



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104247281 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201380019957.4

(22)申请日 2013.01.23

(30)优先权数据

61/624,978 2012.04.16 US

13/747,339 2013.01.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.10.14

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/022793 2013.01.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/158173 EN 2013.10.24

(73)专利权人 高通股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 M·扎格里

S·阿布杜拉依-阿里贝克

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 唐杰敏

(51)Int.Cl.

H04B 1/50(2006.01)

H04L 27/36(2006.01)

H04B 17/11(2015.01)

H04B 17/21(2015.01)

(56)对比文件

US 2005/069056 A1,2005.03.31,

CN 1759583 A,2006.04.12,

US 2007/099570 A1,2007.05.03,

CN 101099364 A,2008.01.02,

US 2011/128992 A1,2011.06.02,

审查员 王静

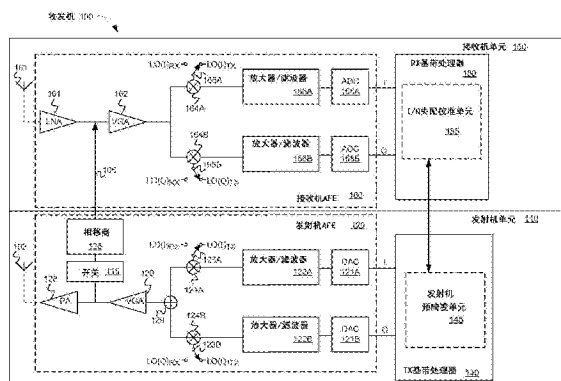
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

用于校准频分双工收发机的方法和系统

(57)摘要

频分双工(FDD)收发机包括将发射信号上变频的第一混频器和耦合到第一混频器以选择性地向第一混频器提供发射本地振荡器信号或接收本地振荡器信号的第一开关。发射本地振荡器信号具有第一频率且接收本地振荡器信号具有不同于第一频率的第二频率。该FDD收发机还包括将接收信号下变频的第二混频器和耦合到第二混频器以选择性地向第二混频器提供发射本地振荡器信号或接收本地振荡器信号的第二开关。



1. 一种频分双工收发机,包括:

将同相发射信号上变频的第一混频器;

耦合到所述第一混频器以选择性地向所述第一混频器提供同相发射本地振荡器信号或同相接收本地振荡器信号的第一开关,其中所述同相发射本地振荡器信号具有第一频率且所述同相接收本地振荡器信号具有异于所述第一频率的第二频率,并且其中所述第一开关用于在正常模式和发射机校准模式期间向所述第一混频器提供所述同相发射本地振荡器信号;

将同相接收信号下变频的第二混频器;

耦合到所述第二混频器以选择性地向所述第二混频器提供所述同相发射本地振荡器信号或所述同相接收本地振荡器信号的第二开关,其中所述第二开关用于在所述发射机校准模式期间向所述第二混频器提供所述同相发射本地振荡器信号;

选择性地将所述第一混频器的输出耦合到所述第二混频器的输入的环回路径,其中所述环回路径包括选择性地将相移添加至所述第一混频器的输出的相移器,以及与所述相移器串联的、用于选择性地将所述环回路径开路或闭合的开关;

基于所述第二混频器的输出来计算发射机同相/正交失配参数和/或接收机同相/正交失配参数的同相/正交失配校准单元;以及

接收所述发射同相/正交失配参数以在所述正常模式期间执行预畸变操作的发射机预畸变单元。

2. 如权利要求1所述的收发机,其特征在于,所述相移器包括相移元件和用于选择性地旁路所述相移元件的开关。

3. 如权利要求1所述的收发机,其特征在于:

所述第一开关用于在接收机校准模式期间向所述第一混频器提供所述同相接收本地振荡器信号;以及

所述第二开关用于在所述正常模式和所述接收机校准模式期间向所述第二混频器提供所述同相接收本地振荡器信号。

4. 如权利要求1所述的收发机,其特征在于,所述收发机还包括:

将正交发射信号上变频的第三混频器;

耦合到所述第三混频器以选择性地向所述第三混频器提供正交发射本地振荡器信号或正交接收本地振荡器信号的第三开关,其中所述正交发射本地振荡器信号具有所述第一频率且所述正交接收本地振荡器信号具有所述第二频率;

将所述接收信号下变频的第四混频器;以及

耦合到所述第四混频器以选择性地向所述第四混频器提供所述正交发射本地振荡器信号或所述正交接收本地振荡器信号的第四开关。

5. 如权利要求4所述的收发机,其特征在于:

所述第三开关用于在所述正常模式和所述发射机校准模式期间向所述第三混频器提供所述正交发射本地振荡器信号;以及

所述第四开关用于在所述发射机校准模式期间向所述第四混频器提供所述正交发射本地振荡器信号。

6. 如权利要求5所述的收发机,其特征在于:

所述第一开关用于在接收机校准模式期间向所述第一混频器提供所述同相接收本地振荡器信号；

所述第三开关用于在所述接收机校准模式期间向所述第三混频器提供所述正交接收本地振荡器信号；

所述第二开关用于在所述正常模式和所述接收机校准模式期间向所述第二混频器提供所述同相接收本地振荡器信号；以及

所述第四开关用于在所述正常模式和所述接收机校准模式期间向所述第四混频器提供所述正交接收本地振荡器信号。

7. 如权利要求4所述的收发机,其特征在于,还包括:

将经上变频的同相和正交发射信号相组合的组合器;以及

选择性地将所述组合器的输出耦合到所述第二和第四混频器的输入的环回路径。

8. 如权利要求7所述的收发机,其特征在于,还包括:

耦合在所述组合器和所述环回路径之间的第一放大器;以及

耦合在所述环回路径和所述第二和第四混频器的输入之间的第二放大器。

9. 一种用于操作频分双工收发机的方法,包括:

在正常模式中:

向第一混频器提供同相发射本地振荡器信号以将同相发射信号上变频,其中所述同相发射本地振荡器信号具有第一频率,以及

向第二混频器提供同相接收本地振荡器信号以将同相接收信号下变频,其中所述同相接收本地振荡器信号具有异于所述第一频率的第二频率;以及

在发射机校准模式中:

将所述同相发射本地振荡器信号提供给所述第一混频器和所述第二混频器;

配置环回路径以将所述第一混频器的输出耦合到所述第二混频器的输入;

将相移元件切出所述环回路径;

在所述相移元件被切出所述环回路径的情况下,通过所述环回路径传送第一信号;

将所述相移元件切入所述环回路径;

在所述相移元件被接入所述环回路径的情况下,通过所述环回路径传送第二信号;

基于所述第一信号和所述第二信号来计算发射机失配参数;以及

向发射机预畸变单元提供所述发射机失配参数以在所述正常模式期间执行预畸变操作。

10. 如权利要求9所述的方法,其特征在于,还包括在所述正常模式中使环回路径开路以将所述第一混频器的输出与所述第二混频器的输入解耦。

11. 如权利要求9所述的方法,其特征在于:

所述方法还包括在接收机校准模式中向所述第一和第二混频器提供所述同相接收本地振荡器信号。

12. 如权利要求9所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

在所述正常模式中:

向第三混频器提供正交发射本地振荡器信号以将正交发射信号上变频;以及

向第四混频器提供正交接收本地振荡器信号以将所述接收信号下变频,其中所述正交

发射本地振荡器信号具有所述第一频率且所述正交接收本地振荡器信号具有所述第二频率;以及

在所述发射机校准模式中,将所述正交发射本地振荡器信号提供给所述第三和第四混频器。

13.如权利要求12所述的方法,其特征在于,还包括在接收机校准模式中:

向所述第一和第二混频器提供所述同相接收本地振荡器信号;以及

向所述第三和第四混频器提供所述正交接收本地振荡器信号。

14.如权利要求12所述的方法,其特征在于,还包括在所述发射机校准模式中:

将所述第一和第三混频器的输出相组合以生成第一信号和第二信号;

配置环回路径以将所述第一和第二信号提供给所述第二和第四混频器的输入;

将相移器切出所述环回路径;

在所述相移器被切出所述环回路径的情况下,通过所述环回路径将所述第一信号传送给所述第二和第四混频器;

将所述相移器切入所述环回路径;以及

在所述相移器被切入所述环回路径的情况下,通过所述环回路径将所述第二信号传送给所述第二和第四混频器。

用于校准频分双工收发机的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明各实施例一般地涉及通信系统,并且具体地涉及在执行频分双工(FDD)的收发机中补偿包括I/Q失配的信号损伤。

[0002] 相关技术背景

[0003] 频分双工(FDD)收发机使用相异的频率来传送和接收数据。校准FDD收发机是很有挑战性的:因为收发机中的发射机和接收机单元使用不同的频率,所以发射数据不能简单地被环回到接收机。

[0004] FDD收发机可以使用对影响所传送和接收的信号的品质的各种信号损伤敏感的正交振幅调制(QAM)收发机来实现。信号损伤可以由收发机的RF前端中的非理想情况所导致。举例而言,I和Q(同相和正交)信号路径中的失配的有源和无源元件(例如,正交混频器、过滤器、和/或模数转换器)在所传送和接收的信号中引入I/Q失配损伤。I/Q失配在发射机和接收机两者中都存在。

