



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0053134
(43) 공개일자 2012년05월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G11C 5/14 (2006.01) G11C 7/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0114223

(22) 출원일자 2010년11월17일

심사청구일자 2010년11월17일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

범진욱

경기도 고양시 일산동구 강송로 156, 205동 401호 (마두동, 강촌마을)

김경훈

서울특별시 송파구 중대로 24, 웨밀리아파트 206동 1203호 (문정동)

(74) 대리인

특허법인충현

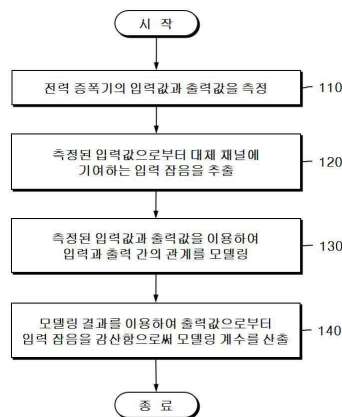
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법은 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정하고, 측정된 입력값으로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고, 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링하며, 모델링 결과를 이용하여 출력값으로부터 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NIPA-2010-(C1090-1011-0006)

부처명 지식경제부

연구사업명 대학 IT연구센터 지원사업

연구과제명 차세대 RFID/USN 기술 연구 개발

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2010.01.01 ~ 2010.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

전력 증폭기의 행동 모델링(behavioral modeling) 방법에 있어서,

상기 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정하는 단계;

상기 측정된 입력값으로부터 대체 채널(alternate channel, second adjacent channel)에 기여하는 입력 잡음을 추출하는 단계;

상기 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계; 및

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력값으로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 출력값으로부터 상기 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계를 반복하여 정상상태 해(steady state solution)를 산출하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 입력 잡음을 추출하는 단계는 상기 측정된 입력값을 대역 차단 필터(band stop filter)를 통해 패싱(passing)시킴으로써 상기 측정된 입력값에 포함된 대상 신호를 제거하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 행동 모델링은 상기 측정된 입력값과 출력값에 기초한 소정의 다항식 모델, 신경망(neural network) 또는 S2D 포맷(format) 중 어느 하나로 표현되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계는 상기 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 상기 측정된 출력값에 포함된 출력 잡음은 무시하고 상기 측정된 입력값에 포함된 입력 잡음만을 고려하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

전력 증폭기의 행동 모델링 방법에 있어서,

시간 영역(time domain)에서 상기 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정하는 단계;

상기 측정된 입력값으로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하는 단계;

상기 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계;

상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력값으로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계; 및

상기 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 단계는 상기 산출된 모델링 계수에 따른 출력값과 상기 측정된 출력값을 시간 영역에서 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 단계는,

상기 산출된 모델링 계수에 따른 출력값을 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT)을 통해 주파수 영역(frequency domain)의 데이터로 변환하고,

상기 변환된 데이터와 상기 측정된 출력값을 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 입력 잡음을 추출하는 단계는 상기 측정된 입력값을 대역 차단 필터를 통해 패싱시킴으로써 상기 측정된 입력값에 포함된 대상 신호를 제거하고,

상기 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계는 상기 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 상기 측정된 출력값에 포함된 출력 잡음은 무시하고 상기 측정된 입력값에 포함된 입력 잡음만을 고려하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

청구항 11

전력 증폭기의 행동 모델링 장치에 있어서,

신호를 생성하는 신호 생성기;

상기 생성된 신호를 입력받아 증폭된 신호를 출력하는 전력 증폭기;

상기 출력 신호를 측정하는 신호 측정기; 및

상기 신호 생성기가 생성한 신호로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고, 상기 신호 생성기가 생성한 신호와 상기 신호 측정기가 측정한 출력 신호를 이용하여 상기 전력 증폭기의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하고, 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력 신호로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 모델링 처리기를 포함하는 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 모델링 처리기는 상기 출력 신호로부터 상기 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 과정을 반복하여 정상상태 해를 산출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 모델링 처리기는 대역 차단 필터를 통해 상기 전력 증폭기에 입력된 신호로부터 대상 신호를 제거함으로써 상기 입력 잡음을 추출하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 모델링 처리기는 신호 생성기가 생성한 신호와 상기 신호 측정기가 측정한 신호에 기초한 소정의 다항식

모델, 신경망 또는 S2D 포맷 중 어느 하나를 이용하여 행동 모델링하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 모델링 처리기는 상기 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 상기 신호 측정기가 측정한 출력 신호에 포함된 출력 잡음은 무시하고 상기 전력 증폭기에 입력된 신호에 포함된 입력 잡음만을 고려하여 상기 전력 증폭기의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 산출된 모델링 계수에 따른 출력 신호와 상기 측정된 출력 신호를 시간 영역에서 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 평가 수단을 더 포함하는 장치.

청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 산출된 모델링 계수에 따른 출력 신호를 고속 푸리에 변환을 통해 주파수 영역의 데이터로 변환하고, 상기 변환된 데이터와 상기 측정된 출력 신호를 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 평가 수단을 더 포함하는 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 잡음 기여(noise contribution)가 지배적인 환경 하에서 비선형 특성을 갖는 전력 증폭기에 대한 정확한 행동 모델링을 제공하는 장치, 방법 및 이를 기록한 기록매체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전력 증폭기(power amplifier)는 송신 단 끝에서 강한 전력으로 송신하고자 하는 신호를 증폭시켜주는 장치를 말한다. 통상적인 증폭기(amplifier)는 크기가 작은 신호를 다루게 되지만, 전력 증폭기는 통신 단말기와 같은 송신 장치의 신호를 증폭해 안테나로 보내는 전력 증폭 역할을 하기 때문에 상대적으로 크기가 큰 신호를 다룬다. 신호가 커지게 되면 트랜지스터의 특성이 변하게 되고, 비선형성(nonlinear) 특성을 나타나게 된다고 알려져 있다.

