

유한 요소 해석에 의한 평면형 결합 선로의 설계 파라미터 추출

이 필 용, 박 준 석, 안 달, 김형석
 순천향대학교 정보기술공학부

Extraction of Design Parameters for Planar Coupled Lines
 by Finite Element Analysis.

Pil-Yong Lee*, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Hyeong-Seok Kim
 Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

Abstract - In this paper, we implemented a novel re-entrant mode microstrip directional coupler for realizing the high directivity characteristic using finite element(FE) analysis. In microstrip configuration, the high directivity can be reached by matching the even- and odd-mode effective phase velocities. Through the values of capacitance obtained from 2-dimensional finite element(FE) analysis, the phase velocities for each mode and the design parameter were extracted for the proposed coupled-line configuration. Based on the extracted design parameter with phase matching condition, we designed and fabricated 30dB directional coupler at 850MHz.

Experimental results show good performance with excellent isolation.

1. 서 론

평면형 마이크로스트립 결합선로를 이용한 방향성 결합기는 구현이 용이하고 다른 밀리미터파나 마이크로파 소자와의 결합이 용이하여 널리 사용되어진다. 이러한 마이크로스트립 결합 선로는 우, 기모드의 서로 다른 특성 임피던스를 갖는다(1). 또한 마이크로스트립 전송선로는 유전체와 공기층 사이에 존재하는 전송 도체의 존재로 인한 이방 특성으로 인하여 결합 선로를 구현하였을 때 우, 기 모드의 유효 유전율이 달라진다. 따라서 각 모드의 위상 전파 속도가 달라 결합선로의 지향 특성을 저하시키는 단점이 발생한다. 지향성 특성은 결합도가 작을 수록 그리고 유전 상수가 증가할수록 나빠진다(2). 따라서 마이크로스트립 결합선로를 이용한 방향성 결합기의 위상전파 속도차를 보상하여 지향성 특성을 향상시키기 위하여 많은 연구가 시도되었다. wiggly 선로를 사용하는 방법(7), 이방성 기판의 사용(8), 결합선로의 적절한 위치에 집중소자로 보상 캐패시터나 인덕터를 사용하는 방법(9)이 제시되어졌다. 또한 강한 결합도와 높은 지향성을 갖기 위하여 coaxial type과 위상속도 보상을 위한 Interdigital 캐패시터를 갖는 re-entrant mode structure가 제안되었다(3~5). 그러나 적절한 설계정보가 부족하고 실제 구현할 때 공정상의 번거로움이나 적절한 소자값을 찾기가 힘들다.

본 논문에서는 re-entrant mode 구조를 이용하여 낮은 결합도와 높은 지향성을 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기의 설계 파라미터를 추출하고 이를 실제로 제작하여 구현하였다. re-entrant mode 구조를 이용하여 마이크로스트립 전송선로의 구조적인 문제인 우, 기모드의 유효 유전율의 차이에 의한 위상 속도차를 줄여 지향성 특성을 크게 개선시킬 수 있었다. 또한 본 논문에서는 물리적 치수 변화에 대한 우, 기모드의 유효 비유전상수를 갈게하는 중요 변수의 변화를 고찰하였다. 이 구조를 해석하고 설계 변수를 찾기 위하여 유한 요소법을 이용

한 자체 2차원 해석 프로그램을 이용하였고 본 논문에서 제시한 설계 방법과 설계 변수를 이용하여 높은 결합도를 갖도록 제안된 re-entrant mode 결합기를 30dB의 결합도와 35dB의 우수한 지향성을 갖도록 설계하였다. 설계된 전체 결합기 특성의 시뮬레이션은 EM-simulator인 Ansoft HFSS 6.0을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 설계 절차와 파라미터

스트립 결합선로는 우, 기모드의 유효 유전상수가 같다. 그러나 일반적인 마이크로 결합선로의 경우 우모드 유효 유전 상수가 기모드 보다 크다. 즉 유효 유전상수의 차만큼 전파 상수가 달라져 지향성 특성을 저하시킨다. 각 모드의 유효 유전 상수차를 줄이기 위해 그림 1과 같은 구조가 사용되었다. 그림 1에 re-entrant 구조는 결합선로가 제한된 폭을 갖는 w2(부유 접지면)를 갖는다. 즉 주변의 접지면과 격리되어져 있다. 부유 접지면과 접지면과의 간격을 d로 표기하였고 d가 증가할수록 결합도가 강하게 된다. 가운데 접선은 우모드일때는 자계벽을 기모드일때는 전계벽이 생성됨을 나타낸다.

