



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103368577 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 23

(21) 申请号 201310120172. 8

(22) 申请日 2013. 04. 08

(30) 优先权数据

61/620,019 2012. 04. 04 US

(71) 申请人 快捷半导体(苏州)有限公司

地址 215021 江苏省苏州市工业园区苏桐路
1号

申请人 快捷半导体公司

(72) 发明人 乔纳森·亚当·克莱克斯

约恩·奥普里斯 贾斯廷·森

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理事
务所(普通合伙) 11270

代理人 武晨燕 张颖玲

(51) Int. Cl.

H03M 3/04 (2006. 01)

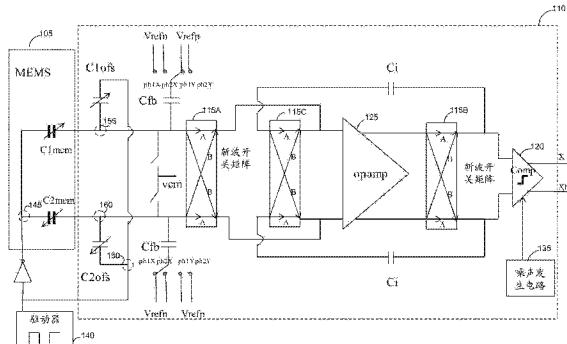
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

基于对合并式 MEMS 加速计传感器斩波的降
噪方法及电子电路

(57) 摘要

本发明公开了基于对合并式 MEMS 加速计传
感器斩波的降噪方法及电子电路。其中，电子电路
包括被配置为电连接到微机电系统(MEMS)传
感器电路的电容-电压转换电路。所述电容-电压转
换电路包括：差分析波电路通路，被配置为接收
差分 MEMS 传感器输出信号并对所述差分析波电
路通路的极性进行反转；以及差分 sigma-delta
模数转换器(ADC)电路，被配置为对所述差分
MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述
MEMS 传感器中电容变化的数字信号。



1. 一种电子电路,包括 :

电容 - 电压转换电路,被配置为电连接到微机电系统 (MEMS) 传感器电路,所述电容 - 电压转换电路包括 :

差分斩波电路通路,被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号并对所述差分斩波电路通路的极性进行反转;以及

差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路,被配置为对所述差分 MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述 MEMS 传感器电路中电容变化的数字信号。

2. 根据权利要求 1 所述的电子电路,其中,

所述差分 sigma-delta ADC 电路包括比较器电路;以及

所述电子电路进一步包括伪随机噪声发生电路,所述伪随机噪声发生电路电连接到所述比较器电路且被配置为将抖动噪声加至所述比较器电路的输入端。

3. 根据权利要求 1 所述的电子电路,该电子电路进一步包括斩波时钟电路,所述斩波时钟电路被配置为向所述差分斩波电路通路提供伪随机时钟信号。

4. 根据权利要求 1 所述的电子电路,其中,

所述差分 sigma-delta ADC 电路包括运算放大器 (opamp) 电路;以及

所述电子电路进一步包括 :

第一斩波开关矩阵电路,被配置为在所述 opamp 电路的输入端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转;以及

第二斩波开关矩阵电路,被配置为在所述 opamp 电路的输出端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

5. 根据权利要求 4 所述的电子电路,该电子电路进一步包括 :

第三斩波开关矩阵电路,被配置为转换所述差分 sigma-delta ADC 电路中差分反馈电路通路的极性,以及

其中,所述差分反馈电路通路从所述第二斩波开关矩阵电路的输出端延伸到所述第三斩波开关矩阵电路的输入端。

6. 根据权利要求 4 所述的电子电路,该电子电路进一步包括差分反馈电路通路,所述差分反馈电路通路从所述第二斩波开关矩阵电路的输出端延伸到所述第一斩波开关矩阵电路的输入端。

7. 根据权利要求 4 所述的电子电路,该电子电路进一步包括 :

相位时钟电路,被配置为产生第一运算时钟相位和第二运算时钟相位,

其中,在所述第一运算时钟相位期间,所述第一斩波开关矩阵电路被配置为将所述 MEMS 传感器电路与所述差分 sigma-delta ADC 电路电隔离;以及

其中,在所述第二运算时钟相位期间,所述第一斩波开关矩阵电路和所述第二斩波开关矩阵电路被配置为将所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

8. 根据权利要求 7 所述的电子电路,该电子电路进一步包括 :

电连接于所述 MEMS 传感器电路的驱动电路,

其中,所述驱动电路被配置为将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器电路的驱动输入端;以及

其中,所述第一运算时钟相位和所述第二运算时钟相位具有与所述方波激励信号相同

的频率和占空比。

9. 根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的电子电路，该电子电路进一步包括所述 MEMS 传感器电路，其中，所述 MEMS 传感器电路被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变电容。

10. 一种电子电路，包括：

电容 - 电压转换电路，被配置为电连接到 MEMS 传感器电路，所述电容 - 电压转换电路包括：

差分电路通路，被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号；

差分 sigma-deltaADC 电路，被配置为对所述差分 MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述 MEMS 传感器电路中电容变化的数字信号，其中，所述差分 sigma-deltaADC 电路包括比较器电路；以及

伪随机噪声发生电路，电连接到所述比较器电路且被配置为将抖动噪声加至所述比较器电路的输入端。

11. 根据权利要求 10 所述的电子电路，该电子电路进一步包括 MEMS 传感器电路，其中，所述 MEMS 传感器电路被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变电容。

12. 根据权利要求 11 所述的电子电路，该电子电路进一步包括：

开关电路，电连接到所述 MEMS 传感器电路；

驱动电路，电连接到所述 MEMS 传感器电路且被配置为将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器电路的驱动输入端；

