

# 고조파 차단 특성을 가지는 정합용 튜너와 바이어스 선로를 이용한 증폭기 설계

## A Design of Amplifier Using Harmonic Termination Impedance Matching Tuner and Bias Line

이진국 · 김수태 · 임종식\* · 정용채

Jin-Kuk Lee · Su-Tae Kim · Jong-Sik Lim\* · Yong-Chae Jeong

### 요 약

본 논문은 비대칭 나선 구조의 결함 접지 구조(Defected Ground Structure: DGS)를 이용한 새로운 3 dB 브랜치 라인 하이브리드를 제안하였다. 본 논문에 제시된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드는 2차와 3차 고조파 성분을 효과적으로 차단할 수 있는 특성을 갖는다. 또한 고조파 성분뿐만 아니라 저주파 혼변조 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 DGS  $\lambda/4$  바이어스 라인을 제안하였다. 고조파 차단 특성을 가지는 브랜치 라인 하이브리드 튜너와 바이어스 라인을 이용하여 IMT-2000 기지국 송신 대역에서 동작하는 증폭기의 2차, 3차 고조파 성분을 각각 25 dB과 27 dB 감쇄하였다. 본 논문에서 제시한 회로를 이용하면 기존 방법보다 훨씬 용이한 증폭기의 고조파 로드-풀 회로를 쉽게 구현할 수 있다.

### Abstract

In this paper, a new 3 dB branch line hybrid using asymmetric spiral-shaped defected ground structure(DGS) microstrip is proposed. The proposed branch line hybrid suppresses the 2nd and the 3rd harmonic component effectively. Also a DGS  $\lambda/4$  bias line that can suppress high frequency harmonics as well as low frequency intermodulation component is proposed. With the harmonic termination tuner using the proposed hybrid and the harmonic blocking bias line, the 2nd and the 3rd harmonic components of the fabricated amplifier that operated in IMT-2000 basestation transmitting band were suppressed up 25 dB and 27 dB, respectively. The proposed harmonic load-pull setup of amplifier is more easily accomplished with proposed circuits than the previous.

Key words : DGS(Defected Ground Structure), Load-Pull, Branch Line Hybrid, Harmonic Suppression,  $\lambda/4$  Bias Line

### I. 서 론

최근 높은 선형성과 효율을 얻기 위한 트랜지스터의 최적의 정합점을 쉽게 찾을 수 있는 고조파 로드-풀(load-pull) 증폭기가 중요한 역할을 하고 있다. 일반적으로 증폭기는 고체 전자 소자의 비선형성에 의해, 비록 단일 입력 신호가 증폭기에 인가될지라도

출력단에서는 증폭된 입력 신호 이외에 여러 고조파 성분들을 동반하게 된다. 고조파 로드-풀(load-pull) 증폭기란 증폭기에서 발생하는 여러 고조파 성분들을 억제한 상태에서 증폭기의 입출력 전달 특성과 반사 특성을 측정하는 것이다. 그러나 광범위하게 사용되고 있는 능동 로드-풀 시스템은 매우 복잡하고 어려워서 측정하기에 어려움이 있으며, 이를 구

전북대학교 정보통신공학과(Department of Information & Communication Engineering, Chonbuk National University)

\*순천향대학교 정보기술공학부(Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University)

· 논문 번호 : 20050930-109

· 수정완료일자 : 2005년 12월 14일

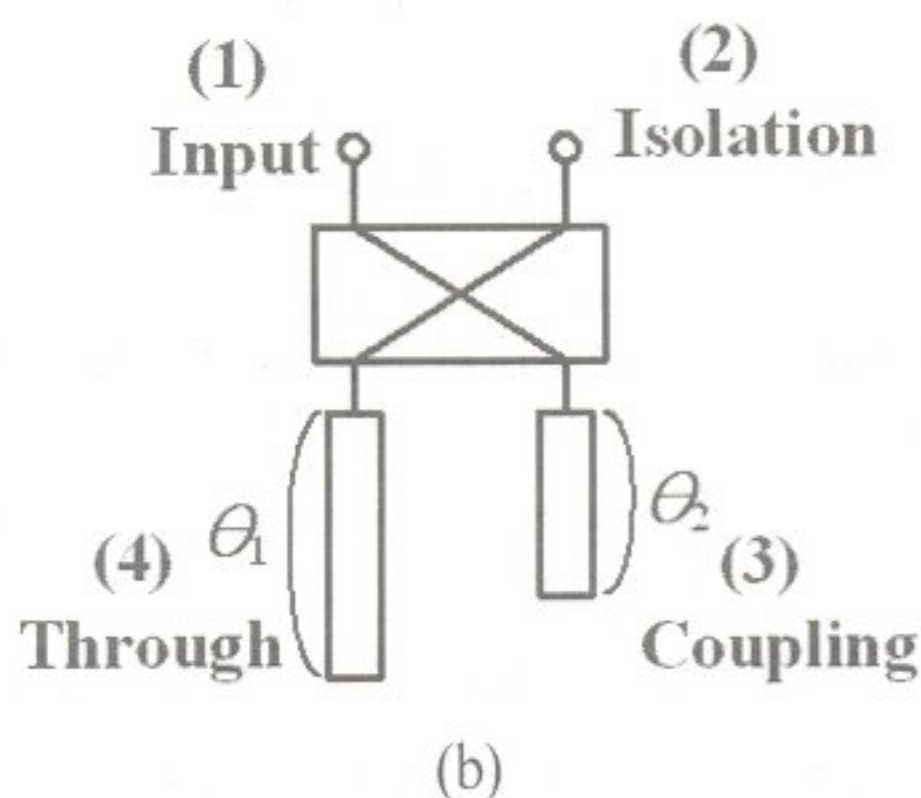
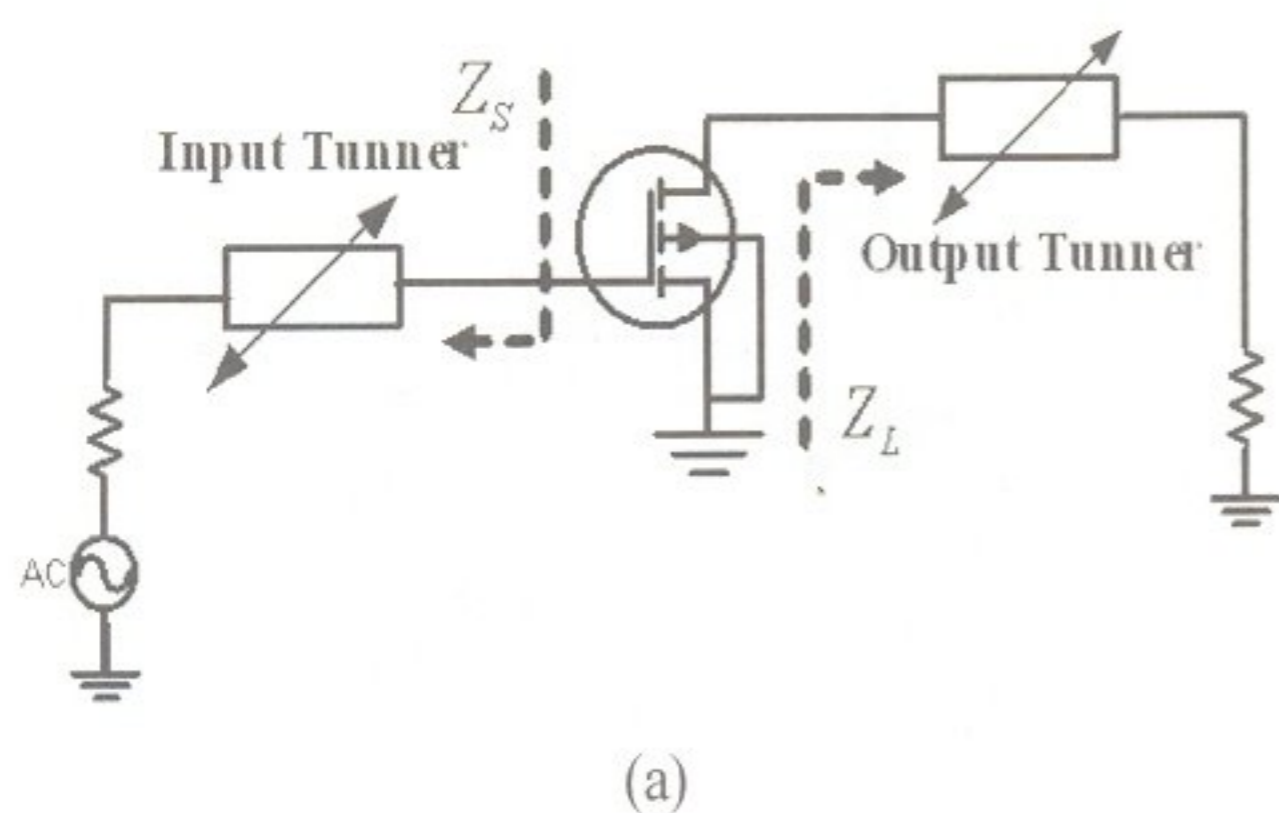


그림 1. (a) 전통적인 로드-풀 증폭기, (b) 3 dB 브랜치 라인 하이브리드를 이용한 임피던스 튜너  
 Fig. 1. (a) Conventional load-pull amplifier, (b) Impedance tuner using 3 dB branch line hybrid.

현하는데 많은 경제적 어려움이 따른다<sup>[1],[2]</sup>.

전통적으로 로드-풀 정합 방법은 특정 바이어스 조건 상태에서 그림 1(a)와 같이 증폭기의 입력단과 출력단에 가변 정합회로를 연결하고 최적의 성능을 얻도록 정합 임피던스를 변화시키는 것이다. 그림 1(b)는 로드-풀 정합 회로에 많이 쓰이는 임피던스 튜너를 나타내고 있는데, 3 dB 90° 하이브리드의 결합 단자와 전송 단자에 임의의 길이를 갖는 단락 또는 개방 스테브를 부착하고 전기적 길이( $\theta$ )를 조절함으로써 임의의 입력 임피던스를 얻을 수 있다<sup>[3]</sup>.

기존의 임피던스 튜너를 이용하여 증폭기의 임피던스 정합점을 측정할 때, 동작 주파수에서 증폭기의 로드-풀 측정은 가능하나 증폭기의 비선형 특성에 기인하는 고조파 특성은 간과하고 있다. 즉, 증폭기의 고조파 특성에 따라 동작 주파수 대역에서의 전기적 특성이 영향을 받는데 고조파 차단을 간과한다면 적절한 정합점의 추출이 불가능할 것이다. 이는 로드-풀 정합에 사용되는 3 dB 90° 하이브리드와 바이어스 회로의 전기적 특성에 기인한다.

