

개선된 결합도와 격리도 특성을 갖는 다층 방향성 결합기

정희원 박정훈*, 이진택**, 천동완**, 신철재**

Mult-Layer Directional Coupler With Enhanced Coupling and Isolation

eong-hoon Park*, Jin-taek Lee**, Dong-wan Chun**, Chul-chai Shin** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 이중층 마이크로스트립 유전체 기판을 이용하여 개선된 결합도와 격리도 특성을 갖는 방향성 결합기를 제안하고, 그 설계방법을 제시하였다. 제안한 구조는 전송선로 위에 한 층의 유전체를 추가시키고 그 위에 부동도체를 위치시킨 구조로써 접지면에 어퍼처를 적용하여 결합도를 향상시키고, 접지면 어퍼처 안에 도체를 위치시켜 격리도와 S_{11} 에 대한 정재파비를 개선하였다. 그 결과 개선된 이중층 방향성 결합기는 기존의 re-entrant mode 방향성 결합기보다 2 dB의 향상된 결합도와 대역내에 20 dB 이상의 향상된 격리도와 S_{11} 에 대한 정재파비를 가졌다.

Key Words : Re-entrant Mode, Directional Coupler, Aperture, Multi-Layer

ABSTRACT

In this paper, we proposed the directional coupler using two layer microstrip substrate which is improved coupling and isolation. Modified two-layer directional coupler is the structure which is added to the one-layer on the signal line and located the floating conductor on the added layer. Also, we applied the aperture on the ground plane in order to enhancing the coupling value, and located the conductor in order to enhancing the isolation and VSWR according to S_{11} . As a result, proposed two-layer directional coupler has about 2 dB more higher coupling and 20 dB more higher isolation than conventional coupler

1. 서론

오늘날 신속하고 신뢰성 있는 정보 통신 서비스에 대한 수요가 급증하고 있고 시스템의 복잡성이 증가함에 따라, 고성능이면서 집적화된 회로가 요구되고 있다. 이는 반도체 칩 자체 뿐 아니라, 수동소자의 설계 기술 개발을 기본 전제로 한다. 특히, 방향성 결합기는 초고주파 시스템에서 중요한 역할을 담당하고 있으므로 그 관심이 높아지고 있는데, 구

현이 용이하다는 장점 때문에 단층 마이크로스트립 결합기가 가장 일반적이다. 그러나 단층 마이크로스트립 결합기의 경우 단일 평면에서 결합이 이루어지기 때문에 3 dB 이상의 결합도를 얻기가 힘들고 대역 또한 제한된다. 단층 구조에서 대역을 넓히기 위한 방법 중의 하나는 다단 구조를 이용하는 것인데, 이러한 구조는 넓은 대역을 갖기 위해서 큰 결합도를 요구하기 때문에 단층 구조로 구현하는데 있어서 한계가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위

* 시립인천전문대학 정보통신과(Department of Information Communications, Incheon City College)

** 아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

논문번호 : KICS2004-07-081, 접수일자 : 2004년 7월 6일

해 다층 구조를 이용한 결합기들이 많이 제안되어 왔다.

대표적으로 결합도 개선을 위해 broad-side 결합 구조를 이용한 bilevel 방향성 결합기나 re-entrant 구조를 이용한 re-entrant mode 방향성 결합기^{[1]~[6]} 등이 제안되었다. 또한, 접지면에 다양한 어퍼처를 적용하여 새로운 광대역 결합기를 제안한 논문들도 있었다.^{[7]~[10]} 본 논문에서 제안한 구조는 전송선로 위에 추가된 한 층의 기판에 부동도체를 위치시키고, 접지면에 어퍼처를 적용시킨 형태이다. 이때 추가된 부동도체는 기 모드 정전용량을 증가시키고^[11], 접지면에 적용된 어퍼처는 우 모드 정전용량을 감소시켜서^[6] 결합도를 3 dB 이상으로 향상시킨다. 이 3 dB 이상의 결합도로 인해 본 논문에서 제안한 구조는 광대역의 3 dB 결합기를 디자인할 수 있는 장점을 가지게 된다.^[3] 그러나 추가된 부동도체나 접지면의 어퍼처 때문에 전송선로의 특성 임피던스가 변하므로 정재파비와 격리도가 나빠지는 단점을 가진다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 접지면 어퍼처의 안쪽에 도체를 위치시킨 구조를 제안하였다.

