

基于 MSP430 的点焊机电流检测仪的实现

王海丽¹, 赵建¹, 王欣¹, 李韬²

(1. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071;

2. 西北工业大学 材料工程学院, 陕西 西安 710072)

摘要:在焊点形成的过程中,点焊电流有效值的检测与控制是保证焊接质量的关键。本文介绍了一种用 MSP430 单片机实现的点焊机电流进行检测的便携式仪器。该仪器以 16 位超低功耗单片机为核心,利用逐点积分方法获取电流有效值,可快速、精确地实现电流有效值的测量。本文不仅从仪器的硬件和软件两方面作了可靠性分析,也讨论了该仪器在增强抗干扰能力和提高系统稳定性方面效果明显。经实践证明,该仪器具有精度高、稳定性好、功耗低等特点。

关键词:MSP430 单片机 超低功耗;点焊电流;逐点积分;有效值检测

中图分类号:TP277

文献标识码:A

文章编号:1671-654X(2006)02-0021-05



引言

作为一种生产效率高、操作简单、易于实现自动化的压力焊接方法,点焊广泛地应用于汽车、航空及航天工业,如用于航空发动机的火焰筒、加力燃烧室、压气机静子叶片、发动机轴承座、机匣等结构的制造。对点焊参数以及点焊质量进行控制是实施焊接的必要前提^[1]。点焊时的电流、电极压力、通电或加压时间等是影响焊接质量的主要工艺参数^[2]。由于焊接电流是点焊的三要素之一,在焊点形成的过程中,在线精确地测量出点焊焊接电流有效值是控制焊接质量的关键之一。实验和生产实践证明,点焊电流同时表征了焊接时工件的热输入量,对点焊焊接质量起着决定性的作用。

由于点焊焊接电流为非完整正弦波,因此测量点焊焊接电流有其特殊性^[3]。电流的检测涉及两个方面:电流信号的采集及电流有效值的计算。在实际焊接过程中易受外界因素的影响而无法保证焊接电流或电压(焊接电极两端的电压)的恒定,从而使焊机对工件的焊接质量大打折扣,以至于无法满足对航空飞行器焊接的高质量要求。因此本文分别从软件、硬件和电磁兼容等各方面全面考虑,设计了这个基于 MSP43016 位单片机的便携式仪器来精确、连续地测量电流,从而提高焊接质量。

1 检测仪原理

随着点焊应用领域的不断扩展及深入,对焊接质

量也提出了更高的要求。我们提出了一个超低功耗且检测准确、快速的方案来适应此趋势,完成对非正弦信号的采集,AD 模数转换,周波数和电流有效值的计算及显示。

1.1 基本过程

点焊是一个高度非线性的过程,其通电加热时间一般为几至几十周波(一周波为 20ms),通常为 20 个周波左右,而电流有效值一般为几至几十 KA。时间短,数值大是点焊测量的困难之处。从最初点焊机传感器上的模拟信号进来(如图 1),经过一些调理电路,比如:比例分压,积分,电容隔直,精密半波整流等电

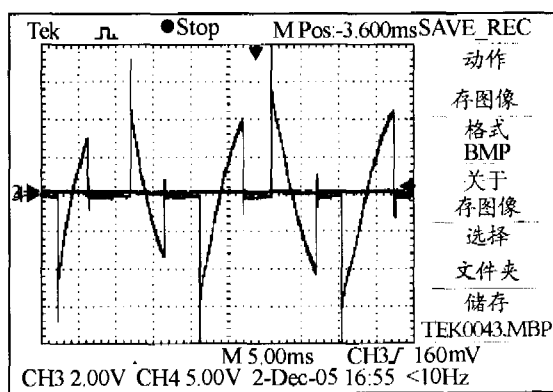


图 1 传感器输入信号

路,直至产生图 2 的两个信号然后送进单片机里。在图 2 中,上面的方波作为下面正弦半波的同步脉冲触发信号,软件根据此波形来判断点焊机开始或结束以及记录总的周波数;下面的正弦半波为真正要测的电

