개구와 산란체 결합문제에서 공진형과 유도형 복사

이 철훈*, 이 종익**, 조 영기*
* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
** 동서대학교 정보시스템공학부

Cavity-type and Parasitic-type radiation in the aperture to scatterer coupling problem

Cheol Hoon Lee*, Jong Ig Lee**, Young Ki Cho*
* School of Electrical and Computer Science, Kyungpook National Univ.
** Division of Information System Eng., Dongseo Univ.

Abstract

Two types of radiative coupling in the 2-dimensional aperture to scatterer coupling problems are described with an emphasis on the main difference between the two types. In particular, detailed comparison is made from the viewpoint of the Quality factor between two types.

Ⅰ. 서 론

마이크로스트립 안테나 구조 중에서 가장 널리 사용되는 개구결합(aperture-coupled)형태와 근접결합(proximity-coupled)형태의 복사기의 복사현상에 대한 구조의 이해를 위하여 2차원 문제(2-dimensional problem)로 단순화한 구조에 대하여 살펴보고자 한다. 특히 두 가지의 결합 mechanism 즉 도체스트립(그림. 1 참조)과 개구(slot 또는 aperture)를 포함하고 있는 도체평판 사이에 공진기(cavity)를 구성하는 경우에 관찰되는 공진기 형태(cavity-type)와 이와 대조되는 형태로서 도체스트립과 개구를 포함한 도체 평판사이의 거리가 비교적 크고 동시에 도체스트립이 3-소자 야기 안테나에서의 도파기(director) 역할을 하는 기생소자 형태(parasitic-type)의 선택도 인자(Q-factor) 값에 대하여 주안점을 두고 기술하고자 한다.

Ⅱ. 본 론

그림. 1과 그림. 2의 구조을 풀기 위해서는 도체스트립에 유기되는 미지의 유도전류밀도와 슬롯(aperture)에 유기되는 자계전류를 미지수로 하는 결합적분방정식의 formulation 과정이 필요한데 이러한 결합적분방정식을 operator 형태로 기술하면[1-3] 다음과 같다.

$$(H_y^{Jd}+H_Y^{Md})_{x=0^+}=(H_y^M+H_y^I)_{x=0^-},$$
$$|z|<a,\ x=0 \text{ 슬롯 영역} \qquad (1)$$
$$E_z^{Jd}(\rho)+E_z^{Md}(\rho)=0,$$
$$\rho\in C \text{ 스트립 영역} \qquad (2)$$

위 식에서 $(H_y^{Jd})_{x=0^+}$는 도체스트립에 유기되는 전류에 의한 슬롯영역($x=0^+$)에서의 자계의 y성분을 의미하고 $(H_y^{Md})_{x=0^+}$는 슬롯 영역(유전체쪽)에 유기되는 등가자기전류에 의한 슬롯영역($x=0^+$)에서의 y-성분 자계를 의미하고 $(H_y^M)_{x=0^-}$는 슬롯 영역(평행평

판측)에 유기되는 등가 자기전류에 의한 슬롯 영역 ($x=0^+$)에서의 y-성분 자계를 의미하며 $(H_y^f)_{x=0^-}$는 평행평판 도파관 내부에서의 TEM 입사파 ($=V/\eta e^{-jkz}$)에 의한 forcing function으로 $2V/(\eta h)\, e^{-jkZ_s}\cos[k(z-Z_s)]$로서 주어지는데 여기에서 η는 평행평판도파관 내부의 매질에 해당되는 고유임피던스를 의미한다.

