

二滩电厂发电机转子一点接地保护原理探讨及改进措施

王文新

(二滩水电厂, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 详细论述了二滩电厂发电机转子一点接地保护装置工作原理, 剖析其死区存在之机理和灵敏度不对称而导致的严重后果, 并提出了改进措施和进一步的研究设想。

关键词: 一点接地; 死区; 灵敏度; 非稳态多谐振荡器; 单片机

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2000)07-0022-03

发电机必不可少的一项保护措施——转子一点接地保护, 它可以实时对转子绕组对地绝缘的降低作出反应并报警, 以便运行人员及时处理, 防止更为严重的两点接地故障的发生, 起到了防患于未然的作用。二滩电厂单机容量 550MW, 这样大容量的机组, 若发生转子一点接地后不报警, 一旦发展为两点接地, 势必严重危害机组和系统的稳定运行。因此, 剖析其转子一点接地保护装置原理和存在问题, 提高其灵敏度和可靠性是本文重点讨论的内容。

二滩电厂转子一点接地保护是由加拿大 GE 公司生产的发电机励磁系统的附属装置, 在装置试验及运行过程中, 总体上讲, 在特定的工作条件下, 还是具有一定的可靠性和灵敏性。但是笔者认为此套装置有其严重不足之处, 下面将进行详细讨论。

$$\left. \begin{aligned} I_1(R_3 + R_5 + R_1 + R_6) + I_2(R_5 + R_6) + I_3(-R_1) &= U_0 \\ I_1(R_5 + R_6) + I_2(R_4 + R_5 + R_2 + R_6) + I_3R_2 &= U_0 \\ I_1(-R_1) + I_2R_2 + I_3(R_1 + R_2) &= U_L \end{aligned} \right\} (1)$$

解方程组(1)得:

$$U_S = 2U_0R_5 / (R_3 + 2R_5 + R_2 + 2R_6) \quad (2)$$

由于 R_3 (R_4) 为转子绕组对地绝缘电阻, 正常时电阻值很大, 远大于 R_5 , 故 U_S 很小, 可近似取为 0。所以正常时, 接地检测指针在表中央位置, 表示无接地故障。

一旦发生接地, 如图 2 所示, 设绕组全长为 100%, 接地点在离正极 K 处, 接地电阻为 R_G , 其余参数同图 1。

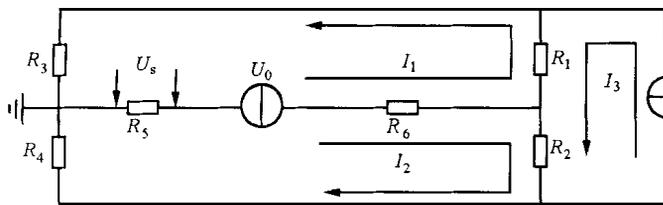


图 1

图 1 为装置工作原理简图, 装置原理是转子中点直流电源叠加式。其中 U_0 为叠加直流电源 50V, 附件电阻 $R_1 = R_2 = 20.25K$, $R_5 = 500$, $R_6 = 750$, U_L 为励磁电压, U_S 为仪表取样电压, 大小由 R_5 电压降决定, $R_3 = R_4$ 为转子正常对地等效绝缘电阻, 取样电压供给一测量范围为 $\pm 5V$ 的指针式电压表, 取样电压极性决定指针左右偏转方向, 而电压的大小决定指针偏转程度, 若预先设定指针左、右偏转至某位置代表转子对地绝缘降低对应报警值, 当指针达到或超过此位置时便起到报警作用。

对图 1 建立回路电流方程:

当发生接地 ($R_G < 500k$) 后, R_3, R_4 显然已无考虑的必要性, 转子从正极到接地点 K 之间的电压降为 KU_L ; 短路点到负极之间的压降为 $(1 - K)U_L$, 而转子电阻可忽略不计。故图 2 可简化为图 3 所示。

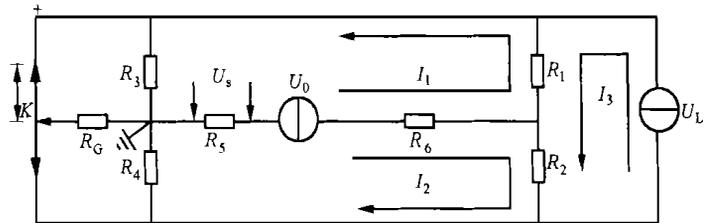


图 2

对图 3 列出回路电流方程:

$$\left. \begin{aligned} I_1(R_G + R_5 + R_6 + R_1) + I_2(R_G + R_5 + R_6) + I_3(-R_1) &= U_0 - KU_L \\ I_1(R_G + R_5 + R_6) + I_2(R_G + R_5 + R_6 + R_2) + I_3R_2 &= U_0 + (1 - K)U_L \\ I_1(-R_1) + I_2R_2 + I_3(R_1 + R_2) &= U_L \end{aligned} \right\} (3)$$

