

变压器和电流保护的性能分析

常凤然, 张洪, 周纪录, 赵春雷

(河北电力调度通信中心, 河北 石家庄 050021)

摘要: 为了解决变压器电源侧相间后备保护灵敏度不满足要求,特别是低压侧加装限流电抗器时的后备保护问题,拟用变压器高中压侧 CT 构成的和电流保护,其原理、构成、整定与传统过流保护均有不同,值得尽快研究、开发、使用。本文认为,和电流保护能显著提高灵敏度,应该成为标准配置,该保护 CT 应采用三角形接线,用微型装置实现,其整定应以单变运行为计算条件。

关键词: 变压器保护; 和电流; 定值; 微机保护

中图分类号: TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)01-0016-03

1 引言

根据资料介绍和河北的实际运行情况,变压器低压设备故障,由于种种原因造成保护或开关拒动,可能致使设备受损,甚至酿成系统事故。在变压器保护存在的诸问题中,很突出的一种就是三卷变压器高中压电源侧相间后备保护对低压侧故障的灵敏度问题。根据分析,500kV 变压器配置的阻抗保护对低压侧故障的灵敏度,强电源侧还可能有一些,弱电源侧基本很难;220kV、110kV 变压器配置的过流保护,对低压侧有限流电抗器的,电流元件基本无灵敏度。因此,电源侧后备保护问题的解决,日益受到人们的关注,各专业人员提出了很多解决方案,本文要介绍和分析的仅是这些方案中的一种,希望能与广大专业人员探讨。

2 原理和构成

变压器和电流保护(也有人称之为不完全差动保护,只是与发电机的不完全纵差保护完全是两回事)是利用高中压侧电流的向量和,间接反映低压侧的电流(也因此有人称之为软 CT),由于电流取自高中压侧,保护范围包括了变压器本身,与低压侧过流相比,其可靠性较高,交流回路、直流回路可与另一套使用低压侧 CT 的过流保护完全分开。

在 110kV 及以上电压等级的大电流接地系统中采用时,如果发生接地故障,变压器中性点有电流流过,高中压侧电流的向量和显然不再是低压侧的电流,因此,和电流保护 CT 应采用三角形接法,以将零序电流的影响滤除,否则,该保护还要考虑防止区外接地故障时误动的问题。

从装置构成的角度看,本保护由微机保护来实现比较简单,并考虑在差动保护 CPU(装置)中增加

该功能,如此既解决了 CT 接线问题,也与其它后备保护实现了分别配置。如果由微机保护来实现的,单从安全角度考虑,可以不再采取其它闭锁措施。如果本保护不由微型装置实现,考虑用常规继电器完成,则需考虑可靠的闭锁措施,例如增加低压侧电压闭锁等。

本保护与低压侧过流保护的跳闸原则相似,和电流元件动作后,先经一定延时跳低压侧开关,再经一延时跳变压器各侧开关。

3 定值整定及灵敏度分析

3.1 传统过流保护或阻抗保护的灵敏度分析

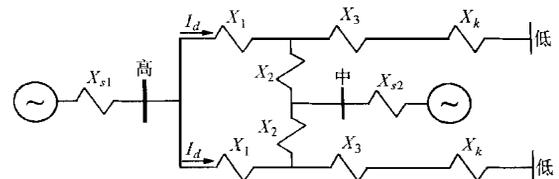


图 1

图 1 为两台变压器中压侧并列运行的阻抗图,图中:

X_{s1} 、 X_{s2} 分别为高、中压侧系统等效电源电抗;

X_1 、 X_2 、 X_3 分别为变压器 T 型等值电路中高、中、低压侧电抗(假设两台变压器参数相同);

X_k 为低压限流电抗器电抗。

当低压母线不并列运行时(实际情况一般如此),低压母线短路,考虑一般 Y/Y-12-11 的降压变压器,其 $X_2 = 0$,则变压器高压侧电流为:

三相短路的各相短路电流:

$$I_d =$$

$$\frac{0.5E}{X_{s1} + 0.5X_1 + X_3 + X_k + \frac{(X_{s1} + 0.5X_1) * (X_3 + X_k)}{X_2}}$$

根据短路故障分析理论可知,对 Y/Y₀-12-11 的变压器,低压母线两相短路时,变压器高压侧短路滞后相的电流为其它两相的 2 倍,最大相电流与三相短路相等。因此,高压侧过流对低压三相短路和两相短路的灵敏度是相等的。

结合图 1,分析上式可知:

