

# 새로운 구조의 2단 결합선로형 방향성 결합기의 최적설계에 관한 연구

김 동 일\* · 이 연 혜\*

## A Study of Optimum Design of New 2-stage Parallel Coupled-Line Directional Coupler

Dong-Il Kim\* · Yeon-Hye Yi\*

### 요 약

결합선로형 방향성 결합기(Parallel Coupled-line Directional Coupler)는 구조적으로 2축 대칭의 특성과 출력포트간 출력신호가  $90^\circ$ 의 위상차를 가지면서 하이브리드 링, 브랜치 라인 등의 방향성 결합기보다 대역폭이 넓은 장점을 가지고 있다. 특히, 정보통신량의 증가에 따른 마이크로파/밀리미터파대의 회로의 광대역의 특성이 요구되므로 통신시스템의 광대역화를 위한 소자로 결합선로 방향성 결합기는 적합하다. 그러나 밀 결합으로 인하여 매우 좁은 선로 폭과 선로 간격으로 구현하기 어려운 단점을 가지고 있다.

종래에 제안되어 있는 결합선로 2개와 전송선로로 구성된 2단 결합선로형 결합기와 광대역화를 위해 다단으로 결합선로를 구성한 있으며 2단 결합선로형 방향성 결합기는 약결합으로도 3 dB 결합도가 구현 가능하지만, 대역폭이 감소하는 제약이 있다.

본 논문에서는 2단 결합선로형 방향성 결합기를 결합도가 다른 결합선로로 구성된 1축 대칭인 구조로 하고, 양면기판과 다층기판을 이용하였다. 새로운 구조의 2단 결합선로형 방향성 결합기를 CAD로 설계한 결과 100 % 이상의 광대역화가 실현되었다. 이들 중 대표적인 경우를 실제로 제작하여 실측한 결과 중심주파수 3 GHz에서 약 2 GHz의 대역폭을 확장시켰다.

\* 한국해양대학교 공과대학 전파공학과

## I. 서론

결합선로형 방향성 결합기(Parallel coupled-line directional coupler)는 마이크로파/밀리미터파대 회로에서 사용되는 기본적인 소자이며, 구조적으로 2축대칭 형태로 출력신호간에  $90^\circ$ 의 위상차를 가지면서 하이브리드 링, 브랜치 라인 등의 방향성 결합기보다 대역폭이 넓은 장점을 가진다[1].

기존의 1단 결합선로형 방향성 결합기의 경우에는 비대역폭이 약 60%로 광대역인 장점이 있지만, 밀결합으로 선로 폭 및 선로 간격을 매우 좁게 되어서 제작하기가 어려웠다. 제작의 용이성을 위해 결합선로 2개와 전송선로로 구성된 2단 결합선로형 방향성 결합기가 제안되었다. 기존의 2단 결합선로형 방향성 결합기는 각각  $\lambda/4$  선로를 가지면서 약결합으로도 제작은 용이하지만 대역폭이 오히려 감소하는 장단점이 있다 [2],[3].

본 논문에서는 새로운 구조의 2단 결합선로형 방향성 결합기를 제안하였다. 새로운 구조는 각각의 결합도가 다른 1축 대칭의 형태이며, 기존의 단층 기판을 사용하여 평면에 실현시킨 것을 양면 기판을 이용하여 입체적으로 제작이 용이하면서도 대역폭을 증가시키는 구조이다. 이 제안된 새로운 구조의 결합선로형 방향성결합기의 해석은 전달함수의 해석법을 적용하여 등가적으로 해석하였으면 결합선로, 전송선로의 길이를  $\lambda/4$ 에서 탈피하여 설계의 자유도를 증가시켰다[4],[5].

새롭게 제안된 결합선로의 최적 파라미터 도출방법으로 최소자승법을 이용하였으며 [6],[7], CAD에 의하여 100 % 이상의 광대역화를 실현시켰다.

## II. 2단 결합선로형 방향성 결합기의 주파수 해석방법

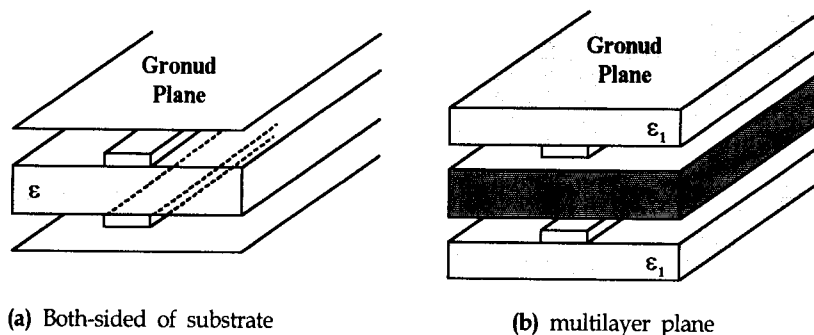


Fig. 1. The Configuration of Parallel Coupled-line directional coupler

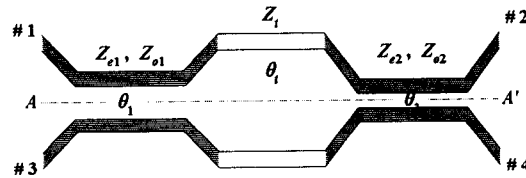


Fig. 2. The Structure of Parallel Coupled-line directional coupler.

