

UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기를 이용한 협대역 아날로그 전치왜곡 선형화 기법

Narrow-Band Analog Pre-Distortion Linearization Technique using UHF 400 MHz Band 20 W Power Amplifier

하정완* · 김강산 · 김효중
단암시스템즈 기술연구소

Jung-wan Ha* · Kang-san Kim · Hyo-Jong Kim
R&D Center of Danam Systems INC, Anyang 13930, Korea

[요 약]

본 논문에서는 UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기를 이용하여 협대역 아날로그 전치왜곡 선형화 기법에 관한 연구를 하였다. 아날로그 전치왜곡기로는 MAXIM社에서 제공하는 SC1894 전력증폭 선형화기를 사용하였으며, look-up 테이블 기법을 통해 기존 칩에서 동작하지 않는 1 MHz 이하의 대역폭에 대한 혼변조 신호 특성 및 인접채널전력 개선을 확인 하였다. 400 MHz (400 ~ 500 MHz) 대역에서 1 채널 오프셋 기준 최대 17.46 dB, 2 채널 오프셋 기준 최대 16.6 dB의 혼변조 신호 특성 및 인접채널전력 개선을 확인하였다. 같은 선형성을 요구하는 시스템에 있어 40 W 이상 출력전력에서 12.41%의 전력효율 개선을 확인하였다.

[Abstract]

In this paper, we have studied narrow-band analog pre-distortion linearization technique using UHF 400 MHz band 20 W power amplifier. The analog pre-distorter used the SC1894 radio frequency power amplifier linearizer(RFPAL) provided by MAXIM Corp and through the look-up table technique confirmed the intermodulation distortion(IMD) performance and the adjusted channel leakage ratio(ACLR) improvement for bandwidth below 1 MHz which does not operate on existing chips. In the 400 MHz (400 ~ 500 MHz) band, IMD performance and the ACLR improvement of up to 17.46 dB based on 1-channel offset and up to 16.6 dB based on 2-channel offset were confirmed. In the system requiring the same linearity, we confirmed power efficiency improvement of 12.41% at output power of over 40 W.

Key word : Analog pre-distorter, Intermodulation distortion, Adjusted channel leakage ratio, Power amplifier.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.2.179>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 1 April 2019; Revised 5 April 2019
Accepted (Publication) 23 April 2019 (30 April 2019)

*Corresponding Author; Jung-wan Ha

Tel: +82-31-538-6108

E-mail: yanghjw07@danam.co.kr

I. 서론

최근 무인기 데이터링크 시스템에 대한 사용 및 수요가 증가함에 따라, 시스템의 장시간운용을 위해 무인기 데이터링크 시스템의 소형화 및 소비전력에 대한 고효율성이 중요시 되고 있다. 또한 제한된 주파수대역에 보다 많은 무인기 데이터링크 시스템을 사용하기 위해 인접채널전력에 대한 시스템의 고선형성이 중요시되고 있다[1]-[3]. 무인기 데이터링크 시스템의 전력증폭기는 소비전력 및 고선형성 특성에 대하여 중요한 부분을 차지한다. 전력증폭기의 비선형성은 상호변조 왜곡을 발생시켜 신호의 품질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 스펙트럼 재생성으로 인해 인접대역에 간섭을 유발시키며, 전력증폭기의 선형성 확보를 위한 back-off로 인해 무인기 데이터링크 시스템의 낮은 소비전력 효율을 갖게 한다[4]. 이러한 전력증폭기의 효율 및 선형성 개선을 위해 feedforward 기법, feedback 기법, 아날로그 pre-distortion 기법, 디지털 pre-distortion 기법 등의 다양한 기법들이 제안되고 있으나, 일반적으로 back-off 방식 이외 기법들은 추가적인 회로를 사용해야 하고 그에 따른 전력증폭기의 전체적인 크기와 가격 상승의 단점을 가져온다[5]-[8]. 그러나 시스템 관점에 있어 아날로그 pre-distortion 기법 적용은 전력증폭기의 선형성과 소비전력 개선을 통해 보다 많은 시스템 이점을 갖게 한다. 기존 사용되고 있는 군용 무인기 데이터링크 시스템의 경우 이동통신에 비해 비교적 많은 데이터양을 필요로 하지 않으며, 상/하향 데이터 전송에 대한 사용대역폭이 좁게 된다. 그러나 현재 상용화되어 있는 아날로그 pre-distortion 칩의 경우 1 MHz 이하 대역폭에 대한 동작을 제공하지 않으며, 입력신호 대역폭에 대하여 제한을 갖는다. 표 1은 Maxim사의 SC1894 상용화 칩의 입력신호에 대한 동작조건을 보여준다.

