

論文2002-39TC-9-6

# 셀룰러용 단말기의 포락선 추적 증폭기의 효율 개선회로에 관한 연구

## (Study of Improved Efficiency Circuit for Envelope Tracking Amplifier in Cellular Radio Handset)

鄭秉九\*, 姜仁鎬\*, 沈俊煥, 朴東國\*\*, 金柱淵\*\*\*

(Byeong-Koo Jeong, In-Ho Kang, Jun-Hwan Sim, and Dong-Kook Park, and Joo-Yoen Kim)

### 요약

최근 RF 입력레벨의 크기에 따라 공급되는 바이어스를 변화시켜 효율을 개선하는 포락선 추적 증폭기를 CDMA방식을 채택하는 단말기의 전력증폭기로 사용하려고 시도되고 있다. 그러나 포락선 추적 증폭기는 바이어스가 변함에 따라 증폭기의 입력과 출력 임피던스가 변화되어 이득이 감소하고 효율이 떨어지며 VSWR특성이 악화되는 본질적인 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 부정합 문제와 증폭기에서의 이득 및 효율을 개선한 2가지 형태의 포락선 추적증폭기를 제안하였다. 실험적으로 바랙터 다이오드를 이용한 포락선 증폭기의 경우 이득은 약 7dB 개선되었으며, 전력소모는 일반 전력 증폭기에 비해 약 60%개선되었고, 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기의 경우 전력 소모는 40%, 이득은 9dB의 개선 효과가 있었다.

### Abstract

Recently, a envelope tracking(ET) amplifier that improves efficiency by changing of the bias according to the RF input level is presented to use for a high power amplifier of cellular radio handset using CDMA. The input and the output impedances of the ET amplifier may be varied by changing of the bias of the amplifier, and it makes the amplifier having low gain, low efficiency, and high input and output VSWR. In order to improve the input and the output mismatch of the amplifier, in this paper, two types of ET amplifier are suggested. In case of an ET amplifier using varactor diode, in experimentation, gain is improved about 7dB and the power consumption of the amplifier is better about 60% than that of the conventional amplifier. In case of a base voltage controlled ET amplifier, the gain and power consumption of the amplifier is improved about 9dB and 40% than those of the conventional amplifier, respectively.

**Keywords**: 포락선 추적 증폭기, 효율 개선, 바랙터 다이오드, 베이스 전압 변화형

\* 正會員, 韓國海洋大學校 電波工學科

(Dept. of Radio Science & Eng, Korea Maritime University)

\*\* 正會員, 韓國海洋大學校 電子通信工學科

(Dept. of Electronic & Communication Eng, Korea Maritime University)

\*\*\* 正會員, 엔알디 株式會社

(NRD Corporation)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적 기초 연구(R01-2001-00298)지원으로 수행되었음.

接受日字:2002年5月22日, 수정완료일:2002年8月27日

### I. 서론

최근 이동통신, 위성통신 등 무선통신을 이용한 개인 통신기기의 수요가 점차 확대되면서, 무선 통신 서비스의 품질도 소형화, 다양화, 광대역화, 고품질화가 요구되고 있다. 이렇게 발전하는 무선통신 서비스에서 가장 큰 문제가 되고 있는 것은 배터리 수명이 짧다는 것이다. 특히 앞으로 상용화될 IMT-2000과 같은 3세대 통신에서는 음성뿐만 아니라 데이터, 화상통신등 다양한 기능이 요구되므로 배터리 수명의 연장이 큰 과제로 떠오르고 있다. 현재 단말기내에서 고출력 증폭기(Power Amplifier Module, PAM)는 단말기의 전체 직류전력의 60%에서 70%까지 소모하는 것으로 알려져 있으므로 저전력을 소모하는 증폭기 개발은 중요한 과제이다. CDMA방식을 사용하는 단말기의 전력증폭기에서 저전력 소모를 위해 낮은 동작점에서 동작시키게 되면 spectral regrowth현상이 생기며, 이로 인해 ACPR (Adjacent Channel Power Ratio)특성이 급격하게 악화되고, 2차 효과로써 변조 정확도까지 떨어지는 경향이 있다.

