



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102540052 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201110375535. 3

(22) 申请日 2011. 11. 23

(30) 优先权数据

12/952261 2010. 11. 23 US

(71) 申请人 英飞凌科技股份有限公司

地址 德国瑙伊比贝尔格市坎茨昂 1 - 12 号

(72) 发明人 J-P. 福斯特纳

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 王岳 蒋骏

(51) Int. Cl.

G01R 31/28(2006. 01)

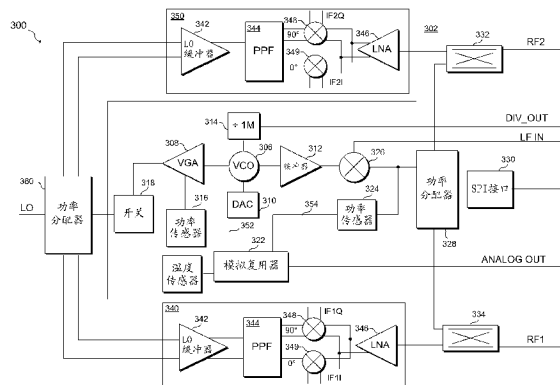
权利要求书 4 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于测试射频集成电路的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及用于测试射频集成电路的系统和方法。在实施例中,一种测试射频集成电路(RFIC)的方法包括:使用片上测试电路来生成高频测试信号;使用片上功率检测器来测量信号电平;并且使用低频信号来控制 and 监视片上测试电路。RFIC 电路配置成在高频操作,并且片上测试电路包括配置成在测试模式期间操作的频率生成电路。



1. 一种测试射频集成电路(RFIC)电路的方法,所述 RFIC 电路包括:RF 电路,配置成在高频操作;和片上测试电路,包括配置成在测试模式期间操作的频率生成电路,所述方法包括:

使用所述片上测试电路来生成高频测试信号;
使用片上功率检测器来测量信号电平;并且
使用低频信号来控制 and 监视所述片上测试电路。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述高频包括大于 10GHz 的高频,并且所述低频信号包括少于 1MHz 的频率。

3. 一种测试射频集成电路(RFIC)电路的方法,所述 RFIC 电路包括:RF 电路,配置成在高频操作;和片上测试电路,包括配置成仅在测试模式期间操作的频率生成电路,所述方法包括:

使用所述片上测试电路来生成所有高频测试信号;
使用片上功率检测器来测量信号电平;并且
使用低频信号来控制 and 监视所述片上测试电路。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中所述高频包括大于 10GHz 的高频,并且所述低频信号包括少于 1MHz 的频率。

5. 根据权利要求 3 所述的方法,还包括仅使用低频测试设备来测试所述 RF 电路的高频信号路径。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述低频测试设备的模拟接口仅使用少于 1MHz 的频率来与所述 RFIC 通信。

7. 一种集成电路,包括:

射频(RF)电路,包括:

外部高频接口,配置成在第一频带内操作,所述外部高频接口耦合到所述集成电路的输出焊盘,和

第一可切换内部高频接口,配置成在所述第一频带内操作;以及

测试电路,包括:

变频振荡器,耦合到开关,所述开关耦合到所述第一可切换内部高频接口,和

外部低频接口,配置成在第二频带内操作,所述第二频带包括低于所述第一频带的频率。

8. 根据权利要求 7 所述的集成电路,其中所述外部低频接口配置成耦合到低频测试器。

9. 根据权利要求 7 所述的集成电路,其中:

所述第一频带包括大于 10GHz 的频率;并且

所述第二频带包括少于 1MHz 的频率。

10. 根据权利要求 7 所述的集成电路,其中所述测试电路还包括:

可变增益放大器(VGA),具有耦合到所述变频振荡器的输入和耦合到所述开关的输出;

第一功率传感器,具有与所述 VGA 的输出耦合的输入和与所述低频外部接口耦合的输出;

混合器,具有与所述变频振荡器耦合的第一输入和与所述 RF 电路的第二高频接口耦合的输出;以及

第二功率传感器,包括与所述混合器的所述输出耦合的输入和与所述低频外部接口耦合的输出。

11. 根据权利要求 10 所述的集成电路,其中所述测试电路还包括耦合到所述外部低频接口的温度传感器。

12. 根据权利要求 10 所述的集成电路,其中所述混合器还包括耦合到所述外部低频接口的第二输入。

13. 根据权利要求 10 所述的集成电路,其中所述第一功率传感器和所述第二功率传感器经由模拟复用器耦合到所述外部低频接口。

14. 根据权利要求 10 所述的集成电路,其中所述 RF 电路包括耦合到所述可切换内部高频接口的本地振荡器(LO)输入。

15. 根据权利要求 10 所述的集成电路,其中所述 RF 电路包括经由定向耦合器来与所述混合器的所述输出耦合的接收器。

16. 根据权利要求 7 所述的集成电路,还其中所述测试电路还包括:数模转换器(DAC),耦合到所述变频振荡器的频率控制输入;以及分频器,耦合于所述变频振荡器与外部低频输入之间。

17. 一种半导体电路,包括:

RF 电路,包括:

接收器,包括本地振荡器(LO)输入,和

RF 输入,耦合到所述半导体电路的外部管脚;以及

测试电路,包括:

振荡器,

可变增益放大器(VGA),耦合到所述振荡器的输出,

开关,耦合于所述 VGA 的输出与所述接收器的本地振荡器输入之间,其中所述 VGA 的所述输出在测试模式期间耦合到所述接收器,并且系统 LO 在正常操作模式期间耦合到所述接收器,

第一功率传感器,包括与所述 VGA 的所述输出耦合的输入和与所述测试电路的低频外部接口耦合的输出,

混合器,包括:

第一输入,耦合到所述振荡器,

第二输入,耦合到所述外部低频接口,和

输出,经由耦合器耦合到所述接收器输入,以及

第二功率传感器,包括与所述混合器的所述输出耦合的输入和与所述低频外部接口耦合的输出。

18. 根据权利要求 17 所述的半导体电路,其中所述测试电路还包括:

分频器,具有与所述振荡器的所述输出耦合的输入和与所述低频外部接口耦合的输出;以及

模拟复用器,具有与温度传感器耦合的第一输入、与所述第一功率传感器的所述输出

耦合的第二输入、与所述第二功率传感器耦合的第三输入和与所述低频外部接口耦合的输出。

19. 根据权利要求 18 所述的半导体电路,其中:

所述接收器包括多个接收器;

所述耦合器包括耦合于所述混合器的所述输出与每个所述接收器的 RF 输入之间的多个耦合器;

第一功率分配器,耦合于所述开关与所述多个接收器的 LO 输入之间;以及

第二功率分配器,耦合于所述混合器的所述输出与所述多个耦合器之间。

20. 根据权利要求 18 所述的半导体电路,其中所述 RF 电路在大于 10GHz 的频率操作,所述低频外部接口在低于 1MHz 的频率操作。

21. 一种测试射频集成电路(RFIC)的方法,所述 RFIC 电路包括 RF 接收器和内置测试电路,所述方法包括在测试模式中操作所述 RFIC,在所述测试模式中操作所述 RFIC 包括:

将所述 RF 接收器的 LO 输入耦合到所述内置测试电路的测试振荡器的输出;

将所述 RF 接收器的 RF 输入耦合到所述内置测试电路的混合器的输出,其中所述内置测试电路的所述混合器包括与所述测试振荡器的所述输出耦合的第一输入;并且

向所述内置测试电路的所述混合器的第二输入施加来自所述内置测试电路的低频外部接口的测试频率。

22. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括将所述 RFIC 的操作模式从所述测试模式改变成正常模式,改变所述操作模式包括:

关断所述测试振荡器;并且

将所述内置测试电路的所述测试振荡器的所述输出从所述 RF 接收器的所述 LO 输入去耦合。

23. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括设置 LO 信号功率、设置 LO 功率,设置所述 LO 功率包括:

经由第一功率检测器测量耦合于所述测试振荡器与所述 LO 输入之间的测试 VGA 的输出电平,所述第一功率检测器包括与所述内置测试电路的所述低频外部接口耦合的输出;并且

基于所述测量来调节测试 VGA 的增益以提供目标 LO 信号电平。

24. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括确定转换增益,确定转换增益包括:

经由第二功率检测器测量在所述混合器的所述输出处的第一信号电平,所述第二功率检测器包括与所述内置测试电路的低频接口耦合的输出;

测量在所述接收器的输出处的第二信号电平;并且

基于测量所述第一信号电平和测量所述第二信号电平来确定转换增益。

25. 根据权利要求 21 所述的方法,还包括设置所述测试振荡器的频率,设置所述频率包括:

将所述振荡器的输出频率分频;

向所述低频外部接口提供所分频的振荡器频率;并且

测量所分频的振荡器频率;并且

基于所述测量来调节对所述测试振荡器的频率设置。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,其中调节所述频率包括向数模(DAC)转换器写入值,所述 DAC 转换器包括与所述测试振荡器的频率控制输入耦合的输出。

用于测试射频集成电路的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及半导体设备和方法并且更具体地涉及一种测试射频(RF)集成电路的系统和方法。

背景技术

[0002] 随着对基于毫米波的 RF 系统的需求增加,已对应地关注于在基于硅的集成电路上集成这些 RF 系统而不是使用基于 III/V 的分立半导体部件。毫米波频率一般定义为在约 30GHz 与 300GHz 之间。针对基于毫米波的 RF 系统的常见应用例如包括汽车雷达和高频通信系统。通过使用硅集成,可以用比基于分立部件的系统更低的成本制造更大量的这些 RF 系统。

[0003] 然而测试基于毫米波的系统是困难且昂贵的。例如在操作于 10GHz 以上的系统中,用来测试这些系统的精度测试夹具和设备是昂贵的。这些测试夹具和设备的操作、校准和维护是费时的,并且用于测试的 RF 探针具有有限寿命并且随时间磨损。物理变形(比如弯曲接触)可能影响高频匹配网络,并且接触和连接器的腐蚀可能降低测试装置的衰减特性。另外,为了维护和操作这样的高频测试设备而需要的专业技能在大量半导体测试环境中经常不可得到。照此,即使可以制造大量毫米波 RF 集成电路,测试集成电路仍然可能变成大的瓶颈。

