



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112953395 B
(45) 授权公告日 2022. 05. 24

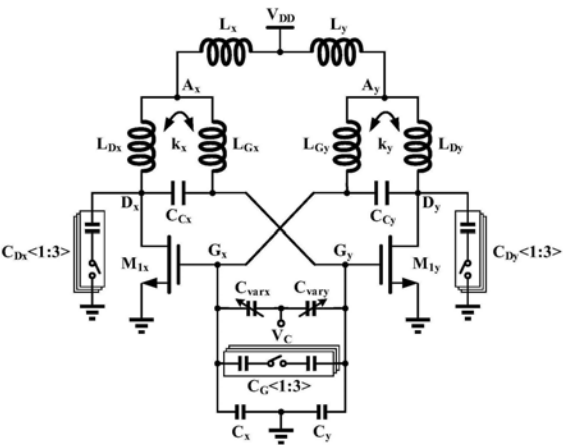
(21) 申请号 202110318434.6
(22) 申请日 2021.03.25
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112953395 A
(43) 申请公布日 2021.06.11
(73) 专利权人 华南理工大学
地址 510641 广东省广州市天河区五山路
381号
(72) 发明人 薛泉 罗雄耀
(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205
专利代理师 黎扬鹏
(51) Int. Cl.
H03B 5/30 (2006.01)

(56) 对比文件
JP 2004165612 A, 2004.06.10
US 2002093385 A1, 2002.07.18
CN 108768302 A, 2018.11.06
GB 1031399 A, 1966.06.02
CN 111181554 A, 2020.05.19
CN 111565040 A, 2020.08.21
审查员 易玉斌

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称
一种逆F类压控振荡器及芯片

(57) 摘要
本发明公开了一种逆F类压控振荡器及芯片,其中振荡器包括:交叉耦合晶体管对,包括晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} ,用于为振荡电路提供负阻,使振荡电路自激并产生包含谐波的振荡信号;多峰值谐振腔,用于为振荡电路提供基波阻抗峰值和二次谐波阻抗峰值,对振荡信号进行滤波;频率调谐模块,用于控制多峰值谐振腔中一端口和二端口的电容值大小,以控制谐振腔的基波和二次谐波谐振峰值所在的频率,进而控制振荡器输出振荡信号的频率。本发明中的多峰值谐振腔在晶体管漏极结点能够产生更强的二次谐波阻抗峰值,使晶体管漏极电压的二次谐波分量大幅增强,产生的振荡电压更加接近半正弦信号,降低了电路的相位噪声,可广泛应用于电子通信技术领域。



1. 一种逆F类压控振荡器,其特征在于,包括:

交叉耦合晶体管对,包括晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} ,用于为振荡电路提供负阻,使振荡电路自激并产生包含谐波的振荡信号;

多峰值谐振腔,用于为振荡电路提供基波阻抗峰值和二次谐波阻抗峰值,对振荡信号进行滤波;

从晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_x 和 D_y 看进去为谐振腔的一端口,二次谐波阻抗峰值远大于基波阻抗峰值,在晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的漏极生成由二次谐波成分主导的半正弦振荡电压信号;

从晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_x 和 G_y 看进去为谐振腔的二端口,基波阻抗峰值远大于二次谐波阻抗峰值,在晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的栅极生成由基波成分主导的正弦振荡电压信号;

频率调谐模块,用于控制多峰值谐振腔中一端口和二端口的电容值大小,以控制谐振腔的基波和二次谐波谐振峰值所在的频率,进而控制振荡器输出振荡信号的频率;

所述多峰值谐振腔包括电感 L_x 、电感 L_y 、电感 L_{Dx} 、电感 L_{Gx} 、电感 L_{Dy} 、电感 L_{Gy} 以及电容 C_x 、电容 C_y ;

电感 L_x 的一端和电感 L_y 的一端与电源 V_{DD} 相连,电感 L_x 的另一端均与电感 L_{Dx} 的一端和电感 L_{Gx} 的一端连接于结点 A_x ,电感 L_y 的另一端均与电感 L_{Dy} 的一端和电感 L_{Gy} 的一端连接于电路结点 A_y ;电感 L_{Dx} 与电感 L_{Gx} 、电感 L_{Dy} 与电感 L_{Gy} 分别耦合形成变压器,耦合系数为 k_x 、 k_y ;