최근 그림 1과 같은 단말기에서 출력되는 출력레벨에 대한 확률 분포 함수(PDF: Probability distribution function)<sup>[1]</sup>에 따르면 단말기와 기지국사이의 거리의 변화, 세도우, 페이딩 등으로 인하여 단말기에서 출력되는 출력 레벨은 0dBm 전후가 대부분의 확률을 차지하고, 최대출력이 출력될 확률은 1%전후인 것으로 발표되었다. 그러나 현재 사용되고 있는 전력 증폭기의 동작점은 최대 출력이 나오는 높은 바이어스 전압에 고정되어 있으므로 전력의 낭비가 매우 심하다. 이를 해결하기 위해 Hanington<sup>[2,3]</sup>은 변화하는 입력의 크기에 따라 바이어스

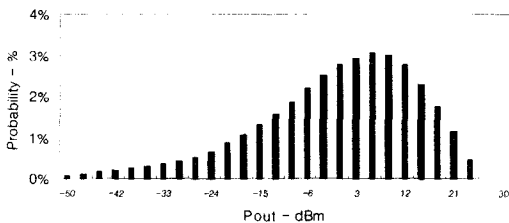


그림 1. IS-95B CDMA 역방향 링크에서 전력 증폭기의 출력 전력에 따른 확률 분포함수

Fig. 1. Probability distribution function of output power of RF power amplifier for reverse link IS-95B CDMA.

전압을 조절하는 포락선 추적 증폭기를 제안하였다. 그러나 이러한 포락선 추적 증폭기는 동적 바이어스로 인하여 RF 전력 신호의 크기에 따라 증폭기의 입력과 출력 임피던스가 변화하게 된다는 본질적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 임피던스의 변화는 포락선 추적 증폭기의 이득 및 효율을 떨어뜨리고 입·출력 VSWR을 악화시켜 전력증폭기의 손상이나 파손등의 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 입·출력의 임피던스 변화를 보정한 포락선 추적 증폭기를 제안하고자 한다. 바랙터 다이오드를 사용하는 방법과 스위치를 사용한 베이스 전압 변화형 방법으로, 두 가지 방식의 포락선 추적 증폭기의 특징을 살펴보고, 두 가지 방법 모두 부정합의 개선에 따른 이득 및 효율의 개선 효과에 대해 실험적으로 증명하였다.

### II. DC-DC 변환기를 이용한 포락선 추적 증폭기

Hanington<sup>[3]</sup>에 의해 제안된 포락선 추적 증폭기는 RF 입력 신호가 인가되면 커플러에 의해서 포락선 검파기(Envelope Detector)와 전력증폭기로 각각 신호가 분배된다. 분배된 신호는 포락선 검파기를 거쳐 전력 크기에 따라 DC-DC 변환기<sup>[4]</sup>를 통해 적합한 바이어스 동작점을 조정한다. 이것은 그림 2에 의해 D점과 B점의 이동으로 표현된다. 그림 2에 의하면 RF 전력 크기가 낮을 때는 D점에서 동작하게 하고 RF 전력이 점점 높아짐에 따라 B점으로 동작점이 이동하면서 동작하게 한다. Nishimura<sup>[5]</sup>의 실험결과에 따르면 증폭기의 정합 지점을 낮은 전력 크기에서 잡는다면 높은 전력 크기의 입력에 대해서 부정합이 발생한다. 이러한 높은 전력에서의 부정합으로 인하여, 높은 전력이 인가될때 효율이 저하되고 이득이 감소하며, DC-DC 변환기의 용량이 증가되고 잡음 특성이 악화된다. 뿐만 아니라 DC-DC 변환기의 용량 증가는 DC-DC 변환기가 PWM(Pulse Width Modulation)방식으로 동작되므로 낮은 신호에서의 DC-DC 변환기의 변환 효율을 낮게 하는 요인이 되어 포락선 추적 증폭기의 평균 효율을 떨어뜨린다. 반대로 높은 전력 신호에 대해서 정합 지점을 잡으면, 낮은 전력 신호에 대해서 부정합이 발생하게 될 것이다. 따라서 사용빈도가 가장 많은 낮은 크기에서 이득과 효율이 감소하게 된다.

