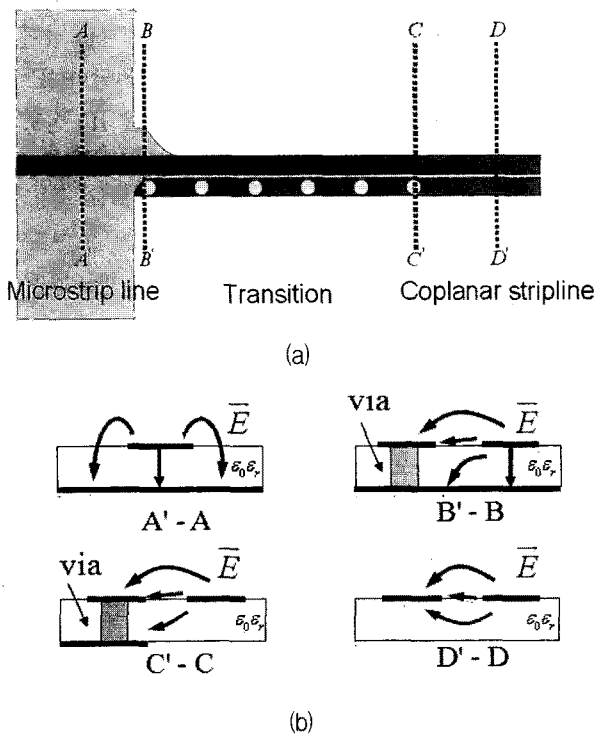
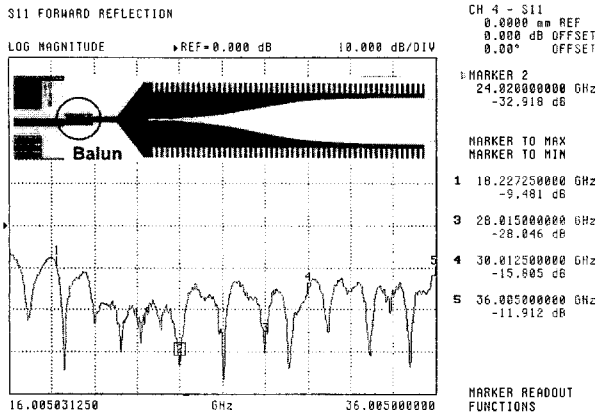
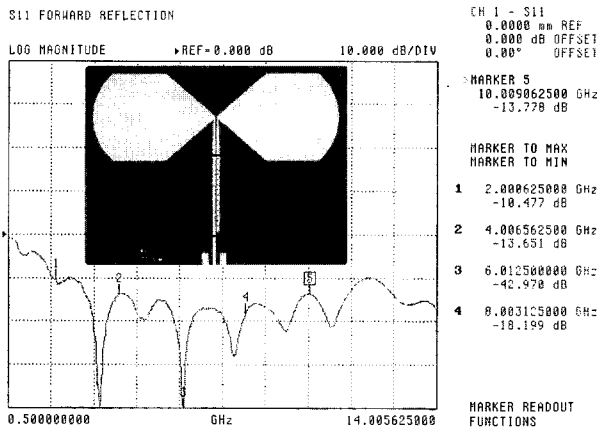


그림 1. 전체적인 초광대역 발룬의 모습 (a)과 각 단계에서의 전계 분포 (b)

Fig. 1. The configuration of balun (a) and the electric field distribution at the each section (b)



(a) 24 GHz UWB 통신용 TSA



(b) UWB 통신용 보우타이 안테나

그림 2. 초광대역 발륜을 이용한 TSA와 보우타이 안테나

Fig. 2. TSA and Bow-tie antenna using ultra-wideband balun.

