

논문 2011-48TC-1-8

3차 혼변조 신호의 전치왜곡과 2, 3차 고조파 억제를 통한 고선형성 고출력 전력 증폭기에 관한 연구

(Very High Linearity of High Power Amplifier by Reduction of 2nd, 3rd Harmonics and Predistortion of 3rd IMD)

이종민*, 서철헌**

(Chongmin Lee and Chulhun Seo)

요약

본 논문에서는 고출력 증폭기의 출력 정합단에서 발생하는 2차, 3차 고조파 성분을 억제하여 단일 고출력 증폭기의 선형성을 개선시키고 3rd IMD의 전치 왜곡에 의한 선형성 개선 PAM (Power Amplifier Module)을 제안하였다. 고조파를 억제하기 위해 정합회로는 메타전자와 구조를 갖도록 설계되었으며 2, 3차 고조파가 각각 27 dBc 이상 억제되었다. 3rd IMD의 전치 왜곡은 구동 증폭기에서 발생하는 3rd IMD의 위상을 조절하여 -30도가 되도록 하였으며 이때 고출력 증폭기에서 발생하는 3rd IMD와 상쇄를 일으켜 고출력 증폭기 보다 6 dBc 이상 개선된 고조파 성분을 갖도록 설계되었다. 제안된 PAM은 36.98 dBm의 출력 전력, 21.6 dB의 전력 이득, 29.4 %의 전력 효율을 얻었으며 2차 고조파가 -53 dBc로 참조 증폭기에 비해 20 dB 이상 억제되는 특성을 얻었다.

Abstract

In this article, the linearity of single power amplifier is improved by suppress 2nd and 3rd harmonics at output port of high power amplifier and by cancelling of 3rd IMD. The matching network in order to suppress harmonics consists of metamaterial like the CRLH. The 2nd and 3rd harmonics are suppressed over 27 dBc, respectively. A phase of generated 3rd IMD at output of DPA (drive power amplifier) has changed in order to offset the 3rd IMD of HPA (high power amplifier). The harmonics of the proposed PAM suppress over 6 dB than single HPA. The PAM has a 36.98 dBm of the output power, 21.6 dB of the power gain and 29.4 % of the PAE. The harmonics is a -53 dBc about PAM. This result indicate that a harmonic level is lower 20 dB than reference power amplifier.

Keywords : Metamaterial, high linearity, pre-distortion, harmonics, PAM.

I. 서론

전력증폭기의 중요성은 무선 통신 시스템의 태동에서부터 발전에 이르기까지 항상 강조되어왔다. 현재에

이르러 그 중요성은 조금도 변화되질 않았으며 효율과 선형성이 각 응용분야에 적합하게 적용되었고 최근에서는 효율과 선형성을 동시에 얻고자 하는 기술의 발전으로 진행되고 있다.

전력증폭기의 선형성은 최근 기저대역의 신호 변조 및 보안, 복조 등의 기술 발전으로도 퇴색되질 않고 더욱 강조되고 있다. 무선 통신 시스템의 송신부 마지막 능동 소자로서 전력증폭기는 신호의 증폭 시 선형성이 악화되면 대역 외 외곡 성분에 의한 인접 채널 간섭으로 잡음 증가, 정보 왜곡 등의 형태로 통신 시스템에 영

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학부 (Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 한국과학재단 핵융합 연구 사업 (No. 20100020059)과 특정기초 연구 사업 (No. R01-2006-000-10298-0(2008)) 지원으로 이루어졌음.

접수일자: 2010년12월31일, 수정완료일: 2011년1월14일

향을 주게 된다.

전력 증폭기의 선형성에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있으며 최근에는 디지털 전치왜곡 및 Feedforward, Outphasing 기술 등으로 발전되고 있다.

본 논문에서는 적용된 메타전자파 구조는 파장보다 짧은 구성 소자로 구성되었으며 특정 주파수에서 음의 유효 유전율과 음의 유효 투자율을 갖는다. 30여년전에 러시아의 수학자 Veselago에 의해 이론적으로 증명되었다^[1]. 유효 유전율과 투자율이 동시에 음의 값을 갖기 때문에 전파의 위상 속도와 군속도가 반대 방향으로 진행하게 된다. 이러한 특성으로 인해 기존의 전파의 진행이 오른손 법칙을 따랐다면 메타전자파 구조에서는 왼손 법칙을 따르게 된다. 이러한 이론적인 접근은 90년대에 미국의 Pendry에 의해 규명되었다^[2]. 주기적으로 배열된 선형 다이폴에 나란히 입사된 전기장은 특정 대역에서 저지대역을 형성하게 되며 음의 유효 유전율을 갖게 된다. 또한 주기적인 구조로 배열된 분할링 구조에 수직하게 입사된 자기장에 의해 저지대역을 형성하게 되며 이때 음의 유효 투자율을 갖게 된다.

