

一种新的高压线路保护振荡闭锁实现方法

刘 凯^{1,2}, 索南加乐¹

(1. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049;

2. 东方电子股份有限公司, 山东 烟台 264001)

摘要: 对高压线路振荡闭锁实现方法进行了研究, 指出目前的振荡闭锁方法降低了距离元件的性能, 并提出了一种新的振荡闭锁实现方法。根据保护安装处的电压、电流和距离元件整定阻抗可以计算出距离元件保护范围末端的电压, 保护安装处电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角反映振荡的进程, 该夹角在振荡中周期性变化, 变化周期与振荡周期相同, 该夹角数值较小时, 距离元件不会误动, 该夹角达到一定数值时, 距离元件将会误动。新判据通过计算保护安装处电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角来实时开放和闭锁距离元件, 在该夹角较小时开放距离元件, 在该夹角较大时闭锁距离元件。并分析了系统中发生故障时该判据的性能, 该判据不受区外故障的影响, 在发生区内故障时能正确工作, 和振荡周期自适应, 在系统未振荡或振荡中心不在距离元件保护范围内时不会动作。动模数据仿真验证了该判据的有效性。

关键词: 高压线路; 距离保护; 振荡闭锁; 自适应

中图分类号: TM 773

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)04-0007-06

0 引言

线路保护中有振荡闭锁措施, 系统振荡时闭锁距离保护以防误动, 在发生故障时根据故障特征开放距离保护, 诸多文献对此进行了研究^[1-13]。目前线路保护多采用启动 150 ms 后即进入振荡闭锁流程的措施, 直至整组复归, 这种方法有很大几率使距离保护在系统未振荡时被长时间闭锁。文献[13]提出了线路两端电压夹角的概念, 根据该夹角判断系统是否失稳, 有助于改善距离保护在振荡时的性能。即使采用了这种方法, 在整个振荡期间, 距离保护仍会被持续闭锁, 距离保护被闭锁的时间较长。

系统振荡的一个重要特征是线路两侧等效电源之间的相角差在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间循环变化, 当该相角差较大时, 线路电压较低, 电流大, 距离保护会误动, 此时应将其闭锁; 而在相角差小时, 距离保护不会误动, 此时可开放, 而且此时线路电压较高, 相比于线路电压小的时刻, 故障更易发生于这段时间, 开放距离保护有助于快速切除故障。在整个振荡期间都闭锁距离保护的措施是不合理的。文献[4-5]提出了自适应振荡闭锁判据, 利用 2 个阻抗圆实时地开放和闭锁保护, 该判据整定时需进行复杂的系统计算, 且不适用于重负荷长线路。

本文提出了一种新的振荡闭锁实现方法, 根据振荡进程实时闭锁和开放距离保护。新判据计算保

护安装处电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角, 在该角度较大时闭锁距离保护, 在该角度较小时开放距离保护。在振荡中开放距离保护的时间长, 和振荡周期自适应, 在系统未振荡或振荡中心不在距离保护动作范围内时不会动作, 在系统中发生故障时能正确工作。该方法降低了振荡对距离保护的负面影响。该判据较直观, 易于实现, 易于整定。

本文使用动模数据对新判据进行了验证。

1 保护安装处电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角

图 1 是双电源供电系统模型, E_m 、 E_n 为线路两侧电源电势; U_m 为线路 m 端电压; T 点为距离元件保护范围末端, U_T 表示该点电压; 振荡中心位于 C 点, U_C 表示该点电压; I_m 为线路电流; Z_{set} 为距离元件定值; Z_m 、 Z_n 、 Z_L 分别为两侧系统阻抗和线路阻抗。根据本端的电压、电流、阻抗定值可以计算保护范围末端电压 U_T :

$$U_T' = U_m - I_m Z_{set} \quad (1)$$

当保护范围内没有故障时, $U_T' = U_T$ 。

对于三相线路, 使用正序分量来计算保护安装处电压和距离元件整定范围末端电压之间的夹角:

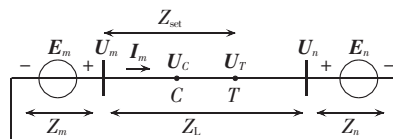


图 1 系统模型图

Fig.1 Model of system

$$\delta = \arg \frac{U_{m1}}{U'_{n1}} = \arg \frac{U_{m1}}{U_{m1} - I_{m1} Z_{set}} \quad (2)$$

其中, U_{m1} 、 I_{m1} 分别为保护安装处的正序电压和电流, U'_{n1} 为计算的保护范围末端处的正序电压, Z_{set} 为距离元件阻抗定值。