본 논문에서는 고조파 성분을 제거하기 위하여

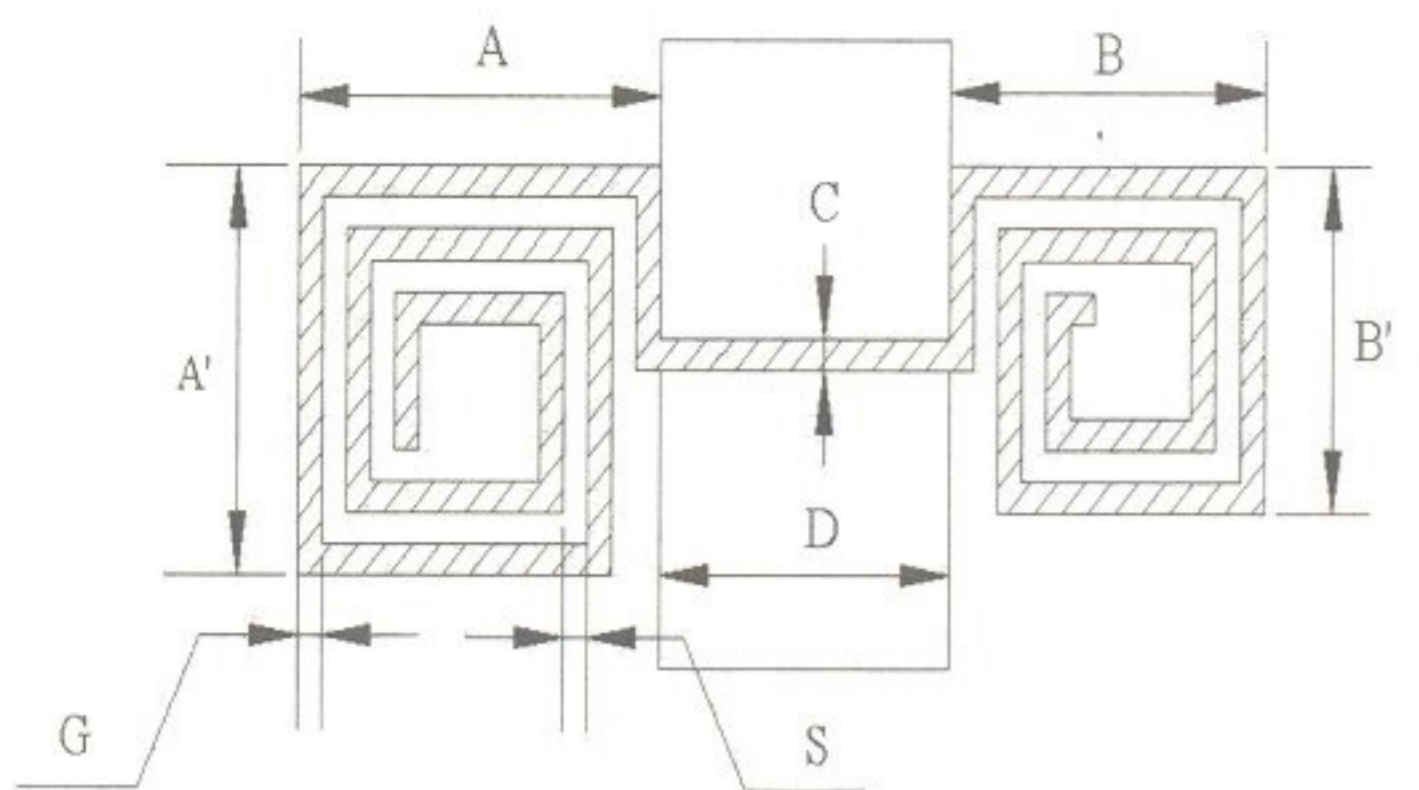
결함 접지 구조(Defected Ground Structure: DGS) 전송선로를 이용하였다. DGS는 마이크로스트립 선로의 접지 평면에 나선 모양이나 아령 모양을 식각하여 구현할 수 있다<sup>[4],[5]</sup>. DGS를 이용한 마이크로스트립 선로는 유효 인덕턴스를 증가시켜 군속도 지연(slow-wave) 효과를 얻을 수 있으며, 이로 인해 물리적인 전송선로 크기를 줄일 수 있고, 일정 주파수에서의 차단 특성도 얻을 수 있다. 기존에 결합기, 여파기, 전력 증폭기를 설계할 때 전송선로의 접지면에 결함 패턴을 삽입함으로써 2차와 3차 고조파 성분을 효과적으로 억압할 수 있음이 보고되었다<sup>[6]~[9]</sup>.

본 논문에서는 3 dB 브랜치 라인 하이브리드에 비대칭 나선 구조 DGS를 적용하여 2차와 3차 고조파를 쉽게 차단하는 임피던스 정합용 튜너와 고조파 및 저주파 혼변조 신호를 차단하는  $\lambda/4$  DGS 바이어스 선로를 사용함으로써 증폭기의 정합점을 추출하는데 필요한 고조파 로드-풀 구현을 쉽게 하였다<sup>[10]</sup>.

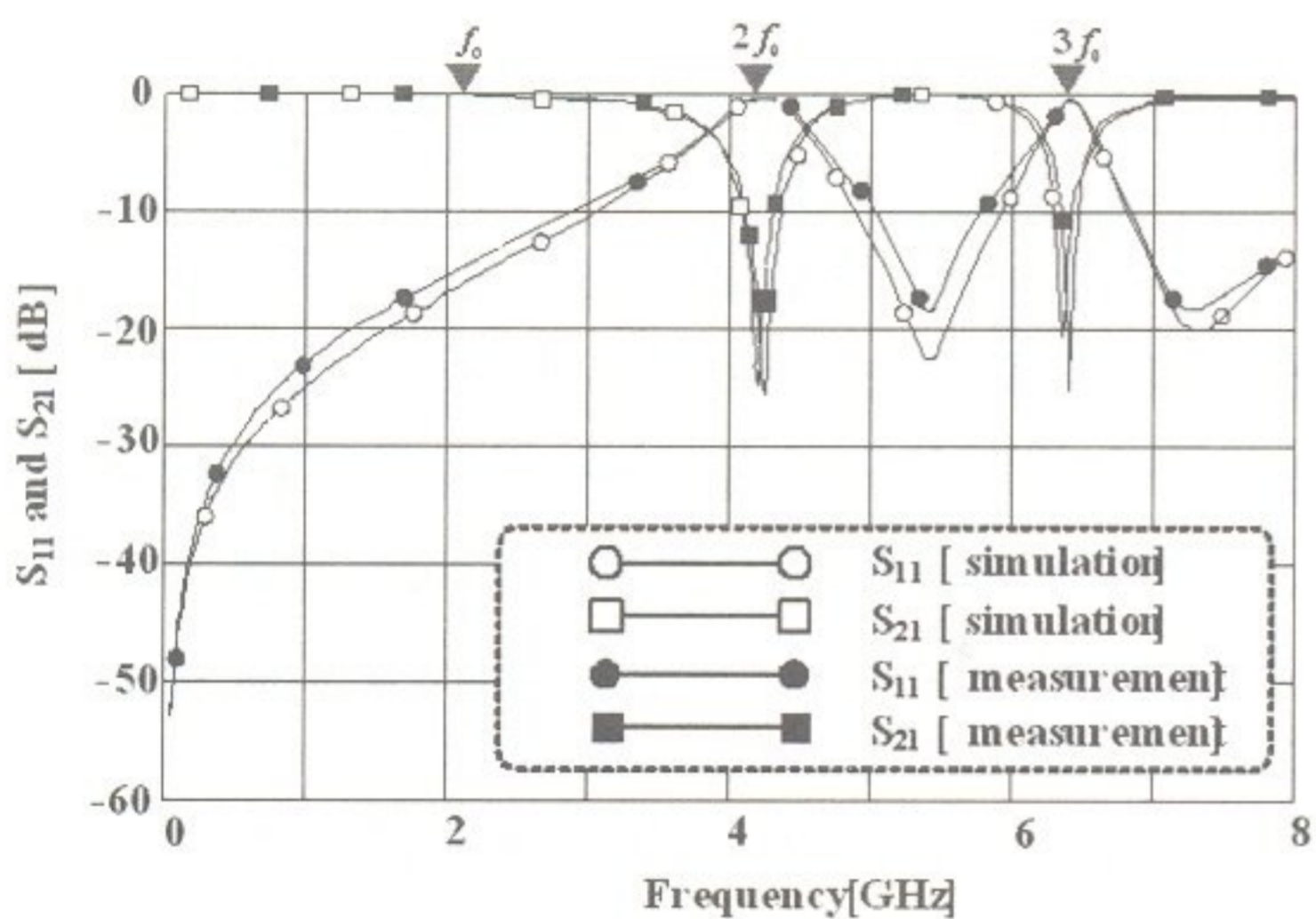
## II. 고조파 차단 특성을 갖는 정합용 튜너

DGS 마이크로스트립 선로에 사용된 접지 결함 모양에는 여러 가지가 사용되어 왔으나, 대체적으로 아령 모양과 나선 모양이 주로 사용되었다. 아령 모양의 결함 구조는 비교적 넓은 저지 대역 특성을 나타내지만, 나선 모양의 결함 구조는 아령 모양에 비해 주파수 저지 대역은 상대적으로 좁고 좀 더 급격한 저지 대역 특성을 갖는다. 전송 선로를 중심으로 비대칭의 나선 모양 결함을 양쪽에 위치하게 하고, 각 나선 결함이 각각 2차, 3차 고조파 차단 특성에 맞게 설계하면 다단 아령 구조의 DGS 전송 선로를 사용하는 것보다 회로의 물리적 크기를 줄일 수 있다.

그림 2(a)는 나선 모양의 결함을 사용한 DGS 전송 선로 모양을 보여주고 있으며, DGS의 오른쪽과 왼쪽의 크기가 서로 다를 수 있다. 비대칭 나선 모양 DGS 전송 선로는 두 개의 대칭 나선 모양 DGS 전송 선로의 전기적 특성들을 결합한 것과 근사한 전기적 특성을 나타낸다. 작은 나선 결함은 3차 고조파 성분을, 큰 나선 결함은 2차 고조파 성분의 차단 특성을 갖도록 설계되었다. 그림 2(b)는 시뮬레이션 및 측정된 전달 및 반사 특성을 보이고 있다. 시뮬레이션 및 제작에 사용된 기판은 2.2의 유전율을



(a)



(b)

그림 2. (a) 비대칭적인 DGS 마이크로스트립 선로(A=3 mm, A'=2.6 mm, B=2.6 mm, B'=2.2 mm C/G/S=0.2 mm, D=2.4 mm), (b) 전송 및 반사 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과

Fig. 2. (a) The asymmetric DGS microstrip line(A=3 mm, A'=2.6 mm, B=2.6 mm, B'=2.2 mm C/G/S=0.2 mm, D=2.4 mm), (b) The simulated and measured transmission and reflection characteristic.

