

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 8월 4일 (04.08.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/093547 A1

- (51) 국제특허분류:
H03F 1/56 (2006.01) H03F 3/60 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2010/000733
- (22) 국제출원일: 2010년 2월 5일 (05.02.2010)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0006984 2010년 1월 26일 (26.01.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **광주과학기술원 (GWANGJU INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY)** [KR/KR]; 광주광역시 북구 오룡동 1, 500-712 Gwangju (KR).
- (72) 발명자: **김**
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **이종수 (LEE, Jong Soo)** [KR/KR]; 광주광역시 북구 오룡동 1 광주과학기술원 정보기전공학부, 500-712 Gwangju (KR).
- (74) 대리인: **특허법인 우인 (WOOIN, PATENT & LAW FIRM)**; 서울특별시 강남구 역삼동 648-15 신원빌딩 3층, 135-911 Seoul (KR).

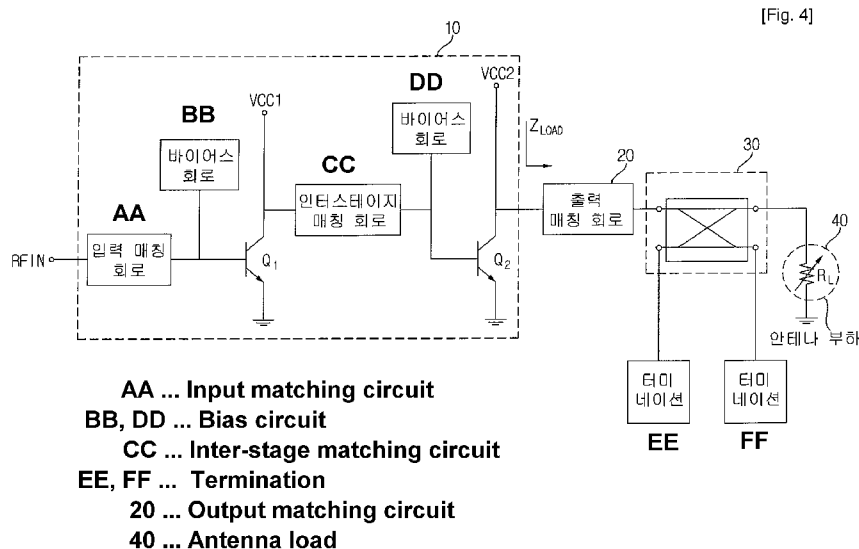
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) Title: POWER AMPLIFIER INSENSITIVE TO LOAD IMPEDANCE CHANGES

(54) 발명의 명칭: 부하 임피던스 변화에 둔감한 전력 증폭기



(57) Abstract: Disclosed is a power amplifier insensitive to load impedance changes. According to the present invention, the power amplifier comprises: a power amplification circuit which amplifies an input signal; an output matching circuit which is connected to an output end of the power amplification circuit, and performs impedance matching between the power amplification circuit and an antenna load; and a four-port coupler which is connected between the output matching circuit and the antenna load.

(57) 요약서: 부하 임피던스 변화에 둔감한 전력 증폭기가 개시된다. 본 발명에 따른 전력증폭기는, 입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로, 상기 전력증폭 회로의 출력단에 연결되어 상기 전력증폭 회로와 안테나 부하 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로 및 상기 출력 매칭 회로와 상기 안테나 부하 사이에 연결되는 4-포트 커플러를 포함하는 것을 특징으로 한다.

WO 2011/093547 A1

명세서

발명의 명칭: 부하 임피던스 변화에 둔감한 전력 증폭기

기술분야

- [1] 본 발명은 전력증폭기에 관한 것으로 보다 상세하게는 부하 임피던스의 변화에 둔감한 전력증폭기에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 모바일 단말기의 송신부에 사용되는 전력 증폭기는 안테나 부하 임피던스가 특정 임피던스(예를 들어 50옴)일 때 가장 최적의 성능을 보이도록 설계, 판매되고 있다. 일반적인 전력증폭기의 회로를 나타낸 도 1을 참조하면, 안테나 부하 임피던스 R_L 을 50옴으로 가정하고 전력증폭 회로 및 출력 매칭 회로가 설계된다. 전력증폭 회로의 출력단에서 안테나 부하 쪽을 바라본 임피던스(이하, 안테나 부하 임피던스와 구별하기 위해 '증폭기 부하 임피던스'라 칭하기로 한다) Z_{LOAD} 는 전력증폭기의 성능을 결정하는 주요한 파라미터로서, 전력증폭기의 출력전력, 효율, 선형성 등에 중대한 영향을 미친다.
- [3] 그러나 전력증폭기의 안테나 부하 임피던스는 실제 사용 시에는 50옴이 되지 않고 사용자 및 주변 환경에 따라 임피던스가 매우 크게 변화하게 된다. 이러한 안테나 부하 임피던스의 변화는 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 변화시켜 전력증폭기의 성능을 열화시키고 모바일 단말기의 전력 소모를 증가시키며 배터리 사용을 단축시키는 등 많은 문제를 발생시키고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 도 2는 안테나 부하 임피던스가 50옴으로 이상적인 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 설명하기 위한 참고도이고, 도 3은 안테나 부하 임피던스가 50옴이 아니라 임의로 변화하는 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})의 변화를 설명하기 위한 참고도이다.
- [5] 도 2(a)는 증폭기 부하 임피던스의 형성을 위한 출력 매칭 회로를, 도 2(b)는 안테나 부하 임피던스와 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 표시한 스미스 차트를 나타낸다. 도 2(b)를 참조하면, 안테나 부하 임피던스가 기준 임피던스에 정합된 경우, 즉 50옴으로 고정되어 있는 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})는 4옴으로 고정되어 일정한 부하선(load line)을 형성하게 된다.
- [6] 도 3(a)는 안테나 부하 임피던스를 가변 저항으로 표시한 전력증폭기의 회로도, 도 3(b)는 안테나 부하 임피던스의 VSWR(voltage standing wave ratio)이 3:1로서 변화하는 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 표시한 스미스 차트이다. 도 3(b)를 참조하면, 안테나 부하 임피던스의 VSWR(voltage standing wave ratio)이 3:1로 변화함에 따라서 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})는 도 2(b)에서와 같이 4옴이 되지 않고 약 1.4옴에서 11옴까지 매우 크게 변화하여

- [7] 전력증폭기의 성능 열화 및 모바일 단말기의 배터리 소모를 증가시키게 된다. 따라서 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 안테나 부하 임피던스의 변화에도 불구하고 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})의 변화를 최소화시켜, 성능 열화 및 모바일 단말기의 배터리 소모 증가를 방지하고 모바일 단말기의 송신부에서 일정한 TRP(total radiated power)를 유지하도록 할 수 있는 전력 증폭기를 제공하는 데 있다.

과제 해결 수단

- [8] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명에 따른 전력증폭기는, 입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로; 상기 전력증폭 회로의 출력단에 연결되어 상기 전력증폭 회로와 안테나 부하 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로; 및 상기 출력 매칭 회로와 상기 안테나 부하 사이에 연결되는 4-포트 커플러를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [9] 여기서, 상기 4-포트 커플러의 입력 포트는 상기 출력 매칭 회로와 연결되고, 상기 4-포트 커플러의 출력 포트는 상기 안테나 부하와 연결되고, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에는 각각 소정의 임피던스 소자가 연결될 수 있다.
- [10] 또한, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및 Γ_{CT} 가 다음 수학식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정될 수 있다.
- [11]
$$D = -\frac{\alpha\gamma}{\beta} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B + S_{33}}$$

$$B = -\frac{\alpha\beta}{\gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S_{44}}$$
- [12] 여기서, 상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를 가진다.
- [13]
$$S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$
- [14] 또한, 상기와 다른 경우로, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및 Γ_{CT} 가 다음 수학식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정될 수 있다.
- [15]
$$D = \frac{\beta^2}{A} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B + S_{33}}$$

$$B = \frac{\alpha(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2) - D \cdot \beta \cdot \gamma}{\alpha D + \beta \gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S_{44}}$$
- [16] 여기서, A는 상기 4-포트 커플러의 출력 포트에서 상기 안테나 부하 쪽을 바라본 반사 계수 Γ_L 과 다음의 관계를 가지며,

$$[17] \quad A = \frac{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L}$$

[18] 상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$[19] \quad S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

[20] 또한, 상기 전력증폭기는 상기 4-포트 커플러의 S₂₁의 위상을 변화시키기 위한 위상 조정 수단을 더 포함할 수 있다.

[21] 여기서, 상기 위상 조정 수단은 상기 출력 매칭 회로와 상기 4-포트 커플러의 입력 포트 사이에 연결되는 위상 시프터(phase shifter)일 수 있다.

[22] 여기서, 상기 위상 시프터의 위상 값은 상기 4-포트 커플러의 삽입 손실이 1에 가까운 값이 되도록 설정될 수 있다.

[23] 또한, 상기 4-포트 커플러는 메타물질로 구현될 수 있다.

[24] 여기서, 상기 메타물질을 이용하여 상기 4-포트 커플러의 S₂₁의 위상은 삽입 손실이 1에 가까운 값이 되도록 설정될 수 있다.

[25] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명에 따른 전력증폭기는, 입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로; 상기 전력증폭 회로의 출력단에 연결되어 상기 전력증폭 회로와 안테나 부하 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로; 상기 출력 매칭 회로와 상기 안테나 부하 사이에 마련되는 4-포트 커플러; 및 상기 출력 매칭 회로와 상기 4-포트 커플러의 입력 포트 사이에 연결되는 위상 시프터를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[26] 여기서, 상기 4-포트 커플러의 입력 포트는 상기 위상 시프터와 연결되고, 상기 4-포트 커플러의 출력 포트는 상기 안테나 부하와 연결되고, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에는 각각 소정의 임피던스 소자가 연결될 수 있다.

[27] 여기서, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및 Γ_{CT} 가 다음 수학적식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정될 수 있다.

$$[28] \quad D = \frac{\beta^2}{A} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B + S_{33}}$$

$$B = \frac{\alpha(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2) - D \cdot \beta \cdot \gamma}{\alpha D + \beta \gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S_{44}}$$

[29] 여기서, A는 상기 4-포트 커플러의 출력 포트에서 상기 안테나 부하 쪽을 바라본 반사 계수 Γ_L 과 다음의 관계를 가지며,

[30]

$$A = \frac{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L}$$

[31] 상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$[32] \quad S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

발명의 효과

[33] 상기된 본 발명에 의하면, 4-포트 커플러를 이용하여 안테나 부하 임피던스의 변화에도 불구하고 증폭기 부하 임피던스의 변화를 최소화시킴으로써, 성능 열화 및 모바일 단말기의 배터리 소모 증가를 방지하고 모바일 단말기의 송신부에서 일정한 TRP(total radiated power)를 유지하도록 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[34] 도 1은 일반적인 전력증폭기의 회로도이다.

[35] 도 2는 안테나 부하 임피던스가 50옴으로 이상적인 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 설명하기 위한 참고도이다.

[36] 도 3은 안테나 부하 임피던스가 50옴이 아니라 임의로 변화하는 경우 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})의 변화를 설명하기 위한 참고도이다.

[37] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력증폭기의 회로도이다.

[38] 도 5는 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에 임피던스 소자가 연결된 회로 형태를 나타낸다.

[39] 도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따라 4-포트 커플러(30)의 커플드 포트 및 격리 포트에 연결되는 임피던스 소자의 임피던스를 정하는 방법을 설명하기 위한 회로도이다.

[40] 도 7은 미리 주어진 4-포트 커플러의 S 파라미터에 따라서 정해지는 α, β, γ 와 B, D, 그리고 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 스미스 차트 상에 표시한 결과를 나타낸다.

[41] 도 8은 본 발명의 제1 실시예에 따라 안테나 부하 임피던스가 변화함에 따른 Γ_{PA} 의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[42] 도 9는 도 8을 기초로 하여 전력증폭기의 출력 매칭 회로를 고려한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[43] 도 10은 제1 실시예에서 발생할 수 있는 문제점을 설명하기 위한 참고도이다.