본 논문에서는 1 MHz 이하 협대역 신호에 대하여 Maxim사 SC1894 아날로그 pre-distortion 칩에 look-up 테이블을 적용한 UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기의 선형성 및 효율 개선에 관한 연구를 기술한다. 제 II 장에서는 아날로그 pre-distortion의 기본개념에 대하여 설명하고 Maxim사 SC1894 상용화 칩의 아날로그 pre-distortion 동작원리 및 Look-up 테이블 적용 기법에 대하여 기술한다. 제 III 장 시험 및 측정에서는 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력 증폭기에 대한 설명과 시험 구성 및 측정결과에 대하여 기술한다.

표 1. 입력신호에 대한 Maxim사 SC1894 칩 동작조건
Table 1. Operating condition of Maxim Corp. SC1894 chip for input signal.

Operating condition of SC1894				
PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
Operating Frequency	225	-	3800	MHz
Input signal Bandwidth	1.2	-	75	MHz

II. 아날로그 pre-distortion에 대한 기본 개념과 Maxim사 SC1894 상용화 칩의 동작원리 및 look-up 테이블 적용 기법

2-1 아날로그 pre-distortion 기본 개념 [9]

전력증폭기는 입력된 신호를 증폭하고 증폭된 신호를 출력하는 역할을 하는데 신호를 증폭하는 과정에 있어 전력증폭기는 비선형 특성을 갖게 된다. 이러한 비선형 특성은 전력증폭기의 출력전력이 커짐에 따라 증가하게 되며, 전력증폭기의 비선형 동작은 신호의 상호변조 왜곡을 발생시켜 신호의 품질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 스펙트럼 재생성을 통한 인접대역에 간섭을 유발 시킨다. 그림 1은 출력전력에 따른 전력증폭기의 신호왜곡 정도를 보여준다. 전력증폭기의 이러한 비선형성을 개선하기 위해 전력증폭기의 비선형 성분을 계측하여 계측된 비선형성분을 입력신호 단에 역 위상으로 미리 왜곡 시킴에 따라 미리 왜곡시킨 성분과 전력증폭기의 비선형 성분이 합쳐져 최종 출력신호에서는 선형적 특성을 갖게 하는 방식을 아날로그 pre-distortion 이라고 한다. 그림 2는 아날로그 pre-distortion 적용에 따른 전력증폭기의 입출력 신호 특성 그래프를 보여준다.

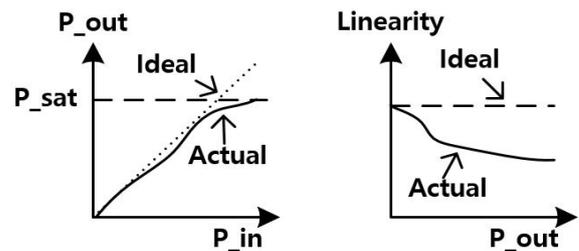


그림 1. 출력전력에 VS 신호왜곡
Fig. 1. Output power vs signal distortion.

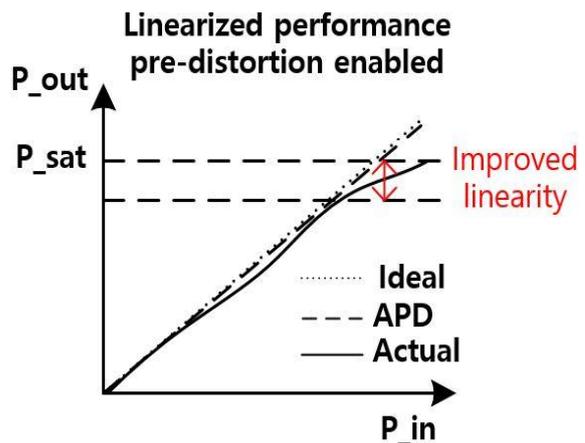


그림 2. 아날로그 pre-distortion이 적용된 전력증폭기 입/출력 특성
Fig. 2. I/O characteristic of power amplifier with analog pre-distortion.

그림 2에서와 같이 아날로그 pre-distortion을 적용함에 따라, 고출력전력에서 전력증폭기의 선형성이 개선된다. 같은 선형성 규격을 요구하는 시스템에 있어 아날로그 pre-distortion을 적용한 전력증폭기의 경우 기존 출력보다 높은 출력이 가능하며, 전력증폭기의 효율 개선 효과를 얻는다.

