

제4회 정보통신분야학회

# 합동학술대회

- 논문집 -

## JCICT 2010

2010 Joint Conference on Information and Communication Technology

일시 : 2010년 10월 22일(금) ~ 23일(토)

장소 : 목포대학교 정보종합센터, 프라자60

- 주최 : (사)한국콘텐츠학회, (사)한국정보과학회
- 주관 : (사)한국인터넷정보학회, (사)한국통신학회, (사)한국정보처리학회, (사)한국정보보호학회,  
(사)한국정보기술학회, (사)한국전자파학회, (사)한국컴퓨터정보학회,  
(사)한국해양정보통신학회, (사)한국ITS학회, (사)한국정보교육학회
- 후원 : (주)삼성SDS, (주)kt, (주)동하테크, (주)아이티센시스템즈, 한국휴렛패커드(유),  
아이비씨엔씨(주)



오후 13:20 ~ 14:20 - 정보종합센터 211호		T4-1 : 통신 기술 (1)
번호	좌장 : 모상만 교수 (조선대학교)	
1	☆ 무선 랜 성능 개선을 위한 상황 인지 백오프 기법 - 강동배, 모상만	p. 171
2	정확한 에지방향성 판단을 통한 디인터레이싱 - 정지훈, 홍성훈	p. 174
3	2.14GHz 대역 F급 고효율 GaN-HEMT 전력 증폭기 설계 - 김영규, 심성운, Girdhari Chaudhary, 정용채	p. 178
4	이중 대역 통과 필터의 설계 - 장은실, 김훈, 임태균, 주양로, 김갑기	p. 182

오후 14:25 ~ 15:25 - 정보종합센터 211호		T4-2 : 통신 기술 (2)
번호	좌장 : 정진용 교수 (순천대학교)	
1	SISO, SIMO의 다이버시티 기법 SD, EGC, MRC에 대한 비교 연구 - 칸 모하마드 하심 알리, 이문호	p. 187
2	Performance Metric for WLAN Access Point Placement - Muhammad Taufiq N, Mohd. Fikri Azli bin Abdullah, Kyung-uk Kang, Deok-jai Choi	p. 191
3	분산응용에 적용 가능한 우선순위 기반 오버레이 멀티캐스트 - 이형욱, 박용완, 남지승	p. 195
4	태그 슬롯 효율 향상을 위한 클래스 기반 적응적 프레임 슬롯 할로아 알고리즘 - 박철웅, 옹홍우, 소원호	p. 199

오후 15:30 ~ 16:30 - 정보종합센터 211호		T4-3 : 통신 기술 (3)
번호	좌장 : 정진용 교수 (순천대학교)	
1	저전력처리를 지원하는 셀스케줄러 iSLIP - 김병엽, 박성모	p. 205
2	가속도 센서의 충격량을 이용한 보행 측정기 구현 - 정주현, 나승유, 신대정	p. 209
3	3개의 전송 안테나를 이용한 Quasi-Orthogonal STBC 전송블록 구현 - 송재열, 박성모	p. 213
4	☆ UDT 환경에서 패킷 로스를 위한 효율적인 혼잡제어 방안에 관한 연구 - 박종선, 김승해, 조기환	p. 217

# 2.14GHz 대역 F급 고효율 GaN-HEMT 전력 증폭기 설계

김영규<sup>1</sup>, 심성운<sup>2</sup>, Girdhari Chaudhary<sup>3</sup>, 정용채<sup>4</sup>

## A High Efficiency Class-F GaN-HEMT Power Amplifier Design at 2.14GHz

Younggyu Kim<sup>1</sup>, Sungun Shim<sup>2</sup>, Girdhari Chaudhary<sup>3</sup>, Yongchae Jeong<sup>4</sup>

### 요 약

본 논문에서는 2.14GHz 대역에서 동작하는 F급 고효율 GaN 전력 증폭기를 제안하였다. 이를 위해서 새로운 고조파 차단 부하 회로를 제안하고, F급 전력 증폭기의 효율 향상에 있어서 큰 기여도를 갖는 2차와 3차 고조파의 중단 임피던스를 제어한다. 제안된 부하 회로는 고조파를 억압하기 충분한 24 dB이상의 감쇠 특성과 0.11 dB의 삽입 손실을 보이며, 이를 통해 동작 주파수의 신호에는 미소한 신호감쇠 영향을 주면서 고조파 특성은 충분히 차단 할 수 있는 F급 전력 증폭기를 설계 하였다. 제작된 F급 고효율 GaN 전력 증폭기의 측정 결과는 최대 출력( $P_{1dB}$ ) 43.8 dBm에서 드레인 효율 75.8%, 전력부가효율 70.8%를 보였다.

