

차량 감지용 FMCW 레이더의 단일 평형 다이오드 주파수 혼합기 설계 및 제작

Design of a Single-Balanced Diode Mixer of FMCW Radar for Vehicle Detection

한 석 균

Sok-Kyun Han

요 약

본 논문에서는 쇼트키 장벽 빔 리드 다이오드와 180° hybrid coupler를 이용하여 24 GHz 대역에서 동작하는 단일 평형 다이오드 주파수 혼합기를 설계 및 제작하였다. 근거리 차량의 거리와 속도 탐지용 호모다인 FMCW 레이더의 용도에 적합하도록 대역폭은 100 MHz 이내에서 작은 LO 구동 전력으로 IF 출력 주파수의 변환손실은 가능한 작고 평탄도는 일정하도록 그리고 LO 격리도가 가능한 크도록 하였다. LO 포트의 반사손실, LO 격리도, 변환손실 성능 특성간에 최적의 성능을 위하여 다이오드의 정합회로, 그리고 결합기와 정합회로 사이의 embedded 마이크로스트립 선로를 이용하여 최적화하였다. 제작된 혼합기는 6 dBm의 LO 구동 전력을 가지고 변환손실 6 dB, LO/RF 격리도 23 dB, P1 dB(input)는 3 dBm의 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, a single balanced diode Mixer for the homodyne FMCW radar to detect distance and velocity of a vehicle target is designed and implemented using a microstrip line and two schottky barrier beam lead diodes. This mixer is optimally designed to have less a conversion loss within the 100 MHz bandwidth with a little LO injection power and a higher LO isolation as soon as possible through the embedded electrical length of microstrip line placed between the coupler and diode matching, considering together LO matching condition. The measured results show 6 dB of conversion loss, 23 dB LO/RF isolation and 3 dBm of input P1 dB, respectively.

Key words : Single Balance Diode Mixer, Homodyne FMCW Radar

I. 서 론

지능형 교통시스템 중에서 도로 교통의 원활한 흐름제어를 위한 도로상의 교통정보, 즉 차량속도, 차량대수, 차량점유율 등을 감지하기 위하여 CCD 카메라, 레이저, 초음파 등을 이용한 차량 감지시스템은 성능이 기상 상태에 크게 좌우되어 그 사용이 제한적이기 때문에 마이크로파를 선호한다. 정확한 거리 및 속도 정보를 제공할 수 있는 마이크로파를

이용한 레이더 방식 가운데, 그림 1의 호모다인 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더는 펄스 레이더에 비해 송신 신호가 연속적이므로 작은 출력 전력으로도 같은 성능을 얻을 수 있으며, 동일한 발진기가 송수신기에 사용되므로 구조적으로 간단하고 근거리 이동 표적의 거리와 속도를 측정하는데 적합하다^[1]. 그러나, 한 개의 안테나를 사용할 경우 그림 1에서 큰 송신 신호의 일부가 안테나에서 반사되어 수신 단의 믹서, 저 잡음 증폭기를

목포해양대학교 해양전자통신공학과(Department of Marine Electronic Communication Engineering, Mokpo National Maritime University)

· 논문 번호 : 20031113-157

· 수정완료일자 : 2003년 12월 15일

포화시킴으로서 수신 단의 감도를 떨어뜨리는 단점이 있다^{[2],[3]}.

근거리 차량의 감지를 위한 호모다인 FMCW 레이다용 고주파부에서 요구되는 혼합기의 성능을 살펴보면, 먼저 수신 가능 최소 신호(MDS)를 작게 하기 위하여 저 잡음 증폭기를 사용하면 수신 단의 잡음지수는 작아진다. 그러나 안테나의 큰 반사 신호는 저 잡음 증폭기를 포화시켜 수신 신호를 분리하기 어렵기 때문에 저 잡음 증폭기를 쓰지 않을 경우 수신 신호가 믹서 단으로 바로 들어가기 때문에 믹서의 변환손실에 의한 잡음지수를 낮추고, 신호 대 잡음비를 높이기 위해서는 혼합기의 변환 손실을 가능한 작게 해야 한다.

