

# 400MHz 대역의 주파수 적응형 고효율 Class-E 증폭기

류재현\*, 손강호\*, 김 영\*, 윤영철\*\*

\*금오공과대학교 전파공학과, \*\*관동대학교 전자정보통신공학부

## Frequency Adaptive High Efficiency Class-E Amplifier in 400 MHz Range

Jae-Hyun Ryu\*, Kang-ho Son\*, Young Kim\*, Young-Chul Yoon\*\*

\*Kumoh National Institute of Technology, \*\*Kwandong University

E-mail : abc10214@naver.com

### 요약문

본 논문은 400 MHz 대역 시스템에 적용할 수 있는 고 효율을 유지하는 적응형 E급 증폭기를 제안하였다. 이 증폭기는 입력 주파수 변화에 공진기 주파수가 적응되도록 마이크로프로세서를 사용하여 고 효율을 유지하도록 하였다. 이러한 적응형 E급 증폭기의 동작을 보이기 위해서 중심 주파수는 450 MHz 이고, 대역폭은 100 MHz인 증폭기를 제작하여 이 주파수 구간에서는 60% 이상의 효율을 유지하였고, 최대 효율은 74.8%를 얻었다.

### Abstract

This paper proposes the adaptive class-E power amplifier with maintaining high power added efficiency (PAE) in 400MHz range. This amplifier is used a microprocessor to adapt a resonator circuits and to maintain high efficiency in case of input frequency variation. To validate the adaptive amplifier operation, which is a 450MHz operating frequency and a 100MHz bandwidth, the class E amplifier is implemented. As a result, the adaptive amplifier is maintained above 60% efficiency and has a 74.8% maximum efficiency.

### 키워드

E급 증폭기, 마이크로프로세서, 전력 부가 효율, 적응형

## I. 서론

최근 RFID 시스템의 상용화에 의해 그 응용 분야가 주차 관리 및 물류운송 분야 등으로 다양화 되어 가고 있다. 근거리 RFID 통신의 경우 10 dBm이하의 낮은 전력신호를 이용하여 정보를 송수신 하게 되는데 낮은 전력 신호라고 할지라도 하나의 단말기가 관리하는 객체의 수가 증가할수록 소모하는 배터리의 양이 증가하여 전체적인 RFID 시스템의 전력 효율의 감소를 초래하게 된다. 이러한 주파수 영역에서 고효율의 증폭기가 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 증폭기의 효율개선 방식중 하나인 스위치 모드로 동작하는 증폭기를 사용하고, 400 MHz 대역의 주파수에서 고효율의 전력부가효율을 유지할 수 있는 주파수 적응형 고효율 E급 증폭기를 설계하였다.

## II. 본론

E급 증폭기는 스위치로 동작하는 트랜지스터와 병렬 캐패시턴스의 조합을 통해서 병렬 캐패시턴스의 충전과 방전효과에 의해 이상적인 트랜지스터의 스위치 동작을 유도 할 수 있고 이를 통하여 트랜지

스터가 개방으로 동작할 때는 전류가 0, 또 단락으로 동작할 경우는 트랜지스터 양단에 인가되는 전압이 0이 되는 조건이 되어 고 효율의 스위칭 특성을 갖는 E급 증폭기의 구현이 가능하다[1]-[5].

그림 1은 적응형 E급 증폭기의 전체 구조를 블록도로 나타낸 것이다.

이것은 크게 증폭기, 주파수 검출 회로, 전력 검출 회로 그리고 E급 증폭기의 드레인 전류측정을 통한 효율 연산 및 바랙터 다이오드에 전압을 제어하는 디지털 신호처리 기능을 담당하는 디지털 보드로 구성되어있다.

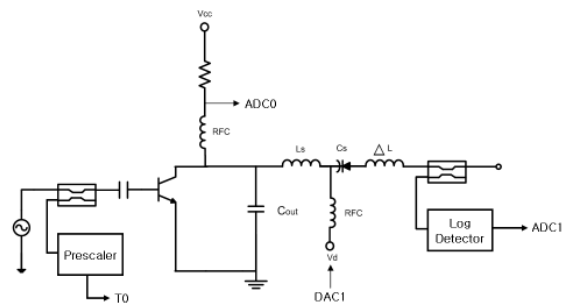


그림 1. 제안된 적응형 E급 전력증폭기의 구조

E급 증폭기의 출력에 사용되는 공진기의 설계는  $C_{out}$ ,  $L_s$ ,  $C_s$ ,  $\Delta L$  에 해당하는 값을 원하는 출력전력과 부하저항에 대해 E급 증폭기 설계 변수 최적화에 관련된 수식을 다음과 같이 제시하였다.