또한 식(2)에서 $E_z^{jd}(f)$는 도체스트립에 유기되는 전류에 의한 z-성분 전계를 의미하며 E_z^{Md}는 슬롯의 등가자계전류에 의한 z-성분을 의미한다. 따라서 식(1)은 슬롯을 통한 접선성분 자계의 연속조건으로부터 얻은 적분방정식에 해당되고 식(2)는 도체스트립 표면에서 접선성분의 전계가 영이 되어야 하는 조건으로부터 얻은 적분방정식에 해당된다. 그림 3에 해석구조와 그에 해당되는 등가회로를 나타내었다. 해석방법[1-3]으로는 슬롯에 유기되는 미지의 등가자계전류는 펄스기저함수를 전개하고 점정합법을 사용하였으며 도체스트립에 유기되는 미지의 전류는 piecewise sinusoidal Galerkin 방법을 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 검토

본론에서 논의한 방법을 사용하여 미지함수인 슬롯에서의 등가자계전류 및 도체스트립에서의 전류를 구하면 이로부터 그림 3에 도시되어 있는 슬롯으로부터 외부로 복사되는 전력 P_{slit}이나 등가 load 어드미턴스인 $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$을 계산할 수 있다. 여기에서 P_{slit}은 자유공간으로 복사되는 P_{sp}와 유전체층으로 launch되는 표면파전력인 P_{sf}의 합으로 주어지는데 P_{sf}가 충분히 작아서 $P_{slit}\cong P_{sp}$가 되는 조건 하에서의 결과를 살펴보기로 한다.

먼저 그림. 4에 cavity type과 parasitic type의 두 가지 경우에 대하여 도체스트립에 유기되는 전류밀도의 크기를 비교하여 도시하였다. 그림 4의 caption에서 보면 알 수 있듯이 cavity type의 경우에 유전체 두께 h_d와 도체스트립의 폭 L이 parasitic type의 경우에 비하여 크다. 동시에 cavity type에서의 상대유전율이 실제의 microstrip 안테나 구조에서의 값과 유사한 $\varepsilon_r=2.2$로 택하여졌음을 알 수 있다. Cavity-type에서의 전류밀도가 parasitic type에 비하여 매우 큼을 알 수 있는데 이는 cavity type의 경우 도체스트립 아래에 강한 공진모드(TM_1 mode)가 여기되고 있음을 보여준다.

그림. 5(cavity-type)에는 도체스트립의 offset에 대한 P_{slit}과 $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$을 도시하였는데 이로부터 matching point가 $Z_c/\lambda_d=\pm 0.226$ 의 두 위치에서 관찰됨을 알 수 있다. 이는 마이크로스트립 안테나에서 non-radiating edge를 따라 center에 대하여 대칭인 두 지점에서 matching이 가능하다는 사실과 동일한 현상이다.

그림. 6에서는 parasitic type의 경우에 대한 P_{slit}과 $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$을 도시하였는데 그림 5의 cavity type의 경우와는 달리 도체스트립의 offset이 0이 될 때 matching이 됨을 확인할 수 있다. 그림. 6의 caption에서 볼 수 있듯이 도체스트립과 슬롯간의 간격이 3소자 야기 안테나[4]에서 driver와 director 간의 길이와 유사함을 알 수 있으며 동시에 그림. 6에서의 도체스트립의 길이 L도 cavity-type에 비하여 작은 값을 지니게 되고 실제 3소자 야기 안테나에서의 director의 길이와 비교할 만한 길이를 지님을 볼 수 있다.

그림. 7에 cavity type과 parasitic type의 두 경우에 대한 복사패턴을 비교하여 도시하였는데 이로부터 parasitic type의 경우 지향성의 증가가 이루어짐을 확인할 수 있다.

두 가지 구조 즉 cavity type과 parasitic type의 주파수에 따른 특성 변화를 조사할 필요가 있다. 이를 위하여 그림. 8과 그림. 9

에 P_{slit}과 $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$의 주파수에 따른 특성 변화를 도시하였다. 예상되는 바와 같이 그림 8의 cavity type의 경우에 Q(Quality factor)값이 대략 25로서 parasitic type(대략 5)에 비해 5배 정도 큼을 볼 수 있는데 이는 대역폭이 3dB 기준으로 하여 대략 5배가 큼을 의미한다. 특히 이 논문에서의 cavity type에서의 maximum coupling 조건은 두꺼운 도체벽의 좁은 슬릿에 의한 maximum transmission resonance 조건[5]과 본질적으로 동일함을 특기할 필요가 있다. 현재 aperture-body resonance[6] 문제의 관점에서 수학적 기술상의 차이점(cavity type과 parasitic type의)을 연구하고 있다.

