

Branch-Line 구조를 이용한 높은 방향성을 가지는 결합기 설계 및 제작

심부석, 이승철, 한대현*, 안점영*
 동의대학교 전자공학과, *동의대학교 전자공학과 교수
 전화 : 051-890-1938 / FAX : 051-890-1674

Design and Implementation of a directional coupler with high directivity using Branch Line Structure

Bu-Seok Shim, Seung-Chul Lee, Dae-Hyun Han, Jeom-Young Ahn
 Dong-Eui University Dept. of electronics Eng.
 E-mail : focus222@hanafos.com

Abstract

In this paper, we designed and implemented a 10dB directional coupler with high directivity using branch line structure. The characteristic impedance of parallel branch line for 10 dB directional coupler is about 150 Ω. To realize high characteristic impedance in microstrip line, we used the coupled line structure. The directional coupler were implemental and measured. The measured results show that the directivity is high than 24 dB.

I. 서론

일반적으로 마이크로스트립 선로는 다른 수동 및 능동 초고주파 소자를 쉽게 집적시킬 수 있으며, 사진식각 기법을 통하여 제작이 간편하여 많이 사용되고 있다. 이러한 마이크로스트립을 이용하여 방향성 결합기를 설계할 경우 우수 모드(even mode)와 기수 모드(odd mode)에서의 위상속도(phase velocity)가 달라서 방향성이 좋지 못한 결과를 가진다.

방향성 결합기의 방향성을 높이기 위한 방법으로는 보상커패시터를 이용하는 방법, interdigital 커패시터를 이용하는 방법이 연구 되었다. 본 논문에서는 branch-line 구조에서 coupled line을 사용하여 방향성을 높인 방향성 결합기를 설계하고 제작하여 측정하였다.

II. Branch-Line Directional Coupler 구조

2.1 일반적인 Branch-Line 기본 구조

일반적인 branch-line 결합기는 그림1에서 보는 것처럼 특성임피던스 Z_{0s} 의 2개의 $\lambda_g/4$ 길이의 직렬 전송선과 특성임피던스 Z_{0p} 의 2개의 $\lambda_g/4$ 길이의 병렬 전송선으로 구성되어 있다. 이상적인 브랜치 라인 결합기에서의 S-Parameter는 기준 주파수에서 다음과 같이 주어진다. 여기서 Z_o 는 포트의 임피던스를 나타낸다. [1]

$$S_{21} = -j \frac{Z_{0s}}{Z_o} \quad (1)$$

$$S_{31} = -\frac{Z_{0s}}{Z_{0p}} \quad (2)$$

$$S_{11} = 0 \quad (3)$$

$$S_{41} = 0 \quad (4)$$

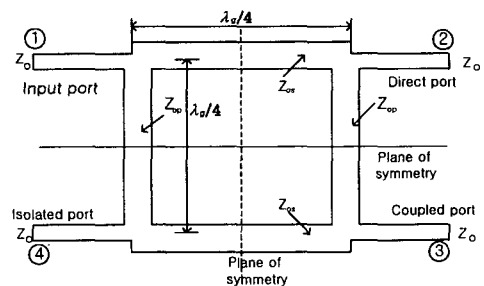


그림 1. 일반적인 Branch-Line Coupler

식(1)과 식(2)를 사용해서 Z_{0s} 와 Z_{0p} 를 구할 수 있다.

$$Z_{0s} = Z_o |S_{21}| = Z_o \sqrt{1 - |S_{31}|^2} \quad (5)$$

$$Z_{0p} = \frac{Z_{0s}}{|S_{31}|} = \frac{Z_{0s}}{\sqrt{1 - |S_{21}|^2}} \quad (6)$$

Branch-Line의 구조를 사용하여 방향성 결합기를 설계할 경우에는 위 Branch-Line의 병렬 브랜치 특성 임피던스(Z_{0p})값이 아주 크게 된다. 이럴 경우에는 마이크로스트립을 사용하면 선평이 너무 가늘게 되어 실현이 불가능하다. 이러한 Branch-Line의 단점을 보완하기 위해서 다음에 보인 Coupled Line 구조를 이용해서 높은 임피던스의 전송선을 설계할 수가 있다.

