

基于检测差流谐波含量的差动保护设计与实现

康丰,王闰昇,张玮,刘庆海,杨青松

(南京国电南自电网自动化有限公司,南京 211100)

摘要:准确判断出电流互感器(CT)饱和是区内故障还是区外故障引起的,可提高差动保护的可靠性。分析了 CT 饱和产生的原因和故障时的差流波形,提出了一种基于差流谐波含量的差动保护方案。CT 在过零附近区间能正确传变二次电流,通过分析这个区间的差流谐波含量,确定故障是否在差动保护的保护范围内。采用此方案,在发生区外故障 CT 饱和时能够可靠闭锁差动保护,在发生区内故障时能够快速开放差动保护。仿真结果验证了该方案的正确性。

关键词:差动保护;电流互感器(CT);CT 饱和;差流谐波含量;差流波形;仿真研究

中图分类号:TM 938

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2017)07-0032-04

0 引言

随着社会经济的快速发展,电网结构越来越复杂,系统容量也在增加,发生故障时的故障电流也就越大。差动保护能够快速、准确地切除故障,因此主电网中得到了大量运用。近年来,国家投入巨量资金对配电网进行了改造,让配电网的结构向供电的可靠性和经济性发展,导致配电网的容量大大提升。配电网发生故障时的故障电流会很大,这时需迅速、可靠地切除故障。常规的配电网采用带延时过流保护来切除故障,这样不能很快地切除故障。此时,一些地区开始引入主网常用的差动保护作为配电网的主保护来快速切除故障,保护一次设备。由此可见,差动保护不管在主电网还是在配电网都得到了大量应用。

差动保护的原理基于基尔霍夫电流定律,具有简单、可靠的特点^[1-3]。差动保护在工程上遇到的主要技术问题是:区外故障时,故障电流大且伴随着直流分量,从而使电流互感器(CT)饱和,容易导致差动保护误动。

本文根据 CT 饱和发生的原理分析饱和后差动电流的波形,提出了基于差流谐波含量的差动保护方法。此方法能够区分差动保护的区内外故障,大大提高了差动保护抗 CT 饱和的能力,提高了差动保护的可靠性。

1 CT 饱和产生的原理和电流特征

1.1 CT 的数学模型

为了简化原理分析,本文采用简化的 CT 等值电路,忽略铁芯损耗。基本等效电路如图 1 所示,图

中: Z_1 为 CT 一次阻抗; Z_2 为 CT 二次阻抗; Z_3 为 CT 励磁阻抗; Z_4 为 CT 负载阻抗。

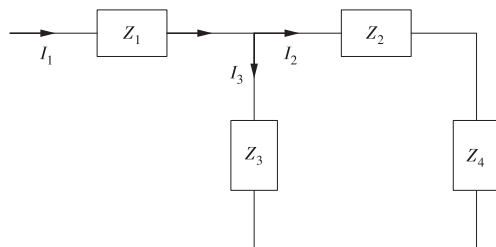


图 1 CT 二次回路等效电路

由图 1 可得

$$I_2 = I_1 Z_3 / (Z_2 + Z_4 + Z_3), \quad (1)$$

$$I_3 = I_1 (Z_2 + Z_4) / (Z_2 + Z_4 + Z_3). \quad (2)$$

CT 是一个具有铁芯的非线性元件,其中励磁阻抗 Z_3 的变化取决于铁芯的饱和程度。在正常工作状况下,负载阻抗 Z_4 很小,而励磁阻抗 Z_3 的数值很大且数值基本不变。CT 工作在磁化曲线的直线部分,铁芯处于不饱和状态,因此 I_1 与 I_2 成正比关系,从而使一次电流能按变比转换成二次电流。当 CT 的一次电流增大后,尤其在一次电流含有较大的非周期分量时,铁芯开始进入饱和区,铁芯的磁导率很快下降到一个很小的值,励磁阻抗 Z_3 迅速减小。由式(1)可知, I_2 随 Z_3 变小而变小。当 CT 严重饱和时,励磁阻抗 Z_3 急剧减少至接近零,一次电流几乎全部为 I_3 ,二次电流 I_2 几乎接近于零。

1.2 CT 饱和的二次电流特征

CT 饱和与非饱和时其二次电流波形^[4]如图 2 所示,图中:虚线为 CT 饱和二次电流,实线为 CT 不饱和二次电流。CT 饱和分为暂态饱和与稳态饱和,刚开始的 50 ms 内为暂态饱和,其波形与时间轴不对称,50 ms 后为稳态饱和,波形以时间轴对称。大部分的 CT 饱和都是由暂态饱和过渡到稳态饱和,或者由暂态饱和直接退出饱和状态。

