

초광대역 전이 구조를 이용한 다이오드 검파기 설계

Design of a Diode Detector Using Ultra-Wideband Transitions

김인복 · 김영곤 · 김태규 · 김강욱

In Bok Kim · Young Gon Kim · Tae Gyu Kim · Kang Wook Kim

요 약

본 논문에서는 두 개의 초광대역 전이 구조를 이용한 다이오드 검파기의 설계 과정을 처음으로 소개하고, 이를 제작하여 측정된 결과를 소개한다. 제안된 검파기에서는 두 개의 초광대역 전이 구조를 입·출력단의 정합 회로로 사용하였다. 검파기 회로 구현시 일반 쇼트키 다이오드 및 무 바이어스 쇼트키 다이오드를 사용하여 각각 검파기를 구현하고, 그 성능을 비교하였다. 일반 쇼트키 다이오드를 사용하여 제작된 검파기는 11 GHz에서 20 GHz까지의 주파수 대역에서 10 dB 이상의 반사 손실을 가지며, 제작된 검파기의 감도는 30 mV/mW이었다. 또한, 무 바이어스 쇼트키 다이오드를 사용한 검파기의 경우, 측정된 검파기의 감도는 300 mV/mW로서 훨씬 증가하였다.

Abstract

In this paper, a design of broadband detectors utilizing two ultra-wideband transitions is described for the first time, and the implementation method and measurement results of the detectors are provided. Two ultra-wideband transitions are used for input/output matching circuits for the diode detectors. Two detectors have been implemented using general Schottky diodes and zero-bias Schottky diodes. With general Schottky diodes, the fabricated detector provides less than 10 dB return loss from 11 GHz to 20 GHz, and the detector sensitivity is 30 mV/mW. The detector with zero-bias Schottky diodes shows significantly higher detection sensitivity(300 mV/mW).

Key words : Diode Detector, Transition, Coplanar Stripline(CPS), Schottky Diode, Broadband

I. 서 론

검파기는 다이오드나 트랜지스터와 같은 반도체 소자의 비선형 특성을 사용하여 입력 RF 신호에 대해 출력단에서 발생하는 직류 성분 및 고조파 성분 중, 입력 신호의 크기에 비례하는 직류 성분을 검출하는 소자이다. 일반적으로 검파기 회로는 검파기 입력부의 정합 회로와 비선형 소자, RF 바이패스 소자 등으로 구성된다. 검파기는 변복조된 RF 신호의 검출, 전력 레벨 측정, 변조 파형의 측정, 일정한 레벨 검출 및 Null 검출기 등의 실질적인 응용에 널리

사용되는 소자이다.

검파기의 형태는 바이어스가 필요 없는 점-접촉(point-contact) 검파기, 주파수 응답의 평탄성을 개선시킨 바이어스 된 쇼트키 다이오드(Schottky diode) 검파기, 고감도 특성을 보이는 무 바이어스 쇼트키 다이오드(zero-biased Schottky diode) 검파기 및 Back-diode 검파기 등 대표적인 4가지 검파기가 있다. 기존에 소개된 일반적인 검파기의 정합 회로 설계로는 주파수 대역이 좁고 구조에 따라 VSWR 또한 큰 차이를 보인다^{[1]-[3]}. 참고문헌 [1]과 [2]에서는 정합 회로를 위해 각각 마이크로스트립 라인과 lum-

「본 연구는 경북대학교 3단계 BK21 사업의 연구비 지원으로 수행되었음.」

경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20080523-02S

· 수정완료일자 : 2008년 7월 30일

ped 소자를 사용하였는데, 구현된 주파수 대역이 중심주파수의 10 % 정도인 각각 200 MHz와 80 MHz가 됨을 보여주었다. 주파수 대역을 넓히기 위하여 정합 회로를 설계한 참고문헌 [3]에서는 3 GHz 주파수 대역을 얻었다. 그러나 검파기 회로가 커지고 협대역 검파기보다 감도가 낮아짐을 알 수가 있다.

본 논문에서는 본 연구실에서 개발하여 발표한 두 개의 초광대역 전이 구조^{[3],[6]}를 이용하여 쇼트키 다이오드 및 무 바이어스 쇼트키 다이오드 검파기를 각각 구현하여 10 GHz 대역폭을 보이는 초광대역 검파기 회로를 설계, 제작하고, 이를 측정하여 특성을 분석하였다.

