

# Injection-Locking Coupled Oscillators를 이용한 빔 주사 용 능동 위상배열안테나의 설계 및 제작

正會員 이 두 한\*, 김 교 헌\*\*, 홍 의 석\*\*\*

## A Design and Fabrication of Active Phased Array Antenna for Beam Scanning using Injection-Locking Coupled Oscillators

Du Han Lee\*, Kye Hun Kim\*\*, Ui Seok Hong\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 Injection-Locking Coupled Oscillators(ILCO)를 이용한 빔 주사용 3단 Active Microstrip Phased Array Antenna(AMPAA)를 설계·제작하였다.

AMPAA는 ILCO의 주파수 변위에 의해서 빔이 전자적으로 제어되는 주파수 스캐닝 능동 안테나이다. 이때 ILCO는 배열소자간의 주파수 동기, 위상변위기, 그리고 증폭 역할을 하며 마이크로스트립 패치는 방사 소자로 동작한다.

그리고 AMPAA의 상호결합(mutual coupling) 소자로 이용된 단방향성 증폭기는 역방향 locking 신호 제거와 locking 대역폭을 제어하는 역할을 한다. 이와 같은 AMPAA는 제작·공정상의 단순화와 고집적화로 인한 T/R 모듈의 Monolithic Microwave Integrated Circuits(MMIC) 가능성을 제시한다.

상호결합 간격은 다중모드를 최소화하며 넓은 스캐닝 각을 얻기 위하여  $0.75\lambda_0$ 로 구현하여 AMPAA는  $31.4^\circ$ 의 빔 스캐닝 각을 얻었으며 HPBW(Half Power Beam Widths), 지향성 이득, 그리고 부엽 준위는 각각  $26^\circ$ , 13.64dB, 그리고  $-16.5$ dB를 얻었다.

### ABSTRACT

A 3-stages Active Microstrip Phased Array Antenna(AMPAA) is implemented using Injection-Locking Coupled Oscillators(ILCO).

The AMPAA is a beam scanning active antenna with capability of electrical scanning by frequency variation of

\*특허청 심사4국 통신심사담당관실

\*\*텔슨전자 기술연구소

\*\*\*광운대학교 전자공학과(신기술 연구소 연구원)

論文番號:97062-0218

接受日字:1997年 2月 18日

ILCO.

The synchronization of resonance frequencies in array elements is occurred by ILCO, and the ILCO amplifies the injection signal and functions as a phase shifter. The microstrip patch is operated as a radiation element.

The unilateral amplifier is a mutual coupling element of AMPAA, eliminates the reverse locking signal and controls the locking bandwidth of ILCO. The possibility of Monolithic Microwave Integrated Circuits(MMIC) of T/R module is proposed by simplified and integrated fabrication process of AMPAA.

The  $0.75\lambda_0$  is fixed for a mutual coupling space to wide the scanning angle and minimize the multi-mode.

The AMPAA has beam scanning angle of  $31.4^\circ$ , HPBW(Half Power Beam Widths) of  $26^\circ$ , directive gain of 13.64dB and side lobe of  $-16.5$ dB were measured, respectively.

I. 서 론

최근 초고주파 소자와 Microwave Integrated Circuits(MIC) 기술의 발달은 마이크로스트립 안테나와 발진기, 증폭기, 그리고 위상변위기 등을 동일 기판상에 집적화한 RF 일체형 안테나의 발전을 가져왔다<sup>[1-5]</sup>. 특히, 전파 자원의 효율적인 활용을 위한 협소한 빔 형성(beam forming), 빔 주사(beam scanning) 기능을 갖는 능동 위상배열안테나에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[3-5]</sup>.

능동 위상배열안테나는 방사소자인 안테나와 소스원인 위상변위기로 구분되는데 방사 소자는 능동 소자와 임피던스 정합이 쉽고 집적화에 용이한 평면형 마이크로스트립 안테나가 적합하다. 또한 위상변위기는 안테나 시스템의 전체적인 성능을 좌우하는 핵심소자로서 위상변위 뿐만 아니라 증폭기능을 갖는 다기능의 Injection Locking Oscillator(ILO)가 새롭게 연구되어지고 있다<sup>[3-8]</sup>.

본 논문에서는 ILO를 선형배열한 Injection-Locking Coupled Oscillators(ILCO)와 Microstrip Patch Antenna(MPA)를 동일 평면상에 3단으로 선형 배열한 3-Active Microstrip Phased Array Antenna(AMPAA)를 설계·제작하였다. ILCO는 마이크로스트립 배열 안테나와 동일 평면상에 집적화가 용이하며 빠르고 지속적인 위상변위와 불연속적인 위상변위가 가능한 뿐만 아니라 증폭 기능으로 인한 전력 결합기와 위상변위기의 수를 최대한 줄일 수 있는 장점을 갖기 때문에 향후 T/R 모듈의 MMIC화에 적합하리라 본다<sup>[8]</sup>.

제 II 장에서 능동 위상배열안테나의 이론적인 근거를 제시한 후 ILCO 이론과 선형 마이크로스트립

배열안테나에 대한 수학적 해석을 유도하였다. 이와 같은 이론적 근거를 바탕으로 제 III 장에서는 ILCO 설계와 선형 마이크로스트립 배열안테나를 설계한 후 최종적으로 3-AMPAA를 최적 설계하였다. 최적 설계된 ILCO, 3-AMPAA의 측정 결과는 제 IV 장에서 보여주고 있다.