테나의 예로서 그림 2(b)는 초광대역 발륜을 이용하여 설계한 보우타이(Bow-Tie) 안테나를 보여주고 있다. 이러한 보우타이 안테나는 초단파 펄스를 인체에 입사하고 그 반사파를 신호처리(signal processing)하여 종양(tumor) 등의 여부를 진단하는 초단파 펄스 레이더(UltraShort-Pulse Radar: USPR) 진단(diagnosis) 시스템 등에 응용될 수 있다. 이때 사용되는 안테나는 정확한 진단을 위하여, 광대역 펄스를 송수신하면서도 왜곡이 최소화되고, 입사파와 반사파간의 영향이 최소화되어야 한다^[3]. 제작 결과 2 GHz에서 12 GHz 대역까지 충분한 대역폭을 가져 UWB 통신용으로도 다양하게 응용될 수 있을 것이다. 그 외에도 초광대역 발륜을 이용하면 광대역 특성을 가지는 스파이럴(spiral) 안테나, quasi-Yagi 안테나 등의 평형(balanced) 선로로 급전 하는 다양한 형태의 안테나 설계에 쉽게 응용될 수

있음을 확인하였다.

2. 초광대역 주파수 혼합기

주파수 혼합기는 초고주파 회로의 기본적인 소자 중의 하나로서 입력신호의 주파수를 상향 혹은 하향으로 변환하여 주는 소자이다. 그림 3에 기본적인 이중 평형 주파수 혼합기의 모습을 나타내었다. LO 신호 주기에 따라 2개의 다이오드가 각각 turn-on 혹은 turn-off를 하면서, RF 신호와의 혼합을 통해 IF 신호가 나오게 된다. 이상적인 발륜의 의해서는 LO단과 RF단의 완벽한 격리가 이루어지게 되며, 변환 손실에 영향을 미치지 않는다. 따라서 발륜의 성능에 의해 혼합기의 전체적인 성능에 영향을 미치게 되며, 광대역의 성능이 좋은 발륜 사용이 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서의 초광대역 발륜을 이용하여 10 GHz 이상의 대역을 갖는 혼합기를 캐리어 형태와 새로운 구조의 표면실장형 전이구조를 이용하여 표면실장형 초광대역 혼합기를 구현하였다.

그림 4에 초광대역 발륜을 LO단과 RF단에 이용하여 제작된 혼합기를 나타내었다. LO단과 RF단 사이에 M/A-COM 사의 silicon coross-over quad series 쇼트키 다이오드 MA4E2544L-1282를 사용하였고, 두 발륜 사이에 부착되었다. RF 단에 0.6 pF의 커패시터를 달아 IF 주파수를 차단하였으며, 다이오드에서 혼합된 IF 신호의

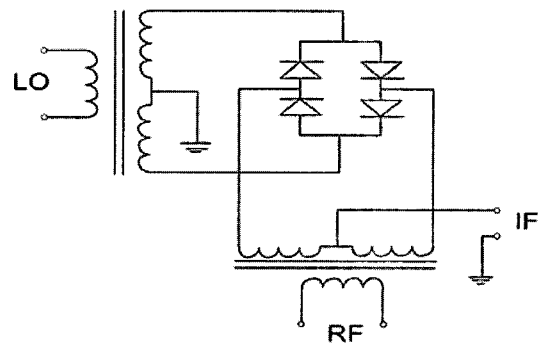


그림 3. 기본적인 이중 평형 주파수 혼합기의 구조
Fig. 3. Basic configuration of the double balanced frequency mixer.

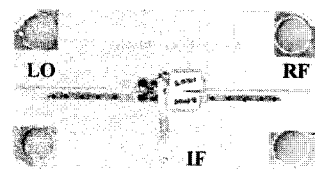
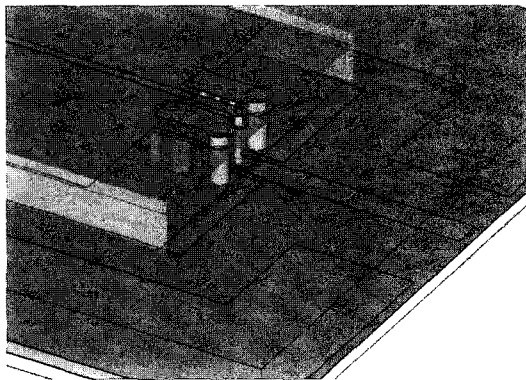
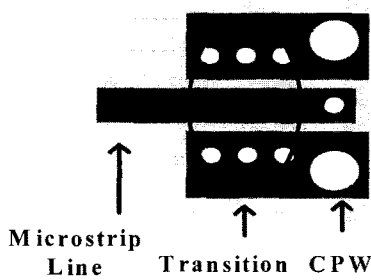


그림 4. 제작된 carrier 형태의 주파수 혼합기
Fig. 4. The fabricated carrier type frequency mixer.