[44] 도 11은 본 발명의 제2 실시예에 의하여 수학적 식 16에 따라 구해진 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 이용하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

[45] 도 12는 본 발명의 제2 실시예에 의하여 계산된 4-포트 커플러의 격리 포트와 커플드 포트의 터미네이션 변화에 따른 Γ_{PA} 의 변화를 나타낸 시뮬레이션 결과이다.

- [46] 도 13은 본 발명의 제2 실시예에 따라 커플드 포트와 격리 포트를 터미네이션한 경우에 안테나 부하 임피던스의 변화에 따른 4-포트 커플러의 삽입손실(IL)의 계산값을 나타내는 표이다.
- [47] 도 14는 출력 매칭 회로(20)와 4-포트 커플러(30)의 입력 포트 사이에 위상 시프터를 연결한 회로도이다.
- [48] 도 15는 위상 시프터의 위상을 60° 로 설정한 경우 안테나 부하 임피던스의 변화에 따른 Γ_{PA} 의 변화를 스미스 차트에 나타낸 결과이다.
- [49] 도 16은 위상 시프터의 위상을 60° 로 설정한 경우 안테나 부하 임피던스의 변화에 따른 4-포트 커플러의 삽입손실(IL)의 계산값을 나타내는 표이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [50] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다. 이하 설명 및 첨부된 도면들에서 실질적으로 동일한 구성요소들은 각각 동일한 부호들로 나타냄으로써 중복 설명을 생략하기로 한다. 또한 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [51] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전력증폭기의 회로도이다.
- [52] 본 실시예에 따른 전력증폭기는, 입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로(10), 전력증폭 회로(10)의 출력단에 연결되어 전력증폭 회로(10)와 안테나 부하(40) 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로(20), 출력 매칭 회로(20)와 안테나 부하(40) 사이에 연결되는 4-포트 커플러(30)를 포함하여 이루어진다.
- [53] 상기 4-포트 커플러(30)는 포트가 4개인 RF 커플러로서, 입력 포트인 제1 포트, 출력 포트인 제2 포트, 커플드 포트인 제3 포트, 격리 포트인 제4 포트를 가진다. 도시된 바와 같이, 상기 입력 포트는 출력 매칭 회로(20)와 연결되고, 상기 출력 포트는 안테나 부하(40)와 연결된다. 그리고 상기 커플드 포트 및 상기 격리 포트에는 각각 터미네이션(termination)으로서 소정의 임피던스 소자가 연결된다.
- [54] 이러한 본 발명의 실시예에 의하면 상기 4-포트 커플러(30)의 커플드 포트와 격리 포트에 적절한 임피던스를 가지는 임피던스 소자를 연결함으로써, 후술하는 바와 같이 안테나 부하 임피던스가 변화하더라도 일정한 출력 임피던스를 얻을 수 있다.
- [55] 도 5는 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에 임피던스 소자가 연결된 회로 형태를 나타낸다. 각 포트에 명시된 a와 b는 각각 입사파와 반사파를 나타내며 도시된 바와 같이 입력 포트에는 RF 신호(a1)가 입력(혹은 입사)되고, 출력 포트에는 RF 신호(b2)가 출력(혹은 전달)된다. 또한, 입력 포트 및 출력 포트에는 각각 입력 신호(a1)와 출력 신호(b2) 이외에도 입사되는 신호 a1의 반사파인 신호 b1과 출력 포트에 입사되는 신호 a2가 존재하고, 커플드 포트 및

격리 포트에도 각 포트에 입사되는 신호 a_3, a_4 와 각 포트에서 반사되는 신호 b_3, b_4 가 존재한다. 도 5를 참조하면, $\Gamma_D(=a_3/b_3)$ 는 커플드 포트에서 포트 터미네이션을 바라보았을 때의 반사 계수를, $\Gamma_{CT}(=a_4/b_4)$ 는 격리 포트에서 포트 터미네이션을 바라보았을 때의 반사 계수를 나타낸다.

[56] 신호 $a_1 \sim a_4, b_1 \sim b_4$ 간의 관계는 4-포트 커플러 고유의 S 파라미터를 이용하여 다음 수학적식과 같이 표현된다.

[57] 수학적식 1

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

[58] 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에 각각 50옴의 임피던스 소자가 연결되어 정합된 경우, $\Gamma_D=0, \Gamma_{CT}=0$ (즉, $a_3=0, a_4=0$)이 되고 상기 수학적식 1은 다음과 같이 나타내어진다.

[59] 수학적식 2

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

[60] 이때, 4-포트 커플러의 삽입 손실(IL: insertion loss) 및 커플링 전력(CP: coupled power)은 다음 수학적식과 같다.

[61] 수학적식 3

$$IL = \frac{b_2}{a_1} = S_{21} + S_{22} \frac{a_2}{a_1}$$

$$CP = \frac{b_3}{a_1} = S_{31} + S_{32} \frac{a_3}{a_1}$$

[62] 도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따라 4-포트 커플러(30)의 커플드 포트 및 격리 포트에 연결되는 임피던스 소자의 임피던스를 정하는 방법을 설명하기 위한 회로도이다. 도 6을 참조하면, $\Gamma_{PA}(=b_1/a_1)$ 는 4-포트 커플러(30)의 입력 포트에서의 반사 계수를 나타내며, 상기에서 설명한 바와 같이 4-포트 커플러(30)의 입력 포트는 전력 증폭기의 출력 매칭 회로(20)에 연결되므로 궁극적으로 전력 증폭기에서 안테나 부하 쪽을 바라본 임피던스의 변화를 나타낸다. 또한, $\Gamma_L(=a_2/b_2)$ 은 4-포트 커플러의 출력 포트에서의 반사 계수를 나타내며, 상기에서 설명한 바와 같이 안테나 부하(40)에 연결되므로 안테나 부하 임피던스의 변화를 나타낸다.

[63] 상기 수학적식 1을 달리 표현하면 다음과 같다.

[64] 수학식 4

$$b1 = S11 \cdot a1 + S12 \cdot a2 + S13 \cdot a3 + S14 \cdot a4$$

$$b2 = S21 \cdot a1 + S22 \cdot a2 + S23 \cdot a3 + S24 \cdot a4$$

$$b3 = S31 \cdot a1 + S32 \cdot a2 + S33 \cdot a3 + S34 \cdot a4$$

$$b4 = S41 \cdot a1 + S42 \cdot a2 + S43 \cdot a3 + S44 \cdot a4$$

[65] Γ_D 와 Γ_{CT} 가 0이 아닌 경우, Γ_L , Γ_D , Γ_{CT} 를 S 파라미터를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

[66] 수학식 5

$$\frac{1}{\Gamma_L} = \frac{b2}{a2} = S21 \cdot \frac{a1}{a2} + S22 + S23 \cdot \frac{a3}{a2} + S24 \cdot \frac{a4}{a2}$$

$$\frac{1}{\Gamma_D} = \frac{b3}{a3} = S31 \cdot \frac{a1}{a3} + S32 \cdot \frac{a2}{a3} + S33 + S34 \cdot \frac{a4}{a3}$$

$$\frac{1}{\Gamma_{CT}} = \frac{b4}{a4} = S41 \cdot \frac{a1}{a4} + S42 \cdot \frac{a2}{a4} + S43 \cdot \frac{a3}{a4} + S44$$

[67] 신호 a1에 대한 a2, a3, a4의 비율 a2/a1, a3/a1, a4/a1을 편의상 다음과 같이 C1, C3, C4로 정의하기로 하자.

[68] 수학식 6

$$C1 = \frac{a2}{a1}$$

$$C3 = \frac{a3}{a1}$$

$$C4 = \frac{a4}{a1}$$

[69] 상기 수학식 6을 이용하여 상기 수학식 5를 정리하면 다음과 같다.

[70] 수학식 7

$$\frac{1 - S22 \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L} = \frac{S21 + S23 \cdot C3 + S24 \cdot C4}{C1}$$

$$\frac{1 - S33 \cdot \Gamma_D}{\Gamma_D} = \frac{S31 + S32 \cdot C1 + S34 \cdot C4}{C3}$$

$$\frac{1 - S44 \cdot \Gamma_{CT}}{\Gamma_{CT}} = \frac{S41 + S42 \cdot C1 + S43 \cdot C3}{C4}$$

[71] 4-포트 커플러가 가역적(reciprocal)이라고 하면, 커플드 포트 및 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우 4-포트 커플러의 S 파라미터 사이에는 다음 수학식이

성립한다.

[72] 수학식 8

$$S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

[73] 그리고 상기 수학식 7의 좌변을 다음과 같이 정의하기로 하자.

[74] 수학식 9

$$\frac{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L} = A$$

$$\frac{1 - S_{33} \cdot \Gamma_D}{\Gamma_D} = B$$

$$\frac{1 - S_{44} \cdot \Gamma_{CT}}{\Gamma_{CT}} = D$$

[75] 상기 수학식 9에 정의된 바와 같이, 변수 A는 안테나 부하 임피던스의 변화를, B는 커플드 포트에서의 반사 계수를, 그리고 D는 격리 포트에서의 반사 계수를 반영하고, A, B, D를 이용하면 상기 수학식 7은 다음과 같이 표현된다.

[76] 수학식 10

$$C1 \cdot A = \alpha + \gamma \cdot C3 + \beta \cdot C4$$

$$C3 \cdot B = \beta + \gamma \cdot C1 + \alpha \cdot C4$$

$$C4 \cdot D = \gamma + \beta \cdot C1 + \alpha \cdot C3$$

[77] C1, C3, C4를 수학식 11과 같이 분자와 분모로 표현하고, 상기 수학식 10을 C1, C3, C4에 관하여 풀면, 수학식 12와 같은 해를 얻을 수 있다.

[78] 수학식 11

$$C1 = \frac{C1_num}{C1_den}$$

$$C3 = \frac{C3_num}{C3_den}$$

$$C4 = \frac{C4_num}{C4_den}$$

[79] 수학식 12

$$C1_num = B(\alpha BD - \alpha^3 + \beta\gamma D + \alpha\gamma^2 + \alpha\beta^2 + \beta\gamma B)$$

$$C1_den = (AB - \gamma^2)(BD - \alpha^2) - (\beta B + \alpha\gamma)^2$$

$$C3_num = D(\beta AD - \beta^3 + \alpha\gamma A + \beta\gamma^2 + \alpha^2\beta + \alpha\gamma D)$$

$$C3_den = (BD - \alpha^2)(AD - \beta^2) - (\gamma D + \alpha\beta)^2$$

$$C4_num = A(\gamma AB - \gamma^3 + \alpha\beta B + \beta^2\gamma + \alpha^2\gamma + \alpha\beta A)$$

$$C4_den = (AD - \beta^2)(AB - \gamma^2) - (\alpha A + \beta\gamma)^2$$

- [80] 상기 수학식 9에서, Γ_D 와 Γ_{CT} 는 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션 임피던스에 따라 설계할 수 있는 파라미터이고, 증폭기 부하 임피던스(Z_{LOAD})를 일정하게 하기 위해서는, 안테나 부하 임피던스의 변화를 나타내는 Γ_L (혹은 변수 A)이 변화하여도 전력 증폭기에서 안테나 부하 쪽을 바라본 임피던스를 나타내는 Γ_{PA} 가 바뀌지 않도록 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 적절하게 조정하면 된다. 이러한 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 찾는 것은 곧 C1, C3, C4를 최소화시킬 수 있는 B와 D를 결정하는 것과 같다.

- [81] 이러한 해들 중 하나는 다음 수학식 13 및 14를 만족한다.

- [82] 수학식 13

$$\frac{\partial C1}{\partial A} = 0 \implies B \cdot D = \alpha^2$$

- [83] 수학식 14

$$\frac{\partial C3}{\partial A} = 0 \implies \beta \cdot D + \alpha\gamma = 0$$

- [84] 상기 수학식 13 및 14를 풀면 다음과 같은 해를 얻을 수 있다.

- [85] 수학식 15

$$D = -\frac{\alpha\gamma}{\beta} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B + S33}$$

$$B = -\frac{\alpha\beta}{\gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S44}$$

- [86] 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션(termination)이 상기 수학식 15를 만족하도록 하면, 부하 임피던스의 변화에도 불구하고 일정한 출력 임피던스를 얻을 수 있다.

