

## 부하 변조 및 위상 보상 DGS 마이크로스트립 선로를 이용한 도허티 증폭기

최홍재<sup>o</sup>, 박상근, \*임종식, 정용채, \*\*김철동

전북대학교 정보통신공학과 및 IDEC WG, \*순천향대학교, \*\*세원텔레텍(주)

전화: (063)270-2458, 팩스: (063)270-2461

### Doherty Amplifier using Load Modulation and Phase Compensation DGS Microstrip Line

Heung-Jae Choi<sup>o</sup>, Sang-Keun Park, \*Jong-Sik Lim, Yong-Chae Jeong, \*\*Chul D. Kim

Dept. of Information & Communication Engineering, IDEC WG, Chonbuk National Univ.,

\*Soonchunhyang Univ., \*\*Sewon Teletech Inc.

E-mail: streetpoet@mail.chonbuk.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we proposed a new DGS Doherty amplifier for IMT-2000 base station. Originally, active load-pull analysis of a Doherty amplifier assumes ideal harmonic short circuit. However, there have been no papers considering this ideal harmonic termination condition. We improved efficiency, linearity, and maximum output power of a Doherty amplifier by satisfying the overlooked assumption of ideal harmonic termination through the adaptation of DGS at the output transmission line that is essential for Doherty operation. The amount of both the 2nd and the 3rd harmonic rejection of the proposed DGS Doherty amplifier are 44.92dB and over 23.77dB, respectively. The obtained improvement in P1dB, drain efficiency, ACPR to WCDMA 1FA signal were 0.3dB, 6.4%, 5.4dB, respectively.

#### I. 서론

무선 통신 시스템의 중요한 부분을 차지하고 있는 전력증폭기의 성능 향상에 대한 연구가 끊임없이 진행되고 있다. 이러한 연구는 주로 전력 증폭기의 성능을 나타내는 출력전력, 선형성, 전력부가효율(Power Added

Efficiency: PAE) 등을 향상시키는데 집중되고 있으며, 이를 위해 다양한 방법이 시도되고 있다.

도허티 증폭기는 이러한 일련의 시도들 가운데 전력 증폭기의 PAE 성능을 향상시키기 위한 대표적인 방법 중 하나로서, 최근 많은 관심을 모으고 있다<sup>[1]</sup>.

또한 효율과 선형성의 개선 방법으로 전력 증폭기의 출력 단 전송선로에 PBG와 DGS를 적용하여 비선형성과 효율을 개선하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

중전에도 도허티 증폭기의 출력 단에 PBG를 적용하여 효율과 비선형성을 개선시키는 방법을 시도하였다. 그러나 실제 제작했을 때 PBG 전송 선로의 큰 삽입 손실 때문에 대전력 증폭기에 적용하기에 적당하지 않고, PBG를 적용하기 위하여 매칭 회로 내에 추가적인 길이의 전송 선로를 삽입했기 때문에 크기가 커지게 되며, 효율과 비선형성의 개선 효과가 작은 단점이 있다<sup>[2]</sup>. 또한 부하 변조 동작을 최적화하기 위한 도허티 증폭기의 설계 기법이 보고되었지만, 능동 로드풀 개념의 기본 가정인 이상적인 고조파 단락에 대해서는 고려하지 않았다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 도허티 증폭기를 설계할 때 간과하고 있는 이상적인 고조파 단락을 도허티 증폭기의 동작에 필요한 출력 단 전송선로에 DGS를 적용함으로써 만족시키고, 그로 인해 효율과 비선형성을 개선시킴과 동시에 최대 출력 전력을 증가시킬 수 있는 방법을 제시하였다.



## II. DGS 도허티 증폭기의 설계 및 제작

### 1. 능동 로드풀 회로

능동 로드풀 개념은 RF부하의 저항(resistance)값 또는 리액턴스(reactance)값이 두 번째 신호원 전류의 영향을 받아서 변할 수 있다는 개념이다. 로드풀 방법을 적용하여 회로를 해석할 때에는 이상적인 고조파 단락을 가정하고 기본파 신호에 대해서만 고려함으로써 부하변조에 대한 해석을 할 수 있다. 그림 1은 고조파 단락을 가정한 능동 로드풀 회로를 보이고 있다.

