

直流电源系统保护电器级差配合软件的开发

针对电力直流系统设计过程中保护元件如何正确选型及上下级之间选择性保护的配合问题,开发了一套直流电源系统保护元件级差配合软件,实现了对变电站/电厂直流系统保护元件选型、短路电流计算、灵敏度分析和级差配合判断等功能。该软件不仅能够对已有的直流电源系统进行分析,同时也能够对新站的建设起到辅助设计作用,是直流系统设计人员得力的辅助设计工具。

关守姝 刘观起/华北电力大学电力工程系



关守姝/硕士研究生

随着智能电网技术要求的提高,变电站内保护及控制负荷越来越多,自动化及智能化设备的要求也相应提高,因而变电站内直流电源系统要保证高度的可靠性,直流系统保护电器的过载保护、短路保护要求更为严格,要保证不能误动作和拒动作,尤其不能越级动作,否则有可能导致电力元件的损坏,事故范围扩大以至于造成大面积停电,可见直流系统不能安全可靠运行足以对电力系统构成威胁。因此,国家电网针对电力系统直流电源可靠性,提出一系列研究工作要求,其中包括直流系统断路器短路级差配置。

近年来,大多采用短路试验来研究级差配合情况,通过模拟变电站的实际运行环境能够了解不同型号断路器在不同情况下的级差配合特性。但这种研究方案会得到大量的级差配合方案,耗费人力和时间较多,可操作性很差,且多是定性分析,并不能提供一个在整个直流系统进行级差配合研究的方案。文献[2-3]研究的直流系统保护电器的模型具有通用性,但在级差配合研究中只是一小部分,因为这只是断路器的模型,

不能达到直流系统高度的研究程度。为了提高直流系统级差配合问题的研究深度,本文设计了直流电源系统断路器级差配合软件,能够定量地计算各阶段保护电器出口的短路电流,判断出断路器级差配合情况,保证了保护电器的选择可靠性;并进行灵敏度分析,保证保护电器的灵敏性。该软件的研发为变电站直流系统级差配合问题提供了有力的保障。

本文首先介绍该软件对于直流系统级差配合问题的算法,然后结合工程实例用该软件判断级差配合的情况,同时用Matlab最小二乘曲线拟合将绘制出上下级保护电器电流时间曲线,通过理论分析和软件分析结果比较,来验证该软件的准确性。

软件简介

本软件以DL/T 5004—2004为基础,利用C语言,在Microsoft Visual Studio 2010 SQL环境下研发了针对直流电源系统断路器级差配合软件,该软件包括直流电源系统元器件选型、短路电流计算、级差配合问题的判断和灵敏度分析主要功能,其中在元器件选型中存储了常见的断路器型号及其相对应的参数、蓄电池参数和电缆参数,并设置了可编辑性,可根据实际工程修改相对应的参数来改变所选择的元器件,并不会影响短路电流的计算和级差配合的判断。

根据实际直流系统的结构,分为四部分:从上至下依次为蓄电池、馈电屏、分电屏和测控保护屏。如果所需要判断的级差模块为三部分,只需输入前

关键词/Keywords

级差配合 ·
短路电流计算 ·
直流系统 ·
灵敏度分析 ·
元件选型 ·

三部分所需的参数,不会影响判断结果。该软件包括元器件选型、短路电流计算、级差配合问题的判断和灵敏度分析功能,既保证了直流系统保护元件的选择可靠性,同时也确保了断路器的灵敏性,避免为防止断路器越级而上级选择范围太大,浪费资源。