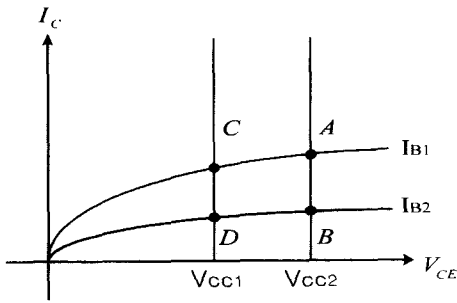


그림 2. 증폭기의 RF전력에 따른 동작점 변화  
Fig. 2. The bias point variation of envelope tracking amplifier.

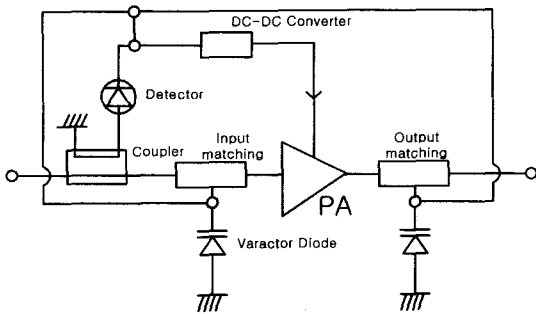


그림 3. 포락선 추적 증폭기의 임피던스 보정 회로  
Fig. 3. ET amplifier which impedance is compensated.

이런 부정합 문제를 개선하기 위해 개선된 회로를 그림 3에 나타내었다. 여기서 Hanington<sup>[3]</sup>에 의해 제안된 포락선 추적 증폭기의 입력과 출력측의 보정회로에 바랙터 다이오드를 추가하였다. 이는 바랙터 다이오드가 역방향 전압이 걸렸을 때 캐패시턴스 성분이 변화한다는 점에 착안하여 전력 증폭기의 전력 레벨이 낮은 경우와 높은 경우에 입력 신호를 직류신호화 하여 이것을 바랙터 다이오드에 역방향 전압으로 걸어주면 부정합되는 임피던스 부분을 보정할 수 있어서 전력증폭기의 부정합 문제를 해결할 수 있다.

본 논문에서 실험에 사용된 전력증폭기는 Conexant사의 RM914 전력 증폭기를 사용하였다. 실험에 사용된 RM914 PAM은 내부 매칭이된 패키지 소자로서 공급전압은 3.4V이고 베이스 인가 전압은 3V이고 콜렉터 전류는 100mA, 주파수는 800MHZ대에서 동작하는 고효율, 저전압에서 동작하는 증폭기이다. PAM의 내부구조는 2개의 증폭기로 구성된 RFIC회로로서 중간단에 가변 캐패시터를 삽입할 수 없다. 따라서 전력증폭기의 입력과 출력에 정합회로를 연결하였다. 이는 전력증폭기의 중간

단 부분의 부정합이 입력과 출력 부분에 그대로 반영이 되기 때문에 가능하다고 사료된다<sup>[6]</sup>. 포락선 추적 증폭기의 바이어스와 출력 레벨에 따른 입력과 출력 임피던스를 구하기 위하여 그림 4와 같이 회로를 구성하였다. 최대의 이득이 나오게 튜너를 조절하여 PAM의 최적의 입·출력 임피던스를 구한다. 그리고 각각의 튜너의 S 파라미터를 추출하여 보정회로를 제작하였다. 그림 5에 PAM의 최적의 입·출력 임피던스를 나타내었다. 여기서  $Q_{i1}$ 와  $Q_{o1}$ 는  $V_{CC}=1.5V$ 로 낮은 RF신호가 인가될 때의 이득이 최대가 되는 튜너의 입력과 출력의 임피던스이고,  $Q_{i2}$ 와  $Q_{o2}$ 는  $V_{CC}=3.0V$ 로 높은 신호에 대한 이득이 최대가 되는 입력과 출력의 튜너의 임피던스이다. 낮은 입력에서  $Q_{i1}$ 와  $Q_{o1}$ 에 일치하도록 입력과 출력 정합회로를 설계하여 기존 전력 증폭기에 연결하였다. 이때 바랙터 다이오드의 역방향 전압은 0V이다. 높은 입력에서는  $Q_{i2}$ 와  $Q_{o2}$ 로 입력과 출력 임피던스가 변하기 때문에 바랙터 다이오드를 사용하여 보정 회로를 설계하였다. 이 실험에서는 바랙터 다이오드의 전압은 3.5V를 넘지 않고 보정이 되도록 하였으며, 0dBm 입력에서 0V~3.5V까지의 전압을 변화시켰을 때 위상 변

