

X-Band 도플러 레이더용 송·수신 시스템의 설계 및 제작

Design and Fabrication of Transceiver System for X-Band Doppler Radar

장정석
(광운대학교 석사과정)

도지훈 김대웅
(광운대학교 박사 과정)

홍의석
(광운대학교 교수)

Key Words : Doppler Radar, X-Band Transceiver, Dielectric Resonator Oscillator

목 차

- I. 서 론
- II. 도플러 레이더 원리
- III. 도플러 레이더용 송·수신기 시스템 설계
- IV. 제작 및 측정
- V. 결 론

I. 서 론

레이더는 목표물의 탐지와 물체의 위치를 파악하기 위하여 사용되는 전자기 시스템의 이름이다. Radar는 Radio detection and ranging의 약어이다. 그 어원에서도 알 수 있는 바와 같이 매우 짧은 시간에 임의의 물체에 날카로운 지향성 안테나를 통하여 전자파를 발사하면 그 물체로부터의 미약한 반사파가 생긴다. 이때 그 반사파를 수신하여 발사 시로부터의 시간차, 도플러 주파수편이 발생 등을 알 수 있으며 이러한 정보들을 이용하여 표적까지의 거리와 방향을 탐지할 수 있다. 또한, 레이더는 사람이 주위를 보는 눈의 능력을 먼 거리까지 확대하는 목적으로도 사용되고 있으며 눈으로는 도저히 할 수 없는 동작이라 하겠다. 모든 초기의 레이더들은 radio wave들을 사용하였으나, 근래의 몇몇 레이더들은 레이저나 광학 파들도 사용한다.

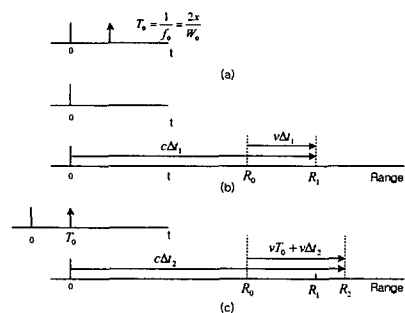
초창기의 레이더는 맥스웰 이론을 확증하는 전자기파의 예측과 헤르츠의 실험적 작업인 맥스웰의 이론적 작업과 연관되어 질 수 있다. 실험적 작업들은 Radio wave 들이 물체에 의해 반사되어 질 수 있다는 것을 보였다. 이러한 기초적 사실은 반사파의 존재검지, 즉 레이더가 목표물의 존재를 확인할 수 있다는 사실을 의미한다고 하겠다. 초기의 다양한 레이더 장치들의 형태는 1903과 1925년 사이에 개발되었고 목표물의 존재 여부 뿐만 아니라 목표물의 거리 측정도 가능하게 되었다. Briet(1925년)와 one(1926년)은 거리측정에 pulsed-wave를 처음으로 적용하였으며 그들의 원초적 기술은 현재의 시스템들에서 광범위하게 사용되고 있다. 레이더의 발전은 세계 2차 대전 당시 가속화되었는데, 그 당시의 꾸준한 발전으로 최근의 시스템들에 이르게 되었다[1~2].

현재 레이더 기술은 상당히 기술적으로 성숙된 분야라 할 수 있다. 그러나 속도 측정용 도플러 레이더는 국내기술이 개발되지 않아 전량 수입에 의존하고 있는 실정이기 때문에 구매비용 및 장비 유지보수 비용이 많이 소모되고 있다. 특히, 레

이더 시스템의 핵심 부분인 송·수신 시스템의 경우 국내 X-band 기술이 선진국에 비해 부족하기 때문에 기술 축적이 시급한 실정이다. 이미 몇몇 레이더 선진기술 보유국들은 송·수신 시스템의 MMIC화를 이루어 작은 출력을 이용하여 의학용 의료기기에 사용되고 있다. 그 한 예가 환자의 심장에 도플러 레이더 신호를 송신하여 무선으로 vital check를 할 수 있는 시스템 등에 사용하고 있다. 또한, 휴대용 차량 속도측정기 뿐만 아니라 막대한 예산의 인프라 기반을 요하는 ITS산업에 응용할 경우 기존 접촉 방식의 루프 감지기 대체 및 시공의 간편화, 작업시간의 단축, 소형·고성능의 시스템 구축 등으로 인한 막대한 시장을 형성할 수 있다.

