

논문 2005-42TC-7-7

# 단일 안테나를 사용하는 W-대역 호모다인 FMCW 레이더의 누설신호에 의한 IF 잡음에 관한 연구

(Studies on IF noise caused by transmitter signal leakages of the  
W-band homodyne FMCW radar with a single antenna configuration)

박 정 동\*, 김 완 주\*

(Jung-Dong Park and Wan-Joo Kim)

## 요 약

본 논문은 단일 안테나를 사용한 호모다인 방식의 W-대역 주파수 변조 연속파형(FMCW) 레이더 송수신장치의 송수신단 간의 신호 결합에 의해서 발생하는 누설에 의한 IF 잡음의 특성을 분석하여 이를 효과적으로 제거할 수 있는 방안을 제시한다. 송수신장치에서 발생하는 누설은 LO 신호의 지연시간을 안테나 입력단의 부정합으로 인해서 발생하는 반사전력의 지연시간과 일치시켜 그 크기를 줄일 수 있다. 또한, 중간주파수(IF) 잡음은 주기적인 특이점을 가진 신호로써 VCO의 삼각파변조신호와 매우 유사한 스펙트럼 형태를 가짐을 확인하였다. 분석된 결과를 바탕으로 W-대역 호모다인 FMCW 레이더 센서를 구현하였으며, 표적감지 및 비트신호 검출 시험을 성공적으로 수행하였다. 본 분석 결과는 단일 안테나를 사용하는 호모다인 FMCW 레이더의 설계에 유용하게 적용될 것이다.

## Abstract

In this paper, we describe a solution to improve the effects of the transmitter leakage signals on the frequency modulated continuous wave (FMCW) radar with a single antenna configuration. We analyze characteristics of the IF noise caused by insufficient isolation between transmitter and receiver. The magnitude of the intermediate frequency (IF) noise from a front-end can be reduced by matching the LO signal delay time with that of the largest leakage source. Because the IF noise has periodic singularities at  $nT_m/2$ ,  $t=0,1,2,\dots$ , we find that spectrum of the IF noise due to the leakage signals is very similar to that of the VCO modulation signal except low frequency elements in the vicinity of DC. Based on the studies, we fabricated a W-band homodyne FMCW radar sensor and verified the proposed solution. The results are applicable to design of the homodyne FMCW radar with a single antenna configuration.

**Keywords :** FMCW radar, Leakage, Single antenna

## I. 서 론

주파수 변조 연속파형(FMCW) 레이더는 연속파형 신호를 주파수 변조하여 안테나를 통해 표적에 방사한 후, 표적에서 반사된 신호를 수신하여 전파의 시간지연에 따른 송신신호와 수신신호의 주파수 차이를 이용함

으로써 표적과의 거리를 측정하고, 수신되는 전력을 비교하여 표적의 유무를 감지한다<sup>[1]</sup>.

단일 안테나를 사용한 호모다인 FMCW 레이더는 구조가 간단하므로 소형화된 근거리 감지용 능동 센서를 구현할 수 있다. 본 방식을 응용한 장치로는 근거리 감지센서 및 전파 고도계, 차량용 충돌방지장치 등, 그 사용 범위가 광범위하다<sup>[2]</sup>.

레이더 센서를 소형화하기 위해서는 단일 안테나를 송수신 공용으로 이용해야한다. 그러나 단일 안테나를

\* 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

접수일자: 2005년1월25일, 수정완료일: 2005년7월6일

사용하는 호모다인 방식의 FMCW 송수신장치는 송신 신호와 LO 신호가 동일하고 연속파형을 송신신호로 사용하기 때문에 송수신단 간의 신호 누설문제가 심각하고<sup>[3]</sup>, 송수신장치에서 큰 IF 잡음을 아날로그신호처리부로 발생시키게 된다.

이러한 송신신호 누설에 따른 영향을 배제하기 위한 방안으로 안테나 입력단의 부정합으로 인해서 발생하는 반사전력에 대하여 크기가 동일하고 위상이 반대인 신호를 RPC(Reflected Power Canceller)를 이용해서 생성시킨 후, 이를 이용하여 수신단으로 누설된 반사전력을 상쇄시키는 방법이 널리 사용되고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 이 방식은 RPC 자체를 소형화하여 구현하기가 매우 곤란하기 때문에 저비용의 소형 능동 센서용 레이더에 사용할 수가 없다. 본 논문은 단일 안테나를 송수신 공용으로 사용한 호모다인 FMCW 방식 레이더 센서에 송신신호의 누설에 의해 발생하는 IF단의 잡음 특성을 분석하여 효과적으로 누설의 영향을 개선할 수 있는 방안을 제안하였다. 본 방안은 기존의 RPC 방식에 비해서 구현이 용이하기 때문에 소형화된 단일 안테나를 사용하는 FMCW 레이더 센서를 구현할 수 있도록 한다. 이를 검증하기 위하여 본 방식을 적용한 W-대역 호모다인 FMCW 레이더 센서를 제작하여 송신신호 누설에 의한 IF 잡음 제거 효과를 확인한다.

