

基于 MSP430 的发电机转子接地保护装置

程诗明

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

[摘要] 开发一种基于 MSP430 的发电机转子接地故障检测与保护装置, 该装置采用两开关三采样的检测主电路, 无需设置单独的发电机转子电压检测电路, 系统结构简单, 安全性好。试验结果表明该装置能准确判断转子绕组是否发生接地故障, 并确定故障位置与接地电阻大小。

关键词 发电机转子 接地故障 微机保护 MSP430

0 引言

发电机转子接地是较常见的故障形式之一。当发电机转子一点接地时应能及时发现并动作于信号, 两点接地时保护动作于跳闸^[1]。在发电机转子接地检测中, 有电桥平衡式检测方法, 叠加直流电流的检测方法, 叠加交流电流的检测方法和乒乓式切换检测方法^[2], 微型机两开关切换式转子接地检测装置能在线监测发电机转子对地绝缘的变化, 能检测故障点的位置和绝缘的损伤程度。故在大中型发电机的微机保护装置中, 一般设有基于两开关切换式原理的发电机转子接地检测装置^[3, 4]。但在中小型发电机特别是低压机组中, 考虑到成本, 采用较多的仍然为电桥平衡式接地检测装置。该方法检测灵敏度随接地点的位置不同会产生较大的变化, 且存在检测死区, 不能准确检测发电机接地电阻的大小及发生接地的位置。为解决这一问题, 本文在两开关切换式转子接地检测装置的基础上, 基于 MSP430 单片机开发一种低成本的发电机转子接地微机保护装置。

1 转子接地检测电路设计

如图 1 所示, 假设电面在 k 点以过渡电阻 R_f 接地, 接地故障点 k 将转子绕组分为 α 和 $1-\alpha$ 两部分(忽略励磁回路的直流电阻, 若转子电压为 E , 仅以 αE 和 $(1-\alpha)E$ 表示接地点两侧的电势大小, α 为转子绕组的百分数)。当 S_1 闭合, S_2 断开时, 可测得电阻 R_1 上的电压为:

$$U_1 = \frac{(\alpha - k_1)R_1}{(R_1 + R_f) + k_1(1 - k_1)R_\Sigma} E \quad (1)$$

式中, $R_\Sigma = 2R_x + R_y + 2R_2$, $k_1 = (R_x + R_2)/R_\Sigma$ 。

电阻 R_y 、 R_x 为平衡电阻, 取较高阻值; R_1 为测量电阻, 在一般的转子接地保护装置中, $R_2 = R_3 = 0$ 。

当 S_1 断开, S_2 闭合时, 转子电压为 E' , 可测得电阻 R_1 上的电压为:

$$U_1' = \frac{(\alpha + k_1 - 1)R_1}{(R_1 + R_f) + k_1(1 - k_1)R_\Sigma} E' \quad (2)$$

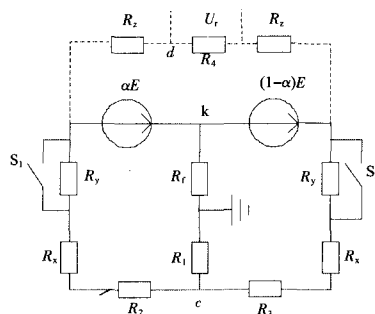


图 1 两开关三采样转子接地检测电路

式中, $k_2 = E/E'$ (3)

$$\Delta U = U_1 - k_2 U_1' = \frac{(1 - 2k_1)R_1}{(R_1 + R_f) + k_1(1 - k_1)R_\Sigma} E \quad (4)$$

则可计算出接地电阻的大小及接地点的位置:

$$R_f = \frac{(1 - 2k_1)R_1 E}{\Delta U} - R_1 - k_1(1 - k_1)R_\Sigma \quad (5)$$

$$\alpha = k_1 + \frac{(1 - 2k_1)U_1}{\Delta U} \quad (6)$$

显然, 测量电压 U_1 与 U_1' 的大小与测量时的转子电压相关。为准确计算出发电机转子接地电阻的大小及接地位置, 需同时测量转子电压值 E 与 E' 。如图 1 中的虚线所示, 另设转子电压取样回路, 通过对取样电阻 R_4 上的电压 U_r 的测量直接测量发电机转子电压。

