

# 레이다 위상동기를 위한 COHO Unit의 구현

## Implementation of the COHO Unit for Phase-locking of Radar

조태복\*, 신혜진\*, 이택경\*

Tae-Bok Cho\*, Hye-Jin Shin\*, and Taek-Kyung Lee\*

### 요 약

레이다에서 위상측정을 위해서는 송신신호의 위상에 동기된 안정된 신호를 발생하는 코히어런트 발진기(Coherent Oscillator, COHO)가 필요하다. 본 논문에서는 마그네트론에서 발생하는 송신 펄스 신호에 위상동기된 60 MHz의 안정된 신호를 발생하는 COHO Unit를 개발하였다. 송신 펄스의 일부분을 이용하여 ILO(Injection Locking Oscillator)에서 송신펄스에 위상동기된 신호를 발생한다. 게이트 회로, ILO, 완충증폭기, 펄스발생기 등으로 구성된 레이다 COHO를 설계, 제작하여 성능을 검증하였다.

### Abstract

For the phase measurement of radar signal in the coherent-on-receiver system, the COHO(Coherent Oscillator) generates the signal which locks to the phase of the transmit pulse. In this paper, COHO unit is developed to generate 60 MHz phase-locked signal. ILO(Injection Locking Oscillator) locks to the sample of the transmit pulse. Gate circuit, ILO, buffer amplifier, and pulse generator are designed and implemented.

### I. 서 론

초기의 레이다는 전자파를 발사하여 표적에 부딪혀 되돌아오는 신호의 지연시간과 진폭, 안테나의 방향으로부터 표적의 위치와 크기를 탐지한다. 레이다의 기능이 보다 정밀하고 다양해짐에 따라 MTI(Moving Target Indicator)나 도플러 측정 등의 필요성이 증가하고 있고, 레이다를 이용한 영상획득 등으로 영역이 확대되고 있다. 이러한 기능을 수행하기 위해서는 레이다에서 수신신호의 진폭과 함께 위상차를 측정하여야 하며, 송신 및 수신회로 전체가 coherent 시스템으로 구성되어야 한다[1]~[3].

Coherent 레이다에서는 하나의 기준발진기 신호

를 주파수 체배하여 송신신호 및 COHO(Coherent Oscillator)신호를 발생하고 송수신 신호간의 위상을 측정한다.

마그네트론은 고출력의 레이다 송신펄스를 발생하기 위한 장치로서 효율이 높고 소형이므로 기존의 레이다에 많이 사용되고 있다. 그러나 마그네트론의 출력 펄스는 항상 같은 위상으로 시작되지 않고, 송신주파수가 안정되지 못하다. 이와 같이 non-coherent한 마그네트론을 발진기로 사용하는 레이다에서 송수신 신호간의 위상차를 측정하기 위해서는 각각의 송신펄스마다 다르게 나타나는 위상 및 주파수를 검출하여 수신기의 COHO 및 STALO(Stable Local Oscillator)에 가하여 coherent 시스템으로 동작시키는 coherent-on-receive 방식

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

· 논문번호 : 99-1-1

· 접수일자 : 1999년 6월 28일

으로 구성하여야 한다.

그림 1은 coherent-on-receive 방식의 레이더 수신기 프론트엔드의 구조를 보여주고 있다. 송신되는 레이더 펄스는 결합기를 통하여 수신기로 공급되어 송신주파수와 위상을 감지할 수 있도록 한다. STALO는 수신기의 국부발진기로서, 마그네트론 주파수의 변화에 따라 일정한 중간주파수를 발생하도록 출력주파수가 변화한다. AFC(Automatic Frequency Control)는 송신신호의 주파수변동에 따른 제어전압을 STALO에 공급한다. STALO는 디지털 신호로 조정되는 주파수 합성기로서 AFC로부터 공급되는 제어신호에 의해 주파수를 조정한다. COHO는 매우 짧은 기간동안 지속되는 송신펄스의 위상을 검출하여 위상이 동기된 중간주파수의 신호를 발생한다. I/Q 복조기는 COHO의 위상동기 신호를 이용하여 수신되는 중간주파 신호의 진폭과 위상을 동시에 구하여 신호처리기로 공급한다[4]. 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.

본 논문에서는 마그네트론을 사용하는 펄스 레

이다에서 송신 신호의 위상변화에 동기된 신호를 발생하는 COHO Unit를 설계, 제작한다. COHO Unit는 그림 2와 같이 게이트 회로, ILO, 완충증폭기, 펄스발생기 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. ILO(Injection Locking Oscillator)[5]는 가해진 입력 펄스와 위상동기된 정현파 신호를 발생하는 부분으로서 COHO에서 가장 중요한 기능을 수행한다. ILO의 출력신호는 완충증폭기를 통하여 I/Q 복조기에 가해져서 수신신호의 위상을 측정한다. 펄스 발생기는 레이더의 pre-trigger 신호를 이용하여 ILO의 동작을 일시적으로 멈추기 위한 quench 펄스와 송신신호를 샘플링하기 위한 sample 펄스를 발생한다. 제작된 COHO Unit는 입력된 송신펄스에 위상동기 되어 발진함을 확인하였다.

