

평형결합선로 이론을 이용한 소형화된 집중/분포소자 방향성 결합기

김 영 태*, 박 준 석*, 정 명 섭**, 임 재 봉**

순천향대학교 정보기술공학부*

국민대학교 전자공학부**

Email : sspur@intizen.com

Lumped/Distributed Hybrid Element Directional Coupler with Reduced Size Based on Parallel Coupled-Line Theory

Young-Tae Kim, Jun-Seok Park, Myung-Sup Jung, Jae-Bong, Lim

Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang Univ.

Division of Electronic., Kookmin Univ.

Abstract

In this paper, we have designed a small size lumped/distributed hybrid element directional coupler using parallel coupled-line theory. a hybrid lumped equivalent circuit for a conventional parallel directional coupler is proposed. The equivalent circuit and design formula for the presented lumped element coupler are derived based on the even- and odd-mode properties of a parallel-coupled line. By using the derived design formula, we have extracted design parametrs and designed the 3dB and 10dB small size lumped element directional couplers at the center frequency of 2Ghz. Excellent agreements between design theory and simulation on the designed directional couplers show the validity of this paper.

1. 서 론

최근에는 이동통신의 급격한 발달로 인해 초고 주파 대역 및 마이크로파 대역에서 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic)[1]와 같은 통신소자에서와 같이 소형화 및 직접화가 필요하게 된다. 무선 통신 시스템에 필수적으로 사용되는 소자인 여파기와 듀플렉서, 커플러등 많은 무선부품 소자들이 다양한 설계기법으로 소형화 되고 있다. 본 논문에서는 무선부품 소자의 소형화와 직접화의 필요성에 의해서 방향성 결합기에 우/기 모드 계산법[2]을 적용하여 집중소자인 캐패시터와 인덕터를 이용한 등가회로[3]을 이용하여 우/기 모드 임피던스를 임의로 조절하고 등가회로의 전기적 길이와 캐패시터를 결합함으로써 기존의 90° 방향성 결합기의 크기를 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 논문의 타당성을 보이기 위해 각 등가회로 모델에 대해 3dB, 10dB 방향성 결합기를 설계하였으며 회로 시뮬레이션을 특성을 확인 하였으며 기존의 일반적인 방향성 결합기의 비교를 통해 본 논문에서 제시한 방법의 타당성을 확인 한다.

2. 설계이론

본 논문에서 새로운 개념의 등가회로 모델을 적용하기 위해서 그림 1에서 보는바와 같이 단일선로의 등가회로를 구성한 것이다. 그림 1(a)는 단일선로의 등가회로를 구현한 것이다.

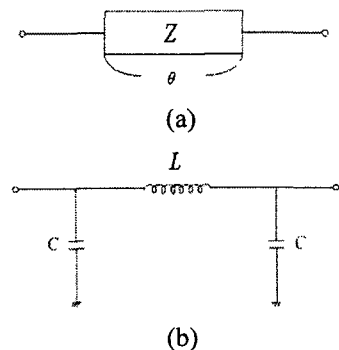


그림 1. (a) 단일 선로 (b) 단일 선로의 등가회로

식 1과 2는 그림 1(b)에서의 인덕턴스와 캐패시턴스는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C = \frac{Y}{w} \tan \frac{\theta}{2} \quad (1)$$

$$L = \frac{Z}{w} \sin \theta \quad (2)$$

식(2)에서 임의의 임피던스(Z_1)와 전기적 길이(θ_1)를 가정하면 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$L = \frac{Z}{w} \sin \theta = \frac{Z_1}{w} \sin \theta_1 \quad (3)$$

식(3)의 관계식을 이용하여 임피던스 Z_1 를 결정할 경우 임피던스 Z 와 전기적 길이 θ 에 의한 관계식에 의하여 전기적 길이 θ_1 를 결정할 수 있으며 아래와 같은 관계식으로 정리할 수 있다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{Z \sin \theta}{Z_1} \right) \quad (4)$$

식(4)에 의해 전기적 길이 θ_1 를 결정하게 되면 그림 1(a)에서의 병렬 캐패시터 관계식이 새롭게 유도된다. 위의 관계식에 의하여 선로 어드미턴스 Y 가 임의의 어드미턴스 Y_1 보다 커지기 때문에 식(1)에 의한 캐패시터는 아래와 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{Y}{w} \tan \frac{\theta}{2} > \frac{Y_1}{w} \tan \frac{\theta_1}{2} \quad (5)$$

