

# 고출력 Adaptive Hybrid Doherty 증폭기의 효율개선

손길영, 이석희, 최민성, 조갑재, 방성일  
 단국대학교 정보통신연구실  
 전화 : 02-709-2827 / 핸드폰 : 016-426-7125

## Efficiency Enhancement and High Power by Adaptive Hybrid Doherty Amplifier

Kil-young Son, Suk-hui Lee, Min-sung Choi, Gap-jae Cho, Sung-il Bang  
 Dept. of Electronics, Dankook University  
 E-mail : guard8076@hotmail.com

### Abstract

This paper implemented 2.14GHz band Adaptive Hybrid Doherty (AHD) amplifier, as well as, wished to improve the high power characteristics and efficiency by composing bias adjustment circuit with LDMOS. Finally, through CAE, confirmed that AHD amplifier have superior performance than hybrid balanced amplifier. Superior characteristics of AHD amplifier is expected to affect immensely in amplifier field hereafter.

### I. 서론

무선통신을 위한 고출력 증폭기는 변조된 정보신호의 전력을 높여서 효과적인 송수신을 할 수 있도록 한다. 특히 아날로그 통신방식에서 디지털 통신방식으로 전환됨에 따라 증폭기는 고출력과 높은 선형성과 더불어 우수한 효율성이 요구되고 있다. 하지만 기존의 증폭기는 높은 선형성을 갖으면서 동시에 우수한 효율성을 만족하기에는 한계가 있었다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 여러 가지 구조들이 제안되었고, 1936년 Doherty W.H가 제안한 Doherty 증폭기는 우수한 효율성을 가지고 있다.

본 논문은 기존의 Doherty 증폭기 방식에 Adaption 회로를 구성하여 효율을 향상시키는 구조를 제안하였다. 기존 Doherty 증폭기의 기본 구조에서 개선 할 점을 분석하고 최적의 바이어스 지점을 유지할 수 있는 회로를 구성하였다. 이와 같은 분석을 바탕으로 Adaptive Hybrid Doherty(AHD) 증폭기를 설계하였고, CAE를 통해 성능을 검증하였다.

### II. Doherty 증폭기의 동작 알고리즘

2단 구조의 Doherty 증폭기의 기본적인 구성은 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는 바와 같이 Doherty 증폭기는 주 증폭기와 보조 증폭기로 구성되고,  $\lambda/4$  전송선로로 정합된 구조를 갖는다. 여기서 주 증폭기는 class AB 또는 B로 동작하고, 보조 증폭기는 class B 또는 C의 동작영역을 갖기 때문에 서로 다른 출력특성을 보인다. Doherty 증폭기는 이러한 출력특성을 효과적으로 합성하여 개선된 출력특성을 얻는다.

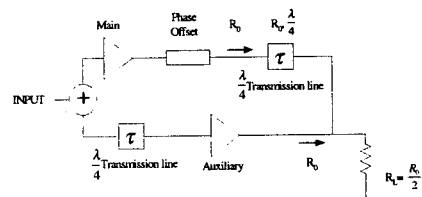


Fig. 1. The basic structure of Doherty amplifier.

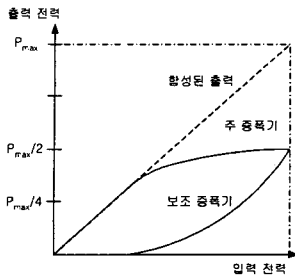


Fig. 2. The input & output power characteristics of Doherty Amplifier.

Doherty 증폭기를 운용면에서 고찰하면 주 증폭기는 저전력과 고전력 모두에서 Turn-on 되고, 보조 증폭기는 주 증폭기가 포화영역 부근일 때 Turn-on되어 동작한다.

