

바랙터다이오드에 의한 능동 위상차 배열 안테나의 발전 주파수 가변 범위의 확장

論 文
52C-11-7

Expansion of Variable Range of Oscillation Frequency of Active Phased Array Antenna by a Varactor Diode

崔 泳 圭*
(Young-Kyu Choi)

Abstract - A varactor diode was utilized in order to expand variable range of the natural oscillation frequency of an active phased-array antenna. We have conformed experimentally that the variable range of the natural oscillation frequency was expanded about three times in the oscillator controlled by the varactor diode. When frequency difference was given to the oscillators in the two elements antenna system, phase difference was appeared between the oscillators. The 2-, 3-, 5-elements patch antenna array was composed for the beam scanning experiments. All the above patch antennas showed good phased array characteristics. The experimental results are as follows that the scanning angle of the 2-elements array antenna is 28.6° , the 3-elements array antenna is 29.4° , and the 5-elements array antenna is 26.2° .

Key Words : Phased-array antenna, Active antenna, oscillator, Power-combine

1. 서 론

위성통신, 이동통신, 우주개발 등 각종 산업용, 군용 분야에서 마이크로파나 밀리파의 이용가치가 날로 증대됨에 따라서 고체 마이크로파나 밀리파원의 고출력화는 중요한 연구과제로 주목을 받고 있다[1-3]. 그러나 고체소자로 이루어진 고주파원은 출력이 매우 작으므로 필요로 하는 용도에 적합한 출력을 얻기 위해서는 다수 개 소자의 출력을 발진기 외부에서 합성해야할 필요가 있다. 발진기의 출력의 합성은 각 발진기에 안테나를 접속한 능동안테나로 안테나 배열(Antenna array)을 구성하여 그 출력을 공간상에서 합성하는 방법이 이용되고 있다[4-5]. 이러한 방법은 전력합성을 위한 회로가 필요 없으므로 회로 구성이 간단할 뿐 아니라, 회로 상에서 발생하는 손실을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 지금까지는 고출력 방사 전자파를 고속으로 주사하기 위한 능동 위상차 배열(Phased array)에 FET를 이용한 루프 귀환형 발진기가 사용되고 있으나[6-8], 고유 발진주파수의 가변 범위가 매우 좁아서 위상차 배열 동작에 만족할 만한 효과를 얻을 수 없다는 단점이 있었다.*

본 논문에서는 루프 귀환형 발진회로에 바랙터 다이오드를 삽입하여 고유주파수의 가변범위를 확장하는 방법에 대하여 실험적인 고찰을 하였다. 먼저, 단방향 결합계의 발진기에 주

파수 변화를 부여함으로써[9-10] 위상차 배열 동작이 가능함을 살펴보았으며, 루프 귀환형 FET발진기의 귀환루프 중에 바랙터 다이오드를 삽입한 발진기의 특성을 조사하여 가변 고유주파수의 범위가 확대되는 것을 확인하였다. 또, 발진기의 외부 Q를 측정하여 단방향성 특성을 확인하고, 2개의 발진기 결합계에 주파수차를 부여하여 발진기 사이에 위상차가 발생하는 것을 실험적으로 확인하였다. 또, 발진기의 출력에 패치안테나를 접속, 2요소, 3요소, 5요소 안테나를 제작하고 방사 전자파 주사실험을 실시하였다.

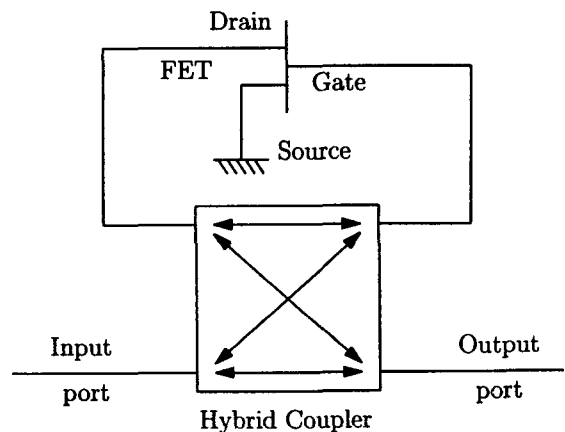


그림 1 루프귀환형 발진기의 구성
Fig. 1 Composition of loop feedback type oscillator

* 正會員 : 新羅大學校 光電子工學科
接受日字 : 2003年 5月 12日
最終完了 : 2003年 9月 6日

2. 바랙터 다이오드 조정 루프 귀환형 발진기

2.1 발진기의 구성

FET 증폭회로와 방향성 결합기로 구성된 루프 귀환형 FET 발진기를 그림 1에 보였다. FET 드레인의 출력은 귀환 루프를 구성하여 하이브리드형 방향성 결합기에 의해 FET 게이트 입력과 발진기의 출력으로 나뉜다.

게이트 입력은 증폭되어 드레인으로 출력된다. 즉, FET의 드레인-방향성결합기-FET 게이트-FET 드레인이라는 경로가 루프를 형성하여 루프를 일주하는 동안에 전파위상이 2π의 정수배로 되는 주파수에서 발진하게 된다. 물론, 루프를 일주하는 동안의 이득은 1 이상 이어야 한다. 방향성 결합기의 방향성에 의해 FET의 드레인 단자와 게이트 단자가 정합되어 있으면 출력포트로만 출력되고 입력포트로는 출력되지 않는다. 입력포트로 입사된 파는 FET의 게이트로 입력되어 발진기의 동작에 영향을 주게 된다.