Ⅳ. 결 론

이차원적으로 단순화된 aperture-coupled 마이크로스트립 안테나 구조에서의 두 가지 결합현상에 대한 관찰 결과를 살펴보았다. 이러한 결과는 평면형 안테나 구조의 복사 mechanism의 이해와 miniaturization 분야의 기술에 유용한 도움이 될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] J. I. Lee, C. H. Lee and Y. K. Cho, "Electromagnetic coupling mechanism to a conducting strip through a narrow slit in a parallel-plate waveguide," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-49, no. 4, pp. 592-596, April 2001.

[2] J. I. Lee and Y. K. Cho, "Maximum electromagnetic coupling to a nearby conducting strip through a narrow and wide slits in a parallel-plate waveguide," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, in revision.

[3] C. H. Lee, J. I. Lee and Y. K. Cho, "Electromagnetic coupling to a nearby conducting strip through narrow and wide slits in parallel plate waveguide," *Proc. International Symp on electromagnetic theory*, pp. 685-687, Victoria, Canada. May 2001.

[4] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna theory and design*, p.223, Wiley, 2nd ed. 1998.

[5] R. F. Harrington and D. T. Auckland, "Electromagnetic transmission through narrow slots in thick conducting screens," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-28, pp. 616-622, Sept. 1980.

[6] R. F. Harrington, "Resonant behavior of a small aperture backed by a conduction body," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-30, pp. 205-212, Mar. 1982.

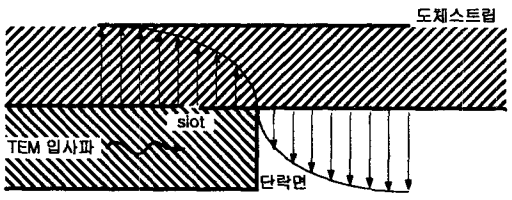


Fig. 1. 공진기 형태(cavity-type)의 복사구조 : 도체스트립과 슬롯이 있는 도체 평면사이에 TM_1 mode가 강하게 여기된다. 그림에서의 화살표는 전계를 의미한다.

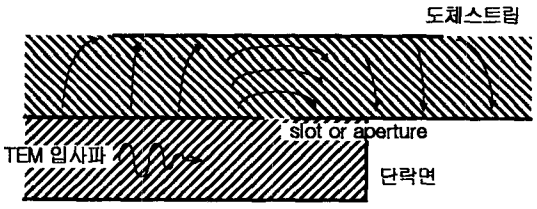
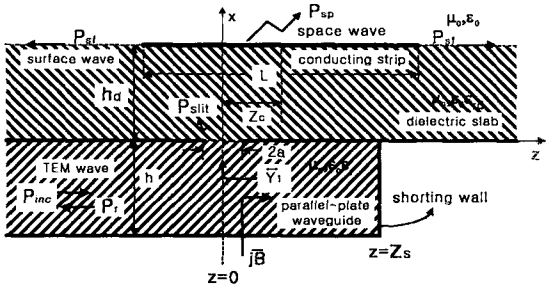
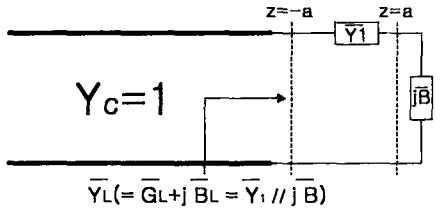


Fig. 2. 기생소자 형태(parasitic-type)의 복사구조 : 이 경우의 도체스트립은 3소자 야기 안테나의 도파기 구실을 한다. 그림에서의 화살표는 전계를 의미한다.



