



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101551420 B

(45) 授权公告日 2010.12.08

(21) 申请号 200910083568.3

(22) 申请日 2009.05.08

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 郭占社 冯舟 郑德智 樊尚春
庄海涵

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 成金玉 卢纪

(51) Int. Cl.

G01R 27/26(2006.01)

(56) 对比文件

US 3943439 A, 1976.03.09,

CN 1039118 A, 1990.01.24,

CN 1185585 A, 1998.06.24,

US 4093915 A, 1978.06.06,

颜华, 王师, 邵富群. 电容层析成像
系统中微小电容测量法. 《仪表技术与传感
器》. 1998, (第 4 期),

韩林, 郑贵滨, 秦勇, 赵霞. 电容层析成像
系统微小电容测量电路的设计. 《哈尔滨理工大
大学学报》. 2002, 第 7 卷 (第 4 期),

丁英丽. 交流型微小电容测量电路的设
计. 《电工技术杂志》. 2003, (第 9 期),

徐平, 张勇, 侯占强, 江平. 基于 MS3110 的
差分电容检测方法研究及其电磁兼容性设计. 《仪
表技术与传感器》. 2008, (第 5 期),

万明亮, 张卫平, 黄晓刚, 陈文元. 基于
Sigma-Delta 技术的差分电容检测电路设计. 《电
测与仪表》. 2007, (第 11 期),

杨苗苗, 陈德勇, 王军波, 陈健, 毋正伟,
陈李. 微机械电容式加速度传感器测试电路研
究. 《传感技术学报》. 2006, 第 19 卷 (第 6 期),

李阳. 交流型微小电容测量电路的介绍. 《冶
金自动化》. 2004,

审查员 黄素霞

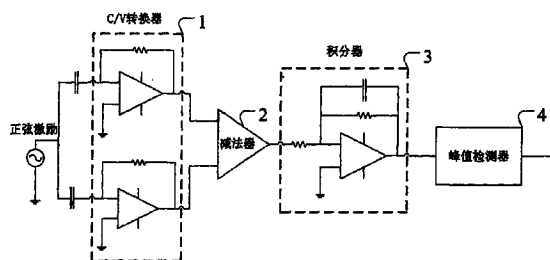
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种 MEMS 器件微弱电容检测电路

(57) 摘要

一种 MEMS 器件微弱电容检测电路, 主要用于
电容式 MEMS 器件中微弱电容的变化量检测, 包括
两组 C/V 转换器、减法器、积分器和峰值检测器,
两组 C/V 转换器依据微分电路原理, 利用同一高
频正弦激励源, 分别将 MEMS 器件中的待测微弱电
容和补偿电容转换为正弦电压量; 减法器对输入
的两路正弦电压量作减法, 计算所得正弦信号的
峰值与待测微弱电容的变化量成比例; 积分器对
输入正弦信号进行滤波和放大; 峰值检测器直接
检测得到正弦信号的峰值, 即为与待测微弱电容
的变化量成比例的直流信号。本发明利用补偿电
容抵消了待测微弱电容的本身电容, 对单一待测
电容实现了类差分式检测; 采用峰值检测方法,
直接通过正弦信号检测得到与待测微弱电容的变
化量成比例的直流信号。



1. 一种 MEMS 器件微弱电容检测电路,其特征在于:由两组 C/V 转换器 (1)、减法器 (2)、积分器 (3) 和峰值检测器 (4) 组成,两组 C/V 转换器分别将待测微弱电容和补偿电容转换为电压量,并分别输出至减法器 (2) 的两输入端;减法器 (2) 计算得到两组 C/V 转换器 (1) 所输出的电压量之差,抵消待测微弱电容的本身电容,并将与待测微弱电容的变化量成比例的正弦信号输出至积分器 (3) 的反相输入端;积分器 (3) 对信号进行滤波和放大,并将放大的信号输出至峰值检测器 (4) 的输入端;峰值检测器 (4) 检测得到输入正弦信号的峰值,该峰值即为与待测微弱电容的变化量成比例的直流信号。