본 논문에서는 기존의 전치왜곡 기술과 전력증폭기의 출력단에서 발생하는 2차, 3차 고조파를 억제하기 위해 메타전자파 구조를 적용한 정합회로를 구현하여 3rd IMD 특성을 개선하였다. 기존의 전치왜곡 기술을 위해 필요한 위상 변위기를 메타전자파 구조를 적용하여 설계하였으며 이로 인해 전체 시스템의 크기를 줄이는 연구를 진행하였다.

II. 고조파 억제 정합단을 적용한 전력증폭기

3rd IMD는 중심 주파수와 2차 고조파의 합, 차에 의해 발생한다^[3]. 따라서 2차 고조파를 억제하기 위해 기존에 DGS, PBG 등의 필터 기술을 적용하여 고조파를 억제하는 기술 등이 연구되어져 왔다^[4].

그림 1은 단일 전력 증폭기에 메타전자파 구조 정합단을 적용하여 설계된 기판도이다. 중심주파수는 통과시키고 2, 3차 고조파를 억제하도록 설계되었다. IMD는 앞에서 언급하였듯이 2차 고조파에 영향을 받게 된다. 그러나 2차 고조파만 억제를 할 경우 중심 주파수와 3차 고조파 등으로 전력이 분배되어 나타나기 때문에 본 논문에서는 3차 고조파까지 억제하도록 정합단을 설계하였다.

그림 2는 설계된 정합단의 S-파라미터 결과를 보여

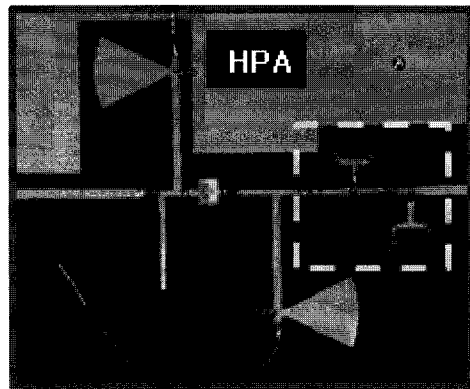


그림 1. 제작된 단일 전력 증폭기
Fig. 1. Fabricated single high power amplifier.

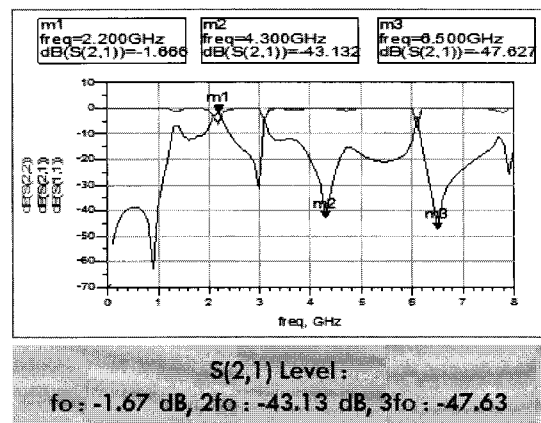


그림 2. 메타전자파 구조를 적용한 정합단의 S-파라미터
Fig. 2. S-parameter of matching network with metamaterial.

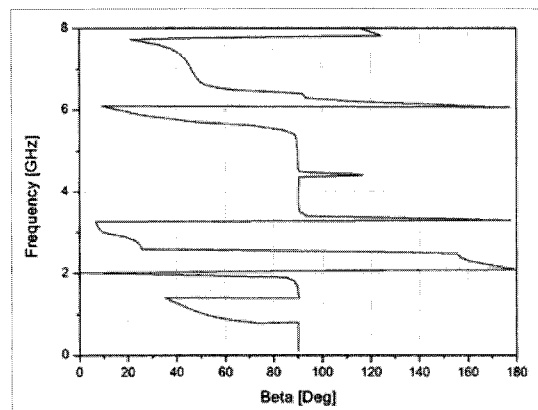


그림 3. 4셀 DHMR
Fig. 3. 4-cell DHMR.

