

工频磁场干扰识别及母线保护防误技术

陈琦^{1,2}, 刘志仁³, 殷建荣⁴, 王永旭^{1,2}, 唐治国^{1,2}, 薛明军^{1,2}, 周兆庆^{1,2}, 陈宏岩^{1,2}, 吴路明^{1,2}

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153;
3. 国网江苏省电力有限公司无锡供电分公司, 江苏 无锡 214026; 4. 江苏省宜兴中等专业学校, 江苏 宜兴 214206)

摘要:分析工频磁场干扰对母线差动保护的影响,将各条支路上工频磁场干扰电流幅值和相位相似的特征与母线保护装置备用支路多的特点进行结合,通过母线保护装置的备用间隔的电流采样值特征识别工频磁场干扰并得到干扰值。计算补偿干扰电流后的差动电流,并在母线差动保护判据中增加补偿后差动电流相关的判据,有效防止发生工频磁场干扰时母线差动保护误动,提高了保护可靠性。仿真结果表明,所提算法能够准确有效地补偿工频磁场干扰,防止工频磁场干扰下母线差动保护误动,且不会影响区内故障下母线差动保护的性。

关键词:母线差动保护;电磁干扰;工频磁场;继电保护

中图分类号:TM 772

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202102038

0 引言

母线作为电力系统的重要组成元件之一,担负着电能的汇集和分配等重要任务,母线保护作为主保护之一,动作的正确性密切影响着电力系统的正常运行^[1]。但变电站、发电厂中存在着复杂的电磁干扰,雷击、开关操作、系统故障和一次设备的正常运行造成了复杂恶劣的电磁环境,随着保护装置下放一次开关场,尤其是就地化保护的推广,母线保护装置与一次设备的距离越来越近,装置受到的电磁干扰越来越大^[2-4],这些电磁干扰可能造成装置元器件的损坏,影响装置的正常运行,还会干扰采样回路影响装置采集一次模拟量的正确性,造成保护误动或拒动。为了减少电磁干扰对保护装置的影响,在装置的设计制造、现场二次回路的设计中都会考虑防护措施^[5-6],一些保护算法也对因电磁干扰造成的采样干扰进行识别,对于因雷击、开关操作等产生的干扰造成采样值的异常大点,其特征明显,存在高次谐波和明显的电压、电流畸变,从而可利用各种识别和补偿算法防止保护误动^[7-12]。一次设备的工频电流产生的工频电磁场干扰^[13]可以通过保护装置封闭的金属外壳防护,并在保护装置的采样回路中感应出干扰电流,其幅值较小,且与正常的采样值频率相同,难以被保护装置识别。

目前变电站现场的工频磁场一般通过实测研究。文献[14]通过理论计算得到稳态运行状态下,500 kV 开关厂区域与距地面1.5 m的平面上,工频磁

场分布在0.1~1.6 μT 范围内,变压器区域工频磁场分布在1~6 μT 范围内,电抗器组区域工频磁场分布在0.1~4.5 mT范围内。工频磁场干扰的强度与一次电流大小成正比,系统发生故障时一次电流增大为原来的几十倍,尤其是发生不对称故障时,三相电流产生的磁场不能通过相位差相互抵消,产生的磁场干扰将远大于稳态时的干扰,因此为了检验工频磁场干扰下保护的動作行为,目前保护装置的电磁兼容(EMC)测试标准一般要求母线保护装置可以长期承受强度为100 A/m的干扰以模拟稳态运行,以及短期(3 s)承受1000 A/m的工频磁场干扰以模拟一次系统故障后的短暂干扰^[15],母线保护装置需采集母线上所有间隔的模拟量,装置硬件资源按照可接入超过20个支路配置,工频磁场干扰在每个电流互感器上产生的微小感应电流将产生叠加,并且母线保护时间窗短、动作快,对工频磁场干扰敏感。目前尚无公开的保护软件算法识别和补偿工频磁场干扰,虽然通过硬件的方法可加强装置和互感器的抗干扰能力,减少工频磁场干扰产生的电流幅值,但是继电保护装置的机箱一般为铝镁合金材质,箱壁厚度在3 mm左右,箱体上不可避免地带有缝隙,其对低频磁场的屏蔽作用可以忽略。另外,因母线支路数较多,感应电流叠加后仍可能引起母线保护误动。例如实测1000 A/m的工频磁场干扰下,某型主流母线保护装置的单个电流互感器干扰电流为0.02 I_n ~0.05 I_n (I_n 为电流互感器额定值,一般为1 A或5 A),所有支路叠加产生的差动电流达到0.4 I_n ~ I_n ,已经超过了现场母线保护整定的差动定值,因此研究识别工频磁场干扰的软件算法非常有必要。

