



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104885371 B

(45)授权公告日 2017. 11. 24

(21)申请号 201380065933.2

(22)申请日 2013.12.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104885371 A

(43)申请公布日 2015.09.02

(30)优先权数据

61/738,258 2012.12.17 US

13/777,691 2013.02.26 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.06.16

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/075882 2013.12.17

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/100048 EN 2014.06.26

(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 U·C·费尔南多 L·C·常

V·K·切拉帕 F·波苏

K·胡姆纳巴卡 G·S·萨霍塔

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 亓云

(51)Int.Cl.

H04B 1/12(2006.01)

(56)对比文件

US 2004058690 A1, 2004.03.25,

审查员 阚子雄

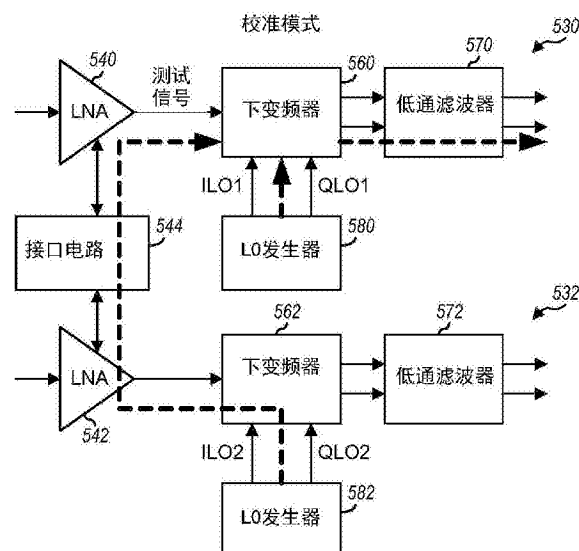
权利要求书4页 说明书23页 附图23页

(54)发明名称

用来自非活跃接收机的LO信号来进行接收机校准

(57)摘要

公开了用于基于来自另一接收机的本地振荡器(LO)信号来校准接收机的技术。在一示例性设计中,一种装置(例如,无线设备或集成电路)包括第一和第二本地振荡器(LO)发生器。第一LO发生器生成被第一接收机用来进行下变频的第一LO信号。第二LO发生器生成被第二接收机用来在第一操作模式中进行下变频的第二LO信号。第二LO信号被用于在第二操作模式中生成针对第一接收机的测试信号。第二LO信号可以作为测试信号来提供或者可以用调制信号来调制振幅以生成测试信号。该测试信号可被用于校准残余边带(RSB)、二阶输入截点(IIP2)、接收路径增益等。



1. 一种用于接收机校准的装置,包括:

第一本地振荡器 (LO) 发生器,其能被配置成生成被第一接收机用来进行下变频的第一 LO 信号;以及

第二 LO 发生器,其能被配置成生成被第二接收机用来在第一操作模式中进行下变频以及用于在第二操作模式中生成针对所述第一接收机的测试信号的第二 LO 信号;

其中所述第二 LO 发生器能被配置成生成处于多个频率的所述第二 LO 信号以获取处于所述多个频率的所述测试信号;以及

其中所述测试信号不通过天线地耦合至所述第一接收机。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第二 LO 发生器能被配置成生成用于在所述第二操作模式的第一配置中生成针对所述第一接收机的所述测试信号的所述第二 LO 信号,并且所述第一 LO 发生器能被配置成生成用于在所述第二操作模式的第二配置中生成针对所述第二接收机的第二测试信号的所述第一 LO 信号。

3. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第一接收机能被配置成对至少一个载波的第一集合执行下变频,并且所述第二接收机能被配置成对至少一个载波的第二集合执行下变频。

4. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第二接收机是针对发射机的反馈接收机,并且所述第二 LO 信号经由前端电路被提供给所述第一接收机。

5. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

开关,其能被配置成接收调制信号和所述第二 LO 信号并且基于所述调制信号来提供具有振幅调制的所述测试信号。

6. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第一低噪声放大器 (LNA),其能被配置成接收第一输入射频 (RF) 信号并将第一经放大 RF 信号提供给所述第一接收机;

第二 LNA,其能被配置成接收第二输入 RF 信号并将第二经放大 RF 信号提供给所述第二接收机;以及

开关,所述开关耦合在所述第一和第二 LNA 之间并且能被配置成在所述第二操作模式中传递所述测试信号。

7. 如权利要求6所述的装置,其特征在于,所述开关包括:

耦合在所述第一和第二 LNA 之间的晶体管。

8. 如权利要求6所述的装置,其特征在于,所述开关包括:

耦合在所述第一 LNA 和中间节点之间的第一晶体管;

耦合在所述中间节点和所述第二 LNA 之间的第二晶体管;以及

耦合在所述中间节点与电路接地之间的第三晶体管。

9. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

低噪声放大器 (LNA),包括:

能被配置成接收并放大输入射频 (RF) 信号的增益电路;

第一共源共栅晶体管,其耦合至所述增益电路并且能被配置成将第一经放大 RF 信号提供给所述第一接收机;以及

第二共源共栅晶体管,其耦合至所述增益电路并且能被配置成将第二经放大 RF 信号提

供给所述第二接收机,所述第一和第二共源共栅晶体管被截止以在所述第二操作模式中将所述测试信号传递给所述第一接收机。

10.如权利要求9所述的装置,其特征在于,所述LNA进一步包括:

能被配置成接收并放大第二输入RF信号的第二增益电路;

第三共源共栅晶体管,其耦合至所述第二增益电路并且能被配置成将第三经放大RF信号提供给所述第一接收机;以及

第四共源共栅晶体管,其耦合至所述第二增益电路并且能被配置成将第四经放大RF信号提供给所述第二接收机。

11.如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第二接收机包括:

混频器,其能被配置成在所述第一操作模式中用所述第二LO信号来对输入射频(RF)信号进行下变频,并且在所述第二操作模式中用所述第二LO信号来对直流(DC)电压进行上变频以获取用于生成所述测试信号的中间LO信号。

12.如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第一LO发生器能被配置成生成处于第一频率的所述第一LO信号,并且所述第二LO发生器能被配置成生成处于第二频率的所述第二LO信号,所述第二频率离所述第一频率小于系统带宽的一半。

13.如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第一LO发生器能被配置成生成处于第一频率的所述第一LO信号,并且所述第二LO发生器能被配置成生成处于第二频率的所述第二LO信号,所述第二频率离所述第一频率大于系统带宽的一半。

14.一种用于接收机校准的方法,包括:

用第一本地振荡器(LO)发生器来生成第一LO信号以供第一接收机用来进行下变频;

用第二LO发生器来生成第二LO信号以供第二接收机用来在第一操作模式中进行下变频;以及

在第二操作模式中基于所述第二LO信号来生成针对所述第一接收机的测试信号;

其中所述第二LO发生器能被配置成生成处于多个频率的所述第二LO信号以获取处于所述多个频率的所述测试信号;以及

其中所述测试信号不通过天线地耦合至所述第一接收机。

15.如权利要求14所述的方法,其特征在于,生成所述测试信号包括通过用调制信号来对所述第二LO信号进行振幅调制来生成所述测试信号。

16.如权利要求14所述的方法,其特征在于,生成所述测试信号包括在无线设备的空闲模式期间生成所述测试信号。

17.一种用于接收机校准的设备,包括:

用于生成第一本地振荡器(LO)信号以供第一接收机用来进行下变频的装置;

用于生成第二LO信号以供第二接收机用来在第一操作模式中进行下变频的装置;以及

用于在第二操作模式中基于所述第二LO信号来生成针对所述第一接收机的测试信号的装置;

其中所述第二LO发生器能被配置成生成处于多个频率的所述第二LO信号以获取处于所述多个频率的所述测试信号;以及

其中所述测试信号不通过天线地耦合至所述第一接收机。

18.如权利要求17所述的设备,其特征在于,用于生成所述测试信号的装置包括用于通

过用调制信号来对所述第二LO信号进行振幅调制来生成所述测试信号的装置。

19. 一种用于接收机校准的装置, 包括:

能被配置成生成用于获取测试信号的本地振荡器 (LO) 信号的LO发生器;

前端电路, 其能被配置成接收所述测试信号和收到射频 (RF) 信号并提供基于所述收到RF信号来生成并包括所述测试信号的输入RF信号; 以及

耦合至所述前端电路并且能被配置成接收所述输入RF信号的接收机, 基于所述前端电路和所述接收机来形成的接收路径具有基于所述测试信号来确定的增益。

20. 如权利要求19所述的装置, 其特征在于, 所述前端电路包括:

定向耦合器, 其具有接收所述收到RF信号的第一端口、接收所述测试信号的第二端口以及提供耦合RF信号的第三端口, 所述输入RF信号是基于所述耦合RF信号来生成的。

21. 如权利要求19所述的装置, 其特征在于, 进一步包括:

第二接收机, 其耦合到所述前端电路并且能被配置成接收基于所述收到RF信号来生成并且包括所述测试信号的第二输入RF信号, 基于所述前端电路和所述第二接收机来形成的第二接收路径具有基于所述测试信号来确定的增益。

22. 一种用于接收机校准的方法, 包括:

基于来自无线设备上的本地振荡器 (LO) 发生器的LO信号来生成测试信号; 以及

基于所述测试信号来确定所述无线设备中的至少一条接收路径的至少一个增益;

其中所述至少一条接收路径包括第一接收路径和第二接收路径, 所述确定至少一个增益包括:

测量经过所述第一接收路径的所述测试信号的功率以获取第一功率测量;

测量经过所述第二接收路径的所述测试信号的功率以获取第二功率测量; 以及

基于所述第一和第二功率测量来确定所述第一和第二接收路径之间的增量增益。

23. 如权利要求22所述的方法, 其特征在于, 进一步包括:

向所述无线设备的前端电路施加所述测试信号, 所述至少一条接收路径中的每条接收路径包括所述前端电路的至少一部分。

24. 如权利要求22所述的方法, 其特征在于, 所述确定至少一个增益进一步包括:

基于在所述无线设备外部生成并被施加给所述无线设备的信号来确定所述第一接收路径的第一增益; 以及

基于所述第一增益和所述增量增益来确定所述第二接收路径的第二增益。

25. 如权利要求22所述的方法, 其特征在于, 进一步包括:

基于在所述无线设备外部生成的信号来确定处于多个频率的所述第一接收路径的第一增益;

基于所述测试信号来确定处于所述多个频率的所述第一和第二接收路径之间的增量增益; 以及

基于处于所述多个频率的所述第一接收路径的所述第一增益和所述增量增益来确定处于所述多个频率的所述第二接收路径的第二增益。

26. 如权利要求22所述的方法, 其特征在于, 进一步包括:

存储指示接收路径的增益跨频率变化的信息, 所述接收路径是所述至少一条接收路径之一;

基于在所述无线设备外部生成并被施加给所述无线设备的信号来确定处于至少一个频率的所述接收路径的所述增益;以及

基于处于所述至少一个频率的所述接收路径的所述增益以及所存储的信息来确定处于一个或多个其它频率的所述接收路径的所述增益。

用来自非活跃接收机的LO信号来进行接收机校准

[0001] 根据35U.S.C.§119的优先权要求

[0002] 本专利申请要求于2012年12月17日提交的题为“RECEIVER CALIBRATION WITH LO SIGNAL FROM INACTIVE RECEIVER (用来自非活跃接收机的LO信号来进行接收机校准)”美国临时申请序列号61/738,258的优先权,该临时申请已转让给本申请受让人并通过引用明确纳入于此。

[0003] 背景

[0004] 领域

[0005] 本公开一般涉及电子元件,尤其涉及用于生成用于接收机校准的测试信号的技术。

背景技术

[0006] 无线通信系统中的无线设备(例如,蜂窝电话或智能电话)可以发射和接收数据以供双向通信。无线设备可包括用于数据发送的发射机以及用于数据接收的接收机。对于数据传输,发射机可用数据来调制发射本地振荡器(LO)信号以获得经调制信号,放大该经调制信号以获得具有合适的输出功率电平的输出射频(RF)信号,并经由天线将该输出RF信号发送到基站。对于数据接收,接收机可经由天线获得收到RF信号,放大该收到RF信号并用接收LO信号对该收到RF信号进行下变频,并处理该经下变频信号以恢复由基站发送的数据。LO信号是处于目标频率的周期性信号,并且可被用于下变频。

[0007] 无线设备可包括多个接收机,且每个接收机可包括各种电路。每个接收机中的电路可被设计成满足规范,但可具有可能因制造、温度、电源电压中的变化等而导致宽泛变化的性能。可能期望测试/校准这些电路以便甚至在存在这些变化的情况下确保良好的性能。

[0008] 附图简述

[0009] 图1示出了无线设备与不同的无线系统通信。

[0010] 图2示出了各种载波聚集场景。

[0011] 图3示出了图1中的无线设备的框图。

[0012] 图4A示出了四个载波上的信号的下变频。

[0013] 图4B到4D示出了针对不同操作场景的接收机处的收到功率对总噪声。

[0014] 图5示出了两个接收机的框图。

[0015] 图6A到6C示出了图5中的处于接收(RX)模式和校准模式的两个接收机的操作。

[0016] 图7A到7C示出了具有不同类型的LNA的接收机模块的三种示例性设计的框图。

[0017] 图8示出了收发机的框图。

[0018] 图9示出了LNA、下变频器和低通滤波器的示例性设计的示意图。

[0019] 图10A到10C示出了接口电路的三种示例性设计。

[0020] 图11示出了LO发生器的示例性设计。

[0021] 图12示出了生成具有振幅调制的测试信号。

[0022] 图13示出了用来自另一接收机的测试信号来校准一个接收机。

[0023] 图14A到14C示出了生成用于校准的测试信号的三种方式。

[0024] 图15示出了用于执行校准的过程。

[0025] 图16和17示出了用于确定接收路径增益的过程。

[0026] 详细描述

[0027] 以下阐述的详细描述旨在作为本公开的示例性设计的描述,而无意表示可在其中实践本公开的仅有设计。术语“示例性”在本文中用于表示“用作示例、实例或解说”。本文中描述为“示例性”的任何设计不必被解释为优于或胜过其他设计。本详细描述包括具体细节以提供对本公开的示例性设计的透彻理解。对于本领域技术人员将明显的是,没有这些具体细节也可实践本文描述的示例性设计。在一些实例中,公知的结构和器件以框图形式示出以免湮没本文中给出的示例性设计的新颖性。

[0028] 本文公开了用于用来自另一接收机或另一信号源的LO信号来校准接收机的技术。这些技术可用于各种电子设备,诸如无线通信设备(例如,蜂窝电话、智能电话等)、平板电脑、个人数字助理(PDA)、手持式设备、无线调制解调器、膝上型计算机、智能本、上网本、无绳电话、无线本地环路(WLL)站、蓝牙设备、消费者电子设备、等等。为了清楚起见,以下描述了将这些技术用于无线通信设备。

[0029] 图1示出了与无线通信系统120和122通信的无线设备110。每个无线系统可以是长期演进(LTE)系统、码分多址(CDMA)系统、全球移动通信(GSM)系统、无线局域网(WLAN)系统或其他某个无线系统。CDMA系统可实现宽带CDMA(WCDMA)、CDMA 1X、演进数据最优化(EVDO)、时分同步CDMA(TD-SCDMA)、或其他某个版本的CDMA。为简化起见,图1示出了包括两个基站130和132以及一个系统控制器140的无线系统120以及包括一个基站134的无线系统122。一般而言,无线系统可包括任何数目的基站以及任何网络实体集合。基站还可被称为B节点、演进型B节点(eNB)、接入点等。

[0030] 无线设备110还可以指用户装备(UE)、移动站、终端、接入终端、订户单元、站等。无线设备110可以是蜂窝电话、智能电话、平板、无线调制解调器、个人数字助理(PDA)、手持式设备、膝上型计算机、智能本、上网本、无绳电话、无线本地环路(WLL)站、蓝牙设备、等等。无线设备110可与无线系统120和/或122通信。无线设备110还可接收来自广播站的信号、来自一个或多个全球导航卫星系统(GNSS)中的卫星(例如,卫星150)的信号等。无线设备110可支持用于无线通信的一种或多种无线电技术,诸如LTE、WCDMA、CDMA 1X、EVDO、TD-SCDMA、GSM、802.11等。

[0031] 无线设备110可以能够在覆盖低于1000兆赫兹(MHz)的频率的低频带(LB)、覆盖从1000MHz到2300MHz的频率的中频带(MB)和/或覆盖高于2300MHz的频率的高频带(HB)中操作。例如,低频带可以覆盖698到980MHz,中频带可以覆盖1475到2170MHz,并且高频带可以覆盖2300到2690MHz和3400到3800MHz。低频带、中频带和高频带是指三个频带群(或频带群),其中每个频带群包括数个频率带(或简称为“频带”)。每个频带可以覆盖至多达200MHz。LTE版本11支持35个频带,这些频带被称为LTE/UMTS频带并且在公众可获取的3GPP TS 36.101中列出。一般而言,可以定义任何数目个频带群。每个频带群可覆盖任何频率范围,这些频率范围可以与以上给出的频率范围中的任何一个相匹配或不相匹配。每个频带群可包括任何数目个频带。

[0032] 无线设备110可以支持载波聚集,其是多个载波上的操作。载波聚集也可被称为多

载波操作。载波可指被用于通信的频率范围并且可与某些特性相关联。例如,载波可与描述该载波上的操作的系统信息和/或控制信息相关联。载波也可被称为分量载波(CC)、频率信道、蜂窝小区等。频带可包括一个或多个载波。在LTE中每个载波可以覆盖至多达20MHz。在LTE版本11中,无线设备110可以配置成具有在一个或两个频带中的至多达5个载波。

[0033] 一般而言,载波聚集(CA)可以被分类为两种类型—带内CA和带间CA。带内CA是指同一频带内的多个载波上的操作。带间CA是指不同频带中的多个载波上的操作。

[0034] 图2示出了无线设备110可以支持的各种CA场景。为了简单起见,图2示出了无线设备110配置有一频带中仅一个载波用于带间CA。一般而言,无线设备110可配置有给定频带内的一个或多个载波。

[0035] 场景210覆盖了其中低频带中的频带X中的一个载波C1和中频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。场景220覆盖了其中中频带中的频带X中的一个载波C1和高频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。场景230覆盖了其中低频带中的频带X中的一个载波C1和高频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。

[0036] 场景240覆盖了其中低频带中的频带X中的一个载波C1和也在低频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。场景250覆盖了其中中频带中的频带X中的一个载波C1和也在中频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。场景260覆盖了其中高频带中的频带X中的一个载波C1和也在高频带中的频带Y中的一个载波C2被配置成用于无线设备110的带间CA。

[0037] 场景270覆盖了其中低频带、或中频带、或高频带中的频带X中的两个毗邻载波C1和C2被配置成用于无线设备110的毗连带内CA。场景280覆盖了其中低频带、或中频带、或高频带中的频带X中的两个非毗邻载波C1和C2被配置成用于无线设备110的非毗连带内CA。

[0038] 图2示出了载波聚集的一些示例。对于频带和频带群的其他组合也可支持载波聚集。

[0039] 无线设备110可以并发地在不同的频率接收多个所传送的信号。这些多个所传送的信号可以由一个或多个基站以不同频率在多个载波上发送以供载波聚集。这些多个所传送的信号还可由不同的基站来发送以进行协调式多点(CoMP)传输、切换等。这些多个所传送的信号还可由不同无线系统中的基站来发送以用于并发服务,诸如语音/数据或数据/数据或语音/语音等。例如,无线设备110可支持双SIM/双待(DSDS)和/或双SIM/双通(DSDA),并且能够并发地与多个无线系统(诸如TD-SCDMA和GSM系统、或LTE和GSM系统、或CDMA和GSM系统等)进行通信。

[0040] 图3示出了图1中的无线设备110的示例性设计的框图。在这一示例性设计中,无线设备110包括耦合至主天线310的收发机320、耦合至副天线312的收发机322、以及数据处理/控制器390。收发机320包括多个(K个)接收机330a至330k以及多个(K个)发射机360a至360k以支持多个频带、多种无线电技术、载波聚集等。收发机322包括多个(L个)接收机332a至332l以及多个(L个)发射机362a至362l以支持多个频带、多种无线电技术、载波聚集、接收分集、从多个发射天线到多个接收天线的多输入多输出(MIMO)传输等。

[0041] 在图3所示的示例性设计中,每个接收机330包括LNA 340和接收电路350。对于数据接收,天线310接收来自基站和/或其他发射机站的信号并且提供收到RF信号。前端电路