본 연구는 고속 이동체의 속도 측정에 사용하는 X-Band 레이더의 송·수신기를 hybrid MIC 기법을 이용하여 설계 및 제작하였으며, 군수용 및 산업용 고속 이동체 속도 측정용 등에 적용할 수 있도록 하고자 한다.

II. 도플러 레이더 원리



<그림 1> 도플러 원리

그림 1은 송신된 파가 목표물에 의한 반사에 의해 수신기에 돌아 올때 어떠한 일이 발생하는지를 이해하는데 사용된다. 송

신기로부터 목표물까지의 총 거리와 다시 반사되어 수신기까지 돌아오는 거리는 빛의 속도와 지연시간 t_R 의 곱이 된다. 큰 목표물 range R 에서 총 왕복 거리 $2R$ 은 다음과 같다.

$$R = \frac{c t_R}{2} \quad (1)$$

range R 의 기본적 측정은 $C/2$ 와 t_R 을 측정하여 곱함으로써 가능해진다. 두 부분의 수신된 파, 하나는 $t=0$ 에서 출발하고 두 번째는 한번의 carrier cycle 후에 방사 된다고 하자.

이 시간 T_0 는 $\frac{1}{f_0} = \frac{2\pi}{\omega_0}$ 이며, 그림1 (a) 와 같다. 목표물은 $t=0$ 에서 출발한 파가 어떤 일이 발생하는지 묘사하고 있다. 이것은 R_0 부터 어떤 파(wave)가 돌아올 때의 range R_1 까지 움직이는 목표물에 부딪칠 때까지 바깥쪽을 향하여 나아간다. 만약 Δt_1 이 wave piece 가 돌아오는데 걸리는 시간이라면, 목표물은 $V\Delta t_1$ 부터 R_1 까지 만큼 움직인 것이다.

$$R_1 = c\Delta t_1 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)로부터

$$\Delta t_1 = \frac{R_0}{c-v} \quad (3)$$

만약 t_1 이 wave piece 가 돌아오는데 걸리는 시간이라면, 이것은 $2\Delta t_1$ 과 같고, 그러므로

$$t_1 = \frac{2R_0}{c-v} \quad (4)$$

그림 1(c) 는 T_0 시간에서 방사된 wave piece가 어떤 일이 발생하는지 표현한다. Δt_2 를 새로운 range R_2 까지의 움직인 목표물에 부딪칠 때까지의 travel time 이라 하자.

$$R_2 = R_0 + vT_0 + v\Delta t_2 \quad (5)$$

$$R_2 = c\Delta t_2 \quad (6)$$

그러므로 이 마지막의 두 식에서 다음의 결과를 얻는다.

$$\Delta t_2 = \frac{R_0 + vT_0}{c-v} \quad (7)$$

두 번째의 wave piece의 t_2 로 표기되는 수신기간은

$$t_2 = T_0 + 2\Delta t_2 = \frac{(c+v)T_0 + 2R_0}{c-v} \quad (8)$$

식 (8)를 사용하여 두 개의 wave piece들의 송신 carrier 만큼의 한 주기가 떨어져 있으므로, 우리는 수신 carrier 주파수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{t_2 - t_1} = \left(\frac{c-v}{c+v}\right)f_0 \quad (9)$$

식 (4)과 식 (8)에서 송신 주파수와 관계된 이 변화된 수신 주파수를 도플러 주파수라 하며, f_d 로 표시한다[3].

$$f_d = f_r - f_0 = \frac{-2vf_0}{c+v} \approx \left(\frac{-2v}{c}\right)f_0 \quad (10)$$

; if $|V| \ll c$

식 (10)으로부터 우리는 바깥쪽을 향한 $V_{positive}$ 목표물의 움직임은 negative 주파수를 발생 시킨다. 그러므로 수신된 carrier 주파수는 송신 주파수 보다 낮으며 이렇게 구해진 도플러 주파수를 이용하여 고속 이동체의 속도를 측정해 낼 수 있다[4].

