

磁制动母线差动保护原理初探

马永生 何奔腾 浙江大学电机系 杭州 (310027)

【摘要】 电力系统母线保护存在的主要问题,是电流互感器的饱和问题。为了防止CT饱和后的保护误动,提出了许多饱和改进措施,但由于种种原因此问题都不能很好地被解决。从电流互感器饱和的物理本质出发,提出了基于电流互感器磁链的饱和判据,从理论上找到了解决电流互感器饱和引起母线差动保护误动问题的可靠方法。并在此基础上提出了一套基于电流互感器线性区的母线差动保护方案。

【关键词】 饱和 线性区 母线差动保护

引言

电力系统中的母线广泛采用电流差动式保护,对包含各种频率成分的互感器二次侧电流瞬时值差动的原理,可方便地实现母线快速保护。母线保护主要依赖电流互感器(CT)二次侧电流信号作为保护判断信息。因此,电流互感器能否正确传送一次侧电流信息,直接影响母线保护能否正确地动作。而在母线区外近端短路时,故障线路电流互感器将产生饱和,不能正确传送一次侧信息,二次侧电流波形产生缺损,对于以电流互感器二次侧电流为判断信息的母线保护,难以避免地要产生误动。因此,采用合适的抗CT饱和的饱和原理和算法,以减小或消除电流互感器饱和对保护的影响,或采用适当的闭锁保护的方式,避免保护误动,是母线保护研究的主要方向。目前基于母线差动原理的保护,已提出了许多防止CT饱和后保护误动的方法,如:具有制动特性的母线差动保护、CT线性区母线差动保护以及中阻抗母线差动保护等多种方法。具有制动特性的母线差动保护,实质上是在保护启动后的某段时间内人为的提高动作定值,以防保护误动,但同时也使得对转换性故障的灵敏度下降。CT线性区母线差动保护,是在电流互感器交流每周波退出饱和的线性区内,投入差动原理的保护,由于此种原理的保护实质上是避开了电流互感器的饱和区,所以能对母线故障作出正确地判

定,正是因为这一原因,CT线性区母线差动保护成为目前母线保护研究领域广泛关注的课题。本文提出的母线保护方法,正是基于CT线性区母线差动保护原理的新思路。

1 基本原理

众所周知,当故障发生之最初电流互感器并不饱和,它能够正确地传变一次侧电流,我们称此区间为CT线性区,实际上电流互感器在交流过零时也出现线性区。CT线性区母线差动保护的关键在于正确地判断CT的饱和和退饱和的时刻,确定电流互感器的线性区。对CT饱和的判定目前已有许多方法提出,大多是对差电流的变化进行分析得出电流互感器的饱和判据,但在多个电流互感器出现饱和时,对差动保护的整体线性区的判别存在一定的困难,因此在实用或理论上都存在着许多问题。本文从电流互感器饱和的物理本质出发,得出了一种基于电流互感器磁链的饱和新判据,本判据逐个对电流互感器的线性区进行判定,从理论上得到了寻找CT线性区的方法,下面对此方法作以分析。

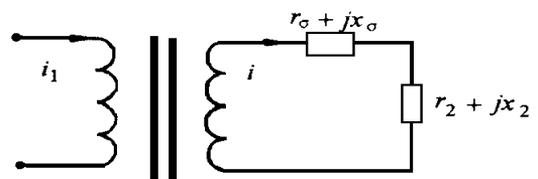


图1 电流互感器示意

1.1 原理分析

图1是电流互感器示意图,其中CT漏磁

阻抗已归算到二次侧负荷阻抗中, $R = r + r_2$, $X = x + x_2$, 对于电流互感器二次侧存在电压方程:

$$\frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} + Ri \quad (1)$$

其中 ψ 为电流互感器磁链; $L = \frac{X}{2f}$ 为二次侧电感。对式(1)积分得:

$$\psi(t) - \psi(0) = Li + R \int_0^t i dt \quad (2)$$

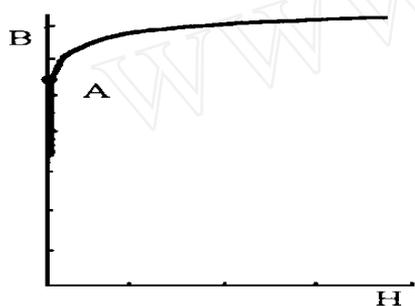


图2 铁芯磁化曲线

上式中 $\psi(0)$ 为故障刚开始时电流互感器的磁通; 对于给定的电流互感器来说, 当 $\psi(t)$ 达到图2的饱和点A点, 即 $\psi(t) > \psi_{SAT}$ 时电流互感器出现饱和。所以CT饱和判据可写为:

$$\left| R \int_0^t i dt + Li + \psi(0) \right| > \psi_{SAT} \quad (3)$$

为了分析简单起见, 首先假定没有剩磁, 则CT线性区是满足下式的区间:

$$\left| R \int_0^t i dt + Li \right| < \psi_{SAT} \quad (4)$$

在满足式(4)限定的线性区内, 投入母线差动保护, 在式(4)不满足的区间内闭锁保护。由于一次侧电流的作用CT饱和后会周期性地退出饱和区返回线性区, 当式(4)周期性地得到满足时, 说明电流互感器处在线性区, 相应地周期性将保护投入。图3为式(4)的仿真结果(曲线1为电流互感器铁芯励磁电流。2为二次侧电流积分值。3为电流互感器饱和磁通 ψ_{SAT})。从仿真结果可以看出, 在满足式(4)的线性区内电流互感器的励磁电流接近于零, 判据表现出良好的可靠性。另

外, 由于电流互感器的饱和是由一次侧电流的非周期分量引起, 所以判据式(4)总是偏向坐标轴的一侧。

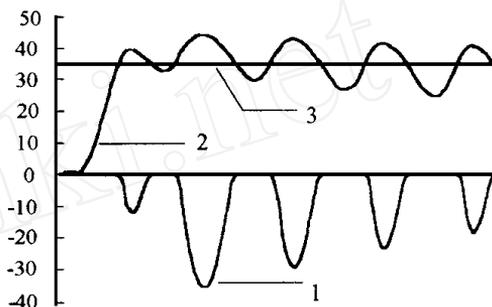


图3 电流互感器线性区判定仿真结果

1.2 测量误差的影响

考虑到在实际应用中 R 、 L 、 ψ_{SAT} 总是存在一定的测量误差, 为了保证电流互感器线性区判定的可靠性引入可靠系数 K_L 和 K 。式(4)可写为:

$$\left| R \int_0^t i dt + K_L Li \right| < K \psi_{SAT} \quad (5)$$

对于可靠系数 K_L 、 K 的取值, 应从保证线性区的判定的可靠性的原则出发, 把实际的线性区适当缩回, 以保证在电流互感器饱和时保护可靠的制动。因此取 $K < 1$ 。 K_L 的取值要稍微复杂些, 由于电流互感器的饱和是由一次侧的非周期分量引起, 所以式(5)的左侧第一项总是偏向坐标轴的一侧, 第二项则有正有负, 当第一、二两项同符号是考虑 L 有正误差, 取 $K_L < 1$; 当两项符号相反时考虑 L 有负误差, 取 $K_L > 1$ 。从而保证线性区的可靠性。事实上通过仿真分析本判据对二次侧等效电感 L 的误差并不敏感, 当二次侧负荷阻抗角在 $\cos \varphi_2 = 0.8$ 附近有 $\pm 20\%$ 的变化时, 线性区变化并不大, 仿真波形如图4所示。

1.3 电流互感器初始磁通的考虑

从式(3)可以看出, CT线性区的判定受保护启动时的电流互感器起始磁通 $\psi(0)$ 的影响很大, 但由于电流互感器的正常工作情况下铁芯磁密度很低, 故障发生且保护初投入时一般初始磁通可认为为零, 不会影响保护对CT饱和的正确判断。当母线发生区外故障保护启动后故障发展