II. 능동 마이크로스트립 위상배열안테나

2.1 능동 위상배열안테나

능동 위상배열안테나는 이동통신, 위성통신, 그리고 레이더 시스템에 적합한 안테나로서 협소한 빔을 형성할 뿐만 아니라 빔을 전자적으로 조절할 수 있는 장점을 갖는다. 특히, 능동 위상배열안테나의 핵심 소자인 위상변위기는 위상만을 제어하는 위상 스캐닝(phase scanning) 방식이 주류를 이루었으나 최근에는 결합 단자간의 주파수 동기화 증폭 기능을 갖는 ILO를 이용한 주파수 스캐닝(frequency scanning) 기법이 연구되고 있다<sup>[3-5, 8]</sup>.

그림 1은 위상변위기와 집적화된 AMPAA 시스템의 블록도이다.

AMPAA는 ILCO, 단방향성 증폭기, 그리고 패치 배열안테나로 구성되며 ILCO의 상호결합 소자인 단방향성 증폭기는 주파수 동기와 locking 대역폭을 제어함과 동시에 역방향 locking 신호를 제거한다. 그림상에서 외부 RF 소신호( $\omega_{inj}$ )에 의해서 locking된 첫 번째 단 AMPAA의 방사출력  $\phi_1$ ,  $\rho_0$ 는 두 번째 단 AMPAA를 locking시켜  $\phi_2$ ,  $\rho_0$ 의 방사출력을 유도한다. 즉, AMPAA(ILCO) 사이에는 일정한 위상차  $\phi_2 - \phi_1$ 과 일정한 출력  $\rho_0$ 를 갖게되며 N개의 선형배열시  $\Delta\phi = \phi_n$

$-\phi_{n-1}$ 의 위상변위가 지속적으로 일어난다. 이때 첫 번째단 AMPAA(ILCO)는  $\phi_1=0^\circ$ 의 기준 신호가 되어 2, 3, ...은  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ 를 갖는다<sup>[3]</sup>. 이와 같은 위상변위는 ILCO의 바이어스 전압에 의한 발진 주파수의 변화로 주파수를 스캐닝하는 기법으로서 AMPAA의 주 빔이 이탈되는 각( $\theta_p$ )은 스캐닝 각이 된다<sup>[3, 5]</sup>.

$$\theta_p = \sin^{-1} \left( \frac{\Delta\phi \lambda_0}{2\pi d_x} \right), \quad d_x = \frac{\lambda_0}{1 + \sin \theta_{\max}} \quad (1)$$

식 (1)의  $d_x$ 는 AMPAA 사이의 간격으로써 빔 스캐닝 각과 부엽(side lobe), 그리고 주파수 안정도(frequency stability)를 결정하는 파라미터인데  $0.5\lambda_0 \sim 1\lambda_0$ 를 기준으로 할 때 가장 이상적이다. 이때 최대 스캐닝 각은  $-90^\circ < \Delta\phi < +90^\circ$ 에서 발생한다<sup>[3, 4]</sup>.

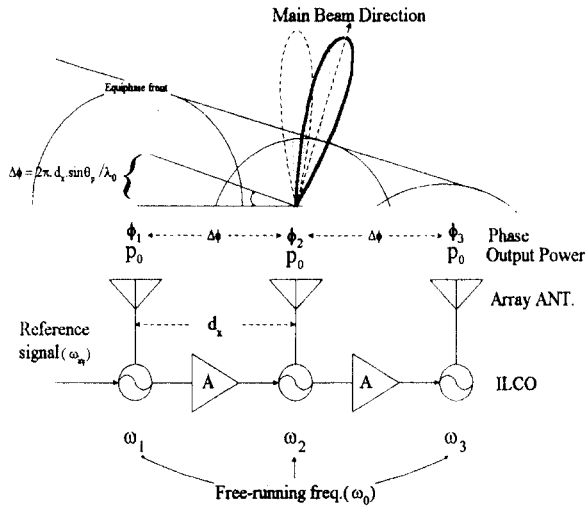


그림 1. 능동 위상배열안테나의 블록도  
Fig. 1 Block diagram of active phased array antennas.

### 2.2 Injection-Locking Coupled Oscillators

AMPAA의 위상변위기로 이용되는 ILCO에 대한 injection-locking 기법은 1920년 Van der Pol에 의해서 정립되었다.

Injection-Locking 기법은 Voltage Controlled Oscillator(VCO)의 입·출력부에 RF 소신호를 인가하는 기법으로써<sup>[4, 6]</sup> ILO 특성은 그림 2의 소자(device) 임피던스 궤적과 회로(circuit) 임피던스 궤적의 상호 변화에 의해서 설명될 수 있다.

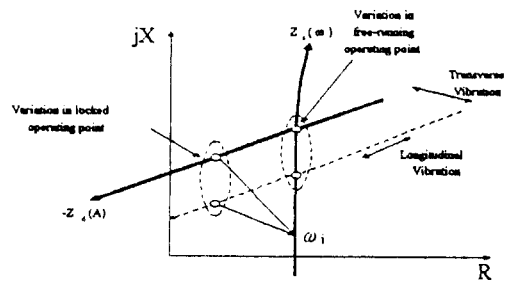


그림 2. ILO의 특성  
Fig. 2 Characteristic of ILO.