当中压侧无电源时,即 $X_{s2} = 0$,则

$$I_d = \frac{0.5E}{X_{s1} + 0.5X_1 + X_3 + X_k}$$

I_d 显然增大,也就是说,中压侧有电源时,将降低高压侧过流的灵敏度;

当单变或两变中低压侧均分裂运行时,则

$$I_d = \frac{E}{X_{s1} + X_1 + X_3 + X_k + \frac{(X_{s1} + X_1) * (X_3 + X_k)}{X_{s2}}}$$

$0.5X_1$ 处变为 X_1 , $0.5E$ 变为 E ,变压器高压侧电流显然增大了,也就是说,两变并列运行也降低了高压侧过流的灵敏度。

根据目前河北电网系统的参数和变压器、电抗器的参数,可计算出大部分 220kV 变压器高压侧过流保护对低压 10kV 侧故障的灵敏度。

$S_j = 1000\text{MVA}$ 时,

系统: $X = 0.1 \sim 1.0$, 中压 110kV 侧无其它电源;

变压器: 高压侧 $X_1 = 1.0 \sim 1.2$, 中压侧 $X_2 = 0$, 低压侧 $X_3 = 0.6$ (120MVA 普通三卷变);

电抗器: $X = 1.7 \sim 4.6$ (10kV, 额定电流 1000 ~ 4000A, 8% ~ 12%);

低压侧短路时变压器高压侧故障电流(三相短路的各相、两相短路的最大相)为:

单变运行: 740 ~ 340A

双变运行: 430 ~ 180A (中压侧并列、低压侧不并列)

如果变压器高压侧过流按与中低压侧过流(中低压侧过流按躲本侧额定电流整定)配合整定,一般在 440 ~ 540A 间,灵敏度要满足要求显然很难。

500kV 变压器配置的相间阻抗保护,由于采用 0 接线,其特性为圆特性,低压侧两相短路时,测量阻抗已不是真实阻抗,根据计算,河北电网 500kV 变压器配置的阻抗保护对低压侧短路均无灵敏度。如果 500kV 变压器高中压侧配置过流保护,经计算,

其灵敏度同样不能满足要求。

3.2 无制动特性或闭锁条件的变压器和电流保护

先考虑变压器和电流保护无针对高中压侧区外故障的制动特性和闭锁条件的情况

3.2.1 变压器单变、单电源运行

先按最简单的情况分析,仅高压侧有电源,变压器单变运行。

该保护定值应考虑:

A) 躲过低压侧的额定电流,时间与低压侧出线保护最长动作时间配合;

B) 躲过中压侧短路时的不平衡电流,时间同上;

C) 与条件 B 并列,与变压器中压侧过流保护定值配合,时间也与变压器中压侧过流时间配合。

条件 A 是必须满足的,条件 B、C 是并列的,满足其一即可。

按条件 A 整定时

如果仅按条件 A 整定时,与传统的高压侧过流相比,灵敏度的提高是相当明显的。试简单分析之:

设传统的高压侧过流定值为 I_z (按躲高压侧额定电流 I_{e1} 整定,实际上考虑与中低压侧配合时,还要高一些),而此时变压器低压侧额定电流 $I_{e3} = I_{e1}/N$ (N 为变压器高、低容量比,变压器变比为 1),则和电流定值应为 $\sqrt{3} I_z / N$ ($\sqrt{3}$ 为接线系数)。

对低压侧三相短路,假定高压侧各相电流为 I_d ,则灵敏度为 $K_{lm} = I_d / I_z$ 。

此时,变压器和电流为 $\sqrt{3} I_d$ ($\sqrt{3}$ 为接线系数),则灵敏度为:

$$K_{lm} = \sqrt{3} I_d / (\sqrt{3} I_z / N) = N * I_d / I_z$$

也即是说,变压器和电流保护与传统的高压侧过流保护相比,其灵敏度提高到原来的 N 倍,实际上这也正是该保护的优点所在,因为它仅需躲开低压侧额定电流。

同理,低压侧两相短路时,高压侧各相电流分别为 I_d 、 $-0.5I_d$ 、 $-0.5I_d$,变压器和电流为 $1.5I_d$,灵敏度为 $K_{lm} = 1.5I_d / (\sqrt{3} I_z / N) = \sqrt{3}/2 * N * I_d / I_z$,灵敏度提高到传统高压侧过流的 $N * \sqrt{3}/2$ 倍。

对大部分 220kV 降压变压器,低压侧为半容量,两相短路的灵敏度提高到高压侧过流保护的 $\sqrt{3}$ 倍,三相短路的灵敏度提高到 2 倍。对 500kV 变压器,高低容量比更大,灵敏度提高的效果更明显。

