



(45)授权公告日 2018.05.08

权利要求书3页 说明书16页 附图20页

1. 一种装置,包括:

第一放大器电路,其包括增益晶体管并且被配置成接收输入射频(RF)信号,所述输入RF信号包括在不同频率处的多个载波上发送给无线设备的传输;

第二放大器电路,其包括增益晶体管并被配置成接收所述输入RF信号;以及

共源共栅晶体管,其耦合在所述第一放大器电路的输出与所述第二放大器电路中的所述增益晶体管之间,

其中所述装置进一步包括:

耦合至所述第一放大器电路的第一负载电路;以及

耦合至所述第二放大器电路的第二负载电路,

其中所述输入RF信号包括单端信号,并且所述第一负载电路和所述第二负载电路提供差分输出RF信号。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第二共源共栅晶体管,其耦合在所述第二放大器电路的输出与所述第一放大器电路中的所述增益晶体管之间。

3. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第一下变频器电路,其耦合至所述第一负载电路并且被配置成基于第一频率处的第一本地振荡器(L0)信号对来自所述第一负载电路的第一输出RF信号执行下变频;以及

第二下变频器电路,其耦合至所述第二负载电路并且被配置成基于不同于所述第一频率的第二频率处的第二L0信号对来自所述第二负载电路的第二输出RF信号执行下变频。

4. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第二放大器电路包括耦合在所述增益晶体管的源极与电路接地之间的电感器。

5. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

反馈电路,其耦合在所述第一放大器电路和所述第二放大器电路中的至少一者的输出与输入之间。

6. 如权利要求5所述的装置,其特征在于,所述反馈电路包括电阻器、电容器、或晶体管中的至少一者。

7. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

衰减电路,其耦合至所述第一放大器电路和所述第二放大器电路,并且被配置成接收所述输入RF信号并将经衰减输入RF信号提供给所述第一放大器电路和所述第二放大器电路。

8. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第一负载电路包括具有初级线圈和次级线圈的变压器,所述初级线圈耦合在所述第一放大器电路和电源之间,并且当来自所述第一放大器电路的经放大RF信号被施加到所述初级线圈时,所述次级线圈提供差分输出RF信号。

9. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,在第一操作模式中,所述第一放大器电路被启用以放大所述输入RF信号并提供第一经放大RF信号,并且所述第二放大器电路被启用以放大所述输入RF信号并提供第二经放大RF信号。

10. 如权利要求9所述的装置,其特征在于,在第二操作模式中,所述第一放大器电路、所述第二放大器电路中的所述增益晶体管、和所述共源共栅晶体管被启用以放大所述输入

RF信号并提供经放大RF信号。

11. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第三放大器电路,其包括增益晶体管并且被配置成接收第二输出RF信号;

第四放大器电路,其包括增益晶体管并且被配置成接收所述第二输入RF信号;以及

第二共源共栅晶体管,其耦合在所述第三放大器电路的输出与所述第四放大器电路中的所述增益晶体管之间。

12. 如权利要求11所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第三共源共栅晶体管,其耦合在所述第二放大器电路的输出与所述第一放大器电路中的所述增益晶体管之间;以及

第四共源共栅晶体管,其耦合在所述第四放大器电路的输出与所述第三放大器电路中的所述增益晶体管之间。

13. 如权利要求11所述的装置,其特征在于,进一步包括:

第一电感器,其耦合至所述第一至第四放大器电路中的两个放大器电路中的增益晶体管的源极;以及

第二电感器,其耦合至所述第一至第四放大器电路中的其余两个放大器电路中的增益晶体管的源极。

14. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,进一步包括:

至少一组附加放大器电路,每组附加放大器电路接收相应的输入RF信号;以及

用于每组附加放大器电路的至少一个附加共源共栅晶体管,每个附加共源共栅晶体管耦合在该组放大器电路中的两个放大器电路之间。

15. 一种方法,包括:

在第一操作模式中,用第一放大器电路和第二放大器电路来放大输入射频(RF)信号以获得两个经放大RF信号,所述输入RF信号包括在不同频率处的多个载波上发送给无线设备的传输;以及

在第二操作模式中,使用所述第一放大器电路和第三放大器电路来放大所述输入RF信号以获得单个经放大RF信号,所述第二放大器电路和所述第三放大器电路共享增益晶体管,

其中所述输入RF信号包括单端信号,并且所述方法进一步包括用耦合至所述第一放大器的第一负载电路和耦合至所述第二放大器的第二负载电路来提供差分输出RF信号。

16. 如权利要求15所述的方法,其特征在于,进一步包括:

在第三操作模式中,用所述第一放大器电路和所述第三放大器电路来放大所述输入RF信号以获得第一经放大RF信号,并且用第四放大器电路和第五放大器电路来放大第二输入RF信号以获得第二经放大RF信号。

17. 一种设备,包括:

用于放大的第一装置,其被配置成在所述用于放大的第一装置被启用时放大输入射频(RF)信号,所述输入RF信号包括在不同频率处的多个载波上发送给无线设备的传输;

用于放大的第二装置,其被配置成在所述用于放大的第二装置被启用时放大所述输入RF信号;以及

用于放大的第三装置,其被配置成在所述用于放大的第三装置被启用时放大所述输入

RF信号,所述用于放大的第三装置与所述用于放大的第一装置并联耦合并与所述用于放大的第二装置共享放大装置,

其中所述输入RF信号包括单端信号,并且所述设备进一步包括用于耦合至所述用于放大的第一装置的用于提供差分输出RF信号的第一装置和耦合至所述用于放大的第二装置的用于提供差分输出RF信号的第二装置来提供差分输出RF信号的装置。

18.如权利要求17所述的设备,其特征在于,进一步包括:

用于放大的第四装置,其被配置成在所述用于放大的第四装置被启用时放大第二输入RF信号;

用于放大的第五装置,其被配置成在所述用于放大的第五装置被启用时放大所述第二输入RF信号;以及

用于放大的第六装置,其被配置成在所述用于放大的第六装置被启用时放大所述第二输入RF信号,所述用于放大的第六装置与所述用于放大的第四装置并联耦合并与所述用于放大的第五装置共享放大装置。

用于载波聚集的具有共源共栅转向开关的低噪声放大器

[0001] I. 根据35U.S.C. §119的优先权要求

[0002] 本专利申请要求于2012年5月25日提交的题为“LOW NOISE AMPLIFIERS FOR CARRIER AGGREGATION (用于载波聚集的低噪声放大器)”美国临时申请S/N.61/652,064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。

背景技术

[0003] I. 领域

[0004] 本公开一般涉及电子器件,尤其涉及低噪声放大器(LNA)。

[0005] II. 背景

[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用于双向通信。无线设备可包括用于数据传输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射频(RF)载波信号以获得经调制RF信号,放大经调制RF信号以获得具有恰当输出功率电平的经放大RF信号,并经由天线将该经放大的RF信号发射到基站。对于数据接收,接收机可经由天线获得收到RF信号并且可放大和处理该收到RF信号以恢复由基站发送的数据。

[0007] 无线设备可支持载波聚集,其是多个载波上的同时操作。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相关联。载波也可被称为分量载波(CC)、频率信道、蜂窝小区等。期望无线设备高效地支持载波聚集。

[0008] 附图简述

[0009] 图1示出了无线设备与无线系统通信。

[0010] 图2A到2D示出了载波聚集(CA)的四个示例。

[0011] 图3示出了图1中的无线设备的框图。

[0012] 图4A和4B示出了支持带内CA的接收机。

[0013] 图5A和5B示出了支持带内CA和带间CA的接收机。

[0014] 图6A到6C示出了具有电感衰退和共源共栅转向开关的LNA的示例性设计。

[0015] 图7A到7C示出了具有共源共栅转向开关的LNA的附加示例性设计。

[0016] 图8A到8C示出了具有共源共栅转向开关的多输入多输出(MIMO) LNA的示例性设计。

[0017] 图9示出了用于执行信号放大的过程。

[0018] 详细描述

[0019] 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。

[0020] 本文公开了支持载波聚集的LNA。这些LNA可被用于各种类型的电子设备,诸如无线通信设备。

[0021] 图1示出了无线设备110正与无线通信系统120通信。无线系统120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)、时分同步CDMA(TD-SCDMA)、cdma2000、或其他某个版本的CDMA。为简明起见,图1示出了无线系统120包括两个基站130和132以及一个系统控制器140。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。

[0022] 无线设备110也可被称为用户装备(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、平板设备、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。无线设备110可以能够与无线系统120通信。无线设备110还可以能够接收来自广播站(例如广播站134)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、cdma2000、WCDMA、GSM、802.11等等。

[0023] 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。无线设备110可以能够在从698兆赫兹(MHz)到960MHz的低频带、从1475MHz到2170MHz的中频带、和/或从2300MHz到2690MHz以及从3400MHz到3800MHz的高频带中操作。低频带、中频带和高频带指的是三组频带(或频带组),其中每个频带组包括数个频率带(或简称为“频带”)。每个频带可以覆盖至多200MHz并且可以包括一个或多个载波。每个载波可以在LTE中覆盖至多20MHz。LTE版本11支持35个频带,这些频带被称为LTE/UMTS频带并且在3GPP TS 36.101中列出。在LTE版本11中,无线设备110可以配置有在一个或两个频带中的至多5个载波。

[0024] 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是指不同频带内的多个载波上的操作。

[0025] 图2A示出了毗连带内CA的示例。在图2A中所示的示例中,无线设备110配置有在同一频带(其是低频带中的频带)中的四个毗连载波。无线设备110可发送和/或接收同一频带内的多个毗连载波上的传输。

[0026] 图2B示出了非毗连带内CA的示例。在图2B中所示的示例中,无线设备110配置有在同一频带(其是低频带中的频带)中的四个非毗连载波。各载波可分隔5MHz、10MHz或者其他某个量。无线设备110可发送和/或接收同一频带内的多个非毗连载波上的传输。

[0027] 图2C示出了在同一频带组中的带间CA的示例。在图2C中所示的示例中,无线设备110配置有在同一频带组(其是低频带)中的两个频带中的四个载波。无线设备110可发送和/或接收同一频带组(例如,图2C中的低频带)中不同频带中的多个载波上的传输。

[0028] 图2D示出了不同频带组中的带间CA的示例。在图2D中所示的示例中,无线设备110配置有在不同频带组中的两个频带中的四个载波,其包括在低频带中的一个频带中的两个载波以及在中频带中的另一个频带中的两个附加载波。无线设备110可发送和/或接收不同频带组(例如,图2D中的低频带和中频带)中的不同频带中的多个载波上的传输。

[0029] 图2A到2D示出了载波聚集的四个示例。对于频带和频带组的其他组合也可支持载

波聚合。例如,可支持低频带和高频带、中频带和高频带、高频带和高频带等的载波聚集。

[0030] 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的接收机322、以及数据处理器/控制器380。收发机320包括多个(K个)接收机330aa至330ak和多个(K个)发射机360a至360k以支持多个频带、载波聚集、多种无线电技术等。接收机322包括多个(M个)接收机330ba到330bm以支持多个频带、载波聚集、多种无线电技术、接收分集、从多个发射天线到多个接收天线的MIMO传输等。

[0031] 在图3中示出的示例性设计中,每个接收机330包括输入电路332、LNA 340、以及接收电路342。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,该收到RF信号被路由通过天线接口电路324并被提供给所选接收机。天线接口电路324可包括开关、双工器、发射滤波器、接收滤波器等。以下描述假定接收机330aa是所选接收机。在接收机330aa内,收到RF信号被传递通过输入电路332aa,其将输入RF信号提供给LNA 340aa。输入电路332aa可包括匹配电路、接收滤波器等。LNA 340aa放大输入RF信号并且提供输出RF信号。接收电路342aa对输出RF信号进行放大、滤波并将其从RF下变频到基带,并且将模拟输入信号提供给数据处理器380。接收电路332aa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)生成器、锁相环(PLL)等。收发机320中的每个其余接收机330以及接收机322中的每个接收机330可按与收发机320中的接收机330aa类似的方式操作。

[0032] 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362、功率放大器(PA)364、以及输出电路366。对于数据传输,数据处理器380处理(例如,编码和调制)要传送的数据,并且将模拟输出信号提供给所选发射机。以下描述假定发射机360a是所选发射机。在发射机360a内,发射电路362a对该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362a可包括放大器、滤波器、混频器、匹配电路、振荡器、LO生成器、PLL等等。PA 364a接收并且放大经调制RF信号,并且提供具有恰当输出功率水平的发射RF信号。该发射RF信号被传递通过输出电路366a,路由通过天线接口电路324,并且经由天线310被传送。输出电路366a可包括匹配电路、发射滤波器、定向耦合器等。

[0033] 图3示出了接收机330和发射机360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和接收机322的全部或部分可实现在一个或多个模拟集成电路(IC)、RF IC(RFIC)、混和信号IC等上。例如,LNA 340、接收电路342、以及发射电路362可实现在一个模块上,该模块可以是RFIC等等。天线接口电路324和326、输入电路332、输出电路366、以及PA 364可实现在另一模块上,该另一模块可以是混合模块等等。收发机320和接收机322中的这些电路也可按其他方式来实现。

[0034] 数据处理器/控制器380可为无线设备110执行各种功能。例如,数据处理器380可对经由接收机330接收到的数据以及经由发射机360传送的数据执行处理。控制器380可控制天线接口电路324和326、输入电路332、LNA 340、接收电路342、发射电路362、PA 364、输出电路366或其组合的操作。存储器382可存储供数据处理器/控制器380使用的程序代码和数据。数据处理器/控制器380可实现在一个或多个专用集成电路(ASIC)和/或其他IC上。

[0035] 无线设备110可从一个或多个基站/蜂窝小区接收不同频率处的多个载波上的传输以用于载波聚集。对于带内CA,这些传输在同一频带中的不同载波上发送。对于带间CA,

这些传输在不同频带中的多个载波上发送。

[0036] 图4A示出了接收机400的示例性设计的框图,接收机400具有支持非CA和带内CA的有CA能力的LNA 440。CA LNA 440可被用于图3中的一个或多个LNA 340。CA LNA 440包括单个输入和多个(M个)输出,其中 $M>1$ 。

[0037] 在接收机400处,天线410接收包括在一个或多个载波上发送的一个或多个传输的下行链路信号并将收到RF信号提供给天线接口电路424。天线接口电路424对收到RF信号进行滤波和路由并提供接收机输入信号RXin。输入匹配电路432接收RXin信号并将输入RF信号RFin提供给CA LNA 440。匹配电路432针对感兴趣的频带执行CA LNA 440与天线接口电路424或天线410之间的阻抗和/或功率匹配。匹配电路432可以是图3中的输入电路332之一的一部分。

[0038] CA LNA 440接收和放大输入RF信号并且 (i) 针对非CA或一个载波集上的CA经由一个LNA输出提供一个输出RF信号、或者 (ii) 针对至多M个载波集上的带内CA经由至多M个LNA输出提供至多M个输出RF信号RFout1到RFoutM。M个下变频器电路490a到490m耦合至这M个LNA输出。每个下变频器电路490在被启用时将相关联的输出RF信号下变频,以使得感兴趣的一个或多个载波上的一个或多个传输从RF被下变频到基带。