[0005] 因此,存在对用于校准FDD收发机以补偿信号损伤(诸如I/Q失配)的技术的需求。

[0006] 附图简要说明

[0007] 本发明各实施例是作为示例来解说的,且不在受附图中各图的限制。贯穿附图和说明书相同的附图标记表示相同的元素。

[0008] 图1A-1C是根据一些实施例的FDD QAM收发机的框图。

[0009] 图2是根据一些实施例的相移单元的电路图。

[0010] 图3是根据一些实施例的用于在FDD收发机中执行I/Q失配校准的方法的流程图。

[0011] 图4是根据一些实施例的用于在FDD收发机中执行I/Q失配校准的方法的流程图。

[0012] 图5是根据一些实施例解说用于操作FDD收发机的方法的流程图。

[0013] 图6是根据一些实施例的通信设备的框图。

[0014] 详细描述

[0015] 根据本发明各实施例,公开了用于校准频分双工(FDD)收发机以补偿信号损伤的技术。

[0016] 在一些实施例中,一种FDD收发机包括将发射信号上变频的第一混频器和耦合到第一混频器以选择性地向第一混频器提供发射本地振荡器信号或接收本地振荡器信号的第一开关。发射本地振荡器信号具有第一频率且接收本地振荡器信号具有异于第一频率的第二频率。该FDD收发机还包括将接收信号下变频的第二混频器和耦合到第二混频器以选择性地向第二混频器提供发射本地振荡器信号或接收本地振荡器信号的第二开关。

[0017] 在一些实施例中,一种用于操作FDD收发机的方法包括在正常模式和校准模式中操作FDD收发机。在正常模式中,将发射本地振荡器信号提供给第一混频器以将发射信号上变频。将接收本地振荡器信号提供给第二混频器以将接收信号下变频。发射本地振荡器信号具有第一频率且接收本地振荡器信号具有异于第一频率的第二频率。在校准模式中,将发射本地振荡器信号或者接收本地振荡器信号提供给第一和第二混频器。

[0018] 在一些实施例中,一种非瞬态计算机可读存储介质存储指令,这些指令在由包括

收发机的通信设备中的处理器执行时使该收发机在正常模式中向第一混频器提供发射本地振荡器信号以将发射信号上变频;在正常模式中向第二混频器提供接收本地振荡器信号以将接收信号下变频,其中发射本地振荡器信号具有第一频率且接收本地振荡器信号具有异于第一频率的第二频率;并且在校准模式中向第一和第二混频器提供发射本地振荡器信号或接收本地振荡器信号。

[0019] 在以下描述中,阐述了众多具体细节(诸如具体组件、电路、和过程的示例),以提供对本公开的透彻理解。同样,在以下描述中并且出于解释目的,阐述了具体的命名以提供对本发明各实施例的透彻理解。然而,对于本领域技术人员将明显的是,可以不需要这些具体细节就能实践本发明各实施例。在其他实例中,以框图形式示出公知的电路和设备以避免混淆本公开。如本文所使用的,术语“耦合”意指直接连接到、或通过一个或多个居间组件或电路来连接。本文所描述的各种总线上所提供的任何信号可以与其他信号进行时间复用并且在一条或多条共用总线上提供。另外,各电路元件或软件块之间的互连可被示为总线或单信号线。每条总线可替换地是单信号线,而每条单信号线可替换地是总线,并且单线或总线可表示用于各组件之间的通信的大量物理或逻辑机制中的任一个或多个。本发明各实施例不应被解释为限于本文描述的具体示例,而是在其范围内包括由所附权利要求所定义的所有实施例。

[0020] 图1A是根据一些实施例的频分双工(FDD)QAM收发机100的框图。收发机100可以被包括在通信设备(例如,图6的通信设备600)内,诸如具有无线网络连接的无线(例如,WLAN)设备或具有有线网络连接的有线设备。如所示的,收发机100包括发射机单元110和接收机单元150。环回路径105耦合在收发机100的模拟前端(AFE)中的发射机单元110和接收机单元150之间。环回路径105位于AFE的射频(RF)部分中。环回路径105在收发机100的校准模式期间使用以执行I/Q失配校准操作。校准模式包括用于校准发射机单元110的发射机校准模式和用于校准接收机单元150的接收机校准模式。

[0021] 在一些实施例中,发射机单元110包括发射机AFE 120和发射机基带处理器140。对于无线设备,发射机单元110还包括天线102。发射机基带处理器140包括发射机预畸变单元145。接收机单元150包括接收机AFE 160和接收机基带处理器180。接收机基带处理器180包括I/Q失配校准单元185。对于无线设备,接收机单元150还包括天线101。替换地,发射机单元110和接收机单元150共享单个共用天线。对于有线设备,天线101和102不存在且放大器128和161耦合到有线连接(例如,耦合到单个共用有线连接,诸如共用电缆)。

[0022] 在图1A的示例中,发射机AFE 120包括用于同相(I)信号路径的数模转换器(DAC)121A、用于I信号路径的放大器/滤波器电路系统122A、用于I信号路径的本地振荡器(LO)混频器124A、用于正交(Q)信号路径的DAC121B、用于Q信号路径的放大器/滤波器电路系统122B、用于Q信号路径的LO混频器124B、可变增益放大器(VGA)126和功率放大器(PA)128。混频器124A和124B通过将I和Q发射信号与本地振荡器信号混频而将来自基带的I和Q发射信号直接上变频到载波频率,其中本地振荡器信号的频率是载波频率。组合器129将混频器124A和124B的输出组合并将所组合的输出提供给VGA 126。混频器124A和124B之间、放大器/滤波器122A和122B之间、和/或DAC 121A和121B之间的失配导致发射机侧的I/Q失配。

[0023] 接收机AFE 160包括低噪声放大器(LNA)161、VGA 162、用于I信号路径的LO混频器164A、用于I信号路径的放大器/滤波器电路系统166A、用于I信号路径的模数转换器(ADC)

168A、用于Q信号路径的LO混频器164B、用于Q信号路径的放大器/滤波器电路系统166B和用于Q信号路径的ADC168B。混频器164A和164B通过将接收信号与本地振荡器信号混频而直接将接收信号下变频成基带I和Q信号,其中本地振荡器信号的频率(由本地振荡器所生成,未示出)在理想情况下是载波频率。混频器164A和164B之间、放大器/滤波器166A和166B之间、和/或ADC 168A和168B之间的失配导致接收机侧的I/Q失配。

[0024] 在图1A的示例中,收发机100被实现为将接收信号从它们被接收的频率直接转换到基带并将待传送的信号直接从基带转换到发射频率的直接转换收发机。然而,其它实现也是可能的。举例而言,接收机单元150和/或发射机单元110可以包括附加的混频器以实现中频(IF)架构。在一些实现中,接收机单元150可以在VGA 162之后包括附加的混频器以实现滑动IF架构。这个或这些附加的混频器可以耦合到与开关123A-B和165A-B类似的开关。

[0025] 在正常FDD操作期间,接收机AFE 160和发射机AFE 120在相异的频率操作。在接收机AFE 160中,开关165A和165B分别耦合到混频器164A和164B并且在正常操作模式中被配置为向混频器164A和164B提供同相和正交接收本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$ 和 $LO(Q)_{RX}$ 。本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$ 和 $LO(Q)_{RX}$ 具有对应于所接收的信号的载波频率的频率。举例而言, $LO(I)_{RX}$ 和 $LO(Q)_{RX}$ 的频率与所接收的信号的载波频率相差载波频率偏移(CFO),该载波频率偏移是信号损伤的来源。在发射机AFE 120中,开关123A和123B分别耦合到混频器124A和124B并且在正常操作模式中被配置为向混频器124A和124B提供同相和正交发射本地振荡器信号 $LO(I)_{TX}$ 和 $LO(Q)_{TX}$ 。本地振荡器信号 $LO(I)_{TX}$ 和 $LO(Q)_{TX}$ 的频率是所发送的信号的载波频率,且异于本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$ 和 $LO(Q)_{RX}$ 的频率。

[0026] 开关165A,165B,123A和123B中的每一个都可配置为向其对应的混频器164A、164B、124A和124B提供发射或接收本地振荡器信号。举例而言,在发射机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $LO(I)_{TX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $LO(Q)_{TX}$,如图1B中所示。在接收机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $LO(I)_{RX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $LO(Q)_{RX}$,如图1C中所示。由此,这些开关允许发射机单元110和接收机单元150在校准期间在同一频率上操作,从而准许收发机100执行环回校准。