### 1. 서 론

전력 증폭기는 전체 시스템 효율에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 전력 증폭기의 효율 증대는 기지국 및 중계기 측면에서 증폭기의 냉각 시스템 사용 비용을 감소시킬 수 있으며, 단말기 측면에서는 배터리의 수명을 증가시킬 수 있다.

그동안 전력 증폭기의 효율 증대를 위해서 다양한 방법이 제시되어 왔다. 그 중 대표적인 증폭기로 E급 전력 증폭기와 F급 전력증폭기가 제시되어 왔다. E급 전력 증폭기의 경우 회로는 비교적 간단한 반면 출력 전력이 캐패시턴스에 따라 변하기 때문에 민감도가 높아 대전력 증폭기를 구현하기에 어려움이 따른다. F급 전력 증폭기의 경우에는 전류와 전압의 파형이 겹치지 않을 때 증폭기가 최대 출력이 나오게 고조파 성분을 제어하는 방식을 선택한다. F급 전력 증폭기의 장점은 전력 밀도가 높고 외부 회로만으로 고조파 성분을 제어하여 증폭기의

효율을 높일 수 있어 쉽게 접근이 가능하다. 하지만 모든 고조파 성분을 제어하는 것은 회로가 복잡해지기 때문에 현실적으로 불가능하다 [1]~[3].

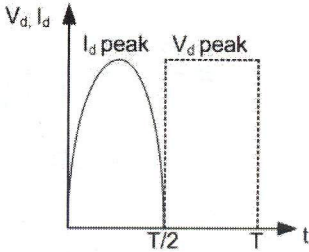
이러한 F급 전력 증폭기를 구현하는 다양한 형태의 연구가 활발하게 진행되어 왔다. F급 전력 증폭기의 전압, 전류 파형을 수식적으로 분석한 연구[4], E-pHEMTFET 트랜지스터를 이용하여 작은 사이즈를 갖는 F급 전력 증폭기에 대한 연구[5], LD MOSFET으로 F급 전력 증폭기를 구현한 연구[6] 등이 제시되어 왔지만, 낮은 주파수와 출력 파워가 단점이었다. 또한, 그동안 제시되어 왔던 고조파 차단 부하 회로는 단락 스테브가 전력 증폭기의 트랜지스터의 출력 단에 밀착되어 있어서 구현 시 트랜지스터와의 이격등이 문제가 되어왔다.

본 연구에서는 증폭기의 효율 향상에 가장 큰 기여도를 갖는 2차와 3차 고조파 성분을 제어하는 새로운 고조파 차단 부하 회로를 제안

<sup>1</sup> 전북대학교 전자정보공학부 정보통신연구센터 (Dept of Electronic & Comm. Engineering Institute of Information and Communication Research, Chonbuk National University), (e-mail : ycjcong@jbnu.ac.kr)

하고 2.14GHz대역에서 동작하는 F급 GaN 전력 증폭기를 설계하였다.

## 2. 이론



(그림 1) 이상적인 F급 전력 증폭기의 전압과 전류 파형.

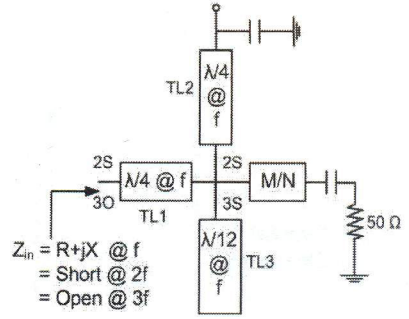
그림 1은 이상적인 F급 전력 증폭기의 전압과 전류 파형이다. 이상적인 F급 전력 증폭기는 사인 반파의 전류 파형과 사각파 모양의 전압 파형이 서로 겹치지 않게 하는 것이다. 전류와 전압의 파형을 각각 푸리에 급수로 표현하면 수식 (1)과 (2)로 표현 할 수 있다.

