

논문 2005-42TC-9-1

온도보상 기법을 적용한 디지털 방식의 사전 왜곡제거기 알고리즘

(Digital Predistortion Algorithm using Techniques of Temperature
Compensation)

고 영 은*, 방 성 일**

(Young Eun Ko and Sung Il Bang)

요 약

본 논문에서는 디지털 방식으로 온도에 의한 왜곡을 보상할 수 있는 사전왜곡제거기 알고리즘을 제안하였다. 사전왜곡제거기 알고리즘은 입력레벨에 따른 시스템 비선형 왜곡뿐만 아니라 온도에 따른 왜곡의 보상성분을 산출하여 베이스밴드 영역의 디지털 신호를 사전 왜곡함으로써 발생하는 왜곡을 상쇄시키는 알고리즘이다. 이와 같은 알고리즘의 우수성을 증명하기 위해 Saleh의 고풍력 증폭기 모델에 적용하여 컴퓨터 모의실험을 한 결과, 기존의 A&P PD 방식보다 P1dB는 약 0.5dBm 증가하였고, 위상천이는 약 0.8° 감소하였으며, 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기 로 증폭기의 P1dB를 약 2dBm 개선하였고, 위상천이는 약 0.1° 이하로 안정시켰다. 또한 이 증폭기에 UMTS 신호 샘플을 인가 시 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡 제거기의 IMD3가 온도보상 기법을 적용하지 않은 경우보다 10dBm 감소하였으며, 왜곡제거기가 없는 신호보다 19dBm 감소시킴으로써 우수한 선형성을 보였다.

Abstract

In this paper, we proposed predistortion algorithm that can compensate temperature distortion by digital. Predistortion algorithm produces compensation value of distortion by temperature as well as system nonlinear distortion by input level, and warps beforehand signal of baseband. To prove excellency of such algorithm, we applied predistortion algorithm to Saleh's high power amplifier model, and did computer simulation. As a result, P1dB increased about 0.5 dBm, phase shift reduced about 0.8° than existent the A&P PD, and predistortion algorithm to apply temperature compensation techniques improved P1dB about 2dBm, and stabilized phase shift by about 0.1° low. When approved UMTS's sample signal to this amplifier, IMD3 of amplifier decreased 10dBm than is no temperature compensation techniques, and reduced 19dBm than signal that is no distortion.

Keywords: 사전왜곡제거기, 온도보상, 증폭기, 선형화, Predistorter, Temperature compensation

I. 서 론

이동전화와 인터넷을 통한 멀티미디어 서비스의 놀라운 성장으로 인하여 무선 광대역 멀티미디어 통신시스템 (WBMCS : Wireless Broadband Multimedia

Communications Systems)에 대한 표준화와 연구개발이 꾸준히 진행되고 있다. 최근에는 여러 가지 통신시스템이 하나로 통합되면서 다량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 통합형 무선통신시스템에 대한 요구가 급증하고 있다. 이와 같은 요구에 부응하기 위하여 통신 시스템은 SOC (System on Chip) 또는 TCO (Transceiver on Chip)를 이용한 고속 전송기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 다량의 데이터를

* 학생회원, ** 정회원, Dankook University
(Dept. of Electronics Eng. Dankook University)
접수일자: 2005년5월25일, 수정완료일: 2005년9월7일

고속으로 전송하기 위해서는 한정된 주파수 자원에 의한 전송효율 측면을 반드시 고려해야 하므로 전송 효율 향상에 관한 연구가 선행되어야 한다^{[1][2][3]}.

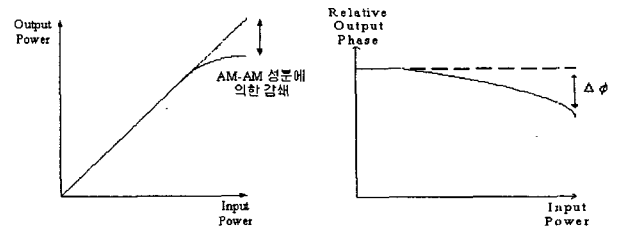
기존에 무선통신 시스템의 효율을 개선하기 위해서 혼합기나 증폭기, 주파수 변환기 등에서 발생하는 왜곡 성분의 분석하여 시스템의 성능저하를 유발하는 주요 왜곡성분을 부분적으로 보상하는 하드웨어 왜곡제거기를 사용하였다. 그러나 복잡적 통합 통신망을 구축하는 경우에는 매우 복잡하고 다양한 왜곡성분이 동시다발적으로 발생하기 때문에 더 이상 해결방안이 될 수 없다. 특히 입력전력에 따라 비선형 소자에서 발생하는 왜곡은 각각의 시스템에 따라 서로 다른 왜곡보상 회로를 가지며, 시스템 내부 소자를 구동할 때 생기는 열잡음은 불규칙적으로 왜곡을 발생하므로 기존의 왜곡 제거 기술을 통합형 무선통신기기에 사용하기는 적합하지 못하다^{[2][3]}.

본 논문에서는 비선형 소자와 열잡음에 의해 발생하는 왜곡을 보상하고, 다양한 통신기기 및 통합형 무선 통신기기에 적용할 수 있는 디지털 방식의 사전 왜곡제거 알고리즘을 제안하였다. 비선형 소자에 의한 왜곡은 진폭과 위상을 분리하여 보상 값을 산출하여 제거하였고, 열잡음에 의한 왜곡은 입력전력에 따른 열잡음 값을 바탕으로 보상 값을 산출하여 제거하였다. 또한 실시간으로 발생하는 왜곡을 능동적으로 보상 할 수 있도록 왜곡 보상 값은 LUT(Look-Up Table)로 작성하여 메모리에 저장하고, 변화하는 왜곡의 보상 값을 지속적으로 업데이트 하였다. 왜곡보상은 베이스 밴드 영역에서 정보신호를 사전에 왜곡시키는 디지털 신호처리 알고리즘을 이용하여 프로그래밍 하였다.