III. 도플러 레이더용 송·수신기 시스템 설계

본 논문에서 설계 및 제작하고자 하는 도플러 레이더 시스템의 성능 규격을 표 1에 나타냈다. 도플러 레이더 송·수신 시스템 설계를 위해서 CAD 설계 tool인 Agilent 사의 ADS 2002를 이용하였다. 기판은 $\epsilon_r = 2.50$, $H = 0.508$, $T = 0.018$ 인 테프론 기판을 사용하였다.

<표1> 도플러 레이더용 송·수신기 성능 요구 사양

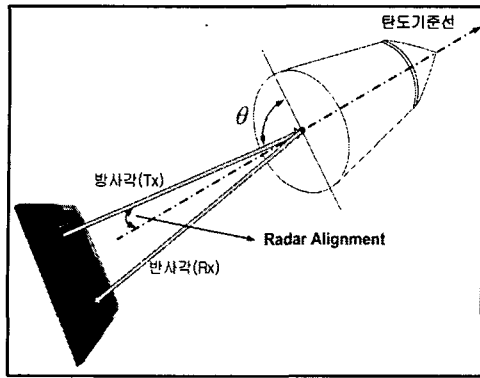
구분	목표 사양
안테나이득	최소 20 dB
송신 주파수(f_0)	10.525 GHz
주파수 선택	5채널 선택가능 (± 6 MHz 이내)
측정 속도	30m/s ~ 3000m/s
송신 출력	250mW 이상
잡음지수(NF)	5 dB

위와 같은 사양을 만족시키기 위해서는 Radar의 송·수신기를 budget할 때 일반적으로 사용하는 식(11)을 사용하여 송신출력과 안테나 이득, 송신주파수, RCS 등의 조건식을 대입해 수신세기를 계산한다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (11)$$

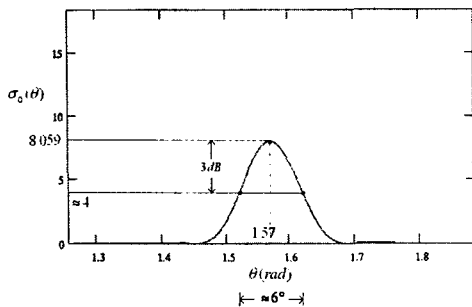
수신되는 전력밀도는 유효반사면적(RCS : Radar Cross Section)과도 밀접한 관계가 있으며 유효반사면적은 레이더의 방사각과 목표물의 반사면이 이루는 각도(θ)에 가장 큰 영향을 받는다. 또한 안테나와 목표물의 초기 진행방향과의 Radar Alignment는 안테나의 빔폭 설계치를 고려하여 설정하여야 하며 레이더 고정용 브래킷 제작 시 이를 충분히 반영하여야 한다. 측정하고자 하는 목표물의 유효반사면적 $\sigma_0(\theta)$ 는 아래의 (12)과 같이 나타낼 수 있고 그 결과 값은 $\theta = 90^\circ$ 일 때 최대 값을 갖는다고 가정한다[5~6].

$$\sigma_0(\theta) = \frac{4\pi a^4}{\lambda^2} \times \sin^2 \theta \left| \frac{J_1\left(\frac{4\pi r}{\lambda} \cos \theta\right)}{\frac{2\pi r}{\lambda} \cos \theta} \right|^2 \quad (12)$$



<그림 2> 유효반사면적($\theta=90^\circ$ 일 때 최대)과 Radar Alignment

이는 측정기준에서 이동하는 목표물은 일정거리 동안 직선으로 날아간다고 가정할 수 있기 때문이다. 측정하고자 하는 목표물의 유효반사면적은 식(12)를 이용해 분석하면 $\sigma_0(\theta) = 4.46$ 이다. 그림 2와 3은 유효반사면적과 분포에 관한 개념도를 나타내고 있다.



