

# 섀트 공진기가 부가된 도허티 전력결합기의 증폭기 응용

최희윤\*, 임종식\*\*<sup>1</sup>, 손성호\*\*\*, 윤원상\*\*\*\*, 한상민\*\*\*\*\*, 안달\*\*<sup>2</sup>

## Application of Doherty Power Combiners with Shunt Resonators Added to Microwave Amplifiers

Heeyoun Choi\*, Jongsik Lim\*\*<sup>1</sup>, Seong-Ho Son\*\*\*, Won-Sang Yoon\*\*\*\*, Sang-Min Han\*\*\*\*\*, and Dal Ahn\*\*<sup>2</sup>

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0사업(IITP-2021-2020-0-01832)과 순천향대학교의 지원으로 수행되었음.

### 요약

본 논문에서는 섀트 공진기가 부가된 새로운 도허티 구조의 전력결합기를 증폭기의 효율 개선에 응용한 연구에 대하여 기술한다. 섀트 공진기가 부가된 도허티 전력결합기는 출력단자의 반사계수  $-20\text{dB}$ 를 기준으로, 종래의 기본형 도허티 전력결합기보다 약 40% 이상 더 넓은 동작 대역폭을 갖는다. 그러므로 공진기가 부가된 도허티 전력결합기가 증폭기의 성능 개선에 기여할 수 있다는 기대는 매우 합당하다. 한 예로서 본 논문에서는 중심주파수  $1.95\text{GHz}$ 에서 제안된 도허티 전력결합기를 설계 및 측정하고, 이를 증폭기에 적용한다. 증폭기의 동작 조건이 동일할 때 제안된 도허티 전력결합기를 갖는 증폭기는 종래의 전력결합기를 갖는 경우보다 약 10%의 개선된 효율을 갖는다는 것이 측정을 통해 확인되었다.

### Abstract

This paper describes the study on the application of a new Doherty combiner with a shunt resonator added to improve the efficiency of amplifiers. The adopted Doherty combiner in this work has an additional shunt resonator and shows wider bandwidth by 40% compared to conventional one for the  $-20\text{dB}$  of reflection coefficient at the output port. Therefore it is natural to expect any improvement in the performances of power amplifiers by adopting the proposed Doherty combiner. As an example, a  $1.95\text{GHz}$  Doherty combiner is designed, measured, and applied to a power amplifier. It is shown that the power amplifier with the proposed Doherty combiner produces a higher efficiency by about 10% compared to the power amplifier with the conventional Doherty combiner from the measurements for the same operating conditions of amplifiers.

### Keywords

doherty combiners, power amplifiers, power added efficiency, resonators

\* 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7587-6451>

\*\* 순천향대학교 전기공학과 교수  
- ORCID1: <https://orcid.org/0000-0002-8728-4979>  
(교신저자)  
- ORCID2: <https://orcid.org/0000-0003-0556-0771>

\*\*\* 순천향대학교 기계공학과 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1343-1806>

\*\*\*\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1125-384X>

\*\*\*\* 순천향대학교 정보통신공학과 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7521-6661>

· Received: Mar. 16, 2021, Revised: May 06, 2021, Accepted: May 09, 2021

· Corresponding Author: Jongsik Lim

Department of Electrical Engineering, Soonchunhyang University  
Soonchunhyang-ro 22, Shinchang-myeon, Asan-si, Chungnam, Korea,  
Tel.: +82-41-530-1332, Email: [jslim@sch.ac.kr](mailto:jslim@sch.ac.kr)

## 1. 서 론

통신 및 방송용 무선송신 시스템에 있어서 가장 중요도가 높은 회로 또는 부품은 바로 전력증폭기(Power amplifier)라고 해도 과언이 아닐 것이다. 무선 시스템에서 전력증폭기 또는 고출력증폭기는 송신하고자 하는 무선신호를 대출력으로 증폭하여 안테나에 공급하는 핵심적인 역할을 한다. 그래서 출력 전력이 매우 높은 수준까지 신호가 증폭되어야 하므로 상대적으로 큰 값의 DC 바이어스 전력이 공급되어야 한다.

그러나 고출력 증폭을 위한 트랜지스터의 동작 효율이 일반적으로 높지 않고, 더구나 입력 전력의 크기가 허용 최대치 이전의 낮은 저전력 영역에서는 효율이 더욱 낮아진다는 문제점이 있다[1]-[3]. 따라서 효율이 낮은 입력전력 영역에서는 공급되는 DC 전력의 상당량이 열로 변환되어 손실되므로 RF 성능을 저하시키고 고출력 트랜지스터의 수명을 단축시킨다.