相位时钟电路，电连接到所述开关电路且被配置为产生第一运算时钟相位和第二运算时钟相位，其中，所述第一运算时钟相位和所述第二运算时钟相位具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比，以及

其中，在所述第一运算时钟相位期间，所述开关电路被配置为将所述 MEMS 传感器电路与所述差分 sigma-delta ADC 电路电隔离，且所述 MEMS 传感器电路被配置为对线性加速度进行采样。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的电子电路，其中，

所述 MEMS 传感器电路被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变第一电容，且响应于第二方向上的线性加速度而改变第二电容；

所述电子电路进一步包括：

第一电容 - 电压转换电路，被配置为产生表示所述第一电容的变化的第一数字信号；以及

第二电容 - 电压转换电路，被配置为产生表示所述第二电容的变化的第二数字信号。

14. 一种降低信号噪声的方法，所述方法包括：

对微机电系统 (MEMS) 传感器的输出进行感应以产生差分传感器输出信号；

将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路，其中，按照时间间隔对所述差分斩波电路通路的极性进行反转；以及

使用差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样，以产生表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。

15. 根据权利要求 14 所述的方法，该方法进一步包括将抖动噪声加至所述差分

sigma-delta ADC 电路。

16. 根据权利要求 14 所述的方法, 该方法进一步包括向所述差分斩波电路通路提供伪随机时钟信号。

17. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中, 将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路包括 :

在所述差分 sigma-delta ADC 电路的 opamp 电路的输入端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转 ; 以及

在所述 opamp 电路的输出端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

18. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中, 将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路包括 :

将 opamp 电路的差分输出反馈至所述 opamp 电路的差分输入, 以形成差分反馈电路通路 ; 以及

按照时间间隔对所述差分反馈电路通路的极性进行反转。

19. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中, 将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路包括 :

在第一运算时钟相位期间, 将所述 MEMS 传感器与所述差分 sigma-deltaADC 电路电隔离 ; 以及

在第二运算时钟相位期间, 对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

20. 根据权利要求 19 所述的方法, 包括 :

将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器的驱动输入端, 其中, 所述第一运算时钟相位和所述第二运算时钟相位具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比 ; 以及

在所述第一运算时钟相位期间, 使用所述 MEMS 传感器对所述线性加速度进行采样。

21. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中, 对所述 MEMS 传感器的输出进行感应包括 : 对响应于第一方向上的线性加速度的传感器的电容变化进行感应。

22. 根据权利要求 14 至 21 中任一项所述的方法, 其中, 对所述 MEMS 传感器的输出进行感应包括 :

感应所述 MEMS 传感器的第一输出, 以感应响应于第一方向上的线性加速度的 MEMS 传感器的电容变化 ; 以及

感应所述 MEMS 传感器的第二输出, 以感应响应于第二方向上的线性加速度的 MEMS 传感器的电容变化, 其中, 所述第二方向与所述第一方向正交。

基于对合并式 MEMS 加速计传感器斩波的降噪方法及电子电路

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及电子电路，尤其涉及 MEMS 传感器电路。

背景技术

[0002] 微机电系统 (MEMS) 包括执行电功能和机械功能的小型机械装置，所述小型机械装置通过与制作集成电路使用的技术相似的光刻技术制作而成。一些 MEMS 装置是检测动作的传感器（如加速计），或是检测角速度的传感器（如陀螺仪）。加速计是一种经受响应于作用在其上的加速度的可测变化的装置。MEMS 加速计包括压电性加速计、压阻性加速计和电容性加速计。由于 MEMS 传感器尺寸小，因而被包含在电子装置（例如，视频游戏控制器和智能手机）中。

[0003] 响应于加速度，电容性加速计的电容发生变化。感应电路用于感应 MEMS 传感器中的电容变化。这些感应电路的设计对噪声的降低和尺寸的最小化提出了挑战。

发明内容

[0004] 除其它情况之外，本发明讨论了降低 MEMS 传感器中噪声的系统和方法。装置实例为电子电路，其包括被配置为电连接于 MEMS 传感器电路的电容 - 电压转换电路。所述电容 - 电压转换电路包括差分斩波电路通路和差分 Sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路，所述差分斩波电路通路被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号，并对所述差分斩波电路通路的极性进行反转；所述差分 Sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路被配置为对差分 MEMS 传感器输出信号进行采样，并提供表示所述 MEMS 传感器的电容变化的数字信号。

[0005] 本发明还提供了另一种电子电路，包括：电容 - 电压转换电路，被配置为电连接到 MEMS 传感器电路。所述电容 - 电压转换电路包括：差分电路通路，被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号；差分 sigma-delta ADC 电路，被配置为对所述差分 MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述 MEMS 传感器电路中电容变化的数字信号，其中，所述差分 sigma-delta ADC 电路包括比较器电路；以及伪随机噪声发生电路，电连接到所述比较器电路且被配置为将抖动噪声加至所述比较器电路的输入端。

[0006] 本发明还提供了一种降低信号噪声的方法，所述方法包括：对微机电系统 (MEMS) 传感器的输出进行感应以产生差分传感器输出信号；将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路，其中，按照时间间隔对所述差分斩波电路通路的极性进行反转；以及，使用差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样，以产生表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。

[0007] 该部分旨在概述本专利申请的主题，而非排他性或穷尽性解释本发明。本文包含了具体实施方式以提供有关本专利申请的进一步信息。

附图说明

[0008] 在附图（其不一定按比例绘制）中，相似的附图标记可在不同的视图中描述相似的部件。具有不同字母后缀的相似附图标记可表示同类部件的不同例子。附图以示例而非限制的方式大体示出了本文中所论述的各个实例。

