

长数据窗算法的动态特性及其在快速保护中的应用

刘益青¹,高伟聪²,王林先³,杨启帆¹

(1. 济南大学 自动化与电气工程学院, 山东 济南 250022; 2. 山东外事翻译职业学院 信息工程学院, 山东 济南 250100;
3. 积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100)

摘要: 当保护所采集的电气量发生跃变时,算法的数据窗内同时包含跃变前、后的数据,算法输出结果所呈现出的动态特性一般不具有单调递变性质,这就限制了长数据窗算法在快速保护中的应用,必须靠整数据窗延时躲过动态过程。然而理论分析表明,当跃变前电流为 0 时,通过全周傅里叶算法计算得到的电流幅值,在动态过程中均不大于完全采用跃变后数据计算的电流幅值,因此采用长数据窗的全周傅里叶算法在动态过程中的输出结果仍可用于某些快速保护。基于上述分析,设计了利用长数据窗算法动态特性的快速差动速断保护方案,在提高保护速动性的同时,避免了复杂的长短数据窗算法的切换。理论分析和仿真验证表明,所提快速保护方案有效、可靠,在不采用短数据窗算法的情况下,仍可获得良好的速动性。

关键词: 长数据窗算法; 全周傅里叶算法; 动态特性; 快速保护; 继电保护

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.01.029

0 引言

速动性是对电力系统继电保护的基本要求之一,对于反映电气量基波相量特征的数字化保护,其速动性将受制于相量提取算法的数据窗长。一般地,长数据窗算法计算精度高,滤波效果好,但不利于提高保护的速动性。为满足超高压电网的实际需求,必须采取有效措施协调数字化保护的速动性与数据窗长之间的矛盾。

采用短数据窗算法提取基波相量是解决上述矛盾的有效方法之一^[1],用于快速保护的短数据窗算法可以分为 2 类:一类是基于正弦信号模型方法^[2],包括两点乘积算法、半周积分算法^[3]和半周傅里叶算法等;另一类是基于周期信号模型的方法,包括最小二乘算法^[4]、正交滤波器算法^[5]、相量短窗滤波器算法^[6]和基于矩阵束的相量提取算法^[7-8]等。短数据窗算法仅利用故障后较短时间内的信息即可提取出基波相量,提高了保护的速动性,但从平稳周期信号理论分析,由于数据窗尚不能覆盖基波的 1 个周期,必然无法准确反映基波相量特征,使得计算精度降低^[9]。

在实际保护装置中使用短数据窗算法时,须配合高性能的数字滤波器^[10],并辅之以保护动作的反时限特性^[11]。为了达到速动性和计算精度之间平衡,还需要采用长、短数据窗相结合的策略,这都将大幅增加保护软件的复杂度^[12-14]。

本文采用另一种思路,利用长数据窗算法的动态特性,来协调速动性与计算精度之间的矛盾。针对数

字化保护中广泛采用的长数据窗傅里叶算法,分析了在发生故障后,数据窗内同时包含故障前、故障后采样数据的动态响应过程,并在此基础上提出了统一使用长数据窗算法的快速保护应用方案。

1 算法的数据窗及动态过程

1.1 算法的数据窗

在数字化保护中,算法数据窗 D_w 一般是指算法所使用的离散采样点的数目;算法时间窗 T_w 是指算法所使用的最新采样点与最早采样点之间的时间跨度,最新采样点一般为当前采样点。设 T_s 为采样间隔,则 D_w 与 T_w 之间存在如下关系:

$$T_w = (D_w - 1)T_s \quad (1)$$

算法的暂态时延 T_d 是指从输入信号发生跃变到算法获得稳定输出之间的时间延迟,在 T_d 时间内算法处于动态响应过程。对于非递归类算法,有 $T_d = T_w$;对于递归类算法, T_d 不确定。

数字化保护中的大多数场合采用非递归类算法,因此,数据窗 D_w 的长短直接影响算法的时间窗 T_w ,进而决定了算法的暂态时延 T_d 。

对于每基波周期进行 N 点采样的情况,常用的数字化保护算法的数据窗长为:全周傅里叶算法的 $D_w = N$;半周傅里叶算法的 $D_w = N/2$;半周绝对值积分算法的 $D_w = N/2$;逐点差分算法的 $D_w = 2$ 。