낮은 입력전력에서 저효율이라는 문제를 해결하기 위하여 주어진 트랜지스터의 동작 조건 및 입력 전력에서 전력증폭기의 효율을 개선하기 위한 다양한 방법들이 연구되었다[3]-[6]. 그 중 하나가 도허티(Doherty) 전력증폭기이다. 도허티 전력증폭기는 기본구조가 처음 발표된 이래로 매우 다양한 응용구조가 연구되어 발표되었다[7]-[10].

그러나 종래의 도허티 전력증폭기는 두 신호를 분배하고 다시 결합하는 과정에서 의도적으로 90도의 위상차를 만들거나 보상하는 과정이 필요하다. 이 때 90도의 전기적 각도를 만족시켜 주는 주파수는 어느 특정한 중심주파수 근처로 고정되어야 하므로 결과적으로 도허티 전력증폭기의 동작 대역폭에 제한이 있을 수밖에 없다. 따라서 도허티 전력증폭기의 성능을 개선하거나 동작대역폭을 넓히기 위한 연구, 특히 도허티 전력결합기에 관한 연구가 큰 관심을 받아왔다.

최근에 도허티 전력결합기의 동작대역폭을 넓히는 구조가 연구된 바가 있다[11]. 이 연구에 따르면 도허티 전력결합기에 직렬 공진기나 직렬-선트 공진기를 삽입하여 동작대역폭을 크게 넓힐 수 있음

이 제안되었다. 이에 본 연구에서는 선트 공진기 하나만 사용한 도허티 전력결합기에도 비슷한 효과가 있음을 보이고, 비록 초보적인 연구 단계나마 이를 증폭기에 적용하여 효율 성능이 개선됨을 보이고자 한다.

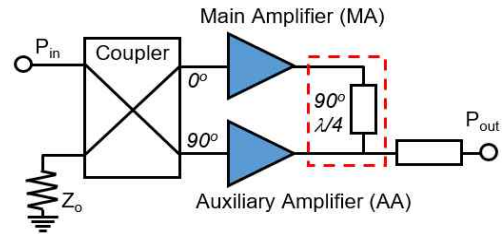


그림 1. 도허티 전력증폭기의 기본 구조

Fig. 1. Basic structure of Doherty power amplifiers

## II. Doherty 전력증폭기에 대한 간략한 고찰

그림 1은 널리 알려진 도허티 전력증폭기의 기본 구조이다[2][4][7]-[10]. 입력신호( $P_{in}$ )는 커플러를 통하여 90도의 위상차가 나도록 분배된다. 이 때 전력 분배비는 반드시 등분일 필요는 없으며, 설계 목적에 따라서 등분일 수도 있고 아닐 수도 있다.

도허티 전력증폭기의 기본적인 개념을 간단히 설명해 보면 다음과 같다. 입력신호의 크기가 낮을 때부터 높을 때까지 주증폭기(Main Amplifier, MA)는 항상 동작하는데, 일반적으로 A급 또는 AB급으로 동작시킨다. 그러나 보조증폭기(Auxiliary Amplifier, AA)는 입력신호 레벨이 낮을 때는 구동되지 않거나 또는 동작하더라도 MA보다는 전도각(Conduction angle)이 작도록 DC 동작점(DC Bias mode)을 설정한다. 순수하게 이론적으로는 보통 B급 또는 C급으로 AA를 동작시킨다고 알려져 있으나, 실제로는 설계자의 의도에 의하여 MA보다는 전도각이 낮도록 하는 조건이면 어떤 동작점이어도 가능하다.

그림 2는 도허티 전력증폭기의 이론적인 출력 전력 성분을 설명하고 있다. 일반적으로 전력증폭기는 1dB 압축점(1dB Compression point, P1dB) 근처를 사용가능한 최대출력으로 설정하고 설계된다. 그림 2의 영역 (1)에서처럼 낮은 입력 전력 수준에서는 AA가 동작하지 않고, MA도 출력 효율이 매우 낮다. 입력전력이 점점 증가하면 영역 (2)에서처럼

MA가 서서히 비선형 특성을 보이면서 입력 대비 출력의 증가가 둔화되기 시작하는데 이 때 AA가 서서히 동작을 시작한다. 이제 입력 전력이 커져서 영역 (3)에서 최대 출력을 향해 접근하면 MA의 비선형성도 커진다. 이 때 동시에 AA의 출력이 증가하고 이것이 결합되어 전체 증폭기의 DC 전력 소모 대비 출력 전력의 비율(효율)이 증가한다. 그래서 MA 하나만 단일증폭기로 사용되는 경우보다 효율이 더 높아지고, 또한 최대 출력시 입력보다 더 낮은 입력 전력(Input back-off) 상황에서도 효율이 상당히 개선되는 효과를 얻게 된다. 이처럼 그림 1과 그림 2를 통해서 도허티 전력증폭기의 개념을 간략히 이해할 수 있다.

