



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2016-0101032  
(43) 공개일자 2016년08월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 17/14 (2014.01) H03D 3/00 (2006.01)  
H04B 17/21 (2014.01) H04L 27/00 (2006.01)  
H04L 27/36 (2006.01) H04L 27/38 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
H04B 17/14 (2015.01)  
H03D 3/009 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7018783
- (22) 출원일자(국제) 2014년12월12일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2016년07월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2014/069950
- (87) 국제공개번호 WO 2015/094947  
국제공개일자 2015년06월25일
- (30) 우선권주장  
14/134,813 2013년12월19일 미국(US)

- (71) 출원인  
헬컴 인코포레이티드  
미국 92121-1714 캘리포니아주 샌 디에고 모어하우스 드라이브 5775
- (72) 발명자  
페르난데스 바로스, 다니엘 조세  
미국 92121-1714 캘리포니아주 샌 디에고 모어하우스 드라이브 5775
- (74) 대리인  
특허법인 남앤드남

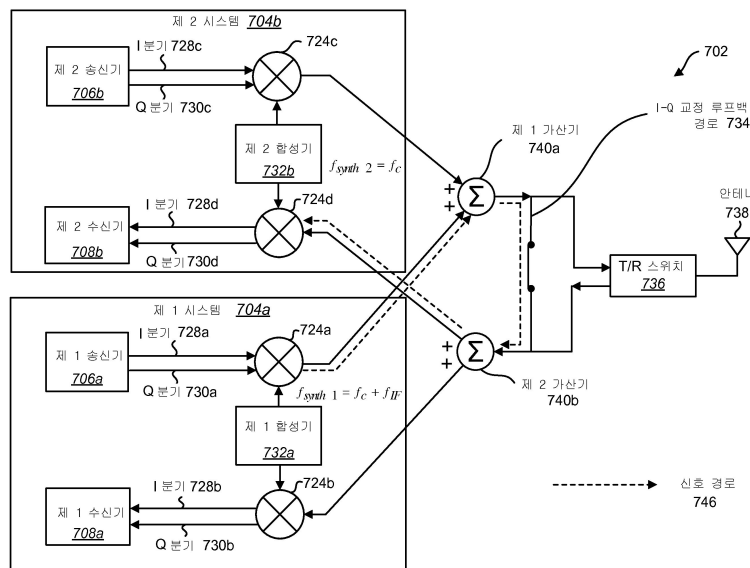
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 I-Q 불균형 교정을 위한 시스템들 및 방법들

(57) 요약

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법이 설명된다. 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호가 송신된다. 신호는 상수값을 포함한다. 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 신호가 수신된다. 수신된 신호를 기초로 제 2 수신기에 대해 I-Q 불균형이 추정된다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

*H04B 17/21* (2015.01)

*H04L 27/0014* (2013.01)

*H04L 27/368* (2013.01)

*H04L 27/3863* (2013.01)

*H04L 2027/0067* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

동위상-직교위상(I-Q: in-phase-quadrature) 불균형 교정을 위한 방법으로서,  
 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하는 단계 - 상기 신호는 상수값을 포함함 -;  
 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 신호를 수신하는 단계; 및  
 수신된 신호를 기초로 상기 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하는 단계를 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
 상기 I-Q 불균형을 추정하는 단계는,  
 동위상 분기와 직교위상 분기 상의 전력을 측정하는 단계; 및  
 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관을 측정하는 단계를 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,  
 상기 I-Q 불균형을 추정하는 단계는,  
 상기 동위상 분기 상의 전력 및 상기 직교위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 이득 불균형을 결정하는 단계; 및  
 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관 및 상기 동위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 위상 불균형을 결정하는 단계를 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템 내의 제 1 합성기를 제 1 주파수로 설정하는 단계; 및  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 합성기를 제 2 주파수로 설정하는 단계를 더 포함하며,  
 상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 제 3 주파수만큼 차이가 나는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,  
 상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 상기 제 2 수신기에 대한 유효 대역폭 범위 내에 있는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 의해 디지털 톤을 송신하는 단계;  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 디지털 톤을 수신하는 단계; 및  
 수신된 디지털 톤을 기초로 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하는 단계를 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템이고, 상기 제 2 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템인,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템과 상기 제 2 시스템은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들인,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,  
 상기 신호는 제 1 상수값으로 설정된 동위상 성분 및 제 2 상수값으로 설정된 직교위상 성분을 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템과 상기 제 2 시스템은 결합된 시스템 온 칩(system on chip) 상에 있는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법.

**청구항 11**

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스로서,  
 프로세서;  
 상기 프로세서와 전자 통신하는 메모리; 및  
 상기 메모리에 저장된 명령들을 포함하며,  
 상기 명령들은,  
 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하고 — 상기 신호는 상수값을 포함함 —;  
 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 신호를 수신하고; 그리고  
 수신된 신호를 기초로 상기 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하도록  
 상기 프로세서에 의해 실행 가능한,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 I-Q 불균형을 추정하도록 실행 가능한 명령들은,

동위상 분기와 직교위상 분기 상의 전력을 측정하고; 그리고

상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관을 측정하도록 실행 가능한 명령들을 포함하는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 I-Q 불균형을 추정하도록 실행 가능한 명령들은,

상기 동위상 분기 상의 전력 및 상기 직교위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 이득 불균형을 결정하고; 그리고

상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관 및 상기 동위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 위상 불균형을 결정하도록 실행 가능한 명령들을 더 포함하는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

### 청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 명령들은,

상기 제 1 시스템 내의 제 1 합성기를 제 1 주파수로 설정하고; 그리고

상기 제 2 시스템 내의 제 2 합성기를 제 2 주파수로 설정하도록 추가로 실행 가능하며,

상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 제 3 주파수만큼 차이가 나는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

### 청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 상기 제 2 수신기에 대한 유효 대역폭 범위 내에 있는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

### 청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 명령들은,

상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 의해 디지털 톤을 송신하고;

상기 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 디지털 톤을 수신하고; 그리고

수신된 디지털 톤을 기초로 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하도록 추가로 실행 가능한,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

### 청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템이고, 상기 제 2 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템인,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템과 상기 제 2 시스템은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들인,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 19**

제 11 항에 있어서,  
 상기 신호는 제 1 상수값으로 설정된 동위상 성분 및 제 2 상수값으로 설정된 직교위상 성분을 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 20**

제 11 항에 있어서,  
 상기 제 1 시스템과 상기 제 2 시스템은 결합된 시스템 온 칩 상에 있는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 21**

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스로서,  
 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하기 위한 수단 - 상기 신호는 상수값을 포함함 -;  
 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 신호를 수신하기 위한 수단; 및  
 수신된 신호를 기초로 상기 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하기 위한 수단을 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 22**

제 21 항에 있어서,  
 상기 I-Q 불균형을 추정하기 위한 수단은,  
 동위상 분기와 직교위상 분기 상의 전력을 측정하기 위한 수단; 및  
 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관을 측정하기 위한 수단을 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 23**

제 22 항에 있어서,  
 상기 I-Q 불균형을 추정하기 위한 수단은,  
 상기 동위상 분기 상의 전력 및 상기 직교위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 이득 불균형을 결정하기 위한 수단; 및  
 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관 및 상기 동위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 위상 불균형을 결정하기 위한 수단을 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 24**

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 시스템 내의 제 1 합성기를 제 1 주파수로 설정하기 위한 수단; 및  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 합성기를 제 2 주파수로 설정하기 위한 수단을 더 포함하며,  
 상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 제 3 주파수만큼 차이가 나는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 25**

제 21 항에 있어서,  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 의해 디지털 톤을 송신하기 위한 수단;  
 상기 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 디지털 톤을 수신하기 위한 수단; 및  
 수신된 디지털 톤을 기초로 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하기 위한 수단을 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스.

**청구항 26**

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건으로서,  
 명령들을 갖는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함하며,  
 상기 명령들은,  
 무선 통신 디바이스로 하여금 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하게 하기 위한 코드 - 상기 신호는 상수값을 포함함 -;  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 신호를 수신하게 하기 위한 코드; 및  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 수신된 신호를 기초로 상기 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하게 하기 위한 코드를 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건.

**청구항 27**

제 26 항에 있어서,  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 I-Q 불균형을 추정하기 위한 코드는,  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 동위상 분기와 직교위상 분기 상의 전력을 측정하게 하기 위한 코드; 및  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관을 측정하게 하기 위한 코드를 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건.

**청구항 28**

제 27 항에 있어서,  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 I-Q 불균형을 추정하기 위한 코드는,  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 동위상 분기 상의 전력 및 상기 직교위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 이득 불균형을 결정하게 하기 위한 코드; 및  
 상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 동위상 분기와 상기 직교위상 분기 사이의 상호 상관 및 상기 동위상 분기 상의 전력을 기초로 상기 제 2 수신기의 위상 불균형을 결정하게 하기 위한 코드를 더 포함하는,  
 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건.

**청구항 29**

제 26 항에 있어서,

상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 제 1 시스템 내의 제 1 합성기를 제 1 주파수로 설정하게 하기 위한 코드; 및

상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 제 2 시스템 내의 제 2 합성기를 제 2 주파수로 설정하게 하기 위한 코드를 더 포함하며,

상기 제 1 주파수와 상기 제 2 주파수는 제 3 주파수만큼 차이가 나는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건.

**청구항 30**

제 26 항에 있어서,

상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 의해 디지털 톤을 송신하게 하기 위한 코드;

상기 무선 통신 디바이스로 하여금 상기 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 상기 디지털 톤을 수신하게 하기 위한 코드; 및

상기 무선 통신 디바이스로 하여금 수신된 디지털 톤을 기초로 상기 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하게 하기 위한 코드를 더 포함하는,

동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 개시는 일반적으로 무선 통신 시스템들에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 개시는 동위상-직교위상(I-Q: in-phase-quadrature) 불균형 교정을 위한 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 무선 통신 시스템들은 음성, 비디오, 데이터 등과 같은 다양한 타입들의 통신 콘텐츠를 제공하도록 폭넓게 전개된다. 이러한 시스템들은 하나 또는 그보다 많은 기지국들과 다수의 모바일 디바이스들과의 동시 통신을 지원할 수 있는 다중 액세스 시스템들일 수도 있다.

[0003] 무선 통신 디바이스는 양방향 통신을 지원하도록 하나 또는 그보다 많은 송신기들 및 수신기들을 포함할 수도 있다. 송신기는 동위상(I) 및 직교위상(Q) 출력 기저대역 신호들을 조정하고 상향 변환하여, 무선 채널을 통한 송신에 보다 적합한 출력 무선 주파수(RF: radio frequency) 신호를 얻을 수도 있다. 수신기는 무선 채널을 통해 입력 RF 신호를 수신할 수 있으며, 입력 RF 신호를 하향 변환하여 동위상(I) 및 직교위상(Q) 입력 기저대역 신호들을 얻을 수도 있다.

[0004] 송신기 및 수신기는 각각 동위상(I) 및 직교위상(Q) 신호들에 대한 개별적인 분기(branch)들을 포함할 수도 있다. 이상적으로는, I 분기와 Q 분기가 서로 90° 위상 차의 동일한 이득을 갖는다. 그러나 I 분기와 Q 분기 사이에는 불균형들이 존재할 수도 있다. 이러한 불균형들은 송신기와 수신기의 성능의 저하시킬 수도 있다. I-Q 불균형 교정에 대한 개선들에 의해 이익들이 실현될 수도 있다.

**발명의 내용**

[0005] 동위상-직교위상(I-Q) 불균형 교정을 위한 방법이 설명된다. 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호가 송신된다. 신호는 상수값을 포함한다. 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 신호가 수신된다. 수신된 신호를 기초로 제 2 수신기에 대해 I-Q 불균형이 추정된다.

[0006] I-Q 불균형을 추정하는 것은 동위상 분기와 직교위상 분기 상의 전력을 측정하는 것을 포함할 수도 있다. I-Q 불균형을 추정하는 것은 또한 동위상 분기와 직교위상 분기 사이의 상호 상관을 측정하는 것을 포함



할 수도 있다.

- [0007] [0007] I-Q 불균형을 추정하는 것은 동위상 분기 상의 전력 및 직교위상 분기 상의 전력을 기초로 제 2 수신기의 이득 불균형을 결정하는 것을 더 포함할 수도 있다. I-Q 불균형을 추정하는 것은 동위상 분기와 직교위상 분기 사이의 상호 상관 및 동위상 분기 상의 전력을 기초로 제 2 수신기의 위상 불균형을 결정하는 것을 추가로 포함할 수도 있다.
- [0008] [0008] 제 1 시스템 내의 제 1 합성기는 제 1 주파수로 설정될 수 있다. 제 2 시스템 내의 제 2 합성기는 제 2 주파수로 설정될 수 있다. 제 1 주파수와 제 2 주파수는 제 3 주파수만큼 차이가 날 수도 있다. 제 1 주파수와 제 2 주파수는 제 2 수신기에 대한 유효 대역폭 범위 내에 있을 수도 있다.
- [0009] [0009] 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 의해 디지털 톤이 송신될 수도 있다. 디지털 톤은 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 수신될 수도 있다. 수신된 디지털 톤을 기초로 제 2 시스템 내의 제 2 송신기에 대한 I-Q 불균형이 추정될 수도 있다.
- [0010] [0010] 제 1 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템일 수도 있다. 제 2 시스템은 WiFi 시스템, 블루투스 시스템 또는 롱 텀 에볼루션 시스템일 수도 있다. 제 1 시스템과 제 2 시스템은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다.
- [0011] [0011] 신호는 제 1 상수값으로 설정된 동위상 성분 및 제 2 상수값으로 설정된 직교위상 성분을 더 포함할 수도 있다. 제 1 시스템과 제 2 시스템은 결합된 시스템 온 칩(system on chip) 상에 있을 수도 있다.
- [0012] [0012] I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스가 또한 설명된다. 무선 통신 디바이스는 프로세서, 프로세서와 전자 통신하는 메모리, 그리고 메모리에 저장된 실행 가능 명령들을 포함한다. 명령들은 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하도록 실행 가능하다. 신호는 상수값을 포함한다. 명령들은 또한 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 신호를 수신하도록 실행 가능하다. 명령들은 수신된 신호를 기초로 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하도록 추가로 실행 가능하다.
- [0013] [0013] I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 다른 무선 통신 디바이스가 또한 설명된다. 무선 통신 디바이스는 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하기 위한 수단을 포함한다. 신호는 상수값을 포함한다. 무선 통신 디바이스는 또한 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 신호를 수신하기 위한 수단을 포함한다. 무선 통신 디바이스는 수신된 신호를 기초로 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하기 위한 수단을 더 포함한다.
- [0014] [0014] I-Q 불균형 교정을 위한 컴퓨터 프로그램 물건이 또한 설명된다. 컴퓨터 프로그램 물건은 그 위에 명령들을 갖는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 명령들은 무선 통신 디바이스로 하여금 제 1 시스템 내의 제 1 송신기에 의해 신호를 송신하게 하기 위한 코드를 포함한다. 신호는 상수값을 포함한다. 명령들은 또한 무선 통신 디바이스로 하여금 제 2 시스템 내의 제 2 수신기에서 신호를 수신하게 하기 위한 코드를 포함한다. 명령들은 무선 통신 디바이스로 하여금 수신된 신호를 기초로 제 2 수신기에 대한 I-Q 불균형을 추정하게 하기 위한 코드를 더 포함한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0015] [0015] 도 1은 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스를 보여준다.
- [0016] [0016] 도 2는 I-Q 불균형 교정을 위한 방법의 흐름도이다.
- [0017] [0017] 도 3은 I-Q 불균형을 갖는 수신기의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다.
- [0018] [0018] 도 4는 단일 시스템을 위한 I-Q 불균형 교정에 대한 하나의 구성을 나타내는 블록도이다.
- [0019] [0019] 도 5는 I-Q 불균형을 갖는 단일 시스템 내의 송신기 및 수신기의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다.
- [0020] [0020] 도 6은 I-Q 불균형 교정을 위한 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [0021] [0021] 도 7은 협력적 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 2개의 무선 시스템들을 나타내는 블록도이다.
- [0022] [0022] 도 8은 제 2 수신기의 협력적 I-Q 불균형 교정의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다.
- [0023] [0023] 도 9는 I-Q 불균형 교정을 위한 방법의 상세한 구성을 나타내는 흐름도이다.
- [0024] [0024] 도 10은 협력적 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 2개의 무선 시스템들의 다른 구성을 나타내는 블록도이다.

