

Diplexer 구조를 이용한 Dual Band 방향성 커플러

A Dual Band Directional Coupler with Feedback Compensation Using Diplexer Structure

김기중 · 박자영 · 정영학 · 배효근 · 김남흥 · 김학선

Ki-Joong Kim · Ja-Young Park · Young-Hak Jeong · Hyo-Gun Bae · Nam-Heung Kim · Hak-Sun Kim

요 약

본 논문은 glass 기판 위에 RF IPD(Integrated Passive Device) 기술을 이용하여 dual band 방향성 커플러의 새로운 설계와 구현을 하였으며, 이러한 구조는 전력 증폭기의 출력부에 closed loop 전력 제어용 GSM/GPRS cellular phones에 적용할 수 있다. 커플러는 방향성 향상을 위하여 보상 capacitor를 이용하였으며, 상호 밴드의 간섭을 최소화하기 위하여 새로운 방법의 필터링 구조(diplexer)를 갖는 커플러를 구현하였다.

Abstract

In this paper, a novel design and implementation of a dual-band directional coupler based on RF IPD(Integrated Passive Device)-on-glass technology is proposed, which can be adopted in GSM/GPRS cellular phones for closed loop power control at the output of the power amplifier. The proposed coupler has a compensation capacitor to improve the directivity, and was designed using a new diplexing structure to minimize the cross-band isolation.

Key words : Directional Coupler, Diplexer, Closed Loop, IPD

I. 서 론

이동 통신 단말기에서 송신단에 위치한 전력 증폭기의 출력 전력을 조절하는 방법으로는 전력 증폭기의 출력단에 방향성 결합기를 통해 출력 신호의 일부를 검출하여 이 신호를 쇼트키 다이오드를 이용하여 DC 전류로 변환하여 비교기를 통해 기준 전압과 비교하는 closed loop 방식과 전력 증폭기에 인가되는 전압이나 전류를 검출하여 전력을 조절하는 open loop 방식이 있다. closed loop 방식은 전통적으로 사용되던 방식으로 정교한 전력 제어가 가능하다는 장점이 있는 반면, 회로 구현의 복잡성과 coupler에 의한 손실로 인한 증폭기의 효율을 나쁘게 하는

단점이 있다. Open loop 방식은 회로의 구현이 간단하여 현재 많이 사용되는 방법이지만, 전력의 조절이 정교하지 못하다는 단점이 있다. 최근에는 closed loop 방식에서 사용되는 부품들이 IC화 되면서 회로의 구현이 간단해지고 있으며, control chip의 성능이 좋아져서 사용되는 방향성 결합기의 coupling 값이 크게 낮아져, 방향성 결합기에 의한 커플링 손실이 크게 줄어들었다. 특히, ramping profile이 중요시 되는 GSM 통신 방식에서는 정교한 전력 제어가 가능하다는 것은 closed loop 방식의 큰 장점이 되고 있다. 본 논문에서는 closed loop 전력 제어에 사용되는 coupler에 대한 것으로서, glass 기판 위에 RF IPD(Integrated Passive Device) 공정을 이용하여 dual

삼성전기(주) 중앙연구소(Central R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.)

· 논문 번호 : 20050521-02S

· 수정완료일자 : 2005년 7월 25일

band coupler를 구현하였으며, 보상 capacitor를 이용하여 방향성을 향상시키고자 하였다.

