공통 게이트 MESFET를 이용한 전치왜곡 선형화기 설계에 관한 연구

김갑기*

A study on the Design of Predistortion Linearizer using Common-Gate MESFET

Kab-ki Kim*

요 약

전력증폭기의 비선형성에 의해 채널간의 상호 변조 왜곡성분이 주로 발생하는 CDMA 시스템에서는 선형 전력증폭기가 요구된다. 본 논문에서는 평형 MESFET 전치왜곡 선형화기가 추가된 형태의 선형 전력증폭기를 통한 선형화 방법을 제안하였다. 제안된 선형화기는 한국 PCS주파수 대역에서 G1dB가 12.1dB이고 P1dB가 30dBm인 A급 전력증폭기에 연결하여 시뮬레이션 하였다. 종단전력증폭기에 1850 MHz와 1851.23 MHz의 2-tone 신호를 인가한 결과 3차 혼변조가 약 22dB 개선되었다.

ABSTRACT

A linear power amplifier is particularly emphasized on the CDMA system using a linear modulation scheme, because IMD which cause adjacent channel interference and co channel interference is mostly generated in a nonlinear power amplifier. In this paper, a new type of linearization technique proposed. It is presented that balanced MESFET predistortion linearizer added. Experimental result are present for Korea PCS frequency band. The implemented linearizer is applied to a 30dBm class A power amplifier for simulation performance. Two-tone signals at 1850 MHz and 1851.23 MHz are injected into the main power amplifier. The main power amplifier with a 12.1dB gain and a P1dB of 30 dBm(two-tone) was utilized. The reduction of IMD is around 22dB.

키워드

MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) IMD (Intermodulation Distortion)

Ⅰ. 서 론

현대의 디지털 이동통신시스템에서는 다중 채널을 사용하기 때문에 전력증폭기에 여러 채널의 반송파가 입력되어 공동으로 증폭 될 경우 전력증폭기의 비선형 특성에 의해서 채널사이에 혼변조 신호들이 발생하게 된다. 이들 혼변조 신호들은 인접채널에 상호 영향을 주게 되고 혼신(Cross-talk) 또는 잡음(Noise)으로 작용하여 전송품질을 저하시키는 요인이 된다. 그러므로 이러한 혼변조 신호들을 충분히 제거하기 위해서는 선형성을 갖는 전력증폭기가 필수적으로 요구되어진다 [1].

일반적으로 전력증폭기에서 선형성을 만족하려면 AM-AM변환특성과 AM-PM변환특성이 고려

*목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

접수일자 : 2003. 12. 1

되어져야 한다. AM-AM변환특성은 입력신호 전력의 증가에 따른 출력신호 전력의 감소를 나타내는 것이며, AM-PM변환특성은 입력신호 전력 증가에 따른 출력신호의 위상지연을 나타낸다. 이러한 간섭현상을 줄이기 위해서 전력증폭기를 A급, AB급, B급에서 동작시키거나 출력을 백-오프(back-off)시켜 선형 영역에서 동작시키게 되는데 이럴 경우 선형성은 보장되지만 출력전력과 효율이 떨어지며 전력소모가 많고 원하는 출력보다 더 큰 출력의 전력증폭기를 필요로 하게 되어 가격이 비싸지게 되는 단점을 가지게 된다.

따라서 본 논문에서는 공통 게이트 MESFET를 사용하여 전치왜곡 선형화기를 설계하였으며, 설계된 전치왜곡기는 MESFET의 비선형 특성을 이용하기 때문에 광대역의 입력신호에 대해 선형화 특성이 우수하며, 회로구성이 복잡하지 않고 경량이면서 소형화 할 수 있다는 장점을 가진다.

II. 전치왜곡기의 설계 이론

2.1 전치왜곡 선형화 이론

RF 신호들을 증폭기로 증폭할 경우 능동소자의 비선형 특성으로 인하여 신호 증폭이외에 혼변조 왜곡 신호 성분들이 발생되므로 증폭기에서 만들어질 왜곡 성분을 고려하여 이것과 역의 왜곡 특성을 갖는 전치왜곡 회로를 증폭기의 입력단에 부가하여 증폭기의 왜곡 성분을 상쇄시키는 것을 전치왜곡 선형화 방식이라고 한다.

