

Q-band 빔 리드 Single-ended 믹서 (Q-band Beam-Lead Single-ended Mixer)

李昌勳*, 韓錫太*

(Chang Hoon Lee and Seog Tae Han)

要約

본 논문에서는 Marconi사에서 제작한 GaAs Schottky 빔 리드 다이오드를 사용하여 Q-band 용 single-ended 형태의 도파관 믹서를 설계 제작하여 그 성능을 시험하였다. 믹서의 여러가지 구성 부품은 Super-Compact 소프트웨어를 사용하여 각각 설계하고 최적화하였다. 여기에는 계단형 도파관 변환기 및 RF-choke 필터의 설계와, RF-choke 필터 패턴의 임피던스 최적화등이 포함되어있다. 또한, 이 RF-choke 필터의 설계에서 RF 신호의 제 2 고조파 성분을 제거하기 위한 부분도 고려하였다. 최종적으로 IF 주파수가 1.4GHz/400MHz인 Q-band 믹서는 전체 33-50GHz 대역에서 평균 5.3 dB의 변환손실을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, using the newly developed GaAs Schottky beam-lead diode made by Marconi company, we have developed and evaluated the waveguide type single-ended mixer at Q-band. The various components of the mixer were separately designed and optimized using the Super-Compact software. These studies included the design of the step waveguide impedance transformer and the RF-choke filter, and the optimization of a high and low impedance for the RF-choke filter. Moreover, this RF-choke filter pattern included a section to reject the second harmonic frequency of the RF signal. Finally, this Q-band mixer with 1.4GHz/400MHz IF frequency exhibits an average conversion loss of 5.3 dB over 33-50GHz bandwidth.

1. 서론

최근 세계적으로 주파수 사용 증가로 통신, 원격

탐사 시스템 및 레이더등의 분야에 밀리미터파 영역의 믹서가 널리 사용되고 있다. 이러한 밀리미터파 영역 믹서에 사용되는 Schottky 다이오드는 whisker 접촉 다이오드와 빔 리드(Beam-Lead) 형태의 다이오드가 주로 사용되고 있다.^{1,2)} 전자의 다이오드는 만족할 만한 성능을 갖고 있으나 제작공정이 여러단계를 통해 이루어지므로 제작성공률이 15% 정도이고, 다이오드 접촉이 whisker를 사용하는 기계적인 구조를 갖고 있으므로 시간이 지나면 성능이

*正會員, 天文臺

(Korea Astronomy Observatory)

※본 연구는 '93 과학기술처 특정연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부임.

接受日字 : 1993年 2月 9日

떨어지고 진동이나 충격에 아주 약한 단점을 갖고 있다.^{3,5)}

이에 반해 빔 리드 형태의 GaAs Schottky 다이오드는 최근 다이오드 제작공정의 발달로 밀리미터파 전 영역에서 사용할 수 있으며, 위에서 열거한 whisker 접촉 다이오드의 단점들이 없으므로 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서 제작하고자 하는 single-ended 믹서의 다이오드는 빔 리드 형태의 다이오드를 사용하였다.

이러한 빔 리드 형태의 single-ended 믹서는 믹서의 심장부인 다이오드, RF 신호는 제거되고 IF 신호만을 통과시키는 RF-choke 필터^{6,8)}, 도파관과 비선형 소자인 믹서 다이오드의 마운트 사이의 임피던스 정합을 위해 필요한 도파관 변환기(Waveguide Transformer)⁹⁾와 RF 주파수의 임피던스 정합을 위한 믹서 backshort¹⁰⁾ 등으로 구성된다.

본 논문에서는 RF 주파수가 33-50GHz의 모든 주파수에서 고정 backshort를 사용하고, IF 주파수가 1.4GHz(대역폭 400MHz), 그리고 믹서의 이론적 변환손실 4.5dB를 갖는 Q-band 도파관 single-ended 믹서를 설계 제작하여 그 성능을 시험하였다.

Ⅱ 장에서는 믹서 각 구성 부품을 설계하고, Ⅲ 장에서는 실제 제작된 믹서 블럭과 RF-choke 필터등을 조립하여 믹서 다이오드의 DC 특성과 믹서 bias를 인가하지 않을 경우와 인가할 경우의 믹서 변환손실등을 상온에서 측정하여 제시하였다.

