

열잡음 보상을 위한 비선형 왜곡제거 모듈 설계

황 보 창, 고 영 은, 방 성 일
단국대학교 전자정보통신공학과
전화 : 02-709-2827 / 핸드폰 : 016-375-1210

Non linearity Distortion Cancellation Module Design for Thermal Noise Compensation

Chang Hwang-bo, Young Eun Ko, Sung Il Bang
Dept. of Information & Communication Engineering, Dankook University
E-mail : chang801023@hotmail.com

Abstract

In this paper, we designed and manufactured the distortion cancellation module which is able to compensate thermal-noise distortion by software. The distortion cancellation algorithm not only bring forth system non-linear distortion by input level but also bring compensate component of distortion by thermal to get rid off distortion from now on. After TMS320C6711 DSP to recognize our algorithm, we manufactured the module for every kinds of system. To evaluate efficiency of the distortion cancellation module, we designed and manufactured communication system. By measured result, if system output power is -3dBm equally, 12dB of ACLR has improved in 1MHz away from a center frequency, and also gain has increased up to 0.5dB .

I. 서론

무선통신기술이 발달하면서 디지털 방송, 디지털 이동통신시스템 및 Home Networking과 같은 근거리 통신방식을 통합한 복합무선통신기기를 개발하기 위한 노력이 꾸준히 진행 되고 있다.

최근에는 여러 가지 통신시스템이 하나로 통합되면서 다량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 통합형 무선통신시스템에 대한 요구가 급증하고 있다. 그러나 복합적 통신망을 구축하는 경우 매우 복잡하고 다양한 왜곡성분이 존재하며, 시스템 내부의 소자에서는 불규

칙한 열잡음이 발생한다. 그러므로 기존의 하드웨어 제거기는 더 이상의 해결방안이 될 수 없게 되었다.

본 논문에서는 멀티미디어 시스템에서의 다양한 왜곡성분과 열잡음에 의한 왜곡을 분석하였고, 이를 토대로 왜곡제거 알고리즘을 제안하였다. 또한 하드웨어의 변경 없이 소프트웨어로 신호를 처리할 수 있도록 베이스 밴드 영역에서 정보신호를 사전에 왜곡시켰으며, 디지털 신호처리 알고리즘을 이용하여 DSP와 연동된 모듈을 설계 및 제작하였다. 마지막으로 통신시스템을 구현한 후 제안한 모듈을 탑재하여 성능을 측정 및 평가하였다.

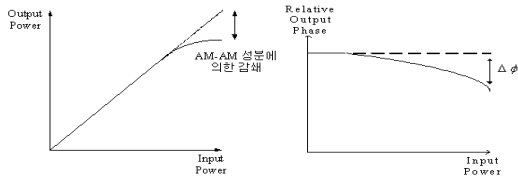
II. 무선통신기기의 왜곡성분 해석

1. 시스템 비선형 왜곡

무선 통신시스템은 무왜곡으로 신호를 전송하기 위해서 입력 주파수에 따라 출력신호가 선형성을 유지해야 한다. 그러나 시스템의 여러 가지 특성으로 인해 진폭과 위상에 왜곡이 발생한다. 이와 같은 왜곡은 전력 증폭기와 같은 비선형 소자에서 발생하게 되며 직교 변조기를 구성하는 소자들에 의해 진폭과 위상에 발생한다.

비선형 소자에 의한 왜곡은 이득을 감쇄시키고, 위상을 일정하게 유지하지 못하고 틀어지게 한다. 이와 같은

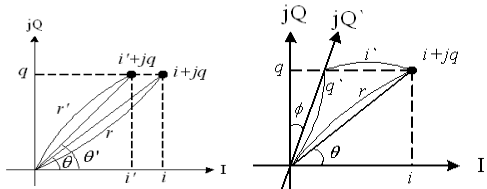
왜곡은 통신시스템의 Mixer나 전력증폭기에 의해 주로 발생하며, 왜곡을 도시하면 그림 2.1과 같다.



(a) 이득왜곡(AM/AM) (b) 위상왜곡(AM/PM)

그림 2.1 전력증폭기의 왜곡

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. 이득과 위상 불균형 왜곡을 도시하면 그림 2.2와 같다.



