



(21) 申请号 202410278804.1

(22) 申请日 2024.03.12

(71) 申请人 应急管理部国家自然灾害防治研究院

地址 100085 北京市海淀区西三旗安宁庄
路1号

(72) 发明人 陈征 许欣 杨晨 李宏 占伟伟
董云开 吴立恒 王文博

(74) 专利代理机构 上海远同律师事务所 31307
专利代理人 许力

(51) Int. Cl.

G01B 7/02 (2006.01)

G01D 5/24 (2006.01)

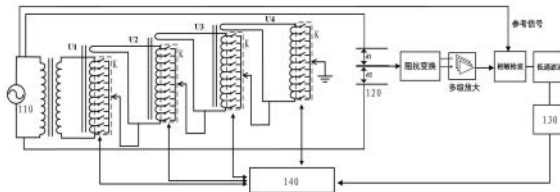
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

用于差动电容传感器全量程测量的交流电
桥比率测量电路

(57) 摘要

本发明提供一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路,其仍采用变压器和差动电容器构成交流电桥,在不引入机械调节机构的同时,通过程控单元自动检并控制抽头接地点,使得电桥处于近平衡的状态,并对ADC采集的桥路不平衡电压进行换算,最终得到中极板实际偏移情况,在差动电容传感器的中极板发生移动时,由于输出反馈调节机制的存在,始终可以通过控制选通开关将电桥自动调节至近平衡状态,桥路电压不会再出现超限问题,实现了差动电容传感器的全量程测量,电路的动态范围等价于系统的量程,达到150dB以上。



1. 一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路, 包括交流激励源、交流电桥以及调制解调电路, 所述交流电桥包括比率变压器和差动电容传感器, 两者并联且均与所述交流激励源连接, 所述差动电容传感器的中极板与所述调制解调电路连接, 其特征在于, 还包括程控单元, 所述比率变压器为等效N匝、N抽头的比率变压器, 其由多级变压器串联而成, 每级变压器均具有多个接点, 首级变压器与所述交流激励源连接, 两个相邻的变压器中, 前级变压器的每个接点分别通过一选通开关与后级变压器连接, 末级变压器的每个接点分别通过一选通开关接地, 所述程控单元与各选通开关控制连接, 该程控单元被配置为:

初始对所述交流电桥进行调零, 使所述交流电桥达到近平衡状态, 所述调零包括:

S11、从所述调制解调电路采集所述差动电容传感器的中极板的电压 u_1 ;

S12、计算与电压 u_1 对应的抽头接地点值 $k = \frac{u_1}{u_0}$, 其中, u_0 代表所述比率变压器每变化一匝引起的中极板电压变化绝对值;

S13、根据匝数k, 控制相应的选通开关导通;

当所述中极板发生移动时, 再次对所述交流电桥进行调零, 并将相应的抽头接地点值记为 k_0 ;

调零完成后, 从所述调制解调电路采集所述差动电容传感器的中极板的电压 u_1 , 并计算所述交流电桥达到绝对平衡状态下相应的抽头接地点理论值: $k_0 + \frac{u_1}{u_0}$;

计算所述抽头接地点理论值与N的比值, 得到所述中极板的相对位置。

2. 根据权利要求1所述的一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路, 其特征在于, 所述交流激励源采用正弦交流激励源。

3. 根据权利要求1所述的一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路, 其特征在于, 所述比率变压器为等效10000匝、10000抽头的比率变压器, 其由四级变压器串联而成, 每级变压器均具有11接点。

4. 根据权利要求1所述的一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路, 其特征在于, 所述调制解调电路包括阻抗变换电路、交流放大电路、相敏检波电路以及低通滤波电路, 所述阻抗变换电路与所述中极板和交流放大电路连接, 所述交流放大电路经所述相敏检波电路与低通滤波电路连接。

用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路

技术领域

[0001] 本发明涉及位移测量、差动交流电桥测量技术领域,尤其涉及一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路。