## II. 본 론

### 1. 호모다인 FMCW 방식 송수신장치

변조 주기가  $T_m$ 인 삼각파 신호의 선형 FM 신호 ( $f(t)$ )는 다음과 같이 표현된다<sup>[5]</sup>.

$$f(t) = f_0 + at \quad (\text{Hz}), \quad 0 \leq t \leq T_m/2 \quad (1)$$

여기서  $f_0$ 는  $t = 0$ 일 때의 송신주파수,  $a$ 는 변조신호의 주파수 기울기 (Hz/sec)이다.

그림 1로부터,  $a$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a = \frac{f(t) - f_0}{t} = \frac{2B_{vco}}{T_m} = \frac{f_b}{\tau_d} \quad (\text{Hz/sec}) \quad (2)$$

여기서  $B_{vco}$ 는 VCO의 주파수 변조 대역폭

$f_b$ 는 IF단의 비트주파수

$\tau_d$ 는 거리에 따른 송수신신호의 지연 시간

변조 주파수가  $f_m$ 인 삼각파 신호를 변조 대역폭  $B_{vco}$ 로 주파수 변조할 때, FMCW 레이더의 비트주파수( $f_b$ )

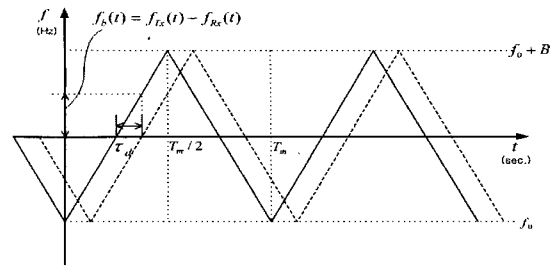


그림 1. FMCW 레이더의 시간-주파수 다이어그램.  
Fig. 1. Time-frequency diagram in the FMCW radar system.

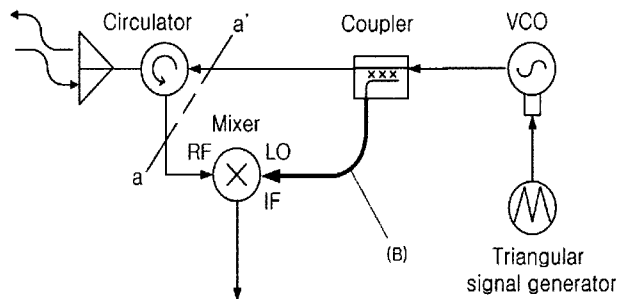


그림 2. 호모다인 FMCW 송수신장치의 블록도.  
Fig. 2. Block diagram of FMCW front-end.

는 표적의 감지 거리( $R$ )와 다음과 같은 관계에 있다.

$$f_b = \frac{4B_{vco}f_m}{c} R \quad (3)$$

여기서  $c$ 는 전파의 진행속도이다.

한편, 송수신장치를 통해서 수신되는 표적 신호의 크기( $P_{Rx}$ )는 거리에 따라서 수식 (4)와 같이 계산된다.

$$P_{Rx} = \frac{P_{Tx(avg)}G^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3R^4L_a} \quad (\text{W}) \quad (4)$$

여기서  $P_{Tx(avg)}$ 는 송신 출력

$G$ 는 안테나 이득

$\lambda$ 는 송신되는 전파의 파장

$\sigma$ 는 표적의 radar cross section (RCS)

$L_a$ 는 대기 중 전자파의 감쇄

$R$ 은 표적과의 거리

이와 같이, 안테나가 응시하는  $\sigma$ 의 크기에 따라 수신되는 전력의 크기가 달라지므로 응시 방향에 따른 수신 전력의 크기를 비교함으로써 표적의 유무를 감지할 수 있다.

그림 2는 호모다인 송수신장치의 블록도이다. 송수신 장치는 기준 삼각파 신호를 입력받아서 이를 주파수 변

조하여 송신신호를 발생시키는 전압조정발진기(VCO)와 표적으로부터 반사되어 입력된 수신신호를 기준 신호인 국부 발진기(LO) 신호와 혼합하여 비트신호를 발생시키는 주파수혼합기, 그리고 VCO에서 발생시킨 송신신호의 일부를 LO 신호로 이용하도록 하는 결합기로 구성되어 있으며, 단일 안테나를 통해서 송수신 기능을 담당하게 할 수 있도록 서클레이터를 사용하였다.