2.2 Branch-Line을 이용한 Coupled Line 구조

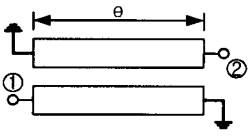


그림 2. Branch Line 구조의 Coupled Line

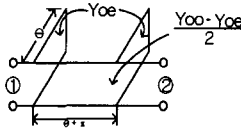


그림 3. 등가회로

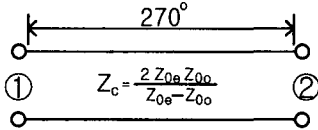


그림 4. $\theta = 90^\circ$ 일때 Coupled-Line의 등가회로

높은 임피던스의 전송선은 그림2와 같이 Coupled Line을 이용해서 구현할 수가 있다. 그림2의 $\theta = 90^\circ$ 일때의 등가회로는 그림4와 같이 나타낸다. [2]

$$Z_c = \frac{2 Z_{oe} Z_{oo}}{Z_{oe} - Z_{oo}} \quad (7)$$

전송선로의 특성임피던스는 식(7)과 같이 나타내며 Coupled Line을 이용해서 아주 높은 특성 임피던스값을 쉽게 얻을수가 있다. ($Z_{0e} \approx Z_{0o}$)

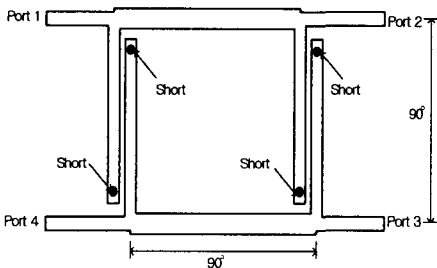


그림 5. Coupled-Line을 가지는 방향성 결합기 결합도(coupling factor)가 10 dB인 방향성 결합기를 Coupled Line 구조를 이용하여 설계 하였다.[3],[4]

먼저 $|S_{31}| = 10^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{10}}$ 가 되고

식(5)와 식(6)을 이용하면 아래와 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} Z_{os} &= Z_o \sqrt{1 - |S_{31}|^2} \\ &= 50 \sqrt{1 - |0.316|^2} \\ &= 47.4 \Omega \end{aligned} \quad \begin{aligned} Z_{op} &= \frac{Z_{os}}{|S_{31}|} \\ &= 150 \Omega \end{aligned}$$

$$\frac{Z_{0s}}{Z_{0p}} = \frac{1}{\sqrt{10}} \rightarrow Z_{0p} = \sqrt{10} Z_{0s} = 149.8 \Omega$$

$$|S_{21}| = \frac{Z_{0s}}{Z_o} = \frac{3}{\sqrt{10}} \rightarrow Z_{0s} = \frac{3}{\sqrt{10}} \times 50 = 47.4 \Omega$$

$$10 \log |S_{31}|^2 = -10 \rightarrow 20 \log |S_{31}| = -10$$

Even mode와 Odd mode에 대한 임피던스를 구하면 다음과 같이 된다.

$$Z_{0e} = Z_o \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \quad (8)$$

$$Z_{0o} = Z_o \sqrt{\frac{1-c}{1+c}} \quad (9)$$

Port의 특성 임피던스가 50Ω 이라고 하고, 10 dB Coupler를 제작 한다면, 식(8)과 식(9)를 이용하여, Even mode와 Odd mode에 대한 특성 임피던스를 아래와 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{oo} &= Z_o \sqrt{\frac{1-c}{1+c}} \\ &= 50 \sqrt{\frac{1-0.316}{1+0.316}} \\ &= 36.047 \Omega \end{aligned} \quad \begin{aligned} Z_{oe} &= Z_o \sqrt{\frac{1+c}{1-c}} \\ &= 50 \sqrt{\frac{1+0.316}{1-0.316}} \\ &= 69.37 \Omega \end{aligned}$$

그렇다면, 입력 단에서의 임피던스와 Even and Odd mode간의 임피던스 매칭의 확인을 하기 위해서는 식(10)와 식(11)이 필요하다.

$$Z_{in}^e = Z_{0e} \frac{Z_o + jZ_{oe} \tan \theta}{Z_{oe} + jZ_o \tan \theta} \quad (10)$$

$$Z_{in}^o = Z_{0o} \frac{Z_o + jZ_{oo} \tan \theta}{Z_{oo} + jZ_o \tan \theta} \quad (11)$$

Coupled Line의 길이와 Even mode와 Odd mode의 임피던스 값을 알 수 있다면 입력단의 Even과 Odd Mode의 임피던스를 구할 수 있게 된다.

$$Z_{in}^e Z_{in}^o = Z_{0e} Z_{0o} = Z_o^2 \quad (12)$$

식(12)을 만족하면 입력 Port에 대한 정합이 이루어지게 된 것이다.