<그림 3> 유효반사면적(RCS) 분포

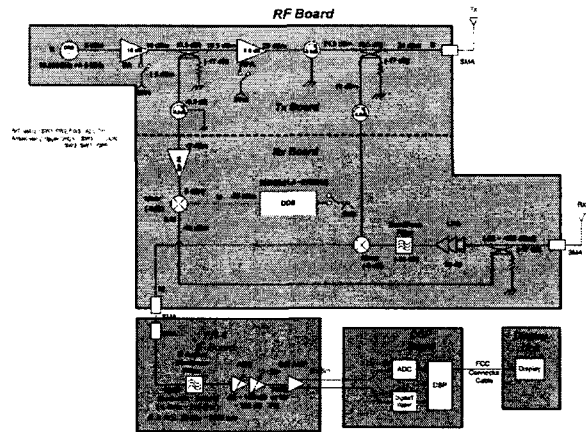
각각의 파라메타 값을 대입해 전체 송·수신기 시스템 budget을 해야 한다. 그림 4에 도플러 레이더에 사용하는 송·수신기에 대한 구조도를 나타내었다. 송신부는 속도측정의 목표 target에 발사하는 송신 전파를 보내는 역할을 하게 된다. 본 시스템에서는 10.525 GHz를 24 dBm의 출력으로 송신하도록 구성하였다. 이때 목표 target의 속도에 따른 도플러 주파수 편이에 대해 설계 시 고려하였다.

<표 2> 송신부 시스템 budget

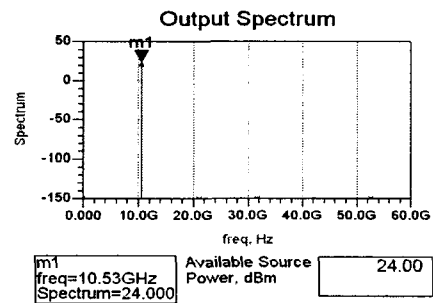
	CW DRO	Driver AMP	Coupler	HPA	Isolator	Coupler
Gain(dB)		10	-0.5	9.5	-0.5	-0.5
Power Out(dBm)	6	16	15.5	25	24.5	24

송·수신 시스템 budget을 통하여 전체 시스템 설계를 수행 하였다. 설계는 ADS 2002를 이용하였으며 송신 전력은 250 mW를 기준으로 하였고 송·수신 안테나의 이득은 각각 22 dBi를 갖도록 하였으며, 송신측 출력 전력을 위하여 10dB 이득을 갖는 구동단 증폭기를 사용 하였다. 송신측 최종 전력

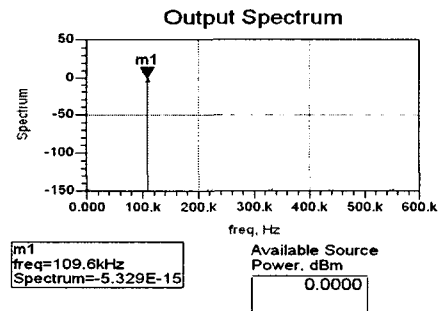
증폭기는 9.5 dB의 이득을 가져서 송신 출력을 유지할 수 있도록 하였다. 그림 5, 6은 송·수신측에서의 출력전력을 설계한 결과이다.



<그림 4> 송·수신기의 구조도



<그림 5> 송신전력 설계 결과



<그림 6> 수신전력 설계 결과

IV. 제작 및 측정

최종적으로 제작된 각각의 모듈들을 전체 결합하여 도플러 레이더용 transceiver를 제작하였다. 제작된 transceiver는 윗면에 Microwave 부분을 배치하였고 아랫면에 IF 부분과 control 부분을 배치하였다. 제작된 transceiver는 각 수신부와 송신부는 도체벽을 이용하여 격리하였다. 그림 7은 송신측 HPA에서의 출력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 중심주파수 10.525 GHz에서 25.10 dBm이 출력됨을 나타내고 있다. HPA

출력에서 아이솔레이터의 손실등을 고려했을 때 시스템 budget 상의 출력과 일치함을 알 수 있다. 그림 8은 IF 단에서 도플러 주파수를 측정한 결과이다. 109.6 KHz에서 -0.96 dBm의 수신전력을 얻었다. 그림 9는 제작된 송·수신기의 윗면 실물사진을 나타내었고, 그림 10은 IF/control 부분의 사진이다. 표3은 설계치와 측정치를 비교한 결과이다. 설계치와 측정치가 잘 부합됨을 알 수 있다.

