

文章编号: 1005-5630(2015)02-0165-05

一种防垢除垢的变频电磁场发生装置

侯宏录, 齐晶晶, 黄钉劲

(西安工业大学 光电工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 针对管道结垢引起的设备腐蚀问题, 在分析现有防垢除垢方法的基础上提出了一种由可变频方波信号控制的电磁防垢除垢电路解决方案。系统由 AVR 单片机产生方波信号, 利用光耦合器实现单片机同驱动电路的隔离, 微弱电信号经后续电路放大, 驱动管道外围线圈产生变化的电磁场。在电磁场作用下, 污垢离子脱离管道内壁。实验结果表明, 该装置可产生占空比为 50%, 频率从 0 Hz~6 MHz 连续变频输出的方波信号, 驱动功率为 72 W, 具有防垢除垢效率高、使用范围广、易安装、功耗低等优点。

关键词: 方波; 变频; 电磁场; AVR 单片机

中图分类号: TN 712 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2015.02.016

An electromagnetic device with frequency conversion for fouling control and removal

HOU Honglu, QI Jingjing, HUANG Dingjin

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: A kind of circuit based on square wave is designed to solve the problem of equipment corrosion caused by fouling in the pipeline. The square wave with variable frequencies is generated by AVR micro controller unit. After being processed through the driving circuit, the electricity signal driving the coil produces a magnetic field. Under the effect of electromagnetic, dirt ion is removed from the pipe wall. Experimental results demonstrate the square wave with the frequency conversion from 0 Hz to 6 MHz. The duty ratio is fifty percent and the driving power is 72 W. The equipment has high efficiency and wide applications and is easy to installation. Besides, the power consumption is low.

Keywords: square wave; frequency conversion; electromagnetic field; AVR micro controller unit

引 言

日常生活和工业生产中水垢现象非常普遍, 如不加以预防处理, 危害极大。传统的化学除垢方法虽效果明显, 但由于引入了其他有害杂质, 且化学药剂本身存在着安全隐患, 因而, 不适合于人类日常生活中管道的防垢与除垢。物理除垢是用声、光、电、磁等技术及其相应设备来改变水中各种离子和分子的运动状况, 实现除垢、防垢的目的, 由于其具有节能环保的优势因而引起了人们的广泛关注^[1]。

目前, 常用的物理防垢除垢方法有超声波处理法, 磁化处理法, 静电场处理法以及电磁场除垢法^[2]。超声波防垢除垢需要复杂的超声波发生装置, 磁化处理法的磁场稳定性差, 静电场处理法需要额外电能

收稿日期: 2014-08-11

作者简介: 侯宏录(1960—), 男, 教授, 主要从事光电测试、信息融合、复杂系统建模、仿真与作战效能评估方面的研究。E-mail: hlhou@sina.com

产生电场,而电磁场除能够有效除垢防垢外,还能对水质起到杀菌、灭藻的作用。本文基于电磁场除垢机理,将频率连续变化的电信号送入缠绕在管道上的漆包线圈,产生变化的电磁场。在电磁场作用下,污垢离子脱离管道壁,实现防垢除垢目的。

1 变频电磁防垢除垢机理

水垢的主要成分为碳酸钙和碳酸镁。水分子是由一个氧原子和两个氢原子组成,通常 80% 的水分子以氢键缔合成水分子团的形式存在,这种水分子团对碳酸钙的溶解度较低,使水垢很容易析出,并附着在管道内壁。当电磁场振动频率同水分子自然频率相同时将产生共振现象,使氢键断裂,水分子变成单个极性水分子。该微小水分子可渗透、包围、溶解水系统中形成的垢层,同时使悬浮在水中的钙离子和镁离子形成特殊的文石碳酸钙晶体,其表面无电荷,无法在管道上吸附^[3-5]。

不同环境下水温、硬度、黏度、pH 不同,其共振频率也不相同。变频电磁防垢除垢系统可产生频率不断变化的电磁场,不同条件下的水分子与频率不断变化的电磁场产生共振,达到防垢除垢的目的。

