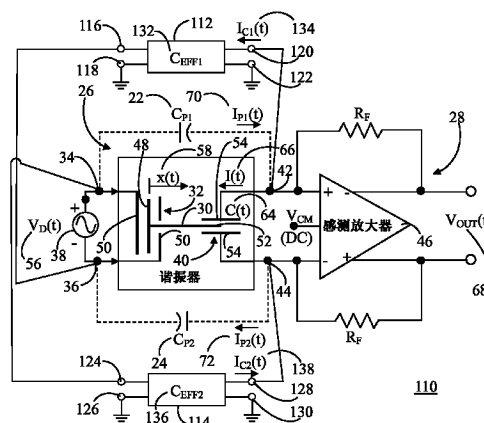




(45) 授权公告日 2015.03.25



1. 一种具有减小的寄生引发的误差的传感器装置,包括:

传感器元件,所述传感器元件具有第一驱动节点和第一感测节点,其中,当在所述第一驱动节点施加驱动信号时,在所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间存在第一寄生电流;和

电容网络,所述电容网络具有与电压源连接的第一输入和与所述第一感测节点连接的第一输出,当在所述第一输入处施加相位与所述驱动信号相反的第二驱动信号时,所述电容网络基本上抵消所述第一寄生电流。

2. 根据权利要求1所述的传感器装置,其中:

所述电容网络是第一电容网络;

所述传感器元件包括第二驱动节点和第二感测节点,其中,当在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点之间施加所述驱动信号时,在所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间存在第二寄生电流;

所述第一电容网络的所述第一输入连接到所述第二驱动节点;并且

所述装置还包括第二电容网络,所述第二电容网络具有与所述第一驱动节点连接的第二输入和与所述第二感测节点连接的第二输出,所述第二电容网络基本上抵消所述第二寄生电流。

3. 根据权利要求2所述的传感器装置,其中,在所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间存在第一寄生电容,在所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间存在第二寄生电容,并且:

所述第一电容网络是第一可调电容网络,用于提供与所述第一寄生电容基本上相等的第一有效电容;和

所述第二电容网络是第二可调电容网络,用于提供与所述第二寄生电容基本上相等的第二有效电容。

4. 根据权利要求3所述的传感器装置,其中,所述第一寄生电容不同于所述第二寄生电容,并且所述第一可调电容网络和所述第二可调电容网络是可单独地调谐的,以得到所述第一有效电容和所述第二有效电容。

5. 根据权利要求2所述的传感器装置,其中,所述传感器元件包括可移动结构,所述可移动结构适于沿着第一方向和与所述第一方向垂直的第二方向振荡,所述可移动结构的第一部分隔在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点之间,并且所述可移动结构的第二部分隔在所述第一感测节点和所述第二感测节点之间,其中,施加在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点的所述驱动信号使所述可移动结构的所述第一部分沿着所述第一方向振荡,并且所述第一感测节点和所述第二感测节点检测所述可移动结构的第二部分响应于所述第一部分沿着所述第一方向的振荡而出现的沿着所述第二方向的运动,沿着所述第二方向的所述运动响应于通过绕垂直于所述第一方向和所述第二方向的轴旋转而产生的科里奥利力。

6. 根据权利要求1所述的传感器装置,其中,所述电容网络是两端口电容网络。

7. 根据权利要求1所述的传感器装置,其中,在所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间存在寄生电容,并且所述电容网络包括并联连接的多个电容电路,用于产生与所述寄生电容基本上相等的有效电容。

8. 根据权利要求 7 所述的传感器装置,其中,所述电容电路中的至少两个相对于彼此具有不同的电容。

9. 根据权利要求 7 所述的传感器装置,其中,所述电容电路中的至少一个的电容不大于所述寄生电容。

10. 根据权利要求 9 所述的传感器装置,其中,所述电容小于 1 毫微微法拉。

11. 根据权利要求 7 所述的传感器装置,其中,每个所述电容电路包括:

第一电容元件;

第二电容元件;

第三电容元件,所述第一电容元件、所述第二电容元件和所述第三电容元件串联连接;

第四电容元件,所述第四电容元件具有连接在所述第一电容元件和所述第二电容元件之间的第一端和连接到地的第二端;和

第五电容元件,所述第五电容元件具有连接在所述第二电容元件和所述第三电容元件之间的第三端和连接到所述地的第四端。

12. 根据权利要求 1 所述的传感器装置,其中:

所述电容网络包括并联连接的多个电容电路以产生有效电容;和

所述装置还包括:

多个控制电路,所述控制电路中的每个与所述电容电路中的每个连接;和

数字控制元件,所述数字控制元件连接到所述控制电路中的所述每个,以选择性包括所述电容电路中的一些电容电路以产生所述有效电容。

13. 根据权利要求 12 所述的传感器装置,其中:

每个所述控制电路包括置于所述电容电路中的所述每个和地之间的开关元件;并且

所述数字控制元件包括多个逻辑门,所述逻辑门中的每个与每个所述开关元件相关,其中,所述逻辑门中的所述每个提供具有第一状态和第二状态中的一个状态的位,所述第一状态激励对应的所述开关元件以提供到地的分路,并且所述第二状态去激励所述对应的所述开关元件以去除所述到地的分路。

14. 根据权利要求 13 所述的传感器装置,其中,所述开关元件包括金属氧化物半导体(MOS)晶体管。

15. 一种基本上抵消装置中的寄生电流的方法,所述装置包括传感器元件、第一电容网络和第二电容网络,所述传感器元件具有第一驱动节点、第二驱动节点、第一感测节点和第二感测节点,所述第一电容网络具有与所述第二驱动节点连接的第一输入和与所述第一感测节点连接的第一输出,所述第二电容网络具有与所述第一驱动节点连接的第二输入和与所述第二感测节点连接的第二输出,并且所述方法包括:

调节所述第一电容网络以提供第一有效电容,所述第一有效电容基本上等于在所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间的确定的第一寄生电容,在向所述传感器元件施加驱动信号后,所述第一寄生电容造成第一寄生电流;

调节所述第二电容网络以提供第二有效电容,所述第二有效电容基本上等于所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间的确定的第二寄生电容,在向所述传感器元件施加所述驱动信号后,所述第二寄生电容造成第二寄生电流;以及

在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点施加所述驱动信号以驱动所述传感器元件,所述驱动信号同时被施加到所述第一电容网络和所述第二电容网络,以形成通过所述第一电容网络的第一校正电流并且形成通过所述第二电容网络的第二校正电流,使得所述第一寄生电流和所述第二寄生电流被基本上抵消,所述第一校正电流基本上等于所述第一寄生电流并且与所述第一寄生电流的相位相反,所述第二校正电流基本上等于所述第二寄生电流并且与所述第二寄生电流的相位相反。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其中,在调节所述第一电容网络和所述第二电容网络之前,所述方法还包括:

确定所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间的所述第一寄生电容;和

确定所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间的所述第二寄生电容。

17. 根据权利要求 15 所述的方法,其中,所述第一寄生电容不同于所述第二寄生电容,并且可单独地调节所述第一电容网络和所述第二电容网络,以得到相互不同的所述第一有效电容和所述第二有效电容。

18. 根据权利要求 15 所述的方法,其中:

所述第一电容网络包括并联连接的多个第一电容电路以产生所述第一有效电容;

所述第二电容网络包括并联连接的多个第二电容电路以产生所述第二有效电容;

所述调节所述第一电容网络的步骤包括利用数字控制以选择性包括所述第一电容电路中的一些第一电容电路来产生所述第一有效电容;并且

所述调节所述第二电容网络的步骤包括利用所述数字控制以选择性包括所述第二电容电路中的一些第二电容电路来产生所述第二有效电容。

19. 一种具有减小的寄生引发的误差的传感器装置,包括:

谐振器元件,所述谐振器元件具有第一驱动节点、第二驱动节点、第一感测节点和第二感测节点,其中,在所述第一驱动节点和所述第一感测节点之间存在第一寄生电容,以产生第一寄生电流,在所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间存在第二寄生电容,以在所述第二驱动节点和所述第二感测节点之间产生第二寄生电流,当在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点之间施加驱动信号时,存在所述第一寄生电流和所述第二寄生电流;

第一电容网络,所述第一电容网络包括并联连接的多个第一电容电路以产生第一有效电容,所述第一有效电容基本上等于所述第一寄生电容,所述第一电容网络具有与所述第二驱动节点连接的第一输入,并具有与所述第一感测节点连接的第一输出,当在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点之间施加所述驱动信号时,所述第一电容网络形成与所述第一寄生电流基本上相等并且与所述第一寄生电流的相位相反的第一校正电流,以基本上抵消所述第一寄生电流;和