Doherty 증폭기의 출력전력에 따른 증폭기의 동작상태를 살펴보면  $\lambda/4$  전송선로에 따라 임피던스가 변화한다. 동작모드에 따른 임피던스의 변화는 그림 3에서 보는 바와 같고 이를 해석하면 다음과 같다.

$$Z'_1 = \frac{V_o}{I'_1} = \frac{R_o}{2} \cdot \left( \frac{I'_1 + I_2}{I'_1} \right) \text{ where } 0 \leq I_2 \leq I'_1$$

$$Z_1 = \frac{R_o^2}{Z'_1} = \frac{2R_o}{1 + \frac{I_2}{I'_1}} = \frac{2R_o}{1 + \alpha} \text{ where } 0 \leq \alpha \leq 1$$

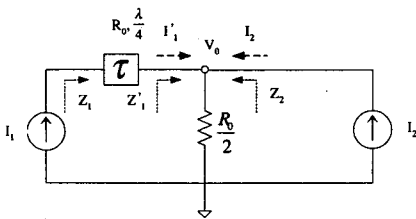


Fig. 3. The impedance inverting in  $\lambda/4$  transmission line

### III. AHD 증폭기의 설계

본 논문에서 제안한 AHD 증폭기의 구조는 그림 4와 같다.

AHD 증폭기에 사용된 Doherty 증폭기는 Motorola사의 MRF5S21090L LDMOS 소자를 사용하였으며, 각각의 정합회로는 최적의 출력전력을 가지도록 전력매칭을 하였다. 고출력 특성을 얻기 위해 2쌍의 Doherty 증폭기를 평형구조로 사용하였다. 충분한 출력을 얻기 위해 AHD 증폭기의 입력단에는 각각 47dB의 Gain 블

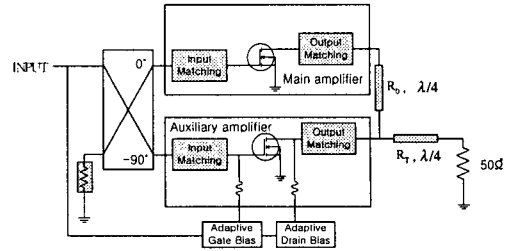


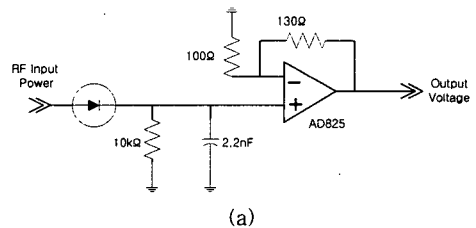
Fig. 4. The structure of AHD amplifier

록을 추가하였다.

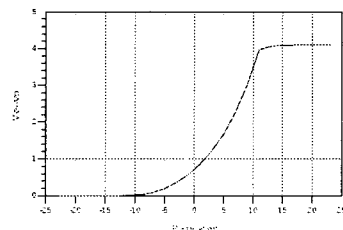
기존의 Doherty 증폭기는 입력단에 위상정합을 위한  $\lambda/4$  전송선로를 필요로 하지만, 본 논문에서는 이를 90° 하이브리드 커플러로 대체하여, 불필요한 전송선로를 줄임으로써 전체회로의 소형화 효과를 얻었다.

Doherty 구조에서 보조증폭기는 입력전력에 따라 바이어스를 달리하여 동작하여야 한다. 이에 본 논문은 입력전력에 비례하여 바이어스를 달리하는 Adaptive Bias 회로를 제안하였고, Adaptive Bias 회로는 각각 Gate Bias 회로와 Drain Bias 회로로 구성된다.

Adaptive Gate Bias 회로는 입력전력의 일부를 샘플링하고, 샘플링 된 신호를 포락선 검파기를 통해 DC전원으로 전환한다. 입력전력으로부터 얻어진 DC전원은 연산증폭기를 사용하여 적정 바이어스가 되도록 증폭하였다. 그림 5는 Adaptive Gate Bias 회로와 입력전력에 따른 출력 전원을 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 5.(a) Adaptive gate bias circuit

(b) The characteristic of output voltage

Adaptive Drain Bias 회로는 Gate Bias 회로와 동일한 방법으로 입력전력을 DC전원으로 변환한다. 그러

나, Gate Bias 회로와 달리 연산 증폭기를 반전 증폭의 용도로 사용함으로써, 입력전력에 따라 0V에서 -1V까지의 출력전력을 가지도록 하였다. 출력부에는 28V 정전원을 유지하는 회로를 두어, 반전 증폭된 전원과 정전원의 전위차를 바이어스로 인가하였다. 실제 동작하는 Drain Bias의 범위는 28V에서 29V가 된다. 그림 6은 Adaptive Drain Bias 회로와 가변전원을 나타낸다.