[0003] 한편, 동종 업체들의 경쟁이 심화되고 치열해짐에 따라 제품의 개발 비용과 개발 시간을 단축하는 것이 경쟁력의 핵심이 되고 있다. 전력 증폭기, RF 필터(filter), PCB 기판 등과 같은 RF 모듈을 설계함에 있어서 상기된 부품들에 대한 시뮬레이션이 가능하다면 제품 개발 시간을 단축시키면서도 향후 발생할 수 있는 문제점 등을 미리 대처하거나 발생 원인을 용이하게 발견하여 해소할 수 있다.

[0004] 이러한 시뮬레이션을 위해서는 실제 동작과 유사한 RF 모델을 필요로 하며, 이를 얻기 위해서는 실제 측정을 통해 데이터를 얻어 모델링하는 방법이 유용하다. 행동 모델링(behavioral modeling)은 일정한 입력이 일정한 출력을 낳게 하는 메커니즘과 그 과정을 명백히 하는 모델링 방법을 말하며, 측정을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 모델링을 하는 방법론을 측정 기반 모델링(measurement based modeling)이라고 한다. 이러한 모델링 방법론들은 전력 증폭기의 성능을 예측하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다.

[0005] 그러나, 전력 증폭기는 메모리 효과(memory effect)와 비선형성을 포함한 특유의 복잡한 성질로 인해 정확한 행동 모델링을 얻기가 쉽지 않다. 메모리 효과란 시간적으로 과거의 비선형성으로 발생한 신호가 현재의 비선형성에 영향을 줌으로써 본래의 비선형 성분의 크기나 위상을 변화시키는 현상을 의미한다. 따라서, 이러한 메모리 효과는 선형화 기술 중 아날로그 또는 디지털 전치 왜곡 선형화기의 선형성 개선 정도를 감소시키며, 전력 증폭기의 선형도를 방해하는 원인이 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 전력 증폭기 고유의 비선형성 특성으로 인해 전력 증폭기에 대한 정확한 모델링을 얻을 수 없는 한계를 극복하고,
- [0007] 비선형성에 기반한 전력 증폭기의 메모리 효과로 인해 모델링 산출 결과와 실제 전력 증폭기의 측정값 간의 큰 오차가 발생하는 문제점을 해소하며, 나아가 다양한 잡음 기여로 인해 모델링 결과가 잡음의 영향에서 자유롭지 못한 모델링 방법을 개선하는 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법은 상기 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정하는 단계; 상기 측정된 입력값으로부터 대체 채널(alternate channel, second adjacent channel)에 기여하는 입력 잡음을 추출하는 단계; 상기 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계; 및 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력값으로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계를 포함한다.
- [0009] 상기 다른 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법은 시간 영역(time domain)에서 상기 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정하는 단계; 상기 측정된 입력값으로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하는 단계; 상기 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계; 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력값으로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계; 및 상기 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 단계를 포함한다.
- [0010] 상기된 전력 증폭기의 행동 모델링 방법들은 상기 출력값으로부터 상기 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 단계를 반복하여 정상상태 해(steady state solution)를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0011] 상기된 전력 증폭기의 행동 모델링 방법들에서 상기 입력 잡음을 추출하는 단계는 상기 측정된 입력값을 대역 차단 필터(band stop filter)를 통해 패싱(passing)시킴으로써 상기 측정된 입력값에 포함된 대상 신호를 제거한다.
- [0012] 또한, 상기된 전력 증폭기의 행동 모델링 방법들에서 상기 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 단계는 상기 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 상기 측정된 출력값에 포함된 출력 잡음은 무시하고 상기 측정된 입력값에 포함된 입력 잡음만을 고려하는 것이 바람직하다.
- [0013] 나아가, 이하에서는 상기 기재된 전력 증폭기의 행동 모델링 방법들을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [0014] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 장치는 신호를 생성하는 신호 생성기; 상기 생성된 신호를 입력받아 증폭된 신호를 출력하는 전력 증폭기; 상기 출력 신호를 측정하는 신호 측정기; 및 상기 신호 생성기가 생성한 신호로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고, 상기 신호 생성기가 생성한 신호와 상기 신호 측정기가 측정한 출력 신호를 이용하여 상기 전력 증폭기의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하고, 상기 모델링 결과를 이용하여 상기 출력 신호로부터 상기 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 모델링 처리기를 포함한다.
- [0015] 상기된 전력 증폭기의 행동 모델링 장치에서 상기 모델링 처리기는 상기 출력 신호로부터 상기 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 과정을 반복하여 정상상태 해를 산출할 수 있다.
- [0016] 상기된 전력 증폭기의 행동 모델링 장치에서 상기 모델링 처리기는 대역 차단 필터를 통해 상기 전력 증폭기에 입력된 신호로부터 대상 신호를 제거함으로써 상기 입력 잡음을 추출한다.
- [0017] 또한, 상기 모델링 처리기는 상기 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 상기 신호 측정기가 측정한 출력 신호에 포함된 출력 잡음은 무시하고 상기 전력 증폭기에 입력된 신호에 포함된 입력 잡음만을 고려하여 상기 전력 증폭기의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0018] 본 발명은 전력 증폭기의 측정된 입력값으로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고 입력값과 출력값을 연관시켜 모델함으로써 전력 증폭기에 대한 정확한 모델링을 얻을 수 있고, 그로 인해 대체 채널에 대한

모델링 결과와 실제 전력 증폭기의 측정값 간의 오차가 매우 작은 값이 되도록 모델링할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법을 도시한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법에서 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 방법을 도시한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 그 구현 환경을 예시한 블록도이다.