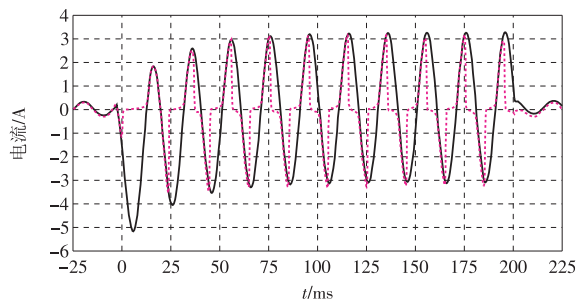


图2 典型TA故障波形

从图2中可以看出,CT饱和的波形具有以下主要特征。

(1)在故障发生后,CT不会立即进入饱和,存在一个线性传递区,线性传递区的大小与饱和程度有关。

(2)在一次电流达到反方向的最大值时CT饱和退出,所以反方向一次电流过零附近存在线性传递区,其传递区的大小取决于CT饱和深度。

(3)一次电流含有较大的非周期分量,饱和后二次电流产生畸变,二次电流波形出现缺省,幅值降低。

2 常规的差动保护

目前,国内、外主要的差动保护一般采用比率制动原理^[5-8],以线路两端或母线所连接单元矢量和的绝对值为差电流 I_d ,以其绝对值的和为制动电流 I_f 。为提高其动作快速性,一般以其变化量作为启动判据,即 $\Delta I_d > I_{set}$, $\Delta I_d > k\Delta I_f$,其中 I_f 又有各种不同取法。在饱和检测方面,有同步识别法、各侧各次谐波分量检测法等。采用同步识别法后的差动保护,对于转换性故障,一般采取闭锁一周波时间(20 ms),然后再开放差动的方法,这种方法存在转换性故障动作较慢的问题。而每侧各次谐波检测法,则利用CT饱和后各次谐波分量的波形特征来判断CT是否发生饱和,根据各次谐波含量的高低来选择合适的制动系数。在谐波分量检测制动中,谐波的提取及滤除是其正确动作与否的关键技术。由于保护动作快速性的要求,一般采取向量法简单计算出其中的谐波含量水平,根据各谐波水平的不同,采用不同的制动系数实现差动保护的跳闸逻辑。

本文对差流波形进行分析,利用差动电流含有各次谐波的特点,采用一种短窗的总谐波含量算法来实现差动保护。采用此种方法,差动保护不受流出电流、高阻影响,且有很好的抗CT饱和能力。

3 检测差流谐波的差动保护关键技术

3.1 基于短窗谐波算法的实现

通过对目前应用较广泛的谐波算法进行分

析^[4,9-12],提出采用可变数据窗的谐波算法。在电力系统的故障中,故障电流包含基本直流分量,由串补电容引起的低频分量,由并联电抗器引起的附加直流分量,以及由线路分布电容引起的高频分量。非周期分量对算法的影响不在本文讨论之内,在前级处理中加以滤除。高频分量的存在,使得常规的谐波算法误差很大,一方面由于其对高频分量的抑制很差,另一方面是其采用了CT饱和时传变不正确的数据。研究表明:在故障后的1/4周期内,由于CT铁芯未及饱和,暂态传变误差较小,二次电流能较好地体现一次电流的变化。CT饱和后,二次电流波形出现畸变、缺损,但当一次电流过零点附近时,饱和CT二次侧将出现一个线性传变区(即其二次电流能正确反应一次电流),常规的谐波算法都没有很好地利用这些有用的信息。本文利用其饱和线性区进行短窗谐波计算,提出一整套实现方案,具体如下。

使用短窗谐波算法检测谐波水平判断饱和程度,在差流过零点附近,根据谐波水平不同,采取不同的数据窗。由于饱和越严重,有效传变区越短,正确传变的数据窗也越短,此时短窗谐波算法选取数据窗越短,虽然数据窗短带来的计算误差较大,但由于其所输入数据均为正确传变数据,总体误差有很大下降。其具体公式为

$$D_\theta = (I_{\theta(CD)})_t + k_1(I_{\theta(CD)})_{(t-t_1)} + k_2(I_{\theta(CD)})_{(t-t_2)} + k_3(I_{\theta(CD)})_{(t-t_3)}, \quad (3)$$

