

变压器差动保护中电流互感器及其联接组的若干问题探讨

权宪军

(烟台东方电子信息产业股份有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 阐述了变压器差动保护中电流互感器(TA)及其联接组的若干技术问题的重要性。对这些问题给出了解决方法:利用数学方法解决TA联接组的匹配;针对TA饱和的附加稳定区判别法;电流电压量综合判别法识别TA二次电路断线或短路问题;加强保护的人机接口功能,避免TA接线的相序、极性和接地问题。

关键词: 电流互感器; TA联接组; TA饱和

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)02-0064-05

0 引言

电力变压器是发电厂和变电站的主要电气设备之一,对电力系统的安全稳定运行至关重要,尤其是大型高压、超高压电力变压器造价昂贵、运行责任重大。一旦发生故障遭到损坏,其检修难度大、时间长,要造成很大的经济损失,另外,发生故障后突然切除变压器也会对电力系统造成或大或小的扰动。因此,对继电保护的要求很高。

作为电力变压器的主保护之一的变压器差动保护历来都得到广大保护同行们的重视,对其主要保护原理的研究已经相当有成果。但是对于其电流互感器(TA)及其联接组的若干问题尚留有进一步探讨的余地,如:(1)变压器各侧TA联接组的变比匹配和相位修正;(2)TA饱和时的对策;(3)TA二次电路断线或短路时的对策;(4)TA接线的相序、极性和接地问题等。

这些问题处理的不好也会直接影响变压器差动保护的可靠工作,降低保护性能。特别是现在大量采用的微机型变压器差动保护,由于具有了更加强大的数据处理、计算、逻辑判断等软件功能,更应该处理和解决这些问题。本文针对这些问题并通过长期在变压器保护方面的研究、设计和应用中的体会,对变压器差动保护中变压器各侧电流互感器及其联接组的若干问题专门作了探讨。

1 电流互感器联接组的变比匹配和相位修正

一般来说,在电力变压器中有电流流过时,通过变压器各侧电流互感器的二次电流不会正好完全平衡,这与变压器的变比和接线组别,以及变压器各侧的电流互感器的变比和接线等情况有关。因此,变压器差动保护系统设计时必须考虑下列各项因素,

只有经过合理匹配的各侧电流才能进行比较。这些因素主要是:1)变压器各侧的电压等级,包括分接头情况;2)变压器各侧的电流互感器情况及其接线方法;3)变压器Y接线下造成的电流相位差;4)变压器Y接线绕组侧的中性点接地情况;5)变压器侧有无接地故障零序电流电源。

常规的变压器差动保护装置,通过选择电流互感器的接线方式修正相位差,并通过装置内部的器件进行变比匹配或者通过专用的外部辅助电流互感器进行变比匹配,从而解决这些问题,这里不再赘述。目前,微机型变压器差动保护装置普遍通过保护软件单纯地以数学方法来实现变压器及电流互感器的变比匹配,以及修正被保护变压器接线组别形成的相位差。不需要装置内部的器件进行变比匹配或专用的外部辅助电流互感器进行变比匹配。

一般情况下,微机型变压器差动保护装置可以采用如下的数学表达式模拟变压器各侧电流的匹配情况,不再要求电流互感器的接线方式。其通常的编程系数矩阵数学表达式如下:

$$[I_{OUT}] = K_n \cdot [A] \cdot [I_N] \quad (1)$$

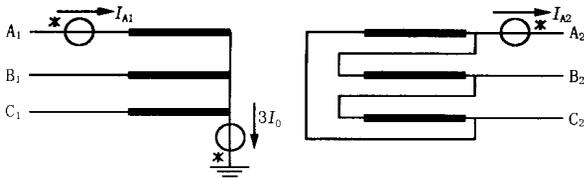
式中:[I_{OUT}]为匹配后的该侧电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的矩阵; K_n 为该侧变比平衡系数;[A]为该侧相位平衡系数的矩阵; [I_N]为该侧输入装置的电流 I_A 、 I_B 、 I_C 的矩阵。

如果采用零序电流补偿方式,其通常的编程系数矩阵数学表达式如下:

$$[I_{OUT}] = K_n \cdot [A] \cdot [I_N] + K_0 \cdot [I_0] \quad (2)$$

式中:[I_0]为该侧零序电流的矩阵; K_0 为该侧零序变比平衡系数。

例如,对于如图1所示的变压器接线情况,如果设定输入微机型变压器差动保护装置的变压器主一

图1 $Y_0/-11$ 接线变压器Fig. 1 Transformer with $Y_0/-11$ wiring

次和主二次电流的各侧电流互感器均为星形接法,且同名端均在变压器的外侧,那么电流互感器联接组的变比匹配和相位修正方式可以采用如下两种方式:

方式一,变比匹配和相位修正按照无零序补偿的常规方式。按照式(1)确定的各侧编程矩阵方程如下:

$$\begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{b1} \\ I_{c1} \end{bmatrix} = K_1 \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A1} \\ I_{B1} \\ I_{C1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a2} \\ I_{b2} \\ I_{c2} \end{bmatrix} = K_2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A2} \\ I_{B2} \\ I_{C2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

方式二,有零序补偿的方式。它的各侧编程矩阵方程分别按照式(2)和式(1)确定如下:

$$\begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{b1} \\ I_{c1} \end{bmatrix} = K_1 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A1} \\ I_{B1} \\ I_{C1} \end{bmatrix} + K_0 \begin{bmatrix} I_0 \\ I_0 \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} I_{a2} \\ I_{b2} \\ I_{c2} \end{bmatrix} = K_2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A2} \\ I_{B2} \\ I_{C2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

它们之间的区别主要是:方式一符合常规使用方式,应用经验丰富;方式二对于变压器一次侧的接地故障的灵敏度较方式一好;方式二由于对变压器一次侧电流互感器输入的电流没有相关合成,因此对于变压器产生的励磁涌流的原始特征保留情况可能比方式一更好;方式二的缺点是需要输入保护装置接地侧的零序电流,应用经验不够丰富。

通过以上分析和在实际应用中的体会,采用纯数学方法依靠软件实现电流互感器联接组的变比匹配和相位修正方式带来的好处是:可靠性高、方式灵活、不受环境影响、经济性好、修改方便等。但是,在应用中一定要注意选择的变比平衡系数的限制范围,避免变比平衡系数本身放大保护的采样值影响保护工作。

2 电流互感器饱和时的对策

常规电磁耦合型电流互感器由于故障电流大或系统时间常数长以及电流互感器本身的剩磁等因素引起的电流互感器饱和,会对变压器差动保护装置产生极为不利的影。特别是电流互感器的暂态饱和和对引用变压器各侧电流量的变压器差动保护的影响更大,应该采取相应的识别方法区分是否为变压器差动保护区外故障造成的电流互感器饱和的情况,避免变压器差动保护误动作。

目前,一方面对于电流互感器的选型已经考虑或注意到电流互感器的暂态饱和问题,如在高压系统或大容量电力设备高压侧普遍采用 TPY 级电流互感器,以及选用带小气隙的 PR 级电流互感器等;另一方面要求保护装置本身具有一定的抗电流互感器饱和的能力,特别是抗电流互感器暂态饱和的能力。对于保护装置采用的判别方法主要是利用电流互感器饱和后的电流特征识别,如电流波形识别法、谐波含量判别法、时差判别法等。下面介绍一种变压器差动保护中选用的抗电流互感器饱和的附加稳定特性判别方法。

首先,对于发生在被保护变压器区内的短路故障,它引起的电流互感器饱和是不易用差动电流和制动电流的比值区分的。这是因为差动电流和制动电流的测量值都会受到影响,而且它们的比值立即就会满足保护动作条件。这时的比率差动保护的動作特性还是有效的,故障特征满足比率差动保护的動作条件。

其次,对于发生在被保护变压器区外的故障,它产生的较大的穿越性短路电流引起的电流互感器饱和,会产生很大的虚假差动电流,这在各个测量点的电流互感器饱和情况不同时更为严重。如果由此量值引发的工作点落在了比率差动保护的動作特性区内,而且不采取任何稳定比率差动保护的措施,比率差动保护将会误动作。但是我们知道:电流互感器并不是在故障一开始就发生饱和,而是在故障发生后一段时间,其铁芯的磁通达到饱和密度后才开始饱和的。这样,电流互感器从故障起始到开始饱和和总会有一段时间($1/4T \sim 1/2T$, T 为工频周期的时间)还能够线性变换电流量,不会立即饱和。因此,按照基尔霍夫电流定律计算变压器各侧的电流量得到的差动电流,在开始的短时间内基本平衡,仅会产生较小的不平衡电流,待电流互感器饱和后才会产生较大的差动电流,引起变压器差动保护误动作。

