

光纤电流差动保护及其整定计算

廖晓玉, 臧睿, 胡家跃

(河南电力调度通信中心, 河南 郑州 450052)

摘要: 光纤电流差动保护是高压超高压线路主保护的发展趋势。阐述了光纤分相电流差动保护的基本原理; 对比传统比例制动差动保护, 介绍了L90保护自适应椭圆形制动特性。针对光纤电流差动保护应用中需要解决的几方面问题, 包括电容电流的影响、高阻接地的影响、CT饱和、CT断线、采样同步、弱馈问题等, 分析了各型号差动保护的相应对策。最后结合实例总结了相关保护定值的整定计算方法。

关键词: 光纤分相电流差动; 制动特性; 整定计算

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)21-0009-05

0 前言

近年来,随着通信技术的发展和输电线路中自承式(ADSS)光缆和架空地线复合光缆(OPGW)的使用,光纤分相电流差动保护作为线路的主保护之一得到了越来越广泛的应用。这种保护原理简单,不受系统振荡、线路串补电容、平行互感、系统非全相、单侧电源等方式的影响,动作速度快,能可靠地反应线路上各种类型的故障。目前河南省网使用的光纤分相电流差动保护型号有RCS-931、PSL-603、WXH-803、CSC-103、L90等,运行状况良好。

1 光纤分相电流差动原理

1.1 基本原理

光纤分相电流差动保护借助于线路光纤通道,实时地向对侧传递采样数据,各侧保护利用本地和对侧电流数据按相进行差动电流计算。

典型的光纤分相电流差动保护构成如图1所示,以母线流向被保护线路方向为正方向。

动作电流(差动电流)为: $I_{op} = |I_M + I_N|$

制动电流为: $I_{res} = |I_M - I_N|$

比例制动特性动作方程为:

$$|I_M + I_N| > I_{CD} \quad (1)$$

$$|I_M + I_N| > K|I_M - I_N| \quad (2)$$

式中: K 为制动系数, I_{CD} 为差动保护动作门槛。

线路内部故障时,两侧电流相位相同,动作电流远大于制动电流,保护动作;线路正常运行或区外故障时,两侧电流相位反向,动作电流为零,远小于制动电流,保护不动作。

南瑞公司的RCS-931、许继公司的WXH-803即

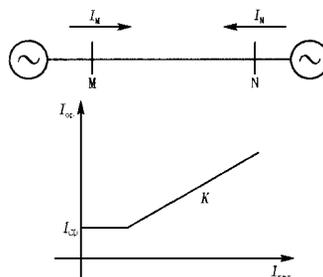


图1 比例制动特性差动保护原理图

Fig. 1 Percentage restraint current differential relay

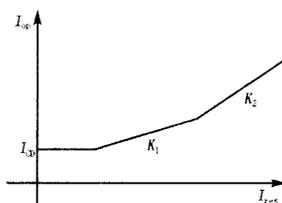


图2 双斜率比例制动特性示意图

Fig. 2 Dual slope percentage restraint characteristic

采用此种动作特性。国电南自的PSL-603、四方公司的CSC-103采用双斜率制动特性(如图2所示),可以保证在小电流时有较高的灵敏度,而在电流大时具有较高的可靠性,即区外故障时因CT特性恶化或饱和产生传变误差,此时采用较高斜率的制动特性更为可靠。

1.2 L90 自适应制动特性

GE公司L90分相电流差动保护采用基于傅立叶变换的“小矢量”算法进行数据综合(参考文献[1,2]),保护原理为基于传统的比例制动原理的自适应差动算法,双斜率制动特性,动作电流为线路各端电流的相量和,制动电流为线路各端电流的标量

和。与传统比例制动方案的主要差别是:对输入电流进行误差估计,以增加故障时的制动分量,从而允许采用比传统方案更灵敏的保护整定值。

当系统实际电流不为精确的正弦波时,保护实际采样值和经过傅立叶变换所拟合的正弦函数存在误差,误差源包括系统噪音、CT饱和、谐波、暂态电流、相位及时钟误差等。L90对这些误差用每个电流矢量的实部与虚部的正态分布来处理,对每端每相的第 n 个时间步长,由采样数据平方和、小矢量、矢量计算出误差平方和。