## II. COHO 신호 파형 및 펄스발생기

펄스 레이더에서 전체 시스템은 하나의 트리거 신호에 의해 동기되어 동작한다. 송신 펄스는 트리

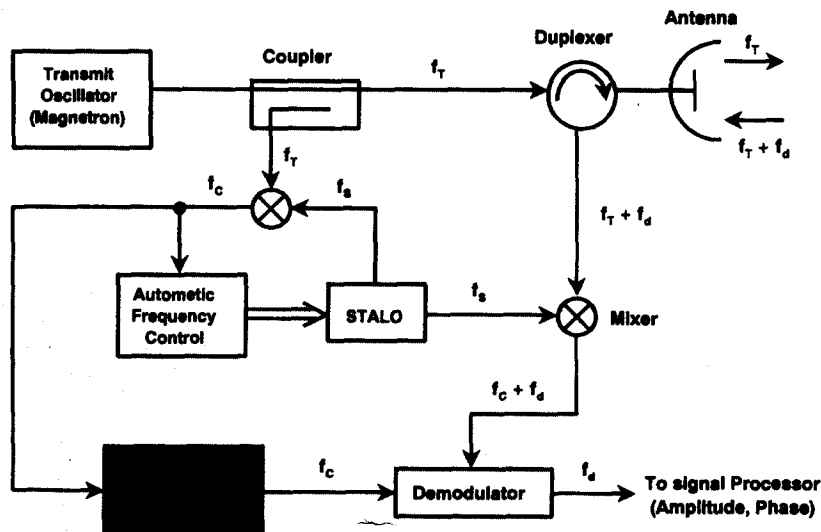


그림 1. 레이더 수신기 프론트엔드의 구성

Fig. 1. Block diagram of the radar receiver front end.

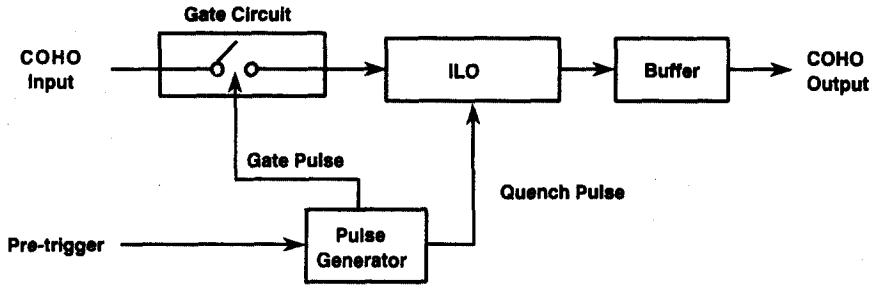


그림 2. COHO의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of COHO.

거 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 3은 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.

COHO Unit의 펄스 발생기는 레이더 전체시스템으로부터 공급된 pre-trigger를 이용하여 COHO에서 정해진 시간에 필요한 동작을 하기 위한 펄스를 발생한다. RF burst가 발생하기 직전까지 일정시간 ILO의 동작을 멈추게 하는 quench 펄스를 발생시키고, 게이트 회로에서 입력단에 유입되는 RF burst 신호를 240 nsec 동안 샘플링하기 위한 게이트 펄스를 발생한다. 그림 4는 COHO의 동작

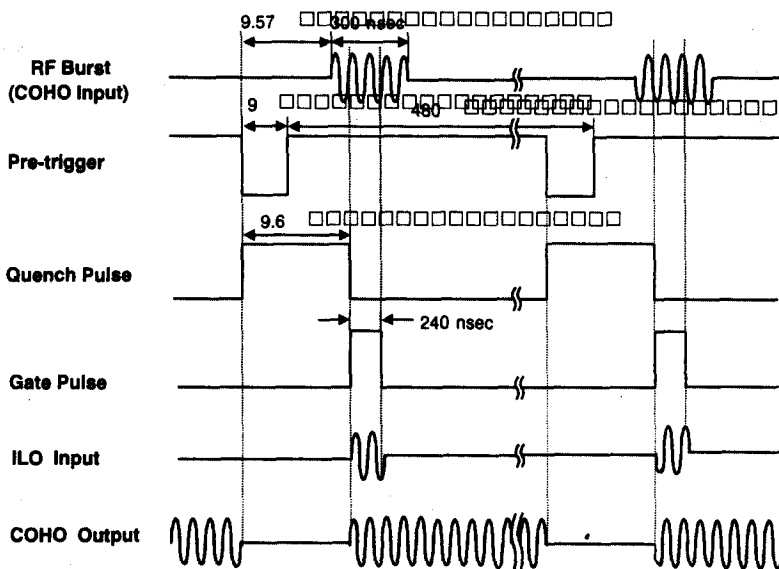


그림 3. COHO의 신호의 파형  
Fig. 3. Timing diagram of COHO signals.

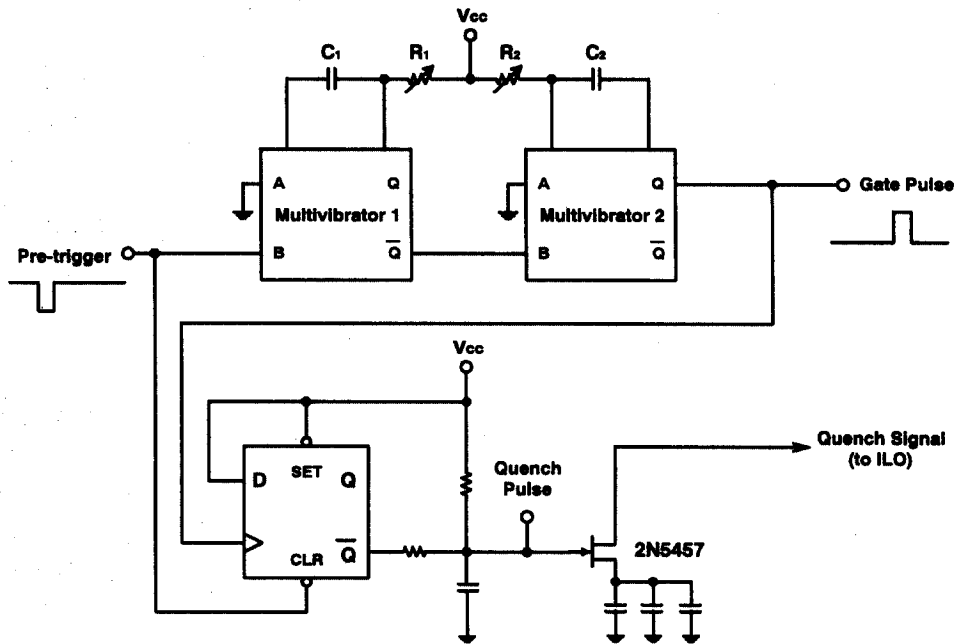


그림 4. 펄스발생기  
Fig. 4. Pulse generator.