背景技术

[0002] 差动电容交流电桥电路是一种高精度的测量电路,经常被用于小位移测量。现有技术中,测量电路如图3所示,带抽头接地的变压器与差动电容传感器组成交流电桥,差动电容传感器的中极板输出的电桥不平衡信号(对地电压信号),经过阻抗变换、交流放大、相敏检波、低通滤波后输出给AD采集单元,AD采集单元的电压信号高低代表桥路不平衡程度,即电容中极板的位移值。由于桥路不平衡信号较为微弱,电路的激励信号一般在50V以上,电路中一般选取100倍的交流放大。而对于普通测量电路器件(如运放、ADC、相敏检波器等),一般使用 $\pm 5\text{V}$ 或 $\pm 12\text{V}$ 供电,当桥路不平衡信号过大,即差动电容中极板偏移过多时,电路就会出现超量程限幅,此时需要对电桥进行平衡调节,使桥路重新回到近平衡状态。

[0003] 电桥的平衡调节与测控一般通过改变比率变压器的中间抽头接地点,或者采用机械方式调节电容传感器的极板间距来实现。

[0004] 在第一种方式中,变压器电桥是一个多级感应分压器构成的半桥,这种变压器也称为比率变压器,比率变压器与差动电容传感器构成了比率电桥。比率变压器可以看成是多匝抽头的变压器,通过改变抽头接地点,可以达到电桥调零的目的。抽头接地点一般采用手动拨码开关或者程控控制的机械继电器实现,系统通过桥路输出的不平衡电压测量位移量,当桥路不平衡较大,电压输出超过有源器件电压上限时,会出现电压限幅,此时就需要调节抽头接地点,使桥路重新回到平衡状态。输出电压限幅大小即为一次调节动态范围,也就是比率抽头调节,系统达到平衡状态下,在不需要平衡调节的情况下,可以测量的动态范围。比率变压器测量方法,系统结构稳定测量精度较高,量程由差动电容传感器的极板间距所决定,为了获得较大的量程一般选取较大的极板间距;而为了获得较高的测量精度,电路的激励幅度和放大倍数较高。根据以上参数,比率变压器测量方法的位移测量精度可达10-11m量级,系统的量程动态范围可达150dB,但由于存在限幅问题,实际一次调节动态范围仅有80dB左右,远低于全量程动态范围。

[0005] 在第二种方式中,一般采用中心抽头接地变压器,抽头接地点固定,系统引入专用的机械结构,使用电机或动力设备,当中极板远离中心位置,电路出现限幅时,通过传动机构将中极板强行拉回到中心位置,使电路重新达到近平衡状态。机械调零的方式,由于可以机械的强行将中极板拉回到中心位置,可以在较大范围内做平衡调节,因此可以将传感器的极板间距缩小,而系统量程则由机械调节装置决定,所以量程较大,但也正是引入了电机和传动装置等机械结构,对传感装置的稳定性造成了影响,机械故障率和系统复杂程度增大。

[0006] 以上无论哪种调零方式,其一次调节动态范围一般不超过90dB,无法实现全量程测量。

发明内容

[0007] 基于此,针对上述技术问题,提供一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路,包括交流激励源、交流电桥以及调制解调电路,所述交流电桥包括比率变压器和差动电容传感器,两者并联且均与所述交流激励源连接,所述差动电容传感器的中极板与所述调制解调电路连接,其特征在于,还包括程控单元,所述比率变压器为等效N匝、N抽头的比率变压器,其由多级变压器串联而成,每级变压器均具有多个接点,首级变压器与所述交流激励源连接,两个相邻的变压器中,前级变压器的每个接点分别通过一选通开关与后级变压器连接,末级变压器的每个接点分别通过一选通开关接地,所述程控单元与各选通开关控制连接,该程控单元被配置为:

[0010] 初始对所述交流电桥进行调零,使所述交流电桥达到近平衡状态,所述调零包括:

[0011] S11、从所述调制解调电路采样所述差动电容传感器的中极板的电压 u_1 ;