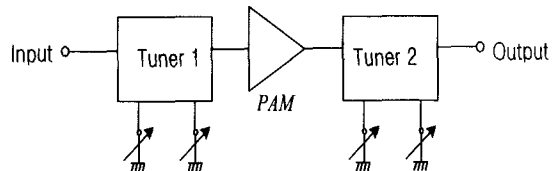


그림 4. 바이어스에 의해 변화하는 임피던스의 측정 회로도  
Fig. 4. The optimal impedance measurement diagram with variable bias points.

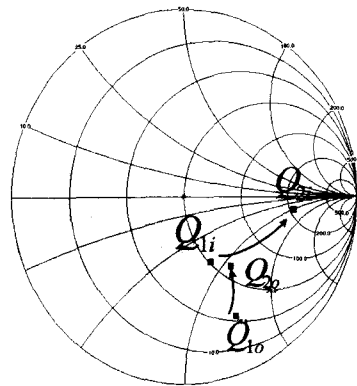


그림 5. 입력단과 출력단의 최적 임피던스 추적  
Fig. 5. Optimal impedance tracking of the input stage according to bias points.

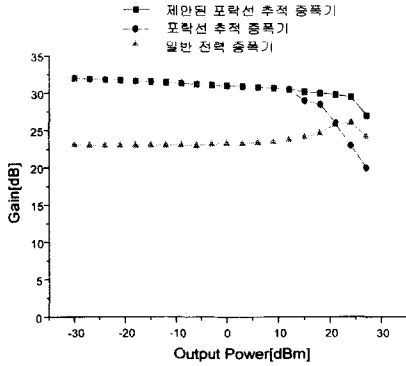


그림 6. 출력 전력에 따른 이득 특성  
Fig. 6. A gain versus output power.

화는 약 20° 정도 변하는 것으로 나타났다.

입·출력 보정회로에 바랙터 다이오드를 연결한 실험 결과 전력증폭기가 동작점 및 입력 전력 레벨이 변할 때 부정합되는 부분에 대하여 임피던스가 보정된 포락선 추적 증폭기의 이득 곡선을 그림 6에 나타내었다. 실제 보상회로가 없는 증폭기에 비해 7dB정도의 이득 개선효과가 있었고 기존의 포락선 추적 증폭기에 비해 높은 신호가 인가될 경우 부정합에 의해 이득이 현저히 감소하는 것을 개선할 수 있다. 그리고 그림 7은 증폭기의 전력 소모량과 출력 전력에 대해 사용 빈도를 나타낸 확률분포함수를 나타내고 있는데 제한된 포락선 추적 증폭기의 경우 전력소모량이 동작점이 고정되어 있는 전력 증폭기 보다 소모 전력이 급격하게 개선되는 것을 확인할 수 있다. 출력이 0dBm에서 소모되는 전력이 각각 0.5W와 0.15W 정도로서 대부분 통화가 이루어지는 0dBm에서의 전력 소모는 약 3.5배 정도개선 되었다.

