

논문 2008-45TC-1-16

Single FET와 Class-F급을 이용한 이중대역 고효율 전력증폭기 설계

(Design of a Dual Band High PAE Power Amplifier using Single FET and Class-F)

김 선 숙*, 서 철 현**

(Seon sook Kim and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 단일 FET를 이용하여 2.14GHz/5.2GHz 이중대역 고효율 Class F 전력증폭기를 설계 구현하였다. 전송선로를 이용하여 초기의 정합값을 적절히 이동시켜 하나의 능동소자로 2.14GHz/5.2GHz의 이중대역에서 동작되는 전력증폭기를 설계하였으며, 2.14GHz에서 32.65dBm의 출력과 11dB의 출력이득 36%의 전력효율을, 5.2GHz에서 7dB의 출력이득의 특성을 보였다. 고조파를 제어 회로를 설계하여 증폭기의 출력단에 추가 하여 Class F로 동작하는 이중대역 전력증폭기를 설계 하였다. 이중대역 Class F 전력증폭기는 2.14GHz에서 9.9dB의 출력이득과 30dBm의 출력, 55%의 전력효율을 가졌으며, 5.2GHz에서 11.7dB의 출력이득을 갖는 특성을 보였다. 고조파 제어 회로를 이용한 이중대역 Class F 전력증폭기가 전력효율을 향상시킴을 보였다.

Abstract

In this paper, high efficient class F power amplifier with dual band has been realized. Dual band power amplifier have used modify stub matching for single FET, center frequency 2.14GHz and 5.2GHz respectively. Dual band amplifier is 32.65dBm output power, gain 11dB and PAE 36% at the 2.14GHz, 7dB gain at the 5.2GHz. Design of a dual band class F power amplifier using harmonic control circuit. The measured are 9.9dB gain, 30dBm output power and PAE 55% at the 2.14GHz, 11.7dB gain at the 5.2GHz. This paper is being used the load-pull method and it maximizes output power and it is using the only one transistor in the paper. As a result, this research will obtain a dual band high PAE power amplifier.

Keywords : Class F, PA, dual band , efficient

I. 서 론

현재생활에서 이동통신은 모든 생활의 기본이 되고 있고, 휴대인터넷등 차세대 이동통신 서비스들이 본격적으로 선보이려 하고 있다. 다양한 통신 서비스가 본격적으로 서비스되기 시작함에 따라 최근 유무선 통합 및 이동통신망 초고속 데이터를 송수신을 위한 다중대

역 서비스가 가능하도록 하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 또한 이동통신 시스템의 급격한 보급에 의해 무선통신 고출력 증폭기의 중요성이 새로이 부각되고 있으며 앞으로도 새로운 이동통신 환경에 적합한 고출력, 고효율을 가지는 전력증폭기가 급격히 보급되리라 예상된다. 따라서 이러한 요구에 부응하기 위해 차세대 무선통신 환경에 적합한 새로운 고출력, 고효율, 다중대역 전력증폭기 연구가 요구되고 있다.

고주파에서도 높은 효율을 얻을 수 있는 증폭기로는 도허티 증폭기^[2], Switched Gain Stage^[5] 방식을 이용한 증폭기, 구동 바이어스를 조정^[5] 하는 방법을 이용한 증폭기가 있다. 이 방법들은 효율에 초점을 맞추어

* 학생회원, ** 정회원, 송실대학교 정보통신전자공학부 (Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 이 연구는 2007학년도 송실대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음

접수일자:2007년12월12일, 수정완료일:2008년1월15일

서 설계를 했기 때문에 선형성은 상대적으로 나빠지게 된다.

전력증폭기에서 효과적으로 높은 효율을 얻을 수 있는 또 다른 방법으로는 Class E 와 Class F 로, Class E 는 스위칭 모드 증폭기로 회로가 간단하고 높은 주파수에서도 우수한 성능을 보이지만, 민감도가 높아 고전력 증폭기에서는 구현하기 힘든 반면 Class F는 증폭기의 고조파를 제어하는 방식을 채택하여, 제한된 수의 고조파를 제어하여 고주파에서 Class E와 비슷한 성능을 보여 높은 효율을 얻을 수 있는 효과적인 방법이다^[1].

