

优化线路零序电流保护整定计算的技术措施

蒋道乾,李世作,向仲卿,范李莉,赵荣普

(广西大学,广西 南宁 530004)

摘要: 为了提高继电保护整定计算的速度和效率,给出了优化线路零序电流保护整定计算的方法。包含对网络操作时,用补偿法修改阻抗矩阵元素;对影响零序 段及各延时段分支系数计算的主要因素:故障点、故障类型、运行方式以及避免各延时段分支系数重复计算问题作了分析,并详述了合理的选择方法。这些方法有助于减少整定计算的工作量、减少整定计算的盲目性、极大地增加对整定计算程序开发的实用性。

关键词: 零序电流; 整定计算方法; 网络操作; 分支系数; 运行方式

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)23-0011-04

0 引言

随着电力系统网络的不断发展和结构的日益复杂化,继电保护整定计算也变得日益复杂化,工作量极大增加。为了提高继电保护整定计算的自动化程度和工作效率,开发相关的应用程序已势在必行。而在电网整定计算中,由于零序电流保护的结构、工作原理简单,动作迅速,保护范围稳定,受过渡电阻影响较小,因此,在电力系统中得到广泛的应用。但零序电流整定计算复杂,给整定工作提出了更高要求。现有零序电流整定计算方法^[1,2]计算量大,计算耗时,为了提高整定计算速度和计算效率,减少数据处理的复杂性,因此在现有零序电流整定方法的基础上,进一步研究优化线路零序电流整定计算方法措施。

1 网络操作的模拟

在整定计算程序中,不仅要进行基本运行方式的计算,还需要进行网络操作的模拟(即开断方式)的计算。在程序编制上,当然可以用修改导纳矩阵,重新形成因子表的方法,这样的计算速度慢。为了提高计算速度,针对保护中是轮流开断单条或两条支路的情况,此时只需修改与之相关的矩阵元素,应该避开全网阻抗计算的麻烦,因此考虑利用补偿法来模拟网络操作来修改阻抗矩阵视为最近选择^[3]。其补偿法原理就是当网络中出现支路开断的情况时,可以认为该支路未被开断,而是在其两端引入了某一待求的电流增量或称之为“补偿电流”,以此来模拟支路开断的影响。

以求零序电流时轮断线路为例,说明用补偿法修改阻抗矩阵元素。设待修改的元素为 Z_{lk} ,修改后为 Z'_{lk} ,开断支路为 Z_{ij} , n 为网络总节点数,计算公式为

$$Z'_{lk} = Z_{lk} - \frac{(Z_{li} - Z_{lj})(Z_{lk} - Z_{lk})}{Z_{ii} + Z_{jj} - 2Z_{ij} - z_{ij}}, \quad l, k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

而对同一行元素补偿电流为 $I_{ij} = \frac{Z_{lk} - Z'_{lk}}{Z_{ii} + Z_{jj} - 2Z_{ij} - z_{ij}} = \frac{Z_{lk}^{(2)}}{Z_{ii}}$,从而建立起求得补偿电流后网络中任意元素的修改公式:

$$Z'_{lk} = Z_{lk} - (Z_{li} - Z_{lj}) I_{ij} \quad l, k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

上述计算公式对正、负、零序阻抗元素修改均适用。提高计算速度主要体现在:1)避免了因某一支路断开后,全网阻抗的重新形成(因为继电保护中存在大量的支路开断处理)。2)式(2)避免了大量的浮点除法运算。

2 零序 段的整定计算

零序 I段整定计算要计算最大零序电流。为了充分发挥零序 段的保护作用,按躲开区外故障最大零序电流整定,即 $I_{dz}^I = K_K^I I_{d \max}^{(3)}$ ^[4]。对线路出现三相不同期合闸操作时,可能产生更大的零序电流而误动作,此时使保护带一个小小的延时(0.2 s内)以躲开断路器三相不同期合闸时出现的最大零序电流。现有整定计算中指出要计算最大零序电流 $I_{d \max}$ 时,根据文献[1,2],需要计算不同故障点(线路上任意点、末端母线节点、相继动作)、故障类型(单相接地和两相接地)、运行方式(切除发电机、线路、变压器)下的零序电流计算,才能选择比较选出

