

IEEE 802.16e Mobile WiMAX용 고효율 고풍출력 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기

Highly Efficient High Power Hybrid EER Transmitter for IEEE 802.16e Mobile WiMAX Application

김일두 · 문정환 · 김장현 · 김정준 · 김범만

Idlu Kim · Junghwan Moon · Jangheon Kim · Jungjoon Kim · Bumman Kim

요 약

본 논문에서는 효율이 특화된 전력 증폭기를 이용하여 IEEE 802.16e Mobile WiMAX용 고풍출력 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기에 대해 기술하였다. Nitronex사의 100-W PEP를 갖는 GaN HEMT 소자를 이용하여 중요한 전력 생성 V_{ds} 구간에 대하여 최대 PAE를 가질 수 있도록 전력 증폭기를 설계하였다. 고풍출력 응용을 위해서 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기는 전력 증폭기의 bias fluctuation 문제 및 바이어스 변조기의 stability 문제에 의한 regenerative 오실레이션 문제를 반드시 고려하여 설계되어야 한다. 연동 실험을 위하여, 8.5 dB의 PAPR을 갖는 포락선 신호에 대해 바이어스 변조기는 30 V의 최대 출력 전압 크기를 가지면서 72 %의 높은 효율을 유지하도록 구현되었다. WiMAX 신호를 목표로 구현된 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기는 41.25 dBm의 출력 전력에서 38.8 %의 높은 PAE 성능을 얻었다. 또한, 디지털 전치 왜곡 기술을 적용함으로써 전력 송신기의 RCE 성능은 -34.5 dB를 기록하여 WiMAX 신호의 선형화 지표를 만족시킬 수 있었다. 본 연구는 2.655 GHz 주파수 대역에서 처음으로 구현된 WiMAX용 고풍출력 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기에 관한 것이다.

Abstract

We have described a high power hybrid envelope elimination and restoration(H-EER) transmitter for IEEE 802.16e Mobile World Interoperability for Microwave Access(WiMAX) using an efficiency optimized power amplifier(PA). The PA has been designed to have maximum PAE at the important power generation V_{ds} region using Nitronex 100-W PEP GaN HEMT. For the high power application, H-EER transmitter should be considered the regenerative oscillation problem due to the PA's bias fluctuation effect and bias modulator stability issue. Therefore, the bias modulator for H-EER transmitter has been designed to suppress the regenerative oscillation. For the interlock experiment, the bias modulator has been built with the efficiency of 72 % and peak output voltage of 30 V for the envelope signal with a PAPR of 8.5 dB. The H-EER transmitter for WiMAX application has been achieved a high PAE characteristic, 38.8 % at an output power of 41.25 dBm. By using digital predistortion(DPD) technique, the Relative Constellation Error (RCE) has been satisfied the specification of -34.5 dB. This is the first work at 2.655 GHz high power H-EER transmitter for WiMAX application.

Key words : WiMAX, EER, Transmitter, Envelope Signal, GaN HEMT, DPD

「This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation(KOSEF) grant funded by the Korea government(MOST)(No. R01-2007-000-20377-0), the MIC(Ministry of Information and Communication), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Information Technology Advancement) (IITA-2008-C1090-0801-0037), and partially sponsored by ETRI SoC Industry Promotion Center, Human Resource Development Project for IT SoC Architect.」

포항공과대학교 전자전기공학과(Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology(POSTECH))

· 논문 번호 : 20080523-08S

· 수정완료일자 : 2008년 8월 6일

I. 서 론

기지국용 전력 송신기에 있어서 심각한 열 문제, 비용 그리고 안정성 측면 때문에 점점 더 높은 Power Added Efficiency(PAE) 특성이 요구되고 있다. 변조(modulation) 신호에 대해 높은 PAE 특성을 유지하기 위해서는 모든 순간 전력 구간에 대해서 높은 효율 특성을 유지해야 한다. 이와 같은 요구 조건에 가장 적절히 부합하는 구조로써 포락선 제거 및 복원(Envelope Elimination and Restoration: EER) 기법을 들 수 있다. 기존의 포락선 제거 및 복원 기술에서는 변조 신호에서 검출된 위상 신호를 입력으로 사용하게 됨으로써 전력 증폭기의 동작 대역 문제 및 낮은 PAE 특성을 가지게 되지만, 그림 1에서 보여지고 있는 하이브리드 포락선 제거 및 복원(Hybrid EER) 기법이 제안되면서 입력 변조 신호를 전력 증폭기의 입력으로 가공 없이 적용하게 됨으로써 이와 같은 문제를 극복할 수 있게 되었다^[1].