여기서,  $-Z_d(A)$ 는 device 임피던스,  $Z_c(\omega)$ 는 circuit 임피던스를 나타내며 locking 모드에서 발진 신호는 circuit 궤적상의  $\omega_0$ 에 고정되어 AM, FM 및 PM 잡음 특성은 월등히 개선 되지만 device 임피던스 궤적의 transverse 진동에 의한 FM 잡음은 완전히 제거되지 않으며 이는 일정한 locking 범위 내에서 위상변위를 발생시킨다. 때문에 ILO를 선형 배열시(ILCO) 각각의 ILO 사이에는 바이어스 전압에 의해서 일정한 위상변위를 만들 수 있다.

그림 3은 ILCO의 배열 소자인 전송형 Injection-Locking Hair-pin Resonator Oscillator(ILHRO)의 블록도로써 미선형 소자(MESFET), hair-pin 공진기, 그리고 injection 단자인  $-10\text{dB}$  방향성 결합기로 구성된다<sup>[8]</sup>.

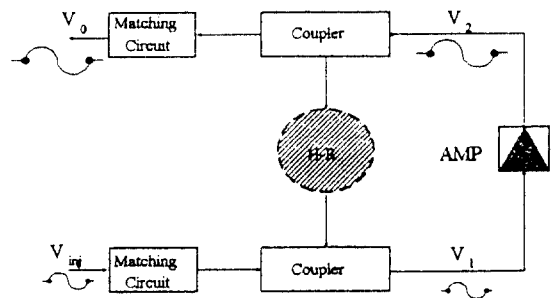


그림 3. ILHRO의 블록도  
Fig. 3 Block diagram of ILHRO.

윗 그림에서 ILHRO가  $V_{in}$ 에 의해서 locking되어 정상상태로 동작시 injection 신호( $\omega_{inj}$ )와 free-running 신호( $\omega_0$ ) 사이의 위상변위는 아래 식과 같다.

$$\Delta\phi = \sin^{-1} \left( \frac{\omega_{inj} - \omega_0}{\Delta\omega_m} \right) \quad (2)$$

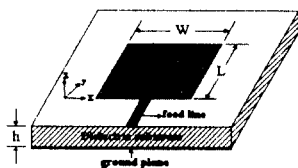
여기서,  $\Delta\omega_m \left( \frac{\omega_0}{2Q_{ext} \cdot b_c} \frac{A_{inj}}{A} \right)$ 은 locking 대역폭으로서 결합 계수  $b_c$ 와 외부 양호도  $Q_{ext}$ 에 반비례하며  $b_c$ 는 진압 이득  $A$ 에 반비례한다<sup>13, 4)</sup>. 이때  $A_{inj}$ 는 injection locking 신호의 크기를 나타낸다.

### 2.3 선형 마이크로스트립 배열안테나

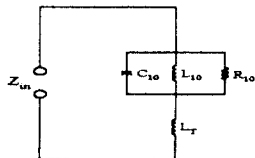
선형 마이크로스트립 배열안테나의 근사적 해석으로는 전송선로 모델(transmission line model)<sup>9)</sup>과 공진기 모델(cavity model)<sup>10)</sup>이 대표적이다.

안테나의 방사 엷지를 슬롯(slots)으로 가정한 전송선로 모델은 공진 길이와 폭을 쉽게 구할 수 있으나 부정확한 단점을 갖는다. 반면에 공진기 모델은 패치가 완전한 자계벽(magnetic wall)으로 둘러싸여 전계는 Z 성분만을 갖는 얇은  $TM_{mn}$ -모드로 가정한 해석 방법으로 기판의 두께(h), 전계 효과 등을 고려하게 된다<sup>11, 2, 6)</sup>.

그림 4는 폭과 길이가 W, L인 구형패치 안테나의 구성도(a)와 공진기 모델에 의해서 간략화된  $TM_{10}$ -모드의 등가회로(b)이다.



(a) 구성도



(b) 등가회로

그림 4. 마이크로스트립 패치 안테나와 등가회로( $TM_{10}$ )  
Fig. 4 Microstrip patch antenna and equivalent circuit.

그림 4(b)의  $TM_{10}$ -모드 등가회로에서 입력 임피던스( $Z_{in}$ )는 다음과 같다.

$$Z_{in} = -iX_L - \frac{j(\omega/C_{10})}{\omega^2 - (\omega_r + j\omega)^2} \quad (3a)$$

$$(\omega_r + j\omega)^2 = \omega_{10}^2(1 + j/Q) \quad (3b)$$

여기서,  $Q$ 는 양호도,  $C_{dc}$ 는 패치의 dc 캐패시턴스로서  $\epsilon WL/h$ , 그리고  $\omega_{10}$ 은 공진 각주파수를 나타내며 직렬 리액턴스  $X_L$ 은 기판의 두께(h)에 의해 영향을 받는다<sup>11, 2)</sup>. 이때 패치안테나의 공진주파수는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} \quad (4)$$

이와 같은 단일 패치안테나를 일정한 결합 간격( $d_x$ )으로 선형 배열한다면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

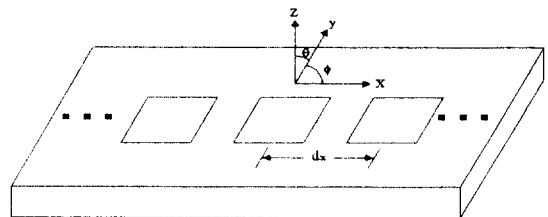


그림 5. 선형 마이크로스트립 배열안테나  
Fig. 5 Linear microstrip array antenna.