2. 根据权利要求 1 所述的 MEMS 器件微弱电容检测电路,其特征在于:所述的两组 C/V 转换器 (1) 为两组微分电路,由运算放大器 (121、122)、微分电容器 (131、132)、微分电阻器 (141、142) 组成,其中第一组微分电路使用待测微弱电容 (131),第二组微分电路使用补偿电容 (132),其电容值与待测微弱电容的本身电容值相等,其他部分则对应完全一致;在正弦激励源 (11) 的作用下,两组 C/V 转换器 (1) 的输出信号为两个同频、同相的正弦信号,被分别接至减法器 (2) 的两输入端。

3. 根据权利要求 1 所述的 MEMS 器件微弱电容检测电路,其特征在于:所述的减法器 (2) 由运算放大器 (21)、与运算放大器正相输入端连接的电阻 (22)、与运算放大器 (21) 负相输入端连接的电阻 (23)、连接运算放大器 (21) 正相输入端和地的电阻 (24)、连接运算放大器 (21) 的负相输入端和输出端的电阻 (25) 组成,减法器 (2) 求取两输入信号的差值,其输出信号的峰值与待测微弱电容的变化量成比例。

4. 根据权利要求 1 所述的 MEMS 器件微弱电容检测电路,其特征在于:所述的峰值检测器 (4) 由输入缓冲隔离运算放大器 (41)、两个单向电流开关二极管 (42、43)、峰值存储电容器 (44)、放电电阻器 (45)、保护电阻器 (46)、输出缓冲隔离运算放大器 (47) 组成,当输入正弦信号大于零时,两个单向电流开关二极管 (42、43) 导通,通过输入缓冲隔离运算放大器 (41) 迅速对峰值存储电容器 (44) 充电,直至其达到正弦信号的峰值,利用输出缓冲隔离运算放大器 (47),输出能够保持检测得到的峰值;当输入正弦信号小于零时,两个单向电流开关二极管 (42、43) 关断,输出信号保持为检测得到的峰值;当输入正弦信号的峰值增大时,输出信号相应增大;当峰值减小时,通过放电电阻器 (45),输出信号相应减小。

一种 MEMS 器件微弱电容检测电路

技术领域

[0001] 本发明属于 MEMS 器件中的微弱信号检测领域,它是 MEMS 器件的重要组成部分,对于提高器件的性能具有至关重要的作用。

背景技术

[0002] MEMS 器件具有体积小、寿命长、能耗低、易于集成以及成本低廉等特点,因而在工业、信息、航空航天、国防等领域得到了广泛运用。

[0003] 根据检测方法的不同, MEMS 器件可以分为压阻式、压电式、电容式、热电偶式、光纤式、电磁式等,其中,压阻式、压电式和电容式是目前的主流方向,而电容式 MEMS 器件因具有测量范围大、灵敏度高、动态响应快、稳定性好等突出优点,得到了最为广泛的应用,成为国内外各大公司和科研机构的研究重点。

[0004] 电容式 MEMS 器件体积小特点决定了其敏感电容的电容值非常小,一般为 pF 量级,而由待测物理量引起的电容变化量则更加微小,一般为 fF 量级,甚至是 aF 量级。如此小的待测量决定了微弱电容检测电路的重要性,其性能对于电容式 MEMS 器件的性能具有决定性的作用。

[0005] 针对如此微小的电容变化量,为了提高检测电路的精度和灵敏度,通常采用的是差分式检测的方法。但是,差分式检测电路需要一对完全相同的差分检测电容,而且要求两个差分检测电容敏感待测物理量时的响应为相反的,这意味着差分式检测电路对于传感器的结构设计提出了相应的要求,因而其应用领域受到一定限制。