图 2 为电压相量图, α 为线路两侧电源之间的电势角差, 当系统振荡时, α 从 0° 到 360° 循环变化, 如果振荡中心落在距离元件保护范围内时, δ 也具有循环变化的特征, δ 可以反映线路两侧电源之间电势角差的变化趋势。

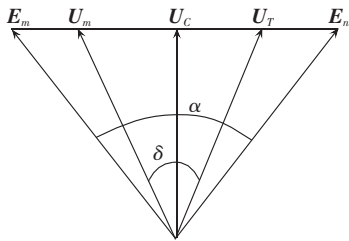


图 2 电压相量图

Fig.2 Voltage phasor chart

δ 与距离元件是否动作有明确的关系。以姆欧式距离元件为例, 动作特性为

$$|Z - Z_{set}/2| < |Z_{set}/2| \quad (3)$$

或表示为

$$-90^\circ < \arg \frac{U - Z_{set} I}{-U} < 90^\circ \quad (4)$$

这是一个以 $Z_{set}/2$ 为圆心, 以 $|Z_{set}/2|$ 为半径的圆, 如图 3 所示, 图中 Z_j 为测量阻抗轨迹。当 Z_j 刚开始通过姆欧继电器动作区域时, 姆欧继电器会误动, 此时 $\delta=90^\circ$, δ 是直径 Z_{set} 所对应的圆周角。 Z_j 进入姆欧继电器动作区域后, δ 角继续增大, 在 $\delta=270^\circ$ 时, Z_j 到达姆欧继电器动作区域的另一边界, 离开动作区。易知, 振荡时如果在 δ 较大时闭锁距离保护, 则距离保护不会误动。

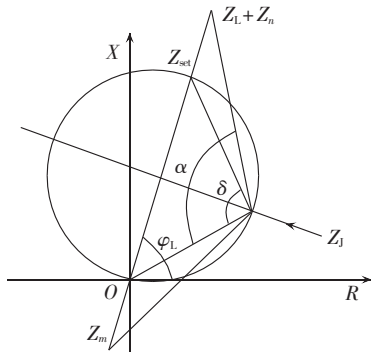


图 3 姆欧继电器动作特性和振荡时的测量阻抗轨迹

Fig.3 Operating characteristic of Mho distance element and measuring impedance trajectory during swing

2 新的振荡闭锁判据及其在故障时的性能

2.1 振荡闭锁判据

假定在 δ 处于区间 $[\delta_{s1}, \delta_{s2}]$ 时, 其中 $\delta_{s2} > \delta_{s1}$, 距离元件会误动, 在此范围外时, 不会误动, 本文将 δ_{s1} 、 δ_{s2}

称为临界角。如在 δ 处于区间 $[\delta_{s1}, \delta_{s2}]$ 时将距离元件闭锁, δ 处于该区间外时开放, 则保护不会误动。这样可以增加振荡时开放距离保护的时间, 有利于保护快速动作。而且在 δ 处于区间 $[\delta_{s1}, \delta_{s2}]$ 外时线路电压较高, 是发生故障概率较高的时期。

根据这个特征, 本文提出了新的振荡闭锁判据。计算保护安装处电压和距离元件保护范围末端电压之间的夹角 δ , 在 δ 处于区间 $[\delta_{s1}, \delta_{s2}]$ 时, 闭锁距离保护, 在该范围外时, 开放距离保护。其中 δ_{s1} 、 δ_{s2} 为角度定值, δ_{s1} 、 δ_{s2} 的整定原则为

$$\begin{cases} \delta_{s1} = K_{rel1} \delta_{s1} \\ \delta_{s2} = K_{rel2} \delta_{s2} \end{cases} \quad (5)$$

对于第 1 节所分析的姆欧元件, 理论上 $\delta_{s1}=90^\circ$, $\delta_{s2}=270^\circ$, 对于其他动作特性的阻抗元件, 例如四边形阻抗元件, 需要重新估算 δ_{s1} 和 δ_{s2} 。振荡时系统频率偏离工频, 整定角度定值时需考虑计算误差, 根据本文的仿真结果, K_{rel1} 一般可整定为 0.9, K_{rel2} 可整定为 1.1, 足以保证可靠性。

线路上发生故障后, δ 的计算值有可能是一个较大的数值。为避免将故障误判为振荡, 须采取措施。在发生故障时, δ 会有突变, $|d\delta/dt|$ 大; 而振荡时, δ 变化缓慢, $|d\delta/dt|$ 小。当 $|d\delta/dt| > d\delta_{set}$ 可确认为故障。角度变化率定值 $d\delta_{set}$ 可参考系统中考虑的最短的振荡周期整定, 系统中考虑的最短的振荡周期为 300 ms, 平均的角度变化率为 $1200^\circ/s$, 取 1.2 倍的可靠系数, $d\delta_{set}$ 可取 $1440^\circ/s$ 。

