

磁铁粉品位测量系统的研究

Research on the Measurement System for Grade of Magnetic Iron Powder

唐越华¹ 邱立存²

(河北理工大学计算机与自动控制学院¹,河北 唐山;河北理工大学信息学院²,河北 唐山 063009)

摘要: 对磁铁粉品位测量方法进行了研究,提出了基于 PIC 单片机的磁铁粉品位测量系统。系统传感器以正弦信号为激励信号,采用向量的方法测量传感线圈两端的正弦电压值,彻底避免了线圈内阻的影响,提高了测量精度,这在以线绕漆包线圈作为信号传感器的场合有较好的利用价值。实验结果表明,系统能够满足磁铁粉在生产过程和贸易中准确且迅速测定的需求。

关键词: 单片机 正弦波 传感器 电感阻抗 激励信号

中图分类号: TP212.1 **文献标志码:** A

Abstract: The measuring methods for the grade of magnetic iron powder have been researched; and the measuring system based on PIC MCU is proposed. The sensor of the system is energized with sinusoidal signal; the sinusoidal voltages at two ends of the coil of measuring sensor are measured by the vector method for greatly eliminating the influence of inner resistance of the coil, thus the measurement accuracy is enhanced. This is useful in the situation of sensor made of enamel-insulated wire. The result of experiment indicates that the system satisfies the demands of precisely and rapidly measurement for magnetic iron powder in process of production and trading.

Keywords: MCU Sine wave Sensor Inductive impedance Inspire signal

0 引言

对于磁铁粉来说,铁含量是很重要的参数,因此,需要准确、迅速地测定。目前,国内外多采用以下几种测定方法。①化学分析法,测量结果准确,但是只适用于实验室,且测量速度慢、操作复杂。②X 射线荧光分析法和抗坏血酸还原剂滴定法,从本质上而言,这两种方法都属于化学分析法^[1]。③低能量 γ 射线透射法,它能快速测定铁精粉中的铁品位,但是测量值与实际值存在较大偏差,且在测量过程中, γ 射线经透射和反射,对作业现场及周围环境将产生辐射影响,这进一步限制了此方法的应用^[2]。

此外,还有采用肉眼观察的方法。该方法根据杂质和颜色来判断铁粉品位,但常因结果不准确而造成损失。因此,提高磁铁粉品位测量结果的精度、确保操作的快捷与操作人员的安全、降低测量成本已成为现实之需。

1 磁性物质含量测量

系统中对磁性物质含量的测量是非常重要的。当含有磁性物质的磁铁粉通过传感器时,磁铁粉中磁性

物质含量的改变会使传感器的电感量发生变化。由于磁铁粉中只有磁性物质能够对电感产生影响,其他物质不影响电感量,因此,可以通过测量绕线电感的电感量来测得磁性物质含量。

1.1 传感器

在工业现场各种参数测量中,许多传感器采用电感线圈作为感应元件,如电感式磁性物含量计是用于在线检测重介选煤介质变化的测量仪表,其传感器为密绕多匝漆包线的管道。当管内流有含磁性物的混合液体时,由于磁性物为铁磁物质,对探头的电感量影响很大,而电感量的变化量与管内磁性物含量成正比,因此,通过测量探头的电感量就可以反映出管内磁性物的含量^[3]。这样,许多采用电感式传感器的参数测量就转化成线绕电感的电感量测量。

相对于空心磁芯产生的感应系数(与线圈尺寸和数量有关),非磁性金属芯产生的感应系数要低于空心磁芯。这是因为磁介质是磁性材料,其磁传导性高于空气的磁传导性。根据电磁学原理,传感器感应系数为:

$$L_m = \frac{\mu N^2 S}{l} \quad (1)$$

式中: μ 为磁介质等效磁感应系数; N 为传感器线圈数; S 为传感器电螺线管的横截面积; l 为螺线管长度, N 、 S 、 l 均为常数。

由式(1)可知,感应系数 L_m 和等效磁感应系数成正比。试验证明,等效磁感应系数和磁介质密度成正比,

修改稿收到日期:2010-05-17。

第一作者唐越华,男,1984年生,现为河北理工大学控制理论与控制工程专业在读硕士研究生;主要从事在线检测与智能装置方面的研究。

因此, L_m 和磁介质密度成正比。当含有磁介质的磁铁粉通过传感器时,传感器的感应系数就随着磁介质密度呈比例地变化,通过测量感应系数就可以测量磁介质密度^[4],即磁性物质含量。由于漆包线的内阻随温度的变化而变化,因此,在测量过程中要尽量减少由温度变化而引起的内阻变化对测量结果造成的影响。

