

基于 MAX4172 的电流检测电路设计与实现

王晨, 李廷军, 张玉兴
(电子科技大学 电子工程院, 四川成都 611731)

摘要:本文介绍了一种电流检测电路。利用一款电流检测放大器芯片——MAX4172, 设计和实现了该电流检测电路, 并讨论了电路中测流电阻 R_{SENSE} 的选取等关键问题。提出了实现测流电阻 R_{SENSE} 的两种方法, 并对相应电路测试后, 比较和分析了相关性能。
关键词: 电流检测; 测流电阻; MAX4172; C8051F040

Design and Realization of Current Sensing Circuit Based on MAX4172

Wang Chen, Li Tingjun, Zhang Yuxing
(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of
China, Chengdu, Sichuan, 611731, China)

Abstract: A current sensing circuit is presented in this paper. The circuit is designed and implemented with a current – sense amplifier chip—MAX4172. And the choice of current – sense resistor R_{SENSE} and other key problems are discussed. Two methods are proposed to realize current – sense resistor R_{SENSE} . After testing the circuits which use the two methods respectively, we compare and analyze related characteristics.
Key words: current sensing; current – sense resistor; MAX4172; C8051F040

1. 引言

许多关注电流、能耗的应用中都需要进行电流检测, 电流检测在其中起着重要的作用。这些应用包括: 闭环电池充电器/电流源、能量管理、便携式应用等等[1 – 3][5][6]。

除了以上常见的需要电流检测的应用, 许多系统应用中需要对系统参数进行实时监测, 以便监控系统的工作状态, 如果出现故障, 能更快地报警和故障诊断。系统参数中, 电流参数是十分重要的一个系统参数。本设计即是应用到故障诊断系统中, 负载电路为光纤传输系统, 因为其中的某些功能模块和芯片功率较大, 因此需要对其电流进行监测。

2. 电路结构框图

本文中所设计的电流检测电路是基于 MAXIM 公司的一款电流检测放大器芯片——MAX4172。A/D 数据采集、数据处理以及控制显示的功能由微处理器芯片 C8051F040 完成, 它是 Silicon Laboratories 公司 C8051FXXX 系列中的一款混合信号微处理芯片, 集成了 ADC 等模拟功能。

图 1 是基于 MAX4172 的电流检测电路结构框图。

MAX4172 是美国 MAXIM 公司推出的 MAX 系列电流检测放大器芯片中的一款低成本、高精度、高边电流检测放大器。MAX4172 在应用上具有很高的灵活性, 它通过一个外接测流电阻 R_{SENSE} 来检测负载电流, 改变测流电阻值即可对不同负载电流范围进行检测。输出为电流, 可由一个接地电阻转化为对地的电压, 通过改变接地电阻的阻值可提供一个大范围的输出电压和电流。其内部工作原理图可见图 2。

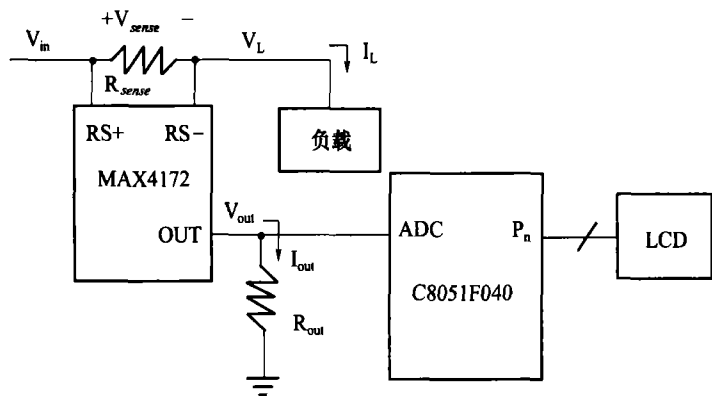


图1 电流检测电路结构框图

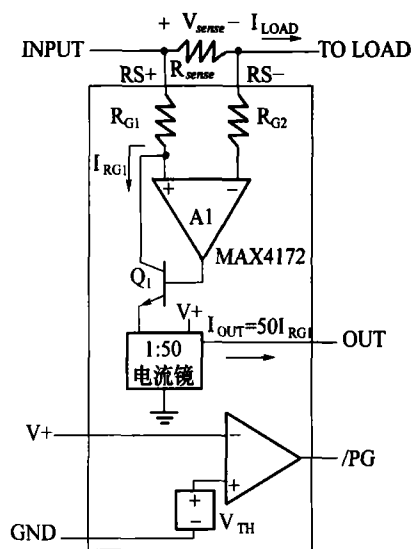


图2 MAX4172 内部工作原理图

图2中,负载电流 I_{LOAD} 流经外接测流电阻 R_{SENSE} ,从RS+端到RS-端。电流流过 R_{G1} 和 Q_1 ,并且进入电流镜,扩大50倍后输出到OUT引脚。最终有输出电流公式:

$$I_{out} = G_m \times I_{LOAD} \times R_{SENSE} \quad (1)$$

若引脚OUT外接对地电阻 R_{OUT} ,则MAX4172的输出电压公式:

$$V_{OUT} = G_m \times R_{SENSE} \times R_{OUT} \times I_{LOAD} \quad (2)$$

其中: V_{OUT} 为所要求取的输出电压, I_{LOAD} 为需检测的负载电流, R_{SENSE} 为测流电阻, R_{OUT} 为电压调整电阻,以及 G_m 为MAX4172的跨导,其值为10毫安每伏[7]。

3. 电路设计

在电路的设计中,MAX4172是一款集成了电流检测放大功能的芯片,关键点是测流电阻 R_{SENSE} 以及电压调整电阻 R_{OUT} 的选取。而后端对数据的采样和处理等也需根据系统要求设计。本设计对这几个问题都有讨论,其中着重对测流电阻 R_{SENSE} 的选取进行分析,并设计不同方法讨论和比较。

3.1 测流电阻 R_{SENSE} 的选取

测流电阻 R_{SENSE} 的选取有两个方面的含义,一方面是指 R_{SENSE} 阻值的选取,另一方面是指 R_{SENSE} 采取哪种方法实现。

测流电阻 R_{SENSE} 阻值的选取主要基于以下几个原则:一、电压损失。高 R_{SENSE} 阻值将会使电源电压降低。为了使电压损失最小,需选用阻值尽量小的 R_{SENSE} 。二、精确性。高 R_{SENSE} 阻值可使较低的电流被更精确地测量。这是因为当检测电压较大时偏差就变得不显著。为了达到最好的性能,可选取 R_{SENSE} 阻值为满刻度检测电流时能提供检测电压接近100mV(满刻度检测电压的典型值)的阻值,即 $R_{SENSE} \leq 100mV / \max(I_{LOAD})$ 。三、效率和功率耗损。当电流在较高水平时,测流电阻 R_{SENSE} 上的功率损失将比较显著,选择电阻时需要考虑这个问题,该电阻的额定功率损耗也必须考虑。同时,当该电阻由于功率较高温度升高时, R_{SENSE} 的阻值也会产生温度漂移[7]。

在选取测流电阻的阻值时,以上的三个问题需要综合考虑,阻值过高或过低都不利于电流的检测。最终,根据以上讨论和系统需要,本电路选取阻值为50mΩ的测流电阻 R_{SENSE} 。

R_{SENSE} 的阻值一般都低于1Ω,在几十毫欧到几百毫欧之间。这就有测流电阻 R_{SENSE} 用什么方法实现的问题。有高精度、微小阻值的电阻可选,也就是说,方法一可直接选取这种微阻值电阻作为测流电阻。如果要考虑 R_{SENSE} 的成本等问题,有另一种方法,即方法二是用印制板上的一段铜线代替测流电阻,确定了测流电阻 R_{SENSE} 的阻值后,即可以求得铜线的线宽、线长和厚度等。但是这种方法缺乏灵活性,一旦电路板制成, R_{SENSE} 就确定了。对这种方法进行修改,用铜丝代替板上的铜线,电路板制成后可将计算好的铜丝焊接到RS

+ 与 RS - 之间。

本设计对方法一和方法二均有实现,图3为测流电阻 R_{SENSE} 的两种实现方法实物图,其中图3(a)是微阻值电阻实现 R_{SENSE} 的实物图,图3(b)是铜丝实现 R_{SENSE} 的实物图。方法一中的 R_{SENSE} 选取的是1%精度、1/2瓦额定功率、50毫欧的微阻值电阻。方法二中测流电阻 R_{SENSE} 由铜丝实现,关于铜丝如何取得的问题,这里是通过阻值计算公式算出铜丝的线径和长度,因为测流电阻 R_{SENSE} 的阻值一般都很小,通过万用表等无法测量得到。电阻阻值的计算公式:

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{4\rho \cdot l}{\pi \cdot d^2} \tag{3}$$

其中 ρ 为电阻率,值为 $1.75 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。由公式(3),一旦我们确定了测流电阻 R_{SENSE} 的阻值 R ,通过计算即可选定相应线径 d 和长度 l 的铜丝。在实际实现应用中,选定一种型号的铜丝,即知道铜丝的线径 d 后,虽可由公式(3)推算出所需要铜丝的长度 l ,但是由于线径的公差以及电阻率的偏差等等,实际取得的铜丝阻值并非理论计算的阻值。这里,可先估算出一个铜丝长度,将铜丝焊接到电路中,检测电流值和真实值比较后对铜丝长度进行修正,可能需要反复几次,最终得到实际铜丝长度。建议在小电流值时对比修正,因为此时 R_{SENSE} 上功率较小,阻值温度漂移也较小。

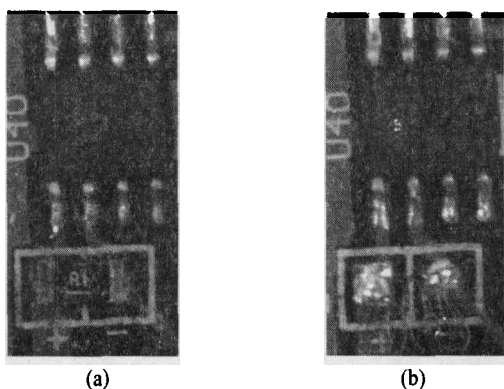


图3 测流电阻 R_{SENSE} 的两种实现方法实物图
(a) 微阻值电阻实现 R_{SENSE} 实物图; (b) 铜丝实现 R_{SENSE} 实物图。

3.2 电压调整电阻 R_{OUT} 的选取

电压调整电阻 R_{OUT} 的值确定了满刻度输出电压范围,而由要求的满刻度输出电压范围(例如:ADC 采样的电压输入范围为 $0V \sim 2.43V$)即可反推 R_{OUT} 的值。但是,满刻度输出电压必须小于等于芯片电源电压输入减 $1.2V$,即 $(V + -1.2)$ 伏[7]。

3.3 A/D 采样及数据处理

ADC 选用的是 C8051F040 芯片 8 位 SAR ADC 中的一个通道,这里 8 位 ADC 的精度可以满足系统要求,有些应用中可能会需要更高的精度。而不同的应用对采样频率的要求也是不同的,这是在软件编写时要考虑和注意的问题。

4. 电路实现和测试结果

本文针对测流电阻 R_{SENSE} 两种不同的实现方法——方法一和方法二,分别进行了测试,测试中除了测流电阻 R_{SENSE} 实现不同,其它的硬件和软件条件全部相同。图4为电路测试实物图。LCD 显示的电流值为电流检测电路检测到的负载电路的当前电流真实值。对负载电路并联了一个滑动变阻器,以改变负载电流值。万用表的电流测量是对电流检测电路进行验证。

图5为电路的电流测试曲线。X轴、Y轴分别为电流检测电路检测到的负载电流值和负载电路的真实电流值。图5(a)为 R_{SENSE} 用微阻值电阻实现的测试曲线图,图5(b)为 R_{SENSE} 用铜丝

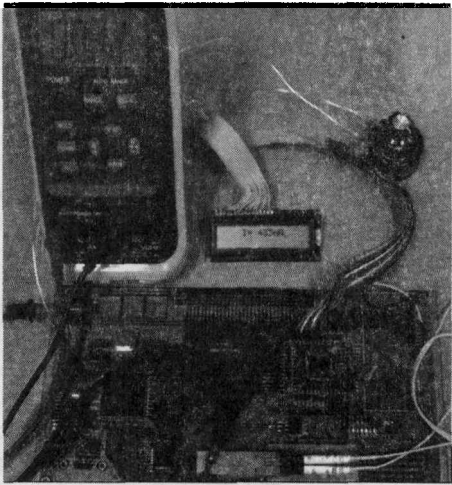


图4 电路测试实物图

实现的测试曲线图,两图中均可看出,随负载电流增大,检测到电流值逐渐偏离真实电流值;而比较两图又可以看出,用铜丝实现 R_{SENSE} 的电路检测到的电流值随负载电流增大,偏离真实值更大。这是因为随负载电流增大, R_{SENSE} 上的功率增大温度升高,导致电阻阻值漂移,所以检测到的电流值会随负载电流增大而愈来愈偏离真实值;同时,由于微阻值电阻具有较高的精度,而铜丝温度系数较大,故当负载电流增大时,用铜丝实现 R_{SENSE} 的电路中检测电流值偏离真实值也更大。