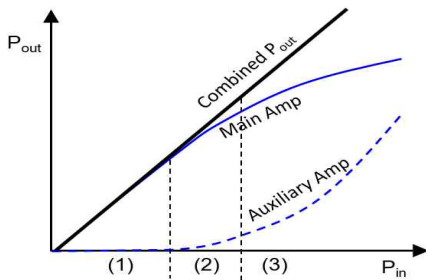


그림 2. 도허티 전력증폭기의 출력 전력 성분  
Fig. 2. Output power components of basic Doherty power amplifiers

### III. 선트 공진기를 갖는 도허티 전력결합기

앞에서 간단히 설명한 도허티 전력증폭기 구조에서 중요한 고려사항 중 하나가 바로 그림 1에서 점선 상자로 표시한 부분인데, 두 증폭기의 출력을 결합하는 도허티 전력결합기이다. 도허티 전력결합기에서는 최대출력시의 입력전력이 아닌, 보다 낮은 입력 영역에서도 효율의 개선을 얻기 위하여 다소 복잡한 이론적 검토의 결과를 하게 된다. 즉, 그림 1의 점선 상자에 보인 것처럼 어떤 최적의 특성 임피던스 값을 갖는  $\lambda/4$ 의 변환선로가 삽입되게 되는데, 이를 위하여 사전에 입력측 전력분배 회로에서 90도의 위상차를 갖는 회로를 삽입한다. 일반적으로 그림 1의 입력부에 보인 것처럼 90도 하이브리드 커플러 회로가 널리 사용된다.

그림 3은 도허티 전력결합기의 기본적인 구조이

다. 도허티 전력증폭기에서는 MA의 출력단에서 바라본 출력측 임피던스가 고정되지 않고 입력전력의 크기에 따라 즉, AA의 동작 상태에 따라서 변하는 부하 변조 효과를 갖는 것으로 알려져 있다[2]. 그러나 두 증폭기에서의 출력이 결합되어 최종 출력단으로 나간다는 사실과, 두 증폭기의 출력단에서 바라본 최적의 출력 임피던스가 병렬로 묶인다는 것은 분명하다. 두 증폭기 출력단자의 임피던스를 해석의 편의상 각각  $Z_0$ 라 하면 결합된 출력단을 바라본 임피던스는  $Z_0/2$ 로 보이게 된다. 최종 출력단자인  $P_3$ (또는 그림 1에서  $P_{out}$  단자)에서도  $Z_0$ 로 정합되어야 하므로, 전기적 길이가  $\theta$ 인 정합선로가 삽입되는데 보통  $\lambda/4$  변환선로가 많이 사용된다.

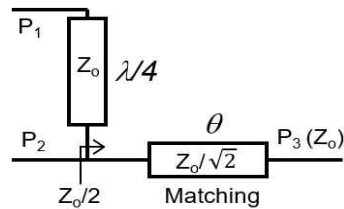


그림 3. 도허티 전력결합기의 기본 구조  
Fig. 3. Basic structure of Doherty power combiners

그러나 어떤 주파수에서  $\lambda/4$  길이의 전송선로를 이용하여 90도의 전기적 각도를 구현할 경우, 해당 주파수에서만 정확한 특성을 보장하게 되므로 주파수 대역폭이 좁아진다는 한계가 있다. 즉, 그림 3에서 S31과 S32의 위상차가 정확하게 90도로 보장되는 주파수는 이론적으로는 중심주파수밖에 없다는 것이다. 따라서 종래의 도허티 전력증폭기에서는 전력결합 회로 부분에서 자체적으로 주파수 대역을 제한하거나 성능을 저해하는 요소로 작용한다는 문제가 있다.

그런데 최근에 도허티 전력결합기 구조에 추가적으로 직렬 공진기 한 개나 또는 직렬과 선트 병렬 공진기 각각 하나씩 삽입하여 중심주파수를 포함하는 다소 넓은 대역에서도 두 경로의 위상차를 90도 근처로 유지하여 도허티 전력결합기의 대역폭을 크게 개선할 수 있음이 제안되었다[11]. 그리고 본 연구에서는 선트 병렬 공진기를 한 개만 삽입해도 비슷한 효과를 얻을 수 있음을 사전 연구에서 알아냈고, 이를 도허티 전력증폭기에 응용하고자 한다.

