变压器主保护中的自适应方案

刘世明[1] , 林湘宁[1] , 杨春明[1] , 陈德树[2]

(1. 东方电子信息产业集团股份有限公司 ,山东 烟台 264001 ; 2. 华中理工大学 ,湖北 武汉 430074)

摘要 : 针对变压器微机纵差保护中的电流互感器比例系数的调整以及互感器接线极性校对等问题 ,介绍了几种自适应方案。对于零序差动保护的 CT 极性检测和校对问题 ,文中提出了两种自适应参考方案以供探讨。

关键词 : 变压器; 纵差保护; 零序差动; 自适应

中图分类号 : TM772　　**文献标识码** : A　　**文章编号** : 1003-4897(2001)03-0039-04

1 引言

将自适应原理应用到继电保护领域中来 ,可以大大改善继电保护的性能。为了适应电力系统运行状态的复杂变化 ,应付不同的故障类型和故障情况 ,传统的继电保护往往采用抬高定值、增加闭锁判据等措施。而运用自适应原理 ,继电保护可以根据电力系统运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性或定值 ,突破常规保护的限制 ,尽可能地提高保护的灵敏度和准确性 ,并且常常可以减少整定值的数量 ,降低整定难度。此外 ,继电保护装置还可以根据现场的情况 ,完成在线调整判据计算方法 ,校对接线极性等等任务 ,使保护装置能够适应各种现场条件 ,减少因接线或整定错误而引起的保护误动或拒动 ,降低工作人员的劳动强度。

20 世纪 80 年代以来 ,随着微机继电保护的应用和发展 ,计算机的高速计算、逻辑判断能力 ,强大的数据记忆功能 ,为自适应原理在继电保护中的广泛应用创造了良好的条件。如线路保护中的自适应电流保护、自适应距离保护、自适应自动重合闸等等 ;发电机保护中的自适应三次谐波定子接地保护、自适应失磁保护等等。

在变压器的主保护中 ,自适应原理也得到了良好的应用。例如常用的比率制动式差动保护 ,就是在普通的纵差保护的原理上 ,增加自适应功能 ,自动调节保护的动作电流 ,因此可以保证外部故障不误动 ,同时对于内部故障又有较高的灵敏度。又如在计算机保护中 ,在保护启动初期 ,采用短窗滤波算法以加快严重内部故障时保护的反应速度 ,但由于短窗算法的误差较大 ,因此自适应地抬高整定值 ,避免误动 ;随着时间的延长 ,故障后数据的增多 ,再采用较精确的滤波算法 ,同时将整定值逐步恢复到原来的值 ,这样既顾及了严重内部故障时保护的快速性 ,又不降低保护整体的准确性。

广泛应用自适应原理 ,充分发挥计算机继电保护的智能潜力 ,能够在现有的技术条件下 ,改善保护性能 ,提高继电保护的现场运行水平。以下结合实际工作 ,介绍在变压器主保护装置设计中运用自适应技术的经验和设想。

2 自适应调整电流通道变化

根据整定计算导则 ,变压器纵差保护中最小动作电流 $I_{op.min}$ 以及差动保护回路的最大不平衡电流 $I_{unb.max}$ 的计算公式(以二绕组变压器为例) 分别为 :

$$I_{op.min} = K_{rel}(K_{er} + \Delta U + \Delta m) I_N / n_a$$

$$I_{unb.max} = (K_{ap} K_{cc.} K_{er.} + \Delta U + \Delta m) I_{k.max} / n_a \qquad (1)$$

其中 , I_N 为额定电流值 , n_a 为电流互感器变比 ,而 ΔU 为变压器调压引起的误差 ,取调压范围中偏离额定值的最大值 , Δm 是由于电流互感器变比未完全匹配的误差。其余各系数的含义详见整定导则。由此可以知道 ,如果能减小两式中各分项的值 ,就可以降低相应的整定值 ,提高纵差保护的灵敏度。

