

基于频率特性的合闸于故障线路选相

黄霞 陈皓

(四川大学电气信息学院,四川成都 610065)

摘要:为了对合闸于故障保护进行快速选相,利用合闸于正常线路和故障线路时所存在的暂态信号频域特性,通过对合闸于不同故障情况下,输电线路所产生的暂态电流进行 FIR 带通数字滤波分别得到各相相应的高低频电流值,进而对三相电流的 6 个高低频分量进行能量比较来判别故障相别、故障类型。进行了大量 Matlab 仿真实验表明该方法下都能基本正确地快速选出故障相,因而为加快暂态量保护提供有益的参考。

关键词:合闸操作;频率特性;自振频率;暂态电流能量比;数字滤波

Abstract: In order to select phase quickly for switching into fault protection, the frequency domain characteristics of transient signal when switching into normal line and fault line are used. FIR digital filter is used for the transient current produced by transmission line under the situation of switching into different faults to obtain the high-frequency and low-frequency current value corresponding to each phase respectively, and then the energy of six high-frequency and low-frequency components of three-phase current are compared to distinguish the phase sequence and the fault types. Lots of simulation experiments with Matlab indicate that this method can distinguish the phase sequence of fault line correctly, which can provide a useful reference for speeding up the transient-based protection.

Key words: circuit-breaker closure; frequency characteristic; natural frequency; ration of transient current energy; digital filter

中图分类号:TM711 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2012)03-0055-03

0 引言

由于暂态量的保护具有速度快且不受过渡电阻、系统振荡和 TA 饱和的影响,所以成为了高压输电线路继电保护的发展趋势。相关研究表明,在进行断路器操作时,合闸产生的操作波暂态过程可能引起暂态保护的误动作^[1]。因此,面临一个进行断路器操作时暂态保护的可靠性问题。

基于暂态分量的超高速保护包括行波保护和暂态量频率保护。利用暂态量频率特性的保护是通过探测故障时产生的高频电压和电流信号来检测故障的产生^[2]。20 世纪 80 年代末, A. T. Johns 等人提出了利用高频暂态量实现高压传输线单端保护技术的雏形^[3]。文献[4]中提出线路合闸操作暂态过程频域特征:合闸后暂态电压中自振荡频率的含量也显著不同且合闸于故障相的电流中将含有大量的直流分量和工频分量,并不含有合闸于无故障线路时存在的频率较高、含量较大的自振频率。文献[5]中,分析了母线杂散电容对故障时故障电流的衰减效

应,发现进入保护单元的高频电流信号在区内和区外故障时明显不同,故而将高频段和相对较低频段两个频段信号的能量比值的对数值作为区分区内外故障和母线故障的判据。

在对线路合闸操作的暂态信号频域特征进行深入研究的基础上,对线路合闸操作暂态进行了仿真研究,并利用合闸于故障相和非故障相时两者是否含有明显自振荡频率,且自振主频率约为工频的 3~12 倍^[6],所以在每相都有两个带通滤波得出高低频电流能量比值,分别对比该三相比值以正确地选出故障相并判断合闸于故障与否。

1 暂态电流保护

1.1 合闸信号的特征提取

离散小波变换(discrete wavelet transform, DWT)在时域的多样窗函数功能已经被广泛地用于暂态信号的分析中。一个暂态信号可以被一系列的小波和标度函数表示,并且这些函数的系数是在不同时移和频率情况下用离散小波变换所得的不同系数。

DWT 能够通过分解时域和频域交叠的信号成分来提取暂态信号的特征。

由以上表述可知一个时变函数 $f(t)$ 可以由 $\Phi(t)$ 和 $\varphi(t)$ 的以下等式表示。

$$f(t) = \sum_k c_0(k) \sum_{\Sigma} (t-k) + \sum_k \sum_{j=1} d_j(k) 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - k) = \sum_k c_{j_0}(k) 2^{-j_0/2} \varphi(2^{-j_0}t - k) + \sum_{k, j=j_0} d_j(k) 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - k) \quad (1)$$

