

평행 결합선로 이론에 근거한 새로운 집중 소자형 방향성 결합기

Novel Lumped Element Backward Directional Couplers Based on the Parallel Coupled-Line Theory

박 준 석 · 송 택 영*

Jun-Seok Park · Taek-Young Song*

요 약

본 논문은 평행 결합 선로의 집중 소자형 등가회로를 이용한 방향성 결합기 설계 이론을 제안하였다. 이 등가 회로는 단지 자기 인덕턴스와 커패시턴스만을 가지며 이로 인해 정확한 집중 소자형 등가회로를 설계할 수 있는 장점을 제공한다. 본 논문에서 제시한 평행 결합선로의 등가회로와 등가 파라미터 추출식은 평행 결합 선로와 이 등가회로의 우 · 기 모드 특성의 등가관계를 이용하여 유도하였고, 본 논문에서 제시된 평행결합선로의 각 집중소자 등가회로 모델로 3 dB, 10 dB 방향성 결합기를 설계하여 시뮬레이션 결과와 실제 제작하여 측정 한 결과를 비교하였다. 또한 LTCC 기술의 적용을 위하여 다층구조를 갖는 칩형태의 2 GHz대 집중소자형 방향 성 결합기를 본 논문에서 제시한 등가회로 구조를 사용하여 설계하고, 상용 전자장 시뮬레이터를 사용하여 설계 결과를 검증하였다.

Abstract

In this paper, novel lumped equivalent circuits for a conventional parallel directional coupler are proposed. This novel equivalent circuits only have self inductance and self capacitance, so we can design exact lumped equivalent circuit. 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 3 dB and 10 dB lumped element directional couplers at the center frequency of 100 MHz and 2 GHz, respectively a chip type directional coupler has been designed with multilayer configurations by employing commercial EM simulator. Designed chip-type directional couplers have a 3 dB-coupling value at the center frequency of 2 GHz and fabricated lumped directional coupler on fr4 organic substrate has a 3 dB, 10 dB-coupling values at the center frequency of 100 MHz. Excellent agreements between simulation results and measurement results on the designed directional couplers show the validity of this paper. Furthermore, in order to adapt to multi-layer process such as Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC), chip-type lumped element couplers have been designed by using this method.

Key words : Parallel Coupled-line, Lumped Equivalent Circuit, Lumped Element Directional Coupler

I. 서 론

이동통신 및 무선통신 단말기술의 발달과 통신기

기의 소형화 추세로 인하여 점차 신뢰성이 높고 광 대역 특성을 제공하고 작은 부피의 무선통신 부품에 대한 필요성이 증가하게 되었다. 반도체 기술 및 패

「본 논문은 2003년도 국민대학교 신진교수 연구지원금으로 수행된 연구임.」

국민대학교 전자정보통신공학부(School of Electrical Engineering, Kookmin University)

*(주)웨이브아이씨스(Wavics Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20030523-078

· 수정완료일자 : 2003년 7월 4일

키지 기술의 급격한 발달로 인하여 무선통신용 능동 부품의 저가격화 및 소형화가 실현되어 다양한 형태로 실제 시스템에 적용되고 있다. 그러나 세라믹 재료를 사용하여 구현된 단말기용 대역통과 여파기, 듀플렉서, 방향성 결합기 등과 같은 수동부품들은 능동부품과 비교하여 비교적 부피가 큰 제약을 가지고 있으나, 필터 및 듀플렉서의 경우 SAW(Surface Acoustic Wave)나 FBAR(Film Bulk Acoustic Wave)와 같은 소형화 기술을 적용하여, 현재 다양한 이동통신 및 무선통신 단말기 시스템에 적용되고 있다^[1].

