



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110022160 A
(43)申请公布日 2019.07.16

(21)申请号 201811483170.4

(22)申请日 2018.12.05

(30)优先权数据

62/595,898 2017.12.07 US

62/641,664 2018.03.12 US

(71)申请人 英飞凌科技股份有限公司

地址 德国诺伊比贝尔格

(72)发明人 R·鲍德 P·普凡 S·施玛兹尔

H-J·蒂默

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 郑立柱 崔卿虎

(51)Int.Cl.

H04B 1/00(2006.01)

H04B 1/40(2015.01)

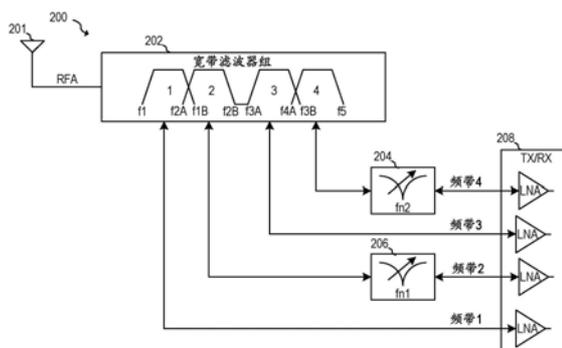
权利要求书2页 说明书31页 附图54页

(54)发明名称

用于射频滤波器的系统和方法

(57)摘要

本文公开了用于射频滤波器的系统和方法。根据一个实施例,一种操作RF系统的方法包括使用宽带滤波器组对第一宽带RF信号进行滤波。对所述第一RF信号进行滤波包括将所述第一宽带RF信号分离为频率集群信号,其中所述频率集群信号中的每个频率集群信号包括不同的频率范围,所述第一宽带RF信号包括许多RF频带,并且所述不同的频率范围中的每个频率范围包括所述许多RF频带中的多个RF频带。所述方法进一步包括对所述频率集群信号中的至少一个频率集群信号进行带阻滤波,以产生带阻频率集群信号。



1. 一种操作RF系统的方法,所述方法包括:

使用宽带滤波器组对第一宽带RF信号进行滤波,对所述第一RF信号进行滤波包括:将所述第一宽带RF信号分离为频率集群信号,其中所述频率集群信号中的每个频率集群信号包括不同的频率范围,所述第一宽带RF信号包括许多RF频带,并且所述不同的频率范围中的每个频率范围包括所述许多RF频带中的多个RF频带;

对所述频率集群信号中的至少一个频率集群信号进行带阻滤波,以产生带阻频率集群信号。

2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:放大所述带阻频率集群信号。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中放大所述带阻频率集群信号包括:使用低噪声放大器(LNA)。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中带阻滤波包括:使用可调谐带阻滤波器,并且所述方法包括:调整所述可调谐带阻滤波器的中心频率。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述第一宽带RF信号包括第一干扰频率处的干扰信号,并且调整所述可调谐带阻滤波器的所述中心频率包括:将所述中心频率调整为第一干扰频率。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述宽带滤波器组包括多个级联双工器。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述宽带滤波器组包括n路复用器。

8. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:从天线接收所述第一宽带RF信号。

9. 一种RF系统,包括:

宽带滤波器组,包括输入和多个输出,所述宽带滤波器组被配置为将在所述宽带滤波器组的输入处的宽带RF信号分离成在所述宽带滤波器组的所述多个输出处的多个频率集群,其中所述多个频率集群的每个频率集群包括不同的频率范围,并且每个频率范围覆盖所述宽带RF信号的多个RF频带;以及

至少一个带阻滤波器,具有耦合到所述宽带滤波器组的所述多个输出之一的输入。

10. 根据权利要求9所述的RF系统,进一步包括放大器,所述放大器具有耦合到所述带阻滤波器的输出的输入。

11. 根据权利要求10所述的RF系统,其中所述放大器包括低噪声放大器(LNA)。

12. 根据权利要求9所述的RF系统,其中所述带阻滤波器包括可调谐带阻滤波器。

13. 根据权利要求9所述的RF系统,其中所述带阻滤波器的中心频率对应于所述宽带RF信号包括干扰信号的频率。

14. 根据权利要求9所述的RF系统,其中所述宽带滤波器组包括多个级联双工器。

15. 根据权利要求14所述的RF系统,其中所述宽带滤波器组进一步包括n路复用器,所述n路复用器具有耦合到所述多个级联双工器的输出的输入。

16. 根据权利要求9所述的RF系统,其中所述宽带滤波器组包括n路复用器。

17. 一种RF系统,包括:

第一RF滤波器,具有被配置为耦合到天线的第一输入,所述第一RF滤波器被配置为提供从所述第一输入到第一带通输出通过第一频带的第一带通响应和从所述第一输入到第一带阻输出抑制所述第一频带的第一带阻响应;

n路复用器,具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出的输入;以及

第一可调谐带阻滤波器,耦合到所述n路复用器的输出。

18.根据权利要求17所述的RF系统,进一步包括:

第二RF滤波器,具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出的第二输入、以及耦合到所述n路复用器的所述输入的第二带阻输出,所述第二RF滤波器被配置为提供从所述第一输入到第二带通输出通过第二频带的第二带通响应和从所述第二输入到第二带阻输出抑制所述第二频带的第二带阻响应。

19.根据权利要求18所述的RF系统,进一步包括:

第一低噪声放大器(LNA),具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带通输出的输入;

第二LNA,具有耦合到所述第二RF滤波器的所述第二带通输出的输入;以及

第三LNA,具有耦合到所述第一可调谐带阻滤波器的输出的输入。

20.根据权利要求18所述的RF系统,其中所述第一RF滤波器的所述第一带通输出被配置为通过WiFi频率,并且所述第二RF滤波器的所述第二带阻输出和所述n路复用器的所述输出被配置为通过蜂窝通信频率。

21.根据权利要求20所述的RF系统,进一步包括耦合在所述第一RF滤波器的所述输入与所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出之间的旁路开关,所述旁路开关被配置为当所述RF系统的WiFi接收机停用时闭合。

用于射频滤波器的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年12月7日提交的美国临时申请号 62/595,898的权益以及于2018年3月12日提交的美国临时申请号 62/641,664的权益,所述申请通过引用整体并入本文。

[0003] 本申请涉及以下共同未决和共同转让的专利申请:提交的美国专利申请、代理人案卷号INF 2018P 51521US;提交的美国专利申请、代理人案卷号INF 2018P 51522US;提交的美国专利申请、代理人案卷号INF 2018P 51842US;提交的美国专利申请、代理人案卷号INF 2018P 51843US,所述申请通过引用整体并入本文。

技术领域

[0004] 本发明一般地涉及系统和方法,并且在特定实施例中涉及用于射频滤波器的系统和方法。

背景技术

[0005] 在诸如便携式无线设备的许多RF系统中,多于一个接收频率或发射频率在单个无线电设备中可以是同时有效的。当各个频带彼此远离时和/或当利用不同的增益处理频带时,不同的频率信道在频域中是分离的并在分离的信号路径中被处理。这样的频带可以包括:专用于相同电信发射标准的不同频带的频带、专用于不同电信标准(诸如LTE和GSM)的不同频带、以及专用于不同服务类型(诸如蜂窝通信、WiFi和GPS)的多个频带。当今许多系统需要灵活的频率计划和两个以上信道的同时处理,这使得(具有n个频带的)固定频率解复用器滤波器设计难以设计。

[0006] 在RF前端中日益增加的复杂性(例如,由于所支持的频带数量的增加)导致更高的插入损耗、降低的参考灵敏度以及相对于物理地实现前端的显著增加的面积。例如,在多个频带上操作的RF前端的实现可以包括多个固定滤波器,其取决于无线电的特定操作模式或取决于特定载波聚合用例而切入和切出RF信号路径。在这样的系统中,使用更多数量的开关滤波器来支持更多数量的载波聚合用例。

发明内容

[0007] 根据一个实施例,一种操作RF系统的方法包括使用宽带滤波器组对第一宽带RF信号进行滤波。对所述第一RF信号进行滤波包括将所述第一宽带RF信号分离为频率集群信号,其中所述频率集群信号中的每个频率集群信号包括不同的频率范围,所述第一宽带RF信号包括许多RF频带,并且所述不同的频率范围中的每个频率范围包括所述许多RF频带中的多个RF频带。所述方法进一步包括对所述频率集群信号中的至少一个频率集群信号进行带阻滤波,以产生带阻频率集群信号。

[0008] 根据另一个实施例,一种RF系统包括宽带滤波器组,其具有输入和多个输出。所述宽带滤波器组被配置为将在所述宽带滤波器组的输入处的宽带RF信号分离成在所述宽

带滤波器组的所述多个输出处的多个频率集群,其中所述多个频率集群的每个频率集群包括不同的频率范围,并且每个频率范围覆盖所述宽带RF信号的多个RF频带。所述RF系统进一步包括至少一个带阻滤波器,其具有耦合到所述宽带滤波器组的所述多个输出之一的输入。

[0009] 根据另一个实施例,一种RF系统包括:第一RF滤波器,其具有被配置为耦合到天线的第一输入,其中所述第一RF滤波器被配置为提供从所述第一输入到第一带通输出通过第一频带的第一带通响应和从所述第一输入到第一带阻输出抑制所述第一频带的第一带阻响应;n路复用器,其具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出的输入;以及第一可调谐带阻滤波器,其耦合到所述n路复用器的输出。

附图说明

[0010] 为了更完整地理解本发明及其优点,现在对以下结合附图的描述进行参考,附图中:

[0011] 图1示出了示例性RF前端电路的示意图;

[0012] 图2A至图2D示出了实施例RF前端电路的框图;

[0013] 图3A示出了实施例频率集群计划;图3B示出了由图3A的实施例频率集群计划支持的频率信道表;图3C示出了实现图3A中所示的实施例频率集群计划的一部分的实施例RF前端电路;以及图3D至图3N示出了前向发射图,其显示图3B的RF前端电路的各个部分的性能;

[0014] 图4A示出了替代频率集群计划;图4B示出了实现图4A的替代频率集群计划的另一个实施例RF前端电路;图4C示出了另一个替代频率集群计划;图4D示出了图4C的频率集群计划的传统实现;以及图4E示出了实现图4C的替代频率集群计划的实施例RF前端电路;

[0015] 图5A和图5B示出了示例性RF系统的框图;

[0016] 图6A至图6G示出了实施例RF系统的框图;以及图6H至图6L示出了可以被用来实现图6C、图6F和图6G的实施例RF系统的带通LNA的示意图;

[0017] 图7A至图7N、图8A至图8E、图9A至图9C、图10A至图10G、图11A至图11C、图12A至图12E和图13A至图13E示出了可以被用来实现本发明实施例中所利用的各种滤波器的各种滤波器结构;

[0018] 图14示出了实施例RF前端系统的框图;

[0019] 图15A和图15B示出了多频带多收发器前端电路的传统实施例;

[0020] 图16A和图16B示出了根据本发明实施例的多频带多收发器前端电路;

[0021] 图17A至图17C示出了实施例RF系统的框图,其包括组合的接收/发射天线和双工器、发射路径中的可调谐陷波滤波器和接收路径中的可调谐滤波器;

[0022] 图18A至图18D示出了实施例RF系统,其具有组合的接收/发射天线、在发射路径中以及在接收路径中的可调谐陷波滤波器以及可调整移相器/匹配网络以组合发射路径和接收路径;

[0023] 图19A至图19C示出了实施例RF系统,其中通过使用分离的发射天线和接收天线实现发射路径和接收路径之间的隔离;

[0024] 图20A示出了针对多发射机系统的实施例RF系统,该多发射机系统具有耦合到同一物理天线的同时是有效的多于一个发射机;以及图20B示出了针对多发射机系统的实施例RF系统,该多发射机系统具有耦合到同一物理天线的同时有效的多于一个发射机和一个(可以是多于一个)接收路径;

[0025] 图21A至图21B示出了针对时分双工(TDD)系统的实施例RF系统;

[0026] 图22示出了描绘实施例发射/接收路径/组合结构和对应的发射/接收路径滤波器配置的表格;

[0027] 图23示出了实施例TDD RF系统;

[0028] 图24A示出了利用可调谐带通滤波器和可调整移相器/匹配网络的实施例RF系统;以及图24B至图24D示出了显示图24A的RF系统的选择性和回波损耗的图;

[0029] 图25示出了利用可调谐带通滤波器和循环器的实施例RF系统;

[0030] 图26A示出了利用可调谐带通滤波器和正交组合器的实施例RF系统;以及图26B示出了图26A的RF系统的选择性和插入损耗的图;以及

[0031] 图27示出了利用可调谐带通滤波器、可调整移相器/匹配网络、以及分离的发射和接收天线的实施例RF系统。

[0032] 除非另有指示,否则不同附图中的对应数字和符号通常指代对应的部分。对附图进行绘制是为了清楚地示出优选实施例的相关方面,并且不一定按比例绘制。为了更清楚地示出某些实施例,指示相同结构、材料或过程步骤的各变型的字母可以遵循图号。

具体实施方式

[0033] 下面详细讨论目前优选实施例的制作和使用。然而,应该理解,本发明提供了许多可以在各种各样的具体上下文中体现的可应用的发明概念。所讨论的具体实施例仅说明制造和使用本发明的具体方式,并不限制本发明的范围。

[0034] 将关于特定上下文中的优选实施例来描述本发明、用于在无线通信系统的前端处进行RF滤波的系统和方法。本发明的实施例还可以被应用于其他基于RF的系统,包括但不限于雷达系统、高频有线通信系统。

[0035] 当前的解决方案应用包括两个或更多个多路复用的RF滤波器的专用载波聚合(CA)RF滤波器阵列的阵列,其被切入以支持具体载波聚合用例。因此,支持不同CA情况的频带可能在若干CA RF滤波器阵列中经历冗余。这种设计方法增加了系统中的RF开关的数量,增加了产品中的滤波器内容和面积,并且使得具有不同CA组合的新产品的设计工作复杂化。当由CA组合支持相同的频带时,这种设计方法可能导致冗余滤波器电路。此外,随着更多CA情况被支持,系统损耗可能增加。这些增加的系统损耗可导致某些系统中参考灵敏度的降低。

[0036] 图1示出了利用RF滤波器和专用RF频带滤波器的传统RF前端100的示例。如图所示,RF前端100包括经由多个开关电路102而耦合到多个RF滤波器108的天线110。滤波器108的输出经由附加开关电路102而耦合到LNA 106。RF滤波器108可以包括例如固定带通滤波器、双信器、三工器或其他类型的RF滤波器。选择在特定系统中使用的滤波器108的数量和类型是基于RF系统的特定特性以及特定RF系统在其中操作的RF环境。在一些情形下,特定RF系统可能受到其中存在高幅度RF信号的一些频率的影响,例如,在RF系统内存在的发

射机可能在RF前端正在接收的同时正在发射的情况下。在这种情况下,RF前端100的频率计划和滤波器108的选择将考虑高幅度发射信号的存在,并且滤波器108的滤波器特性将被设计为充分地抑制高幅度发射信号。如可以看出,随着不同RF环境的更多组合被RF前端100支持,更多RF开关102和RF滤波器108被用来支持这些组合。结果,RF系统100的尺寸和复杂性可以根据所支持的载波聚合用例的数量而增加。

[0037] 在本发明的实施例中,RF前端利用宽带RF滤波器,其将各种载波聚合组合分组为频率集群。在一些实施例中,选择集群结构以使得单个频带在每个特定集群中操作。然而,一个集群中的单个频带可以与其他集群中的其他单个频带同时操作。这些集群经由宽带集群滤波器而彼此分离,使得来自一个集群的干扰不会危害另一集群中任何频带的RF性能。

[0038] 在一些实施例中,在与接收信道相同的集群内发生的发射活动可以充当强干扰,诸如在频分双工(FDD)的情况下。在这样的实施例中,RF带阻滤波器可以被用来抑制发射信号。然而,在其中发射不与接收同时发生的实施例中,诸如在时分双工(TDD)系统中,可以旁路或省略这种带阻滤波器以实现更低的插入损耗。

[0039] 图2A示出了根据本发明实施例的RF系统200。如所示,RF系统200包括耦合到宽带滤波器组202的天线201。在各种实施例中,宽带滤波器组202包含多个宽带滤波器功能。在所图示的实施例中,示出了四个频带。第一频带具有 f_{1A} 至 f_{1B} 的频率范围,第二频带具有 f_{2A} 至 f_{2B} 的频率范围,第三频带具有 f_{3A} 至 f_{3B} 的频率范围,并且第四频带具有 f_{4A} 至 f_{4B} 的频率范围。这些频带中的每一个表示包括多个发射频率和/或接收频率的频率集群。应当理解,虽然宽带滤波器组202被示出具有四个频率集群,但是在本发明的替代实施例中,可以支持任何数量的频率集群。在所图示的示例中,在第二频带和第三频带之间示出了阻带。然而,在替换实施例中,所有频带可以彼此直接相邻、所有频带可以在它们之间具有阻带、或者频带可以是彼此直接相邻或在它们之间具有阻带的任何组合。例如,每个频带可以具有其自己的专用下转角频率 f_{low} 和其自己的专用上转角频率 f_{high} 。

[0040] 如所示,宽带滤波器组202耦合到RF收发器208。RF收发器208可以包括支持射频信号的发射和/或接收的电路。这种电路可以包括例如用于放大由天线201接收的RF信号的低噪声放大器(LNA)。如所示,可调谐频带抑制滤波器204耦合在宽带滤波器组202的第四集群与RF收发器208的第四输入之间。例如,可调谐频带抑制滤波器204可以被用来滤除诸如由RF系统200发射的信号之类的强干扰。类似地,可调谐频带抑制滤波器206耦合在宽带滤波器组202的第二集群和RF收发器208的第二输入之间。虽然在图2A中仅描绘了支持两个频率集群的两个频带抑制滤波器204和206,但是应该理解,任何数量的频率信道可以包括一个或多个可调谐频带抑制滤波器,这取决于特定的系统及其规范。在一些实施例中,可以使用固定频带抑制滤波器来代替可调谐频带抑制滤波器。固定频带抑制滤波器可以被使用在例如发射频率固定的系统中。

[0041] 图2B至图2D示出了可以被用来实现图2A中所示的宽带滤波器组202的示例滤波器实现。图2B示出了使用提取器212、214和216的级联所实现的滤波器组210。如所示,提取器212、214和216在端口1和端口2之间具有带通响应,并且在端口1和端口3之间具有带阻响应。在操作期间,提取器212使用其带通功能产生第一频带(频带1)的滤波输出,并且使用其频带抑制功能通过剩余频带(第一频带除外)。类似地,提取器214使用其带通功能产

生第二频带(频带 2)的滤波输出,并且使用其频带抑制功能通过剩余频带(第二频带 除外)。提取器216使用其带通功能产生倒数第二个频带(频带(n-1))的滤波输出,并且使用其频带抑制功能通过最后剩余频带(频带(n))。可以将任意数量的提取器级联在一起。提取器216可以使用本领域已知的滤波器电路来实现,包括SAW滤波器、BAW滤波器、FBAR滤波器、松耦合谐振器、LC滤波器、LC谐振器、可调谐LC滤波器、微带滤波器或其他滤波器结构。在一些实施例中,提取器212、214 和216可以使用美国专利申请号14/874,256中公开的隔离滤波器核心 结构来实现,该申请通过引用整体并入本文。应当理解,虽然使用带 通滤波器功能示出了提取器212、214和216,但是也可以使用诸如低 通、高通和带阻滤波器功能之类的其他滤波器功能。

[0042] 在一些实施例中,可以使用如图2C中所示的并行带通滤波器来 实现宽带滤波器组202,其示出了包括并行带通滤波器222、224和 226的滤波器组220。也可以使用如图2D中所示的诸如多端口滤波器 230的多端口滤波器来实现宽带滤波器组202。如所示,多端口滤波 器230是n路复用器,其被配置为在端口1与剩余端口1至端口n+1 中的每一个之间通过不同频带。这种n路复用器可以被用来使实施例 系统能够接收n个频带或n个频率集群。例如,多端口滤波器230在 端口1和端口2之间通过第一频带、在端口1和端口3之间通过第二 频带,以及在端口1和端口n+1之间通过第n频带。在各种实施例中, 可以使用本领域中已知的各种n路复用器电路来实现多端口滤波器 230,包括SAW滤波器、BAW滤波器、FBAR滤波器、松耦合谐振 器、LC滤波器、LC谐振器、可调谐LC滤波器、微带滤波器或其他 滤波器结构。在一些实施例中,多端口滤波器230可以使用例如关于 美国专利申请号14/874,256中的图2A至图2D和图3A至图3D所描 述的隔离滤波器核心结构来实现,该申请并入本文中。

[0043] 应进一步理解,也可以使用级联双信器、并行带通滤波器和/或多 端口滤波器的组合来实现宽带滤波器组202,以实现期望的滤波器集 群。在一些实施例中,除了宽带集群 滤波器之外,宽带滤波器组202 还可以适于包括窄带滤波器功能。

[0044] 图3A至图3N示出了可以在便携式蜂窝设备中使用的RF前端滤 波器系统的具体示例实现。在一些实施例中,图3A至图3N中描述 的RF前端滤波器系统可以被用来实现图2A中所示的RF系统200。应当理解,图3A至图3N的实施例仅是实现根据本发明实施例的RF 前端 滤波器系统的许多可能方式的一个示例。

[0045] 图3A示出了实施例频率集群计划的框图。如所示,频率集群计 划包括:具有从703MHz至821MHz的频率范围的集群A;具有从 853MHz至960MHz的频率范围的集群B;具有从 1475.9MHz至 1559.0MHz的频率范围的集群C;具有从1805MHz至2025MHz的 频率范围的集 群D;具有从2100MHz至2200MHz的频率范围的集 群E;具有从2300MHz至2400MHz的频率范围 的集群F1;具有从 2400MHz至2483MHz的频率范围的Wi-Fi集群;具有从2496MHz 至2690MHz 的频率范围的集群Fh;以及具有从3400MHz至3800 MHz的频率范围的集群G。因为频率集群D 位于非常靠近频率集群C, 用于实现频率集群D的滤波器的低端具有如矩形302所指示的陡 峭频 率滚降。类似地,由于频率集群E位于非常靠近频率集群D,用于实 现频率集群E的滤 波器的低端具有如矩形304所指示的陡峭滚降。在 一些实施例中,用于实现Wi-Fi频带的集 群滤波器也因为Wi-Fi频带 的窄频率而具有陡峭滚降。这种陡峭滚降是由于Wi-Fi频带与 蜂窝频 带之间的频率保护频谱较小引起的。

[0046] 在所图示的实施例中,集群D、集群F1和集群Fh表示存在发射 活动的频带。因此,

带阻滤波器被用来抑制这些频带内的干扰。在一些实施例中,可以在用于对特定集群进行滤波的滤波器之后对这些带阻滤波器进行级联。这些带阻滤波器由集群D内的块306和308、集群F1内的块309和集群Fh内的块311表示。可替代地,集群D可以包括单个带阻滤波器。在一些实施例中,可以使用诸如可调谐陷波滤波器之类的变频带阻滤波器,以便增加系统灵活性。可替代地,可以在适当时使用固定频率陷波滤波器。

[0047] 图3B示出了可以由图3A中所示的频率计划支持的示例频带的表。如图3B中所示,示例频带的表中的条目包括频带号、发射类型、表示由系统发射的频率的上行链路频率(UL)范围以及表示由系统接收的频率的下行链路频率(DL)范围。示例发射类型包括例如频分双工(FDD)和时分双工(TDD)。应当理解,在替代实施例中,可以支持不同的频带以及不同的发射/接收类型。例如,在一些实施例中,一些集群可以仅支持信号接收或信号发射。

[0048] 图3C示出了可以被用来实现图3A的集群D、集群E、集群F1、集群Wi-Fi和集群Fh的RF前端310。RF前端310包括RF滤波器312、316和319的级联,其被用来滤除各种集群。更具体地,RF滤波器312是三端口滤波器,其在端口1和端口3之间具有带通响应,并且在端口1和端口2之间具有带阻响应。因此,RF滤波器312在天线340与RF前端310的集群Wi-Fi输出之间通过Wi-Fi频带,并且抑制天线340与剩余集群滤波器316和319之间的Wi-Fi频带。换句话说,在由RF滤波器316滤波之前RF滤波器312从由天线340接收的信号中去除或衰减Wi-Fi频带。RF滤波器312可以使用三端口提取器集群滤波器来实现。可以使用如上所讨论的各种双信器电路来实现该滤波器。在一些实施例中,当Wi-Fi系统被停用或未被使用时,可以利用314来旁路RF滤波器312。旁路RF滤波器312可以通过减小滤波器的衰减来改善RF前端310的噪声性能。

[0049] RF滤波器316被用来从集群D、集群F1和集群Fh中分离出集群E的频率。如所示,RF滤波器316也是三端口滤波器,其在端口1和端口3之间具有带通响应,并且在端口1和端口2之间具有带阻响应。因此,RF滤波器316在天线340和RF前端310的集群输出之间通过集群E频带,并且在天线340和剩余集群滤波器319之间抑制集群E频带。当RF前端310未在集群E的频带内接收或发射RF信号时,可以旁路RF滤波器316。RF滤波器316可以使用三端口提取器集群滤波器来实现,并且可以使用如上所讨论的各种双信器电路来实现。

[0050] 在一些实施例中,可以将RF滤波器312和316实现为高选择性滤波器。在这种情况下,RF滤波器312和316的基于三工器的实现可以提供高选择性。可替代地,可以使用诸如关于美国专利申请号14/874,256的图4B所描述的混合提取器来实现RF滤波器312和/或316。在这种情况下,通过使用调谐或开关滤波器斜率可以增强高侧和/或低侧滤波器斜率。

[0051] 在不利用WiFi滤波的实施例中,可以将RF滤波器312的低侧可调谐/可切换滤波器斜率实现为在集群F1的滤波中的更陡峭的高侧滤波器斜率,以及可以将RF滤波器312的高侧可调谐/可切换滤波器斜率实现为集群Fh的滤波中更陡峭的低侧滤波器斜率。例如,RF滤波器312可以使用具有旁路的可调谐斜率增强器来实现,以用于改善在2400MHz处的WiFi频带的低侧上和/或在2483MHz处的WiFi频带的高侧上的选择性;以及可以使用频带的低侧上的可调谐斜率增强器来实现RF滤波器316,以在频带23和频带65上提供改善的选择性。

[0052] RF滤波器319分离集群D、集群F1和集群Fh的剩余频率。如所示,将RF滤波器319实现为四端口滤波器,其具有与集群D、集群F1和集群Fh的频率相对应的各种带通响应。在一些实施例中,使用本领域中已知的三工器滤波器结构来实现RF滤波器319。可替代地,可以使用用以滤除集群F1的提取器集群滤波器、然后是用以对集群D和集群Fh进行滤波的双信器来实现RF滤波器319。在一些实施例中,RF滤波器319可以使用具有旁路的可调谐斜率增强器来实现,以用于改善频带3和频带9的UL信道上的选择性。

[0053] 在各种实施例中,使用带阻滤波器330、326和322进一步对频带D、集群F1和集群Fh的频率进行滤波,以便衰减系统本身在其相应频率集群内发射的强干扰或信号。带阻滤波器330、326和322可以使用本领域已知的频带抑制滤波器结构和/或可调谐带阻滤波器结构来实现。在一些实施例中,带阻滤波器330、326和322可以使用美国临时申请号62/595,898和62/641,664中公开的频率可调谐BAW谐振器以及与案卷号INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应的共同未决的美国专利申请号_____来实现,所述申请通过引用整体并入本文。

[0054] 在一些实施例中,频带抑制滤波器330、326和322可以分别利用开关332、328和324来被旁路。可以使用本领域中已知的RF开关结构来实现开关314、318、324、328和332。具有旁路开关324的可调谐带阻滤波器322可以针对频带7的UL信道提供改善的选择性;具有旁路开关328的可调谐带阻滤波器326可以针对频带30提供改善的选择性;具有旁路开关332的可调谐带阻滤波器330可以针对频带2、25、1和25(对于CA集群1)的UL信道提供改善的选择性。

[0055] 图3D示出了在端口1和端口3之间的RF滤波器312的通带响应的图。曲线350示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线352示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0056] 图3E示出了在端口1和端口2之间的RF滤波器312的通带响应的图。曲线354示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线356示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0057] 在不支持WiFi的实施例中,可以通过将RF滤波器312替换为耦合在天线340和RF滤波器316的端口1之间的双端口可调谐带阻滤波器来修改图3C的系统。该双端口可调谐带阻滤波器被用来例如衰减由附近的WiFi设备发射的RF信号。图3F示出了这种双端口可调谐带阻滤波器的通带响应的图。曲线358示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.47GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线362示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.47GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。曲线360示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.42GHz)处以dB为单位

的通带响应,并且曲线364示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.42GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0058] 图3G示出了在端口1和端口3之间的RF滤波器316的通带响应的图。曲线366示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线368示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0059] 图3H示出了在端口1和端口2之间的RF滤波器316的通带响应的图。曲线370示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线372示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0060] 图3I示出了在端口1和端口2之间的RF滤波器319的通带响应的图,其被用来提取集群Fh。曲线374示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线376示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0061] 图3J示出了在端口1和端口3之间的RF滤波器319的通带响应的图,其被用来提取集群F1。曲线378示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线380示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0062] 图3K示出了在端口1和端口4之间的RF滤波器319的通带响应的图,其被用来提取集群D。曲线382示出了根据图的左侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应,并且曲线384示出了根据图的右侧上的纵坐标轴以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0063] 图3L示出了可调谐频带抑制滤波器322的通带响应的图,其被用来抑制来自集群Fh的干扰。曲线386示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.51GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线388示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.51GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。曲线390示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.57GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线392示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.57GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0064] 图3M示出了可调谐频带抑制滤波器326的通带响应的图,其被用来抑制来自集群F1的干扰。曲线392示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.18GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线394示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为2.18GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。曲线396示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.29GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线398示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率为2.29GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0065] 图3N示出了可调谐频带抑制滤波器330的通带响应的图,其被用来抑制来自集群D的干扰。曲线391示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为1.84GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线393示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第一设置(中心频率为1.84GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。曲线397示出了根据图的左侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率1.91GHz)处以dB为单位的通带响应,并且曲线397示出了根据图的右侧上的纵坐标轴在第二设置(中心频率1.91GHz)处以dB为单位的通带响应的放大视图。

[0066] 图4A至图4E示出了根据本发明的替代实施例的另外的频率计划和RF端电路。图

4A和图4B的实施例类似于图3A至图3N的实施例,不同之处在于用于提取WiFi频带的RF滤波器312被消除并且WiFi选择性被添加到集群Fh和集群F1的滤波。在一些实施例中,图4A至图4E中描述的RF前端滤波器系统可以被用来实现图2A中所示的RF系统200。

[0067] 如图4A中所示,频率集群计划包括具有从1805MHz至2025 MHz的频率范围的集群D;具有从2100MHz至2200MHz的频率范围的集群E;具有从2300MHz至2400MHz的频率范围的集群F1;以及具有从2496MHz至2690MHz的频率范围的集群Fh。因为频率集群D位于非常靠近频率集群C中的其他信道(未示出),用于实现频率集群D的滤波器的低端具有如矩形302所指示的陡峭频率滚降。类似地,因为频率集群E位于非常靠近频率集群D,用于实现频率集群E的滤波器的低端具有如矩形304所指示的陡峭滚降;并且因为频率集群F1位于非常靠近频率集群E,用于实现频率集群F1的滤波器的低端具有如矩形420所指示的陡峭滚降。

[0068] 因为在图4A和图4B的实施例中没有使用WiFi提取滤波器,用于实现频率集群F1的滤波器的高端具有如矩形422所指示的陡峭滚降;并且用于实现频率集群Fh的滤波器的低端具有如矩形424所指示的陡峭滚降,以便提供对WiFi频带中的WiFi信号的抑制。

[0069] 在所图示的实施例中,集群D、集群F1和集群Fh表示存在发射活动的频带。因此,带阻滤波器被用来抑制这些频带内的干扰。在一些实施例中,在用于对特定集群进行滤波的滤波器之后对这些带阻滤波器进行级联。这些带阻滤波器由集群D内的块306和集群Fh内的块311表示。

[0070] 图4B示出了可以被用来实现图4A的频率计划的RF前端400。RF前端400包括RF滤波器316和RF滤波器402的级联,其被用来滤除各种集群。如上面关于图3C所述,RF滤波器316被用来从集群D、集群F1和集群Fh中分离出集群E的频率。如所示,RF滤波器316是三端口滤波器,其在端口1和端口3之间具有带通响应,并且在端口1和端口2之间具有带阻响应。因此,RF滤波器316在天线340和RF前端400的集群E输出之间通过集群E频带,并且在天线340和剩余集群滤波器402之间抑制集群E频带。当RF前端400未在集群E的频带内接收或发射RF信号时,可以利用开关318旁路RF滤波器316。在各种实施例中,使用具有旁路的低端上的可调谐斜率增强器来实现RF滤波器316,以改善频带23和频带65的选择性。

[0071] RF滤波器402分离集群D、集群F1和集群Fh的剩余频率。如所示,将RF滤波器402实现为四端口滤波器,其具有与集群D、集群F1和集群Fh的频率相对应的各种带通响应。在一些实施例中,使用本领域中已知的三工器滤波器结构来实现RF滤波器402。可替代地,可以使用用以滤除集群F1的提取器集群滤波器、然后是用以对集群D和集群Fh进行滤波的双信器来实现RF滤波器402。

[0072] 在一些实施例中,使用可调谐斜率增强器来增强RF滤波器402的各个频带的滚降。例如,可以使用可调谐斜率增强器来实现用于提取集群Fh的RF滤波器402的高频带的低侧,以用于改善在2483MHz处的WiFi频带的高端处的选择性;可以使用可调谐斜率增强器来实现用于提取集群F1的RF滤波器402的中频带的低侧,以用于改善频带30上的选择性;可以使用可调谐斜率增强器来实现用于提取集群F1的RF滤波器402的中频带的高侧,以用于改善在2400MHz处的WiFi频带的低端处的选择性;并且可以使用可调谐斜率增强器来实现用于提取集群D的RF滤波器402的低频带的低侧,以用于改善频带3和频带9的UL信道上的选择性。