(a) Geometry for narrow slit problem



(b) Equivalent circuit representation for narrow slit case

Fig. 3. Geometry for narrows slit problem as a simplified structure of an aperture-coupled microstrip antenna and its equivalent circuit representation

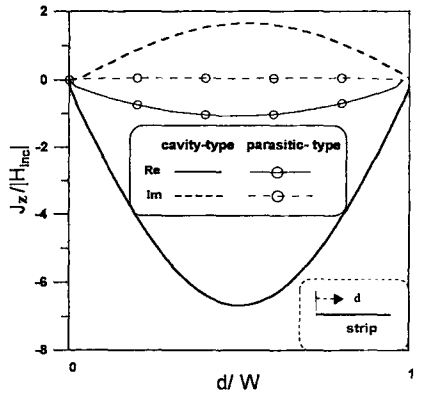
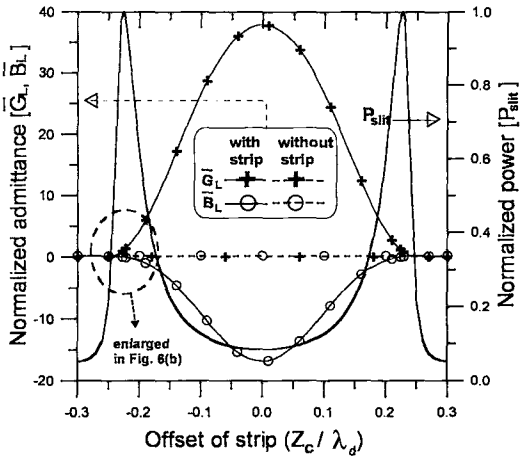


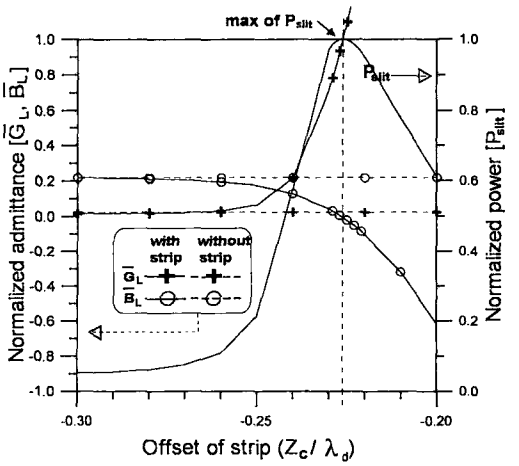
Fig. 4. Current distribution over the conducting strip

cavity-type is for the case that $\varepsilon_r=\varepsilon_{rd}=2.2$, $h=0.015\lambda$, $2a=0.002\lambda$, $h_d=0.01\lambda_d$, $L=0.482\lambda_d$, $Z_C=0.226\lambda_d$, and $Z_S=0.5\lambda$

parasitic-type is for the case that $\varepsilon_r=2.2$, $\varepsilon_{rd}=1.2$, $h=0.015\lambda$, $2a=0.002\lambda$, $h_d=0.044\lambda_d$, $L=0.425\lambda_d$, $Z_C=0$, and $Z_S=0.5\lambda$



(a) Normalized coupled power P_{slit} through the slit and load admittance $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$ versus offset (Z_C/λ_d)



(b) Enlarged view of curves for P_{slit} and $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$ near the position for maximum coupling

Fig.. 5. Normalized coupled power through the slit w.r.t. the incident power P_{inc} and load admittance (cavity type) w.r.t. the chracteristic admittance $(\frac{1}{\eta h})$. $\varepsilon_r=\varepsilon_{rd}=2.2$ $h=0.015\lambda$, $2a=0.002\lambda$, $h_d=0.01\lambda_d$, $L=0.482\lambda_d$, $Z_C=0.226\lambda_d$, and $Z_S=0.5\lambda$.

