

논문 2012-49TC-2-10

고조파 억제 필터를 이용한 무선전력전송 고이득 고효율 DC-AC 변환회로

(Wireless Power Transmission High-gain High-Efficiency DC-AC Converter Using Harmonic Suppression Filter)

황 현 욱*, 최 재 원*, 서 철 현**

(Hyunwook Hwang, Jaewon Choi, and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 무선전력전송을 위한 고효율 DC-AC 변환 회로를 구현하였다. DC-AC 변환 회로는 발진기와 전력증폭기를 결합시켜 구현하였다. 전력증폭기의 전력 효율은 무선전력전송 송신 시스템의 효율에 크게 영향을 주기 때문에 Class-E 증폭 구조를 이용하여 고효율 전력증폭기를 구현하였다. 또한, 전력증폭기의 입력 단에 연결되는 발진기의 출력 전력이 작기 때문에 높은 출력의 DC-AC 변환 회로를 구현하기 위하여 구동 증폭기를 이용한 고이득 이단 전력증폭기를 구현하였다. 고이득 고효율 이단 Class-E 전력증폭기의 입력 단에 발진기를 연결하여 고효율 DC-AC 변환 회로를 구현하였다. 13.56MHz의 2차, 3차 고조파 성분을 억제하기 위해 이중대역 저지 필터를 설계하여 결합하였다. DC-AC 변환 회로의 출력 전력과 변환 효율은 13.56 MHz에서 40 dBm과 80.2 %이다.

Abstract

In this paper, high-efficiency DC-AC converter is implemented for the wireless power transmission. The DC-AC converter is implemented by combining the oscillator and power amplifier. Because the conversion efficiency of wireless power transmitter is strongly affected by the efficiency of power amplifier, the high-efficiency power amplifier is implemented by using the Class-E amplifier structure. Also, because the output power of oscillator connected to the input stage of power amplifier is low, high-gain two-stages power amplifier using the drive amplifier is implemented to realize the high-output power DC-AC converter. The dual band harmonic suppression filter is implemented to suppress 2nd, 3rd harmonics of 13.56 MHz. The output power and conversion efficiency of DC-AC converter are 40 dBm and 80.2 % at the operation frequency of 13.56 MHz.

Keywords : 13.56MHz, Class-E 전력증폭기, 고조파 억제, 무선전력전송

I. 서 론

최근 무선 통신 장비나 무선 전력 전송 시스템의 송신부에 사용되는 전력 증폭기의 전력 소비가 매우 크기

때문에 전체적인 효율 면에서 매우 중요한 요소가 되었다. 전력증폭기의 효율이 증가 되면 기지국 및 중계기에서 사용하는 냉각시스템으로 인한 추가 비용을 감소시킬 수 있고, 또한 단말기 측면에서 배터리의 수명을 증가시킬 수 있다. 따라서 통신 시스템의 송신부 설계시 전력증폭기의 효율은 가장 중요하게 고려해야 할 사항이다. 전력증폭기에서 효과적으로 높은 효율을 얻을 수 있는 방법으로는 switching mode로 동작하는 전력 증폭기 구현하는 것이다. 본 논문에서는 고효율 전력증

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

※ “본 연구는 방송통신위원회의 전파위성기술분야 원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음” (KCA-2011-11911-01110)

접수일자: 2012년2월8일, 수정완료일: 2012년2월17일

폭기를 구현하기 위하여 switching mode로 동작하는 Class-E 증폭 구조를 적용하였다. 또한, 전력증폭기의 이득을 증가시키기 위하여 구동 증폭기를 전력증폭기의 입력 단에 연결하였다. 즉, 고이득 고효율 전력증폭기를 구현하기 위하여 이단 Class-E 전력증폭기를 구현하였다. 또한 필터를 이용하여 2차, 3차고조파 성분을 조절 시키면서 고효율 및 선형성 개선이 되도록 설계되었다 [1~2].