[0073] 在各种实施例中,使用带阻滤波器330和322以及旁路开关332和324对频带D和频

带Fh的频率进行进一步滤波,如上面关于图3C 的实施例所述。然而,在图4B的实施例中,可调谐带阻滤波器未应用于集群F1。

[0074] 图4C示出了根据另一个实施例的频率计划。图4C的频率计划类似于图4A的频率计划,不同之处在于在频带E的低端、频带F1的低端和频带F1的高端处分别省略了陡峭的滚降部分304、420和422。

[0075] 图4D示出了可以被用来实现图4C的频率计划的传统RF前端440。如所示,传统RF前端440包括分离的可选滤波器,其每个滤波器分别专用于单个信道2、3、34、38、40和7;专用于信道39、41和38的双工器;以及专用于信道1和4的滤波器。可以看出,在用于信道38的滤波器中存在冗余。

[0076] 图4E示出了实施例RF前端450,其可以被用来使用比图4D的传统实现更小的天线开关和更少的部件数量来实现图4C的频率计划。RF前端450包括天线开关452,其选择性地 将天线340耦合到固定带通滤波器454和463、耦合到可调谐带通滤波器455和456以及耦合到不包括声学滤波器的信号路径。带通滤波器454被用来选择集群E中的频带1和频带4(参见图3B),并且带通滤波器463被用来选择集群F1中的频带40。可调谐带通滤波器455和可调谐频带抑制滤波器458的组合被用来选择包括频带41、频带38和频带7的集群Fh;并且可调谐带通滤波器456和可调谐频带抑制滤波器460的组合被用来选择包括频带2、频带3、频带34和频带39的集群D。被指定为“TDD Sawless”的信号路径保持未被声学滤波器滤波并且被用来支持在频带第38、39、40和41上的TDD操作。

[0077] 带通滤波器454和463、可调谐带通滤波器455和456、以及可调谐带阻滤波器458和460可以例如使用本领域已知的带通、可调谐带通和可调谐带阻滤波器结构和/或使用本文公开的可调谐带通和带阻滤波器结构来实现。例如,可以使用本文的图7D、图7E、图7F、图8D、图8E、图10B、图10C和10D中所示的滤波器结构来实现上述滤波器458、滤波器460以及滤波器322和滤波器330。例如,可以使用本文的图10E、图12C、图12D、图12E和13C中所示的滤波器结构来实现滤波器455和滤波器456。耦合在端口1和端口4之间、以及耦合在端口1和端口2之间的具有与通带的低端相邻的可控斜率的滤波器402的各部分例如可以使用图10F中所示的可调谐斜率滤波器来实现。耦合在端口1和端口3之间的具有与通带的低端和高端相邻的可控斜率的滤波器402的各部分例如可以使用图10G中所示的可调谐斜率滤波器来实现。

[0078] 本发明的实施例的优点能够使用宽带滤波器来实现多频带RF前端。与使用可切换窄带滤波器的系统相比,这样的实施例提供了面积、板空间和部件数量的节省。另一个优点是提高了设计灵活性,以及将相同的设计针对不同的频率计划的能力。

[0079] 陷波滤波器实施例

[0080] 图5A和图5B示出了另外的传统前端架构。图5A示出了传统RF前端,其包括可经由开关504和开关506选择的并行高选择性带通滤波器502。这些高选择性带通滤波器502向LNA 508和RF收发器510提供频带滤波信号。在图示的示例中,系统的噪声系数由开关504和开关506以及滤波器502的插入损耗而降级。

[0081] 图5B示出了另一种传统RF前端电路,其包括可选择电路分支,每个分支包括较低选择性带通预滤波器520、LNA 524和带通滤波器522。这些电路分支中的每一个都经由开关504和506来可选择。在图5B的示例中,系统的噪声系数由开关504和滤波器520的插入

损耗而降级。因为滤波器选择性在带通预滤波器520和带通滤波器522之间被分开,可以使滤波器520的插入损耗小于图5A中所示的带通滤波器502的插入损耗。因此,相对于图5A的系统,可以改善图5B的系统的噪声性能。然而,在图5B的实现中,滤波器部件和LNA部件的数量更高。

[0082] 在本发明的实施例中,可以具有可调整中心频率和可调谐频带抑制滤波器的低选择性带通滤波器与LNA级联。由于可调谐频带抑制滤波器被用来衰减强干扰,低选择性带通滤波器可以包括具有宽松阻带衰减要求的滤波器,包括阻带的包括干扰的部分(诸如在FDD系统的情况下的发射频率)。使用较低选择性带通滤波器的能力允许使用较不复杂并且具有较少滤波器/谐振器级数量的较低阶滤波器结构。这些较低阶滤波器结构也具有较小的通带插入损耗,这导致更好的噪声性能。在一个具体示例中,可以例如利用2.5阶的梯状滤波器而不是诸如4.5阶滤波器的高阶滤波器来实现较低选择性带通滤波器。例如,在一些实施例中,滤波器的阶是3阶或更低。可替代地,可以使用其他滤波阶。

[0083] 在一些实施例中,较低选择性带通滤波器可以被配置为通过多个RF频带,并且可调谐频带抑制滤波器可以被配置为抑制包含诸如在FDD操作模式中由系统发射的发射信号之类的干扰的频带。在这样的实施例中,相对于使用并行高选择性带通滤波器的系统可以减小滤波器部件的尺寸、数量和复杂性,同时保持良好噪声性能。在一些实施例中,取决于特定实施例,可以减少RF开关部件的数量或者可以完全消除RF开关部件。

[0084] 在一些实施例中,通过利用可调谐陷波滤波器抑止强的已知但可变的干扰(例如,FDD系统中的自身TX信号)以及通过将整体滤波器功能性分布在低噪声放大器(LNA)前面的部件和LNA后面的部件中,来放松频带选择滤波器要求。将滤波器分成两部分允许降低频带选择滤波器部件的选择性要求。这再次允许更好的带内损耗,从而允许更好的整体系统噪声性能。虽然LNA之前的部件对系统噪声系数具有直接影响,但LNA后面的插入损耗对系统噪声系数的影响较小。在一些实施例中,使用诸如陷波滤波器之类的可调谐频带抑制滤波器消除了对用于每个频带的单独滤波器和附加LNA和/或开关的需要。

[0085] 对于第一滤波器的降低的选择性要求也使得可调谐带通滤波器能够在非载波聚合(“窄带”)应用中的使用,其中可调谐带通滤波器通常具有比固定频带滤波器更低的选择性。如果干扰场景使得具有已知频率的一个主导干扰(例如FDD系统中的自身TX)比所有其他近距离干扰强得多,则带通滤波器和带阻滤波器被颠倒,使得频带抑制滤波器耦合到LNA的输入并且带通滤波器耦合到LNA的输出。

[0086] 图6A至图6G示出了利用可调谐较低选择性带通滤波器和可调谐频带抑制滤波器与LNA组合的示例实施例。图6A示出了实施例RF前端600,其包括经由RF开关604和RF开关608可选择的带通滤波器606。如所示,RF开关604耦合到天线602。在替代实施例中,RF开关604可以耦合到不同类型的RF源,诸如导线或波导。在各种实施例中,每个带通滤波器606具有不同的中心频率,并且被配置为通过存在于输入处的多个RF频带。在一个示例实施例中,以有限的阻带衰减(例如低滤波器阶)为代价的低插入损耗,使用诸如SAW滤波器、BAW滤波器、FBAR滤波器、松耦合谐振器、LC滤波器、LC谐振器、可调谐LC滤波器、微带滤波器或其他滤波器结构之类的本领域已知的滤波器结构来实现带通滤波器606。如所示,RF开关608耦合到LNA 610,随后是可调谐频带抑制滤波器612和RF收发器614。在各种实施例中,可调谐频带抑制滤波器612可以使用诸如可调谐陷波滤波器之类的本领域已知的可

调谐频带抑制滤波器结构 来实现以及/或者可以使用美国临时申请号62/595,898和62/641,664 以及与案卷号INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method (可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method (可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和 INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应 的共同未决的美国专利申请号_____中公开的可调谐声学 滤波器结构来实现。例如可以在具有强干扰、潜在的许多带外干扰、和/或未知频率的干扰的系统中使用RF前端600。

[0087] 图6B示出了实施例RF前端620,其中LNA 610之前是可调整 频带抑制/陷波滤波器612,并且后面是可选带通滤波器,其包括经由 RF开关604和RF开关608可选择的带通滤波器622。在操作期间可 调整频带抑制/陷波滤波器612去除干扰频率,并且带通滤波器622在LNA 610的输出处提供进一步的滤波。RF前端620可以例如使用 在具有已知频率和限制带宽的一个主导干扰和/或在相对远离接收频 带的频率处的较弱干扰的系统中。这种系统的一个示例是在系统正在 以其它频率接收的同时以预定频率发射的系统,诸如在FDD系统中。RF前端620也适用于具有相对大的接收带宽的系统和/或具有非连续 频谱块的系统,如非连续载波聚合系统的情况。

[0088] 图6C示出了实施例RF前端630,其类似于图6B中所示的RF 前端620,不同之处在于LNA 632被实现为具有集成可调谐/可切换BP行为(例如匹配)以用于改善带内性能/远端选择性的带通LNA (BP-LNA)。例如,可以通过使用具有可调谐或可切换输入匹配和/ 或输出匹配和/或频率选择性增益的LNA、通过频率选择性内部反馈(例如,谐振器)来实现LNA 632。例如,图6H示出了包括具有可 调谐串联输入阻抗/匹配网络652的LNA 610的BP-LNA;图6I示出 了包括具有可调谐串联输出阻抗/匹配网络654的LNA 610的BP-LNA;图6J示出了包括具有可调谐分流输入阻抗/匹配网络656的LNA 610 的BP-LNA;以及图6K示出了包括具有可调谐分流输出阻抗/匹配网 络658的LNA 610的BP-LNA。可调谐阻抗/匹配网络652、654、656 和658可以使用本领域已知的诸如具有至少一个可调谐、可选择和/ 或可切换的电抗性电路元件的谐振器电路和/或LC电路之类的可调 谐匹配网络来实现。

[0089] 图6L示出了包括LNA 610的BP-LNA,其中可调谐带通滤波器 660耦合在LNA 610的输出与LNA 610的输入之间。可以使用本领 域中已知的包括具有至少一个可调谐、可选择和/或可切换的电抗性电 路元件的谐振器电路和/或LC电路的可调谐带通滤波器结构或者使 用本领域已知的可调谐带通滤波器结构来实现可调谐带通滤波器660。在替代实施例中,可以使用图6H至图6K中所示的组合输入匹配网 络、输出匹配网络和可调谐滤波器来实现BP-LNA。

[0090] 图6D示出了实施例RF前端640,其包括可调谐带通滤波器642, 随后是LNA 610。可调谐频带抑制/陷波滤波器612耦合到LNA 610 的输出,并且可以被用来抑制强干扰。在各种实施例中,可调谐带通 滤波器642使用本领域中已知的可调谐带通滤波器结构来实现,

或者 可以使用美国临时申请号62/595,898和62/641,664中公开的可调谐声学滤波器结构以及与案卷号INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method (可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method (可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和 INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters (声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应的共同未决的美国专利申请号_____中公开的可调谐声学滤波器结构来实现。在一些实施例中,可调谐带通滤波器642是连续可调谐带通滤波器。RF前端640适用于具有相对低接收带宽的系统,包括但不限于单载波LTE、UMTS、窄BW LTE、多频带物联网(IOT)和多频带可穿戴/手表。RF前端640也适用于具有一个具有已知频率和有限带宽的主导干扰的系统,诸如以接近接收频率的频率发射的FDD系统。在一些实施例中,可以省略耦合到LNA 610的输出的频带抑制/陷波滤波器612。

[0091] 图6E示出了实施例RF前端650,其包括可调谐频带抑制/陷波滤波器612,随后是LNA 610。可调谐频带抑制/陷波滤波器612可以被用来例如抑止具有良好带内插入损耗的主导干扰。可调谐带通滤波器642耦合到LNA 610的输出。系统650适用于具有相对低接收带宽的系统,包括但不限于单载波LTE、UMTS、窄BW LTE、多频带物联网(IOT)和多频带可穿戴/手表。RF前端650也适用于具有一个具有已知频率和有限带宽的主导干扰的系统,诸如以接近接收频率的频率发射的FDD系统。在一些实施例中,可以省略耦合到LNA 610的输出的可调谐带通滤波器642。

[0092] 图6F示出了实施例RF前端660,其包括可调谐带通滤波器642,随后是可调谐BP-LNA 632。可调谐频带抑制滤波器612耦合到可调谐BP-LNA 632的输出,并且可以被用来抑制强干扰。RF前端660类似于图6D中所示的RF前端640,不同之处在于除了LNA 610由BP-LNA 632代替,其在一些实施例中提供更好的远端选择性。在一些实施例中,可以省略耦合到可调谐BP-LNA 632的输出的可调谐频带抑制/陷波滤波器612。

[0093] 图6G示出了实施例RF前端680,其包括可调谐频带抑制滤波器612,随后是可调谐BP-LNA 632。可调谐带通滤波器642耦合到可调谐BP-LNA 632的输出。RF前端680类似于图6E中所示的RF前端650,不同之处在于LNA 610由可调谐BP-LNA 632代替,其在一些实施例中提供增强的远端选择性。在一些实施例中,可以省略耦合到可调谐BP-LNA 632的输出的可调谐带通滤波器642。

[0094] 本文实施例中描绘的滤波器可以例如使用如下讨论的图7A至图7N、图8A至图8E、图9A至图9C、图10A至图10D、图11A至图11C和图12A至图12E以及图13A至图13E中所示的滤波器结构来实现。这些滤波器可以使用电容器702、电感器704、电容器705、具有两个耦合谐振器的声学耦合谐振器706、可调谐谐振器708、具有彼此声学耦合的多个串联谐振器的声学耦合谐振器结构710、具有与电感器并联耦合的可调谐电容器的并联谐振调谐电路712、具有与电感器串联耦合的可调谐电容器的串联并联谐振调谐电路714、谐振器716和可调谐电容器718来实现。在一些实施例中,这些滤波器可以使用美国临时申请号62/595,

898和62/641,664以及与代理人案卷号 INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element,Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element,Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和 INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应 的共同未决的美国专利申请号_____中公开的物理声学滤波器结构和可调谐声学滤波器结构来实现。

[0095] 图7A至图7N示出了各种桥接T全通电路,其可以被用来实现 在关于图2A至图2D、图3A至图3N、图4A至图4D、图6A至图 6G、图15B、图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B、图21A至图21B和图22的实施例电路所描述的所 有实施例中利用的各种带阻滤波器。

[0096] 图7A示出了包括“T”结构的桥接T全通电路700,该“T”结 构具有串联耦合在节点102之间的电容值为C1和C2的电容器702、耦合在端口1和端口2之间的电感值为L1的电感器704、以及耦合 到接地的具有电感L2的电感器704。当满足以下条件时,桥接T全 通电路700在端口1和端口2之间具有平坦的幅度响应:

$$[0097] \quad L1 = \frac{Z_0}{\omega_0} \quad (1)$$

$$[0098] \quad L2 = \frac{Z_0}{2\omega_0} \quad (2)$$

$$[0099] \quad C1 = C2 = \frac{1}{Z_0\omega_0}, \quad (3)$$

[0100] 其中, Z_0 是加载端口1和端口2的特性阻抗,并且 ω_0 是在端口1和端 口2之间的相位响应达到 90° 的弧度频率。在各种实施例中,桥接T 全通电路700可以被配置为当电容器702 每个都被2端口谐振器703 替换(如关于电路710所示)或者二者被3端口谐振器705代替时(如 关于电路720所示),具有带阻响应。在图7C至图7G中示出了这 些实施例的具体示例以及利用其他LC网络或LC网络和谐振器的组 合的实施例。在这样的实施例中,带外响应(在带阻频率之外)保持 其原始的全通特性。

[0101] 在另一个实施例中,可以通过使L1、L2、C1和/或C2的值与它 们的在上面示出的等式(1)、等式(2)和等式(3)中定义的值去 谐来实现带阻响应。去谐可以被用来实现具有更高带宽的带阻响应。

[0102] 图7B示出了包括“T”结构的桥接T全通电路730,该“T”结 构具有串联耦合在节点102之间的电感值为L1和L2的电感器704、耦合在端口1和端口2之间的电容值为C1的电容器702、以及耦合 到接地的电容值为C2的电容器702。当满足以下条件时,桥接T全 通电路730在端口1和端口2之间具有平坦的幅度响应:

$$[0103] \quad L1 = L2 = \frac{Z_0}{\omega_0} \quad (4)$$

$$[0104] \quad C1 = \frac{1}{2Z_0\omega_0} \quad (5)$$

$$[0105] \quad C2 = \frac{2}{Z_0\omega_0} \quad (6)$$

[0106] 在各种实施例中,桥接T全通电路730可以被配置为当电感器704每一个都被2端口谐振器703替换(如关于电路740所示)或者二者被3端口谐振器705代替(如关于电路750所示)时具有带阻响应。在图7H到图7N中示出了这些实施例的具体示例以及利用其他LC网络或LC网络和谐振器的组合的实施例。在这样的实施例中,带外响应(在带阻频率之外)保持其原始的全通特性。

[0107] 在另一个实施例中,可以通过使L1、L2、C1和/或C2的值与它们的在上面示出的等式(4)、等式(5)和等式(6)中定义的值去谐来实现带阻响应。去谐可以被用来实现具有更高带宽的带阻响应。

[0108] 图8A至图8E示出了各种基于Pi低通电路,其可以被用来实现在关于图2A至图2D、图3A至图3N、图4A至图4D、图6A至图6G、图15B、图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B、图21A至图21B和图22的实施例电路所描述的所有实施例中利用的各种带阻滤波器。

[0109] 图9A至图9C示出了各种基于Triplet电路;图10A至图10G示出了各种基于梯状电路;以及图11A至图11C示出了各种基于格子状电路,它们可以被用来实现在关于图2A至图2D、图3A至图3N、图4A至图4D、图6A至图6G、图15A至图15B、图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B、图21A至图21B、图22、图23、图24A、图25、图26A和图27的实施例电路所描述的所有实施例中利用的各种带阻滤波器和带通滤波器。

[0110] 图12A至图12E示出了各种基于CRF电路;以及图13A至图13E示出了各种基于Pi低通电路,它们可以被用来实现在关于图2A至图2D、图3A至图3N、图4A至图4D、图6A至图6G、图15A、图17A至图17C、图21A至图21B、图22、图23、图24A、图25、图26A和图27的实施例电路所描述的所有实施例中利用的各种带通滤波器。

[0111] 如所示,图7A至图7F、图8A至图8E、图9A至图9C、图10A至图10D、图11A至图11C和图12A至图12E以及图13A至图13E的实施例滤波器结构可以使用各种LC滤波器结构、声学滤波器结构和可调谐LC滤波器/声学滤波器结构来实现。

[0112] 图14示出了根据本发明实施例的封装中的示例系统1400的框图。如所示,系统1400包括天线开关1402,其耦合到具有相应输出RF_OUT1、RF_OUT2和RF_OUT3的多个RF信号路径。第一RF路径包括固定带通滤波器1404,随后是LNA 1416;第二RF路径包括可调谐带通滤波器1406和可调谐带阻/陷波滤波器1408,随后是LNA 1418;以及第三RF路径包括LNA 1420,随后是可调谐带阻/陷波滤波器1414。这些RF信号路径可以使用本文所描述的实施例电路、方法和物理实现来实现。在一个实施例中,调谐致动器1410被用来向可调谐带通滤波器1406和可调谐带阻/陷波滤波器1408和1414提供调谐和控制信号。LNA偏置发生器1412被用来向LNA 1416、1418和1420提供偏置电流和电压。在一些实施例中,天线开关1402、调谐致动器1410和LNA偏置发生器1412经由数字总线(诸如MIPI总线)经由数字接口/控制电路1422来可控制。可替代地,可以使用其他数字接口类型。应该理解,系统1400的配置只是许多可能的系统实现的一个示例。在替代实施例中,可以实现不同数量的

RF信号 路径和/或不同的实施例滤波器配置。在各种实施例中,可以将系统 1404实现为封装衬底上或单个单片半导体衬底上的多个部件。

[0113] 实施例的优点包括实现灵活且物理上紧凑的RF前端的能力,该 RF前端能够承受强干扰,诸如当以FDD模式操作时由RF系统生成 的高幅度发射信号。通过将可调谐频带抑制滤波器与较低选择性可调 谐带通滤波器结合使用,可以减少由于更高阶RF滤波器的增加的尺 寸和数量而导致的附加尺寸开销。另外,在一些实施例中,可调谐滤 波器的使用允许将系统调谐到各种RF信道的能力以及在各种RF环 境中抑制干扰的能力,而不需要系统重新设计。

[0114] 图15A和图15B示出了可以在例如蜂窝电话、智能手表、可穿戴 设备、IoT(物联网)设备中找到的多频带/信道多收发器前端电路的 传统实施例。在这样的设备中,多个发射机可以使用上行链路载波聚 合(ULCA)或双连接性来同时操作。在操作期间,通过测量由设备 发射的功率以及使用反馈回路调整发射功率以满足目标,来以闭环方 式控制由每个发射机发射的功率量。该反馈回路可被用来测量发射的 输出信号的质量(例如用于自适应数 字预失真)或用于天线阻抗测量(例如用于闭环天线调谐)。这两种技术都可以被用来优化 功耗并且 改善输出信号性能。

[0115] 然而,在具有多于一个有效发射机的系统中,干扰信号可以在针 对特定发射机而要测量特定发射信号的点处与发射信号组合。这些干 扰信号可以例如由系统中的其他发 射机生成,以及/或者可以通过混合 系统中存在的各种信号来生成,该系统产生落在发射 功率测量电路的 带宽内的混频产物。这些干扰信号可以导致反馈路径的精度下降。

[0116] 图15A示出了包括两个RF收发器电路1502和1504的传统RF 前端1500。每个收发器 电路1502和1504包括单个发射输出和四个接 收机输入。每个RF收发器电路1502和1504的 发射输出耦合到功率 放大器1510,随后是选择开关1512和双工器电路1516。选择开关1518 从双工器1516之中选择双工器1516以经由定向耦合器1522和可调 谐天线匹配电路1524而 耦合到天线1526或1527。双工器1516可以 具有不同的通带,并且可以被配置为在接收方向 上提供信道选择性并 且在发射方向上发射滤波。LNA 1514具有耦合到对应双工器1516的 相应输入以及耦合到收发器1502或1504的相应信道的输出。

[0117] 在操作期间,收发器1502和1504通过测量定向耦合器1522的 耦合输出来测量由 PA 1510发射的信号的功率、信号质量和/或其他 参数。PA 1510发射的信号的其他测量参 数可以包括例如用于确定自 适应预失真系统中的天线阻抗和/或信号质量的信号相位和 幅度。开关 1520可以被用来选择耦合器输出,该耦合器输出提供耦合的入射功率 和耦合 的反射功率。低通滤波器1530被用来滤波由定向耦合器1522 提供的耦合功率。在一些情境 中,干扰信号的频率范围可以在低通滤 波器1530的通带内。例如当RF收发器1502和1504同 时发射信号以 及由一个RF收发器1502或1504产生的RF信号在与另一个RF收发 器1502或 1504相关联的低通滤波器1530的通带内时,这种情境可 能出现。当一个RF收发器1502或 1504的基频不在另一个RF收发 器1502或1504的低通滤波器1530的通带内时,也可能出现 问题。例如,当一个RF收发器的失真和/或互调产物可能在另一个RF收发 器的低通滤波器 1530的通带内时。例如,在一个RF收发器1502或 1504以比另一个收发器1502或1504高得多的 幅度发射的情形下,这 种情形可能被恶化。在这种情境中,在一个发射信道中产生的泄 漏的 TX信号和/或失真产物可以具有与在TX反馈接收机输入处由其他发 射信道产生的发

射功率相同量级的功率。

[0118] 图15B示出了包括RF收发器电路1502和1504的传统RF前端 1550。RF前端1550具有与图15A的RF前端1500类似的结构,不同之处在于每个滤波的RF信道具有其自己的与之相关联的定向耦合器1522。如所示,定向耦合器1522与每个双工器电路1516串联耦合,并且所有双工器电路1516的输出经由选择开关1552可选择。在RF前端1550中,由每个双工器1516提供的滤波衰减由其他发射机产生的发射信号并且提供比图15A中所示的RF系统1500更好的发射信号精度。然而,RF系统1550具有增加的部件数量和系统复杂性。如所示,RF系统1550具有四倍之多的定向耦合器1522和两个附加的RF选择开关1552。图15B中所示的架构的另一个问题是:使得测量平面由“在双工器前面”的耦合器位置限定不包括(天线)功率测量中的双工器插入损耗,并且使诸如天线阻抗测量之类的其他测量执行起来更复杂。

[0119] 图16A示出了根据本发明实施例的RF系统1600。RF系统1600的架构类似于图15A中所示的RF系统1500的架构,不同之处在于耦合到RF收发器1502和1504的发射反馈输入的低通滤波器1530由可调谐带通滤波器1602代替。通过使用可调谐带通滤波器1602,可以更有效地从发射信号(例如功率、信号质量和天线阻抗测量)中滤除在系统内产生的干扰信号。另外,在一些实施例中,可以进行更精确的发射功率测量,而不使用针对每个双工器1516的分离的定向耦合器和相关联的RF开关。

[0120] 在操作期间,可以将可调谐带通滤波器1602的中心频率调谐为具有与发射信号的中心频率相对应的中心频率和/或具有包括发射频率的通带。RF收发器1502或1504的反馈接收机1603测量从带通滤波器1602输出的信号的一个或多个滤波的耦合信号参数(例如功率、相位、信号质量、误差矢量幅度(EVM)、线性和非线性失真)。例如,可以使用该测量功率来确定、调整或更新提供给功率放大器1610的发射信号的功率。在针对反馈接收机的实施例中,这些测量可以被用来实现天线阻抗测量或发射信号质量测量以用于自适应发射信号预失真。在一些实施例中,每个RF收发器电路1502或1504针对其相关联的可调谐带通滤波器1602产生调谐信号。在一些实施例中,用于可调谐带通滤波器1602的调谐信号由中央控制器产生。

[0121] 在各种实施例中,可调谐带通滤波器1602各自使用本领域中已知的可调谐带通滤波器结构来实现,或者可以使用美国临时申请号 62/595,898和62/641,664以及与案卷号INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应的共同未决的美国专利申请号_____中公开的可调谐声学滤波器结构来实现。在一些实施例中,可调谐带通滤波器1602是连续可调谐带通滤波器。可调谐带通滤波器1602可以使用图9A至图9C、图10A至图10G、图11A至图11C、图12A至图12E和图13A至图13E中所示的基于

可调谐声学滤波器的带通结构来实现。在一些实施例中,实施例带通滤波器1602可以具有3.5阶或更高阶并且可以包含5至7个谐振器。可替代地,可以使用低阶滤波器或具有多于或少于5至7个谐振器的滤波器。

[0122] 图16B示出了根据本发明的另一个实施例的RF系统1600。RF系统1600的架构类似于图15A中所示的RF系统1500的架构,不同之处在于耦合到RF收发器1502和1504的发射反馈输入的低通滤波器1530由可调谐带阻滤波器1612代替。通过使用可调谐带阻滤波器1612,可以从发射信号测量中选择性地去除在系统内产生的干扰信号。另外,可以进行更精确的发射信号测量,而不使用针对每个双信器1516的分离的定向耦合器和相关联的RF开关。在一些实施例中,可以级联两个或更多个可调谐带阻滤波器1612以便抑制在多个频率处的信号。

[0123] 在操作期间,可以将可调谐带阻滤波器1602的中心频率调谐为具有与发射信号的中心频率相对应的中心频率和/或与已知或预期干扰的频率相对应的中心频率。RF收发器1502或1504的反馈接收机1603测量从带通滤波器1602输出的滤波的耦合信号参数(例如功率、相位、信号质量)。可以使用该测量功率来例如确定、调整或更新提供给功率放大器1610的发射信号的功率。在一些实施例中,每个RF收发器电路1502或1504针对其相关联的可调谐带阻滤波器1612产生调谐信号。在这样的实施例中,每个RF收发器电路1502或1504知晓另一个RF收发器电路1502或1504正在其上进行发射的频率。在其他实施例中,RF收发器电路1502产生与和RF收发器电路1504相关联的带阻滤波器1612相关联的调谐信号,反之亦然。在一些实施例中,用于可调谐带阻滤波器1612的调谐信号由中央控制器产生。

[0124] 在各种实施例中,可调谐带阻滤波器1612各自使用本领域中已知的可调谐带阻滤波器结构来实现,或者可以使用美国临时申请号62/595,898和62/641,664以及与案卷号INF-2018-P-51523US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51524US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filter(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”、INF-2018-P-51527US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”、INF-2018-P-51528US的题为“Tunable Resonator Element, Filter Circuit and Method(可调谐谐振器元件、滤波器电路和方法)”和INF-2018-P-51529US的题为“Acoustically Coupled Resonator Notch and Bandpass Filters(声学耦合谐振器陷波和带通滤波器)”相对应的共同未决的美国专利申请号_____中公开的可调谐声学滤波器结构来实现。在一些实施例中,可调谐带阻滤波器1612是连续可调谐带阻滤波器。可调谐带阻滤波器1612可以使用图7A至图7F、图8A至图8E、图9A至图9C和图11A至图11C中所示的可调谐声学滤波器结构来实现。在一些实施例中,实施例带通滤波器1602可以从使用例如两个谐振器的1阶开始。在一个特定示例中,使用七个谐振器的3.5阶被使用。然而,应该理解,可以使用任何阶或数量的谐振器,这取决于所实现的特定系统及其规范。

[0125] 应当理解,图16A和图16B的实施例仅是实施例多信道前端电路的两个具体示例。在本发明的替代实施例中,可以针对RF收发器1502和/或1504的接收信道实现多于或少于四个接收路径,并且可以针对RF收发器1502和/或1504的发射信道提供多于一个发射信

道。此外，根据所实施的特定系统及其规范，可以使用不同的接收和发射拓扑。除了功率检测之外，还可以执行其他功能，诸如测量TX输出信号的 TX线性度（用于数字预失真或包络跟踪的自适应）或用于天线调谐的天线阻抗测量（测量前向和反射信号的幅度和相位）。为简单起见，收发器1502和1504被示为分离的设备。然而，在一个实施例中，可以将它们集成到一个物理设备中。

[0126] 正如本发明的实施例可以被应用于RF收发器的接收路径一样，本发明的实施例也可以以与如本文关于图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B和图21A至图21B所描述的RF收发器的发射路径类似的方式被应用。例如，这些实施例可以针对诸如蜂窝电话、智能手表、可穿戴设备和IoT（物联网）设备之类的系统。更具体地，实施例可以针对用于系统的多频带RF前端设计，所述系统包括但不限于FDD系统、利用上行链路载波聚合的系统、以及其中多个发射机同时有效的双/多连接系统。

[0127] 由于支持的频带、模式和多个连接的数量不断增加，RF前端的复杂性日益增加，导致实际系统实现中的插入损耗更高。这种更高的插入损耗导致发射路径中功率放大器电流消耗增加并且接收机参考灵敏度降低。具有同时有效的多个发射机例如以支持上行链路载波聚合的系统以及双/多连接系统（多Sim、多RAT、蜂窝/Wi-Fi）的系统可能会经历不同发射信号之间的互调，导致难以满足频谱射出和自干扰要求并且影响接收机性能。

[0128] 当前的FDD（频分双工）解决方案可以使用高隔离双工滤波器来在接收频带处提供发射路径和接收路径之间的高隔离以将由发射机中产生的噪声对接收机的直接减敏最小化，以及在发射频带处提供发射路径和接收路径之间的高隔离以保护敏感接收机免受高功率发射信号的影响，这些信号可能会由于诸如IP₂、IP₃和相互混频之类的非线性效应而降低接收机的性能。然而，使用这些高隔离双工滤波器需要以双工滤波器复杂性和插入损耗为代价。

[0129] 在本发明的实施例中，RF系统的发射路径中的一个或多个可重构（例如，可调谐或可切换）带阻滤波器被用来关于无线电前端复杂度、PCB面积、发射功耗、发射频谱射出纯度和接收参考灵敏度中的一个或多个而改善整体系统性能。使用如下所述的各种技术解决了这种改善。

[0130] 本发明的实施例的优点包括支持多个发射频带、发射模式和多个连接的能力，同时具有降低的功率放大器电流消耗和增加的参考灵敏度。

[0131] 图17A至图17C示出了包括组合的接收/发射天线和双工器的实施例RF系统的框图。双工器的要求是在发射频带中以及在接收频带中提供TX路径和RX路径之间的隔离。通过在发射路径中在功率放大器（PA）之前和/或之后使用带阻滤波器而衰减接收频带内的能量，来放松双工器的接收频带中的隔离要求。在PA之前，也可以将滤波器放置在接收频带的图像频带处，该频带也可以通过PA中的非线性效应而被折叠到接收频带。可选地，可以通过在接收路径中在低噪声放大器（LNA）之前和/或之后使用可调谐滤波器（其可以是带阻、带通或其他滤波器），来放宽双工器的发射频带中的隔离要求。在一些实施例中，这可以导致在一个示例中从大约45dB到38dB的大约7dB的隔离要求的放松。通过放松这些隔离要求，可以在系统中使用具有较低插入损耗和可能较小封装尺寸的低阶双工器。

[0132] 图17A示出了包括RF收发器1702的实施例RF系统1700，RF收发器1702具有发射输出（TX）和接收输入（RX）。发射路径包括可调谐带阻滤波器1710，随后是功率放大器（PA）

1704、双工器1716 和天线1708。在各种实施例中,可调谐带阻滤波器1710被调谐为在接收频率处具有陷波。接收路径包括LNA 1706、耦合到LNA 1706 的输入的可调谐滤波器1714和耦合到LNA 1706的输出的可调谐滤波器1712。这些可调谐滤波器1712和1714可以被配置为调谐到发射频率的带阻滤波器和/或者可以被配置为调谐到接收频率的带通滤波器。滤波器1712和1714的使用可以被用来进一步降低双工器滤波器1716 的隔离要求。应当理解,包括可调谐滤波器1712和1714中的一个或 两个是可选的,并且一些实施例系统省略了这些滤波器。