式中: D_θ 为三相谐波的大小; $I_{\theta(CD)}$ 为三相差动电流; t 为当前点, t_1, t_2, t_3 为当前点的前几点,此4个点在1/4波内(5 ms); k_1, k_2 和 k_3 为相应点的比率系数。

谐波计算通常采用4点谐波公式,当计算谐波大于一定值时,则重新采用3点谐波公式计算3点谐波,如果计算出来的谐波比4点谐波小,则认为发生严重饱和,并切换到3点谐波公式计算。

根据当前谐波计算点来计算当前的谐波含量,其公式为

$$K_\theta = D_\theta / (|(I_{\theta(CD)})_t| + |(I_{\theta(CD)})_{(t-t_1)}| + \dots + |(I_{\theta(CD)})_{(t-t_n)}|), \quad (4)$$

式中: K_θ 为当前的谐波含量; t_n 代表采用了当前使用的谐波点。

通过检测差流的谐波含量来确定是区内故障还是区外故障。

3.2 检测差流谐波含量差动保护的实现

(1)保护的启动。采用电流突变量判据作为差动保护的主启动判据,利用电压元件或零流元件作为差动保护的辅助启动判据。

(2)当保护启动后,计算启动后 5 ms 内的谐波含量 K_θ :当 $K_\theta >$ 谐波含量系数 1(k_1) 时,则认为发生区外故障并进入区外饱和和判断逻辑;当 $K_\theta <$ 谐波含量系数 1(k_1) 时,则认为是区内故障,开放差动保护。

(3)区外饱和和判断逻辑,还是检测差流过零点附近的谐波含量 K_θ ,当 $K_\theta <$ 谐波含量系数 2(k_2) 时,则认为发展成区内故障,开放差动保护,否则继续等待判下一个差流过零点。

(4)当差动保护开放后,此时判别差动电流的大小是否满足动作定值,差动的制动曲线是否满足条件,如果满足上面两点,则差动保护跳闸。

4 动模试验及结果分析

为验证以上判据构成的差动保护的動作性能,通过实时数字仿真仪(RTDS)对由判据组成的差动保护进行数字仿真试验,试验模型如图 3 所示。

模型中的参数:M 侧发电机组容量 200 MV·A, N 侧系统容量 2500 MV·A,线路长度 100 km,线路参数为 $R=0.1\ \Omega/\text{km}$, $X=0.4\ \Omega/\text{km}$ 。CT1 变比 600 A/1A,CT2 变比 600 A/1A,TV 变比 110 kV/100 V。

4.1 区内故障

故障点都设在 F2 点,此时模拟区内正常故障和区内饱和和故障,具体分析如下。

(1)金属性故障。图 4 为 C 相金属性故障波形图,图中: I_C 为 M 侧 C 相电流; I_{C0} 为 N 侧 C 相电流; I_{DC} 为 C 相差流; I_{XBC} 为 C 相的谐波含量曲线。从故障波形中可以看出,故障刚开始谐波含量变大,其原因为谐波的数据框不满足,故计算出来的谐波含量不能参与判断,当谐波数据框满足后,计算出来的谐波含量 $<$ 谐波含量系数 1(k_1),则认为是故障,开放差动保护。

(2)饱和故障。图 5 为 B 相饱和和区内故障波形图,图中: I_B 为 M 侧 B 相电流; I_{B0} 为 N 侧 B 相电流; I_{DB} 为 B 相差流; I_{XBB} 为 B 相谐波含量曲线。从故障

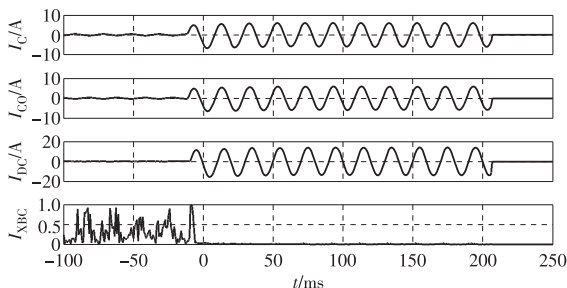


图 4 F2 点 C 相接地故障波形

波形中可以看出,当谐波数据框满足后,计算出来的谐波含量 $>$ 谐波含量系数 1(k_1),则进入饱和和判断逻辑。在第 1 个差流过零区间谐波含量还是 $>$ 谐波含量系数 2(k_2),故等待下一个过零区间,在下一个过零区间时发现谐波含量都 $<$ 谐波含量系数 2(k_2),则认为是发生区内故障,开放差动保护。

