

코히어런트 동작을 위한 레이다 수신기 전단부

Receiver Front-End of Radar for the Coherent Operation

이택경*

Taek-Kyung Lee*

요약

레이다에서 마그네트론을 이용하여 송신펄스를 발생하는 경우에 레이다의 코히어런트 동작을 위해서는 수신기에서 송신펄스의 주파수 및 위상 변화를 감지하여 안정된 중간주파수를 발생할 수 있도록 국부발진주파수를 조정하고, 위상측정을 위하여 송신펄스의 위상에 동기된 신호를 발생하여야 한다. 본 논문에서는 레이다의 수신기 전단부에서 안정된 중간주파수를 발생하기 위한 AFC(Automatic Frequency Control) 회로와 STALO(Stable Local Oscillator)를 설계, 제작하고, 송수신 신호간의 위상측정을 위한 COHO(Coherent Oscillator)를 구현하였다.

Abstract

When the magnetron is employed as a radar transmitter source, the receiver needs to detect the frequency and the phase of the transmitting signal for the coherent operation. The local oscillator frequency is tuned for the stable intermediate frequency and the coherent oscillator generates the stable signal which is phase-locked to the transmitting signal. In this paper, we designed and implemented the receiver front-end including AFC(Automatic Frequency Control) circuit, STALO(Stable Local Oscillator) and COHO(Coherent Oscillator) unit.

I. 서론

레이다에서 도플러 측정이나 Moving Target Indicator(MTI), 영상획득, 고해상도 측정 등의 기능을 수행하기 위해서는 송신 및 수신신호의 위상정보가 유지되는 coherent 시스템을 구성하여야 한다 [1]~[3]. Coherent 레이다에서는 송신펄스가 항상 같은 위상을 유지하도록 하고 수신기에서 송신펄스의 위상과 동기된 STALO(Stable Local Oscillator) 및 COHO(Coherent Oscillator)를 이용하여 주파수 변환과 I/Q 복조를 하여 위상 및 진폭측정을 한다.

레이다의 송신 펄스를 발생하기 위한 장치로서 마그네트론이 주로 이용되고 있으며, 소형이고 출력이 높으며 효율이 높은 장점이 있다. 그러나 마그네트론에서 발생하는 송신펄스는 항상 같은 위상으로 시작되지 않으며, 송신주파수가 안정되지 못하다[1]. 마그네트론에 의한 송신기를 사용하는 레이다를 coherent 시스템으로 동작시키기 위해서는 송신신호의 일부를 수신기에 공급하여 송신 출력의 위상을 검출하여 전체 시스템을 송신기의 위상에 맞추도록 하여야 한다.

Coherent-on receive 시스템은 송신펄스 신호를 이용하여 수신기에서 coherent 동작을 할 수 있도록

* 한국항공대학교 항공전자공학과(Dept. of Avionics Eng., Hankuk Aviation Univ.)

· 논문번호 : 2000-1-1

· 접수일자 : 1999년 11월 2일

구성한 시스템이다. 수신기의 AFC(Automatic Frequency Control)는 송신신호의 주파수변동에 따른 제어전압을 STALO에 공급하고, STALO는 수신기의 극부발전기로서 AFC의 제어신호에 따라 일정한 중간주파수를 발생할 수 있도록 발전주파수를 조정한다. AFC와 STALO는 송신펄스의 주파수 변동에 따라 수신기의 중간주파수를 일정하게 유지하는 부분으로서 마그네트론의 미소한 주파수 변화 뿐만 아니라 대전자방해대책(ECCM, Electronic Counter Counter Measures)이나 시스템 간의 상호간섭방지를 위한 의도적인 주파수 변동에 대해서도 수신기에서 이를 감지하여 STALO 주파수를 변경한다. COHO에서는 매우 짧은 기간 동안 지속되는 송신펄스의 위상을 검출하여 위상동기된 신호를 발생하며, COHO의 신호를 이용하여 I/Q 복조기에서 위상측정을 한다.

레이다 신호의 coherent 측정을 위해서 수신기의 AFC, STALO, COHO 등은 성능을 결정하는 매우 중요한 부분이다. AFC회로는 송신주파수의 변동을 감지하여 STALO 주파수 조정신호를 발생하는 부분으로서 해상도와 최대 주파수 감지 범위 등이 중요한 요소이다. STALO는 송신주파수의 변화에 대해서도 정확한 주파수의 중간주파 신호를 발생할 수 있도록 주파수 해상도가 높은 주파수 합성기(Frequency Synthesizer)를 이용하여 구성하며, 저위상 잡음이 되도록 설계하여야 한다. COHO는 매우 짧은 기간 동안 지속되는 송신펄스의 위상을 검출하여 위상동기된 발진을 하여야 하며, 반응 시간이 매우 짧고 주파수가 안정된 Injection Locked Oscillator(ILO)를 이용한다.

본 논문에서는 마그네트론을 이용하는 레이다의 coherent 동작을 위한 수신기 프론트엔드에서 전체 성능에 중요한 영향을 미치는 부분으로서 AFC, STALO 및 COHO를 설계하고 구현하였다.