转为区内时,由于保护并未退出也就不存在初始磁通问题,保护也不会误动。若出现线路保护正确动作切除故障使母线保护整组复归,线路经一定的延时进行重合闸,并且重合于永久性故障,保护在短时间内第二次启动时就应该考虑起始磁通(0),因此,当母线保护整组复归后,应对无电流出线的电流互感器磁通作限定时间的记忆。

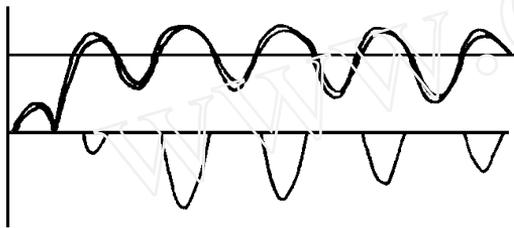


图4 L变化时的CT线性区

2 保护方案

电流互感器二次侧电流积分饱和判据,是基于铁芯磁链的实时计算的饱和判据,能很方便地实现电流互感器线性区差动保护,并且具有很高的选择性和可靠性。

2.1 故障启动判据:

利用母线电压降低并伴随电流突变可启动保护。

2.2 保护动作判据:

$$\left| \sum_{n=1}^N i_n \right| > I_{d0} \quad (5)$$

$$J_n = \left\{ \left| \int_0^t i_n dt + K_L Li + (0) \right| < K_{SAT} \right\} \quad (6)$$

$$J = \sum_{n=1}^N J_n \quad (7)$$

其中 n 为连接于母线的线路回数 ($n = 1, 2, \dots, N$); J_n 为第 n 条线路的电流互感器线性区; J 为 N 条线路电流互感器线性区的交集; I_{d0} 为母线差动保护的定值。

保护的逻辑构成如图5所示

当故障使保护初启动时电流互感器均未饱和和 J 判据满足,保护开放,保护根据差动元件的判定正确动作。当有一个电流互感器饱和时, J

判据不满足,通过与门闭锁保护防止保护误动。当电流互感器均退出饱和时, J 又得到满足,保护再次开放进行下一次保护判定。由于差动判据总是在电流互感器线性区被开放,所以就保证母线保护不受CT饱和的影响,可作出正确的动作判断。

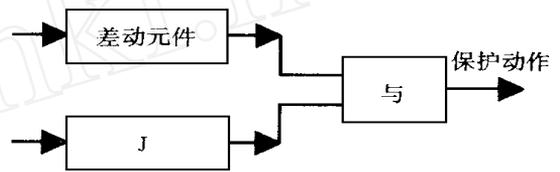


图5 保护的逻辑框图

2.3 磁制动母线保护的仿真分析

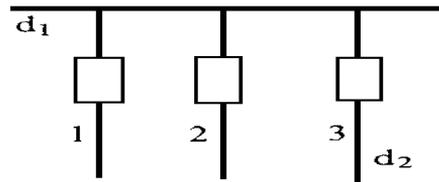


图6 母线接线

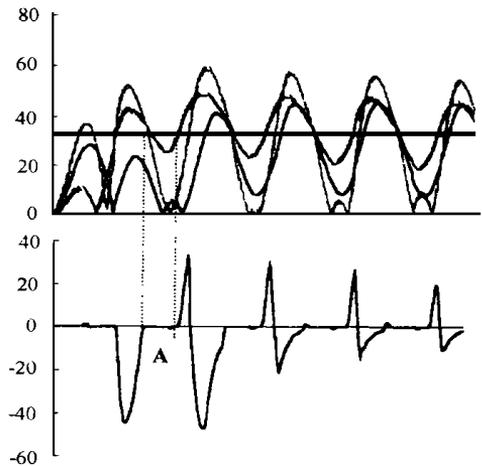


图7 母线区外故障

仿真采用的母线接线如图6所示。仿真时考虑到1、2、3三条进线连接的电源有一定的相角差。图7、图8分别为母线区外故障和区外故障转区内的情况,图中上面三条曲线分别为出线1的磁链(图中实线)、出线2的磁链(图中虚线)、出线3的磁链(图中点划线),下面曲线为差动电

