

내부정합된 GaN HMET를 이용한 광대역 J-급 전력증폭기 설계

Wideband Class-J Power Amplifier Design Using Internal Matched GaN HEMT

임은재 · 유찬세* · 김도경 · 선중규 · 윤동환 · 윤석희 · 이영철**

Eun-Jae Lim · Chan-Se Yoo* · Do-Gueong Kim · Jung-Gyu Sun ·
Dong-Hwan Yoon · Seok-Hui Yoon · Young-Chul Rhee**

요 약

이동통신 시스템의 멀티미디어 서비스 확산과 고속통신 기능의 수요를 충족시키기 위해서 다중대역 전력증폭기의 고효율, 광대역 특성 및 비선형 특성의 개선이 필요하다. 본 연구에서는 J-급 전력증폭기 동작조건을 만족하는 2차 고조파 정합회로를 단일-스터브 정합회로로 구성하였다. 광대역 J-급 동작조건을 만족시키기 위해 단일-스터브 정합회로는 낮은 특성임피던스를 갖는 것이 필요하다. 본 연구에서는 낮은 특성 임피던스를 갖는 단일-스터브 정합회로를 패키지 내에 높은 유전율의 세라믹 기판을 이용하여 구현하였다. 이에 따라 2차 고조파 정합회로가 패키징된 GaN HEMT와 외부 기본파 정합회로를 이용하여 넓은 주파수 대역에서 J-급 출력 임피던스 조건을 만족하는 전력증폭기를 구현하였다. 제작된 J-급 전력증폭기 측정 결과, 1.8~2.7 GHz(900 MHz)의 대역폭에서 50 W(47 dBm) 이상의 출력전력과 최대 72.6 %의 드레인 효율, 최대 66.5 %의 PAE 특성을 확인하였다.

Abstract

In order to satisfy the diffusion of multimedia service in mobile communication and the demand for high-speed communication, it is essential to modify and improve high efficiency, wideband and nonlinear characteristic of multiband power amplifier. This research is designed to implement a single-stub matching circuit as a 2nd harmonic one that meets conditions of the Class-J power amplifier. Low characteristic impedance of the single-stub line is necessary to suit conditions of wideband Class-J. This research uses ceramic substrates having high permittivity to implement the single-stub line with low characteristic impedance, which eventually results in an amplifier satisfying the output impedance terms of Class-J in wideband frequency range. This result attributes to use of GaN HEMT packaged with a 2nd harmonic matching circuit and external fundamental circuit. The measurement results of the Class-J amplifier confirms the following characteristics: more than output power of 50 W(47 dBm) in bandwidth of 1.8~2.7 GHz(0.9GHz), maximum drain efficiency of 72.6 %, and maximum PAE characteristic of 66.5 %.

Key words: Class-J Power Amplifier, High Permittivity Ceramic Material, Packaging, High Efficiency

I. 서 론

이동통신 시스템의 멀티미디어 서비스 확산과 고속통신 기능의 수요를 충족시키기 위해 지속적으로 전력증폭

LIG 넥스원(LIG Nex1)

*전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

**경남대학교 정보통신공학과(Department of Information & Communication Engineering, Kyung-nam University)

· Manuscript received October 24, 2016 ; Revised November 14, 2016 ; Accepted January 17, 2017. (ID No. 20161024-109)

· Corresponding Author: Young-Chul Rhee (e-mail: micropt@kyungnam.ac.kr)

기의 고효율, 광대역 특성 및 비선형 특성을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다^[1]. 이와 같은 이동통신 송신시스템의 특성 중 전력증폭기의 광대역 특성을 구현하기 위하여 고출력 특성이 우수한 GaN 전력증폭 소자가 적용되고 있으며, D, E, F, F^{-1} -급과 같은 스위치 모드 전력증폭기의 설계기법에 대한 연구가 이루어졌다^{[2]~[5]}. 최근에는 통신시스템의 전력효율을 충분히 증가시킬 수 있는 더욱 높은 전력부가효율 특성을 갖는 전력증폭기 설계기법이 연구되고 있다^[6].