가지며 유전체의 두께가 31 mils를 가지는 RT/duroid 5880를 사용하였고, 시뮬레이션은 Ansoft사의 HFSS를 사용하였으며 동작 주파수는 2.14 GHz로 하였다. 측정된 결과는 시뮬레이션처럼 2차 및 3차 고조파 대역 신호들을 효과적으로 저지시키는 특성을 보이고 있다.

그림 3은 비대칭 나선 모양의 DGS 전송 선로를 사용하여 고조파 차단 특성을 가질 수 있도록 설계한 중심 주파수가 2.14 GHz인 3 dB 브랜치 라인 하이브리드의 기하학적 모양을 나타낸 것이다. 전통적인 3 dB 브랜치 라인 하이브리드의 50 Ω 선로 길이와 폭이 각각 26.8 mm와 3.9 mm이고, 35.35 Ω 선로

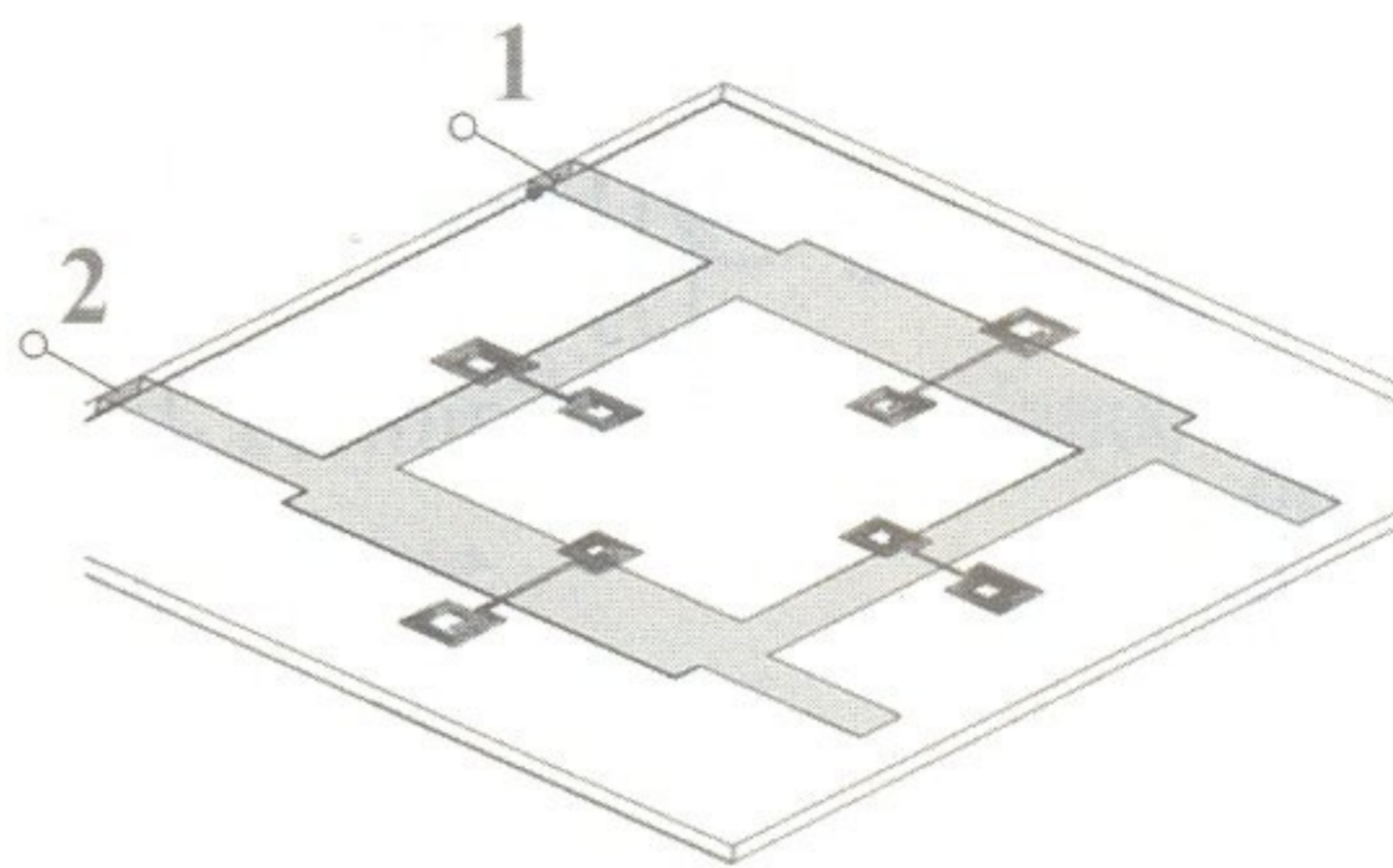


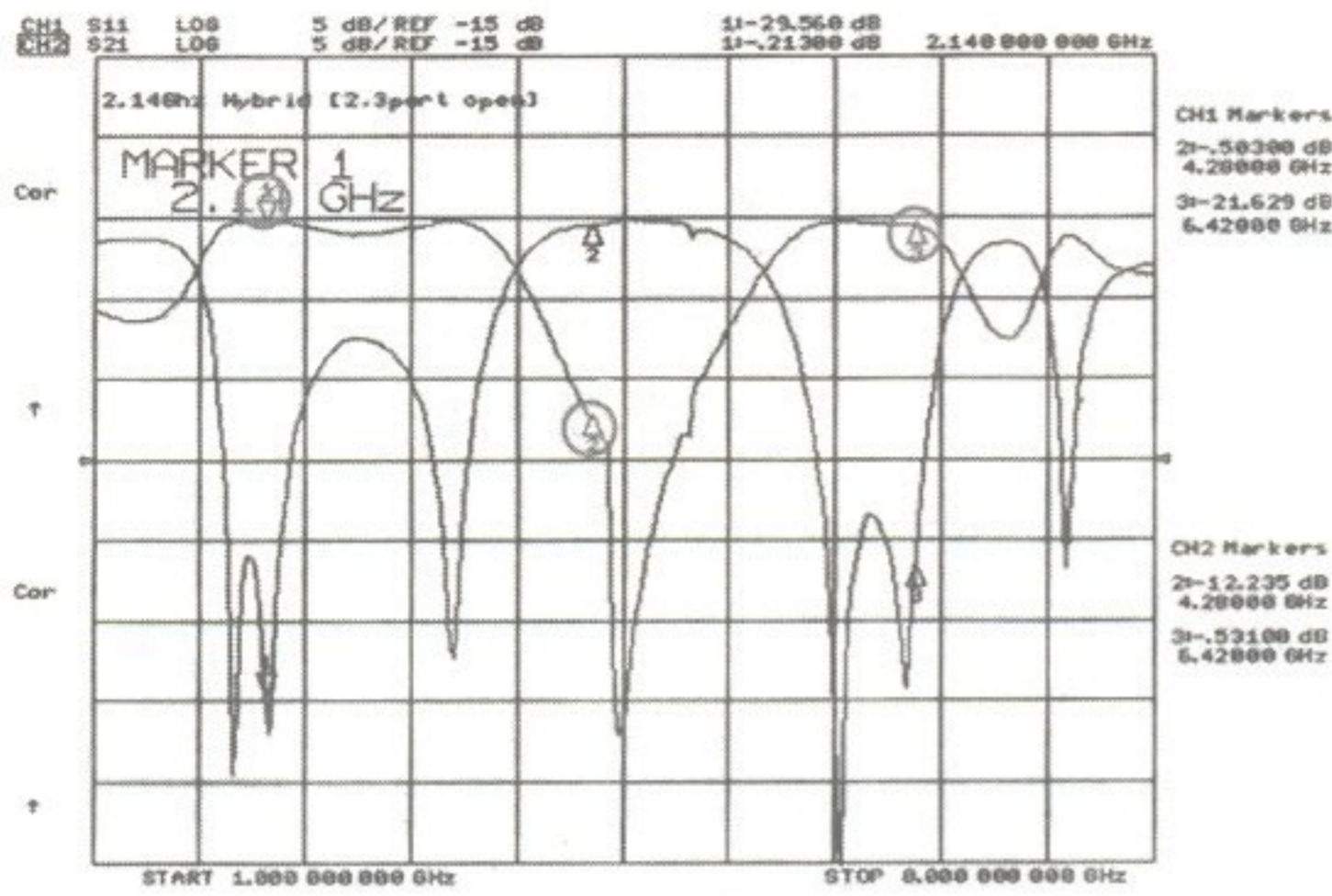
그림 3. 고조파 차단 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드

Fig. 3. Harmonic termination 3 dB DGS branch line hybrid.

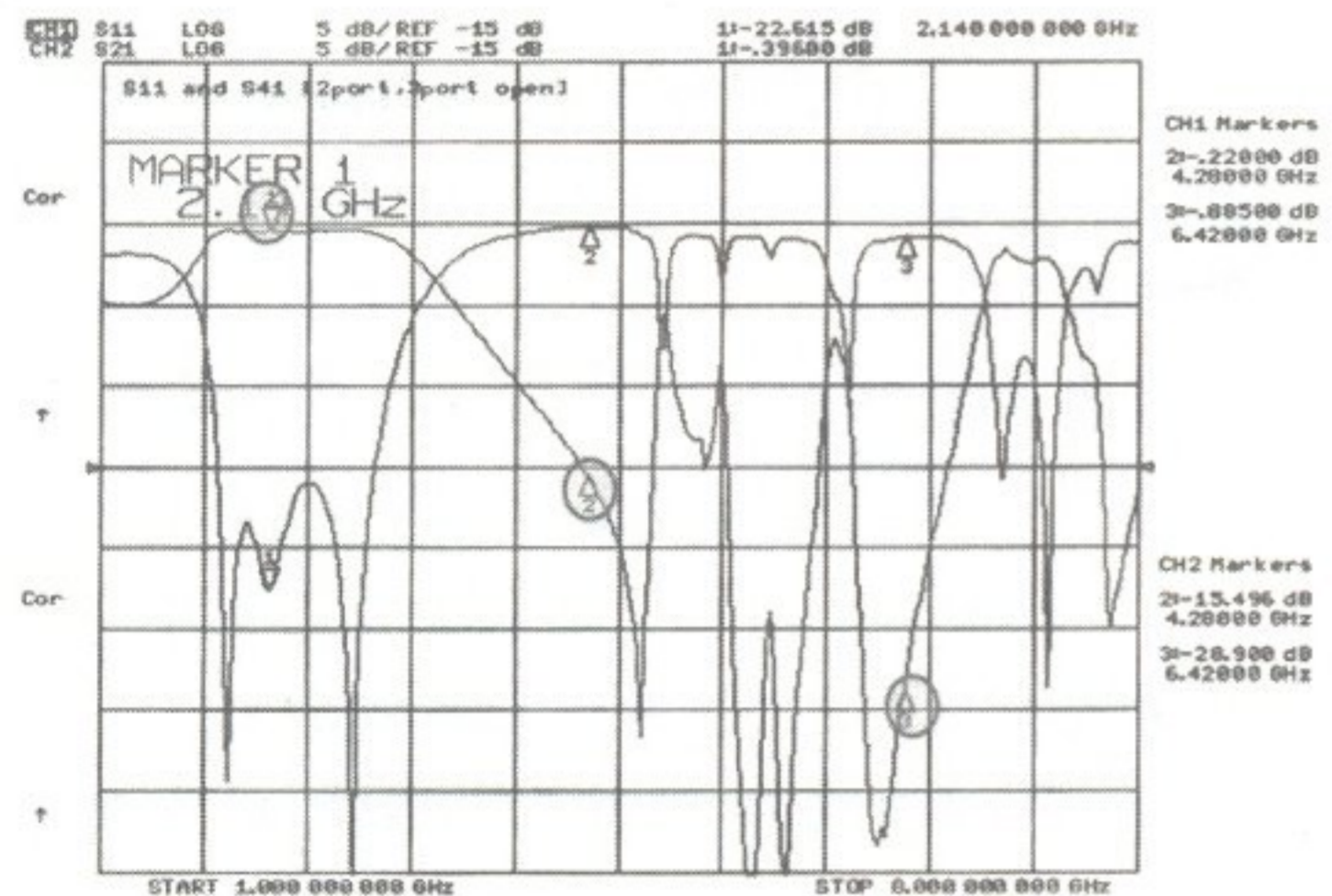
길이와 폭은 각각 26.4 mm와 2.4 mm이었다. 본 논문에 제안된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드의 50 Ω 선로의 길이와 폭은 각각 25.6 mm와 2.4 mm이고, 35.35 Ω 선로의 길이와 폭은 각각 19.6 mm와 5 mm이었다. DGS 전송선로를 정합용 튜너에 사용될 3 dB 브랜치 라인 하이브리드에 적용하여 하이브리드의 전체 크기를 더 작게 구현할 수 있었다.