[0009] 图 1 为 MEMS 传感器和用于监测 MEMS 传感器输出端中变化的感应电路的实例部分的结构示意图；

[0010] 图 2 示出了斩波开关矩阵电路的实例；

[0011] 图 3 示出了具有差分斩波电路通路的电容 - 电压转换电路的另一实例；

[0012] 图 4 为 MEMS 加速计感应电路中降低噪声的方法流程图。

具体实施方式

[0013] 图 1 为 MEMS 传感器电路 105 和感应电路 110 的实例部分的结构示意图，其中，感应电路 110 电连接于 MEMS 传感器电路 105 以监测 MEMS 传感器输出端的变化。MEMS 传感器电路 105 可为电容性加速计，感应电路 110 对所述电容性加速计中响应于作用在传感器上的加速度的传感器的电容变化作出监测。

[0014] 典型的 MEMS 电容性加速计包括具有电容性元件的可移动检测质量块 (proof mass)，所述电容性元件通过机械悬吊件连接在参考结构中。如图 1 所示，MEMS 传感器的两个电容性元件为电路电容器，标记为 C1mem 和 C2mem。实际的电容性元件可由电连接（如并联）的多个极板构成，以产生图中电容器 C1mem 和 C2mem 所表示的总的电容值。所述电容器形成从 MEMS 传感器电路 105 的两个输出端到公共电路节点 145 之间的桥梁，所述公共电路节点 145 可表示到所述可移动检测质量块的电路连接。每个电容器的一个极板或极板组能够连接于可移动检测质量块，同时另外一个极板或极板组静止不动。

[0015] 通过对电容器 C1mem、C1ofs、C2mem 和 C2ofs 形成的差分电容桥两侧的电荷不平衡的检测来感应加速度信号。电容器 C1mem 和 C1ofs 形成差分电容桥的一个桥臂，电容器 C2mem 和 C2ofs 形成差分电容桥的第二桥臂。所述差分桥的两个输入端为：1) 电路节点 145，其为由驱动电路 140 驱动的 MEMS 检测质量块连接；以及 2) 以与节点 145 反相的方式被驱动的电路节点 150。所述差分桥的输出端为电路节点 155 和 160。这样，节点 155 和 160 形成感应电路 110 的传感器输入端。所述电容桥电路中电容器的任何差分失衡将以差分电荷的形式在节点 155 和 160 处显现出来，感应电路 110 将测量该差分电荷。

[0016] MEMS 加速计上的加速度引起所述检测质量块的移动。所述检测质量块的位移改变电容器极板之间的间距。所述位移约与两电容性元件之间引起的电容值之差成正比。将所述检测质量块和机械悬吊件作为弹性元件，这使得加速度可根据胡克定律 (Hooke's Law) 由位移来确定。

[0017] 一般来说，电容器对的电容变化与一个方向的线性加速度相关。垂直于所述第一电容器对的另一电容器对可使第二方向上的加速度被确定。这能够提供两轴加速计。三个电容器对可实现三轴或三维 (3D) 加速计。

[0018] 感应电路 110 感应 MEMS 传感器的电容变化，并将电容性变化转换为电压。因此，感应电路 110 起到电容 - 电压转换电路或电容 - 电压 (C2V) 传感器的作用。所述电容 - 电压转换电路从 MEMS 传感器电路 105 接收 MEMS 传感器输出信号。所述电容 - 电压转换电路包括差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路，所述差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路

对差分 MEMS 传感器输出信号进行采样，并提供表示 MEMS 传感器电路 105 中电容变化的数字信号。由图中可见，MEMS 传感器电路 105 中的电容器与偏置电容器 C1ofs 和 C2ofs 一同作为 sigma-delta ADC 的感应电容器来使用；有效地将电容 - 电压感应与 sigma-delta ADC 电路融合在一起。

[0019] 在图 1 所示的实例中，sigma-delta ADC 电路包括积分电路和比较器电路 120。实例中的所述积分电路为一阶积分电路，且包括运算放大器 (opamp) 电路 125。在某些实例中，所述积分电路包括更高阶（如二阶）的积分电路。所述比较器电路提供数字输出信号，且其后设置有低通滤波器用以降低对 MEMS 传感器输出进行采样产生切换噪声。

[0020] 所述电容 - 电压转换电路还包括差分斩波电路通路，所述差分斩波电路通路接收差分 MEMS 传感器输出信号并对差分斩波电路通路的极性进行反转。感应 MEMS 传感器输出的其他方法包括对所述 MEMS 传感器输出信号进行相关双采样。在 MEMS 加速计模拟前端感应电路中，斩波方法提高了 $1/f$ 噪声的降噪。斩波方法还采用比相关双采样方法更少的电容器。电容器数量的减少降低了热噪声 (KT/C) 且减少了集成电路（如专用集成电路或 ASIC）上电容 - 电压转换电路的使用面积。电容器数量的减少还能够减少放大器（例如，积分电路中使用的 opamp）的稳定时间 (settling time)。稳定时间的减少能够降低功率消耗。基于这里所述的降噪方法，一阶 sigma-delta ADC 电路能够提供大于 100 分贝的动态范围。

[0021] 差分斩波电路通路通过斩波开关矩阵电路 (115A, 115B, 115C) 来实现。图 2 示出了斩波开关矩阵电路 215 的一个实例。电路根据斩波时钟电路 230 提供的斩波时钟信号 CK_A 和 CK_B 来工作。当所述斩波开关矩阵电路由斩波时钟相位 CK_A 提供时钟，则电路输入端的差分信号被传递。当所述斩波开关矩阵电路由斩波时钟相位 CK_B 提供时钟，则电路输入端的差分信号反转。当 CK_A 为有效或“接通”时，CK_B 为关断，反之亦然。