본 논문에서는 이러한 무선통신 수동부품의 소형화의 일환으로 무선통신 시스템의 핵심 수동부품중의 하나인 방향성 결합기의 소형화를 위하여 방향성 결합기의 집중정수소자형 등가회로를 제시하고, 병렬 결합선로 이론을 바탕으로 집중소자만으로 구성된 결합기 설계 식을 유도하였다. 본 논문에서는 전송선로의 집중정수소자 등가모델 형태에 따라 π 형 2종과 T형 2종, 총 4종류의 집중정수소자형 결합선로 등가회로를 제시하고, 각각의 결합선로 등가회로에 대하여 병렬 결합선로의 우·기 모드 조건에서의 입력 임피던스 또는 입력 어드미턴스를 추출하여 상호 인덕턴스(Mutual Inductance)가 제거된 자기 인덕턴스(Self Inductance)와 커패시턴스만을 가지는 새로운 집중정수소자형 방향성 결합기 설계 식을 유도하였다^{[2]-[7]}.

본 논문에서 제시된 4가지 형태의 집중정수소자형 방향성 결합기 구조 및 설계 식을 사용하여 100 MHz에서 10 dB 결합량을 갖는 방향성 결합기를 설계하여, 제작하여 측정하였다.

또한, 무선통신 단말기 시스템에 적용 가능한 방식인 저온동시소결 세라믹(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술과 같은 다층구조를 갖는 소형 칩 형태로 방향성 결합기를 본 논문에서 제시한 집중정수소자형으로 2 GHz에서 3 dB 결합량을 갖도록 설계하였다. 다층 세라믹 구조를 갖는 설계된 집중정수형 방향성 결합기 구조를 상용 전자자 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였고, 그 결과를 회로 시뮬레이션 결과와 비교하여 나타내었다.

II. 집중소자형 방향성 결합기

2-1 평행 병렬 결합선로의 집중소자형 등가모델

본 논문에서 제시한 병렬평행 결합선로 방향성 결합기의 4가지 형태의 집중정수 소자 등가회로들을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 방향성 결합기의 등가회로는 병렬 결합선로의 우모드 전송선로에 대한 집중정수 등가회로의 형태에 따라 π 형과 T형으로 구분되고, 본 논문에서는 π 형과 T형 각각 2가지의 형태의 등가회로를 제시하였고, 각 π 형과 T형 방향성 결합기는 결합기 회로에서 각 포트간 결합량을 결정하는 기모드 결합소자에 따라 CLC형과 LCL형으로 구분된다. 상호 인덕턴스(Mutual Inductance)를 갖는 기존의 집중정수 소자형 방향성 결합기와 비교하여 본 논문에서 제시한 집중소자형 방향성 결합기는 그림 1에 나타낸 바와 같이 자기 인덕턴스(Self Inductance)와 커패시턴스만을 포함하므로 용이하고 정확한 설계과정을 제공하는 장점을 갖는다^{[6],[7]}.

그림 1에 나타낸 집중소자형 방향성 결합기의 L_o 와 C_o 각각 평행 결합선로 방향성 결합기 모델에서 우·기 모드의 특성 임피던스의 차이를 나타내고, 결합기의 결합도를 결정하는 기모드 집중소자 파라

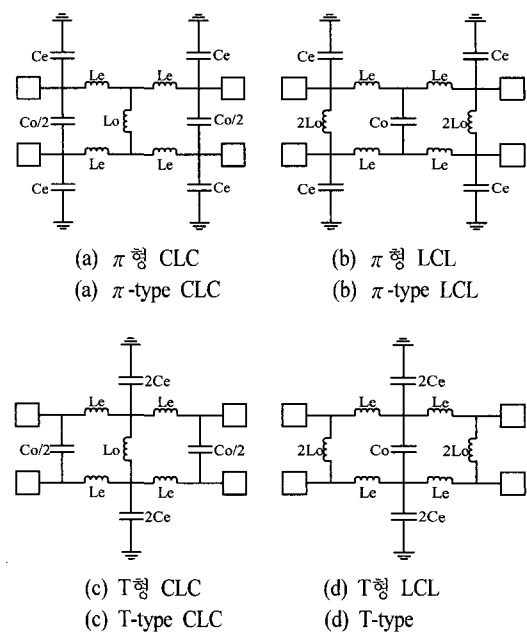


그림 1. 집중소자형 방향성 결합기 회로
Fig. 1. Lumped-type directional couplers.

