

테이퍼드 슬롯 배열 안테나의 설계 및 제작

°박노준, 이중기, 정찬권, 김남현, 강영진
원광대학교 전자공학과

Design and Implementation of Tapered Slot Array Antennas

° Noh Joon Park, Jung Ki Lee, Chan Gwoun Jeoung, Nam Hyun Kim, Young Jin Kang
Dept. of Electronic Engineering, Wonkwang University
E-mail: njpark@wonkwang.ac.kr

요 약

마이크로파 대역에서 넓은 공진 주파수 대역폭을 갖는 V 형 테이퍼드 슬롯 안테나와 1x4 선형 배열 안테나를 설계하였다. 설계주파수는 5.8 [GHz]이었고 비유전율이 3.48 인 RO4350 기판을 사용하였으며 멀티옥타브 특성과 복사 패턴을 얻었다.

I. 서 론

최근 마이크로파와 밀리미터파 시스템에서 평판 안테나의 사용에 대해 관심이 증가하고 있다. 현재 사용되고 있는 평판 안테나의 다양한 종류는 크게 broadside 복사소자와 end-fire 복사소자로 분류 할 수 있는데 평판 다이폴, 슬롯 그리고 마이크로스트립 패치와 같은 공진소자들은 모두 broadside 방향으로 복사한다. 그러나 이들 안테나들은 일반적으로 이득이 낮고 빔 방향의 틸트에 따른 10dB 빔폭 특성이 충분히 좋지 못하다. 이러한 단점은 진행파 안테나를 사용하므로써 쉽게 극복 할 수 있는데 테이퍼드 슬롯 안테나(Tapered Slot Antenna:TSA)는 end-fire 진행파 안테나에 속한다.^[1]

Gibson 에 의해 vivaldi antenna 로 소개된 TSA 는 마이크로파와 밀리미터파 시스템 들 다에서 쓰일 수 있고^[2] 이것은 microstrip-to-slotline 급전을 이용하여 마이크로파 회로와 쉽게 집적화 될 수 있으며 이러한 선형 테이퍼드 슬롯 안테나(Linearly Tapered Slot Antenna: LTSA)는 다른 인쇄 회로 안테나에 비해서

높은 이득, 넓은 대역폭 그리고 단순한 구조의 장점을 갖는다^[3].

이러한 장점을 살리기 위해서는 LTSA 의 피드 네트워크가 넓은 주파수 대역에 걸쳐 낮은 손실을 가져야만 하고 제작이 간단하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 uniplanar 급전 구조를 사용하여 시스템을 조밀하게 제작할 수 있고 패키징과 MMIC 응용 및 phased array 에 있어서 많은 장점을 갖는 microstrip-to-coplanar strip(CPS) line 급전구조^[4]의 V 형 테이퍼드 슬롯 안테나에 대하여 연구하였다.

II. V 형 테이퍼드 슬롯 안테나

그동안 소개되어온 급전방식은 전기적 결합의 형태에 따라 전자기적 결합방식과 직접 결합방식으로 나눌 수 있는데 microstrip-to-slot line^[5], fin line-to-slot line^[6], coplanar waveguide(CPW)-to-slot line^[7] 그리고 microstrip-to-balanced line-to antipodal slot line^[8] 등이 이들에 속하며 antipodal 기하구조를 제외하고는 다른

모든 TSA 는 슬롯 라인으로 급전된다.

최근에 소개된 microstrip-to-coplanar 급전방식은^[4] 위의 두가지 범주에 속하지 않는 새로운 방법이며 결합의 대상이 되는 슬롯을 CPS 로 변환하였고 따라서 직접결합 방식에서 흔히 볼 수 있는 본딩 와이어가 필요 없다.

이러한 급전구조에 대한 실제적인 배경으로서는 100 Ω 보다 작은 임피던스를 갖는 슬롯 라인이 단지 수천분의 1 인치의 슬롯 폭을 갖기 때문에 기존의 에칭기법으로는 정확하게 제작할 수 없다는 것을 생각해 볼 수 있다.

