

基于 STC89C58 的直流系统绝缘监测装置设计

夏业启¹, 夏菁²

(1.北方材料科学与工程研究院, 山东 济南 250033;

2.山东大学 计算机科学与技术学院, 山东 济南 250033)

摘要: 针对现有直流系统绝缘监测装置存在的绝缘故障误报问题, 设计的绝缘监测装置以单片机 STC89C58RD+ 作为核心控制器, 采用 photomos 开关组成高压检测电路, 利用串行 12 位 A/D 转换器等元件组成母线及支路信号采集电路, 运用改进的不平衡电桥切换检测算法, 实现了准确监测直流系统母线、支路正负极对地电阻的功能。测试证明该装置检测精度高于同类装置, 抗干扰能力强, 运行稳定可靠, 解决了误报问题。

关键词: STC89C58RD+; 不平衡电桥检测; 绝缘监测装置

中图分类号: TP368

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)21-0081-04

Design of insulation monitor for DC system based on STC89C58 microcontroller

Xia Yeqi¹, Xia Jing²

(1.China North Material Science and Engineering Technology Institute, Jinan 250033, China;

2.School of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan 250033, China)

Abstract: Aiming to the false alarm problem of DC system insulation fault nowadays, using the improved unbalanced bridge switching detection algorithm, the author designed an insulation monitor for DC system. In the device, the core controller is MCU STC89C58RD+, and the high voltage detection circuit is composed of photomos switches, and the signal acquisition circuit of DC system bus and branch is composed of elements such as serial 12 bit A/D converter. The device can monitor accurately the resistance of the DC system bus to ground or branch to ground. Tests show that the device accuracy is higher than similar equipment, anti-interference ability is strong, running is stable and reliable.

Key words: STC89C58RD+; unbalanced bridge measuring; insulation monitor

电厂和变电站的直流电源是主要电气设备的操作电源及控制信号电源, 它是一个十分庞大的多分支供电网络, 其常见故障是一点接地故障。一般情况下, 一点接地并不马上影响直流系统的运行, 但如果不能迅速找到接地故障点并予以修复, 当发生另一点接地故障时, 就可能引起信号回路、控制回路、继电保护装置等的误动作。因此, 当发生这种绝缘故障时, 必须及时发现并处理。

早期的直流系统绝缘监测装置, 仅当直流母线某一极的对地电阻下降到某一限值时, 发出接地报警信号。该方法不能反映直流系统正负母线绝缘均等下降的情况, 也不能实现故障分支定位。发生绝缘故障后, 现场运

行人员只能拉路确定接地支路。当直流馈出支路较多时, 采用拉路法会耗费较多的时间^[1]。近几年出现的微机型绝缘监测装置, 虽然解决了上述问题, 但由于对地电阻监测精度不高及可靠性低等缺陷, 存在着误报、漏报等问题。

运用改进的不平衡电桥监测原理研制的绝缘监测装置, 实现了在线监测直流母线及支路正负极对地电阻的功能, 并且可靠性高, 对地电阻检测精度高于同类装置。该装置采用 51 系列增强型单片机 STC89C58RD+ 作为主控芯片, 采用 photomos 开关及 12 位 A/D 转换芯片 TLC2543 等元件组成信号采集电路, 在不平衡电桥切换过程中检测出正负母线对地电压及各支路漏电流传感

器信号,根据不平衡桥检测算法计算正负母线对地电阻和支路正负极对地电阻。该方法检测电路简单、稳定性好、母线及支路对地电阻监测精度高、报警准确。

1 改进的不平衡电桥检测原理

1.1 正负母线对地电阻的监测原理^[1]

图1为母线对地电阻监测单元的等效监测电路。其中J1~J3与R1~R4组成装置内部乒乓式切换检测电路,本装置取 $R_1=R_2=R_3=R_4=R_0$ 。R1~R4为装置的检测电阻,其中R1、R2相当于电压检测电路的内阻,R3、R4与J2、J3组成不平衡桥切换电路。R+、R-分别为正负母线对地电阻。

正常情况下,正负母线不与地连接,J1、J2、J3断开。

进行检测时,J1闭合,通过图1由R1、R2组成的电压检测电路测出正母线M+、负母线M-对地电压V+、V-。接着,进行不平衡电桥检测,不平衡电桥检测期间,J1一直吸合。J2闭合,J3断开时,测出正负母线对地电压分别为V1、V2;然后,J2断开,J3吸合,测出正负母线对地电压分别为V3、V4。