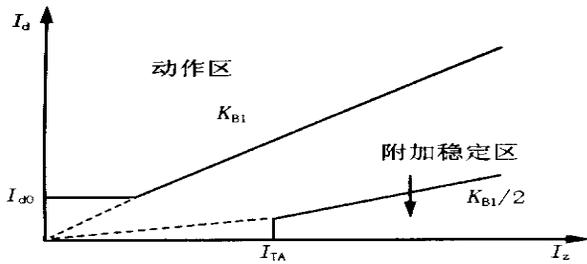


图2 差动保护动作特性

Fig.2 Operating characteristic of differential protection

针对上述情况,变压器差动保护可以设一个电流互感器饱和时的附加稳定特性区,它能够区分出变压器的区内、外故障情况,其工作特性如图2所示。

对于区外故障引起的电流互感器饱和,在故障发生最初的 $1/4 T \sim 1/2 T$ 时间内,可以通过高值的初始制动电流 (I_{TA}) 检测出来,此制动电流会将工作点短暂地移至附加稳定特性区内。反之,当区内故障时,由于差动电流很大,其与制动电流的比值引发的工作点会立即进入比率差动保护的動作特性区内。因此,保护的工作点是否在附加稳定特性区内,在半个周期内由此判别作出决定。一旦检查出是外部故障引起电流互感器饱和,可以自动闭锁比率差动保护,并在整定的时间 (T_{TA}) 内一直有效闭锁比率差动保护,直到整定时才解除闭锁。判据公式如式(7):

$$\begin{cases} I_z > I_{TA} \\ I_d > K_{B1}/2 \cdot I_z \\ t > T_{TA} \end{cases} \quad (7)$$

式中: I_{TA} 为检查 TA 饱和制动的电流门槛值; T_{TA} 为 TA 饱和闭锁时间。

在外部故障引起的电流互感器饱和闭锁了比率差动保护期间,如果在变压器保护区内也发生了故障,其引发的工作点连续两个周期工作在高定值的动作区内,那么电流互感器饱和闭锁会被立即解除。由此可靠地检查出被保护变压器发展中的故障而迅速动作。

3 电流互感器二次回路断线或短路时的对策

历来,对于微机型变压器差动保护判别其电流互感器二次回路的断线或短路故障都比较困难,原因是单纯通过本身的电流量去判断接线比较复杂的电流互感器二次回路的多种多样的断线和短路故障时,很难与各种系统异常或故障情况区分,因此很多微机型变压器差动保护都只是配有简单的电流互感器二次回路的断线判别元件。针对这种情况,介绍

一种由电流量和电压量共同判别电流互感器二次回路断线或短路的判别原理,它特别适用于主后备一体化方式的微机型变压器保护装置。

变压器差动保护的差流异常报警和电流互感器二次回路断线或短路的判据如下:

1) 差流异常告警

当任何一相差流的有效值大于告警门槛值,而且连续满足该动作条件的的时间超过 10 s 时,保护装置发出差流异常告警信号,但是不闭锁比率差动保护。该项功能兼有电流互感器二次回路断线或短路、采样通道异常(器件损坏或特性改变等)、外部接线回路不正常等情况的综合告警作用。

2) 瞬时电流互感器断线或短路告警

在保护启动后满足以下任一条件时开放比率差动保护:

- 任一側任一相的电压元件有突变启动;
- 任一側负序电压大于门槛值;
- 启动后任一側的任一相电流比启动前增大;
- 启动后最大相电流大于 $1.2 I_e$ 。

如果上述排除系统故障或扰动的判据不满足,而差动电流的工作点满足式(8)时,那么保护判定为电流互感器二次回路断线或短路故障,而不认为发生了变压器内部短路故障。

$$\begin{cases} I_d > I_{dset} \\ I_d > k \cdot I_z \end{cases} \quad (8)$$

式中: I_{dset} 为检查断线或短路差动电流门槛值; k 为检查断线或短路的比率系数。

在以上判据的实际应用中,为了满足不同用户的需要,该判据元件可以设计为通过配置字选择仅仅发出告警信号,或者选择发出告警信号并且闭锁比率差动保护,或者选择不投入此判据元件。在选择发出告警信号并且闭锁比率差动保护时,还可以选择“永久”闭锁比率差动保护或相电流增大超过 $1.2 I_e$ 时自动解除闭锁比率差动保护。