본 논문에서는 하이브리드 포락선 제거 및 복원 기술을 이용하여 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 신호에 대한 고풍력 고효율 전력 송신기의 구현에 대해 분석하고자 한다. 사용된 변조 신호는 CFR(Crest Factor Reduction) 기법이 적용되어 8.5 dB의 PAPR(Peak to Average Power Ratio)를 갖는다.

저출력 전력 송신기와는 달리 고풍력 전력 송신기는 심각한 오실레이션(regenerative oscillation) 문제가 발생할 수 있기 때문에 이는 설계에 있어서 반드시 고려되어야 할 사항이다. 따라서 본 논문에서는 그 원인을 파악하고 바이어스 변조기를 설계함에 있어서 오실레이션을 억제할 수 있도록 설계하였다.

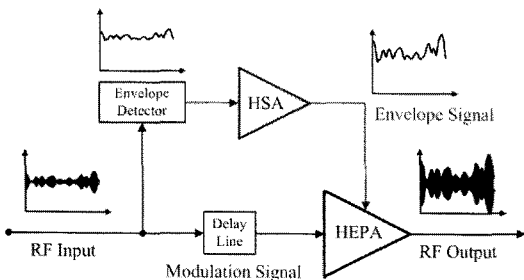


그림 1. Hybrid EER(H-EER) 전력 송신기의 구조도
Fig. 1. Architecture of the hybrid EER(H-EER) transmitter.

또한, 전력 증폭기를 설계함에 있어서 전력 증폭기가 주로 동작하는 V_{ds} 영역을 도출하여 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기가 최대 PAE 특성을 얻을 수 있도록 설계하였다.

II. 평균 V_{ds} 영역에서 고효율을 갖는 2.655 GHz 고풍력 전력 증폭기 설계

고출력 전력 증폭기를 설계하기 위해 Nitronex사의 100 W PEP(Peak Envelope Power)를 갖는 GaN HEMT를 사용하였다. 고풍력 소자의 경우, C_{ds} 가 매우 크기 때문에 소자 내부의 전류원에서 고주파 하모닉 성분에 대해 개방 임피던스를 가져가기 매우 어렵다. 따라서 Class AB 바이어스(-1.71 V)에서 2nd 하모닉 성분을 조절하여 높은 PAE 특성을 가질 수 있도록 최적화하였다. 또한, 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기가 높은 PAE 특성을 얻기 위해서는 고효율 전력 증폭기가 주로 전력을 생성하는 V_{ds} 구간에 대해서 최대 PAE 특성을 유지할 수 있어야 한다^{[2],[3]}. 하이브리드 포락선 제거 및 복원 동작을 함에 있어서 고효율 전력 증폭기의 V_{ds} 를 변조시키는 포락선 신호의 확률 분포는 식 (1)과 같은 Rayleigh 분포를 가지게 되며, 이 확률 분포 및 고효율 전력 증폭기의 전원 전력, 입력 전력 및 출력 전력에 의해 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 전체 PAE 성능을 식 (3)과 같이 정의할 수 있다^[4].

$$f(V_{ds}) = \frac{V_{ds}}{\sigma^2} * e^{(-V_{ds}^2)/(\sigma^2)}, \tag{1}$$

$$\therefore prob.(V_{ds}) = f(V_{ds}) / \max(f(V_{ds})). \tag{2}$$

$$\therefore PAE_{Avg} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} prob.(V_{ds}) * [Pout(V_{ds}) - Pin(V_{ds})] dV_{ds}}{\int_{-\infty}^{\infty} prob.(V_{ds}) * Pdc(V_{ds}) dV_{ds}}. \tag{3}$$

그림 2에서 8.5 dB의 PAPR을 갖는 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 포락선 신호의 분포를 나타내는 Rayleigh 분포를 보여주고 있다. 이 분포에서 구해진 확률 분포 $prob.(V_{ds})$ 에 대해, 전력 증폭기의 전력 크기 ($Pout(V_{ds}) - Pin(V_{ds})$) 및 $Pdc(V_{ds})$ 를 곱하게 되면, 그림 2와 같이 앞서 구해진 Rayleigh 분포에서 더 높은

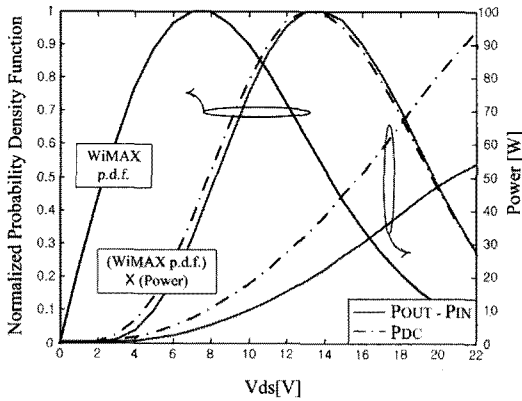


그림 2. V_{ds} 에 따른 확률 분포 함수 및 전력 분포
Fig. 2. The probability density function and power distribution versus V_{ds} of the H-EER transmitter.