[0012] S12、计算与电压 u_1 对应的抽头接地点值 $k = \frac{u_1}{u_0}$,其中, u_0 代表所述比率变压器每变化一匝引起的中极板电压变化绝对值;

[0013] S13、根据匝数k,控制相应的选通开关导通;

[0014] 当所述中极板发生移动时,再次对所述交流电桥进行调零,并将相应的抽头接地点值记为 k_0 ;

[0015] 调零完成后,从所述调制解调电路采样所述差动电容传感器的中极板的电压 u_1 ,并计算所述交流电桥达到绝对平衡状态下相应的抽头接地点理论值: $k_0 + \frac{u_1}{u_0}$;

[0016] 计算所述抽头接地点理论值与N的比值,得到所述中极板的相对位置。

[0017] 与现有技术相比,本发明仍采用变压器和差动电容器构成交流电桥,在不引入机械调节机构的同时,通过程控单元自动检并控制抽头接地点,使得电桥处于近平衡的状态,并对ADC采集的桥路不平衡电压进行换算,最终得到中极板实际偏移情况,在差动电容传感器的中极板发生移动时,由于输出反馈调节机制的存在,始终可以通过控制选通开关将电桥自动调节至近平衡状态,桥路电压不会再出现超限问题,实现了差动电容传感器的全量程测量,电路的动态范围等价于系统的量程,达到150dB以上。

附图说明

[0018] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明:

[0019] 图1为本发明的结构示意图;

[0020] 图2为本发明的等效电路图;

[0021] 图3为现有测量电路的结构示意图。

具体实施方式

[0022] 如图1所示,本申请实施例提供一种用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路,包括交流激励源110、比率变压器、差动电容传感器120、调制解调电路、ADC

采样电路130以及程控单元140。

[0023] 交流激励源采用正弦交流激励源,频率为781Hz。

[0024] 比率变压器和差动电容传感器120并联构成交流电桥,并且两者均与交流激励源110连接。

[0025] 比率变压器为等效N匝、N抽头的比率变压器,其由多级变压器串联而成,每级变压器均具有多个接点,首级变压器与交流激励源110连接,两个相邻的变压器中,前级变压器的每个接点分别通过一选通开关K与后级变压器连接,末级变压器的每个接点分别通过一选通开关K接地。

[0026] 在本实施例中,比率变压器为等效10000匝、10000抽头的比率变压器,其由四级变压器(U1、U2、U3、U4)串联而成,每级变压器均具有11接点:9个抽头,外加两侧单芯接头。比率变压器的匝数并不限于10000匝,理论上说,匝数越高测量精度越高,但是过高测匝数会极大的增加系统的复杂程度,因此只要能够满足测量需求即可。按照现有器件的测量精度和直流电源的电压值限制,10000匝比率变压器可以保证每匝调节100mV左右的不平衡电压输出,已经满足了测量需求。

[0027] 其中,U1、U2、U3、U4为绕在两个铁芯上的四个线圈绕组,等效于由一个多级感应分压器构成的半桥。U1用10根漆包线为一股绕30匝,U2用11根漆包线为一股绕3匝(其中一根为后级提供激励)、U3用10根漆包线为一股绕30匝,U4用10根漆包线为一股绕3匝,每一股漆包线都首尾相连并引出抽头,将施加在绕组两端的激励电压均分为10份。

[0028] 根据电磁感应定律,U2两端电压等于U1两端电压(激励电压)的十分之一,U3两端电压等于U2两端电压的十分之一,U4两端电压等于U3两端电压的十分之一,即U4两端电压等于U1两端电压的一千分之一,U4中每相邻两个抽头电压等于U1两端电压的一万分之一。

[0029] 选通不同的抽头,可将绕组两端电压按照选定比例进行分配,从而改变最后一级线圈的分压情况,使中极板的对地电压发生改变。

[0030] 比率变压器等效10000个抽头接地点,分为4档,对应10000个读数。程控单元140通过计算自动控制多路选通开关,选择不同的抽头接地点的位置(下称抽头接地点值,从第0匝到第9999匝),进而令电桥始终保持近似平衡。