[0004] 图 1 例如图示了常规 RF 集成电路测试装置 100。具有 RF 电路 104 的 RFIC 102 封装于封装 106 中。RF 测试夹具 108 耦合到封装 106。在这样的系统中,RF 测试夹具 108 在高频执行 RFIC 102 的 RF 测试。一种节省测试时间和成本的方式是通过不执行 RF 信号路径的完全测试。在一些系统(比如基于雷达的汽车碰撞警告系统)中,可能需要完全和综合测试以保证系统的安全性和可靠性。

发明内容

[0005] 在一个实施例中,一种测试射频集成电路(RFIC)的方法包括使用片上测试电路来生成高频测试信号、使用片上功率检测器来测量信号电平并且使用低频信号来控制 and 监视片上测试电路。RFIC 电路配置成在高频操作,并且片上测试电路包括配置成在测试模式期间操作的频率生成电路。

[0006] 前文已相当广泛地概述本发明实施例的特征以便可以更好地理解以下的本发明的详细描述。在下文中将描述本发明实施例的附加特征和优点,其形成本发明的权利要求的主题。本领域技术人员应当明白,可以容易利用公开的概念和具体实施例作为用于修改或者设计用于实现本发明相同目的的其他结构或者过程的基础。本领域技术人员也应当认识到这样的等效构造并未脱离如在所附权利要求中阐述的本发明的精神和范围。

附图说明

[0007] 为了更完整理解本发明及其优点,现在参照结合附图进行的以下描述,在所述附

图中：

- 图 1 图示了常规 RF 集成电路测试装置；
- 图 2 图示了根据本发明实施例的 RF 集成电路测试装置；
- 图 3 图示了根据本发明实施例的 RF 集成电路；
- 图 4 图示了根据本发明替代实施例的 RF 集成电路；并且
- 图 5 图示了实施例内置测试设备电路的框图。

具体实施方式

[0008] 下文详细讨论当前优选实施例的实现和使用。然而应当明白，本发明提供可以在广泛各种具体背景中体现的许多适用发明概念。讨论的具体实施例仅说明用于实现和使用本发明的具体方式而并未限制本发明的范围。

[0009] 将在具体背景(即一种用于测试 RF 集成电路的系统和方法)中关于优选实施例描述本发明。然而本发明也可以应用于其它类型的电路。

[0010] 图 2 图示了根据本发明实施例的 RF 集成电路测试装置 200。RFIC 202 具有 RF 电路 204 和内置自测试电路 208。在实施例中，内置自测试电路 208 配置成经由测试连接 212 来与低频(LF)测试夹具 210 对接。在实施例中，RF 电路可以是各种 RF 电路，包括但不限于比如 RF 接收器、发射器、雷达、RF 通信系统、振荡器、滤波器等这样的电路。在一些实施例中，针对一些汽车雷达应用，RF 电路 204 在大于 10GHz 的频率、例如在约 24GHz 或者在约 77GHz 操作。在替代实施例中，RF 电路 204 或者 RF 电路 204 的部分在低于 10GHz 的频率操作。

[0011] 在一些实施例中，RFIC IC 在测试期间封装于封装 206 中。替代地，可以在封装 206 以外(例如在晶片测试期间作为裸管芯或者如果 RFIC 204 作为芯片装配于板上则在板级)测试 RFIC 204。封装 206 可以是如下各种封装中的任何封装：包括但不限于塑料双列直插封装(PDIP)、陶瓷双列直插封装(CERDIP)、单列直插封装(SIP)、小外形(SO)封装、具有 j 弯曲引线的 SO 封装(SOJ)、具有 c 形引线的 SO 封装(COJ)、收缩 SO 体尺寸(SSOP)、小型体尺寸(MSOP)、塑料方型扁平封装(PQFP)、塑料无引线芯片载体(PLCC)、陶瓷方型扁平封装(CERQUAD)、凸点芯片载体(BCC)或者球形栅格阵列(BGA)。

[0012] 在实施例中，LF 测试夹具 210 包括配置成在比 RF 电路 204 的标称操作频率更低的频率操作的测试设备。在一个实施例中，在测试连接 212 的信号频率处于 DC 和 / 或少于 1MHz。在其它实施例中，可以使用更高频率。

[0013] 图 3 图示了具有内置测试设备(BITE)段 302 和 RF 电路段的实施例 RFIC 300。在一个实施例中，RF 电路段是用于调频连续波(FMCW)雷达系统的接收器，该系统使用双复零差降频转换器。RF 电路段具有经由功率分配器 360 接收本地振荡器(LO)信号的两个降频转换器块 340 和 350。每个降频转换器块 340 和 350 具有 LO 缓冲器 342、多相滤波器 344、混合器 348 和 349 以及低噪声放大器(LNA)346。在实施例中，向中频和 / 或基带处理电路(未示出)发送降频转换块 340 的同相和正交输出 IF1I 和 IF1Q 以及降频转换块 350 的同相和正交输出 IF2I 和 IF2Q。然后向低频测试器发送这些中频和 / 或基带处理电路的输出。降频块 340 和 350 的 LNA 346 分别经由耦合器 334 和 332 耦合到 RF 输入信号 RF1 和 RF2。替代地，可以使用开关取代或者补充(addition to)耦合器 334 和 332。应当理解，降频转