2 变频电磁防垢除垢系统方案

理论分析与实验结果表明,方波信号的防垢除垢效果较之其他信号更为明显。原因在于:首先,方波的变化更为剧烈,所产生的电磁场能对水中的离子和分子产生较大的扰动;其次,方波信号含有丰富的谐波成分,使水分子团与外加电磁场实现共振的机率更大^[4]。因此本系统选用 30 min 内频率从 0 Hz~6 MHz 连续变化的方波作为驱动信号,系统以 72 W 的输出功率驱动线圈产生变化的电磁场。

系统原理框图如图 1 所示,主要由 AVR 单片机 ATmega16、按键控制模块、串口通信模块、光耦隔离电路、驱动电路及线圈组成。按键开启后系统上电,AVR 单片机产生两路 PWM 波信号^[6-7],由于 AVR 单片机产生的方波信号其负载能力低,不能直接驱动负载线圈,需要利用驱动电路对 AVR 单片机产生的信号加以放大。为了提高系统稳定性和可靠性,AVR 单片机和驱动电路之间设计光耦隔离电路实现信号隔离^[8-9]。驱动电路对信号放大并传输至线圈产生电磁场。串口通信模块将 AVR 单片机 PWM 波信号参数发送给上位机,供工作人员配置波形参量。

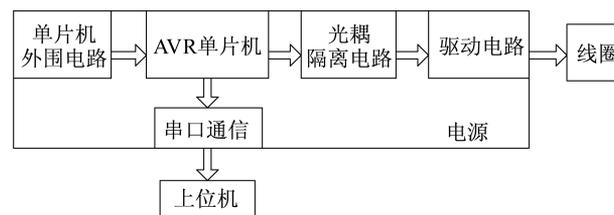


图 1 电磁除垢防垢系统原理框图

Fig. 1 The diagram of electromagnetic prevention and fouling-removal system

3 变频电磁防垢除垢系统电路设计

3.1 电源模块

整个系统外部输入 36 V 直流作为电机驱动电源,采用 LM2576 电源芯片将其转换为 5 V 直流后为 AVR 单片机、串口通信电路、ISP 下载电路、光耦隔离电路供电。

图 2 为电源模块原理图。输入端旁路电容 C1 选择 470 μF 的铝电解电容防止出现大的瞬间电压。输出端续流二极管选择开关速度快、正向压降低、反向恢复时间短的肖特基二极管,储能电感有高的通流量,C2 选择 470 μF 钽电容用于输出滤波以及提高环路的稳定性。