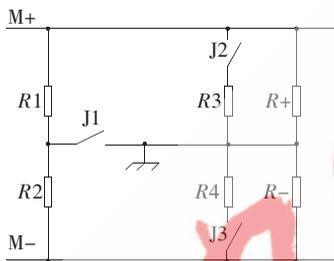


图1 正负母线对地绝缘电阻监测原理图

对母线,可列出方程组:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{(0.5R_0) // R_+}{R_0 // R_-}$$

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{R_0 // R_+}{(0.5R_0) // R_-}$$

上式符号“//”表示两电阻并联。

解该方程组,得正负母线对地电阻为:

$$R_+ = \frac{(V_2V_3 - V_1V_4)R_0}{2V_1V_4 - V_2V_3 + V_2V_4} \quad (1)$$

$$R_- = \frac{(V_2V_3 - V_1V_4)R_0}{2V_1V_4 - V_2V_3 + V_1V_3} \quad (2)$$

可见,利用V1~V4,通过式(1)、(2)可以计算出正负母线对地绝缘电阻。

1.2 支路正负极对地绝缘电阻的监测原理^[2-3]

图2为支路对地电阻监测单元的等效检测电路。支路正负极对地绝缘电阻的监测,是在前述母线不平衡桥监测过程中同步检测出安装在各条支路上的直流漏电流传感器信号实现的。不平衡电桥检测期间,J1一直吸合,J2闭合,J3断开时,测出正负母线对地电压分别为V1、V2,同时测出各支路漏电流传感器信号,设第n条支路的漏电流为 I_{dn1} ;然后,J2断开,J3吸合,测出正负母线对地电压分别为V3、V4,再测出各支路漏电流传感器

信号,设第n条支路此时的漏电流为 I_{dn2} 。

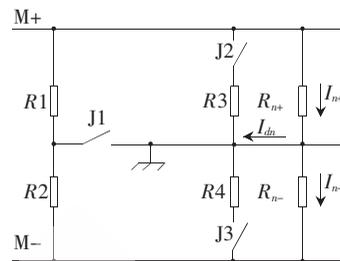


图2 支路正负极对地绝缘电阻监测原理图

设第n条支路正负极对地的绝缘电阻分别为 R_{n+} 、 R_{n-} 。

对第n条支路,根据漏电流传感器工作原理,可列出方程组:

$$\frac{V_1}{R_{n+}} - \frac{V_2}{R_{n-}} = I_{dn1}$$

$$\frac{V_3}{R_{n+}} - \frac{V_4}{R_{n-}} = I_{dn2}$$

解该方程组,得支路正负极对地电阻:

$$R_{n+} = \frac{V_2V_3 - V_1V_4}{V_2I_{dn2} - V_4I_{dn1}} \quad (3)$$

$$R_{n-} = \frac{V_2V_3 - V_1V_4}{V_1I_{dn2} - V_3I_{dn1}} \quad (4)$$

可见,利用V1~V4及 I_{dn1} 、 I_{dn2} ,通过式(3)、(4)可以计算出第n条支路正负极对地绝缘电阻。

2 系统硬件设计

该装置硬件系统以单片机STC89C58RD+为控制核心,由高低压分时段隔离式正负母线对地电压测量电路、不平衡桥切换电路、32条支路漏电流传感器信号检测电路、A/D转换电路、通信电路及地址设置、显示告警、看门狗电路等部分组成,如图3所示^[4]。

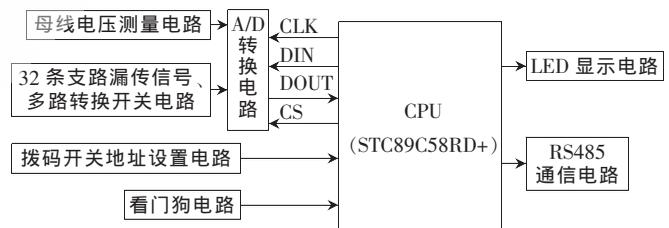


图3 系统硬件结构组成框图

2.1 CPU各引脚接线

STC89C58RD+是以MCS-51为内核的增强型单片机,具有下列新功能:32 KB Flash程序存储器,1 280 B RAM数据存储器,8 KB EEPROM,32位I/O口线,内置看门狗定时器,MAX810复位电路,3个16位定时器/计数器,一个7向量4级中断结构,一个全双工串行口等。用它构建系统,可以大大简化硬件电路,使系统紧凑可靠。