미터를 나타낸다. 그리고 L_e 와 C_e 는 평행 병렬 결합 선로의 우모드 전송선로의 집중소자 등가회로 파라미터를 나타낸다.

2-2 집중소자형 방향성 결합기 설계 이론

그림 2(a)에 나타난 바와 같이 평행 결합 선로의 방향성 결합기는 두 개의 대칭면을 갖는다. 본 논문에서 제시한 집중소자형 방향성 결합기 회로 역시 결합선로형 방향성 결합기와 마찬가지로 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 두 개의 대칭면을 갖는다. 본 논문에서는 집중소자형 방향성 결합기 회로와 평행 결합선로형 방향성 결합기 회로에 대하여 각 우·기 모드 등가회로를 구하고 각 모드의 등가회로에서 입력 임피던스 또는 입력 어드미턴스사이의 등가관계를 이용하여 집중소자형 방향성 결합기의 설계식을 유도한다^[7].

그림 2에 나타난 병렬 결합선로 방향성 결합기와 π 형 집중소자 방향성 결합기의 종 방향의 대칭면을 기준으로 우 모드가 여진된 경우 각각의 우 모드 등가회로는 그림 3(a)와 (b)로 나타낼 수 있다. 우선 이러한 병렬 결합선로 방향성 결합기의 우 모드 등가회로의 횡 방향 대칭면에 대한 우 모드 등가회로 입

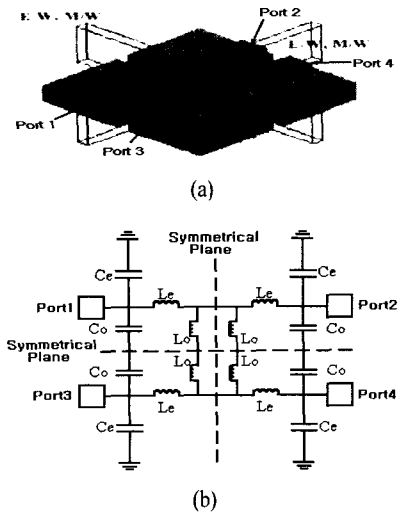


그림 2. (a) 평행 결합선로 방향성 결합기의 대칭면, (b) π 형 CLC 방향성 결합기의 대칭면

Fig. 2. (a) Symmetrical planes of parallel coupler-line directional coupler, (b) Symmetrical planes of π -type CLC directional coupler.

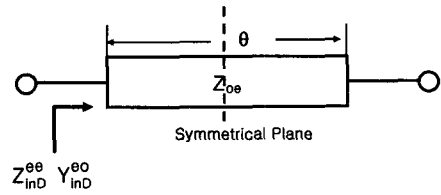
력 임피던스를 구하면 다음과 같다.

$$Z_{inD}^{ee} = Z_{oe} \frac{Z_L + jZ_{oe} \tan \frac{\theta}{2}}{Z_{oe} + jZ_L \tan \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

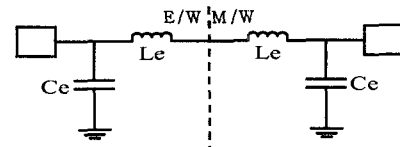
여기서 우 모드 등가회로의 횡 단면에서의 종단조건은 다음과 같다.

$$Z_L = \infty \quad (2)$$

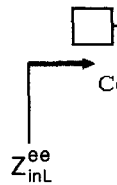
따라서 병렬 결합선로 방향성 결합기의 우 모드 전송선로에 대한 우 모드 조건 하에서의 입력 임피던스는 다음 식으로 나타낼 수 있다.