第二电容网络,所述第二电容网络包括并联连接的多个第二电容电路以产生第二有效电容,所述第二有效电容基本上等于所述第二寄生电容,所述第二电容网络具有与所述第一驱动节点连接的第二输入,并具有与所述第二感测节点连接的第二输出,当在所述第一驱动节点和所述第二驱动节点之间施加所述驱动信号时,所述第二电容网络形成与所述第二寄生电流基本上相等并且与所述第二寄生电流的相位相反的第二校正电流,以基本上抵消所述第二寄生电流。

20. 根据权利要求 19 所述的传感器装置,还包括:

多个第一控制电路,所述第一控制电路中的每个与所述第一电容电路中的每个连接;  
第一数字控制元件,所述第一数字控制元件连接到所述第一控制电路中的所述每个,以选择性包括所述第一电容电路中的一些来产生所述第一有效电容;  
多个第二控制电路,所述第二控制电路中的每个与所述第二电容电路中的每个连接;  
以及  
第二数字控制元件,所述第二数字控制元件连接到所述第二控制电路中的所述每个,以选择性包括所述第二电容电路中的一些第二电容电路来产生所述第二有效电容。

## 具有减小的寄生引发的误差的传感器装置

### 技术领域

[0001] 本发明总体涉及传感器。更具体来讲,本发明涉及具有减小的寄生引发的误差的传感器装置。

### 背景技术

[0002] 近年来,微机电系统 (MEMS) 技术已实现了广泛的普及,因为它提供了一种方式来制成非常小的机械结构并且利用传统的批量半导体加工技术将这些结构与电子装置集成在单个衬底上。MEMS 的一种常规应用是设计和制造传感器装置。传感器装置的机电部分具有感测能力,而电子部分处理通过机电部分得到的信息。MEMS 传感器的一个示例是 MEMS 陀螺仪传感器。

[0003] 替代地被称作“陀螺仪”、“陀螺测试仪”、“角速率传感器”或“偏航率传感器”,陀螺仪传感器感测绕一个或多个轴的角速率。一种类型的 MEMS 陀螺仪传感器使用振荡元件,通过检测科里奥利 (Coriolis) 力或加速度来感测角速率。使振荡元件沿着与衬底平行的 X 轴 (驱动平面) 进行振荡运动。一旦振荡元件开始运动,它就能够检测由于衬底绕 Z 轴旋转而引发的角速率。科里奥利力加速度出现在 Y 轴 (感测平面),该 Y 轴同时垂直于 X 轴和 Z 轴。科里奥利力加速度产生运动,这种运动的幅度与衬底的角旋转速率成比例。

[0004] 在电路中,寄生电容是不可避免的并且通常是不期望的电容,部分地由于电子元件或电路的每个部件相互毗邻而导致在其部分之间存在寄生电容。另外,诸如电感器、二极管和晶体管之类的所有实际电路元件具有内部寄生电容,这会导致它们的表现不及“理想”电路元件的表现。在靠得很近的导体之间,如在布线或印刷电路板迹线之间,也可能存在寄生电容。寄生电容可以是 MEMS 传感器或相关封装和结合布置中所固有的,使得不仅对于不同传感器实现方式,寄生电容值可以不同,而且对于生产过程中的每个单元,寄生电容值也可以不同。

[0005] MEMS 陀螺仪传感器在装置的驱动节点和感测节点之间具有寄生电容,这在与传感器位置对应的信号中产生误差。驱动节点和感测节点之间的寄生电容特别麻烦,这是因为该寄生电容所产生的电流与所需的传感器位置信号正交。因此,在感测节点确定的信号中产生了误差,以致振荡元件的位置确定出现了误差。

[0006] 一些方法涉及通过将开关与每个电容器串联而直接并联地组合电容器,以生成具有可变电容的一端电容网络。不幸的是,由于开关存在的固有的寄生电容,并且 MEMS 传感器实现中的电容器的最小物理尺寸,因此开关元件的最小电容不能达到零。此外,在这种一端电容网络中,随着开关电容器的数量增加,可实现的最小电容会增加。在寄生电容值可以在大约二分之一毫微微法拉至五十毫微微法拉的范围内的一些 MEMS 陀螺仪传感器中,非常不期望对于电容器的最小物理尺寸存在限制,以及可实现的最小电容随着开关元件数量增加而增加。

### 附图说明

[0007] 通过参照结合附图考虑的具体实施方式和权利要求书,可以取得对本发明更完全的理解,其中,在所有附图中,类似附图标记表示类似项,并且:

[0008] 图 1 示出例示存在寄生电容的微机电系统 (MEMS) 传感器的示意图;

[0009] 图 2 示出例示由于寄生电容导致在图 1 的 MEMS 传感器中引入由寄生引发的误差的波形图;

[0010] 图 3 示出示例性 MEMS 传感器的透视图;

[0011] 图 4 示出根据本发明的实施例的为了减小由寄生引发的误差而在其内实现具有两端口电容网络的图 3 的 MEMS 传感器的示意图;

[0012] 图 5 示出例示通过在 MEMS 传感器中实现两端口电容网络而导致误差减小的波形图;

[0013] 图 6 示出根据本发明的另一个实施例的两端口电容网络;

[0014] 图 7 示出在两端口电容网络中实现的多个电容电路中的一个的电路模块;

[0015] 图 8 示出与图 7 的电路模块对应的图,其提供了用于确定两端口电容网络中的每个电容电路可实现的有效电容  $C_{eff}$  的等式;和

[0016] 图 9 示出电容电路内的多个电容器的示例性电容值和所得的有效网络电容的表格。

## 具体实施方式

[0017] 本发明的实施例产生具有减小的由寄生引发的误差的微机电 (MEMS) 传感器和用于减小 MEMS 传感器中由寄生引发的误差的方法。在 MEMS 传感器中实现两端口电容网络,允许调节有效电容以生成具有适当相位的反向电流来抵消由寄生而引发的误差电流。该两端口电容网络可在大电容范围内调节,并且允许使有效电容如所需要地那样小(例如,低于最小的片上组件或寄生电容)。

[0018] 以下讨论的 MEMS 传感器是惯性传感器,其具有合适的电路和结构以形成具有减小的由寄生引发的误差的 MEMS 陀螺仪传感器。然而,替代地,以下所讨论的产生减小的由寄生引发的误差的原理可以应用于其它类型的装置,如 MEMS 加速仪、MEMS 压力传感器等。此外,这些原理可以应用于非 MEMS 装置或通用集成电路。因此,对于诸如 MEMS 陀螺仪之类的特定类型的惯性传感器的讨论是示例性的,并且不旨在限制各实施例的范围。

[0019] 图 1 示出例示存在寄生电容 22 和 24 的微机电系统 (MEMS) 陀螺仪传感器 20 的示意图。总体上,MEMS 传感器 20 包括诸如谐振器元件 26 和感测电路 28 之类的传感器元件。谐振器元件 26 包括一个或多个可移动元件,其通常被称作检验质量 (proof mass)。这些可移动元件通过各种能使其移动的机械连接件和弹簧而连接到下面的衬底(未示出)。各种实施例可以包括一个或多个可移动元件,这些元件可以被构造用作(例如)驱动质量或感测质量。为了简便起见,用单个结构元件(即,单个检验质量)30 代表一个或多个可移动元件。

[0020] 谐振器元件 26 包括与一对驱动节点 34、36 电连接的驱动结构 32。交流 (AC) 电压源 38 连接在驱动节点 34 和 36 之间。谐振器元件 26 还包括与一对感测节点 42 和 44 电连接的感测结构 40。感测节点 42 和 44 与感测电路 28 的感测放大器 46 电连通。

[0021] 驱动结构 32 包括移动驱动指状物 (drive finger) 48(示出其中一个)和固定驱动

指状物 50 (示出其中两个), 移动驱动指状物 48 从检验质量 30 延伸, 固定驱动指状物 50 锚固于下面的衬底 (未示出) 使得固定驱动指状物 50 不能相对于移动驱动指状物 48 移动。另外, 移动驱动指状物 48 被构造用于与成对的固定驱动指状物 50 交错。

[0022] 感测结构 40 包括移动感测指状物 52 (示出其中一个) 和固定感测指状物 54 (示出其中两个), 移动感测指状物 52 从检验质量 30 延伸, 固定感测指状物 54 锚固于下面的衬底 (未示出) 使得固定感测指状物 54 不能相对于移动感测指状物 52 移动。另外, 移动感测指状物 52 被构造用于与成对的固定感测指状物 54 交错。