그림 4(a)는 전통적인 모양으로 제작된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드의 결합 및 전송 단자의 종단을 개방하고, 입력 단자와 격리 단자간의 전달 및 반사 특성을 동작 대역과 2차, 3차 고조파 대역에서 측정하는 것으로 전달 특성이 각각 -0.2 dB, -12.2 dB, -0.5 dB이다. 그림 4(b)는 본 논문에서 제안하는 고조파 차단 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드를 같은 조건에서 측정하였을 때의 전달 및 반사 특성으로써, 전달 특성이 각각 -0.3 dB, -15.5 dB, -28.9 dB로 측정되었다. 제작된 두 하이브리드의 전달 특성을 비교하면, 2차 고조파 대역은 3.3 dB의 고조파 억압 특성이 개선되었지만, 3차 고조파 대역에서는 28.4 dB의 고조파 억압 특성이 나타남을 관찰할 수 있었다.

그림 5는 제작된 두 가지의 브랜치 라인 하이브리드의 전달 특성만을 비교해 놓은 것이다. 측정 결과는 중심 주파수와 2차 고조파에서 전통적인 3 dB 브랜치 라인 하이브리드 특성과 본 논문에 제안한 고조파 차단 브랜치 라인 하이브리드의 특성이 유사하다는 것을 보여준다. 그러나 본 논문에서 제안한 고조파 차단 하이브리드가 3차 고조파 대역을 효과적



(a)



(b)

그림 4. (a) 결합단자와 전송단자를 개방한 전통적인 3 dB 브랜치 라인 하이브리드의 전달 및 반사 특성, (b) 고조파 차단 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드의 전달 및 반사 특성

Fig. 4. (a) Transmission and reflection measurement characteristics of the conventional 3 dB branch line hybrid with open coupling and through port condition, (b) Transmission and reflection characteristics of the proposed 3 dB DGS branch line hybrid with open coupling and through port condition.

으로 억압하는 특성을 보이고 있다. 이는 고조파 차단 하이브리드에 사용된 DGS 마이크로스트립의 대역 저지 특성에 기인한다.

고조파 차단 특성을 가지는 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드의 결합 및 전달 단자에 개방 전송 선로의 길이를 변화시킴으로 동작 주파수 대역에서의 회로의 최적 정합점을 찾을 수 있고, 동시에 고조파 신호들은 차단되는 임피던스 튜너를 설계할 수 있게 된다.

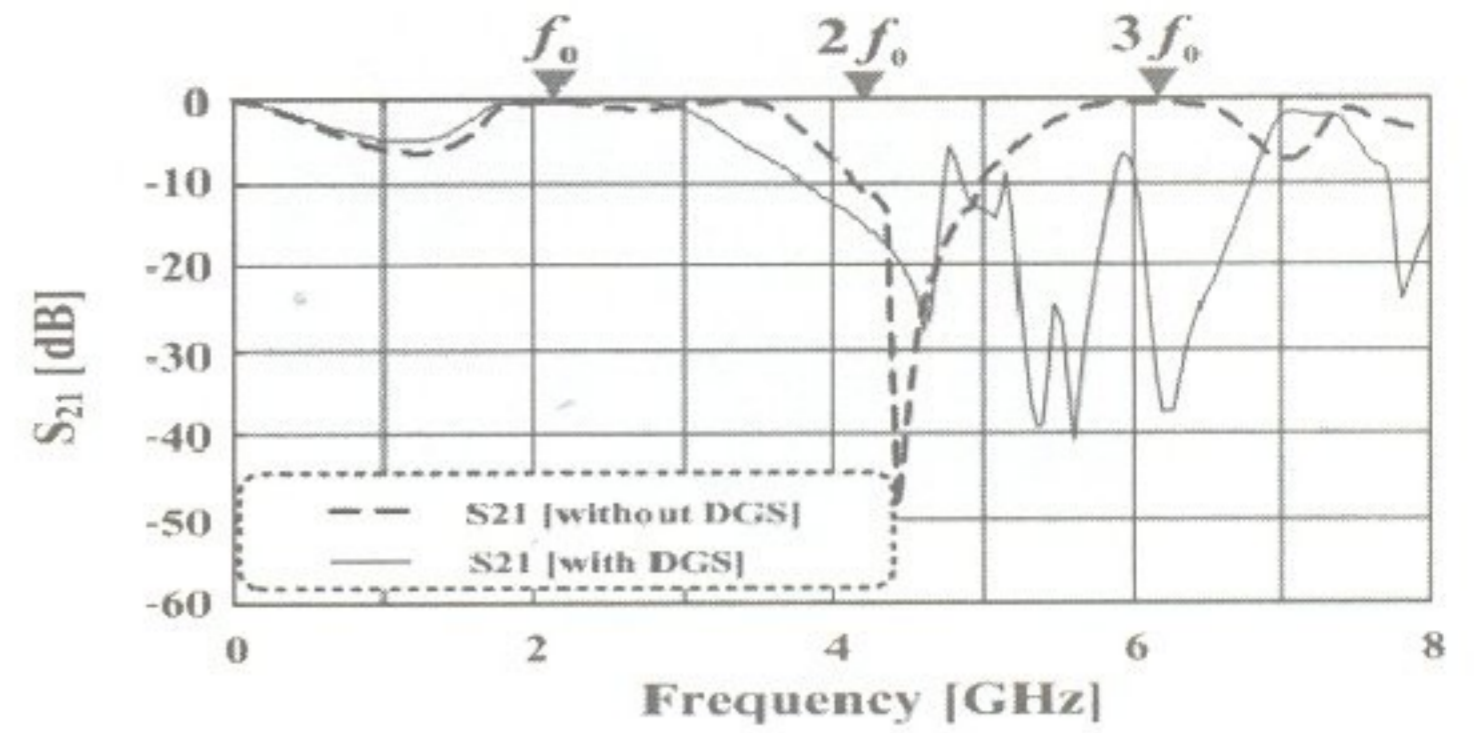


그림 5. 전통적인 3 dB 브랜치 라인 하이브리드와 고조파 차단 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드의 전달 특성 비교

Fig. 5. Transmission characteristic comparison between the conventional and the proposed 3 dB branch line hybrid.

### III. 고조파 차단 바이어스 회로

일반적으로 능동 회로의 바이어스 회로는 RF 초크로서 칩 인덕터를 쓰거나 칩 커패시터 또는 방사형 스테어로 단락된  $\lambda/4$  바이어스 선로를 사용하는 것이 일반적이다. 마이크로파 대역에서 칩 커패시터로 단락된  $\lambda/4$  바이어스 라인을 신호 전송 선로에 연결하게 되면 짝수 차수의 고조파 성분이 차단되고 홀수 차수의 고조파 성분은 신호 전송 선로를 통과하게 된다. 그러나 RF 신호를 증폭하는 증폭기의 출력단에서는 증폭된 입력 신호 외에 고조파 성분과 혼변조 왜곡 신호 성분을 갖게 된다. 본 논문에서 제시한 바이어스 선로를 초고주파 증폭기에 사용하게 되면 고조파 성분과 저주파 혼변조 성분들을 효과적으로 제거하여 효율을 증가시키고, 능동 로드-풀 측정이 가능하게 한다.

그림 6은 고조파 및 저주파 혼변조 신호를 차단하는  $\lambda/4$  바이어스 선로의 레이아웃이다. 직렬 LC 공진 회로를  $\lambda/4$  바이어스 선로의 패드에 삽입하여 LC 공진 회로가 없을 때보다 더 넓은 저주파 차단 특성을 가질 수 있도록 하였다. 또한  $\lambda/4$  바이어스 선로의 접지면에 결함을 두는 DGS 마이크로스트립 선로를 사용함으로써 DGS의 군속도 지연 효과에 따른 고조파 성분의 억압 효과를 얻을 수 있도록 하였다.