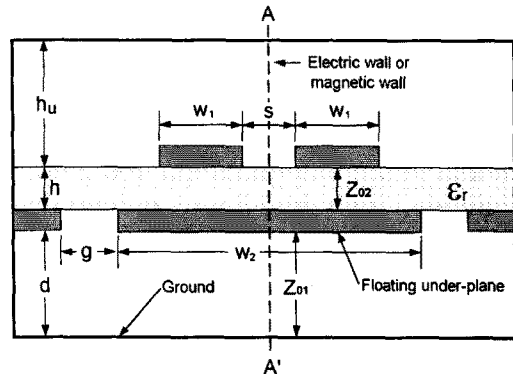


그림 1. 마이크로스트립 re-entrant mode 결합기의 단면도

그림 1의 구조는 식(1)-(4)의 특성을 갖는다(8).

$$Z_{0e} = Z_{02} + 2Z_{01} \tag{1}$$

$$Z_{0o} = Z_{02} \tag{2}$$

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0e} Z_{0o}} \tag{3}$$

$$k = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \tag{4}$$

위 수식에서 기모드 특성 임피던스는 변수 d 의 영향이 없음을 알 수 있다. 그림 1의 구조를 해석하기 위해 유한요소법을 이용한 자체 프로그램을 이용하여 각 모드의 유효유전율과 특성임피던스를 구하여 유효유전율이 같게 되고 정합특성을 만족하는 치수를 찾아가는 알고리즘을 사용하였다. 유한 요소 해석을 이용하여 유효유전율과 특성임피던스를 구하는 식은 식(5)-(6)과 같다(6).

$$\epsilon_{effe} = \frac{C_e}{C_{el}} \quad (5)$$

$$\epsilon_{effo} = \frac{C_o}{C_{ol}} \quad (6)$$

$$Z_{0e} = (\nu_0 \sqrt{C_e C_{el}})^{-1} = \frac{\sqrt{\epsilon_{effe}}}{\nu_0 C_e} \quad (7)$$

$$Z_{0o} = (\nu_0 \sqrt{C_o C_{ol}})^{-1} = \frac{\sqrt{\epsilon_{effo}}}{\nu_0 C_o} \quad (8)$$

여기서 첨자 1은 자유공간내를 의미하고, e는 우모드, o는 기모드를 의미한다.

그림 2는 유한 요소 해석 결과에 의한 우모드에서의 등전위선과 기모드에서의 등전위선을 보여주고 있다. 좌우 대칭 모델이기 때문에 그림 1에서 A-A' 선을 기준으로 왼쪽만 해석하였다. d 의 크기는 보통 0.1mm이기 때문에 그림 2에서는 구체적으로 가시화 되지 않는다.

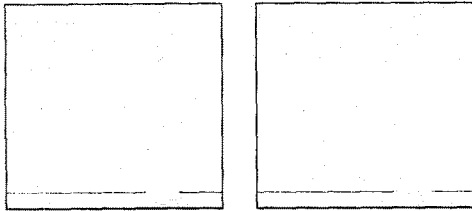


그림 2. 우, 기모드의 유한 요소 해석 결과 파형

본 논문에서는 정합특성, 결합도와 유효유전율에 지대한 영향을 미치는 변수인 w_1 , w_2 , s , d 가 각각 어떻게 변화하는가를 살펴보았다. 각 변수의 변화율을 보기 위해 초기값을 다음과 같이 정하였다. w_1 , w_2 , d , h_u , g , s 는 각각 1.85mm, 10mm, 10mm, 0.5mm, 4.4mm이다. 해석과 제작에 사용된 기판은 Rogers사의 RO4003 ($\epsilon_r = 3.38$, $h = 32\text{mil}$)을 사용하였다. 그림 2는 다른 변수는 고정시키고 변수 d 의 변화에 따른 각 모드의 유효유전상수의 변화를 구해보았다.