역으로 출력포트로 입력된 파는 FET의 드레인에 입력되지만, FET의 역방향 이득이 0이라면 발진동작에는 영향을 미치지 않는다. 즉, 발진기의 출력포트를 같은 구조의 발진기의 입력포트에 연결함으로써 단방향성 결합이 가능하게 되는 것이다.

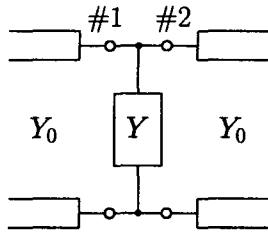


그림 2 어드미턴스 Y를 병렬접속한 전송선로 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of the transmission line which is connected parallel by admittance Y

2.2 바랙터 다이오드에 의한 위상변화의 측정

그림 1의 발진기는 FET의 게이트와 드레인의 직류 바이어스전압의 변화로 고유발진주파수를 변화시킬 수 있으나 그 변화의 폭은 매우 좁다. 따라서 귀환루프 중에 바랙터 다이오드를 병렬로 접속하면 다이오드의 역바이어스전압 V_V 로 소자의 용량을 변화시킬 수 있다. 귀환루프의 전파위상을 FET의 바이어스에 의한 주파수변화에 더하여 V_V 에 의해서도 제어할 수 있게 됨으로써 보다 넓은 가변주파수 범위를 얻을 수 있게 된다. 그림 2처럼 바랙터 다이오드의 어드미턴스 Y를 특성어드미턴스를 Y_0 의 전송선로에 병렬로 접속한 경우, 등가회로의 산란행렬은

$$[S] = \frac{1}{Y + Y_0} \begin{bmatrix} -Y & 2Y_0 \\ 2Y_0 & -Y \end{bmatrix} \quad (1)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 Y는 바랙터 다이오드의 어드미턴스로 인덕턴스 L과 용량 C의 직렬접속으로

$$Y = \frac{1}{j(wL - \frac{1}{wC})} \quad (2)$$

이다. 특성임피던스 50Ω의 선로에 대하여 $Y_0 = 0.02[S]$ 이므로 식(2)를 식(1)에 대입하면 반사계수 $S_{11}(=S_{22})$, 투과계수 $S_{21}(=S_{12})$ 는 각각

$$S_{11} = \frac{-625 + j25(wL - \frac{1}{wC})}{625 + (wL - \frac{1}{wC})^2} \quad (3)$$

$$S_{21} = \frac{(wL - \frac{1}{wC})^2 + j25(wL - \frac{1}{wC})}{625 + (wL - \frac{1}{wC})^2} \quad (4)$$

로 되어 바랙터 다이오드의 삽입에 의해서 전력의 반사가 생기는 동시에 전파위상은 바랙터 다이오드의 용량 C에 의해 변하는 것을 알 수 있다.

Duriod5870 기판(두께0.508mm, 비유전율 2.33) 위에 50Ω의 마이크로스트립 선로(폭 1.52mm, 길이 50mm)에 바랙터 다이오드($V_V = 0[V]$ 에서 1.344pF, $V_V = 30[V]$ 에서 0.445pF)를 병렬로 접속하여 S파라메터를 측정할 결과를 그림 3에 보였다. 바랙터 다이오드의 L값을 추정하기 위하여 측정된 $|S_{11}|$ 과 식(4)에서 계산한 $|S_{11}|$ 이 될 수 있는 대로 가깝게 되도록 $L = 2.3[nH]$ 로 정했을 때의 $|S_{11}|$ 을 그림 4에 보였다. 네트워크 어널라이저로 측정된 S_{21} 에는 마이크로스트립 선로의 전파위상이 포함되므로 V_V 가 0V와 30V에서 S_{21} 의 위상차를 이론치와 비교한 결과를 그림 5에 보였다.

측정치에서 전파위상은 9.7GHz에서 0.028π 변하고 이론치에서는 0.041π 변하였다. 다소 차가 발생하였으나 그 원인은 바랙터다이오드를 L과 C만으로 근사한 데 기인한 것으로 사료된다.

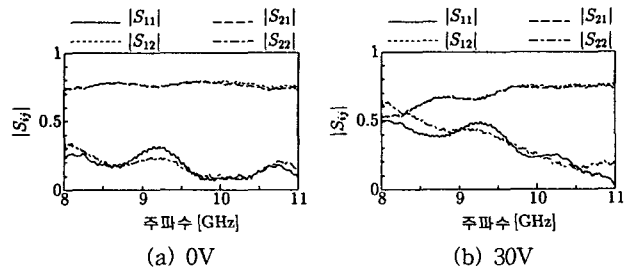


그림 3 S파라메터의 진폭
Fig. 3 Amplitude of S-parameters

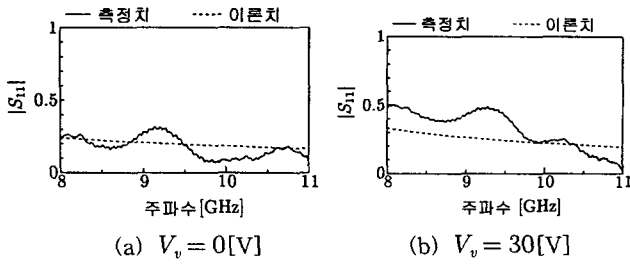


그림 4 S_{11} 의 이론치와 측정치의 비교
 Fig. 4 Comparison of theory and measured value of S_{11}