本文针对工频磁场干扰对母线差动保护的影响进行了分析,将各个支路上工频磁场干扰电流幅值和相位相似的特征与母线保护装置备用支路多的特

收稿日期:2020-04-22;修回日期:2020-12-31

基金项目:中国电机工程学会青年人才托举工程项目(CSEE-YESS-2017)

Project supported by the Young Elite Scientists Sponsorship Program by CSEE(CSEE-YESS-2017)

点相结合,通过判断保护装置的备用间隔的电流采样值特征识别工频磁场干扰并得到干扰值;基于干扰值得到补偿干扰电流后的差动电流,并在差动保护判据中增加补偿差动电流超过定值的判据,有效防止工频磁场干扰下保护误动,提高了保护可靠性。仿真结果表明,该判据能够准确有效地补偿工频磁场干扰,防止工频磁场干扰下保护误动,且不会对区内故障下差动保护的性能产生影响。

1 工频磁场干扰对母线保护的影响

1.1 工频磁场对母线保护采样的影响

母线保护装置接入各个支路的电流互感器采集支路电流,其采样架构如图1所示,各个支路的电流互感器输出的二次电流 i_1 流入保护装置AC插件的小电流互感器一次侧。AC插件的小电流互感器的原理与普通变压器类似,其原边与副边绕组缠绕在同一个导磁铁柱上形成电磁耦合,一次电流在一次绕组 L_1 上产生磁场,耦合到二次绕组 L_2 感应出二次电动势 E_2 和电流 i_2 ,取二次侧电阻 R 上的电压经过低通滤波后经AD采样转换为数字量,然后发送给CPU进行保护逻辑计算。

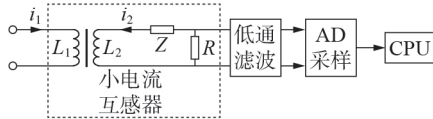


图1 母线保护装置采样架构示意图

Fig.1 Sampling structure diagram of bus protection

以 $I_n = 1\text{ A}$ 的某型号小电流互感器为例进行分析,其参数为:变比为 $1\text{ A} / 0.0875\text{ V}$ (有效值);原边匝数 $N_1 = 2$,副边匝数 $N_2 = 4000$; $R = 175\ \Omega$;铁芯采用EI32硅钢不饱和时的相对磁导率25000,中心铁柱有效截面积 $A = 1.65 \times 10^{-4}\text{ m}^2$;副边绕组的阻抗 Z 实测约为 $17\text{ k}\Omega$ 。

国家标准GB/T 17626.8—2016《电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》规定对受试设备(EUT)采用浸入法进行测试,由于空气磁路的磁阻远大于EUT金属材料的磁阻,在测试要求的 1000 A/m 的工频磁场干扰下,可以近似认为EUT内部磁感应强度 B 如式(1)所示。

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

其中, μ_0 为真空磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ T}\cdot\text{m/A}$; H 为磁场强度。

副边的感应电动势 e 如式(2)所示。

$$e = N_2 A \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

将 $N_2 = 4000$ 、 $A = 1.65 \times 10^{-4}\text{ m}^2$ 代入式(2)可得到 $e = 0.26\sqrt{2} \cos(2\pi ft)$ (单位为V)。其中, f 为工频频率, $f = 50\text{ Hz}$; t 为时间,单位为s。