II. 본 론

1. Switch mode Amplifier

스위치모드 증폭기에서는 능동 소자가 이상적인 스위치와 같이 ON 또는 OFF 상태에 따라 전압이나 전류가 포화상태로 동작한다. 전력증폭기에서 효율을 높이기 위하여서는 전력소모를 줄여야 하는데, 전력증폭기에서는 트랜지스터의 전력소모가 크기 때문에 트랜지스터가 스위칭 동작을 하도록 하여 트랜지스터에 흐르는 전압과 전류를 on/off 시킴으로써 고효율 특성을 얻을 수 있다. 스위치 모드 증폭기는 기본적으로 입력 신호 주기 동안 출력 전압 파형과 출력 전류 파형의 overlap을 없앴으로써 DC 전력 소모를 최소화하는 방식이다. 이러한 고효율 증폭기는 냉각 시스템의 비용을 절감할 뿐만 아니라 시스템의 부피와 무게를 줄일 수 있다는 장점을 지닌다. 여러 가지 형태의 고효율 증폭기가 있지만 고주파 에에서도 높은 효율을 성취할 수 증폭기는 class E와 class F가 대표적이다. Class E는 스위치모드 증폭기의 대표적인 형태로 회로가 간단하고 소자의 출력 capacitance를 회로적으로 보상하여 스위치 손실을 억제할 수 있어 비교적 높은 주파수에서도 우수한 성능을 보인다. 그림 1은 일반적인 스위치모드 전력증폭기이다[3].

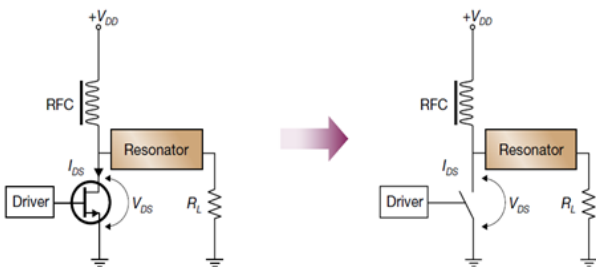


그림 1. 일반적인 스위치모드 전력증폭기
Fig. 1. Typical switch mode power amplifier.

2. Class-E Amplifier

Sokal이 처음 제시한 Class-E 전력증폭기는 이론적으로 100%의 전력 효율 특성을 갖는 전력증폭기이나 실험적으로는 기생성분들로 인해 효율이 감소한다. 그렇지만 Class-E 전력증폭기는 다른 Class에 비해 높은 효율로 인해 적은 열방출 특성을 가지고 있다. 같은 주파수, 같은 출력 전력에서 동일한 트랜지스터를 이용한 Class-E 전력증폭기는 일반적인 Class-B 혹은 Class-C 전력증폭기에 비해 2.3배 작은 전력 손실 특성을 갖고 동작한다. 그림 2는 이상적인 Class-E 전력증폭기 회로도도를 보여주고, 그림 3은 Class-E 전력증폭기의 이상적인 트랜지스터의 전압 및 전류 파형을 보여주고 있다[3~6].

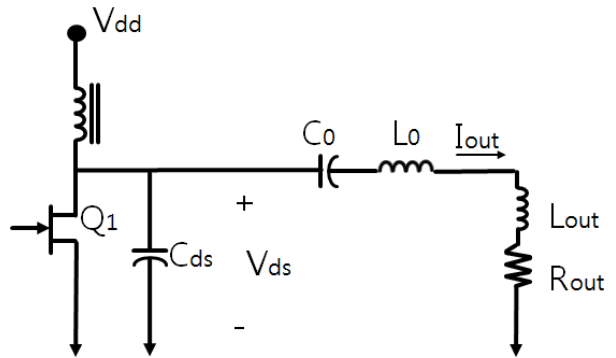


그림 2. 이상적인 Class-E 전력증폭기 회로
Fig. 2. Ideal Class-E power amplifier circuit.

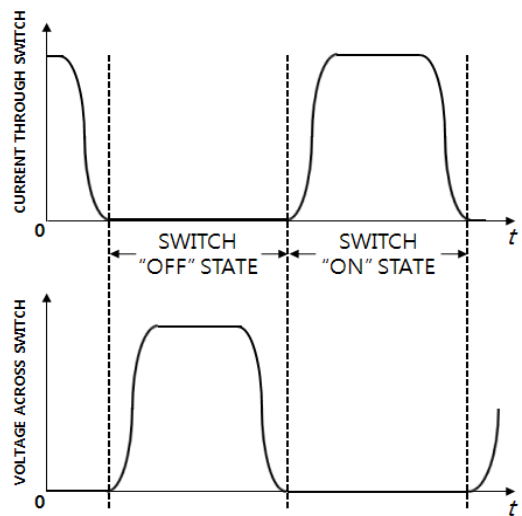


그림 3. Class-E 전력증폭기의 트랜지스터의 이상적인 전압과 전류 파형
Fig. 3. Waveforms of transistor voltage and current of Class-E power amplifier.

III. 설계 및 구현

1. 이중대역 저지 필터 설계

직렬 LC를 이용한 Harmonic Termination 소자와 직렬 C를 병렬로 연결하여 이중 대역을 저지하는 필터를 설계하였다. 이 회로는 Termination 주파수 이외의 주파수에는 별로 영향을 끼치지 않게 되므로 회로 전체 특성에 영향이 적다. 그림 4와 5는 이중대역 저지 필터의 회로도 및 특성을 보여준다. 고조파를 억제하여 전력증폭기의 효율을 높일 수 있다.