기존의 세라믹 기판을 이용한 MLCC, LTCC 수동 소자는 스크린 프린팅 패턴 공정 기술을 사용하므로 패턴 선폭이 최소 50에서 100 μm 인 것에 비하여 고주파용 기판 위에 RF IPD(Integrated Passive Device) 기술을 이용하면 1 μm 미세 패턴의 반도체 공정 기술 적용으로 소자의 정밀도가 우수하고, 고 집적화를 통한 소자의 초소형화가 가능하며 생산 원가도 저렴하다. Glass 기판에 제작된 인덕터 특성은 사용 주파수(0.8 GHz~2 GHz)에서 품질 계수(quality factor)가 30~50이고 기존 화합물 반도체(GaAs) 기판 상에 제작된 인덕터의 품질 계수 20~40보다 우수하다. 커패시터는 SiN 유전막을 절연체로 사용한 Metal-Insulator-Metal 구조로서 GaAs 반도체 공정으로 제작되는 커패시터와 유사한 구조이고 그 특성도 대등한 성능을 갖는다. 그리고, 저항은 NiCr을 저항 물질로 사용한 박막 저항(thin film resistor)으로 35 Ohm/Sq.의 값을 가지며 GaAs 반도체 공정으로 제작되는 저항과 대등한 성능을 갖는다. 최근 제품 설계상 critical한 변수인 소자의 높이, 즉 부품의 높이를 200 μm 높이로 기존 discrete 소자 대비 40 % 내지 70 % 정도로 획기적으로 낮추어 단말기 시장에서 요구하는 다양한 디자인 요구에 부응할 수 있게 되었다. 이는 SIP(System In Package) 형태의 복합 모듈 구현시 소형화 및 제품의 경쟁력을 높일 수 있는 큰 장점이 있다.

본문의 구성으로 본문에서 RF IPD를 사용한 coupler를 설계하는 이론과 설계과정 IPD 제작 및 특성 결과에 대하여 설명하였다.

II. Diplexer 필터를 이용한 Dual Band 커플러

유럽방식의 GSM/GPRS를 지원하는 Quad band radio unit을 SIP package 기술을 이용하여 하나의 모듈 형태로 구현하는 기술에 있어서 dual band 커플러를 glass 기판 위에 작게 구현하는 기술에 관한 것이다. Multi band에서의 공간적 제한 및 특성을 만족하기 위한 커플러 설계에 있어서는 커플링 양의 정확성, 사이즈, 상호 밴드간의 격리도를 만족하기 위해 glass 기판 위에 수동 소자를 집적하여 설계 및 제작

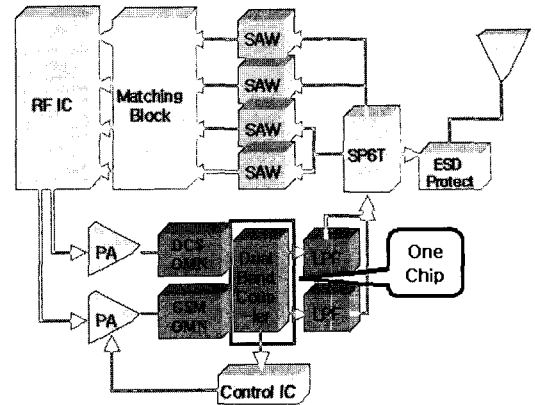


그림 1. GSM/GPRS 용 Quad band radio unit
Fig. 1. Quad band radio unit in GSM/GPRS.

하였다. Radio unit에서 OMN(output matching network), coupler, LPF(low pass filter) 부분을 glass 기판 위에 IPD 기술을 이용하여 집적하였으며, 본 논문에서는 coupler 설계 및 구조 성능 향상을 위해 새로이 제안된 구조에 대해서만 기술하고자 한다.

본 구조는 기존의 micro strip line 구조의 directional coupler의 방식에서 벗어나 새로운 형태의 coupler 구조에 대한 내용이다. 제안된 구조는 그림 2와 같이 coupler에는 GSM signal line ①, DCS signal line ②, diplexer ③, Compensation capacitor ④로 구성되어 있다. 이 구조에서 coupling factor는 커플링 line의 길이 및 간격에 의해 결정되며, GSM 신호선과 DCS 신호선 사이에 놓인 diplexer에 의해 충분한 격

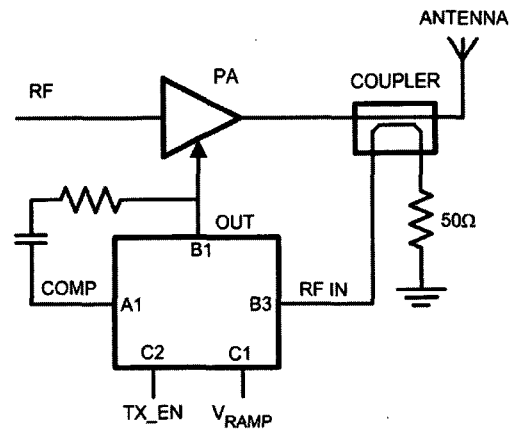


그림 2. Closed loop 전력 제어 방식
Fig. 2. Method of closed loop power control.