最大零序电流的值。此时,最大零序电流的计算必须考虑不同故障点、故障类型、运行方式的影响,必须比较各种组合下的零序电流才能确定。而各种组合又极多,计算量大,数据处理繁杂。下面将讨论其优化技术措施。

2.1 故障类型和故障点的选择

就故障类型的选择来说,产生零序电流的故障类型只有单相接地和两相接地故障。文[1]和文[2]指出,在计算时要分别计算单相接地故障和两相接地故障零序电流进行比较,选择最大值。实际上,根据故障分析理论,如果零序阻抗(Z_0)大于正序阻抗(Z_1)($Z_0 > Z_1$),单相接地短路的零序电流大于两相接地短路的零序电流,所以计算时选取单相接地故障计算短路电流。反之取两相接地故障计算短路电流。这样计算工作就没有必要把两种类型的故障电流都计算出来再比较,减少了一半的计算工作量。

就故障点的选择,根据零序电流整定计算原则,零序电流段保护定值一定要大于保护范围外最大零序电流才能不越级跳闸又能始保护范围最大,此时故障点在相邻线路母线上比在线路上更能满足上述要求。相继动作就不必考虑,因为如此零序电流增大而跳闸正是我们需要的。所以故障点只计算保护开关对侧母线节点。

2.2 运行方式的选择

在继电保护整定计算过程中,为计算动作值和校验灵敏度,必须查找最不利的运行方式。在计算动作值时,要查找电力系统的最大运行方式,要计算不切线方式;轮流开断保护对侧母线上所连一线路、两条线方式。在校验灵敏度时,要查找最小运行方式,要轮流开断保护所在线路背后线上所连线路(一般轮流开断一回)。实际上在利用计算机进行整定计算时,通常是采用线性流程完成继电保护整定计算(即先整定完上一段再整定下一段的流程方式)。因此,上述方式在查找运行方式中存在大量的重复开断计算。如图1所示。

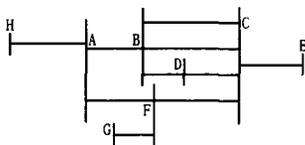


图1 电力系统整定计算运行方式的选择

Fig 1 Selection of running mode of power system setting calculation

在计算图1中线路AB的保护开关A的I段的动作值时,在B母线上要分别进行不切线、切一条线、切两条线计算。在进行线路FC的F侧开关计算时就存在了重复计算开关A所开断线路,在计算延时段时也存在同样的重复计算。大量的重复计算影响了继电保护整定计算的速度和效率,影响程度和电网的结构有关。

此时为了避免线路的重复开断,改用不再按继电保护循环确定整定计算的顺序,具体方法为:首先计算不切线运行方式下,所有开关A、B、C、D、E、F、G、H的零序电流计算;然后再计算切一条线(如切BC)的运行方式下,开关A、D、E、F、G、H的零序电流计算;最后再计算切两条线(如切线BC、BD)运行方式时,开关A、E、F、G、H的零序电流计算。这样既没有重复运算,又对各个运行方式下,每个开关的零序电流值进行了计算。上述思想也可以用来在计算最小零序电流整定计算时运行方式的选择。

3 各延时段分支系数的整定计算

3.1 延时段整定时避免分支系数的重复运算

零序网分支系数的计算为保护支路与配合支路的零序电流比^[4]。现有的继电保护整定计算软件在进行继电保护整定计算时,一般采用线性流程。这种整定计算方法在整定、段时,存在分支系数的重复计算。以图2在整定AB线路A侧保护的各延时段为例。

A侧保护段的计算方法为:在不断开任何线路时和轮流断开线路BC、BD的运行方式下分别计算相邻线路末端、相继动作、对侧母线故障时的分支系数。段的分支系数整定计算方法和段完全一样。可见,在整定时存在着大量的重复计算。重复计算量和电网的复杂程度有关。

此时在进行继电保护整定计算时,改用直接按故障时保护测量到的电气量来计算继电保护延时段的动作值。不再延用人工整定时引入分支系数计算的方法。如图2中,线路A侧段动作电流计算的公式就可以改为 $I_{dzA}^{II} = K_K^{II} I_{dABmax}^{(3)}$, $I_{dABmax}^{(3)}$ 为相邻线路保护的末端发生三相短路时流过保护A的最大零序电流。在计算最大三相短路电流时应该计及电力系统分布式发电机运行方式变化的影响。

