

大型发变组保护用电流互感器参数选择问题的探讨

易先举

(长江水利委员会设计院,湖北 武汉 430010)

摘要: 为保证大型发变组在暂态条件下继电保护装置动作正确性,结合工程计算实例,针对发变组保护所用电磁式电流互感器的特性、故障电流持续时间 t 、暂态面积系数 K_{td} 、总磁通倍数 K_n 等相关参数选择问题进行了论述和探讨。

关键词: 电流互感器; 参数选择; 机组保护

中图分类号: TM31 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2002)12-0051-04

1 引言

由于大型发变组容量大、造价高,且在电力系统中占有重要地位,这就要求电力系统和发变组发生故障时,继电保护装置能够正确动作。要满足上述要求,除继电保护装置应有较好的特性外,电流回路的传感元件能否真实地反映系统故障电流也是至关重要。众所周知,电磁式电流互感器在稳态或暂态饱和时,二次侧电流将产生严重畸变,无法真实反映一次系统故障电流。尽管人们对高压大电流系统的电流、电压测量元件进行了长期深入地研究,但目前其结果仍无法达到人们的期望,因此,在现阶段电磁式电流互感器(TA)仍将继续使用。本文将结合工程实际,重点探讨大型发变组电磁式电流互感器的类型和参数选择。

2 大型发变组保护 TA 一般配置

根据发电机绕组结构和一次主结线的不同,大型发变组电流互感器的配置位置有所不同,但典型配置如图 1 所示,相应参数和要求过去通常为:

(1) 主变高压侧通常为 500 kV,该侧保护用电流互感器选用 TPY 类(如图 1 中的 10、11TA)。按相应规程规范要求,系统一次时间常数 T_p 取 100 ms,TA 的对称短路电流倍数 K_{ssc} 为 20 或按实际值、暂态面积系数 K_{td} 为 12、且应满足短路瞬间直流分量 100% 偏移。

(2) 主变压器低压侧或发电机机端通常为 20 kV 或 13.8 kV,为了使主变差动保护高低两侧 TA 特性一致,低压侧差动保护 TA(如图 1 中 6.7TA)同样选用 TPY 类,其它参数和要求同高压侧 10、11TA 一样。发电机差动和其它保护用的 TA 通常不

考虑暂态特性的影响,其电流互感器的准确级均选择为 5P20 级。

(3) 发电机中性点侧保护用 TA,将依据绕组结构形式和继电保护种类而配置(如图 1 中的 2、4、3、5TA)。用于裂相差动或完全纵差保护的 TA,其特性、准确级、二次负荷选择均同发电机差动保护 TA。对多分支绕组发电机各中性点间用于单元件横差保护 TA,其特性、准确级、二次负荷的选择均同发电机差动保护 TA,但变比通常按 $200 \sim 600/1^{[1]}$ 进行选择。

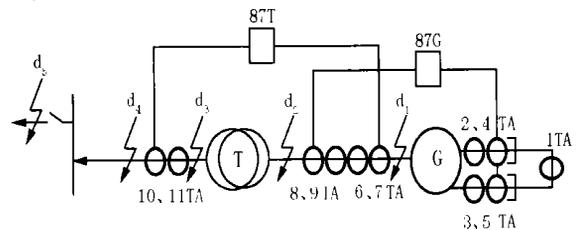


图 1 大型发变组保护电流互感器配置图

Fig. 1 Configuration chart of current transformer for large generation - transformer unit protection

3 抑制电流互感器饱和的对策

人们对高压大电流系统的电流电压测量进行了长期深入地研究,以期解决传统电磁式电流互感器的饱和问题,目前归结起来主要有以下两方面的措施:

(1) 利用微机继电保护装置本身能快速记忆、判断的特点,根据电流互感器饱和时具有一定延时、波形出现缺损等特征来判别保护区内、区外故障时电流互感器的饱和。这种方式目前在微机母线保护中得到应用,但在发变组保护区内外故障时,微机发变组继电保护装置对高、低压侧电磁式电流互感器饱和如何识别和克服,国内一些高校和研究单位正

在研究,目前尚无成熟产品。据国外一些技术资料介绍,发变组差动保护已具有对 TA 饱和判断功能(12 ms 后饱和即可判断)。利用微机发变组继电保护装置的自身功能来克服传统电磁式电流互感器饱和的缺陷,是一种非常经济实用的措施,值得我国继电保护工作者进行深入研究。