V_{ds} 구간으로 이동하는 새로운 분포가 도출된다. 위에서 정의한 PAE 식을 고려했을 때, 이 분포에서 가장 높은 확률 분포를 갖는 13 V 전후의 V_{ds} 영역에 대한 전력 증폭기의 PAE 특성이 전체 전력 송신기의 평균 PAE 특성에 가장 중요한 영향을 미치게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 분석을 바탕으로 도출된 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 전력 생성 분포를 기반으로 하여, 2.655 GHz에서 설계된 전력 증폭기의 CW 신호에 대한 성능이 그림 3에 나타나 있다. 설계된 전력 증폭기는 13 V V_{ds} 에 대해서 57.3 %의 높은 PAE 특성을 얻었다. CW 신호에

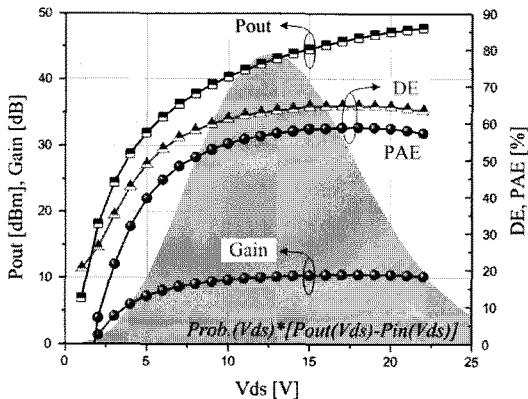


그림 3. CW 신호에 대해 설계된 전력 증폭기의 성능 그리고 전력 생성 분포도
Fig. 3. Performances and the power generation distribution versus V_{ds} of the PA for CW signal.

표 1. Matlab을 이용하여 계산된 고효율 전력 증폭기의 평균 성능(8.5 dB PAPR을 갖는 WiMAX 신호)

Table 1. The calculated average performance of high efficiency PA by using Matlab simulator for IEEE 802.16e Mobile WiMAX signal with 8.5 dB PAPR.

PAE	DE	Pout
55.65 %	62.39 %	12.03 W (40.8 dBm)

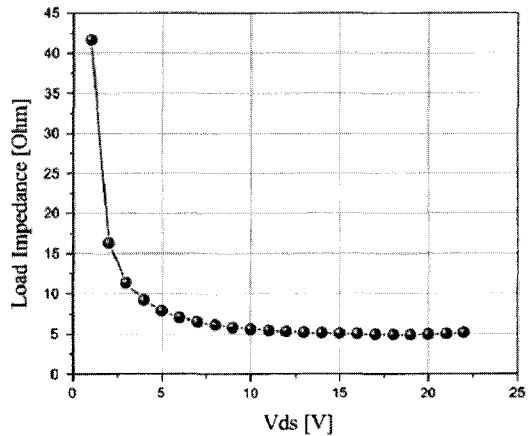


그림 4. 전력 증폭기의 V_{ds} 변화에 대한 hybrid switching amplifier(HSA)의 로드 임피던스 변화
Fig. 4. The load impedance variation of the hybrid switching amplifier(HSA) according to the V_{ds} variation.

대한 전력 증폭기의 성능을 바탕으로 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 신호에 대한 평균 성능을 Matlab을 이용하여 계산해 보았다. 표 1에서와 같이 고효율 전력 증폭기는 하이브리드 포락선 제거 및 복원 동작을 함께 있어서 40.8 dBm에서 55.65 %의 평균 PAE 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.

그림 4에서는 바이어스 변조기가 전력 증폭기에 필요한 전류를 공급해 주면서 가지게 되는 로드 임피던스의 변화를 각각의 V_{ds} 에 대해 나타내고 있으며, 5 Ω에서 45 Ω까지 큰 변화를 가짐을 확인하였다.