II. Coherent 동작을 위한 수신기의 구성 및 동작

마그네트론을 이용하는 레이다에서 coherent-on-receiver 방식의 수신기는 송신 펄스의 주파수 변화

를 감지하여 STALO 주파수를 변화시킴으로써 안정된 중간주파수를 발생하고, 송신펄스의 위상에 동기된 COHO 신호를 발생하여 레이다 신호의 위상을 측정한다. 그림 1은 coherent-on-receive 방식의 레이다 프론트엔드의 구조를 보여 주고 있으며, 중간주파수는 60 MHz이다. 레이다의 송신펄스는 pretrigger에 의하여 발생하며, 수신기에서도 pretrigger를 동기신호로 이용한다. Pretrigger는 480 μ s의 주기로서 9 μ s 동안 발생하며, pretrigger가 끝난 후 570 ns 이후에 송신 버스트가 300 ns 동안 발생된다. 송신되는 레이다 펄스는 결합기를 통하여 송신출력의 일부분이 수신기로 공급되어 송신주파수와 위상을 감지할 수 있도록 한다. STALO는 수신기의 극부발전기로서, 마그네트론 주파수의 변화에 따라 일정한 중간주파수를 발생하도록 출력주파수가 변화한다. 송신기로부터 수신기에 공급된 약한 송신펄스는 STALO의 출력과 주파수 혼합되어 두 신호의 차이주파수를 가진 버스트 신호가 AFC에 공급된다. AFC에 공급된 버스트 신호는 원하는 중간주파수로서 항상 일정하게 유지되어야 한다. 만약 송신 버스트의 주파수가 변화하면 STALO와의 차이주파수가 원하는 중간주파수로부터 벗어난다. AFC에서는 입력되는 버스트의 주파수 편차를 감지하여 주파수 조정신호를 STALO에 공급한다. STALO는 주파수 합성기로 구성하며, AFC로부터 공급되는 디지털 주파수조정신호에 의해 출력주파수를 조정한다.

STALO 출력과 주파수 혼합된 송신 버스트 신호는 COHO에도 공급된다. COHO에서는 두 신호의 차이주파수를 가진 버스트 신호로부터 매우 짧은 기간 동안 지속되는 버스트의 위상을 검출하여 위상이 동기된 중간주파수의 신호를 발생한다. I/Q 복조기는 COHO에서 공급되는 위상동기된 신호를 이용하여 수신되는 중간주파 신호의 진폭과 위상을 동시에 구하여 신호처리기로 공급한다. AFC 및 STALO는 마그네트론의 발생주파수 변화에 대해서 수신기의 중간주파수를 일정하게 유지하는 역할을 하며, COHO는 각각의 송신 펄스에 대하여 위상을 검출하여 송수신 신호간의 위상측정을 하기 위한 위상동기된 신호를 발생한다.

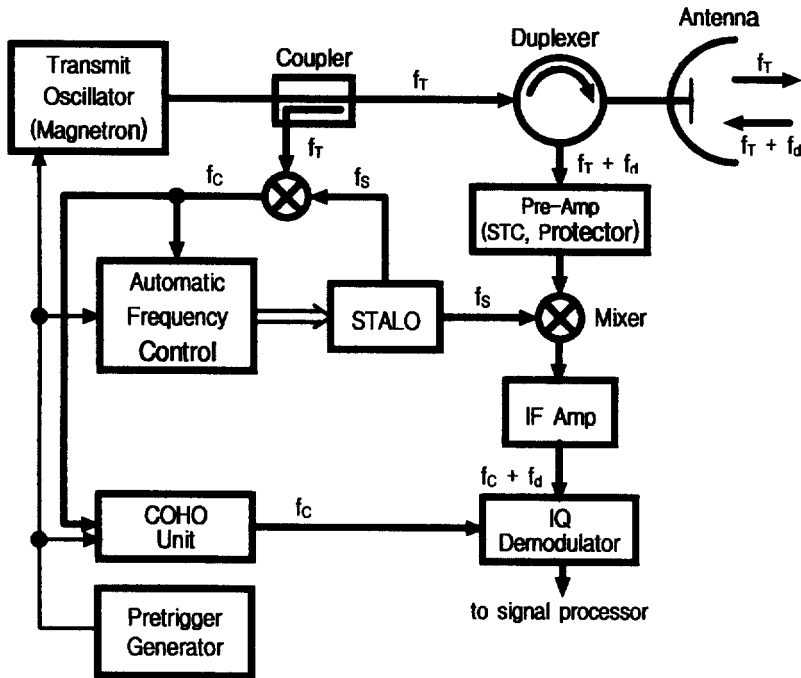


그림 1. 레이더 수신기 프론트엔드의 구성
Fig. 1. Block diagram of the radar receiver front end.

III. Automatic Frequency Control 회로

레이더 수신기의 AFC 회로에서는 송신 펄스 신호와 STALO 신호의 차이주파수가 항상 일정한 주파수가 되도록 하기 위한 주파수 조정명령을 발생하여 STALO의 주파수를 조정한다. AFC 회로는 입력된 신호의 주파수를 원하는 주파수인 60 MHz와 비교하여 주파수 편차에 대하여 교정 신호를 발생하는 회로로서 주파수 편차에 대한 반응속도와 교정할 수 있는 최대 주파수 편차, 주파수 정확도 등이 중요하다[4]. 최대 주파수 편차와 정확도는 서로 상반되는 특성으로서 AFC 내부의 주파수 변별기의 동작 특성에 의하여 크게 영향을 받는다. AFC 회로는 입력되는 신호의 주파수를 원하는 중간주파수와 비교하여 주파수 편차를 전압으로 변환시키는 아날로그 부분과 주파수 편차에 따른 주파수 조정명령을 발생하는 디지털 부분으로 구성되어 있으며 그림 2와 같이 구성되어 있다.