(2) 根据工程实际,合理选择 TA 稳态和暂态参数。实际工程中,计算各相关点的对称短路电流倍数 K_{sc} 比较容易,但对 TPY 类电磁式 TA 在暂态过程中的暂态面积系数 K_d 确定相对困难一些,这主要涉及到系统时间常数 T_p 、TA 二次回路时间常数 T_s 、故障电流流过 TA 时间的选择等。为了保证发变组继电保护装置对故障电流的正确测量,不会因 TA 饱和而引起二次电流失真而导致继电保护装置误动或拒动,在 TA 参数选择时,应根据工程的可实施性、运行的安全可靠性以及经济性进行综合考虑。

4 大型发变组保护 TA 参数选择的探讨

对于大型机组而言,系统故障时无论是主变高压侧 TA,还是发电机机端、中性点 TA 均存在暂态过程。如前所述,主变差动保护两侧 TA 均选择 TPY 类,但对发电机保护的 TA 通常选择 5P 类。人们可能认为,发电机既然存在暂态过程,为何选择 5P 类 TA 也很少出现保护误动作情况?究其主要原因可能为:(1)由于发电机 TA 的对称短路电流倍数 K_{sc} 选择比实际值往往大得多,为暂态过程留有一定的裕度;(2)有些发变组未发生过故障,存在问题往往无法表现出来。目前,对于大型发电机可以选择一种带小气隙的抗剩磁电流互感器(PR 类),其计算与 TPY 类 TA 相似,下面仅以 TPY 类为例探讨 TA 选择中的一些问题。

4.1 保护用 TA 暂态面积系数 K_d 计算

在工程设计中,对大型变压器或发变组差动保护两侧 TA,通常应考虑系统暂态特性的影响,即选用 TPY 类。TA 暂态面积系数 K_d 的大小直接影响到其体积大小,因此合理选择该值是非常重要的。有关规程推荐 500 kV 系统 TA 选 $K_d = 12^{[2]}$,此值是在假定系统一次时间常数为 $T_p = 100$ ms、TA 的二次回路时间常数 $T_s = 2.5$ s、故障电流流过时间 $t = 40$ ms 的情况下由公式(1)计算得出的,如果考虑重复激磁则应由公式(2)进行计算。

$$K_d = T_p \frac{T_s}{T_p - T_s} (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) + 1 \quad (1)$$

$$K_d = [T_p \frac{T_s}{T_p - T_s} (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) - \sin t] \times e^{-(t_{fr}+t)/T_s} + T_p \frac{T_s}{T_p - T_s} (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) + 1 \quad (2)$$

式中: t 为第一次故障电流通过时间, t 为第二次故障电流通过时间, t_{fr} 为无电流休止时间。

从公式(1)、(2)^[3]可以看出,系统一次时间常数 T_p 、TA 二次回路时间常数 T_s 、短路电流流过 TA 时间 t 以及工作循环对 K_d 值的计算均有一定影响。

(1) 系统一次时间常数 T_p ,在不同故障点其值不一定相同。如图 1 中在 d_3 点短路时,电力系统提供短路电流流经 10、11 TA,系统一次时间常数 T_p 可按相关规程的推荐取 100 ms;但在 d_4 点短路时,流经 10、11 TA 的短路电流为发电机提供,此时 T_p 不一定是 100 ms,其值应由发电机和变压器的时间常数计算决定,相应的 K_d 也不一定是 12。

(2) 二次回路时间常数 T_s ,此值通常由制造商在产品的设计时,依据 TA 的变比、对称短路电流倍数 K_{sc} 、一次时间常数 T_p 、二次负荷大小等参数,并综合考虑 TA 布置和强度等因素后确定。由于 T_s 与 TA 铁芯尺寸及材料、导线尺寸及气隙大小等有关,因此,在 T_s 尚未确定情况下,直接向制造商提出 K_d 值要求,只能作为参考,实际意义不大。

(3) 流过 TA 短路电流时间 t 值的大小对 K_d 值影响较大,这将直接影响 TA 体积大小。因此,应从 t 值计取对继电保护正确动作性以及所造成的影响进行技术经济综合考虑。

在图 1 中,如以主变低压侧差动保护 6、7 TA 为例,当故障发生在保护区内 d_2 、 d_3 时,由于主变差动保护动作后装置跳闸出口命令可以一直保持(保护出口继电器或断路器跳闸回路保持)到跳闸回路断路器辅助触点断开,包括断路器失灵时也同样如此,对 6、7 TA 而言,尽管此时持续电流时间为保护装置动作时间与断路器动作时间之和,但在继电保护动作并保持后(约 30 ms),即使 6、7 TA 饱和,对继电保护正确动作也无影响。因此,在保护区内故障时,流过 TA 故障电流的时间仅取主保护动作时间约 30 ms 和一定的裕度时间约 15 ms,共约 45 ms 即可。