또한 신호파에 안테나의 큰 반사파가 섞여서 들어와도 혼합기는 선형 동작을 할 수 있도록 P1 dB를 만족하여야 한다. 일반적으로 LO 전력이 13 dBm 이하의 다이오드 믹서의 경우에는 P1 dB는 보통 3에서 5 dBm 수준이며, 믹서의 경우 LO 전력이 증가할수록 그리고 변환손실이 작을수록 P1 dB가 증가하는데, 24 GHz의 레이다는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역을 사용하기 때문에 송신 출력은 10 dBm 이하로 제한되어 있고, 동일한 발진기가 송수신기에 사용되고 있기 때문에 LO 증폭기가 없는 구조일 경우 가능한 적은 LO 구동 전력으로서 최소의 변환 손실과 선형동작을 위한 0 dBm 이상의 P1 dB가 요구된다.

LO의 RF 포트로의 누설 전력 또한 신호 대 잡음비에 영향을 주기 때문에 높은 LO 포트 격리도가 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 근거리 차량의 거리와 속도를 탐지하기 위해서 24 GHz에서 동작하는 호모다인 FMCW 레이다의 용도에 적합한 주파수 혼합기를 설계 제작하고자 한다. 마이크로 스트립 선로의 180° 하이브리드 3 dB 결합기와 쇼트키 장벽 빔리드 다이오드를 이용하여 높은 LO/RF 격리도와 고조파억제, LO의 AM 잡음 제거가 가능하도록 단일 평형 다이오드 주파수 혼합기를 설계 및 제작하였다.

특히 본 논문에서는 적은 LO 구동 전력으로 변환 손실, LO 격리도 특성간에 최적의 성능을 위하여 다이오드의 정합회로와 그리고 결합기와 정합회로 사이의 삽입된 마이크로스트립 선로의 길이를 동시에

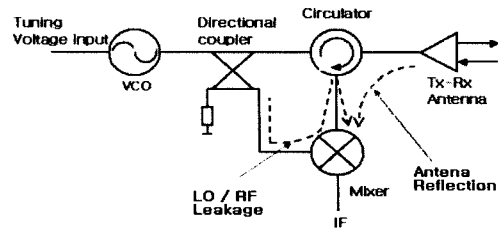


그림 1. 호모다인 FMCW 레이다의 고주파
Fig. 1. Homodyne FMCW radar RF front End.

표 1. 믹서의 재원

Table 1. Specification of mixer.

Center Frequency	24.10 [GHz]
Band Width	DC ~100 [MHz]
LO Power	5 ~ 7 [dBm]
P1 dB(input)	3 [dBm]
LO_RF isolation	> 20 dB
LO_IF isolation	> 30 dB
Conversion loss	< 8 dB
N.F	< 10 dB
RF, LO, IF 반사손실	> 10 dB
빔 리드 다이오드	DMK2790

고려하여 혼합기 성능을 최적화하였다. 또한 큰 안테나 반사 신호에서도 선형 동작을 할 수 있도록 적은 LO 전력으로 P1 dB가 0 dBm 이상이 되도록 하였다.

II. 설계 및 제작

본 논문에서의 단일 평형 다이오드 혼합기는 그림 2와 같이 180° 하이브리드, RF 쇼크, 다이오드 매칭 회로, IF LPF, 그리고 두 개의 쇼트키 빔 리드 다이오드로 구성하여, 높은 LO/RF와 LO/IF 격리도, 고조파 억제, LO의 AM 잡음의 제거가 가능하도록 설계 및 제작하였다.