1. 短路电流计算

当对直流系统的所有元器件参数选择完毕后,单击主界面左上角的第二个按钮,系统会计算出本级断路器的短路电流,用户根据工程实际情况输入本级支路正常运行电流的短路电流,两者相加即为本级断路器出口短路时上级的短路电流。根据电力工程直流系统设计技术规程^[4]短路电流计算公式为

$$I_{dk} = \frac{U_n}{n(r_b + r_l) + \sum r_j + \sum r_k} \quad (1)$$

式中, n 为蓄电池个数; I_{dk} 为断路器出口短路电流,A; U_n 为直流系统额定电压,取110 V或220 V; r_b 为蓄电池内阻, Ω ; r_l 为蓄电池之间连接条或导体电阻, Ω ; $\sum r_j$ 为蓄电池组(断路器)至断路器安装处连接电缆或导体电阻之和, Ω ; $\sum r_k$ 为相关断路器内阻之和, Ω 。

2. 灵敏度分析

实际直流系统负荷情况是:过大容易拒动作,过小容易误动作,保护元件的额定电流选择应根据实际负荷情况。灵敏度分析就是当直流系统本级出现故障时上级保护元件能够及时动作,避免拒动作对设备造成损害。本软件在进行灵敏度分析时,判断标准为短路发生在连接保护电器的电缆的最末端。因为对于保护元件短路电流最小时发生在电缆最末端,此处为保护元件的灵敏度最低位置。通过比较断路器对应的最小短路电流和断路器脱扣电流,单击灵敏度分析按钮,系统会自动输出断路器的脱扣情况。在分析断路器短路瞬时脱扣器的动作情况时遵循如下原则^[4]:

以灵敏度系数 K_L 为判断依据

$$K_L = \frac{I_{dk}}{I_{dz2}} \quad (2)$$

式中, K_L 为灵敏度系数,应不低于1.10(考虑脱扣器整定值的正误差或脱扣范围最大值后的灵敏系数); I_{dk} 为断路器安装处短路电流,A; I_{dz2} 为保护(脱扣器)瞬时脱扣电流校验值,A。

软件级差配合算法

断路器跳闸原理就是当电流超过断路器工作电流并经过一定时间后断开,因此可以通过断路器时间-电流关系曲线来找出断路器级差配合算法,断路器安秒特性曲线如图1所示。

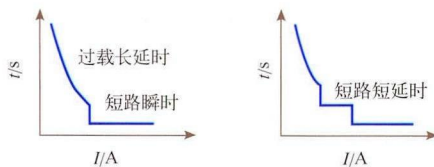


图1 二段式断路器安秒曲线 (b) 三段式断路器安秒曲线

图1 断路器安秒曲线

级差配合判断算法就是在断路器安秒特性曲线的基础上,根据断路器所在支路的短路电流及对应本支路断路器的起始动作电流、断路器的保护动作延时时间及断路器的故障切除时间来判断级差配合情况。如果上级断路器所在支路的短路电流大于上级断路器起始动作电流并且上级断路器的保护动作延时时间介于下级断路器的保护动作延时时间和下级保护电器的故障切除时间之间,上级断路器便会动作,发生越级情况^[1],其级差配合判断流程图如图2所示。

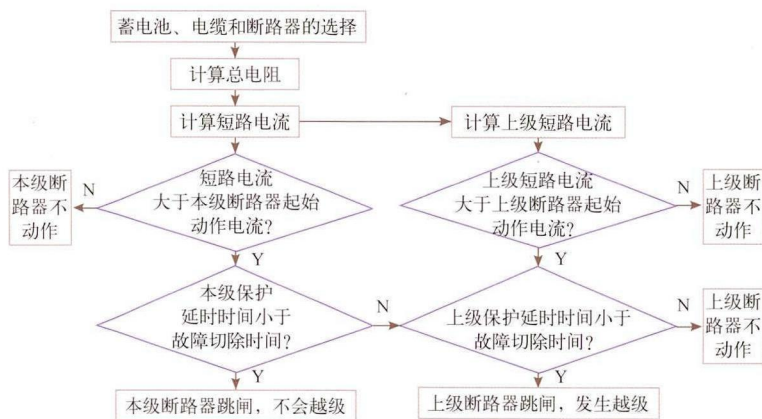


图2 级差配合判断流程图

以分层辐射式直流系统为例，原理图如图3所示。短路分别发生在断路器 QF_1 、 QF_2 、 QF_3 和 QF_4 出口处，在此本文只分析在断路器 QF_4 出口发生短路时的级差配合情况，级差配合算法分析情况如图4所示。图4中 I_{dk3} 为短路点在 d_4 时流过断路器 QF_3 的短路电流， I_3 为断路器 QF_3 的起始动作电流。