电感 L_{Dx} 的另一端和晶体管 M_{1x} 连接于结点 D_x ,电感 L_{Dy} 的另一端和晶体管 M_{1y} 连接于结点 D_y ,电感 L_{Gx} 的另一端和晶体管 M_{1y} 连接于结点 G_y ,电感 L_{Gy} 的另一端和晶体管 M_{1x} 连接于结点 G_x ,晶体管 M_{1x} 的源极和晶体管 M_{1y} 的源极接地;

晶体管 M_{1x} 的栅极通过电容 C_x 接地,晶体管 M_{1y} 的栅极通过电容 C_y 接地;

晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 各自的栅极结点 G_x 和 G_y 作为差分振荡信号的输出端口;

所述多峰值谐振腔还包括交叉耦合电容 C_{Cx} 和交叉耦合电容 C_{Cy} ;

交叉耦合电容 C_{Cx} 的一端连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x ,交叉耦合电容 C_{Cx} 的另一端连接晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_y ;

交叉耦合电容 C_{Cy} 的一端连接晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,交叉耦合电容 C_{Cy} 的另一端连接晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 。

2. 根据权利要求1所述的一种逆F类压控振荡器,其特征在于,所述正弦振荡电压信号作为压控振荡器的输出信号。

3. 根据权利要求1所述的一种逆F类压控振荡器,其特征在于,所述频率调谐模块包括开关电容阵列 C_{Dx} 、开关电容阵列 C_{Dy} 和开关电容阵列 C_G 以及变容管 C_{varx} 、变容管 C_{vary} ;

变容管 C_{varx} 的一端和变容管 C_{vary} 的一端相连并连接调谐电压 V_c ,变容管 C_{varx} 的另一端连接晶体管 M_{1x} 的结点 G_x ,变容管 C_{vary} 的另一端连接晶体管 M_{1y} 的结点 G_y ;

开关电容阵列 C_G 的两端连接于接晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 和晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_y 之间;

开关电容阵列 C_{Dx} 的一端连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x ,另一端接地;

开关电容阵列 C_{Dy} 的一端连接晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,另一端接地。

4. 根据权利要求3所述的一种逆F类压控振荡器,其特征在于,所述开关电容阵列 C_{Dx} 、开

关电容阵列 C_{Dy} 和开关电容阵列 C_g 均为3bit开关电容阵列。

5. 根据权利要求1所述的一种逆F类压控振荡器, 其特征在于, 所述基波阻抗峰值对应的中心频率 $\omega = 22GHz$, 所述二次谐波阻抗峰值对应的中心频率 $2\omega = 44GHz$ 。

6. 一种芯片, 其特征在于, 包括振荡器, 所述振荡器采用如权利要求1-5任一项所述的一种逆F类压控振荡器来实现。

一种逆F类压控振荡器及芯片

技术领域

[0001] 本发明涉及电子通信技术的毫米波频率源电路领域,尤其涉及一种逆F类压控振荡器及芯片。

背景技术

[0002] 近年来,随着无线通信技术的高速发展,国内外众多科研机构将研究热点转向第五代(5G)通信,5G毫米波技术更是未来无线通信发展的主要方向。频率源作为毫米波前端系统中的重要环节,其性能的优劣对传输信号的信噪比影响重大,而压控振荡器是频率源中最核心的模块,影响着整个频率源的性能。该振荡器通过自激产生振荡信号并输出给后级电路模块用于变频操作,通过改变控制电压能够实现对振荡信号的频率进行选择,是无线通信系统的“心脏”。压控振荡器最重要的性能指标是相位噪声,因此,应用于5G毫米波系统的低相噪压控振荡器研究受到广泛关注。

[0003] 为了改善毫米波工作环境下压控振荡器的相位噪声性能,近年来出现了许多先进的技术方案。目前已有的方案提出了一种引入三次谐波的F类振荡器,采用变压器耦合技术在振荡电路中引入了三次谐波,形成F类振荡器,基波和三次谐波叠加后,在晶体管的漏极形成伪方波电压波形,根据脉冲灵敏度函数理论,能够带来相位噪声的改善。但由于三次谐波所在的频率非常高,电路的寄生效应十分显著,恶化电路的整体性能,导致相噪的性能改善并不明显。