流信号,直接接到 MSP430F149 单片机内部的 12 位 AD 中进行采样。由于点焊机的交流正弦波频率为 50Hz,从图 2 中我们也可以看出一个完整信号的周期为 20ms,正弦部分的波占半个周期,另外半个周期没有需采样的信号。这也是为了我们在这另外半个周期内把采样的值送到单片机自带的硬件乘法器中,进行浮点、平方、开方等运算,这种方法使运算速度高且不影响 AD 采样,从而所得数据精确可靠,大大提高了 CPU 的效率。

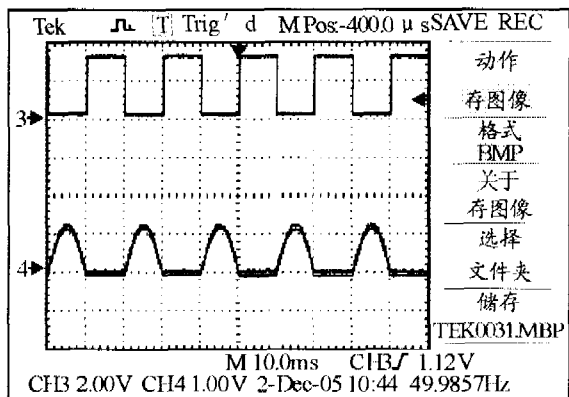


图 2 进入单片机的信号

1.2 电流有效值算法

电流有效值的计算主要有 3 种方法,即导通角系数法、峰值角系数法及逐点积分法。导通角系数法及峰值角系数法均对功率因数角或导通角的范围有要求,同时存在理论误差(两者的最大理论误差分别为 0.78% 和 4.5%)。虽然逐点积分法会占用 CPU 较多的计算时间,但该方法不存在理论误差,从而可提高精度^[4]。如果使用高性能、运算速度快且内部带有硬件乘法器的 16 位单片机 MSP430F149,则可以弥补其占用 CPU 时间长的不足,因此采用逐点积分法来计算焊接电流有效值。

逐点积分法是指把一个半波分成有限个点,然后对其积分,其原理如图 3 所示。在 AD 采样的时候,我们把每个半波分成 N 个点,利用有限点的值来求无限点的值(一个半波可以看成无限个点组成)。由电流有效值定义可得电流有效值计算公式是 $I =$

$$\sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\theta} i^2 d(\omega t)}$$

再根据一系列的推倒计算^[5]最终可得

$$I = \sqrt{\sum_{j=1}^n i^2(\omega t_j) / N}$$

此处 N 为周期内的采样次数。

在硬件设计的时候滤掉了负半周的正弦半波信号(因为在正负半周,波形大小一样只是方向相反。这样也可以留出更多的时间来使 CPU 进行计算),因此一个完整的周波中电流有效值为

$$I = 2 \sqrt{\sum_{j=1}^n i^2(\omega t_j) / N}$$

在

一个焊接过程中,有十几或者二十几个周波,那么每次点焊的电流平均有效值为 $I = (I_1 + I_2 + \dots + I_M) / M$ (M 为周波数),然后将这个值送到液晶里显示。

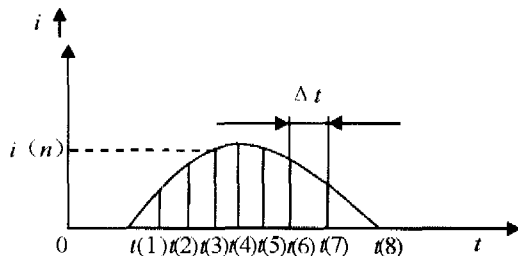


图 3 逐点积分法原理

2 检测仪硬件设计

硬件在整个仪器的实现过程中起了很重要的作用,完成了从信号输入之后的一系列信号处理任务,产生了进入单片机系统的有效触发和测量信号。硬件设计分为模拟和数字两部分,同时在设计的过程中,全面考虑了电磁兼容和抗干扰问题,以达到高的可靠性。

