

호모다인 검파방식을 이용한 X-밴드 도플러 레이더 센서의 설계 및 제작

Design and implementation of a X-band Doppler radar sensor using the homodyne detection

장남영, 최평석, 은재정

Nam Young Jang, Pyung Suk Choi, Jae Jung Eun

요약

본 논문에서는 Gunn 다이오드와 SBD를 이용하여 X-밴드 대역의 송신기 및 수신기를 설계·제작하였다. 이 시스템은 이동 물체의 속도를 측정하는 도플러 레이더 센서로서, 이동 물체에 의해 반사된 도플러 천이 신호를 호모다인 검파방식을 통해 검출한다.

실험을 통해 송신기의 발진조건은 대략 도파관에 위치한 Gunn 다이오드의 지지대와 도파관의 단락판 사이의 거리가 반파장일 때 만족함을 알 수 있었으며, 제작된 도플러 레이더 센서를 이용한 이동 물체의 속도측정 오차는 1.24%로 측정되었다.

Abstract

In this paper, a transmitter and a receiver using a Gunn diode and SBD was designed and fabricated in X-band. This system detects Doppler shift signal reflected by moving target through the homodyne detection, which is Doppler radar sensor for the measurement of the velocity of moving target.

By the experimental results, the oscillating condition of the transmitter was satisfied at about the half wavelength between the supporting post of the Gunn diode in the waveguide and the waveguide short. And using the fabricated Doppler radar sensor, the velocity measurement deviation of moving target was 1.24%.

Keywords : Doppler radar sensor, Doppler effect, Gunn diode, SBD

I. 서론

최근 자동차 산업의 발전과 자동차 수요의 증가로 차량의 안정성 문제와 합리적인 교통망 구축을 위해 지능형 교통시스템(Intelligent Transportation System : ITS) 내의 첨단 차량 시스템(Advanced Vehicle System : AVS)에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 도플러효과를 이용한 이동 물체의 속도와 거리를 측정할 수 있는 센서 시스템은 급격히 발전하고 있으며, 이는 자동차의 안전을 위해 차량 자체의 안전추구 내지 사고 후 피해를 최소화하는 수동적 해결책이 아니라 운전자의 부주의나 잘못된 판단을 미연에 방지할 수 있는 보다 능동적인 예방 기술이라 할 수 있다. 과거 적외선을 이용한 레이저 레이더 시스템은 대형 차량용으로 이미 상품화되어 있지만, 이는 근적외선을 사용하기 때문에 비, 안개, 눈 등 기후적인 조건에 따라 성능이 좌우되고 먼지나 오염원에 취약하다는 문제를 안고 있다. 이에 비해, 마이크로파를 이용한 레이더 시스템은 기후적인 조건에 보다 덜 민감하지만, 부파가 큰 관계로

항공기나 선박용으로 주로 사용되고 있다.

최근에는 기후적인 조건에 영향을 받지 않고 마이크로파를 이용한 레이더 시스템보다 부파가 작은 밀리미터파 레이더가 차량용으로 연구되고 있다. 오늘날 밀리미터파 레이더가 차량 탑재형으로 각광을 받고 있는 이유는 마이크로파 레이더보다 높은 주파수를 사용하기 때문에 짧은 파장으로 인해 안테나에서 방사되는 빔폭을 좁게 할 수 있고 따라서 불필요한 반사로 인한 오동작과 간섭문제를 해결할 수 있으며, 고주파수의 사용으로 도플러 주파수를 통한 높은 계측 정밀도와 고속 응답을 달성할 수 있기 때문이다. 또한 밀리미터파 회로의 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits)화로 소형화할 수 있어 차량 탑재가 용이하다는 장점이 있다. 상대적으로 낮은 주파수 대역의 마이크로파를 이용한 도플러 레이더 센서 시스템은 움직이는 물체에 전파를 보낼 때 반사되어 되돌아오는 전파의 주파수가 반사되기 전의 주파수와 달라지는 도플러효과를 이용한다^[1]. 이때, 움직이는 물체의 속도를 측정함에 있어 안정한 주파수로 발진하는 송신기의 설계는 필수적이고, 이러한 송신기에서 사용할 수 있는 발진 주파수는 FCC (Federal

Communication Committee)에 의해 규정되어 있는 915MHz, 2.4GHz, 5.8GHz, 10.525GHz, 22.125GHz이다. 또한 속도 측정 도플러 레이더 센서 시스템의 송신기는 Gunn 다이오드나 Impatt 다이오드를 이용하여 CW(Continuous wave) 신호원을 구현할 수 있으며, SBD(Shotky Barrier Diode)로 구성된 수신기를 통해 이동 물체에 의해 반사된 도플러 천이 신호를 호모다인 검파 방식으로 측정할 수 있다^[1-3].