(a) 이득 불균형 왜곡 (b) 위상 불균형 왜곡

그림 2.2 이득과 위상의 불균형 왜곡

2. 열잡음에 의한 왜곡

무선 통신시스템 내부는 여러 가지 소자로 구성되어 있으며, 소자를 구동하는 자유전자는 에너지를 받아 운동한다. 전자의 운동이 활발해 지면서 에너지가 발열하게 되고 이것은 통신시스템에서 잡음이 된다. 이와 같은 열잡음은 입력전력 레벨에 따라 변화하므로 실제 시스템에서는 불규칙적으로 왜곡을 발생시킨다. 이와 같은 열잡음을 수학적으로 해석하기 위해 전열 등가회로로 표현하면 그림 2.3과 같고, 입력에 따른 접합온도를 모델링하면 식(2.1)과 같다.

$$T_j = P_d \theta_{ja} + T_a \quad (2.1)$$

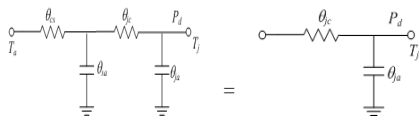


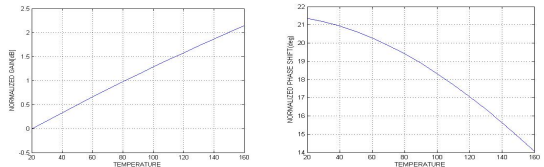
그림 2.3 전열 등가 모델

그림 2.3의 전열 모델을 미분방정식으로 풀면 소비전력

과 위상변화에 따른 온도를 산출할 수 있는데, 이는 식 (2.2)와 같고, 그때의 잡음전력은 식 (2.3)과 같다. 또한 접합온도에 따른 잡음전력과 위상특성을 정규화 하여 나타내면 그림 2.4와 같다.

$$T_{j,0} = T_c + \theta_{ja} P_0 + \theta_{ja} (P_0 - P) e^{-\Delta t / \tau} \quad (2.2)$$

$$P = k B (T_j + T_0) \quad (2.3)$$



(a) 잡음전력

(b) 위상

그림 2.4 온도에 따른 잡음전력과 위상(정규화)

그림 2.4에서 보는 바와 같이 접합 온도가 상승함에 따라 잡음 전력이 증가하였고, 위상도 왜곡이 발생한다.

III. 열잡음 보상을 위한 비선형 왜곡제거 모듈설계

1. 왜곡제거 알고리즘

기존의 왜곡제거기는 증폭기와 같은 비선형 소자의 왜곡성분을 추출하여 제거하거나 보상값으로 정보신호를 사전 왜곡시켰다. 그러나 이러한 기법은 하드웨어로 구현되어 있으므로 적용 시스템의 사용주파수 대역에 따라 설계구조가 다르므로 통합형 무선통신시스템에는 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 다양한 시스템에 따라 능동적으로 적용시킬 수 있도록 왜곡제거 알고리즘을 소프트웨어로 프로그래밍 하였다. 또한 실시간으로 불규칙하게 발생하는 열잡음에 의한 왜곡을 보상하는 기법을 추가하여 선형성을 높일 수 있는 알고리즘을 연구하였다. 이와 같은 왜곡제거 알고리즘과 사전왜곡 과정은 그림 3.1과 같다.

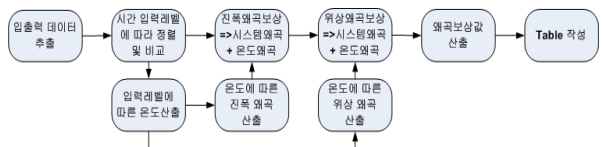


그림 3.1 왜곡제거 알고리즘 블록도

그림3.1에서 보는 바와 같이 정보신호와 출력신호를

추출하고, 시간과 입력레벨에 따라 정렬하여 비교를 통해 왜곡을 계산한다. 왜곡은 소자에 대한 왜곡과 열잡음 왜곡을 분류하여 진폭과 위상에 대한 왜곡의 보상값을 산출하고 LUT(Look-up Table)로 메모리에 저장한다. 특히 열왜곡은 구동환경 따라 실시간으로 변화하므로 추출한 왜곡의 보상값을 산출하여 LUT를 업데이트 하였다. 이렇게 얻어진 보상값은 입력신호에 미리 부가함으로써 왜곡을 상쇄시킨다.