324从天线310接收收到RF信号,并将一个或多个输入RF信号(例如,用于一个或多个频带)提供给一个或多个所选接收机。前端电路324可包括开关、双工器、共用器、发射滤波器、接收滤波器、匹配电路等。本说明书以下假定向作为所选接收机的接收机330a提供一个输入RF信号。在接收机330a内,LNA 340a放大输入RF信号并提供经放大RF信号。接收电路350a将经放大RF信号从RF下变频到基带,对经下变频信号进行滤波和放大,并且将输入基带信号提供给数据处理器390。接收电路350a可包括混频器、滤波器、放大器、匹配电路、振荡器、本地振荡器(LO)发生器、锁相环(PLL)等。其余接收机330和332中的每个接收机都可以按与接收机330a类似的方式来操作。

[0042] 在图3中示出的示例性设计中,每个发射机360包括发射电路370和功率放大器(PA) 380。对于数据传输,数据处理器390处理(例如,编码和调制)要传送的数据并将一个或多个输出基带信号(例如,供在一个或多个频带上传送)提供给一个或多个所选发射机。本说明书以下假定向作为所选发射机的发射机360a提供一个输出基带信号。在发射机360a内,发射电路370a对模拟输出信号进行放大、滤波并将其从基带上变频到RF,并且提供经调制RF信号。发射电路370a可包括放大器、滤波器、混频器、匹配电路、振荡器、LO发生器、PLL等等。PA 380a接收并且放大经调制RF信号,并且提供具有恰当输出功率电平的发射RF信号。该发射RF信号被路由通过前端电路324并经由天线310来发射。其余发射机360和362中的每一个都可以按与发射机360a类似的方式操作。

[0043] 图3示出了接收机330和接收机332以及发射机360和362的示例性设计。接收机和发射机还可包括图3中未示出的其他电路,诸如滤波器、匹配电路等。收发机320和322的全部或部分可实现在一个或多个模拟集成电路(IC)、RFIC(RFIC)、混合信号IC等上。例如,收发机320和322内的LNA 340和342与接收电路350和352可以在一个或多个RFIC上实现。收发机320和322中的这些电路也可按其他方式来实现。

[0044] 数据处理器/控制器390可为无线设备110执行各种功能。例如,数据处理器390可对经由接收机330和332接收到的数据以及经由发射机360和362传送的数据执行处理。控制器390可以控制收发机320和322内的各种电路的操作。存储器392可存储供数据处理器/控制器390使用的程序代码和数据。数据处理器/控制器390可以实现在一个或多个专用集成电路(ASIC)和/或其他IC上。

[0045] 一般而言,无线设备可以包括任意数目的接收机和任意数目的发射机。接收机和发射机可被设计成满足规范,但可具有可能由于IC工艺、温度、电源电压中的变化等而宽泛地变化的性能。例如,接收机和发射机可以用可因IC工艺差异而变化并且可影响接收机和发射机的性能的阈值电压、跨导和/或其他特性的晶体管来实现。

[0046] 接收机可能需要满足关于残余边带(RSB)的规范。RSB是对接收机中的同相(I)信号路径和正交(Q)信号路径之间的增益不平衡和/或相位不平衡的度量。在理想的接收机中,I信号路径应当相对于Q信号路径呈正交(或者90°异相),并且这两条信号路径应当跨频率具有相等的增益。然而,I/Q不平衡通常存在于I和Q信号路径之间并且可能包括增益不平衡和/或相位误差。I/Q不平衡导致RSB,该RSB是落在近旁频率上的失真。

[0047] 图4A示出了三个载波C1、C2和C4上的期望信号的下变频以及载波C3上的大干扰。期望信号是将由无线设备接收和解码的所传送的信号。干扰是具有比期望信号的振幅大得多的振幅并且在频率上接近期望信号的非期望/干扰信号。提供给接收机的收到RF信号可

包括载波C1、C2和C4上的期望信号以及载波C3上的扰乱。载波C1、C2和C4上的期望信号可具有类似的收到功率电平,并且扰乱可具有比期望信号的收到功率电平高得多的收到功率电平。用处于作为四个载波C1至C4的中心频率的频率 f_c 的LO信号来对收到RF信号进行下变频。

[0048] 如图4A所示,接收机中的I/Q不平衡可导致载波C3上的扰乱,从而导致出现在载波C2上的RSB。来自扰乱的RSB担当对载波C2上的期望信号的噪声/干扰,这可以不利地影响在载波C2上解码期望信号的能力。RSB的振幅取决于(i)扰乱的收到功率电平以及(ii)接收机中的I/Q不平衡的量。接收机具有可通过该接收机中的热噪声以及电路噪声来确定的噪声本底。RSB可能高于接收机处的噪声本底。在这一情形中,载波C2上的期望信号的载波噪声比(C/N)可由于载波C3上的扰乱而导致受到RSB的限制。

[0049] 图4B示出了平坦信道中的接收机处的收到功率对总噪声。载波的频率响应在静态信道中可以是平坦的。C/N可由期望信号的收到功率与总噪声功率之比来确定。

[0050] 图4C示出了衰弱信道中的接收机处的收到功率对总噪声。载波的频率响应可以跨衰弱信道中的频率变化。C/N也可跨频率变化并且可导致吞吐量损失。

[0051] 图4D示出了具有好/低RSB的衰弱信道中的接收机处的收到功率对总噪声。载波的频率响应可以跨衰弱信道中的频率变化。接收机处的总噪声可由于源自较少I/Q不平衡的较低RSB而减少。C/N可由于较低总噪声而改进。

[0052] 可通过对下变频器施加单频调测试信号,将该测试信号下变频为基带并测量I和Q经下变频信号之间的振幅误差和相位误差来校准RSB。可通过调整I和Q信号路径中的晶体管的增益和/或偏置来改进RSB。

[0053] 接收机还可能需要满足关于二阶输入截点(IIP2)的规范。IIP2是量化由电路(诸如放大器和混频器)的非线性而产生的二阶失真的线性度的度量。在接收机中,二阶互调(IM2)频调可由不同类型的扰乱(诸如带外(OOB)扰乱)和发射漏泄信号而产生。发射漏泄信号是由发射机与接收机之间(例如因发射机与接收机所耦合至的双工器中的隔离不足而导致的)的耦合而产生的发射RF信号的版本。由发射漏泄信号而产生的IM2频调可能是更麻烦的,因为发射漏泄信号可能强于OOB扰乱。IIP2可以从IM2频调的强度计算出。IM2频调强度(并因此IIP2性能)可取决于发射(TX)带宽(或对应于发射漏泄信号的扰乱的带宽)以及TX至RX频移(或对带内偏移的扰乱)。这是因为在混频器与基带滤波器之间的接口处的经下变频发射信号(例如,扰乱)可取决于TX带宽和TX至RX偏移而变化。因此,可能期望通过考虑TX带宽和TX至RX偏移来执行IIP2校准。

[0054] 可通过用调制信号来调制LO信号以生成经振幅调制(AM)信号、将AM信号下变频至基带、将经下变频信号与调制信号相关并基于相关结果确定IIP2来测量IIP2。IIP2可通过调整具有影响IIP2的非线性的晶体管的栅极偏置电压来改进。

[0055] 可能期望校准接收机(例如,在现场正常操作期间)以便甚至存在IC工艺、温度、电源电压的变化等的情况下确保良好的性能。还可能期望用尽可能少的附加硬件来校准接收机以减少成本、电路面积等。

[0056] 在本公开的一方面,可以用来自第二接收机的LO信号来校准第一接收机。这可使得第一接收机能够在不需要附加电路系统生成测试信号的情况下被高效地校准。这还可提供以下描述的其他益处。

[0057] 图5示出了能够重用电路系统来生成测试信号的两个接收机530和532的示例性设计的框图。接收机530包括LNA 540和接收电路550,而接收机532包括LNA 542和接收电路552。接收机530和532可对应于图3中的任意两个接收机330和/或332。LNA 540和542可对应于图3中的任意两个LNA 340和/或342。接收电路550和552可对应于图3中的任意两个接收电路350和/或352。

[0058] 在接收机530内,LNA 540具有接收第一输入RF信号(RFin1)的输入端、耦合至接收电路550的第一输出端以及耦合至接口电路544的第二输出端。LNA 540可放大RFin1信号并将第一经放大RF信号(RFamp1)提供给接收电路550。接收电路550从LNA 540接收RFamp1信号并将第一输入基带信号(BBin1)提供给可对应于图3中的数据处理器390的数据处理器590。在接收电路550内,下变频器560接收来自LNA 540的RFamp1信号以及来自LO发生器580的第一同相LO信号(IL01)和第一正交LO信号(QL01)。LO发生器是生成用于变频的信号电路。下变频器560用IL01和QL01信号来对RFamp1信号进行下变频并提供第一I和Q经下变频信号。IL01和QL01信号的频率可基于正由接收电路550接收的一个或多个所传送信号的中心频率来选择。例如,如果所传送的一个信号正被接收,则IL01和QL01信号的频率可等于所传送信号的中心频率。低通滤波器570对I和Q经下变频信号进行滤波以移除由下变频而产生的非期望信号分量,放大经滤波I和Q信号,并将第一I和Q输入基带信号提供给数据处理器590。

[0059] 在接收机532内,LNA 542具有接收第二输入RF信号(RFin2)的输入端、耦合至接收电路552的第一输出端以及耦合至接口电路544的第二输出端。LNA 542放大RFin2信号并将第二经放大RF信号(RFamp2)提供给接收电路552。接收电路552从LNA 542接收RFamp2信号并将第二输入基带信号(BBin2)提供给数据处理器590。在接收电路552内,下变频器562接收来自LNA 542的RFamp2信号以及来自LO发生器582的第二同相LO信号(IL02)和第二正交LO信号(QL02),用IL02和QL02信号来对RFamp2信号进行下变频,并提供I和Q经下变频信号。低通滤波器572对I和Q经下变频信号进行滤波,放大经滤波I和Q信号,并将第二I和Q输入基带信号提供给数据处理器590。

[0060] 测试发生器574和576可生成用于分别校准接收机530和532的测试控制信号。相关器584和586可执行相关以分别校准接收机530和532。测试发生器574和576与相关器584和586在下文中详细地描述。

[0061] 数据处理器590可包括用于校准接收机530和532的各种单元。例如,数据处理器590可包括促成RSB校准的单元594、促成IIP3校准的单元596、促成接收路径增益校准的单元598以及控制接收机530和532中的各种电路的偏置的单元599。每个单元可促成通过控制测试信号和/或控制信号的生成、做出测量、执行计算和/或执行用于校准特定参数的其他任务来校准特定参数。每个单元可以用软件、硬件、固件或其组合来实现。

[0062] 接收机530和532可以按各种方式来实现。在一种示例性设计中,接收机530和532在同一IC管芯上实现,这可以导致接收机更好的集成。在另一示例性设计中,接收机530可以在第一IC芯片上实现,而接收机532可以在第二IC芯片上实现,这可改进两个接收机之间的隔离。接收机530和532也可以按其他方式来实现。

[0063] 图5示出了接收电路550和552的示例性设计。一般而言,在接收电路中对信号的调理可由一个或多个放大器、滤波器、混频器等执行。这些电路可与图5中所示的配置不同地

安排。此外,图5中未示出的其他电路也可在接收电路中使用。例如,滤波器和/或增益控制电路可位于LNA与下变频器之间。作为另一示例,匹配电路可用于匹配图5中的各种电路。可省略图5中的一些电路。

[0064] 接收机530和532可以在任何给定时刻以多种操作模式之一来操作。在接收(RX)模式中,可选择个或多个接收机来处理一个或多个输入RF信号以恢复感兴趣的一个或多个所传送信号(例如,如以上针对图5所描述的)。在校准/测试模式中,可选择一个接收机用于校准/测试,并且另一接收机可以生成针对所选接收机的测试信号。

[0065] 图6A示出了图5中的接收机530和532在RX模式中的操作。一般而言,可以在RX模式中只启用接收机530或接收机532或者接收机530和532两者。如果启用接收机530,则LNA 540可放大RFin1信号并将RFamp1信号提供给接收电路550。在接收电路550内,RFamp1信号可由下变频器560用来自LO发生器580的ILO1和QLO1信号来下变频,并且由低通滤波器570来滤波以获取BBin1信号。如果启用接收机532,则LNA 542可放大RFin2信号并将RFamp2信号提供给接收电路552。在接收电路552内,RFamp2信号可由下变频器562用来自LO发生器582的ILO2和QLO2信号来下变频,并且由低通滤波器572来滤波以获取BBin2信号。

[0066] 图6B示出了在接收机532向接收机530提供测试信号的情况下的图5中的接收机530和532在校准模式中的操作。在这一情形中,接收机532内的LO发生器582可生成LO信号,该LO信号可通过下变频器562、LNA 542和接口电路544并作为测试信号提供给接收机530。LO发生器582可以在全频率范围上并以足够的频率准确性生成LO信号以校准接收机530。

[0067] 图6C示出了在接收机530向接收机532提供测试信号的情况下的图5中的接收机532和532在校准模式中的操作。在这一情形中,接收机530内的LO发生器580可生成LO信号,该LO信号可通过下变频器560、LNA 540和接口电路544并作为测试信号提供给接收机532。LO发生器580可以在全频率范围上并以足够的频率准确性生成测试信号以校准接收机532。

[0068] 图7A示出了接收机模块700的示例性设计的框图。接收机模块700包括两个接收机730和731。例如,接收机730可针对主(PRX)天线并且可对应于图3中的针对天线310的任何接收机330。接收机731可针对分集/副(DRX)天线并且可对应于图3中的针对天线312的任何接收机332。接收机730和731还可用于两个频带,例如针对单个天线。

[0069] 接收机730包括第一单输入单输出(SISO) LNA 740,LNA 740可对应于图3中的任何LNA 340。接收机731包括第二SISO LNA 741,LNA 741可对应于图3中的任何LNA 342。接收机730进一步包括可以按与图5中的下变频器560、低通滤波器570和LO发生器580类似的方式操作的下变频器760、低通滤波器770和LO发生器780。类似地,接收机731进一步包括下变频器762、低通滤波器772和LO发生器782。

[0070] LNA 740具有接收第一输入RF信号(RFin1)的输入端以及耦合至下变频器760的输出端。LNA 740可放大RFin1信号并将第一经放大RF信号提供给下变频器760。LNA 741具有接收第二输入RF信号(RFin2)的输入端以及耦合至下变频器762的输出端。LNA 741可放大RFin2信号并将第二经放大RF信号提供给下变频器762。

[0071] 在图7A中示出的示例性设计中,LNA 740包括增益电路752、共源共栅晶体管754和负载电路756。增益电路752具有接收RFin1信号的输入端。共源共栅晶体管754的源极耦合至增益电路752的输出端,其栅极接收Vb1控制信号,且其漏极耦合至负载电路756的输入端。负载电路756的输出端耦合至下变频器760。LNA 741包括以与LNA 740中的增益电路

752、共源共栅晶体管754和负载电路756类似的方式耦合的增益电路753、共源共栅晶体管755和负载电路757。

[0072] 在LNA 740内,增益电路752接收RFin1信号并将经放大信号提供给共源共栅晶体管754。共源共栅晶体管754可基于其栅极处的Vb1电压来导通或截止。当共源共栅晶体管754被导通时,来自增益电路752的经放大信号由共源共栅晶体管754来缓冲并被提供给负载电路756,负载电路756将第一经放大RF信号提供给下变频器760。LNA 741以与LNA 740类似的方式来操作。LNA 741可放大RFin2信号并将第二经放大RF信号提供给下变频器762。

[0073] 在图7A所示的示例性设计中,传输晶体管758的源极耦合至共源共栅晶体管755的漏极,其栅极接收Vb0控制信号,且其漏极耦合至共源共栅晶体管754的漏极。晶体管758作为开关来操作,并且可被导通以短路负载电路756和757的输入端以便将LO信号从一个接收机路由至另一接收机。

[0074] 接收机730和731可以按各种方式来实现。在一种示例性设计中,接收机730和731可以在同一IC管芯上实现。在另一示例性设计中,接收机730可以在一个IC管芯上实现,而接收机731可以在另一IC管芯上实现。接收机730和731也可以按其他方式来实现。

[0075] 接收机730和731可支持可包括RX模式和校准/测试模式的多种操作模式。在RX模式中,可启用LNA 740和接收机730以处理RFin1信号来恢复一个或多个所传送信号。替换地或附加地,可启用LNA 741和接收机731以处理RFin2信号来恢复一个或多个所传送信号。

[0076] 在校准/测试模式中,可选择一个接收机用于校准/测试,并且用于另一接收机的LO发生器可以生成针对所选接收机的测试信号。在测试模式的第一配置中,接收机731可通过使用LO发生器780以生成针对接收机731的测试信号来校准,如图7A中所示。在第一配置中,来自LO发生器780的LO信号可通过下变频器760、负载电路756、晶体管758和负载电路757并作为测试信号提供给接收机731内的下变频器762。在测试模式的第二配置中,接收机730可通过使用LO发生器782以生成针对接收机730的测试信号来校准。在第二配置中,来自LO发生器782的LO信号可通过下变频器762、负载电路757、晶体管758和负载电路756并作为测试信号提供给接收机730内的下变频器760(未在图7A中示出)。

[0077] 图7B示出了支持两个天线的两个载波集上的带内CA的接收机模块702的示例性设计的框图。每个载波集可包括一个或多个载波。接收机模块702包括四个接收机732a、732b、733a和733b。接收机732a和732b分别针对第一和第二载波集,针对主天线,并且可对应于图3中针对天线310的两个接收机330。接收机733a和733b分别针对第一和第二载波集,针对分集天线,并且可对应于图3中针对天线312的两个接收机332。接收机732a和732b共享用于主天线的第一单输入多输出(SIMO) LNA 742,LNA 742可对应于图3中的两个LNA 340。接收机733a和733b共享用于分集天线的第二SIMO LNA 743,LNA 743可对应于图3中的两个LNA 342。每个接收机732进一步包括可以按与图5中的下变频器560和低通滤波器570类似的方式来操作的下变频器760和低通滤波器770。类似地,每个接收机733进一步包括下变频器762和低通滤波器772。针对第一载波集的接收机732a和733a共享LO发生器780。针对第二载波集的接收机732a和733b共享LO发生器782。

[0078] LNA 742具有从主天线接收输入RF信号(PRX_RFin)的输入端、耦合至接收机732a内的下变频器760a的第一输出端以及耦合至接收机732b内的下变频器760b的第二输出端。LNA 742可放大PRX_RFin信号并将第一经放大RF信号提供给下变频器760a和/或将第二经

放大RF信号提供给下变频器760b。LNA 743具有从分集天线接收输入RF信号(DRX_RFin)的输入端、耦合至接收机733a内的下变频器762a的第一输出端以及耦合至接收机733b内的下变频器762b的第二输出端。LNA 743可放大DRX_RFin信号并将第三经放大RF信号提供给下变频器762a和/或将第四经放大RF信号提供给下变频器762b。

[0079] 在图7B示出的示例性设计中,LNA 742包括增益电路752a、两个共源共栅晶体管754a和754b、传输晶体管758以及两个负载电路756a和756b。增益电路752a具有接收PRX_RFin信号的输入端。共源共栅晶体管754a的源极耦合至增益电路752a的第一输出端,其栅极接收Vb1控制信号,且其漏极耦合至负载电路756a的输入端。共源共栅晶体管754b的源极耦合至增益电路752a的第二输出端,其栅极接收Vb2控制信号,且其漏极耦合至负载电路756b的输入端。负载电路756a和756b的输出端分别耦合至下变频器760a和760b。传输晶体管758的源极耦合至共源共栅晶体管754b的漏极,其栅极接收Vb0控制信号,且其漏极耦合至共源共栅晶体管754a的漏极。

[0080] 在LNA 742内,增益电路752a接收PRX_RFin信号并将经放大信号提供给共源共栅晶体管754a和/或754b。每个共源共栅晶体管754可基于其栅极处的控制电压来导通或截止。当共源共栅晶体管754a导通时,来自增益电路752a的经放大信号由共源共栅晶体管754a来缓冲,路由通过负载电路756a并作为第一经放大RF信号提供给下变频器760a(未在图7B中示出)。类似地,当共源共栅晶体管754b导通时,来自增益电路752a的经放大信号由共源共栅晶体管754b来缓冲,路由通过负载电路756b并作为第二经放大RF信号提供给下变频器760b(也未在图7B中示出)。

[0081] LNA 743包括以与LNA 742中的增益电路752a、共源共栅晶体管754a和754b、负载电路756a和756b以及传输晶体管758类似的方式来耦合的增益电路753a、共源共栅晶体管755a和755b、负载电路757a和757b以及传输晶体管759。LNA 743可放大DRX_RFin信号并将第三经放大RF信号提供给下变频器762a和/或将第四经放大RF信号提供给下变频器762b。

