

文章编号: 1672-8785(2016)12-0013-06

基于 MLX90621 红外传感器的开关柜 温度无线监测系统设计

孙宇贞^{1,2} 胡 超¹ 方永辉¹

(1. 上海电力学院自动化工程学院, 上海 200090 ;

2. 上海发电过程智能管控工程技术研究中心, 上海 200090)

摘 要: 介绍了一种基于 MLX90621 红外传感器的开关柜母线接头温度无线监测系统。采用 STM32 微控制器、MLX90621 红外传感器和 nRF24L01 无线通讯模块, 设计了这种温度无线采集系统的硬件和软件部分。通过非接触式 MLX90621 红外传感器阵列可实时采集高压开关柜的母线接头温度。其数据可通过 nRF24L01 通讯模块和串口上传给上位机进行显示。由于具有成本低、稳定性高、抗干扰强等优点, 该系统适用于开关柜内部的复杂磁场环境。

关键词: 红外; MLX90621 ; 开关柜; 无线

中图分类号: TM93 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.12.003

Design of Wireless Temperature Monitoring System for Switch Cabinet Based on MLX90621 Infrared Sensor

SUN Yu-zhen^{1,2}, HU Chao¹, FANG Yong-hui¹

(1. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai

200090, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Intelligent Management

and Control for Power Process, Shanghai 200090, China)

Abstract: A wireless switch cabinet bus connector temperature monitoring system based on MLX90621 infrared sensor was presented. The hardware and software of the wireless temperature acquisition system were designed by using a STM32 microcontroller, a MLX90621 infrared sensor and a nRF24L01 wireless communication module. The temperature data of high voltage switch cabinet bus connectors were measured by the non-contact MLX90621 infrared sensor array in real time and were uploaded by the nRF24L01 wireless communication module and the UART interface to the host computer for displaying. Because of the advantages of low cost, high stability and anti-interference, the system was suitable for the complex magnetic field environment in switch cabinets.

Key words: infrared; MLX90621; switch cabinet; wireless

收稿日期: 2016-09-28

基金项目: 上海发电过程智能管控工程技术研究中心资助项目 (14DZ2251100)

作者简介: 孙宇贞 (1975-), 女, 山东栖霞人, 副教授, 硕士, 主要研究方向为电力设备状态监测。

E-mail: 33318165@qq.com

0 引言

作为电力系统输配电中非常重要的一种电气设备,开关柜起着控制、通断和保护等作用^[1]。如果开关柜的内部温升超出阈值,那么很可能会造成严重的电气事故。因此,非常有必要对开关柜内母线各个触头的温度数据进行采集和监控,以便及时发现和消除事故隐患^[2-3]。

开关柜母线温度检测方法主要包括蜡片测温法、光纤测温法和电子元件测温法。这些方法普遍存在测温不精确、检测速度慢等缺点。综合看来,它们都不适用于开关柜母线多点温度检测^[4]。因此,通过将红外热成像技术与无线传输技术相结合,本文设计了一种基于 MLX90621 红外传感器的开关柜温度无线监测系统。红外热成像技术利用目标物体红外辐射的可测性,并通过光电信号转换,将待测目标物体的多点温度数据经 2.4 GHz 无线技术及串口传输给上位机进行显示。由于红外热成像技术加上无线传

输技术是一种快速准确的检测手段,该系统具有结构简单、安装灵活、无需布线等优点,所以在电力设备状态监测领域有着广泛的应用。

开关柜温度无线监测系统主要由数据采集发送端和数据接收端两部分构成(见图 1)。其中,低功耗 STM32F103C8T6 芯片用作两个部分的核心控制器;数据采集发送端选用 MLX90621 红外传感器作为温度采集单元,STM32 通过 I²C 通信协议驱动 MLX90621 传感器;无线部分选用包含硬件链路层协议的 nRF24L01 无线模块,微控制器通过 SPI 通信协议控制该模块的收发状态;将数据采集发送端放置于开关柜母线触头正对面的内侧,温度数据经 STM32 修正后通过 nRF24L01 无线通信模块传输给数据接收端;最后,数据接收端通过 UART 串口将温度数据上传给上位机进行显示。图 2 为数据采集发送端的现场图。图 3 为数据接收端的实物图。