其中 $\Phi(t)$ 、 $\varphi(t)$ 、 c_0 和 d_j 分别代表标度函数, 小波函数。标度系数和小波系数, 符号 k 是用于定位时间信号的转换系数。标度 $j=1, 2, \dots$ 表示不同的频率带(从高到低), 符号 j_0 不能是任意的整型。小波的变换和标度类型 $\Phi(2^{-j}t - k)$ 将通过分解信号来产生一时频图。小波系数 d_j 是暂态合闸高频现象的特征^[7]。

1.2 暂态电流和暂态电流能量

通常暂态保护研究的基本对象是暂态电流与暂态电压或它们所携带的能量。在暂态保护的研究中常常需要讨论暂态电流与暂态电流能量, 而不同的暂态保护算法对暂态分量的定义也不同, 为便于今后的讨论先给出以下基本定义。

暂态电流: 在输电线路发生故障时将产生频带很宽的暂态故障电流、电压, 其频带范围包括直流分量到几百千赫的高频分量, 在暂态电流保护的研究中, 将高于基频分量的较高频率的暂态故障电流称为暂态电流^[8]。

信号能量: 在信号的传输中, 总是伴随着能量的传送。任何信号都带有一定能量, 它代表着信号做功的能力。根据信号理论, 信号 $f(t)$ 具有的总能量 Σ_{Σ} 为

$$\Sigma_{\Sigma} = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt \quad (2)$$

暂态电流能量^[9]: 在暂态保护的研究中, 常常需要讨论有限时间内暂态电流的能量。如果 $i(f_k)$ 表示中心频率为 f_k 的频带宽度为 Δf 的暂态电流信号, 时间窗的宽度为 $(t_2 - t_1)$, 则时间窗内暂态电流 $i(f_k)$ 具有的总能量为

$$\Sigma_i = \int_{t_1}^{t_2} |i(f_k)|^2 dt \quad (3)$$

2 改进的暂态电流保护

空载线路合闸操作暂态过程频域特征在文献

[4]中已经对其进行了分析, 定性地得出了线路合闸操作暂态过程的基本特征, 并更进一步证实自振频率与线路长度存在近似的反比关系, 但所用的小波分析法, 存在计算量大、计算复杂等缺点, 并且未对故障情况进行选相, 而且为了更加大范围的检验是否合闸于故障, 改变了暂态电流能量的定义, 如上1.2所述, 接着在 Matlab 软件中, 为了满足线性要求, 用编程来完成三相 FIR 数字滤波, 得出各相高低频电流平方值, 进而取高低频平方值之比与门槛值 m 进行比较。又由于自振主频率约为工频的 3 ~ 12 倍, 所以低频部分滤波器的中心频率是 100 Hz 而高频部分滤波器的中心频率为 150 Hz。相应的 a, b, c 三相高低频电流能量平方值之比分别为 K_a, K_b, K_c 。对于输电线路空载合闸的频率特性则分别有如下具体关系。

1) 线路对称故障

(1) 断路器空载合闸于非故障线路时, 线路三相电流中存在明显的自振频率分量。自振频率分量幅值较大, 远远大于基频分量的幅值; 自振频率分量衰减速度较慢, 在合闸后约 5 个周波仍然存在较大幅值。此时 K_a, K_b, K_c 均大于 m 。

(2) 断路器空载合闸于线路三相故障时, 故障电流中不存在明显的自振频率分量, 主要包含衰减直流分量和故障基频分量, 以及幅值很小的高频分量。此时 K_a, K_b, K_c 均小于 m 。

2) 线路不对称故障

断路器空载合闸于故障线路时, 故障相电流中不存在明显的自振频率分量; 非故障相电流故障电流中仍然存在明显的自振频率分量。但略有不同的是, 故障点距离母线越近, 自振频率分量衰减速度相对越快。