由于以上判据选择了电流量和电压量综合判别,所以对于电流互感器二次回路的各种断线或短路情况都能够很好地判别出来。因此,不仅全面增加了电流互感器二次回路故障情况的判别类型,而且对于电流互感器二次回路的各种各样的断线或短路情况判别得更准确、可靠、全面。

4 电流互感器接线的相序、极性和接地问题

变压器差动保护按照有关的规定在保护投运前要严格检查输入保护装置的电流互感器接线电路的

相序和极性,确保变压器差动保护的正确工作。如果保护装置本身可以直观地显示输入的变压器各侧电流的相角、幅值,那么对于变压器差动保护各侧电流互感器接线的相序和极性检查会有很大的帮助,对变压器差动保护的安全稳定运行又多了一份保证。基于此考虑,利用微机型保护的较强的人机接口功能,可以直观显示变压器各侧电流的相对相位角度和幅值,显示差流的幅值等,观察输入电流的测量情况。因此,在变压器投运后带有轻负荷的情况下,由现场的保护技术人员通过观察变压器差动保护装置测量显示的变压器各侧电流和差流的情况,绘出变压器各侧电流的相量图,就可以直接分析验证变压器各侧电流互感器电路接线是否正确。如果通过观察分析得到的相量图确认接入变压器差动保护装置的变压器各侧的相电流电路接线正常,仅仅是显示的差流不正常,那么有可能是保护装置本身的数字化平衡变压器各侧电流的整定值有问题,从而也验证了保护装置的数字化平衡变压器各侧电流的整定值是否正确。

变压器差动保护的二次电流回路接线的另外一个值得注意的问题是接地点问题。在 1983 年部颁《继电保护和自动装置技术规程》中,就有如下条文:电流互感器的二次回路应有一个接地点,并在配电装置附近经端子排接地。但对于有几组电流互感器联接在一起的保护装置,则应在保护屏上经端子排接地。

工程实践中反映,确有将接入变压器差动保护装置的电流互感器二次回路多点接地的情况发生,造成变压器差动保护装置误动或异常。解决这一问题一方面靠严格执行有关的规程进行施工,另一方面同样在变压器投运后带有负荷的情况下,由现场的保护技术人员通过观察变压器差动保护装置测量显示的差流的情况分析解决。如果变压器差动保护装置测量显示的差流不正常,在排除了 TA 相序接

线错误和装置本身数字化平衡变压器各侧电流的整定值错误的情况下,可以检查电流互感器二次回路是否有多点接地的情况存在。

此外,对于变电站内的地网也要按照有关规程的要求安全可靠地构成一个完整的等电位面的地网。无论主控制室内的地网和开关站的地网都要可靠安全地互连,二次设备的接地点也一定要按照有关规程安全可靠地接在地网。

5 结束语

以上分析探讨了变压器差动保护中电流互感器及其联接组的若干问题,这些问题往往对于变压器差动保护的正确工作影响很大。不能够很好的解决这些问题,就会直接影响变压器差动保护的性能,甚至造成变压器差动保护的误动或拒动。

本文介绍的方法已经在实际装置中得到了很好的应用,RIDS 数字仿真试验、动模试验和实际现场应用都取得了满意的效果。

参考文献:

- [1] 王维俭(WANG Wei-jian). 电气主设备继电保护原理与应用(Electrical Main Equipment Protection Principle and Application) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press),1998.
- [2] 王梅义(WANG Mei-yi). 电网继电保护应用(Power System Protection Application) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1998.
- [3] 李宏任(LI Hong-ren). 实用继电保护(Applied Protection) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing:China Machine Press),2002.

收稿日期: 2003-05-19; 修回日期: 2003-10-09

作者简介:

权宪军(1963-),男,高级工程师,主要从事继电保护产品研发工作。

Discussion on current transformer and the connection group of its secondary circuit in transformer differential protection

QUAN Xian-jun

(Yantai Dongfang Electronic Information Industry Co., Ltd, Yantai 264000, China)

Abstract: This paper proposes the importance of several questions about current transformer(TA) and the connection group of its secondary circuit in transformer differential protection. The corresponding solutions are given as follows: to adopt mathematics method for the matching of TA connection group; to add additional stable region to verify TA saturation; to integrate current and voltage to distinguish the break or short of TA secondary circuit; and to strengthen HMI to avoid problems like TA phase sequence, polarity and earthing.

Key words: current transformer; TA connection group; TA saturation