II. 무선통신기기의 왜곡성분 해석

1. 시스템 비선형 왜곡

무선 통신시스템은 무왜곡으로 신호를 전송하기 위해서 주파수에 따라 입력에 대한 출력신호가 선형성을 유지해야 한다. 그러나 시스템 내의 비선형 소자로 인해 진폭과 위상에 왜곡이 발생한다. 이와 같은 왜곡은 전력 증폭기와 같은 비선형 소자에 의한 진폭왜곡(amplitude distortion)과 위상왜곡(phase distortion)이 있으며, 직교 변조기(quadrature modulator)를 구성하는 소자에 의해 동상채널(In-Phase channel)과 직교채



(a) 이득왜곡(AM/AM) (b) 위상왜곡(AM/PM)

그림 2.1 전력증폭기의 왜곡

Fig. 2.1 Distortion of power amplifier.

널(Quadrature channel) 사이에 신호 불균형으로 인한 이득과 위상 불균형 왜곡(gain and phase imbalance distortion)이 있다^{[2][3]}.

비선형 소자에 의한 왜곡은 트랜지스터의 포화로 인해 진폭의 이득이 감소되고, 위상이 일정한 값을 유지하지 못하고 틀어지게 된다. 이와 같은 왜곡은 통신 시스템의 Mixer나 전력증폭기에 의해 주로 발생되며, 중심주파수에 대한 하모닉 성분이나 신호의 스퓨리어스를 발생시킨다. 특히 위상왜곡은 ISI (Inter-Symbol Interference)를 발생시킨다^[5]. 이와 같은 왜곡을 도시하면 그림 2.1과 같다.

직교 변조기에 의한 불균형 왜곡은 I-채널과 Q-채널의 응답특성의 불균형을 발생시킨다. 이득왜곡은 Q-채널 이득보다 I-채널의 이득을 감소시킴으로써 채널 간 이득특성의 불균형을 일으키며, 위상왜곡은 채널 간 직교성을 파괴시켜서 복조과정에서 에러를 일으킨다. 이와 같은 이득과 위상 불균형 왜곡을 수식으로 나타내면 식 (2.1), 식 (2.2)와 같고, 이를 도시하면 그림 2.2와 같다^{[3][4]}.

$$i' < i, \quad r' = \sqrt{i'^2 + q'^2} < r, \quad \theta' = \sin^{-1}\left(\frac{q'}{r'}\right) > \theta \quad (2.1)$$

$$i' + jq' = (i - r \sin \phi) + \frac{q}{\cos \phi} \quad (2.2)$$

여기서 $i = r \cos \theta$, $q = r \sin \theta$ 이다.

그림 2.2(a)과 식 (2.1)에서 보는 바와 같이 진폭은 작아지고 위상은 증가하여 왜곡이 발생하게 되고, 식 (2.2)에서 보는 바와 같이 Q-채널의 직교오차 ϕ 에 의하여 i 값은 $r \sin \phi$ 만큼 감소하고, q 값은 $1/\cos \phi$ 배 증가하게 되어 위상불균형 왜곡이 발생한다. 실제 16-QAM에서 5° 정도의 이득 불균형은 동일 BER에

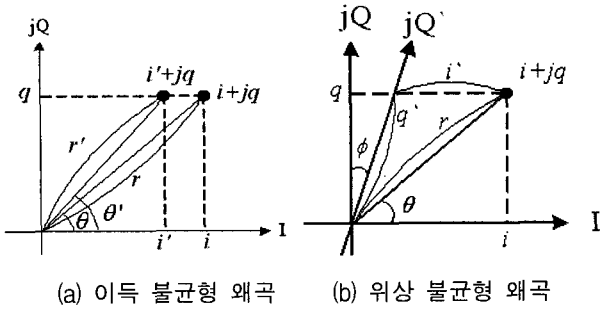


그림 2.2 이득과 위상의 불균형 왜곡
Fig. 2.2 Imbalance distortion of gain and phase.

서 0.65[dB] 정도의 성능저하를 발생하고, 위상 불균형은 동일 BER에 대해 약 0.82[dB]의 성능저하가 발생한다^[6].

2. 열 잡음에 의한 왜곡

무선 통신시스템 내부는 여러 가지 소자로 구성되어 있다. 시스템은 내부의 반도체나 저항체 등에서 전자 등의 전하가 열에너지의 자극에 의하여 불규칙적인 교란운동으로 인하여 잡음이 발생하고, 정보신호를 왜곡시킨다. 특히 전력증폭기는 작은 입력전력을 크게 증폭시켜주므로 다른 소자보다 발열량이 크므로 무선통신 시스템에서 열에 의한 왜곡을 일으키는 주요 소자이다^{[7][8]}.

이와 같은 열잡음의 분포는 대역폭에 고르게 분포되어 있으므로 통신시스템에서는 기본적인 잡음으로 부가시키고, 백색잡음(white noise)이라 한다. 그러나 소자에 의한 내부의 열잡음은 입력전력 레벨이 변화함에 따라 발열량이 달라지므로 실제 시스템 구동 시 불규칙적으로 왜곡이 발생하게 된다. 입력전력에 따른 접합 온도는 식 (2.3)과 같다^{[1][2]}.

$$T_j = P_d \theta_{ja} + T_a \tag{2.3}$$

여기서 $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa}$, $P_d = P_{DC} + P_{in} \pm P_{out}$ 이다. P_d 은 전력에 의한 열 흐름이고, P_{DC} 은 입력 직류 전력, P_{in} , P_{out} 은 입, 출력 RF 전력, θ_{ja} 는 접합 주위 열 저항, T_a 는 주위 온도, θ_{jc} 는 접합 시 열 저항, θ_{cs} 발열할 때는 열 저항, θ_{sa} 는 발열 시 주변 열 저항이다.