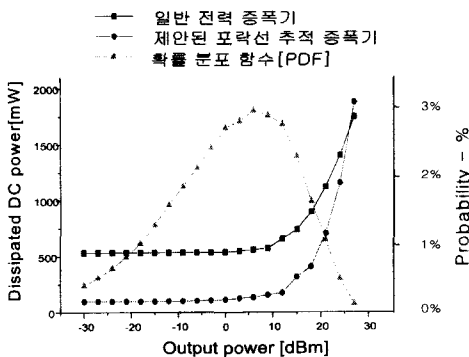


그림 7. 출력 전력에 따른 소모된 DC 전력과 확률 분포 함수  
Fig. 7. DC Power and PDF as function of output power.

### III. 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기

DC-DC 변환기를 이용한 포락선 추적 증폭기의 경우 그림 2에 의하면 RF 전력 크기가 낮을 때는 D점에서 동작하게 하고 RF 전력이 높을 때는 B점에서 동작하게 한다. 그러나 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기의 경우 동작점은 높은 입력전력의 경우 A점에서 동작을 하고 낮은 입력전력이 인가 될 경우 B점에서 동작하게 된다. 여기서 기존의 포락선 추적 증폭기에서의 DC-DC 변환기는 출력에서 DC신호와 함께 변조 주파수의 신호도 같이 출력되기 때문에 출력단에 저역통과 여파기가 필요하게 되고 여파기를 통과한 DC신호라고 하더라도 DC-DC 변환기 출력 DC 신호가 너무 크기 때문에 미약한 변조 주파수는 여전히 존재하여 전력증폭기의 ACPR특성을 악화시키는 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

이런 DC-DC 변환기의 문제점을 개선하기 위해 그림 8의 회로는 DC-DC 변환기를 사용하지 않고 입력신호에 비례하는 DC전압을 베이스 방향으로 인가하여 베이스 전압을 조절하는 방법을 제안하였다. 여기서 베이스 전압의 변화 크기는 실험에 쓰인 PAM의 경우 변화폭이 약 0.3V정도로서 DC-DC 변환기를 사용하지 않고 전압 조절기만으로도 사용 가능하다.

그림 8과 같이 변화하는 RF신호에 대하여 그 신호와 비례하는 DC 전압을 추출하기 위하여 방향성 결합기와 포락선 검출기를 사용하여 전력레벨에 따라 그 값에 비례하는 직류전압을 도출한다. 이 직류전압은 전압 조절기에 의하여 베이스 전압으로 인가되어 변화하는 RF 전력신호에 비례하는 DC전압을 공급하여 베이스 전류

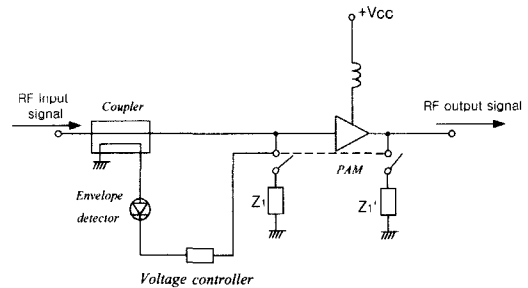


그림 8. 스위치를 이용한 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기  
Fig. 8. A base voltage variation envelope tracking amplifier using switches.

를 변화시켜 소모전력을 줄이려는 방법이다<sup>[7]</sup>. 그리고 부정합을 개선하는 방법으로는 낮은 신호가 출력될 확률이 높으므로 낮은 신호가 입력될때는 스위치가 off되어 낮은 신호에 대해 정합회로를 구성하고 다음으로 높은 신호가 인가될 경우 임피던스가 보정 되어 있는  $Z_1$  과  $Z_1$  의 스위치가 on이 되어 입력과 출력의 임피던스를 보정하게 된다. 여기서의 보정 방법은 높은 신호가 인가될때 와 낮은 신호가 인가될때 2가지에 대해서만 입·출력에 대해 보정하는 방법이다.