计算机继电保护可以利用其强大的计算功能 ,通过软件实现电流的变比系数调整 ,因此可以取消 (1) 式中的 Δm 项。

电力系统中为了调节电压 ,提高系统的稳定性 ,广泛采用了调压变压器 ,特别是在中高压系统中。例如 220kV 级的有载调压变压器调压范围可达 ±4 ×2.0 % ,为了避免差动保护误动 ,按(1) 式考虑的整定值必须留有相当的裕度 ,因此影响了保护的灵敏度。原理如下 :记变压器额定电流的表达式为 :

$$I_N = S_N / \sqrt{3} U_N$$

其中 S_N 为本侧的额定视在功率 , U_N 为本侧的额定电压。而 Y 侧和 Δ 侧的二次额定电流分别为

$$i_{NY} = \sqrt{3} I_{NY} / n_{aY} = S_{NY} / U_{NY} n_{aY}$$

$$i_{N\Delta} = S_{N\Delta} / \sqrt{3} U_{N\Delta} n_{a\Delta} \qquad (2)$$

设二次侧电流分别为 i_Y 和 i_Δ (已经过 Y/Δ 变换) ,则微机保护装置内部计算的差动电流 i_d 为:

$$i_d = i_Y K_{iY} - i_\Delta K_{i\Delta} \tag{3}$$

其中 K_{iY}、$K_{i\Delta}$分别是 Y 侧和Δ侧的电流比例系数,对于普通的微机保护装置,这些比例系数都是固定的常数,满足或近似满足在额定电流下 $i_d = 0$。但是从式(2)可以知道,当变压器可调电压侧的电压调整之后,该侧额定电流也将改变,此时在额定工况下(以及其它正常运行条件下)由式(3)计算的差动电流不等于零,为保证变压器差动保护不误动,就必须抬高其整定值,这正是(1)式中ΔU 的作用。

如果能够采用自适应原理,实时跟踪变压器的电压变化,在软件中相应调整(3)式中的 K_{iY}和 $K_{i\Delta}$ 系数,就可以减少甚至取消(1)式中的ΔU 项,从而提高保护的灵敏度。因此可以在正常工况下(保护未启动)实时监测差流大小,如果差流增大到一定的范围并长期存在,就判断是调压抽头已变化,则相应调整调压侧电流的变比系数,使得在当前电压下正常工况时的差流保持平衡。

由于在正常工况下,变压器的负荷有可能很小,甚至不带负荷,此时用电流通道很难准确地判断出电压级差的变化。因此,更为直观的方法是直接测量变压器的端电压。为使额定电流情况下计算的差流为零,由式(2)和(3)可知,电流比例系数必须满足:

$$\frac{K_{iY}}{K_{i\Delta}} = \frac{U_{NY} \cdot n_{aY}}{\sqrt{3}\, U_{N\Delta} \cdot n_{a\Delta}} \tag{4}$$

因此,按当前正常工作条件下求得的 K_{iY}和 $K_{i\Delta}$ 进行整定,保护装置正常运行后,计算机实时监测额定电压 U_{NY}或 $U_{N\Delta}$的变化,并随之调整 K_{iY}或者 $K_{i\Delta}$,使之满足(4)式,达到减小差流计算中不平衡电流的目的。

差动保护中一般没有引入或没有完全引入电压通道。为了提高交流通道的利用率,对电压通道的监测可以在其它引入了电压量的后备保护中进行,然后将监测结果通过通信方式通知差动保护。另外,为了避免测量误差、计算误差等的影响,在(4)式中 U_{NY}或 $U_{N\Delta}$不是直接采用测量的实际电压,而是按照变压器的调压级差逐级可调,测量的电压最接近哪个电压级别,就取哪个电压进行计算。

3 自适应判别 CT 接线极性

变压器纵差保护中差流与制动电流的表达式与 CT 接线极性有关。一般的,假定各侧 CT 极性均以电流从母线流向变压器为正。以两绕组变压器为例,如图 1 所示,则差动电流 $\dot{I}_d$和制动电流 $\dot{I}_{res}$分别为:

$$\dot{I}_d = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$
$$\dot{I}_{res} = (\dot{I}_1 - \dot{I}_2)/2 \tag{5}$$