AFC에 공급되는 입력 버스트 신호는 송신 버스트와 국부발진신호가 주파수 합성기를 통과하여 공급되며, 송신 버스트의 발생 기간 동안에만 신호가 공급된다. 60MHz 수정 발진기는 원하는 주파수의 기준발진기로서 입력 버스트가 가해지기 전 pretrigger 신호가 발생하는 동안에 주파수 변별기에 가해진다. 이때 기준주파수에 해당하는 주파수 변별기의 출력 전압은 sample-and-hold(S/H)에 가해지며, reference sample pulse generator는 이 기간 동안에 주파수 변별기의 출력 전압을 샘플링하기 위한 신호를 발생한다. AFC 입력 버스트가 가해지는 동안 S/H 2는 burst sample pulse에 의하여 샘플링이 이루어진다. S/H 1과 S/H 2에 각각 각각 나타나는 기준신호와 입력 버스트 신호의 주파수에 해당하는 전압은 차동증폭기에 가해진다. 차동증폭기의 출력은 기준주파수와 입력 버스트 주파수의 차이에 해당하는 전압이 나타나며, 적분기에 가해진다. Fine 비교기는 적분기의 출력전압이 일정치를 넘을 경우에 주파수를 교정하기 위한 2 비트의 신호를 발생한다.

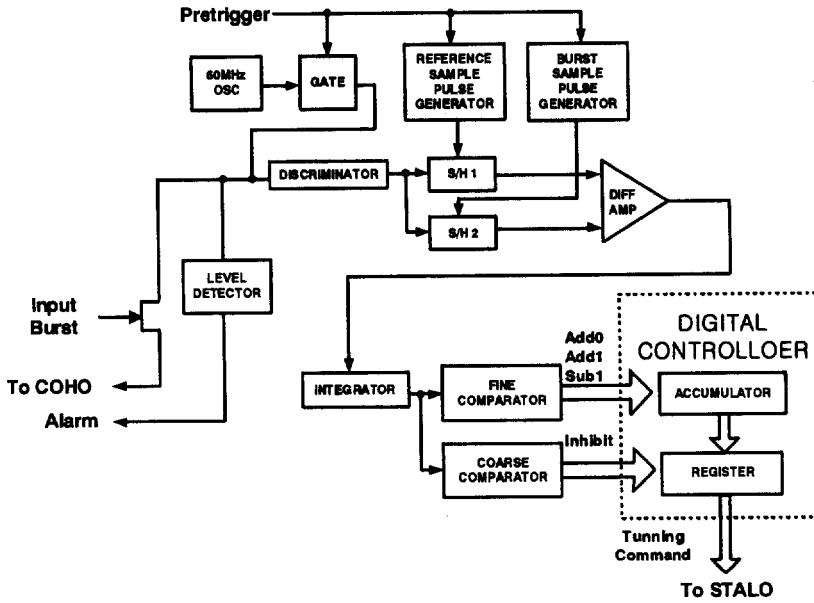


그림 2. AFC 회로
Fig. 2. AFC circuit.

Coarse 비교기는 입력 버스트의 주파수가 기준주파수와 비교하여 주파수 추적을 할 수 있는 범위 이상으로 차이가 날 경우에 주파수 조정 동작을 멈추게 한다.

주파수를 측정하기 위한 주파수 변별기로 사용된 소자는 Motorola의 MC1357로서 증폭기와 리미터를 내장하고 있으며, 주로 5 MHz대에서 응용되고 있으나, 레이더에 응용하기 위하여 외부의 소자 값을 조절하여 중심주파수를 60 MHz로 조정하였다. 샘플 펄스 발생기는 Motorola의 단안정 멀티바이브레이터 SN74LS221을 이용하여 구현하였다. 그림 3은 구현된 AFC 회로에서 입력 버스트의 주파수 변화에 대한 적분기의 출력전압의 변화를 나타내고 있으며, 입력 버스트의 주파수 변화에 대하여 출력전압이 변화함을 알 수 있다.

주파수 편차에 대한 비교기의 출력은 디지털 컨트롤러에 가해져서 STALO 주파수를 교정하기 위한 디지털 신호를 발생한다. 디지털 컨트롤러는 accumulator와 레지스터로 구성되어 있다. Accumulator는 인가된 add 0, add 1, sub 1 등의 비교기 출력에 따라 현재의 STALO 주파수로부터 주파수가감을 하며, 레지스터는 약 50 ms마다 주파수를 변

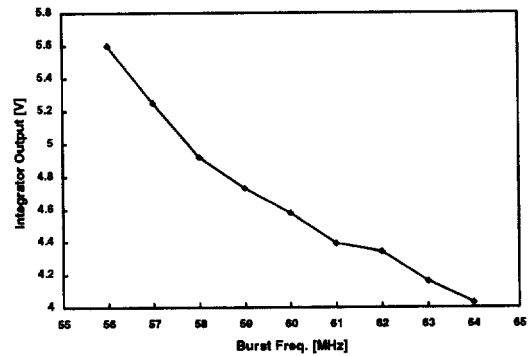


그림 3. AFC 출력
Fig. 3. AFC output.