[0022] 在图 1 的实例中，差分斩波电路通路包括在 opamp 电路 125 的输入端反转差分斩波电路通路极性的第一斩波开关矩阵电路 115A 和在 opamp 电路 125 的输出端反转差分斩波电路通路极性的第二斩波开关矩阵电路 115B。在一些实例中，差分斩波电路通路包括第三斩波开关矩阵电路 115C，所述第三斩波开关矩阵电路 115C 转换差分 sigma-delta ADC 电路中差分反馈电路通路的极性。在所示的实例中，差分反馈电路通路从第二斩波开关矩阵电路 115B 的输出端延伸到第三斩波开关矩阵电路 115C 的输入端。

[0023] 图 3 示出了具有差分斩波电路通路的电容 - 电压转换电路的另一实例。该实例在差分斩波电路通路中仅包括两个斩波开关矩阵电路 315A 和 315B。差分斩波电路通路还包括从第二斩波开关矩阵电路 315B 的输出端延伸到第一斩波开关矩阵电路 315A 的输入端的差分反馈电路通路。

[0024] 返回图 1，驱动电路 140 可电连接到 MEMS 传感器电路 105，以将方波激励信号加至 MEMS 传感器的驱动输入端。所述驱动输入端可电连接到表示 MEMS 传感器电路 105 中检测质量块的电路节点 145。感应电路 110 可包括产生第一运算时钟相位 (Ph1) 和第二运算时钟相位 (Ph2) 的相位时钟电路（未示出）。运算时钟相位 Ph1 和 Ph2 是不相重叠的且具有相反的极性。在 Ph1 期间，第一斩波开关矩阵电路 115A 将 MEMS 传感器电路 105 与差分 sigma-delta ADC 电路电隔离。第二斩波开关矩阵电路 115B 和第三斩波开关矩阵电路 115C 保持所述传感器输出信号的原先值。

[0025] 在 Ph2 期间,第一、第二和第三斩波开关矩阵电路 115A、115B 和 115C 将差分斩波电路通路的极性进行反转。MEMS 传感器电路 105 的电容值可关于激励信号进行采样。第一运算时钟相位和第二运算时钟相位 Ph1、Ph2 可具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比。第二斩波开关矩阵电路和第三斩波开关矩阵电路 115B、115C 可通过斩波时钟一起切换。第一斩波开关矩阵电路 115A 可通过对所述斩波时钟和 Ph2 时钟进行逻辑与 (AND) 的信号进行切换。

[0026] sigma-delta ADC 电路易受死带 (dead-bands) 或死区 (dead-zones) 的影响。当信号被采样,所述输出包含 1 和 0 的重复样式,有时被称为空闲音 (idle tone)。对于小振幅的输入信号,sigma-delta 电路可以重复样式连续输出。所述小振幅的输入信号可不通过导致输入信号的死带范围的 sigma-delta ADC 进行编码。然而,最好是对小振幅的信号进行编码,以利用图 1 和图 3 中所示的差分 sigma-delta ADC 电路的整个动态范围。

[0027] 电容 - 电压转换电路可包括向差分斩波电路通路提供周期性或规则斩波时钟信号的斩波时钟电路。为了防止或最小化差分 sigma-delta ADC 电路中的死带,电容 - 电压转换电路可包括向差分斩波电路通路提供伪随机时钟信号的斩波时钟电路。所述伪随机时钟信号包括由高到低的随机转换,与此同时确保在 CK_B 关断时仅有 CK_A 接通,反之亦然。所述伪随机时钟减小了可导致死带的积分电路的极限环 (limit cycle)。

[0028] 防止或最小化差分 sigma-delta ADC 电路中死带的另一种方法是在比较器电路 120 中加入抖动噪声。电容 - 电压转换电路可包括伪随机噪声发生电路 135,所述伪随机噪声发生电路 135 电连接到所述比较器电路以将抖动噪声加至比较器电路的输入端。如果比较器的输出在第二运算时钟相位 Ph2 的末端进行求值,则伪随机抖动噪声信号就能够在 Ph2 期间加至比较器中以移除死带空闲音。抖动噪声迫使所述 sigma-delta ADC 电路的输出离开所述死带。

[0029] 如上文所释, MEMS 传感器电路可为两轴加速计。在这种情况下, MEMS 传感器电路可响应于第一方向上的线性加速度而改变第一电容值,并且可响应于第二方向(例如与所述第一方向正交的方向)上的线性加速度而改变第二电容值。所述感应电路可包括第一电容 - 电压转换电路和第二电容 - 电压转换电路,其中,所述第一电容 - 电压转换电路产生表示所述第一电容的变化的第一数字信号,所述第二电容 - 电压转换电路产生表示所述第二电容的变化的第二数字信号。三轴加速计的输出可通过第三电容 - 电压转换电路来感应。

[0030] 图 4 为 MEMS 加速计感应电路中降低噪声的方法 400 的流程图。在方框 405, MEMS 传感器的输出被感应,以产生差分传感器输出信号。在方框 410,将 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路,以降低电路中的噪声。为了实现斩波,按照时间间隔对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。在某些实例中,按照一定的时间间隔对所述极性进行反转或斩波。在方框 415,通过差分 sigma-delta ADC 电路对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样,以产生表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。

[0031] 对从 MEMS 传感器采样得到的输出进行斩波,降低了 $1/f$ 噪声和热噪声,使得一阶 sigma-delta ADC 电路具有大于 100dB 的动态范围。为了完全利用所述动态范围,可按照伪随机的时间间隔进行信号斩波以最小化 sigma-delta ADC 电路的输出中死带的出现,并且可向差分 sigma-delta ADC 电路施加抖动噪声以移除空闲音。