Ⅱ. 믹서 設計

믹서 다이오드는 모든 믹서의 심장이므로 전체 믹서 설계를 하기전에 다이오드 자체의 특성을 파악하는 것은 아주 중요한 단계이다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 구조를 갖는 영국 Marconi사에서 생산되는 GaAs Schottky 빔 리드 다이오드를 사용하였다. 이 다이오드의 전체 캐패시턴스는 0.03pF 이고, DC 직렬 저항값은 평균 6Ω, ideality 인자 η는 1.2정도이다. 또한 이 다이오드는 IF 임피던스가 60Ω 정도이므로 믹서 설계시 별도의 IF 임피던스 정합회로가 필요가 없는 장점을 갖고있다. 기타 자세한 다이오드에 대한 정보는 제작사의 카탈로그에 있다.¹¹⁾ 이 다이오드는 다음에 설계되는 RF-choke 패턴 기판위에 전도성 에폭시를 사용하여 마운트 될 것이다.

RF-choke 필터는 RF 주파수는 제거하고 IF 주파수만을 통과 하도록 하는 저대역 필터와 DC-short를 위한 전도 패턴으로 구성하였다. 이러한 필터의 구현은 일반적으로 마이크로 스트립라인 이나 suspended

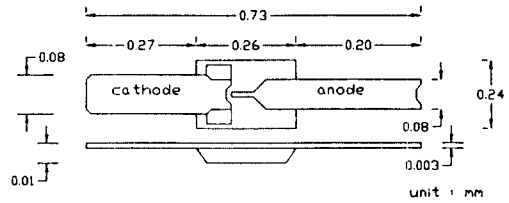


그림 1. Marconi사의 빔 리드 다이오드 구조
Fig. 1. The shape of a beam-lead diode from Marconi co.

스트립라인 형태의 두가지 구현방법을 사용하고 있다. C/Co(C는 기판위에 비균일 패턴의 단위길이당 캐패시턴스이고, Co는 기판이 없는 균일한 공기에서의 캐패시턴스이다.)로 정의되는 실효 유전상수가 적은 fused quartz($\epsilon_r=3.8$) 재질의 기판($\epsilon_m \approx 1.5$)을 사용하므로써 고차 모드 전송 문제에 관계 없이 전도 패턴의 크기가 커져서 제작이 용이한 장점이 있으므로 밀리미터파 영역에서는 주로 suspended 스트립라인 형태의 필터를 택한다. 이같은 형태 필터에서 대부분의 전계 분포는 유전체 바깥에 존재하므로 유전체 손실과 앞서 언급한 바와같이 마이크로 스트립라인에 비해 큰 전도 패턴에 전류가 흐르므로 도전 손실이 적다.

특히 광대역 RF 임피던스 정합을 backshort에 의해 임의로 RF 임베딩(Embedding) 임피던스를 조정할 수 있다는 장점을 갖고 있는 그림 2와 같은 suspended 스트립 라인 형태의 필터를 본 논문에서 사용하였다.^{6,8)}

그림 2에서 h는 기판의 두께, ϵ_r 는 유전상수, a와 b는 도파관의 규격이고 w는 중심 전도체의 폭이다. 유전상수 ϵ_r 을 갖는 기판에서의 비균일성은 유전체 주위가 주로 공기이므로 스트립라인 소자의 성능에는

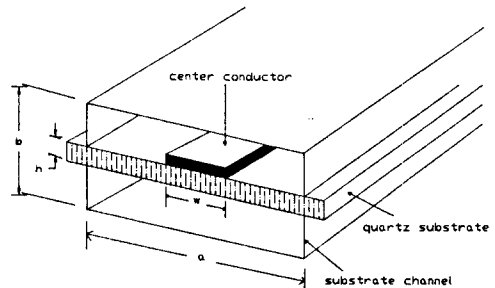


그림 2. Suspended stripline의 단면도
Fig. 2. Cross section of suspended stripline channel.