[0004] 还提出了一种引入二次谐波的逆F类振荡器,利用单匝多抽头电感与交叉耦合电容器谐振引入二次谐波,形成逆F类振荡器,与基波叠加后在晶体管漏极处形成半正弦波,带来相位噪声的改善,但单匝多抽头电感占据较大芯片面积,较长的连接线带来额外的损耗,影响相噪性能并且增加成本。

发明内容

[0005] 为至少一定程度上解决现有技术中存在的技术问题之一,本发明的目的在于提供一种基于变压器耦合技术的新型逆F类压控振荡器及芯片。

[0006] 本发明所采用的技术方案是:

[0007] 一种逆F类压控振荡器,包括:

[0008] 交叉耦合晶体管对,包括晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} ,用于为振荡电路提供负阻,使振荡电路自激并产生包含谐波的振荡信号;

[0009] 多峰值谐振腔,用于为振荡电路提供基波阻抗峰值和二次谐波阻抗峰值,对振荡信号进行滤波;

[0010] 从晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_x 和 D_y 看进去为谐振腔的一端口,二次谐波阻抗峰值远大于基波阻抗峰值,在晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的漏极生成由二次谐波成分主导的半正弦振荡电压信号;

[0011] 从晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_x 和 G_y 看进去为谐振腔的二端口,基波阻抗峰

值远大于二次谐波阻抗峰值,在晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 的栅极生成由基波成分主导的正弦振荡电压信号;

[0012] 频率调谐模块,用于控制多峰值谐振腔中一端口和二端口的电容值大小,以控制谐振腔的基波和二次谐波谐振峰值所在的频率,进而控制振荡器输出振荡信号的频率。

[0013] 进一步,所述正弦振荡电压信号作为压控振荡器的输出信号。

[0014] 进一步,所述多峰值谐振腔包括电感 L_x 、电感 L_y 、电感 L_{Dx} 、电感 L_{Gx} 、电感 L_{Dy} 、电感 L_{Gy} 以及电容 C_x 、电容 C_y ;

[0015] 电感 L_x 的一端和电感 L_y 的一端与电源 V_{DD} 相连,电感 L_x 的另一端均与电感 L_{Dx} 的一端和电感 L_{Gx} 的一端连接于结点 A_x ,电感 L_y 的另一端均与电感 L_{Dy} 的一端和电感 L_{Gy} 的一端连接于电路结点 A_y ;电感 L_{Dx} 与电感 L_{Gx} 、电感 L_{Dy} 与电感 L_{Gy} 分别耦合形成变压器,耦合系数为 k_x 、 k_y ;

[0016] 电感 L_{Dx} 的另一端和晶体管 M_{1y} 连接于结点 D_x ,电感 L_{Dy} 的另一端和晶体管 M_{1y} 连接于结点 D_y ,电感 L_{Gx} 的另一端和晶体管 M_{1y} 连接于结点 G_y ,电感 L_{Gy} 的另一端和晶体管 M_{1x} 连接于结点 G_x ,晶体管 M_{1x} 的源极和晶体管 M_{1y} 的源极接地;

[0017] 晶体管 M_{1x} 的栅极通过电容 C_x 接地,晶体管 M_{1y} 的栅极通过电容 C_y 接地;

[0018] 晶体管 M_{1x} 和晶体管 M_{1y} 各自的栅极结点 G_x 和 G_y 作为差分振荡信号的输出端口。

[0019] 进一步,所述多峰值谐振腔还包括交叉耦合电容 C_{Cx} 和交叉耦合电容 C_{Cy} ;

[0020] 交叉耦合电容 C_{Cx} 的一端连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x ,交叉耦合电容 C_{Cx} 的另一端连接晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_y ;

[0021] 交叉耦合电容 C_{Cy} 的一端连接晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,交叉耦合电容 C_{Cy} 的另一端连接晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 。

[0022] 进一步,所述频率调谐模块包括开关电容阵列 C_{Dx} 、开关电容阵列 C_{Dy} 和开关电容阵列 C_G 以及变容管 C_{varx} 、变容管 C_{vary} ;