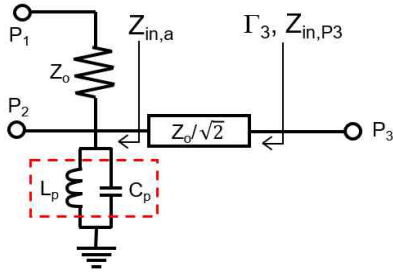


그림 4. 션트 공진기를 갖는 도허티 구조의 전력결합기  
Fig. 4. Doherty power combiner with a shunt resonator

그림 4는 본 연구에서 사용한 도허티 구조의 결합기를 간략하게 표현한 것이다. 결합기 자체의 특성을 분석하기 위하여 단자 1과 2를  $Z_o$ 로 단락시키고 소자값이  $L_p$ ,  $C_p$ 인 병렬공진기를 션트(Shunt)로 연결하였다. 그리고 이제 그림 4에 표시된 것처럼 각 지점에서 바라본 입력 임피던스를 각각  $Z_{in,a}$ 와  $Z_{in,P3}$ 이라 하자. 단자 3에서 바라본 입력 임피던스  $Z_{in,P3}$ 은 곧 단자 3에서의 반사계수  $\Gamma_3$ 에 해당하는데, 잘 알려진 대로 식 (1)로 표현된다.

$$\Gamma_3 = S_{33} = \frac{Z_{in,P3} - Z_o}{Z_{in,P3} + Z_o} \quad (1)$$

이제 그림 4에서  $Z_{in,a}$ 의 표현식은 식 (2a)와 (2b)로 쓸 수 있다. 여기서 A, B, C는 각각 식 (3a)~(3b)이다. 이제  $\lambda/4$  변환기(Transformer) 이론을 이용하면, 다소 복잡한 유도 과정을 거쳐서 최종적으로  $Z_{in,P3}$ 을 식 (4)로 표현할 수 있다. 그리고 식 (1)에 의한 반사계수는 최종적으로 식 (5)로 정리된다.

$$Z_{in,a} = Z_o \parallel j\omega L_p \parallel \frac{1}{j\omega C_p} \quad (2a)$$

$$Z_{in,a} = \frac{AC + jAB}{B^2 + C^2} \quad (2b)$$

$$A = Z_o \omega L_p (1 - \omega^2 C_p L_p) \quad (3a)$$

$$B = Z_o (1 - 2\omega^2 C_p L_p + \omega^4 C_p^2 L_p^2) \quad (3b)$$

$$C = \omega L_p - \omega^3 C_p L_p^2 \quad (3c)$$

$$Z_{in,P3} = \frac{Z_o^2}{2Z_{in,a}} = \frac{Z_o(B^2 + C^2)}{2(AC + jAB)} \quad (4)$$

$$\Gamma_3 = \frac{B^2 + C^2 - 2A(C + jB)}{B^2 + C^2 + 2A(C + jB)} \quad (5)$$

전력결합기의 해석 관점에서는 원하는 위상차를 얻더라도 동작주파수에서 반사계수가 최소가 되는 것이 바람직하다. 식 (5)를 추가로 정리하여 어떤 정형화된 수식(Closed form)로 표현하기는 사실상 너무 복잡하고 어려우며 이론적으로도 큰 의미가 없다.

따라서 복소량을 계산하는 소프트웨어 도구의 도움으로 동작주파수 주변에서 반사계수의 크기가 최소가 되는 어떤  $L_p$ (또는  $C_p$ )를 결정할 수 있다. 그리고 널리 알려진 식 (6)을 이용하여 공진기의 다른 한 가지 소자값  $C_p$ (또는  $L_p$ )를 구할 수 있다.

$$\omega_o^2 = \frac{1}{L_p C_p} \quad (6)$$

션트 공진기를 실제로 구현하는 관점에서는 인덕터와 커패시터를 집중 소자(Lumped element) 형태로 구현하는 것보다 분산소자(Distributed element) 형태인 전송선로로 구현하는 것이 비용적인 측면이나 초고주파 대역에서 설계 및 구현의 정확도 측면에서 더 유리하다. 그림 5는 션트 구조의 LC 공진기가 특성 임피던스가  $Z_o$ 이고 길이가  $\lambda/4$ 인 단락 스텐브(Short stub)로 대체될 수 있음을 보여준다.

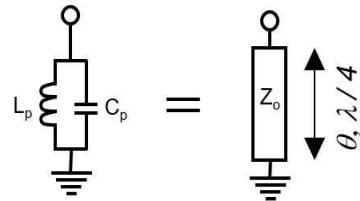


그림 5. 션트 LC공진기를 구현하기 위한 션트 단락 스텐브

Fig. 5. Short stub for realizing the shunt LC resonator

두 공진기 회로의 ABCD-파라미터가 공진주파수에서 같아야 하므로 식 (7a)와 같이 쓸 수 있는데, 이 때 서셉턴스(Susceptance)  $B_p$ 는 식 (7b)와 같고, 이때  $Y_o=1/Z_o$ 이다. 두 공진기는 등가이고 주파수 변화에 따른 기울기 파라미터(Slope parameter)도 같아야 하므로 식 (8)의 관계가 성립한다[12][13].