$$C_{out} = \frac{1}{\omega_o} \left( \frac{0.1836}{R_L} \frac{1+0.81Q}{Q^2+4} \right) \quad (1)$$

$$C_s = \frac{10}{\omega_o R_L Q} \quad (2)$$

$$L_s = \frac{QR_L}{\omega_o} \quad (3)$$

$$\Delta L = \frac{1}{\omega_o} \left( \frac{1.11Q}{(Q-0.67)R_L} \right) \quad (4)$$

본 논문에서는 제안한 적응형 E급 전력증폭기는 입력신호의 주파수 변화에 따라 출력단 공진기의 캐패시턴스 성분을 변경해야 하므로 입력신호의 주파수를 검출할 수 있는 프레스케일러를 이용한 회로의 블록도를 그림 2에 나타내었다.

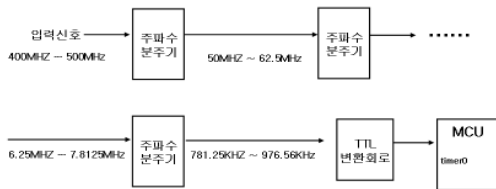


그림 2 제안된 주파수 검출회로의 블록도

일반적인 마이크로프로세서가 처리할 수 있는 신호의 주파수는 마이크로프로세서 내부 클럭의 1/2 이하 이므로 증폭기의 동작 주파수를 낮은 주파수 대역으로 변환시킬 수 있는 주파수 분주회로가 필요하고, 디지털 신호처리를 위해 아날로그 신호를 TTL 신호로 변환하는 회로가 부가적으로 필요하다.

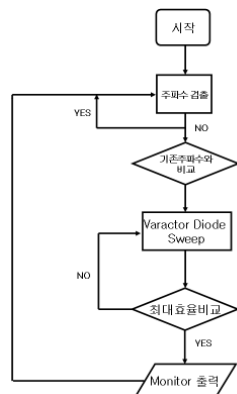


그림 3 적응형 E급 증폭기의 동작 순서도

그림 3은 제안된 적응형 E급 증폭기의 동작 알고리즘을 나타낸 것이다.

회로에 전원과 신호가 인가되면 주파수 검출회로가 입력 신호의 주파수를 분주하여 마이크로프로세서

의 타이머 기능에 의해 주파수를 검출하게 된다.

또, D/A 변환기를 이용하여 바랙터 다이오드에 인가되는 역 바이어스 값을 0 V에서 부터 5 V까지 변화시키며 각 캐패시턴스 값에 의한 E급 증폭기의 효율을 연산하게 되고 최고의 효율 특성을 나타내는 캐패시턴스 값에 해당하는 바이어스 값을 추적하게 되고 이를 통하여 증폭기가 최대 효율을 유지하게 한다.

이 결과를 컴퓨터와 마이크로프로세서 사이의 직렬 통신에 의한 감시에 의해 E급 증폭기의 현재 출력 특성을 나타내게 된다. 이렇게 한 이후에 다시 주파수를 검출하여 입력 신호의 주파수가 변화가 없으면 현재 상태를 유지하게 되고, 입력 주파수 변화하면 다시 바랙터 다이오드의 바이어스 전압 제어를 통하여 최대 효율 추적 과정을 반복하게 된다[6].

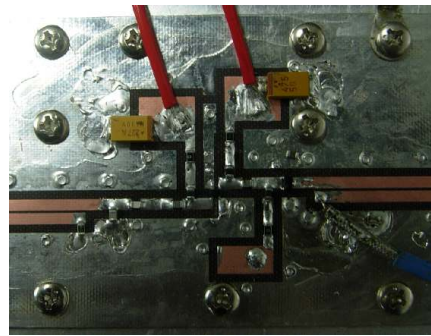


그림 4. 적응형 E급 전력증폭기 제작 사진

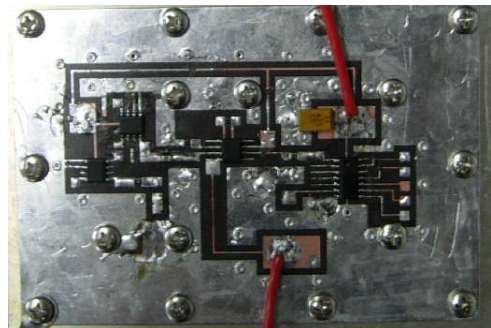


그림 5. 주파수 검출회로 제작 사진

그림 4는 적응형 E급 증폭기의 사진으로 사용된 트랜지스터는 에질런트사의 ATF54143을 이용하여 구현된 회로이다.