$N$ 개의 선형 배열에 대한 far-field가 다음과 같을 때

$$E(\theta, \phi) = g(\theta, \phi) \sum_{m=1}^N I_m e^{j(m k_0 d_x \sin\theta \cos\phi + \alpha)} \quad (5)$$

$\alpha$ : 배열 소자간의 위상차  $I_m$ : 배열 소자들의 amplitude

방사패턴은 배열요소(array factor)인  $f(\theta, \phi)$ 와 단일 안테나 소자에 대한 방사패턴인  $g(\theta, \phi)$ 의 곱으로서 아래와 같이 표현할 수 있으며<sup>12, 6)</sup>

$$E\text{-패턴} : g(\theta, \phi) = \frac{\sin(k_0 \frac{W}{2} \sin\theta)}{k_0 \frac{W}{2} \sin\theta} \cos\theta \quad (6a)$$

$$H\text{-패턴} : g(\theta, \phi) = \cos(k_0 \frac{L}{2} \sin \theta) \quad (6b)$$

이때 이득은 지향성 이득과 손실되는 값에 대한 차로써 다음과 같이 간략화 된다.

$$G \approx 10 \log_{10}(N \cdot \eta) + G_s \quad (7)$$

여기서, N은 배열된 안테나 소자의 수이며  $\eta$ 는 안테나 효율이다. 일정한 간격으로 구성된 배열안테나는  $\eta=1.0$ 이고,  $G_s$ 는 단일 소자에 대한 안테나 이득으로서 패치 안테나는 약 3~6dB이다.

### III. 설계 및 제작

#### 3.1 Injection-Locking Coupled Oscillators

본 논문의 ILCO는 상용 마이크로웨이브 CAD인 HP사의 MDS로 설계하였다. ILCO를 구성하는 주서브 회로인 ILHRO를 최적 설계한 후 단방향성 증폭기를 상호결합 소자로 2단 ILCO를 설계하였다. ILHRO와 단방향성 증폭기의 비선형 능동소자는 2~16GHz에서 저잡음 증폭소자로 동작하며  $P_{1dB}$ 는 17.5dB,  $NF_0$ 는 1.1dB를 갖는 GaAs MESFET인 ATF13036 소자를 이용하였다.

ILHRO에서 광대역 케환 소자로 이용된 hair-pin 공진기의 설계 파라미터는 중심 주파수인 11.0GHz에서 다음과 같다.

$$Z_s = 50\Omega, \theta_s = 104^\circ(\text{deg}), Z_{pc} = 89.2\Omega, Z_{po} = 28\Omega, Q_{cut} = 148$$

그림 6은 ILHRO의 harmonic balance 비선형 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 기준 주파수인 11.0GHz에서 약 17dBm의 높은 출력 레벨과 2차 고조파간의 차가 -45dBc로 우수한 고조파 억제량을 얻었다.

그림 7은 ILCO의 결합소자로 이용된 단방향성 증폭기에 대한 시뮬레이션 결과이다. AMPAA의 빔 스퀘어링 각과 주파수 안정도를 결정하는 상호결합 간격을 고려하여 ILCO 사이의 간격(d)이  $0.75\lambda_0$ 가 되도록 단방향성 증폭기의 길이를 최적화 하였으며 또한 단방향성 증폭기에서 발생할 수 있는 위상변위 값이 "0"가 되도록 비선형 해석을 이용하여 최적 설계 하였다.

ILCO의 제작은 AMPAA에서 패치 안테나의 방사 효율을 고려하여  $\epsilon_r=2.6$ ,  $h=0.54\text{mm}$ 인 Chukoh사의 Teflon 기판으로 제작하였다.

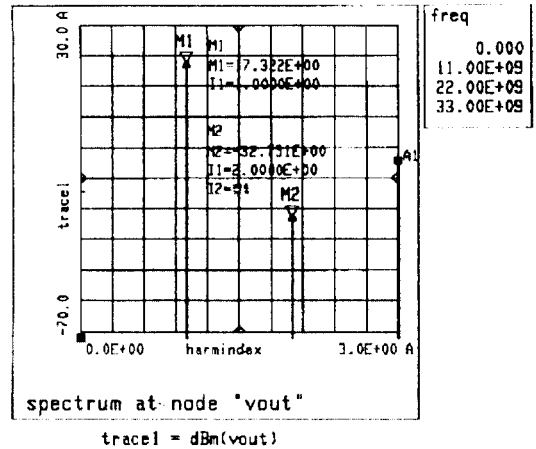


그림 6. ILHRO의 비선형 특성  
Fig. 6 Nonlinear characteristic of ILHRO.

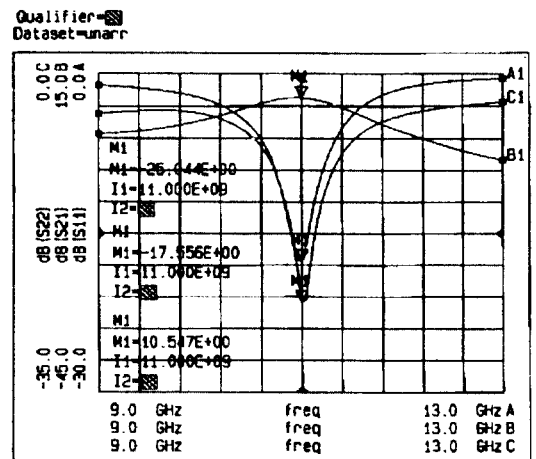


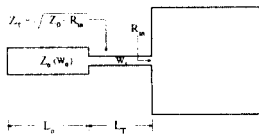
그림 7. 증폭기의 시뮬레이션 결과 특성  
Fig. 7 Simulation results characteristic of amplifier.