본 논문에서는 도플러 레이더 센서 시스템의 원리를 분석·검토하고 시스템의 설계·제작 및 실험을 통하여 제작된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 제II장에서는 도플러 레이더 송·수신기의 원리에 대하여 논의하였으며, 제III장에서는 Gunn 다이오드와 SBD로 구성된 송·수신기를 설계 및 제작방법과 제작된 송·수신기로 구성된 도플러 레이더 센서 시스템의 특성 및 성능을 평가하였다. 그리고 제IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 도플러 레이더 센서 시스템

1. 도플러 레이더 센서 송신기의 발진 원리^[2-4]

1963년 J. B. Gunn에 의해 발견된 Gunn 효과는 n형 GaAs 반도체에서 전계가 임계값을 초과할 때 드리프트 속도가 감소하면 전류는 속도에 비례하므로 전류도 감소하여 부정저항을 나타냄과 동시에 마이크로파 대역의 전류 요동이 발생하는 현상으로, 도플러 레이더 센서 송신기의 발진 원리는 이러한 Gunn 효과를 이용해 제작된 Gunn 다이오드의 부정저항을 이용하고 그림 1에 표시한 등가회로를 통해 고찰할 수 있다.

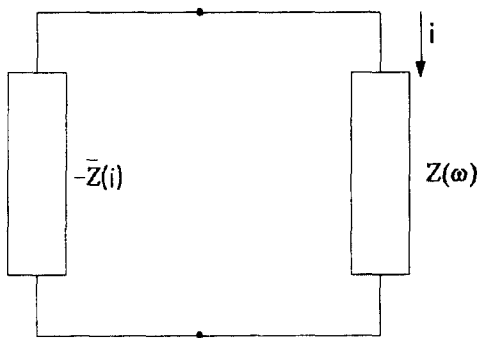


그림 1. 부정 저항 발진기의 등가회로.

Fig. 1. The equivalent circuit of a negative resistance oscillator.

여기서 $-\bar{Z}(i)$ 는 비선형 부정 임피던스로 RF 전류 i 의 함수로 나타낼 수 있다. 이는 비선형 부정 임피던스가 주파수 ω 에 크게 변하지 않기 때문이다. 또한 다이오드 양단에서 바라본 선형 부하 임피던스는 각 주파수 ω 의

함수인 $Z(\omega)$ 로 표시되고 단일 포트 회로망의 안정조건은 식(1)과 같이 표현되므로 안정한 발진을 위한 발진 조건은 식(2)와 같이 전체 회로 임피던스가 영이 될 때이다.

$$\text{Re}\{Z(\omega) - \bar{Z}(i)\} > 0 \tag{1}$$

$$Z(\omega) = \bar{Z}(i) \tag{2}$$

또한 식(2)의 임피던스를 각각 저항과 리액턴스로 나타내면 다음과 같다.

$$Z(\omega) = R(\omega) + jX(\omega) \tag{3}$$

$$-\bar{Z}(i) = -\bar{R}(i) + j\bar{X}(i) \tag{4}$$

따라서 식(3)과 식(4)을 식(2)에 대입하면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$R(\omega) - \bar{R}(i) = 0 \tag{5}$$

$$X(\omega) + \bar{X}(i) = 0 \tag{6}$$

하지만, 발진 주파수는 정현파 전류 i 의 진폭 I 에 따라 변하기 때문에 안정한 발진을 보장하는 또 다른 조건을 구하는 것이 필수적이다. 즉, 동작점 I_0, ω_0 에서 발진하던 발진기가 ω_0 를 중심으로 변하는 주파수 범위가 적으면 $\bar{Z}(i)$ 의 주파수 의존성은 무시할 수 있지만, 이를 무시할 수 없다면, 전류의 변동량 δI 와 복소 주파수 $s = \alpha + j\omega$ 의 작은 변동량, δs 의 영향을 고려해 구할 수 있다. 만약 $Z_T(I, s) = \bar{Z}(I, s) + Z(s)$ 라 놓으면 $Z_T(I, s)$ 을 동작점 (I_0, ω_0) 을 중심으로 해서 Taylor 급수로 전개할 수 있다.

$$Z_T(I, s) = Z_T(I_0, s_0) + \left. \frac{\partial Z_T}{\partial s} \right|_{s_0, I_0} \delta s + \left. \frac{\partial Z_T}{\partial I} \right|_{s_0, I_0} \delta I = 0 \tag{7}$$

여기서 $s_0 = j\omega_0$ 이다. 따라서, 발진이 일어나면 $Z_T(I_0, s_0) = 0$ 이고 $\frac{\partial Z_T}{\partial s} = -j\left(\frac{\partial Z_T}{\partial \omega}\right)$ 을 이용하여 $\delta s = \delta\alpha + j\delta\omega$ 을 구할 수 있다.

$$\delta s = \left. \frac{-\partial Z_T / \partial I}{\partial Z_T / \partial s} \right|_{s_0, I_0} \delta I = \frac{-j(\partial Z_T / \partial I)(\partial Z_T^* / \partial \omega)}{|\partial Z_T / \partial \omega|^2} \delta I \tag{8}$$