[0027] 在图1A-1C的示例中,在发射机单元110中,环回路径105的第一端耦合在发射机AFE 120的VGA 126和PA 128之间,并且在接收机单元150中,环回路径105的第二端耦合在LNA 161和VGA 162之间。然而,在其他实现中,环回路径105的各端可以耦合到发射机AFE 120和接收机AFE 160的电路系统的不同部分。举例而言,环回路径105的第一端可以耦合在发射机AFE 120的组合器129和VGA 126之间,且环回路径105的第二端可以耦合在接收机AFE 160的VGA 162和LO混频器164之间。如所示的,环回路径105包括环回开关115和相移器125,它们可以是收发机100的发射机单元110或接收机单元150部分的部件或与其分开。环回开关115(例如,晶体管)用来在收发机100的正常操作模式期间(例如,在经由网络传送和接收RF信号时)使环回路径105开路,并在校准操作模式期间使环回路径105闭合。当被闭合时,环回路径将发射机AFE 120中的混频器124A和124B的输出耦合到接收机AFE 160中的混频器164A和164B的输入。在一个示例中,环回开关115的状态可以由接收机基带处理器180的I/Q失配校准单元185控制。在其他示例中,环回开关115可以由其他设备组件(例如,图6的处理器单元601或在硬件和/或软件中实现的另一控制器)控制。相移器125在校准模式期

间被用于向从发射机单元110提供给接收机单元150的所选择的信号添加相移,如以下将进一步描述的。在一个示例中,相移器125包括相移元件(例如,图2的相移元件210)和用来旁路相移元件的开关(例如,图2的开关205)。

[0028] 在校准操作模式期间,环回开关115是闭合的,且发射机单元110经由环回路径105向接收机单元150接连提供第一信号和第二信号。在一些实施例中,发射机单元110向接收机单元150提供第一信号而并不有意地添加相移,并且发射机单元110有意地向提供给接收机单元150的第二信号添加相移。举例而言,相移器125的开关205(图2)被闭合以在第一信号的传送期间旁路相移元件210。在第一信号的传送之后,相移器125的开关205被断开,且发射机单元110向接收机单元150提供具有由相移元件210添加的相移的第二信号。在一些实施例中,相移器125的开关205可以由发射机预畸变单元145、I/Q失配校准单元185、或收发机100的另一控制实体来断开和闭合。

[0029] 在I/Q失配校准操作(例如,发射机校准或接收机校准)期间,接收机单元150从第一信号确定第一组I/Q测量并从第二信号确定第二组I/Q测量。举例而言,接收机单元150确定第一信号的I和Q分量二者的测量,和具有所添加的相移的第二信号的I和Q分量二者的测量。然后接收机单元150基于第一和第二组I/Q测量来计算发射机I/Q失配参数和接收机I/Q失配参数。举例而言,接收机单元150计算发射机增益失配、接收机增益失配、发射机相位失配、和接收机相位失配。取决于校准模式,接收机单元150向发射机单元110提供发射机I/Q失配参数。举例而言,在发射机校准期间,I/Q失配校准单元185向发射机预畸变单元145提供所计算出的发射机增益失配和发射机相位失配,该发射机增益失配和发射机相位失配被用来在正常操作期间执行预畸变操作,如以下进一步描述的。

[0030] 参考图1A-1C描述的组件仅是示例性的。在各种实施例中,所描述的组件中的一个或多个可以被省略、组合或修改,且可以包括附加组件。例如,在一些实施例中,发射机单元110和接收机单元150可以共享共用天线,或者可以具有各种附加的天线和发射机/接收机链。在一些实现中,收发机100可以包括更多或更少的滤波器和/或放大器电路系统(例如,图1A-1C的框122A-B和166A-B)。在一些实现中,添加到第二信号的相移可以通过其他技术来添加(例如,通过向提供给混频器124A-B的本地振荡器(LO)信号的相位添加偏移),如以下将进一步描述的。

[0031] 图2是相移器125的示例的电路图。在一些实施例中,相移器125被包括在将发射机单元110连接到接收机单元150的环回路径105内的发射机单元110中(见图1)。如图2的示例中所示,相移器125包括旁路开关205、电阻器210和晶体管215。电阻器210是对从发射机单元110环回到接收机单元150的信号进行相移的相移元件,但可以通过闭合旁路开关205来被旁路以避免对环回信号进行相移。在一个示例中,晶体管215可以是NMOS晶体管。在各种实现中,相移器125可以由控制实体(例如,图1A-1C的发射机预畸变单元145或I/Q失配校准单元185)在I/Q失配校准期间启用以便向经由环回路径105从发射机单元110提供给接收机单元150的所选择的信号添加相移。

[0032] 在各种实现中,I/Q失配校准在收发机100处执行以改善(即,减小)与发射机单元110相关联的误差向量幅值(EVM)和/或与接收机单元150相关联的EVM。EVM是发射机单元110或接收机单元150的性能的度量。举例而言,发射机单元110的输出处的大量增益失衡和/或相位误差可以导致发射机单元的高EVM。I/Q相位失配导致I信号泄漏到Q信号,且反之

亦然,这导致副载波之间的串话和由此导致误差。I/Q失配校准可以通过减小对EVM作出贡献的发射机和接收机增益失配和相位失配来改善EVM。举例而言,发射机单元110或接收机单元150的相位失配EVM可以由下式(式1)来表示:

$$[0033] \quad EVM_{I/Q}(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon^2}{4} + \frac{\Delta \theta^2}{4} \right) \quad (\text{式1})$$

[0034] ε :归一化到标称增益的增益失配(Δ 增益/增益);

[0035] θ :以弧度计的相位失配。

[0036] 如上式(式1)中所示,期望的EVM可以通过减小增益失配和/或相位失配来达成。本文中描述的I/Q失配校准技术确定(例如,估计)并减小发射机增益和相位失配以及接收机增益和相位失配。

[0037] 图3是根据一些实施例的用于在FDD收发机100(图1A-1C)中执行I/Q失配校准的方法300的流程图。在305,收发机100被配置成用于发射机校准或接收机校准。相同的本地振荡器信号被提供给发射机和接收机单元110和150中的相应的混频器。在发射机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $L0(I)_{TX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $L0(Q)_{TX}$,如图1B中所示。在接收机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $L0(I)_{RX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $L0(Q)_{RX}$,如图1C中所示。这些开关配置允许发射机和接收机单元110和150在校准期间以相同频率操作并由此允许执行环回校准。

[0038] 在310,闭合环回开关115且将第一信号从发射机单元110经由环回路径105提供给接收机单元150。在一些实施例中,为了传送第一信号,闭合相移器125中的旁路开关205(图2)以旁路相移元件210并由此避免有意地向第一信号引入相移。

[0039] 在320,将第二信号从发射机单元110经由环回路径105提供给接收机单元150。相移器125向第二信号添加相移。举例而言,将相移器125中的旁路开关205断开,从而相移元件210不被旁路;相移元件210由此向第二信号添加相移。由相移器125添加的相移可以是已知的相移或未知的相移。

[0040] 在330,在发射机或接收机校准操作期间,从在接收机单元150处接收的第一信号确定第一组I/Q测量,且从在接收机单元150处接收的第二信号确定第二组I/Q测量。在一些实施例中,接收机单元150(例如,I/Q失配校准单元185)确定第一信号的I和Q分量二者的测量,和具有所添加的相移的第二信号的I和Q分量二者的测量。第一信号的接收机I和Q分量的测量可以由下式(式2和式3)来表示。

$$[0041] \quad R_{I1} = G \left\{ \left[I \left(1 + \frac{\varepsilon_T + \varepsilon_R}{2} \right) + Q \left(\frac{\Delta \theta_R + \Delta \theta_T}{2} \right) \right] \cos \varphi + \left[Q \left(1 - \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_R}{2} \right) + I \left(\frac{\Delta \theta_T - \Delta \theta_R}{2} \right) \right] \sin \varphi \right\} \quad (\text{式2})$$

$$[0042] \quad R_{Q1} = G \left\{ \left[Q \left(1 - \frac{\varepsilon_T + \varepsilon_R}{2} \right) + I \left(\frac{\Delta \theta_R + \Delta \theta_T}{2} \right) \right] \cos \varphi - \left[I \left(1 + \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_R}{2} \right) + Q \left(\frac{\Delta \theta_T - \Delta \theta_R}{2} \right) \right] \sin \varphi \right\} \quad (\text{式3})$$

[0043] R_{I1} 、 R_{Q1} :分别与第一信号相关联的接收机(RX)I和Q分量;

[0044] I 、 Q :分别与第一信号相关联的发射机(TX)I和Q分量;

[0045] ε_T 、 ε_R :分别归一化到TX和RX的标称增益的增益失配;

[0046] $\Delta \theta_T$ 、 $\Delta \theta_R$:分别针对TX和RX的以弧度计的相位失配;

[0047] φ : TX和RX LO信号之间的有效相位;

[0048] G: 通过从TX基带环回路径到RX基带的增益。

[0049] (具有相移 φ_{shift} 的)第二信号的接收机I和Q分量的测量可以由下式(式4和式5)来表示。

$$[0050] \quad R_{I2} = G \left\{ I \left(1 + \frac{\varepsilon_T + \varepsilon_R}{2} \right) + Q \left(\frac{\Delta\theta_R + \Delta\theta_T}{2} \right) \right\} \cos(\varphi + \varphi_{shift}) + \left\{ Q \left(1 - \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_R}{2} \right) + I \left(\frac{\Delta\theta_T - \Delta\theta_R}{2} \right) \right\} \sin(\varphi + \varphi_{shift}) \quad (式4)$$

$$[0051] \quad R_{Q2} = G \left\{ Q \left(1 - \frac{\varepsilon_T + \varepsilon_R}{2} \right) + I \left(\frac{\Delta\theta_R + \Delta\theta_T}{2} \right) \right\} \cos(\varphi + \varphi_{shift}) - \left\{ I \left(1 + \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_R}{2} \right) + Q \left(\frac{\Delta\theta_T - \Delta\theta_R}{2} \right) \right\} \sin(\varphi + \varphi_{shift}) \quad (式5)$$