2. 송신신호 누설 원인 및 감소 방안

그림 3은 삼각파를 변조신호로 사용하는 호모다인 FMCW 송수신장치의 IF포트에서 출력되는 신호를 오실로스코프로 측정된 것이다. 표적에 의한 비트신호에 비하여 송신신호의 누설에 의한 IF 잡음이 매우 크게 발생하고 있다. 송신신호의 누설에 의한 IF 잡음은 변조신호와 동일한 위치에서 특이점을 발생하기 때문에 주파수 스펙트럼에서 볼 때 무한수의 고조파 성분을 형성한다. 특이점의 위치가  $t = nT_m/2, n = \dots -1, 0, 1, \dots$ 에서 주기적으로 발생하므로 Fourier 변환하여 관찰되는 IF 잡음 스펙트럼은  $f_m$ 의 고조파성분의 합으로 표현된다. 이러한 IF 잡음의 저주파성분은 IF 회로의 차단 저잡음 증폭기(LNA)를 포화시키고, 고주파성분은 비트신호의 통과 대역에 존재하여 표적 비트신호의 감지를 저하시키는 주요 원인이 되기 때문에 가능한 누설신호의 크기가 작도록 송수신장치를 구현해야한다.

IF 잡음을 모델링하기 위해서 회로망 분석기를 사용하여 그림 2의 a'와 a 양단을 각각 포트 1과 포트 2로 정하여서 누설전력의 크기와 그 지연 시간을 그림 4와 같이 측정하였다. 지연 경로가 다른 두 종류의 송신신호 누설이 수신단으로 발생하고 있는데, 그림 4의 (1)은 서클레이터에서 누설된 신호이고 (2)는 안테나의 부정합에 의한 송신신호의 반사파에 의한 것이다. 따라서 단일 안테나를 사용한 호모다인 송수신장치에서 발생하는 IF 잡음원은 송수신장치 자체의 임피던스 부정합 및 송수신단 사이의 서클레이터의 유한 격리도에 의해서 발생하는 송신신호의 누설로써, 송수신장치에서 발생하는 IF 잡음의 크기 및 형태는 각 누설경로에 따른 전파의 지연시간에 따라서 주파수 혼합기에서 생성되는 주파수가 매우 낮은 비트신호들의 합으로 결정된다.

송수신장치의 각 구성품의 측정치와 측정된 두 송신 누설신호의 지연 시간과 크기를 이용해서 상용 전산해석 소프트웨어인 ADS™를 이용해서 송수신장치를 모델링 한 후, IF출력 비트신호를 전산해석 하였다. 이때,

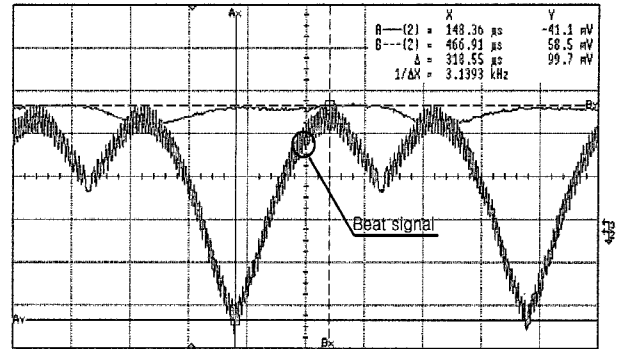


그림 3. 제작된 송수신장치의 IF 잡음 및 비트신호.  
Fig. 3. IF noise and beat signal of the implemented front-end.

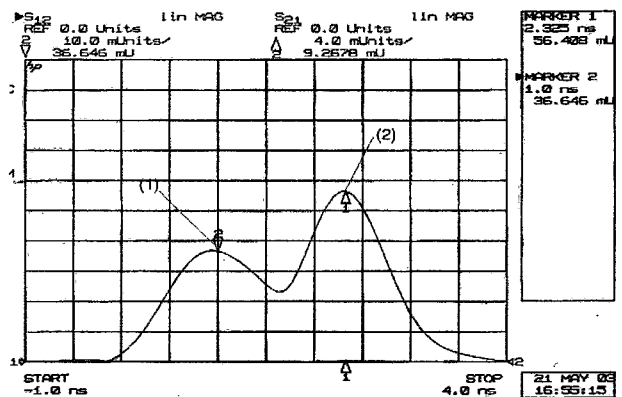


그림 4. 송수신장치의 측정된 누설신호의 지연시간 및 크기.  
Fig. 4. Delay time and magnitude of measured leakages of the implemented front-end.

전산해석 시간을 줄이기 위해서  $f_m = 100$  KHz으로 설정하였다. 그림 5의 (1)은 전산해석 모델의 IF포트 출력 신호로, 측정된 IF출력 신호인 그림 3과 비교할 때 그 크기와 형태가 잘 일치하고 있다. 이와 같이, IF 잡음은 혼합기의 LO 신호와 누설신호의 시간지연 사이의 지연 시간차 ( $\Delta\tau_{dLK} = |\tau_{LO} - \tau_{LK(b)}|$ )에 의해서 생성되는 누설 비트신호들의 합에 의해서 발생함을 확인할 수 있다.