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 결합도가 높은 이중층 결합기를 가운데에 위치시키고 약한 결합이 필요한 양쪽 끝 부분에 Coupled Line 결합기를 위치시킨 3단 결합기이다. 다단 결합기는 가운데 단의 결합도가 증가할수록 대역이 증가한다. 따라서 본 논문에서 제안한 3 dB 결합기를 설계할 수 있는 장점을 가지게 된다.^[3]

모의실험 및 측정결과, 본 논문에서 제안된 이중층 방향성 결합기가 결합도, 격리도, S11에 대한 정재파비에 있어서 우수한 특성을 보였고 위상 특성 또한 우수하여 다단 결합기에도 쓰일 수 있음을 알 수 있었다.

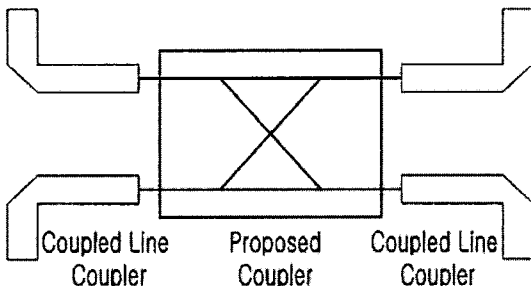


그림 1. 광대역을 위한 3단 결합기 구조
Fig 1. Three stage coupler structure for wideband.

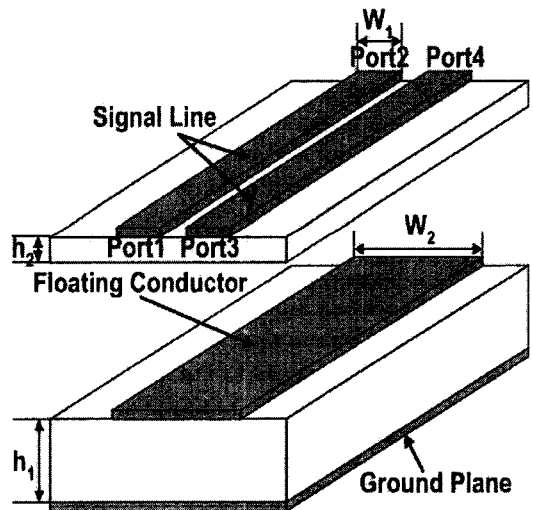
II. 개선된 이중층 방향성 결합기 구조

그림 2 (a)는 기존의 이중층 microstrip re-entrant 방향성 결합기의 구조이다. 이 구조는 그림 3 (a)에 서처럼 기 모드 상태에서 전계벽이 형성되어 두 전송선로 사이가 단락된 것처럼 동작하기 때문에, 두 전송선로 사이에 가상 접지가 형성되어 부동도체 또한 가상 접지로 작용하게 된다. 이로 인해 기 모드 정전용량이 증가하여 두 전송선로 사이의 결합도가 향상된다. 우 모드에서는 전송선로 사이에 자계벽이 형성되어 두 전송선로 사이가 개방된 것처럼 동작하기 때문에, 우 모드 정전용량은 식 (1)과 같이 표시할 수 있다.

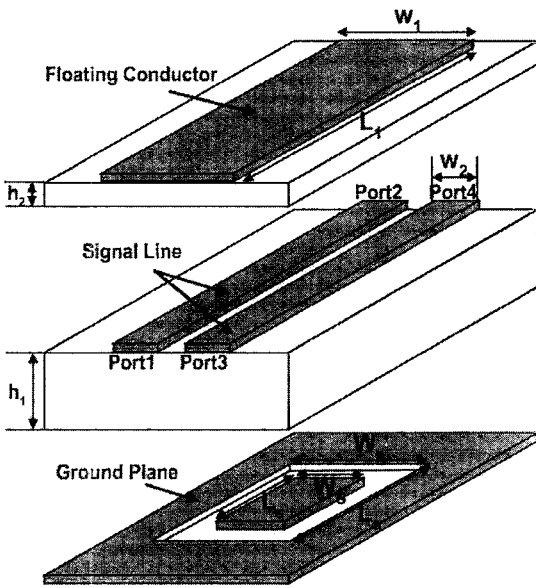
$$C_{odd} = C_2 \parallel 2C_{12} \quad (1)$$