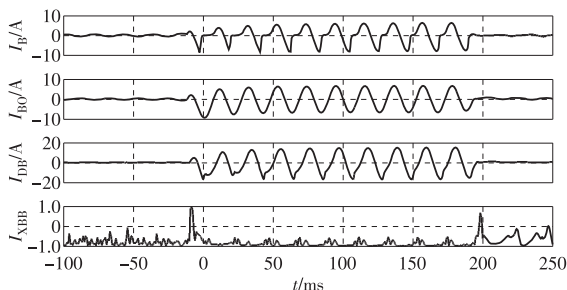


图 5 F2 点 B 相饱和和故障波形

4.2 区外故障

故障点都设在 F1 点,此时模拟区内正常故障和区内饱和和故障,具体分析如下。

(1)饱和故障。图 6 为 F1 点故障 C 相饱和和故障波形图。图中: I_C 为 M 侧 C 相电流; I_{C0} 为 N 侧 C 相电流; I_{DC} 为 C 相差流; I_{XBC} 为 C 相的谐波含量曲线。从故障波形中可以看出,电流突变量启动后且谐波数据框满足后差流谐波 $>$ 谐波含量系数 1(k_1),则进入饱和和逻辑判断,在饱和和逻辑判断的每一个差流过零点附近区域,差流谐波含量都 $>$ 谐波含量系数 2(k_2),则认为是区外故障,闭锁差动保护。

(2)区外转区内的饱和故障。图 7 为 F1 点故

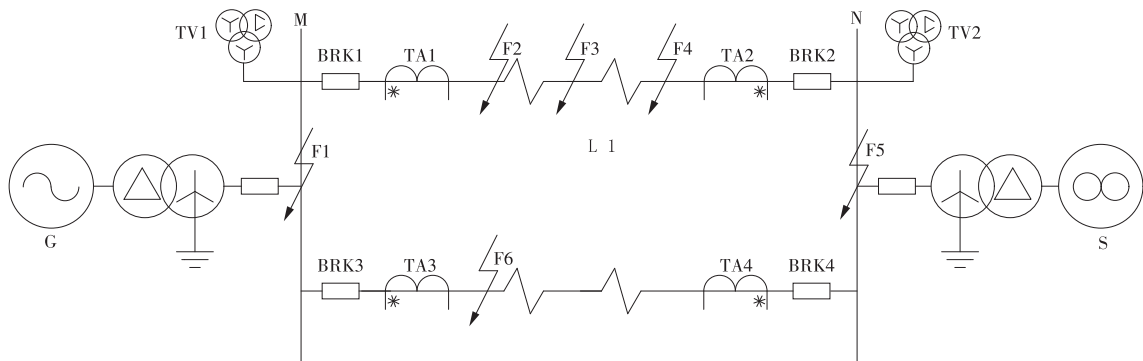


图 3 差动保护 RTDS 结构

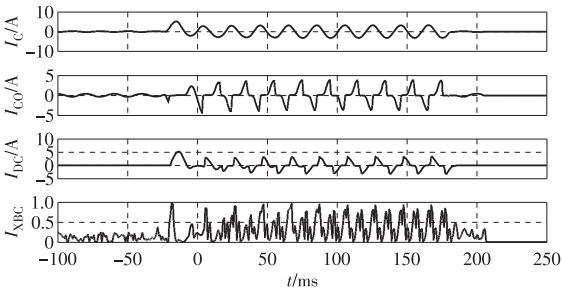


图 6 F1 点 C 相饱和和故障波形

障,故障持续 60 ms 后又发生 F2 点故障,F1 和 F2 故障同时存在的 C 相饱和故障波形图。图中: I_C 为 M 侧 C 相电流; I_{CO} 为 N 侧 C 相电流; I_{DC} 为 C 相差流; I_{XBC} 为 C 相的谐波含量曲线。在故障前 60 ms 内,在每一个差流过零点附近区域,差流谐波含量都 > 谐波含量系数 2 (k_2),则认为是区外故障,闭锁差动保护。60 ms 后又有了 F2 故障,则在 60 ms 后的第 2 个差流过零区域内,谐波含量都 < 谐波含量系数 2 (k_2),则开放差动保护。

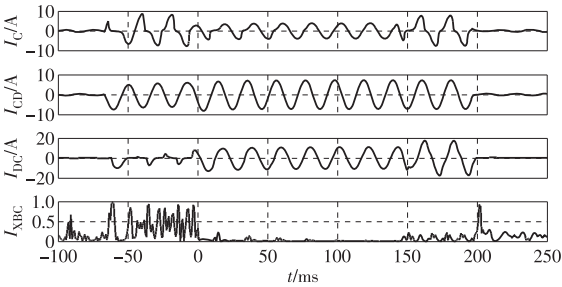


图 7 F1 点转 F2 点 C 相故障波形

5 结束语

本文提出了基于差流谐波含量的差动保护方法,该方法基于保护启动区间和差流过零区间的差流谐波大小来确定谐波的计算数据框,通过新的数据框重新计算差流谐波含量来确定故障的类型。通过 RTDS 仿真证明,该方法可行、有效,且具有较强的适应性。

参考文献:

[1]朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3 版. 北京:中国电力出版社,2005.