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

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

수식에서 보듯이, 전류 파형과 전압 파형은 각각의 짝수 차수, 홀수 차수의 고조파 성분과 DC값으로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다. 만약, 고조파 차단 회로망의 짝수 차수 고조파 임피던스를 단락, 홀수 차수 고조파 임피던스를 개방조건으로 구현한다면, 전류 전압 파형이 서로 겹치지 않게 되어 고조파에서 소모되는 전력을 제거함으로써 전력 증폭기의 효율 향상을 기대할 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 F급 전력 증폭기용 고조파 차단 부하 회로의 회로도이다. 이 회로망은 2차와 3차 고조파 성분을 제어하는 두 개의 병렬 선로로 구성되어 있다. 전송선로 TL2와 TL3는 짝수 차수와 홀수 차수의 고조파에서 고조파 차단 특성을 제공하기 위한 것으로 종단이 각각 단락과 개방으로 되었다.



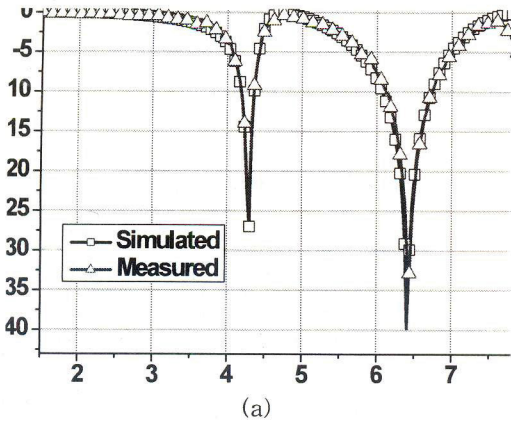
(그림 2) F급 전력 증폭기의 제안된 부하 회로망.

그 물리적 길이는 기본파(f)에서  $\lambda/4$ 와  $\lambda/12$ 다. 2차(2f)와 3차(3f) 고조파에서 TL2와 TL3의 전기적 길이가  $\lambda/2$ 와  $\lambda/4$ 로 보이게 되어 TL1과의 연결점에서 TL2와 TL3의 입력 임피던스는 단락 임피던스(2S,3S)를 제공한다. 이 TL1, TL2 그리고 TL3 연결점에서의 단락 임피던스들(2S,3S)은 후단의 기본파 정합회로(M/N)의 조건에 관계없이 일정하게 유지된다. 이 단락 임피던스들(2S,3S)은 기본파에서 물리적 길이가  $\lambda/4$ 인 전송선로 TL1에 종단된다. 전력 증폭기의 출력단에서 바라본 입력 임피던스( $Z_{in}$ )는 2차와 3차 고조파에서 각각 단락 임피던스(2S)와 개방 임피던스(3O)로 변환된다. 이때 TL2의 전기적 길이는 전력 증폭기에 DC 전력을 제공하는 목적도 수행하기 위해 기본파에서  $\lambda/4$ 로 선택되었다.

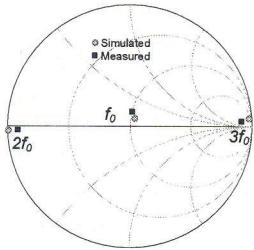
## 3. 시뮬레이션 및 측정

제안된 F급 전력 증폭기용 고조파 차단 부하 회로망의 타당성을 보이기 위해 EM 시뮬레이터인 Ansoft사의 HFSS 11을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 전력 증폭기의 동작 주파수는 WCDMA 기지국용 하향 주파수 대역인 2.11 ~ 2.17 GHz로 설정하였으며, 중심주파수인 2.14 GHz에서 특성을 고찰하였다. 시뮬레이션과 측정에 사용된 기판은 유전율 ( $\epsilon_r$ )이 2.2이고 두께 ( $h$ )가 31 mil이며 동판의 두께 ( $t$ )가 1 Oz인 Rogers사의 RT/duroid 5880이다.

그림 3은 제안된 고조파 차단 부하 회로의 시뮬레이션과 측정 결과를 나타낸다. 그림 3(a)는 동작 주파수의 2차와 3차 고조파에서 부하 회로의 감쇠 특성이 F급 전력 증폭기의 고조파 역압에 충분한 24 dB 이상의 값을 보이고 있다.