其中 $\dot{I}_1$和 $\dot{I}_2$分别是变压器两侧的电流值。该表达式对于 Y/ Y 接线的变压器以及二次侧电流经过 Y→Δ 变换的 Y/Δ 型变压器均适用。当然,如果统一定义各侧 CT 极性均以电流从变压器流向母线为正,如图 2 所示,则上式依然成立。

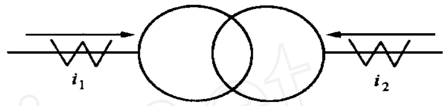

图 1 CT 极性正向定义一

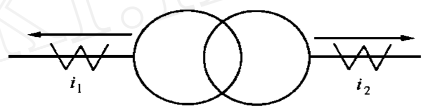

图 2 CT 极性正向定义二

如果 CT 极性正向定义如图 3 或图 4 所示,则差动电流 $\dot{I}_d$和制动电流 $\dot{I}_{res}$的计算表达式就应该分别为:

$$\dot{I}_d = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 \qquad \dot{I}_{res} = (\dot{I}_1 + \dot{I}_2)/2 \tag{6}$$

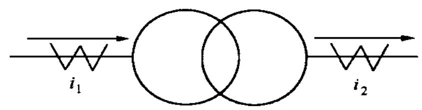

图 3 CT 极性正向定义三

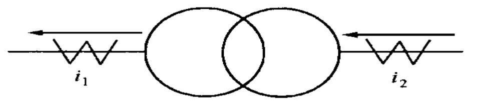

图 4 CT 极性正向定义四

因此,根据 CT 接线的极性,分别采用式(5)或式(6)进行计算,均可以满足要求。但是值得指出的是,无论采用式(5)或式(6),都要求两侧三相的 CT 接线一致,否则在正常负荷电流情况下,错接相所计算的差流会很大,而制动电流很小,容易导致保护误动。因此,两侧三相 CT 接线与装置内部计算方法的一致性非常重要。

但是在现场接线时,往往难以检测 CT 接线的极性。对于常规保护,CT 极性的错接是造成变压器纵差保护误动的主要原因之一。在微机保护中,由于有了较强的人机交互能力,因此装置在现场安装完毕,进行加电调试时,通过打印机打印或屏幕显示差动电流值,就可以判断 CT 极性是否接错,决定是否需要更改以及更改哪些相的 CT 接线,从而避免

了 CT 接线错误造成的保护误动。

这种处理方法与常规保护装置相比是一大进步。但是一旦发现 CT 接线有误,仍然需要停电,然后更改接线,再加电检测,比较麻烦。更加智能化的方法是让微机保护装置自动识别各相的 CT 极性,自适应地分别采用式(5)或式(6)计算。即在调试程序中增加 CT 极性判别功能,流程简图如下图 5 所示。

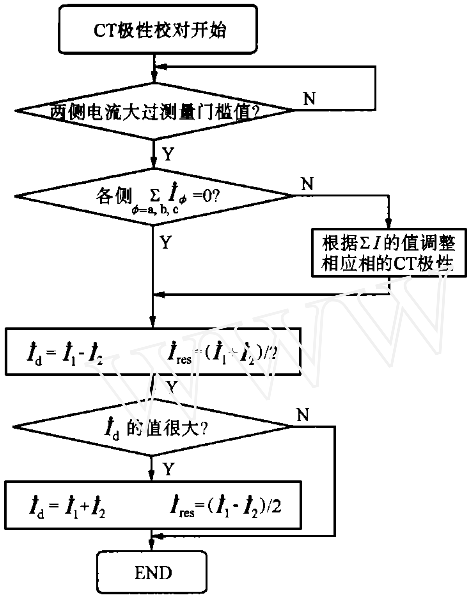

图 5　CT 极性校对功能流程简图

每一侧都有一个独立的电流和校对模块;每一侧都有一个独立的差电流校对模块。分别校对各侧、各相的 CT 极性。另外需要指出,对于 Y/Δ 绕组的变压器,《微机继电保护装置运行管理规定》推荐其电流互感器二次宜采用 Y 形接线,其相位补偿和电流补偿由软件实现。以 Y/Δ-11 绕组变压器的 A 相为例,则按照图 1 或图 2 接线时其差动电流公式为:

$$\dot{I}_{dA} = (\dot{I}_{YA} - \dot{I}_{YB})/\sqrt{3} - \dot{I}_{\Delta A}$$

此时,上述流程里 A 相 CT 极性校对模块中的 $\dot{I}_1$ 或 $\dot{I}_2$ 应该用 $(\dot{I}_{YA} - \dot{I}_{YB})/\sqrt{3}$ 代入,其它相类似。

增加了 CT 极性判别和自校正的功能,微机保护装置在现场安装后,只需经过一次正常的加电测试,就可以自动地调整软件计算方法以适应 CT 的二次接线极性,既避免了由于 CT 接反而造成的保护误动,又省去了发现 CT 极性错误后的停电换线工作。对于三绕组变压器,同样可以采用这种方法进行三侧三相 CT 极性的检测和校正,只是判断流程更加复杂,这里不再赘述。更进一步地,还可以尝试由微机继保装置在加电试验时自动判别变压器绕组联接方式和组别。如果能够完成这项功能,则保护装置在现场无需运行人员检查接线或者整定联接方式,只需经过加电检测即可。因此可以说在这一方面,微机保护装置实现了"即插即用"(PNP)功能。

4　零序差动保护的自适应对策

对于 220～500kV 变压器,单相接地短路是主要故障形式之一。特别是单相变压器组,变压器油箱内部相间短路不可能发生。然而对于 Y_N/Δ 接线的变压器的单相接地故障,纵差保护的灵敏度却有可能不足,因为在纵差保护中 Y_N 侧电流互感器二次接成三角形,使得差动回路不反映零序电流。如果纵差保护的灵敏度不能满足要求,则需要增设对变压器单相接地故障有较高灵敏度的零序差动保护。零序差动保护的接线示意图如图 6、图 7 所示。根据实际情况并考虑确保保护的灵敏度,零序差动保护各侧采用变比相同的 CT。

零序差动保护对单相接地故障有较高的灵敏度,原理简单,接线也不复杂,并且不反应励磁涌流,因此有较大的实际应用价值。但是其在实际运行中却存在一个难题:零序 CT 接线的极性难以检查。因为正常的三相电路不含零序电流,所以在装置加电检测中和正常运行工况下都无法校对其接线是否正确,所以上一小节的方法在此不能适用。而如果 CT 极性有错,就造成变压器外部接地故障时保护误动,或者内部接地故障时保护拒动。

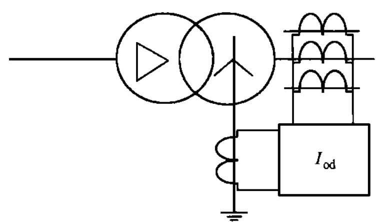

图 6　普通变压器零序差动保护接线

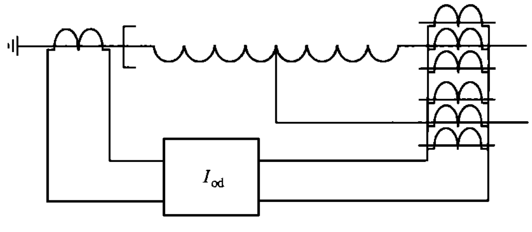

图 7　自耦变压器零序差动保护接线

对于变压器出口处三相并联的 CT,可以在接地故障时保护启动后,由三相 CT 自产 $3I_0$(要求 Y 侧

普通三相 CT 的二次侧接成 Y 形) 与零序差动保护和三相并联 CT 产生的零序比相。由于比相的目的只在于校对 CT 的极性,因此两组 CT 的变比是否相等并无影响,其灵敏度不同也没有关系。只是有两点需要注意:①如果在轻微故障时,普通三相 CT 的自产 $3I_0$ 灵敏度不够,则这种方法无效。②要求装置必须既引入零序差动保护的零序电流,也要引入三相普通 CT 的三个电流。