如图 1 所示, d 、 c 点间可能是不等电位的, 为此需要设置两路测量隔离电源。当发电机转子电压较高时, d 、 c 点间可能存在较大的电压差, 这就需要隔离电源有较高的耐受电压。为解决此问题, 通过增加测量电阻 R_2 、 R_3 ($R_2 = R_3$) 来间接测量发电机转子电压。

当 S_1 闭合, S_2 断开时, 在测量 U_1 的同时, 测量电阻 R_2 上的电压为 U_2 , R_3 上的电压为 U_3 , 则:

$$E = \frac{U_3}{R_2}(1 - k_1)R_\Sigma + \frac{U_2}{R_2}k_1R_\Sigma \quad (7)$$

当 S_1 断开, S_2 闭合时, 在测量 U_1' 的同时, 测量电阻 R_2 上的电压为 U_2' , R_3 上的电压为 U_3' , 则:

$$E' = \frac{U_3'}{R_2} k_1 R_\Sigma + \frac{U_2'}{R_2} (1 - k_1) R_\Sigma \quad (8)$$

可按式(3)计算 k_2 ，按式(5)和式(6)计算出接地电路的大小及接地点的位置。

在图 1 所示的检测电路中，由于 U_1 、 U_2 和 U_3 有公共点 c ，只需一路隔离测量电源，可以简化测量电路。

2 基于 MSP430 的接地检测装置的实现

2.1 硬件设计

为构成低成本单芯片发电机转子接地检测装置，微机系统采用美国 TI 公司的 MSP430F149 单片机。硬件系统构成如图 2 所示。

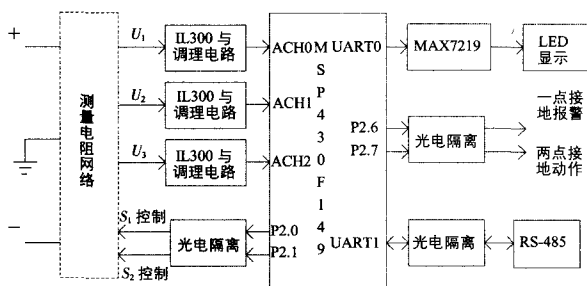


图 2 系统硬件原理框图

在装置的设计中，应根据转子电压的额定值合理选择参数 R_1 、 R_2 (R_3)、 R_x 、 R_y ，使 U_1 、 U_2 和 U_3 的值在不超出 A/D 转换的范围内尽可能大，以提高检测装置的灵敏度。切换开关 S_1 与 S_2 采用 PC853H 光电耦合器，并由 MSP430 的 P2.0 和 P2.1 直接控制。来自检测电路 R_1 、 R_2 和 R_3 上的电压信号 U_1 、 U_2 和 U_3 经线性光电隔离放大器 IL300 与调理电路后，直接进入 MSP430F149 片内的 A/D 转换通道进行采集。IL300 光电隔离放大器隔离电压达 5300V，带宽大于 200kHz，可用于直流与交流信号的测量；线性度达 0.01%，完全满足转子接地检测装置的要求。设置调理电路的目的有两个：一是将检测信号进行适度的幅度变换；二是考虑到发电机转子的偏心，转子绕组上不可避免地有交流分量；另外，目前的发电机励磁系统大量采用晶闸管励磁调节器，转子电压并非平滑的直流电压，而是脉动电压。交流分量的存在，对地容抗对转子绕组接地电阻的测量会产生误差。为滤除转子回路交流分量的影响，在调理电路中设计了二阶低通滤波电路。

显然，通过 2 个联动电子开关的轮流切换，使转子回路构成两个不同的接地电路，并在取样电阻上产生不同的采样电压。通过此电压的采集，由式(5)和式(6)可计算出接地过渡电阻 R_f 和接地故障位置 α 。