2.1 模拟电路设计

模拟部分主要完成了信号的放大滤波过程,其主要由比例分压电路,反相过零电路,积分电路,精密二极管整流电路,电容隔离部分组成,如图 4 所示。本次电路采用超低功耗单片机和低功耗运放,所以用 9V 的电池完全可以满足电路需要,可以实现仪器的便携式。电池的电压输出后,经过 LM1117 电压调节芯片,产生 3.3V 电压供单片机,运放正极和 ICL7660 等芯片使用,由负压输出芯片 ICL7660 产生 -3V 电压输入到运放 TLC2272 的负极端,从而在运放的工作下完成整个电路的调理。

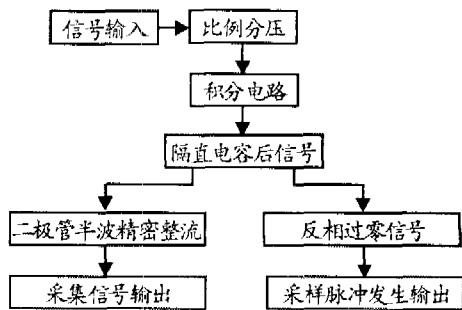


图 4 模拟信号部分电路

在点焊的过程中,互感器是接到焊机臂上用来做电流传感器,相当于霍尔传感器。允许几到几万安培的电流通过电磁感应线圈,感应出来几伏到十几伏的电压信号作为输入信号(如图 1 所示)进入这个检测仪器。由于互感器输出的电压有可能会超过 ADC 的基准电压 2.5V,所以用比例分压电路来保护单片机内

部AD。又因为互感器是微分环节,通过运放积分电路还原,再经过一个电容,滤除直流量得到积分信号。此积分信号被分为两路,一路信号用二极管进行半波整流来滤除负半周正弦信号(如图5所示),从而作为输入AD的采样信号;另一路信号经运放得到运放反相过零信号(如图6所示),此信号再通过光耦送入单片机的IO口作为正弦半波的同步脉冲触发信号。

供软件判断。最终进入单片机系统的是送到IO口的光耦输出信号和送到内部12位AD的半波整流输出信号,如图8所示。单片机将AD采样后的数值送到内部加法器中进行快速运算,从而将周波数和电流有效值在LCD上显示。同时也将这些数据送到内部flash中保存,需要的时候再将数据取出经232线送到PC机中。