本判据计算保护安装处电压 U_{m1} 和保护范围末端电压 U'_T 之间的夹角, 需要 U_{m1} 、 U'_T 足够大。而在保护安装处或保护范围末端发生对称故障时, U_{m1} 、 U'_T 的值为零, 不能准确地计算角度 δ 。因此, 当检测到 U_{m1} 、 U'_T 小于 $0.1 U_N$ 时, 如果启动后已达 150 ms, 则直接将保护闭锁。

根据此原则做出的振荡闭锁流程图如图 4 所示。图中符号 PSB 为振荡闭锁标志, 该标志有效时闭锁距离保护。

流程首先检测 PSB 是否已置位, 如果未置位, 则检测 $\min(U_{m1}, U'_T)$ 是否小于门槛 $0.1 U_N$, 小于门槛且

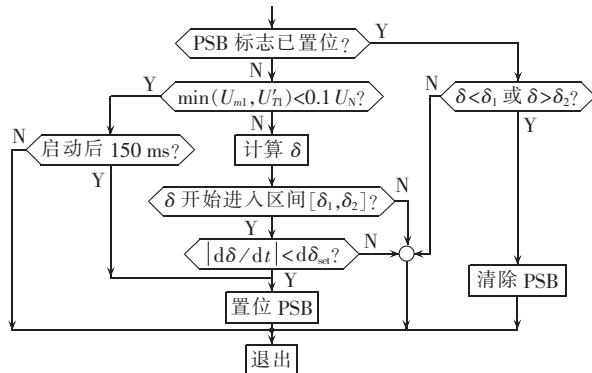


图 4 振荡闭锁流程图

Fig.4 Flowchart of swing blocking

启动后 150 ms,则直接置位 PSB。否则,开始计算角度 δ 及其变化率,检测 δ 是否开始进入区间 $[\delta_1, \delta_2]$, 在开始进入该区间时检测角度变化率(已经进入该区间之后不再检测,即仅在进入时检测一次),如果 $|d\delta/dt| < d\delta_{set}$,则置 PSB。如果进入流程时 PSB 是有效的,则检测 δ 是否符合 $\delta < \delta_1$ 或 $\delta > \delta_2$ 条件,如果符合,则清除 PSB。

闭锁后如果发生故障,需根据故障特征开放保护,这方面有多种选择,例如不对称故障开放判据 $I_0 + I_2 > mI_1$ 或对称故障开放判据 $U \cos \phi, dZ/dt$ 等。如振荡中故障有选相跳闸要求,可选用合适的选相元件^[8,10]。

2.2 系统中发生故障时的情况

前文分析了系统中无故障时角度 δ 的特点,它等于保护安装处电压和整定范围末端电压间的夹角,下面分析当系统中存在故障时的情况。

2.2.1 发生区内故障时

当距离元件保护范围内发生故障时, δ 不再反映保护安装处电压和整定范围末端电压间的夹角。图 5 表示保护范围内发生三相故障时的电路模型, F 为线路上的某一点,在 F 点发生了故障,从 m 端到 F 点的阻抗为 Z_F 。

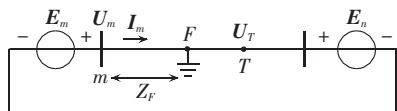


图 5 故障时的系统模型图

Fig.5 Model of system with fault

从图 5 可知, $I_m = U_m / Z_F$, 计算的保护范围末端电压 $U'_T = U_m - I_m Z_{set} = U_m - U_m Z_{set} / Z_F$, 而 $Z_{set} > Z_F$, 易知 U_m 与 U'_T 相差 180° 。 U'_T 和 U_T 不相等。

当系统中发生不对称故障时,根据正序等效定则,可以在故障点加上一个附加阻抗来进行分析。如图 6 所示,图中, ΔZ 为附加阻抗。

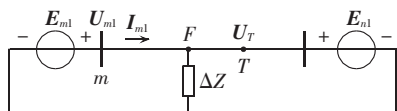


图 6 发生不对称故障时的正序网络图

Fig.6 Positive sequence network with dissymmetry fault

ΔZ 的大小与系统及线路的负序阻抗、零序阻抗及故障点位置有关。如果附加阻抗小到可以忽略的程度,则类似于图 5, $\delta = 180^\circ$; 如果阻抗大到一定程度,故障支路可视为断开, δ 可以真实反映线路两侧电压之间的角度。而在其中的一些中间状态, δ 不能反映保护安装处电压和整定范围末端电压间的夹角。

