

높은 지향성을 갖는 방향성 결합기 설계에 관한 연구

정회원 지 일 구, 정 정 화

A Study on the Design of Directional Coupler with high Directivity

Il-Gu Ji* and Jong-Wha Chong** *Regular Members*

요 약

본 논문은 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기 설계에 관한 연구이다. 이동통신 기지국의 송신단에서는 신호의 크기나 주파수 혹은 안테나에서의 반사 등을 확인하기 위해 방향성 결합기를 사용한다. 즉, 통신에 간섭을 줄여 에러 발생을 막고 원활한 통신 성능 시험을 하기 위해서는 높은 지향성이 요구된다.

지금까지 높은 지향성을 얻기 위한 많은 구조가 제시되었고, 지향성과 관련된 분석과 연구가 있었다. 그러나 현재 지향성은 일반적으로 20dB정도가 구현되고 있으며, 40dB이상과 같은 높은 지향성을 구현하는데 어려움이 있다.[1]

따라서 본 논문에서는 40dB와 같은 높은 지향성을 구현하기 위하여 스트립선로 구조로 시도 하였으며, 50 Ω 전송선과 만나는 접합부분의 밴드에서 야기되는 불연속으로 인한 리액턴스 성분을 줄이기 위하여 캐패시턴스 성분을 추가하였다. 여기에서는 캐패시턴스 성분을 대신하여 접지면을 추가한 새로운 구조의 방향성결합기를 제안하고 이를 설계하여 실험하였다. 그리고 이 새로운 구조를 이용한 방향성 결합기와 기존의 방향성 결합기와의 지향성 측정 실험(시뮬레이션) 결과 값을 비교 검토 하였다.

실험에 사용한 측정 주파수의 중심주파수는 2.05GHz(IMT-2000용)로 하였으며 ± 150 MHz의 범위를 갖도록 실험 하였다. 실험(시뮬레이션) 결과 약 43dB 정도의 높은 지향성을 보였으며, 기존 방향성 결합기의 지향성(약 20dB)보다 약 23dB 개선을 구현하였다.

Key Words : high directivity; directional couplers; grounding Area

ABSTRACT

This paper propose a new design of directional couplers with the high directivity. The directional coupler is used to check and verify the power, frequency and antenna reflection of a signal at transmission station for the mobile communications. The performance index of the directional coupler is to which the coupling is strong to reduce the effect on the transmitted power and the directivity is high to suppress the interference of the reflected signals and reduce the error in the communication. Then, the architectures to gain the high directivity and the studies to get the strong coupling have been proposed. However, the conventional architectures for the high directivity and strong coupling have the directivity by about 20 dB and the difficulty to achieve the higher directivity than 40 dB suitable for IMT-2000 [1].

This paper proposes an architecture of the directional coupler which is based on the grounding composed of the strip lines and the comparison results with the conventional directional couplers. The comparison results show that the proposed directional coupler has the directivity more than 40 dB and is adequate for the 2.05GHz IMT-2000

I. 서론

한 개의 신호를 분배하거나 또는 신호들을 합성하는 방향성 결합기는 전력결합이 방향성을 갖는 3단자 회로가 될 수도 있고 또는 4단자 회로가 될 수도 있다. 이동통신 기지국의 송신단에서는 신호의 크기나 주파수 혹은 안테나에서의 반사등을 확인하기 위해서 방향성 결합기를 사용한다.

이와 같은 성능시험에서 전송전력에 영향을 주지 않기 위해서는 강한 결합도가 요구되며, 또한 반사파의 영향을 없애기 위하여 즉, 간섭을 줄여 에러 발생을 막기 위해서는 높은 지향성이 요구된다.

