(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113424366 B
(45)授权公告日 2025.01.03

(21)申请号 201980091783.X
(22)申请日 2019.02.12
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113424366 A
(43)申请公布日 2021.09.21
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.08.11
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2019/017728 2019.02.12
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/167300 EN 2020.08.20
(73)专利权人 诺基亚通信公司
地址 芬兰埃斯波
(72)发明人 S·沙拉米安 R·穆鲁格斯
(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
专利代理师 马明月
(51)Int.Cl.
H01Q 3/26(2006.01)
(56)对比文件
US 2011279147 A1,2011.11.17
审查员 高晓萍

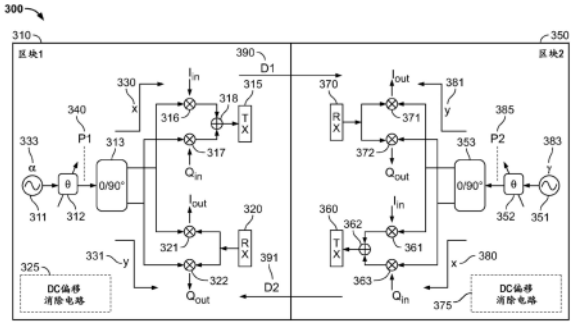
权利要求书4页 说明书10页 附图9页

(54)发明名称

用于大规模相控阵系统中的信号自对准的方法和系统

(57)摘要

提供了一种用于在具有多个区块的相控阵系统中对准信号的方法和系统。通过使用内部生成的本地振荡器信号和相控阵系统的相邻区块中的发射天线元件与接收天线元件之间的现有耦合路径,实现区块到区块的信号对准。在相邻区块之间的两个方向上测量本地振荡器信号的相对相位以确定相位差,该相位差随后可以被用于相邻区块之间的信号对准。然后,可以在随后的相邻区块对上重复自对准过程,从而提供完全对准和相位平衡的相控阵系统。因为不需要任何尚未驻留在区块上的外部信号或组件,所以可以在系统启动时执行自对准,例如,在系统在实时网络中投入运行之前对准多区块相控阵。



CN 113424366 B

1.一种用于在相控阵天线系统中对准信号的方法,所述相控阵天线系统包括多个区块,其中来自所述多个区块的每个区块包括射频信号的至少一个发射器和至少一个接收器,所述方法包括:

在所述多个区块中的第一区块处生成第一本地振荡器信号,并且在所述多个区块中的第二区块处生成第二本地振荡器信号;

经由对应于所述第一区块的第一发射天线,向对应于所述第二区块的第一接收天线发射所述第一本地振荡器信号;

经由对应于所述第二区块的第二发射天线,向对应于所述第一区块的第二接收天线发射所述第二本地振荡器信号;

测量在所述第二区块处的所述第一本地振荡器信号的相位和在所述第一区块处的所述第二本地振荡器信号的相位,其中所述测量包括:

扫描来自所述第一区块的所述第一本地振荡器信号的所述相位以在所述第二区块生成第一多个相位测量,其中对所述第一多个相位测量进行线性近似来形成第一相位线性标绘线;

扫描来自所述第二区块的所述第二本地振荡器信号的所述相位以在所述第一区块处生成第二多个相位测量,其中对所述第二多个相位测量进行线性近似来形成第二相位线性标绘线;以及基于所述第一相位线性标绘线和所述第二相位线性标绘线,来确定相位差,

其中所述第一区块与所述第二区块相邻,其中所述第一发射天线被电耦合到所述第一接收天线,并且其中所述第二发射天线被电耦合到所述第二接收天线。

2.根据权利要求1所述的方法,还包括:

将在所述第二区块的所述第一本地振荡器信号和在所述第一区块的所述第二本地振荡器信号中的一者的相位调整与所述相位差相对应的量。

3.根据权利要求1所述的方法,其中所述相位差的确定在对应于所述相控阵天线系统的系统启动的时间处被执行。

4.根据权利要求1所述的方法,其中扫描所述第一本地振荡器信号的所述相位并且扫描所述第二本地振荡器信号的相位包括从0到360度对相位进行扫描。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其中所述第一本地振荡器信号在所述第一区块被内部地生成,并且所述第二本地振荡器信号在所述第二区块被内部地生成。

6.根据权利要求5所述的方法,还包括:

将所述第一本地振荡器信号与具有恒定的DC电压值的第一信号混频以生成第一本地振荡器感应的DC偏移信号;以及

将所述第二本地振荡器信号与具有恒定的DC电压值的第二信号混频以生成第二本地振荡器感应的DC偏移信号。

7.根据权利要求6所述的方法,其中测量在所述第二区块处的所述第一本地振荡器信号的相位和测量在所述第一区块处的所述第二本地振荡器信号的相位使用与DC偏移消除功能相关联的数字化项而被执行。

8.一种用于在相控阵天线系统中对准信号的系统,所述相控阵天线系统至少包括第一区块和与所述第一区块相邻定位的第二区块,其中所述第一区块和所述第二区块均包括射频信号的至少一个发射器和至少一个接收器,所述系统包括:

第一本地振荡器电路,被配置为在所述第一区块处生成第一本地振荡器信号;

第二本地振荡器电路,被配置为在所述第二区块处生成第二本地振荡器信号;

第一发射天线,对应于所述第一区块,被配置为向对应于所述第二区块的第一接收天线发送所述第一本地振荡器信号,所述第一发射天线被电耦合到所述第一接收天线;

第二发射天线,对应于所述第二区块,被配置为向对应于所述第一区块的第二接收天线发送所述第二本地振荡器信号,所述第二发射天线被电耦合到所述第二接收天线;

第一基带电路,对应于所述第一区块,被配置为测量所述第二本地振荡器信号的相位;

第二基带电路,对应于所述第二区块,被配置为测量所述第一本地振荡器信号的相位;以及

第一移相器,被耦合到所述第一本地振荡器电路,并且所述第一移相器被配置为扫描来自所述第一区块的所述第一本地振荡器信号的所述相位以在所述第二区块生成第一多个相位测量,其中对所述第一多个相位测量进行线性近似来形成第一相位线性标绘线;

第二移相器,被耦合到所述第二本地振荡器电路并且被配置为扫描来自所述第二区块的所述第二本地振荡器信号的相位,以在所述第一区块处生成第二多个相位测量,其中对所述第二多个相位测量进行线性近似来形成第二相位线性标绘线;以及

处理器,所述处理器被配置为基于所述第一相位线性标绘线和所述第二相位线性标绘线来计算相位差。

9.根据权利要求8所述的系统,其中所述处理器还被配置为与所述第一本地振荡器电路和所述第二本地振荡器电路通信,以实现将所述第一本地振荡器信号和所述第二本地振荡器信号中的一者的相位调整与所述相位差相对应的量。

10.根据权利要求8所述的系统,其中所述处理器被配置为在对应于在所述相控阵天线系统的系统启动的时间处计算所述相位差。

11.根据权利要求8至10中任一项所述的系统,其中所述第一本地振荡器信号在所述第一区块内被内部地生成,并且所述第二本地振荡器信号在所述第二区块内被内部地生成,并且其中:

所述第一基带电路还包括第一开关,所述第一开关用于选择性地生成所述第一本地振荡器信号;并且

所述第二基带电路还包括第二开关,所述第二开关用于选择性地生成所述第二本地振荡器信号。

12.根据权利要求11所述的系统,其中:

所述第一基带电路还包括第一混频器,所述第一混频器被配置为将所述第一本地振荡器信号与具有恒定的DC电压值的第一信号混频以生成第一本地振荡器感应的DC偏移信号;并且

所述第二基带电路还包括第二混频器,所述第二混频器被配置为将所述第二本地振荡器信号与具有恒定的DC电压值的第二信号混频以生成第二本地振荡器感应的DC偏移信号。

13.根据权利要求12所述的系统,其中:

所述第一基带电路还包括第一DC偏移消除电路,所述第一DC偏移消除电路被配置为测量所述第二本地振荡器信号的相位;并且

所述第二基带电路还包括第二DC偏移消除电路,所述第二DC偏移消除电路被配置为测

量所述第一本地振荡器信号的相位。

14.一种用于在相控阵天线配置中执行对准的系统,其中所述相控阵天线系统至少包括第一区块和与所述第一区块相邻定位的第二区块,其中所述第一区块和所述第二区块均包括射频信号的至少一个发射器和至少一个接收器,所述系统包括处理器,所述处理器用于执行被存储在存储器中的计算机程序指令,当所述计算机程序指令由所述处理器执行时使所述系统执行包括以下的操作:

针对与所述第一区块中的第一发射器相关联的至少一个基带信号输入而设置第一值以及针对与所述第二区块中的第二发射器相关联的至少一个系带信号输入二设置第二值,所述第一值和所述第二值是恒定的DC电压值;

将与所述第一发射器相关联的所述至少一个基带信号输入与第一本地振荡器信号混频,以生成第一本地振荡器感应的DC偏移信号,以用于由所述第一发射器进行的上变频和向所述第二区块的发送;

将与所述第二发射器相关联的所述至少一个基带信号输入与第二本地振荡器信号混频,以生成第二本地振荡器感应的DC偏移信号,以用于由所述第二发射器进行的上变频和向所述第一区块的发送;

对从所述第一发射器发送的第一信号进行下变频,以在所述第二区块的基带块中生成一个或多个DC电压值;

对从所述第二发射器发送的第一信号进行下变频,以在所述第一区块的基带块中生成另外的一个或多个DC电压值;

扫描来自所述第一区块的所述第一本地振荡器信号的相位以在所述第二区块生成第一多个相位测量,其中对所述第一多个相位测量进行线性近似来形成第一相位线性标绘线;

扫描来自所述第二区块的所述第二本地振荡器信号的相位以在所述第一区块生成第二多个相位测量,其中对所第二多个相位测量进行线性近似来形成第二相位线性标绘线;

基于所述第一相位线性标绘线和所述第二相位线性标绘线,计算相位差;以及

根据与一个或多个基带信号输出相关联的所述一个或多个DC电压值,来计算所述第一本地振荡器信号的相位,所述一个或多个基带信号输出在所述第二区块处从DC偏移消除功能被得出。

