

대칭 유전체 도파로의 결합특성

박 동 명, 김 윤 명, 진 년 강
 단국대학교 공과대학 전자공학과

The Coupling Characteristics of Symmetrical Dielectric Waveguide Coupler

Dong Myung PARK, Youn Myung KIM, Yeon Kang CHIN
 Dept. of Electronics Eng. Dankook Univ.

* Abstract *

This paper represents a graphical design technique of the symmetrical dielectric waveguide couplers. Once the phase constants are given by a approximate modal analysis, coupling lengths are easily calculated for each coupler. These method give some new insight of the codirectional couplers.

1. 서 론

유전체 도파로는 밀리미터파 및 광파에 널리 사용되고 있으며 이에 관한 연구가 계속되고 있다[1]-[6].

Goell [1]은 단일 유전체 도파로의 특성을 수치해석하였고 Marcattilli [2]는 결합선로의 특성을 전자장에 의한 근사적 예를 제시하였으며 Solbach [3]는 Potential함수를 도입하여 정확한 예를 구했다.

본 논문에서는 Marcattilli [2]의 근사예에 의하여 구한 위상상수에 유효지수방법을 적용해서 실험과 일치되게 하였으며 특수 홀수모드를 적용한 산란정수를 사용하여 3db 결합기를 설계, 실험했다.

2. 유전체 결합회로의 기초이론

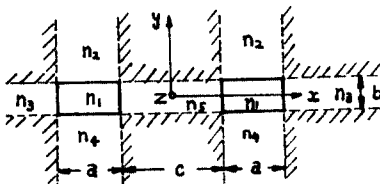


그림 1. 소 구간으로 구분된 도파로의 단면도.

그림 1은 네면이 굴절지수 $n_2 - n_3$ 로 둘러싸이고 중심의 굴절지수가 n_1 인 유전체 도파로의 단면도를 나타낸 그림이다. 이런 구조에 대한 해석적 예는 경계조건의 복잡성 때문에 불가능하므로 근사방법이나 수치해석적 수단이 병행되고 있다.

그러한 방법으로서 사선진 부분의 전장을 무시하거나 두개의 slab 도파관으로 통가시키는 것이다. 이러한 방법은 주파수가 높아짐에 따라서 Goell [1]의 계산치와 좋은일치를 보여준다.

(1) 근사적 전자장의 해석법

그림 1의 사선진 부분의 전자장을 무시하여 각 영역의 전자장을 가정하고 Maxwell 방정식을 풀면 단일 선로의 위상상수 β [5]와 홀수모드 위상상수 β_0 [2]는 다음으로 주어진다.

$$\beta^2 = k^2 n_1^2 - k_x^2 - k_y^2$$

$$\beta_{\text{even}} = \beta \left[1 \pm 2 \frac{k_x T \text{EXP}(-C/T)}{\beta^2 a (1 + k_x^2 T^2)} \right]$$

$$\beta_{\text{odd}}$$

여기서 T는 감쇄상수이며

$$T = ((\epsilon_r - 1)k^2 - k_x^2)^{-1/2} \text{ 이다.}$$

(2) 유효굴절지수 방법

유전체 도파관을 직각인 두개의 slab 도파관과 통가시키는 방법으로 한 방향의 등가 slab 도파관을 구해서 중심 영역의 유효굴절지수를 이용해 직각인 다른 slab 도파관 문제해결에 사용된다.

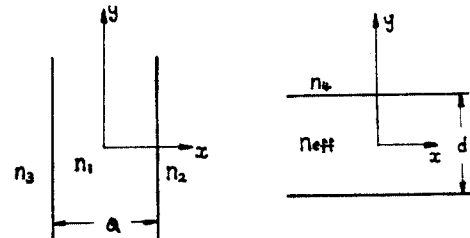


그림 2. EDC의 간략한 설명도.

유효굴절지수는 다음으로 정의된다.

$$\epsilon_{\text{re}}(y) = (\beta/k)^2 = \epsilon_r - (k_y/k)^2,$$

$$\epsilon_{\text{re}}(x) = (\beta/k)^2 = \epsilon_r - (k_x/k)^2.$$

축 방향 전파상수는 다음으로 된다.

$$\beta^2 = \epsilon_{re}(y)K^2 - K_x^2 = \epsilon_{re}(x)K^2 - K_y^2$$

이 방법은 Marcatilli [2] 방법보다 더 큰 범위에 걸쳐 수치 해석적 결과와 더 좋은 일치율을 보여준다.