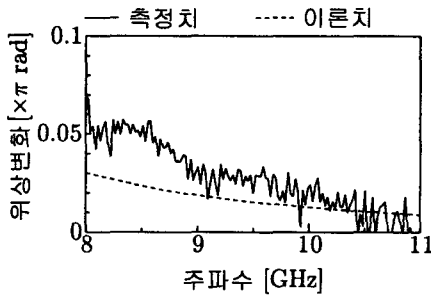


그림 5 위상변화의 비교
 Fig. 5 Comparison of phase variation

3. 발진기의 동작특성

바랙터 다이오드를 삽입한 발진기를 그림 6처럼 제작하였다. FET 소스 단자는 기판에 구멍을 뚫어 뒷면의 접지도체에 접속하였다. 드레인 단자, 게이트 단자 및 바랙터 다이오드의 음극에 인가하는 직류 바이어스전압을 폭 0.2mm의 바이어스 선로를 이용하여 공급하였다. 이 때 고주파의 영향이 회로에 나타나지 않도록 바이어스 선로에는 1/4파장 위치 반경 1/4파장의 부채형 초크(Radial choke)를 설치하였다. 인가한 직류 바이어스전압이 다른 회로소자에 영향이 없도록 하기 위해서는 직류 저지회로가 3개소 필요하나, 방향성결합기의 2개 포트를 개방시킨 회로에서는 1/4파장의 길이가 필요하기 때문에 회로가 커지게 된다. 따라서 본 연구에서는 마이크로스트립 선로에 0.6mm 간격을 설정하여 3pF의 칩용량을 접속하는 구조로 직류 저지회로를 구성하였다. 루프의 길이는 9.7GHz에서 위상변화가 4π 로 되도록 결정하였다. 제작한 발진회로의 바이어스전압에 대한 발진주파수와 출력전력의 특성을 그림 7에 보였다. 바랙터 다이오드를 삽입하지 않은 루프 귀환형 발진회로에서는 출력전력의 변화가 작은 범위 내에서 고유발진주파수의 가변 범위는 50MHz였으나, 바랙터 다이오드를 삽입한 루프 귀환형 발진기에서는 V_v , V_{GS} 를 제어함으로써 출력전력의 변화를 억제함과 동시에 발진주파수를 170MHz까지 가변시킬 수 있었다. 출력전력은 대부분 출력포트로 출력되고 바랙터 다이오드를 삽입하지 않은 경우와 동일한 단방향성을 유지하였다.

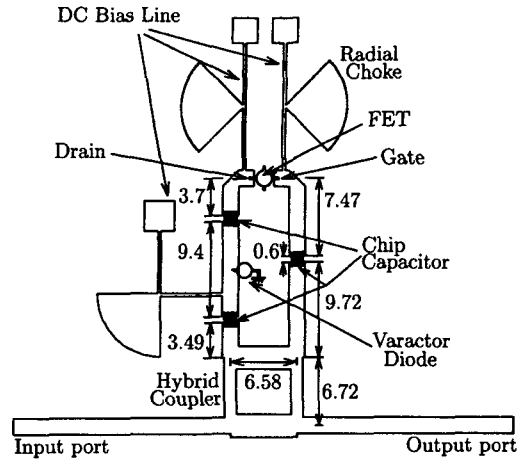


그림 6 바랙터 조정형 루프귀환 발진기의 구조(단위:mm)
 Fig. 6 Loop feedback oscillator controlled by varactor diode (scale : mm)

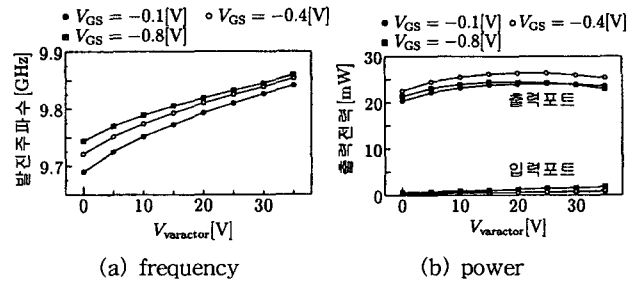


그림 7 발진기의 특성
 Fig. 7 Characteristics of the oscillator

한편, 발진기의 동기특성을 파악하기 위하여 발진기의 외부 Q를 측정하였다. 외부 Q가 크다는 것은 발진기가 주입신호에 대해서 동기하기 어렵다는 것을 나타낸다. 자려 발진주파수 f_1 , 출력포트의 출력전력 P_1 으로 발진하고 있는 FET 발진회로에 주파수 f_{in} , 주입전력 P_{in} 의 주입신호를 외부발진기로 인가하였다. 주입동기 한계에서의 주파수차를 $|f_{in} - f_1|_{max}$ 라 하면, 발진기의 Q_{ex} 는 Adler의 방정식[11]에서

$$\frac{|f_{in} - f_1|_{max}}{f_1} = \frac{1}{Q_{ex}} \sqrt{\frac{P_{in}}{P_1}} \quad (5)$$

이 된다. 주입동기가 일어나는 것을 확인하면서 주입신호전력을 감소시켜 주입동기에서 벗어나기 직전의 주입신호전력을 측정하였다. 그림 8의 직선은 원점을 통과하도록 측정치를 직선 근사한 것이다, 그림에서 $(f_{in} - f_0)_{max}$ 가 양일 때와 음일 때의 평균을 취하면, 입력포트에서 주입한 경우 외부 Q는 약 61.6, 출력포트에서 주입한 경우의 외부 Q는 약 237이었다. 외부 Q의 측정으로 입력포트로 주입하는 것이 동기하기가 쉬우므로 단방향성을 유지하고 있다는 것을 알 수 있다.