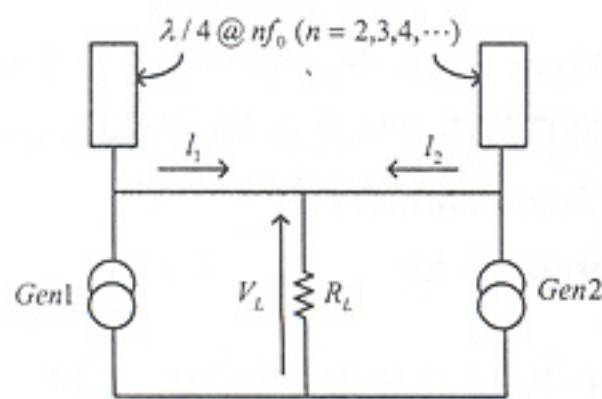


그림 1. 고조파 단락을 가정한 능동 로드풀 회로

### 2. DGS 주 증폭기

그림 2는 DGS 주 증폭기의 회로도를 보이고 있는데, DGS를 적용하기 위하여 주 증폭기의 출력단에 추가적인 전송 선로를 추가하는 것이 아니라 도허티 증폭기의 임피던스 변조동작을 위해 필수적인  $\lambda/4$  임피던스 변환 전송선로에 DGS를 두었다. DGS의 군속도 지연 효과로 인하여 같은 물리적인 길이에 대해서 전기길이 증가하므로, 물리적 길이를 줄일 수 있는 장점도 있다.

### 3. DGS 보조 증폭기

주 증폭기와 마찬가지로 보조 증폭기 출력단의 DGS 전송 선로 또한 DGS를 적용하기 위해 추가적인 전송 선로를 달아준 게 아니라 도허티 동작에 기본적으로

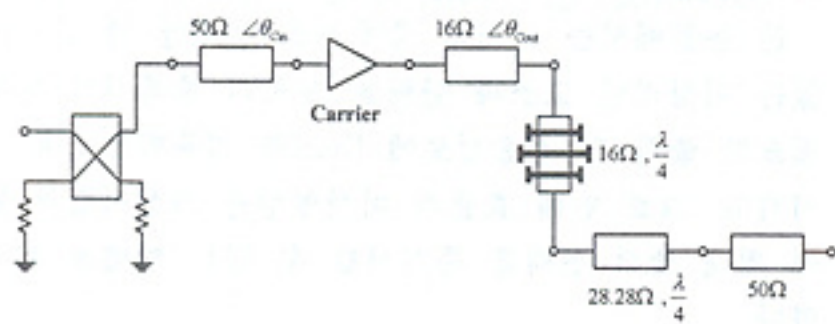


그림 2. DGS 주 증폭기의 회로도

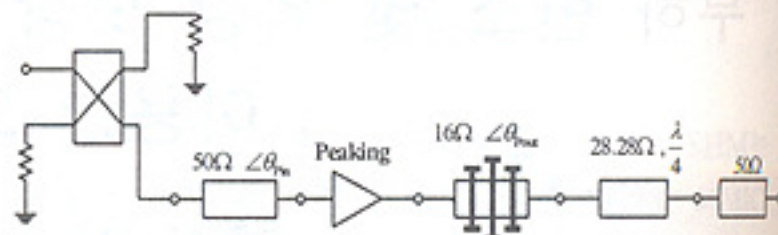


그림 3. DGS 보조 증폭기의 회로도

필요한 길이, 즉, 보조 증폭기 미동작 시에 출력 저항값을 최대로 만드는 전송선로에 적용을 했다. 그로 인해 외관상 추가적인 장치 없이 효율과 선형성의 증가를 가져올 수 있었다.