을 제어하기 위한 펄스 발생기의 구조를 보여주고 있으며, 멀티 바이브레이터와 플립플롭을 이용하여 구성하였다. 게이트 펄스는 두 개의 멀티 바이브레이터를 이용하여 발생시킨다. 트리거 신호로부터 시간 지연되어 게이트 펄스가 나타나므로 첫 번째 멀티 바이브레이터는 시간 지연을 위한 것이고, 두 번째 멀티 바이브레이터는 게이트 펄스의 펄스폭을 결정한다.  $R_1$ 은 게이트 펄스의 지연시간을 조절하고,  $R_2$ 는 게이트 펄스의 폭을 조절한다. Quench 펄스는 트리거 신호가 시작할 때 high가 되어 게이트 펄스의 시작점에서 low로 바뀌며, D-플립플롭에 트리거 펄스와 게이트 펄스를 인가하여 구현한다. Quench 펄스는 샘플링된 RF 버스트가 ILO에 가해지기 직전에 ILO의 동작을 멈추도록 한다. Quench 펄스는 FET 스위치에 가해지며, ILO의 출력을 교류적으로 접지시켜 발진을 멈추게 한다.

### III. 게이트 회로

COHO에 인가되는 RF 버스트 신호는 크기가 매우 작으며, 버스트의 앞부분과 끝부분은 잡음이 포함되어 위상이 일정하게 나타나지 않는다. ILO에서 위상동기된 정확한 신호를 발생시키기 위해서는 ILO의 앞단에서 버스트 신호를 증폭하고, 잡음이 적고 위상정보가 유지되는 버스트의 중간부분만을 샘플링하여야 한다. 게이트 회로는 COHO의 첫 번째 단계로서 AFC mixer를 거쳐서 공급되는 마그네트론 송신주파수와 STALO 주파수의 차이주파수의 신호를 증폭하고, 샘플링하여 ILO에 공급한다. 본 논문에서 AFC mixer로부터 공급되는 신호의 주파수는 60 MHz로 선택하였으며 중간주파수와 같다. 게이트 회로는 신호의 증폭을 위한 중간주파증폭기와 버스트의 중간부분을 샘플링하기 위한 스위치로 구성하였으며, 스위치는 주파수 혼합기를 이용하여 구현하였다.

그림 5는 게이트 회로의 구성도를 보여주고 있다. 게이트 회로의 60 MHz 중간주파증폭기는 모토로라의 2N2857을 사용하여 2단으로 설계되었으며, A급 바이어스로서 에미터 접지와 에미터 플로워를

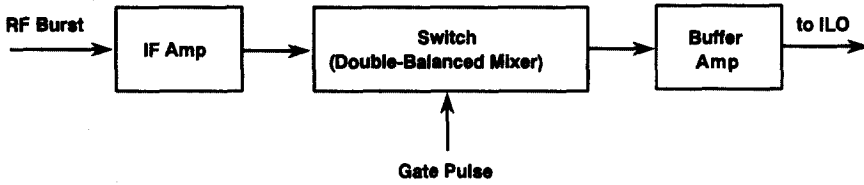


그림 5. 게이트 회로  
Fig. 5. Gate circuit.

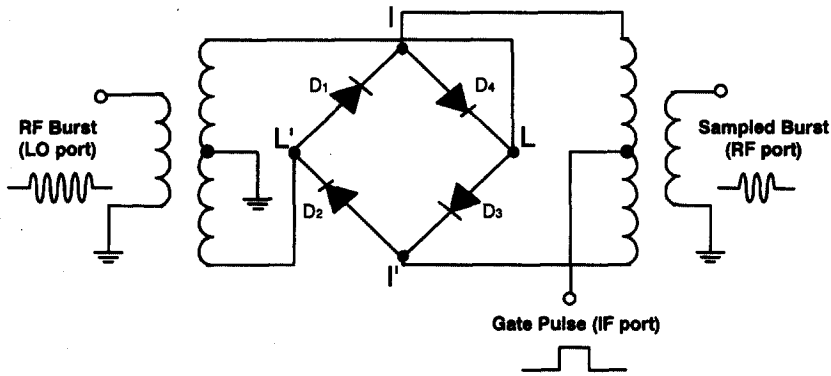


그림 6. 스위칭 회로(혼합기 SRA-1TX)  
Fig. 6. Switching circuit(mixer SRA-1TX).

사용하였다. 중간주파증폭기의 전압 이득은 1에 가까우며, 스위치를 구동하기 위한 전력증폭을 한다. 스위치는 게이트 펄스에 의하여 RF 버스트의 중간부분을 샘플링하기 위한 부분으로서 double-balanced mixer를 이용하여 구현하였다. 완충증폭기는 샘플링된 신호를 ILO에 공급하기 위해 전력증폭을 하기 위한 것으로 에미터 폴로워로 구성하였다.

버스트 신호를 샘플링하기 위한 스위치는 여러가지의 형태로 구현할 수 있다. 여기서는 60 MHz의 신호에 대하여 매우 빠른 스위칭 동작을 할 수 있고, 원래의 파형을 왜곡시키지 않도록 하여야 한다. 이러한 요구를 만족하기 위하여 매우 높은 주파수까지 동작하는 double-balanced mixer를 이용하여 스위칭을 하였다. 사용된 혼합기는 Mini-Circuits의 SRA-1TX이며, 그림 6에 내부구조를 보여주고 있다. 이 혼합기는 5-500 MHz의 LO/IF 신호에 대하여 500 MHz까지의 IF 신호를 발생할 수 있는 매우 광대역의 double-balanced mixer이다.