[0133] 如图17A中所示,带阻滤波器1710耦合到功率放大器1704的输入。通过将可调谐带阻滤波器1710耦合到功率放大器1704的输入,功率放大器1704的输入处于比功率放大器1704的输出更低的功率域中,可调谐带阻滤波器1710的插入损耗对系统的功耗具有可忽略的影响。

[0134] 在一些实施例中,功率放大器1704包括串联耦合的多个功率放大器级。在一些实施例中,多个功率放大器级可以在每一级之间具有附加的滤波,诸如附加的带阻滤波。可替代地,在一些实施例中,在功率放大器1704的每一级之间不提供附加的带阻滤波。

[0135] 图17B示出了实施例RF系统1720,其类似于图17A的RF系统 1700,但进一步包括在功率放大器1704的输入处与可调谐带阻滤波器1710串联耦合的第二可调谐带阻滤波器1722。在一个实施例中,可调谐带阻滤波器1722被调谐到接收图像频率。因此,在RF收发器1702的发射输出处出现的在接收图像频率处的任何能量在其被混合到接收频率之前被衰减。在一些实施例中,这可以进一步放松双工器 1716的隔离要求。

[0136] 图17C示出了实施例RF系统1730,其类似于图17B的RF系统 1720,但进一步包括耦合到功率放大器1704的输出的第三可调谐带阻滤波器1732。在各种实施例中,可调谐带阻滤波器1732被调谐到接收频率。在一些实施例中,可以省略功率放大器1704的输入处的可调谐带阻滤波器1710和1722。

[0137] 图18A至图18D示出了具有组合的接收/发射天线的实施例RF 系统,其中双工器被在发射路径中和在接收路径中的可调谐带阻滤波器和可调整移相器/匹配网络替换。在各种实施例中,发射路径中的可调谐带阻滤波器被调谐到接收频率,以便衰减在接收频率处的发射噪声,并且发射路径中的可调整移相器/匹配网络被调整以变换在陷波接收频率处的可调整带阻滤波器的阻抗,使得阻抗接近开路并且在接收频率处不加载输出。类似地,接收路径中的可调谐带阻滤波器被调谐到发射频率以在发射信号到达接收机之前衰减发射信号,并且接收路径中的可调整移相器/匹配网络被调整以变换在陷波发射频率处的可调整带阻滤波器的阻抗,使得阻抗接近开路并且在发射频率处不加载输出。在一些实施例中,由本文描述的可调整移相器/匹配网络执行的阻抗变换将阻抗从较低阻抗变换为较高阻抗。

[0138] 这些实施例的优点包括消除在不同频带(诸如不同LTE频带)处操作的RF系统中的固定频率双工器的能力。这样,一个可调谐发射/接收路径对可以覆盖多个频带,并且用固定频率双工器替换多个发射/接收路径对。

[0139] 图18A示出了包括RF收发器1702的实施例RF系统1800,RF收发器1702具有发射输出(TX)和接收输出(RX)。发射路径包括功率放大器1704,随后是可调谐带阻滤波器1802、可调谐移相器1804 和天线1708。接收路径包括可调谐移相器1808,随后是可调谐带阻滤

波器1806和LNA 1706,LNA 1706的输出耦合到RF收发器1702 的接收输入。

[0140] 在一个实施例中,发射路径的带阻滤波器1802被调谐到接收频率,以便衰减由发射路径在接收频率处生成的噪声并且减少在接收频率处接收的噪声量。移相器1804被调谐,使得可调谐带阻滤波器1802 在陷波频率处的输出阻抗被变换为接近在移相器1804的输出处的开路的阻抗。这防止可调谐带阻滤波器1802在接收频率处加载RF系统 1800的输出。

[0141] 类似地,接收路径的带阻滤波器1806被调谐到发射频率,以便 衰减由RF收发器1702生成的发射信号,并且防止发射信号过载和/ 或使LNA减敏。移相器1808被调谐,使得可调谐带阻滤波器1806 在陷波频率处的输入阻抗被变换为约等于在移相器1808的输入(例如,耦合到天线1708的移相器1808的端口)处的开路的阻抗。这防止可调谐带阻滤波器1806在发射频率处加载RF系统1800的输出。

[0142] 图18B示出了实施例RF系统1820,其类似于图18A的RF系统 1800,但进一步包括耦合在RF收发器1702的发射输出的输出与功率 放大器1704的输入之间的另一可调谐带阻滤波器1822。在一个实施 例中,可调谐带阻滤波器1822也被调谐到接收频率,以便进一步衰 减由RF收发器1702的发射机生成的能量。

[0143] 图18C示出了实施例RF系统1830,其类似于图18B的RF系统 1820,但是除了耦合在RF收发器1702的发射输出的输出与功率放大 器1704的输入之间的可调谐带阻滤波器1822之外进一步包括另一个 可调谐带阻滤波器1832。在一个实施例中,可调谐带阻滤波器1832 被调谐到接收图像频率。因此,在RF收发器1702的发射输出处出现 的在接收图像频率处的任何能量在其通过功率放大器1704中的非线 性而混合到接收频率之前被衰减。

[0144] 图18D示出了实施例RF系统1840,其类似于图18C的RF系统 1830,其中进一步添加了耦合在LNA 1706的输出与RF收发器1702 的接收输入之间的可调谐带阻滤波器1842。在一个实施例中,可调谐 带阻滤波器1842被调谐到发射频率以提供进一步的发射隔离。应该 理解,图18A至图18D仅是四个示例实施例。使用带阻滤波器和移 相器代替双工滤波器的其他RF系统和配置也是可能的。例如,在图 18A和图18B的实施例中,可调谐带阻滤波器1842 也可以耦合在LNA 1706与RF收发器1702的接收输入之间。

[0145] 图19A至图19C示出了实施例RF系统,其中通过使用分离的发 射和接收天线而不是使用双工滤波器和单个天线来实现发射路径和 接收路径之间的隔离。此外,可调谐带阻 滤波器被用来衰减发射路径 中的接收频率和/或接收图像频率处的频率并且衰减接收路 径内的发 射频率。

[0146] 这些实施例的优点包括通过接收信号路径和发射信号路径中的 单对可配置带阻 滤波器来替换通常不同(例如,LTE)频带所需的多 个固定频率双工器的能力。

[0147] 图19A示出了实施例RF系统1900,其包括具有发射输出(TX) 和接收输入(RX)的RF 收发器1702。发射路径包括可调谐带阻滤 波器1906,随后是功率放大器(PA)1704和发射天 线1902。接收路 径包括LNA 1706、耦合到LNA 1706的输入的可调谐带阻滤波器1908 和接 收天线1904。发射路径中的可调谐带阻滤波器1906被调谐到接 收频率,以衰减由RF收发器 1702的发射电路生成的噪声,其将经由 天线1902和1904而被耦合回RF收发器1702的接收 信道。接收路径 中的可调谐带阻滤波器1908被调谐到发射频率,以防止由RF收发器 1702 生成的发射信号过载以及/或者防止使LNA 1706的输入和/或RF 收发器1702的接收电路减

敏。

[0148] 图19B示出了实施例RF系统1920,其类似于图19A的RF系统 1900,但进一步包括在功率放大器1704的输入处与可调谐带阻滤波器1906串联耦合的第二可调谐带阻滤波器1922。在一个实施例中,可调谐带阻滤波器1922被调谐到接收图像频率。因此,在RF收发器1702的发射输出处出现的在接收图像频率处的任何能量在其被混合到接收频率之前被衰减。

[0149] 图19C示出了实施例RF系统1930,其类似于图19B的RF系统 1920,但进一步包括耦合到功率放大器1704的输出的第四可调谐带阻滤波器1932、以及耦合在LNA 1706的输出和RF收发器1702的接收输入之间的第五可调谐带阻滤波器1934。在各种实施例中,带阻滤波器1932被调谐到接收频率以降低到达LNA 1706的噪声量。在一些实施例中,可以省略在功率放大器1704的输入处的可调谐带阻滤波器1906和1922。

[0150] 图20A至图20B示出了针对多发射机系统的实施例RF系统,多发射机系统具有耦合到同一物理天线的同时有效的多于一个发射机。然而,不是使双工器隔离两个发射路径,而是使用带阻滤波器和可调整移相器/匹配网络来隔离两个发射信号路径。这种实施例的优点包括消除同时在不同的频带(诸如不同的LTE频带)中发射的RF系统中的固定频率双工器的能力。

[0151] 图20A示出了RF系统2000,其包括具有两个发射输出TX1和TX2的RF收发器2002。第一发射路径包括第一功率放大器2004,随后是可调谐带阻滤波器2006和可调整移相器/匹配网络2008,其耦合到天线2010。类似地,第二发射路径包括第二功率放大器2012,随后是可调谐带阻滤波器2014和可调整移相器/匹配网络2016,其也耦合到天线2010。第一发射路径的可调谐带阻滤波器2006的陷波频率被调谐到第二信号路径的发射频率,而第二发射路径的可调谐带阻滤波器2014的陷波频率被调谐到第一信号路径的发射频率。通过切除另一发射信号路径的发射频率,减少和/或避免了两个功率放大器2004和2012的输出过载以及两个发射频率之间的互调失真。

[0152] 可调整移相器/匹配网络2008将可调谐带阻滤波器2006的在其陷波频率处的输出阻抗变换为近似于到天线2010的接口处的开路的阻抗,以避免加载输出。类似地,可调整移相器/匹配网络2016将可调谐带阻滤波器2014的在其陷波频率处的输出阻抗变换为近似于到天线2010的接口处的开路的阻抗,以避免加载输出。

[0153] 除了两个发射信道之外,图20A中所示的RF系统2000的概念还可以被扩展为包含更多信道,或者甚至添加接收信道。例如,如图20B中所示,RF系统2030包括RF收发器2032,其包括两个发射输出TX1和TX2以及接收输入RX。耦合到第一发射输出TX1的第一发射路径包括功率放大器2034,随后是两个可调整带阻滤波器2036和2038,随后是耦合到共用天线2042的可调整移相器/匹配网络2040。类似地,耦合到第二发射输出TX2的第二发射路径包括功率放大器2044,随后是两个可调整带阻滤波器2046和2048,随后是耦合到共用天线2042的可调整移相器/匹配网络2050。接收路径包括耦合到共用天线2042的可调整匹配网络2058、可调谐带阻滤波器2054和2056以及LNA 2052,其具有耦合到RF收发器2032的接收输入RX的输出。

[0154] 第一发射路径的可调谐带阻滤波器2036和2038被调谐,以在第二发射路径的发射频率处提供陷波并且在接收路径的接收频率处提供陷波。可调整移相器/匹配网络2040

被配置为将可调谐带阻滤波器 2036和2038的陷波频率处的阻抗变换为近似开路的输出阻抗,以避免在这些陷波频率处加载输出。

[0155] 类似地,第一发射路径的可调谐带阻滤波器2046和2048被调谐,以在第一发射路径的发射频率处提供陷波并且在接收路径的接收频率处提供陷波。可调整移相器/匹配网络2050被配置为将可调谐带阻滤波器2046和2048的陷波频率处的阻抗变换为近似开路的输出阻抗,以避免在这些陷波频率处加载输出。

[0156] 最后,接收路径的可调谐带阻滤波器2054和2056被调谐,以在第一发射路径的发射频率处提供陷波并且在第二发射路径的发射频率处提供陷波。可调整移相器/匹配网络2058被配置为将可调谐带阻滤波器2054和2056的陷波频率处的阻抗变换为近似开路的输出阻抗,以避免在这些陷波频率处加载输出。在一些实施例中,可调整移相器/匹配网络2040、2050和2058每个包括串联耦合的两个可调整移相器/匹配网络,每个移位器/匹配网络被配置为针对单个陷波频率提供阻抗变换。

[0157] 通过在每个信号路径中具有带阻滤波器以切除剩余信号路径的敏感频率,衰减和/或显著降低了信号路径之间的干扰。应该理解,图 20A和图20B的实施例可以被扩展到任何数量的发射和/或接收信号路径。

[0158] 如在图21A和图21B中所示,本发明的实施例还可以被扩展到时分双工(TDD)系统。在各种实施例中,带阻滤波器被用来切除由共享相同天线或具有与实施例TDD系统非常接近的天线的其他收发器系统使用的临界频率。如图21A中所示,RF系统2100包括具有发射输出TX和接收输入RF的RF收发器2102。发射路径包括具有的输入耦合到RF收发器2102的发射输出TX的功率放大器2104、耦合到功率放大器2104的输出的可调谐带阻滤波器2106和传输开关2108。接收信号路径包括LNA 2112,其输入耦合到传输开关2108并且其输出耦合到RF收发器2102的接收输入。可选的可调谐滤波器2114可以耦合在传输开关2108和LNA 2112之间。

[0159] 在操作期间,传输开关2108根据RF收发器2102是在发射还是接收,选择性地将接收路径或发射路径之一耦合到天线2110。例如,当RF收发器2102正在发射时,发射路径经由传输开关2108耦合到天线2110。另一方面,当RF收发器2102正在接收时,接收路径经由传输开关2108耦合到天线2110。可选的第二收发器系统2118还耦合到天线2110,并且可以与RF收发器2102同时发射和/或接收。在一些实施例中,可选的第二收发器系统2118可以包括多于一个收发器和/或多于一个接收和/或发射路径。可选的第二收发器系统2118与系统的其余部分之间的接口2116被描绘为云,并且可以被实现为与传输开关2108和天线2110的直接连接,或者可以使用本领域中已知的其他耦合电路来实现。

[0160] 在各种实施例中,耦合到发射路径中的功率放大器的输出的可调谐带阻滤波器2106可以被调谐到RF系统2100的临界频率。例如,在双连接性系统中,可调谐带阻滤波器2106的频率可以被调谐到可选的第二收发器系统2118的接收频率。在上行链路载波聚合(ULCA)系统中,可调谐带阻滤波器2106的频率可以被调谐到可选的第二收发器系统2118的发射频率。此外,可选的接收滤波器2114可以被调谐和/或配置为抑制由可选的第二收发器系统生成的频率。在进一步实施例中,可调谐带阻滤波器2106可以使用多个可调谐带阻滤波器来实现,每个可调谐带阻滤波器被调谐到RF系统2100的不同临界频率。类似地,可选的接收滤波器2114可以被配置为抑制RF系统2100的不同临界频率。虽然图20A示出了

具有两个发射信号路径的系统,但是应该理解,在一些实施例中,RF系统2000可以包括两个以上的发射信号路径。

[0161] 图21B示出了RF系统2130,其类似于图21A的RF系统2100,但进一步包括耦合在RF收发器2102的发射输出TX与功率放大器2104的输入之间的附加的带阻滤波器2132。在各种实施例中,带阻滤波器2132可以被配置为抑制在RF系统2130内接收和/或生成的一个或多个临界频率,包括由可选的第二收发器系统2118接收和生成的频率。在一些实施例中,可以省略耦合到功率放大器2104的输出的可调谐带阻滤波器2106以节省功率。虽然图20B示出了具有两个发射信号路径和一个接收信号路径的系统,但是应当理解,在一些实施例中,RF系统2130可以包括多于两个发射信号路径和/或可以包括多于一个接收信号路径。

[0162] 在各种实施例中,图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B和图21A至图21B中描绘的包括可调谐带阻滤波器、可调谐带通滤波器和可调谐移相器/匹配网络的可调谐滤波器可以使用本领域已知的可调谐滤波器结构来实现。

[0163] 在各种实施例中,图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B和图21A至图21B中描绘的可调谐带阻滤波器可以使用本领域中已知的可调谐带阻滤波器结构来实现,或者可以使用本文公开的可调谐声学滤波器结构来实现。例如,可以使用图7A至图7N、图8A至图8E、图9A至图9C和图11A至图11C中所示的声学滤波器结构。在一些实施例中,可以使用连续可调谐电路来实现这些带阻滤波器。可调谐带通滤波器可以使用本领域中已知的电路、连续可调谐电路和/或图9A至图9C、图10A至图10G、图11A至图11C、图12A至图12E和13A至图13E中所示的基于可调谐声学滤波器的带通结构来实现。

[0164] 图18A至图18D和图20A至图20B中描绘的各种可调整移相器/匹配网络电路可以使用本领域中已知的可调整移相器/匹配网络电路来实现,诸如基于变容二极管和开关电容器的移相电路。所描绘的可调整移相器/匹配网络电路也可以使用上面在图7A至图7N中描绘的可调谐桥接T全通电路来实现。

[0165] 图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B和图21A至图21B中描绘的实施例的优点包括降低的发射路径功率消耗、增加的发射频谱射出纯度、改善的接收路径噪声系数以增加参考灵敏度、由于滤波器部件数量减少(以及滤波器阶数降低)而降低的复杂性、由于部件数量减少而降低的系统和PCB尺寸、以及由于部件数减少、系统复杂度降低并且PCB尺寸降低而降低的系统成本。

[0166] 如所示,例如,在上面的图18A至图18D、图20A至图20B和图21A至图21B中,可以使用RF系统的发射路径的输出处和/或接收路径的输入处的可调谐滤波器来替换多个发射、接收和/或双工滤波器。该概念可以被概括并扩展到多个系统、实现和架构,如图22中所示,其示出了一个表格,其描绘了在表格的左侧上的发射/接收路径/组合结构A、B、C、D和E以及在表格的顶侧上的发射/接收路径滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII。在本发明的实施例中,发射/接收路径/组合结构A、B、C、D和E可以与发射/接收路径滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII组合,以形成各种实施例发射/接收路径实现。发射/接收路径/组合结构A、B、C、D和E中的每一个包括接收路径和发射路径,其可以耦合到RF收发器的相应发射路径输出和接收路径输入端子,诸如在上面的附图中所描绘的那些。

[0167] 发射/接收路径/组合结构A描绘了包括发射路径(TX路径)、接收路径(RX路径)、发射/接收开关、RF滤波器H(f)和天线的结构。发射/接收路径/组合结构A可以被使用在例如TDD系统中,其中发射/接收开关在信号发射期间将发射路径(TX路径)耦合到天线,并且在信号接收期间将接收路径(RF路径)耦合到天线。在标题A_I、A_{II}、A_V、A_{VI}、A_{VII}、A_{IX}、A_X和A_{XI}下描绘的滤波器结构表示可以被用来实现RF滤波器H(f)的不同配置。例如,滤波器H(f)可以使用表示可调谐带阻滤波器的滤波器配置A_I来实现,其可以被用来抑止系统中另一个发射机的发射频率处的信号,以在接收路径中提供较低噪声。滤波器配置A_{II}表示可以被调谐到发射频率和/或接收频率以便抑止带外干扰的可调谐带通滤波器。滤波器配置A_V表示可以被用来抑制固定频率干扰的固定频带抑制滤波器,并且滤波器配置A_{VI}表示可以被设置为具有包括发射和接收频率二者的中心频率的固定带通滤波器。

[0168] 滤波器配置A_{VIII}表示可调谐带阻滤波器,随后是固定带通滤波器,并且滤波器配置A_X表示固定带通滤波器,随后是可调谐带阻滤波器。在这些配置中,可调谐带阻滤波器可以被用来高度抑止由RF系统中的其他发射机生成的其他发射频率,并且固定带通滤波器可以被用来在发射和接收路径的频率彼此接近或相同的情况下衰减带通滤波器的通带外的噪声和干扰。

[0169] 表示可调谐带阻滤波器、随后是可调谐带通滤波器的滤波器配置A_{IX}和表示可调谐带通滤波器、随后是可调谐带阻滤波器的滤波器配置A_{XI}可以被用来高度抑止由RF系统中的其他发射机生成的其他发射频率,以及衰减带通滤波器的通带外的噪声和干扰。

[0170] 在各种实施例中,发射/接收路径/组合结构B、C、D和E以及滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII可以被用来在不需要使用双工器或固定RF滤波器组的FDD系统中实现接收和发射路径。这些组合在表格中用字母(A、B、C、D和E)和罗马数字(I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII)来指定。例如,具有滤波器配置VII的发射/接收路径/组合结构C的实现被指定为C_{VII},并且具有滤波器配置I的发射/接收路径/组合结构E的实现被指定为E_I等。

[0171] 发射/接收路径/组合结构B包括发射路径和接收路径,发射路径具有滤波器H_{TX}(f),随后是耦合到共用天线的可调整移相器/匹配网络,接收路径具有滤波器H_{RX}(f),随后是耦合到共用天线的另一个可调整移相器/匹配网络。每个可调整移相器/匹配网络可以被用来将一个信号路径中的滤波器的阻带阻抗变换为近似于到另一个信号路径的开路的阻抗。例如,发射路径的可调整移相器/匹配网络可以将滤波器H_{TX}(f)的阻带阻抗变换为近似于在接收路径的接收频率处的开路的阻抗,以避免加载接收路径的输入并衰减接收信号。类似地,接收路径的可调整移相器/匹配网络可以将滤波器H_{RX}(f)的阻带阻抗变换为近似于在发射路径的发射频率处的开路的阻抗,以避免加载发射路径。发射滤波器H_{TX}(f)和接收滤波器H_{RX}(f)可以使用滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII中的一种来实现,如下所解释。发射滤波器H_{TX}(f)和接收滤波器H_{RX}(f)传递函数和可调整移相器/匹配网络的组合提供了发射路径和接收路径之间的隔离。

[0172] 在一些实施例中,在发射信号路径中耦合到天线的可调整移相器/匹配网络的输出可以被认为是发射天线端口,并且在接收信号路径中的耦合到天线的可调整移相器/匹配网络的输入可以被认为是接收天线端口。在这种情况下,发射天线端口和接收天线端口二者耦合在一起。

[0173] 发射/接收路径/组合结构C包括具有滤波器 $H_{TX}(f)$ 的发射路径和具有滤波器 $H_{RX}(f)$ 的接收路径。使用RF循环器将发射路径和接收路径耦合到天线。在一个实施例中,循环器针对从发射路径传播到天线以及从天线传播到接收路径的信号提供低插入损耗,但是将从发射路径传播到接收路径和从接收路径传播到天线的信号隔离。循环器可以例如使用本领域已知的循环器结构来实现,例如使用以下参考文献中公开的结构:H.Oriya, T.Wada, H.Hayafuji, T.Ogami, M.Tani, M.Koshino, M.Kawashima和N.Nakajima, “A New Tunable RF Front-End Circuit for Advanced 4G Handsets (用于高级4G手机的新型可调谐RF前端电路)”, 2014IEEE MTT-S Int.Microwave Symp, 摘要, 会议WEP-54, 2014年6月; T.Ogami, M.Tani, K.Ikada, H.Kando, T.Wada, H.Obiya, M.Koshino, M.Kawashima和N.Nakajima, “A New Tunable Filter Using Love Wave Resonators for Reconfigurable RF (使用Love波谐振器用于可重构RF的新型可调谐滤波器)”, 2014IEEE MTT-S Int.Microwave Symp, 摘要, 会议TU3A-2, 2014年6月; 和 T.Wada, R.Nakajima, H.Obiya, T.Ogami, M.Koshino, M.Kawashima和N.Nakajima, “A Miniaturized Broadband Lumped Element Circulator for Reconfigurable Front-end System (用于可重构前端系统的微型宽带集总元件循环器)”, 2014IEEE MTT-S Int. Microwave Symp, 摘要, 会议WEP-28, 2014年6月, 这些参考文献通过引用被并入。在一些实施例中,循环器可以被调谐和/或匹配到由相应的接收和发射路径使用的接收和发射频率。发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 和接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 可以使用滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII中的一种来实现,如将在下面解释。

[0174] 发射/接收路径/组合结构D包括发射路径和接收路径,发射路径具有包括同相发射滤波器 $H_{TXi}(f)$ 的同相发射路径(TX路径(I))和包括正交发射滤波器 $H_{TXq}(f)$ 的正交发射路径(TX路径(Q)),接收路径(RX路径)包括接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 。经由四端口正交组合器实现天线与接收路径、同相发射路径和正交发射路径之间的耦合,四端口正交组合器例如可以使用本领域已知的正交组合器结构和/或诸如Fisher混合之类的正交混合结构来实现。如所示,同相发射路径耦合到正交组合器的输入端口,正交发射路径耦合到正交组合器的隔离端口,接收路径耦合到正交组合器的 -45° 端口,并且天线耦合到正交组合器的 $+45^\circ$ 端口。在操作期间,RF收发器(未示出)生成彼此异相 90° 的同相发射信号和正交发射信号。在一些实施例中,可以使用诸如多相滤波器之类的正交分路器/组合器电路来生成同相发射信号和正交发射信号。因此,组合结构D形成四端口混合滤波器布置,其允许从发射路径到天线以及从天线到接收路径的良好耦合,但是提供从发射路径到接收路径的隔离。发射滤波器 $H_{TXi}(f)$ 和 $H_{TXq}(f)$ 以及接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 可以使用滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII之一来实现,如将在下面解释。

[0175] 发射/接收路径/组合结构E包括发射路径和接收路径,发射路径具有滤波器 $H_{TX}(f)$,随后是耦合到发射天线的可调整移相器/匹配网络,接收路径具有滤波器 $H_{RX}(f)$,随后是耦合到分离的接收天线的另一个可调整移相器/匹配网络。每个可调整移相器/匹配网络可以被用来将滤波器在一个信号路径中的阻带阻抗变换为近似于到其相应天线的开路(或其他阻抗)的阻抗。向潜在的干扰信号提供这种更高的阻抗进一步减少了耦合到相应信号路径的干扰信号能量的量。在一些实施例中,两个可调整移相器被调谐以在两个天线之间提供最大隔离。发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 和接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 可以使用滤波器配置I、II、

III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII之一来实现,如将在下面解释。

[0176] 在一些实施例中,在发射信号路径中耦合到天线的可调整移相器/匹配网络的输出可以被认为是发射天线端口,并且在接收信号路径中耦合到天线的可调整移相器/匹配网络的输入可以被认为是接收天线端口。在这种情况下,与上面讨论的发射/接收路径/组合结构E不同,相应的接收和发射天线端口耦合到分离的天线。

[0177] 如上所提及,每个滤波器 $H_{TX}(f)$ 和接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 可以使用图22中描绘的滤波器配置I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X、XI和XII之一来实现。滤波器配置I将发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止在接收频率处的发射噪声的可调谐带阻滤波器,并将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号的可调谐带阻滤波器。

[0178] 滤波器配置II将发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便抑止发射噪声并且发射杂散射出的可调谐带通滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑制一个或多个发射信号和/或带外干扰的可调谐带通滤波器。

[0179] 滤波器配置III将发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便抑制发射噪声并且发射杂散射出的可调谐带通滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号的可调谐带阻滤波器。

[0180] 滤波器配置IV将发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止在接收频率处的发射噪声的可调谐带阻滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止一个或多个发射信号和/或带外干扰的可调谐带通滤波器。

[0181] 滤波器配置V将在发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止在接收频率处的发射噪声的固定带阻滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号的固定带阻滤波器。

[0182] 滤波器配置VI将在发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以抑止发射噪声并且发射杂散射出的固定带通滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号的可调谐带阻滤波器。

[0183] 滤波器配置VII将在发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止在接收频率处的发射噪声的可调谐带阻滤波器,并且将接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为被调谐到接收频率以便抑止一个或多个发射信号和/或带外干扰的固定带通滤波器。

[0184] 滤波器配置VIII将在发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为可调谐带阻滤波器,随后是固定频率带通滤波器。可调谐带阻滤波器被调谐到接收频率以抑止在接收频率处的发射噪声,而固定频率带通滤波器用以提供宽带衰减。将在接收路径中的接收滤波器 $H_{RX}(f)$ 实现为可调谐带阻滤波器,随后是固定带通滤波器。可调谐带阻滤波器被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号,并且固定带通滤波器用以提供宽带衰减。

[0185] 滤波器配置IX将在发射路径中的发射滤波器 $H_{TX}(f)$ 实现为可调谐带阻滤波器,随后是可调谐带通滤波器。可调谐带阻滤波器被调谐到接收频率以便抑止在接收频率处的发射噪声,并且可调谐带通滤波器被调谐到发射频率。将在接收路径中的接收滤波器 H_{RX}

(f) 实现为可调谐带阻滤波器,随后是可调谐带通滤波器。可调谐带阻滤波器被调谐到发射频率以便在FDD操作期间抑止发射信号,并且可调谐带通滤波器被调谐到接收频率。

[0186] 滤波器配置X具有与滤波器配置VIII相同的元件,不同之处在于交换了带通滤波器和带阻滤波器的位置,从而将可调谐带阻滤波器放置得更靠近天线端口。例如,当在一些实施例中被用来实现发射/接收路径/组合结构B的滤波器时,使可调谐带阻滤波器更靠近天线端口可能是有用的,因为它允许了带阻滤波器和可调整移相器/匹配网络之间的短信号路径,可调整移相器/匹配网络被用来修改可调谐带阻滤波器的阻抗。然而,将哪个滤波器放置得最靠近天线的选择取决于所实现的特定滤波器的阻抗以及所实现的系统的细节和规范。因此,在一些情况下,改为使用滤波器配置VIII来实现发射/接收路径/组合结构B可能是有利的。

[0187] 滤波器配置XI具有与滤波器配置IX相同的元件,不同之处在于交换了带通滤波器和带阻滤波器的位置,从而将可调谐带阻滤波器放置得更靠近天线端口。如上面关于滤波器配置X所提到,例如,当在一些情况下被用来实现发射/接收路径/组合结构B的滤波器时,使可调谐带阻滤波器更靠近天线端口可能是有用的,因为不同阻抗可能允许更好地实现移相器(例如,更小的尺寸、更好的插入损耗和更高的带宽)。然而,将哪个滤波器放置得最靠近天线的选择取决于所实现的特定滤波器的阻抗以及所实现的系统的细节和规范。因此,在一些情况下,改为使用滤波器配置IX来实现发射/接收路径/组合结构B可能是有利的。

[0188] 滤波器配置XII具有与滤波器配置VIII类似的结构,不同之处在于去除了发射路径中的固定带通滤波器。该配置可以适用于其中发射路径中的滤波器要求不如接收路径中的滤波器要求严格的系统。这种特定的滤波器配置在以下意义上是有利的:它以低成本提供滤波并且在发射路径中具有低插入损耗。

[0189] 应当理解,由图22中描绘的各种实施例表示的RF系统仅是许多可能的实施例RF系统拓扑的子集。在本发明的替代实施例中,可以将附加的滤波器添加到发射和接收路径,以及/或者附加的滤波器组合和置换是可能的。

[0190] 图23、图24A至图24D、图25、图26A至图26B和图27示出了在图22的表格中概括的实施例系统的特定示例。例如,图23示出了对应于使用滤波器配置II(A_{II})的发射/接收路径/组合结构A的TDD系统2300。如所示,图23中描绘的TDD系统2300包括发射路径(TX路径)、接收路径(RX路径)、发射/接收开关2302、可调谐带通滤波器2304和天线2306。在这样的实施例中,在发射路径和接收路径之间共享可调谐带通滤波器2304。在操作期间,发射/接收开关2302选择性地将有效信道耦合到天线。例如,当发射信号路径有效时,发射/接收开关2302将发射信号路径耦合到天线2306,并且当接收路径有效时,发射/接收开关2302将接收信号路径耦合到天线2306。

[0191] 图24A示出了对应于使用滤波器配置II(B_{II})的发射/接收路径/组合结构B的RF系统2400。如所示,发射路径(TX路径)包括可调谐带通滤波器2404,随后是可调整移相器/匹配网络2406和天线2412。类似地,接收路径(RX路径)包括可调谐带通滤波器2408,随后是可调整移相器/匹配网络2410和天线2412。在各种实施例中,可调整移相器/匹配网络2406和2410将其相应可调谐带通滤波器的阻带阻抗变换为近似于在相邻RF信号路径的有效频率处的开路的阻抗,如下所述。

[0192] 图24B示出了可调谐带通滤波器2404在图24A中所描绘的RF系统2400的接收路径中的插入损耗的图。如图所示,可调谐带通滤波器2404具有在约1.80GHz和约1.94GHz之间的通带,其对应于接收频带。

[0193] 在一个实施例中,发射路径被配置为提供在约2.10GHz处的发射信号,其对应于接收路径中的可调谐带通滤波器2404的阻带,发射路径中的可调谐带通滤波器2404被配置为具有约为2.10GHz的中心频率,并且可调整移相器/匹配网络2410被配置为将可调谐发射滤波器2408的输入阻抗旋转到近似于在2.10GHz发射频率处的开路的阻抗,如图24C和图24D中所示的史密斯圆图中所图示的那样。

[0194] 图24C的史密斯圆图示出了可调谐带通滤波器2404在点2422处的1.60GHz与点2424处的2.10GHz之间的输入阻抗(s_{11})。如图所示,在点2424处的2.10GHz处的输入阻抗是电容性的。图24D的史密斯圆图示出了与可调整移相器/匹配网络2410串联耦合的可调谐带通滤波器2404的输入阻抗(s_{11}),其在点2422处的1.60GHz和点2424处的2.10GHz之间。如图所示,可调整移相器/匹配网络2410将点2424处的2.10GHz的输入阻抗从电容性变换为近似开路。因此,接收路径中的可调谐带通滤波器2404可以被配置为不在2.10GHz的发射频率处加载发射信道。应当理解,图24B至图24D中所示的性能图表示仅一个示例实施例的性能,并且不同的实施例可以不同地执行。

[0195] 图25示出了对应于使用滤波器配置II (C_{II})的发射/接收路径/组合结构C的RF系统2500。如图所示,发射路径(TX路径)包括可调谐带通滤波器2502,随后是三端口循环器2506和天线2508。类似地,接收路径(RX路径)包括可调谐带通滤波器2504,随后是三端口循环器2506和天线2508。

[0196] 图26A示出了对应于使用滤波器配置II (D_{II})的发射/接收路径/组合结构D的RF系统2600。如图所示,RF系统2600包括:包括可调谐带通滤波器2602的同相发射路径(I相TX路径)、包括可调谐带通滤波器2604的正交发射路径(Q相TX路径)、以及包括可调谐带通滤波器2606的接收路径(RX路径)。经由正交组合器2608实现天线2610与接收路径、同相发射路径和正交发射路径之间的耦合。如图所示,同相发射路径耦合到正交组合器的输入端口,正交发射路径耦合到正交组合器的隔离端口,接收路径耦合到正交组合器的 -45° 端口,并且天线耦合到正交组合器的 $+45^\circ$ 端口。在操作期间,RF收发器(未示出)生成彼此异相 90° 的同相发射信号和正交发射信号,或者使用正交分离器/组合器电路生成同相和正交信号。