1.2 算法的动态特性

当一次系统的电气量发生跃变时,算法数据窗内既包含跃变前的数据也包含跃变后的数据,因此在暂态时延的 T_d 时间内,算法的输出客观上必然经历一个动态过程。这种电气量发生跃变的典型情况包括突然发生故障和区内的转换性故障或发展性

收稿日期:2016-11-11;修回日期:2017-07-18

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EEM039)

Project supported by Shandong Provincial Natural Science Foundation(ZR2014EEM039)

故障等^[15]。

上述动态过程中,算法表现出的特性与数据窗的选取方式密切相关。图 1 给出了实际的数字化保护中,在电流、电压发生跃变时不同的数据窗选取方式。图 1 中在 O 点发生电气量跃变,设窗长为 $D_w = N$, W_{0-} 表示跃变前数据窗。

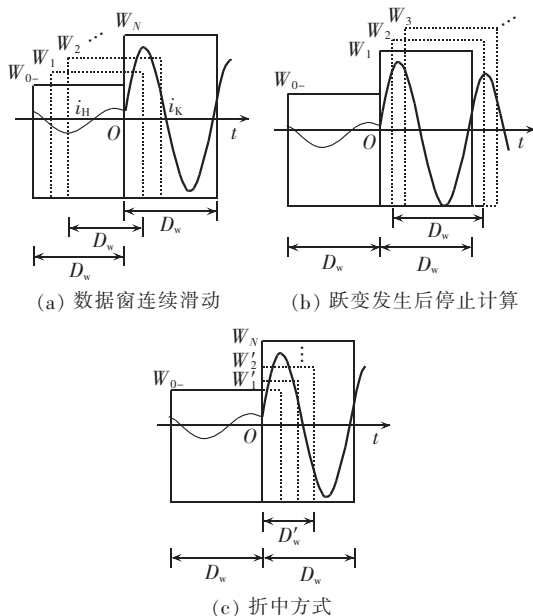


图 1 电流或电压发生跃变时的算法数据窗选取

Fig.1 Selection of algorithm data-window when current or voltage suddenly changes

图 1(a)表示数据窗连续滑动的选取方式,数据窗 $W_1, W_2, \dots$ 的计算结果均处于算法的动态过程中,直到数据窗达到 W_N ,即全部为跃变后数据,动态过程结束。图 1(b)表示跃变发生后停止计算,直到数据窗 $W_1 = D_w$ 才再次开始数据计算,以躲过算法的动态过程。图 1(c)对前述 2 种方式进行了折中,不使用滑动数据窗,也不停止计算等待数据满窗,而是在检测到跃变发生后,改用窗长为 D'_w 的短窗算法,并根据采样数据自动增加数据窗长,形成一系列数据窗 $W'_1, W'_2, \dots$,直到数据窗达到 W_N ,即全部为跃变后数据。

图 1(b)所示的方式相当于将整个动态过程的算法输出直接舍弃,靠整数据窗的延时来躲过算法的动态过程,必然影响保护的速动性,制约了长数据窗算法的应用。图 1(c)所示的方式虽然利用了算法的动态过程,但是短数据窗的滤波效果往往不够理想,而且长、短数据窗结合的策略会增加保护软件的复杂度,特别是在发展性故障时电气量跃变时刻的捕捉也有一定的困难。

保护中即使采用图 1(a)所示的方式,也仅仅是计算出算法的结果,而在保护逻辑中不使用,所以实质上还是等待跃变后的数据满窗。这种处理往往偏

保守,其理论依据^[9-10]是如果算法输出在动态过程中不具备单调上升特性,将引起保护的误动。

由图 2 所示的包含跨窗数据的动态过程典型输出结果可以看到,当输出值单调上升时,对过量保护无影响,如图 2(a)所示。而图 2(b)的情况中,动态过程输出的最大值大于满窗数据计算结果,即 $I_{\max} > I_{D_k}$,而满窗数据计算结果又小于整定值,即 $I_{D_k} < I_{\text{set}}$,此时会引起过量保护误动。

