



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107302377 B

(45) 授权公告日 2021.02.12

(21) 申请号 201710190269.4

(22) 申请日 2017.03.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107302377 A

(43) 申请公布日 2017.10.27

(30) 优先权数据
15/098,784 2016.04.14 US

(73) 专利权人 台湾积体电路制造股份有限公司
地址 中国台湾新竹

(72) 发明人 朱虹霖 谢协宏 叶子祯

(74) 专利代理机构 北京德恒律治知识产权代理
有限公司 11409

代理人 章社杲 李伟

(51) Int.Cl.

H04B 1/16 (2006.01)

H04B 1/18 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 203933539 U, 2014.11.05

CN 201956975 U, 2011.08.31

CN 101316095 A, 2008.12.03

US 2011043285 A1, 2011.02.24

审查员 洪小燕

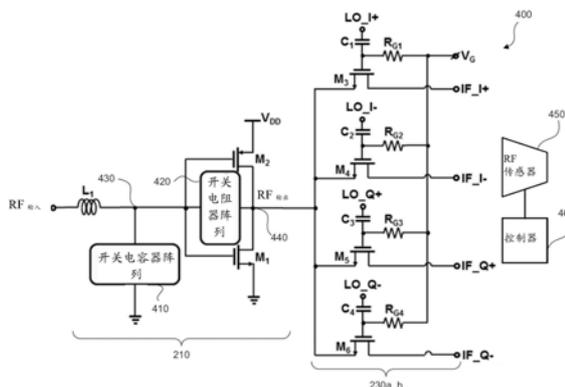
权利要求书3页 说明书8页 附图8页

(54) 发明名称

具有可调匹配网络的超低功耗RF接收器前端

(57) 摘要

本发明实施例描述了一种可调匹配电路,可调匹配电路与超低功耗RF接收器配合使用以支持各种RF通信频带。开关电容器阵列和开关电阻器阵列被用来调整由在超低功耗模式下的晶体管的运行特性呈现的输入阻抗。RF传感器可用来监控可调匹配电路的性能,从而确定驱动开关电容器阵列和开关电阻器阵列的数字控制字的最佳设置。在有效带宽范围内的有效匹配是可以实现的。最佳匹配配置可随时更新以适应改变的操作条件。存储器可用来储存开关电容器阵列和开关电阻器阵列的最佳匹配配置。本发明实施例涉及具有可调匹配网络的超低功耗RF接收器前端。



1. 一种可调匹配电路,包括:

输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;

输出端口;

开关电容器电路,连接在所述输入端口和接地之间,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;

开关电阻器电路,连接在所述输入端口和所述输出端口之间,所述开关电阻器电路具有第二数字控制位输入端口;以及

低噪声放大器(LNA),连接至所述输入端口和所述输出端口,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,所述低噪声放大器配置为在超低功耗模式下运行。

2. 根据权利要求1所述的可调匹配电路,其中,所述低噪声放大器包括:

第一晶体管,所述第一晶体管的源极连接至正DC电源,所述第一晶体管是p沟道场效应晶体管(FET);以及

第二晶体管,所述第二晶体管的漏极与所述第一晶体管的漏极连接,所述第二晶体管的源极连接至所述接地并且是n沟道场效应晶体管,

其中,所述第一晶体管的栅极和所述第二晶体管的栅极共享第一共同节点,所述第一晶体管的漏极和所述第二晶体管的漏极共享第二共同节点,所述第一共同节点连接至所述输入端口,以及所述第二共同节点连接至所述输出端口。

3. 根据权利要求1所述的可调匹配电路,其中,所述开关电容器电路包括:

第一电容器,连接在所述输入端口和所述接地之间;

第一晶体管开关,所述第一晶体管开关的源极连接至所述接地,所述第一晶体管开关的栅极连接至所述第一数字控制位输入端口;以及

第二电容器,连接在所述输入端口和所述第一晶体管开关的漏极之间。

4. 根据权利要求3所述的可调匹配电路,其中,所述开关电容器电路还包括:

第二晶体管开关,所述第二晶体管开关的源极连接至所述接地,所述第二晶体管开关的栅极连接至所述第一数字控制位输入端口;以及

电阻器,连接在所述第二晶体管开关的漏极和所述第一晶体管开关的漏极之间并且连接至所述第二电容器的一端。

5. 根据权利要求1所述的可调匹配电路,其中,所述开关电阻器电路包括:

第一电阻器,连接在所述输入端口和所述输出端口之间;

晶体管开关和第二电阻器的串联组合,其中,所述晶体管开关的源极连接至所述第二电阻器的一端,所述串联组合连接在所述输入端口和所述输出端口之间,以及其中,所述晶体管开关的栅极连接至所述第二数字控制位输入端口。

6. 根据权利要求1所述的可调匹配电路,还包括:

控制器,连接至RF传感器以及连接至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口,

其中,所述控制器配置为确定所述RF输出信号的功率电平,以及基于确定的所述功率电平来确定第一数字位值和第二数字位值,将所述第一数字位值和所述第二数字位值分别提供至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口。

7. 根据权利要求6所述的可调匹配电路,还包括:

存储器组件,配置为存储至少一个数字控制字,所述数字控制字包括所述第一数字位值和所述第二数字位值。

8. 根据权利要求7所述的可调匹配电路,其中,所述控制器还配置为接收运行频率的指示,以及所述存储器组件还被配置为存储所述运行频率的所述指示。

9. 根据权利要求1所述的可调匹配电路,其中,所述低噪声放大器包括至少一个p沟道晶体管以及至少一个n沟道晶体管。

10. 一种可调匹配电路的设计方法,包括:

通过具有寄生电感的电连接在可调匹配电路的输入端口处接收RF输入信号;

通过从第一数字控制位输入端口接收输入来改变开关电容器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述开关电容器电路连接在所述输入端口和接地之间;

通过从第二数字控制位输入端口接收输入来改变开关电阻器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述开关电阻器电路连接在所述输入端口和输出端口之间;以及

通过使用连接在所述输入端口和所述输出端口之间的低噪声放大器(LNA)放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,在超低功耗模式下使用所述低噪声放大器。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述低噪声放大器还包括:

通过DC电源为第一晶体管和第二晶体管提供动力,其中,所述第二晶体管的漏极与所述第一晶体管的漏极连接,所述第二晶体管的源极连接至所述接地,以及其中,所述第一晶体管的栅极和所述第二晶体管的栅极共享第一共同节点,所述第一晶体管的漏极和所述第二晶体管的漏极共享第二共同节点,所述第一共同节点连接至所述输入端口,以及所述第二共同节点连接至所述输出端口。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中,改变所述开关电容器电路的所述状态还包括:

打开响应于从所述第一数字控制位输入端口接收所述输入的晶体管开关,从而所述晶体管开关将第二电容器连接在所述输入端口和所述接地之间,所述第二电容器放置为与连接在所述输入端口和所述接地之间的第一电容并联。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,改变所述开关电容器电路的所述状态还包括:

打开响应于从连接至所述接地的所述第一数字控制位输入端口接收所述输入的第二晶体管开关,从而所述第二晶体管开关通过电阻器将所述第二电容器连接至接地。

14. 根据权利要求10所述的方法,其中,改变所述开关电阻器电路的所述状态还包括:

打开响应以从所述第二数字控制位输入端口接收所述输入的晶体管开关,从而所述晶体管开关将第二电阻器与第一电阻器并联,其中,所述第一电阻器连接在所述输入端口和所述输出端口之间。

15. 根据权利要求10所述的方法,还包括:

通过RF传感器确定RF输出信号的功率电平;

基于确定的所述功率电平通过控制器确定第一数字位值和第二数字位值;以及

将所述第一数字位值和所述第二数字位值分别提供至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口。

16. 根据权利要求15所述的方法,还包括:

在存储器组件中存储至少一个数字控制字,所述数字控制字包括所述第一数字位值和

所述第二数字位值。

17. 根据权利要求16所述的方法,还包括:

通过所述控制器接收运行频率的指示;以及

在所述存储器组件中存储所述运行频率的指示。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,使用低噪声放大器包括使用至少一个p沟道晶体管以及至少一个n沟道晶体管。

19. 一种可调匹配RF接收电路,包括:

输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;

输出端口;

