

继电保护在线整定系统的探讨

曾耿晖, 刘 玮

(广东省电力调度中心, 广东 广州 510600)

摘要: 继电保护整定计算是保障现代大型电网安全运行的基础性工作, 现有离线整定的模式存在不可避免的缺点。在自适应继电保护系统研究的基础上, 该文就继电保护在线整定的概念、在线整定系统的构思以及在线整定的特点进行了探讨。

关键词: 继电保护; 在线整定; 实现模式

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)17-0038-05

0 引言

继电保护整定计算是保障现代大型电网安全运行的基础性工作, 现有保护定值均是通过离线计算予以确定, 为适应实际运行时系统可能出现的各种运行方式, 在离线整定计算中必须进行大量的方式组合, 并采纳其中最苛刻的值作为保护的定值。这种整定计算方式不可避免地具有以下缺点:

1) 确定的继电保护整定值, 对电力系统大多数运行方式(可能包括电力系统的主要运行方式)来讲不是最佳的整定值, 必然降低了保护的性能。

2) 某些特殊系统运行方式在整定中不一定完全考虑, 而在生产实际中却可能发生, 如电力系统最小运行方式下发生最不利的故障, 此时保护性能可能会严重变坏甚至发生拒动或者误动现象。

3) 离线整定需要对电网可能出现的各种运行状态及其多种故障进行周密的计算, 整定工作相当复杂, 使整定工作者在工作中面临越来越大的挑战和压力。

整定的离线实现, 是当时条件下的必然选择。现阶段, 电力系统各领域都得到了飞速发展, 整定的在线实现得到广泛关注^[1], 而且在线实现的条件已经取得了新的发展, 主要体现在三个方面: 首先, 微机保护在电力系统中得到广泛应用, 正在逐步替代传统的模拟保护, 为在线修改定值打下了基础; 其次, 电力通信技术与通信手段的不断进步, 整定所需要的电网信息和保护信息能快捷有效地采集和传送; 同时, 现有在线实时应用软件的成功开发和应用, 为在线整定系统的开发积累了丰富经验。

事实上, 在线整定已经得到了初步的应用, 其中自适应继电保护系统的研究和应用最为突出^[2]。所谓自适应继电保护系统, 是指能根据电力系统运行

方式变化信息在线修改继电保护整定值, 以获得最佳保护性能的继电保护系统。自适应继电保护系统在选择性、快速性和灵敏性方面明显优于常规继电保护系统, 这不仅使现有电力网络能传送更多的功率, 而且还可以改善电力系统运行的灵活性和稳定性。

在上述基于单个保护的自适应功能基础上, 结合传统离线整定方法, 本文将探讨基于全网概念的继电保护在线整定。

1 在线整定系统的构思

继电保护在线整定的内容是: 随着系统网络接线的变化即运行方式的变化, 对所关心的保护定值进行在线整定计算, 特别是实现所关心区域保护定值的配合调整, 且针对修正后的保护定值仅进行当前运行方式下的灵敏度校验, 同时将计算好的定值反馈给现场保护。定值的在线整定避免了运行方式的不确定性对保护灵敏度的不利影响, 可以明显提高保护的灵敏度。

保护定值的在线整定全面实现整定计算的智能化和网络化, 原理上能保证保护性能的应用最优化。继电保护在线整定的实现是继电保护应用领域极具挑战的研究方向之一。

1.1 在线整定系统结构的探讨

在线整定系统要监视所管辖电网的运行状态, 根据电网运行状态的改变实时做出响应而且及时将修改信息反馈给现场运行的保护装置, 因此, 在线整定系统中不仅需要现场数据的采集装置, 而且需要有控制装置, 能够将修改的定值可靠地传给保护。在线整定系统可以将数据的采集和信息的下发等交互工作交给现有的 EMS/SCADA 系统处理, 也可以采用专有系统进行。下面介绍采用专有系统时的一

些初步构想:

在线整定系统在硬件结构上主要由主站系统和子站系统组成。子站系统是整个系统处理实时数据的基础,将置于厂站端,与现场装置通信,发送实时数据和接收实时数据;主站系统将置于调度端,接收子站系统的实时数据,并根据实时数据计算保护定值,并将新定值实时反馈给现场的保护装置。实时数据接收与分析处于中心地位,它驱动整个主站系统的运行,是在线整定核心功能实现的关键。