비선형 소자는 평면 구조에 마운트가 적합하고 사용 대역에서 잡음지수가 낮고 고속 동작이 우수한 Skyworks사의 DMK 2790인 GaAs 쇼트키 장벽 빔 리드 다이오드를 사용하였다. 혼합기를 제작하는데 사용된 기판은 손실 계수가 작고, 주파수의 변화에도 유전율이 일정한 Rogers사의 RO4003기판을 사용하였다. 설계에 필요한 다이오드 모델의 파라미터 값

은 Skyworks사에서 제공한 값을 이용하였다.

이 회로의 동작 원리는 그림 2와 3에서 Δ 포트에 인가된 LO 신호의 전력은 180° 하이브리드를 통해 두 개의 다이오드에 각각 크기는 절반씩 180° 위상 차로 다이오드를 구동하고, RF 신호는 신호가 합쳐지는 Σ 포트에 인가하여 동 위상으로 혼합시킨 다음 LPF를 통해 원하는 IF 출력 신호를 선택하게 된다.

LO 신호가 다이오드를 구동할 때 발생하는 dc 전류 성분은 LO, RF 초크를 통하여 biasing하였으며, 주파수 변환 손실, LO/RF 격리도, 그리고 LO 포트의 반사 손실 특성을 최적화하기 위하여 수동 소자들은 모멘텀 해석을 그리고 혼합기는 하모닉 발란스 해석을 이용하였다.

2-1 180° Hybrid Coupler

RF와 LO 포트에서의 반사손실, 포트간의 격리 손실, 그리고 스푸리어스 응답과 같은 단일 평형 혼합기의 성능을 결정짓는 가장 중요한 부분이 커플러이다. 제작된 180° 하이브리드 커플러는 그림 3에 있는 것처럼 90° 브랜치 라인 커플러의 3번 포트에 전기 각 90° 길이를 연장하여 구성하였다.

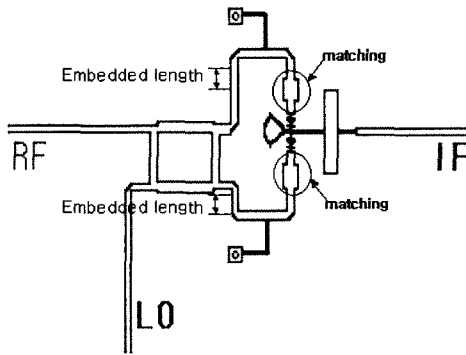


그림 2. 단일 평형 혼합기의 구조
Fig. 2. Single balance diode mixer.



그림 3. 180° 하이브리드 3 dB 커플러
Fig. 3. 180° hybrid 3 dB coupler.

RF와 LO의 주파수가 거의 차이 나지 않을 때 즉 IF 주파수가 낮을 경우, 대역 통과 여파기는 하이브리드만으로도 우수한 LO/RF의 격리도를 얻을 수 있고, 다이오드에 공급되는 LO 신호의 위상차로 인하여 LO의 짝수 고조파 제거가 가능하기 때문에 스푸리어스 특성을 좋게 할 수 있고, 두 다이오드의 연결 중앙 부분, 즉 IF 단에서는 항상 LO 전압이 제로가 되어 LO/IF 격리도 또한 커지고, LO 신호에 추가된 LO의 AM 잡음도 제거된다^[4].

설계된 180° 하이브리드는 LO의 중심 주파수, 24.10 GHz에서 포트 3, 4에 연결할 두 다이오드가 정확하게 180° 위상 차가 되게 함으로서, 다이오드의 구동전력을 최대화하여 LO에 추가된 AM 잡음을 최대로 제거하고, RF 포트에 들어가는 신호의 LO 전력의 누출을 최소화하도록 하였다. 설계된 하이브리드 시뮬레이션 결과 LO/RF 격리도는 25 dB, 주파수 대역 100 MHz 내에서의 전력 균형은 0.3 dB 이하, 위상 균형은 1° 이하인 특성을 나타내고 있다.