시스템의 왜곡과정은 그림 3.2과 같고, 열잡음 보상기법을 적용한 비선형 왜곡제거 모듈을 시스템에 포함하면 그림 3.3과 같다.

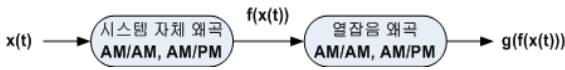


그림 3.2 시스템 왜곡 과정

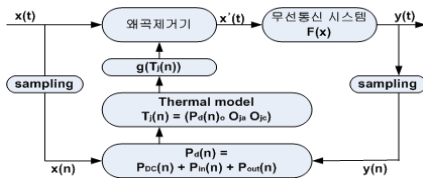


그림 3.3 열잡음 보상을 적용한 비선형 왜곡제거모듈

그림 3.3에서 보는 바와 같이 시스템의 전달 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 3.3은 그림 3.2에서와 같은 비선형 왜곡과 온도의 왜곡을 보상하기 위한 것이므로 전체 시스템의 특성 함수를 이용하여 왜곡보상 조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다

$$f(x(t))*x(t) = f(f(x(t))*f'(x(t))*x(t)) = K \quad (3.2)$$

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

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

2. 비선형 왜곡제거 모듈 설계

본 논문에서 제안한 비선형 왜곡제거 모듈을 다양한

시스템에 적용하기 위해 단일 모듈로 제작 하였고, 성능을 검증하기 위해 디지털부와 연동할 수 있는 RF회로를 구성하였다. RF회로는 IF주파수가 CDMA 130-140[MHz]대역인 시스템으로 설계하였다. 비선형 왜곡제거 모듈을 적용한 시스템의 전체 블록도는 그림 3.4와 같다.

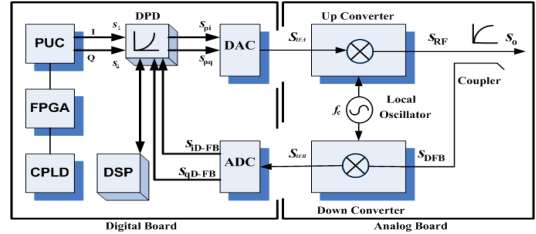


그림 3.4 비선형 왜곡제거를 적용한 시스템 블록도

비선형 왜곡제거 모듈은 그림 3.4에서 보는 바와 같이 왜곡제거부와 RF회로부로 구성된다. CDMA 시스템에 비선형 왜곡제거 모듈을 적용한 경우, PUC (Programable Up Converter)에서 송신된 디지털 신호인 $I(S_q)$ 와 $Q(S_q)$ 신호가 비선형 사전왜곡 모듈에 입력되면 비선형 왜곡제거 알고리즘에 의해 왜곡 보상값을 산출하여 내부 메모리에 LUT 형태로 저장하고, 보정값을 시스템의 입력신호에 혼합하여 시스템 왜곡을 상쇄시킬 수 있는 새로운 형태의 신호 $S_{pi}S_{pi}$ 를 만든다. 이 신호는 RF회로를 통해 시스템의 주파수 대역으로 변환한 신호 S_{RF} 를 만든다. S_{RF} 는 사전에 왜곡 보상값을 포함하므로 RF회로나 열잡음에 의한 왜곡을 상쇄 시킴으로써 선형특성을 갖는 신호, S_0 를 출력한다. 또한 비선형 왜곡제거 모듈이 실시간으로 발생하는 왜곡에 능동적으로 대처할 수 있도록 RF 출력신호를 I/Q 입력신호와 비교하여 왜곡을 추출하고 LUT의 왜곡 보상 값을 보정한다. 또한 열잡음과 같은 외부 환경에 따라 발생하는 왜곡성분을 추출하여 보상 값을 산출하고, 기존의 LUT에 포함하여 새로운 LUT를 구성한다 이와 같은 왜곡보상에 관한 신호처리는 TMS320C6711 DSP를 이용하여 제어하였다.

IV. Simulation 및 고찰

본 논문에서 제안한 열잡음 보상을 위한 왜곡제거 모듈의 성능을 평가하기 위해 제작한 통신시스템에 1FA신호를 인가하여 왜곡제거 모듈이 동작할 때와 동작하지 않을 때의 출력파형과 전력효율을 비교, 분석하였다. 제작한 통신시스템의 은 그림 4.1과 같다.