[0052] R_{I2} 、 R_{Q2} : 分别与第二信号相关联的RX I和Q分量;

[0053] I、Q: 分别与第二信号相关联的TX I和Q分量;

[0054] ε_T 、 ε_R : 分别归一化到TX和RX的标称增益的增益失配;

[0055] $\Delta\theta_T$ 、 $\Delta\theta_R$: 分别针对TX和RX的以弧度计的相位失配;

[0056] $\varphi + \varphi_{shift}$: 具有所添加的相移的TX和RX LO信号之间的有效相位;

[0057] G: 从TX基带通过环回路径到RX基带的增益。

[0058] 如以上所示,这些方程式有六个未知量: ε_T 、 ε_R 、 θ_T 、 θ_R 、 φ 、G。在一些实现中, φ_{shift} 也可以是未知的。来自发射机单元110和接收机单元150的I/Q失配贡献在这些方程式中被合并到一起。如果暂时不考虑 φ 和G(和 φ_{shift}),因为它们可以通过使用下面描述的技术来获得,则这些方程式有四个未知量:发射机增益失配 ε_T 、接收机增益失配 ε_R 、发射机相位失配 θ_T 和接收机相位失配 θ_R 。由式2和式3这两个方程式表示的第一组I/Q测量是从自发射机单元110经由环回路径105发送到接收机单元150的第一信号获得的。为了求解这四个未知的I/Q失配参数,从具有相移 φ_{shift} 的第二信号获得附加的独立测量(例如,由式4和式5这两个方程式表示的第二组I/Q测量),以用于总共四个方程式。

[0059] 在340,基于第一和第二组I/Q测量来计算发射机I/Q失配参数和/或接收机I/Q失配参数。例如,在各种实现中,接收机单元150基于以上示出的方程式:式2、式3、式4和式5来计算发射机I/Q失配参数:发射机增益失配 ε_T 和发射机相位失配 θ_T ,以及接收机I/Q失配参数:接收机增益失配 ε_R 和接收机相位失配 θ_R 。举例而言,接收机单元150的I/Q失配校准单元185可以使用方程式式2-式5来求解 ε_T 、 ε_R 、 θ_T 、 θ_R 。

[0060] 在一些实施例中,出于互相关的目的,I/Q失配校准单元185计算与在接收机单元150处接收的第一信号和第二信号两者相关联的I和Q分量的总幅值和幅值差,如下式(式6、式7、式8和式9)中所示。

$$[0061] \quad \frac{\overline{R_{I1}^2(t)} - \overline{R_{Q1}^2(t)}}{\overline{R_{I1}^2(t)} + \overline{R_{Q1}^2(t)}} = \varepsilon_T \cos 2\varphi + \varepsilon_R + \theta_T \sin 2\varphi \quad (式6)$$

$$[0062] \quad \frac{\overline{2R_{I1}(t)R_{Q1}(t)}}{\overline{R_{I1}^2(t)} + \overline{R_{Q1}^2(t)}} = -\varepsilon_T \sin 2\varphi + \theta_T \cos 2\varphi + \theta_R \quad (式7)$$

$$[0063] \quad \frac{\overline{R_{I2}^2(t)} - \overline{R_{Q2}^2(t)}}{\overline{R_{I2}^2(t)} + \overline{R_{Q2}^2(t)}} = \varepsilon_T \cos 2(\varphi + \varphi_{shift}) + \varepsilon_R + \theta_T \sin 2(\varphi + \varphi_{shift}) \quad (\text{式8})$$

$$[0064] \quad \frac{2\overline{R_{I2}(t)R_{Q2}(t)}}{\overline{R_{I2}^2(t)} + \overline{R_{Q2}^2(t)}} = -\varepsilon_T \sin 2(\varphi + \varphi_{shift}) + \theta_T \cos 2(\varphi + \varphi_{shift}) + \theta_R \quad (\text{式9})$$

[0065] 在计算了这些测量的总幅值和幅值差之后,式2-式5这些方程式中示出的增益(G)(即,从TX基带通过环回路径到RX基带的增益)被约分,并且,在简化之后,以上所示的四个方程式(式6-式9)被导出。此外,通过将固定的I/Q失配参数(例如, $\Delta \theta_T$)引入到TX基带并重新测量 R_{I1} 、 R_{Q1} 、 R_{I2} 和 R_{Q2} ,则 $\cos 2\varphi$ 、 $\sin 2\varphi$ 、 $\cos 2(\varphi + \varphi_{shift})$ 和 $\sin 2(\varphi + \varphi_{shift})$ 的值可以从以上方程式(式6-式9)独立地导出。在一个示例中,I/Q失配校准单元185经由发射机预畸变单元145将固定的I/Q失配参数(例如, $\Delta \theta_T$)引入到TX基带。在确定了 $\cos 2\varphi$ 、 $\sin 2\varphi$ 、 $\cos 2(\varphi + \varphi_{shift})$ 和 $\sin 2(\varphi + \varphi_{shift})$ 的值之后,这些测量的结果是具有四个未知I/Q失配参数(即,发射机增益失配 ε_T 、接收机增益失配 ε_R 、发射机相位失配 θ_T 和接收机相位失配 θ_R)的四个线性方程式。然后,I/Q失配校准单元185求解这四个未知I/Q失配参数(例如,使用基于这四个线性方程式的矩阵)。

[0066] 在一些实施例中,如果收发机处于发射机校准模式,则丢弃在340计算出的接收机失配参数,且在350(下文)仅使用发射机失配参数。类似地,如果收发机处于接收机校准模式,则丢弃在340计算出的发射机失配参数,且在350(下文)仅使用接收机失配参数。

[0067] 在求解了这四个未知I/Q失配参数之后,在350为发射单元110确定信号预畸变数据或为接收机单元150确定信号补偿数据。如果在305选择了发射机校准模式,则为发射单元110确定信号预畸变数据:基于所导出的发射机增益失配 ε_T 和发射机相位失配 θ_T 参数来确定对将由发射机单元110处理和传送的信号要预畸变多少以补偿发射机单元110处的I/Q失配。如果在305选择了接收机校准模式,则为接收机单元150确定信号补偿数据。基于所导出的接收机增益失配 ε_R 和接收机相位失配 θ_R 来确定对将在接收机单元150处接收和处理的信号要补偿多少以计及接收机单元150处的I/Q失配。

[0068] 举例而言,在发射机校准模式中,接收机单元150的I/Q失配校准单元185向发射机单元110的发射机预畸变单元145提供所导出的发射机增益失配 ε_T 和发射机相位失配 θ_T 参数。发射机预畸变单元145可以基于所导出的发射机I/Q失配参数和期望的EVM来确定如何对将由发射机单元110传送的信号进行预畸变。举例而言,如果指定了期望的EVM(例如,-36dB的EVM),则预畸变单元145可以基于所导出的发射机增益失配 ε_T 和发射机相位失配 θ_T 参数(以及式1)来确定关于增益和相位对信号要预畸变多少,以达到期望的EVM(或达到更低的EVM)。在其他实现中,I/Q失配校准单元185可以确定要对发射机单元110中的信号预畸变多少且可以相应地对发射机预畸变单元145进行编程以达到期望的EVM。类似地,在接收机校准模式中,I/Q失配校准单元185可以基于期望的EVM和所导出的接收机增益失配 ε_R 和接收机相位失配 θ_R 来确定要对在接收机单元150处接收的信号补偿多少。

[0069] 在针对一种模式(例如,发射机校准模式或接收机校准模式)执行方法300之后,再针对另一种模式(例如,接收机校准模式或发射机校准模式)执行方法300。在一些实施例中,根据方法300的I/Q失配校准操作被周期性地、随机地、在预编程的时间段期间、和/或在

收发机100不在处理RF话务的空闲时间段期间执行。此外,方法300可以在特定校准模式期间被重复一次或多次,直到已达到期望的校准结果(例如,直到已满足期望的EVM)。