传统比例制动特性可以在复平面上表示为圆特性,如图3所示。

圆内为制动区,圆外为动作区。圆的直径取决于制动电流的大小。

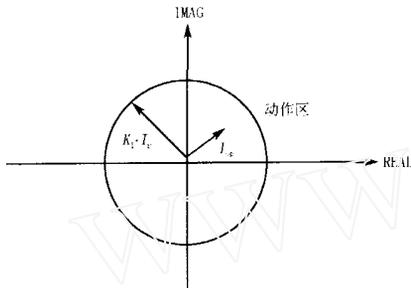


图3 以圆形表示的传统比例制动特性

Fig. 3 Traditional circular restraint characteristic

L90因误差校正因数的引入,自适应制动特性为椭圆形(图4)。当电流波形受CT饱和、谐波分量、暂态分量等因素影响时,该方法和传统方法的制动区域都将增大,但自适应椭圆制动区域能更准确地反应测量误差源。例如,传统方法不考虑行波与操作冲击等对测量精度的影响,而自适应椭圆制动特性却具有极好的统计置信度,比传统方法更灵敏更安全。传统方法不考虑单个不定参量引起的测量电流幅值及相角的不确定分布(其分布为椭圆形),而是假定为圆形分布,其圆直径大小至少为自适应椭圆的主轴一样大。如图所示,当故障电流矢量落于圆与椭圆之间的区域时,传统方法认为没有故障发生,系统未受到保护。在系统稳定运行的条件下,自适应椭圆制动特性和传统圆形制动特性的差别是很小的。

2 分相电流差动保护要解决的几个问题

2.1 电容电流的影响

电容电流是从线路内部流出的电流,因此它构成动作电流。负荷电流是穿越性电流,它只产生制

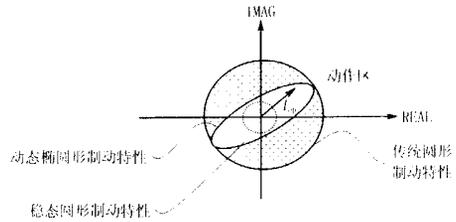


图4 L90 椭圆形制动特性

Fig. 4 Elliptical restraint characteristic of L90 relay

动电流。所以线路投运空载合闸和区外故障切除时,高频分量电容电流与工频电容电流叠加使电容电流增大很多,易造成保护误动,尤其是高压长线路。空载运行时,负荷电流是零,只有动作电流(电容电流),也要防止保护误动。

上述几种分相电流差动保护均可实现对电容电流的补偿。通过半补偿方案,即线路两侧各补偿电容电流的一半(对于三端系统,每侧各补偿电容电流的三分之一),向对侧传送经过补偿后的电流值,以实时数据进行差动。

2.2 高阻接地的影响

经高电阻短路,短路电流很小,因此动作电流很小;负荷电流只产生制动电流而不产生动作电流,所以重负荷情况下线路内部经高电阻接地短路,差动保护灵敏度可能不够。

解决方法是采用工频变化量比例差动保护或零序差动保护。工频变化量差动保护不受负荷电流影响,受过渡电阻影响小,在单侧电源线路上发生短路,只要短路前有负荷电流,短路后无电源侧的工频变化量电流也会形成动作电流。零序差动保护不反应负荷电流,受过渡电阻的影响也较小。因此这两种保护在重负荷线路上发生经高电阻接地短路时灵敏度较高。

RCS-931、CSC-103 差动保护由工频变化量差动、稳态量差动、零序差动构成,WXH-803 差动保护由故障分量差动、稳态量差动、零序差动构成,PSL-603 差动保护由稳态量差动、零序差动构成。

L90因其自适应制动特性,制动系数 K_1 可以整定得较小(一般整定为0.1~0.2,各侧CT特性不同时,整定为0.3),从而满足重负荷内部经高阻接地短路时灵敏度要求。

2.3 CT饱和的影响及对策

由于线路两侧CT暂态特性和饱和程度的差异、二次回路时间常数的差异,在区外故障或区外故障切除时出现差流,容易造成保护误动。

RCS-931:装置中采用较高的制动系数和自适

应浮动制动门槛,保证在较严重的饱和情况下不会误动。

PSL-603:采用自适应比例制动的全电流差动继电器,通过制动系数自适应调整提高区外故障时的安全性。对于 CT 严重饱和、无电流传变区周期较长时,靠自适应判据无法躲过区外故障 CT 饱和,投入波形鉴别法,一旦检出 CT 饱和,进一步抬高比例制动系数,并将差动继电器投入 30 ~ 60 ms 延时,可有效抗区外故障时一侧 CT 饱和,做到可靠不动;同时为区内故障 CT 饱和和留有足够的动作区,使得区内故障 CT 饱和时也能可靠动作。