III. 고풍력 전력 증폭기와 결합하기 위한 Hybrid Switching Amplifier(HSA) 설계

전력 증폭기에 선형적인 포락선 신호를 전달하기

위해서는 전력 증폭기의 드레인 바이어스 네트워크에서 탄탈 캐패시터를 반드시 제거해야 한다. 그림 5에서는 일반화된 전력 증폭기의 드레인 바이어스 네트워크를 나타내고 있으며, 하이브리드 포락선 제거 및 복원 동작을 위해 탄탈 캐패시터가 제거된다. 이때 고풍력 전력 증폭기는 저출력 전력 증폭기와는 달리 ' $f_2 - f_1$ ' 성분에 의한 메모리 현상이 매우 심하기 때문에, 탄탈 캐패시터를 제거하게 되면 ' $f_2 - f_1$ ' 성분에 의한 심각한 bias fluctuation 문제가 발생하게 된다^[5]. 그림 6에서 탄탈 캐패시터가 제거된 전력 증폭기의 V_{ds} 및 V_{gs} 신호 파형을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 V_{ds} 는 break-down 영역에 이를 정도로 심각한 fluctuation을 보이고 있으며, V_{gs} 역시 피드백 현상에 의해 GaN HEMT 소자 고유의 negative 바이어스가 positive 영역에 이를 만큼 심각하게 fluctuation이 발생함을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 그림 5에서 보여지는 바와 같이 전력 증폭기가 바이어스 변조기와 결합될 때, 바이어스 변조기 쪽에서 ' $f_2 - f_1$ ' 대역에 대해 단락에 가까운 임피던스를 제공하여야 한다. 따라서 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기용 바이어스 변조기로서 HSA(Hybrid Switching Amplifier)를 구현하였고, 그 회로도가 그림 7에 도시되어 있다^[6]. HSA는 포락선을 선형적으로 증폭시켜 주는 역할을 하는 선형 증폭단의 출력단이 NPN 및 PNP BJT로 구성된 class AB buffer로 구성됨으로써 전력 증폭기에서 문제가 되는 대역에 대해 단락에 가까운 임피던스를 제공해 주게 되고, 이로써 전력 증폭기가 탄탈 캐패시터가 없는 조건에 대해서도 올바른 동작을 보일

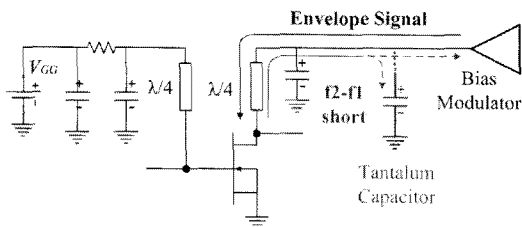


그림 5. 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기를 위한 전력 증폭기의 드레인 바이어스 네트워크
Fig. 5. The drain bias network of a PA for H-EER transmitter.

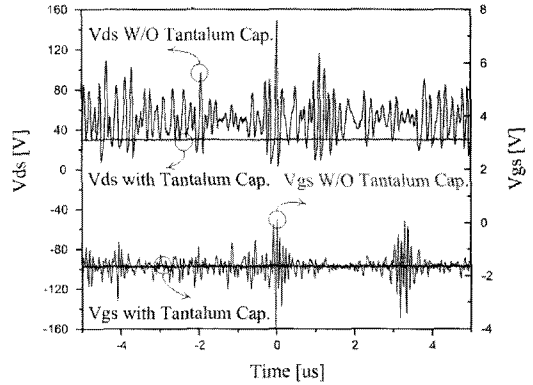


그림 6. 드레인 단에 탄탈 캐패시터가 없는 고풍력 전력 증폭기의 드레인 및 게이트 단에서 나타나는 bias fluctuation 현상
Fig. 6. The bias fluctuation effect at drain and gate node of a high power PA without tantalum capacitor.

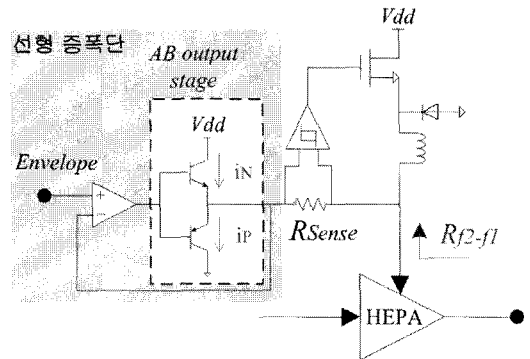


그림 7. HSA의 회로도
Fig. 7. The schematic of HSA.