또한 발진기를 안정하게 하기 위해선 식(8)의 허수부가 음수가 되어야 하고 이는 식(9)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Z_T \partial Z_T^*}{\partial I \partial \omega} \Big|_{I=I_0, \omega=\omega_0} < 0$$

또는

$$\frac{\partial R_T}{\partial I} \Big|_{I=I_0} \frac{\partial X_T}{\partial \omega} \Big|_{\omega=\omega_0} - \frac{\partial X_T}{\partial I} \Big|_{I=I_0} \frac{\partial R_T}{\partial \omega} \Big|_{\omega=\omega_0} > 0 \tag{9}$$

여기서 $Z_T = R_T + jX_T, R_T = R + \bar{R}, X_T = X + \bar{X}$ 이다.
 수동부하인 경우, 일반적으로 $\partial R/\partial I = \partial X/\partial I = \partial R/\partial \omega = 0$ 임으로 식(9)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial I} \Big|_{I=I_0} \frac{\partial}{\partial \omega} (X + \bar{X}) \Big|_{\omega=\omega_0} - \frac{\partial \bar{X}}{\partial I} \Big|_{I=I_0} \frac{\partial \bar{R}}{\partial \omega} \Big|_{\omega=\omega_0} > 0 \tag{10}$$

따라서 식(10)을 만족하기 위해선 $\partial \bar{R}/\partial I > 0$ 이고 $\partial(X + \bar{X})/\partial \omega \gg 0$ 이어야 한다.

또한 선형 부하 임피던스와 비선형 부하 임피던스를 그림 2와 같이 복소 평면상에 나타낼 수 있고, 각각은 부하 라인 및 디바이스 라인으로 표현된다. 여기서 두 선이 교차하는 임의의 한 점은 동작점이 되고, 안정한 발진을 하기 위해서는 교차하는 선의 각 θ 가 $0 < \theta < \pi$ 구간에 존재해야 한다.

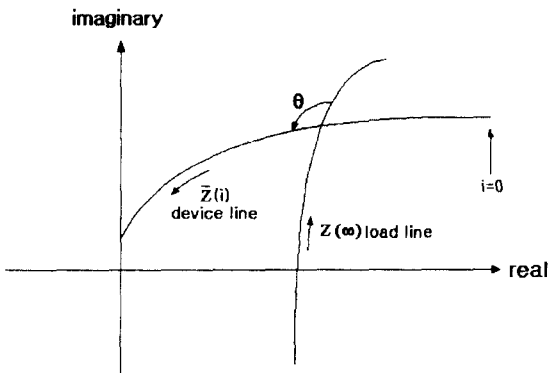


그림 2. 임피던스 평면에서의 발진 조건.

Fig. 2. The oscillation condition in the impedance plane.

2. 구형 도파관을 이용한 발진기

일반적으로 부성 저항 발진기는 그림 3에 나타난 것처럼 구형 도파관을 이용하여 역학적으로 간단히 구성할 수 있다^[4].

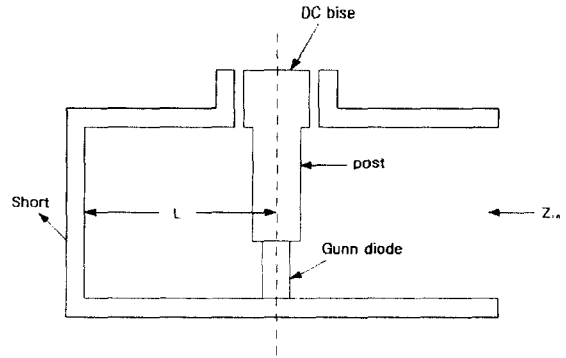


그림 3. 도파관 발진기 구조.

Fig. 3. The structure of a rectangular waveguide oscillator.

여기서 지지대는 Gunn 다이오드를 지지하며 DC 바이어스를 공급해주는 기계적인 역할을 수행하고 L 은 단락판에서 지지대까지의 거리를 나타낸다. 또한 도파관 전체 단면을 통해 전송되는 전력과 단면의 한 선상에서의 등가 전압과의 관계로부터 얻어진 도파관의 특성 임피던스는 발진기 해석에 사용될 도파관의 특성 임피던스로 사용되며, 그림 4는 그림 3의 등가회로를 나타낸 것이다.

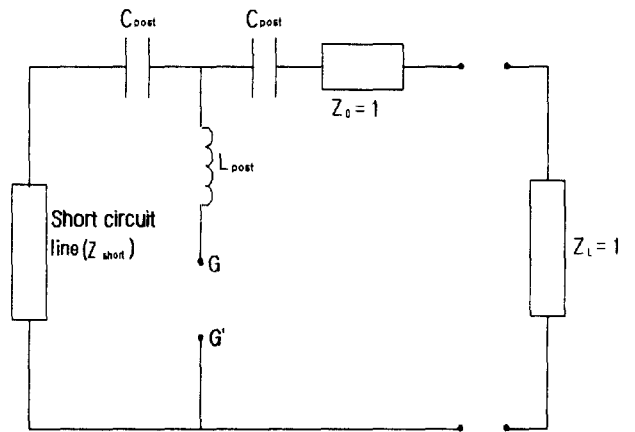


그림 4. 도파관 발진기의 등가회로.