식 (2.3)에서 보는 바와 같이 입력레벨에 따라 접합 온도를 산출할 수 있다. 온도변화에 따른 잡음전력과 위상변화를 산출하기 위해 식 (2.3)을 이용하여 전열모델을 등가회로로 표현하면 그림 2.3과 같다^[1].

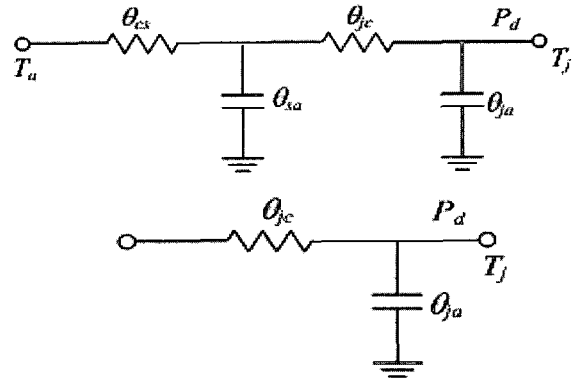
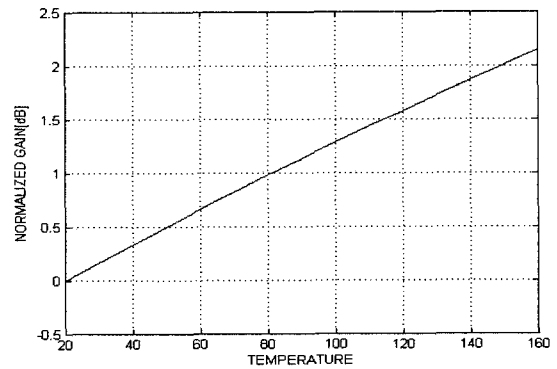
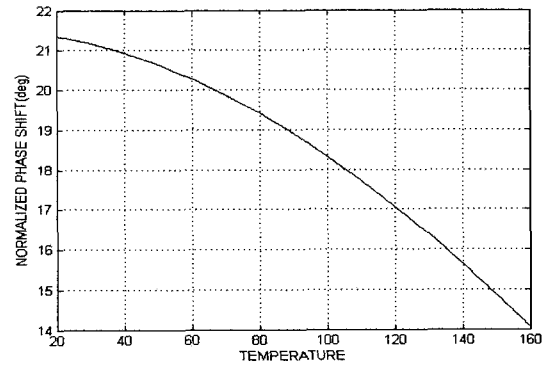


그림 2.3 전열 등가 모델
Fig. 2.3 Thermal equivalent model.



(a) 잡음전력



(b) 위상

그림 2.4 온도에 따른 잡음전력과 위상(정규화)
Fig. 2.4 Normalized noise power and phase versus temperature.

그림 2.3의 전열 모델을 미분방정식으로 풀면 소비전력과 위상변화에 따른 온도를 산출할 수 있는데 이는 식 (2.4)와 같고, 그때의 잡음전력은 식 (2.5)와 같다.

$$T_{j,0} = T_c + \theta_{ja} P_0 + \theta_{ja} (P_0 - P) e^{-\Delta t/\tau} \tag{2.4}$$

$$P = kB(T_j + T_o) \tag{2.5}$$

여기서 P_0 는 $t \leq t_0$ 일 때의 P_d 이고, P 는 $t_0 \leq t \leq T$ 일 때의 P_d 이며, $\tau = \theta_{jc} \times \theta_{ja}$ 로 시정수이다. 또한 $k(= 1.38 \times 10^{-23} J/K)$ 는 Boltzmann 상수이고, B 는 주파수 대역, P 는 잡음전력, $T_o(= 290K)$ 는 증폭기 외부의 온도이다^[2].

식 (2.4)와 식 (2.5)를 이용하여 접합 온도에 따라 잡음전력과 위상특성을 정규화하면 그림 2.4와 같다.

그림 2.4에서 보는 바와 같이 접합 온도가 상승함에 따라 잡음 전력이 증가하였고, 위상도 이동하는 것을 확인할 수 있다.

III. 온도 보상기법을 적용한 사전왜곡제거기 알고리즘 제안

기존의 사전왜곡제거기는 증폭기와 같은 비선형 소자의 출력신호를 정보신호와 비교하여 왜곡성분을 추출하여 이를 상쇄시킬 수 있는 보상성분을 정보신호에 사전왜곡 시켰다. 그러나 이러한 기법은 회로로 구현되어 있어서 적용하는 소자와 시스템에 따라 다르게 설계해야 함으로 통합형 무선통신시스템에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 사전왜곡제거기를 소프트웨어로 설계할 수 있는 알고리즘을 제안함으로써 다양한 시스템에 적용할 수 있고, 통합형 시스템에도 유연하게 적용할 수 있도록 하였다. 또한 실시간으로 불규칙하게 발생하는 소자 자체의 온도 변화에 따른 왜곡을 보상하는 기법을 추가함으로써 시스템을 더욱 선형화 시킬 수 있도록 하였다. 이와 같은 사전왜곡제거기의 왜곡제거 알고리즘 순서도와 사전왜곡 과정은 그림 3.1과 그림 3.2와 같다.