(a)



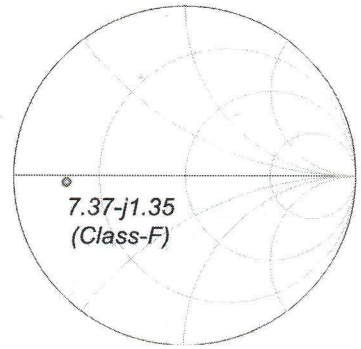
(b)

(그림 3) 제안된 고조파 차단 부하 회로의 시뮬레이션 및 측정 결과 : (a)전달 특성, (b)입력 임피던스.

그림 3 (b)는 전력 증폭기의 출력단에서 바라본 입력 임피던스를 스미스 차트에 나타낸 것으로 기본파에서는 50 Ω근처에 위치하면서 2차와 3차 고조파에서는 각각 단락과 개방 특성을 가짐을 보인다.

그림 4는 2.14 GHz에서 트랜지스터로부터 최대 출력 (43.8 dBm)을 얻을 수 있는 출력 정합점을 나타내고 있다. 바이어스 조건은  $V_{ds}=28V$ ,  $I_{ds}=10mA$ 로서 B급 바이어스를 가하였다. 사용된 트랜지스터는 GaN FET으로 Nitronex사의 NPTB00025 이며, 출력 정합점은 Load-pull기법을 이용하여 추출하였다. 최대 출력 전력을 위한 최적 부하 임피던스는  $7.37-j1.35\Omega$  이다.

그림 5는 제작된 전력 증폭기들의 전기적 특성들을 2.14 GHz에서 측정하여 나타낸 것이다. 고조파 차단 부하 회로의 적합성을 보이기 위해 고조파 차단을 하지 않은 B급 증폭기와 본 논문에서 제안한 고조파 차단 부하 회로를 사용한 F급 전력 증폭기의 드레인 효율 (Drain

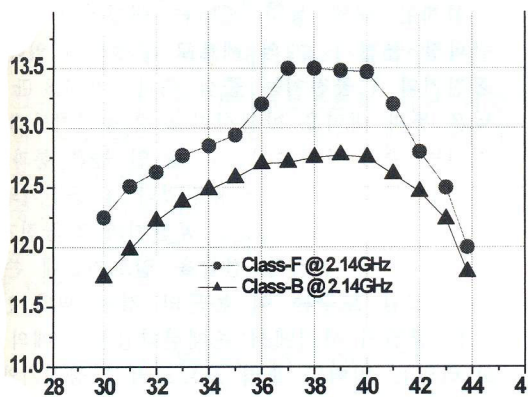
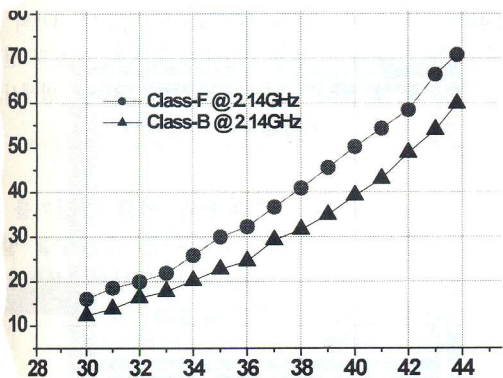
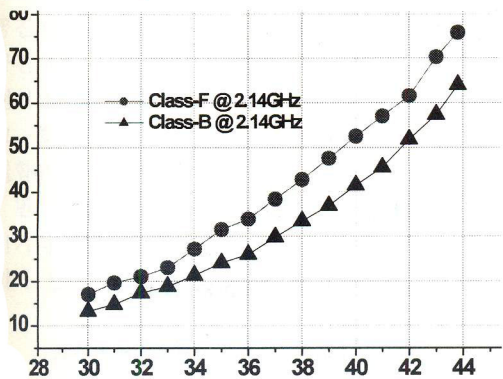


(그림 4) 전력 증폭기의 출력 정합점.