[0197] 图26B示出了图26A中所示的RF系统2600的端口2和端口1之间以及端口3和端口1之间的选择性和插入损耗的图。迹线2620表示端口2和端口1之间(发射路径)的选择性;迹线2622表示端口2和端口1之间(发射路径)的插入损耗;迹线2624表示端口3和端口1之间(接收路径)的选择性;迹线2626表示端口3和端口1之间(接收路径)的插入损耗。

[0198] 从图26B中可以看出,其选择性由迹线2620表示的接收路径具有在约1.8GHz和约1.92GHz之间的通带,而其选择性由迹线2624表示的发射路径具有在约2.2GHz和约2.18GHz之间的通带。应当理解,图26B中所示的性能图表示仅一个示例实施例的性能,并且不同的实施例可以不同地执行。

[0199] 图27示出了对应于使用滤波器配置II (E_{II})的发射/接收路径/组合结构E的RF系统2700。如图所示,发射路径(TX路径)包括可调谐带通滤波器2702,随后是可调整移相器/匹

配网络2704和发射天线2706。类似地,接收路径(RX路径)包括可调谐带通滤波器2708,随后是可调整移相器/匹配网络2710和分离的接收天线2712。在各种实施例中,可调整移相器/匹配网络2704和2710将其相应可调谐带通滤波器的阻带阻抗变换为近似于在相邻RF信号路径的有效频率处的开路的阻抗。

[0200] 在各种实施例中,图17A至图17C、图18A至图18D、图19A至图19C、图20A至图20B和图21A至图21B中描绘的可调谐带阻滤波器可以使用本领域中已知的可调谐带阻滤波器结构来实现,或者是使用本文公开的可调谐声学滤波器结构实现。例如,可以使用图7A至图7F、图8A至图8E、图9A至图9C和图11A至图11C中所示的声学滤波器结构。在一些实施例中,可以使用连续可调谐电路来实现这些带阻滤波器。可调谐带通滤波器可以使用本领域中已知的电路、连续可调谐电路和/或图9A至图9C、图10A至图10G、图11A至图11C和图12A至图12E以及图13A至图13E中所示的基于可调谐声学滤波器的带通结构来实现。

[0201] 图18A至图18D和图20A至图20B中描绘的各种可调整移相器/匹配网络电路可以使用本领域中已知的可调整移相器/匹配网络电路来实现,诸如基于变容二极管和开关电容器的相移电路。所描绘的可调整移相器/匹配网络电路也可以使用上面在图7A至图7F中描绘的可调谐桥接T全通电路来实现。

[0202] 这里总结了本发明的示例实施例。从在此提交的本说明书和权利要求的全部内容中也可以理解其他实施例。

[0203] 示例1.一种操作RF系统的方法,所述方法包括:使用宽带滤波器组对第一宽带RF信号进行滤波,对所述第一RF信号进行滤波包括:将所述第一宽带RF信号分离为频率集群信号,其中所述频率集群信号中的每个频率集群信号包括不同的频率范围,所述第一宽带RF信号包括许多RF频带,并且所述不同的频率范围中的每个频率范围包括所述许多RF频带中的多个RF频带;对所述频率集群信号中的至少一个频率集群信号进行带阻滤波,以产生带阻频率集群信号。

[0204] 示例2.示例1的方法,进一步包括:放大所述带阻频率集群信号。

[0205] 示例3.示例2的方法,其中放大所述带阻频率集群信号包括:使用低噪声放大器(LNA)。

[0206] 示例4.示例1至3之一的方法,其中带阻滤波包括:使用可调谐带阻滤波器,并且所述方法包括:调整所述可调谐带阻滤波器的中心频率。

[0207] 示例5.示例4的方法,其中所述第一宽带RF信号包括第一干扰频率处的干扰信号,并且调整所述可调谐带阻滤波器的所述中心频率包括:将所述中心频率调整为第一干扰频率。

[0208] 示例6.示例1至5之一的方法,其中所述宽带滤波器组包括多个级联双工器。

[0209] 示例7.示例1至6之一的方法,其中所述宽带滤波器组包括n路复用器。

[0210] 示例8.示例1至7之一的方法,进一步包括:从天线接收所述第一宽带RF信号。

[0211] 示例9.一种RF系统,包括:宽带滤波器组,包括输入和多个输出,所述宽带滤波器组被配置为将在所述宽带滤波器组的输入处的宽带RF信号分离成在所述宽带滤波器组的所述多个输出处的多个频率集群,其中所述多个频率集群的每个频率集群包括不同的频率范围,并且每个频率范围覆盖所述宽带RF信号的多个RF频带;以及至少一个带阻滤波器,具有耦合到所述宽带滤波器组的所述多个输出之一的输入。

[0212] 示例10.示例9的RF系统,进一步包括放大器,所述放大器具有耦合到所述带阻滤波器的输出的输入。

[0213] 示例11.示例10的RF系统,其中所述放大器包括低噪声放大器(LNA)。

[0214] 示例12.示例9至11之一的RF系统,其中所述带阻滤波器包括可调谐带阻滤波器。

[0215] 示例13.示例9至12之一的RF系统,其中所述带阻滤波器的中心频率对应于所述宽带RF信号包括干扰信号的频率。

[0216] 示例14.示例9至13之一的RF系统,其中所述宽带滤波器组包括多个级联双工器。

[0217] 示例15.示例14的RF系统,其中所述宽带滤波器组进一步包括n路复用器,所述n路复用器具有耦合到所述多个级联双工器的输出的输入。

[0218] 示例16.示例9至15的RF系统,其中所述宽带滤波器组包括n路复用器。

[0219] 示例17.一种RF系统,包括:第一RF滤波器,具有被配置为耦合到天线的第一输入,所述第一RF滤波器被配置为提供从所述第一输入到第一带通输出通过第一频带的第一带通响应和从所述第一输入到第一带阻输出抑制所述第一频带的第一带阻响应;n路复用器,具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出的输入;以及第一可调谐带阻滤波器,耦合到所述n路复用器的输出。

[0220] 示例18.示例17的RF系统,进一步包括:第二RF滤波器,具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出的第二输入、以及耦合到所述n路复用器的所述输入的第二带阻输出,所述第二RF滤波器被配置为提供从所述第一输入到第二带通输出通过第二频带的第二带通响应和从所述第二输入到第二带阻输出抑制所述第二频带的第二带阻响应。

[0221] 示例19.示例18所述的RF系统,进一步包括:第一低噪声放大器(LNA),具有耦合到所述第一RF滤波器的所述第一带通输出的输入;第二LNA,具有耦合到所述第二RF滤波器的所述第二带通输出的输入;以及第三LNA,具有耦合到所述第一可调谐带阻滤波器的输出的输入。

[0222] 示例20.示例17或18之一的RF系统,其中所述第一RF滤波器的所述第一带通输出被配置为通过WiFi频率,并且所述第二RF滤波器的所述第二带阻输出和所述n路复用器的所述输出被配置为通过蜂窝通信频率。

[0223] 示例21.示例20的RF系统,进一步包括耦合在所述第一RF滤波器的所述输入与所述第一RF滤波器的所述第一带阻输出之间的旁路开关,所述旁路开关被配置为当所述RF系统的WiFi接收机停用时闭合。

[0224] 虽然已经参考说明性实施例描述了本发明,但是该描述并不旨在以限制意义来解释。参考说明书,本领域技术人员将清楚说明性实施例的各种修改和组合以及本发明的其他实施例。因此,所附权利要求旨在涵盖任何这样的修改或实施例。

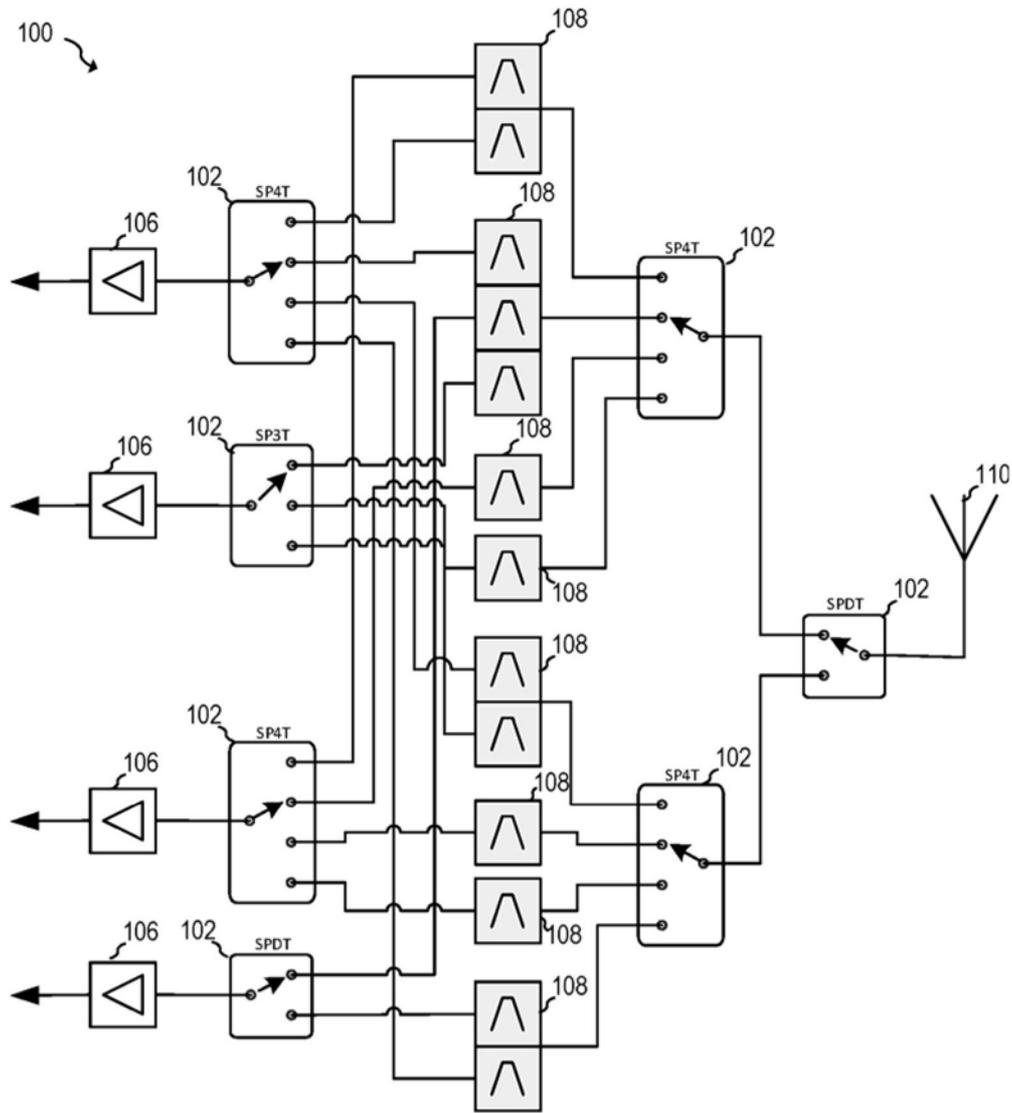


图1

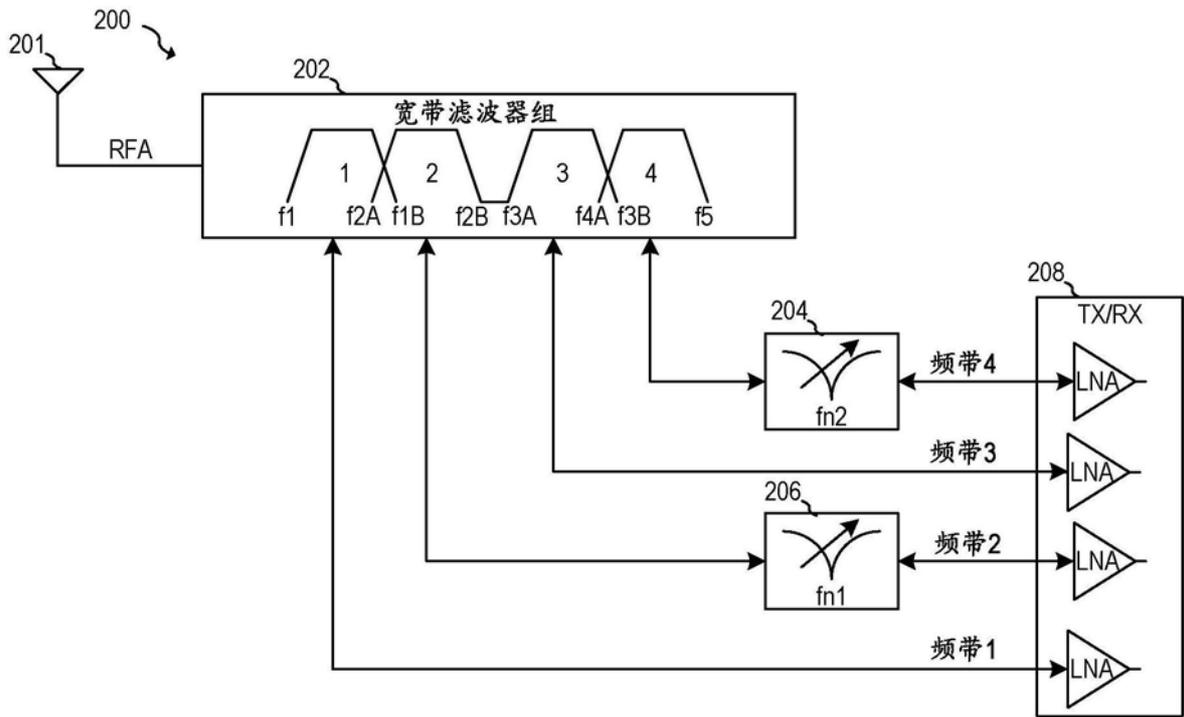


图2A

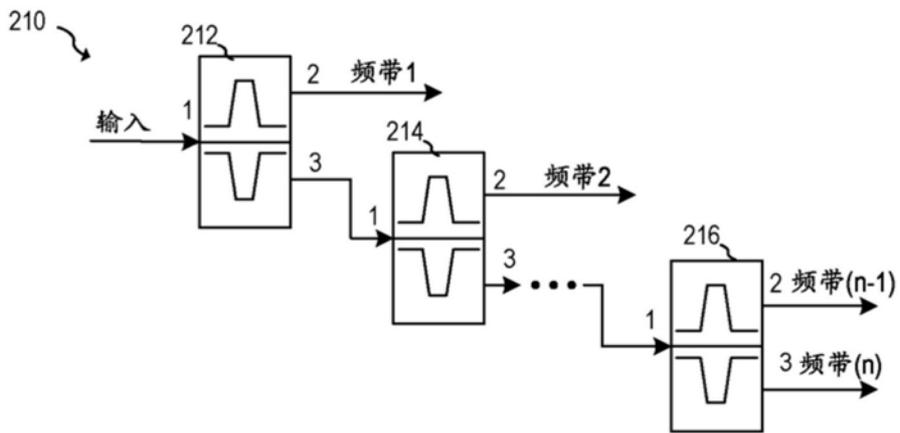


图2B

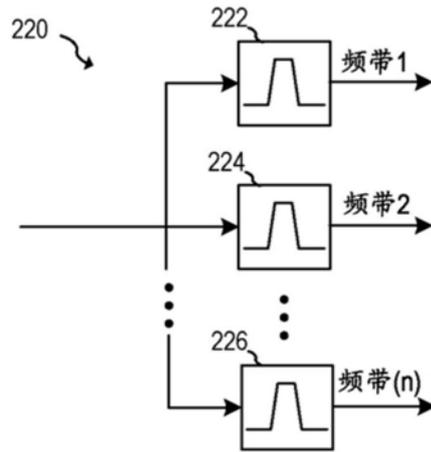


图2C

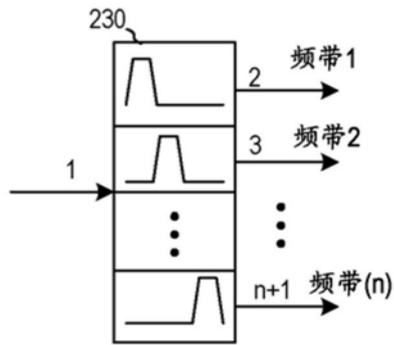


图2D

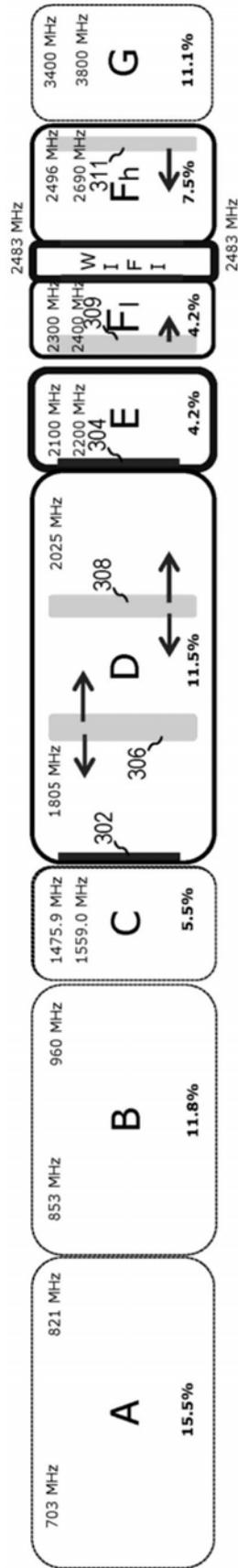


图3A

频带	类型	UL		DL	
3	FDD	1710	1785	1805	1880
9	FDD	1749.9	1784.9	1844.9	1879.9
35	TDD	1850	1910	1850	1910
39	TDD	1880	1920	1880	1920
33	TDD	1900	1920	1900	1920
37	TDD	1910	1930	1910	1930
36	TDD	1930	1990	1930	1990
2	FDD	1850	1910	1930	1990
25	FDD	1850	1915	1930	1995
70	FDD	1695	1710	1995	2020
34	TDD	2010	2025	2010	2025
4	FDD	1710	1755	2110	2155
10	FDD	1710	1770	2110	2170
66	FDD	1710	1780	2110	2200
1	FDD	1920	1980	2110	2170
65	FDD	1920	2010	2110	2200
23	FDD	2000	2020	2180	2200
40	TDD	2300	2400	2300	2400
30	FDD	2305	2315	2350	2360
WiFi	TDD	2400	2483	2400	2482
41	TDD	2496	2690	2496	2690
38	TDD	2570	2620	2570	2620
69	FDD	2570	2620	2570	2620
7	FDD	2500	2570	2620	2690