표 2. ADS 시뮬레이션을 통해 추출된 class AB buffer의 전류 성분들과 이를 기반으로 계산된 HSA의 출력 저항

Table 2. The extracted current parameters of the class AB buffer by using ADS simulator and the calculated output impedance of the HSA.

Parameter	Value
Min/Max(i_N+i_P)	0~4.431 A
Mean(i_N+i_P)	0.866 A
Instantaneous Rout	Very high~0.141 Ω
Average Rout	0.147 Ω

수 있게 된다. HSA의 출력 임피던스는 식 (4)와 같이

정의할 수 있다.

$$\therefore R_{f2-f1} = \left(\frac{V_T}{i_N + i_P} \right) * \left(\frac{1}{1 + A_o * \beta_f} \right) + R_{Sense} \quad (4)$$

ADS 시뮬레이션을 통해 설계된 HSA에서 전류 파라미터들의 최대 최소 및 평균값을 검출하여 그 출력 저항값을 계산해 보았다. 선형 증폭단의 루프 이득을 의미하는 A_o 는 3, hysteresis 조절을 위한 검출 저항, R_{Sense} 은 0.14 Ω 일 때 계산된 출력 저항은 약 0.147 Ω 로 거의 단락에 가까운 임피던스를 전력 증폭기의 드레인 단으로 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

그림 4에서 바이어스 변조기의 로드 임피던스가 5 Ω 에서 45 Ω 으로 큰 변화를 가지고 있으며, 이는 바이어스 변조기의 선형 증폭단에서 stability 문제를 발생시키는 원인이 된다. 선형 증폭단은 CFB(Current Feedback) 타입의 OP-Amp로 구성되며, 그 주파수 증속 등가 회로가 그림 8에 도시되어 있다^[7]. CFB OP-Amp의 전달 함수를 계산해 보면 식 (5)와 같고, 여기서 dominant pole(f_{3-dB})을 식 (6)과 같이 정의할 수 있게 된다.

$$\frac{V_o}{V_i} \cong \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) * \left[\frac{1}{1 + (j * 2\pi f R_2 C_C)} \right], \quad (5)$$

$$\therefore f_{3-dB} = \frac{1}{2\pi f R_2 C_C} \quad (6)$$

위 식에서 정의된 바와 같이 dominant pole을 결정하는 피드백 임피던스(R_2)를 키우게 되면 더 낮은 주파수 대역으로 pole을 이동시킬 수 있다. 이를 통해 phase margin을 향상시킴으로써 HSA의 로드 임피던스의 변화에 대해서도 선형 증폭단에서 stability를

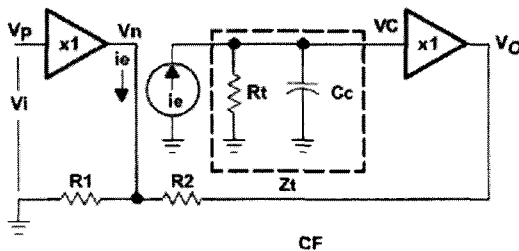


그림 8. CFB OP-Amp의 등가 모델
Fig. 8. The equivalent model of the CFB OP-Amp.

유지할 수 있도록 하였다. 이 때 pole을 낮은 주파수 대역으로 떨어뜨림으로써 HSA의 3-dB bandwidth 또한 줄어들게 된다. 따라서 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 선형성을 확보하기 위해 필요한 HSA의 동작 대역을 ADS 시뮬레이션을 통해 검출하였다. 저역 통과 필터를 적용하여 동작 대역(f_c)이 10 MHz부터 23 MHz까지 제한되도록 한 포락선 신호를 추출한 후 원 신호의 위상 신호를 곱함으로써 최종 출력 신호의 선형성을 확인하였고, 그림 9에서 출력 신호의 스펙트럼을 보여주고 있다. HSA의 동작 대역이 줄어들어 따라 출력 신호에서 왜곡 성분이 점점 많아지고 있음을 확인할 수 있다. 그림 10을 통해 RCE 성능을 살펴보게 되면, -30 dB가 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 전력 송신기의 RCE 지표임을 감안할 경우 HSA가 10 MHz의 동작 대역을 가지더라도 매우 높은 선형성을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

설계된 HSA의 동작 대역 및 성능이 그림 11과 표 3에 각각 정리되어 있다. 동작 대역은 약 15 MHz를 가지며, 평균 로드 임피던스에 대해서 72 %의 효율을 보이고 있으며, RCE가 -45.9 dB로 매우 선형적인 동작을 가짐을 있음을 알 수 있다.