이론적으로 고효율 특성을 나타내는 스위치 모드 전력증폭기는 이론적으로는 최대 드레인 효율이 100 %를 얻을 수 있다. 그러나 주파수가 높아짐에 따라 기생 커패시턴스의 증가로 손실이 발생하고, 전력증폭소자의 비선형 특성에 의한 선형성의 열화와 스위칭 타이밍에 의한 드레인 전압과 전류간의 중첩이 발생하기 때문에 이론적으로 제시하는 100 %의 효율을 얻을 수 없으며, 광대역 특성을 갖는 전력증폭기 구현이 어렵다^{[7],[8]}.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 전력증폭기의 출력 정합회로에서 2차 하모닉 만을 조정하여 리액턴스 특성을 갖게 함으로써 전력증폭기의 효율을 개선한 J-급 전력증폭기가 주목을 받고 있다. J-급 전력증폭기는 기본 동작 주파수 임피던스 성분이 인덕티브/커패시티브 특성을 가질 때, 2차 하모닉 임피던스 성분은 커패시티브/인덕티브의 특성으로 동작하며, 출력 정합회로의 구조가 간단하고 스위치 모드 전력증폭기와 동등한 수준의 효율특성뿐만 아니라, AB, B-급 전력증폭기와 같은 선형성과 광대역 특성을 나타낸다^[9].

최근에 발표된 J-급 전력증폭기의 연구동향을 분석해보면, 이동통신 시스템의 데이터 속도와 용량의 증가에 따른 기지국 송신기의 주요 전력증폭 소자로 사용되던 LDMOS에서 광대역과 효율 특성이 우수한 GaN 전력증폭소자를 이용한 J-급 전력증폭기의 연구가 결과가 보고되고 있다^{[10],[11]}. J-급 전력증폭기는 설계 대역 내에서 60 % 이상의 효율특성을 유지하고 있으며^{[12],[13]}, 200 MHz 이하의 대역폭과 단일 주파수에 대한 연구결과에서는 70 % 이상의 효율로써 스위치 모드 전력증폭기와 동등한 효율 특성을 가지며, 선형성을 확보하기 위해 AB, B-급 바이어를 사용하기 때문에 기지국에서의 전력증폭기로 적용

되고 있다^[14].

출력전력에서는 10 W급 미만의 출력전력에 대한 연구가 주로 이루어 졌으나, 이동통신용 전력증폭기는 광대역 신호처리와 고효율 전력증폭을 위해 대형 셀 구조 속에 소형 셀을 추가하여 설치하는 하이브리드 셀 구조로 트래픽 증가에 대한 보완책을 제시하고 있으므로 대형 셀 형태의 송신 시스템에 적용하기 위해서는 50 W급 이상의 높은 출력전력과 광대역 및 고효율 특성을 동시에 나타내는 J-급 전력증폭기에 대한 연구가 요구된다.

L 및 S-대역을 포함하는 광대역 J-급 전력증폭기를 설계하는데 있어 Peter Wright^[15]와 같이 2차 하모닉의 제로-크로싱에 의한 전력증폭기 동작 급수의 변화를 이용한 설계는 광대역 J-급 전력증폭기 설계에 기본 동작 주파수가 변함에 따라 2차 하모닉이 리액턴스 특성을 가지며, 제로-크로싱에 의한 B-급 동작을 허용하는 것이며, 대부분의 광대역 J-급 전력증폭기 연구는 같은 방법으로 설계가 이루어졌다. 이러한 설계는 J-급 동작 조건을 불만족하게 되어 출력전력과 효율특성의 저하를 초래하기 때문에 2차 하모닉 정합회로의 주파수 응답특성 분석을 통한 광대역 J-급 전력증폭기 설계가 필요하다.

그러므로 본 논문에서는 첫째, 이동통신용 전력증폭기에 적용하기 위하여 50 W 이상의 높은 출력전력 특성을 갖는 J-급 전력증폭기를 설계하고, 2차 하모닉을 정합시키는 스테브 선로를 적용한 고출력 전력증폭기를 제안한다. 둘째, 광대역 J-급 전력증폭기를 설계하기 위해 스테브 선로의 특성 임피던스에 따른 주파수 응답특성을 분석하여 2차 하모닉 정합회로를 구현한다. 2차 하모닉 정합회로는 유전율의 세라믹 재료에 LTCC 공정으로 구현하며, 내부정합회로를 적용한 GaN 전력증폭모듈을 이용하여 광대역 J-급 전력증폭기를 설계하고자 한다.