그림 6은 혼합기를 이용한 스위칭 회로를 보여

주고 있다. RF 버스트 신호는 LO 단자에 공급되고, 게이트 펄스는 IF 단자에 인가하였다. 샘플링된 출력신호는 RF 단자로 나오는데, IF 단자의 게이트 펄스가 high가 될 때 RF 신호가 출력에 나타나고, 게이트 펄스가 low 상태이면 버스트 신호는 출력에 나타나지 않게 되어 스위칭이 된다. 첫 번째로 게이트 펄스가 5 V일 때의 살펴보자. IF 단자에 5 V가 가해지면 브릿지 회로의 I와 I' 단자에 +전압이 가해지므로  $D_2$ 와  $D_4$ 는 순방향 바이어스가 되므로 ON 상태가 되고,  $D_1$ 과  $D_3$ 는 OFF가 된다. LO 단자로 입력된 RF 버스트 신호는 다이오드에 의해 연결된 선로를 따라 스위치를 통과하여 출력(RF 단자)에 나타난다. 두 번째로 게이트 펄스가 low 상태이면 IF 단자에 0 V가 인가되고 LO 단자에 RF 정현파가 가해진다. 정현파의 ac 신호가 L-L'에 가해지므로 두가지 경우를 고려해야 한다. L에 (+), L'에 (-) 전압이 가해지면  $D_2$ 와  $D_3$ 는 ON 상태가 되고,  $D_1$ 과  $D_4$ 는 OFF가 된다. 따라서 스위치는 OFF가 되어 출력에 신호가 나타나지

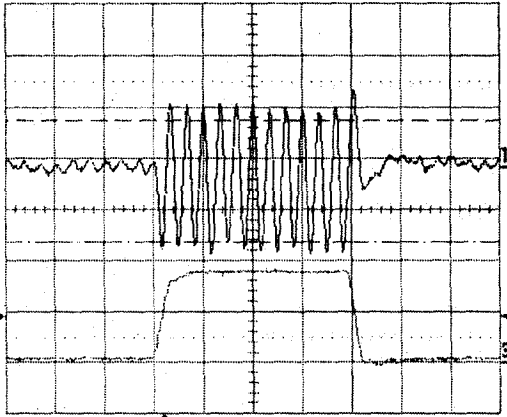


그림 7. 게이트 회로의 스위칭 동작  
Fig. 7. Switching operation of the gate circuit.

않는다. 반대로 L에 (-), L'은 (+)일 경우에는  $D_1$ 과  $D_4$ 는 ON,  $D_2$ 와  $D_3$ 는 OFF가 되어 마찬가지로 RF 신호는 전달되지 않는다.

혼합기에 의한 스위칭 동작을 실험하기 위해서 실제 회로를 구성하였다. 입력신호로 신호발생기의 60 MHz 정현파를 인가하고, 펄스 발생기에서 발생하는  $5V_{pp}$ 의 게이트 펄스를 IF 단자에 공급하였다. 그림 7은 측정결과로서 아랫쪽의 펄스 파형은 IF 단자에 인가되는 게이트 펄스이고, 윗쪽의 파형은 게이트 펄스에 의해 샘플링된 버스트 신호이다.

#### IV. Injection Locking Oscillator

게이트 회로에서 공급되는 버스트 신호는 송신 신호의 위상정보를 가지고 있는 60 MHz의 240 nsec 동안 지속되는 신호이다. Injection Locking Oscillator (ILO)는 게이트 회로로부터 인가되는 버스트를 이용하여 입력신호의 위상정보가 유지되는 안정된 주파수의 신호를 발생한다.

##### 4-1 발진기 회로

ILO로 이용하기 위한 60 MHz 발진기를 구현하기 위한 능동소자로는 BJT를 이용하였다. 발진기에서는 대부분 능동 소자의 포화영역에서 동작하므로 비선형성 해석을 통하여 정확하게 설계가 가

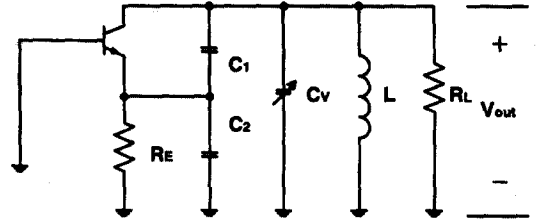


그림 8. 용량성 전압분할 발진기  
Fig. 8. Oscillator with capacitive voltage divider feedback.

능하지만, 본 연구에서는 선형 해석법을 이용하여 설계를 한 후 실험을 통해 정밀하게 조정을 하였다. 발진기의 동작은 증폭회로와 정궤환회로에 의하여 이루어진다. 발진기에서 증폭회로의 순방향 이득을  $G(j\omega)$ , 정궤환회로의 궤환 이득을  $H(j\omega)$ 라 하면, 발진을 하기 위해서는

$$G(j\omega)H(j\omega) = 1 \tag{1}$$

의 Nyquist criterion을 만족하여야 한다[6]. 회로 설계시 포화영역에서 발진조건을 만족하기 위해서는 위 식의 크기는 1보다 큰 값이 되어야 한다.