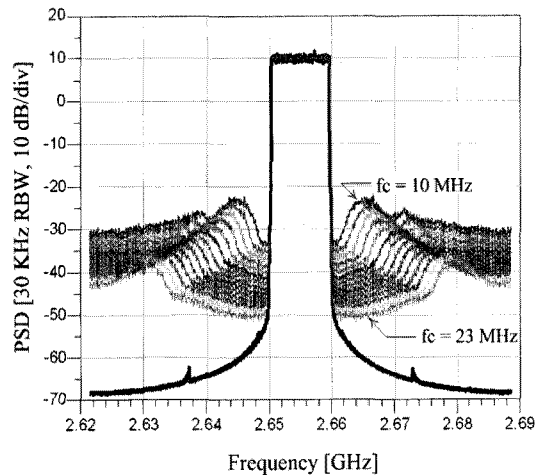


그림 9. HSA의 동작 대역에 대한 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 출력 스펙트럼
Fig. 9. The output spectrum of the H-EER transmitter according to the operation bandwidth of the HSA.

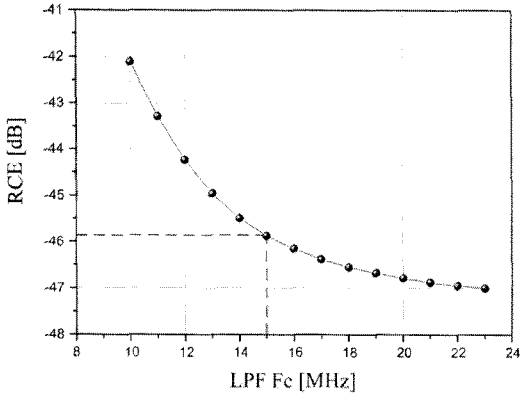


그림 10. HSA의 동작 대역에 대한 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 RCE 성능
 Fig. 10. The RCE performance of the H-EER transmitter according to the operation bandwidth of the HSA.

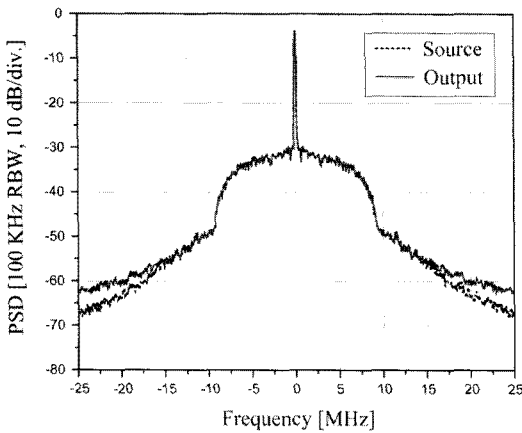


그림 11. 구현된 HSA의 출력 스펙트럼
 Fig. 11. The output spectrum of the implemented HSA.

표 3. 구현된 HSA의 성능
 Table 3. The performance of the implemented HSA.

R_{LOAD}	V_{PEAK}	P_{OUT}	Eff.	RCE
5 Ω	30 V	22.9 W	72 %	-45.9 dB

IV. IEEE 802.16e Mobile WiMAX용 Hybrid EER 전력 송신기 결합 실험

설계된 전력 증폭기와 HSA를 결합하여 Mobile WiMAX용 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 연동 실험을 수행하였다. 2.655 GHz에서

10 MHz의 신호 대역을 가지는 WiMAX 신호를 사용하였으며, 변조 신호의 PAPR은 8.5 dB이다. 포락선 신호 및 변조 입력 신호를 동기화시키기 위해 Agilent사의 ESG4438C 및 PSG8267D 신호 소스를 사용하였으며, 두 신호 간의 추가적인 시간 지연 정렬은 Agilent사의 ADS simulator 및 동축 케이블을 이용하였다.

