

원형 섹터 패치 안테나를 사용한 트랜시버 전단부 설계

박동국* · Tatsuo Itoh**

Design of Transceiver Front-end using Circular Sector Patch Antenna

Dong-Kook Park* · Tatsuo Itoh**

요약

본 논문에서는 두 개의 모드간에 큰 격리도 특성 및 서로 수직인 편파 특성을 갖는 이중 주파수 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 그리고 이것을 사용하여 5.6 GHz에서 송신과 5.5 GHz에서 수신 동작을 하는 트랜시버를 제작하였다. 트랜시버의 송수신 주파수 분리에 제안된 안테나의 좋은 격리도 특성을 이용하였다. 제안한 이중 주파수 안테나의 동작 주파수 및 편파 특성을 공진기 모델을 사용하여 계산하였으며, 안테나의 S 파라미터 및 복사패턴을 측정하였다. 전력증폭기 및 저잡음 증폭기를 설계하여 안테나와 집적하여, 송신 및 수신 이득이 각각 약 13dB 및 약 8dB가 되는 트랜시버를 제작하였다.

ABSTRACT

In this paper we proposed a dual-frequency circular sector microstrip antenna with orthogonal polarized modes and high isolation between the two feeding ports. And then we designed a transceiver operating at 5.6 GHz for transmitting and at 5.5 GHz for receiving. The good isolation provided by the proposed antenna is used as the basis for the transmit-receive filtering of transceiver. The operating frequencies and polarization characteristics of the proposed antenna is calculated by using a cavity model. The S-parameters and radiation patterns of the antenna are measured. A power amplifier and a low noise amplifier are designed and integrated with antenna to make a transceiver, which has about 13dB transmitting gain and about 8dB receiving gain.

키워드: 원형섹터, 트랜시버, 패치 안테나, 격리도

1. 서론

최근 무선랜과 블루투스와의 같은 무선 시스템에 대해 관심이 집중되면서 저가격의 무선 트랜시버의 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다[1]. 마이크로스트립

패치 안테나 기술은 제작이 쉽고, 능동소자와의 집적화가 용이하기 때문에 이러한 시스템에 적용이 용이하다. 본 논문에서는 두 주파수 대역 사이에 좋은 격리도(isolation) 특성을 갖는 원형 섹터(circular sector) 마이크로스트립 패치 안테나를 사용한 이중주파수(dual

* 한국해양대학교 전파정보통신공학부
접수일자 2001. 5. 28

** Dept. of Electrical Eng., University of California, Los Angeles

-frequency) 안테나를 제안하였고, 두 주파수 대역을 각각 트랜시버의 상향(up) 링크와 하향(down)

링크 채널로 사용하는 트랜시버를 설계, 제작하였다. 두 주파수 대역 사이에 좋은 격리도(isolation) 특성을 갖는 이중주파수 안테나를 사용하므로 인하여 고차의 필터 혹은 듀플렉스가 필요치 않게 된다. 따라서 트랜시버의 부품의 수가 줄어들어 가격 및 트랜시버의 크기를 줄일 수 있다.

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 이중주파수 안테나 연구들은 많이 발표가 되었다[2]-[4]. 대부분 사각형 패치 내부에 슬롯이나 사각형 패치의 모양을 변형시켜 이중주파수 특성을 얻었다. 본 논문에서는 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 이용한 이중주파수 안테나 설계 방법에 대해 기술하였다.

II장에서 원형 섹터 마이크로스트립 안테나에 여기될 수 있는 모드(mode)를 공진기 모델(cavity model)을 이용하여 계산하였고, 여기된 모드의 특성을 조사하여 두 개의 급전선(2단자)을 사용하는 이중주파수 안테나를 설계하는 방법을 제시하였다. 또한 여기된 두 모드는 서로 수직한 편파 특성을 갖고 있으며, 여기된 두 모드간의 30 dB 이상의 격리도를 갖는 것을 보였다. III장에서 전력증폭기 및 저잡음 증폭기를 안테나의 두 급전 단자에 연결한 트랜시버 제작에 대해 설명하였으며, IV장에서 결론을 기술하였다.

II. 안테나 설계 이론

그림 1에 본 논문에서 제안하는 두 개의 급전선을 갖는 이중주파수 원형 섹터 패치 안테나의 구조를 나타내었다. 유전체 기판의 상대유전율이 ϵ_d , 두께가 h 이며, 원형 섹터의 각(sector angle)은 ϕ_0 , 반경은 a 로서 마이크로스트립 선로를 통해 급전이 되고 있다.