WXH-803:利用 CT 饱和前线形传变时间(3 ~ 5 ms)内的数据信息来判别故障情况,实现区内故障一点速动。当 5 ms 数据窗不动作时,自动抬高 K 值,并投入 CT 饱和判别逻辑,通过波形畸变识别法判断出 CT 不饱和后,投入低 K 值,否则一直投高 K 值;当装置判断出 CT 饱和时,退出零序电流差动,K 值取 1.2。

CSC-103:采用模糊识别法对 CT 饱和进行检测,判出 CT 饱和后,自动抬高制动系数。

L90:外部故障时,增加误差平方和一部分在总制动量中的分量(按 3 或 5 倍乘数增加)。内部故障时,乘数为 1,保证内部故障的灵敏度。

2.4 CT 断线的影响及对策

为了正确反应单侧电源线路内部短路故障,差动保护在动作电流等于制动电流时应能保证动作,这样在一侧 CT 断线时差动保护会误动。

RCS-931:两侧起动元件均起动,两侧差动继电器都动作的条件下才能出口跳闸。每一侧差动继电器动作后都要向对侧发一个允许信号。CT 断线瞬间,断线侧的起动元件和差动继电器可能动作,但对侧的起动元件不动作,不会向本侧发差动保护动作信号,从而保证差动保护不误动。RCS-931 的有压差流元件,选用灵敏的选相用稳态分相差动继电器,在差流元件动作、动作相或相间电压大于 $0.6U_n$ 这两个条件下,经 10 s 延时发“长期有差流”信号。满足这两个条件可能是 CT 断线,也可能是电流的数据采集通道有故障。

装置发“长期有差流”信号后,如“CT 断线闭锁差动”控制字置 1,则闭锁差动;置 0,则将差动定值抬高到“CT 断线差流定值”,该定值应按躲相邻线路短路时流过本线路的最大短路电流整定。

PSL-603:采用两侧差动继电器同时动作时才出口跳闸,任一侧 CT 断线,不会引起保护误动。利用

两侧零序电流判断 CT 断线,利用两侧各相差流判断 CT 断线的相别,任一侧判出 CT 断线后,断线相差动继电器被特殊处理,非断线相差动继电器仍能正确动作。

“CT 断线后不闭锁保护”控制字有效,检出 CT 断线后,本相保护在故障时不闭锁,但在正常负荷时如发生单侧断线,差动保护不动作。零序差动元件也不闭锁(断线相保护差动元件(零差或分差)动作值按整定值动作)。

“CT 断线后闭锁保护”控制字有效,检出 CT 断线后再发生故障,断线相差动元件差动起动电流定值抬高至 I_n ,同时闭锁零差元件,其它相差动元件仍正常投入。若断线后其它相发生区内故障,CT 断线相差元件差动起动电流定值恢复到整定值,若此时断线相差动继电器动作,保护三跳。

WXH-803:两侧保护装置突变量同时起动才开放差动保护,任一侧 CT 断线,不会引起保护误动。装置启动时,利用两侧电压的变化量来判定是否 CT 断线,断线后分相闭锁差动保护;系统正常(两侧装置都不起动)时,利用差流的大小来判定是否 CT 断线,断线后分相闭锁保护。可由控制字选择 CT 断线时是否闭锁差动保护。

CSC-103:CT 断线判据为:断线侧零序电流连续 12 s 大于 I_{0n} 定值而断线相电流小于 $0.06I_n$ 或正常两侧差流连续 12 s 大于 $0.25I_n$ 而断线相电流小于 $0.06I_n$ 。可由控制字选择 CT 断线时是否闭锁差动保护,闭锁三相或只闭锁断线相。

L90:CT 故障(含二次断线)判据:所监测的 CT 源出现零序电流分量,未出现零序电压分量(无零序电压即意味着该零序电流非接地故障所生成的),或另一个源未出现零序电流分量(可能为另一只 CT,或同只 CT 的不同二次绕组),或未出现相应的保护动作信号时,判该 CT 故障。CT 故障时发报警信号,由灵活逻辑的整定闭锁差动等保护功能。

2.5 采样同步

线路纵差保护两侧电流由不同装置进行采样,采样不同步,使动作电流不是同一时刻的两侧电流的相量和,最大的误差是相隔一个采样周期。这将加大区外故障时的不平衡电流。解决方法是使两侧采样同步,或进行相位补偿。