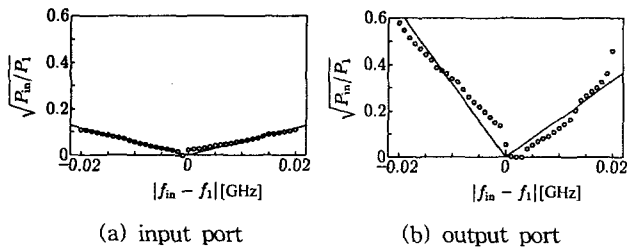


그림 8 주입동기특성
Fig. 8 Characteristics of injected synchronization

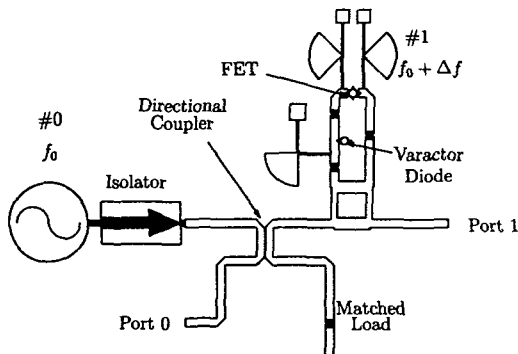


그림 9 2개 발진기 결합계의 구성
Fig. 9 Composition of two oscillator system

4. 위상차 배열 동작의 기초실험

그림 9와 같은 2개의 발진기 결합계를 제작하였다. 발진기 #0의 외부발진기를 아이솔레이터와 방향성결합기를 통하여 루프귀환형 FET발진기 #1과 결합하고, 방향성 결합기는 -14dB로 되도록 설계하였다. 발진기의 입력포트는 입력포트의 출력이 다른 부분에 영향을 미치지 않도록 정합을 취하였다. 종단의 특성임피던스 50Ω 과 동일한 칩 저항을 선로 중에 삽입하고, 거기에서 1/4파장 떨어진 곳을 개방하였다. 위상차 배열 동작의 측정에는 포트 0과 포트 1에 네트워커널러 이저를 접속하여 발진기 사이의 위상차 $\Delta\phi (= \phi_1 - \phi_0)$ 를 측정하였고, 발진기 #1의 출력을 측정하는 경우는 파워미터를 포트 1에 접속하였다.

발진기 #1의 FET 전압을 $V_{DS} = 3.5[V]$, $V_{GS} = -0.4[V]$, $V_V = 15[V]$ 로 하면, 발진주파수 $f_1 = 9.7742\text{GHz}$ 에서 출력은 18.4mW였으므로 발진기 #0의 출력을 18.4mW로 하였다. 발진기 #1에 주파수차 Δf 를 주는 방법은 발진기 #1의 고유주파수 $f_1 = f_0 + \Delta f$ 는 일정, 발진기 #0의 주파수 $f_0 = f_1 - \Delta f$ 를 변화시키는 방법과, 발진기 #0의 주파수 f_0 을 고정하고 발진기 #1의 고유주파수 $f_1 = f_0 + \Delta f$ 를 변화시키는 방법이 있다. 먼저, 전자의 방법으로 측정한 결과를 그림 10에 보였다. 출력 전력은 자려시의 출력 18.4mW로 규격화하였다. 위상차는 상대치가 측정되는 것이기 때문에, $\Delta f = 0$ 일때 $\Delta\phi = 0$ 이 되도록 나타났다. 그림 10의 a, b에서 Δf 의 변화범위가 다른 것은 별도로 측정하였으므로 발진기의 고유주파수가 달라졌을

가능성이 있기 때문이다. 발진기 사이의 위상차는 -0.85π 에서 0.82π 까지 변화하였다. 다음에는 발진기 #0의 주파수를 $f_0 = 9.7742\text{GHz}$ 로 고정하고 발진기 #1의 V_{GS} 와 V_V 를 제어하여 후자의 방법으로 측정한 결과를 그림 11에 보였다. 발진기 사이의 위상차는 -0.52π 에서 0.59π 까지 변화하였다. 그림 10에 비하여 얻어진 위상차는 작아졌지만 여전히 위상차 배열 동작을 하고 있음을 알 수 있다.