本装置中,STC89C58RD+各引脚接线如表1所示。

表 1 装置中单片机 STC89C58RD+ 各引脚接线功能

引脚	接线功能
P0.0-P0.3	装置地址, 4 位, 范围 0-15
P1.0	EARTH3 接地继电器控制 (1 断开, 0 闭合)
P1.1	正 MI 电阻接地继电器控制 (1 断开, 1 闭合)
P1.2	TLC2543 时钟信号 CLK
P1.3	TLC2544 输入数据 DIN
P1.4	TLC2545 输出数据 DOUT
P1.5	TLC2546 片选信号 CS
P1.6	看门狗电路芯片 MAX691 输入信号 WDI
P1.7	RS485 串行通信口收发控制 (0 接受, 1 发送)
P2.0-P2.2	多路开关电路 MPC508 选择信号 A0-A1
P2.3	photomos 开关总控制 (0 断开, 1 闭合)
P2.4-P2.6	photomos 开关控制译码器 74LS138 输入端 C-A
P2.7	负 MI 电阻接地继电器控制 (1 断开, 0 闭合)
P3.0	UART 的 RXD
P3.1	UART 的 TXD
P3.4	通信 LED 控制 (0 亮, 1 灭)
P3.5	电源 LED 控制 (0 亮, 1 灭)
P3.6	接地告警 LED 控制 (0 亮, 1 灭)
P3.7	故障 LED 控制 (0 亮, 1 灭)
P4.0	EARTH2 接地继电器控制 (1 断开, 0 闭合)
P4.1	正 MI 电阻继电器控制 (1 断开, 0 闭合)

2.2 正负母线对地电压测量及不平衡桥检测电路

通过 potomos 开关对检测电容充电、分时隔离测量的办法解决高电压的可靠测量问题。正负母线对地电压测量及不平衡桥监测电路图如图 4 所示。

虚线右边的 photomos 开关 Q1~Q8、电阻、电容、运算放大器元件组成正负母线对地电压检测电路。当 SEL+MI 为低电平时, potomos 开关 Q1、Q2 闭合, +MI 通过电阻 R57、R58 对检测电容 C59 充电, 待 C59 充满达到稳态时, SEL+MI 变为高电平, Q1、Q2 切断正母线电压; 之后, SEL+MI2 变为低电平, Q5、Q6 闭合, C59 两端电压通过跟随器 U6 加至 TLC2543 的一路模拟量输入端。同理, 负母线对地电压也依次加到 TLC2543 的输入端。

三极管 VT1、继电器 K1 组成母线对地检测电路的接地控制电路, 当 P4.0 为低电平时, K1 吸合, 相当于图 1 的 J1 闭合, 检测电路接地, 通过虚线右边的正负母线电压检测电路监测正负母线对地电压。VT2、K2、R69 组成不平衡电桥的上偏置电阻切换电路, 当 P4.1 为低电平时, K2 吸合, 相当于图 1 的 J2 闭合, 上偏置电阻 R69 接入成为不平衡桥, 进行上偏置电阻并入的不平衡桥检