计算夹角 δ 时需先计算保护范围末端电压 U'_T , 该电压的计算结果是否准确会对 δ 的计算结果产生影响。系统振荡时,系统频率偏离工频,保护安装处的电压、电流的频率也不相同,因此保护装置对电

压、阻抗等电量的计算结果也会产生误差。振荡时,保护计算的保护范围末端电压 U'_T 和实际电压 U_T 不相等,保护测量的阻抗和实际阻抗也是不相等的。对比式(4)和式(2)可知,二式具有相同的形式,而且都是根据角度的大小来确定是否动作,频率偏移造成的计算误差对二者的影响是相同的。例如,如果因频率偏移造成式(2)的角度计算结果偏小,式(4)的角度计算结果也是偏小的。因角度 δ 的定值总是小于 90° 或大于 270° , 在 δ 未到达定值时,式(4)描述的距离元件动作特性也是不会动作的,二者有很强的关联。据此可以得出,基于线路两端电压间夹角的振荡闭锁判据有较强的抗振荡误差特性,本文第 4 节的仿真结果也证明了这一点。

对于振荡中发生区内对称故障的情况,参考图 4 所示流程,如果在 PSB 置位前发生区内对称故障, δ 从小于 90° 突变为 180° , 因角度变化率大,一般不会闭锁保护。如果在 PSB 置位后(δ 已经进入闭锁区,保护已被闭锁),发生对称故障,因故障后 $\delta = 180^\circ$, PSB 会继续保持,距离保护须经故障开放元件 $U \cos \phi$ 或其他开放判据把关^[15]。

对于振荡中发生的区内不对称故障的情况,若发生在 PSB 置位前发生,角度 δ 会发生突变,保护一般不会被闭锁;若发生故障时 δ 进入闭锁区且 $d\delta/dt$ 小于定值,则有可能闭锁,闭锁后可根据不对称故障开放判据 $I_0 + I_2 > mI_1$ 来开放。PSB 置位后,如果线路上有不对称故障,角度 δ 可能一直停留在闭锁范围,也有可能随振荡发展而离开闭锁区,后者有利于保护的快速动作。如果需选相跳闸,则需配置合适的选相元件。

2.2.2 发生区外故障时

图 7 为在保护区外 F 点发生故障时的正序网络图, ΔZ 为附加阻抗。发生对称故障时, $\Delta Z = 0$ 。

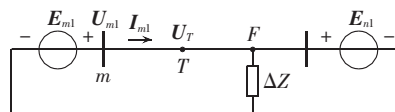


图 7 故障时的系统模型图

Fig.7 Model of system with fault

由图 7 可知,根据计算电压 $U'_T = U_{m1} - I_{m1} Z_{set}$, U'_T 和 T 点的实际电压 U_T 是相等的。 δ 等于保护安装处和距离元件保护范围末端电压间的夹角,而距离元件是否误动和 δ 相关,根据 δ 的数值可以确定距离元件是否会因振荡而误动,图 4 所示的振荡闭锁流程可以继续正确工作。

如果在 T 点发生故障,类似于在区外发生故障时的情况, δ 等于保护安装处和距离元件保护范围末端电压间的夹角。

从以上的分析可知,对于振荡中发生区外故障时的情况,新判据可以正确工作,即新判据不受区外故障的影响。

2.2.3 振荡中心位于保护安装处或保护范围末端时

当振荡中心位于保护安装处或保护范围末端时,在线路两侧电源的角度达到 180° 时,会出现 U_{m1} 或 U'_r 等于零的情况,无法计算角度 δ 。如果 PSB 尚未置位且启动后达 150 ms ,出现电压等于零的情况,根据图 4 所示流程,会提前置 PSB 标志。

3 性能分析

a. 新判据和振荡周期自适应。在振荡周期长时, δ 到达闭锁区 $[\delta_1, \delta_2]$ 的时间长,开放保护的时间长,振荡速度快时, δ 到达闭锁区所需时间短,可以及时闭锁距离保护。在系统未振荡或发生振荡但振荡中心不在距离元件保护范围内时, δ 一般不会达到定值 δ_1 或 δ_2 ,不会闭锁保护。

b. 新判据实现简单,不需要复杂的系统分析计算。国外距离保护产品常用的“圆套圆”振荡闭锁判据,也具备根据振荡进程闭锁和开放距离保护的特点。但该判据定值多,整定时需要进行复杂的系统分析计算,在重负荷、长线路的情况下定值裕度小。而保护安装处电压和整定范围末端电压间夹角,可以反映线路两侧电源电势间的夹角,并与距离保护是否会因振荡而误动有明确的关系。对于重负荷长线路,运行时角度 δ 比较大,但一般不太可能达到 90° ,新判据一般可以适用于这种情况。新的振荡闭锁判据易于理解,不需要复杂的系统分析计算,可用于重负荷长线路,实现简单。