[0023] 应当注意, 所提供的检验质量 30、驱动结构 32、和感测结构 40 的构造是出于示例性的目的。可以根据已知的机械设计原理选择检验质量 30 的尺寸、形状、数量和材料; 驱动结构 32 的组件; 感测结构 40 的组件等, 以实现 MEMS 传感器 20 所需的灵敏度、稳定性、和范围。同样, 可以选择用于悬挂检验质量 30 的机械连接件和弹簧 (未示出) 的形状、尺寸、材料和弹簧常数, 以实现检验质量 30 所需的移动。

[0024] 在一个实施例中, MEMS 传感器 20 被实现为电容型陀螺仪。也就是说, 由于固定驱动指状物 50 与驱动节点 34、36 电连接, 导致来自电压源 38 的驱动信号 (例如, 正弦驱动电压 56) 施加在固定驱动指状物 50 之间, 从而造成检验质量 30 的线性振荡运动 58, 该运动被标记为  $x(t)$ 。当 MEMS 传感器 20 经历了角速度的变化, 并且处于线性振荡运动 58 时, 检验质量 30 将发生移动。也就是说, MEMS 传感器 20 旋转向检验质量 30 施加科里奥利力 (也被称作科里奥利加速度), 该力与角速度成比例并且取决于角速度矢量相对于检验质量 30 的速度矢量的取向。科里奥利加速度、角速度矢量和质量速度矢量相互垂直。例如, 由于沿着驱动轴 (即, X 轴 60) 施加的线性振荡运动 58 和绕 (例如) 延伸到纸外的 Z 轴的输入角速度相互作用而导致所得的科里奥利加速度沿着检验质量 30 传递, 以使感测指状物 52 移动。

[0025] 同时, 固定感测指状物 54 和相邻的移动感测指状物 52 形成可变的微分电容器。如此, 当 MEMS 传感器 20 经历绕 Z 轴的角速率 (angular rate) 变化时, 每个移动感测指状物 52 将沿着感测轴 (即, Y 轴) 向着相邻的固定感测指状物 54 中的一个, 并且背离相邻的固定感测指状物 54 中的另一个移动。移动感测指状物 52 移动的距离将导致固定感测指状物 52 和移动感测指状物 54 之间的电容 64 (被标记为  $C(t)$ ) 的成比例变化。电容 64 的变化产生感测电流, 其被标记为  $I(t)$ 。感测电流 66 通过感测节点 42 和 44 输出到感测放大器 46, 在感测放大器 46 中, 感测电流 66 可以被与角速度 (angular velocity) 成比例地放大并转换成输出电压 68, 其被标记为  $V_{OUT}(t)$ 。

[0026] 在驱动节点 34 和感测节点 42 之间存在寄生电容 22 (被标记为  $C_{p1}$ ), 当驱动电压 56 施加在驱动节点 34 和 36 之间时, 驱动节点 34 和感测节点 42 中的每个都具有相同的极性。寄生电容 22 在驱动节点 34 和感测节点 42 之间产生寄生电流 70 (被标记为  $I_{p1}(t)$ )。同样, 在驱动节点 36 和感测节点 44 之间存在寄生电容 24 (被标记为  $C_{p1}$ ), 当驱动电压 56 施加在驱动节点 34 和 36 之间时, 驱动节点 36 和感测节点 44 中的每个都具有相同的极性。寄生电容 24 在驱动节点 36 和感测节点 44 之间产生寄生电流 72 (被标记为  $I_{p2}(t)$ )。为了清楚地区分每个节点, 驱动节点 34 在下文中被称作第一驱动节点 34 并且感测节点 42 在下文中被称作第一感测节点 42, 以表示它们匹配的极性。同样, 驱动节点 36 在下文中被称作第二驱动节点 36 并且感测节点 44 在下文中被称作第二感测节点 44, 以表示它们匹配的极

性。寄生电容 22 和 24 不是 EMES 传感器 20 内的物理组件。因此,它们与驱动节点 34 和 36 以及对应的感测节点 42 和 44 的互连用虚线表示。

[0027] 寄生电流 70 和 72 与感测电流 66 组合,因此通过第一感测节点 42 和第二感测节点 44 输出到感测放大器 46。然后,在感测放大器 46 处,可以用所需信号(即,感测电流 66)将寄生电流 70 和 71 放大,并将其转换成输出电压 68。因此,所得的输出电压 68 具有由寄生引发的误差,这对感测出的角速度产生不利影响。

[0028] 在结合图 1 的情况下参照图 2,图 2 示出例示由于寄生电容 22 和 24 导致引入 MEMS 陀螺仪传感器 20(图 1)中的由寄生引发的误差的波形图 74。图表 74 包括代表在驱动节点 34 和 36 处施加的来自电压源 38 的 AC 驱动电压 56 的波形 76。另一个波形 78 代表响应于驱动电压 56 从检验质量 30 延伸的移动感测指状物 48 的位置或振荡。下一个波形 80 代表移动感测指状物 52 和固定感测指状物 54 之间的随时间变化的电容 64。注意的是,代表随时间变化的电容 64 的波形 80 与代表移动感测指状物 48 的位置的波形 78 同相。

[0029] 下一个波形 82 代表与随时间变化的电容 64 相关的感测电流 66。注意的是,代表变化的感测电流 66 的波形 82 与代表驱动电压 56 的波形 76 同相。下一个波形 84 代表由对应的寄生电容 22 和 24 导致的组合的寄生电流 70 和 72。代表组合的寄生电流 70 和 72 的波形 84 与代表感测电流 66 的波形 80 异相。因此,下一个波形 86(实线)代表受由寄生引发的误差 88 不利影响的输出电压 68。另一个波形 90(虚线)与波形 86 叠置,并且代表所需的输出电压 92(被标记为  $V_{DES}(t)$ )而没有由寄生引发的误差 88。

[0030] 因此,随时间变化的寄生电容 22 和 24 对应于检验质量 30 的位置(进而对应于角速度)在输出电压 68 中产生由寄生引发的误差 88。第一驱动节点 34 和第一感测节点 42 之间的寄生电容 22 以及第二驱动节点 36 和第二感测节点 44 之间的寄生电容 24 造成输出电压 68 的相位误差,这是因为寄生电流分布(即,寄生电流 70 和 72)与感测电流 66 异相。当然,这种相位误差对 MEMS 传感器 20 的精确度产生不利影响。另外,寄生电容 22 和 24 产生与所需输出电压 92 的相位正交的电流。因此,波形 94 代表在感测节点 42 和 44 处确定的正交信号 96,其中,在正交信号 96 中还存在由寄生引发的误差 88。

[0031] 本发明的实施例产生两端口电容网络的实施方式,其大大抵消了寄生电流 70 和 72,由此显著减小了输出电压 68 上,以及同等地减少了正交信号 96 上的由寄生引发的误差 88。

[0032] 图 3 示出示例性 MEMS 装置 98 的透视图。MEMS 装置 98 总体上包括具有感测能力的机电部分 100 和电子部分 102,该电子部分 102 是处于混合信号集成电路(MSIC)的形式,用于处理机电部分 100 得到的信息。机电部分 100 和电子部分 102 可以形成在单个衬底 104 上,该衬底 104 具有合适的输入和输出迹线 106,并且具有合适的互连迹线 108。

[0033] 在实施例中,谐振器元件 26(图 1)可以在机电部分 100 中实现。感测电路 28(图 1)、电容网络(以下讨论)和/或其它电路可以在电子部分 102 中实现。这种 MEMS 装置 98 可以用于执行在其中需要与最小形式的因子结合的传感器精确度的例如安全气囊展开系统、自动偏航控制装置、安全机构、手机、膝上型电脑和笔记本电脑、相机、游戏控制器等中的各种监控和/或控制功能。应当注意,所提供的 MEMS 装置 98 是出于示例性目的。本领域的技术人员将认识到,MEMS 装置 98 可以具有各种构造,可以具有更多或更少的组件等等。

[0034] 图 4 示出根据本发明的实施例的具有用于减小由寄生引发的误差 88(图 2)的在其内实现两端口电容网络 112 和 114 的 MEMS 传感器 110 的示意图。实际上, MEMS 传感器 110 可以总体上被构造用于形成 MEMS 装置 98(图 3)。为了简便起见,对于两端口电容网络 112 和 114 的讨论是结合它们集成到 MEMS 传感器构造(如,结合图 1 描述)的情况来进行的。如此,当指代相同的组件时,图 1 中利用的附图标记也可以用于图 4 中。然而,如以上所提及的,在替代实施例中,具体的 MEMS 传感器可以采用各种结构形式。