1.2 测量原理

由于线绕电感的电感量较大,且存在分布电容,所以测量电感量时,信号频率不能很高,应该低于 200 Hz。当所施加的信号频率较低时,对于所使用的线绕电感可等效为电感和电阻串联电路。而漆包线内阻是随温度变化的,所以,测量时必须消除电阻的影响。为完成线圈电感分量的测量,采用正弦电流信号作为激励,其测量原理如图 1 所示。

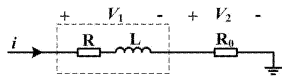


图 1 测量原理

Fig. 1 Principle of measurement

图 1 中,虚线部分为线绕电感在低频信号下的理想化模型,内阻为 R ,电感分量为 L ; R_0 为低温系数电阻; i 为正弦激励电流信号; V_1 为线绕电感两端电压信号向量值; V_2 为电阻 R_0 两端电压信号向量值。

设正弦激励电流向量为 I ,线绕电感阻抗为 Z ,有:

$$Z = R + j\omega L \tag{2}$$

对于图 1 所示的电路,有如下关系:

$$V_2 = R_0 I \quad V_1 = Z I \tag{3}$$

则:

$$Z = R_0 \frac{V_1}{V_2} \tag{4}$$

设 $V_1 = a + jb$ 、 $V_2 = c + jd$,则有:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{c + jd}{a + jb} = \frac{ac + bd}{a^2 + b^2} + \frac{j(ad - bc)}{(a^2 + b^2)} \tag{5}$$

由于 R_0 电阻值已知,所以只要能测出 V_1 、 V_2 的实部和虚部,再利用式(4)~(5)就能计算出阻抗 Z ^[5]。阻抗的实部为线绕电感内阻;虚部为电抗,代表电感分量的大小。设虚部值为 X ,则有:

$$X = 2\pi f L \tag{6}$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} \tag{7}$$

由此,电感量的测量转化为电压向量的测量。

尽管经电压 V_1 、 V_2 的测量可以测出线圈电感,但 V_1 、 V_2 用向量法表示时均为复数,所以,必须考虑正弦电压量实部与虚部的测量方法。正弦 V_1 、 V_2 可以表示

为复指数的形式,如式(8)~(9)所示,其中 θ_1 、 θ_2 分别为 V_1 、 V_2 的相位。

$$V_1 = a + jb = |V_1| e^{j\theta_1} \tag{8}$$

$$V_2 = c + jd = |V_2| e^{j\theta_2} \tag{9}$$

则有:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{|V_2|}{|V_1|} e^{j(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{|V_2| e^{j(\omega t + \theta_2)}}{|V_1| e^{j(\omega t + \theta_1)}} \tag{10}$$

由式(10)可知, V_1 、 V_2 向量值的比值可通过测量任意时刻的 V_1 、 V_2 的向量获得。对于任一电压 V ,向量可表示为:

$$V = |V| e^{j\omega t + j\theta} = |V| \cos(\omega t + \theta) + j|V| \sin(\omega t + \theta) \tag{11}$$

式中: θ 为相位;实部即为 V 的正弦瞬时值。

当向量 V 逆时针旋转 90° 时,变成 $S(t_2)$,此时实部正好与 $S(t_1)$ 虚部相等。这为测量正弦电压向量的实部与虚部提供了方法。由式(11)可知,测量正弦电压某一时刻值可得正弦向量的实部;测量正弦信号 1/4 周期之后的数值,可得到式(11)正弦量虚部的负值,表达式如式(12)所示。

$$V e^{j\frac{\pi}{2}} = |V| e^{j(\theta + \frac{\pi}{2})} = -|V| \sin\theta + j|V| \cos\theta \tag{12}$$

