



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114257190 A

(43) 申请公布日 2022.03.29

(21) 申请号 202111101353.7

(22) 申请日 2021.09.18

(30) 优先权数据

17/028,598 2020.09.22 US

(71) 申请人 苹果公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 S·M·H·穆罕默德内扎德 姚僖

A·伊斯梅尔

(74) 专利代理机构 北京市汉坤律师事务所

11602

代理人 魏小微 吴丽丽

(51) Int. Cl.

H03F 3/21 (2006.01)

H03F 3/45 (2006.01)

H03F 1/52 (2006.01)

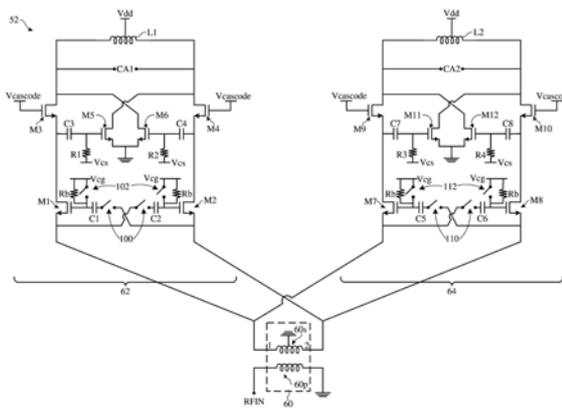
权利要求书5页 说明书20页 附图14页

(54) 发明名称

用于载波聚合的放大器电路

(57) 摘要

本公开涉及用于载波聚合的放大器电路。一种电子设备,该电子设备可包括具有基带处理器、收发器电路、前端模块和天线的无线电路。该前端模块可包括放大器电路,诸如用于放大所接收的射频信号的低噪声放大器。该放大器电路能够在非载波聚合模式和载波聚合模式下操作。该放大器电路可包括输入变压器,该输入变压器耦合到多个放大器级,诸如共栅放大器级、共源共栅放大器级和共源放大器级。该共栅放大器级可包括开关,该开关用于选择性地激活一组交叉耦合的电容器,以帮助保持在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下的输入阻抗匹配。该共源放大器级可包括附加开关,该附加开关用于激活和停用该共源放大器级,以帮助保持在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下的增益。



1. 放大器电路,所述放大器电路能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作,所述放大器电路包括:

输入端口,所述输入端口被配置为从天线接收射频信号;

变压器电路,所述变压器电路耦合到所述输入端口;

第一放大器,所述第一放大器耦合到所述变压器电路;以及

第二放大器,所述第二放大器耦合到所述变压器电路,所述第一放大器和所述第二放大器各自包括:

共栅放大器级,所述共栅放大器级具有耦合到所述变压器电路的输入端并且具有输出端,

共源放大器级,所述共源放大器级与所述共栅放大器级的输出端耦合并且耦合到共源偏置电压,所述共源偏置电压被配置为在所述载波聚合模式和所述非载波聚合模式下激活和停用所述共源放大器级,以及

输出端口,所述输出端口与所述共栅放大器级的输出端耦合。

2. 根据权利要求1所述的放大器电路,其中,所述变压器电路包括:

初级线圈,所述初级线圈具有耦合到所述输入端口的第一端子和耦合到接地线的第二端子;

第一可调电容器,所述第一可调电容器串联耦合在所述输入端口和所述第一端子之间;以及

第二可调电容器,所述第二可调电容器具有耦合到所述输入端口的第一端子以及耦合到所述接地线的第二端子。

3. 根据权利要求2所述的放大器电路,其中,所述变压器电路包括:

第一次级线圈,所述第一次级线圈与所述第一放大器中的共栅放大器级的输入端耦合;

第三可调电容器,所述第三可调电容器与所述第一次级线圈并联耦合并且被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下控制所述第一放大器的输入阻抗;

第二次级线圈,所述第二次级线圈与所述第二放大器中的共栅放大器级的输入端耦合;以及

第四可调电容器,所述第四可调电容器与所述第二次级线圈并联耦合并且被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下控制所述第二放大器的输入阻抗。

4. 根据权利要求1所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共栅放大器级包括:

第一晶体管,所述第一晶体管具有与所述共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第二晶体管,所述第二晶体管具有与所述共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第一电容器,所述第一电容器具有与所述第一晶体管的栅极端子耦合的第一端子并且具有与所述第二晶体管的源极端子耦合的第二端子;以及

第二电容器,所述第二电容器具有与所述第二晶体管的栅极端子耦合的第一端子并且具有与所述第一晶体管的源极端子耦合的第二端子。

5. 根据权利要求1所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者包括共源共栅放大器级,所述共源共栅放大器级具有:

输入端,所述输入端与所述共栅放大器级的输出端耦合;

输出端,所述输出端耦合到所述输出端口;

第一晶体管,所述第一晶体管具有与所述共源共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共源共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及耦合到共源共栅偏置线的栅极端子;以及

第二晶体管,所述第二晶体管具有与所述共源共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共源共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及耦合到所述共源共栅偏置线的栅极端子。

6. 根据权利要求5所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共源放大器级包括:

第三晶体管,所述第三晶体管具有耦合到接地线的源极端子、与所述第一晶体管的源极端子耦合的栅极端子、以及与所述第二晶体管的漏极端子耦合的漏极端子;以及

第四晶体管,所述第四晶体管具有耦合到接地线的源极端子、与所述第二晶体管的源极端子耦合的栅极端子、以及与所述第一晶体管的漏极端子耦合的漏极端子。

7. 根据权利要求1所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器各自包括:

输出线圈,所述输出线圈具有耦合到所述输出端口的第一端子、耦合到所述输出端口的第二端子、以及耦合到正电源线的中心抽头。

8. 根据权利要求7所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器各自包括:

可调输出电容器,所述可调输出电容器具有与所述输出线圈的第一端子耦合的第一端子以及与所述输出线圈的第二端子耦合的第二端子。

9. 根据权利要求1所述的放大器电路,其中,所述变压器电路包括:

初级线圈,所述初级线圈具有耦合到所述输入端口的第一端子以及耦合到接地线的第二端子;以及

次级线圈,所述次级线圈具有与所述第一放大器和所述第二放大器耦合的第一端子以及与所述第一放大器和所述第二放大器耦合的第二端子。

10. 根据权利要求9所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共栅放大器级包括:

第一晶体管,所述第一晶体管具有与所述共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第二晶体管,所述第二晶体管具有与所述共栅放大器级的输入端耦合的源极端子、与所述共栅放大器级的输出端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第一电容器,所述第一电容器具有与所述第一晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第二晶体管的源极端子耦合的第二端子;以及

第二电容器,所述第二电容器具有与所述第二晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第一晶体管的源极端子耦合的第二端子。

11. 根据权利要求10所述的放大器电路,其中,所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共栅放大器级包括:

第一组开关,所述第一组开关被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下激活和停用所述第一电容器和所述第二电容器;以及

第二组开关,所述第二组开关被配置为将所述第一晶体管的栅极端子和所述第二晶体管的栅极端子耦合到共栅偏置线。

12. 根据权利要求9所述的放大器电路,其中,所述放大器电路包括在所述第一放大器和所述第二放大器之间共享的仅一个共栅放大器级,所共享的共栅放大器级包括:

第一晶体管,所述第一晶体管具有与所述次级线圈的第一端子耦合的源极端子、与所述第一放大器和所述第二放大器耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第二晶体管,所述第二晶体管具有与所述次级线圈的第二端子耦合的源极端子、与所述第一放大器和所述第二放大器耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第一电容器,所述第一电容器具有与所述第一晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第二晶体管的源极端子耦合的第二端子;

第二电容器,所述第二电容器具有与所述第二晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第一晶体管的源极端子耦合的第二端子;

第一组开关,所述第一组开关被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下激活和停用所述第一电容器和所述第二电容器;以及

第二组开关,所述第二组开关被配置为将所述第一晶体管的栅极端子和所述第二晶体管的栅极端子耦合到共栅偏置线。

13. 一种操作放大器电路的方法,包括:

通过输入端口从天线接收射频信号;

通过变压器电路将来自所述输入端口的射频信号耦合到第一放大器;

通过所述变压器电路将来自所述输入端口的射频信号耦合到第二放大器;

通过所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共栅放大器级从所述变压器电路接收所述射频信号并且输出对应的放大信号;

通过所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共源放大器级接收所述放大信号并且输出对应的载波聚合输出信号;以及

在载波聚合模式和非载波聚合模式下调节所述第一放大器和所述第二放大器中的每一者中的共源放大器级中的共源偏置电压。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

通过耦合到所述第一放大器的第一输入电容器在所述载波聚合模式和所述非载波聚合模式下调谐所述第一放大器的输入阻抗;以及

通过耦合到所述第二放大器的第二输入电容器在所述载波聚合模式和所述非载波聚合模式下调谐所述第二放大器的输入阻抗。

15. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

通过第一组开关在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下激活和停用所述共栅放大器级中的一组交叉耦合的电容器。

16. 根据权利要求15所述的方法,还包括:

通过第二组开关在所述载波聚合模式和所述非载波聚合模式下将所述共栅放大器级耦合到共栅偏置电压以及将所述共栅放大器级从所述共栅偏置电压解耦。

17. 一种能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作的电子设备,包括:

天线,所述天被配置为接收射频信号;

收发器,所述收发器被配置为基于所述射频信号生成基带信号;

基带处理器,所述基带处理器被配置为接收所述基带信号;以及

放大器电路,所述放大器电路被配置为从所述天线接收所述射频信号并且向所述收发器输出对应的放大信号,所述放大器电路具有:

输入端口,

变压器电路,所述变压器电路耦合到所述输入端口,

共栅放大器级,所述共栅放大器级具有耦合到所述变压器电路的输入端并且具有输出端,

共源放大器级,所述共源放大器级与所述共栅放大器级的输出端耦合并且耦合到共源偏置电压,所述共源偏置电压被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下控制所述共源放大器级,以及

输出端口,所述输出端口与所述共栅放大器级的输出端耦合。

18. 根据权利要求17所述的电子设备,其中,所述放大器电路还包括:

附加共栅放大器级,所述附加共栅放大器级具有耦合到所述变压器电路的输入端并且具有输出端;以及

附加共源放大器级,所述附加共源放大器级与所述附加共栅放大器级的输出端耦合并且还耦合到所述共源偏置电压。

19. 根据权利要求17所述的电子设备,其中

所述变压器电路包括初级线圈,所述初级线圈具有耦合到所述输入端口的第一端子以及耦合到地的第二端子,

所述变压器电路包括次级线圈,所述次级线圈与所述共栅放大器级的输入端耦合,并且

所述放大器电路包括可调电容器,所述可调电容器与所述次级线圈并联耦合并且被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下调谐所述共栅放大器级的输入阻抗。

20. 根据权利要求17所述的电子设备,其中,所述放大器电路包括共源共栅放大器级,所述共源共栅放大器级具有与所述共栅放大器级的输出端耦合的输入端以及与所述输出端口耦合的输出端,并且其中,所述共栅放大器级包括:

第一晶体管,所述第一晶体管具有耦合到所述变压器电路的源极端子、与所述共源共栅放大器级的输入端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第二晶体管,所述第二晶体管具有耦合到所述变压器电路的源极端子、与所述共源共栅放大器级的输入端耦合的漏极端子、以及栅极端子;

第一电容器,所述第一电容器具有与所述第一晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第二晶体管的源极端子耦合的第二端子;

第二电容器,所述第二电容器具有与所述第二晶体管的栅极端子耦合的第一端子以及与所述第一晶体管的源极端子耦合的第二端子;

第一组开关,所述第一组开关被配置为在所述非载波聚合模式和所述载波聚合模式下激活和停用所述第一电容器和所述第二电容器;以及

第二组开关,所述第二组开关被配置为将所述第一晶体管的栅极端子和所述第二晶体管的栅极端子耦合到共栅偏置线。

## 用于载波聚合的放大器电路

[0001] 本申请要求于2020年9月22日提交的美国专利申请第17/028,598号的优先权,该申请据此全文以引用方式并入本文。

### 技术领域

[0002] 本公开整体涉及电子设备,并且更具体地涉及具有无线通信电路的电子设备。

### 背景技术

[0003] 电子设备常具备无线通信能力。本发明公开了一种具有无线通信能力的电子设备,该电子设备具有无线通信电路,该无线通信电路具有一个或多个天线。该无线通信电路中的无线接收器电路使用天线来接收射频信号。

[0004] 由该天线接收的信号通过射频前端模块馈送,该射频前端模块通常包括用于放大所接收的射频信号的低噪声放大器。设计用于电子设备的令人满意的低噪声放大器电路可能是具有挑战性的。

### 发明内容

[0005] 电子设备可包括无线通信电路,该无线通信电路被配置为从一个或多个基站接收射频信号。该无线通信电路可包括天线;收发器电路,该收发器电路被配置为从该天线接收射频信号以及生成对应的基带信号;和基带处理器,该基带处理器被配置为从该收发器电路接收该基带信号。该无线通信电路还可包括放大器电路,该放大器电路插置在该天线和该收发器电路之间的射频传输线路径上。该放大器电路可包括低噪声放大器电路,该低噪声放大器电路被配置为放大从该天线接收的射频信号。

[0006] 该电子设备可任选地支持载波聚合以组合来自多个基站的分量载波。该放大器电路能够在非载波聚合模式下操作,在此期间该放大器电路从一个载波(来自一个基站)接收信号,并且还能够载波聚合模式下操作,在此期间该放大器电路从多个分量载波(来自至少两个不同的基站)接收信号。

[0007] 本公开的一个方面提供了放大器电路,该放大器电路能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作。该放大器电路可包括输入端口,该输入端口被配置为从天线接收射频信号;变压器电路,该变压器电路耦合到该输入端口;第一放大器,该第一放大器耦合到该变压器电路;和第二放大器,该第二放大器耦合到该变压器电路。该第一放大器和该第二放大器可各自包括共栅放大器级,该共栅放大器级具有耦合到该变压器电路的输入端并且具有输出端;共源共栅放大器级,该共源共栅放大器级具有耦合到该共栅放大器级的该输出端的输入端并且具有输出端;共源放大器级,该共源放大器级耦合到该共源共栅放大器级并且耦合到共源偏置电压,该共源偏置电压被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下激活和停用该共源放大器级;和输出端口,该输出端口耦合到该共源共栅放大器级的该输出。

[0008] 该变压器电路可包括:初级线圈,该初级线圈具有耦合到该输入端口的第一端子

和耦合到接地线的第二端子;第一可调电容器,该第一可调电容器串联耦合在该输入端口和该第一端子之间;和第二可调电容器,该第二可调电容器具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到该接地线的第二端子。该变压器电路还可包括第一次级线圈,该第一次级线圈耦合到该第一放大器中的该共栅放大器级的该输入端;第三可调电容器,该第三可调电容器与该第一次级线圈并联耦合并且被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该第一放大器的输入阻抗;第二次级线圈,该第二次级线圈耦合到该第二放大器中的该共栅放大器级的该输入;和第四可调电容器,该第四可调电容器与该第二次级线圈并联耦合并且被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该第二放大器的输入阻抗。

[0009] 本公开的一个方面提供了一种操作放大器电路的方法。该方法可包括通过输入端口从天线接收射频信号;通过变压器电路将来自该输入端口的该射频信号耦合到第一放大器和第二放大器;通过该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的共栅放大器级从该变压器电路接收该射频信号并输出对应的第一放大信号;通过该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的共源共栅放大器级来接收该第一放大信号并输出对应的第二放大信号;并且通过该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的共源放大器级来进一步放大该第二放大信号以输出对应的载波聚合输出信号;在载波聚合模式和非载波聚合模式下调节该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的该共源放大器级中的共源偏置电压。该方法还可包括通过耦合到该第一放大器的第一输入电容器在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下调谐该第一放大器的输入阻抗,以及通过耦合到该第二放大器的第二输入电容器在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下调谐该第二放大器的输入阻抗。