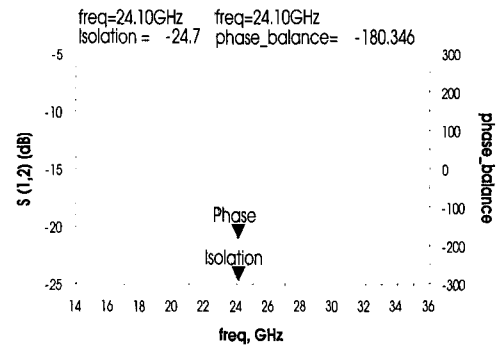


그림 4. 180° Hybrid의 위상차와 격리도
Fig. 4. Phase balance and isolation of coupler.

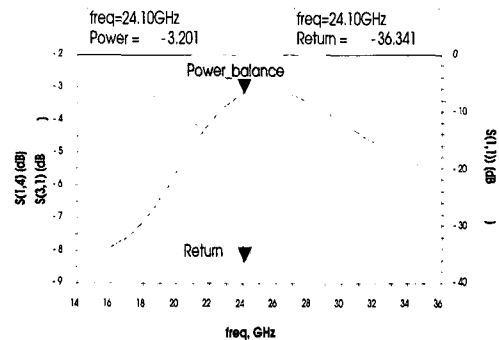


그림 5. 180° hybrid의 전력분배와 반사손실
Fig. 5. Power balance and return loss of coupler.

2-2 Diode Matching

임피던스 정합을 위해서는 먼저 RF 대역과 IF 대역에서의 다이오드에 대한 임피던스를 알아야 한다. 다이오드만의 임피던스 측정을 위한 파라미터의 추출 방법에는 Houlding 방법과 Deloach 방법이 있는데, Houlding 방법은 reflection measurement 방법으로 다이오드 차단 주파수를 거의 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있지만 손실 저항 R_s , 제로 전압 접합 용량 C_{j0} 의 값을 각각 구할 수 없다. 반면에 De-loach 방법은 transmission measurement를 사용하여 R_s , C_{j0} 접촉 whisker 인덕턴스, bond-wire 인덕턴스를 계산할 수 있다. 그리고 또 다른 방법은 네트워크 분석기로 다이오드의 S-파라미터를 직접 추출하나, 이것의 측정 한계로 인하여 밀리미터파 대역에서는 경험적 방법에 의존하고 있다^{[5],[6]}.

본 논문에서 혼합기 설계에 사용된 다이오드 임피던스는 제조회사에서 제공된 spice 모델을 이용하여 그림 6과 같이 대신호 S-파라미터 해석을 통하여 이루어졌다. 해석 결과 그림 7의 스미스 차트에는 전력의 크기를 0~10 dBm 까지 그리고 주파수는 사용 주파수 대역보다 훨씬 넓은 23~26 GHz까지의 변화에 따른 다이오드의 임피던스 변화를 도시한 것으로서 사용 주파수에 따른 변화는 거의 없는 반면, 전력 크기에 따른 변화는 상당히 심하게 나타났다.

설계할 정합 회로를 구성할 때 두 다이오드가 인접하는 부분은 RF와 LO 주파수가 레디얼 스타브에 의해 IF 단으로 넘어 가지 않도록 단락시키며, LO 신호가 역 위상으로 다이오드에 공급되기 때문에 다이오드의 종단은 단락 회로와 등가적으로 표현된다. 다이오드 매칭은 실제 하이브리드를 거쳐 나오는 전력에서 정합이 이루어져야 하므로 LO 전력에서 하이브리드 손실을 뺀 만큼의 전력이 구동된 상태에서 정합을 한다. 또한 다이오드에 유기되는 DC 포텐셜 레벨로 인하여 다이오드 임피던스가 변하기 때문에 RF 초크를 구성한 다음 정합회로를 완성해야 한다^[7]. 주파수 혼합기에서 RF, LO 초크는 LO 신호와 RF 신호의 유출을 방지하고 dc 전류 성분만 흐르도록 하는데 임피던스가 높은 마이크로스트립 선로에 임피던스가 낮은 개방 스타브를 달아 구현하였다.