도 4는 WCDMA 1700 및 2100 대역에서 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 결과와 종래의 모델링 결과를 비교하여 예시한 도면이다.

도 5는 WCDMA 1700 대역에서 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 결과와 종래의 모델링 결과를 비교하여 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명하기에 앞서, 본 발명의 실시예들의 구현 환경에서 나타나는 문제점과 본 발명의 기본 아이디어에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다.

전력 증폭기에서 나타나는 비선형성은 주변 채널에 스펙트럼의 확산(spectral re-growth)을 야기하는데, 이러한 스펙트럼의 확산은 인접 채널(adjacent channel)뿐만 아니라, 대체 채널(alternate channel, second adjacent channel을 의미한다.)에도 영향을 미친다. 따라서, 전력 증폭기에 대한 행동 모델링은 대체 채널에 대해서도 그 영향을 고려하여 모델링될 필요가 있다.

전력 증폭기의 행동 모델링에 대해 알려진 연구들은 대부분 인접 채널(adjacent channel)에 대해서만 정확도를 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 비록 이러한 연구들이 대부분 인접 채널에 대한 납득할만한 정확도 향상을 제안하고 있으나, 이들 모델들은 여전히 대체 채널에 대해서는 정확한 모델링 방법을 제안하지 못하고 있다. 그로 인해 대체 채널에 대한 모델링 오차가 다수 발견되고 있다.

이러한 대체 채널의 행동은 매우 모델링하기 어렵다는 특징이 있다. 왜냐하면 -80 dBm 근처에서는 전력 레벨이 매우 낮기 때문에 다양한 잡음 기여(noise contribution)가 모델링 결과에 영향을 미치기 때문이다. 신뢰도 높은 행동 모델링을 제공하기 위해서는 인접 채널뿐만 아니라 대체 채널에 대해서도 동시에 그 행동을 정확하게 예측할 수 있어야만 한다. 특히, 모델링된 비선형 컴포넌트로부터의 신호가 더욱 증폭될 경우, 대체 채널 전력이 더 이상 무시할 수 없을만큼 큰 값이 되므로 대체 채널을 정확히 모델링하는 것은 더욱 중요해진다. 따라서, 이하에서 설명될 본 발명의 다양한 실시예들은 대체 채널의 영향을 고려하여 전력 증폭기의 정확한 행동 모델링을 위한 잡음 보상 기술을 제안하고자 한다.

본 발명의 실시예들이 사용할 전력 증폭기 모델은 메모리 다항식 모델(memory polynomial model)에 기초한다. 다항식 모델이란, 앞서 설명한 측정 기반의 행동 모델링 방식 중 하나로서, 측정된 데이터를 기반으로 다항식 방정식(polynomial equation)을 추출하여 모델링하는 방법이다. 특히, 볼테라 급수(Volterra series) 방법론은 이상의 다항식 모델과 유사하게 다차항으로 표현된 볼테라 급수를 사용하여 행동 모델링한다. 볼테라 급수 방법론에 의하면 다소 다항식이 복잡해지는 경향이 존재하기 때문에 Hammerstein 모델링 방법이나 Wiener 모델링 방법과 같이 이를 간소화하고 개량한 다양한 방법론이 활용되고 있다.

한편, 행동 모델링을 위한 방법론에는 상기 소개된 다항식 모델이나 볼테라 급수 방법론 이외에 신경망(neural network) 방식이나 S2D 포맷(format)을 이용한 방식 등이 활용 가능하다. 신경망 방식은 모델링의 관련 변수와 결과와의 관계를 모델링하는 일반적인 방법으로 관련 변수를 정의하고, 이와 결과값에 대한 훈련열(training sequence)을 통해 관련 변수와 결과와의 관계를 결정하게 되는데, 특히 입출력 관계가 물리적인 수식으로 표현하기 힘든 시스템을 모델링할 때 유용하다. S2D 포맷의 경우는 비선형성을 갖는 전력 증폭기의 모델링에 사용되는 S2D 포맷을 그대로 이용하여 측정 기반의 모델링 방법으로 구현하는 방식을 의미하며, 측정된 결과를 정리한 룩업 테이블(look-up table)을 활용할 수 있다.

본 발명의 실시예들이 비록 다항식 모델을 중심으로 설명되고 있으나, 이러한 다항식 모델의 채용은 설명의 편의를 위해 선택된 것이다. 따라서, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기 소개된 다양한 모델링 방법론들 중 실시 환경 및 필요에 따라 유연하게 모델링 방법을 선택하여 활용할 수 있을 것이

다.

[0027] 이하에서는 비선형 정적 함수들로 구성된 메모리 다항식 함수로 수정된 볼테라 급수의 행렬을 사용하여 예시 하도록 하겠다. 본 볼테라 급수는 다음의 수학식 1과 같이 입력값 x 및 모델링 파라미터 a 에 대한 출력값 y 로 표현된다.