경하기 위한 디지털 신호를 STALO에 보낸다. 디지털 컨트롤러는 Microchip 사의 PIC16C57을 이용하여 구현하였다.

IV. Stable Local Oscillator

송신 펄스의 주파수의 변화에 대해 안정된 중간 주파수 신호를 발생시킬 수 있도록 하기 위한 STALO는 주파수 합성기(frequency synthesizer)를

이용하여 구현하며, AFC에서 공급되는 디지털 신호에 의하여 주파수를 조절한다. 레이다의 송신주파수를 감지하여 일정한 중간주파수를 발생하기 위한 STALO는 빠른 스위칭 시간이 요구되지 않는 반면에 발진기의 위상잡음이 낮아야 한다. PLL 루우프를 이용한 간접 주파수 합성 방식은 구조가 비교적 간단하여 비용이 적게 들고, 위상잡음과 스푸리어스 신호 레벨을 낮출 수가 있으므로 STALO로 적합하다[5,6].

간접 주파수 합성기는 PLL에 의한 궤환 방식으로서 단일 루우프 방식은 그림 4와 같이 구성되어 있으며, 위상비교기, 루우프 여파기, 전압제어 발진기(VCO), 분주기 등으로 이루어지고, 궤환회로의 주파수 분주율을 변화시켜 출력주파수를 조절한다. 기준신호발진기에서 발생한 신호는 안정된 주파수와 낮은 위상잡음 특성을 나타내며, 주파수 합성기의 출력주파수 해상도를 조절하기 위해서 사용하는 M 분주기에 인가된다. 위상비교기는 M 분주된 기준신호와 궤환회로를 통해 인가되는 출력주파수의 위상을 상호 비교하여 두 신호의 위상차에 비례하는 전압을 발생시킨다. 루우프 여파기는 위상비교기의 출력 전압에 포함된 고주파 성분을 제거하고, 비교기의 출력전압이 VCO에서 요구하는 제어전압 범위가 되도록 변환시키며, 전체 주파수 합성기의 위상 전달특성과 대역폭을 결정한다. 단일 루우프 구조에서 루우프 여파기는 저역통과 특성을 나타내며, 스위칭 시간, 측파대, 스푸리어스 잡음, 위상잡음 등에 많은 영향을 미치는 부분이다. X 밴드의 VCO 출력

신호는 prescaler에서 P 분주되어 1~2 GHz대의 주파수로 변환되어 PLL chip으로 궤환되며, chip 내부의 N 분주기를 통하여 위상비교기에 인가된다.

단일 루우프 주파수합성기의 출력주파수는

$$f_o = \frac{PN}{M} f_i = (Pf_s)N \quad (1)$$

이며, M 과 N 은 디지털 신호에 의하여 조정되고 P 는 상수이다. 출력주파수의 조정은 M 과 N 에 의하여 이루어지며, 출력 주파수의 해상도는 (Pf_s) 이므로 M 에 의하여 해상도를 조절한다. 출력주파수의 범위는 궤환회로의 분주율 N 의 가변 범위에 의해 결정된다.

단일 루우프 주파수 합성기에서 잡음을 제외한 입력 신호의 위상과 출력 신호의 위상에 대한 전달 함수는

$$H(s) = \frac{\theta_o(s)}{\theta_i(s)} = \frac{1}{M} \frac{G(s)}{1 + \frac{G(s)}{PN}}$$

$$G(s) = \frac{KF(s)}{s}, \quad K = K_o K_d \quad (2)$$

이다. 여기서 $G(s)$ 는 루우프의 순방향 전달특성이다. 주파수 합성기의 출력에 나타나는 위상잡음의 발생원인으로는 기준신호발진기에서 발생하는 백색잡음 (θ_I)과 VCO에서 발생하는 플리커 잡음 (θ_V)이 가장 큰 영향을 미치고, 위상비교기 잡음 (θ_P)과 분주기 잡음 (θ_M, θ_N) 등이 추가된다.

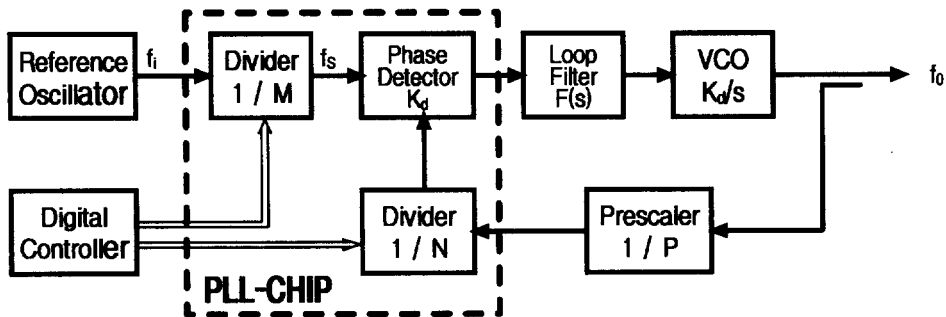


그림 4. 단일 루우프 주파수 합성기

Fig. 4. Single loop frequency synthesizer.