如果故障发生在保护区外 d_1 、 d_4 点,差动保护两侧 TA 饱和程度可能不一致。为了确保差动保护动作的选择性,应在外部其它保护动作时间(30 ms) + 断路器跳闸时间(40 ms) + 裕度时间

(15 ms)内 TA 不饱和,继电保护装置不应误动作,其 t 值应取 85 ms;如果考虑断路器失灵则应另加延时 120 ms,其 t 值应取 205 ms。

在区外 d_1 点短路时,如果不考虑断路器失灵延时,即 t 值取 85ms 进行 K_{td} 计算,其值比较小,则所设计出的 6、7TA 在断路器失灵情况下可能饱和。此时除发电机差动保护动作,有可能引起主变差动保护误动作。如果机端不设发电机断路器,主变差动保护和发电机差动保护动作后均应跳主变高压侧断路器,因此这种情况不会导致不良后果,但此时对故障发生区域的确定需人为分析判断。如果考虑断路器失灵保护延时,即 t 值取 205 ms 进行 K_{td} 计算,其值较大,则所设计出的 6、7TA 在这种情况下不会饱和,但体积比较大,可能导致安装布置困难。如上所述,流过 TA 短路电流时间 t 值的选取,应结合工程实际综合分析选取。

(4) 从公式(2)可以看出,C-O-C-O工作循环对计算 K_{td} 值存在一定影响。由于 500 kV 线路通常设有自动重合闸,因此相关 TA 通常应考虑重复激磁的情况,包括发变组保护和其它保护(如母线、短线差动保护等)用 TA 在线路重合闸时也存在重复激磁。发变组保护用 TA 应考虑该工况下的 K_{td} 计算,并与计及断路器失灵保护延时情况下的 K_{td} 值进行比较,选择其中较大值作为设计条件,以确保发

变组继电保护不误动作。

(5) 发变组差动保护两侧 TA 特性问题。通常要求发电机、变压器以及发变组差动保护两侧 TA 特性一致,对发电机而言这不难理解,可选择两侧 TA 类型 and 所有参数完全一致,但对变压器和发变组差动保护两侧 TA 选择则情况不同。由于变压器高低压侧 TA 变比不同,其结构尺寸以及故障情况下的对称短路电流倍数 K_{ssc} 、暂态面积系数 K_{td} 等参数也不一样,其参数应依据实际情况进行计算。因此特性一致可理解为两侧 TA 种类一致、内部或外部故障情况下在规定时间内不饱和且误差在规定范围内,不能简单理解为两侧 TA 参数选择完全相同。总的来说,应要求两侧 TA 满足在规定时间内不饱和且误差均不超过允许值,即保证外部故障时保护不误动、内部故障时保护不拒动即可认为其特性是符合要求。

4.2 保护用 TA 参数选择

如上所述,对发变组保护的某一组 TA,由于短路点不同,所流过 TA 的对称短路电流倍数 K_{ssc} 以及相应的暂态面积系数 K_{td} 也不同。在图 1 中,以主变差动保护的机端 6、7TA 为例,根据主变和发电机等参数,可计算出在短路点 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 的参数如表 1,机端 TPY 类 TA 在 4 个不同短路点共得出 4 组不同数据。

表 1 不同短路点时各参数的取值

tab. 1 Calculation values of individual parameter in different short-circuit points

短路点	I_{GN}/A	I_{TAN}/A	X_d	X_T	K_{ssc}	T_p/s	T_s/s	t/s	K_{td}	$K_n = K_{ssc} \cdot K_{td}$
d_1	24253	30000		0.168	4.81	0.302	3.16	0.085	23.94	115
d_2	24253	30000	0.216		3.7	0.31	3.16	0.045	15	55.5
d_3	24253	30000	0.216	0.168	2.1	0.305	3.16	0.045	13.4	28
d_4	24253	30000	0.216	0.168	2.1	0.305	3.16	0.205	47.26	95

如果 d_4 考虑重复激磁的影响,即由公式(2)按 C-O-C-O 工作循环计算,取 $t = 85$ ms, $t_{tr} = 415$ ms, $t = 40$ ms,计算得 K_{td} 值约为 34。由此可见,此值小于按计及断路器失灵保护延时所计算出的 K_{td} 值 47.26,因此,TA 应按后者进行产品设计。表 1 中 4 组数据的 K_{ssc} 、 K_{td} 以及 K_n 均不相同, d_1 点对称短路电流倍 $K_{ssc} = 4.81$ 为最大, d_4 点暂态面积系数 $K_{td} = 47.26$ 为最大,且 d_1 点有 $K_n = 115$ 为最大(未按断路器失灵工况考虑,否则该值可能会更大一些)。电流互感器是否满足要求,通常校验其额定等效二次极限电动势 E_{al} 是否大于保护要求的等效