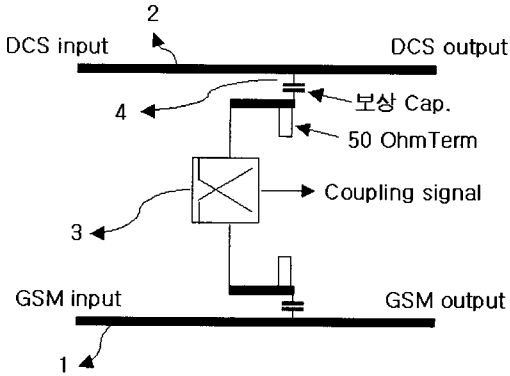


그림 3. DPX 필터를 이용한 dual band 커플러 구조
Fig. 3. Dual band coupler structure using DPX filter.

리도를 얻을 수 있다. GSM band(GSM 850, EGSM)의 기본 주파수 신호는 diplexer의 HPF(High Pass Filter)에 의하여 제거되고, Harmonic 성분은 LPF(Low Pass Filter)에 의하여 충분히 제거될 수 있다. 이 구조는 기존의 dual band coupler 구조에서 발생 가능한 격리도 문제를 diplexer 구조의 필터링을 통하여 한층 개선한 구조이다. 또한, 커플링 값이 기존 개별 소자에 비해 GSM850/EGSM band에서 -24 dB, DCS/PCS band에서 -19 dB 양으로 적기 때문에 커플링에 의한 신호 손실을 최소화할 수 있으며, 이로 인한 방향성의 감소를 해소하기 위해 신호선과 마이크로 스트립 라인 커플링 사이에 방향성을 향상시킬 수 있는 보상 capacitor를 사용하였다. 보상 커패시터를 이용한 방향성 커플러, diplexer filter 소자를 glass 기판 위에 IPD 공정을 통하여 1×1 mm 사이즈로 제작하였다.

III. 방향성 Coupler 설계

3-1 Dual Band Coupler 설계 사양

GSM system에 적용되는 closed loop 방식의 커플러 spec은 다음과 같다. 커플링 값의 변화는 ±1 dB 이내이며, 방향성이 20 dB로 기존의 단품 커플러의 성능과 같으며, size 측면에서 50 %의 축소 효과가 있다. 커플링 양의 결정은 Control IC의 dynamic range에 의해서 -33 dB/-28 dB로 결정하였다. 표 1에 dual band 커플러 설계 사양을 제시하였다. 삽입 손실이 작게 나온 이유는 커플링 양이 -24/-19 dB로 기

표 1. Dual band coupler 사양
Table 1. Dual band coupler specification.

Freq.	900 MHz	1,900 MHz
Coupling(dB)	33(±1)	28(±1)
Insertion Loss(dB)	0.2	0.25
Return loss	-20	-20
Directivity	15	15
Isolation(dB)	48	43

준 단품의 커플러에 비해 적으므로 전력추출에 의한 커플링 손실을 최소화 한 모듈이다.

3-2 Microstrip 커플러 이론 및 설계

그림 4는 커패시터를 micro stripline 끝단에 연결하여 방향성을 향상시킨 구조이다. 실제 소자에서는 glass 기판 위에 micro stripline으로 전송 선로를 구현하였으며, 특성 임피던스는 50 Ohm으로 설계하였다. 전력 추출을 위한 커플링 line 길이 및 선폭을 EM simulation을 이용하여 구하였다.

방향성 향상을 위하여 보상 capacitor 값을 glass 유전율, line 길이 및 간격, 커플링 계수를 대입하여 계산하였다^{[1]-[4]}.