방향성 결합기의 주요 기준이 되는 파라미터로는 크게 결합도와 지향성 그리고 반사손실 등이 있는데 이는 결합기의 성능을 평가하는데 기준이 된다. 그 중 넓은 대역폭과 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기는 통신 시스템과 계측기와 같은 측정 장비의 주요 부품으로 사용되기 때문에 높은 지향성을 얻기 위한 많은 구조가 제시되었고, 지향성과 관련한 분석, 연구가 있었다. 마이크로웨이브 시스템에서 주로 쓰이는 방향성결합기는 크게 하이브리드형 방향성 결합기와 평행결합 선로 방향성 결합기 등으로 나눌 수 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

하이브리드형 방향성 결합기는 강한 결합도에 적합한 이점이 있으나 주파수 범위에 대한 지향성 특성이 좁다는 단점이 있다. 이에 반하여 평행결합 선로 방향성 결합기는 주파수에 대한 지향성의 대역폭이 넓다. 그래서 강한 결합도 및 높은 지향성 즉 25dB이상을 구현하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 스트립선로 구조로 지향성이 40dB에 목표를 두고 연구를 하고자 한다.

결합기내의 모드 위상 속도를 같게 하기 위하여 같은 매질의 스트립 결합선로 구조를 적용하고 시뮬레이션과 실험을 하여 스트립 선로구조의 평행결합 선로 방향성 결합기의 지향성 특성을 관찰하여야 하며, 또한 지향성에 영향을 미치는 요소들을 분석, 관찰하고 시뮬레이션을 통하여 임피던스 비정합에 의한 지향성의 변화와 그 악화를 보고자한다. 시뮬레이션 결과와 평행결합선로 방향성 결합기를 측정 한 출력 주파수 특성을 비교 관찰하여 결합기의 불연속이 일어나는 밴드와 스텝부분에 접지면을 첨가한 새로운 기술과 구조를 제시하고, 이 새로운 구조를 이용한 결합기와 이용하지 않은 결합기와의 실험 측정 결과 값을 비교 검토 하고자 한다.

결과적으로 기존의 방법으로 구현이 어려운 40dB 정도의 높은 지향성을 갖는 IMT-2000용 (2.05GHZ) 방향성 결합기를 연구하고자 한다.

본 논문은 고지향성을 갖는 방향성 결합기 구현을 위한 평행 결합 스트립선로 방향성 결합기의 설계이론, 고지향성을 갖는 방향성 결합기 설계 및 실험결과 등으로 구성 된다.

II. 평행 결합 스트립선로 방향성 결합기 설계 이론

평행결합선로 방향성 결합기의 해석을 위한 기본 구조 및 등가회로를 나타내면 그림 1.과 같다.⁽¹⁾⁽²⁾

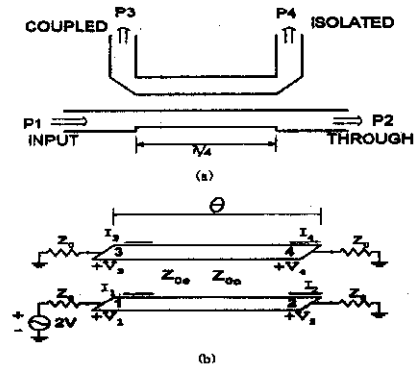


그림 1. 방향성 결합기 (a)와 등가회로(b)

평행결합선로의 결합도 K는 다음과 같이 정의된다.⁽¹⁾⁽²⁾

$$K = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \quad (1)$$

각 포트전압은 다음과 같이 된다.⁽¹⁾⁽²⁾

$$V_1 = 1, \quad V_2 = \frac{\sqrt{1-K^2}}{\sqrt{1-K^2 \cos \theta + j \sin \theta}}, \quad V_3 = \frac{jK \sin \theta}{\sqrt{1-K^2 \cos \theta + j \sin \theta}}, \quad V_4 = 0 \quad (2)$$

위의 식 (2)을 살펴보면 포트 4개 중 포트 4는 격리되어 있고, 모든 포트는 정합되어 있다. 이와 같이 결합기는 결합도 K의 값에 따라 포트2와 포트 3으로부터 분배된 전력이 나온다.

또한 식(2)로부터 결합기의 길이가 $\lambda/4$ 일 때 최대 결합이 발생함을 알 수 있다. 즉, $\theta = \pi/2$ 이면 포트 전압은

$$V_1 = 1, \quad V_2 = -j\sqrt{1-K^2},$$

$$V_3 = K, \quad V_4 = 0 \quad (3)$$

이다. 그리고 결합도 K를 dB로 표시하면

$$K_{dB} = -10 \log_{10} \frac{1}{|K|^2} \quad (dB) \quad (4)$$

이다. 여기서 K는 식(1)의 Z_{0e}, Z_{0o} 에 의해서 결정된다.