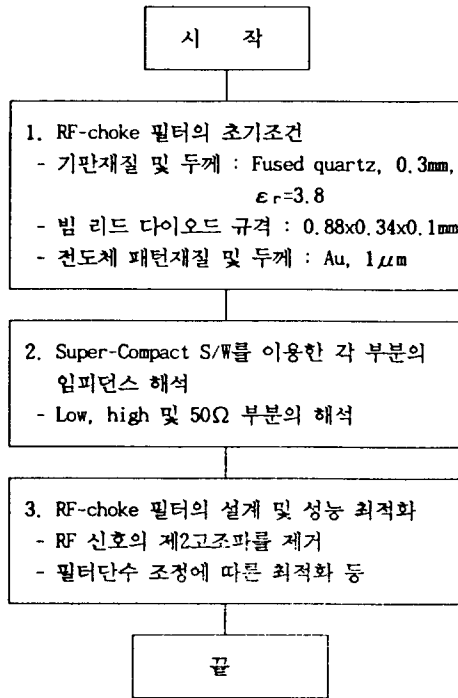


그림 3. RF-choke 필터 설계 절차 흐름도
Fig. 3. Flowchart for design of the RF-choke filter.

중요한 영향을 미치지 않는다. 이러한 suspended 스트립 라인 구조의 설계시 주의해야 할 점은 기관 채널에서 여기(excitation)될 수 있는 불필요한 도파관 모드에 대한 사항이다. 스트립라인 부품의 동작주파수 대역이 기관채널의 차단 주파수 ($f_c = co/2a\sqrt{\epsilon_{eff}}$) 이 하이면 이러한 점은 무시할 수 있으므로 설계시 이 차단 주파수를 고려하였다.⁸ 이상의 RF-choke 필터는 그림 3의 흐름도와 같은 절차로 Super-Compact 소프트웨어를 이용하여 설계하였다.¹² 설계된 저대역 필터의 높은 임피던스 부분의 임피던스는 122Ω, 낮은 임피던스 부분은 31Ω, IF 출력단 임피던스는 IF 증폭기 입력 임피던스를 고려하여 50Ω으로 최적화 하였다.

그림 3과 같은 절차에 의해 믹서의 동작주파수 범위인 33-50GHz의 RF 주파수 신호를 제거하고 IF 주파수인 1.4GHz/400MHz를 통과시키는 필터의 이론적인 성능을 제2고조파 성분을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대해 해석한 결과, 전자의 경우에는 RF 신호대역의 전달 계수 S_{21} 은 약 -34dB, 입력반사계수 S_{11} 은 -0.002dB로 매우 우수한 특성을 보이지만, RF 신호의 제2고조파 영역인 70-100GHz에서의 제거특성은 S_{21} 이 약 -0.1dB, S_{11} 이 약 -10dB 정도이므로 이 경우는 IF 신호에 유입되어 잡음발생의 요인이 될 수 있다. 따라서 제2고조파 제거를 위한 필터를 첨가하여 그림 4와 같이 제2고조파 영역에서 S_{11} 을 -0.8dB, S_{21} 을 -8dB가 되도록 최적

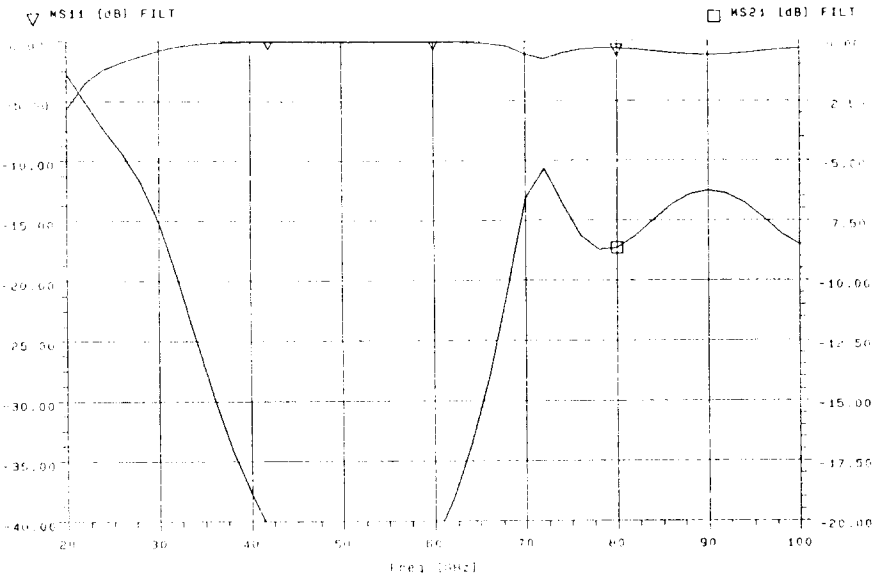


그림 4. RF-choke 필터의 성능(제 2 고조파 제거용 필터가 있는경우)
Fig. 4. Performance of the RF-choke filter(including the second harmonic rejection filter).