TSA 의 성능은 안테나 기판의 두께와 유전상수에 민감하다. 기판의 전기적 두께를 나타내는 유효 유전체의 두께는 다음식으로 정의된다.

$$t_{eff} = t(\sqrt{\epsilon_r} - 1)$$

유전체의 유효두께가 너무 크게되면 불필요한 substrate mode 가 발생하게되고, 너무 작게 되면 지향성이 떨어지는 효과가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 Yngvesson^[3]이 실험적으로 제시한 아래식의 범위를 넘지 않도록 하였다.

$$0.005\lambda_0 \leq t_{eff} \leq 0.03\lambda_0$$

비유전율이 3.48 이고 기판 두께가 0.762 [mm]인 경우 유효유전체 두께의 범위는 그림 1 과 같다

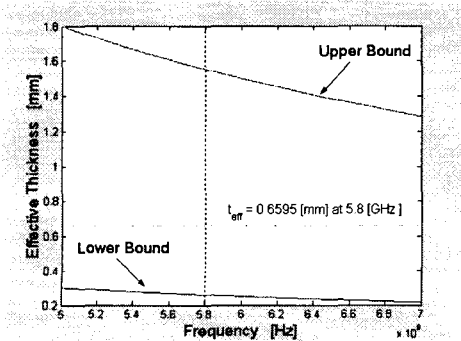


그림 1. 유효유전체 두께의 허용범위

그림 2 는 기존에 사용되었던 대칭형 단일평면 microstrip -to-coplanar 스트립 라인 급전의 구조이다^[4]. 여기에서 특성임피던스 $Z_0 = 50 \Omega$ 이고 폭이 W 인 마이크로스트립 라인은 폭이 W_1 인 $\lambda/4$ 임피던스 매칭 트랜스포머를 통하여 특성임피던스가 70Ω 이고 폭이 W_2 인 2 개의 직교 마이크로스트립 라인에 결합된다. 이상적인 고리모양 루프의 평균 경로길이는 $0.5 \lambda_{g(\text{microstrip})}$ 이고 여기서 $\lambda_{g(\text{microstrip})}$ 은 설계주파수 f_0 에서 $Z_0 = 70 \Omega$ 의 마이크로스트립 라인 내에서의 관내파장이다. 광대역 동작을 위한 실제적인 급전 구조에서는 오른쪽으로 굽혀진 기생 소자가 보정되어야만 한다.

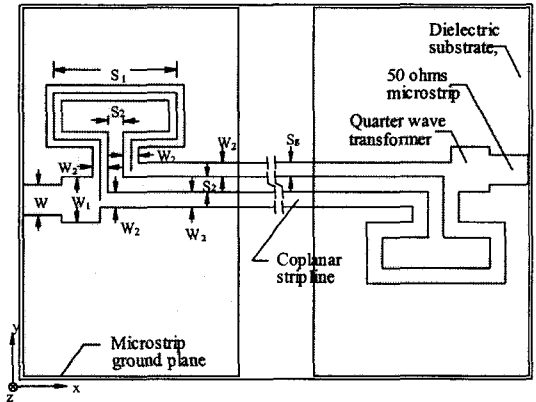


그림 2. Uniplanar Microstrip-to-Coplanar 급전의 대칭구조

이 문제에 대한 간단한 해법으로서 마이크로스트립 라인의 평균 경로 길이를 증가시키는 것을 생각해 볼 수 있는데 평균 경로길이를 $0.638\lambda_{g(\text{microstrip})}$ 로 선택하여 커플드 마이크로스트립 라인에 대한 입력 위치 “a”와 “b”에서의 신호 위상을 180° 위상차가 나도록 하는 방식이다. 커플드 마이크로스트립 라인에서는 갭 S_1 을 가로지르는 전계를 갖는 odd-mode 가 도미넌트 모드로서 여기된다.