[2]贺家李. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

[3]王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[4]索南加乐,宋国兵,许庆强. 任意长度数据窗幅频特性一致的正交相量滤波器的设计[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):45-49,59.

[5]杨经超,尹项根,陈德树,等. 采样值差动保护动作特性的研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):71-77.

[6]胡玉峰,陈德树,尹项根. 采样值差动及其应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(10):40-44.

[7]陈德树,尹项根,张哲,等. 故障分量差动保护与故障变化量差动保护[J]. 电力系统自动化,2008,32(9):39-41,87.

[8]袁荣湘,陈德树,马天皓,等. 基于故障分量的采样值电流差动保护研究——原理分析[J]. 继电器,2000,28(3):9-11,14.

[9]郑建勇,巫海钢. 短数据窗傅氏算法在微机保护装置中的应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(18):49-52,60.

[10]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):58-63.

[11]王毅非. 最小二乘算法的研究与改进[J]. 继电器,2000,28(3):5-8.

[12]邵能灵,朱佳杰. 小矢量算法在发电机继电保护中的应用分析[J]. 电力系统自动化,2006,30(13):51-54,67.

[4]王学栋. 燃煤锅炉氮氧化物排放特性研究及烟气脱硝催化剂研制[D]. 山东:山东大学,2009.

[5]候昭毅. 基于“MBEL”W 火焰锅炉结焦现象原因分析及对策[J]. 锅炉技术,2010,41(6):37-41.

[6]周新刚. 燃煤电站锅炉炉灰含碳量预测模型研究[D]. 山东:山东大学,2006.

[7]马巧春,周力庆,沈琦. 华能南通电厂 350 MW 机组锅炉掺烧印尼煤试验及分析[J]. 热力发电,2003,32(11):10-12.

[2]贺家李. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

[3]王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[4]索南加乐,宋国兵,许庆强. 任意长度数据窗幅频特性一致的正交相量滤波器的设计[J]. 中国电机工程学报,2003,23(6):45-49,59.

[5]杨经超,尹项根,陈德树,等. 采样值差动保护动作特性的研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):71-77.

[6]胡玉峰,陈德树,尹项根. 采样值差动及其应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(10):40-44.

[7]陈德树,尹项根,张哲,等. 故障分量差动保护与故障变化量差动保护[J]. 电力系统自动化,2008,32(9):39-41,87.

[8]袁荣湘,陈德树,马天皓,等. 基于故障分量的采样值电流差动保护研究——原理分析[J]. 继电器,2000,28(3):9-11,14.

[9]郑建勇,巫海钢. 短数据窗傅氏算法在微机保护装置中的应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(18):49-52,60.

[10]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):58-63.

[11]王毅非. 最小二乘算法的研究与改进[J]. 继电器,2000,28(3):5-8.

[12]邵能灵,朱佳杰. 小矢量算法在发电机继电保护中的应用分析[J]. 电力系统自动化,2006,30(13):51-54,67.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

康丰(1978—),男,湖北汉川人,工程师,从事微机保护的软件应用与开发等方面的工作(E-mail:feng-kang@sac-china.com)。

王闰羿(1990—),男,江苏宜兴人,助理工程师,从事微机保护的软件应用与开发等方面的工作。

张玮(1980—),男,江苏南京人,工程师,工学硕士,从事微机保护的软件应用与开发等方面的工作。

刘庆海(1987—),男,江苏盐城人,助理工程师,从事微机保护的软件应用与开发等方面的工作。

杨青松(1990—),男,江苏盐城人,工程师,工学硕士,从事微机保护的软件应用与开发等方面的工作。

(本文责编:刘炳锋)

作者简介:

白洪森(1990—),男,河北沧州人,在读硕士研究生,主要研究方向为热能工程、锅炉脱硝脱汞及锅炉燃烧性能优化(E-mail:469066430@qq.com)。