V. 결론

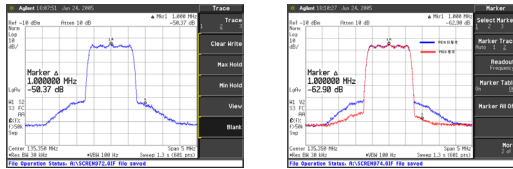


(a)아날로그부 (b)디지털부

그림 4.1 비선형 왜곡제거 모듈

그림 4.1과 같은 통신시스템의 성능 평가를 위한 테스트 신호는 중심주파수가 23MHz이고 대역폭이 1.25MHz인 신호를 중심주파수 135.35MHz로 상형하여 생성하였으며 그림 4.2(a)와 같다.

비선형 왜곡제거 모듈의 성능을 평가하기 위하여 동일 출력전력일 경우에 비선형 왜곡제거 모듈이 동작하지 않을 때와 동작할 때의 파형과 출력 값을 측정하여 효율개선 효과를 분석하였다. 이와 같이 동일 출력전력에 대한 비선형 왜곡제거 모듈의 동작여부에 따른 출력 파형은 그림 4.2(b)와 같다.



(a) 테스트입력 신호 (b) 1FA 인가

그림 4.2 비선형 왜곡제거 모듈의 동작에 따른 측정 결과

그림 4.2(b)에서 보는 바와 같이 비선형 왜곡제거 모듈이 동작할 경우가 시스템의 선형성 및 효율이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과를 정량적으로 표현하면 표 4.1와 같다.

표 4.1 비선형 왜곡제거 모듈 동작여부에 따른 파라미터 수치

항 목	입 력	모듈 비 동작	모듈 동작	비 고
ACLR	1FA	-50.37 [dBc]	-62 [dBc]	@ 1MHz
입력전력	1FA	-9.57 [dBm]	-9.0 [dBm]	
출력전력	1FA	-3.41 [dBm]	-2.89 [dBm]	ADC 입력 전력
이득	1FA	16.6 [dB]	16.3 [dB]	
전류	1FA	0.6[A]	0.6[A]	전압 : 8[V]

표 4.1에서와 같이 시스템 출력전력이 -3dBm으로 동일할 경우, 비선형 왜곡제거 모듈을 적용하면 중심주파수에서 1MHz 떨어진 지점에서 왜곡성분인 ACLR이 12dB 개선되었다. 또한 이득은 비선형 왜곡제거 모듈을 적용하는 경우에 0.5 dB 증가함으로써 비선형 영향이 감소한 것을 확인 하였다.

본 논문에서는 디지털 방송, 디지털 이동통신시스템 및 근거리 통신망 등의 효율을 떨어뜨리는 신호형태, 구성소자의 왜곡성분 및 시스템에서 발생하는 열잡음의 왜곡성분을 분석하고, 이를 개선할 수 있는 비선형 왜곡제거 모듈을 개발하였다. 이와 같은 비선형 왜곡제거 모듈은 광대역 단일 통신 시스템 뿐만 아니라 복합 통신망을 구성하는 경우에도 시스템의 효율을 경제적으로 개선할 수 있다.

또한, 왜곡 보상 알고리즘을 DSP 프로세서에 인식한 비선형 왜곡제거 모듈을 실제 통신시스템에 탑재한 결과 시스템 출력전력이 -3dBm으로 동일할 경우, 중심주파수에서 1MHz 떨어진 지점에서의 ACLR이 12dB 개선되었고, 이득도 0.5 dB 증가함으로써 비선형 영향이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

즉, 출력파형 비교를 통해 동일 출력전력에서 비선형 왜곡제거 모듈 적용 시 ACLR이 개선되어 주파수효율이 증가되었고, 전력효율 비교를 통해 동일 ACLR에서 비선형 왜곡제거 모듈 적용 시 전력효율이 증가됨을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 설계, 제작한 비선형 왜곡제거 모듈이 시스템 왜곡을 억제하고, 효율을 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [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] J. Kim And K. Konstantinou, "Digital predistortion of widenedband signals based on power amplifier model with memory" *IEEE Electronics Letters*, vol. 37, no. 23, pp. 1417-1418, June. 2001.
- [3] 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.
- [4] 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.