새로운 병렬 캐패시터 C_n 는 식(5)의 차로 결정할 수 있으며 아래와 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$C_n = \frac{1}{w} \left(Y \tan \frac{\theta}{2} - Y_1 \tan \frac{\theta_1}{2} \right) \quad (6)$$

위에서 언급한 임피던스 Z_1 이 임피던스 Z 보다 크다고 가정에 의해 선로의 폭이 작아질 수 있으며 $\sin \theta$ 는 $\sin \theta_1$ 보다 커져야 하므로 선로의 길이 또한 줄일 수 있으므로 통신 부품소자의 크기를 소형화 할 수 있다. 이러한 개념을 바탕으로 방향성 결합기를 설계하였다. 그림 2는 90° 방향성 결합기 구조와 등가회로이다. 이전에 언급한 개념을 활용하여 방향성 결합기의 크기를 줄일 수 있다. 일반적인 방향성 결합기인 그림 2의 방향성 결합기 등가회로는 우/기모드 계산법을 적용하여 각각의 소자 값을 유도한다. 먼저 각각의 대칭면에 우/기모드 계산법을 적용하여 새로운 전기적 길이 θ_1 와 임피던스에 의해 대응하는 캐패

시턴스 C_e, C_o 값을 유도한다.

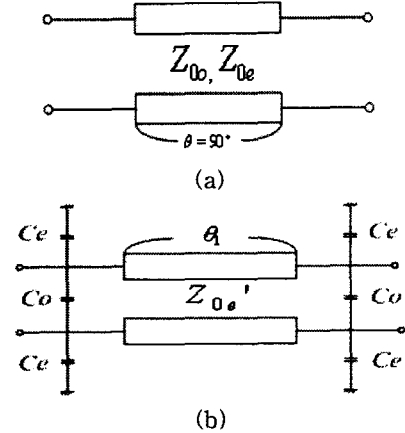


그림 2. (a) 90° 방향성 결합기 구조
(b) 90° 방향성 결합기 등가회로

우모드 계산법을 적용하게 되면 그림 3과 같은 등가회로를 얻을 수 있다.

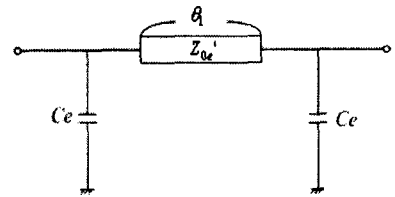


그림 3. 방향성 결합기의 우모드 적용 등가회로

식(4)의 관계식을 이용하여 우모드 Z'_{0e} 를 임의로 결정하면 새로운 전기적 길이 θ_1 을 식 7과 같이 결정할 수 있다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{Z'_{0e}}{Z_{0e}} \right) t \quad (7)$$

앞에서 유도된 식(6)의 관계식을 적용하면 캐패시턴스 C_e 을 결정할 수 있으며 식(8)과 같은 관계식으로 표현된다.

$$C_e = \frac{1}{w} \left(Y_{0e} - Y_{0e1} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) \quad (8)$$

위에서 언급한 우모드 계산 방법을 기모드 계산법에서도 동일하게 적용할 수 있으며 기모드에 해당하는 등가회로는 그림 4와 같이 표현된다.

새로운 기모드 임피던스 Z'_{0o} 는 식(3)에 의해 식(9)와 같이 표현할 수 있으며 식(6)을 이용하여 그림 2의 캐패시턴스 C_o 에 대한 관계식을 식(1)으로 정리할 수 있다.

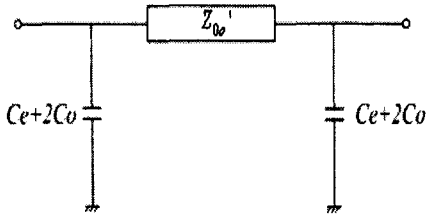


그림 4. 방향성 결합기의 기모드 적용 등가회로

$$Z'_{0o} = \frac{Z_{0o}}{\sin\theta_1} \quad (9)$$

$$C_o = \frac{1}{2w} \left(Y_{0o} - Y'_{0o} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{C_e}{2} \quad (10)$$