开关电容器电路,连接在所述输入端口和接地之间,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;

开关电阻器电路,连接在所述输入端口和所述输出端口之间,所述开关电阻器电路具有第二数字控制位输入端口;

低噪声放大器(LNA),连接在所述输入端口和所述输出端口之间,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号;以及

同相/正交下变频器对,连接至所述RF输出信号以及配置为输出同相基带信号和正交基带信号,其中,所述低噪声放大器和所述同相/正交下变频器对配置为在超低功耗模式下运行。

20. 根据权利要求19所述的可调匹配RF接收电路,其中,所述超低功耗模式配置为在伏安特性中的拐点处运行所述低噪声放大器中的至少一个晶体管。

具有可调匹配网络的超低功耗RF接收器前端

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及具有可调匹配网络的超低功耗RF接收器前端。

背景技术

[0002] 本发明大体涉及RF接收器领域。

[0003] 由于减小功耗会增加电池寿命,因此在无线器件中将功耗考虑为重要的设计。RF收发器用于许多现代无线器件中,例如蜂窝电话、个人数字助理器以及智能手机。RF接收器前端电路通常使用相对大量的DC电源,因此需要减小RF接收器前端电路的DC功耗以便减小无线收发器的整体DC功耗。

[0004] 除了要解决接收器前端电路的DC功耗设计需求,RF接收器前端电路还必须有效地将输入RF信号从天线连接至低噪声放大器(LNA)以便通过下转换电路进行后续工艺。输入RF信号的有效连接通常取决于低噪声放大器的操作点。然而,选择用来满足低DC功耗需求的操作点可能不支持输入RF信号的有效连接。

发明内容

[0005] 根据本发明的一个实施例,提供了一种可调匹配电路,包括:输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;输出端口;开关电容器电路,连接至所述输入端口和接地,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;开关电阻器电路,连接至所述输入端口和所述输出端口,所述开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口;以及低噪声放大器(LNA),连接至所述输入端口和所述输出端口,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,所述低噪声放大器配置为在超低功耗模式下运行。

[0006] 根据本发明的另一实施例,还提供了一种可调匹配电路的设计方法,包括:通过具有寄生电感的电连接在可调匹配电路的输入端口处接收RF输入信号;通过从第一数字控制位输入端口接收输入来改变开关电容器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述可调匹配电路连接至所述输入端口和接地;通过从第二数字控制位输入端口接收输入来改变开关电阻器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述可调匹配电路连接至所述输入端口和输出端口;以及通过使用连接至所述输入端口和所述输出端口的低噪声放大器(LNA)放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,在超低功耗模式下使用所述低噪声放大器。

[0007] 根据本发明的又一实施例,还提供了一种可调匹配RF接收电路,包括:输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;输出端口;开关电容器电路,连接至所述输入端口和接地,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;开关电阻器电路,连接至所述输入端口和所述输出端口,所述开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口;低噪声放大器(LNA),连接至所述输入端口和所述输出端口,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号;以及同相/正交下变频器对,连接至所述RF输出信号以及配置为输出同相基带信号和正交基带信号,其中,所述低噪声放大器和所述同相/正交下变频器对配置为在超低功耗模式下运行。

附图说明

[0008] 当结合附图进行阅读时,从以下详细描述可最佳地理解本发明的各个方面。应该注意,根据工业中的标准实践,各个部件未按比例绘制。实际上,为了清楚的讨论,各种部件的尺寸可以被任意增大或减小。

[0009] 图1是无线接收器前端的框图。

[0010] 图2是无线接收器前端的电路图。

[0011] 图3示出了根据一些实施例的随时间的变化的局部振荡器波形。

[0012] 图4是根据一些实施例的用于无线接收器前端的电路图。

[0013] 图5示出了根据一些实施例的用于图4的开关电容器阵列的电路拓扑。

[0014] 图6示出了根据一些实施例的用于图4的开关电阻器阵列的电路拓扑。

[0015] 图7示出了根据一些实施例的以2.5GHz为中心的各种频率的回波损耗。

[0016] 图8示出了根据一些实施例的示例方法。

[0017] 将参照附图描述本发明的实施例。

具体实施方式

[0018] 图1描述了RF接收器前端电路100的总体框图。RF接收器100通常通过天线(没有示出)接收信号,RF输入。RF接收器前端电路100包括低噪声放大器(LNA)110、局部振荡器(LO)120以及同相(in-phase)工艺链和正交工艺链。同相工艺链包括同相混频器130a以及跨阻放大器(TIA)140a。正交工艺链包括正交混频器130b以及TIA 140b。LO 120提供振荡器信号I+和I-至同相混频器130a。LO 120也提供振荡器信号Q+和Q-至正交混频器130b。正交振荡器信号Q+和Q-与同相振荡器信号I+和I-处于相同频率,但是有90度异相。

[0019] 同相混频器130a混合放大输入RF信号与同相振荡器信号I+和I-以便下转换放大输入RF信号至期望的频率,例如,中频(IF)或者基带频率。在该混合工艺中,振荡器信号与输入RF信号交互以在频率(该频率等于两种输入频率的和频和两种输入频率的差频)处被称为混合产品的输出。其它混合产品也会产生,其它混合产品是和差产品的的整数倍,并且通常在振幅上低于和差产品。此外,通过较高频率的和频产品的低通滤波的优点,相对于差频产品和频产品通常会显著衰减。就多余的产品需要进一步的衰减,额外的滤波可用于具体的实施例中。同样地,正交混频器130b混合放大输入RF信号与正交振荡器信号Q+和Q-以便将放大输入RF信号下转换至相同的期望频率,例如,中频(IF)或者基带(BB)频率。TIA 140a放大同相基带电流信号,并且还将同相基带电流信号转换至同相基带电压信号。同样地,TIA 140b放大下转换正交基带电流信号,并且还将下转换正交基带电流信号转换至正交基带(BB)电压信号。基带滤波器150从TIA 140a和TIA 140b中接收电压输出信号,并且过滤这些信号以提供输出基带信号BB_{输出}。基带滤波器150提供的过滤可用于移除下转换工艺引入的任何虚假信号。RF接收器前端电路100可用于任何无线器件中,无线器件可根据任何已知的无线标准或者协议无线地接收信号。

[0020] 在实施例中,图1的系统架构可作为超低功耗RF接收器执行。在这种超低功耗RF接收器的实施例中,混频器可能是无源混频器,以及可通过低电源电压V_{DD}提供动力给LNA 110内的有源器件(例如,晶体管)。例如,电源电压V_{DD}可能低至0.8V。然而,考虑到半导体有源器件的电流电压特性中的拐点或者拐角,这种低电源电压可能会严格地限制LNA 110中的有

源器件的线性特性。使用这种低电源电压来操作半导体器件构成操作的超低功耗模式。为了解决这种操作模式下的线性特性问题,LNA 110可能使用电流模式操作而不是电压模式操作。在电流模式操作中,LNA 110将输入电压信号 $RF_{\text{输入}}$ 转换为输出电流信号以用于输入混频器130a、130b,以用于随后的频率下转换。使用电流模式方法还提供了关于减少芯片面积设计的更多好处,这事因为在LNA 110和下转换混频器130a、130b之间不再需要分路感应线圈以便通过LNA 110提供合适的输出电压信号电平。

[0021] 不同的电路可执行图1中示出的系统构架。图2描述了电流模式超低功耗RF接收器前端电路200的实施例的电路图。RF接收器前端电路200包括了互补LNA 210以及I/Q无源下转换混频器230a、b。LNA 210包括被配置为形成互补放大器的n沟道晶体管 M_1 以及p型沟道晶体管 M_2 。术语“互补”放大器指的是使用两种类型的串联晶体管。在另一个互补放大器的实施例中, M_1 可能是p沟道晶体管以及 M_2 可能是n沟道晶体管。N型沟道晶体管 M_1 以及p型沟道晶体管 M_2 串联连接以便电流被两种晶体管使用(或者“再使用”)。相比于两个晶体管原本可能需要的DC功耗,这种电流“再使用”配置降低了DC功耗。通过LNA 210,LNA 210的输入RF电压信号、 $RF_{\text{输入}}$ 被转换以提供输出RF电流, $RF_{\text{输出}}$ 。LNA 210的传输功率增益是由 $(g_{mn}+g_{mp})$ 的总跨导增益提供的,其中 g_{mn} 和 g_{mp} 分别代表了 M_1 和 M_2 的跨导。请注意,图2中的电阻器 R_1 用于提供LNA 210中使用的互补晶体管设计的自适应偏置。在LNA 210的实施例中, R_1 的典型值大约是20k Ω 以便提供期望的RF扼流能力。图2中的感应器 L_1 表现了由RF输入连接(例如,芯片上金属布线迹线、接合引线或者覆晶凸块)导致的寄生电感,。