[0035] 因此, MEMS 传感器 110 包括谐振器元件 26, 谐振器元件 26 具有分别与第一驱动节点 34 和第二驱动节点 36 电连接的驱动结构 32, 和分别与第一节点 42 和第二节点 44 电连接的感测结构 40。因此, 如以上详细讨论的, 在第一驱动节点 34 和第一感测节点 42 之间存在寄生电容 22, 其在第一驱动节点 34 和第一感测节点 42 之间产生发生相移的寄生电流 70。同样, 在第二驱动节点 36 和第二感测节点 44 之间存在寄生电容 24, 其在第二驱动节点 36 和第二感测节点 44 之间产生发生相移的寄生电流 72。虽然是结合 MEMS 传感器 110 进行讨论, 但是电容网络 112 和 114 可以替代地应用于需要减小由寄生引发的误差 88(图 2)的其它类型的 MEMS 装置、非 MEMS 装置和 / 或通用集成电路。

[0036] 根据实施例, 电容网络 112 具有连接到第二驱动节点 36 的输入 116 和连接到地的另一个输入 118。另外, 电容网络 112 具有连接到第一感测节点 42 的输出 120 和连接到地的另一个输出 122。类似地, 电容网络 114 具有连接到第一驱动节点 34 的输入 124 和连接到地的另一个输入 126。另外, 电容网络 114 具有连接到第二感测节点 44 的输出 128 和连接到地的另一个输出 130。

[0037] 总体上, 两端口网络是具有两对端子的电路(即, 电路连接两个偶极)。两个端子如果满足已知作为端口条件的需要, 即, 满足进出端口的电流必须相同, 则这两个端子构成端口。如以下将更详细讨论的, 电容网络 112 产生有效电容 132(被标记为  $C_{EFF1}$ ), 该有效电容基本上等于寄生电容 22。因此, 当在输入 116 处施加驱动电压 56 时, 形成通过电容网络 112 的校正电流 134(被标记为  $I_{C1}(t)$ ), 该校正电流 134 基本上等于寄生电流 70 并且与寄生电流 70 异相。因此, 感测节点 42 处的校正电流 134 抵消感测节点 42 处的寄生电流 70。

[0038] 同样, 电容网络 114 产生有效电容 136(被标记为  $C_{EFF2}$ ), 该有效电容基本上等于寄生电容 24。因此, 当在输入 124 处施加驱动电压 56 时, 形成通过电容网络 114 的校正电流 138(被标记为  $I_{C2}(t)$ ), 该校正电流 138 基本上等于寄生电流 72 并且与寄生电流 72 异相。因此, 感测节点 44 处的校正电流 138 抵消感测节点 44 处的寄生电流 72。

[0039] 在一个实施例中, 可在大范围内, 例如, 在大致 0.2-50 毫微微法拉的范围内, 数字调节电容网络 112 和 114 中的每个。在寄生电容 22 和 24 中的每个有可能存在于 0.5-50 毫微微法拉的范围内的 MEMS 传感器 110 中, 这种调节范围是有利的。寄生电容 22 和 24 不必相等。因此, 可单独地调节电容网络 112 和电容网络 114, 使得它们可以被单个地调节或调谐, 以得到有效电容 132 和 136 的合适值。

[0040] 在结合图 4 的情况下参照图 5, 图 5 示出例示由于在 MEMS 传感器 110 中实现电容网络 112 和 114 导致由寄生引发的误差 88(图 2)减小的波形图 140。如同图表 74(图 2), 图表 140 包括: 波形 76, 其代表在驱动节点 34 和 36 处施加的来自电压源 38 的 AC 驱动电压 56; 和波形 78, 其代表响应于驱动电压 56 从检验质量 30 延伸的移动感测指状物 48 的线性振荡运动 58。另外, 图表 140 包括: 波形 80, 其代表移动感测指状物 52 和固定感测指状

物 54 之间随时间变化的电容 64 ;和波形 82,其代表变化的感测电流 66。

[0041] 图表 140 还包括波形 142,其代表基本上被对应的校正电流 134 和 138 抵消的寄生电流 70 和 72。因此,波形 142 示出的是,由寄生电流 70 和 72 及对应的校正电流 134 和 138 导致的总电流基本上为零。因此,下一个波形 144 代表输出电压 68,其中由寄生引发的误差 88(图 2)大幅度减小。同样,另一个波形 148 代表在感测节点 42 和 44 确定的正交信号 96,其中,由寄生引发的误差 88 大幅度减小。也就是说,在波形 144 和 148 的每个中,在很大程度上没有如图 2 中所示的相对于所需信号的相移。因此,在 MEMS 传感器 110 中实现的电容网络 112 和 114 大大抵消了寄生电流 70 和 72,由此显著减小了输出电压 68 上并且同等地减小了在正交信号 96 上的由寄生引发的误差 88。

[0042] 图 6 示出根据实施例的两端口电容网络 112 的示意图。电容网络 112 代表通用的两端口电容网络模型,通过适当选择电容值并且适当选择电容器电路(以下讨论),其将产生有效电容 132 以生成基本上抵消寄生电流 70(图 4)的校正电流 134。虽然图 6 是结合电容网络 112 讨论的,但是应当理解,下面的描述同等地应用于电容网络 114(图 4),以产生有效电容 136(图 4)和同等地基本上抵消寄生电流 72(图 4)的校正电流 138(图 4)。

[0043] 电容网络 112 包括并联连接的多个电容电路 150。每个电容电路 150 具有与电容网络 112 的输入 116 连接的对应输入 152 和与电容网络 112 的输出 120 连接的对应输出 154。每个电容电路 150 产生电路电容 156,其被标记为  $C_{\text{eff}1}$ 、 $C_{\text{eff}2}$ ... $C_{\text{eff}8}$ 。如本领域很好理解的,并联连接的两个或更多个电容器(向每个电容器施加相同的驱动电压)的总电容将是并联连接的单个电容器的电容值之和。因此,有效电容 132(即, $C_{\text{EFF}1}$ )是电路电容 156(即, $C_{\text{eff}1}$ 、 $C_{\text{eff}2}$ ... $C_{\text{eff}8}$ )之和。结合电路电容 156 使用的下标命名“eff”在本文中用于将各电路电容 156 与被标记为  $C_{\text{EFF}1}$  的电容之和(即,有效电容 132)区分开。

[0044] 在图示实施例中,电容网络 112 包括 8 个电容电路 150。因此,示出电容电路 150 内的单独组件的 8 个单位标记命名(例如, $C_{n1}$ 、 $D_{n2}$ 、 $C_{n3}$ 、 $C_{n4}$ 、 $C_{n5}$  和  $S_n$ ,其中, $n$  是 1 和 8 之间的数字)。虽然电容网络 112 被描述为具有 8 个电容电路 150,但是将变得显而易见的是,根据有效电容 132 的值的所需范围和/或对电容网络 112 执行调节步骤的分辨率,电容网络可以适于包括多于或少于 8 个的电容电路。为了简便示出,在图 6 中只示出 3 个电容电路 150,其中用一些椭圆形来代表另外的 5 个电容电路 150。

[0045] 在一个实施例中,电容电路 150 单独受 MEMS 传感器 110 的数字控制功能块 158 控制。为此,MEMS 传感器 110 包括多个控制电路 162(每个控制电路由虚线框绘出),控制电路 162 中的每个控制电路连接到电容电路 150 中的每个电容电路。每个控制电路 162 包括开关元件 164,在一些实施例中,开关元件 164 可以是金属氧化物半导体(MOS)晶体管。每个开关元件 164 置于其对应的电容电路 150 和地之间。

[0046] 数字控制功能块 158 包括多个数字控制元件或逻辑门 166。在图示实施例中,数字控制功能块 158 提供 8 位的数字控制 168,其中每个逻辑门 166 提供一个位 168。每个逻辑门 166 包括连接到一个控制电路 162 的门端子 160,该门端子 160 用作对其对应的控制电路 162 的控制输入。如此,每个逻辑门 166 向其相关的开关元件 164 提供一个位的数字控制 168。单独的逻辑门 166 被标为 1 至 8,其中,为了简便示出,只示出三个逻辑门 166,这三个逻辑门与它们相应的电容电路 150 相关。提供一些椭圆来代表另外的 5 个逻辑门 166。

[0047] 如本领域熟知的,逻辑门对一个或多个逻辑输入执行逻辑运算,并且产生具有第

一状态 170 或第二状态 172 的单个逻辑输出,即,位 168。举例来说,当数字控制功能块 158 发出命令时,逻辑门 166 可以提供处于第一状态 170 或处于第二状态 172 的位 168,处于第一状态 170 的位 168 影响相关的开关元件 164 的闭合(即,激励),处于第二状态 172 的位 168 影响与逻辑门 166 连接的控制电路 162 的相关的开关元件 164 的断开(即,去激励)。