[0070] I/Q失配参数(例如,发射机增益失配 ε_T 、接收机增益失配 ε_R 、发射机相位失配 θ_T 和接收机相位失配 θ_R)可以由各种技术通过使用从第一信号和具有所添加的相移的第二信号获得的测量来导出。例如,在另一个实现中,TX基带处理器140可以对经由环回路径105传送到接收机单元150的信号的TX I和Q分量应用DC值。在一个示例中,通过对与第一信号相关联的第一组I/Q测量 R_{I1} 、 R_{Q1} 使用式2-式5这些方程式,TX I分量被设为等于DC值A且TX Q分量被设为等于0。在此示例中,对于与第二信号相关联的第二组I/Q测量 R_{I2} 、 R_{Q2} ,TX I分量被设为等于0且TX Q分量被设为等于DC值A。附加地,在此示例中,对于与第三信号相关联的第三组I/Q测量 R_{I3} 、 R_{Q3} ,TX I分量被设为等于DC值A,TX Q分量被设为等于0,且 φ 被设为等于 $\varphi + \varphi_{shift}$ 。此外,在此示例中,对于与第四信号相关联的第四组测量 R_{I4} 、 R_{Q4} ,TX I分量被设为等于0,TX Q分量被设为等于DC值A,且 φ 被设为等于 $\varphi + \varphi_{shift}$ 。作为这些测量的结果,可以导出以下四个方程式(式10-式13)。类似于以上所描述的技术,这些方程式可以用来获得发射机增益失配 ε_T 、接收机增益失配 ε_R 、发射机相位失配 θ_T 和接收机相位失配 θ_R ,只要 φ 和 $\varphi + \varphi_{shift}$ 不等于(或相对接近)因式10-式13中的正切函数趋近无穷(例如,当 φ 或 $\varphi + \varphi_{shift}$ 等于(或大致等于)90度时)而导致不准确性的值。注意,式6-式9没有此相位值限制,因为式6-式9不包括正切函数。

$$[0071] \quad \varepsilon_T + \varepsilon_R + (\Delta\theta_T - \Delta\theta_R) \tan \varphi = \frac{R_{I1}}{R_{Q2}} - 1 \quad (\text{式10})$$

$$[0072] \quad \varepsilon_T - \varepsilon_R - \frac{(\Delta\theta_T + \Delta\theta_R)}{\tan \varphi} = \frac{R_{I2}}{R_{Q1}} + 1 \quad (\text{式11})$$

$$[0073] \quad \varepsilon_T + \varepsilon_R - (\Delta\theta_T - \Delta\theta_R) \tan(\varphi + \varphi_{shift}) = \frac{R_{I3}}{R_{Q4}} - 1 \quad (\text{式12})$$

$$[0074] \quad \varepsilon_T - \varepsilon_R - \frac{(\Delta\theta_T + \Delta\theta_R)}{\tan(\varphi + \varphi_{shift})} = \frac{R_{I4}}{R_{Q3}} - 1 \quad (\text{式13})$$

[0075] 图4是根据一些实施例的用于在FDD收发机100中执行I/Q失配校准的另一方法400的流程图。在405,收发机100被配置为处于发射机校准模式或接收机校准模式。在发射机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $LO(I)_{TX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $LO(Q)_{TX}$,如图1B中所示。在接收机校准模式中,开关165A和123A被配置为向混频器164A和124A提供 $LO(I)_{RX}$,且开关165B和123B被配置为向混频器164B和124B提供 $LO(Q)_{RX}$,如图1C中所示。这些开关配置确保发射机和接收机单元在校准期间以相同的频率操作并由此允许执行环回校准。

[0076] 在410,环回路径105中的环回路径开关115被闭合。在420,相移器125的旁路开关205(图2)被闭合以旁路环回路径105中的相移元件210。在430,将第一信号从发射机单元110经由环回路径105提供给接收机单元150。由于旁路开关205是闭合的,因而第一信号旁路相移元件210(图2);第一信号因此不被有意地相移。在440,相移器125的旁路开关205被断开以将相移元件210包括在环回路径105中。在450,将第二信号从发射机单元110经由环回路径提供给接收机单元150。由于旁路开关205是断开的,因而相移器125向第二信号添加

相移。在一个实现中,相移器125可以被设计为使得与电阻器210以及晶体管215的栅极电容器相关联的极点处于预定的频率以获得期望的相移。举例而言,如果与电阻器210以及晶体管215的栅极电容器相关联的极点大致处于RF载波频率,则可以向第二信号添加大致45度的相移。然而,相移器125可以具有任何合适的设计以在I/Q失配校准期间向所选择的信号添加相移。

[0077] 在460,分别从第一和第二信号确定第一和第二组I/Q测量。在470,基于第一和第二组I/Q测量来计算发射机和接收机I/Q失配参数。在480,如果收发机处于发射机校准模式则为发射单元110确定预畸变数据,并且如果接收机处于接收机校准模式则为接收机单元150确定补偿数据。在框460-480,第一和第二信号可以使用与以上参考方法300(图3)所描述的类似技术来处理。在一些实施例中,在接收机校准模式中确定的发射机I/Q失配参数被丢弃并因此不被用来确定发射机预畸变数据。类似地,根据一些实施例,在发射机校准模式中确定的接收机I/Q失配参数被丢弃并且不被用来确定接收机补偿数据。

[0078] 在针对一种模式(例如,发射机校准模式或接收机校准模式)执行方法400之后,再针对另一种模式(例如,接收机校准模式或发射机校准模式)执行方法400。在一些实施例中,根据方法400的I/Q失配校准操作被周期性地、随机地、在预编程的时间段期间、和/或在收发机100不在处理RF话务的空闲时间段期间执行。此外,方法400可以在特定校准模式期间被重复一次或多次,直到已达到期望的校准结果(例如,直到已满足期望的EVM)。

[0079] 可以通过除针对相移器125(图2)所描述的技术以外的各种其他技术来将相移添加到第二信号。在一些实施例中,提供给发射机AFE 120中的混频器124A和124B(图1A-1C)的本地振荡器(LO)信号的相位在这些信号被提供给混频器124A和124B之前被偏移。通过在发射机单元110正在处理第二信号时改变发射机LO信号($LO(I/Q)_{TX}$ 或 $LO(I/Q)_{RX}$,取决于模式)的相位,相移被添加到第二信号。在一个示例中,压控振荡器(VCO)可以生成提供给混频器124A和124B的发射机LO信号(或者该LO信号的倍数)。在此示例中,当发射机单元110正在处理第二信号时,VCO的输出的相位可以在该输出被提供给混频器124A和124B之前被偏移以向第二信号添加相移。

[0080] 在I/Q失配校准操作已经完成之后,I/Q失配校准单元185(或另一个控制实体)将环回路径开关115断开以使发射机单元110和接收机单元150之间的环回路径105开路。然后收发机100进入正常操作模式,其中开关123A、123B、165A和165B如图1A中所示的那样配置。在正常操作模式期间,发射机单元110的预畸变单元145基于在发射机校准模式期间计算出的发射机I/Q失配参数来对正由发射机单元110处理的信号进行预畸变以补偿发射机单元110处的I/Q失配。此外,在正常操作模式期间,接收机单元150的I/Q失配校准单元185基于在接收机校准模式期间计算出的接收机I/Q失配参数来对由接收机单元150接收的信号进行处理以补偿接收机单元150处的I/Q失配。在一些实现中,发射机单元110的预畸变单元145和接收机单元150的I/Q失配校准单元185同时分别补偿发射机单元110处和接收机单元150处的I/Q失配。

[0081] 图5是根据一些实施例解说用于操作FDD收发机(例如,图1A-1C的收发机100)的方法500的流程图。

[0082] 在正常操作模式中,在502,将第一发射本地振荡器信号(例如,图1A-1C的同相发射本地振荡器信号 $LO(I)_{TX}$)提供给第一混频器(例如,图1A-1C的混频器124A)以将发射信号

(例如,同相发射信号)上变频。第一发射本地振荡器信号具有第一频率。在一些实施例中,在504,将第二发射本地振荡器信号(例如,图1A-1C的正交发射本地振荡器信号 $LO(Q)_{TX}$)提供给第三混频器(例如,图1A-1C的混频器124B)以将发射信号(例如,正交发射信号)上变频。第二发射本地振荡器信号具有第一频率。

[0083] 在506,将第一接收本地振荡器信号(例如,图1A-1C的同相接收本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$)提供给第二混频器(例如,图1A-1C的混频器164A)以将接收信号下变频。第一接收本地振荡器信号具有异于第一频率的第二频率。在一些实施例中,在508,将第二接收本地振荡器信号(例如,图1A-1C的正交接收本地振荡器信号 $LO(Q)_{RX}$)提供给第四混频器(例如,图1A-1C的混频器164B)以将接收信号下变频。第二接收本地振荡器信号具有第二频率。

[0084] 操作502、504、506、508的示例在图1A中示出。

[0085] 在510,环回路径(例如,图1A-1C的环回路径105)被开路以将第一(以及在一些实施例中,第三)混频器的输出与第二(以及在一些实施例中,第四)混频器的输入解耦。举例而言,开关115(图1A-1C)在正常模式期间是断开的。

[0086] 在校准模式中,在512,将第一发射本地振荡器信号(例如,同相发射本地振荡器信号 $LO(I)_{TX}$)或第一接收本地振荡器信号(例如,同相接收本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$)提供给第一和第二混频器。在一些实施例中,在514,将第二发射本地振荡器信号(例如,正交发射本地振荡器信号 $LO(Q)_{TX}$)或第二接收本地振荡器信号(例如,正交接收本地振荡器信号 $LO(Q)_{RX}$)提供给第三和第四混频器。