感应电动势 e 在电阻 R 上产生的分压 u 如式(3)所示,由式(3)可见,通过增大副边绕组阻抗 Z 可以减小工频磁场对保护装置的干扰,但会降低小电流互感器的暂态精度。

$$u = e \frac{R}{R + Z} \quad (3)$$

计算可得分压 u 的有效值为 0.0026 V ,因为小电流互感器变比为 $1\text{ A} / 0.0875\text{ V}$,所以 u 对应的电流有效值约为 $0.0303\text{ A} \approx 0.03\text{ I}_n$,在引言中提到的实测值范围内。

在变电站现场,一次工频电流产生工频磁场,根据安培环路定理,一个闭合路径的磁场强度与路径所包围的电流成正比,一次电流越大,则产生的工频磁场强度也就越大,尤其当发生一次故障时,电流变为原有负荷电流的几十甚至上百倍,此时工频磁场的强度也相应增大。一次电流感应的工频磁场磁力线会从保护装置中穿过,当穿过图1中 L_2 所在回路时,将在回路中感应出工频电动势,并产生相应的干扰电流,由于电磁场的线性特点,在小电流互感器铁芯不饱和的情况下,两者会与原有一次电流 i_1 感应出的电动势和电流线性叠加,即感应出的干扰电流大小不受原有电流 i_1 的影响。

相对整座变电站的电磁空间而言,保护装置可以看作一个点,且装置内电流互感器之间的位置很近、特性近乎相同,小电流互感器的布局和内部走线整齐平行,使保护装置中各个采样回路受到的工频磁场的幅值和相位一致,则产生的干扰电流的幅值和相位也一致。

1.2 工频磁场对母线差动保护算法的影响

母线保护以差动保护为主保护,对动作时间要求很高,发生区内金属性故障时要求动作时间小于 20 ms ,因此一般采用采样点数据进行计算以缩短算法时间窗。保护采集各条母线上所连支路的电流,计算差动电流和制动电流,当差动电流大于保护整定值且制动系数满足条件时,认为母线发生区内故障,差动保护动作^[16-17]。

大差差动电流 i_d 、制动电流 i_r 分别如式(4)和式(5)所示。

$$i_d = \left| \sum_{j=1}^N i_j \right| \quad (4)$$

$$i_r = \sum_{j=1}^N |i_j| \quad (5)$$

其中, N 为母线总支路数; j 为支路序号; i_j 为支路 j 的采样值。

差动保护的動作条件如式(6)所示。

$$\begin{cases} i_d \geq i_{\text{set}} \\ i_d \geq k i_r \end{cases} \quad (6)$$

其中, i_{set} 为差动保护整定值,其根据现场实际情况

整定; k 为制动系数,为保护厂家固定值,一般取为0.3~0.6。

对于母线差动保护而言,制动电流和差动电流中将增加相同的干扰电流,设总的干扰电流为 i_{ds} ,则母线保护受到干扰后的差动电流 i'_d 和制动电流 i'_r 如式(7)所示。

$$\begin{cases} i'_d = \left| \sum_{j=1}^N i_j + i_{ds} \right| \\ i'_r = \sum_{j=1}^N |i_j| + i_{ds} = i_r + i_{ds} \end{cases} \quad (7)$$

母线在正常运行时,一次电流平衡,在没有干扰的情况下,二次采样计算得到的差动电流主要是小电流互感器的采样误差, $\sum_{j=1}^N i_j$ 接近于0,则受到工频磁场干扰后的差流 $i'_d \approx i_{ds}$ 。将式(7)代入式(6),并利用受到干扰后的差动电流 i'_d 和制动电流 i'_r 分别代替原始的差动电流 i_d 和制动电流 i_r ,则可推导出干扰动作条件如式(8)所示。干扰电流大于差动定值,并且与原有的制动电流满足比例制动条件时,工频磁场干扰电流会使保护差动电流条件满足,且原有制动电流 i_r 越小越容易误动。

$$\begin{cases} i_{ds} \geq i_{set} \\ i_{ds} \geq \frac{k}{1-k} i_r \end{cases} \quad (8)$$