연동 실험 결과, 설계된 전력 송신기는 41.3 dBm의 출력 전력에서 38.7 %의 높은 PAE 특성을 가지는 것을 확인하였다. 하지만 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기는 심각한 V_{ds}/PM 왜곡 성분을 가질 뿐만 아니라, 고풍력 소자에서 두드러지는 메모리 효과에 의해 출력 신호의 선형성을 스스로 만족시키기 어렵다. 그림 12에서 출력 신호의 constellation diagram을 보면 심각한 scattering이 존재함을 알 수 있고, 이 때 계산된 RCE는 -18.93 dB였다. 따라서 전력 송신기의 선형화 기준을 만족시키기 위하여 디지털 전치 왜곡(DPD) 기술을 적용하였다. AM 및 PM 전치 왜곡 신호는 전력 증폭기의 입력으로 인가하고, AM 전치 왜곡 신호만을 따로 HSA의 입력으로 인가함으로써 전력 송신기의 선형화를 최대화시켰다. 선형화 결과, 그림 13과 같이 출력 신호의 constellation 다이어그램이 각 지점으로 모이는 모습을 확인할 수 있었고, 41.25 dBm의 출력 전력에서 38.8 %의 높은 PAE 특성을 유지함과 동시에 -34.5

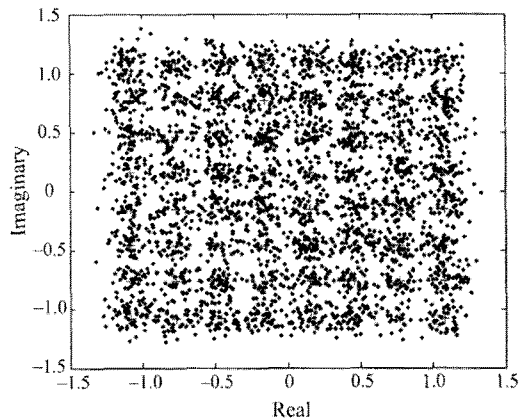


그림 12. 선형화 전 출력 신호의 constellation diagram
 Fig. 12. The constellation diagram of the output signal before linearization.

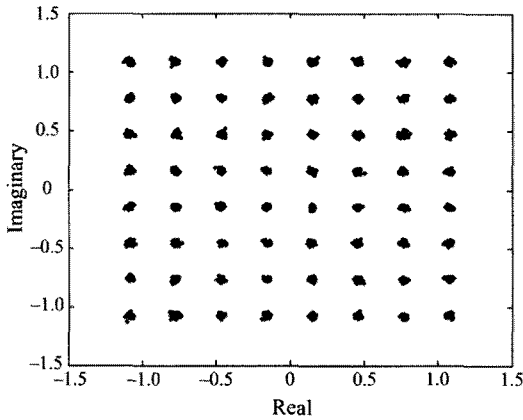


그림 13. 선형화 후 출력 신호의 constellation diagram

Fig. 13. The constellation diagram of the output signal after linearization.

표 4. 구현된 WiMAX용 Hybrid EER 전력 송신기의 연동 실험 결과(8.5 dB PAPR, 10 MHz signal bandwidth @ 2.655 GHz)

Table 4. The experimental result of the implemented H-EER transmitter for WiMAX signal(8.5 dB PAPR, 10 MHz signal bandwidth @ 2.655 GHz).

Condition	Before DPD	After DPD
P_{OUT}	41.32 dBm	41.25 dBm
Gain	9.82 dB	9.85 dB
Eff.	43.3 %	43.3 %
PAE	38.7 %	38.8 %
EVM	11.3 %	1.9 %
RCE	-18.93 dB	-34.5 dB

dB의 매우 선형적인 RCE 특성을 가지는 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16e Mobile WiMAX 신호에 대하여 고효율 고출력을 갖는 하이브리드 포락선 제거 및 복원 전력 송신기의 구현에 대해 기술하였다. 고출력 전력 증폭기를 설계하기 위해, Nitronex사의 100-W GaN HEMT를 사용하였으며, 분석된 전력 생성 구간에 대해서 높은 PAE를 유지하도록 설계하여 연동시 전력 송신기의 평균 PAE 성능을 최대화

할 수 있도록 하였다. 그리고 HSA를 바이어스 변조기로 구현하여, 고출력 전력 송신기에 있어서 전력 증폭기 및 바이어스 변조기가 결합하였을 때 발생할 수 있는 오실레이션 문제를 제거하였다. 연동 실험 결과, 설계된 전력 송신기는 41.25 dBm에서 38.8 %의 높은 PAE 특성을 유지하면서 -34.5 dB의 RCE를 가짐으로써 선형화 기준을 동시에 만족시키는 결과를 얻을 수 있었다. 이로써 2.655 GHz의 WiMAX용 전력 송신기를 하이브리드 포락선 제거 및 복원 기술로 처음으로 구현하였으며, 고성능을 얻을 수 있음을 검증하였다.