c. 在线路稳定运行期间发生故障时不会将保护闭锁。线路在稳定运行时 δ 数值较小,一般不大于 30° ,发生故障后, δ 在短时间内从一个较小的数值变化为一个较大的数值(大于 δ_1), $|d\delta/dt|$ 大,一般远大于 $1440^\circ/\text{s}$,所以,采用角度变化率作为判据的一部分,不会在线路正常运行而后发生故障时误将距离元件闭锁。

d. 在系统振荡后发生故障时可以继续工作。根据 2.2 节的分析,系统振荡后发生区外故障时, δ 仍可以反映保护安装处电压和整定范围末端电压间夹角,距离保护是否会因振荡而误动和 δ 有确定的关系,新判据不会受区外故障的影响。而在振荡且发生区内故障时,如果故障发生时 δ 处于闭锁区外,则一般不会闭锁保护。PSB 置位后,如果线路上有故障,角度 δ 可能一直停留在闭锁范围,需根据不对称故障开放判据 $I_0 + I_2 > m I_1$ 或对称故障开放判据 $U \cos \phi$ 来开放, δ 也有可能随振荡进程发展而离开闭锁区,后一种情况有利于保护的快速动作。

4 仿真验证

本文使用动模数据进行了仿真,采用 500 kV 线路 400 km 模型,具体模型及参数参见文献[14]。该模型为双回线模型,利用切除一回线引起振荡的方法

来做振荡测试,即振荡时只有一回线在运行。图 8 为振荡时该模型的简化图,图中, mn 段线路为被保护线路,线路长度为 400 km ,保护装置安装在 n 侧。 K_{10} 、 K_{12} 分别位于线路 m 端、 n 端出口, K_{11} 位于线路中点。

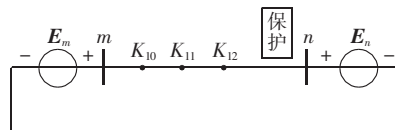


图 8 动模模型图

Fig.8 Model of dynamic simulation

本文做了大量的仿真,仿真了纯振荡(无故障)、振荡中发生区内故障和区外故障时的情况。图 9~14 为一组振荡波形的仿真结果,图中, I_A 表示 A 相电流, δ 表示保护安装处电压和整定范围末端电压间的夹角。计算了当阻抗定值 Z_{set} 取为 $0.85Z_L$ 时,AB 相距离元件动作时所对应的 δ 角的数值,AB 相间阻抗 $Z_{AB} = U_{AB}/I_{AB}$,其中 U_{AB} 和 I_{AB} 分别为 AB 相间电压和电流。计算了角度变化率 $d\delta/dt$,计算了振荡闭锁标志 PSB(定值 δ_1 和 δ_2 分别取 81° 和 297° , $d\delta_{\text{set}}$ 取 $1440^\circ/\text{s}$)。仿真中,采用全周傅里叶算法,定间隔采样,采样频率为 2000 Hz ,横坐标 n 为采样点。振荡时电流、电压频率偏离工频,计算时未进行频率跟踪。

图 9 为纯振荡波形。从图中可知,随振荡发展, δ 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 间循环变化。图中 3 个完整的振荡周期中,在角度 δ 分别处于区间 $[89.8^\circ, 268.5^\circ]$ 、 $[89.5^\circ, 268.2^\circ]$ 和 $[90.3^\circ, 269.5^\circ]$ 时,姆欧继电器的动作,在区间外时返回。第 1 个振荡周期中,在 δ 值到达 81° 时,因当时的角度变化率($695^\circ/\text{s}$)小于定值,PSB 标志置位,在 δ 值到达 297° 时,PSB 标志被清除。而阻抗继电器动作区间为 $[90^\circ, 270^\circ]$,此时 PSB 已置位,保护不会误动。与传统的启动 150 ms 后一直闭锁保护的方法相比,开放保护的时间大幅增加。振荡时,电流、电压的频率一直在变化。例如,在第 1 个振荡周期中,电流的频率在 $50.57 \sim 51.57\text{ Hz}$ 之间变化,电压的频率在 $49.76 \sim 50.22\text{ Hz}$ 之间变化,采用未进行频率跟踪的算法,有误差,但能满足工程要求。其他 2 个振荡周期的情况是类似的。