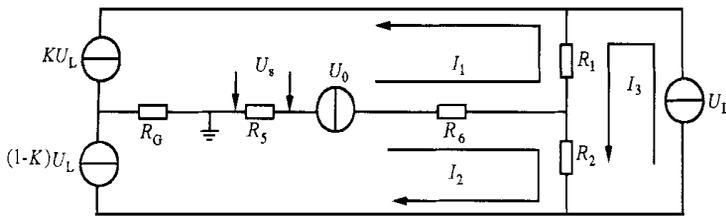


图 3

解方程组 (3) 得:

$$U_S = [100 + (1 - 2K) U_L] R_S / (2R_G + 2R_S + 2R_6 + R_1) \quad (4)$$

设 $R_S / (2R_G + 2R_S + 2R_6 + R_1) = \alpha$ (常数), 则上式可变为

$$U_S / \alpha = 100 + (1 - 2K) U_L \quad (5)$$

由此得 U_S / α 、 K 、 U_L 三者之间函数关系如图 4:

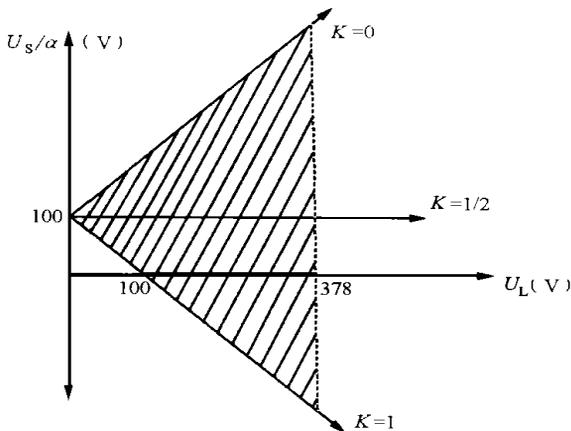


图 4

由图 4 得出, 当 $U_S / \alpha = 0$ 时, 即 $U_S = 0$, 指针无偏转, 此即为装置检测死区。

由式 (5) 可看出欲使 $U_S / \alpha = 0$, 需 $100 + (1 - 2K) U_L = 0$; 由此得

$$\left. \begin{aligned} K &= 50 / U_L + 1/2 \\ 0 & < K < 1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

因此 $U_L > 100V$ 或 $U_L < -100V$ 时, 式 (6) 一定成立, 故 $U_L > 100V$ 或 $U_L < -100V$ 时, 一定存在检测死区, $U_L < -100V$ 为不正常运行状态, 可不予考虑; 由于励磁装置可承受的持续输出电压为 378V, 故 $U_L > 378V$ 也为励磁装置的非正常运行状态, 同样不予考虑, 因此得出: $-100V < U_L < 378V$ 时, 转子接地检测死区约在 $0.63 < K < 1$ 范围内, 且不同的励磁电压下对应不同的检测死区。

图 4 中, 阴影部分为装置检测区域, 其中坐标横

轴粗线部分为实际检测死区。不难看出, U_L 越大, 死区范围越从转子负极扩大到接近转子中点处。

下面再分析装置的灵敏度。

由图 4 可知, 设接地电阻一定:

当 $U_L < 100V$ 时, 励磁电压越小, 在 $0 < K < 1/2$ 范围内, U_S 越小, 即灵敏度越低; 而在 $1/2 < K < 1$ 范围内, 励磁电压越小, 灵敏度越高。

当 $U_L > 100V$ 时, 在死区上侧, 灵敏度同上; 在死区下侧, 励磁电压越大, 灵敏度越高。

综上所述, 此套装置检测死区范围较大, 且受励磁电压影响; 而装置灵敏度又受励磁电压和接地点的双重影响, 且在死区两侧不对称。

就转子接地检测装置本身而言, 它应该这样工作: 实时监测转子对地绝缘电阻, 当其降低到所允许的最小值时, 经适当延时, 就应该发出报警信号, 通知运行人员采取措施, 以防止故障进一步扩大。鉴于本套装置存在上述缺点, 先可暂不讨论检测死区的影响; 由于正常运行时, 励磁电压变化也不大, 所以也可不考虑励磁电压的影响; 单就接地点位置影响来说, 如图 4 所示, 不同的接地点 (K 值), 就有不同的 U_S 值; 也就是说, 即使接地电阻相同, 但不同的接地点就有不同的 U_S 值。而装置的报警值恰是设定 $\pm U_S$ 电压大小, 因此, 当转子绝缘已经下降到所允许的最小阻值时, 受 K 值影响, 装置可能报警, 也可能不报警, 而这种情况对保护装置而言是绝对不允许存在的, 倘若再加上死区与励磁电压的影响, 可以认为, 装置设定 $\pm U_S$ 电压作为报警值已毫无意义, 装置已经失去了应有的作用。