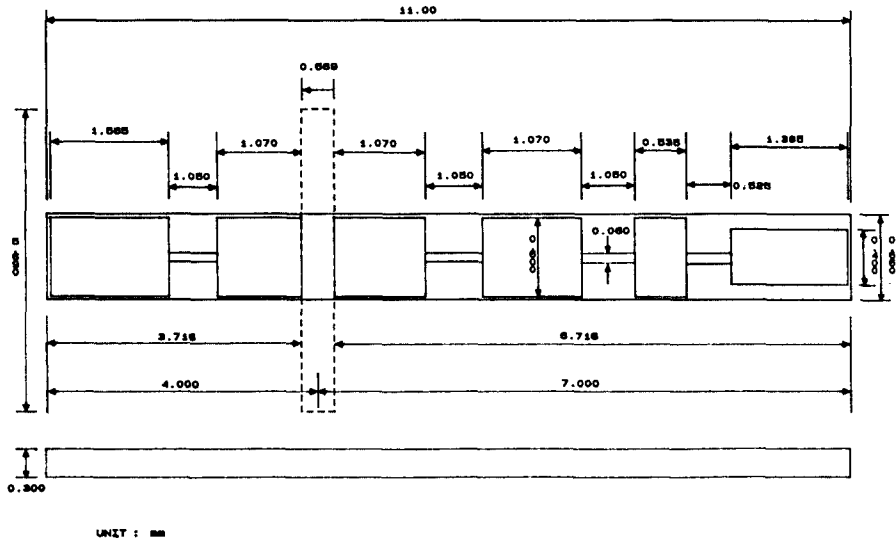


그림 5. RF-choke 필터의 설계도
 Fig. 5. The drawing of the RF-choke filter.

화 하였다. 최종으로 설계된 RF-choke 필터를 그림 5에 보였다.

다이오드 마운트와 도파관 사이의 임피던스 정합을 위한 도파관 변환기는 $\lambda/4$ 계단형으로 35-50GHz 주파수 범위에서 전압 정재파비를 1.05, 전송손실을 0.1 dB 이하가 되도록 하고, 최종 도파관 높이에서의 임피던스가 믹서 임피던스 90Ω 과 같도록 설계하였다.⁹⁾ 이론적인 임피던스 변환기의 주파수 대 전압 정재파비의 특성은 그림 6에서 볼 수 있듯이 모든 주파수에서 1.05 (전송 손실 0.01dB)이하의 우수한 특성을 보였다.

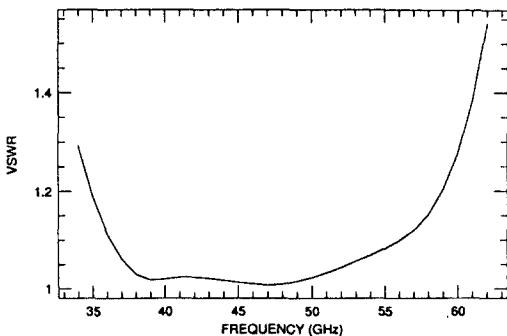


그림 6. 도파관 변환기의 이론적 특성
 Fig. 6. The theoretical performance of the waveguide transformer.

RF 임피던스 정합을 위한 믹서 backshort은 별도

의 기계적인 조정이 필요 없도록 그림 7과 같은 두께 $50\mu\text{m}$ 정도의 BeCu 재질을 사용한 고정된 형태를 사용하였다.¹⁰⁾ 이러한 형태의 backshort은 믹서의 RF 성능 측정시 최적의 위치로 고정하였다.

