

---

# M/W 중계기용 아날로그 Predistorter의 설계 및 구현

강상기\* · 유준규\*\* · 장대익\*\*

Design and Implementation of an Analog Predistorter for M/W Repeaters

Sanggee Kang\* · Joongyu Ryu\*\* · Dae-Ig Chang\*\*

---

이 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력 핵심기술개발사업 (2007-S008-01, 21GHz대역 위성방송전송기술 개발)의 연구비 지원으로 수행되었음

---

## 요 약

M/W 주파수 변환 중계기는 송신 궤환 신호에 의한 발진 가능성이 적고, 가시거리 통신을 하기 때문에 타 시스템에 대한 간섭도 적다. 때문에 도서 지역 등에 기지국 신호를 전송하는 경우에 M/W 중계기를 많이 이용한다.

본 논문에는 이동통신 M/W 주파수 변환 송신기에 적용 가능한 아날로그 predistorter의 설계와 구현에 관한 내용이 기술되어 있다. 본 논문에서 이용한 M/W 주파수 변환 송신기는 1010 +/-10 MHz의 신호를 11GHz 대역으로 주파수 변환해서 전송한다. 11GHz 대역에서 predistorter를 구현하기는 매우 어렵기 때문에 논문에서는 IF 대역인 1010MHz 대역에서 동작하는 predistorter를 구현하였다. 이와 같은 IF 대역에서 동작하는 predistorter는 IF 단 이후의 전체 송신기를 선형화하는 효과가 있다. Predistorter의 성능 실험 결과 M/W 주파수 변환 송신기가 10.805GHz에서 25dBm을 출력할 때 10dB의 ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)이 개선됨을 확인하였다.

## ABSTRACT

The probability of an oscillation occurrence in M/W frequency conversion repeaters is low on account of the different operating frequency of the input and output signals. The probability of interference caused by the M/W frequency conversion repeaters to other systems is also low because the systems are used in the line-of-sight. Therefore M/W frequency conversion repeaters are generally used for retransmitting the signal received from base station to the islands.

This paper describes the design and implementation of analog predistorter for M/W frequency conversion repeaters in mobile communications. The M/W repeaters convert IF frequency of 1010 +/- 10MHz to RF frequency of 11GHz. A predistorter can be designed for the M/W repeater operating in either IF or M/W frequency. In this paper IF predistorter operated in 1010MHz is designed and implemented because a M/W predistorter operated in 11GHz is difficult to implement. The IF predistorter can linearize RF modules in the repeater followed by IF stages. The performance test results show that the implemented analog predistorter improves ACPR of 10dB at the output power of 25dBm with the signal frequency of 10.805GHz.

## 키워드

전치왜곡기(Predistorter), 주파수 변환 중계기(Frequency conversion repeater), 선형화(Linearization)

## I. 서론

송신 신호가 전파되지 않는 전파음영 지역에 원하는 신호를 전달하기 위해서 중계기를 사용하며, 중계기는 크게 무선중계기와 유선중계기로 구분할 수 있다. 일반적으로 설치의 편이성과 비용 때문에 무선중계기를 주로 사용하지만, 특별한 목적을 위해서 광중계기와 같은 유선중계기를 이용하기도 한다.

무선중계기는 케환신호에 의한 중계기의 발전을 억제할 수 있어야 하며, 최근에 발전 억제 기능을 갖는 ICS(Interference Cancellation System) 중계기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2,3]. 그러나 ICS 중계기는 비용과 시스템의 구성이 복잡하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완한 중계기가 주파수 변환 중계기이다. 주파수 변환 중계기는 ICS 중계기 보다 많은 주파수를 사용한다는 단점이 있지만 비용과 구성 측면에서 ICS 중계기 보다 장점을 갖는다.

무선중계기의 송신신호는 타시스템에 간섭원으로 작용할 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다. M/W 중계기는 가시거리 통신을 하며, 전파전파 특성으로 인해서 타시스템에 간섭원으로 작용할 가능성이 적다. 때문에 도서지역에 신호를 중계하는 경우에 M/W 중계기를 많이 사용한다.