Z_{ooa} : Actual odd-mode characteristics impedance

Z_{ooi} : Ideal odd-mode characteristics impedance

θ_o : Actual odd-mode electrical length of the coupled section

θ_e : Even-ode electrical length of the coupled section

k : Coupling 계수

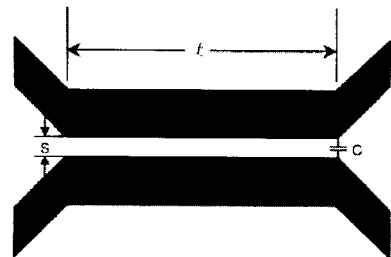


그림 4. 단일 capacitor microstrip 방향성 커플러 보상
Fig. 4. Symmetric single compensation capacitor microstrip directional coupler.

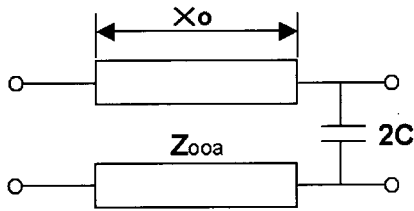


그림 5. Odd mode 등가
Fig. 5. Equivalence actual odd-mode.

$$Z_o = \sqrt{Z_{ooi} Z_{oe}} \quad (1)$$

$$K = \frac{Z_{oe} - Z_{ooi}}{Z_{oe} + Z_{ooi}} \quad (2)$$

$$2\omega C = \left(\frac{2k}{1+k} \right) \times \frac{\cot \theta_o}{Z_{ooa}} \quad (3)$$

$$\theta_o = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_{effo}}{\epsilon_{effe}}} \quad (4)$$

식 (1)은 특성 임피던스 (2)는 커플링 계수 식 (3), (4)는 odd mode에서 전송 선로의 ABCD 파라미터를 이용하여 보상 커패시터 값을 구하는 수식이다. 즉 반사파가 없을 때($S_{11}=0$), 이상적인 방향성을 고려하여 계산한 결과이다.

보상 capacitance 값은 중심 주파수 900 MHz에서는 0.3 pF, 중심 주파수 1,900 MHz에서는 0.2 pF로 계산하였다. 이렇게 계산된 보상 capacitor 값은 실제 회로 구현에서의 EM field의 영향을 고려하여 적절한 값으로 선정하였다. 그림 6, 7은 EM simulation layout이다. 그림 6은 900 MHz에서 24 dB 커플링 양, 커플링 길이: 1,270 μm , 커플링 line space: 4 μm , 보상 capacitor는 0.3 pF이다^[1].

그림 7은 1,900 MHz에서는 19 dB 커플링 양, 커플

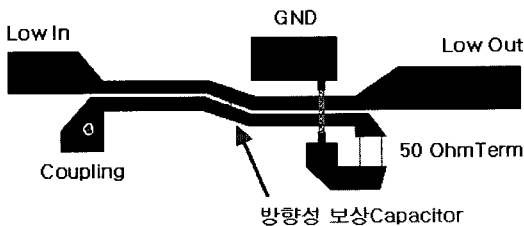


그림 6. GSM band에서의 마이크로 스트립 방향성 커플러
Fig. 6. Microstrip directional coupler in GSM band(24 dB coupler).

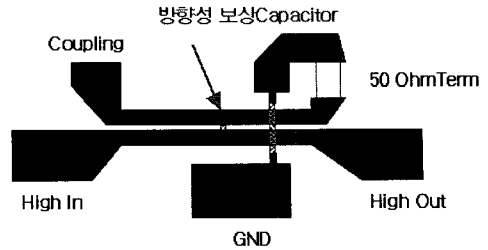


그림 7. DCS/PCS band에서의 마이크로 스트립 방향성 커플러
Fig. 7. Microstrip directional coupler in DCS/PCS band (19 dB coupler).

표 2. High band 커플러 EM simulation result
Table 2. EM simulation result at high band coupler.

Parameters	Values
Center Freq.	1.9 GHz
Coupling(dB)	14 dB
Z_o	50 Ohm
Z_{oe}	80.85 Ohms
Z_{oo}	30.9 Ohms
W	50 μm
S	5 μm
L	1,280 μm
Compensation Cap.	0.2 pF

링 길이: 1,280 μm , 커플링 Line space: 5 μm , 보상 capacitor는 0.2 pF이다.