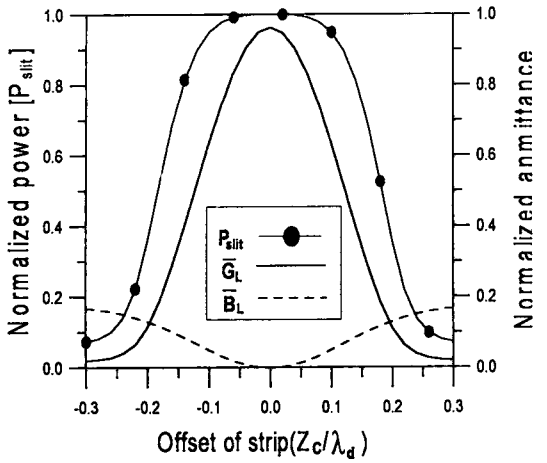


Fig.. 6. Normalized coupled power P_{slit} through the slit and load admittance $\overline{Y_L}(=\overline{G_L}+j\overline{B_L})$ (parasitic type). $\varepsilon_r=2.2$, $\varepsilon_{rd}=1.2$, $h=0.015\lambda$, $2a=0.002\lambda$, $h_d=0.044\lambda_d$, $L=0.425\lambda_d$, and $Z_s=0.5\lambda$.

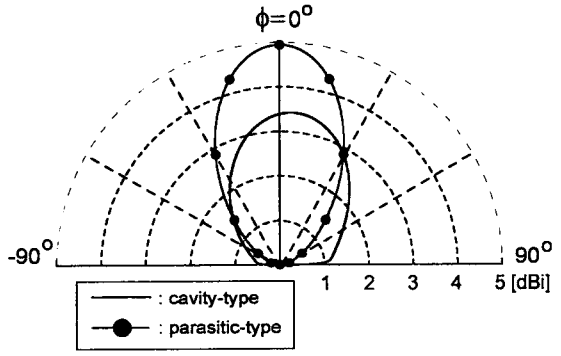


Fig. 7. Comparison of the radiation pattern between cavity-type and parasitic-type.

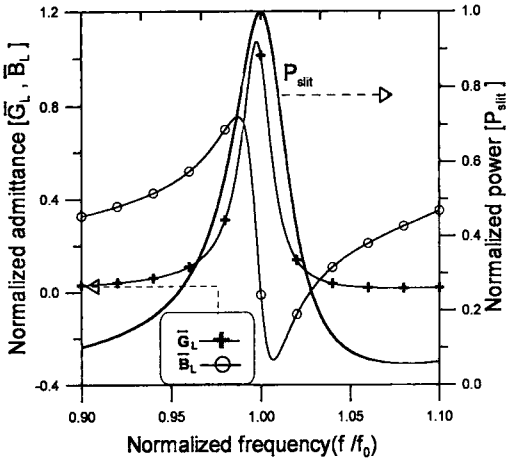


Fig. 8. Cavity type의 주파수 특성

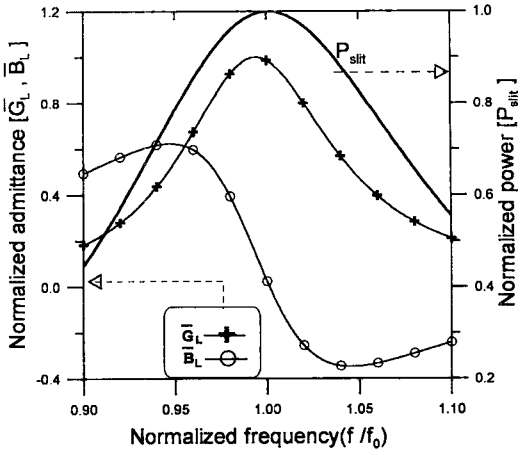


Fig. 9. Parasitic type의 주파수 특성