[0082] 在图7B中示出的示例性设计中,LNA 742包括耦合在负载电路756a与756b的输入端之间的传输晶体管758。传输晶体管758作为开关来操作,并且可被导通以短路负载电路756a和756b的输入端以便将L0信号从一个接收机路由至另一接收机。类似地,LNA 743包括传输晶体管759,传输晶体管759作为开关来操作,并且可被导通以短路负载电路757a和757b的输入端以便将L0信号从一个接收机路由至另一接收机。

[0083] 接收机732a至733b可以按各种方式来实现。在一种示例性设计中,接收机732a至733b可以在同一IC管芯上实现。在另一示例性设计中,接收机732a和733a可以在一个IC管芯上实现,而接收机732b和733b可以在另一IC管芯上实现。接收机732a至733b也可以按其他方式来实现。

[0084] 接收机732a至733b可支持可包括主RX模式、全RX模式和校准/测试模式的多种操作模式。在主RX模式中,可启用LNA 742和接收机732a和/或732b以处理PRX_RFin信号来恢复一个载波集上的一个或多个所传送信号。替换地,可启用LNA 743和接收机733a和/或733b以处理DRX_RFin信号来恢复一个载波集上的一个或多个所传送信号。在全RX模式中,可启用LNA 742和743以及接收机732a至733b以处理来自两个天线的PRX_RFin和DRX_RFin信号来恢复一个或两个载波集上的一个或多个所传送信号。

[0085] 在校准/测试模式中,可选择一个接收机用于校准/测试,并且用于另一接收机的

L0发生器可以生成针对所选接收机的测试信号。在测试模式的第一配置中,接收机732b可通过使用L0发生器780以生成针对接收机732b的测试信号来校准,如图7B中所示。在第一配置中,来自L0发生器780的L0信号可通过下变频器760a、负载电路756a、晶体管758和负载电路757b并作为测试信号提供给接收机732b内的下变频器760b。在测试模式的第二配置中,接收机732a可通过使用L0发生器782以生成针对接收机732a的测试信号来校准。在第二配置中,来自L0发生器782的L0信号可通过下变频器760b、负载电路756b、晶体管758和负载电路756a并作为测试信号提供给接收机732a内的下变频器760a(未在图7B中示出)。

[0086] 图7C示出了支持两个天线的两个载波集上的带内CA和带间CA的接收机模块704的示例性设计的框图。接收机模块704包括四个接收机734a、734b、735a和735b。接收机734a和734b共享用于主天线的第一多输入多输出(MIMO) LNA 744, LNA 744可对应于图3中的两个LNA 340。接收机735a和735b共享用于分集天线的第二MIMO LNA 745, LNA 745可对应于图3中的两个LNA 342。每个接收机进一步包括可以按与图5中的下变频器560和低通滤波器570类似的方式来操作的下变频器和低通滤波器。针对第一载波集的接收机734a和735a共享L0发生器780。针对第二载波集的接收机734b和735b共享L0发生器782。

[0087] LNA 744具有从主天线接收第一输入RF信号(PRX_RFin1)的第一输入端、从主天线接收第二输入RF信号(PRX_RFin2)的第二输入端、耦合至接收机734a内的下变频器760a的第一输出端以及耦合至接收机734b内的下变频器760b的第二输出端。LNA 744可放大一个或两个输入RF信号并将一个或两个经放大RF信号提供给一个或两个下变频器。类似地, LNA 745具有从分集天线接收第一输入RF信号(DRX_RFin1)的第一输入端、从分集天线接收第二输入RF信号(DRX_RFin2)的第二输入端、耦合至接收机735a内的下变频器762a的第一输出端以及耦合至接收机735b内的下变频器762b的第二输出端。LNA 745可放大一个或两个输入RF信号并将一个或两个经放大RF信号提供给一个或两个下变频器。

[0088] 在图7C中示出的示例性设计中, LNA 744包括两个增益电路752a和752b、四个共源共栅晶体管754a至754d、两个负载电路756a和756b以及传输晶体管758。增益电路752a、共源共栅晶体管754a至754b、传输晶体管758以及负载电路756a和756b如以上针对图7B中的LNA 742所描述的那样耦合。增益电路752b具有接收PRX_RFin2信号的输入端。共源共栅晶体管754c的源极耦合至增益电路752b的第一输出端,其栅极接收Vb3控制信号,且其漏极耦合至负载电路756a的输入端。共源共栅晶体管754d的源极耦合至增益电路752b的第二输出端,其栅极接收Vb4控制信号,且其漏极耦合到负载电路756b的输入端。LNA 745包括以与LNA 744中的增益电路752a和752b、共源共栅晶体管754a至754d、负载电路756a和756b以及传输晶体管758类似的方式耦合的两个增益电路753a和753b、四个共源共栅晶体管755a至755d、两个负载电路757a和757b以及传输晶体管759。

[0089] 接收机734a至735b可以在可包括单输出模式(例如,非CA模式)、带内CA模式、带间CA模式和校准/测试模式的多种操作模式之一中操作。在单输出模式中, LNA 744可放大一个RFin信号并将一个经放大RF信号提供给下变频器760a或760b。例如,可启用增益电路752a以及或共源共栅晶体管754a或共源共栅晶体管754b以向下变频器760a或760b提供一个经放大RF信号。替换地, LNA 745可放大一个RFin信号并将一个经放大RF信号提供给下变频器762a或762b。

[0090] 在带内CA模式中, LNA 744可放大一个RFin信号并将两个经放大RF信号提供给两

个下变频器760a和760b。例如,可启用增益电路752a以及两个共源共栅晶体管754a和754b以向下变频器760a和760b提供两个经放大RF信号。替换地,LNA 745可放大一个RFin信号并将两个经放大RF信号提供给两个下变频器762a和762b。

[0091] 在带间CA模式中,LNA 744可放大两个RFin信号并将两个经放大RF信号提供给两个下变频器760a和760b。例如,可启用增益电路752a和752b以及共源共栅晶体管754a或754d以向下变频器760a和760b提供两个经放大RF信号。替换地,LNA 745可放大两个RFin信号并将两个经放大RF信号提供给两个下变频器762a和762b。

[0092] 在校准/测试模式中,可选择一個接收机用于校准/测试,并且用于另一接收机的LO发生器可以生成针对所选接收机的测试信号。在测试模式的第一配置中,接收机734b可通过使用LO发生器780以生成针对接收机734b的测试信号来校准,如图7C中所示。在第一配置中,来自LO发生器780的LO信号可路由通过下变频器760a,通过负载电路756a、晶体管758和负载电路756b,并作为测试信号提供给下变频器760b。在测试模式的第二配置中,接收机734a可通过使用LO发生器782以生成用于接收机734a的测试信号来校准。在第二配置中,来自LO发生器782的LO信号可路由通过下变频器760b,通过负载电路756b、晶体管758和负载电路756a,并作为测试信号提供给下变频器760a(未在图7C中示出)。

[0093] 图8示出了支持用另一接收机的LO发生器来生成针对一个接收机的测试信号的收发机800的示例性设计的框图。收发机800包括针对两个频带的两个接收机830a和830b、反馈接收机830c和发射机832。每个接收机830包括LNA840、下变频器860和低通滤波器870。接收机830a进一步包括生成用于下变频器860a的第一LO信号的LO发生器880a。接收机830b进一步包括生成用于下变频器860b的第二LO信号的LO发生器880b。发射机832包括低通滤波器842、上变频器862和PA 872。发射机832和反馈接收机830c共享生成用于下变频器860c和上变频器862的LO信号的LO发生器882。在示例性设计中,接收机830a和830b可用于接收所传送信号,而接收机830c可用于测试发射机832。一般而言,每个接收机可用于接收所传送信号和/或测试发射机和/或接收机。

[0094] 在图8中示出的示例性设计中,前端电路820耦合在天线810和接收机830a、830b和830c以及发射机832之间。在前端电路820内,定向耦合器822具有耦合至节点B的输入端口、耦合至节点A(或天线812)的输出端口以及耦合至LNA 840c的第三端口。耦合器822在物理上可靠近天线810以便通过包括所有前端电路来提供更准确的发射功率测量。共用器824具有耦合至双工器826的输出端的第一输入端,耦合至双工器828的输出端的第二输入端,以及耦合至耦合器822的输出端。共用器824可包括(i)使处于较低频率的感兴趣的至少一个频带通过的低通滤波器以及(ii)使处于较高频率的感兴趣的至少一个其他频带通过的高通滤波器。每个双工器可包括针对感兴趣的频带的发射滤波器和接收滤波器。双工器826的发射滤波器输入端耦合至PA 872的输出端,且其接收滤波器输出端耦合至LNA 840a的输入端。双工器828的发射滤波器输入端耦合至PA或某一其他电路(未在图8中示出),且其接收滤波器输出端耦合至LNA 840b的输入端。

[0095] 反馈接收机830c可用于测试发射机832。例如,反馈接收机830c可用于(例如在制造期间在工厂中或者在无线设备的操作期间在现场中)测量天线端口处的发射功率。在这一情形中,由发射机832生成的发射RF信号的一部分可以经由耦合器822耦合至接收机830c。接收机830c可基于用于发射机832的相同LO信号来对经耦合RF信号进行下变频。可处

理经下变频信号以确定发射机832的性能。

[0096] 在一示例性设计中,L0发生器882可用于生成针对接收机830a和/或830b的测试信号。为了测试接收机830a,来自L0发生器882的L0信号可通过下变频器860c、LNA 840c、耦合器822、共用器824和双工器826并作为测试信号被提供给接收机830a内的LNA 840a。为了测试接收机830b,来自L0发生器882的L0信号可被传递通过下变频器860c、LNA 840c、定向耦合器822、共用器824和双工器828并作为测试信号提供给接收机830b内的LNA 840b。

[0097] 接收机830c可允许通过考虑前端电路820内的电路来校准接收机830a和830b。可以对第一接收信号路径做出绝对增益测量。增益测量可以对第一接收信号路径和第二接收信号路径做出,并且可以进行比较以获取第二接收信号路径相对于第一接收信号路径的相对增益(或增益增量)。第二接收信号路径的绝对增益可基于第一接收信号路径的绝对增益以及第一和第二接收信号路径之间的增益增量来获取。

[0098] 图8示出了包括三个接收机830a、830b和830c以及一个发射机832的收发机800的示例性设计。一般而言,收发机可以包括任意数目的接收机和任意数目的发射机。图8还示出了耦合至三个接收机830a、830b和830c以及一个发射机832的前端电路820的示例性设计。一般而言,前端电路可将任意数目的接收机和任意数目的发射机耦合至天线。前端电路可以包括一个或多个耦合器、共用器、双工器、开关、滤波器、匹配电路等等。图8示出了包括针对两个频带的耦合至一个共用器824的两个双工器826和828的前端电路820的示例性设计。前端电路中的共用器、双工器、耦合器、开关、滤波器、匹配电路和/或其他电路也可以按其他方式来耦合。

[0099] 图5、7A、7B、7C和8示出了使用一个接收机的L0发生器来生成针对另一接收机的测试信号的一些示例性设计。一般而言,可使用多个接收机来支持多个天线、多个频带、多种无线电技术、接收分集、MIMO传输等。可使用第一接收机的L0发生器来生成L0信号,该L0信号被传递给第二接收机并作为测试信号提供给该第二接收机。可以在这两个接收机之间的信号路径中放置恰适的电路(例如,开关、耦合器等)以使得L0信号能够从第一接收机传递给第二接收机。

[0100] 接收机中的电路可用各种电路设计来实现。两个接收机内的LNA、下变频器和低通滤波器的一些示例性设计在下文中描述。接收机中的电路也可以用各种类型的晶体管来实现。以下描述用N沟道金属氧化物半导体(NMOS)晶体管实现的LNA和下变频器的一些示例性设计。

[0101] 图9示出了图5中的LNA 540和542、下变频器560和562以及低通滤波器570和572的示例性设计的示意图。在图9中示出的示例性设计中,在接收机530内,下变频器560包括分别用于I和Q信号路径的两个混频器960a和960b,且低通滤波器570包括分别用于I和Q信号路径的两个低通滤波器(LPF) 970a和970b。在接收机532内,下变频器562包括分别用于I和Q信号路径的两个混频器961a和961b,且低通滤波器570包括分别用于I和Q信号路径的两个滤波器971a和971b。

[0102] 在图9中示出的示例性设计中,LNA 540被实现为共源极LNA。在LNA540内,增益晶体管942的源极耦合至电路接地,且其栅极接收RF_{in1}信号。替换地,增益晶体管942的源极可耦合至源极衰退电感器的一端,该源极衰退电感器的另一端可耦合至电路接地(未在图9中示出)。共源共栅晶体管944的源极耦合至增益晶体管942的漏极,且其栅极接收V_{b1}偏置

电压。变压器946具有(i)耦合在共源共栅晶体管944的漏极与VDD电源之间的初级线圈以及(ii)耦合在节点N1与N2之间并向混频器960a和960b提供差分经放大RF信号的次级线圈。变压器也可被称为平衡非平衡转换器。可变电容器948耦合在共源共栅晶体管944的漏极与VDD电源之间。增益晶体管942和共源共栅晶体管944可以用NMOS晶体管(如图9中所示)或者用其他类型的晶体管来实现。

[0103] 在图9中示出的示例性设计中,LNA 542包括可以分别按与LNA 540中的增益晶体管942、共源共栅晶体管944、变压器946和电容器948类似的方式耦合的增益晶体管943、共源共栅晶体管945、变压器947和可变电容器949。LNA 540和/或542还可被实现为共栅极LNA。例如,LNA 540可以对晶体管942的源极施加RF_{in1}信号并对晶体管942的栅极施加偏置电压。

[0104] 在图9中示出的示例性设计中,混频器960a、960b、961a和961b可以用双平衡无源混频器来实现。混频器960a包括交叉耦合在一起的两对NMOS晶体管。晶体管962a和964a的源极耦合在一起并耦合至节点N1,且其漏极分别耦合至节点N3和N4。类似地,晶体管966a和968a的源极耦合在一起并耦合至节点N2,且其漏极分别耦合至节点N3和N4。来自L0发生器580的IL01信号可以是包括非反相L01信号(IL01p)和反相IL01信号(IL01n)的差分信号。IL01p信号被提供给晶体管962a和968a的栅极,而IL01n信号被提供给晶体管964a和966a的栅极。节点N1和N2对应于混频器960a的差分输入端,而节点N3和N4对应于混频器960a的差分输出端。混频器960b、961a和961b以与混频器960a类似的方式来实现。每个混频器960接收来自相关联的LNA的差分经放大RF信号以及来自相关联的L0发生器的差分ILO或QLO信号,并提供差分I或Q经下变频信号。

[0105] 在图9中示出的示例性设计中,低通滤波器570a、570b、571a和571b用执行滤波和放大的有源滤波器来实现。在滤波器570a内,开关972和电阻器974串联耦合,并且该组合耦合在节点N3与放大器980的反相输入端之间。开关976和电阻器978串联耦合,且该组合耦合在节点N4与放大器980的非反相输入端之间。电容器988耦合在放大器980的反相与非反相输入端之间。电阻器982耦合在放大器980的反相输入端与非反相输出端之间。电阻器984耦合在放大器980的非反相输入端与反相输出端之间。放大器980经由其非反相和反相输出端来提供差分I经下变频信号。低通滤波器570b、571a和571b以与低通滤波器570a类似的方式来实现。

[0106] 图9示出了LNA 540和542、下变频器560和562以及低通滤波器570和572的示例性设计。LNA、下变频器和低通滤波器也可以用其他电路设计来实现。例如,LNA可以用包括以堆栈形式耦合且耦合在VDD电源与电路接地之间的NMOS晶体管和PMOS晶体管的反相器型LNA来实现。混频器960a、960b、961a和961b可以用如图9中所示的无源混频器或用其它类型的混频器来实现。

[0107] 在一种示例性设计中,相同的电路设计可用于多个接收机。例如,相同的LNA和混频器设计可以适用于多个接收机,例如用于多频带多模式无线设备中的所有频带的接收机。在另一示例性设计中,不同的电路设计可用于不同的接收机。例如,不同的接收机可以与不同的LNA设计、不同的混频器设计、不同的偏置等相关联。

[0108] 图10A示出了将来自一个接收机的L0发生器的L0信号耦合至正被校准的另一接收机的接口电路544a的示例性设计。在图10A中示出的示例性设计中,接口电路544a包括共源

共栅晶体管950,其源极耦合至LNA 940内的增益晶体管942的漏极,其栅极接收Vc0控制信号或调制信号m(t),且其漏极耦合至LNA 942内的共源共栅晶体管945的漏极。

[0109] 为了生成针对混频器961a的测试信号,共源共栅晶体管944和950可被导通,且增益晶体管942和943以及共源共栅晶体管945可被截止,如图10A中所示。LO信号可被提供给混频器960a内的晶体管962a的栅极,通过变压器946以及共源共栅晶体管944和950,且作为测试信号由变压器947提供给混频器961a。为了生成针对混频器960a的测试信号,共源共栅晶体管944和950可被导通,且增益晶体管942和943以及共源共栅晶体管945可被截止,如图10A中所示。LO信号可被提供给混频器961a内的晶体管962c的栅极,通过变压器947以及共源共栅晶体管944和950,且作为测试信号由变压器946提供给混频器960a。

[0110] 图10B示出了接口电路544b的示例性设计。在这一示例性设计中,接口电路544b包括晶体管952,晶体管952作为开关来操作且其源极耦合至共源共栅晶体管944的漏极,其栅极接收Vc0控制信号或调制信号m(t),且其漏极耦合至共源共栅晶体管945的漏极。

[0111] 为了生成针对混频器961a的测试信号,增益晶体管942和943以及共源共栅晶体管944和950可被截止,且晶体管952可被导通,如图10B中所示。LO信号可被提供给混频器960a内的晶体管962a的栅极,通过变压器946和晶体管952,且作为测试信号由变压器947提供给混频器961a。为了生成针对混频器960a的测试信号,增益晶体管942和943以及共源共栅晶体管944和950可被截止,且晶体管952可被导通,如图10B中所示。LO信号可被提供给混频器961a内的晶体管962c的栅极,通过变压器947和晶体管952,且作为测试信号由变压器946提供给混频器960a。

[0112] 图10C示出了接口电路544c的示例性设计。在这一示例性设计中,接口电路544c包括用串联晶体管953和955以及分路晶体管957来实现的T开关。串联晶体管953的源极耦合至LNA 940内的共源共栅晶体管944的漏极,其栅极接收Vd1控制信号,且其漏极耦合至节点B。串联晶体管955的源极耦合至节点B,其栅极接收Vd1控制信号或调制信号m(t),且其漏极耦合至LNA 942的共源共栅晶体管945的漏极。分路晶体管957的源极耦合至电路接地,其栅极接收Vd2控制信号,且其漏极耦合至节点B。

[0113] 为了生成针对混频器961a的测试信号,增益晶体管942和943以及共源共栅晶体管944和950可被截止,串联晶体管953和955可被导通,且分路晶体管957可被截止,如图10C中所示。LO信号可被提供给混频器960a内的晶体管962a的栅极,通过变压器946与晶体管953和955,且作为测试信号由变压器947提供给混频器961a。可以按类似方式为混频器960a生成测试信号。在RX模式中,串联晶体管953和955可被截止,且分路晶体管957可被导通。节点B然后拉至电路接地,这可改进LNA 940与942之间的隔离。

[0114] 图10A到10C示出了提供用于校准的LO信号的接口电路的三种示例性设计。接口电路还可以用其他方式来实现。可能期望实现接口电路以使得其在RX模式中尽可能少地降低性能。

[0115] 图11示出了可用于本文描述的任一LO发生器的LO发生器1100的示例性设计。LO发生器1100包括(i)生成处于期望频率的压控振荡器(VCO)信号的频率合成器1160以及(ii)将VCO信号分频并提供包括ILO信号和QL0信号的LO信号的分频器1170。

[0116] 在图11中示出的示例性设计中,频率合成器1160包括PLL 1162、VCO1164和缓冲器(Buf)1166。VCO 1164接收来自PLL 1162的控制信号,并且生成处于由该控制信号确定的频

率的振荡器信号。PLL 1162从VCO 1164接收参考信号和振荡器信号,将该振荡器信号的相位与参考信号的相位进行对比,并生成用于VCO 1164的控制信号以使得振荡器信号的相位被锁定至参考信号的相位。缓冲器1166从VCO 1164接收振荡器信号并将该VCO信号提供给分频器1170。分频器1170在频率上将VCO信号分频因数N,其中N可等于2、3、4或某一其他值。分频器1170提供ILO和QLO信号。ILO和QLO信号各自可以是差分LO信号。