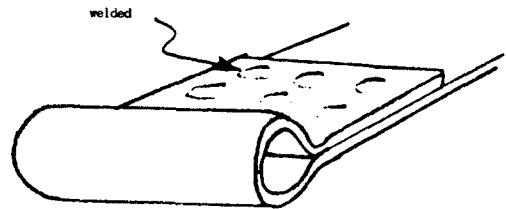


그림 7. 믹서 backshort의 형태
 Fig. 7. The shape of the mixer backshort.

III. 믹서 性能 試驗

Q-band 믹서 블럭은 그림 8과 같이 도파관 변환기 부분과 믹서 backshort이 위치 해야하는 reduced height 도파관을 포함하여 3개의 블럭으로 나누어 설계 제작하였다.

RF-choke 필터의 기관은 두께 3mm의 fused quartz를 사용하였으며, II장에서 설계된 RF-choke 필터 패턴은 quartz 기관위에 직접 금으로 증착이 되지 않으므로 약 $0.025\mu\text{m}$ 정도로 먼저 크롬으로 증착 시킨후, 그 위에 금으로 $1\mu\text{m}$ 정도의 두께로 증

차시켜 수 백개의 필터를 제작하여 다이아몬드 톱으로 절단하였다. 실제 제작된 RF-choke 필터를 그림 9에 보였다.

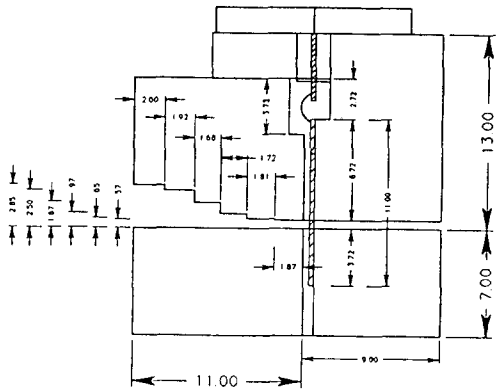


그림 8. 믹서 블록
Fig. 8. The mixer blocks.

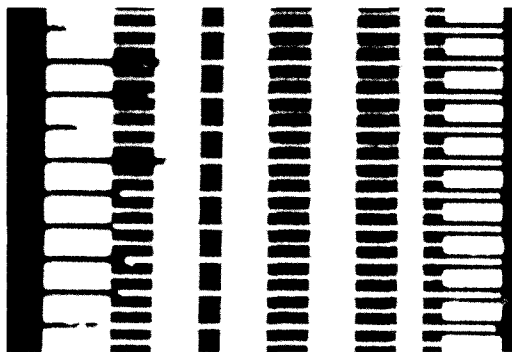


그림 9. RF-choke 필터의 모습
Fig. 9. The picture of the RF-choke filter.

이 필터 패턴의 DC short 부분과 저대역 필터 패턴 사이에 마이크로스코프와 epoxy technology 사의 전도성 에폭시를 이용하여 빔 리드 다이오드를 접착하였다. 다이오드 접착시 특히 주의해야 될 점은 정전기에 의한 다이오드의 손상이다. 다이오드가 마운트된 RF-choke 필터의 DC short 패턴과 믹서 마운트를 인둠을 사용하여 고정하였다. 전체 조립된 믹서는 그림 10에 보였다.

먼저 믹서 다이오드의 DC 특성은 일정 전류원(constant current source)을 사용하여 그림 11과 같은 전류/전압 특성곡선을 얻었다. 이 데이터로부터 직렬 저항값 $R_s=5.52\Omega$, ideality 인자 $\eta=1.2$ 를 얻어 제작사의 데이터와 비교해 본 결과 거의 같은 값을 얻었다.^[1]

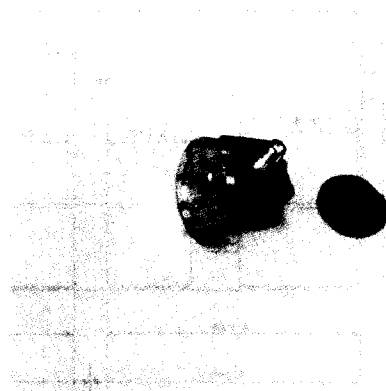


그림 10. 완전히 조립된 믹서
Fig. 10. The picture of the completely assembled mixer.