已有的电流采样同步方法有采样数据修正法、采样时刻调整法、参考相量同步法、GPS 同步法等^[3]。前两种方法都是基于光纤通道收、发延时相等的“等腰梯形算法”(即乒乓算法)。采样数据修

正法各装置自由采样,通信干扰或中断不影响采样同步,但每次的保护算法处理,均要进行数据修正,且离不开通道延时 Δt ,要求通信路由固定,电网频率变化也会影响其相量移位修正结果。后两种方法与通道无关,但参考相量法受输电线路参数和电气量测量误差的影响,其精度不能得到保证;GPS同步法精度高、不受电网频率影响,但需要安装GPS接收机及相应的采样时钟同步锁相回路,并且受到自然环境和社会环境等因素制约。为保证继电保护装置的可靠性,该方法不能作为保护装置唯一的同步方法。

目前各厂家大都采用采样时刻调整法达到采样同步:将线路两侧的保护装置划分为参考端(主机)和同步端(从机),采样同步端发一帧同步请求命令,其中包括采样标号;采样参考端在收到同步端发来的命令后返回一帧数据,其中包括参考端的采样标号及该采样对应的时间等信息;同步端收到参考端的相应数据报文后,可计算出通信传输延时和两侧采样时间差 Δt (如图5)。同步端根据这个时间差作多次的小步幅调整,直到 $\Delta t=0$,两侧保护装置实现采样同步。

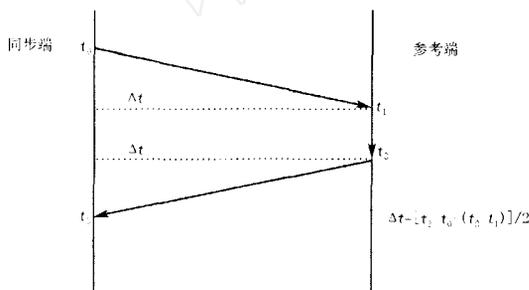


图5 采样同步原理图

Fig.5 Working procedure of sampling synchronization

2.6 弱馈侧电流差动保护存在的问题

当线路一侧为弱电源侧或无电源侧,内部短路时无电源侧起动元件可能不动作。例如无电源侧变压器中性点不接地,短路前线路空载(或轻载),短路后由于既无电流突变量又无零序电流,起动元件不动作,保护装置不能向对侧发送允许信号,导致电源侧差动保护拒动。

RCS-931、PSL-603、WXH-803、CSC-103均设有弱馈启动功能。RCS-931、PSL-603、CSC-103的原理是,弱馈侧收到对侧允许信号、有差流、对应相电压或相间电压低于 $0.6U_n$ (PSL-603为小于 $0.9U_n$),起动元件动作,向电源侧发允许信号,差动保护可以动作发跳闸命令。WXH-803收到对侧起动信号后,判

任一侧电压突变量条件满足,回授信号使双端能够跳闸出口。

L90差动元件跳闸逻辑为:本侧差动动作或收到对侧远方直跳信号,且故障检测元件起动时,差动保护动作跳闸。馈线电源侧可正确动作。

3 整定计算

1)差动保护动作门槛:躲线路合闸时的最大充电电流,并可靠躲过区外故障时的最大不平衡电流,同时保证线路发生内部故障时有足够灵敏度,灵敏系数大于 $2^{[4]}$ 。通常按电容电流乘以一定的系数整定(投入电容电流补偿时,取较低系数;不投时取较高系数),一般不小于 $0.1 \sim 0.2I_n$,并大于保护装置起动电流。线路两侧差动保护动作门槛应整定为相同值。例如:河南电网220 kV线路保护装置起动电流一般整定为240 A(一次值),差动保护动作门槛取值在240 A到300 A之间即可。

2)制动系数:国内分相电流差动保护制动系数内部固定,取值范围在 $0.5 \sim 0.8$ 之间。L90的制动系数由用户整定, K_1 一般整定为 $0.1 \sim 0.2$,各侧CT特性不同时,整定为 0.3 ,从而满足重负荷内部经高阻接地短路时灵敏度要求; K_2 一般整定为 $0.3 \sim 0.4$,各侧CT特性不同时,整定为 0.5 ,保证大电流导致CT饱和时外部故障不发生误动。