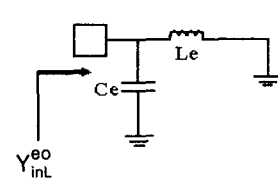
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. (a) 병렬 결합선로 방향성 결합기의 우 모드 전송선로, (b) π 형 CLC 방향성 결합기의 우 모드 등가회로, (c) π 형 CLC 방향성 결합기 우 모드 등가회로의 우 모드 종단회로, (d) π 형 CLC 방향성 결합기 우 모드 등가회로의 기 모드 종단회로

Fig. 3. (a) Even mode transmission line of a parallel coupled-line directional coupler, (b) Even-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler, (c) Even-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler with even-mode termination, (d) Even-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler with odd-mode termination.

$$Z_{i\ nD}^{ee} = -jZ_{0e}\cot\frac{\theta}{2} \quad (3)$$

그리고 그림 3(b)에 나타낸 π 형 CLC 방향성 결합기의 우 모드 등가회로의 횡 방향 대칭면에 대한 우 모드 등가회로의 입력 임피던스를 구하면 다음과 같고,

$$Z_{i\ nL}^{ee} = \frac{1}{j\omega C_e} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4) 사이의 등가관계로부터 π 형 CLC 방향성 결합기의 우모드 커패시턴스를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_e = \frac{Y_{0e}}{\tan\theta} \quad (5)$$

같은 방법으로 그림 3(a)와 (b)에 나타낸 방향성 결합기 각각의 우 모드 등가회로에 대하여 기 모드 종단조건을 적용하여 입력 어드미턴스를 구하면, 병렬 결합선로의 경우 입력 어드미턴스는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Y_{i\ nD}^{eo} = -jY_{0e}\cot\frac{\theta}{2} \quad (6)$$

그리고 그림 3(d)에 나타낸 π 형 CLC 방향성 결합기의 우 모드 등가회로의 횡 방향 대칭면에 대한 기 모드 등가회로의 입력 어드미턴스를 구하면 같다.

$$Y_{i\ nL}^{eo} = \frac{1}{j\omega L_e} + j\omega C_e \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7) 사이의 등가관계로부터 π 형 CLC 방향성 결합기의 우모드 인덕턴스를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$L_e = \frac{Z_{0e}}{\sin\theta} \quad (8)$$

그림 3의 경우와 마찬가지로 병렬 결합선로 방향성 결합기와 π 형 집중소자 방향성 결합기의 종 방향의 대칭면을 기준으로 기 모드가 여진된 경우 각각의 기 모드 등가회로는 그림 4(a)와 (b)로 나타낼 수 있다. 병렬 결합선로 방향성 결합기의 기 모드 등가회로의 횡 방향 대칭면에 대한 우 모드 등가회로 입력 임피던스를 구하면 다음과 같다.

$$Y_{i\ nD}^{eo} = -jY_{0o}\cot\frac{\theta}{2} \quad (9)$$

그리고 π 형 CLC 방향성 결합기의 기 모드 등가회로의 횡 방향 대칭면에 대한 우 모드 등가회로의 각각의 입력 어드미턴스를 구하면 같다.