15.根据权利要求14所述的系统,其中所述操作还包括:

针对与所述第二区块中的第二发射器相关联的至少一个基带信号输入而设置值,与所述第二区块中的第二发送器相关联的所述至少一个基带信号输入的所述值是恒定的DC电压值;

将与所述第二发射器相关联的至少一个基带信号输入与第二本地振荡器信号混频,以生成第二本地振荡器感应的DC偏移信号,以用于由所述第二发射器进行的上变频和向所述第二区块的发送;

对从所述第二发射器发送的所述第一本地振荡器引起的DC偏移信号进行下变频,以在所述第一区块的基带块中生成一个或多个DC电压值;以及

根据与一个或多个基带信号输出相关联的所述一个或多个DC电压值,来计算所述第二本地振荡器引起的DC偏移信号的相位,所述一个或多个基带信号输出在所述第一区块处从

DC偏移消除功能被得出。

用于大规模相控阵系统中的信号自对准的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及相控阵,并且更具体地涉及用于大规模相控阵系统的自对准的方法和系统。

背景技术

[0002] 下一代移动技术,例如第五代(5G),需要超低延时和高数据速率,通过使用小小区而支持多个用户的无处不在的部署。例如,微微小区通常可能需要多达数百个能够产生数千个波束图案的有源元件。这样,高度集成的相控阵系统是用于下一代通信应用的基本构建块。

[0003] 在制造大规模相控阵时,通常优选地避免将系统的所有元件集成在单个芯片上,因为芯片大小会变得太大并且产量会降低。因此,将系统元件分布在各种芯片上并不少见。然而,在多个芯片上分布可能有其自身的挑战和复杂性,诸如确保各种系统元件的对准以确保正确的响应和信号完整性。在分布式布置中,“区块”(例如,单元)通常按行和列来安排,其中一个区块被电耦合到相邻区块,例如前一个区块和下一个区块。虽然一个区块内的元件彼此对准,但两个相邻区块之间的元件不一定对准,因此需要额外的对准过程来保持信号完整性。在大规模相控阵中,为了波束成形的目的,将信号分布到所有区块需要相位平衡,这可能非常复杂,尤其是在分布高频信号时,例如,在印刷电路板(PCB)上使用16区块或更多区块的阵列的90GHz毫米波(mm-wave)信号。

发明内容

[0004] 根据各种实施例,提供了一种用于在具有多个区块的相控阵系统中对准信号的方法和系统。通过使用内部生成的本地振荡器信号和相控阵系统的相邻区块中的发射和接收天线元件之间的现有的耦合路径,有利地实现了区块到区块信号对准。例如,利用现有的天线耦合路径来测量本地振荡器(LO)信号在相邻区块之间两个方向上的相对相位,以确定随后可以被用于相邻区块之间的信号对准的相位差。然后,可以在随后的相邻区块对上重复自对准过程,从而提供完全对准和相位平衡的相控阵系统。因为不需要任何尚未驻留在区块上的外部信号或组件,所以可以作为系统启动的一部分来执行自对准,例如,以在系统在实时网络中投入运行之前对准多区块相控阵。

[0005] 根据实施例,第一LO信号从第一区块中的发射器被发送到相邻第二区块中的接收器,其中第一LO信号的相位被测量。以类似的方式,第二LO信号从第二区块中的发射器以相反方向被发送,并且第二LO信号的相位在第一区块中的接收器处被测量。如果测量值指示相位差,则可以采取行动来修正该相位差,例如,通过将LO信号中的一者的相位改变等于相位差的量,从而获得相控阵中的相邻区块之间的信号对准。根据实施例,扫描相应的本地振荡器信号的相位以获得多个测量。根据实施例,相应的本地振荡器信号与恒定的DC电压值混合以生成本地振荡器感应的DC偏移信号,以使在基带级别可以用DC偏移消除电路系统来测量本地振荡器信号的相位。

[0006] 根据实施例,一种用于执行区块到区块对准的方法包括将发射器处的基带信号输入中的至少一个设置为恒定值(例如,恒定的DC电压值)。内部生成的LO信号通过将LO感应的DC偏移应用到第一区块的发射混频器以进行上变频而从第一区块被生成。上变频的信号在相邻的第二区块处被接收并进行下变频。当在第二区块接收到来自第一区块的LO信号时,LO信号在第二区块中的基带模块处下变频成DC值。然后,使用第二区块中现有的DC偏移消除电路来测量DC值,并计算针对接收到的基带信号的值。在实施例中,然后以相反方向重复该过程,即传输从第二区块到第一区块,并且检测到的DC项被用来测量相对相位并计算相位差以促进用于区块对区块对准的相位校正。

[0007] 所描述实施例的自对准方面可以特别有益于大规模系统,诸如预期在下一代5G网络中使用的那些系统。

附图说明

[0008] 图1示出了相控阵系统配置的框图;

[0009] 图2A和图2B示出了根据各种实施例的多区块配置中的本地振荡器信号的相位关系的图形表示;

[0010] 图3示出了根据说明性实施例的相控阵系统中的区块到区块耦合配置的框图;

[0011] 图4示出了根据说明性实施例的区块到区块相位对准方法的流程图;

[0012] 图5示出了根据说明性实施例的相控阵系统中的区块到区块耦合配置的框图;

[0013] 图6示出了根据图5实施例的模拟基带模块中的元件的说明性配置的框图;

[0014] 图7示出了根据图6实施例的说明性偏移消除模块的示意图;和

[0015] 图8示出了根据实施例的区块到区块相位测量的图形表示。

具体实施方式

[0016] 在本文中,术语“区块”应被理解为是指在相控阵天线系统的分布式布置中形成部件的元件,其中个体区块包括一个或多个发射器和一个或多个射频信号接收器(RF)。

[0017] 现在将参考附图更全面地描述各种说明性实施例,在附图中示出了一些说明性实施例。然而,应当理解,并非意图将说明性实施例限制于所公开的特定形式,而是相反,说明性实施例旨在覆盖落入权利要求范围内的所有修改、等同物和替代物。在适当的情况下,贯穿附图的描述,相同的数字指代相同的元件。应当理解,尽管术语第一、第二等在本文中可以被用来描述各种元件,但是这些元件不应受这些术语的限制。这些术语仅被用来区分一个元件与另一个元件。例如,在不脱离说明性实施例的范围的情况下,第一元件可以被称为第二元件,并且类似地,第二元件可以被称为第一元件。如本文中所使用的,术语“和/或”包括一个或多个相关联的所列项的任何和所有组合。如本文中所使用的,术语5G意在指由国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R)规定的下一代(即,第五代)移动网络,这是本领域普通技术人员众所周知的。

[0018] 如上所述,大规模相控阵可以被布置在包括多个单元或区块(以下称为区块)的分布式架构中,其中每个区块包括各种系统元件。图1示出了示例性相控阵系统配置100中的两个(2)相邻区块110和150的简化框图。在此示例中,区块110包括16TX/8RX配置,即16个发射器模块115和8个接收器模块120。类似地,区块150具有16TX/8RX配置,有16个发射器模块

160和8个接收器模块170。在根据实施例的相控阵系统的一个示例中,均具有与区块110和150类似的配置的十六个(16)区块可以被组合到印刷电路板(PCB)上,以创建384个元件的相控阵系统,例如,具有256个发射器模块和128个接收器模块的256TX/128RX配置。应该注意的是,图1中的配置仅仅是说明性的,而不以任何方式进行限制。例如,本文描述的实施例可以被应用到各种nTX/mRX区块配置,其中n和m是整数,例如8TX/16RX或任何数的其他组合,其可以是设计选择、网络要求和/或其他考虑的问题。因此,大规模相控阵可以在区块数量和相应区块上的子阵列密度方面采取各种形式(例如,TX/RX配置等)。

[0019] 继续图1中所示的示例,区块110和150被按行和列被组织,并且彼此电耦合并且电耦合到其他相应的相邻区块,例如,每个区块至少被耦合到前一个和下一个区块。虽然单个区块内的元件(例如,发射器模块115和接收器模块120在区块110内的组件)可以彼此电对准以确保信号完整性,但两个相邻区块之间的元件不一定要对准,因此需要额外的对准过程以保持信号完整性。即,分布在区块110和区块150之间的信号不一定是相位平衡的。对于大规模相控阵,希望将信号分布到相控阵中的所有区块是相位平衡的以进行有效的波束形成,这可能非常复杂,尤其是在分布高频信号时,例如5G通信网络中的毫米波信号。例如,考虑类似于图1的情况,其中区块110中的发射器模块115被耦合到区块150中的接收器模块170(并且区块150中的发射器模块160被耦合到区块110中的接收器模块120)。区块110和150中的每一个包括相应的本地振荡器(LO)和相应的混频器,未在图中示出。在操作中,区块110中的LO相位可能与相邻区块150中的LO相位不同,因此导致两个块之间的LO未对准。相控阵系统中的区块之间的对准会对波束形成产生负面影响。例如,如果没有区块到区块对准,则每一个区块之间的相对相位是随机的,因此会导致随机波束图案。

[0020] 一种可能的对准方法是利用接收器来检测/监视所发送信号的强度,同时在发射器处连续改变相位直到在接收器处检测到信号强度的最佳值,最佳值指示达到对准。然而,当阵列中的大量天线需要对准时,这种方法可能不切实际。此外,此解决方案可能是资源的低效使用,因为它通常需要外部元件(例如,远程接收器)来执行对准。

[0021] 根据本文描述的各种实施例,通过利用自对准技术来实现区块到区块对准,自对准计数不需要外部组件来执行对准,而是利用在相邻区块上天线的紧密接近和耦合路径并且利用区块内现有的电路系统和功能性。选择在相应的相邻区块对上的各个天线的位置,以使相邻的发射和接收天线元件之间的双向耦合路径能够在多区块、大规模相控阵系统中实现区块到区块对准。更具体地,利用相邻区块之间现有的耦合路径的天线选择,以测量邻近区块之间的本地振荡器(LO)信号的相对相位。一旦相位在两个相邻区块之间对准,随后就可以对剩余的相邻区块对重复该过程,直到所有区块都对准为止。值得注意的是,可以在系统设置(例如,上电)期间执行自对准/自校准,而无需在基带生成具体的中频(IF)信号,因为只需要内部生成的LO信号即可方便测量。此外,只要系统没有关闭,相位对准就会保持。在系统关闭的情况下,可以再次执行自校准以对分布在相控阵系统中的区块上的信号进行对准和相位平衡。