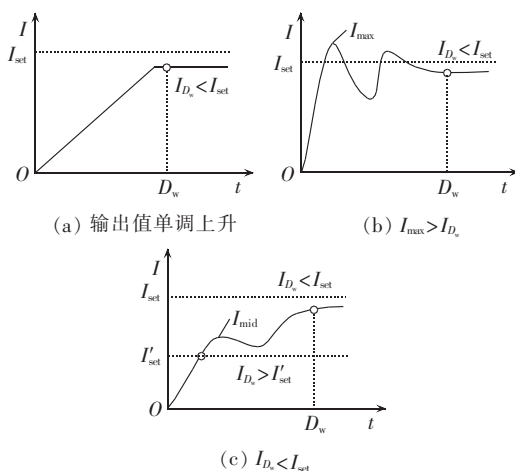


图 2 算法动态过程中的输出结果

Fig.2 Output during dynamic process of algorithm

研究发现,只要在动态过程中算法输出不超过跃变后满窗数据时的输出,即使不具备单调上升特性,也可以被用于过量保护的判据。图 2(c)中,动态过程输出的最大拐点电流小于满窗数据计算结果($I_{\text{mid}} < I_{D_k}$),即为这种情况。再辅之以保护定值的反时限处理,即可充分利用这个动态过程,提高快速保护的速动性,并能避免采用短数据窗算法带来的一系列问题^[12,14]。

下面将着重分析长数据窗算法的动态过程是否满足图 2(c)所示的情况。

2 长数据窗算法的动态特性分析

通常对数字化保护算法的性能分析是建立在从 $-\infty \sim +\infty$ 时间域上的平稳周期信号理论基础上的。发生跃变时的电气量信号属于统计特性剧烈变化的非平稳随机信号,因此其动态特性的分析必须是针对某一明确的信号模型和特定算法的。本节选取全周傅里叶算法,分析其动态特性,数据窗选取按照图 1(a)所示的方法。以式(2)所示的电流信号为例,对其进行采样离散化后得到式(3)。

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta_0) \quad (2)$$

$$i(k) = I_m \sin\left(k \frac{2\pi}{N} + \theta_0\right) \quad (3)$$

其中, I_m 为电流信号的幅值; θ_0 为初相角; 式(3)对应的电流相量可表示为 $I = I_m e^{j\theta_0}$ 。

在上述电流信号发生跃变的过程中,采用窗长为 N 的全周傅里叶算法计算,数据窗的移动过程如图 3 所示。在 O 点发生跃变,跃变前、后的电流分别为 i_H 和 i_K ,随着数据窗的移动,即 p 点沿时间轴右移,跃变前采样值逐渐移出数据窗。

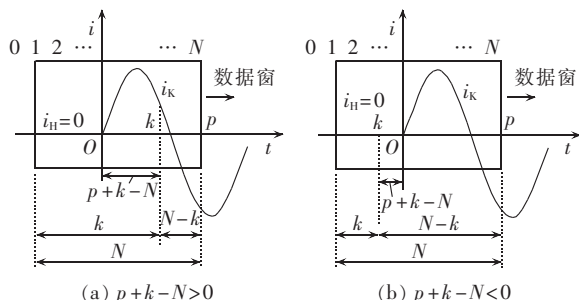


图 3 动态过程的算法数据窗

Fig.3 Algorithm data-window during dynamic process

在动态过程中,计算点 p 对应的电流相量记为 $I(p) = \text{Re}[I(p)] + j \text{Im}[I(p)]$, $\text{Re}[I(p)]$ 和 $\text{Im}[I(p)]$ 分别为相量的实部和虚部,可以利用如式(4)所示的全周傅里叶算法得到。

$$\begin{cases} \text{Re}[I(p)] = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i(p+k-N) \sin \left[(p+k-N) \frac{2\pi}{N} \right] \\ \text{Im}[I(p)] = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i(p+k-N) \cos \left[(p+k-N) \frac{2\pi}{N} \right] \end{cases} \quad (4)$$

假定跃变前电流 $i_H=0$,则对于任意给定的顺序号为 p 的数据窗和不同的累加下标 k ,当 $p+k-N>0$ 时, $i(p+k-N)=i_K=i(k)$,对应图 3(a);当 $p+k-N<0$ 时, $i(p+k-N)=0$,对应图 3(b)。