二次感应电动势, E_{al} 可由公式(3)^[3] 计算。

$$E_{al} = K_{ssc} \cdot K_{td} (R_{ct} + R_{bn}) I_{sn} \quad (3)$$

式中: R_{ct} 为电流互感器二次绕组电阻; R_{bn} 为电流互感器额定负荷; I_{sn} 为电流互感器额定二次电流。

由公式(3)可以看出,在 TA 确定的情况下,其 R_{ct} 一定,且实际负荷比额定负荷 R_{bn} 小,最大不超过 R_{bn} ,可认为 $R_{ct} + R_{bn}$ 是常数,因此 E_{al} 值的大小主要取决于 $K_{ssc} K_{td}$ 的乘积。如上所述,对同一 TA 在不同短路点短路时其 $K_{ssc} K_{td}$ 的乘积不同,即相应的等效二次极限电动势也不同,因此在 TA 设计时应取

$K_n = K_{ssc} K_{td}$ 为最大值作为设计条件,但必须校核暂态面积系数最大点的误差值 是否满足小于 10 % 的要求,如上例中 d_4 点 $= K_{td}/(T_s) \times 100\% = \frac{47.26}{314 \times 3.16} \times 100\% = 4.76\%$,这样可认为 TA 在规定的条件下不会饱和,满足继电保护正确动作的要求。

对于主变高压侧 TPY 类 TA 和发电机保护用 PR 类 TA 进行校核计算时,其计算原则同样如此,需计算在各点短路情况下的 K_{ssc} 、 K_{td} 、 K_n 值,并进行误差值 校验。对发电机中性点侧高灵敏横差保护用 TA 的选择,关键是要确定各中性点之间短路电流的大小,这样才能合理选择 TA 变比。经过有关单位计算,该电流最大可为发电机额定电流的 2~3 倍,最小可为几十安培,因此对该 TA 参数要进行综合考虑后选择,以确保继电保护动作的可靠性,有关详细分析在此不再赘述。

5 结语

通过上述对发变组保护用 TA 参数选择的探讨,可以归纳如下看法:

(1) 对发变组保护用 TA 的选择,应根据系统的实际情况进行分析计算,不能盲目套用,既要使所选 TA 参数满足继电保护正确动作的要求,也要考虑设备布置以及经济性要求。

(2) 对 TPY 类 TA,订货时用户通常向制造商提供 K_{ssc} 、 T_p 、 R_b 以及工作循环参数,由制造商进行设计计算和优化,并提出 K_{td} 、 R_{ct} 、 R_{bn} 以及 T_s 等。因此在设备未订货前,向设备制造商提出暂态面积系数 K_{td} 要求,并无多大实际意义,因为只有在产品设

计后才能初步确定 T_s ,然后才可对各点 K_{td} 值进行计算。

(3) 主变或发变组差动保护两侧 TA 特性一致,不能理解为简单的参数一致,应理解为在规定的条件下两侧 TA 均不饱和且误差不超过允许值。

(4) 在计算 K_{td} 值时,故障电流流过 TA 时间 t 的确定,如若区内故障其继电保护出口保持,则其时间可只按本保护动作时间计算(45 ms);在区外故障,如果断路器失灵或外部三相重合闸重复励磁将导致该保护误动作时,则其时间分别按这两种情况计取,并计算比较两个 K_{td} 值的大小,取最大值作为产品设计条件。

(5) 对同一 TA 计算出在不同短路点短路时的 K_{ssc} 、 K_{td} 及 K_n 值,以其中 K_{td} 值为最大者对 TA 进行误差验算,并取其中 K_n 值为最大者作为制造商进行磁密复核计算的依据。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 王蔚林,等. 进口电流互感器和电容式电压互感器技术规范 SD333-89[Z].
- [3] 袁季修,盛和乐. 电流互感器的暂态饱和及应用计算[J]. 继电器,2002,30(2):1-5.

收稿日期: 2002-06-19

作者简介:

易先举(1957-),男,长期从事水电自动化和继电保护设计研究工作。

Research on the parameter selection of current transformer for large generator transformer unit protection

YI Xianju

(Design Institute of Changjiang Water Resource Committee, Wuhan 430010, China)

Abstract: To ensure operation correctness of relaying protection devices under transient condition, the selecting for characteristic and parameters of electromagnetic type current transformer which is used in generator transformer unit protection, such as continue time of fault current, transient area coefficient K_{td} , general flux multiple K_n etc. is researched and discussed combining with calculation of project example in this paper.

Key words: current transformer; parameter selecting; large generator transformer unit protection

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告