[0010] 本公开的一个方面提供了一种电子设备,该电子设备能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作。该电子设备可包括天线,该天线被配置为接收射频信号;收发器,该收发器被配置为基于该射频信号生成基带信号;基带处理器,该基带处理器被配置为接收该基带信号;和放大器电路,该放大器电路被配置为从该天线接收该射频信号并且向该收发器输出对应的放大信号。该放大器电路可包括输入端口;变压器电路,该变压器电路耦合到该输入端口;共栅放大器级,该共栅放大器级具有耦合到该变压器电路的输入端并且具有输出端;共源共栅放大器级,该共源共栅放大器级具有耦合到该共栅放大器级的该输出端的输入端并且具有输出端;共源放大器级,该共源放大器级耦合到该共源共栅放大器级并且耦合到共源偏置电压,该共源偏置电压被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该共源放大器级;和输出端口,该输出端口耦合到该共源共栅放大器级的该输出端。该变压器电路可包括初级线圈,该初级线圈具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到地的第二端子。该变压器电路可包括次级线圈,该次级线圈耦合到该共栅放大器级的该输入端。该放大器电路可包括可调电容器,该可调电容器与该次级线圈并联耦合。该可调电容器可被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下调谐该共栅放大器级的输入阻抗。

## 附图说明

[0011] 图1是根据一些实施方案的具有被配置为与多个外部设备进行无线通信的无线通信电路的例示性电子设备的示意图。

[0012] 图2是根据一些实施方案的具有耦合在天线和收发器电路之间的前端模块的例示

性无线通信电路的示意图。

[0013] 图3是根据一些实施方案的耦合到混频器电路的例示性放大器电路的示意图。

[0014] 图4是示出根据一些实施方案的例示性低噪声放大器可以如何在非载波聚合模式和载波聚合模式下操作的状态图。

[0015] 图5A是根据一些实施方案的具有在共栅放大器输入处分裂的信号信号的例示性低噪声放大器电路的电路图。

[0016] 图5B是示出根据一些实施方案的在非载波聚合模式下操作的图5A的低噪声放大器电路的电路图。

[0017] 图5C是示出根据一些实施方案的在载波聚合模式下操作的图5A的低噪声放大器电路的电路图。

[0018] 图6A是根据一些实施方案的具有在共栅放大器输出处分裂的信号信号的例示性低噪声放大器电路的电路图。

[0019] 图6B是示出根据一些实施方案的在非载波聚合模式下操作的图6A的低噪声放大器电路的电路图。

[0020] 图6C是示出根据一些实施方案的通过在共栅级处激活交叉耦合的电容器、在载波聚合模式下操作的图6A的低噪声放大器电路的电路图。

[0021] 图6D是示出根据一些实施方案的通过增大电流、在载波聚合模式下操作的图6A的低噪声放大器电路的电路图。

[0022] 图7A是根据一些实施方案的具有带有单独可调谐变压器电路的放大器的例示性低噪声放大器电路的电路图。

[0023] 图7B是示出根据一些实施方案的在非载波聚合模式下操作的图7A的低噪声放大器电路的电路图。

[0024] 图7C是示出根据一些实施方案的在载波聚合模式下操作的图7A的低噪声放大器电路的电路图。

### 具体实施方式

[0025] 电子设备,诸如图1的电子设备10可具备无线电路。该无线电路可包括放大器,诸如低噪声放大器,该低噪声放大器能够在非载波聚合模式下操作以支持在一个频率下与单个基站的通信,或者能够在载波聚合模式下操作以支持在多个频率下与至少两个不同基站的通信。该低噪声放大器(有时被称为放大器电路)可包括输入端口,该输入端口被配置为从天线、输入变压器、第一放大器和第二放大器接收射频信号。该第一放大器和该第二放大器可具有共栅放大器级和共源共栅级。该共栅放大器级可具有交叉耦合的电容器,该交叉耦合的电容器被激活和停用以调谐该第一放大器和该第二放大器的输入阻抗。该共源共栅级还可耦合到在载波聚合模式下被激活的共源级,以帮助消除由该共源共栅级产生的噪声和其他不期望的非线性。可任选地通过可调输入电容器来调谐该输入变压器。如此配置和操作,当在非载波聚合模式和载波聚合模式之间切换时,可保持该低噪声放大器的输入阻抗和增益。

[0026] 图1的电子设备10可以是:计算设备,诸如膝上型计算机、台式计算机、包含嵌入式计算机的计算机监视器、平板电脑、蜂窝电话、媒体播放器或者其他手持式或便携式电子设

备;较小的设备,诸如腕表设备、挂式设备、耳机或听筒设备、嵌入在眼镜中的设备;或者佩戴在用户头部上的其他装备;或者其他可佩戴式或微型设备、电视机、不包含嵌入式计算机的计算机显示器、游戏设备、导航设备、嵌入式系统(诸如其中具有显示器的电子装备安装在信息亭或汽车中的系统)、连接无线互联网的语音控制的扬声器、家庭娱乐设备、遥控设备、游戏控制器、外围用户输入设备、无线基站或接入点、实现这些设备中的两个或更多个设备的功能的装备;或者其他电子装备。

[0027] 如图1中的示意图所示,设备10可包括位于电子设备外壳诸如外壳12上或其内的部件。外壳12(有时可以称为壳体)可由塑料、玻璃、陶瓷、纤维复合材料、金属(例如,不锈钢、铝、金属合金等)、其他合适的材料、或这些材料的组合形成。在一些情况下,外壳12的部分或全部可由介电或其他低电导率材料(例如,玻璃、陶瓷、塑料、蓝宝石等)形成。在其他情况下,外壳12或构成外壳12的结构中的至少一些结构可由金属元件形成。

[0028] 设备10可包括控制电路14。控制电路14可包括存储装置,诸如存储电路16。存储电路16可包括硬盘驱动器存储装置、非易失性存储器(例如,被配置为形成固态驱动器的闪存存储器或其他电可编程只读存储器)、易失性存储器(例如,静态随机存取存储器或动态随机存取存储器)等。存储电路16可包括集成在设备10内的存储装置和/或可移动存储介质。

[0029] 控制电路14可包括处理电路,诸如处理电路18。处理电路18可用于控制设备10的操作。处理电路18可包括一个或多个微处理器、微控制器、数字信号处理器、主机处理器、基带处理器集成电路、专用集成电路、中央处理单元(CPU)等。控制电路14可被配置为使用硬件(例如,专用硬件或电路)、固件和/或软件在设备10中执行操作。用于在设备10中执行操作的软件代码可以存储在存储电路16(例如,存储电路16可以包括存储软件代码的非暂态(有形)计算机可读存储介质)上。该软件代码可有时被称为程序指令、软件、数据、指令、或代码。存储在存储电路16上的软件代码可由处理电路18来执行。

[0030] 控制电路14可用于运行设备10上的软件,诸如卫星导航应用程序、互联网浏览应用程序、互联网语音协议(VOIP)电话呼叫应用程序、电子邮件应用程序、媒体回放应用程序、操作系统功能等。为了支持与外部装备进行交互,控制电路14可用于实现通信协议。可使用控制电路14实现的通信协议包括:互联网协议、无线局域网(WLAN)协议(例如,IEEE802.11协议——有时被称为**Wi-Fi**<sup>®</sup>)、用于其他短距离无线通信链路的协议诸如**Bluetooth**<sup>®</sup>协议或其他无线个人局域网(WPAN)协议、IEEE 802.11ad协议(例如,超宽带协议)、蜂窝电话协议(例如,3G协议、4G(LTE)协议、5G新空口(NR)协议等)、MIMO协议、天线分集协议、卫星导航系统协议(例如,全球定位系统(GPS)协议、全球卫星导航系统(GLONASS)协议等)、基于天线的空间测距协议(例如,在毫米和厘米波频率下传送的信号的无线电探测与测距(RADAR)协议或其他期望的距离检测协议)或任何其他期望的通信协议。每种通信协议可与对应的无线电接入技术(RAT)相关联,该无线电接入技术指定用于实现该协议的物理连接方法。

[0031] 设备10可包括输入-输出电路20。输入-输出电路20可包括输入-输出设备22。输入-输出设备22可用于允许将数据供应给设备10并且允许将数据从设备10提供给外部设备。输入-输出设备22可包括用户接口设备、数据端口设备和其他输入-输出部件。例如,输入-输出设备22可包括触摸传感器、显示器、发光部件诸如没有触摸传感器能力的显示器、按钮(机械式、电容式、光学式等)、滚轮、触摸板、小键盘、键盘、麦克风、相机、按钮、扬声器、

状态指示器、音频插孔和其他音频端口部件、数字数据端口设备、运动传感器(检测运动的加速度计、陀螺仪和/或罗盘)、电容传感器、接近传感器、磁传感器、力传感器(例如,耦合到显示器以检测施加到显示器的压力的力传感器)等。在一些配置中,键盘、耳机、显示器、指向设备诸如触控板、鼠标,电子笔(例如,触控笔)和操纵杆以及其他输入-输出设备可使用有线或无线连接来耦合到设备10(例如,输入-输出设备22中的一些可以是经由有线或无线链路耦合到设备10的主处理单元或其他部分的外围设备)。

[0032] 输入-输出电路24可包括用于无线地传送射频信号的无线通信电路,诸如无线通信电路34(有时在本文中称为无线电路24)。虽然为了清楚起见,控制电路14被示出为与无线通信电路24分开,但是无线通信电路24可包括处理电路和/或存储电路,该处理电路形成处理电路18的一部分,该存储电路形成控制电路14的存储电路16的一部分(例如,控制电路14的各部分可在无线通信电路24上实现)。例如,控制电路14(例如,处理电路18)可包括基带处理器电路或形成无线通信电路24的一部分的其他控制部件。

[0033] 无线通信电路24可包括由一个或多个集成电路形成的射频(RF)收发器电路、被配置为放大上行链路射频信号(例如,由设备10发射到外部设备的射频信号)的功率放大器电路、被配置为放大下行链路射频信号(例如,由设备10从外部设备接收的射频信号)的低噪声放大器、无源射频部件、一个或多个天线、传输线和用于处理射频无线信号的其他电路。也可使用光(例如,使用红外通信)来发送无线信号。

[0034] 无线电路24可包括用于处理各种射频通信频带中的射频信号的传输和/或接收的射频收发器电路。例如,射频收发器电路可处理无线局域网(WLAN)通信频带诸如2.4GHz和5GHz **Wi-Fi**<sup>®</sup>(IEEE 802.11)频带、无线个人局域网(WPAN)通信频带诸如2.4GHz **Bluetooth**<sup>®</sup>通信频带、蜂窝电话通信频带诸如蜂窝低频带(LB)(例如,600MHz至960MHz)、蜂窝低中频带(LMB)(例如,1400MHz至1550MHz)、蜂窝中频带(MB)(例如,1700MHz至2200MHz)、蜂窝高频带(HB)(例如,2300MHz至2700MHz)、蜂窝超高频带(UHB)(例如,3300MHz至5000MHz)或在约600MHz和约5000MHz之间的其他蜂窝通信频带(例如,3G频带、4G LTE频带、低于10GHz的5G新空口频率范围1(FR1)频带、处于在20GHz和60GHz之间的毫米波长和厘米波长的5G新空口频率范围2(FR2)频带等)、近场通信(NFC)频带(例如,13.56MHz)、卫星导航频带(例如,1575MHz的L1全球定位系统(GPS)频带、1176MHz的L5 GPS频带、全球卫星导航系统(GLONASS)频带、北斗卫星导航系统(BDS)频带等)、由IEEE 802.15.4协议和/或其他UWB通信协议支持的超宽带(UWB)通信频带(例如,6.5GHz的第一UWB通信频带和/或8.0GHz的第二UWB通信频带)和/或任何其他期望的通信频带。由此类射频收发器电路处理的通信频带在本文中有时可被称为频率带或简称为“频带”,并且可跨越对应的频率范围。一般来讲,无线电路24中的射频收发器电路可覆盖(处理)任何感兴趣的期望频率带。

[0035] 设备10可通过有线和无线通信路径与外部设备诸如附件、计算装备和无线网络通信。例如,设备10可通过对应的无线链路8与无线网络装备诸如一个或多个蜂窝电话基站6通信。在图1的示例中,无线通信电路24中的一个或多个天线可通过第一通信链路8-1与第一基站6-1通信,可通过第二通信链路8-N与第二基站6-N通信,或者可分别通过通信链路8-1和通信链路8-N两者同时与基站6-1和基站6-N通信。在一个实施方案中,在有时被称为载波聚合的方案中,无线通信电路24可同时在与链路8-1相关联的第一通信频带中与第一基

站6-1以及在与链路8-N相关联的第二通信频带中与第二基站6-N传送信息。

[0036] 当使用载波聚合方案进行操作时,与设备10建立对应的无线链路8的第一基站6在本文中有时可被称为主分量载波(PCC)或主基站。在主机站与设备10之间传送的射频信号在本文中有时可被称为主分量载波信号、主信号、主分量信号、主载波信号或PCC信号,并且主基站与设备10之间的无线链路8在本文中有时可被称为主连接或主无线链路。一旦在设备10与主基站之间建立连接,设备10便可在不中断与主基站的连接的情况下建立与另一个基站6的其他无线连接,并且可同时与两个基站进行通信(例如,使用载波聚合方案中的不同频带)。在设备10已建立与主基站的无线连接之后建立与设备10的连接的其他基站在本文中有时可被称为辅分量载波(SCC)或辅基站。在辅基站与设备10之间传送的射频信号在本文中有时可被称为辅分量载波信号、辅信号、辅分量信号、辅载波信号或SCC信号,并且辅基站与设备10之间的无线链路8在本文中有时可被称为辅连接或辅无线链路。如果需要,设备10可在下行链路和上行链路通信频带中建立与主基站和一个或多个辅基站的连接。

[0037] 使用载波聚合组合来自多个分量载波的数据可显著增加数据吞吐量。例如,无线通信电路24可被配置为聚合来自至少两个分量载波、最多至五个分量载波、两个至五个分量载波、多于五个分量载波、最多至16个分量载波、5至16个分量载波、多于16个分量载波、最多至32个分量载波、16至32个分量载波、多于32个分量载波、最多至64个分量载波、32至64个分量载波、多于64个分量载波、64至100个分量载波、多于100个分量载波、数百个分量载波、少于100个分量载波、少于64个分量载波、少于32个分量载波或其他合适数量的分量载波的数据流。来自以这种方式聚合多个分量载波的组合带宽可高达100MHz或更高、200MHz或更高、300MHz或更高、400MHz或更高、500MHz或更高、500MHz至1GHz,或甚至大于1GHz。

[0038] 聚合的各种分量载波可以属于,也可以不属于同一频带。在同一频带内的多个分量载波被聚合的情况有时被称为频带内载波聚合。具体地,如果同一频带内的多个分量载波处于没有将连续频率块分开的任何频率间隙的连续频率块中,则此类带内聚合还可以被称为带内连续载波聚合。如果同一频带内的多个分量载波处于由一个或多个频率间隙分开的非连续频率块中,则此类带内聚合还可以被称为带内非连续载波聚合。在其他情况下,可将来自不同频带的多个分量载波聚合在一起。此类载波聚合可被称为带间载波聚合。

[0039] 一般来讲,载波聚合可组合来自3G频带、4G LTE频带、5G NR频带、或其他蜂窝电话通信频带、WLAN通信频带、WPAN通信频带、NFC频带、GPS频带、GLONASS频带、UWB通信频带、这些频带的组合、或其他期望的通信频带的分量载波。例如,可将一个或多个4G LTE频带中的多个连续或非连续分量载波聚合在一起以执行4G LTE载波聚合。又如,可将一个或多个5G NR频带中的多个连续或非连续分量载波聚合在一起以执行5G NR载波聚合。又如,可将来自4G LTE频带的一个或多个分量载波与来自5G NR频带的一个或多个分量载波聚合以执行双连接载波聚合。又如,可将来自两个或更多个4G LTE频带的多个分量载波与来自两个或更多个5G NR频带的多个分量载波聚合。又如,可将来自一个或多个4G LTE频带的分量载波与另一类型的蜂窝技术频带(例如,一个或多个GSM频带、一个或多个EDGE频带、一个或多个3G频带、一个或多个5G NR频带等)聚合。又如,可将来自一个或多个5G NR频带的分量载波与另一类型的蜂窝技术频带(例如,一个或多个GSM频带、一个或多个EDGE频带、一个或多个3G频带、一个或多个LTE频带等)聚合。这些示例仅为例示性的。一般来讲,可将来自与