Fig. 4. The equivalent circuit of a rectangular waveguide oscillator.

그림 4에서 $G-G'$ 는 Gunn 다이오드가 위치하는 곳이고 $C_{post} = -j\bar{X}_{C_{post}}$, $L_{post} = j\bar{X}_{L_{post}}$ 그리고 $Z_{short} = j\tan \theta$ 이다. 여기서 $\bar{X}_{C_{post}}$ 와 $\bar{X}_{L_{post}}$ 는 구형 도파관의 크기와 지지대의 반경 R 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{X_{C_{nat}}} = \frac{a}{\lambda_g} \left(\frac{2\pi R}{a} \right)^2 \quad (11)$$

$$\overline{X_{L_{nat}}} = \frac{a}{2\lambda_g} \ln \frac{2a}{\pi R} \quad (12)$$

식(11)과 (12)에서 λ_g 는 관내 파장이고 a 는 도파관의 x 방향으로의 크기, b 는 도파관의 y 방향으로의 크기 그리고 R 은 지지대의 반경이고, 지지대는 도파관의 중앙에 존재하고 $a > R$, $\lambda_g > R$ 일 때 성립한다.

또한 일반적으로 Gunn 다이오드의 임피던스는 수 Ω 에 불과하기 때문에 그림 4에서 $G-G'$ 는 단락된 것으로 가정할 수 있고, 따라서 Gunn 다이오드가 위치해 있는 지점을 기준으로 어드미턴스 Y 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Y = \frac{1}{1 - jX_{C_{nat}}} + \frac{1}{jX_{L_{nat}}} + \frac{1}{j(\tan \theta - X_{C_{nat}})} \quad (13)$$

여기서, 식(13)은 발진 조건에 의해 허수부가 0이 되어야 함으로 θ 는 다음과 같다.

$$\tan \theta = \frac{(2\overline{X_{L_{nat}}} - \overline{X_{C_{nat}}})\overline{X_{C_{nat}}}^2 + \overline{X_{L_{nat}}} - \overline{X_{C_{nat}}}}{(\overline{X_{L_{nat}}} - \overline{X_{C_{nat}}})\overline{X_{C_{nat}}} - 1} \quad (14)$$

여기서 θ 는 전기적인 각도로서 지지대에서 단락판까지의 길이를 L 이라고 할 때, $\theta = \frac{2\pi L}{\lambda_g}$ 로 주어지고 식(11)과 (12)에 지지대의 실제 크기를 대입하면 식(14)은 λ_g 의 함수로 표시된다. 따라서 λ_g 을 구할 수 있으며, 또한 TE_{10} mode의 발진 주파수 f 에 대한 식(15)을 이용하여 발진 주파수를 구할 수 있다.^[2]

$$f = c \left[\left(\frac{1}{\lambda_g} \right)^2 + \left(\frac{1}{2a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

실제 발진시에 지지대는 거의 단락판으로 작용하고, 따라서 L 은 $\frac{\lambda_g}{2}$ 의 정수배에 가깝게 된다. TE_{10} mode로 발진할 때, $\lambda_g \approx 2L$ 이 되고 따라서 $\theta \approx \pi$ 가 된다.

3. 도플러 레이더 센서의 수신원리^[1]

도플러 레이더 센서 시스템의 속도 측정 원리는 신호원과 관찰자가 동일지점에 있고 전파가 움직이는 물체에 부딪쳐서 주파수변화를 나타낼 때, 신호원의 주파수와 움직이는 물체의 속도와 주파수를 이용해 도플러효과에 의한 천이 주파수를 다음으로 나타낼 수 있다.

$$f_d = \frac{2v}{c} f_0 \quad (16)$$

여기서 f_d 는 도플러 천이 주파수이고 v 는 이동물체의 속도, c 는 광속, f_0 는 송신기의 송신주파수 이다.

또한 SBD로 구성된 도플러 레이더 센서 수신기는 호모다인 검파 방식을 이용하여 도플러 천이 주파수를 검출할 수 있으며, 그림 5에 도플러 천이 주파수 검출 원리에 대한 블록도를 나타내었다.

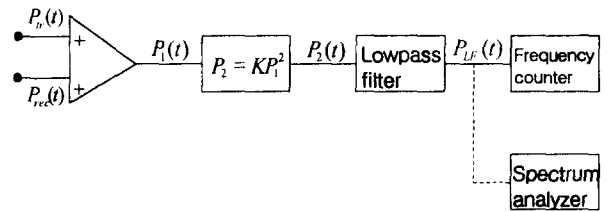


그림 5. 도플러 천이 주파수의 검출 원리 .

