

适用于母线保护的负序电压提取及闭锁方案

刘益青¹,高伟聪²,王成友¹,郭大伟³

- (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. 国网山东省电力公司日照供电公司, 山东 日照 276826)

摘要:为解决复合电压闭锁元件中负序电压提取快速性与准确性之间的矛盾,研究了基于瞬时对称分量法和半周积分法的负序电压提取方法。通过在故障启动时刻投入负序电压瞬时值提取算法,消除了由于母线电压突变造成的瞬时值提取误差。设计了采用该方法的母线保护复合电压闭锁方案,并与母线差动保护相配合;在故障启动后 1 个周期内,采用改进瞬时对称分量法和半周积分法提取负序电压有效值,与采样值差动元件相配合;故障启动满 1 周期后,采用全周算法和序分量分解法提取负序电压有效值,与相量差动元件相配合。通过数字仿真和 RTDS 实验验证,整个方案可大幅减小负序电压计算的暂态过程误差,有效提高区内故障时负序电压元件的开放速度,有利于改善复压元件的灵敏度。

关键词: 继电保护; 母线保护; 负序电压; 瞬时对称分量; 电压闭锁

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.07.018

0 引言

对 110 kV 及以上电压等级变电站的重要母线均应配置独立的母线保护装置^[1],以实现母线内部故障的差动保护和断路器失灵保护功能^[2]。为防止电流回路异常引起母线保护误动,在差动保护和失灵保护的出口逻辑中,均设置复合电压闭锁元件^[3](简称复压元件),复压元件由相电压、零序电压和负序电压的或门构成。实践证明复压元件简单易行,可有效防止母线保护的误动^[4]。

但是,在提高可靠性的同时,也出现了由于复压元件灵敏度不足导致差动保护延迟动作甚至拒动的严重后果^[5]。为防止复压元件引起的拒动,工程上增加了解除复压闭锁开入,但是该措施实际上是有条件地退出复压元件,有悖于引入复压元件的初衷^[6]。文献^[7]提出了一种基于电流量的闭锁方案,缓解了复压元件灵敏度与可靠性之间的矛盾,但无法在电流回路异常时闭锁母线保护。

提高灵敏度是解决复压元件误闭锁的根本途径。负序电压的快速、准确提取是限制灵敏度提高的重要因素,其原因在于相电压和零序电压的提取不会有额外延时,而负序电压的提取涉及旋转因子,需要一定的时间窗^[8]。负序电压整定值通常为 2.0~4.0 V^[1-2,9]。对于快速出口的母线保护,考虑发生故障初瞬间电压高次谐波的影响^[10],要达到上述定值精度,并能够在各种复杂故障时快速开放差动保护^[11],

必然要求采取完善的负序电压提取和闭锁方案。

负序电压的提取通常采用 2 类方法^[8]。

a. 方法 1:先计算三相电压相量,然后根据旋转因子计算负序电压。

b. 方法 2:先滤序,得到负序电压采样值序列,再通过相量计算方法得到负序电压。

母线保护中,需要与相量差动及采样值差动元件相配合,因此应综合使用这 2 类方法。

方法 2 中,由三相电压采样值获取负序电压采样值的方法有多种。例如将旋转因子以采样值序列的延时代替,并根据指数函数的特性进行化简可得到采样值滤序算法^[8]。这类方法在数字化保护中应用较多,但均采用基波电压模型,受谐波影响暂态输出误差较大,且数据窗较长。

文献^[9]提出了一种基于 $\alpha\beta$ 静止坐标系的负序量采样值滤序算法,该方法需要构造与所检测电量同步旋转的相量,额外增加了软硬件环节,且算法的复杂度加大。

为缩短采样值滤序算法的数据窗,并减小暂态计算误差以获得较高的计算精度,本文结合瞬时对称分量法^[13-14]及其改进方法^[15-16],设计了负序电压提取算法和闭锁方案,并分别与母线保护中相量差动及采样值差动元件相配合。通过数字仿真和 RTDS 实验验证了该方案的有效性。

1 负序电压提取方法

1.1 采样值滤序算法

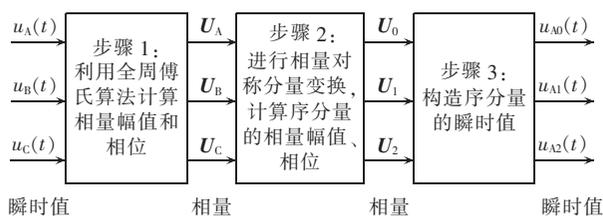
依据对称分量的定义,在三相电网中,电压序分量与相量之间的变换关系为:

收稿日期:2016-05-26;修回日期:2017-03-17
基金项目:山东省自然科学基金资助项目(ZR2014EEM039)
Project supported by the Shandong Provincial Natural Science Foundation(ZR2014EEM039)

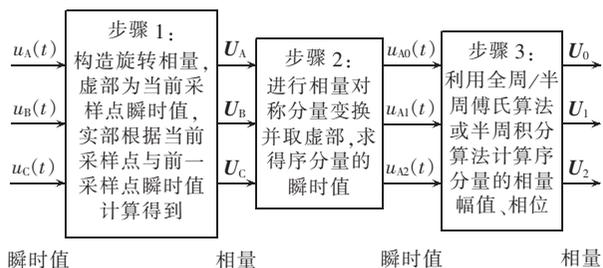
$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, U_A 、 U_B 、 U_C 为三相电压相量; U_0 、 U_1 、 U_2 分别为以 A 相为基准的零序、正序和负序电压; 旋转因子 $\alpha = e^{j120^\circ}$, $\alpha^2 = e^{j240^\circ}$ 。

传统的对称分量法是以相量形式定义的, 需要先获取三相电压相量的幅值、相位或者实部、虚部, 然后通过式(1)计算得到各序分量, 计算流程如图 1(a)所示。



(a) 先计算序分量相量, 然后提取负序电压



(b) 先获取负序电压采样值, 然后计算负序电压相量

图 1 负序电压提取方法

Fig.1 Methods of negative-sequence voltage extraction

由式(1)可知, 负序电压的计算公式为:

$$3U_2 = U_A + \alpha^2 U_B + \alpha U_C \quad (2)$$

考虑到 $1 + \alpha + \alpha^2 = 0$, 代入式(2)可得:

$$\begin{aligned} 3U_2 &= U_A + \alpha^2 U_B + \alpha U_C = \\ &U_A + (-1 - \alpha)U_B + \alpha U_C = \\ &(U_A - U_B) - \alpha(U_B - U_C) \end{aligned} \quad (3)$$

将式(3)改写成采样值形式:

$$3u_2(k) = u_A(k) - u_B(k) - \alpha[u_B(k) - u_C(k)] \quad (4)$$

其中, k 为采样值序号; $3u_2(k)$ 为负序电压的采样值; $u_A(k)$ 、 $u_B(k)$ 、 $u_C(k)$ 为三相电压采样值。

由于存在旋转因子 α , 利用式(4)计算负序电压采样值时需使用尚未获取到的电压采样值。若假定输入的三相电压均为额定频率的稳态正弦量, 则可以通过变换, 用已知的采样值近似代替尚未获取到的采样值, 即:

$$-\alpha = -e^{j120^\circ} = -e^{-j240^\circ} = e^{-j60^\circ} \quad (5)$$

设每个基波周期的采样点数为 N , 则 e^{-j60° 对应的采样点数为 $N/6$, 再将式(5)代入式(4)得:

$$3u_2(k) = u_A(k) - u_B(k) + u_B\left(k - \frac{N}{6}\right) - u_C\left(k - \frac{N}{6}\right) \quad (6)$$

由式(6)即可获取负序电压采样值, 数据窗长为

$N/6$ 。然后再利用半周期积分算法或傅氏算法, 即可求出负序电压的有效值、相位或实部、虚部。

除了上述采样值滤波法外, 图 1(b)描述了另一种先滤波再计算负序电压的流程, 在下节进行详述。

1.2 基于瞬时对称分量的负序电压滤波方法

文献[15]提出了一种用于柔性交流输电系统(FACTS)设备控制的改进瞬时对称分量法。该方法利用电压瞬时值构造出虚拟旋转相量, 然后对该旋转相量进行对称分量变换, 可直接获取负序分量的瞬时值。

下面简述该方法, 设三相电压瞬时值为:

$$\begin{cases} u_A(t) = U_A \sin(\omega t + \varphi_A) \\ u_B(t) = U_B \sin(\omega t + \varphi_B) \\ u_C(t) = U_C \sin(\omega t + \varphi_C) \end{cases} \quad (7)$$

其中, $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ 、 $u_C(t)$ 为三相电压的瞬时值; U_A 、 U_B 、 U_C 为三相电压的幅值; φ_A 、 φ_B 、 φ_C 为三相电压的初相角; ω 为角频率。

