

평행 결합선로 이론에 근거한 MMIC 집중 소자형 방향성 결합기

강명수*, 정명섭*, 박준석*, 임재봉*, 조홍구*, 이재학**, 김형석***
 국민대학교*, 웨이브 아이시스**, 중앙대학교***

Lumped Element MMIC Direction Coupler Based on Parallel Coupled-Line Theory

Myung-soo Kang*, Jun-Seok Park*, Myung-sup Joung*, and Jae-Bong Lim*, Hong-Goo Cho*,
 Jae-Hak Lee**, Heong-Seok Kim***

School of Electrical Engineering, Kookmin University*, Waveics co. Ltd**,
 School of Electrical and Electronics Engineering, Chung Ang Univ***

Abstract - In this paper, a lumped equivalent circuit for a conventional parallel directional coupler is proposed. The equivalent circuit and design formula for the presented lumped element coupler is derived based on the even- and odd-mode properties of a parallel-coupled line. By using the derived design formula, we have designed the 3dB and 4.7dB lumped element directional couplers at the center frequency of 3.4GHz and 5.6GHz. A chip type directional coupler has been designed to fabricate with MMIC(Monolithic Microwave integrated circuit) process. Excellent agreements between simulations and measurements on the designed directional couplers show the validity of this paper.

1. 서 론

이동통신의 발달은 통신기기의 소형화에 따라 점차 신뢰성이 높고 광대역에서 사용하면서도 작은 크기의 통신 부품을 요구하게 되었다. 실제로 현재까지 여파기와 듀플렉서 방향성 결합기등 많은 무선부품 소자들이 여러 방법으로 소형화에 성공하여 상용화 되었다. 본 논문에서는 방향성 결합기에 우/기 모드 계산법을 사용하여 상호 인덕턴스가 제외된 자기 인덕턴스와 자기 커패시턴스만을 가지는 T형 등가회로 모델을 사용하여 집중소자형 방향성 결합기를 설계하였다. T형 등가회로 모델에 대해 3dB, 4.7dB 방향성 결합기를 설계하였고, MMIC 라이브리리의 L, C 등가회로 모델을 이용하여 집중 소자형 MMIC방향성 결합기를 회로시뮬레이션을 하였다. 그리고 각 소자들 간의 접합선로를 고려한 시뮬레이션을 통해 MMIC방향성 결합기의 실제구현이 가능한지를 검증하였다. 설계된 MMIC방향성 결합기의 실제 구현 사이즈는 1x1mm로서 마이크로파 회로의 직접화 및 소형화에 사용 가능할 것으로 예상된다.

2. 본 론

2.1 설계이론

그림 1은 T형 방향성 결합기의 등가회로 모델이며, 그림 2는 대칭면을 가지는 방향성 결합기와 등가회로이다.

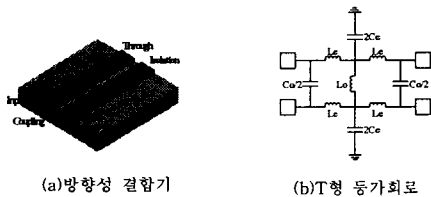


그림1. 방향성 결합기와 등가회로

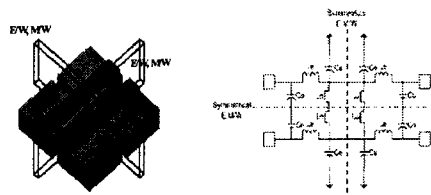


그림 2. 대칭면을 가지는 방향성 결합기와 등가회로

그림 1.에서 보인 평행 결합 방향성 결합기의 등가회로는 자기 인덕턴스와 자기 커패시턴스만을 가지므로 쉽게 집중소자로 나타낼 수 있다. 평행 결합 방향성 결합기는 그림 2.(a)에서 보인 것처럼 두개의 대칭면을 갖는다. 제시한 등가회로 역시 평행 결합 방향성 결합기처럼 대칭면을 갖는다고 가정하고 각각의 대칭면에 우/기 모드를 인가하였을 때의 전기적 길이와 임피던스를 계산하여 각각의 소자 값을 유도 한다.

그림 1.(a) T형 등가회로에 대해 유도하면, 먼저 가로축에 우 모드인 경우의 등가회로는 아래의 그림과 같다.