II. 본 론

2.1 다이오드 검파기의 동작원리

다이오드 검파기는 다이오드의 비선형 I~V 특성을 이용하여 만들어진다. 다이오드의 전기적 특성을 이용한 다이오드 검파기의 전력-전압 특성은 그림 1 과 같이 나타난다. 저 레벨 입력 신호 즉, 제곱 영역(square law region)에서의 출력 전압 V_o 는 식 (1)과 같이 입력 전압 V_i 의 제곱에 비례하며 입력 전력 P_i 에 비례한다.

$$V_o = nV_i^2 = nP_i \text{ or } P_i \propto V_o \quad (1)$$

매우 큰 신호가 입력될 경우인 선형 영역(linear region)에서의 출력 전압 V_o 는 식 (2)에서와 같이 입력 전압 V_i 에 선형적으로 증가하며 입력 전력 P_i 의 제곱근에 비례한다.

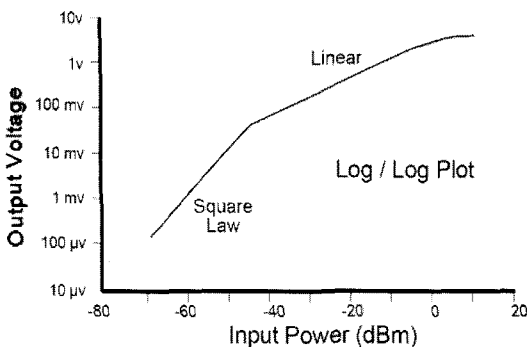


그림 1. 다이오드 검파기의 전력-전압 특성
Fig. 1. V/P characteristic of a diode detector.

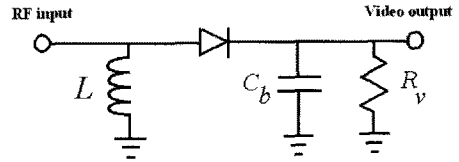


그림 2. 일반적인 반파 정류 검파기의 구조
Fig. 2. The structure of general half-wave rectifying detector.

$$V_o = mV_i \text{ and since } P_i = V^2/R, P_i \propto V_o^2 \quad (2)$$

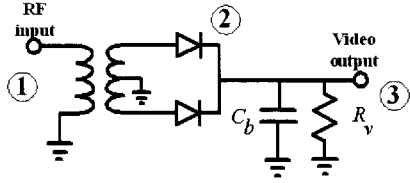
일반적으로 다이오드 검파기는 그림 2와 같은 구조를 가진다. L 은 current return 인덕터이며, 동시에 정합 회로의 역할을 하며, 높은 주파수에서는 lumped 소자대신 전송선 stub를 이용한다. C_b 는 바이패스 커패시터, R_v 는 비디오 저항이며, C_b 와 R_v 가 RC 필터를 이루으로써 고주파 성분을 막아주는 역할을 한다. 일반적으로 다이오드 검파기의 정합 회로는 요구되는 대역폭과 입력 VSWR에 따라 복잡한 구조를 갖는다^[4].

2.2 제안된 검파기의 설계

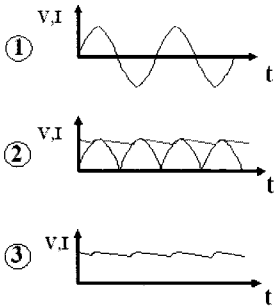
그림 3(a)는 정합 회로로 발륜을 입력 단에 사용한 검파기 구조이다. 발륜을 이용함으로써 일반적인 정합 회로보다 주파수 대역이 넓으며 따로 정합 회로를 구현하지 않아도 되므로 크기를 줄일 수 있다. 이 구조는 평형, 전파 포락선 검파기(a balanced, full-wave envelope detector)라고 불린다. 발륜을 이용한 포락선 검파기의 파형은 그림 3(b)와 같다. 입력으로 정현파가 인가되고 발륜과 다이오드를 거치면서 전파 정류를 하게 되고 출력의 C_b 에 의해 포락선 검파를 하게 된다. 본 논문에서는 본 연구실에서 개발한 초광대역 특성을 가지는 두 개의 전이 구조를 입력 단과 출력단의 정합 회로로 사용하여 검파기를 설계하였다. 제안된 검파기의 레이아웃은 그림 3(c)와 같다. 입력단에 마이크로스트립-CPS 발륜을, 그리고 출력단에 CPW-마이크로스트립 전이 구조를 사용하였다. 출력단에 C_b 와 R_v 가 위치하여 검파기 특성을 얻도록 하였다.