Fig. 1은 새로운 형태의 2단 결합선로형 방향성 결합기의 입체도로 양면기판과 다층 기판을 사용한 것이다. 이 구조는 기존의 단면 기판을 사용한 구조보다 설계 파라미터를 증가시켜 설계의 자유도를 증가시킬 수 있으며 fringing effect의 효과도 감소시킬 수 있는 장점도 가진 구조이다.

Fig 2는 제안한 2단 결합선로형 방향성 결합기의 구조로 AA' 축을 중심으로 구조적으로 1축 대칭이며, 가역적인 소자이다. 그러므로 even-odd mode 해석법을 적용하면 4-port 회로를 2-port 회로로 간략하여 해석이 가능해진다.

여기서  $Z_{0e}$ ,  $Z_{0o}$ 는 각각 even, odd-mode 임피던스이며,  $\theta_{1,2}$ 는 각각 첫 번째 단, 두 번째 단의 결합선로의 전기적인 길이이다.

제안한 2단 결합선로형 방향성 결합기의 해석방법은 전달함수인  $[F]$  행렬을 이용해서 주파수 특성을 해석하는 것이 용이하다. 전체  $[F]$  행렬은 등가회로에서 각 섹션의  $[F]$  행렬의 곱으로 얻어진다.

$$[F_{total}] = [F_{n1}][F_{n2}][F_{n3}] = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_{n1} \sin \theta_1 \\ jY_{n1} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_i & jZ_i \sin \theta_i \\ jY_i \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & jZ_{n2} \sin \theta_2 \\ jY_{n2} \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

단,  $i = e, o$

even-mode와 odd-mode의  $[F]$  행렬은

$$[F_i] = \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 정리된다. even-odd mode의 투과계수, 반사계수를  $T_i$ ,  $\Gamma_i$ 라 하면, 이들은 식 (3)에 의하여 구해진다.

coupling과 transmission이 정규화주파수대역에서 3 dB, 허용오차( $\pm 0.5$  dB)를 만족하면서 광대역 특성을 보이고 있고 reflection과 isolation도 -20 dB이하로 대단히 양호한 특성을 나타내고 있다.

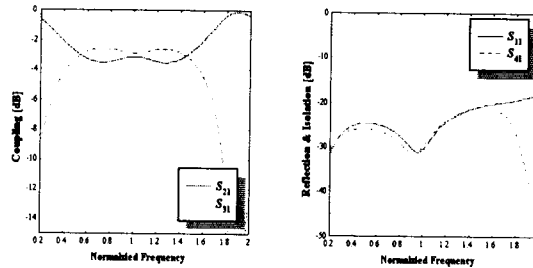


Fig. 3. Theoretical frequency characteristics for Case-1

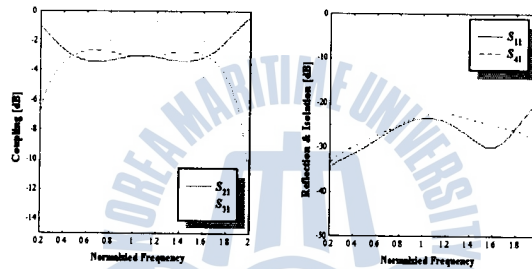


Fig. 4. Theoretical frequency characteristics for Case-2

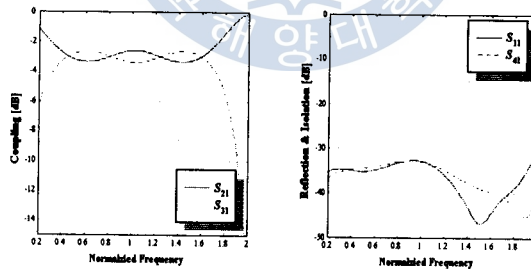


Fig. 5. Theoretical frequency characteristics for Case-3

Fig. 6과 Fig. 7은 실제로 제작한 다층기판과 양면기판의 2단 결합선로형 방향성 결합기의 사진이며 Fig. 8~9는 각각의 대표적인 경우를 실제로 제작한 실험결과를 측정 한 것으로 Fig. 8은 다층기판을 이용한 결합기로, 실험결과 결합도는 중심주파수에서 약간의 리플을 가지지만 반사와 격리는 -20 dB를 만족하는 대역폭이 약 1 GHz를 얻을 수 있었다 또한 Fig. 9는 양면기판을 이용한 것으로 결합도는 중심주파수에서 약간의 리플을 가지지만 반사와 격리는 -20 dB를 만족하는 대단히 좋은 특성을 나타내었

으며 중심주파수 3 GHz에서 약 2 GHz의 대역폭을 확장시킬 수 있었다.