- [87] 도 7은 1.950GHz에서, 미리 주어진 4-포트 커플러의 S 파라미터에 따라서 정해지는 α , β , γ 와 상기 수학식 15에 의해 계산되는 B, D, 그리고 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 스미스 차트 상에 표시한 결과를 나타낸다.

- [88] 도 7을 참조하면, $\Gamma_D = -0.047 + j0.764$ 로 정해지고, $\Gamma_{CT} = -0.035 + j1.319$ 로 정해지며, 이때의 커플드 포트의 터미네이션(Z_D)은 $12.34 + j45.47$ 이고, 격리 포트의

터미네이션(Z_{CT})은 $-13.19+j46.92$ 이다. 이와 같이 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 원하는 값으로 하기 위하여 포트의 터미네이션은 네거티브 저항값을 포함할 수 있다. 네거티브 저항값은 트랜지스터 등을 이용한 잘 알려진 회로 기법을 이용하여 구현할 수 있다.

- [89] 도 8은 도 7에서 정해진 바와 같이 커플드 포트의 터미네이션(Z_D)을 $12.34+j45.47$ 로 하고, 격리 포트(Z_{CT})의 터미네이션을 $-13.19+j46.92$ 로 하였을 때 안테나 부하 임피던스가 변화함에 따른 Γ_{PA} 의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 도 8을 참조하면, 네모로 표시된 점들은 안테나 부하 임피던스(Γ_L)의 변화를, 원으로 표시된 점은 4-포트 커플러의 입력 포트에서 안테나 부하 쪽을 바라본 임피던스(Γ_{PA})를 나타낸다. 비교 대상으로서 십자로 표시된 점들은 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션을 50옴으로 정합한 경우의 Γ_{PA} 를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 4-포트 커플러의 터미네이션을 50옴으로 한 경우에는 안테나 부하 임피던스의 변화에 따라서 출력 임피던스가 매우 심하게 변화하나, 도 7에서 계산된 터미네이션으로 한 경우 50옴의 일정한 값으로 유지됨을 알 수 있다.
- [90] 도 9는 도 8을 기초로 하여 전력증폭기의 출력 매칭 회로(20)를 고려한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 도 9를 참조하면, 출력 매칭 회로(20)의 등가 요소로서 이상적인 경우의 출력 임피던스가 4옴이 되도록 하는 전송선로(특성 임피던스 13.2옴, 전기적 길이 90°)가 4-포트 커플러의 입력 포트에 연결된 회로가 도시된다. 도시된 회로를 이용하여 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스(Γ_{PA})를 시뮬레이션한 결과가 원으로 표시된 점으로 나타난다. 비교 대상으로서 세모로 표시된 점들은 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션을 50옴으로 정합한 경우의 Γ_{PA} 를 나타낸다. 이와 같이, 출력 매칭 회로(20)를 고려하는 경우, 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스가 4옴으로 일정한 값이 유지되어 안테나 부하 임피던스가 변화해도 전력증폭기의 특성이 일정하게 유지되므로 전체적인 배터리 소모가 일정하게 된다.
- [91] 도 10은 상술한 제1 실시예에서 발생할 수 있는 문제점을 설명하기 위한 참고도이다.
- [92] 상술한 바와 같이, 제1 실시예에서는 상기 수학식 15를 이용하여 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 찾고 그에 따른 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션 값을 구한다. 여기서, 실제 구현되는 터미네이션 값이 계산으로 구해진 정확한 값에서 약간 벗어난 경우에 일어나는 현상을 살펴보기로 한다. 예컨대, 도시된 바와 같이 Γ_{CT} 에 대응하는 임피던스 $-27.013+j41.926$ 에서 저항값 -27.013 옴이 -26 옴으로 약간 변동된 경우를 가정하자. 도 8에 도시된 회로와 달리 저항값을 -26 옴으로 설정하고 시뮬레이션한 결과가 도 10에 도시된다. 도 10의 오른쪽 스미스 차트를 참조하면, 저항값이 정확한 값인 경우가 원으로 표시된 점(중앙의 "계산된 Γ_{PA} "), 저항값이 -26 옴으로 약간 변동된 경우가 세모로 표시된 점으로 도시된다

("변경된 Γ_{PA} "). 이와 같이, 저항값이 약간 변동되었지만 출력 임피던스의 변화가 다소 심하게 일어남을 알 수 있다. 따라서 상기된 제1 실시예에 따르면, 계산된 값에 따라 커플드 포트와 격리 포트를 정확한 값으로 터미네이션하면 문제가 없지만 실제 구현되는 임피던스 소자의 값에 오차가 발생하는 경우 원하는 특성을 얻지 못하는 문제점이 발생할 수 있다.

[93] 이하에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명의 제2 실시예에 따라 4-포트 커플러(30)의 커플드 포트 및 격리 포트에 연결되는 임피던스 소자의 임피던스를 정하는 방법을 설명한다.

[94] 상기 수학식 12의 다른 해로서, 다음 수학식 16의 조건을 만족하는 해를 구하면 수학식 17과 같다.

[95] 수학식 16

$$C1_num = 0 \ \& \ C3_den = \max$$

[96] 수학식 17

$$D = \frac{\beta^2}{A} \qquad \Gamma_D = \frac{1}{B + S33}$$

$$B = \frac{\alpha(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2) - D \cdot \beta \cdot \gamma}{\alpha D + \beta \gamma} \qquad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S44}$$

[97] 도 11은 상기 수학식 17에 따라 구해진 Γ_D 와 Γ_{CT} 를 가지고 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

[98] 도 11을 참조하면, $\Gamma_D = -0.026 + j0.032$ 로 정해졌으며, Γ_{CT} 는 가능한 여러 값들 중 하나인 $\Gamma_{CT} = -9.04 + j6.56$ 로 정하였다. 이렇게 하는 경우 도 11에 도시된 바와 같이 제1 실시예에서처럼 정확히 50옴을 구현하는 것은 아니지만, 50옴 근처의 임피던스로 정합하면서 동시에 안테나 부하가 변화하여도 일정한 임피던스 혹은 반사계수를 가지게 된다.

[99] 도 12는 도 11을 기초로 하여 전력증폭기의 출력 매칭 회로를 고려한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 도 12를 참조하면, 출력 매칭 회로의 등가 요소로서 이상적인 경우의 출력 임피던스가 4옴이 되도록 하는 전송선로(특성 임피던스 13.2옴, 전기적 길이 90°)가 4-포트 커플러의 입력 포트에 연결된 회로가 도시된다.

[100] 도 12(a)는 수학식 17에 의해 계산된 격리 포트에 연결된 인덕턴스 및 저항이 각각 0.01nH 및 -42옴이고, 커플드 포트에 연결된 인덕턴스 및 저항이 각각 3.16nH 및 24.5옴인 경우 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스(Γ_{PA})를 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 도 12(b)는 격리 포트에 연결된 인덕턴스 및 저항이 각각 0.5nH 및 -48옴이고, 커플드 포트에 연결된 인덕턴스 및 저항이 각각 0.16nH 및 45.9옴인 경우 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스(Γ_{PA})를 시뮬레이션한 결과를

나타낸다.

- [101] 도 12를 참조하면, 안테나 부하 임피던스가 변화할 때(네모로 표시된 점들), 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스(원으로 표시된 점들)는 일정한 값을 가지지는 않으나 보다 적은 범위에서 변화하는 것을 확인할 수 있다. 비교 대상으로서 별로 표시된 점들은 커플드 포트와 격리 포트의 터미네이션을 50옴으로 한 경우의 임피던스 변화를 나타낸다.

- [102] 다만, 상술한 제2 실시예 역시 실제 구현에 있어서 추가적인 사항을 고려해야 한다. 다시 도 6을 참조하면, 전력 증폭기에서 안테나 부하 쪽을 바라본 출력 임피던스 Γ_{PA} 와 본 발명에서 제안된 4-포트 커플러의 전체 삽입손실(IL)은 이상적으로는 다음 수식과 같이 표현될 수 있다.

- [103] 수식 18

$$\Gamma_{PA} = \frac{b1}{a1} = S11 + S12 \cdot C1 + S13 \cdot C3 + S14 \cdot C4 \approx S11$$

$$IL = \frac{b2}{a1} = S21 + S22 \cdot C1 + S23 \cdot C3 + S24 \cdot C4 \approx S21$$

- [104] 왜냐하면, 상기 제1 및 제2 실시예는 C1, C3, C4를 최소화시키는 것이 목적이므로, $C1 \approx 0$, $C3 \approx 0$, $C4 \approx 0$ 으로 볼 수 있기 때문이다.

- [105] 도 13은 상기 제2 실시예에 따라 커플드 포트와 격리 포트를 터미네이션한 경우에 안테나 부하 임피던스의 변화에 따른 4-포트 커플러의 삽입손실(IL)을 나타내는 표이다. 도 13에서 SP1.C1, SP1.C3, SP1.C4는 상기 제2 실시예에 의해 계산된 C1, C3, C4를 의미한다. 도 13을 참조하면, C1, C3는 비교적 작은 값이나 C4는 상당히 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이와 같이 상기 제2 실시예에 의해 계산되는 C1, C3, C4가 모두 동시에 작지는 않기 때문에, 도 13에 도시된 바와 같이 삽입손실(IL)이 거의 0으로서, 이는 4-포트 커플러의 입력 전력이 전부 손실되거나 반사되게 되어 4-포트 커플러의 출력, 즉 안테나로 전력이 전달되지 않게 되는 것을 의미한다. 이렇게 되는 이유를 다음에서 설명한다.

- [106] 수식 19

$$\Gamma_{PA} = \frac{b1}{a1} = S11 + S12 \cdot C1 + S13 \cdot C3 + S14 \cdot C4 \approx S11 + S14 \cdot C4$$

$$IL = \frac{b2}{a1} = S21 + S22 \cdot C1 + S23 \cdot C4 + S24 \cdot C4 \approx S21 + S24 \cdot C4$$

- [107] 상기 수식 19에서, $C1 \approx 0$, $C3 \approx 0$ 을 만족하나 C4가 0이 되지 않는다. 따라서 삽입손실(IL)은 이상적으로는 S21 항만 있어야 하는데, 수식 20과 같이 C4가 0이 아님으로 인해 거의 0 값을 가지게 되는 것이다.

- [108] 수식 20

$$IL = S21 + S24 \cdot C4 \approx 0$$

- [109] 따라서 본 발명의 제3 실시예에 의하면, 4-포트 커플러의 S21의 위상을

- 적절하게 조정하여 삽입손실(IL)이 0이 되지 않고 1에 가까운 값을 가지도록 함으로써 4-포트 커플러를 통해 출력 전력이 전달되지 않는 문제점을 해결한다.
- [110] 4-포트 커플러의 S21의 위상을 조정하는 방법으로는, 4-포트 커플러의 입력 포트에 위상 시프터와 같은 위상 조정 수단을 추가하는 방법이 있다.
- [111] 도 14는 출력 매칭 회로(20)(미도시)와 4-포트 커플러(30)의 입력 포트 사이에 위상 시프터를 연결한 회로도도를 나타낸다. 즉, 위상 시프터는 출력 매칭 회로(20)(미도시)의 출력단과 4-포트 커플러(30)의 입력 포트 사이에 연결된다.
- [112] 도 15는 위상 시프터의 위상을 60° 로 설정한 경우의 Γ_{PA} 의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 4-포트 커플러의 삽입손실(IL)이 0이 되지 않고 1에 가까운 값을 가지도록 하는 적절한 위상 값은 통상의 시뮬레이션 툴을 이용하여 구할 수 있다.
- [113] 도 15를 참조하면, 안테나 부하 임피던스의 변화(Γ_L)(네모로 표시된 점들)에도 불구하고 4-포트 커플러의 입력 포트에서 안테나 부하 쪽을 바라본 출력 임피던스(Γ_{PA})(원으로 표시된 점들)는 50옴 근처에서 적은 범위로 변화하고 있다. 또한, 출력 매칭 회로로서 이상적인 전송선로(특성 임피던스 13.2옴, 전기적 길이 90°)를 4-포트 커플러의 입력 포트에 연결한 경우 전력증폭 회로(10)의 출력단에서 안테나 부하(40) 쪽을 바라본 임피던스(Γ_{PA})(십자로 표시된 점들)는 매우 작은 범위에서 변화하고 있다. 따라서 제3 실시예에 의하여, 안테나 부하 임피던스의 변화에도 불구하고 일정한 증폭기 부하 임피던스를 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [114] 도 16은 위상 시프터의 위상을 60° 로 설정한 경우에 안테나 부하 임피던스의 변화에 따른 삽입손실(IL)의 계산값을 나타내는 표이다. 도 16을 참조하면, 삽입손실이 거의 1로서 전력 증폭기에서 증폭된 전력이 대부분 안테나 부하로 전달되는 것을 알 수 있다.
- [115] S21의 위상을 조정하는 다른 방법으로는, 4-포트 커플러를 메타물질(metamaterials)로 구현함으로써 4-포트 커플러 자체의 S21의 위상을 원하는 값으로 하는 방법이 있다. 이 경우 별도의 위상 조정 수단이 요구되지 않는다. 즉, 메타물질을 이용하여 4-포트 커플러의 S21의 위상을 삽입손실이 1에 가까운 값이 되도록 설정할 수 있다.
- [116] 상술한 본 발명에서 나아가, 안테나 부하 임피던스의 변화를 검출하여 이를 4-포트 커플러와 위상 조정 수단으로 피드백하고, 4-포트 커플러의 특성 또는 위상 조정 수단의 위상값을 조정함으로써 안테나 부하 임피던스의 변화에 적응적으로 일정한 출력 임피던스를 유지하도록 하는 회로를 구현할 수도 있다. 이러한 회로를 소위 Impedance Locked Loop (ILL)으로 명명하고자 한다.
- [117] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라