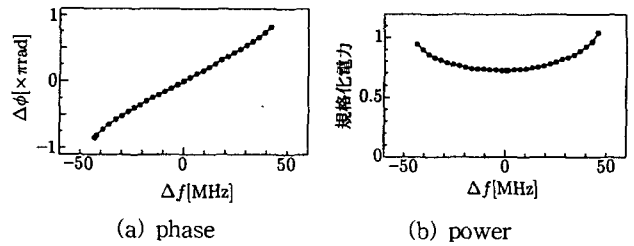


그림 10 위상차 배열 동작특성(발진기 #1 : 9.7742 GHz, 발진기 #0 : 9.7742 GHz에서 $-\Delta f$ 만큼 변화)
Fig. 10 Characteristics of phased array operation (osc. #1 : 9.7742 GHz, osc. #0 : $-\Delta f$ from 9.7742 GHz)

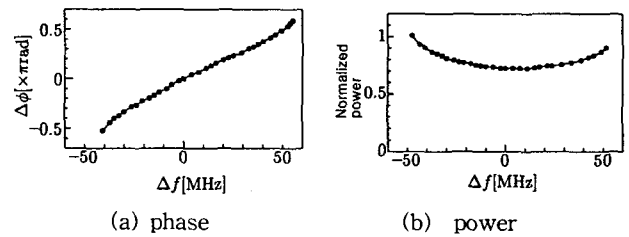


그림 11 위상차배열 동작특성(발진기 #0 : 9.7742 GHz, 발진기 #1 : 9.7742 GHz에서 $-\Delta f$ 만큼 변화)
Fig. 11 Characteristics of phased array operation (osc. #0 : 9.7742 GHz, osc. #1 : $-\Delta f$ from 9.7742 GHz)

5. 배열에 의한 방사방향의 주사 실험

5. 1 안테나 배열의 구성

능동 안테나배열을 루프 귀환형 발진기와 구형 패치안테나를 이용하여 그림 12처럼 구성하였다. 루프 귀환형 FET 발진기의 출력포트에 패치안테나를 접속하였으나, 그 사이에 다음 단의 발진기의 입력포트와 결합시키기 위하여 방향성결합기를 삽입하였다. 또, 안테나 #N에는 다음 단의 안테나는 없으나 각 안테나 방사패턴의 최대전력을 모두 모으기 위하여 여기에도 방향성결합기를 삽입하여 다음 단의 안테나에 연결하는 부분은 발진기의 입력포트와 함께 정합 종단시켰다. 발진기 #0는 외부 발진기를 이용하여 결합회로와의 사이에는 아이솔레이터를 삽입하였다. 안테나 간격은 25mm로 하고 발진기 사이의 결합선로의 길이는 모든 발진기의 고유발진주파수를 일치시켰을 때 전자파의 방사방향이 정면방향을 향하도록 실험적으로 정하였다.

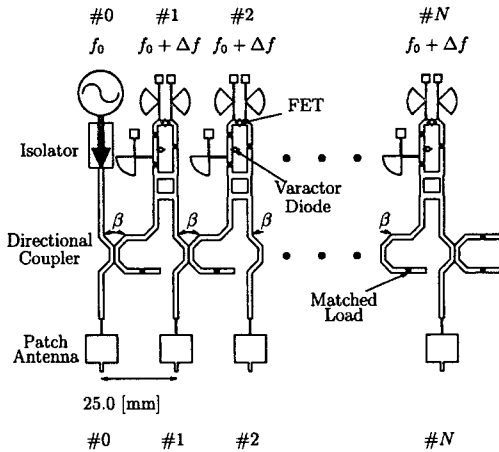


그림 12 능동 위상차 패치안테나 배열의 구성
 Fig. 12 Composition of active phased array patch antenna system

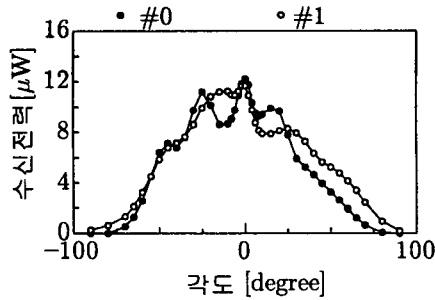


그림 13 2요소 배열 안테나의 방사패턴
 Fig. 13 Radiation pattern of single antenna element in the two elements antenna system

5. 2 2요소 안테나배열의 동작 특성

능동안테나 #1의 고유주파수의 가변범위의 중심부근은 9.63GHz였으므로, 발진기 #0의 발진주파수를 동일하게 9.63GHz로 하였다. 안테나 각각의 방사패턴의 최대 수신전력이 안테나 #0와 안테나 #1에서 동일하게 되도록 발진기 #0의 출력전력을 27.9mW로 하였다. 2요소 배열안테나 방사패턴을 그림 13에 보였다. 안테나 #1의 바이어스 전압은 $V_{DS} = 5.0$ [V], $V_{GS} = -0.40$ [V], $V_V = 15$ [V]로 하였다. 2개 안테나의 방사패턴이 다소 다른 것은 다른 회로요소, 예를 들어 안테나 부근의 방향성결합기, 다음 단의 안테나, 기판단면에서의 불필요한 방사 등이 원인으로 생각된다. 먼저, 능동안테나 #1의 주파수를 $f_0 + \Delta f$ 로 고정하고 f_0 를 변화시켰다. $\Delta f = 0$ 의 경우와 Δf 를 동기한계까지 변화시킨 경우에 대한 방사패턴을 그림 14(a)에 보였다. 여기서 방사 빔의 방향을 구하여 주파수차 Δf 에 대한 변화를 그림 14(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -15.7° 에서 11.0° 까지 26.7° 변화였다. 안테나 간격이 0.80파장이므로 방사패턴에서 안테나의 위상차를 구하면 -0.47π 에서 0.37π 까지 0.84π 변한 결과가 된다.