[0031] 差动电容传感器由三极板电容构成,两侧极板通过性能稳定的陶瓷垫片固定,使间距保持不变,并与交流激励两端相连,中极板可向两侧移动,随着中极板的位移形成差动电容。差动电容传感器与比例变压器并联形成交流电桥,比率变压器抽头接地,中极板输出的对地电压表示当前中极板的位移程度。当电容中级板与两侧极板之间的距离之比同比例分压器选通抽头的分压比一致时,电桥平衡。等效电路如图3所示,此时有

$$[0032] \quad \frac{u_1}{u_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

[0033] c_1 、 c_2 为一个传感元件的差动电容, d_1 、 d_2 为传感器中 c_1 、 c_2 对应的极板实际间距, n_1 、 n_2 表示感应分压器两绕组对应的匝数,其值从0至 n_1+n_2 渐进变动, u_1 、 u_2 表示 n_1 、 n_2 对应的分压值。

[0034] 比率变压器绕组有4档,即有 10^4 个读数,对应着中心极板在两个外极板间从靠近一个极板,移动至相对的极板,也就是传感器的量程。

[0035] $\frac{d_1+d_2}{n_1+n_2}$ 为测量系统的灵敏度系数,表示比率变压器单位读数变动对应的中心极板位移量。

[0036] 差动电容传感器120的中极板与调制解调电路连接,在本实施例中,调制解调电路包括阻抗变换电路、交流放大电路(多级放大)、相敏检波电路以及低通滤波电路,阻抗变换电路与中极板和交流放大电路连接,交流放大电路经相敏检波电路与低通滤波电路连接。

[0037] 程控单元140采用MCU,其与各选通开关K(mems开关(micro-melectro-mechanical system))控制连接,程控单元140被配置为:

[0038] S101、初始对交流电桥进行调零,使交流电桥达到近平衡状态(电桥输出(中极板输出)近似为0)。

[0039] 其中,调零的具体过程如下:

[0040] S11、通过ADC采样电路130从调制解调电路采集差动电容传感器120的中极板的电压 u_1 。

[0041] S12、计算与电压 u_1 对应的抽头接地点值(即比率变压器的匝数) $k = \frac{u_1}{u_0}$,其中, u_0 代表比率变压器每变化一匝引起的中极板电压变化绝对值。

[0042] S13、根据抽头接地点值 k ,控制相应的选通开关导通。

[0043] S102、当中极板发生移动时,再次对交流电桥进行调零,并将相应的抽头接地点值记为 k_0 。

[0044] 中极板发生移动将导致交流电桥的不平衡,不平衡电压由中极板经信号放大、相敏检波、低通滤波后输出,从而将电容中极板的位移转变为电压信号。

[0045] S103、调零完成后,通过ADC采样电路130从调制解调电路采集差动电容传感器120的中极板的电压 u_1 ,并计算交流电桥达到绝对平衡状态下相应的抽头接地点理论值: $k_0 + \frac{u_1}{u_0}$ 。

[0046] 需要指出的是,每次调零后,由于最小调整步长的原因,抽头接地点不能无限细分,电桥始终无法调节至真正平衡,输出端会有不平衡电压输出(u_1),在 k_0 的基础上再调节 $\frac{u_1}{u_0}$ 即可达到电桥绝对平衡,也就是说接地点位于 $k_0 + \frac{u_1}{u_0}$ 位置时电桥达到绝对平衡。当电桥达到绝对平衡时,就可以使用等效抽头接地点位置来表征传感器中极板在两端极板的相对位置。

[0047] 在本实施例中, k_0 以四位整数表示, $\frac{u_1}{u_0}$ 以四位小数表示, $k_0 + \frac{u_1}{u_0}$ 为四位整数加四位小数,用总共八位十进制数即可表征出当前传感器中极板的偏移位置。