다.

[0025] 도 11은 제 2 송신기의 협력적 I-Q 불균형 교정의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다.

[0026] 도 12는 무선 통신 디바이스 내에 포함될 수 있는 특정 컴포넌트들을 나타낸다.

[0027] 도 13은 I-Q 불균형 교정 모듈에 대한 하나의 구성을 나타내는 블록도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0016] [0028] 이제 도면들을 참조로 다양한 구성들이 설명되는데, 여기서 동일한 참조 번호들은 기능적으로 유사한 엘리먼트들을 표시할 수도 있다. 본 명세서의 도면들에서 일반적으로 설명 및 예시되는 시스템들 및 방법들은 매우 다양한 여러 가지 구성들로 배열 및 설계될 수 있다. 따라서 도면들에서 표현되는 여러 가지 구성들의 다음의 보다 상세한 설명은 청구된 바와 같은 범위를 한정하는 것으로 의도되는 것이 아니라 단지 시스템들 및 방법들을 대표할 뿐이다.
- [0017] [0029] 도 1은 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 무선 통신 디바이스(102)를 보여준다. 무선 통신 디바이스(102)는 무선 통신 시스템에서 작동할 수도 있다. 무선 통신 디바이스들(102)은 음성, 데이터 등과 같은 다양한 타입들의 통신 콘텐츠를 제공하도록 폭넓게 전개된다.
- [0018] [0030] 무선 통신 시스템(예를 들어, 다중 액세스 시스템)에서의 통신들은 무선 링크를 통한 송신들을 통해 이루어질 수 있다. 이러한 통신 링크는 단일 입력 단일 출력(SISO: single-input and single-output), 다중 입력 단일 출력(MISO: multiple-input and single-output) 또는 다중 입력 다중 출력(MIMO: multiple-input and multiple-output) 시스템을 통해 구축될 수도 있다. MIMO 시스템은 데이터 송신을 위해 다수( $N_T$ 개)의 송신 안테나들 및 다수( $N_R$ 개)의 수신 안테나들이 각각 장착된 송신기(들) 및 수신기(들)를 포함한다. SISO 및 MISO 시스템들은 MIMO 시스템의 특별한 경우들이다. 다수의 송신 및 수신 안테나들에 의해 생성된 추가 차원들이 이용된다면, MIMO 시스템은 개선된 성능(예를 들어, 더 높은 스루풋, 더 큰 용량 또는 향상된 신뢰도)을 제공할 수 있다.
- [0019] [0031] 무선 통신 시스템은 MIMO를 이용할 수도 있다. MIMO 시스템은 시분할 듀플렉스(TDD: time division duplex) 및 주파수 분할 듀플렉스(FDD: frequency division duplex) 시스템들 모두를 지원할 수도 있다. TDD 시스템에서, 업링크 및 다운링크 송신들은 동일 주파수 영역에서 이루어지므로 상호성(reciprocity) 원리가 업링크 채널로부터의 다운링크 채널의 추정을 가능하게 한다. 이는 송신하는 무선 디바이스가 송신하는 무선 디바이스에 의해 수신된 통신들로부터 송신 빔 형성 이득을 추출할 수 있게 한다.
- [0020] [0032] 무선 통신 시스템은 이용 가능한 시스템 자원들(예를 들어, 대역폭 및 송신 전력)을 공유함으로써 다수의 무선 통신 디바이스들(102)과의 통신을 지원할 수 있는 다중 액세스 시스템일 수도 있다. 이러한 다중 액세스 시스템들의 예들은 코드 분할 다중 액세스(CDMA: code division multiple access) 시스템들, 광대역 코드 분할 다중 액세스(W-CDMA: wideband code division multiple access) 시스템들, 시분할 다중 액세스(TDMA: time divisional multiple access) 시스템들, 주파수 분할 다중 액세스(FDMA: frequency division multiple access) 시스템들, 직교 주파수 분할 다중 액세스(OFDMA: orthogonal frequency division multiple access) 시스템들, 단일 반송파 주파수 분할 다중 액세스(SC-FDMA: single-carrier frequency division multiple access) 시스템들, 3세대 파트너십 프로젝트(3GPP: 3rd Generation Partnership Project) 롱 텀 에볼루션(LTE: Long Term Evolution) 시스템들 및 공간 분할 다중 액세스(SDMA: spatial division multiple access) 시스템들을 포함한다.
- [0021] [0033] "네트워크들"과 "시스템들"이라는 용어들은 흔히 상호 교환 가능하게 사용된다. CDMA 네트워크는 범용 지상 무선 액세스(UTRA: Universal Terrestrial Radio Access), cdma2000 등과 같은 무선 기술을 구현할 수도 있다. UTRA는 W-CDMA 및 저속 칩(LCR: Low Chip Rate)을 포함하는 한편, cdma2000은 IS-2000, IS-95 및 IS-856 표준들을 커버한다. TDMA 네트워크는 글로벌 모바일 통신 시스템(GSM: Global System for Mobile Communications)과 같은 무선 기술을 구현할 수도 있다. OFDMA 네트워크는 진화형 UTRA(E-UTRA: Evolved UTRA), IEEE 802.11, IEEE 802.16, IEEE 802.20, 플래시-OFDM 등과 같은 무선 기술을 구현할 수도 있다. UTRA, E-UTRA 및 GSM은 범용 모바일 전기 통신 시스템(UMTS: Universal Mobile Telecommunication System)의 일부이다. 롱 텀 에볼루션(LTE)은 E-UTRA를 사용하는 UMTS의 릴리스이다. UTRA, E-UTRA, GSM, UMTS 및 롱 텀 에볼루션(LTE)은 "3세대 파트너십 프로젝트"(3GPP)로 명명된 조직으로부터의 문서들에 기술되어 있다. cdma2000은 "3세대 파트너십 프로젝트 2"(3GPP2: 3rd Generation Partnership Project 2)로 명명된 조직으로부터

터의 문서들에 기술되어 있다.

- [0022] [0034] 3세대 파트너십 프로젝트(3GPP)는 전 세계적으로 적용할 수 있는 3세대(3G: 3<sup>rd</sup> generation) 모바일 전화 규격을 정의하는 것을 목표로 하는 전기 통신 협회들의 그룹들 간의 공동 연구(collaboration)이다. 3GPP 롱 텀 에볼루션(LTE)은 범용 모바일 전기 통신 시스템(UMTS) 모바일 전화 표준의 개선을 목표로 한 3GPP 프로젝트이다. 3GPP는 차세대 모바일 네트워크들, 모바일 시스템들 및 모바일 디바이스들에 대한 규격들을 정의할 수 있다.
- [0023] [0035] 3GPP 롱 텀 에볼루션(LTE)에서, 무선 통신 디바이스(102)는 "사용자 장비"(UE: user equipment)로 지칭될 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 또한 단말, 액세스 단말, 가입자 유닛, 스테이션 등으로 지칭될 수도 있고, 이들의 기능 중 일부 또는 전부를 포함할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 셀룰러 전화, 개인용 디지털 보조기기(PDA: personal digital assistant), 무선 디바이스, 무선 모뎀, 핸드헬드 디바이스, 랩톱 컴퓨터 등일 수도 있다.
- [0024] [0036] 무선 통신 디바이스(102)는 임의의 주어진 순간에 다운링크 및/또는 업링크를 통해 0, 하나 또는 다수의 기지국들과 통신할 수도 있다. 다운링크(또는 순방향 링크)는 기지국으로부터 무선 통신 디바이스(102)로의 통신 링크를 의미하고, 업링크(또는 역방향 링크)는 무선 통신 디바이스(102)로부터 기지국으로의 통신 링크를 의미한다.
- [0025] [0037] 무선 통신 디바이스(102)는 2개 또는 그보다 많은 무선 시스템들(104)을 포함할 수도 있다. 무선 시스템들(104)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다. 예를 들어, 제 1 시스템(104a)은 WiFi 시스템일 수도 있고, 제 2 시스템(104b)은 블루투스(BT: Bluetooth) 시스템일 수도 있다.
- [0026] [0038] 한 구성에서, 두 무선 시스템들(104) 모두 결합된 시스템 온 칩(SOC: system on chip)에 포함될 수도 있다. SOC는 전자 시스템의 다수의 컴포넌트들을 단일 칩으로 통합하는 집적 회로이다. 다수의 무선 시스템들(104)이 단일 SOC에 포함될 수도 있다. 예를 들어, SOC는 WiFi 시스템 및 BT 시스템을 포함할 수도 있다. 다른 구현에서, SOC는 WiFi 시스템 및 LTE 시스템을 포함할 수도 있다. 또 다른 구현에서, SOC는 WiFi 시스템, BT 시스템 및 LTE 시스템을 포함할 수도 있다. 본 명세서에서 설명되는 것들 외에도 추가 무선 시스템 타입들 및 결합들이 포함될 수도 있다는 점이 주목되어야 한다. 결합된 SOC들은 더 저렴하고, 더 적은 전력을 소모할 수도 있으며, 동시 동작에 최적화될 수도 있다.
- [0027] [0039] 제 1 시스템(104a)은 제 1 송신기(106a), 제 1 수신기(108a) 및 제 1 합성기(132a)를 포함할 수도 있다. 제 2 시스템(104b)은 제 2 송신기(106b), 제 2 수신기(108b) 및 제 2 합성기(132b)를 포함할 수도 있다. 송신기(106)는 합성기 신호들과 I-Q 출력 기저대역 신호들을 조정하고 상향 변환하여, 무선 채널을 통한 송신에 보다 적합한 출력 무선 주파수(RF) 신호를 얻을 수도 있다. 수신기(108)는 무선 채널을 통해 입력 RF 신호를 수신할 수도 있다. 수신기는 합성기 신호들과 입력 RF 신호를 하향 변환하여 I-Q 기저대역 신호들을 얻을 수도 있다.
- [0028] [0040] 각각의 송신기(106)는 동위상 출력 기저대역 신호를 조정하고 상향 변환하기 위한 I 분기를 포함할 수도 있다. 송신기들(106)은 또한 직교위상 출력 기저대역 신호를 조정하고 상향 변환하기 위한 Q 분기를 포함할 수도 있다. 마찬가지로, 수신기들(108)은 수신된 동위상 신호를 하향 변환하고 조정하기 위한 I 분기 및 수신된 직교위상 신호를 하향 변환하고 조정하기 위한 Q 분기를 포함할 수도 있다. 이상적으로는, I 분기가 Q 분기에 대해 90도 위상 차가 날 수도 있고, 분기들은 동일한 이득을 갖는다. 그러나 송신기들(106)과 수신기들(108)에서 I 분기와 Q 분기 사이에 불균형이 존재할 수도 있다. I 분기와 Q 분기의 이득들 간의 불균형(즉, 분기들의 이득들이 동일하지 않을 때)은 I-Q 진폭 불균형으로 지칭된다. I 분기와 Q 분기의 위상 간의 불균형(즉, I 분기와 Q 분기 간의 위상 차가 90도와는 다를 때)은 I-Q 위상 불균형으로 지칭될 수도 있다.
- [0029] [0041] 결합된 SOC 칩의 무선 시스템들(104)은 대체로 교정 루틴들 동안 독립적으로 작동한다. 그러나 본 명세서에서 설명되는 시스템들 및 방법들에 따르면, 2개의(또는 그보다 많은) 무선 시스템들(104)을 갖는 SOC 칩 내의 무선 시스템들(104)이 I-Q 불균형 교정을 위해 협력할 수도 있다. 협력적 I-Q 불균형 교정을 사용함으로써, 무선 통신 디바이스(102)는 보다 정확한 I-Q 교정을 달성할 수 있을 뿐만 아니라, 2개의 독립적인 합성기들(132)을 이용함으로써 교정에 필요한 시간 또한 감소시킬 수 있다.
- [0030] [0042] 2개의 독립적인 합성기들(132)을 이용함으로써, 송신기 I-Q 불균형이 수신기 I-Q 불균형으로부터 분리될 수도 있다. 이러한 접근 방식은 주파수가 중첩할 수 있는 독립적인 2개의 합성기들(132)과 함께 2개 또는 그보다 많은 무선 시스템들(104)을 갖는 임의의 결합된 SOC 칩에 사용될 수도 있다는 점이 주목되어야 한다. 즉,

제 1 시스템(104a)과 연관된 주파수가 제 2 시스템(104b)에 대한 유효 대역폭 범위 내에 있다면, 제 1 시스템(104a)의 제 1 합성기(132a)가 제 2 시스템(104b)의 I-Q 불균형 교정에 사용될 수도 있다. 마찬가지로, 제 2 시스템(104b)과 연관된 주파수가 제 1 시스템(104a)에 대한 유효 대역폭 범위 내에 있다면, (제 2 시스템(104b)과 연관된) 제 2 합성기(132b)가 제 1 시스템(104a)의 I-Q 불균형 교정에 사용될 수도 있다.

[0031] [0043] 제 2 시스템(104b)의 제 2 수신기(108b)에 대한 I-Q 불균형을 교정하기 위해, 제 1 송신기(106a)가 신호(110)를 송신할 수 있다. 신호(110)는 상수값을 포함한다. 예를 들어, 신호(110)는 상수값( $k_1$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )을 포함할 수도 있다. 신호(110)는 또한 상수값( $k_2$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )을 포함할 수도 있다.

[0032] [0044] 제 1 시스템(104a) 내의 제 1 합성기(132a)는 제 1 주파수로 설정될 수도 있다(예를 들면,  $f_{\text{synth1}} = f_c + f_{\text{IF}}$ ). 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 합성기(132b)는 제 2 주파수로 설정될 수도 있다(예를 들면,  $f_{\text{synth2}} = f_c$ ). 제 1 주파수와 제 2 주파수는 제 3 주파수(예를 들면,  $f_{\text{IF}}$ )만큼 차이가 난다는 점이 주목되어야 한다. 동위상 성분( $x_I(t)$ )과 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )이 제 1 합성기(132a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호(110)를 생성할 수도 있다.

[0033] [0045] 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 수신기(108b)는 신호(110)를 수신할 수도 있다. 신호(110)는 I-Q 교정 루프백 경로를 통해 제 2 수신기(108b)에서 수신될 수도 있다. 한 구성에서, I-Q 교정 루프백 경로는 I-Q 불균형 교정 동안에는 I-Q 교정 루프백 경로를 활성화(예를 들면, 폐쇄)하고 I-Q 불균형 교정 이후에는 I-Q 교정 루프백 경로를 비활성화(예를 들면, 개방)하도록 동작 가능한 스위치를 포함할 수도 있다.

[0034] [0046] 결합 신호(110)는 제 2 합성기(132b)로부터의 동위상 신호와 혼합되어 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호(110)는 또한 제 2 합성기(132b)로부터의 직교위상 신호와 혼합되어 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있다. 수신된 신호(110)는 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형( $a_R$ )(120) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )(122)의 영향을 받을 수도 있다.

[0035] [0047] 무선 통신 디바이스(102)는 I-Q 불균형 추정 모듈(112)을 포함할 수도 있다. I-Q 불균형 추정 모듈(112)은 수신된 신호(110)를 기초로 제 2 수신기(108b)에 대한 I-Q 불균형을 추정할 수도 있다. 한 구성에서, I-Q 불균형 추정 모듈(112)은 제 2 수신기(108b)의 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 측정할 수도 있다. I-Q 불균형 추정 모듈(112)은 또한 제 2 수신기(108b)의 I 분기와 Q 분기 사이의 상호 상관(118)을 측정할 수도 있다.

[0036] [0048] 제 2 수신기(108b)의 I 분기 전력(114), Q 분기 전력(116), 그리고 I 분기와 Q 분기 사이의 상호 상관(118)의 측정시, I-Q 불균형 추정 모듈(112)은 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형(120)을 결정할 수도 있다. I-Q 불균형 추정 모듈(112)은 또한 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 위상 불균형(122)을 결정할 수도 있다. 제 2 수신기(108b)에 대한 I-Q 불균형의 추정은 아래 도 8과 관련하여 보다 상세히 논의된다. I-Q 교정 모듈의 일례는 도 13과 관련하여 아래에 논의된다.