[0022] 图2A示出了简化图形表示以说明与来自图1的两个相邻区块110和150之间的本地振荡器(LO)信号的相对相位的测量有关的基本原理。如下文将进一步详细描述的,第一LO信号从第一区块被发射到相邻区块,例如,从区块150中的发射器模块160到区块110中的接收器模块120,并且第一LO信号的相位在接收器模块120处被测量。以类似的方式,第二LO信

号从区块110中的发射器模块115被发射到区块150中的接收器模块170,即在与第一LO信号的传输方向相反的方向上,并且第二LO信号的相位在接收器模块170处被测量。如本领域技术人员将理解的,可以通过从0到360度对相应振荡器的相位进行扫描来获得多个相位测量并且得出相对相移。当第一和第二LO信号中的每一个的测量相位具有相同或基本相同的值时,实现了第一和第二LO信号的对准。如果测量值指示相位差,则可以采取行动将相位差减小到近似为零,例如,通过将LO信号之一的相位改变等于该相位差的量,从而获得相邻区块110和150之间的信号对准。

[0023] 如图2A中所示,标绘线201和标绘线210对应于在从区块150到110的方向上发送的第一LO信号的相位表示。更具体地,标绘线210表示通过从0到360度对第一LO的相位进行扫描所获得的实际相位测量,例如,通过对区块150中的第一LO的相位进行扫描而获得的多个相位测量。标绘线201表示对应于标绘线210中的实际相位测量的“最佳拟合”线。因为被接收相位和被发射相位之间的关系应该是线性的,所以可以进行“最佳拟合”线性近似以拟合所测量的相位。类似地,标绘线202和211对应于在从区块110到区块150的相反方向上发射的第二LO信号的相位表示。更具体地,标绘线211表示通过从0到360度对第二LO的相位进行扫描而获得的实际相位测量,并且标绘线202表示对应于标绘线211中的实际相位测量的“最佳拟合”线。扫描相应的振荡器的相位以获得多个测量并使用“最佳拟合”方法可以提供比使用单一测量更准确的相对相位估计。例如,点205和206分别表示对第一和第二LO信号的单一的相位测量。当将使用单个测量点(例如,点205和206)的结果与扫描相位以获得如图2A中所示的“最佳拟合”线201和202进行比较时,使用(例如,来自扫描的)多个测量的准确度是显而易见的。

[0024] 因此,在图2中得到的标绘线201、202、210和211示出了相应的LO信号从0到360度的简化相位表示。请注意,LO信号具有相同的频率,但被相移了。如下文将进一步详细描述的,从0度到360度对与发射器侧相应的本地振荡器相关联的移相器进行扫描,以促进接收器侧的相位测量。

[0025] 返回图2A,由标绘线201和202所示的相位表示关于彼此具有2Δφ的偏移,例如,偏移表示两个LO信号之间的相位差(Δφ)的值的两倍。因此,在测量并获得此偏移值时,可以获得相位差。然后,可以在区块之间的信号传输中应用与相位差Δφ等效的相移,例如,可以在来自区块之一的信号传输中应用与相位差+Δφ等效的相移,或者备选地,可以在来自其他区块的在相反方向上的信号传输中应用-Δφ的相反相移。通过这种相位匹配,从而实现了两个区块之间的信号对准。

[0026] 图2B示出了用于测量第一和第二LO信号的相位的另一个实施例。在此示例中,仅扫描第一LO的相位(例如,从0到360度),而第二LO的相位被保持不变。标绘线250表示对第一LO信号的相位测量(例如,从第一区块中的发射器T1到第二区块中的接收器R2)。更具体地,在每个扫描点处(沿着标绘线250),从第一区块发射第一LO信号,并且在第二区块中的接收器上测量结果相位。在前述扫描点的每一个处,从第二区块发射第二LO信号,并且由接收器在第一区块处记录结果相位。对第二LO信号进行的那些测量由标绘线251示出(例如,从第二区块中的发射器T2到第一区块中的接收器R1)。对于下一次和随后的测量,第一LO信号的相位被增加,并且对第一和第二LO信号中的每一个再次执行测量。因此,第一LO信号的相位被扫描并测量,而第二LO信号的相位仅在针对第一LO信号的每个对应扫描点被测量,

即第二LO信号的相位不被扫描而是保持不变。标绘线260和261分别表示来自标绘线250和251的相应的相位测量的“最佳拟合”线。使用这种方法,当在第二区块处测量的第一LO信号的相位等于在第一区块处测量的第二信号的相位时,实现了如图2B中如对准点270所示的对准。

[0027] 现在将更详细地描述用于实现自对准过程的各种实施例。图3示出了相控阵系统的区块到区块耦合配置300的一个说明性的实施例,其中区块310(区块1)与区块350(区块2)相邻。在此示例中,为了说明自对准程序而示出了两个相邻区块,尽管相邻区块310和350可以是包括多个区块的大规模相控阵系统的一部分,诸如前述作为一个非限制性示例的16区块相控阵配置。此外,配置300是简化框图,仅示出了典型区块中的组件的全组件子集。相控阵系统中的每个区块通常可以包括与该区块上所有天线子阵列(例如,16TX/8RX移相器阵列等)进一步集成的RF集成电路(RFIC)。在图3中,区块310和350被简化以刚好示出用于每个区块的一个发射器和接收器,以及仅相关联组件的子集,尽管将理解,区块的完整表示包括发射器和接收器的完全补充、相关联的组件、以及用于经由区块上的RFIC对各种信号进行路由的信号分布网络。例如,这种组件包括:天线子阵列、上变频器/下变频器(混频器、乘法器等)、模拟基带模块、锁相环(PLL)电路、用于性能监控的诊断电路等。区块内的信号分布网络促进了无源和有源信号分布,以向所有天线元件提供射频信号路径。

[0028] 再次参考图3,区块310包括发射器315和接收器320。为了描述简单,区块310被示为包括本地振荡器(LO)电路311,本地振荡器(LO)电路311与相移元件312和313一起工作,以将相移的LO信号提供给相应的同相/正交(I/Q)混频器电路以进行适当的用于发射的上变频和用于信号接收的下变频。更具体地,I/Q混频器316和317经由发射器315为信号发射提供上变频,而I/Q混频器321和322经由接收器320为信号接收提供下变频。还示出了区块310包括DC偏移消除电路模块325,这将在下面更详细地描述。区块350被示为包括与区块310中类似的元件以在区块350中执行相同功能,诸如:发射器360;接收器370;本地振荡器(LO)电路383;移相元件352和353;I/Q混频器361、363、371和372;DC偏移消除电路模块375。

[0029] 图3中还示出了各种参数,它们是在自对准过程期间在测量和计算相对相移和相位差的过程中应被考虑的。在不考虑延迟的情况下(“区块内”和“区块间”延迟都不考虑),区块之间的对准将是不可能的。这种延迟参数可以包括可调参数以及一些不可调参数。在一个说明性实施例中,如图3中所示,这些参数包括区块310和350之间的延迟(即,区块间延迟),箭头390表示从区块310到区块350的延迟D1,箭头391表示从区块350到区块310的延迟D2。虽然延迟D1和D2在所有场景中可以不是相同值,但是根据一个说明性实施例的自对准程序假设区块间延迟D1和D2在两个方向上都是相同的。

[0030] 如上所提及,区块310和350已经被简化为各自都示出单个发射器和单个接收器。然而,实际上,对于前述示例,区块310和350中的每一个具有多个发射器和多个接收器,例如,每一个有16个发射器和8个接收器。因此,每个区块将具有其相应的信号分布网络,以经由各种组件将信号路由到相应的多个发射器和接收器。例如,LO信号(例如,压控振荡器(VCO)信号)经过相移,与I/Q基带IF信号进行混频,然后被拆分(用于路由到发射器)或组合(在接收器中)到多条路径上以用于区块上元件之间相应的路由和分布。因此,每个区块上的信号分布网络将引入与该区块内的信号路由相关联的区块内延迟。在图3中,这些区块内延迟参数被示为x和y,它们也是像区块间延迟D一样的常数,例如不可调。更具体地,x表示

针对区块310和350中每个区块的相应发射路径中的延迟,而y表示区块310和350中每个区块的相应接收路径中的延迟。

[0031] 参数α和γ是与对LO信号的相移操作有关的可调参数,例如,扫描振荡器的相位以得到相位测量来确定相对相移,例如,分别使用区块310和350每个区块中的相移元件312和352。因此,参数α和γ也可以被考虑用于区块310和350中的LO信号之间的相位差测量。

[0032] 如图4中所示的执行区块到区块自对准的各个步骤将参考图3中所示的说明性多区块配置300来描述。在步骤401中,区块350中的发射器360被启用,并且在步骤402中,$I_{in(2)}$被设置为恒定值(例如,值=1),其中$I_{in(2)}$表示用于区块350(“区块2”)的同相基带信号输入。如前面所指出的,无需生成额外且具体的基带信号,即可执行区块到区块自对准。LO信号从区块350生成并被允许“泄漏”,如下文将进一步详细描述的,从而在步骤403中将LO感应的DC偏移应用于发射混频器361以用于步骤404中的上变频。在步骤405中,在相邻区块310中的接收器320处,接收从区块350中的发射器360发射的上变频信号并对其进行下变频。值得注意的是,从区块350和310生成的LO信号具有相同的频率,但有不同的相位,因此当来自区块350的LO信号被发射到区块310时,LO信号在区块310中的I和Q接收混频器321和322处下变频成DC值。在步骤406中,使用区块310的模拟基带模块中的DC偏移消除电路模块325来测量DC值。区块310处的$I_{out(1)}$和$Q_{out(1)}$在步骤407中计算并表示为:

[0033] $$I_{out1} = \cos(\omega t + \gamma + x + D_2)\cdot\cos(\omega t + \alpha + y) = \cos(D_2 + x - y + \gamma - \alpha) = cos(\rho_2 - \varphi)$$

[0034] $$Q_{out1} = \cos(\omega t + \gamma + x + D_2)\cdot\sin(\omega t + \alpha + y) = -\sin(D_2 + x - y + \gamma - \alpha) = -sin(\rho_2 - \varphi)$$

[0035] 其中,$\rho_2 = D_2 + x - y$;并且$\varphi = \alpha - \gamma$

[0036] φ表示两个区块之间的相位差;

[0037] ω是角频率;

[0038] γ是与区块350中的本地振荡器信号相移相关的参数;

[0039] α是与相移区块310中的本地振荡器信号相关联的参数;

[0040] x和y是表示区块310和350中的区块内延迟的参数;和

[0041] D2是表示区块310和350之间的区块间延迟(图3)的参数。

[0042] 接下来,在步骤408中,将步骤401到407应用到从区块310到350的相反方向上的传输,以计算区块350处的$I_{out(2)}$和$Q_{out(2)}$。更具体地,区块310中的发射器315被启用,$I_{in(1)}$被设置为值1,LO信号从区块310生成并被允许“泄漏”,从而将LO感应的DC偏移施加到发射混频器316以用于上变频、发射、以及在相邻区块350中的接收器370处的下变频。使用区块350的模拟基带模块中的DC偏移消除电路模块375来测量DC值。区块350处的$I_{out(2)}$和$Q_{out(2)}$被计算并表示为:

[0043] $$I_{out2} = \cos(\omega t + \alpha + x + D_1)\cdot\cos(\omega t + \gamma + y) = \cos(D_1 + x - y - \gamma + \alpha) = cos(\rho_1 + \varphi)$$

[0044] $$Q_{out2}, = \cos(\omega t + \alpha + x + D_1)\cdot\sin(\omega t + \gamma + y) = -\sin(D_1 + x - y - \gamma + \alpha) = -sin(\rho_1 + \varphi)$$

[0045] 其中:

[0046] $\rho_1 = D_1|x\ y$;并且

[0047] D1是表示区块310和350之间的区块间延迟(图3)的参数。

[0048] 然后,接收到的I和Q值被用于在步骤409中计算所需的相位校正,以用于在区块310和350之间进行区块到区块对准。在其中D1=D2的情况下:

[0049] 测得的I和Q值可以被用来计算角度：

[0050] $$\angle 2 = tan^{-1}\left(\frac{-Q_{out2}}{I_{out2}}\right) = \rho + \varphi$$

[0051] $$\angle 1 = tan^{-1}\left(\frac{-Q_{out1}}{I_{out1}}\right) = \rho - \varphi$$

[0052] 角度可以被用来找到两个区块之间的相位偏移（φ）：

[0053] $$\frac{\angle 2 - \angle 1}{2} = \varphi = \alpha - \gamma$$

[0054] 其中：

[0055] ∠1表示接收到的I_{out1}和Q_{out1}值的角度；和

[0056] ∠2表示接收到的I_{out2}和Q_{out2}值的角度。

[0057] 在D1≠D2的情况下，应该执行工厂校准，其中初始相位校正（$\varphi_{old} = \alpha_{old} - \gamma_{old}$）和对应的$\angle 1_{old}$和$\angle 2_{old}$逐区块地被测量并且存储，例如，

[0058] $\angle 1_{old} = \rho_1 - \varphi_{old}$，以及

[0059] $\angle 2_{old} = \rho_2 + \varphi_{old}$。

[0060] 在系统关闭并随后开机的情况下，对准所需的新相位校正可以从新的角度测量和先前存储的值被计算如下：

[0061] $\angle 1_{new} = tan^{-1}\left(\frac{-Q_{out1}}{I_{out1}}\right) = \rho_1 - \varphi_{new}$；以及

[0062] $\angle 2_{new} = tan^{-1}\left(\frac{-Q_{out2}}{I_{out2}}\right) = \rho_2 + \varphi_{new}$

[0063] $\frac{\angle 2_{new} - \angle 1_{new} - (\angle 2_{old} - \angle 1_{old})}{2} + \varphi_{old} = \varphi_{new}$

[0064] 当在图3中的参考点P1(如在区块310中的位置340处所示)处的相位等于或基本上等于在参考点P2(如在区块350中的位置385处所示)处的相位时，区块310和350被认为是对准的。

[0065] 根据另一实施例，可以通过扫描区块310和350中的每个区块中的移相器来进行∠1和∠2的多次测量。以这种方式，可以使用多次测量来找到∠1和∠2的最佳拟合。更具体地，这是在上述自对准过程期间通过在每个方向上使用发射侧上的相应的LO移相器(例如，用于从区块350到区块310的传输的移相器352以及用于从区块310到350的移相器312)。例如，在一个说明性的实施例中，区块350中用于LO信号的移相器352可以从0度到360度进行扫描，而在区块310中接收侧接收到的I和Q信号相应地被测量。

[0066] 根据本文描述的各种实施例，区块到区块对准利用了在相邻区块中的发射/接收天线元件之间已经存在的耦合路径。自对准也可以在系统通电之前完成，并且通过利用现有的电路、组件和信号来实现各种效率。如上所述，无需生成额外且具体的基带信号来执行上述测量。相反，可以向发射混频器施加DC常数(电压)。

[0067] 此外,现有的、内部生成的LO信号可以被用于所有测量和对准目的。可以利用在区块中已经包括的现有电路系统(诸如DC偏移消除电路)的特征和功能性来促进用于影响信号对准的测量和计算。例如,模拟基带模块中的DC偏移消除电路通常被用来消除源自I/Q下变频器混频器的任何LO感应的DC偏移。然而,在根据各种实施例执行区块到区块自对准时,检测到的I/Q DC项被内部数字化并以新颖的方式被使用,以测量多区块相控阵系统中区块之间的相对相位。以这种方式,各种实施例利用了使用DC偏移消除电路中已经可用但通常不用于本文所述目的的特征。在所描述的实施例中,在常规系统中被检测但被丢弃的DC偏移值被有效地用于检测和计算两个相邻区块的LO信号之间的相位差。这是可能的,因为LO信号具有相同的频率但却不同的相位,因此当来自一个区块的LO信号被发射到下一个区块并与后一个区块的LO信号进行混频时,它们下变频成DC值。此DC值的测量由驻留在每个区块中的现有DC偏移消除电路系统来执行。然后,可以将这个值数字化并用于计算相位差。

[0068] 图5示出了相控阵系统的区块到区块耦合配置500的另一个说明性实施例,其中区块550(区块n)与区块510(区块n+1)相邻。为了便于说明和描述,配置500是再次仅示出组件子集的简化框图,重点是区块550中的发射天线560与区块510中的接收天线520耦合。在之前于图3中所示实施例的上下文中描述的各种组件和功能性同样适用于图5的当前实施例,因此为简洁起见不再详述。如分布网络567所表示的,除了发射天线560(所示)之外,区块550实际上还包括多个其他发射和接收天线。区块550中的RF信号被拆分,然后被路由到多个发射天线进行传输,反之,RF信号由多个接收天线接收并组合以在区块510中进行进一步的路由和处理。配置500还包括具有相关联组件的主锁相环(PLL)电路501,以将本地振荡器信号提供给大规模相控阵列中区块550和510中的每一个,以及其他区块(未示出)。类似于图3中的实施例,区块510和550各自分别包括移相器元件512/513和552/553,以用于对相应的LO信号进行相移。

[0069] 区块550被示为分别包括用于上变频的I/Q混频器561和563。类似地,区块510分别包括I/Q混频器521和522,它们分别将I/Q信号馈送到模拟基带模块504和502。重要的是,在此实施例中,使用开关(感应LO开关)564来“泄漏”内部生成的LO信号以进行上变频以及到区块510的传输。以这种方式,自对准/自校准过程可以被执行而无需任何外部信号,并且可以作为系统检查/启动的一部分被执行,例如,在系统在实时网络中投入运行之前对准多区块相控阵。

[0070] 如下文将进一步描述的,模拟基带模块包括用于消除源自I/Q下变频器混频器(521和522)的任何LO感应的DC偏移的电路(图5中未示出)。正如在前面的描述中提到的,DC偏移消除电路传统上的唯一目的是确保高增益IF放大器级在强LO注入条件下不会饱和。然而,在本实施例中,检测到的I/Q DC项被内部数字化并在新的校准方案中被用于测量多区块相控阵系统中的区块之间的相对相位。如图所示,作为从区块550接收的信号的下变频的结果,在区块510中产生了用于I_{out}的DC值505和用于Q_{out}的DC值503,其中LO被“泄漏”并且其中对于区块550中的发射混频器(561和/或563)中的I/Q信号施加了恒定的DC电压。然后,用于I_{out}的DC值505和用于Q_{out}的DC值503分别由模拟基带电路504和502中的DC偏移消除电路进行进一步处理。

[0071] 图6示出了根据图5实施例的模拟基带模块600中的一些元件的框图。特别地,模拟基带模块600被示为包括可调谐低通有源滤波器642和用于接收输入信号的相关联组件(例

如,跨阻抗放大器(TIA)等),梯形衰减器VGA对643和相关联组件、线性输出驱动器644和监视/控制部分645。值得注意的是,模拟基带模块600包括两个DC偏移消除反馈回路/模块625和626,其中根据各种实施例,LO感应的DC偏移消除模块625对用于I_{out}的DC值505和用于Q_{out}的DC值503(来自图5)执行进一步处理,以测量相邻区块中的LO信号的相位差。