임피던스 정합 순서는 먼저 LO 임피던스를 그림

6처럼 스미스 차트 상에 나타난 다음 100 Ω인 마이크로 스트립 선로를 다이오드 부착 점으로부터 다이오드의 임피던스 중 허수부분이 제거되는 곳까지 연장시킨 다음, 남은 저항 성분은 1/4 파장 임피던스 변환기를 이용하여 다이오드와의 정합회로를 완성한다.

LO, RF 신호의 주파수가 동일한 대역이고, RF 신호 전력에 따른 다이오드 임피던스 변화가 크지 않기 때문에 LO 전력과 주파수에 따른 다이오드 정합을 하여 6 dBm의 LO 구동 전력으로 3 dBm의 높은 P1 dB의 특성을 갖도록 하였다. 특히 본 논문에서 설계한 호모다인 FMCW 레이더의 용도에 적합하도록 가능한 적은 LO 구동 전력을 가지고 LO 포트의 반사손실, 격리도, 변환손실의 최적의 성능을 위하여 다이오드의 정합회로의 $\lambda/4$ 트랜스포머의 폭과 길이, 그리고 그림 2에 있는 결합기와 정합회로 사이의 삽입된 embedded 마이크로스트립 선로의 길이는 하이브리드의 위상 균형과 전력 분배 균형을 유지하면서 그 길이를 변화시켜서 혼합기의 성능을 시스템에 적합하도록 최적화하였다.

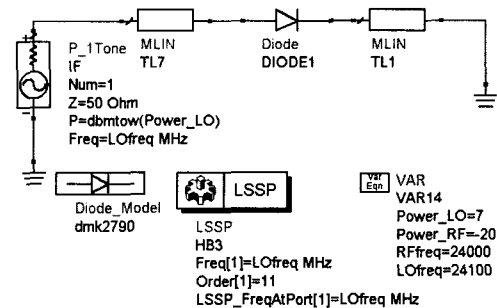


그림 6. 다이오드의 대신호 S-파라미터
Fig. 6. Large signal s-parameter of diode.

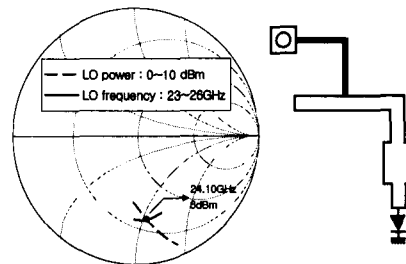


그림 7. 다이오드 매칭
Fig. 7. Diode Matching.

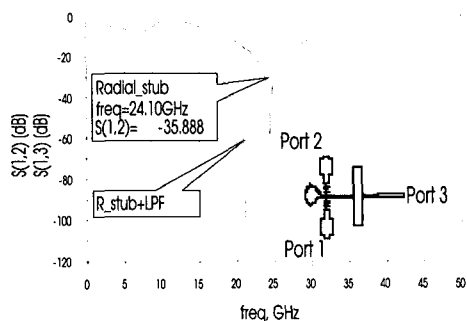


그림 8. Radial stub, LPF의 특성

Fig. 8. Simulated Results of LPF.

2-3 IF 필터 및 Radial Stub

본 혼합기에서는 IF 주파수와 RF, LO 주파수와와의 차가 매우 커서 주파수 차단 특성이 크게 중요하지 않기 때문에 LPF의 차단 주파수를 높여 필터의 크기를 줄였다. 필터는 흔히 사용하고 있는 high-low 임피던스 방식을 사용하여 설계하였다. 래디얼 스텐브를 설계할 때는 실제 레이아웃을 고려해서 stub에 체결될 부분(Diode pad, LPF)을 함께 고려해서 확인하였고, 저역통과 필터의 주기적 특성으로 인해 발생하는 두 번째 LO 고조파 신호가 제거될 수 있게 설계하였다. 그림 8은 래디얼 스텐브만, 그리고 LPF를 첨가했을 때의 특성을 각각 보여준다.