우 모드에서는 전송선로 사이에 자계벽(magnetic wall)이 형성되어 두 전송선로 사이가 개방된 것처럼 동작하기 때문에 우 모드 정전용량은 식 (2)와 같이 표시할 수 있다.

$$C_{even} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \parallel C_3 \quad (2)$$

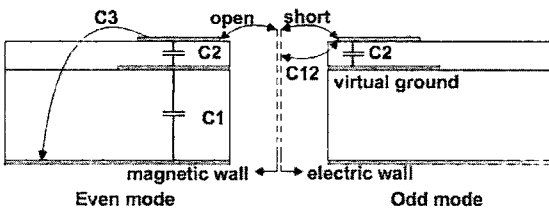


(a) 기존의 Re-entrant 구조
(a) Conventional re-entrant coupler structure

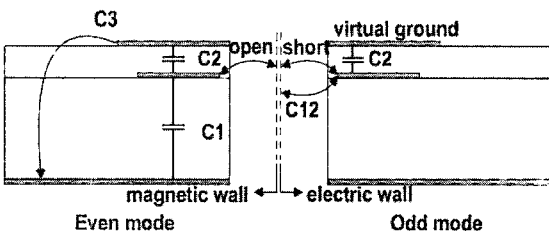


(b) 제안된 구조
(b) Improved coupler structure

그림 2. 이중층 방향성 결합기 구조
Fig. 2. Two layered directional coupler structure



(a) Re-entrant 구조
(a) Conventional re-entrant coupler structure



(b) 제안된 구조
(b) Improved Coupler structure

그림 3. 우, 기 모드 정전용량
Fig. 3. The structure of the coupler in even, odd mode.

그림 2 (b)는 본 논문에서 제안하는 이중층 방향성 결합기의 구조를 나타낸 것이다. 제안된 구조는 전송선로 위에 한 층의 기판을 추가시키고 그 위에 부동도체를 위치시킨 구조이다. 그리고 접지면에 어퍼처를 적용하였다. 기 모드에서는 부동도체가 가상 접지면으로 작용하기 때문에, 개선된 구조 역시 기존의 re-entrant mode 구조에서와 비슷하게 향상된 기모드 정전용량을 가진다. 또한 우 모드에서는 접지면 어퍼처 때문에 전송선로와 접지면 사이의 정전용량 $C1$ 이 줄어들기 때문에 식 (2)에 의해 우 모드 정전용량 C_{even} 이 감소한다. 따라서, 기 모드에서 뿐만 아니라 우모드에서도 두 전송선로 사이의 결합도를 향상시켜 기존의 re-entrant 방향성 결합기에 비해 높은 결합도를 얻을 수 있다.

III. 변수에 따른 결합기의 특성

결합기의 특성을 비교하기 위해 먼저 기존의 re-entrant mode 방향성 결합기를 중심주파수 $f = 1.5 \text{ GHz}$ 에서 최대의 결합이 이루어지도록 설계하였다. 그림 2 (a)에서 하층 기판은 $\epsilon_{r1} = 2.2$, $h_1 = 1.57 \text{ mm}$, 상층 기판은 $\epsilon_{r2} = 2.2$, $h_2 = 0.254 \text{ mm}$ 인 RT/duroid 5880으로 정했을 때 우, 기 모드 해석에 따라 w_1 , w_2 및 L_1 을 찾으면 각각 2.2 mm, 5 mm, 그리고 37 mm이었다.^[5] 본 논문에서 제안한 구조는 접지면에 어퍼처를 적용함에 따라 전송선로의 특성 임피던스가 변한다. 따라서 접지면 어퍼처를 적용했을 때의 특성 임피던스를 모의실험 하여 최대의 결합이 이루어지는 w_1 , w_2 및 L_1 을 찾으면 각각 4 mm, 8.2 mm, 그리고 35 mm이었다.