#### 3.2 능동 마이크로스트립 위상배열안테나

MPA는 전송선로 모델을 이용하여 설계 주파수인 11.0GHz에서 패치의 공진길이 L과 폭 W를 구한 후 공진기 모델 해석 방법인 Pozar의 MSANT 프로그램을 이용하여 급전선로의 특성 임피던스와 MPA의 입

력 임피던스를 결정하였다. 최적 설계된 패치 안테나의  $L$ 과  $W$ 은 반파장 공진기( $0.5\lambda_g$ ) 보다 작은  $0.46\lambda_g$ 를 보였으며 급전회로부는  $\lambda_g/4$  변환기를 이용하여 50Ω 전송선로와 패치 안테나를 임피던스 정합시켰다.

그림 8은 최종적으로 설계된 MPA의 구성도와 파라미터 값을 보여주고 있으며 설계 기판에 대한 제원은 ILCO와 같다.



$\epsilon_r$	h	L	W	$\epsilon_r$	$\tan\delta$	$R_n$	$R_r$	BW
2.6	0.54mm	7.98mm	7.98mm	11.002	0.0022	250.75Ω	250.75Ω	3.0%
$Z_0 = 50\Omega$		$L_o = 7.875\text{ mm}$		$W_o = 1.40\text{ mm}$				
$Z_r = 111.97\Omega$		$L_r = 4.830\text{ mm}$		$W_r = 0.236\text{ mm}$				

그림 8. MPA의 회로도  
Fig. 8 MPA layout.

이와 같이 최적 설계된 MPA와 ILCO를 동일 평면 상에 집적화하므로써 3-AMPAA를 최종적으로 설계하였다. ILCO의 출력단과 MPA의 급전회로부에 매칭된 ILCO의 출력부에서 MPA에 입력되는 신호가 위상이 "0"을 가지며 최대 출력을 갖도록 최적화하였다.

그림 9은 3-AMPAA의 회로도를 보여주고 있다. 3-ILCO와 마이크로스트립 배열안테나를 집적화하므로써 설계와 제작상의 단순화를 기대할 수 있으며 RF 일체형 안테나에 적합한 형태이다. ILCO 사이의 주파수 상호동기 소자로 단방향성 증폭기를 이용하므로써 우수한 아이솔레이션 특성 뿐만 아니라 locking

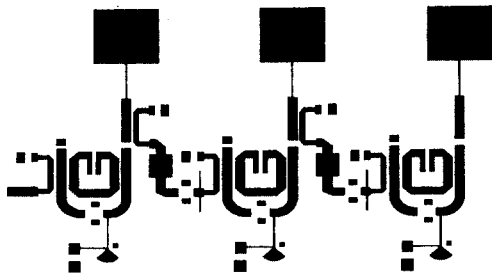


그림 9. 3-AMPAA 회로도  
Fig. 9 3-AMPAA layout.

대역폭을 제어할 수 있었다. 이와 같이 설계·제작된 3-AMPAA의 음화필름 회로도를 그림 9에서 보여주고 있다. 그림에서와 같이 injection 단자는 50Ω SMA connector를 이용하였다.

#### IV. 측정 및 결과 분석

3-AMPAA는 2-ILCO의 위상 변위량과 MPA의 임피던스 정합 및 방사특성을 측정 후 최종적으로 측정·분석하였다.

ILHRO의 free-running 모드에  $V_{ds} = 4.3V$ 를 인가했을 때 설계주파수인 11.0GHz에서 11.17dBm의 출력 레벨을 보였으며  $V_{ds} = 5.5V$ 에서 출력 레벨이 오히려 감소하는 포화 현상을 나타냈다.

그림 10은 두 번째단 ILCO의 locking 모드에 대한 출력 특성으로써 11.0GHz, -14dBm의 locking 신호를 -10dB 방향성 결합기로 인가할 때 첫 번째단의 locking 신호에 동기되어 short term stability와 AM, FM 및 PM 등의 잡음 특성이 월등히 개선되었으며 출력 레벨도 13.85dBm으로 free-running(11.17dBm) 모드 보다 약 12% 증가된 결과를 얻었다.

그림 11은 두 번째단 ILCO에 대한 locking 대역폭을 측정한 것이다. 첫 번째단 ILCO에서 측정된 11.5MHz보다 약 20% 향상된 14MHz의 locking 대역폭을 얻었다. 즉, locking 대역폭을 결정하는 locking 신호 레벨을 단방향성 증폭기로 제어하므로써 향상된 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이때 첫 번째단과 두 번째단의 전압은  $V_{ds} = 4.3V$ 로 동일한 값이다.

그림 12은 두 번째단 ILCO의 unlocking 모드에 대한 출력 스펙트럼이다. 14.0MHz locking 대역의 한계 전압인 4.0V~5.2V를 벗어날 경우 출력 레벨이 감소하며 주파수 안정도와 잡음 특성이 free-running 모드와 유사한 결과를 보였다.