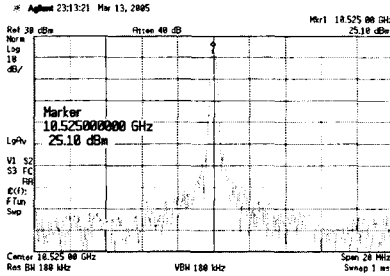
<표 3> 설계치와 측정치 비교

	송신전력	수신전력
설계치	24dBm@10.53GHz	25dBm@10.53GHz
측정치	0dBm@109.6KHz	-0.96dBm@109.6KHz

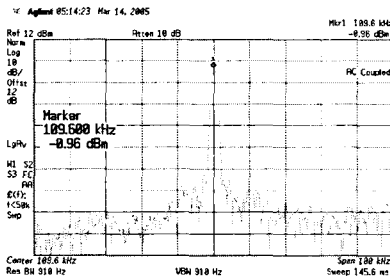
V. 결 론

본 논문에서는 고속 이동체 속도 측정용 도플러 레이더 송·수신기를 설계 및 제작하였다. 도플러 레이더 송·수신 시스템 설계를 위해서 CAD 설계 tool인 Agilent사의 ADS 2002를 이용하였다. 기판은 $\epsilon_r = 2.50$, $H=0.508\text{mm}$, $T=0.018\text{mm}$ 인 테프론 기판을 사용하였다. 먼저 전체 송·수신기 성능을 도출하기 위해 시스템 budget을 수행하여 최종 송신측 전력이 24 dBm이 적절함을 확인하였으며 수신측 적정 전력을 위해 목표 target의 거리에 따른 수신 전력을 추정하여 수신측 전력을 일정하게 유지하기 위하여 AGC 범위가 -22 ~ 66 dB가 되도록 설계 하였다.

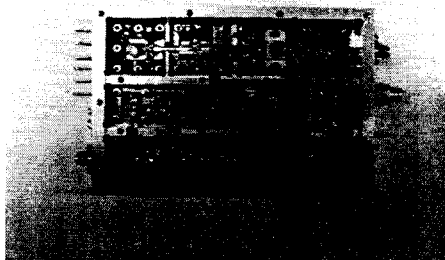
측정결과 수신단 신호원이 DRO(Dielectric Resonator Osillator)에서 6 dBm의 출력 전력을 얻었으며, 최종 송신측 출력 전력이 24.60 dBm을 얻음을 확인 하였다. 수신측 저잡음 증폭기의 경우 28 dB의 이득을 가지면서 잡음지수 2.1 dB를 얻었다. 각각 제작된 모듈을 하나의 기구물 안에 실장하여 측정된 결과 송신측 25.10 dBm의 출력전력을 얻었으며 수신측 측정 결과 -0.96 dBm의 수신 전력을 얻음을 확인하였다. 수신측 전력을 이용하여 디지털 신호 처리를 수행 했을 때 속도 측정용 도플러 레이더의 송·수신기로 충분히 사용 가능 할 것이다.



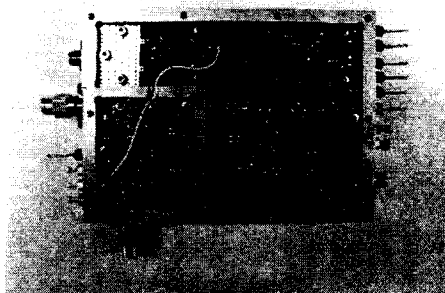
<그림 7> 송신전력 측정결과



<그림 8> 수신전력 측정 결과



<그림 9> 송·수신기의 microwave 회로부



<그림 10> 송·수신기의 IF/Control 회로부

참고문헌

1. Merrill 1. Skolnik, Introduction to RADAR System, Artech House, pp.11~18, 1987.
2. Kevin Mcclaning, Tom Vito, Radio Receiver Design, Noble publishing, 2000.
3. F. J. Yanovsky, "Doppler Radar: Retrieval of information about trubulence in rain", in 5th Int. Microwave, Radar and Wireless Communication Conf., Warsaw, Poland, May 2004, pp.86-91.
4. A. A. Sweet, MIC & MMIC Amplifier and Oscillator Circuit Design, Artech House. 1990.
5. G. D. Vendelin, A. M. Pavio, U. L. Rohde, Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques, Wiley-Interscience Pub, 1990.
6. M. T. mimura, I. Tsufimura, and A. furumoto, "Mesh source type Microwave Power FET", IEEE Int. Solid-state Circuit conf. Tech. Dig, pp.84-85, 1973.