3.2 延时段整定时分支系数计算时运行方式、故障点以及故障类型的选择

分支系数的选择应该选择常见运行方式下的最

大值^[4]。就运行方式的选择可以利用 2.2 节中不重复计算运行方式的思想。就故障类型不管从理论分析还是实践计算也都证明,分支系数的计算与故障类型无关。就故障点选择:在辐射式网络中,分支系数与故障点的位置无关,是一常数。所以,故障点可以假定在相邻线路的任意处,一般选在配合支路母线节点处。在复杂环网中,分支系数的选择往往随故障点不同而不同,在整定时可以按如下考虑:

1) 当本线路在被配合相邻线路所在的环网以外时,相邻线路故障点越靠近对侧母线,分支系数就越大,所以故障点选在相邻线路末端母线上最保守。

2) 当保护线路与被配合线路在同一个环网中,相邻线路故障点越靠近对端母线,分支系数就越小;在相继动作时,此时分支系数为一恒定值,且此时分支系数最大。所以计算时考虑相继动作情况计算。对上述结论的证明可见参考文献[5]。

3) 如果上述被配合线路采用的是单相重合闸,则尚应考虑相邻线路非全相运行时分支系数的值,此时,分支系数的值比相继动作时还大,所以选择时要考虑单相重合闸时情况。

如对图 2(a)系统,考虑 AB 线路 A 侧零序电流保护与 BC 线路 B 侧零序保护相配合。当 BC 线路接地故障且 C 侧开关处于断开状态,其等值电路如图 2(b),分支系数值

$$K_{Iz} = \frac{I_0'}{I_0} = \frac{Z_B}{Z_{AB} + Z_A // (Z_{AC} + Z_C) + Z_B} \quad (3)$$

当 BC 号线路非全相运行时,零序电流的等值电路图如图 2(c),可简化为图 2(d),其中化简电路

$$\text{时有: } Z_{AM} = \frac{Z_A Z_{AC}}{Z_A + Z_{AC} + Z_C}, \quad Z_{MC} = \frac{Z_{AC} Z_C}{Z_A + Z_{AC} + Z_C},$$

$$Z_{MN} = \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_{AC} + Z_C}。 \text{此时分支系数}$$

$$K_{Iz} = \frac{I_0'}{I_0} = \frac{Z_B + \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_{AC} + Z_C}}{Z_{AB} + Z_B + \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_{AC} + Z_C} + \frac{Z_A Z_{AC}}{Z_A + Z_{AC} + Z_C}} = \frac{Z_B + \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_{AC} + Z_C}}{Z_{AB} + Z_B + Z_A // (Z_{AC} + Z_C)} \quad (4)$$

比较式(3)和式(4),可知式(3)分支系数小于式(4)计算所得分支系数,所以当被配合线路采用单相重合闸时,应选择非全相运行时情况计算分支系数。

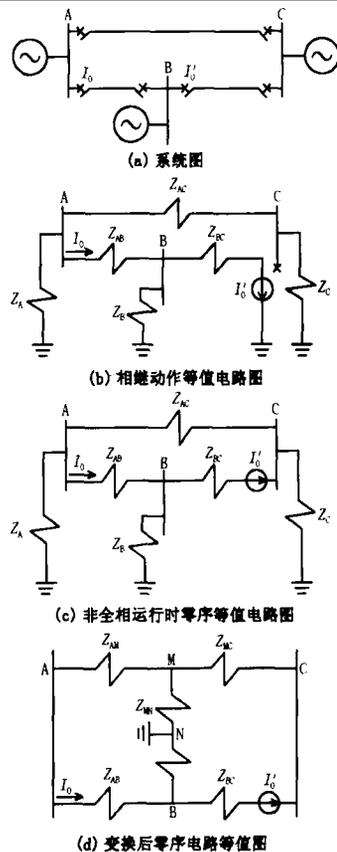


图 2 断线故障和接地故障时 K_{Iz} 值比较

Fig 2 Comparison K_{Iz} when open-conductor fault and line-to-ground fault

4) 如果本线路与配合线路在同一个环网内,而被保护线路采用三相重合闸,仍有可能出现非全相运行的保护配合问题,此时三相重合闸时的非全相运行以较短的时限(0.2 s内)跳开三相开关予以解决问题,不考虑相邻线路非全相运行时的分支系数计算。