$$Y_{i\ nL}^{eo} = j\omega(C_e + C_o)\frac{1}{j\omega L_e} \quad (10)$$

식 (9)과 식 (10) 사이의 등가관계로부터 π 형

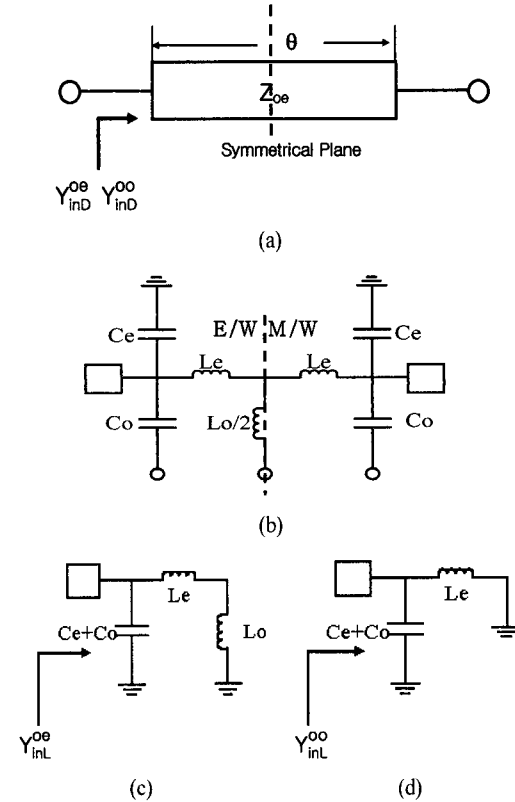


그림 4. (a) 병렬 결합선로 방향성 결합기의 기 모드 전송선로, (b) π 형 CLC 방향성 결합기의 기 모드 등가회로, (c) π 형 CLC 방향성 결합기 기 모드 등가회로의 우 모드 종단회로, (d) π 형 CLC 방향성 결합기 기 모드 등가회로의 기 모드 종단회로

Fig. 4. (a) Odd mode transmission line of a parallel coupled-line directional coupler, (b) Odd-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler, (c) Odd-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler with even-mode termination, (d) Odd-mode equivalent circuit of π -type CLC coupler with odd-mode termination.

표 1. π 형 집중소자 방향성 결합기 설계 수식
Table 1. Design Formulas of π -type Lumped directional couplers.

π 형 CLC 방향성 결합기	π 형 LCL 방향성 결합기
$C_c = \frac{Y_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$	$C_c = \frac{Y_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$
$L_c = \frac{Z_{0c}}{2\omega} \sin \theta$	$L_c = \frac{Z_{0c}}{2\omega} \sin \theta$
$C_o = -\frac{Y_{0o}}{\omega} \cot \frac{\theta}{2} + \frac{1}{\omega^2 L_c} - C_c$	$C_o = \frac{1}{\omega^2 L_c - \frac{1}{C_c - \frac{1}{\omega^2 L_o} - \frac{Y_{0o}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}}}$
$L_o = \frac{1}{\omega^2 (C_c + C_o) - \omega Y_{0o} \tan \frac{\theta}{2}} - L_c$	$L_o = \frac{1}{\omega^2 C_c - \frac{1}{L_c} + \omega Y_{0o} \cot \frac{\theta}{2}}$

CLC 방향성 결합기의 기 모드 캐패시턴스를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_o = -\frac{Y_{0o}}{\omega} \cot \frac{\theta}{2} + \frac{1}{\omega^2 L_c} - C_c \quad (11)$$

같은 방법으로 그림 4(a)와 (b)에 나타난 방향성 결합기 각각의 기 모드 등가회로에 대하여 기 모드 종단조건을 적용하여 입력 어드미턴스를 구하면, 병렬 결합선로의 경우 입력 어드미턴스는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Y_{in}^{\omega} = jY_{0o} \tan \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

그리고 π 형 CLC 방향성 결합기의 기 모드 등가

표 2. T형 집중소자 방향성 결합기 설계 수식
Table 2. Design Formulas of T-type Lumped directional couplers.

T형 CLC 방향성 결합기	T형 LCL 방향성 결합기
$C_c = \frac{1}{2\omega Z_{0c}} \sin \theta$	$C_c = \frac{1}{2\omega Z_{0c}} \sin \theta$
$L_c = \frac{Z_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$	$L_c = \frac{Z_{0c}}{\omega} \tan \frac{\theta}{2}$
$C_o = \frac{1}{\omega^2 L_c} - \frac{Y_{0o}}{\omega} \cot \frac{\theta}{2}$	$C_o = \frac{1}{\omega^2 L_c + \frac{1}{\omega^2 L_o} - C_c} - C_c$
$L_o = \frac{1}{\omega^2 C_c - \left[\frac{\omega C_o - Y_{0o} \tan \frac{\theta}{2}}{\omega L_c (\omega C_o - Y_{0o} \tan \frac{\theta}{2}) - 1} \right]}$	$L_o = \frac{1}{\omega Y_{0o} \cot \frac{\theta}{2} - \frac{1}{L_c}}$