Fig. 5. The detection principle of the Doppler shift frequency.

도플러 레이더 센서의 수신 원리는 도플러 레이더 센서 송신기의 출력의 일부분을 국부 발진기 전력으로 사용하여 이동 물체에 의해 반사된 신호 즉, 도플러효과에 의해 주파수 천이된 수신 신호와 국부 발진기 신호를 혼합기를 통해 혼합시킴으로서 도플러 천이 신호만을 얻을 수 있다. 여기에 사용되는 검파 원리는 호모다인 검파 방식으로 이는 송신 주파수와 국부 발진기 주파수가 같기 때문이다. 일반적으로 송신 주파수가 GHz 구간일 때, 도플러 천이 주파수는 kHz 구간에 놓이게 되고 상대적으로 낮은 천이 주파수는 쉽게 얻을 수 있다.

도플러 레이더 센서 송신기의 송신 신호는 식(17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_n(t) = P_{tr} \cos(2\pi f_0 t + \varphi_{tr}) \quad (17)$$

여기서 P_{tr} 은 송신신호의 진폭이고 φ_{tr} 은 송신신호의 위상을 나타낸다.

또한 이동 물체에 의해 도플러 천이된 수신 신호는 다음과 같다.

$$P_{rec}(t) = P_{rec} \cos[2\pi (f_0 + f_d) t + \varphi_{rec}] \quad (18)$$

여기서 P_{rec} 는 수신신호의 진폭을 나타내고 φ_{rec} 는 수신신호의 위상 그리고 f_d 는 도플러 천이 주파수이다.

그림 5에서처럼 수신 신호와 송신 신호가 서로 중첩되어 비선형 요소 즉, 제곱연산을 수행하는 SBD에 공급되

면 송수신 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_1(t) = P_{rec}(t) + P_{tr}(t) \quad (19)$$

$$P_2(t) = KP_1^2(t) = K[P_{rec}^2(t) + 2P_{rec}(t)P_{tr}(t) + P_{tr}^2(t)] \quad (20)$$

여기서 K 는 SBD의 비례상수이고, $P_2(t)$ 는 SBD의 출력신호이고 이는 DC 성분뿐만 아니라 많은 신호 성분들로 구성되어 있기 때문에 저역통과 여파기를 이용하여 식(21)에 나타낸 것처럼 고주파 성분들을 제거하고 저주파인 도플러 천이 주파수를 분리해 낼 수 있다.

$$P_{LF}(t) = \frac{K}{2} \{ P_{tr}^2 + P_{rec}^2 + 2P_{tr}P_{rec} \cos [2\pi f_d t + (\varphi_{rec} - \varphi_{tr})] \} \quad (21)$$

여기서 $P_{LF}(t)$ 는 저역통과 여파기의 출력 신호이다.

III. 도플러 레이더 센서 시스템 제작 및 실험

1. 도플러 레이더 센서 시스템 제작

지지대와 단락판으로 구성된 발진기용 캐비티(cavity)에 정합부하가 연결될 때, TE_{10} mode에서 발진조건은 지지대와 단락판까지의 거리가 대략 관내 파장의 반이 될 때 만족한다. 실제로 식(14)와 $\theta = 2\pi L/\lambda_g$ 의 관계를 이용하여 10.525GHz에서 발진하는 발진 주파수에 대한 파장 λ_g 에 대하여 지지대와 단락판까지의 거리를 계산해본 결과, 길이 L 은 1.823cm이었다. 대략 발진조건은 지지대와 단락판 사이의 거리가 $\lambda_g/2$ 일 때 만족함을 확인할 수 있다. 또한 이동 물체에 의해 반사되어 되돌아오는 수신 신호와 국부 발진기 신호를 혼합시키는 SBD의 위치는 전계가 최대가 되는 곳, 즉 Gunn 다이오드에서 대략 $\lambda_g/4$ 떨어진 거리에 설치했다. 이와 같이 SBD에 의해 혼합된 출력 신호는 그림 6에 나타낸 도플러 레이더 센서 시스템의 블록도상의 신호처리 부분을 거쳐 속도로 표시되는데, 이때 시스템 설계의 목표치는 100m 떨어진 거리에서 최대 200km/h의 측정치를 갖도록 하는 것이다. 또한 도플러효과를 이용해 속도를 측정함에 있어, 0~200km/h에 대응하는 도플러 천이 신호 f_d 는 0~3900Hz의 낮은 음성 주파수대의 저주파 신호로 신호처리를 쉽게 할 수 있다. 따라서 기본적인 신호처리 단은 신호를 증폭하는 증폭기와 파형 정형 회로 및 주파수 카운터로 구성되는 카운터 방식과 F-V 컨버터를 이용한 F-V 컨버터 방식으로 구성할 수 있지만, 카운터 방식은 저속의 경우 빠른 계수를 할 수 없기 때문에 reciprocal 방식을 필요로 한다. 이에 비해 입력의 교류 신호를 주파수에 비례하는 직류 출력으로 변환하는 F-V 컨버터를 이용해 비교적 간단히 도

플러 천이 주파수를 속도로 환산하여 나타낼 수 있다.