그림 3.1에서 보는 바와 같은 사전왜곡제거기는 왜곡에 대한 보상 값을 산출하여 사전에 LUT(Look-Up Table)로 구성하고 메모리에 저장한다. 정보신호인 입력신호(x)와 시스템 자체 비선형성과 온도 등의 잡음에

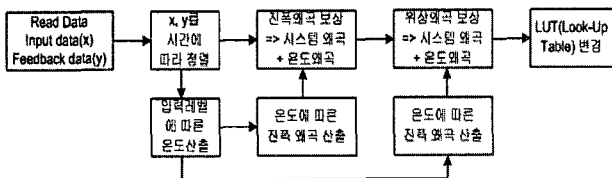


그림 3.1 왜곡제거 알고리즘 블록도
Fig. 3.1 Block diagram of distortion elimination algorithm.

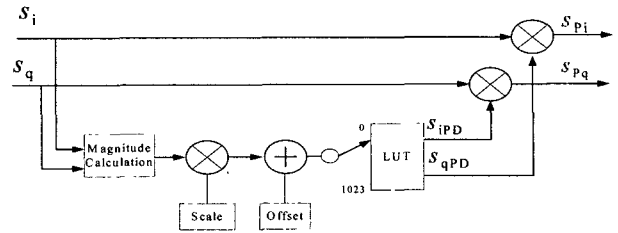


그림 3.2 사전 왜곡 과정
Fig. 3.2 Pre-distortion processing.

의해 왜곡된 출력신호(y)를 샘플링 한다. 샘플링 한 두 신호는 시간순으로 정렬하고 입력신호 레벨에 따른 왜곡을 산출한다. 왜곡은 진폭과 위상 왜곡으로 분류하여 시스템의 비선형 소자에 의한 왜곡과 온도에 의한 왜곡에 대한 보상값을 LUT에서 선택한다. 그러나 왜곡은 시스템의 입력레벨 변화와 구동환경에 따라 사전에 산출한 값과 차이가 발생할 수 있다. 특히 온도에 의한 왜곡은 소자의 입력레벨에 따라 실시간으로 변화하므로 변화폭이 크다. 그러므로 입력신호와 출력신호를 비교하여 실시간으로 발생한 왜곡을 추출하고, 시스템 자체 왜곡과 소자의 온도에 따른 왜곡에 대한 보상값을 산출하여 기존의 LUT에 추가한다. 이와 같은 과정으로 얻어진 보상값은 입력신호에 미리 부가함으로써 왜곡을 상쇄할 수 있도록 정보신호를 사전에 왜곡시킨다.

1. 온도 보상 알고리즘

이전의 2-5에서 설명한 전열 모델은 사전왜곡 함수의 온도 보상 알고리즘에 사용된다. 시스템의 왜곡과정은 그림 3.3과 같고, 온도 보상기법을 적용한 사전왜곡

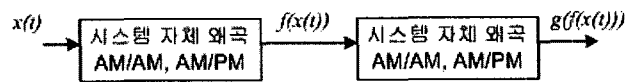


그림 3.3 시스템 왜곡 과정
Fig. 3.3 System distortion processing.

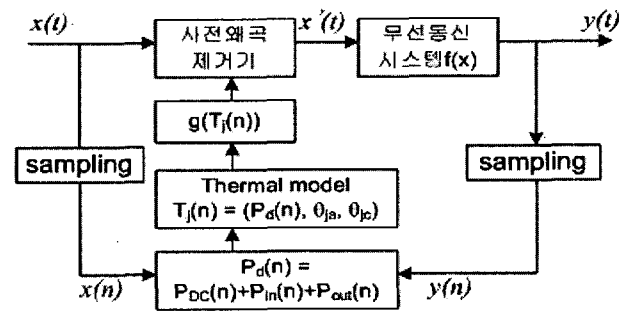


그림 3.4 온도 보상기법을 적용한 사전왜곡제거기 구조
Fig. 3.4 Pre-distorter structure with temperature compensation algorithm.

제거기를 시스템에 포함한 구조는 그림 3.4과 같다.

그림 3.4에서 보는 바와 같이 시스템의 전열 모델의 출력을 수식으로 표현하면 식 (3.1)과 같다.

$$y(t) = g(f(x(t)) * x(t)) * f(x(t)) * x(t) \quad (3.1)$$

그림 3.4는 그림 3.3에서와 같은 비선형 왜곡과 온도의 왜곡을 보상하기 위한 것으로 전체 시스템의 특성함수를 이용하여 왜곡보상 조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$f(x(t)) * x(t) = f(f(x(t))) * f(x(t)) * x(t) = K \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} g(f(x(t)) * x(t)) * f(x(t)) * x(t) \\ = g(g'(x(t)) * x(t)) * g'(x(t)) * x(t) \\ = 1 \end{aligned} \quad (3.3)$$

여기서 K 는 시스템의 소신호 선형 이득이다.

식 (3.2)와 식 (3.3)의 조건을 만족하는 그림 3.4의 사전왜곡기를 구성하면 온도에 따른 왜곡은 상쇄시킬 수 있고, 시스템 자체 비선형 왜곡도 상쇄되어 시스템 자체 이득만 남게 되어 시스템을 선형화 시킬 수 있다.

2. 진폭왜곡 보상 알고리즘

본 논문에서 제안한 사전왜곡제거기는 미리 시스템 자체 비선형 왜곡과 온도에 따른 왜곡의 보상값을 산출하여 LUT에 저장하고, 실제 회로에서 왜곡을 최소화하기 위해 적응형 방식으로 왜곡의 보상값을 수정한다.