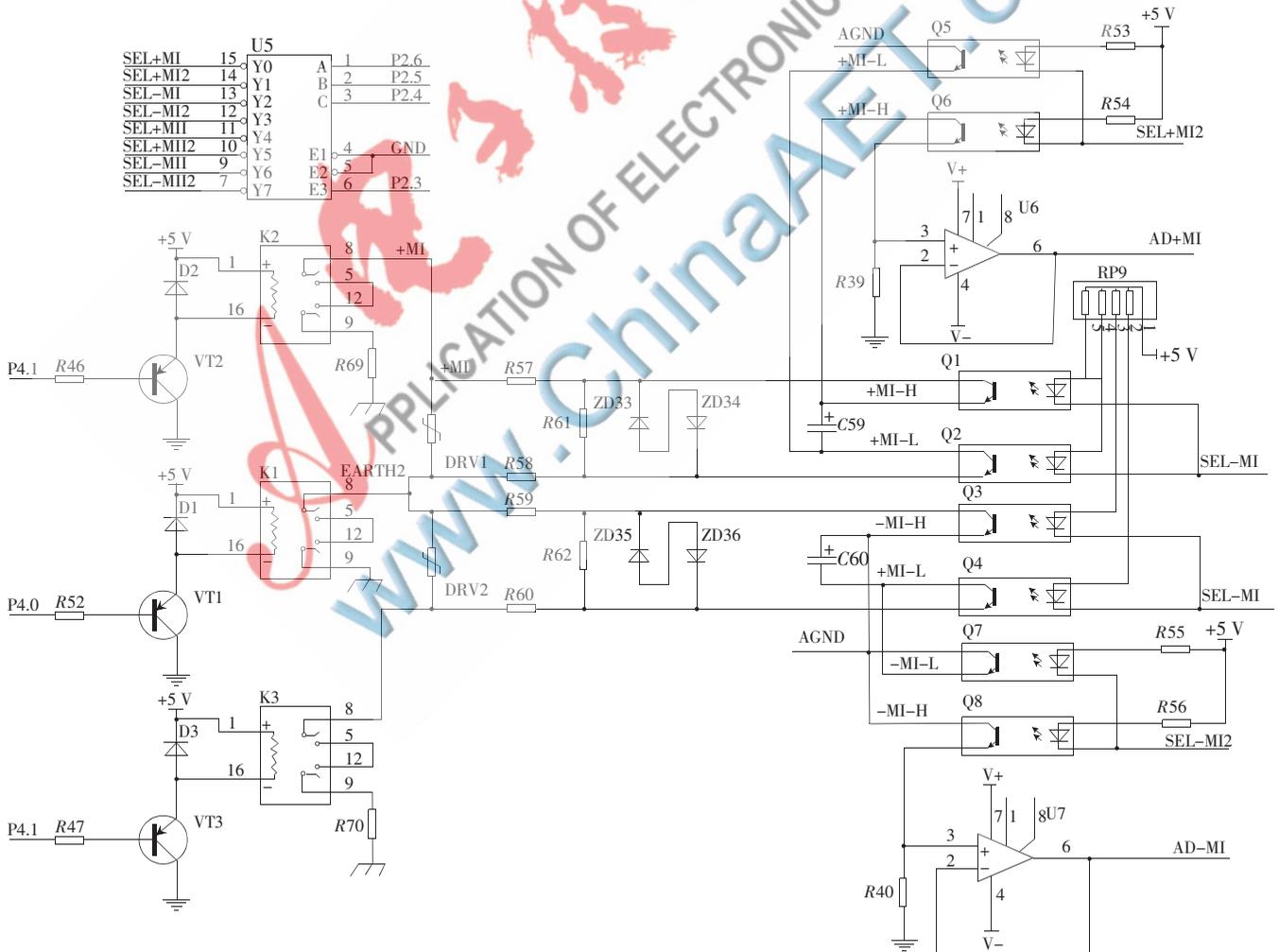


图 4 正负母线对地电压测量及不平衡桥监测电路图

测。VT3、K3、R70 组成不平衡电桥的下偏置电阻切换电路,工作原理类似。

2.3 A/D 转换电路

该装置采用 12 位串行 A/D 转换电路 TLC2543。TLC2543 采用 LM336-5.0 与精密可调电阻组成精密基准电压源。

3 系统软件设计

该装置的监控软件采用模块化的设计方法。全部程序包括主程序、芯片驱动程序、正负母线对地电压及各支路漏传信号检测模块、不平衡桥切换动作模块、母线及支路对地绝缘电阻计算模块以及与主机的通信模块等部分。

设计过程中采用定时器 T0 中断做为系统工作的时钟节拍,采用串行接收及发送中断完成装置与主机的通信。利用 STC89C58RD + 内部自带 EEPROM 保存主机下发的绝缘接地阈值、绝缘降低阈值及系统支路数等设定值。