그림 8은 HPF(High Pass Filter)와 LPF(Low Pass Filter)를 결합한 diplexer layout이다. 삽입 손실은 0.5 dB

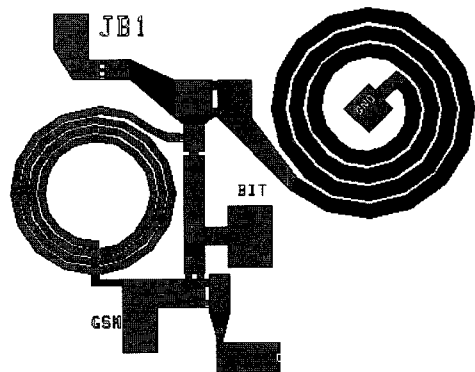


그림 8. Diplexer layout
Fig. 8. Diplexer layout.

이며 stop band의 감쇄값은 30 dB을 만족한다. Diplexer의 공통 단자에 low band high band 공통으로 전력을 추출할 수 있는 커플링 port를 인가하였다.

IV. IPD Process in Glass Substrate

Glass 기판 위에 lumped 소자 구현이 가능한 M사에서 제공하는 수탁 공정(foundary service)을 이용하였으며, MIM(Metal Insulator Metal) capacitor, High Q 인덕터(Au plating), NiCr 저항을 이용하여 커플러를 제작하였다.

4-1 MIM Capacitor

유전체는 SiNx 박막을 이용하였으며, 두께는 3000 Å, 유전상수는 7.1이다.

Cap density: $0.21 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$

보상 커패시터는 0.2~0.3 pF로 공정편차 적은 IPD 공정을 이용하였다.

4-2 Resistor

NiCr 금속의 Sheet Resistor $R_s=35 \text{ W/sq}$

Current density $1 \text{ mA}/\mu\text{m}^2$ 이다. NiCr 금속을 이용하여 9 dB Attenuator를 설계하였으며, 3 W power에 견딜 수 있도록 line 선폭을 결정하였다.

4-3 Inductor

인덕터의 등가 모델이며, High Q 인덕터를 구현하기 위해 metal 선폭은 $30 \mu\text{m}$ 를 사용하였으며, 사용 주파수에서 Q 값은 30~40이다. Metal 저항을 최소화 하기 위해 2층 금속을 사용하였으며, metal 1과 metal 2층 사이에 RF 특성이 우수한 BCB 유전체를 사용하였다. Top metal 층은 Au plating 공정으로 5

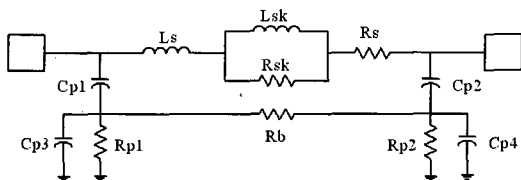


그림 9. 인덕턴스 등가 모델
Fig. 9. Inductance equivalence model.

μm 두께이다.

인덕터의 등가 모델이며, L_s 는 직렬 인덕턴스이며, R_s 는 도선 저항이며, 기판에 작용하는 C_{p1} , C_{p2} , glass 기판의 병렬저항 R_{p1} , R_{p2} 로 간략화 할 수 있다. 회로에서의 인덕터 커플링 및 상호 간섭의 영향은 EM simulation을 통하여 예측하였다.

4.4 Glass Substrate

GaAs 기판보다 가격 경쟁력이 있고, RF 특성이 우수한 glass 기판을 사용하였다.

유전율 $\epsilon_r=4.1$, loss tangent=0.002, 기판 높이=125 μm 이고, back grinding 공정을 통하여 기판 높이 125 μm 낮추었으며, 기판 후면에 Au 금속을 증착하여 ground 면을 형성하였다. 또한 filter 구현시 타사 Si 기판을 고주파에 응용하기 위해 기판을 산화시키는 물질에 비해 glass 기판은 기판 유전율 및 물성값이 분명하여 EM 해석 및 simulation이 정확하다.