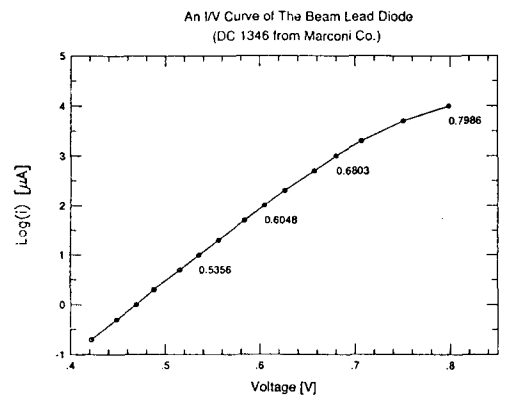


그림 11. 측정된 믹서 다이오드의 전류/전압 특성 곡선
Fig. 11. The measured I/V curve of the mixer diode.

믹서의 RF 특성 측정은 그림 12와 같이 구성되어 변환손실을 측정하였다. 본 연구에서 제작한 믹서는 single-ended 형태의 믹서이므로 RF 신호와 LO 신호가 믹서 입력단에서 결합 되어야 한다. 따라서 결합 소자로는 cross-guide 결합기(coupler)나 방향성 결합기(directional coupler)를 사용할 수 있다. 그러나 cross-guide 결합기는 Q-band 영역에서는 제작상의 제한 때문에 20 dB 이상의 제품만이 생산되므로 높은 LO power를 필요로 한다. 따라서 본 실험에서는 10 dB 방향성 결합기를 사용하여 RF 신호와 LO 신호를 결합시켜 믹서 입력단에 공급하였다.

그리고 RF 주파수원으로는 synthesizer를 사용하였으며, LO 주파수원으로는 GUNN 발진기를 사용하였다. 변환손실의 측정은 믹서 bias를 인가 하는 경우와 하지 않는 경우 모두에 대해서 측정하였다. 측정 결과는 두가지 경우 공히 믹서 동작주파수인 33-50GHz에서 평균 5.3 dB 정도로 아주 양호한 결과를 얻었다. 각 주파수에서 측정된 변환손실과 이론적으로 해석한 변환손실 값을 그림 13에 보였다. 여기서 믹서 성능의 이론적 해석은 Siegel등^[10]에 의해 제안된 다중 반사기법(Multiple Reflection Technique)에 기본을 둔 방법을 이용하여 대신호 분석에서는 다이오드 전압 및 전류파형과 인가 가능한 LO 전력을 계산하였으며, 소신호 분석에서는 믹서 변환손실과 믹서 입력과 IF 출력 임피던스등을 계산하였다.^[13] 기타 이 계산으로부터 얻어진 값들은 참

고문헌 [13]에 제시되어있다여기서 계산된 믹서의 변환손실 값은 믹서 bias를 0.8V, 1mA 인가한 경우의 값이다. 이러한 변환손실 값은 믹서의 동작 주파수 33-50GHz의 중심 주파수인 42GHz 부근에서 그림 7과 같이 제작한 믹서 backshort을 최적의 위치로 고정시키고 다른 주파수에서는 변화시키지 않은 상태에서 측정된 결과이다.

IV. 결론

본 논문에서는 빔 리드 다이오드와 suspended 스트립라인 RF-choke 필터를 이용하여 33-50GHz의 광대역을 커버하고 IF가 1.4GHz/400MHz인 single-ended 도파관 믹서를 구현하였다. 이 믹서의 성능은 동작 주파수 모든 대역에서 평균 5.3 dB의 변환손실을 얻어 기존에 M/A com사의 같은 형태의 믹서 변환손실 10 dB보다 훨씬 우수하였다. 또한 믹서 다이오드의 접착을 초음파 본딩 기계등을 이용하고, 믹서 backshort을 가변할 수 있도록 기계적인 구조를 더하면 현재의 믹서 특성보다 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서 제작한 믹서는 앞으로 국내의 밀리미터 주파수 영역의 통신이나 레이더등 기타 시스템의 수신기에 직접 사용할 수 있을 것이다. 이 믹서는 앞으로 동작온도를 15K 정도로 냉각시켜 냉각 상태에서의 믹서 성능을 측정하므로써 아주 높은 감도를 갖도록 할 예정이다.