2-2 Maxim사 SC1894 아날로그 pre-distortion 동작원리 및 look-up 테이블 적용 기법[9]

그림 3은 Maxim사의 SC1894 아날로그 pre-distortion 칩 구조와 기능 블록도를 나타낸다. Maxim사의 SC1894 칩은 그림 3에서와 같이 콜렉션 프로세서, 메모리 디지털 제어부, 모니터부로 구성되며, 콜렉션 프로세서는 다시 위상변환 및 합성부, 볼테라 시리즈부로 구성된다. SC1894로 입력된 신호는 콜렉션 프로세서와 볼테라 시리즈 발생기, 모니터부로 전달되며, 모니터부에서 내장된 ADC를 통하여 입력된 아날로그 신호와 전력증폭기의 피드백 된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변화 시킨다. 또한 모니터부에서는 변환된 디지털신호를 전력증폭기의 혼변조 신호를 개선하기 위한 적응 알고리즘을 통해 디지털 신호처리를 통하여 전력증폭기의 pre-distortion에 필요한 크기와 위상에 대한 계수값을 추출하게 된다. 이렇게 추출된 계수값은 메모리 디지털 제어부로 입력되며, 메모리 디지털부를 통해 출력신호의 혼변조 신호가 선형화되어 혼변조 신호의 에러가 최소가 되도록 계수값을 지속적으로 제어하게 된다. 메모리 디지털부는 최적화 된 계수값을 콜렉션 프로세서의 볼테라 시리즈부로 입력하게 되고, 볼테라 시리즈부는 내장된 DAC를 통해 최적화된 계수값 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환 하게 된다. 콜렉션 프로세서의 볼테

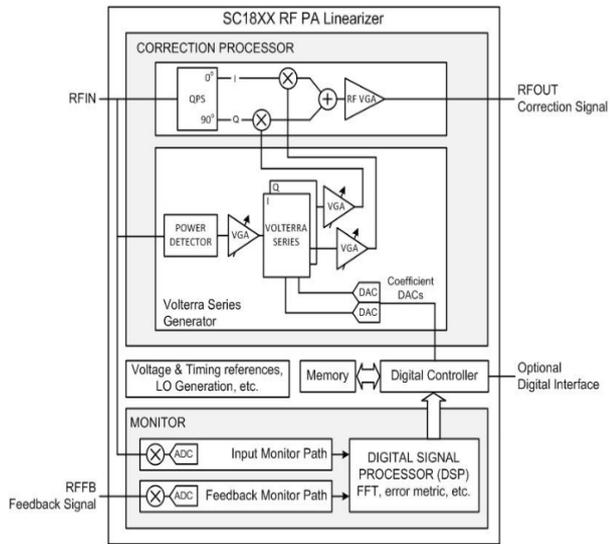


그림 3. Maxim사 SC1894 아날로그 pre-distortion 칩 구조 및 기능 블록도[9].
 Fig. 3. Maxim Corp. SC1894 analog pre-distortion chip architecture and functional block diagram[9].

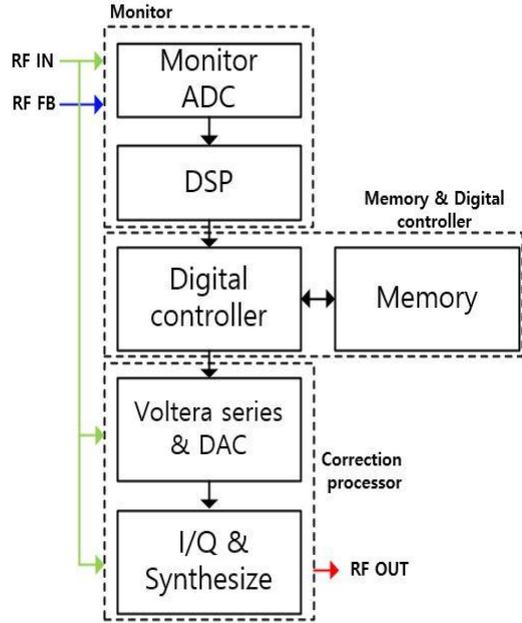


그림 4. Maxim사 SC1894 기본 동작 순서도.
 Fig. 4. Maxim Corp. SC1894 basic operation flowchart.

라 시리즈부는 입력된 신호에 디지털 제어부로부터 받은 최적화된 계수값을 적용하여 디지털 제어기 메모리의 각 항에 대해서 짝수 항 콜렉션 기능이 더해진 신호들을 생성하며, 콜렉션 프로세서의 위상변환부에서는 입력신호를 직각 위상 변환기를 통해 동 위상(I)과 직각 위상(Q)신호로 만들고 볼테라 시리즈로부터 디지털 제어기 메모리의 각 항에 대해서 짝수 항 콜렉션 기능이 더해진 신호를 곱해 pre-distortion 된 동 위상과 직각 위상 신호들을 만들어 낸다. 이렇게 pre-distortion 된 동 위상과 직각 위상신호는 콜렉션 프로세서의 합성부를 통해 원래의 크기와 위상이 결합된 출력신호로 합성되고 신호의 이득을 조절하여 출력하게 된다. 그림 4는 Maxim사의 SC1894의 기본 동작 순서도를 보여준다.