(1) 单相故障时, 则该单相故障的系数小于 m , 且另两相的系数相等且大于 m 。

(2) 两相故障时, 则非故障相系数大于 m , 另两故障相相等且都小于 m 。

综上所述, 故障选相流程图如图 1 所示。

3 仿真分析

3.1 仿真模型

所给出的是一条 500 kV 输电线路, 对此予以仿真讨论, 具体如图 2 所示。

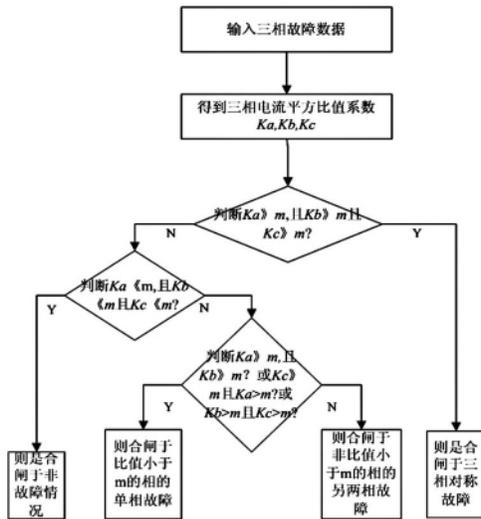


图1 故障选相流程图

图2中模型的线路参数为

正序阻抗: $Z_1 = 0.0262 + j0.2863 \Omega/\text{km}$

零序阻抗: $Z_0 = 0.1724 + j1.03772 \Omega/\text{km}$

线路对地正序电容: $c_1 = 0.0124 \mu\text{F}/\text{km}$

线路对地零序电容: $c_0 = 0.069 \mu\text{F}/\text{km}$



图2 500 kV 输电线路模型

利用上述仿真系统,为了反应不同长度线路暂态分量的特点和差别,分别取线路长度 L 为 50 km、150 km、250 km、300 km、350 km 进行输电线路空载合闸、合闸于非故障线路及合闸于故障线路的仿真。其中,合闸于故障考虑三种情况:合闸于线路单相(A相)故障,过渡电阻 300 Ω ;合闸于线路三相故障,过渡电阻 50 Ω ;合闸于线路两相(A、B相)故障,过渡电阻 50 Ω 。合闸操作由 M 侧断路器进行。由于输电线路空载合闸时的自振频率较低,因此仿真时采样频率取 20 kHz。对上述情况进行全面的仿真实验,因为单相短路占大多数,两相短路较少,且两相短路情况频率特性与单相刚好相反;又因为三相短路最少,且与合闸于非故障情况相反^[10],所以限于篇幅仅给出单相故障和三相非故障的部分实验结果。综上,给出相应的 Matlab 中所搭的合闸于故障线路仿真模型如图3所示。

通过仿真模型、频率特性和相应的暂态电流能量定义等综合分析得出在仿真中阈值 m 设置为 50 为宜。

3.2 仿真结果

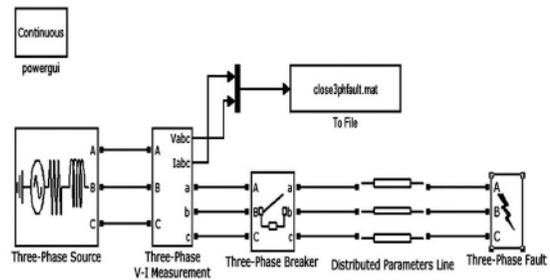


图3 输电线路合闸于故障的 Matlab 模型

3.2.1 单相故障

表1分别给出了合闸于不同线路长度 L 的单相(A相)故障电流高低频能量比值结果。

表1 不同线路长度的合闸于单相故障

三相高低频电流能量比

线路长度 /km	K_a	K_b	K_c
50	2.6	3 800	18 000
150	6	3 050	8 000
250	13	2 100	1 800
300	23	1 900	83
350	140	379	29

通过表1可以知晓,随着线路的增长有一相(A相)的电流高低频能量比值在变大,而另两相(B、C相)相应地却在变小,这就印证了2.1所述的断路器合闸于单相故障时的频率基本特征。但当线路增长到 350 km 时,该相(A相)的能量比值却比 C 相大 4 倍,而且也仅比 B 相小一倍。此时 $K_a > 50 > K_c$,证明此刻该判据失效,即随着线路的增长,该判据效果越来越差直至 350 km 左右时,该判据无效。相应的能量比值结果列表如表1所示。