III. 측정 및 실험 결과

LO, RF 신호원은 HP사의 83650B, 8673D를 그리고, 믹서 성능은 E4407B의 스펙트럼 분석기와 85107A의 벡터 네트워크 분석기를 통하여 측정하였다.

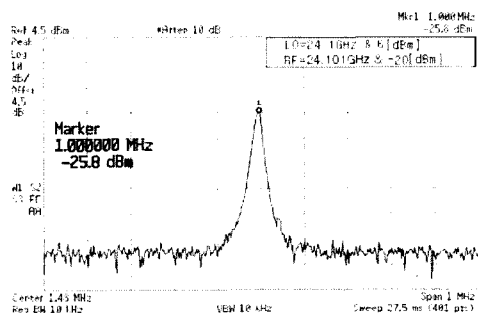


그림 9. IF 출력 스펙트럼

Fig. 9. Out power of IF frequency.

그림 9는 24.101 GHz RF 주파수 신호의 크기를 -20 dBm으로 인가하고, 24.100 GHz LO 주파수를 6 dBm으로 인가했을 때 IF출력 전력은 1 MHz에서 -25.8 dBm을 나타내었다. 그림 10과 11은 제작한 혼합기의 변환손실을 측정된 것으로서, 그림 10은 24 GHz의 LO 신호가 6 dBm의 전력으로 인가될 때 RF 주파수가 LO를 중심으로 상측 대역, 하측 대역 각

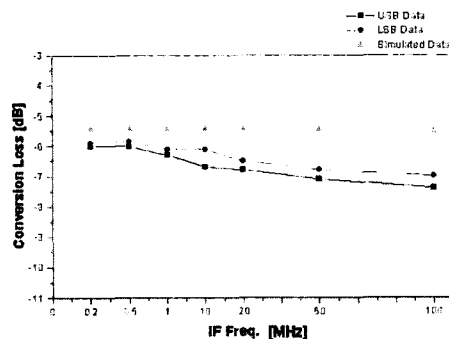


그림 10. RF 주파수 변화에 따른 변환손실

Fig. 10. Conversion Loss VS RF frequency.

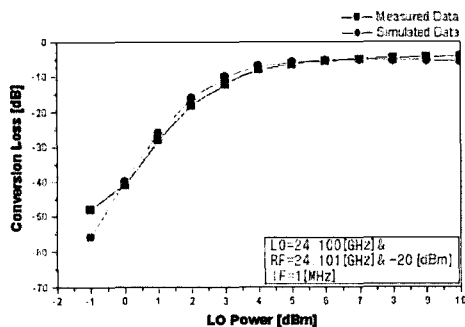


그림 11. LO 전력 변화에 따른 변환손실

Fig. 11. Conversion Loss VS LO power.

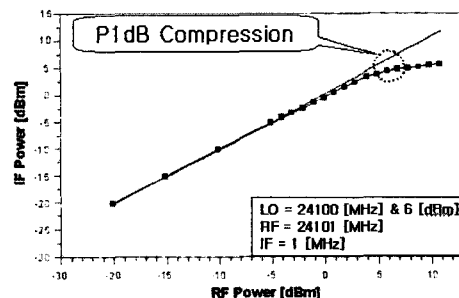


그림 12. 1 dB 억압점

Fig. 12. 1 dB Compression point.

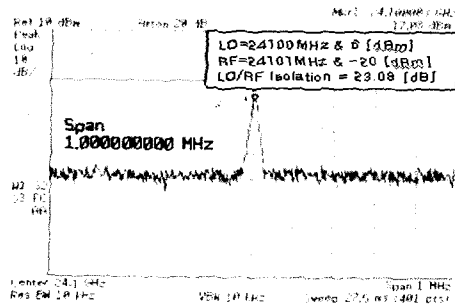


그림 13. LO/RF 격리도
Fig. 13. LO/RF isolation.