그러나 이 방법은 평균경로길이에 대한 경험적 결과가 필요하고 정확한 180° 위상차를 얻는데 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 3 과 같은 transition 을 고려하였다^[10].

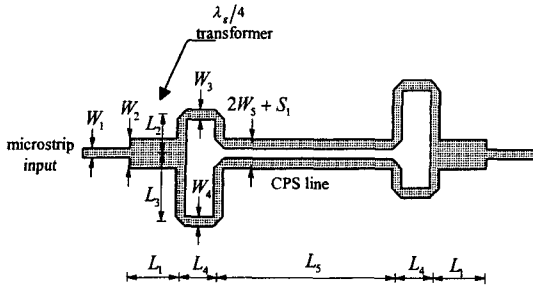


그림 3. 제안한 급전방식의 대칭구조

여기에서 $L_3 - L_2 = \lambda_g/4$ 이므로 CPS 급전점에서는 위상차가 정확히 180°가 되고 bending 부분에서의 기생소자도 상보된다.

갭 치수 S_1 은 커플드 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스 $Z_{0(odd)}$ 가 50Ω이 되도록 선택되었다.

coplanar 스트립라인 도체의 폭 W_5 는 마이크로스트립 라인의 폭 W_3 과 같도록 만들었다. 결과로서 coplanar 스트립 라인의 특성임피던스 $Z_{0(cps)}$ 는 약 100Ω이며 다음식으로 계산하였다^[9].

$$Z_{0(cps)} = \frac{120\pi K(k)}{\sqrt{\epsilon_{re}} K'(k)}$$

여기서, $k = \frac{S}{S+2W}$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left[2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right] \quad \text{for } 0.707 \leq k \leq 1$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln \left[2 \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}} \right]} \quad \text{for } 0.707 \leq k \leq 1$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \{ \tanh[1.785 \log(h/W) + 1.75] + \frac{kW}{h} \{ 0.04 - 0.7k + 0.01(1 - 0.1\epsilon_r)(0.25 + k) \} \}$$

V-LTSA의 장점중의 하나는 이 안테나가 유한한 너비의 접지면을 갖는다는 것인데 이것은 접지면을 이루는 도체 사이의 surface wave와 parallel-plate mode를 억제함으로써 안테나의 성능을 높이게 된다.

그림 4와 5는 uniplanar microstrip-to-coplanar 스트립

라인 급전을 갖는 V-LTSA와 배열 안테나이다. 급전부에서의 microstrip-to-coplanar 스트립라인의 스케일은 그림 1에 보인 것과 동일하다. 길이 L_6 과 폭 W_6 는 각각 임의로 $1.7\lambda_0$ 와 $0.32\lambda_0$ 로 선택하였고 변화시켜가면서 안테나 특성을 관찰하였으며 여기서 λ_0 는 f_0 에 대응하는 자유공간 파장이다.