입력 신호 x 의 왜곡을 보상하기 위한 진폭 왜곡 보상의 방법은 그림 3.5와 같다. 그림 3.5에서 보는 바와 같이 진폭왜곡 보상을 하기 위해 LUT에 저장된 사전 왜

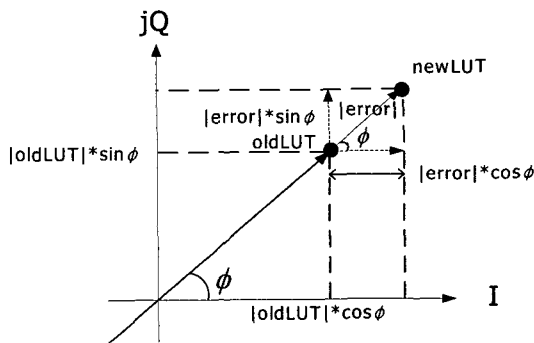


그림 3.5 벡터도 상의 진폭왜곡 보상 방법
Fig. 3.5 Amplitude compensation on vector-plane.

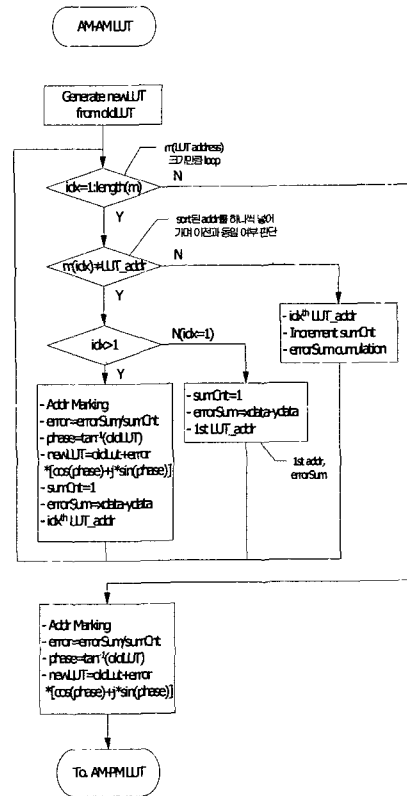


그림 3.6 진폭 보상 알고리즘
Fig. 3.6. Amplitude compensation algorithm.

곡성분을 oldLUT로 지정하고, 위상 값 ϕ , 입력신호 x 와 Feedback 신호 y 의 차를 진폭왜곡의 크기를 error로 표시하였다. 진폭왜곡 보상 값이 산출되면 oldLUT의 신호의 크기에 error의 크기를 증가시켜 newLUT에 위치시킴으로써 실시간으로 발생하는 진폭과 위상왜곡을 능동적으로 보상한다. 이 때 보상은 디지털 프로그램으로 이루어짐으로 신호를 실수부와 허수부로 분리하여 각각 보상값을 수정한다. 이와 같은 진폭 보상 알고리즘은 그림 3.6과 같다.

3. 위상왜곡 보상 알고리즘

본 논문에서 제안한 사전왜곡제거기는 진폭과 위상의 왜곡을 분리하여 보상한다. 진폭왜곡 보상 값이 산출되면, 위상왜곡 보상값을 산출한다. 입력 신호 x 의 위상 왜곡 보상 방법은 그림 3.7과 같다.

진폭 왜곡 보상이 이뤄진 LUT는 oldLUT로 지정한다. oldLUT의 위상값이 θ , 위상왜곡에 의한 왜곡값이 ϕ 인 경우, oldLUT의 신호 크기에 error의 크기를 증가시켜 newLUT에 위치시킴으로써 실시간으로 발생하는 위상 왜곡을 능동적으로 보상한다. 위상왜곡 보상은 진폭왜곡 보상과 같이 디지털 프로그램이므로 신호를 실수부와 허

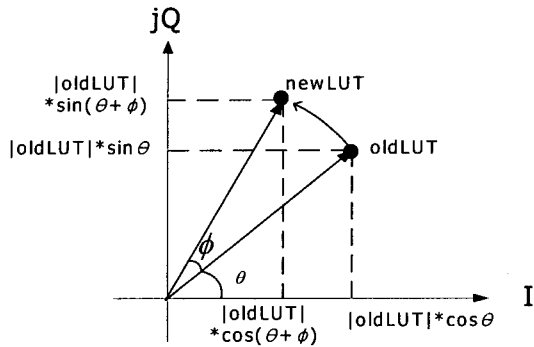
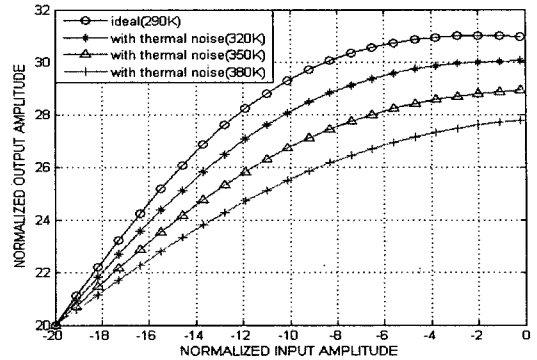


그림 3.7 벡터도 상의 위상왜곡 보상 방법
Fig. 3.7 Phase distortion compensation on vector plane.