1. 접지면 어퍼처에 따른 특성

그림 4 의 (a), (b)는 접지면 어퍼처의 폭(W_a)이 18 mm 일 때, 어퍼처의 길이(L_a) 변화에 따른 결합도와 격리도를 나타낸 것이다. 이때 어퍼처의 폭은 전송선로를 모두 덮을 크기로 임의 설정하였다. 결합도의 경우, 어퍼처가 길수록 가장 좋지만 격리도의 경우는 대역 및 산란계수를 고려했을 때 어퍼처의 길이가 21 mm일 때가 최적이다. 이것은 접지면 어퍼처가 클수록 우 모드 정전용량이 줄어들기 때문에 결합도는 향상되지만, 이중층 결합기로 들어오는 신호는 단층 전송선로에서 인가된 신호이므로, 접지면 어퍼처가 커지면 단층 전송선로의 접지면에 영향을 주기 때문에 정재파비나 격리도는 나빠지기

때문이다. 따라서 접지면 어퍼처의 길이는 21 mm로 선택하였다.

그림 4의 (c), (d)는 접지면 어퍼처의 길이(L_a)가 21 mm 일 때, 어퍼처의 폭(L_a)에 따른 결합도와 격리도를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 결합도의 경우 어퍼처의 폭이 넓을수록 좋지만, 격리도는 대역 및 산란계수를 고려했을 때 어퍼처의 넓이가 18 mm일 때가 최적이다. 따라서, 접지면 어퍼처의 넓이는 18 mm로 선택하였다.

2. 어퍼처 안에 위치한 도체 크기에 따른 특성

앞에서 접지면에 어퍼처를 적용하여, 약 2 dB 향상된 결합도를 얻었다. 하지만, 접지면에 어퍼처의 적용으로 결합이 일어나는 두 전송선로의 특성 임피던스가 변하므로, 반사파의 임피던스 정합이 제대로 이루어지지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 대역 내에서 나빠진 격리도나 S_{11} 에 대한 정재파비의 임피던스 정합을 위해 접지면 어퍼처에 도체를 위치시켰다. 단, 이 때 어퍼처의 길이 및 폭은 각각 앞에서 최적화시킨 21 mm, 18 mm로 하였다.

그림 5는 접지면 어퍼처에 도체를 위치시켜 임피던스 정합을 시킨 것이다. 결합도는 부동도체와 접지면 어퍼처에 의해 대부분 결정되기 때문에, 접지면 안에 위치하는 도체에 따른 변화는 거의 없었다.

그림 5의 (a)와 (b)는 도체의 폭(W_a)이 8 mm 일 때 길이(L_s)에 따른, (c)와 (d)는 도체의 길이가 18 mm 일 때 폭(W_s)에 따른 격리도와 S_{11} 에 대한 정재파비의 산란계수를 나타낸 것이다. 도체의 길이에 따른 변화는 거의 없어서 적당한 크기인 18 mm를 선택하였고, 도체의 폭은 대역 및 산란계수를 모두 고려하여 12 mm로 선택하였다.

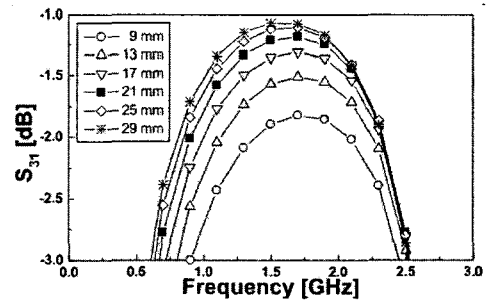
이때, 모의실험 결과를 보면 결합기의 중심 주파수인 $f=1.5$ GHz에서는 격리도, S_{11} 에 대한 정재파비 모두 35 dB 이상의 결과를 얻었고, 20 dB 이상이 되는 대역이 0.6 GHz ~ 2.4 GHz 나 되는 결합기를 얻었다.