그림 6에 나타낸 블록도의 증폭단에서는 낮은 수신 출력 신호를 증폭하고, 잡음의 영향을 줄이기 위해 전치 증폭기에는 잡음 특성이 좋은 트랜지스터를 사용하였다^[5]. 또한 증폭기 출력 신호는 아날로그 비교기를 이용해 구형파로 파형을 정형시켜 이를 PLL(phase locked loop)의 입력으로 인가함으로써 주파수 성분을 쉽게 얻을 수 있다^[6]. 이때 사용된 PLL 방식은 CD4046을 이용하여 S/N이 열화될 시점에 VCO신호를 홀드시키는 방법을 사용했고 따라서 이와 같은 방식을 이용함으로써, 이동 물체로부터 얻어진 도플러 천이 신호에 포함되어 있는 여러 가지 주파수 성분의 영향에 관계없이 주 신호원을 얻을 수 있었다. 이렇게 얻은 PLL의 출력 신호는 RC 4151을 사용한 F-V 컨버터로 입력되는데, 이때 RC4151의 선형성은 IC에 의해 결정되고 전체 스케일 인자는 저항 R과 커패시터 C를 이용해 설정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 200km/h를 2.00V에 대응하도록 R과 C를 계산했다. 결국, 도플러 천이 주파수는 F-V 컨버터를 통해 DC로 변환되고 변환된 DC는 다시 A/D 변환기를 거쳐 속도로 표시되었고, 그림 7은 실제 제작된 도플러 레이더 센서 송수신기를 보여주고 있다.

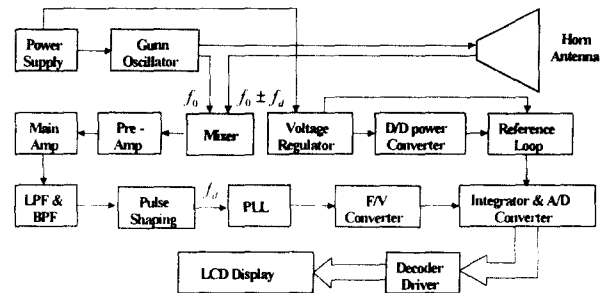


그림 6. 도플러 레이더 센서 시스템의 블록도.

Fig. 6. The block diagram of the Doppler radar sensor system.

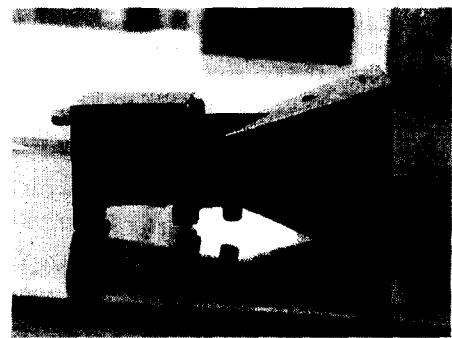


그림 7. 도플러 레이더 센서 송수신기.

Fig. 7. The transmitter and receiver of the Doppler radar sensor.

2. 도플러 레이더 센서 시스템의 특성 실험

도플러 레이더 센서 송신기의 발진 주파수와 출력을 측정하기 위해, directional coupling 방법으로 스펙트럼 분석기에 연결하였다. 발진 주파수의 측정은 지지대와 단락판까지의 거리를 변화시켜가면서 송신기의 발진 주파수가 10.525GHz에서 안정한 발진을 하도록 하였다. 그림 8은 10.525GHz의 발진 주파수를 보여주고 있다. 이때 지지대와 단락판사이의 거리는 1.735cm로 이론상으로 구해진 거리와 실제 실험적으로 얻은 거리는 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 설계를 정확히 한다고 하더라도 온도나 바이어스 등의 변화에 따라 발진 주파수의 변동이 있을 수 있기 때문에 실제 설계를 할 때에는 이러한 변화 요인들을 고려하여 지지대와 단락판사이의 거리가 관내 파장의 반 파장보다 약간 작게 하는 것이 필요하다^[3]. 또한 도플러 레이더 센서 송신기의 발진 주파수가 10.525GHz일 때 출력은 -31.33dBm으로 측정되었다.

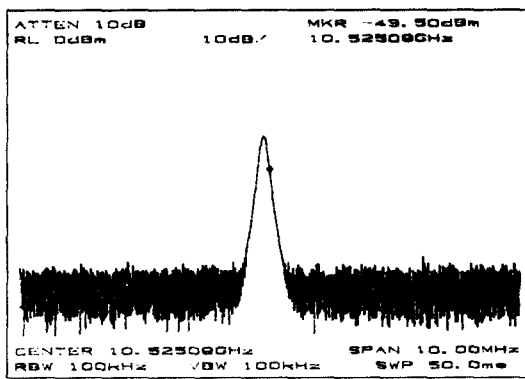


그림 8. 도플러 레이더 센서 송신기의 발진 주파수.
Fig. 8. The oscillated frequency of the Doppler radar sensor transmitter.

