

Interdigital 커패시터를 이용한 2단 방향성 결합기의 설계 및 제작

이 승 철, 심 부 석, *이 중 형, **한 대 현
동의대학교 전자공학과, *동의대학교 전자공학과 전임강사, **동의대학교 전자공학과 조교수
전화 : 051-890-1674

Design and implementation of a 2 stage directional coupler using interdigital capacitors

Seung-Chul Lee, Bu-Seok Shim, Jong-Hyung Lee, Dae-Hyun Han
Dept. of Electronic Engineering, Dongeui University
E-mail : rf_enjoy@hotmail.com

Abstract

In this paper, we designed and implemented a microstrip directional coupler that has high directivity at 2.14 GHz. To design coupler that has high directivity, we used interdigital capacitors instead of lumped elements.

The measured results show the directivity is higher than 30 dB at 2.14 GHz.

I. 서론

RF/MW 분야에서 중요한 부품들에는 결합기, 분배기, 전력 증폭기 등이 있다. 이 중에서 마이크로스트립 방향성 결합기는 MMIC에 쉽게 결합되기 때문에 전력 분배 및 결합용으로 마이크로파 시스템에 광범위하게 사용할 수 있다. 그러나 마이크로스트립 선로의 유전율과 공기의 유전율이 다르기 때문에 기수 모드(odd mode)와 우수 모드(even mode)에서 서로 전파의 위상속도가 달라진다. 따라서 다른 전기적 파장 길이를 갖게 되어 방향성이 좋지 않게 하는 주 요인이 된다. 방향성을 개선하기 위한 전통적인 방법은 기수 모드와 우수 모드의 위상속도를 동일하게 해서 방향성을 좋게 개선하는 것이다.

방향성을 향상시키는 방법의 하나로 결합기의 양 끝

에 보상 커패시터를 연결함으로써 방향성을 개선시키는 방법을 사용하였다. 보상 커패시터를 사용하면 우수 모드일 때는 거의 동작하지 않고, 기수 모드에서 전기적 길이를 증가시켜 간접적으로 기수 모드와 우수 모드의 다른 전기적 파장 길이를 같게 만든다. 그 결과 결합되지 않는 포트에서 우수 모드와 기수 모드는 상쇄되어 높은 지향성을 가진다. 이러한 기술은 Kajfez[1] 와 Bhartia[2] 등에 의해 연구되었다.

본 논문에서는 interdigital 커패시터를 달아서 높은 지향성을 가지는 2단(결합 포트가 2곳) 마이크로스트립 방향성 결합기를 설계하고 구현하였다.

II. 이론 및 설계

마이크로스트립 선로를 이용하여 전력을 임의로 분배할 수 있는 마이크로파 분배기/합성기를 실현하는데 사용하는 가장 유용한 구조중의 하나는 두 전송선로를 물리적으로 충분히 접근시킴으로써 두 선의 전압, 전류에 의한 전자계의 결합이 이루어지도록 구성하는 4-포트 회로망인 방향성 결합기이다.

그림1과 그림2는 방향성 결합기의 커플링 메커니즘을 보여주는 그림이다. 이때, 결합기에 TEM모드의 전파가 전달된다고 가정하면, 두 선로의 전기적인 특성은 선로 사이의 커패시턴스들과 전파 속도로 나타낼

수 있다. [3][5].

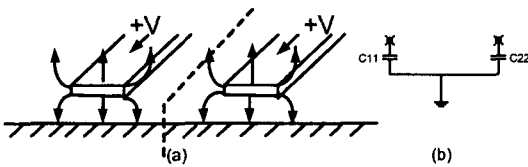


그림 1 우수 모드일 때의 그림

그림1에서 (b)는 (a)을 두 개의 커패시터로 등가 회로로 나타낸 것이다. 접지와 각 선로 사이의 커패시터 (C_e)와 특성 임피던스는 식(1)과 같다.