수식 (2)의 지연시간에 대한 비트주파수의 관계식으로부터, 누설신호의 지연시간을  $\Delta\tau_{dLK} = \Delta r_{LK}/v_g$  라고 한다면 송신신호의 누설에 의한 비트주파수( $f_{LK(b)}$ )는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{LK(b)} = \frac{2B_{vco}}{T_m} \Delta\tau_{d(LK)} = \frac{2B_{vco}f_m}{v_g} |r_{LK(Tx)} - r_{LO}| \quad (5)$$

여기서  $r_{LK(Tx)}$ 는 송신신호의 누설이 VCO 출력 포트에서 혼합기의 RF 포트까지 경유한 지연거리 이고,  $r_{LO}$

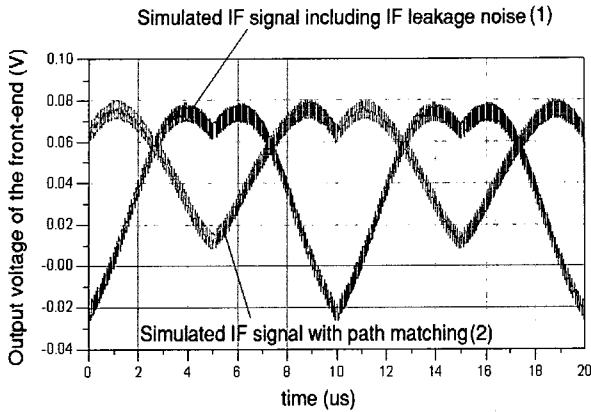


그림 5. 전산해석된 송수신장치의 IF출력신호.

Fig. 5. Simulated IF output signals of the modeled front-end.

는 LO 신호가 VCO 출력 포트에서 혼합기의 LO 포트까지 경유한 지연거리,  $v_g$ 는 도파관 내부 진행파의 진행속도이다.

수식 (5)로부터, 송수신장치의 방향성결합기와 주파수혼합기의 LO포트를 연결하는 그림 2-(B)의 도파관의 길이를 조정하여  $r_{LK(Tx)} = r_{LO}$ 가 되도록 하면 누설된 송신신호의 지연거리와 LO 신호의 경유 지연거리가 일치되기 때문에 이로 인한 비트주파수가 DC 성분이 되어 표적의 비트신호와 쉽게 분리할 수 있다. 그림5의 (2)는 송신 누설의 주원인인 단일 안테나 입력단의 부정합에 의한 반사전력의 경로와 LO 신호의 경로를 동일하게 했을 때, 발생하는 IF 잡음을 전산해석한 것이다. 누설 경로 일치로 인해서 유한 격리도에 의한 영향이 배제되었기 때문에 진폭의 크기가 원래 신호에 2/3의 크기로 줄어들었다. 그림 5의 두 파형을 비교 해보면, 경로가 정합된 IF 잡음의 오프셋 값이 커짐을 알 수 있다. 이는 정합된 누설원이 DC 성분을 발생하기 때문이다.

### 3. 송신신호 누설에 의한 IF 잡음분석 및 제거방안

호모다인 송수신장치에서 발생하는 누설에 의한 IF 잡음은  $t = nT_m/2, n = \dots -1, 0, 1, \dots$ 에서 주기적인 특이점을 발생하므로 변조신호로 사용된 삼각파와 스펙트럼의 형태가 유사해진다. 송신신호의 누설에 의한 비트신호는 지연시간이 매우 짧기 때문에  $f_m$ 보다 낮은 누설 비트주파수( $f_{Lkb}$ )들을 발생한다. 그림 5의  $T_m/2$  sweep 구간 내에 발생하는 곡선은 주기가 매우 긴 누설 비트신호의 일부이다. 따라서  $f_{Lkb}$ 가 낮아서 DC에 가까울수록,  $T_m/2$  sweep 구간 내에 형성되는 IF 잡음의 진폭이 작

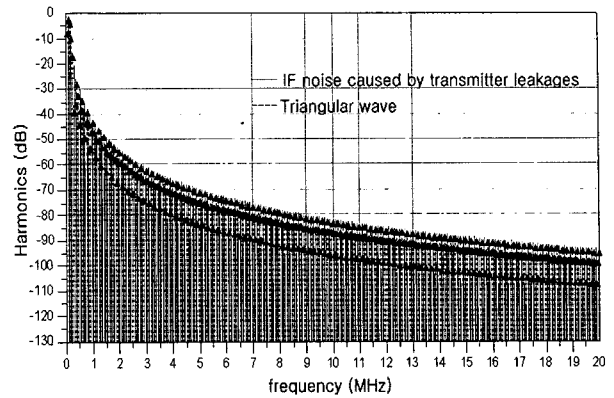


그림 6. 전산해석된 IF 잡음과 VCO 변조신호로 사용한 삼각파 간의 스펙트럼 비교.

Fig. 6. Comparison of spectrums between simulated IF noise and the triangular-wave used as a modulation signal.