II. J-급 전력증폭기 동작특성 분석

J-급 전력증폭기의 기본주파수 성분과 2차 하모닉 성분의 최적의 부하 임피던스는 최대 드레인 전압 스윙으로부터 추출할 수 있으며, 이는 식 (1), 식 (2)와 같다^[9].

$$Z_{f_0} = \frac{\bar{V}}{(-\bar{I})} \bigg|_{f_0}$$

$$= \frac{(V_{DC} - V_K)(1 + j\alpha)}{I_{max}/2} = R_{opt} + j\alpha R_{opt} \quad (1)$$

$$Z_{2f_0} = \frac{\bar{V}}{(-\bar{I})} \bigg|_{2f_0} = \frac{-(V_{DC} - V_K)j\alpha}{2(2I_{max}/3\pi)} = -j\frac{3\pi}{8}\alpha R_{opt} \quad (2)$$

여기서, I_{MAX} 는 트랜지스터에 흐르는 최대 전류를 의미하고, α 는 상수변수로써 $-1 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위를 가지며, 최대 출력전압 스윙을 위한 최적의 부하 R_{opt} 는 $2(V_{DC} - V_K)/I_{max}$ 이다. 광대역 특성을 갖는 J-급을 설계함에 있어 기존에 발표된^{[15],[17]} 연구에서는 주파수에 따른 정합점을 찾기 위해 식 (1), 식 (2)에서 α 값을 $\alpha = 1$ 에서 $\alpha = -1$ 까지 변화시켜 정합점을 구하여 정합회로를 구현함으로써 광대역 특성을 유도하였다. 이러한 방법은 특정 주파수에서의 제로-크로싱에 의해 J-급에서 B-급을 거쳐 J-급*로 설계가 이루어진다. 본 연구에서는 제로-크로싱을 제한한 J-급 전력증폭기 설계를 위한 2차 하모닉 제어회로에 관한 해석은 다음 장에서 논할 것이다.

III. 개방된-스터브 선로의 광대역 특성 분석

그림 1은 2차 하모닉 제어를 위한 단일 개방된-스터브 선로가 적용된 광대역 J-급 전력증폭기의 구성을 보여주고 있다. 개방된-스터브 선로를 이용한 정합회로를 구현하는데 있어 광대역 특성을 유도하기 위해서 일반적으로 2중 개방된-스터브 선로 구조를 적용하여 정합회로를 구현하면 낮은 Q값을 갖기 때문에 단일 개방된-스터브 선로 구조보다 광대역 전력증폭기를 설계하는데 이점이 있다. 그러나 본 연구에서는 전력증폭기의 소형화를 위하여 단일 개방된-스터브 선로 구조를 갖는 출력단 정합회로를 이용하여 광대역 특성을 유도하였다.

2차 하모닉 제어용 회로의 주파수 응답 특성을 확인하기 위해 개방된-스터브 선로의 특성 임피던스를 10 Ω, 25 Ω, 50 Ω, 75 Ω 조건으로 한정하고, 계산의 간략화를 위해 $R_{opt}=1$ 이라 가정한다. 각각의 조건에서 2차 하모닉 제어회로의 주파수에 대한 α 값의 분포를 확인하면 개방된-스터브 선로의 특성 임피던스가 갖는 주파수 응답 특성을

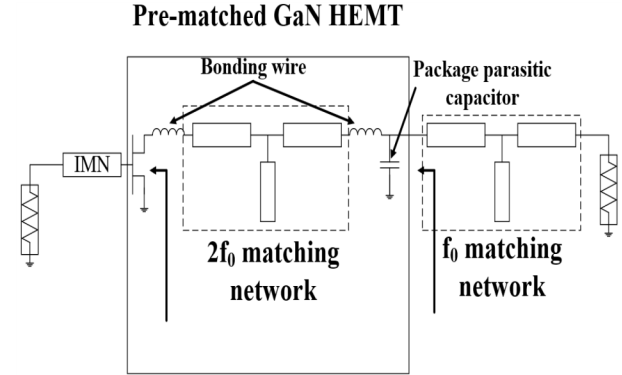


그림 1. 내부정합된 광대역 J-급 전력증폭기 구성

Fig. 1. Block diagram of internal matched wideband Class-J power amplifier.