换器块 340 和 350 是实施例 BITE 块可以测试的功能 RF 电路的例子。在更多实施例中, 实施例 BITE 块可以实施并且测试其它功能 RF 电路。

[0014] 在实施例中, BITE 段 302 向 RF 电路段提供高频测试功能。压控振荡器 (VCO) 306 在 RF 电路段的操作频带内生成 RF 信号。例如在一个实施例中, VCO 306 在约 24GHz 操作。在替代实施例中, 可以使用其它频率。在实施例中, 使用变容二极管调谐科耳皮兹 (Colpitts) 振荡器来实施 VCO 306, 并且数模转换器 (DAC) 310 用来执行 VCO 306 的逐步频率调节。在使用数控振荡器的实施例中, 无需外部提供的模拟调谐电压。这样的实施例最小化施加努力并且避免噪声耦合到振荡器的敏感调谐输入。在其它实施例中, 可以使用如下数字可编程振荡器, 这些振荡器例如使用可切换储能电路 (tank) 振荡器段。在一些实施例中, 使用串行外围接口 (SPI) 330 来直接或者经由 DAC 310 设置 VCO 频率。

[0015] 向可变增益放大器 (VGA) 308、缓冲器 312 和分频器块 314 发送 VCO 306 的输出信号。在实施例中, 分频器块 314 具有高分频比以提供频率计数器和 / 或微处理器可以容易测量的低频输出信号。在图 3 的所图示实施例中, 分频器 314 具有分频比 2^{20} 以产生约 23KHz 的输出时钟。在替代实施例中, 可以使用其它分频比和输出频率。在一个实施例中, 低频测试设备使用分频器 314 的低频输出以监视和设置 VCO 306 的频率。例如在一个实施例中, 外部低频测试设备测量分频器 314 的分频输出并且递增和 / 或递减 DAC 310 直至达到目标频率。

[0016] 在实施例中, VGA 308 经由开关 318 和功率分配器 360 生成用于接收器 340 和 350 的降频转换混合器的 LO 驱动。在测试期间, 开关 318 闭合。在一个实施例中, LO 输入端口到功率分配器 360 的信号在 VGA 308 提供 LO 信号时的测试期间由充分阻抗端接。另一方面, 当 BITE 302 未活动时, 开关 318 将 BITE 302 从功率分配器 360 断开。VGA 308 的输出幅度由功率传感器 316 检测, 该传感器提供 DC 输出信号 352 作为对信号强度的指示。在一个实施例中, DC 输出信号 352 经由复用器 322 而路由到输出管脚 ANALOG OUT。在替代实施例中, 使用板上 A/D 转换器 (未示出) 来数字化 DC 输出信号 352 并且可以使用 SPI 接口 330 来输出该 DC 输出信号 352。

[0017] 在一些实施例中, 使用双极晶体管来实施开关 318。替代地, 可以使用 PIN 二极管、MOS 晶体管或者其它器件来实施开关 318。

[0018] 在实施例中, 前有缓冲放大器 312 的混合器 326 也耦合到 VCO 306 的输出。缓冲放大器 312 将振荡器芯与混合器隔离。然而在一些实施例中, 可以省略缓冲放大器。混合器 326 根据系统及其规格在一些实施例中在单边带 (SSB) 模式中操作或者在其它实施例中在双边带 (DSB) 模式中操作。在一些实施例中, 混合器 326 在具有抑制载波的 DSB 模式中操作。

[0019] 在实施例中, 混合器 326 将外部提供的低频 (LF) 信号增频转换至 RF 域。在一些实施例中, 这一 LF 信号可以在约 DC 与约 1MHz 之间。替代地, 可以使用其它频率范围。功率传感器 324 测量混合器 326 的输出功率并且产生 DC 信号 354, 该信号提供对在混合器 326 的输出处的信号强度的指示。在一个实施例中, DC 信号 354 经由模拟复用器 322 而路由到 ANALOG OUT。替代地, DC 信号 354 可以经由板上 A/D 转换器 (未示出) 数字化, 其输出可以经由 SPI 330 或者其它接口使之以数字方式可得到。

[0020] 在实施例中, 混合器 326 的输出使用功率分配器 328 来分配并且分别经由耦合器

334 和 332 路由到降频转换块 340 和 350 的输入。在实施例中,耦合器 332 和 334 在 -10dB 与 -20dB 之间衰减功率分配器 328 的输出。替代地,可以使用其它耦合损耗。例如可以调节耦合器 332 和 334 的耦合损耗以向降频转换电路 340 和 350 提供所期望的输入 RF 信号。在一些实施例中,弱耦合的定向耦合器用来提供甚低电平 RF 输入。在实施例中,耦合器 332 和 334 为微带耦合器。替代地,使用其它耦合器结构(比如混合耦合器)来实施耦合器 332 和 334。在一些实施例中,可以省略耦合器 332 和 334,并且混合器 326 的输出可以经由开关、有源网络和 / 或无源网络而路由到降频转换块 340 和 350 的输入。在另一实施例中,也可以使用具有多个输出的先前有源功能块来消除功率分配器 328。

[0021] 在一些实施例中,可以在混合器 326 的路径中提供附加衰减。在另一替代实施例中,缓冲器 312 可以用 VGA 替换。在另一替代实施例中,功率传感器 324 和 / 或附加功率传感器可以根据特定应用及其规格而放置于测试电路的其它部分中(例如放置于降频转换器电路 340 和 350 的输入)。在为单个 RF 输入提供测试信号的替代实施例中,省略功率分配器 328 和 / 或 360 并且使用单个耦合器 332。

