

비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 설계 파라미터에 관한 연구

문 승찬, 문 현보
 동국대학교 전자공학과

A Study for the Design Parameters of Asymmetrical Coupled Microstrip Lines

Seung-Chan Mun, Hyun-Bo Yoon
 Dept. of Electronics, Dongguk University

ABSTRACT

The mode parameters of asymmetrical coupled microstrip lines is computed by the method of coupling coefficients which is based on the empirical relations. In the case of comparing the computed results of mode impedances with the results obtained by the method of the mutual inductance and capacitance, it is approached to the intermediate values of the results by the mutual inductance and capacitance as the increasing of the spacing of two lines. The principal limitation of the method of coupling coefficients is only applied to the case that the spacing of two lines is more than 0.3(mm).

Asymmetrical coupled microstrip line couplers are designed by using the method of coupling coefficients. A comparison of experimental and theoretical results of coupling and directivity is shown in good agreement.

1. 서론

마이크로 스트립 선로의 결합방법은 방향성 결합기, 필터, 임피던스 변환기등과 같은 많은 중요한 전송선로 파라미터로서 주목을 끌고있다. 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 파라미터는 보통 상호 캐패시턴스와 인덕턴스값을 사용하여 계산한다. (1, 6, 7)

그러나 본 논문에서는 실험관계식인 결합계수 방법(3)을 이용하여 비대칭 결합 선로의 모드 파라미터를 두선로에 대한 거리의 함수로하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 계산하였다. 모드 임피던스는 상호 인덕턴스와 캐패시턴스를 이용하여 계산된 결과와 비교할때, 두선로 사이의 거리가 증가함에 따라 이들값의 중간치에 접근하였다. 두선로가 밀접한 경우에, concurrent 방법을 이용하여 모드 임피던스를 계산하였고 그 결과를 상호 인덕턴스와 캐패시턴스를 이용한 방법과 비교도 시하였다. C-모드와 Π -모드의 위상속도는 거리가 증가함에 따라서 서로 접근하였다.

실험관계식인 결합계수 방법을 이용하여 비대칭 결합 마이크로 스트립 결합기를 설계 제작하였고, 결합도와 방향성도를 측정된 결과를 비교할 경우, 이론치와 거의 일치되는 것을 확인하였다.

2. 비대칭 소결합 마이크로 스트립 선로의 모드 임피던스

비대칭 결합 마이크로 스트립 선로는 그림1과 같다.

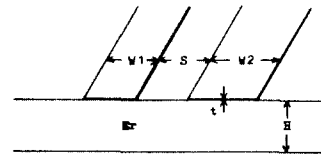


그림 1. 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로

Fig1. Asymmetrical coupled microstrip lines

여기서

- W1, W2 마이크로 스트립 선로의 폭
- S 두선로 사이의 간격
- H 기판높이
- Er 비 유전 상수

단, 마이크로 스트립 두께t는 무시한다. 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 고유치는 4개의 전달상수로 나타내고 그림2와 같이 C-모드와 Π -모드로 나타낸다.

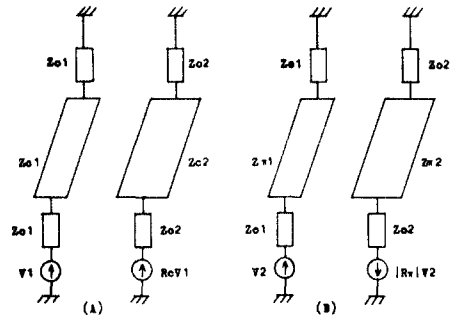


그림 2. (A) C-모드와 (B) Π -모드

Fig2. (A) C-mode and (B) Π -mode

고유치에 관한 해는 위상상수 β_C, β_{Π} , 모드 수 R_C, R_{Π} 로 나타낼 수 있다. (4)

$$\beta_{c,\pi} = \frac{W}{\sqrt{2}} \frac{(L1C1+L2C2-2LmCm \pm \sqrt{(L2C2-L1C1)^2 + 4(LmC1-L2Cm)(LmC2-L1Cm)})^{\frac{1}{2}}}{2(LmC2-L1Cm)} \quad (1)$$

$$R_{c,\pi} = \frac{L2C2-L1C1 \pm \sqrt{(L2C2-L1C1)^2 + 4(LmC1-L2Cm)(LmC2-L1Cm)}}{2(LmC2-L1Cm)} \quad (2)$$