그림 13는  $\omega_{inj} - \omega_0$  값에 따른 ILCO의 위상변위( $\Delta\phi$ ) 값을 나타낸 것이다. 두 번째단 ILCO의 locking 전압인 4.0V~5.2V에서 얻은  $\omega_{inj} - \omega_0 = -6.8\text{MHz} \sim 6.9\text{MHz}$ 에 대하여 측정된  $\Delta\phi = -78^\circ \sim +80.4^\circ (158.4^\circ)$ 를 얻었다. 이와 같은  $\Delta\phi$ 와  $d_x = 0.75\lambda_0$ 에 의해서 예측할 수 있는 빔 스캐닝 각은  $33.4^\circ$ 로서 이론치의  $38.4^\circ$ 와 비교할 때 약  $5^\circ$ 의 오차가 발생하였다. ILCO에서 첫 번째단과 두 번째단의 위상잡음은 약  $-107\text{dBc/Hz}(\text{offset})$

freq.:100KHz)로서 우수한 특성을 보였다.

이와 같이 측정된 ILCO의 바이어스 전압과 위상변위 값을 기초로 MPA와 AMPAA에 대한 방사패턴 측정은 그림 14에서 보여주고 있는 NSI 233L Near-Field System 측정 장비를 이용하였다. 설계·제작된 AMPAA를 송신 안테나, 도파관을 수신 안테나로 설정하여 near-field pattern을 측정하였으며 far-field pattern은 제어용 P.C상의 Fast-Fourier Transform(FFT)로 예측할 수 있었다. 이때 송·수신 안테나 사이의 거리는 near-field pattern 측정 거리인 약  $3\lambda_0$ 이다.

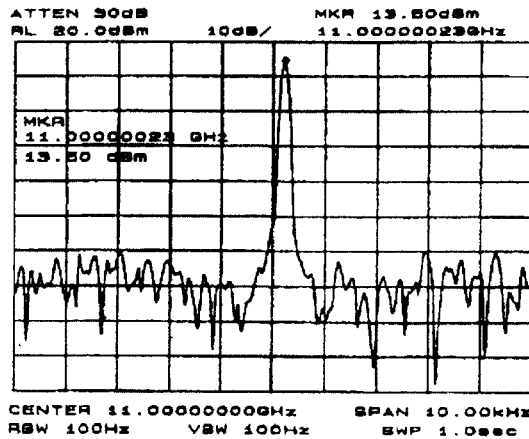


그림 10. ILCO의 출력 특성(span 10kHz)  
Fig. 10 Output characteristic of ILCO(span 10kHz).

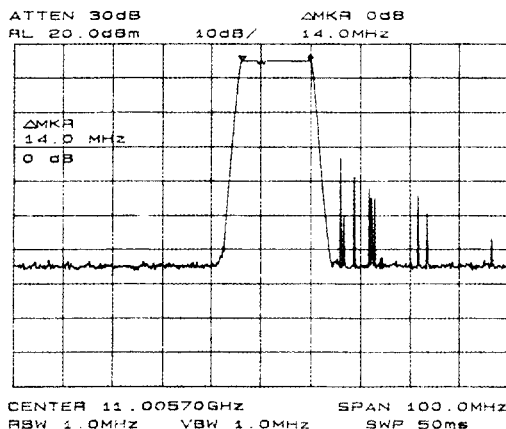


그림 11. ILCO의 locking 대역폭  
Fig. 11 Locking bandwidths of ILCO.

그림 15은 설계·제작된 MPA의 반사손실 특성을 나타낸 것으로서 설계 주파수에서 10KHz offset된 11.01GHz에서 최대 반사손실  $-39.5\text{dB}$ (VSWR = 1.02)을 얻었다.

그림 16은 3-AMPAA의 합 방사패턴에 대한 측정 결과로서 3-ILCO에  $V_{ds1} = 4.1\text{V}$ ,  $V_{ds2} = 4.1\text{V}$ , 그리고  $V_{ds3} = 5.0\text{V}$ 를 인가했을 때 중심 주파수에서 20MHz offset된 11.02GHz에 동기되어 최대 방사 특성을 보였으며 이때 단방향성 증폭기는  $V_{gs} = -0.4\text{V}$ ,  $V_{ds} = 2.5\text{V}$ 였다. 이때 측정된 HPBW와 부엽은 약  $26^\circ$ (이론치:

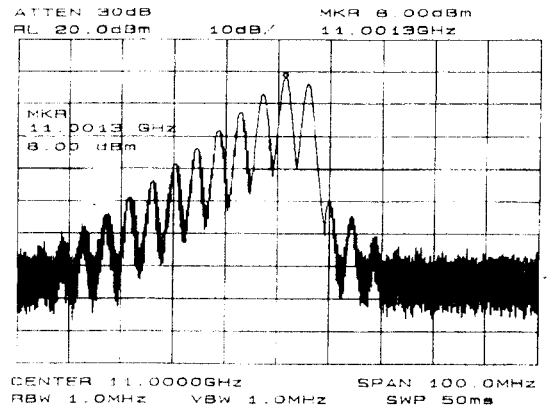


그림 12. ILCO의 unlocking 모드  
Fig. 12 Unlocking mode of ILCO.