이러한 위상 잡음성분들은 주파수 합성기에서 상호 독립적으로 출력 잡음으로 나타난다. 주파수 영역에서 위상잡음 분포를 나타내는 자승 스펙트럼 밀도 $\Phi_{\theta}(f)$ 는 전달함수를 이용하여 계산된다. 인가되는 입력 및 VCO 잡음에 의한 주파수 합성기 출력의 위상잡음 스펙트럼 밀도는 편이주파수에 대하여

$$\Phi_{\theta_o}(s) = \left| \frac{1}{M} \frac{KF(s)}{s + \frac{KF(s)}{PN}} \right|^2 \Phi_{\theta_i} + \left| \frac{s}{s + \frac{KF(s)}{PN}} \right|^2 \Phi_{\theta_v} \quad (3)$$

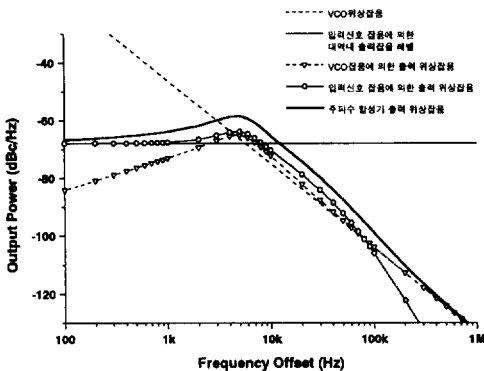
이다[7]. 여기서 위상비교기와 분주기 등의 잡음은 입력되는 백색잡음에 비하여 매우 작으므로 이들을 무시하였다. 기준발진기의 잡음 θ_i 는 백색잡음이므로 출력잡음은 주파수 합성기의 전달함수 $H(s)$ 에 의하여 결정된다. VCO에 의한 잡음 θ_v 는 $1/f$ 잡음으로서 전달함수와 잡음 스펙트럼 함수의 형태에 의해 출력 잡음의 스펙트럼이 결정된다.

식 (3)에서 입력잡음에 대한 출력은 저역 통과 특성을 나타내며, VCO에 의한 잡음은 고역 통과 특성으로 나타난다. 따라서 낮은 편이 주파수대역에서 대부분 입력 백색잡음에 의한 성분만 나타난다. 낮은 주파수 대역에서는 $\lim_{s \rightarrow 0} \Phi_{\theta_o} = \left| \frac{PN}{M} \right|^2 \Phi_{\theta_i}$ 이

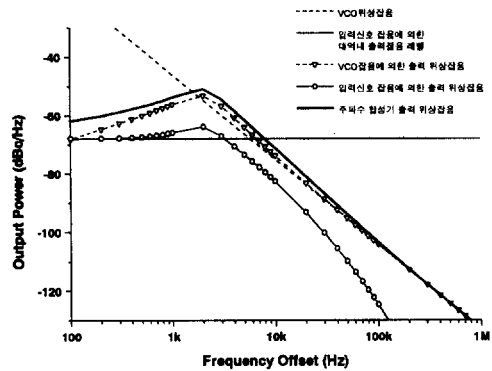
므로, 입력에 의한 잡음은 분주기의 분주율에 의하여 결정된다. 입력되는 잡음은 M 분주기에 의하여 잡음이 감소되고 P 및 N 분주기의 분주율에 의하여 잡음이 증가된다.

루우프 여파기의 전달특성 및 차단 주파수는 입력 및 VCO에 의한 출력 잡음이 최소가 되도록 설정하여야 한다. 낮은 편이주파수에서는 VCO 잡음과 입력잡음에 의한 출력이 같아지도록 하고, 높은 주파수 대역에서는 VCO 잡음이 출력잡음의 특성으로 나타나도록 하여야 한다. 이를 위해서는 VCO에 의한 출력 위상잡음 곡선과 입력에 의한 출력 위상잡음의 크기가 같아지는 주파수에 주파수 합성기의 차단주파수가 되도록 루우프 여파기의 전달특성을 설정하여야 한다.

그림 5는 여파기의 특성을 최적화하여 위상잡음이 최소가 되도록 설계한 단일 루우프 주파수 합성기의 위상잡음 측정 결과이다. 기준 신호발진기는 5 MHz의 OCXO로서 위상잡음이 100Hz 편이주파수에서 -145dBc/Hz 이다. M 분주기는 40, N 분주기는 9000, P 는 8이므로 주파수 스텝은 1MHz로서 9GHz의 출력주파수가 발생한다. 루우프 여파기의 대역폭은 10 KHz로 설정하였다. 주파수 합성기의 루우프 전달함수에 대한 차단 주파수는 6.14KHz로서 입력잡음에 의한 위상잡음 수준과 VCO 잡음의 크기가 같아지는 주파수와 거의 일치한다. 제작된 주파수



(a) Loop Filter Bandwidth : 10 KHz



(b) Loop Filter Bandwidth : 4.2 KHz

그림 5. 단일 루우프 주파수 합성기의 위상잡음 특성

Fig. 5. Phase noise of single loop frequency synthesizer.

합성기의 출력전력은 12dBm이며, 위상잡음은 1 kHz, 10kHz, 100kHz에서 각각 -57dBc/Hz, -58.33 dBc/Hz, -102dBc/Hz를 얻었다. 출력주파수는 8.4~9.6GHz 대역에서 가변이 가능하다.

