

乒乓式发电机转子一点接地保护的研究

合肥工业大学 姚晴林 刘圣奇 祖伟

自70年代以来导纳原理的迭加交流电压式发电机转子一点接地保护在国内外应用较多。它在理论上可以反应转子回路中任一点的接地故障，没有死区，并且灵敏度不受接地电容的影响，这种理论分析的前提条件是假设回路中的感性电抗等于零。但是在实际应用中，由于回路中存在感性电抗或由于整定调试不精确，将使动作电导偏离整定值，保护发生拒动或误动的几率仍然存在。我国运行经验证明，对于大容量发电机组，尤其是大容量水轮发电机组，转子对地电容较大，则由于导纳原理转子一点接地保护回路中感性电抗不为零造成等电导圆的偏移以及整定调试不精确造成的有害影响更大，甚至使保护完全不能反应转子一点接地故障。本文论述一种新原理的乒乓式发电机转子一点接地保护，该装置已研制成功，以下简要分析其动作原理、主要特性及优点。

关键词 转子接地、电导判据

1 保护的動作判据

图1是乒乓式转子一点接地保护动作原理分析图。图中 S_1 、 S_2 是两个电子开关，发电机运行中由时钟脉冲控制它们的状态为： S_1 闭合时 S_2 打开， S_1 打开时 S_2 闭合，二者像打乒乓球一样循环交替地闭合又打开，故称之为乒乓式转子一点接地保护。

设发电机转子线圈的d点经 R_{fd} 电阻一点接地， U_L 为励磁电压， U_1 为转子正极与d点之间的电压， U_2 为d点与转子负极之间的电压。 S_1 闭合 S_2 打开时，直流稳态电流为：

$$I_1 = \frac{U_1}{R_0 + R_{fd}} \quad (1)$$

S_2 闭合 S_1 打开时，直流稳态电流为：

$$I_2 = \frac{U_2}{R_0 + R_{fd}} \quad (2)$$

$$\text{电导 } G_1 = \frac{I_1}{U_{L1}} = \frac{U_1}{\bar{U}_{L1}(R_0 + R_{fd})} = \frac{K_1}{R_0 + R_{fd}} \quad (3)$$

$$G_2 = \frac{I_2}{U_{L2}} = \frac{U_2}{\bar{U}_{L2}(R_0 + R_{fd})} = \frac{K_2}{R_0 + R_{fd}} \quad (4)$$

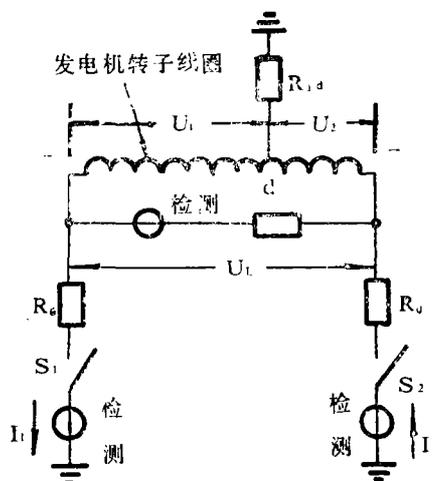


图1 乒乓式转子一点接地保护动作原理分析图

$$\text{系数 } K_1 = \frac{U_1}{U_{L1}}, \quad K_2 = \frac{U_2}{U_{L2}}$$

上式中, I_1 、 U_1 、 U_{L1} 、 G_1 、 K_1 为第一个采样时刻(S_1 闭合 S_2 打开)的值, I_2 、 U_2 、 U_{L2} 、 G_2 、 K_2 为第二个采样时刻(S_2 闭合 S_1 打开)的值。系数 K_1 (或 K_2)之值正比于接地点 d 与转子正极(或负极)之间的绕组匝数,而不管 U_L 是否变化。由于第一个采样点与第二个采样点是同一个接地点 d , d 点的位置未变,故:

$$K_1 + K_2 = 1 \quad (5)$$

$$G_1 + G_2 = \frac{K_1 + K_2}{R_0 + R_{jd}} = \frac{1}{R_0 + R_{jd}} \quad (6)$$

