

基于 MSP430 的定频调幅式电涡流传感器位移测量系统

邵爱霞 赵辉 刘伟文

(上海交通大学信息检测技术及仪器系,上海 200030)

摘要 本测量系统采用平面线圈的电涡流传感器结构,定频调幅式电涡流传感器测量电路,利用 MSP430F133 系列单片机对测量系统数据进行采集和处理,并对该测量系统应用于防水数显卡尺中的可行性进行了初始阶段的试验。与调频电路相比,定频调幅电路具有响应快、功耗低、稳定性好的突出特点;MSP430F133 具有超低功耗特性,为本测量系统应用于便携式测量设备提供保证。

关键词 电涡流传感器;调幅;防水数显卡尺;MSP430

0 引言

传统的电涡流传感器主要应用于变距离式测量。变距离式涡流传感器的测试精度高,但测量范围小。而变面积式的电涡流传感器测量量程主要取决于线圈的尺寸。本文讨论的变面积式电涡流传感器采用平面线圈结构,利用 MSP430F133 系列单片机对多通道涡流信号进行采样,扩充了电涡流传感器的测试量程,实现了横向位移测量。研究这种电涡流传感器的技术,对于开展移动式传感器的研究、拓宽涡流传感器的使用范围、新型传感器的研制等均有理论指导意义。本测量系统采用 MSP430 系列超低功耗类型的单片机,并将该测量系统应用于防水数显卡尺等手持设备中。

1 涡流传感器的结构与测量原理

传感器系统构成如图 1 所示,包括定尺和动尺两部分^[1]。定尺表面均匀分布许多金属反射导体,其中心距称之为测量波长。根据不同需要,定尺上的反射导体可以排列成两个或更多的码道,每个码道的测量波长不完全相同。动尺上安装有若干空心平面线圈,可以采用多层印制板工艺制作,线圈的数量一般为偶数,线圈之间的距离一般为 $1/4$ 测量波长的整数倍。当反射导体具有多个码道时,传感器线圈也相应具有同样的码道数量。

根据电涡流原理,当传感器线圈中通过交变电流时,在空间将产生交变电磁场,并在金属导体内产

生电涡流,从而使得传感器线圈的参数(例如电感、阻抗、品质因数等)发生变化^[1,2]。当传感器动尺与定尺之间产生相对移动时,电涡流强度将发生周期性改变,导致传感器线圈的参数出现周期性变化。通过适当的电路,可以得到周期性变化的电信号输出,由此可以实现位移的测量。

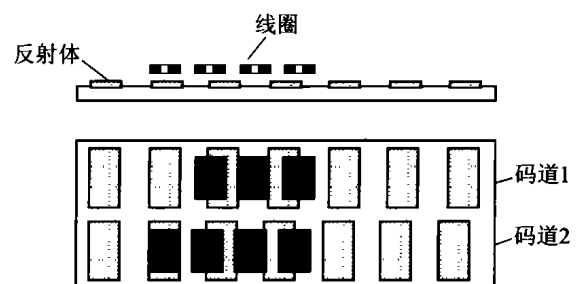


图 1 基于电涡流效应的位移传感器

当采用多码道结构时,可以根据码道之间的空间相位差确定动尺与定尺之间的绝对位置,从而实现绝对位移测量与定位。

由于定尺与动尺之间是通过电磁场相互作用实现位移测量,因此当期间存在液体介质时,对测量结果没有影响。

2 定频调幅式测量电路

电涡流传感器的测量电路可以归纳为:调幅式和调频式两种。调幅式又可分为恒定频率的载波调幅式与频率变化的载波调幅两种。根据测量电路可

测量与设备

以把电涡流传感器分为 3 种类型,即:定频调幅式,变频调幅式和调频式,这里采用的是定频调幅式电路^[3]。

定频调幅式的工作原理是由频率稳定的晶体振荡器提供一个高频信号、激励传感器线圈和 L 并联电容 C 组成的并联回路,当回路的固有频率 f_0 等

于振荡器的高频信号频率时,输出的电压 u 最大,并设为 u_0 ,而测量时,亦即被测体相对于传感器移动时,传感器等效阻抗发生变化,回路失谐,输出电压随之变化。电路原理图见图 2。由驱动电路,即石英晶体振荡器,射极跟随器以及 LC 振荡部分组成。