회로의 횡 방향 대칭면에 대한 기 모드 등가회로의 입력 어드미턴스를 구하면 같다.

$$Y_{in}^{\omega} = j\omega(C_c + C_o) + \frac{1}{j\omega(L_c + L_o)} \quad (13)$$

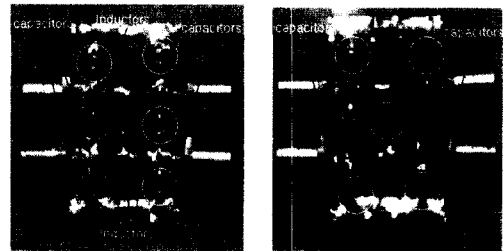
역시 식 (12)과 식 (13) 사이의 등가관계로부터 π 형 CLC 방향성 결합기의 마지막 파라미터인 기 모드 인덕턴스를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$L_o = \frac{1}{\omega^2 (C_c + C_o) - \omega Y_{0o} \tan \frac{\theta}{2}} - L_c \quad (14)$$

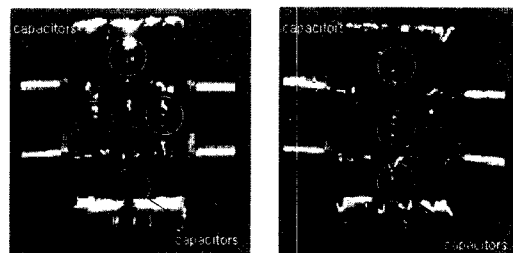
표 1과 표 2에 본 논문에서 제안한 4가지 종류의 집중소자형 방향성 결합기 구조에 대하여 위에서 언급한 방법으로 유도한 설계 수식을 정리하여 나타내었다.

III. 집중소자형 방향성 결합기 설계 및 측정

본 논문에서 제시한 π 형 2종과 T형 2종, 총 4종류의 집중소자형 방향성 결합기 구조와 설계 식을



(a) π 형 CLC (b) π 형 LCL
(a) π 형 CLC (b) π -type LCL



(c) T형 CLC (d) T형 LCL
(c) T-type CLC (d) T-type LCL

그림 5. 제작된 집중소자형 방향성 결합기 회로
Fig. 5. Lumped-type directional couplers.

표 3. 100 MHz 대역 집중소자 방향성 결합기 설계 결과(결합량: 10 dB)

Table 3. Design results of 100 MHz lumped directional couplers(Coupling value of 10 dB).

	π -type CLC	T-type CLC	π -type LCL	T-type LCL
C_c [pF]	44.16	44.16	22.94	22.94
L_c [nH]	28.68	57.36	55.2	110.41
C_o [pF]	10.61	10.6	22.05	5.51
L_o [nH]	31.01	124	238.8	283.77

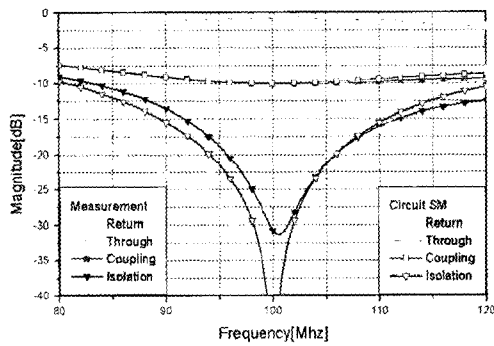
사용하여 100 MHz에서 10 dB 결합량을 갖는 방향성 결합기를 설계하여, 제작하여 측정하였다. 설계된 집중소자형 방향성 결합기는 PCB 기판위에 칩 캐패

시터와 페라이트 코어로 구현한 인덕터를 사용하여 제작되었다. 그림 5에 제작된 100 MHz 대역에서 10 dB 결합량을 갖는 4가지 형태의 집중소자형 방향성 결합기를 나타내었고, 표 3에 설계된 방향성 결합기들의 각 소자값을 정리하였다.

