

一种新型的发电机转子接地保护装置的研制

史泽兵¹, 苗世洪¹, 刘沛¹, 刘艳²

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学软件工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为提高现有发电机监测系统对转子接地故障的识别能力, 研究了一种新的基于切换采样原理的发电机转子接地保护, 并开发出相应的微机保护装置, 该装置能实时监测发电机转子绕组的绝缘情况, 判断转子绕组是否发生接地故障, 确定故障位置, 且灵敏度较高。该装置已投入现场试运行, 效果良好。

关键词: 发电机转子; 接地故障; 微机保护

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)03-0037-03

0 引言

发电机转子接地故障是较常见的发电机故障形式之一。目前, 在国内投运的发电机中, 转子接地故障的发现和um理均由转子接地保护装置来实现, 一点接地保护动作于信号, 两点接地保护动作于跳闸, 而无法具体提供转子绕组对地绝缘变化情况^[1]。转子对地绝缘的损坏往往是一个漫长的过程, 如果能在线监测发电机转子对地绝缘的变化, 及时准确发现薄弱环节, 提供故障点的位置和绝缘的损伤程度, 则有利于合理安排检修时间, 提高检修质量和效率, 减少不必要的突然停机, 以便更合理地处理问题。为此, 本文研究了一种新的发电机转子接地故障检测原理, 并应用该原理研制开发了一种新型发电机转子接地微机保护装置。

1 转子接地保护微机原理

1.1 转子接地保护微机原理

转子绕组接地保护原理如图 1 所示。

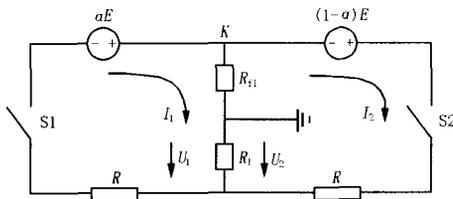


图 1 发电机转子接地保护原理图

Fig 1 Diagram of generator rotor grounding protection

如图 1, 设励磁回路的直流电动势为 E (考虑它的变化, 不同切换采样时刻分别用 E_1, E_2 表示, $k = E_1/E_2$), K 点经过渡电阻 R_n 接地, 励磁回路的直流电阻已被忽略不计, 仅以 E 和 $(1-a)E$ 表示接地点两侧的电势大小; 两个电阻 R 为高阻 (例如 20

k); R_1 为测量电阻 (例如 $2k$); S_1, S_2 为由微机控制的静态联动开关。

当 S_1 接通、 S_2 断开时, 由图 1 可列出回路方程为:

$$I_1 (R + R_1 + R_n) = E_1 \quad (1)$$

$$I_1 R_1 = U_1 \quad (2)$$

当 S_1 断开、 S_2 接通时, 由图 1 可列出回路方程为 (设此时励磁回路电动势已改变为 E_2):

$$I_2 (R + R_1 + R_n) = (1-a) E_2 \quad (3)$$

$$I_2 R_1 = -U_2 \quad (4)$$

联立式 (1)、(2)、(3)、(4), 可求得接地过渡电阻 R_n 和故障点:

$$R_n = E_1 R_1 / U - (R + R_1) \quad (5)$$

$$= U_1 / U \quad (6)$$

式中: U_1 是在 S_1 闭合、 S_2 断开时在采样电阻 R_1 处测得的电压; U_2 是在 S_2 闭合、 S_1 断开时在 R_1 处测得的电压; 而 U 为 U_1 与 U_2 之间的差值, 即:

$$U = U_1 - kU_2 \quad (7)$$

在实测采样取得 U_1, U_2, E_1, E_2 后, 根据式 (5) 和式 (6) 可求得 R_n 及 a 的大小。

1.2 灵敏度分析

由式 (5) 可知, 发电机转子回路接地保护的灵敏度主要与 U 有关。现以中、小型发电机转子励磁电压 $E = 100V$ (额定运行励磁电压) 为例进行讨论。

若 U_1, U_2 的精确测量数据为 $0.25V$ (考虑到 $U_1 < 10V, U_2 < 10V, U < 10V$, 而 12 位 A/D 转换器的最小分辨率可达 $2mV$, 所以精确测定 $0.25V$ 是完全能达到的), 则转子绕组中点经 R_{nmax} 接地时,

$$R_{nmax} = E_1 R_1 / U_{min} - (R + R_1) \quad (8)$$

由式 (8) 该保护可检测 R_{nmax} 可以达到 $778k$ 转子接地故障, 灵敏度较高。由式 (5)、式 (6) 可知, 该保护可在线监测发电机升压的全过程及正常