본 논문은 2.14GHz대역과 5.2GHz 대역 통신망간의 통합을 목적으로 한 Class F 이중대역 전력증폭기로 설계하였다. 대부분의 다중대역 모드 증폭기는 스위치 방식을 이용한 회로나 각각 대역용으로 전력증폭기를 설계하여 두 전력 증폭기를 결합하거나, 또는 출력 면에서 손실을 감수하고, Q값을 낮춤으로서 이중대역화 하는 것이 기본적인 방법이었다.

본 논문에서는 마이크로 스트립라인을 이용하여, 로드풀 이론을 적용하면서 동시에 최대출력을 얻을 수 있도록 Single FET를 이용하여 이중대역 전력증폭기를 구현하였으며, 고효율 고풍력의 전력증폭기를 얻기 위해 고조파 제어회로를 부가시킨 Class F 이중대역 전력증폭기를 설계제작 하였다.

II. Class F 전력증폭기

Class F 증폭기의 이상적인 출력전압 과 전류 파형 은 신호주기동안 overlap이 없다. 즉, 전력 손실 없이 DC 전력을 신호 전력으로 변환 할 수 있다.

위 그림의 출력파형을 Fourier series로 분석하면 다음 수식으로 나타낼 수 있으며,

$$I_d = i_{dpeak} \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega_0 t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=2,4,6...} \frac{1}{n^2-1} \cos n \omega_0 t \right) \quad (1)$$

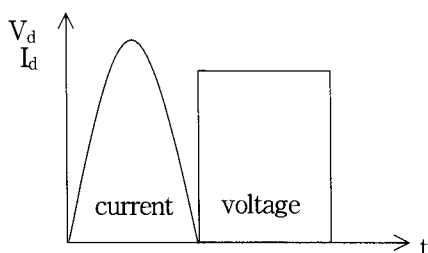


그림 1. 이상적인 Class F 증폭기 출력 특성
Fig. 1. ideal output characteristic of Class F Amplifier.

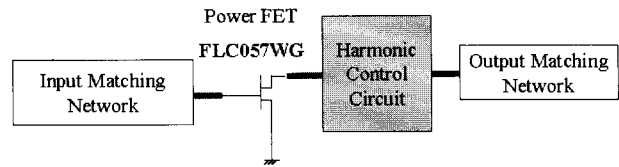


그림 2. Class F 전력증폭기 구성도
Fig. 2. composed of Class F power amplifier.

$$V_d = v_{dpeak} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \sin \omega_0 t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=3,5,7...} \frac{1}{n} \sin n \omega_0 t \right) \quad (2)$$

Class F 증폭기 출력파형을 그림 1과 같은 형태로 만들기 위하여 harmonic 제어 회로를 증폭기의 출력 정합회로 부분에 첨가하여, 우수고조파에서는 short이 되고, 기수 고조파에 대해서는 open으로 동작할 수 있도록 한다.

그림 2는 본 논문에서 설계된 고조파를 제어한 Class F 전력 증폭기의 구성도를 보여주고 있다.

III. 이중대역 전력증폭기

본 논문에서 2.14GHz와 5.2GHz의 이중대역 전력증폭기 설계는 기본적으로 로드풀 정합기법을 사용하여

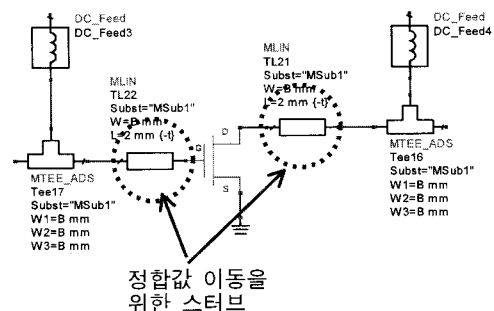
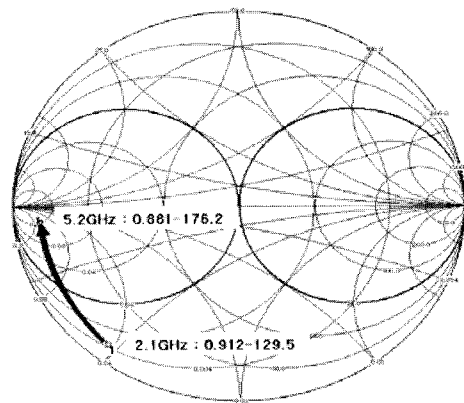


그림 3. 정합값 이동을 위한 스텐브
Fig. 3. Stub for transfer matching impedance.