$$C_e = C_{11} = C_{22}, \quad Z_{0e} = \frac{1}{vC_e} \quad (1)$$

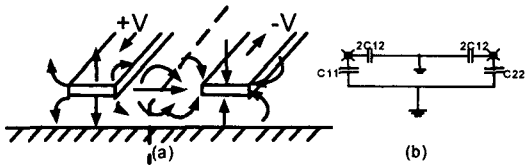


그림 2 기수 모드일 때의 그림

위의 그림은 기수 모드일 때의 두 선로 사이의 전계 (a)와 등가 회로(b)를 나타낸 것이다. 접지와 각 선로 사이의 커패시터(C_o)와 특성 임피던스는 식(2)과 같다.

$$C_o = C_{11} + 2C_{12} = C_{22} + 2C_{12}$$

$$Z_{0o} = \frac{1}{vC_o} \quad (2)$$

그 결과 평행결합 전송선로에서의 특성 임피던스와 결합도는 식(3)과 같다.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}, \quad C = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \quad (3)$$

스트립 선로의 경우에는 TEM 모드와 유사하게 전파하므로 우수 모드와 기수 모드에서 같은 위상속도를 제공하지만, 일반적으로 마이크로스트립 선로에서는 두 모드에서 각각 위상 속도가 다르다. 방향성 결합기의 지향성이 안 좋은 이유가 여기에 있다. 이를 보완하기 위해서 결합기의 각 종단에 interdigital 커패시터를 사용하여 지향성을 높여주는 방법을 사용하였다.

그림3은 이를 이용해서 설계한 방향성 결합기를 나타낸 것이며 L, W, Ge, G는 interdigital 커패시터 파라미터 값들이다. 보통 방향성 결합기의 길이가 $\lambda/4$ 일 때 방향성이 최대 값을 가지게 되고, interdigital 커패시터를 사용한 경우에는 L_o 를 $\lambda/8$ 의 길이로 해서 설계하게 된다. S는 interdigital 커패시터를 고려하지 않았을 때의 결합선로 사이의 간격이다. W_t 는 마이크로스트립 선로가 50 Ω 에 정합 되는 값을 가진다[4].

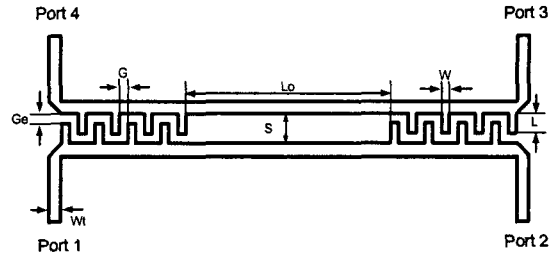


그림 3 Interdigital 커패시터를 사용한 결합기의 파라미터를 나타낸 것

본 논문에서는 2.14 GHz에서 20 dB의 결합도와 30 dB 이상의 지향성을 가지는 2단 방향성 결합기를 설계하기 위해 유전율 (ϵ_r)이 3 이고 두께가 0.762 mm 인 테프론 기판을 사용하였다.

III. 시뮬레이션 과정

그림4, 그림5는 Interdigital 커패시터 파라미터를 최적화 시켜 결합도(S31,S51)가 약 -20 dB가 되고, 지향성이 높은 방향성 결합기를 설계한 회로도 및 레이아웃을 나타낸 것이다.

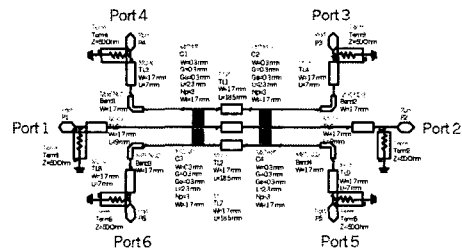


그림 4 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계한 방향성 결합기의 회로도



그림 5 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계한 방향성 결합기의 레이아웃

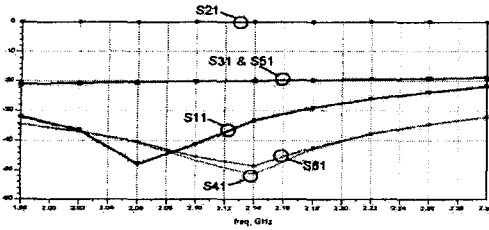


그림 6 설계한 방향성 결합기의 insertion loss, return loss, coupling factors, isolations 의 시뮬레이션 결과