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jB_p & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -jY_o \cot \theta & 1 \end{bmatrix} \quad (7a)$$

$$B_p = \omega C_p - \frac{1}{\omega L_p} \quad (7b)$$

$$\frac{d}{d\omega} \left( \omega C_p - \frac{1}{\omega L_p} \right) = \frac{d}{d\omega} \left\{ -Y_o \cot \left( \frac{\omega}{\omega_o} \theta_o \right) \right\} \quad (8)$$

$$Z_o = \frac{1}{8C_p f_o} = \frac{\omega_o^2 L_p}{8f_o} \quad (9)$$

단락 스테브 공진기의 길이  $\theta$ 를  $\lambda/4$ 로 취하면 접합점에서는 개방으로 보이기 때문에 증폭된 출력 신호가 누설되지 않고 출력단자로 모두 나가게 된다. 스테브 선로의 특성 임피던스는 식 (9)로 구할 수 있다. 식 (9)에 의하면 공진기의 어느 한 소자값을 알면 그림 5의 선트 스테브의 특성 임피던스를 구할 수 있다. 따라서 전송선로의 선폭도 널리 알려진 전송선로 설계 이론에 의할 수 있는 것이다.

또는 식 (9)의 관계를 이용하여 먼저 구현하기 편리한  $Z_o$ 를 먼저 선택하고 이후 필요한 공진기 소자값을 결정할 수도 있다. 본 연구에서도 그림 5에서 선트 스테브의 특성 임피던스( $Z_o$ )로 초고주파 대역 회로 설계시 가장 널리 사용되는 단자 임피던스인  $50\Omega$ 을 선택하였다.

그림 6은 본 논문에서 사용된 도허티 전력결합기의 특성을 종래 구조와 비교한 결과를 보여주고 있다. 상기에서 설명한 설계과정을 통해 1.95GHz에서 얻은  $L_p$ 와  $C_p$ 는 각각 5.2nH, 1.28pF이다. 두께가 0.79mm이고 비유전율(er)이 4.4인 FR-4 기판을 이용하여 마이크로스트립 전송선로를 설계하였는데, 50  $\Omega$  선로의 선폭은 1.49mm이다.

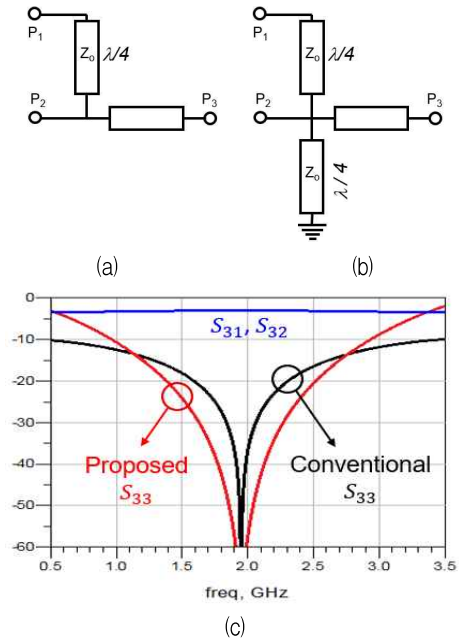


그림 6. 설계된 도허티 구조의 전력결합기의 특성 (a)종래 구조 (b)제안한 구조 (c)S-parameters  
Fig. 6. Characteristics of designed Doherty Combiners (a)conventional structure (b)proposed structure in this work (c)S-parameters

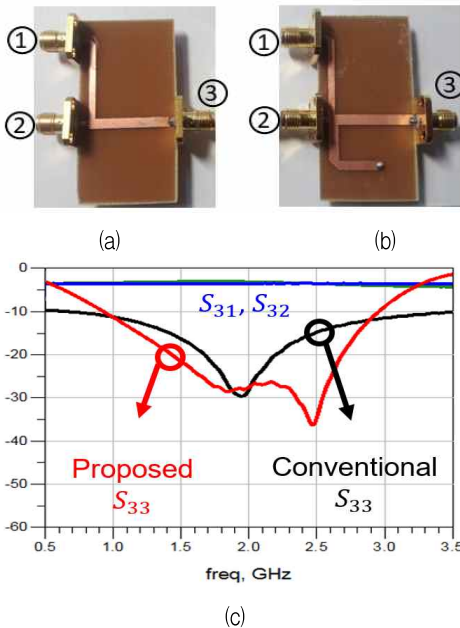


그림 7. 제작된 도허티 구조의 전력결합기의 특성 (a)종래 구조 (b)제안한 구조 (c)측정한 S-parameters  
Fig. 7. Characteristics of the fabricated Doherty Combiners (a)conventional structure (b)proposed structure in this work (c)measured S-parameters



모든 전력결합기는 한편으로는 전력분배기로 이해되므로 전력분배기인 것처럼 생각해 보면, 전력분배(결합) 특성(S31, S32)은 동일하면서도 단자 3에서의 반사계수 특성(S33)에 있어서 제한한 구조가 더 넓은 대역폭 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 단자 3에서 -20dB의 반사계수를 기준으로 제안한 구조가 종래 구조보다 약 40%만큼 더 넓은 대역폭을 가짐을 알 수 있다. 따라서 병렬 공진기의 효과에 의하여 전력결합을 효과적으로 수행하는 주파수 대역폭이 종래보다 더 넓어진 것을 알 수 있다.