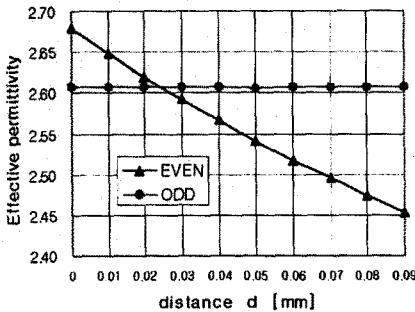


그림 3. d 에 대한 유효유전율의 변화 그래프

식(1), (2)와 그림 3에서 부유 접지면과 접지면 사이의 간격 d 의 변화는 기모드 유효 유전상수는 영향이 없으나 우모드 유효 유전상수는 d 가 커짐에 따라 점점 감소하여 우, 기모드 유효 유전상수가 같아지는 점을 지나 기모드 보다 작아짐을 볼 수 있다. 그러므로 마이크로스트립 결합선로에서 우, 기모드의 위상전파속도를 같게 할 수 있다는 것을 보여준다. 그림 3은 변수 d 가 증가함에 따라 우모드 임피던스가 커져 결합도가 증가하며 정합특성이 저하됨을 알 수 있다.

그림 4와 5는 결합선로의 폭(w)과 간격(s)이 변할 때 우, 기모드의 유효유전율을 변화를 나타낸 것이다. 그림 4에 나타남과 같이 선로의 폭은 우, 기모드의 유효유전율을 변화보다는 정합특성에 더 많은 영향을 주며, 그림 5에서 선로간격(s)은 우, 기모드의 유효유전율의 차와 결합도에 많은 영향을 준다는 것을 나타낸다.

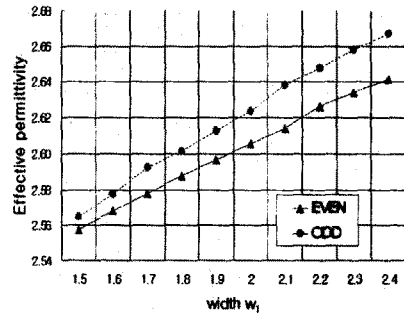


그림 4. w_1 에 대한 유효유전율 변화

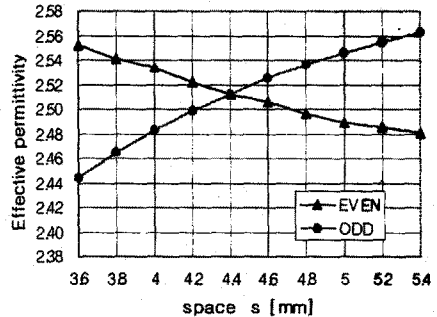


그림 5. s 에 대한 유효 유전율 변화

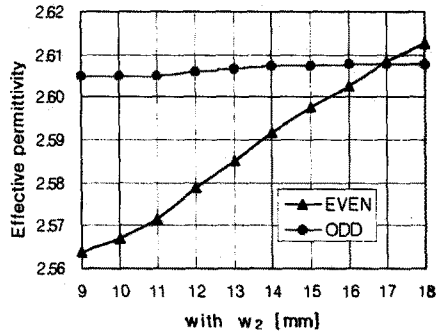


그림 6. w_2 에 대한 유효유전율 변화

따라서 적당한 변수값으로 구현한다면 마이크로스트립 구조에서도 각 모드의 위상전파속도를 같게 할수있다는

것을 보여주었다. 그러나 어느 한 변수가 각 모드의 유효유전상수를 같게 하였다고 모든 조건을 만족하지 않는다. 따라서 선로의 폭과 간격을 결합도와 반사계수에 중요한 변수이므로 먼저 결합도에 따른 결합선로의 간격과 선폭을 정하고 하우징과의 거리(d)와 접지면을 격리시키는 거리(w_2)를 조정하여 유효유전율의 차를 줄이는 것이 타당할 것이다.

2.2 시뮬레이션 및 측정.

Re-entrant mode 구조를 이용하여 중심주파수 0.85GHz, 30dB의 결합도를 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기를 설계 및 제작 측정하였다. 실제 제작에 사용된 치수는 다음과 같다. w_1 , w_2 , s , d 는 각각 1.9mm, 11mm, 4.6mm, 0.03mm이다. 나머지 변수는 초기값을 사용하였다. 이 치수는 원하는 결합도를 설정하고 프로그램을 이용 각 변수의 최적 값을 추출하였다.