[0048] 在示例性情形下,当开关元件 164 闭合时,形成到地的分路。因此,当特定电容电路 150 的开关元件 164 闭合时,随后在其输出不存在电流,所以电路电容 156 有效地为零。然而,当开关元件 164 断开时,到地的分路消除,并且特定的电容电路 150 在其输出 154 提供电路电容 156 并且因此提供电路电流 174(被标记为  $I_{\text{eff}1}$ 、 $I_{\text{eff}2}$ ... $I_{\text{eff}8}$ )。当然,电路电流 174 之和在第一感测节点 42 处产生校正电流 134(被标记为  $I_{\text{Cl}}(t)$ )。通过采用数字控制选择性断开和闭合特定的开关元件 164,产生所需的有效电容 132,以在第一感测节点 42 处产生基本上抵消寄生电流 70(图 4)的所需的校正电流 134。结合电路电流 174 使用的下标命名“eff”在本文中用于对应于单独的电路电容 156 所用的相同命名。

[0049] 参照图 7 和图 8,图 7 示出在电容网络 112 和 114(图 6)的任一个中实现的多个电容电路 150 中的一个电容电路的电路模块 176,并且图 8 示出对应于电路模块 176 的图 178,其提供了用于确定在电容网络 112 和 114(图 4)中的每个电容电路 150 处能实现的电路电容 156CEFF 的等式。如图 7 中所示地构造电容网络 112 和 114 的每个电容电路 150。然而,特定电容电路 150 内电容值的不同值的组合在其输出 154 处产生不同的电路电容 156。电路模块 176 提供用于确定一个电容电路 150 的电路电容 156 的手段。

[0050] 如以上提及的,MEMS 传感器(例如,MEMS 传感器 20 和 MEMS 传感器 110)中的驱动节点 34 和 36 与对应的感测节点 42 和 44 之间的寄生电容 22 和 24(图 1)有可能存在于 0.5-50 毫微微法拉的范围内。为了有效抵消寄生电流 70 和 72(图 1),由此必须在相应的电容网络 112 和 114 中产生有效电容 132 和 136(图 4),这些有效电容处于小于 1 毫微微法拉分辨率的毫微微法拉范围内。此外,寄生电容 22 和 24 可以是 MEMS 传感器或相关封装和结合布置中所固有的,使得不仅对于不同传感器实现方式,寄生电容 22 和 24 可以不同,而且对于生产过程中的每个单元,寄生电容 22 和 24 也可以不同。均具有多个单独受控的电容电路 150 的电容网络 112 和 114 使用实际的芯片上组件尺寸来模仿具有可调极小值的电容器。

[0051] 如在模块 176 中表示的,电容电路 150 包括串联连接的电容元件 180(被标记为 C5)、电容元件 182(被标记为 C3)和电容元件 184(被标记为 C1)。电容元件 180 具有与电容电路 150 的输入 152 连接的端部 181,并且电容元件 184 具有与电容电路 150 的输出 154 连接的端部 185。电容电路 150 还包括电容元件 186(被标记为 C4)和电容元件 188(被标记为 C2)。电容元件 186 具有位于电容元件 180 和 182 之间的端部 190 和连接到地的另一个端部 192。类似地,电容元件 188 具有位于电容元件 182 和 184 之间的端部 194 和连接到地的另一个端部 196。

[0052] 简要参照图 6,电容元件 180 代表电容电路 150 的组件 Cn5(例如,C15、C25...C85)。同样,电容元件 182 代表电容电路 150 的组件 Cn3(例如,C13、C23...C83)。电容元件 184 代表电容电路 150 的组件 Cn1(例如,C11、C21...C81)。电容元件 186 代表与对应的开关 164 两端的开关电容  $C_{\text{sw}}$  求和的电容电路 150 的组件 Cn4(例如,C14、C24...C84)。电容元件 188 代表电容电路 150 的组件 Dn2(例如,D12、D22...D82)。更具体来讲,电容元

件 188 代表在二极管 (D12、D22...D82) 处发现的电容。电容元件 180、182、184、186 和 188 可以是集成电路 (IC) 电容器、寄生电容器、或者基本上如电容器一样表现的元件,如反向偏置的二极管或断开的开关。

[0053] 回头参照图 7 和图 8,假设感测放大器 46(图 1) 在输出 154 处保持低阻抗,使其小于电容元件 180、182、184、186 和 188 的组合的阻抗,则通过电容元件 180、182、184、186 和 188 的组合的阻抗来完全确定在输入 152 处的驱动电压 56 之间的关系。由图表 178 中的等式 198 代表这种关系。

[0054] 通过分析电容电路 150 的电路模块 176 并且比较这些关系,可以表明,可以由图表 178 中所示的等式 200 来表示电容电路 150 的有效电容,即,电路电容 156。总体上,可以根据预定的所需电路电容 156,选择电容元件 180、182、184、186 和 188 中的每个电容元件的值。另外,开关 164 被构造用于当开关 164 闭合时将电容元件 186(被标记为 C4) 短路。因此,当开关 164 闭合时,电容元件 166 的有效电容是无穷大。在这种情形下,电路电容 154 将为零。在替代实施例中,开关(未示出)可以与电容元件 188 并联布置。因此,当电容元件 188 两端的开关闭合时,电容元件 188 的有效电容将是无穷大,从而产生为 0 的电路电容 154。

[0055] 图 9 示出电容电路 150(图 6) 内的多个电容元件 180、182、184、186 和 188 的示例性电容值和所得的有效网络电容的表格 202。表格 202 中的每一行 204 提供用于得到所需电路电容 154 的一个电容电路 150 的电容元件 180、182、184、186 和 188 中的每个电容元件的值。当相关的一个开关元件 164(图 6) 断开时,即当电容电路 150 “导通”时,在表格 202 的列 206 中示出每个电容电路 150 的电路电容 154。出于示意性目的,表格 202 的每一行 204 还示出的是,无论电容元件 180、182、184、186 和 188 中的每个电容元件的值为多少,当相关的一个开关元件 164 闭合时,即当电容电路 150 “断开”时,电路电容将为零,如列 208 中表示的。

[0056] 应当回想到,由于电容电路 150 是并联构造,导致可以通过对“导通”的那些电容电路 150 的每个电路电容 154(列 206 中示出) 求和来确定有效电容 132 和 134(图 4) 中的每个。另外,电容元件 180、182、184、186 和 188 中的每个电容元件的选定值可以导致电容电路 150 相对于彼此具有不同的电路电容 154。因此,在这个图示实施例中,最小的有效电容 132 或 134 将为 0 毫微微法拉,并且最大的有效电容 132 或 134 将为 51 毫微微法拉(对所有电路电容 154 求和)。因此,具有依照表格 202 的电容元件 180、182、184、186 和 188 的值的电容网络 112 和 114 将产生大的有效电容范围(例如,0 至 51 毫微微法拉),该电容范围具有小于 1 毫微微法拉的分辨率(例如,0.2、0.4 和 0.8 毫微微法拉)。

[0057] 简要参照图 7,应当注意,期望的是当电容网络 112 或 114 进行切换时,电容电路 150 的输入处的端子阻抗 210(被标记为  $Z_{11}$ ) 和电容电路 150 的输出处的端子阻抗 211(被标记为  $Z_{22}$ ) 保持在可接受的范围内。换句话讲,输入 152 和输出 154 都不应该短路或是表现出过大的等效电容,因为过度地加载驱动节点 34 和 36 和 / 或感测节点 42 和 44(图 4) 可能会干扰系统运行。实际上,过度加载可以产生稳定性的问题,可以将信号电平减小到所需电平之下和 / 或可以导致其它性能问题。

[0058] 回头参照图 9,端子阻抗 210(图 7) 已转换成端子电容 214(被标记为 C11),并且端子阻抗 212(图 7) 已转换成端子电容 216(被标记为 C22)。值的列 218 代表电容元件 180、

182、184、186 和 188 的每个组合的端子电容 214,其在相关的一个开关元件 164(图 6)断开时,即电容电路 150 “导通”时导致产生所需的电路电容 154。值的列 220 代表当相关的一个开关元件 164(图 6)“闭合”时,即电容电路 150 断开时的端子电容 214。同样,值的列 222 代表当相关的一个开关元件 164(图 6)断开时,即电容电路 150 “导通”时的端子电容 216,并且值的列 224 代表当相关的一个开关元件 164(图 6)闭合时,即电容电路 150 “断开”时的端子电容 216。

[0059] 通过参看电容元件 180、182、184、186 和 188 的每个组合的端子电容 214 和 216,揭示了在开关元件 164 的闭合位置和断开位置之间存在很小的电容变化。此外,端子电容 214 和 216 具有与电容元件 180、182、184、186 和 188 的值近似的大小,使得驱动节点 34 和 36 和 / 或感测节点 42 和 44 没有被过度加载。