图3B

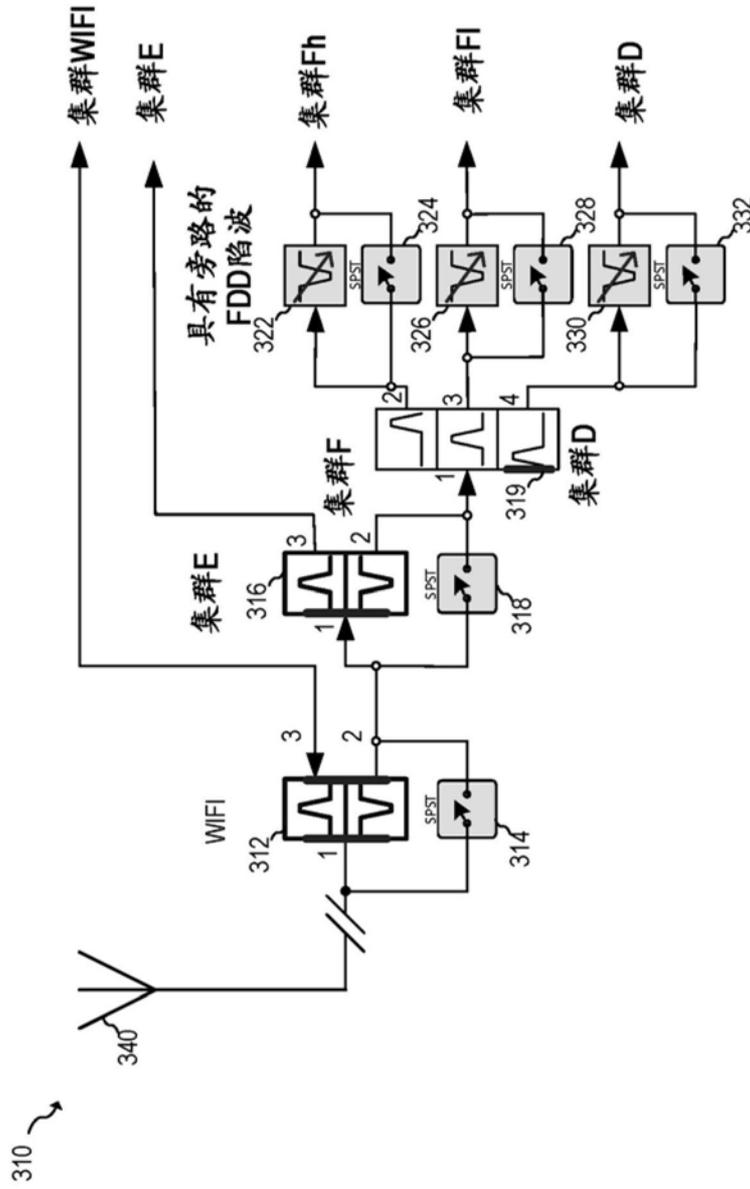


图3C

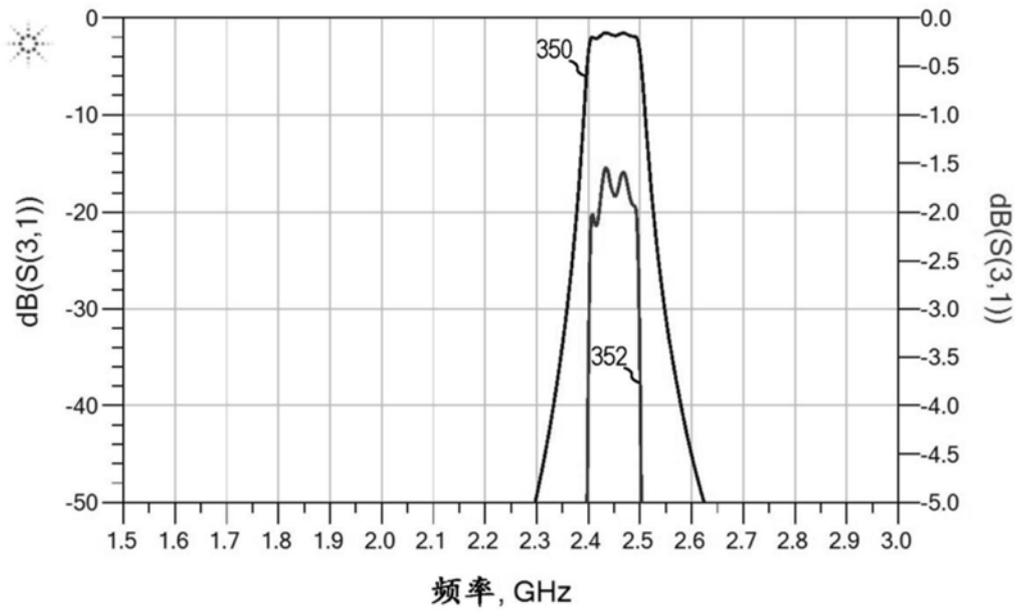


图3D

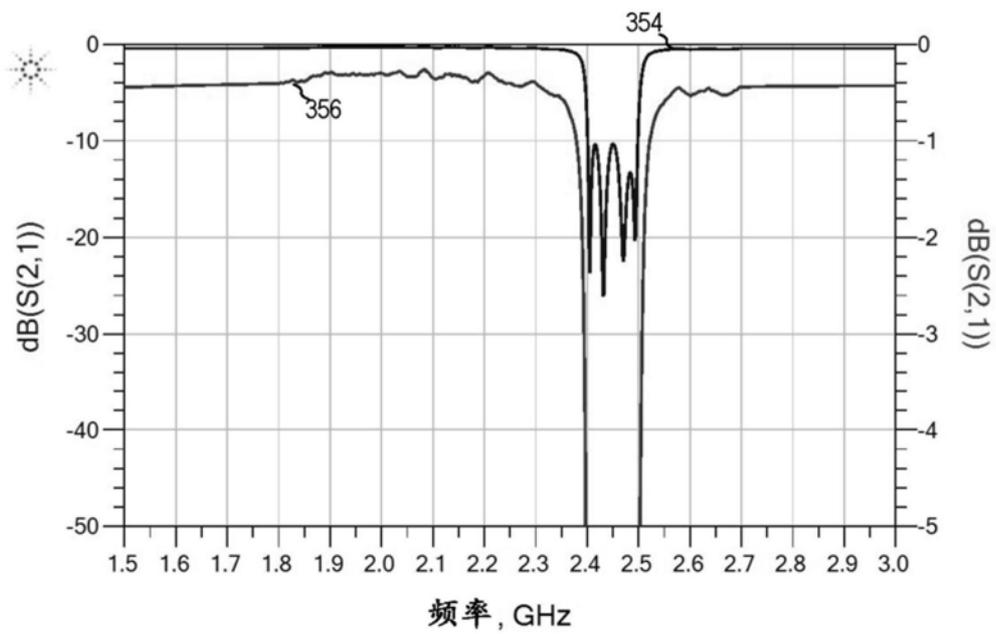


图3E

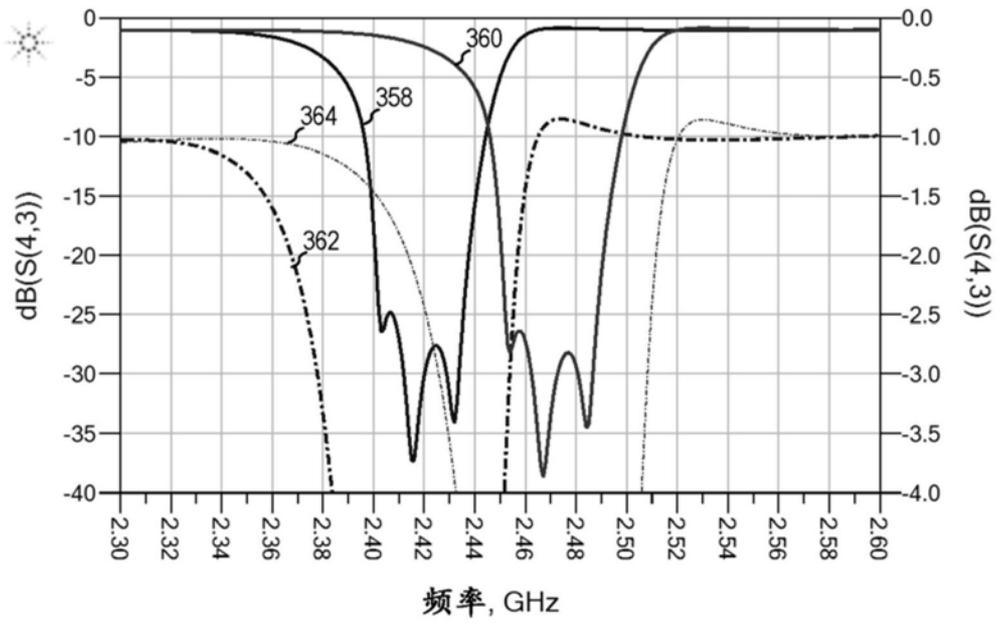


图3F

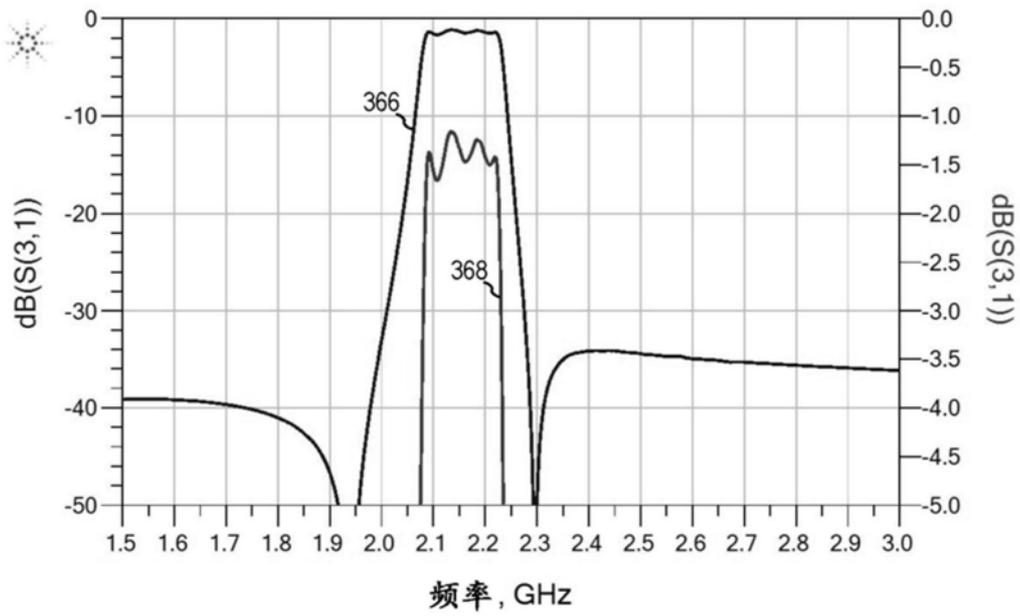


图3G

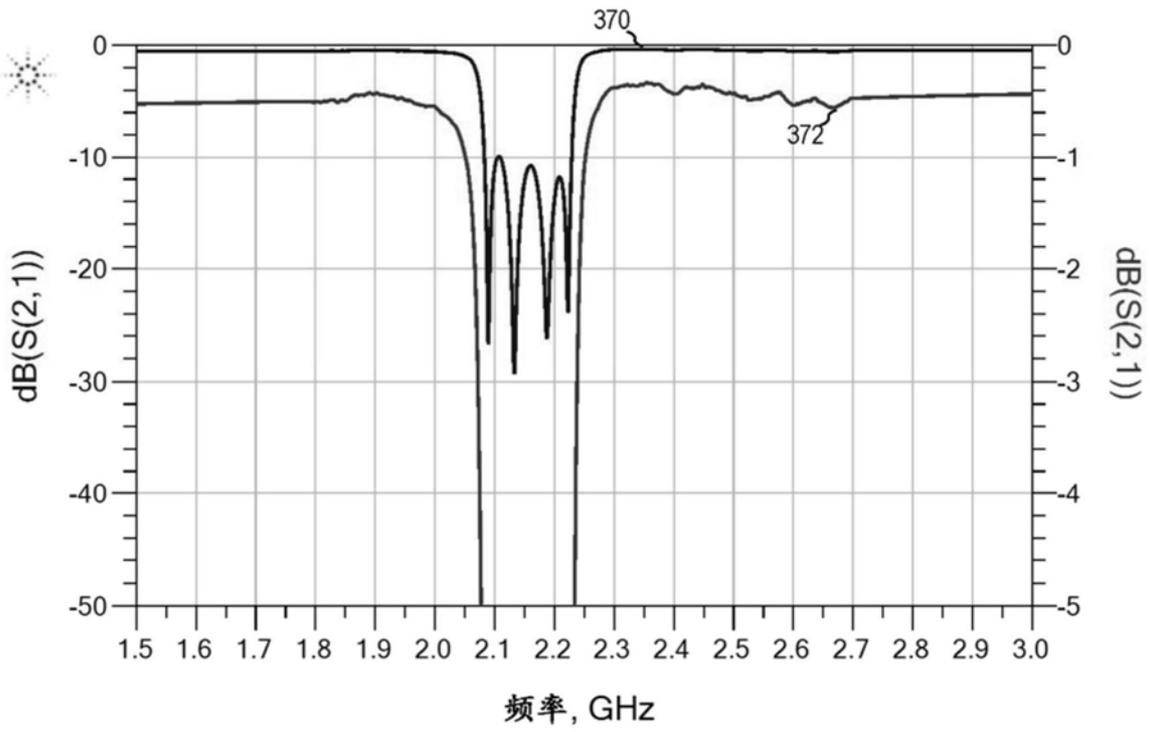


图3H

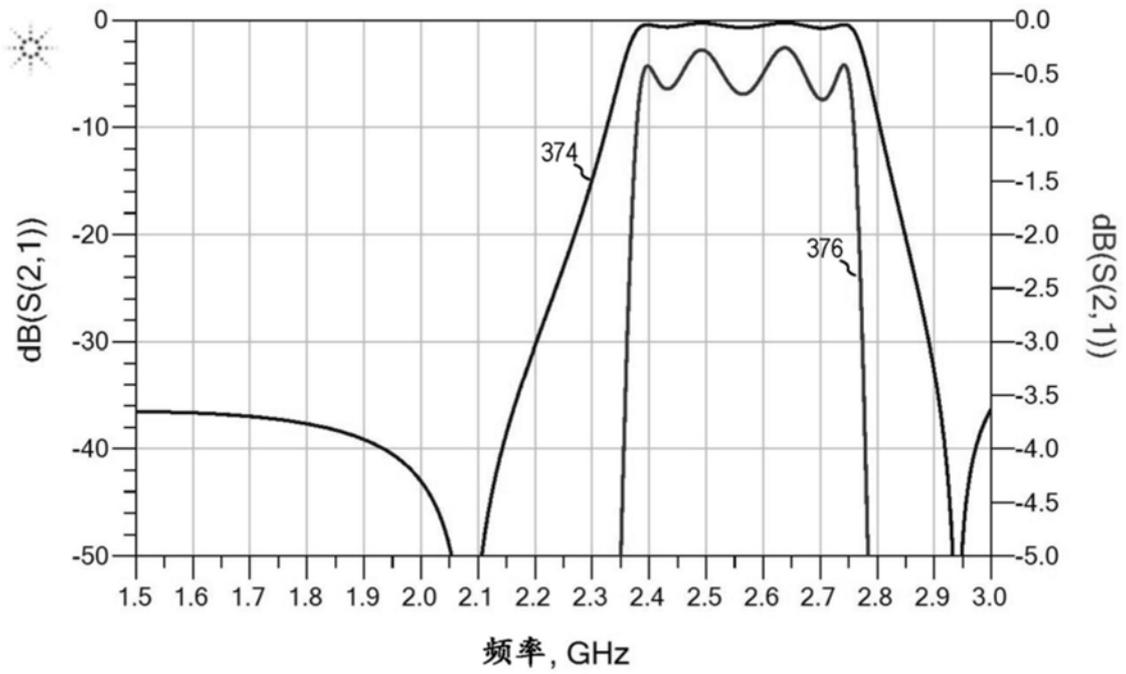


图3I

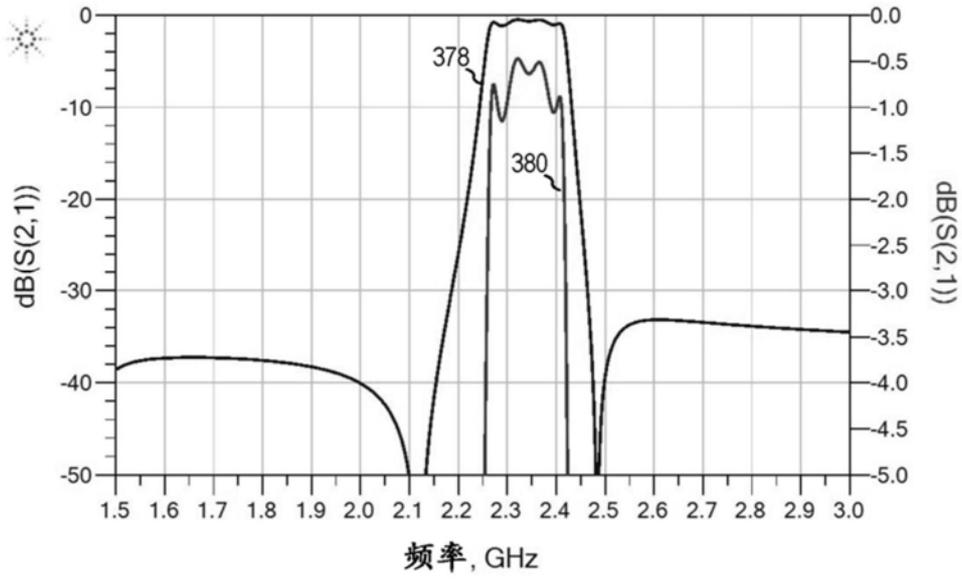


图3J

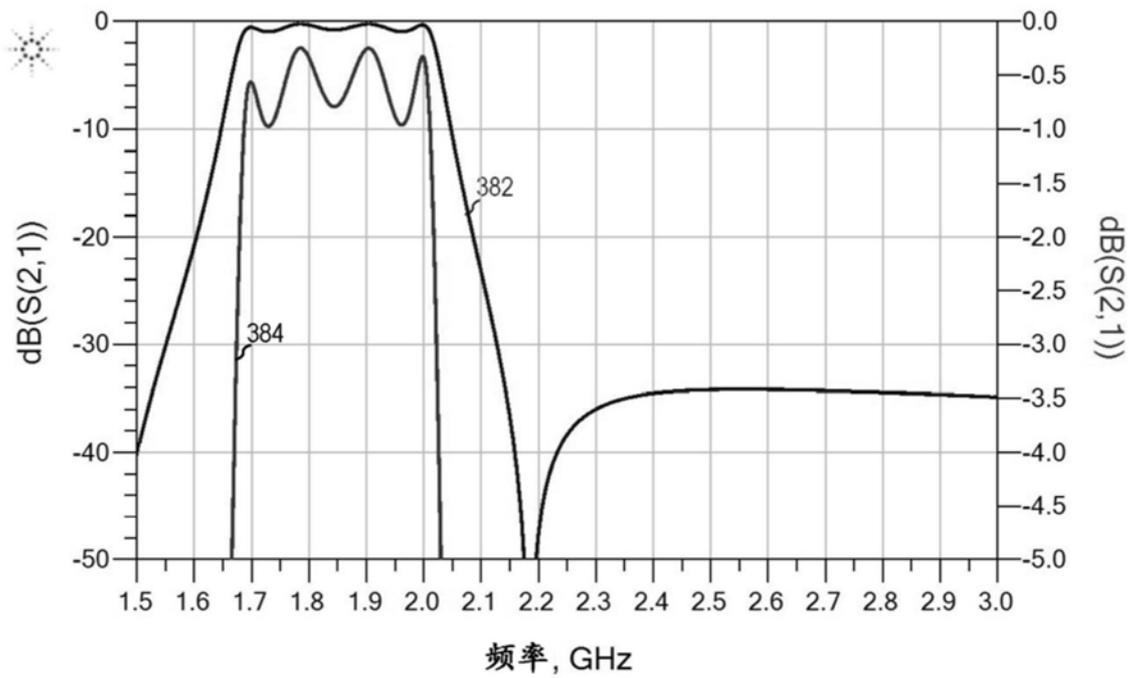


图3K

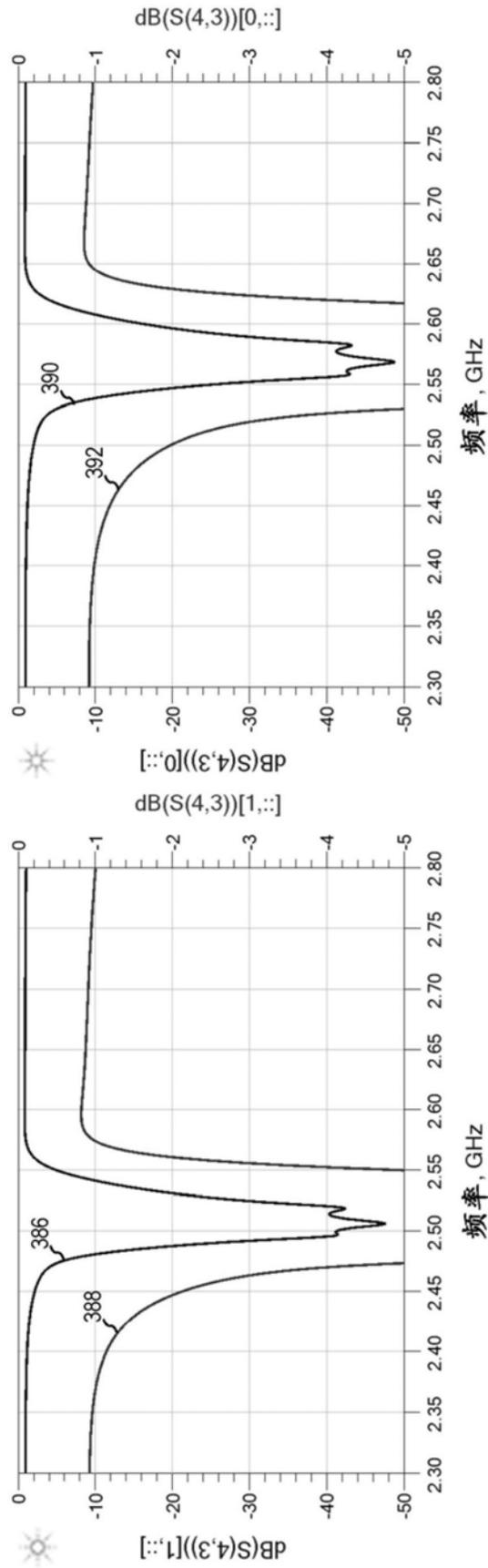


图3L

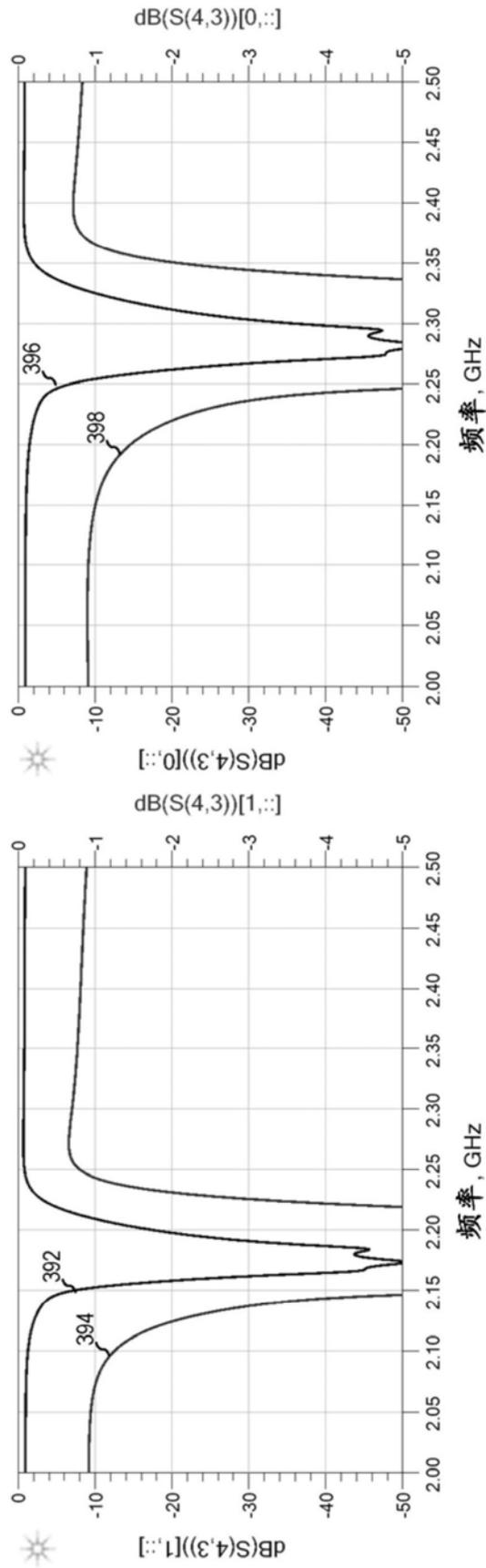


图3M

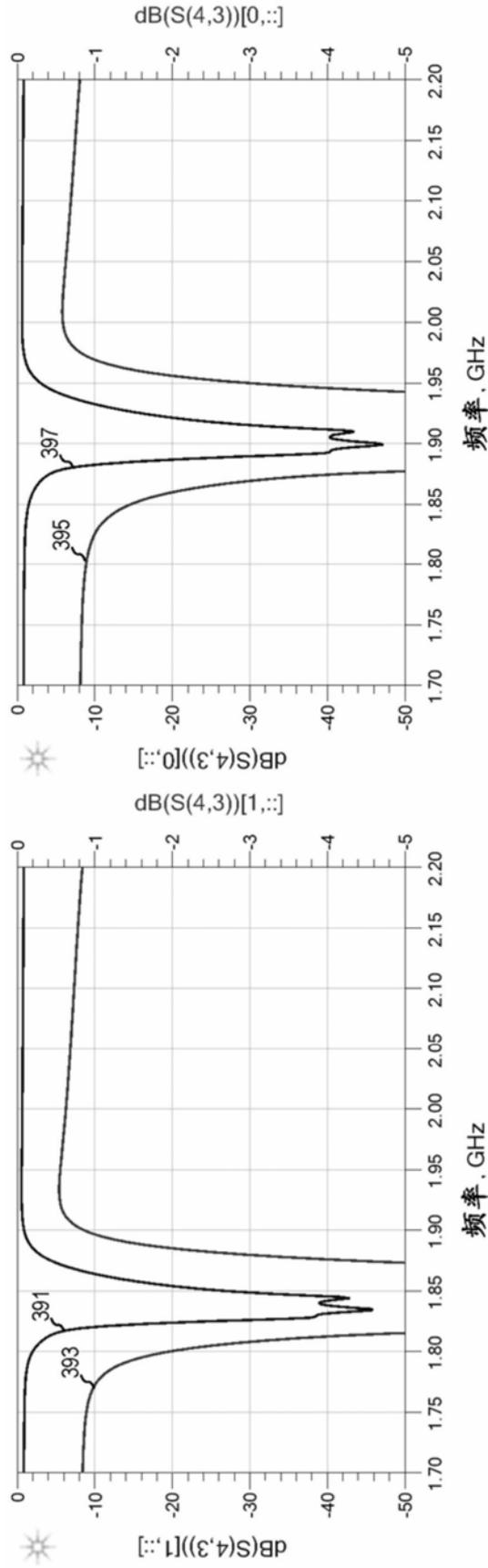


图3N



图4A

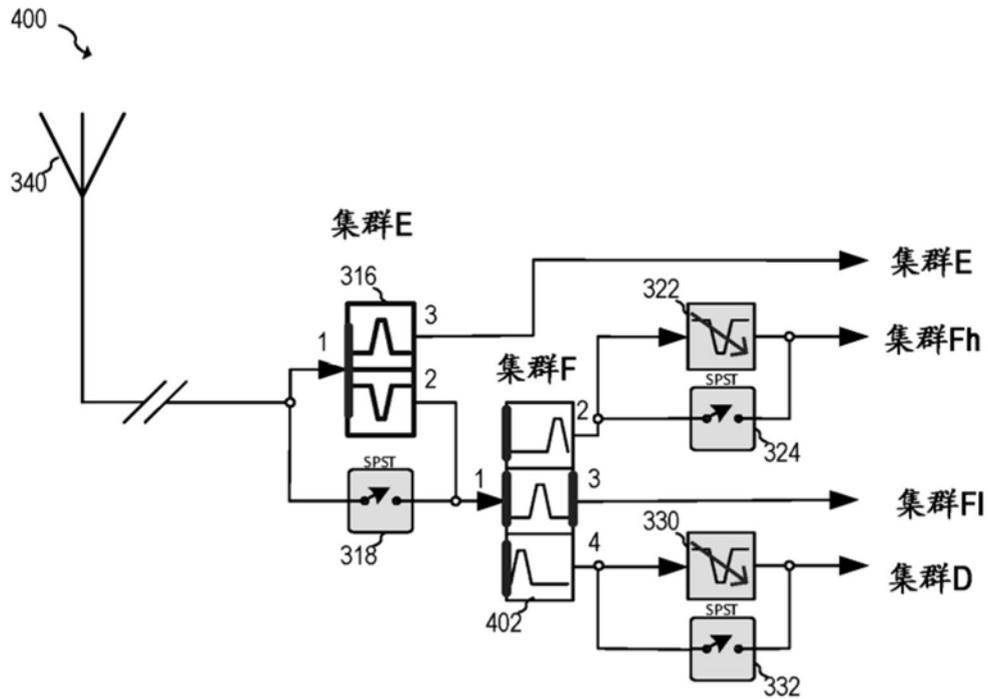


图4B

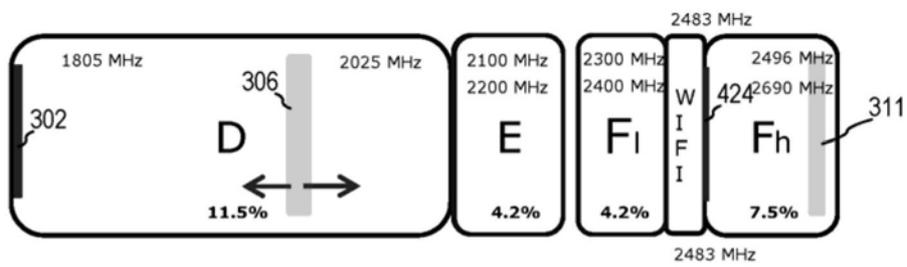


图4C

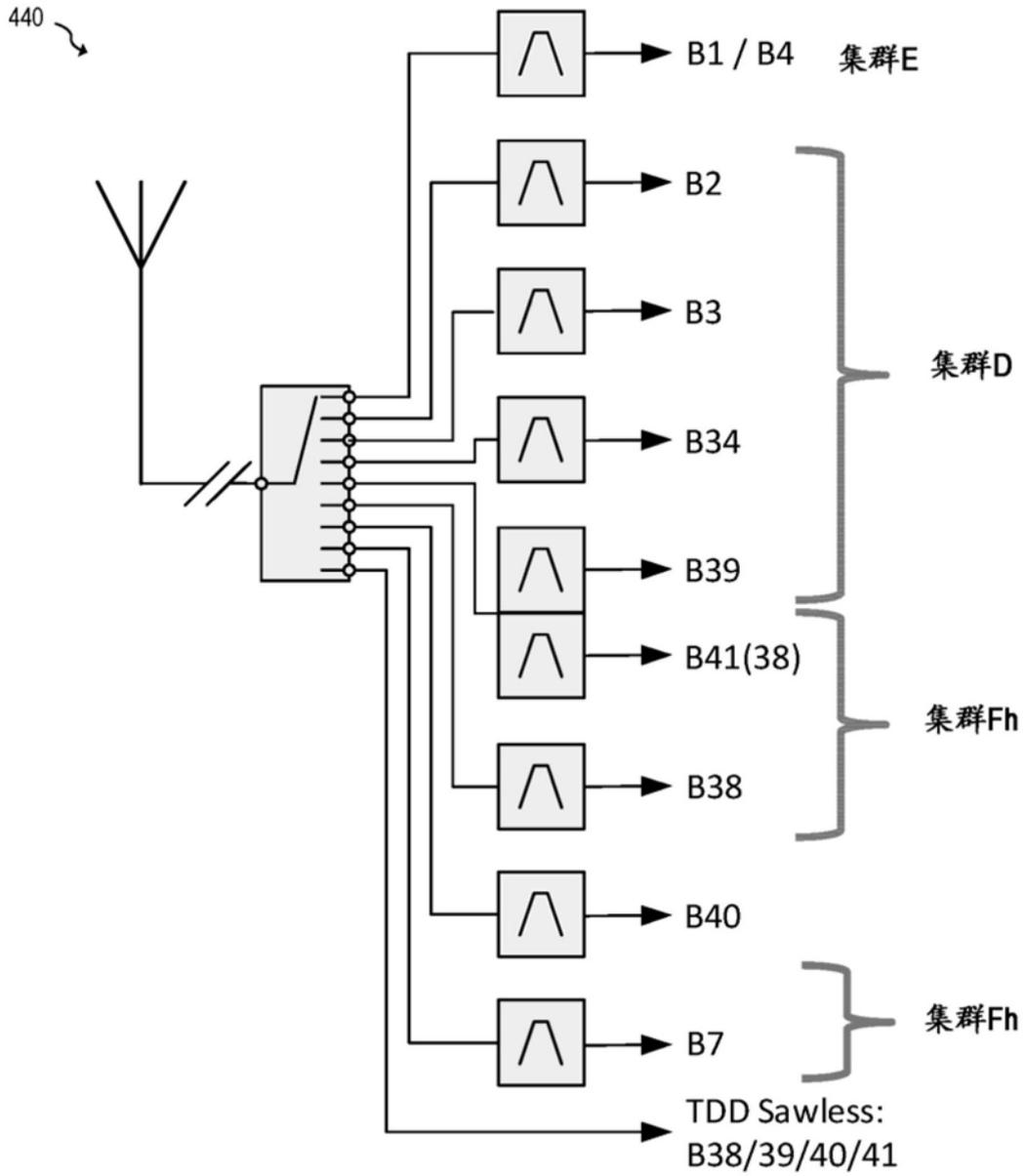


图4D

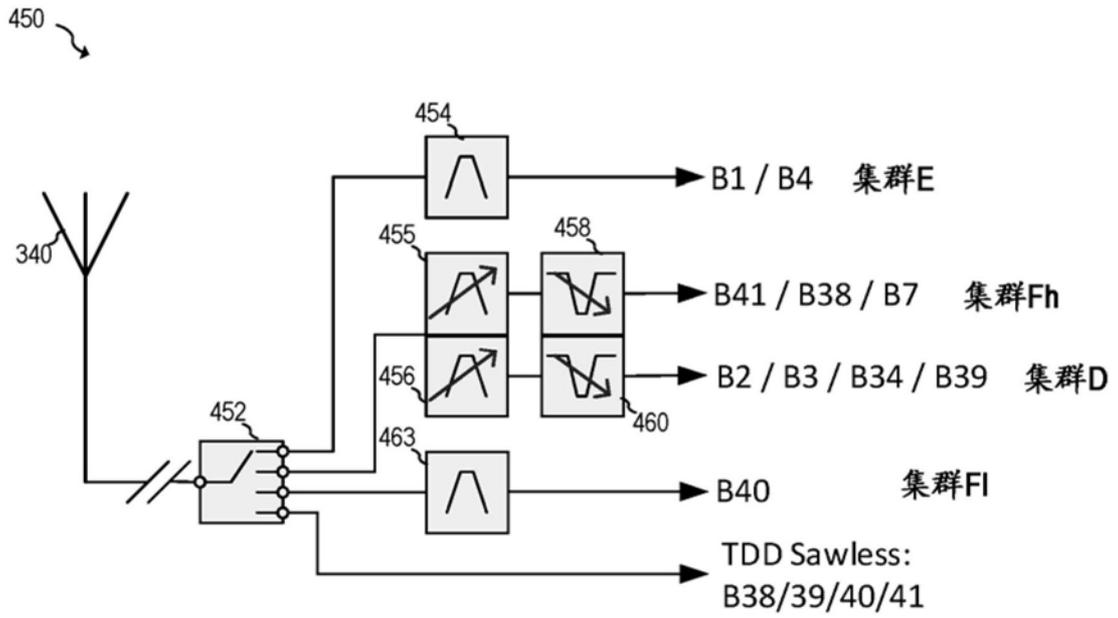


图4E

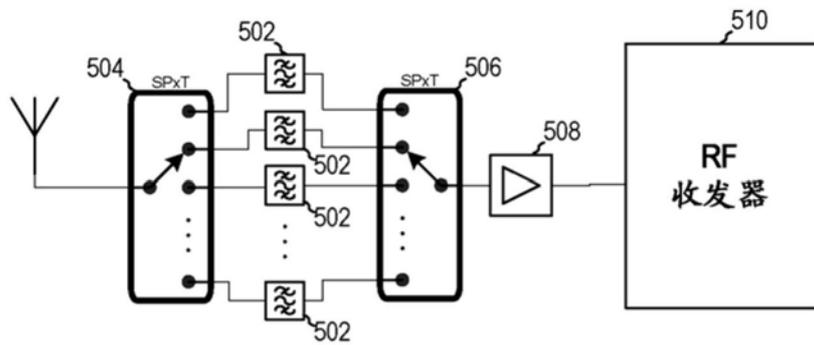


图5A

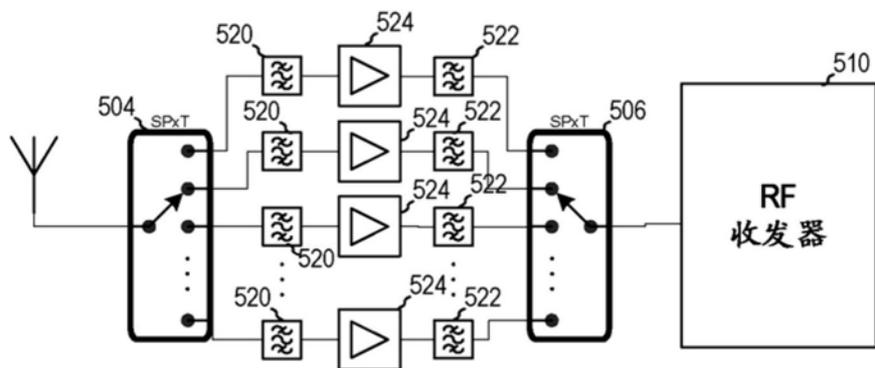


图5B

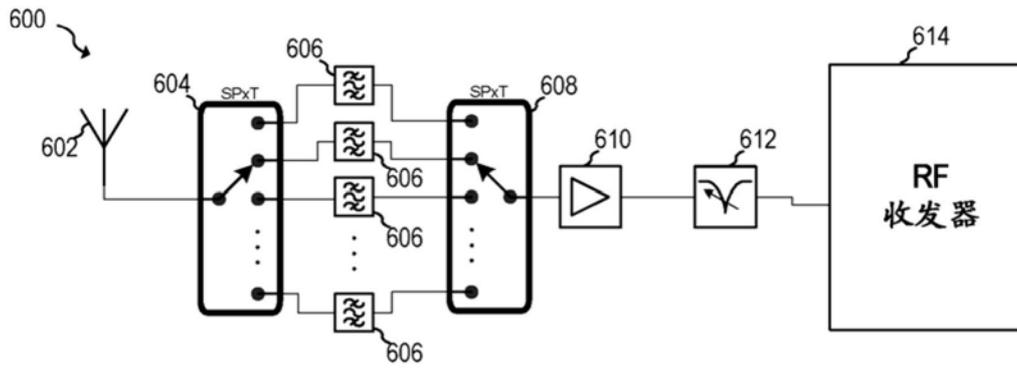


图6A

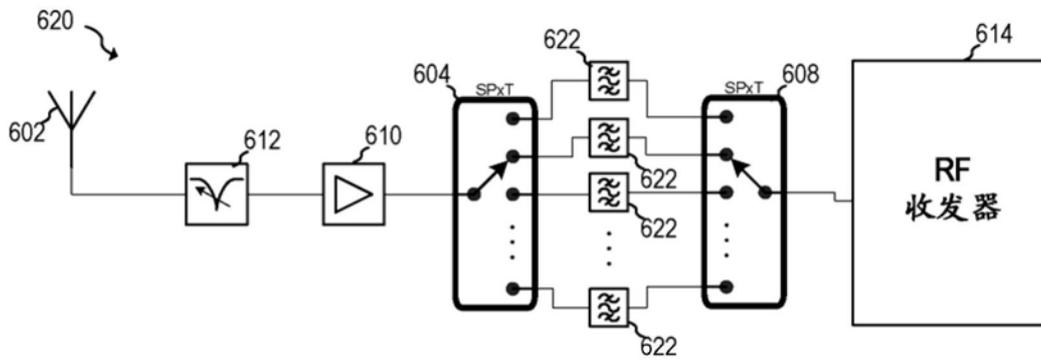


图6B

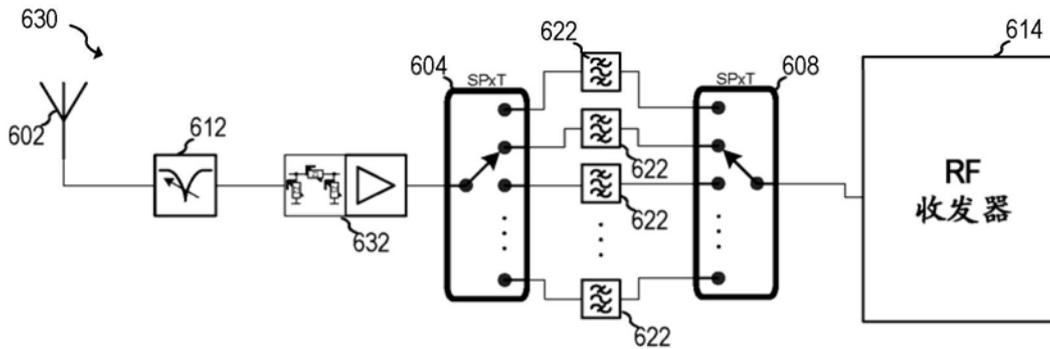


图6C

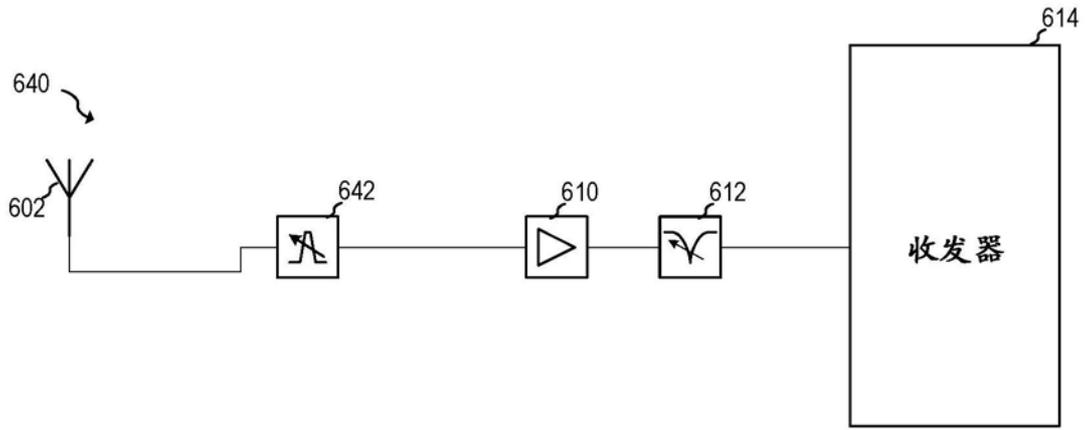


图6D

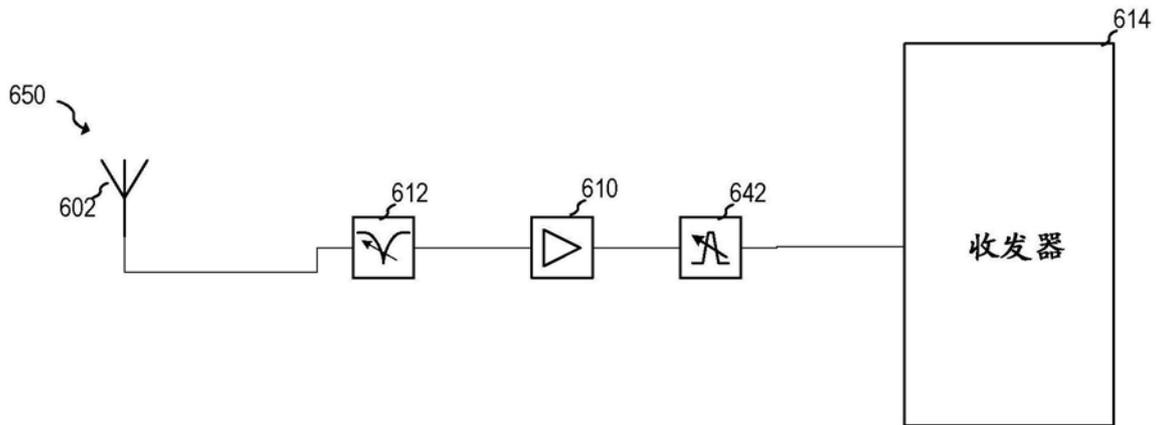


图6E

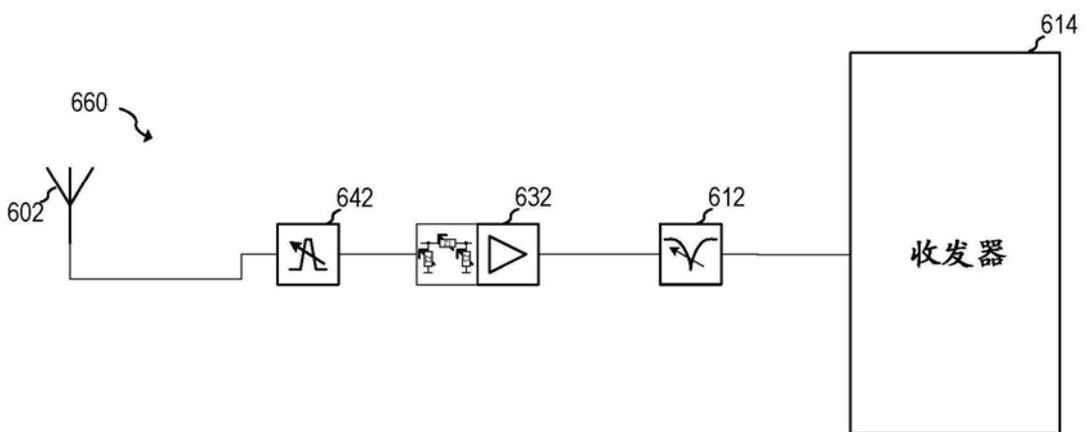


图6F

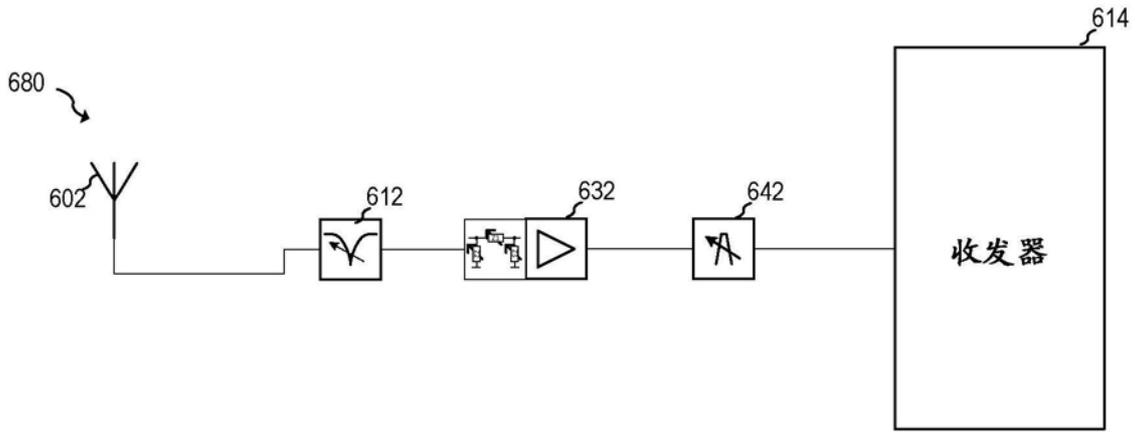


图6G

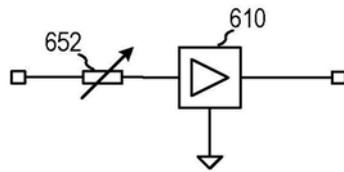


图6H

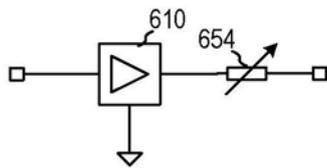


图6I

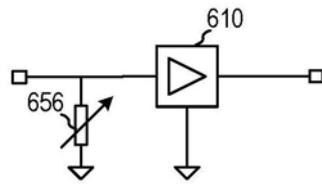


图6J

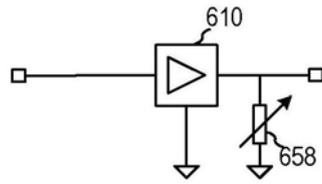


图6K

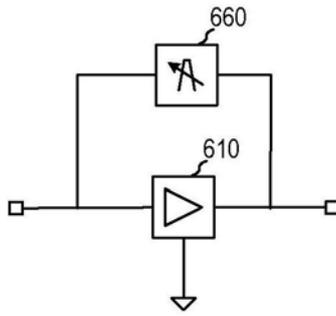


图6L

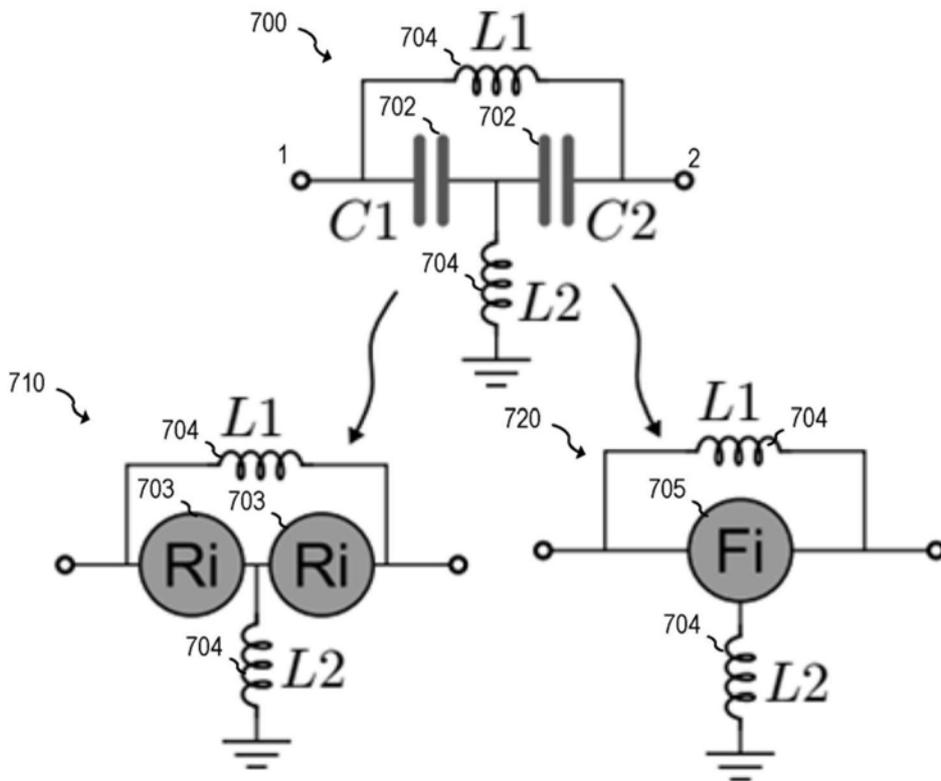


图7A

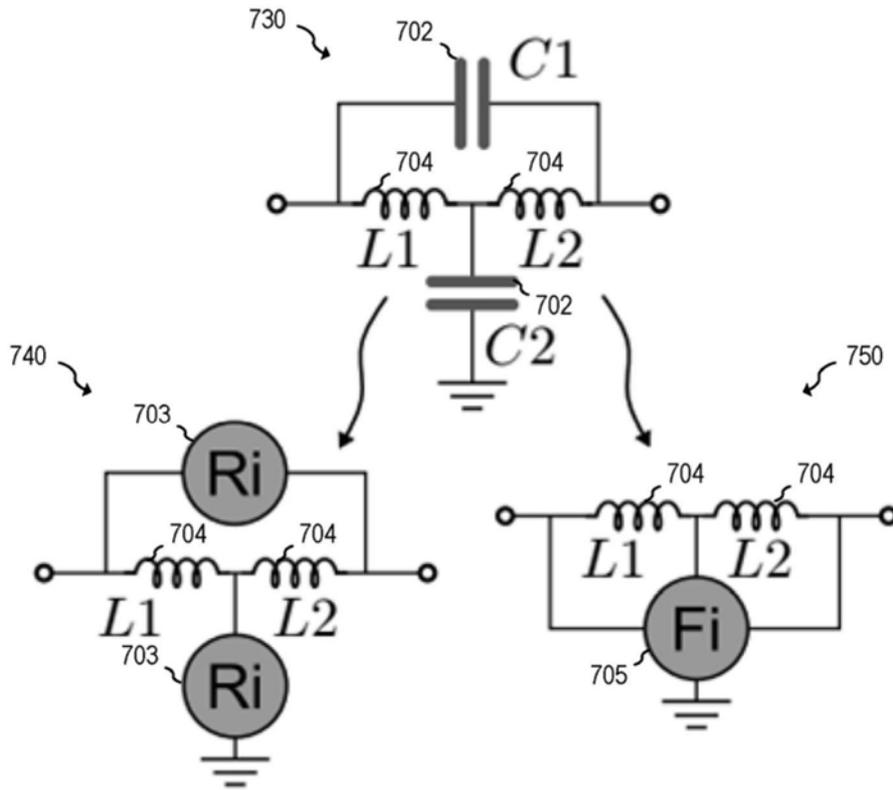


图7B

1.1... 带阻滤波器固定

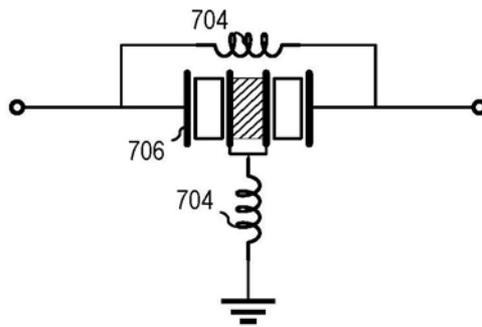