[0032] 补充注释及实例

[0033] 实例 1 可包括或使用包含电容 - 电压转换电路的主题（如装置），所述电容 - 电压转换电路被配置为电连接到 MEMS 传感器电路。所述电容 - 电压转换电路可包括差分斩波电路通路和差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路，其中，所述差分斩波电路通路被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号并对所述差分斩波电路通路的极性进行反转；所述差分 sigma-delta 模数转换器 (ADC) 电路被配置为对所述差分 MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。

[0034] 在实例 2 中，实例 1 的所述主题可选地包括：差分 sigma-delta ADC 电路和伪随机噪声发生电路，其中，差分 sigma-delta ADC 电路包括比较器电路，伪随机噪声发生电路电连接到所述比较器电路且被配置为将抖动噪声加至所述比较器电路的输入端。

[0035] 在实例 3 中，实例 1 和 2 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括斩波时钟电路，所述斩波时钟电路被配置为向差分斩波电路通路提供伪随机时钟信号。

[0036] 在实例 4 中，实例 1 至 3 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：差分 sigma-delta ADC 电路、第一斩波开关矩阵电路和第二斩波开关矩阵电路，其中，所述差分 sigma-delta ADC 电路包括 opamp 电路，所述第一斩波开关矩阵电路被配置为在 opamp 电路的输入端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转，所述第二斩波开关矩阵电路被配置为在 opamp 电路的输出端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

[0037] 在实例 5 中，实例 4 的所述主题可选地包括第三斩波开关矩阵电路，所述第三斩波开关矩阵电路被配置为转换所述差分 sigma-delta ADC 电路中差分反馈电路通路的极性。所述差分反馈电路通路可选地从所述第二斩波开关矩阵电路的输出端延伸到所述第三斩波开关矩阵电路的输入端。

[0038] 在实例 6 中，实例 4 的所述主题可选地包括差分反馈电路通路，所述差分反馈电路通路从所述第二斩波开关矩阵电路的输出端延伸到所述第一斩波开关矩阵电路的输入端。

[0039] 在实例 7 中，实例 1 至 6 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括相位时钟电路，所述相位时钟电路被配置为产生第一运算时钟相位和第二运算时钟相位。在所述第一运算时钟相位期间，所述第一斩波开关矩阵电路可选地被配置为将所述 MEMS 传感器电路与差分 sigma-delta ADC 电路电隔离；在所述第二运算时钟相位期间，所述第一斩波开关矩阵电路和第二斩波开关矩阵电路可选地被配置为将所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

[0040] 在实例 8 中，实例 1 至 7 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括电连接于所述 MEMS 传感器的驱动电路。所述驱动电路可选地被配置为将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器的驱动输入端，且所述第一运算时钟相位和第二运算时钟相位具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比。

[0041] 在实例 9 中，实例 1 至 8 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括 MEMS 传感器电路。所述 MEMS 传感器电路可选地被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变电容。

[0042] 实例 10 可包括下述主题（如装置）或可选地与实例 1 至 9 中一个实例或任意实例组合的所述主题相结合以包括下述主题：包括：被配置为电连接到 MEMS 传感器电路的电容 - 电压转换电路。所述电容 - 电压转换电路可包括差分电路通路和差分 sigma-delta

ADC 电路，其中，所述差分电路通路被配置为接收差分 MEMS 传感器输出信号，所述差分 sigma-delta ADC 电路被配置为对所述差分 MEMS 传感器输出信号进行采样并提供表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。所述差分 sigma-delta ADC 电路可包括比较器电路，所述电容 - 电压转换电路可包括伪随机噪声发生电路，其中，所述伪随机噪声发生电路电连接到所述比较器电路且被配置为将抖动噪声加至所述比较器电路的输入端。

[0043] 在实例 11 中，实例 10 的所述主题可选地包括 MEMS 传感器电路。所述 MEMS 传感器电路可选地被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变电容。

[0044] 在实例 12 中，实例 11 的所述主题可选地包括：开关电路、驱动电路和相位时钟电路，其中，所述开关电路电连接到所述 MEMS 传感器，所述驱动电路电连接到所述 MEMS 传感器且被配置为将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器的驱动输入端，所述相位时钟电路电连接到所述开关电路且被配置为产生第一运算时钟相位和第二运算时钟相位。所述第一运算时钟相位和第二运算时钟相位可选地具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比。在所述第一运算时钟相位期间，所述开关电路可选地被配置为将所述 MEMS 传感器电路与所述差分 sigma-delta ADC 电路电隔离，且所述 MEMS 传感器电路被配置为对线性加速度进行采样。

[0045] 在实例 13 中，实例 11 和 12 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：MEMS 传感器电路、第一电容 - 电压转换电路和第二电容 - 电压转换电路，其中，所述 MEMS 传感器电路被配置为响应于第一方向上的线性加速度而改变第一电容，且响应于第二方向上的线性加速度而改变第二电容；，所述第一电容 - 电压转换电路产生表示所述第一电容的变化的第一数字信号；所述第二电容 - 电压转换电路产生表示所述第二电容的变化的第二数字信号。