在线整定可以按电压等级分层进行。把变电所联络变压器作为分界点,这样就可以把同一电压等级电网作为一个相对独立的系统来处理,同时,可以根据电网的管理区域实现分区整定。因此,在线整定中,将一个大型电网按电压等级以及管理区域分解为若干小型网络进行,这样减少每次整定所需处理的数据量,提高系统处理的速度。

为了实现在线整定分层分区构想,将一个互联的电力系统按其计算要求,划分为研究系统和外部系统两部分。研究系统就是要求整定计算的部分,包括边界系统和内部系统;外部系统就是用户不关心的部分,可以采用等值法替代,通过网络等值将外部系统等值到边界系统上。在线整定中,将外部网络等值(甚至可以是在线等值),采用分层、分区实现,可以降低全网网络方程矩阵的维数,减少在线整定交换的信息,从而大大提高在线整定的速度。

1.2 在线整定系统的启动模式

在线整定的优势在于能实时监测电力系统的运行状态,当系统运行方式变化能及时响应,因此整定的启动方式不仅可以采用指定时间启动或者是定时间间隔启动,而且可以采用系统运行方式变化和保护的投退变化触发的启动模式,即事件启动的模式。当系统采用事件启动时,能实时响应系统运行方式变化和保护的投退变化所引起的保护定值的变化,真正体现在线整定的优越性。计及潮流的系统运行方式的变化包括两个方面:一方面是电力系统发电机、变压器、线路、母线等各类元件的投停和检修,以及由故障引起的断路器跳闸操作,可以归纳为系统网络结构的变化和厂站内部接线的变化,主要体现在断路器的开合以及隔离开关的倒闸操作中;另一方面是系统出力的变化与负荷的变化,主要体现在系统潮流量的变化,由于系统潮流变化是连续的,细微的潮流变化不会对保护定值造成较大的影响,因此在线整定时可以设置启动门槛值,以判断潮流变化的程度。

网络局部的变化对于定值的影响范围是有限的,往往就是扰动区域附近的保护定值影响比较大,而远离扰动区域的保护影响较小,远离一定程度后扰动的影响可以忽略不计,也不需要整定,因此,此时只需要对特定的区域进行保护定值的重新整定。当在线整定采用事件启动时,系统可以自动搜索影响区域,确定整定范围,此时不仅可以准确确定所影响保护的定值,也避免了全网整定,节约了时间,进一步满足在线整定对运行速度的要求。

1.3 在线整定系统的实现模式

在自适应整定系统中,一般采用“离线计算,分散存储,实时匹配”的方法,即以电力系统主要运行方式作为初始方式,采用继电保护整定计算的常规方法,离线完成系统多种可能状态下的整定计算,并将计算出每一种状态下继电保护装置新定值以及对应的保护检测到的信息特征,分散存储在相应保护装置的子自适应控制器的数据库中,形成整定值存储表。系统运行时,可以根据保护检测到的信息特征匹配最佳定值,并通过子自适应控制器,调整保护定值,使之实时适应电力系统运行方式的变化。这种实现方法显然只是局部的调整和改善,不能从全局的角度进行定值的配合和计算,而且预先计算的方式总是有限的,不能满足系统多种运行方式的要求。

在线整定理想的方式是对系统的工况进行实时测量,所有的计算与分析在此基础上集中处理,并实时反馈给现场装置,这一方案不妨称为“实时分析、集中决策,实时控制”。对于一个稍大规模的电力系统来说,在当前电力系统的计算规模,计算机实现的计算速度以及网络传输水平等条件下,要做到实时是很困难的。

在线整定实现中,可以根据整定量或者预备量的实际情况采用多种实现模式的结合:

在某一些量的整定上可以借鉴自适应保护实现的思想,采用“离线计算,实时整定”方法,如零序补偿系数 k 的计算,它的变化只是针对于某几种预先可知的、只随互感线路本身的运行方式的变化而变化,因此可以离线地计算对应几种方式下的 k 值,在线整定中可以根据线路运行方式的不同采用不同的 k 值进行整定。

某一些不需要与相邻保护配合的量或者某一些量的某个相对独立的整定原则,不需要网络其他信息就可以整定,则可以采用“实时检测,就地处理”的方法。如相间距离一段整定时,有一项整定原则要求躲开负荷阻抗,该原则的整定不存在配合关系也