[0039] CA LNA (诸如图4A中的CA LNA 440) 在任何给定时刻可接单输出模式或多输出模式操作。在单输出模式中,CA LNA按1输入1输出(1×1)配置操作,接收包括一个载波集上的一个或多个传输的一个输入RF信号,并将一个输出RF信号提供给一个下变频器电路。单输出模式可被用来在没有载波聚集的情况下接收在单个载波上发送的传输。单输出模式还可被用来在载波聚集的情况下接收在多个载波(例如,毗连载波)上发送的传输。在这一情形中,所有载波上的传输可用单个频率处的单个LO信号来下变频。在多输出模式中,CA LNA按 $1\times M$ 配置操作,接收包括M个载波集上的多个传输的一个输入RF信号,并将M个输出RF信号提供给M个下变频器电路,针对每个载波集有一个输出RF信号,其中 $M>1$ 。每一个载波集可以包括一个频带中的一个或多个载波。

[0040] 图4B示出了支持非CA和一个频带中至多两个载波集上的带内CA的CA LNA 440x的示例性设计的框图。CA LNA 440x是图4中的CA LNA 440的示例性设计。

[0041] 在图4B中所示的示例性设计中,CA LNA 440x包括两个放大器电路(Amp Ckt) 450a和450b、一个或多个转向共源共栅晶体管458、以及用于两个LNA输出的两个负载电路470a和470b。放大器电路还可被称为放大器级、输入级、增益电路等等。输入RF信号被提供给放大器电路450a和450b两者。每个放大器电路450在该放大器电路被启用时放大输入RF信号并提供相应经放大RF信号。(诸)转向共源共栅晶体管458之一可被启用以将RF电流从放大器电路450b转向到放大器电路450a,或反之,如以下所述。负载电路470a和470b分别从放大器电路450a和450b接收经放大RF信号,并将输出RF信号分别提供给下变频器电路490a和490b。

[0042] 在图4B中所示的示例性设计中,每个下变频器电路490包括分别耦合至两个基带滤波器496和498的两个混频器492和494。在下变频器电路490a内,混频器492a接收来自负载电路470a的第一输出RF信号RFout1,以及用于第一载波集的第一混频频率处的同相LO信号IL01。混频器492a用IL01信号将第一输出RF信号下变频,并且提供同相(I)经下变频信号。混频器494a接收来自负载电路470a的第一输出RF信号以及第一混频频率处的正交LO信

号QL01。混频器494a用QL01信号将第一输出RF信号下变频,并且提供正交(Q)经下变频信号。滤波器496a以及498a分别接收来自混频器492a和494a的I和Q经下变频信号并对其进行滤波,并且提供针对第一载波集的I和Q基带信号Vout1。

[0043] 下变频器490a和490b可被启用以接收至多2个载波集上的传输。每个下变频器490可接收来自CA LNA 440x的相应输出RF信号,用合适的混频频率处的相应LO信号来将其输出RF信号下变频,并提供针对一个载波集的I和Q基带信号。下变频器490a和490b可使用用于两个载波集的不同混频频率来执行下变频。

[0044] 图4B示出了下变频器电路490的示例性设计。下变频器电路也可包括不同和/或附加电路。例如,下变频器电路可包括耦合在混频器之前、或者在混频器与滤波器之间、或者在滤波器之后的放大器。

[0045] 图4B示出了具有两个放大器电路450和用于两个LNA输出的两个负载电路470的CA LNA 440x示例性设计。CA LNA还可包括两个以上放大器电路和/或用于两个以上LNA输出的两个以上负载电路。CA LNA可包括任何数目的转向共源共栅晶体管。每个转向共源共栅晶体管可耦合在两个放大器电路之间并且可在这些放大器电路之间对RF电流进行转向。

[0046] 图5A示出了接收机500的示例性设计的框图,接收机500具有支持非CA、带内CA、和带间CA的MIMO LNA 540。MIMO LNA 540可被用于图3中的一个或多个LNA 340。MIMO LNA 540包括多个(N个)输入和多个(M个)输出并且可被称为 $N \times M$ MIMO LNA,其中 $N > 1$ 并且 $M > 1$ 。

[0047] 在接收机500处,天线510接收包括在同一频带或不同频带中的一个或多个载波上发送的一个或多个传输的下行链路信号。天线510将收到RF信号提供给天线接口电路524。天线接口电路524对收到RF信号进行滤波和路由并分别向至多N个输入匹配电路532a到532n提供至多N个接收机输入信号RXin1到RXinN。匹配电路532a到532n分别向MIMO LNA 540提供至多N个输入RF信号RFin1到RFinN。匹配电路532a到532n可以是图3中一个或多个输入电路332的一部分。每个匹配电路532针对一个或多个感兴趣的频带在MIMO LNA 540与天线接口电路524或天线510之间执行阻抗和/或功率匹配。N个匹配电路532a到532n可被设计用于不同频带。

[0048] MIMO LNA 540接收至多N个输入RF信号并且(i)针对非CA或带内CA放大一个输入RF信号、或者(ii)针对带间CA放大至多N个输入RF信号。MIMO LNA 540(i)针对非CA或一个载波集上的CA经由一个LNA输出提供一个输出RF信号、或者(ii)针对带内CA或带间CA经由至多M个LNA输出提供至多M个输出RF信号RFout1到RFoutM。M个下变频器电路590a到590m耦合至这M个LNA输出。每个下变频器电路590在被启用时将相关联的输出RF信号下变频,以使得感兴趣的一个或多个载波上的一个或多个传输从RF被下变频到基带。

[0049] MIMO LNA(诸如图5A中的MIMO LNA 540)在任何给定时刻可接单输出模式、带内CA模式、或带间CA模式操作。在单输出模式中,MIMO LNA按 1×1 配置操作,接收包括一个载波集上的一个或多个传输的一个输入RF信号,并将一个输出RF信号提供给一个下变频器电路。在带内CA模式中,MIMO LNA按 $1 \times M$ 配置操作,接收包括同一频带中的M个载波集上的多个传输的一个输入RF信号,并将M个输出RF信号提供给M个下变频器电路,针对每个载波集有一个输出RF信号,其中 $M > 1$ 。在带间CA模式中,MIMO LNA按 $N \times M$ 配置操作,接收包括在至多N个不同频带中的M个载波集上的传输的N个输入RF信号,并将M个输出RF信号提供给M个负载电路,其中 $M > 1$ 且 $N > 1$ 。这N个输入RF信号可对应于至多N个不同频带。

[0050] MIMO LNA (诸如图5A中的MIMO LNA 540) 可被用来接收不同频率处的多个载波上的传输。MIMO LNA可包括针对感兴趣的多个载波或不同载波集提供多个输出RF信号的多个输出。MIMO LNA与用于接收从多个发射天线发送给多个接收天线的MIMO传输的LNA不同。用于MIMO传输的LNA通常具有 (i) 从一个接收天线接收一个输入RF信号的一个输入, 以及 (ii) 提供一个输出RF信号的一个输出。MIMO LNA的多个输出由此覆盖频率维度, 而用于MIMO传输的LNA的输出覆盖空间维度。

[0051] 图5B示出了支持非CA、带内CA、和带间CA的MIMO LNA 540x的示例性设计的框图。MIMO LNA 540x可支持一个或多个频带中的多个载波集上的CA。每个载波集可以包括一个频带中的一个或多个载波。MIMO LNA 540x是图5A中的MIMO LNA 540的一种示例性设计。

[0052] N个输入匹配电路532a到532n接收N个接收机输入信号RXin1到RXinN, 并提供N个输入RF信号RFin1到RFinN。匹配电路532a到532n可接收 (i) 来自一个天线的同一接收机输入信号、或者 (ii) 来自一个或多个天线的不同接收机输入信号。因此, RXin1到RXinN信号可以是相同信号或不同信号。每个匹配电路532为一个或多个感兴趣的频带执行输入匹配。例如, RXin1到RXinN信号可以是来自一个天线的同一信号, 并且匹配电路532a到532n可为不同频带执行输入匹配。作为另一示例, RXin1到RXinN信号可以是来自不同天线的不同信号, 并且匹配电路532a到532n可为同一频带或不同频带执行输入匹配。

[0053] 在图5B中所示的示例性设计中, MIMO LNA 540x包括用于N个LNA输入的N个放大器 (Amp) 块542a到542n、以及用于两个LNA输出的两个负载电路570a和570b。每个放大器块542包括两个放大器电路550和560以及一个或多个转向共源共栅晶体管558。N个输入RF信号RFin1到RFinN被分别提供给N个放大器块542a到542n。L个放大器块542可被启用以接收K个载波集上的传输, 其中 $1 \leq L \leq N$ 并且 $1 \leq K \leq 2$ 。其余的 $N-L$ 个放大器块542可被禁用。每个被启用的放大器块542接收和放大其输入RF信号并提供一个或两个经放大RF信号。K个负载电路570从所有被启用的放大器块642接收K个经放大RF信号并向耦合至这K个负载电路的K个下变频器电路590提供K个输出RF信号。

[0054] 在图5B中所示的示例性设计中, 每个下变频器电路590包括分别耦合至两个基带滤波器596和598的两个混频器592和594。混频器592和594以及滤波器596和598如以上关于图4B中的混频器492和494以及滤波器496和498所描述地耦合和操作。至多K个下变频器590可被选择以接收至多K个载波集上的传输。每个下变频器590可处理和下变频来自LNA 540的其输出RF信号并提供针对不同载波集的I和Q基带信号。

[0055] 图4A中的CA LNA 440可使用各种电路架构来实现。以下描述了CA LNA 440的一些示例性设计。CA LNA 440也可使用各种类型的晶体管来实现。以下描述使用N沟道金属氧化物半导体 (NMOS) 晶体管实现的CA LNA 440的一些示例性设计。

[0056] 图6A示出了具有电感衰退和共源共栅转向开关的CA LNA 640a的示例性设计的示意图。CA LNA 640a是图4A中的CA LNA 440的一种示例性设计。CA LNA 640a包括两个放大器电路650a和650b、转向共源共栅晶体管658、以及两个负载电路670a和670b。CA LNA 640a接收输入RF信号, 其可包括一个或两个载波集上的传输, 每个载波集包括一个或多个载波。

[0057] 在图6A中所示的示例性设计中, 每个放大器电路650包括源极衰退电感器652、增益晶体管654、以及共源共栅晶体管656。在放大器电路650a内, 增益晶体管654a的栅极接收输入RF信号并且其源极耦合至电感器652a的一端。电感器652a的另一端耦合至电路接地。

共源共栅晶体管656a的源极耦合至增益晶体管654a的漏极,其栅极接收第一控制信号Vctrl1,并且其漏极耦合至负载电路670a。放大器电路650b包括源极衰退电感器652b、增益晶体管654b、以及共源共栅晶体管656b,它们按与放大器电路650a中的电感器652a以及晶体管654a和656a类似的方式来耦合。转向共源共栅晶体管658的源极耦合至增益晶体管654b的漏极,其栅极接收第三控制信号Vctrla,并且其漏极耦合至负载电路670a。增益晶体管654b、共源共栅晶体管658、和电感器652b可被视为与放大器电路650a并联耦合的放大器电路650c的一部分。增益晶体管654以及共源共栅晶体管656和658可用NMOS晶体管(如图6A中所示)或使用其他类型的晶体管来实现。

[0058] 放大器电路650也可按其他方式来实现。在另一示例性设计中,放大器电路可包括其源极直接耦合至电路接地(而非源极衰退电感器)的增益晶体管。在又一示例性设计中,放大器电路可包括并联耦合且其栅极接收输入RF信号的两个增益晶体管。第一增益晶体管的源极可耦合至源极衰退电感器,如图6A中所示。第二增益晶体管的源极可直接耦合至电路接地。第一增益晶体管或第二增益晶体管中的任一者可被选择。

[0059] 在图6A中所示的示例性设计中,每个负载电路670包括变压器672,变压器672包括初级线圈674和次级线圈676。在负载电路670a内,变压器672a包括(i)耦合在共源共栅晶体管656a和658的漏极与电源VDD之间的初级线圈674a,以及(ii)提供差分第一输出RF信号的次级线圈676a。负载电路670b包括变压器672b,变压器672b具有(i)耦合在共源共栅晶体管656b的漏极与VDD电源之间的初级线圈674b,以及(ii)提供差分第二输出RF信号的次级线圈676b。

[0060] 负载电路670也可按其他方式来实现。在另一示例性设计中,负载电路可包括耦合在VDD电源与共源共栅晶体管的漏极之间的电感器以及可能的电容器。共源共栅晶体管可在其漏极提供输出RF信号。在又一示例性设计中,负载电路可包括其源极耦合至VDD电源并且其漏极耦合至共源共栅晶体管的漏极的P沟道金属氧化物半导体(PMOS)晶体管。PMOS晶体管可为共源共栅晶体管提供有功负载。

[0061] 出于简化起见,图6A示出了CA LNA 640a包括用于两个载波集的两个放大器电路650a和650b以及两个负载电路670a和670b。CA LNA 640a可包括用于两个以上载波集的两个以上放大器电路650和两个以上负载电路670。

[0062] CA LNA 640a在任何给定时刻可按单输出模式或多输出模式操作。在单输出模式中,CA LNA 640a接收一个载波集上的传输并向一个下变频器电路提供一个输出RF信号。在多输出模式中,CA LNA 640a接收两个载波集上的传输并向两个下变频器电路提供两个输出RF信号,针对每个载波集有一个输出RF信号。

[0063] 图6B示出了CA LNA 640a在多输出模式中的操作。在多输出模式中,通过分别对共源共栅晶体管656a和656b的栅极处的Vctrl1和Vctrl2信号提供恰适的偏置电压来启用放大器电路650a和650b两者。通过对Vctrla信号提供低电压来禁用转向共源共栅晶体管658。放大器电路650a放大输入RF信号并将第一经放大RF信号提供给负载电路670a。放大器电路650b放大输入RF信号并将第二经放大RF信号提供给负载电路670b。

[0064] 图6C示出了CA LNA 640a在单输出模式中的操作。在单输出模式中,通过分别对共源共栅晶体管656a和658的栅极处的Vctrl1和Vctrla信号提供恰适的偏置电压来启用增益晶体管654a和654b两者。通过对Vctrl2信号提供低电压来禁用共源共栅晶体管656b。放大

器电路650a和650c放大输入RF信号并将经放大RF信号提供给负载电路670a。具体而言,增益晶体管654a和654b放大输入RF信号并经由共源共栅晶体管656a和658将经放大RF信号提供给负载电路670a。

[0065] 在图6A中所示的示例性设计中,通过使输入RF信号被施加到两个增益晶体管654a和654b来在“栅极”级拆分该输入RF信号。还可通过使输入RF信号被施加到驱动两个共源共栅晶体管的单个增益晶体管来在“共源共栅”级拆分该输入RF信号。在栅极级拆分输入RF信号(如图6A中所示)可提供比在共源共栅级拆分输入RF信号更佳的性能(例如,更佳的增益、噪声指数、线性和隔离)。例如,在栅极级拆分输入RF信号可提供约35dB的良好L0-L0隔离(或用于不同载波集的下变频器的L0信号之间的隔离),而在共源共栅级拆分输入RF信号可提供仅为约15dB的L0-L0隔离。