[0046] 实例 14 可包括下述主题（如执行动作的方法、手段或包含指令的机器可读介质，当所述指令通过机器执行时，可使所述机器执行动作）或可选地与实例 1 至 13 中一个实例或任意实例组合的所述主题相结合以包括下述主题：包括：对 MEMS 传感器的输出进行感应以产生差分传感器输出信号；将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路，其中，按照时间间隔对所述差分斩波电路通路的极性进行反转；以及对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样以产生表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号。这些主题可包括对 MEMS 传感器的输出进行感应以产生差分传感器输出信号的方法，该方法的说明性实例可包括电荷 - 电压转换电路。这些主题可包括将所述 MEMS 传感器的输出加至差分斩波电路通路的方法，该方法的说明性实例可包括电荷 - 电压转换电路。这些主题可包括对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样以产生表示所述 MEMS 传感器中电容变化的数字信号的方法，该方法的说明性实例可包括差分 ADC 电路和 sigma-delta ADC 电路。

[0047] 在实例 15 中，实例 14 的所述主题可选地包括：使用差分 sigma-delta ADC 电路对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样，且将抖动噪声加至所述差分 sigma-delta ADC 电路。

[0048] 在实例 16 中，实例 14 和 15 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：向差分斩波电路通路提供随机时钟信号。

[0049] 在实例 17 中，实例 14 至 16 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：使用差分 sigma-delta ADC 电路对斩波后的 MEMS 传感器输出信号进行采样，在所述差分

sigma-delta ADC 电路的 opamp 电路的输入端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转，以及在所述 opamp 电路的输出端对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

[0050] 在实例 18 中，实例 14 至 17 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：将所述 opamp 电路的差分输出反馈至所述 opamp 电路的差分输入，以及按照时间间隔对所述差分反馈电路通路的极性进行反转。

[0051] 在实例 19 中，实例 14 至 18 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：在第一运算时钟相位期间，将所述 MEMS 传感器电路与所述差分 sigma-delta ADC 电路电隔离；以及在第二运算时钟相位期间，对所述差分斩波电路通路的极性进行反转。

[0052] 在实例 20 中，实例 14 至 18 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：将方波激励信号加至所述 MEMS 传感器的驱动输入端，这样，所述第一运算时钟相位和第二运算时钟相位具有与所述方波激励信号相同的频率和占空比；以及在所述第一运算时钟相位期间，使用所述 MEMS 传感器对所述线性加速度进行采样。

[0053] 在实例 21 中，实例 14 至 20 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括对响应于第一方向上的线性加速度的所述 MEMS 传感器的电容变化进行感应。

[0054] 在实例 22 中，实例 14 至 21 中一个实例或任意实例组合的所述主题可选地包括：感应所述 MEMS 传感器的第一输出，以对响应于第一方向上的线性加速度的 MEMS 传感器的电容变化进行感应；以及感应所述 MEMS 传感器的第二输出，以对响应于第二方向上的线性加速度的 MEMS 传感器的电容变化进行感应。

[0055] 实例 23 可包括下述主题或视情况可与实例 1 至 22 中任意一个或多个实例的任意部分或任意部分的组合相结合以包括下述主题：可包括执行实例 1 至 22 中任意一个或多个功能的手段，或包含指令的机器可读介质，当所述指令通过机器执行时，所述指令可使所述机器执行实例 1 至 22 中任意一个或多个功能。

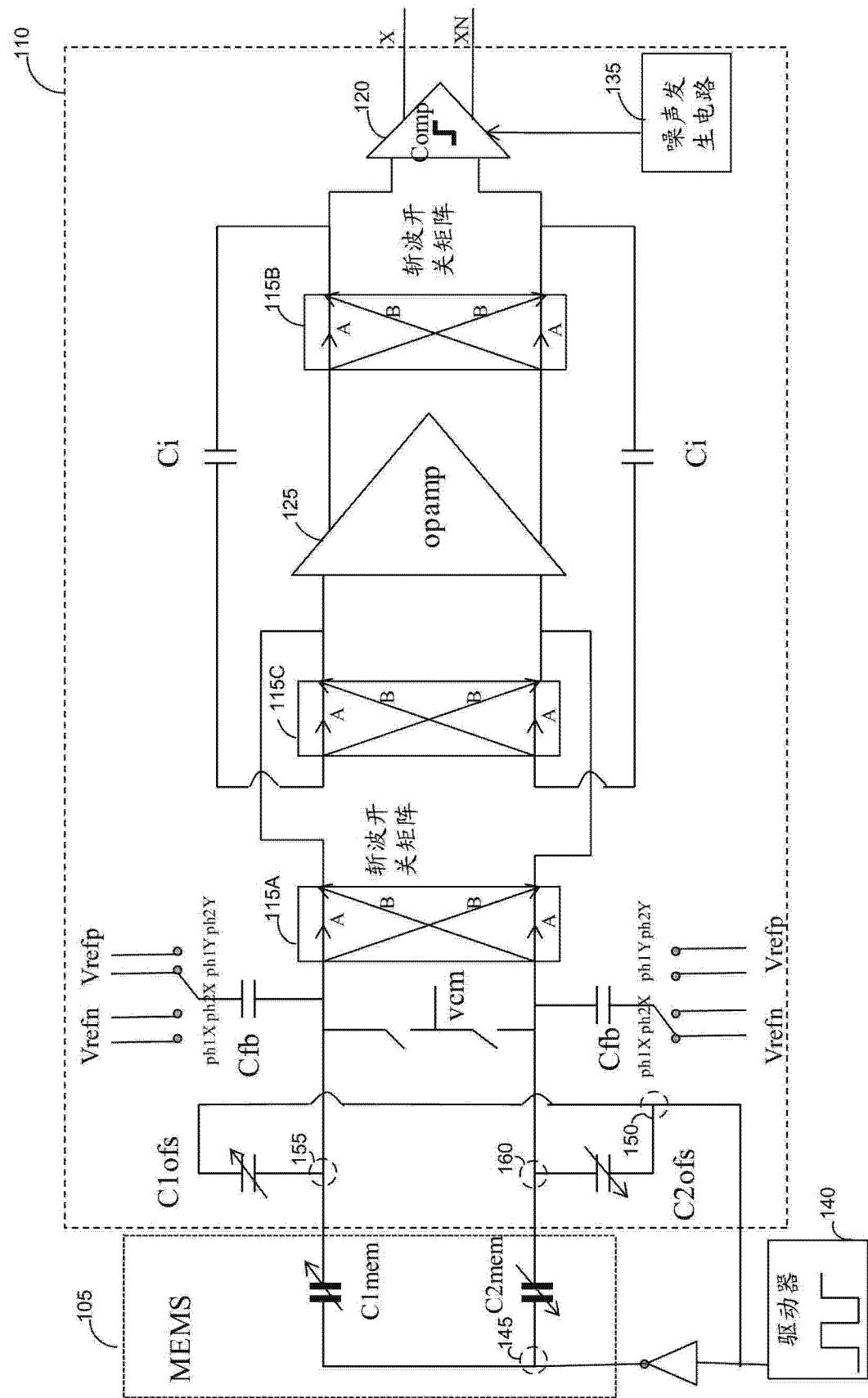
[0056] 每个非限制性的实例可独立存在，或者可与一个或多个其他实例以多种排列或组合形式相结合出现。