2.3 두 종류의 초광대역 전이 구조

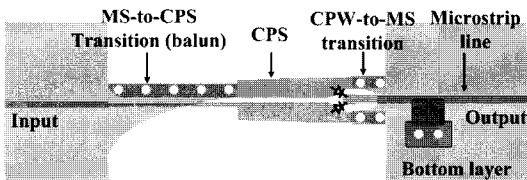
발륜이란 균형(balanced) 신호를 불균형(unbalan-



(a) 발룬을 이용한 전파 정류 검파기
(a) Full-wave rectifying detector using a balun



(b) 전파 정류 검파기의 파형
(b) Waveforms of the full-wave rectifying detector



(c) 제안된 검파기의 레이아웃
(c) Layout of the proposed detector

그림 3. 발룬을 이용한 전파 정류 검파기
Fig. 3. Full-wave envelope detector using a balun.

ced) 신호로 변환해 주는 회로 또는 구조물을 통칭한다. 또는 그 반대의 변환 기능을 할 때도 똑같이 발룬이라고 부른다. 그림 4는 입력 정합에 사용된 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 구조이다. 이 발룬은 마이크로스트립과 CPS 선로 간에 임피던스 정합을 최적화하고 필드 정합을 자연스럽게 하도록 설계되었다. 접지면은 필드 정합과 임피던스 정합을 위하여 최적화된 테이퍼 선로 구조(Klopfenstein taper) 형태를 사용하였다^[5]. 그림 5는 발룬의 전장의 분포이다. 본 발룬은 1 dB 이하의 삽입 손실을 가지는 주파수 범위가 DC에서 40 GHz 이상의 초광대역 특성을 가진다.

그림 6은 본 논문에서 사용된 마이크로스트립-CPW 전이 구조이다. 이 전이 구조 또한 마이크로스

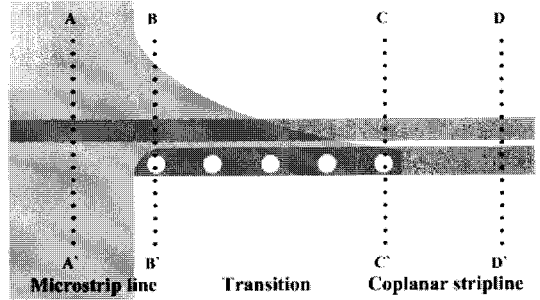


그림 4. 초광대역 마이크로스트립-CPS 전이 구조
Fig. 4. Ultra-wideband microstrip-to-CPS transition(balun).

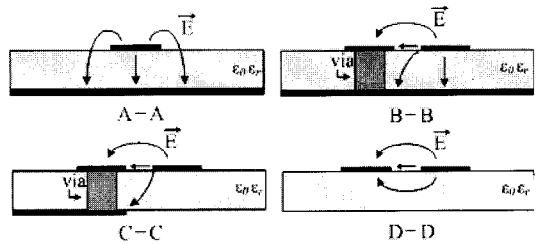


그림 5. 발룬 각 부분에 따른 전기 분포 모양
Fig. 5. Electric field lines at each cross-section along the balun.

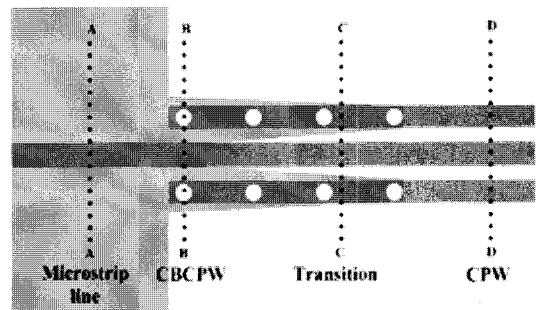


그림 6. 초광대역 마이크로스트립-CPW 전이 구조
Fig. 6. Ultra-wideband microstrip-to-CPW transition.

트립-CPS 발룬과 유사하게 접지면의 형상을 자연스럽게 전기 변환과 최적화된 임피던스 정합을 위하여 접지면을 테이퍼한 구조를 사용하였다^[6].

그림 7은 이 전이 구조의 각 부분에서의 전기 분포를 보여준다. 마이크로스트립 라인의 전계는 거의 수직이며, CPW의 전계는 거의 수평이다. 이 전이 구조는 마이크로스트립에서 CPW 선로 간의 전계의 전이를 부드럽게 하기 위해 접지면의 형상을 설계하였다.