설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

청구범위

[청구항 1]

입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로;
상기 전력증폭 회로의 출력단에 연결되어 상기 전력증폭 회로와
안테나 부하 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로;
및
상기 출력 매칭 회로와 상기 안테나 부하 사이에 연결되는 4-포트
커플러를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 2]

제1항에 있어서,
상기 4-포트 커플러의 입력 포트는 상기 출력 매칭 회로와
연결되고,
상기 4-포트 커플러의 출력 포트는 상기 안테나 부하와 연결되고,
상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에는 각각 소정의
임피던스 소자가 연결되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 3]

제2항에 있어서,
상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및
 Γ_{CT} 가 다음 수학적식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정되는
것을 특징으로 하는 전력증폭기.

$$D = -\frac{\alpha\gamma}{\beta} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B+S_{33}}$$

$$B = -\frac{\alpha\beta}{\gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D+S_{44}}$$

여기서, 상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리
포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를
가진다.

$$S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

[청구항 4]

제2항에 있어서,
상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및
 Γ_{CT} 가 다음 수학적식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정되는
것을 특징으로 하는 전력증폭기.

$$D = \frac{\beta^2}{A} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B+S_{33}}$$

$$B = \frac{\alpha(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2) - D \cdot \beta \cdot \gamma}{\alpha D + \beta \gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D+S_{44}}$$

여기서, A는 상기 4-포트 커플러의 출력 포트에서 상기 안테나

부하 쪽을 바라본 반사 계수 Γ_L 과 다음의 관계를 가지며,

$$A = \frac{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L}$$

상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

[청구항 5]

제2항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 4-포트 커플러의 S21의 위상을 변화시키기 위한 위상 조정 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 6]

제5항에 있어서,
상기 위상 조정 수단은 상기 출력 매칭 회로와 상기 4-포트 커플러의 입력 포트 사이에 연결되는 위상 시프터(phase shifter)인 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 7]

제6항에 있어서,
상기 위상 시프터의 위상 값은 상기 4-포트 커플러의 삽입 손실이 1에 가까운 값이 되도록 설정되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 8]

제1항에 있어서,
상기 4-포트 커플러는 메타물질로 구현되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 9]

제4항에 있어서,
상기 메타물질을 이용하여 상기 4-포트 커플러의 S21의 위상은 삽입 손실이 1에 가까운 값이 되도록 설정되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 10]

입력신호를 증폭하는 전력증폭 회로;
상기 전력증폭 회로의 출력단에 연결되어 상기 전력증폭 회로와 안테나 부하 사이에서 임피던스 매칭을 수행하는 출력 매칭 회로;
상기 출력 매칭 회로와 상기 안테나 부하 사이에 마련되는 4-포트 커플러; 및
상기 출력 매칭 회로와 상기 4-포트 커플러의 입력 포트 사이에 연결되는 위상 시프터를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 11]

제10항에 있어서,
상기 4-포트 커플러의 입력 포트는 상기 위상 시프터와 연결되고,

상기 4-포트 커플러의 출력 포트는 상기 안테나 부하와 연결되고, 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트에는 각각 소정의 임피던스 소자가 연결되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

[청구항 12]

제11항에 있어서,

상기 4-포트 커플러의 커플드 포트 및 격리 포트의 반사 계수 Γ_D 및 Γ_{CT} 가 다음 수학적식을 만족하도록 상기 임피던스 소자가 결정되는 것을 특징으로 하는 전력증폭기.

$$D = \frac{\beta^2}{A} \quad \Gamma_D = \frac{1}{B + S_{33}}$$

$$B = \frac{\alpha(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2) - D \cdot \beta \cdot \gamma}{\alpha D + \beta \gamma} \quad \Gamma_{CT} = \frac{1}{D + S_{44}}$$

여기서, A는 상기 4-포트 커플러의 출력 포트에서 상기 안테나 부하 쪽을 바라본 반사 계수 Γ_L 과 다음의 관계를 가지며,

$$A = \frac{1 - S_{22} \cdot \Gamma_L}{\Gamma_L}$$

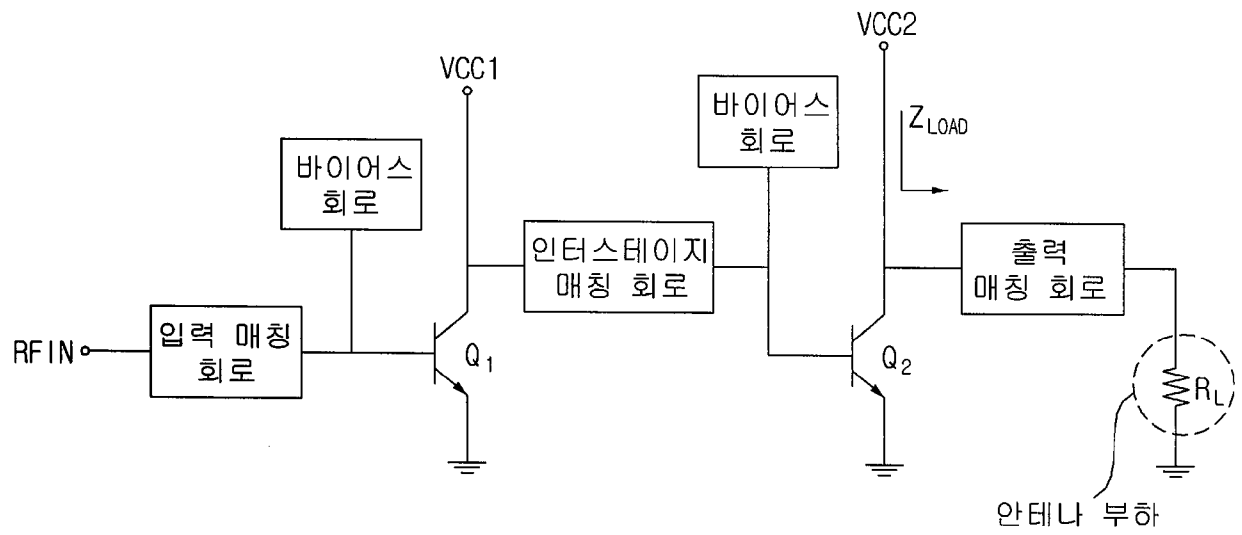
상기 α, β, γ 는 상기 4-포트 커플러의 커플드 포트와 격리 포트가 50옴으로 정합된 경우의 S 파라미터와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S_{21} = S_{12} = S_{34} = S_{43} = \alpha$$

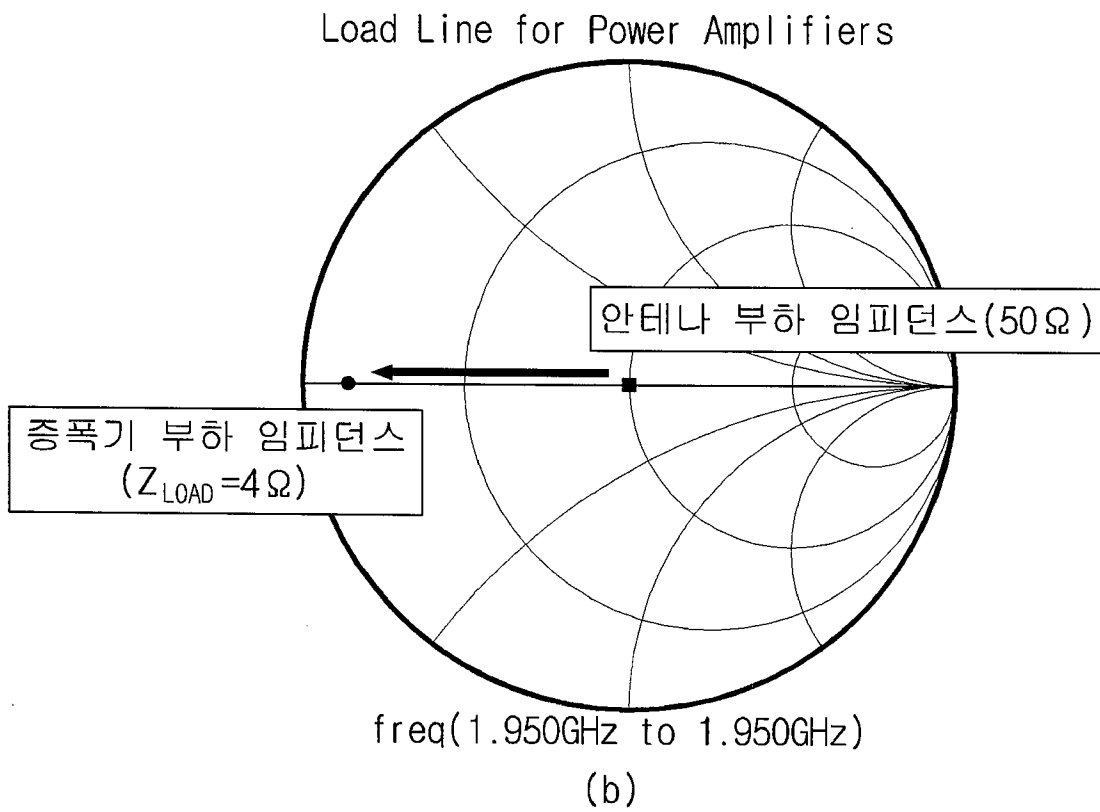
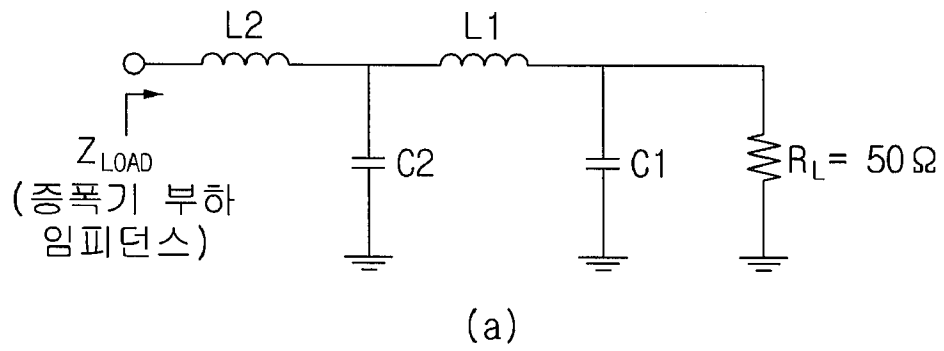
$$S_{31} = S_{13} = S_{24} = S_{42} = \beta$$