因此,正弦电压向量的实部与虚部可通过测量正弦信号相隔 1/4 周期的数值得到。

同理,向量 V_1 、 V_2 的实部与虚部可以对正弦信号进行相隔 90° 的 A/D 采样而得到,这就是 Hilbert 变换^[6]。

1.3 测量电路

在测量过程中,正弦电压信号的频率和振幅均需维持稳定。由于满足要求的晶体振荡器频率均较高,因此,要使输出信号频率低于 200 Hz 且可调,须用较复杂的分频电路,但这会使电路结构变得复杂。为此,系统采用由单片机产生稳定可调的方波信号,经 MAX260 有源滤波器滤波后得到稳定的正弦信号,实现电路简单灵活。

Microchip 公司的单片机 PIC16F877 负责控制测量电路,对 MAX260 实施控制并提供低频方波信号。该系列单片机采用精简指令哈佛总线(Harvard)结构和二级流水线取指令方式,具有实用、低价、指令集小、低功耗、高速度、体积小、功能强和简单易学等特点;且提供程序监视器和瞬间掉电复位功能,具有较强的抗干扰能力,适用于工业现场。

MAX260 是 MAXIM 公司推出的 CMOS 双二阶通用开关有源滤波器,微处理器精确控制滤波函数。在不需外部元件的情况下,MAX260 就可构成各种带通、低通、高通、陷波和全通配置,并可在程序控制下设置中心频率 f_0 、品质因数 Q 和滤波器的工作方式。MAX260 采用

24 引脚 DIP 或 SO 封装,其具有如下特点:①微处理器接口;②64 步中心频率控制;③128 步品质因数控制;④独立的中心频率和品质因数编程;⑤保证时钟频率 f_0 对比值精度为 1%;⑥单 +5 V 或 ±5 V 电源电压工作^[7]。正弦电压电流转换电路如图 2 所示。

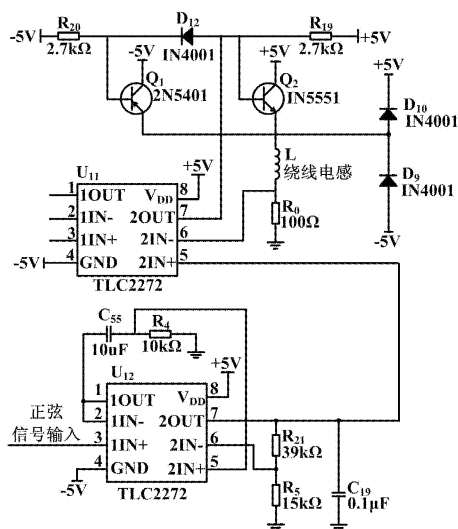


图 2 正弦电压电流转换电路

Fig. 2 Conversion circuit of sinusoidal voltage and current

图 2 中, U_{11} 及 U_{12} 均使用 TLC2272, TLC2272 是单芯片双运放放大器。 U_{11} 及三极管 Q_1 、 Q_2 所属电路完成电压电流的线性转换和电流驱动; U_{12} 及其周围器件完成高通滤波, 滤除直流分量。通过转换电路, 正弦电压输入信号转换成同相的正弦电流信号施加到线圈电感 L (图 1 中虚线部分) 和低温漂参考电阻 R_0 上, 为测量原理的实现提供了条件。

正弦电压向量的测量是通过单片机控制 A/D 转换器进行的。由于 MAX260 输出的正弦波是通过单片机输出的方波信号经滤波得到的, 因此, 单片机能确定方波的准确时基, 从而准确确定正弦信号的周期时间, 并准确地相隔 90° ($1/4$ 周期) 进行电压值测量, 测定正弦电压的向量值, 为利用式 (4) ~ (5) 计算阻抗值提供条件。