IV. 개선된 결합기의 주파수 특성

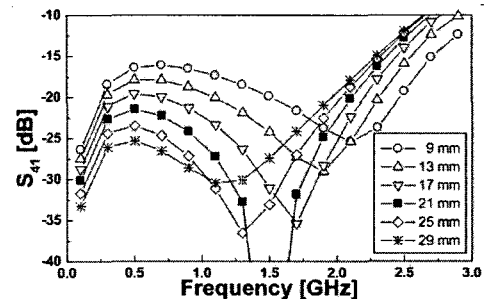
그림 6은 3절의 모의실험 결과를 토대로 본 논문에서 제안하는 이중층 방향성 결합기의 구조를 나타낸 것인데, 각각의 설계 변수는 표 1에 정리하였다. 그림을 살펴보면 최상층에는 기 모드 정전용량을 향상시키기 위한 부동도체가, 중간층에는 결합

이 일어나는 전송선로가, 그리고 최하층에는 우모드 정전용량을 줄이기 위해 어퍼처가 적용된 접지면이 놓여져 있다. 또한 접지면 안에는 임피던스 정합을 위해 도체를 위치시켰다. 선택된 값을 가지고 MOM(method of moment) 방식의 시뮬레이터인 IE3D(v. 9.3)을 이용한 결과 그림 7과 같은 산란계수 및 위상 특성을 얻을 수 있었다.

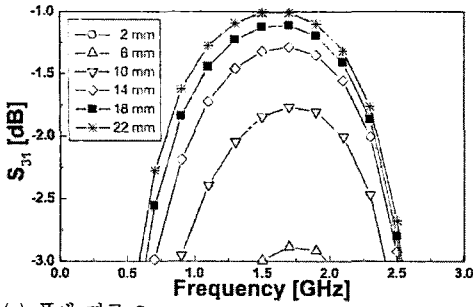
산란계수 특성을 보면 기존의 re-entrant 방향성 결합기의 경우 $f=1.5$ GHz에서 $S_{21}=-3.2$ dB, $S_{31}=-3.0$ dB 이고 S_{11} , S_{41} 은 대역 내에서 대략 -24 dB였다. 하지만 본 논문에서 제안한 결합기의 경우 $f=1.5$ GHz에서 $S_{21}=-6.0$ dB, $S_{31}=-1.1$ dB, S_{11} 과 S_{41} 은 35 dB 이상일 뿐 아니라 대역 내에서는 -20 dB 이상이었다. 또한 위상차에 있어서도 제안한 결합기가 기존의 re-entrant 결합기와 비교해서 크게 차이가 없음을 알 수 있다. 결과적으로 본 논문에서 제안한 결합기가 기존의 결합기에 비해 결합도나 격리도, 정재파비에 있어서 더 나은 결과를 보였고, 위상 특성에서 있어서도 크게 차이가 없다. 이 평탄한 위상 차이로 인해 본 논문에서 제안한 결합기는 다단 결합기로 쓰일 수 있음을 알 수 있다.



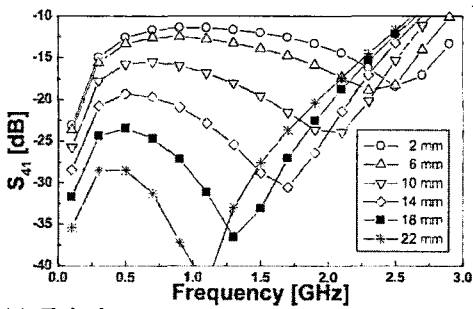
(a) 길이에 따른 S_{31}
(a) S_{31} depending on length ($W_a=18$ mm)



(b) 길이에 따른 S_{41}
(b) S_{41} depending on length ($W_a=18$ mm)

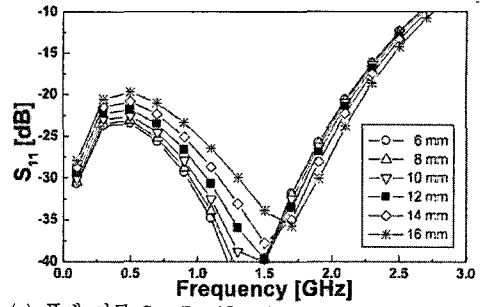


(c) 폭에 따른 S_{31}
(c) S_{31} depending on width ($L_a=21$ mm)