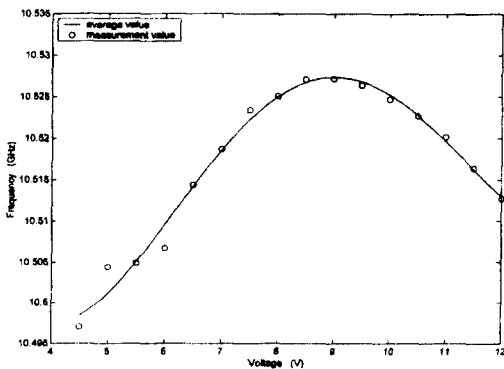


그림 9. 도플러 레이더 센서 송신기의 전압 대 주파수.
Fig. 9. The voltage vs. frequency graph of the Doppler radar sensor transmitter.

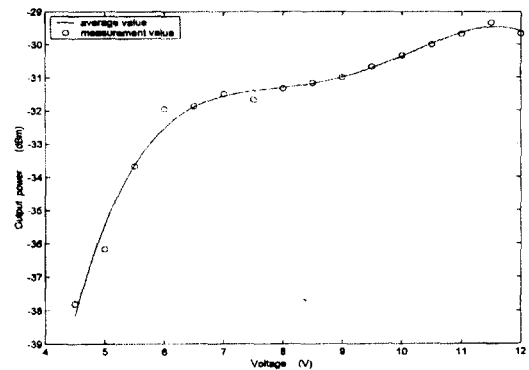


그림 10. 도플러 레이더 센서 송신기의 전압 대 출력.
Fig. 10. The voltage vs. power graph of the Doppler radar sensor transmitter.

그림 9는 도플러 레이더 센서 송신기의 전압에 대한 발진 주파수 변화를 나타내고 있다. 이는 인가 전압을 0V에서 12V까지 0.5V 씩 변화시켜가면서 발진 주파수를 측정한 결과를 나타내고 있으며, 그림 10은 이때의 전압에 대한 출력의 변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 구동 전압이 8V일 때, 10.525GHz로 발진하고 또한 8V 근처에서 출력의 변화가 안정화되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제작한 도플러 레이더 센서 시스템의 구동 전압은 8V로 설정하였다.

3. 이동 물체의 속도 측정

도플러 레이더 센서 시스템을 이용하여 이동 물체의 속도를 측정하기 위해 제작된 실험용 이동 물체는 DC 모터를 이용하여 반사판이 달린 이동 물체를 일정한 구간에 걸쳐 직선 왕복 운동하는 것과 일정한 간격으로 반사판이 달린 원통을 회전시켜 구현하였다. 먼저 직선 왕복 운동을 하는 이동 물체를 이용해 이동 물체가 도플러 레이더 센서에 가까워 질 때와 멀어 질 경우, 검출된 도플러 천이 신호를 측정하였고, 그림 11에 측정된 도플러 천이 신호와 비교기 출력 신호를 나타내었다. 또한 원통으로 제작된 이동 물체를 이용한 속도 측정은 이동 물체의 속도를 변화시켜가면서 측정하였으며, 그림 12에 이론적으로 계산된 속도와 실제로 측정된 속도를 비교한 결과를 나타내었다. 그림 12에서 보는 바와 같이, 도플러 천이 주파수가 1100Hz일 때, 이론적으로 계산된 속도는 56.4km/h였고, 실제 측정된 속도는 57.1km/h였다. 이때 실제 측정된 속도와 이론적으로 계산된 속도에 대한 측정 오차는 1.24%이었다. 그림 13은 실제 제작된 도플러 레이더 센서 시스템의 신호처리 모듈을 통해 표시된 속도를 보여주고 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 속도 측정 도플러 레이더 센서 시스템을 설계·제작하여 이동 물체의 속도를 측정하였다. 도플러 레이더 센서 시스템의 송신기의 주파수 발진은 지지대와 도파관의 단락판 사이의 거리가 대략 $\lambda_g/2$ 가 될 때 발진하는 것을 알 수 있었고, 이때 발진 주파수는 X-밴드 대역인 10.525GHz 그리고 출력 전력은 -31.33dBm으로 측정되었다. 또한 SBD로부터 도플러 천이 신호는 적절히 구성된 전자회로를 통하여 잡음 성분이 제거된 순수 신호 성분을 얻을 수 있었으며, 도플러 레이더 센서 시스템으로 측정한 이동 물체의 속도는 도플러 천이 주파수가 1100Hz일 경우, 57.1km/h였고 이 경우, 이론적으로 계산된 속도는 56.4km/h였다. 따라서 측정 속도와 이론적으로 계산된 속도에 대한 측정오차는 1.24%이었다.