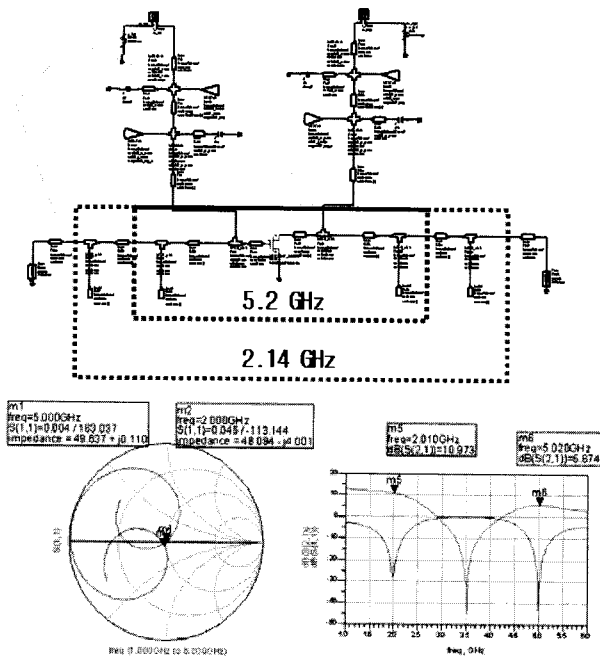


그림 4. 설계된 이중대역 전력증폭기.
Fig. 4. Schematic of dual band PA.



그림 5. 제작된 이중대역 전력증폭기
Fig. 5. Dual band Amplifier.

최대 선형 구간을 모의실험하여 설계하였다.

이중대역 전력증폭기를 구현하기 위하여 설계에 사용된 프로그램은 Agilent사의 ADS이며, 설계와 실험에 사용한 소자는 Fujitsu사 FLC057WG의 C-Band용 GaAs FET로 $P_{1dB}=7dBm$, 이득이 $9dB$, 최대효율이 38% 인 소자로 FLC057WG의 동작점은 $V_{DS}=10V$, $I_{DS}=125mA$ 로 $2GHz$ 대역과 $5GHz$ 대역 모두 동일한 전압으로 전류를 소모하도록 동일한 동작점에서 모의실험 및 설계를 하였다.

본 논문에서는 $2.14GHz$ 와 $5.2GHz$ 의 두 대역에서 동시에 로드풀 정합을 최적화 하기 위한 초기의 정합값들을 이동시키기 위해 그림 3과 같이 스테르브를 사용하여 정합값을 이동시켜 조절하였다.

입력과 출력의 정합 값을 적절히 이동시킨 후 과장이

짧아 상대적으로 스테르브 길이가 짧은 $5.2GHz$ 대역을 우선 정합시킨 후 다시 $2.14GHz$ 를 정합시켜 그림 4와 같이 이중대역에서 동작하는 전력증폭기를 설계하였다.

그림 5는 그림 4의 모의실험을 바탕으로 제작된 증폭기의 모습이다. 설계된 이중대역 전력증폭기 바이어스는 $V_{ds}=10V$, $V_{gs}=-5V$, $I_{ds}=144mA$ 이다. $2.14GHz$ 에서 $32.65dBm$ 의 출력과 $11dB$ 의 출력이득 36% 의 전력효율을, $5.2GHz$ 에서 $7dB$ 의 출력이득의 특성을 나타내어 모의실험 같은 결과를 보였다.