그림 8은 베이스 접지 증폭기와 용량성 전압분할회로를 이용한 발진 회로의 교류 모델이다. 증폭기의 부하에서  $C_1$ ,  $C_2$  및  $L$ 은 공진회로에서 발진 주파수를 결정하고, 궤환회로는  $C_1$ 과  $C_2$ 로 구성되어 있다.  $C_v$ 는 발진주파수를 세밀조정하기 위한 가변 용량이다. 그림 8의 발진회로는 출력의 일부가 입력으로 궤환하는 구조이므로 이를 보다 용이하게 해석하기 위하여 입력과 출력의 부하를 분리하고 궤환전압은 등가적인 입력신호로 변환하여 해석한다. 트랜지스터를 교류 선형 등가회로로 변환한 후 입력과 출력회로를 분리하면 그림 9의 등가회로를 얻을 수 있다[7]. 트랜지스터는 역방향 전압증폭을  $h_{rb}$ 는 매우 작으므로 영으로 가정하고, 출력저항  $1/h_{ob}$ 는  $R_L$ 에 비해서 매우 크다고 가정하였다. 회로의 Q값이 높고

$$\frac{1}{2\pi f(C_1 + C_2)} \ll \frac{h_{ib}R_E}{h_{ib} + R_E} \tag{2}$$

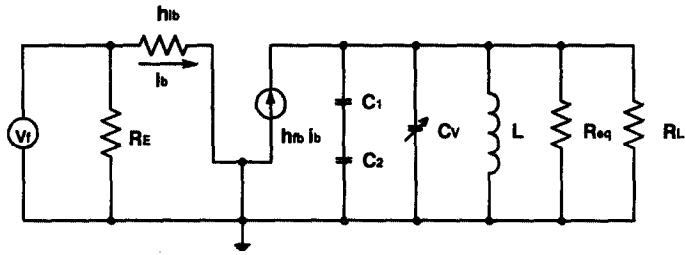


그림 9. 발진기의 단순화된 등가회로

Fig. 9. Simplified equivalent circuit of oscillator.

을 만족할 경우에 궤환전압은 그림 9의 입력측에 출력전압의 증속전원으로 표시할 수 있으며,

$$V_f = \frac{V_{out} C_1}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

이다. 출력측의 부하는 공진회로 및 부하저항과 함께 궤환에 의한  $h_{ib}$ 와  $R_E$ 를 고려하여야 한다. 이들에 의한 부하저항은

$$R_{eq} = \frac{h_{ib} R_E}{h_{ib} + R_E} \left( \frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2 \quad (4)$$

로 계산되어 등가회로에 포함하였다.

단순화된 등가회로로부터 회로의 루프 이득과

궤환율은

$$G(j\omega) = \frac{h_{fb} Z_L}{h_{ib}} \quad (5)$$

$$H(j\omega) = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (6)$$

이며,  $Z_L$ 은 콜렉터 회로의 부하 임피던스이다. 식 (1)의 조건으로부터 위상은  $0^\circ$ 이므로 허수부가 영이 되어야 한다. 따라서 발진 주파수는

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_v \right)}} \quad (7)$$

이며, 공진 주파수에서 부하 임피던스는  $Z_L =$

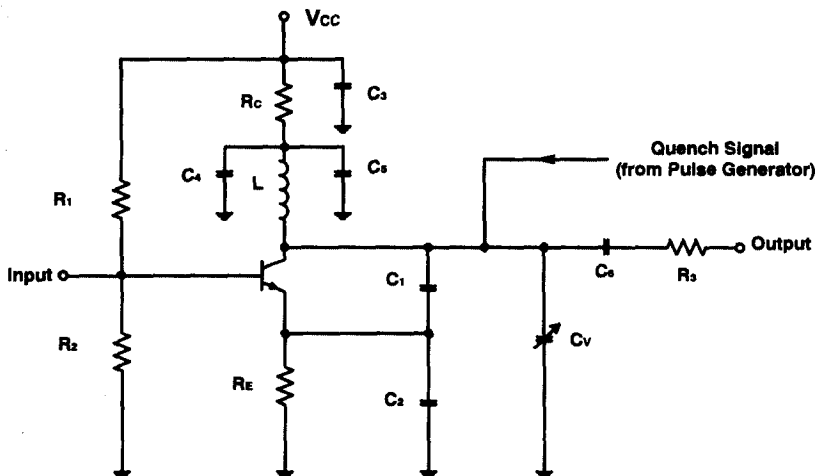


그림 10. 발진기 회로도

Fig. 10. Circuit diagram of the oscillator.

$R_{eq} / R_L$  이므로

$$|G(j\omega)H(j\omega)| = \frac{h_{fb}}{h_{ib}} \left( \frac{R_{eq}R_L}{R_{eq} + R_L} \right) \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (8)$$

는 1보다 큰 값이 되어야 한다.

그림 10은 dc 바이어스를 고려하여 설계한 발진 회로이며, 바이어스는 A급으로 동작하도록 하였다. 사용된 트랜지스터는 Motorola의 2N2857이다. 설계한 발진기를 입력 버스트 신호에 위상 동기되어 동작하는 ILO로 이용하기 위하여 베이스 단자에 입력을 가하였다. 송신 버스트가 가해지기 전에 발진을 멈추도록 하기 위하여 게이트 회로로부터 가해지는 quench 펄스는 그림 4의 FET 스위치를 통하여 발진기의 컬렉터에 연결되어 발진을 제어한다. 자유발진 주파수는 60 MHz가 되도록 공진회로를 설계하였으며, 선형영역에서  $|G(j\omega)H(j\omega)| = 2.9$ 가 되도록 하였다. 공진회로에서  $C_1 = 38 \text{ pF}$ ,  $C_2 = 82 \text{ pF}$ ,  $C_3 = 10 \text{ pF}$ ,  $L = 0.15 \text{ } \mu\text{H}$ 이며,  $C_v$ 는 9~35 pF의 가변 용량기이다. 그림 10의 입력측에 입력 버스트 신호가 가해지면 그림 9의 등가회로에서 베이스와 접지 사이에 신호가 가해지며, 발진기는 입력신호에 위상동기된 신호를 발생한다.