式中 R_0 为保护装置中的固定电阻,为常数,而 R_{jd} 是跟随发电机励磁回路对地绝缘水平变化的。

$$\text{设 } G'_{zd} = \frac{1}{R_0 + R'_{zd}} \quad (7)$$

$$G''_{zd} = \frac{1}{R_0 + R''_{zd}} \quad (8)$$

上式中 R'_{zd} 、 G'_{zd} 称为保护第一段的整定电阻、整定电导, R''_{zd} 、 G''_{zd} 称为保护第二段的整定电阻、整定电导,因 $R'_{zd} > R''_{zd}$ 故又称第一段为高定值段,第二段为低定值段。根据式(6)、(7)、(8)设计保护的动作用判据为:

当 $R_{jd} \leq R'_{zd}$, 即当 $G_1 + G_2 \geq G'_{zd}$ 时, 保护的高定值段动作,

当 $R_{jd} \leq R''_{zd}$, 即当 $G_1 + G_2 \geq G''_{zd}$ 时, 保护的底定值段动作。

2 保护的方框图

保护装置的方框图见图2所示, 以下分析其动作特性。

脉冲信号 I_1 、 I_2 经各自的隔离放大器、低通滤波器、分别送至除法器1、除法器2。励

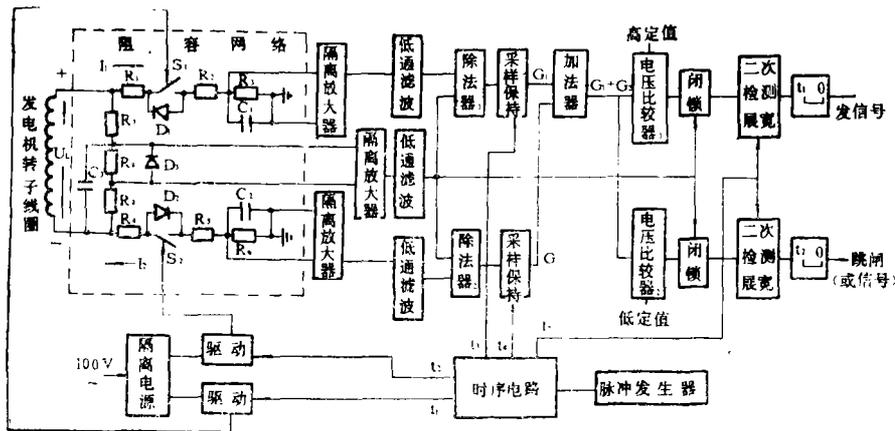


图2 乒乓式转子一点接地保护方框图

磁电压 U_L 也经隔离放大器、低通滤波器送至除法器1及除法器2。

加上静电和电磁屏蔽并浮置起来的放大器叫隔离放大器，其输出与输入电路间没有直接电的联系。这里采用隔离放大器为了使发电机励磁回路（强电）与集成电路（弱电）间有很好的隔离，再者可保证输出电压与输入电压间有很好的线性关系。光耦虽也有隔离作用，但其线性度不如隔离放大器，故这里不宜采用光耦。

励磁电压含有大量谐波，主要成分是三次谐波，也有一定的工频分量，这样的信号直接用来处理是不行的，故 I_1 、 I_2 、 U_L 需首先经低通滤波器，将交流分量全部滤去，保证它们基本上为稳态直流量再送入除法器进行运算。

除法器1的输出电压 U_{c1} 正比于 G_1 ，除法器2的输出电压 U_{c2} 正比于 G_2 。 U_{c1} 及 U_{c2} 分别经采样保持器送至加法器，则加法器的输出电压 U_0 正比于“ $G_1 + G_2$ ”。 U_0 送至电压比较器1及电压比较器2。电压比较器1的门限电压 U_m' 整定得较低，相当于高定值 R_{jd}' ；电压比较器2的门限电压 U_m'' 整定得较高，相当于低定值 R_{jd}'' 。

正常运行时，发电机转子线圈的接地电阻 R_{jd} 很大，“ $G_1 + G_2$ ”很小，加法器的输出电压 $U_0 < U_m' < U_m''$ ，电压比较器1及2均不会动作，标志保护装置不动作，若 R_{jd} 降低，则 $G_1 + G_2$ 升高， U_0 升高。当 $U_0 \geq U_m'$ 时，表明 $G_1 + G_2 \geq G_{jd}'$ 、 $R_{jd} \leq R_{jd}'$ ，电压比较器1（高定值回路）动作，经连续两次检测都判定为 $U_0 \geq U_m'$ 时，延时发出信号。当 R_{jd} 下降太多，致使 $R_{jd} \leq R_{jd}''$ ，即 $G_1 + G_2 \geq G_{jd}''$ 时， $U_0 \geq U_m''$ ，电压比较器2（低定值回路）动作，经连续两次检测都判定为 $U_0 \geq U_m''$ 时，瞬时或者延时跳闸，当然也可以仅发出信号，由运行单位决定。