[0022] 在实施例中,可以经由串并接口(SPI)330 来控制 BITE 302 的全部功能。替代地,其它接口可以用来控制 BITE 302 (包括其它串行和并行接口类型)。

[0023] 在实施例中,可以使用 BITE 电路 302 对降频转换器 340 和 350 执行多个不同种类的测量。例如通过执行多个测量(在这些测量之间调节 VGA 308 的增益)来执行实施例 L0 功率扫描。可以关于 L0 功率来测量转换增益、噪声指数等。功率传感器 316 用来提供关于 L0 驱动强度的数据。

[0024] 在实施例中,通过改变在信号 LF_IN 向混合器 326 的输入的幅度来执行 RF 信号功率扫描。另外,可以测量降频转换器 340 和 350 的输入压缩和线性特性。例如,可以通过针对 1dB 压缩点以数字方式或者在模拟域中扫描混合器 326 的输入功率并且监视降频转换器 340 和 350 的输出来发现 1dB 压缩点。例如在实施例中,通过将 IF 输出幅度与功率传感器的输出相关来量化输入压缩作为对 RF 输入功率的测量。可以通过在混合器 326 的输入处引入两个音调(tone)来测量关于输入功率测量的三阶互调失真。然后在降频转换器 340 和 350 的输出处测量互调失真产物。

[0025] 在实施例中,例如通过在 LF_IN 引入音调并且在降频转换器 340 和 350 的输出处测量对应音调的幅度来测量转换增益。通过扫描在 LF_IN 的输入的频率来执行 RF 和基带频率扫描。同样地,通过经由 DAC 310 扫描 VCO 306 的频率并且在信号 DIV_OUT 测量分频的 L0 频率来执行 L0 频率扫描。

[0026] 在实施例中,通过测量降频转换器的转换增益并且测量降频转换器 340 和 350 的输出噪声密度来测量噪声指数。通过在 LF_IN 引入音调并且以数字方式或者在模拟域中在降频转换器 340 和 350 的输出处测量对应音调的幅度来执行转换增益测量。通过执行时频变换(比如如果 A/D 转换器实施于片上或者系统中的别处则为降频转换器 340 和 350 的数字化输出的 FFT)来测量降频转换器的输出噪声密度。替代地,频谱分析器可以用来测量降频转换器 340 和 350 的噪声输出密度。然后根据本领域中已知的方法来计算噪声指数。应当明白,本文中描述的测量方法是可以使用实施例系统和方法来进行的多个测量的少数例子。

[0027] 图 4 图示了具有 BITE 372 和如下 RF 电路的替代实施例系统 400,该 RF 电路具有

降频转换器 340 和 350 以及功率分配器 360。在实施例中, BITE 372 类似于图 3 中的 BITE 302, 除了噪声源 370 而不是混合器 326 用来向降频转换器 340 和 350 提供测试输入。噪声源 370 向降频转换器 340 和 350 的输入提供已知的噪声电平。可以通过确定降频转换器 340 和 350 中的混合器 348 和 349 的输出噪声电平来进行测量(比如噪声指数(NF)和转换增益)。在一个实施例中, 通过使用其中接通和关断噪声源 370 的 y 因子方法来测量噪声指数。在一些实施例中, 以数字方式经由使用跟随有 DSP (未示出) 的 A/D 转换器或者以模拟方式测量混合器 348 和 349 的输出噪声电平。

[0028] 在实施例中, 噪声源 370 包括提供两个输出噪声密度的过量噪声比(ENR)源。在一个实施例中, 使用雪崩击穿二极管或者噪声二极管来实施这一噪声源。在另一实施例中, 可以使用其它噪声源, 例如电阻器或者提供放大的热噪声的电路。在一个实施例中, 通过执行如下两个输出噪声测量来测试降频转换器 340 和 350 的噪声性能: 用噪声源 370 的第一噪声密度输出进行一个测量, 而用噪声源 370 的第二噪声密度输出进行另一测量。如本领域中已知的, 然后使用 y 因子噪声测量技术来计算降频转换器 340 和 350 的噪声指数。

[0029] 图 5 图示了实施例 BITE 芯电路 500。电路 500 具有其频率由 DAC 512 控制的 VCO 502。VCO 502 的一个输出经由 VGA 504 路由到信号 LO_OUT, 而 VCO 502 的另一输出经由缓冲器 506 路由到混合器 508。功率传感器 514 和 516 分别监视 VGA 504 和混合器 508 的输出。VCO 502 的另一输出路由到按照因子 x 将 VCO 502 的输出分频的分频器 510。在实施例中, BITE 500 与 RF 电路(比如待测试的毫米波电路)一起位于集成电路上。在测试期间, LO_OUT 耦合到 RF 电路的 LO 输入, RF_OUT 耦合到 RF 电路的输入, LF_IN 的输入 LF_IN 在外部耦合到低频信号源。DIV_OUT 例如耦合到外部频率计数器。

[0030] 在一个例子中, VCO 首先被编程为输出 24GHz 的频率。编程包括选择用来设置 VCO 502 的初始 DAC 值。接着通过测量外部频率计数器的 DIV_OUT 来测量 VCO 的频率。如果分频因子 $x=1,000,000$, 则 DIV_OUT 将在 VCO 502 在 24GHz 操作时获得 24KHz 的频率。在一个实施例中, 交互式调节 DAC 值直至 DIV_OUT 在目标值范围内。