然而对于中性点侧的 CT,就不这么简单了。对于普通变压器,为了检测其零序 CT 的接线,可以借鉴文献[1]的方法,考虑利用零序电压构成零序方向元件(以电流从母线流向变压器为正),对 CT 的接线进行校对,即:

方案一:

如果零序方向元件指示为正,则表示是内部故障,此时如果零序差流等于零,则表示中性点零序 CT 接反了,需要改变差流算法;否则意味着中性点零序 CT 接线正确。反之,对于外部接地故障,则处理逻辑相反。

为了避免增加 PT 极性检测等工作,零序电压可以采用出口处三相 PT 的自产 $3U_0$。这种方案其实是利用了零序方向保护的元件进行检测,因此它存在着灵敏度和动作时间的配合等问题。并且,根据文献[2]的分析,对于自耦变压器,在高压侧发生区外故障时,其中性点的零序电流与中压侧的系统阻抗有相当大的关系,不能明确地反映故障的方向。所以,这种处理方法有较大的局限性。以下再考虑另一种处理方法:

方案二:

在零序差动保护完成 CT 极性校对之前,无论是否满足差动条件,保护均不动作。变压器依靠其它保护判断是内部故障还是外部故障,决定是否跳闸。其它保护的判断结果通过置标志、发开出信号、传通信命令等方式通知零序差动保护。零序差动保护根据它们的判断结果,对照自身的零序差流计算数据,决定是否需要软件调整 CT 极性。一旦校对好 CT 极性,零序差动保护就可以投入正常工作了。

由此可见保护装置运行后,在变压器附近发生第一次接地故障时,零序差动保护是无效的,故障切除完全依靠其它保护如纵差保护、瓦斯保护等等,因此这种解决方案也是不完善的。

5 结论

本文针对变压器的纵差保护和零序差动保护,探讨了如何利用计算机的自适应功能,充分开发微机保护的智能潜力,在不增加系统和装置的硬件开销的基础上,提高保护的性能。主要工作有:

1) 保护装置实时检测变压器调压侧的电压,自动跟踪调整电流变换系数,减小穿越电流引起的不平衡量,提高差动保护的灵敏度。

2) 保护装置在加电检测试验中自动检测差流大小,相应地通过软件调整 CT 极性,既避免了装置误动,又免去了现场校对和改线的烦琐工作。

3) 提出了两种校对零序差动保护 CT 接线的方案。从文中的分析可以知道,这两种方案都不全面。但是这两个方案充分利用已有条件,对于尽力改善原有零序差动保护的性能,能够起到一定的效果。为最大限度地开发微机保护的智能作用,提供了一个思路。

随着计算机硬件技术的飞速发展和超大规模集成电路性能价格比的不断提高,微机保护逐渐采用高性能的核心数字器件。这一方面满足了完成复杂、完善的保护功能的需要;另一方面,也使得在正常工况下 CPU 处理能力的大量空闲。除了完成必要的通信、人机交互、自检等功能外,充分利用计算机的智能作用,增加辅助功能,降低现场人员的操作强度,提高保护装置的整体性能,是大有可为的。

参考文献:

[1] 张忠,尹项根,陈德树. 新型 110kV 输电线路微机保护装置的研制. 99 全国高校电力系统及其自动化专业学术论文集. 武汉水力电力大学,1999.
[2] 孙集伟. 自耦变压器零序差动保护问题. 电力系统自动化,1999,(11).