$$S_{32} = S_{23} = S_{14} = S_{41} = \gamma$$

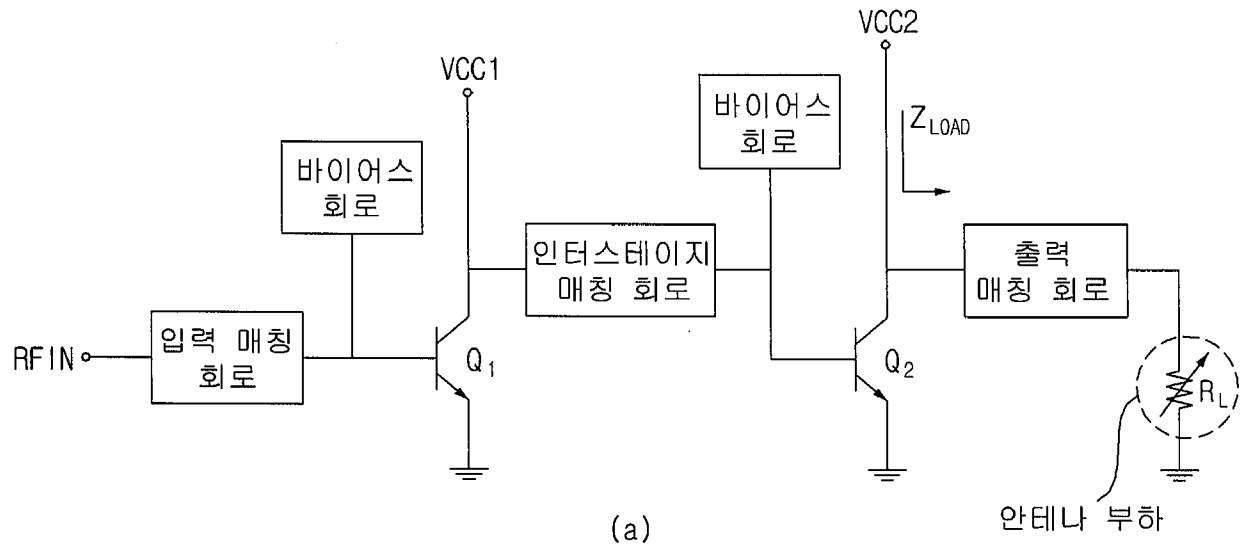
[Fig. 1]



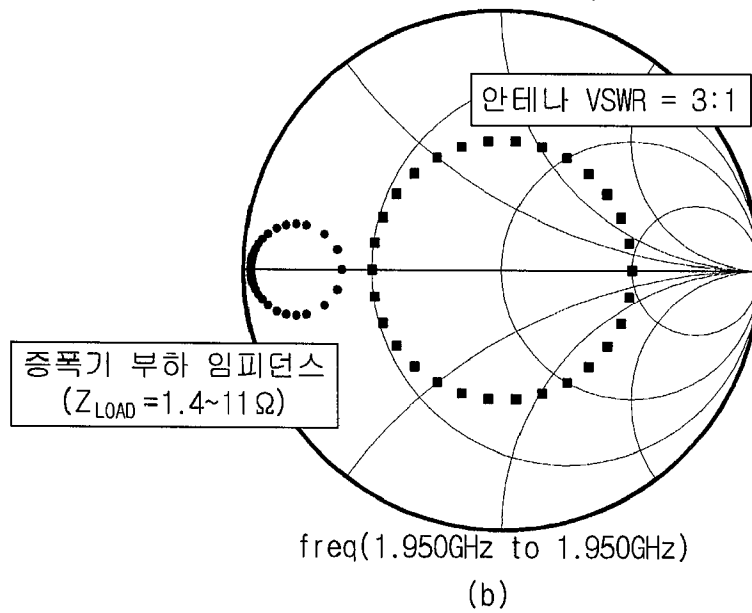
[Fig. 2]



[Fig. 3]



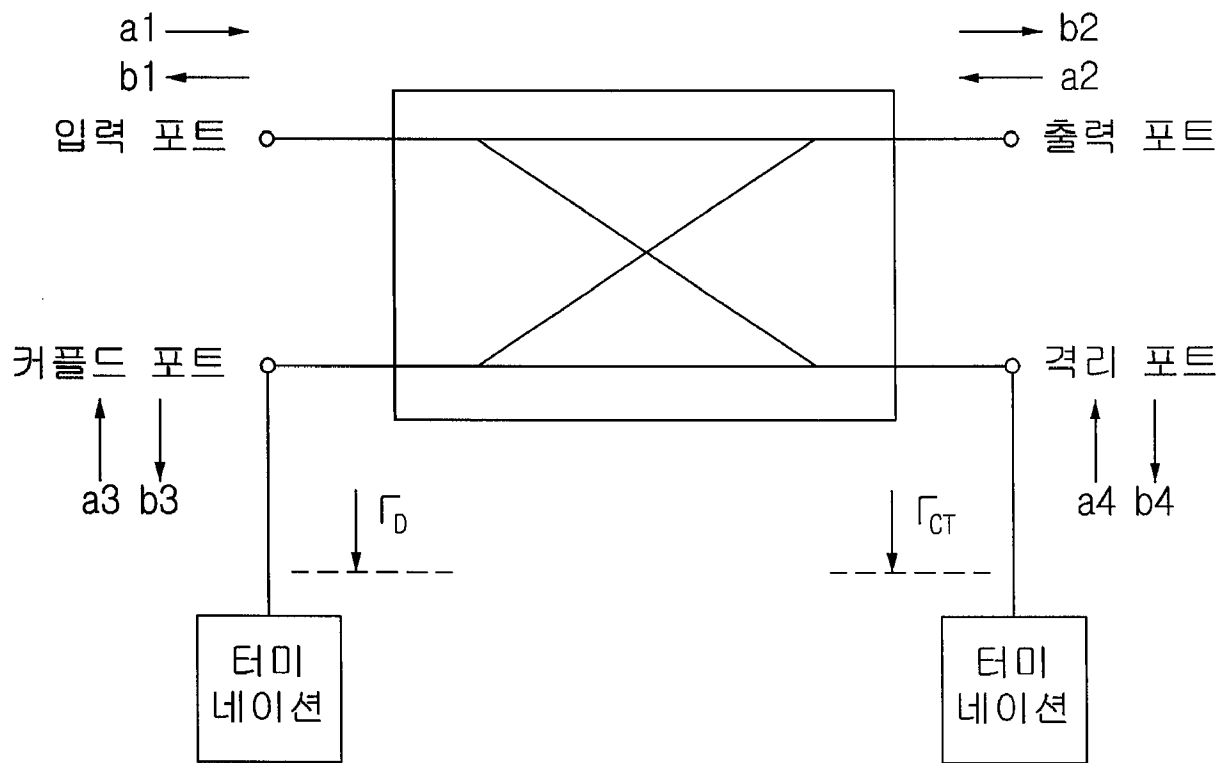
Load Line for Power Amplifiers



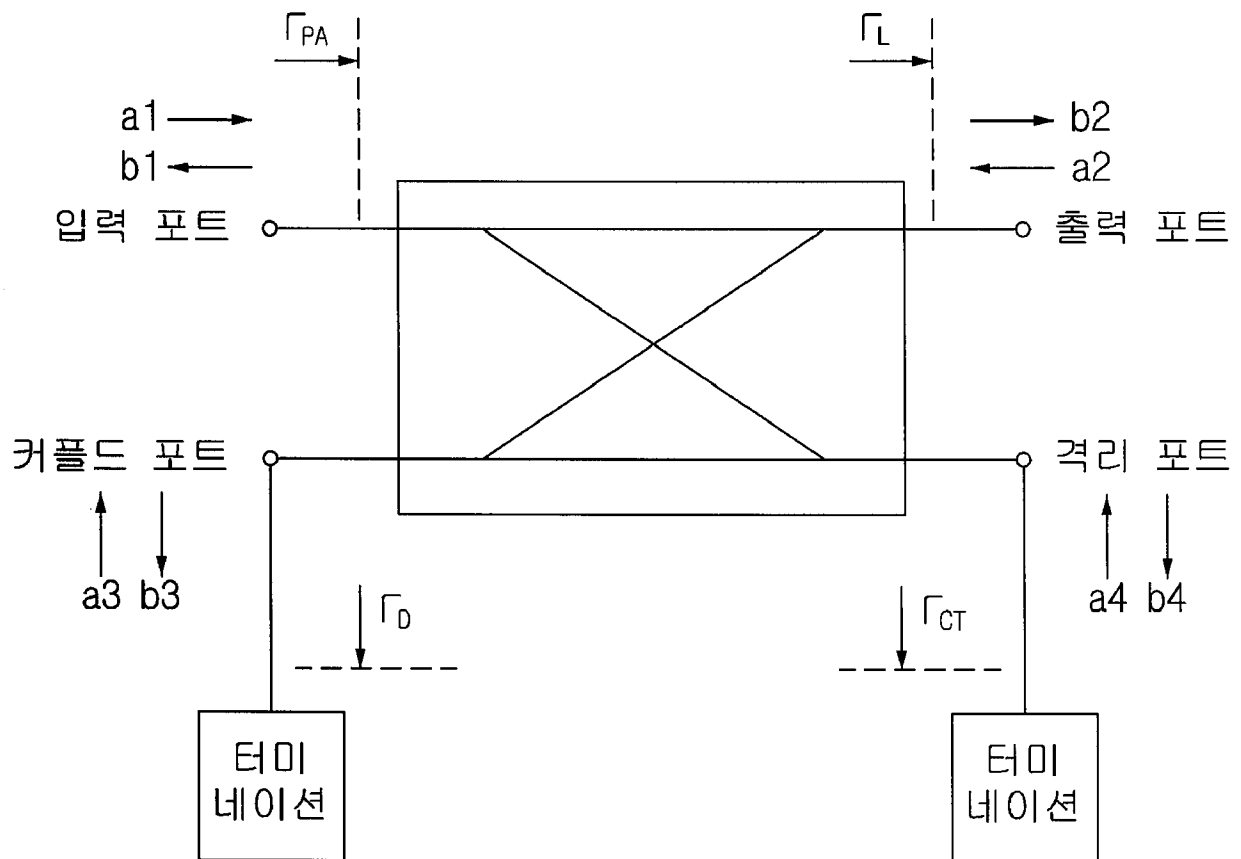
The diagram illustrates a variable gain amplifier (10) with the following components and connections:

- RF Input:** An RF input signal is applied to the input matching network (입력 매칭 회로).
- First Stage:** The signal passes through a first biasing circuit (바이어스 회로) and a first interstage matching network (인터스테이지 매칭 회로) to the base of a first transistor (Q_1).
- Second Stage:** The output of the first stage is connected to the base of a second transistor (Q_2).
- Output Stage:** The output of the second transistor (Q_2) is connected to an output matching network (출력 매칭 회로), which is then connected to a load impedance (Z_{LOAD}).
- Feedback Path:** A feedback path (30) is connected between the output matching network and the input matching network, containing a feedback circuit (출력 회로).
- Control and Tuning:** The amplifier is controlled by a control signal (제어신호) and includes a tuning circuit (터미네이션) and a feedback circuit (피드백).
- Power Supply:** The circuit is powered by two supply voltages, $VCC1$ and $VCC2$.