(a) 온도에 따른 AM/AM특성

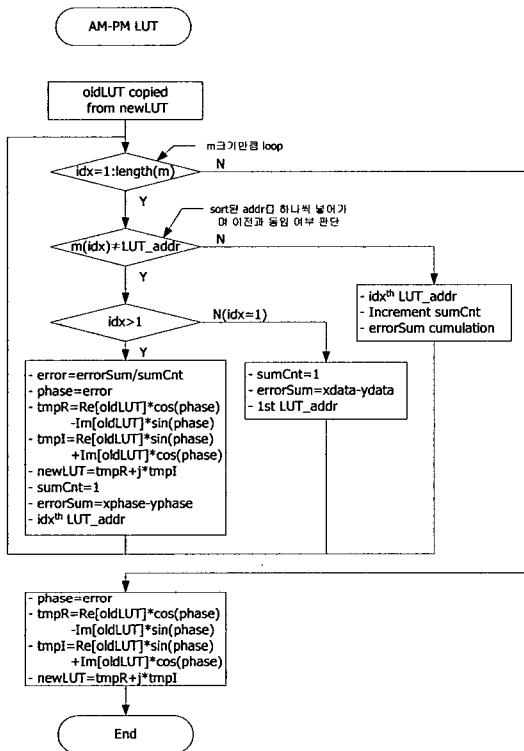
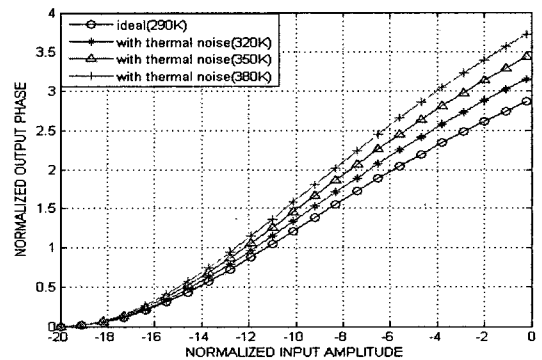


그림 3.8 위상왜곡 보상 알고리즘
Fig. 3.8 Phase distortion compensation algorithm.

수부로 분리하여 각각 보상값을 수정한다. 이와 같은 방법으로 위상을 보상하는 알고리즘을 구현하면 그림 3.8과 같다.

IV. Simulation 및 고찰

본 논문에서 제안한 온도보상 기법을 적용한 사전 왜곡제거기 알고리즘의 성능을 알아보기 위해 Saleh의 고출력 증폭기 모델을 사용하여 Matlab으로 컴퓨터 모의 실험을 하였다. 모의실험의 Saleh 증폭기 모델^[6]은 이득이 40dBm이고, P1dB가 29dBm이고, IMD3를 살펴보기 위해 중심주파수 2.14GHz인 UMTS 신호를 샘플링하여



(b) 온도에 따른 AM/PM 특성

그림 4.1 온도에 따른 고출력 증폭기의 정규화된 응답 특성

Fig. 4.1 Normalized response characteristic of high power amplifier due to temperature.

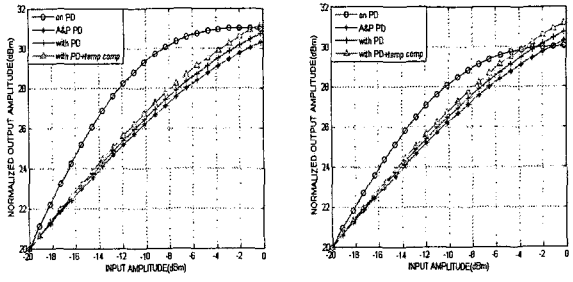
인가하였다.

온도에 따른 왜곡정도를 알아보기 위해 Saleh의 고출력 증폭기 모델을 온도에 따라 시뮬레이션 한 결과는 그림 4.1과 같다.

그림 4.1에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 비선형 왜곡이 증가하였다. 그림 4.1(a)의 AM/AM 특성은 온도가 30K씩 증가할 때 마다 P1dB가 1dBm씩 감소하였고, 그림 4.1(b)의 AM/PM 특성은 온도가 30K씩 증가 할 때 마다 정규화 위상이 약 0.4° 씩 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

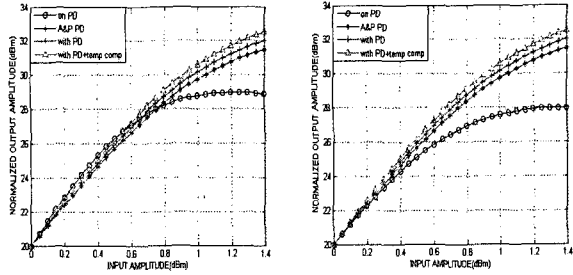
1. 온도에 따른 AM-AM과 AM-PM 왜곡개선

온도에 따른 왜곡을 제거하기 위해 본 논문에서 사전 왜곡제거기를 삽입하여 모의실험 하였다. 사전 왜곡제거기의 성능을 알아보기 위해 진폭과 위상을 분리하는 기존의 A&P PD와 비교하였다^[7]. 또 온도보상 기법의 성능 평가를 위해 온도보상 기법을 적용한 경우



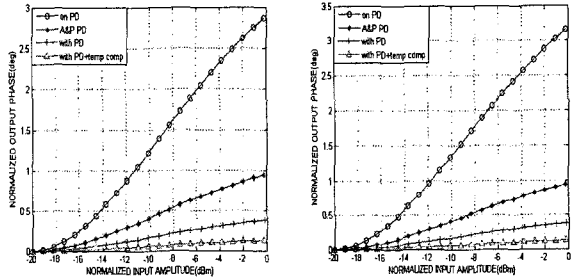
(a) AM/AM(290K)

(b) AM/AM(320K)



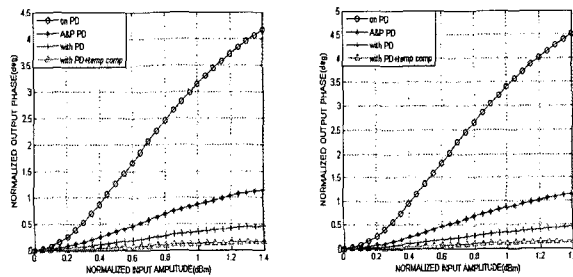
(c) AM/AM(350K)

(d) AM/AM(380K)



(e) AM/PM(290K)

(f) AM/PM(320K)



(g) AM/PM(350K)

(h) AM/PM(380K)

그림 4.2 제안한 사전왜곡제거기를 삽입한 경우 온도에 따른 고출력 증폭기의 응답특성
Fig. 4.2 Response characteristics of high power amplifier by temperature(with insert predistorter).