[0060] 实际上,用于基本上抵消 MEMS 传感器 110(图 4)中的寄生电路 70 和 72(图 4)的方法导致在合适的驱动节点 34 和 36 与感测节点 42 和 44 之间提供电容网络 112 和 114,如以上详细描述。然后,可以确定具有相同极性的驱动节点 34 和感测节点 42 之间的寄生电容 22,并且同样可以确定在驱动节点 36 和感测节点 44 之间的寄生电容 24。可以结合对 MEMS 传感器 110 后续的产品测试和校准来进行这个确定过程。然后,可以通过数字控制来单独地调节电容网络 112 和 114 中的每个,以选择性包括(即)启动或不启动如以上所讨论的特定容性电路 150(图 6),以提供相应的有效电容 132 和 136(图 4)。

[0061] 如此,当驱动电压 56(图 4)施加在驱动节点 34 和 36 之间以引发移动驱动指状物的线性振荡运动 58 时,驱动电压 58 将同时施加到电容网络 112 和 114。通过电容网络 112 所得的校正电流 134(图 4)基本上等于寄生电容 70(图 4)并且与寄生电容 70 的相位相反,并且因此将抵消感测节点 42 处的寄生电流 70。同样,通过电容网络 114 所得的校正电流 136(图 4)基本上等于寄生电容 72 并且与寄生电容 72 异相,并且因此将抵消感测节点 44 处的寄生电流 72。通过这种对寄生电流 70 和 72 的抵消,大大减小了由寄生引发的误差 88(图 2),以产生代表感测到的角速度的更精确的输出电压 68(图 4)。

[0062] 结合不同传感器系统中实现的两个电容网络讨论了本发明的实施例。然而,这种构造不是限制。相反,单个电容网络(例如,电容网络 112(图 4))可以在单端传感器系统中实现。在这种构造中,元件(例如,谐振器元件)可以具有单个驱动节点和单个感测节点,当由电压源在驱动节点处施加驱动电压时,在单个驱动节点和单个感测节点之间存在寄生电流。在实施例中,电容网络 112 的输入 116 连接到另一个电压源,并且电容网络的输出 120 连接到单个感测节点。电源源可以用于将具有相反相位的另一个驱动电压施加到电容网络 112,以产生基本上抵消寄生电流的校正电流 134。

[0063] 本发明的实施例产生具有减小的由寄生引发的误差的诸如陀螺仪传感器之类的微机电系统(MEMS)传感器和用于减小 MEMS 传感器中的由寄生引发的误差的方法。在 MEMS 传感器中实现两端口电容网络,其允许对有效电容进行调节,以产生具有适当相位的反向电流,以抵消由寄生引发的误差电流。该两端口电容网络可将电容在大范围内进行数字调节,并且允许使有效电容如所需要地那样小(例如,低于最小的片上组件或寄生电容)。通过抵消由寄生引发的电流,使 MEMS 传感器的精确度提高。