수학식 1

$$\begin{aligned} y[l] &= \sum_{q=0}^m \sum_{k=1}^n a_{2k-1,q} \left[x[l - d_q^{(m)}] \right]^{2(k-1)} x[l - d_q^{(m)}] \\ &= \sum_{q=0}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j, odd}}^{2n-1} a_{j,q} \left[x[l - d_q^{(m)}] \right]^{(j-1)} x[l - d_q^{(m)}] \end{aligned}$$

[0028]

[0029] 여기서, l 은 이산 시간을 표현하는 인덱스이고, $x[l]$ 은 입력 신호이고, $y[l]$ 은 출력 신호이고, k 는 다항식의 차수이고, j 는 $2k-1$ 이고, $d_q^{(m)}$ 은 지연 탭 인덱스(delay tab index)이고, $(m+1)$ 은 지연된 횟수이며, a_k 는 다항식 계수를 나타낸다.

[0030] 이제 수학식 1의 방정식은 다음의 수학식 2 및 수학식 3과 같이 행렬의 형태로 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}^{(m)} \cdot \mathbf{a}^{(m)}$$

[0031]

수학식 3

$$\mathbf{H}^{(m)} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_0^{(m)} & \mathbf{H}_1^{(m)} & \mathbf{H}_2^{(m)} & \dots & \mathbf{H}_m^{(m)} \end{bmatrix}$$

[0032]

[0033] 여기서, $\mathbf{H}_q^{(m)}$ (q 는 0부터 m 까지의 정수)는 $N \times n$ 행렬이고, 이 행렬의 원소 $H_{ij,q}$ 는 다음의 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$H_{ij,q} = \left[x[i - d_q^{(m)}] \right]^{(j-1)} x[i - d_q^{(m)}]$$

[0034]

[0035] 수학식 4에서 i 는 1 부터 $1+N-1$ ($i=1, 1+1, \dots, 1+N-1$) 까지의 인덱스이다. 다항식 차수에 관한 인덱스 j 는 1 부터 $2n-1$ 까지의 홀수(즉, $j=1, 3, \dots, 2n-1$)이다. 따라서, $\mathbf{H}^{(m)}$ 은 $N \times [n(m+1)]$ 행렬이다. 모델링이 결과, 모델링 계수 $\mathbf{a}^{(m)}$ 은 다음의 수학식 5와 같은 $n(m+1) \times 1$ 의 행렬로 주어진다.

수학식 5

$$\mathbf{a}^{(m)} = [\mathbf{a}_o^{(m)} \quad \mathbf{a}_1^{(m)} \quad \dots \quad \mathbf{a}_q^{(m)} \quad \dots \quad \mathbf{a}_m^{(m)}]^T$$

[0036]

[0037]

요약하면, Y 는 측정된 출력값이고, $H^{(m)}$ 은 측정된 입력값이며, $\mathbf{a}^{(m)}$ 은 출력값 내에서 입력값과 관련된 모델의 결과이다. 모델링 계수들은 측정된 입력값과 출력 데이터들로부터 추출된다.

[0038]

이하에서는 보다 구체적으로 잡음 모델링(noise modeling)에 대해 설명한다. 앞서 설명한 바와 같이 모델링은 주어진 입력 신호 내에서 출력 신호를 예측하는 프로세스이다. 만약 입력 및 출력 신호 양자를 동시에 측정하기 위한 별도의 설정이 활용되지 않는다면, 통상적으로 입력 및 출력 신호는 각각 별개로 측정된다. 입력과 출력 데이터가 분리되어 측정될 경우, 시변(time-varying) 잡음은 입력 및 출력 데이터 양자 모두와는 연관되지 않은 잡음 기여를 야기할 수 있다. 만약 신호들이 충분히 크지 않은 경우라면 이러한 연관되지 않은 잡음 기여는 그다지 중요하지 않다. 그러나, 대체 채널에서는 모델링에서의 잡음 기여가 낮은 레벨 신호들을 예측하는데 중요하다.

[0039]

측정시마다 입력과 출력 모두는 신호(signal)와 잡음(noise) 기여를 모두 포함한다. 즉, 측정된 입력값 x 및 출력값 y 는 다음의 수학식 6과 같이 모델링될 수 있다.

수학식 6

$$x = x_s + x_n, \quad y = y_s + y_n$$

[0040]

[0041]

여기서, 아래첨자 s 는 신호를 의미하고, 아래첨자 n 은 잡음을 의미한다. 이제, 수학식 2를 이용하면 출력값에 포함된 잡음 기여는 다음의 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_S + \mathbf{Y}_N = \mathbf{H}^{(m)} \cdot \mathbf{a}^{(m)}$$

[0042]

[0043]

여기서 $H^{(m)}$ 은 그 신호 및 잡음 기여에 대한 원소들의 형태로 다음의 수학식 8과 같이 제작성될 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned} H_{ij,q} &= \left| x \left[i - d_q^{(m)} \right] \right|^{(j-1)} \times \left\{ x_s \left[i - d_q^{(m)} \right] + x_n \left[i - d_q^{(m)} \right] \right\} \\ &= H_{s,ij,q} + H_{n,ij,q} \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} H_{s,ij,q} &= \left| x \left[i - d_q^{(m)} \right] \right|^{(j-1)} x_s \left[i - d_q^{(m)} \right] \\ H_{n,ij,q} &= \left| x \left[i - d_q^{(m)} \right] \right|^{(j-1)} x_n \left[i - d_q^{(m)} \right] \end{aligned}$$

따라서, 수학식 7은 다음의 수학식 9와 같이 정리된다.

수학식 9

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_S + \mathbf{Y}_N = \left[\mathbf{H}_s^{(m)} + \mathbf{H}_n^{(m)} \right] \cdot \mathbf{a}^{(m)} \cong \mathbf{Y}_S$$

여기서, $\mathbf{H}_s^{(m)}$ 및 $\mathbf{H}_n^{(m)}$ 는 각각 신호 및 잡음의 H 행렬을 나타내며, 그 원소는 수학식 8에서 정의된 $H_{s,ij,q}$ 및 $H_{n,ij,q}$ 로 표현된다.