按照相量投影与瞬时值的关系, 取电压相量的虚部为 t 时刻的瞬时值, 则式(7)对应的三相电压旋转相量 U_A 、 U_B 、 U_C 可定义为:

$$\begin{cases} U_A = U_A \cos(\omega t + \varphi_A) + jU_A \sin(\omega t + \varphi_A) \\ U_B = U_B \cos(\omega t + \varphi_B) + jU_B \sin(\omega t + \varphi_B) \\ U_C = U_C \cos(\omega t + \varphi_C) + jU_C \sin(\omega t + \varphi_C) \end{cases} \quad (8)$$

由于电压相量的虚部就是 t 时刻的瞬时值, 所以只需再求出实部便可确定这些相量。以 A 相为例, 实部 $\text{Re}(U_A) = U_A \cos(\omega t + \varphi_A)$ 的计算如下。

由式(7)可知, A 相电压的瞬时值可表示为:

$$\begin{aligned} u_A(t) &= U_A \sin[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] = \\ &U_A \sin[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] \cos(\omega \Delta t) + \\ &U_A \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] \sin(\omega \Delta t) = \\ &u_A(t - \Delta t) \cos(\omega \Delta t) + \\ &U_A \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] \sin(\omega \Delta t) \end{aligned} \quad (9)$$

其中, Δt 为采样时间间隔。

由式(9)可整理出:

$$U_A \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] = \frac{u_A(t) - u_A(t - \Delta t) \cos(\omega \Delta t)}{\sin(\omega \Delta t)} \quad (10)$$

由式(10)可知, 待求相量的实部为:

$$\begin{aligned} \text{Re}(U_A) &= U_A \cos(\omega t + \varphi_A) = \\ &U_A \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] = \\ &U_A \cos[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] \cos(\omega \Delta t) - \\ &U_A \sin[\omega(t - \Delta t) + \varphi_A] \sin(\omega \Delta t) = \\ &\frac{u_A(t) - u_A(t - \Delta t) \cos(\omega \Delta t)}{\sin(\omega \Delta t)} \cos(\omega \Delta t) - \\ &u_A(t - \Delta t) \sin(\omega \Delta t) \end{aligned} \quad (11)$$

同理可得 B、C 相电压相量的实部为:

$$\begin{aligned} \text{Re}(U_B) &= \frac{u_B(t) - u_B(t - \Delta t) \cos(\omega \Delta t)}{\sin(\omega \Delta t)} \cos(\omega \Delta t) - \\ &u_B(t - \Delta t) \sin(\omega \Delta t) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\operatorname{Re}(U_C) = \frac{u_C(t) - u_C(t - \Delta t) \cos(\omega \Delta t)}{\sin(\omega \Delta t)} \cos(\omega \Delta t) - \frac{u_A(t - \Delta t) \sin(\omega \Delta t)}{\sin(\omega \Delta t)} \quad (13)$$

根据三相电压的当前时刻瞬时值 $u_A(t)$ 、 $u_B(t)$ 、 $u_C(t)$ 和前一时刻的瞬时值 $u_A(t - \Delta t)$ 、 $u_B(t - \Delta t)$ 、 $u_C(t - \Delta t)$ ，即可确定三相电压相量实部、虚部，即得到了式(8)所示三相电压相量 U_A 、 U_B 、 U_C 。

然后再根据式(1)的序分量变换关系，即可求得负序电压相量为：

$$U_2 = \frac{1}{3} (U_A + \alpha^2 U_B + \alpha U_C) = \operatorname{Re}(U_2) + j \operatorname{Im}(U_2) \quad (14)$$

上述推导过程中使用的相量是按式(8)构造的旋转相量，其虚部就是 t 时刻的瞬时值，所以待求的负序电压瞬时值也应是式(14)中的虚部 $\operatorname{Im}(U_2)$ 。

虽然式(14)可以得到负序电压相量，但是会存在较大的暂态输出误差，不宜直接使用，因此采用图 1(b)所示的流程：先利用式(11)~(13)求出三相电压实部，虚部即为当前时刻采样值，所以可得三相电压相量 U_A 、 U_B 、 U_C ；然后利用式(14)计算得到负序电压相量；取式(14)的虚部得到负序电压瞬时值；最后利用半周积分算法或傅氏算法求出负序电压的有效值、相位。

2 数字仿真验证及分析

2.1 对称电压模型验证

为验证 1.2 节中的基于瞬时对称分量的滤序算法的正确性，分别对式(15)和式(16)所示的正、负序电压进行仿真计算。

$$\begin{cases} u_A(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \\ u_B(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0 - 2\pi/3) \\ u_C(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0 + 2\pi/3) \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} u_A(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \\ u_B(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0 + 2\pi/3) \\ u_C(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0 - 2\pi/3) \end{cases} \quad (16)$$