[0064] 虽然已经详细示出和描述了本发明的优选实施例,但是本领域的技术人员将容易理解,在不脱离本发明的精神和权利要求书的范围的情况下,可以对其进行各种修改。

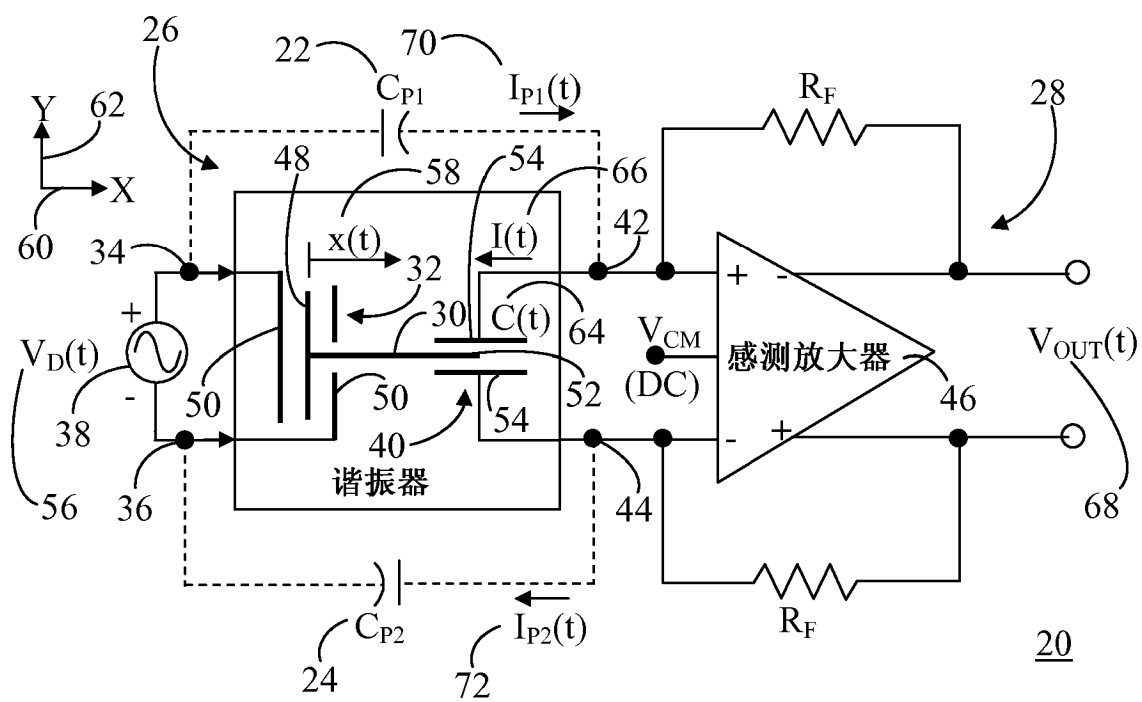


图 1

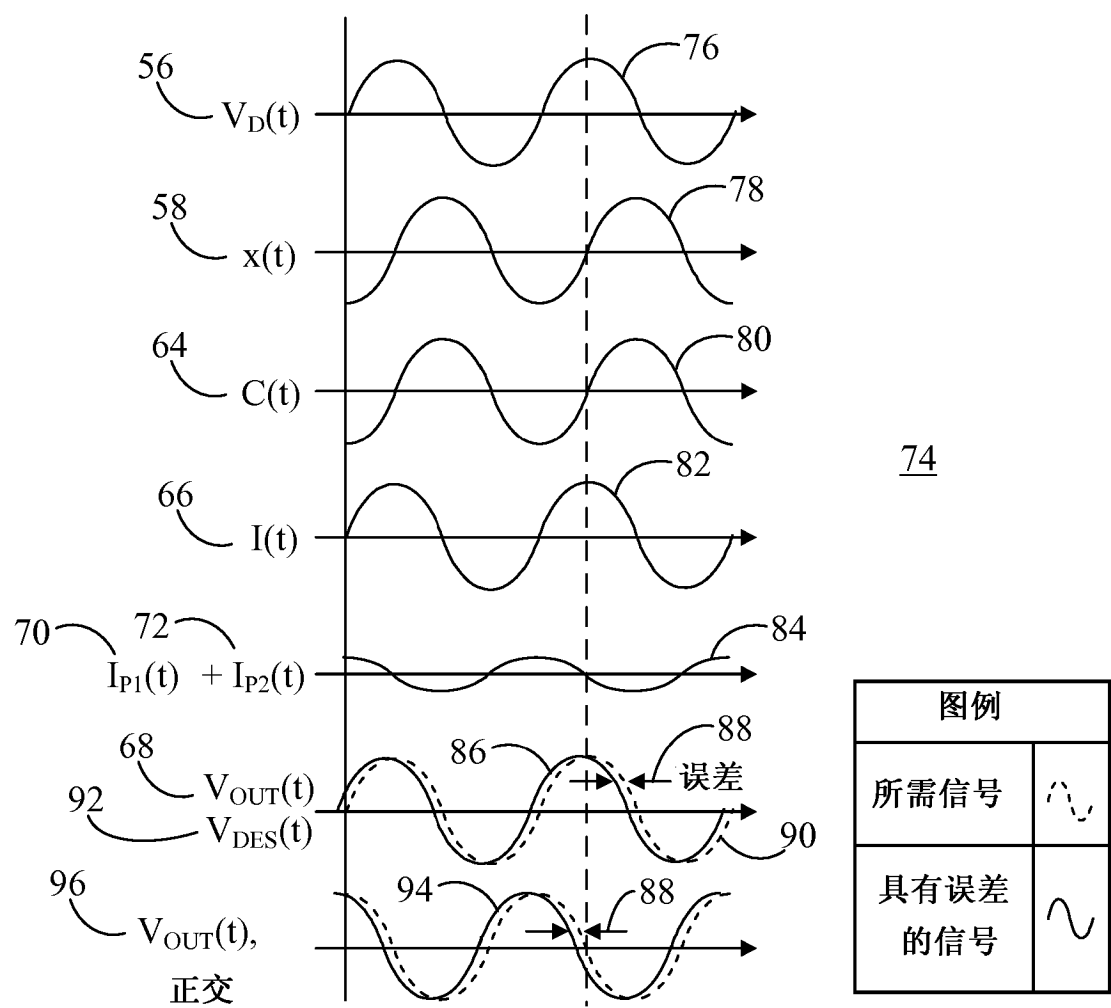


图 2

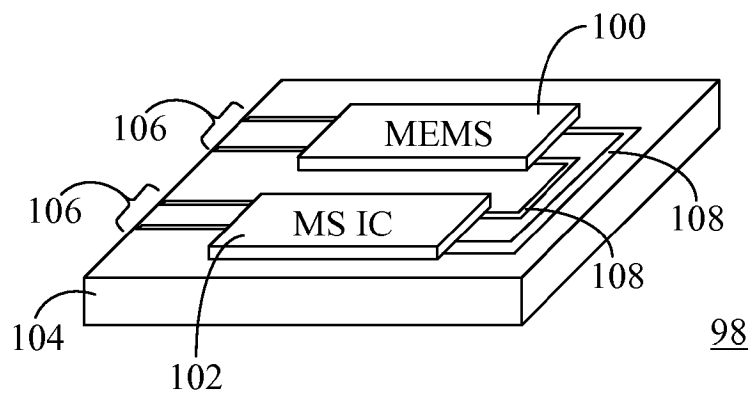


图 3

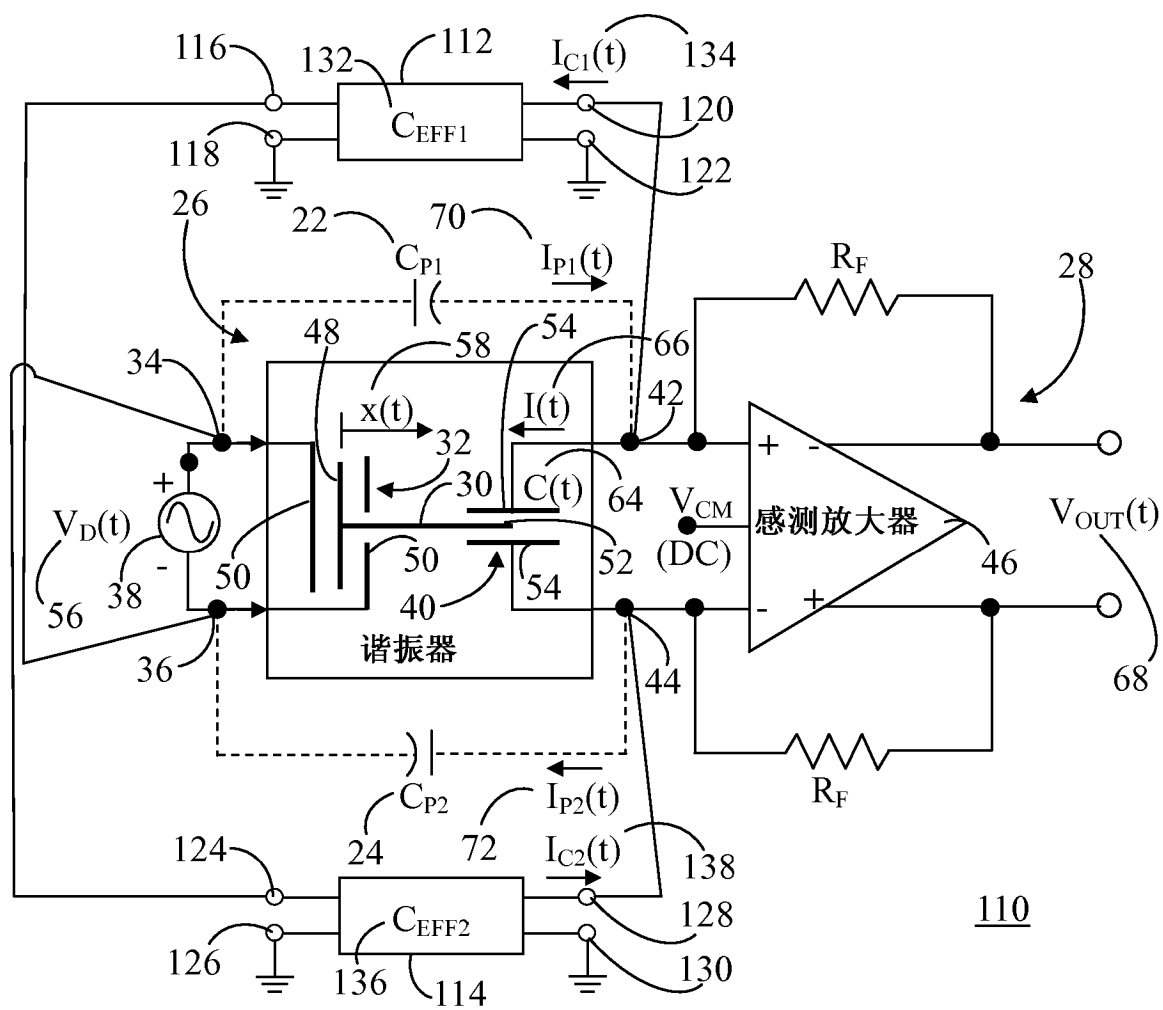
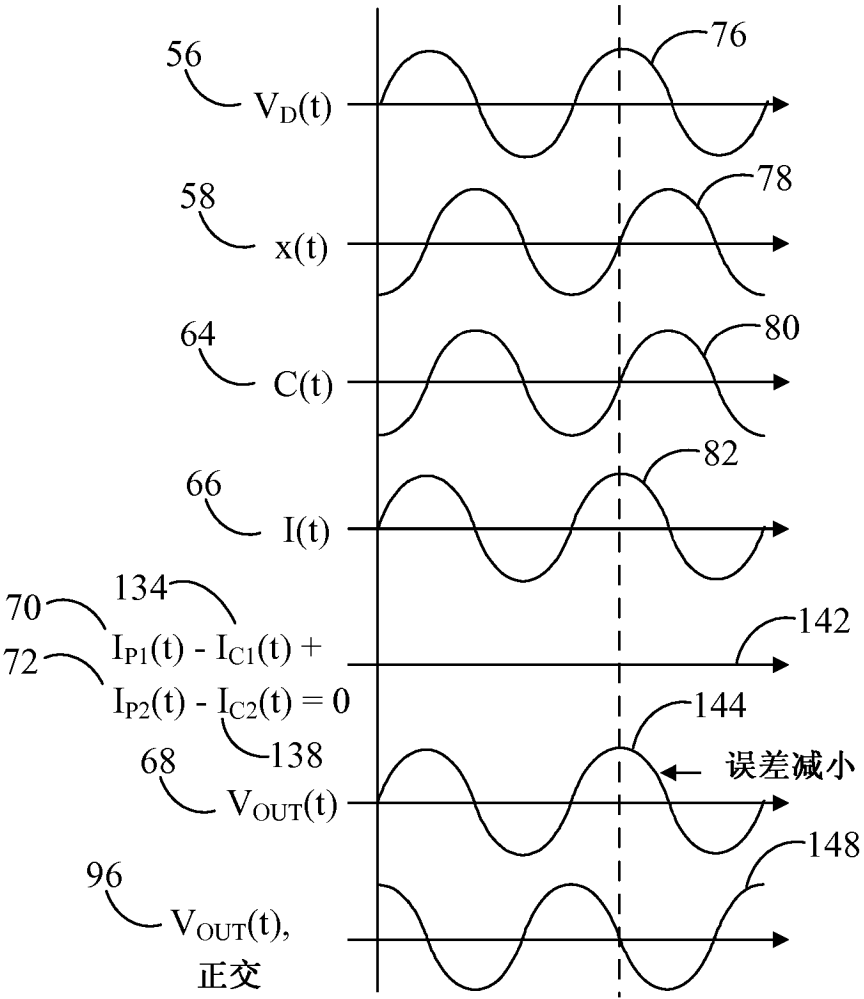