[0031] 为了执行需要 LO 调节的测量, 改变 VGA 504 的增益并且经由功率传感器 514 测量它的对应功率电平。为了执行在 RF_OUT 需要有源信号的测量, 在 LF_IN 引入并且增频转换低频输入。例如, 如果 LO 设置成约 24GHz 的频率并且在 LF_IN 引入 1MHz 音调, 那么如果混合器 508 为 DSB 混合器, 则对应音调将出现于约 24.001GHz 和约 23.999GHz。如果混合器 508 为 SSB 混合器, 则输出音调将处于约 24.001GHz 或约 23.999GHz。然后可以使用功率传感器 516 来测量 RF_OUT 的幅度。应当明白, 这些值为例子并且可以使用其它频率和值。

[0032] 在实施例中, 信号 LO_OUT 和 RF_OUT 两者均从 VCO 502 导出。由于 LO 和 RF 信号相关, 所以小的频率波动未不利地影响毫米波接收器的测试。在一些实施例中, 由混合器 508 增频转换至 RF 域的 LF_IN 信号的频率具有与测试的降频转换混合器输出的频率相同的频率值。

[0033] 本发明实施例的优点包括如下能力: 测试包括毫米波电路的高频 RF 电路而未外部施加或者接收高频 RF 信号。向电路的输入和输出信号可以是 DC 或者低频信号。照此, 可以使用低频测试夹具在生产期间对 RF 电路或者 RF 集成电路执行全功能 RF 测试。另一优点包括在最终系统应用内执行片上 RF 电路的全功能测试的能力。执行这样的测试的能力就系统调试和 / 或验证而言是有利的。在与安全有关的系统中, 执行系统内测试的能力

允许更大程度的与安全有关的系统验证。

[0034] 实施例的另一优点包括使用片上 DAC 来调谐 VCO 的能力, 因为芯片 DAC 可以稳健地防止噪声和激励注入到测试信号路径中。

[0035] 尽管已参照说明性实施例描述了本发明, 但是本说明书并非旨在理解为限制意义。本领域技术人员在参考说明书时将清楚说明性实施例以及本发明其它实施例的各种修改和组合。因此旨在让所附权利要求涵盖任何这样的修改或者实施例。