Coupled Line Coupler의 제작 문제에 있어서 원하는 Even 과 Odd Mode의 임피던스를 만족시키기 위해서는 대부분 Coupled Line의 간격이 매우 좁아야 한다.

즉, Coupling을 증가시키기 위해서는 매우 높은 유전

을를 가지는 기관위에 매우 좁은 Coupling Gap를 가지도록 공정을 해야 하지만 이 자체가 Coupled Line Coupler의 사용을 힘들게 하는 것이다.[5]

III. 시뮬레이션 및 결과 분석

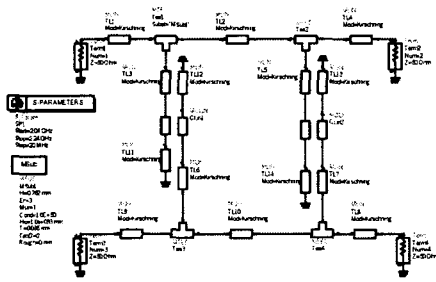


그림 6. 회로도

그림6은 위의 Even and Odd Mode의 임피던스를 만족시킨 브랜치 라인 결합기의 회로도를 나타내었다. 그리고 그림7은 회로도에 따른 레이아웃이다.

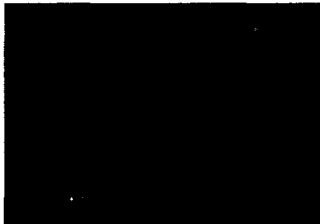


그림 7. 회로도에 따른 레이아웃

그림8, 그림9, 그림10은 2.14 GHz에서 비 유전율(ϵ_r)이 3, 도체 두께=0.035 mm, 기관의 두께(d)가 0.762 mm인 테프론 기관을 사용 하였으며 Port Width=1.87 mm, Even mode 임피던스 69.37 Ω , Odd mode 임피던스 36.047 Ω 의 값을 가지는 브랜치 라인 방향성 결합기의 시뮬레이션 결과이다.

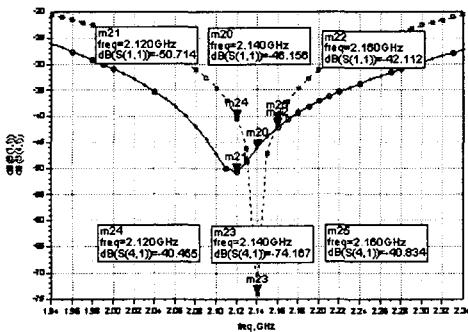


그림 8. Return Loss 와 Isolation 시뮬레이션

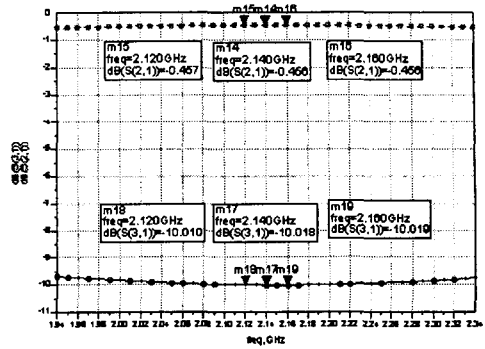


그림 9. Insertion Loss 와 Coupling 시뮬레이션

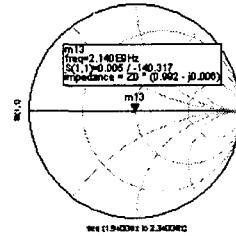


그림 10. 임피던스 정합을 보기위한 스미스차트

시뮬레이션 결과는 Coupling(S31)는 10 dB, Isolation(S41)은 최대 74 dB, Insertion Loss(S21)는 0.456 dB이고, Return Loss(S11)는 최대 50 dB인 것을 보여주고 있다. 그림10은 임피던스가 정합되었음을 보여주고 있다.

IV. 제작 및 측정결과

브랜치 라인 방향성 결합기의 실제 제작한 그림이 그림11에서 보여주고 있으며 그에 따른 측정결과를 그림 12, 그림13, 그림14 에서 보여주고 있다.