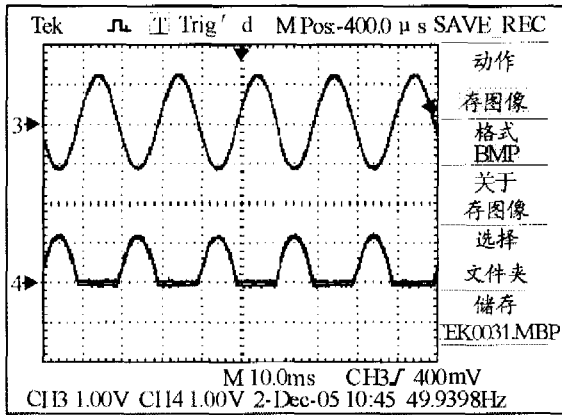


图5 积分信号 VS 半波精密整流输出信号

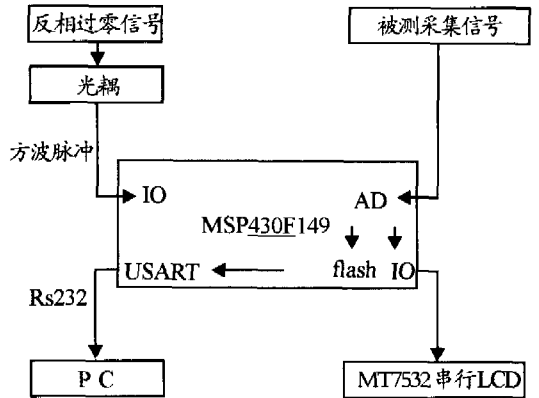


图7 数字设计

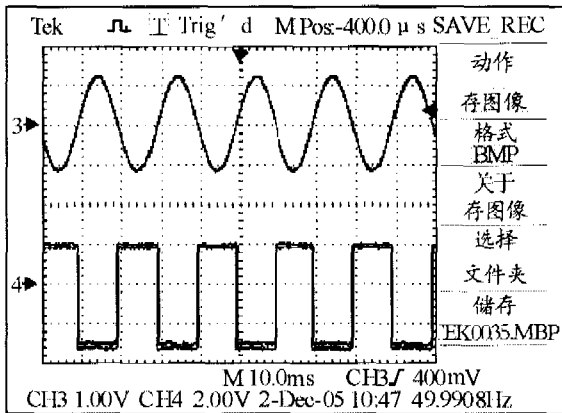


图6 积分信号 VS 反相过零输出信号

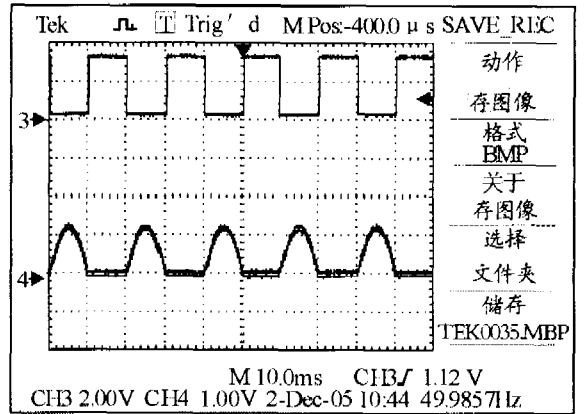


图8 光耦输出信号 VS 半波整流输出信号

2.2 数字电路设计

16位单片机MSP430F149采用RISC精简指令集结构,执行速度快,带足够用的内部flash, RAM, AD, USART,乘法器,多个计数器和多个IO(其中16个IO有中断功能)等内设资源,并且有多种休眠模式,大大降低功耗,可用电池长时间供电^[6]。此款处理器因为其强大的处理功能,丰富的片上外围模块,稳定的工作系统和超低功耗的特点而作为此点焊电流检测仪器的核心模块,使得外围电路设计简单,结构清晰。数字电路的设计如图7所示。

模拟电路产生的反相过零输出信号送到光耦6N136中实现模数部分的隔离,并将方波信号反相且滤去小于0V的波来作为采集信号的同步触发信号,

2.3 硬件可靠性设计

为了适应在点焊机工作时的强干扰环境要求,必须加强可靠性设计,使该仪器能够更好的适应周围的高干扰环境。首先,在器件的选择上做了多方面对比,采用没有总线的有高抗干扰能力的MSP430单片机作为核心,并且模拟电路也做了硬件滤波等方面的工作以滤除噪声干扰;其次,在硬件设计中把模拟电路和数字电路分别做在两块电路板上,最大可能的解决电路中的干扰问题。模拟电路采用一点接地,与数字电路的地隔开并最终由一个0欧姆电阻或磁珠将两个地结合起来。从PCB的布局到布线都注意电磁兼容,抗干扰问题,并最终大面积覆铜以吸收小信号干扰;最后,模拟电路的信号通过光耦实现模/数隔离后进入单片

