

动保护动作。

2 比率制动原理的实现

理想状态下,当正常运行或母线外部故障时,差流为 0。但是,实际运行时,因为种种原因,如外部故障 CT饱和时,差流不为 0,从而有可能引起装置误动。为了保证动作的准确性,REB103和其他差动保护一样也采用了比率制动原理,下面将详细说明 REB103是如何实现比率制动原理的。

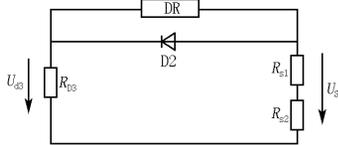


图 2 比率制动回路图

Fig 2 Circuit of ratio-percentage restraint

从图 1中可以分解出如图 2所示的比率制动回路,其中 U_{d3} 为差动电压, U_s 为制动电压。当 $U_{d3} > U_s$ 时,则会有电流通过差动继电器 DR,DR动作值为 1~2 mA,一旦动作则会保持一个到两个周期(20~40 ms),故而非常灵敏,DR的内部故障检测时间在 1 ms左右,发出跳闸信号在 6~9 ms以内,故而非常快速;而当 $U_{d3} < U_s$ 时,二极管 D2导通,DR没有电流通过,故而不会动作。由此可见,可以近似认为 $U_{d3} = U_s$ 是差动继电器的临界动作点。

当母线内部故障发生时,故障电流及其直流分量可能很大,使得线路 CT在 2~3 ms之内就饱和。这种情况下,就要求装置的差动电压在线路 CT饱和之前获得以保证装置正确动作。在负荷相对较小馈线的线路 CT外发生的外部故障,在极端情况下故障电流可能是馈线负荷值的数百倍。如果电流互感器铁芯中由于前一次故障而剩下的剩磁具有不利极性时,则有故障的馈线 CT可能在更快的速度下饱和。因此,比率制动回路中的制动比较电压获得至少和差动电压一样快,以避免装置误动^[2]。

如图 1所示:REB103由两个单元组成:整流单元和比较单元。整流单元使得电流始终从 P流入比较单元,从 Q流出比较单元^[3]。比较单元中的差动回路由可调电阻 R_{D11} (通常取 3 k、6 k 或 9 k)和 TMD 组成,流过差动回路的差流 I_{d1} 通过 TMD 产生 I_{d3} ,而 I_{d3} 在电阻 R_{D3} 上产生差动电压 U_{d3} ,而制动电压 U_s 通过 R_s (R_{S1} 、 R_{S2} 串联组成 R_s)获得。由于这二个回路的电感为零,故而时间常数 (L/R)对于所有情况均为零。因此,差动电压和制动电压可以看作为发生故障时瞬时产生的,其可靠性与系统故

障严重程度无关。通过以上的分析并结合图 1可得如下公式:

$$U_{d3} = (I_{d1} \times nD) \times R_{D3} \quad (1)$$

$$U_s = I_T \times R_{S2} + (I_T - I_{d1}) \times R_{S1} \quad (2)$$

由 $U_{d3} = U_s$ 可得公式(3)

$$(I_{d1} \times nD) \times R_{D3} = I_T \times R_{S2} + (I_T - I_{d1}) \times R_{S1} \quad (3)$$

对式(3)进行变形可得式(4)

$$S = \frac{I_{d1}}{I_T} = \frac{R_{S1} + R_{S2}}{nD \times R_{D3} + R_{S1}} \quad (4)$$

式(4)中的 S 是差动电流和制动电流的比值,即为制动特性曲线的斜率,其中制动电流为流入电流 I_T 。斜率 S 是由 R_{D3} 、 R_{S1} 、 nD 确定的,是固定不变的,其中 nD 是 TMD 变比系数。从以上的公式可得:如果 $I_{d1} > S * I_T$,则 $U_{d3} > U_s$,DR动作;如果 $I_{d1} < S * I_T$,则 $U_{d3} < U_s$,DR不动作。

3 系统故障时的动作特性

REB103的正确动作基于以下原理:

(1)无论电流互感器的一次侧流过多大大电流,在故障的最初瞬间不会发生饱和,并在 2~3 ms内能正确转变一次电流;

(2)差动回路可以用电阻 R_{DT} ($R_{DT} = R_{D11} + 400$)来代表,其中 400 为 TMD 的二次回路折算过来的电阻值;

(3)若线路 CT完全饱和,其二次绕组可以用电阻来表示,而感抗部分可以忽略不计;

(4)若线路 CT没有电流流过(即线路 CT空载),其二次绕组可以用相对较大的电抗来表示;