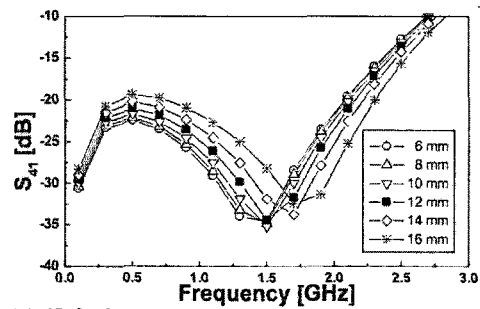


(d) 폭에 따른 S_{41}
(d) S_{41} depending on width ($L_a=21$ mm)

그림 4. 접지면 어퍼처에 따른 산란계수
Fig. 4. S-parameter for aperture's variation of the ground plane

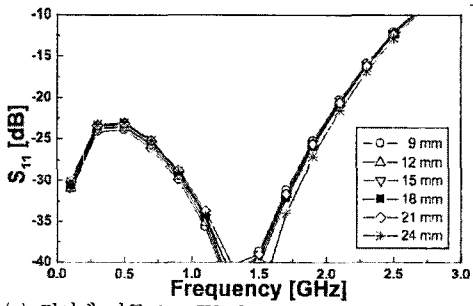


(c) 폭에 따른 S_{11} ($L_s=18$ mm)
(c) S_{11} depending on length ($L_s=18$ mm)

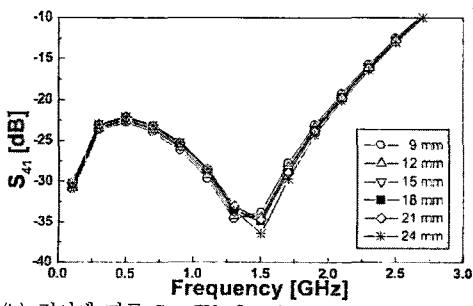


(d) 폭에 따른 S_{41} ($L_s=18$ mm)
(d) S_{41} depending on length ($L_s=18$ mm)

그림 5. 접지면 내의 도체의 크기에 따른 산란계수
Fig. 5. S-parameter for conductor's size of the ground plane



(a) 길이에 따른 S_{11} ($W_s=8$ mm)
(a) S_{11} depending on length ($W_s=8$ mm)



(b) 길이에 따른 S_{41} ($W_s=8$ mm)
(b) S_{41} depending on length ($W_s=8$ mm)

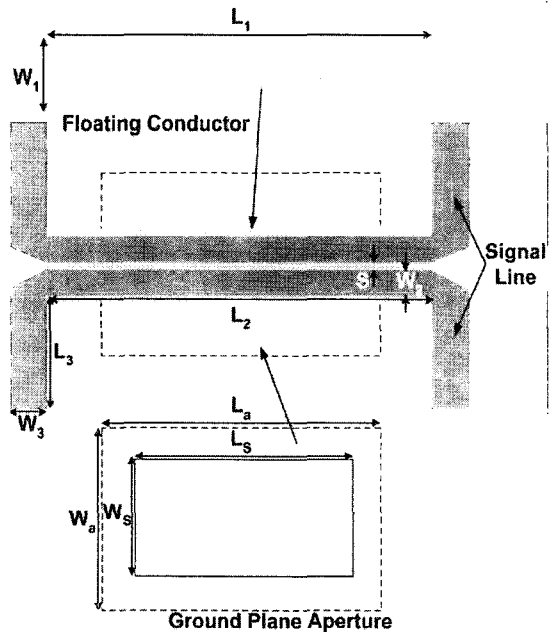
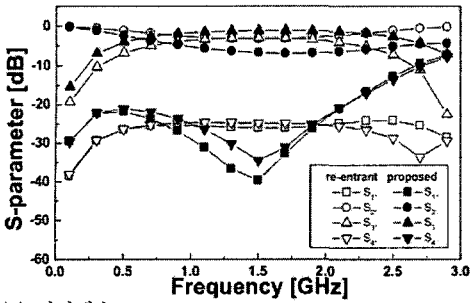
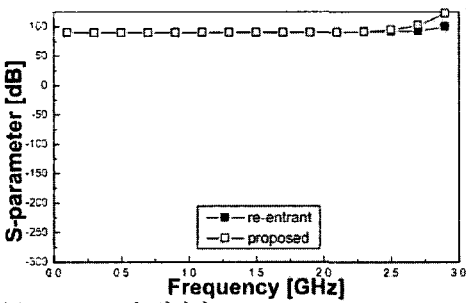