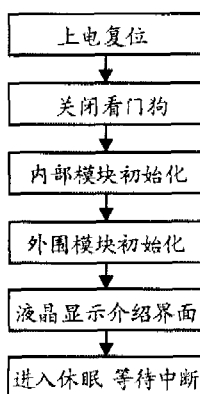
机系统,保证了输入信号的稳定可靠。

3 检测仪软件设计

软件设计采用模块化方法编程,程序编写所采用的语言为用于单片机和微处理器系统软件通常的 C 语言。软件系统包括主程序、中断服务程序及子程 3 部分,其主要功能是完成单片机的看门狗、工作时钟、IO、12 位 AD、16 位定时器、USART 异步串行通信的初始化,外围液晶的初始化以及开、关中断及中断嵌套的设置,并用 MSP430 单片机的硬件乘法器来计算数据,最终通过 LCD 液晶显示。该软件设计从各个方面、各种可能性进行分析,从点焊机开始踩下去有了脉冲信号开始计数测量,直至没有了完整的周波信号为停止,全程记录了完整的周波数以及每次相对应的电流有效值。本仪表经与点焊机相结合,记录的数据与日本电流表 MM-306A(精度 $\pm 3\%$) 和点焊机控制器值一样,显示了该软件的可靠性。

3.1 主程序

主程序设计的合理与否对整个仪表各个模块功能的实现和测量结果的精度准确度等都有着重要的意义。在本仪器中,主程序结构简单、明了,完成了单片机本身各个模块的初始化,外围电路模块的初始化后,就进入休眠状态,直到有中断唤醒,完成相应工作后继续进入休眠。这样的设计方法极好的发挥了 MSP430 超低功耗的特点,在各项任务都能快速完成的基础上,使电路耗电大大减小,节省了电能。主程序思路如图 9 所示。



9 主程序流程图

3.2 中断程序

由于本仪器采用的是 MSP430 单片机的低功耗方式工作,所以,所有任务都是在中断部分里完成的,中断在该仪器的整个软件部分里起核心作用。在硬件设计中,如果点焊机没有信号时,光耦部分一直输出高电平信号,如果点焊机有脉冲信号时,光耦部分则输出同

步方波脉冲做为测量点焊电流的触发信号,送到单片机的一个有中断功能的 IO 口(P1 或 P2 口)。当单片机的 IO 口检测到有下降沿时则触发中断,然后执行中断程序里的任务,如图 10 所示;因为每两次下降沿的间隔为 20ms,且每次有下降沿时都会重置计数器初值,当计数器开启的稍大于 20ms(比如 25ms)的中断到时,就表示点焊机没有信号进来,一个点焊完成,在液晶上显示周波数和检测的电流有效值,流程如图 11 所示;第三个中断就是串口通讯的中断:当接收到 PC 机的命令时,单片机向主机传输数据,完成下位机和上位机的异步通讯。