不把电流 I_1 、 I_2 直接送加法器处理，而是将 I_1 、 I_2 首先被 U_L 除之得到电导 G_1 、 G_2 ，再送至加法器处理，其原因是：发电机运行中， U_L 可能随时间波动，尤其是在强行励磁或强行减磁或失磁时， U_L 随时间变化更剧烈。如果直接采用“ $I_1 + I_2$ ”与整定值相比较来决定保护是否动作，则由于 I_1 、 I_2 是两个采样点之值，又 U_L 波动，必然造成两个采样点的 U_L 值是不同的，那么“ $I_1 + I_2$ ”就不能正确反应接地电阻 R_{jd} 之值，误差相当大。保护装置采用“ $G_1 + G_2$ ”与整定值相比较的动作原理，不管 U_L 如何随时间波动，“ $G_1 + G_2$ ”都能正确反应 R_{jd} 之值，见式（6），完全消除了 U_L 随时间波动对保护性能的影响。再者，由式（6）~（8）可见，本保护性能也不受转子线圈对地电容的影响。

保护采用高定值发信号及低定值跳闸两套出口回路是为了增强保护的功能。常常不允许大容量凸极水轮发电机在转子一点接地的情况下继续运行，尤其当 R_{jd} 很低接近于金属性转子一点接地时，为防止转子漏电流或后续的转子两点接地损坏发电机，则要求转子一点接地保护瞬时或经短延时跳闸，这就是设置低定值出口回路作用于跳闸的理由。

保护在逻辑功能上仅当连续两次或两次以上检测都符合动作判据条件时，才作用于出口，这就是二次检测，其主要作用是：防止由于干扰或转子回路瞬间一点接地引起保护装置的误动作。当然，利用延时也能防止这种误动作，但如果大型水轮发电机要求转子一点接地时保护应无延时地或极短延时地跳闸，则利用延时方法躲开这种误动就不足取了，而二次检测是提高保护可靠性的有效措施。二次检测回路的另一个作用是在转子一点接地时将前级输出的脉冲信号展宽成连续信号以保证出口稳定地动作；采用全数字化集成电路，将二次检测部分及展宽部分结合在一起，以求最大限度地简化电路，使调试尽量简单。

发电机运行中，在转子回路未发生一点接地的情况下，有可能出现 U_L 为零或近似为零的状态。例如：发电机全失磁，或者短路故障相应主保护动作、跳开发电机断路器的同时也跳开灭磁开关，或者在发电机并网前机组刚开始启动以及发电机解列后等运行状态，都会造成 $U_L = 0$ 或近似为零，而转子一点接地保护此时并未退出运行。根据式(3)、(4)，可见此时测量电导 G_1 及 G_2 的值非常大(当 I_1 、 I_2 有某微小值时)或者 G_1 及 G_2 为不定值(当 I_1 、 I_2 也等于零时)，这将造成乒乓式转子一点接地保护误动作。为防止这种误动作，图2中设置了“闭锁回路”，它实质上是具有两个输入信号的与门，一个输入信号来自前级(电压比较器)的输出电压，另一个输入信号来自与 U_L 成一定关系的电压。当 U_L 为零或近似为零时，该回路闭锁，使电压比较器的输出无法传递到二次检测回路，保证保护装置不会误动；当 U_L 不为零，大于一个很小的门限电压时，该回路不被闭锁，转子一点接地保护能按动作判据的要求正确地工作。

3 保护的主要优点

(1) 电路新颖简化、可靠性高，调试简单方便。

(2) 灵敏度高、无死区，整定电阻可达40k Ω 。

(3) 保护的動作特性不受励磁电压波动及对地电容的影响，且与接地点的位置无关。误差小，在同一整定值条件下，转子线圈正极、负极、中点分别一点接地时，保护实际动作值与整定值之间的误差以及相互之间的误差不大于3%。

(4) 本保护装置摒弃了“检测—比较—执行—检测”的传统轮流操作方式，而采用了先进的“并行操作”技术，使“比较、执行”等操作在检测过程中同时进行，缩短了装置整个“检测、操作”的循环周期，显著提高了装置的性能。

参考文献

王祖光. 新原理的发电机转子接地保护. 中国电机工程学会第四次继电保护及安全自动装置学术会议(1986年10月)论文集.