任何合适的无线通信协议相关联的一个或多个频带的任何数量的连续或非连续分量载波聚合在一起,以帮助提高无线通信电路24的数据吞吐量。

[0040] 图2是示出无线电路24内的例示性部件的示意图。如图2所示,无线电路24可包括基带处理器诸如基带处理器26、射频(RF)收发器电路诸如射频收发器28、射频前端电路诸如射频前端模块(FEM)40以及天线42。基带处理器26可通过基带路径34耦合到收发器28。收发器28可经由射频传输线路径36耦合到天线42。射频前端模块40可插置在收发器28与天线42之间的射频传输线路径36上。

[0041] 在图2的示例中,为了清楚起见,无线电路24被示出为包括仅单个基带处理器26、仅单个收发器28、仅单个前端模块40和仅单个天线42。一般来讲,无线电路24可包括任何期望数量的基带处理器26、任何期望数量的收发器36、任何期望数量的前端模块40以及任何期望数量的天线42。每个基带处理器26可通过相应基带路径34耦合到一个或多个收发器28。每个收发器28可包括被配置为向天线42的发射器电路30输出上行链路信号,可包括被配置为从天线42接收下行链路信号的接收器电路32,并且可通过相应射频传输线路径36耦合到一个或多个天线42。每个射频传输线路径36可具有插置在其上的相应前端模块40。如果需要,两个或更多个前端模块40可插置在相同射频传输线路径36上。如果需要,可在其上没有插置任何前端模块的情况下实现无线电路24中的射频传输线路径36中的一个或多个射频传输线路径。

[0042] 射频传输线路径36可耦合到天线42上的天线馈电部。天线馈电部可例如包括正天线馈电端子和接地天线馈电端子。射频传输线路径36可具有正传输线信号路径,该正传输线信号路径耦合到天线42上的正天线馈电端子。射频传输线路径36可具有接地传输线信号路径,该接地传输线信号路径耦合到天线42上的接地天线馈电端子。该示例仅仅是例示性的,并且一般来讲,天线42可使用任何期望的天线馈电方案来馈电。如果需要,天线42可具有耦合到一个或多个射频传输线路径36的多个天线馈电部。

[0043] 射频传输线路径36可包括用于路由设备10(图1)内的射频天线信号的传输线。设备10中的传输线可包括同轴电缆、微带传输线、带状线传输线、边缘耦合的微带传输线、边缘耦合的带状线传输线、由这些类型的传输线的组合形成的传输线等。设备10中的传输线诸如射频传输线路径36中的传输线可集成到刚性和/或柔性印刷电路板中。在一个实施方案中,射频传输线路径诸如射频传输线路径36还可包括传输线导体,这些传输线导体集成在多层层压结构(例如,在没有介入粘合剂的情况下层压在一起的导电材料(诸如铜)和介电材料(诸如树脂)层)内。如果需要,多层层压结构可在多个维度(例如,二维或三维)上折叠或弯曲,并且可在弯曲之后保持弯曲或折叠形状(例如,多层层压结构可被折叠成特定的三维结构形状以围绕其他设备部件布线并且可为足够刚性的以在折叠之后保持其形状而不用加强件或其他结构保持在适当的位置)。层压结构的所有多个层可以在没有粘合剂的情况下分批层压在一起(例如,在单个压制过程中)(例如,与进行多个压制过程以将多个层用粘合剂层压在一起相反)。

[0044] 在执行无线传输时,基带处理器26可通过基带路径34向收发器28提供基带信号。收发器28还可包括用于将从基带处理器26接收的基带信号转换为对应射频信号的电路。例如,收发器电路28可包括用于在通过天线42传输之前将基带信号上变频(或调制)为射频的混频器电路。收发器电路28还可包括用于在数字域与模拟域之间转换信号的数模转换器

(DAC) 电路和/或模数转换器 (ADC) 电路。收发器28可使用发射器30经由射频传输线路径42和前端模块40通过天线36传输射频信号。天线42可通过将射频信号辐射到自由空间中将来将射频信号传输到外部无线装备。

[0045] 在执行无线接收时,天线42可从外部无线装备接收射频信号。可将所接收的射频信号经由射频传输线路径36和前端模块40传送到收发器28。收发器28可包括用于将所接收的射频信号转换为对应基带信号的电路。例如,收发器28可包括用于在将所接收的信号通过基带路径34传送到基带处理器26之前将所接收的射频信号下变频(或解调)为基带频率的混频器电路。

[0046] 前端模块(FEM) 40可包括对通过射频传输线路径36传送(发射和/或接收)的射频信号操作的射频前端电路。例如,FEM 40可包括前端模块(FEM) 部件,诸如射频滤波器电路44(例如,低通滤波器、高通滤波器、陷波滤波器、带通滤波器、复用电路、双工器电路、天线共用器电路、三工器电路等)、切换电路46(例如,一个或多个射频开关)、射频放大器电路48(例如,一个或多个功率放大器电路50和/或一个或多个低噪声放大器电路52)、阻抗匹配电路(例如,帮助匹配天线42的阻抗与射频传输线36的阻抗的电路)、天线调谐电路(例如,调节天线42的频率响应的电容器、电阻器、电感器和/或开关的网络)、射频耦合器电路、电荷泵电路、功率管理电路、数字控制和接口电路,和/或对由天线42发射和/或接收的射频信号进行操作的任何其他期望的电路。可将前端模块部件中的每一者安装到公共(共享)衬底,诸如刚性印刷电路板衬底或柔性印刷电路衬底。如果需要,各种前端模块部件还可以集成到单个集成电路芯片中。

[0047] 滤波器电路44、切换电路46、放大器电路48和其他电路可插置在射频传输线路径36内,可结合到FEM 40中,和/或可结合到天线42中(例如,以支持天线调谐、以支持在期望频带中的操作等)。可(例如,使用控制电路14)调节这些部件(在本文中有时被称为天线调谐部件)以随时间调节天线42的频率响应和无线性能。

[0048] 收发器28可与前端模块40分开。例如,可在另一个衬底诸如设备10的主逻辑板、刚性印刷电路板或并非前端模块40的一部分的柔性印刷电路上形成收发器28。虽然为了清楚起见,在图1的示例中,控制电路14被示出为与无线电路24分开,但是无线电路24可包括处理电路和/或存储电路,该处理电路形成处理电路18的一部分,该存储电路形成控制电路14的存储电路16的一部分(例如,控制电路14的各部分可在无线电路24上实现)。作为一个示例,基带处理器26和/或收发器28的部分(例如,收发器28上的主机处理器)可形成控制电路14的一部分。控制电路14(例如,基带处理器26上形成的控制电路14的部分、收发器28上形成的控制电路14的部分和/或与无线电路24分开的控制电路14的部分)可提供控制前端模块40的操作的控制信号(例如,通过设备10中的一个或多个控制路径)。

[0049] 收发器电路28可包括处理WLAN通信频带(例如,**Wi-Fi**<sup>®</sup>(IEEE 802.11)或其他WLAN通信频带)诸如2.4GHz WLAN频带(例如,2400MHz至2480MHz)、5GHz WLAN频带(例如,5180MHz至5825MHz)、**Wi-Fi**<sup>®</sup> 6E频带(例如,5925MHz至7125MHz)和/或其他**Wi-Fi**<sup>®</sup>频带(例如,1875MHz至5160MHz)的无线局域网收发器电路;处理2.4GHz **Bluetooth**<sup>®</sup>频带或其他WPAN通信频带的无线个人区域网收发器电路;处理蜂窝电话频带(例如,约600MHz至约5GHz的频带、3G频带、4G LTE频带、低于10GHz的5G新空口频率范围1(FR1)频带、在20GHz和

60GHz之间的5G新空口频率范围2 (FR2) 频带等) 的蜂窝电话收发器电路;处理近场通信频带(例如,13.56MHz)的近场通信(NFC)收发器电路;处理卫星导航频带(例如,1565MHz至1610MHz的GPS频带、全球卫星导航系统(GLONASS)频带、北斗卫星导航系统(BDS)频带等)的卫星导航接收器电路;使用IEEE 802.15.4协议和/或其他超宽带通信协议来处理通信的超宽带(UWB)收发器电路;和/或用于覆盖任何其他期望的感兴趣通信频带的任何其他期望的射频收发器电路。

[0050] 无线电路24可包括一个或多个天线,诸如天线42。可使用任何期望的天线结构来形成天线42。例如,天线42可以是具有谐振元件的天线,该天线由环形天线结构、贴片天线结构、倒F形天线结构、隙缝天线结构、平面倒F形天线结构、螺旋天线结构、单极天线、偶极、这些设计的混合等形成。两个或更多个天线42可被布置成一个或多个相控天线阵列(例如,用于在毫米波频率下传送射频信号)。寄生元件可包括在天线42中以调节天线性能。天线42可设置有导电腔,该导电腔支撑天线42的天线谐振元件(例如,天线42可以是背腔天线,诸如背腔隙缝天线)。

[0051] 如上所述,前端模块40可包括接收(下行链路)路径中的一个或多个低噪声放大器(LNA)电路52。低噪声放大器52(有时被称为低噪声放大器电路或放大器电路)可被配置为放大所接收的射频信号,而不会显著降低放大信号的信噪比(SNR)。例如,低噪声放大器52可用于提供2dB的电压增益、3dB的电压增益、4dB的电压增益、5dB的电压增益、6dB的电压增益、3dB至4dB的电压增益、2dB至5dB的电压增益、5dB至10dB的电压增益或其他合适量的电压增益。

[0052] 图3是耦合到收发器28的例示性低噪声放大器电路52的示意图。如图3所示,放大器电路52具有被配置为从天线接收射频信号的输入端口RFIN、输入变压器(诸如输入变压器电路60)、第一放大器62和第二放大器64。变压器电路60可将信号并行馈送到第一放大器62和第二放大器64两者。第一放大器62具有第一载波聚合输出端口CA1,而第二放大器64具有第二载波聚合输出端口CA2。除了其他无线收发器部件之外,收发器28可包括混频器电路,诸如第一混频器66和第二混频器68。第一混频器66可接收来自第一放大器62的第一载波聚合输出端口CA1的信号和本地振荡器信号LO。第二混频器68可接收来自第二放大器64的第二载波聚合输出端口CA2的信号和另一个本地振荡器信号。由混频器66和混频器68接收的本地振荡器信号可以是相同的,也可以是不同的(例如,本地振荡器信号可具有相同的频率但具有相位偏移)。然后混频器66可输出与一个分量载波相关联的对应第一基带输出信号BB1。类似地,混频器68可输出与另一个分量载波相关联的对应第二基带输出信号BB2。然后可将基带信号BB1和BB2提供给基带处理器26(参见图2)。

[0053] 在支持多分量载波的载波聚合的设备10中,设备10可包括一个或多个低噪声放大器52,该一个或多个低噪声放大器能够在非载波聚合(NCA)模式和载波聚合(CA)模式下操作。理想的是,在NCA和CA两种操作模式下,与该低噪声放大器相关联的增益和输入匹配特性应当相同。然而,如果在低噪声放大器设计中不小心,则当从NCA模式切换至CA模式时,低噪声放大器电路的增益和输入阻抗可能不匹配,并且反之亦然。

[0054] 图4是示出低噪声放大器电路52可如何在非载波聚合模式70和载波聚合模式72之间切换的状态图。当放大器电路52在非载波聚合模式70下操作时,两个放大器62和64中仅一者被激活。例如,仅第一放大器62被激活,而第二放大器64被停用或空闲。又如,仅第二放

大器64接通(启用),而第一放大器62断开(停用)。在任一种情况下,被激活的放大器可包括交叉耦合的共源放大器级,该交叉耦合的共源放大器级在非载波聚合模式70期间被停用。

[0055] 当放大器电路52在载波聚合模式72下操作时,放大器62和64两者均被激活。在模式72下,第一放大器62将在第一载波聚合输出端口CA1处输出信号,而第二放大器64同时在第二载波聚合输出端口CA2处输出信号。与模式70不同,放大器62和64可各自包括交叉耦合的共源放大器级,该交叉耦合的共源放大器级在载波聚合模式72期间被激活(切换为启用)。将交叉耦合的共源放大器级切换为启用可帮助恢复在两个放大器之间分裂来自输入变压器的电流时原本可能减小的任何增益,同时还提供消除噪声和与放大器电路52中的其他级相关联的其他更高阶非线性项的益处。第一放大器和第二放大器可包括切换电路,该切换电路被配置为当在模式70和模式72之间切换时控制(即,激活和停用)低噪声放大器电路52的至少一部分。此类切换电路的细节可取决于放大器电路52的具体实施,这将在下文结合图5至图7更详细地描述。

[0056] 图5A是示出低噪声放大器电路52的一个适当实施方案的电路图,该低噪声放大器电路可操作以在非载波聚合模式和载波聚合模式两者下提供输入匹配和同等增益。如图5A所示,放大器电路52包括输入端口RFIN、输入变压器电路60、第一放大器62和第二放大器64。输入端口RFIN可被配置为从天线接收射频信号。如结合图2所述,一个或多个电路诸如滤波器电路、切换电路、天线调谐电路和/或其他控制电路可任选地沿射频传输线路径36耦合在天线和放大器输入端口RFIN之间。

[0057] 变压器电路60可包括初级绕组诸如初级绕组60p和次级绕组诸如次级绕组60s。初级绕组60p和次级绕组60s有时可分别称为初级线圈和次级线圈。初级绕组60p可以是单端线圈,该单端线圈具有耦合到输入端口RFIN的第一端子和耦合到接地线(例如,在其上提供接地信号的接地电源线)的第二端子。次级绕组60s可被配置为支持差分信号。具体地,次级线圈60s具有耦合到放大器62和64两者的第一(1)端子和也耦合到放大器62和64两者的第二(2)端子。次级线圈60s可具有耦合到接地线的中心抽头。

[0058] 第一放大器62可包括形成第一放大器内的不同放大器级的部分的晶体管M1至M6。在图5A的示例中,晶体管M1至M6是N沟道金属氧化物半导体(NMOS)晶体管。这仅是例示性的。如果需要,晶体管M1至M6中的至少一些晶体管可被实现为P沟道金属氧化物半导体(PMOS)晶体管。又如,所有晶体管M1至M6可以是PMOS晶体管。一般来讲,可使用任何适当类型的半导体开关部件。将晶体管M1至M6实现为NMOS晶体管的配置有时可在本文中作为示例来描述。

[0059] 晶体管M1具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第一端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。用于指晶体管中的载流端子的术语“源极”和“漏极”端子可互换使用,并且有时被称为“源极-漏极”端子。因此,晶体管M1的源极端子可被称为第一源极-漏极端子,并且晶体管M1的漏极端子可被称为第二源极-漏极端子(或反之亦然)。晶体管M2具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第二端子;栅极端子;和漏极(输出)端子。

[0060] 晶体管M1的栅极端子可通过接通和断开第一开关100经由电容器C1选择性地耦合到晶体管M2的源极端子。类似地,晶体管M2的栅极端子可通过接通和断开第二开关100经由电容器C2选择性地耦合到晶体管M1的源极端子。因此,当开关100被激活时,晶体管M1和

M2据称经由电容器C1和C2交叉耦合(例如,M1的控制端子经由C1交叉耦合到M2的输入端子,而M2的控制端子经由C2交叉耦合到M1的输入端子)。

[0061] 晶体管M1的栅极端子还可耦合到共栅电压线,该共栅电压线上经由第一偏置电阻器Rb和第一开关102提供共栅电压Vcg。当晶体管M1接通并连接到交叉耦合的电容器C1和C2时(即,当开关100接通时),第一开关102断开并且晶体管M1的栅极通过连接到电压Vcg的电阻器Rb偏置。当晶体管M1接通并且与交叉耦合的电容器C1和C2断开连接时(即,当开关100断开时),第一开关102接通并且晶体管M1的栅极直接连接到DC电压Vcg。当晶体管M1断开时,电压Vcg被设置为0V。电压Vcg可具有在接地电压电平与为放大器电路52供电的正电源电压电平Vdd之间的某个中间电压电平。如果需要,共栅电压Vcg还可以等于正电源电压Vdd。