(a)



(b)

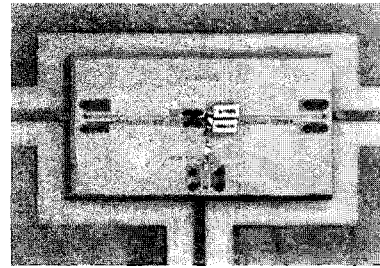
그림 5. 표면실장형 전이구조의 전체 모습 (a)과 위에서 본 구조 모습 (b)

Fig. 5. Surface mountable type transition (a) and the transition on the top (b).

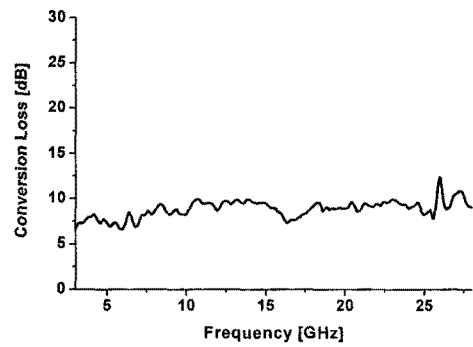
추출을 위해서 폭이 10 mil인 리본을 이용하여 IF 신호를 추출하였다. 그리고 IF 단에서의 LO와 RF 신호의 격리를 위해서 15 GHz의 $1/4\lambda$ 의 스텐브를 이용하였다.

표면실장형의 구조의 소자의 구현을 위해서 제안한 표면실장형 전이구조의 모습을 그림 5에 나타내었다. 마이크로스트립 선로에서 표면실장형 전이구조를 거쳐서 coplanar waveguide (CPW)를 따라 수직선이 되는 구조로 이루어져있다. 표면실장형 전이구조는 전계 분포 자연스러운 변환 및 최적의 임피던스 정합을 통하여 설계되었다.

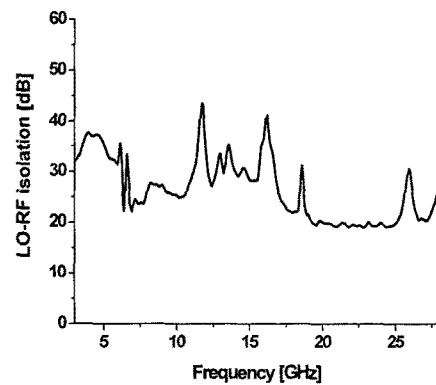
혼합기의 3개의 각 포트에 표면실장형 전이구조를 삽입하여, 그림 6과 같이 표면실장형 혼합기를 구현하였다. 그림 6(a)는 표면실장형 혼합기의 측정을 위하여 마이크로스트립 선로 패드에 장착한 모습이며, 측정된 결과를 그림 6(b)와 (c)에 각각 나타내었다. 변환 손실은 4 ~ 25 GHz 대역에서 평균 8 dB이며, LO-RF단의 격리도는 25 dB 정도의 값을 가지고 있다. 이러한 초광대역의 표면실장형 혼합기의 구현을 통하여 저가의 고성능의 다양한 UWB 시스템의 응용에 많은 기여를



(a)



(b)



(c)

그림 6. 표면실장형 혼합기의 모습 (a)과 측정된 변환 손실 그리고 LO-RF 격리도 (c)

Fig. 6. Fabricated surface mountable mixer with a pad for measurement (a) and conversion loss of measured result (b) and LO-RF isolation (c)

예상할 수 있다.

3. 주파수 체배기

주파수 체배기는 입력신호의 주파수를 2배로 높여주는 소자로서 저 위상잡음을 갖는 신호원을 구현하기 위한 필수적인 소자이다. 초광대역 체배기도 역시 앞서 소개한 주파수 혼합기와 같이 발륜에 의해서 그 성능이 좌우 된다^[4].