[0006] 目前,电容式 MEMS 器件使用较多的是直流充放电法和交流法。充放电法在施加方波激励时,交流放大输出的是窄脉冲,信号占空比很低,所以信噪比也很低;其次,放大脉冲信号需要较大的带宽,高次谐波两侧的噪声也将被相控整流器搬移到低频段,因而加大了低频噪声。交流法使用单一频率的正弦信号作为激励,信号平均值大,从而能够得到较高的输出信噪比;同时,所处理的信号是单一频率正弦信号,可以使用窄带带通放大器,减小放大器引入的噪声,进一步提高输出信号的信噪比。因而,交流法在实际的微弱电容检测电路中得到了更多的应用。

[0007] 利用交流法进行微弱电容检测时,通常是在输入正弦激励源的作用下,利用载波调制的方法将待测微弱电容的变化调制为正弦信号的峰值变化,再将调制后的正弦信号解调为直流信号输出。目前常用的调制方法主要有两种:(1)全波整流法。首先利用全波整流电路对正弦信号进行全波整流,再将输出信号通过低通滤波器得到直流信号;(2)相干检测法。利用移相电路对输入正弦激励信号进行移相处理,使其与调制后的正弦信号相位一致。将移相后的输入正弦激励信号与调制后的正弦信号输入至乘法器两端,再通过低通滤波器得到直流信号。采用这两种方法时,微弱电容检测电路的原理和结构都比较复杂,容易引入相应的误差。

发明内容

[0008] 本发明的技术解决问题：针对传统检测方法的不足，提出了一种新型的 MEMS 器件微弱电容检测电路，以解决传统的微弱电容检测方法需要一对完全相同的待测电容以实现差分式检测，正弦信号解调部分的原理和结构复杂等问题，减少了可能引入的误差。

[0009] 本发明的技术方案：一种 MEMS 器件微弱电容检测电路，包括两组 C/V 转换器、减法器、积分器和峰值检测器，两组 C/V 转换器分别将待测微弱电容和补偿电容转换为电压量，并输出至减法器的两输入端；减法器计算得到两组 C/V 转换器输出的电压量之差，抵消待测微弱电容的电容，并将与待测微弱电容的变化量成比例的正弦信号输出至积分器的反相输入端；积分器对信号进行滤波和放大，将放大后的信号输出至峰值检测器的输入端；峰值检测器检测输入正弦信号的峰值，该直流量即与待测微弱电容的变化量成比例。

[0010] 本发明的原理：一种 MEMS 器件微弱电容检测电路，是基于交流法设计得到的。两组 C/V 转换器利用微分电路的原理，在同一高频正弦激励源的作用下，其输出信号分别为峰值与待测微弱电容和补偿电容成比例的同频、同相正弦信号。由于补偿电容与待测微弱电容的电容值相等，两路同频、同相的正弦信号输入到减法器的两输入端，即可利用补偿电容抵消待测微弱电容的电容，且减法器的输出正弦信号峰值与待测微弱电容的变化量成比例。积分器的截止频率由积分电容器和反馈电阻器的乘积决定。低于积分器截止频率的输入，积分器只对其进行线性的反相放大；高于积分器截止频率的输入，积分器对其进行积分。一般的噪声，对其积分即可将其消除。因此，只需要选择合适的积分电容器和反馈电阻器，使得积分器的截止频率略高于输入正弦信号的频率，积分器即可滤除高于其截止频率的噪声，并对输入正弦信号进行线性的反相放大，放大倍数由反馈电阻器和输入电阻器的比值决定。利用积分器，将输入正弦信号的峰值放大至 V 级，输出至峰值检测器的输入端。当输入正弦信号大于零时，峰值检测器的两个单向电流开关二极管导通，信号通过输入缓冲隔离放大器迅速对峰值存储电容器充电，直至其达到正弦信号的峰值。利用输出缓冲隔离放大器，输出能够保持检测得到的峰值。当信号小于零时，两单向电流开关二极管关断，输出信号保持为检测得到的峰值。当输入正弦信号的峰值增大时，输出信号相应增大；当峰值减小时，通过放电电阻器，输出信号相应减小。峰值检测器检测得到输入正弦信号的峰值，即为与待测微弱电容变化量成比例的直流信号。