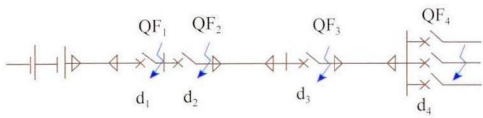


图3 分层辐射式直流系统

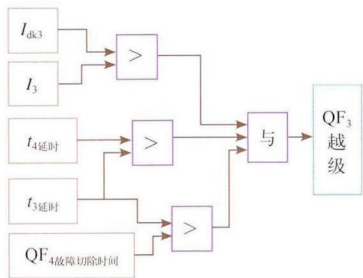


图4 QF_4 出口短路级差配合算法分析

直流电源系统级差配合实例分析

某典型220 kV变电站配置是：

- 1) 蓄电池。采用两组300 A·h阀控式密封铅酸蓄电池，蓄电池共104个，蓄电池开路电压2.17 V，直流系统额定电压为220 V。
- 2) 直流网络。直流系统结构为采用双母线分段，直流母线之间采用联络电器连接。直流系统网络为辐射形，从上至下主要分四部分向负荷供电：第一部分从蓄电池至直流母线；第二部分从

主馈电屏至直流分电屏；第三部分从直流分电屏至设备屏；第四部分从设备屏至直流负载。

直流系统简单配置如图5所示（对于双母线分段，两段配置相同，本图只包括其中的一段），软件分析结果如下表所示。GM5-63L与GM5-63H安秒特性曲线如图6所示。

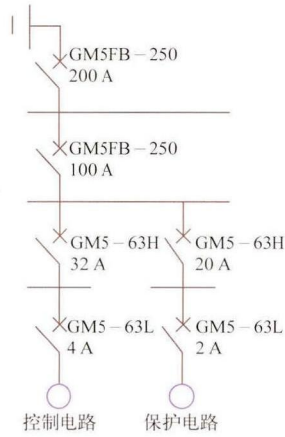


图5 直流系统简单配置图

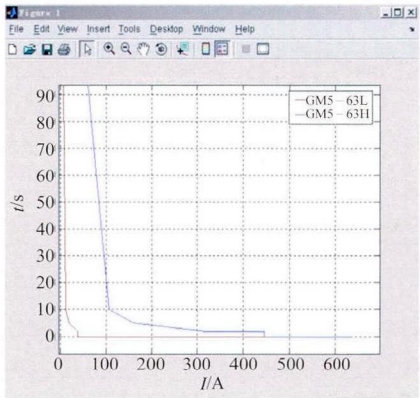


图6 GM5-63L与GM5-63H安秒特性曲线

表 软件分析结果

保护出口	名称及其断路器型号	额定电流/A	短路电流/A	级差配合分析结果	灵敏度分析
A蓄电池	GM5FB-250	200	2 771.92	B-A存在级差配合问题	断路器瞬时脱扣
B馈线屏	至分电屏GM5FB-250	80	2 720.50	C-B没有级差配合问题	断路器瞬时脱扣
C分电屏	控制回路GM5-63H	32	2 164.56	D-C存在级差配合问题	断路器瞬时脱扣
	保护回路GM5-63H	20	2 127.40	D-C存在级差配合问题	断路器瞬时脱扣
D测保屏	控制回路GM5-63L	4	498.15	D段断路器动作	
	保护回路GM5-63L	2	320.04	D段断路器动作	