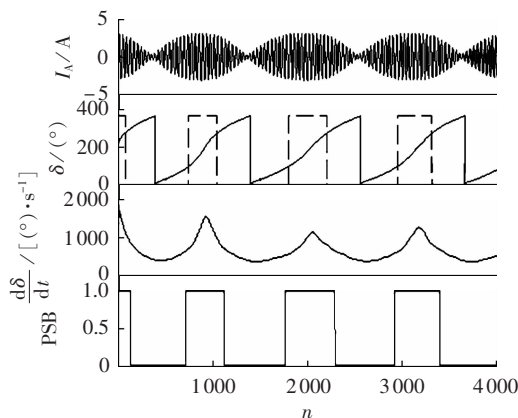


图 9 振荡波形及 PSB 标志

Fig.9 Swing wave and PSB flag

图10为振荡中发生区内三相故障的情况。在横坐标约2150处、 $\delta=40^\circ$ 时在线路中点 K_{11} 发生了三相对称故障,因故障时角度变化率大于定值,PSB未置位,保护继续开放,距离保护可以快速动作。

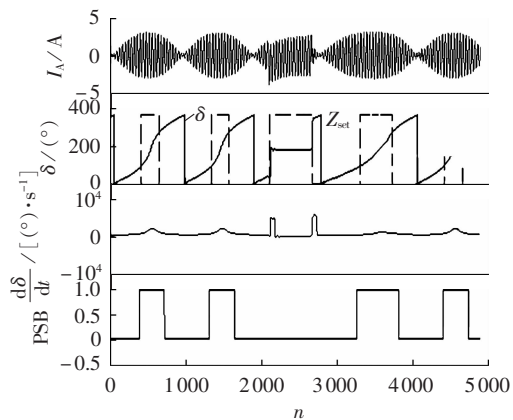


图10 振荡波形及PSB标志
Fig.10 Swing wave and PSB flag

图11为振荡中发生区内两相接地故障时的情况。在横坐标约2100处、 $\delta=145^\circ$ 时在线路出口 K_{12} 点发生了ABG故障。故障后, δ 稳定在 186° 左右,不再随振荡发展而变化。当时PSB已置位,保护被闭锁,此故障需经不对称故障开放元件开放。在横坐标为2500处,故障消失,随振荡进程发展,在横坐标约2700处, δ 离开闭锁区,PSB被清除,保护重新开放。

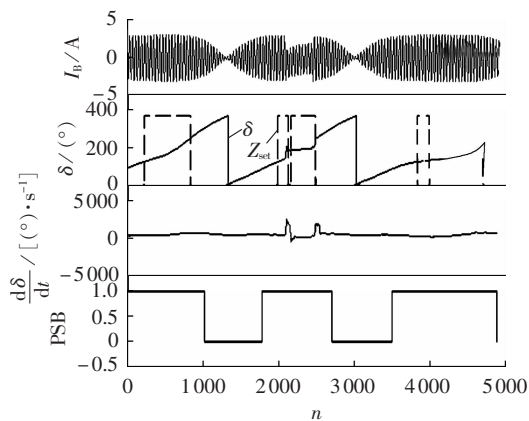


图11 振荡波形及PSB标志
Fig.11 Swing wave and PSB flag

图12为振荡中发生区内单接地故障时的情况。在横坐标约2080处、 $\delta=7^\circ$ 时在线路出口 K_{12} 点发生了AG故障。故障时PSB未置位,而故障时 δ 变化不大,未达到闭锁区,保护继续开放, δ 随振荡发展继续变化,有利于保护快速切除故障。

图13为振荡中发生区外三相短路故障时的情况。在横坐标约2100处、 $\delta=355^\circ$ 时在线路末端 K_{10} 点发生了ABC故障。故障时PSB未置位,故障后 δ 接近零度,未达到闭锁区,保护继续开放,此时距离元件可以正确测量,保护不会误动。在区外故障消失后, δ 快速上升,PSB先于阻抗元件置位,保护不会误动。