[0037] [0049] 도 2는 I-Q 불균형 교정을 위한 방법(200)의 흐름도이다. 방법(200)은 제 1 시스템(104a) 및 제 2 시스템(104b)을 포함하는 무선 통신 디바이스(102)에 의해 수행될 수도 있다. 제 1 시스템(104a)과 제 2 시스템(104b)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다. 예를 들어, 제 1 시스템(104a)은 WiFi 시스템일 수도 있고, 제 2 시스템(104b)은 블루투스(BT) 시스템일 수도 있다. 제 1 시스템(104a)과 제 2 시스템(104b)은 단일 결합된 시스템 온 칩(SOC) 상에 있을 수도 있다.

[0038] [0050] 무선 통신 디바이스(102)는 제 1 시스템(104a) 내의 제 1 송신기(106a)에 의해 신호(110)를 송신할 수도 있다(202). 신호(110)는 상수값을 포함한다. 예를 들어, 신호(110)는 상수값( $k_1$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )을 포함할 수도 있다. 신호(110)는 또한 상수값( $k_2$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )을 포함할 수도 있다.

[0039] [0051] 제 1 시스템(104a) 내의 제 1 합성기(132a)는 제 1 주파수로 설정될 수도 있다(예를 들면,  $f_{\text{synth1}} = f_c + f_{\text{IF}}$ ). 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 합성기(132b)는 제 2 주파수로 설정될 수도 있다(예를 들면,  $f_{\text{synth2}} = f_c$ ). 따라서 제 1 주파수와 제 2 주파수는 제 3 주파수(예를 들면,  $f_{\text{IF}}$ )만큼 차이가 난다. 동위상 성분( $x_I(t)$ )과 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )이 제 1 합성기(132a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호(110)를 생성할 수도 있다.

[0040] [0052] 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 수신기(108b)에서 신호(110)를 수신할 수도 있다(204). 신호(110)는 I-Q 교정 루프백 경로를 통해 제 2 수신기(108b)에서 수신될 수도 있다. 한 구성에서, I-Q 교정 루프백 경로는 I-Q 불균형 교정 동안에는 I-Q 교정 루프백 경로를 활성화(예를 들면, 폐쇄)하고 I-Q 불균형 교정 이후에는 I-Q 교정 루프백 경로를 비활성화(예를 들면, 개방)하도록 동작 가능한 스위치를 포함할 수도 있다.

[0041] [0053] 결합 신호(110)는 제 2 합성기(132b)로부터의 동위상 신호와 혼합되어 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호(110)는 또한 제 2 합성기(132b)로부터의 직교위상 신호와 혼합되어 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있다. 수신된 신호(110)는 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형( $a_R$ ) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )의 영향을 받을 수도 있다.

[0042] [0054] 무선 통신 디바이스(102)는 수신된 신호(110)를 기초로 제 2 수신기(108b)에 대한 I-Q 불균형을 추정할 수도 있다(206). 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 수신기(108b)의 I 분기 상의 전력(예를 들면, I 분기 전력(114)) 및 Q 분기 상의 전력(예를 들면, Q 분기 전력(116))을 측정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 또한 제 2 수신기(108b)의 I 분기와 Q 분기 사이의 상호 상관(118)을 측정할 수도 있다.

[0043] [0055] 제 2 수신기(108b)의 I 분기 전력(114), Q 분기 전력(116), 그리고 I 분기와 Q 분기 사이의 상호 상관(118)의 측정시, 무선 통신 디바이스(102)는 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형(120)을 결정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 또한 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 위상 불균형(122)을 결정할 수도 있다.

[0044] [0056] 도 3은 I-Q 불균형을 갖는 수신기(308)의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다. 수신기(308)는 무선 디바이스 상의 트랜시버의 일부일 수도 있다. 수신기(308)는 신호(110)를 수신할 수도 있다. 수신기(308)는 동위상(I) 분기(328)에 대한 믹서(324a) 및 직교위상(Q) 분기(330)에 대한 믹서(324b)를 포함할 수도 있다. I 분기(328)에 대한 믹서(324a)는 수신기(308)와 연관된 합성기(132)로부터 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )를 수신할 수 있으며, 여기서  $f_c$ 는 반송파 주파수이다. Q 분기(330)에 대한 믹서(324b)는 합성기(132)로부터 직교위상 신호( $\sqrt{2} \alpha \sin(2\pi f_c t - \theta)$ )를 수신할 수도 있다. 변조된 실수 대역 통과 신호는 식(1)에 따라 기재될 수 있다.

[0045] 
$$s_p(t) = \sqrt{2}x_I(t) \cos 2\pi f_c t - \sqrt{2}x_Q(t) \sin 2\pi f_c t \quad (1)$$

[0046] [0057] 식(1)에서,  $x_I(t)$  및  $x_Q(t)$ 는 신호(110)의 변조된 동위상(I) 및 직교위상(Q) 성분들이다. 대안으로, 실수 대역 통과 신호(110)는 식(2)으로 주어진 바와 같이 복소 기저대역 분석을 이용하여 표현될 수도 있다.

[0047] 
$$s_p(t) = \Re\{\sqrt{2}s_{bb}(t)e^{j2\pi f_c t}\} \quad (2)$$

[0048] [0058] 식(2)에서,  $s_{bb}(t)$ 는 아래 식으로 제공되는 것과 같은  $s_p(t)$ 의 등가 복소 기저대역 신호이다:

[0049] 
$$s_{bb}(t) = x_I(t) + jx_Q(t) \quad (3)$$

[0050] [0059] (도시되지 않은) 로컬 오실레이터(L0: local oscillator)를 갖는 수신기(308)의 전단부는 이득 불균형

( $a_R$ )(120) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )(122)을 가질 수도 있다. 단순하게 하기 위해, I 분기(328)가 기준일 수 있고, Q 분기(330)는 이득 불균형(120) 및 위상 불균형(122)을 포함할 수도 있다. 결합 신호가 믹서(324a)에서 합성기(132)로부터의 동위상 신호와 혼합되고 저역 통과 필터(326a)를 통과하여 동위상 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호가 또한 믹서(324b)에서 직교위상 신호와 혼합되고 저역 통과 필터(326b)를 통과하여 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있다. I-Q 불균형의 존재시 수신된 동위상 성분( $s_I(t)$ ) 및 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 식(4)에 따라 표현될 수 있다.

$$s_I(t) = x_I(t)$$

$$s_Q(t) = \alpha \sin(\theta)x_I(t) + \alpha \cos(\theta)x_Q(t) \quad (4)$$

[0051]

[0052]

[0060] 행렬 모델을 사용하면, I-Q 불균형은 대안으로 아래와 같이 모델링될 수도 있다:

$$\begin{bmatrix} s_I(t) \\ s_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \alpha \sin(\theta) & \alpha \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I(t) \\ x_Q(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0053]

[0054]

[0061] 어떠한 I-Q 불균형도 없을 때(예를 들면,  $\alpha = 1$  그리고  $\theta = 0$ ), 수신기는 원하는 동위상 및 직교위상 성분들( $x_I(t)$ ,  $x_Q(t)$ )을 각각 정확히 검출하는 것으로 식(5)에서 관찰될 수 있다. 동위상 성분( $s_I(t)$ )과 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 스플리터(325a,b)에서 분할될 수도 있다. 스플리터(325a,b)는 I 분기 및 Q 분기 상에 동등하게 RF 신호를 분할하는 3dB 스플리터일 수도 있다. 도 3에서,  $s_I[n]$ 과  $s_Q[n]$ 은 수신된 기저대역 신호들이다.

[0055]

[0062] 도 4는 단일 시스템(404)을 위한 I-Q 불균형 교정에 대한 하나의 구성을 나타내는 블록도이다. 송신기(406)(예를 들면, Tx 모델) 및 수신기(408)(예를 들면, Rx 모델)가 단일 시스템(404)에 포함될 수도 있다. 예를 들어, 시스템(404)은 WiFi 시스템, 블루투스(BT) 시스템 또는 롱 텀 에볼루션(LTE) 시스템 등일 수도 있다. 시스템(404)은 송신/수신(T/R: transmit/receive) 스위치(436) 및 안테나(438)에 연결되어 무선 송신들을 송신 및 수신할 수도 있다. 한 구성에서, 시스템(404)은 독립형 칩일 수도 있으며, 이는 또한 합성기(432)를 포함할 수도 있다.

[0056]

[0063] 독립형 칩들의 경우, 수신기(408)의 I-Q 교정은 대체로 송신기(406)로부터 톤을 송신하고 신호 경로(446)로 예시된 것과 같이 I-Q 교정 루프백 경로(434)를 통해 신호를 수신기(408)로 루프백함으로써 이루어진다. 루프백 경로(434)는 대체로 안테나(438)에 대한 액세스를 제어하는 T/R 스위치(436) 앞에 구현된다. 종래의 I-Q 불균형 교정에서는, 송신기(406)가 수신기(408)에 루프백되는 톤을 생성할 수도 있다. 예를 들어, 송신기(406)는 I 분기(428a) 및 Q 분기(430a) 상에서 톤을 송신할 수 있으며, 이는 믹서(424a)에서 합성기(432)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호(110)를 생성할 수도 있다. 결합 신호(110)는 믹서(424a)에서 수신되어 합성기(432)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 동위상 및 직교위상 성분들로 분리될 수도 있다. 동위상 성분은 I 분기(428b) 상에서 수신될 수도 있고, 직교위상 성분은 Q 분기(430b) 상에서 수신될 수도 있다.

[0057]

[0064] 도 4에 예시된 교정 방법은 어떤 단점들을 갖는다. 합성기(432)는 수신기(408)와 송신기(406)에 공통이기 때문에 교정 톤이 송신기(406)에 의해 디지털식으로 생성될 필요가 있다. 송신기(406)는 교정을 위해 복소 기저대역 톤을 생성할 필요가 있기 때문에, 수신기(408)에서 수신된 톤은 수신기 I-Q 불균형에 의해서뿐만 아니라 송신기 I-Q 불균형에 의해서도 오류가 발생할 것이다. 따라서 교정 알고리즘들은 도 6과 관련하여 아래 설명되는 바와 같이, 공동 송신기 I-Q 교정 및 Rx I-Q 교정을 수행하려고 할 수도 있다.

[0058]

[0065] 도 5는 I-Q 불균형을 갖는 단일 시스템(404) 내의 송신기(506) 및 수신기(508)의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다. 송신기(506) 및 수신기(508)는 I-Q 불균형 교정을 위한 루프백 경로(434)를 포함할 수도 있는 단일 시스템(104)에 포함될 수도 있다. 송신되는 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )은 믹서(524a)를 사용해 합성기(432)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합될 수 있다. 송신기(506)와 수신기(508)에 공통인 합성기(432)에 의해 반송파 주파수( $f_c$ )(예를 들면, 2420 메가헤르츠(MHz))가 제공될 수도 있다. 송신되는 기저대역 직

교위상 성분( $x_Q(t)$ )은 믹서(524b)를 사용해 합성기(432)로부터의 직교위상 신호( $-\sqrt{2}\alpha_T \sin(2\pi f_c t - \theta_T)$ )와 혼합될 수 있으며, 여기서  $a_T$ 는 송신기(506)의 이득 불균형(120)이고,  $\theta_T$ 는 송신기(506)의 위상 불균형(122)이다. 믹서들(524a,b)의 출력들은 가산기(540)를 사용하여 결합될 수도 있다.

[0059] [0066] 결합 신호는 I-Q 교정 루프백 경로(434)를 통해 수신기(508)로 송신될 수 있다. 루프백 경로(434)는 루프백 위상 지연( $\beta$ ) 및 루프백 경로 이득( $G$ )을 포함할 수도 있다.

[0060] [0067] 결합 신호는 수신기(508)에서 수신될 수 있다. 결합 신호가 믹서(524c)에서 합성기(432)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(526a)를 통과하여 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호가 또한 믹서(524d)에서 직교위상 신호( $-\sqrt{2}\alpha_R \sin(2\pi f_c t - \theta_R)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(526b)를 통과하여 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있으며, 여기서  $a_R$ 는 수신기(508)의 이득 불균형(120)이고,  $\theta_R$ 는 수신기(508)의 위상 불균형(122)이다.

[0061] [0068] I-Q 불균형의 존재시 수신된 동위상 및 직교위상 성분들( $s_I(t)$ ,  $s_Q(t)$ )은 아래와 같이 기재될 수도 있다:

$$\begin{bmatrix} s_I(t) \\ s_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \cos(\beta) & -G\alpha_T \sin(\beta - \theta_T) \\ G\alpha_R \sin(\beta + \theta_R) & G\alpha_T \alpha_R \cos(\beta + \theta_R - \theta_T) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I(t) \\ x_Q(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0063] [0069] 동위상 성분( $s_I(t)$ )과 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 스플리터(525a,b)에서 분할될 수도 있다. 스플리터(525a,b)는 I 분기 및 Q 분기 상에 동등하게 RF 신호를 분할하는 3dB 스플리터일 수도 있다. 도 5에서,  $s_I[n]$ 과  $s_Q[n]$ 은 수신된 기저대역 신호들이다.

[0064] [0070] 수신기(508)의 I-Q 교정을 위해, 송신기(506)가 주파수( $f_{IF}$ )에서 복소 기저대역 톤(예를 들면,  $x_I(t) = A \cos(2\pi f_{IF} t)$ ,  $x_Q(t) = A \sin(2\pi f_{IF} t)$ )을 송신할 수도 있다. 수신된 톤은 송신기 및 수신기 I-Q 불균형 모두에 영향을 받는다고 식(6)으로부터 관찰된다.

[0065] [0071] 도 6은 I-Q 불균형 교정을 위한 방법(600)을 나타내는 흐름도이다. 방법(600)은 도 4와 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 단일 시스템(104)과 무선 통신 디바이스(102)에 의해 구현될 수도 있다. 예를 들어, 송신기(406)와 수신기(408)는 공통 합성기(432)를 가질 수도 있다. 이 방법(600)은 송신기 및 수신기 I-Q 불균형 파라미터들의 공동 추정을 수행함으로써 수신기 I-Q 불균형 교정을 수행한다.

[0066] [0072] 무선 통신 디바이스(102)는 수신기 상수 신호(DC) 오프셋을 측정할 수 있다(602). DC 오프셋은 로컬 오실레이터(L0)의 누설에 의해 야기될 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 수신기(408)의 DC 오프셋을 추정할 수도 있다.

[0067] [0073] 무선 통신 디바이스(102)는 수신기 및 송신기 I-Q 보정 메트릭들을 초기화할 수 있다(604). 한 구성에서, 수신기 및 송신기 I-Q 보정 행렬들은 항등 행렬들로 설정될 수도 있다.

[0068] [0074] 무선 통신 디바이스(102)는 수신기 및 송신기 I-Q 보정을 인에이블할 수 있다(606). 수신기 및 송신기 I-Q 보정의 인에이블시(606), 무선 통신 디바이스(102)는 (인에이블된다면) DC 오프셋 보정을 디세이بل할 수도 있다.

[0069] [0075] 무선 통신 디바이스(102)는 동위상 분기(428a) 상에서 DC를 전송할 수 있으며(608), 이는 차동 측정을 제공할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 루프백 위상 시프트( $\beta$ ) 및 송신기 L0 누설을 추정할 수도 있다(610).

[0070] [0076] 무선 통신 디바이스(102)는 아날로그 상수 지연(예를 들면,  $45^\circ$ )을 활성화하고 단계(608)를 반복하여 새로운 루프백 위상 시프트( $\phi$ )를 추정할 수도 있다(610). 다음에 무선 통신 디바이스(102)는 송신기 L0 누설

추정치를 개선할 수도 있다.