[0117] 第一接收机(例如,非活跃接收机)的LO发生器可用于生成用于正被校准的第二接收机的LO信号。这可以按各种方式来实现。在一种示例性设计中,直流(DC)电压可被施加给混频器并通过来自LO发生器的LO信号来进行上变频以生成针对第二接收机的测试信号。例如,在图9中,低通滤波器970a内的开关972和976可被断开,且DC电压可以在节点N3和N4处提供。该DC电压可由混频器960a用ILO1信号来上变频以生成针对混频器961a和/或961b的测试信号。该测试信号的振幅可取决于DC电压,且期望测试信号振幅可通过改变DC电压来获取。例如,-12dBm至-30dBm范围内的测试信号可通过将DC电压从0.2V改为1.0V来生成。在一种示例性设计中,DC电压可通过将低通滤波器970a的一个输入端连接到可编程共模电压(VCM)并将低通滤波器970a的另一输入端连接到电路接地来生成。可调差分DC电压可基于可编程VCM来获取。可调DC电压还可按使得能够生成可变振幅测试信号的其他方式来生成。

[0118] 在另一示例性设计中,混频器可被重新配置成作为或混频器或放大器来操作。例如,图9中的混频器960a可进一步包括两个附加NMOS晶体管。第一NMOS晶体管的源极可耦合至节点N3,其栅极接收控制信号,且其漏极耦合至VDD电源。第二NMOS晶体管的源极可耦合至电路接地,其栅极接收控制信号,且其漏极耦合至节点N4。混频器960a可通过截止这两个NMOS晶体管来被配置为混频器。混频器960a可通过导通这两个NMOS晶体管并截止NMOS晶体管964a和966a来被重新配置为放大器。在这一情形中,ILO1p信号可由该放大器来放大,且经放大LO信号可被提供给节点N3和N4。经放大LO信号可用于生成测试信号。

[0119] 图12示出了通过对LO信号应用振幅调制(AM)来生成测试信号的示例性设计。LO信号可以是处于特定频率的连续信号。调制信号 $m(t)$ 可包括脉冲序列,并且可用于对LO信号进行振幅调制以生成具有振幅调制的测试信号。测试信号可用于校准IIP2和/或其他性能度量。

[0120] 可以在从生成LO信号的第一接收机到正被校准的第二接收机的信号路径中的各个位置施加调制信号 $m(t)$ 。例如,可以对图10A中的共源共栅晶体管944和/或950的栅极、图10B中的传输晶体管952的栅极或者图10C中的晶体管953和955的栅极施加调制信号。

[0121] 使用第一接收机(非活跃)的LO发生器来生成针对第二接收机(要被校准)的测试信号可提供各种优点。第一,LO发生器可以能够针对感兴趣的频率范围且以期望频率分辨率和准确性生成LO信号。这可使得能够在第二接收机是活跃或非活跃时校准第二接收机。例如,LO发生器可以生成(i)处于第一频率的LO信号以使得结果所得的经下变频信号在系统带宽内以进行带内校准或者(ii)处于第二频率的LO信号以使得结果所得的经下变频信号在系统带宽外以进行带外校准。LO发生器还可生成LO信号以在频率中跳跃,例如以匹配TX频率的跳跃以使得能够校准处于经下变频RX频率的IIP2。RX频率可以与TX频率相同以进行时分双工(TDD)或者可以不同于TX频率以进行频分双工(FDD)。

[0122] 相反,使用单独的频调发生器来生成测试信号可增加电路复杂性和成本。此外,在不包括附加电路系统和控制的情况下,频调发生器可以不具有所需频率范围和/或所需准

确性。

[0123] 无线设备110可能需要满足严格的性能规范,并且在没有良好的RSB和良好的IIP2的情况下可能无法满足这些规范。例如,无线设备110可能需要满足用于 4×4 MIMO传输的300兆比特/秒(Mbps)数量级上的峰值吞吐量,并且可能需要45分贝或更好的RSB以便满足吞吐量要求。RSB对于温度、频率等可能是敏感的。针对RSB的接收机校准可以在制造期间在工厂执行。然而,通过针对RSB的工厂校准来选择的接收机设置可能不提供温度、频率等上的所需RSB。

[0124] 针对IIP2的接收机校准也可以在工厂处以一个或多个特定频率来执行。然而,无线设备110可以按不对应于以其已经执行IIP2校准的频率之一的TX频率进行传送。在这一情形中,可能由于非最优IIP2而存在某一性能降级。因此,可能期望或必需以对应于无线设备110的TX频率的RX频率来执行IIP2校准。

[0125] 在本公开的另一方面,接收机的校准(例如,针对RSB和/或IIP2)可以在无线设备110是可操作时执行以便获取该接收机的良好性能。无线设备110可以在任何给定时刻以已连接模式或空闲模式来操作。在已连接模式中,无线设备110可以向一个或多个基站传送数据和/或从一个或多个基站接收数据。在空闲模式中,无线设备110可以在所指定的时间段期间周期性地接收到来自基站的下行链路信号,并且可以在其余时间期间休眠以便节省电池功率。

[0126] 在示例性设计中,无线设备100可以在其中它不在接收下行链路信号的时间段期间在空闲模式中执行校准。在另一示例性设计中,无线设备110可以在接收机未被用于下行链路接收的时间段期间在已连接模式中执行对该接收机的校准。例如,在利用TDD的无线系统中,无线设备110可以在上行链路子帧中传送数据并且在下行链路子帧中接收数据。无线设备110可以在上行链路子帧期间校准接收机。在适用于空闲模式和已连接模式两者的又一示例性设计中,无线设备110可以通过在下行链路接收期间使用被置于系统带宽之外的测试信号来执行对接收机的校准。

[0127] 图13示出了用于用第二接收机1330b生成的测试信号来校准第一接收机1330a的示例性配置。接收机1330b可以是非活跃的,并且可用于生成针对接收机1330a的处于期望频率的测试信号。接收机1330a的LO发生器1380可以生成处于期望频率 f_{L01} 的第一LO信号。接收机1330b的LO发生器1382可以生成处于频率 f_{L02} 的第二LO信号。第二LO信号可用于生成针对接收机1330a的测试信号。该测试信号可以在接收机1330a的LNA 1340a的输入端处施加(未在图13中示出)或者可以在接收机1330a内的某一其他节点处施加。在任何情形中,测试信号可由混频器1360a用来自LO发生器1380的 $IL01$ 信号来下变频,并且由低通滤波器1370a来滤波以获取I输入基带信号(IBBin)。该测试信号还可由混频器1360b用来自LO发生器1380的 $QL01$ 信号来下变频,并且由低通滤波器1370b来滤波以获取Q输入基带信号(QBBin)。 $IL01$ 信号和 $QL01$ 信号是由接收机1330a的LO发生器1380生成的第一LO信号的一部分。IBBin和QBBin信号形成由接收机1330a提供给数据处理器复BBin信号。

[0128] 图14A示出了在其中测试信号被置于带内的情形中来自图13中的接收机1330a的BBin信号的频率响应。具体而言,来自接收机1330b的第二LO信号的频率 f_{L02} 可以与接收机1330a中的第一LO信号的频率 f_{L01} 偏离少于系统带宽(BW)的一半,或即 $f_1 = |f_{L02} - f_{L01}| < BW/2$ 。这然后将导致包括处于系统带宽内的频率 f_1 的单个频调的BBin信号,如图14A中所示。

[0129] 该Bbin信号可被表达为:

[0130] $B\text{Bin}(t) = I(t) + j Q(t) = \cos(2\pi f_1 t) + j k \sin(2\pi f_1 t + \theta)$, 方程(1)

[0131] 其中 $I(t)$ 表示IBBin信号,而 $Q(t)$ 表示QBBin信号,

[0132] $B\text{Bin}(t)$ 表示复BBin信号,

[0133] k 是接收机1330a的I和Q信号路径之间的增益误差,并且

[0134] θ 是接收机1330a的I和Q信号路径之间的相位误差。

[0135] 增益误差 k 和相位误差 θ 可以如下确定:

[0136] $k = \Sigma |I^2(t) - Q^2(t)|$, 且 方程(2)

[0137] $\theta = \text{相关}\{I(t) \text{ 和 } Q(t)\}$ 。 方程(3)

[0138] 增益误差和相位误差可以使用恰适的电路来在模拟域中确定。替换地,增益误差和相位误差可以通过对可通过数字化IBBin和QBBin信号来获取的I和Q样本执行计算来在数字域中计算。增益误差和相位误差可取决于频率且可针对感兴趣的不同频率来计算。

[0139] 图14B示出了在其中测试信号被置于带外的情形中来自图13中的接收机1330a的BBin信号的频率响应。具体而言,接收机1330b中的第二LO信号的频率 f_{L02} 可以与接收机1330a中的第一LO信号的频率 f_{L01} 偏离超过系统带宽(BW)的一半,即或 $f_2 = |f_{L02} - f_{L01}| > BW/2$ 。这然后将导致包括处于系统带宽外的频率 f_2 的单个频调的BBin信号,如图14B中所示。该配置可用于在接收机1330a正在接收下行链路信号时校准接收机1330a。

[0140] 图14C示出了在其中使用经AM调制测试信号来校准的情形中来自图13中的接收机1330a的BBin信号的频率响应。接收机1330b中的第二LO信号的频率 f_{L02} 可以与接收机1330a中的第一LO信号的频率 f_{L01} 偏离作为TX频率与RX频率之差的TX偏移量。第二LO信号可在频率中跳跃以使得BBin信号包括处于系统带宽内的不同频率的经下变频频调,如图14C中所示。

[0141] 在示例性设计中,可以在不同频带组中的不同频率上执行校准。例如,可以对低频带中的四个子带、中频带中的四个子带以及高频带中的两个子带执行校准。也可以对低频带中的每一个子带、中频带中的每一个子带中的三个频率以及高频带中的每一个子带中的两个频率执行校准。在该示例中,由此可以为 $(3*4+3*4+4*2) = 32$ 个频率执行校准。也可以为更少或更多频率执行校准。

[0142] 无线设备110可能需要满足关于接收路径增益的严格规范,例如以满足 $\pm 1\text{dB}$ 内的增益准确性。接收路径增益可被定义为接收路径的增益。接收路径可涵盖从天线到模数转换器(ADC)的信号路径的全部或一部分。接收路径可涵盖接收机中的信号路径并且有可能可涵盖接收机中的LNA之前的前端中的信号路径。无线设备110可具有复合前端以便支持多个频带、多种无线电技术、多个天线等。由于复合前端,对接收路径增益的校准应包括前端电路以便确保能够满足关于接收路径增益的所需规范。

[0143] 无线设备可包括数条接收路径以及数种增益模式。接收路径的每一增益模式可以与该接收路径的特定增益相关联。常规地,关于接收路径增益的最严格规范可通过使用外部测试装备以将校准/频调信号注入到无线设备中以校准感兴趣的每一接收路径和每一增益模式来达成。无线设备可包括大量接收路径和/或大量增益模式。然后可能需要大量时间来校准不同的接收路径和不同的增益模式,这可增加复杂性和成本。

[0144] 在本公开的又一方面,接收路径的增益可基于另一接收机生成的测试信号来测

量。测试信号可以在接收路径中的各个点处注入。可测量测试信号的功率或振幅以确定接收路径的增益。

[0145] 在示例性设计中,针对发射机的反馈接收机可被用来生成测试信号以测量接收路径增益。再参照图8,接收机830c可以是对发射机832的反馈接收机。反馈接收机830c可以由定向耦合器822耦合至天线810。反馈接收机830c可被重用于接收路径增益校准,以使得可需要极少或不需要附加硬件来进行接收路径增益校准。反馈接收机830c可生成测试信号并将该测试信号提供给耦合器822。测试信号可被传递通过前端电路820并被提供给要被校准的接收路径。

[0146] 在图8中示出的示例中,各个信号路径的增益可以如下定义:

[0147] $G1$ = 从节点B到节点C的增益,

[0148] $G2$ = 从节点B到节点D的增益,

[0149] $L1$ = 从节点X到节点B的增益,以及

[0150] $L2$ = 从节点A到节点B的增益。

[0151] $G1$ 、 $G2$ 、 $L1$ 和 $L2$ 可以dB为单位来给出。

[0152] 测试信号可由反馈接收机830c生成并被用来测量不同接收路径的接收路径增益。测试信号在不同节点处的功率可被表达为:

[0153] $P1 = P_{\text{测试}} + L1 + G1$, 方程 (4)

[0154] $P2 = P_{\text{测试}} + L1 + G2$, 以及 方程 (5)

[0155] $\Delta P = P1 - P2 = G1 - G2$, 方程 (6)

[0156] 其中 $P_{\text{测试}}$ 是测试信号在节点X处的功率,

[0157] $P1$ 是测试信号在节点C处的功率,

[0158] $P2$ 是测试信号在节点D处的功率,并且

[0159] ΔP 是节点C和D处的两条接收路径之间的增量增益。

[0160] $P_{\text{测试}}$ 、 $P1$ 和 $P2$ 可以dBm为单位来给出。 ΔP 可以dB为单位来给出。

[0161] 在方程 (6) 中示出的示例性设计中,接收机830a被用作基准。可以从节点C处的功率 $P1$ 减去节点D处的功率 $P2$ 以获取针对接收机830a和830b的两条接收路径之间的增量增益 ΔP 。由于两条接收路径之间的增量增益 ΔP 是所感兴趣的,因此测试信号的绝对功率电平不重要,因为它将在计算增量增益时被移除。此外,耦合器822的绝对损耗不重要,因为该损耗也将在计算增量增益时被移除。

[0162] 校准/频调信号可由外部测试装备生成并被施加给节点A处的天线连接器。校准信号在节点C处的功率可被表达为:

[0163] $P_{\text{基准}} = P_{\text{输入}} + L2 + G1$, 方程 (7)

[0164] 其中 $P_{\text{输入}}$ 是来自测试装备的校准信号在节点A处的功率,并且

[0165] $P_{\text{基准}}$ 是校准信号在节点C处的功率。

[0166] 不同接收路径的增益可基于校准信号在节点A和C处的功率电平以及增量增益来如下计算:

[0167] $A1 = P_{\text{输入}} - P_{\text{基准}} = L2 + G1$, 以及 方程 (8)

[0168] $A2 = A1 - \Delta P$, 方程 (9)

[0169] 其中 $A1$ 是从节点A到节点C的接收路径的增益,并且

[0170] A2是从节点A到节点D的接收路径的增益。

[0171] 可以在工厂处做出绝对功率测量以获取 $P_{\text{基准}}$ 。可以在任何方便时间做出任何其他测量,以使得用于接收路径增益校准的测试时间可以减少,这可减少总测试时间和成本。

[0172] 无线设备中的电路可具有跨频率变化的响应。例如,耦合器822可具有表现良好并因此可被预表征的频率响应。变压器或平衡非平衡转换器(未在图8中示出)可用于将LNA 840c与耦合器822对接并且可也具有可被预表征的表现良好的频率响应。用于生成测试信号的电路也可具有可被预表征的表现良好的频率响应。总频率响应可基于所有电路的频率响应来获取。查找表可存储与相对于一个或多个基准频率处的一个或多个增益的不同频率处的增益相对应的相对增益。

[0173] 可以对(例如,用测试装备)处于不同频率的基准接收路径做出若干绝对功率测量。对处于其他频率的基准接收路径的绝对功率测量可基于对基准接收路径做出的绝对功率测量以及基准接收路径的预表征的频率响应来获取(例如,内插)。对处于不同频率的其他接收路径以及对不同增益模式的功率测量可基于测试信号(例如,来自反馈接收机830c)来做出。可基于对测试信号的功率测量以及对基准信号路径做出的绝对功率测量来为不同的接收路径和不同的增益模式确定绝对增益。使用内部生成的测试信号的接收增益校准可极大地减少确定所有接收路径、增益模式和感兴趣频率的接收路径增益所需的绝对功率测量的次数。

[0174] 一般而言,接收增益校准可以在任何时间执行。在示例性设计中,接收增益校准可以在制造期间(例如,与其他RF测试(例如,针对RSB)并发)执行,以使得附加测试时间不仅仅用于接收增益校准。在另一示例性设计中,接收增益校准可以在无线设备的操作期间执行。例如,接收增益校准可以在无线设备的休眠-唤醒循环期间执行,例如以移除温度相关因素,诸如与接收电路相关联的温度漂移。

[0175] 图8示出了其中测试信号在定向耦合器处提供并被用来确定接收路径增益的示例性设计。定向耦合器可紧邻天线放置,如图8中所示。一般而言,测试信号可以在从天线到ADC的信号路径中的任一点处提供。例如,测试信号可以在共用器824与双工器826或828之间或者在LNA 840a或840b的输入端等处提供。测试信号可以经由定向耦合器或开关(例如,单刀双掷(SPDT)开关)或某一其他电路来施加。可以为测试信号行进通过的所有电路测试增益。

[0176] 图8示出了前端电路的示例性设计。一般而言,前端电路可包括各种电路,诸如双工器、共用器、开关、滤波器、耦合器等。前端电路中的电路可以与图8中示出的示例性配置不同地布置。

[0177] 图8示出了基于反馈接收机830c来生成用于接收增益校准的测试信号的示例性设计。一般而言,用于接收增益校准的测试信号可由任何电路生成。例如,测试信号可由不被测试的接收机、发射机、被设计成生成测试信号的测试信号发生器等来生成。测试信号可通过经由混频器对DC电压上变频或基于某一其他技术来生成。

[0178] 在示例性设计中,一种装置(例如,无线设备、IC、电路模块等)可包括第一和第二LO发生器。第一LO发生器(例如,图5到6C中的LO发生器580)可生成被第一接收机(例如,接收机530)用来进行下变频的第一LO信号。第二LO发生器(例如,LO发生器582)可以生成被第二接收机(例如,接收机532)用来在第一操作模式(例如,RX模式)中进行下变频的第二LO信

号。第二LO信号可用于在第二操作模式(例如,校准模式)中生成针对第一接收机的测试信号。第一LO信号也可用于在第二操作模式中生成针对第二接收机的第二测试信号。针对第一接收机的测试信号可以在第二操作模式的第一配置中生成,并且针对第二接收机的第二测试信号可以在第二操作模式的第二配置中生成。

[0179] 在示例性设计中,第一接收机(例如,图7B中的接收机732a)可以对至少一个载波的第一集合执行下变频,并且第二接收机(例如,图7B中的接收机732b)可以对至少一个载波的第二集合执行下变频以供载波聚集,例如,如图7B和7C中所示。在另一示例性设计中,第二接收机(例如,图8中的接收机830c)可以是针对发射机的反馈接收机,并且第二LO信号可经由前端电路提供给第一接收机(例如,图8中的接收机830a)。一般而言,第一和第二接收机可以是无线设备中的任意两个接收机并且可驻留在相同的IC芯片或不同的IC芯片上。

[0180] 在示例性设计中,可使用开关来将测试信号从一个接收机传递给另一接收机。在示例性设计中,开关可被简单地闭合以传递作为测试信号的第二LO信号。在另一示例性设计中,开关可接收调制信号和第二LO信号并且可基于该调制信号来提供具有振幅调制的测试信号。

[0181] 在示例性设计中,该装置可以进一步包括第一和第二LNA以及开关。第一LNA(例如,图7A中的LNA 740或者图10A-10C中的LNA 940)可接收第一输入RF信号并将第一经放大RF信号提供给第一接收机。第二LNA(例如,图7A中的LNA 741或者图10A-10C中的LNA 942)可接收第二输入RF信号并将第二经放大RF信号提供给第二接收机。开关可以耦合在第一和第二LNA之间并且可以在第二操作模式中传递测试信号。

[0182] 在示例性设计中,开关可包括耦合在第一接收机的第一LNA与第二接收机的第二LNA之间的晶体管(例如,图7A中的晶体管758、图10A中的晶体管950或图10B中的晶体管952)。在另一示例性设计中,开关可包括三个晶体管。第一晶体管(例如,图10C中的晶体管953)可以耦合在第一LNA与中间节点之间。第二晶体管(例如,晶体管955)可以耦合在中间节点与第二LNA之间。第三晶体管(例如,晶体管957)可以耦合在中间节点与电路接地之间。

[0183] 在另一示例性设计中,该装置可进一步包括包含增益电路以及第一和第二共源共栅晶体管的SIMO LNA(例如,图7B中的SIMO LNA 742)。增益电路(例如,增益电路752a)可接收并放大输入RF信号。第一共源共栅晶体管(例如,共源共栅晶体管754a)可被耦合至增益电路并且可将第一经放大RF信号提供给第一接收机。第二共源共栅晶体管(例如,共源共栅晶体管754b)可被耦合至增益电路并且可将第二经放大RF信号提供给第二接收机。第一和第二共源共栅晶体管可被导通以便在第二操作模式中向第一接收机传递测试信号,例如,如图7B中所示。