그림 7은 실제 제작한 도허티 전력결합기와 측정된 S-파라미터를 보여준다. 비록 그림 6의 시뮬레이션 그래프와 완벽하게 동일하지는 않으나, 전력분배(결합) 특성(S31, S32)은 거의 같고, 단자 3에서의 반사계수 특성(S33)은 종래의 구조에 비하여 선트 공진기를 갖는 경우가 더 넓은 대역폭을 가짐을 알 수 있다.

#### IV. 도허티 전력결합기의 증폭기 응용

본 장에서는 앞에서 설계된 도허티 전력결합기를 이용하여, 비교적 단순한 구조이나마, 도허티 전력 증폭기를 그림 8의 구조로 구성하고 측정된 성능에 대하여 기술한다. 앞 절에서 제안된 선트 공진기를 갖는 도허티 전력결합기가 증폭기에 적용될 때 증폭기의 효율특성이 개선되는지 확인하고 종래의 도허티 전력결합기를 적용할 때와 비교하기 위한 목적을 갖는다. 그림 1과 비교해 보면, 출력측 결합기 부분에  $\lambda/4$  단락 스타브 공진기가 선트로 연결되어 있음을 알 수 있다.

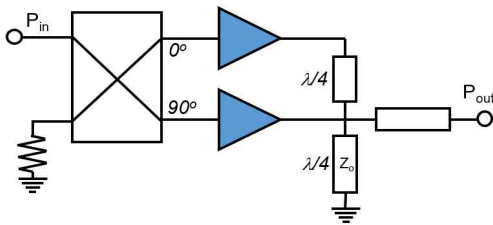
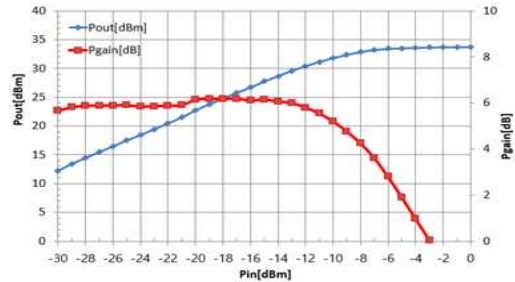


그림 8. 제안된 도허티 전력결합기를 이용한 증폭기의 구조  
Fig. 8. Power amplifier adopted the proposed Doherty power combiner

설계 및 추후 비교의 편리성을 위하여 동일한 트랜지스터로 두 개의 단일증폭기(Single-ended amplifier)를 구성하여 MA와 AA로 사용하되, 동작 모드를 서로 다르게 하였다. 이를 위해서 먼저 그림 9와 같이 1.95GHz에서 단일증폭기를 설계하고 제작하였다. 그림 9는 제작된 단일증폭기와 A급에 가까운 동작시 측정된 출력 전력( $P_{out}$ )과 전력 이득( $P_{gain}$ )을 보여준다. 성능 측정 과정에서 38dB의 이득을 갖는 구동증폭기를 입력단에서 사용하였다.



(a)

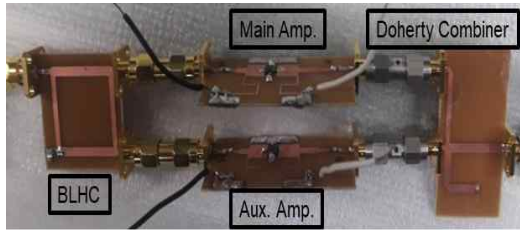


(b)

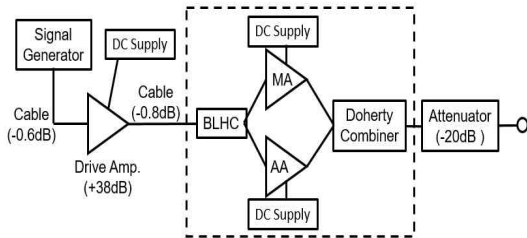
그림 9. 제작된 단일증폭기 회로와 측정된 특성(구동증폭기 이득 = 38dB) (a)회로 사진 (b)출력전력과 전력이득

Fig. 9. Fabricated single-ended amplifier and measured characteristics (driver amplifier gain = 38dB) (a)photo (b)output power( $P_{out}$ ) and power gain( $P_{gain}$ )

이제 제안하는 도허티 전력결합기를 증폭기 구성에 응용하고자 그림 10(a)와 같은 증폭기를 구성하였다. 여기에는 그림 7(b)에 보인 도허티 전력결합기가 사용되었다. 그림 10(b)는 측정시 전체 구성에 대한 이해를 돕고자 제시한 구성도이다. 그림 10(a)에 보인 부분이 곧 그림 10(b)에서 점선 상자에 해당한다. 그림 9(a)에서 보인 단일증폭기 2개를 MA와 AA로 사용하였는데, 이 때 각각 A급과 AB급에 가깝게 바이어스 조건을 인가하였다. 38dB의 이득을 갖는 구동증폭기를 입력측에 사용하였으며, 계측기 보호를 위하여 출력단에 20dB 감쇄기를 연결하였다.