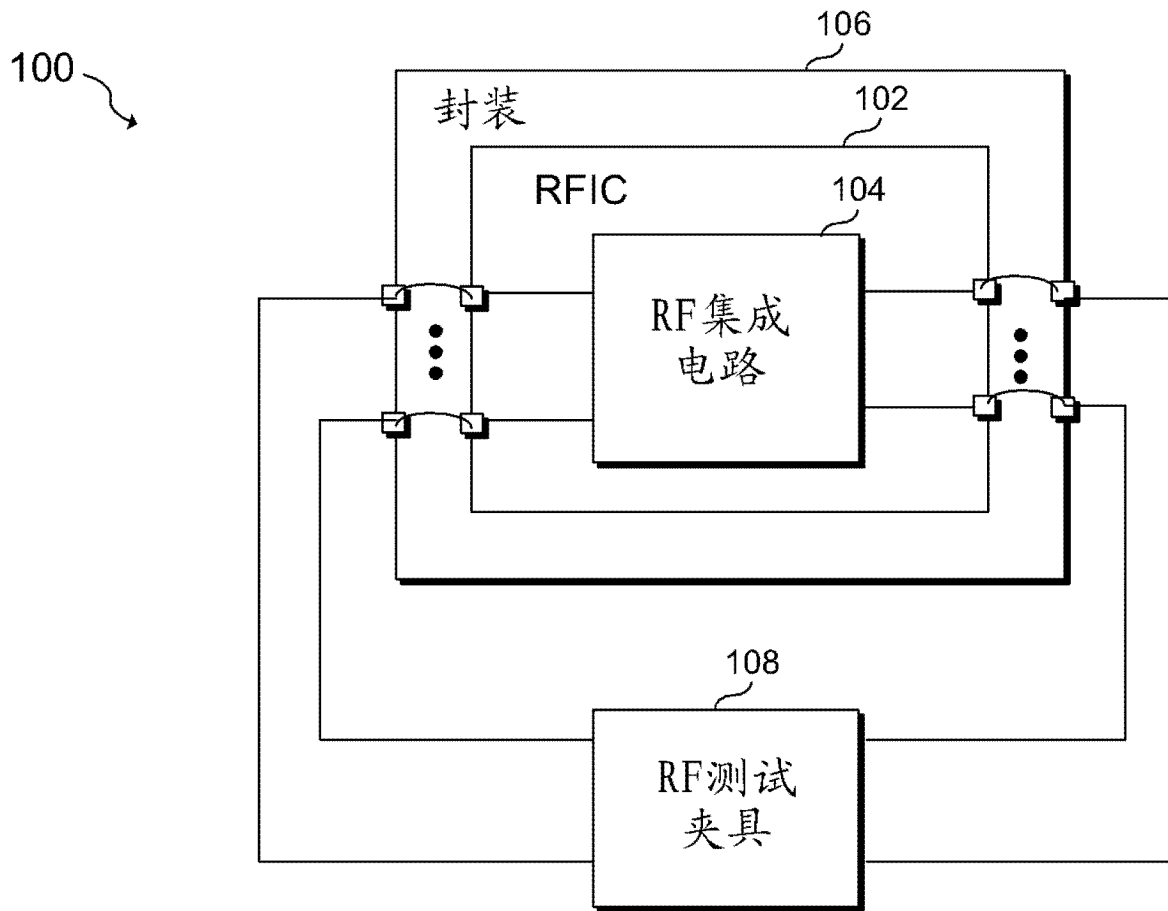


图 1

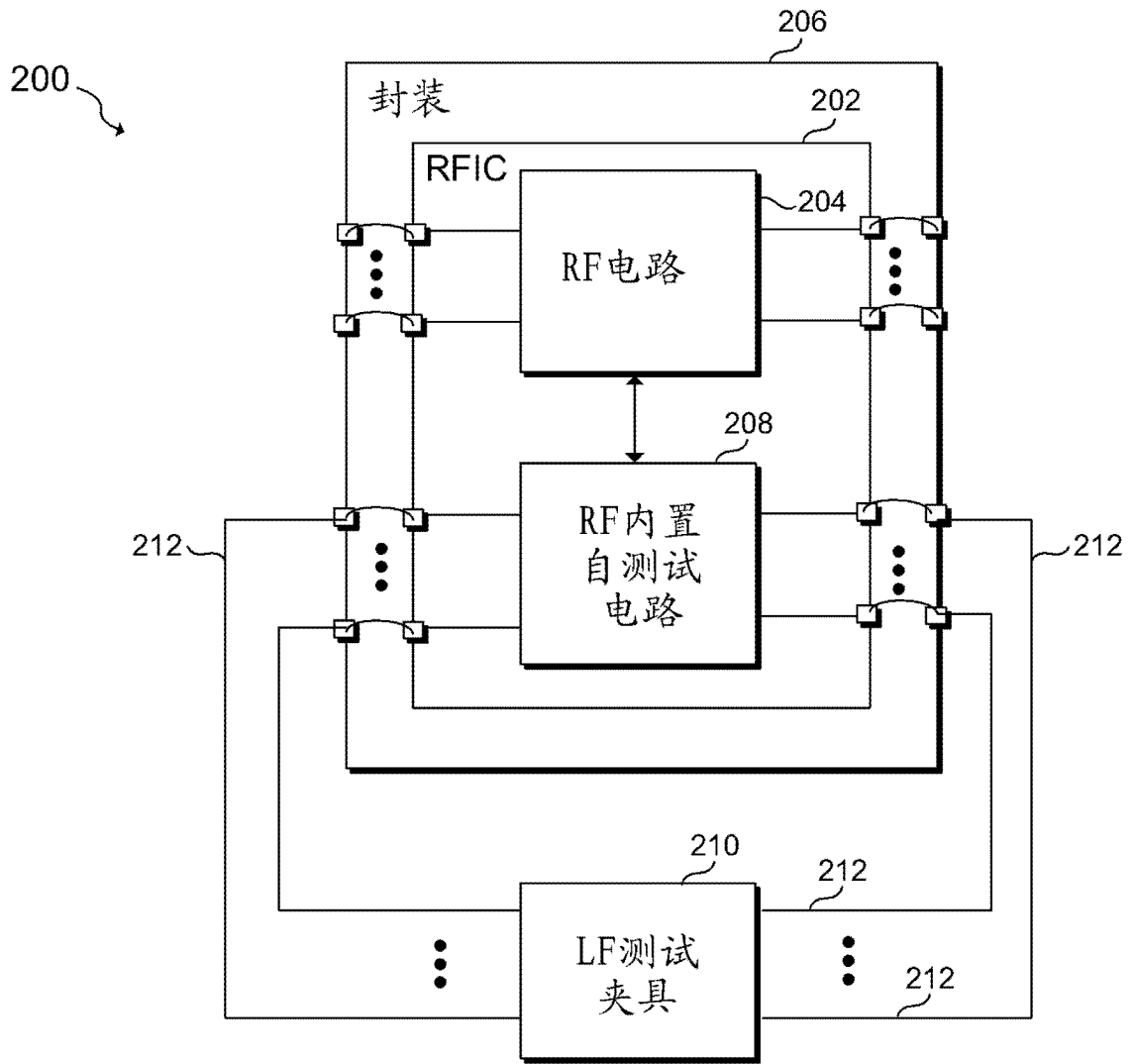


图 2