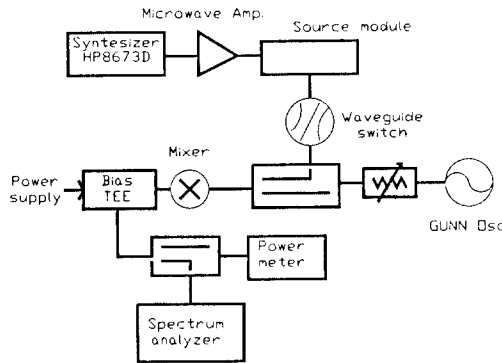


그림 12. 믹서 변환손실 측정을 위한 실험장치 배열
Fig. 12. The experimental arrangement for the mixer conversion loss measurements.

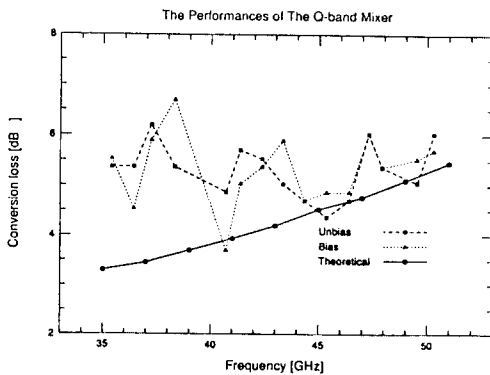


그림 13. 믹서 변환손실의 측정 결과
Fig. 13. The test results of the mixer conversion loss

參考文獻

- [1] S. A. Maas, "Microwave mixers", Artech House, 1986
- [2] M. V. Schneider, "Metal-Semiconductor Junctions as Frequency-Converters", Bell Lab., TM 80-1341-13, 1980
- [3] P. T. Parrish, A. G. Cardenas and I. Galin, "94-GHz Beam-Lead Balanced Mixer", *IEEE Trans. MTT*, vol. 29, pp. 1150-1157, 1981
- [4] G. T. Wrixon, "Schottky-diode realization for low-noise millimeter-wavelengths", *IEEE Trans. MTT*, vol. 24, pp. 702-706, 1976
- [5] N. J. Keen, W. M. Kelly, and G. T. Wrixon, "Pumped Schottky diodes with noise temperatures of less than 100K at 115GHz", *Electron. Lett.*, vol. 15, pp.

- 689-690, 1979
- [6] U.S.Lidholm, "Low-pass Stripline Filters for MM-Wave Mixer Applications". Research Report No.131, Research Laboratory of Electronics and Onsala Space Observatory, Sweden, 1977
- [7] W.W.Snell, "Low-Loss Microstrip Filters Developed by Frequency Scaling". Bell Syst. Tech., vol.50, pp.1919-1931, 1971
- [8] A.V.R is nen, W.R.McGrath, D.G. Crete, and P.L.Richards, "Scaled Model Measurements of Embedding Impedances for SIS Waveguide Mixers". *Int. J. of Infrared and Milimeter Waves*, vol.6, pp.1169-1189, 1985
- [9] P.H.Siegel, A.R.Kerr, and W.Hwang, "Topics in the Optimization of Millimeter-Wave Mixers". NASA Tech. paper 2287, GSFC, 1984
- [10] S.Lidholm, "Low-Noise Mixers for 80-120GHz". Research Report No.129, Research Laboratory of Electronics and Onsala Space Observatory, Sweden, 1977
- [11] Catalog of Marconi Electronic Devices
- [12] Super-Compact® PC User 's Guide
- [13] 이 창훈외 "Q-band 초저잡음 믹서 제작(II)". 과학기술처 특정연구보고서, 92-5200- 400, 1993

著 者 紹 介



李昌勳(正會員)

1957年 1月 4日生. 1979年 2月
충남대학교 전기공학과 (학사).
1981年 2月 고려대학교 대학원 전
기공학과 (석사). 1987年 2月 고
려대학교 대학원 전기공학과 (박
사). 1987年 3月 ~ 현재 천문대
대덕전파천문대 실장. 주관심분야는 밀리미터파 및
서브밀리미터파 부품개발, 대규모 시스템 모델링 및
제어 등임.

韓錫太(正會員) 第 28卷 A編 第 6號 參照

현재 충남대학교 대학원 전자공학과
박사과정, 천문대 선임연구원