主程序是该装置绝缘监测的核心,用来采集处理数据、管理检查支路数、调用其他芯片的驱动程序等。图 5 为主程序流程图。

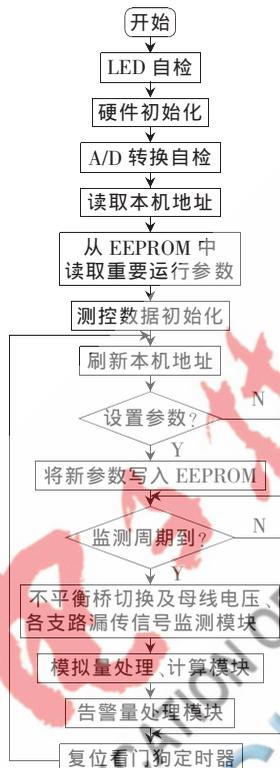


图 5 主程序流程图

4 运行测试分析

通过在正负母线上并接不同阻值精密电阻的办法,测试正负母线在线监测的具体情况如表 2 所示。

表 2 正负母线对地绝缘电阻在线测试值

正母线对地电阻/kΩ	5.0	10.0	22.5	22.5	90.0	135.0	180.0
测量值/kΩ	5.0	10.0	22.6	22.6	89.5	134.2	178.6
绝对误差/kΩ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.8	1.4
相对误差/%	0.0	0.0	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8
负母线对地电阻/kΩ	5.0	10.0	22.5	22.5	90.0	135.0	180.0
测量值/kΩ	5.0	10.0	22.4	22.4	89.4	134.1	178.9
绝对误差/kΩ	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6	0.9	1.1
相对误差/%	0.0	0.0	0.4	0.4	0.7	0.7	0.6

通过在任一支路正负极上并接不同阻值精密电阻,测试支路在线监测的具体情况如表 3 所示。

由表 2、表 3 可见:母线绝缘电阻的测量精度高于支

表 3 支路正负极对地绝缘电阻在线测试值

正支路对地电阻/kΩ	5.0	10.0	22.5	45.0	90.0	135.0	180.0
测量值/kΩ	5.0	10.1	22.8	45.6	91.6	132.0	174.6
绝对误差/kΩ	0.0	0.1	0.3	0.6	1.6	3.0	5.4
相对误差/%	0.0	1.0	1.3	1.3	1.8	2.2	3.0
负支路对地电阻/kΩ	5.0	10.0	22.5	45.0	90.0	135.0	180.0
测量值/kΩ	5.0	9.9	22.7	44.5	88.3	131.4	173.8
绝对误差/kΩ	0.0	0.1	0.2	0.5	1.7	3.6	6.2
相对误差/%	0.0	1.0	0.9	1.1	1.9	2.7	3.4

路的测量精度,这是因为不平衡桥检测时母线电压比较稳定,而支路漏传存在零点漂移及算式结构差异等原因造成的。另外,不管母线还是支路,在绝缘电阻值比较小时测量精度比较高,而在绝缘电阻值比较大时测量精度降低,这是因为绝缘电阻比较大时,流过漏传和测量电阻的电流也小,此时 A/D 转换器的误差降低了测量精度。在实际应用中,绝缘接地的报警门限一般小于 30 kΩ,绝缘降低的报警门限一般小于 60 kΩ,而本装置在绝缘电阻低于 100 kΩ 时测量精度高于 3%,完全可以满足使用要求。

本装置运用改进的不平衡电桥法在线测量直流母线及支路正负极对地绝缘电阻原理,基于单片机 STC89C58RD+ 与多种集成电路芯片组成监测系统,实现了正负极对地绝缘平衡下降的监测,测量精度高于同类装置,可有效检测母线及支路对称性接地及非对称性接地故障,解决了现有装置对绝缘故障的误报、漏报问题。采用 photomos 开关组成的高低电压隔离分时测量电路,提高了装置的可靠性、抗干扰能力。

参考文献

- [1] 孙鸣,马娟.直流系统微机型绝缘监测装置电阻选择[J].电力系统保护与控制,2011,39(4):128-131.
- [2] 赵梦欣,陈国峰,余伟成.直流系统绝缘监测的直流漏电流法改进方案[J].电力系统自动化,2009,33(14):83-88.
- [3] 张青春.基于 STC89C52 的高精度宽频带数显毫伏表的设计[J].电子技术应用,2012,38(7):84-86.
- [4] 周鹏.基于 STC89C52 单片机的多功能测温仪设计[J].微型机与应用,2013,32(1):26-29.

(收稿日期:2013-07-03)

作者简介:

夏业启,男,1964 年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:嵌入式系统开发,过程控制研究及自动化设备研制。

夏菁,女,1990 年生,博士研究生,主要研究方向:计算机图形学研究,嵌入式系统开发。