#### 4-2 제작 및 측정

ILO를 제작한 후 발진기 출력의 진폭과 발진주파수 등을 확인하기 위하여 입력 신호를 가하지 않은 상태에서 자유구동발진시의 출력을 측정하였다. 그림 11은 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정한 결과이다. 중심주파수 60.03 MHz로서 설계치과 매우 근접한 주파수로 나타난다. 출력전력은 -26.17 dBm이며, 사용한 프로브의 감쇠가 -7 dBm 정도이므로 실제 출력 전력은 -19 dBm 정도이다. 발진기는 quench 펄스에 의하여 발진을 멈추며, 그림 12는 이러한 동작을 보여주고 있다.

설계된 발진기는 가해진 입력신호의 위상에 동기되어 발진하여야 한다. 위상동기를 측정하기 전에 입력으로 CW(Continuous Wave) 신호를 공급하고 입력주파수 변화에 대한 출력을 관측하였다.

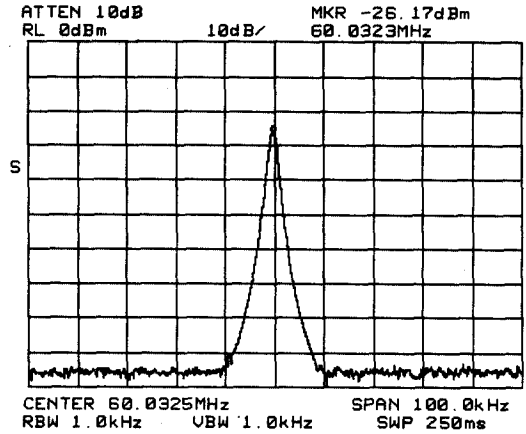
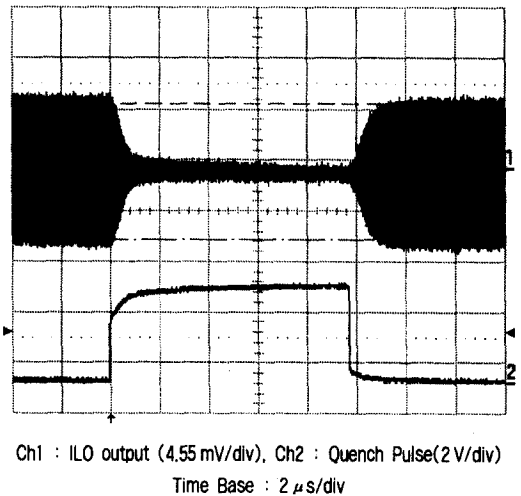


그림 11. 자유구동발진 출력

Fig. 11. Output of free running oscillation.



Ch1 : ILO output (4.55 mV/div), Ch2 : Quench Pulse(2V/div)  
Time Base : 2 μs/div

그림 12. Quench 펄스에 의한 ILO 출력

Fig. 12. Output of ILO due to the quench pulse.

그림 13은 입력주파수를 변경하면서 출력을 측정하여 하나의 그림으로 표시한 것이다. 입력전력을 0 dBm으로 고정하고 주파수를 1 MHz 간격으로 57 MHz에서 64 MHz까지 변화시켜 출력을 측정하였다. 입력신호의 주파수가 60 MHz일 때 최대 출력전력이 발생하며, 약 3.8 MHz 대역에서 입력주파수에 주파수 및 위상이 동기되어 발진한다.

COHO에서 ILO에 공급되는 신호는 게이트 회로를 통과한 매우 짧은 60 MHz 버스트 신호이다. ILO에서는 이 신호에 의하여 발진을 시작하여 위



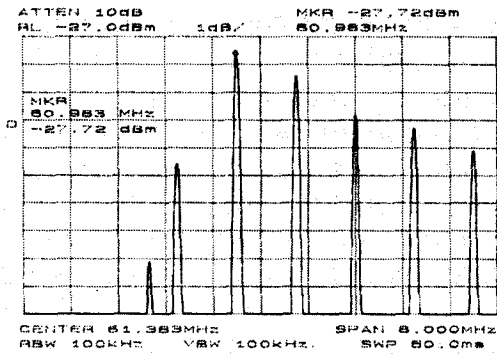


그림 13. 입력 주파수 변화에 대한 출력

Fig. 13. Output power spectrum due to the input frequency variation.

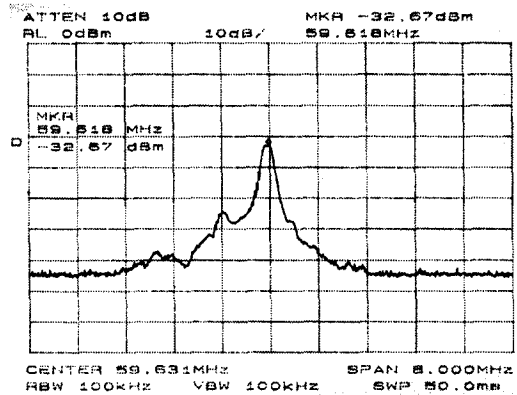
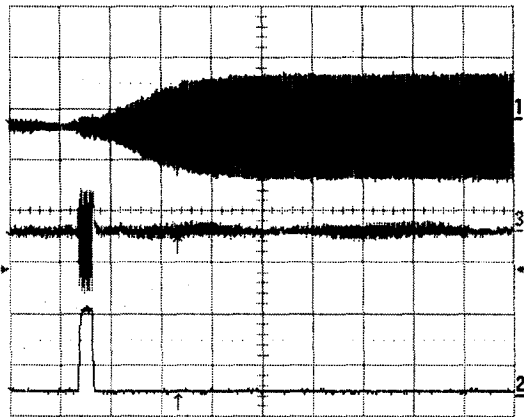


그림 15. 입력 주파수 변화시 ILO 출력주파수 스펙트럼  
Fig. 15. ILO output spectrum for input frequency variation.



Ch1 : ILO output (5.9 mV/div), Ch2 : Gate Pulse (2 V/div),  
Ch3 : Input Burst (50 mV/div)  
Time Base : 0.5µs/div

그림 14. 버스트 신호 입력시 ILO 출력

Fig. 14. Output of the ILO for burst input.