레이더 수신기에서 중간주파수의 안정을 위해서는 STALO의 주파수 해상도가 높아야 한다. 단일 루우프 주파수 합성기에서 주파수 해상도를 높이면 위상잡음이 증가하므로 해상도의 향상에 한계가 있다. 주파수 해상도를 높이면서도 낮은 위상잡음 특성을 구현하기 위해서 3중 루우프 주파수 합성기를 설계하였다. 그림 6은 설계된 3중 루우프 합성기의 구조이다. 출력주파수는 2.1~2.4GHz로서 4체배기를 통하여 X-밴드의 광대역 특성을 얻을 수 있다. 주파수 해상도는 25kHz로서 4체배할 경우에 8.4~9.6 GHz의 주파수 대역에서 100kHz의 주파수 해상도를 나타내도록 설계하였다. 3차 루우프에서 발생하는 주파수는 단일 offset주파수로 이용되고, 2차 루우프에서 발생하는 출력 주파수와 혼합되어서 차 주파수를 발생시킨다. 혼합기의 출력은 원하는 주파수와

다수의 고조파로 이루어져 있으므로 여파기를 이용하여 고조파들을 제거한다. 3중 루우프 주파수 합성기의 출력주파수는

$$f_o = \left(\frac{N_1}{M_1} + \frac{N_2}{M_2} + \frac{N_3}{M_3} \right) f_{ref} \quad (4)$$

이다.

3중 루우프 주파수 합성기의 위상잡음은 각각의 단일 루우프에서 나타나는 위상잡음이 1차 루우프에 더해져서 나타나며 아래 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_{\theta_n} = & \left| \frac{1}{M_1} \frac{K_1 F_1(s)}{s + \frac{K_1 F_1(s) F_M(s)}{N_1}} \right|^2 \Phi_{\theta_1} \\ & + \left| \frac{s}{s + \frac{K_1 F_1(s) F_M(s)}{N_1}} \right|^2 \Phi_{\theta_n} \end{aligned} \quad (5)$$

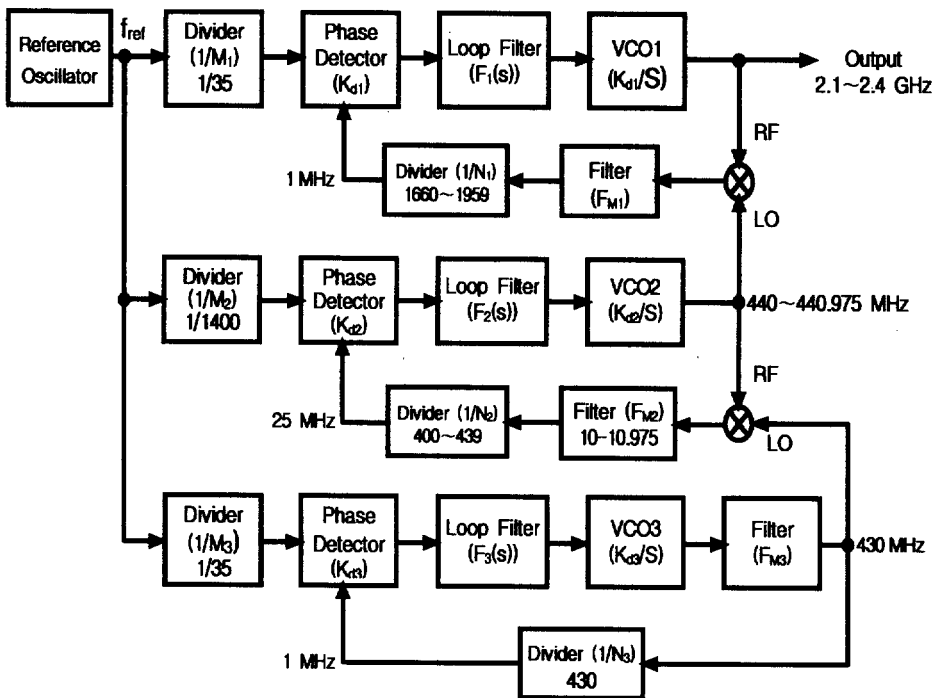


그림 6. 3중 루우프 주파수 합성기의 구성

Fig. 6. Block diagram of 3-loop frequency synthesizer.

$$\begin{aligned}
 & + \left| \frac{\frac{K_1 F_{1(s)} F_{M_1}(s)}{N_1}}{s + \frac{K_1 F_{1(s)} F_{M_1}(s)}{N_1}} \right|^2 \Phi_{\theta_{a_1}} \\
 & + \left| \frac{\frac{K_1 F_{1(s)} F_{M_1}(s)}{N_1}}{s + \frac{K_1 F_{1(s)} F_{M_1}(s)}{N_1}} \right|^2 \left| \frac{\frac{K_2 F_{2(s)} F_{M_2}(s)}{N_2}}{s + \frac{K_2 F_{2(s)} F_{M_2}(s)}{N_2}} \right|^2 \Phi_{\theta_{a_2}}
 \end{aligned}$$

여기서 $\Phi_{\theta_{a_1}}$ 와 $\Phi_{\theta_{a_2}}$ 은 각각 2차 및 3차 루우프의 출력에서 입력 및 VCO 잡음 등에 의하여 나타나는 잡음이다. 그림 7은 3차 루우프에서 분주율을 $M_3=35$, $N_3=430$ 으로 선정하고, 2차 루우프는 $M_2=1400$, $N_2=400$, 1차 루우프는 $M_1=35$, $N_1=1700$ 으로 선정하여 삼중 루우프의 출력단에 나타나는 위상잡음 레벨을 시뮬레이션한 결과이다. 각 루우프에서 발생하는 잡음 중에서 1차 루우프에서 발생하는 출력위상잡음이 지배적으로 나타나는 것을 볼 수 있으며, 따라서 1차 루우프의 위상잡음을 실제 측정함으로써 전체 시스템의 위상잡음의 레벨을 확인할 수 있다.