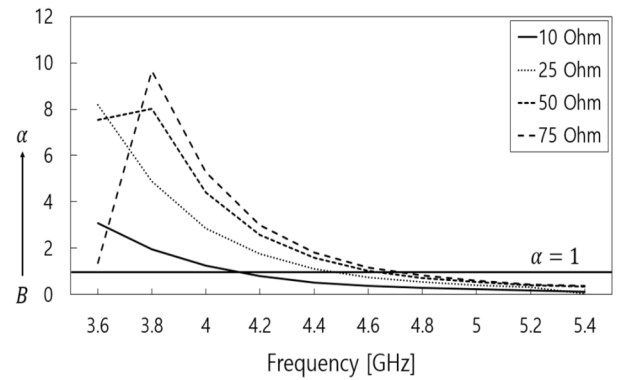


그림 2. 개방된-스터브 선로 특성 임피던스에 따른 α 값 분포

Fig. 2. α distribution of open-stub line characteristic impedance.

쉽게 확인할 수 있다. 그림 2는 개방된-스터브 선로의 특성 임피던스에 따른 α 값의 분포를 보여준다.

그림 2를 통해 개방된-스터브 선로의 특성 임피던스가 낮을수록 주파수에 따른 α 값의 변화가 작은 것을 알 수 있다. J-급 전력증폭기의 특성상 기본 주파수에 대한 2차 하모닉의 정합점이 정해지기 때문에 낮은 특성 임피던스를 갖는 개방된-스터브 선로를 적용하는 것이 B-급 동작이 없는 광대역 특성을 갖는 J-급 전력증폭기를 설계하는데 더 유리하다. 다만 낮은 특성 임피던스를 갖는 개방된-스터브 선로를 이용할 경우, PCB상에 정합회로의 구현에 있어 선폭이 넓어져 정합회로의 크기가 커지는 단점이

있다. 하지만 이러한 문제점은 유전율이 높은 저온 세라믹 공정을 이용하여($\epsilon_r = 8.3$) 2차 하모닉 제어 회로를 구현함으로써 개방된-스터브 선로의 소형화가 가능하다.

IV. 광대역 J-급 전력증폭기 설계 및 특성 분석

본 연구에서는 60 W급 GaN HEMT(CG60060D)를 이용하여 AB-급 조건에서 동작할 수 있도록 바이어스를 선정하였다. 내부 정합회로를 구현하는데 사용된 재료는 세라믹으로 LTCC 공정을 적용함으로써 2차 하모닉과 기본 주파수 부하 정합 기능을 갖는 내부 정합회로를 설계하였다. 기본 주파수 부하 정합을 위한 외부 정합회로는 테프론 기판을 이용하여 입력과 출력 정합회로를 구현하였다.

그림 3은 2차 하모닉 부하 정합회로와 기본 주파수 부하 정합회로를 포함한 내부 정합회로의 3D 설계구조를 보여주고 있다. 2차 하모닉 부하 정합회로는 10 Ω 의 특성 임피던스와 60°의 전기적 길이를 가지며, 기본 주파수 전치 정합회로는 11 Ω 의 특성 임피던스와 26°의 전기적 길이를 갖는다. 그리고 와이어 본딩을 위한 패드는 6.69 Ω 의 특성 임피던스와 1.46°의 전기적 길이를 내부 정합회로를 구현하였다.

그림 4는 J-급 정합조건에 맞게 설계된 출력 정합회로의 기본 주파수 임피던스 특성과 2차 하모닉 주파수 임피던스 특성을 보여주고 있으며, 낮은 특성 임피던스를 갖는 2차 하모닉 제어회로에 의해 2차 하모닉 임피던스가

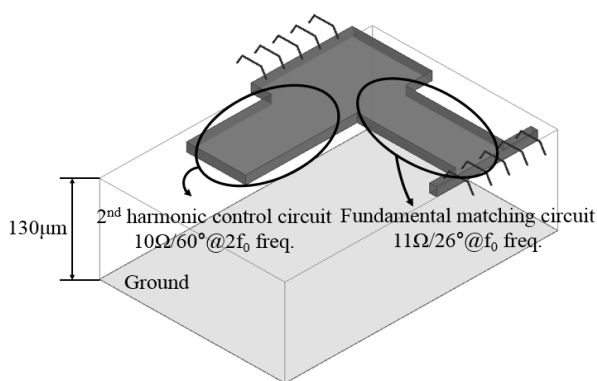


그림 3. 내부 정합회로 구조
Fig. 3. Internal matching circuit structure.