그림 7(a)는 전통적인  $\lambda/4$  바이어스 선로와 논문에서 제시된 바이어스 선로의 저주파 대역 전송 특성을 나타낸다. 전통적인 바이어스 선로의 저주파 특

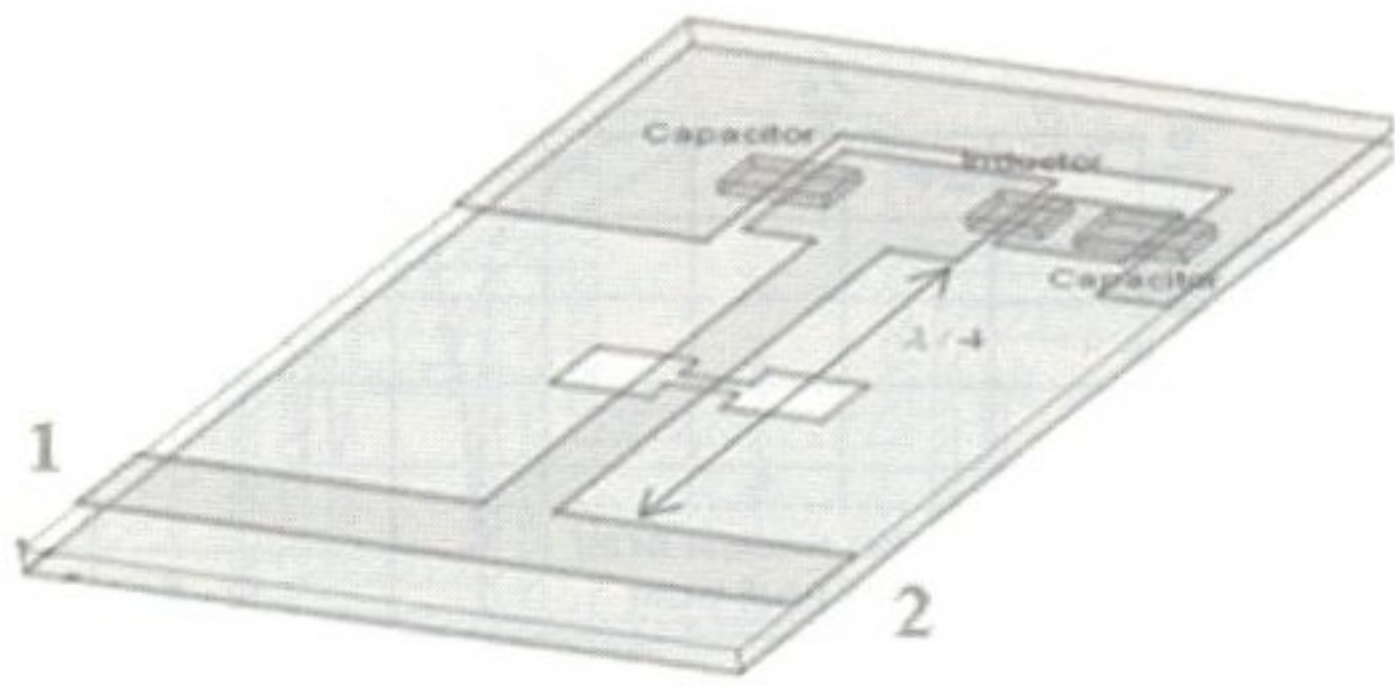
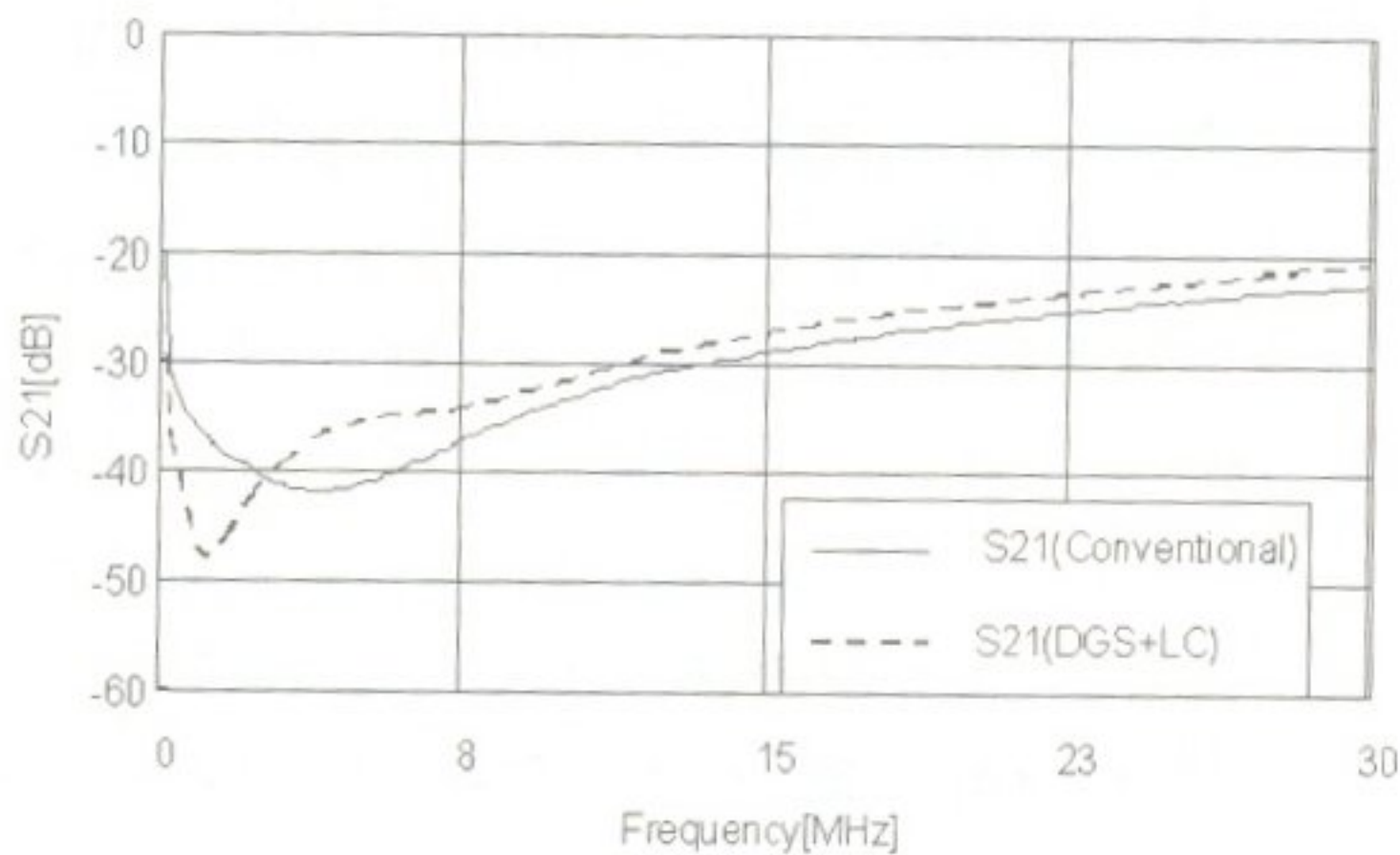
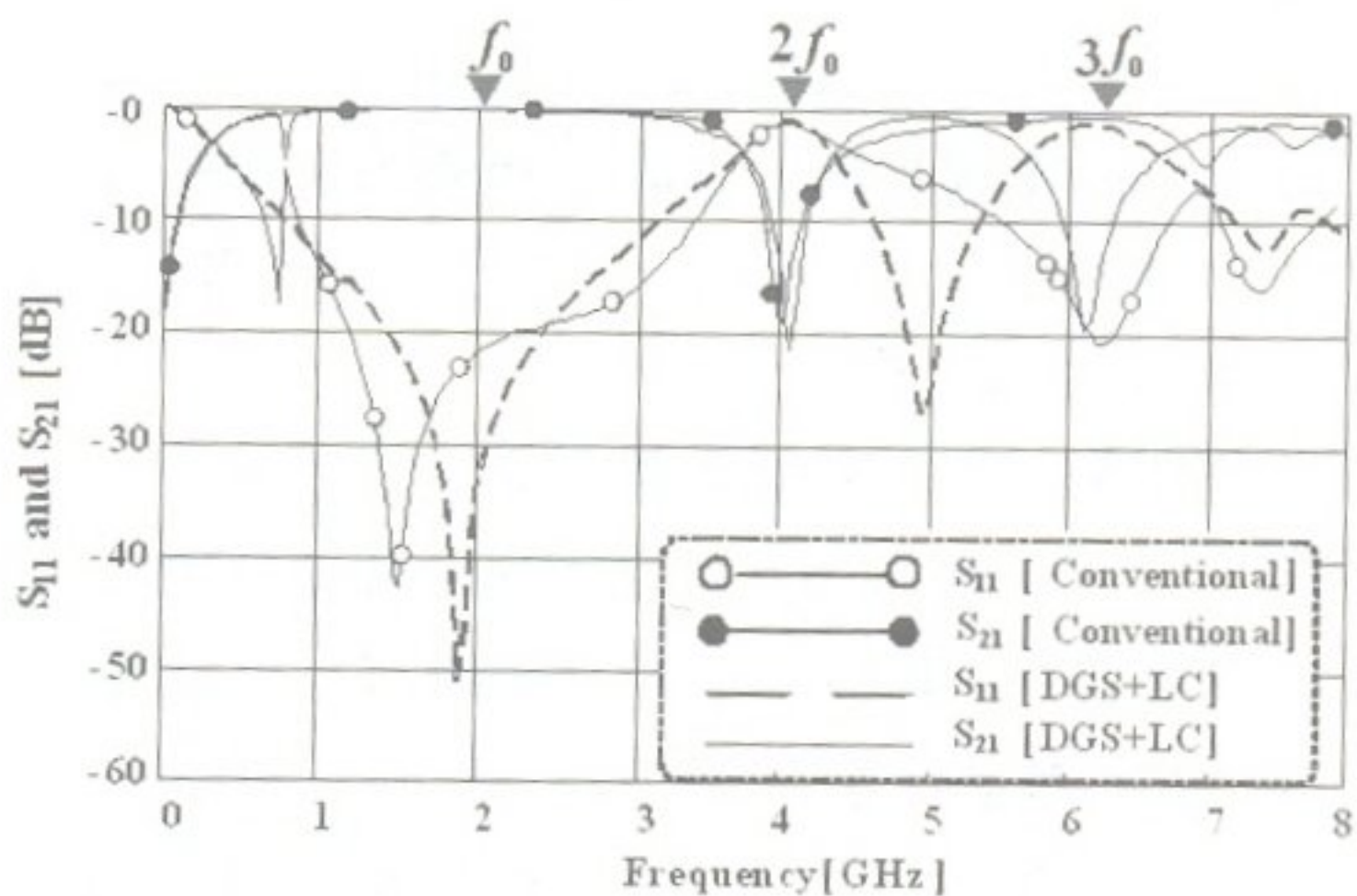


그림 6. 고조파 차단 λ/4 바이어스 선로  
Fig. 6. The layout of harmonic termination λ/4 bias line.

성보다 논문에서 제시된 바이어스 선로의 저주파 대역 특성이 3 MHz 이하에서 훨씬 강한 감쇄 특성을 보이고 있는데, 이는 LC 직렬 공진 회로의 특성에 기인한다. 아울러 본 논문에서 제시한 바이어스 선로



(a)



(b)

그림 7. (a) 고조파 차단 λ/4 바이어스 선로의 저주파 대역 전달 특성, (b) 광대역 전달 특성  
Fig. 7. The transmission characteristic of the proposed harmonic termination λ/4 bias line at (a) the low frequency band, (b) the wide frequency band.

가 증폭기의 메모리 효과를 줄일 수 있을 가능성을 보이고 있다. 또한 그림 7(b)는 전통적인 λ/4 바이어스 선로와 제안된 바이어스 선로의 광대역 주파수 특성을 보이고 있다. 중심 주파수와 2차 고조파 성분의 특성은 서로 유사한 것을 알 수 있다. 하지만 3차 고조파 성분은 바이어스 선로에 적용한 아령 모양의 DGS에 의하여 차단되는 특성을 보이고 있다.