송신기에서 발생하는 상호변조왜곡 신호는 원신호의 신호대잡음비가 악화시키거나 인접채널에 간섭원으로 작용한다. 송신기의 선형성 개선은 전체적으로 시스템의 용량을 향상시키기 때문에 선형화 방법에 대한 많은 연구가 진행되었다[4]. 선형화 방법으로는 feedforward[5], polar feedback[6,7], cartesian feedback[6,7], predistortion[8], LINC(Linear Amplification with Nonlinear Components)[9] 등이 연구되었다. Feedforward는 선형화 대역폭과 선형화 성능이 우수하나 구성이 복잡하며, 크기가 크기 때문에 대형 중계기나 기지국에서 주로 이용된다. Feedback 방법은 선형화 대역폭이 작아서 협대역 신호의 선형화에 이용되며, LINC는 아직까지 기술적인 한계 때문에 상용시스템에 적용하기는 무리가 있다. Predistorter에는 아날로그 predistorter와 디지털 predistorter가 있으며, 디지털 predistorter는 기저대역 신호처리를 필요로 하기 때문에 소형 M/W 중계기에는 적합하지 않다. 반면에 아날로그 predistorter는 크기와 시스템의 구성이 간단하다는 장점이 있으며, M/W 중계기는 송신전력의 변화도 작아서

충분히 적용가능하다. 또한 predistorter는 시스템 내의 구현 위치에 따라서 증폭기 자체의 선형화뿐만 아니라 송신기 전체의 선형화도 가능하다. 본 논문은 M/W 중계기용 아날로그 predistorter에 관한 것으로, predistorter의 설계와 구현 그리고 시험결과가 기술되어 있다.

## II. 설계 및 구현

선형성을 개선하고자 하는 M/W 중계기용 송신부의 구성은 그림 1과 같고, 목표 성능은 표 1과 같다. 그림 1의 M/W 중계기용 송신부는 1.01GHz +/- 10MHz 대역의 신호를 11GHz 대역으로 주파수 상향 변환한 후에, 그 신호를 증폭시켜서 전송한다.

표 2에는 원래의 M/W 주파수 상향 송신기의 line-up에 따른 이득, 출력과 OIP3(Output 3rd order Intercept Point)를 계산한 결과를 나타내었다. 표 2로부터 원래 M/W 주파수 상향 송신기에 -23.5 dBm의 전력을 인가하면, 15 dBm이 출력되며, 이때 주파수 상향 송신기의 모든 부품들의 3차 IMD의 크기가 60 dBc 이상을 유지하고 있기 때문에 원하는 ACPR(Adjacent Channel Power Ratio) 성능을 얻을 수 있다. 반면에 동일한 주파수 상향 송신기를 이용해서 25dBm을 출력하기 위해서 -13.5 dBm을 인가하는 경우 종단의 두번째 증폭기와 최종 증폭기에서 3차 IMD의 크기가 각각 51.5 dBc, 48.2 dBc가 되기 때문에 원하는 ACPR 성능을 얻을 수 없다. 따라서 원하는 IMD 성능을 얻기 위해서는 선형화를 필요로 한다. 통상 2-tone IMD 특성이 60dBc 이상이 되어야 50dBc 이상의 ACPR을 얻을 수 있으며, 표 1의 요구 성능에서는 1.98MHz에서 52dBc의 ACPR을 필요로 한다. 만약 그림 1의 증폭부 전단에 predistorter를 설치한다면 11GHz 대역에서 동작하는 predistorter를 설계해야 하며, 이 주파수 대역에서 predistorter의 설계 및 구현은 아주 어렵다. 또한 원래의 M/W 중계기를 두 개로 구분(주파수 상향부와 증폭부)해서 다시 제작해야 한다. 반면에 IF 대역인 1010MHz에서 predistorter의 설계는 11GHz 대역의 predistorter 보다 상대적으로 쉽다. IF 대역에서 predistortion의 구현은 구현의 용이성 뿐만 아니라 전체 송신부를 선형화 할 수 있다는 장점도 있다.