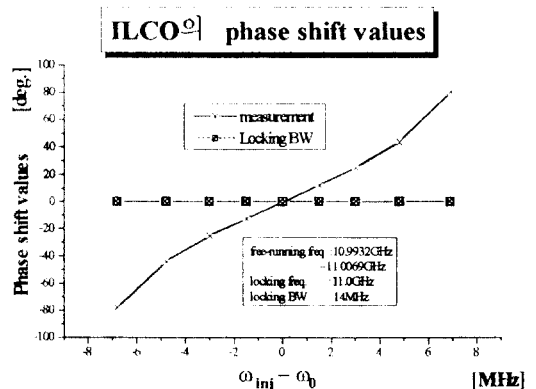


그림 13. ILCO의 위상변위량(첫 번째단 ILCO:  $\omega_{inj} - \omega_0 = 0$ )  
Fig. 13 Phase shift values of ILCO(First ILCO:  $\omega_{inj} - \omega_0 = 0$ ).

28°), -16.5dB, 지향성 이득은 13.64dB를 얻었으며 측정 조건과 설계시 고려하지 못한 능동회로부의 방사로 인하여 설계치와 측정된 방사 패턴간의 불일치하는 결과를 얻었다.

그림 17은 그림 16의 합 패턴을 기준으로 3-AMPAA의 빔 스캐닝된 방사패턴을 나타내었다. ILCO의 위

상변위에 의해서 AMPAA는 최대 -19.4°~11.7°(total :31.1°)의 빔 제어가 됐으며 이론적 빔 스캐닝 각 (ILCO)인 38.4°와 약 7°의 오차가 발생되었다.

이와 같은 오차는 제작시 발생할 수 있는 에칭과 유전율의 변화, 바이어스 전압의 수동적 제어로 인한 오차로 생각된다. 이때의 ILCO 각각의 바이어스 전

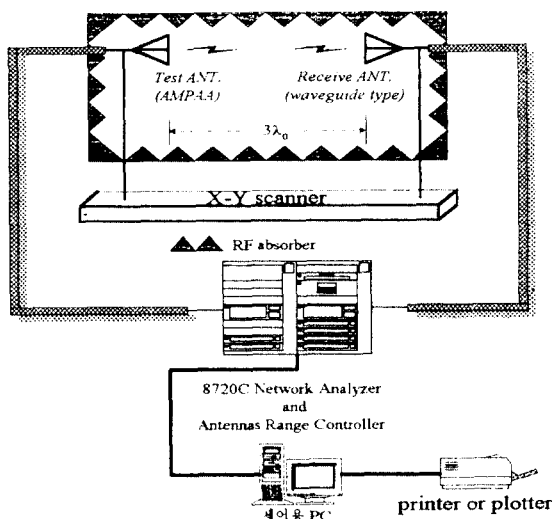


그림 14. AMPAA의 근접장계 측정 시스템 구성도  
Fig. 14 Near-field measurement system configuration of AMPAA.

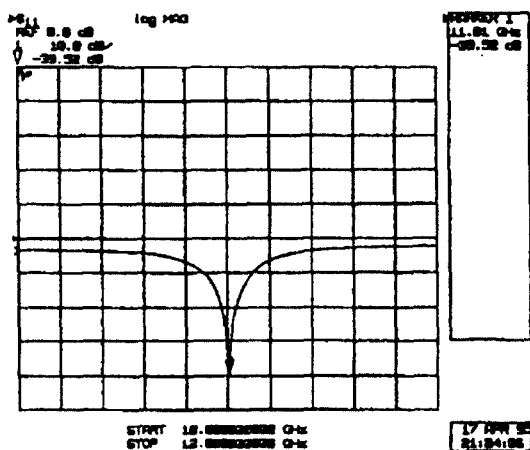


그림 15. MPA의 반사손실  
Fig. 15 Return loss of MPA.

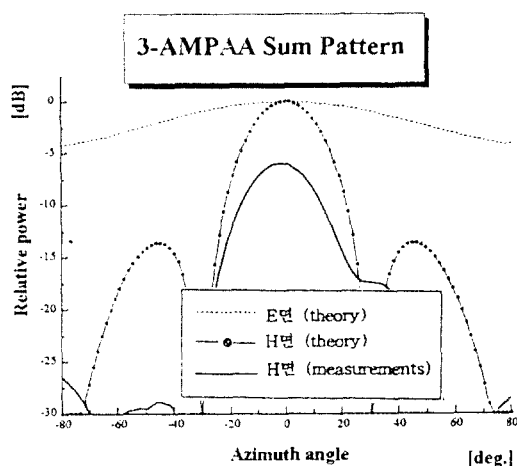


그림 16. 3-AMPAA의 H-면 방사 패턴  
Fig. 16 H-plane radiation pattern of 3-AMPAA.

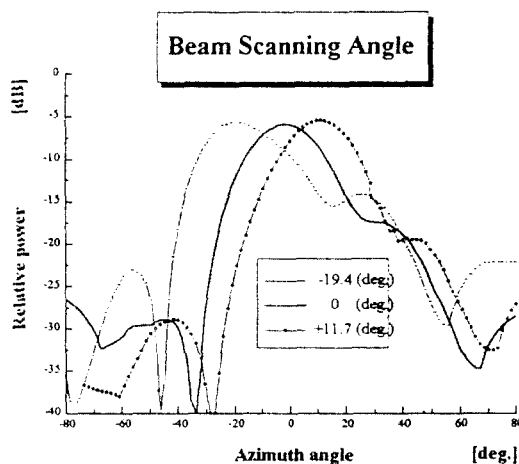


그림 17. 3-AMPAA의 빔 스캐닝 패턴  
Fig. 17 Beam scanning pattern of 3-AMPAA.