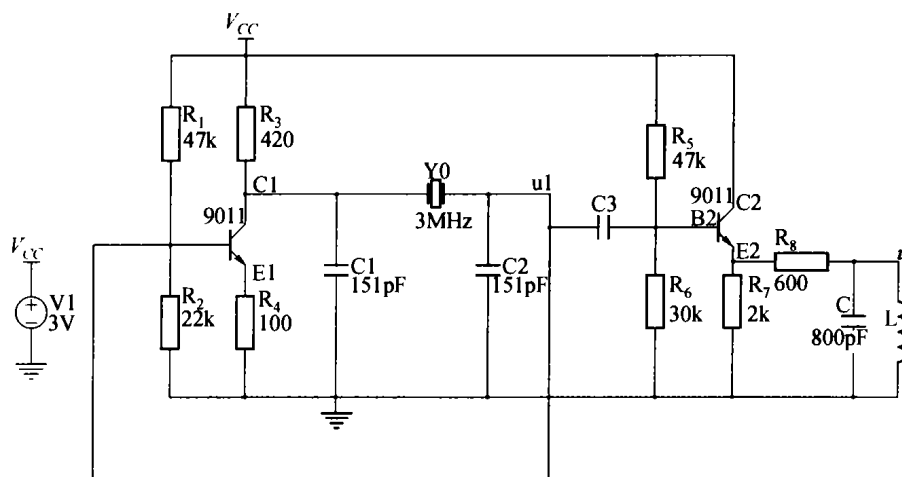


图 2 定频调幅式测量电路

因为驱动电路中频率稳定度的要求,电路常采用石英晶体振荡器,这一类振荡器是利用石英晶体的压电效应产生正弦波振荡的电路,具有很高的频率稳定性,本测量系统采用 3MHz 的激励频率。按照振荡电路起振的振幅和相位条件推算振荡电路中元器件的各个参数,用 Pspice^[4] 进行晶体振荡器部分的仿真试验,从仿真结果可以得到,电路在 $1.06\mu\text{s}$ 以后将以 755.3mV 为中心进行等幅正弦波振荡,峰-峰值为 583.4mV。

由于该电路应用于便携式设备中,所以电路的功耗也应该是电路设计以及优化时应该考虑的问题之一。同样我们可以借助 Pspice 对振荡电路的总电流进行仿真,从仿真曲线中可以看出,当电路起振后,电流值也将趋向于稳定,依据仿真图上数值,可计算得振荡信号电流的有效值为 1.309mA,因此,该电路可以考虑应用于便携式设备中。

电路设计时,应该采取相应的措施对电路加以改进,保证振荡电路稳定的信号输出。对于电源电压的变化,可以在电源端增加稳压电源变换器 TPS77030。同时,为了防止负载的影响,可以在振荡电路与负载之间插入缓冲电路以屏蔽负载的影响。如图 2 所示。实际工作中,温度和磁场的变化

也是影响振荡器性能的主要原因,环境温度的变化,将改变回路电容的数值,所以应选用温度系数较小的元件,可考虑使用云母电容。外界磁场的变化,会引起磁性材料磁导率的变化,影响传感器线圈的涡流效应,将振荡器密封在传感器壳体内,可起到屏蔽作用,减少回路与外界发生的电磁耦合。

图中 L 即为传感器线圈示意图,传感器线圈形状、匝数的设计应该尽量提高线圈的电感量,增强发射信号强度。另外设计反射体形状及排列,使得当反射体与传感器线圈有相对位移时,输出电压信号 u 的幅值呈周期性变化。由于振荡电路的带负载能力很弱,所以在振荡电路后加射极跟随器以增强带负载能力,从图中可以看出 R_8 与 LC 相当于一个分压电路,由振荡器产生的频率为 f 的电压加到 LC 并联回路和 R_8 串联的电路两端,在 LC 的两端输出,当被测体与传感器之间有相对位移时,传感器对恒定频率的阻抗就会变化,从而使 LC 并联回路的等效阻抗 Z 发生变化,因而引起输出电压 u 的变化,这时载波的频率仍保持不变,但幅值发生了变化。

线路中的耦合电阻 R_8 的大小影响测量线路的灵敏度。 R_8 大,灵敏度降低; R_8 小,则灵敏度高,但

是 R_8 太小的话,灵敏度会减小,耦合电阻的选择应该考虑到晶体振荡器的输出电阻和传感器构成的谐振回路的品质因数,在这里电路中,通过试验可以得出当 $R_8 = 600 \sim 800\Omega$ 时,该电路的灵敏度最高。