아지게 된다. 한편, 동일한 크기의 송신신호 누설에 대해서 IF 잡음의 진폭이 최대가 되는 때는  $f_{Lkb} = f_m$ 이 되는 경우로,  $T_m/2$  sweep 구간에서 누설에 의한 비트신호의 최대값과 최소값이 모두 존재하게 된다.

누설신호에 의한 IF 잡음에서 특이점이 발생하는 원인은 다음과 같다. 삼각파의 상승 sweep 구간인  $t=0$ 와  $t=T_m/2$ 사이에서 누설된 송신신호의 지연시간과 누설 크기에 해당하는 비트신호를 발생하고, 하강 sweep 구간인  $t=T_m/2$ 에서  $t=T_m$ 사이에서 전과 동일한 대칭적인 형태의 비트신호를 발생시킨다. 이러한 상승 sweep 구간과 하강 sweep 구간에 따른 대칭점은  $t = nT_m/2, n = \dots -1, 0, 1, \dots$ 의 위치에서 VCO의 sweep과 함께 주기적으로 발생하게 된다. 누설신호의 비트신호의 대칭에 의한 특이점의 주기적인 특징으로 인해서, IF 잡음의 스펙트럼은 VCO 변조신호로 사용된 삼각파 변조신호의 주파수 스펙트럼과 매우 유사한 형태를 가진다. 그림 6은 생성된 IF 잡음을 Fourier 변환하여 얻은 스펙트럼을 정규화한 것으로, 동일한 진폭을 가지는  $f_m = 100$  KHz인 삼각파를 Fourier 변환 하여 얻은 스펙트럼과 비교한 것이다. 두 신호의 하모닉 전력이 거의 일치함을 확인할 수 있다. 따라서 IF 잡음의 진폭과 동일한 크기의 삼각파 신호를 이용하여 IF 잡음의 영향을 분석할 수 있다. 변조 주파수가  $f_m = \omega_m/2\pi$ 이고, 진폭이  $V_{LK0}$ 인 삼각파 신호  $v_{LK}(t)$ 는 다음과 같다.

$$V_{LK}(t) = \sum_{\substack{k=-\infty \\ \text{odd}}}^{\infty} F_k \exp(jk\omega_m t), \quad F_k = \frac{4V_{LK0}}{\pi^2 k^2} \quad (6)$$

시스템의 IF 입력임피던스가  $R$  일 때, 양의 주파수  $f$  에 대한 전력스펙트럼밀도( $S_{LK}(f)$ )는 다음과 같다.

$$S_{LK}(f) = \frac{2}{R} \sum_{\substack{k=1 \\ \text{odd}}}^{\infty} |F_k|^2 \delta(f - kf_m) \quad (7)$$

$$= \frac{32 V_{Lk0}^2}{R\pi^4} \sum_{\substack{k=1 \\ \text{odd}}}^{\infty} \frac{1}{k^4} \delta(f - kf_m)$$

여기서  $\delta(f)$ 는 임펄스 함수 이다.

수식 (7)과 같이, 삼각파 신호로 모델링된 IF 잡음의 고조파들의 전력 스펙트럼은 주파수가 낮아질수록  $(f/f_m)^{-4}$ 의 관계로 급격히 커지는 특성을 가진다.

아날로그신호처리장치의 감도가 IF 잡음의 영향을 받지 않기 위해서는 통과 대역 내에 있는 IF 잡음의 하모닉 성분의 크기가 시스템의 잡음 바닥 보다 낮아야 한다. 레이더 센서의 아날로그신호처리장치의 대역을 결정하는 대역통과여파기(BPF)는 차단주파수가  $f_{cl}$ 인 고역통과여파기(HPF<sub>BPF</sub>)와  $f_{cl}$ 인 저역통과여파기(LPF<sub>BPF</sub>)로 구현된다. 따라서 HPF<sub>BPF</sub>의 차단주파수가  $f_{cl}$ 이고, pole의 개수가  $x$  일 때 진폭이  $V_{Lk0}$ 인 IF 잡음의 주파수에 따른 전력 스펙트럼 크기  $P_{LK}(f)$ 는  $f_{cl}$ 를 기준으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{LK}(f)|_{f=f_m} = \begin{cases} P_{LK}(f_m) - 40 \log\left(\frac{f}{f_m}\right) - 20x \log\left(\frac{f}{f_{cl}}\right) & f < f_{cl} \\ P_{LK}(f_m) - 40 \log\left(\frac{f}{f_m}\right) & f > f_{cl} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 시스템의 IF 입력 임피던스가 50 Ω일 때,

$$P_{LK}(f_m) = 20 \log\left(\frac{8 V_{Lk0}}{\pi^2}\right) + 10 \quad (\text{dBm}) \quad (9)$$