[0087] 在一些实施例中,校准模式是发射机校准模式。在512,将第一发射本地振荡器信号(例如,同相发射本地振荡器信号 $LO(I)_{TX}$)提供给第一和第二混频器。在一些实施例中,在514,将第二发射本地振荡器信号(例如,正交发射本地振荡器信号 $LO(Q)_{TX}$)提供给第三和第四混频器。发射机校准模式的示例在图1B中示出。

[0088] 在一些实施例中,校准模式是接收机校准模式。在512,将第一接收本地振荡器信号(例如,同相接收本地振荡器信号 $LO(I)_{RX}$)提供给第一和第二混频器。在一些实施例中,在514,将第二接收本地振荡器信号(例如,正交接收本地振荡器信号 $LO(Q)_{RX}$)提供给第三和第四混频器。接收机校准模式的示例在图1C中示出。

[0089] 在516,环回路径(例如,图1A-1C的环回路径105)被配置为处于校准模式以将第一(以及在一些实施例中,第三)混频器的输出耦合到第二(以及在一些实施例中,第四)混频器的输入。举例而言,开关115(图1A-1C)在校准模式期间是闭合的。在518,通过环回路径传送第一信号(例如,如针对图3的操作310和图4的操作430所描述的)。在520,通过环回路径传送第二信号,其中在该过程中引入相移(例如,如针对图3的操作320和图4的操作450所描述的)。举例而言,在518,通过闭合开关205(图2)来将相移元件210切出环回路径105,且通过环回路径105来传送第一信号。然后,在520,通过断开开关205(图2)来将相移元件210切入环回路径105,且通过环回路径105来传送第二信号。

[0090] 在一些实施例中,方法500可以包括在发射机校准模式和接收机校准模式中的每一者中操作FDD收发机(例如,图1A-1C的收发机100),其中针对这两个模式中的每一者重复操作512、514、516、518和520。

[0091] 由此,方法500生成可以用来校准FDD收发机中的I/Q失配的信号。使用在方法500中生成的信号来校准可以如针对方法300(图3)和/或400(图4)所描述的那样执行。

[0092] 尽管方法300(图3)、400(图4)和500(图5)包括数个看上去以特定次序发生的操作,但应显而易见的是,方法300、400和/或500可以包括更多或更少的、可以顺序地或并行地执行的操作。举例而言,操作502、504、506、508和/或510可以并行地执行,且操作512、514和/或516可以并行地执行。两个或更多个操作的次序可以改变且两个或更多个操作可以组合成单个操作。举例而言,方法500在校准模式中的部分可以在方法500在正常模式中的部分之前执行。

[0093] 图6是包括收发机100的一个或多个实现(图1A-1C)的通信设备600的框图的示例。在一些实施例中,设备600是无线设备(例如,WLAN设备,诸如个人计算机、膝上型或平板计算机、移动电话、个人数字助理、GPS设备、无线接入点或其他设备)。在一些实施例中,设备600具有有线的网络连接。

[0094] 设备600包括由总线603耦合的处理器单元601、存储器单元607、网络接口605和收发机100(图1A-1C)。处理器单元601包括一个或多个处理器和/或处理器核。在一些实施例中,网络接口605包括至少一个无线网络接口(例如,WLAN接口、蓝牙®接口、WiMAX接口、ZigBee®接口、无线USB接口等)。在一些实施例中,设备600包括至少一个有线的网络接口(例如,以与同轴电缆或其他物理介质对接)。

[0095] 存储器单元607包括存储I/Q失配校准软件模块610的非瞬态计算机可读存储介质(例如,一个或多个非易失性存储器元件,诸如EPROM、EEPROM、闪存、硬盘驱动器等等)。在一些实施例中,软件模块610包括当由处理器单元601、接收机基带处理器180(图1A-1C)和/或发射机基带处理器140(图1A-1C)执行时使移动设备600执行方法300、400和/或500(图3-5)的指令。

[0096] 在说明书前述篇幅中,本发明各实施例已参照其具体示例性实施例进行了描述。然而将明显的是,可对其作出各种修改和改变而不背离如所附权利要求中所阐述的本公开更宽泛的精神和范围。相应地,本说明书和附图应被认为是解说性而非限制性的。