图 4



140

图 5

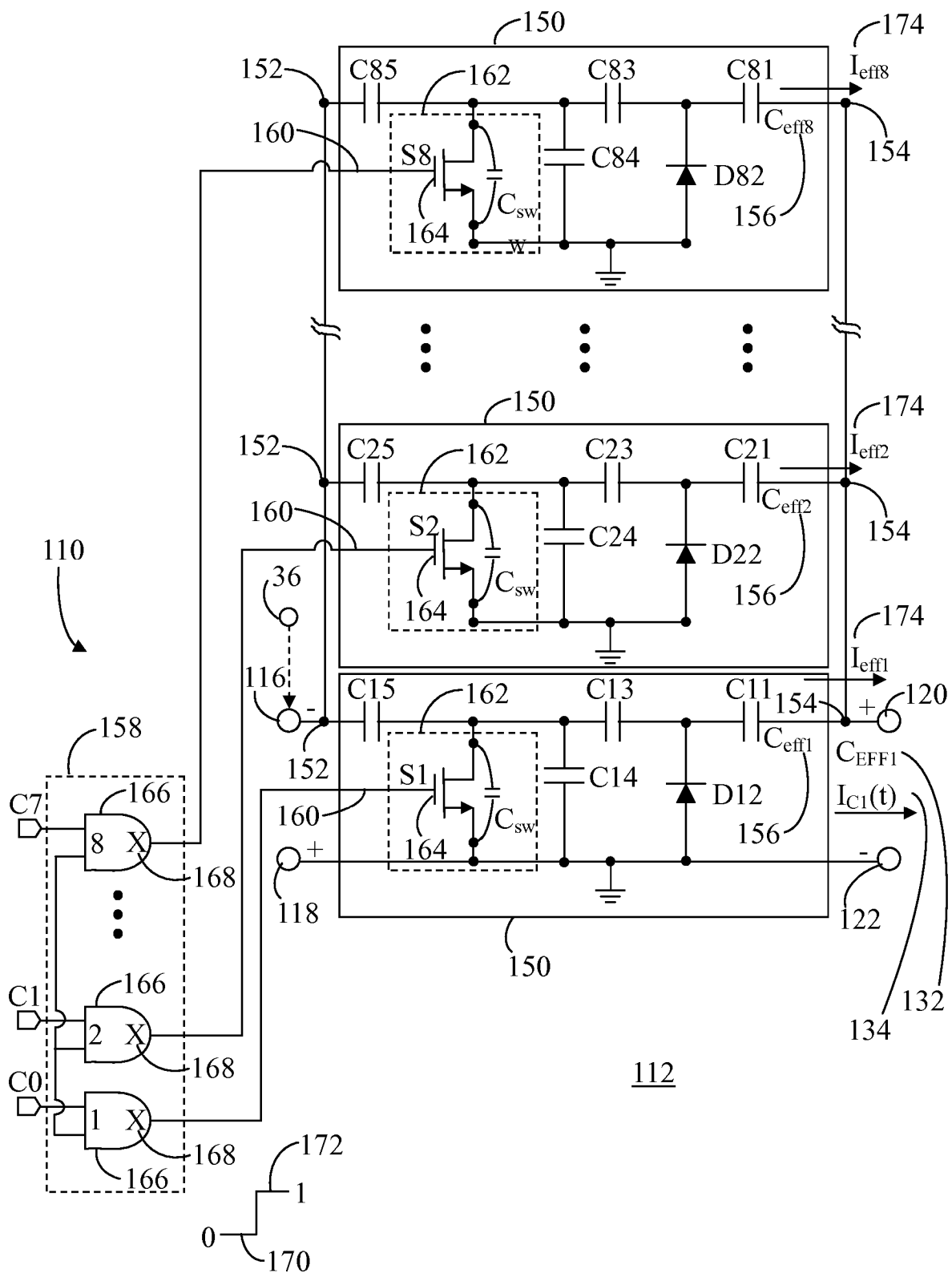


图 6

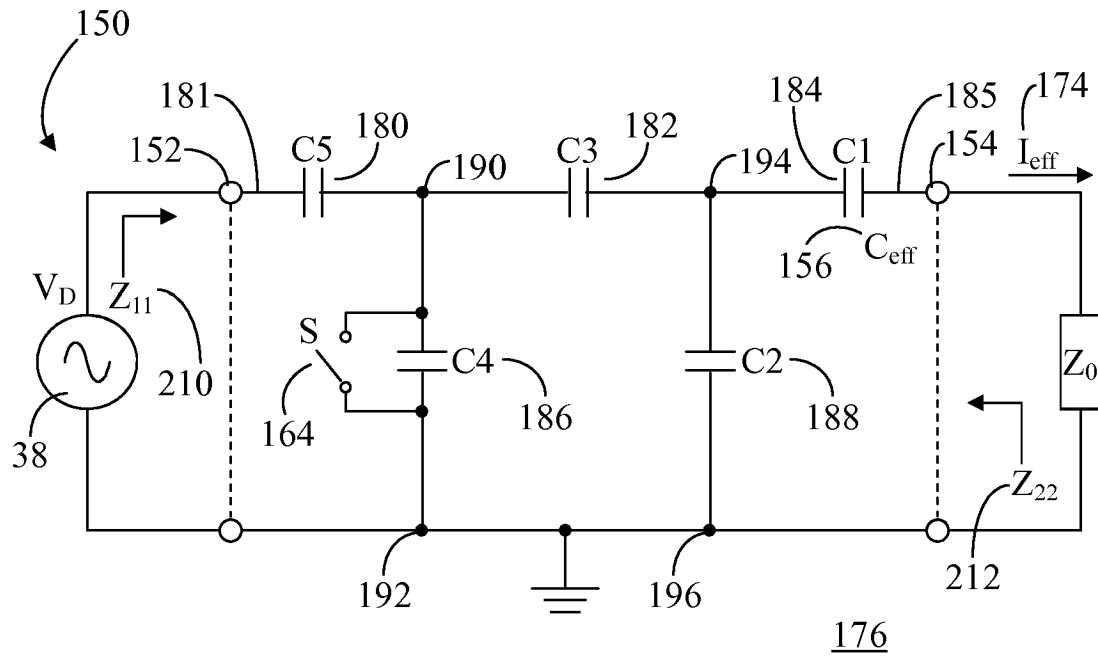


图 7

$$\frac{I_{\text{eff}}}{V_D} = j2\pi f C_{\text{eff}} \quad (198)$$

$$C_{\text{EFF}} = \frac{C1(C3)(C5)}{C1(C3) + C3(C5) + C1(C5) + C2(C3 + C5) + C4(C1 + C3) + C2(C4)} \quad (200)$$

其中：

$j$  = 虚数单元 ( $j^2 = -1$ )

$f$  =  $V_D$  的频率 (HZ)

$C4 = C_{N4} + C_{\text{SW}}$

$C2$  = 二极管 (DN2) 处发现的电容

178

图 8

204

| 具有所得的有效网络电容的电容值(毫微微法拉) |      |      |     |     |                        |                         |           |            |           |            |  |
|------------------------|------|------|-----|-----|------------------------|-------------------------|-----------|------------|-----------|------------|--|
| C1                     | C3   | C5   | C2  | C4  | C <sub>EFF</sub><br>ON | C <sub>EFF</sub><br>OFF | C11<br>ON | C11<br>OFF | C22<br>ON | C22<br>OFF |  |
| 18.3                   | 18.3 | 18.3 | 6.5 | 681 | 0.2                    | 0                       | 17.8      | 18.3       | 10.4      | 10.5       |  |
| 20.1                   | 18.3 | 18.3 | 6.5 | 346 | 0.4                    | 0                       | 17.4      | 18.3       | 10.9      | 11.1       |  |
| 24.7                   | 24.7 | 24.7 | 6.5 | 299 | 0.8                    | 0                       | 22.9      | 24.7       | 13.4      | 13.8       |  |
| 26.7                   | 26.7 | 26.7 | 6.5 | 117 | 1.6                    | 0                       | 23.1      | 26.7       | 14.1      | 14.8       |  |
| 31.9                   | 31.9 | 31.9 | 6.5 | 95  | 3.2                    | 0                       | 24.8      | 31.9       | 16        | 17.4       |  |
| 43.7                   | 43.7 | 43.7 | 6.5 | 71  | 6.4                    | 0                       | 29.9      | 43.7       | 20.4      | 23.4       |  |
| 77.4                   | 77.4 | 77.4 | 6.5 | 107 | 12.8                   | 0                       | 50.7      | 77.4       | 34.1      | 40.3       |  |
| 122                    | 122  | 122  | 6.5 | 99  | 25.6                   | 0                       | 69.5      | 122        | 50.1      | 62.6       |  |

184 182 180 188 186 206 208 218 220 222 224

154 154 214 214 216 216

202

图 9