3. 산란정수 유도

일반적으로 단자의 인, 출력을 표현하는데는 산란정수가 편리하며 대칭인 방향성 결합기에 있어서는 전송, 반사계수의 함수인 좌수, 홀수모드의 산란조합으로서 표현할 수 있다 [6].

$$S_{11} = \frac{R_e + R_o}{2}, \quad S_{12} = \frac{R_e - R_o}{2}$$

$$S_{13} = \frac{T_e + T_o}{2}, \quad S_{14} = \frac{T_e - T_o}{2}$$

여기서 R과 T는 반사, 전송계수이며, e와 o는 좌수, 홀수모드를 나타낸다. 유전체 도파로의 반사와 손실을 무시하면, $|R_e| = |R_o| = 0$, $|T_e| = |T_o| = 1$ 이므로 $S_{11} = S_{12} = 0$ 가 된다.

좌수, 홀수모드의 위상상수를 각각 β_e 및 β_o 라 하면 $T_e = e^{-j\beta_e L}$, $T_o = e^{-j\beta_o L}$ 이므로

$$S_{13} = \frac{e^{-j\beta_e L} + e^{-j\beta_o L}}{2}, \quad S_{14} = \frac{e^{-j\beta_e L} - e^{-j\beta_o L}}{2} \text{ 이다.}$$

여기서 L은 유효 결합 길이이다. 산란정수에 절대값을 취하고 $\beta = (\beta_e + \beta_o)/2$ 를 대입하면,

$$|S_{13}| = \cos(\beta - \beta_o) \cdot L, \quad |S_{14}| = \sin(\beta - \beta_o) \cdot L$$

이 된다.

4. 결합기의 설계

S_{13} , S_{14} 는 $(\beta - \beta_o)L$ 의 함수인 정현파이므로 dB로 결합도를 나타내면 다음 그래프가 된다.

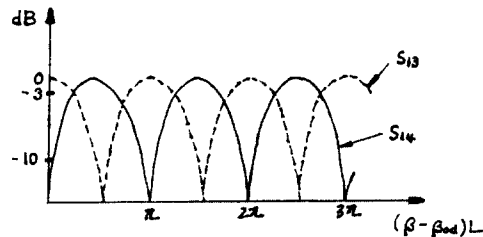


그림 9. 결합 특성 GRAPH.

결합기가 [X] db 결합이 되기 위한 조건은 $|S_{14}| = [X]$ 가 되어야 한다.

$$X = -20 \log |\sin(\beta - \beta_o)L|$$

$$\sin(\beta - \beta_o)L = |\sin(10^{X/20})| \text{ 가 된다.}$$

그러므로 다음이 성립한다.

- a) 완전 전력 전달 : $(\beta - \beta_o)L = (2n-1)\pi/2$
- b) 3 db 결합 : $(\beta - \beta_o)L = n\pi \pm \frac{\pi}{4}$
- c) 10 db 결합 : $(\beta - \beta_o)L = n\pi \pm \sin^{-1}(10^{X/20})$

본 논문에서 β 와 β_o 를 구하기 위해 Marcatilli [2]의 결과를 유효 굴절 지수 방법으로 수정하여 구했으며 그 결과와 실험치가 그림 4에 나타나 있다.

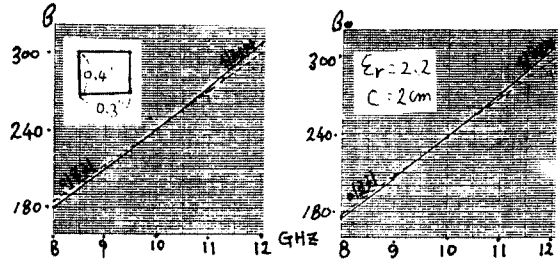


그림 4. a) β 의 주파수 특성, b) β_o 의 주파수 특성.

앞 식에서 중심 주파수를 10GHz로 하면 결합길이 L을 알 수 있다. 여기서 L은 유효 결합 길이이며 다음으로 주어진다 [7].

$$L = L_o + (\Delta\phi/\pi)L$$

$$\text{여기서 } \Delta\phi = 2 \int_0^L (\beta_e(z) - \beta_o(z)) dz$$

$$L = \pi / 2(\beta - \beta_o) \text{ 이다.}$$

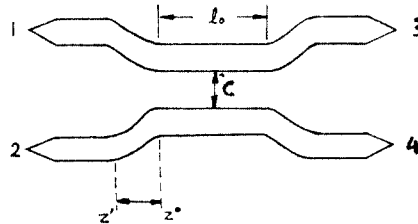


그림 5. 단면이 0.3" x 0.4"인 도파로의 뒷면도.

곡면부의 곡률반경이 .125m 이므로 적분하면 둘째 항의 길이는 .07m 가 된다. 3 db 결합이 되기 위해서는 그림 4의 위상 상수를 대입하면 L은 .14m 가 된다.