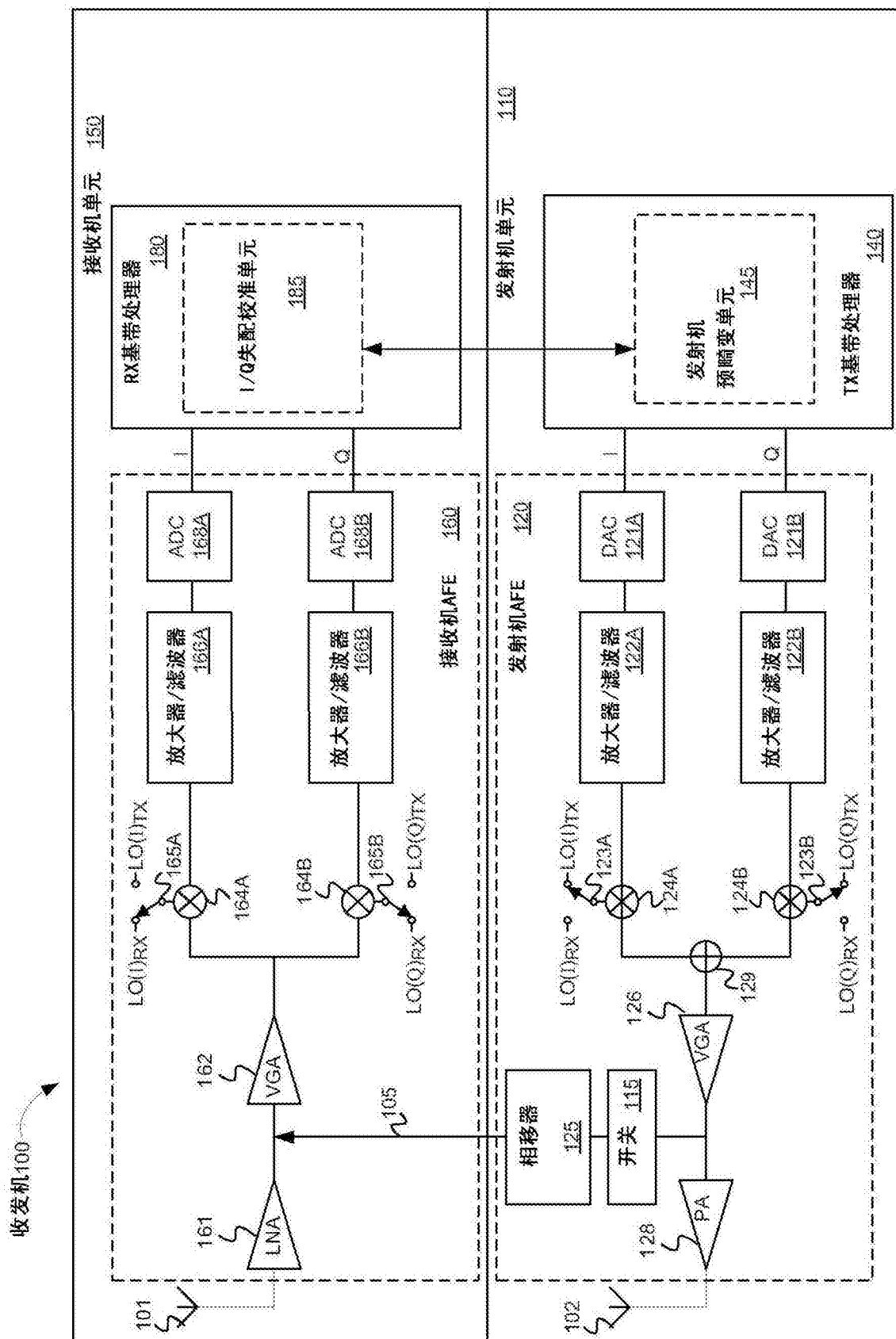


图1A

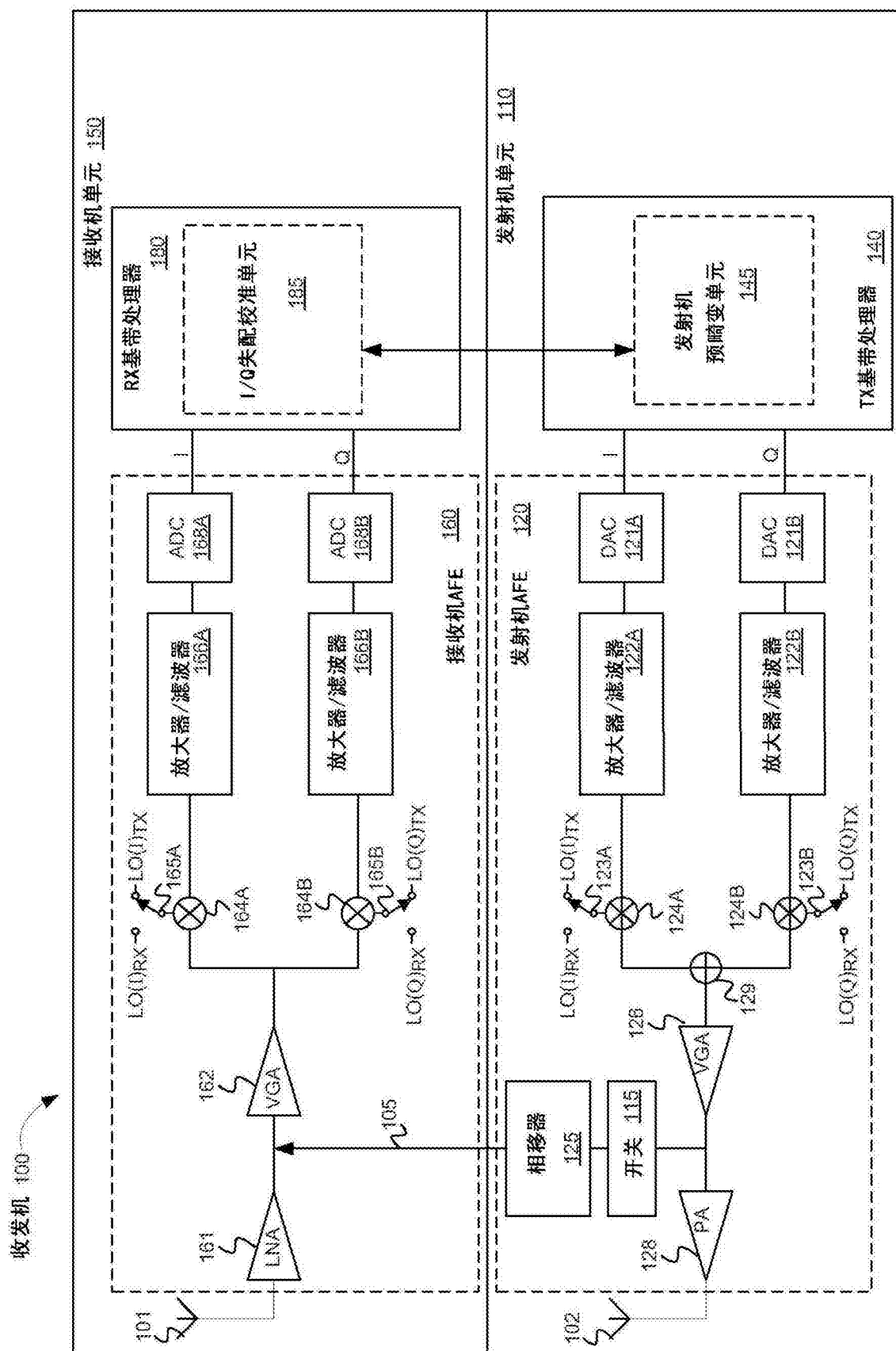


图1B

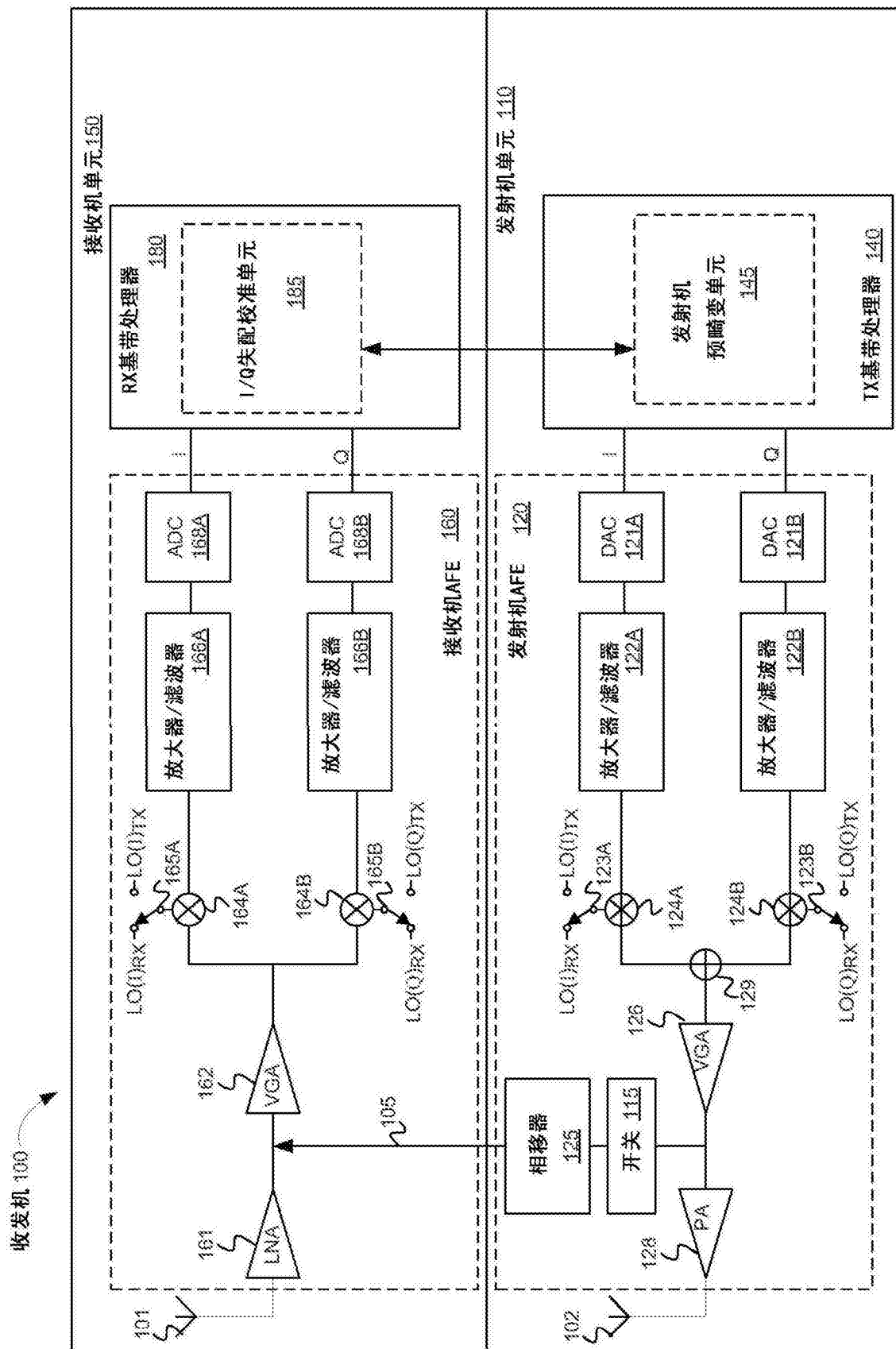


图1C

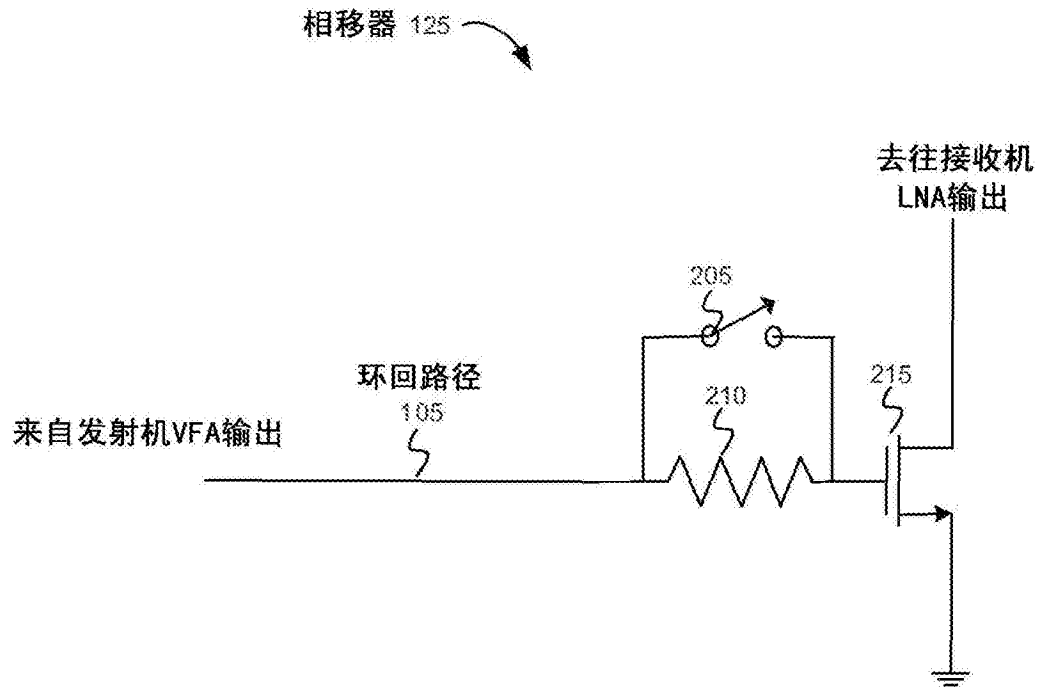


图2

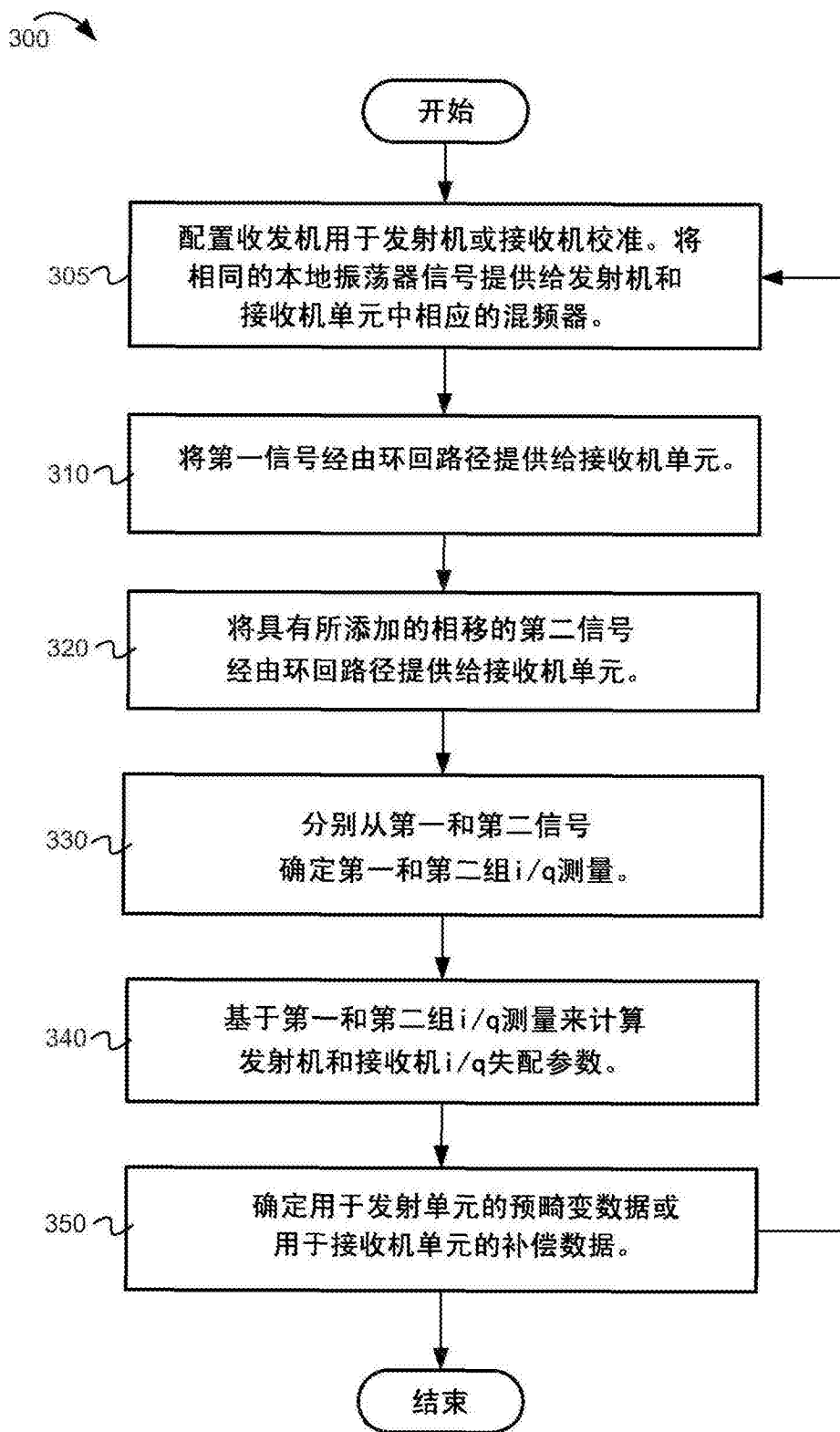


图3

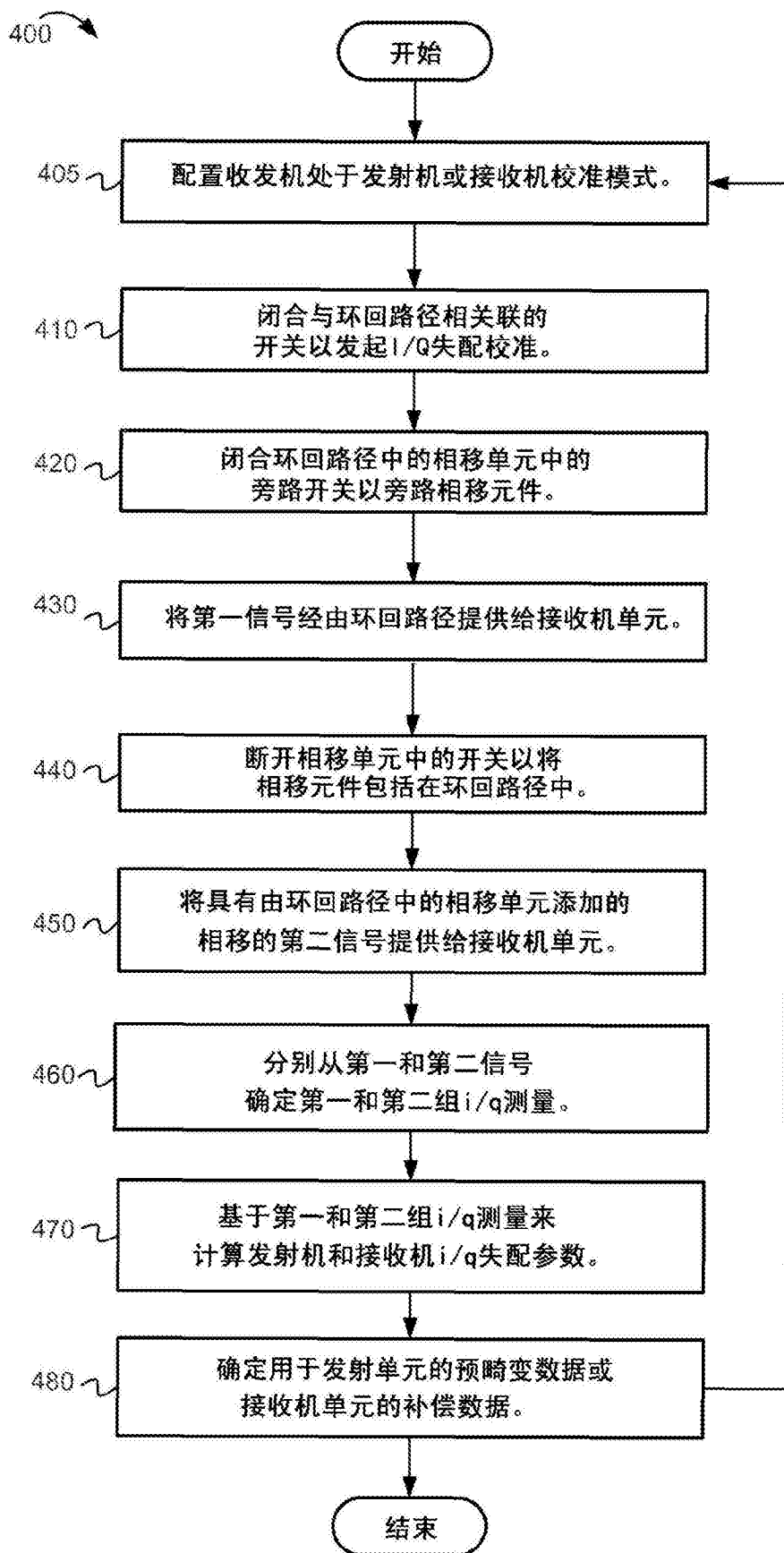


图4

500

正常模式：

(502) 将第一发射本地振荡器信号（例如， $LO(I)TX$ ）提供给第一混频器以将发射信号上变频。第一发射本地振荡器信号具有第一频率。

将具有第一频率的第二发射本地振荡器信号（例如， $LO(Q)RX$ ）提供给第三混频器以将发射信号上变频。 (504)

(506) 将第一接收本地振荡器信号（例如， $LO(I)RX$ ）提供给第二混频器以将接收信号下变频。第一接收本地振荡器信号具有异于第一频率的第二频率。

将具有第二频率的第二接收本地振荡器信号（例如， $LO(Q)RX$ ）提供给第四混频器以将发射信号上变频。 (508)

使环回路径开路以将第一（和第三）混频器的输出与第二（和第四）混频器的输入解耦。 (510)

校准模式：

(512) 将第一发射本地振荡器信号（例如， $LO(I)TX$ ）或第一接收本地振荡器信号（ $LO(I)RX$ ）提供给第一和第二混频器。

将第二发射本地振荡器信号（例如， $LO(Q)TX$ ）或第二接收本地振荡器信号（ $LO(Q)RX$ ）提供给第三和第四混频器。 (514)

配置环回路径以将第一（和第三）混频器的输出耦合到第二（和第四）混频器的输入 (516)

通过环回路径传送第一信号。 (518)

通过环回路径传送第二信号。将相移引入到第二信号中。 (520)

图5