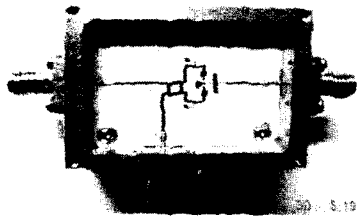


그림 14. 제작된 혼합기 사진
Fig. 14. Picture of fabricated mixer.

100 MHz 대역에서의 변환손실이 6~7 dB 정도이다. 그림 11은 LO 전력을 10 dBm까지 증가시키면서 측정한 변환손실 값이다. LO 전력이 증가할수록 변환손실이 점점 감소하다가 5 dBm 이상의 전력이 공급될 때 변환손실이 거의 포화되어 더 이상 감소하지 않음을 알 수 있다. 그림 12에서와 같이 RF 전력을 증가시킬 경우 3 dBm에서 1 dB 억압점이 나타났다. 그리고 LO/RF 격리도는 그림 13과 같이 23 dB를 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 24 GHz 대역에서 차량의 거리와 속도를 탐지하기 위한 호모다인 FMCW 레이더용 혼합기를 설계 및 제작하였다. 호모다인 FMCW 레이더의 용도에 적합하도록 가능한 적은 LO 구동 전력을 가지고 LO 포트의 반사손실, 격리도, 변환손실 성능 특성간에 최적의 성능을 위하여 다이오드 정합 회로의 1/4 트랜스포머의 폭과 길이 그리고 결합기와 정합회로 사이에 삽입한 마이크로스트립 선로의 길이를 변화시켜서 혼합기의 성능을 시스템에 적합하도록 최적화하였다.

보통 단일 평형 다이오드 믹서의 경우를 보면 LO

정합이 잘 된 경우 최소 변환 손실을 얻기 위해 5~7 dBm의 LO 전력을 필요로 하고, 변환손실은 통상 7 dB 정도이며 그리고 LO 전력이 13 dBm 이하에서는 P1 dB가 3~5 dBm을 넘지 못한 점을 감안한다면, 제작된 단일 평형 다이오드 혼합기를 측정한 결과가 변환손실 6~7 dB 손실을 얻기 위해 요구되는 LO 전력은 5 dBm이고, LO 전력 6 dBm을 가지고 레이더의 중간주파수인 비트 주파수가 수 MHz 이하에서 변환 손실은 6 dB이고, P1 dB가 3 dBm 정도면 LO 증폭기가 없는 구조 그리고 반사파가 커서 송수신 분리가 큰 문제가 되는 단일 안테나 구조의 호모다인 FMCW 레이더용에 적용 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Nicholas C. Currie, Chares E. Brown, *Principle and applications of millimeter-wave radar*, Artech House, 1987.
- [2] Merrill I. Skilnik, *Introduction to Radar System*, Wiley-Interscience, McGraw-Hill, Inc, 1988.
- [3] P. D. L. Bcaswley, A. G. Stove and B. J. Reits, "Solving Problems of a Single Antenna Frequency Modulated CW Radar", *IEEE International Radar Conference*, 1990.
- [4] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, ADDISON WESLEY, pp. 401-411, 1993.
- [5] Stephen A. Mass, *Microwave Mixer*, Artech House, pp. 260-267, 1993.
- [6] Stephen A. Mass, *Nonlinear Microwave Circuits*, Artech House, Inc, 1988.
- [7] Inder Bahl, Prakash Bhrartia, *Microwave Solid State Circuit Design*, John Willy & Sons, pp. 569-576, 1988.

한 석 균



1994년 2월: 광주대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 목포대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2000년 3월~현재: 목포해양대학교 해양전자통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파회로 설계,

Radar System