3 信号处理以及数据采集系统

MSP430 系列单片机的低功耗特性,使其广泛应用于便携式设备中,本文提到的测量系统就采用了 TI 公司的这一系列单片机中的 MSP430F133。其内部自带的 ADC12 模数转换模块能够实现 12 位精度的模数转换,具有高速通用的特点,本数据采集系统就是利用 MSP430F133 实现了数据采集和处理(见图 3)。

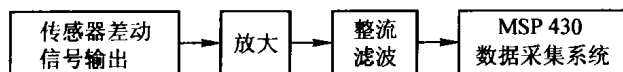


图 3 信号处理以及数据采集系统示意图

为了消除电路的非线性误差、提高测量的灵敏度,对两个传感器线圈进行差动分析,即利用 MSP430 对两路输出信号进行多次数据采集,采用 ADC12 中序列通道多次转换的转换模式^[6],利用 MSP430F133 进行数据采集以及数据处理,下面仅列出一个测量周期的数据采集结果,试验结果如图 4。

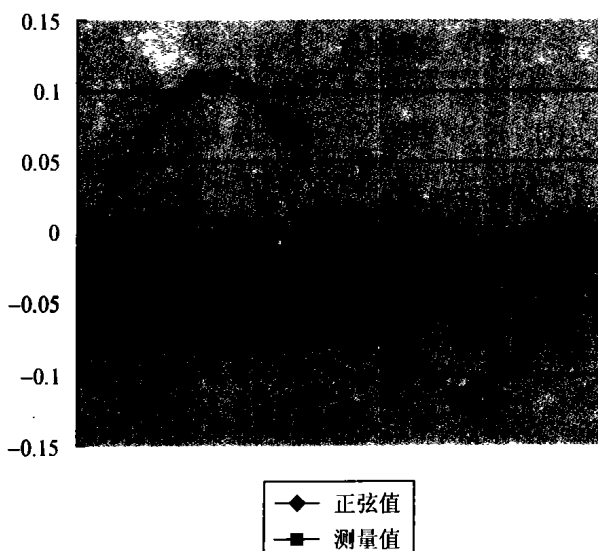


图 4 试验结果与正弦曲线对照图

可以看出两个传感器通道的差值近似呈正弦形状,但是有一定的差别,绝对位移与这一信号的对应关系,有待进一步研究和试验。

这一方案应用于卡尺位移测量的可行性,在很大程度上取决于输出直流信号的稳定性、重复性及其变化范围,所以进行数据采集考查信号的稳定性,现仅列出线圈的输出电压信号在最大值时的部分数据采集结果。从采样结果上看,最终的直流电压信号在 4mV 内波动,如图 5 所示。

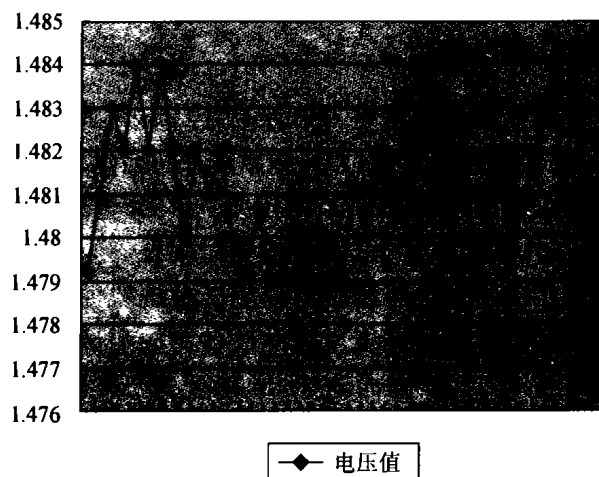


图 5 信号稳定性测试结果

此外,考虑到影响该电路精度的因素还有各种干扰噪声,因此电路设计时要尽量减少各方面干扰的影响以及设计电路板时做好屏蔽工作。通过电路优化以及采用电路板的屏蔽技术,测量电路的精度可得到进一步的提高。

参考文献

- [1] 赵辉,马东丽,俞朴.用于防水数显卡尺的新型栅式位移传感器设计.上海交通大学学报,2004(6)
- [2] 贾柏年,俞朴.传感器技术.东南大学出版社,1992
- [3] 谢嘉奎.电子线路.高等教育出版社,2000.5
- [4] 梁恩主,梁恩维.Protel 99SE 电路设计与仿真应用,清华大学出版社,2002.7
- [5] 吴道悌.非电量电测技术.西安交通大学出版社,1990
- [6] 魏小龙.MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例.北京航空航天大学出版社.2002.11