수식 (8)으로부터, HPF<sub>BPF</sub>를 통과하여 저주파 성분이 제거된 IF 잡음 전력의 대부분은 HPF<sub>BPF</sub>의 차단주파수  $f_{cl}$  근방에 상존하는데, 통과대역에 존재하는 고주파 성분의 최대 전력  $P_{LK(\max)}$ 은  $f_{cl}$ 에 있으며 그 크기는 다음과 같다.

$$P_{LK(\max)} = P_{LK}(f_m) - 40 \log\left(\frac{f_{cl}}{f_m}\right) \quad (10)$$

이때  $f_{cl}$ 은 대역 평탄도를 고려하여 최소 감지거리( $R_{\min}$ )의 비트주파수  $f_{b(\min)}$ 로 정하기 때문에 수식(3) 및 수식 (10)으로부터,  $S_{LK(\max)}$ 를 낮추기 위해서는 높은 sweep 대역폭( $B_{vco}$ )을 갖는 VCO를 사용해야 함을

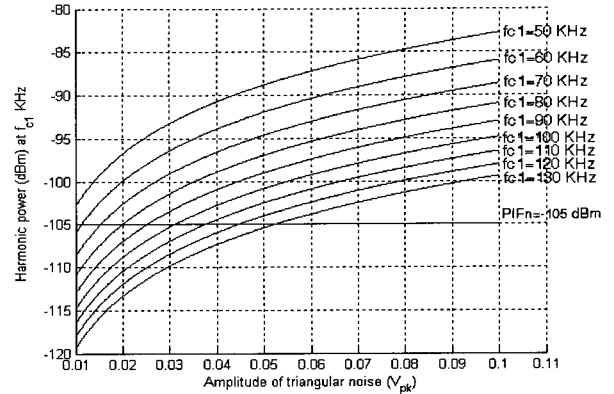


그림 7. IF 잡음의 크기에 따라 요구되는  $f_{cl}$ .  
Fig. 7. Required  $f_{cl}$  depending on the magnitude of the IF noise.

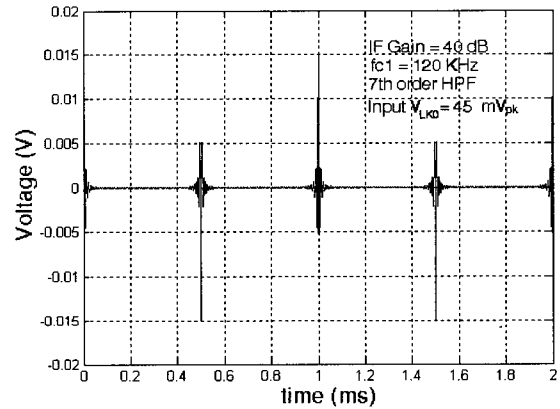


그림 8.  $f_{cl}$  근방의 IF 잡음에 의한 스파이크형태의 잡음.  
Fig. 8. Spike shape noise caused by the IF noise nearby  $f_{cl}$ .

알 수 있다.

그림 7은 IF 잡음의 크기에 따라서  $f_{cl}$ 에 존재하는 고주파 잡음의 전력크기를 HPF<sub>BPF</sub>의 차단주파수에 따라 계산한 것이다. 계산결과, IF 잡음을 모사한 삼각파의 크기가 45 mV<sub>pk</sub>일 때 IF 회로의 noise floor( $P_{FN}$ )가 -105 dBm 이하가 되기 위해서는 HPF<sub>BPF</sub>의 차단주파수  $f_{cl}$ 이 120 KHz 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

그림 8은 IF 회로의 전제이득이 40 dB이고,  $f_{cl}$ =120 KHz인 7 pole 특성을 갖는 HPF<sub>BPF</sub>를 통과한 IF 잡음을 시간축에서 계산한 파형을 도시한 것이다.

$f_{cl}$  주변의 고주파 성분으로 인해서 특이점이 발생했던  $t = nT_m/2, n=1,2,3...$ 에서 스파이크 모양의 잡음이 발생하고 있다. 이처럼 통과 대역내에서 고주파 성분을 IF 회로의 잡음 바닥 이하의 크기가 되도록 제거하더라

도 송신신호 누설의 영향이 발생하고 있다. 따라서 단일 안테나를 사용하여 누설이 큰 경우,  $f_{c1}$ 이 하모닉 영향이 적은 높은 주파수 대역에 존재 하도록 VCO의 변조 대역폭( $B_{vco}$ )이 충분히 높아야 한다. 그러나 VCO의 선형성을 고려할 때 넓은  $B_{vco}$ 의 구현에는 한계가 있다. IF 잡음의 분석결과로부터, 스파이크신호를 형성하는  $f_m$ 의 하모닉 성분은  $HPF_{BPF}$ 의  $f_{c1}$ 근방에 존재한다. 그러므로 노치 주파수가  $f_{c1}$ 가 되는 대역저지여파기(BSF)를 사용하면 스파이크 신호의 영향을 효과적으로 억제할 수 있다.