압과 제반 파라미터의 값은 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. ILCO의 바이어스 전압에 따른 3-AMPAA의 빔 스캐닝 각

Table 1. Beam scanning angle of 3-AMPAA by ILCO bias voltage.

ILCO $\theta_p$	첫 번째단	두 번째단	세 번째단
-19.4°	4.2 V	4.8 V	5.3 V
-9.9°	4.2 V	4.8 V	5.1 V
0.6°	4.2 V	4.1 V	5.0 V
+9.2°	4.2 V	4.8 V	4.5 V
+11.7°	4.2 V	4.2 V	4.3 V

· Injection frequency : 11.02GHz  
 · Injection power : 6dBm  
 · Total scanning angle : measurement (31.1°), theoretical(38.4°)  
 · Spacing elements :  $0.75\lambda_0$

### V. 결 론

본 연구에서는 마이크로스트립 패치 안테나와 injection-locking coupled oscillators(ILCO)를 동일 평면 상에 집적화하여 방사되는 빔을 전자적으로 제어할 수 있는 3단 능동 위상배열안테나를 설계·제작하였다.

AMPAA의 전체적인 성능을 좌우하는 위상변위기를 ILCO로 대체하므로써 각 배열 소자간의 주파수 동기, 미세한 주파수 변위 방식에 위한 빠르고 지속적인 위상변위 뿐만 아니라 진력결합기, 위상변위기의 수를 줄일 수 있었다. 또한 증폭 기능으로 송·수신 시스템의 증폭기단을 대체할 수 있는 가능성을 제시 하였다.

측정된 3-AMPAA의 빔 스캐닝 각은 31.1°로서 ILCO에서 예측된 33.4°와 약 2°의 차를 나타냈으며 이론치와는 약 7°의 오차를 보였다. 특히, 측정치와 이론상의 오차는 제작상의 문제와 ILCO에서 발생된 방사현상, 그리고 near-field 시스템과 AMPAA 사이의 near-field 측정 거리인  $3\lambda_0$ 의 미세한 차에 의해서 발생된 것으로 예측할 수 있었다.

본 논문에서 설계·제작된 3-AMPAA는 위성과 이동통신의 송·수신 안테나와 목표물 추적에 위한 레이더 시스템의 위상배열 안테나에 활용될 수 있다. 또

한 ILHRO와 ILCO는 저잡음, 고안정 발진기에 적합하며 X-band 이상의 대역에서 고전력 결합소자로 이용될 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. T. Itoh et al., "Active Integrated Antennas," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, no. 12, pp. 2186-2194, December 1994.
2. R. J. Mailloux, "Array Elements and Architecture of Printed Circuit Array Antennas," *IEEE MTT-S Newsletter*, pp. 29-32, Summer 1988.
3. P. Liao and R. A. York, "A New Phase-Shiftless Beam-Scanning Technique using Arrays of Coupled Oscillators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, no. 10, pp. 1810-1815, October 1993.
4. K. Kurokawa, "Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators," *Proc. of the IEEE*, vol. 61, no. 10, pp. 1386-1407, October 1973.
5. R. A. York, "Nonlinear Analysis of Phase Relationships in Quasi-Optical Oscillator Arrays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, no. 10, pp. 1799-1808, October 1993.
6. J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEE Electromagnetic Waves series 28, pp. 622-634, 1986.
7. K. Takahashi, M. Sagawa, and M. Makimoto, "Miniaturized Hair-pin Resonator Filters and Their Applications to Receiver Front-End MIC's," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest*, pp. 667-670, June 1989.
8. 이무환, 김교현, 홍의석, "능동 위상 배열 안테나를 위한 Single-stage Transmission-type Injection Locked Oscillator의 설계 및 제작," *한국통신학회 논문지*, vol. 21, no. 3, pp. 763-770, March 1996.
9. Pues, H., and A. Van de Capelle, "Accurate Transmission Line model for the Rectangular Microstrip Antenna," *IEE Pro. Pt. H(Optics, and Acoustics)*, vol. 131, pp. 334-340, 1984.
10. Lo, Y. T., and S. W. Lee, *Antenna Handbook Theory Application and Design*, New York, NY, pp. 10-13, 1988.



이 두 한(Du-Han Lee) 정회원  
1988년 2월:광운대학교 전자통신  
공학과(공학사)  
1990년 2월:광운대학교 대학원 전  
자통신공학과(공학  
석사)  
1996년 8월:광운대학교 대학원 전  
자통신공학과(공학

박사)

1996년 10월~현재:특허청 심사4국 통신심사담당관실  
※주관심분야:안테나, M/W 회로설계, 이동 및 위성  
통신

홍 의 석(Ui-Seok Hong)

정회원

한국통신학회 논문지 제22권 제6호 참조



김 교 현(Kye-Hun Kim) 정회원  
1994년 8월:호서대학교 제어계측  
공학과 (공학사)  
1997년 2월:광운대학교 산업정보  
대학원 전파공학과  
(공학석사)  
1997년 1월~현재:텔슨전자기술  
연구소

※주관심분야:M/W 소자 및 시스템 설계, PCS 시스  
템, 안테나 해석 및 설계