그림 2는 그림 1의 M/W 주파수 상향 송신기에 APD(Analog Pre-Distorter) 블록을 추가한 M/W 주파수

상향 송신기의 구성도이다. 그림 2의 predistortion 블록에서 여파기는 신호대역 이외의 신호를 제거하는 기능을 하며, 2단 증폭부는 PD (Pre-Distorter)의 위상 전치왜곡부에 적정한 신호레벨을 인가하기 위한 구동 증폭부로서 PD 이전에는 왜곡이 없어야 하기 때문에 선형성이 좋은 증폭기를 사용하였다. PD에서 출력되는 신호를 증폭해서 다시 PD로 인가하는 증폭기는 위상 전치왜곡부의 삽입손실은 보상하기 위한 증폭기이며, PD 다음 단의 PAD는 PD와 선형성을 개선하기 위한 M/W 증폭기 사이의 전력 레벨을 맞춰주기 위한 용도로 사용된 감쇠기이다. 설계 및 제작에 사용한 PD는 Maxim사의 max2010을 사용하였다. 표 3에는 predistorter의 line-up에 따른 이득, 출력과 OIP3를 계산한 결과를 나타내었다. PD 전단에서 발생하는 IMD는 PD를 통해서 개선되지 않기 때문에 PD 전단에서는 60 dBc 이상의 3차 IMD를 유지해야 한다. 표 3은 위상 PD 전단에서 62.1dBc 그리고 크기 PD 전단에서 60.6dBc의 3차 IMD를 유지함을 보여준다.

표 1. M/W 주파수 상향 송신기의 요구 성능 규격  
Table 1. Required performance specifications of the M/W frequency conversion transmitter

순번	항 목	성능규격
1	입력주파수범위	1010 MHz +/- 10 MHz
2	입력전력	-13 dBm, max
3	출력주파수범위	10805 +/- 10MHz MHz
4	출력전력	25 dBm
5	이득	38 dB
6	스퓨리어스	-52dBc @ +/- 1.98MHz -55dBc @ +/- 5MHz

### III. 시험 결과

제작된 APD 블록은 network analyzer를 통해서 AM-AM, AM-PM 성능을 시험하였다. 그림 3과 그림 4는 1010MHz에서 측정된 APD의 AM-AM 및 AM-PM 성능을 보여준다. 그림 3으로부터 APD에 입력이 증가할수록 이득이 증가됨을 알 수 있다. 그림 3 (a)에서는 입력이 -20dBm에서 -15dBm으로 증가할 때 APD의 이득은 -7.739dB에서 -4.69dB로 증가함을 보여준다. 그림 3 (b)는 동일한 입력조건에서 이득확장의 기울기 조정이 가능함을 보여주며, 그림 3 (c)는 이득확장이 되는 입력전력의 값도 변화시킬 수 있음을 보여준다. 그림 3 (a)와 (b)는 약 -20dBm에서부터 이득이 확장됨을 보여주며, 그림 3 (c)는 -23.6dBm에서부터 이득이 확장됨을 보여준다. 그림 4는 입력전력에 따른 APD의 위상 변화를 측정된 결과이다. 그림 4 (a)와 (b)는 입력전력에 따라서 위상이 확장되는 지점의 변화가 가능하며, 입력이 증가함에 따라서 위상이 증가 또는 감소하는 특성을 가짐을 보여준다. 그림 5는 제작된 APD의 성능 측정결과이며, M/W 주파수 상향 송신기에 1010MHz에 CDMA 신호를 인가하여 10.805GHz를 출력할 때, predistortion 전과 후를 비교해서 측정된 스펙트럼이다. 측정결과 25dBm 출력에서 ACPR이 10dB 개선되었다. 그림 6은 제작된 APD의 사진이다.

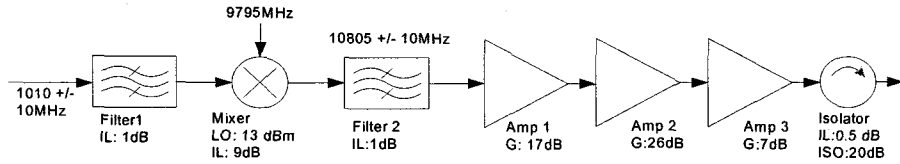


그림 1. Predistorter를 구현하기 이전의 M/W 주파수 상향 송신기의 구성도

Fig. 1. Block diagram of the M/W frequency conversion transmitter before implementing the predistorter

표 2. Predistorter를 구현하기 이전의 M/W 주파수 상향 전력증폭기의 이득, 출력 및 IMD 특성

Table 2. Gain, output power and IMD characteristics of the M/W frequency conversion transmitter before implementing the predistorter

	Input signal	LC-filter	Mixer	U-strip BPF	Amp 1	Amp 2	Amp 3	Isolator
Ele-Gain(dB)	-	-1.0	-9.0	-1.0	17.0	26.0	7.0	-0.5
Ele-OIP3(dBm)	-	60.0	17.0	60.0	35.5	44.5	54.5	60.0
Cas-Gain(dB)	-	-1.0	-10.0	-11.0	6.0	32.0	39.0	38.5
Cas-OIP3(dBm)	-	60.0	17.0	16.0	31.1	44.3	49.6	48.7
Output pwr(dBm)	-23.5	-24.5	-33.5	-34.5	-17.5	8.5	15.5	15.0
IMD3(dBc)	-	169.0	83.0	101.0	97.1	71.5	68.2	67.5
Bias	-	-	-	-	7V, 300mA	6V, TBD A	10V, 2.2A	-