한편, 측정된 출력 잡음 Y_N 은 신호 왜곡으로부터 누설 전력 레벨(leakage power level) 이하로 잘 묻힐 수 있고 보통 Y_S 에 비해 그 크기가 상당히 작기 때문에 무시될 수 있다. 따라서, 모델링 정확도를 높이기 위해서는 오직 입력 잡음 모델링만이 중요하다. 즉, 이하에서 설명할 본 발명의 실시예에서 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 과정은 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 측정된 출력값에 포함된 출력 잡음은 그 양이 출력값에 비해 작으므로 측정된 입력값에 포함된 입력 잡음만을 고려하는 것이 바람직하다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력증폭기의 행동 모델링 방법을 도시한 흐름도로써, 본 행동 모델링은 이상에서 설명한 다항식 모델에 기초하여 표현될 수 있다.

110 단계에서 우선 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 측정한다. 이 과정은 통상적인 측정 기반의 모델링 방법에서 널리 사용하는 측정 수단을 활용하여 수행될 수 있으므로 구체적인 설명은 생략한다.

120 단계에서는 110 단계를 통해 측정된 입력값으로부터 대체 채널(보다 포괄적으로는 대상 신호 채널 이외의 영역을 의미한다.)에 기여하는 입력 잡음을 추출한다. 구체적으로 입력 잡음을 추출하는 단계는 측정된 입력값을 대역 차단 필터(band stop filter)를 통해 패싱(passing)시킴으로써 측정된 입력값에 포함된 대상 신호를 제거함으로써 수행된다. 즉, 대상 신호 대역만을 블록킹(blocking)하는 대역 차단 필터를 사용함으로써 입력값 x 로부터 입력 신호 x_s 를 제거하게 되고, 그 결과 대역 차단 필터를 통과한 입력값 x 에는 입력 잡음 x_n 만 이 남게 된다. 그러면, 이러한 입력 잡음 x_n 로부터 $\mathbf{H}_n^{(m)}$ 을 결정할 수 있다.

130 단계에서는 110 단계를 통해 측정된 입력값과 출력값을 이용하여 입력과 출력 간의 관계를 모델링한다. 즉, 측정된 입력값과 출력값에 대해 초기 모델링 계수 $b_i^{(m)}$ (여기서 $b_i^{(m)}$ 는 상기 수학식 2 및 수학식 9의 $a^{(m)}$ 과 동일하다.)을 결정하는 모델링을 수행한다.

[0053] 140 단계에서는 상기 130 단계의 모델링 결과를 이용하여 120 단계를 통해 추출된 입력 잡음을 출력값으로부터 감산함으로써 모델링 계수를 산출한다. 즉, 상기 130 단계를 통해 결정된 계수 $b_i^{(m)}$ 를 사용하여 출력값으로부터 입력 잡음 기여를 감산하면, 새로운 모델링 계수 $b_{i+1}^{(m)}$ 를 결정할 수 있다. 이를 정리하면 다음의 수학적 식 10과 같다.

수학적 식 10

$$[0054] \quad \mathbf{Y} - \mathbf{H}_n^{(m)} \cdot \mathbf{b}_i^{(m)} = \mathbf{H}_s^{(m)} \cdot \mathbf{b}_{i+1}^{(m)}$$

[0055] 한편, 본 모델링 방법에서는 상기 140 단계를 일정 횟수 반복함으로써 정상상태 해(steady state solution)를 얻을 수 있다. 보다 구체적인 설명은 이후에 도 2를 통해 다시 설명한다.

[0056] 이상과 같은 단계들을 통해 본 실시예에 따른 모델링 방법은 새로운 모델링 계수 $b^{(m)}$ (수학적 식 2 및 수학적 식 9의 모델링 계수 $a^{(m)}$ 와는 다른 값이다.)를 산출할 수 있다.

[0057] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 방법에서 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 방법을 도시한 흐름도로서 다음과 같은 단계들을 포함한다. 각각의 단계들 중 일부는 도 1에서 이미 설명된 바 있으므로 여기서는 산출된 모델링 계수의 정확도를 평가하는 방법을 중심으로 설명하도록 한다.

[0058] 210 단계에서, 시간 영역(time domain)에서 데이터(상기 전력 증폭기의 입력값과 출력값을 의미한다.)를 측정한다.

[0059] 220 단계에서는 데이터 처리 및 모델링을 수행한다. 이 과정은 앞서 도 1을 통해 설명한 120 단계 내지 140 단계를 포괄하므로 여기서는 구체적인 설명을 생략한다.

[0060] 230 단계에서는 생성된 모델에 의한 출력값(시뮬레이션 결과를 의미한다.)과 측정된 출력값의 오차가 일정한 값으로 수렴하는지 여부를 검사한다. 구체적으로 본 실시예에서는 오차 범위를 확인하기 위해 NMSE(normalized mean square error)를 산출하여 NMSE 값이 일정한 값에 수렴(saturation)하도록 시뮬레이션을 반복한다. 여기서, NMSE는 모델링이 얼마나 잘 수행되었는지를 평가할 수 있는 기준 중 하나로서, 시간 영역 상에서 모델링된 데이터를 비교할 수 있는 지표로서 활용된다. 즉, NMSE는 산출된 모델링 계수에 따른 출력값과 측정된 출력값을 시간 영역에서 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 것이다. 나아가, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 이러한 모델링 결과를 검증하기 위해 NMSE 외에 다양한 검증 수단을 활용할 수 있음을 알 수 있다.