[0022] 如下在图2中执行下转换混频器230a、230b。如以上所注意的,下转换混频器230a、230b提供同相/正交无源下转换,从而转换LNA 210中的RF电流信号至对应的基带电流信号: IF_{I+} 、 IF_{I-} 、 IF_{Q+} 和 IF_{Q-} 。下转换混频器230a、230b包括晶体管 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 ,其中每个都连接至LNA 210中的 $RF_{\text{输出}}$ 。晶体管 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 通过各自的局部振荡器信号 LO_{I+} 、 LO_{I-} 、 LO_{Q+} 和 LO_{Q-} 驱动。还是参考图2,为了在超低功耗操作下实现更高的线性,晶体管 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 充当被 LO_{I+} 、 LO_{I-} 、 LO_{Q+} 和 LO_{Q-} 的I/Q微分 LO 信号控制的开关使用。控制信号 V_G 还通过各自的电阻器 R_{G1} 、 R_{G2} 、 R_{G3} 和 R_{G4} 分别应用于每个晶体管 M_3 、 M_4 、 M_5 和 M_6 的栅极。控制信号 V_G 允许更加流畅地执行晶体管开关,同时混频器转换增益通过 V_G 的适当值可达到最佳化。与常见的双平衡混频器导致的转换增益相比,为了进一步提高转换增益,可调整 LO 信号的占空比。例如,图3示出了示例性实施例,其中使用25%的占空比 LO 信号, LO 信号具有 f_{LO} 频率。如图3所示,在 $(1/f_{LO})$ 期间内,每个 LO_{I+} 、 LO_{I-} 、 LO_{Q+} 和 LO_{Q-} 在时间的25%是活跃的,其中活跃期间以90度相位彼此分离。

[0023] 如以上注意的,输入RF信号的有效连接是需要的并且通常取决于低噪音放大器的操作点。低噪音放大器的操作点在超低功耗DC环境下尤其具有挑战性。参考图2,从信号 $RF_{\text{输入}}$ 的输入节点观察的输入阻抗随LNA 210中的晶体管的操作点变化。特别是,输入阻抗尤其取决于晶体管电流电压特性的拐角(或者拐点或者阈值)。这种输入阻抗变化在近阈值电压(NTV)操作规程(发生于超低功耗环境下)中尤其重要,其中,电源电压与晶体管电流电压特性的阈值(或者拐点或者拐角)相当。此外,晶体管操作电流电压特性的阈值不固定,而是随着如操作频率的这样的因素以及其它连接组件的影响而改变。因此,考虑到由于LNA 210中的晶体管的操作电流电压特性的变化而引起的输入阻抗的变化,输入匹配差异很大而且预期的匹配无法保持。无法保持合适的输入匹配导致RF接收器的增益和频率带宽的性能下

降。

[0024] 为了处理这种匹配挑战,建立了可调匹配电路。图4示出了可调匹配电路400的实施例。可调匹配电路400包括了开关电容器阵列410,连接于输入端口430和接地之间。可调匹配电路400还包括连接于输入端口430和输出端口440之间的开关电阻器阵列420。如图4所示,开关电容器阵列410和开关电阻器阵列420被用来提供可调输入匹配电路以满足输入阻抗变化。开关电容器阵列410被设置在感应器L1和晶体管M₁和M₂的栅极终端之间的分流器中,而开关电阻器阵列420插入于晶体管M₁和M₂的栅极终端和漏极终端之间。开关电容器阵列410和开关电阻器阵列420的主要功能是操作从输入信号RF_{输入}进入的输入节点中看到的输入阻抗的虚数部分和实数部分。已经发现使用这种构架会导致电容和电阻的实际值,其可匹配低噪声放大器的宽范围的输入阻抗(在感兴趣的频率范围的超低功耗模式操作)。此外,这种构架还会弱化RF电路前端的谐波、噪音以及其它的不期望信号。

[0025] 图5示出了开关电容器阵列410的例示性实施例。开关电容器阵列410的电路拓扑由与一个或者多个开关电容单元并联的固定电容C_{固定}组成。每个开关电容单元包括电容C_{SWN}和由数字位值B_N控制的开关晶体管M_{SWNA}。在进一步的实施例中,包括了电阻器R_N和开关晶体管M_{SWNB},其中,开关晶体管M_{SWNB}被数字位值B_N控制。电阻器R_N充当RF扼流。在一个典型的实施例中,电阻器R_N具有10kΩ的电阻值。N可取任何正整数值,例如,1、2、…。在图5的实施例中,N具有电阻值2。开关电容器阵列410通过提高数字位值B_N来打开以变成高值,例如,逻辑1。随着M_{SWNA}和M_{SWNB}的数字位值B_N成为高逻辑值,例如,V_{DD},开关晶体管M_{SWNA}和M_{SWNB}被打开,从而连接电容器C_{SWN}至接地。同样地,当数字位值B_N改变至低逻辑值,例如,逻辑0时,晶体管M_{SWNA}和M_{SWNB}被关闭,从而断开电容器C_{SWN}至接地的连接。在开关电容器阵列410具有不止一个开关电容单元的情况下,每个开关电容单元具有相同的拓扑,但是各自的电容器C_{SWN}具有不同的电容值。此外,每个开关电容器阵列410被数字控制字的不同数字位值B_N触发。在示例性实施例中,每个各自的电容器C_{SWN}可具有由二元关系确定为基准电容值的值。例如,电容器C_{SWN}可具有值,2^{N-1}C,其中C是基准电容值。其它实施例可使用开关电容单元的电容间的不同关系。尽管只需要一个晶体管,例如,M_{SWNA},包括与电阻器R_N串联的晶体管M_{SWNB}的实施例确保M_{SWNA}的操作点被明确限定为不考虑晶体管中的个体差异,从而导致优越的晶体管开关性能。

[0026] 图6示出了开关电阻器阵列420的例示性实施例。开关电阻器阵列420的电路拓扑由与一个或者多个开关电阻器单元并联的固定电阻器R_{固定}组成。每个开关电阻器单元包括电阻器R_{SWP}和由数字位值B_P控制的开关晶体管M_{SWP}。P可取任何正整数值,例如,1、2、…。在图6示出的示例性实施例中,P具有电阻值3。开关电阻器单元通过提高数字位值B_P来打开以变成高值,例如,逻辑1。随着M_{SWP}的数字位值B_P变成逻辑1,电阻器R_{SWP}变成并联连接R_{固定},并且操作从图4中RF_{输入}信号的输入的节点看到的输入阻抗的实数部分。同样地,当数字位值B_P改变至低值,例如,逻辑0时,电阻器R_{SWP}从与R_{固定}的并联中分开,从而使电阻器R_{SWP}与其余电路分开,并且从而对于可调输入匹配电阻器R_{SWP}不可用。

[0027] 执行模拟以用于开关电容器阵列410和开关电阻器阵列420的实施例中以确定输入匹配能力的范围。模拟确定了如图4示出的在不同操作条件和操作频率范围内的RF接收器前端的输入反射系数。图7示出了以2.5GHz为中心的不同频率的回波损耗。使用-10dB的回波损耗作为最小需求,从模拟中确定大约1GHz(2.5GHz为中心)的等效带宽。因此,使用开