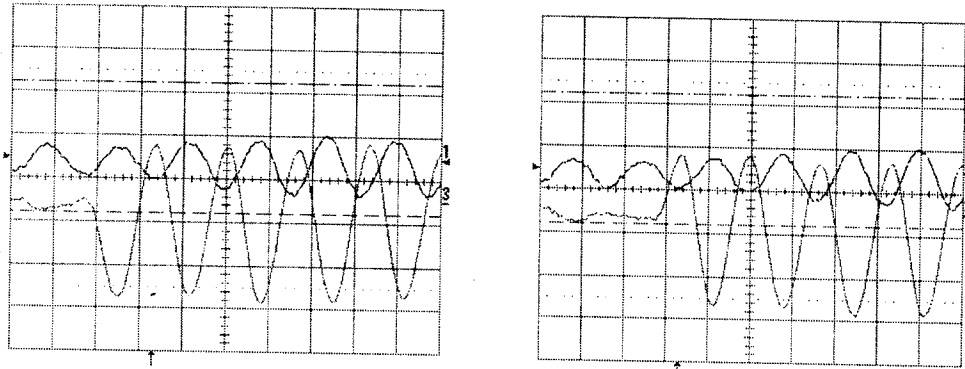
상동기된 신호를 발진한다. 그림 14는 ILO에 게이트 회로에서 공급되는 버스트 신호(그림 7 참조)를 가하여 발진되는 파형을 측정된 것이다. 아랫쪽 그림은 게이트 펄스이며, 중간은 게이트 회로에서 공급되는 버스트 신호이고, 윗쪽 그림은 ILO의 발진출력이다.

그림 15는 -7 dBm의 버스트 신호를 입력으로 사용하고, 주파수를 서서히 변화시킬 때 ILO 출력 주파수를 스펙트럼 분석기의 max hold 기능을 사용하여 측정된 것이다. 입력 버스트의 주파수에 따

라 출력 신호의 주파수는 변화하지 않고 일정한 주파수로 발진하는 것을 확인할 수 있다.

게이트회로에서 ILO에 공급되는 버스트 신호는 각각의 펄스마다 위상이 다르게 시작한다. ILO에서는 마그네트론에 의해 발생하는 펄스 신호의 위상을 추적하여 위상동기된 안정된 신호를 발생하여야 한다. 따라서 매우 짧은 기간동안의 펄스신호에 대해 위상동기된 출력을 발생하여야 한다. 그림 16은 ILO의 입력이 240 nsec의 버스트 일 때 입력과 출력의 위상관계는 나타낸 것이며, 그림 14에서 ILO(Ch1)가 발진을 시작하는 부분을 측정된 것이다. 여기서 출력은 입력의 위상과 180°차를 가지고 발진을 하는 것을 알 수 있다. 이는 신호가 트랜지스터를 거치면서 위상이 180° 달라지기 때문이다. 서로 다른 펄스에 대한 측정을 여러 회 수행한 결과 위상이 다르게 출발하는 버스트 신호에 대해 ILO의 입력과 출력의 위상이 동기 되는 것을 확인하였다.

그림 17은 COHO의 jitter를 측정된 것으로 Le-Croy LC584AXL 오실로스코프의 JTA(Jitter and Timing Analysis) 패키지를 이용하였다. 그림의 위쪽은 ILO의 출력 파형이고 아래쪽은 jitter의 히스토그램이다. 히스토그램의 x-축은 시간 축이고, y-축은 주기의 빈도 수이다. 즉 각각의 사이클에 대해서 주기를 측정하여 측정 범위내의 사이클에서 주기의 빈도 수를 나타낸 것이다. 측정은 ILO가



Ch1 : Input Burst (2 mV/div), Ch3 : ILO output (20 mV/div)  
Time Base : 10 ns/div

그림 16. 버스트 신호에 대한 위상동기

Fig. 16. Phase-locking of the ILO for input burst.

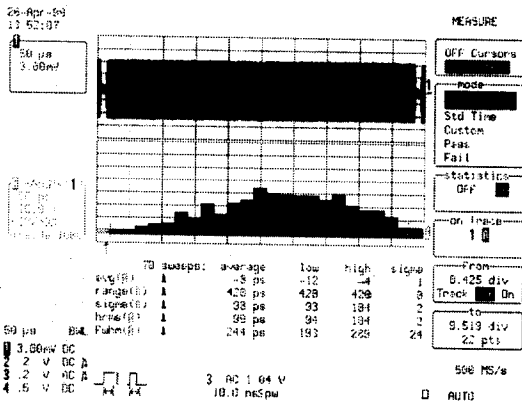


그림 17. 제작된 ILO의 jitter

Fig. 17. Jitter of fabricated ILO.

발진을 시작하여 발진이 멈추기 직전까지의 기간 동안에 대하여 행하였으며, 측정기간은 약 460  $\mu$ sec 이다. 이러한 측정을 70회 반복하여 평균을 하여 측정치를 구하였으며, 측정된 jitter 값은 98 ps RMS이다. 98 ps의 jitter는 주기로 나누어서 각도로 변환할 경우 460  $\mu$ sec sample에 대해 2.12 degree RMS이다.