주고 있으며 2, 3차 고조파가 각각 -43 dB, -47 dB 이상 저지되도록 설계되었다.

그림 3은 위상계수의 Dispersion diagram을 보여주고 있다. 중심주파수에서 위상계수가 '0'도이며 설계된 정합회로가 메타전자파 구조를 갖고 있음을 증명하고 있다.

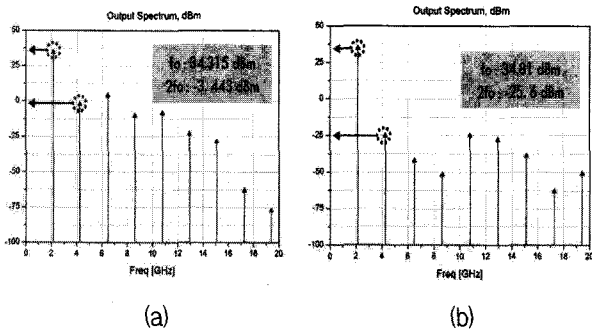


그림 4. 출력 스펙트럼의 비교.
 (a) 참조 증폭기, (b) 제안된 단일 전력 증폭기
 Fig. 4. Comparison of output spectrum.
 (a) Reference power amplifier,
 (b) proposed high power amplifier.

설계된 단일 전력 증폭기의 고조파 억제특성을 보기 위해 동일 능동소자 (MRF281)를 사용하고 L-section 정합단으로 구현된 참조 증폭기를 설계하여 출력 파형의 고조파 억제 특성을 확인하였다. 이때 참조 증폭기와 제안된 단일 고전력 증폭기의 동작 바이어스는 동일하다.

III. 전치왜곡 기술을 적용한 PAM

그림 5는 본 논문에서 최종 제안하고 있는 PAM의 블록도를 보여준다. PAM은 전치왜곡 기술을 적용하기 위해 구동 증폭부와 고전력 증폭부로 구분되어 있으며 고전력 증폭부는 평형 증폭기의 형태로 구현되었다. 구동 증폭기에서 발생되는 3rd IMD 성분의 위상을 조절하여 고전력 증폭기에서 발생하는 3rd IMD 성분과 상쇄되도록 하였다. 구동 증폭기의 3rd IMD 성분의 위상을 조

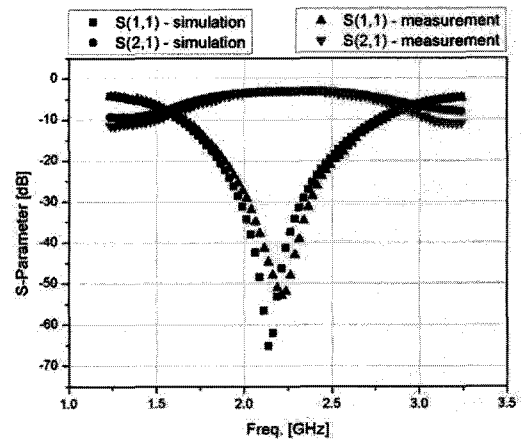


그림 6. 3암 90도 Hybrid 결합기의 S-파라미터
 Fig. 6. S-parameter of 3-arm 90° hybrid coupler.

절하기 위해 동작 바이어스의 변화와 출력 정합단의 임피던스를 조절하였다. 결과적으로 구동 증폭기의 출력단에서 3rd IMD에서 위상이 150도가 되도록 하였다. 또한 위상 변위기를 통해 3rd IMD에서 위상이 180도가 되도록 하여 구동 증폭부의 최종 출력단에서 3rd IMD의 위상이 330도가 되며 이는 전치왜곡 기술을 적용하여 선형성을 최대 개선할 수 있는 -30도가 되도록 설계하였다¹⁵⁻¹⁶.

고전력 증폭부는 평형 증폭기로 구현되었으며 이는 PAM의 안정성을 위해 제안되었다. 평형 증폭기의 각단은 앞에서 설계된 고출력 증폭기를 적용하여 구현하였다.