Output pwr(dBm)	-13.5	-14.5	-23.5	-24.5	-7.5	18.5	25.5	25.0
IMD3(dBc)	-	149.0	63.0	81.0	77.1	51.5	48.2	47.5

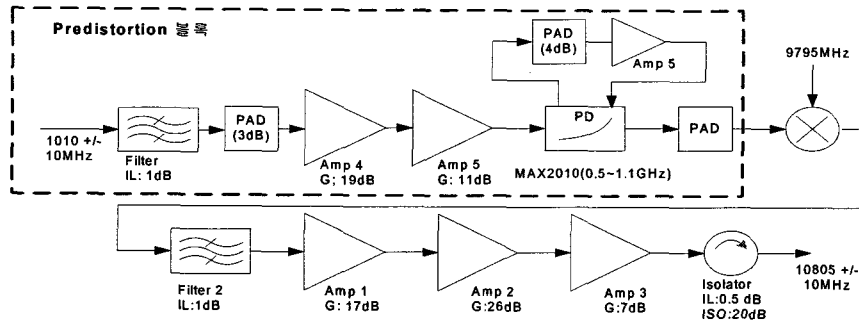


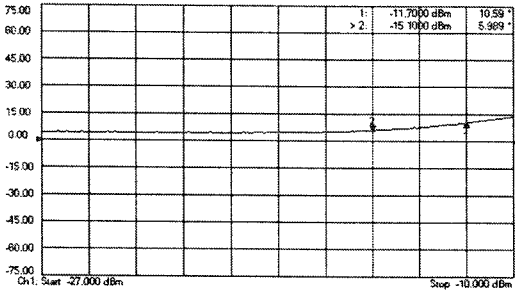
그림 2. APD를 추가한 M/W 주파수 상향 송신기의 블럭도

Fig. 2. Block diagram of the M/W frequency conversion transmitter with APD

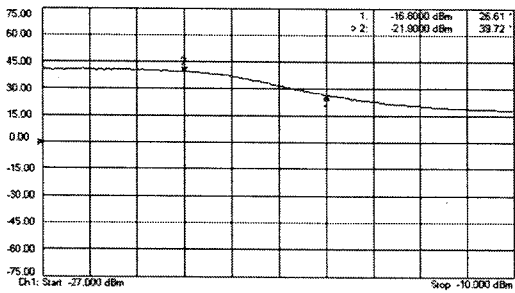
표 3. APD의 이득, 출력 및 IMD 특성

Table 3. Gain, output power and IMD characteristics of the APD

	Input signal	LC-filter	Pad	Amp ERA-5	Amp AH-312	Analog PD(Phase)	Pad	Amp AH-312	Analog PD(Mag)	Pad
Ele-Gain(dB)	-	-1	-5	19	15	-7	-10	15	-14	-12
Ele-OIP3(dBm)	-	65	65	31	50	65	65	50	65	65
Cas-Gain(dB)	-	-1	-6	13	28	21	11	26	12	0
Cas-OIP3(dBm)	-	65.0	58.8	31.0	44.5	37.5	27.5	41.8	-	-
Output pwr(dBm)	-14.5	-15.5	-20.5	-1.5	13.5	6.5	-3.5	11.5	-2.5	-14.5
IMD3(dBc)	-	161.0	158.6	65.0	62.1	62.1	62.1	60.6	-	-
Bias	-	-	-	7V, 65mA	5V, 820mA	5V	-	5V, 820mA	-	-



(a)



(b)

그림 4. 1010MHz에서 APD의 AM-PM 특성  
Fig. 4. AM-PM characteristics of APD at 1010MHz

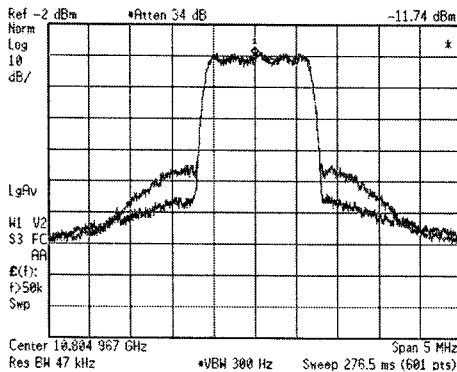


그림 5. Predistortion 전후의 출력스펙트럼(@ 25dBm)  
Fig. 5. Output spectrum with and without predistortion(@ 25dBm)