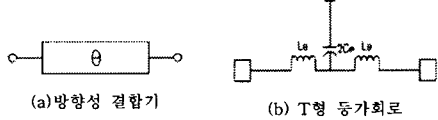


그림 3. 가로축이 우 모드인 경우 등가회로

여기서, 세로축으로 우/기 모드인 경우 각각의 등가회로는 그림 4.에서와 같이 표현된다.

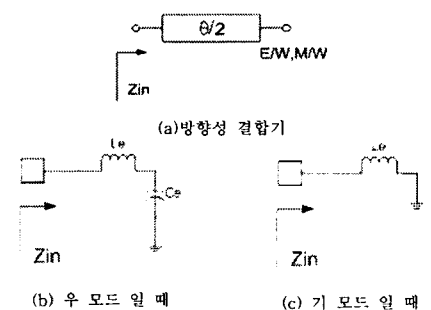


그림 4. 세로축이 우/기 모드 일 때의 등가회로
 그림4.의 두 등가회로와 전송선로의 입력 임피던스를 비교하여 각 소자값을 유도하여 보자. 첫 번째, 기 모드인 경우 그림 4 (a)의 전송선로의 입력임피던스는 식(1)과 같다.

$$Z_m = Z_{0c} \frac{Z_L + jZ_{0c} \tan \frac{\theta}{2}}{Z_{0c} + jZ_L \tan \frac{\theta}{2}} \quad Z_L = 0$$

$$Z_m = jZ_{0c} \tan \frac{\theta}{2}$$

(1) 그림 4 (c) 등가회로의 입력임피던스는 식 (2)와 같다.

$$Z_m = j\omega L_c$$

(2) 식(1)과 식(2)를 비교하여 L_c 를 유도하면식(3)과 같다.

$$L_c = \frac{Z_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$$

(3) 두 번째, 우 모두인 경우, 그림 4(a)의 전송선로 입력 임피던스는 식(4)와 같다.

$$Z_m = Z_{0c} \frac{Z_L + jZ_{0c} \tan \frac{\theta}{2}}{Z_{0c} + jZ_L \tan \frac{\theta}{2}} \quad Z_L = \infty$$

$$Z_m = -jZ_{0c} \cot \frac{\theta}{2}$$

그림 4(b) 등가회로의 입력 임피던스는 식(5)와 같다.

$$Z_m = j\omega L_c + \frac{1}{j\omega C_c}$$

(5) 식(4)와 식(5)를 비교하여 C_c 를 유도하면 식 (6)과 같다.

$$C_c = \frac{1}{2\omega Z_{0c}} \sin \theta$$

(6) 그림 1.(a) T형 등가회로에 대해 가로축이 기 모드인 경우의 등가회로는 아래의 그림과 같다.

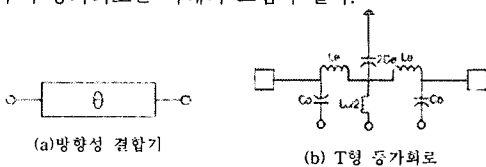


그림5. 가로축이 기 모드 일 때의 등가회로

여기서, 세로축으로 우/기 모드 일 때의 등가회로는 그림 6과 같이 표현된다.

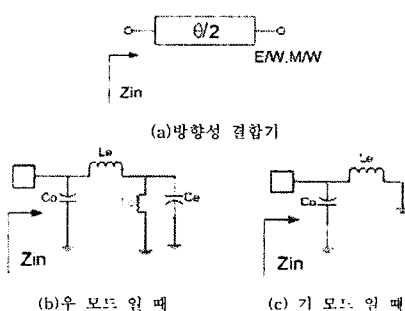


그림 6. 세로축이 우/기 모드 일 때의 등가회로

그림6.의 두 등가회로와 전송선로의 입력 임피던스를

비교하여 각 소자 값을 유도하여 보자. 첫 번째, 기 모드인 경우 그림 6 (a)의 전송선로의 입력임피던스는 식(7) 같다.

$$Y_m = Y_{0c} \frac{Y_L + jY_{0c} \tan \frac{\theta}{2}}{Y_{0c} + jY_L \tan \frac{\theta}{2}} \quad Y_L = \infty$$

$$Y_m = -jY_{0c} \cot \frac{\theta}{2}$$

그림 6(c) 등가회로의 입력 임피던스는 식(8)와 같다.