运行中的转子绕组的绝缘。从式(5)还可知： R_n 与故障点位置无关，即检测灵敏度不随故障点位置改变。

由式(1)可以导出：

$$U_1 = ER_1 / (R_n + R_1 + R) \quad (9)$$

当改变时， U_1 相应改变，若 U_1 的测量精度为0.25V，从式(9)可以得出

R_n	10 k	=4%
R_n	30 k	=6.5%
R_n	50 k	=9%
R_n	70 k	=11.5%

以上说明：过渡电阻 R_n 越大，故障点位置的偏差就越大。因此在发生接地故障后，保护装置为了得到可靠的数据，必须连续2~3次计算的 R_n 和 α 基本不变，且满足式(5)，才确认转子发生接地故障。

2 硬件设计方案

2.1 总体设计方案

本装置按功能分为交(直)流插件单元、数字量I/O单元、保护单元、通信单元、人机接口单元和电源单元。装置采用双CPU结构，保护和通信功能独立实现，通过高速双口RAM进行实时数据交换。硬件电路的译码由ST Microelectronics公司的PSD854F2芯片来实现，该芯片功能强大，可以通过JTAG端口实现在线编程，片内有1Mbits Flash Memory，可以存放程序、保护定值、事故记录和故障录波数据，同时片内还有16Kbits的SRAM，不需要再外扩RAM，芯片还有丰富的I/O端口。通信CPU采用连接。人机接口采用320×240大屏幕点阵式液晶显示器，显示信息量大，操作方便。RS-485接口直接与上位机或通信管理机连接。硬件设计框图见图2。

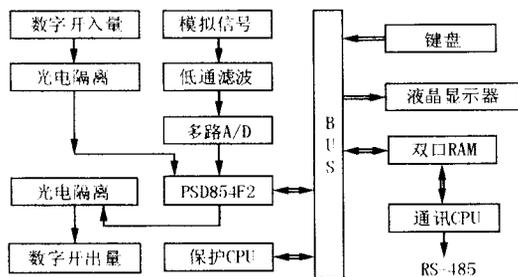


图2 系统硬件原理框图

Fig 2 Architecture of system hardware

2.2 直流量采集模块

直流量采集模块主要由转子励磁电压测量回路和转子接地信号检测回路构成。其中，转子励磁电压测量，使用霍尔传感器将发电机转子励磁电压隔离转换成小的直流电压信号；转子接地信号的检测，通过2个联动电子开关（用两个隔离开关PC853H来实现）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，此电压通过隔离转换元件（ISO124P）转换成弱电压信号。其中隔离转换元件ISO124P精度很高，最大非线性度为0.01%，即最大飘移为1mV，可以满足系统的检测要求。

3 系统软件设计

3.1 系统软件流程

由式(5)、(6)可见，为防止溢出现象，必须

$$|U_1| \leq U_{1max} \text{ 或 } |U_2| \leq U_{2max} \quad (10)$$

式中： U_{1max} 为动作阈值，由正常运行状态下的最大采样误差和计算误差决定。系统流程如图3所示。

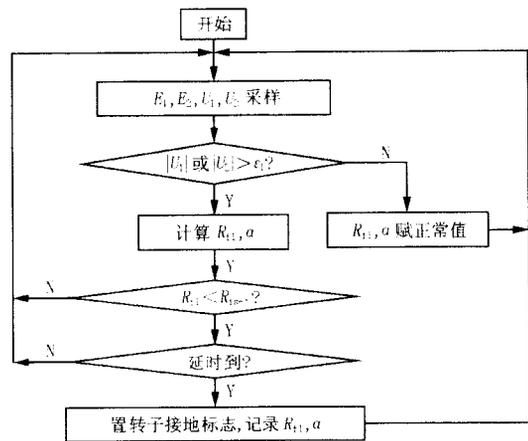


图3 系统软件流程图

Fig 3 Flow chart of system software

3.2 采样数据处理

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，采用可控硅励磁调节器，不同的导通角下转子绕组也会产生交流分量。因为交流分量的存在，对地容抗对转子绕组接地电阻的测量会产生误差。另外，电子开关S1、S2切换过程中的暂态影响也会使转子绕组的接地电阻的测量产生误差。为提高保护测量的精度，该系统采取了以下措施：