### 4. DGS 도허티 증폭기

본 논문에서는 그림 4와 같이 일반적인 도허티 증폭기를 제작한 후, 주 증폭기와 보조 증폭기의 출력단 전송선로에 DGS를 적용한 도허티 증폭기를 제작하여 이러한 고조파 단락에 대한 가정을 만족시키면서 효율과 비선형성의 개선을 얻고자 하였다.

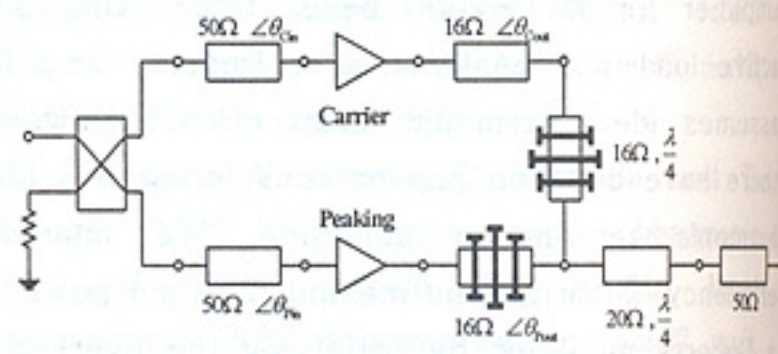
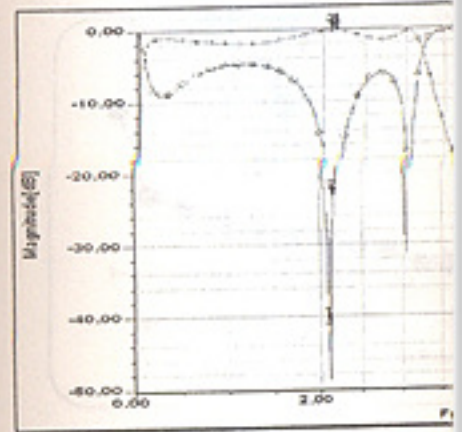


그림 4. DGS 도허티 증폭기의 회로도

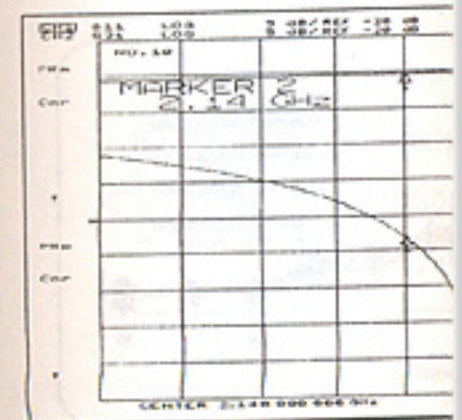
## III. 제작 및 측정 결과

### 1. DGS 전송 선로

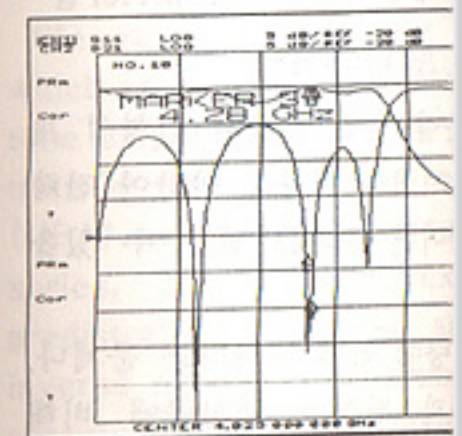
DGS를 이용한 고조파 단락 전송 선로를 제작하기 위해 Ansoft사의 HFSS v9.2를 사용하여 시뮬레이션을 했다. 시뮬레이션에 사용된 기판은 유전율이 2.2이고 두께가 31mil인 Rogers사의 RT/duroid 5880이다. 시뮬레이션에서 통과대역인 2.11~2.17GHz에서 약 0.27 dB의 삽입 손실을 갖고, 2차, 3차 고조파 대역에서는 약 30dB 이상의 차단 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 실제 제작했을 때, 시뮬레이션과 거의 유사한 0.26dB의 삽입 손실과 차단 특성을 확인하였다.