[0184] 在又一示例性实施例中,该装置可进一步包括MIMO LNA(例如,图7C中的MIMO LNA 744),该MIMO LNA包括以上针对SIMO LNA描述的增益电路以及第一和第二共源共栅晶体管连同第二增益电路以及第三和第四共源共栅晶体管。第二增益电路(例如,图7C中的增益电路752b)可接收并放大第二输入RF信号。第三共源共栅晶体管(例如,共源共栅晶体管754c)可被耦合至第二增益电路并且可将第三经放大RF信号提供给第一接收机。第四共源共栅晶体管(例如,共源共栅晶体管754d)可被耦合至第二增益电路并且可将第四经放大RF信号提供给第二接收机。

[0185] 在示例性设计中,第二接收机可包括混频器(例如,图13中的混频器1360c)。混频

器可以在第一操作模式中用第二LO信号来将输入RF信号下变频。混频器可以在第二操作模式中用第二LO信号将DC电压上变频以获取中间LO信号,该中间LO信号可用于生成测试信号。DC电压可被改变以获取测试信号的可调振幅。

[0186] 第一LO发生器可以生成处于第一频率的第一LO信号,并且第二LO发生器可以生成处于第二频率的第二LO信号。在示例性设计中,第二频率离第一频率可小于系统带宽的一半,例如,如图14A中所示。在另一示例性设计中,第二频率离第一频率可大于系统带宽的一半,例如,如图14B中所示。在这一示例性设计中,信号接收和校准可以并发执行,并且第一和第二操作模式可被并发选择。在又一示例性设计中,第二LO发生器可以生成处于多个频率(例如,具有频率跳跃)上的第二LO信号以获取处于该多个频率的测试信号,例如,如图14C中所示。

[0187] 第二LO信号可用于在第二接收机非活跃时生成测试信号。在示例性设计中,第二LO信号可用于在该装置正在空闲模式中操作时生成用于校准第一接收机的测试信号。第二接收机可以周期性地只在特定时间段期间是活跃的,以在空闲模式中接收信号。校准可以在第二接收机不是活跃的其余时间期间执行。在另一示例性设计中,第二LO信号可用于在该装置正在已连接模式中操作时生成用于校准第一接收机的测试信号。例如,测试信号可以在信号带宽之外生成(例如,如图14B中所示),这可允许校准与信号接收并发执行。替换地,对于TDD,对第二接收机的校准可以在该装置正在上行链路上传输时在上行链路时间区间期间执行。

[0188] 图15示出了用于执行校准的过程1500的示例性设计。可以用第一LO发生器来生成第一LO信号并且第一接收机可使用该第一LO信号来进行下变频(框1512)。可以用第二LO发生器来生成第二LO信号并且第二接收机可使用该第二LO信号来在第一操作模式中进行下变频(框1514)。可以在第二操作模式中基于第二LO信号来生成针对第一接收机的测试信号(框1516)。测试信号可包括未进行任何调制的第二LO信号或者可通过用调制信号对第二LO信号进行振幅调制来生成。

[0189] 在另一示例性设计中,装置(例如,无线设备、IC、电路模块等)可包括LO发生器、前端电路和接收机。LO发生器(例如,图8中的LO发生器882)可生成用于获取测试信号的LO信号。前端电路(例如,前端电路820)可接收测试信号和收到RF信号并提供输入RF信号,该输入RF信号可基于收到RF信号来生成并且可包括测试信号。接收机(例如,接收机830a)可以耦合至前端电路并可接收输入RF信号。接收路径可基于前端电路来形成,并且接收机可具有基于测试信号来确定的增益。LO信号可被另一接收机(例如,接收机830c)用来在第一操作模式中进行下变频,并且可用于在第二操作模式中生成测试信号。

[0190] 在示例性设计中,前端电路可包括定向耦合器(例如,图8中的定向耦合器822)。该定向耦合器可具有接收收到RF信号的第一端口、接收测试信号的第二端口以及提供经耦合RF信号的第三端口。输入RF信号可基于经耦合RF信号来生成。前端电路还可以包括其他电路,诸如共用器、双工器、开关、滤波器、匹配电路等等。

[0191] 该装置可进一步包括第二接收机(例如,接收机830b)。第二接收机可以耦合至前端电路并且可接收第二输入RF信号,该第二输入RF信号可基于收到RF信号来生成并且可包括测试信号。第二接收路径可基于前端电路和第二接收机来形成,并且可具有基于测试信号来确定的第二增益。

[0192] 图16示出了用于确定接收路径增益的过程1600的示例性设计。可基于来自无线设备上的LO发生器的LO信号来生成测试信号(框1612)。LO发生器可生成供接收机和/或发射机进行变频的LO信号。LO发生器还可只用于校准无线设备。可基于测试信号来确定无线设备中的至少一条接收路径的至少一个增益(框1614)。

[0193] 在示例性设计中,测试信号可被施加给无线设备的前端电路。至少一条接收路径中的每条接收路径于是可包括前端电路的至少一部分。每条接收路径可进一步包括LNA以及接收机的全部或部分,如图8中所示。

[0194] 图17示出了用于确定至少一条接收路径的至少一个增益的过程1614x的示例性设计。过程1614x可用于图16中的框1614。可以确定可包括第一接收路径和第二接收路径的至少一条接收路径的增益。可测量经过第一接收路径的测试信号的功率以获取第一功率测量(框1712)。还可测量经过第二接收路径的测试信号的功率以获取第二功率测量(框1714)。可基于第一和第二功率测量来确定第一与第二接收路径之间的增量增益,如方程(6)中所示(框1716)。可基于在无线设备外部生成并施加给无线设备的信号来确定第一接收路径的第一增益(例如,绝对增益)(框1718)。可基于第一增益和增量增益来确定第二接收路径的第二增益,如方程(9)中所示(框1720)。

[0195] 在示例性设计中,第一接收路径的第一增益可基于在无线设备外部生成的信号来在多个频率处确定。第一与第二接收路径之间的增量增益也可以是基于测试信号来在该多个频率处确定。处于该多个频率的第二接收路径的第二增益可基于第一接收路径的第一增益和增量增益来在多个频率处确定。

[0196] 在示例性设计中,指示接收路径的增益跨频率的变化的信息可被预表征并存储(例如,存储在查找表中)。处于至少一个频率的接收路径的增益可基于在无线设备外部生成的信号来确定。处于一个或多个附加频率的接收路径的增益可基于处于该至少一个频率的接收路径的增益以及所存储的信息来确定。

[0197] 本文描述的电路(例如,LO发生器、LNA、混频器、滤波器、开关等)可实现在IC、模拟IC、RFIC、混合信号IC、ASIC、印刷电路板(PCB)、电子设备等上。这些电路也可以用各种IC工艺技术来制造,诸如互补金属氧化物半导体(CMOS)、N沟道MOS(NMOS)、P沟道MOS(PMOS)、双极型结型晶体管(BJT)、双极型CMOS(BiCMOS)、硅锗(SiGe)、砷化镓(GaAs)、异质结双极型晶体管(HBT)、高电子迁移率晶体管(HEMT)、绝缘上覆硅(SOI)等。

[0198] 实现本文所描述的电路的装置可以是自立设备或者可以是较大设备的一部分。设备可以是(i)自立的IC,(ii)一个或多个IC的集合,其可包括用于存储数据和/或指令的存储器IC,(iii)RFIC,诸如RF接收机(RFR)或RF发射机/接收机(RTR),(iv)ASIC,诸如移动站调制解调器(MSM),(v)可嵌入在其他设备内的模块,(vi)接收机、蜂窝电话、无线设备、手持机、或者移动单元,(vii)其他等等。

[0199] 在一个或多个示例性设计中,所描述的功能可以在硬件、软件、固件、或其任何组合中实现。如果在软件中实现,则各功能可以作为一条或多条指令或代码存储在计算机可读介质上或藉其进行传送。计算机可读介质包括计算机存储介质和通信介质两者,包括促成计算机程序从一地向另一地转移的任何介质。存储介质可以是能被计算机访问的任何可用介质。作为示例而非限定,这样的计算机可读介质可包括RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其它光盘存储、磁盘存储或其它磁存储设备、或能被用来携带或存储指令或数据结构形式的期

望程序代码且能被计算机访问的任何其它介质。任何连接也被正当地称为计算机可读介质。例如,如果软件是使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字订户线(DSL)、或诸如红外、无线电、以及微波之类的无线技术从web网站、服务器、或其它远程源传送而来,则该同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL、或诸如红外、无线电、以及微波之类的无线技术就被包括在介质的定义之中。如本文中所使用的盘(disk)和碟(disc)包括压缩碟(CD)、激光碟、光碟、数字多用碟(DVD)、软盘和蓝光碟,其中盘(disk)往往以磁的方式再现数据,而碟(disc)用激光以光学方式再现数据。上述的组合应当也被包括在计算机可读介质的范围内。

[0200] 提供对本公开的先前描述是为使得本领域任何技术人员皆能够制作或使用本公开。对本公开的各种修改对于本领域技术人员将是显而易见的,并且本文中定义的普适原理可被应用于其他变形而不会脱离本公开的范围。由此,本公开并非旨在被限定于本文中所描述的示例和设计,而是应被授予与本文中所公开的原理和新颖性特征相一致的最广范围。

