

基于 Rogowski 线圈的工频大电流测试仪的设计

成海晖, 张海勇, 尹 戈, 王 为

(中国船舶重工集团公司天津 707 所, 天津 300409)

摘要: 介绍 Rogowski 线圈的原理, 描述工频大电流测试仪系统的各部分硬件电路设计, 以及实现系统功能的软件设计。介绍了产品的使用情况。

关键词: Rogowski 线圈; 电流测试仪; RS232; 串行通信

中图分类号: TG438 文献标志码: B

Design of the Checker for 50Hz Current Based on Rogowski Coil

CHENG Hai-hui, ZHANG Hai-yong, YIN Ge, WANG Wei

(China Shipbuilding Industry Corp. 707 Research Institute, Tianjin 300409, China)

Abstract: This paper introduces the principle of Rogowski coil. The circuit and soft design is described in detail for the checker, which is used for 50Hz current measuring. Finally we indicate the application of the checker in the automobile manufacturers.

Key words: Rogowski coil; measuring instrument for current; RS232; serial communication

汽车车身焊接中普遍采用的工频电阻焊机其主焊接变压器二次电流通常为几千安培到几万安培, 通电时间为几个周波 (cycle) 到几十周波 (1 周波 = 20ms), 此外还存在电流值在焊接过程中不断变化的特点, 为非正弦波的复杂波形, 因此对于焊接参数的检测是比较困难的。罗科夫斯基 (Rogowski) 线圈正好可以应用于该测试环境, 具有交流电流隔离测量、结构简单、体积小巧的优点。同时由于采用了非磁性线圈芯, 故无磁饱和现象。本文详细介绍了工频大电流测试仪系统的设计和制作过程, 以及在设计过程中需要注意的问题。

1 Rogowski 线圈原理

空心无饱和的 Rogowski 电流传感器的结构示

收稿日期: 2007-12-21; 修订日期: 2008-04-18

基金项目: 2005 年天津市科委重点科技攻关专项项目 (05YFGZGX25500)

作者简介: 成海晖 (1971—), 男, 高工, 主要研究方向为自动控制、信号处理等。

意如图 1 所示。

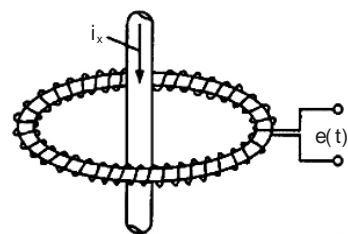


图 1 罗柯夫斯基线圈结构示意图

Fig.1 Structure diagram of Rogowski coil

Rogowski 线圈均匀缠绕在一圆环形的非磁性骨架上, 被测电流穿过该圆环, 由磁路安培定律可以得出感应电势 $e(t)$ 由下面的公式描述:

$$e(t) = \frac{-d}{dt} (t) = M \cdot \frac{di(t)}{dt} = \frac{-\mu_0 \cdot N \cdot h}{2} \cdot \ln \frac{R_a}{R_i} \cdot \frac{-di(t)}{dt}$$

其中: $\Phi(t)$ 为磁链; M 为线圈的互感系数; $i(t)$ 为电流; $\mu_0=4 \times 10^7$ (H/m) 为空气磁导率; N 为线圈的匝数; h 为骨架的高度; R_a 为骨架外径之半径; R_i 为骨架内径之半径。线圈的自感系数 L 为线圈的互感系数与线圈匝比的乘积, 即:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot h}{2} \cdot \ln \frac{R_a}{R_i} = N \cdot M$$

假设罗柯夫斯基线圈的自感量为 L_0 , 杂散电容为 C_0 , 线圈等效电阻为 R_0 , 取样电阻为 R_1 , 则其传递函数为

$$H(s) = \frac{R_1 \cdot M \cdot s}{L_0 \cdot C_0 \cdot R_1 \cdot s^2 + L_0(1 + R_0 \cdot C_0 \cdot R_1) \cdot s + (R_0 + R_1)}$$

$$= \frac{M \cdot s}{L_0 \cdot C_0 \cdot s^2 + L_0(\frac{1}{R_1} + R_0 \cdot C_0) \cdot s + (\frac{R_0}{R_1} + 1)}$$

忽略杂散电容 C_0 的影响, 则:

$$H(s) = \frac{R_1 \cdot M \cdot s}{L_0 \cdot s + (R_0 + R_1)} = \frac{R_1 \cdot \frac{M}{L_0} \cdot s}{s + \frac{R_0 + R_1}{L_0}}$$

系统工作在工频交流 50Hz 的环境, 取样电阻远远大于角频率和线圈自感的乘积, 即: $H(s) \approx s \cdot M$, 所以该罗柯夫斯基线圈的传递函数基本为一个微分环节, 电压超前电流 90 相位。输出感应电动势通过一个积分电路, 即可还原出电流的波形, 当积分电路的时间常数为 RC 时, 可得: $i = \frac{R \cdot C}{M} \cdot U$, 即对于选定的积分环节, 固定的罗柯夫斯基线圈, 电压与电流成正比关系。本设计最后确定的关系为每 10000A 的电流出 2.5V 的有效值电压。