[0062] 类似地,晶体管M2的栅极端子还可以经由第二偏置电阻器Rb和第二开关102耦合到共栅电压线。当晶体管M2接通并连接到交叉耦合的电容器C1和C2时(即,当开关100接通时),第二开关102断开,并且晶体管M2的栅极通过连接到电压Vcg的第二电阻器Rb偏置。当晶体管M2接通并且与交叉耦合的电容器C1和C2断开连接时(即,当开关100断开时),第二开关102接通并且晶体管M2的栅极直接连接到DC电压Vcg。当晶体管M2断开时,电压Vcg被设置为0V。因此,以这种方式操作的晶体管M1和M2连同交叉耦合的电容器C1和C2以及相关联的开关100和102有时可被统称为共栅放大器级。共栅放大器级可被定义为具有放大晶体管的放大器级,该放大晶体管的栅极端子耦合到共(固定)电压源(例如,Vcg)。因此,开关100和102以及Vcg的DC电压电平可用于控制第一放大器62中的该共栅放大器级。

[0063] 晶体管M3具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到晶体管M1的输出端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。类似地,晶体管M4具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到晶体管M2的输出端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。晶体管M3和M4的漏极端子可用作第一载波聚合输出端口CA1。第一输出线圈L1可跨第一载波聚合输出端口CA1耦合。输出线圈L1可具有耦合到正电源线的中心抽头,在该正电源线上提供有正电源电压Vdd。

[0064] 晶体管M3和M4的栅极端子可耦合到共源共栅偏置电压线,在该共源共栅偏置电压线上提供有共源共栅偏置电压Vcascode。电压Vcascode可具有在接地电压电平和为放大器电路52供电的正电源电压电平Vdd之间的某个中间电压电平。如果需要,电压Vcascode还可以等于正电源电压Vdd。以这种方式串联耦合到共栅放大器级的输出端的晶体管M3和M4有时被统称为共源共栅放大器级或共源共栅极共栅放大器级。共源共栅放大器级可被定义为具有放大晶体管的放大器级,该放大晶体管耦合到前一放大器级(诸如共栅放大器级)的输出端并且使其栅极端子耦合到共(固定)电压源(例如,Vcascode)。具有M3和M4的共源共栅放大器级可用于增加放大器62的输出阻抗,改善放大器62和64之间的隔离,并且可任选地用于提供不同的增益步长(例如,通过选择性地调节晶体管M3和M4的驱动强度)。

[0065] 晶体管M5和M6可选择性地与共源共栅晶体管M3和M4交叉耦合。晶体管M5具有栅极端子,该栅极端子经由电容器C3耦合到晶体管M3的输入端子,并且还经由电阻器R1耦合到共源电压线,在该共源电压线上提供有共源偏置电压Vcs。晶体管M5还具有耦合到地的源极端子和选择性地耦合到晶体管M4的输出端子的漏极端子。类似地,晶体管M6具有栅极端子,该栅极端子经由电容器C4耦合到晶体管M4的输入端子,并且还经由电阻器R2耦合到共源电

压线以接收共源电压 $V_{cs}$ 。晶体管M6还具有耦合到地的源极端子和选择性地耦合到晶体管M3的输出端子的漏极端子。

[0066] 晶体管M5和M6与共源共栅放大器级交叉耦合。因此,以这种方式操作的晶体管M5和M6连同电容器C3和C5以及电阻器R1和R2有时可被统称为共源放大器级。共源放大器级可被定义为具有放大晶体管的放大器级,该放大晶体管的源极端子耦合到共(固定)电压源(例如,接地电压)。晶体管M5和M6可通过将电压 $V_{cs}$ 设定为0V来断开(以停用共源级),或者可通过将电压 $V_{cs}$ 设定为大于0V的适当电压电平来接通(以激活共源级)。

[0067] 第二放大器64的结构可类似于第一放大器62的结构。第二放大器64可包括形成第二放大器内的不同放大器级的部分的晶体管M7至M12。在图5A的示例中,晶体管M7至M12是N沟道晶体管。这仅是例示性的。如果需要,晶体管M7至M12中的至少一些晶体管可被实现为P沟道晶体管。又如,所有晶体管M7至M12可以是PMOS晶体管。一般来讲,可使用任何适当类型的半导体开关部件。将晶体管M7至M12实现为NMOS晶体管的配置有时可在本文中作为示例来描述。

[0068] 晶体管M7具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第一端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。晶体管M8具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第二端子;栅极端子;和漏极(输出)端子。晶体管M7的栅极端子可通过接通和断开第一开关110经由电容器C5选择性地耦合到晶体管M8的源极端子。类似地,晶体管M8的栅极端子可通过接通和断开第二开关110经由电容器C6选择性地耦合到晶体管M7的源极端子。因此,当开关110被激活时,晶体管M7和M8据称经由电容器C5和C6交叉耦合(例如,M7的控制端子经由C5交叉耦合到M8的输入端子,而M8的控制端子经由C6交叉耦合到M7的输入端子)。

[0069] 晶体管M7的栅极端子还可以经由第三电阻器 $R_b$ 和第一开关112耦合到共栅电压线。类似地,晶体管M8的栅极端子还可以经由第四电阻器 $R_b$ 和第二开关112耦合到共栅电压线。当晶体管M7和M8接通并连接到交叉耦合的电容器C5和C6时(即,当开关110接通时),开关112断开并且晶体管M7和M8的栅极通过连接到电压 $V_{cg}$ 的电阻器 $R_b$ 偏置。当晶体管M7和M8接通并且与交叉耦合的电容器C5和C6断开连接时(即,当开关110断开时),开关112接通并且晶体管M7至M8的栅极直接连接到DC电压 $V_{cg}$ 。当晶体管M7至M8断开时,电压 $V_{cg}$ 被设定为0V。因此,以这种方式操作的晶体管M7和M8连同交叉耦合的电容器C5和C6以及相关联的开关110和112有时可被统称为共栅放大器级。因此,开关110和112以及 $V_{cg}$ 的DC电压电平可用于控制第二放大器64中的该共栅放大器级。

[0070] 晶体管M9具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到晶体管M7的输出端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。类似地,晶体管M10具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到晶体管M8的输出端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。晶体管M9和M10的漏极端子可用作第二载波聚合输出端口CA2。第二输出线圈L2可跨第二载波聚合输出端口CA2耦合。输出线圈L2可具有耦合到正电源线的中心抽头。

[0071] 晶体管M9和M10的栅极端子可耦合到共源共栅偏置电压线。以这种方式串联耦合到共栅放大器级的输出端的晶体管M9和M10有时被统称为共源共栅放大器级。具有M9和M10的共源共栅放大器级可用于增加放大器64的输出阻抗,改善放大器64和62之间的隔离,并且可任选地用于提供不同的增益步长(例如,通过选择性地调节晶体管M9和M10的驱动强

度)。

[0072] 晶体管M11和M12可选择性地与共源共栅晶体管M9和M10交叉耦合。晶体管M11具有栅极端子,该栅极端子经由电容器C7耦合到晶体管M9的输入端子,并且还经由电阻器R3耦合到共源电压线。晶体管M11还具有耦合到接地线的源极端子和选择性地耦合到晶体管M10的输出端子的漏极端子。类似地,晶体管M12具有栅极端子,该栅极端子经由电容器C8耦合到晶体管M10的输入端子,并且还经由电阻器R4耦合到共源电压线以接收共源电压 $V_{cs}$ 。晶体管M12还具有耦合到地的源极端子和选择性地耦合到晶体管M9的输出端子的漏极端子。

[0073] 晶体管M11和M12与共源共栅放大器级交叉耦合。因此,以这种方式操作的晶体管M11和M12连同电容器C7和C8以及电阻器R3和R4有时可被统称为共源放大器级。晶体管M11和M12可通过将电压 $V_{cs}$ 设定为0V来断开(以停用共源放大器级),或者可通过将电压 $V_{cs}$ 设定为大于0V的适当电压电平来接通(以激活共源放大器级)。

[0074] 图5A所示的开关100、102、110和112可以是任何类型的半导体开关。例如,这些开关中的至少一些开关可被实现为金属氧化物半导体场效应晶体管(例如,NMOS或PMOS设备)。又如,这些开关中的至少一些开关可被实现为传输门(例如,并联耦合的N沟道晶体管和P沟道晶体管)。又如,这些开关中的至少一些开关可被实现为双极性结型晶体管。又如,这些开关中的至少一些开关可被实现为微机电系统(MEMS)开关。一般来讲,可使用任何类型的半导体开关设备。

[0075] 图5B是示出在非载波聚合模式下操作的图5A所示低噪声放大器电路52的电路图。如图5B所示,第二放大器64在非载波聚合模式下被停用或空闲。当第二放大器64被停用时,来自次级线圈60s的电流将被馈送到第一放大器62。在非载波聚合模式下,开关100被激活(接通)以启用交叉耦合的电容器连接。开关102断开,使得晶体管M1和M2的栅极端子使用电阻器 $R_b$ 偏置。将交叉耦合的电容器C1和C2切换为启用可提高晶体管M1和M2的跨导,并且可将共栅放大器级的输入阻抗的实部(即,观察晶体管M1和M2的源极端子的阻抗)设置为等于跨导的倒数。在非载波聚合模式下,第一放大器62中的共源放大器级断开(例如,通过将 $V_{cs}$ 设置为0V)。

[0076] 图5C是示出在载波聚合模式下操作的放大器电路52的电路图。如图5C所示,第一放大器62和第二放大器64两者在载波聚合模式下被激活。当放大器62和64两者都启用时,来自次级变压器线圈60s的电流将在第一放大器62和第二放大器64之间分裂。如果不进行其他改变,则在两个放大器之间分裂电流将减小每个放大器的增益。为了帮助恢复可能由于电流分裂而丢失的任何潜在增益,通过将 $V_{cs}$ 设置为适当电压值来激活第一放大器62中的共源放大器级和第二放大器64中的共源放大器级。

[0077] 以这种方式操作,共源放大器级能够帮助增加在载波聚合模式下的每个放大器的增益。将共源放大器级与共源共栅放大器级交叉耦合还可消除噪声和更高阶非线性项,诸如可能由共源共栅放大器级产生的三阶非线性(IM3)和/或其他谐波项。共源放大器级的增益应当与共源共栅放大器级的增益相匹配,以确保噪声和谐波失真分量的最佳消除。

[0078] 当放大器62和放大器64两者被激活时,如从次级线圈60s的两个端子看到的总输入阻抗将不同于当仅第一放大器62被激活时的总输入阻抗。例如,线圈60s的第一端子现在将向晶体管M1和M7两者的源极端子输送电流,而线圈60s的第二端子将向晶体管M2和M8两者的源极端子输送电流。为了补偿这种加载变化,通过在载波聚合模式下停用开关100和

110 来禁用共栅级中的每一者中交叉耦合的电容器。开关102将接通以将晶体管M1和M2的栅极端子偏置到共栅偏置电压 $V_{cg}$ 。类似地,开关112将接通以将晶体管M7和M8的栅极端子偏置到电压 $V_{cg}$ 。

[0079] 通过停用交叉耦合的电容器并激活共栅偏压,从次级线圈60s的角度来看,总输入阻抗将再次等于晶体管M1、M2、M7和M8的跨导的倒数。共栅晶体管M1、M2、M7和M8的尺寸应当相同,使得当在非载波聚合模式和载波聚合模式之间切换时,可保持和匹配输入阻抗。因此,通过在交叉耦合的共源级上激活并且通过停用共栅级中交叉耦合的电容器,放大器电路52的增益和输入阻抗可跨两种模式70和72进行匹配。

[0080] 如图5A所示的输入信号在共栅放大器级的输入端处分裂的实施方式仅仅是例示性的(例如,次级线圈60s具有耦合到放大器62和64中的两个共栅放大器级的端子)。图6A示出了另一个实施方式,其中输入信号在共享的共栅放大器级150的输出端处分裂。共享的共栅放大器级150可包括晶体管M1和M2。

[0081] 晶体管M1具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第一端子;栅极(控制)端子;和漏极(输出)端子。晶体管M2具有源极(输入)端子,该源极(输入)端子耦合到次级线圈60s的第二端子;栅极端子;和漏极(输出)端子。晶体管M1的栅极端子可通过接通和断开第一开关100经由电容器C1选择性地耦合到晶体管M2的源极端子。类似地,晶体管M2的栅极端子可通过接通和断开第二开关100经由电容器C2选择性地耦合到晶体管M1的源极端子。因此,当开关100被激活时,晶体管M1和M2据称经由电容器C1和C2交叉耦合(例如,M1的控制端子经由C1交叉耦合到M2的输入端子,而M2的控制端子经由C2交叉耦合到M1的输入端子)。

[0082] 晶体管M1的栅极端子还可耦合到共栅电压线,该共栅电压线上经由第一偏置电阻器 $R_b$ 和第一开关102提供共栅电压 $V_{cg}$ 。当晶体管M1接通并连接到交叉耦合的电容器C1和C2时(即,当开关100接通时),第一开关102断开并且晶体管M1的栅极通过连接到电压 $V_{cg}$ 的电阻器 $R_b$ 偏置。当晶体管M1接通并且与交叉耦合的电容器C1和C2断开连接时(即,当开关100断开时),第一开关102接通并且晶体管M1的栅极直接连接到DC电压 $V_{cg}$ 。当晶体管M1断开时,电压 $V_{cg}$ 被设置为0V。电压 $V_{cg}$ 可具有在接地电压电平与为放大器电路52供电的正电源电压电平 $V_{dd}$ 之间的某个中间电压电平。如果需要,共栅电压 $V_{cg}$ 还可以等于正电源电压 $V_{dd}$ 。

[0083] 类似地,晶体管M2的栅极端子还可以经由第二偏置电阻器 $R_b$ 和第二开关102耦合到共栅电压线。当晶体管M2接通并连接到交叉耦合的电容器C1和C2时(即,当开关100接通时),第二开关102断开,并且晶体管M2的栅极通过连接到电压 $V_{cg}$ 的第二电阻器 $R_b$ 偏置。当晶体管M2接通并且与交叉耦合的电容器C1和C2断开连接时(即,当开关100断开时),第二开关102接通并且晶体管M2的栅极直接连接到DC电压 $V_{cg}$ 。当晶体管M2断开时,电压 $V_{cg}$ 被设置为0V。因此,以这种方式操作的晶体管M1和M2连同交叉耦合的电容器C1和C2以及相关开关100和102有时可被统称为共栅放大器级。因此,开关100和102以及 $V_{cg}$ 的DC电压电平可用于控制共享的共栅放大器级。

[0084] 然后,晶体管M1的输出(漏极)端子可耦合到第一放大器62和第二放大器64。类似地,然后,晶体管M2的输出(漏极)端子可耦合到第一放大器62和第二放大器64。第一放大器62可包括第一共源共栅极共栅放大器级(其包括晶体管M3和M4)和第一交叉耦合的共源放

大器级(其包括部件M5、M6、C3、C4、R1和R2),其细节类似于已经结合图5A描述的细节,并且为了清楚起见不再赘述。第二放大器62可包括第二共源共栅极共栅放大器级(其包括晶体管M9和M10)和第二交叉耦合的共源放大器级(其包括部件M11、M12、C7、C8、R3和R4),其细节也类似于已经结合图5A描述的细节,并且为了清楚起见不再赘述。尽管共享的共栅放大器级150被示出为与放大器62和64分开的子电路,但放大器级150有时可被认为是第一放大器62的一部分和第二放大器64的一部分。