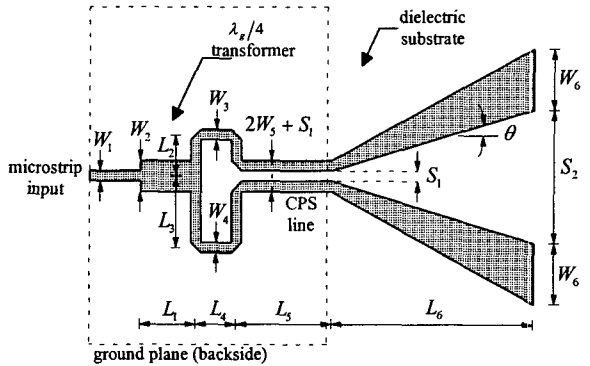


그림 4. V형 테이퍼드 슬롯 안테나

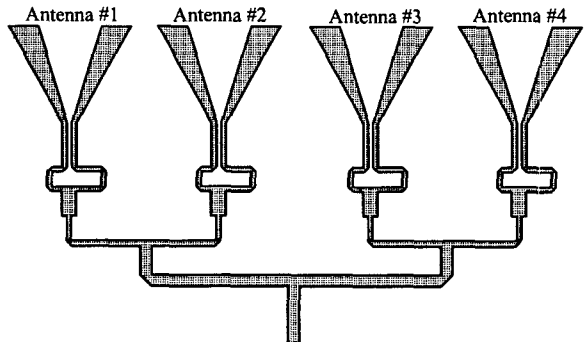


그림 5. 1×4 선형 배열 안테나

참고문헌[3]에 의하면 LTSA의 개구각이 11.2°일때 E-평면과 H-평면 빔폭이 거의 같아짐을 볼 수 있는데 이것은 5 [mil] 두께의 $\epsilon_r = 2.22$ 인 Duroid 기판상에 제작된 LTSA 상에서 얻은 결과이며 본 논문에서는 0.762 [mm] 두께의 $\epsilon_r = 3.48$ 인 R04350 기판상에서 제작, 실험하였기 때문에 각 θ 는 임의로 12.5°를 선택한 후 변화시켜 보았다.

III. 설계 및 실험

설계에 사용한 유전체 기판은 비유전율이 3.48 ± 0.05 인 Rogers 사의 RO4350 기판이고 두께는 0.762 [mm] 이며 손실 탄젠트는 0.0040 이다. 또한 중심 주파수는 5.8 [GHz]로 설계하였으며 급전선로의 실현은 Hammerstad 에 의한 식을 사용 하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 단일 평면 microstrip-to-coplanar 스트립 라인으로 급전되는 V-LTSA 와 배열 안테나를 설계하고 공진주파수와 복사특성을 검토하였다. 이러한 형태의 V-LTSA 는 격자구조를 갖는 마이크로파 및 밀리미터파 대역의 위상 배열 시스템에 우수한 적용성을 갖을 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] R. Janaswamy and D. H. Schaubert, "Analysis of the Tapered Slot Antenna", IEEE AP-35, No.9, 1987, pp. 1058 - 1065

[2] P. J. Gibson, "The Vivaldi Aerial," in 9th European Microwave Conference, Brighton, UK, September 1979, pp. 101 - 105

[3] K. S. Yngvesson, D. H. Schaubert, T. L. Korzeniowski, E. L. Kolberg, T. Thungren, and J. F. Johansson, "Endfire Tapered Slot Antennas on Dielectric Substrates," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-33, No.12, pp.1392 - 1400, 1985.

[4] R. N. Simons, N. I. Dib, R. Q. Lee, and L. P. B. Katehi, "Integrated Uniplanar Transition for Linearly Tapered Slot Antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.43, No.9, pp.998 - 1002, 1995

[5] S. N. Prasad and S. Mahapatra, "A Novel MIC Slot-line Antenna," in 9th European Microwave Conference, pp.120 - 124, Brighton, UK, September 1979; also IEEE

Trans. Ant. Propagat., Vol. AP-31, No.3, pp.525 - 527, 1983

[6] K. S. Yngvesson et al., "The tapered slot antenna - A new integrated element for millimeter-wave applications," IEEE AP-37, No.2, 1989, pp. 365 - 374

[7] R. N. Simons, R. Q. Lee, and T. D. Perl, "New Techniques for Exciting Linearly Tapered Slot Antenna with Coplanar Waveguide," Electron. Lett., Vol.28, No.7, pp.620 - 621, 1992

[8] R. N. Simons, R. Q. Lee, and T. D. Perl, "Non-planar Linearly Tapered Slot Antenna with Balanced Microstrip Feed, " 1992 IEEE AP-S International Symposium, Vol.4, Chicago, IL, pp.2109 - 2112, 1992

[9] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, Microstrip Lines and Slotlines, Artech House, 1996

[10] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda and T. Itoh, "A microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics," Electronics Lett., vol.34, no.23, pp.2194-2196, Nov. 1998.