[0066] CA LNA 640a包括两条不同的信号路径。第一信号路径包括放大器电路650a和负载电路670a。第二信号路径包括放大器电路650b和负载电路670b。这两条信号路径可将针对两个载波集的两个输出RF信号提供给两个下变频器电路。

[0067] 在多输出模式中,两条信号路径可被同时导通,如图6B中所示。每条信号路径放大输入RF信号并从其负载电路提供输出RF信号。

[0068] 在单输出模式中,第一信号路径被开启,并且负载电路670a提供输出RF信号,如图6C中所示。此外,增益晶体管654b被导通以便于减小CA LNA 640a的输入阻抗在单输出模式和多输出模式之间的变化。第二条信号路径中的共源共栅晶体管656b被关断。然而,转向共源共栅晶体管658被导通并且将RF电流从增益晶体管654b转向到第一信号路径中,其就增强了单输出模式中LNA640a的增益/跨导。

[0069] 在图6A中所示的示例性设计中,分开的源极衰退电感器652a和652b被用于放大器电路650a和650b以便于减小两条信号路径之间的交互并帮助减小噪声指数(NF)降级。源极衰退电感器652a和652b还可改善放大器电路650a和650b的线性并有助于CA LNA 640a的输入匹配。电感器652a和652b可具有相同值或不同值。电感器652a和652b的值可基于单输出模式和多输出模式中电压增益和线性之间的折衷来选择(例如,独立地选择)。

[0070] 如图6A中所示,可变电容器668a可跨增益晶体管654a的栅极和源极存在。电容器668a可包括增益晶体管654a的寄生。电容器668a还可包括一排可切换电容器,其可耦合在增益晶体管654a的栅极和源极之间并且可被用来细调CA LNA 640a的输入阻抗。每个可切换电容器可用与开关串联耦合的电容器来实现。类似地,可变电容器668b可跨增益晶体管654b的栅极和源极存在。电容器668b可包括一排可切换电容器,其可耦合在增益晶体管654b的栅极和源极之间并且可被用来细调CA LNA 640a的输入阻抗。输入匹配电路632是信号路径648a和648b两者共用的并且被用于单输出模式和多输出模式两者中的输入匹配。

[0071] 图7A示出了具有电感衰退和共源共栅转向开关的CA LNA 640b的示例性设计的示意图。CA LNA 640b是图4A中的CA LNA 440的另一种示例性设计。CA LNA 640b包括两个放大器电路650a和650b、转向共源共栅晶体管658、以及负载电路670a和670b,其类似于图6A中的CA LNA 640a。CA LNA 640b进一步包括第二转向共源共栅晶体管659,第二转向共源共栅晶体管659的源极耦合至增益晶体管654a的漏极,其栅极接收控制信号Vctrlb,并且其漏极耦合至共源共栅晶体管656b的漏极。增益晶体管654b、共源共栅晶体管658、和电感器652b可被视为与放大器电路650a并联耦合的放大器电路650c的一部分。增益晶体管654a、

共源共栅晶体管659、和电感器652a可被视为与放大器电路650b并联耦合的放大器电路650d的一部分。CA LNA 640b在单输出模式中可向负载电路670a或670b中的任一者提供经放大RF信号。该经放大RF信号可通过以下操作被提供给负载电路670b：(i) 导通共源共栅晶体管656b和659，以及(ii) 关断共源共栅晶体管656a和658。

[0072] 图7B示出了具有电感衰退、共源共栅转向开关、以及反馈的CA LNA 640c的示例性设计的示意图。CA LNA 640c是图4A中的CA LNA 440的又一种示例性设计。CA LNA 640c包括两个放大器电路650a和650b、转向共源共栅晶体管658、以及负载电路670a和670b，其类似于图6A中的CA LNA 640a。CA LNA 640c进一步包括耦合在共源共栅晶体管656a和656b的漏极与增益晶体管654a和654b的栅极之间(即，放大器电路650a和650b的输入与输出之间)的反馈电路660。

[0073] 在图7B中所示的示例性设计中，反馈电路660包括开关662a和662b、电阻器664、和电容器666。电阻器664和电容器666串联耦合，其中电容器666的底部端子耦合至增益晶体管654a和654b的栅极。开关662a被耦合在共源共栅晶体管656a的漏极与电阻器664的顶部端子之间。开关662b被耦合在共源共栅晶体管656b的漏极与电阻器664的顶部端子之间。开关662a和662b可各自闭合以将反馈电路660连接至其相关联的共源共栅晶体管656并且可断开以将反馈电路660与相关联的共源共栅晶体管656断开。反馈电路660还可包括一个或多个有源电路，诸如晶体管。在示例性设计中，反馈电路660可被启用并用于低频带以提供输入功率匹配。对于中频带和高频带，反馈电路660可被禁用，并且源极衰退电感器652a和652b可与匹配电路632一起使用以用于输入功率匹配。反馈电路660也可按其他方式来使用。

[0074] 反馈电路660可有帮助CA LNA 640c的输入匹配。输入匹配电路632是放大器电路650a和650b两者共用的并且用于单输出模式和多输出模式两者。在多输出模式中，用于CA LNA 640c的输入匹配可用围绕放大器电路650a和650b的反馈电路660和开关662a或662b以及源极衰退电感器652a和652b来达成。用于CA LNA 640c的输入匹配可：(i) 针对RFout1信号用反馈电路660、开关662a、和源极衰退电感器652a来达成；以及(ii) 针对RFout2信号用源极衰退电感器652b来达成。替换地，用于CA LNA 640c的输入匹配可：(i) 针对RFout1信号用源极衰退电感器652a来达成；以及(ii) 针对RFout2信号用反馈电路660、开关662b、和源极衰退电感器652b来达成。在单输出模式中，用于CA LNA 640c的输入匹配可用反馈电路660、开关662a或662b、以及源极衰退电感器652a和652b来达成。反馈电路660可帮助单输出模式和多输出模式两者中整个LNA 640c的输入匹配。

[0075] 反馈电路660可改善放大器电路650a和650b的线性。放大器电路650a可：(i) 当开关662a闭合时，通过源极衰退电感器652a和反馈电路660两者来线性化；或者(ii) 当开关662a断开时，仅通过源极衰退电感器652a来线性化。反馈电路660可改善放大器电路650a在单输出模式和多输出模式两者中的线性。这可允许较小的电感器652a被用来获得放大器电路650a的期望线性。类似地，放大器电路650b可：(i) 当开关662b闭合时，通过源极衰退电感器652b和反馈电路660两者来线性化；或者(ii) 当开关662b断开时，仅通过源极衰退电感器652b来线性化。较小的电感器可被用于电感器652a和/或652b以获得启用了反馈电路660的放大器电路650b的期望线性。

[0076] 在图7B中所示的示例性设计中，在任何给定时间可启用仅一个开关662a或662b。

在多输出模式中,反馈电路660可被用来线性化一个放大器电路650a或650b,但可为两个放大器电路提供输入匹配。没有反馈的另一放大器电路可经由其衰退电感器来线性化。在单输出模式中,仅一个放大器电路650a或650b以及围绕此放大器电路的反馈可被启用。另一放大器电路及其对应反馈开关可被禁用。

[0077] 图7C示出了具有共源共栅转向开关但不具有源极衰退电感器的CA LNA 640d的示例性设计的示意图。CA LNA 640d是图4A中的CA LNA 440的又一示例性设计。CA LNA 640d包括两个放大器电路651a和651b、转向共源共栅晶体管658、以及两个负载电路670a和670b。

[0078] 衰减电路620接收输入RF信号并将经衰减输入RF信号提供给CA LNA 640d。衰减电路620包括(i)耦合在衰减电路620的输入与输出之间的电阻器622,以及(ii)耦合在衰减电路620的输出与电路接地之间的可变电阻器624。AC耦合电容器628耦合在衰减电路620的输出与放大器电路651a的输入之间。

[0079] 放大器电路651a包括增益晶体管654a和共源共栅晶体管656a。增益晶体管654a的栅极耦合至AC耦合电容器628,并且其源极耦合至电路接地(如图7C中所示)或耦合至源极衰退电感器(图7C中未示出)。共源共栅晶体管656a的栅极接收Vctrl1信号,其源极耦合至增益晶体管654a的漏极,并且其漏极耦合至负载电路670a。放大器电路651b包括增益晶体管654b和共源共栅晶体管656b,它们按与放大器电路651a中的增益晶体管654a和共源共栅晶体管656a类似的方式来耦合。转向共源共栅晶体管658的源极耦合至增益晶体管654b的漏极,其栅极接收Vctrla信号,并且其漏极耦合至共源共栅晶体管656a的漏极。

[0080] CA LNA 640d可以有利地用在其中输入RF信号包括扰乱的情景中,该扰乱是在频率上靠近期望信号的较大非期望信号。衰减电路620可以是可编程的(例如,如图7C中所示)或者可以是固定的(图7C中未示出)。衰减电路620可用于衰减输入RF信号中的扰乱以及为CA LNA 640d提供良好输入匹配的双重目的。

[0081] 图6A、7A、7B和7C示出了具有共源共栅转向开关的CA LNA的一些示例性设计,其可按其他方式实现。在另一示例性设计中,CA LNA可包括其源极耦合至单个共享源极衰退电感器的多个增益晶体管。例如,在图6A中,增益晶体管654b的源极可耦合至电感器652a,并且电感器652b可被省略。图6A、7A和7C中的输入匹配电路632和图7B中的衰减电路620也可被具有至少一个可被调节以改变输入匹配的可调谐电路组件(例如,至少一个可调电容器)的可调谐匹配电路代替。

[0082] 图5A中的MIMO LNA 540可用各种电路架构来实现。MIMO LNA 540的一些示例性设计在以下描述。MIMO LNA 540也可使用各种类型的晶体管来实现。用NMOS晶体管实现的MIMO LNA 540的一些示例性设计在以下描述。

[0083] 图8A示出了具有共源共栅转向开关的 2×2 MIMO LNA 840a的示例性设计的示意图。MIMO LNA 840a是图5A中的MIMO LNA 540的一种示例性设计。MIMO LNA 840a包括用于两个LNA输入的两个放大器块842a和842b以及用于两个LNA输出的两个负载电路870a和870b。

[0084] 在图8A中所示的示例性设计中,放大器块842a包括两个放大器电路850a和860a、以及转向共源共栅晶体管858a和859a。放大器块842b包括两个放大器电路850b和860b以及转向共源共栅晶体管858b和859b。每个放大器电路850包括增益晶体管854、共源共栅晶体

管856、以及源极衰退电感器852,它们按与图6A中的增益晶体管654a、共源共栅晶体管656a、以及电感器652a类似的方式来耦合。每个放大器电路860包括增益晶体管864、共源共栅晶体管866、以及源极衰退电感器862,它们也按与图6A中的增益晶体管654a、共源共栅晶体管656a、以及电感器652a类似的方式来耦合。在放大器块842a内,转向共源共栅晶体管858a的源极耦合至增益晶体管864a的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管856a的漏极。转向共源共栅晶体管859a的源极耦合至增益晶体管854a的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管866a的漏极。在放大器块842b内,转向共源共栅晶体管858b的源极耦合至增益晶体管864b的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管856b的漏极。转向共源共栅晶体管859b的源极耦合至增益晶体管854b的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管866b的漏极。增益晶体管854和864以及共源共栅晶体管856、858、859和866可用NMOS晶体管(如图8A中所示)或用其他类型的晶体管来实现。

[0085] 第一输入RF信号 RF_{in1} 被提供给放大器块842a中的增益晶体管854a和864a的栅极。第二输入RF信号 RF_{in2} 被提供给放大器块842b中的增益晶体管854b和864b的栅极。共源共栅晶体管856a、866a、856b、和866b的栅极分别接收控制信号 V_{ctrl1} 、 V_{ctrl2} 、 V_{ctrl3} 和 V_{ctrl4} 。转向共源共栅晶体管858a、859a、858b、和859b的栅极分别接收控制信号 V_{ctrla} 、 V_{ctrlb} 、 V_{ctrlc} 和 V_{ctrld} 。共源共栅晶体管856a和866b的漏极耦合至负载电路870a,并且共源共栅晶体管856b和866a的漏极耦合至负载电路870b。

[0086] MIMO LNA 840a可支持单输出模式、带内CA模式、和带间CA模式。单输出模式可被用来在没有载波聚集的情况下接收在单个载波上发送的传输、或者在载波聚集的情况下接收在多个载波上发送的传输。在单输出模式中,向单个放大器块842施加单个输入RF信号。此放大器块842中的增益晶体管854和864两者以及或者共源共栅晶体管856和858、或者共源共栅晶体管859和866被启用并提供经放大RF信号。一个共源共栅晶体管和一个转向共源共栅晶体管被启用,并且另一个共源共栅晶体管和另一个转向共源共栅晶体管被禁用。单个负载电路870接收经放大RF信号并提供针对一个载波集的单输出RF信号。放大器电路850和860关于放大器块842是对称的。 RF_{in} 信号可被转向至两个输出之一。用于所选输出的放大器电路被启用,并且与此放大器电路并联耦合的转向共源共栅晶体管也被启用。

[0087] 在带内CA模式中,向单个放大器块842施加单个输入RF信号。此放大器块842中的增益晶体管854和864两者以及共源共栅晶体管856和866两者被启用并提供两个经放大RF信号。转向共源共栅晶体管858和859两者被禁用。两个负载电路870接收这两个经放大RF信号并提供针对两个载波集的两个输出RF信号。

[0088] 在带间CA模式中,向两个放大器块842施加两个输入RF信号。在每个放大器块842中,增益晶体管854和864两者以及共源共栅晶体管856和858、或者共源共栅晶体管859和866被启用以提供经放大RF信号。两个负载电路870接收来自两个放大器块842的两个经放大RF信号并提供针对两个载波集的两个输出RF信号。

[0089] 图8B示出了具有共源共栅转向开关的 4×2 MIMO LNA 840b的示例性设计的示意图。MIMO LNA 840b是图5A中的MIMO LNA 540的另一示例性设计。MIMO LNA 840b包括用于四个LNA输入的四个放大器块842a到842d以及用于两个LNA输出的两个负载电路870a和870b。

[0090] 在图8B中所示的示例性设计中,每个放大器块842包括两个放大器电路850和860

以及一个或多个转向共源共栅晶体管857。每个放大器电路850包括增益晶体管854、共源共栅晶体管856、以及源极衰退电感器852。每个放大器电路860包括增益晶体管864、共源共栅晶体管866、以及源极衰退电感器862。在每个放大器块842内, (诸) 转向共源共栅晶体管857可包括图8A中的转向共源共栅晶体管858和/或859。转向共源共栅晶体管858 (若存在) 的源极耦合至增益晶体管864的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管856的漏极。转向共源共栅晶体管859 (若存在) 的源极耦合至增益晶体管854的漏极并且其漏极耦合至共源共栅晶体管866的漏极。