关电容器阵列和开关电阻器阵列,输入阻抗实现了在超低功耗操作下用于RF接收器前端的满意的匹配条件,即,在电流-电压晶体管特性的阈值(拐点或者拐角)附近操作晶体管。

[0028] 图4中的诸如控制器460的控制器可用于与可调匹配电路结合。在启动时,RF接收器前端电路的基带信号输出即可在基带滤波器的输出中测量,也可在更强和/或更易进入的信号的工艺链下游中测量。在图4所示的实施例中,RF传感器450可用来进行测量。通过将开关电容器阵列关联的 B_N 和与开关电阻器阵列关联的 B_P 以位值排序,在每个位值设置上测量基带信号输出的电平。控制器460可存储数字位字中的所有位值 B_N 和 B_P 。在实施例中,用于 B_N 的相同位值可用于 B_P 。在更普遍的情况中,用于 B_N 的位值不同于用于 B_P 的位值。通过确定在可能的位值设置范围中的基带信号输出的最大电平,最佳的位字可能被确定以用于特殊的操作环境。校准步骤可定期地重复以更新数字位字来响应操作环境中的变化,例如,RF接收器前端电路的温度的改变、RF信号条件或者任何其它可能改变RF接收器前端电路输入阻抗的情况的改变。

[0029] 总之,以上电路设计提供了灵活的方法以用于超低功耗接收器前端电路的可调匹配电路设计。在以上描述的实施例中,灵活的设计方法已被应用至超低功耗接收器前端电路中,灵活的设计方法包括互补低噪声放大器(LNA)以及具有25%占空比局部振荡器信号(L0)的I/Q无源下转换混频器。可调匹配电路设计方法使用开关电容器阵列和开关电阻器阵列,尤其适用于匹配在超低功耗应用程序中的近阈值电压(NTV)操作下运行的有源器件。可调匹配电路导致了在有效带宽范围内的有效匹配。

[0030] 图8示出了匹配RF输入信号至在低功耗模式中操作的低噪声放大器的方法800。操作810在可调匹配电路的输入端口接受RF输入信号。在实施例中,可调匹配电路是图4中所示的可调匹配电路。在操作820中,可调匹配电路通过改变开关电容器电路的状态进行调整。在实施例中,如通过开关电容器电路410所示的执行开关电容器电路。在操作830中,可调匹配电路也可通过改变开关电阻器电路的状态进行调整。在实施例中,如通过开关电阻器电路420所示的执行开关电阻器电路。操作840使用在超低功耗模式下操作的低噪声放大器放大RF输入信号以形成RF输出信号。

[0031] 可调匹配电路设计方法的实施例适用于任何RF频率的超低功耗操作。在实施例中,设计方法可用于2.4GHz ISM波段的超低功耗RF接收器前端电路。在另一个实施例中,设计方法可用于5GHz ISM波段的超低功耗RF接收器前端电路。更具体地说,公开的电路和方法涉及超低功耗接收器前端,超低功耗接收器前端包括互补低噪声放大器(LNA)、具有25%占空比的局部振荡器信号的I/Q无源下转换混频器以及可调匹配网络,可调匹配网络通过开关电容器阵列和开关电阻器阵列形成以用于在近阈值电压(NTV)操作下的拐角校准,导致了高匹配增益和带宽改进。这种可调匹配设计方法在晶体管(例如,MOS晶体管)充当LNA中的有源器件使用时尤其有用。LNA可包括CMOS电路。CMOS电路包括至少一个p沟道晶体管和至少一个n沟道晶体管。晶体管具有导致I-V操作制度中的拐角和拐点的指数级I-V关系。

[0032] 随着物联网(IOT)和可穿戴器件的使用,超低功耗RF连通已引起重视。特别是RF连通(使用诸如低功耗蓝牙(BLE)、无线个域网、2.4GHz ISM和5GHz频带的无线标准)被广泛采用。包括IOT和可穿戴器件的应用程序不仅要支持超低功耗设计方法,还要支持提供大容量集成和低成本优点的基于CMOS半导体的设计。

[0033] 在一些实施例中,可调匹配电路被描述为包括输入端口、输出端口、开关电容器电

路、开关电阻器电路以及低噪声放大器 (LNA)。输入端口通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号。开关电容器电路连接至输入端口和接地,并且开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口。开关电阻器电路连接至输入端口和输出端口,并且开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口。低噪声放大器连接至输入端口和输出端口。LNA被配置为放大RF输入信号以形成RF输出信号。LNA还被配置为在超低功率模式下运行。

[0034] 在其他实施例中,一种方法被描述为包括通过具有寄生电感的电连接在可调匹配电路的输入端口处接收RF输入信号。该方法还包括通过从第一数字控制位输入端口接收输入来改变开关电容器电路状态,进而调整可调匹配电路。可调匹配电路连接至输入端口和接地。该方法还包括通过从第二数字控制位输入端口接收输入来改变开关电阻器电路的状态,进而调整可调匹配电路。可调匹配电路连接至输入端口和输出端口。该方法还包括使用连接至输入端口和输出端口的低噪声放大器 (LNA) 放大RF输入信号以形成RF输出信号。在超低功率模式下使用LNA。

[0035] 在其他实施例中,可调匹配电路被描述为包括输入端口、输出端口、开关电容器电路、开关电阻器电路、低噪声放大器 (LNA) 以及同相/正交下变频器对。输入端口通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号。开关电容器电路连接至输入端口和接地,并且开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口。开关电阻器电路连接至输入端口和输出端口,并且开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口。低噪声放大器连接至输入端口和输出端口。LNA被配置为放大RF输入信号以形成RF输出信号。LNA还被配置为在超低功率模式下运行。同相/正交下变频器对连接至RF输出信号并且被配置为输出同相基带信号和正交基带信号。LNA和同相/正交下变频器对被配置为在超低功率模式下运行。

[0036] 应注意,说明书中的参考“一个实施例”、“实施例”、“示例性实施例”等,指的是所描述的实施例可包括特别的功能、结构或者特性,但是不是每个实施例均需要包括特别的功能、结构或者特性。而且,这种短语不一定适用于相同的实施例。此外,当描述与实施例有关的特别的功能、结构或者特性时,产生与其它实施例相关的这种功能、结构或者特性时,不论是否明确描述,都需在一位本领域技术人员知识内。

[0037] 根据本发明的一个实施例,提供了一种可调匹配电路,包括:输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;输出端口;开关电容器电路,连接至所述输入端口和接地,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;开关电阻器电路,连接至所述输入端口和所述输出端口,所述开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口;以及低噪声放大器 (LNA),连接至所述输入端口和所述输出端口,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,所述低噪声放大器配置为在超低功耗模式下运行。

[0038] 在上述可调匹配电路中,所述低噪声放大器包括:第一晶体管,配置为连接至正DC电源,所述第一晶体管是p沟道场效应晶体管 (FET);以及第二晶体管,与所述第一晶体管串联,所述第二晶体管是配置为连接至所述接地的n沟道场效应晶体管,其中,所述第一晶体管和所述第二晶体管共享第一共同节点和第二共同节点,所述第一共同节点连接至所述输入端口,以及所述第二共同节点连接至所述输出端口。

[0039] 在上述可调匹配电路中,所述开关电容器电路包括:第一电容器,连接在所述输入端口和所述接地之间;晶体管开关,连接至所述接地,所述晶体管开关连接至所述第一数字控制位输入端口;以及第二电容器,连接至所述输入端口和所述晶体管开关。

[0040] 在上述可调匹配电路中,所述开关电容器电路还包括:第二晶体管开关,连接至所述接地,所述第二晶体管开关连接至所述第一数字控制位输入端口;以及电阻器,连接至所述第二晶体管开关、所述第一晶体管开关和所述第二电容器。

[0041] 在上述可调匹配电路中,所述开关电阻器电路包括:第一电阻器,连接至所述输入端口和所述输出端口;晶体管开关和第二电阻器的串联组合,其中,所述串联组合连接至所述输入端口和所述输出端口,以及其中,所述晶体管开关连接至所述第二数字控制位输入端口。

[0042] 在上述可调匹配电路中,还包括:控制器,连接至RF传感器以及连接至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口,其中,所述控制器配置为确定所述RF输出电平的功率电平,以及基于确定的所述功率电平来确定第一数字位值和第二数字位值,将所述第一数字位值和所述第二数字位值分别提供至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口。