[0061] 이제 오차값이 일정한 값으로 수렴하였다면, 240 단계에서 본 실시예는 정상상태 해를 얻을 수 있다.

[0062] 이어서 250 단계에서는 주파수 영역에서의 모델링 결과를 평가하기 위해 재차 평가를 한다. 본 실시예에서는 ACLR(adjacent channel leakage ratio)를 산출하여 오차를 평가한다. ACLR은 데이터 오차를 적분한 값에서 측정한 출력값의 적분한 값을 제산하여 산출하는데, 시간 영역 상에서의 데이터(산출된 모델링 계수에 따른 출력값을 의미한다.)를 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT)하여 주파수 영역(frequency domain)의 데이터로 변환하고, 변환된 데이터와 측정된 출력값을 비교함으로써 모델링 오차를 산출한다. 이상의 과정을 통해 산출된 모델링 오차가 미리 설정된 임의의 오차 범위 내에 있지 않다면, 새롭게 입력값과 모델링 계수들을 조정하여 모델링을 수정하여야 할 것이다.

[0063] 마지막으로 260 단계에서 모델링 오차가 오차 범위 내에 있어 만족할만한 성능의 최종 모델링 결과가 산출된다.

[0064] 비록 도 2에서는 모델링 계수의 정확도를 평가하는 2 가지 방법(230, 250)을 예시하였으나, 이들 방법은 선택적으로 활용될 수 있으며, 또한 예시된 구체적인 오차 평가 방법과 그 기본적인 기술적 사상이 유지되는 한도 내에서 다양한 방법들이 활용될 수 있을 것이다.

[0065] 도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 장치 및 그 구현 환경을 예시한 블록도로서, 크게 신호 분석기(310)와 그 대상인 전력 증폭기(320), 그리고 이를 제어하는 컴퓨터(330)가 예시되었다. 이

때, 신호 분석기(310)와 컴퓨터(330)는 통상적인 제품의 실시 형태를 고려하여 예시되었으나, 필요에 따라 그 세부 구성요소들이 각각 분리된 제품으로 제작될 수 있음은 당연하다. 이하에서 구성요소들 각각을 설명한다.

- [0066] 신호 생성기(311)는 행동 모델링 시뮬레이션을 위해 입력 신호를 생성하여 전력 증폭기(320)에 공급한다. 그러면, 전력 증폭기(320)는 신호 생성기(311)가 생성한 신호를 입력받아 증폭된 신호를 출력한다. 이어서, 신호 측정기(312)는 출력 신호를 측정한다. 이들 신호 생성기(311), 전력 증폭기(320) 및 신호 측정기(312)는 현재 본 발명이 속하는 기술분야에서 다양한 제품들이 소개되어 있으므로 구체적인 설명을 생략한다.
- [0067] 이제 이러한 시뮬레이션 환경에서 행동 모델링을 위한 모델링 처리기(311)는 신호 생성기(311)가 생성한 신호(입력 신호를 의미한다.)로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고, 신호 생성기(311)가 생성한 신호와 신호 측정기(312)가 측정한 출력 신호를 이용하여 전력 증폭기(320)의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하고, 모델링 결과를 이용하여 출력 신호로부터 추출된 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출한다.
- [0068] 모델링 처리기(311)의 구체적인 수행 단계들에 대해서는 이미 도 1을 통해 설명한 바와 같다. 따라서, 모델링 처리기(311)는 대역 차단 필터를 통해 전력 증폭기(320)에 입력된 신호로부터 대상 신호를 제거함으로써 입력 잡음을 추출하며, 대체 채널에 대한 잡음 기여에 있어서 신호 측정기(312)가 측정한 출력 신호에 포함된 출력 잡음은 무시하고 전력 증폭기(320)에 입력된 신호에 포함된 입력 잡음만을 고려하여 전력 증폭기(320)의 입력과 출력 간의 관계를 모델링하는 것이 바람직하다.
- [0069] 이러한 모델링 처리기(311)는 전자적 형태의 정보, 다항식 모델링 계수 및 이상의 수학식을 처리하여 행동 모델링 결과를 산출할 수 있는 처리기(processor) 및 이러한 연산에 필요한 기억공간(memory)을 통해 구현될 수 있으며, 필요에 따라서는 처리기와 기억공간 간의 데이터 처리를 적절하게 제어할 수 있는 제어기(controller)가 활용될 수도 있을 것이다. 이러한 처리기, 기억공간 및 제어기는 본 발명이 속하는 기술분야의 활용 환경이나 동작 환경을 고려하여 통상의 기술자에 의해 적절하게 선택될 수 있을 것이다. 나아가, 이러한 모델링 처리기(311)를 구현함에 있어서 이상에서 예시된 하드웨어들을 제어하기 위한 부가적인 소프트웨어 코드(code)도 활용될 수 있을 것이다.
- [0070] 한편, 본 실시예에는 산출된 모델링 계수에 따른 출력 신호와 측정된 출력 신호를 시간 영역에서 비교함으로써 모델링 오차를 산출하는 평가 수단(332)을 더 포함할 수 있다. 이러한 평가 수단(332)의 평가에 기초하여 모델링 처리기(311)는 출력 신호로부터 입력 잡음을 감산함으로써 모델링 계수를 산출하는 과정을 반복하여 정상상태 해를 산출할 수 있다. 또한, 본 실시예의 평가 수단(332)은 산출된 모델링 계수에 따른 출력 신호를 고속 푸리에 변환을 통해 주파수 영역의 데이터로 변환하고, 변환된 데이터와 측정된 출력 신호를 비교함으로써 모델링 오차를 산출할 수도 있다.
- [0071] 상기된 본 발명의 실시예들에 따르면 전력 증폭기의 측정된 입력값으로부터 대체 채널에 기여하는 입력 잡음을 추출하고 출력값에서 이를 제거함으로써 전력 증폭기에 대한 정확한 모델링을 얻을 수 있고, 그로 인해 대체 채널에 대한 모델링 결과와 실제 전력 증폭기의 측정값 간의 오차가 매우 작은 값이 되도록 모델링할 수 있다.
- [0072] 도 4는 WCDMA 1700 및 2100 대역에서 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 결과와 종래의 모델링 결과를 비교하여 예시한 도면이다. 도 4에서 두 대역에 대한 중심 주파수(center frequency) f_c 는 각각 1742.5 MHz와 1952.5 MHz이다. 측정된 데이터에 기초하여 행동 모델링은 이상에서 설명한 본 발명이 실시예들이 제안하고 있는 모델링 방법에 따라 시간 영역에서 수행되었다. 추출된 모델링 계수들의 정확도를 평가하기 위한 수단으로는 NMSE가 사용되었다.
- [0073] 스펙트럼의 확산은 광대역 부호 분할 다중 접속(W-CDMA) 시스템에서 인접 채널 누설비(adjacent channel leakage ratio, ACLR)과 같은 기준에 따라 측정되었다. 인접 채널 누설비는 부호 분할 다중 접속(CDMA) 시스템에서의 인접 채널 전력비(adjacent channel power ratio, ACPR)과 같이 광대역 부호 분할 다중 접속(W-CDMA)에서 전력 증폭기의 선형성을 나타내는 지표로서, 중심 채널의 전력과 특정 오프셋 주파수만큼 떨어진 지점의 전력 간의 차이를 dBc로 나타낸 것이다. 양자는 실질적으로 동일한 의미를 가지나 측정 기준과 산출 방법에 있어 다소 차이가 있으므로 선택적으로 활용될 수 있다.
- [0074] 대체 채널과 잡음 보상을 고려하지 않았던 종래의 모델링 방법에 의한 결과는 앞서 설명한 모델링 계수 $a^{(m)}$ 이고, 본 실시예에 따른 제안된 모델링 결과는 $b^{(m)}$ 이다. 인접 채널($f_c \pm 5$ MHz)에 대한 모델링 오차(측정된 데이터와 모델링된 데이터의 차이를 의미한다.)는 두 가지 모델링 방법 모두에서 0.5 dB 이하이다. 그러나, 대