将式(3)代入式(4),利用三角函数公式展开,并考虑上述 $i(p+k-N)$ 的取值情况,可得电流相量的实部如式(5)所示。同理可得虚部如式(6)所示。篇幅所限,式(5)、(6)推导过程省略。

$$\begin{aligned} \text{Re}[I(p)] &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N i(p+k-N) \sin \left[(p+k-N) \frac{2\pi}{N} \right] = \\ &= \frac{I_m}{N} \sum_{k=1}^p \left[\cos \theta_0 - \cos \left(p \frac{4\pi}{N} + \theta_0 \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Im}[I(p)] = \frac{I_m}{N} \sum_{k=1}^p \left[\sin \theta_0 + \sin \left(p \frac{4\pi}{N} + \theta_0 \right) \right] \quad (6)$$

因此,电流相量可表示为:

$$\begin{aligned} I(p) &= \text{Re}[I(p)] + j \text{Im}[I(p)] = \\ &= \frac{I_m}{N} \sum_{k=1}^p \left[\cos \theta_0 - \cos \left(p \frac{4\pi}{N} + \theta_0 \right) \right] + \\ &+ j \frac{I_m}{N} \sum_{k=1}^p \left[\sin \theta_0 + \sin \left(p \frac{4\pi}{N} + \theta_0 \right) \right] = \\ &= \frac{I_m}{N} \sum_{k=1}^p (e^{j\theta_0} - e^{-jp\frac{4\pi}{N} + j\theta_0}) = \\ &= \frac{pI_m}{N} e^{j\theta_0} - \frac{I_m}{N} e^{-j\theta_0} \sum_{k=1}^p e^{-jp\frac{4\pi}{N}} = \\ &= \frac{pI_m}{N} e^{j\theta_0} - \frac{I_m}{N} \frac{e^{-j\theta_0}}{1 - e^{-j\frac{4\pi}{N}}} (1 - e^{-jp\frac{4\pi}{N}}) \end{aligned} \quad (7)$$

将 $p=N$ 代入式(7),则完全采用跃变后数据计算得到的电流相量为 $I(N) = I_m e^{j\theta_0}$,与式(2)所示的预设电流相量一致。

由式(7)可知,动态过程中电流相量的输出结果与信号的初相角 θ_0 有关,为此取 $\theta_0 \in [0, 2\pi)$,并取 $N=48$ 和 $I_m=1.0$ p.u.,利用式(7)计算电流幅值 $|I(p)|$,计算结果如图 4 所示。

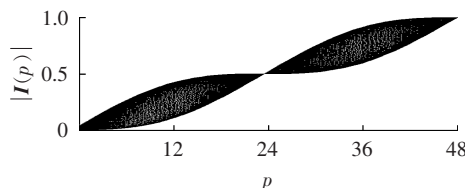


图 4 故障前 $i_H=0$ 时的动态特性

Fig.4 Dynamic characteristics with $i_H=0$, before fault

由图 4 可见,当初相角 θ_0 变化时,计算的结果 $|I(p)|$ 随之变化,但其包络线仍不会超过最终的输出结果,即对于 $1 \leq p \leq N$ 和任意初相角 θ_0 ,恒有 $|I(p)| \leq |I(N)|$ 成立,这符合图 2(c)所描述的情景。对于 N 为 24 或其他数值的情况, $|I(p)|$ 的计算结果有相同特征。

3 利用算法动态特性的快速保护方案

故障分量只出现在故障发生之后,正常运行时无故障分量,等同于满足跃变前电流 $i_H=0$ 的条件,根据第 2 节的推导,此时算法动态过程的输出将符合图 2(c)所示情形。

差动电流属于故障分量,因此上述长数据窗算法的动态特性可以用于差动速断保护。以变压器差动速断保护为例,实用化的保护方案如图 5 所示。

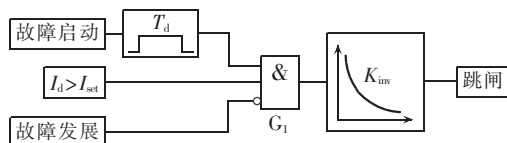


图 5 实用化的快速保护方案

Fig.5 Practical scheme of instantaneous trip protection

故障启动后,快速保护判据仅投入 T_d 的时间, T_d 即为算法的动态持续时间。达到数据满窗后,持续使用整窗长 D_w 的算法进行计算。保护跳闸出口的确认时间采用反时限特性:当 I_d 远大于 I_{set} 时,确认时间较短;当 I_d 较接近 I_{set} 时,延长确认时间,最大限度提高可靠性。