IV. 이중대역 Class F 전력증폭기

고조파 제어를 통한 Class F급 이중대역 전력증폭기 설계를 위해 중심 주파수 대역은 통과시키고 2차 고조

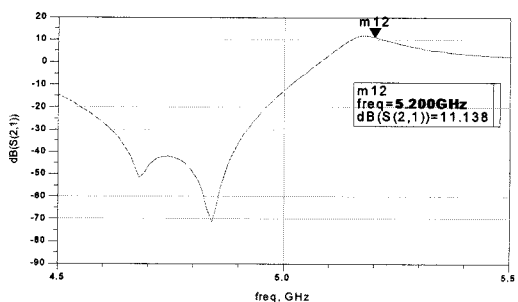
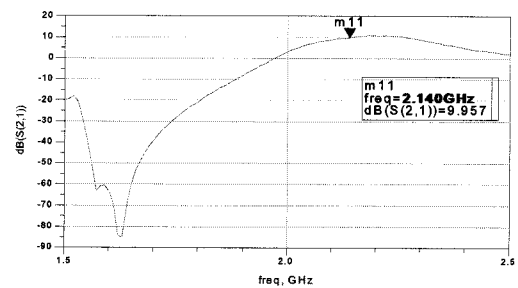
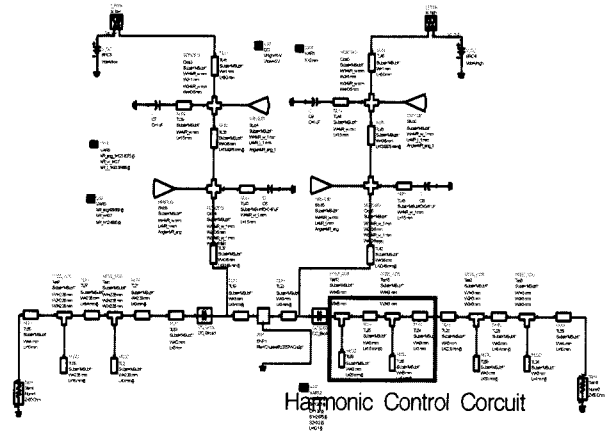


그림 6. 설계된 Class F 이중대역 전력증폭기와 특성
Fig. 6. Characteristic and Schematic of Class F dual band PA.

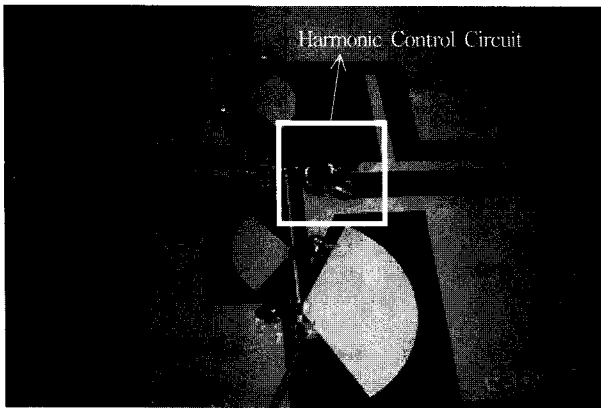


그림 7. 제작된 Class F 이중대역 전력증폭기
Fig. 7. Class F dual band PA.

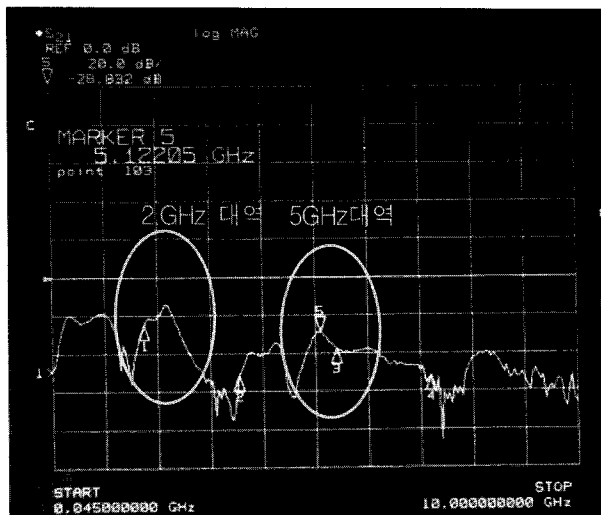


그림 8. 측정결과
Fig. 8. measured results.

파 성분은 단락시키며 3차 고조파 성분에 대해서는 개방을 시켜야 하므로 앞서 얻은 최대 전력 임피던스점에 2차 고조파 성분은 단락시키고 3차 고조파 성분은 개방시키도록 하는 harmonic 제어회로를 출력단에 추가시키고 증폭기의 회로를 최적화 하였다^[3]. 설계된 Class F 이중대역 전력증폭기와 출력 특성을 그림 6에 나타내었다.