流。从图中可以看出,母线区外短路时差动电流总为零,如图7中区间A和图8中B区间,从而保证保护区外故障不误动。在图8的C区间内母线区外故障转区内,差动电流立即增大,至少在下一个线性区D区间内可以准确地判定为母线区内故障,保护动作切除故障母线。

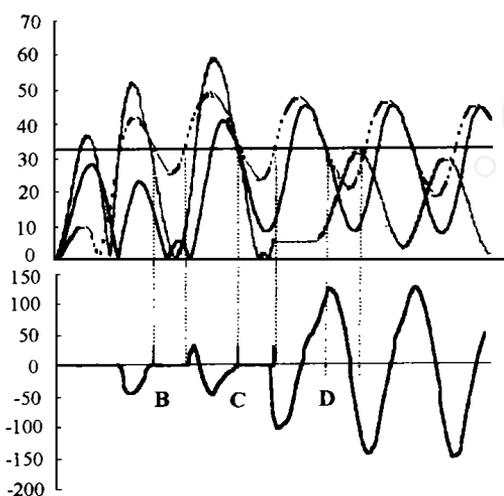


图8 母线区外故障转区内的情况

2.4 初始磁通 (0)

保护初次启动时认为 $(0) = 0$;在中高压电网中由于采用带气隙的电流互感器,其 $B-H$ 曲线较接近于一条直线,其剩磁通常小于 $0.1 B_{sat}$,因此总可以认为保护启动时的初始磁通为零;在中低压电网中采用无气隙的电流互感器,母线区外故障线路保护正确动作切除故障后,母线保护的电流互感器铁芯的磁通按二次回路的时间常数衰减到剩磁,此时线路若重合于永

久性故障, (0) 考虑 50% 额定磁通。

3 结论

本文从电流互感器饱和的物理本质出发,提出了基于电流互感器磁链的饱和判据,从理论上找到了解决电流互感器饱和和引起母线差动保护误动问题的可靠方法。这种方法采用寻找电流互感器线性区投入母线差动保护,通过正确地判定 CT 的饱和和退饱和,即正确地找出 CT 的线性区,从而保证保护不发生误动。因此 CT 线性区判据工作的可靠性,就决定了保护是否能够可靠工作。从前面的分析可以看出,由于本文提出的电流互感器线性区的判据主要由二次侧电流的积分构成,因此对电力系统故障时的谐波干扰有较强的抑制作用,并且整定值仅于电流互感器本身参数及二次侧负荷的电阻分量有关,这就保证了判据的工作稳定性。

参考文献

- 1 朱声石著. 高压电网继电保护原理与技术(第二版). 中国电力出版社.
- 2 王维俭 侯炳蕴著. 大型机组继电保护理论基础(第二版). 水利电力出版社.
- 3 Sanderson J V H and Pereira P. S A device for the detection of CT saturation. IEE Development of Power System Protection, 1980.
- 4 Melaren P. G and March G. A saturation detector and its application to current protection. IEE Development of Power System Protection, 1980.

MAGNETIC RESTRAINING DIFFERENTIAL BUS PROTECT

Ma Yongsheng, He Benteng (Dept. E. E., Zhejiang University, 310027)

Abstract Saturation of Current Transformer (CT) is the major problem of Bus Protect in power system. Many measures have been adopted to prevent CT from error operation after saturation, but until now this problem has not been satisfactorily solved for various reasons. On the basis of the physical principle of CT saturation, this paper present a new saturated criterion depending on the flux of CT, and find out a dependable measure to solve the error operation of Differential Bus Protect Coursed by CT saturation theoretically. Furthermore, a Differential Bus Protect technique based on the linear section of CT is presented.

Keywords Saturation Linear Section Differential Protect