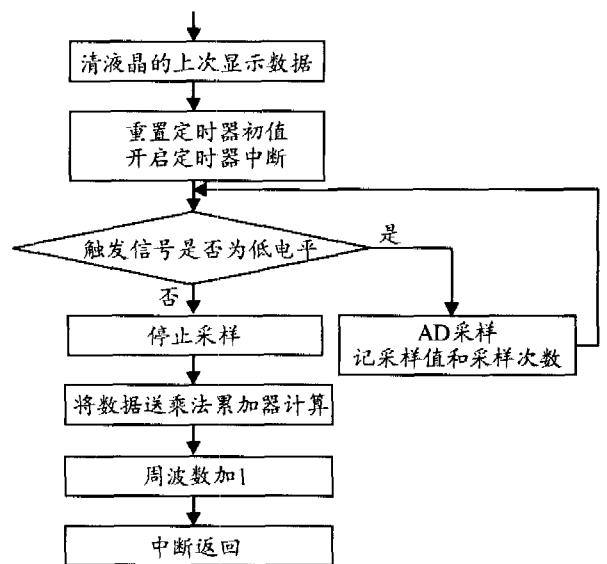


图 10 下降沿触发的 IO 口中断

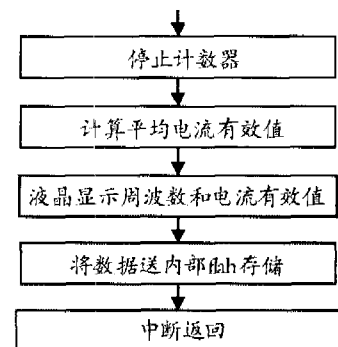


图 11 定时器中断

3.3 子程序

调用子程序,会使得主程序结构更清晰易懂,更具有逻辑性。在本仪器软件结构中,由于液晶采用的是串行数据传输方式,所以有在 clk 的触发下一个字节 8 位二进制数的传输子程序,写液晶寄存器的命令和数据的子程序,清屏程序以及指定位置显示某个汉字或数字的程序。涉及到的程序还有延时程序,电流有效

值相关数据的计算程序以及往 flash 里读写数据的程序等。所有这些子程序在主程序的调度下完成了本仪器要实现的数据采集、计算及显示功能,也是整个软件系统的基础环节。

4 结论

在点焊中,焊接电流 I 、通电时间 T 非常重要,其波形、稳定性直接影响焊接效果。我们设计了以MSP430单片机为核心的点焊电流有效值便携式检测仪,通过实践验证,具有以下特点:

1)采用超低功耗MSP430单片机,非常节省外围电路设计,且完全可由电池供电工作。不仅大大节省了电能,而且可以做成便携式仪器,实用方便。

2)硬件和软件两方面都做了可靠性设计,把干扰降到最小程度,以适应在其特殊工作环境下,能够正常地精确测量。

3)采用逐点积分法来进行点焊电流有效值计算,充分利用了CPU的内部乘法器运算功能,快速准确地得到周波数和电流值,可以最大限度地减小检测误差。

4)仪器具有更好的功能可扩展性。不仅本仪表具备数据记录功能,而且还可以通过RS232实现与计算

机的串口通讯。从而利用上位机软件可以在计算机上生成数据检测值报表,以便进行记录和查询。

5)设计方法可靠,结构简单,控制灵活,系统稳定性高。在真实点焊机(型号为NA-200-4)上使用,证实该仪器设计合理,测量精确。

参考文献:

- [1] 隋育松,徐可君,江龙平.一种适用于多波和半波点焊的恒流控制方法[J].南京航空航天大学学报,2001,(4),第33卷第2期:179-182.
- [2] 解生冕,钟日锋,叶廷东.单片机提高点焊恒流控制精度的探索[J].广州航海高等专科学校学报,2004,(6),第12卷第1期:20-23,37.
- [3] 方平,熊丽云.点焊电流有效值神经网络实时计算方法研究[J].机械工程学报,2004,(11),第40卷第11期:148-152.
- [4] 张旭明,邹泽明,杜全营,等.点焊恒流控制中电流检测系统的研究[J].电焊机,2001,(5):15-17,33.
- [5] 李韬,白钢,杨舜,等.基于单片机的点焊电流有效值[J].电焊机,2005,(11),第35卷第10期:37-39.
- [6] 沈建华.MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004,11.

Implementation of a Instrument for Checking and Measuring Spot Welding Machine' Current Based on the MSP430

WANG Hai-li¹, ZHAO Jian¹, WANG Xin¹, LI Tao²

(1. Institute of Mechanism Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. Institute of Material Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: During the course of forming the welding spot, checking and controlling spot welding current value is the key to assure the welding quality. This paper introduced a portable instrument to check and measure spot welding machine's current by the MSP430 MCU. The instrument, which used 16 bit ultralow - power consumption MCU as the kernel and used a calculation method of point - by - point integration to obtain the current virtual value, could achieve to measure the current virtual value quickly and exactly. This paper not only analyzed dependability from both the instrument's hardware and software parts, but also discussed that the system obtained obvious effect at the parts of enhancing the ability of anti - jamming and improving system's stability. It is proved by practice that this instrument has the characteristics of high accuracy, good stability, low - power consumption and so on.

Key words: MSP430MCU; ultralow - power consumption; spot welding current; point-by-point integration; virtual value's check and measurement