그리고 특성 임피던스 Z_0 와 전압 결합계수 K가 주어진 경우 이를 만족하는 홀-짝모드 특성 임피던스에 대한 설계 방정식은 식(1)로부터 다음과 같이 된다.⁽¹¹⁾⁽²⁾

$$Z_{0e} = Z_0 \sqrt{\frac{1+K}{1-K}}, \quad Z_{0o} = Z_0 \sqrt{\frac{1-K}{1+K}} \quad (5)$$

이를 요약하면 그림1.의 평행결합선로 방향성 결합기에서 결합도(coupling coefficient)와 격리도(isolating coefficient)는 결합포트와 격리포트에서의 입력에 대한 출력의 값으로,

$$C = -10 \log \left| \frac{P_3}{P_1} \right| \quad (dB), \quad I = -10 \log \left| \frac{P_4}{P_1} \right|,$$

$$T = -10 \log \left| \frac{P_2}{P_1} \right| \quad (dB) \quad (6)$$

식(6)과 같이 나타낼 수 있고, 여기서 C는 결합도, I는 격리도이며, T는 전송도이다.

방향성 결합기의 성능 기준 중에서 가장 중요한 기준이라 할 수 있는 지향성은 격리포트에서의 전력량으로 정의되어지며, 상대적인 값으로 나타낸다.

즉 격리도에서 결합도를 뺀 상대적인 량(dB)인 Directivity(지향성) = I(격리도) - C(결합도) (7)로 표현된다. 식 (7)에서 알 수 있듯이 결합기 설계에 있어서 결합도는 이미 주어진 상태이므로 이상적인 지향성의 구현을 위해서는 주어진 주파수 범위내에서 격리포트 출력이 zero 전력이어야 한다.

그러나 일반적인 결합선로 결합기의 경우 전송선로의 물리적인 변화로 인해 생기는 불연속이 지향성의 저하를 가져온다. 그 외에도 결합도의 중요한 성능 파라미터인 지향성에 밀접하게 영향을 미치는 몇 개의 요인들이 있는데,

결합기내 even-odd 모드의 전파속도 ($v_e = v_o = v$), 결합선로 양 끝단에서 전송선로로 가기 위한 선로분리로 기인한 접합부의 비정합(스텝, 밴드), 출력포트에 부하를 달았을 때의 정재파비(VSWR), 모드 임피던스 균형함수인 커플러의 내부정합($Z_o = \sqrt{Z_{oe}Z_{oo}}$) 등이 있다.

균일한 유전체내에 평행한 전송선로가 있는 스트립 결합선로에서는 모드의 전파속도가 같으므로 전파속도가 다른 마이크로스트립 결합선로 결합기보다는 기본적으로 지향성이 우수하다. 그러나 결합선로와 50Ω 전송선과 만나는 분리 부분인 밴드와 포트 접속에서의 불연속은 리액턴스 성분으로 남게 되어 임피던스 비정합에 의한 실질적인 지향성의 저하를 가져온다.

본 논문에서는 넓은 대역폭과 지향성이 개선된 방향성 결합기를 설계하기 위한 목적으로 TEM(전송) 모드 평행결합 스트립선로 구조를 적용하였다. 대체로 약한 결합도를 갖는 방향성 결합기에서는 높은 지향성을 얻기가 힘들다. 따라서 보다 강한 결합도를 갖는 방향성 결합기를 설계 및 실험하였다. 실제로 고 전력 증폭단에서 사용할 수 있는 $h=3.175$ mm, $t=0.03$ mm, $\epsilon_r=2.33$ 의 테프론 유전체를 갖는 테프론 기판을 사용하였다. 그리고 측정 주파수 범위는 중심주파수를 2.05GHz로 하고 150MHz의 범위를 갖도록하여 실험 하였다. 결합기의 물리적인 치수는 본 논문에서는 초고주파 시뮬레이터를 이용하여 구하였다. 표 1.은 각각의 결합도에서 얻어진 스트립 결합선로의 물리적인 치수를 나타낸 것이다.