(5)若线路 CT流过正常电流,其二次绕组可以用等效电流源来表示。

3.1 母线外部故障

假设 L_X 线路发生短路故障,潮流从 L_A 、 L_B 流入, L_X 流出,故而流过 L_X 线路 CT最先饱和,为了简化分析,将线路 L_A 、 L_B 等效看为一条线路 L_C ,根据上述原理得出如图 3所示的等效电路图,现按 L_X 线路 CT未饱和、 L_X 线路 CT完全饱和两种情况进行分析:

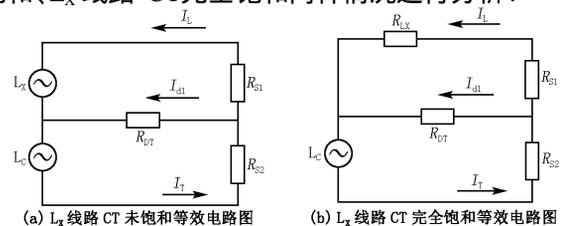


图 3 母线外部故障等效电路图

Fig 3 Equivalent circuit when bus external faults

(1) L_X 线路 CT未饱和

当 L_X 线路 CT未饱和时可得出如图 3(a)所示的等效电路图,在 CT特性完全相同的情况下,差动回路 R_{DT} 没有差流流过,即 $I_{d1} = 0$,肯定满足 $I_{d1} < S * I_T$,故而 DR不动作;当两侧 CT特性有差别的情况下,差动回路有差流 I_{d1} 通过,但是制动电流 I_T 远大于 I_{d1} ,保证了 $I_{d1} < S * I_T$,所以 DR也不动作。

(2) L_X 线路 CT完全饱和

当 L_X 线路 CT完全饱和时,其二次绕组可以用一个电阻 R_{LX} 来代替,如图 3(b)所示可得如下公式:

$$S = \frac{I_{d1}}{I_T} = \frac{R_{LX} + R_{S1}}{R_{LX} + R_{S1} + R_{DT}} \quad (5)$$

忽略 R_{S1} 可得公式(6)

$$R_{LX} = R_{DT} * S / (1 - S) \quad (6)$$

根据制动特性可以得出:如果 $R_{LX} < R_{DT} * S / (1 - S)$,则 $I_{d1} < S * I_T$,即使在 CT严重饱和的情况下,DR也不会动作,故而在实际应用中,需要测量 CT二次侧的直流电阻,根据其测量值来选择差动回路可调电阻 R_{D11} 的阻值。

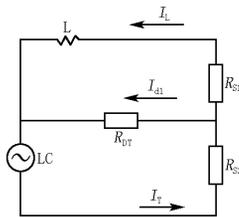


图 4 母线内部故障等效电路图

Fig 4 Equivalent circuit of bus internal faults

3.2 母线内部故障时装置动作情况分析

当母线内部发生故障时,假设故障电流通过线路 L_A 、线路 L_B 进入母线,线路 L_X 为馈线,没有电流流过。为了简化分析,将线路 L_A 、 L_B 等效看为一条线路 L_C ,如图 4所示,由于 L_X 线路 CT没有电流通过,可以用一个大电抗 L 来代替,由于其电抗值较大,故而电流 I_T 的大部分从差动回路通过,使得 $I_{d1} > S * I_T$,DR正确动作。

4 其他原理的分析

这里首先简单介绍一下饱和电抗器 TMZ:未饱和时, TMZ正常阻抗约为 70 k; TMZ约在 80 V饱和,饱和 1~2 ms后,其阻抗变为 12。

4.1 启动继电器 SR动作原理

为了可靠动作, REB103增加过电流启动继电器 SR和差动继电器 DR共同启动跳闸。由图 1可

得, R_{D11} 、TMD组成的差动回路与 TMZ并联。母线内部故障发生时,处于未饱和状态的 TMZ,其阻抗值约为 70 k,从而使得差流只能通过差动回路, DR动作并保持。随后, TMZ迅速饱和(约在差动回路电压 = 80 V处),饱和 1 - 2 ms后,其阻值从 70 k 变为 12,差动电流主要改从 TMZ回路流过,增加了通过启动继电器 SR的差动电流, SR动作,和已动作的 DR共同启动跳闸。SR的动作定值可调,如不需要过电流启动功能,将 SR的动作定值调低即可。

4.2 CT断线报警继电器动作原理

在投运期间,由于某些原因造成 CT回路开路,则会有不平衡电流流过差动回路,从而产生不平衡电压。但是该不平衡电流低于 DR的启动值,故而 DR不会动作。从图 1可以看出:CT断线报警继电器 AR通过 TMZ检测到不平衡电压, AR动作电压在 2~30 V内可调。由于母线差动继电器的不正常动作可导致整个系统瓦解, AR动作且延迟 5 s后发出闭锁信号,该闭锁信号断开跳闸回路并且短路差动回路,并给运行操作人员指示。闭锁信号无法自动复归,需要运行人员手工复归。