不需要得到电网其他点的相应信息,只需实时检测本线路潮流即可完成。因此,当不能满足上述原则时,可以进行就地调整,保证系统的实时性。

而对于整定所需要的某些计算量较大的工作,如外部系统的等值等,这些量的变化则是根据系统的变化而实时变化的,在某种意义上是不可预知的,可以采用“在线预计算,实时整定”的方法,该方法在线跟踪实际工况,由于系统的正常运行时变化总是相对平稳的,假定在一个合理的时间内(如 5 min)实际工况不会有明显的改变,在线计算得到相应的值并保存。在线整定中,可以利用已经计算好的某些值,结合系统的实时状态,从全局的角度上,实现实时状态下保护定值的计算与配合。

新方案在一定程度上协调了需要实时响应以适应系统运行状况的要求和在线整定计算过于复杂不能满足实时性这两者之间的矛盾,提供了一条实现在线整定实用化的新思路。

2 在线整定几个具体问题的探讨

2.1 接地距离保护在线整定

近年来,电力系统飞速发展,由于输电走廊的限制,平行架设的双回或多回线路情况十分普遍,平行线路必然存在零序互感耦合,这将给接地型保护带来严重问题,尤其是对接地距离保护产生不利影响,情况严重时,可能使接地距离保护越级误动或拒动,会给电力系统安全稳定运行带来威胁。

在线整定时,对于接地距离保护的整定,部颁规程中关于保护配合的整定原则可以采用感受量整定的计算方法实现。下面以接地距离保护 II 段为例,描述其优化的整定计算公式及其取值情况。

$$Z_{ZD} = K_K \frac{U_\phi}{I_\phi + 3KI_0} \quad (1)$$

感受量计算公式如式 1 所示,式中 U_ϕ , I_ϕ , I_0 分别为保护安装处故障相电压、相电流以及零序电流; K 为零序电流补偿系数。

当与相邻线路一段配合时,感受量在相邻线路一段保护范围末端发生接地故障时取得。基本公式可以做以下变形:

$$Z_{ZD} = K_K \frac{U_\phi}{I_\phi + 3KI_0} = K_K \frac{U_\phi + U_\phi}{I_\phi + 3KI_0} = K_K Z_L + K_K \frac{I_\phi + 3KI_\phi}{I_\phi + 3KI_0} \cdot Z \quad (2)$$

其中: U_ϕ 、 I_ϕ 、 I_0 、 K 为相邻保护一段保护范围末端接地故障时,相邻保护安装处的相电压,相电流,

零序电流和相邻保护的零序补偿系数; Z 为相邻保护的感受阻抗。

当相邻保护所在线路末端故障时,有下述等式成立:

$$Z = K_K \frac{U_\phi}{I_\phi + 3KI_0} = K_K Z_L + K_K \frac{I_\phi + 3KI_\phi}{I_\phi + 3KI_0} \cdot Z_L \quad (3)$$

其中: U_ϕ 、 I_ϕ 、 I_0 、 K 分别为相邻配合保护所在线路末端接地故障时,保护安装处的相电压,相电流,零序电流和保护的零序补偿系数; I_ϕ 、 I_0 、 K 为相邻保护所在线路末端接地故障时,相邻保护安装处的相电流,零序电流和相邻保护的零序补偿系数; Z_L 为相邻线路的阻抗值。

由于相邻线路一段保护范围的确定比较繁琐,计算量较大,不能满足在线整定对速度的要求,程序采取一定的工程简化。假定相邻保护所在线路末端故障和相邻保护一段保护范围末端故障时,保护所在线路和相邻保护所在线路助增系数相同。这种假设对于辐射型网络是准确的,对于环网存在一定的误差,该误差在工程允许范围内。根据上述假设,结合式(3)和式(2),可以获得适合工程应用的接地距离保护配合的整定公式:

$$Z_{ZD} = K_K \frac{U_\phi}{I_\phi + 3KI_0} + K_K \frac{I_\phi + 3KI_0}{I_\phi + 3KI_0} (Z_{ZD} - Z_L) \quad (4)$$

其中: U_ϕ 、 I_ϕ 、 I_0 、 K 、 I_ϕ 、 I_0 、 K 、 Z_{ZD} 、 Z_L 分别为相邻保护所在线路末端接地故障时,保护安装处的相电压,相电流,零序电流和零序补偿系数以及相邻保护安装处的相电流,零序电流和零序补偿系数,相邻保护的配合定值,相邻线路的阻抗。

同理,该方法适合于所有与后备段配合时的感受量整定,如接地距离一段与相邻线路一段或一段配合,均可以采用该简化公式。

在上述公式中,零序补偿系数 K 的计算直接影响定值的大小以及接地距离保护性能的发挥,因此,准确地计算零序补偿系数成为接地距离保护定值在线整定的重点。当线路无互感时,零序补偿系数是与线路的正、零序阻抗值有关的一个定值,但当有互感时,零序补偿系数则随着互感线路运行工况(这里的运行工况特指互感线路的投退和挂捡)的不同而变化^[3,4]。在线整定与离线整定最大的区别就是:在线整定能实时获取互感线路的运行状态,得到不同状态时的零序补偿系数,提高保护的灵敏度,确保接地距离保护的正确动作。