표 1. 방향성결합기의 물리적 치수

(단위 : mm)

결합도(dB)	b=2h	w	d	λ/4 길이
30	6.35	4.97	4.23	23.97

(50Ω 전송선의 폭 : 4.97mm, $h=3.175$ mm, $t=0.035$ mm, $\epsilon_r=2.33$)

먼저 결합선로와 포트 접속간에 50Ω 전송선에서의 신호결합을 방지하기 위하여 주선로는 직접 접속포트로 향하게 하였고 종속선로는 90°의 각도를 주어 접속포트로 향하게 하였다. 그림 2.는 위에서 주어진 기판을 사용하여 얻은 일반적인 구조로 스트립선로 방향성 결합기의 패턴도를 나타낸 것이다. 스트립 구조를 이루기 위하여 같은 유전체 매질인 두 개의 기판($b=2h$)을 사용하였는데 하나의 기판에는 패턴을 만들고, 또 다른 하나는 한편 전체의 구리면을 완전히 없앤 다음 이를 패턴이 있는 기판 위에 포개어 구성하는 방법을 사용하였다.

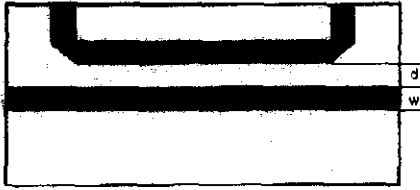
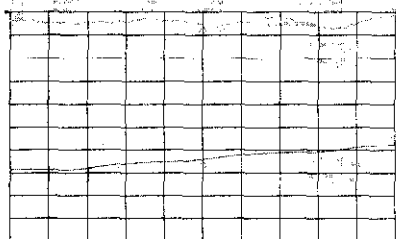
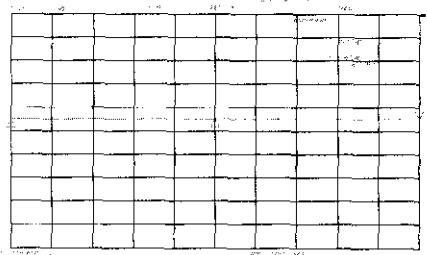


그림 2. 일반적인 방향성 결합기의 패턴도

패턴을 절단하지 않은 방향성 결합기는 밴드부분에서 생기는 불연속으로 인해 지향성이 현저히 저해된다. 이에 따라 밴드를 적절히 절단 처리함으로써 지향성을 개선할 수 있다. 스트립선로와 마이크로스트립선로에서 적절한 밴드의 절단 방법은 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 밴드부분을 여러 각도로 절단하면서 지향성의 추이를 관찰하였는데 약 45°각도의 절단처리가 가장 적절하다는 것을 알았으며, 45°이외의 각도로 구현하였을 때 보다 지향성이 향상됨을 볼 수 있었다. 그림 2.는 45°각도로 밴드를 절단한 방향성 결합기의 패턴도를 나타낸 것이다. 45°각도로 절단하였을 때 실험한 결과를 그림 3.에 나타내었다. 그림 3. (a)는 결합 포트에서의 반사손실과 삽입손실을 나타낸 것이다. 이로부터 -29.5dB의 결합이 발생되었음을 알 수 있다. 그림 3. (b)는 격리도 포트에서의 측정값으로 44.9dB의 격리도를 가짐을 알 수 있다. 일반적으로 스트립선로 구조로 된 45° 밴드 절단한 방향성 결합기는 기본적으로 약 15-20dB의 지향성을 갖는다는 사실을 실험을 통해 알 수 있었다. 이 실험에서는 방향성 결합기의 통과 포트에서 0.05dB의 삽입 손실과 32dB의 반사손실이 나타나고 있음이 측정되었다.