채 채널에 있어서는 양자가 서로 상이한 결과를 보여주었다. 도 4를 참조하면 대체 채널($f_c \pm 10$ MHz)에 있어서 종래의 모델링 방법을 사용한 경우 오차는 4~5 dB이 되었다. 반면, 제안된 모델링 방법에 의하면 대체 채널에서 모델링 오차를 1 dB 이하로 감소시켰다.

[0075] 도 5는 중심 주파수 1742.5 MHz에서 WCDMA 1700 대역에 대한 본 발명의 실시예들에 따른 전력 증폭기의 행동 모델링 결과와 종래의 모델링 결과를 비교하여 예시한 도면으로, 본 발명에 따른 실시예들이 제안하고 있는 행동 모델링 방법에 의할 때 대체 채널에서 매우 큰 개선이 있었음을 보여준다. 도 5에서 대체 채널에서는 본 실시예에 따른 모델링 결과와 측정된 데이터들이 거의 일치하고 있는 반면, 종래의 모델링 방법에 따른 모델링 결과와는 큰 오차가 나타나고 있음을 볼 수 있다.

[0076] 한편, 본 발명은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0077] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현하는 것을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

[0078] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0079] 310 : 신호 분석기

311 : 신호 생성기

312 : 신호 측정기

320 : 전력 증폭기

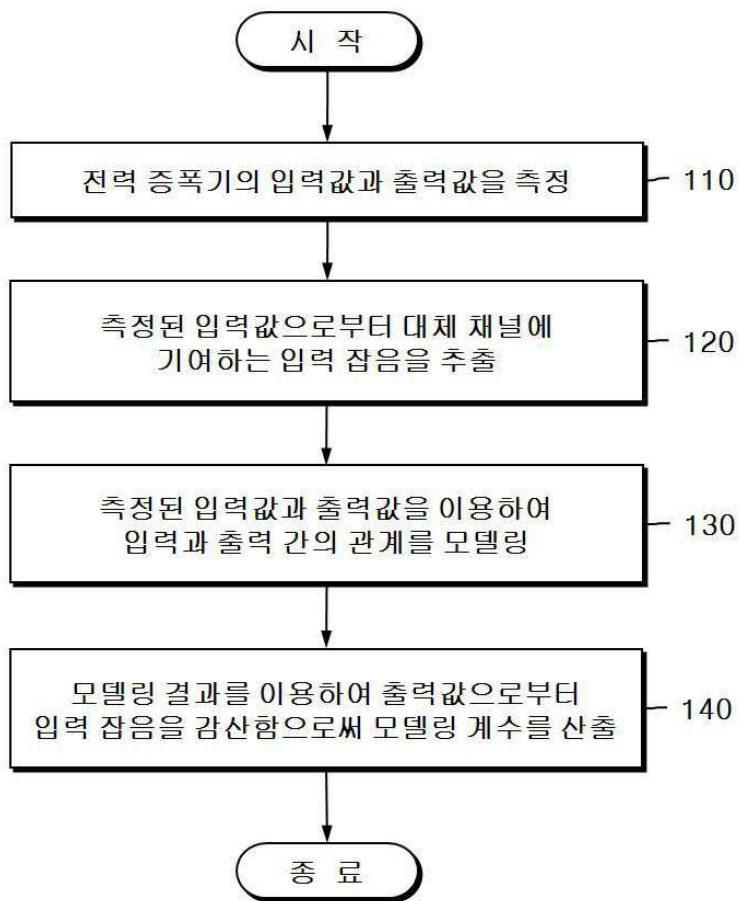
330 : 컴퓨터

331 : 모델링 처리기

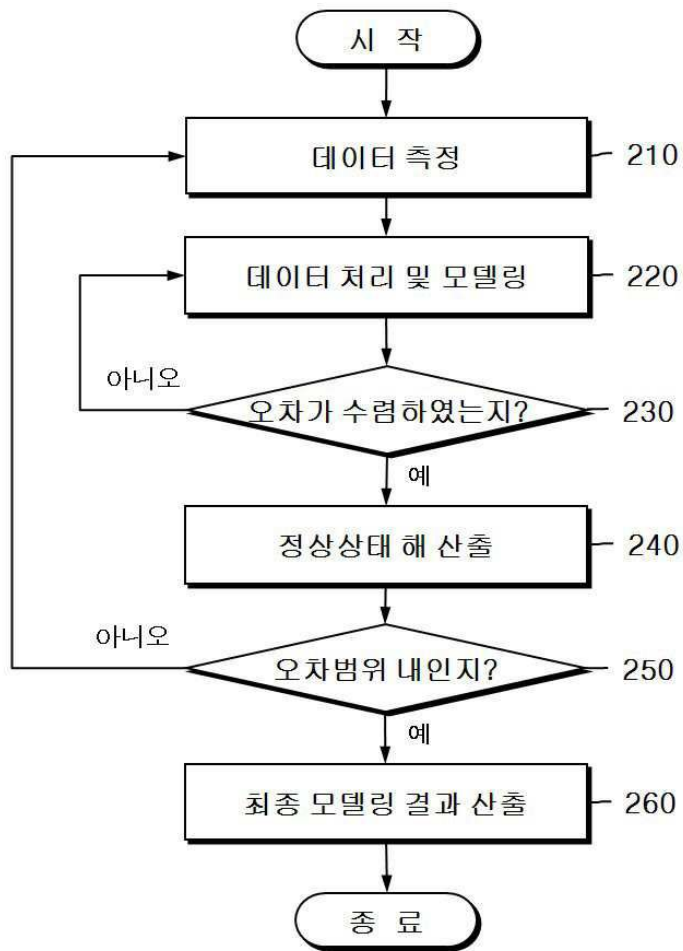
332 : 평가 수단

도면

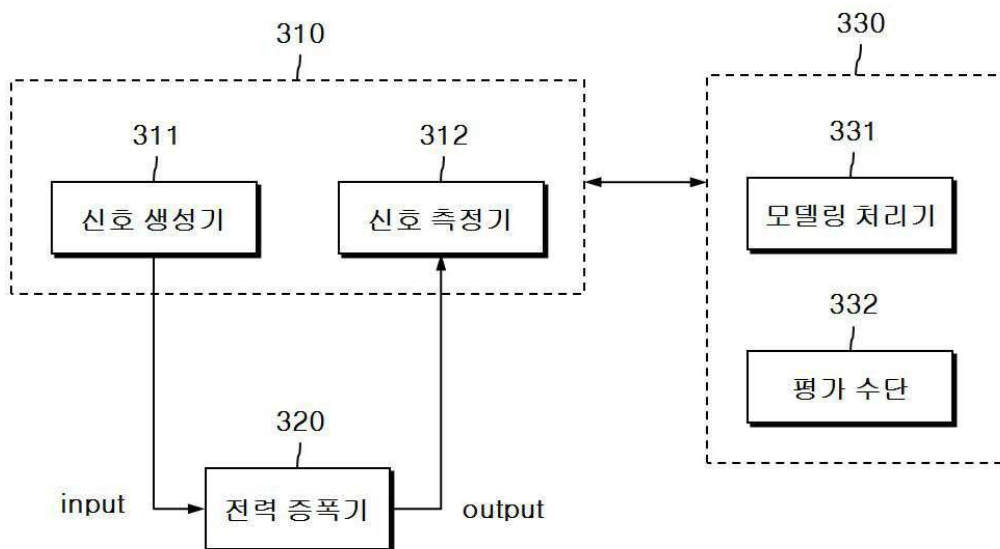
도면1



도면2



도면3



도면4

Input Power [dBm]	Center Freq (f_c) [MHz] (PA)	Output/Model Type	NMSE [dB]	ACLR [dBc]				Modeling Error
				$f_c - 10$ MHz	$f_c - 5$ MHz	$f_c + 5$ MHz	$f_c + 10$ MHz	
0	1742.5 (AWT6282)	Measured	-	-63.272	-44.991	-42.863	-56.804	-
		Conventional	-41.16	-63.584	-44.979	-42.895	-61.548	4.745
		Proposed	-41.16	-63.154	-44.983	-42.882	-57.552	0.748
0	1952.5 (AWT6279R)	Measured	-	-58.535	-45.217	-43.317	-53.594	-
		Conventional	-37.30	-58.657	-45.242	-43.577	-57.630	4.036
		Proposed	-37.30	-58.654	-45.223	-43.474	-53.978	0.385

도면5