그림6은 설계한 방향성 결합기의 S-parameter 결과로 S11, S21, S31와S51, S41와S61은 각각 반향 손실 (return loss), 삽입 손실(insertion loss), 결합도 (coupling factor), 분리도(isolation)을 나타낸다. 설계 목표 주파수인 2.14 GHz에서의 결합도가 -20 dB, 지향성은 30 dB이상 이 나오도록 최적화 하였다.

표 1 시뮬레이션한 결과 값을 정리한 표

Parameters		Frequency(GHz)		
		2.12	2.14	2.16
Return loss	S11(dB)	-25.099	-24.250	-23.459
Insertion loss	S21(dB)	-0.101	-0.106	-0.113
Coupling factor	S31(dB)	-20.040	-19.915	-19.789
	S51(dB)	-20.038	-19.911	-19.785
Directivity	S31과S41	28.975	31.418	27.308
	S51과S61	27.479	29.967	27.054

표1은 시뮬레이션한 결과를 개략적으로 정리하여 나타내었다.

IV. 제작 및 측정결과

그림7은 두께 0.762 mm, 유전율 3, negative 타입의 마이크로스트립 기판을 사용하여 높은 지향성을 가지는 방향성 결합기를 제작한 사진이다. 이 때, 커패시터는 SMA 타입을 사용하였고, 측정 장비로는 Agilent사의 8753ES S-parameter Network Analyzer를 사용하였다.



그림 7 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 실제 제작한 모습

그림8 의 경우는 Return loss(S11)를 측정한 그래프로 S11이 2.14 GHz에서 -27.89 dB이고, 시뮬레이션한 결과값(S11=-24.25 dB)과 비교해서 더 좋은 특성이 나왔다. 하지만, 전체적으로 비교해 보면 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 좋은 일치를 보여준다.

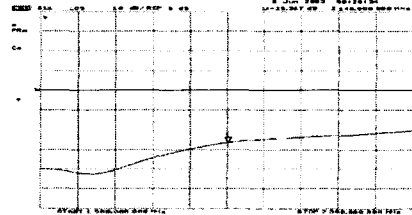


그림 8 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 Return loss를 측정한 값

삽입 손실의 측정 결과를 그림9에 보였으며, 측정 값은 0.217 dB이고 시뮬레이션 값 0.1 dB 보다 크다. 이는 제작과정의 오차 때문이라고 추정된다.

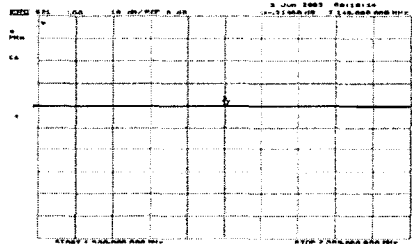


그림 9 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 Insertion loss를 측정한 값

그림10은 결합도를 나타내는 것으로, 2.14 GHz에서 S31이 -20.056 dB가 나오고 이 값 역시 시뮬레이션한 값(S31=-19.915 dB)과 비교하면 거의 일치하였다.

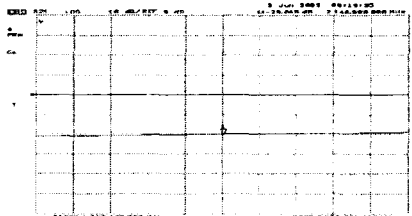


그림 10 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 coupling factor를 측정된 값

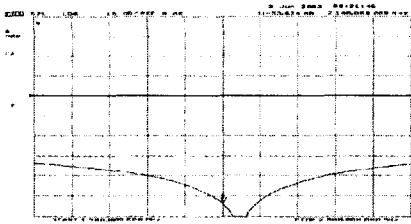


그림 11 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 isolation 측정값

그림 11은 방향성 결합기의 분리도를 나타내는 것으로 목표 주파수대인 2.14GHz에서 -53.679 dB가 나오고 시뮬레이션 값($S_{41} = -53.679$ dB)과 비교하면 좋은 일치를 보여준다. 설계 할 때 기대했던 것과 같이 30 dB 이상의 지향성을 가진다.