(a) 반사손실과 삽입손실



(b) 격리도

그림 3. 45°밴드를 절단한 방향성 결합기 결과

또한 본 논문에서는 앞에서 언급한 선로 분리를 위하여 90°의 각도를 주어 50Ω 전송선을 연결하였을 때 발생하는 밴드 부분에서의 불연속 리액턴스 성분이 얼마만큼 지향성에 영향을 미치는가를 관찰하기 위해 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 먼저 시뮬레이션을 통해서 평행결합 선로로 방향성 결합기의 주파수 특성을 관찰하였다. 포트간에 임피던스가 완전 정합된 이상적인 방향성 결합기를 시뮬레이션 하였는데, 결합기의 중심주파수는 2.05GHz로 하였고 중심 주파수로부터 ±150MHz의 대역을 관찰 범위로 정하였다. 시뮬레이션 결과 지향성의 대역폭이 넓다는 것을 알 수 있었다.

다음으로 불연속에 의한 지향성의 저하를 알아보기 위하여 그림 4.와 같이 결합선로 결합기의 양 끝단에 임의의 리액턴스를 연결시켜서 시뮬레이션 하였다. 입출력 포트의 특성임피던스는 50Ω으로 하였으며 30dB의 결합도를 갖도록 설계하였다. 각 포트에서의 산란계수를 관찰하였고, 결합도와 격리도를 구한 다음 그의 차로 리액턴스에 따른 지향성을 구하였다.

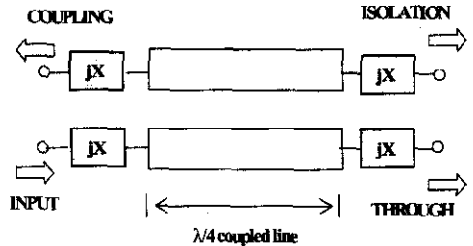


그림 4. 리액턴스를 첨가한 등가회로

시뮬레이션을 하여 얻은 리액턴스값에 대한 지향성과의 관계곡선을 보면 리액턴스의 값이 "0"(zero)가 될 때 지향성은 무한대의 값을 갖게 된다.

또한 이상적 결합선로 결합기에 임의의 임피던스와 전기적 길이를 갖는 전송선을 연결하여 앞에서와 같은 방법으로 시뮬레이션 하였다. 그 결과 임피던스를 임의로 고정시키고 전기적 길이를 변화시켜서 시뮬레이션하여 얻은 전기적 길이와 지향성의 관계 곡선을 보면 전송선로의 전기적 길이가 짧을수록, 또한 임피던스가 50Ω의 특성임피던스에 근접할수록 방향성 결합기는 높은 지향성을 갖게 됨을 시뮬레이션을 통해서 알 수 있었다.

이와 같은 이론을 바탕으로 III.장에서는 고지향성을 갖는 방향성 결합기를 설계하고 또한 설계한 방향성 결합기를 실험하여 그 결과를 살펴보도록 한다.

III. 고지향성을 갖는 방향성 결합기 설계 및 실험 결과

높은 지향성이라 함은 적어도 25dB 이상의 지향성을 의미한다. 앞 장에서 언급한 일반적인 평행결합 스트립선로 방향성 결합기에서는 약 20dB정도의 지향성을 얻을 수 있었다. 지금까지 수행한 실험에서처럼 밴드를 적절하게 절단함으로써 지향성을 개선시킬 수 있는데는 한계가 있다. 이런 측면에서 지향성을 25dB이상으로 높여주기 위해서는 새로운 구조와 기술이 요구된다.

먼저 단독으로 있는 전송선의 경우 전송선의 특성을 나타내는 capacitance, inductance, 그리고 impedance 값은 쉽게 계산이 된다. 그러나 현실적인 상황은 보다 복잡한 구조를 갖는 전송선으로 회로들이 구성된다. 그러한 구조에서 각 신호층에 있는 전송선들의 재질과 각 신호층을 분리시키는 절연물질, 전송선의 모양(두께, 넓이, 길이), 이웃하는 전송선들의 배치상태 등이 복잡하게 연관되어 각각의 전송선에 대한 특성이 결정된다. 결국 이러한 전송선의 구조에 따른 특성 (capacitance, inductance) 들이 방향성 결합기의 특성을 결정하게 된다.