发电机转子电压的测量值及接地电阻与接地位置由 MSP430 的异步串行通信接口 UART0 控制 MAX7219 进行显示。同时可通过另一个异步串行通信接口 UART1 与上位机或通信管理机连接。

当判断一点接地时，由 P2.6 口驱动继电器报警；当判断两点接地时，由 P2.7 口驱动继电器动作出口。

2.2 软件设计

装置软件采用 C 语言编写，程序流程如图 3 所示。

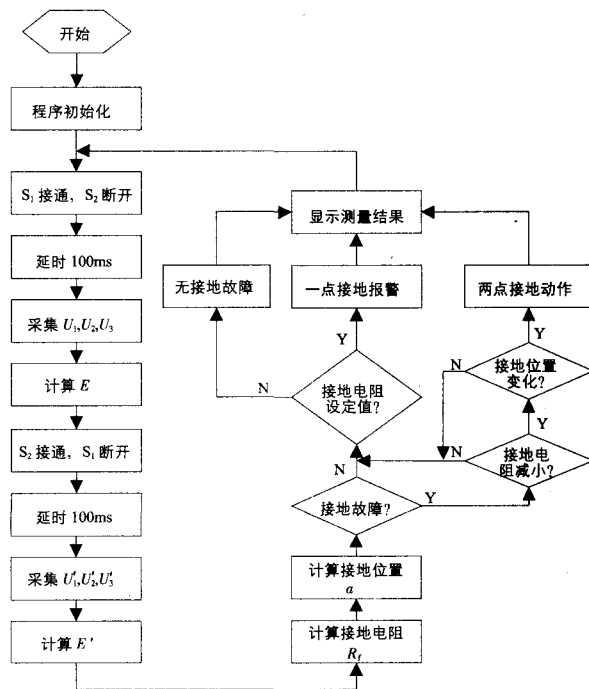


图 3 程序流程图

根据两次采样信号，计算转子电压值及转子接地电阻 R_f 值和接地故障位置 α 。当 R_f 小于整定值时保护动作，发一点接地信号。若已发生一点接地故障，则可通过接地电阻值与接地位置的变化来判断发电机转子是否发生两点接地故障。若在一点接地情况下，转子接点电阻进一步减小，且接地位置变化值大于 5%，则可判为两点接地故障，通过 P2.7 使两点接地故障继电器动作。

3 试验结果

为验证所设计装置及所采用方法的正确性，进行接地电阻改变与接地位置变化的测试。

(1)取 $R_1 = 4.7\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 2.7\text{k}\Omega$ 、 $R_y = 1\text{M}\Omega$ 、 $R_x = 200\text{k}\Omega$ ， $E = 500\text{V}$ 。以转子中点接地为例，通过改变接地过渡电阻来进行模拟试验，试验结果见表 1。

(下转第 18 页)

S1P1、S1P2、S2P1、S2P2、…、S6P1、S6P2 共 12 个节拍，每个节拍持续 1 个振荡周期，每个状态持续 2 个振荡周期。可以用机器周期把一条指令划分成若干个阶段，每个机器周期完成某些规定操作。对于晶振为 12 MHz 的单片机，它的机器周期是 $1\mu\text{s}$ 。

2.4 指令周期

指令周期是指执行一条指令所占用的全部时间，一个指令周期通常含有 1~4 个机器周期(依指令类型而定)。因此如果机器周期是 $1\mu\text{s}$ ，它的指令周期就是 1~4 μs 。