[0043] 在上述可调匹配电路中,还包括:存储器组件,配置为存储至少一个数字控制字,所述数字控制字包括所述第一数字位值和所述第二数字位值。

[0044] 在上述可调匹配电路中,所述控制器还配置为接收运行频率的指示,以及所述存储器组件还被配置为存储所述运行频率的所述指示。

[0045] 在上述可调匹配电路中,所述低噪声放大器包括至少一个p沟道晶体管以及至少一个n沟道晶体管。

[0046] 根据本发明的另一实施例,还提供了一种可调匹配电路的设计方法,包括:通过具有寄生电感的电连接在可调匹配电路的输入端口处接收RF输入信号;通过从第一数字控制位输入端口接收输入来改变开关电容器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述可调匹配电路连接至所述输入端口和接地;通过从第二数字控制位输入端口接收输入来改变开关电阻器电路的状态以调整所述可调匹配电路,所述可调匹配电路连接至所述输入端口和输出端口;以及通过使用连接至所述输入端口和所述输出端口的低噪声放大器(LNA)放大所述RF输入信号以形成RF输出信号,其中,在超低功耗模式下使用所述低噪声放大器。

[0047] 在上述方法中,所述低噪声放大器还包括:通过DC电源为第一晶体管和第二晶体管提供动力,其中,所述第二晶体管与所述第一晶体管串联,所述第二晶体管连接至所述接地,以及其中,所述第一晶体管和所述第二晶体管共享第一共同节点和第二共同节点,所述第一共同节点连接至所述输入端口,以及所述第二共同节点连接至所述输出端口。

[0048] 在上述方法中,改变所述开关电容器电路的所述状态还包括:打开响应于从所述第一数字控制位输入端口接收所述输入的晶体管开关,从而所述晶体管开关将第二电容器连接在所述输入端口和所述接地之间,所述第二电容器放置为与连接在所述输入端口和所述接地之间的第一电容并联。

[0049] 在上述方法中,改变所述开关电容器电路的所述状态还包括:打开响应于从连接至所述接地的所述第一数字控制位输入端口接收所述输入的第二晶体管开关,从而所述第二晶体管开关通过电阻器将所述第二电容连接至接地。

[0050] 在上述方法中,改变所述开关电阻器电路的所述状态还包括:打开响应以从所述第二数字控制位输入端口接收所述输入的晶体管开关,从而所述晶体管开关将第二电阻器与第一电阻器并联,其中,所述第一电阻器连接至所述输入端口和所述输出端口。

[0051] 在上述方法中,还包括:通过RF传感器确定RF输出电平的功率电平;基于确定的所述功率电平通过控制器确定第一数字位值和第二数字位值;以及将所述第一数字位值和所述第二数字位值分别提供至所述第一数字控制位输入端口和所述第二数字控制位输入端口。

[0052] 在上述方法中,还包括:在存储器组件中存储至少一个数字控制字,所述数字控制字包括所述第一数字位值和所述第二数字位值。

[0053] 在上述方法中,还包括:通过所述控制器接收运行频率的指示;以及在所述存储器组件中存储所述运行频率的指示。

[0054] 在上述方法中,使用低噪声放大器包括使用至少一个p沟道晶体管以及至少一个n沟道晶体管。

[0055] 根据本发明的又一实施例,还提供了一种可调匹配RF接收电路,包括:输入端口,用于通过具有寄生电感的电连接接收RF输入信号;输出端口;开关电容器电路,连接至所述输入端口和接地,所述开关电容器电路具有第一数字控制位输入端口;开关电阻器电路,连接至所述输入端口和所述输出端口,所述开关电阻器电路具有第一数字控制位输入端口;低噪声放大器(LNA),连接至所述输入端口和所述输出端口,所述低噪声放大器配置为放大所述RF输入信号以形成RF输出信号;以及同相/正交下变频器对,连接至所述RF输出信号以及配置为输出同相基带信号和正交基带信号,其中,所述低噪声放大器和所述同相/正交下变频器对配置为在超低功耗模式下运行。

[0056] 在上述可调匹配RF接收电路中,所述超低功耗模式配置为在伏安特性中的拐点处运行所述低噪声放大器中的至少一个晶体管。

[0057] 上面概述了若干实施例的部件、使得本领域技术人员可以更好地理解本发明的方面。本领域技术人员应该理解,他们可以容易地使用本发明作为基础来设计或修改用于实现与在此所介绍实施例相同的和/或实现相同优势的其他工艺和结构。本领域技术人员也应该意识到,这种等同构造并不背离本发明的精神和范围、并且在不背离本发明的精神和范围的情况下,在此他们可以做出多种变化、替换以及改变。