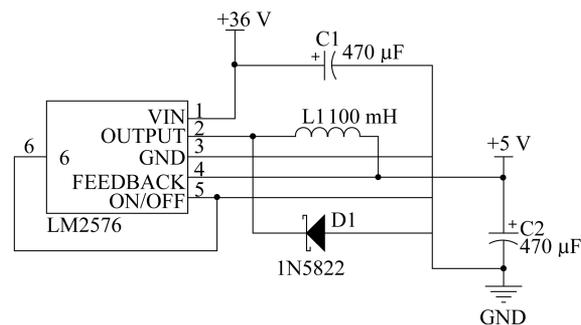


图 2 电源模块原理图

Fig. 2 The diagram of power module

3.2 基于 AVR 单片机的控制电路设计

图 3 为 ATmega16 单片机工作最小系统,通过配置代码,单片机输出端口 PD4、PD5 产生两路相位相反的 PWM 波^[6]。

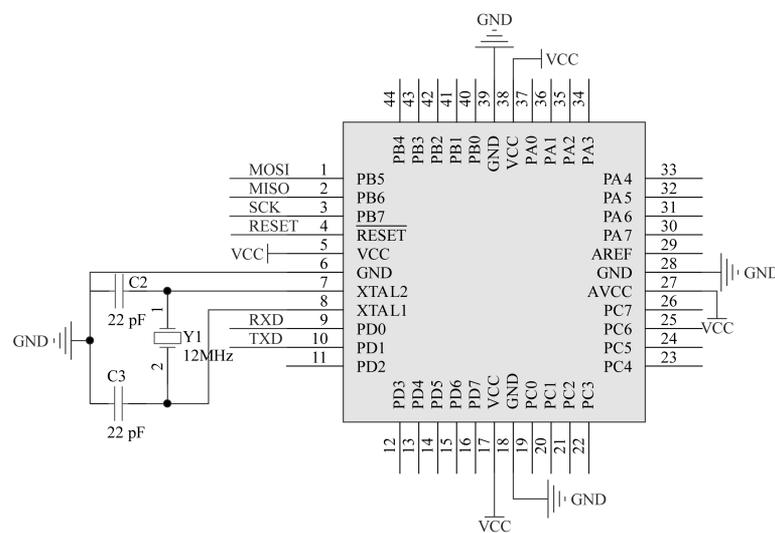


图 3 单片机工作最小系统

Fig. 3 Micro controller unit system

ATmega16 作为主控芯片,其外围电路包括晶振、复位电路、ISP 下载电路、串口通信电路。选用 12 MHz 晶振为单片机提供工作时钟。单片机程序运行发生错误时,可由复位电路恢复处理器至初始工作状态。ISP 下载电路实现单片机的程序烧写。对于 AVR 单片机,当 RESET 为低电平时,可以通过串行 SPI 接口对其片内的 Flash 程序存储器进行在线编程。配置代码时,PC 机与 AVR 单片机属于主从关系,PC 机为主机,单片机为从机。主机发出的串行数据经 MOSI 引脚传入从机,由从机返回的数据经 MISO 引脚传向主机。SCK 为串行时钟脉冲,由主机发往从机,主机通过 SCK 脉冲控制与从机传输数据。AVR 单片机产生的方波信号通过串口通信模块发送给上位机,检测人员判断方波信号的频率、占空比及高低脉冲宽度是否符合要求。单片机输出为 TTL/COMS 电平,该电平规定逻辑 0 电平为 0 V,逻辑 1 电平为 5 V,计算机采用负逻辑的 RS232 电平,规定逻辑 0 电平为 3~15 V,逻辑 1 为 -15~-3 V,所以计算机与单片机之间通讯时需加 MAX232 电平转换芯片。

3.3 光耦隔离电路

光耦隔离电路选用单通道高速光耦合器 6N137,其电路原理如图 4 所示。

信号从引脚 2 和 3 输入,输入端有两种接法,分别得到反相或同相逻辑传输。本系统采用同相逻辑传输,引脚 3 接输入信号,引脚 2 接高电平。单片机输出两路 PWM 波通过两路光耦隔离电路,方波信号由引脚 3 输入,输出为 Port2。

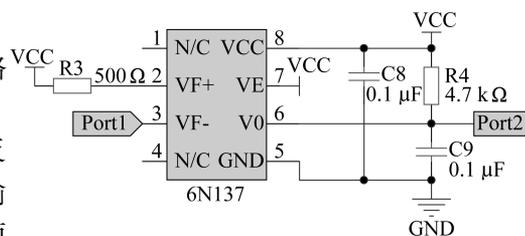


图 4 光耦隔离电路

Fig. 4 Optical-coupling isolation circuit

3.4 驱动电路

单片机产生的电流无法满足线圈产生电磁场的要求,设计驱动电路对线圈前端信号进行放大,可供给负载的最大电流为 2 A,电压为 36 V。本系统选用步进电机专用控制器 L298 作为驱动电路主芯片,图 5 为驱动电路原理图。使能输入端 ENA 接 AVR 单片机 PD3 口,当 PD3 口为高电平时芯片使能,引脚 5 和 7 为输入端,分别接两路方波信号,引脚 2 和 3 为输出端用来连接负载线圈。当 L298 从工作状态转换到停止状态时会形成反向电流,电路中的 4 个二极管起到保护芯片的作用。

3.5 电磁转换

电感线圈将驱动电路输出的电信号转换为对应的幅值调制磁信号。本系统中的电感线圈是由直径为 1.5 mm 的漆包线在直径 40 mm 的铜质管道上单层绕制 500 匝。通电线圈内的方波电流在管道内部产生变化的磁场,根据法拉第电磁感应定律,变化的磁场产生变化的电场,在管道内形成变频电磁场。