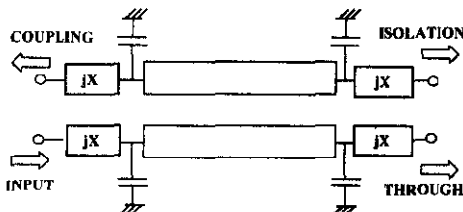


그림 5. 방향성 결합기 등가회로

따라서 본 연구에서는 50Ω전송선로간의 결합을 방지하여 결합 포트에서의 신호의 양을 축소시키고자 하는 측면에서 시작되었으며, 이 기술과 구조는 불연속으로 생긴 리액턴스 성분으로 인한 임피던스 비정합을 선로와 접지면간에 생긴 캐패시턴스로 보상시켜 주는 방법을 연구해 보았다. 다시 말해서 그림 5.와 같이 임피던스 비정합을 접지면간에 생긴 캐패시턴스로 보상시킨 것이다. 여기서 캐패시턴스를 약 0.0001pF 정도를 보상시킨다면 아래 식으로부터 접지면적을 계산 할 수 있다.

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r S}{d} \approx 0.0001 pF$$

여기서 접지면적 S를 구하면

$$S = \frac{d \times C}{8.85 \times 10^{-12} \times \epsilon_r} \quad \text{여기서 } \epsilon_r = 2.33,$$

$d = 2.23, C = 0.0001 pF$ 를 대입하면

$$S = \frac{2.23 \times 0.0001 \times 10^{-12}}{8.85 \times 10^{-12} \times 2.33} \approx 0.000012 m^2$$

$$\approx 12 mm^2$$

즉, 밴드가 위치한 부분에서의 50Ω 전송선로 사이에 캐패시턴스 대신에 접지면적(삼각형) 12mm²을 위치시키는 새로운 기술을 제시하였다. 처음 시도한 구조인 접지면(삼각형)을 위치시킨 패턴도는 그림 6.과 같다.

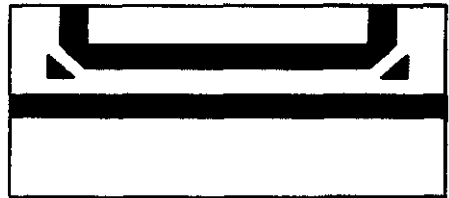
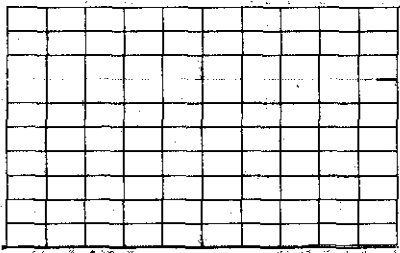


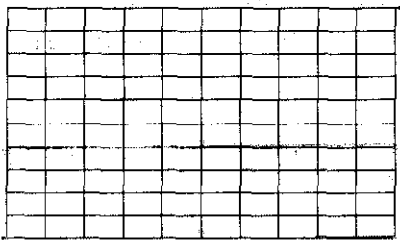
그림 6. 접지면을 갖는 방향성 결합기 패턴도

그림 6.과 같이 접지면을 갖는 방향성 결합기를 시뮬레이션을 통해 실험한 결과는 그림 7.에 나타내었는데, 결합 포트에서의 30.1dB의 결합도와(그림 7. a) 격리 포트에서 59.47dB의 격리도를 갖고 있음을 알 수 있다.(그림 7. b) 이것으로부터 접지면을 위치시킨 방향성 결합기는 약 29dB의 지향성을 얻을 수 있었다.

통과 포트에서의 삽입손실은 0.07dB이며, 모든 포트에서의 30dB의 반사손실 특성을 갖고 있다.