收稿日期: 2000-08-15

作者简介: 刘世明(1972 -),博士,从事电力系统故障分析和高性能保护原理研究和装置开发工作; 林湘宁(1970 -),博士,研究课题为现代信号处理技术在继电保护中的应用; 杨春明(1965 -),博士,副教授,副总工程师,负责继电保护和变电站综合自动化设备的开发、产品生产和科研管理工作; 陈德树(1930 -),教授,博士生导师,长期从事继电保护及变电站综合自动化的教学和科研工作。

EMS 系统与 MIS 系统的综合建设

王凤萍, 刘晋萍, 白毅

(太原供电局,山西 太原 030012)

摘要: 目前各地电力系统都在进行能量管理系统(EMS)和信息管理系统(MIS)的建设。MIS 系统与 EMS 系统有着密切的联系,若能进行综合建设,可以避免重复投资,降低系统的综合造价,充分发挥两个系统的功能优势,提高性能价格比。在总结太原供电局 EMS 系统和调度 MIS 系统综合建设前期工作的基础上,从体系结构、支撑平台、操作系统、数据库和开发工具的选择、综合布线、硬件配置和布置、功能需求分布等方面阐述了 EMS 系统与 MIS 系统综合建设的优势和具体实施方法。

关键词: 信息管理系统; 能量管理系统; 建设

中图分类号: TM769 **文献标识码**:B **文章编号**:1003-4897(2001)03-0043-04

1 概述

随着电网调度自动化水平的不断提高和计算机技术的发展,EMS 系统各项功能逐渐得以完善。要使 EMS 功能真正发挥作用并得到更广泛的应用,需要将 EMS 系统中的实时数据及网损计算、潮流计算、电网运行分析等数据提供给各有关部门;随着电力走向市场,负荷预测信息也需及时向相关部门及上级单位提供。在 EMS 系统建设时为所有相关部门都设立工作站(或终端)显然不现实。因此,将 EMS 系统与 MIS 系统联网已非常必要,既可以使实时系统的信息为各相关部门共享,又不必浪费 EMS 系统的大量资源。对于已分别具有 EMS 系统和 MIS 系统的单位,应设法实现 EMS 系统与 MIS 系统的联网;对于要由 SCADA 系统升级改造为 EMS 系统的单位,则可以考虑 EMS 系统与 MIS 系统的综合建设。

太原供电局电网调度自动化系统由 SCADA 系统升级改造为 EMS 系统是城网改造的项目之一,而调度 MIS 系统也几乎同时立项。考虑到 EMS 系统与 MIS 系统的密切联系,我们在这两个系统的前期设计中进行了综合考虑。目前,这两个项目的前期工作均已基本完成,已经开始现场施工。通过对前期工作的总结回顾,笔者认为将这两个系统进行综合建设有诸多益处。本文从几个方面阐述了 EMS 系统与 MIS 系统综合建设的实施方法及其优势。

2 总体体系结构、操作系统、数据库和开发工具

太原供电局已有局 MIS 系统,原有的 SCADA 系统通过串行口向局 MIS 系统发送实时数据和部分历史数据,MIS 侧需对收到的数据进行二次维护和处理,并重新生成画面和表,维护工作繁琐且很容易出错。我们将调度 MIS 系统作为局 MIS 系统的一个子系统来建设,EMS 系统与调度 MIS 系统联网,局 MIS 系统的用户可浏览调度 MIS 系统中的实时数据。因此调度 MIS 系统的体系结构、操作系统、数据库和开发工具的选择要兼顾局 MIS 系统和 EMS 系统。综合分析后,我们认为 EMS 系统和调度 MIS 系统的建设都应本着"安全、开放、先进、高性能、易维护、易扩展"的原则来建设。在对分布式 CLIENT/SERVER 方式进行反复比较和调研后,我们决定 EMS 系统采用 C/S 方式,调度 MIS 系统采用 C/S 与分布式相结合的模式。

Self-adapting schemes in transformer main protections

LIU Shi-ming[1], LIN Xiang-ning[1], YANG Chun-ming[1], CHEN De-shu[2]

(1. Dongfang Electronic Information Industry Co., Ltd., Yantai 264001, China;

2. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The paper proposes some self-adapting schemes to complete the functions of CT scale coefficients adjusting and CT polarity checking and correcting in transformer longitudinal differential protection, which makes micro-computer based protective relays more intelligent and can accomplish these works to be done automatically. And two draft resolutions were proposed trying to solve the problem of CT polarity checking in transformer zero-sequence differential protection.

Keywords: transformer; longitudinal differential protection; zero-sequence differential protection; self-adaption