图7C

1.2... 带阻滤波器调谐

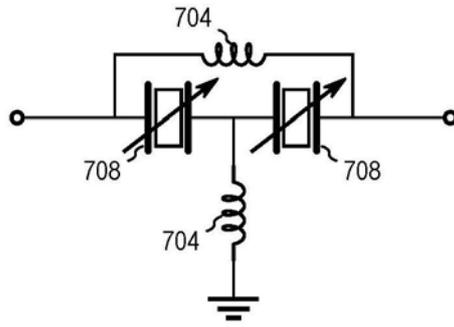


图7D

1.2.1... 带阻滤波器调谐1

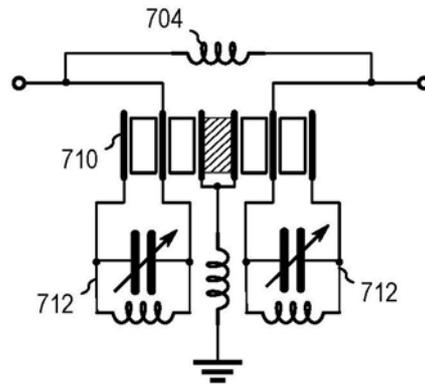


图7E

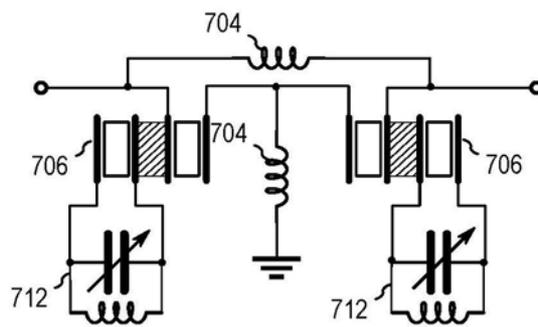


图7F

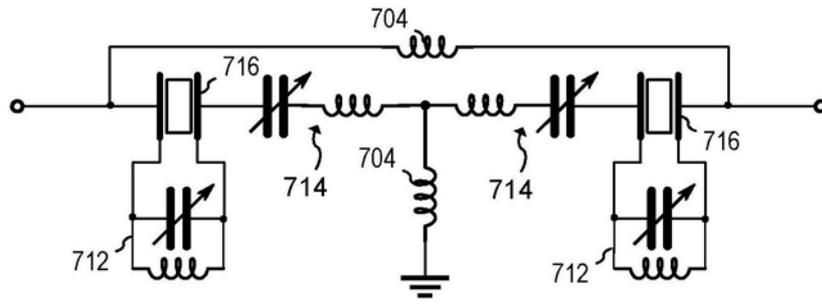


图7G

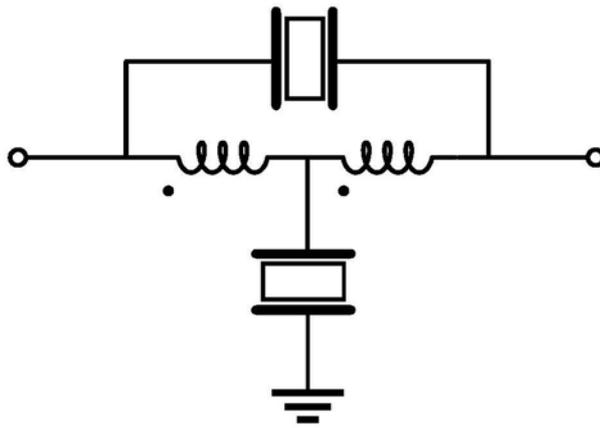


图7H

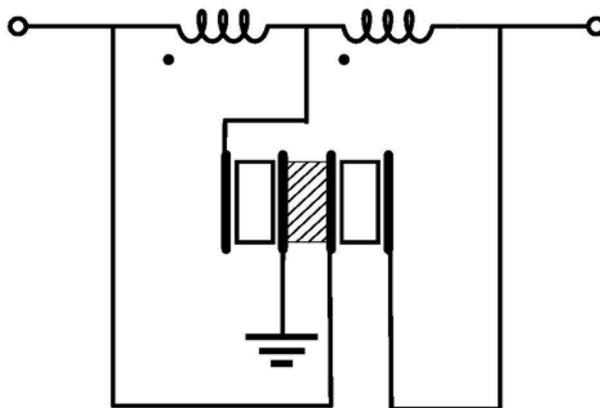


图7I

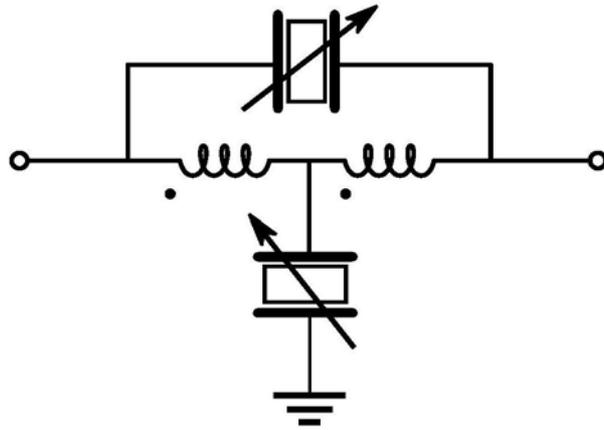


图7J

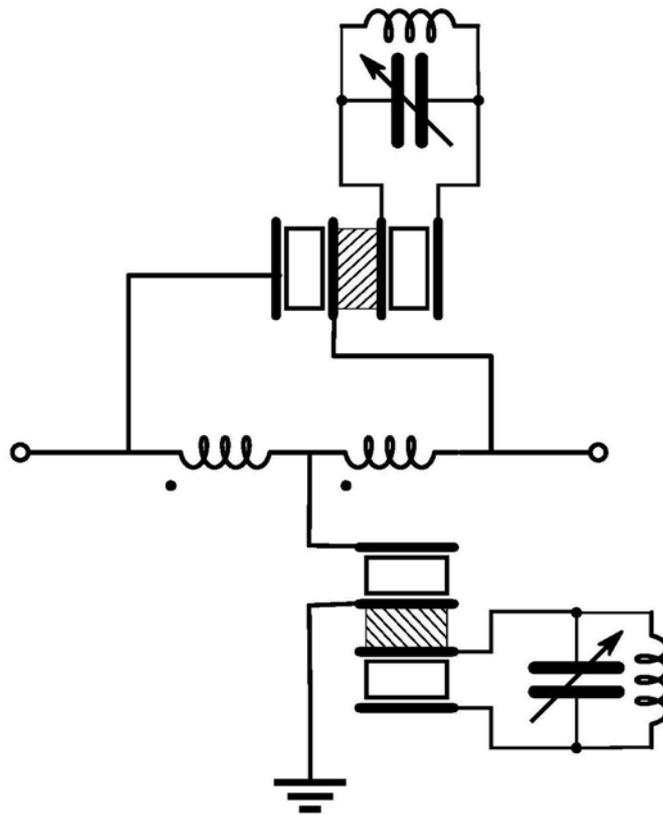


图7K

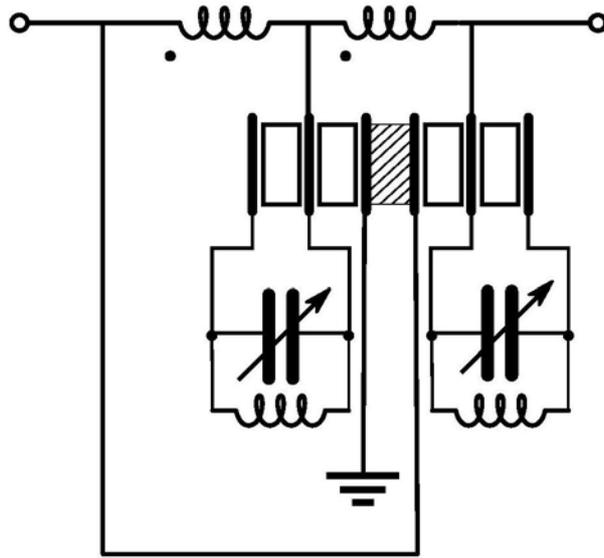


图7L

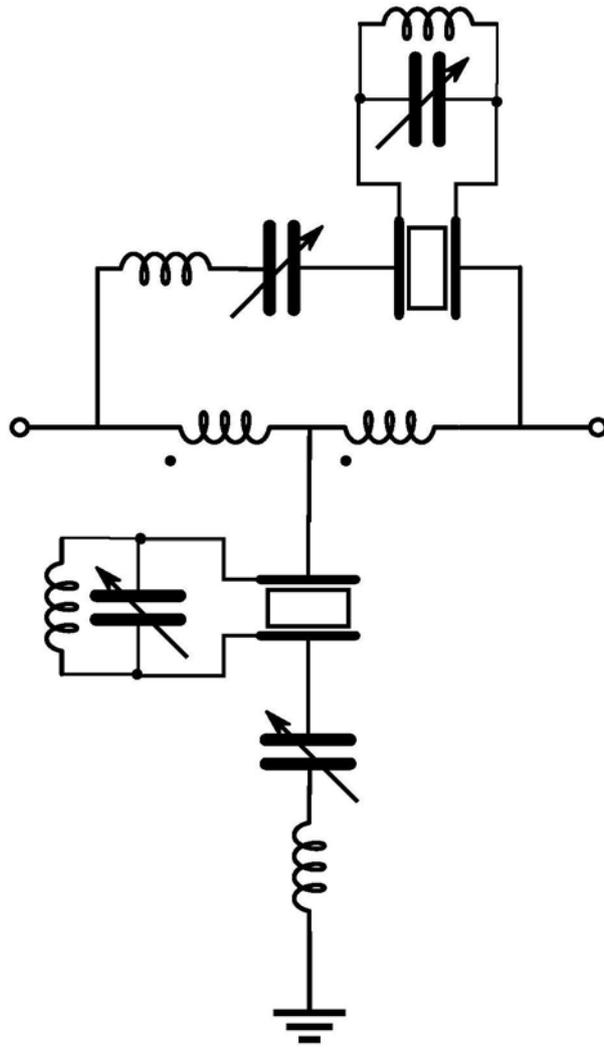


图7M

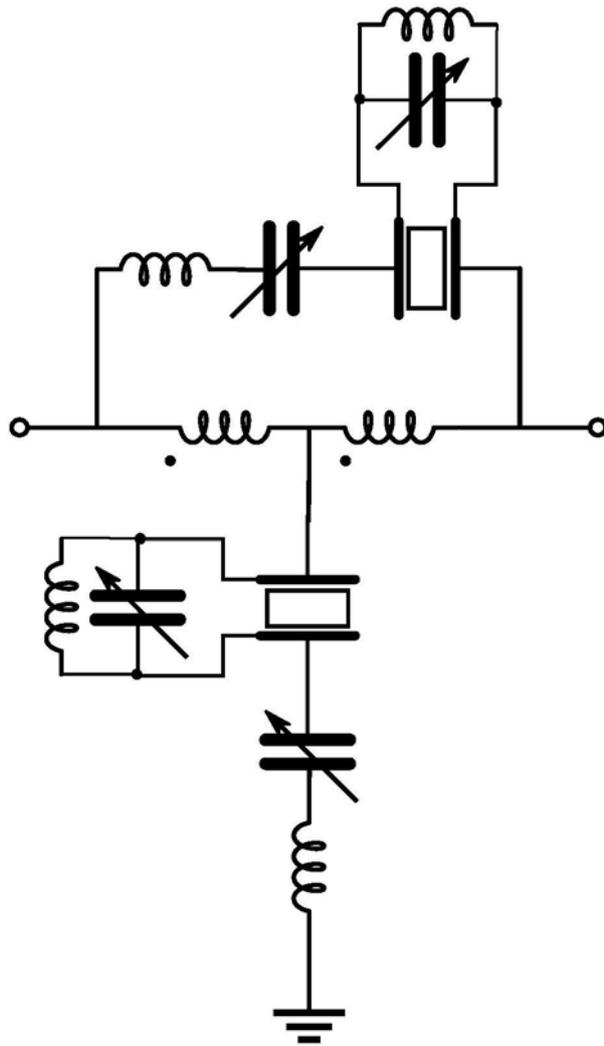


图7N

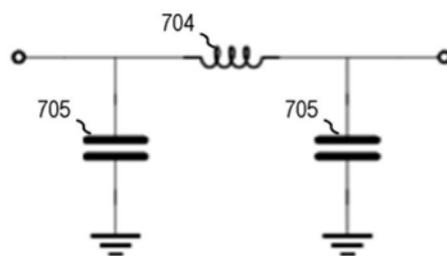


图8A

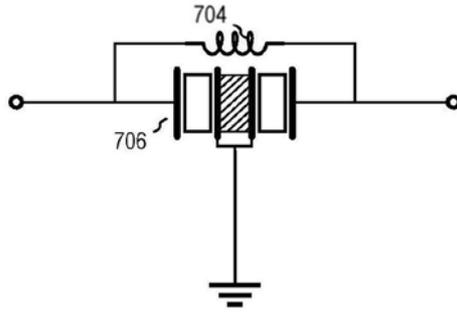


图8B

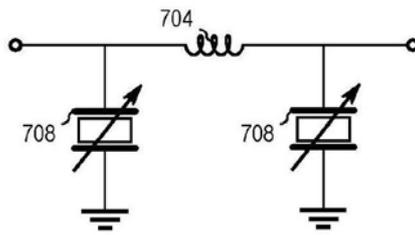


图8C

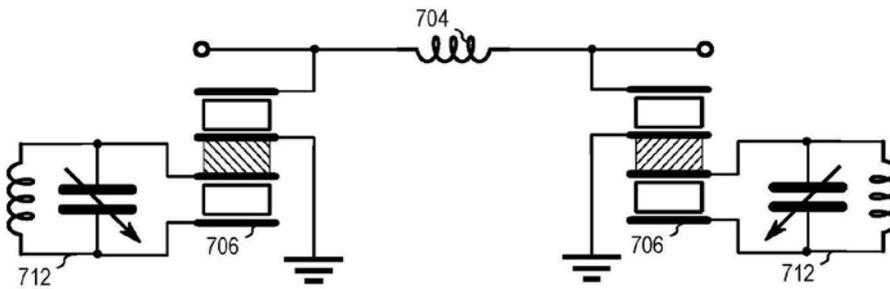


图8D

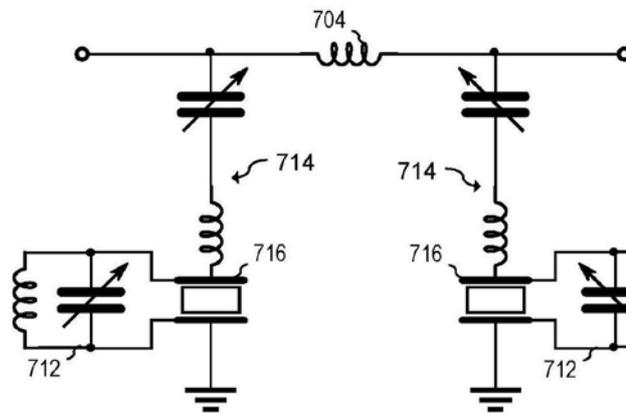


图8E

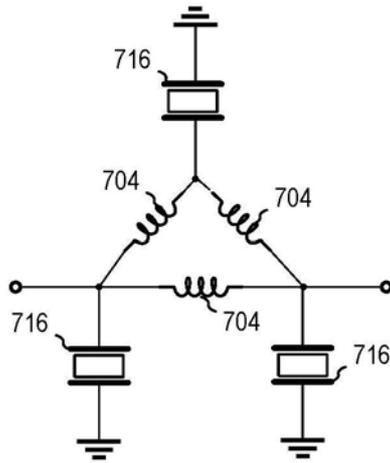


图9A

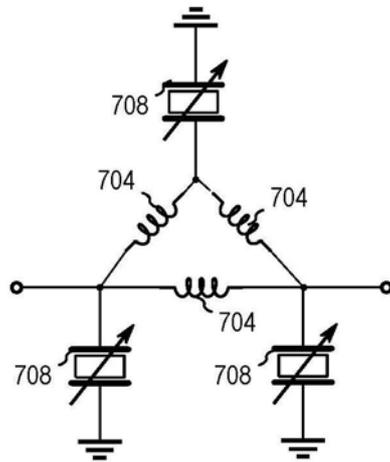


图9B

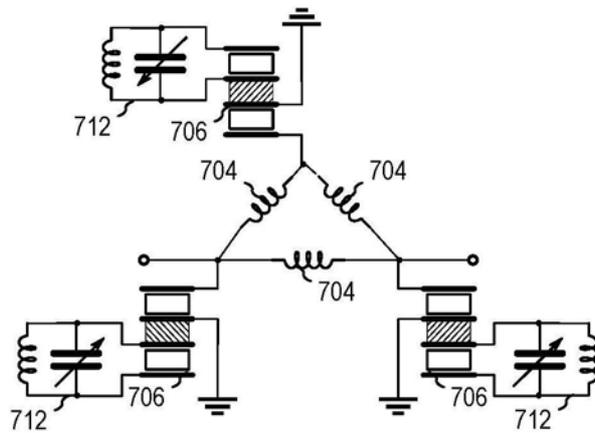


图9C

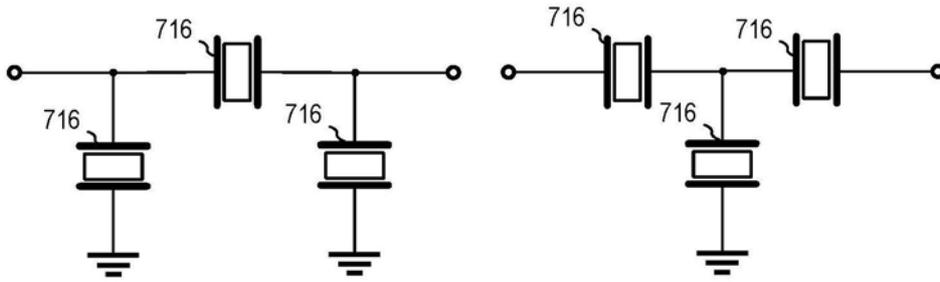


图10A

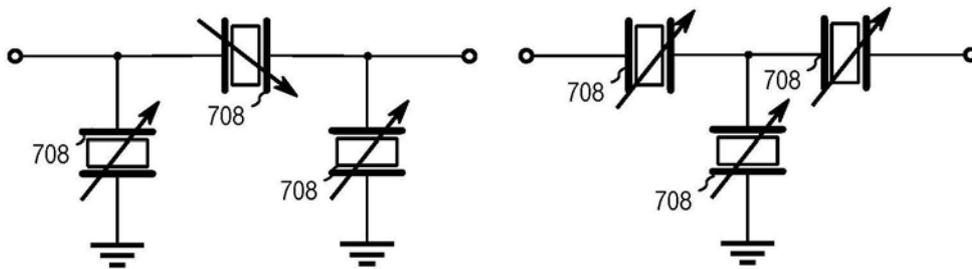


图10B

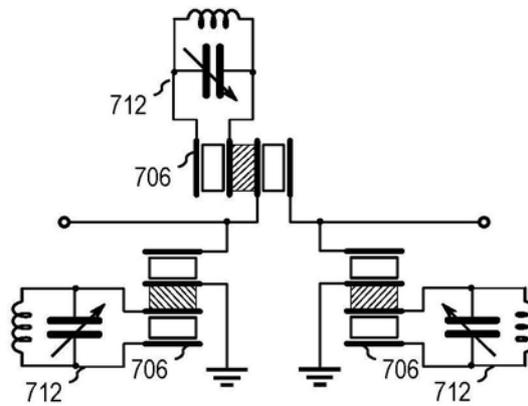


图10C

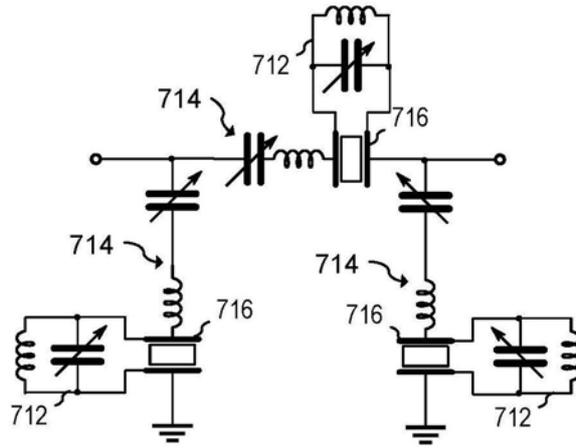


图10D

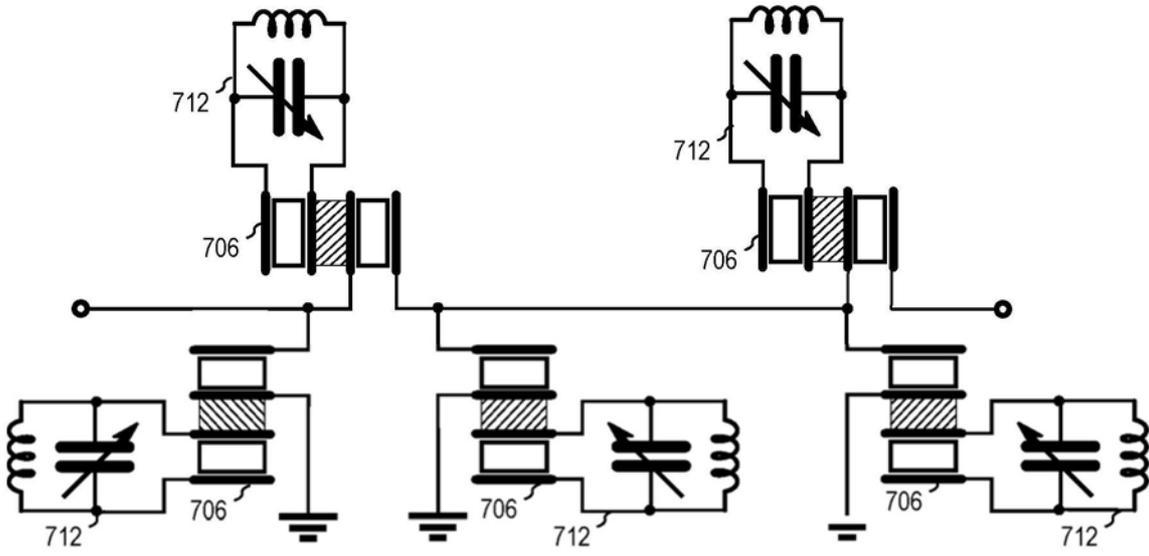
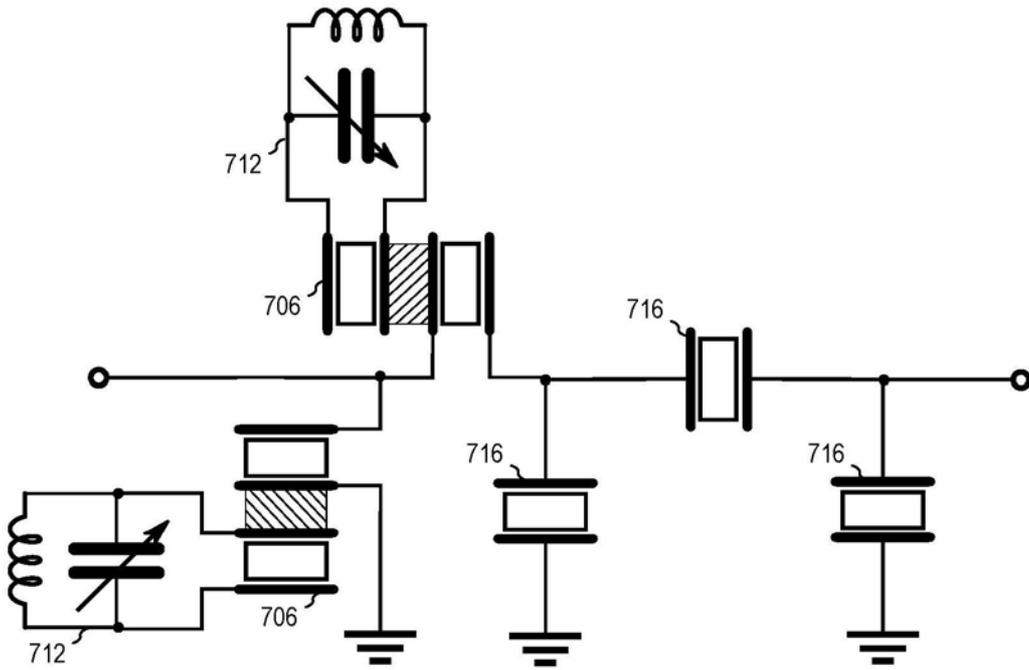


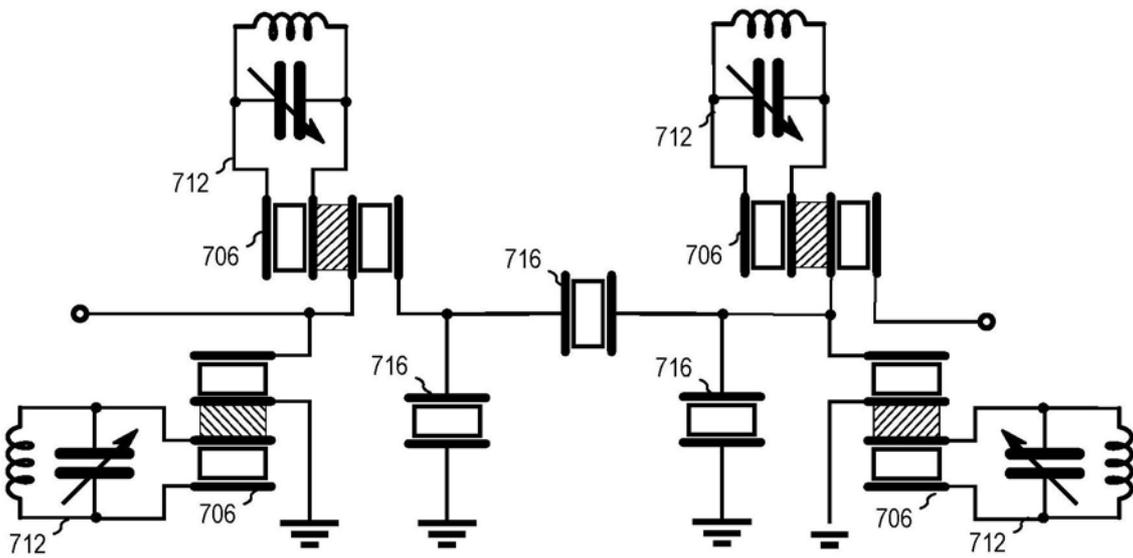
图10C的滤波器的2½阶变型

图10E



在高或低频率边缘处的斜率控制

图10F



在高和低频率边缘处的斜率控制

图10G

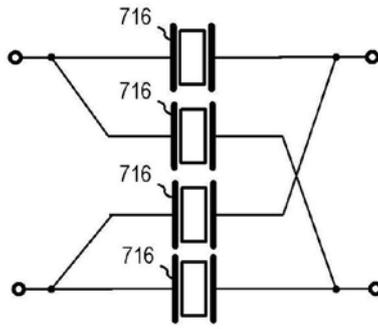


图11A

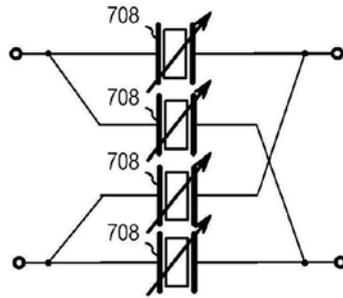


图11B

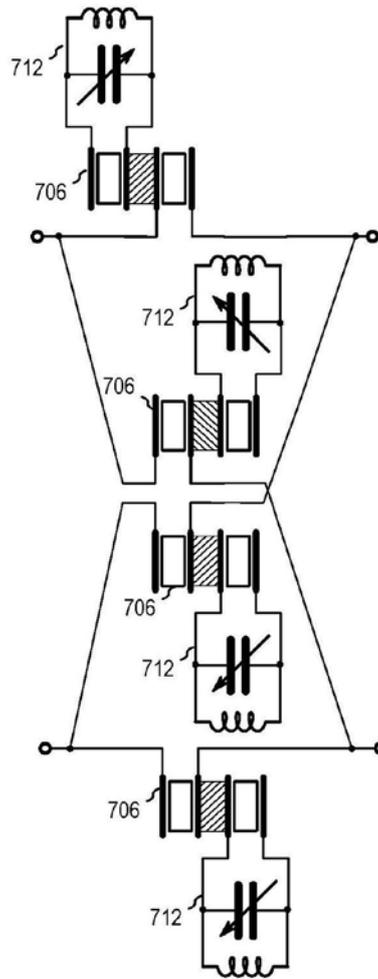


图11C

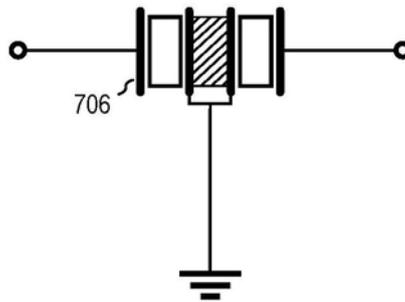
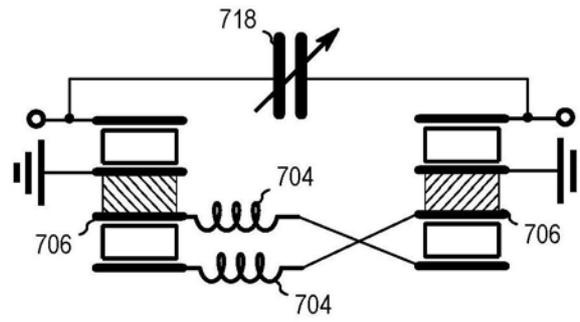