5. 结论

主要针对电流检测电路中 R_{SENSE} 的选取,本文提出了两种实现方法,并分别测试了实现这两种方法的电路。比较和分析测试结果后可以得出,用微阻值电阻实现测流电阻 R_{SENSE} 的电路,检测到的电流更接近真实值。因为相比于铜丝,微阻值电阻受温度的影响更小。但是,在试验测试阶段,铜丝也有使用上的灵活性。当电路实际应用到系统中时,选取微阻值电阻则更准确,并且更利于保持电路一致性。

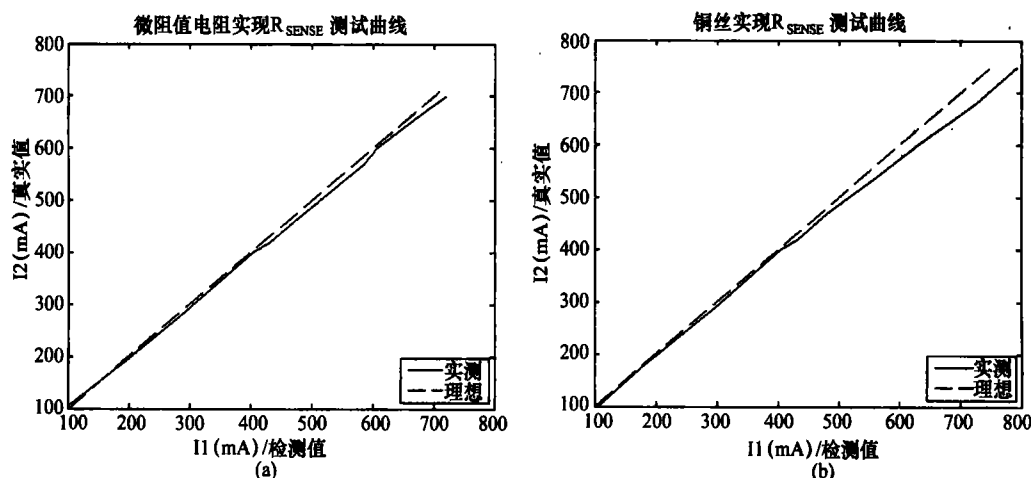


图5 电流检测电路测试曲线

(a) 微阻值电阻实现 R_{SENSE} 测试曲线图; (b) 铜丝实现 R_{SENSE} 测试曲线图。

参考文献

- [1] 罗萍,李肇基,陈光曙.三相四线制系统下电流谐波和无功功率的检测和补偿[J].电子测量和仪器学报,2003,Vol. 17 No. 1:62-66.
- [2] 陆思安,严晓浪,沈海滨,等.面向电源噪声的动态电流测试[J].电路与系统学报.2003,Vol. 8 No. 2:121-129.
- [3] 董樑,刘敬彪,刘纯虎,等.有机磷农药检测电路的设计与实现[J].仪表技术与传感器. No. 9:84-88.
- [4] 李维波,马伟明,付立军,等.集成式脉冲电流传感器[J].电工技术学报,2007,Vol. 22 No. 6:19-23.
- [5] Forghani-zadeh HP, Rincon-Mora G A, Current-sensor technique for DC-DC converter[C]//The 2002 45th Midwest Symposium. Oklahoma: IEEE Conference Proceedings, 2002; 577-580.
- [6] CHEN J J, SU J H, LIN H Y, et al. Integrated current sensing circuit suitable for step-down dc-dc converters[C]//Power Electronics Specialists Conference, Aachen Germany: IEEE 35th Annual, 2004; 1140-1142.
- [7] MAXIM Inc. MAX4172 Low-Cost, Precision, High-Side Current-Sense Amplifier[DB/OL]. 1996.

作者简介

王晨,女,1984年生,硕士,主要研究方向为数字电路与系统。李廷军,男,1975年生,教师,主要研究方向为探地雷达和穿墙雷达。张玉兴,男,1942年生,教授、博士生导师,主要研究方向为射频微波电路与系统。