$$Y_m = j\omega C_c + \frac{1}{j\omega L_c}$$

(8) 식(7)과 식(8)을 비교하여 C_c 를 유도하면 식 (9)과 같다.

$$C_c = \frac{1}{\omega^2 L_c} - \frac{Y_{0c} \cot \frac{\theta}{2}}{\omega}$$

(9) 두 번째, 우 모두인 경우, 그림 6(a)의 전송선로 입력 임피던스는 식(10)과 같다.

$$Y_m = Y_{0c} \frac{Y_L + jY_{0c} \tan \frac{\theta}{2}}{Y_{0c} + jY_L \tan \frac{\theta}{2}} \quad Y_L = 0$$

$$Y_m = jY_{0c} \tan \frac{\theta}{2}$$

(10) 그림 6(b) 등가회로의 입력 임피던스는 식(11)과 같다.

$$Y_m = j\omega C_c + \frac{1}{j\omega L_c + \frac{1}{j(\omega C_c - \frac{1}{\omega L_c})}}$$

(11) 식(10)과 식(11)을 비교하여 L_c 를 유도하면 식 (12)와 같다.

$$L_c = \frac{1}{\omega^2 C_c - \left(\frac{1}{\omega L_c \left(\omega C_c - Y_{0c} \tan \frac{\theta}{2} \right) - 1} \right)}$$

표 1. T형 등가회로의 소자값

그림1(b)의 T형 등가회로
$C_c = \frac{1}{2\omega Z_{0c}} \sin \theta$
$L_c = \frac{Z_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$
$C_o = \frac{1}{\omega^2 L_c} - \frac{Y_{0c} \cot \frac{\theta}{2}}{\omega}$
$L_o = \frac{1}{\omega^2 C_c - \left(\frac{1}{\omega L_c \left(\omega C_c - Y_{0c} \tan \frac{\theta}{2} \right) - 1} \right)}$

T형 등가회로의 소자값 유도식을 정리하면 표1과 같다.

2.2 시뮬레이션및 측정

그림 1(b)의 T형 방향성결합기 회로를 각각 3dB방향성 결합기는 3.4GHz에서, 4.7dB방향성 결합기는 5.6 GHz에서 설계하였으며, 각각의 소자값은 다음 표에서 보여진다.

표 2. T형 구조의 방향성 결합기의 3dB, 4.7dB에서의 소자값

	3dB @3.4GHz	4.7dB @5.6GHz
Ce [pF]	1.149	0.5815
Le [nH]	0.98	0.73
Co [pF]	1.87	0.808
Lo [nH]	0.4	0.53

그림 7은 MMIC 방향성 결합기의 시뮬레이션 회로도이며, GaA기판의 사양인 유전율12.9와 높이 95um를 적용하고 접합선로와 손실이 있는 소자를 적용한 회로도이다.

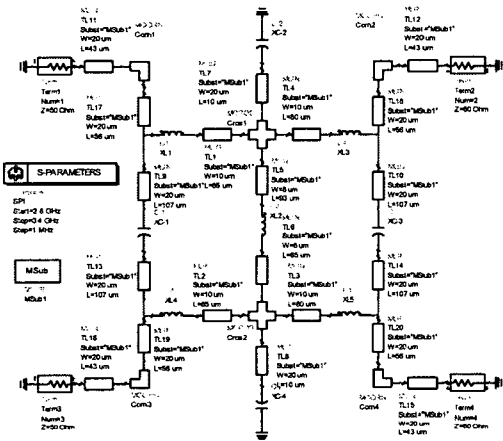


그림7. MMIC 집중소자형 방향성 결합기의 회로도

그림8은 3.4GHz에서 설계한 방향성 결합기의 시뮬레이션과 실제 측정된 비교 데이터이다. 삽입손실은 시뮬레이션에서 -19dB 측정된 데이터에서 -20.5dB, 커플링 값은 각각 -4dB, -5dB, 아이솔레이션 특성은 각각 -36dB, -37dB를 나타내었다. 그리고 손실은 각각 -5dB, -6dB를 나타내었다. 그림9는 5.6GHz에서 설계한 방향성 결합기의 시뮬레이션과 실제 측정된 비교 데이터이다. 삽입손실은 시뮬레이션에서 -19.2dB 측정된 데이터에서 -24dB, 커플링 값은 각각 -5.2dB로 동일하였다. 아이솔레이션 특성은 각각 -31dB, -30dB를 나타내었다. 그리고 손실은 각각 -3.3dB, -4.5dB를 나타내었다.