- [0071] [0077] 무선 통신 디바이스(102)는 수신기 및 송신기 I-Q 보정 행렬을 디세이블하고 DC 오프셋 보정을 인에이블할 수 있다(612). 무선 통신 디바이스(102)는 톤을 전송하고(614) 행렬들( $R_1, R_2$ )을 측정할 수도 있다(616). 무선 통신 디바이스(102)는 아날로그 상수 지연(예를 들면,  $45^\circ$ )을 활성화하고 단계(614)를 반복하여 메트릭들( $R_3, R_4$ )을 측정할 수도 있다(616).
- [0072] [0078] 무선 통신 디바이스(102)는 수신기 및 송신기 I-Q 불균형 파라미터들을 추정할 수도 있다(618). 예를 들어, 무선 통신 디바이스(102)는 측정된 메트릭들( $R_1, R_2, R_3, R_4$ )을 기초로 수신기 및 송신기 I-Q 이득 및 위상 불균형 파라미터들을 추정할 수도 있다(618). 무선 통신 디바이스(102)는 최근의 이득 및 위상 불균형 파라미터들로 수신기 및 송신기 I-Q 불균형 보정 행렬들을 업데이트할 수도 있다.
- [0073] [0079] 무선 통신 디바이스(102)는 충분한 횟수의 반복들의 발생했는지 여부를 결정할 수도 있다(620). 무선 통신 디바이스(102)는 단계(606)로 돌아가  $n$ 회의 반복들에 대해 반복될 수도 있다.
- [0074] [0080] 반복적인 방법(600)은 실제로 용인되는 교정 결과들을 제공할 수 있지만, 이는 어떤 단점들을 갖는다. 예컨대, 방법(600)은 반복적이며, 이는 미리 정해진 횟수의 반복들(예를 들면,  $N_{iter} = 3$ ) 동안 실행된다. 마지막 반복 이후, 방법(600)이 수렴했는지 여부는 알려지지 않는다.
- [0075] [0081] 방법(600)은 끝내는 데 상당한 양의 시간이 걸릴 수도 있다. (소프트웨어 오버헤드 및 레이턴시를 제외한) 알고리즘이 끝나는 데 필요한 총 시간( $T_{req}$ )은  $T_{req} = N_{iter} \cdot 6 \cdot t_{meas}$ 이며, 여기서  $N_{iter}$ 는 반복들의 횟수이고,  $t_{meas}$ 는 방법(600)의 각각의 단계에 대한 하드웨어 측정 시간이다. 일례로,  $N_{iter} = 3$ 이고  $t_{meas} = 512$  마이크로초( $\mu s$ )이다. 이 경우, 방법(600)은  $T_{req} = 9.216$  밀리초(ms)를 필요로 한다. 대체로, 방법(600)은 부트업 시에 그리고 온도 변화들이 있을 때 실행될 수도 있다. 그러나 주요한 어려움들 중 하나는 온도 변화가 있을 때마다 방법(600)을 재실행하는 것이다. 패킷들 사이에  $T_{req} \approx 10ms$ 를 필요로 하는 방법(600)을 스케줄링하는 것은 매우 어려울 수도 있다. 더욱이, 방법(600)은 더 작은 섹션들로 분할되어 전체 프로세스를 훨씬 더 복잡하게 만들 수도 있다.
- [0076] [0082] 부트업 시간 동안,  $T_{req} \approx 10ms$ 는 큰 문제가 되지 않을 수도 있다. 그러나 일반적인 수신기(108)는 액티브 믹서들을 사용한다(예를 들면, 믹서는 서로 다른 이득들을 갖는다). 그 결과, 교정 방법(600)은 모든 믹서 이득 설정들에 대해 반복될 필요가 있다. 이는 결국, I-Q 교정 방법(600)이 부트업 시간을 상당히 증가시킬 수도 있음을 의미한다.
- [0077] [0083] 방법(600)은 또한 많은 근사치들을 사용하여, 해가 구해질 수 있는 식들의 선형 시스템을 얻을 수도 있다. 그 결과, 방법(600)으로 주어진 해법은 결코 정확하지 않을 것이며, 항상 잔여 교정 에러가 있을 것이다. 잔여 교정 에러는 대체로 작지만, 이는 칩 아키텍처에 그리고 무선 애플리케이션(예를 들면, 블루투스(BT), WiFi, LTE 등)에 상당히 의존한다.
- [0078] [0084] 더욱이, 방법(600)은  $4 \times 4$  행렬을 고정점 정확도로 역변환함으로써 송신기 및 수신기 I-Q 불균형 파라미터들의 공동 추정치를 얻을 수도 있다. 각각의 행렬 요소를 표현하는 데 사용되는 비트들의 수 그리고 송신기 및 수신기 I-Q 불균형 파라미터들에 따라, 고정점 행렬 역변환은 정확한 결과를 벗어날 수 있다.
- [0079] [0085] 도 7은 협력적 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 2개의 무선 시스템들(704)을 나타내는 블록도이다. 무선 통신 디바이스(702)는 2개의 무선 시스템들(704)을 포함할 수도 있다. 무선 시스템들(704)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다. 예를 들어, 제 1 시스템(704a)은 WiFi 시스템일 수도 있고, 제 2 시스템(704b)은 블루투스(BT) 시스템일 수도 있다. 한 구성에서, 두 무선 시스템들(704) 모두 결합된 시스템 온 칩(SOC)에 포함될 수도 있다.
- [0080] [0086] 일반적으로, 송신기(706) 및 수신기(708)에서 신호들의 조정은 증폭기, 필터, 상향 변환기, 하향 변환기 등의 하나 또는 그보다 많은 단계들에 의해 수행될 수도 있다. 이러한 회로 블록들은 도 7에 도시된 구성과는 다르게 배열될 수도 있다. 더욱이, 도 7에 도시되지 않은 다른 회로 블록들이 또한 송신기(706) 및 수신기(708)에서 신호들을 조정하는 데 사용될 수도 있다. 일부 회로 블록들은 또한 생략될 수도 있다.
- [0081] [0087] 제 1 시스템(704a)은 제 1 송신기(706a), 제 1 수신기(708a) 및 제 1 합성기(732a)를 포함할 수도



있다. 제 1 송신기(706a)는 I 분기(728a) 및 Q 분기(730a) 상에서 신호를 송신할 수 있으며, 이는 믹서(724a)에서 제 1 합성기(732a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호를 생성할 수도 있다. 결합 신호는 믹서(724b)에서 수신되어 제 1 합성기(732a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 동위상 및 직교위상 성분들로 분리될 수도 있다. 동위상 성분은 I 분기(728b) 상에서 제 1 수신기(708a)에 수신될 수도 있고, 직교위상 성분은 Q 분기(730b) 상에서 수신될 수도 있다.

[0082] [0088] 제 2 시스템(704b)은 제 2 송신기(706b), 제 2 수신기(708b) 및 제 2 합성기(732b)를 포함할 수도 있다. 제 2 송신기(706b)는 I 분기(728c) 및 Q 분기(730c) 상에서 신호를 송신할 수 있으며, 이는 믹서(724c)에서 제 2 합성기(732b)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호를 생성할 수도 있다. 결합 신호는 믹서(724d)에서 수신되어 제 2 합성기(732b)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 동위상 및 직교위상 성분들로 분리될 수도 있다. 동위상 성분은 I 분기(728d) 상에서 제 2 수신기(708b)에 수신될 수도 있고, 직교위상 성분은 Q 분기(730d) 상에서 수신될 수도 있다.

[0083] [0089] 제 1 송신기(706a)와 연관된 믹서(724a)의 출력은 제 1 가산기(740a)에서 제 2 송신기(706b)와 연관된 믹서(724c)의 출력과 결합될 수도 있다. 제 1 가산기(740a)의 출력은 무선 송신을 위해 송신/수신(T/R) 스위치(736) 및 안테나(738)에 연결될 수도 있다. T/R 스위치(736)는 제 2 가산기(740b)에 연결될 수도 있다. 제 2 가산기(740b)의 출력은 제 1 수신기(708a)와 연관된 믹서(724b)의 입력 및 제 2 수신기(708b)와 연관된 믹서(724d)의 입력에 연결될 수도 있다.

[0084] [0090] I-Q 교정 루프백 경로(734)는 공유 경로(예를 들어, 2개의 시스템들(704)로부터의 신호들이 결합되는 지점)에 연결될 수도 있다. I-Q 교정 루프백 경로(734)는 I-Q 불균형 교정 동안에는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 활성화(예를 들면, 폐쇄)하고 I-Q 불균형 교정 이후에는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 비활성화(예를 들면, 개방)하도록 동작 가능한 스위치를 포함할 수도 있다. 한 구성에서, I-Q 교정 루프백 경로(734)는 제 1 가산기(740a)의 출력과 제 2 가산기(740b)의 입력 사이에 연결될 수도 있다.

[0085] [0091] 제 1 시스템(704a)은 제 1 합성기(732a)를 제 1 주파수로 설정할 수도 있다( $f_{\text{synth1}} = f_c + f_{\text{IF}}$ ). 제 2 시스템(704b)은 제 2 합성기(732b)를 제 2 주파수로 설정할 수도 있다( $f_{\text{synth2}} = f_c$ ). 일례로,  $f_c = 2412\text{MHz}$ (예를 들면, 채널 주파수)이고,  $f_{\text{IF}}$ 는 낮은 중간 주파수(예를 들면, 500kHz)이다. 더욱이, 제 1 시스템(704a)은 (제 1 송신기(706a)를 통해) I 분기(728a) 및 Q 분기(730a) 상에서 상수값(예를 들면, 직류(DC: direct current))을 송신할 수도 있다. 제 2 시스템(704b) 내의 제 2 수신기(708b)는 신호 경로(746) 상에서 신호를 수신할 수도 있다. 제 1 합성기(732a)와 제 2 합성기(732b)의 주파수들이  $f_{\text{IF}}$ 만큼 차이가 나기 때문에 제 2 시스템(704b) 내의 제 2 수신기(708b)는 주파수( $f_{\text{IF}}$ )에서 제 1 시스템(704a)으로부터의 신호를 이상적인 복소 기저대역 톤(즉, 어떠한 I-Q 불균형도 없는)으로 인식할 수도 있다.

[0086] [0092] 수신된 신호(예를 들면, 수신된 기저대역 톤)를 기초로 제 2 수신기(708b)에 대한 I-Q 불균형이 추정될 수도 있다. 한 구성에서, 무선 통신 디바이스(702)는 제 2 수신기(708b)의 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 측정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(702)는 또한 제 2 수신기(708b)의 I 분기(728)와 Q 분기(730) 사이의 상호 상관(118)을 측정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(702)는 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 기초로 제 2 수신기(708b)의 이득 불균형(120)을 결정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(702)는 또한 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 제 2 수신기(708b)의 위상 불균형(122)을 결정할 수도 있다. 제 2 수신기(708b)에 대한 I-Q 불균형의 추정은 도 8과 관련하여 보다 상세히 논의된다. 앞서 설명한 방법을 반복하지만 각각의 시스템(704)에 대해 동작들을 플립함으로써 제 1 수신기(708a)의 I-Q 불균형이 교정될 수도 있다는 점이 주목되어야 한다.

[0087] [0093] 도 8은 제 2 수신기(808)의 협력적 I-Q 불균형 교정의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다. 도 7과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 제 1 송신기(806)는 제 1 시스템(704a)에 포함될 수 있고 제 2 수신기(808)는 제 2 시스템(704b)에 포함될 수도 있다. 제 1 시스템(704a)과 제 2 시스템(704b)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들(예를 들면, WiFi, BT, LTE 등)일 수도 있다.

[0088] [0094] 한 구성에서, 제 1 합성기(732a)는 제 1 주파수( $f_{\text{synth1}} = f_c + f_{\text{IF}}$ )로 설정될 수 있는데, 여기서  $f_c$ 는 반송파 주파수이고,  $f_{\text{IF}}$ 는 낮은 중간 주파수이다. 송신되는 기저대역 동위상 성분( $x_r(t)$ )은 믹서(824a)를 사용하여 제 1 합성기(732a)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi(f_c + f_{\text{IF}})t)$ )와 혼합되는 상수값( $k_1$ )일 수도 있다.

송신되는 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )은 믹서(824b)를 사용해 제 1 합성기(732a)로부터의 직교위상 신호 ( $-\sqrt{2}\alpha_T \sin(2\pi(f_c + f_{IF})t - \theta_T)$ )와 혼합되는 상수값( $k_2$ )일 수 있으며, 여기서  $a_T$ 는 제 1 송신기(806)의 이득 불균형(120)이고,  $\theta_T$ 는 제 1 송신기(806)의 위상 불균형(122)이다. 믹서들(824a,b)의 출력들은 가산기(840)를 사용하여 결합될 수도 있다.

[0089] [0095] 결합 신호는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 통해 제 2 수신기(808)로 송신될 수 있다. 루프백 경로(734)는 루프백 위상 지연( $\beta$ ) 및 루프백 경로 이득( $G$ )을 포함할 수도 있다.

[0090] [0096] 결합 신호는 제 2 수신기(808)에서 수신될 수 있다. 제 2 수신기(808)와 연관된 제 2 합성기(732b)는 제 2 주파수로 설정될 수도 있다( $f_{synth2} = f_c$ ). 결합 신호가 믹서(824c)에서 제 2 합성기(732b)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(826a)를 통과하여 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호가 또한 믹서(824d)에서 제 2 합성기(732b)로부터의 직교위상 신호 ( $-\sqrt{2}\alpha_R \sin(2\pi f_c t - \theta_R)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(826b)를 통과하여 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있으며, 여기서  $a_R$ 은 제 2 수신기(808)의 이득 불균형(120)이고,  $\theta_R$ 은 제 2 수신기(808)의 위상 불균형(122)이다.

[0091] [0097] 동위상 성분( $s_I(t)$ )과 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 스플리터(825a,b)에서 분할될 수도 있다. 스플리터(825a,b)는 I 분기 및 Q 분기 상에 동등하게 RF 신호를 분할하는 3dB 스플리터일 수도 있다. 도 8에서,  $s_I[n]$ 과  $s_Q[n]$ 은 수신된 기저대역 신호들이다.

[0092] [0098] 도 8에서, 제 1 합성기(732a) 주파수가  $f_{synth1} = f_c + f_{IF}$ 로 설정되고 I 분기(728) 및 Q 분기(730) 경로들 상에서 상수 신호(DC)가 송신될 때 제 1 송신기(806)는 주파수( $f_c + f_{IF}$ )에서 (I-Q 불균형 없는) 이상적인 톤 발생기(848)로 여겨질 수도 있다. 송신되는 신호( $y_{Tx}(t)$ )는 식(7)에 따라 기재될 수 있다.

$$y_{Tx}(t) = k_1 \cdot \sqrt{2} \cos(2\pi(f_c + f_{IF})t) - k_2 \cdot \sqrt{2}\alpha_T \sin(2\pi(f_c + f_{IF})t - \theta_T) = \sqrt{2}A \cos(2\pi(f_c + f_{IF})t + \phi) \quad (7)$$

[0094] [0099] 식(7)에서,  $A$  및  $\phi$ 는 각각 결과적인 톤의 크기 및 위상이고,  $A = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 \alpha_T^2 + 2k_1 k_2 \alpha_T \sin(\theta_T)}$  및  $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{k_2 \alpha_T \cos(\theta_T)}{k_1 + k_2 \alpha_T \sin(\theta_T)}\right)$ 로서 기재될 수 있다.

[0095] [00100] 수신된 동위상 및 직교위상 기저대역 성분들( $s_I(t)$ ,  $s_Q(t)$ )은 식(8)에 따라 기재될 수도 있다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} s_I(t) \\ s_Q(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} G \cos(\beta) & -G \sin(\beta) \\ G\alpha_R \sin(\beta + \theta_R) & G\alpha_R \cos(\beta + \theta_R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_I(t) \\ x_Q(t) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} G \cos(\beta) & -G \sin(\beta) \\ G\alpha_R \sin(\beta + \theta_R) & G\alpha_R \cos(\beta + \theta_R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \cos(2\pi f_{IF} t + \phi) \\ A \sin(2\pi f_{IF} t + \phi) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} GA \cos(2\pi f_{IF} t + \phi + \beta) \\ GA \alpha_R \sin(2\pi f_{IF} t + \phi + \beta + \theta_R) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

[0097] [00101] 제 2 수신기(808)의 이득 불균형( $a_R$ )(120) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )(122)은 수신된 I 분기 전력(114)( $E[s_I(t)^2]$ ), 수신된 Q 분기 전력(116)( $E[s_Q(t)^2]$ ) 및 I 분기와 Q 분기 상의 수신 신호들 간의 상호

상관(118) ( $E[s_I(t)s_Q(t)]$ )을 계산함으로써 추정될 수도 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이,  $E[x]$ 는 기대 연산자를 나타내며  $x$ 의 평균값을 제공한다는 점이 주목되어야 한다.