[0072] 图7示出了配置700,其包括LO感应的DC偏移消除模块725连同与针对模拟基带模块600(图6)描述的那些组件类似的其他组件的简化示意图。例如,配置700包括来自接收器720(未示出)的I/Q混频器721/722的输入、可调谐低通有源滤波器742和梯形衰减器VGA部分743的一部分。LO感应的DC偏移消除模块725被示为包括用于执行其传统功能的已知组件。如先前针对各种实施例所述,"泄漏的"LO信号可以通过将DC偏移施加到一个区块上的发射混频器来生成,并且相邻区块中接收器处的感应DC偏移通过LO感应的DC偏移消除模块725来测量。经由例如ADC 726的片上模数转换器(ADC),在内部测量并处理用于接收到的I/Q信号的DC值,例如,用于I_{out}的505和用于Q_{out}的503(来自图5)。更具体地,对数字化的I/Q DC信号进行测量来得出相邻区块中LO信号的相对相位差,以执行区块到区块自对准。图8示出了作为从0度到360度扫描LO信号相位的结果而获得的用于I/Q信号的测量DC电压的图形表示(示为标绘线803和805)。

[0073] 计算相对相位和应用相位校正参数可以以许多不同的方式进行并且是本文的教导可预期的。在一个实施例中,如所述,每个RFIC测量其自己的DC偏移值,DC偏移值可以被用来计算相对相位。DC偏移值(最初是模拟的)被转换成数字(例如,在一个实施例中经由诸如图7中的ADC 726之类的片上ADC进行转换),然后可以经由每个RFIC的数字接口读取。然后,中央微处理器、FPGA等可以从所有RFIC收集这些数据,并且可以计算用于相控阵系统中所有RFIC的必要相位信息。应当指出并且对于本领域技术人员来说将是显而易见的是,模数转换不必在每个RFIC中在芯片上执行。在一个示例中,中央ADC可以被用来在每个RFIC之外来执行此任务。在另一个示例中,调制解调器可以被用于计算相对相位并应用相位校正参数。其他实现方案对于本领域技术人员将是显而易见的,对于任何替代方案的主要考虑是必须在RFIC对之间收集信号和/或数据以便计算它们的相对相位等。

[0074] 如在前面的描述中所指出的,多区块、自对准过程是自主的,因为它不需要或不涉及任何外部设备或组件,而是可以通过利用对相控阵区块有机的组件和相关联信号处理,跨相控阵的许多区块来实现信号对准。所描述的实施例的自主的、自对准的方面可以特别有益于大规模系统,诸如那些正在并且将被设想用于下一代5G网络的系统。

[0075] 应当注意,为了解释清楚起见,本文描述的说明性实施例可以被呈现为包括单独的功能框或功能框的组合。这些框所表示的功能可以通过使用专用或共享硬件来提供,包括但不限于能够执行软件的硬件。说明性的实施例可以包括执行本文所述操作的数字信号处理器("DSP")硬件和/或软件。因此,例如,本领域技术人员将理解,本文的框图表示在本文的各种实施例中描述的原理的说明性功能、操作和/或电路的概念图。类似地,应当理解,任何流程图、作业图、状态转换图、伪代码、程序代码等表示可以在计算机可读介质中基本上被表示并因此由计算机、机器或处理器执行的各种过程,无论是否明确示出这种计算机、机器或处理器。本领域技术人员将认识到,实际的计算机或计算机系统的实现可以具有其他结构并且也可以包含其他组件,并且这种计算机的一些组件的高级表示是出于说明目的。

[0076] 以上仅说明了本公开的原理。因此将理解,本领域技术人员将能够设计出各种布置,尽管在本文中未明确描述或示出,但是这些布置体现了本公开的原理并且被包括在其精神和范围内。此外,本文中列举的所有示例和条件语言主要旨在仅用于教学目的,以帮助读者理解本公开的原理和发明人为推进本领域所贡献的概念,并且将被解释为不限制到这些具体列举的示例和条件。此外,在本文中叙述本公开的原理、方面和实施例及其具体示例的所有陈述旨在涵盖其结构和功能等价物。此外,这种等效物旨在包括当前已知的等效物以及未来开发的等效物。