[0085] 图6B是示出在非载波聚合模式下操作的图6A所示低噪声放大器电路52的电路图。如图6B所示,第二放大器64在非载波聚合模式下被停用或空闲。当第二放大器64被停用时,来自共享的共栅放大器级150的输出端的电流将被馈送到第一放大器62。在非载波聚合模式下,开关100被激活(接通)以启用交叉耦合的电容器连接。将交叉耦合的电容器C1和C2切换为启用可提高晶体管M1和M2的跨导,并且可将共享的共栅放大器级的输入阻抗的实部(即,观察晶体管M1和M2的源极端子的阻抗)设置为等于跨导的倒数。在非载波聚合模式下,第一放大器62中的共源放大器级被停用(例如,通过将 $V_{cs}$ 设置为0V)。

[0086] 图6C是示出在载波聚合模式下操作的放大器电路52的电路图。如图6C所示,第一放大器62和第二放大器64两者在载波聚合模式下被激活。当放大器62和64两者都启用时,来自共享的共栅放大器级150的电流将在第一放大器62和第二放大器64之间分裂。如果不进行其他改变,则在两个放大器之间分裂电流将减小每个放大器的增益。为了帮助恢复可能由于信号分裂而丢失的任何潜在增益,通过将 $V_{cs}$ 设置为适当电压电平来激活第一放大器62中的共源放大器级和第二放大器64中的共源放大器级。

[0087] 以这种方式操作,共源放大器级能够帮助增加在载波聚合模式下的每个放大器的增益。将共源放大器级与共源共栅放大器级交叉耦合还可消除噪声和更高阶非线性项,诸如可能由共源共栅放大器级产生的三阶非线性(IM3)和/或其他谐波项。共源放大器级的增益应当与共源共栅放大器级的增益相匹配,以确保噪声和谐波失真分量的最佳消除。

[0088] 由于共栅放大器级150在第一放大器62和第二放大器64之间共享,因此开关100能够在载波聚合模式下保持激活并且仍然保持输入阻抗匹配。因此,当在非载波聚合模式和载波聚合模式之间切换(例如,在模式70和模式72两者下接通开关100)时,从次级线圈60s的视角来看,输入阻抗可保持相同,而不改变共享的共栅放大器级150的切换配置。

[0089] 图6C的示例仅仅是例示性的,其中当在非载波聚合模式和载波聚合模式之间切换时,共享的共栅放大器级中交叉耦合的电容器保持不变。图6D示出了另一个实施方案,其中共享的共栅放大器级150中交叉耦合的电容器在载波聚合模式下被停用。如图6D所示,第一放大器62和第二放大器64两者在载波聚合模式下被激活。当放大器62和64两者都启用时,来自共享的共栅放大器级150的电流将在第一放大器62和第二放大器64之间分裂。如果不进行其他改变,则在两个放大器之间分裂电流将减小每个放大器的增益。为了帮助恢复可能由于信号分裂而丢失的任何潜在增益,通过将 $V_{cs}$ 设置为适当电压电平来激活第一放大器62中的共源放大器级和第二放大器64中的共源放大器级。

[0090] 以这种方式操作,共源放大器级能够帮助增加在载波聚合模式下的每个放大器的增益。将共源放大器级与共源共栅放大器级交叉耦合还可消除噪声和更高阶非线性项,诸如可能由共源共栅放大器级产生的三阶非线性(IM3)和/或其他谐波项。共源放大器级的增益应当与共源共栅放大器级的增益相匹配,以确保噪声和谐波失真分量的最佳消除。

[0091] 在图6D的示例中,开关100断开以停用交叉耦合的电容器C1和C2,并且开关102接通以将晶体管M1和M2的栅极端子偏置到共栅偏置电压 $V_{cg}$ 。停用共享的共栅放大器级150中交叉耦合的电容器C1和C2可以减小晶体管M1和M2的跨导,这可以改变共栅放大器级150的输入阻抗。为了补偿跨导的这种减小,可通过升高共栅偏置电压 $V_{cg}$ 来增加流过晶体管M1和M2的电流。在载波聚合模式下升高电压 $V_{cg}$ 可帮助提高晶体管M1和M2的跨导并改善放大器电路52的线性度。因此,即使交叉耦合的电容器被停用,提高共栅电压 $V_{cg}$ 以增加晶体管M1和M2的跨导可帮助在载波聚合模式下保持输入阻抗匹配。

[0092] 在图5A和图6A的实施方案中,次级线圈60s耦合到第一放大器62和第二放大器64两者仅仅是例示性的。图7A示出了放大器电路52的另一个实施方案,其中放大器62和64各自具有其自身独立的次级变压器线圈。初级线圈60p具有经由串联电容器 $C_{series}$ 耦合到输入端口RFIN的第一端子和耦合到接地线的第二端子。并联电容器 $C_{shunt}$ 也耦合到输入端口RFIN。电容器 $C_{series}$ 和 $C_{shunt}$ 有时可被视为输入变压器电路的一部分。电容器 $C_{series}$ 和 $C_{shunt}$ 可以是可调电容器。一般来讲,可调电容器可被实现为电容器阵列(电容器组),其一部分可根据期望的电容值激活,可变电容器有时被称为变容管或变容二极管、电压调谐电容器、数字调谐电容器、机械控制的可变电容器、这些电容器的组合或其他类型的可调谐电容部件。

[0093] 第一放大器62具有感应耦合到初级线圈60p的第一次级线圈60s-1(例如,参见第一耦合路径K1)。次级线圈60s-1具有耦合到晶体管M1的输入(源极)端子的第一端子、耦合到晶体管M2的输入(源极)端子的第二端子以及耦合到地的中心抽头。第一放大器输入电容器 $C_{in1}$ 可跨次级线圈60s-1(与其并联)耦合。电容器 $C_{in1}$ 还可以是在非载波聚合模式和载波聚合模式下具有不同电容值的可调电容部件。因此,电容器 $C_{in1}$ 有时还可被称为可调输入并联电容器。

[0094] 第一放大器62的共栅放大器级可具有始终与晶体管M1和M2交叉耦合的电容器C1和C2。电容器 $C_{in1}$ 的调谐能力消除了对附加开关诸如图5A中的开关100和102的需求。M1和M2的栅极端子可使用相应偏置电阻器 $R_b$ 偏置到电压 $V_{cg}$ 。然而,如果需要,开关100和102还可以被包括作为共栅放大器级的一部分以提供灵活性。第一放大器62还可包括第一共源共栅极共栅放大器级(其包括晶体管M3和M4)和第一交叉耦合的共源放大器级(其包括部件M5、M6、C3、C4、R1和R2),其细节类似于已经结合图5A描述的细节,并且为了清楚起见不再赘述。如果需要,第一输出电容器 $C_{out1}$ 还可跨第一载波聚合输出端口CA1耦合。 $C_{out1}$ 的电容在非载波聚合模式和载波聚合模式下可相同。电容器 $C_{out1}$ 还可以是出于频率响应调谐和/或信道选择的目的而被控制的可调电容部件。

[0095] 第二放大器64具有感应耦合到初级线圈60p的另一个次级线圈60s-2(例如,参见第二耦合路径K2)。次级线圈60s-2具有耦合到晶体管M7的输入(源极)端子的第一端子、耦合到晶体管M8的输入(源极)端子的第二端子以及耦合到地的中心抽头。第二放大器输入电容器 $C_{in2}$ 可跨次级线圈60s-2(与其并联)耦合。电容器 $C_{in2}$ 还可以为在非载波聚合模式和载波聚合模式下具有不同电容值的可调电容部件。因此,电容器 $C_{in2}$ 有时还可被称为可调输入并联电容器。

[0096] 第二放大器64的共栅放大器级可具有始终与晶体管M7和M8交叉耦合的电容器C5和C6。电容器 $C_{in2}$ 的调谐能力消除了对附加开关诸如图5A中的开关110和112的需求。M7和

M8的栅极端子可使用相应偏置电阻器  $R_b$  偏置到电压  $V_{cg}$ 。然而,如果需要,开关110和112还可以被包括作为第二放大器64中的共栅放大器级的一部分以提供灵活性。第二放大器64还可包括第二共源共栅极共栅放大器级(其包括晶体管M9和M10)和第二交叉耦合的共源放大器级(其包括部件M11、M12、C7、C8、R3和R4),其细节类似于已经结合图5A描述的细节,并且为了清楚起见不再赘述。如果需要,第二输出电容器  $C_{out2}$  还可跨第二载波聚合输出端口 CA2耦合。 $C_{out2}$  的电容在非载波聚合模式和载波聚合模式下可相同。电容器  $C_{out1}$  还可以是出于频率响应调谐和/或信道选择的目的而被控制的可调电容部件。

[0097] 图7B是示出在非载波聚合模式下操作的图7A所示低噪声放大器电路 52的电路图。如图7B所示,第二放大器64在非载波聚合模式下被停用或空闲。流过初级线圈60p的电流将在变压器中产生电磁通量,这将引起对应的电流流过次级线圈60s-1。在非载波聚合模式下,电容器  $C_{in1}$  将被调节至第一电容值,以在第一放大器62的输入端处提供必要的输入阻抗匹配。在非载波聚合模式下,第一放大器62中的共源放大器级断开(例如,通过将  $V_{cs}$  设置为0V)。

[0098] 图7C是示出在载波聚合模式下操作的放大器电路52的电路图。如图 7C所示,第一放大器62和第二放大器64两者在载波聚合模式下被激活。当放大器62和64两者都启用时,流过初级线圈60p的电流将在变压器中产生电磁通量,这将引起对应的电流流过次级线圈60s-1和对应的电流流过次级线圈60s-2。在载波聚合模式下,电容器  $C_{in1}$  将被调节至第二电容值,以在第一放大器62的输入端处提供必要的输入阻抗匹配。类似地,电容器  $C_{in2}$  能够被调节至第二电容值,以在第二放大器64的输入端处提供必要的输入阻抗匹配。因此,当在非载波聚合模式和载波聚合模式之间切换时,调节电容器  $C_{in1}$  和  $C_{in2}$  可帮助保持放大器电路52的输入阻抗匹配。

[0099] 在载波聚合模式期间,通过将  $V_{cs}$  设置为适当电压值来激活第一放大器62中的共源放大器级和第二放大器64中的共源放大器级。将共源放大器级与共源共栅放大器级交叉耦合可帮助消除噪声和更高阶非线性项,诸如可能由共源共栅放大器级产生的三阶非线性 (IM3) 和/或其他谐波项。共源放大器级的增益应当与共源共栅放大器级的增益相匹配,以确保噪声和谐波失真分量的最佳消除。

[0100] 以上结合图1至图7描述的方法和操作可由设备10的部件使用软件、固件和/或硬件(例如,专用电路或硬件)来执行。用于执行这些操作的软件代码可存储在非暂态计算机可读存储介质(例如,有形计算机可读存储介质)上,该非暂态计算机可读存储介质存储在设备10的部件中的一个或多个部件上(例如,图1的存储电路16和/或无线通信电路24)。该软件代码有时可被称为软件、数据、指令、程序指令或代码。非暂态计算机可读存储介质可包括驱动器、非易失性存储器诸如非易失性随机存取存储器 (NVRAM)、可移动闪存驱动器或其他可移动介质、其他类型的随机存取存储器等。存储在非暂态计算机可读存储介质上的软件可由设备10的部件中的一个或多个部件上的处理电路(例如,无线通信电路24中的处理电路、图1的处理电路18等)来执行。处理电路可包括微处理器、应用处理器、数字信号处理器、中央处理单元(CPU)、具有处理电路的专用集成电路或其他处理电路。

[0101] 根据一个实施方案,提供了放大器电路,该放大器电路能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作,包括:输入端口,该输入端口被配置为从天线接收射频信号;变压器电路,该变压器电路耦合到该输入端口;第一放大器,该第一放大器耦合到该变压器电路;

和第二放大器,该第二放大器耦合到该变压器电路。该第一放大器和该第二放大器各自包括共栅放大器级,该共栅放大器级具有耦合到该变压器电路的输入端并且具有输出端;共源放大器级,该共源放大器级耦合到该共栅放大器级的该输出端并且耦合到共源偏置电压,该共源偏置电压被配置为在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下激活和停用该共源放大器级;和输出端口,该输出端口耦合到该共栅放大器级的该输出端。

[0102] 根据另一个实施方案,该变压器电路包括初级线圈,该初级线圈具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到接地线的第二端子;第一可调电容器,该第一可调电容器串联耦合在该输入端口和该第一端子之间;和第二可调电容器,该第二可调电容器具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到该接地线的第二端子。

[0103] 根据另一个实施方案,该变压器电路包括第一次级线圈,该第一次级线圈耦合到该第一放大器中的该共栅放大器级的该输入端;第三可调电容器,该第三可调电容器与该第一次级线圈并联耦合并且被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该第一放大器的输入阻抗;第二次级线圈,该第二次级线圈耦合到该第二放大器中的该共栅放大器级的该输入端;和第四可调电容器,该第四可调电容器与该第二次级线圈并联耦合并且被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该第二放大器的输入阻抗。

[0104] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的该共栅放大器级包括:第一晶体管,该第一晶体管具有耦合到该共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共栅放大器级的该输出端的漏极端子、和栅极端子;第二晶体管,该第二晶体管具有耦合到该共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共栅放大器级的该输出端的漏极端子、和栅极端子;第一电容器,该第一电容器具有耦合到该第一晶体管的该栅极端子的第一端子并且具有耦合到该第二晶体管的该源极端子的第二端子;和第二电容器,该第二电容器具有耦合到该第二晶体管的该栅极端子的第一端子并且具有耦合到该第一晶体管的该源极端子的第二端子。

[0105] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器中的每一者包括共源共栅放大器级,该共源共栅放大器级具有输入端,该输入端耦合到该共栅放大器级的该输出端;输出端,该输出端耦合到该输出端口;第一晶体管,该第一晶体管具有耦合到该共源共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共源共栅放大器级的该输出端的漏极端子以及耦合到共源共栅偏置线的栅极端子;和第二晶体管,该第二晶体管具有耦合到该共源共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共源共栅放大器级的该输出端的漏极端子以及耦合到该共源共栅偏置线的栅极端子。

[0106] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的该共源放大器级包括:第三晶体管,该第三晶体管具有耦合到接地线的源极端子、耦合到该第一晶体管的该源极端子的栅极端子以及耦合到该第二晶体管的该漏极端子的漏极端子;和第四晶体管,该第四晶体管具有耦合到接地线的源极端子、耦合到该第二晶体管的该源极端子的栅极端子以及耦合到该第一晶体管的该漏极端子的漏极端子。

[0107] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器各自包括输出线圈,该输出线圈具有耦合到该输出端口的第一端子、耦合到该输出端口的第二端子以及耦合到正电源线的中心抽头。

[0108] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器各自包括可调输出电容器,

该可调输出电容器具有耦合到该输出线圈的该第一端子的第一端子和耦合到该输出线圈的该第二端子的第二端子。

[0109] 根据另一个实施方案,该变压器电路包括初级线圈,该初级线圈具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到接地线的第二端子;和次级线圈,该次级线圈具有耦合到该第一放大器和该第二放大器的第一端子和耦合到该第一放大器和该第二放大器的第二端子。

[0110] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的该共栅放大器级包括:第一晶体管,该第一晶体管具有耦合到该共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共栅放大器级的该输出端的漏极端子、和栅极端子;第二晶体管,该第二晶体管具有耦合到该共栅放大器级的该输入端的源极端子、耦合到该共栅放大器级的该输出端的漏极端子、和栅极端子;第一电容器,该第一电容器具有耦合到该第一晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第二晶体管的该源极端子的第二端子;和第二电容器,该第二电容器具有耦合到该第二晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第一晶体管的该源极端子的第二端子。

[0111] 根据另一个实施方案,该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的该共栅放大器级包括:第一组开关,该第一组开关被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下激活和停用该第一电容器和该第二电容器;和第二组开关,该第二组开关被配置为将该第一晶体管的该栅极端子和该第二晶体管的该栅极端子耦合到共栅偏置线。