이러한 전치왜곡 선형화 방식은 선형화기의 제작이 간단하며 가격에 비에 좋은 특성을 얻을 수 있어서 현재 많이 사용되는 선형화 기법 중에 하나이다.

따라서 본 논문에서는 MESFET를 이용한 전력증폭기의 비선형 특성 때문에 발생하게 될 왜곡 성분을 고려하여 이것과 역의 왜곡 특성을 갖는 전치왜곡 회로를 전력증폭기 입력 단에 연결하여 전력증폭기의 왜곡 성분을 상쇄시키는 전치왜곡 선형화기를 설계하였다. 그림 1.은 RF 증폭기에 대한 전치왜곡 선형화 방식의 개념도를 나타내었다.[4,5].

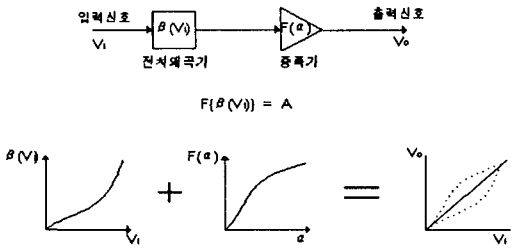

그림 1. 전치 왜곡 방식의 동작 원리
Fig. 1. Principle of predistortion.

전치왜곡회로의 전달특성 함수를 $\beta(v_i)$라하고 전력증폭기의 전달특성 함수를 $F(\alpha)$라 하면 그림 1. 에서와 같이 $F\beta(v_i)=A$가 되므로 선형화가 가능해진다

2.2 공통 게이트 전치왜곡기의 설계 이론

일반적으로 MESFET을 이용한 선형화기는 다이오드를 이용한 선형화기보다 대전류 특성이 우수하여 높은 전력에서도 선형화기를 만들기에 적합한 비선형 특성을 갖는다.

그림 2.에 공통 게이트 방식을 사용하는 전치왜곡 선형화기를 간략히 나타내었으며, 본 논문에서 제시한 선형화기의 동작원리는 다음과 같다.

전치왜곡 선형화기의 입, 출력단에 분리도를 높이기 위해 2개의 90°Hybrid를 사용하였으며, 먼저 입력단의 90°Hybrid를 통과한 2개의 RF신호가 선형화기의 입력으로 인가되면 두 개의 MESFET 중 하나는 바이어스를 동적영역에서 동작하도록 드레인을 접지시키고, V_{GS}를 인가하면 입력이 증가함에 따라 출력은 선형적으로 증가하다가 포화점에서 감소하고, 위상지연은 증대되어진다. 나머지 하나에서 바이어스를 핀치오프 영역으로 인가하여 비선형특성을 증대시키면 출력의 변화는 포화점이 높아지며, 위상지연이 감소하는 특성이 나타난다.

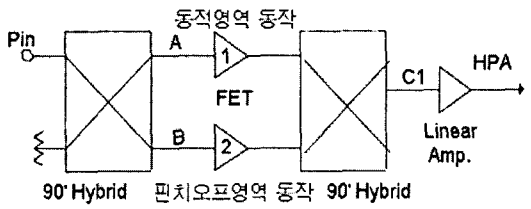

그림. 2. 공통 게이트 MESFET 전치왜곡기
Fig. 2. MESFET predistortor using commom gate circuit.

양쪽 경로를 통한 2개의 출력신호는 다시 90°Hybrid로 묶이게 되어 동상으로써 합쳐지는데, 출력 신호의 특성은 두 신호의 벡터 합성에 의해 전력증폭기의 특성과 역이 된다.