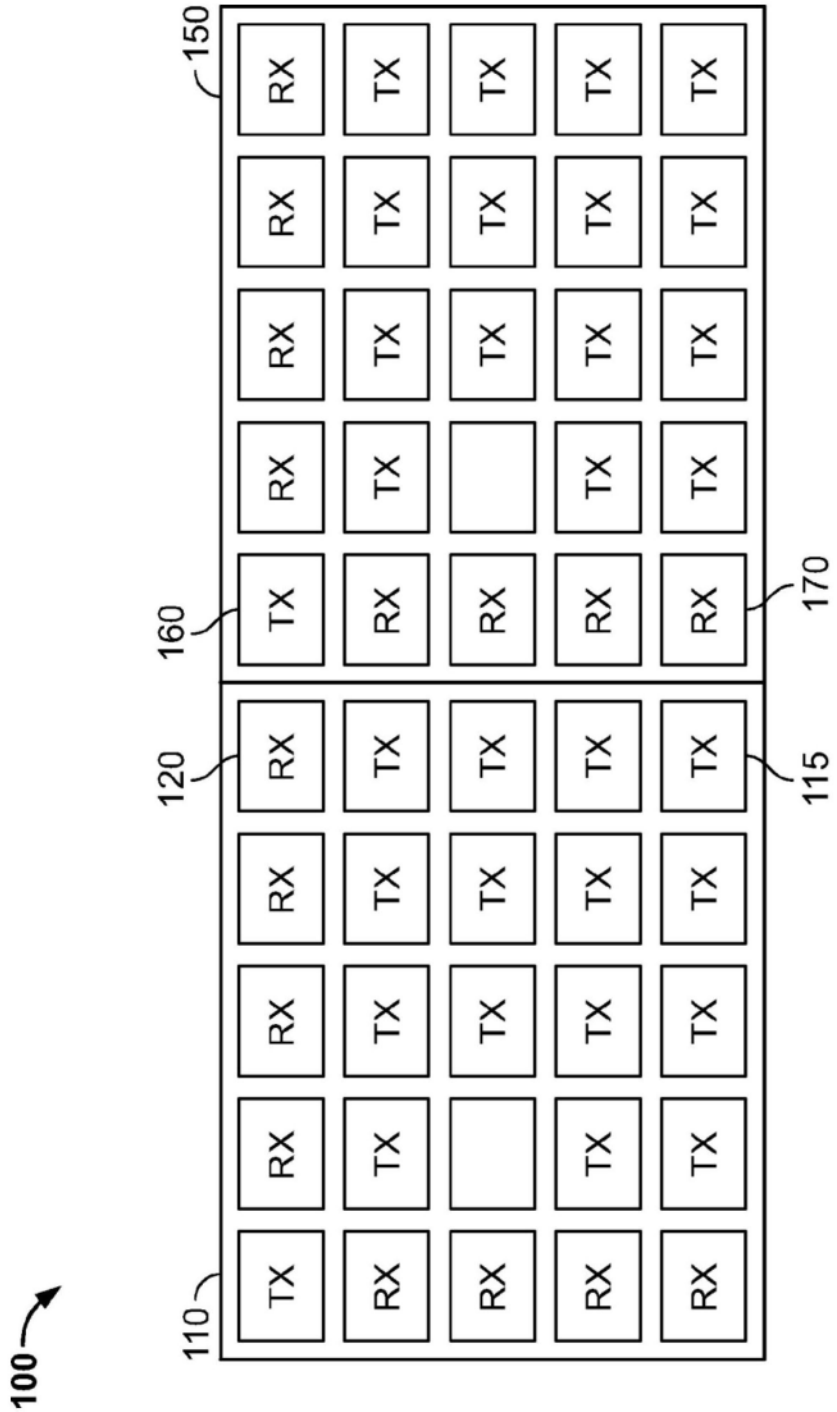


图1

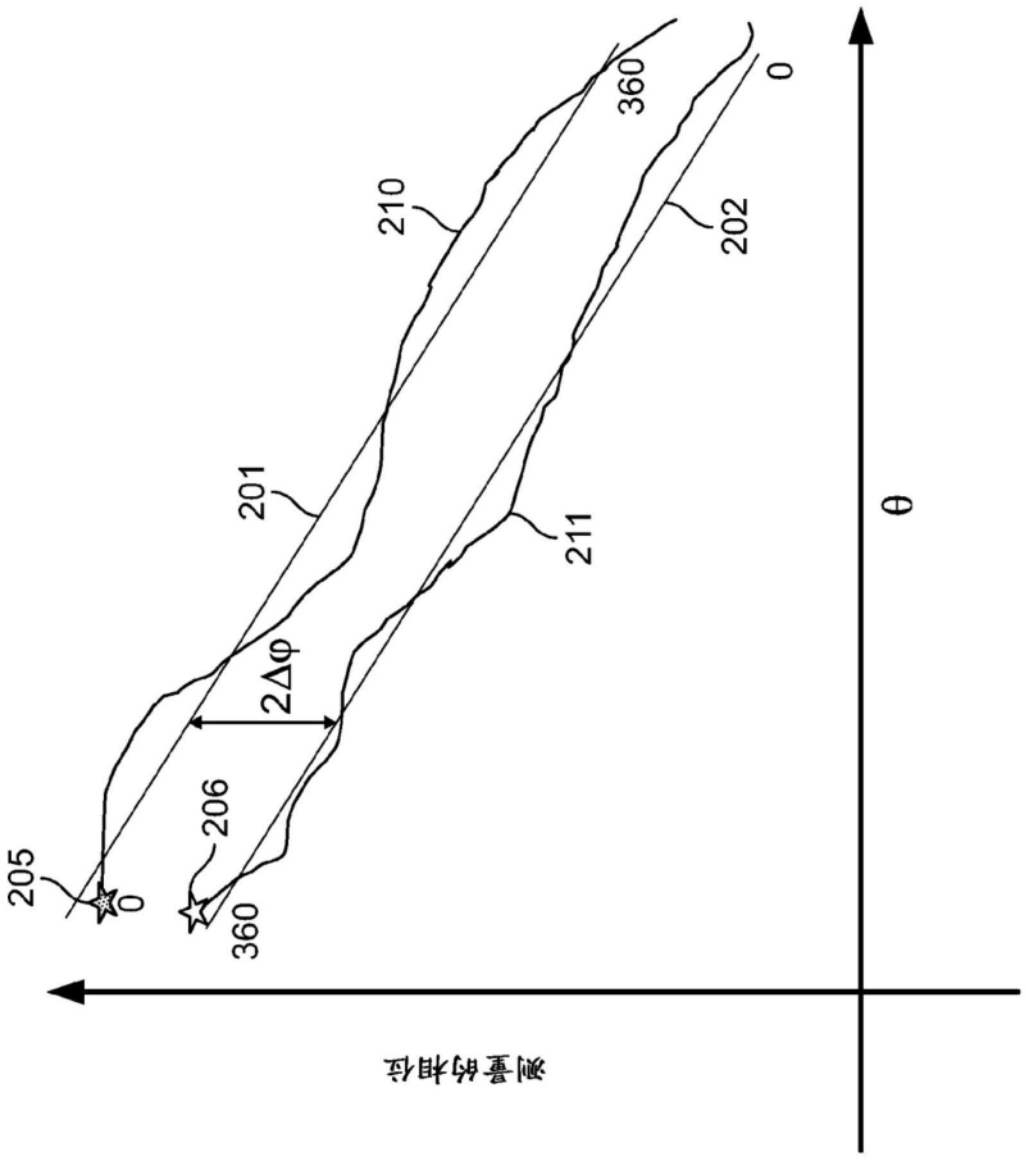


图2A

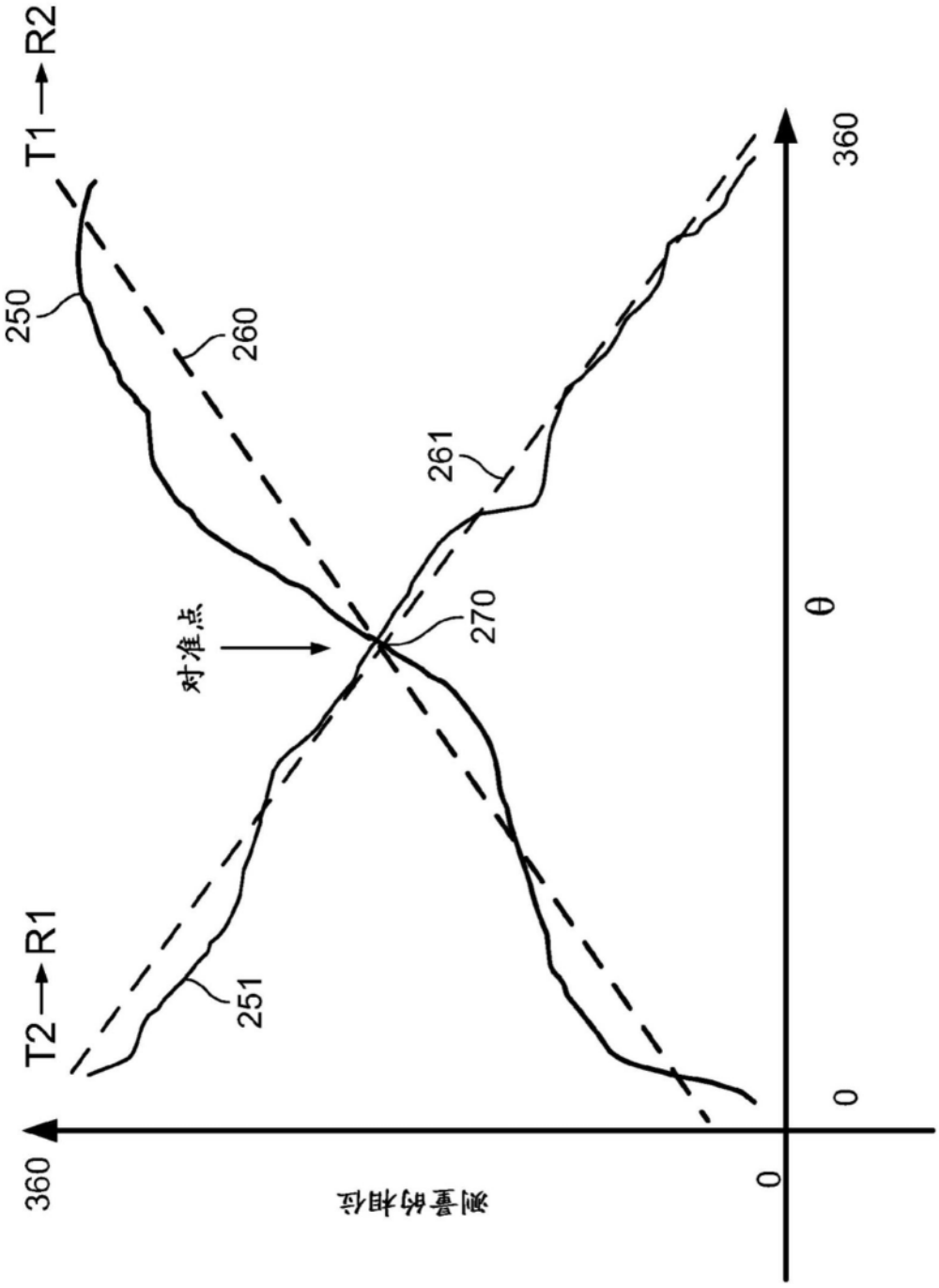


图2B

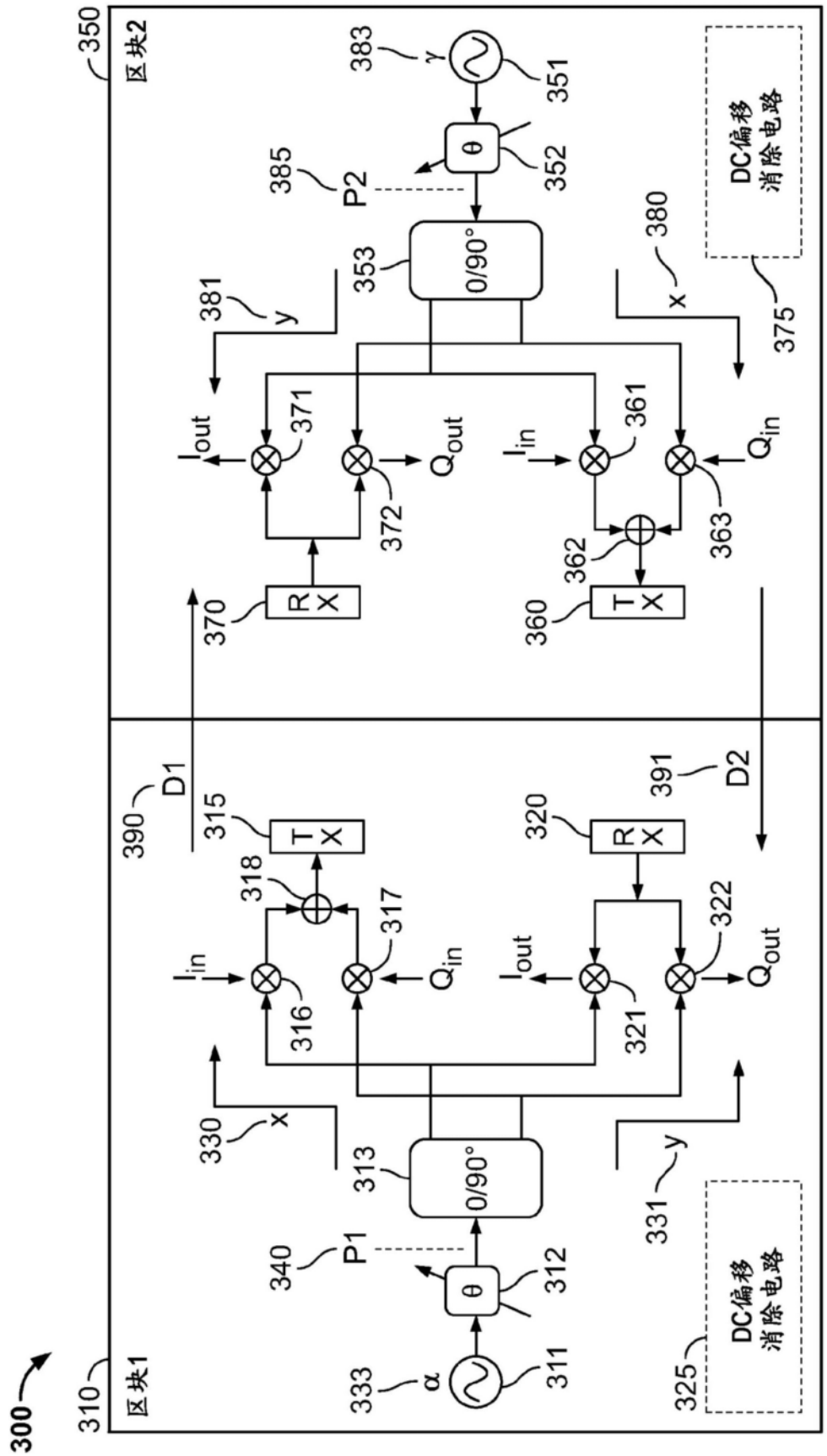

300
310
区块1
350
区块2
333
α
311
340
P1
312
θ
313
0/90°
330
x
331
y
325
DC偏移
消除电路
390
D1
315
TX
318
317
316
Iin
Qin
320
RX
322
321
Iout
Qout
391
D2
383
γ
351
385
P2
352
θ
353
0/90°
381
y
380
x
375
DC偏移
消除电路
371
Iout
372
Qout
361
Iin
363
Qin
362
370
RX
360
TX