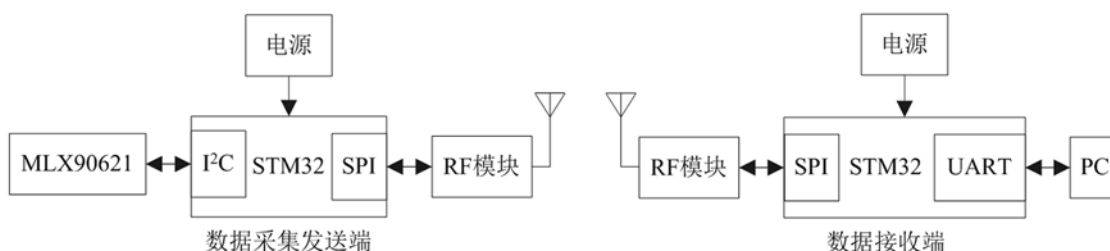


图 1 开关柜温度无线监测系统的示意图



图 2 数据采集发送端的现场图



图 3 数据接收端的实物图

1 MLX90621 红外传感器的工作原理

MLX90621 红外传感器为 16×4 元全校准红外阵列, 其 64 个像元都有相应的高速 ADC 电路和低噪声斩波放大器。该传感器与微控制器之间采用 I²C 通讯, 其中两个通信引脚 SCL 和 SDA 分别为串行时钟信号和数据信号。每次通讯时间在 5 ms 左右, 每个测量点的温度数据以 16 位存储于 MLX90621 的 RAM 中。通过读取相应的 RAM 数据, 并参考存于 EEPROM 的校准常数来计算热图像中每个像素点的温度值, 其测温精度可达 1°C 。图 4 为 MLX90621 红外传感器的原理图。芯片中的 PTAT (与绝对温度成正比) 传感器用于测量环境温度。每个红外像元和 PTAT 的输出数据都存储在内部 RAM 中。MLX90621 红外温度传感阵列采用 4 针引脚封装 (引脚说明见表 1)。

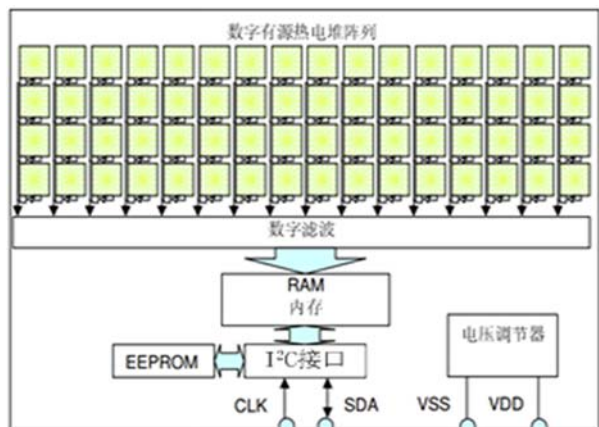


图 4 MLX90621 红外传感器的原理图

表 1 MLX90621 红外传感器的引脚说明

引脚	名称	注释
1	SCL	串行时钟信号
2	SDA	串行数字输入/输出
3	VDD	2.6 V
4	VSS	接地

1.1 驱动电路设计

微控制器具有 5 V 电压引脚, 而红外传感器在 2.6 V 供电电压下的测温精度最高, 所以选用 AMS1117-ADJ 芯片搭建了一个降压电路, 其输

出电压的计算公式为

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + 60 \mu\text{A} \times R_2 \quad (1)$$

R_1 和 R_2 分别为 100Ω 和 110Ω , 因此输出电压约为 2.6 V。图 5 所示为 AMS1117-ADJ 降压电路。图 6 所示为 MLX90621 与 STM32 的连接电路。