실험에서 베이스 전압의 변화범위가 현재 상용으로 쓰는 Conexant사의 RM912 제품의 경우 2.7V에서 3.0V까지 변화하게 하였다. 즉 RF 신호전력이 낮은 경우 2.7V에서 베이스 전압이 동작되도록 하고, RF 신호 전력이 높으면 3.0V에서 동작이 되도록 사용하면 RF전력 변화에 따른 동작점의 변화를 그림 2와 같이 A에서 B로 유도하여 낮은 전력이 출력될 때 불필요한 전력 소모를 막을 수 있다. 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기의 최적의 임피던스도 비록터 다이오드를 이용한 포락선 추적 증폭기와 같은 방법을 사용하여 측정하였다.

그림 9는 5개의 샘플 전력증폭기에 대하여 베이스 전압이 2.7V로 인가될때 최대 이득을 나타내는 튜너의 입력과 출력의 임피던스를 나타내고, 그림 10은 베이스 전압이 3V로 인가될때 최대 이득을 나타내는 튜너의 입력과 출력 임피던스를 나타내었다. 낮은 입력은 -30dBm으로 하였고 높은 입력은 0dBm으로 하여 나타내었다. 여기서 임피던스가 약간씩 오차가 발생하는 것은 PAM의 제조 공정상에 발생한 약간의 오차로 사료된다.

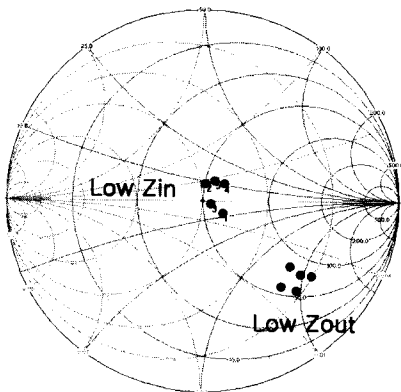


그림 9. 작은 신호 입력에서 입력단과 출력단의 최적의 임피던스  
Fig. 9. Input and output optimal impedance trace in low power.

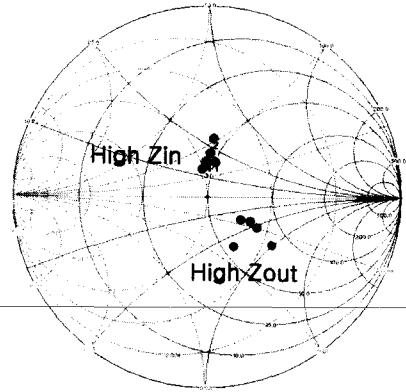


그림 10. 큰 신호 입력에서 입력단과 출력단의 최적의 임피던스  
Fig. 10. Input and output optimal impedance trace in high power.

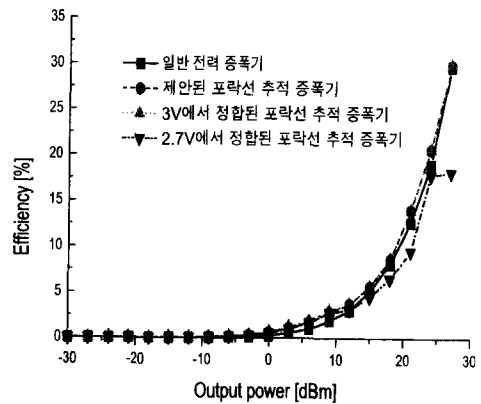


그림 11. 출력 전력에 대한 효율 특성  
Fig. 11. The efficiency according to the output power level.

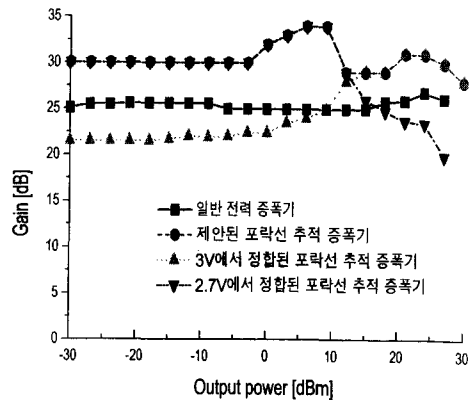


그림 12. 출력 전력에 대한 이득 특성  
Fig. 12. The gain according to the output power level of power amplifier.