(a) 시뮬레이션



(b) 측정 결과(@ 2.15 GHz)



(c) 측정 결과(@ 2.15 GHz)

그림 5. DGS 전송선로의 측정 결과

### 2. DGS 주 증폭기

그림 6은 일반적인 주 증폭기의 효율 개선량을 보이고 있어 전력 레벨에 따라 최대 것을 볼 수 있다.

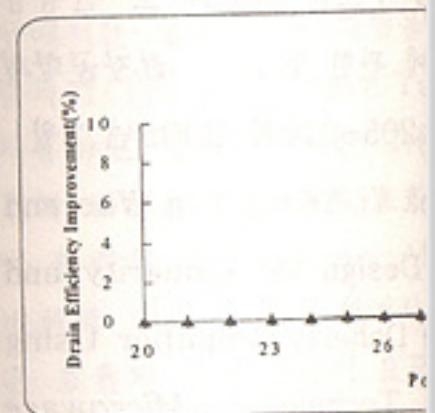
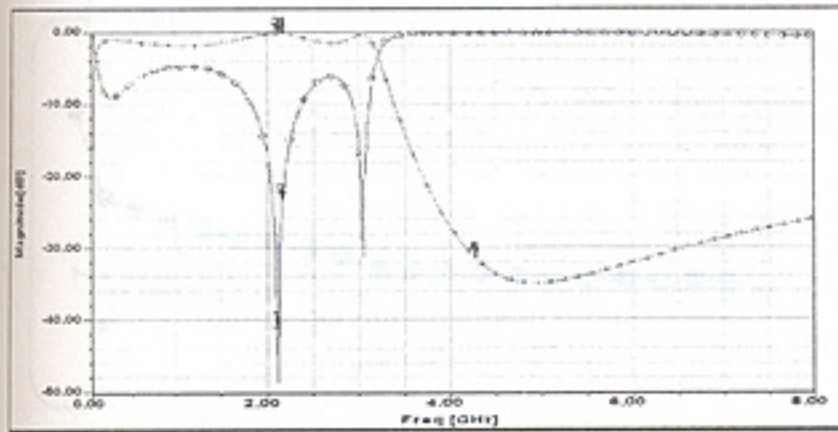
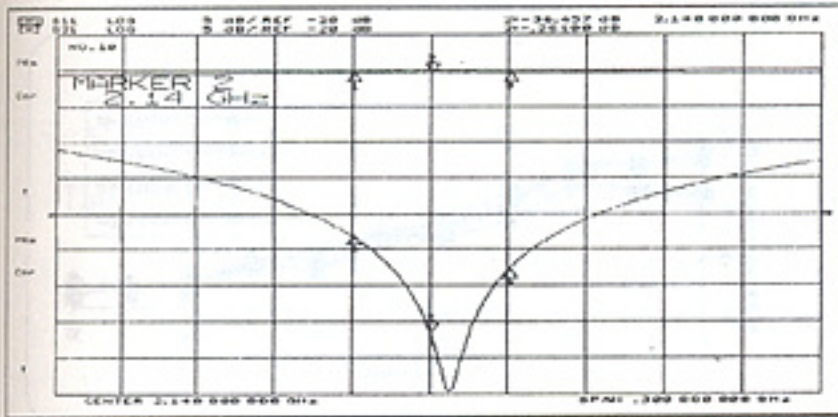