[0098] [00102] 수신된 I 분기 전력(114) ( $E[s_I(t)^2]$ )은 식(9)에 따라 기재될 수도 있다.

$$E[s_I(t)^2] = E\left[(GA \cos(2\pi f_{IF}t + \phi + \beta))^2\right] \\ = \frac{G^2 A^2}{2} \quad (9)$$

[0099] [0100] [00103] Q 분기 전력(116) ( $E[s_Q(t)^2]$ )은 식(10)에 따라 기재될 수도 있다.

$$E[s_Q(t)^2] = E\left[(GA\alpha_R \sin(2\pi f_{IF}t + \phi + \beta + \theta_R))^2\right] \\ = \frac{G^2 A^2}{2} \alpha_R^2 \quad (10)$$

[0101] [0102] [00104] I 분기와 Q 분기 상의 수신 신호들 간의 상호 상관(118) ( $E[s_I(t)s_Q(t)]$ )은 식(11)에 따라 계산될 수도 있다.

$$E[s_I(t)s_Q(t)] = E[GA \cos(2\pi f_{IF}t + \phi + \beta) \cdot GA\alpha_R \sin(2\pi f_{IF}t + \phi + \beta + \theta_R)] \\ = \frac{G^2 A^2}{2} \alpha_R \sin(\theta_R) \quad (11)$$

[0103] [0104] [00105] 제 2 수신기(808)의 이득 불균형 ( $\alpha_R$ )(120)은 I 분기(728) 상의 전력 및 Q 분기(730) 상의 전력을 기초로 결정될 수도 있다. 제 2 수신기(808)의 이득 불균형 ( $\alpha_R$ )은 식(12)에 따라 메트릭( $R_1$ )을 계산함으로써 추정될 수도 있다.

$$R_1 = \frac{E[s_I(t)^2]}{E[s_Q(t)^2]} = \alpha_R^2 \quad (12)$$

[0105] [0106] [00106] 다음에, 이득 불균형 ( $\alpha_R$ )(120)이  $\alpha_R = \sqrt{R_1}$  로 얻어진다.

[0107] [00107] 제 2 수신기(808)의 위상 불균형 ( $\theta_R$ )(122)은 I 분기(728)와 Q 분기(730) 사이의 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 결정될 수도 있다. 제 2 수신기(808)의 위상 불균형 ( $\theta_R$ )(122)을 추정하기 위해, 식(13)에 따라 메트릭 ( $R_2$ )이 정의될 수도 있다.

$$R_2 = \frac{E[s_I(t)s_Q(t)]}{E[s_I(t)^2]} \\ = \alpha_R \sin(\theta_R) \\ = \sqrt{R_1} \sin(\theta_R) \quad (13)$$

[0108] [0109] [00108] 식(13)의 해를 구함으로써 위상 불균형 ( $\theta_R$ )(122)이 얻어질 수도 있다. 따라서  $\theta_R = \arcsin\left(\frac{R_2}{\sqrt{R_1}}\right)$

이다.

- [0110] [00109] 도 9는 I-Q 불균형 교정을 위한 방법(900)의 상세한 구성을 나타내는 흐름도이다. 방법(900)은 제 1 시스템(104a) 및 제 2 시스템(104b)을 포함하는 무선 통신 디바이스(102)에 의해 수행될 수도 있다. 제 1 시스템(104a)과 제 2 시스템(104b)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다. 예를 들어, 제 1 시스템(104a)은 WiFi 시스템일 수도 있고, 제 2 시스템(104b)은 블루투스(BT) 시스템일 수도 있다. 제 1 시스템(104a)과 제 2 시스템(104b)은 단일 결합된 시스템 온 칩(SOC) 상에 있을 수도 있다.
- [0111] [00110] 무선 통신 디바이스(102)는 제 1 시스템(104a) 내의 제 1 합성기(132a)를 제 1 주파수( $f_{\text{synth1}}$ )로 설정할 수 있다(902). 한 구성에서, 제 1 주파수인  $f_{\text{synth1}} = f_c + f_{\text{IF}}$ 인데, 여기서  $f_c$ 는 반송파(또는 채널) 주파수이고,  $f_{\text{IF}}$ 는 낮은 중간 주파수이다. 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 합성기(132b)를 제 2 주파수( $f_{\text{synth2}}$ )로 설정할 수 있다(904). 따라서 제 1 주파수와 제 2 주파수는 제 3 주파수(예를 들면,  $f_{\text{IF}}$ )만큼 차이가 난다.
- [0112] [00111] 무선 통신 디바이스(102)는 제 1 시스템(104a) 내의 제 1 송신기(106a)에 의해 신호(110)를 송신할 수도 있다(906). 신호(110)는 상수값을 포함한다. 예를 들어, 신호(110)는 상수값( $k_1$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )을 포함할 수도 있다. 신호(110)는 또한 상수값( $k_2$ )으로 설정된, 송신된 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )을 포함할 수도 있다. 동위상 성분( $x_I(t)$ )이 제 1 합성기(132a)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi(f_c + f_{\text{IF}})t)$ )와 혼합될 수 있고 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )이 제 1 합성기(132a)로부터의 직교위상 신호( $-\sqrt{2}\alpha_I \sin(2\pi(f_c + f_{\text{IF}})t - \theta_I)$ )와 혼합되어 결합 신호(110)를 생성할 수도 있다.
- [0113] [00112] 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 시스템(104b) 내의 제 2 수신기(108b)에서 신호(110)를 수신할 수도 있다(908). 신호(110)는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 통해 제 2 수신기(108b)에서 수신될 수도 있다(908). 한 구성에서, I-Q 교정 루프백 경로(734)는 I-Q 불균형 교정 동안에는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 활성화(예를 들면, 폐쇄)하고 I-Q 불균형 교정 이후에는 I-Q 교정 루프백 경로(734)를 비활성화(예를 들면, 개방)하도록 동작 가능한 스위치를 포함할 수도 있다.
- [0114] [00113] 결합 신호(110)는 제 2 합성기(132b)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합되어 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호(110)는 또한 제 2 합성기(132b)로부터의 직교위상 신호( $-\sqrt{2}\alpha_R \sin(2\pi f_c t - \theta_R)$ )와 혼합되어 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있다. 수신된 신호(110)는 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형( $a_R$ ) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )의 영향을 받을 수도 있다.
- [0115] [00114] 무선 통신 디바이스(102)는 수신된 신호(110)를 기초로 제 2 수신기(108b)에 대한 I-Q 불균형을 추정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 수신기(108b)의 I 분기 상의 전력(예를 들면, I 분기 전력(114)( $E[s_I(t)^2]$ ))을 측정할 수도 있다(910). 무선 통신 디바이스(102)는 제 2 수신기(108b)의 Q 분기 상의 전력(예를 들면, Q 분기 전력(116)( $E[s_Q(t)^2]$ ))을 측정할 수도 있다(912). 무선 통신 디바이스(102)는 또한 제 2 수신기(108b)의 I 분기와 Q 분기 사이의 상호 상관(118)( $E[s_I(t)s_Q(t)]$ )을 측정할 수도 있다(914).
- [0116] [00115] 무선 통신 디바이스(102)는 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형( $a_R$ )(120)을 결정할 수도 있다(916). 이는 위의 식(12)에 따라 이루어질 수도 있다. 예를 들어, 무선 통신 디바이스(102)는 측정된 I 분기 전력(114)( $E[s_I(t)^2]$ )을 측정된 Q 분기 전력(116)( $E[s_Q(t)^2]$ )으로 나눔으로써  $R_1$  메트릭을 얻을 수도 있다. 그 다음, 무선 통신 디바이스(102)는  $R_1$  메트릭의 제곱근(예를 들면,  $\alpha_R = \sqrt{R_1}$ )을 구함으로써 제 2 수신기(108b)의 이득 불균형( $a_R$ )(120)을 결정할 수도 있다(916).

- [0117] [00116] 무선 통신 디바이스(102)는 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 제 2 수신기(108b)의 위상 불균형( $\theta_R$ )(122)을 결정할 수도 있다(918). 이는 위의 식(13)에 따라 이루어질 수도 있다. 예를 들어, 무선 통신 디바이스(102)는 상호 상관(118)( $E[s_I(t)s_Q(t)]$ )을 I 분기 전력(114)( $E[s_I(t)^2]$ )으로 나눔으로써  $R_2$  메트릭을 얻을 수도 있다. 그 다음, 무선 통신 디바이스(102)는  $R_1$  및  $R_2$  메트릭들을 사용하여 식(13)의 해를 구함으로써 제 2 수신기(108b)의 위상 불균형( $\theta_R$ )(122)을 결정할 수도 있다(918).
- [0118] [00117] 도 10은 협력적 I-Q 불균형 교정을 위해 구성된 2개의 무선 시스템들(1004)의 다른 구성을 나타내는 블록도이다. 무선 통신 디바이스(1002)는 도 7과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 2개의 무선 시스템들(1004)을 포함할 수도 있다. 무선 시스템들(1004)은 서로 다른 타입들의 무선 시스템들일 수도 있다. 예를 들어, 제 1 시스템(1004a)은 WiFi 시스템일 수도 있고, 제 2 시스템(1004b)은 블루투스(BT) 시스템일 수도 있다. 한 구성에서, 두 무선 시스템들(1004) 모두 결합된 시스템 온 칩(SOC)에 포함될 수도 있다.
- [0119] [00118] 제 1 시스템(1004a)은 제 1 송신기(1006a), 제 1 수신기(1008a) 및 제 1 합성기(1032a)를 포함할 수도 있다. 제 1 송신기(1006a)는 I 분기(1028a) 및 Q 분기(1030a) 상에서 신호를 송신할 수 있으며, 이는 믹서(1024a)에서 제 1 합성기(1032a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호를 생성할 수도 있다. 결합 신호는 믹서(1024b)에서 수신되어 제 1 합성기(1032a)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 동위상 및 직교위상 성분들로 분리될 수도 있다. 동위상 성분은 I 분기(1028b) 상에서 제 1 수신기(1008a)에 수신될 수도 있고, 직교위상 성분은 Q 분기(1030b) 상에서 수신될 수도 있다.
- [0120] [00119] 제 2 시스템(1004b)은 제 2 송신기(1006b), 제 2 수신기(1008b) 및 제 2 합성기(1032b)를 포함할 수도 있다. 제 2 송신기(1006b)는 I 분기(1028c) 및 Q 분기(1030c) 상에서 신호를 송신할 수 있으며, 이는 믹서(1024c)에서 제 2 합성기(1032b)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 결합되어 결합 신호를 생성할 수도 있다. 결합 신호는 믹서(1024d)에서 수신되어 제 2 합성기(1032b)로부터의 동위상 및 직교위상 신호들과 동위상 및 직교위상 성분들로 분리될 수도 있다. 동위상 성분은 I 분기(1028d) 상에서 제 2 수신기(1008b)에 수신될 수도 있고, 직교위상 성분은 Q 분기(1030d) 상에서 수신될 수도 있다.
- [0121] [00120] 제 1 송신기(1006a)와 연관된 믹서(1024a)의 출력은 제 1 가산기(1040a)에서 제 2 송신기(1006b)와 연관된 믹서(1024c)의 출력과 결합될 수도 있다. 제 1 가산기(1040a)의 출력은 무선 송신을 위해 송신/수신(T/R) 스위치(1036) 및 안테나(1038)에 연결될 수도 있다. T/R 스위치(1036)는 제 2 가산기(1040b)에 연결될 수도 있다. 제 2 가산기(1040b)의 출력은 제 1 수신기(1008a)와 연관된 믹서(1024b)의 입력 및 제 2 수신기(1008b)와 연관된 믹서(1024d)의 입력에 연결될 수도 있다.
- [0122] [00121] I-Q 교정 루프백 경로(1034)는 공유 경로(예를 들어, 2개의 시스템들(1004)로부터의 신호들이 결합되는 지점)에 연결될 수도 있다. I-Q 교정 루프백 경로(1034)는 I-Q 불균형 교정 동안에는 I-Q 교정 루프백 경로(1034)를 활성화(예를 들면, 폐쇄)하고 I-Q 불균형 교정 이후에는 I-Q 교정 루프백 경로(1034)를 비활성화(예를 들면, 개방)하도록 동작 가능한 스위치를 포함할 수도 있다. 한 구성에서, I-Q 교정 루프백 경로(1034)는 제 1 가산기(1040a)의 출력과 제 2 가산기(1040b)의 입력 사이에 연결될 수도 있다.
- [0123] [00122] 도 7과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이, 제 2 수신기(1008b)의 I-Q 불균형을 교정한 후, 제 2 송신기(1006b)의 I-Q 불균형이 교정될 수도 있다. 제 2 송신기(1006b)는 디지털 톤을 송신할 수 있다. 제 2 송신기(1006b)는 주파수( $f_{IF}$ )에서 디지털 톤을 생성할 수도 있다. 제 2 수신기(1008b)는 디지털 톤을 수신할 수 있다. 예컨대, 무선 주파수(RF) 신호(예를 들면, 디지털 톤)가 도 10에 예시된 바와 같이 신호 경로(1046)를 통해, 교정된 제 2 수신기(1008b)로 루프백될 수도 있다.
- [0124] [00123] I-Q 불균형에 대해 제 2 수신기(1008b)가 교정된 후 수신된 디지털 톤(예를 들면, 수신된 기저대역 톤)을 기초로 제 2 송신기(1006b)에 대한 I-Q 불균형이 추정될 수도 있다. 한 구성에서, 무선 통신 디바이스(1002)는 제 2 수신기(1008b)의 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 측정할 수도 있다. 제 2 수신기(1008b)의 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)은 (도 13과 관련하여 아래 설명되는) I-Q 교정 모듈 이후에 측정될 수도 있다. 무선 통신 디바이스(1002)는 또한 제 2 수신기(1008b)의 I 분기(1028)와 Q 분기(1030) 사이의 상호 상관(118)을 측정할 수도 있다. 제 2 수신기(1008b)의 상호 상관(118)은 또한 (도 13과 관련하여 아래 설명되는) I-Q 교정 모듈 이후에 측정될 수도 있다.
- [0125] [00124] 무선 통신 디바이스(1002)는 제 2 수신기(1008b)의 I 분기 전력(114) 및 Q 분기 전력(116)을 기초로

제 2 송신기(1006b)의 이득 불균형(120)을 결정할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(1002)는 또한 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 제 2 송신기(1006b)의 위상 불균형(122)을 결정할 수도 있다. 제 2 송신기(1006b)에 대한 I-Q 불균형의 추정은 도 11과 관련하여 보다 상세히 논의된다. 앞서 설명한 방법을 반복하지만 각각의 시스템(1004)에 대해 동작들을 플립함으로써 제 1 송신기(1006a)의 I-Q 불균형이 교정될 수도 있다는 점이 주목되어야 한다.

[0126] [00125] 도 11은 제 2 송신기(1106)의 협력적 I-Q 불균형 교정의 수학적 모델을 나타내는 블록도이다. 도 10과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 제 2 송신기(1106)와 제 2 수신기(1108) 둘 다 제 2 시스템(1004b)에 포함될 수도 있다. 제 2 시스템(1004b)은 무선 시스템(예를 들면, WiFi, BT, LTE 등)일 수도 있다. 제 2 수신기(1108)는 도 7과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 교정될 수도 있다.