3)拐点:L90拐点由用户整定,一般按躲线路最大事故负荷整定,可靠系数取 $1.5 \sim 2.0$ 。

4)CT变比补偿系数:为解决线路两侧CT变比不一致的问题,引入CT变比补偿系数。补偿方法分为以下几种:

a. RCS-931、CSC-103将CT电流一次额定值大的一侧整定为1,小的一侧整定为本侧电流一次额定值与对侧电流一次额定值的比值,该方法与两侧CT的电流二次额定值无关。例如:本侧CT变比为 $1250/5$,对侧变比为 $2500/1$,则本侧CT变比系数整定为 0.5 ,对侧整定为1。

b. L90的CT变比系数整定为对侧和本侧CT变比的比值,根据这个比值和本侧CT调整差动电流起动值和拐点电流值。例如:本侧CT变比为 $1000/5$,对侧变比为 $2000/5$,则本侧CT变比系数整定为2,对侧整定为 0.5 。假设对侧差动起动电流二次值为 0.2 ,则本侧起动值相应调整为 0.4 ;本侧拐点电流二次值为5,则对侧拐点电流二次值为 2.5 。

c. PSL-603的CT变比系数整定为对侧CT一次值和本侧CT一次值的比值,与两侧CT的电流二

次额定值无关。

d. WXH-803 仅整定本侧 CT 变比,在保护通道中不再传输电流二次采样值,而是传输由二次采样值根据本侧 CT 变比处理后得到的一次值。

4 结束语

光纤电流差动保护作为线路的主保护之一,涉及继电保护和通信两方面的专业知识,国内外各型号保护又有其各自特点。在实际运行中,需要不断积累和分析统计其动作情况,才能更好地掌握各种型号光纤差动保护的性。

参考文献:

- [1] Adamiak M G, Premerlani D W. A New Approach to Current Differential Protection for Transmission Lines[A]. Electric Council of New England Protective Relaying Committee Meeting, 1998.
- [2] 文明浩, 陈德树. 小矢量算法浅析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(3): 45-47.
WEN Ming-hao, CHEN De-shu. Simple Analysis of Phasor Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(3): 45-47.

- [3] 廖泽友, 鲍伟廉, 杨奇逊, 等. 数字式高压线路电流纵差保护的通信技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(18): 25-27.
LIAO Ze-you, BAO Wei-lian, YANG Qi-xun, et al. Communication Technology of Digital Current Differential Protection for High Voltage Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(18): 25-27.
- [4] DL-T 559-94, 220 ~ 500 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].
DL-T 559-94, Setting Calculation Code for Relay Protection Equipments of 220 ~ 500kV Power Grid[S].

收稿日期: 2006-04-26; 修回日期: 2006-07-24

作者简介:

- 廖晓玉(1975-), 女, 学士, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究; E-mail: suoml@sina.com
- 臧 睿(1971-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护的研究;
- 胡家跃(1959-), 男, 学士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护的研究。

Line fiber optical differential protection and its setting calculation

LIAO Xiao-yu, ZANG Rui, HU Jia-yue

(Henan Electric Power Dispatching & Communication Center, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Fiber optical current differential protection is the main protection's development trend of high and ultra high voltage transmission lines. This paper illustrates the theory of fiber optical current differential protection. Comparing with the traditional percentage restraint differential protection, it introduces the adaptive elliptical restraint characteristic of L90 relay. Aiming at several application issues, it analyzes the solutions of several types line differential relays. These issues include the effects of capacitive current and high resistance grounding fault, CT saturation, CT failure, sampling clock synchronization, radial lines' operating condition and so on. Setting calculation method of line differential protection and calculation examples are given as well.

Key words: line fiber optical differential protection; restraint characteristic; setting calculation

发电自动化系统部开拓市场创佳绩

许继研制的 CCZ-8000 火电厂电气自动化系统、SJK-8000 水电站综合自动化系统以可靠、稳定的运行业绩和良好的服务深受用户青睐。截至今年 10 月底,许继公司已与云南、四川、贵州等地用户签订供货合同 1.1 亿元,保持了良好增长势头。

发电自动化系统部积极做好市场的技术支持和售后服务工作,在提高产品的生产效率和调试质量,及时完成合同供货的同时,还把降低成本、增加效益放在重要地位。通过降低服务成本,优化设计方案和外购选型,发电自动化系统部上半年节约资金 90 万元。目前,发电自动化系统部已完成入库产值 1 亿元,与去年同期相比增长 10%。