[0091] 四个输入RF信号RFin1到RFin4被分别提供给放大器块842a到842d。共源共栅晶体管856a、856d、866b、和866c的漏极耦合至负载电路870a。共源共栅晶体管856b、856c、866a、和866d的漏极耦合至负载电路870b。

[0092] MIMO LNA 840b可支持单输出模式、带内CA模式、和带间CA模式。在单输出模式中, 单个输入RF信号可经由这四个LNA输入中的任何一个被接收并被施加到单个放大器块842。此放大器块842放大输入RF信号并将经放大RF信号提供给单个负载电路870。此负载电路870将针对一个载波集的单个输出RF信号提供给两个LNA输出之一。

[0093] 在带内CA模式中, 单个输入RF信号可经由这四个LNA输入中的任何一个被接收并被施加到单个放大器块842。此放大器块842放大输入RF信号并将两个经放大RF信号提供给两个负载电路870。这两个负载电路870将针对两个载波集的两个输出RF信号提供给两个LNA输出。MIMO LNA 840b允许输入RF信号被施加到任何放大器块842并被路由到任何负载电路870。

[0094] 在带间CA模式中, 两个输入RF信号可经由这四个LNA输入中的两个被接收并被施加到两个放大器块842。这两个放大器块842放大这两个输入RF信号并将两个经放大RF信号提供给两个负载电路870。这两个负载电路870将针对两个载波集的两个输出RF信号提供给两个LNA输出。在图8B中所示的示例性设计中, MIMO LNA 840b支持带间CA模式中输入RF信号的六个组合。具体而言, 可支持输入RF信号的以下组合: (RFin1, RFin2)、(RFin1, RFin3)、(RFin1, RFin4)、(RFin2, RFin3)、(RFin2, RFin4)、以及(RFin3, RFin4)。

[0095] 图8C示出了具有共源共栅转向开关的 4×2 MIMO LNA 840c的示例性设计的示意图。MIMO LNA 840c是图5A中的MIMO LNA 540的另一种示例性设计。MIMO LNA 840c包括用于四个LNA输入四个放大器块844a到844d以及用于两个LNA输出的两个负载电路870a和870b。每个放大器块844包括放大器电路851和861以及一个或多个转向共源共栅晶体管857。(诸) 转向共源共栅晶体管857可包括图8A中的转向共源共栅晶体管858和/或859。每个放大器电路851包括增益晶体管854和共源共栅晶体管856。每个放大器电路861包括增益晶体管864和共源共栅晶体管866。增益晶体管854a和854b共享同一源极衰退电感器852a并且其源极耦合至电感器852a。增益晶体管864a和864b共享同一源极衰退电感器862b并且其源极耦合至电感器862b。增益晶体管854c和854d共享同一源极衰退电感器852c并且其源极耦合至电感器852c。增益晶体管864c和864d共享同一源极衰退电感器862d并且其源极耦合至电感器862d。图8C中的MIMO LNA 840c包括图8B中的MIMO LNA 840b的源极衰退电感器的另一半, 这可提供诸如较小电路面积、较低成本之类的一些优点。

[0096] MIMO LNA 840c可支持单输出模式和带内CA模式, 如以上关于图8B中的MIMO LNA 840b所述的。MIMO LNA 840c还可支持带间CA模式。具体而言, 在带间CA模式中, LNA 840c可

支持输入RF信号的四个组合：(RFin1,RFin3)、(RFin1,RFin4)、(RFin2,RFin3)、以及(RFin2,RFin4)。

[0097] 本文中所述的CA LNA和MIMO LNA可具有以下期望特征中的一者或多者：

[0098] 1.输入阻抗在单输出模式与CA模式之间的较小变化，

[0099] 2.单输出模式中使用由转向共源共栅晶体管进行的RF电流转向的较高增益，

[0100] 3.单端LNA输入和差分LNA输出，

[0101] 4.用于MIMO LNA的变压器/电感负载，以及

[0102] 3.针对高增益在LNA输入处的电感衰退以及针对低增益被旁路。

[0103] 输入阻抗在不同操作模式之间的较小变化可改善性能。单输出模式中的较高增益也可改善性能。

[0104] 单端LNA输入可减小输入端口的数目以及包含MIMO LNA的印刷电路板 (PCB) 上的用于输入匹配电路的电路组件的数目。替换地，对于给定数目的输入端口，MIMO LNA可用单端LNA输入来支持两倍数量的放大器电路。差分LNA输出可通过平衡下变频器电路中的信号来降低LO泄露和二阶效应。一般而言，差分电路对单端电路的所有优点可使用差分LNA输出来获得。

[0105] 变压器/电感负载可允许LNA使用低电源电压来操作，因为这些电路组件不浪费任何电压净空。其他类型的负载 (例如，有功/晶体管负载) 可使LNA的增益、噪声指数、和线性降级。

[0106] 电感衰退可被用来改善高增益LNA中的线性以及辅助针对目标阻抗 (例如，50欧姆) 的输入匹配。在没有衰退电感器 (例如，接收机性能 (例如，用于输入匹配和线性) 可能不满足规范要求。

[0107] 在示例性设计中，一种装置 (例如，无线设备、IC、电路模块等) 可包括第一和第二放大器电路以及共源共栅晶体管。第一放大器电路 (例如，图6A中的放大器电路650a) 可接收输入RF信号，该输入RF信号可包括在不同频率处的多个载波上发送给无线设备的传输。第二放大器电路 (例如，放大器电路650b) 可包括增益晶体管 (例如，增益晶体管654b) 并且也可接收该输入RF信号。共源共栅晶体管 (例如，转向共源共栅晶体管658) 可耦合在第一放大器电路的输出和第二放大器电路中的增益晶体管之间。第二放大器电路中的增益晶体管和共源共栅晶体管可被视为附加放大器电路 (例如，图6A中的放大器电路650c)，其 (i) 与第一放大器电路并联耦合并且 (ii) 与第二放大器电路共享增益晶体管。该装置可进一步包括第二共源共栅晶体管 (例如，图7A中的转向共源共栅晶体管659)，其耦合在第二放大器电路的输出与第一放大器电路中的增益晶体管之间。第一放大器电路中的增益晶体管和第二共源共栅晶体管可被视为另一放大器电路，其 (i) 与第二放大器电路并联耦合并且 (ii) 与第一放大器电路共享增益晶体管。

[0108] 该装置可进一步包括第一和第二负载电路。第一负载电路 (例如，图6A中的负载电路670a) 可耦合至第一放大器电路。第二负载电路 (例如，负载电路670b) 可耦合至第二放大器电路。在示例性设计中，第一负载电路可包括具有初级线圈和次级线圈的变压器 (例如，变压器672a)。初级线圈 (例如，初级线圈674a) 可耦合在第一放大器电路与电源之间。当来自第一放大器电路的经放大RF信号被施加到初级线圈时，次级线圈 (例如，次级线圈676a) 可提供差分输出RF信号。第二负载电路可包括另一变压器 (例如，变压器672b)。第一和第二

负载电路还可包括其他电路组件,诸如电感器、电容器、晶体管等等。

[0109] 在一种示例性设计中,输入RF信号可包括单端信号。第一和第二负载电路可提供差分输出RF信号,例如,如图6A中所示。一般而言,输入和输出RF信号可各自包括单端信号或差分信号。

[0110] 在示例性设计中,第一放大器电路可包括耦合在第一放大器电路中的增益晶体管的源极与电路接地之间的第一电感器(例如,图6A中的电感器652a)。第二放大器电路可包括耦合在第二放大器电路中的增益晶体管的源极与电路接地之间的第二电感器(例如,电感器652b)。在另一示例性设计中,第一和第二放大器电路中的增益晶体管的源极可直接耦合至电路接地,例如,如图7C中所示。在又一示例性设计中,第一和第二放大器电路中的增益晶体管的源极可耦合至共享电感器。

[0111] 在示例性设计中,该装置可进一步包括反馈电路(例如,图7中的反馈电路660),其耦合在第一和第二放大器电路中的至少一者的输出与输入之间。该反馈电路可包括电阻器、电容器、晶体管、其他某个电路组件、或其任何组合。

[0112] 在示例性设计中,该装置可包括耦合至第一和第二放大器电路的输入匹配电路(例如,图4B中的输入匹配电路432)。在另一示例性设计中,该装置可包括衰减电路(例如,图7C中的衰减电路620),该衰减电路耦合至第一和第二放大器电路并且配置成接收输入RF信号并将经衰减输入RF信号提供给第一和第二放大器电路。

[0113] 在示例性设计中,该装置可进一步包括第一和第二下变频器电路。第一下变频器电路(例如,图4B中的下变频器电路490a)可耦合至第一负载电路并且可基于第一频率处的第一LO信号对来自第一负载电路的第一输出RF信号执行下变频。第二下变频器电路(例如,下变频器电路490b)可耦合至第二负载电路并且可基于第二频率处的第二LO信号对来自第二负载电路的第二输出RF信号执行下变频。第二频率可以不同于第一频率。第一下变频器电路可针对该装置正接收的第一载波集执行下变频。第二下变频器电路可针对该装置正接收的第二载波集执行下变频。第一和第二频率可分别基于正被接收的第一和第二载波集来选择。

[0114] 该装置可按多个操作模式之一来操作。在第一操作模式(例如,多输出模式,如图6B中所示)中,第一放大器电路可被启用以放大输入RF信号并提供第一经放大RF信号,并且第二放大器电路可被启用以放大输入RF信号并提供第二经放大RF信号。第一和第二经放大RF信号可针对该装置正接收的两个载波集。在第二操作模式(例如,单输出模式,如图6C中所示)中,第一放大器电路、第二放大器电路中的增益晶体管、和共源共栅晶体管可被启用以放大输入RF信号并提供经放大RF信号。该经放大RF信号可针对该装置正接收的一个载波集。

[0115] 在示例性设计中,该装置可进一步包括第三和第四放大器电路和第二共源共栅晶体管。第三放大器电路(例如,图8A中的放大器电路850b)可接收第二输入RF信号。第四放大器电路(例如,放大器电路860b)也可接收第二输入RF信号。第二共源共栅晶体管(例如,共源共栅晶体管858b)可耦合在第三放大器电路的输出和第四放大器电路中的增益晶体管之间。该装置可进一步包括第三和第四共源共栅晶体管。第三共源共栅晶体管(例如,图8A中的转向共源共栅晶体管859a)可耦合在第二放大器电路的输出与第一放大器电路中的增益晶体管之间。第四共源共栅晶体管(例如,图8A中的转向共源共栅晶体管859b)可耦合在第

四放大器电路的输出与第三放大器电路中的增益晶体管之间。一般而言,MIMO LNA可包括第一和第二放大器电路以及至少一组(例如,一对)附加放大器电路。每组放大器电路可接收相应输入RF信号。每组放大器电路可以与一个或多个转向共源共栅晶体管相关联,并且每个转向共源共栅晶体管可耦合在这组放大器电路中的两个放大器电路之间。

[0116] 在示例性设计中,每个放大器电路中的增益晶体管可耦合至分开的源极衰退电感器,例如,如图8A和8B中所示。在另一示例性设计中,多个放大器电路中的多个放大器电路可共享源极衰退电感器。例如,第一电感器(例如,图8C中的电感器852a)可耦合至两个放大器电路中的两个增益晶体管的源极,并且第二电感器(例如,图8C中的电感器862b)可耦合至两个其他放大器电路中的两个其他增益晶体管的源极。

[0117] 图9示出了用于在无线系统中执行信号放大的过程900的示例性设计。过程900可由无线设备执行或由某个其他实体来执行。在第一操作模式(例如,图6B中的多输出模式或带内CA模式)中,可用第一和第二放大器电路(例如,图7A中的放大器电路650a和650b)来放大输入RF信号以获得两个经放大RF信号(框912)。该输入RF信号可包括在不同频率处的多个载波上发送给无线设备的传输。每个经放大RF信号可针对无线设备正接收的不同载波集。在第二操作模式(例如,图6C中的单输出模式)中,可用第一放大器电路和第三放大器电路(例如,图7A中的放大器电路650c或650d)来放大输入RF信号以获得单个经放大RF信号(框914)。第一和第三放大器电路可并联耦合并且可使其输入耦合在一起且使其输出耦合在一起。第二和第三放大器电路可共享增益晶体管(例如,图7A中的增益晶体管654a或654b)。

[0118] 在第三操作模式(例如,带间CA模式)中,可用第一和第三放大器电路来放大输入RF信号以获得第一经放大RF信号,并且可使用第四和第五放大器电路来放大第二输入RF信号以获得第二经放大RF信号(框916)。第四放大器电路可对应于图8A中的放大器电路850b。第五放大器电路可包括图8A中的增益晶体管864b和共源共栅晶体管858b。

[0119] 本文中描述的LNA可在IC、模拟IC、RFIC、混和信号IC、ASIC、PCB、电子设备等上实现。这些LNA还可使用各种IC工艺技术来制造,诸如互补金属氧化物半导体(CMOS)、NMOS、PMOS、双极结型晶体管(BJT)、双极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)、绝缘体上硅(SOI)等。

[0120] 实现本文中所描述的LNA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)等等。

[0121] 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传递的任何介质。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。上述组合应当也被包括在计算机可读介质的范围内。