그림 6. 개선된 이중층 결합기의 구조
Fig.6 Structure for improved two layer coupler



(a) 산란계수
(a) S-parameter



(b) 2, 3 포트간 위상차
(b) Phase difference between 2,3 port

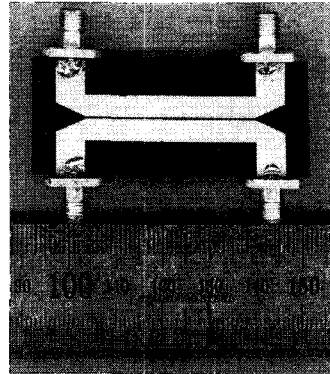
그림 7. 결합기의 모의실험 결과 비교
Fig 7. Comparison with coupler's simulations

V. 제작 및 측정결과

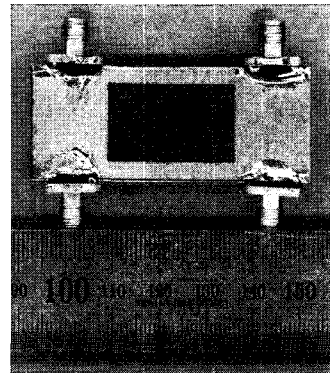
그림 8은 실제 제작한 결합기의 사진이며, HP-8450 Vector Network Analyzer를 이용하여 측정한 결과 그림 9와 같은 특성을 얻을 수 있었다. 산란계수의 특성을 보면 중심주파수인 $f=1.5$ GHz에서 $S_{21}=-7.2$ dB, $S_{31}=-1.2$ dB이고 S_{11} , S_{41} 은 대역 내에서 대략 -20 dB 이상이였다. 모의실험 결과에 비해 정재파비나 격리도가 5~10 dB 정도 나빠졌음을 볼 수 있는데, 이는 단층기판을 접합시켜 다층기판으로 구현함에 따른 불완전한 접합에 의한 손실 때문으로 여겨진다. 이는 정밀한 제작기술이 뒷받침될 경우 충분히 극복될 수 있을 것으로 보인다.

VI. 결론

본 논문에서는 기존의 이중층 microstrip re-entrant 결합기의 결합도, 격리도, S_{11} 에 대한 정재파비를 개선한 결합기를 제안하고 설계하였다. 특성을 개선하기 위해 접지면에 어퍼처를 적용하고 그 안에 임피던스 정합을 위해 도체를 위치시킨 구



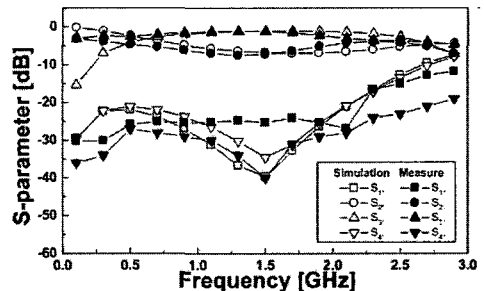
(a) 앞면
(a) Front side



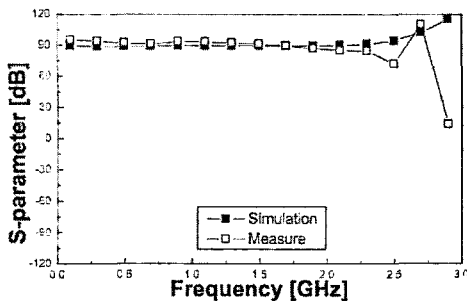
(b) 뒷면
(b) Back side

그림 8. 제작된 결합기의 사진
Fig 8. Photograph of fabricated coupler

조를 제안하였다. 그리고 최적의 설계 변수를 찾아 결합기를 설계하였다. 제안된 결합기가 기존의 결합기보다 약 2 dB 높은 결합도를, 대역 내에서 높은 격리도와 정재파비를 가졌고 위상특성 또한 우수하여 다단 결합에도 사용할 수 있음을 알았다.