[Fig. 5]

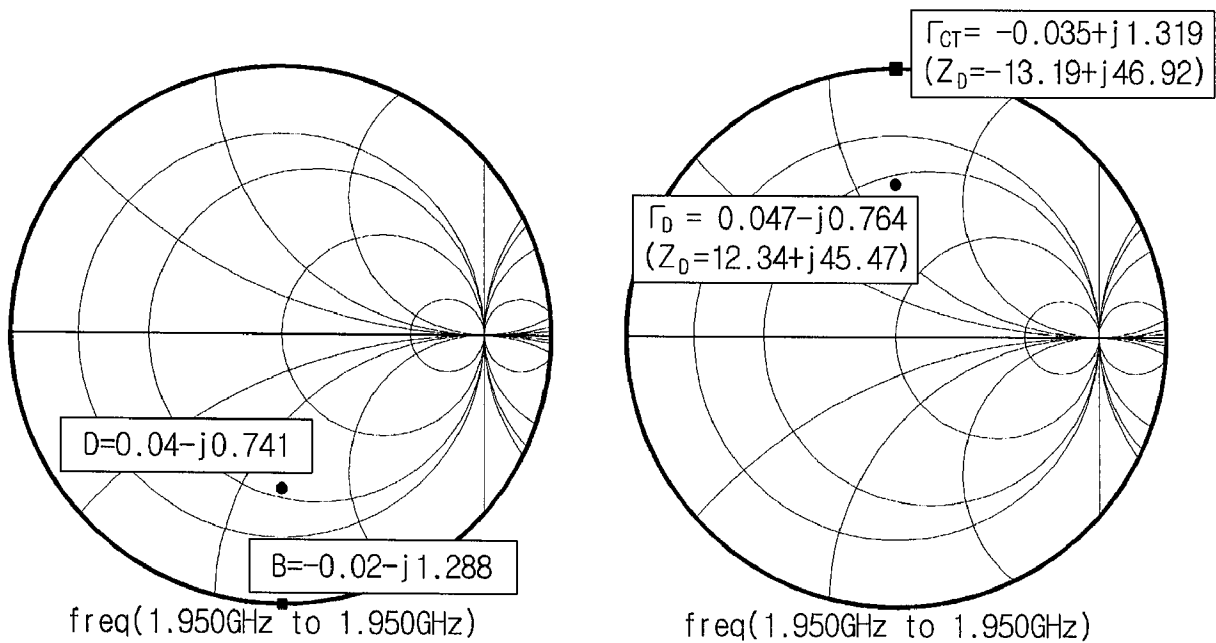
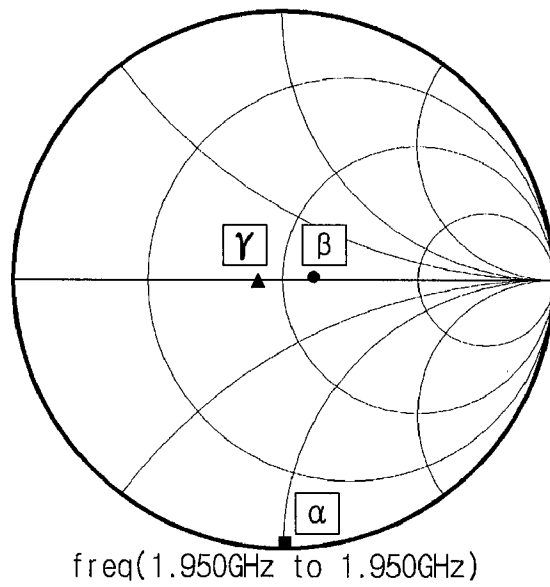


[Fig. 6]

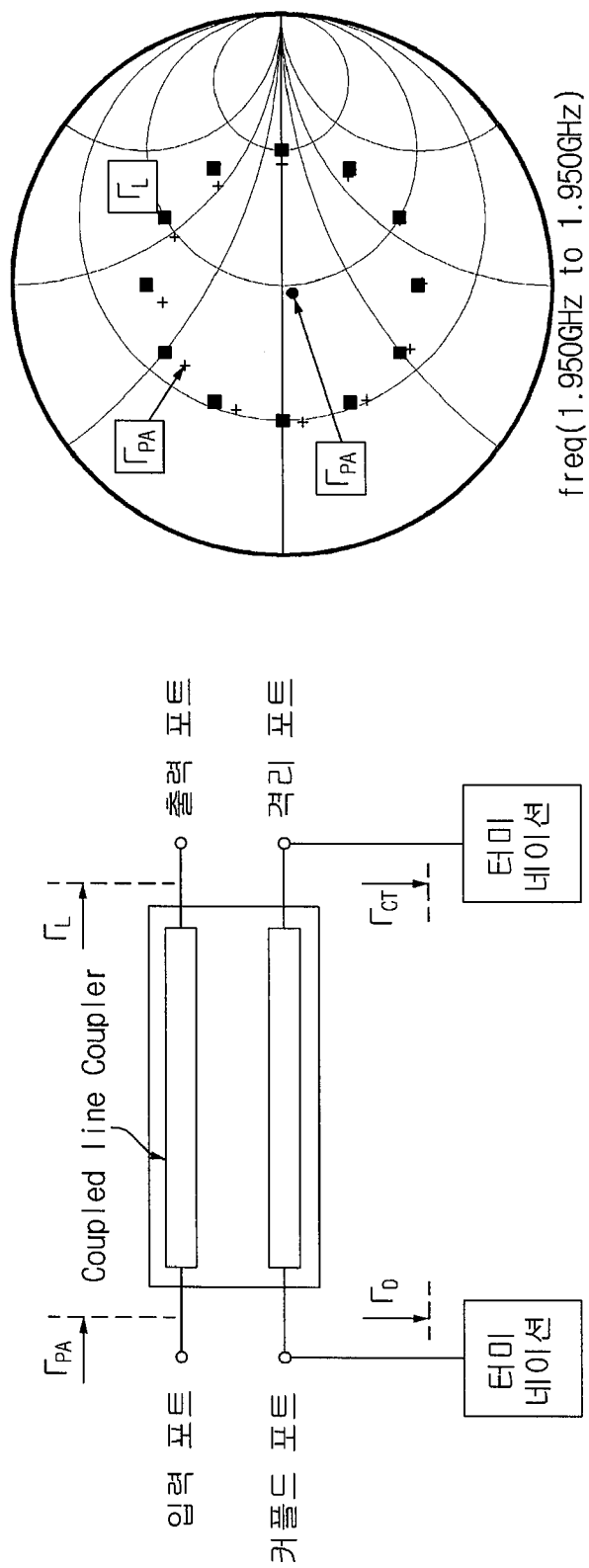


[Fig. 7]

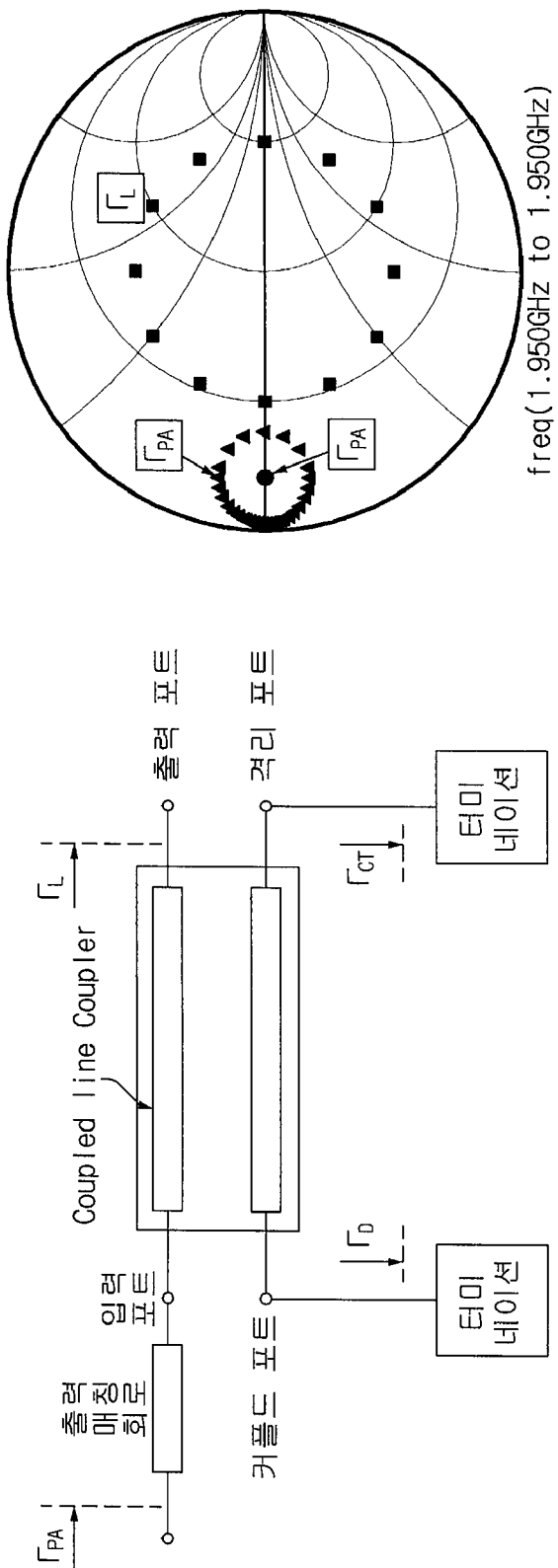
$$\begin{aligned}
 S_{12} &= \alpha = 0.0244 - j0.9618 \\
 S_{13} &= \beta = 0.1942 + j0.0136 \\
 S_{14} &= \gamma = -0.1038 - j0.0173 \\
 S_{22} &= S_{33} = S_{44} \\
 &= -0.064 - j0.0286
 \end{aligned}$$



[Fig. 8]



[Fig. 9]



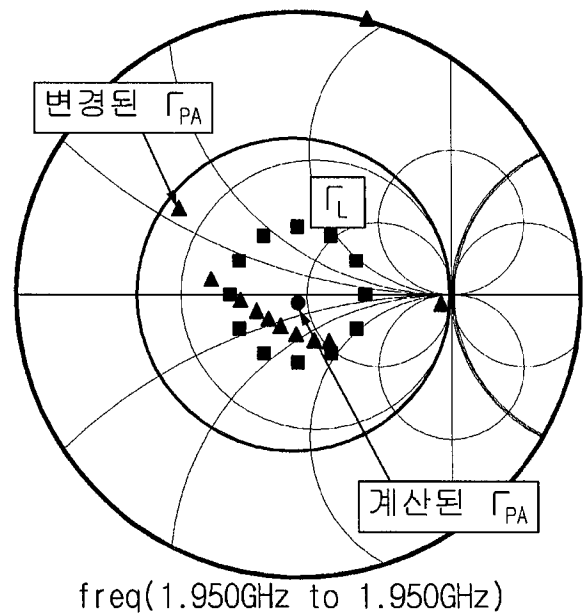
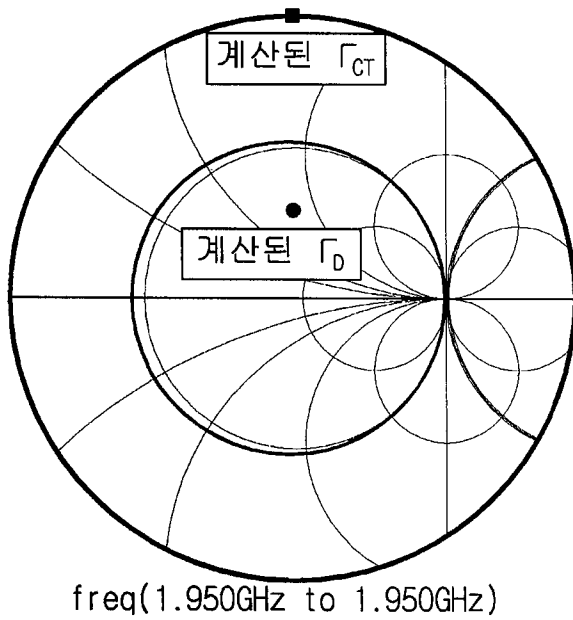
[Fig. 10]

계산된 임피던스 터미네이션

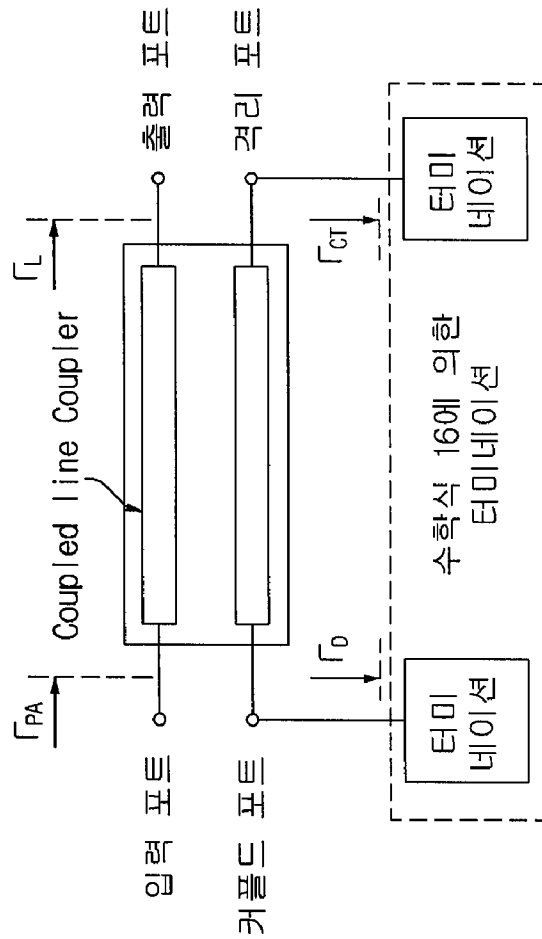
- 커플드 포트 터미네이션
저항 = 24.5Ω
인덕터 = 3.16nH
- 격리 포트 터미네이션
저항 = -27Ω
인덕터 = 3.42nH