图 5 所示的方案中,故障发展的判据用于闭锁快速保护出口,即首次故障时投入快速保护,一旦故障转换或者故障发展,则避免误投入快速保护,因为不能确定此时的动态过程是否符合图 2(c)所示的情况。在保护整组复归后,可能再次发生故障时,重新投入快速保护。

4 RTDS 实验验证及分析

在 RTDS 中建立如图 6 所示的 110 kV 闭环测试系统,用于验证本文的快速保护方案(简称方案 1)的性能,并与长短数据窗相结合的方案进行对比分析。在同一台智能变电站变压器保护装置中,分别采用上述 2 种方案实现变压器内部故障的差动速断保护,2 种方案同时输出跳闸 GOOSE 信号。

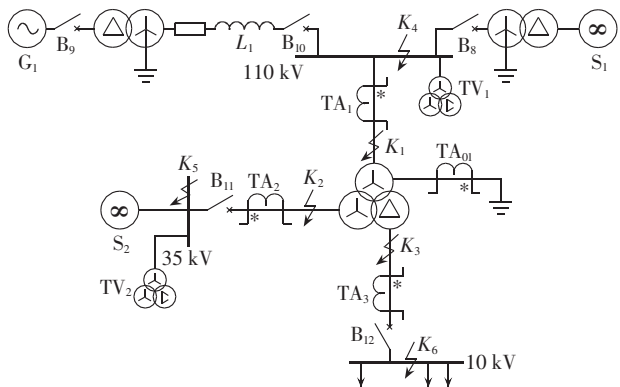


图 6 RTDS 闭环测试系统
Fig.6 Closed-loop test system of RTDS

根据变压器参数计算得二次额定电流 $I_e=3.23$ A (已折算到高压侧)。按照差动速断电流定值的整定原则,在实验中设定变压器差动速断的电流定值 I_{dset} 一般选为 $6I_e\sim 8I_e$,本文中 $I_{\text{dset}}=20$ A。保护装置采样率为每周期 48 点。

首先,对发生在保护区内 K_1 点 A 相接地故障的录波数据进行仿真分析,以验证算法动态过程的计算结果是否与理论分析一致。变压器高压侧 A 相电流波形如图 7(a)所示;经过相位转换并折算到高压侧的差动电流如图 7(b)所示;图 7(c)给出了发生故障后,差动电流经全周傅里叶算法计算得到的有效值动态输出波形。

对图 7(c)所示的区内故障仿真结果进行进一步分析,由于故障前差动电流为 0,从故障发生到故障后 1 个周期的时间内,全周傅里叶算法的动态输出均小于数据窗满 1 个周期后的稳态输出。因此,仿真结果满足图 2(c)所示的动态特征,与理论分析相一致。

图 7 中,实验的故障发生在第 52 个采样点处,故障启动后,投入图 5 所示的快速保护方案,差动电流的计算结果在第 88 个采样点处达到定值 I_{dset} ,动作速度约为 36 个采样点,即 3/4 个周期。若采用图 1(b)所示的长数据窗算法等待满窗方案,须等待故障启动后 1 个周期后差动速断保护才能动作出口。

显然,利用长数据窗算法动态特性的快速保护方案,其动作速度与差动电流的幅值有关。为此,通过改变 RTDS 模型中 S_1 系统等值阻抗的方法,模拟不同工况下点 K_1 发生故障时,差动电流有效值的变

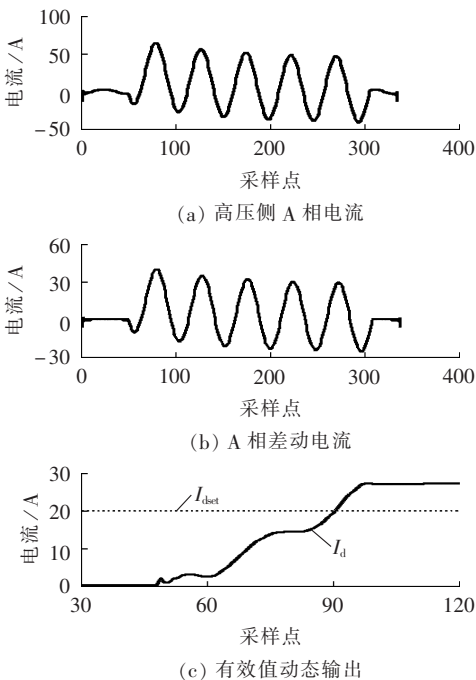


图 7 区内故障仿真分析

Fig.7 Simulative analysis of internal fault

化情况,以考察对差动速断保护动作速度的影响。实验结果列于表 1,表中记录的动作时间为保护发出 GOOSE 跳闸信号的时间。

表 1 不同差动电流幅值下的保护动作结果
Table 1 Results of relay protection operation under differential currents