[0023] 变容管 C_{varx} 的一端和变容管 C_{vary} 的一端相连并连接调谐电压 V_C ,变容管 C_{varx} 的另一端连接晶体管 M_{1x} 的结点 G_x ,变容管 C_{vary} 的另一端连接晶体管 M_{1y} 的结点 G_y ;

[0024] 开关电容阵列 C_G 的两端连接于晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 和晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y 之间;

[0025] 开关电容阵列 C_{Dx} 的一端连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x ,另一端接地;

[0026] 开关电容阵列 C_{Dy} 的一端连接晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,另一端接地。

[0027] 进一步,所述关电容阵列 C_{Dx} 、开关电容阵列 C_{Dy} 和开关电容阵列 C_G 均为3bit开关电容阵列。

[0028] 进一步,所述基波阻抗峰值对应的中心频率 $\omega = 22\text{GHz}$,所述二次谐波阻抗峰值对应的中心频率 $2\omega = 44\text{GHz}$ 。

[0029] 本发明所采用的另一技术方案是:

[0030] 一种芯片,包括振荡器,所述振荡器采用如上所述的一种逆F类压控振荡器来实现。

[0031] 本发明的有益效果是:本发明中的多峰值谐振腔在晶体管漏极结点能够产生更强的二次谐波阻抗峰值,使晶体管漏极电压的二次谐波分量大幅增强,产生的振荡电压更加接近半正弦信号,在保持较宽频率调谐范围的基础上,显著降低了电路的相位噪声,提升电路性能。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明实施例或者现有技术中的技术方案,下面对本发明实施例或者现有技术中的相关技术方案附图作以下介绍,应当理解的是,下面介绍中的附图仅仅为了方便清晰表述本发明的技术方案中的部分实施例,对于本领域的技术人员而言,在无需付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获取到其他附图。

[0033] 图1是本发明实施例中逆F类压控振荡器的原理图;

[0034] 图2是本发明实施例中多峰值谐振腔的Z参数特性示意图;

[0035] 图3是本发明实施例中晶体管漏极电压与栅极的电压波形图;

[0036] 图4是本发明实施例中振荡频率调谐范围示意图;

[0037] 图5是本发明实施例中相位噪声性能示意图。

具体实施方式

[0038] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。对于以下实施例中的步骤编号,其仅为了便于阐述说明而设置,对步骤之间的顺序不做任何限定,实施例中的各步骤的执行顺序均可根据本领域技术人员的理解来进行适应性调整。

[0039] 在本发明的描述中,需要理解的是,涉及到方位描述,例如上、下、前、后、左、右等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0040] 在本发明的描述中,若干的含义是一个或者多个,多个的含义是两个以上,大于、小于、超过等理解为不包括本数,以上、以下、以内等理解为包括本数。如果有描述到第一、第二只是用于区分技术特征为目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量或者隐含指明所指示的技术特征的先后关系。

[0041] 本发明的描述中,除非另有明确的限定,设置、安装、连接等词语应做广义理解,所属技术领域技术人员可以结合技术方案的具体内容合理确定上述词语在本发明中的具体含义。

[0042] 如图1所示,本实施例提供一种逆F类压控振荡器,主要由交叉耦合晶体管对、多峰值谐振腔以及频率调谐模块三个部分组成,分别产生振荡、滤波以及调频的效果。

[0043] 交叉耦合晶体管对包括晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} ,其主要作用是为振荡电路提供负阻,使得电路自激并产生包含大量谐波的振荡信号。

[0044] 多峰值谐振腔主要包括电感 L_x 、 L_y 、 L_{Dx} 、 L_{Gx} 、 L_{Dy} 、 L_{Gy} 以及电容 C_x 、 C_y ,其主要作用是为电路提供两个谐振阻抗峰值,谐振腔的Z参数特性如图2所示。从晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} 的漏极结点 D_x 和 D_y 看进去为谐振腔的一端口,参数Z11代表谐振腔在晶体管漏极结点形成的谐振负载,存在两个谐振阻抗峰值,对应中心频率分别为 ω (22GHz) 和 2ω (44GHz),能够对含有大量谐波成分的晶体管漏极电流进行滤波,生成只含有基波 ω 和二次谐波 2ω 成分的漏极电压信号。由于本发明中的新型谐振腔的二次谐波阻抗峰值远大于基波阻抗峰值,使得漏极电压信号被二次谐波主导,从而产生半正弦振荡信号,如图3所示的漏极电压 V_D 波形。根据脉冲