[0122] 提供对本公开的先前描述是为了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。

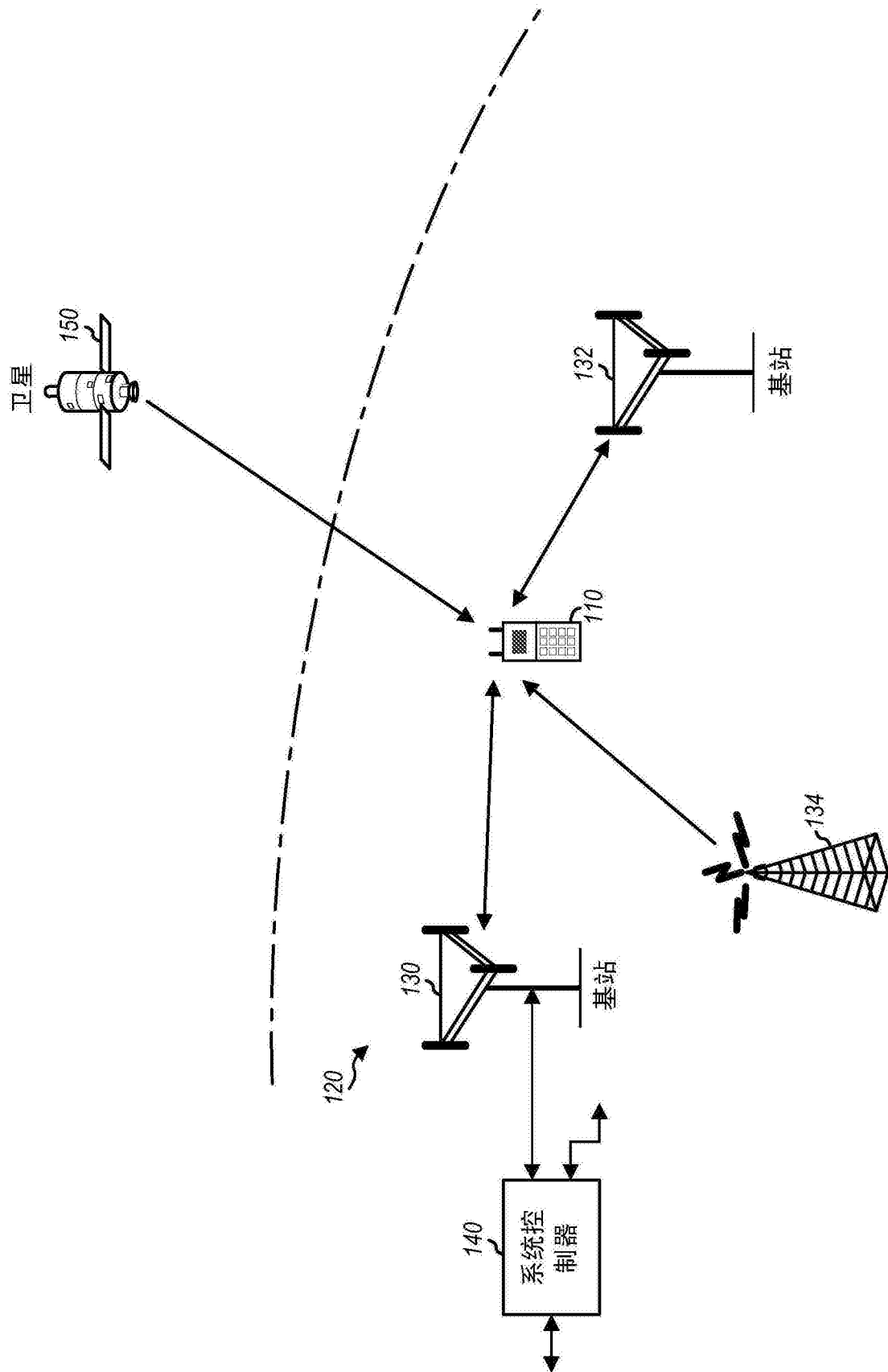


图1

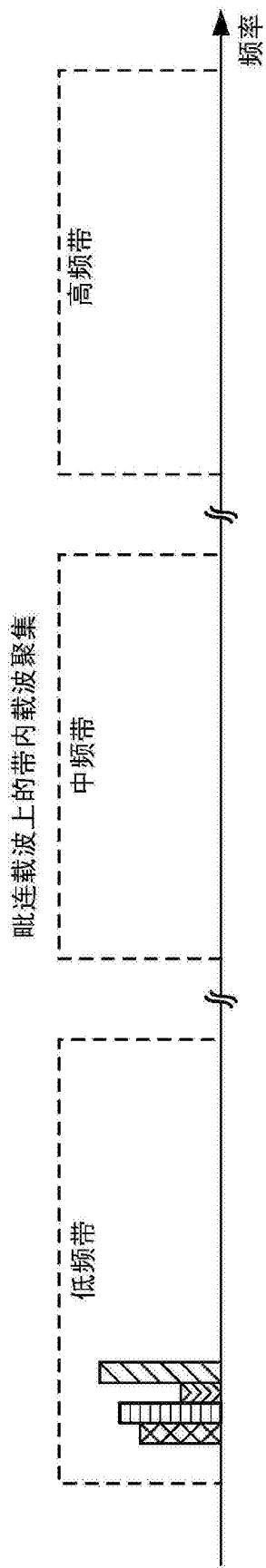


图2A

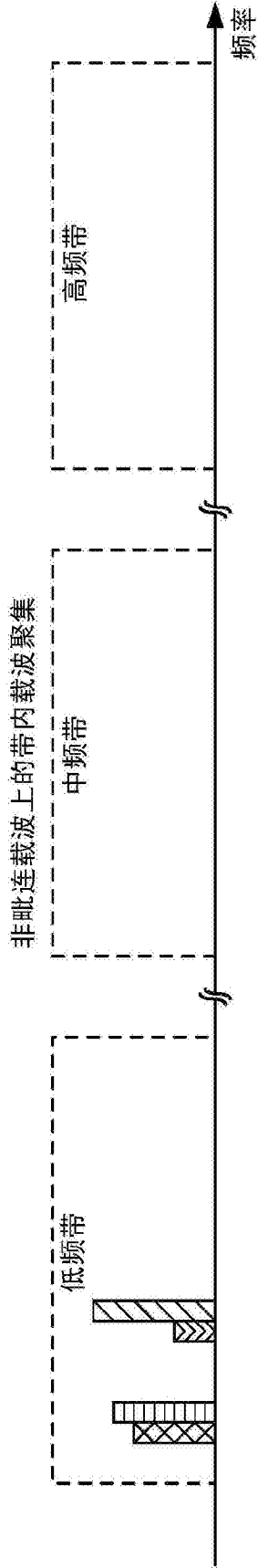


图2B

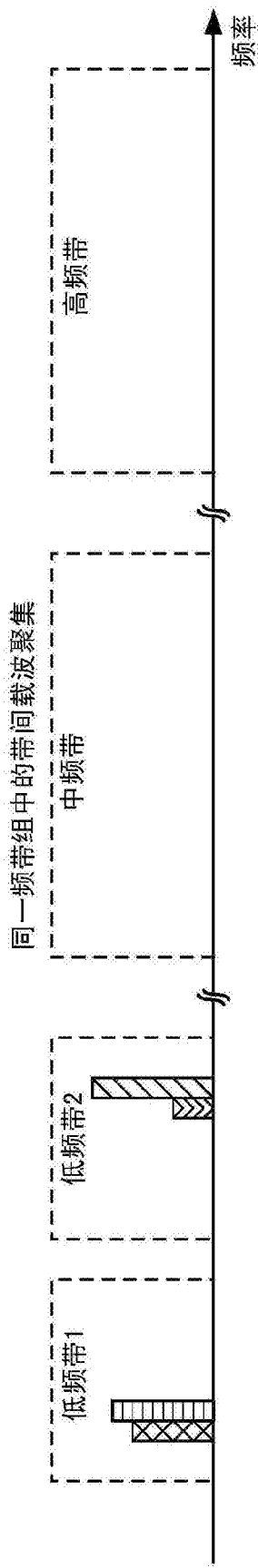