图14为振荡中发生区外两相短路故障时的情况。

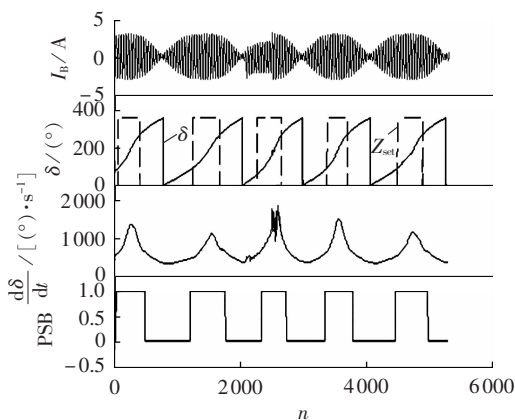


图12 振荡波形及PSB标志
Fig.12 Swing wave and PSB flag

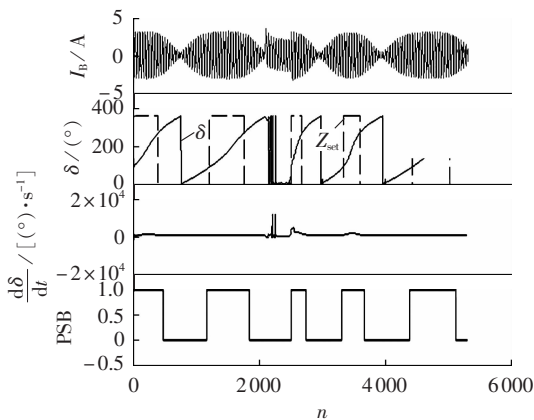


图13 振荡波形及PSB标志
Fig.13 Swing wave and PSB flag

况。在横坐标约2100处、 $\delta=355^\circ$ 时在线路末端 K_{10} 点发生了AB故障。故障时PSB已置位,故障后 δ 有突变,但未离开闭锁区,保护继续闭锁。其后 δ 继续变化,离开闭锁区,PSB复位,此时故障依然存在,但距离元件已经返回,不会导致保护误动,这体现了距离元件与角度 δ 的关系。

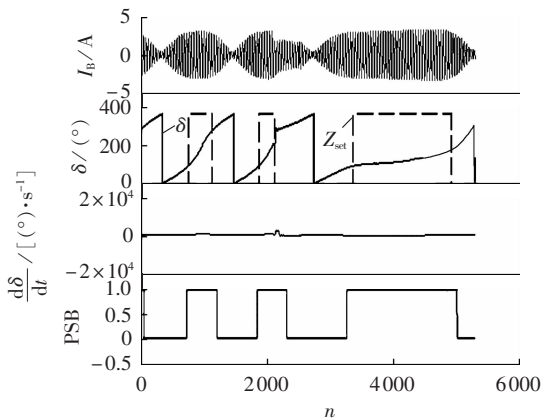


图14 振荡波形及PSB标志
Fig.14 Swing wave and PSB flag

从以上仿真结果可知,对于振荡中发生的区内故障,如果故障时 δ 处于区间 $[\delta_1, \delta_2]$ 外,一般可以开放保护,有利于快速切除故障。如果故障时 δ 处于区间 $[\delta_1, \delta_2]$ 内,则需经过开放元件把关。如果发生区外

故障,新判据可以正常工作,不会导致误动。

5 结论

提出了一种基于保护安装处电压和距离元件整定范围末端电压间夹角的振荡闭锁判据。分析了在系统振荡及故障时该判据的性能,该判据可根据振荡进程实时闭锁和开放距离保护,在振荡中开放距离保护的时间长,和振荡周期自适应,在系统未振荡或振荡但振荡中心不在距离元件保护范围内时,不会闭锁保护,不受区外故障的影响,降低了振荡对距离保护的负面影响,提高了保护的性能。判据较直观,易于实现,易于整定。并使用动模数据对该判据进行了仿真验证。

参考文献:

- [1] 许庆强,索南加乐,陈久林. 基于相间电阻变化特征的故障选相元件[J]. 电力自动化设备,2008,28(3):10-13.
XU Qingqiang,SUONAN Jiale,CHEN Jiulin. Faulty phase selector based on inter-phase resistance change[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(3):10-13.
- [2] 沈国荣. 区分振荡与短路的新原理[J]. 电力系统自动化,1990,14(1):7-12.
SHEN Guorong. A novel principle distinguishing between power swings and faults[J]. Automation of Electric Power Systems,1990,14(1):7-12.
- [3] 司为国,章耀耀,钱国明,等. 振荡中故障选相元件的研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(3):68-70.
SI Weiguo,ZHANG Yaoyao,QIAN Guoming,et al. Faulty phase selector during power swing[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(3):68-70.
- [4] 林湘宁,刘沛,冯兴学. 自适应振荡闭锁判据的理论基础[J]. 电力系统自动化,2004,28(6):45-50.
LIN Xiangning,LIU Pei,FENG Xingxue. Theoretical analysis of the self-adaptive blocking criterion of power swings[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(6):45-50.
- [5] 林湘宁,刘沛. 自适应振荡闭锁判据的实现[J]. 电力系统自动化,2004,28(7):49-53.
LIN Xiangning,LIU Pei. Implementation of the self-adaptive blocking criterion of power swings[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(7):49-53.
- [6] 陈皓. 小波变换原理识别电力系统故障及振荡中短路的研究[J]. 电力自动化设备,2000,20(5):18-20.
CHEN Hao. Study on discrimination between fault and power swing based on wavelet transform[J]. Electric Power Automation Equipment,2000,20(5):18-20.
- [7] 余锐. 鸡石湾变电站保护误动分析及对策研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(5):9-13.
YU Rui. Analysis on protective relaying failures of Jishiwan substation and its countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(5):9-13.
- [8] 索南加乐,刘凯,刘世明,等. 一种新的高压线路振荡选相元件[J]. 西安交通大学学报,2007,41(8):949-953.
SUONAN Jiale,LIU Kai,LIU Shiming,et al. New fault phase selector for high voltage transmission line protective relaying during power swing[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2007,41(8):949-953.
- [9] 叶华,刘玉田. 电力系统低频振荡分析与控制仿真平台[J]. 电力自动化设备,2010,30(9):37-41.
- YE Hua,LIU Yutian. Simulation platform for power system low frequency oscillation analysis and control[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(9):37-41.
- [10] 许庆强,索南加乐,柳焕章,等. 基于相间故障弧光电压特征的高压线路选相元件[J]. 电力系统自动化,2006,30(4):65-70,104.
XU Qingqiang,SUONAN Jiale,LIU Huanzhang,et al. Fault phase selector for HV transmission line protective relaying based on the characteristic of the arc voltage between two faulted phases[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(4):65-70,104.
- [11] 侯慧,尹项根,游大海. 振荡闭锁期间再故障的距离保护判别方法[J]. 继电器,2006,34(8):7-12.
HOU Hui,YIN Xianggen,YOU Dahai. Measures of detecting fault during power swing in microcomputer distance protection[J]. Relay,2006,34(8):7-12.
- [12] 石磊,谈顺涛,王光. 电力系统低频振荡频率的快速估计算法[J]. 电力自动化设备,2002,22(12):27-29.
SHI Lei,TAN Shuntao,WANG Guang. Fast frequency estimation of power system low-frequency oscillation[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(12):27-29.
- [13] 刘凯,李小滨,索南加乐,等. 一种新的高压线路保护稳定破坏检测元件[J]. 电力系统自动化,2009,33(19):56-60.
LIU Kai,LI Xiaobin,SUONAN Jiale,et al. A novel power system instability detecting element for high voltage line protection relay[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(19):56-60.
- [14] 刘凯,李小滨,索南加乐,等. 基于故障分量正序电抗的方向元件[J]. 电力系统自动化,2009,33(12):67-70.
LIU Kai,LI Xiaobin,SUONAN Jiale,et al. Directional element based on fault component positive sequence reactance[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(12):67-70.
- [15] 刘凯,索南加乐. 基于线路两端电压间夹角的三相故障开放判据[J]. 电力系统自动化,2010,34(7):66-69.
LIU Kai,SUONAN Jiale. A novel power system swing unblock criterion of three-phase faults for high voltage line protection relay based on the voltage phase angle of two terminals of the line[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(7):66-69.
- [16] 赵青春,张道农,罗克宇,等. 一起线路保护改造中纵联保护与载波机接口配合问题的分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(10):135-138.
ZHAO Qingchun,ZHANG Daonong,LUO Keyu,et al. Coordination between pilot protection and PLC interface in line protection reform[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(10):135-138.
- [17] 徐斌,刘子英. 基于 IEC61850 的配电线路保护 IED 设计[J]. 电力自动化设备,2007,27(9):103-106.
XU Bin,LIU Ziyang. Design of IED based on IEC61850 standard for distribution system line protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(9):103-106.

(编辑:李玲)

作者简介:

刘凯(1972-),男,山东宁阳人,博士研究生,高级工程师,主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail:liukai587@stu.xjtu.edu.cn);

索南加乐(1960-),男,藏族,新疆乌鲁木齐人,教授,博士研究生导师,博士,从事电力系统继电保护的科学与科研工作。

(下转第16页 continued on page 16)

Swing blocking element of HV line protection

LIU Kai^{1,2},SUONAN Jiale¹

(1. Electrical Engineering Department,Xi'an Jiaotong University,Xi'an 710049,China;

2. Dongfang Electric Information Industry Co.,Ltd.,Yantai 264001,China)

Abstract: As the present swing blocking method degrades the performance of distance element,a power system swing blocking element is proposed for high voltage line protection. The voltage at the end of the distance element scope can be calculated with the voltage and current acquired and the impedance setting of distance element. The angle between the acquired voltage and the calculated voltage changes periodically during power system swing,which may cause the misoperation of distance element. A swing blocking element is presented,which disables the distance element when the angle is larger. The performance of swing blocking element during system fault is analyzed,which indicates that,it is not influenced by the external faults and works properly during the internal faults. Adaptive to the swing period,it is not functioning when power system is steady or the swing center is not within the protection zone. Dynamic system model data simulation result shows its validity.

Key words: HV line; distance protection; swing blocking; self-adaptive