4.5 Coupler Layout 및 특성

그림 10은 IPD 공정을 이용하여 제작된 IC 그림이다. GSM 방식의 송신 system의 전력을 추출하기 위한 dual band 커플러의 layout이며, GSM 송신에서의 power amplifier의 흔들림(fluctuation)에 의한 커플링 양의 변화를 최소화하기 위해 9 dB 감쇄기를 커플링 port에 삽입하였다. 따라서 최종단의 커플링 값

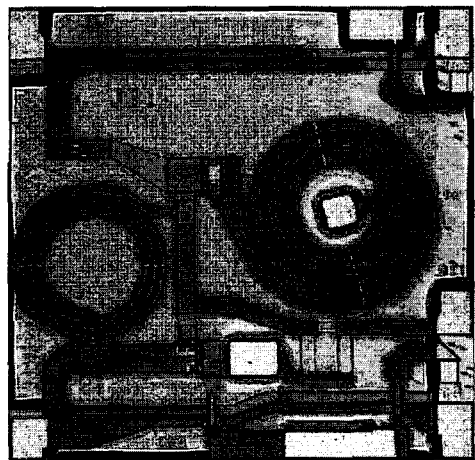


그림 10. Dual band coupler(size 1×1 mm)
Fig. 10. Dual band coupler(size 1×1 mm).

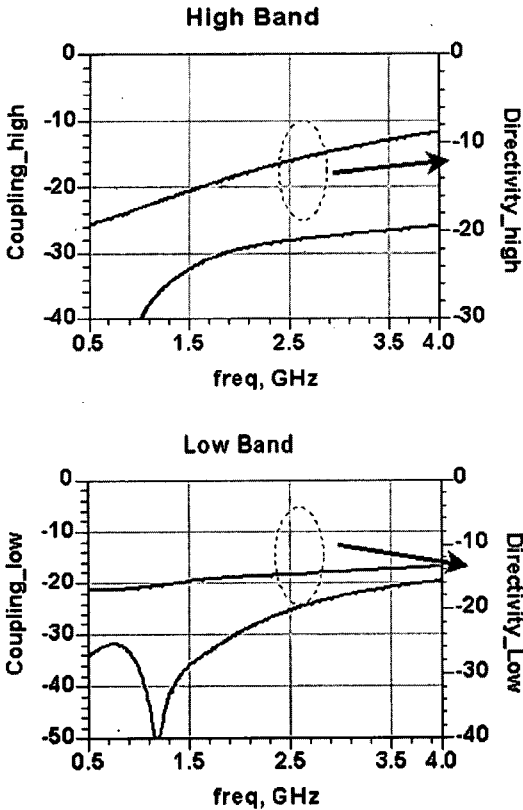


그림 11. Coupling 및 방향성 측정 결과
Fig. 11. Measurement result of coupling and directivity.

은 GSM 850/EGSM band에서는 33 dB, DCS/PCS band에서는 28 dB의 전력을 추출하는 커플러이다.

Die size는 1×1 mm로 기존의 LTCC 및 discrete 한 소자에 비해 40 % 이상의 축소 효과가 있으며, 기존 제품에 비해 동일 성능, half size, half cost 효과로 제품의 경쟁력이 있다.

측정 결과를 그림 11에 나타내었으며, 그림 12에 Low band 입력 단에서 high band out 단의 격리도를 나타내었다. Diplexer filtering 구조의 커플러 방식에서 Band 격리도가 -48 dB 이하로 측정되었다. 이는 실제 multi band 구조에서 발생 가능 하모닉 문제를 최소화할 수 있는 구조이다.

V. 결 론

본 논문에서는 Quad band GSM system에 적용되는 closed loop 방식의 커플러를 IPD 공정을 이용하여 구현하였다. Band 상호간에 발생 가능한 격리도

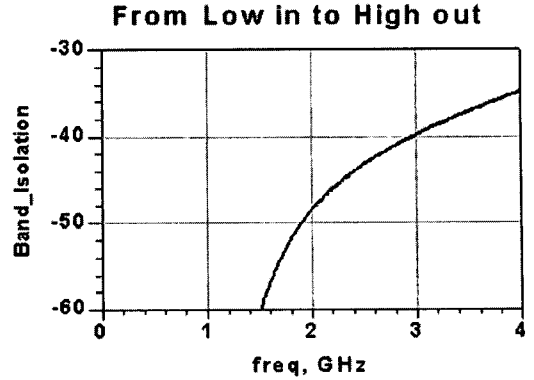


그림 12. Band Isolation 측정 결과
Fig. 12. Measurement result of band isolation.