본 논문에서는 기존 상용 SC1894 칩의 1 MHz 이하의 대역폭 신호에 대한 pre-distortion 계수값 추출 오류 및 불안정성에 따른 메모리 디지털부의 계수값 추출 무한루프 동작에 대한 개선을 위해 메모리 디지털부에 look-up 테이블 방식을 적용하였다. 메모리 디지털부의 pre-distortion 계수값 추출에 대한 무한루프 동작은 전력증폭기의 출력신호 불안정성을 초래하며 메모리 디지털부에 look-up 테이블 방식을 적용함에 따라 메모리 디지털부의 지속적 제어가 아닌 look-up 테이블에 따른 pre-distortion 계수값을 고정 제어함으로써 기존에 동작하지 않는 1 MHz 이하의 대역폭 신호에 대해서도 전력증폭기의 안정적인 pre-distortion 동작을 가능하게 하였다. SC1894 칩 메모리 디지털 제어부는 시스템 내부 별도의 CPU 및 EEPROM과 SPI 통신을 가능하게 하였으며, 외부 제어 PC(노트북)와 시스템 내부 CPU간 RS-232 시리얼 통신을 통해 pre-distortion 계수값 추출 및 look-up 테이블 적용

을 가능하게 하였다. look-up 테이블을 적용한 SC1894 칩의 동작은 입력된 신호와 전력증폭기의 피드백 된 신호에 대한 SC1894 칩 모니터부의 ADC 및 DSP 처리를 통해 추출된 계수값이 아닌, 사전시험을 통한 시스템 내부 EEPROM에 저장된 look-up 테이블 계수값을 사용한다. 사전시험을 통한 look-up 테이블 계수값은 전력증폭기에 임의의 대역폭 신호를 인가하고 입력된 신호와 전력증폭기의 피드백 된 신호의 pre-distortion 계수값을 SC1894 칩을 통해 추출하게 된다. 이렇게 추출된 계수값은 사용자의 목적에 맞게 추가적인 보상을 거쳐 최종 look-up 테이블 계수값으로 적용하게 된다. 이 값은 전력증폭기의 pre-distortion에 필요한 크기와 위상 계수값으로 사용되며, SC1894 칩의 콜렉션 프로세서에 전달된다. 콜렉션 프로세서의 볼테라 시리즈부는 입력된 신호에 look-up 테이블 계수값을 적용하여 짝수 항 콜렉션 기능이 더해진 신호들을 생성하며, 콜렉션 프로세서의 위상변환부에서는 직각 위상 변환기를 통해 입력신호의 동 위상(I)과 직각 위상(Q)신호를 생성하고 볼테라 시리즈로부터 look-up 테이블 계수값이 적용된 짝수 항 콜렉션 기능이 더해진 신호를 곱해 pre-distortion 된 동 위상과 직각 위상 신호들을 만들어 낸다. 이렇게 pre-distortion 된 동 위상과 직각 위상 신호는 콜렉션 프로세서의 합성부를 통해 원래의 크기와 위상이 결합된 출력신호로 다시 합성되고 신호의 이득을 조절하여 최종 출력하게 된다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 look-up 테이블을 적용한 Maxim사의 SC1894 칩의 동작 순서도를 보여준다. 자체 제작한 GUI를 통해 look-up 테

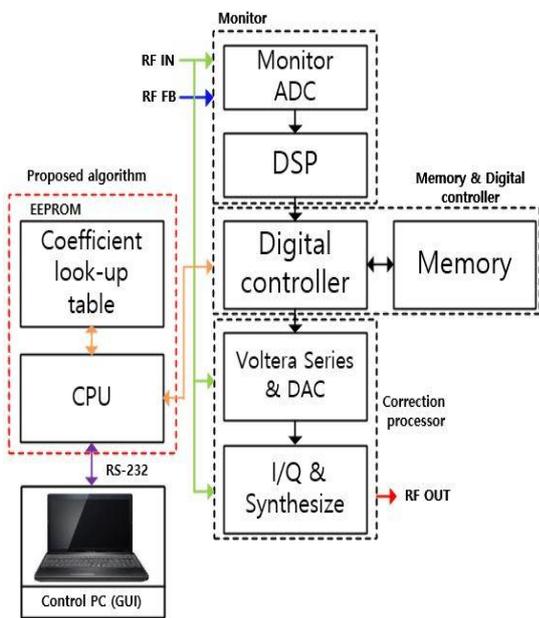
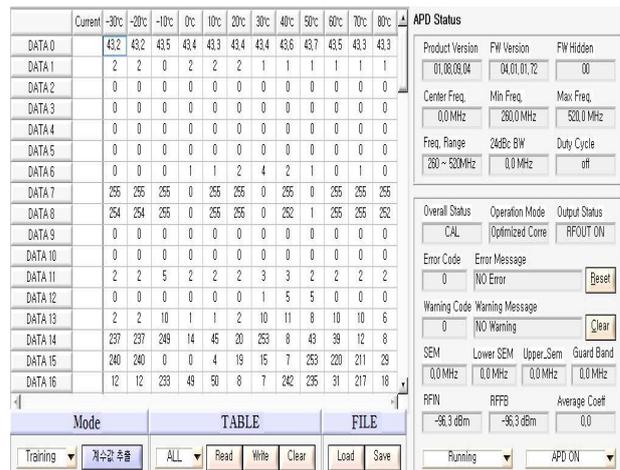
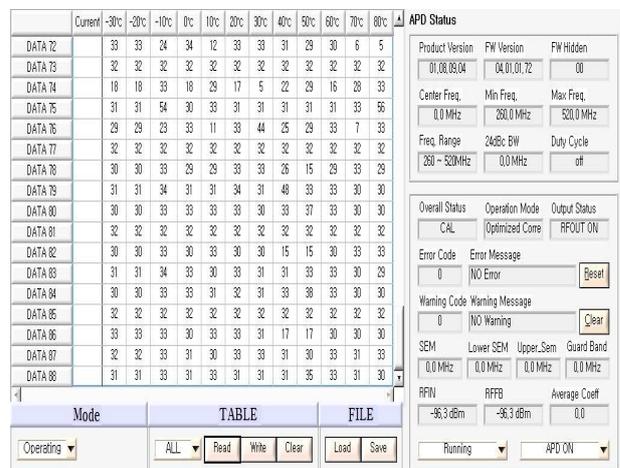