와 적용하지 않은 경우도 같이 실험하였다. 실험 결과는 그림 4.2와 같다.

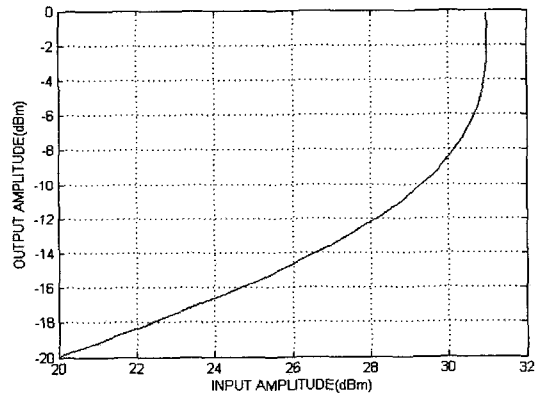
그림 4.2에서 보는 바와 같이 모든 온도에서 온도보상기법의 적용한 사전왜곡제거기를 삽입한 경우 P1dB는 약 2dBm 증가하였고, 위상 천이는 0.1° 이하로 안

정되었다. 온도 보상기법을 적용하지 않은 경우와 비교하면, 적용한 경우 P1dB는 약 0.25dBm이 증가하였고, 위상천이는 약 0.1° 감소하였다. 또 기존의 A&P PD보다 P1dB는 약 0.5dBm이상 증가하였고, 위상천이는 약 0.8° 감소함으로써 우수한 선형화 정도를 보였다.

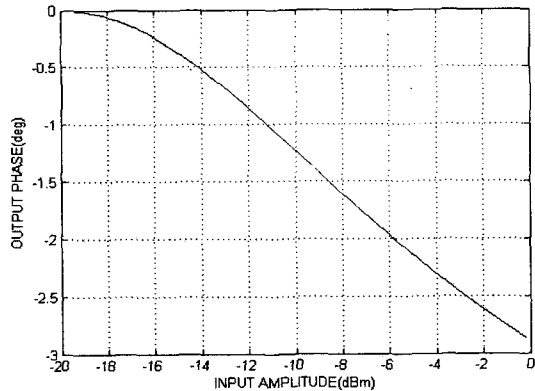
2. 시스템의 IMD3 개선

실제 시스템에서의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서 제안한 사전왜곡제거기를 적용한 40dBm의 이득을 갖는 증폭기에 중심주파수 2.14GHz의 UMTS 신호 샘플을 인가하였다. 온도는 320K 일 경우를 모의실험하였는데, 이 온도에서 제안한 사전왜곡제거기가 왜곡보상을 위해 산출한 LUT의 진폭과 위상을 도시하면 그림 4.3과 같다.

그림 4.3에서 보는 바와 같은 왜곡보상 특성을 갖는

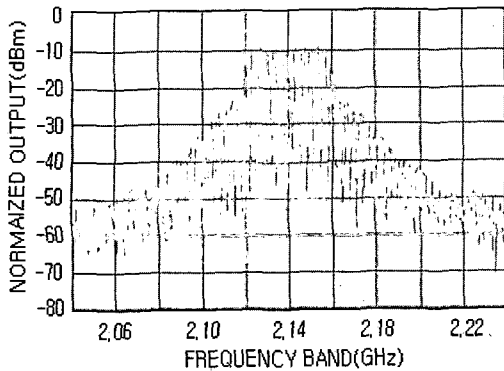


(a) AM/AM 특성

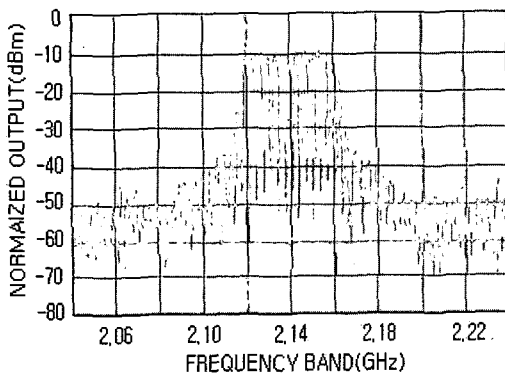


(b) AM/PM 특성

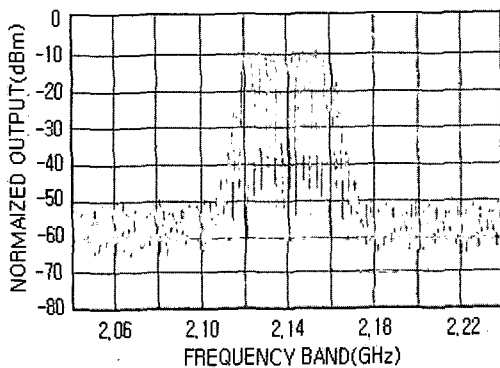
그림 4.3 320K에서 사전왜곡제거기의 왜곡보상특성
Fig. 4.3 Predistorter's distortion compensation value in 320K.