입력과 출력단에는 각각 3암 90도 Hybrid 결합기를 적용하였다. 3암 90도 Hybrid 결합기는 일반 90도 Hybrid 결합기에 비해 통과 대역이 넓은 장점을 가지고

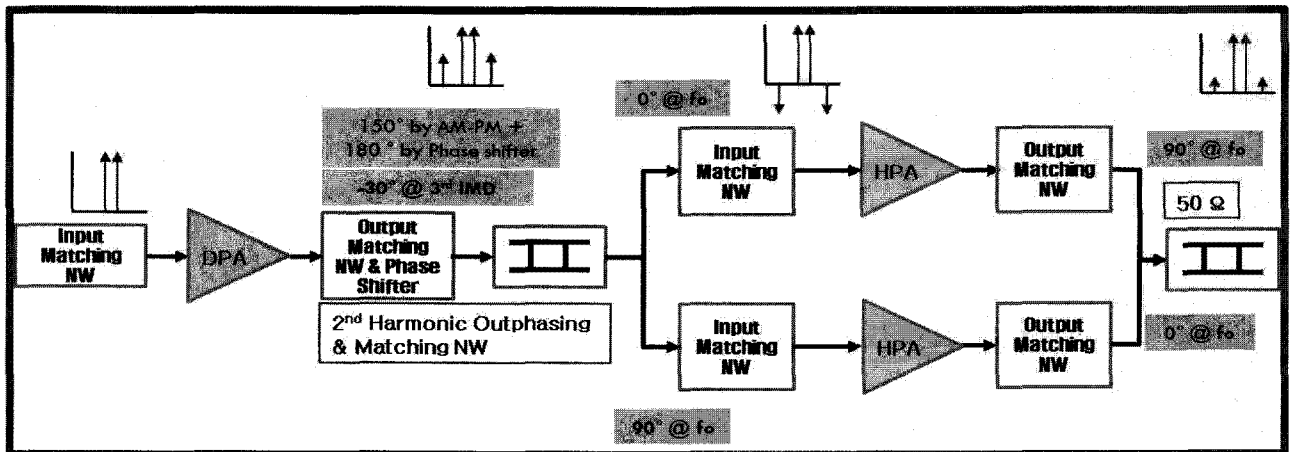


그림 5. 제안된 PAM 블록도 및 신호 흐름도
 Fig. 5. Diagram of signal flow and proposed PAM.

있다. 그림 6은 3암 90도 Hybrid 결합기의 시뮬레이션 결과와 제작 측정 된 S-파라미터를 보여주고 있다. 3암 90도 Hybrid 결합기의 각 입출력단은 50 옴으로 정합되었다.

위상 변위기의 경우 메타전자파 구조를 갖는 CRLH 구조로 구현하였으며 일반 스트립선에 비해 크기를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 7은 제작된 PAM 기판을 보여주고 있다. 구동 증폭기와 위상 변위기, 3암 90도 Hybrid 결합기에 의해 고출력 증폭기가 연결되었다. 3암 90도 Hybrid 결합기와 고출력 증폭기는 읍셋 라인을 통해 거리가 조정되어 설계되었다.

구동 증폭기의 경우 드레인 전압이 25 V이고 고출력 증폭기의 드레인 전압은 26.5 V가 인가되었다.

그림 8은 제안된 PAM의 각 측정값을 비교하기 위한 그래프이다. 동일한 출력 전력을 기준으로 각 전력 증

폭기의 효율과 2차 고조파의 억제 특성을 나타내고 있다. 최대 출력 전력은 참조 증폭기가 33 dBm, 단일 고출력 증폭기가 34 dBm, PAM이 37 dBm 이다. 각 전력 증폭기는 최대 출력 전력에서 약 30 %의 효율을 얻었다. 이는 선형성을 개선하기 위해 상관 관계에 의한 효율 감쇄가 이루어졌기 때문이다.