여기서 L J와 C J (J=1, 2)는 선로 J의 단위길이당 자기 인덕턴스와 캐패시턴스이며, Lm과 Cm은 단위길이당 상호 인덕턴스와 캐패시턴스이다.

C-모드와 π-모드의 파라미터로부터 모드 임피던스는(7)

$$Z_{c1} = - \left(1 - \frac{Lm}{R\pi}\right) \frac{W}{R_c} \quad (3)$$

$$Z_{\pi 1} = - \left(1 - \frac{Lm}{R_c}\right) \frac{W}{R\pi} \quad (4)$$

$$Z_{c2} = R_c R_{\pi} Z_{c1} \quad (5)$$

$$Z_{\pi 2} = R_c R_{\pi} Z_{\pi 1} \quad (6)$$

이다.

비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 캐패시턴스와 인덕턴스의 실험관계식인 결합계수(3)는

$$K_c = 0.55 \exp\left(-\left(A1 \frac{S}{H} + B1(W1+W2)/ZH\right)\right) \quad (7)$$

$$K_L = 0.55 \exp\left(-\left(A2 \frac{S}{H} + B2(W1+W2)/ZH\right)\right) \quad (8)$$

여기서

$$A1(3r) = 1 + \frac{1}{4} \ln\left(\frac{3r+1}{2}\right) \quad B1(3r) = \frac{1}{10} \sqrt{3r+1} \quad (9)$$

$$A2(4r) = 1 + \frac{1}{4} \ln\left(\frac{4r+1}{2}\right) \quad B2(4r) = \frac{1}{10} \sqrt{4r+1}$$

이며, 유전체 기판에 관해서 비투자를 $\mu_r = 1$ 이다. 그러나 자성체 기판에 관해서 μ_r 은 자계에 따라서 변한다.

캐패시턴스와 인덕턴스 결합계수는(4)

$$Z_{c0} = \pi / \sqrt{C1C2} \quad (10)$$

$$K_L = Lm / \sqrt{L1L2} \quad (11)$$

이다.

(10), (11)식을 (1)-(6)식에 대입하여 캐패시턴스와 인덕턴스 결합계수로 나타내는 모드 파라미터를 구하면

$$\beta_{c,\pi} = \frac{W}{\sqrt{2}} \frac{(S1+ZL-ZK_L \sqrt{\beta^2} Z_{c0} \sqrt{24} \pm \sqrt{(ZL-Z1)^2 + 4(C1K_L \sqrt{\beta^2} - L2K_c \sqrt{\beta^2})(C2K_L \sqrt{\beta^2} - L1K_L \sqrt{\beta^2})})^{\frac{1}{2}}}{2(C2K_L \sqrt{\beta^2} - L1K_L \sqrt{\beta^2})} \quad (12)$$

$$R_{c,\pi} = \frac{ZL-Z1 \pm \sqrt{(ZL-Z1)^2 + 4(C1K_L \sqrt{\beta^2} - L2K_c \sqrt{\beta^2})(C2K_L \sqrt{\beta^2} - L1K_L \sqrt{\beta^2})}}{2(C2K_L \sqrt{\beta^2} - L1K_L \sqrt{\beta^2})} \quad (13)$$

C-모드와 π-모드 임피던스는

$$Z_{c1} = \frac{W}{R_c} \left(1 - \frac{K_L \sqrt{\beta^2}}{R\pi}\right) \quad (14)$$

$$Z_{\pi 1} = \frac{W}{R\pi} \left(1 - \frac{K_L \sqrt{\beta^2}}{R_c}\right) \quad (15)$$

$$Z_{c2} = R_c R_{\pi} Z_{c1} \quad (16)$$

$$Z_{\pi 2} = R_c R_{\pi} Z_{\pi 1} \quad (17)$$

여기서

$$\varphi 1 = L1 C1, \quad \varphi 2 = L2 C2$$

$$\varphi 3 = L1 L2, \quad \varphi 4 = C1 C2$$

이다.