灵敏度函数理论,半正弦振荡信号能够较大程度改善振荡器的相位噪声性能;从晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} 的栅极结点 G_x 和 G_y 看进去为谐振腔的二端口,参数 Z_{21} 代表谐振腔在晶体管漏极结点到栅极结点之间形成的跨阻,同样存在中心频率为 ω 和 2ω 两个谐振阻抗峰值且基波阻抗峰值远大于二次谐波阻抗峰值,含有大量谐波成分的晶体管漏极电流通过跨阻进行滤波并在晶体管栅极生成由基波成分主导的正弦振荡电压信号,如图3所示的栅极电压 V_G 波形,该信号可以作为振荡器的输出信号。

[0045] 频率调谐模块包括3bit开关电容阵列 C_{Dx} 、 C_{Dy} 和 C_G 以及变容管 C_{varx} 、 C_{vary} 。通过调节开关电容阵列的开断或调节变容管的调谐电压 V_C ,控制引入谐振腔一端口和二端口的电容值大小,从而控制谐振腔的基波和二次谐波谐振峰值所在的频率,进而控制振荡器输出振荡信号的频率。

[0046] 该逆F类压控振荡器的具体电路连接为:

[0047] 电感 L_x 和 L_y 的一端与电源 V_{DD} 相连,电感 L_x 的另一端与电感 L_{Dx} 和 L_{Gx} 的上端连接于结点 A_x ,电感 L_y 的另一端与电感 L_{Dy} 和 L_{Gy} 的上端连接于电路结点 A_y 。电感 L_{Dx} 与 L_{Gx} 、电感 L_{Dy} 与 L_{Gy} 分别耦合形成变压器,耦合系数为 k_x 、 k_y 。

[0048] 电感 L_{Dx} 和 L_{Dy} 的下端分别与晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} 连接于结点 D_x 和 D_y ,电感 L_{Gx} 和 L_{Gy} 的下端分别与晶体管 M_{1y} 和 M_{1x} 的栅极连接于结点 G_y 和 G_x ,晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} 的源极接地。

[0049] 交叉耦合电容 C_{Cx} 和 C_{Cy} 一端分别连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x 和晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,另一端分别连接晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_y 和晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 。

[0050] 固定电容 C_x 和 C_y 的一端相连并接地,另一端分别连接晶体管 M_{1x} 的栅极结点 G_x 和晶体管 M_{1y} 的栅极结点 G_y 。

[0051] 变容管 C_{varx} 和 C_{vary} 的一端相连并连接调谐电压 V_C ,另一端分别连接结点 G_x 和 G_y 。3bit开关电容阵列 C_G 的两端分别接于结点 G_x 和 G_y ,电容阵列 C_{Dx} 和 C_{Dy} 的一端分别连接晶体管 M_{1x} 的漏极结点 D_x 和晶体管 M_{1y} 的漏极结点 D_y ,另一端接地。晶体管 M_{1x} 和 M_{1y} 各自的栅极结点 G_x 和 G_y 作为差分振荡信号的输出端口。

[0052] 本实施例的逆F类压控振荡器,利用了基于变压器耦合技术的新型谐振腔,通过其耦合效应降低了所需电感值 L_x 、 L_y 的大小,从而降低了电感占据的芯片面积,实现器件小型化,节约了成本,同时更加的紧凑的结构有利于降低器件之间的连接损耗,提升整体性能;实现了压控振荡器小型化。此外,相对于传统的单匝电感,本实施例中的新型谐振腔在晶体管漏极结点能够产生更强的二次谐波阻抗峰值,使晶体管漏极电压的二次谐波分量大幅增强,产生的振荡电压更加接近半正弦信号,在保持较宽频率调谐范围的基础上,显著降低了电路的相位噪声,提升电路性能;实现降低压控振荡器的相位噪声。图4所示为频率调谐曲线,输出振荡信号的可调频率范围为20.6-26GHz,相对带宽达到23.1%。图5所示为相位噪声性能,在输出信号的所有调频范围内,1MHz补偿频率处的相位噪声最高为-110dBc,最低可达-116.6dBc,性能优于目前已发表的逆F类压控振荡器。本发明的新型逆F类振荡器能够工作在5G毫米波通信频段,适用于5G毫米波通信前端系统中的频率源。