변동된 임피던스 터미네이션

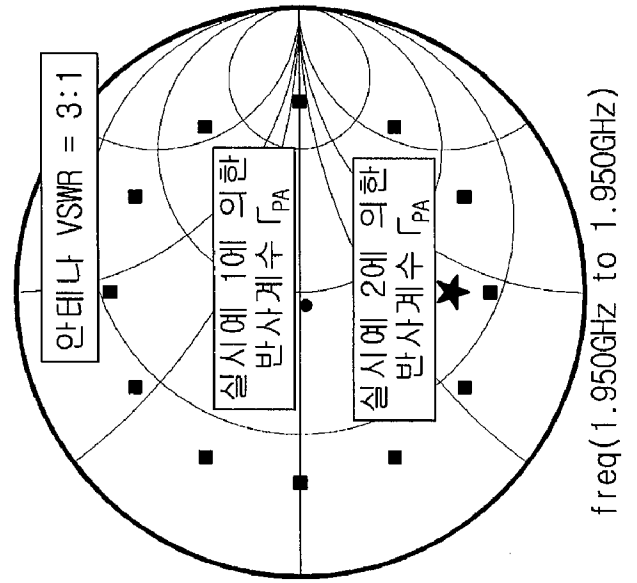
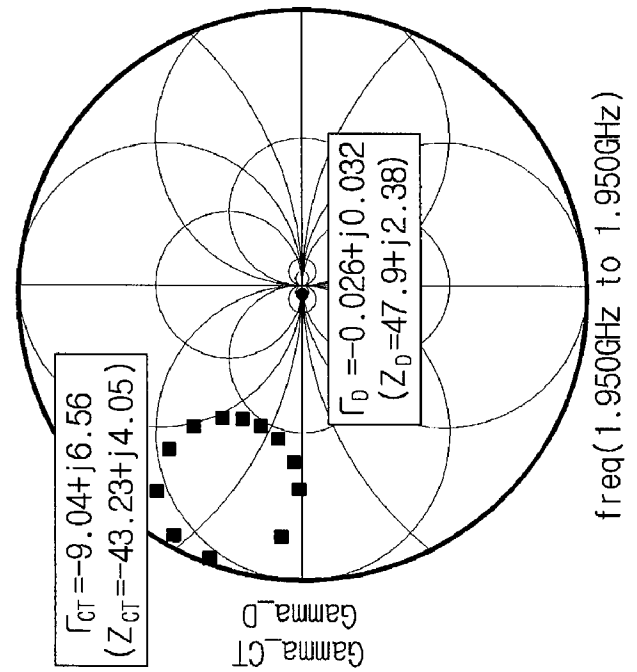
- 커플드 포트 터미네이션
저항 = 24.5Ω
인덕터 = 3.16nH
- 격리 포트 터미네이션
저항 = -26Ω
인덕터 = 3.42nH



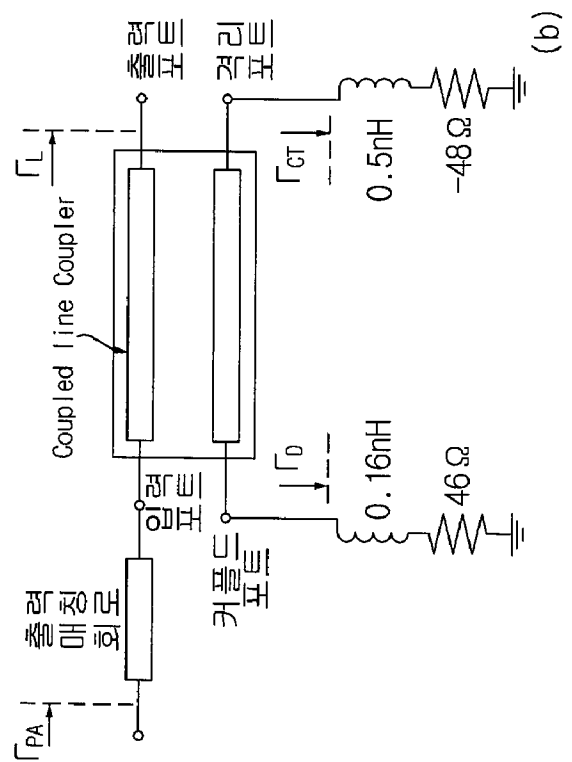
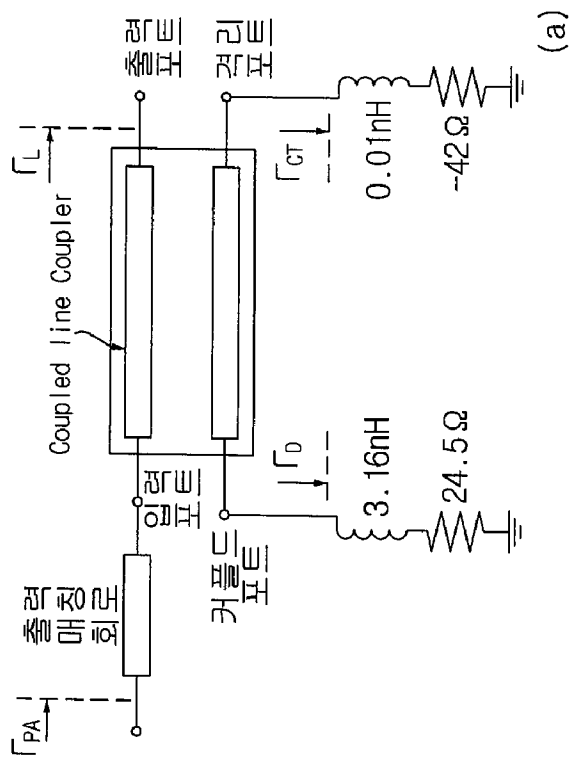
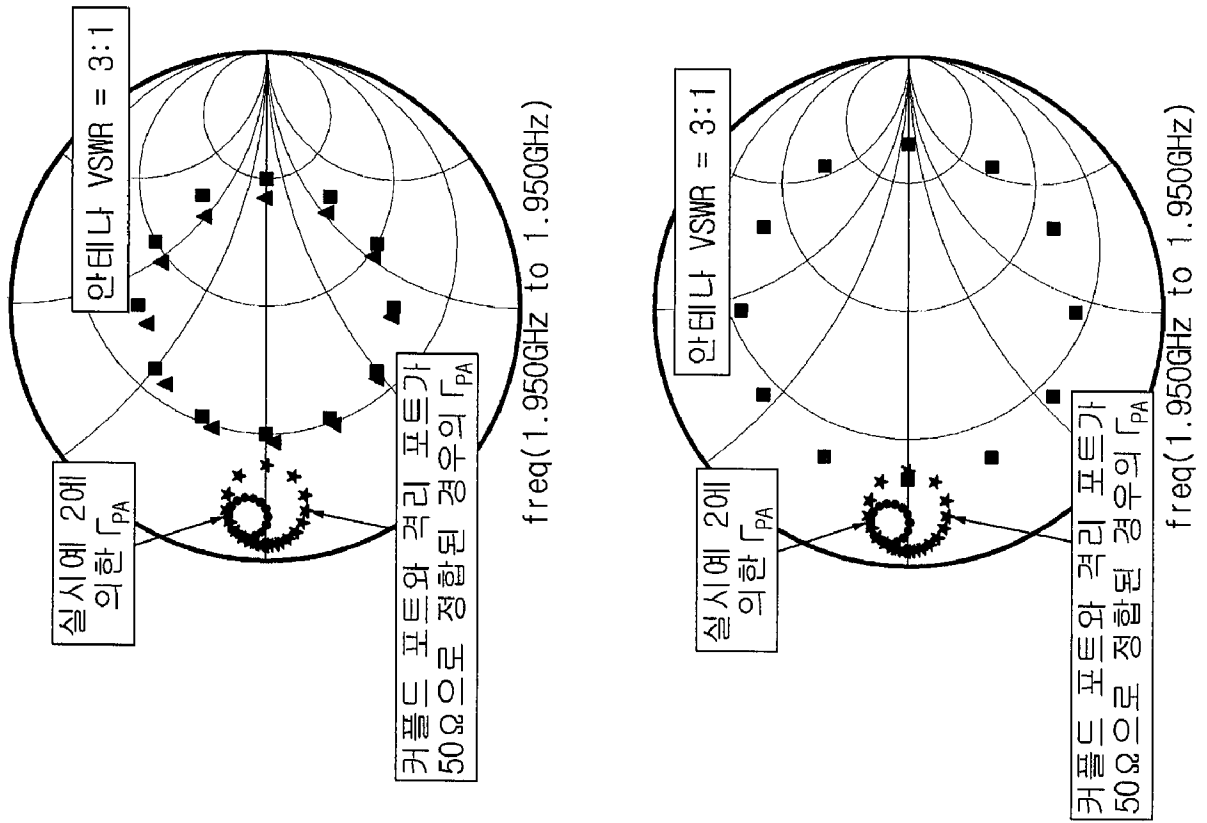
[Fig. 11]



$$\begin{aligned}
 S_{12} = \alpha &= 0.0244 - j0.9618 \\
 S_{13} = \beta &= 0.1942 + j0.0136 \\
 S_{14} = \gamma &= -0.1038 - j0.0173 \\
 S_{22} = S_{33} = S_{44} &= -0.064 - j0.0286
 \end{aligned}$$



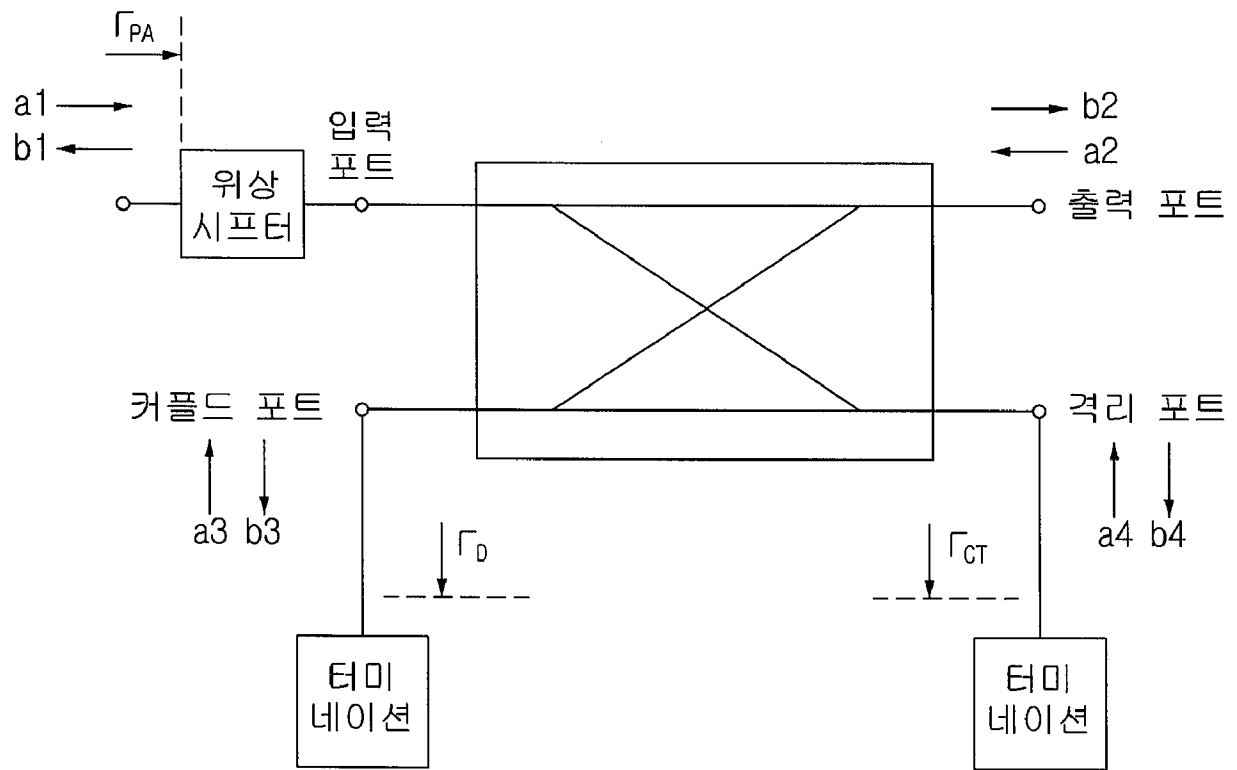
[Fig. 12]