(a) 사전왜곡제거기 삽입 전



(b) 사전왜곡제거기 삽입(온도보상 기법 제외)



(c) 사전왜곡제거기 삽입(온도보상 기법 적용)

그림 4.4 UMTS 신호 인가 모의실험 결과

Fig. 4.4 Simulation result that input UMTS signal to amplifier.

사전왜곡제거기를 적용한 증폭기 모델에 UMTS신호를 인가한 결과는 그림 4.4와 같다.

그림 4.4에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안한 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기를 삽입한 경우 IMD 성분이 제거된 것을 볼 수 있다. 그림 4.4 (a)와 같은 경우 IMD3는 -21dBm 이나, (b)에서와 같이 사전왜곡제거기를 삽입하면 IMD3가 -30dBm 으로 9dBm 감소하였고, (c)에서와 같이 온도 보상 기법을 적용한 경우

에는 IMD3는 -40dBm 으로 사전왜곡제거기가 없을 때보다 19dBm , 온도 보상 기법을 적용하지 않는 경우보다 10dBm 감소하였다.

V. 결론

본 논문에서는 다양한 통신기기 및 차세대 통합 무선 통신기기의 시스템 비선형 성분과 소자의 발열에 의한 잡음 성분을 고찰하고, 잡음으로 인한 왜곡 성분을 진폭과 위상으로 분리하여 분석하였다. 이와 같은 분석을 토대로 왜곡을 수학적으로 모델링하였고, 다양한 기기에 유연하게 적용할 수 있는 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기를 소프트웨어로 설계할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 Matlab으로 프로그래밍하여 모의실험을 하였다. 모의실험은 온도에 변화에 따라 기존의 A&P PD를 적용한 경우와 본 논문에서 제안한 사전왜곡제거기에 온도보상 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 AM/AM특성과 AM/PM특성을 비교하였고, 샘플링한 UMTS신호를 인가하여 IMD 성분을 비교하였다. 모의 실험에서 비선형 소자의 모델은 40dBm 의 이득을 갖는 Saleh의 고출력 증폭기 모델을 사용하였다.

제안한 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기를 고출력증폭기 모델에 포함하여 시뮬레이션 한 결과, 기존의 A&P PD 방식보다 1dB 는 약 0.5dBm 이상 증가하였고, 위상천이는 약 0.8° 감소하였다. 그리고 왜곡보상기가 없을 경우 보다 1dB 는 약 2dBm 증가하였고, 위상천이는 0.1° 이하로 안정시킬 수 있었다. 이와 같은 증폭기에 중심주파수가 2.14GHz 인 UMTS 신호 샘플을 인가하면 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기의 IMD3가 사전왜곡제거기가 없는 경우보다 19dBm 감소되었다.

본 논문에서 제안한 온도보상 기법을 적용한 사전왜곡제거기 알고리즘은 다양한 차세대 통합 무선통신시스템에서 시스템 자체 비선형 왜곡과 소자의 발열에 의한 왜곡을 보상하여 효율을 증가할 수 있으며, 탑재 시스템을 구분하지 않고, 유연하게 이용할 수 있으므로 시장 경쟁력에 기여할 것으로 사료된다. 향후 연구과제는 이 알고리즘을 바탕으로 DSP를 이용한 모듈 개발하는 것이다.

참고 문헌

- [1] Slim Boumaiza, Radhel M. Ghannouchi,, "Thermal Memory Effects Modeling and Compensation in RF Power Amplifiers and Predistortion Linearizers" *IEEE Trans. Microwave theory and Techniques*, vol. 51, no. 12, pp. 2427-2433, Dec. 2003.
- [2] Peter B. Kenington, *High-Linearity RF Amplifier Design*, Artech House, INC, 2000.
- [3] Mihai Albulet, *RF Power Amplifiers*, Noble Publishing, 2001.
- [4] Hynchol Shin, Dong-Jin Keum, Jin-sub Choi, Duck-Young Jung, Byeoung-Ha Park, "Highly Linear Variable Gain Amplifiers with Programmable Temperature Compensation for CDMA Wireless Applications", *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 467-469, May. 2000.
- [5] J. Kim And K. Konstantinou, "Digital predistortion of widedband signals based on power amplifier model with memory" *IEEE Electronics Letters*, vol. 37, no. 23, pp. 1417-1418, June. 2001.
- [6] A.A.M. Saleh, "Frequency-independent and frequency- dependent nonlinear models of TWT amplifiers," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, No. 11, pp. 1715-1720, Nov. 1981.
- [7] Aldo.N.D'Andrea, Vincenzo Lottici, Ruggero Reggiannini, "RF Power Amplifier Linearization Through Amplitude and Phase Predistortion" *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, No. 11, Nov, 1996.
- [8] John Douglas Stuber, Isaac Trachtenberg, Thomas F. Edgar, "Design and Modeling of Rapid Thermal Processing Systems" *IEEE Trans. Semiconduntor*, vol. 11, No. 3, Aug. 1998.

— 저 자 소 개 —



고 영 은(학생회원)
 2001년 단국대학교 공과대학
 전자공학전공(공학사)
 2003년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학석사)
 2003년~현재 단국대학교 대학원
 전자공학전공(박사과정)

<주관심분야 : RF Amp, UWB, OFDM, 디지털
 이동통신>



방 성 일(정회원)
 1984년 단국대학교 공과대학
 전자공학전공(공학사)
 1986년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학석사)
 1992년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학박사)

1992년~1993년 (주)대기정보통신 책임연구원

1997년~2001년 (주)엘씨택 연구소장

2001년~현재 단국대학교 산학연 센터장

1994년~현재 단국대학교 전기전자컴퓨터
 공학부 교수

<주관심분야 : RF Amp, UWB, OFDM, 디지털이
 동통신>