(a) 결합도와 정재파비



(b) 격리도와 정재파비

그림 7. 접지면을 갖는 방향성 결합기의 결과

1차적으로 높은 지향성 특성을 얻기 위하여 이 논문에서는 그림 6과 같은 구조를 제안하였다. 여기에서 접지면의 위치와 넓이를 수정할 경우 더욱 지향성이 높아진다는 사실을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다. 그래서 2차적으로 더욱 지향성을 개선하기 위하여 접지면을 보다 넓게 위치시키는 등의 수정을 가한 방향성결합기의 패턴도를 그림 8과 같이 설계하였다. 그림 8을 시뮬레이션한 결과는 그림 9에 나타내었는데 격리 포트에서의 주파수 특성으로 삽입손실(S_{21})이 Noise level로 떨어짐을 볼 수 있다. 즉 격리현상이 매우 우수하게 일어남을 의미하고 있는 것이다.

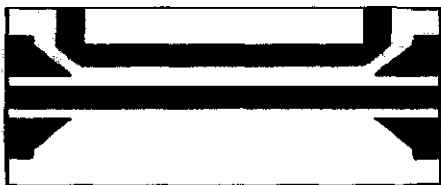
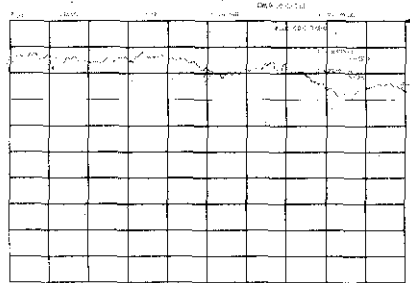


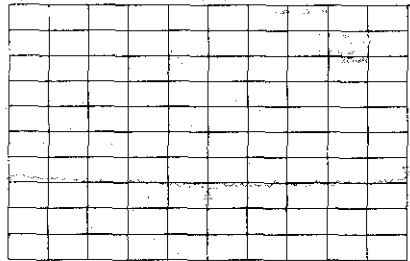
그림 8. 연구한 방향성 결합기의 패턴도

측정된 격리도는 72.8dB를 얻었으며, 지향성은 약 43dB로 매우 높은 지향성을 얻었다.

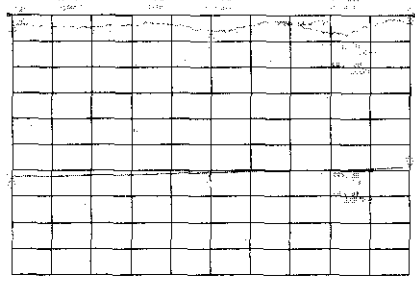
이때 모든 포트에서의 반사손실은 30dB이하로 매우 낮은 값으로 나타나고, 통과 포트에서는 0.06dB의 삽입손실을 얻었다.



(a) 결합도



(b) 격리도



(c) 삽입손실과 반사손실

그림 9. 연구한 방향성 결합기의 결과

본 연구에서 방향성 결합기를 설계하여 얻는 결과 값들을 다음 표 2에 요약하여 나타내었다. 표 2를 통해서 높은 지향성을 본 연구에서 얻었음을 알 수 있다.

표 2. 방향성 결합기의 실험 결과 [단위 : dB]

접지면을 갖지 않은 방향성 결합기					
방향성 결합기	동과포트 삽입손실	측정 결합도	측정 격리도	지향성	포트 반사 손실
30dB	0.05	29.5	44.9	15.4	32
연구한 방향성 결합기					
30dB	0.06	29.4	72.8	43.4	30.4

IV. 결 론

본 논문에서는 밴드의 불연속성에 기인한 임피던스 비정합이 방향성 결합기의 지향성에 영향을 미침을 시뮬레이션을 통하여 관찰하였고, 밴드에서의 임피던스 비정합을 개선시키기 위하여 여러 종류의 방향성 결합기를 설계하여 실험을 하였다. 여기서 마이크로스트립 구조가 아닌 스트립 형태의 구조로 설계하여 우수한 지향성을 얻을 수 있었다. 그리고 하이브리드 브랜치라인 결합기가 아닌 평행결합선로 구조를 이용하여 설계 실험한 방향성 결합기의 지향성 대역폭이 매우 넓은 것을 본 연구에서 알 수 있었다.