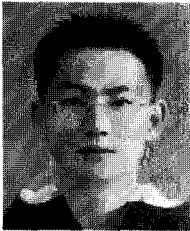
참 고 문 헌

- [1] F. Wang, D. Kimball, J. Popp, A. Yang, D. Y. C. Lie, P. Asbeck, and L. E. Larson, "An Improved power-added efficiency 19-dBm hybrid envelope elimination and restoration power amplifier for 802.11 g WLAN applications", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 12, pp. 4086-4099, Dec. 2006.
- [2] S. Hong, Y. Y. Woo, I. Kim, J. Kim, J. Moon, H. S. Kim, J. S. Lee, and B. Kim, "High efficiency GaN HEMT power amplifier optimized for OFDM EER transmitter", *IEEE MTT-S Int. Microw. Sympo. Dig.*, vol. 3, pp. 2127-2130, Jun. 2007.
- [3] I. Kim, Y. Y. Woo, S. Hong, and B. Kim, "High efficiency hybrid EER transmitter for WCDMA application using optimized power amplifier", *Proc. IEEE European Microw. Conf.*, Munich, Germany, pp. 182-185, Oct. 2007.
- [4] G. Hanington, Pin-Fan Chen, P. M. Asbeck, and L. E. Larson, "High efficiency power amplifier using dynamic power-supply voltage for CDMA applications", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 8, pp. 1471-1476, Aug. 1999.
- [5] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*. Norwood, MA: Artech House, 2006.
- [6] F. Wang, D. Kimball, J. Popp, A. Yang, D. Y. C. Lie, P. Asbeck, and L. E. Larson, "Wideband envelope elimination and restoration power amplifier

with high efficiency wideband envelope amplifier for WLAN 802.11g applications", *IEEE MTT-S Int. Microw. Sympo. Dig.*, pp. 645-648, Jun. 2005.

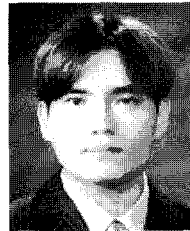
[7] W. G. Jung, *Op Amp Applications Handbook*. Newnes, 2005.

김 일 두



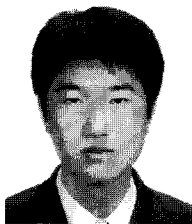
2004년 2월: 전남대학교 정보통신공학부 전자공학과 (공학사)
 2004년 3월~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 전자과 박사과정
 [주 관심분야] RF 전력 증폭기 설계 및 선형전력 증폭기(LPA) 시스템 설계, 기지국용 고효율 전력 송신기 설계

김 정 준



2007년 2월: 한양대학교 전자공학부 전자공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 전자과 석사과정
 [주 관심분야] 고효율 고선형성 RF 전력 증폭기 설계

문 정 환



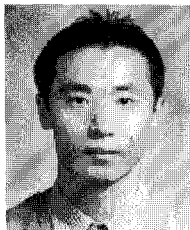
2006년 2월: 서울시립대학교 전자컴퓨터공학부 전자공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 전자과 박사과정
 [주 관심분야] 고효율 고선형성 RF 전력 증폭기 설계 및 메모리 영향 보상 기술 연구, 디지털 전치 왜곡 선형화 기술 연구

김 범 만



1979년 2월: 카네기 멜론대학 전자공학과 (공학박사)
 1978년~1981년: GTE Lab. 연구원
 1981년~1988년: TI Central Research Lab. 연구원
 1989년~2003년: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 정교수
 1994년~2004년: 포항공과대학교 마이크로웨이브 응용 연구센터(MARC, funded by ADD) 센터장
 2002년 7월~2005년 6월: T-MTT Associate Editor(IEEE)
 2003년 4월~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 BK 사업 단장
 2003년~2004년: 한국과학기술한림원 중신회원 및 공학부정보통신 분과장
 2004년~2005년: 대한전자공학회 협동 부회장
 2004년~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 남고석좌교수
 2005년 1월~2007년 12월: Distinguished Lecturer(IEEE MTT society)
 2006년~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 주임교수
 2007년 1월~현재: IEEE Fellow 선정
 [주 관심분야] 이동통신용 전력 증폭기, RF 회로 설계 및 소자 모델링, III-V 화합물 반도체, 초고주파 집적회로(MMIC) 설계 및 구현, 밀리미터 웨이브 회로 설계

김 장 현



2003년 2월: 전북대학교 전자정보공학부 전자공학과 (공학사)
 2003년 3월~현재: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 전자과 (공학박사)
 [주 관심분야] 고효율 고선형성 RF 전력 증폭기 설계 및 메모리 영향 보상 기술 연구, 디지털 전치 왜곡 선형화 기술 연구