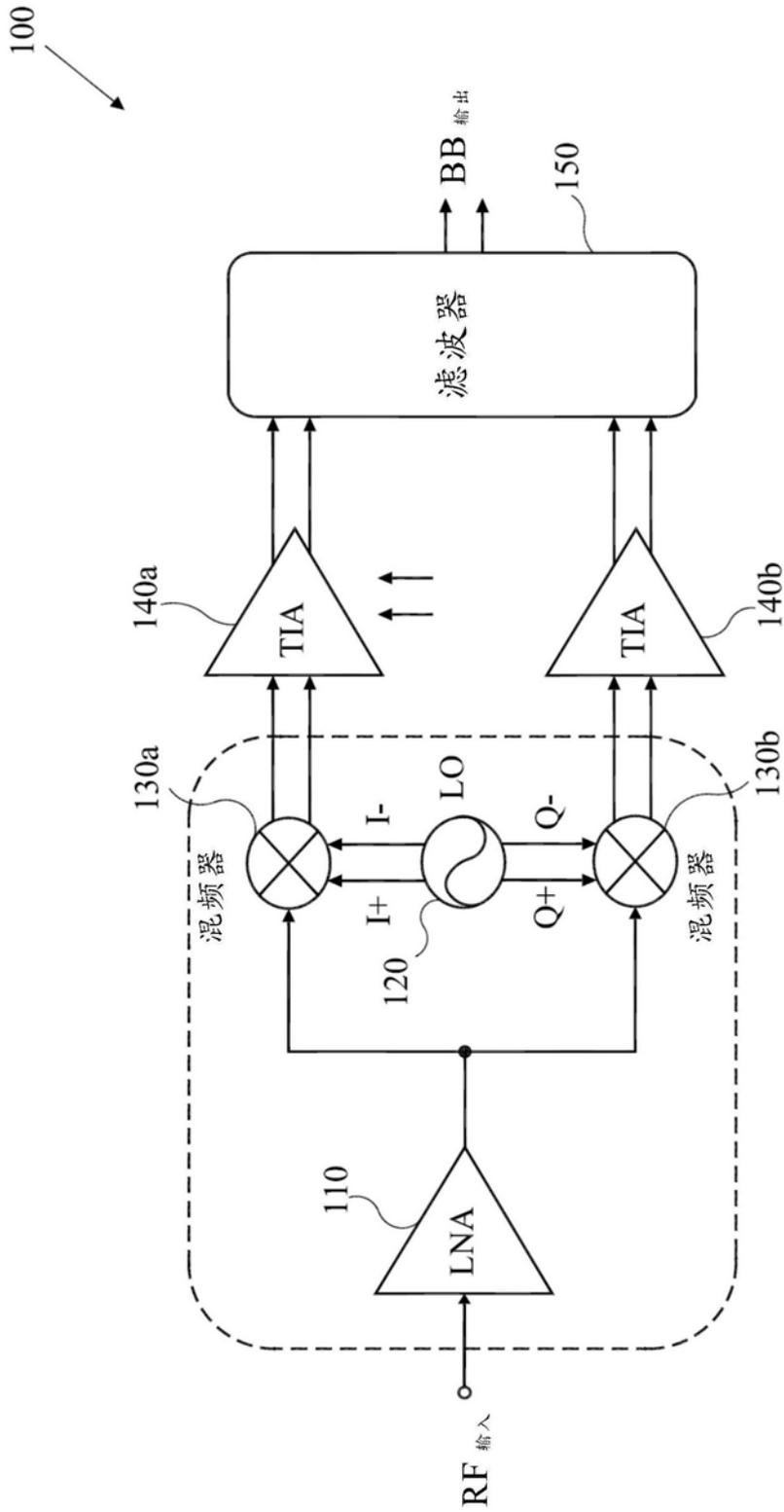


图1

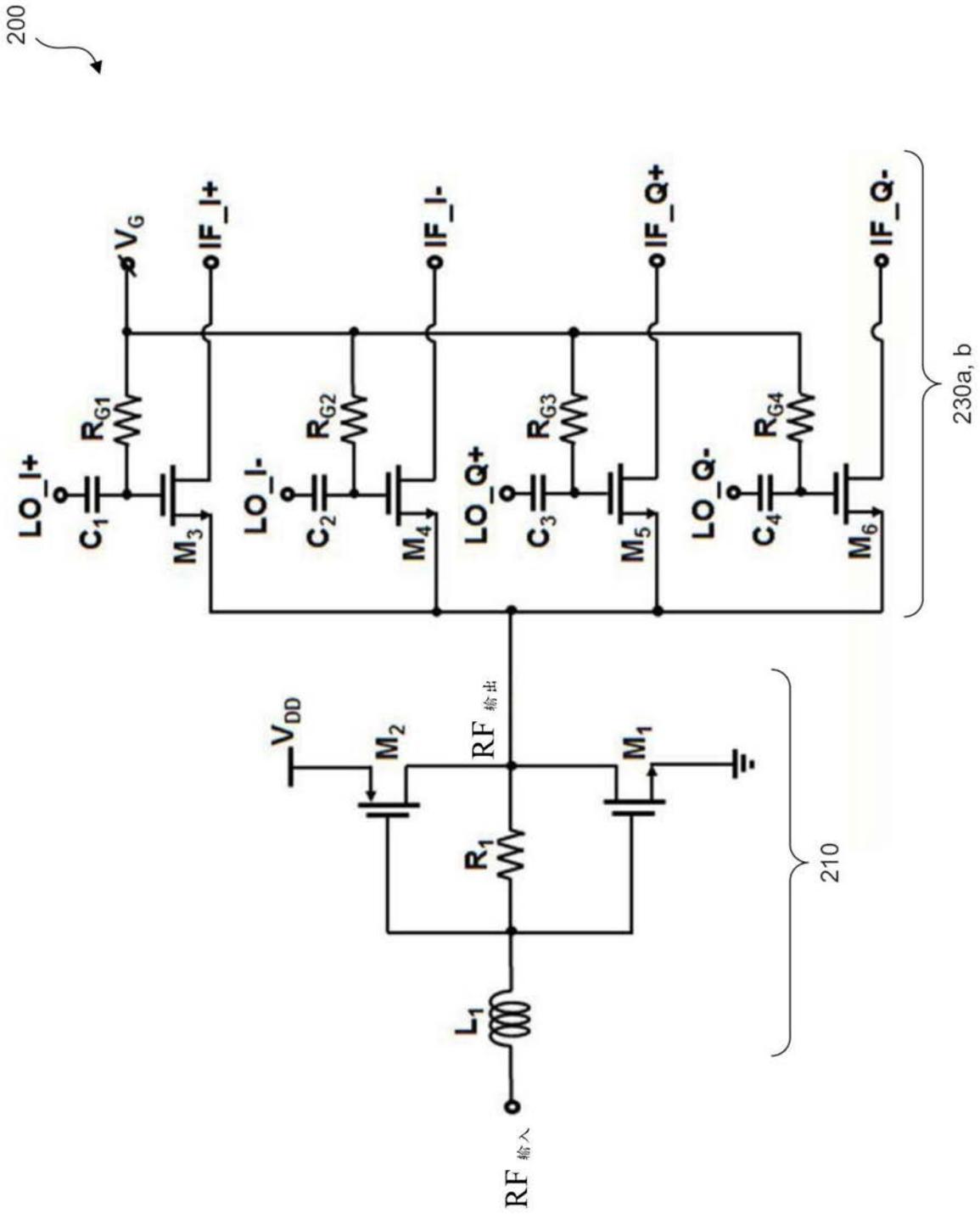


图2

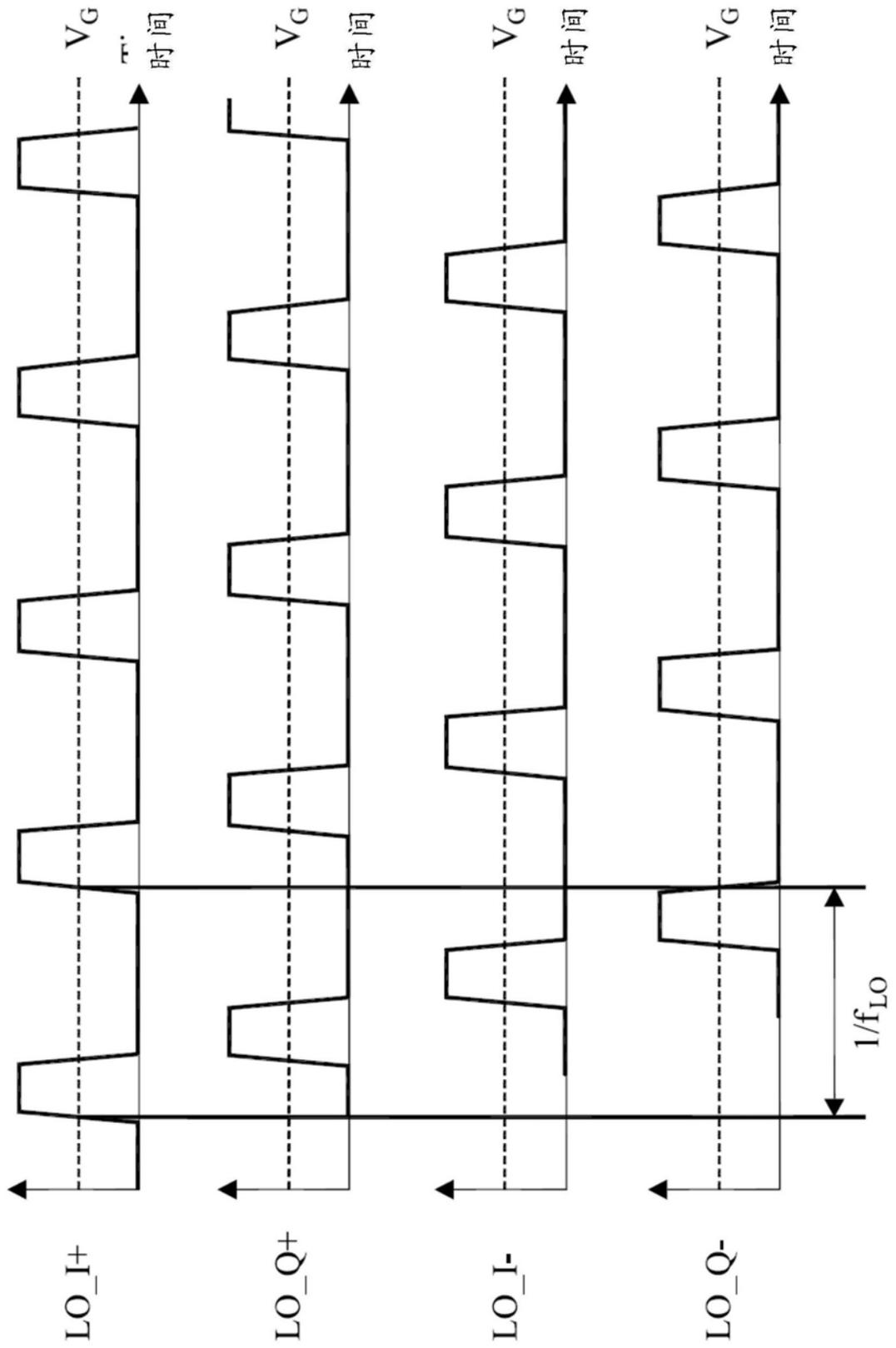