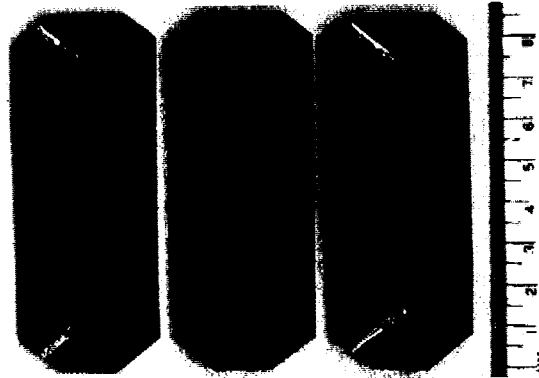


Fig. 6 Photography of the fabricated *using multilayer plane*



Fig. 7 Photography of the fabricated *using both sided of substrate*

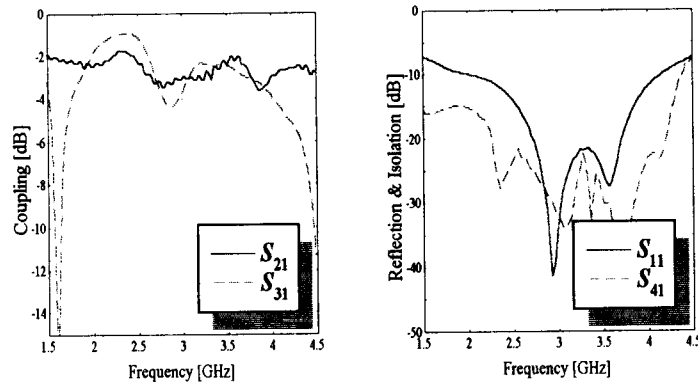


Fig. 8 Measured results for Case-1 *using multilayer plane*

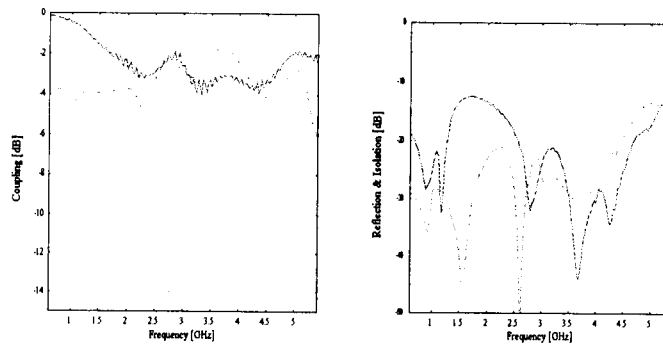


Fig. 9 Measured results for Case-1 using both sides of substrate

## V. 결 론

단층 기판을 사용하는 경우의 2단 결합선로형 방향성 결합기를 CAD로 광대역 설계한 결과, 결합선로의 첫 번째 단 또는 두 번째 단에서 밀결합이 요구되어 실제 제작이 어려운 문제점이 있음을 알았다.

따라서, 본 논문에서 각단의 결합도를 달리하는 1축 대칭이고 입체적인 구조를 갖는 양면기판과 다층기판을 사용하는 새로운 형상의 2단 결합선로형 방향성 결합기를 제안하였다. 나아가서, 이 형식의 방향성 결합기는  $-7 \sim -18$  dB 정도의 약한 결합도로도 비대역폭 130%의 광대역화가 가능함을 명백히 하였다. 또한 실험에 의하여 제안한 설계법의 타당성을 입증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Reed, & G. J. Wheeler, "A Method of Analysis of Symmetrical Four-Port Network", IRE Trans. MTT, Vol. 4, pp. 246~252, Oct. 1956.
- [2] D. M. Pozar, Microwave engineering, Addison-Wesley, 1990
- [3] E. H. Fooks, & R. A. Zakareviius, Microwave engineering using microstrip circuits, Prentice Hall, 1989
- [4] 湯川秀憲, 大橋英征, 宮崎守泰, "偶奇モード의電流經路差를考慮した價回路による結合線路形方向性結合器의解析", 電子情報通信學會, 電子情報通信學會技術研究報告, Vol. 98, No.495, pp. 45-50, Dec. 1998.
- [5] D. I. Kim, & G. S. Yang, "Design of New Hybrid-Ring Directional Coupler

- using  $\lambda/8$  or  $\lambda/6$  sections", IEEE Trans. on MTT, Vol. No. 39, Oct. 1991
- [6] M. J. D. Powell, "A method for minimizing a sum of squares of nonlinear functions without calculating Derivatives," Computer J., vol. 303-307, 1965.
- [7] D. I. Kim & Y. Naito, "Broad-band design of improved hybrid-ring 3-dB directional couplers", IEEE, Trans. Microwave Theory & Tech., vol. MTT-30, No. 11, pp. 2040-2060, Nov. 1982