III. 전치왜곡기 설계

본 논문에서 제안한 공통 게이트 방식을 이용한 선형화기를 구성하는 부품을 Ansoft 사의 Senenade 8.5를 사용하여 설계하였으며, 이들 각 부품들을 조합하여 하나의 선형화기를 구성하고 전체 선형화기 회로를 검증하여 설계하였다.

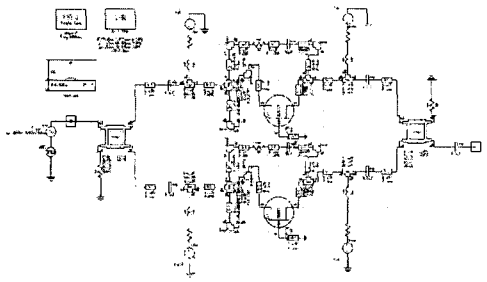

그림. 3. 구성된 선형화기의 전체 회로
Fig. 3. Configuration of linearizer circuit.

그림 3.은 설계된 전치왜곡기의 전체 회로를 보여주고 있는 것으로 Hewlett Packard사의 MESFET, ATF-10136을 이용하였다. 또한 본 논문에서는 전치왜곡 선형화기의 특성을 분석하기 위해서 Stanford SHP 0289HFET를 사용한 종단 전력증폭기를 구성하여 선형화기의 성능을 확인하였다.

사용된 HFET는 2GHz에서 P_1dB가 30dBm, G_1dB는 12.1dB 이고 $V_{DS}=9V$이고, $I_{DS}=300mA$의 바이어스 점에서 40% 의 효율을 갖는 전력증폭용 트랜지스터이다.

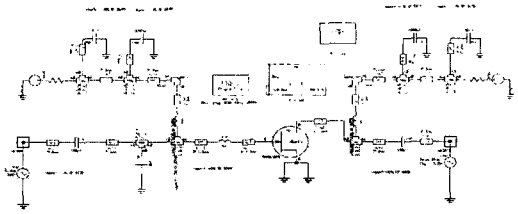

그림 4. SHP 0289HFET를 사용한 전력증폭기 회로
Fig. 4. Power amplifier using SHP 0289HFET

그림 4.는 HFET를 사용하여 설계된 종단전력증폭기의 전체 회로도를 보여주고 있다.

IV. 제작 및 측정 결과

선형화기의 선형화를 검증하기 위하여 우선 종단전력증폭기의 앞단에 전치왜곡 선형화기를 연결하지 않았을 때의 결과와 연결한 후의 결과를 비교 분석하였다. 그러기 위해서 벡터 네트워크 분석기로 주파수 대역에 따른 입력전력에 대한 출력전력의 변화를 S 파라미터로 측정하고, 입력전력을 신호 크기에 따라 발생시켜 증폭기의 이득의 변화와 위상의 억압효과를 측정하였다.

그림. 5는 전치왜곡기와 종단전력증폭기를 결합한 전력증폭기의 실물 사진을 보여주고 있다.

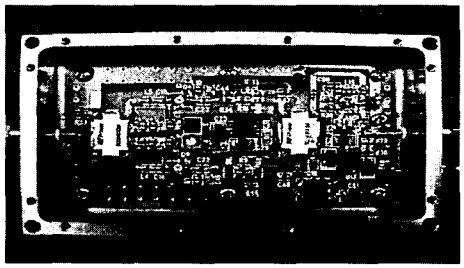

그림. 5. 제작된 전치왜곡기
Fig. 5. The constructed predistortor.

그림 6.의 (a)와 (b)는 15dB를 갖는 종단전력증폭기의 입력단에 전치왜곡 선형화기를 사용하지 않았을 때의 진폭변화와 위상의 변화를 보여주고 있다.