[0011] 本发明与现有技术相比的优点：

[0012] (1) 本发明利用待测微弱电容和补偿电容构成两组相同的 C/V 转换器，并将两组 C/V 转换器的输出信号接至减法器的两输入端，从而抵消了待测微弱电容的电容，对单一待测电容即可实现类差分式检测，只需要检测待测微弱电容的变化量，大大提高了检测电路的灵敏度。

[0013] (2) 本发明采用峰值检测方法，可以直接检测得到调制后的正弦信号的峰值，即为与待测微弱电容的变化量成比例的直流信号，简化了检测电路的原理和结构。

附图说明

[0014] 图 1 为本发明的结构框图；

[0015] 图 2 为本发明一个实施例的电原理图。

具体实施方式

[0016] 如图 1 所示,本发明由两组 C/V 转换器 1、减法器 2、积分器 3 和峰值检测器 4 组成。在正弦激励源的作用下,两组 C/V 转换器 1 将待测微弱电容和补偿电容转变为电压量后输出至减法器 2 的两输入端。在实际检测前,通过改变可变补偿电容器的值将减法器 2 的输出调零,即抵消了待测微弱电容的本身电容。因而在实际检测时,只检测待测微弱电容的变化量,且减法器 2 输出峰值与待测微弱电容的变化量成比例的正弦信号。积分器 3 将输入信号中的高频噪声滤除,并对正弦信号进行反相线性放大。考虑到峰值检测器 4 中的单向电流开关二极管,积分器 3 需要将正弦信号放大,以保证峰值检测器能够正常工作。峰值检测器 4 检测得到输入正弦信号的峰值,即为与待测微弱电容的变化量成比例的直流信号。

[0017] 如图 2 所示,在同一高频正弦激励源 11 的作用下,通过两组微分电路 121 和 122,将待测微弱电容 131 和补偿电容 132 转变为同频、同相的正弦信号,并输入至减法器 21 的两输入端。选用合适的电阻器 22、23、24、25,使得电阻器 24 与 22 的比值等于电阻器 25 与 23 比值。此时,减法器 21 的输出信号与正、负相输入信号的差值成比例,且该比例为电阻器 25 与 23 的比值。因为补偿电容 132 与待测微弱电容 131 的本身电容值相等,所以通过减法器 21,可以消除待测微弱电容 131 的本身电容值,且其输出信号为峰值与待测微弱电容 131 的变化量成比例的正弦信号。

[0018] 积分器 3 的截止频率由积分电容器 33 和反馈电阻器 34 的乘积决定。低于积分器截止频率的输入,积分器 3 只对其进行线性的反相放大;高于积分器 3 截止频率的输入,积分器 3 对其进行积分。一般的噪声,对其积分即可将其消除。因此,只需要选择合适的积分电容器 33 和反馈电阻器 34,使得积分器 3 的截止频率略高于输入正弦信号的频率,积分器 3 即可以滤除高于其截止频率的噪声,并对输入正弦信号进行线性的反相放大,放大倍数由反馈电阻器 34 和输入电阻器 32 的比值决定。利用积分器 3,将输入正弦信号的峰值放大至 V 级,输出至峰值检测器 4 的输入端。

[0019] 峰值检测器由输入缓冲隔离运算放大器 41、单向电流开关二极管 42 和 43、峰值存储电容器 44、放电电阻器 45、保护电阻器 46、输出缓冲隔离运算放大器 47 组成。当输入正弦信号大于零时,单向电流开关二极管 42 和 43 导通,信号通过输入缓冲隔离放大器 41 迅速对峰值存储电容器 44 充电,直至其达到正弦信号的峰值。利用输出缓冲隔离放大器 47,输出能够保持检测得到的峰值。当信号小于零时,单向电流开关二极管 42 和 43 关断,输出信号保持为检测得到的峰值。当输入正弦信号的峰值增大时,输出信号相应增大;当峰值减小时,通过放电电阻器 45,输出信号相应减小。峰值检测器 4 检测得到输入正弦信号的峰值,即为与待测微弱电容变化量成比例的直流信号。