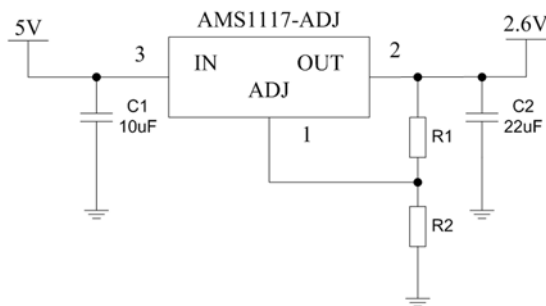


图 5 AMS1117-ADJ 降压电路

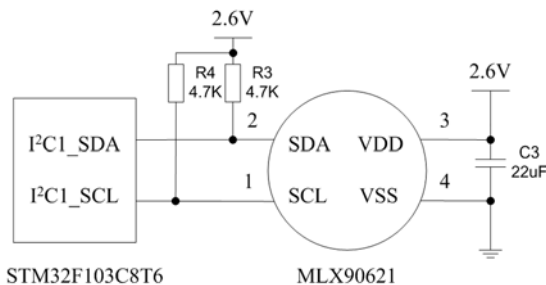


图 6 STM32 与 MLX90621 的连接电路

1.2 驱动流程设计

MLX90621 温度传感器芯片根据设定的延时速率扫描环境温度传感器和 64 元阵列热电堆, 并使用这些输出数据和 EEPROM 中的校准系数来计算每个像素点的开关柜母线触头温度。图 7 为其驱动原理的流程图。温度传感器芯片接上 2.6 V 电源之后, 需等待 5 ms 进行初始化。然后, 数据采集发送端中的 STM32F103C8T6 控制芯片读取 EEPROM 校准参数并将其存于 RAM 中。其中读取的修正寄存器数值存于 RAM 的 0x93 地址上, 配置寄存器数值存于 RAM 中的 0x92 地址上。STM32 微控制器通过 I²C 通信协议读取环境温度传感器和 64 元阵列的输出数值, 并经补偿计算和校正得到开关柜的温度数据, 接着将温度数据打包成数据帧的形式, 经 nRF24L01 无线通讯模块传输给上位机进行显示。

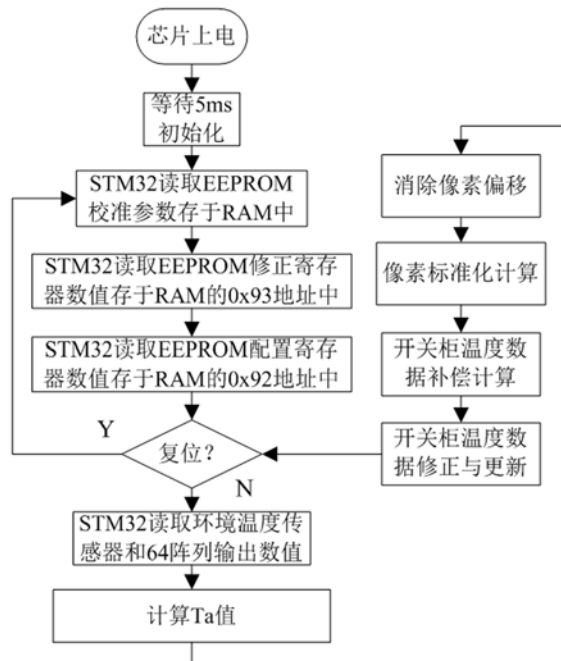


图 7 MLX90621 的驱动流程图

1.3 温度计算及分析

芯片的环境温度 T_a 可用式 (2) 来计算:

$$T_a = -K_{T1} + \sqrt{K_{T1}^2 - 4K_{T2}[V_{TH}(25) - PTAT_data]} \div (2K_{T2}) + 25[^\circ\text{C}] \quad (2)$$