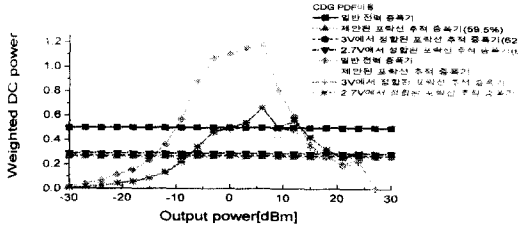


그림 13. CDG의 확률분포함수를 적용한 전력에 대한 가중된(weighted)된 소모 직류 전력 특성  
 Fig. 13. The weighted DC power consumption and average DC power consumption by CDG of PDF.

그림 11에서 그림 13까지 튜너를 이용하여 도출한 실험 결과이다. 실험 결과 그림 11에서 베이스 변화형의 경우 포락선 추적 증폭기에서 전력이 낮은 부분에서 정합된 회로는 전력이 높게 되면 이득이 10dB정도 감소되었다. 반대로 높은 전력에서 정합된 회로는 낮은 전력이 출력될 때 이득이 8~9dB 감소하는 것을 확인하였다. 여기서 베이스 전압 변화형 포락선 증폭기의 경우 10dBm 근처에서 이득폭선이 떨어지는 것은 낮은 신호에 보정되어 있던 회로가 높은 신호에 보정된 회로로 변화되면서 부정합의 원인으로 사료된다. 이 때, 베이스 전압 변화형 증폭기의 경우 전력이 낮은 전력 부분에서는 높은 전력에 보정된 증폭기 보다 8dB정도의 개선효과가 있었고, 높은 전력 부분에서도 마찬가지로 낮은 전력에 보정된 증폭기 보다 8dB정도의 개선효과가 있는 것을 확인하였다. 전반적으로 기존의 동작점이 고정된 PAM보다도 이득 특성이 우수함을 알 수 있다.

그림 12는 RF신호 전력에 따른 이득을 나타낸다. 낮은 입력에서 정합된 회로의 경우 최대 출력에서의 효율은 18%정도가 되는데 비하여, 논문에서 제안한 회로의 경우 효율이 30%정도가 됨을 확인하였다. 그림 13은 각각의 RF 출력 레벨에 따라 CDG(Cellular Data Group)에서 제시한 확률 분포 함수에 각각의 출력 신호에 따르는 소모전력을 곱하여 나타내었다. Lilja에 의하면 확률 분포 함수와 전력증폭기에서 소모되는 전력으로부터 기존의 전력증폭기보다 상대적으로 어느 정도의 직류 전력의 저축효과가 있는지 알 수 있다<sup>[8]</sup>. 베이스 변화형의 경우 고정 바이어스 증폭기보다 전력소모가 평균적으로 약 2배 정도의 개선 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 이것은 만약 전력증폭기가 전체 전력에 60%를 차지한다고 가정하면 임피던스가 보정된 동적 바이어스 증폭기의 전력 소모는 기존의 전력 증폭기에 비해 CDG

의 데이터를 적용할 경우 약 59.5%정도 소모되는 것을 의미한다.

#### IV. 결론

포락선 추적 증폭기는 CDMA방식을 사용하는 이동통신 단말기에서 효율과 이득을 개선시킨다는 점에서 관심을 일으키고 있다. 그러나 이러한 포락선 추적 증폭기는 RF신호레벨이 바뀌면 동작 바이어스가 변하게 되어 입력과 출력 임피던스가 변하여 부정합 문제가 발생하고 이런 부정합에 의해 효율 및 이득이 저하되는 문제점을 실험을 통해 알 수 있었다. 이런부분을 개선하기 위해 본 논문은 2가지의 모델을 제안하였다. 첫 번째는 바랙터 다이오드를 사용한 포락선 추적 증폭기이고, 두 번째는 베이스쪽 전압을 변화시킨 스위치 형태의 포락선 추적 증폭기이었다. 두 가지 방식의 증폭기의 실험 결과 바랙터 다이오드를 이용한 포락선 증폭기의 경우 이득은 약 7dB, 평균적인 전력 절감효과가 약 60%개선되었고 베이스 전압 변화형 포락선 추적 증폭기의 경우 평균적인 전력 절감효과가 약 40%, 이득은 9dB의 개선 효과가 있었다. 현재 사용중인 고정 바이어스 증폭기에 비해 제안한 포락선 추적증폭기의 전력소모가 개선되는 것을 확인할 수 있었고, 그리고 제안된 2가지의 방법 모두 동적인 바이어스에 의해 발생하는 부정합 문제에 대해 개선 효과가 있음을 보여주고 있다.