故障类型	S_1 系统等值 阻抗/ Ω	差动电流 有效值/A	整定值 倍数	动作时间 平均值/ms
单相故障	2	70.76	3.54	9.7
	10	47.84	2.39	13.3
	25	28.66	1.43	17.3
相间故障	2	75.23	3.76	9.0
	10	54.82	2.74	12.6
	25	33.17	1.66	16.4
三相故障	2	89.20	4.46	7.8

由表 1 的动作结果可以看出,在变压器高压侧点 K_1 的各种类型故障下,随着 S_1 系统等值阻抗的减小,故障电流均相应增大。差动电流有效值越大,算法动态特性达到整定值的速度越快,保护的动作时间越短,呈现明显的反时限特征。当差动电流倍数达到整定值的 4 倍以上时,动作时间小于 8 ms;当差动电流达整定值的 1.5 倍左右时,动作时间约为 3/4 个周期。

在系统大运行方式下,对各种区内、外金属性故障进行实验,对比方案 1 和方案 2 的性能。动作结果如表 2 所示。

图 8 给出了典型的区内三相故障的录波图。在长短数据窗相结合的方案 2 中,短数据窗算法采用半周傅里叶算法,长数据窗算法采用全周傅里叶算法。半周傅里叶算法受偶次谐波影响较大,为提高

表 2 不同保护方案下的保护动作结果
Table 2 Results of relay protection operation of different protection schemes

故障点	故障类型	平均动作时间/ms	
		方案 1	方案 2
K_1	AG	10.9	13.4
	BC	9.1	12.9
	CAG	9.0	11.6
	ABC	7.8	10.5
K_2	BG	11.2	15.1
	CA	10.5	14.2
	ABG	10.8	13.6
	ABC	9.0	12.1
K_6	CG	不动作	不动作
	AB	不动作	不动作
	CAG	不动作	不动作
	ABC	不动作	不动作

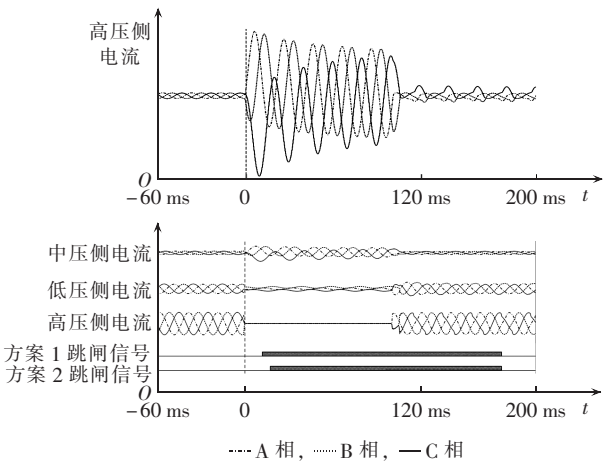


图 8 变压器保护区内故障录波图

Fig.8 Recording waveforms of fault locating in transformer protection area

保护动作可靠性,具体实现时须增加确认延时,这导致表 2 和图 8 所示的测试结果中,方案 2 出口要略慢于方案 1。

对变压器保护区外点 K_4 、 K_5 处发生的各种金属性故障进行实验,结果表明方案 1 和方案 2 均可靠不动作。对空投变压器的励磁涌流工况进行实验,由于差动速断定值已按照躲过励磁涌流整定,因此方案 1 和方案 2 均可靠不动作。

在发生转换性故障时,根据图 5 所示的方案 1,转为内部故障时已经全部由满窗数据进行计算,与方案 2 的表现一致。

通过以上分析可知,采用方案 1 实现的差动速断保护在整体性能上与长短数据窗相结合的方案 2 基本一致,而发生区内严重金属性故障时,方案 1 动作速度略快于方案 2。