此外, 装置还有励磁装置停运时不能监测转子绝缘的缺点, 因此, 装置的技术改进势在必行!

如前面所述, 改进措施关键在于消除装置测量死区、提高装置的检测灵敏度及对称性, 下面进行详细讨论。

由式 (5) $U_S / \alpha = 100 + (1 - 2K) U_L$ 可看出, 影响 U_S / α 大小和相对于横轴对称性的部分是常数项 100, 欲消除死区并使灵敏性对称分布, 可将 100 变成 ± 100 , 即装置附加电源为 $\pm 50V$, 正负电源交替叠加, $U_S / \alpha = \pm 100 + (1 - 2K) U_L$ 。因此, 其函数关系图变为图 5。

由图 5 可知, 当接地电阻一定时, $+50V$ 叠加电源下, 接地点在从转子中点至负极范围内产生的检测死区, 在 $-50V$ 叠加电源下却变成了高灵敏区, 如

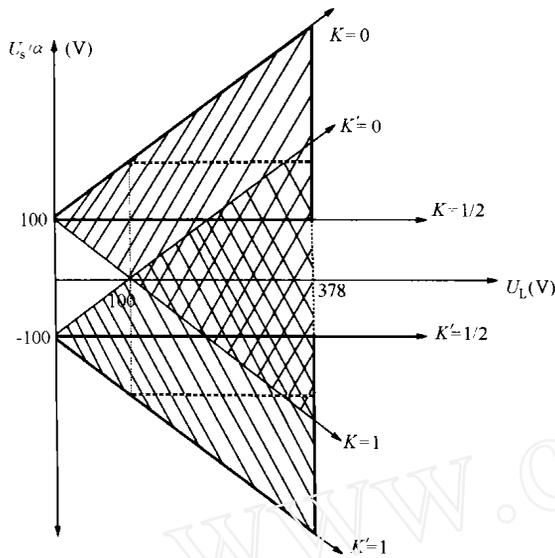


图5

图5横轴下方粗线三角形区域内方点线;同理,在-50V叠加电源下,接地点在从转子中点至正极范围内产生的检测死区,在+50V叠加电源下则也变成了高灵敏区,如图5横轴上方粗线三角形区域内方点线。因此在 $\pm 50\text{V}$ 交替叠加电源下,转子整范围内可消除接地检测死区现象,并且使灵敏区相对横轴呈对称分布,如图5粗线三角形区域。此时,装置灵敏度还是受接地点和励磁电压影响,但是从图5不难看出:在两个灵敏区内,转子中点不受励磁电压影响;中点以外区域, U_s 绝对值大小与励磁电压成正比,与接地点与正负极的距离成反比。因此转子中点处为灵敏度最低点,只要将转子中点处接地电阻允许最小时所得 U_s 电压值设定为装置报警值,则在中点以外的地方接地 U_s 值更大,装置就一定能报警。

根据这一原理可将原装置作如下改进:

(1) 供电电源

装置电源取自厂用交流电220V,经变压器变为交流120V后供给装置使用,这样即使机组在停机时也能监测转子绝缘状况,如果有接地现象,就能在开机励磁前报警,可避免绝缘状况恶化和事故发生。

(2) 叠加电源

叠加电源输出可由继电器切换,保证 $\pm 50\text{V}$ 电源的供应。继电器的切换可由555非稳态多谐振荡器完成,电源保持时间可调,时间长短按能足以消除转子对地暂态电容电流对测量的干扰为准,且兼顾减少继电器的频繁动作次数,同时考虑运行的实际

需要,即检测快速、实时。

(3) 报警电路

当装置测量电压值达到报警整定值后,为消除可能的干扰因素,应将报警信号适当延时,延时时间不得大于电源保持时间。报警信号发出后,电源不再切换,保持此时的叠加电源极性不变,因为,电源极性改变后,有可能不报警,由此产生报警时有时无的现象而让人误以为接地也时有时无。