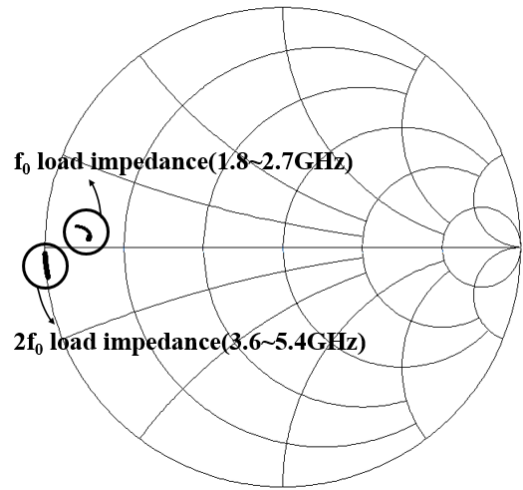


그림 4. 내부 정합회로 적용에 따른 출력 임피던스 변화
Fig. 4. Output impedance variation with internal matching circuit.

리액턴스 특성을 유지함을 확인할 수 있다. 또한 본 연구에서 목표로 했던 B-급 조건을 변환되지 않고, J-급 조건으로만 광대역 동작이 가능함을 확인할 수 있다.

그림 5는 그림 3의 내부 정합회로를 적용하여 제작된 GaN HEMT를 적용하여 제작된 광대역 J-급 전력증폭기를 보여주고 있다. 제작된 전력증폭기의 성능시험을 위해 CW 조건에서 시험을 진행하였다. 그림 6은 제작된 전력증폭기의 출력전력 측정결과를 나타내며, 그림 7은 2.3 GHz에서 입력전력에 따른 출력전력, 전력부가효율, 이득 특성 측정결과를 보여주고 있다. 측정결과, 47.89 dBm의

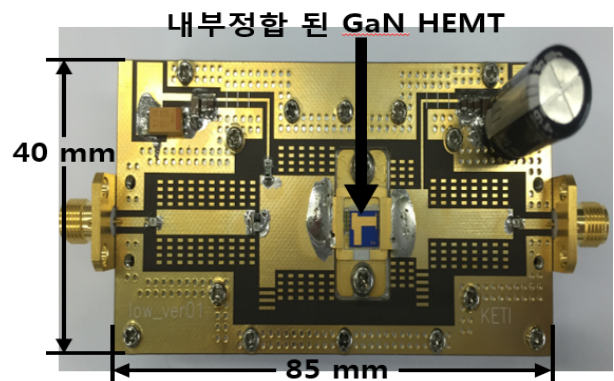


그림 5. 제작된 광대역 J-급 전력증폭기
Fig. 5. Manufactured wideband Class-J power amplifier.

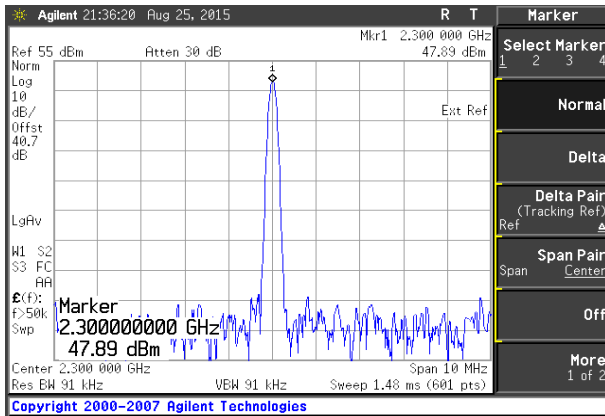


그림 6. 출력전력 측정결과(2.3 GHz)

Fig. 6. Output power test result(2.3 GHz).