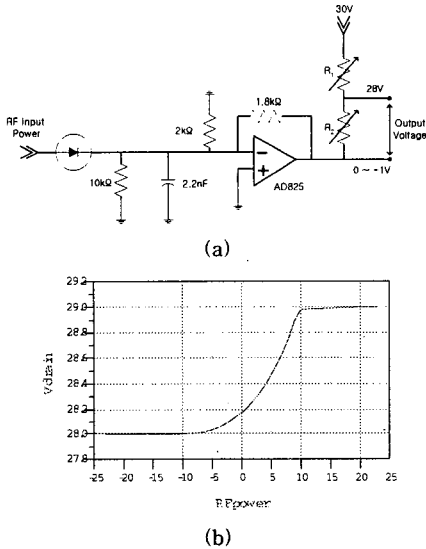


Fig. 6.(a) Adaptive drain bias circuit  
(b) The characteristic of output voltage

#### IV. 측정결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 AHD 증폭기의 성능을 검증하기 위해 동일소자(MRF5S21090L)로 구성된 90° 하이브리드 평형(HB) 증폭기를 구성하였다. 90°HB 증폭기의 입력단에 AHD 증폭기와 동일한 이득 블록을 추가하여 충분한 출력을 얻고자 하였다.

그림 7은 본 논문에서 제안한 AHD 증폭기와 90°HB 증폭기의 구성도이다.

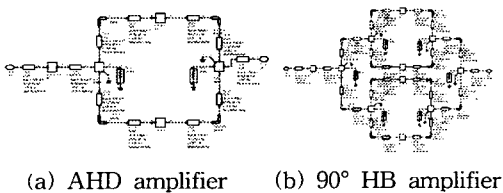


Fig. 7. The block diagram of AHD amplifier and 90° HB amplifier

AHD 증폭기와 90° HB 증폭기는 이득과 IM3, 그리고 PAE의 관점에서 비교검증 하였다. 그림 8은 AHD 증폭기와 90° HB 증폭기의 특성을 나타낸다.

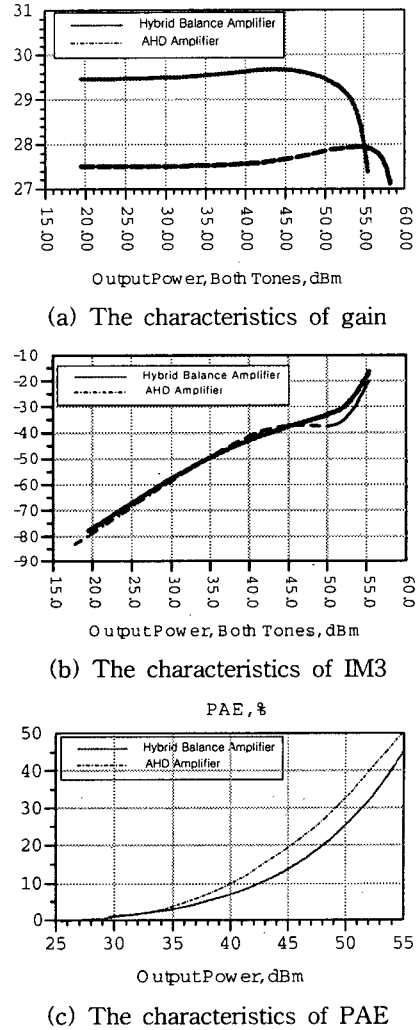


Fig. 8. The characteristics of AHD amplifier and 90° HB amplifier

그림 8에서와 같이 AHD 증폭기는 90° HB 증폭기에 비해 이득이 2 dB정도 낮다. 90° HB 증폭기는 50dBm 이상의 출력에서 급격한 이득의 감소를 보이지만, AHD 증폭기는 90° HB 증폭기보다 약 7 dB정도 넓은 이득 평탄구간을 가진다. 고출력특성에서 이득이 약간 증가하는 경우가 발생하는 것은 입력단의 Gain 블록의 전력매칭에 따른 결과로 사료된다.