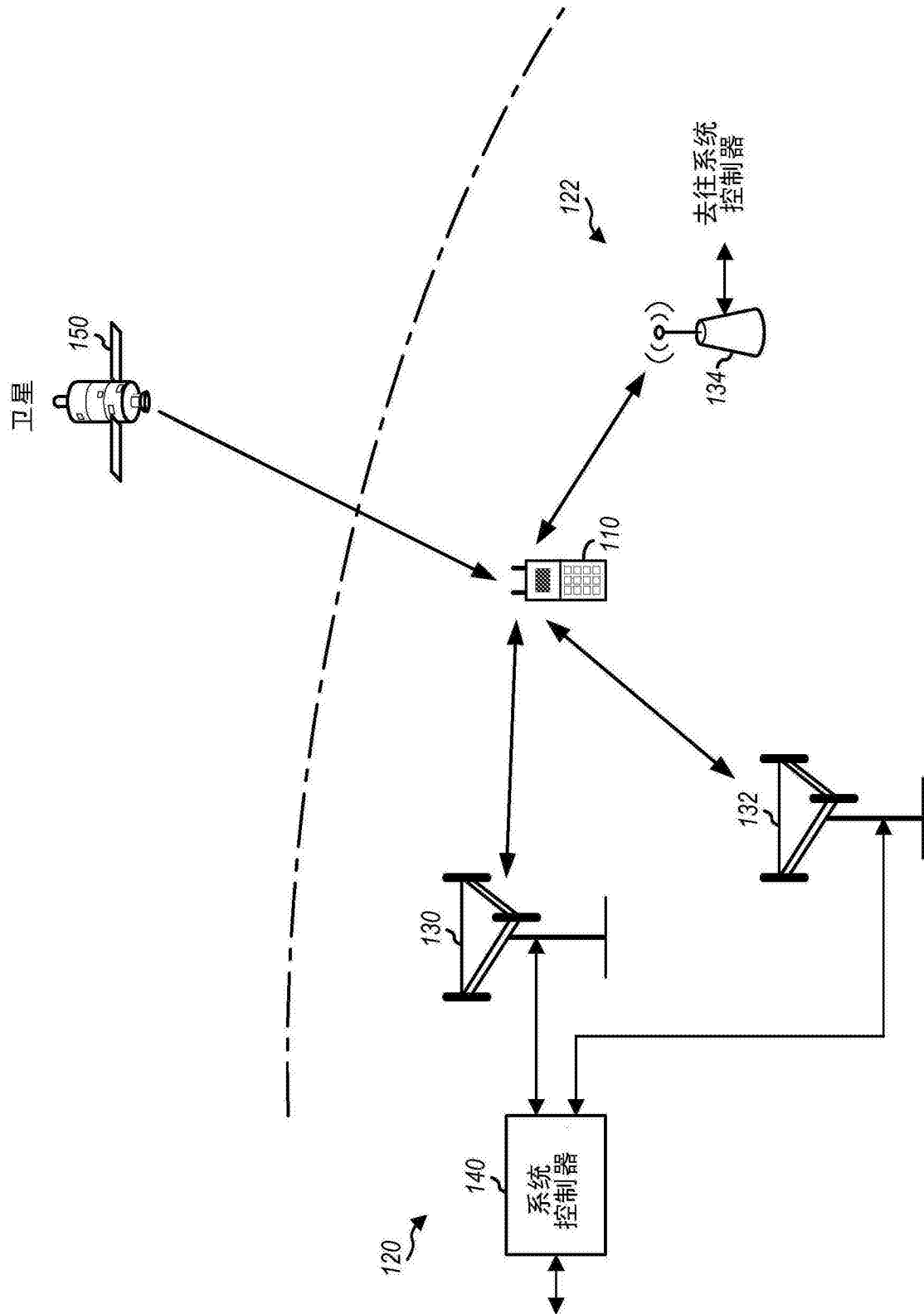


图1

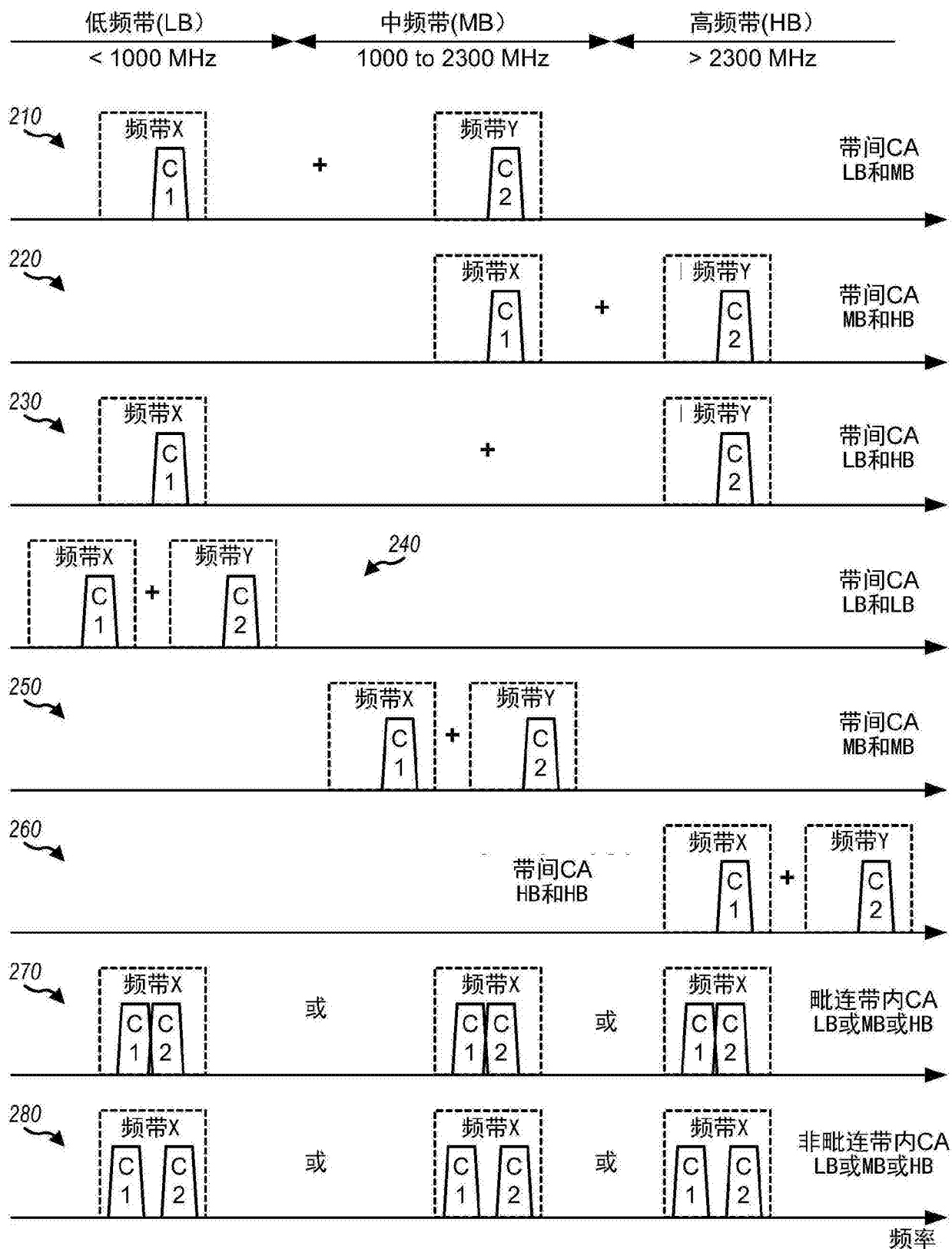


图2

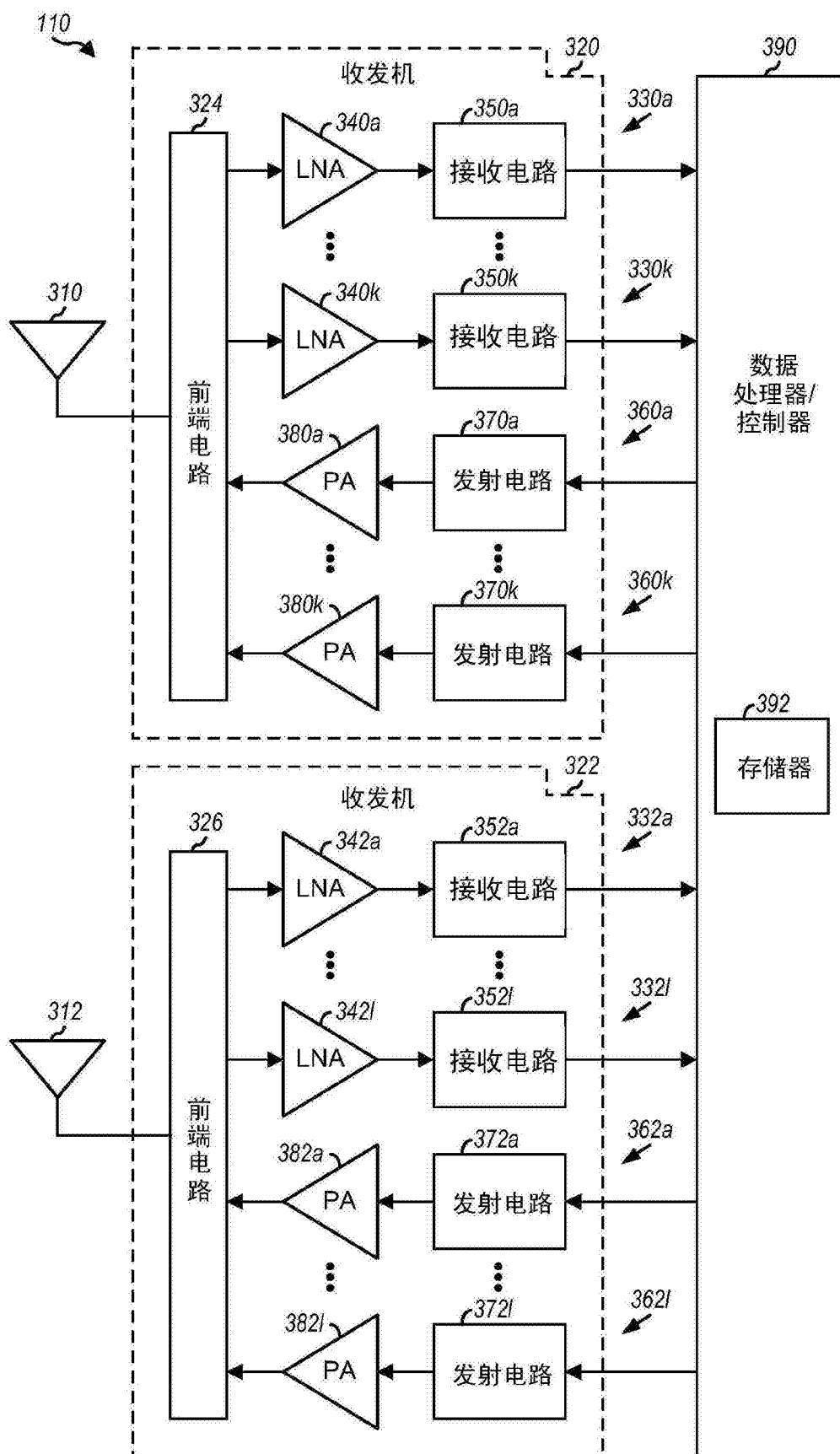


图3

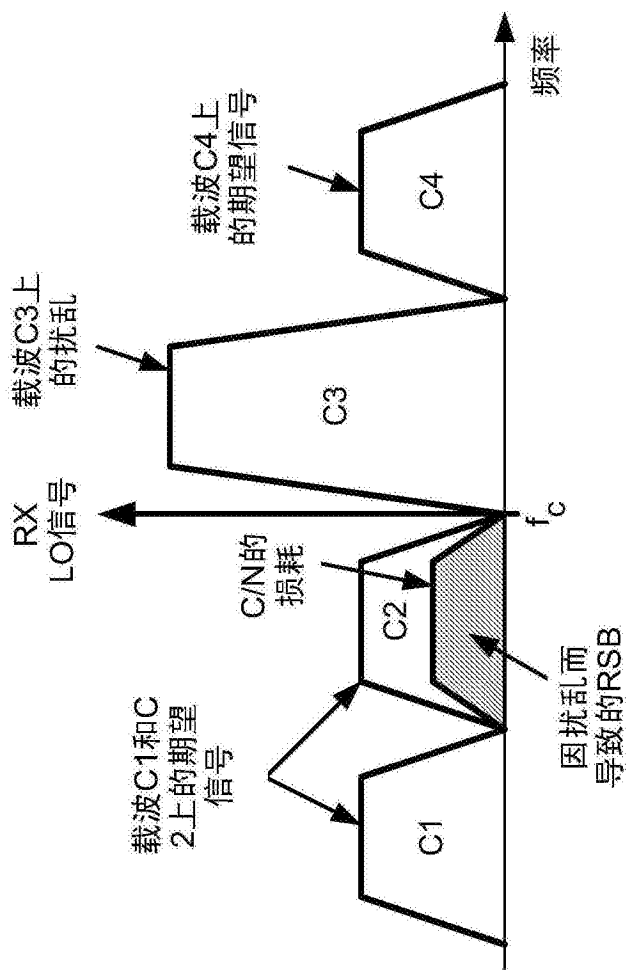


图4A

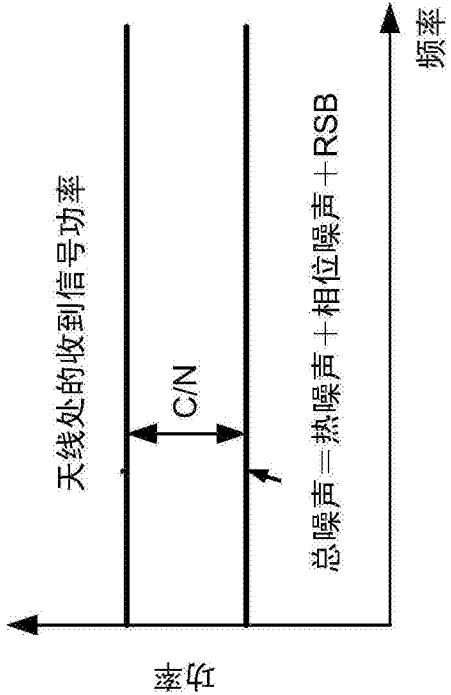


图4B

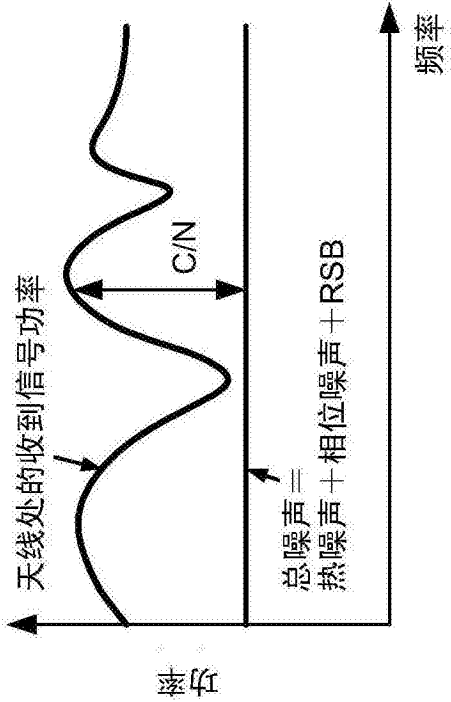


图4C

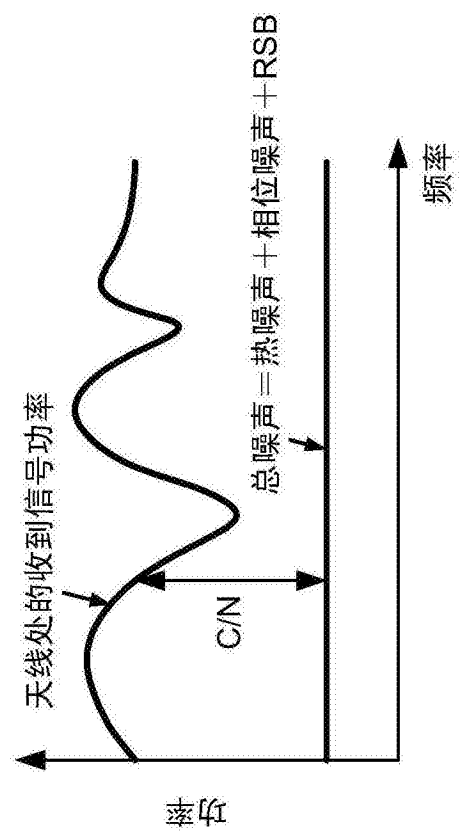


图4D

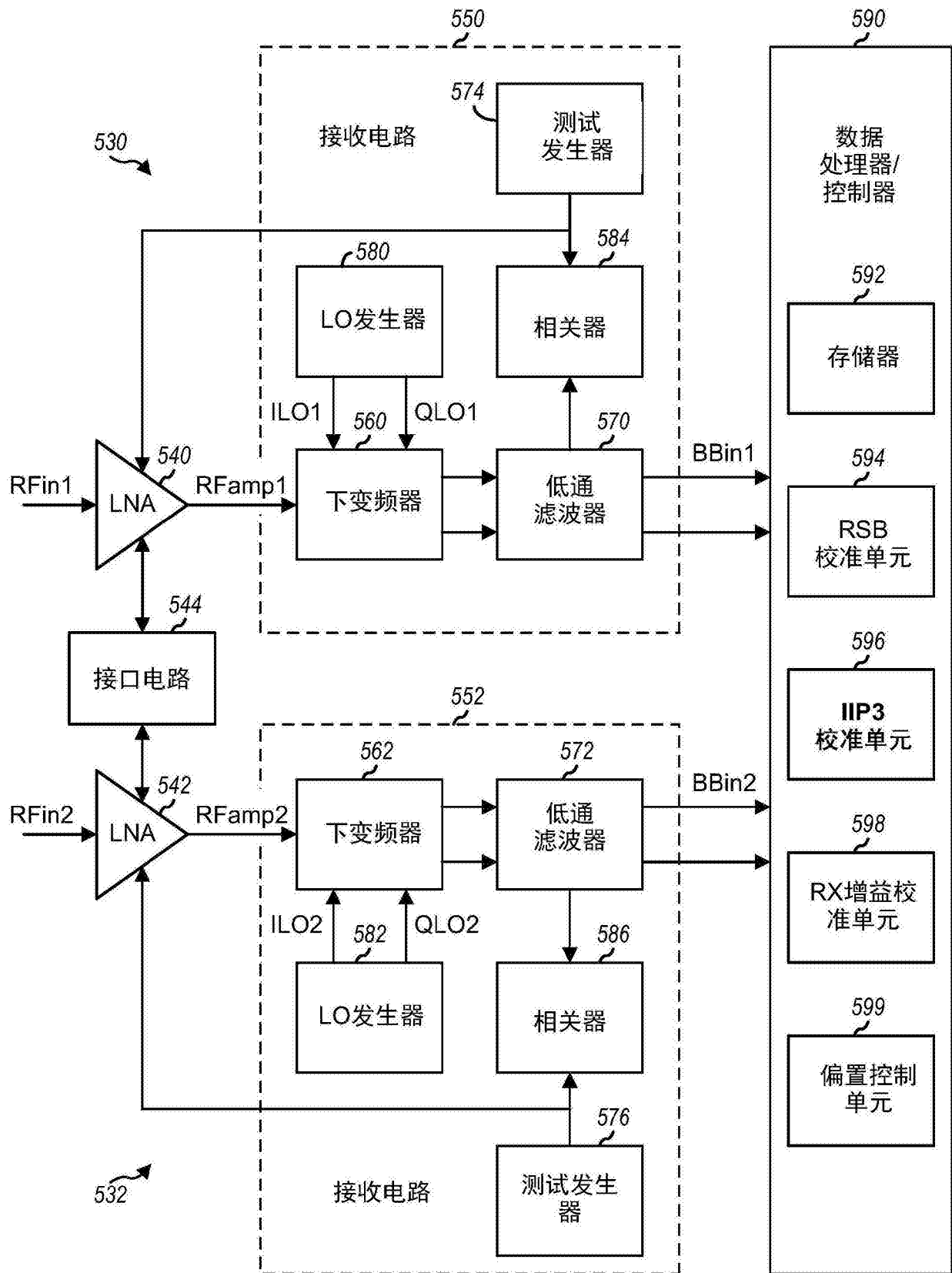


图5

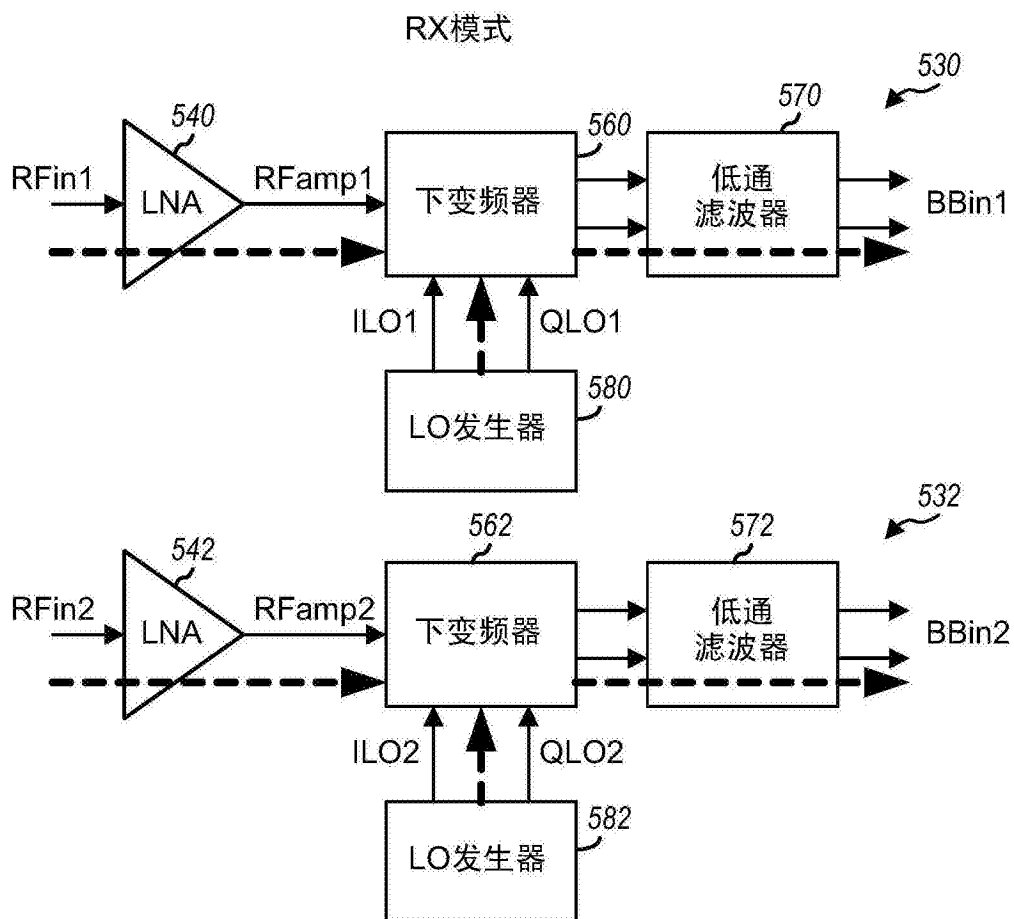


图6A