그림 5. Look-up 테이블이 적용된 Maxim사 SC1894 동작 순서도
 Fig. 5. Maxim Corp. SC1894 operation flowchart with look-up table technique.



(a)



(b)

그림 6. 아날로그 pre-distortion 계수값 추출 및 look-up 테이블 적용 화면 (a) 계수값 추출 화면 (b) Look-up 테이블 적용 화면.

Fig. 6. Analog pre-distortion coefficient extraction and look-up table application screen (a) Coefficient extraction screen (b) Look-up table application screen.

이를 적용에 대한 아날로그 pre-distortion 계수값 추출 및 적용을 확인하였으며, 그림 6은 아날로그 pre-distortion에 대한 계수값 추출 및 look-up 테이블 적용에 대한 GUI 화면을 보여준다. 아날로그 pre-distortion에 대한 계수값 추출 및 look-up 테이블에 적용되는 데이터 계수값은 데이터 0 ~ 88까지 총 89개의 데이터가 추출 및 적용되며, 온도에 따른 계수값 편차를 보상하기 위해 각 온도에 따른 계수값 적용을 가능하게 하였다. 그림 6의 (a)는 데이터 0 ~ 16에 대한 아날로그 pre-distortion 계수값 추출 GUI 화면을 보여주며, 그림 6의 (b)는 추출된 계수값에 온도 및 사용자의 목적에 맞게 추가적으로 보상된 계수값 데이터 72 ~ 88에 대한 look-up 테이블 적용 GUI 화면을 보여준다.

III. 시험 및 측정

3-1 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력 증폭기

그림 7은 간략화 된 아날로그 pre-distortion이 적용된 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기의 블록도를 보여주며, APD부, 주증폭부, 제어부로 구성된다. APD부에서는 주증폭부의 드라이브 전력증폭 및 아날로그 pre-distortion의 기능을 수행하며, 주증폭부의 드라이브 전력 증폭을 위해 MMIC 형태의 이득 증폭기와 NXP社의 MW6S010NR1 트랜지스터를 사용하였다. 또한 아날로그 pre-distortion을 위해 Maxim사의 SC1894 칩을 사용하였으며, look-up 테이블 적용을 통해 1 MHz 이하의 협대역 신호에 대하여, 아날로그 pre-distortion 기능을 가능하게 하였다. 주증폭부는 APD부의 드라이브 전력증폭을 받아 20 W의 전력을 출력하는 전력증폭 기능을 담당하며, 20 W급의 전력증폭을 위해, AMPELEON社의 BLP15M7160P 트랜지스터 및 전력증폭기의 반사파 방지를 위해 ADMOTECH社의 ADC045GD 아이솔레이터를 사용하였다. 제어부에서는 전력증폭기의 소형화를 위해 APD부의 적층결합 형태로 되어있으며, APD부 및 주증폭부의 제어 기능을 담당한다. 제어부는 또한 검파기 및 DAC를 통하여 온도변화에 따른 전력증폭기의 이득 및 아날로그 pre-distortion 계수값 보상 기능을 수행하며, RS-232 시리얼 통신이 가능한 외부 인터페이스로 되어 있다. 아날로그 pre-distortion이 적용된 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기는 +5 dBm의 입력신호를 받아 +43 dBm (20 W) 의 신호출력을 내보내며, +5 ~ +26 dBm은 APD부가 +26 ~ +43 dBm은 주증폭부에서 전력 증폭을 담당한다. 그림 8은 아날로그 pre-distortion이 적용된 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기의 구성 및 형상을 보여준다.