2.2 潮流对保护定值的影响

现有保护整定方法中,潮流的影响是忽略不计的,主要体现在两方面:在短路计算确定定值时做了一些简化假设,如假定所有发电机电势同相位,忽略负荷的影响,忽略发电机、变压器等阻抗参数的电阻部分等;在确定某些元件保护启动量时整定一般采用潮流极限,避免保护误动,以提高保护可靠性。这些方法的采用,主要是基于这样的考虑,即系统实际潮流对整定值的影响不是很大,而且考虑潮流影响的整定计算条件也不成熟。事实上,系统潮流的影响还是存在的,图1给出了一个算例简单予以说明。

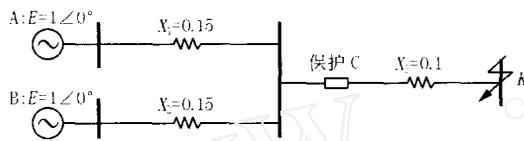


图1 简单电网拓扑示意图

Fig. 1 Topology of simple power grid

图1为一大型电力系统部分示意图,其发电机和线路标么值在图上已标明,假定发电机A和B相位相同,当线路末端K点发生三相接地故障时,流过保护C点的短路电流为:

$$I_C = \frac{E_A}{X_1 + X_3} + \frac{E_B}{X_2 + X_3} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j(0.15 + 0.1)} + \frac{1 \angle 0^\circ}{j(0.15 + 0.1)} = 8 \quad -90^\circ$$

当考虑发电机相角差时,为了论述的方便,假定发电机B超前发电机A角度 30° ,仍然忽略输电线路的电阻,此时K点发生三相接地故障流过C点的短路电流为:

$$I_C = \frac{E_A}{X_1 + X_3} + \frac{E_B}{X_2 + X_3} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j(0.15 + 0.1)} + \frac{1 \angle 30^\circ}{j(0.15 + 0.1)} = 7.727 \quad -75^\circ$$

通过上事例计算可得,当发电机相角差为 30° 时,流过保护C点短路电流下降了3.4%,系统潮流对故障计算的影响是存在的,整定中考虑潮流的影响必定会更加符合系统的实际运行。在线整定中,完全可以在线获取系统的潮流情况,考虑实际潮流对保护定值的影响已经成为可能。当然,全面计及潮流影响的在线整定是一项复杂的工作,本文以相间距离保护一段定值来分析实际潮流对定值的影响。

线路相间距离保护整定中,根据部颁规程4.2.3.9条规定,相间距离一段定值按可靠躲过本线路的最大事故过负荷电流对应的最小阻抗整定,躲最

小负荷阻抗公式为:

$$Z_{ZD} = K_K \times Z_{fh} \quad (5)$$

式中:可靠系数 K_K 一般取0.7, Z_{fh} 按可能最不利的系统频率下阻抗元件所见到的事故过负荷最小负荷阻抗整定。

而离线整定时最大事故负荷电流 I_{fh} 和最小事故负荷阻抗 Z_{fh} 的求取,利用以下公式:

$$I_{fh} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \times U \times \cos} \quad (6)$$

$$Z_{fh} = \frac{U^2 \times \cos}{P_{max}} \quad (7)$$

式中最大事故负荷功率 P_{max} 由运行方式科给定,一般来说为该线路的暂稳极限,电压 U 取线路首端额定电压的90%~95%,功率因数 \cos 取0.85。

离线整定中为了满足规程的要求,采用相应极值进行计算,由于保护整定必须躲过最大负荷电流,保护定值的灵敏度要求不一定能满足,在线整定时,采用实际潮流进行计算,保护灵敏度将会得到改善。在线运行时,可以针对当前系统运行方式下的负荷功率及其对应的线路电压值和功率因数,同时考虑裕度进行计算,并且根据潮流的变化在线更改。当然,在大多数保护的整定中,线路阻抗值较小,同时定值还受其他整定原则的限制,定值小于最小负荷阻抗一般都能满足,但是引入实时潮流在某种意义上解放了相间一段定值整定的约束。