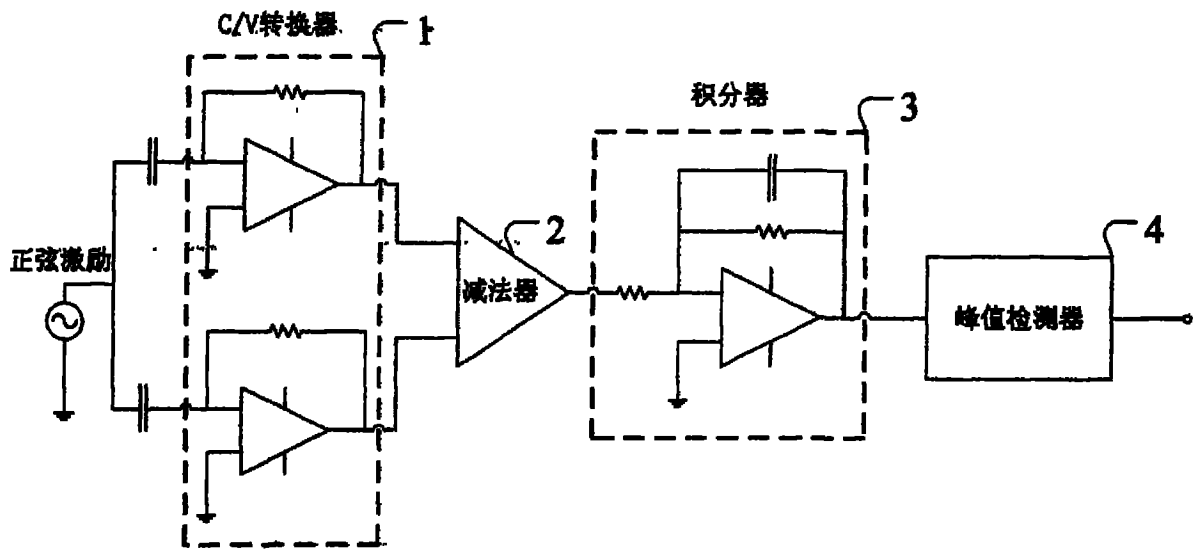


图 1

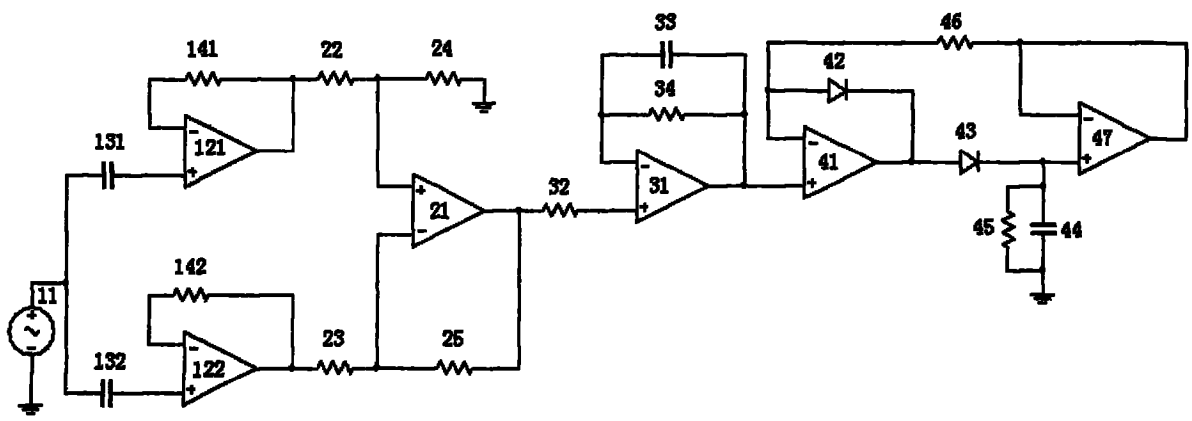


图 2