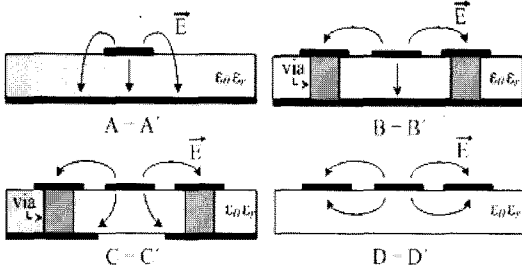
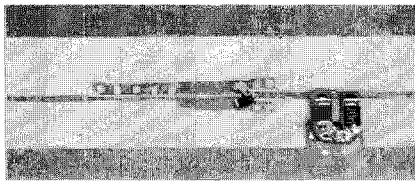


그림 7. 전이 구조의 각 부분에 따른 전기 분포 모양
Fig. 7. Electric field lines at each cross-section along the transition.

III. 실험 결과

앞서 제안된 두 가지 전이 구조를 사용하여 비유전율이 10.2 두께가 10 mil인 Duroid® 6010의 기판으로 실제 제작된 회로를 그림 8에서 보여주고 있다.

제작된 검파기의 크기는 가로 길이 19 mm, 세로 길이 8.2 mm이다. 다이오드는 GaAs flip-chip Schottky 다이오드(MA4E1317 from M/A-COM)를 사용하였다. 두 다이오드의 한 쪽 단자는 CPS와 CPW의 교차점에 위치하도록 하였다. 이때 두 전이 구조가 다이오드의 정합 회로의 기능을 하므로 광대역 검파 특성을 갖는다. 제작된 다이오드 검파기의 성능을 universal test fixture를 이용하여 측정하였고, 그 결과를 그림 9에서 보여주고 있다. 11~20 GHz 대역에서 대



(a) 윗면
(a) Top view



(b) 아랫면
(b) Bottom view

그림 8. 제작된 검파기
Fig. 8. Fabricated detector.

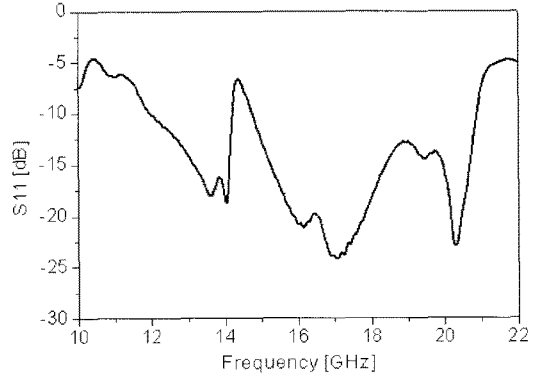


그림 9. 측정된 검파기의 반사 손실
Fig. 9. Measured return loss of the detector.

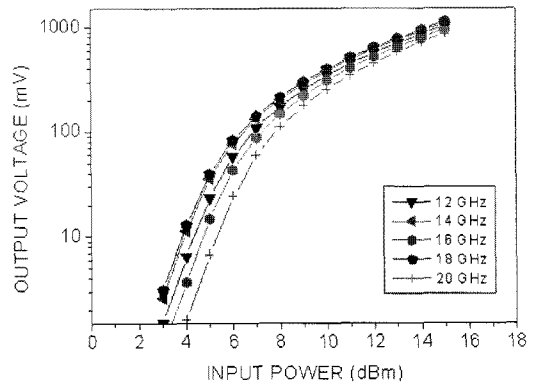


그림 10. 측정된 전력-전압 특성(GaAs flip chip Schottky barrier diodes 사용)
Fig. 10. Measured characteristic of power-voltage(using GaAs flip chip Schottky barrier diodes).

부분 10 dB 이상의 반사 손실 특성을 보여주고 있는데, 14.4 GHz에서 다소 낮은 반사 손실을 보이는 이유는 선로 길이에 의한 공진, 다이오드 임피던스 변화에 의한 부정합 및 제작상의 오차에 기인한 것으로 볼 수 있고, 향후 이를 개선할 예정이다. 그림 10은 검파기의 전력-전압 특성을 측정된 것이다.

넓은 주파수 범위에서도 유사한 다이오드 검파기의 특성을 보이고 있다. 이때 검파기의 감도는 약 30 mV/mW 정도이다. 측정된 전력-전압 특성이 일반적인 검파기의 동작 범위보다 높음을 알 수가 있는데, 이는 본 논문에서 사용한 다이오드가 높은 문턱(barrier) 전압을 가지는 다이오드이기 때문이다.