图12A



带通滤波器固定、调零

图12B

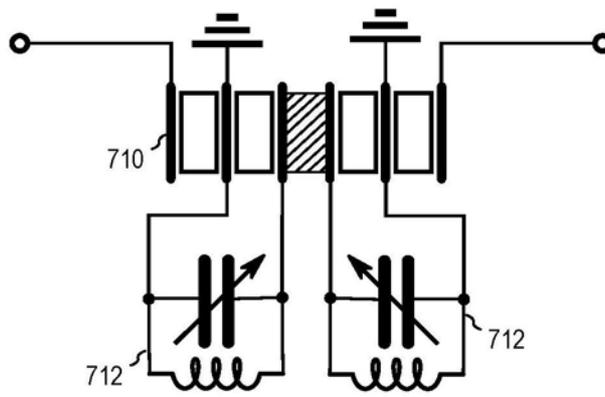


图12C

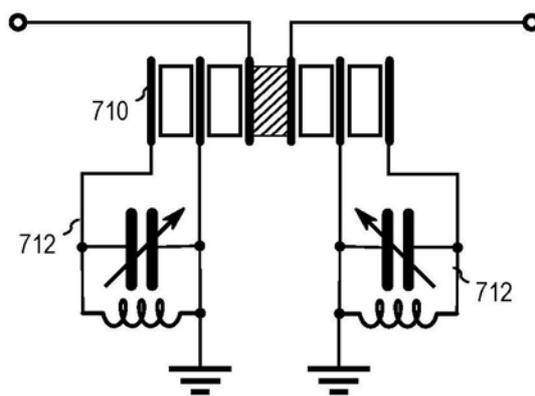


图12D

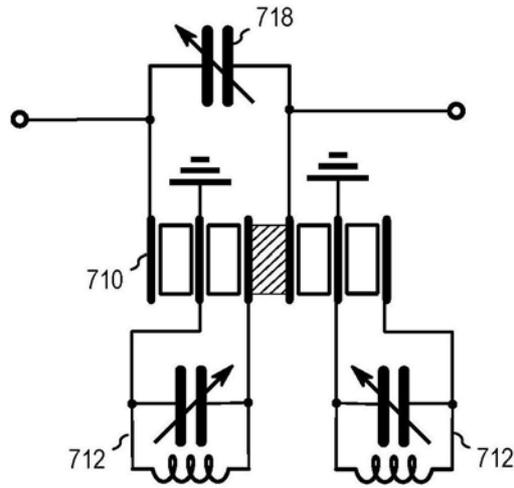


图12E

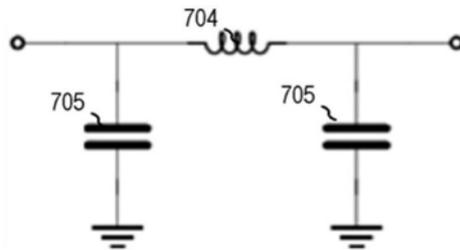


图13A

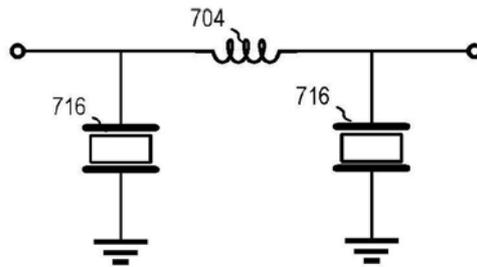


图13B

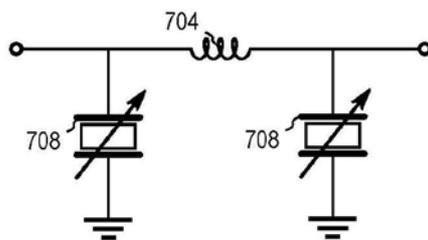


图13C

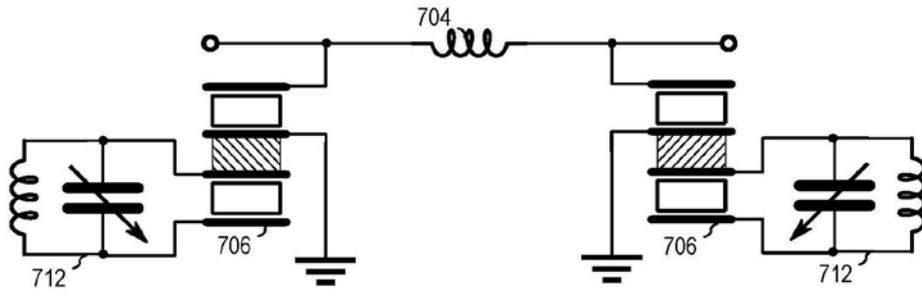


图13D

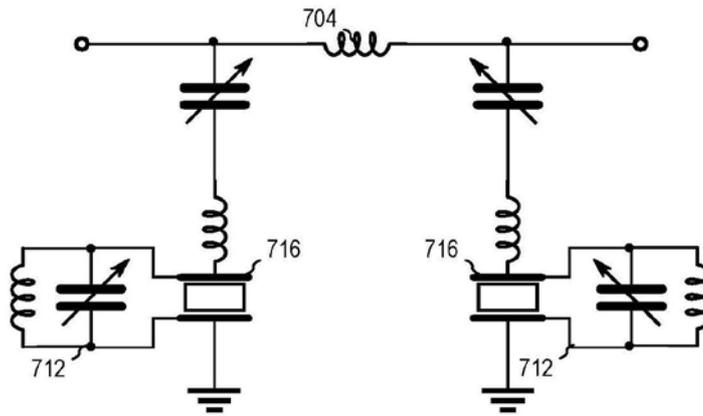


图13E

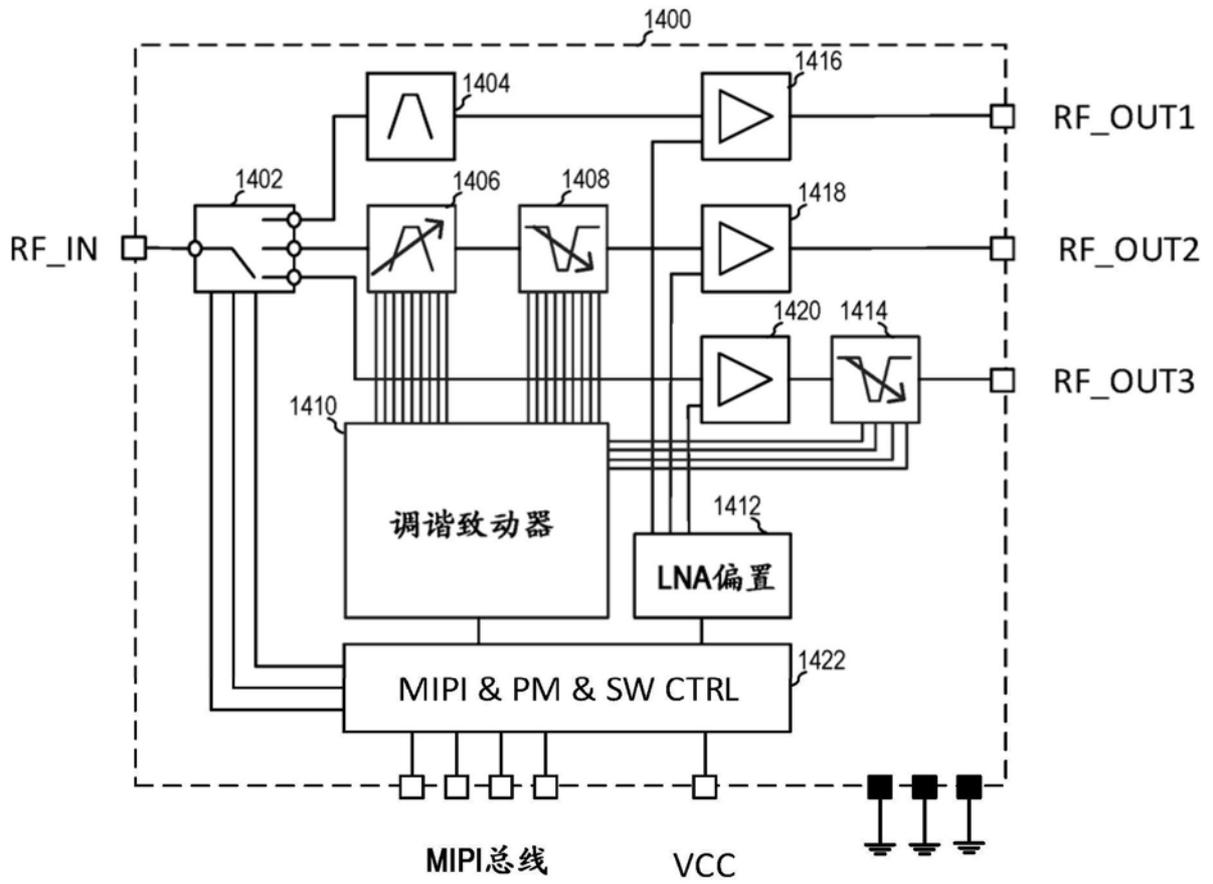
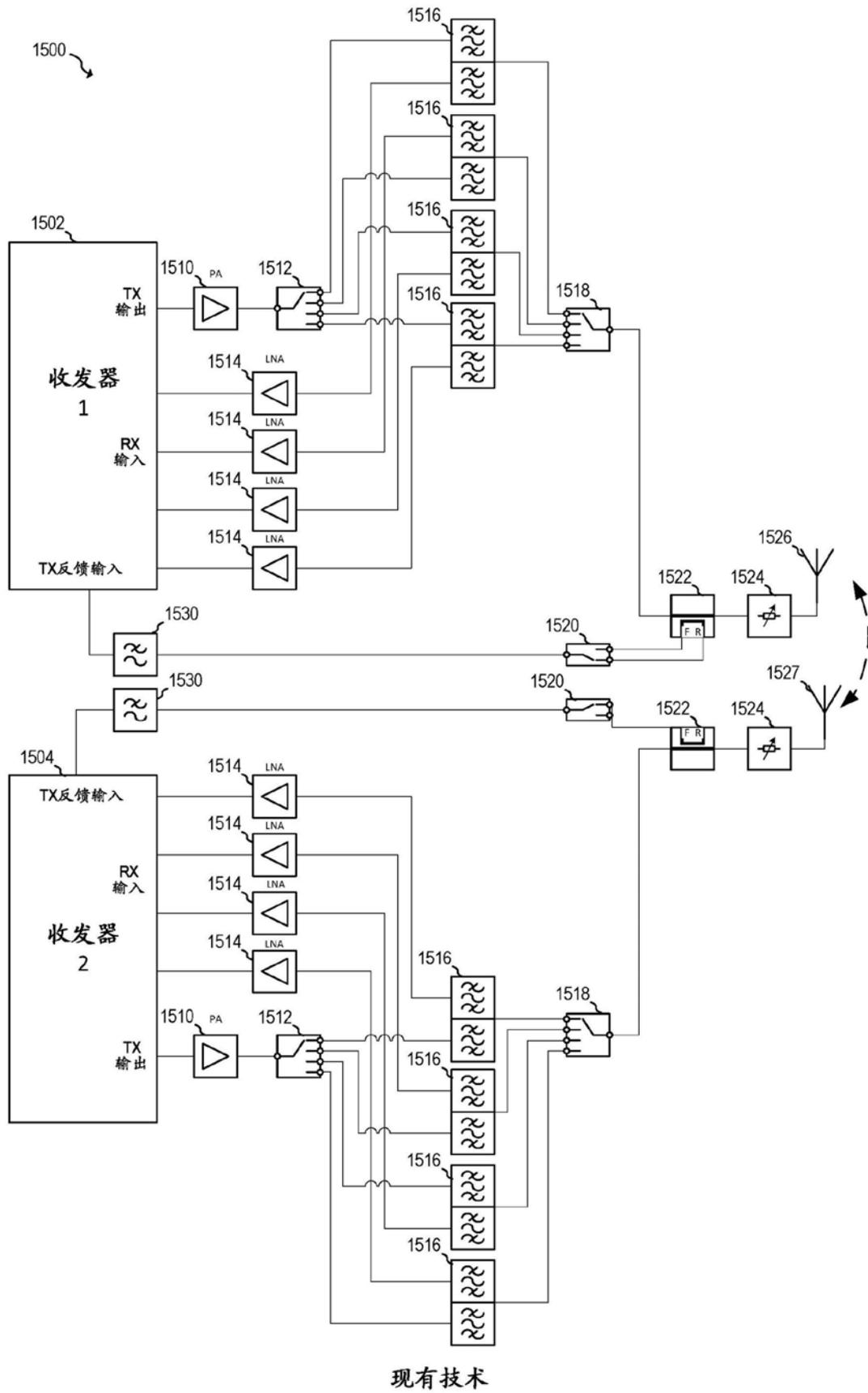
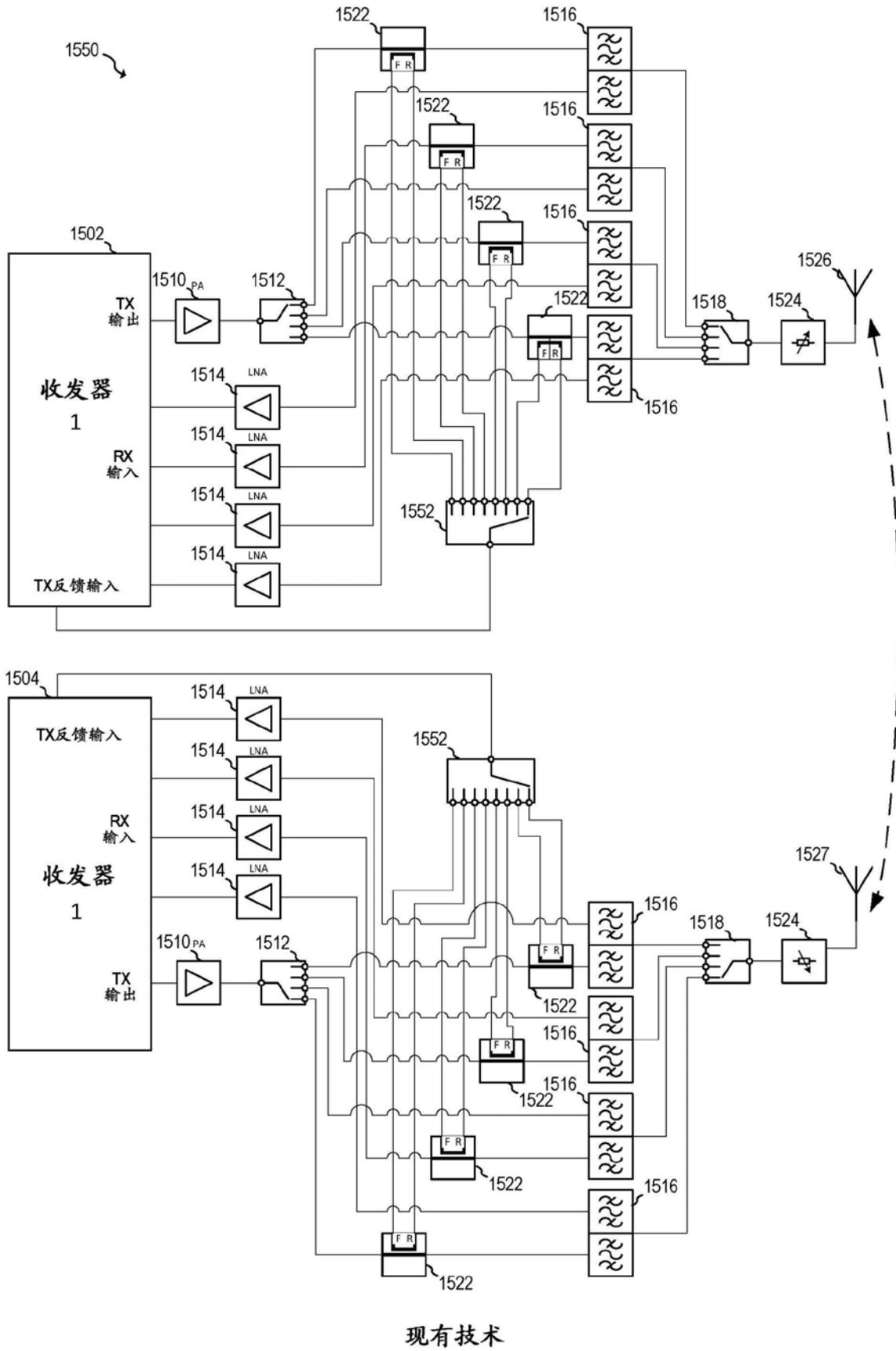


