

Multi-Band 이동통신용 수동혼변조왜곡 측정시스템 개발

박기원*, 신동환**, 이영철*

*경남대학교, **(주)인터웨이브

Implementation of Multi-Band Mobile PIMD Measurement System.

Park Ki Won,* Shin Dong Whan**, Rhee Young Chul*

* Kyungnam University, InterWave Co.

요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 이동통신 RF 모듈의 수동 혼변조 왜곡신호를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 광대역 특성을 나타내기 위하여 RF 수신단에서 저 잡음 특성과 광대역 특성을 만족하는 수신기를 설계하였으며 RF 수신 단에서 넓은 동적영역(high dynamic range)을 나타내도록 하였다. 설계된 수동 혼변조 왜곡 측정시스템에서 FPGA/DSP를 적용하여 측정된 PIMD신호를 PC에 기록하도록 프로그램 하였다. 650MHz-2700MHz 까지 가변하여 제3차 혼변조 왜곡신호를 측정하여 최고 -138dB를 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, we developed a wideband PIMD system to measure passive intermodulation distortion signals of mobile communication RF passive module. To represent wideband characteristic, we designed a receiver that meets low-noise and wideband characteristics in RF receiver. It allows high dynamic range in the RF receiver front end. In designed passive intermodulation distortion measurement system, we programed to display a PIMD signal with FPGA/DSP at PC. Implemented PIMD system was variable from 650 MHz to 2700 MHz and show up to -138 dB minimum detectable 3rd passive intermodulation distortion signal.

키워드

PIMD, Wideband, High sensitivity, HDR

I. 서 론

광대역과 초고속 특성을 나타내는 무선통신 시스템에서 가장 고려되어야 할 사항은 다중화에 의한 무선통신의 품질에서 채널간의 간섭에 의하여 발생하는 각종 상호변조왜곡(IMD: Intermodulation distortion)신호가 발생하여 통신의 품질에 중요한 문제를 일으키고 있다는 점이다[1]. 광대역 무선통신시스템에서 발생하는 상호 변조 왜곡신호는 무선통신시스템의 RF능동소자에 의한 능동 상호변조왜곡(AIMD: active intermodulation distortion)과 수동소자에 의한 수동 상호 변조 왜곡(PIMD: Passive Intermodulation Distortion) 현상으로 구분된다.

일반적으로 AIMD는 무선통신 송신시스템에서 고출력 전력증폭기의 비선형 특성에 의한 능동혼변조왜곡(AIMD)신호가 주로 발생되며 이 신호를 제시하기 위하여 송신기 출력을 백오프(backoff) 시키거나[6] 또는 송신시스템에 디지털 전치왜곡기(DPD: digital predistortion) 및 포락선추적

(envelop tracking)방식 등 다양한 선형화 기술이 개발되고 있다[2].

한편 이동통신시스템을 구성하고 있는 안테나 및 케이블 및 커넥터 등 수동소자의 특성에 의한 PIMD의 발생으로 왜곡신호의 크기가 심각할 경우, 예측하지 못했던 통화 품질의 저하가 발생되므로 미소한 PIMD신호를 검지하는 측정시스템이 요구된다. 기존의 상용화된 PIMD측정시스템의 경우, 설계된 협대역에서 PIMD를 측정함으로써 다중대역의 경우, 여러 개의 협대역 PIMD로 측정하게 되는 문제점이 있으므로 본 연구에서는 다중대역 이동통신 기지국시스템의 PIMD를 측정하기 위하여 수신단에서 광대역 임피던스 정합기법을 적용하고 고감도 특성을 나타내는 광대역 PIMD 측정시스템을 구현하고자 한다.

II. 비선형 모델링과 PIMD 해석

무선통신시스템에서 PIMD 신호의 발생은 안

테나 시스템, RF 커넥터와 케이블 등 RF 수동소자에 2개 이상의 주파수가 입력될 때, RF 부품의 비선형 혼합에 의해 불필요한 왜곡신호가 발생한다. RF 수동소자에서 PIMD를 발생하는 비선형 특성의 원인은 접촉 비선형성(Contact Nonlinearity)과 물질 비선형성(Material Nonlinearity)으로 구분된다[3]. 이와 같은 RF 부품은 RF 동작범위에서 가능한 선형특성을 유지하도록 설계되지만 실제적으로는 비선형 특성을 가지고 있으므로 이러한 비선형 특성에 의한 발생되는 PIMD를 해석하기 위하여 비선형 특성을 다음(1)식과 같이 모델링 할 수 있다[2].

$$V_o = G_1 V_j + G_2 V_j^2 + G_3 V_j^3 + \dots + G_n V_j^n \dots\dots\dots (1)$$