考虑条件 B 整定时

如果考虑条件 B 时,该保护的定值可能需要提

高。仍以上述数据为例:

110kV 母线短路时,最大三相短路电流为(折至高压侧) 2280 ~ 1200A,不平衡电流按短路电流的 0.15 倍计算(考虑 CT 10% 总误差,可靠系数取 1.5),则为 $(340A \sim 180A) * \sqrt{3}$ ($\sqrt{3}$ 为接线系数),此值可能已大于条件 A 的整定值 $[(315A * 1.2/0.85/2) * \sqrt{3} = 222 * \sqrt{3}]$ 。而且,110kV 母线两相接地短路时的相电流还可能大于三相短路的相电流(河北大部分变电站如此),不平衡电流还要大,定值还要增大,因此,灵敏度的提高又可能被此条件打个很大的折扣。

考虑按条件 C 整定时

按条件 B 整定的主要问题就是可能增大了电流定值,因此,可以考虑按条件 C 整定,也就是考虑与中压侧过流保护配合。这样,在电流定值上,仅需要躲开相当于中压侧过流定值的短路电流的不平衡电流。

对于一般的变压器来说,高中压侧容量相同,中压侧过流定值折至高压侧时,也即是我们前面提到的 I_z ,因此,和电流保护的定值应为 $\sqrt{3} * 0.15 * I_z$,与条件 A 的定值 $\sqrt{3} * I_z / N$ 相比,只要变压器高低容量比的 N 值小于 $1/0.15 = 6.7$,条件 A 的定值就大于条件 C 的定值。

按条件 C 整定时,需要注意时间定值的配合,因为变压器中压侧过流的动作时间一般比低压侧出线动作时间长,此时和电流保护的时间定值应取此值。

条件 B 和 C 均是考虑变压器中压侧故障时,保证变压器和电流保护的选择性要求,条件 B 相当于靠提高电流定值,条件 C 相当于靠提高时间定值。

3.2.2 变压器并列运行、双侧电源

对并列运行变压器和双侧电源变压器:

从前面的数据看,似乎即使低压两相短路的灵敏度提高到 $\sqrt{3}$ 倍,仍不足以满足灵敏度要求。但进一步的分析表明,对变压器和电流保护,由于电流始终反映着本变低压侧电流,当双变并列运行或变压器双侧有电源时,低压侧短路电流较单变单电源运行时大很多(不考虑低压侧并列运行),对同样的定值来说,灵敏度也要高很多,反而是单变单电源运行时,灵敏度低一些,仅提高到 $\sqrt{3}$ 倍,因此,现在我们需要校验单变运行的灵敏度,而不是双变并列、双侧有电源运行时的灵敏度。

双变并列运行时,定值的计算原则不变,此时中

压母线短路时流过一台变压器高压侧的电流较单变运行时还要小,因此,实际计算时,应以单变运行为计算条件。

变压器双侧有电源时,定值计算的条件 B 应当改为分别躲变压器高、中压侧短路的不平衡电流,与上节的分析类似,此条件可能是电流定值的约束条件。定值计算的条件 C 应当改为分别与高、中压侧过流保护配合,同样地,此条件可能是时间定值的约束条件。

计算条件 B、C 的选用,应当以实际计算结果分析,如果按条件 A、B 计算出的定值能满足灵敏度要求,应予以首选,因为此时和电流保护的動作时间较短,如果按条件 A、B 计算出的定值不能满足灵敏度要求,对单电源的,则按条件 A、C 计算,对双电源的,可高、中压侧分别考虑条件 B、C,综合选出符合灵敏度要求和选择性要求的定值。

4 结束语

上面简单叙述了变压器和电流保护的原理和构成,详细计算、分析、比较了传统过电流保护与变压器和电流保护在定值整定原则和灵敏度方面的异同。可以说:

1) 变压器和电流保护能显著提高对变压器低压故障的灵敏度,尤其是对变压器并列运行或双侧电源运行。

2) 对变压器低压侧装有限流电抗器、电源侧相过流保护灵敏度不足的站,变压器和电流保护无疑是非常值得考虑配置的变压器后备保护。即使对电源侧相过流保护灵敏度满足要求的站,从后备保护分别配置、保护范围交叉、保护可依赖性等角度考虑,也值得配置。

3) 变压器和电流保护 CT 应采用三角形接线,用微型装置实现,宜增设在差动 CPU 中。

4) 变压器和电流保护的整定与传统过流保护不同,应以双电源单变运行为整定条件,灵敏度校验仍按不利运行方式下的两相短路计算。

另外,上面对定值整定的分析是不考虑该保护有针对高中压侧故障的制动或闭锁条件的,也因此才有计算条件 B、C,如果能对该保护进行深入研究,例如考虑增加制动或其它针对区外故障的闭锁条件时,整定时不再考虑计算条件 B、C,在不增加动作时间的情况下,灵敏度还应当能进一步提高。