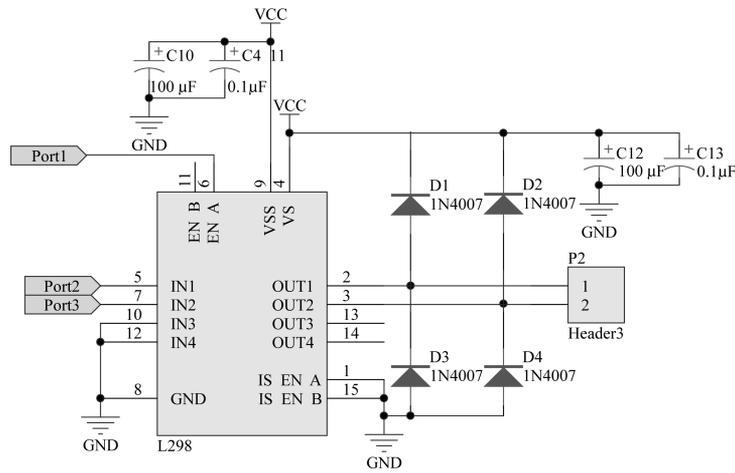


图 5 驱动电路

Fig. 5 Driving circuit

4 系统电路板级实现

4.1 电路布局布线

电磁防垢除垢电路电源线和地线形成电流回路驱动整个电路系统,流经电流较大,应尽量减小导线的分布电阻,同时为了得到较为平坦的零电势点,增大电源线和地线宽度为 0.75 mm。在元器件布局过程中考虑到 LM2576 电源芯片工作时发热量高,放置该芯片于 PCB 板靠近边缘处,且在 LM2576 芯片的下方添加焊盘加快散热速度。考虑到电磁兼容性及电路内部模块之间相互干扰,在便于信号流通的前提下,将各信号处理芯片分散排布于整块 PCB 板上。为了减少外界噪声干扰,PCB 板上滤波电容放置于距离芯片信号输入管脚处,对 PCB 电路板进行覆铜,外加屏蔽壳处理。图 6 为电磁防垢除垢电路实物图。

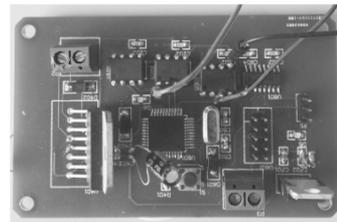


图 6 电磁防垢除垢电路实物

Fig. 6 The photo of electromagnetic prevention and fouling-removal system

4.2 代码设计

电磁防垢除垢电路程序流程图如图 7 所示。本系统选用 16 位定时器/计数器,工作模式为占空比和频率均可调的相位修正 PWM,该模式下的 PWM 频率 f 可由如下公式获得,即

$$f = \frac{f_{\text{clk}}}{2 \cdot N \cdot \text{TOP}}$$

式中: f_{clk} 为时钟频率; N 为预分频因子 (18、64、256 或 1 024); TOP 为计数器计数序列的最大值,其值可以为固定值

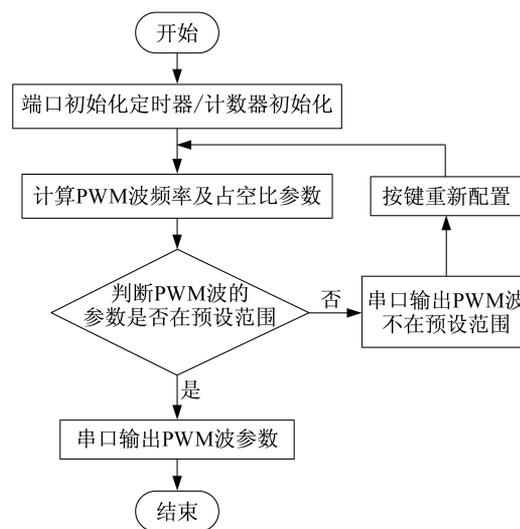


图 7 电磁防垢除垢电路程序流程图

Fig. 7 The flow chart of the program for electromagnetic prevention and fouling-removal circuit