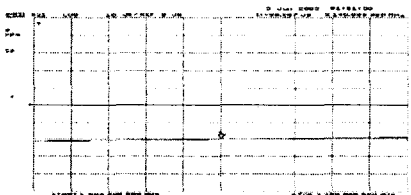


그림 12 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 Coupling factor를 측정값

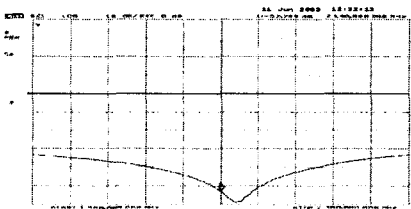


그림 13 두께가 0.762 mm, ϵ_r 이 3인 기판을 이용하여 interdigital 커패시터를 사용하여 설계하고 제작한 방향성 결합기의 Isolation을 측정값

그림12, 그림13은 각각 포트5(S_{51}), 포트6(S_{61})을 나타낸 것으로 설계 중심 주파수인 2.14 GHz에서 S_{51} 은 -20 dB, S_{61} 은 -53.458 dB로 앞에서 S_{31} 과 S_{41} 을 비교해서도 유사한 값을 가지고 있고, 시뮬레이션 값과 비교해서도 좋은 일치를 보여준다. 표2는 측정값들을 파라미터별로 개략적으로 나타내었다.

표 2 실제 제작해서 측정한 결과 값을 정리한 표

Parameters		Frequency(GHz)		
		2.12	2.14	2.16
Return loss	S_{11} (dB)	-29.632	-27.896	-26.466
Insertion loss	S_{21} (dB)	-0.257	-0.217	-0.187
Coupling factor	S_{31} (dB)	-20.189	-20.056	-19.91
	S_{51} (dB)	-20.125	-20	-19.83
Directivity	S_{31} 과 S_{41}	26.96	33.623	38.842
	S_{51} 과 S_{61}	26.767	33.458	38.752

V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 높은 지향성을 갖는 방향성 결합기를 설계하기 위해서 결합기 양단에 interdigital 커패시터를 사용하므로써 2.14 GHz에서 결합도는 -20 dB, 지향성이 30 dB이상 되는 결합기를 설계하는 과정을 살펴 보았다. 제작해서 측정한 값과 시뮬레이션 값을 비교해 보면 비교적 좋은 일치를 보여주었다. 그러나 측정 결과가 전체적으로 주파수가 왼쪽으로 20 MHz정도 쉬프트 되어 있다. 이것은 제작시 발생하는 여러 가지 오차와 기판에서 생기는 오차 등에 기인하는 것이다. 이를 보완하여 시뮬레이션하고, 제작한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

또한, 결합 포트를 두 개 가지는 방향성 결합기를 설계시에는 보통 한 단에 바로 한 단을 연결하는 식이어서, 전체 면적이 넓다. 이 면적을 줄이기 위해, 본 논문에서는 그림 7과 같은 구조로 2단을 구성하는 방법을 제시하였고, 이 방법이 옳다는 것을 증명하였다.

Reference

- [1] Kajfez. d. Raise, "Coupler Directivity With Lumped Compensations", Vol.17. No.3, pp.64-70, Mar. 1978.
- [2] Bhartia P. and I. J. Bhi, "Millimeter Wave Engineering and Applications", Wiley, pp.358-382, 1984.
- [3] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Wiley, 2000.
- [4] Jin Lin, "A study of microstrip coupler with high directivity", Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, 1998. ICMWT '98. 1998 International Conference on , 1998, pp.905-908.
- [5] Rajesh Mongia, Inder Bahl, Prakash Bhartia, "RF and Microwave coupled-line circuits", Artech House, 2000.