当系统变化导致线路潮流突变时,考虑到相间距离一段的动作时延以及在线整定的实现速度,在时间上可以避免相间距离一段的误动,保证了该方法的可行性。

3 结论

本文就继电保护在线整定系统的结构以及实现中的相关问题进行了初步探讨,其中,提出了在线整定系统的系统结构和启动模式,并提出了一种为提高处理速度的在线整定实现模式,而且讨论了适合在线整定的接地距离保护感受阻抗计算公式,并分析了潮流对保护定值的影响。

当然,做到真正意义的在线整定,在实时数据的来源,实时计算和操作的可靠性,以及如何考虑人工干预等方面还有许多工作要做,其实现的技术难度也比较大。而且,现有电力系统中微机保护和传统保护共存的局面必将长时间存在,这同样是在线整定实用化不得不面临的难题。但是随着网络技术和计算机技术的进步,特别是电力系统继电保护信息

网的形成和发展,以及新型微机保护装置的广泛应用,可以预见,在线整定计算研究必将更加深入,实用化成果也将会得到应用和推广。

参考文献:

- [1] 周步祥,李烈忠(ZHOU Bu-xiang, LI Lie-zhong). 提高电流保护灵敏性的在线整定技术(The On-line Setting Technology for Improving the Sensitivity of Current Protection) [J]. 继电器(Relay), 1999, 27(4): 18-21.
- [2] 曹国臣,韩蕾,祝滨(CAO Guo-chen, HAN Lei, ZHU Bin). 大电网分布式自适应继电保护系统的实现方法(Realization Method of Adaptive Protection System with Distributed Structure for Large scale Transmission Network) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(13): 19-22.

- [3] 王广学(WANG Guang-xue). 电力系统接地距离保护零序补偿系数分析(Analysis of Zero-sequence Current Compensation Coefficient for Ground-fault Distance Protection in Power System) [J]. 电网技术(Power System Technology), 1994, 18(1): 1-7.
- [4] 蔡超豪,王奇(CAI Chao-hao, WANG Qi). 平行双回线自适应接地距离保护(Adaptive Ground-fault Distance Protection for Parallel Transmission Lines) [J]. 华北电力技术(North China Electric Power), 1998, (6): 58-60.

收稿日期: 2003-10-21

作者简介:

曾耿晖(1977 -),男,硕士,从事电力系统继电保护整定与运行工作; E-mail: zenggenhui@263.net

刘玮(1973 -),男,硕士,从事电力系统继电保护运行管理工作。

Discussion about on-line coordination systems of relay protection in power system

ZENG Geng-hui, LIU Wei

(Guangdong Power Dispatch Center, Guangzhou 510600, China)

Abstract: Coordination is the foundation for secure operation of modern power system. The mode of offline coordination at present has unavoidable defects. Based on adaptive protection system, the concept of online coordination systems of relay protection and its implementation method are presented and the characteristic of online coordination system is discussed.

Key words: relay protection; on-line coordination; implementation method

(上接第 33 页 continued from page 33)

- [2] Cristian Paduraru. Automated Testing of Protective Relays Using Advanced Visual Test Software[A]. Proceedings of the 2002 Large Engineering System Conference on Power Engineering. 2002. 143-146.
- [3] 陈皓(CHEN Hao). 新一代微机继电保护测试仪及基本性能(Test Device of Protective Relay and Its Property) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(5): 61-63.
- [4] 梁志琴,刘建飞,等(LIANG Zhi-qin, LIU Jian-fei, et al). 基于 PC 内置便携式微机保护测试系统的研制(Development of a Test System for Microprocessor Protection Based on

Integral Portal PC) [J]. 继电器(Relay), 2001, 29(11): 44-46.

收稿日期: 2003-08-06; 修回日期: 2004-06-17

作者简介:

朱忠亭(1981 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: zhuting@sjtu.edu.cn

张沛超(1970 -),男,副教授,主要从事专家系统在电力系统中的应用研究;

汪可友(1979 -),男,硕士,研究方向为电力系统及其自动化。

Research on protective relay test software based on automatic test

ZHU Zhong-ting, ZHANG Pei-chao, WANG Ke-you

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: It is necessary for protection devices to have them completely tested to ensure their good performance and credible working. Starting from the requirements and principle of testing protective devices, this paper presents the concept of automatic test. Based on a practical software package for automatic test, it also puts forward a object-oriented design idea which merges relay management function and relay testing function together, incarnates the automatic, visual, intelligent trend of test systems. It is verified that the software package can test all kinds of relays and extend according to customization, so engineering requirements met.

Key words: protective relays; automatic test; object-oriented technology