(14)-(17)식을 이용하여 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로 모드 임피던스와 위상속도를 계산할 수 있다.

3. 비대칭 밀결합 마이크로 스트립 선로에 관한 모드 파라미터

비대칭 결합 마이크로 스트립 선로가 밀결합인 경우, Congruent 방법(4)을 이용한 모두 수는

$$K_c = 1 \quad (18)$$

$$K_L = - \frac{Lm - W \sqrt{\beta^2}}{L1 - W \sqrt{\beta^2}} \quad (19)$$

이다.

(18), (19)식을 (14)-(17)식에 대입하면 모드 임피던스는

$$Z_{c1} = \frac{W}{R_c} \left(1 - \frac{W \sqrt{\beta^2}}{R\pi}\right) \quad (20)$$

$$Z_{\pi 1} = \frac{W}{R\pi} \left(1 - \frac{W \sqrt{\beta^2}}{R_c}\right) \quad (21)$$

$$Z_{c2} = - R_c R_{\pi} Z_{c1} \quad (22)$$

$$Z_{\pi 2} = - R_c R_{\pi} Z_{\pi 1} \quad (23)$$

이다.

(20)-(23)식을 이용하여 비대칭 밀결합 마이크로 스트립 선로 모드 임피던스를 계산할 수 있다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 파라미터를 실험 관계식인 결합계수 방법을 이용하여 두선로 사이의 간격에 따른 모드 임피던스와 모드 위상속도를 컴퓨터 시뮬레이션하여 그 결과들을 그림 3-4에 도시하였다.

5. 결과 검토 및 실험

1) 컴퓨터 시뮬레이션 결과 검토

그림 3은 실험관계식인 결합계수 방법을 이용하여 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 임피던스를 상호 인덕턴스와 캐패시턴스를 이용한 결과(6, 7)와 비교 도시하였다.

모드 임피던스는 두선로 사이의 거리가 0.3(mm)보다 클때 중간값에 접근하였다.

두선로 사이의 간격이 0.3(mm)보다 좁은 경우, Congruent 방법을 이용하여 모드 임피던스를 나타내었다.

계산 결과, 선로 사이의 간격이 0.16-0.3(mm)인 경우에만 적용이 가능한 것을 확인하였다. 두선로 사이의 거리가 증가함에 따라서 C-모드와 π-모드 임피던스는 단일 마이크로 스트립 선로 임피던스로 접근하고 있음을 확인하였다.

그림 4는 실험관계식인 결합계수방법을 이용하여 모드 위상속도를 도시하였다. C-모드와 π-모드 위상속도는 비유전상수가 증가함에 따라서 감소하며, 두선로 사이의 간격이 증가함에 따라서 서로 접근하고 있음을 확인하였다.

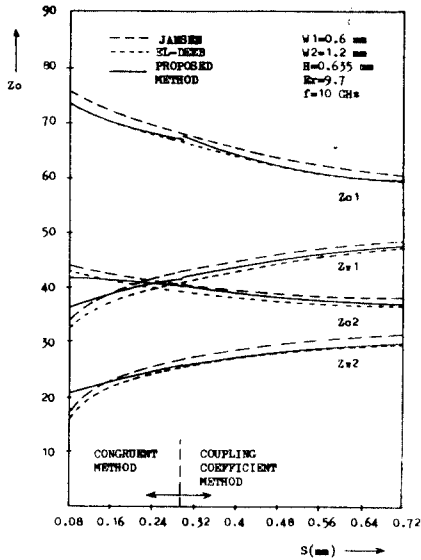


그림3. 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 임피던스
Fig3. Mode impedances of asymmetrical coupled microstrip lines