式中, $V_{TH}(25)$ 为常数; K_{T1} 和 K_{T2} 为存于 EEPROM 中的两个补码值 (见表 2); $PTAT_data$ 为存于 RAM 中的输出数据值。各个参数的计算公式如下:

$$V_{TH}(25) = 256 \times V_{TH-H} + V_{TH-L} \quad (3)$$

$$K_{T1} = \frac{256 \times K_{T1-H} + K_{T1-L}}{2^{10}} \quad (4)$$

$$K_{T2} = \frac{256 \times K_{T2-H} + K_{T2-L}}{2^{20}} \quad (5)$$

每个像素上的对象的温度值 $T_o(i, j)$ 为

表 2 用于 T_a 计算的相应 EEPROM 参数

EEPROM 地址	单位名称	存入值	参数
0xDA	V_{TH-L}	二进制补码值	V_{TH0} —绝对温度传感器
0xDB	V_{TH-H}		
0xDC	K_{T1-L}	二进制补码值	K_{T1} —绝对温度传感器
0xDD	K_{T1-H}		
0xDE	K_{T2-L}	二进制补码值	K_{T2} —绝对温度传感器
0xDF	K_{T2-H}		

$$T_o(i, j) = \sqrt[4]{V_{IR(i, j)COM} + (T_a + 273.15)^4 - 273.15[^\circ\text{C}]} \quad (6)$$

式中, $V_{IR(i, j)COM}$ 为计算出的红外电压补偿系数。在计算温度数值时, 保留小数点后两位并以浮点形式存储在微控制器中; 将数值乘以 100 转换为整型数据, 并将其赋值于 nRF24L01 数据包数组中进行无线传输。

2 nRF24L01 无线模块

nRF24L01 是一种工作在 2.4 GHz 频段的低功耗芯片, 其最高工作速率为 2 Mbit/s。其中, 无线收发器包括模式控制器、频率发生器、晶体振荡器、功率放大器和调制解调器等功能模块。

通过 SPI 总线设置 STM32 的频道、协议和输出功率。SPI 是一种串行同步的通信总线。本文将数据采集发送端设置为主设备, 并将数据接收端设置为从设备。两者之间同步完成温度数据的发送和接收工作。STM32 与 nRF24L01 的接口主要由 MOSI、MISO、SCK 和 CE 等四种信号组成。在待机、掉电模式下, 其电流消耗非常低。图 8 所示为 nRF24L01 与 STM32 的连接电路。

nRF24L01 无线收发由 STM32 微控制器中断控制。开关柜温度监测点用定时器 0 定时读取 MLX90621 温度传感器的 EEPROM 数据。在 nRF24L01 发送模块的中断程序中, 先对 STM32