그림 8은 전체 3중 루우프 주파수 합성기를 구성하여 2.1GHz의 주파수에서 위상잡음을 측정하였다. 10 kHz offset에서 -90dBc/Hz의 위상잡음을 얻었다. 이러한 잡음 특성을 갖는 출력 신호를 4채배기에 가하여 9GHz대의 신호가 되면 약 -78 dBc/Hz의 위상 잡음을 얻을 수 있다.

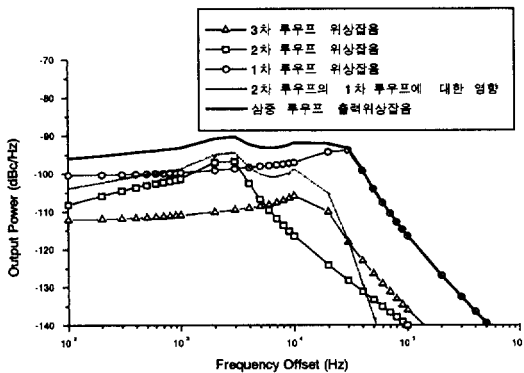


그림 7. 3중 루우프 주파수 합성기의 위상잡음 계산
Fig. 7. Phase noise simulation of the 3-loop frequency synthesizer.

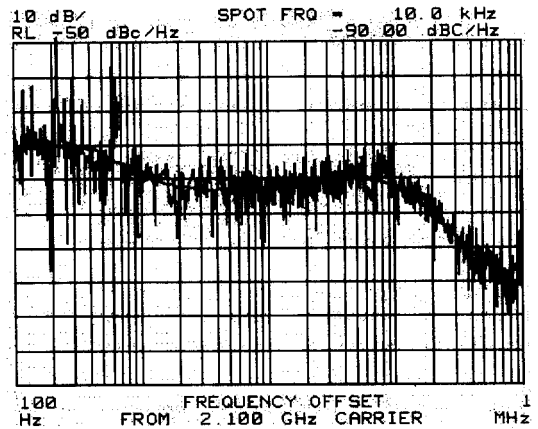


그림 8. 3중 루우프 주파수 합성기의 위상잡음
Fig. 8. Phase noise of the 3-loop frequency synthesizer.

V. Coherent Oscillator

COHO는 매우 짧은 기간 동안 지속되는 송신 버스트의 위상을 검출하여 위상이 동기된 중간주파수의 신호를 발생하며, 수신부의 I/Q 복조기에 가해져서 수신신호의 진폭과 위상을 동시에 얻을 수 있게 한다. COHO Unit는 그림 9와 같이 게이트 회로, ILO(Injection Locking Oscillator), 완충증폭기, 펄스 발생기 등으로 구성되어 있다. 게이트 회로는 송신 펄스가 발생하는 동안에 송신 펄스의 일부분을 샘플링하기 위한 부분으로서 송신펄스의 시작부분에서 발생할 수 있는 위상의 불균일성과 잡음 등을 줄인다. ILO는 가해진 입력 펄스와 위상동기된 정현파 신호를 발생하는 부분으로서 COHO에서 가장 중요한 기능을 수행한다. 펄스 발생기는 레이더의 pre-trigger 신호를 이용하여 ILO의 동작을 일시적으로 멈추기 위한 quench 펄스와 송신신호를 샘플

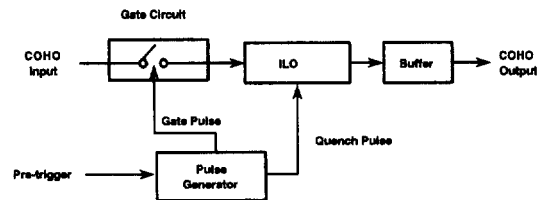
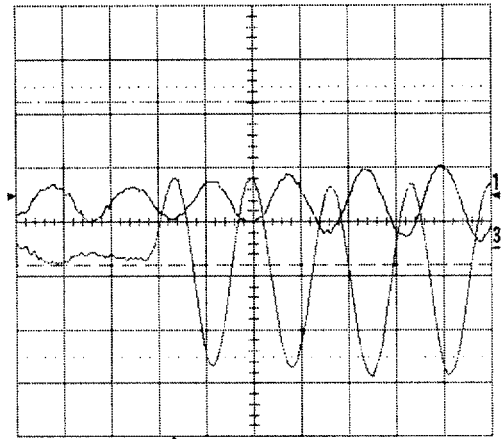


그림 9. COHO의 구성도
Fig. 9. Block diagram of COHO.

링하기 위한 sample 펄스를 발생한다.

펄스 레이더에서 전체 시스템은 pre-trigger 신호에 의해 동기되어 동작한다. 송신 펄스는 트리거 신호에 의하여 발생하며, 수신신호의 지연시간은 트리거 펄스에 의하여 동기된 신호에 의하여 측정된다. COHO Unit에서는 송신 펄스의 일부분을 샘플링하여 사용하므로 트리거 펄스에 의하여 게이트 회로가 동작하여야 한다. 그림 10은 COHO에서 나타나는 레이더 신호를 나타내고 있다. 송신되는 RF 버스트 신호는 pre-trigger에 의하여 지연되어 발생한다. Quench 펄스는 ILO의 동작을 중지시키기 위한 신호로서 pre-trigger가 시작될 때부터 다음 송신펄스가 발생할 때까지 COHO의 동작을 중지시켜 입력되는 신호의 위상에 맞추어 발진하기 위한 준비를 한다. Gate 펄스는 송신 펄스의 일부분을 샘플링하기 위한 신호로서 게이트 회로에 공급된다. 게이트를 통과한 샘플신호는 ILO에 공급되고, ILO는 가해진 샘플신호에 위상동기된 정현파를 발생한다.