根据上表的分析结果可知对于控制回路D段保护电器出口短路时，断路器瞬时动作电流为 $7 \sim 10I_n$ ，其短路电流达到瞬时动作电流，切除本

级故障，但流过C段断路器短路电流 I_{dk} 大于C段保护电器动作电流上限 $15I_n = 480 A$ ，C段断路器会发生误动作。以控制回路D段保护电器出口短路为

例(见图6),用Matlab最小二乘曲线拟合绘制出GM5-63L与GM5-63H安秒特性曲线,根据理论分析可以看到在 $I \approx 450$ A处两曲线相交,此电流未达到D段保护电器出口短路时的短路电流,C段断路器会发生越级跳闸,由此可见两者分析结果是一致的,说明该软件有一定的准确性。

改造建议

根据上述分析结果对于D-C段保护电器之间不能配合的问题,为实现全选择性,C段断路器可提高其额定电流,当D段断路器出口短路时流过C段断路器的短路电流达不到其动作电流,保证D-C间不会发生误动作,但要进行灵敏度校验,保证当D段断路器出口短路时D段断路器不能正常动作时,C段断路器能够可靠动作。

对于B-A段保护电器之间不能配合问题,由于B-A段上、下级断路器安装处较近,出口短路时短路电流相差不大,一旦选择不合适很容易造成越级跳闸,而此时A段断路器和B段断路器均采用的是带短路短延时的,GM5FB系列的直流断路器具有过载保护和短路短延时保护功能。其中短路短延时功能具有熔断器的反时限特性,既有良好的限流能力,也有短延时动作功能,此功能能够很好地保障故障电流范围不扩大。而对于本工程出现越级跳闸情况是由于额定电流选择不当导致,因此可以提高A段保护电器的额定电流来保证保护的选择性;或是采用三段式保护断路器,如GMB型直流断路器,选择短路短延时时间较长的,大于B段断路器延时时间。在A段断路器短延时期,下级断路器已经动作跳闸解除故障,上级断路器便不会越级,以此起到很好的选择性保护。

结束语

直流系统保护元件的选择是直流系统中很重要的部分,但直流系统保护元件的配置因站而异,不同的变电站要配置不同型号的额定电流的保护电器。本文开发了直流系统断路器级差配合

软件,并以某典型220 kV变电站配置为例,根据其结构和负荷参数情况,先选择了直流系统中各元件的配置情况,并计算出各阶段断路器出口处短路电流,最后根据本文研究的级差配合算法判断各阶段保护电器的级差配合情况,并进行了灵敏度分析校验;同时用Matlab最小二乘曲线拟合来验证该软件的准确性,结果表明该软件有一定的准确性。根据判断结果,针对不合适保护电器的选择可做适当的调整,要满足级差配合和灵敏度校验。

该软件不仅能够对已有的直流电源系统进行分析,同时对新站的建设能够起到辅助选择的作用,实现了对多个变电站/电厂直流系统中直流断路器级差配合的判断,给直流系统的设计与保护改造提供了合理的指导与依据,同时使运行单位做到心中有数。

参考文献

- [1] 刘毅,周维维,陈国通.直流系统保护电器级差配合的研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(2):45-49.
- [2] 钟渝佳.直流电源系统断路器的级差配合研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [3] 周维维,孙鹏菊,钟渝佳.变电站直流系统级差配合的建模与分析[J].电力系统及其自动化学报,2007,21(2):20-24.
- [4] DLT 5044—2004 电力工程直流系统设计技术规程[S].
- [5] 李秉宇,郝晓光.变电站直流系统保护级差配合特性分析[J].低压电器,2011(6):51-54.
- [6] 刘芳,赵志群,王立昌.直流电源系统保护元件级差配合校核软件[J].低压电器,2010(10):52-56.
- [7] 周锋.电力系统直流断路器短路级差配置研究[J].通信电源技术,2011(4):58-60.
- [8] 周国通.平浪变电站直流保护系统状态检测与维护决策研究[D].重庆:重庆大学,2009.

(收稿日期:2014-11-12) EA