图3

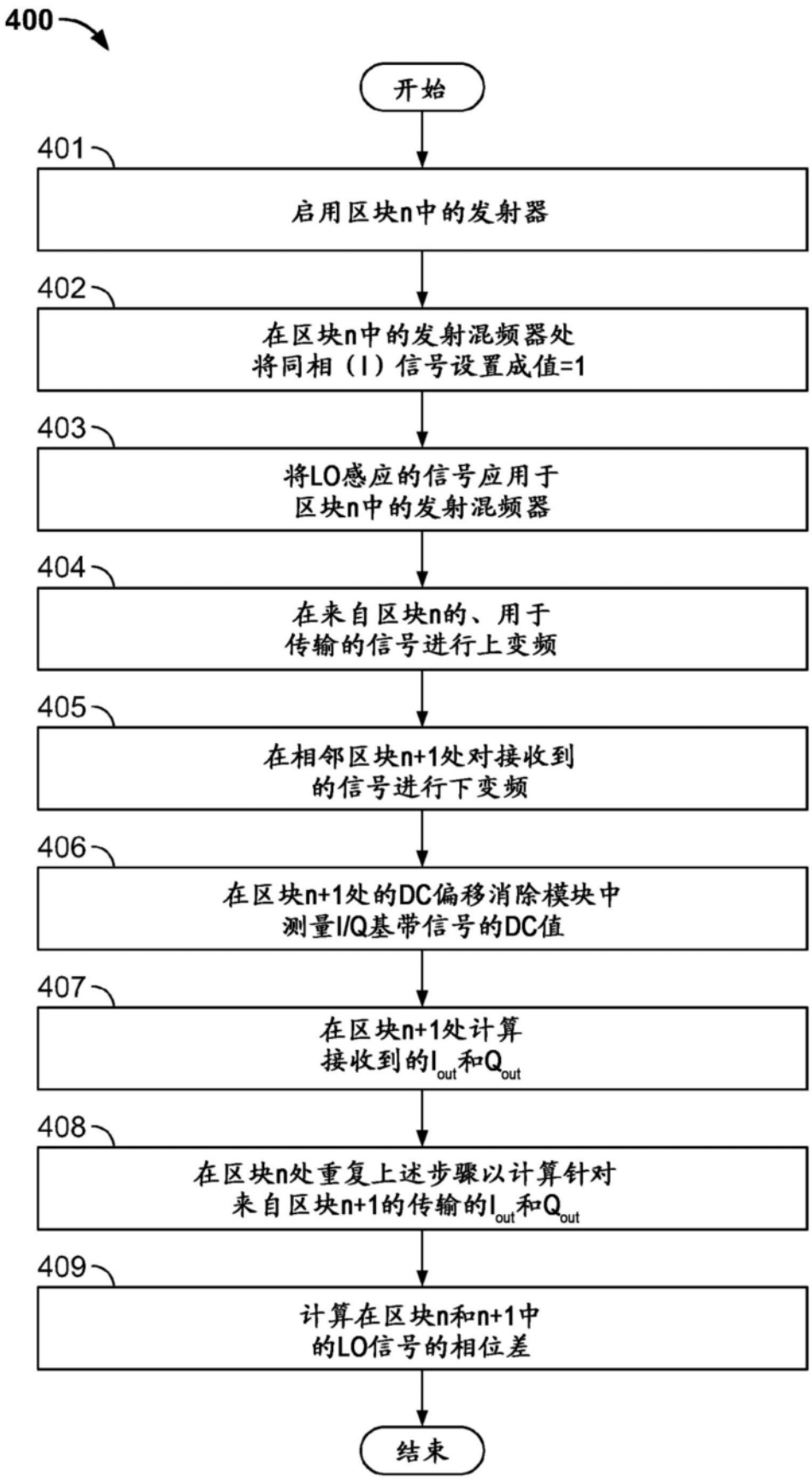

400
开始
401
启用区块n中的发射器
402
在区块n中的发射混频器处
将同相（I）信号设置成值=1
403
将LO感应的信号应用于
区块n中的发射混频器
404
在来自区块n的、用于
传输的信号进行上变频
405
在相邻区块n+1处对接收到
的信号进行下变频
406
在区块n+1处的DC偏移消除模块中
测量I/Q基带信号的DC值
407
在区块n+1处计算
接收到的I_{out}和Q_{out}
408
在区块n处重复上述步骤以计算针对
来自区块n+1的传输的I_{out}和Q_{out}
409
计算在区块n和n+1中
的LO信号的相位差
结束

图4

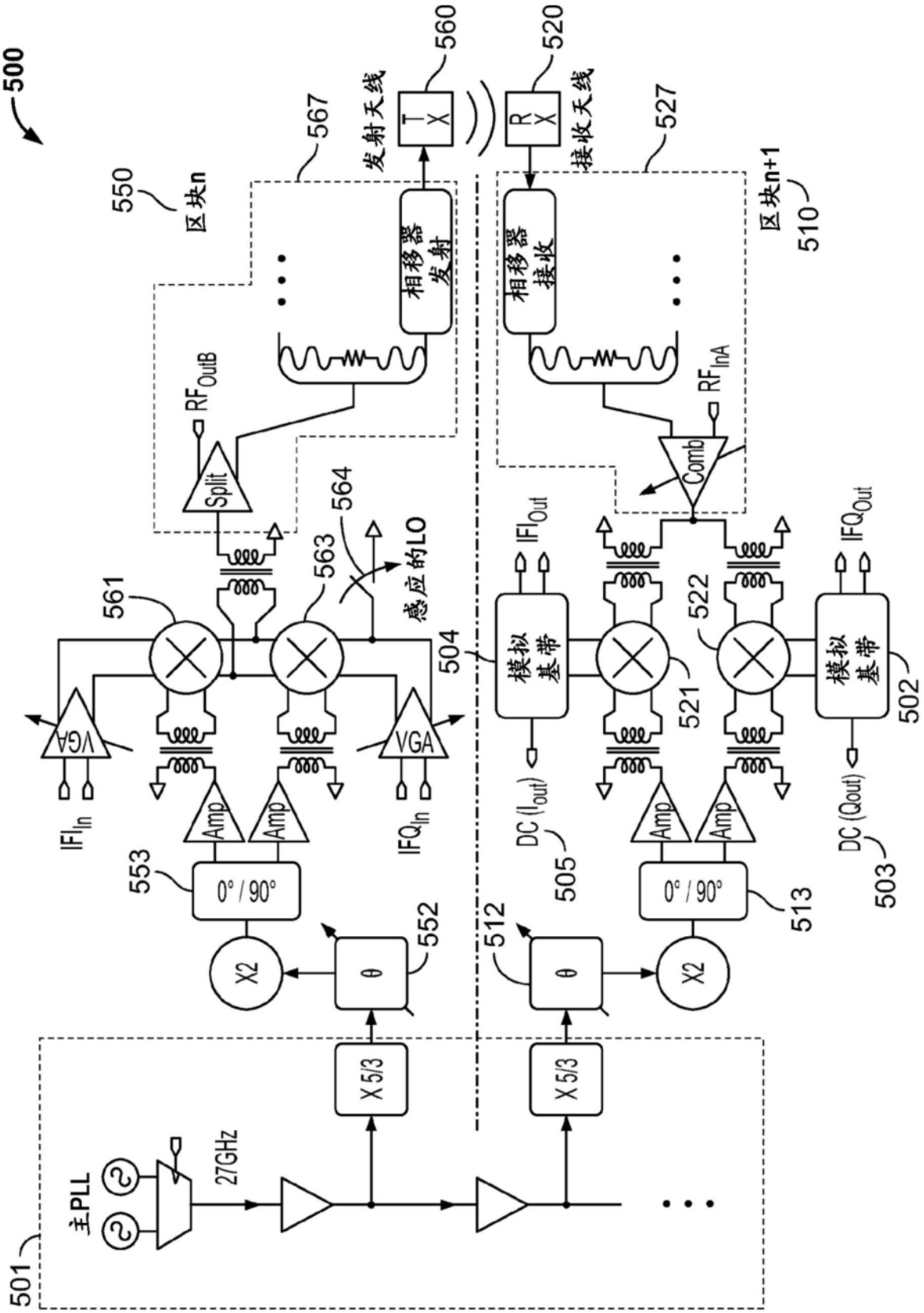

500
560
520
发射天线
接收天线
567
527
550
区块n
区块n+1
510
相移器
发射
相移器
接收
RF OutB
RF InA
Split
Comb
564
563
561
感应的LO
IFI Out
IFQ Out
504
522
521
502
模拟
基带
VGA
VGA
IFI In
IFQ In
Amp
Amp
Amp
Amp
553
513
0° / 90°
0° / 90°
552
512
505
503
DC (Iout)
DC (Qout)
X2
θ
θ
X2
X 5/3
X 5/3
27GHz
主PLL
501