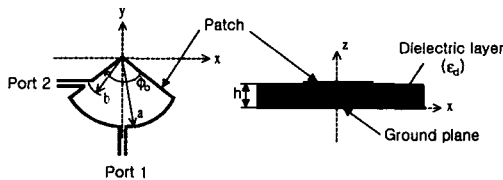


그림 1. 원형 섹터 마이크로스트립 안테나의 개략도
Fig. 1 The geometry of circular sector microstrip antenna

유전체 기판의 두께 h 가 파장에 비해 충분히 작을 경우 공진기 내부에는 z 방향을 진행방향으로 고려할 때 TM 모드가 여기가 되며, 전계 E_z 는 다음과 같이 고유함수의 중첩으로 구할 수 있다[5].

$$E_z = -j\omega \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{nm} J_{\nu_n}(k_{\nu_n m} \rho) \cos \nu_n \phi \quad (1)$$

여기서 ω 는 각주파수, A_{nm} 은 임의의 상수, J_{ν_n} 은 차수가 ν_n 인 제 1종 Bessel 함수를 나타내며,

$\nu_n = \frac{n\pi}{\phi_0}$, $k_{\nu_n m} = \frac{x_{\nu_n m}}{a}$, x_{ν_n} 은 $\frac{\partial J_{\nu_n}(x)}{\partial x} = 0$ 의 해를 나타낸다.

식 (1)로부터 원형 섹터 마이크로스트립 안테나에 무수히 많은 모드가 여기 될 수 있음을 알 수 있고, 여기된 TM ν_{nm} 모드의 공진주파수 $f_{\nu_{nm}}$ 는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$f_{\nu_{nm}} = \frac{x_{\nu_n m} \cdot c}{2\pi a_{eff} \sqrt{\epsilon_d}} \quad (2)$$

여기서 c 는 광속도를 나타내며, a_{eff} 는 원형 패치 안테나에서 누설전계(fringing field)를 고려한 등가 반경으로서 식 (3)과 같이 주어진다[6].

$$a_{eff} = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_d} (\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726) \right]^{1/2} \quad (3)$$

유전상수 $\epsilon_d = 10.2$, 손실탄젠트 0.0023, 두께 $h = 1.27$ mm 인 유전체 기판 위에 $a = 9.5$ mm, $b = 5.84$ mm 이며, 원형 패치의 섹터 각도 $\phi_0 = 70^\circ$ 인 원형 섹터 패치 안테나를 제작하여 그림 2에 나타내었다. 각 단자(port)는 $\lambda/4$ 임피던스 변환기와 개방 스텐브(open stub)를 사용하여 임피던스 정합을 하였다. 섹터 각도 $\phi_0 = 70^\circ$ 인 원형 섹터 패치 안테나에 여기되는 기본모드(dominant mode) 및 1차 고차모드(first higher mode)는 식 (1)과 식 (2)로부터 각각 TM ν_{11} , $\nu_{11} = 2.571$ 및 TM 0_1 가 됨을 알 수 있으며, 단자 1은 TM 0_1 모드를, 단자 2는 TM ν_{11} 를 여기하는 것을 알 수 있다.

각 모드의 전계의 세기를 유한차분시간영역(FDTD)법으로 계산하여 그림 3에 나타내었다. 유한차분시간영역법으로 전계의 세기를 계산할 때, 전체 해석영역 셀 수는 x, y, z 방향으로 각각 $130 \times 125 \times 20$ 으로 하였다. 공간 셀의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 0.2$ mm,

$\Delta z = 0.4233 \text{ mm}$ 으로 하였으며, 시간 간격은 안정도를 만족하는 $\Delta t = 0.447 \text{ ps}$ 로 하였고, 전체 해석 시간 간격은 $6000 \Delta t$ 로 하였다. 그림 3의 TM_{ν_1} , $\nu_1 = 2.571$ 및 TM_{01} 모드의 전계의 분포로부터 알 수 있듯이 두 모드는 서로 수직한 편파 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

그림 4에 측정된 S 파라미터를 나타내었다. 단자 1의 TM_{01} 모드의 공진주파수는 5.5 GHz로서 10 dB 대역폭은 약 38 MHz이며, 단자 2의 TM_{ν_1} 모드의 공진주파수는 5.4 GHz로서 10 dB 대역폭은 약 50 MHz가 된다. 모두 1% 이내의 협대역 특성을 나타내고 있는데, 이것은 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나의 특성으로 추후 개선이 필요한 부분이다. 한편 그림 4에서 두 단자간의 격리도 S_{21} 은 30dB 이상인 것을 알 수 있다.