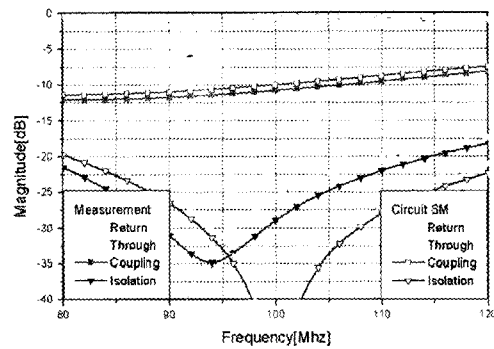
100 MHz에서 10 dB의 결합량을 갖는 제작된 π 형 및 T형 CLC 구조의 집중소자형 방향성 결합기의 측정결과와 회로 시뮬레이션 결과와의 비교를 그림 6에 나타내었다. π 형과 T형 CLC 구조의 측정결과를 비교하면, T형 구조가 π 형 구조보다 우수한 대역 특성을 나타내고 있으나 대역 내에서 결합량의 기울기가 비대칭적인 특성을 나타내었으나, 두 결과 모두에서 중심주파수 100 MHz에서 최소 20 % 정도의 대역폭 내에서 우수한 손실특성과 격리특성을 나타냄을 알 수 있다.

IV. 다층구조의 집중소자형 방향성 결합기 설계 예

무선통신 단말기 시스템에 적용 가능한 방향성 결합기 구조의 설계 예로 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술과 같은 다층구조를 갖는 소형 칩 형태로 방향성 결합기를 본 논문에서 제시한 π 형-그리고 T형 CLC 집중정수소자형으로 2 GHz에서 3



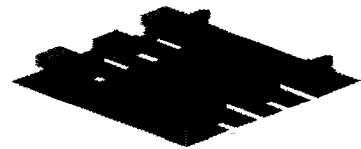
(a) π 형 CLC
(a) π -type CLC



(b) T형 CLC
(b) T-type CLC

그림 6. 제작된 집중소자형 방향성 결합기 회로에 대한 측정결과와 시뮬레이션 결과 비교

Fig. 6. Comparisons bwtween the measurements and simulations on the fabricated lumped-type directional couplers.



(a) π 형 CLC
(a) π -type CLC



(b) T형 CLC
(b) T-type CLC

그림 7. 설계된 다층구조의 집중소자형 방향성 결합기 회로

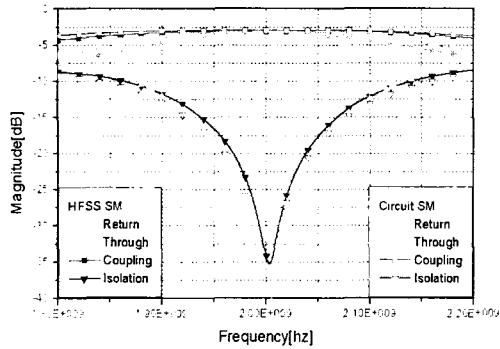
Fig. 7. Designed lumped-type directional couplers with multilayer configuration.

dB 결합량을 갖도록 설계하였고, 표 4에 설계된 방향성 결합기들의 각 소자값을 정리하였다. 그림 7에 3 mm×3 mm×0.5 mm의 전체 치수를 갖는 설계된

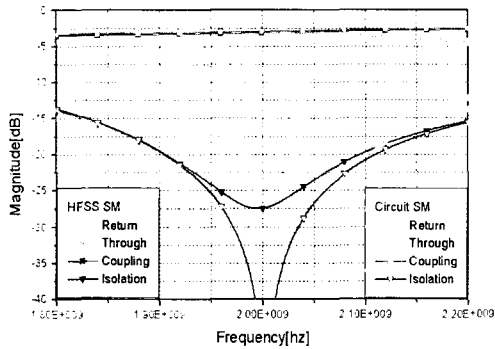
표 4. 2 GHz 대역 다층구조 집중소자 방향성 결합기 설계 결과(결합량: 3 dB)

Table 4. Design results of 2 GHz lumped directional couplers with multilayer configuration(Coupling value of 3 dB).