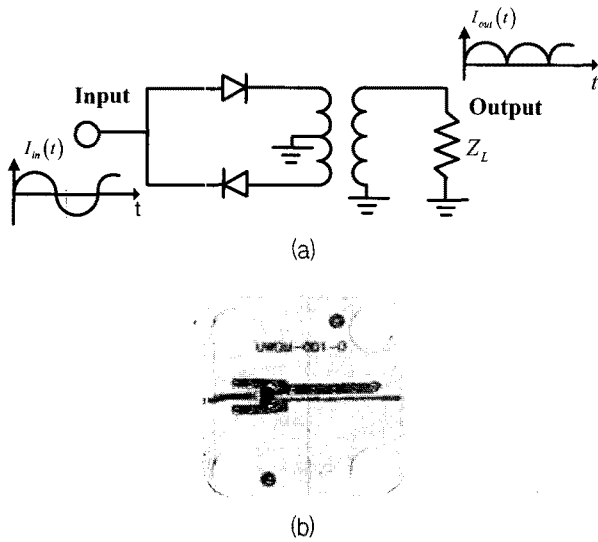
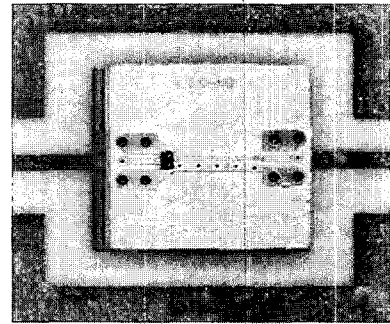


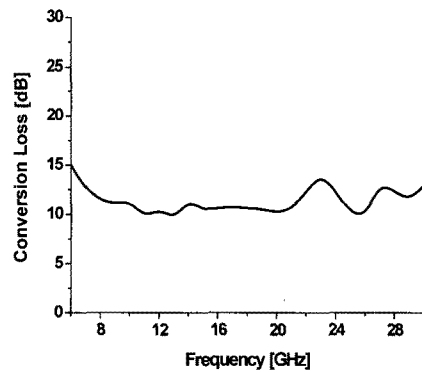
그림 7. 단일 평형 체배기의 등가회로 (a)와 제작된 주파수 체배기의 모습 (b)
 Fig. 7. The equivalent circuit of single balanced doubler (a) and the fabricated doubler (b).

그림 7(a)에 단일 평형 체배기의 등가회로를 나타내었고, 이를 바탕으로 제작된 체배기를 7(b)에 나타내었다. 제안된 체배기는 Duroid 6010 10 mil 두께의 비유전율 10.2인 기판에서 제작되었다. 제작된 체배기는 두 개의 다이오드와 마이크로스트립-CPW 전이구조 및 초광대역 발륜으로 구성되어 있다. 입력 단의 마이크로스트립 선로에 유기된 신호는 CPW로 자연스럽게 전이되며 CPW의 짝수 모드 신호가 두 다이오드에 전달된다. 이때 다이오드를 통해 홀수차 하모닉과 짝수차 하모닉 성분이 나오게 되는데, CPS 선로로 짝수차 하모닉 성분(홀수 모드)만이 나오게 되고, 홀수차 하모닉 성분(짝수 모드)은 전부 제거가 된다. 제작된 체배기는 M/A-COM 사의 flip-chip series-tee 쇼트키 다이오드 MA4E1319-1을 사용하였고, CPW와 CPS의 교차점에 부착되었다.