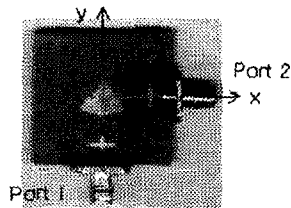
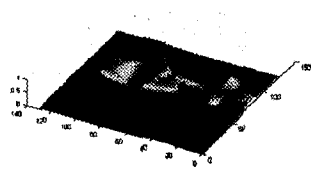
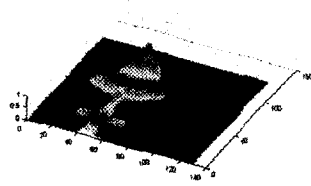


그림 2. 제작한 원형 섹터 마이크로스트립 안테나
Fig. 2. Fabricated circular sector microstrip antenna



(a) TM_{ν_1} , $\nu_1 = 2.571$



(b) TM_{01}

그림 3. 여기된 두 모드의 전계의 세기

Fig. 3. Electric field intensities of excited two modes

각 모드의 동작주파수에서 안테나의 복사특성을 측정하여 그림 5에 나타내었다. 두 동작 모드에서 브로드사이드 복사패턴이 측정되었으며, 두 모드가 각각 서로 수직한 복사패턴을 가지며, 교차편파(cross pol.) 특성이 주빔(main beam) 방향에서 -20 dB 이하가 되는 것을 그림 4로부터 알 수 있다. 한편 두 주파수에서 안테나의 이득의 차이는 약 0.2 dB 정도로 측정되었다.

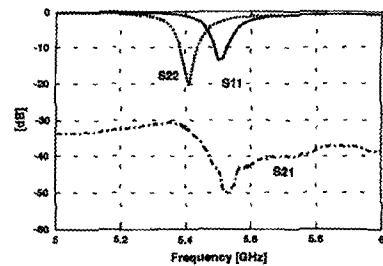
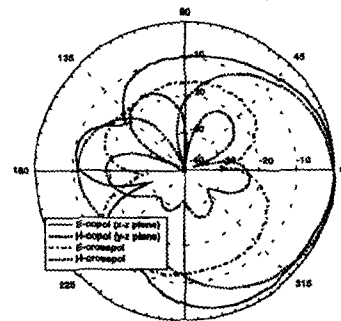
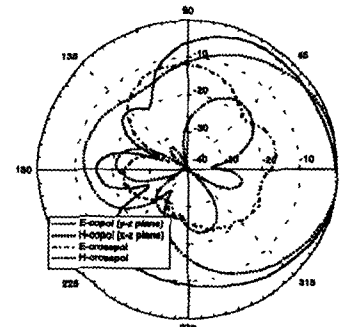


그림 4. 제안한 안테나의 측정된 S-파라미터
Fig. 4. Measured S-parameters of the proposed antenna



(a) 5.4 GHz



(b) 5.5 GHz

그림 5. 측정된 복사 패턴
Fig 5. Measured radiation pattern

III. 트랜시버 제작

제안한 안테나는 두 급전 단자간에 30 dB 이상의 격리도 특성을 가지고 있으므로, 이 특성을 이용하면 듀플렉스 기능을 갖는(self-diplexing) 저가격의 트랜시버를 설계할 수 있다. 5.5 GHz에서 동작하는 전력증폭기(PA)와 5.4GHz에서 동작하는 저잡음 증폭기(LNA)를 설계하여 안테나의 두 단자에 각각 그림 6과 같이 듀플렉스없이 연결하였다. 증폭기는 HP Series IV를 사용하여 설계를 하였다. 전력증폭기는 MWT-8HP GaAs FET를 사용하여 설계하였다. 드레인 바이어스 전압은 5V, 게이트 바이어스 전압은 dc 드레인 전류가 25% Idss가 되도록 설정을 하였다. 저잡음 증폭기는 NE76038 GaAs MESFET를 사용하여 설계를 하였으며, 드레인 바이어스 전압은 3V, dc 드레인 전류는 10mA로 하였다.