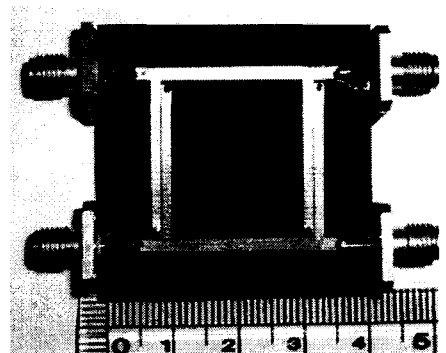


그림 11. 마이크로스트립 브랜치 라인 방향성 결합기

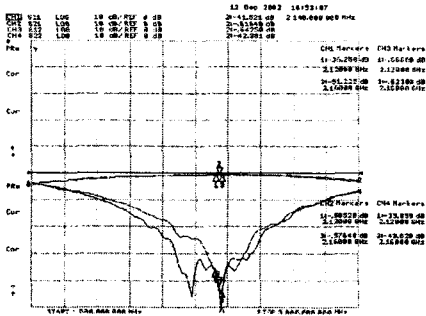


그림 12. Insertion Loss(S21) 와 Return Loss (S11)

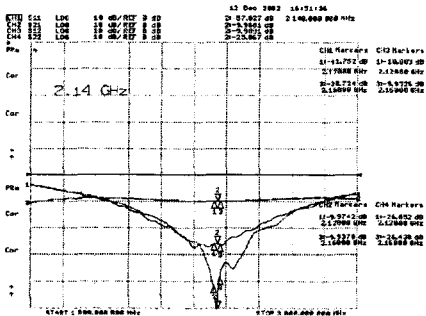


그림 13. Measured Coupling(S31)

2.14 GHz에서 비 유전율(ϵ_r)이 3이고 기판의 두께(d)가 0.762 mm인 negative 기판을 사용하고 시뮬레이션에서 얻은 파라미터 값을 이용하여 Branch-Line 방향성 결합기를 실제 제작 하였다. 제작 방법은 Mask를 negative로 만들고, 노광하고 현상한 다음 에칭하여 각각의 port에 SMA Connector를 연결하였다.

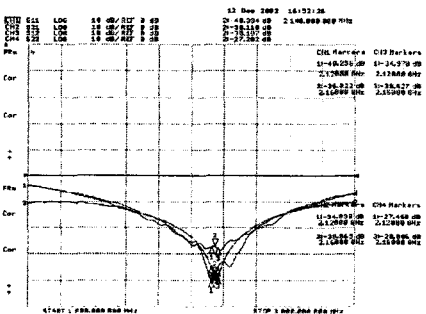


그림 14. Measured Isolation(S41)

표 1. 브랜치 라인 구조를 이용한 결합기의 측정결과

parameter	min.	Typ.	max.	Unit
Frequency Range	2120		2160	MHz
Input Return Loss	36.25		51.22	dB
Insertion Loss		0.59	0.61	dB
Coupling	9.97		9.93	dB
Isolation	34.83		38.86	dB
Directivity	24.86		28.93	dB

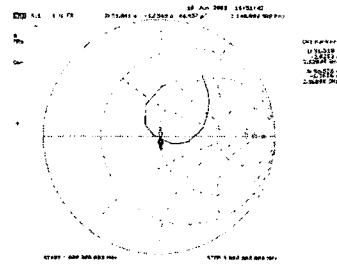


그림 15. 임피던스 정합을 보기위한 스미스차트

표1에서 측정 결과를 정리하였으며, 그림15는 실제 제작한 회로가 임피던스 정합이 맞는지 확인한 것이다.

IV. 결론

본 논문은 높은 지향성의 방향성 결합기를 설계하고자 일반적인 브랜치 구조에서 벗어나서 Coupled-Line을 이용하여서 똑같은 브랜치 라인 구조에서 높은 방향성을 얻도록 설계 하였다. Coupled Line의 Width 및 Spacing등을 변화 시켜 Coupling과 Isolation을 측정하여서 표1에서 정리 하였다. 표1에서 확인할 수 있지만 방향성이 24 dB 이상 갖는 높은 방향성 결합기를 설계 하고 측정하였다.

Reference

- [1] Rajesh Mongia, Inder Bahl, Prakash Bhartia, "RF and Microwave Coupled-Line Circuits" ARTECH HOUSE, INC. 1999.
- [2] David M. Pozar, "Microwave Engineering" WILEY, 1998.
- [3] J.W. Gipprih "A NEW CLASS OF BRANCH-LINE DIRECTIONAL COUPLER" IEEE Communication Magazine, 1993.
- [4] Jia-Liang Chen, Sheng-Fuh Chang, and Chain-Tin Wu "A High-Directivity Microstrip Directional Coupler With Feedback Compensation" IEEE Communication Magazine, . 2002.
- [5] Taek-Young Song, Jae-Ho Kim, Sang-Hyuk Kim, Jae-Bong Lim, and Jun-Seok Park "Design of a Novel Lumped Element Backward directional Coupler Based on Parallel Coupled-Line Theory" IEEE Communication Magazine, 2002.