[0057] 上述具体实施方式包括对附图的参考，附图形成具体实施方式的一部分。附图以举例说明的方式示出了本发明能够用以实践的具体实施例。于此，这些实施例也称为“实例”。本申请所涉及到的所有出版物、专利以及专利文件全部作为本发明的参考内容，尽管它们是分别加以参考的。如果本申请与参考文件之间存在使用差别，则参考文件的使用应视为本申请使用的补充；若二者之间存在不可调和的差异，则以本申请的使用为准。

[0058] 在本申请中，与专利文件通常使用的一样，术语“一”或“某一”表示包括一个或两个以上，不同于“至少一个”或“一个或更多”的其它例子或用法。在本申请中，除非另外指明，否则使用术语“或”指无排他性的或者是，“A 或 B”包括：“A 但不是 B”、“B 但不是 A”以及“A 和 B”。在所附的权利要求中，术语“包含”和“在其中”等同于各个术语“包括”和“其中”的通俗英语而使用。而且，在下述权利要求中，术语“包含”和“包括”是开放性的，即，包括除了权利要求中这样的术语之后所列出的那些要素以外的要素的系统、装置、物品或步骤，依然视为落在该项权利要求的范围之内。而且，在下述权利要求中，术语“第一”、“第二”和“第三”等仅仅用作标识，并非对其对象有数量要求。

[0059] 以上实施方式旨在解释说明而非限制。在其它实施例中，以上实施方式的示例（或其一个或多个方面）可以相互结合使用。例如，本领域普通技术人员通过回顾以上实施

方式可以使用其他实施例。摘要被提供以符合 37C. F. R. § 1. 72(b) , 从而使得读者能够快速确定技术发明的类型。应当理解的是, 该摘要将不用于解释或限制权利要求的范围或意义。而且, 在以上的具体实施方式中, 各种特征可组合在一起以简化本发明。这不应理解为未要求的公开特征对任何权利要求来说是必不可少的。相反, 创造性的主题可以比特定公开实施例的所有特征更少的特征而存在。因而, 下述的权利要求以每个权利要求作为单独实施例的方式并入具体实施方式中。本发明的范围应当参照所附的权利要求以及与这些权利要求的所属相当的整个范围来确定。