4 结论

1) 网络操作时,对继电保护整定存在大量的且往往只需要的是轮流开断一条或两条支路情况,用补偿法修改阻抗矩阵元素;2) 给出了合理选择故障点、故障类型的依据和方法;3) 给出了选择运行方式时,避免重复开断同一支路问题的方法,即按照开断线路循环进行保护整定计算;4) 给出了避免重复计算同一分支系数的方法,即按照故障时继电保护测量到的电气量进行整定计算保护动作值。对 160 个节点,100 多个开关,大约 8 万个方式的电网,整定和相互相配合仅 6 min 内可完成。

参考文献:

- [1] 中国电力行业标准, 220 ~ 500 kV 电网继电保护装置运行整定规程 [S].
Power System Industry Standard of China, 220 ~ 500 kV Regulations of Running Setting of Relay Protection Equipment of Power System [S].
- [2] 陈永琳. 电力系统继电保护的计算机整定计算 [M]. 北京:水利电力出版社, 1994.
CHEN Yong-lin Setting Caculate for Computer in Relay Protection of Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1994.
- [3] 王磊, 孙鸣, 等. 高压电网继电保护整定计算软件核心算法的研究 [J]. 电网技术, 2003, 27 (7).
WANG Lei, SUN Ming, et al Study of the Core Algorithm of Relay Coordination Software on High-Voltage Power System [J]. Power System Technology, 2003, 27 (7).
- [4] 王梅义. 高电压电网继电保护运行技术 [M]. 北京:水利电力出版社, 1984.
WANG Mei-yi Running Technology of Relay High-Voltage Protection of Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1984.
- [5] 陈小平. 电网结构于配合系数的研究 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (9): 52-55.
CHENG Xiao-ping Study on the Structure and Cooperative Coefficient in Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (9): 52-55.

收稿日期: 2006-06-09; 修回日期: 2006-08-19

作者简介:

蒋道乾 (1978 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; Email: silvila@163.com

李世作 (1969 -), 男, 副教授, 研究方向为电力系统继电保护, 电力系统分析与计算;

向仲卿 (1976 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统高电压与绝缘技术。

Technical measures of optimizing line zero-sequence current protection setting

J IANG Dao-qian, L I Shi-zuo, X IANG Zhong-qing, F AN Li-li, Z HAO Rong-pu
(Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: To improve the speed and efficiency of setting calculation to relay protection of power system, the paper puts forward reasonable ways of setting calculation for transmission line zero-sequence current protection. Compensating algorithm is used to avoid whole network matrix elements modified when network line is opened. The main reasons for influence zero-sequence current protection I and zero sequence branch confidence protection II, III, IV are analyzed, including how to reasonably select fault points, fault styles, and operating modes and avoid repeat calculating branch coefficients. These ways are helpful to decrease workbad and aim less calculation and to improve practicability of program for setting calculation.

Key words: zero-current; setting calculation ways; transmission line operating; zero-current branch coefficient; operating mode

我国自主研发成功世界先进的“煤变油”技术

石油价格持续攀升,假如汽车可以“烧”便宜的煤炭该多好。某城市一家特大型煤炭企业靠独立研发,目前已掌握一项具有国际先进水平的煤的间接液化技术。据悉,这家公司“煤变油”万吨级中试装置近日一次投料试车成功,有望迅速进入产业化开发阶段。

所谓“煤变油”即煤炭液化技术,是指以煤炭为原料制取汽油、柴油、液化石油气的技术。记者近日在兖矿集团有限公司采访时发现,这家公司已及早将煤化工作为煤炭生产的替代产业予以培植,其煤化工产业目前已初具规模。

兖矿集团董事局主席耿加怀说,目前,该集团已同时掌握水煤浆与干煤粉两项气化技术,公司自主研发的煤炭液化技术取得重大突破,万吨级中试装置近日一次投料试车成功,其低温 F-T 合成煤间接制油技术已达到国际先进、国内领先水平。依靠这一领先技术,兖矿集团在“十一五”规划中大胆提出了煤制油产能 200 万吨的大目标,有望改变中国“高煤少油”的能源结构。