(a)



(b)

그림 10. 제안된 도허티 전력결합기를 적용한 도허티 전력증폭기 회로 구성 (구동증폭기 이득 = 38 dB) (a)사진 (b)구성도

Fig. 10. Configuration of the Doherty amplifier adopting the proposed Doherty combiner (driver amplifier gain = 38 dB) (a)photo (b)block diagram

이제 두 개의 단일증폭기에 그림 7(a)와 그림 7(b)에 보인 도허티 전력결합기를 적용하고 측정을 통하여 얻은 결과를 비교하고자 한다. 그림 10(a)를 구성하기에 앞서서, 여기에 제시하지는 않았으나 종래의 전력결합기(그림 7(a))로 구성한 경우와, 제안하는 전력결합기로 구성한 경우(그림 10(a))를 비교하고자 한다. 두 가지 구성에 있어서 당연히 두 개의 단일증폭기는 동일하게 조건으로 동작한다.

그림 11은 도허티 전력결합기를 적용한 두 증폭기의 측정된 효율 특성을 보여준다. 도허티 전력결합기를 종래의 것(그림 7(a))과 제안된 구조(그림 7(b))를 적용할 때 측정된 도허티 전력증폭기의 효율특성을 비교한 것이다. 제안하는 도허티 전력결합기를 사용할 때, 최대 효율일 때보다 입력의 크기를 다소 줄여서 인가할 때 (Input back-off), 10% 가까이 효율이 개선됨을 알 수 있다. 이는 도허티 전력증폭기 구조의 본래적인 특성, 즉 최대 효율시 입력보다 다소 back-off된 입력에서도 효율이 개선된다는 장점에 부합하는 측정 결과라 할 수 있다.

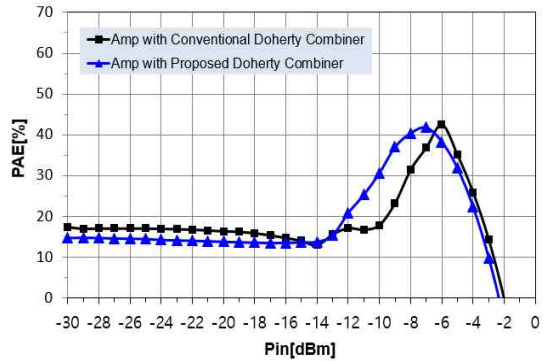


그림 11. 제안된 도허티 전력결합기를 적용한 증폭기의 측정된 효율 개선 효과

Fig. 11. Measured efficiency improvement of the amplifier adopting the proposed Doherty power combiner

## V. 결론

본 논문에서는 셉트 구조의 공진기를 갖는 새로운 형태의 도허티 전력결합기를 제안하고, 이를 증폭기에 적용하였다. 제안한 구조의 도허티 전력결합기를 적용한 증폭기에 대하여 효율성능을 측정할 결과, 동일한 단일증폭기의 동작조건하에서 종래의 기본적인 도허티 전력결합기를 사용하는 경우보다 보다 개선된 효율 성능을 얻었다.

본 연구에서는 제안하는 도허티 전력결합기 구조가 전력증폭기의 효율 개선에 효과를 보일 수 있다는 가능성을 최초로 검증해 보기 위하여 비교적 단순한 증폭기에 적용하였다. 그럼에도 불구하고 측정 결과가 보여주듯이 효율 개선의 가능성이 충분히 크다는 데 그 의미가 있다.

따라서 어떤 주어진 고출력 트랜지스터 또는 단일증폭기에 대해서 수동회로 부분인 도허티 전력결합기 부분만 본 논문에서 제안한 구조로 적용한다면 능동회로 부분의 추가적인 성능 개선 노력과 별개로 최종적으로는 개선된 효율 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 제안된 연구 내용을 보다 성숙시키기 위해서 더욱 정교한 증폭기의 설계 및 제작 기술과 결합하여 여러 가지 크기의 출력, 이득, 동작 주파수를 지닌 다양한 도허티 전력증폭기를 구성한다면 훨씬 우수한 성능 개선을 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] J. L. B. Walker, "High-Power GaAs FET Amplifiers", Artech House, pp. 189-198, 1993.