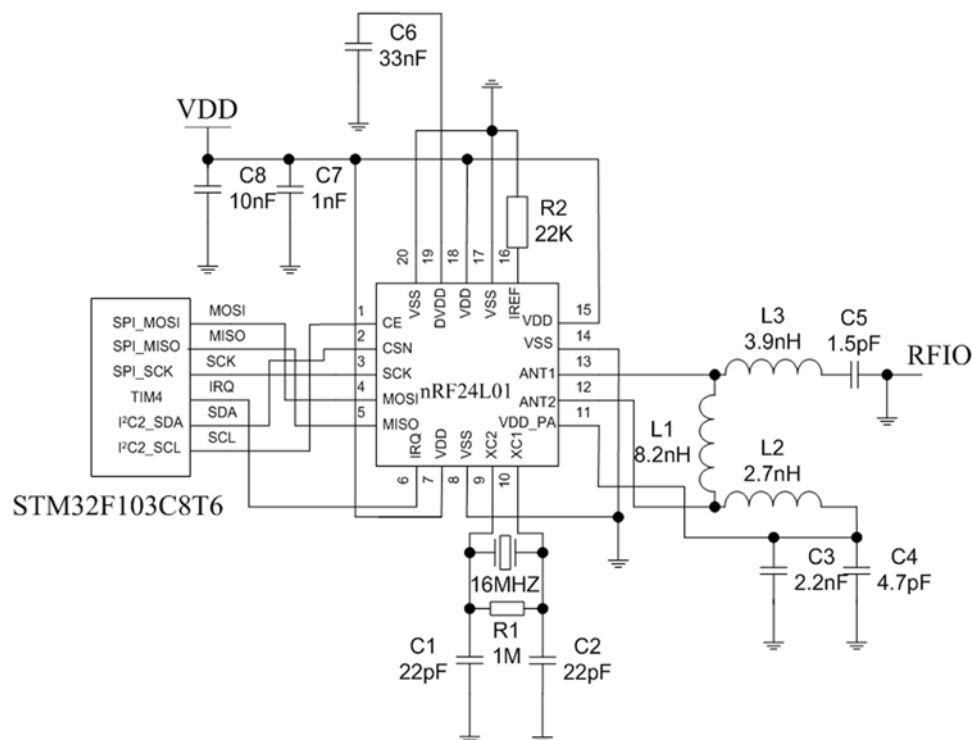


图 8 STM32 与 nRF24L01 的连接电路

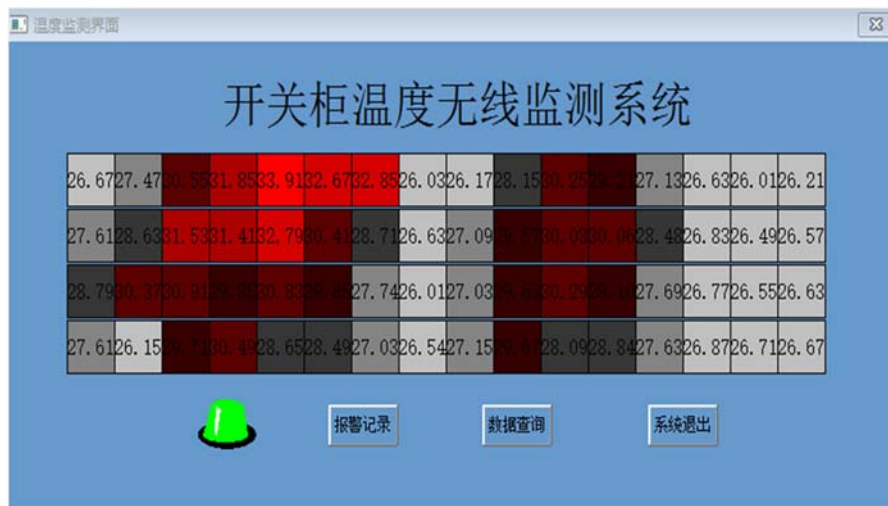


图 9 开关柜温度的上位机监测界面

进行初始化, 并将 nRF24L01 模块设置为 PTX 工作方式; 然后将实时温度数据写入发送缓冲区, 并向 nRF24L01 接收模块发送数据; 最后, 判断 nRF24L01 是否产生中断; 若未产生中断, 则继续发送数据; 若产生中断, 则结束整个流程。在 nRF24L01 接收模块的中断程序中, 同样先对 STM32 微控制器进行初始化, 并将 nRF24L01 模块设置为 PRX 工作方式; 在 nRF24L01 产生中

断之后, 再接收来自发送模块的温度数据; 使用 UART 将数据上传给上位机。

3 上位机的软件设计

3.1 温度数据显示

上位机的组态王软件通过 UART 读取数据接收端上由微控制器上传的温度数据, 实时、直观地显示 64 个像素点的温度值。图 9 所示为

开关柜母线温度的实时监测界面。组态王软件通过矩形框的背景颜色表示温度高低。颜色越红,表示温度越高;反之,则表示温度越低。矩形框背景颜色的梯度可以由人工设定。当各个像素点的温度差值较小时,通过调节矩形框背景颜色的梯度,可以使温度数据的显示效果变得更好。