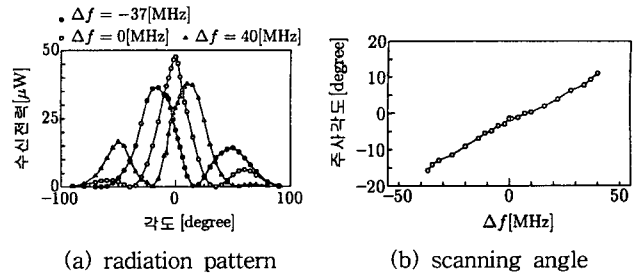


그림 14 위상차배열 동작 특성 (안테나 #1의 주파수 : 고정, 발진기 #0의 주파수 : $-\Delta f$ 변화)
 Fig. 14 Characteristics of phased array operation (antenna #1 : fixed frequency, osc.#0: $-\Delta f$ variation)

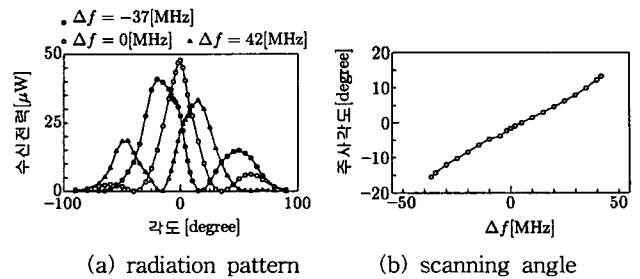


그림 15 위상차배열의 동작특성 (안테나 #0의 주파수 : 고정, 발진기 #1의 주파수 : $+\Delta f$ 변화)
 Fig. 15 Characteristics of phased array operation (antenna #0 : fixed frequency, oscillator #1 : $+\Delta f$ variation)

이어서 발진기 #0의 주파수를 고정하고 능동안테나 배열 #1의 바이어스전압 V_{GS} , V_V 를 제어하여 Δf 를 변화시켰다. 주파수차 Δf 를 0으로 한 경우와 동기한계까지 변화시킨 경우의 방사패턴을 그림 15(a)에, Δf 에 대한 방사각도 변화를 그림 15(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -15.4° 에서 13.2° 까지 28.6° 변화였다. 방사패턴에서 안테나사이의 위상차를 추정하면 위상차는 -0.47π 에서 0.47π 까지 0.94π 변한 것으로 발진기 #0의 주파수를 변화시킨 경우보다도 조금 큰 위상차의 변화가 일어났다.

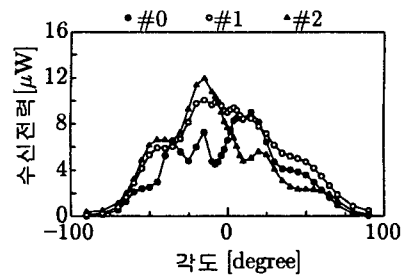


그림 16 3요소 배열 안테나 개체의 방사패턴
 Fig. 16 Radiation pattern of single antenna element in three elements antenna system

5.3 3요소 배열 안테나의 동작 특성

능동안테나 #1, #2의 고유주파수 가변범위의 중심주파수는 9.70GHz였으므로 발진기 #0의 발진주파수를 동일하게 9.70GHz로 하였다. 안테나 각각의 방사패턴의 최대 수신전력이 안테나 #0, #1, #2에서 같아지도록 발진기 #0의 출력전력을 26.6mW로 하였다. 3요소 배열의 안테나 방사패턴을 그림 16에 보였다. 안테나 #1의 바이어스전압은 $V_{DS} = 4.2[V]$, $V_{GS} = -0.40[V]$, $V_V = 9.2[V]$ 로 하고 안테나 #2에서는 $V_{DS} = 4.2[V]$, $V_{GS} = -0.40[V]$, $V_V = 6.2[V]$ 로 하였다. 우선, 능동안테나 #1, #2의 주파수 $f_0 + \Delta f$ 를 고정하고 f_0 를 변화시켰다. 그림 17(a)에 $\Delta f = 0$ 의 경우와 Δf 를 동기한계까지 변화시킨 경우의 방사패턴을 보였다. 여기서 방사 빔의 방향을 구하여 주파수차 Δf 에 대한 변화를 그림 17(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -15.3° 에서 12.1° 까지 27.4° 변화였다. 방사패턴에서 안테나사이의 위상차를 구하면 위상차가 -0.44π 에서 0.35π 까지 0.79π 변한 것이 된다. 3요소는 2요소보다 합성과 출력은 증가하였으나 안테나 사이의 위상차의 변화범위가 줄어든 결과를 보였다. 다음에는 발진기 #0의 주파수를 고정하고 능동안테나 #1, #2의 바이어스전압 V_{GS} 와 V_V 를 제어하여 주파수차 Δf 를 0으로 한 경우와 동기한계까지 변화시킨 경우의 방사패턴을 그림 18(a)에, Δf 에 대한 방사각도의 변화를 그림 18(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -16.7° 에서 12.7° 까지 29.4° 변화였다. 방사패턴에서 안테나사이의 위상차를 구하면 위상차가 -0.50π 에서 0.37π 까지 0.87π 변한 것이 된다. 발진기 #0의 주파수를 변화시킨 경우와 동일하게 2요소보다 합성과 출력은 증가하였으나 안테나사이의 위상차의 변화범위가 줄어든 결과를 보였다.