取电压幅值 $U_m = 10 \text{ V}$ ，初相角 $\varphi_0 = \pi/6$ ；采样率为每周期 24 点。在仿真开始后 1 个周期施加幅值为 10 V 的对称正序和负序电压，提取得到的负序电压瞬时值波形分别如图 2(a)和图 2(b)所示。

仿真结果表明，施加三相对称正序电压，达到稳态后算法输出为 0；施加三相对称负序电压，达到稳态后算法输出全部为负序量，幅值与施加量一致。

应注意到图 2(a)中箭头处，在施加三相正序电压的起始时刻，会出现一个采样点的尖脉冲，该尖脉冲实际为提取算法的暂态输出误差。由式(11)~(13)可知，计算 t 时刻的各相电压实部时，同时用到了当前时刻和前一个时刻采样值，在突然施加电压时，采样值存在突变，才导致出现上述误差。图 2(b)

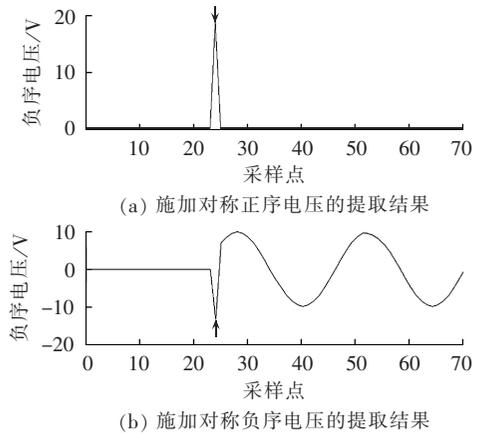


图 2 负序电压的提取结果
Fig.2 Results of negative-sequence voltage extraction

箭头处的突变值也是由于同样原因导致。

通过对初相角 φ_0 的不同取值进行仿真，发现图 2(b)中的暂态输出误差与施加电压的初相角有关。当取 $\varphi_0 = \pi/2$ 时，暂态输出误差最小，此时施加三相对称负序电压，误差为 0。但是施加三相对称正序电压时，图 2(a)所示的暂态输出误差始终存在，且误差的大小也与初相角有关。

可见，基于瞬时对称分量的负序滤序算法虽然数据窗较短，只有 2 个采样点，但是由于包含了类似差分的环节，当输入信号突变时，会产生较大暂态误差，实际应用时必须加以考虑。下文在设计实用化的母线保护电压闭锁方案时对此进行了改进。

2.2 2 种负序电压提取法的对比

本节采用数字仿真方法对第 1 节中提及的采样值滤序算法和基于瞬时对称分量提取负序电压的效果进行对比验证，采样率仍为每周期 24 点。

保护装置中的负序电压元件一般按有效值整定，因此在图 1(b)所示的提取过程中，需要采用相量算法得到负序电压有效值。为与超高速母线保护算法相配合，有效值计算多采用短窗算法，本节仿真中统一采用半周积分算法。施加式(15)所示的三相正序电压时，仿真结果如图 3 所示。

由于施加的是三相对称正序电压，因此理想的

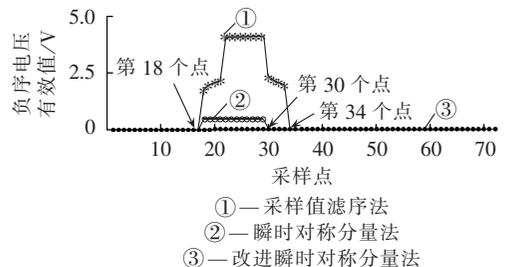


图 3 施加正常电压时的负序电压有效值暂态计算结果

Fig.3 Calculative results of transient negative-sequence voltage when normal voltage is exerted on

负序电压有效值计算结果应保持为 0。但是图 3 仿真结果中,使用式(6)得到负序电压采样值,再通过半周积分计算得到的负序电压有效值,会有持续 15 个采样点的暂态输出,而且最大输出超过了 4 V。如果在母线保护中直接采用该方法,就会导致负序电压元件误开放。

图 3 仿真结果还表明,使用瞬时对称分量法得到负序电压采样值,再通过半周积分计算得到的负序电压有效值,仅有 12 个采样点的暂态输出。该暂态输出是由于图 2(a)所示的尖脉冲误差导致的,且由于积分运算,其一直包含在输出结果中,直到尖脉冲移出数据窗。采用瞬时对称分量法的暂态输出不仅持续时间缩短,而且幅值也减小到 1 V 以下,提高了负序电压闭锁元件的可靠性。