[0127] [00126] 제 2 수신기(1108)가 교정된 후, 제 2 송신기(1106)는 주파수( $f_{IF}$ )에서 디지털 톤을 생성할 수도 있다. 송신되는 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )은  $x_I(t) = A \cos(2\pi f_{IF} t)$  로서 기재될 수 있고, 송신되는 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )은  $x_Q(t) = A \sin(2\pi f_{IF} t)$  로서 기재될 수도 있다. 송신되는 기저대역 동위상 성분( $x_I(t)$ )은 믹서(1124a)를 사용해 제 2 합성기(1032b)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합될 수 있다. 송신되는 기저대역 직교위상 성분( $x_Q(t)$ )은 믹서(1124b)를 사용해 제 2 합성기(1032b)로부터의 직교위상 신호( $-\sqrt{2} \alpha_T \sin(2\pi f_c t - \theta_T)$ )와 혼합될 수 있으며, 여기서  $\alpha_T$ 는 제 2 송신기(1106)의 이득 불균형이고,  $\theta_T$ 는 제 2 송신기(1106)의 위상 불균형이다. 믹서들(1124a,b)의 출력들은 가산기(1140)를 사용하여 결합될 수도 있다.

[0128] [00127] 결합 신호는 I-Q 교정 루프백 경로(1034)를 통해 제 2 수신기(1108)로 송신될 수 있다. 루프백 경로(1034)는 루프백 위상 지연( $\beta$ ) 및 루프백 경로 이득( $G$ )을 포함할 수도 있다.

[0129] [00128] 결합 신호는 제 2 수신기(1108)에서 수신될 수 있다. 제 2 수신기(1108)와 연관된 제 2 합성기(1032b)는 제 2 주파수로 설정될 수도 있다( $f_{synth2} = f_c$ ). 결합 신호가 믹서(1124c)에서 제 2 합성기(1032b)로부터의 동위상 신호( $\sqrt{2} \cos(2\pi f_c t)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(1126a)를 통과하여 동위상 기저대역 성분( $s_I(t)$ )을 생성할 수도 있다. 결합 신호가 또한 믹서(1124d)에서 직교위상 신호( $-\sqrt{2} \sin(2\pi f_c t)$ )와 혼합되고 저역 통과 필터(1126b)를 통과하여 직교위상 기저대역 성분( $s_Q(t)$ )을 생성할 수도 있다.

[0130] [00129] 동위상 성분( $s_I(t)$ )과 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 스플리터(1125a,b)에서 분할될 수도 있다. 스플리터(1125a,b)는 I 분기 및 Q 분기 상에 동등하게 RF 신호를 분할하는 3dB 스플리터일 수도 있다. 도 11에서,  $s_I[n]$ 과  $s_Q[n]$ 은 수신된 기저대역 신호들이다.

[0131] [00130] 제 2 송신기(1106)의 이득 불균형( $a_T$ )(120) 및 위상 불균형( $\theta_T$ )(122)은 제 2 수신기(1108)의 수신된 I 분기 전력(114)( $E[s_I(t)^2]$ ), 수신된 Q 분기 전력(116)( $E[s_Q(t)^2]$ ) 및 I 분기와 Q 분기 상의 수신 신호들 간의 상호 상관(118)( $E[s_I(t)s_Q(t)]$ )을 계산함으로써 추정될 수도 있다. 제 2 송신기(1106)의 이득 불균형( $a_T$ )(120)은 제 2 수신기(1108)의 I 분기(1028) 상의 전력 및 Q 분기(1030) 상의 전력을 기초로 결정될 수도 있다. 제 2 송신기(1106)의 이득 불균형( $a_T$ )(120)은  $a_R$ 을  $a_T$ 로 교체하여 위의 식(12)에 따라 매트릭( $R_1$ )을 계산함으로써 추정될 수도 있다. 다음에, 이득 불균형( $a_T$ )이  $\alpha_T = \sqrt{R_1}$  로 얻어진다.

[0132] [00131] 제 2 송신기(1106)의 위상 불균형( $\theta_R$ )은 제 2 수신기(1108)의 I 분기(728)와 Q 분기(730) 사이의 상호 상관(118) 및 I 분기 전력(114)을 기초로 결정될 수도 있다. 제 2 송신기(1106)의 위상 불균형( $\theta_T$ )은  $\theta_R$ 을

$$\theta_T = \arcsin\left(\frac{R_2}{\sqrt{R_1}}\right)$$

$\theta_T$ 로 교체하여 위의 식(13)의 해를 구함으로써 얻어질 수도 있다. 따라서

[0133] [00132] 본 명세서에서 설명한 협력적 I-Q 불균형 교정은 여러 가지 이익들을 제공한다. 예컨대, 설명한 협력적 I-Q 불균형 교정은 반복적이지 않으며, 따라서 어떠한 수렴 문제들도 존재하지 않는다. 협력적 I-Q 불균형 교정은 공지된 방법(600)보다 훨씬 더 빠르다. 수신기 I-Q 불균형 및 송신기 I-Q 불균형을 교정하기 위해, 협력적 I-Q 불균형 교정은 단 2개의 측정 세트들(수신기에 대해 하나 그리고 송신기에 대해 다른 하나)만을 이용한다. (소프트웨어 오버헤드 및 레이턴시를 제외한) 필요한 총 시간은 식(14)으로 주어진다.

$$T_{req} = 2 \cdot t_{meas} \quad (14)$$

[0135] [00133] 식에서(14),  $t_{meas}$ 는  $R_1$  및  $R_2$  메트릭들의 한 세트에 대한 하드웨어 측정 시간이다.  $t_{meas}$ 에 대해 도 6과 관련하여 앞서 설명한 것과 동일한 시간을 가정하면( $t_{meas} = 512\mu s$ ), 협력적 I-Q 불균형 교정은  $T_{req} = 1.024ms$ 를 필요로 하는데, 이는 공지된 방법(600)에 대해 필요한 시간( $T_{req} = 9.216ms$ )보다 9배 더 짧다. 온도 변화가 있을 때마다 협력적 I-Q 불균형 교정을 재실행하는 것이 더 쉽기 때문에 이는 상당한 이점이다. 예를 들어, 협력적 I-Q 불균형 교정은 패킷들 간에 실행하도록 쉽게 스케줄링될 수도 있다.

[0136] [00134] 추가로, 특정 애플리케이션들 또는 아키텍처들은 단지 수신기 I-Q 불균형 교정만을 수행할 수도 있다. 위에서 확인되는 바와 같이, 협력적 I-Q 불균형 교정은 송신기 섹션 및 수신기 섹션으로 분리될 수도 있다. 수신기 I-Q 교정만이 요구된다면, 협력적 I-Q 불균형 교정은 식(14)으로 주어진 시간의 절반을 사용한다. 이에 반해, 공지된 방법(600)은 항상 송신기 I-Q 불균형 및 수신기 I-Q 불균형에 대한 공동 교정을 수행한다. 즉, 공지된 방법(600)을 사용하는 경우, 수신기만이 교정될 필요가 있을 때 교정에 필요한 시간을 줄이는 것은 불가능하다.

[0137] [00135] 공지된 방법(600)과는 달리, 협력적 I-Q 불균형 교정은 어떠한 근사치들도 사용하지 않는다. 따라서 어떠한 잔여 교정 에러들도 존재하지 않는다. 그러므로 협력적 알고리즘의 정확도는 신호대 잡음비(SNR: signal-to-noise ratio), 양자화 잡음 및 위상 잡음으로만 제한된다.

[0138] [00136] 더욱이, 협력적 I-Q 불균형 교정은 어떠한 행렬 역변환들도 필요로 하지 않는다. 이득 및 위상 불균형 파라미터들에 대한 폐쇄형 해법들이 각각 식(12) 및 식(13)으로 주어진다.

[0139] [00137] 도 12는 무선 통신 디바이스(1202) 내에 포함될 수 있는 특정 컴포넌트들을 나타낸다. 무선 통신 디바이스(1202)는 액세스 단말, 이동국, 사용자 장비(UE) 등일 수도 있다. 무선 통신 디바이스(1202)는 프로세서(1203)를 포함한다. 프로세서(1203)는 범용 단일 또는 다중 칩 마이크로프로세서(예를 들어, 고급 축소 명령 집합 컴퓨터(RISC: Reduced Instruction Set Computer) 머신(ARM: Advanced RISC Machine), 특수 목적용 마이크로프로세서(예를 들어, 디지털 신호 프로세서(DSP: digital signal processor)), 마이크로컨트롤러, 프로그래밍 가능 게이트 어레이 등일 수도 있다. 프로세서(1203)는 중앙 처리 유닛(CPU: central processing unit)으로 지칭될 수도 있다. 도 12의 무선 통신 디바이스(1202)에는 단지 단일 프로세서(1203)가 도시되지만, 대안적인 구성에서는 프로세서들(예를 들어, ARM과 DSP)의 결합이 사용될 수 있다.

[0140] [00138] 무선 통신 디바이스(1202)는 또한 메모리(1205)를 포함한다. 메모리(1205)는 전자 정보를 저장할 수 있는 임의의 전자 컴포넌트일 수도 있다. 메모리(1205)는 랜덤 액세스 메모리(RAM: random access memory), 판독 전용 메모리(ROM: read-only memory), 자기 디스크 저장 매체, 광 저장 매체, RAM의 플래시 메모리 디바이스들, 프로세서에 포함된 온 보드(on-board) 메모리, EPROM 메모리, EEPROM 메모리, 레지스터들 등(이들의 결합들을 포함함)으로서 구현될 수도 있다.

[0141] [00139] 데이터(1207a) 및 명령들(1209a)이 메모리(1205)에 저장될 수 있다. 명령들(1209a)은 본 명세서에 개시된 방법들을 구현하도록 프로세서(1203)에 의해 실행 가능할 수도 있다. 명령들(1209a)의 실행은 메모리(1205)에 저장된 데이터(1207a)의 사용을 수반할 수도 있다. 프로세서(1203)가 명령들(1209a)을 실행할 때, 명령들(1209b)의 다양한 부분들이 프로세서(1203) 상에 로딩될 수 있고, 데이터(1207b)의 다양한 부분들이 프로세서(1203) 상에 로딩될 수도 있다.

[0142] [00140] 무선 통신 디바이스(1202)는 또한 무선 통신 디바이스(1202)로의 그리고 무선 통신 디바이스(1202)로부터

터의 신호들의 송신 및 수신을 가능하게 하기 위한 송신기(1206) 및 수신기(1208)를 포함할 수도 있다. 송신기(1206)와 수신기(1208)는 총칭하여 트랜시버(1215)로 지칭될 수도 있다. 안테나(1238)가 트랜시버(1215)에 전기적으로 연결될 수도 있다. 무선 통신 디바이스(1202)는 또한 (도시되지 않은) 다수의 송신기들, 다수의 수신기들, 다수의 트랜시버들 및/또는 다수의 안테나들을 포함할 수도 있다.

[0143] [00141] 무선 통신 디바이스(1202)는 디지털 신호 프로세서(DSP)(1221)를 포함할 수도 있다. 무선 통신 디바이스(1202)는 또한 통신 인터페이스(1223)를 포함할 수도 있다. 통신 인터페이스(1223)는 사용자가 무선 통신 디바이스(1202)와 상호 작용하게 할 수도 있다.

[0144] [00142] 무선 통신 디바이스(1202)의 다양한 컴포넌트들은 전력 버스, 제어 신호 버스, 상태 신호 버스, 데이터 버스 등을 포함할 수도 있는 하나 또는 그보다 많은 버스들에 의해 서로 연결될 수도 있다. 명확하게 하기 위해, 다양한 버스들은 도 12에서 버스 시스템(1219)으로서 예시된다.

[0145] [00143] 도 13은 I-Q 불균형 교정 모듈(1327)에 대한 하나의 구성을 나타내는 블록도이다. I-Q 불균형 교정 모듈(1327)은 수신기(108)(예를 들면, 도 1과 관련하여 앞서 설명한 것과 같은 제 2 수신기(108b))에 포함될 수도 있다. 수신기(108)는 이득 불균형( $\alpha_R$ ) 및 위상 불균형( $\theta_R$ )을 결정할 수도 있다. 이는 도 8과 관련하여 앞서 설명한 바와 같이 이루어질 수도 있다. 수신기(108)는 식(15)으로 주어진 바와 같이 I-Q 보정 계수들( $c_{cross}$ ,  $c_{diag}$ )을 계산할 수도 있다.

$$c_{cross} = -\tan(\theta_R)$$

$$c_{diag} = \frac{1}{\alpha_R \cos(\theta_R)} \quad (15)$$

[0146] [00144] 동위상 성분( $s_I(t)$ ) 및 직교위상 성분( $s_Q(t)$ )은 스플리터(1325a,b)에서 분할될 수도 있다. 스플리터(1325a,b)는 I 분기 및 Q 분기 상에 동등하게 RF 신호를 분할하는 3dB 스플리터일 수도 있다. 스플리터(1325a)의 I 분기 출력은 동위상 기저대역 신호( $s_I[n]$ )일 수도 있다. 동위상 기저대역 신호( $s_I[n]$ )는 믹서(1329a)에서  $c_{cross}$ 와 혼합될 수 있다. 스플리터(1325b)의 Q 분기 출력은 믹서(1329b)에서  $c_{diag}$ 와 혼합될 수 있다. 믹서들(1329a,b)의 출력들은 가산기(1331)를 사용해 결합되어 I-Q 보정된 직교위상 기저대역 신호( $s_Q[n]$ )를 생성할 수도 있다.

[0148] [00145] 본 명세서에서 설명한 기술들은 직교 다중화 방식을 기반으로 하는 통신 시스템들을 비롯한 다양한 통신 시스템들에 사용될 수도 있다. 이러한 통신 시스템들의 예들은 직교 주파수 분할 다중 액세스(OFDMA) 시스템들, 단일 반송파 주파수 분할 다중 액세스(SC-FDMA) 시스템들 등을 포함한다. OFDMA 시스템은 전체 시스템 대역폭을 다수의 직교 부반송파들로 분할하는 변조 기술인 직교 주파수 분할 다중화(OFDM: orthogonal frequency division multiplexing)를 이용한다. 이러한 부반송파들은 또한 톤들, 빈들 등으로 지칭될 수도 있다. OFDM에 따라, 각각의 부반송파는 데이터로 독립적으로 변조될 수 있다. SC-FDMA 시스템은 시스템 대역폭에 걸쳐 분산된 부반송파들을 통해 송신하도록 인터리빙된 FDMA(IFDMA: interleaved FDMA)를, 인접한 부반송파들의 한 블록을 통해 송신하도록 로컬화된 FDMA(LFDMA: localized FDMA)를, 또는 인접한 부반송파들의 다수의 블록들을 통해 송신하도록 확장된 FDMA(EFDMA: enhanced FDMA)를 이용할 수 있다. 일반적으로, 변조 심벌들은 주파수 도메인에서는 OFDM에 따라 그리고 시간 도메인에서는 SC-FDMA에 따라 전송된다.

[0149] [00146] "결정"이라는 용어는 광범위한 동작들을 포괄하며, 따라서 "결정"은 계산, 컴퓨팅, 처리, 유도, 연구, 조사(예를 들어, 표, 데이터베이스 또는 다른 데이터 구조의 조사), 확인 등을 포함할 수 있다. 또한, "결정"은 수신(예를 들어, 정보의 수신), 액세스(예를 들어, 메모리 내의 데이터에 액세스) 등을 포함할 수 있다. 또한, "결정"은 해결, 선택, 선출, 설정 등을 포함할 수 있다.