그림 6. DGS 주 증폭기

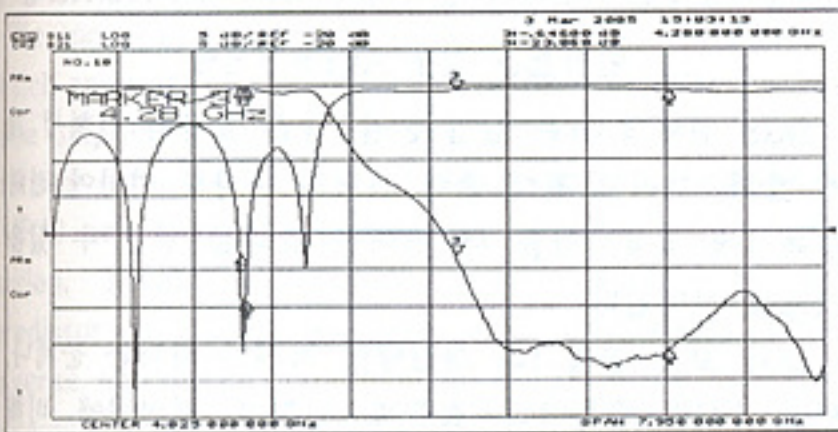




(a) 시뮬레이션 결과



(b) 측정 결과(@ 2.11GHz~2.17GHz)



(c) 측정 결과(@ 50MHz~8GHz)

그림 5. DGS 전송선로의 시뮬레이션 및 측정 결과

### 2. DGS 주 증폭기

그림 6은 일반적인 주 증폭기 대비 DGS 주 증폭기의 효율 개선량을 보이고 있다. 전체 영역에 대하여 출력 전력 레벨에 따라 최대 9.4% 까지 효율이 증가하는 것을 볼 수 있다.