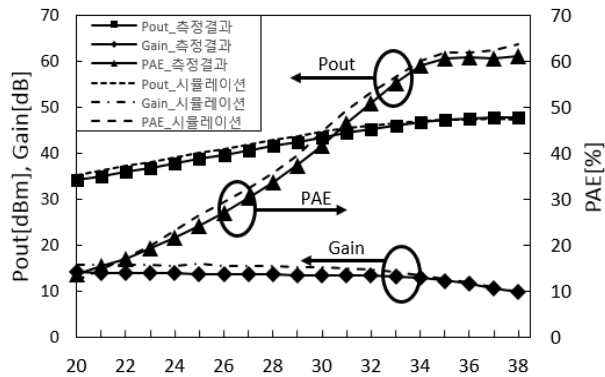


그림 7. 입력전력에 따른 출력전력, 이득, PAE(2.3 GHz)

Fig. 7. Output power, gain, PAE according to input power (2.3 GHz).

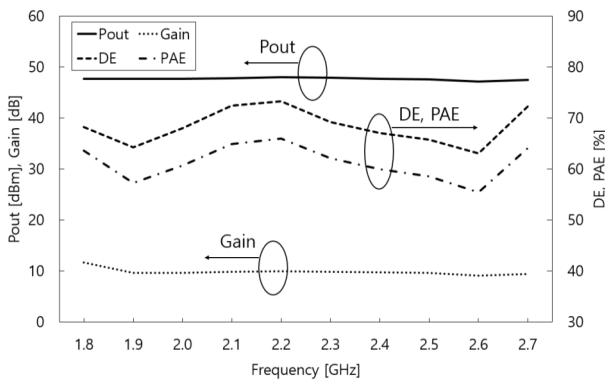


그림 8. 광대역 J-급 전력증폭기 측정결과(출력전력, 전력 이득, 드레인효율, 전력부가효율)

Fig. 8. Wideband Class-J PA test result(output power, power gain, drain efficiency and PAE).

표 1. 광대역 J-급 전력증폭기 측정결과

Table 1. Wideband Class-J PA test result.

주파수 [GHz]	출력전력 [dBm]	이득 [dB]	DE [%]	PAE [%]
1.8	47.89	11.71	68.21	63.61
1.9	47.68	9.68	64.21	57.30
2.0	47.71	9.71	68.06	60.76
2.1	47.83	9.83	72.47	64.93
2.2	48.01	10.01	73.33	66.02
2.3	47.87	9.87	69.20	62.07
2.4	47.72	9.72	67.07	59.92
2.5	47.62	9.62	65.75	58.57
2.6	47.17	9.17	63.09	55.46
2.7	47.46	9.46	72.36	64.17

출력전력, 62.07 %의 전력부가효율, 9.87 dB의 이득 특성을 나타낸다.

그림 8은 1.8~2.7 GHz의 주파수 대역에서 측정된 출력전력, 드레인 효율, 전력부가효율, 이득 특성을 보여주고 있으며, 표 1에 측정값을 정리하여 나타내었다. 설계 대역에서 47.17~48.01 dBm(52~63 W)의 출력전력, 9.17~11.71 dB의 이득, 63.09~73.33 %의 드레인 효율, 55.46~66.02 %의 전력부가효율 특성을 확인하였다.

그림 9는 7 dB 백-오프 지점에서 2.3 GHz에 대한 2-tone IMD와 OIP3 측정결과를 보여주고 있으며, 측정결과 -41.82 dBc/40.7 dBm@1 tone의 IMD 특성과 58.61 dBm

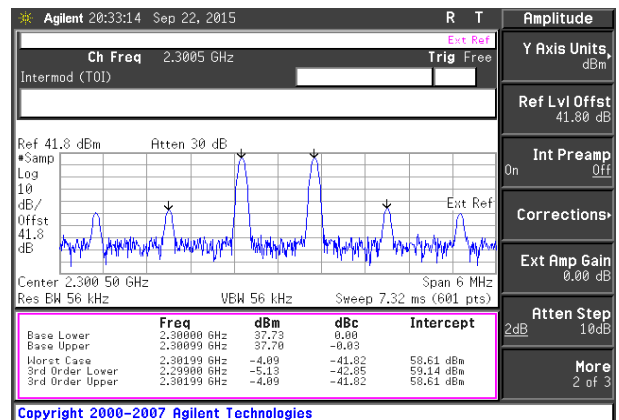


그림 9. IMD/OIP3 측정결과(40.7 dBm@1 tone)

Fig. 9. IMD/OIP3 test result(40.7 dBm@1 tone).