0x00FF、0x01FF、0x03FF,或是存储于寄存器 OCR1A 或 ICR1 里的数值。

5 系统性能测试及分析

5.1 变频信号特征检测

用示波器跟踪检测,得到占空比为 50%,频率在 0 Hz~6 MHz 随时间变化而变化的方波信号。

图 8 和图 9 是利用示波器检测到电磁信号发生装置在 30 min 内两个时间点的波形图。两幅图中的信号均为方波信号,时间差为 12 min,频率由 174.062 kHz 变成 2.515 MHz,满足变频特性。

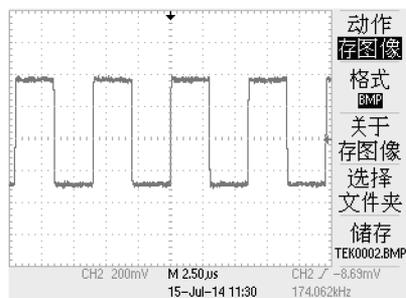


图 8 频率为 174.062 kHz 信号波形

Fig. 8 The waveform of the signal with 174.062 kHz frequency

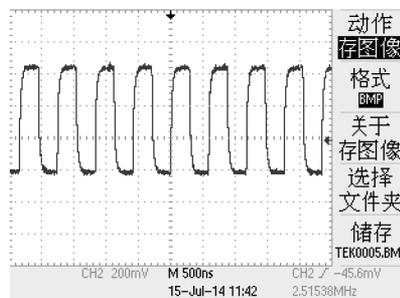


图 9 频率为 2.515 MHz 信号波形

Fig. 9 The waveform of the signal with 2.515 MHz frequency

5.2 电磁场特性检测

图 10 为方波信号从 0 Hz~6 MHz 变化过程中,利用高斯计对管道中心位置的磁场强度进行测量的结果。

由图 10 可知,方波频率在 500 kHz 以内时,磁感应强度随着方波频率的增大而增大;当方波频率大于 500 kHz 时,磁感应强度在 0.8~1.2 mT 范围内波动。说明通电后的电感线圈产生了电磁场,且达到稳定后电磁场强度维持在一定范围内。

5.3 除垢防垢特性检测

选用铜管作为水流管道,试验前标记水管质量。使含有碳酸钙和碳酸镁的溶液流过水管并形成水垢^[10],再次记录水管质量并计算结垢量为 2.5 g。将变频电磁场发生装置安装在测试水管上,每隔 3 h 测量一次水管质量。得到除垢量与时间的关系如图 11 所示。

从图 11 可以看出,该装置连续除垢接近 20 h 时,除垢量约为 2.5 g 且水管内部无新的水垢产生,达到了除垢防垢的目的。

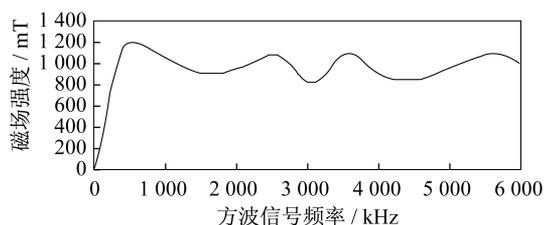


图 10 方波信号频率与磁感应强度关系

Fig. 10 The relationship between the frequency of the square wave signal and the magnetic induction

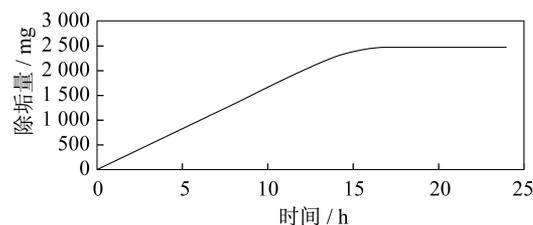


图 11 除垢量与时间的关系

Fig. 11 The relationship between fouling-removal amount and time

6 结论

本文设计了一种基于 AVR 单片机的变频电磁信号发生电路,该装置克服了传统防垢除垢装置系
(下转第 174 页)