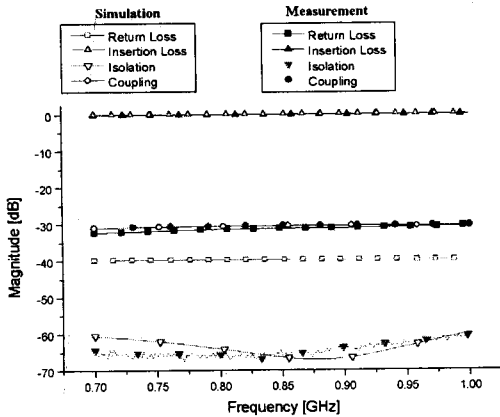


그림 7. 시뮬레이션과 측정 결과

그림 7은 Ansoft HFSS 6.0으로 시뮬레이션 한 결과와 측정결과를 보여준다. re-entrant 구조로 유효유전상수의 차를 감소시킴으로써 0.85GHz에서 약 35dB의 지향성 특성을 얻을 수 있었다. 또한 0.1dB 미만의 삽입손실, 30dB 이상의 반사손실을 보여주고 있다. 결합도는 시뮬레이션과 측정결과가 30dB와 30.5dB의 특성을 나타내었다. EM 시뮬레이션과 측정결과가 잘 일치된 특성을 나타내었다. 그러나 접지면과 부유 접지면의 거리 d 가 너무 작아 구현 상의 어려움과 특성 변화에 주의할 해야한다.

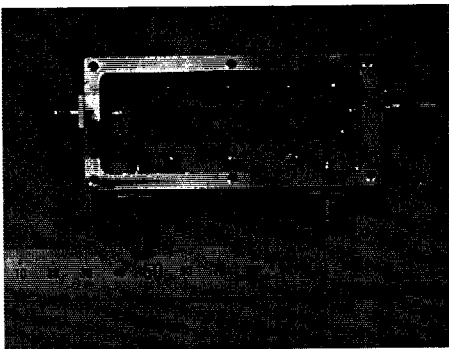


그림 8. 제작된 방향성 결합기의 사진

그림 8은 제작된 방향성 결합기의 사진이다. 기관파

접지면 사이가 뜨는 것을 방지하며 일정한 간격을 유지하기 위해 결합선로 사이에 플라스틱 나사를 사용하였다.

3. 결 론

마이크로스트립 방향성 결합기는 결합선로가 유전체와 공기층 사이에 위치한 구조이다. 따라서 결합선로에서의 우, 기모드 위상 속도가 달라 지향성 특성이 나빠게 된다. 본 논문에서는 마이크로스트립 결합선로에서 우, 기모드 유효유전율을 같게 하여 위상속도 차를 줄이기 위하여 re-entrant mode 구조의 방향성 결합기를 설계하였다. re-entrant mode 구조는 부유접지면과 접지면까지의 거리를 이용하여 우, 기모드의 유효유전율과 결합특성을 조정할 수 있었다. 각 변수의 변화에 대한 각 모드의 유효유전율과 임피던스를 구하기 위해 유한요소법을 이용하여 가장 최적 값을 찾아가는 프로그램을 만들어 각 변수값을 추출하였다. 추출된 설계 변수들로 30dB의 결합도를 갖는 방향성 결합기를 시뮬레이션 및 제작 측정하였다. 제작된 방향성 결합기는 약 35dB의 높은 지향성 특성을 얻었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Terry Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design: Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc., 1992, ch. 6.
- [2] Steven L. March, "Phase velocity in parallel coupled microstrip", *IEEE MTT-S Dig.*, pp. 410-412, 1982.
- [3] Seymour B. Cohn, "The re-entrant cross section and wide-band 3-dB hybrid couplers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-11, pp. 254-258, July 1963.
- [4] L. Lavendol and J. J. Taub, "Re-entrant directional coupler using strip transmission", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-13, pp. 700-701, September 1965.
- [5] PAVIO, A. M., and Sutton, S. K., "A microstrip re-entrant mode quadrature coupler for hybrid and monolithic circuit applications", *IEEE MTT-S International Microwave Symp.*, 1990, Dig., pp. 573-576, 1990.
- [6] T. G. Bryant and J. A. Weiss, "Parameters of microstrip transmission lines and of coupled pairs of microstrip lines", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-16, No.12, pp.1021-1027, December 1968.
- [7] A. Podell, "A High Directivity Microstrip Coupler Technique", 1970 MTT Symposium Digest, May 1970, pp.33-36.
- [8] N. G. Alexopoulos and C. M. Krowne, "Characteristics of single and coupled microstrips on anisotropic substrates." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-26, pp. 387-393, 1978.
- [9] M. Dydyk, "Microstrip directional couplers with ideal performance via single element compensation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-47, pp. 956-964, 1999.
- [10] P. P. Silvester and R. L. Ferrari, *Finite Elements for Electrical Engineers: Third Edition*. Cambridge University Press, 1996, ch. 2.
- [11] Nathan Ida and J. P. A. Bastos, *Electromagnetics and Calculation of Fields: Second Edition*. Springer-Verlag New York, Inc., 1997, ch. 3.