4. W-대역 FMCW 레이더 센서의 제작 및 실험

그림 9는 설계된 W-대역 FMCW 레이더 센서의 블록도이다. 설계된 센서는 W-대역 송수신장치, 송신신호의 누설에 의한 IF 잡음이 포함된 중간주파수신호를 처리하는 아날로그신호처리장치, 그리고 디지털 신호처리장치로 구성된다. 송수신장치는 삼각파 신호를 변조신호로 하여 주파수 변조신호를 발생한다. 각 구성품은 WR-10 도파관형태로 구현되었다. 송수신장치에서 발생한 중간주파수 신호는 IF 회로를 통해서 아날로그신호처리를 거쳐서 비트신호를 추출하여 이를 DSP부로 입력하여 신호 처리과정을 거쳐서 표적의 존재유무 판별과 거리정보를 획득한다. IF 회로는 송수신장치에서 발생하는 송신신호 누설의 영향을 효과적으로 제거할 수 있도록 차단 HPF와 대역차단여파기(BSF)를 사용하였다. 그림 10은 IF 잡음을 제거하기위해서 그림 9의 IF 회로에 각 구간별로 나타나는 IF 잡음의 스펙트럼을 개념적으로 도시한 그래프이다.

송신신호의 누설에 의한 IF 잡음은 DC성분 및 큰 크기의 저주파 신호를 가지고 있기 때문에 차단 IF LNA를 포함시킨다. 따라서 LNA의 앞단에 저주파신호제거용 HPF가 사용된다. LNA를 통해서 증폭된 신호는 그

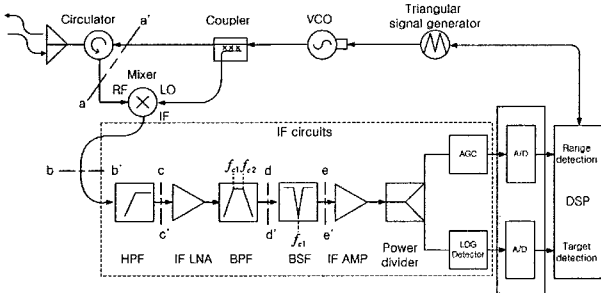


그림 9. W-대역 FMCW 레이더 센서의 블록도.  
Fig. 9. Block diagram of W-band FMCW radar.

림10-ii)과 같이 IF 잡음의 하모닉 성분으로 인해서  $t = nT_m/2, n=1,2,3...$ 에서 큰 스파이크 형태의 잡음을 발생시킨다. BPF는 비트신호의 통과대역을 결정하는데, 이를 통과한 잡음의 주파수 스펙트럼과 시간축에 대한

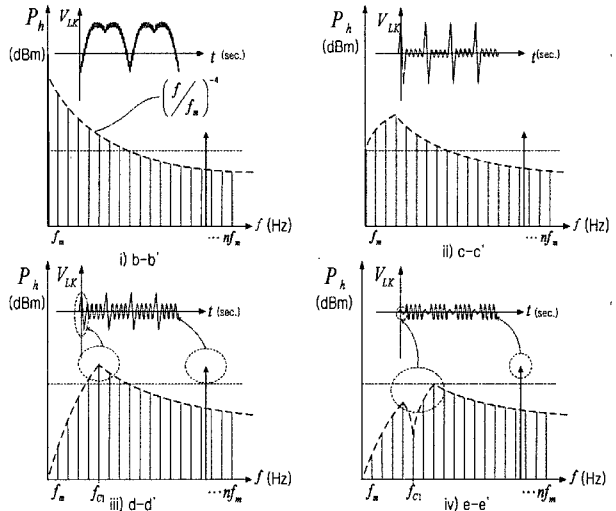


그림 10. 아날로그 신호처리 구간별 IF 잡음 스펙트럼.  
Fig. 10. Spectra of the IF noise at each section of analog signal processing circuits.

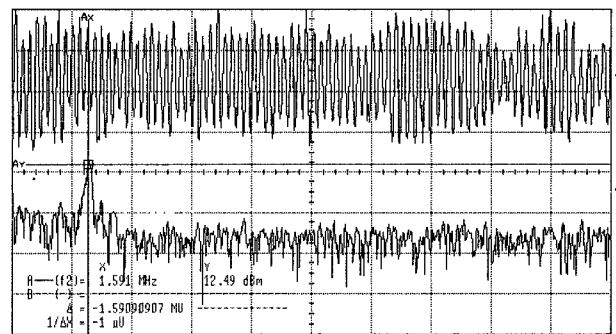


그림 11. 200 m 전방 표적의 비트신호와 스펙트럼.  
Fig. 11. Beat signal and its spectrum of a target lying at 200 m.