2. Class-E 전력증폭기 설계

그림 6은 구동 증폭 단과 Class-E 전력 증폭 단으로 구성된 2-stage Class-E 전력증폭기에 제안한 이중대역 저지 필터를 더한 회로도 이다. 고이득 특성을 위하여 구동 증폭기를 이용한 이단 구조를 적용하였고, 고효율 특성을 위하여 Class-E 전력 증폭 구조를 적용하

였다. 구동 증폭 단과 전력 증폭 단 모두 동일한 Freescale사의 MRF282S 트랜지스터를 이용하여 설계

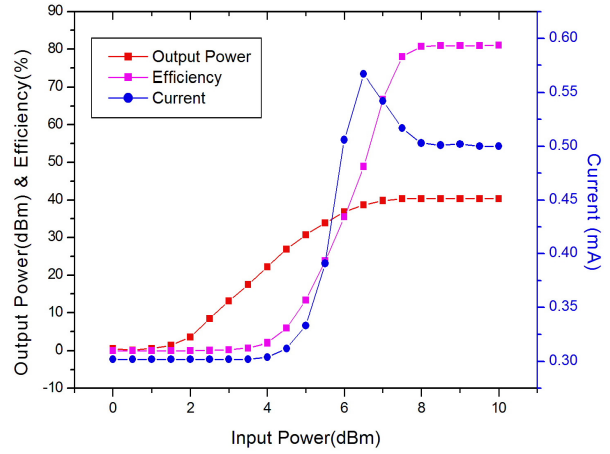


그림 7. 입력에 따른 출력 전력, 전력 효율, 드레인 전류

Fig. 7. Output power, PAE and Drain current vs. input power.

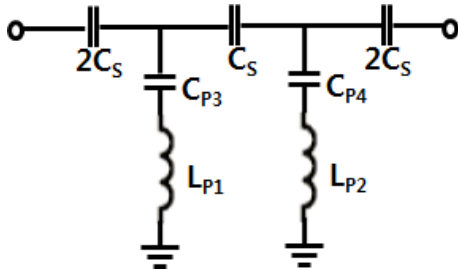


그림 4. 제안한 이중대역 저지 필터
Fig. 4. Proposed dual band suppression filter.

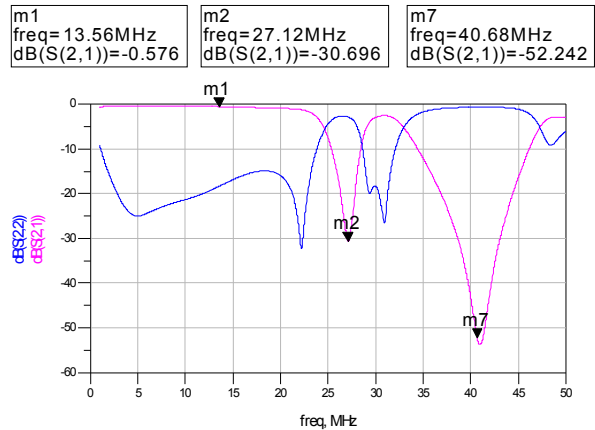


그림 5. 이중대역 저지 필터 S-parameter
Fig. 5. S-parameter of dual band suppression filter.

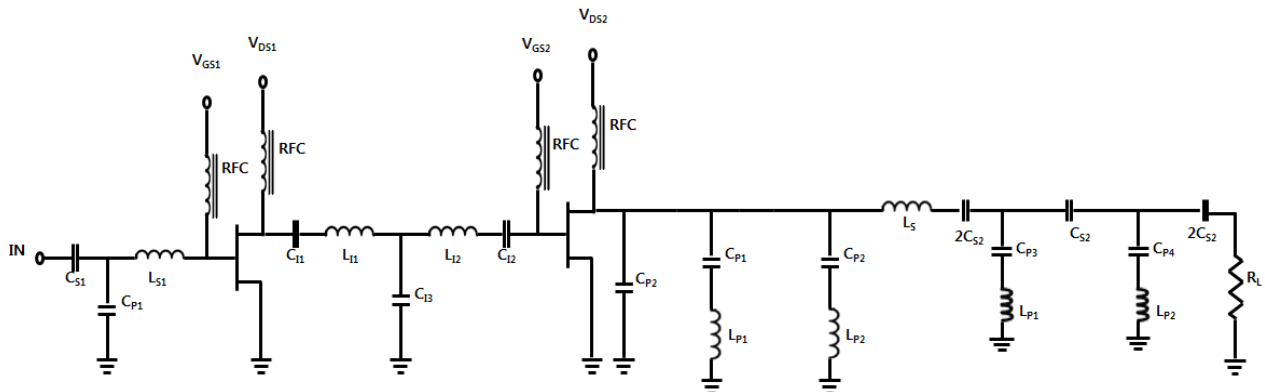


그림 6. 고조파 필터를 이용한 2-stage Class-E 전력증폭기 회로도
Fig. 6. Circuit of two-stages Class-E power amplifier using harmonic suppression filter.