	C_e [pF]	L_e [nH]	C_o [pF]	L_o [nH]
π -type CLC	3.85	0.823	1.59	0.17
T-type CLC	3.85	1.65	1.59	0.676



(a) π 형 CLC
(a) π -type CLC



(b) T형 CLC
(b) T-type CLC

그림 8. 설계된 다층구조의 집중소자형 방향성 결합기 회로에 대한 EM과 회로 시뮬레이션 비교 결과

Fig. 8. Comparisons between EM-simulations and circuit simulations on the designed lumped-type directional couplers with multilayer configuration.

다층 세라믹 구조의 집중소자형 방향성 결합기를 나타내었다. 설계에는 DP943 계열인 7.8의 유전율을 갖는 sheet data를 사용하였다.

설계된 다층구조를 갖는 집중소자형 방향성 결합기 구조를 상용 전자장 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 시뮬레이션한 결과와 회로 시뮬레이션한 결과를 비교하여 그림 8에 나타내었다. 100 MHz 대역 집중소자형 방향성 결합기의 경우와 유사하게 T형 구조가 π 형 구조보다 넓은 대역 특성을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 평행 결합선로 이론에 근거한 새로운 집중소자형 방향성 결합기 구조를 제시하였고, 그 설계 수식을 유도하였다. 본 논문에서 제시된 새로운 집중소자형 방향성 결합기는 자기 인덕턴스와 커패시턴스만을 포함하므로 기존의 상호인덕턴스를 갖는 집중소자형 방향성 결합기와 비교하여 설계 및 구현이 용이한 장점을 갖는다. 또한 본 논문에서 제시한 방향성 결합기 구조는 LTCC와 같은 적층 세라믹 기술로의 응용뿐만 아니라 평면형 구조에서도 구현이 용이하므로 MMIC나 RFIC에 바로 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Arai, et al., "A 900 MHz 90 degree hybrid for QPSK modulator", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 857-860, 1991.
- [2] J. Hagerheiden, 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, C-Y. Chen, "Design of lumped-element quadrature coupler", *Electron Lett.*, vol. 34, pp. 465-466, Mar. 1998.
- [4] Y-C. Chiang, 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.
- [5] K. Shibata, et al., "Microstrip spiral directional

coupler", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-29, pp. 680-689, Jul. 1981.

[6] Rajesh Mongia, Inder bahi and Prakash Bhartia, *RF and Microwave Coupled Line Circuits*, Artech House, pp. 181-193. 1999.

[7] T-Y. Song, J-H. Kim, S-H. Kim, J-B. Lim and J-S. Park. "Design of a Novel Lumped Element Backward Directional Coupler Based on Parallel Coupled-Line Theory", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, pp. 213-216, Jun. 2002.

박 준 석



1991년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)

1993년 2월 : 국민대학교 전자공학과 (공학석사)

1996년 8월: 국민대학교 전자공학과 (공학박사)

1997년 3월 ~ 1998년 2월: Dept. of EE, UCLA (Post Doctoral Fellow)

1998년 3월 ~ 2003년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 조교수

2003년 3월 ~ 현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 조교수

[주 관심분야] RF 및 초고주파 필터 기술, SAW, MCM, LTCC, DGS 응용기술

송 택 영



2001년 2월: 순천향대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 2월: 순천향대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2003년 2월 ~ 현재: Wavics 주임 연구원

[주 관심분야] PAM, LTCC, 이동통신 단말기용 무선부품 모듈