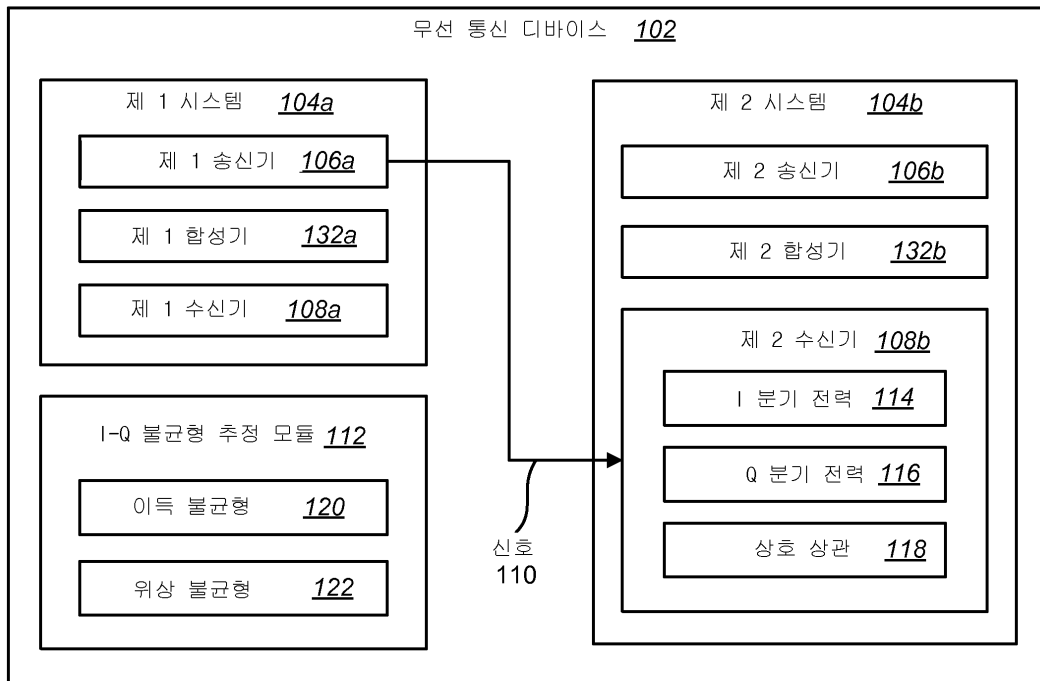
[0150] [00147] "~에 기초하여"라는 구절은 달리 명확히 명시되지 않는 한, "~에만 기초하여"를 의미하지는 않는다. 즉, "~에 기초하여"라는 구절은 "~에만 기초하여" 그리고 "~에 적어도 기초하여"를 둘 다 기술한다.



- [0151] [00148] "프로세서"라는 용어는 범용 프로세서, 중앙 처리 유닛(CPU), 마이크로프로세서, 디지털 신호 프로세서(DSP), 제어기, 마이크로컨트롤러, 상태 머신 등을 포괄하도록 광범위하게 해석되어야 한다. 어떤 상황들에서는, "프로세서"가 주문형 집적 회로(ASIC: application specific integrated circuit), 프로그래밍 가능 로직 디바이스(PLD: programmable logic device), 필드 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA: field programmable gate array) 등을 의미할 수도 있다. "프로세서"라는 용어는 처리 디바이스들의 결합, 예를 들어 DSP와 마이크로프로세서의 결합, 복수의 마이크로프로세서들, DSP 코어와 결합된 하나 또는 그보다 많은 마이크로프로세서들, 또는 임의의 다른 이러한 구성을 의미할 수도 있다.
- [0152] [00149] "메모리"라는 용어는 전자 정보를 저장할 수 있는 임의의 전자 컴포넌트를 포괄하도록 광범위하게 해석되어야 한다. 메모리라는 용어는 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 비휘발성 랜덤 액세스 메모리(NVRAM: non-volatile random access memory), 프로그래밍 가능 판독 전용 메모리(PROM: programmable read-only memory), 소거 가능한 프로그래밍 가능 판독 전용 메모리(EPROM: erasable programmable read-only memory), 전기적으로 소거 가능한 PROM(EEPROM: electrically erasable PROM), 플래시 메모리, 자기 또는 광 데이터 저장소, 레지스터들 등과 같은 다양한 타입들의 프로세서 판독 가능 매체들을 의미할 수도 있다. 메모리는 프로세서가 메모리로부터 정보를 읽고 그리고/또는 메모리에 정보를 기록할 수 있도록 프로세서와 전자 통신한다고 한다. 프로세서에 통합되는 메모리는 프로세서와 전자 통신한다.
- [0153] [00150] "명령들" 및 "코드"라는 용어들은 임의의 타입의 컴퓨터 판독 가능 명령문(들)을 포함하도록 광범위하게 해석되어야 한다. 예를 들어, "명령들" 및 "코드"라는 용어들은 하나 또는 그보다 많은 프로그램들, 루틴들, 서브루틴들, 함수들, 프로시저들 등을 의미할 수도 있다. "명령들" 및 "코드"는 단일 컴퓨터 판독 가능 명령문 또는 많은 컴퓨터 판독 가능 명령문들을 포함할 수도 있다.
- [0154] [00151] 본 명세서에서 설명한 기능들은 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 또는 펌웨어로 구현될 수도 있다. 이 기능들은 컴퓨터 판독 가능 매체 상에 하나 또는 그보다 많은 명령들로서 저장될 수도 있다. "컴퓨터 판독 가능 매체" 또는 "컴퓨터 프로그램 물건"이라는 용어들은 컴퓨터 또는 프로세서에 의해 액세스 가능한 임의의 유형 저장 매체를 의미한다. 한정이 아닌 예시로, 컴퓨터 판독 가능 매체는 RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM이나 다른 광 디스크 저장소, 자기 디스크 저장소 또는 다른 자기 저장 디바이스들, 또는 명령들이나 데이터 구조들의 형태로 원하는 프로그램 코드를 전달 또는 저장하는데 사용될 수 있으며 컴퓨터에 의해 액세스 가능한 임의의 다른 매체를 포함할 수도 있다. 본 명세서에서 사용된 것과 같은 디스크(disk 및 disc)는 콤팩트 디스크(CD: compact disc), 레이저 디스크(laser disc), 광 디스크(optical disc), 디지털 다기능 디스크(DVD: digital versatile disc), 플로피 디스크(floppy disk) 및 블루레이® 디스크(Blu-ray® disc)를 포함하며, 여기서 디스크(disk)들은 보통 데이터를 자기적으로 재생하는 한편, 디스크(disc)들은 데이터를 레이저들에 의해 광학적으로 재생한다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 유형 및 비-일시적일 수도 있다는 점이 주목되어야 한다. "컴퓨터 프로그램 물건"이라는 용어는 컴퓨팅 디바이스 또는 프로세서에 의해 실행, 처리 또는 계산될 수도 있는 코드 또는 명령들(예를 들어, "프로그램")과 결합한 컴퓨팅 디바이스 또는 프로세서를 의미한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "코드"라는 용어는 컴퓨팅 디바이스 또는 프로세서에 의해 실행 가능한 소프트웨어, 명령들, 코드 또는 데이터를 의미할 수도 있다.
- [0155] [00152] 본 명세서에 개시된 방법들은 설명된 방법을 달성하기 위한 하나 또는 그보다 많은 단계들 또는 동작들을 포함한다. 방법 단계들 및/또는 동작들은 청구항들의 범위를 벗어나지 않으면서 서로 교환될 수 있다. 즉, 설명되고 있는 방법의 적절한 동작을 위해 특정 순서의 단계들 또는 동작들이 요구되지 않는 한, 특정 단계들 및/또는 동작들의 순서 및/또는 사용은 청구항들의 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있다.
- [0156] [00153] 추가로, 도 2와 도 9로 예시된 것들과 같은, 본 명세서에서 설명한 방법들 및 기술들을 수행하기 위한 모듈들 및/또는 다른 적절한 수단은 디바이스에 의해 다운로드될 수 있고 그리고/또는 이와 달리 획득될 수 있다고 인식되어야 한다. 예를 들어, 디바이스는 서버에 연결되어 본 명세서에서 설명된 방법들을 수행하기 위한 수단의 전달을 가능하게 할 수도 있다. 대안으로, 본 명세서에서 설명한 다양한 방법들은 디바이스가 저장 수단(예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 콤팩트 디스크(CD)나 플로피 디스크와 같은 물리적 저장 매체 등)을 디바이스에 연결 또는 제공할 때 다양한 방법들을 얻을 수 있도록, 이러한 저장 수단을 통해 제공될 수 있다.
- [0157] [00154] 청구항들은 위에서 예시된 정확한 구성 및 컴포넌트들로 한정되지는 않는다고 이해되어야 한다. 본 명세서에서 설명한 시스템들, 방법들 및 장치의 배치, 동작 및 세부사항들에 대해 청구항들의 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 변형들, 변경들 및 개조들이 이루어질 수 있다.