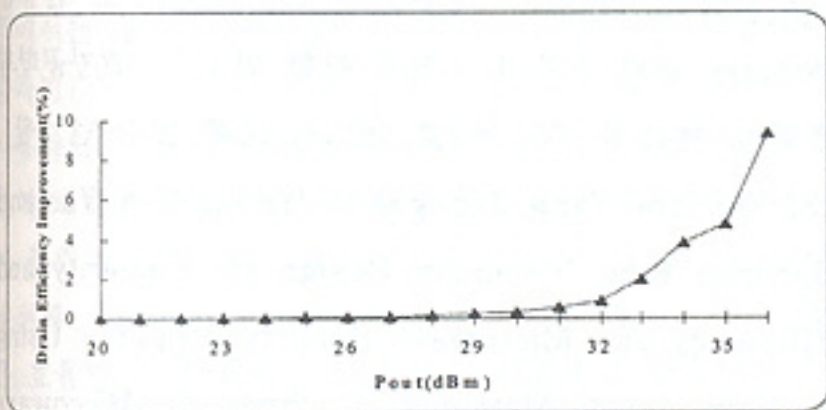


그림 6. DGS 주 증폭기의 효율 개선량

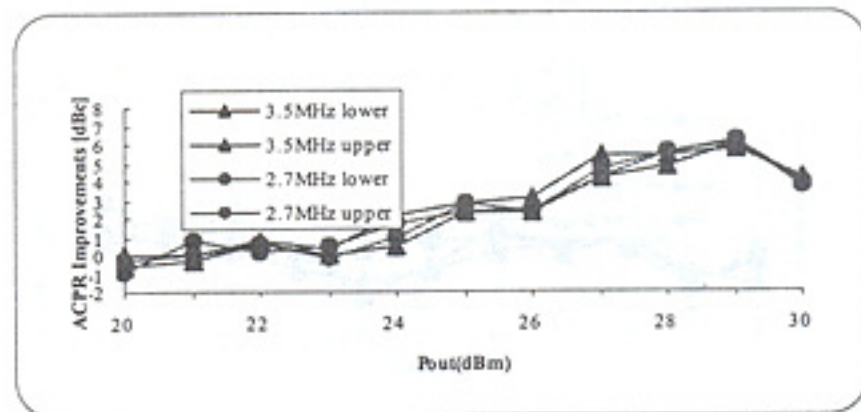


그림 7. DGS 주 증폭기에 WCDMA 1carrier를 인가했을 경우 ACPR 개선량

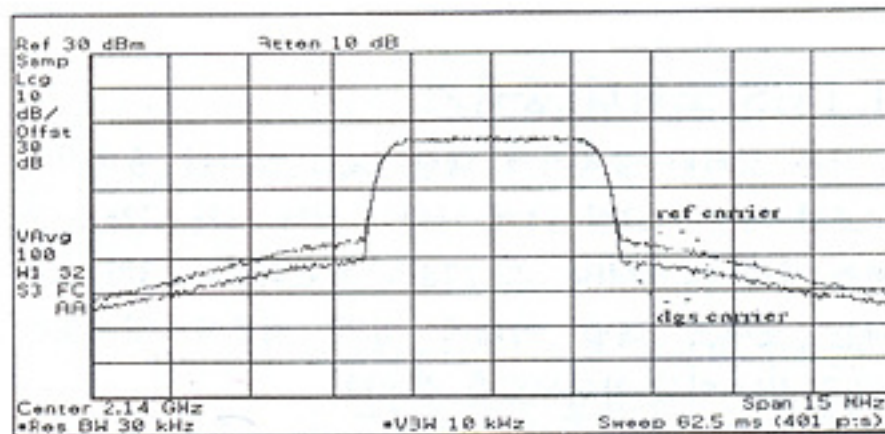


그림 8. DGS 주 증폭기에 WCDMA 1carrier를 인가했을 경우 ACPR 특성비교 (@ P<sub>out</sub>=29dBm)

그림 7은 DGS 주 증폭기의 WCDMA 1FA 신호에 대한 ACPR 개선량을 나타내고 있다. 출력 전력 레벨이 높아질수록 개선 효과가 뚜렷이 나타나며, 최대 6.1dB의 개선 효과를 얻었다. 그림 8은 출력 전력이 29dBm일 때 DGS 주 증폭기와 기존 주 증폭기의 WCDMA 1FA 스펙트럼을 보여준다.

### 3. DGS 보조 증폭기

그림 9는 일반적인 보조 증폭기 대비 DGS 보조 증폭기의 효율 개선량을 보인 것으로, 최대 19.8% 증가한 결과가 나타나 있으며, 그림 10은 WCDMA 1FA에 대한 선형성 개선 정도가 나타나 있다.