瞬时对称分量法产生暂态输出误差的原因明确,因此可以采取针对性的改进措施。具体方案为:依靠突变量启动元件,准确捕捉故障发生时刻,在确定故障发生时刻后,延迟 2 个采样点再投入瞬时对称分量法,从而避开图 2(a)所示的尖脉冲误差。利用这种改进的瞬时对称分量法和半周积分得到的负序电压有效值,也同时绘制于图 3 中。可以看出,改进方法的暂态输出接近于 0,消除了电压突变导致的暂态误差,使得负序电压元件的灵敏度可以进一步提高。

3 母线保护的负序电压闭锁方案

母线保护对复压元件的基本要求是在各种内部故障时能快速开放差动保护。因此,在设计复压元件时,需要考虑各种故障情况下与差动保护的配合,特别是应统筹考虑与采样值差动、相量差动等多种判据的配合。

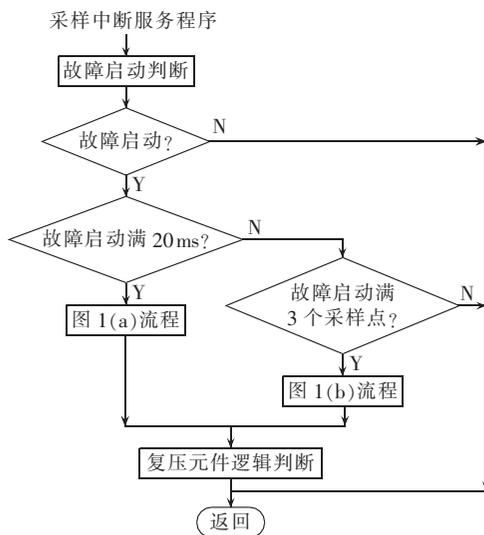
图 4 给出了基于改进瞬时对称分量法的负序电压闭锁方案,其中图 4(a)为流程框图,图 4(b)为复压元件与差动元件之间的配合逻辑图。

图 4 方案的核心思路是:在故障发生后的不同时间段采用不同的负序电压提取方法,分别与采样值差动和相量差动相配合。

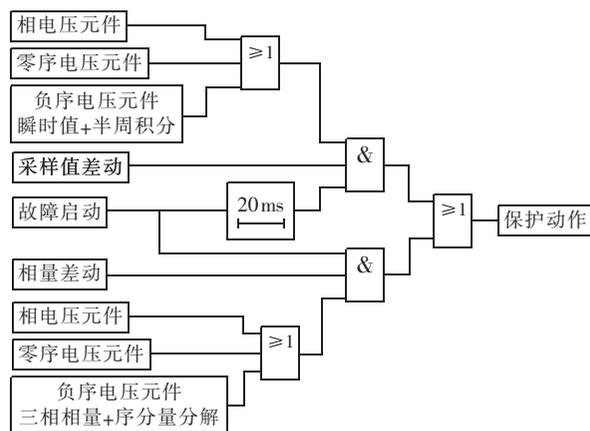
该方案具体实现时,从以下几个方面考虑。

a. 母线保护在故障启动后的 1 个周期内投入采样值差动判据,实现超高速出口,但必须经复压元件把关。这段时间内,由于全周相量算法输出值不确定,因而不能通过将三相电压相量进行序分量分解的方法提取负序电压。但是可以采用图 1(b)所示的流程,先提取负序电压采样值,再利用半周积分得到负序电压有效值,即图 4(b)中所示的“瞬时值+半周积分”法。

b. 在利用瞬时对称分量法提取负序电压采样值时,为消除故障后电压突变引起的暂态误差(如图 2



(a) 流程框图



(b) 逻辑框图

图 4 母线保护的负序电压闭锁方案

Fig.4 Negative-sequence voltage blocking scheme of bus protection

所示),采取的措施是:在确定故障启动满 3 个采样点后,再投入式(14)所示的瞬时对称分量法。获取负序电压采样值后,再通过半周积分算法得到负序电压的有效值,流程如图 4(a)的右侧分支所示。

c. 故障启动满 1 个周期后,全周傅氏算法可准确提取相量,此时采用图 4(a)流程左侧分支的方法,先计算三相电压相量,再通过序分量分解得到负序电压有效值。同时,退出图 1(b)所示的负序电压提取方法。

d. 相电压元件、零序电压元件与现有方案相同,并与上述负序电压元件通过或逻辑共同构成完整的复压元件。

e. 为满足转换性故障和发展性故障的灵敏度要求,采用“三相相量+序分量分解”法(即图 1(a)所示方法)的负序电压元件需增加延时确认环节。

综上所述,该方案仅在故障启动后 1 个周期内,投入“瞬时值+半周积分”的负序电压提取方法,与采样值差动相配合;故障启动满 1 个周期后,采用“三

相量+序分量分解”法,更准确地提取负序电压有效值,与相量差动相配合。

4 RTDS 实验验证

利用 RTDS 动模实验系统,对采用本文负序电压提取及闭锁方案的母线保护进行仿真测试,实验模型如图 5 所示。图中, S_1 为无穷大系统,线路 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的长度分别为 200、200、80、200 km。