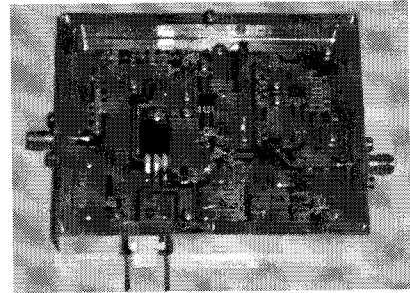


그림 6. 제작된 APD의 사진  
Fig. 6. Picture of the implemented APD

#### IV. 결론

M/W 주파수 변환 송신기용 APD를 설계하고 구현하였다. 구현한 APD는 M/W 주파수 변환 송신기 전체를 선형화한다. 성능시험 결과 10.805GHz에서 목표한 25dBm 출력시 10dB의 ACPR 개선효과가 있었다. 본 논문의 결과는 APD도 IF 단에서부터 최종 송신기까지 선형화가 가능함을 보여주며, M/W 중계기 뿐만 아니라 위성통신 등 일반적인 주파수 변환 송신기에도 적용할 수 있음을 보여준다.

#### 참고문헌

- [1] W.T. Slingsby and J.P. McGeehan, "Antenna Isolation Measurements for On-Frequency Radio Repeaters," Antennas and Propagation Conference, pp. 239-243, 1995.
- [2] T.N.C. Wang, "On Application of Cellular or PCS off-air On-frequency Repeaters," Asia Pacific Microwave conference, pp. 537-539, 1997.
- [3] US Patent No. 4,383,331, "Method and Means of Preventing Oscillation in a Same-frequency Repeater," 1983.5.
- [4] Frederick H. Raab, Peter Asbeck, Steve Cripps, Peter B. Kenington, Zoya B. Popovic, Nick Potheary, John F. Sevic and Nathan O. Sokal, "Power Amplifiers and Transmitters for RF and Microwave," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 50, no. 3, pp. 814-826, March 2002.
- [5] H. Seidel, "A Microwave Feedforward Experimental," Bell System Tech. Journal, vol. 50, no. 9, pp. 2879-2916,

Nov. 1971.

- [6] H. S. Black, "Translating System," U.S. Patent 1,686,792, Oct. 9, 1928.
- [7] V. Petrovic, "Reduction of Spurious Emission from Radio Transmitters by means of Modulation Feedback," in IEE Conf. Radio Spectrum Conservation Techniques, Sept. 1983, pp. 44-49.
- [8] Yoshinori Nagata, "Linear Amplification Technique for Digital Mobile Communications," in Vehicular Technology Conference, May 1989, pp. 159-164.
- [9] D. C. Cox, "Linear Amplification with Nonlinear Components," IEEE Trans. Communications, vol. com-22, no. 12, pp. 1942-1945, Dec. 1974.

## 저자소개

### 강 상 기(Sanggee Kang)



1988년 단국대학교 전자공학과(학사)  
1989년 삼성반도체통신  
1989 ~ 1992 해군통신장교  
1994년 단국대학교 전자공학과(석사)  
2004년 충남대학교 전파공학과(공학박사)  
1994 ~ 2005 한국전자통신연구원 선임연구원  
2005 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수  
※관심분야: RF/MW 부품 및 시스템

### 유 준 규(Joongyu Ryu)



1999년 충남대학교 전파공학과(학사)  
2001년 충남대학교 전파공학과(석사)  
2001 ~ 현재 한국전자통신연구원  
광대역무선멀티미디어연구팀  
선임연구원  
※관심분야: RF/MW 부품 및 시스템, 위성통신시스템

### 장 대 익(Dae-ig Chang)



1985년 한양대학교 전자통신공학과  
(학사)  
1989년 한양대학교 전자통신공학과  
(석사)  
1999년 충남대학교 전자공학과(공학박사)  
1990년 ~ 현재 한국전자통신연구원 광대역무선  
멀티미디어연구팀 팀장  
1991년 ~ 1993년 캐나다 MPR Teltech 연구소 VSAT팀  
연구원  
2005년 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교(UST)  
이동통신 및 디지털방송공학전공 교수  
※관심분야: 위성통신시스템, 위성방송, 디지털통신,  
디지털변복조 등