그림 7은 앞의 그림 6에서 모의실험한 결과를 토대로 하여 제작된 모습이다. 모의실험 결과 앞 절에서 설계된 이중대역 전력증폭기보다 Class F 이중대역 전력증폭기가 출력 이득이 2.14GHz에서는 10.9dB에서 9.9dB로 1dB 감소, 5.2GHz에서는 5.6dB에서 11.1dB로 약 6dB 증가하는 특성을 보여 고조파 제어방식 이용하여 Class F 설계 방법을 적용한 Class F 이중 대역 전력증폭기가 우수한 특성을 보였다. 그림 7은 제작된 Class F 이중대역 전력증폭기 이다.

V. 결 론

본 논문은 2.14GHz대역과 5.2GHz 대역 통신망간의 통합을 목적으로 한 Class F 이중대역 전력증폭기로 설계하였다. 정합점을 이동시켜 단일 능동소자로 이중대역 전력 증폭기를 구현함으로써, 기존의 이중대역에서 주로 사용된 스위치 방식이나, 다중모드방식에 비하여 회로의 사용 소자를 최소화시켜 구조를 단순화 시킬 수 있었으며, 고조파를 제어하여 효율을 높일 수 있는 Class F 설계방법을 이용하여 Class F 이중대역 전력증폭기를 설계하여 특성을 확인하였다. 설계결과 출력 이득이 3~6dB 증가됨을 보였으며, 효율에서도 20%이상 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 이는 모의실험 및 실제 측정결과에서도 동일한 결과를 얻었으며, Class F 설계방법을 전력증폭기에 적용함으로써 전력증폭기의 전력효율을 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Grebennikov, A. V., "Switched-mode tuned high-efficiency power amplifier: historical aspect and future prospect", *IEEE RFIC Symp.*, page 49-52, June 2002.
- [2] Raab, F. H., "Miximum efficiency and output of class-F power amplifiers", *IEEE Trans.MTT*, vol.49, no.6, page 1162-1166, June 2001.
- [3] Alexandre Dupuy, Kevin M.K.H Leong, Robert Staraj, Gilles Jacquemod and Tatsuo Itoh, "Inverse Class-F Power Amplifier Using Composite Right/Left Handed Transmission Lines as a Harmonic Trap," European Microwave Conference, Sept. 2006.
- [4] Akira inoue, Akira Ohta, Seiki Goto, Takahide Ishikawa, and Yoshio Matsuda, "The Efficiency of Class-F and Inverse Class-F Amplifiers," 2004 IEEE MTT-S Digest, pp1947-1950, 2004.
- [5] M. Iwamoto, "An extended Doherty amplifier with high efficiency over a wide power range," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 2472-2479, Dec. 2001.
- [6] J. Staudinger, "Applying switched gain stage concepts to improve efficiency and linearity for mobile CDMA power amplification," *Microwave Journal*, pp. 152-162, Sep. 2000.
- [7] G. Hanington, "High-Efficiency Power Amplifier Using Dynamic Power-Supply Voltage for CDMA Applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1471-1476, Aug. 1999.

- [8] P. B. Kenington, "High-linearity RF amplifier design," Artech House, 2000.
- [9] Steve C. Cripps, "RF power amplifiers for wireless communications," Artech House, 1999.
- [10] 전익태, 서철현, "PBG 구조를 이용한 Dual Band 전력증폭기 연구," 한국 전자과 학회 논문지 15권 8호, pp. 788-793, Aug, 2004.
- [11] 이왕렬, 서철현, "적응형 바이어스와 PBG를 이용한 Doherty 전력 증폭기 전력효율개선과 선형성 개선에 관한 연구," 한국 전자과 학회 논문지, 16권 8호, pp. 777-782, May, 2005.
- [12] 이지환, 김선숙, 서철현, "단일 FET를 이용한 900 MHz/2.14 GHz 이중대역 고효율 전력증폭기 설계," 춘계마이크로파및 전파 학술대회, 2006년 5월.

 저 자 소 개



김 선 숙(정회원)
 2003년 숭실대학교 산업정보
 대학원 공학석사 졸업.
 2006년 숭실대학교 일반대학원
 박사과정 수료.
 <주관심분야 : RF Front_End
 System 및 소자>

서 철 현(정회원)
 대한전자공학회논문지 vol. 31, no. 6 참조