表2 不同故障距离的合闸于单相故障

三相高低频电流能量比

故障距离 /km	K_a	K_b	K_c
10	5.1	3 350	9 200
50	4.9	3 500	9 450
90	4.8	3 620	9 800

而对于合闸于故障距离分别为 10 km、50 km、90 km 的 100 km 长度单相(A相)故障线路,最终得出的三相电流高低频能量比值结果如表2所示,可以看出除了满足在2.1中所述的基本频率特性外,还能够得到的特点就有:故障点距离母线越近,自振频率

(下转第87页)

漏,对本体油进行彻底的脱气处理,投入运行后进行2~3个周期的色谱跟踪检测(监督周期可根据实际情况进行自行安排,如每月一次),以观察检修的效果并积累处理后油色谱本底值。

6 结 论

探讨了变压器有载开关油渗漏诊断技术,提供了一些创新的判断方法,也通过一些实例验证了这些判断方法的有效性。充油电气设备的故障复杂多

(上接第57页)

分量所衰减速度就相对越快,但其差别并不明显。

3.2.2 三相非故障

表3分别给出了合闸于不同线路长度L的非故障电流高低频能量比值结果。

从表3能够看出三相的电流高低频能量比值都随着线路的延长而减小,但均远远大于50。同时高频的衰减速度也随着线路的增长而增快。相应地也就与2.1中的合闸于非故障相所描述的频率特征符合了,同理,当输电线路增长到350 km时,整个判据随着自振频率的锐减而失效了。相应的能量比值结果列表如表3所示。

表3 不同线路长度的合闸于非故障线路的三相高低频电流能量比

线路长度 /km	K_a	K_b	K_c
15	1 640	9 000	1 000
50	1 083	7 482	754
150	924	5 230	386
300	400	1 190	189

4 结 语

根据输电线路在合闸于故障相和非故障相时其电流或电压中所包含的自振荡频率类型和含量的不同,采用对各相电流进行高低频率带通数字滤波来得出高低频电流能量比值与设定的域值的大小关系来作为主要的故障判据,能更加明显地得出相应的频率特性结论,并能更好地得出合闸于故障相的具体情况。所进行的仿真实验也更加有力地证明了该判据的有效性。但该方法在线路超过350 km时就

变,任何一种故障诊断技术都有其自身的局限性,并有着各自的适用范围,方法选择不当,易导致判断失误。所以,在诊断故障的时候,一定要根据设备的实际情况,谨慎选择判断方法,注意用多种方法相互配合验证,方可提高故障诊断的准确性。

参考文献

[1] GB/T 7252-2001,变压器油中溶解气体的分析和判断导则[s].

(收稿日期:2012-02-15)

无效了,所以距离问题有待深究。

参考文献

[1] 胡巨.超高压输电线路暂态电流保护的研究[D].北京:华北电力大学,2004:1-3.

[2] 何世恩,岳恒宇,夏经德.继电保护技术的发展与展望[J].甘肃电力技术,2010,5(2):15-18.

[3] Xu,Qingshan,Lai L L,Chen Jingen, et al. Novel and Comprehensive Countermeasures for Single Terminal Fault Location of Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(15):21-25.

[4] 段建东,罗四倍,张保会.超高速保护中合闸于故障线路的识别方法[J].中国电机工程学报,2007,27(10):78-84.

[5] Bo Z. Q. A New Non-communication Protection Technique for Transmission lines[J]. IEEE Trans. on Power Delivery,1998,13(4):1073-1078.

[6] 解广润.电力系统过电压[M].北京:水利电力出版社,1985:121.

[7] Y. Y. Hong, Y. Y. Chen. Placement of Power Quality Monitors Using Enhanced Genetic Algorithm and Wavelet Transform[J]. IET Generation, Transmission & Distribution,2008,23(5):461-465.

[8] 陈皓.超高压输电线路暂态电流保护的研究[D].重庆:重庆大学,2001:16-17.

[9] 方达意.基于暂态电流小波能量谱的超高压输电线路故障类型识别[D].长沙:湖南大学,2009:14.

[10] 张保会,尹项根.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2005:26.

作者简介:

黄霞(1986),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护与控制。

(收稿日期:2012-04-26)