2 系统的实现

磁铁粉品位测量系统采用测量磁铁粉中磁性物含量与称重测量相结合的方法测量磁铁粉品位。系统主要分为磁性物含量测量系统和磁铁粉称重系统两部分。磁铁粉品位测量系统首先测得磁铁粉中磁性物含量, 然后通过称重传感器测得磁铁粉总重量, 进而自动计算出磁铁粉品位。

磁铁粉品位测量系统框图如图 3 所示。

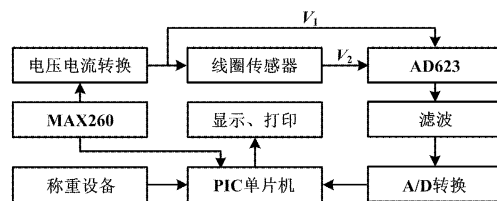


图 3 测量系统方案图

Fig. 3 Schematic of the measuring system

PIC 单片机产生一个低频方波电压信号, 经 MAX260 转变成正弦电压信号, 再通过电压电流转换器转换成正弦电流信号, 正弦电流信号发送到传感器作为激励信号。

图 3 中, V_1 、 V_2 分别为传感器和电阻 R_0 的电压值。测量电压 V_1 、 V_2 的向量值时, 使用仪表放大器 AD623。AD623 是一款轨对轨信号放大芯片, 用来将差动电压转换成单端电压。 V_1 、 V_2 经过放大、滤波和 A/D 转换电路后转换成单片机能够识别的数字信号; 数字信号存储在单片机内的数据存储器中, 通过单片机的计算, 即可转换成磁性物的含量值。

利用称重设备测量磁铁粉重量, 再用磁性物的含量值除以磁铁粉重量值, 就可以得到磁铁粉的品位。单片机控制显示器和打印机分别输出磁铁粉品位。

3 实验

3.1 温度实验

为考察温度对磁铁粉品位测量系统的影响, 本文进行了温度实验。将整个磁铁粉品位测量系统置于一个温度从 $0 \sim 30^\circ\text{C}$ 变化的温度实验室, 往传感器内放置一些磁铁矿粉, 磁铁粉品位测量系统上电开始工作后就能显示品位; 然后, 逐渐改变实验室环境温度, 并记录温度和对应的测量结果。实验数据如表 1 所示, 表 1 中的数据表明磁铁粉品位分析系统有很强的抗温度漂移的能力。

表 1 温度实验数据

Tab. 1 Experimental data of temperature

序号	1	2	3	4	5	6	7
温度/ $^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
品位/%	50.0	50.1	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6

3.2 线性实验

首先准备 5 份品位分别为 38.0%、45.2%、51.0%、57.3% 和 63.4% 的磁铁粉; 接着用系统测量磁铁粉的品位, 测量值分别为 38.1%、45.3%、51.0%、57.3% 和 63.5%。测量值与实际值比较说明, 磁铁粉品位测量系

(下转第 58 页)

是一款具有 24 路数字量输入/输出、仿真可编程并行 I/O 接口芯片 8255 模式,并带有一个 50 管脚接口,管脚定义与 Opto-22 完全兼容。使用时需在 Parameter Setting 对话框的 Device、Module、Channel 和 Mask 栏分别设定安装板卡、模块、输出通道和输出数据类型。

3.3 实时显示保存及历史调用

在进行软件设计时,系统通过组态软件脚本程序的编译,实现了对钢瓶检验数据在人机界面的实时显示监控和检验结果的记录、存储和调用等功能。MCGS 组态软件主要与 Access 数据库进行连接存储,同时可生成并打印符合行业标准规范的检验报表。这些功能为存取数据记录带来了很大便利,同时,也有利于检验资料的保存,为检验方面的研究提供宝贵依据。

在建立 Access 数据库时,需在 MCGS 用户窗口中新建一个数据库窗口,在该窗口中绘制符合行业标准规范的报表,并通过存盘数据浏览构件完成数据库各属性设置,包括存储位置、变量名及单位等,最后进行数据库脚本程序的编译。数据库建立完成后,对于钢瓶在检验时 MCGS 组态运行环境产生的新数据,Access 数据库会进行对应的更新和存储。