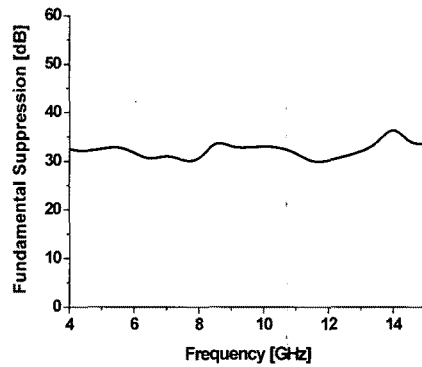
앞서 혼합기에 사용된 표면실장형 전이구조를 이용하여 주파수 체배기에 응용을 할 수 있으며, 제작된 표면실장용 체배기의 모습을 그림 8(a)에 나타내었다. 그림 8(b)에서와 같이 변환손실은 출력 주파수 8 ~ 28 GHz의 대역에서 평균 11 dB이며, 평균 30 dB(그림 8(c) 참조)의 입력 주파수 억압을 가지고 있다. 기존의 캐리어 형태의 체배기의 구현뿐만 아니라 표면실장형 체배기의 구현에 따라 높은 성능의 광대역 체배기의 대량생산이 가능하게 되었다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. 표면실장형 체배기의 모습 (a)과 측정된 변환손실 (b) 그리고 입력 주파수 억압도 (c)

Fig. 8. Fabricated surface mountable doubler with a pad for measurement (a) and conversion loss of measured result (b) and fundamental suppression (c).

4. 초광대역 검파기

검파기는 다이오드나 트랜지스터와 같은 반도체 소자의 비선형 특성을 사용하여 입력 RF 신호에 대해 출력단에서 발생하는 직류성분 및 고조파 성분 중, 입력 신호의 크기에 비례하는 직류성분을 검출하는 소자이

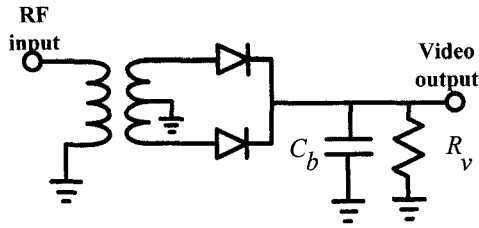


그림 9. 발룬을 이용한 검파기 등가회로
Fig. 9. Basic equivalent circuit of the detector using balun.

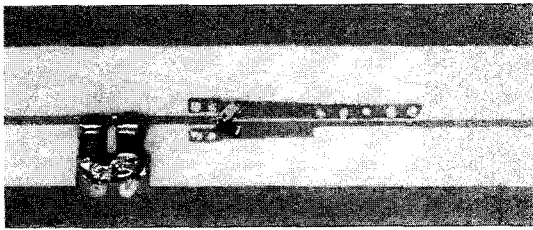


그림 10. 제작된 검파기의 모습
Fig. 10. The fabricated detector.

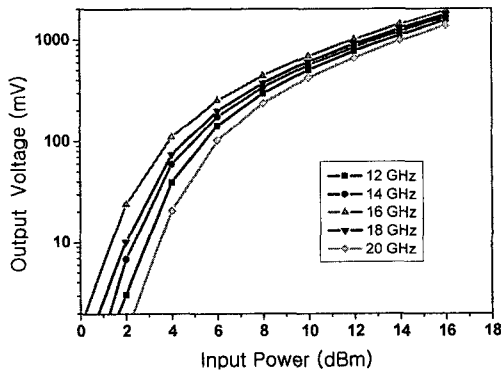


그림 11. 쇼트키 다이오드 검파기의 특성
Fig. 11. The characteristic of schottky diode detector.

다. 그림 9와 같이 검파기에 발룬을 이용함으로써 일반적인 정합회로보다 주파수 대역이 넓으며 따로 정합회로를 구현하지 않아도 되므로 크기를 줄일 수 있다. 이 구조는 평형, 전파 포락선 검파기(a balanced, full-wave envelope detector)라고 불린다. 본 논문의 초광대역 발룬을 이용하여 초광대역 다이오드 검파기를 그림 10과 같이 구현하였다. 또한 바이어스가 필요한 일반 쇼트키 다이오드와 무 바이어스 다이오드를 사용하여 전력-전압특성을 비교해 본 결과 동작 전력의 차이와 감도의 차이를 확인 할 수 있었다. 그림 11과 같이 일반 쇼트키다이오드를 사용하였을 경우 10 GHz 대역폭을 보이고, 감도가 30mV/mW 이었으며 무 바이어스 쇼트키 다이오드를 사용하여 그림 12와 같이 대역폭이 10