[0112] 根据另一个实施方案,该放大器电路包括在第一放大器和该第二放大器之间共享的仅一个共栅放大器级,该共享的共栅放大器级包括:第一晶体管,该第一晶体管具有耦合到该次级线圈的该第一端子的源极端子、耦合到该第一放大器和该第二放大器的漏极端子、和栅极端子;第二晶体管,该第二晶体管具有耦合到该次级线圈的该第二端子的源极端子、耦合到该第一放大器和该第二放大器的漏极端子、和栅极端子;第一电容器,该第一电容器具有耦合到该第一晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第二晶体管的该源极端子的第二端子;第二电容器,该第二电容器具有耦合到该第二晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第一晶体管的该源极端子的第二端子;第一组开关,该第一组开关被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下激活和停用该第一电容器和该第二电容器;和第二组开关,该第二组开关被配置为将该第一晶体管的该栅极端子和该第二晶体管的该栅极端子耦合到共栅偏置线。

[0113] 根据一个实施方案,提供了一种操作放大器电路的方法,该方法包括通过输入端口从天线接收射频信号;通过变压器电路将来自该输入端口的该射频信号耦合到第一放大器;通过该变压器电路将来自该输入端口的该射频信号耦合到第二放大器;通过该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的共栅放大器级从该变压器电路接收该射频信号并输出对应的放大信号;通过该第一放大器和该第二放大器中的每一者中的共源放大器级接收该放大信号并输出对应的载波聚合输出信号;以及在载波聚合模式和非载波聚合模式下调节该第一放大器和该第二放大器中的每一者中该共源放大器级中的共源偏置电压。

[0114] 根据另一个实施方案,该方法包括通过耦合到该第一放大器的第一输入电容器在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下调谐该第一放大器的输入阻抗,以及通过耦合到该第二放大器的第二输入电容器在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下调谐该第二放大器的输入阻抗。

[0115] 根据另一个实施方案,该方法包括通过第一组开关在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下激活和停用该共栅放大器级中的一组交叉耦合的电容器。

[0116] 根据另一个实施方案,该方法包括通过第二组开关在该载波聚合模式和该非载波聚合模式下将该共栅放大器级耦合到共栅偏置电压以及将该共栅放大器级从该共栅偏置电压解耦。

[0117] 根据一个实施方案,提供了一种能够在载波聚合模式和非载波聚合模式下操作的电子设备,该电子设备包括:天线,该天线被配置为接收射频信号;收发器,该收发器被配置为基于该射频信号生成基带信号;基带处理器,该基带处理器被配置为接收该基带信号;和放大器电路,该放大器电路被配置为从该天线接收该射频信号并且向该收发器输出对应的放大信号。该放大器电路具有输入端口;变压器电路,该变压器电路耦合到该输入端口;共栅放大器级,该共栅放大器级具有耦合到该变压器电路的输入端并且具有输出端;共源放大器级,该共源放大器级耦合到该共栅放大器级的该输出端并且耦合到共源偏置电压,该共源偏置电压被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下控制该共源放大器级;和输出端口,该输出端口耦合到该共栅放大器级的该输出端。

[0118] 根据另一个实施方案,该放大器电路包括附加共栅放大器级,该附加共栅放大器级具有耦合到该变压器电路的输入端并且具有输出端;和附加共源放大器级,该附加共源放大器级耦合到该附加共栅放大器级的该输出端并且耦合到该共源偏置电压。

[0119] 根据另一个实施方案,该变压器电路包括:初级线圈,该初级线圈具有耦合到该输入端口的第一端子和耦合到地的第二端子;次级线圈,该次级线圈耦合到该共栅放大器级的该输入端;并且放大器电路包括可调电容器,该可调电容器与该次级线圈并联耦合并且被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下调谐该共栅放大器级的输入阻抗。

[0120] 根据另一个实施方案,该放大器电路包括共源共栅放大器级,该共源共栅放大器级具有耦合到该共栅放大器级的该输出端的输入端和耦合到该输出端口的输出端,并且该共栅放大器级包括:第一晶体管,该第一晶体管具有耦合到该变压器电路的源极端子、耦合到该共源共栅放大器级的该输入端的漏极端子、和栅极端子;第二晶体管,该第二晶体管具有耦合到该变压器电路的源极端子、耦合到该共源共栅放大器级的该输入端的漏极端子、和栅极端子;第一电容器,该第一电容器具有耦合到该第一晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第二晶体管的该源极端子的第二端子;第二电容器,该第二电容器具有耦合到该第二晶体管的该栅极端子的第一端子和耦合到该第一晶体管的该源极端子的第二端子;第一组开关,该第一组开关被配置为在该非载波聚合模式和该载波聚合模式下激活和停用该第一电容器和该第二电容器;和第二组开关,该第二组开关被配置为将该第一晶体管的该栅极端子和该第二晶体管的该栅极端子耦合到共栅偏置线。