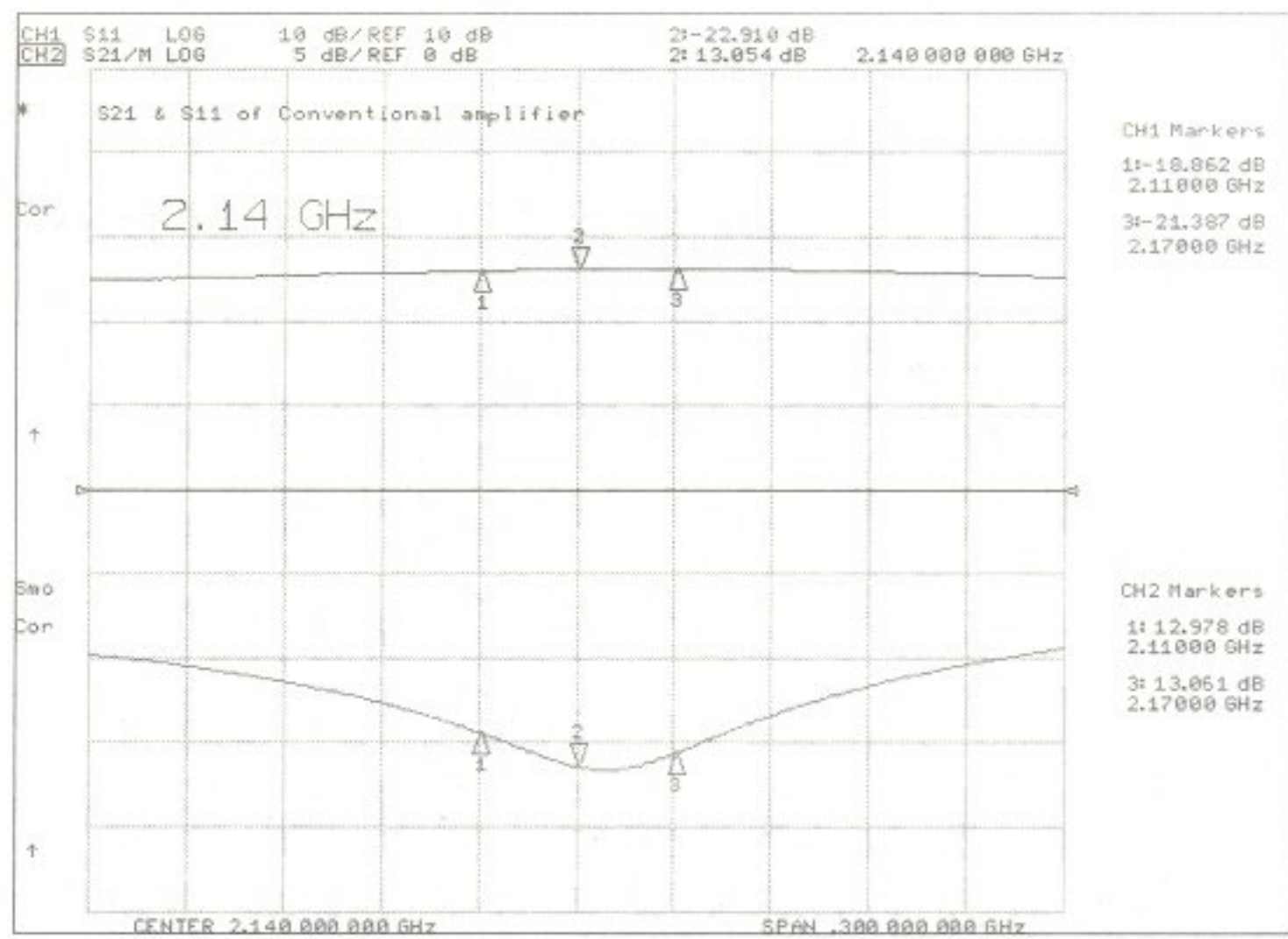
#### IV. 고조파 차단 임피던스 튜너와 바이어스를 이용한 증폭기 설계

본 논문에서 제안한 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로의 타당성을 보이기 위하여 두 종류의 증폭기를 설계하여 비교하였다. 하나는 동작 주파수 대역에서 전통적으로 사용되는 정합 회로와 바이어스 선로를 이용하였고, 다른 하나는 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로를 사용하였다. 이 회로의 동작 주파수는  $2.14 \pm 0.03$  GHz이고, 트랜지스터는 Eudyna사의 FLL357ME를 사용하였다.

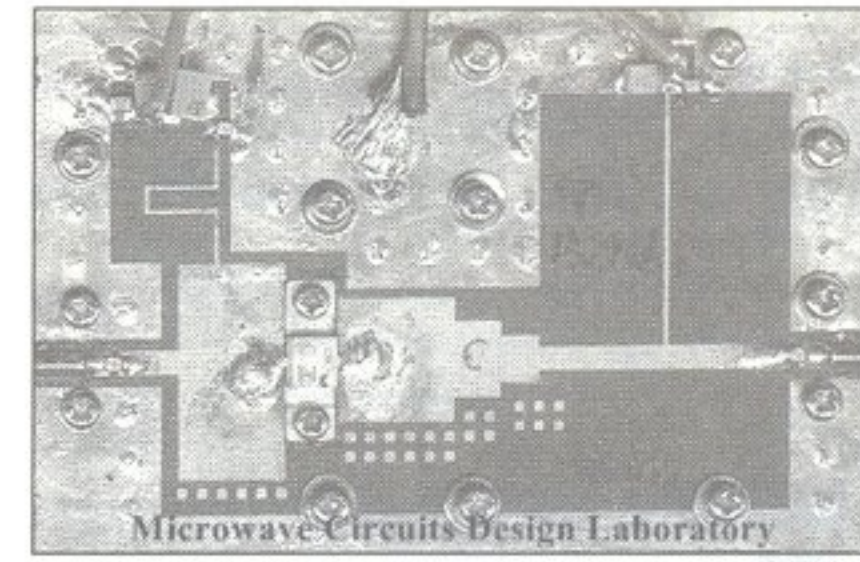
그림 8은 제작된 두 증폭기의 전달, 반사 특성을 나타낸 것이다. 그림 8(a)는 전통적인 증폭기의 동작 주파수에서의 전달 및 반사 특성을 측정된 것으로, 이득, 최대 반사 손실과 P1 dB 점은 각각  $13.03 \pm 0.1$  dB,  $-23$  dB,  $35$  dBm이었다. 그림 8(b)는 논문에서 제안된 회로를 사용한 증폭기의 전달 및 반사 특성을 측정된 것으로, 이득, 최대 반사 손실과 P1 dB 점은 각각  $13.38 \pm 0.07$  dB,  $-17.75$  dB 그리고  $34$  dBm이었다. 표 1은 두 증폭기의 측정값을 비교하여 나타낸 것이다. 제작된 증폭기는 중심 주파수에서 유사한 특성을 보이고 있지만 P1 dB 값만 차이를 보이고 있는데, 이는 제안된 증폭기의 입출력 정합 임피던스 튜너가 기존의 정합 회로보다 매우 큰 물리적 구조를 갖고 있기 때문이다. 그림 9는 실제로 제작된 두 전력 증폭기를 보이고 있다.

그림 10은 제작된 두 증폭기의 중심 주파수에서의 전력과 2차, 3차 고조파 성분의 특성을 보여주고 있다. 이때 출력 레벨은  $34$  dBm이다. 그림 10(a)는 전통적인 증폭기에서의 고조파 특성을 측정된 것으로, 주 신호 대비 2차와 3차 고조파 신호 레벨 비는  $36.40$  dBc,  $36.26$  dBc이고, 그림 10(b)는 논문에서 제시된 증폭기의 고조파 성분을 측정된 값으로서 주