여기서 (1)식에 서로 다른 주파수를 가지는 두 개의 신호가 비선형 함수에 입력된다하면 입력신호는

$$V_i = E_a \cos A + E_b \cos B \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $A = 2\pi f_a t$ 이며 $B = 2\pi f_b t$ 이다. 식(2)를 식(1)에 대입하면 비선형 특성 전달함수에 대한 출력 V_{out} 에 나타나는 신호성분은 본래의 두 신호성분 f_1 및 f_2 이외에 $2f_1 - f_2$ 와 $2f_2 - f_1$ 을 제 3차 혼변조왜곡신호이며 제3차 혼변조왜곡신호 $2f_1 - f_2$ 성분의 크기를 구하면 다음 식(3)과 같다.

$$V_{IMD} = \frac{3}{4} [k_3 V_1^2 V_2] \cos 2\pi (2f_1 - f_2) t \dots\dots\dots (3)$$

신호의 크기를 수동소자에 대하여 $V_{IMD} \approx V_1^2 V_2$ 이며 이 값을 전력으로 고려하면 수동혼변조왜곡 P_{IMD} 는 $P_{IMD} = P_1^2 P_2$ 가 되며 $2f_2 - f_1$ 성분에 대하여 $P_{IMD} = P_1 P_2^2$ 의 제3차 수동혼변조왜곡신호의 전력을 나타낼 수 있다. RF 수동소자의 비선형 특성에 의하여 나타나는 혼변조왜곡 현상을 그림으로 표현하면 다음 그림 1과 같다. 그림에서는 제5차 혼변조왜곡까지 나타내었다. PIMD 수신기 설계에서 동적범위(dynamic range)에 가장 큰 영향을 주는 관계식은 SFDR이며 다음식과 같으며 최소검파신호와의 관계는 그림 1과 같다[2].

$$SFDR_3 = 2/3(IIP3 + 174 - NF - 10\log BW)$$

$$SFDR_2 = 1/2(IIP2 + 174 - NF - 10\log BW)$$

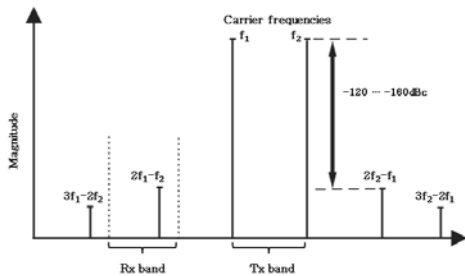


그림 1. 반송신호 및 혼변조왜곡신호 관계

III. Multi-Band PIMD에 측정시스템 구현

고감도 PIMD 계측 시스템을 설계하기 위하여

PIMD의 RF수신에 대하여 비선형 특성을 분석하고 광대역 임피던스 매칭 기법은 낮은 Q값(선택도)을 갖도록 임피던스 매칭 회로를 구성하였다. 수신단에서 광대역 특성을 가지면서 안정적으로 동작할 수 있도록 디지털부에서 RF 선형 왜곡(이득, 위상) 보상하고 고속 주파수 스캔 기법 적용하였다.

넓은 동적영역을 고려한 광대역 PIMD 측정시스템은 그림 2와 같은 구조로 설계하였다. 광대역 PIMD 디지털 신호처리부는 그림 2와 같이 구성하였다. RF 수신에 의하여 하향변환기의 출력은 고해상도 ADC로 동시에 입력되고 ADC는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환되며 ADC 출력 신호는 FPGA로 입력되며 FPGA는 I/Q 복조, 주파수 계산, 신호크기 측정 등을 수행하여 이 결과를 DSP로 전송한다. DSP는 FPGA로부터 받은 데이터를 PC GUI에서 표시하기 위한 초기 가공을 거친 후 PC로 전송하며 PC는 DSP로부터 받은 데이터를 재가공하여 GUI에 표시한다.

한편 고감도 특성을 얻기 위하여 높은 동적범위(Dynamic Range)를 가지는 소자 사용하여 고감도 RF수신단을 설계하였다. 그림 2는 개발된 고감도와 광대역 특성을 갖는 PIMD 측정 수신단의 구성도를 보여 주고 있으며 그림 3은 개발된 PIMD 측정시스템이다.

그림 3의 개발된 PIMD 측정시스템의 입력된 RF 신호를 저잡음 증폭기를 통해 낮은 잡음을 가지면서 PIMD의 크기로 증폭하며 BPF를 통해 650~2700MHz의 수신 주파수 대역을 통과시킨다.