5. 실험 및 고찰

앞 절의 결합 특성을 입증하기 위하여 유전율 2.2인 Stuccast을 사용하여 3db 결합을 실험 하였다.



그림 6. 도파로어의 입력장치.

도파로의 입력은 사각 도파관을 통하여 유전체 단면과의 부정합으로 Horn을 사용하였으며 반사파를 줄이기 위하여 도파로 끝을 가늘게 만들어 도체평면위에서 실험하였다.

실험결과 중심주파수에서 6 db 결합이 일어났는데 단일 선로의 감쇄가 약 3 db인 점을 감안하면 3 db 결합이 일어났다고 할 수 있다.

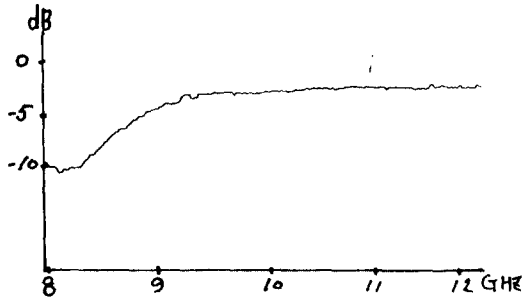


그림 7. 단일 선로의 감쇄곡선.

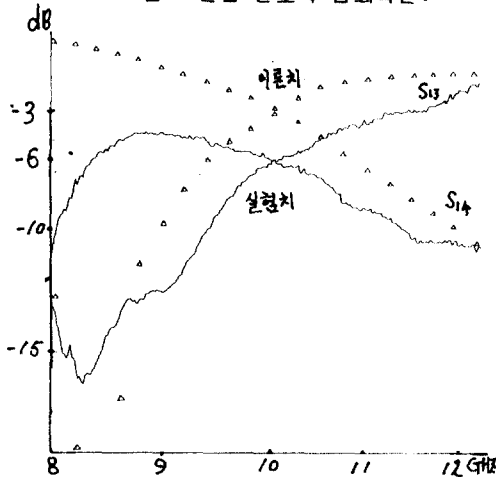


그림 8. 3 db 결합 특성 곡선.

6. 결 론

유전체 도파로의 산란정수를 유도하여 간단한 그래프적 방법으로 결합특성을 관찰 할 수 있는 방법을 제시했다. 본 논문에서 사용한 주파수가 8-12 GHz 이므로 손실여의한 감쇄가 8GHz 에서 10db, 12GHz에서 약 2.5 db의 감쇄가 있었으며 결합 간격이 좁을때는 Marcatilli [2]의 방법에 의한 β_c 가 실험과 오차가 커서 좋은 결과를 얻지 못했으나 주파수가 높으면 결합 간격과 그에따른 결합 길이를 줄일 수 있어 실용화 할 수도 있을 것이다.

7. 참 고 문 헌

- [1] J. E. Goell, "A Circular Harmonic Computer Analysis of Rectangular Dielectric Wave Guides," Bell Syst. Tech. J., vol. 48, pp. 2133-2160, Sep. 1969.
- [2] E.A.J.Marcatilli, "Dielectric Rectangular Wave Guides and Directional Wave Coupler for Integrated Optics," Bell Syst. Tech. J., vol.48, pp. 2071-2102, Sep. 1969.
- [3] K.Solbach and I.Wolff, "The Electromagnetic Field and the Phase Constants of Dielectric Image Lines," IEEE Trans. MTT, vol.MTT-26, pp.266-274, Apr. 1978.

[4] T.Trinh and R. Mittra, "Coupling Characteristic of Planar Dielectric Wave Guides of Rectangula Cross Section," IEEE Trans. MTT vol.MTT-29, no.9, pp.875-888, Sep. 1981.

[5] M.J. Adams, An Introduction to Optical Wave Guide, Chap.6, John Willey & Sons Inc., 1981.

[6] Helezajn, Passive and Active Microwave Circuits, Chap.3, John Willey & Sons Inc., 1978.

[7] R. Rudokas and T. Itoh, "Passive Millimeter-wave IC Components," IEEE Trans. MTT, vol.MTT-24, no.12, pp.978-981, Dec. 1976.

[8] Y.K. Chin, "Network Function Characterizing the General n-Line 2n-Port Coupled Transmission System," 전자 공학회지 제22권 3호, pp.84-90, May 1985.

[9] K. Solbach, "The Measurement of the Radiation Losses in Dielectric Image Line Bends and the Calculation of a Minimum Acceptable Curvature Radius," IEEE Trans. MTT, vol.MTT-27, no.1, pp.51-53, Jan. 1979.

[10] Y.M. Kim, "A New Analysis of Symmetric Codirectional Couplers," 단국대학교 논문집, 제18권, pp.317-322, 1985.