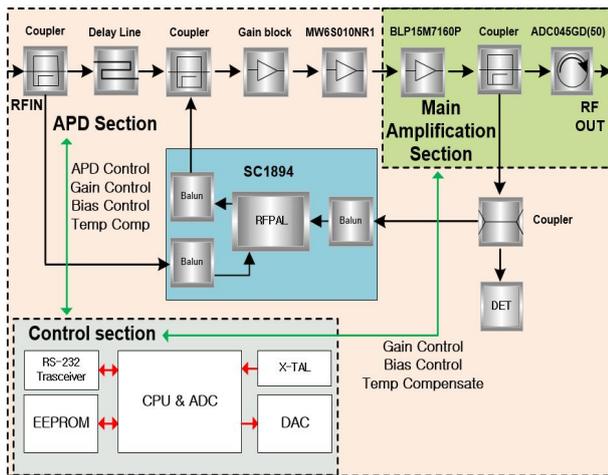


그림 7. 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기 블록도.

Fig. 7. Analog pre-distortion UHF 400 MHz band 20 W power amplifier block diagram.

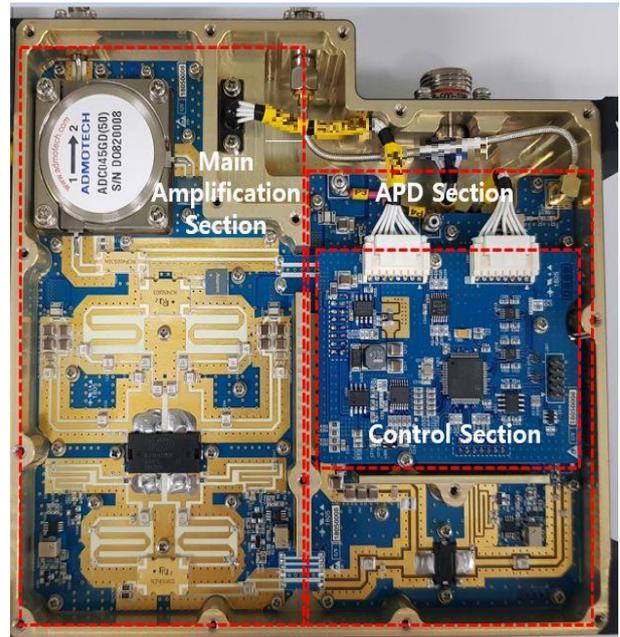


그림 8. 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기 형상

Fig. 8. Analog pre-distortion UHF 400 MHz band 20 W power amplifier structure.

3-2 시험 구성

그림 9는 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기의 시험 구성을 보여주며, 전원공급기, 신호 발생기, 제어용 PC, 스펙트럼 분석기로 구성된다. 전원공급기를 통해 +28 VDC 전압을 인가하며, 신호발생기로부터 생성된 변조신호를 전력증폭기에 입력하게 된다. 또한 제어용 PC를 통해 아날로그 pre-distortion on/off 동작을 제어하며, 스펙트럼 분석기를 통해 전력증폭기의 출력신호에 대한 각 채널별 오프셋 인접채널전력을 측정한다.

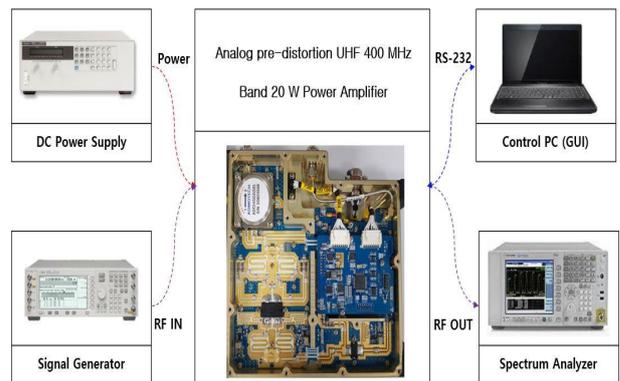


그림 9. 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기 시험 구성.

Fig. 9. Test configuration of analog pre-distortion UHF 400 MHz band 20 W power amplifier.