我们吁请继电保护的研究制造单位,能尽快开发、研究,在微机变压器保护中增加此功能,并对此

电力系统计算中的二维稀疏结构技术

毛安家, 郭志忠

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 提出了一种既能方便解决单相电力系统中的稀疏矩阵的存取, 又能方便解决三相电力系统计算中的稀疏矩阵存取问题的二维稀疏结构技术。该技术还方便地解决了单、三相计算中迭代方程组系数方程的存取及非零元素注入问题。使得处理稀疏矩阵象处理二维数组一样地简单。把二维稀疏结构作为一种基本数据结构来描述, 这对形成电力系统计算类库具有实际意义。

关键词: 电力系统计算; 稀疏矩阵; 二维稀疏结构

中图分类号: TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)01-0019-03

1 引言

在电力系统计算中, 导纳矩阵和迭代方程的系数矩阵都是庞大的稀疏矩阵, 因此, 如何处理这些稀疏矩阵, 成为电力系统计算中的一个较为突出的问题。稀疏矩阵技术也因此应运而生^[1]。由于稀疏矩阵只存储非零元素, 因而不但节省了大量内存, 而且避免了对零元素的乘除运算, 使程序中的运算量大大减少。这使得在当初计算机内存极为珍贵时, 用较少的内存, 解算较大的电力系统成为可能。在计算机技术飞速发展的今天, 虽然内存和计算速度似乎已不再是问题的主要矛盾, 但作为提高计算效率的一项技术, 稀疏矩阵技术仍然是广大程序设计者乐意研究的问题。

仔细研究一下这些稀疏矩阵技术, 不难看出, 它实际上是用一维数组(或链表)来压缩存储二维矩阵的。因此, 在实际操作中, 不可避免地要对一个(或几个)大型数组的查询问题, 随着电力系统的节点数

增多, 查询效率也会越来越低, 查询速度也会越来越慢。特别是, 在解方程时碰到“下雨”(该行以上各行非零元素在本行零元素位置引起注入元素)问题就更复杂。而且, 随着电力系统的日益发展, 电力系统输电电压越来越高, 引起电力系统不对称的因素也越来越多, 因此, 研究在相分量系统下的三相电力系统计算已成为必然趋势^[2]。在三相问题中, 我们同样面临着稀疏矩阵问题, 只是此时的矩阵的元素不再是数, 而是矩阵了。而且, 随着所采用的模型的不同, 稀疏矩阵的复杂程度也不一样, 甚至各元素矩阵的维数不一样^[3]。因此, 有必要寻求一种更为高效的稀疏矩阵算法, 使得它既能方便、高效地解决单相问题中的简单的稀疏矩阵, 又能方便地处理三相问题中的复杂稀疏矩阵。本文提出的二维稀疏结构技术正是这样的一种技术。之所以称之为结构, 因为它已不是传统意义上的矩阵, 它可以实现多对象的混合存储, 从数据结构上看, 它更象一种结构。

保护的原理、构成等进一步完善, 为变压器保护的安全可靠运行做出新贡献。

电保护的计算、运行、管理工作; 张洪(1964-), 女, 高级工程师, 1988年起从事继电保护的计算、运行、管理工作; 周纪录(1964), 男, 高级工程师, 1986年起从事继电保护的计算、运行、管理工作; 赵春雷(1968), 男, 工程师, 1991年起从事继电保护的计算、运行、管理工作。

收稿日期: 2000-05-09

作者简介: 常凤然(1967-), 男, 工程师, 1989年起从事继

Analysis on the characteristics of sum current protection for transformer

CHANG Feng-ran, ZHANG Hong, ZHOU Ji-lu, ZHAO Chun-lei

(Hebei Electric Power Dispatch & Communication Center, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: To solve the problems on sensitivity of phase to phase backup protection on transformer's power supply side, especially the problems on the backup protection on the conditions of a current limit reactor applied on the LV side, a sum current protection formed by CT on HV and MV sides on transformer is proposed. Its principle, construction and setting way are different from the traditional overcurrent protections. In the author's view, the sum current protection would improve the sensitivity considerably and should make it be a standard arrangement. Its CT should be delta wired realized by microprocessor based device. Its setting should be done based on single transformer operation.

Key words: transformer protection; sum current; setting value; microprocessor based protection