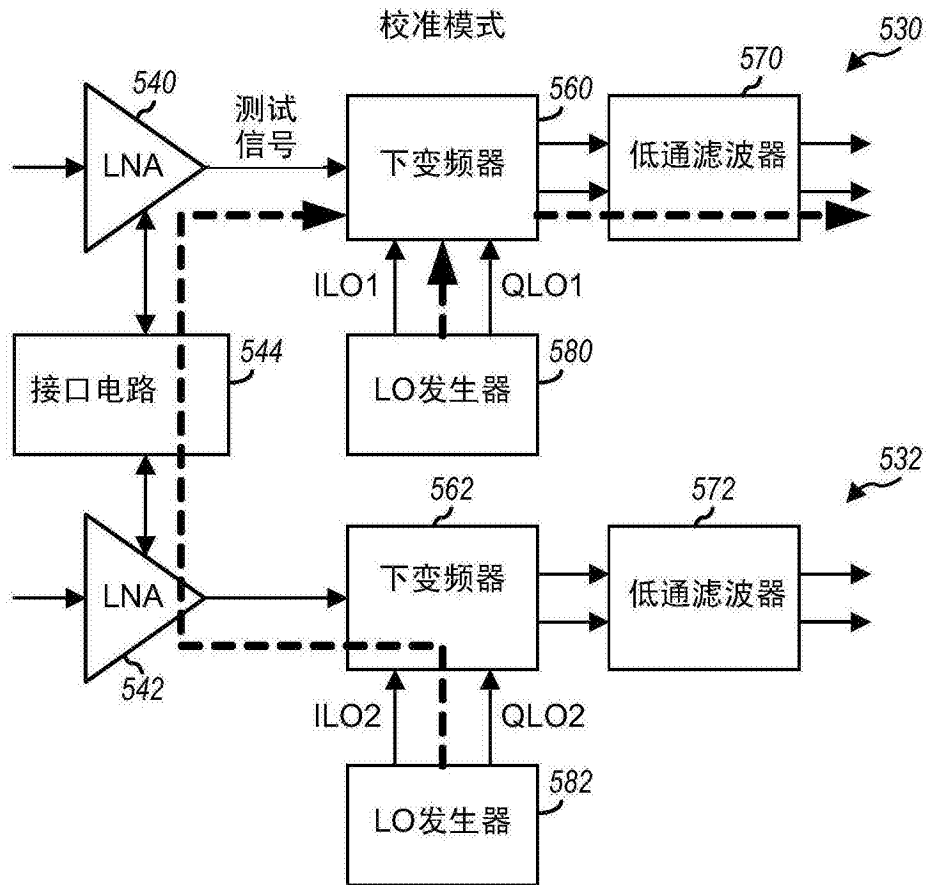


图6B

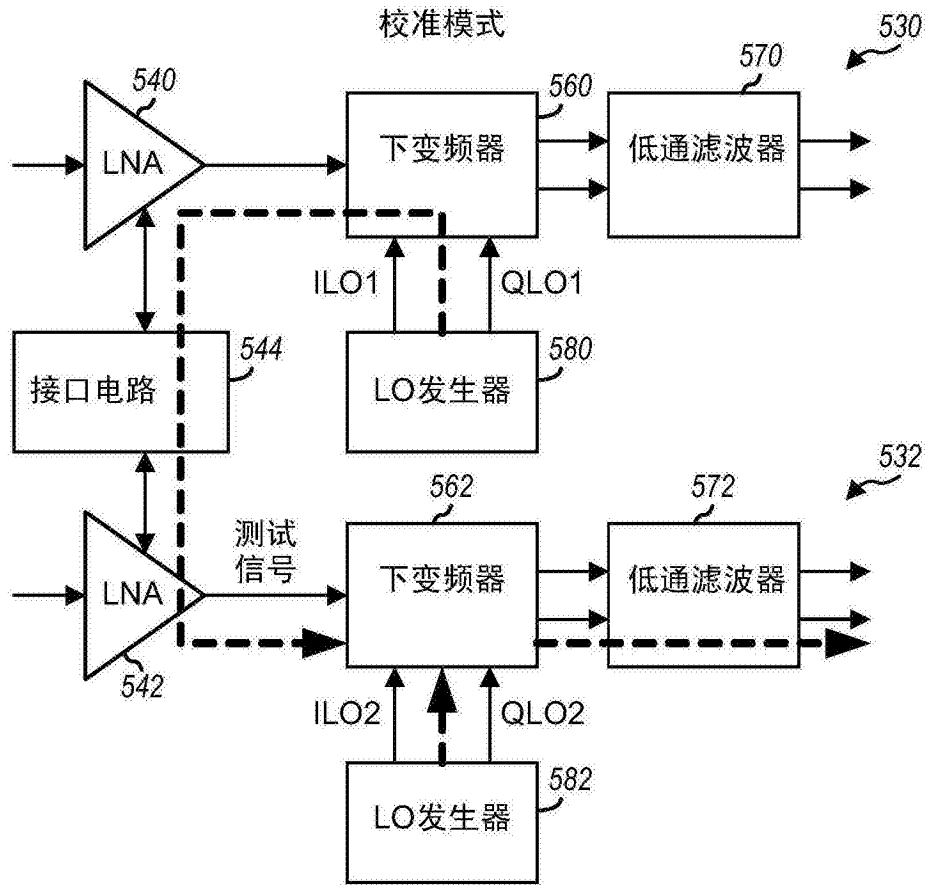


图6C

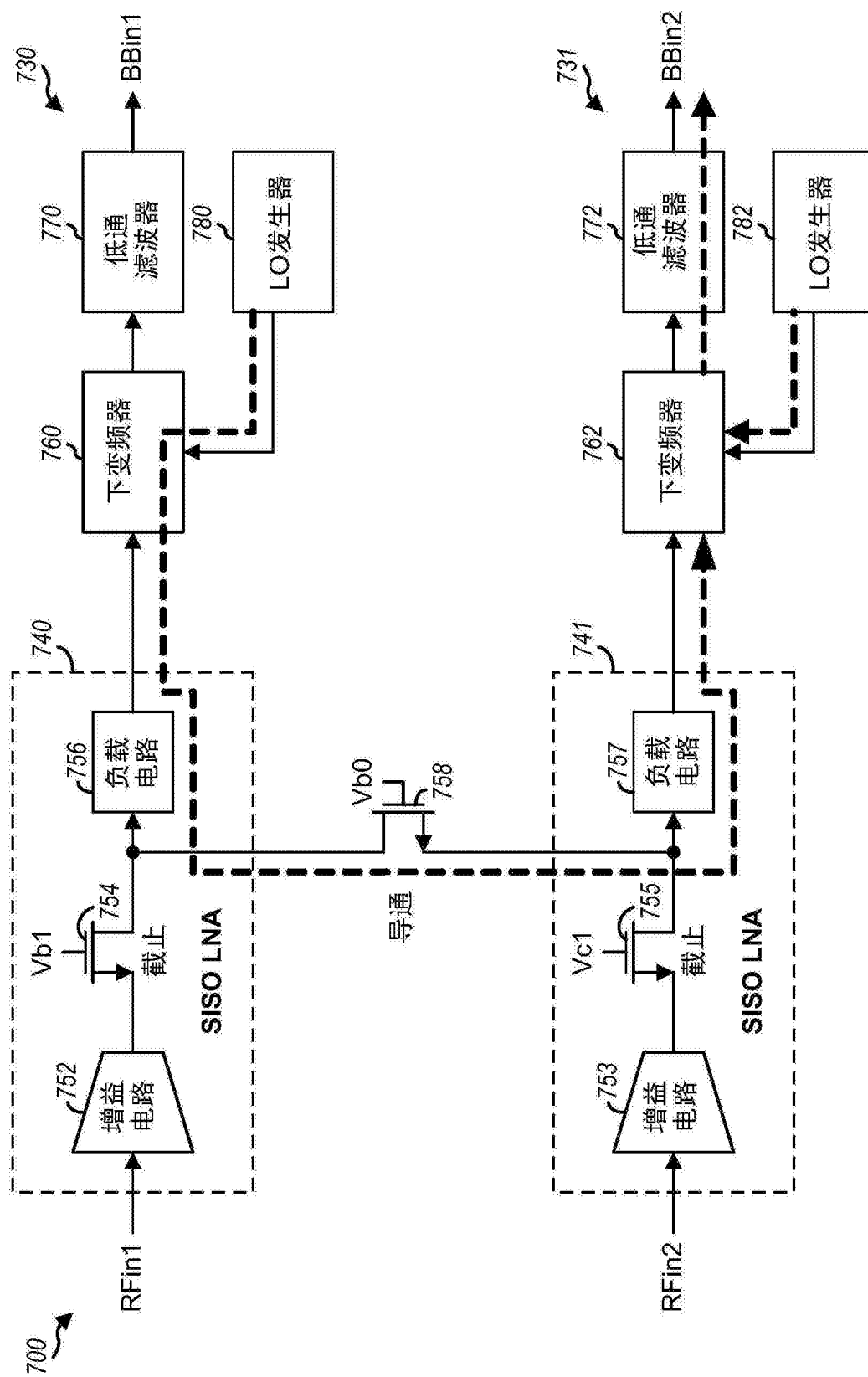


图7A

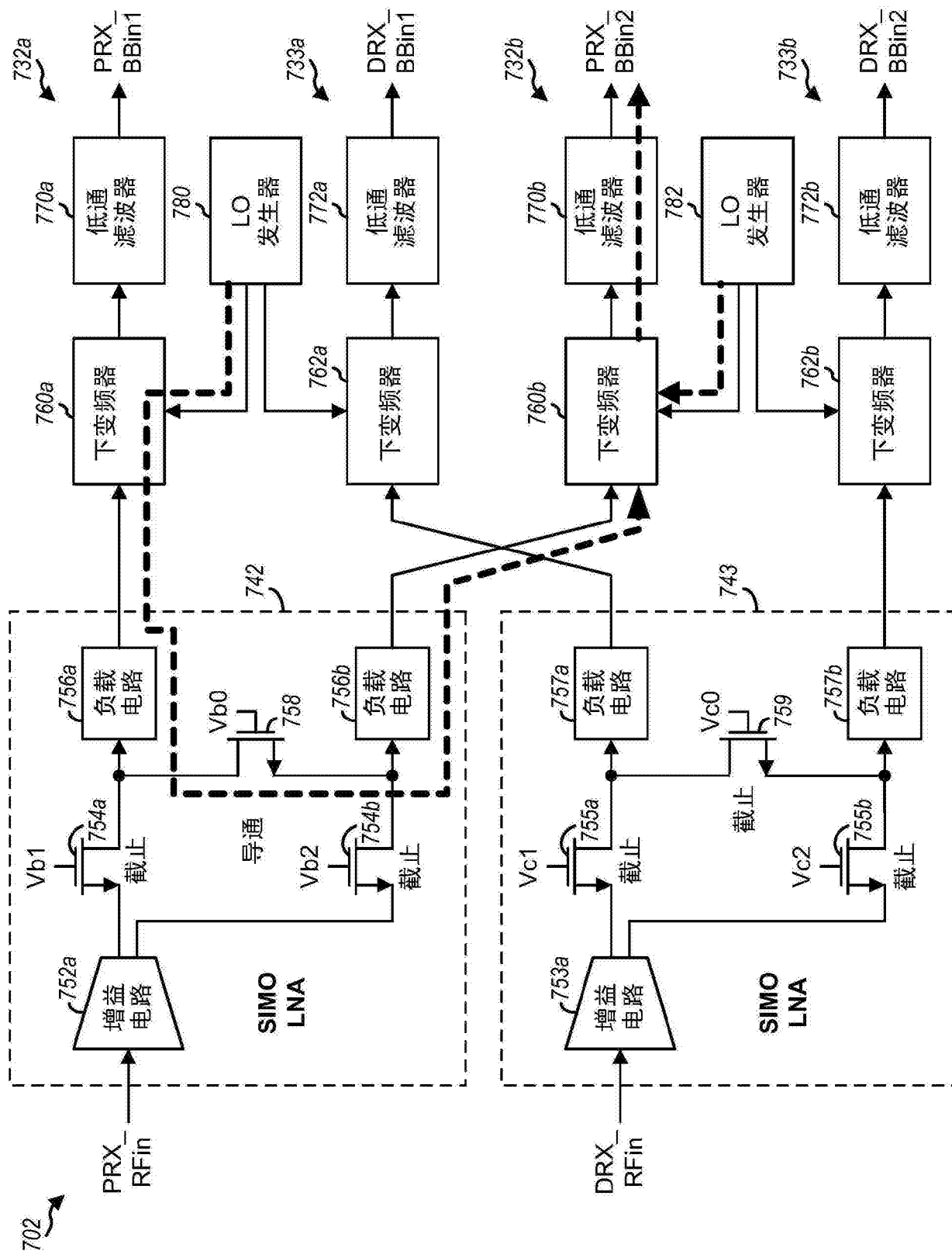


图7B

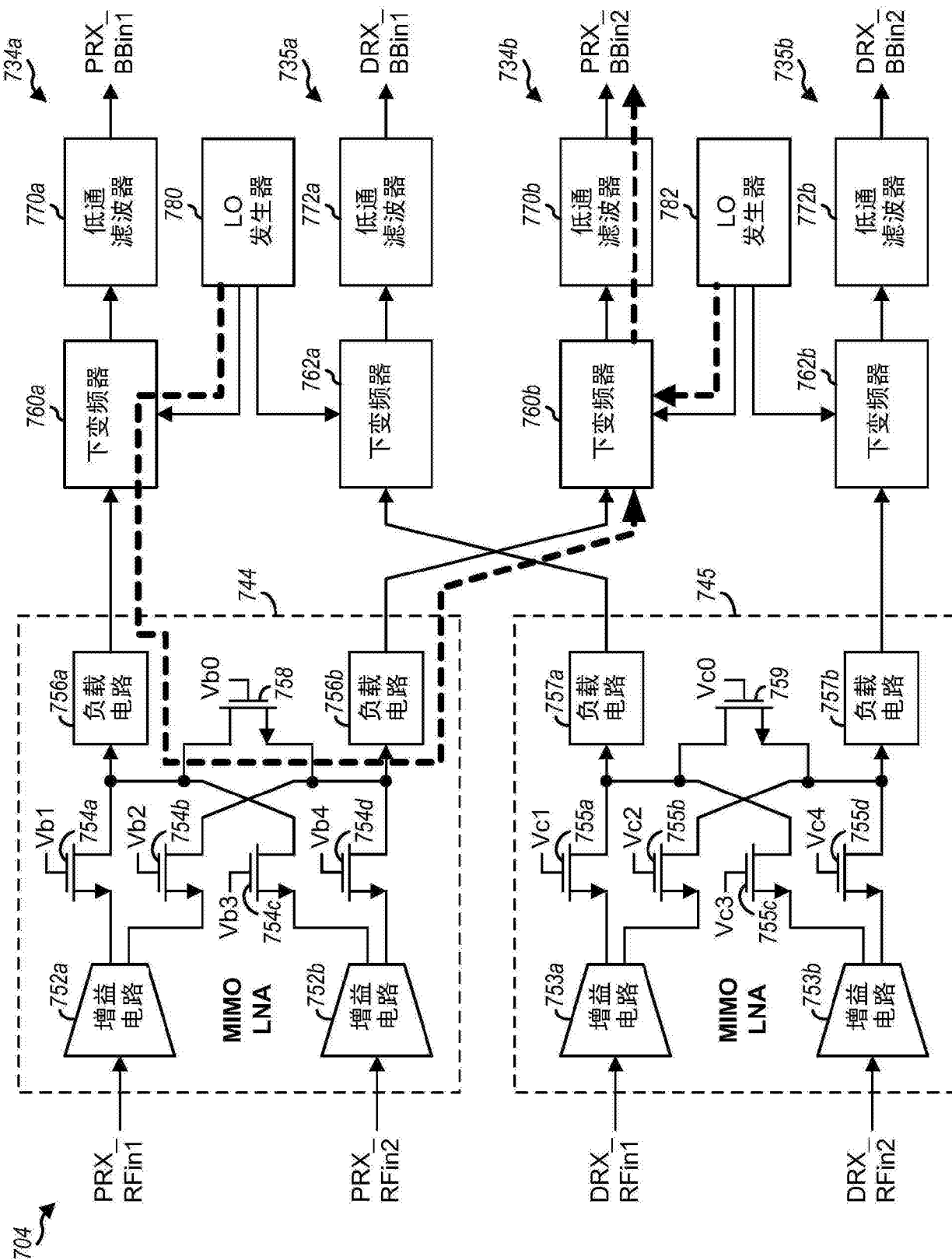


图7C

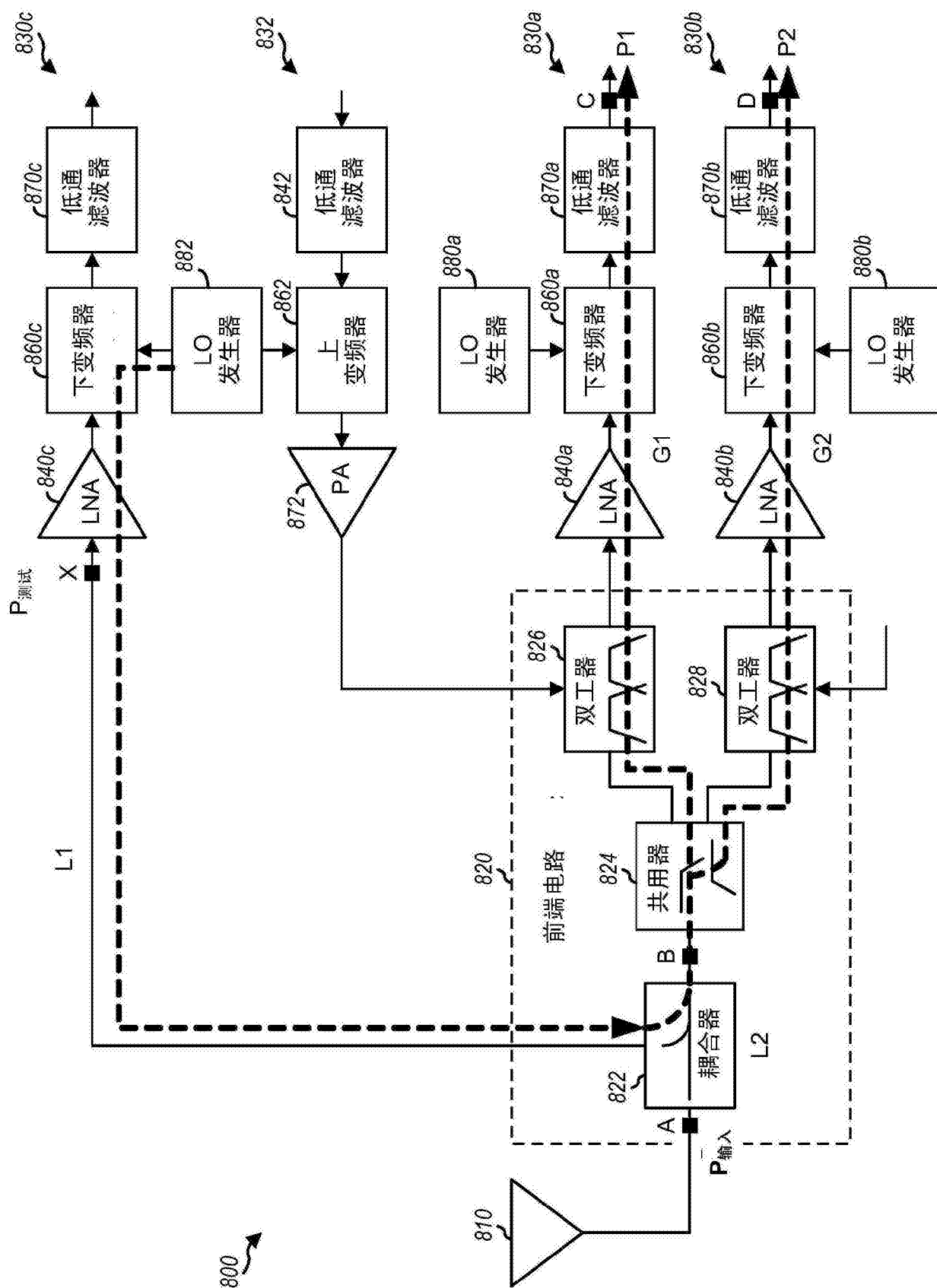


图8

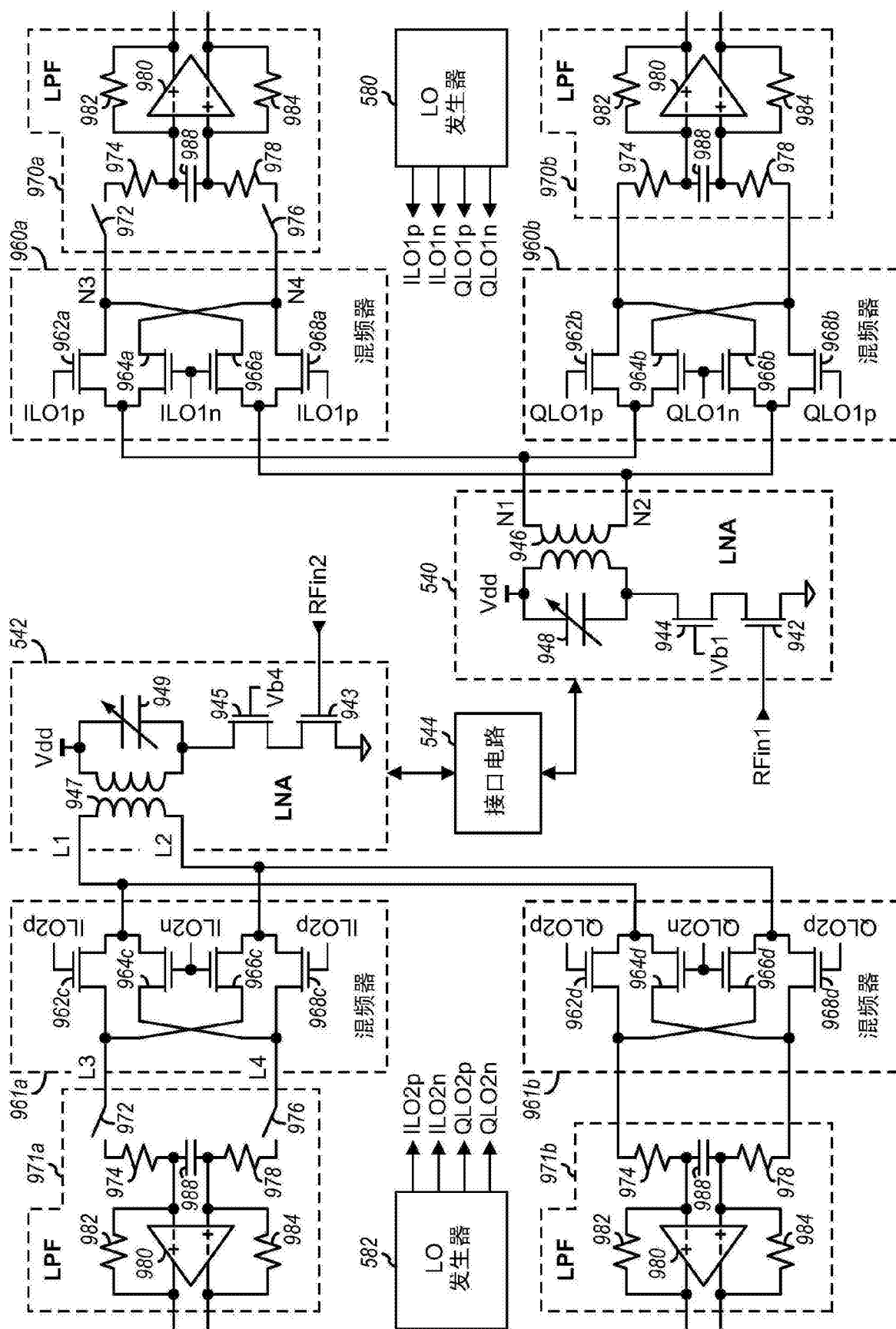


图9

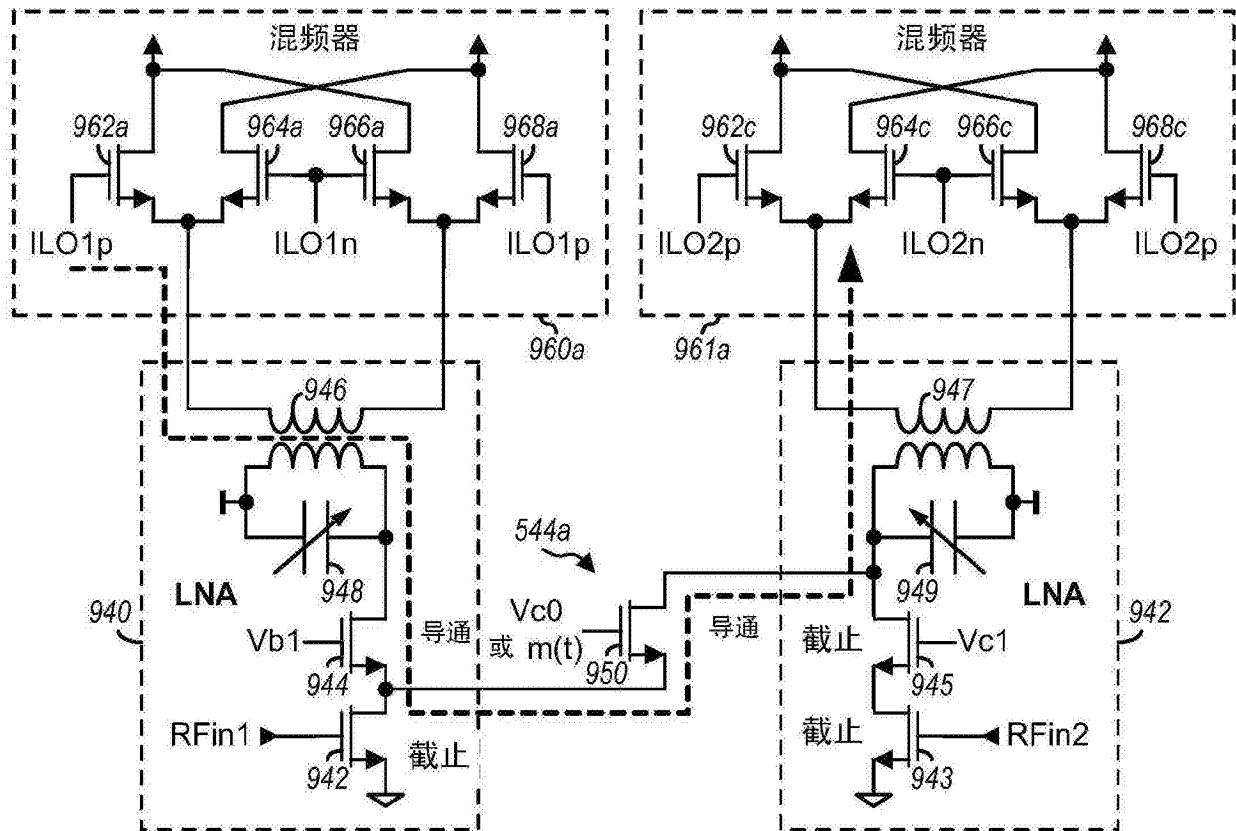


图10A

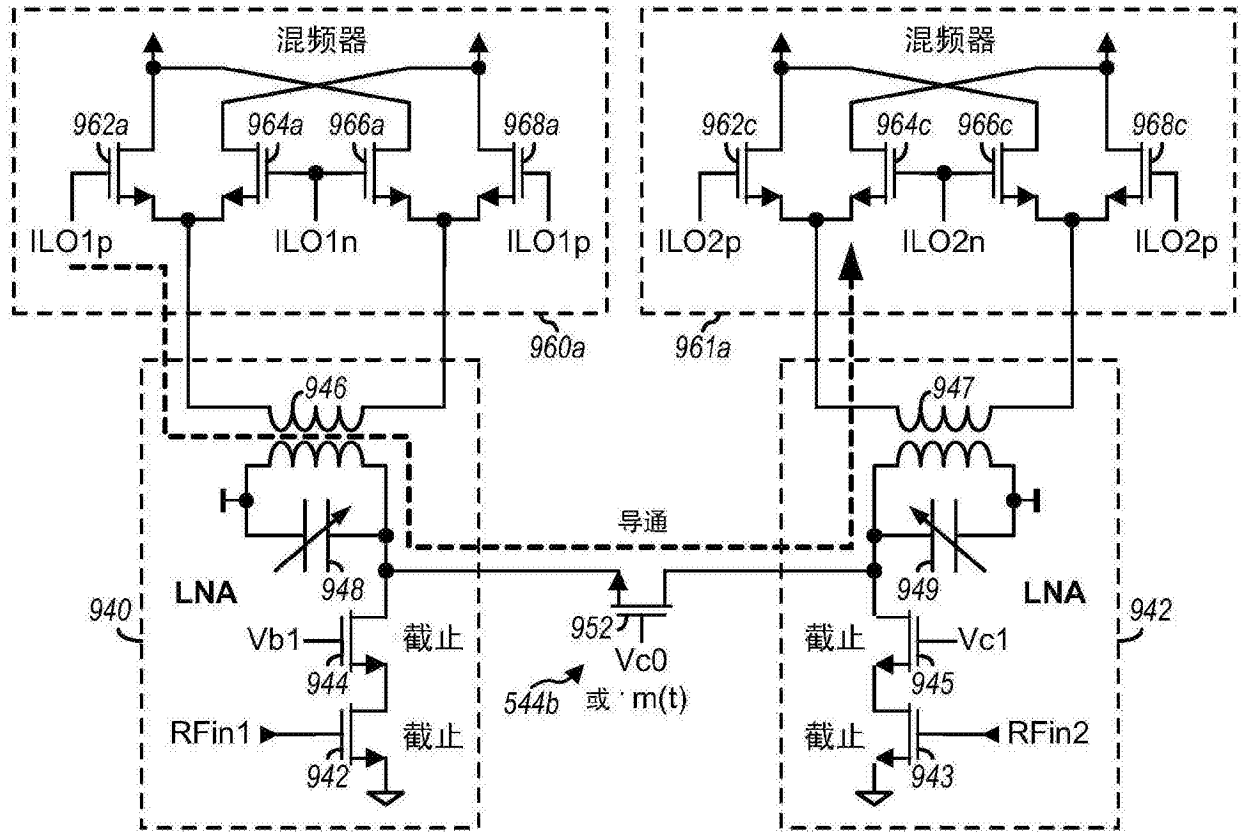


图10B

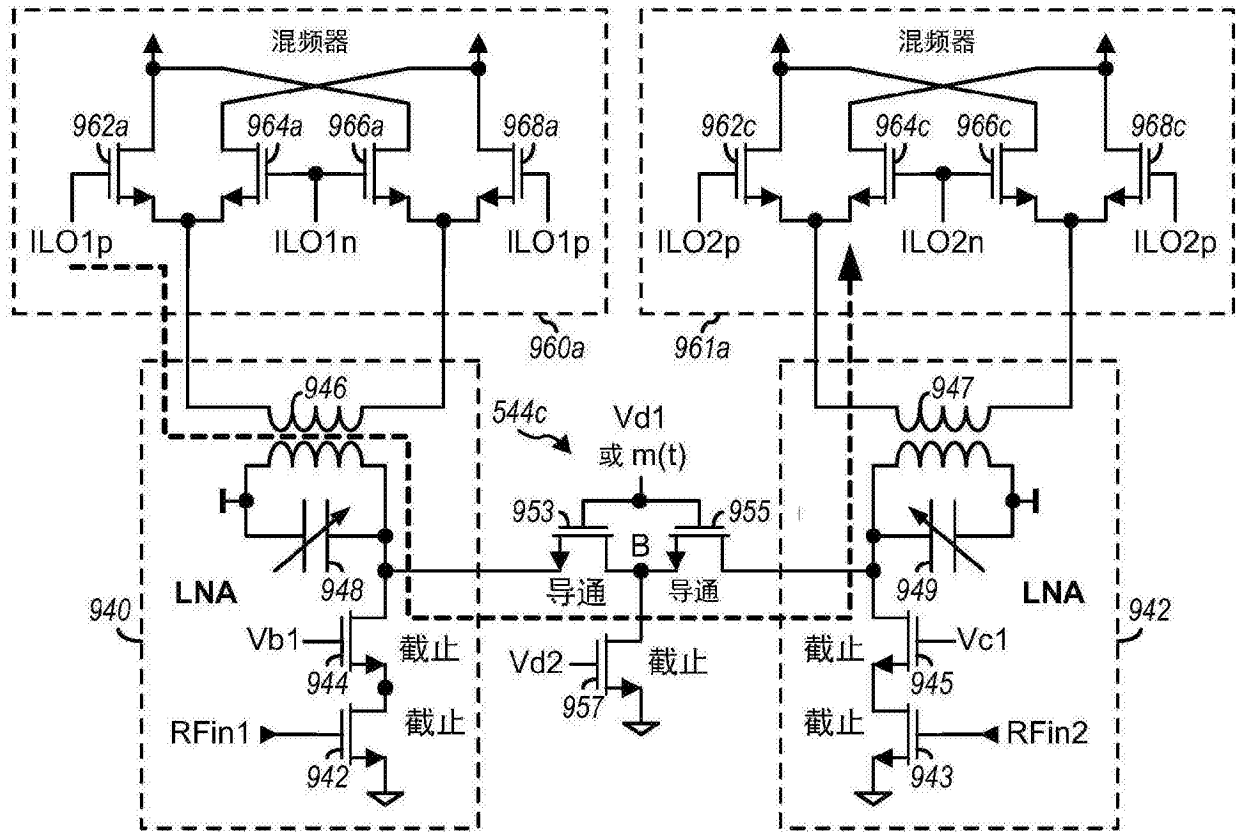