Efficiency:DE), 전력부가효율(Power Added Efficiency:PAE), 그리고 이득을 각각 측정하고 함께 비교하였다. 2차와 3차 고조파를 차단한 F급 전력 증폭기의 최대출력( $P_{1dB}$ )은 43.8 dBm이고, DE는 75.8 %로써 64 %를 보인 B급 전력 증폭기보다 11.8 %의 효율 증대를 얻었다. 또한 PAE는 최대출력( $P_{1dB}$ ) 43.8 dBm에서 F급 전력 증폭기는 70.8 %로 56.6 %를 보인 B급 전력 증폭기보다 14.2 %의 효율 증대를 얻었다. 이는 제안된 F급 전력 증폭기가 고조파 성분의 제거를 통해 효율을 높일 수 있는 효과적인 방법인 것을 증명하고 있다. 이득은 최대출력( $P_{1dB}$ )에서 B급 전력 증폭기는 11.3 dB, F급 전력 증폭기는 12 dB를 얻었다. 고조파 차단으로 전력 증폭기의 이득을 높일 수 있었으며, 이는 DE보다 PAE에서 두 증폭기의 성능 차이를 확실히 구별할 수 있게 하였다. 제안된 고조파 차단 부하회로의 단락 및 개방 선로는 기본파에서  $\lambda/4$ 의 물리적 길이만큼 트랜지스터와 이격되어 있어서 중전의 고조파 차단 부하회로와 비교할 때 전력 트랜지스터와의 접합문제에서 자유롭다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 F급 전력 증폭기를 설계하기 위한 새로운 고조파 차단 부하 회로를 제안하였다. 제안된 고조파 차단 부하 회로를 WCDMA 기지국 하향 링크 주파수 대역인 2.14 GHz에서 설계하였다. 제안된 부하 회로는 2차와 3차 고조파에서 F급 전력 증폭기의 고조



(그림 5) 제작된 F급 전력 증폭기와 B급 전력 증폭기의 측정 결과 비교 : (a) 드레인 효율, (b) 전력부가효율, (c) 이득

파들을 억압하기에 충분한 24 dB이상의 감쇠 특성을 보였다. 부하 회로의 입력 임피던스는 F급 전력 증폭기의 효율을 향상시킬 수 있도록 요구되는 2차와 3차 고조파에서의 단락 및 개방 조건을 충분히 충족하면서 기본파에서 0.11 dB의 작은 삽입손실을 가진다. 제작된 F급 전

력 증폭기는 B급 전력 증폭기보다 드레인 효율, 전력부가효율, 그리고 이득 특성이 매우 우수함을 보였다.

최근 통신기술의 발달로 여러 종류의 통신 서비스 시장이 제공되고 있다. 이러한 통신 서비스를 효과적으로 이용하기 위해서는 Multi-mode/band용 기지국/중계국 전력 증폭기의 개발이 시급하다. 본 연구에서 제안한 고조파 차단 부하 회로는 2.14 GHz대역의 F급 전력 증폭기에만 적용하였으나, 이를 응용할 경우 이중 대역(Dual-band) 고조파 차단 부하회로의 설계가 가능하다. 현재 이중 대역 고조파 차단 부하 회로의 설계 및 제작은 완료하였으며, 향후 이중 대역 F급 전력 증폭기의 설계 및 제작이 연구 중이다.

참고문헌

- [1] Steve C. Cripps, *RF Power Amplifiers For Wireless Communications*, Artech House, 2006.
- [2] Andrey. V. Grebennikov, " *Circuit design technique for high efficiency class F amplifier*," IEEE MTT-S Digest, vol. 2, pp. 771-774, Jun. 2000.
- [3] 김정준, 문정환, 김장현, 김일두, 전명수, 김범만, "2.14-GHz 대역 고효율 Class-F 전력 증폭기 개발," 한국전자파학회논문지, 18권 8호, pp. 873-879, 2007년 8월.
- [4] Frederick H. Raab, "Class-F power amplifier with maximally flat waveforms," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no.11, pp. 2007-2012, Nov, 1997.
- [5] Chanmin Lee and Youngcheol Park, "Design of Compact-sized class-F PA for wireless handset applications," *IEEE International Microwave Symposium Proceedings*, pp. 405-408, June. 2009.
- [6] Youngwoo Yang, Youngun Woo, Jaehyok Yi and Bumman Kim, "A new empirical large-signal model of Si LDMOSFETs for high-power amplifier design," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Ttechniques*, vol. 49, no. 9, pp. 1626-1633, Sep. 2001.