표 3. Dual band에서의 방향성 커플러 결과
Table 3. Directional coupler result in dual band.

GSM/EGSM(910 MHz) Result			
Spec	Simulation	측정	
I.L.(dB)	0.15	0.15	max
Coupling(dB)	33	33.3	typ
Directivity(dB)	20	16	typ
R.L.(dB)	-20	-20	min
Isolation(dB)	53	50	min
Band Isolation	53	50	typ
DCS/PCS(1,910 MHz) Result			
Spec	Simulation	측정	
I.L.(dB)	0.2	0.25	max
Coupling(dB)	28	28.5	typ
Directivity(dB)	20	16	typ
R.L.(dB)	-20	-20	min
Isolation(dB)	48	48	min
Band Isolation	48	48	typ

문제를 diplexer filter를 이용하여 최소화 하였다. Microstrip 커플러의 방향성 문제점은 보상 capacitor를 이용하여 개선하였다. Dual band 커플러, diplexer, 9 dB Pi pad attenuator를 1×1 mm size에 집적화 하였다. 표 3은 simulation 및 측정결과를 표 3으로 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] Michael Dydyk, "Microstrip directional couplers

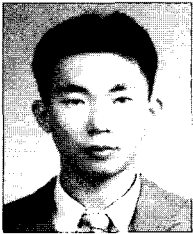
with ideal performance via single-element compensation", *IEEE Trans. On Microwave Theory and Tech.*, vol. 47, no. 6, pp. 956-961, Jun. 1999.

[2] G. Schaller, "Optimization of microstrip directional couplers with lumped capacitors", *Arch. Elek. Uebertrag. Tech.*, vol. 31, pp. 301-307, Jul.-Aug. 1977.

[3] C. Kajfez, "Raise coupler directivity with lumped compensation", *Microwaves*, vol. 27, pp. 64-70, Mar. 1978.

[4] M. Dydyk, "Accurate design of microstrip directional couplers with capacitive compensation", in *IEEE MTT-S Symp. Dig.*, pp. 581-584, May 1990.

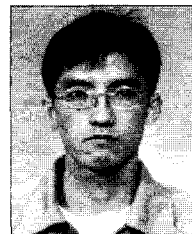
김 기 중



1998년 2월: 전북대학교 반도체 과학기술 (공학석사)
1999년 2월~2002년 1월: 텔레포스(주) RF IPD/MMIC 설계팀 주임 연구원
2002년 3월~현재: 삼성전기(주) 무선통신 Lab. 선임연구원 GSM/GPRS

용 모듈 개발
[주 관심분야] 초고주파 무선회로/무선통신 시스템

배 효 근



2005년 1월~현재: 삼성전기(주) 무선통신 Lab. 책임연구원 GSM/GPRS용 모듈 개발
[주 관심분야] 초고주파 무선회로, 무선통신 시스템

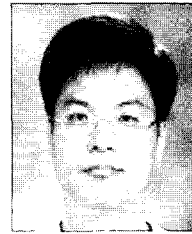
박 자 영



1997년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 2월~2005년 7월: 삼성전기(주) 중앙연구소 선임연구원
[주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 및 설계, 무선통신시스템

로 및 시스템 해석

김 남 흥



1989년: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2005년: 성균관대학교 전기전자공학과 (공학석사)
1989년~1992년: (주)한독 무선개발실 주임연구원
1993년~현재: 삼성전기(주) 중앙연구소 수석연구원

[주 관심분야] 무선통신, 이동통신, OFDM, 모바일 RFID

정 영 학



2005년: 성균관대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2005년 1월~현재: 삼성전기(주) 무선통신 Lab. 주임연구원 GSM/GPRS용 모듈 개발
[주 관심분야] 초고주파 무선회로, 무선통신 시스템

김 학 선



1994년~현재: 한밭대학교 정보통신 컴퓨터공학부 교수, 알에프에스 에스 대표이사
2005년~현재: 삼성전기(주) 중앙연구소 무선통신 Lab. 상무
[주 관심분야] 무선통신 시스템, Zig-bee, Wireless PAN