图2C

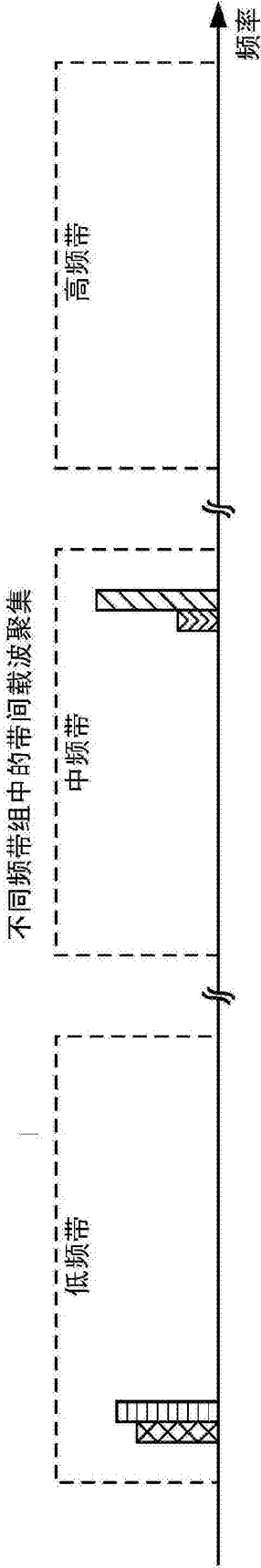


图2D

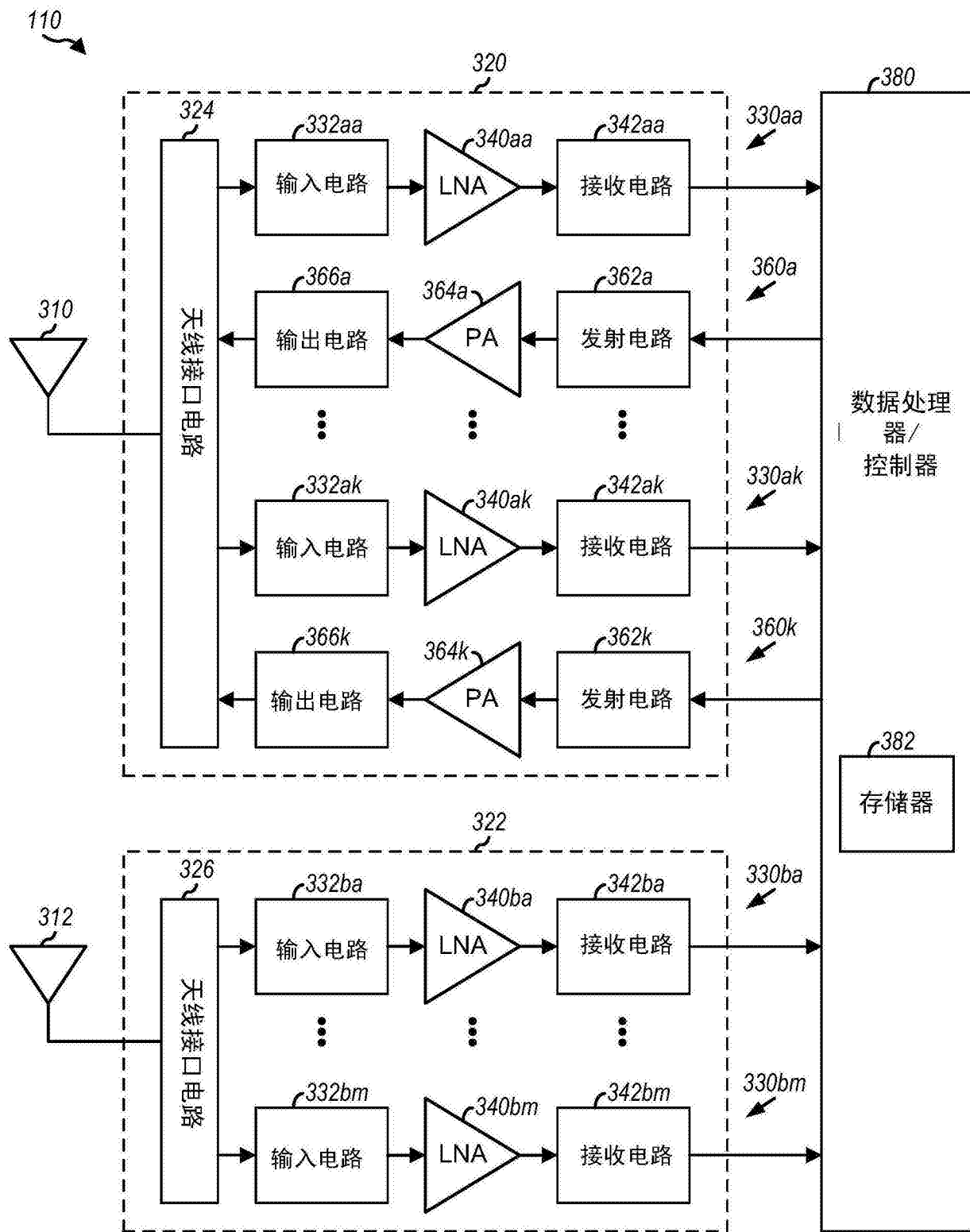


图3

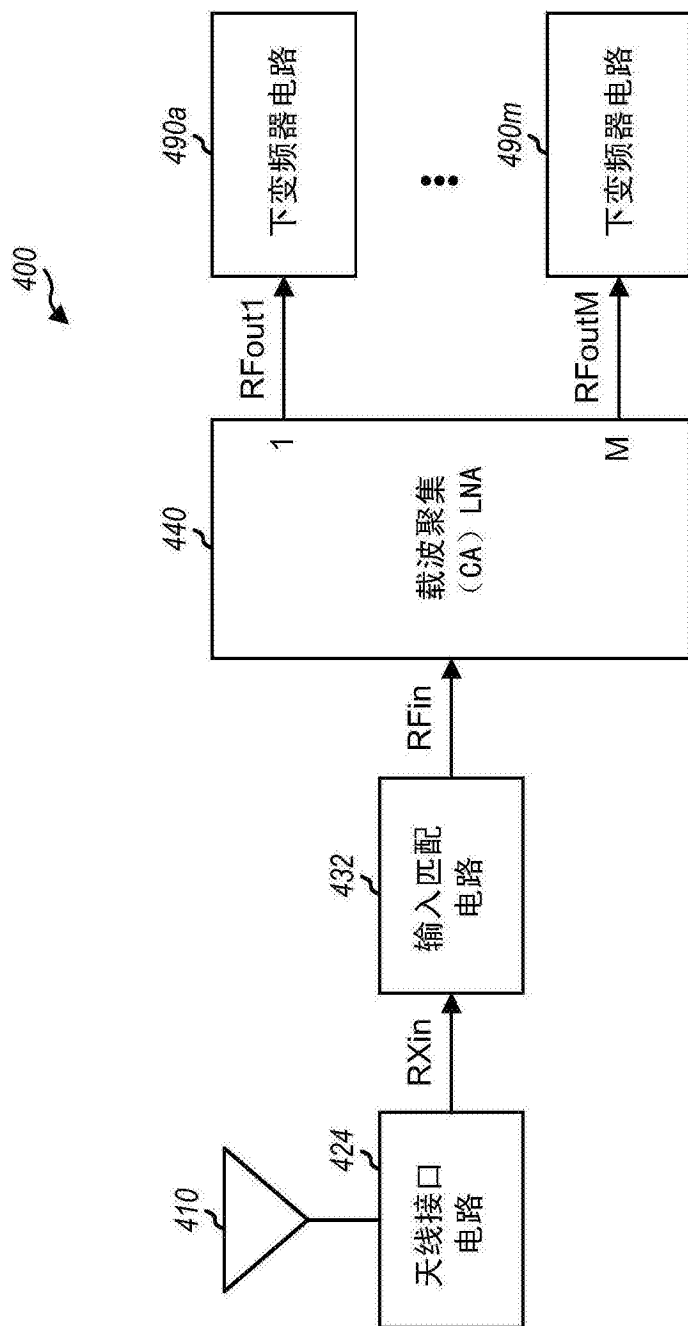


图4A

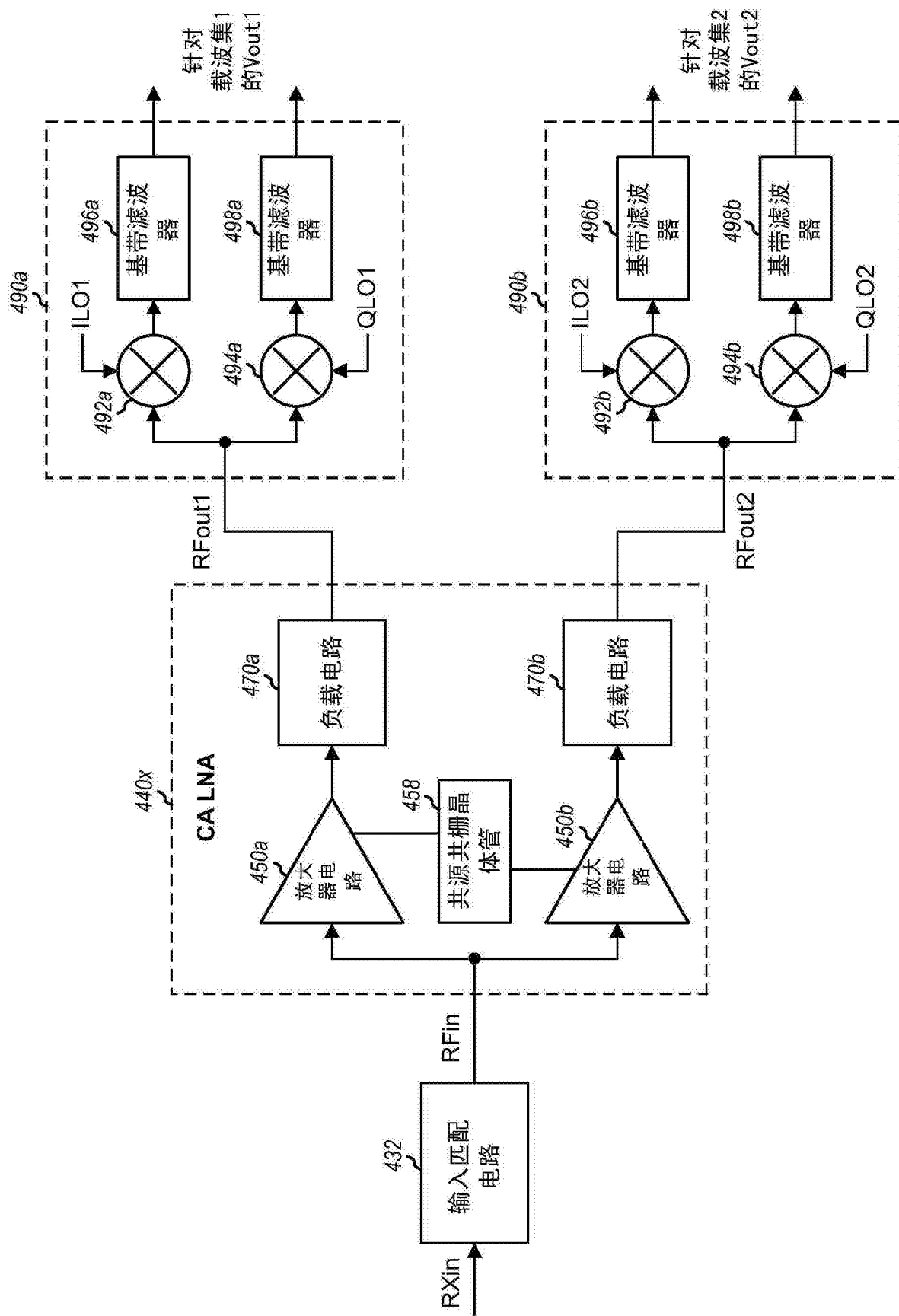


图4B

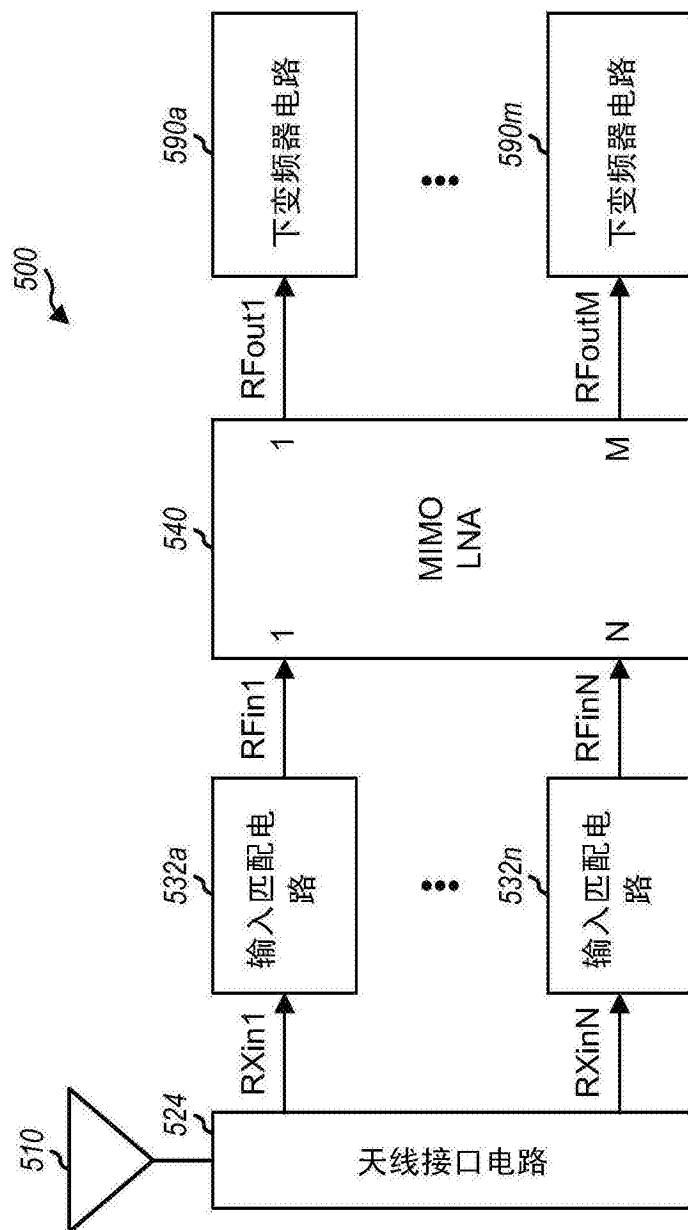


图5A