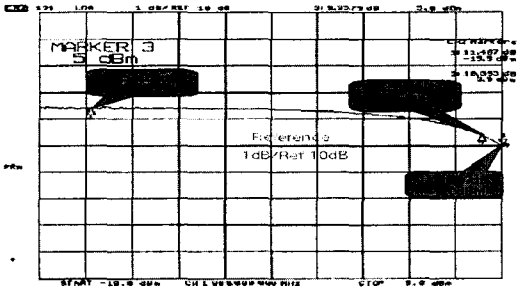

그림. 6 a) 전치왜곡기 사용 전의 진폭변화
Fig. 6 a) Amplitude variation without predistortor

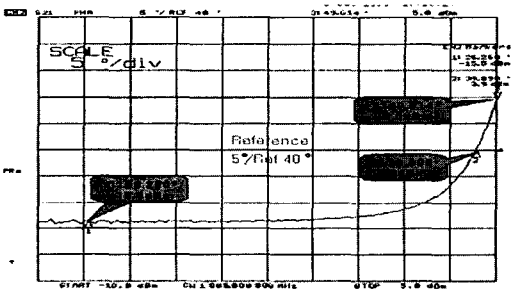

그림 6. (b) 전치왜곡기 사용 전의 위상변화
Fig 6. (b) Phase variation without predistortor

그림 6.의(a)와 (b)에서 보여주는 것과 같이 입력신호를 -18dBm에서 5dBm으로 증가시킬 경우 전치왜곡 선형화기를 사용하지 않았을 때 입력신호의 1dB 억압점인 3.9 dBm에서 10.393dB를 나타내었으며, 위상지연 역시 1dB 억압점인 3.9dbBm에서 39.890°를 나타내었고, 5dBm까지는 급격히 증가하는 비선형특성을 나타냄을 알 수 있었다.

전치왜곡 선형화기와 종단증폭기를 결합하여 제작한 종단전력증폭기를 통한 출력에서의 진폭변화와 위상변화를 그림 7.의 (a),와 (b)에서 보여주고 있다

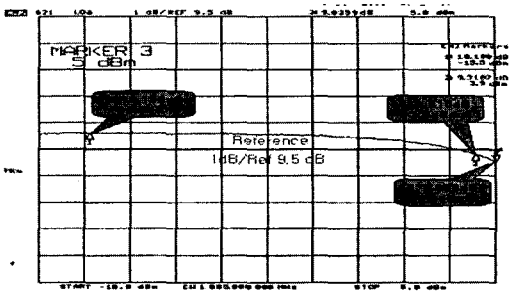

그림 7. (a) 전치왜곡기 사용 후의 진폭변화
Fig 7. (a) Amplitude variation with Predistortor

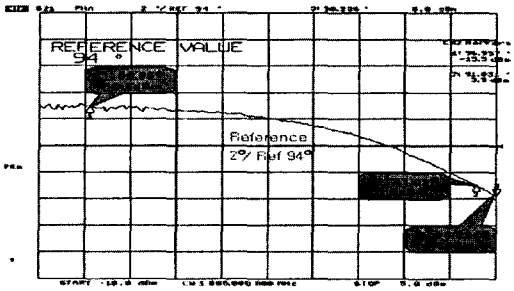

그림 7. (b) 전치왜곡기 사용 후의 위상변화
Fig 7. (b) Phase variation with predistortion

실험결과 입력이 -18 dBm에서 증가하여 5dBm에 도달하였을 때 전체 이득이 1dB 이하로 감소하는 특성을 볼 수 있으며, 전치왜곡기를 사용하지 않았을 때 1dB 억압점인 3.9dBm에서 9.3107 dB를 나타내어 AM-AM변환특성이 개선됨을 확인하였다. 위상의 변화는 1dB 억압점까지의 위상변화가 사용하지 않았을 때는 13.60°를 나타내었으나 전치왜곡기를 사용한 이후의 측정결과는 6° 내외의 위상변화를 나타내어 선형성이 상당히 개선되었음을 확인하였다.

그림 8.의 (a)와 (b)는 1850MHz와 1851.23MHz의 2-tone 주파수 간격 1.23 MHz에서의 선형화기 사용 전의 종단전력증폭기의 출력스펙트럼과 선형화기 사용후의 종단전력증폭기의 출력스펙트럼을 나타내고 있다.