4 结束语

本文设计的压缩天然气钢瓶检验数据自动化采集

系统大大减少了现场手动操作,降低了检验过程的危险度,特别是水压试验和气压试验;同时也大大降低了检验工人的工作强度,提高了检测工作效率,节约了钢瓶检测时间,从而减小了钢瓶定期检验带来的不便。

本文自主开发的 MCGS 组态软件的自动存储和调用检测报告的功能避免了人工填表的繁琐和误差,减少了对检验结果进行整理和保存的工作量,且检测结果以符合行业标准规范的数据库表格进行存储,存储信息量大大增加。这为压缩天然气钢瓶定期检测问题的研究提供了极大的帮助和便利。

参考文献

- [1] 郝丽,崔永兴. 天然气水合物资源潜力及其开发前景[J]. 应用能源技术,2009(7):5-6.
- [2] 王协琴. 对当前国产钢质压缩天然气储气瓶问题的几点看法[J]. 天然气汽车信息,1996(4):28-29.
- [3] 张树,赵建伟. 关于车用天然气钢瓶定期检验的探讨[J]. 城市轨道交通,2007(6):20-23.
- [4] 潘峥嵘,郭凯. 抽油机在线故障监控器的设计与实现[J]. 自动化仪表,2009,30(8):67-69.
- [5] 姜海,田春艳. MCGS 组态软件在 PLC 工作状态监控中的应用[J]. 装备制造技术,2008(2):56-57.
- [6] 邹伟,杨平,徐德. 基于 MCGS 组态软件的上位机控制系统设计[J]. 制造业自动化,2008,30(12):103-108.
- [7] 苏玉刚,赵中星,兰晓军,等. 电厂烟气湿法脱硫石灰石活性测控系统的设计[J]. 自动化仪表,2009,30(8):47-49.

(上接第 55 页)

统具有很好的线性关系。

4 结束语

与传统的测量方法相比较,基于单片机的磁铁粉品位测量系统测量磁铁粉品位的方法不但实际可操作性更强、更便捷、更迅速,定量更准确,操作简单,无污染,对检测人员要求简单,无化学反应产生有害物质给人体、环境带来危害,且不易受颗粒密度及其分布的影响,设备简单、价格低廉。

同时,此测量方法对温度漂移具有很强的抗干扰能力,提高了测量精度,避免了线圈内阻对测量结果的影响,在采用线绕漆包线圈作为信号传感器的场合有较好的实际应用价值。但若要做更多的精确测量,磁铁粉品位测量系统要进行定期校正。

参考文献

- [1] Oliver C. A new core loss model for iron powder[J]. Switching Power Magazine,2002:28-30.
- [2] 汤琳,林谦,梁曼春,等. 磁铁矿精粉中组分含量波动对 γ 透射法测量铁品位的影响[J]. 核电子学与探测技术,2006,26(6):1017-1019.
- [3] 邱立存,吴勇中. 电感式磁性物含量计的研制[J]. 河北理工学院学报:自然科学版,2003,25(z1):62-65.
- [4] 许广宾,刘海英,崔博. 磁介质密度传感器与测量系统[J]. 微计算机信息,2008,24(1):123-125.
- [5] 周生景. 高精度 LCR 测量系统的设计研究[J]. 电子测量与仪器学报,2003,17(3):1-5.
- [6] Volker H, Volker S. Model about the working principle of the ultrasonic cross correlation flowmeter [C]//Flucom 2000, Sherbrooke, Canada: Proceedings, 2000.
- [7] 孙锴,李树华. 有源滤波器芯片 MAX260 的特性及应用[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版,2002,33(3):342-343.

《自动化仪表》 邮发代号: 4-304, 2011 年定价: 12.00 元, 全年价: 144.00 元; 国外代号: M 721

欢迎赐稿, 欢迎订阅, 欢迎宝贵建议, 欢迎惠刊各类广告