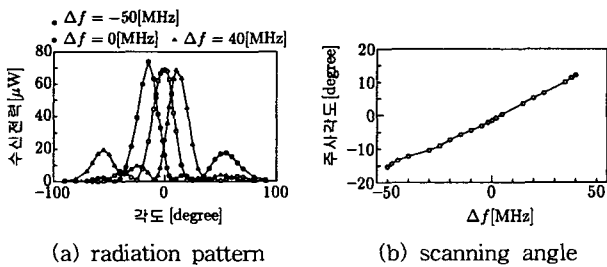


그림 17 3요소 위상차배열 특성 (안테나 #1, #2의 주파수 : 고정, 발진기 #0의 주파수 : $-\Delta f$ 변화)

Fig. 17 Characteristics of phased array operation (antenna #1, #2 : fixed frequency, oscillator #0 : variation)

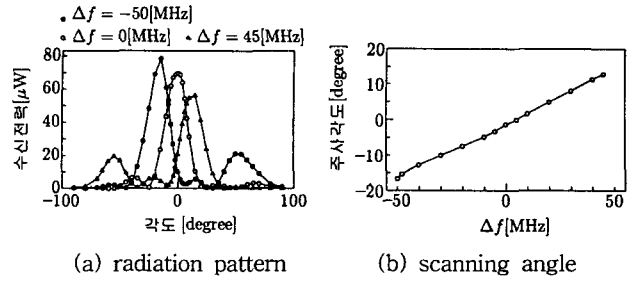


그림 18 위상차배열의 동작특성(발진기 #0의 주파수 : 고정, 안테나 #1, #2의 주파수 : $+\Delta f$ 변화)

Fig. 18 Characteristics of phased array operation (osc.#0 : fixed frequency, antenna #1, #2 : variation)

5.4 5요소 배열 안테나의 동작 특성

능동안테나 #1, #2, #3, #4의 고유주파수의 가변 범위의 중심 주파수는 9.71GHz였으므로 발진기 #0의 발진주파수를 동일하게 9.71GHz로 하였다. 안테나 개체의 방사패턴의 최대 수신전력이 안테나 #0, #1, #2, #3, #4에서 동일하게 되도록 발진기 #0의 출력전력을 24.5mW로 하였다. 5요소 안테나 배열의 안테나 각각의 방사패턴을 그림 19에 보였다.

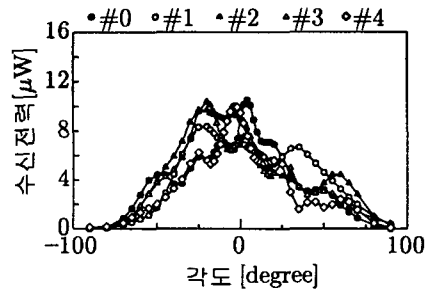


그림 19 5요소 배열 안테나 개체의 방사패턴

Fig. 19 Radiation pattern of single antenna element in five elements antenna system

우선, 능동안테나 #1, #2, #3, #4의 주파수 $f_0 + \Delta f$ 를 고정하고 f_0 를 변화시켜 $\Delta f = 0$ 의 경우와 Δf 의 동기한계까지 변화시켜 측정한 방사패턴을 그림 20(a)에 보였다. 여기서 방사 빔의 방향을 구하여 주파수차 Δf 에 대한 변화를 그림 20(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -12.5° 에서 11° 까지 23.5° 변화하고 있다. 방사패턴에서 안테나 사이의 위상차를 구하면 위상차가 -0.35π 에서 0.31π 까지 0.66π 변한 결과이다. 3요소보다 합성출력은 증가하였으나 주사범위는 좁아져서 안테나 사이의 위상차의 변화범위는 작아지는 결과가 나타났다.

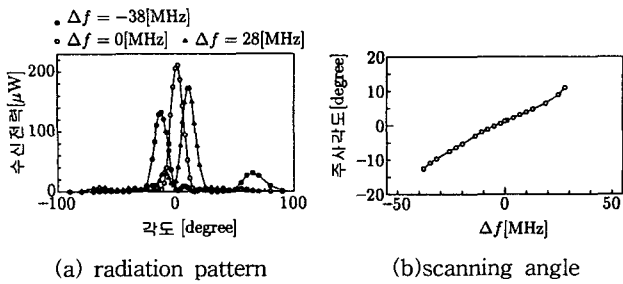


그림 20 5요소 위상차배열 특성 (안테나 #1, #2, #3, #4의 주파수 : 고정, 발진기 #0의 주파수: $-\Delta f$ 변화)

Fig. 20 Characteristics of phased array operation (antenna #1, #2, #3, #4: fixed frequency, osc. #0 : $-\Delta f$ variation)

다음에는 안테나 #0의 주파수를 고정하고 능동안테나 #1, #2, #3, #4의 바이어스전압 V_{GS} 와 V_V 를 제어하여 Δf 를 변화시켜 0에서 동기한계까지 변화시킨 경우의 방사패턴을 그림 21(a)에, Δf 에 대한 방사각도의 변화를 그림 21(b)에 보였다. 빔의 방사방향은 -13.6° 에서 12.6° 까지 26.2° 변화였다. 방사패턴에서 위상차를 추정하면 위상차는 -0.38π 에서 0.36π 까지 0.74π 변화였다. 발진기 #0의 주파수를 변화시킨 경우와 동일하게 3요소보다도 합성출력은 크지만 안테나 사이의 위상차 변화범위가 약간 작아진 결과를 나타냈다.