图3

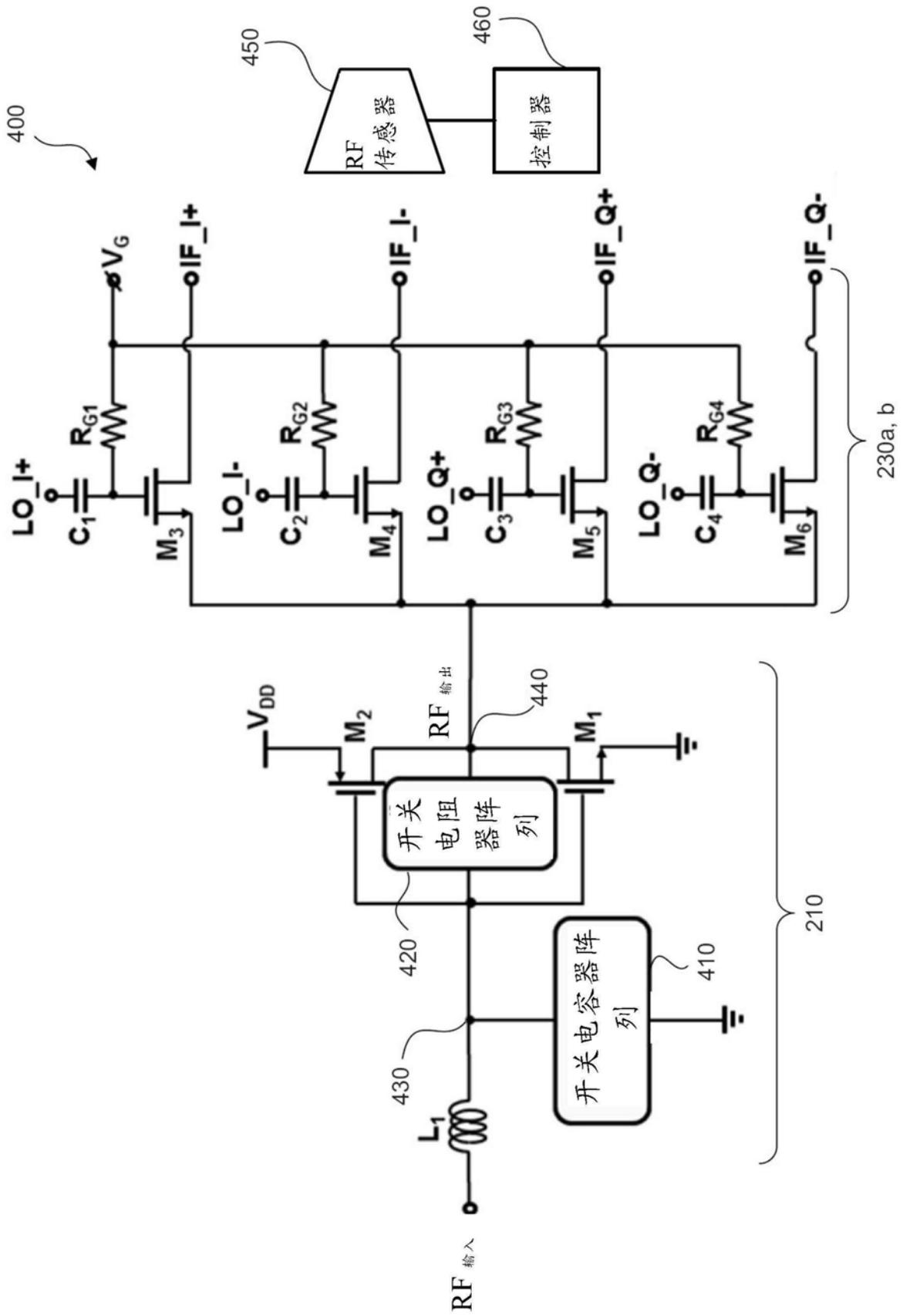


图4

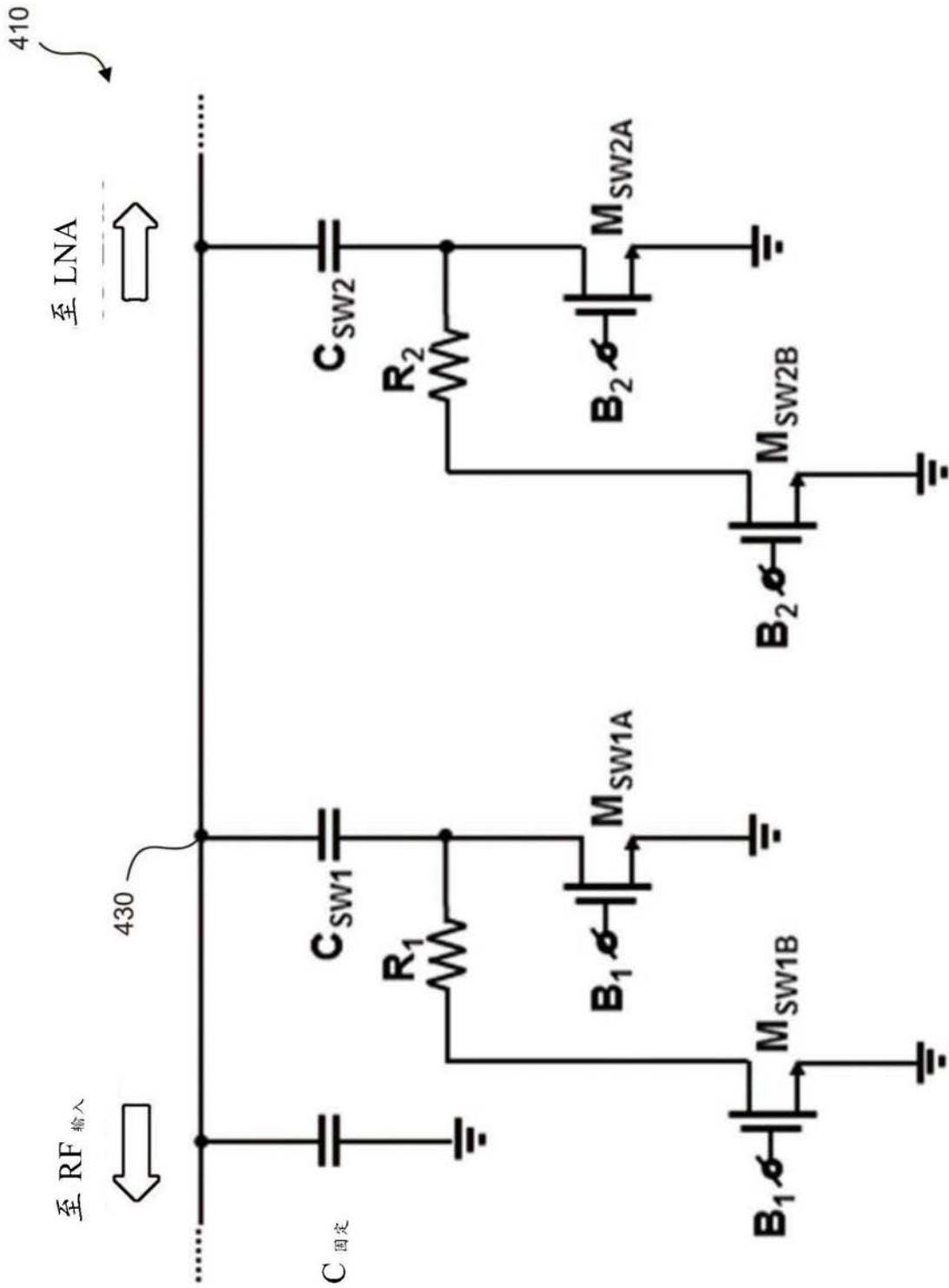


图5

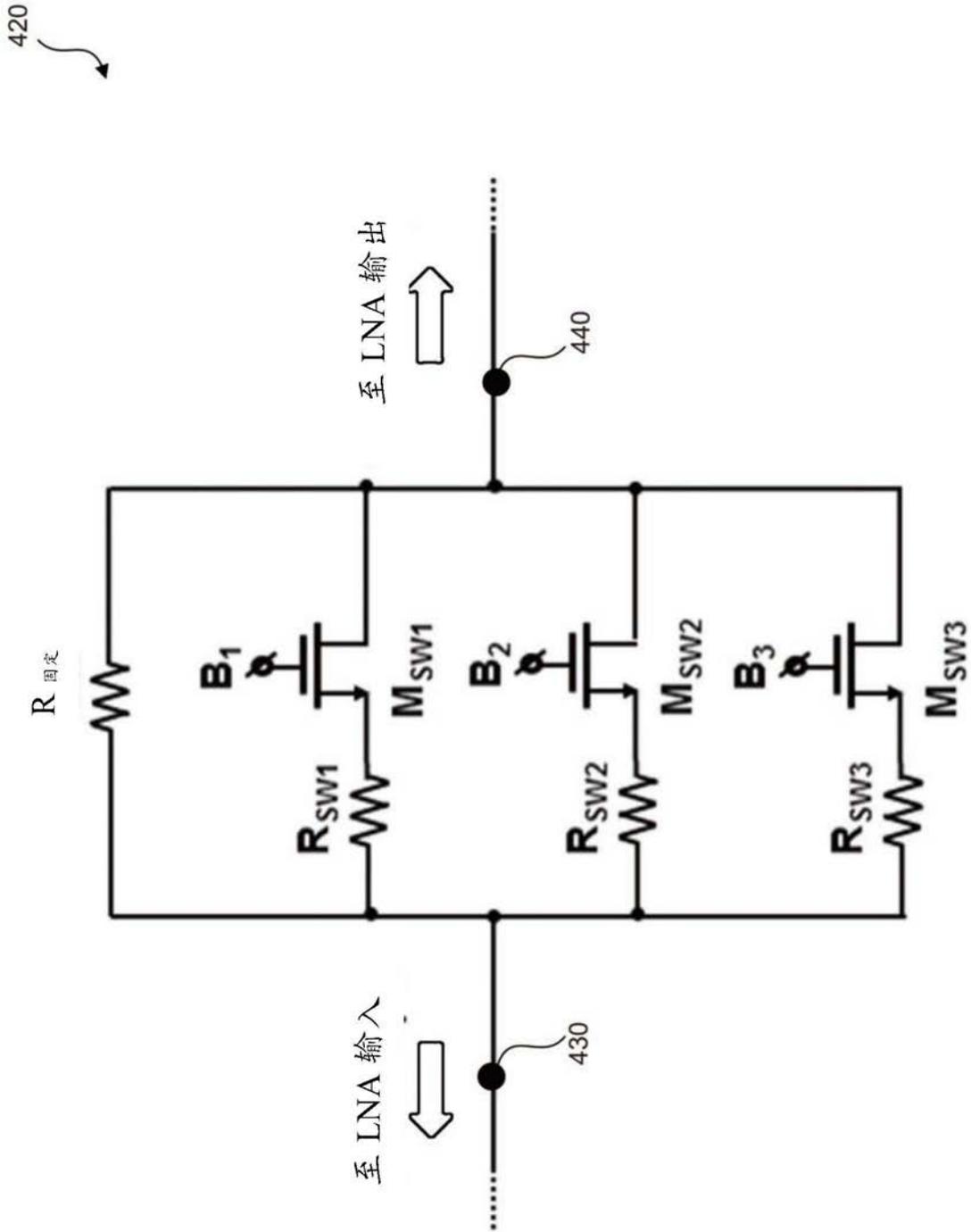