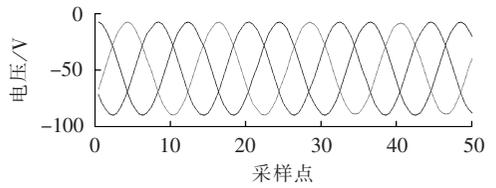
首先考察本文改进方法的暂态输出误差和负序电压元件灵敏度情况。模拟 110 kV 母线在 K_1 点发生经 50Ω 过渡电阻的单相接地故障,故障时刻在第 50 个采样点处,采样率为每周期 24 点,两段母线的电压波形如图 6 所示。

在高阻接地的故障条件下,复压元件中的相电压、零序电压由于灵敏度原因,均不能开放,只能依靠负序电压开放差动保护。为了与快速出口的采样值差动相配合,需采用图 1(b)所示的流程,即先提取负序电压采样值,再计算负序电压有效值。提取负序电压采样值的方法分别采用第 2 节中的采样值滤序法和改进瞬时对称分量法,并统一采用半周期积分计算有效值,由此得到的两段母线负序电压有效值的计算结果如图 7 所示。

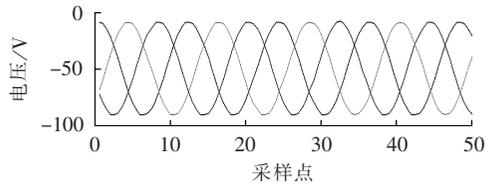
由图 7 可知,发生故障后,采样值滤序法计算的负序电压有效值有一个明显的过渡过程,最大暂态输出约为 4 V;而达到稳态时,负序电压仅为 1 V。为躲开这个暂态输出误差,负序电压整定值须在 4 V 以上,降低了负序电压元件灵敏度。而采用改进瞬时对称分量法的负序电压计算结果稳定在 1 V 左右,过渡过程中的最大输出在 1.2 V 左右,据此可以适当降低负序电压的整定值,以提高灵敏度。

根据该例高阻接地故障的仿真结果分析,复压元件依靠负序电压开放时,提高负序电压元件的灵敏度,必须要降低算法在暂态过程中的不平衡输出,否则易出现误开放的情况。

此外,本节还对区内金属性故障、区内外转换性



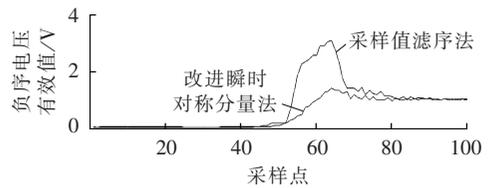
(a) 母线 I 电压



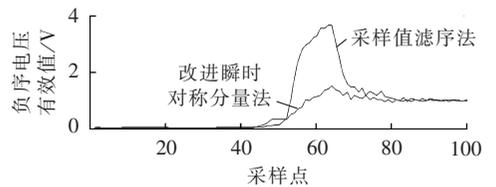
(b) 母线 II 电压

图 6 母线高阻接地故障时电压波形

Fig.6 Voltage waveforms of bus grounding fault via high resistance



(a) 母线 I 负序电压有效值



(b) 母线 II 负序电压有效值

图 7 根据实验数据计算的负序电压有效值

Fig.7 Negative-sequence voltages calculated based on experimental data

故障以及发展性故障等典型情况进行了仿真验证,结果列于表 1 中。表中,动作时间记录从第 1 次故障发生时开始计时;区外转区内故障的转换时间为 100 ms;负序电压整定值为 3 V。