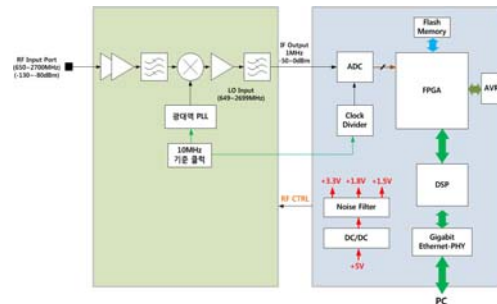


그림 2. 설계된 고감도/광대역 PIMD 구성도

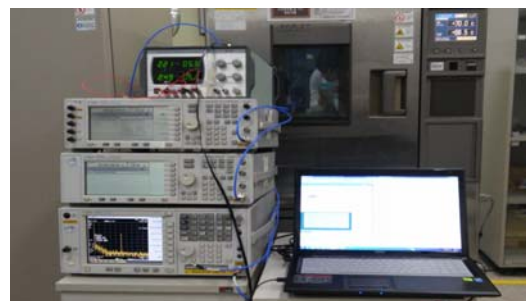


그림 3. 개발된 광대역 PIMD 측정시스템

RF수신단의 국부발진기는 PLL 주파수 제어를 통해서 649~2699MHz를 발생하여 믹서에서 의 차를 PIMD로 나타내고 1MHz로 낮은 IF신호로 하향변환 시키도록하였다. IF필터에서 LPF를 통해 PIMD만을 통과하여 1MHz의 IF 신호(PIMD)를 ADC로 보낸다. RF 하향변환에 의하여 총 이득은 80dBm를 갖도록 설계하였다. 송신 주파수 f_1, f_2 를 설정하고, 수신 주파수(f_{LO})는 PIMD가 믹서를 통과하여 1MHz로 PIMD 신호가 되도록 설정한다.

$$f_{LO} = 2f_1 - f_2 - 1MHz$$

측정시스템에서 온도 등의 고려한 이득 보상을 설정하고 장애유무(Alarm)를 판단하여 이상이 있으면 장애표시를 나타내고 정지하도록하였다. 장애가 없을 경우 PAU 장비를 동작한다. 시간 모드는 원하는 측정 주파수를 설정하여 시간에 따라 IM Level를 나타낸다. 주파수 모드는 주파수에 따라 IM Level를 나타낸다. Sweep 모드는 주파수 범위, step, 측정시간을 설정하여, 측정시간 만큼 한 step씩 측정하여 IM Level를 나타낸다.

그림 4와 같이 PIMD 측정시스템을 구성하였으며 일반적으로 사용하는 RF 콘넥터를 테스트 결과 그림 5에서 RF 신호를 910MHz와 920MHz 입력시켰을 때 3차 PIMD를 나타내었으며 본 연구 개발에 의하여 측정된 PIMD는 138.25dBc로 측정되었다. 그림 6은 개발된 PC 화면에 나타나는 측정변수를 구체적으로 보여 주고 있으며 자동화 시켰다.

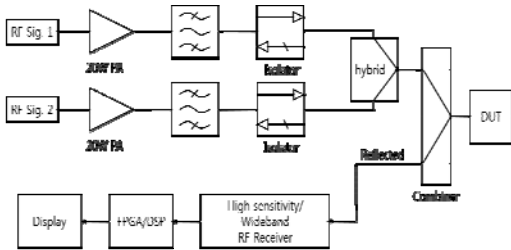


그림 4. RF 모듈 PIMD 측정 시스템구성

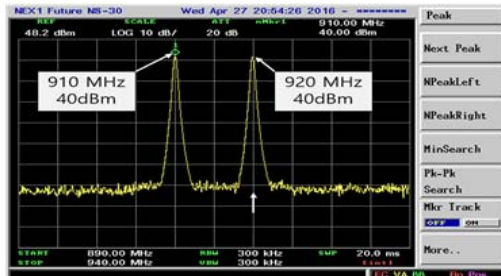


그림 5(a). RF신호($f_1=910MHz, f_2=920MHz$)



그림 5(b). 측정된 PIMD신호(930MHz, 138.25dBc)

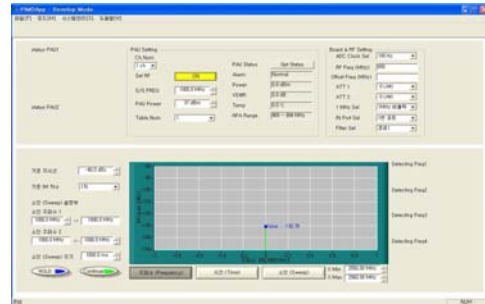


그림 6. 개발된 PIMD 자동측정 시스템 화면

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 이동통신 RF 수동혼변조 왜곡신호의 측정 장치가 협대역으로 구성되어 있음에 비하여 본 연구에서는 광대역 특성을 나타내고 넓은 동적영역을 나타내는 RF 수신단을 설계함으로서 광대역 PIMD 측정시스템을 구현하였으며 표준화에 의한 측정시스템으로 개발될 수 있음을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2015_HIC1A1035526)

참고문헌

- [1] G.J.Mazzaro, M.B.Steer., "Intermodulation distortion in narrowband amplifier circuits," IET Microwaves, Antenna & propa., pp1149-1156, April 2010
- [2] Z.Wang, "Demystifying Envelope Tracking," IEEE Microwave Magazine, April 2015 pp106-129
- [3] 한국전자통신연구원, 전파연구소, RF 부품의 PIMD측정 절차서, 10월 1999
- [4] Dmitry Kozlov, "On Passive Intermodulation Test of Analog and Digital Systems," IEEE. INMMIC workshop, pp1-3, 2015