图6是装置原理示意图。

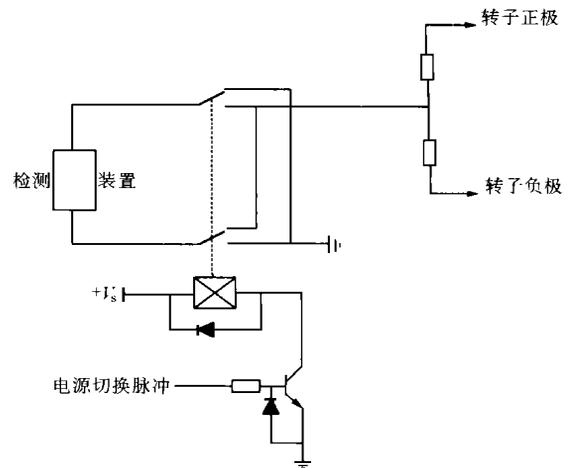


图6

装置工作过程为:

正常时,由555非稳态多谐振荡器控制 $\pm 50\text{V}$ 叠加电源的交替投入,不停地对转子绝缘电阻进行巡回检查。当绝缘下降至允许范围以外时,必将被装置检测到,经延时确认后,发出报警信号,同时锁定此时的电源极性,确保报警信号保持。

装置经改进后,可消除接地检测死区,保护转子绕组全部范围,提高动作灵敏度和对称性,将励磁电压和接地点的不利影响转变为有利因素,增加了装置的可靠性。把装置工作对开机励磁的依赖性提高到任何时间都可以监视转子绝缘电阻。并且改造技术难度不大、投资较小、省事、省力,不失为低耗高效的一项改进措施。

本文承王维俭教授审阅,谨致衷心感谢。

收稿日期: 2000-03-08

作者简介: 王文新(1974-),男,大专,保护专责工程师,从事发电机励磁回路的研究应用。

(下转第27页)

Z_A 作为动作区 2 的末端,即限制检测发变组以外的区域。为了使保护装置不经常报警, $Z_A = X_T + 0.3 Z_S$ X_T 是变压器的短路电抗, Z_S 为系统阻抗。 X_T 与 Z_S 都归算到发电机侧。

2) Z_C

Z_C 作为动作区 1 和动作区 2 的分界线, $Z_C = X_T$ 。

3) Z_B

Z_B 作为动作区 1 的起点, $Z_B = X_d$ 。

4)

是 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 的阻抗角,也用于确定功率方向,当 TA 位于发电机中性点侧, 的整定范围为: $240^\circ \sim 270^\circ$; 当 TA 位于线路侧, 的整定范围为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 。

5) 报警功角

为了向运行人员尽早提示系统或机组运行情况,而又不必长期报警,报警角整定为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间。

6) 跳闸功角

为了保证断路器跳闸的安全,跳闸角整定为两侧电势相位差 $< 90^\circ$ 且在继续减小。保护发跳闸令除满足此条件外,还应满足失步阻抗轨迹进入动作区 1 和失步滑极次数 $N > N_1$ 。

7) N_1 和 N_2

N_1 作为跳闸阶段的滑极次数, N_2 作为报警阶段的滑极次数,整定 N_1 和 N_2 时,应从保护机组和厂用电的安全性出发。

8) 复归时间

如 N_1 和 $N_2 > 1$,复归时间整定为任何值对保护无影响,但如 N_1 或 $N_2 > 1$,复归时间不能整定得比滑差频率的周期短。

图 2 中的透镜元件是可变的,它随整定的跳闸功角 而变。如跳闸功角 整定为 90° 阻抗圆就变成圆。这样的透镜形阻抗元件能可靠保证在最大负荷条件下阻抗元件不误动。

收稿日期: 2000-03-08

作者简介: 郭玉恒(1972-),男,大专,保护专责工程师,从事大机组继电保护的研究应用。

Principle and setting of out-of-step protection for high-rating generator

GUO Yu-heng

(Ertan Hydraulic Power Station, Panzhihua 617000, China)

Abstract: The principle and setting of out-of-step protection for three-impedor is analyzed in detail in this paper.

Keywords: high-rating unit; generator-transformer unit; out-of-step; value setting

(上接第 24 页)

Discussion and improvement on principle of rotor one point to earth protection for generator in Ertan Power Station

WANG Wen-xin

(Ertan Hydraulic Power Station, Panzhihua 617000, China)

Abstract: The principle of rotor one point to earth protection device for generator in Ertan Power Station is presented in detail in this paper. The cause of dead zone and the serious result of the asymmetrical sensitivity are analyzed as well. Improvement and further study are proposed.

Keywords: one point to earth; dead zone; sensitivity