3-3 시험 및 측정

시험 및 측정에서는 look-up 테이블을 적용한 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기의 입력 신호 8-PSK, 심볼율 385 ksym/s, 롤 오프 계수 0.3에 대한 인접 채널전력 및 효율 측정 결과를 보여준다. 1채널 오프셋, 2채널 오프셋에 대한 인접채널전력에 대하여 측정하였으며, 측정결과 아날로그 pre-distortion 적용에 따른 전력증폭기의 인접채널전력 개선 및 같은 선형성 규격을 요구하는 시스템에서의 전력효율 개선을 확인 할 수 있었다. 그림 10은 아날로그 pre-distortion on/off에 따른 450 MHz에서의 인접채널전력 측정값을 보여주며, 표 2는 아날로그 pre-distortion on/off에 따른 주파수별 인접채널전력 측정값 및 개선값을 보여준다. 그림 10 및 표 2의 측정결과에서 보이듯이 1 MHz 이하 협대역 입력 신

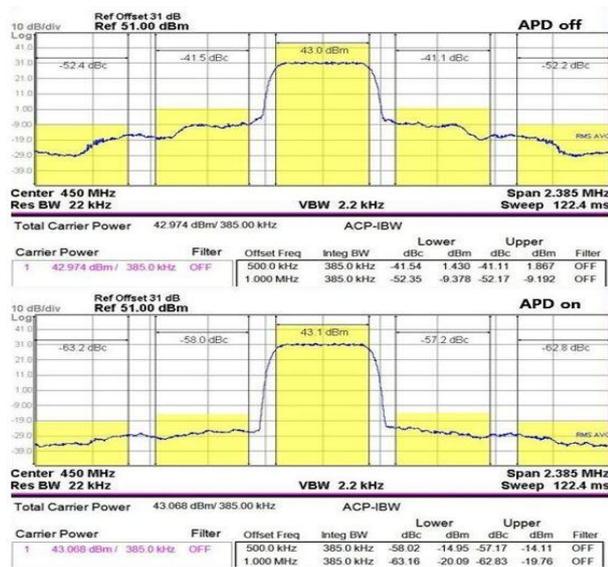


그림 10. APD on/off에 따른 450 MHz에서의 ACLR 측정값
Fig. 10. ACLR measurement for APD on/off at 450 MHz.

표 2. 주파수별 APD on/off에 대한 ACLR 측정결과
Table 2. ACLR measurement result for APD on/off in each frequency.

	APD off	APD on	Difference value
Frequency 420 MHz			
ACLR@ 1-ch offset	-39.75 dBc	-57.21 dBc	-17.46 dB
ACLR@ 2-ch offset	-55.61 dBc	-65.17 dBc	-9.56 dB
Frequency 450 MHz			
ACLR@ 1-ch offset	-41.11 dBc	-57.17 dBc	-16.06 dB
ACLR@ 2-ch offset	-52.17 dBc	-62.83 dBc	-10.66 dB
Frequency 470 MHz			
ACLR@ 1-ch offset	-41.98 dBc	-56.13 dBc	-14.15 dB
ACLR@ 2-ch offset	-50.52 dBc	-67.12 dBc	-16.6 dB

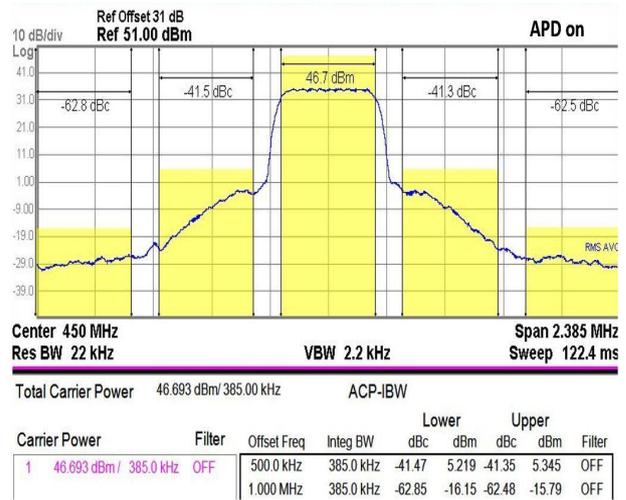


그림 11. 40 W 이상 출력전력에 대한 450 MHz에서의 ACLR 측정결과
Fig. 11. ACLR measurement result for output power of over 40 W at 450 MHz.

호 8-PSK, 심볼율 385 ksym/s, 롤 오프 계수 0.3에 대한 아날로그 pre-distortion on/off에 따른 주파수별 측정결과 1 채널 오프셋 14.15 dB 이상, 2채널 오프셋 9.56 dB 이상의 인접채널전력 개선을 확인할 수 있었다. 또한 아날로그 pre-distortion을 통한 선형성 개선으로 같은 선형성 규격을 요구하는 시스템에 대하여 기존 20 W에서 40 W 이상 출력전력 함에 따라 10.8 % 이상의 전력효율 개선을 확인할 수 있었다. 그림 11은 40 W 이상 출력전력에 대한 450 MHz에서의 ACLR 측정결과를 보여주며, 표 3은 주파수별 40 W 이상 출력전력에 대한 전력효율 개선 및 인접채널전력 측정결과를 보여준다.

표 3. 주파수별 40 W 이상 출력전력에 대한 효율 측정결과
Table 3. Efficiency measurement result for output power of over 40 W in each frequency.