2 系统硬件设计

首先必需对罗科夫斯基线圈感应的焊接电流微分信号进行积分还原, 还原后的信号经过量程切换电路后进入全波精密整流电路, 输出分为两路, 一路进行真有效值转换后经 A/D 转换器进入 MCU; 另一路进行整形处理, 得到焊接电流的过零时刻。系统显示部分采用 1604 字符型液晶显示器, 数据存储选用具有 I²C 接口的 EEPROM。此外, 系统还设计了 RS232 接口, 方便与计算机的通信。系统硬件功能模块如图 2 所示。

2.1 积分和量程切换电路

罗科夫斯基测量线圈的输出电压与电流的时间导数成正比, 因此需进行积分运算。本设计采用由运

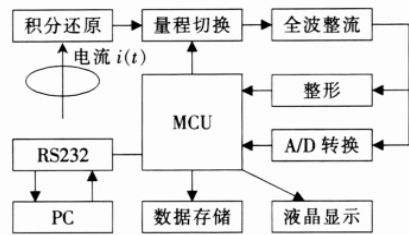


图 2 硬件功能模块

Fig.2 Hardware function module

算放大器 OP07 组成的模拟积分电路, 如图 3 所示。 $e(t)$ 作用在 R_1 上的电流等于在 C_1 及 R_2 上的电流之和, 选择合适容量的电容器使得 C_1 上的容抗远小于电容器的绝缘电阻, 即 R_1 与 C_1 上流过的电流近似相等, 这样 R_2 对积分器的影响可忽略不计。

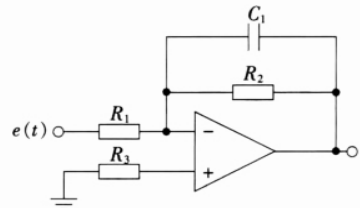


图 3 积分电路

Fig.3 Integral circuit

量程切换电路采用多路转换器的方式, 在不同的通道配置不同比例的电阻, 配合运算放大器, 由主 MCU(AT89S52) 控制选通工作的通道即可。

2.2 精密全波整流和整形电路

精密全波整流电路又称绝对值电路, 其作用是将被测电流的负半周信号翻转成正向信号, 方便 A/D 转换器的处理, 因为通常 A/D 转换器均只能转换单向的信号, 比如 (0~5)V、(0~10)V 等等, 另一方面, 翻转后电流信号成为以半周波为周期的信号, 故系统检测可以精确到半周波。本设计通过运用 2 个运算放大器, 配合电阻、二极管构成精密全波整流电路。

整形电路的作用是获取主回路中焊接电流的通、断情况, 为了更加快速地响应, 本设计选用了独立的比较器芯片 MAX984, 该芯片具有内部参考电平输出, 只需外部简单地连接电阻, 就可以调整出本设计所需要的参考电平。为了提高系统的抗干扰性, 本设计选取 150mV 的参考电平。

2.3 A/D 转换和显示电路

A/D 转换部分是核心设计, 通常对真有效值的计算是通过连续采样获得, 这样做对于每次的采样

值均要求进行平方运算, 计算中还必需进行开方、除法等运算, 由于本系统选用的 MCU 为 AT89S52, 属 MCS51 系列的单片机, 平方、开方、除法运算都很费时间, 况且为了保证测量的及时性、采样周期不能太长等因素, 这些运算必需在测量信号结束后进行。由于本设计测量精确到半周波, 留给运算的时间必需小于 10ms, 这在数据量大的情况下很难实现。

鉴于上述原因, 本设计采用硬件真有效值转换方式, 选用 AD536 芯片完成不规则波形的真有效值转换。A/D 转换器选用具有 SPI 接口的 11 路输入端、12 位转换精度的 TLC2543 芯片, 通过单片机 I/O 口软件模拟 SPI 时序, 完成 A/D 转换功能。

一个典型的焊接循环过程中, 通电大致可以分为三段, 即预热焊接、主焊接和回火焊接。本设计在显示部分采用了 1604 字符型液晶显示模块, 可以将三段检测的数据同时显示在液晶屏上, 界面友好。为了节省 MCU 的 I/O 口, 本设计中液晶模块与 MCU 的连接采用了间接访问的形式。

2.4 数据存储和 RS232 电路

系统的数据存储选用具有 I²C 接口的 AT24C64 芯片, 该芯片为掉电数据不丢失的 EEPROM 器件, 数据可以保存 100 年。由于单片机选用不具备硬件 I²C 接口的 AT89S52, 故仍然采用 I/O 口软件模拟 I²C 时序来实现数据的存储。硬件连接只需将芯片的 SDA(数据线)和 SCL(时钟线)与 MCU 的 I/O 连接, 并以 47k 的电阻上拉即可。