본 논문에서는 50Ω 전송선과 만나는 접합부분의 밴드에서 야기되는 불연속으로 인한 리액턴스 성분을 줄이기 위하여 캐패시턴스 성분을 추가한 즉, 캐패시턴스 대신에 접지면을 추가한 새로운 구조의 방향성결합기를 제안하고 이를 설계하여 실험하였다. 그 결과 <표 2>와 같이 지향성이 매우 개선됨을 볼 수 있었다. 이처럼 이 결합기 구조에서 기존의 높은 지향성의 기준이 되는 25dB보다 훨씬 높은 43.4dB의 지향성을 갖는 방향성 결합기를 본 실험에서 얻을 수 있었다.

현재 방향성 결합기의 지향성 특성은 일반적으로 20dB인데 반하여 이 논문 결과에서 제안한 방향성 결합기의 경우 지향성이 매우 우수한 43.4dB의 높은 지향성을 얻을 수 있었다.

향후 이를 제품화할 경우 마이크로와 시스템 설계와 IMT-2000 등에 매우 유용하게 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

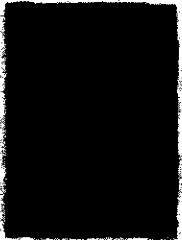
참 고 문 헌

- [1] David M.Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, pp. 415-427, June, 1990.
- [2] Nyoun-gang Jin, *Basic of Microwave Engineering*, Cheong Mun Gag, pp. 324-335, Jan. 1998.
- [3] Honutting An, KeWu, "A Novel Type of Low -cost High performance coaxial cable coupler," *25th, EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE PROCEEDING*, vol. 2, pp. 701-704, 1995.
- [4] Tanaka, Tsunda, "Slot-Coupled Directional Coupler Between Double -side Substrate Microstrip Line and Their Application," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, pp. 1757 -1757, Dec. 1988.
- [5] T-Edwards, *Foundation for Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons Ltd, 2nd Ed., 1992.
- [6] Mattaei, G. L., L. Young, and E. M. T.Jones, *Microwave Filters Impedance Matching Networks and coupling Structures*, Artech House, Dedham Mass, 1980.
- [7] Edwards, T. C., *Foundations For Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons Ltd., 1981.
- [8] Man-Fai Wong, Victor Fouad Hanna, "Analysis and Design of Slot-Coupled Directional Couplers Between Double -Side Substrate Microstrip Line," *IEEE Trans. Microwave and Theory and Technique*, vol. MTT-29, no. 12, pp. 2123-2129, Dec. 1991.
- [9] K.Shibata, H.Yangisawa, "Method for Improving Microstrip Coupler Directivity," *ELECTRONICS LETTERS*, 1st, vol. 17, no. 20, pp. 732-733, Oct. 1981.
- [10] S.B Cohn, "The re-entrant cross -section and wide band 3dB hybrid

couplers," *IEEE Trans. Microwave Theory and Technique*, vol. MTT-11, pp. 254-258, 1993.

지 일 구 (il-Gu Ji)

정회원



한양대학교 전자공학과
(공학석사)
한양대학교 전자통신전파공학부
박사 수료
기술지도사
1988.1.-1991.3. LG산전(주)
자동화 설계실 근무

1991년-1992년 중소기업진흥공단 자동화 지도실
지도역

2001.8.부터 - 현재 한국산업기술대학교 겸임교수

1992년 - 현재 중소기업진흥공단 중소기업연수원
교수

<주관심분야> 전자제어, 자동제어, 전자통신(이동통신)

정 점 화 (Jong-Wha Chong)

정회원



1975년 한양대학교 전자공학
과 졸업 (학사)
1977년 한양대학교 대학원
전자공학과 졸업 (공학석사)
1981년 일본 와세다대학교
전자공학과 졸업 (공학박사)
1986년 6월 - 1987년 9월
미국 Berkeley 대학 박사

후 과정

2000년 1월- 현재 대한전자공학회 사업이사

2000년 10월 - 2002년 8월 한양대학교 정보통신
대학원 원장 겸 대학학장

2001년 - 현재 「정보과학회 평의원

1981년 - 현재 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부
교수

2002년 - 현재 대한전자공학회 부회장

<주관심분야> ASIC Emulation System CAD
for V131, HW/SW Co-Design, MPEG
Encoder /Decoder Design, Real- Time OS,
High- Speed Wireless LAN System