[0048] S104、计算抽头接地点理论值与N(10000)的比值,得到中极板的相对位置。

[0049] 由于比率变压器的抽头接地点值,即比率值,从0到10000可表示中极板从紧贴下极板到紧贴上极板之间的位置,知道了桥路达到绝对平衡状态下的抽头接地点理论值,就可以计算出中极板在两侧极板间的相对位置。

[0050] 以差动电容传感器120的下级板接交流激励源110负端为例,此时中极板位于距下

级板 $\frac{(k_0 + \frac{u_1}{u_0}) \times d}{10000}$ (d为两端极板间距)的位置。用比例代替实际电压值,比例可从0%到99.999999%,实现全量程测量。

[0051] 需要特别说明的是,现有技术(无论是比率变压器调零还是机械调零)使用的测量方法均是把桥路不平衡电压信号作为输出进行检测,就整个系统的输入输出链路来看,属于开环测量,平衡调节单元作为独立的调节机构,并不在测量链路中。本申请实施例提供的测量方法,采集完桥路不平衡电压后,电压值被反馈给程控单元,程控单元通过反馈的电压进行平衡调节,形成了反馈闭环,调节机构置于测量闭环中,保持桥路一直处于近平衡状态,系统最终输出的是桥路平衡调节的比率值。增加输出反馈调节后,由于调节机构始终处于反馈调零状态,桥路电压不会再出现超限问题,这是比率变压测量与电子自动化控制结合后得到的新的测量特性。

[0052] 由上可知,与现有技术相比,本申请实施例提供的用于差动电容传感器全量程测量的交流电桥比率测量电路仍采用变压器和差动电容器构成交流电桥,在不引入机械调节机构的同时,只通过程控单元配合ADC采样电路,自动检测并控制抽头接地点,使得电桥处于近平衡的状态,并对ADC采集的桥路不平衡电压进行换算,最终得到中极板实际偏移情况,在差动电容传感器的中极板发生移动时,由于上述输出反馈调节机制的存在,始终可以通过控制选通开关将电桥自动调节至近平衡状态,桥路电压不会再出现超限问题,实现了差动电容传感器的全量程测量,电路的动态范围等价于系统的量程,达到150dB以上。

[0053] 但是,本技术领域中的普通技术人员应当认识到,以上的实施例仅是用来说明本发明,而并非用作为对本发明的限定,只要在本发明的实质精神范围内,对以上所述实施例的变化、变型都将落在本发明的权利要求书范围内。