증폭기의 입력과 출력의 정합 임피던스는  $50\Omega$ 이고, 증폭기 구현에 사용된 기판은 유전율  $\epsilon_r = 2.3$ , 기판두께 0.787 mm인 Taconic사 테프론 기판을 사용하였으며, 드레인 전압은 0.55 V, 게이트 전압은 1 V를 인가하였다.

그림 5는 구현된 주파수 검출회로의 사진이며, 프레스케일러는 MC12093 과 리플 카운터인 74HC393을 이용하여 구현되었다.

또한 표 1을 통해 주어진 대역폭 내에서 1 MHz의 분해능을 갖는 주파수 검출기의 특성을 확인하였다.

표.1 측정된 입력 주파수에 대한 내부 클럭수

주파수 [MHz]	클럭수
400	5120
405	5057
410	4994
415	4937
420	4879
425	4821
430	4764
435	4707
440	4654
445	4603
450	4552
455	4500
460	4454
465	4407
470	4356
475	4311
480	4252
485	4210
490	4161
495	4101
500	4058

그림 6을 통하여 주파수 변화에 따른 E급 증폭기의 출력전력 레벨의 크기를 출력단 공진기의 직렬 캐패시턴스 값을 변화시킨 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 함께 나타내었다. 그림 6의 결과를 통해서 제안된 적응형 E급 전력 증폭기는 시뮬레이션 그리고 주파수 변화에 따른 공진기의 캐패시턴스 값을 변화시키면서 출력을 측정된 것과 동일함을 알 수 있다.

그림 7을 통해 연산된 PAE결과는 출력단 공진기의 직렬 캐패시턴스 값을 변화시킨 시뮬레이션 결과와 개별 주파수에서 E급 증폭기 실험결과를 적응형 증폭기 결과와 함께 나타내었다. 이 데이터를 보면 제안된 적응형 E급 전력증폭기에 의한 결과와 비교하면 주파수에 따라서 출력이 동일함을 알 수 있다.

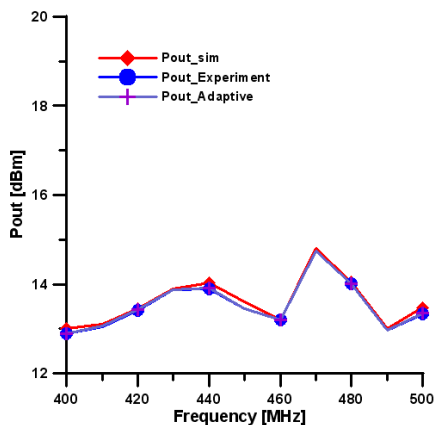


그림 6. E급 증폭기의 출력레벨 비교결과

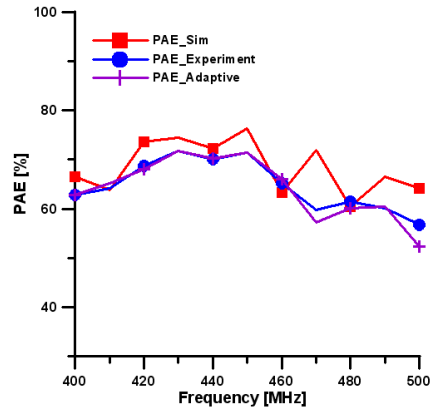


그림 7. E급 전력증폭기의 PAE 비교결과

### III. 결론

적응형 구조를 통한 E급 증폭기는 최대 전력 부가 효율값이 74.8%였으며, 100 MHz 주파수 대역에서 60%이상의 효율을 유지하였으며, 주파수 변화를 인식할 수 있는 분해능은 1MHz로 측정 되었다.

본 논문에서 제시한 적응형 고효율 증폭기 구조를 통해 RFID 시스템과 같은 저전력 고효율 시스템에 적용 가능하다.

### 참고문헌

- [1] Nathan O. Sokal, *Switch mode RF Power Amplifier*, Newnes, 2007.
- [2] Scott D.kee, Ichiro Aoki, "The Class-E/F Family of ZVS Switching Amplifiers", *IEEE Trans. Commum.*, Vol.51, NO.6, pp.1677-1690, 2003.
- [3] Andrew J.Wilkinson, "Transmission-Line Load-Network Topology for class E Power Amplifier", *IEEE Trans Commum.*, Vol.49, No.6, pp.1202-1210, 2001.
- [4] Siu-chung Wong and Chi K, "Design of symmetrical class E power amplifiers for very low harmonic-content applications", *IEEE Trans. Commum.*, Vol.52, No.8, pp.1684-1702, 2005.
- [5] Andrew J.Wilkinson, "Transmission-Line Load-Network Topology for class E Power Amplifier", *IEEE Trans Commum.*, Vol.49, No.6, pp.1202-1210, 2001.
- [6] Amos giat, *Matlab an introduction with application*, Wiley, 2005.