a 为避免电子开关S1、S2切换的暂态影响，在电子开关S1(S2)闭合一段时间 T_1 （如60ms）后，同

时对发电机转子电压 E_1 (E_2)、测量电阻 R_1 上的电压 U_1 (U_2) 进行采样。

b 为消除交流分量的影响,利用多次平均值法,对发电机转子电压 E_1 (E_2)、测量电阻 R_1 上的电压 U_1 (U_2) 采样值进行滤波。

3.3 通信软件设计

本装置采用独立的通信 CPU 通过 RS-485 与上位机接口,运用标准的 IEC60870-5-103 协议,适应现场多厂家产品联网的需要,实现了遥测量、开关量、保护动作与告警信息、故障录波数据的及时准确上传和远方读写定值、断路器分合和遥控操作等功能。本软件在开关量的采集上加了去抖动功能,有效地避免了以往难以解决的遥信误传问题。实际运行结果表明,IEC60870-5-103 协议有其自身的优点,它传送的信息量十分详细,能够实现信息的多优先级传送,传输过程及出错处理稳定可靠。

4 实验结果分析

因为保护的灵敏度与转子接地故障位置无关,所以转子发生接地故障位置对所测得值影响较小,现可选取转子中点接地为例,通过改变接地过渡电阻来进行模拟实验,实验数据如表 1。

表 1 实验数据

Tab 1 Experimental data

R_n (实) / k	R_n (测) / k	(测) / %
0	0.036	50.0
1	0.987	49.6
10	9.864	49.5
20	19.790	49.0
30	29.850	48.0
40	39.629	48.1
50	49.500	47.3

从表 1 可以看出, R_n 和 的测量值的偏差基本上随过渡电阻 R_n 的增大而增大,与理论上分析结果基本一致。从表中也可以看出,当接地电阻值小于 50 k 时,接地电阻的测量偏差在 500 之内,可以满足现场的实际需求。

Research & development of a new generator rotor grounding protection device

SHI Ze-bing¹, MAO Shi-hong¹, LU Pei¹, LU Yan²

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. School of Software Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to improve the identification ability of current generator supervision system on the grounding fault of generator rotor, a new protection theory is researched and a corresponding digital protection device is developed. The device can be used to real-time monitor the insulation of generator rotor's windings, identify rotor's grounding fault and determine fault location, and the new protection device is of high sensitivity. The system has been put into operation with better effects.

Key words: generator rotor; grounding fault; digital protection

5 结论

该发电机转子励磁回路接地保护算法简单、可靠性高。

检测接地过渡电阻的灵敏度较高,且不随故障点位置变化而改变。

在发电机未发生接地短路时,转子检测回路并没有形成回路,对励磁回路的影响较小。

该装置已投入现场试运行,运行结果表明:本装置软硬件可靠,维护方便,可满足中、低容量发电机转子接地保护的要求。

参考文献:

- [1] 王维俭,侯炳蕴.大型机组继电保护[M].北京:水利电力出版社,1989.
WANG Wei-jian, HOU Bing-yun. Protection for Large Generators[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.
- [2] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2002.
WANG Wei-jian. Theory and Application of Power Main Equipment Protection, Second Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [3] 郭光荣.发电机转子励磁绕组接地保护[J].电力系统自动化,2003,27(20):73-76.
GUO Guang-rong. The Earth-fault Protection of Generator Rotor Field Coil[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(20): 73-76.

收稿日期: 2004-05-26; 修回日期: 2004-07-08

作者简介:

史泽兵(1979-),男,硕士研究生,主要从事变电站综合自动化的研究; Email: szbvc_student@sina.com

苗世洪(1963-),男,博士,副教授,主要从事电力系统继电保护、电力系统分析控制的研究;

刘沛(1944-),女,教授,博士生导师,主要从事继电保护及变电站自动化的研究。