#### 참고 문헌

[1] J. Standinger, B. Gilsdorf, D. Newman, G. Norris, G. Sadowiczak, R. Sherman, and T. Quach, "High Efficiency CDMA RF Power Amplifier Using Dynamic Envelope Tracking Technique," IEEE MTT-S Digest, pp 1843-1846, 2000.

[2] G. Hamington, P. Chen, P. Asbeck, and L. Lason, "High-Efficiency Power Amplifier Using Dynamic Power-Supply Voltage for CDMA Application," IEEE Tran. Microwave Theory Tech. Vol.47, No 8, Aug., 1999.

[3] G. Hamington, P.F. Chen, V. Radisic, T. Itoh, and P.M. Asbeck, "Microwave power amplifier efficiency improvement with a 10MHz HBT

DC-DC Converter,” IEEE MTT-S Tech. Dig., pp 589-592, 1998.

[4] F. Raab and D. Rupp, “Class-S high efficiency amplitude modulator,” RF Design, Vol. 17. No. 5, pp. 70-74, May 1994.

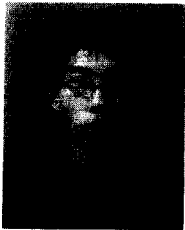
[5] T. B. Nishimura, N. wata and G. Hau, “Wide-Band CDMA Highly-Efficient Heterojunction FET over Wide Range Output Power with DC-DC Converter,” IEEE MTT-S Digest, pp 1091-1094, 1999.

[6] G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice Hall, 1997.

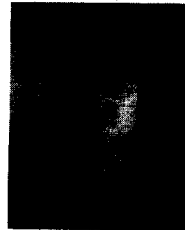
[7] 강인호, “MEMS 가변 임피던스를 이용한 이동통신 단말기의 포락선 추적 증폭기의 이득개선 회로”, 한국 특허 출원번호 : 2001-7115.

[8] H. Lilja, and H. Mattila, “W-CDMA Power Amplifier Requirements and Efficiency Optimization Criteria,” IEEE MTT-S Digest, pp 1843-1846, 1999.

저 자 소 개



鄭秉九(正會員)  
 2001년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 졸업(학사). 현재 : 한국해양대학교 석사과정. <주관심분야 : RF 회로설계 및 증폭기 설계>



朴東國(正會員)  
 1987년 2월 : 부산대학교 전자공학과(공학사). 1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사). 1994년 8월~1996년 3월 : LG전자 선임연구원. 1996년 4월~현재 : 한국해양대학교 부교수. 2000년 1월~2001년 1월 : 미국 UCLA 전기공학과 방문교수. <주관심분야 : 안테나, RF MEMS, 이동통신 부품>

姜仁鎬(正會員) 第34卷 D編 第12號 參照



沈俊煥(正會員)  
 1991년 : 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사-전자공학). 1993년 : 경북대학교 전자공학과(공학석사-반도체). 1998년 : 경북대학교 전자공학과(공학박사-반도체). <주관심분야 : 집적회로설계 및 공정, 센서

및 센서시스템(MEMS) 실리콘 마이크로머시닝기술>



金柱淵(正會員)  
 1999년 : 한국해양대학교 이공대학 전파공학과(공학사). 2001년 : 한국해양대학교 이공대학 전파공학과(공학석사). 2001년 1월~현재 : 엔알디(주) 연구원. <주관심분야 : 전력증폭기, 밀리미터파 발진기, 밀리

미터파 트랜시버>