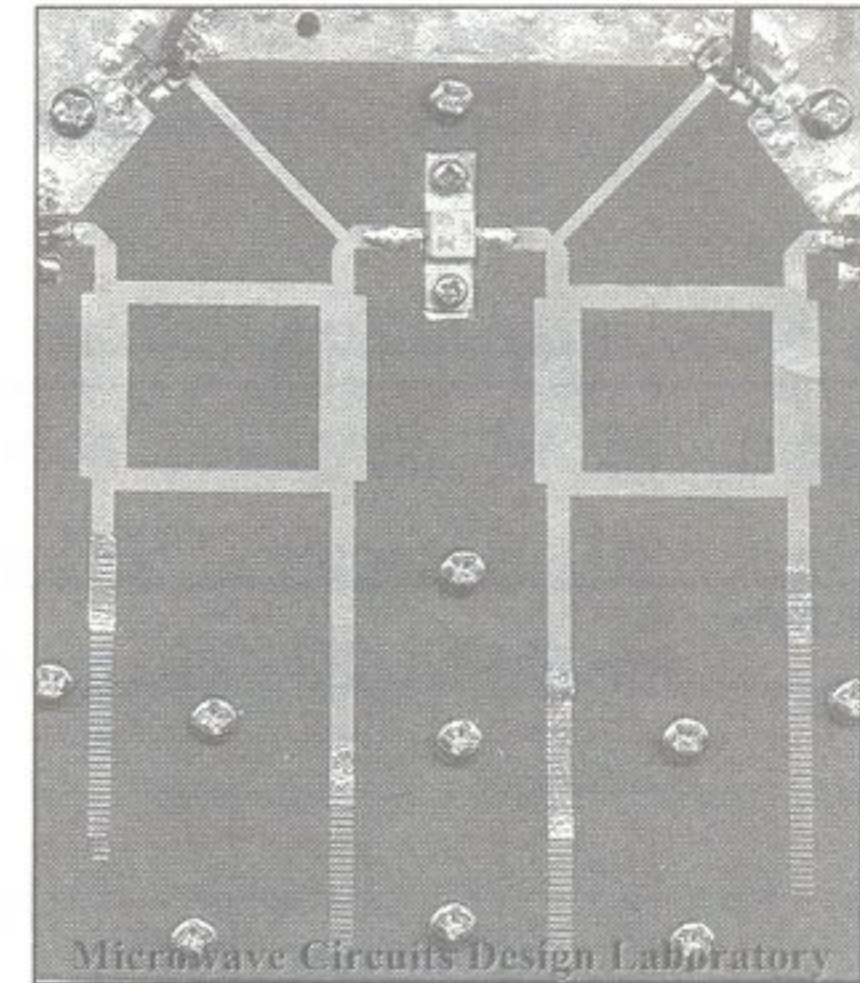
CIT



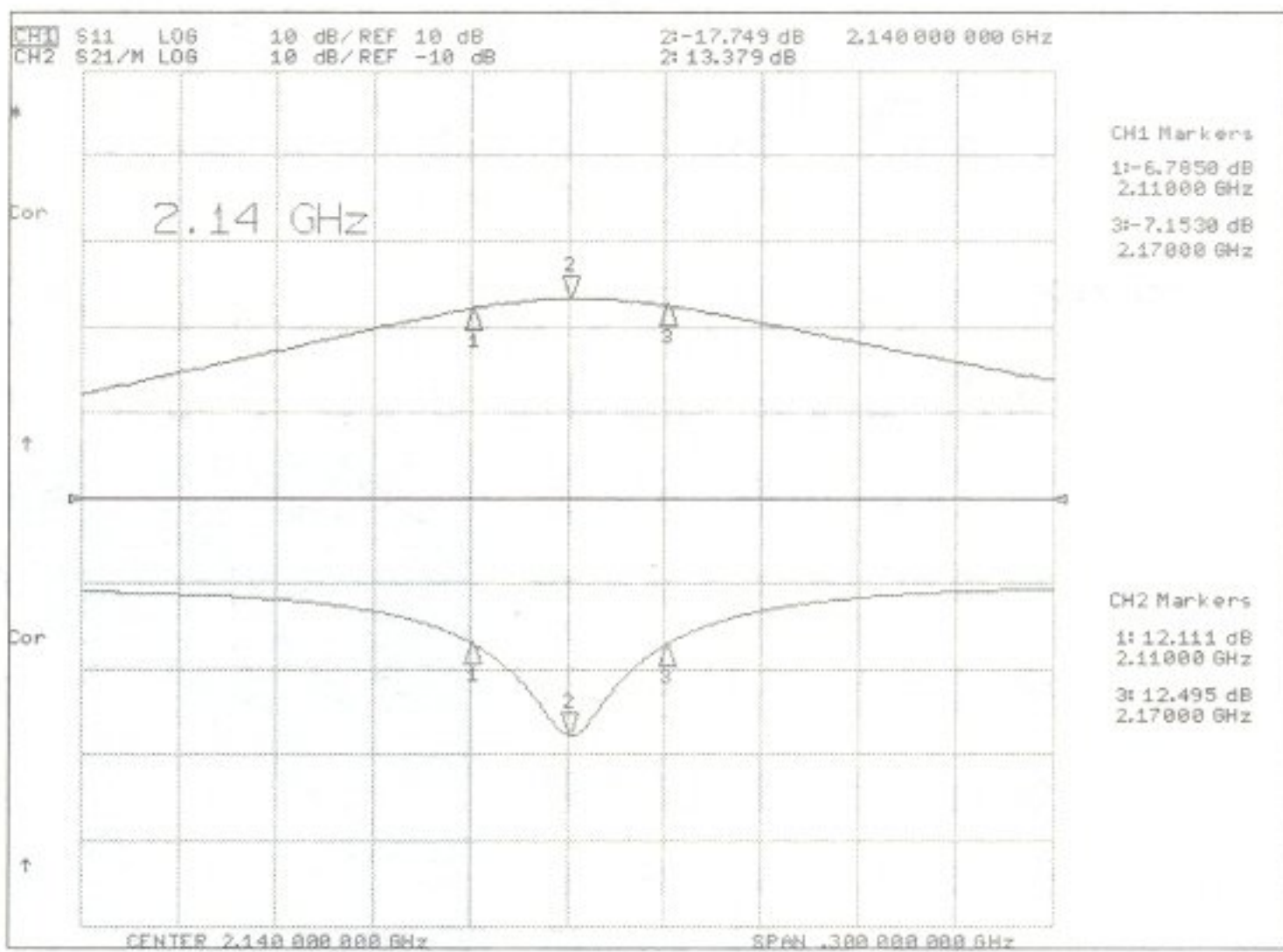
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 8. (a) 일반적인 증폭기의 전달 및 반사 특성, (b) 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로를 이용한 증폭기의 전달, 반사 특성

Fig. 8. The transmission and reflection characteristics of (a) the conventional, (b) the proposed amplifier.

표 1. 전통적인 증폭기와 제안된 회로를 사용한 증폭기의 비교

Table 1. Comparison of conventional and proposed amplifier.

The transfer and reflection characteristic		
	Conventional	Proposed
Gain	13.03 dB	13.38 dB
Maximum Return Loss	-23 dB	-17.75 dB
P1 dB	35 dBm	34 dBm

신호 대비 2차와 3차 고조파 신호 레벨 비는 61.58 dBc, 63.5 dBc이다. 이때 고조파 레벨들은 측정 장치

그림 9. (a) 전통적인 증폭기, (b) 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로를 이용한 증폭기

Fig. 9. (a) The conventional amplifier, (b) the designed amplifier with harmonic termination matching tuner and bias line.

의 잡음 레벨에서 측정되어, 실제의 경우 훨씬 작은 레벨일 것으로 판단된다. 여기에서 두드러지게 나타나는 특성은 제안된 증폭기의 2차 및 3차 고조파 성분이 전통적인 증폭기에 비해 훨씬 작아졌다는 데 있다. 이것은 제안된 바이어스 선로와 정합회로가 고조파 성분을 완전하게 차단하는 것을 나타낸다.

표 2는 전통적인 증폭기와 논문에서 제안된 증폭기의 고조파 특성을 비교하기 위하여 고조파 성분의 차단 정도를 나타내었다. 각각의 고조파 성분의 측정에 의하여 감소되는 정도를 비교하면 2차 고조파 성분은 25.2 dB, 3차 고조파 성분은 37.2 dB만큼 전통적인 증폭기보다 더욱 감소되는 것을 확인할 수 있다. 이는 이미 언급된 고조파 차단 임피던스 튜너와 바이어스 라인의 전기적 특성이 동작하여 나타난 것이다. 그림 9에서 제작된 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로를 이용한 증폭기를 직접 상용 제품에 적용할 수는 없어도 고조파 차단 상태에서 트랜지스터의 최적 정합점을 측정할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 만약 저손실 DGS 전송 선로로 3 dB 브랜치

V. 결 론

본 논문에서는 비대칭 나선 모양의 3 dB DGS 브랜치 라인 하이브리드를 이용한 고조파 단락 정합용 튜너와 고조파 차단  $\lambda/4$  바이어스 선로를 제시하였다. 이 회로는 별도의 전기적 회로가 없어도 효과적으로 고조파 성분들을 차단할 수 있다. 제안된 회로들을 IMT-2000 기지국 송신대역 전력 증폭기 설계에 적용한 결과 탁월한 고조파 차단 효과를 얻을 수 있었다. 다만 고조파 단락 정합용 튜너의 크기가 일반적인 정합회로보다 커짐으로 인한 큰 삽입 손실로 제작된 증폭기의 P1 dB 점의 감소가 문제되었다. 만약 저손실 DGS 전송 선로를 이용한 임피던스 튜너를 구현할 수 있다면 고조파 차단 조건에서의 증폭기 전기적 특성을 정확하게 얻을 수 있고, 고조파 로드-풀 증폭기 설계를 적절하게 설계할 수 있을 것이다. 저손실 DGS 전송 선로를 이용한 임피던스 튜너 구현이 향후의 연구과제이며, 또한 이러한 정합용 튜너와 바이어스 라인은 다른 고주파 회로 설계에 있어 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

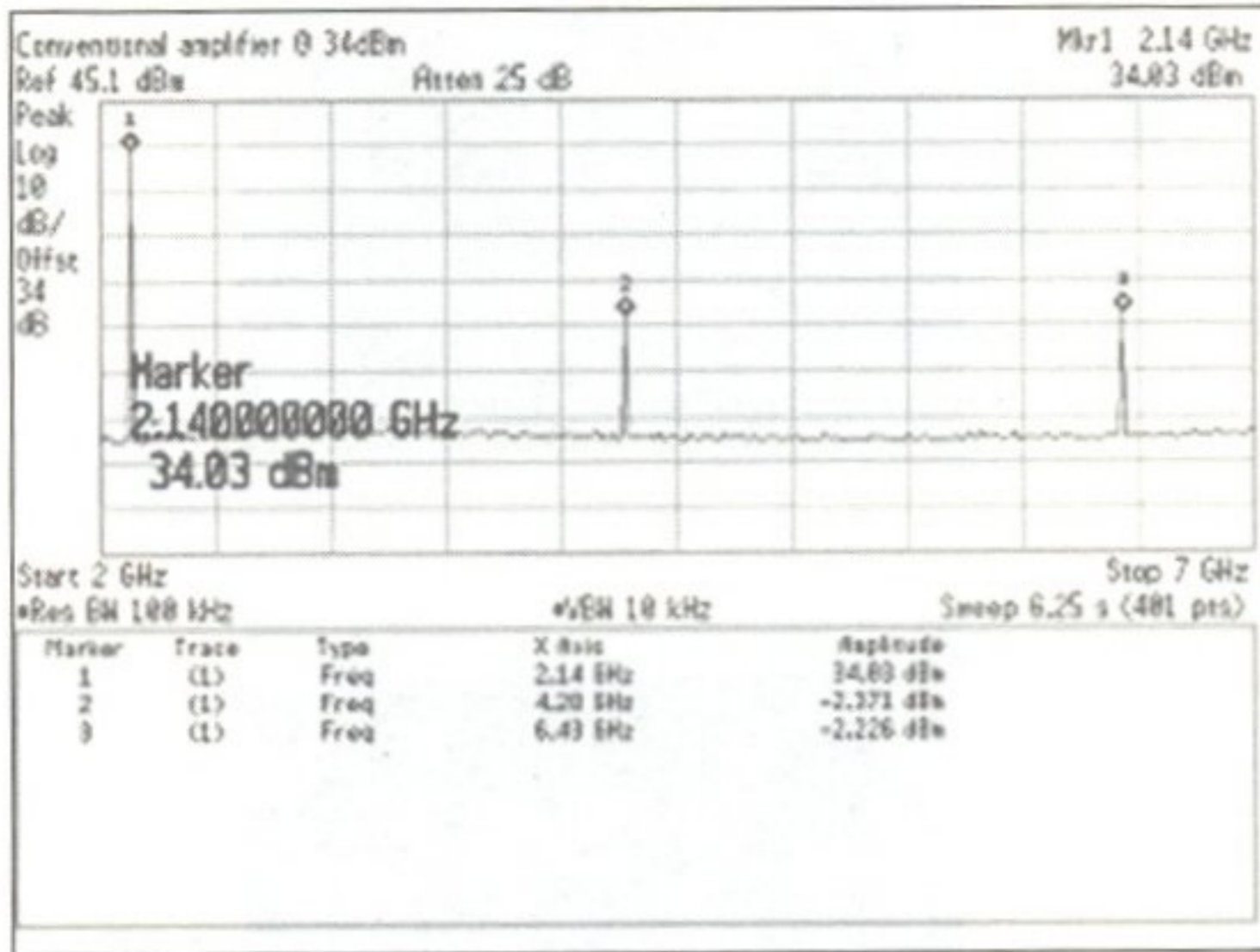
[1] R. B. Stancliff, D. D. Poulin, "Harmonic load-pull", *IEEE Microwave Theory and Technique Symposium Digest*, pp. 185-187, May 1979.