[0121] 前述内容仅为例示性的并且可对所述实施方案作出各种修改。前述实施方案可独立实施或可以任意组合实施。

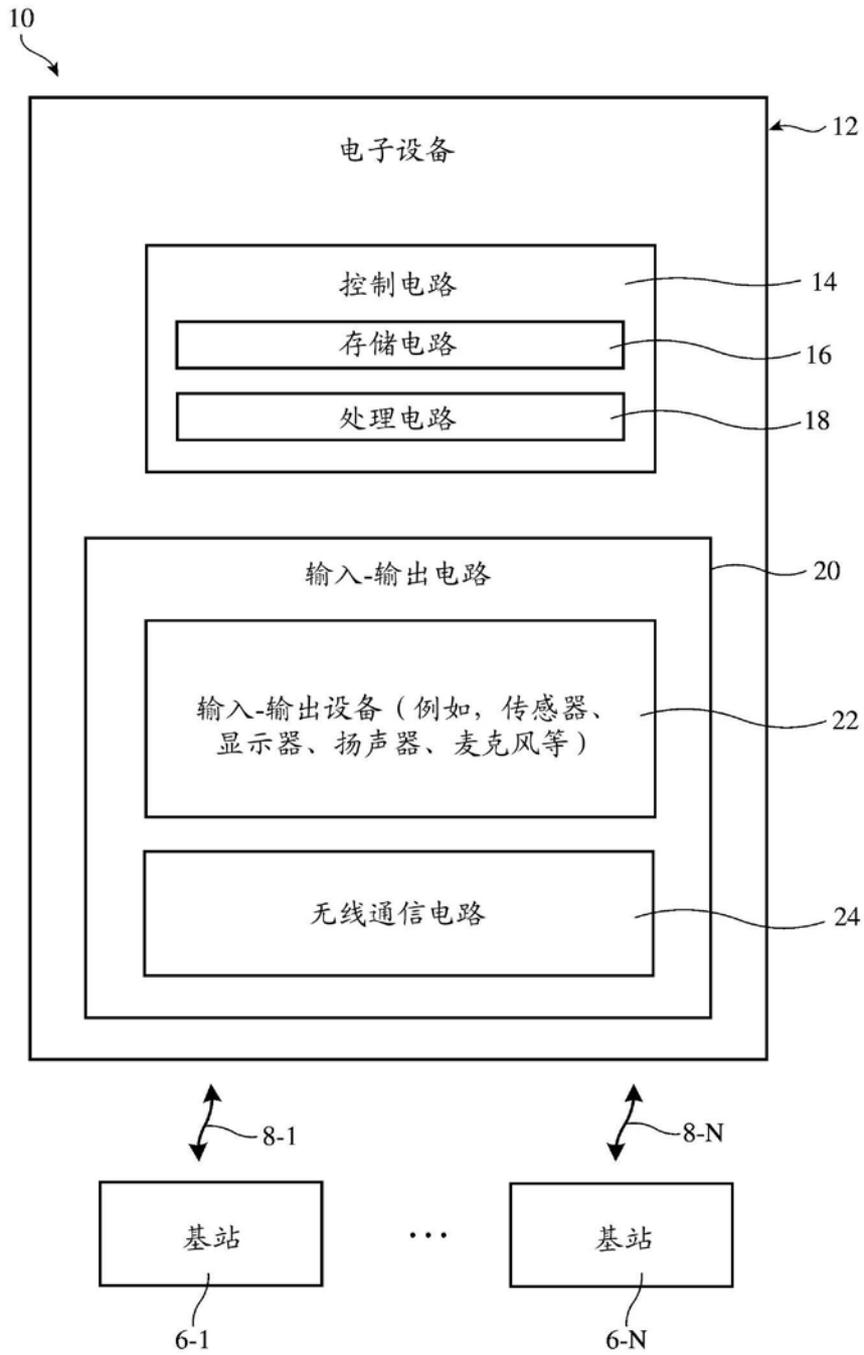


图1

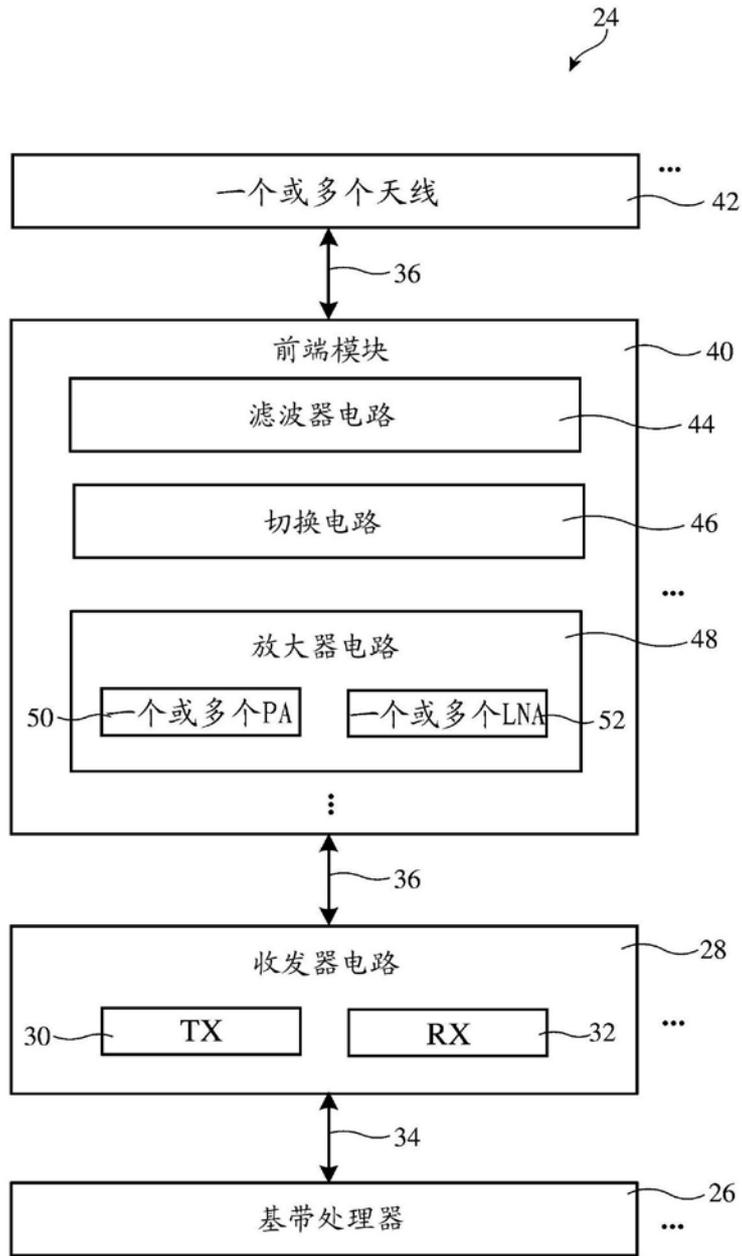


图2

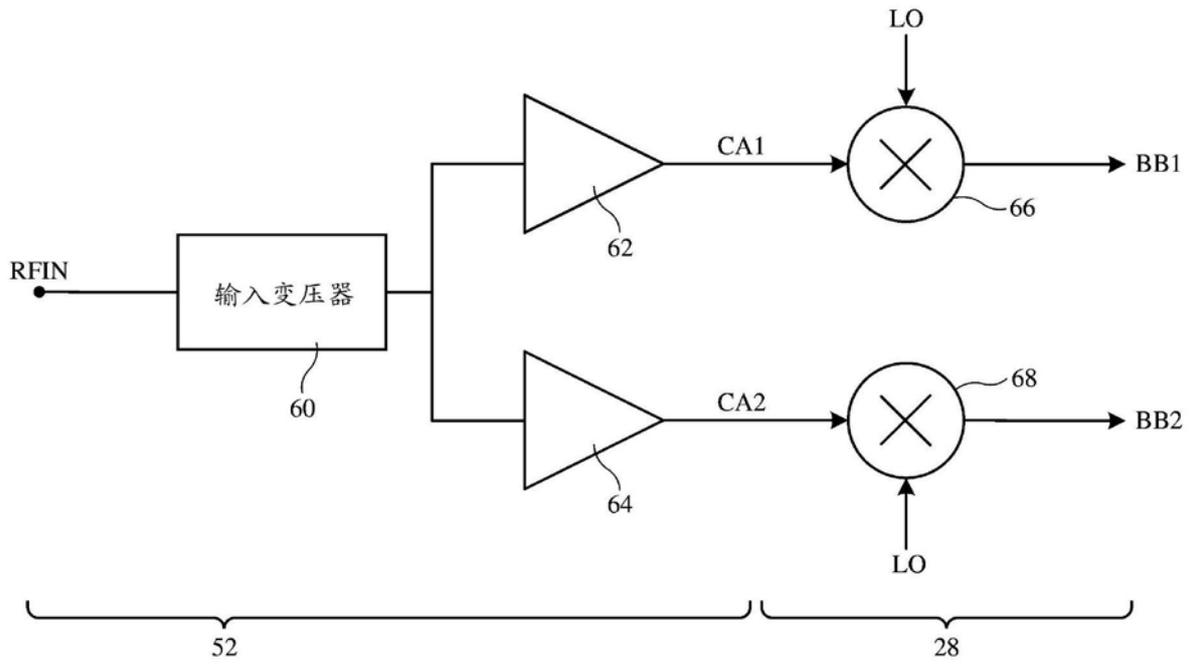


图3

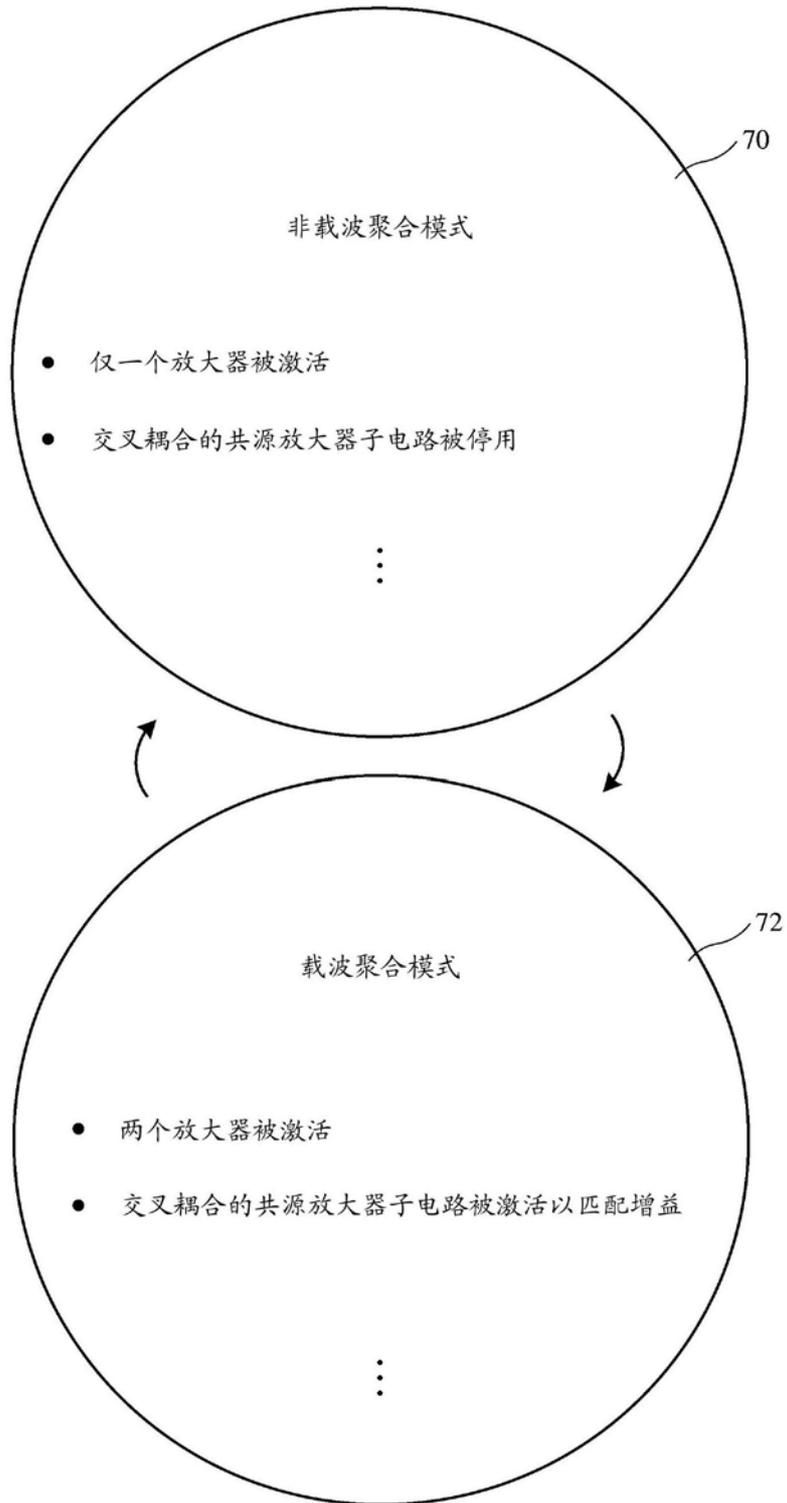


图4

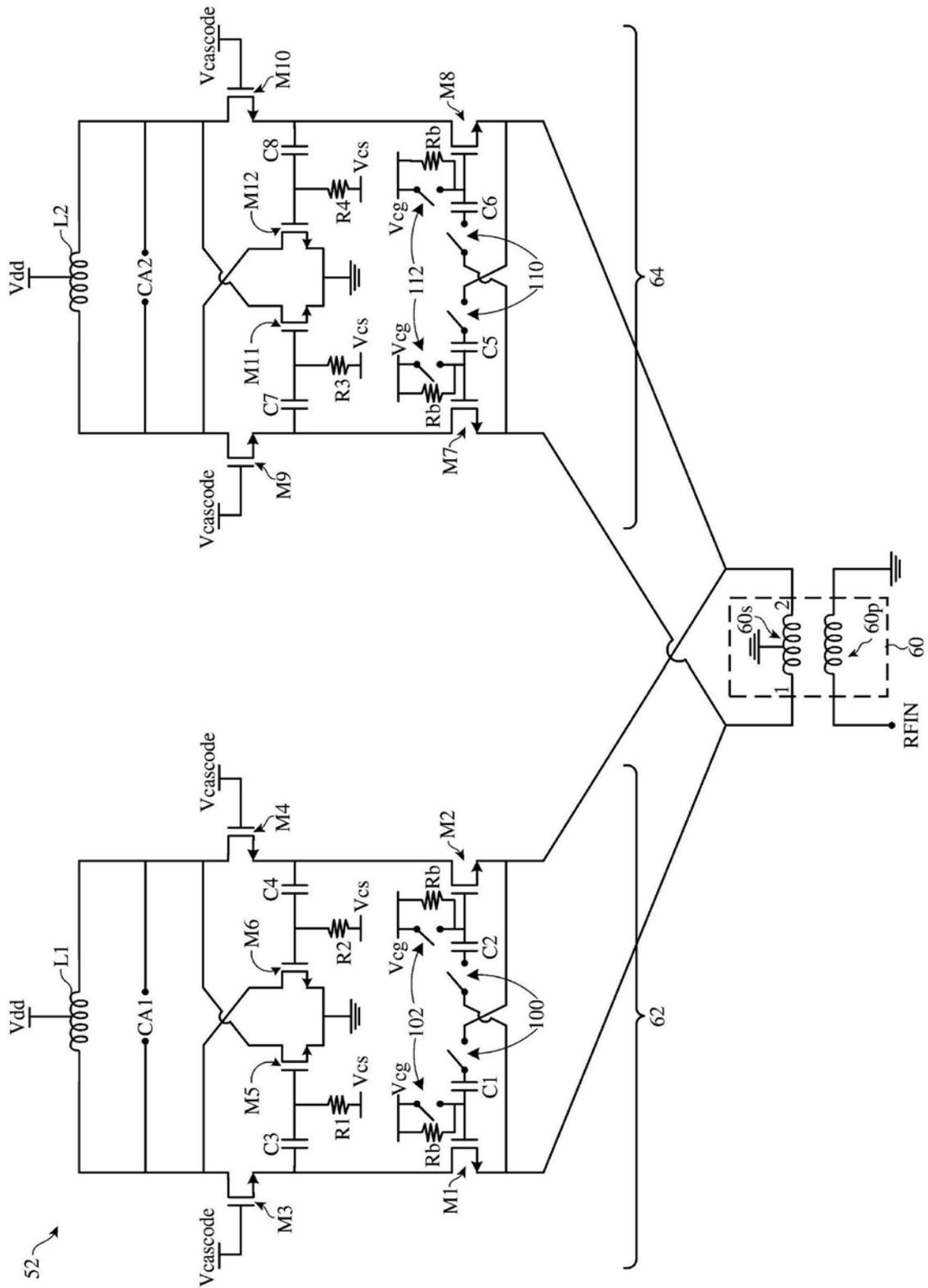


图5A