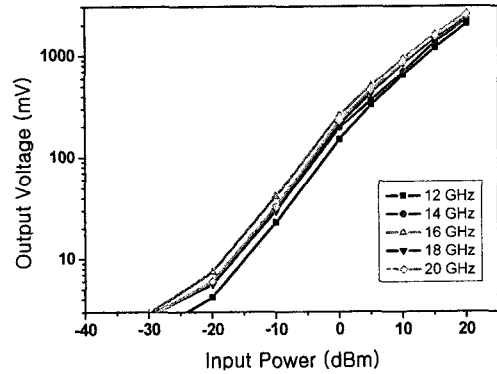


그림 12. 무 바이어스 쇼키 다이오드 검파기의 특성
Fig. 12. The characteristic of zero bias schottky diode detector.

GHz이며 감도가 300mV/mW인 초광대역 검파기회로를 구현하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립-CPS (coplanar stripline)의 초광대역 발룬을 이용하여 초광대역 부품을 개발하였다. 개발된 초광대역 부품으로 초광대역 안테나, 주파수 혼합기, 주파수 체배기 및 주파수 검파기등이 있으며, 구현된 부품들은 10 GHz 이상의 대역을 가지며 우수한 성능을 나타내고 있다. 주로 상용으로 판매되는 캐리어 형태 및 하우징 형태의 소자로 개발되었을 뿐만 아니라 새로운 구조의 표면실장형 전이구조를 이용하여 표면실장형의 형태로 구현하였다 이러한 고성능, 저가의 초광대역 소자는 기존의 비싼 소자들을 대체 할 수 있으며, 향후 UWB의 여러 응용분야에 사용 되어질 것을 기대하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, Y. K. Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition," *IEEE Int'l. Symp. Microwave.*, pp. 1563- 1566, Jun. 2007.
- [2] R. N. Simons, N. I. Dib, R. Q. Lee, and L. P. B. Katehi, "Integrated Unipolar Transition for Linearly Tapered Slot Antenna," *IEEE Trans Antenna and Propagat.*, Vol. 43, No. 9, pp.998-1002, Sep. 1995.
- [3] S. Takaichi, A. Mase, Y. Kogi, and K. W. Kim,

“Application of ultrashort-pulse radar to non-destructive inspection”, *IEEE Int. Conf. Communication Tech.*, pp. 316-318, Nov. 2008.

- [4] Y. G. Kim, K. W. Kim, Y. K. Cho, “A Planar Ultra-wideband Balanced Doubler,” *IEEE Int'l. Symp. Microwave.*, pp. 1563-1566, Jun. 2008.

저 자 소 개



김 영 근(학생회원)
 2006년 2월 경북대학교 전자
 전기컴퓨터학부 (공학사)
 2008년 2월 경북대학교
 전자공학과 (공학석사)
 2008년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 초광대역 발륜, 초광대역 전이구조, 초광대역 믹서, 주파수 체배기 및 필터 설계>



우 동 식(학생회원)
 2002년 2월 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부 (공학사)
 2004년 2월 경북대학교
 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 마이크로파 및 밀리미터파 안테나 및 시스템 설계, 마이크로파 라디오미터 설계>



김 인 복(학생회원)
 2008년 2월 경북대학교 전자
 전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2008년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 석사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 다이오드 검파기, 믹서 및 주파수 체배기>



송 선 영(학생회원)
 2008년 2월 한밭대학교 정보통신
 컴퓨터학부 (공학사)
 2009년 3월~현재 경북대학교
 전자공학과 석사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 믹서 및 주파수 체배기>



김 강 욱(정회원)
 1985년 2월 서울대학교
 전기공학과 (공학사)
 1987년 2월 서울대학교
 전기공학과 (공학석사)
 1996년 7월 University of
 California, Los Angeles.
 전자공학과 (공학박사)

1987년~1990년 한국전기연구소 연구원
 1996년~1998년 University of California Los Angeles. post-doctor 연구원
 1998년~1999년 P-Com, Inc. 마이크로파 설계 연구원
 1999년~2001년 Narda DBS Microwave, RF 설계 연구원
 2001년~2005년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수
 2006년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수

2007년 5월~현재 이엠와이즈통신(주) 대표이사
 <주관심분야 : 마이크로파 통신시스템 및 서비스 시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석>