하였다.

전력 증폭 단의 게이트 전압과 드레인 전압은 각각 4.4 V와 26.5 V이다. 2-stage Class-E 전력증폭기는 13.56 MHz에서 40 dBm의 출력 전력과 80.2 %의 전력 효율을 갖고, second harmonic -41.9 dBc, third harmonic -42.53 dBc를 갖는다.

3. 고효율 DC-AC 변환 회로 설계

본 논문에서 구현된 13.56 MHz의 동작 주파수와 10 dBm의 입력 전력에서 약 10 W의 출력 전력과 81 %의 전력 효율 특성을 갖는 고효율 2-stage Class-E 전력 증폭기와 13.56 MHz의 출력 주파수에서 10 dBm의 출력 전력 특성을 갖는 발진기를 이용하였다. 고효율 DC-AC 변환 회로를 구현하기 위하여 사용된 발진기는 PT115A의 TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator)이다. 본 발진기는 5 V의 입력 전압에서 20 mA의 전류가 흐르며 13.56 MHz의 출력 주파수에서 약 10.67 dBm의 출력 전력 특성을 갖는다. Class-E 전력 증폭기의 구동단의 게이트 전압과 드레인 전압은 각각 2.6 V와 11 V이며, 증폭 단의 게이트 전압과 드레인 전압은 각각 4.6 V와 26.5 V이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 전력 전송을 위한 고효율 DC-AC 변환 회로를 설계하였다. DC-AC 변환 회로는 발진기와 전력증폭기를 결합시켜 설계하였다. DC-AC 변환 회로의 변환 효율은 전력증폭기의 전력 효율에 크게 영향을 받기 때문에 Class-E 증폭 구조를 이용하여 고효율 전력 증폭기를 설계하였다. 입력 단에 연결되는 낮은 발진기의 출력을 높이기 위해 구동 증폭기를 이용한 고이득 2-stage 전력증폭기를 설계하였다. 이중대역 저지 필터를 설계하여 고조파 성분을 억제하였다. 고이득 고효율 이단 Class-E 전력증폭기의 입력단에 발진기를 연결하여 고효율 DC-AC 변환 회로를 설계하였다. DC-AC 변환 회로의 출력 전력과 변환 효율은 13.56 MHz에서 40 dBm의 출력 전력과 80.2%의 전력 효율을 갖고, second harmonic -41.9 dBc, third harmonic -42.53 dBc를 갖는다. 2차, 3차 고조파 성분을 억제하므로 높은 효율을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Matthew M. Radmanesh, *Radio Frequency and Microwave electronics Illustrated*. Prentice Hall PTR, 2001
- [2] A. Karalis, J. D. Joannopoulos, M. Soljacic, "Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer," *Annals of Physics*, vol. 323, no. 1, pp. 34-48, January 2008.
- [3] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House, 1999.
- [4] A. Grebennikov, N. O. Sokal, *Switchmode RF Power Amplifiers*, Newnes, 2007.
- [5] N. O. Sokal and A. D. Sokal, "Class-E a new class of high-efficiency tuned single-ended switching power amplifiers," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 10, no. 3, pp. 168-176, June 1975.
- [6] Jaewon Choi, Chulhun Seo, "Wireless Energy Transmission High-Efficiency DC-AC Converter Using High-Gain High-Efficiency Two-Stage Class-E Power Amplifier," *JKIEES*, VOL. 11, NO. 3, pp. 161-165, SEP. 2011.

저 자 소 개



황 현 옥(학생회원)
 2011년 2월 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 학사 졸업
 2011년 3월~현재 숭실대학교
 전자공학과 석사과정.
 <주관심분야 : 초고주파 회로설
 계, RF Power Amplifier, Digital
 RF, 무선에너지전송>



최 재 원(학생회원)
 2006년 2월 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 (공학사)
 2008년 2월 숭실대학교 정보통신
 공학과 (공학사)
 2008년 3월~현재 숭실대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : 전력증폭기, 전압 제어 발진기, 메
 타물질, 무선 에너지 전송, RFIC, Digital RF 등>

서 철 헌(정회원)
 대한전자공학회논문지 31권 6호 참조