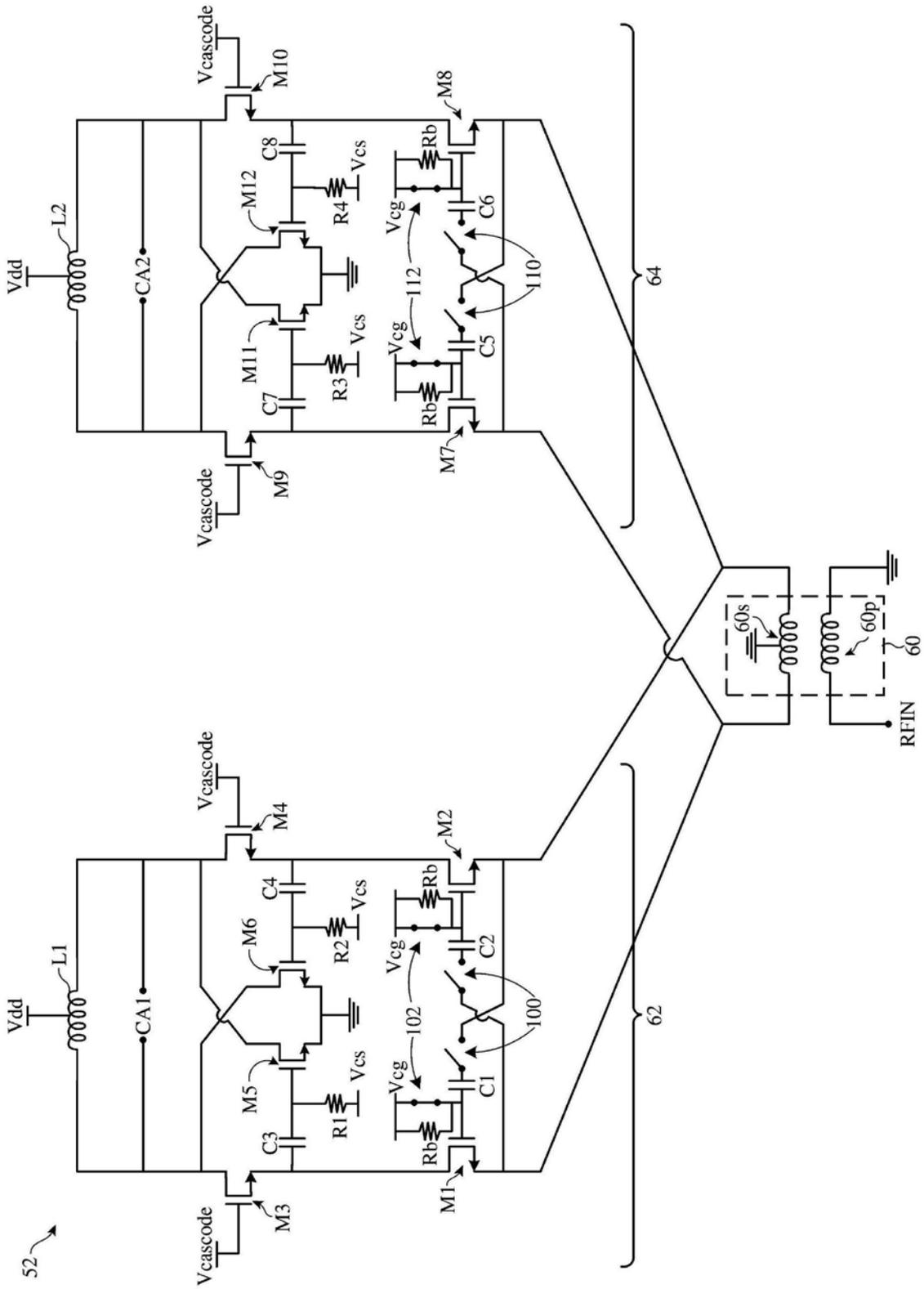


图5C

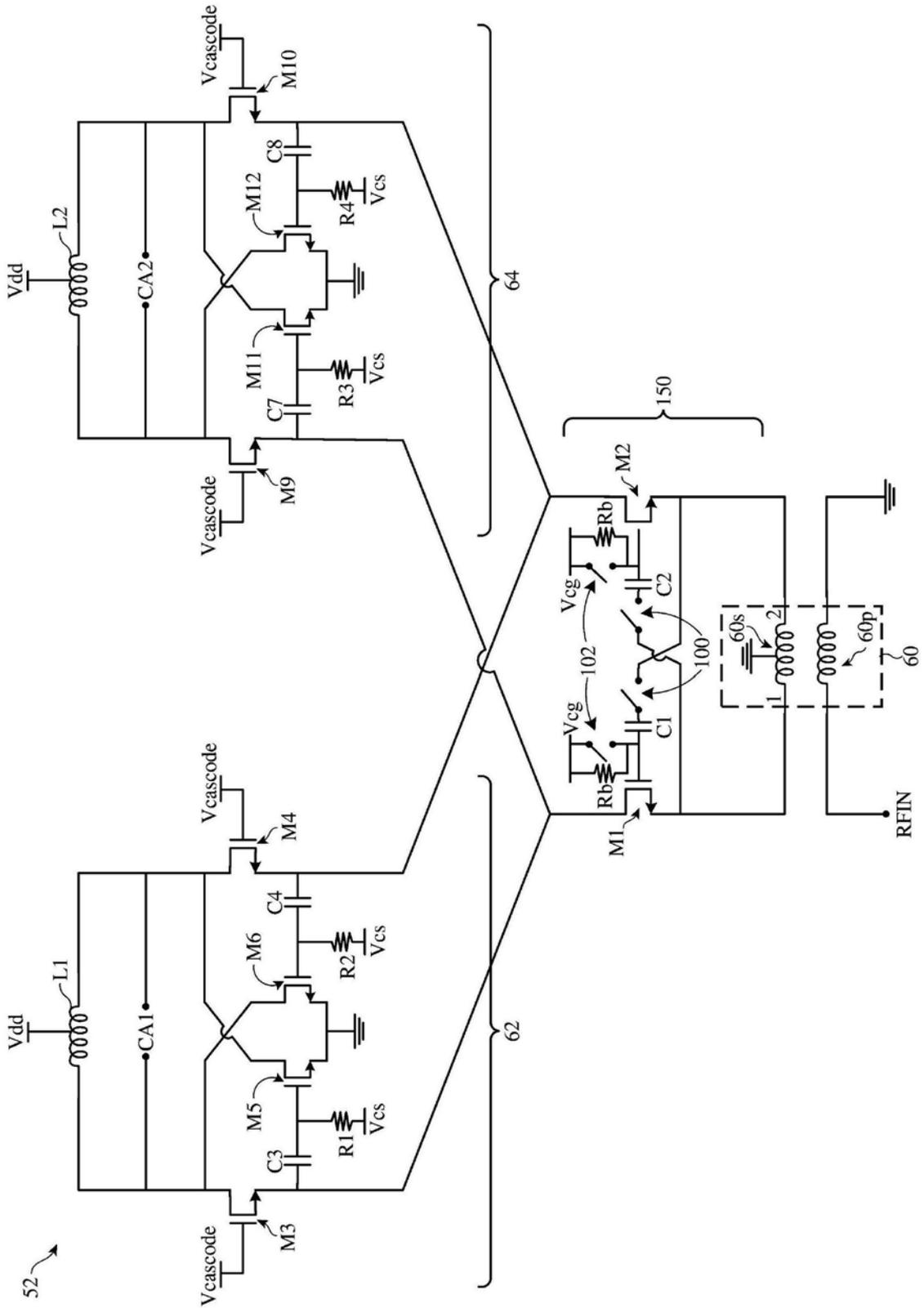


图6A

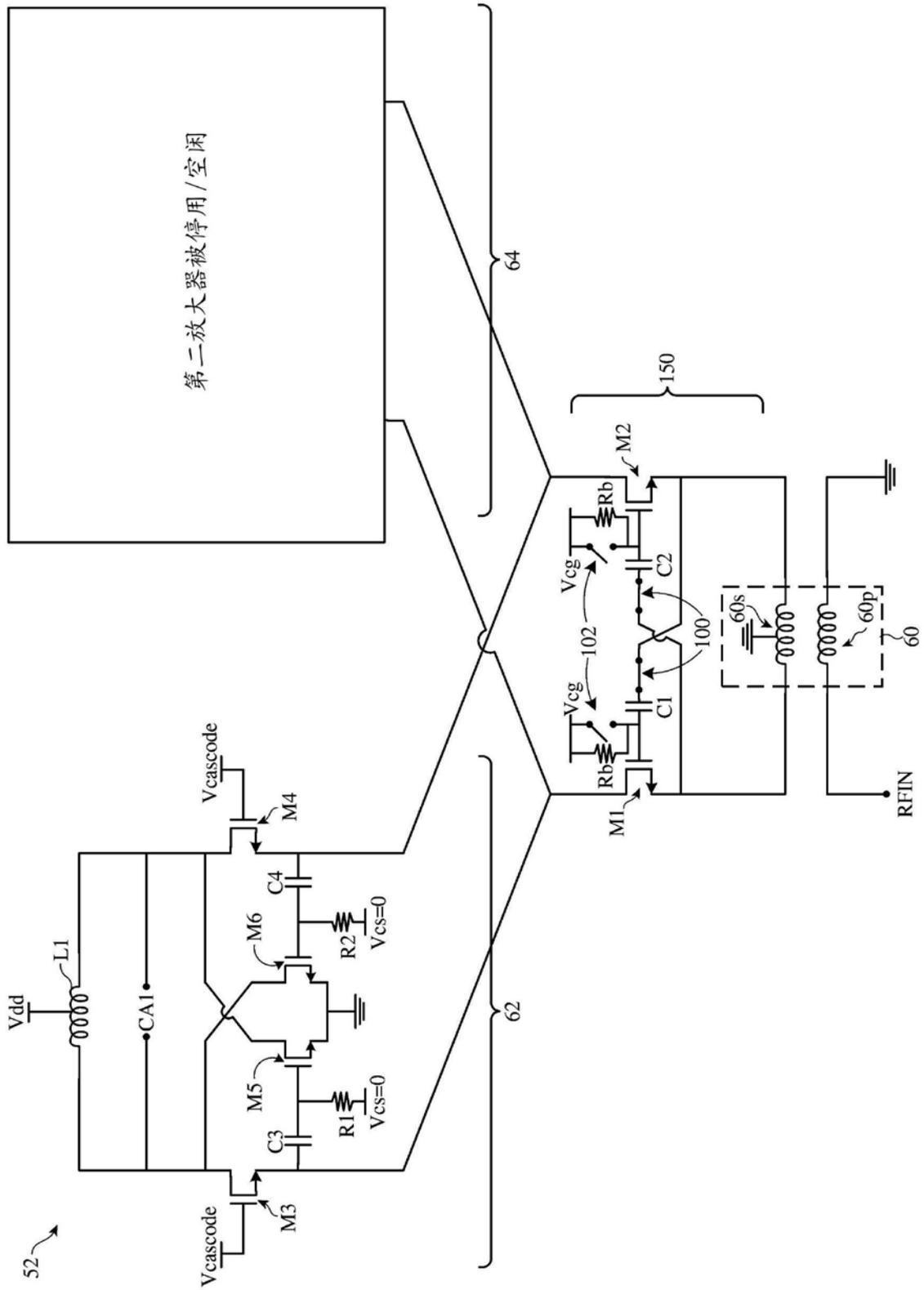


图6B

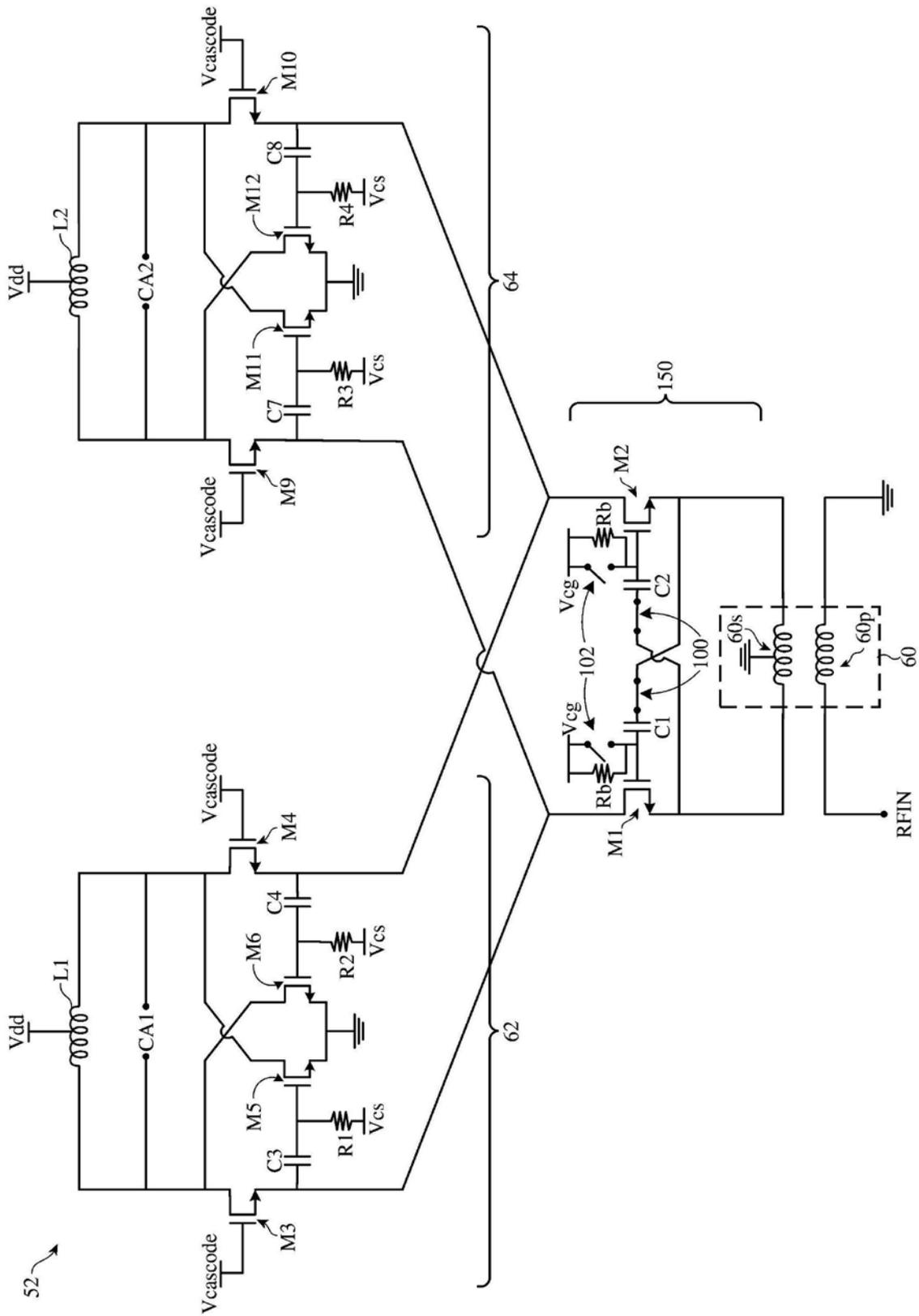


图6C

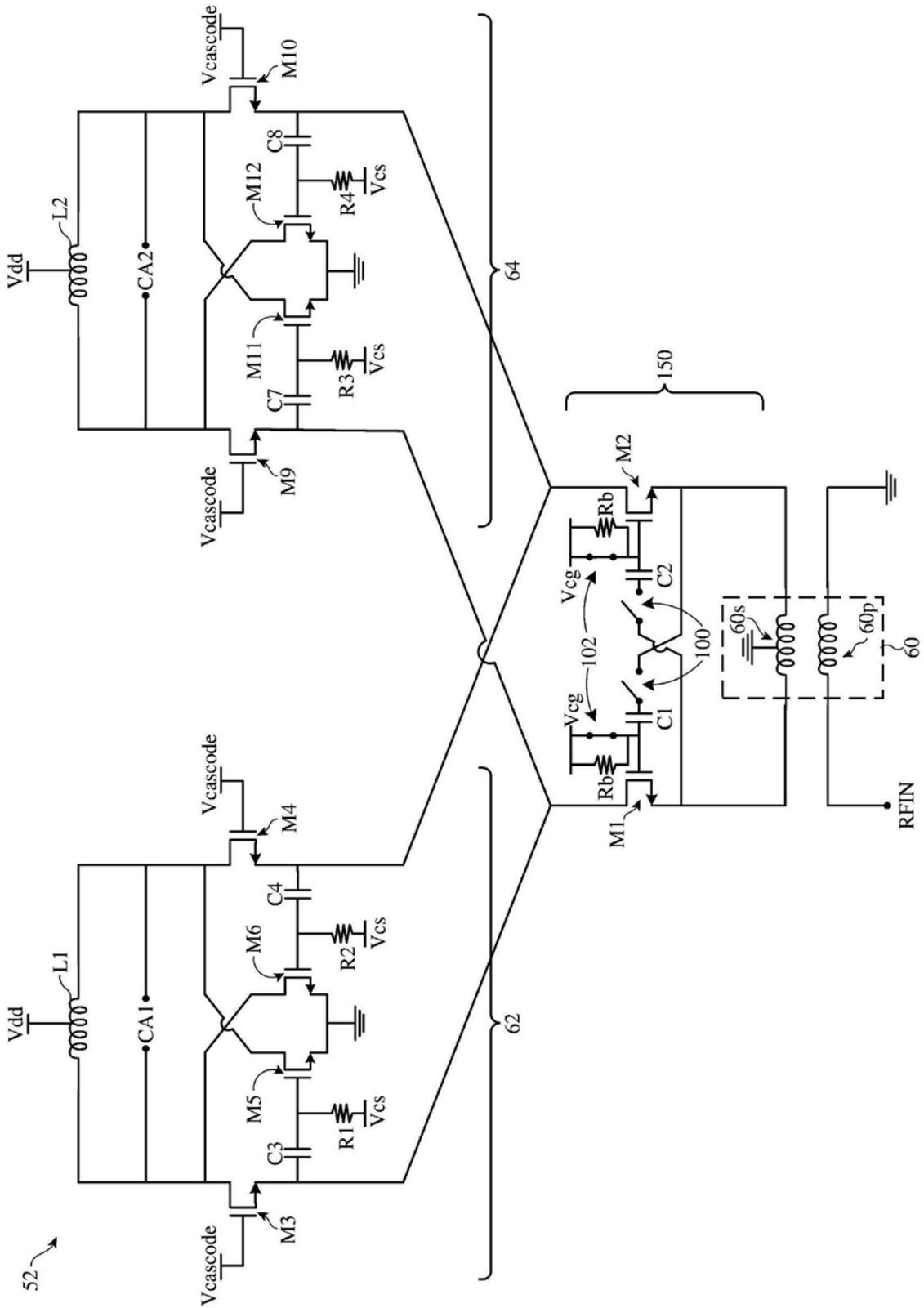


图6D



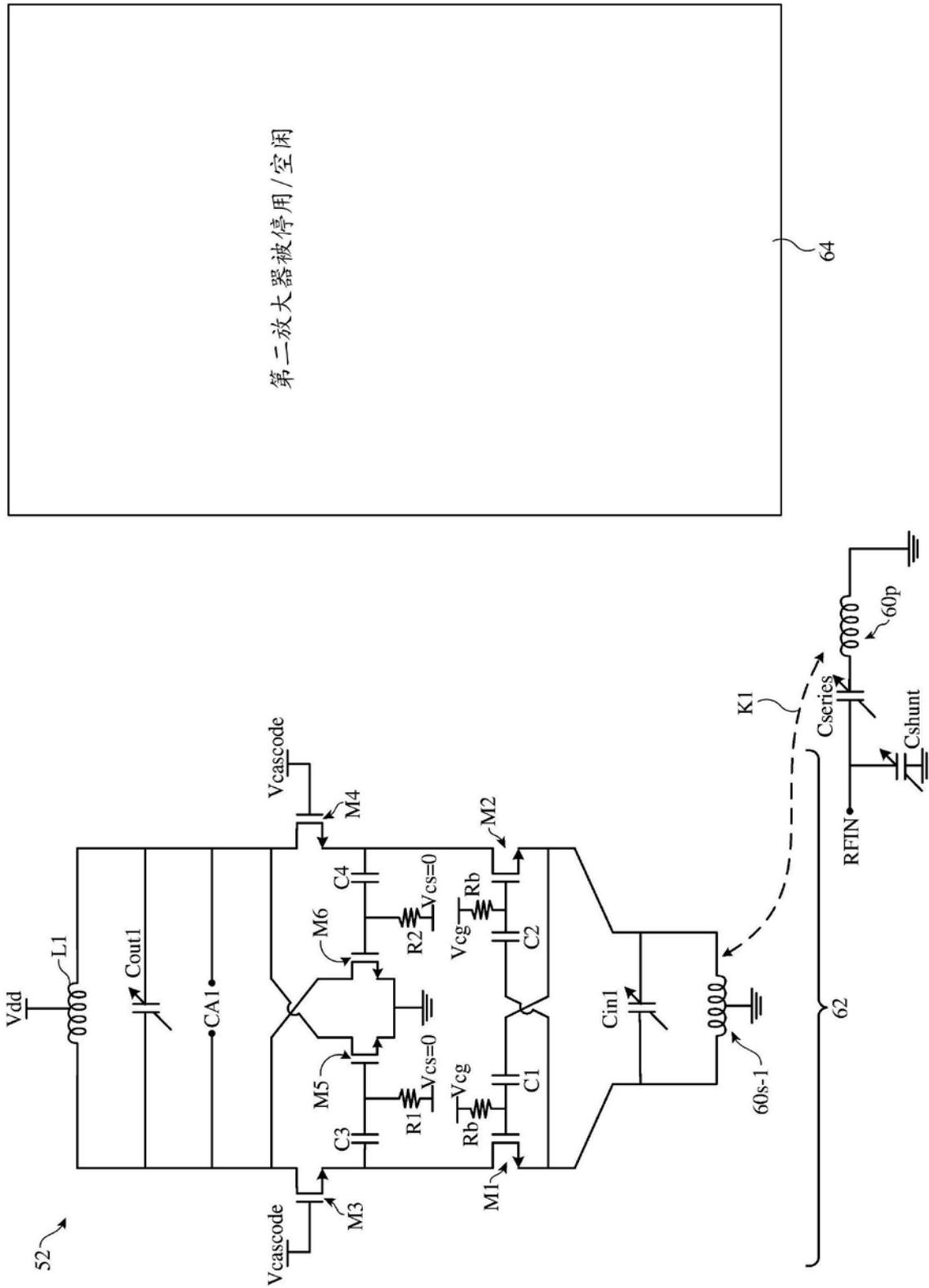


图7B

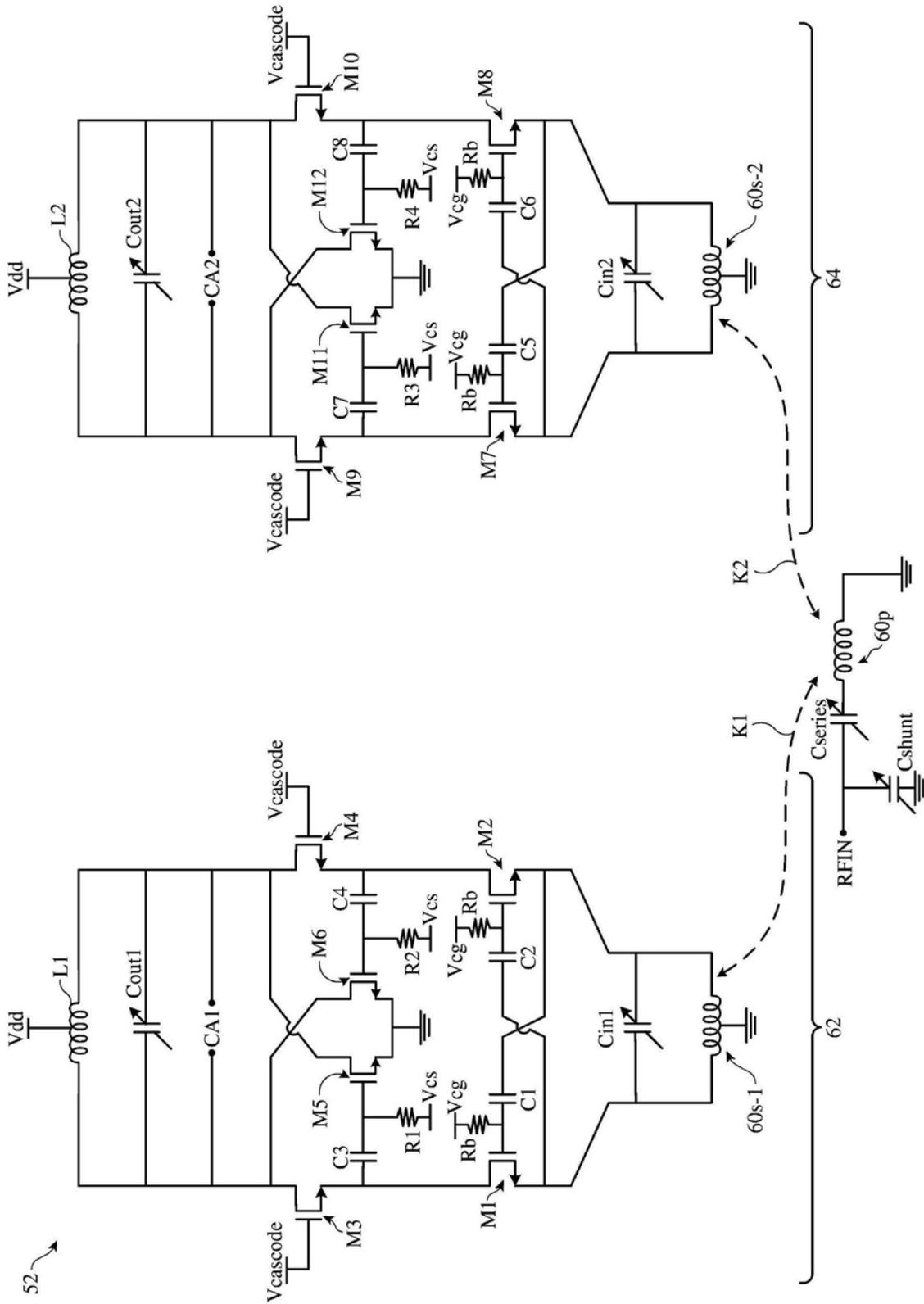


图7C