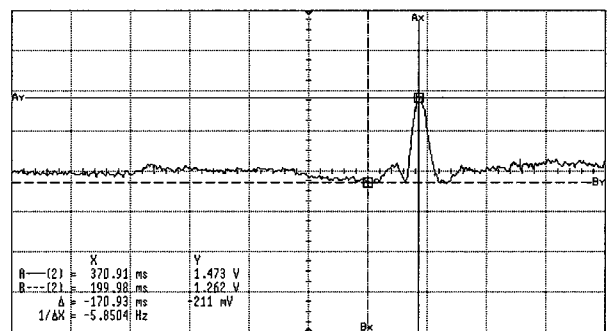


그림 12. 200 m 전방 표적의 로그포락선검파기신호.  
Fig. 12. Output signal of logarithm envelope detector for a target lying at 200 m.

파형은 그림 10-iii)과 같다. BPF를 통과한 IF 잡음은  $f_{cl}$  근방의 고주파성분이 충분히 제거 되지 못했기 때문에 시간 축에서 스파이크 신호를 발생하여 로그포락선 검파기의 출력신호를 왜곡하게 된다. 이를 제거하기 위해서 BPF 뒷단에 노치 주파수가  $f_{cl}$  인 BSF를 사용하였다. 그림 10-iv)는 제거된 스펙트럼과 이에 대한 파형도를 도시하고 있다.

그림 11은 제작된 W-대역 FMCW 레이더 센서를 이용하여 획득한 거리 200 m 전방의 표적에 대한 비트신호와 스펙트럼이고, 그림 12는 로그포락선검파기의 출력신호로, IF 잡음이 충분히 제거되었음을 알 수 있다.

### III. 결 론

단일 안테나를 사용한 W-대역의 호모다인 FMCW 레이더 센서의 IF 잡음은 혼합기의 LO 신호와 송신신호의 누설간의 지연 시간차에 의해서 생성된 비트신호임을 확인하였다. IF 잡음은 주기적으로 발생하는 특이점으로 인해서 삼각파 변조신호와 유사한 형태의 스펙트럼을 가진다. 주기적인 특이점 발생의 원인은 VCO의 주파수 변조가 각 sweep 구간마다 반복되어 송신신호의 누설경로에 의해 발생하는 누설 비트신호가  $T_m/2$  을 기준으로 대칭을 띄며 생성되기 때문이다. IF 잡음은 주기적으로 발생하는 특이점으로 인해서  $f_m$ 의 무한 고조파로 표현되는데, 저주파 성분은 IF 회로의 차단 LNA를 포화시키고 대역통과여파기를 통과한 고주파 성분은 시간 축에서  $T_m/2$ 의 정수배 위치마다 스파이크 형태의 신호를 발생하여 출력 비트신호의 감지를 곤란하게 한다.

송신신호의 누설에 의한 IF 잡음을 감소시키기 위해서 송수신장치에서 누설 송신신호와 LO 신호의 경로에 따른 지연시간을 일치시키는 방법을 적용하였으며, 아날로그신호처리장치에서 노치주파수가  $f_{cl}$  인 대역저지여파기를 사용하여 제한적인  $B_{ucc}$  하에서 IF 잡음의 영향을 제거할 수 있었다.

제한된 송신신호의 누설에 의한 IF 잡음 제거 방안을 이용하여 단일 안테나를 사용하는 W-대역 호모다인 FMCW 레이더 센서를 구현하였으며, 지면 클러터 환경에서 전방 200 m에 위치한 표적을 성공적으로 감지하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. K. Saunders, "Post-War Developments in Continuous-Wave and Frequency-Modulated Radar", *IRE Transactions on Aerospace and Navigational Electronics*, pp.7-19, 1961.
- [2] A. G. Stove, "Obstacle detection radar for car ", *Electronics & Communication Engineering Journal*, Vol.3, No.5, pp.232-240, October, 1991.
- [3] J. A. Scheer, J. L. Kurtz, *Coherent Radar Performance Estimation*, Artech House, pp.296, 1993.
- [4] P. D. L. Beasley, A. G. Stove, B. J. Reits, B-O. As, "Solving the Problem of A Single Antenna Frequency Modulated CW Radar", *IEEE International Radar Conference*, 1990.
- [5] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques", *IEE PROCEEDINGS-F*, Vol.139, No.5, October, 1992.

## — 저 자 소 개 —



박 정 동(정회원)

1998년 동국대학교 전자공학과  
(공학사),

2000년 광주과학기술원 정보통신  
공학과 (공학석사),

2000년~2002년 고등기술연구원  
연구원,

2002년~현재 국방과학연구소 기술연구본부

<주관심분야 : 밀리미터파 회로 및 레이더 시스템 >



김 완 주(정회원)

1984년 서울대학교 전기공학과  
(공학사),

1987년 한국과학기술원  
전기전자과 (공학석사),

1994년 한국과학기술원  
전기전자과 (공학박사),

1987년~현재 국방과학연구소 기술연구본부

<주관심분야 : 레이더, 레디오미터, 신호처리, 센서융합>