Pout@20W			
Frequency	420 MHz	450 MHz	470 MHz
ACLR@ 1-ch offset	-39.75 dBc	-41.11 dBc	-41.98 dBc
ACLR@ 2-ch offset	-55.61 dBc	-52.17 dBc	-50.52 dBc
Voltage	28 V	28 V	28 V
Current	3.63 A	3.38 A	3.18 A
Pout	43.0 dBm	43.0 dBm	43.0 dBm
Efficiency	19.70 %	21.13 %	22.46 %
Pout@40W			
Frequency	420 MHz	450 MHz	470 MHz
ACLR@ 1-ch offset	-39.93 dBc	-41.35 dBc	-42.02 dBc
ACLR@ 2-ch offset	-61.92 dBc	-62.48 dBc	-60.66 dBc
Voltage	28 V	28 V	28 V
Current	5.23 A	4.98 A	4.32 A
Pout	46.5 dBm	46.7 dBm	46.0 dBm
Efficiency	30.50 %	33.54 %	33.06 %

IV. 결 론

본 논문에서는 Maxim사 SC1894 아날로그 pre-distortion 칩에 look-up 테이블을 적용하여 기존 1 MHz 이하 협대역 신호에 대해 동작하지 않는 아날로그 pre-distortion 기능을 가능하게 하였다. 아날로그 pre-distortion UHF 400 MHz 대역 20 W급 전력증폭기를 통해 1 MHz 이하 협대역 신호에 대한 선형성 및 효율에 대한 개선을 확인하였으며, 400 MHz 대역에서 입력신호 8-PSK, 385ksym/s, 톨 오프 계수 0.3 대한 1채널 오프셋 최대 17.46 dB, 2채널 오프셋 최대 16.6 dB의 인접채널전력 개선을 확인 하였다. 또한 전력증폭기의 선형성 개선을 통한 기존 20 W에서 40 W로 출력전력을 높임에 따라, 같은 선형성을 요구하는 시스템에 있어 최대 12.41 %의 전력효율 개선을 확인 할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 아날로그 pre-distortion look-up 테이블 기법은 1 MHz 이하의 협대역 신호뿐만이 아닌 다양한 입력신호 대역폭에 적용가능하며, 입력신호 대역폭에 대한 자율성을 갖게 한다.

References

[1] S. S. Lee, The prospects and standardization trend of UAV industry, Korean Agency for Technology and Standards, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, 11-1411095-000009-06, pp.46-62, Aug. 2016.
 [2] S. C. Han, J. C. Jang and S. I. Lee, The trend of UAV

technology and industrial prospects, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, Daegu, Korea, PD Issue Report, Vol. 15-7, pp.61-65, July. 2015.
 [3] S. E. Oh, The trend of dron technology development and industrial response plan, Korea Embedded Software and System Industry Association, Issue Report, Vol. 2016-04, pp. 27-32, Apr. 2016.
 [4] S. C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2006.
 [5] Y. S. Lee, M. W. Lee, G. B. Choi and Y. H. Jeong, "New an predistorter using mixing operation for independent control of IM3 components," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 49, No. 10, pp. 2552-2555, Oct. 2007.
 [6] L. Ding, Digital Predistortion of Power Amplifier for Wireless Applications, Ph.D. thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, Mar. 2004.
 [7] F. Prez, E. Ballesteros and J. Peres, "Linearization of microwave amplifiers using active feedback network," *Electronic Letters*, Vol. 21, No. 1, pp. 9-10, Jan. 1985.
 [8] A. N. D'Andrea, V. Lottici and R. Reggiannini, "RF power amplifier linearization through amplifier and phase predistortion," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 44, No. 11, pp. 1477-1484, Nov. 1996.
 [9] Maxim integrated Homepage [Internet]. Available: <http://www.maximintegrated.com>



하 정 완 (Jeong-wan Ha)

2012년 2월 : 경희대학교 전자,전파공학과 (공학사)
 2014년 2월 : 경희대학교 전자,전파공학과 (공학석사)
 2013년 12월~ 현재: 단암시스템즈(주) 기술연구소 재직 중
 ※관심분야 : RF/Microwave 회로 및 시스템 설계



김 강 산 (Kang-san Kim)

2001년 : 부경대학교 제어계측공학과 (공학사)
 2001년~2008년: 단암전자통신 통신연구소
 2009년~2012년: Dali Wireless (CANADA) Inc.
 2015년~현재 : 단암시스템즈(주) 기술연구소 재직 중
 ※관심분야 : 이동통신시스템, 데이터링크



김 호 종 (Hyo-Jong Kim)

1997년 2월 : 경희대학교 전파공학과 (공학사)
 1999년 2월 : 경희대학교 전파공학과 (공학석사)
 2018년 2월 : 경희대학교 전파공학과 (공학박사)
 1999년~ 현재: 단암시스템즈(주) 기술연구소 재직 중
 ※관심분야 : RF/Microwave 회로 및 시스템 설계, 데이터링크