[2] S. C. Cripps, "RF Power Amplifiers for Wireless Communications(2nd ed.)", Artech House, ch. 10, 2006.

[3] P. B. Kenington, "High-Linearity RF Power Amplifier Design", Artech House, ch. 8, 2000.

[4] W. H. Doherty, "A New High Efficiency Power Amplifier for Modulated Waves", Proc. IRE, Vol. 24, No. 9, pp. 1163-1182, Sep. 1936.

[5] H. Chireix, "High Power Outphasing Modulation", Proc. IRE, Vol. 23, No. 11, pp. 1370-1392, Nov. 1935.

[6] Y. Jeong, S. Jeong, J. Lim, and C. Kim, "Amplifier Design Using a  $\lambda/4$  High Impedance Bias Line With A Defected Ground Structure(DGS)", Microwave Journal, Vol. 47, No. 4, pp. 80-92, Apr. 2004.

[7] H. Choi, J. Lim, and Y. Jeong, "Doherty Amplifier Using Load Modulation and Phase Compensation DGS Micro-Strip Line", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 16, No. 8, pp. 815-824, Aug. 2005.

[8] D. Kang, D. Kim, Y. Cho, B. Park, J. Kim, and B. Kim, "Design of Bandwidth-Enhanced Doherty Power Amplifiers for Handset Applications", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 59, No. 12, pp. 3474-3483, Dec. 2011.

[9] T. S. Jayadeva and C. Putta Madappa, "A 70% GaN Doherty Power Amplifier", Proc. Int. Conf. on Comm. and Signal Processing, Karnataka, India, pp. 256-260, Apr. 2016.

[10] B. Kim, J. Kim, I. Kim, and J. Cha, "The Doherty Power Amplifier", Microwave Journal, Vol. 49, No. 10, pp. 42-50, Oct. 2006.

[11] D. Ahn, et al., Doherty Combiner, Korean Patent 10-1934933, Jan. 2019.

[12] R. E. Collin, "Foundations for Microwave

Engineering(2nd ed.)", McGraw-Hill Inc., pp. 309-319, 1992.

[13] G. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", Artech House, ch. 2, 1980.

저자소개

최 희 윤 (Heeyoun Choi)



2017년 2월 : 순천향대 전기공학과 (공학사)  
 2019년 2월 : 순천향대 대학원 전기통신시스템공학과 (공학석사)  
 관심분야 : 초고주파 무선 능동/수동 회로/부품 설계 분야 등

임 종 식 (Jongsik Lim)



1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과(공학석사)  
 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부(공학박사)  
 1993년 2월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기공학과 재직중  
 관심분야 : 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등



손 성 호 (Seong-Ho Son)



1997년 2월 : 부산대  
제어기계공학과 (공학사)  
1999년 8월 : 포항공대 대학원  
기계공학과(공학석사)  
2009년 2월 : 포항공대 대학원  
기계공학과(공학박사)  
1999년 3월 ~ 2001년 3월 :

대우자동차 기술연구소 연구원  
2001년 3월 ~ 2019년 2월 : 한국전자통신연구원  
전파위성연구본부 책임연구원  
2019년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 재직중  
관심분야 : 전파응용, 전파센싱 및 이미징, 메카트로닉스  
등

안 달 (Dal Ahn)



1984년 2월 : 서강대 전자공학과  
(공학사)  
1986년 2월 : 서강대 대학원  
전자공학과(공학석사)  
1990년 8월 : 서강대 대학원  
전자공학과(공학박사)  
1990년 8월 ~ 1992년 8월 :

한국전자통신연구원 선임연구원  
1992년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기공학과 재직중  
관심분야 : RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

윤 원 상 (Won-Sang Yoon)



1997년 2월 : 고려대 전파공학과  
(공학사)  
1999년 2월 : 고려대 대학원  
통신시스템공학과(공학석사)  
2010년 8월 : 고려대 대학원  
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)  
1999년 3월 ~ 2015년 8월 :

한화탈레스(現 한화시스템) 통신연구소 수석연구원  
2015년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자디스플레이공학부  
재직중  
관심분야 : RF transceivers, Reconfigurable antenna  
systems, RF sensor systems 등

한 상 민 (Sang-Min Han)



1996년 2월 : 고려대 전파공학과  
(공학사)  
1998년 8월 : 고려대 대학원  
전파공학과(공학석사)  
2003년 8월 : 고려대 대학원  
전파공학과(공학박사)  
2003년 10월 ~ 2004년 11월 :

UCLA Post Doctoral Research Fellow  
2005년 1월 ~ 2007년 8월 : 삼성종합기술원 전문연구원  
2007년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과  
재직중  
관심분야 : RF 시스템, Low power RF transceivers,  
Active integrated antenna systems 등