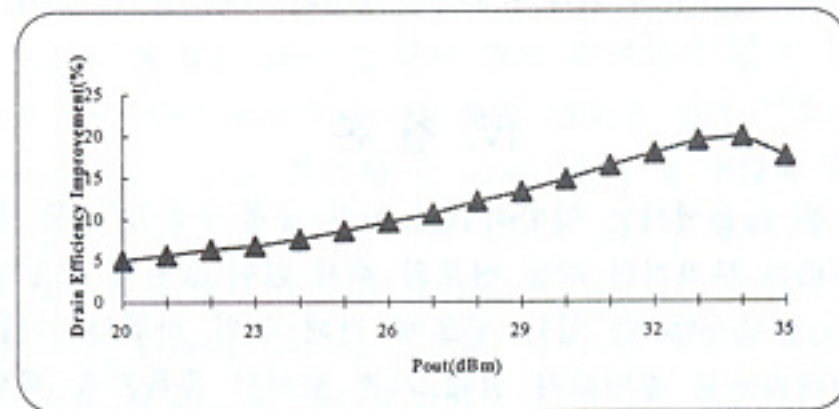


그림 9. DGS 보조 증폭기의 효율 개선량



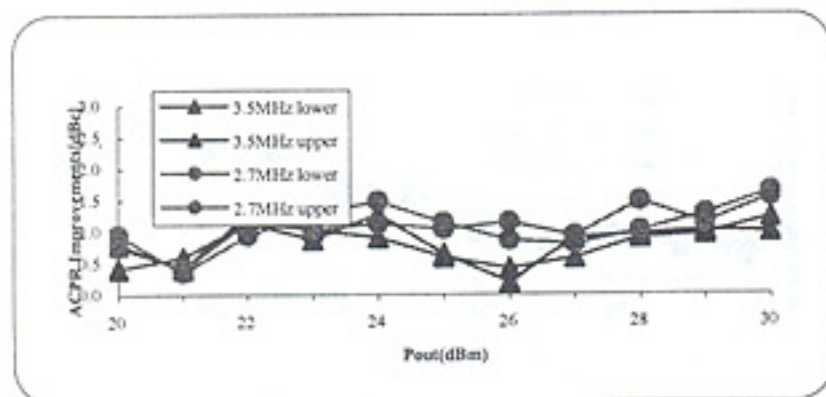


그림 10. DGS 보조 증폭기에 WCDMA 1 carrier를 인가했을 경우 ACPR 개선량

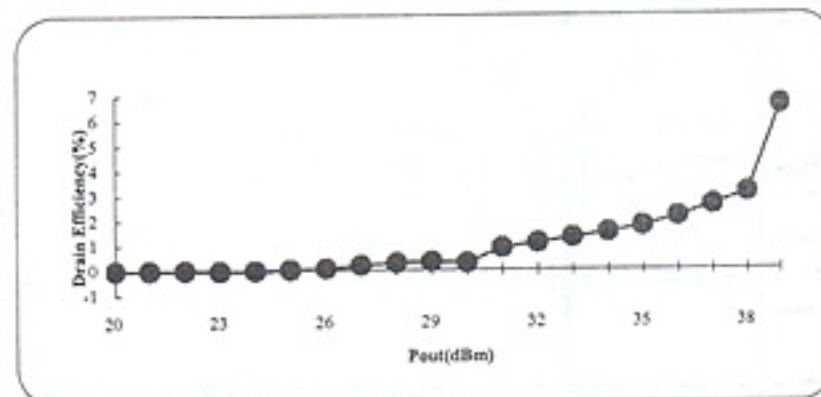


그림 12. DGS 도허티 증폭기의 효율 개선량

#### 4. DGS 도허티 증폭기

기존 도허티 증폭기에 대한 DGS 도허티 증폭기의 고조파 특성이 그림 11에 나타나 있다. 2차, 3차 고조파는 각각 44.92dBc, 23.77dBc 차단되었다. 3차 고조파는 노이즈 레벨 아래에 있기 때문에 실제로는 23.77dBc 이상 차단되었을 것이다.

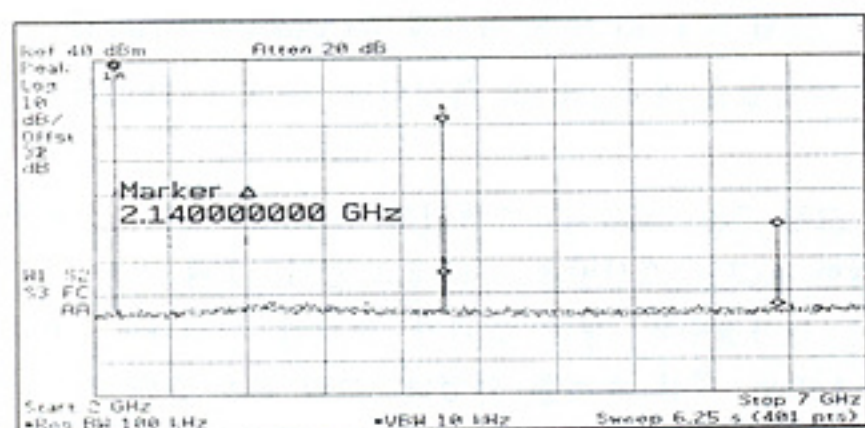


그림 11. DGS 도허티 증폭기의 고조파 특성 (@P<sub>out</sub> = 38dBm)