表 1 的仿真结果表明,区内金属性故障以及区内发展性故障的第 1 次故障发生后,负序电压元件

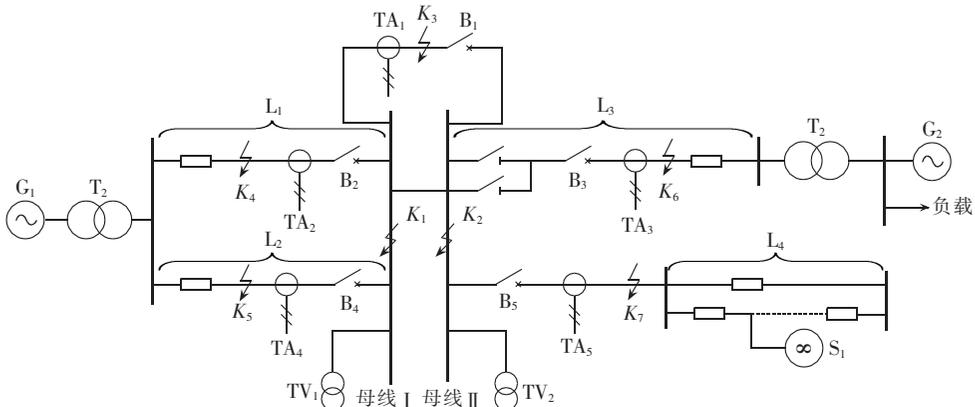


图 5 RTDS 动模实验系统

Fig.5 RTDS experiment system for dynamic simulation

表 1 负序电压元件动作情况

Table 1 Response speeds of negative-sequence voltage element

| 故障类型 | 故障点 | 故障相别 | 负序电压元件 动作时间平均值/ms |
|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 区内 金属性故障 | K_1 | AG/BG/CG | 8.5 |
| | | AB/BC/CA | 7.7 |
| | | ABG/BCG/CAG | 8.0 |
| | | ABC | 7.9 |
| 区外转 区内故障 | $K_6 \rightarrow K_2$ | AG \rightarrow ABG | 125.7 |
| | | BG \rightarrow AC | 124.9 |
| | | BC \rightarrow ABC | 126.1 |
| 区内 发展性故障 | K_2 | AG \rightarrow ABG | 8.3 |
| | | BG \rightarrow BCG | 8.2 |
| | | CG \rightarrow ABCG | 7.9 |

都能在 8 ms 左右开放。第 1 次区内、外转换性故障在输电线路远端且经过渡电阻接地时,负序电压元件未开放,但转为区内故障后经短延时可以开放。产生该延时的原因是:在故障启动满 1 个周期后,退出图 1(b)所示的计算流程,改用图 1(a)所示的计算流程,即先求三相电压相量,再滤序,这时需等待相量计算数据满窗,约延时 20 ms。虽然在转换性故障时,负序电压开放的时间稍长,但均不会影响保护的正确动作。

5 结论

母线保护通常采用复压元件与差动元件相配合以提高可靠性。负序电压提取的快速性和准确性之间的矛盾,制约了复压元件性能的提高。为此,本文研究了负序电压提取及闭锁的整体方案,并对瞬时对称分量提取负序电压采样值的方法进行了改进,减小了电压突变过程中负序电压有效值计算的暂态输出误差。

本文所设计的复压闭锁方案在故障启动后 1 个周期内,采用改进瞬时对称分量和半周积分的负序电压有效值计算方法,与采样值差动元件相配合,以达到母线保护超高速出口的目的。故障启动满 1 个周期后,采用基于全周相量算法和序分量分解的负序电压有效值计算方法,与相量差动元件相配合。通过数字仿真和 RTDS 实验验证,整个方案可大幅减小负序电压计算的暂态过程误差,有效提高负序电压元件的开放速度,同时可以通过降低负序电压整定值来提高复压元件的灵敏度。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 继电保护和安全自动装置技术规程:GB/T 14285—2006[S]. 北京:中国电力出版社,2006.

[2] 国家电网公司. 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1175—2013[S]. 北京:中国电力出版社,2013.

[3] 吕航,王风光,鲍凯鹏,等. PCS-915 母线保护装置[J]. 电力系统自动化,2012,36(16):118-123.

LÜ Hang,WANG Fengguang,BAO Kaipeng,et al. PCS-915 series busbar protection devices[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(16):118-123.

[4] 李本瑜. 母线保护中电压闭锁元件存在的问题及解决方案[J]. 电力系统自动化,2004,28(1):97-98.

LI Benyu. Problems and solutions of voltage blocking elements in busbar protection[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(1):97-98.

[5] 姚创,李永丽,张卫正,等. 变压器后备保护拒动原因分析与改进[J]. 电网技术,2014,38(1):248-254.

YAO Chuang,LI Yongli,ZHANG Weizheng,et al. Analysis and improvement on mal-operation of transformer backup protection[J]. Power System Technology,2014,38(1):248-254.

[6] 朱江,董余凡,李晔. “六统一”设计下的双母线方式断路器失灵保护运行分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(6):71-74.

ZHU Jiang,DONG Yufan,LI Ye. Operation analysis of double-bus circuit breaker malfunction protection designed based on “Six Reunification”[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2012,31(6):71-74.

[7] 于游,邱光辉,吴颖超,等. 基于电流量的断路器失灵保护闭锁新原理[J]. 电力系统自动化,2014,38(23):114-118.