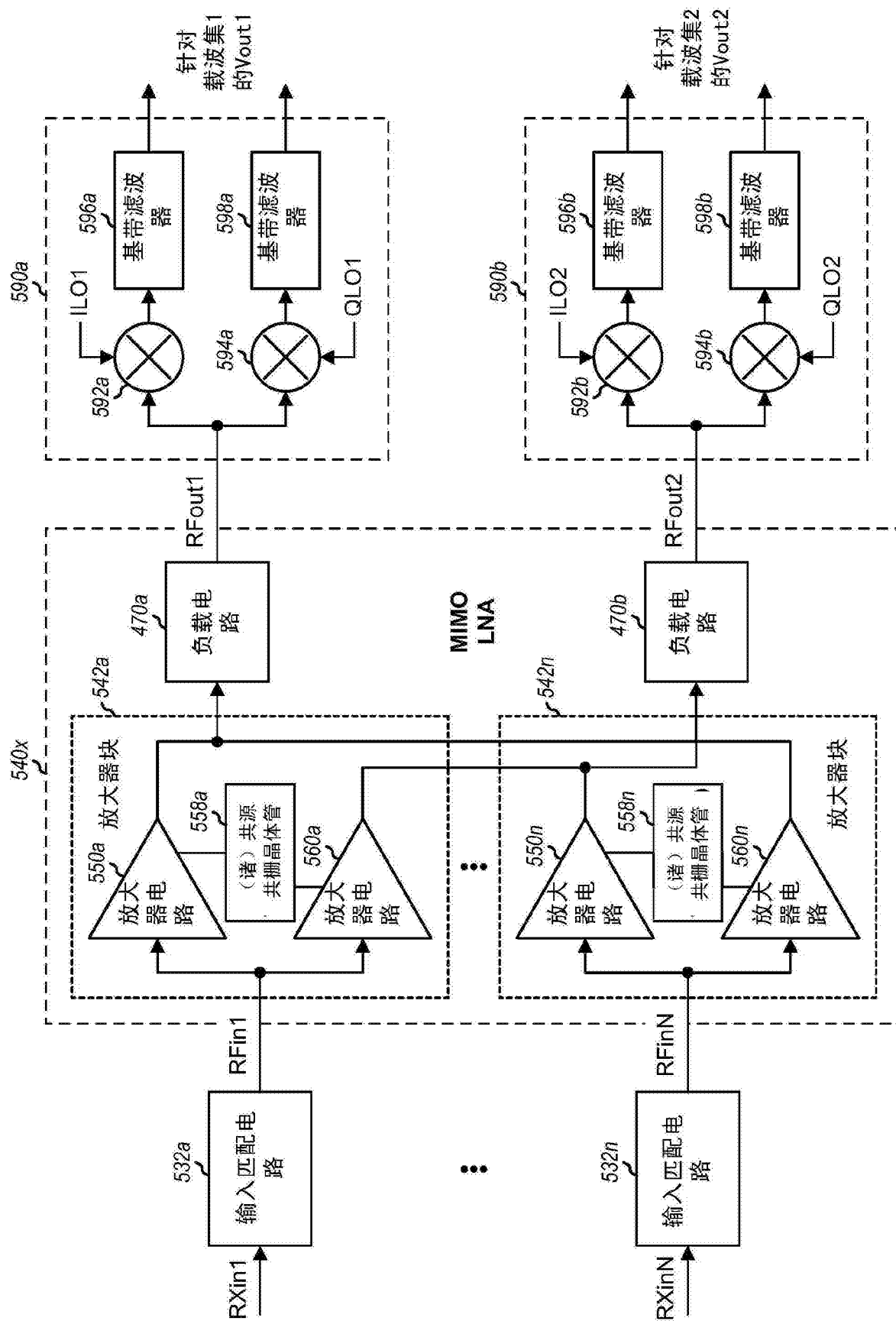


图5B

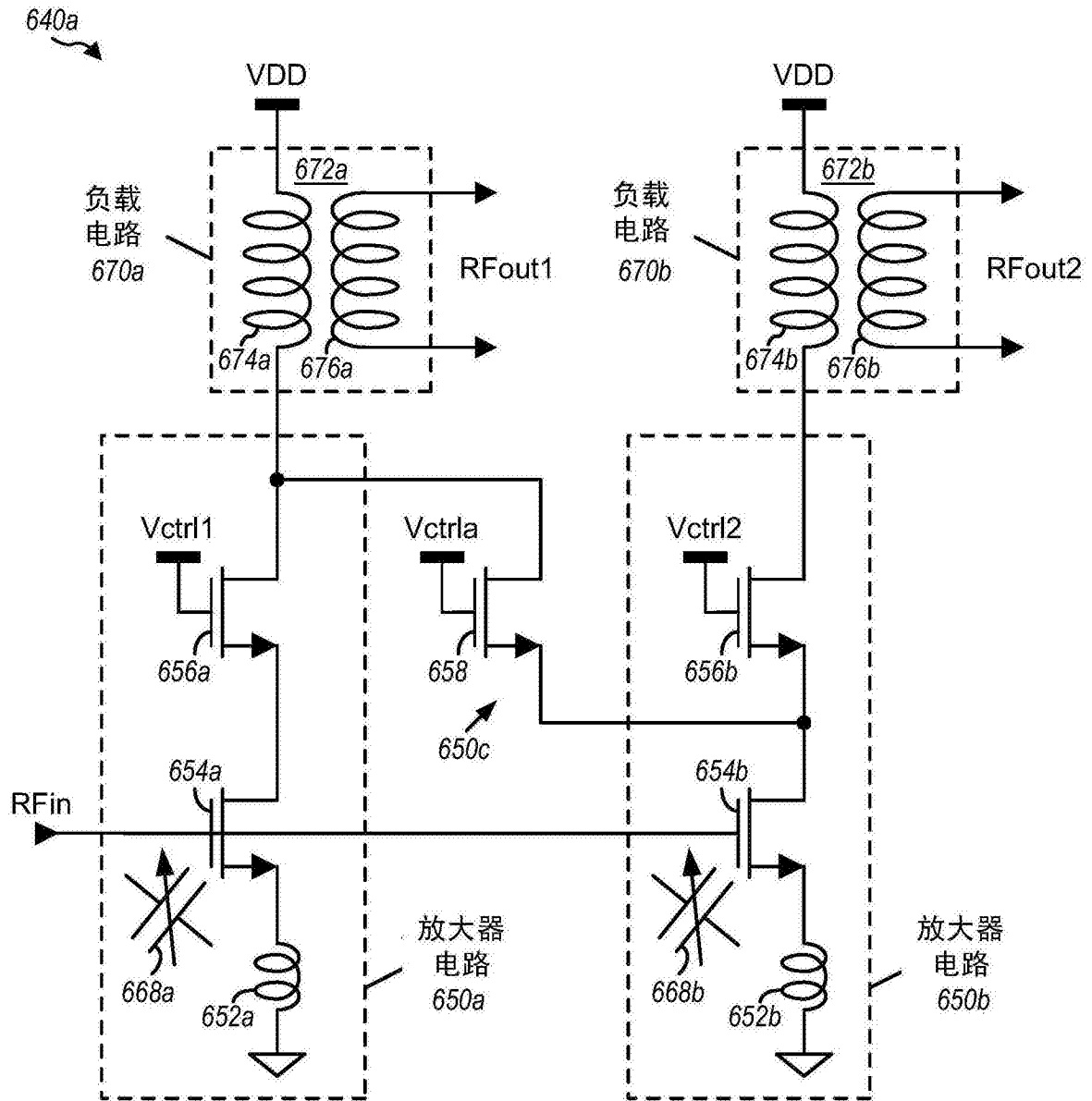


图6A

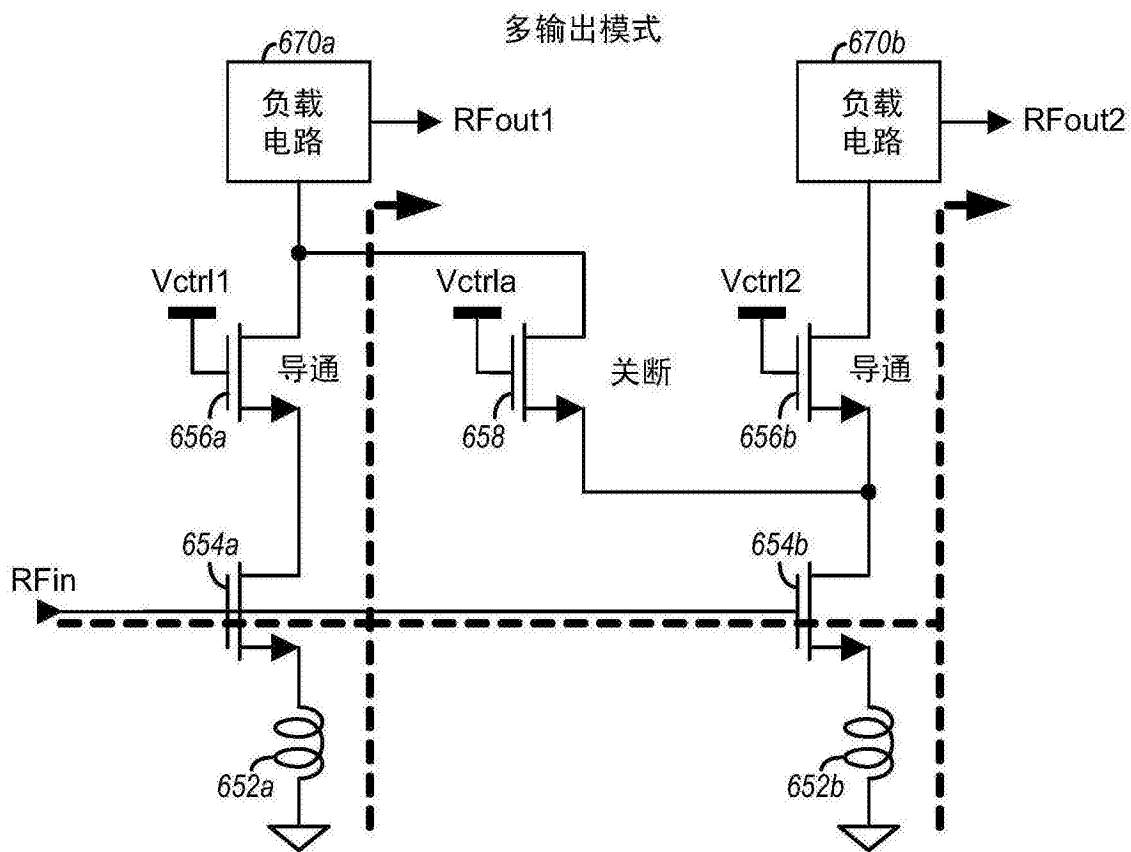


图6B

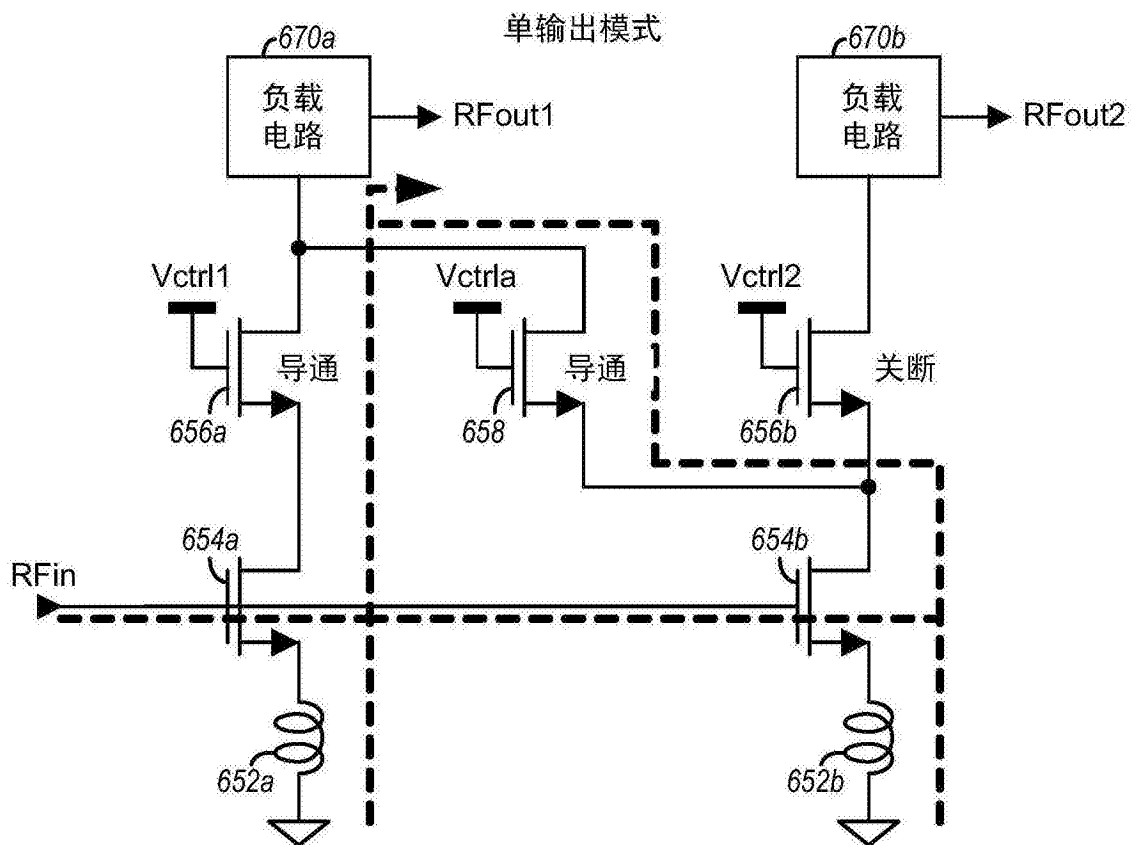


图6C

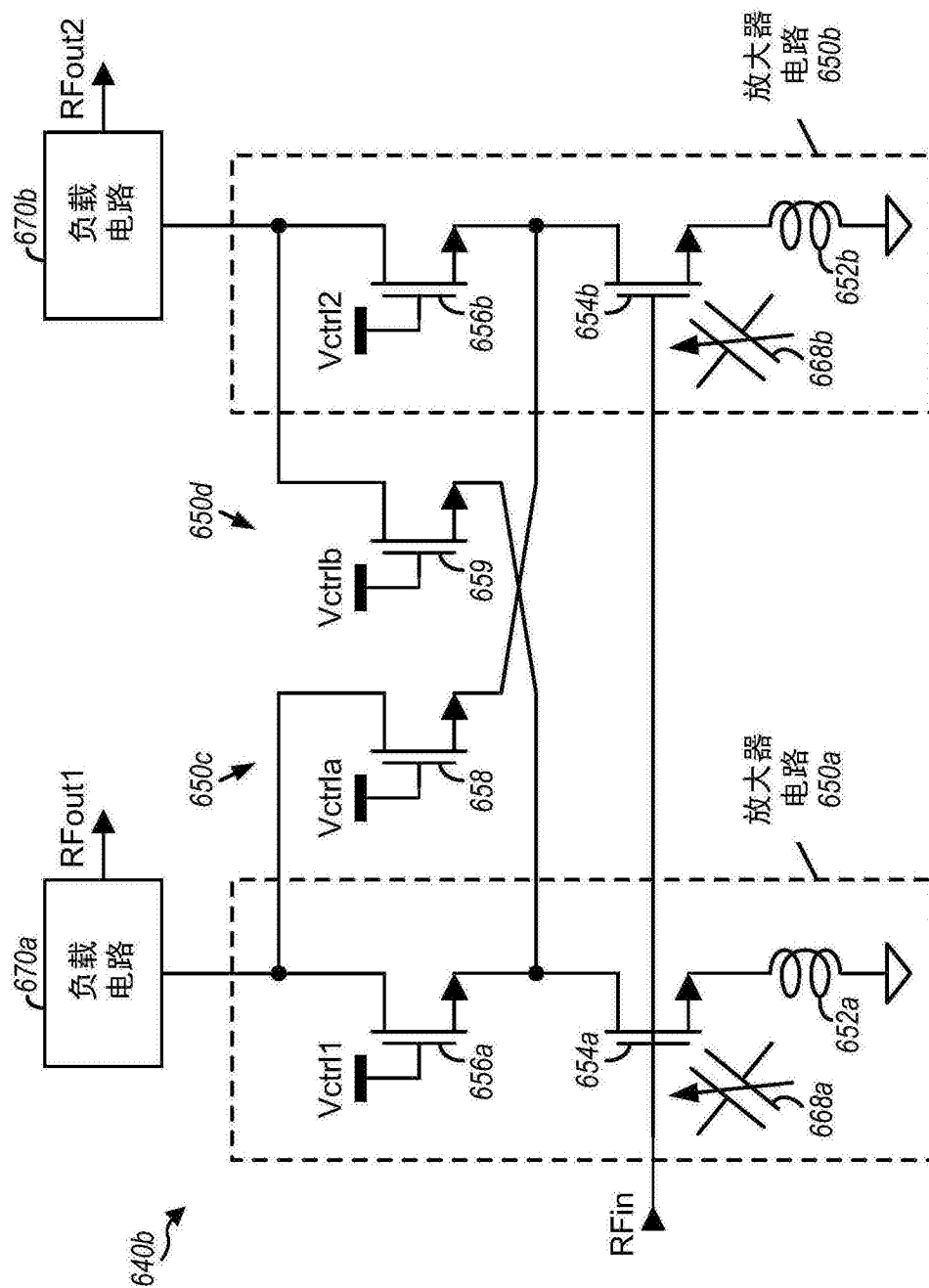


图7A

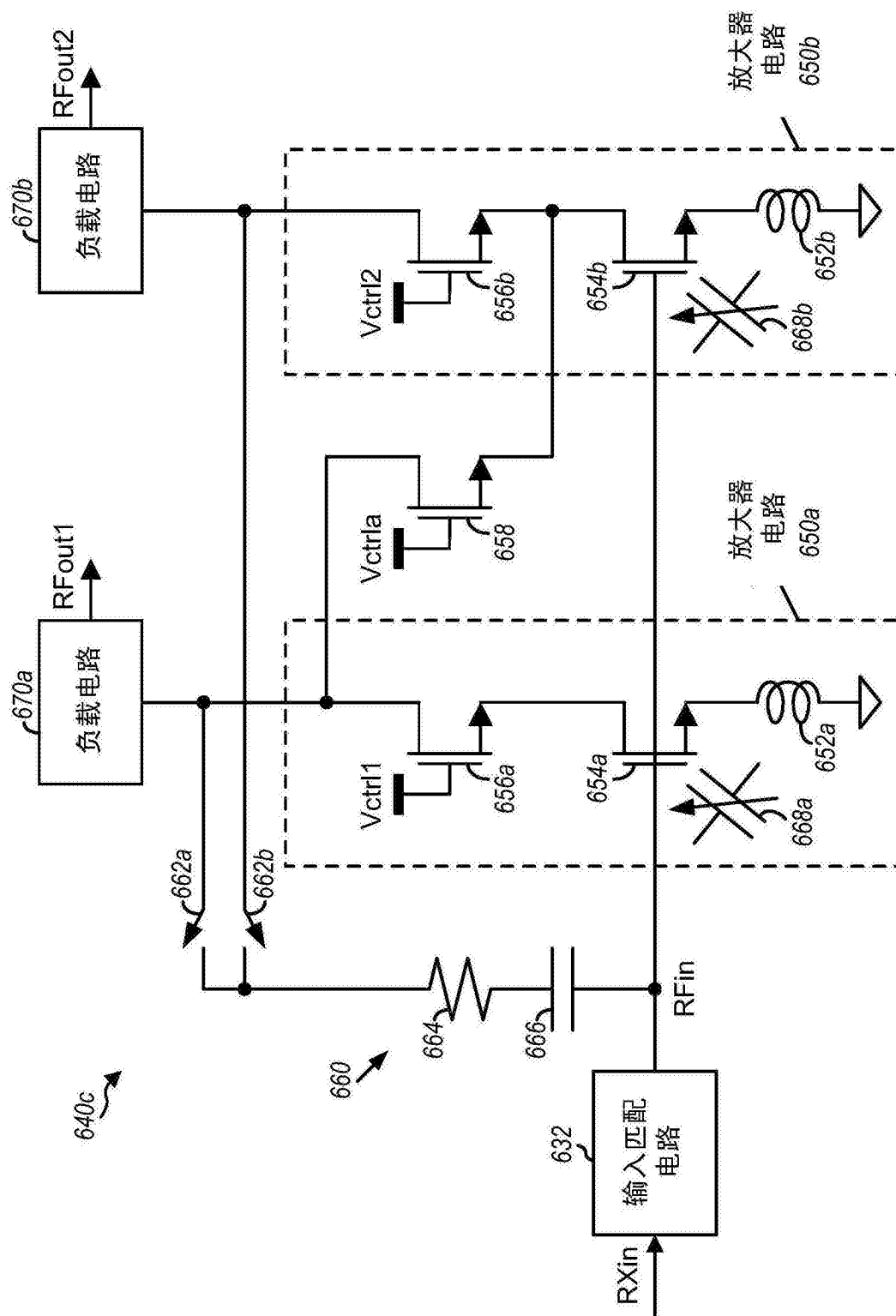