식 (7)~(10)의 관계식을 적용하여 임피던스 변화에 따른 설계 파라미터의 변화를 구체적으로 살펴 보았다. 그림 5는 중심 주파수가 2Ghz이고 3dB 방향성 결합기에서 새로운 등가회로의 우모드 임피던스 Z'_{0e} 와 전기적 선로길이 θ_1 의 관계를 도식화한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 우모드 임피던스 Z'_{0e} 를 130 ohm에서 200 ohm까지 증가시켰을 때 전기적 길이 θ_1 가 68°도에서 34°도까지 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

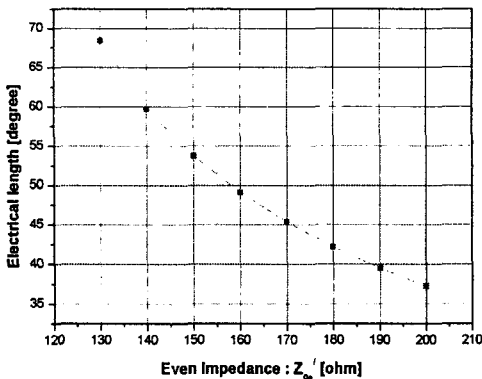


그림 5. 우모드 임피던스 Z'_{0e} 에 대한 전기적 길이 θ 변화

그림 6은 본 논문에서 제시된 방향성 결합기의 등가회로의 우모드 임피던스 Z'_{0e} 에 대한 기모드 임피던스 Z'_{0o} 변화율을 나타낸다. 그림 7과 8은 방향성 결합기를 그림 2와 같이 등가회로에서 구현하여 임의의 우모드 임피던스에 대한 캐패시턴스 C_e 와 C_o 를 그래프로 표현한 것이다. 위에서 설명한 개념을 이용하여 집중/분포소자 방향성 결합기를 설계하는데 있어서 소형화뿐만 아니라 제작하기 쉬운 소자들을 선택할 수 있다.

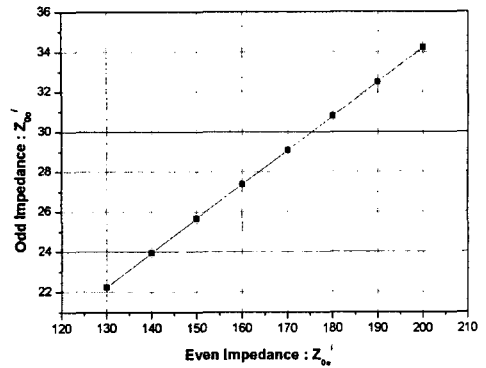


그림 6. 우모드 임피던스 Z'_{0e} 에 대한 기모드 임피던스 Z'_{0o} 변화율

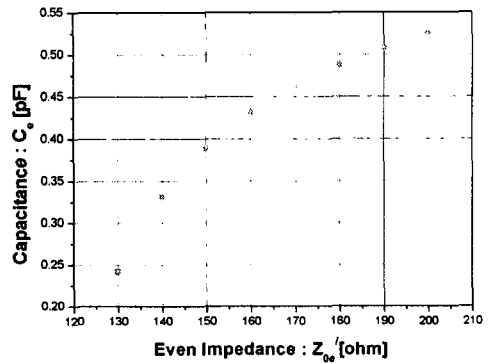


그림 7. 우모드 임피던스 Z'_{0e} 에 대한 캐패시턴스 C_e 변화

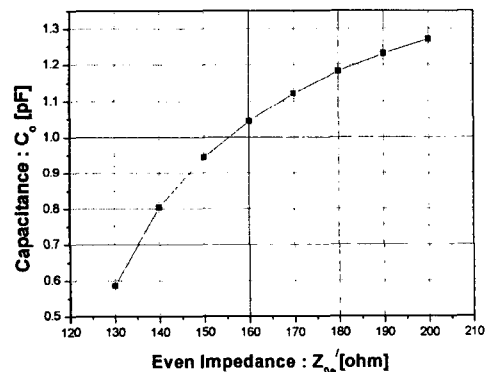


그림 8. 등가회로의 우모드 임피던스 Z'_{0e} 에 대한 캐패시턴스 C_o 변화

표 1에서는 본 논문에서 제시한 이론을 이용하여 중심 주파수 2Ghz에서 3dB와 10dB 소형화된 방향성 결합기를 설계 파라미터를 추출하였다.