YU You,QU Jinhui,WU Yingchao,et al. A novel blocking method of circuit breaker failure protection based on current[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(23):114-118.

[8] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002:348-351.

[9] 高春如,韩学军,沈俭. 断路器断口闪络保护和断路器失灵保护整定计算[J]. 电力系统自动化,2012,36(22):115-119.

GAO Chunru,HAN Xuejun,SHEN Jian. Breakage flashover protection and failure protection setting calculation for circuit breaker[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(22):115-119.

[10] 陆征军,吕航,李力. 输电线路分布电容对快速母线差动保护的影响[J]. 继电器,2005,33(1):68-72.

LU Zhengjun,LÜ Hang,LI Li. Effects of distributed capacitance on fast busbar differential protection in transmission line[J]. Relay,2005,33(1):68-72.

[11] 黄继东,倪传坤,郭文利,等. 母线差动保护区外转区内故障再动作判据[J]. 电力系统自动化,2014,38(18):120-124.

HUANG Jidong,NI Chuankun,GUO Wenli,et al. 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.

[12] 国网电力科学研究院. 正负序电量实时检测的方法:20091002-4853.8[P]. 2009-02-27.

[13] GERARDUS C P. Symmetrical components in the time domain and their application to power network calculations[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2000,15(2):522-528.

[14] JOHN S H. Instantaneous phasor method for obtaining instantaneous balanced fundamental components for power quality control and continuous diagnostics[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1998,13(4):1494-1500.

[15] 袁旭峰,程时杰,文劲宇. 改进瞬时对称分量法及其在正负序电量检测中的应用[J]. 中国电机工程学报,2008,28(1):52-58.

YUAN Xufeng, CHENG Shijie, WEN Jinyu. An improved method of instantaneous symmetrical components and its detection for positive and negative sequence current [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 52-58.

- [16] IRAVANI M R, KARIMI-GHARTEMANI M. Online estimation of steady state and instantaneous symmetrical components [J]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2003, 150(5): 616-622.

作者简介:

刘益青(1977—),男,山东潍坊人,副教授,高级工程师,



刘益青

变电站;

郭大伟(1979—),男,山东日照人,工程师,研究方向为电力系统继电保护及自动化。

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;

王成友(1967—),男,辽宁岫岩人,副教授,博士,研究方向为电力系统自动化、智能

Negative-sequence voltage extraction and blocking scheme for bus protection

LIU Yiqing¹, GAO Weicong², WANG Chengyou¹, GUO Dawei³

(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. State Grid Rizhao Power Supply Company, Rizhao 276826, China)

Abstract: In order to coordinate the accuracy and rapidity of negative-sequence voltage extraction from the composite voltage blocking element, a method of negative-sequence voltage extraction based on the instantaneous symmetrical component method and the half-cycle integral method is proposed, which extracts the instantaneous negative-sequence voltage at the fault startup instant to eliminate the extraction error due to the sudden change of bus voltage. A composite voltage blocking scheme of bus protection based on the proposed method is designed and cooperated with the bus differential protection, which applies the improved instantaneous symmetrical component method and the half-cycle integral method to extract the negative-sequence voltage and cooperates with the sample differential element during the first cycle after the fault startup, and afterwards, applies the whole-cycle algorithm and the sequence component decomposition to extract the negative-sequence voltage and cooperates with the phasor differential element. Digital simulation and RTDS experiment verify that, the calculation error of transient negative-sequence voltage is significantly reduced, the response speed of negative-sequence voltage element for in-zone faults is effectively increased, and the sensitivity of composite voltage element is improved.

Key words: relay protection; bus protection; negative-sequence voltage; instantaneous symmetrical components; voltage blocking

(上接第 114 页 continued from page 114)

Disturbance source locating for compelled resonance low-frequency oscillation of power plant

DONG Qing, WANG Ying

(School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Since the compelled resonance low frequency oscillation seriously endangers the safe and stable operation of power grid, the disturbance source should be quickly found and removed for the oscillation elimination and system stability restoration. A method of disturbance source locating based on the attenuation characteristics of low-frequency disturbance voltage is proposed, which adopts the cubic Hermite interpolation function to extract the low-frequency disturbance variables for each measuring point, compares the magnitude of disturbance voltage among measuring points to locate the source unit of low-frequency oscillation. The correctness of the proposed method is verified by theoretical analysis, the simulative analysis for a 6-machine infinite system and the PMU measuring data analysis for a real power plant.

Key words: power plant; compelled resonance low-frequency oscillation; disturbance source locating; voltage decay; stability