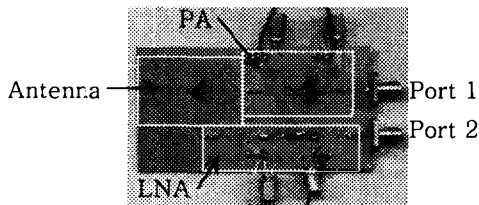


그림 6. 제작한 트랜시버
Fig. 6. Transceiver

제작한 트랜시버에 대해 측정된 S 파라미터를 그림 7에 나타내었으며, 트랜시버의 송신과 수신 파라미터를 그림 8에 나타내었다. 과도한 에칭 및 LNA 입력과 PA 출력의 불완전한 임피던스 매칭의 결과로 인한 부하 효과(loading effect)에 의해 집적화된 수신기와 송신기의 동작주파수가 LNA의 경우 5.46 GHz로 PA의 경우 5.6 GHz로 이동하였으며, 이 주파수에서 LNA와 PA의 return loss는 각각 -10dB와 -5dB이 되었다. 제안된 안테나의 이득은 약 4 dBi이므로 전력 증폭기의 이득은 8 dB, 저잡음 증폭기의 이득은 4 dB로 추정할 수 있다.

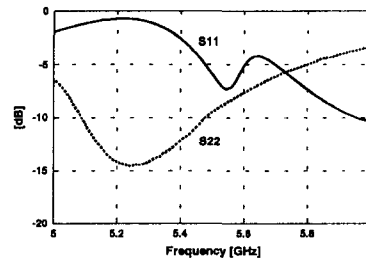


Fig. 7 측정된 입력 및 출력 S-파라미터
Fig. 7. Measured input and output S-parameters

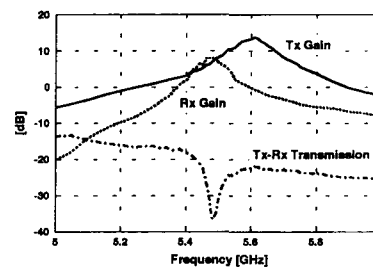


Fig. 8. 측정된 송신 및 수신 이득과 격리도
Fig. 8 Measured transmit and receive gains as well as isolation of the transceiver front-end.

IV. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 사용하여 서로 수직한 편파 특성을 갖는 이중주파수 안테나를 설계하였고, 두 주파수간의 격리도 특성을 이용하여 전력증폭기 및 저잡음 증폭기를 각각 안테나의 두 급전선에 연결하여 트랜시버를 제작하였다. 제작한 트랜시버는 송신 5.6 GHz, 수신 5.5 GHz에서 동작하고, 송수신간의 격리도가 30 dB 이상이며, 송수신의 복사특성이 서로 수직한 특성을 갖고 있으나, 안테나 주파수 대역폭이 1% 정도로 매우 좁고, 입력 임피던스 정합이 좋지 못하여 개선이 요구된다.

참고문헌

- [1] M. J. Cryan, P. S. Hall, S. H. Tsang, and J. Sha, "Integrated active antenna with full duplex operation," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 45, pp. 1742-1748, Oct. 1997.
- [2] H. Nakano and K. Vichien, "Dual-frequency square patch antenna with rectangular notch,"

- Electron. Lett., vol. 25, pp. 1067-1068, 1989.
- [3] K. L. Wong and K. P. Yang, "Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot," Electron. Lett., vol. 33, pp. 1916-1917, 1997.
- [4] K. L. Wong and J. Sze, "Dual-frequency slotted rectangular microstrip antenna," Electron. Lett., vol. 34, pp. 1368-1370, 1998.
- [5] W. F. Richards, J.D. Ou, and S. A. Long, "A theoretical and experimental investigation of annular, annular sector, and circular sector microstrip antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 32, pp. 864-867, Aug. 1984.
- [6] L. C. Shen and S. A. Long, "The resonant frequency of a circular disc, printed-circuit antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 25, pp. 595-596, July 1977.



박동국(Dong-kook Park)

1987. 2 부산대학교 전자공학과(공학사)

1989. 2 KAIST 전기 및 전자공학과(공학석사)

1994. 8 KAIST 전기 및 전자공학과(공학박사)

1994. 8 ~ 1996. 3 LG전자 선임연구원

1996. 4 ~ 현재 한국해양대학교 조교수

2000. 1 ~ 2001. 1 미국 UCLA 전기공학과 방문교수

※ 관심분야 : 안테나, 초고주파 소자, 수치해석



Tatsuo Itoh

1964 일본 Yokohama 대학 (학사)

1966 일본 Yokohama 대학 (석사)

1969 미국 University of Illinois at Urbana-Champaign 전기공학과 (박사)

1978. 7 ~ 1990. 12 미국 Univ. of Texas at Austin 교수

1991. 1 ~ 현재 미국 UCLA 전기공학과 교수

※ 관심분야 : 밀리미터파 및 마이크로파 소자, 수치해석, 집적 수동 소자 및 안테나