3.2 温度数据的存储与报警

在组态王软件上建立起 PC 机的 ODBC 数据源,并将 64 个像素点的温度监测数据实时存入 Access 数据库,以使用户实现数据存储和查询。该数据库带有温度数据超限报警功能及记录。当任意一个像素点的温度超出正常值时,监测界面的绿灯就会转变为红灯,并将报警时间、像素点位置以及温度值写入到报警记录中。

4 结束语

本文使用 MLX90621 红外传感器、2.4 GHz 无线射频技术以及上位机组态王软件实现了对开关柜触头温度数据的无线监测。在硬件上,设计了 AMS1117-ADJ 降压电路、STM32 与 MLX90621 的驱动电路以及 STM32 与 nRF24L01 无线射频芯片的连接电路。数据采集与发送模块在高压开关柜内部的强磁干扰下依然可以稳定工作。在软件上,该系统采用 STM32 的 I²C 总线协议

驱动 MLX90621 和内部中断控制 nRF24L01 无线通讯模块的收发。这在降低功耗的基础上提高了数据监测的实时性。本文使用非接触式红外传感器阵列实现了 64 个像素点的温度监测,并且具有测温安全、方便等优点。

参考文献

- [1] 李强,周玉国. 35 kV 高压配电柜柜内温度异常报警系统的时间 [J]. 电测与仪表, 2015, 52(1): 86-90.
- [2] 谢东日,徐敏捷,刘孙相与,等. 高压开关柜改进型温湿度预警与在线监测系统 [J]. 微型计算机及应用, 2013, 32(24): 63-65.
- [3] 徐波,杨帆. 高压开关柜无线测温系统的研究 [J]. 电测与仪表, 2012, 49(10): 91-95.
- [4] 温琪. 高压开关柜无线测温系统的研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2014.
- [5] 杨风健,刘军,貌程浩,等. 基于 MLX90620 的低成本红外热成像系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2015, 34(11): 109-110.
- [6] 莫朝霞,陈沅江. 我国红外热像检测技术的研究及发展展望 [J]. 激光与红外, 2014, 44(12): 1300-1305.
- [7] 张杰. 红外热成像测温技术及其应用研究 [D]. 成都:电子科技大学, 2011.
- [8] 陈雪薇,马国明. 高压开关柜无线测温系统设计及可靠性研究 [J]. 高压电器, 2015, 51(6): 152-160.
- [9] Melexis. MLX90621 Datasheet [EB/OL]. [2015-03-10]. <http://www.melexis.com>.
- [10] 韩玉,芦兴,路灿,等. 高压开关柜隔离触头温度红外检测系统的研制 [J]. 高压电气, 2008, 44(6): 578-581.
- [11] (上接第 12 页)
- [14] 王忆锋,范乃华,毛京湘. 用蒙特卡罗方法和 MATLAB 计算冷屏效率 [J]. 光电技术应用, 2010, 25(1): 26-28.
- [15] 王忆锋,范乃华,毛京湘. 用蒙特卡罗方法和 MATLAB 计算冷屏内壁表面辐射光线在探测器芯片上的分布状态 [J]. 光电技术应用, 2010, 25(3): 39-44.
- [16] 王忆锋,范乃华,毛京湘. 用蒙特卡罗方法和 MATLAB 计算冷屏内壁表面辐射光线落入探测器芯片的比例 [J]. 红外, 2010, 31(8): 38-43.
- [17] 王忆锋,毛京湘,范乃华. 用蒙特卡罗方法和 MATLAB 计算引入挡板结构的冷屏效率 [J]. 红外技术, 2010, 32(9): 513-516.
- [18] 王忆锋,王丹琳. 利用超光线概念计算冷屏内壁表面辐射能量在探测器芯片上的分布状态 [J]. 云光技术, 2012, 44(1): 7-12.
- [19] 王忆锋,谈骥. 用 MATLAB 和蒙特卡罗方法计算杜瓦内的辐射角系数 [J]. 云光技术, 2014, 46(1): 1-5.
- [20] 井孝功. 量子力学 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004.