4.3 电压限制原理

在内部故障期间,差动回路中的电流将在 R_{D11} 上产生一个电压,由于 R_{D11} 的阻值较大,如果不采用电压限制,此电压可能非常高。对于内部故障差动回路上的电压迅速上升,采取两个阶段加以限制,第一阶段是可由饱和电抗器 TMZ的特殊电气性能来限制的,这一点前面已作了详细说明;第二阶段由非线性电阻器 R_{Z1} 和 R_{Z2} 来限制,从图 1可以看出非线性电阻上的电压 U_T 约等于 $I_{d1} * (R_{D11} + 400)$,当电压 U_T 达到 500 V时, R_{Z1} 或 R_{Z2} 的非线性特性可以使电压 U_T 保持在 500 V不变,从而达到了限制电压的目的。

5 总结

通过以上的分析说明,可以看出 REB103内部原理设计得很巧妙,从而使得装置具有很高的可靠性、灵敏性、快速性。但是 REB103保护作为静态性保护装置,母线接线方式越复杂,则 REB103外部回路也越复杂,所以在采用 3/2接线方式的 500 kV系统, REB103的回路比较简单清晰,得到广泛应用。而在采用双母双分段的 220 kV系统中, REB103的回路比较复杂,反而增加了保护装置误动的可能性,应用不如在 500 kV系统中广泛。微机型母差保护

的外部回路相对简单清楚,但是动作时间稍慢于 REB103保护装置,所以需要根据现场的实际情况和要求来决定是否选用 REB103保护。

参考文献:

- [1] 韩笑,赵景峰. 电网微机保护测试技术 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
HAN Xiao, ZHAO Jing-feng Test Technique for Micro-computer-based Protection in State Power Grid [M]. Beijing: China Water Power Press, 2005.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答 [M]. 北京:中国电力出版社,1999.
National Power Dispatching and Communication Center Practical Techniques Q and A for Power System Relay

Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.

- [3] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京:中国电力出版社,2004.
HE Jia-li, SONG Cong-ju Theory of Power System Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2006-01-10; 修回日期: 2006-05-12

作者简介:

邓洁清 (1977 -),男,工程师,主要从事电力系统继电保护的试验和研究工作;E-mail: dengjq0905@sohu.com

陈久林 (1970 -),男,工程师,主要从事电力系统继电保护试验和研究工作。

Analysis of static bus differential protection REB103 internal principle

DENG Jie-qing, CHEN Jiu-lin

(Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 210036, China)

Abstract: Firstly, this paper introduces realization of basic differential principle, ratio bias property, starting relay, open CT-circuit alarm relay, voltage restriction principle. Then it analyses several fault accidents of fieldwork. Based on all the fault analysis, it illustrates real-time property, sensitivity and stability of Bus differential protection REB103 in the end.

Key words: static bus differential protection; ratio percentage restraint; open CT-circuit alarm relay; start relay; voltage restriction

热烈祝贺中国电力系统保护与控制学术研讨会隆重召开

2006年9月19~22日,在美丽的海滨城市珠海,由中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会、清华大学电机工程与应用电子技术系和华中科技大学电气与电子工程学院主办,《继电器》杂志社承办的中国电力系统保护和控制学术研讨会隆重召开。来自电力设计部门、运行部门、各省市电力公司、电厂、电力设计院、铁道设计院、电力设备制造企业、高等院校等200多位代表齐聚在一起,共同探讨中国电力系统保护与控制领域的发展趋势和前沿技术!

大会邀请作重要发言和专题报告的专家有:南方电网电力调度通信中心处长赵曼勇女士,甘肃省电力调度通信中心总工程师何世恩先生,中科院院士、清华大学首席科学家、教授、博士生导师卢强先生,华中科技大学教授、博士生导师陈德树先生、程时杰先生、段献忠先生,清华大学教授、博士生导师董新洲先生、黄益庄女士,浙江大学教授、博士生导师、国际大电网高压直流及FACTS分会交直流协调控制组主席雷宪章先生,哈尔滨工业大学教授、博士生导师郭志忠先生,华北电力大学教授、博士生导师王增平先生等。

针对特高压交直流输电、继电保护新技术以及数字化变电站等前沿性技术问题,多位专家作了专题报告,并展开深入探讨与交流。会议以电力继电保护为核心,分为继电保护、自动化等四个分会场,专家与科研人员针对行业中的新技术及其应用展开面对面交流,电力用户抛出问题,专家现场指点迷津,研究开发人员茅塞顿开,讨论异常热烈。会议得到了有关专家的高度认可,参会代表纷纷反映效果良好,希望今后更多地举办这样的学术交流活动。相信本次会议必将对电力系统继电保护与控制的技术发展起到重要的推动作用。