5 结 论

影响激光共聚焦扫描荧光显微镜系统图像质量的因素有很多,比如光路搭建是不是共轴,数据采集卡的增益系数稳定性,光电倍增管(PMT)的驱动电源的电流电压值是否稳定等等,若要得到好的实验效果需要综合考虑这些因素。

参考文献:

- [1] 田明丽,包正康,刘昱. 激光共聚焦扫描显微镜及其应用[J]. 光学仪器,2001,23(1):16-19.
- [2] 霍霞,吕建勋,杨仁东,等. 激光共聚焦显微镜与光学显微镜之比较[J]. 激光生物报,2001,10(1):76-79.
- [3] SHEPPARD C J R, WILSON T. Depth of field in the scanning microscope[J]. Optics Letters,1978,3(3):115-117.
- [4] 曾毅波,蒋书森,黄彩虹,等. 激光共聚焦扫描显微镜在机电系统中的应用[J]. 光学精密工程,2008,16(7):1241-1246.
- [5] 方园,梁高飞,朱光明,等. 共焦激光扫描显微镜及其在钢铁相变原位观察中的应用[J]. 宝钢技术,2006(6):64-69.
- [6] 于彦华,邢达. 激光共聚焦扫描显微镜及其在生物医学中的应用[J]. 激光杂志,1999,20(6):35-38.
- [7] 高少佳. 激光诱导荧光技术及其在生物仪器中的应用[D]. 杭州:浙江大学,2005:13-20.
- [8] 王锡文,张果,杨春梅. 共焦点成像技术[J]. 西南石油学院学报,2004,26(5):10-13.
- [9] 张景和,袁雅珍,阮锦. 激光扫描显微镜中的扫描系统[J]. 光学精密工程,1995,3(2):62-65.
- [10] GE H Y, WANG B H, REN Q S. Influence of detector on resolution in confocal imaging system[J]. Acta Photonica Sinica,2006,35(4):587-590.
- [11] WILSON T, CARLINI A R. Size of the detector in confocal imaging systems[J]. Optics Letters,1987,12(4):227-229.
- [12] 伍杰灵. 数据采集系统中数字滤波算法的研究[D]. 北京:北京林业大学,2010:15-25.
- [13] 魏汪洋,靳鲲鹏. C#从入门到精通[M]. 北京:化学工业出版社,2011:32-133.

(编辑:刘铁英)

=====

(上接第 169 页)

统复杂、效率低等除垢防垢效果不理想的弊端,解决了单一频率电磁信号无法实现变频共振而引起除垢低效或除垢失败的问题。理论分析和实验结果均验证了防垢除垢系统方案的可行性,整个电路系统结构紧凑、功耗低、便于操作,仅需 36 V 直流电源即可正常工作。

参考文献:

- [1] 陈璨. 基于电磁场的除垢、防垢技术研究[D]. 东营:中国石油大学,2008.
- [2] 伍懿美. 高频电磁水处理器的电磁场分析及实验研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [3] 蒋文斌. 基于变化电磁场的电磁除垢系统[D]. 杭州:中国计量学院,2012.
- [4] 苏翔云. 变频防垢除垢仪的研究[D]. 郑州:郑州大学,2011.
- [5] 费继友,李玉泉,白鑫. 水的电磁变频除垢防垢技术和实验研究[J]. 化工自动化及仪表,2011,38(2):157-161.
- [6] 刘芳,彭润玲,陈家璧,等. 基于 AVR 单片机的双液体变焦透镜驱动系统[J]. 光学仪器,2009,31(5):62-66.
- [7] 何金平. 电压源型 PWM 变换器控制与应用[D]. 武汉:华中科技大学,2012.
- [8] 王志伟. 基于 FPGA 的变频电磁除垢仪的研究[D]. 西安:西安工程大学,2011.
- [9] 张立勋,沈锦华,路敦民,等. AVR 单片机实现的直流电机 PWM 调速控制器[J]. 机械与电子,2004(4):29-32.
- [10] 徐晓宙,罗融. 高频电磁场对防水垢机理的实验研究[J]. 西安交通大学学报,1997,31(1):124-126.

(编辑:程爱婕)