표 2. L 및 S-대역 J-급 전력증폭기 성능
Table 2. L/S-band Class-J PAs performance.

참고 문헌	[11]	[13]	[15]	[16]	[17]	본 논문
주파수 [GHz]	2.14	1.5~2.5	1.5~2.5	1.65~2.7	1.6~30	1.8~2.7
소자 종류	GaN HEMT	GaN HEMT	GaN HEMT	GaN HEMT	GaN HEMT	GaN HEMT
출력 [W]	104.7	10	10	10	10	50
효율 [%]	71	55~70 (DE)	50~60 (PAE)	55~72 (DE)	57~67 (PAE)	63~72 (DE) 55~66 (PAE)
이득 [dB]	-	15	12.2	12.6	10.5	11.7
전압 [V]	30	-	-	47	28	28

의 OIP3 특성을 나타낸다.

표 2는 본 논문과 동일한 L 및 S-대역에서 연구된 연구 결과와 성능을 비교한 것으로 기존에 발표된 연구와 동등한 900 MHz의 대역폭을 유지하면서 더 높은 출력전력과 효율특성을 가짐을 확인할 수 있으며, 본 논문에서 제안한 광대역 J-급 전력증폭기 설계의 타당성을 증명하기에는 충분한 결과로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 광대역 J-급 전력증폭기를 설계하는데 있어 B-급으로 동작하게 되는 문제점을 개선하기 위하여 2차 하모닉 제어회로의 특성 임피던스를 10 Ω으로 선정하여 2차 하모닉 부하 임피던스의 주파수 변화를 둔화시켜 1.8~2.7 GHz의 동작대역에서 J-급로만 동작할 수 있도록 전력증폭기를 설계하였다. 10 Ω의 특성 임피던스를 구현하는데 있어 LTCC 공정을 적용하여 물리적 크기를 소형화 하였으며, 패키징을 통해 2차 하모닉 제어 기능을 갖는 전력증폭소자를 구현하였다.

최종적으로 구현된 광대역 J-급 전력증폭기는 1.8~2.7 GHz의 900 MHz 대역폭 내에서 Psat 기준 50 W (47 dBm) 이상의 출력전력과 10 dB 이상의 전력이득, 최대 66 %의

PAE 특성을 확인할 수 있다. 본 연구에서 구현한 전력증폭기는 기존 J-급 전력증폭기 연구와 동등한 수준의 대역폭을 유지하면서도 50 W급의 고출력 특성을 가지며, 내부 정합회로를 적용하여 하모닉 제어기능과 기본주파수 정합기능을 구현한 J-급 전력증폭기로 판단된다.

References

- [1] Aarno Parssinen, "Multimode-multiband transceivers for next generation of wireless communications", *2011 European Solid-State Device Research Conference(ESSDERC)*, pp. 42-53. Sep. 2011.
- [2] A. Sigg, S. Heck, A. Bracke, and M. Berroth, "High efficiency GaN current-mode class-D amplifier at 2.6 GHz using pure differential transmission line filters", *Electronics Letters*, vol. 49, no. 1, pp. 47-49, Jan. 2013.
- [3] Philip A. Godoy, SungWon Chung, Taylor W. Barton, David J. Perreault, and Joel L. Dawson, "A highly efficient 1.95-GHz, 18-W asymmetric multilevel outphasing transmitter for wideband applications", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Jun. 2011.
- [4] Song Liu, Dominique Schreurs, "Intrinsic class-F RF GaN power amplifier with a commercial transistor based on a modified "Hybrid" approach", *2012 Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits*, Sep. 2012.
- [5] Yingjie Xu, Jingqi Wang, and Xiaowei Zhu, "Analysis and implementation of inverse class-F power amplifier for 3.5 GHz transmitter", *2010 Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 410-413, Dec. 2010.
- [6] Andrei Grebennikov, Nathan Sokal, *Switchmode RF Power Amplifier*, Newnes, 2007.
- [7] Andrei Grebennikov, "A high-efficiency transmission-line GaN HEMT Class-E power amplifier", *High Frequency Electronics*, pp. 16-24, Dec. 2009.
- [8] David Schmelzer, Stephen I. Long, "A GaN HEMT Class-F amplifier at 2 GHz with > 80 % PAE", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 10, pp. 2130-