AHD 증폭기와 90°HB 증폭기는 전체 구간에 대해 비슷한 IM3 특성을 가지지만, 고출력 특성에서는

AHD 증폭기의 IM3특성이 약 5 dB 정도 낮아졌다. 각각의 PEP 출력은 425W와 330.5W로 약 95W의 전력 개선 효과를 나타내었다. IM3 특성곡선에서 90° HB 증폭기는 약 32dBm까지 선형적으로 증가하다 52dBm에서 급격한 증가를 보이는 반면, AHD 증폭기는 약 40dBm까지 선형적으로 증가하다 52dBm에서 급격한 증가형태를 보였다.

AHD 증폭기는 낮은 입력 전력 범위에서 90° HB 증폭기와 거의 동일한 효율을 가지고 있으나 입력 전력의 크기가 증가함에 따라 효율의 차이도 커짐을 알 수 있다. AHD의 최대전력 지점(53.28dBm @ PEP)에서는 약 10%의 효율 개선 효과를 얻었다.

## V. 결론

다양한 멀티미디어 데이터를 왜곡 없이 멀리 전달하기 위해서는 고출력과 고효율, 높은 선형성이 보장되어야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해서는 매우 까다로운 증폭기의 특성이 요구된다. 여러 가지 증폭기 설계 방법이 제안되었고, 그 중 Doherty 증폭기가 주목받고 있다.

그러나 기존의 Doherty 증폭기는 보조 증폭기의 동작조건이 문제가 되었다. 이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 입력 전력의 크기에 따라 Gate Bias와 Drain Bias를 능동적으로 조절할 수 있는 AHD 증폭기를 제안하였다.

기존의 증폭기와 비교분석 결과, AHD 증폭기는 일반적인 90° HB 증폭기보다 2dB 낮은 이득을 가지지만, 넓은 이득평탄 구간과 95W이상의 높은 출력을 얻었고 최대 10 %의 효율이 개선되었다. 이상의 결과에서와 같이 AHD 증폭기는 기존의 90°HB 증폭기 보다 우수한 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

향후 본 논문에서 제시한 AHD 증폭기의 Adaptive Bias 회로를 개선함으로써 입력전력 크기에 따라 보다 능동적으로 대처하고, 증폭기의 고출력, 고효율 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## Reference

- [1] Steve C. Cripps, "Power Amplifiers For Wireless Communications", Artech House, 1999.
- [2] Steve C. Cripps, "Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design", Artech House, 2000.
- [3] Y. Yang, J. Yi, Y. Y. Woo, B. Kim, "Optimum Design for Linearity and Efficiency of a Microwave Doherty Amplifier using a New Load Matching Technique", *Microwave Journal, Dec.*, 2001.
- [4] Youngoo Yang, Jeonghyeon Cha, Bumjae Shin, Bumman Kim, "A Microwave Doherty Amplifier Employing Envelope Tracking Technique for High Efficiency and Linearity", *IEEE Microwave and Wireless Components Letter*, Vol.13, No.9, September 2003.
- [5] Nicolas DUBUC, Claude DUVANAUD, Philippe BOUYSSSE, "Analysis of the Doherty technique and application to a 900MHz power amplifier", GAAS, Scientific Society, October 2003.
- [6] Peter M. Asbeck, Lawrence E. Larson, Andre G. Metzger, Pin-Fan Chen, Aracely Williams, Masaya Iwamoto, "An Extended Doherty amplifier With High Efficiency Over a Wide Power Range". *IEEE Transactions on Microwave theory and techniques*, Vol.49, No.12, December 2001
- [7] K.W. Kobayashi, A.K. Oki, A. Gutierrez-Aitken, P. Chin, Li Yang, E. Kaneshiro, P.C. Grossman, K. Sateo, T.R. Block, H.C. Yen, D.C. Streit, "An 18-21 GHz InP DHBT Linear Microwave Doherty Amplifier", *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, 2000