게이트회로는 double-balanced mixer를 이용하여 구현하였으며, Mini-Circuit의 SRA-1TX를 사용하였다. ILO는 용량성 전압궤환 발진기로 구성하였다. COHO의 출력단은 완충증폭기를 두어 복조기 입력에 적합하도록 임피던스 및 신호 크기를 조정하였다. 그림 11은 제작된 COHO에서 입력 버스트 신호



Ch3 : ILO output (20 mV/div)
Time Base : 10 ns/div

그림 11. COHO의 위상동기

Fig. 11. Phase-locking of COHO.

에 위상이 동기되는 모양을 보여 주고 있다. 서로 다른 펄스에 대한 측정을 여러 번 수행하여 위상이 동기됨을 확인하였다.

VI. 결 론

마그네트론을 사용하는 레이더를 coherent 시스

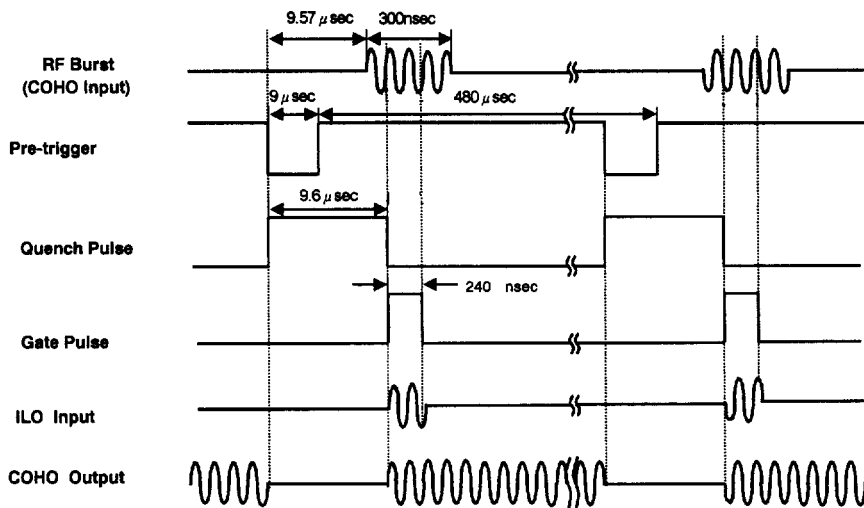


그림 10. COHO의 신호의 파형

Fig. 10. Timing diagram of COHO signals.

템으로 동작시키기 위한 수신부의 주요 부분을 개발하였다. 송신주파수의 변화에 대하여 안정된 중간주파수를 발생하기 위하여 AFC와 STALO를 설계하고, 송수신 신호간의 위상측정을 위한 기준신호로 사용하기 위한 COHO를 구현하였다. AFC회로는 주파수 편차를 감지하기 위한 아날로그 회로와 STALO에 주파수 조정신호를 보내기 위한 디지털 콘트롤러로 구성하였다. STALO는 간접 주파수 합성방식을 이용하여 구현하였으며, 100 kHz의 해상도로써 9GHz대에서 -78 dBc/Hz의 위상잡음을 구현하였으며, 1GHz 범위에서 주파수 가변이 가능하다. 제작된 COHO는 위상이 서로 다른 각각의 버스트 신호에 대하여 위상동기되어 발전하였다. 여기서 개발된 AFC, STALO, COHO는 레이더의 coherent 동작을 위한 중요한 부분으로서 향상된 레이더 시스템을 구축하는 데 중요한 바탕이 된다.

참 고 문 헌

[1] B. Edde, *Radar : Principles, Technology, Application*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

[2] M. I. Skolnik, Ed., *Radar Handbook*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1990.

[3] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 1980.

[4] Gary M. Miller, *Modern Electronic Communication*, 2nd ed., Prentice-Hall, 1988.

[5] U. L. Rohde, *Digital PLL Frequency Synthesizers Theory and Design*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1983.

[6] J. A. Crawford, *Frequency Synthesizer Design Handbook*. Boston: Arctech House, 1994.

[7] 소원욱, 강연덕, 이택경, "레이더 수신기용 X-밴드 주파수 합성기의 저 위상잡음 설계 및 구현," 한국항공학회논문지, 제2권, 제1호, pp. 22-33, 1998.

[8] U. L. Rohde, J. C. Whitaker and T. T. N. Bucher, *Communications Receivers, ch. 7*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1996.

이 택 경(李澤璟)



1958년 1월 11일생

1983년 : 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1990년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1990년 3월~1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 연구원

1990년 5월~1991년 4월 : Univ. of Texas at Austin에서 Post-Doc

1991년 9월~1992년 2월 : 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원

1992년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 부교수

관심분야 : 안테나, 레이더 송수신 시스템, 전자파 전파 및 산란, 초고주파 회로 설계 등