### V. 완충증폭기 및 COHO의 동작

ILO에서 발생하는 송신 버스트에 위상동기된 신호는 수신기의 I/Q 복조기에 인가하기에는 매우

낮은 신호레벨을 나타내고 있다. 완충증폭기에서는 ILO의 출력을 증폭하여 수신기의 I/Q 복조기에 가하며 임피던스 정합을 한다. I/Q 복조기에서는 10 dBm 이상의 입력 신호 레벨과 50  $\Omega$ 의 임피던스 정합이 요구된다. 그림 18은 구현한 완충증폭기의 구조를 보여주고 있다. ILO의 출력신호는 약 -20 dBm 정도로서 매우 작으므로 충분한 증폭을 위하여 3단 증폭기를 구성하였다. 3단 증폭기는 2단의 에미터 접지로서 이득을 높이고 에미터 폴로워를 사용하여 전력증폭을 하였으며, 37 dB의 이득을 얻었다. I/Q 복조기에 신호를 공급하기 위하여 Motorola의 MWA-120을 이용하였다. 이 증폭기는 입력 및 출력 임피던스가 50  $\Omega$ 이므로 복조기에 연결이 용이하고, 대신에 전력증폭기로 사용되었다. 완충증폭기에서는 전체적으로 40 dB 정도의 이득을 구현하고, 임피던스 정합을 하였다.

완충증폭기의 출력은 COHO의 최종 출력으로서 송신 신호의 위상에 동기된 신호를 발생하여야 한다. 그림 19는 게이트 회로의 출력 버스트 신호에 대한 COHO 출력의 위상관계를 보여주고 있다. ILO에서 위상동기된 신호를 발생하고 완충증폭기에서 지연되어 나타나며, 전체적으로 위상동기가능함을 확인할 수 있다. 위상이 다른 여러 개의 입력 버스트에 대한 실험 결과 위상동기를 확인하였다. 이로써 제작된 COHO unit가 레이다의 위상측정을

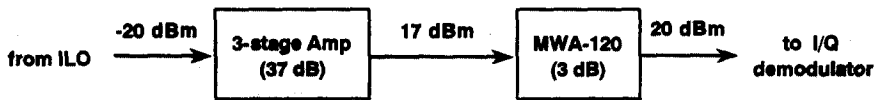
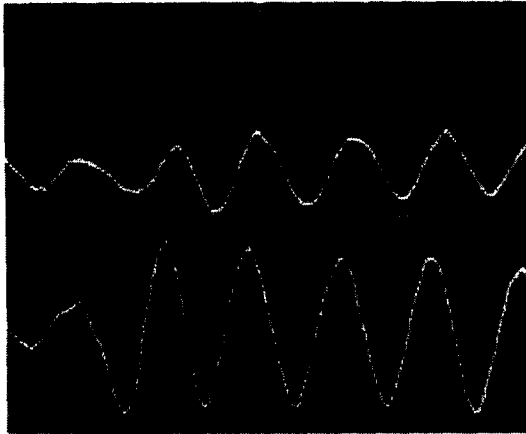


그림 18. 완충증폭기

Fig. 18. Buffer amplifier.



Upper : COHO output(100 mV/div), Lower : Input Burst (50 mV/div)  
Time Base : 10 ns/div

그림 19. COHO unit의 위상동기

Fig. 19. Phase-locking of COHO unit.

위한 coherent-on-receiver 시스템에서 사용될 수 있음을 알 수 있다.

## VI. 결 론

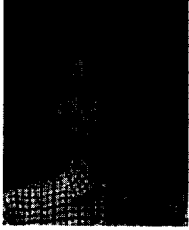
마그네트론을 사용하여 송신펄스를 발생시키는 레이더에서 위상추정을 하기 위한 coherent-on-receiver 시스템으로 동작시키기 위해 사용되는 COHO Unit를 개발하였다. 마그네트론에서 발생되는 위상이 일정하게 시작되지 않는 송신신호로부터 게이트 회로를 이용하여 신호의 일부분을 샘플링 한 다음 위상동기된 신호를 발생시켰다. 이를 위해 게이트 회로, ILO 등을 개발하고, 완충 및 신호 레벨을 위한 증폭기, 펄스 발생기 등을 구성하여 시스템을 완성하였다. 제작된 COHO unit에서는 위상이 서로 다른 각각의 버스트 신호에 대해 위상동기되어 발전함을 확인하였고, I/Q 복조기를 구동할 수 있는 충분한 전력으로 증폭되었다. 제작된 COHO unit는

탐지와 추적을 동시에 수행하는 X 밴드의 펄스형 레이더에서 coherent-on-receiver 형태의 시스템을 구현하는데 이용될 수 있으며, 보다 향상된 레이더 시스템을 구축하는 데 중요한 바탕이 된다.

## 참 고 문 헌

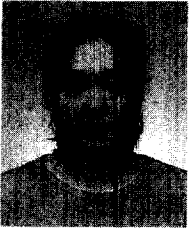
- [1] Byron Edde, *RADAR : Principles, Technology, Application*, Prentice Hall, 1993.
- [2] Merrill I. Skolnik, *Radar-Handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1990.
- [3] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 1980.
- [4] Jerry L. Eaves and Edward K. Reedy, *Principles of Modern Radar*, VNR, 1987.
- [5] Kurokawa, K., "Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillator," *Proc. IEEE*, vol. 61, no. 10, October, 1973, pp. 1386-1410.
- [6] Jacob Millman and Arvin Grabel, *Microwave electronics*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1987.
- [7] U. L. Rohde, J. C. Whitaker and T. T. N. Bucher, *Communications Receivers*, ch. 7, 2nd ed., McGraw-Hill, 1996.
- [8] Guillermo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, 2nd ed: Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1996.
- [9] Kai Chang, *Microwave Solid-State Circuit and Application*, New York: John Wiley & Sons, 1994.
- [10] George. D. Vendelin, *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques*, John Wiley & Sons, 1990.

조 태 복(趙泰福)



1998년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
1998년~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정  
관심분야 : 레이더, 안테나, 초고주파 집적회로 등

신 혜 진(申惠珍)



1998년 2월 : 대전산업대학교 정보통신공학과(공학사)  
1998년~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정  
관심분야 : 레이더, 전자파 전파 등

이택경(李澤璟)



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 Austin, Post-Doctoral Fellow  
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