图7B

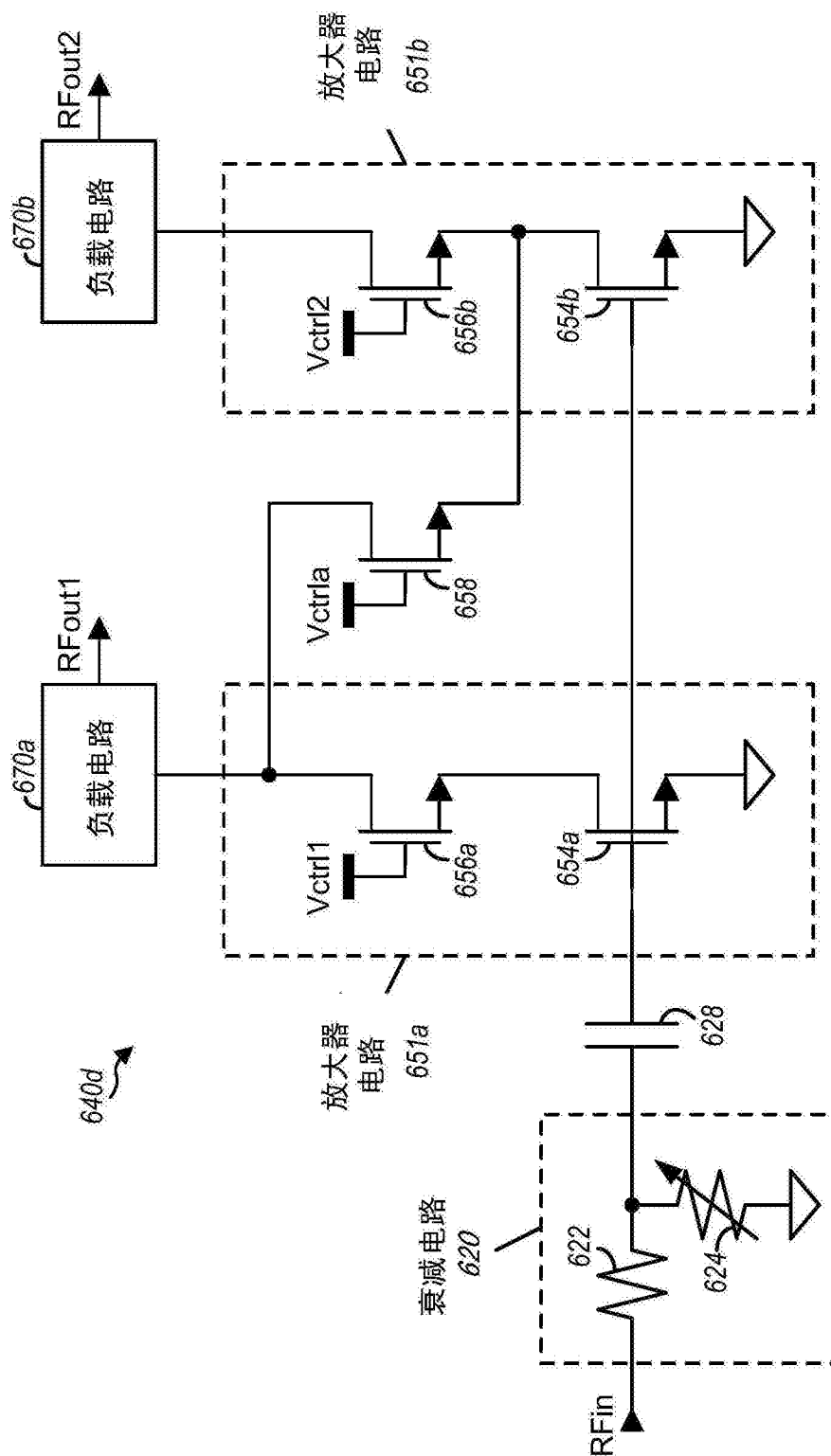


图7C

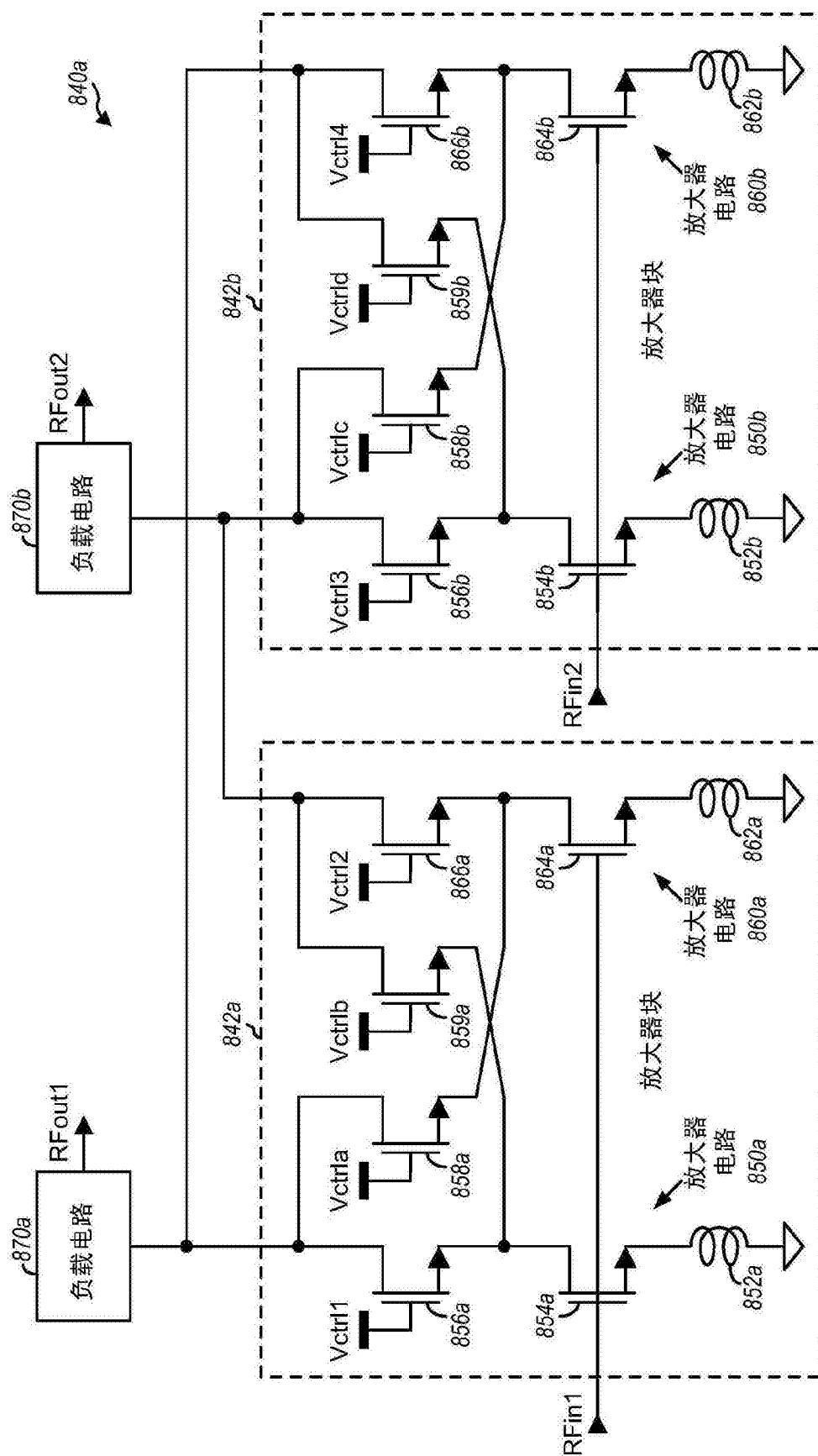


图8A

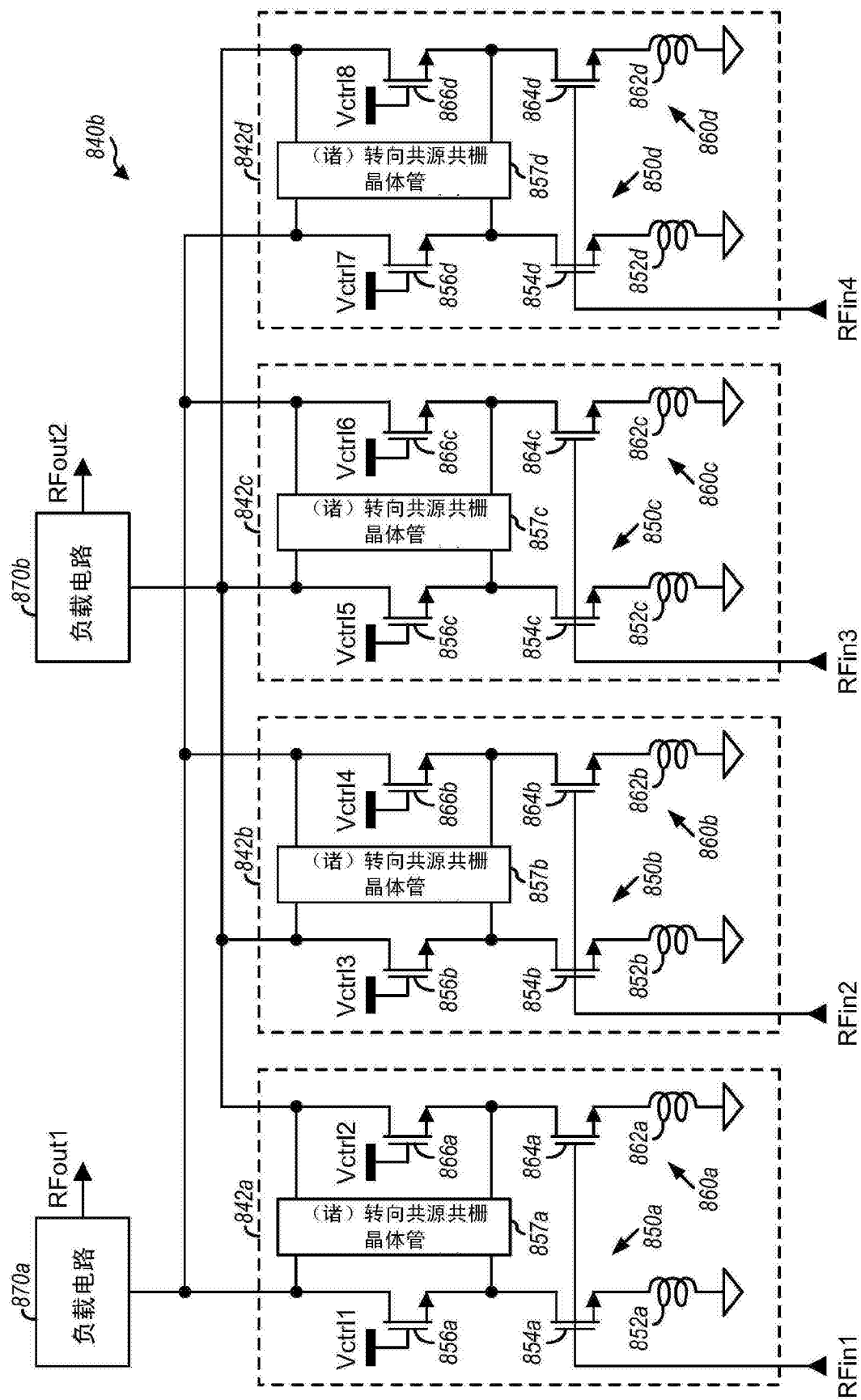


图 8B

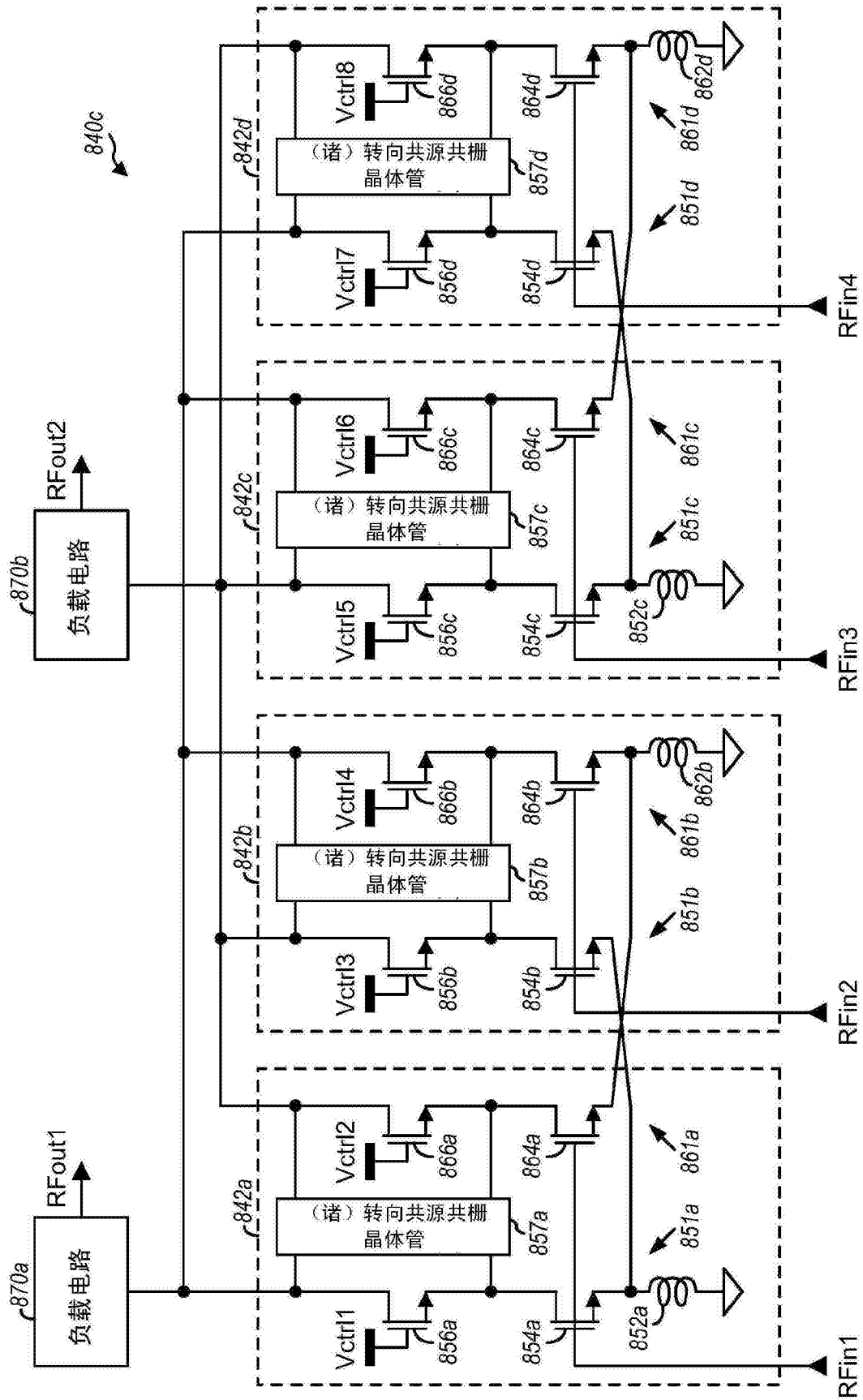


图8C

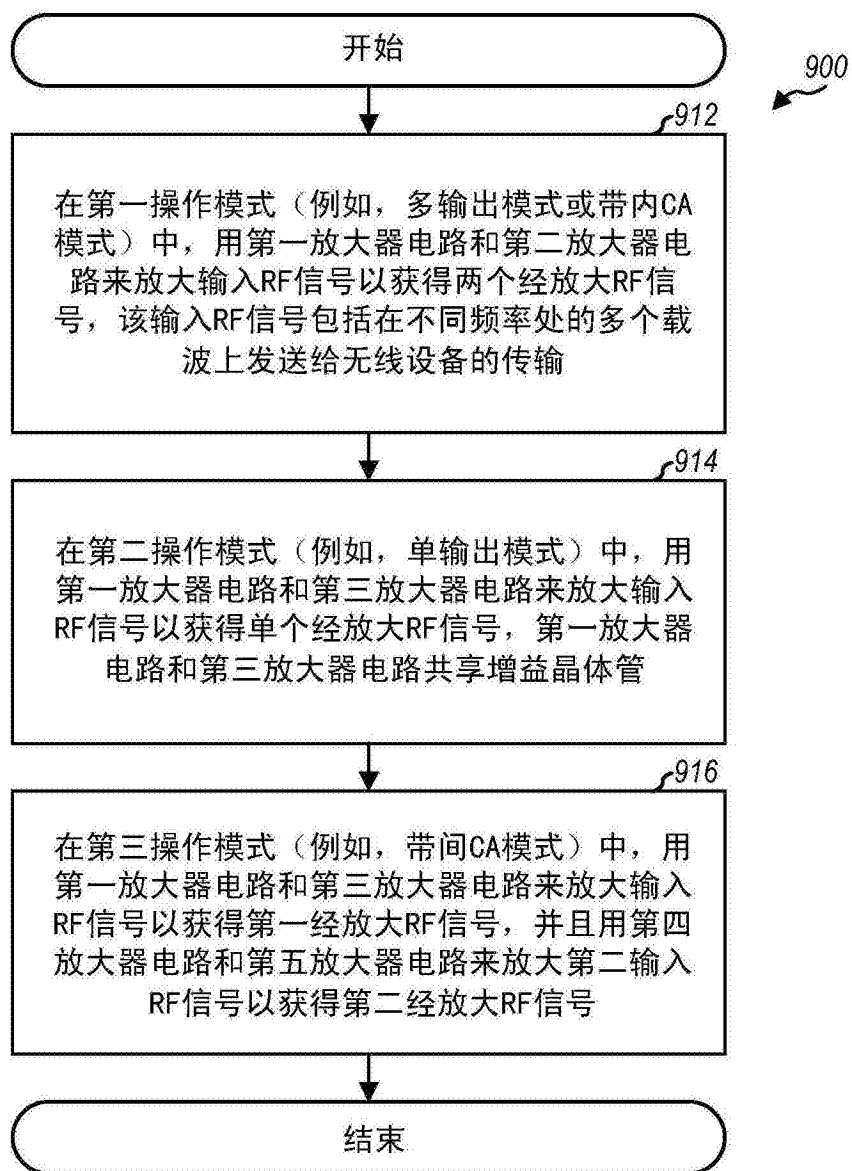


图9