图6

700

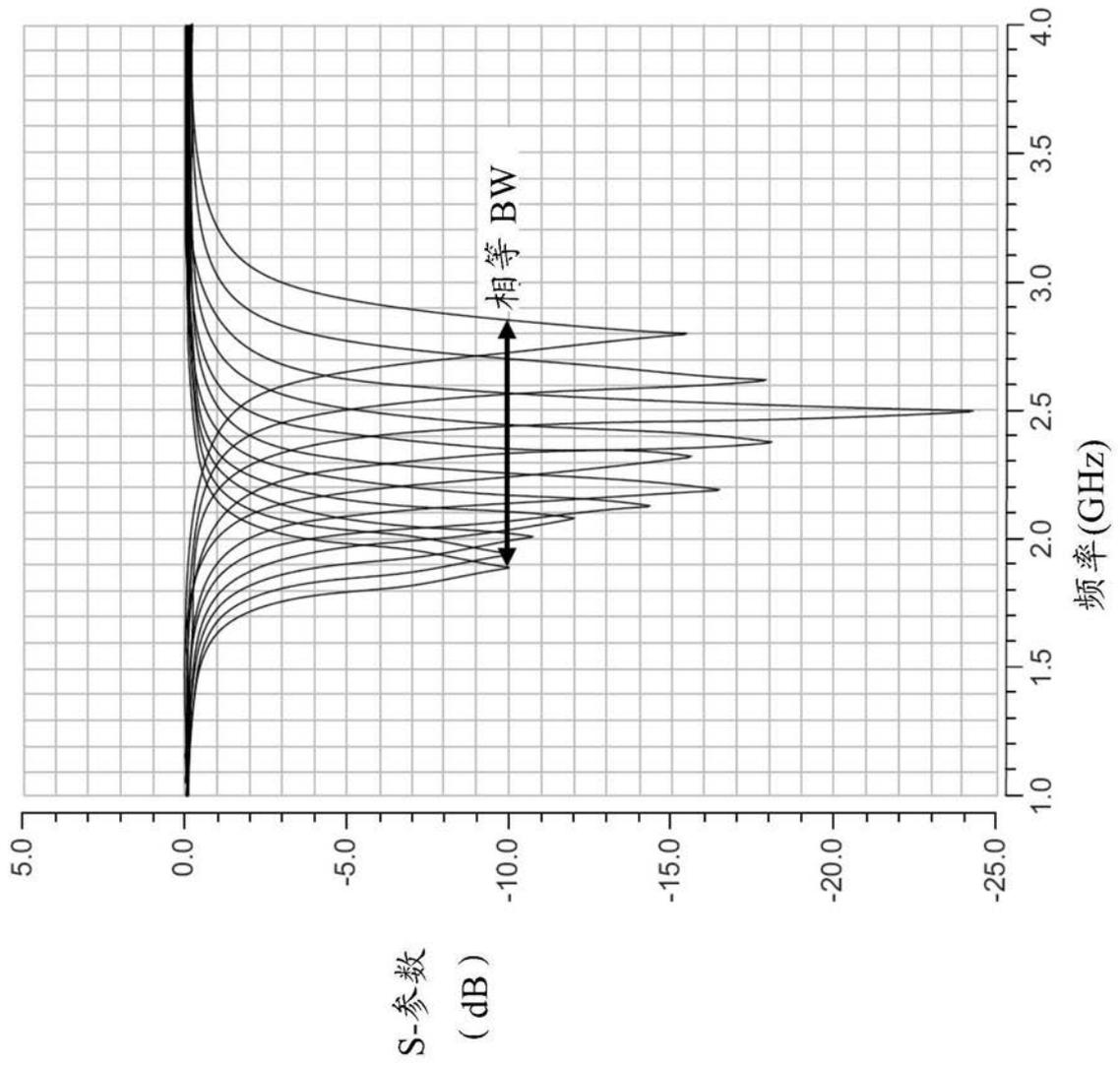


图7

800

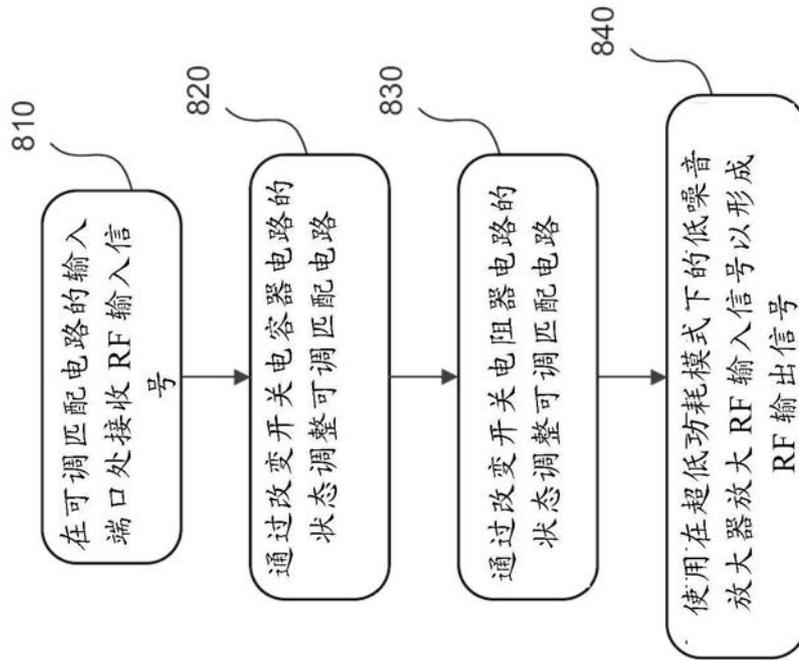


图8