2 工频磁场干扰的识别与补偿

正常运行时,由负荷电流产生的工频磁场干扰引起的电流长期存在,不易辨识,但由于干扰较小,对保护无影响,可以忽略。但是一次故障等情况可以造成工频电流突增,出现的突发短时大强度的工频磁场干扰在保护装置上产生的干扰电流大,工频磁场干扰造成差动电流条件满足,此时保护可能误动,本文算法用于处理突发、有一定强度的工频磁场干扰。

工频磁场产生的干扰电流与正常的工频采样电流频率相同,二者叠加在一起不易区分。从有负荷支路的采样电流中难以分辨出工频磁场干扰电流,但母线保护装置硬件配置支路很多,大多数情况下有冗余的备用支路,备用支路上无负荷电流影响,可以利用备用支路的电流变化情况进行工频磁场识别。

母线保护装置备用支路包含以下2种情况。

(1)配置在母线保护装置上,但因一次侧无相关支路,实际无模拟量、开关量接入的支路,例如1个母线保护装置最多可接入24个间隔,但是实际被保护的母线只有10个间隔,则将剩余14个间隔作为备用支路。这种情况下,备用支路断路器为分开状态。

(2)保护装置虽然接入并采集某条支路模拟量

和开关量数据,但该支路一次侧处于无流状态,无负荷电流或故障电流,这样的支路也可认为是备用支路,可用于计算平均干扰电流。这种情况下,备用支路断路器为闭合状态,其模拟量、开关量均接入母线保护。

因断路器、隔离刀闸位置不可靠,故母线保护不通过开关位置识别备用支路,通常采用电流判据来识别备用支路。在极少数的情况下,母线保护所有支路均接入且支路均有流,此时无备用间隔,但制动电流相应也会较大,按照式(8),工频磁场干扰造成保护误动的可能性与制动电流成反比,结合式(7)中制动电流的计算方法,若要满足式(8)所示的条件,平均到每条支路,工频磁场干扰电流与支路原始电流要之比大于 $k/(1-k)$, k 一般取0.3~0.6,则计算得到工频磁场干扰电流与支路原始电流之比需达到0.43~1.5,保护才有误动的可能。发生故障时各条支路电流都变得很大,远超 $0.02 I_n \sim 0.05 I_n$ 的工频磁场干扰电流,此时工频磁场干扰造成保护误动的概率极小。因此本文算法适用于现场母线保护存在部分备用间隔情况下的工频磁场干扰识别,具体说明如下。

首先识别备用支路,备用支路的采样值属于随机的干扰,其傅氏值一般极小,若一段连续时间内,某支路该采样值的傅氏有效值小于某个门槛值(如 $0.01 I_n$),则认为该支路处于备用状态。若备用支路的电流值同时满足三相电流突增和三相电流一致,则可能是受到突发的工频磁场干扰。

三相电流突增条件各相电流判据如式(9)所示,即三相电流相对于前一周均发生突增,则识别突发的短时强工频磁场干扰电流。

$$|i_s| - |i_{s-M}| > i_{step} \quad (9)$$

其中, s 为采样点; i_s 为一相采样点电流; i_{s-M} 为前一周均采样点电流; M 为一周期采样点数; i_{step} 为突变门槛,与小电流互感器特性有关,一般取为 $0.01 I_n \sim 0.03 I_n$ 。

工频磁场干扰导致三相电流的相位和幅值均高度一致,而正常的负荷电流及三相对称故障电流的三相幅值相近但相位依次相差 120° ,不对称故障电流的三相幅值和相位均差异明显,则三相电流判据如式(10)所示。

$$\begin{cases} |i_A - i_B| < i_{th} \\ |i_A - i_C| < i_{th} \\ |i_B - i_C| < i_{th} \end{cases} \quad (10)$$

其中, i_A 、 i_B 、 i_C 分别为A、B、C相采样电流; i_{th} 为一致性误差门槛,其值与小电流互感器的特性有关,可取为 $0.01 I_n \sim 0.03 I_n$ 。