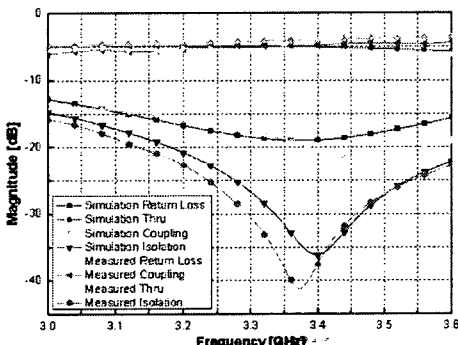


그림 8. 3dB 3.4GHz 방향성 결합기 데이터

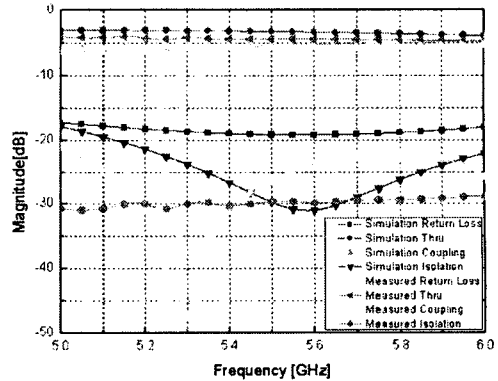
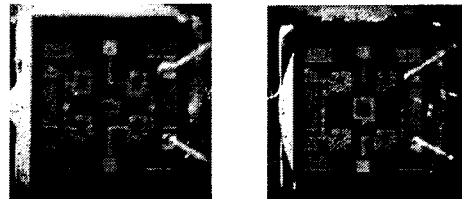


그림 9. 4.7dB 5.6GHz 방향성 결합기 데이터

데이터 값이 설계 치와 차이를 보이는 이유는 소자에 공정에 적용할 수 있는 로스모델을 사용하였기 때문이다. 그림 10은 실제 제작된 집중 소자형 MMIC 방향성 결합기 모습이다. 제작된 크기는 1mm×1mm이다.



(a)4dB 방향성 결합기 (b)5.2dB 방향성 결합기
그림 10. 제작된 집중소자형 MMIC방향성 결합기

3. 결 론

본 논문에서는 평행 결합선로 이론에 근거한 집중 소자형 T형 방향성 결합기 등가회로에 대하여 논하였다. 집중소자형 방향성 결합기는 우/기 모드 계산법을 사용하여 상호 인덕턴스를 제거시켰다. 그리고 자기 인덕턴스와 자기 커패시턴스만을 가지는 등가회로 모델들을 제시하고 소자 값을 유도하였다. 회로 모델에 대해 3dB, 4.7dB 방향성 결합기를 각각 3.4GHz와 5.6GHz에서 회로 시뮬레이션을 통해 접합선로를 고려하여 설계하였다. 또한 나리지온의 라이브러리를 이용하여 실제 MMIC로 제작하여 결과의 타당성을 검증하였다.

[참고 문헌]

- [1] Arai, S. et. Al. "A 900Mhz 90 degree hybrid for QPSK modulator," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp.857-860, 1991.
- [2] Hagerheiden, J., M. Ciminera, and G. Jue, "Improved planar spiral transformer theory applied to a miniature lumped element quadrature hybrid," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-45, pp.543-545, Apr. 1997.
- [3] Y.C. Chiang and C-Y Chen, "Design of a wide-band lumped-element 3-dB quadrature coupler," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.MTT-49, pp.476-479, Mar. 2001.
- [4] Rajesh Mongia, Inder bahi, and Prakash Bhartia "RF and Microwave Coupled Line Circuits," Artech House pp.181-193.1999.
- [5] T-Y. song, J.H. Kim and S-H. Kim, J-S. Park, J-B. Lim, "Design of a Novel Lumped Element Backward Directional Coupler Based on Parallel Coupled-Line Theory" *IMS2002* pp.213-216 2002