最后需要重点强调的是,方案 1 使用统一的长数据窗,可以采用持续递推全周傅里叶算法^[16];而方案 2 需要进行不同数据窗算法的切换,无法使用持续的递推算法。相比较而言,方案 1 可以在较大程度上减

少运算量,并降低软件设计的复杂度,这是方案 1 最为突出的优势之一。

5 结论

本文分析了电气量发生跃变时 3 种不同的保护算法数据窗选取方式,其中连续移动的长数据窗算法由于在动态过程中的输出一般不具备单调递增或递减性质,以往被认为必须靠整数据窗延时以躲过动态过程,限制了其在快速保护中的应用。研究发现上述单调性要求可退化为以下条件:动态过程中的算法输出不大于完全采用跃变后数据的计算结果。当跃变前电流为 0 时,全周傅里叶算法的动态输出可以满足上述条件。显然差动电流为故障分量,满足跃变前为 0 的假设,基于此提出了一种基于算法动态特性的快速差动保护方案。通过理论分析和仿真数据验证,表明了本文所提方案有效、可靠,在不采用短数据窗算法的情况下,仍可获得良好的速动性,避免了复杂的长、短数据窗的配合与切换。

参考文献:

[1] 张波,何奔腾,王慧芳,等. 基于正余弦滤波器对的相量算法[J]. 电力系统自动化,2013,37(19):86-92.
ZHANG Bo,HE Benteng,WANG Huifang,et al. Phasor algorithm based on sine and cosine filters[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(19):86-92.

[2] 倪玉玲,郑建勇,梅军,等. 基于偏 $\pi/4$ 直角坐标的 DFT 相角测量算法[J]. 电网技术,2014,38(9):2544-2550.
NI Yuling,ZHENG Jianyong,MEI Jun,et al. A lean- $\pi/4$ -rectangular coordinate based phase-angle measurement algorithm corrected by discrete Fourier transform[J]. Power System Technology,2014,38(9):2544-2550.

[3] 王明磊,常湧. 半周积分算法的几种改进算法[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(11):66-69.
WANG Minglei,CHANG Yong. Some new algorithms of the half-cycle integral algorithm[J]. Power System Protection and Control,2009,37(11):66-69.

[4] 卢达,林繁涛,白静芬. 四分之三基波周期最小二乘相量估计算法[J]. 电网技术,2015,39(4):1139-1145.
LU Da,LIN Fantao,BAI Jingfen. Synchrophasor estimation using three-quarter fundamental period least squares[J]. Power System Technology,2015,39(4):1139-1145.

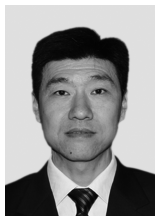
[5] 索南加乐,宋国兵,许庆强,等. 任意长度数据窗幅频特性一致的正交相量滤波器设计[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):45-50.
SUONAN Jiale,SONG Guobing,XU Qingqiang,et al. The design of orthogonal phasor filter with identical magnitude-frequency characteristics and optional data-window[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(6):45-50.

[6] 袁宇波,陆于平,刘中平. 基于相量法的短数据窗快速滤波算法[J]. 电力系统自动化,2004,28(3):58-62.
YUAN Yubo,LU Yuping,LIU Zhongping. A fast filter algorithm of short data window based on phasor analysis[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(3):58-62.