图10C

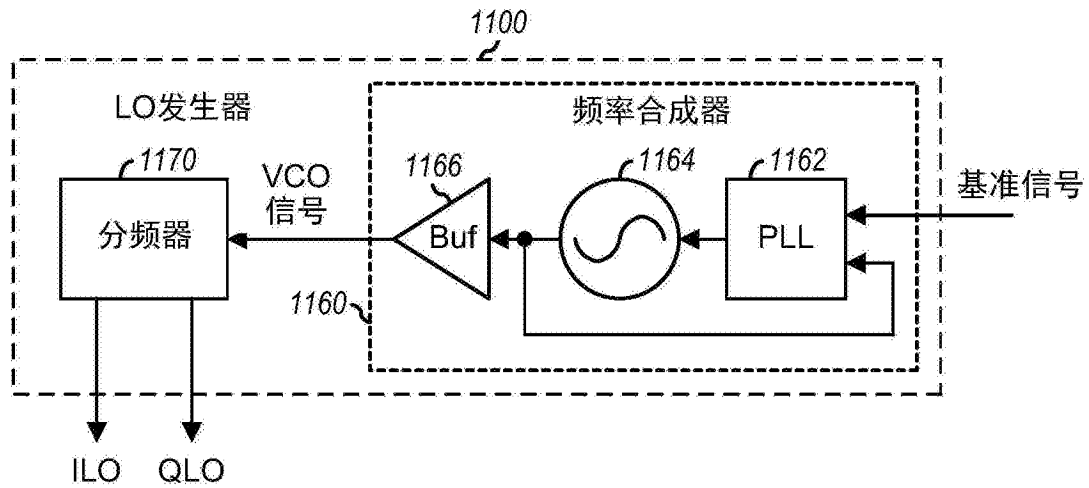


图11

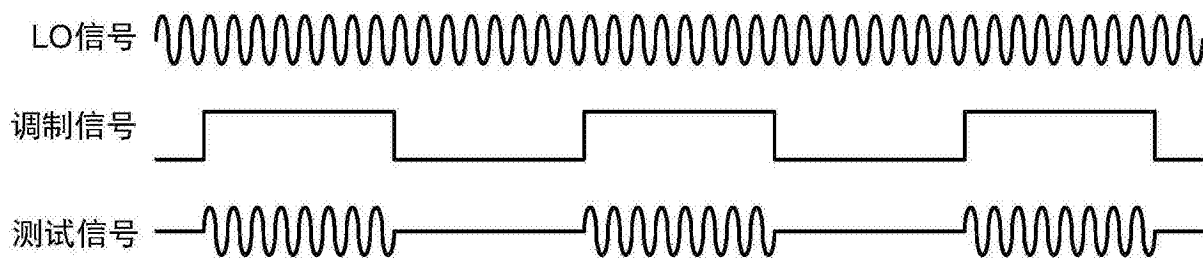


图12

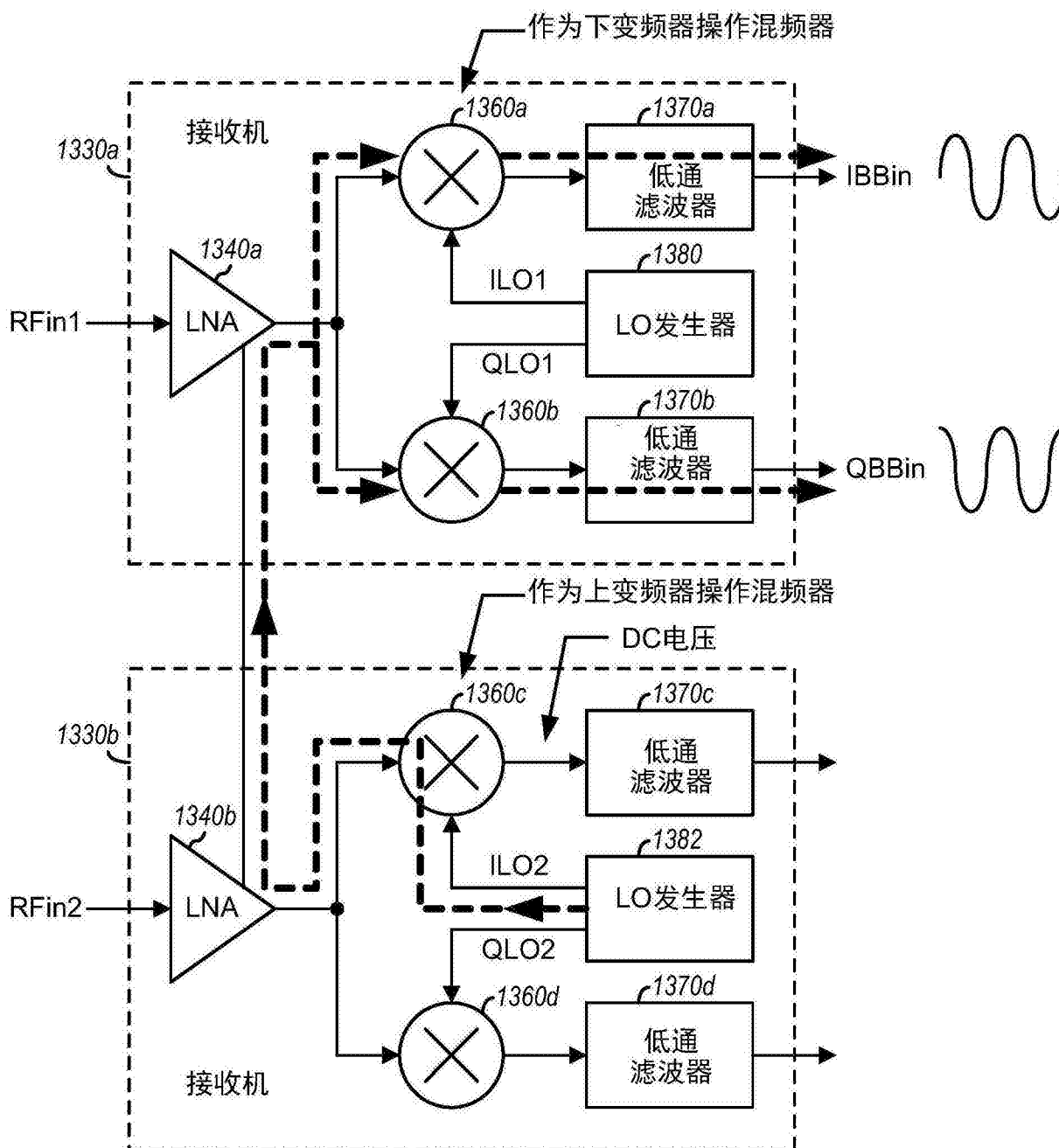


图13

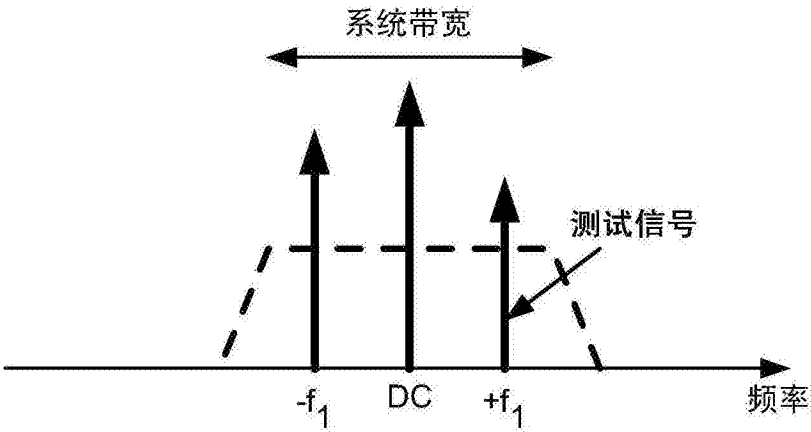


图14A

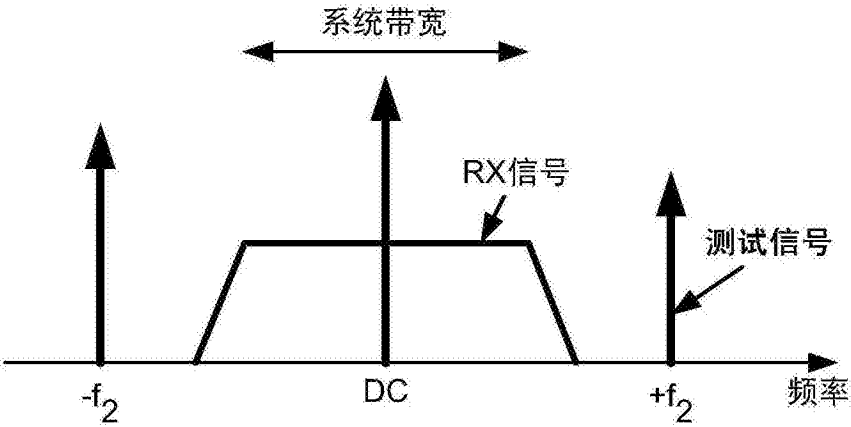


图14B

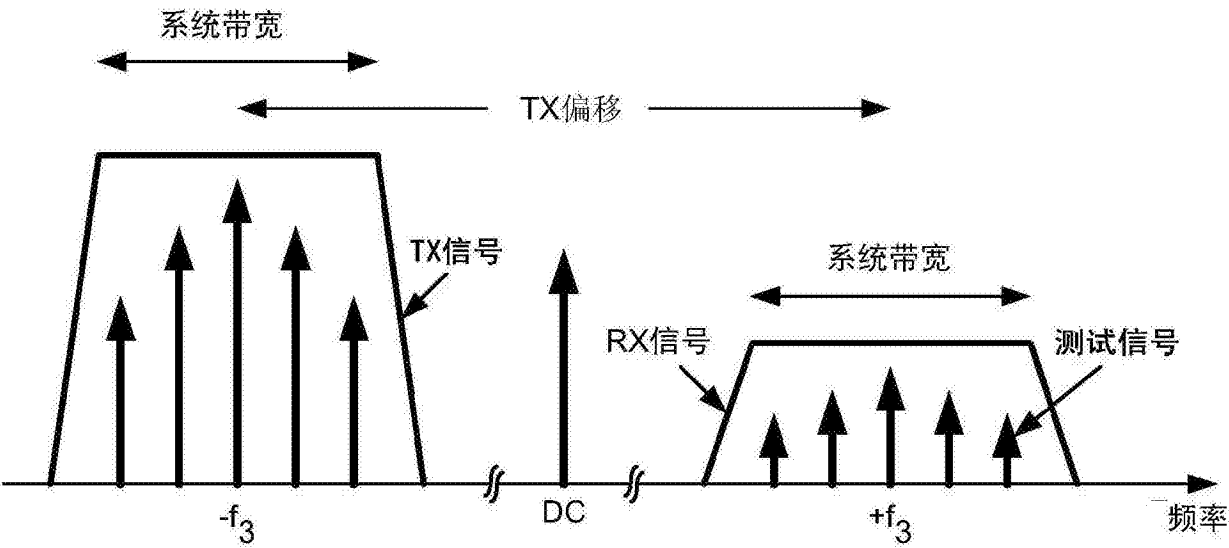


图14C

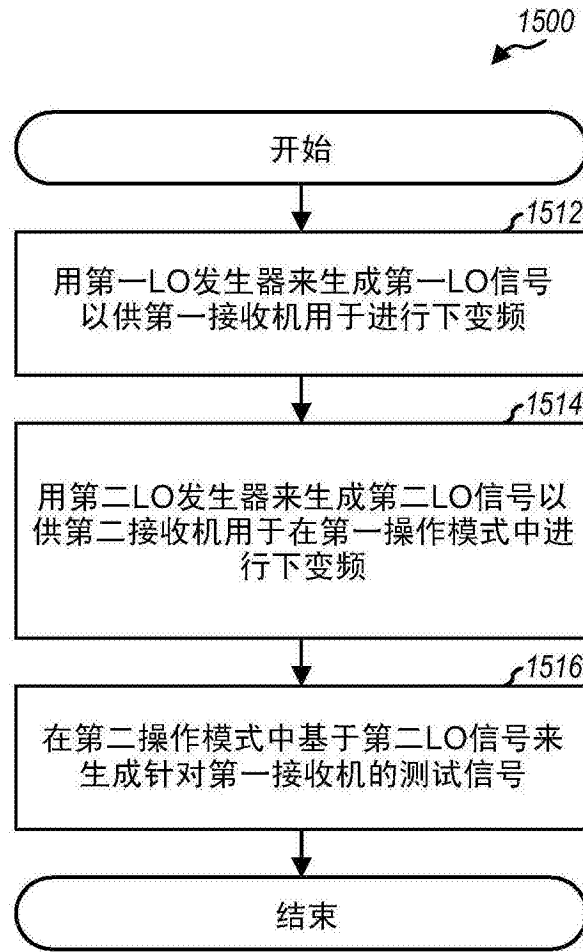


图15

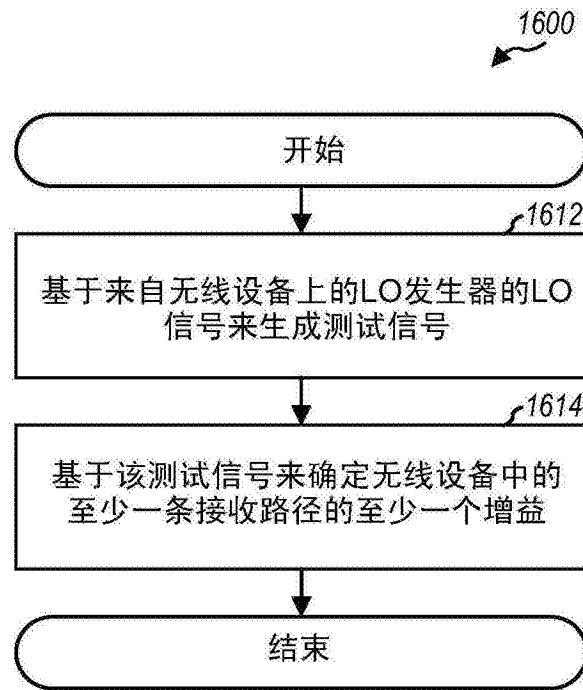


图16

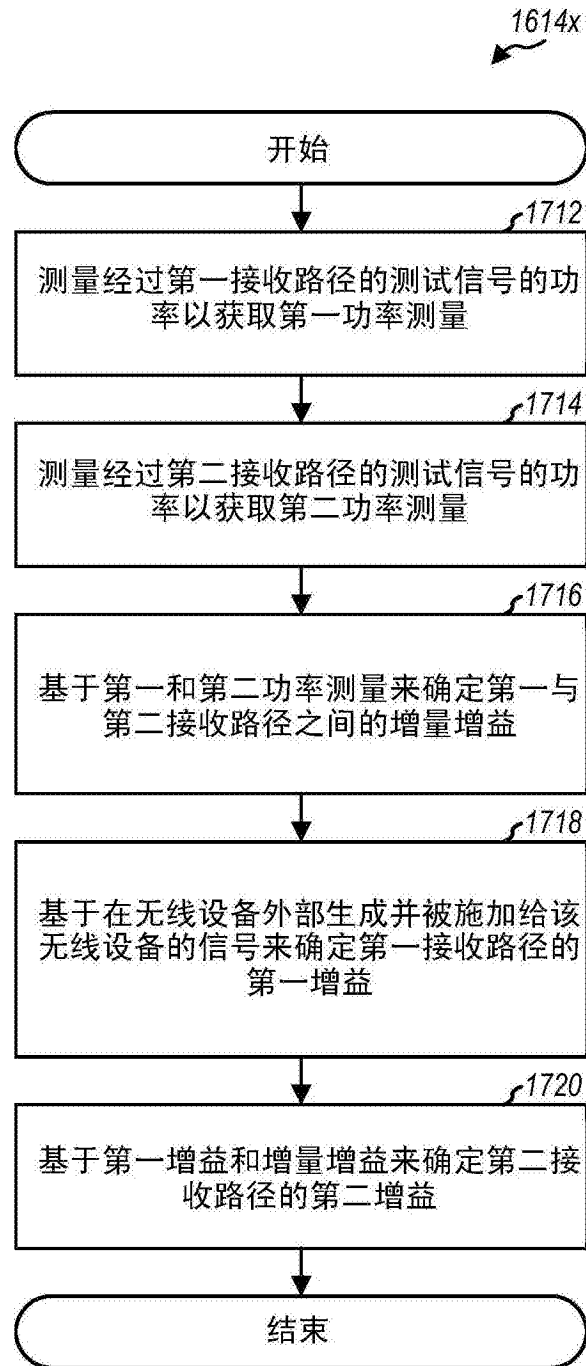


图17