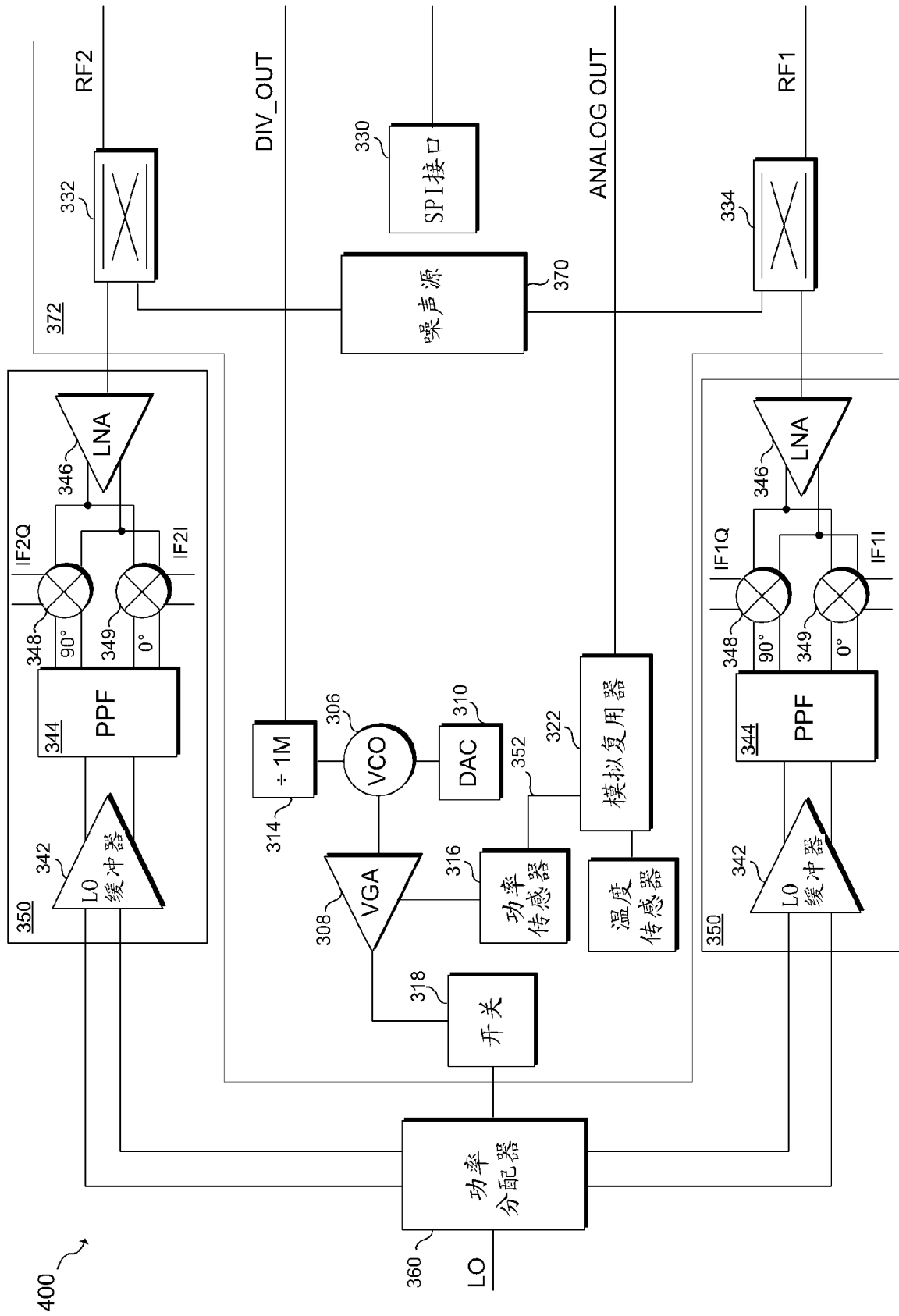


图 4

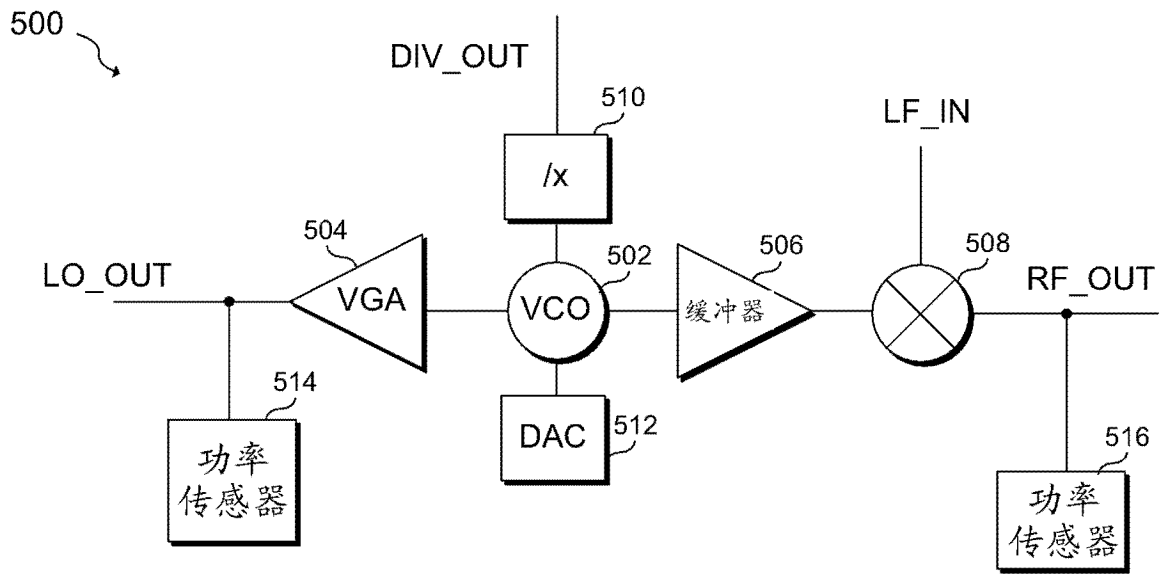


图 5