图14



现有技术

图15A



现有技术

图15B

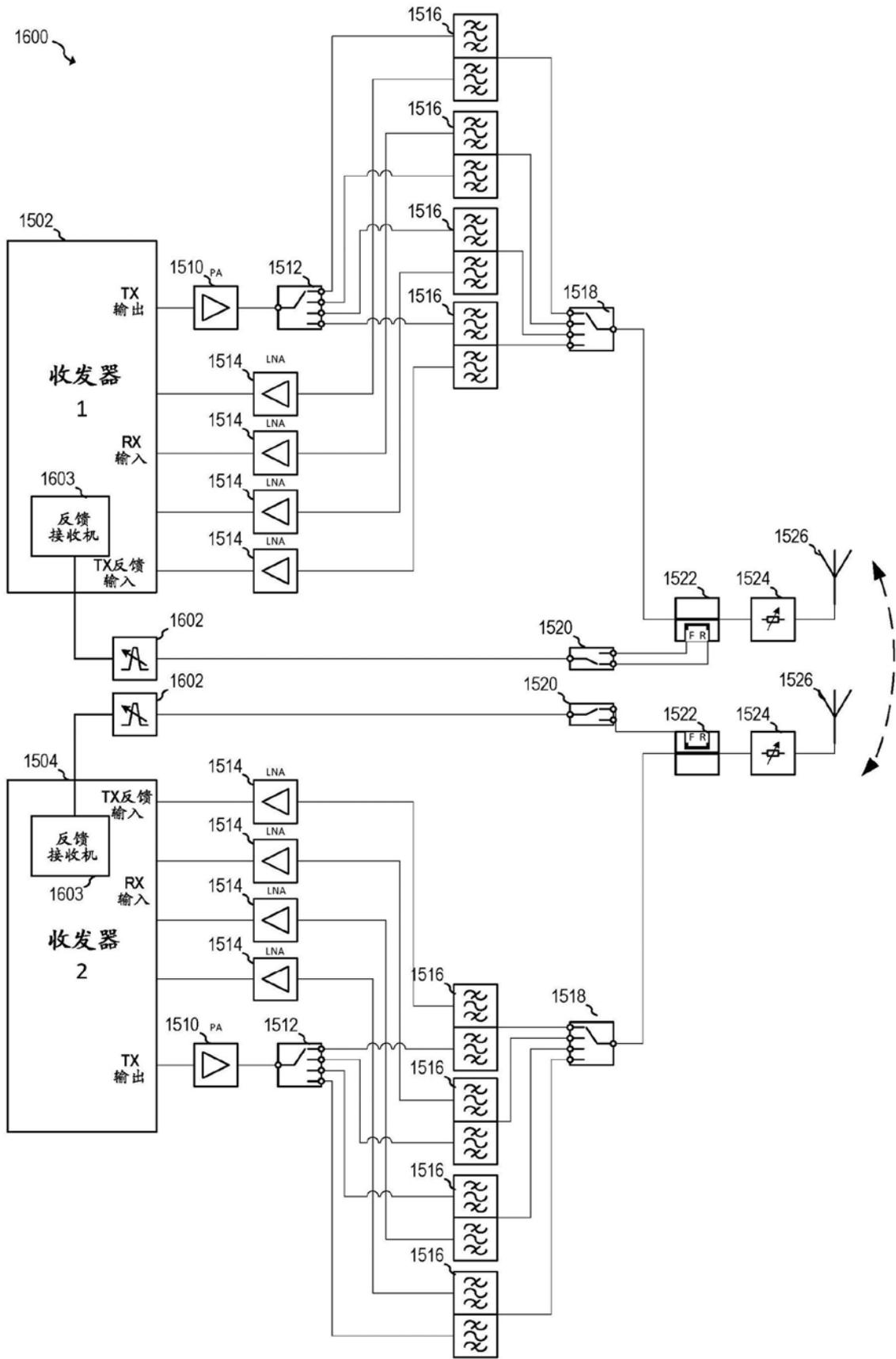


图16A

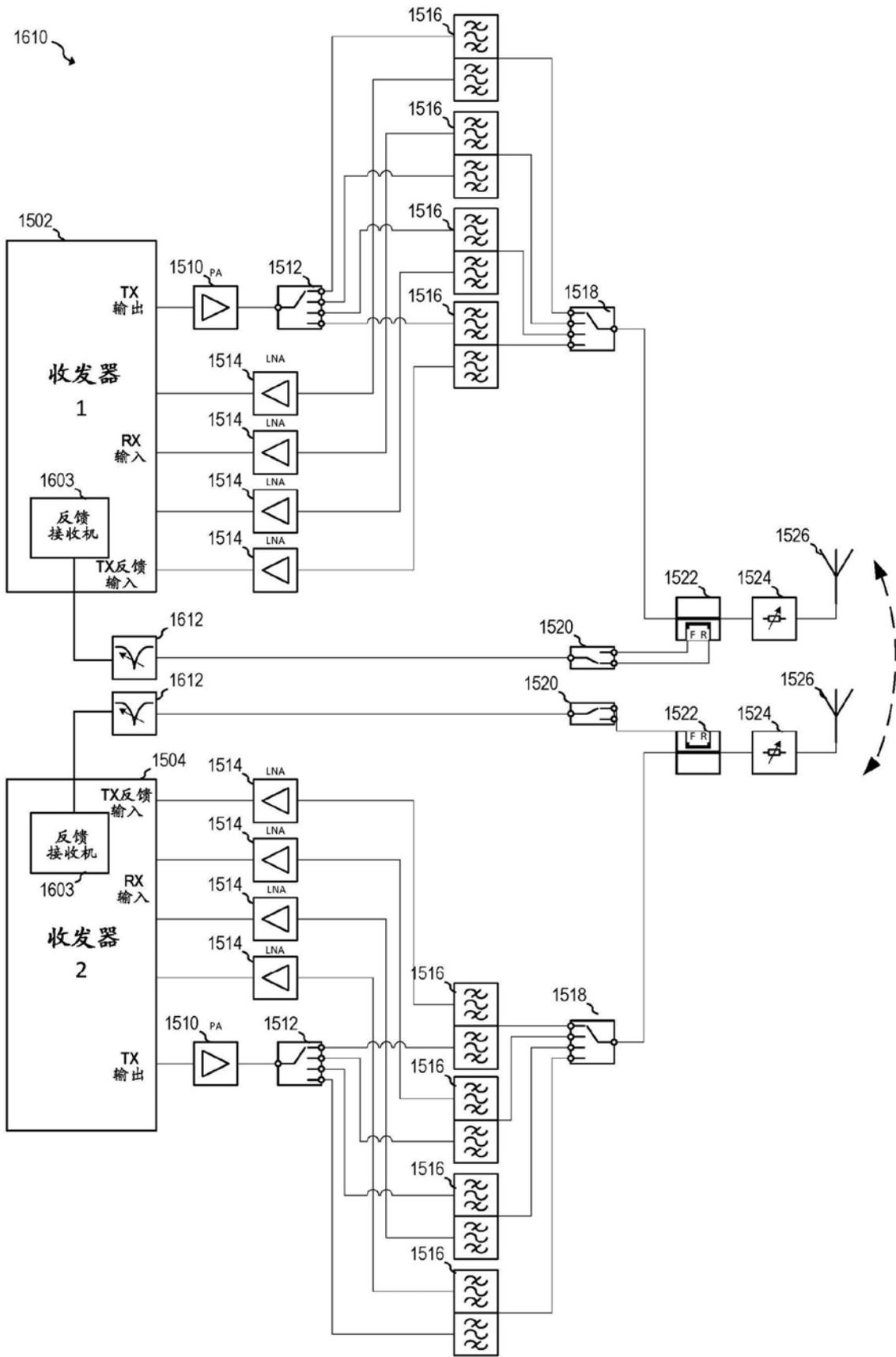


图16B

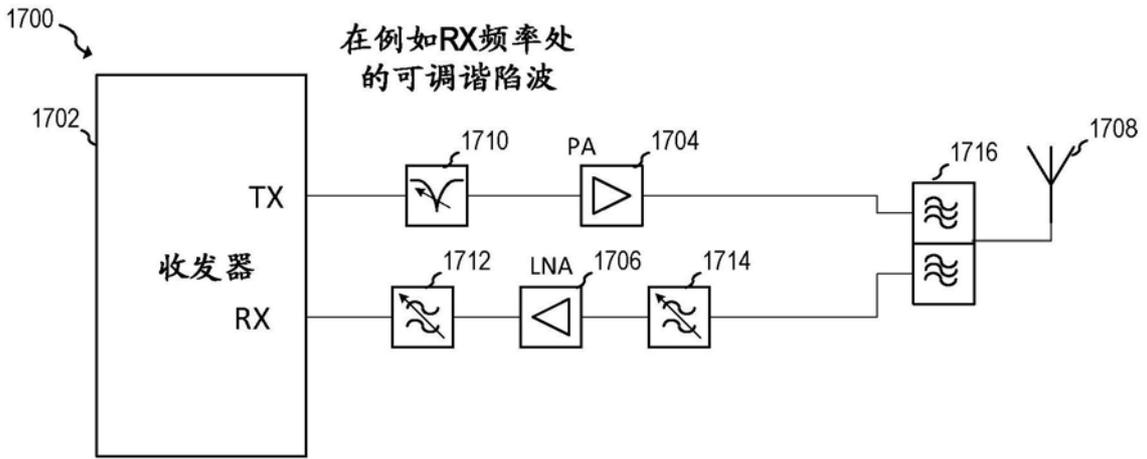


图17A

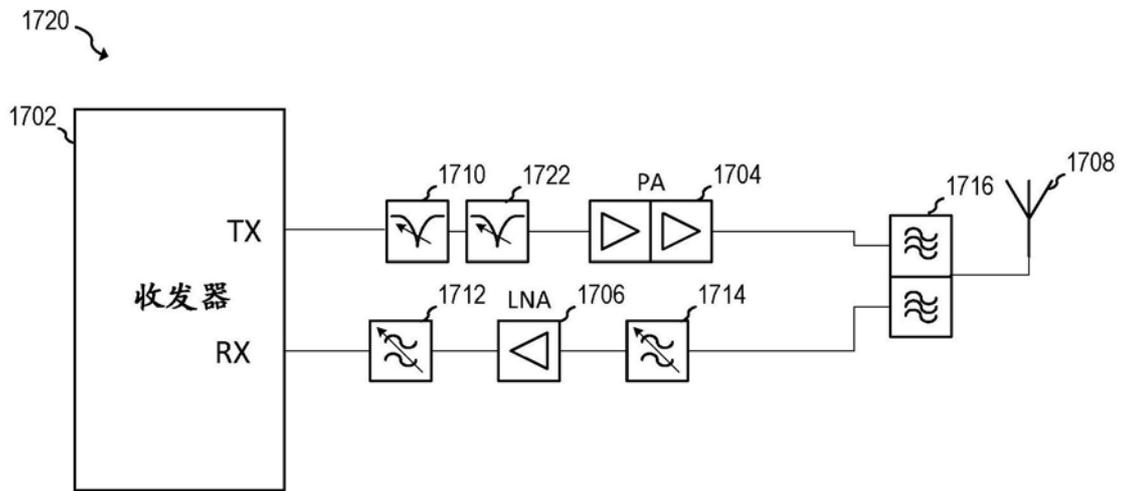


图17B

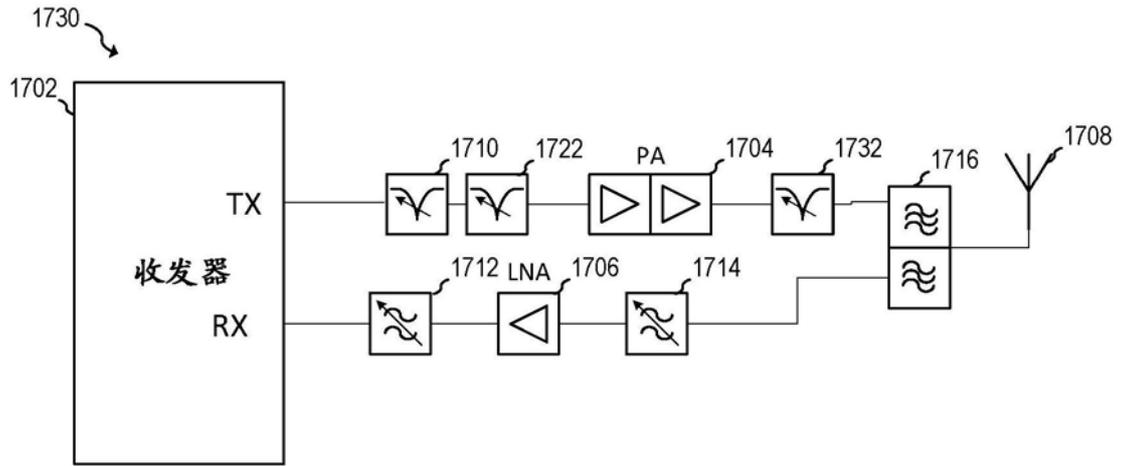


图17C

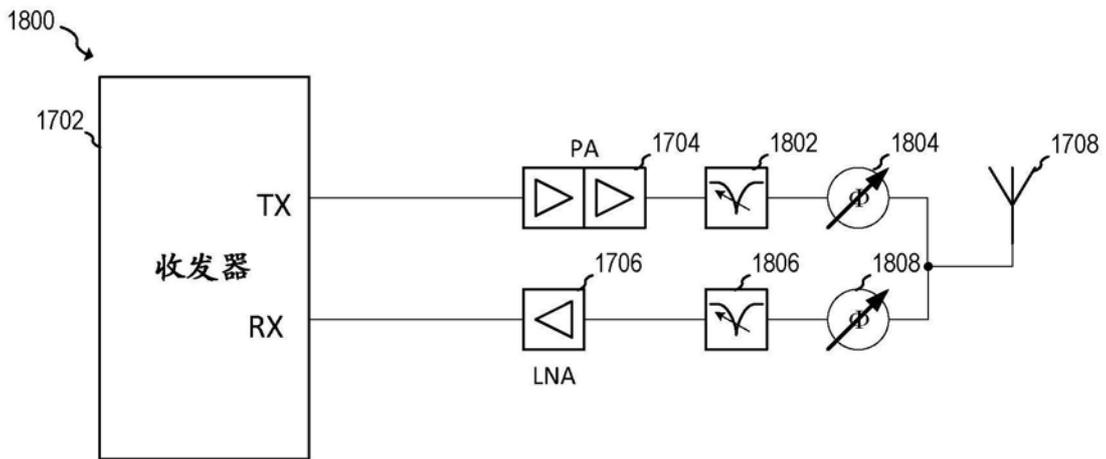


图18A

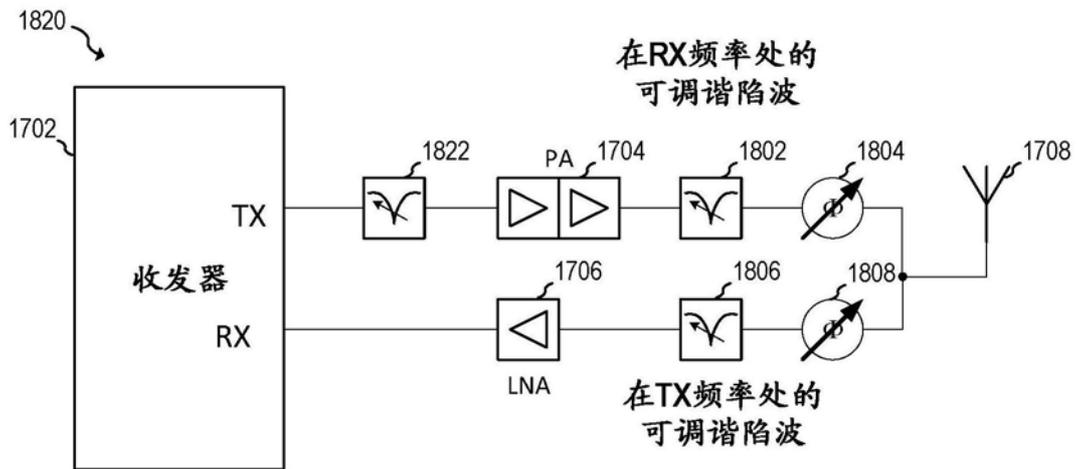


图18B

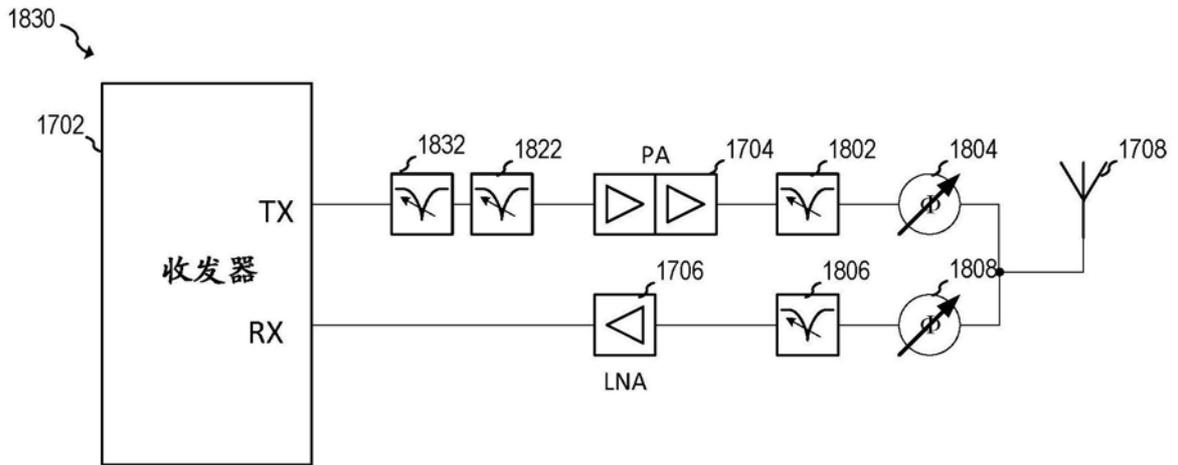


图18C

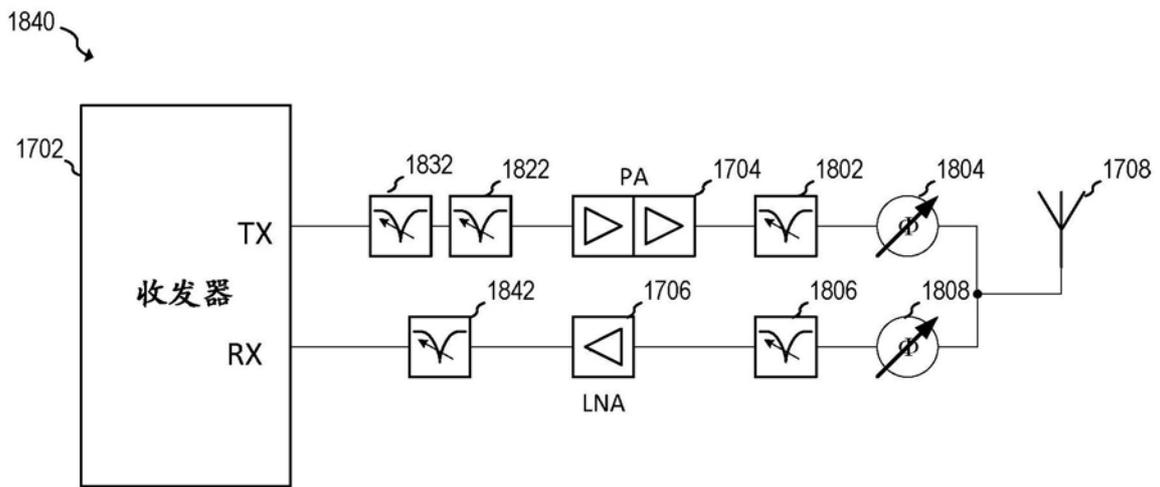


图18D

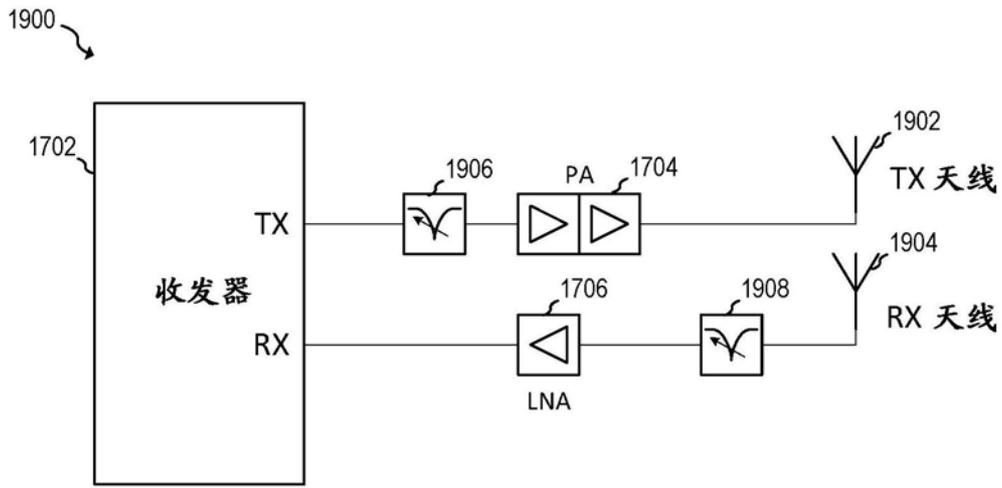


图19A

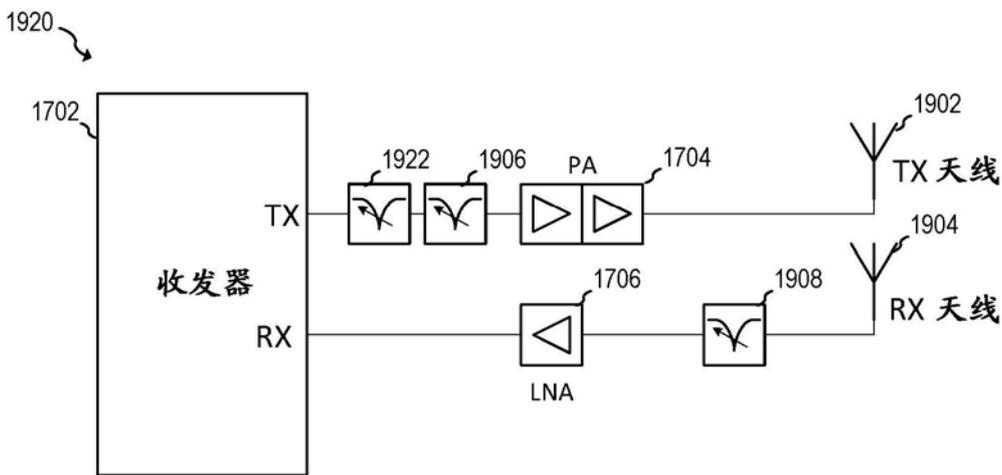


图19B

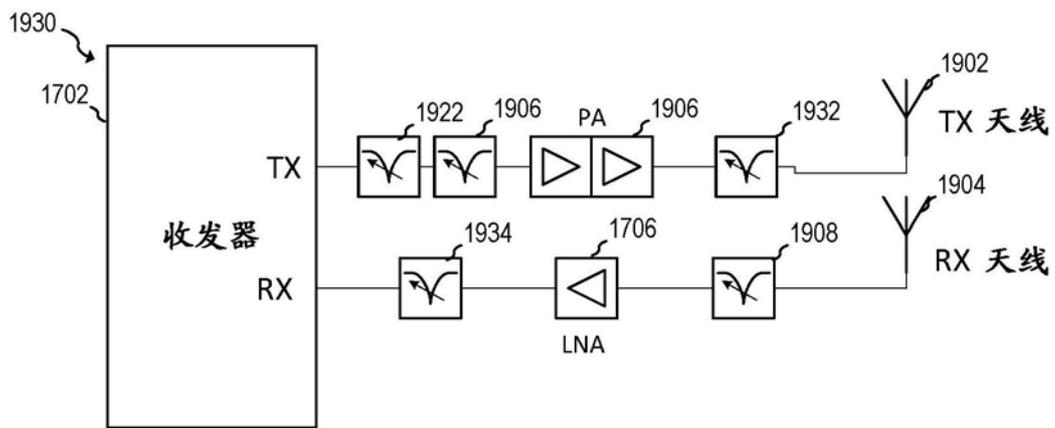


图19C

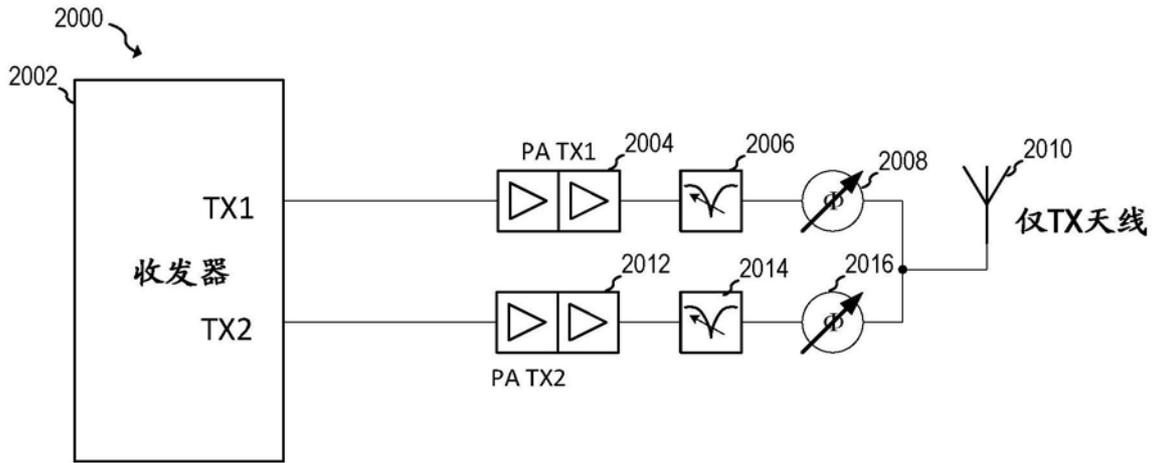


图20A

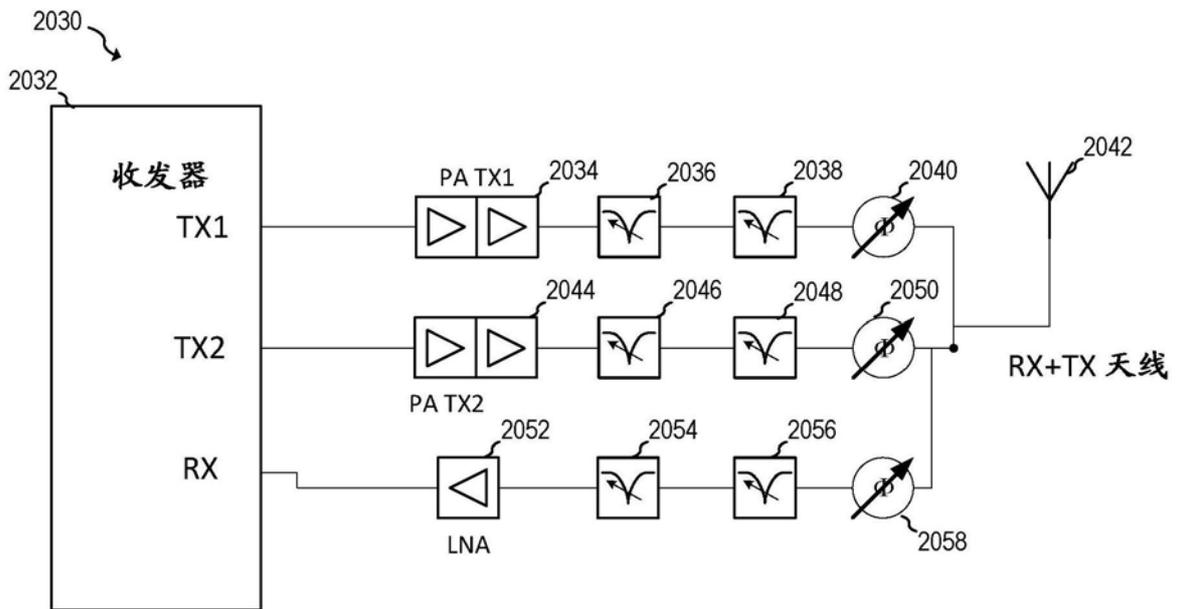


图20B

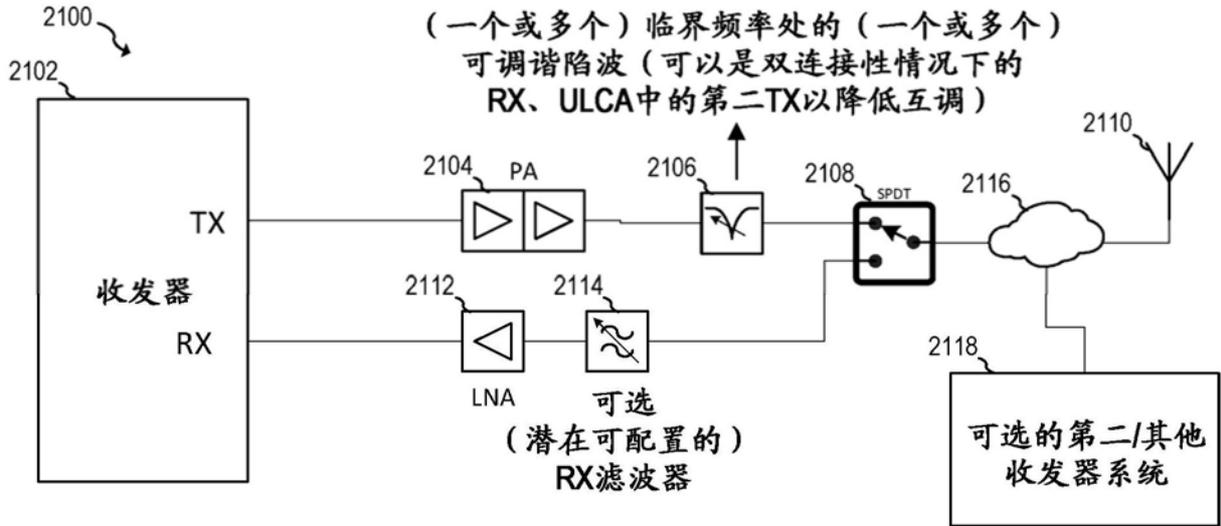


图21A

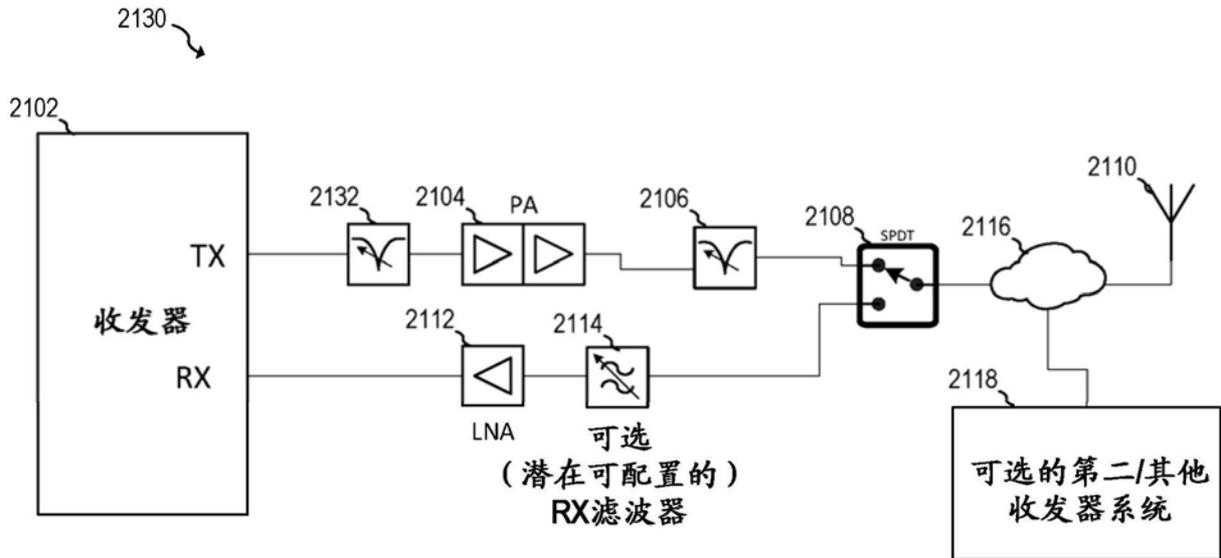


图21B

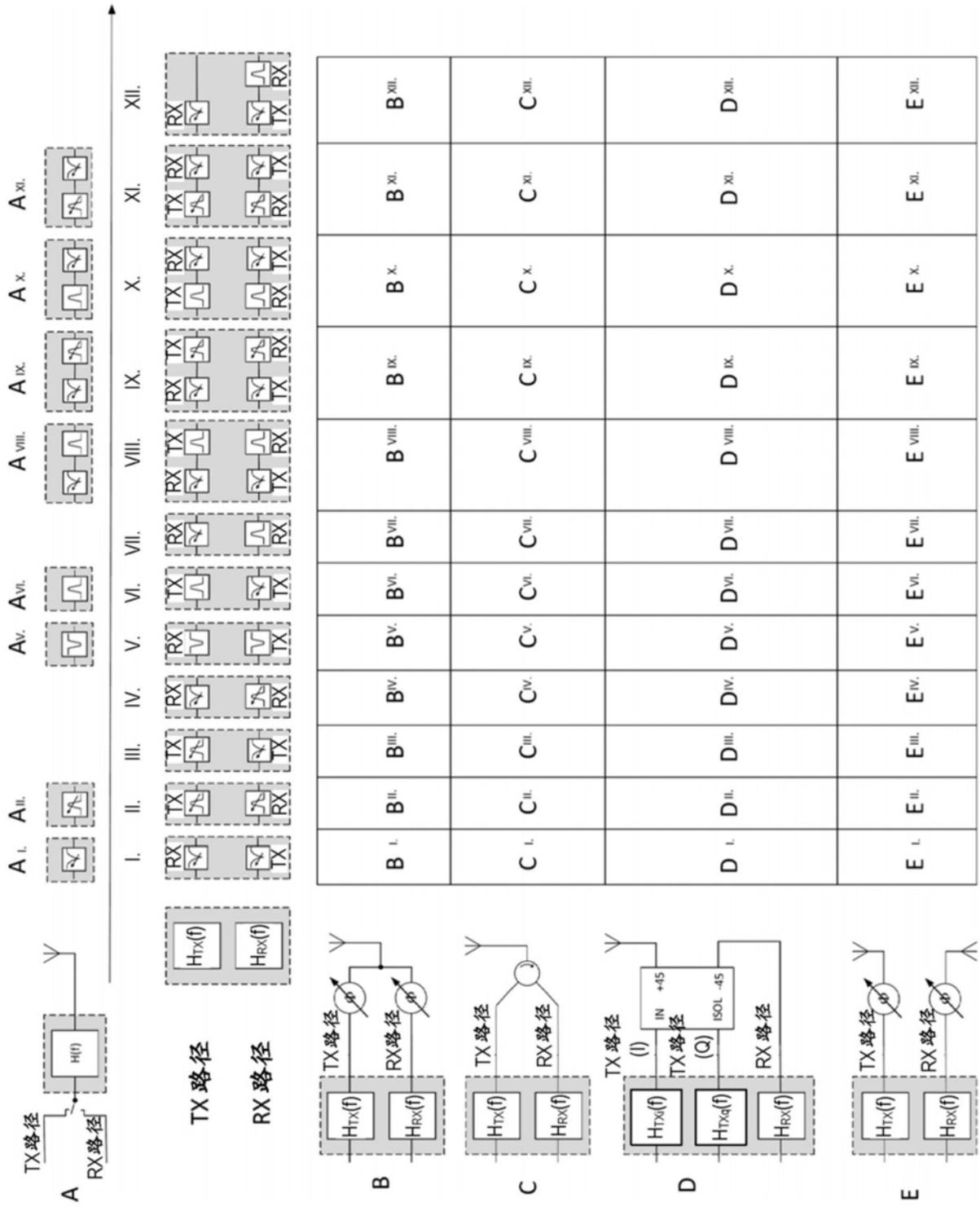


图22

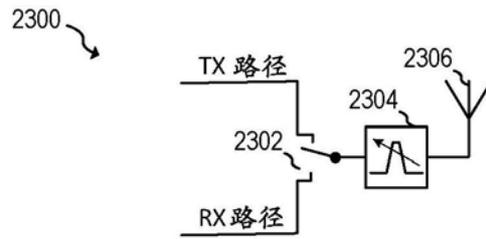


图23

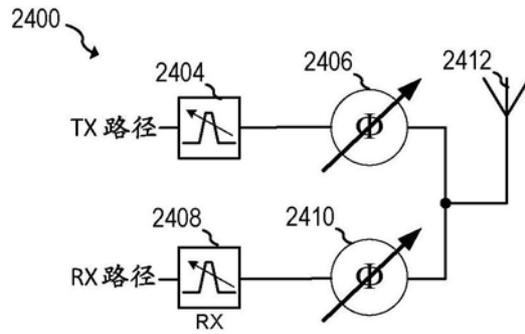


图24A

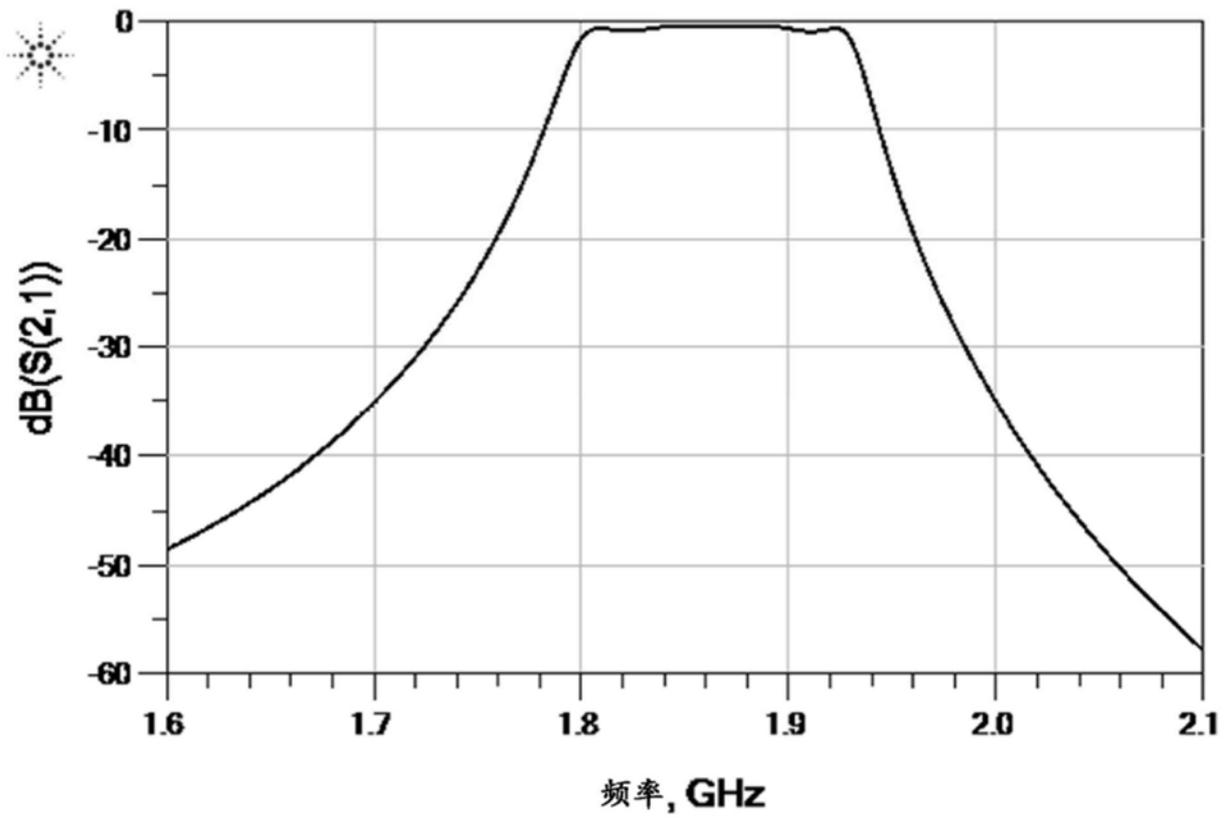


图24B

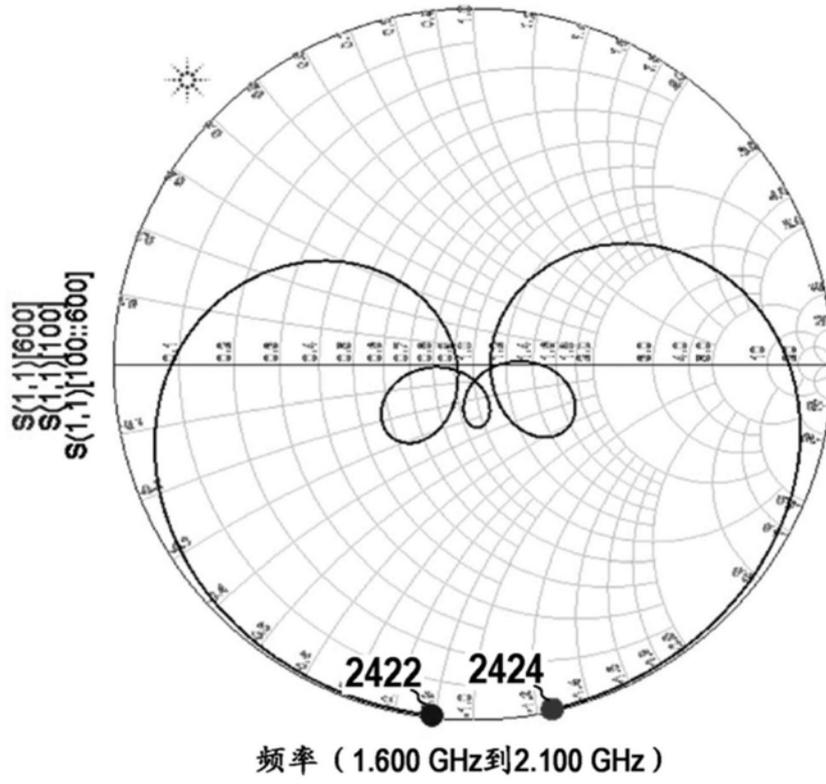


图24C

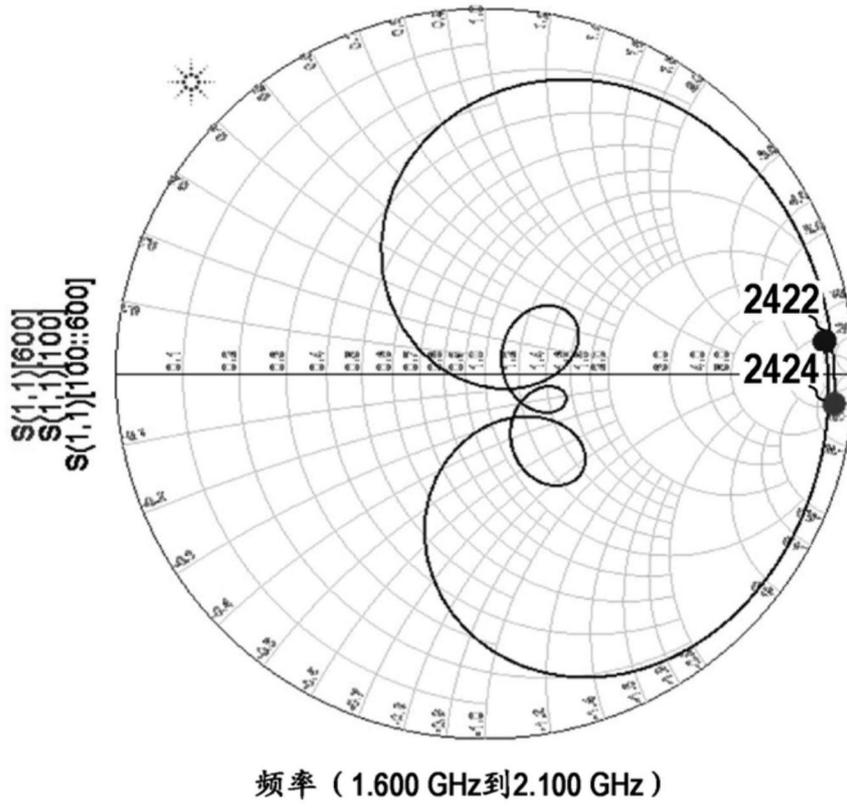


图24D

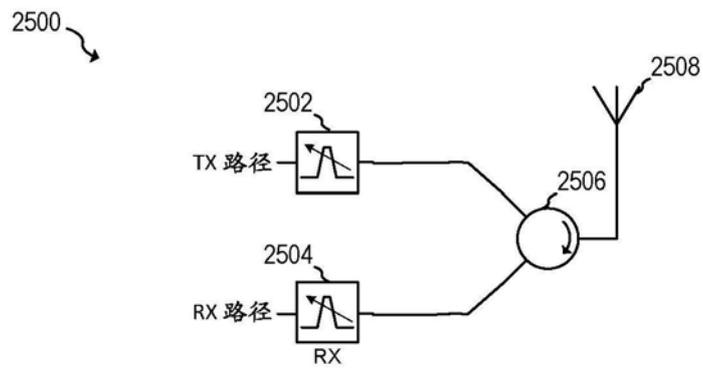


图25

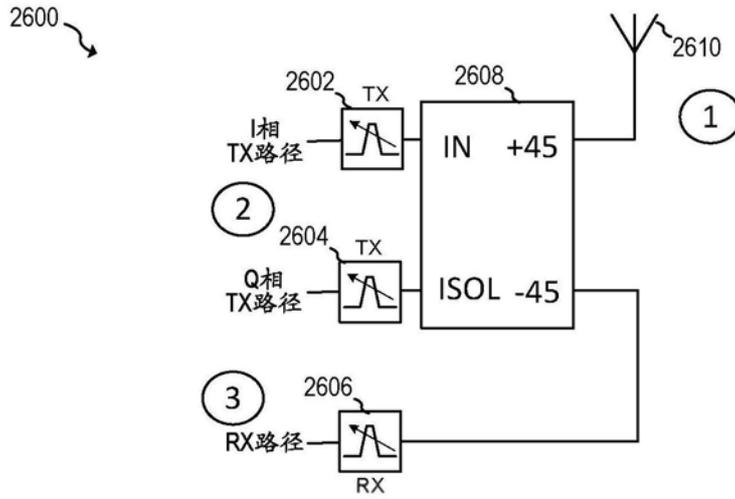


图26A

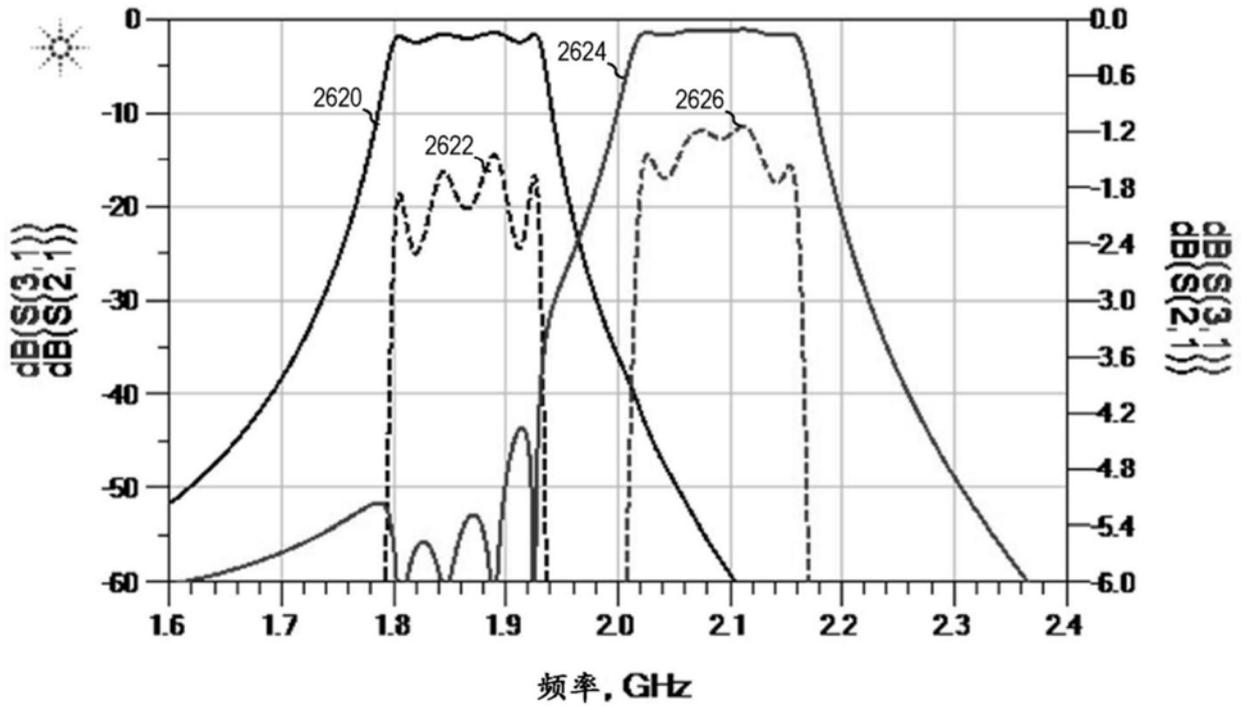


图26B

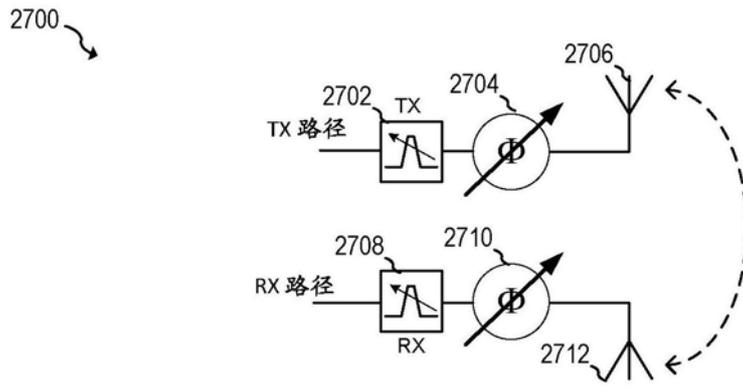


图27