[2] J. Benedikt, R. Gaddi, P. J. Tasker, and M. Goss, "High-power time-domain measurement system with active harmonic load-pull for high-efficiency base-station amplifier design", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, no. 12, pp. 2617-2624, Dec. 2000.

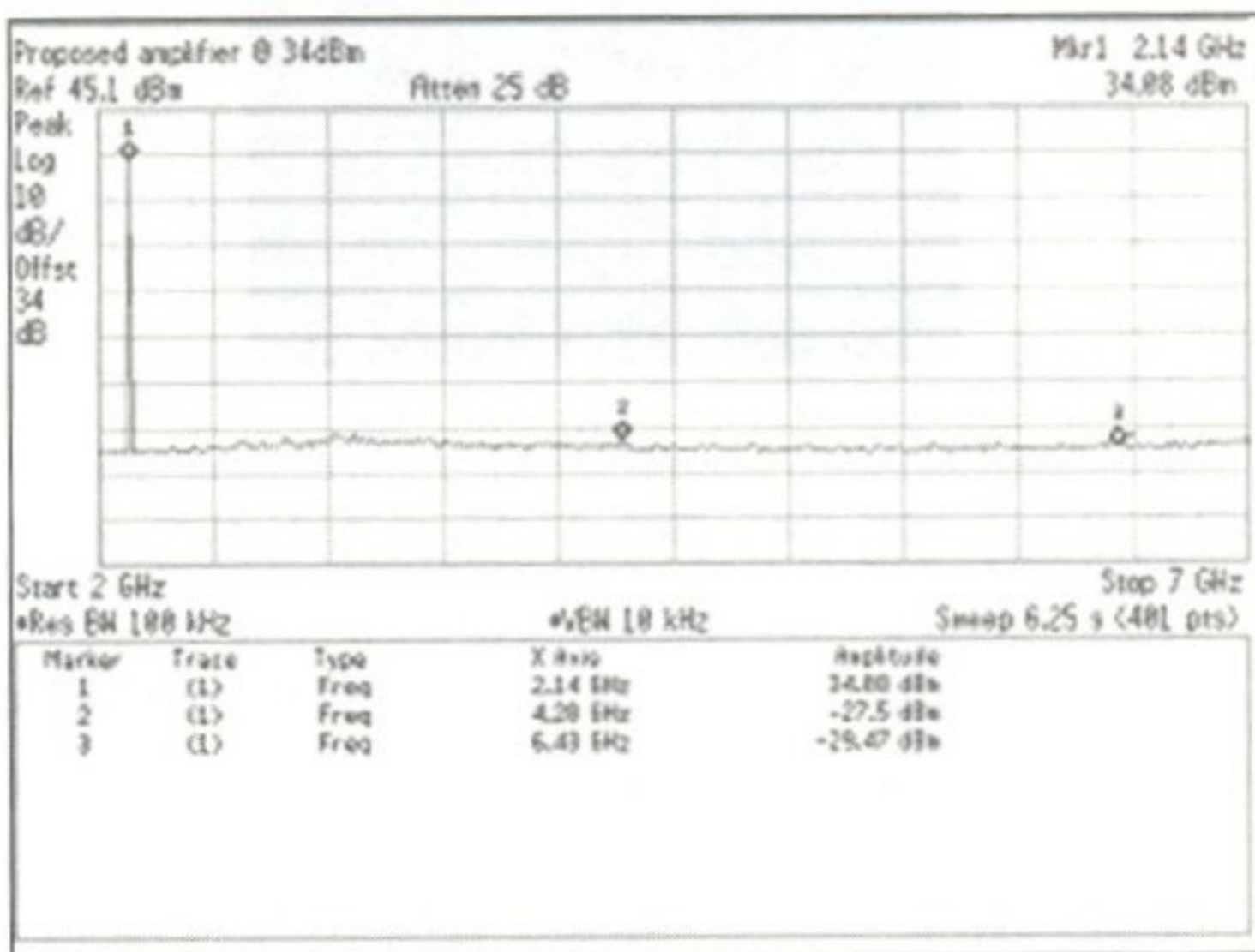
[3] 김병철, "3-dB Coupler Tuner를 이용한 대신호 S-Parameter의 측정", 서강대학교 박사학위논문, 1990년.

[4] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and J. B. Lim, "A novel 1-D periodic defected ground structure for planar circuits", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, pp. 131-133, Apr. 2000.

[5] J. S. Lim, C. S. Kim, Y. T. Lee, D. Ahn, and S. Nam, "A Spiral-shaped defected ground structure waveguide", *IEEE Microwave Guided Wave Letters*,



(a)



(b)

그림 10. (a) 일반적인 증폭기의 고조파 특성, (b) 고조파 차단 정합용 튜너와 바이어스 선로를 이용한 증폭기의 고조파 특성

Fig. 10. The Measured harmonic characteristic of (a) the conventional fabricated amplifier, (b) the proposed amplifier.

표 2. 전통적인 증폭기와 제안된 증폭기의 고조파 특성 비교

Table 2. Comparison of harmonic characteristic between the conventional and the proposed amplifier.

Harmonic suppressions(Output power: 34 dBm)			
	Conventional	Proposed	Suppression
2f0	36.40 dBc	61.58 dBc	25.2 dB
3f0	36.26 dBc	63.50 dBc	27.2 dB

라인 하이브리드를 구현할 수 있다면 실제 적용 가능한 로드-풀 측정 장치가 될 것으로 예상된다.

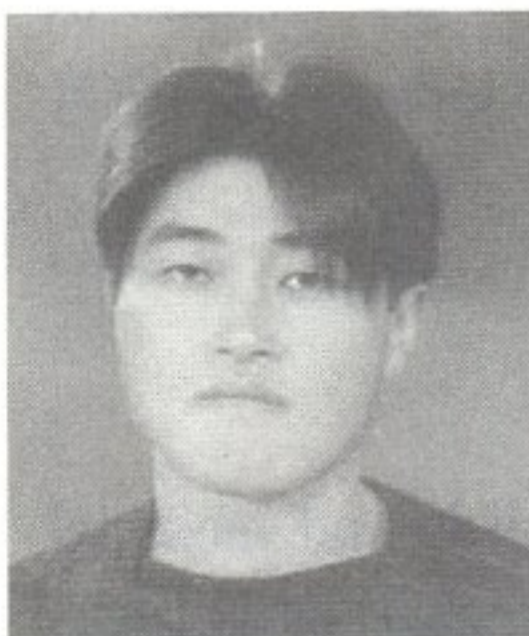
vol. 12, no. 9, pp. 330-332, Sep. 2002.

- [6] J. S. Lim, C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and S. Nam, "Design of 10 dB 90° branch line coupler using microstrip line with defected ground structure", *Electronics Lett.*, vol. 36, no. 21, pp. 1784-1785, Oct. 2000.
- [7] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [8] Jong-Sik Lim, Chul-Soo Kim, Dal Ahn, Yong-Chae Jeong, and Sangwook Nam, "Design of low-pass

filters using defected ground structure", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 8, pp. 2539-2545, Aug. 2005.

- [9] Y. C. Jeong, S. G. Jeong, J. S. Lim, and S. Nam, "A new method to suppress harmonics using  $\lambda/4$  bias line combined by defected ground structure in power amplifier", *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 13, no. 12, pp. 538-540, Dec. 2003.
- [10] D. Woo, T. Lee, "Suppression of harmonics in wilkinson power divider by using asymmetric spiral DGS", *European Microwave Conference Proc.*, pp. 467-470, 2004.

### 이진국



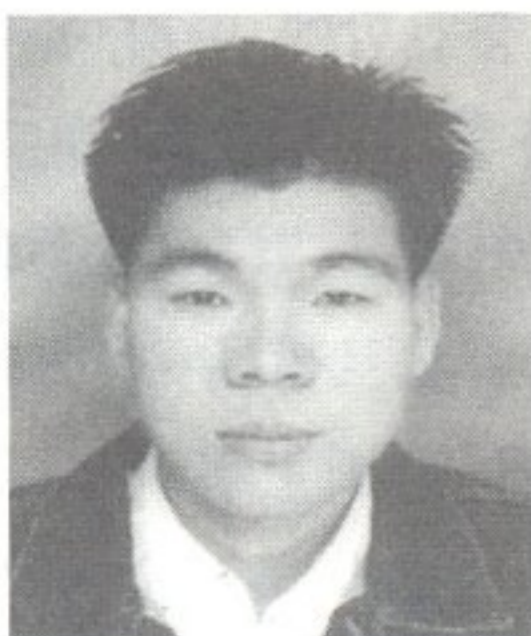
2004년 8월: 전북대학교 물리학과 전기전자공학부 (공학사)  
 2005년 5월~현재: 전북대학교 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] Linearizer, Power Amplifier, RFIC, Interference Cancellation system 설계

### 임종식



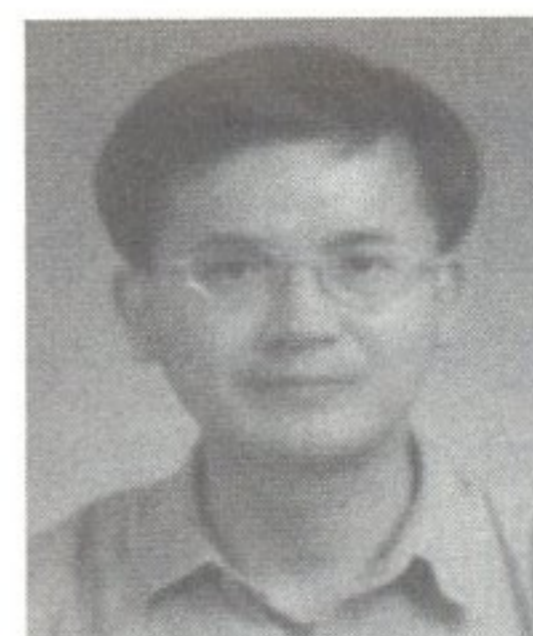
1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 초고주파 전공 (공학석사)  
 2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)  
 1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원  
 2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후연구원  
 2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관  
 2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2005년 3월~현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수  
 [주 관심분야] 초고주파 능동/수동회로 설계, 주기구조의 모델링 및 회로 응용, 안테나 측정 시스템 등

### 김수태



2004년 2월: 전북대학교 전자정보공학부 (공학사)  
 2004년 3월~현재: 전북대학교 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RFIC, Power Amplifier, Active Inductor, Voltage Controlled Oscillator 설계

### 정용채



1989년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1991년 2월~1998년 2월: 삼성전자 정보통신 본부 선임연구원  
 1998년 3월~현재: 전북대학교 전자정보공학부 부교수, 전북대학교 IDEC WG 책임교수, 전북실리콘밸리교육단 단장  
 [주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 해석 및 설계