표 1. 3dB, 10dB 소형화된 집중분포 소자 방향성 결합기 설계 파라미터 추출

주파수 2Ghz 단위 : [pF], [ohm]	설계 파라미터	3dB	10dB
기모드 캐패시턴스	C_{0o}	0.944	0.381
우모드 캐패시턴스	C_{0e}	0.389	0.823
기모드 임피던스	Z_{0o}	20.978	36.1
우모드 임피던스	Z_{0e}	120.903	69.5
등가회로 기모드 임피던스	Z'_{0o}	2.565	51.942
등가회로 우모드 임피던스	Z'_{0e}	150	100
전기적길이	θ	53.708	44.027

표1의 설계 파라미터의 검증을 위해서 상용 회로 시뮬레이션 프로그램인 Ansoft사의 Serenade를 이용하여 회로 시뮬레이션을 하였다. 그림 9에서는 보는 바와 같이 산란행렬 S_{31} 에서 커플링이 정확히 3dB가 됨을 확인할 수 있었으며 그림 10에서도 10dB 방향성 결합기 설계 이론이 정확하다는 것을 확인할 수 있다.

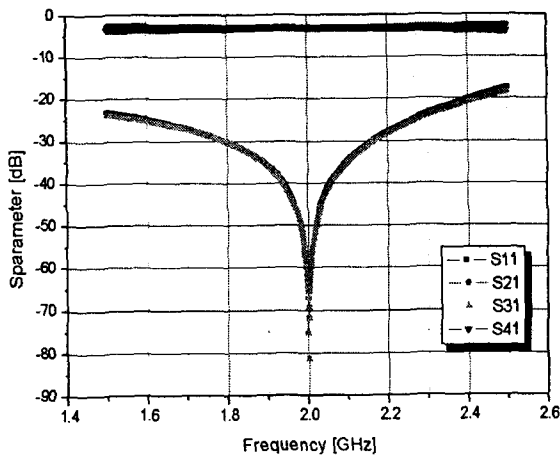


그림 9. 3dB 소형 방향성 결합기 회로 시뮬레이션 결과

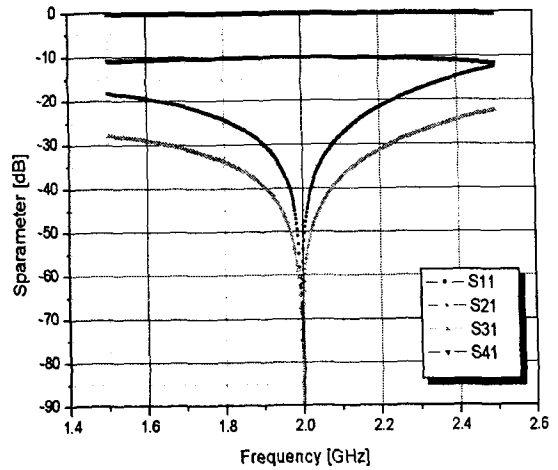


그림 10. 10dB 소형 방향성 결합기 회로 시뮬레이션 결과

4. 결 론

본 논문에서는 평형결합선로 이론을 이용한 소형화된 집중/분포소자 방향성 결합기를 설계하였다. 기존의 일반적인 90° 방향성 결합기 등가회로에서 집중 소자인 캐패시터를 이용하여 새로운 등가회로를 제시하고 우/기모드 계산법을 활용하여 방향성 결합기의 크기를 소형화 할 수 있는 설계 파라미터를 추출하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 검증하기 위해서 중심 주파수 2Ghz에서 3dB와 10dB 방향성 결합기를 설계한 결과 90° 방향성 결합기에 전기적인 선로의 길이와 선로 폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제시된 소형 크기의 방향성 결합기는 LTCC와 같은 다층구조의 기법을 통해 작은 크기의 칩 제작시 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Sutono, A., Heo, D., Emery Chen, Y.-J., "High-Q LTCC based passive library for wireless system on package module development", IEEE Trans on, vol.49, pp.1715-1724, Oct. 2001
- [2] Rajesh Mongia, Inder bahi, and Parakash Bhartia, " RF and Microwave Coupled Line Circuits", Artech House, pp.181-193, 1999
- [3] YC Chiang and C-Y Chen, "Design of lumped-element quadrature coupler", Electron Lett., vol.34, pp.465-466, Mar. 1998