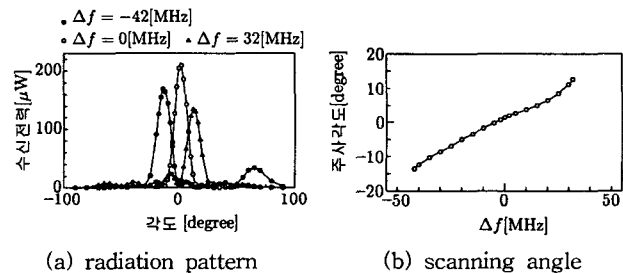


그림 21 5요소 위상차배열 특성(발진기 #0의 주파수 : 고정, 안테나 #1, #2, #3, #4의 주파수 $+\Delta f$ 변화)

Fig. 21 Characteristics of phased array operation (antenna #1, #2, #3, #4 : $+\Delta f$ variation, osc. #0 : fixed frequency)

6. 결론

바랙터 조정형 루프귀환형 FET 발진기와 패치안테나로 구성된 능동 위상차배열안테나의 동작특성을 살펴보았다. 우선, 단방향 결합계의 발진기에 주파수 변화를 부여함으로써 위상차배열 동작이 되는 것을 확인하였다. 루프귀환형 FET 발진기의 귀환루프에 바랙터 다이오드를 삽입한 발진기의 특성을 조사한 결과, 바랙터 다이오드를 삽입하지 않은 경우에는 출력전력의 변화가 작은 범위 내에서 고유발진주파수의 가변범위는 50MHz 정도였으나, 바랙터 다이오드를 삽입한 경우는 V_V , V_{GS} 에 의한 제어로 출력전력의 변화를 억제함과 동시에

발진주파수를 170MHz까지 3배 이상의 넓은 범위로 가변시킬 수 있었다. 또한, 발진기의 외부 Q를 추정함으로써 단방향 특성을 나타내는 것을 살펴보았다. 2요소 발진기 결합계를 통하여 양호하게 위상차배열 동작을 하고 있음을 확인하였다. 발진기에 패치안테나를 접속하여 능동안테나로 2요소, 3요소, 5요소안테나를 구성하여 방사전력을 주사하는 실험을 실시한 결과, 2요소 배열에서 28.6° , 3요소 배열에서 29.4° , 5요소 배열에서는 26.2° 의 주사범위가 얻어졌다.

참고 문헌

- [1] K. J. Russell, "Microwave power combining techniques", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-27, no. 5, pp. 472-478, May 1979.
- [2] K. Chang and C. Sun "Millimeter-wave power-combining techniques", IEEE Trans. Micro Theory & Tech., vol. MTT-31, no. 2, pp. 91-107, Feb. 1983.
- [3] L. W. Mink, "Quasi-optical power combining of solid-state millimeter-wave sources", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-34, no. 2, pp. 273-279, Feb. 1986.
- [4] H. Kondo, M. Hieda, M. Nakayama, T. Tanaka, and K. Mizuno, "Millimeter and submillimeter wave quasi-optical oscillator with multi-elements", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-40, no. 5, pp. 857-863, Nov. 1992.
- [5] S. Tanaka, S. Nogi, K. Fukui, and Y. A. In, "Crucial factors in power combining by oversized cylindrical cavity multiple device structure", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-37, no. 11, pp. 1755-1760, Nov. 1989.
- [6] J. Lin and T. Itho, "Active Integrated Antennas," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-42, no. 31, pp. 2186-2194, Nov. 1994.
- [7] J. Lin, S. T. Chew, and T. Itho, "A Unilateral Injection-Locking type active phased array for beam scanning", IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest 2, pp. 1231-1234, Jul. 1994.
- [8] J. Birkeland and T. Itho, "Two-port FET oscillators with applications to active array", IEEE Microwave Guided Wave Lett. no. 1, pp. 112-113, May, 1991.
- [9] J. F. White, "Diode phase shifters for array antennas", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-22, no. 6, pp. 658-674, Jun. 1994.
- [10] A. J. Seeds, "Microwave photonics, Microwave Theory & Tech.", vol. MTT-50, no. 3, pp. 877-887, Mar. 2002.
- [11] R. Adler, "A study of Locking phenomena in oscillator", Proc. IRE, 34, pp. 351-357, 1946.

저 자 소 개



최 영 규(崔 泳 圭)

1955년 8월 26일생

1988년 교토대학(일본)대학원 전자공학과
졸업(석사), 1992년 동 대학원 공학박사,
1992년~1995년 국립 후쿠이대학(일본)
전자공학과 전임강사, 1998년~현재 신라
대학교 공과대학 광전자공학과 교수

Tel : 051-309-5622,

Email : ykchoi@silla.ac.kr