(a) 산란계수
(a) S-parameter



(b) 2, 3 포트간 위상차
(b) Phase difference with 2,3 port

그림 9. 결합기의 모의실험 결과 비교
Fig 9. Comparison with coupler's simulations

참 고 문 헌

- [1] E. G. Cristal, "Re-entrant directional couplers having direct coupled center conductors," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 14, no. 4, pp. 207-208, Apr., 1966.
- [2] J. L. Allen and M. F. Estes, "Broadside-coupled strips in a layered dielectric medium," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 20, no. 10, pp. 662-669, Oct., 1972.
- [3] J. S. Izadian, "A new 6~18 GHz, -3 dB multisection hybrid coupler using asymmetric broadside, and edge coupled lines," 1989 *MTTS International Microwave Symposium Digest*, vol. 1, pp. 243-246, 1989.
- [4] K. Sachse, A. Sawicki, "Quasi-ideal multilayer two- and three-strip directional couplers for monolithic and hybrid MICs," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 9, pp. 1873-1882, Sep., 1999.
- [5] Dong Wan Chun and Chull Chai Shin, "Design of a directional coupler using three layer microstrip structure," *Microwave Conference. APMC 2001. 2001 Asia-Pacific*, vol. 1, pp. 165-168, 2001.
- [6] 최문호, 신철재, "Aperture된 접지면을 갖는 이중층 마이크로스트립 결합기," *마이크로파 및 전파통신학술대회 논문집*, vol. 26, No. 1, pp. 473-476, 2003.
- [7] Jing-Feng Miao and Itoh T., "Coupling Between Microstrip Line and Image Guide through Small Apertures in the Common Ground Plane," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 83, no. 4, pp. 361-363, Apr., 1983.
- [8] Jogiraju G. V. and Pandharipande V. M., "Stripline to microstrip line aperture coupler," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, no. 4, pp. 440-443, Apr., 1990.
- [9] Chinglung Chen, Ming-Ju Tsai and Alexopoulos N. G., "Mutual coupling between microstrips through a printed aperture of arbitrary shape in multilayered media," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 6, no. 5, pp. 202-204, May., 1996.
- [10] Rambabu K. and Kalghatgi A. T., "Design equations for broad-band planar aperture coupler," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 8, no. 9, pp. 308-309, Sep., 1998.
- [11] Boris Sheleg, Barry E. Spielman., "Broad-Band Directional Couplers Using Microstrip with Dielectric Overlays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-20, no. 12, Dec., 1974.

박 정 훈 (Jeong-hoon Park)

정회원



1984년 2월 : 아주대학교 전자공
학과 (공학사)
1993년 2월 : 아주대학교 전자공
학과(공학석사)
1998년 2월 : 아주대학교 전자공
학과 박사과정 수료
1984년~1987년 : 삼성전기(주)

연구원

1987년~1992년 : 한국전자통신연구원 연구원

1992년~1994년 : SK 텔레콤 연구원

1993년~현재 : 전기통신 기술사

1994년 8월~현재 : 시립 인천전문대학 정보통신과
교수

<관심분야> 이동통신, 초고주파통신

이 진 택 (Jin-taek Lee)

정회원



1997년 2월 : 아주대학교 전자공
학과 (공학사)
2002년 8월 : 아주대학교 전자공
학과(공학석사)
2002년 8월~현재 : 아주대학교전
자공학과 박사과정

<관심분야> 초고주파 능동, 수동 소자

천 등 완 (Dong-wan Chun)

정회원



1999년 2월 : 아주대학교 전자공
학과(공학사)
2001년 2월 : 아주대학교 전자공
학과(공학석사)
2001년 3월~현재 : 아주대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> RF/Microwave 수동

소자 해석 및 설계

신 철 재 (Chul-chai Shin)



1964년 2월 : 연세대학교 전자공
학과 (공학사)
1968년 2월 : 연세대학교 전자공
학과 (공학석사)
1983년 2월 : 연세대학교 전자공
학과 (공학박사)
1967년~1970년 : 동양공업전문

대 교수

1970년~1977년 : 팡운대학교 교수

1986년~1987년 : Florida University 객원교수

1977년~현재 : 아주대학교 전자공학과 교수

<주 관심분야> 초고주파 회로 설계 및 해석, 초고
주파 통신부품 개발, 안테나 설계 및 해석,
EMI/EMC, 전파전파 등