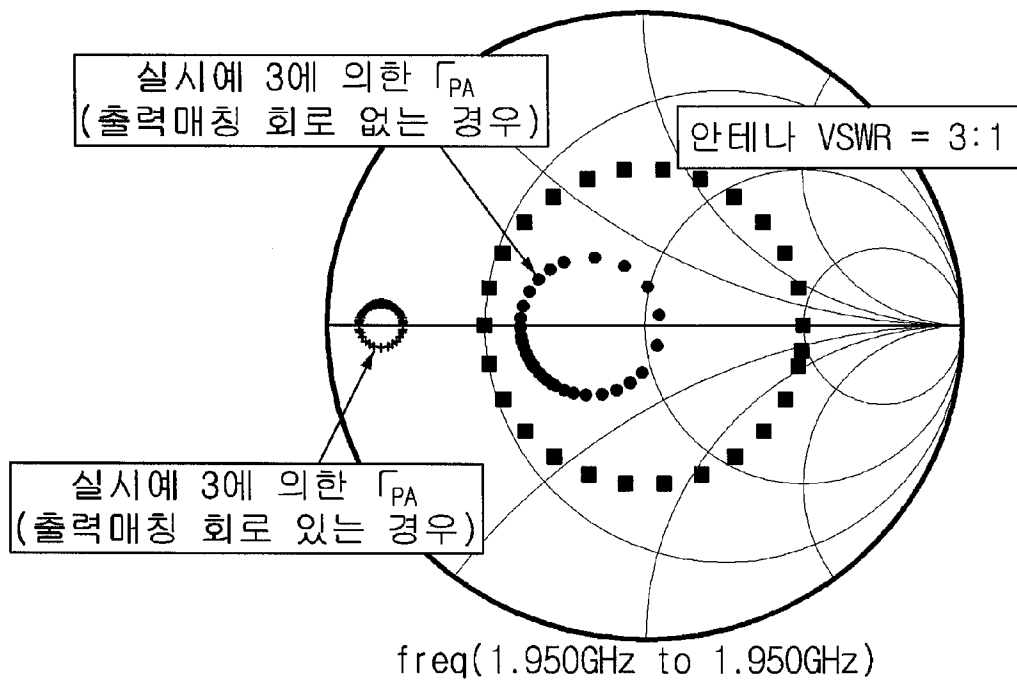
[Fig. 13]

수학식 10, 15, 16에 의해 계산된 C1, C2, C3				수학식 17에서 삼입손실을 위해 계산되는 각 항			수학식 17에 의한 삼입손실
freq	SP1.C1	SP1.C3	SP1.C4	SP1.C1*S(2.2)	SP1.C3*S(2.3)	SP1.C4*S(2.4)	IL
Phi_rho=0.000 1.950GHz	5.768E-17/-153.833	9.490/-97.222	0.203/-72.415	4.049E-18/50.254	0.999/92.234	0.040/-68.399	3.108E-6/2.351
Phi_rho=10.000 1.950GHz	9.623E-17/-133.946	9.474/-97.249	0.194/-72.245	4.049E-18/50.254	0.999/92.207	0.038/-68.230	3.104E-6/2.300
Phi_rho=20.000 1.950GHz	1.602E-16/-129.170	9.459/-97.292	0.185/-72.512	4.049E-18/50.254	0.996/92.164	0.036/-68.496	3.100E-6/2.236
Phi_rho=30.000 1.950GHz	5.680E-17/-93.795	9.445/-97.349	0.176/-73.278	4.049E-18/50.254	0.995/92.107	0.034/-68.262	3.097E-6/2.161
Phi_rho=40.000 1.950GHz	1.158E-16/127.974	9.433/-97.420	0.168/-74.603	4.049E-18/50.254	0.993/92.036	0.033/-70.587	3.094E-6/2.077
Phi_rho=50.000 1.950GHz	8.351E-17/163.679	9.423/-97.503	0.161/-76.529	4.049E-18/50.254	0.992/91.953	0.031/-72.513	3.093E-6/1.985
Phi_rho=60.000 1.950GHz	1.010E-16/-139.184	9.416/-97.595	0.155/-79.060	4.049E-18/50.254	0.991/91.860	0.030/-75.044	3.092E-6/1.888
Phi_rho=70.000 1.950GHz	2.483E-167/176.611	9.411/-97.696	0.150/-82.142	4.049E-18/50.254	0.991/91.760	0.029/-78.126	3.092E-6/1.788

[Fig. 14]



[Fig. 15]



[Fig. 16]

freq	실시예 3에 의해 계산된 C1, C2, C3			실시예 3에서 삽입손실을 위해 계산되는 각 항			IL
	C1	C3	C4	C1*S(2.2)	C3*S(2.3)	C4*S(2.4)	
Phi_rho=0.000 1.950GHz	1.159E-16/23.870	0.065/-13.553	8.713/86.928	7.154E-18/-141.007	0.999/92.234	0.040/-68.399	0.972/30.970
Phi_rho=15.000 1.950GHz	6.289E-17/-154.114	0.078/-12.852	8.703/86.910	3.882E-18/41.008	0.999/92.207	0.038/-68.230	0.971/30.942
Phi_rho=30.000 1.950GHz	1.261E-16/130.453	0.092/-10.269	8.694/86.876	7.785E-18/-34.425	0.996/92.164	0.036/-68.496	0.970/30.897
Phi_rho=45.000 1.950GHz	2.043E-16/-154.675	0.104/-6.540	8.687/86.828	1.261E-17/40.448	0.995/92.107	0.034/-68.262	0.969/30.897
Phi_rho=60.000 1.950GHz	1.175E-16/-97.709	0.115/-2.057	8.681/86.768	7.253E-18/97.414	0.993/92.036	0.033/-70.587	0.968/30.837
Phi_rho=75.000 1.950GHz	1.148E-16/-68.883	0.125/2.959	8.678/86.700	7.087E-18/126.239	0.992/91.953	0.031/-72.513	0.968/30.685

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2010/000733**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H03F 1/56(2006.01)i, H03F 3/60(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03F 1/56; H03F 3/191; H03F 3/21; H03G 3/20; H03G 3/00; H03F 3/217; H04B 1/04; H03F 1/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: power amplifier, coupler, impedance matching

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2006-0267688 A1 (TOMONORI TANOUE et al.) 30 November 2006 See abstract; paragraphs 86-88, 90-92; claims 1, 3 and figures 11-14.	1 2,5,6,10,11 3,4,7-9,12
Y	US 2005-0208907 A1 (RYO YAMAZAKI et al.) 22 September 2005 See abstract; paragraphs 19-24; claim 6 and figures 1A, 1B.	2,5,6,11
Y	EP 0762632 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 12 March 1997 See abstract; column 3, lines 44-51; claim 1 and figure 2.	5,6,10,11
A	US 2002-0175764 A1 (TORU MATSUURA et al.) 28 November 2002 See abstract; paragraphs 149, 214-216; claims 1, 3 and figures 1, 15.	1-12
A	US 2002-0190790 A1 (NAISHUO CHENG et al.) 19 December 2002 See abstract; paragraphs 26, 36-37; claim 7 and figures 1-3.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 FEBRUARY 2011 (23.02.2011)

Date of mailing of the international search report

23 FEBRUARY 2011 (23.02.2011)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2010/000733

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
US 2006-0267688 A1	30.11.2006	CN 1862952 A CN 1862952 C0 JP 2006-319508 A	15.11.2006 15.11.2006 24.11.2006
US 2005-0208907 A1	22.09.2005	NONE	
EP 0762632 A1	12.03.1997	CN 1081849 C CN 1152211 A CN 1152211 C0 DE 69613522 D1 DE 69613522 T2 EP 0762632 B1 JP 09-064758 A KR 10-0253057 B1 US 05770970A A US 05901345A A	27.03.2002 18.06.1997 18.06.1997 02.08.2001 25.10.2001 27.06.2001 07.03.1997 15.04.2000 23.06.1998 04.05.1999
US 2002-0175764 A1	28.11.2002	JP 2003-008365 A US 6639471 B2	10.01.2003 28.10.2003
US 2002-0190790 A1	19.12.2002	AT 405029 T CN 1516920 A CN 1516920 C0 DE 60228246 D1 EP 1396079 A1 EP 1396079 A4 EP 1396079 B1 KR 10-0844398 B1 US 6515541 B2 WO 02-101918 A1	15.08.2008 28.07.2004 17.01.2007 25.09.2008 10.03.2004 08.09.2004 13.08.2008 07.07.2008 04.02.2003 19.12.2002

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H03F 1/56(2006.01)i, H03F 3/60(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H03F 1/56; H03F 3/191; H03F 3/21; H03G 3/20; H03G 3/00; H03F 3/217; H04B 1/04; H03F 1/14 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 전력 증폭기, 커플러, 임피던스 매칭		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X Y A	US 2006-0267688 A1 (TOMONORI TANQUE 외 1명) 2006.11.30 요약; 단락 86-88, 90-92; 청구항 1, 3 및 도면 11-14 참조.	1 2,5,6,10,11 3,4,7-9,12
Y	US 2005-0208907 A1 (RYO YAMAZAKI 외 2명) 2005.09.22 요약; 단락 19-24; 청구항 6 및 도면 1A, 1B 참조.	2,5,6,11
Y	EP 0762632 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 1997.03.12 요약; 컬럼 3, 라인 44-51; 청구항 1 및 도면 2 참조.	5,6,10,11
A	US 2002-0175764 A1 (TORU MATSUURA 외 4명) 2002.11.28 요약; 단락 149, 214-216; 청구항 1, 3 및 도면 1, 15 참조.	1-12
A	US 2002-0190790 A1 (NAISHUO CHENG 외 2명) 2002.12.19 요약; 단락 26, 36-37; 청구항 7 및 도면 1-3 참조.	1-12
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신구성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2011년 02월 23일 (23.02.2011)	국제조사보고서 발송일 2011년 02월 23일 (23.02.2011)	
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (302-701) 대전광역시 서구 선사로 139, 정부대전청사 팩스 번호 82-42-472-7140	심사관 김남인 전화번호 82-42-481-8583 	

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
US 2006-0267688 A1	2006.11.30	CN 1862952 A CN 1862952 C0 JP 2006-319508 A	2006.11.15 2006.11.15 2006.11.24
US 2005-0208907 A1	2005.09.22	없음	
EP 0762632 A1	1997.03.12	CN 1081849 C CN 1152211 A CN 1152211 C0 DE 69613522 D1 DE 69613522 T2 EP 0762632 B1 JP 09-064758 A KR 10-0253057 B1 US 05770970A A US 05901345A A	2002.03.27 1997.06.18 1997.06.18 2001.08.02 2001.10.25 2001.06.27 1997.03.07 2000.04.15 1998.06.23 1999.05.04
US 2002-0175764 A1	2002.11.28	JP 2003-008365 A US 6639471 B2	2003.01.10 2003.10.28
US 2002-0190790 A1	2002.12.19	AT 405029 T CN 1516920 A CN 1516920 C0 DE 60228246 D1 EP 1396079 A1 EP 1396079 A4 EP 1396079 B1 KR 10-0844398 B1 US 6515541 B2 WO 02-101918 A1	2008.08.15 2004.07.28 2007.01.17 2008.09.25 2004.03.10 2004.09.08 2008.08.13 2008.07.07 2003.02.04 2002.12.19