工频磁场干扰有一定限度,若采样电流太大则

可能是其他异常原因或者系统短路,为了防止工频磁场干扰误判,提高判据可靠性,增加三相电流上限判据如式(11)所示。

$$|i_s| < i_{\max} \quad (11)$$

其中, $i_{\max}$ 为上限门槛,与小电流互感器特性有关,可取为 $0.03 I_n \sim 0.1 I_n$ 。

因此,若备用支路的电流同时满足式(9)~(11),则认为该支路受到工频磁场干扰。同时为了防止单条支路采样异常造成干扰,可增加识别到工频磁场干扰支路数量的门槛,例如2条及以上支路同时满足上述条件后才认为装置受到干扰。

各个备用间隔上同时识别到工频磁场干扰,为了排除因互感器固有精度等误差,可采用所有被干扰备用支路的干扰电流平均值 i_{avg} 作为工频磁场在本保护各支路的干扰电流, i_{avg} 如式(12)所示。

$$i_{\text{avg}} = \frac{1}{3D} \sum_{d=1}^D (i_d^A + i_d^B + i_d^C) \quad (12)$$

其中, D 为被干扰备用支路总数; i_d^A, i_d^B, i_d^C 为第 d 条被干扰备用支路的三相电流采样点值。

得到平均干扰值后,应在由式(4)计算得到的原始差动电流 i_d 中补偿工频磁场干扰,即应对每条参与计算的支路均减去 i_{avg} ,得到一个去除工频磁场干扰后的差动电流 i_d^{com} ,如式(13)所示。

$$i_d^{\text{com}} = \left| \sum_{j=1}^N i_j - N i_{\text{avg}} \right| \quad (13)$$

得到了去除干扰后的差动电流后,在式(6)所示的判据基础上增加一个补偿后的差动电流 $i_d^{\text{com}} \geq i_{\text{set}}$ 的判据,新的差动判据如式(14)所示。该判据相比式(6)所示的判据更加严格,能够消除工频磁场干扰的影响,不会增加保护误动的风险。

$$\begin{cases} i_d \geq i_{\text{set}} \\ i_d^{\text{com}} \geq i_{\text{set}} \\ i_d \geq k i_r \end{cases} \quad (14)$$

3 仿真验证

为验证本文所述工频磁场干扰识别和补偿算法的实用效果,在母线保护装置上增加实现本文算法,并通过EMC测试、RTDS测试验证算法的有效性。

首先验证保护装置在工频磁场干扰下的动作行为。在母线保护装置上施加 1000 A/m 的工频磁场干扰;为了验证本文算法的抗干扰能力,设置更恶劣的条件,令 $i_{\text{set}} = 0.1 \text{ A}$,并额外输入 0.06 A 的差动电流。以支路1为例,测试波形如附录中图A1所示。由图可见,单条支路的三相均有 0.025 A 左右的干扰电流,通过原始采样数据计算的原始差动电流有明显的增加,达到了 $0.28 \text{ A} > i_{\text{set}}$,根据式(6)所示的判据,母线差动保护将误动。而本文算法得到的补偿

后的差动电流为 0.06 A ,不满足式(14)所示判据中 $i_d^{\text{com}} \geq i_{\text{set}}$ 的条件,差动保护未发生误动。图A1中补偿后差动电流的尖波是由于此处恰好位于工频磁场干扰的识别算法时间窗内,此时补偿电流与原始电流相同,其后进行了补偿计算,补偿后的差动电流便减小到无干扰的电流值,排除了干扰,母线差动保护没有误动,证明本文算法有效可行。

式(14)所示的判据相比式(6)更加严格,不会增加保护误动的风险,但需要分析母线差动保护拒动的可能:发生区内故障时如果误判为工频磁场干扰并进行了补偿,则可能不满足式(14)而造成母线差动保护拒动。若区内故障为不对称故障,则三相电流幅值差别较大;若区内故障为对称故障,则三相电流相位差别较大,2种情况都不满足式(10)所示的三相电流一致性条件。且区内故障电流一般很大,难以满足式(11)所示的电流上限条件。因此本文算法不会将故障电流误判为工频磁场干扰电流而造成母线差动保护拒动。如果因区内故障电流产生工频磁场干扰,即区内故障与工频磁场干扰同时发生,保护通过备用间隔判断出工频磁场干扰,备用间隔无故障电流,其电流完全由工频磁场干扰产生,备用间隔的电流补偿会滤除干扰电流,但不会滤除真实的采样电流,区内故障下的真实差动电流得以保留,可以满足式(14)所示的判据使母线差动保护动作。