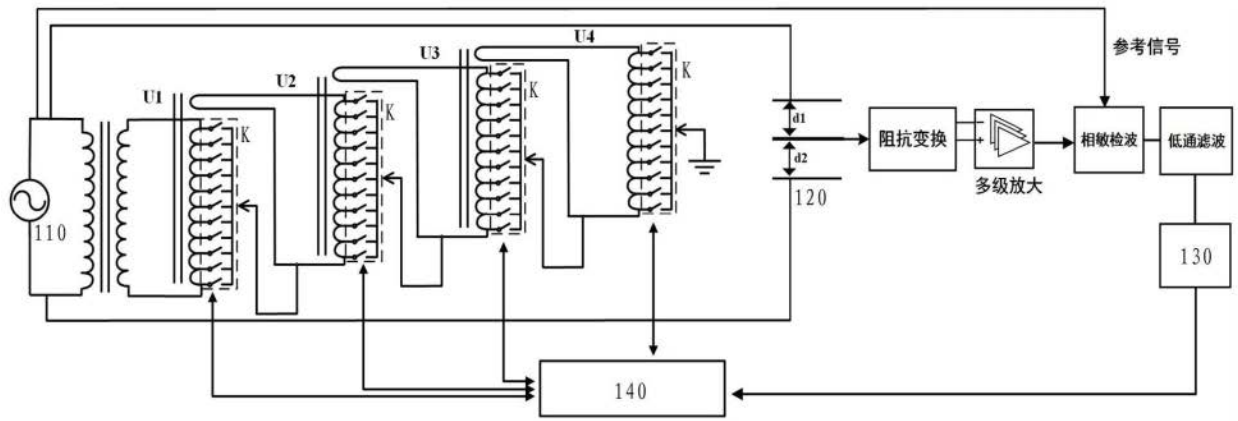


图1

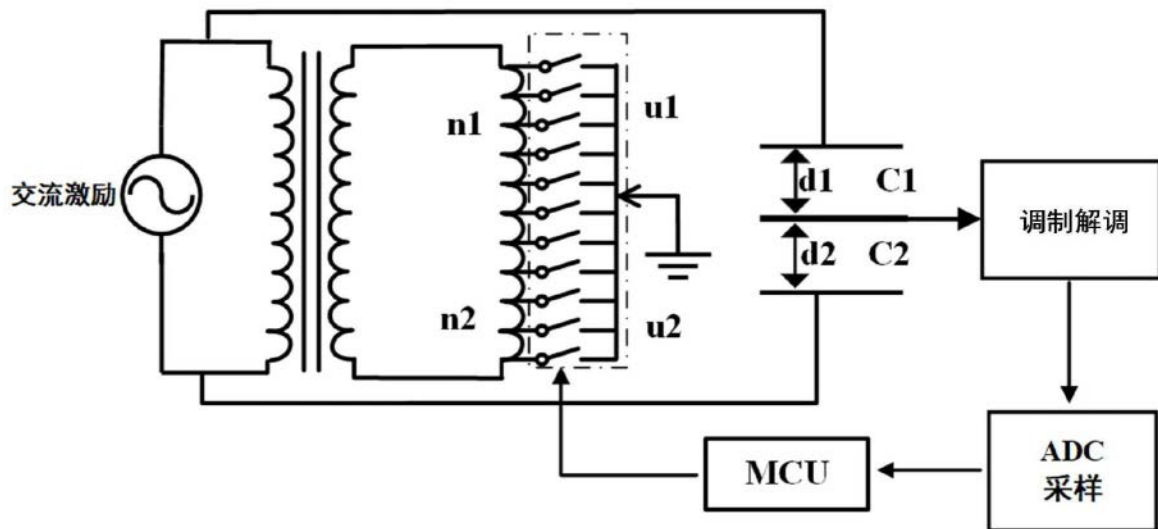


图2

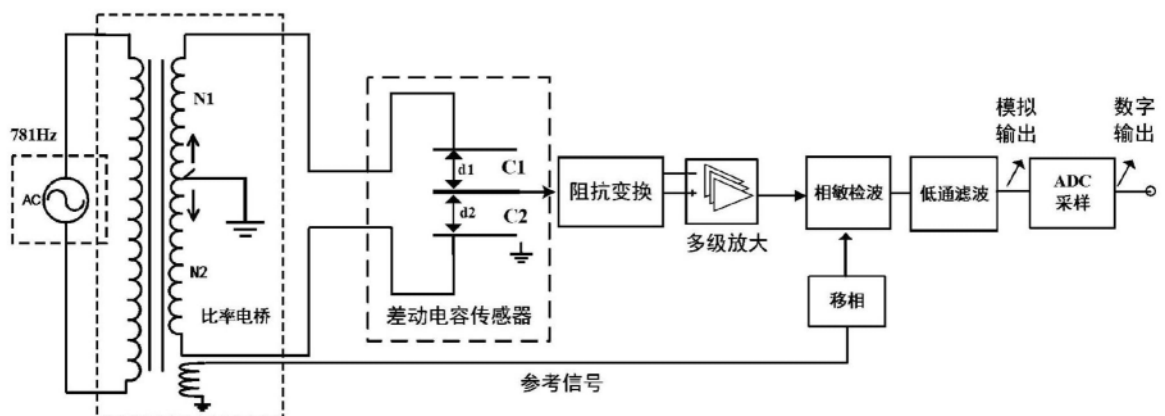


图3