따라서, 본 논문에서 제작한 속도 측정 도플러 레이더 센서 시스템은 ITS을 구축하는데 필수적인 AVS에 적용되어 차량의 속도를 측정하는데 이용할 수 있을 뿐만 아니라 고가 크레인들의 충돌 방지 센서 시스템 등에 활용할 수 있을 것이다. 하지만, 실제로 AVS에 속도 측정 도플러 레이더 센서 시스템을 적용시키기 위해서는 마이크로파를 이용한 속도 측정 도플러 레이더 센서 시스템의 주파수 범위보다 높은 밀리미터파를 이용해 불필요한 반사로 인한 오동작 및 간섭문제와 고속 응답에 대하여 향상된 센서 시스템에 대한 연구가 수행되어야만 할 것이다.

접수일자 : 2001. 2. 17 수정완료 : 2001. 3. 30

참 고 문 헌

- [1] H. J. Chaloupka, Physical Principles of Microwave Technology, Leybold Didactic GmbH.
- [2] Samuel Y. Liao, Microwave Devices & Circuits, Prentice-Hall, Inc., 1990.
- [3] Morris Tischler, Microwave communications SIP 365AM", Science Instruments Co., 1988.
- [4] David M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, Inc., 1990.
- [5] Robert F. Coughlin and Frederick F. Driscoll, Operational Amplifiers and linear Integrated Circuits, Prentice Hall, Inc., 1991.
- [6] Howard M. Berlin, Design of Phase-Locked Loop Circuits, Howard W. Sams & Co., inc., 1978.

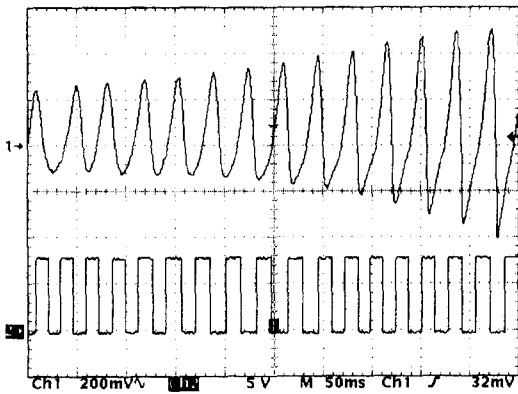


그림 11. 검출된 도플러 천이 신호와 비교기 출력 신호.
Fig. 11. The detected Doppler shift signal and the comparator output signal.

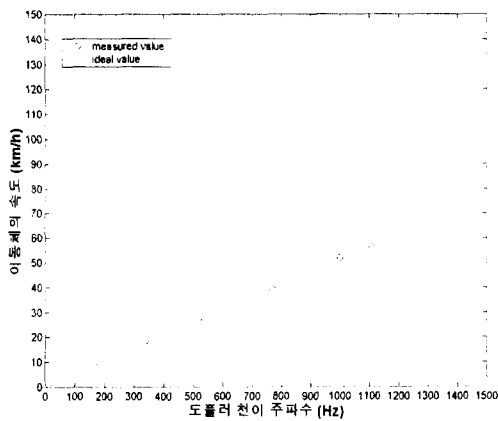


그림 12. 측정된 도플러 천이 주파수로 구한 속도와 제작된 센서 모듈을 통해 표시된 속도의 비교.
Fig. 12. The comparison of displayed velocity by the fabricated sensor module and velocity calculated with the measured Doppler shift frequency.

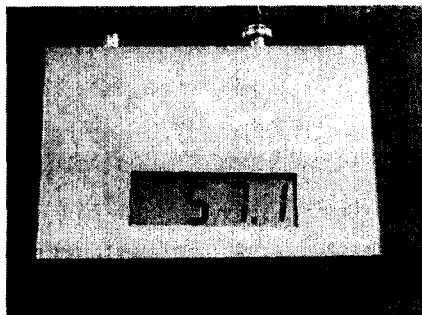


그림 13. 센서 모듈을 통해 표시된 속도 예.
Fig. 13. An example of the displayed velocity by the fabricated sensor module.



장남영(Nam Young Jang)

正會員

1998년 창원대학교 전자공학과 공학사

2001년 창원대학교

전기전자제어공학과 공학석사

2001년~현재 창원대학교

전기전자제어공학과 박사과정

관심분야: 섬유광학, 광센서, 광신호처리



은재정(Jae Jung Eun)

正會員

1982년 연세대학교 전자공학과 공학사

1986년 연세대학교 전자공학과

공학석사

1994년 연세대학교 전자공학과

공학박사

현재 창원대학교 전자공학과 교수

관심분야: 광 계측, ESPI, 광섬유 센서, 광정보처리



최평석(Pyung Suk Choi)

正會員

1978년 성균관대학교 전자공학과

공학사

1980년 연세대학교 전자공학과

공학석사

1985년 연세대학교 전자공학과

공학박사

1979년 3월~1986년 2월 유한공업전문대학 전자과

조교수

1986년 3월~현재 창원대학교 전자공학과 교수

관심분야: 광신호처리, 광섬유 센서