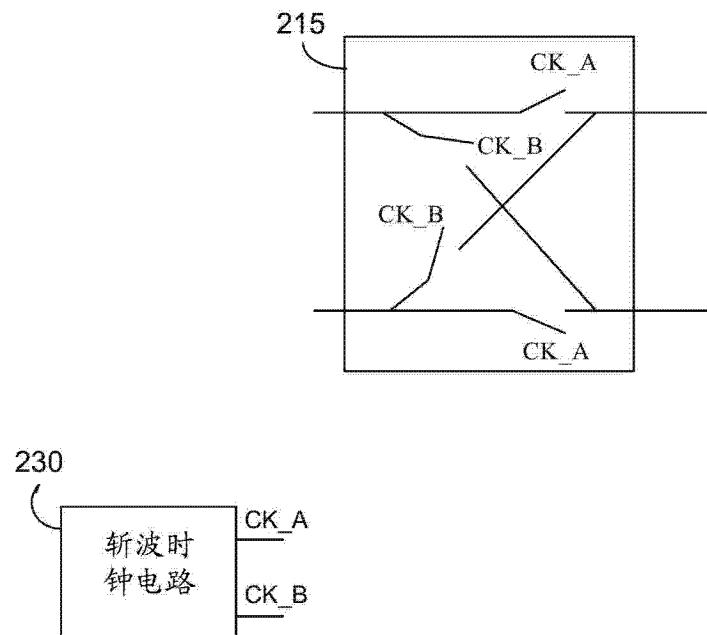


图 2

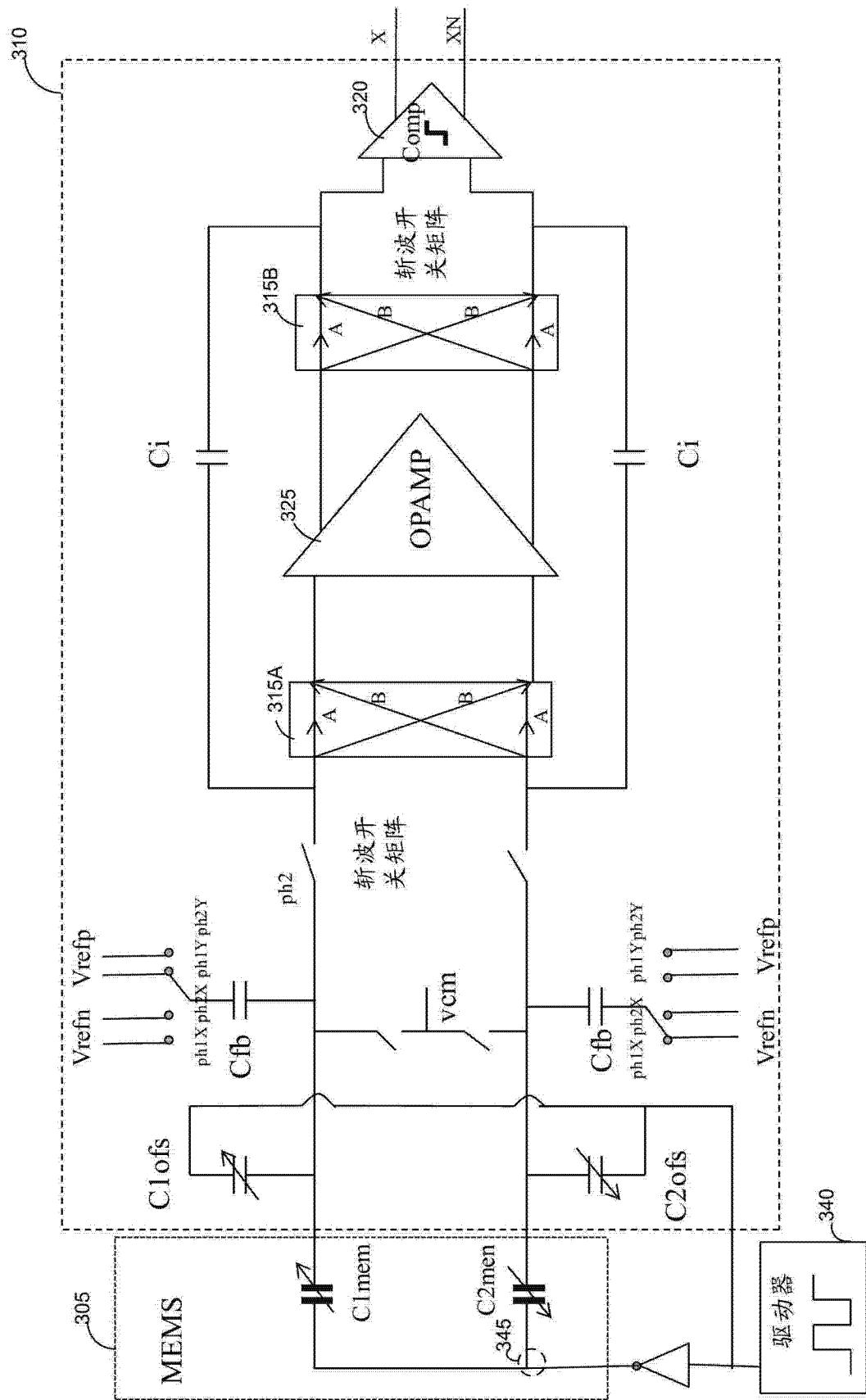


图 3

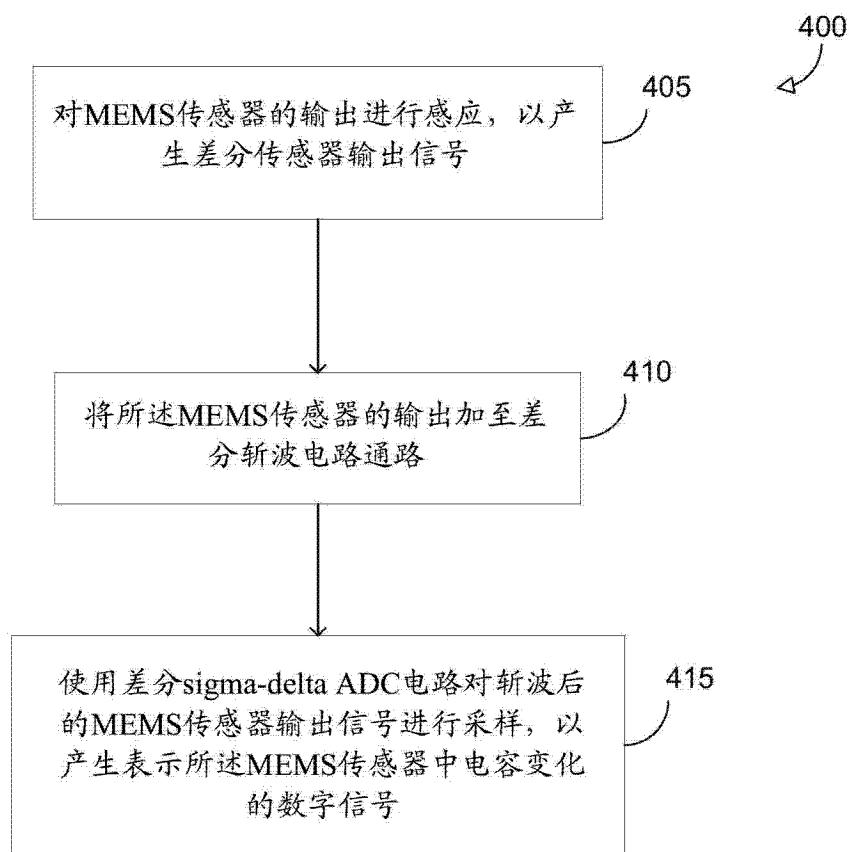


图 4