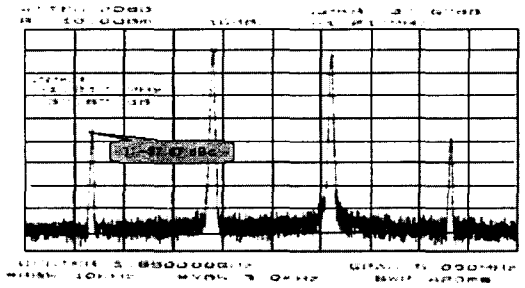

그림 8. (a) 선형화기 사용 전
Fig 8. (a) before linearization

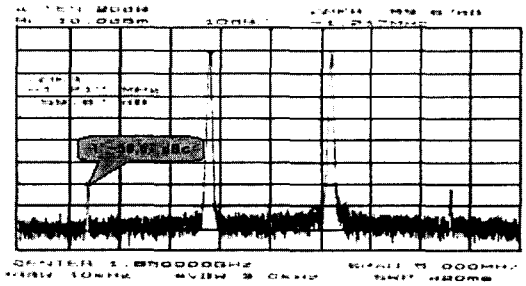

그림 8. (b) 선형화기 사용 후
Fig 8. (b) after linearization

그림 8. (a)에는 전치왜곡 선형화기를 사용하기 전의 전력증폭기의 출력스펙트럼을 나타낸 것으로 3차 혼변조 성분이 -37.67dBc를 나타내었으며, 그림 8. (b)는 종단전력증폭기에 전치왜곡기를 사용한 후의 출력스펙트럼으로 3차 혼변조 성분이 -59.67 dBc를 나타내었다. 따라서 전치왜곡기를 사용함으로서 약 22dB의 혼변조가 개선되었음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 MESFET의 공통 게이트를 이용하여 평형 구조의 전치왜곡 선형화기를 제작하고, 종단전력증폭기와 함께 결합하여 그 선형화기의 특성변화에 대한 성능을 실험하였다. 입력신호를 -18dBm ~ 5dBm까지 증가시킨 결과 전체적인 이득은 1dB이하로 떨어졌지만 AM-AM 변환특성이 1.1dBm정도 개선되는 효과를 얻었다. 또한 위상의 변화도 전치왜곡 선형화기를 사용한 경우 입력신호레벨에 대한 AM-PM변환특성이 17° 개선되는 효과를 확인하였다. 또한 2-tone 주파수 간격 1.23MHz에서의 전치왜곡 선형화기를 사용하기 전의 종단전력증폭기 출력 스펙트럼의 3차 혼변조 성분이 59.67dBc로 약 22dB 개선하는 효과를 가졌다. 따라서 본 논문에서 제작한 전치왜곡 선형화기는 비 선형성에 의해 채널간 상호 변조왜곡이 주로 발생되는 CDMA 시스템에서 실용가능하다고 사료된다.

참고 문헌

[1] T.S. Rappaport , Wireless communication, Prentice Hall, 1991.

[2] HP application Note 1207, " Test CDMA Base Station Amplifiers "

[3] Tri T. Ha, Solid state microwave amplifier design, Johe Wiely & Sons Inc. 1981.

[4] M. Johnson, M. Faulkner "linearization of multi-carrier power amplifier," IEEE 1993.

[5] Stephen A. Mass, Nonlinear Microwave Circuit, Artech House, 1996.

[6] Inder Bahl and Prakash Bhartla, Microwave Solid State Circuit Design, Wiley,

[7] 오태규. "전력증폭기용 프리디스토터의 비선형특성에 관한 연구". 통신 및 신호처리소사이어티 추계학술대회 논문집. 2002년 PP.140~143

저자 소개

김갑기(Kab-Ki Kim)

1980년 광운대학교 전자통신공학과 졸업
1984년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1999년 건국대학교 대학원 전자공학과 공학박사
2001~2002년 뉴욕시립대학 전자공학과 연구교수
1975년~현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
※ 관심분로파 통신, 초고주파 회로설계