图5

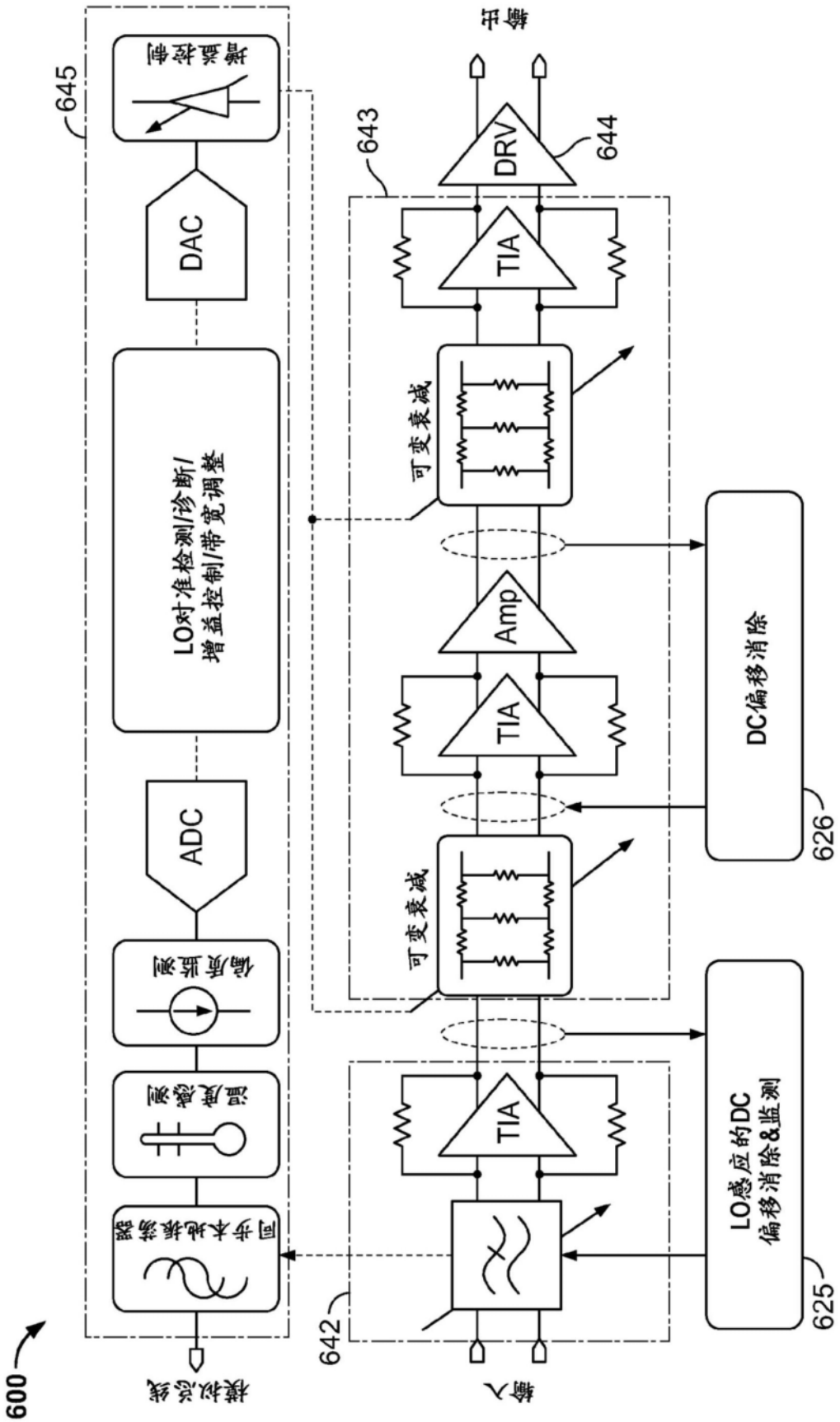

600
模拟总线
输入
输出
642
643
644
645
625
626
回步本地振荡器
温度感测
偏压感测
ADC
LO对准检测/诊断/
增益控制/带宽调整
DAC
增益控制
TIA
可变衰减
Amp
DRV
LO感应的DC
偏移消除&监测
DC偏移消除

图6

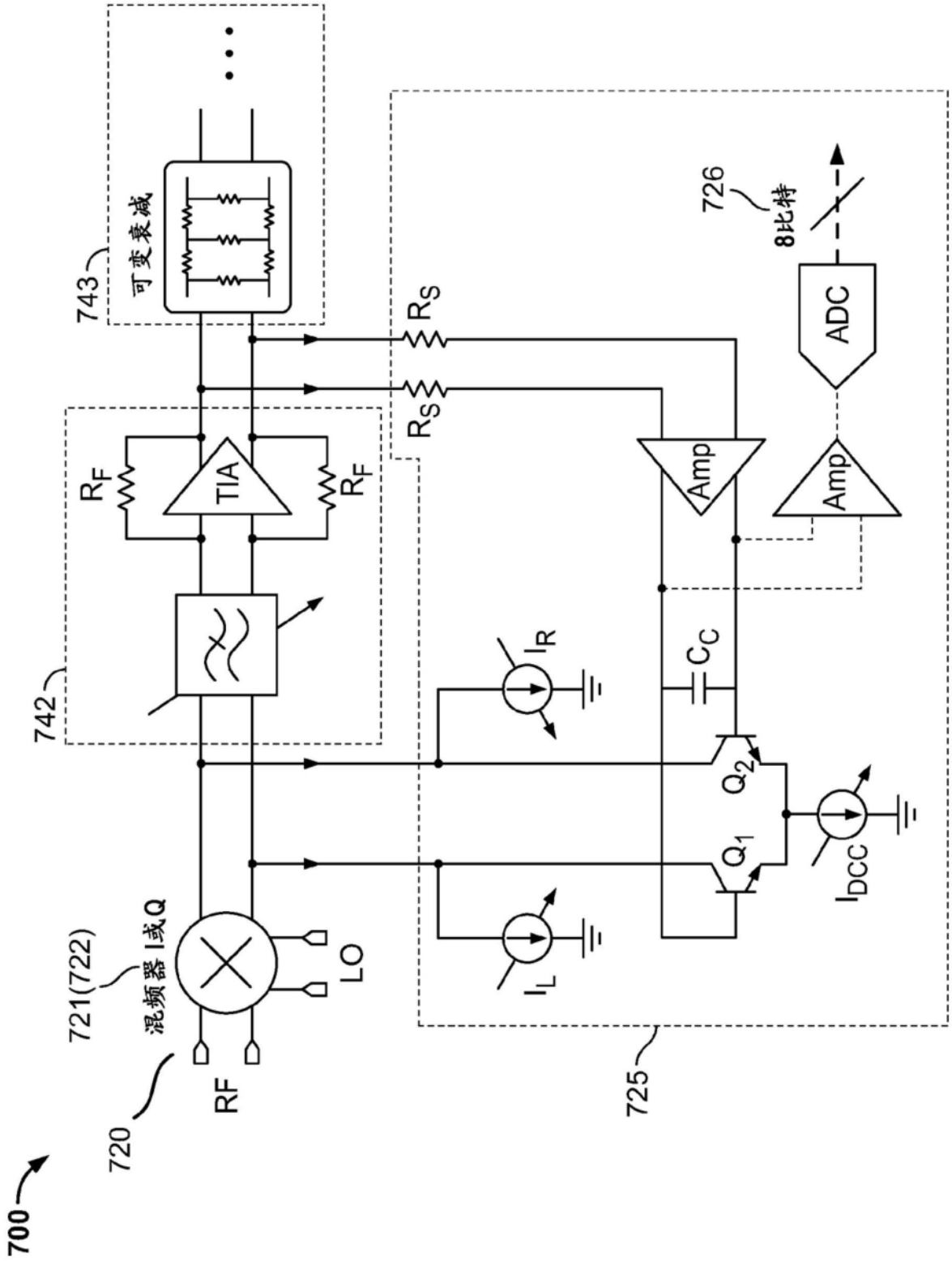

700
720
721(722)
混频器I或Q
RF
LO
725
726
8比特
ADC
743
可变衰减
742
TIA
Amp
Amp
R_S
R_S
R_F
R_F
I_R
I_L
C_C
Q_1
Q_2
I_{DCC}

图7

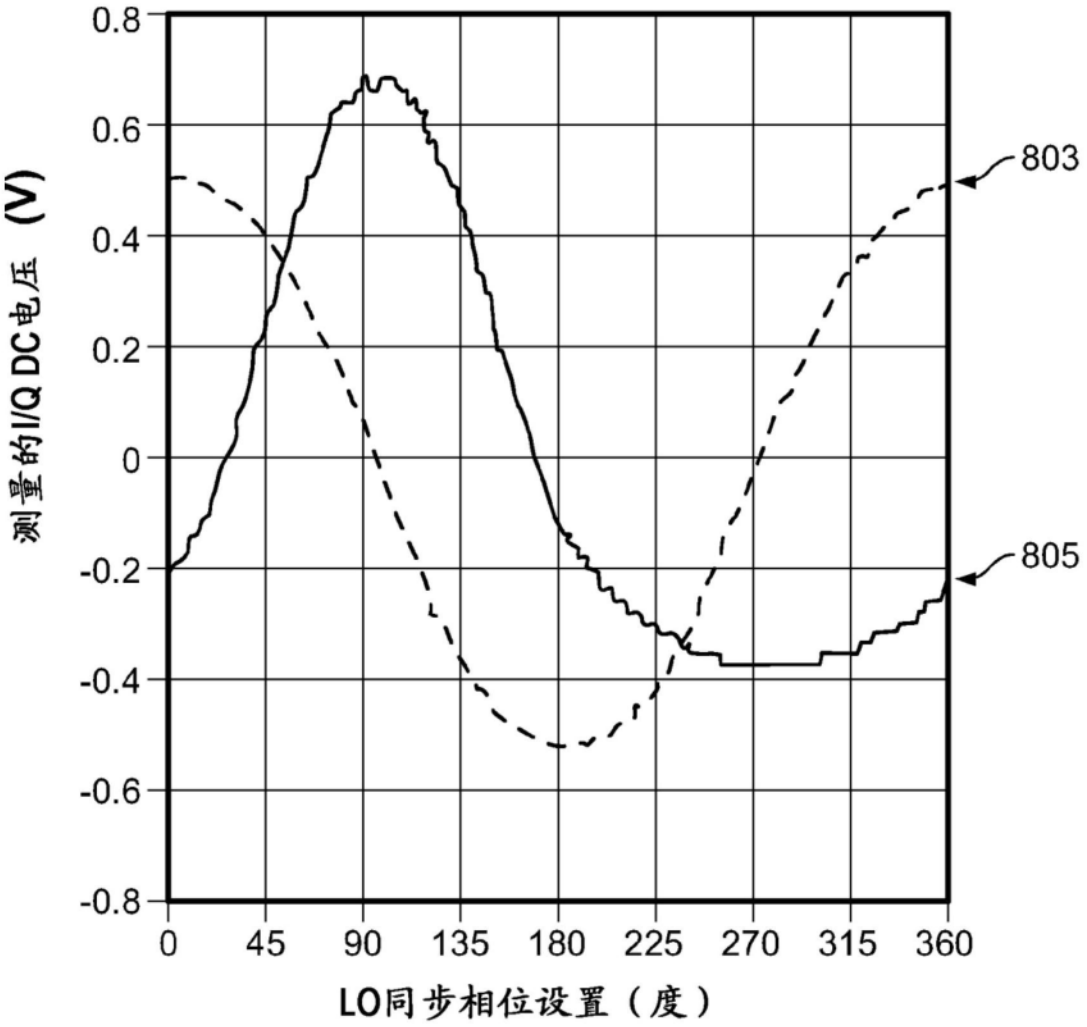

0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
测量的I/Q DC电压 (V)
0
45
90
135
180
225
270
315
360
LO同步相位设置（度）
803
805

图8