차단된 고차 고조파 성분들이 지닌 전력 성분은 기본 주파수의 전력 성분으로 변환되면서 나타난 효율의 개선량이 그림 12에서 보여지고 있고, WCDMA 1FA에 대한 ACPR 개선 특성이 그림 13에 나타나 있다. 전체 영역에 대하여 DGS 도허티 증폭기의 효율은 최대 6.4%, ACPR은 최대 5.4dBc 개선된 것을 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 일반적인 도허티 증폭기에 DGS를 적용하여 추가적인 전송 선로의 추가 없이 효율과 선형성을 향상시킬 수 있는 구조에 관해 논의 하였다. 이를 실험적으로 증명하기 위해 기존 도허티 증폭기를 제작하고, 출력 단의 전송 선로에 DGS를 적용한 DGS 도허티 증폭기를 제작 하였다.

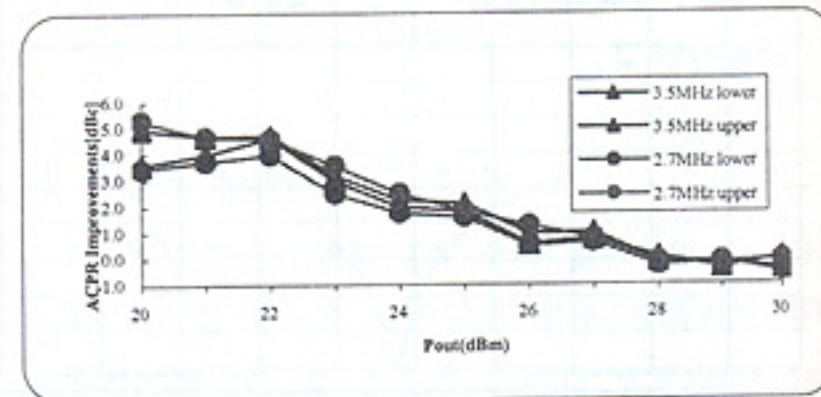


그림 13. DGS 도허티 증폭기에 WCDMA 1 carrier를 인가했을 경우 ACPR 개선량

DGS 선로의 작은 삽입 손실, 높은 효율과 선형성 개선 효과, 그리고 최대 출력 전력의 증가로 인하여 전력 증폭기에 적용되었을 때 뛰어난 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

DGS 보조 증폭기의 개선량이 작게 나타나는 문제나, 단일 DGS 증폭기의 효율과 선형성 개선량에 비해 DGS 도허티 증폭기의 개선량이 작게 나타나는 점 등이 추후에 해결되어야 할 과제로 남아 있다.

#### 참고 문헌

- [1] Steve C. Cripps, *RF Power Amplifier for Wireless Communications*, Artech House, pp.251-282, 1999.
- [2] 이상만, 서철현, "PBG 구조를 이용한 고 선형성 Doherty 전력 증폭기 구현에 관한 연구," *전자공학회 논문지*, 제42권 TC, 제2호, 205~210쪽, 2005년 2월
- [3] Youngoo Yang, Jaehyok Yi, Young Yun Woo and Bumman Kim, "Optimum Design for Linearity and Efficiency of a Microwave Doherty Amplifier Using a New Load Matching Technique" *Microwave Journal*, Vol. 44, No. 12, pp. 20-36, Dec. 2001.

## Carrier Co 위성

전북대학교 정보

## K-Band Analog

Hee-Young Joo  
Dept. of Informat

Abs

We propose the new which can reduce nonlinear tube amplifiers (TWTA: transfer characteristics (HPA) are analyzed us series. Inverse comp predistortion linearizer inverse nonlinear distor obtained with reflect resistive terminated measured improvement to-PM characteristics proposed linearizer or 4.09°, respectively.

위성 통신 시스템에서 이크로파 전력증폭기가 템에서는 높은 출력 레 증폭기(Traveling Wave 사용하고 있다. 이러한 전력 레벨을 얻기 위해 어 출력의 크기(AM-to 비선형 왜곡 특성이 현 은 효율과 선형 증폭이 능을 저하시키는 주요 력 증폭기의 비선형 전