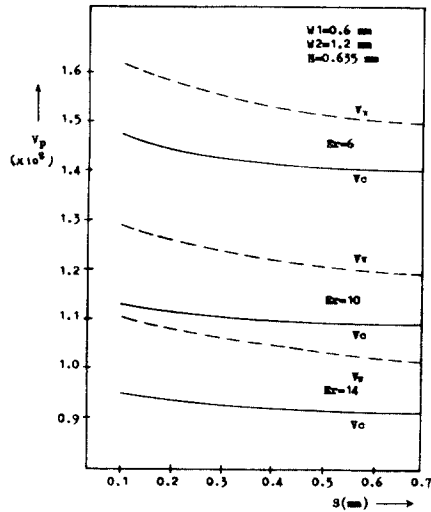


그림4. 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 위상속도
Fig4. Mode phase velocities of asymmetrical coupled microstrip lines

2) 실험 결과 및 검토

그림5는 결합계수방법을 사용한 비대칭 마이크로 스트립 선로 결합기 구조이다.

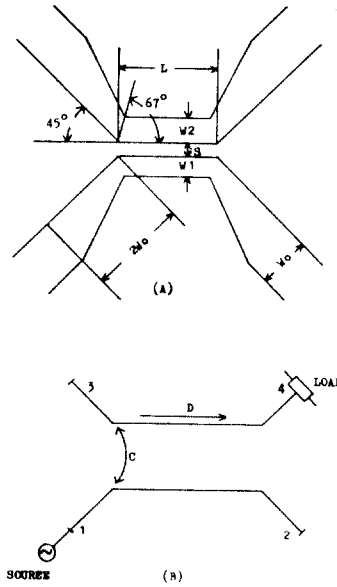


그림5. 비대칭 결합 마이크로 스트립 결합기 구조와 개통도
Fig5. Construction and schematic diagram of asymmetrical microstrip coupler

결합선로의 결합도 C와 방향성도 D는

$$C = -10 \log(P3/P1) \quad (\text{dB}) \quad (24)$$

$$D = -10 \log(P4/P3) \quad (\text{dB}) \quad (25)$$

이다.

유전체 기판은 비유전상수가 2.53인 테프론 기판을 사용하였다. 결합선로 길이는 중심 주파수에서 $(\beta_c + \beta_{II})L/2 = \pi/2$ 로 설계하였다.

측정장치는 스펙트럼 분석기, 전력미터기, Sweep발전기를 사용하였고, 입력은 좁은선로 $W1/H=0.4$ 에 인가하였다. 비대칭 선로 결합기는 8-12(GHz)의 주파수대역에서 측정하였다. 그림6은 제안한 방법에 따라서 설계제작한 비대칭 선로 결합기의 실체도이다.