또한 대 출력 전력에서 2차 고조파 특성의 경우 참조 증폭기가 -33 dBc, 단일 고출력 증폭기가 -48 dBc, 제안된 PAM이 -53 dBc를 얻었다. 제안된 PAM의 경우 참조 증폭기에 비해 약 -20 dBc의 고조파 억제 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 이를 통한 PAM의 3rd IMD는 -47.5 dBc의 결과를 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서 전치왜곡 기술 및 2, 3차 고조파 억제를 통한 3rd IMD 특성 개선에 관한 연구를 진행하였으며 각 요소 블록에 메타전자파 구조를 적용하여 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 전치왜곡에 의한 3rd IMD 개선을 위해 동작 바이어스와 출력 정합회로의 임피던스를 제어하였으며 180도의 위상을 얻기 위해 메타전자파 구조를 적용한 위상 변위기를 구현하였고 전체 크기를 줄이는 결과를 얻었다. 단일 전력 증폭기의 경우 발생하는 2, 3차 고조파 성분을 메타전자파 구조가 적용된 정합단을 설계하여 3rd IMD 특성 개선 및 정합단 크기를 줄이는 결과를 얻었다.

본 논문에서 제안된 PAM은 출력 전력 36.98 dBm의 출력에서 29.4 %의 효율과 2차 고조파가 -53 dBc로 참조 증폭기에 비해 20 dBc 이상 개선되는 효과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Sov. Phys.-Usp.*, vol. 10, pp. 509-514, 1968.
- [2] J. B. Pendry, "Negative refraction makes perfect lens," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 85, pp. 3966-3969, 2000.
- [3] S. Cripps, *RF Power Amplifier for Wireless Communications 2nd Edition*, Artech House, 231-240, 2006.
- [4] C. Lee, C. Seo, "EER 구조의 응용과 PBG를 이용

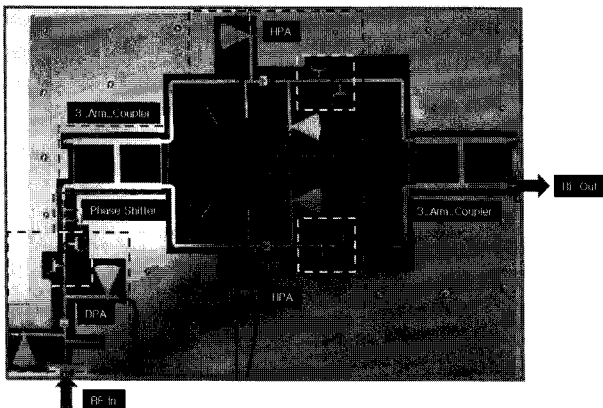


그림 7. 제안된 PAM 제작 기판
Fig. 7. Substrate of proposed PAM.

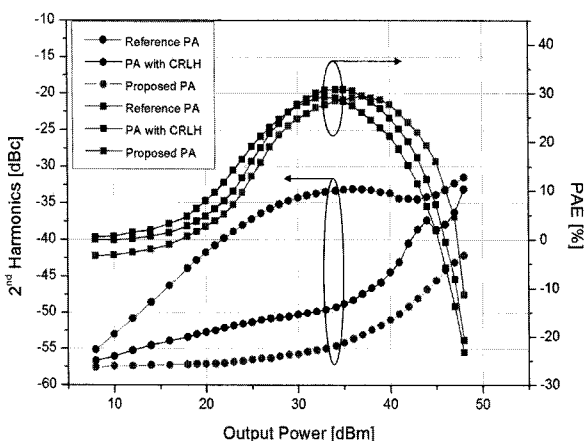
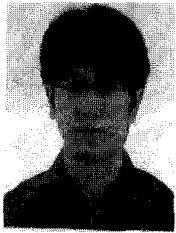


그림 8. 효율 및 고조파 특성 비교
Fig. 8. Comparison of PAE and Harmonics about each power amplifier.

한 고효율, 고선형성 Class-F 전력 증폭기,” 전자 공학회 논문지, 제44권, 2호, 81-86쪽, 2007년.

- [5] S. Cripps, *Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design*, Artech House, 163-170, 2002.
- [6] H. Sumi, H. Takahashi, T. Soejima and R. Mochizuki, “Ku-band 120W power amplifier using gallium nitride FETs,” *Microwave Symposium Digest, 2009. MTT '09. IEEE MTT-S*, pp. 1389-1392, 2009.

저 자 소 개



이 종 민(학생회원)
 2005년 숭실대학교 정보통신전자
 공학부 졸업 (공학사)
 2005년~2007년 숭실대학교 정보
 통신공학과 석사과정
 2007년 3월~현재 숭실대학교
 정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : RF Front_End System 및 소자>

서 철 현(정회원)
 대한전자공학회논문지
 제31권 TC편 6호 참조