[7] 索南加乐,王斌,王莉,等. 快速相量提取算法[J]. 中国电机工程

- 学报,2013,33(1):123-129.
- SUONAN Jiale,WANG Bin,WANG Li,et al. A fast phasor calculation algorithm for power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(1):123-129.
- [8] 王欢欢,宋国兵,钟高跃,等. 基于快速相量提取算法的距离保护方案[J]. 电网技术,2014,38(11):3211-3216.
- WANG Huanhuan,SONG Guobing,ZHONG Gaoyue,et al. A distance protection scheme based on fast phasor extraction algorithm[J]. Power System Technology,2014,38(11):3211-3216.
- [9] 李宁,左培丽,王新刚,等. 基于改进 DFT 和时域准同步的间谐波检测算法[J]. 电力自动化设备,2017,37(4):170-178.
- LI Ning,ZUO Peili,WANG Xingang,et al. Inter-harmonic detection based on improved DFT and time-domain quasi-synchronization[J]. Electric Power Automation Equipment,2017,37(4):170-178.
- [10] 柳焕章,周泽昕,周春霞,等. 输电线路突变量电流差动继电器[J]. 中国电机工程学报,2013,33(1):146-152.
- LIU Huanzhang,ZHOU Zexin,ZHOU Chunxia,et al. Current differential relay of transmission lines based on incremental quantity[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(1):146-152.
- [11] 胡傲,黄景光,翁汉琨,等. 基于双向配置方向过流继电器的反时限后备保护优化整定策略[J]. 电力自动化设备,2016,36(10):166-171.
- HU Ao,HUANG Jingguang,WENG Hanli,et al. Setting optimization of inverse-time backup protection based on bidirectional overcurrent relays[J]. Electric Power Automation Equipment,2016,36(10):166-171.
- [12] 刘益青,高伟聪,王成友,等. 适用于母线保护的负序电压提取及闭锁方案[J]. 电力自动化设备,2017,37(7):123-129.
- LIU Yiqing,GAO Weicong,WANG Chengyou,et al. Negative-sequence voltage extraction and blocking scheme for bus protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2017,37(7):123-129.
- [13] REN J F,KEZUNOVIC M. An adaptive phasor estimator for power system waveforms containing transients[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2012,27(2):735-745.
- [14] 周昊程,陆广香,周建新,等. 负荷变压器差动速断保护区外故障误动原因分析及对策[J]. 电力系统自动化,2014,38(14):122-125.
- ZHOU Haocheng,LU Guangxiang,ZHOU Jianxin,et al. Analysis and countermeasures of external fault mal-operation for load transformer differential instantaneous protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(14):122-125.
- [15] 黄继东. 母线差动保护区外区内故障再动作判据[J]. 电力系统自动化,2014,38(18):120-124.
- HUANG Jidong. Re-tripping discrimination of bus differential protection when external fault transforms to internal fault[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(18):120-124.
- [16] 刘益青,高伟聪,孙天德. 适用于数字化保护的改进递推傅里叶算法[J]. 电网技术,2016,40(5):1601-1606.
- LIU Yiqing,GAO Weicong,SUN Tiande. An improved recursive fourier algorithm for numerical relays[J]. Power System Technology,2016,40(5):1601-1606.

作者简介:



刘益青

刘益青(1977—),男,山东潍坊人,副教授,高级工程师,博士,通信作者,研究方向为电力系统继电保护(E-mail:cse_liuyq@ujn.edu.cn);

高伟聪(1977—),女,河北石家庄人,副教授,硕士,研究方向为微机原理、嵌入式技术在电力系统中的应用;

王林先(1976—),男,山东蓬莱人,高级工程师,硕士,研究方向为继电保护、智能变电站;

杨启帆(1990—),男,山东济南人,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

Dynamic characteristics of long data-window algorithm and its application in instantaneous trip protection

LIU Yiqing¹,GAO Weicong²,WANG Linxian³,YANG Qifan¹

(1. School of Electrical Engineering, University of Jinan, Ji'nan 250022, China; 2. School of Information Engineering, Shandong Vocational College of Foreign Affairs Translation, Ji'nan 250100, China;

3. Integrated Electronic Systems Lab Co., Ltd., Ji'nan 250100, China)

Abstract: When the electrical quantities collected by protective relay suddenly change, the data-window of a algorithm contains both the data before and after the jump, so generally the dynamic characteristic of the algorithm does not increase or decrease monotonically, which limits the application of long data-window algorithm in instantaneous trip protection. The problem can be solved by the whole data-window delay. However, theoretical analysis shows that if the current is zero before the jump, the current amplitude calculated by whole-cycle Fourier algorithm during dynamic process is always less than the amplitude entirely calculated with the data after the jump, so the output of whole-cycle Fourier algorithm during dynamic process still can be used in instantaneous trip protection. Based on the above analysis, a fast differential instantaneous trip protection scheme using the dynamic characteristic of long data-window algorithm is designed, which can improve the rapidity of differential protection and avoid the switch between long data-window algorithm and short data-window algorithm. Theoretical analysis and simulation verify that the proposed scheme is efficient and reliable, it can achieve outstanding rapidity without using short data-window algorithm.

Key words: long data-window algorithm; whole-cycle Fourier algorithm; dynamic characteristics; instantaneous protection; relay protection