- 2136, Oct. 2007.
- [9] Steve C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, 2nd Edition, Boston MA: Artech, 2006.
- [10] Tongning Wu, Calvin Plett, Jhon W. M. Rogers, and Ming Li, "A fully integrated 1~4 GHz GaN Class-J power amplifier", *2014 IEEE 15th Wireless and Microwave Technology Conference*, Jun. 2014.
- [11] Motoyoshi Iwata, Tomohide Kamiyama, Takachi Uno, Kaxuhiro Yahata, and Hikaru Ikeda, "First pass design of a high power 145W, high efficiency Class-J GaN power amplifier using waveform engineering", *IEEE Topical Conference on Power Amplifiers for Wireless and Radio Applications*, pp. 7-9, Jan. 2013.
- [12] Zhenyang Wang, Guang Yang, and Falin Kiu, "An easily implementable structure for broad band high efficiency Class-J power amplifier", *IEEE Workshop Electronics, Computer and Applications*, pp. 786-790, May 2014.
- [13] Li Ma, Fei You, and Xianyun Hou, "An output match design method for high efficiency and broadband Class-J PA", *IEEE Topical Conference Power Amplifiers for Wireless and Radio Applications(PAWR)*, 43-45, Jan. 2014.
- [14] K. Mimis, K. A. Morris, and J. P. McGeehan, "A 2 GHz GaN Class-J power amplifier for base station applications", *IEEE Topical Conference on Power Amplifiers for Wireless and Radio Applications*, pp. 5-8, Jan. 2011.
- [15] Peter Wright, Jonathan Lees, Johannes Benedikt, Paul J. Tasker, and Steve C. Cripps, "A methodology for realizing high efficiency Class-J in linear and broadband PA", *IEEE Transactions Microwave Theory Techniques*, vol. 57, no. 12, pp. 3196-3204, Dec. 2009.
- [16] Rui Ma, Sushmit Goswami, Koji Yamanaka, Yuji Komatsuzaki, and Akira Ohta, "A 40-dBm high voltage broadband GaN Class-J power amplifier for PoE microbasestations", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Dig.*, Jun. 2013.
- [17] Saeed Rezaei, Leonid Belostotski, and Fadhel M. Ghannouchi, "1.6~3 GHz, 10 W, 60 % efficiency Class-J PA for cognitive radio applications", *2013 IEEE 60th International Midwest Symposium Circuits and Systems*, pp. 880-883, Aug. 2013.

임 은 재



2010년 2월: 경남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2016년 2월: 경남대학교 첨단공학과 (공학박사)
 2014년 11월~2015년 12월: 전자부품연구원
 2015년 12월~현재: LIG 넥스원

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전력증폭기

유 찬 세



1998년 2월: 서울대학교 에너지자원공학과 (공학석사)
 2010년 8월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1998년 3월~현재: 전자부품연구원 에너지소재응용팀장
 [주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전력

증폭기

김 도 경



1996년 2월: 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학석사)
2016년 2월: 고려대학교 국방기술경영전문대학원 (경영석사)
2003년 7월~2009년 2월: 미라콤테크놀로지
2009년 7월~현재: LIG 넥스원

[주 관심분야] 통신시스템 설계, 무선통신시스템

윤 석 희



2001년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
2001년 3월~2007년 7월: 현광전자통신
2007년 7월~2015년 4월: SK텔레시스
2015년 4월~현재: LIG 넥스원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전력증폭기

선 중 규



2000년 2월: 전남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2005년 4월~2010년 5월: SK 텔레시스
2017년 2월~현재: 연세대학교 국방융합과 석사과정
2010년 6월~현재: LIG 넥스원

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 통신시스템 설계

이 영 철



1981년~현재: 경남대학교 정보통신공학과 교수
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전력증폭기, 무선통신시스템

윤 동 환



2003년 2월: 서울시립대학교 전자전기공학부(공학사)
2005년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학석사)
2003년 3월~현재: LIG 넥스원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전력증폭기