UART 口配置为 RS232 通信方式, 可与计算机连接, 计算机调取 AT24C64 中存储的测试结果, 配合 PC 端软件, 可实现对测量数据的分析、显示和打印。此外, 系统硬件组成还包括具有 180s 自动断电功能的电源电路等。

3 系统软件设计

系统的软件部分主要有主程序、外中断程序、定时器中断程序, 流程如图 4 所示。此外系统软件还有 A/D 转换程序、存储和通信程序、显示程序等。

系统 RS232 通信程序如下:

发送子程序:

TXSUB:

SETB P1.7

MOV SBUF,A

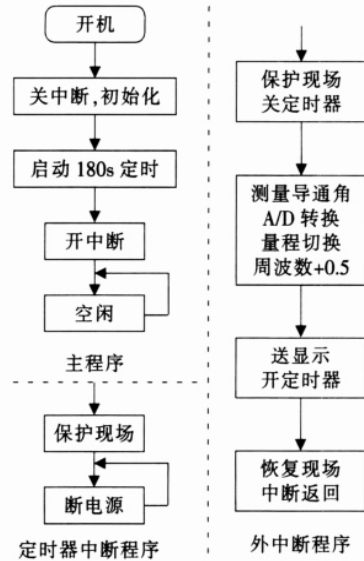


图 4 系统软件流程

Fig.4 System software flow chart

JNB TI,\$

CLR TI

CLR P1.7

RET

接收子程序:

RXSUB:

MOV R5,#0

MOV R6,#0

RXSUB2:

JNB RI,RXSUB3

CLR RI

MOV A,SBUF

CLR C

RET

RXSUB3:

DJNZ R5,RXSUB2

DJNZ R6,RXSUB2

SETB C

RET

系统中 A/D 转换程序应用了软件模拟 SPI 串行通信的时序, 采用汇编语言编制, R₁ 内容为控制字, 结果的高 8 位保存在 R₂, 低 4 位保存在 R₃, 子程序如下:

RD- AD:

CLR CLK

SETB CS

(下转第 50 页)

系统中应用。

4.5 客户端分控程序

终端程序主要包括主控客户端、分控客户端、电视前客户端等,因具体权限和功能而有所不同。根据权限的不同,各个客户端分别具有浏览监控图像、控制系统切换、设备远程控制、配置系统等功能。

4.6 视频源部分

视频源部分是信号输入系统,信号摄取设备主要包括各种类型的摄像机;同时系统通过数字图像设备采集模拟信号,再进行压缩编码打包后在网络上传播流和组播流在网络上传输,单播流是给录像存储使用的,而组播流则是给各个客户端提供监控视频流。

目前市场主流数字图像传输设备采用的视频压缩标准主要是 MPEG-4 和 H.264 标准,而各种主流

设备都提供 SDK 开发包。

5 结语

网络的迅猛发展和普及,为数字视频监控发展提供了强大的市场动力。本文主要介绍了数字监控系统在钢铁企业应用的系统组成,并进行了功能介绍。系统已经在部分企业得到了应用,为企业提高生产效率做出了应有的贡献。

参考文献:

- [1] 杨磊,等.电视监控实用技术[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 钟玉琢,向哲,沈洪.流媒体和视频服务器[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [3] 黄永峰,等. IP 网络多媒体通信技术[M].北京:人民邮电出版社,2003.

(上接第 13 页)

```

NOP
NOP
CLR CS
MOV R4,#08
MOV A,R1
ADLOP1:
MOV C,DOUT
RLC A
MOV DIN
SETB CLK
NOP
NOP
NOP
NOP
CLR CLK
DJNZ R4,ADLOP1
MOV R2, A
MOV A, #0
MOV R4, #04
ADLOP2:
MOV C, DOUT
RLC A
SETB CLK
NOP
    
```

```

NOP
NOP
NOP
CLR CLK
DJNZ R4, ADLOP2
MOV R3, A
SETB CS
RET
    
```

数据存储部分与此类似,只是软件模拟 I²C 串行通信的时序。显示部分只需确定好数据显示的行、列,找到相应的 ASCII 码,按规定命令执行即可。

4 结语

采用柔性 Rogowski 线圈电流传感器,具有成本低、方便安装、隔离测量等优点。本设计已经在国内很多汽车厂家的焊装车间应用,系统稳定可靠,各项性能指标都能满足实际要求,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 徐明,成海晖,鲍吉麟,王文富.智能低功耗便携电阻焊测试仪[J].电焊机,2000(1):39-43.
- [2] 朱志杰,朱健,车琳娜,杨冬莲.基于 Rogowski 线圈的交流电流测量[J].低压电器,2004(3):45-49.
- [3] 孙杰,金珊,唐晓初.XL 系列智能仪表与微机的接口技术[J].自动化与仪表,2004(3):68-71.