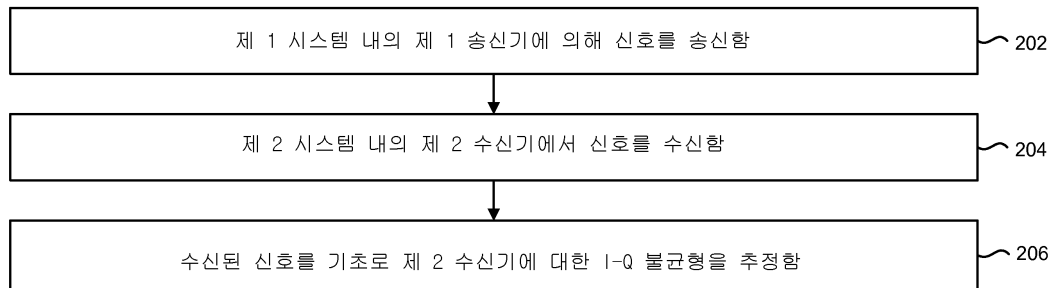
도면

도면1

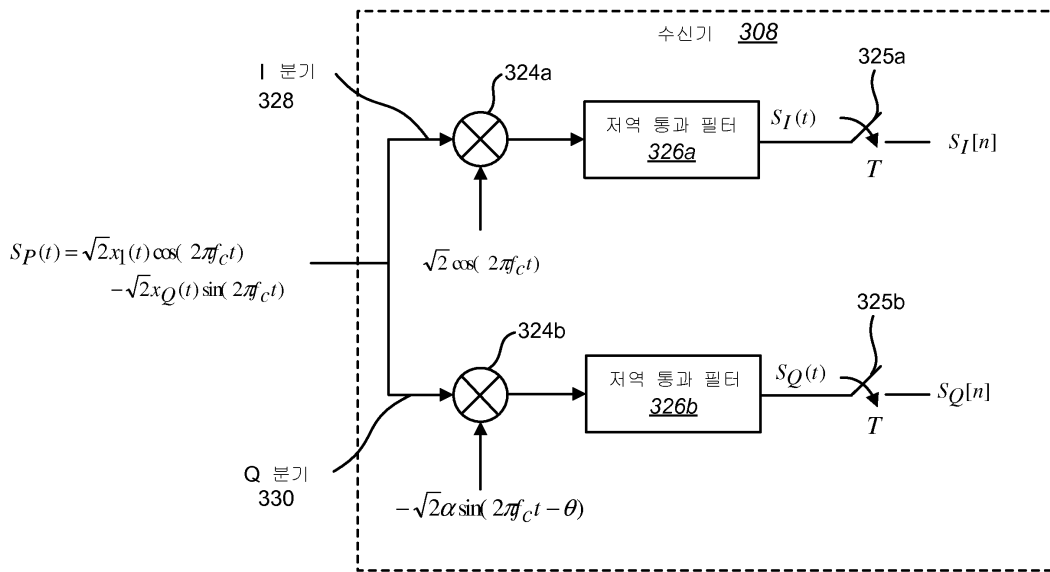


도면2

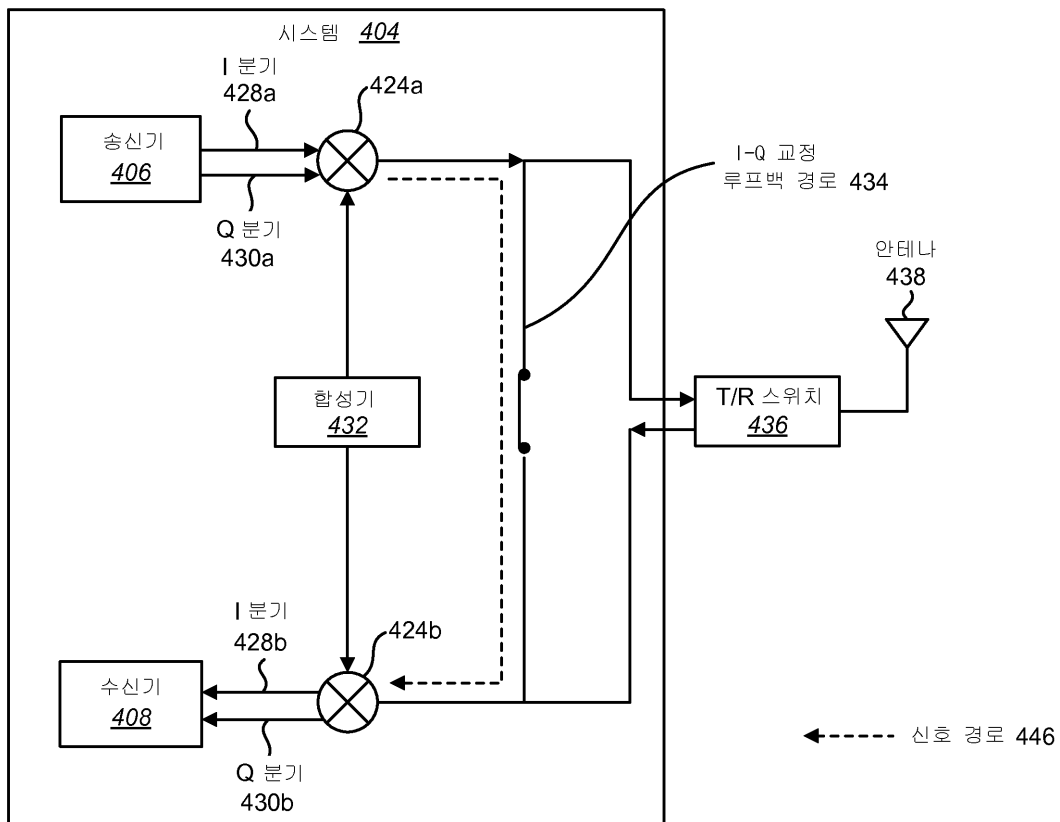
200 ↘



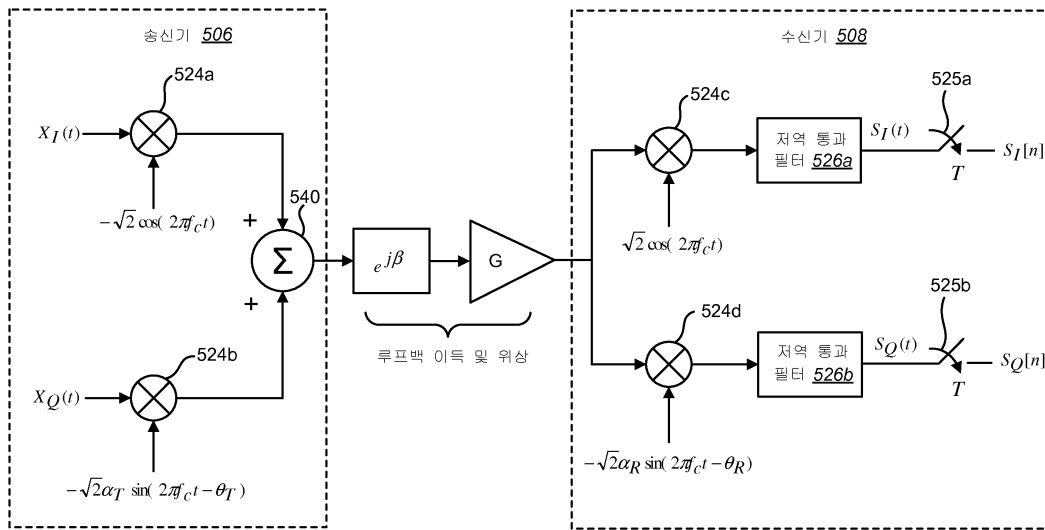
도면3



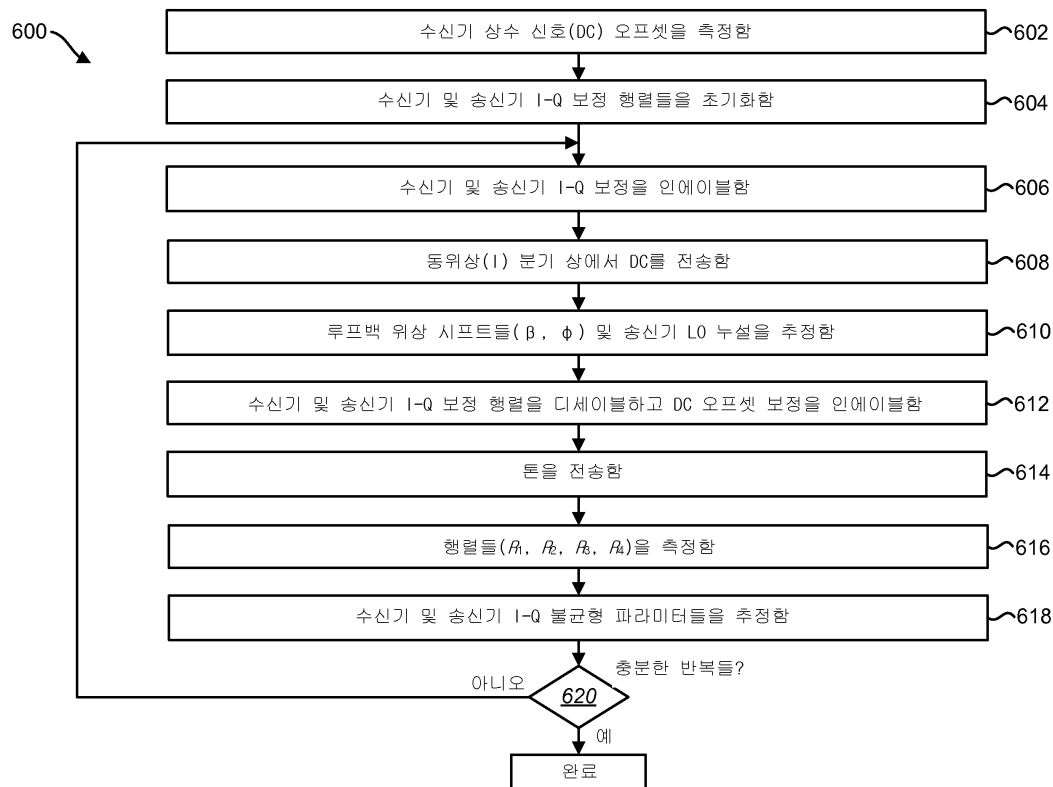
도면4



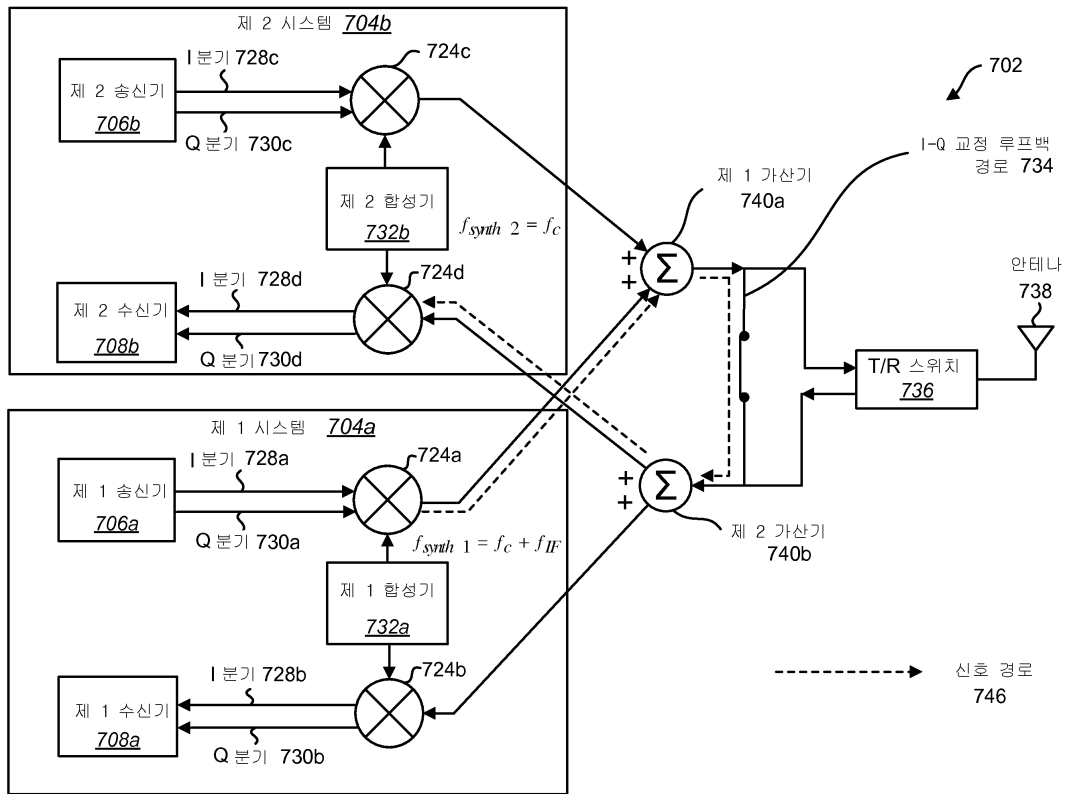
도면5



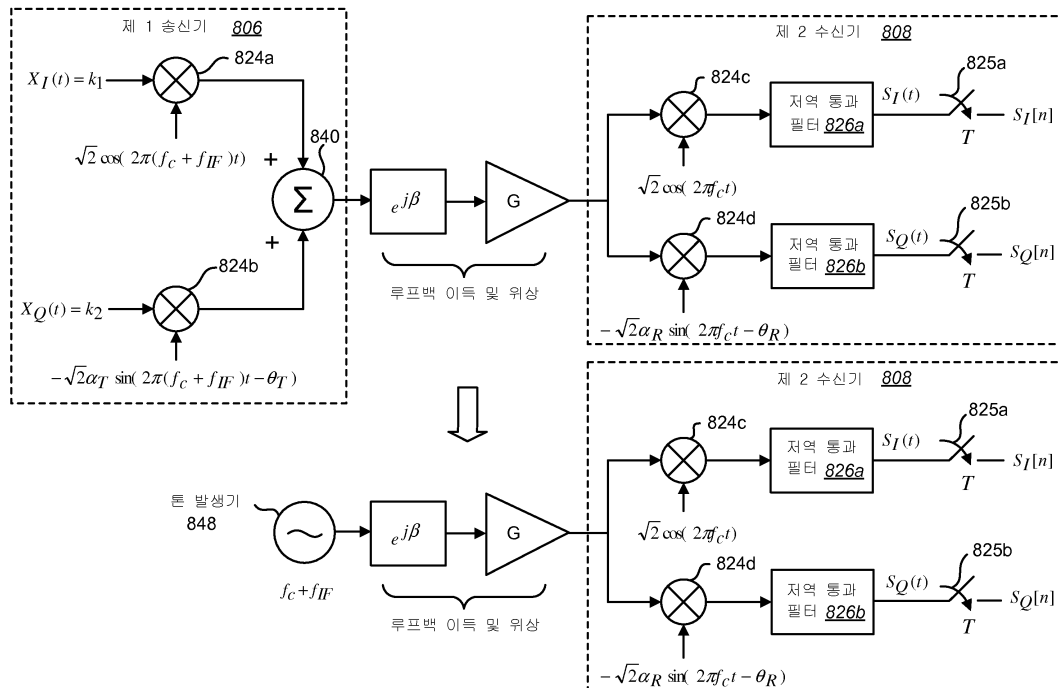
도면6



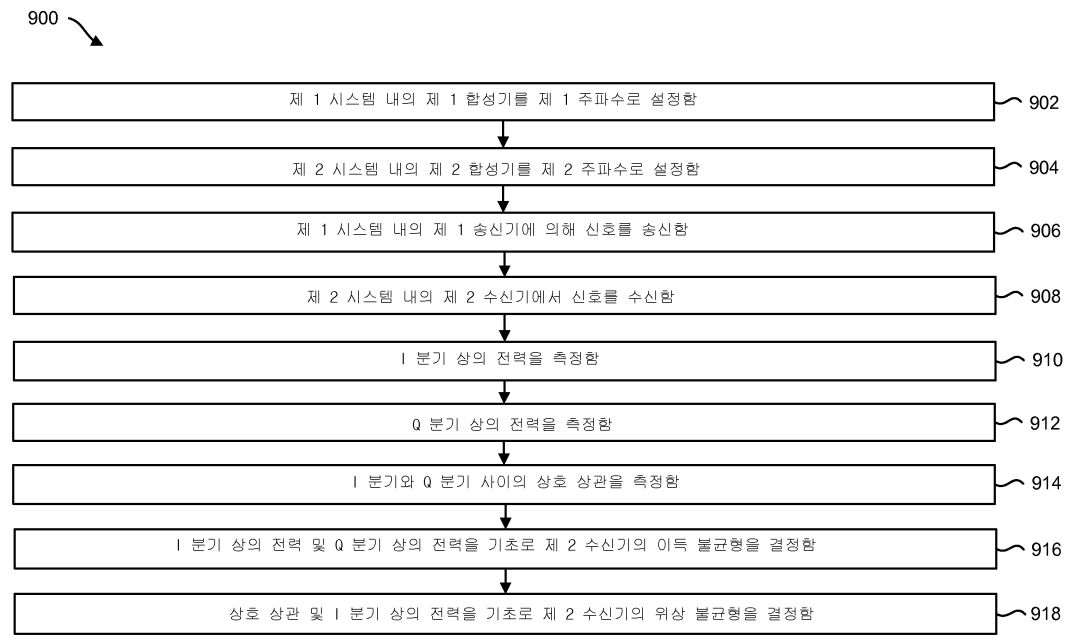
도면7



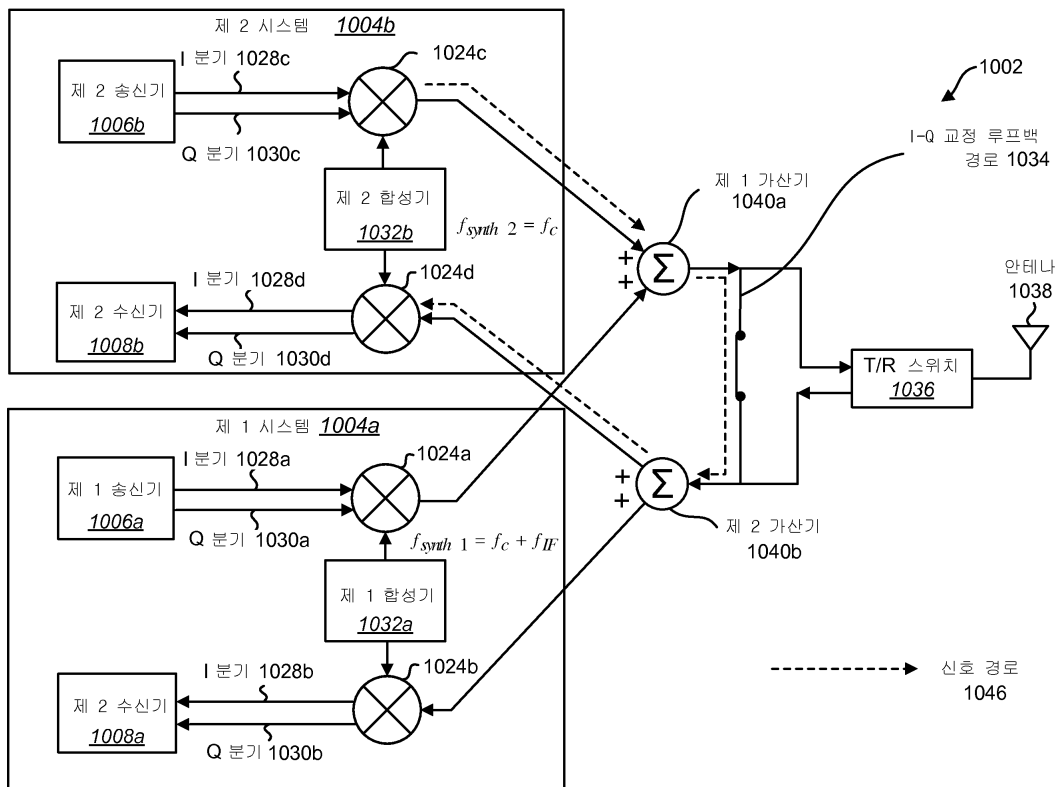
도면8



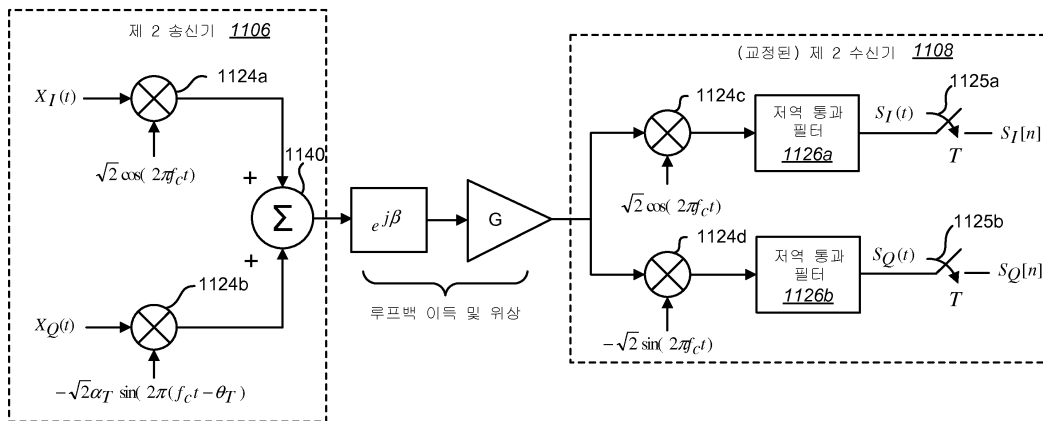
도면9



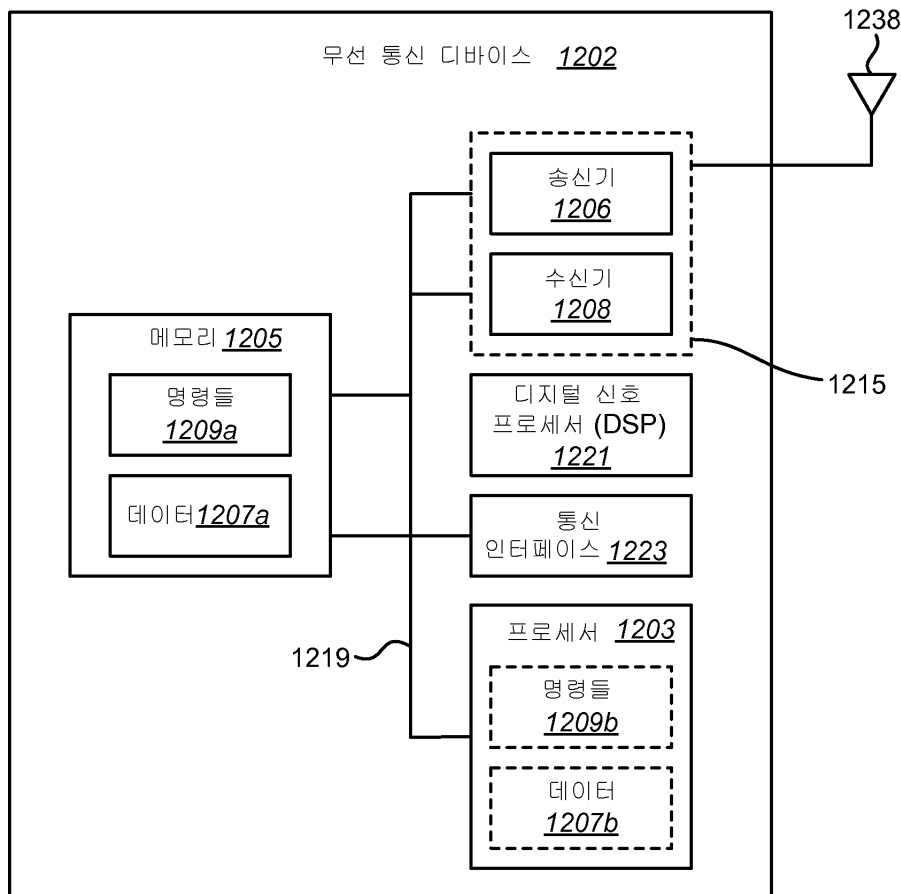
도면10



도면11



도면12



도면13