[0053] 本实施例还提供一种芯片,该芯片包括上所述的逆F类压控振荡器,因此具有逆F类压控振荡器相应的功能及有益效果。

[0054] 在本说明书的上述描述中,参考术语“一个实施方式/实施例”、“另一实施方式/实施例”或“某些实施方式/实施例”等的描述意指结合实施方式或示例描述的具体特征、结

构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施方式或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施方式或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施方式或示例中以合适的方式结合。

[0055] 尽管已经示出和描述了本发明的实施方式,本领域的普通技术人员可以理解:在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施方式进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由权利要求及其等同物限定。

[0056] 以上是对本发明的较佳实施进行了具体说明,但本发明并不限于上述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可做作出种种的等同变形或替换,这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

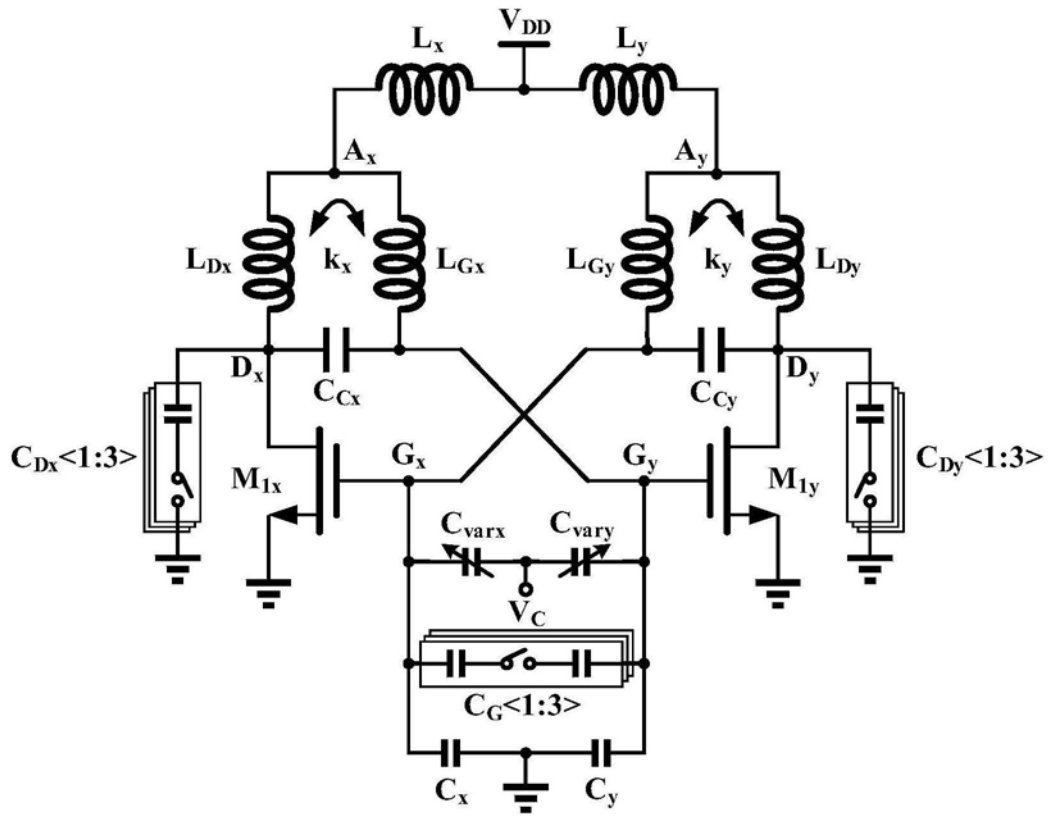


图1

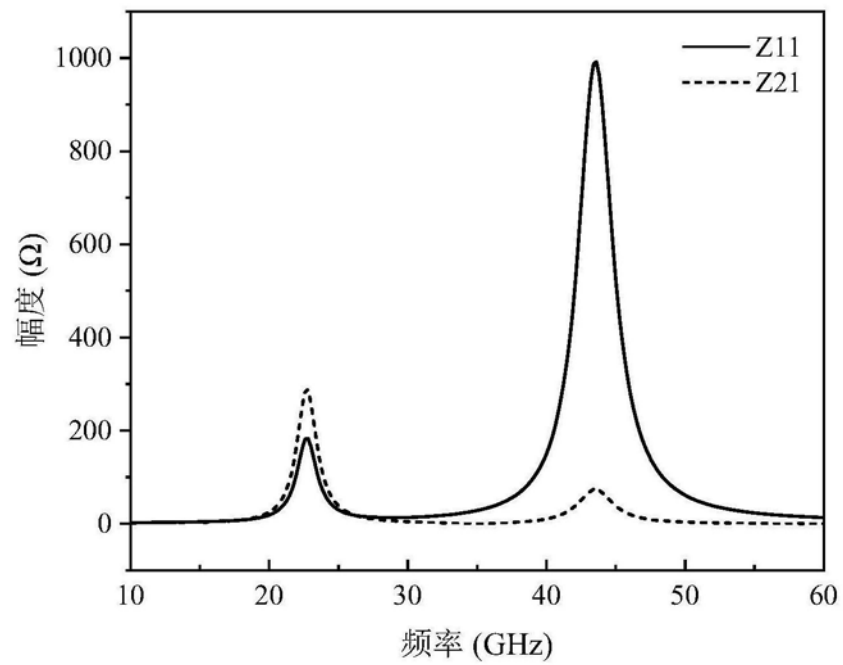


图2

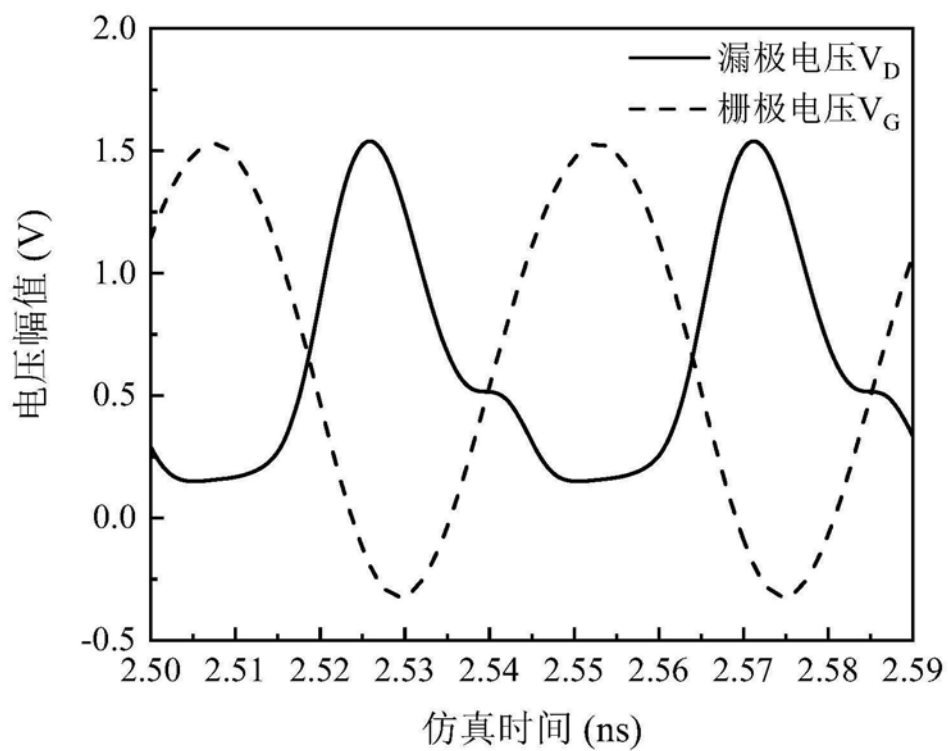


图3

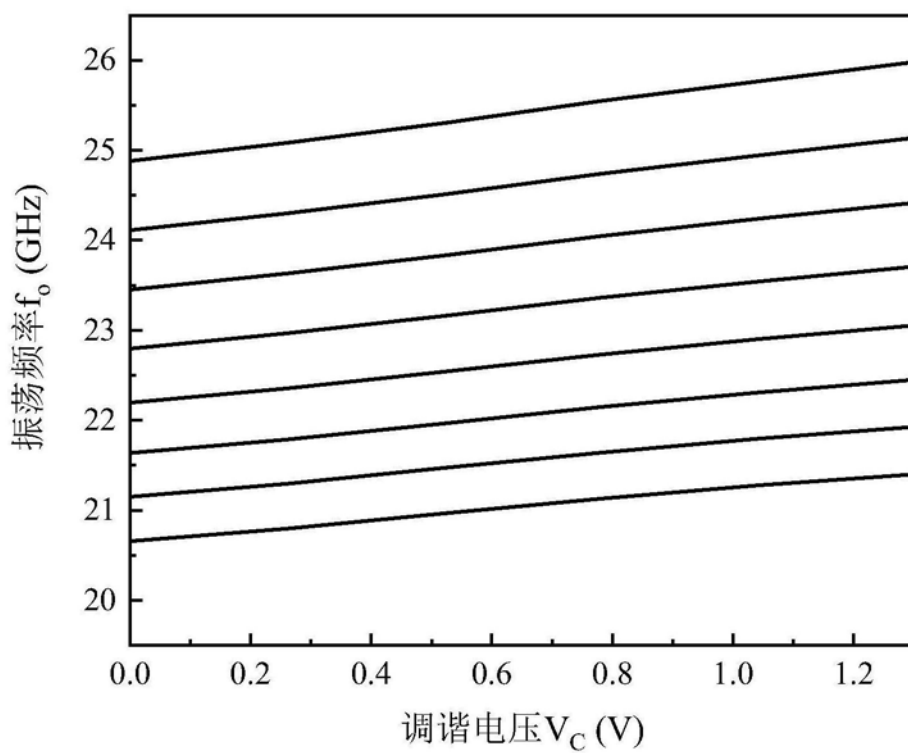


图4

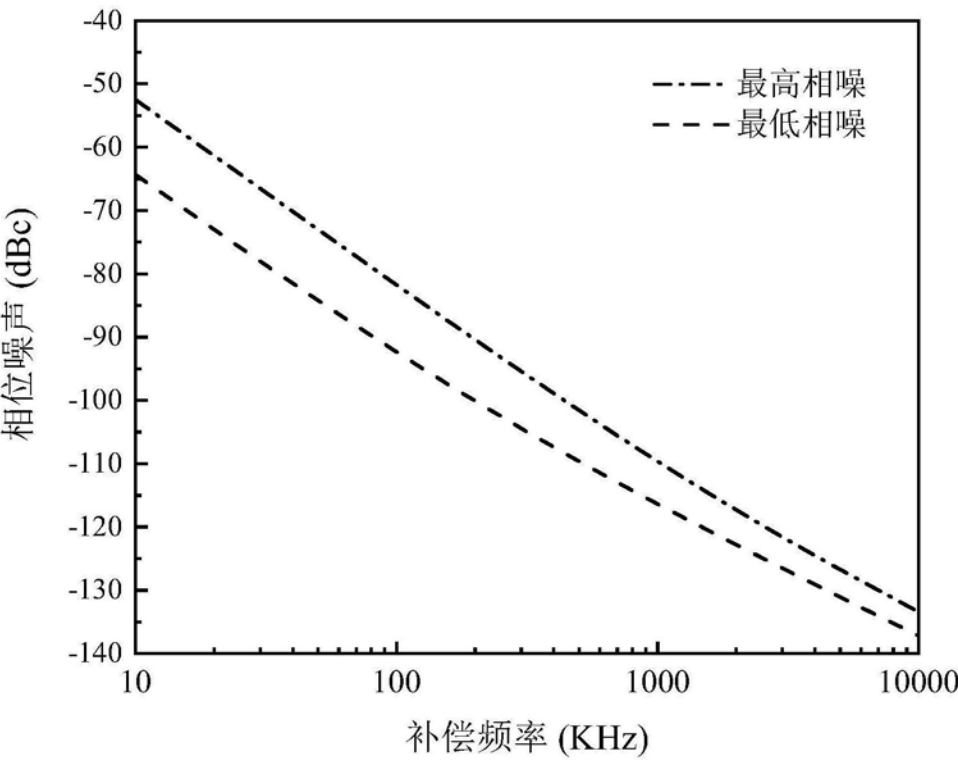


图5