按照工作原理绘制出的时序图如图 1 所示。

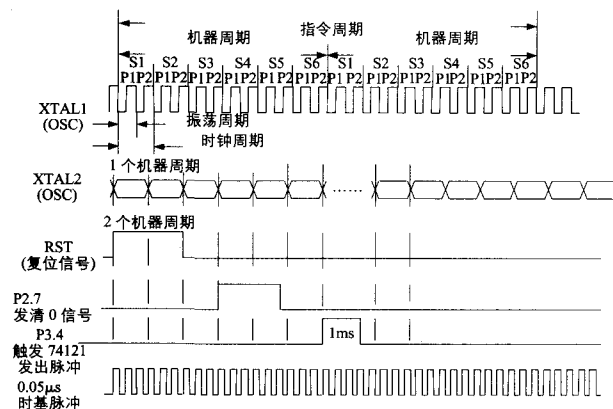


图 1 时序图

测距仪时序过程如图 1 所示。单片机上电以后，由手动复位按键给单片机一个复位脉冲，此脉冲需要 2

个机器周期。然后，由单片机 P2.7 口输出脉冲使 JK 触发器和 74LS161 计数器清 0，这个脉冲设为 2 个机器周期。其次，由单片机的 P3.4 口输出一个脉冲使 74121 集成单稳态触发器得到一个下降沿，触发 74121 输出可调脉冲。同时使 JK 触发器的 3 脚输出高电平和 74LS139 处于译码状态。此脉冲需要宽点，使集成单稳态触发器 74121 有时间反应输出可调脉冲。所以，把它宽度设定为 1ms，足够 74121 反应。

3 结束语

电缆故障的测试方法很多，测距仪则较为方便快捷。在测距仪的软件设计中，时序设计起到关键的作用，适当的时序设计不仅可以为下面的程序设计及流程显示提供先期准备，更能提高测距仪的利用效率。

参考文献

- [1]王福瑞. 单片机测控系统设计大全[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999
- [2]张国栋. 电缆故障分析与测试[M]. 第 1 版. 北京: 中国电力大学出版社, 2005
- [3]徐丙垠, 李胜祥, 陈宗军. 电力电缆故障探测技术[M]. 北京: 北京机械工业出版社, 1999
- [4]何立明. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术[M]. 第 1 版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990

(责任编辑 祝晓艳)

(上接第 16 页)

表 1 接地试验结果

R_t (实)/k Ω	R_t (测)/k Ω	α (测)/%
0	-0.360	49.98
2	1.635	49.98
5	4.537	49.98
10	9.540	49.98
15	14.598	49.97
20	19.618	49.97
30	29.979	49.97
40	39.875	49.97
50	50.061	49.97

从表 1 可以看出，当接地电阻值 $R_t < 50\text{k}\Omega$ 时， α 值的误差在 0.03% 以内，接地电阻的测量偏差在 500Ω 之内，可以满足现场的实际需求。

(2)保持 $R_t = 15\text{k}\Omega$ 恒定，通过改变转子绕组接地位置百分数 α 来进行模拟试验，试验见表 2。

表 2 接地位置试验结果

α (实)/%	R_t (测)/k Ω	α (测)/%
5	14.256	4.97
20	14.318	19.98
30	14.430	30.01
40	14.817	40.00
50	14.292	49.99
60	14.817	59.96
70	14.429	69.95
80	14.319	79.99
95	14.782	94.99

从表 2 可以发现，当接地位置发生变化时， α 的值的误差在 0.03% 以内。转子发生接地故障位置对所测

得 R_t 值有一定影响，但影响较小(最大检测值与最小检测值之差小于 500Ω)，可见，转子接地故障位置对保护的灵敏度基本上没有影响。

4 结束语

本文所述装置只需要一路测量隔离电源，无需另设发电机转子电压测量回路，简化了系统，提高了装置的安全性与可靠性。试验结果表明：该装置能准确判断转子绕组是否发生接地故障，确定故障位置与检测接地电阻的大小，是一种较好的低成本高性能的发电机转子接地检测与保护装置。

参考文献

- [1]王维俭, 侯炳益. 大型机组继电保护[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989
- [2]王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 第 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2002
- [3]史泽兵, 苗世洪, 刘沛, 等. 一种新型的发电机转子接地保护装置的研究[J]. 继电器, 2005, 33(3): 37~39
- [4]姚翔. 发电机转子一点接地乒乓式微机保护的研究[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(6): 27~28

(责任编辑 祝晓艳)