그림6. 비대칭 마이크로 스트립 선로 결합기

Fig6. Asymmetrical microstrip line coupler

그림7은 비대칭 선로 결합기의 결합도와 방향성도를 측정된 결과이다. 결합도와 방향성도를 측정된 결과를 비교할 경우, 이론치와 실험치 사이의 오차는 두꺼운 필름을 이용한 예칭의 재조과정에서 기인된 것으로 본다. TEM 모드가 존재하는 이상적인 결합기에 있어서 방향성도 $D=0$ 를 확인할 수 있다. 그러나 마이크로 스트립 결합기에서는 방향성도가 단점으로 지적된다(2). 따라서 마이크로 스트립 선로 결합기의 방향성도에 관한 연구가 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- (1) V.K.Pripathi and Chang, "quasi-TEM parameters of nonsymmetrical coupled microstrip lines", *Int.J. Electron.*, Vol.45, no.215-226, 1976.
- (2) T.O.Edwards, "Foundations for microstrip circuit design," pp.13-15, A Wiley-Interscience Publication, 1961.
- (3) S.Kal, S.Bhattacharya, B.Trakrasorti, "Normal-mode parameters of microstrip coupled lines of unequal width," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp.41-46, 1964
- (4) J.L.Priest, "Parameters of coupled transmission lines in an inhomogeneous medium," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp.747-750, 1975
- (5) Lawrence S.Teunisse, "The TEM transmission line theory and applications," pp.1-131, 1979
- (6) A.H.Jansen, "An approximate hybrid mode computation of nonsymmetrical coupled microstrip characteristics," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp.136-139, 1977
- (7) S.M.H. El-Hajj, A.A. El-Lil, Mohamed B. El-Jah, "Basic parameters of inhomogeneous asymmetrical coupled transmission lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-31, pp.549-556, 1983

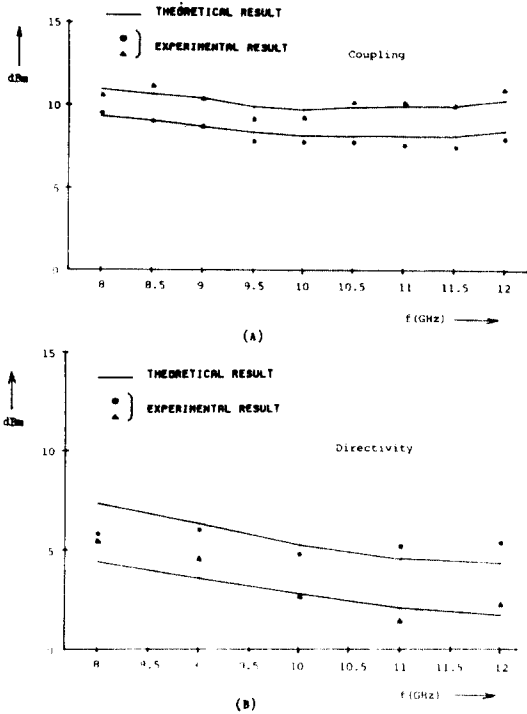


그림 7. 비대칭 선로 결합기의 결합도와 방향성도
Fig.7. Coupling and directivity of asymmetrical line couplers

—•— $w_1/h = 0.4, w_2/h = 0.8, s/h = 0.168$
—▲— $w_1/h = 0.4, w_2/h = 0.8, s/h = 0.4$

6. 결 론

실험관계식인 결합계수 방법을 이용하여 계산한 비대칭 결합 마이크로 스트립 선로의 모드 임피던스를 상호 인덕턴스와 캐패시턴스를 이용하여 계산한 모드 임피던스와 비교하였다. 실험관계식인 결합계수 방법을 이용하여 비대칭 선로 결합기를 설계하였고 이 결합기의 결합도와 방향성도를 측정하여 얻은 결과는 다음과 같다

- 1) 두선로 사이의 간격이 0.3 (mm) 이상의 소결합인 경우에는 상호 인덕턴스와 캐패시턴스 방법을 이용하여 계산 발표된 값들의 중간치를 얻을 수 있었고,
- 2) 두선로 사이의 간격이 0.3 (mm)보다 좁은 밀결합인 경우에는 Congruent 방법을 이용한 모드 임피던스는 상호 인덕턴스와 캐패시턴스를 이용한 방법과 비교하면 선로 사이의 간격이 0.16-0.3 (mm)인 경우에만 적용이 가능한 것을 확인하였다.
- 3) 두선로 사이의 간격이 증가함에 따라서 C-모드와 II-모드의 위상속도는 서로 접근하였다.
- 4) 비대칭 선로 결합기의 결합도와 방향성도의 실험결과를 이론치와 비교할 경우, 결합도는 9.5-10 (GHz) 이외의 구간에서는 거의 일치하였다.