따라서 동작 전력을 낮추기 위해 zero-bias Schottky 다이오드(MSS20, 141-B10D from Aeroflex/Met-

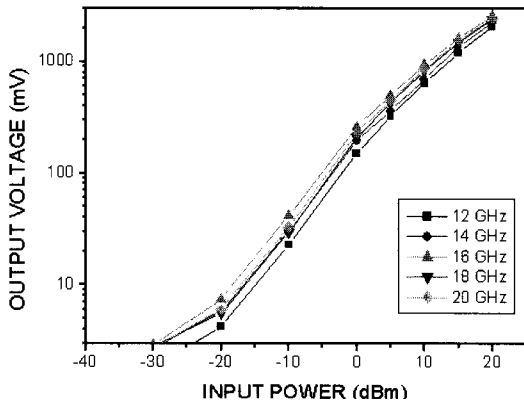


그림 11. 측정된 전력-전압 특성(zero bias silicon Schottky diodes 사용)

Fig. 11. Measured characteristic of power-voltage(using zero bias silicon Schottky diodes).

lics, Inc)를 사용하여 전력-전압 특성을 비교하였다. 그림 11에서 보듯이 무 바이어스 쇼트키 다이오드를 사용하면 낮은 동작 전력에서도 좋은 검파 특성을 가지며, 또한 광대역 특성을 그대로 유지함을 알 수 있다. 제작된 무 바이어스 다이오드 검파기의 감도는 약 300 mV/mW 정도로 높음을 확인하였다.

IV. 결 론

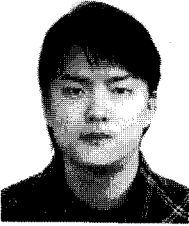
본 논문에서는 초광대역 특성을 보이는 두 개의 전이 구조를 이용하여 9 GHz 이상의 주파수 대역을 가지는 다이오드 검파기를 설계하였다. 즉, 두 개의 초광대역 전이 구조를 사용함으로써 동작 주파수 대역이 넓고 회로 크기를 줄일 수 있었다. 또한, 바이어스가 필요한 일반 쇼트키 다이오드와 무 바이어스 다이오드를 사용하여 전력-전압 특성을 비교해 본 결과, 동작 전력의 차이와 감도의 차이를 확인할 수 있었다. 본 논문에서 설계한 검파기는 마이크로파

및 밀리미터파 광대역 수신기의 신호 검파에 널리 응용될 수 있을 것이다. 향후 다이오드의 임피던스를 고려하여 전이 구조를 설계하므로, 더 넓은 대역 폭을 가지고 특성이 우수한 검파기를 설계할 예정이다.

참 고 문 헌

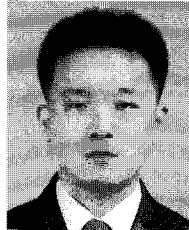
- [1] Sang-Won Lee, Hak-Sun Kim, and Hyung-Jae Lee, "A study on the temperature compensation of the zero bias power detector for 2.45 GHz RF/ID", 한국통신학회 학술발표회 논문집, 16(3), pp. 86-89, 1997년 1월.
- [2] Jeong-Sig An, Kye-Kook Kim, "A design of the RF signal detector for mobile communication", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 9(4), pp. 185-189, 2004년 12월.
- [3] H. I. M. Al Anwar, E. A. Hashish, H. M. S. El Hennawy, and M. El Said, "Computer aided design of broadband microwave diode detectors using filter approximations", *IEEE Radio Science Conference, NRSC. Proceedings of the Eighteenth National*, vol. 2, pp. 551-565, 2001.
- [4] S. A. Maas, *The RF and Microwave Circuit Design Cookbook*, Artech House, 1998.
- [5] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition", *IEEE Int'l, Symp. Microwave*, Honolulu, HI., pp. 1563-1566, Jun. 2007.
- [6] Y. G. Kim, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "An ultra-wideband microstrip-to-CPW transition", *IEEE Int'l, Symp. Microwave, IEEE 2008 MTT-S Conference Proceedings*, pp. 1079-1082, Jun. 2008.

김 인 복



2008년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2008년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 다이오드 검파기, 믹서 및 주파수 체배기

김 태 규



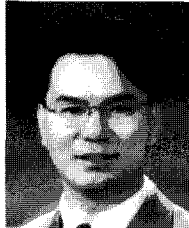
2004년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2008년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징

김 영 곤



2006년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2008년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2008년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 초광대역 발룬, 광대역 믹서 및 주파수 체배기

김 강 욱



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 설계연구원
1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원
2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수
2006년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수
2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사
[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석