为验证本文算法不会增加母线差动保护拒动的风险,通过RTDS模拟了各种区内故障,验证母线区内故障下保护动作的可靠性,结果表明,母线差动保护在各种区内故障下均能正确动作,证明了本文算法的可靠性。下面以几种典型故障为例说明。

(1)区内金属性故障。对区内A相接地故障、BC相间故障和三相故障进行仿真,得到的支路x的三相故障电流和故障相差动电流分别如图2、附录中图A2、A3所示。图中, $i_{x,A}, i_{x,B}, i_{x,C}$ 为支路x的三相故障电流; $i_{d,A}, i_{d,B}, i_{d,C}$ 为三相差动电流。由图可见,由于各支路故障相与非故障相电流的幅值和相位区别明显,不符合工频磁场干扰特点,本文判据不会误判,母线差动保护正确动作。

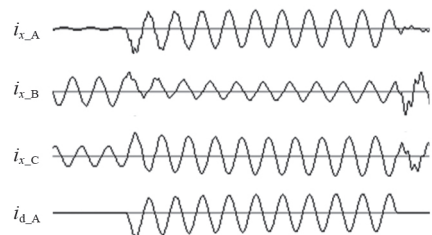


图2 区内A相接地故障仿真结果

Fig.2 Simulative results of internal phase-A grounding fault

(2)区内高阻接地故障。对区内A相高阻接地故障进行仿真,结果如图3所示。由图可见,各支路故障相与非故障相电流的幅值和相位区别明显,不符合工频磁场干扰特点,本文判据不会误判,母线差动保护正确动作。

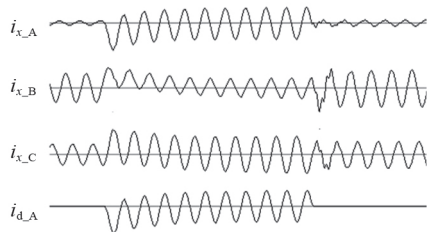


图3 区内A相高阻接地故障仿真结果
Fig.3 Simulative results of internal phase-A grounding fault with high resistance

(3)区内故障伴随电流互感器饱和。对模拟区内三相故障伴随多个支路电流互感器饱和的情况进行仿真,结果如图4所示。由图可见,各支路电流复杂且无一致性,不满足工频磁场干扰的特点,母线差动保护正确动作。

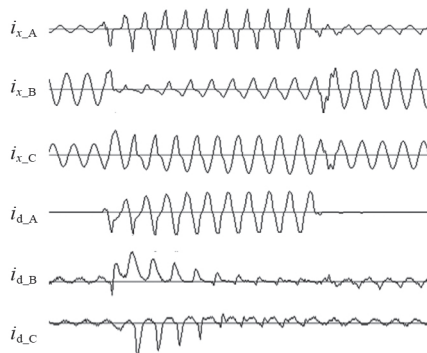


图4 区内三相故障伴随电流互感器饱和的仿真结果
Fig.4 Simulative results of internal three phase fault with CT saturation

4 结语

本文首先分析了工频磁场干扰对母线差动保护的影响,为了减少工频磁场造成母线差动保护误动的可能性,本文根据工频磁场干扰电流的特点以及母线保护装置的特点,提出通过母线保护备用支路的电流特征识别工频磁场干扰,计算平均干扰电流值,然后计算补偿干扰后的差动电流,并补充补偿差动电流相关的判据。工频磁场测试和RTDS仿真结果表明,增加本文算法及判据后的母线保护装置,可以有效识别工频磁场干扰,防止母线差动保护误动,而在母线发生各种区内故障时,母线差动保护可以正确动作。本文算法可以提高母线保护装置在工频磁场干扰时的可靠性,具有一定的工程应用价值。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2010:242-251.
- [2] D'AMORE M, SARTO M S, SCARLATTI A. Modeling of magnetic-field coupling with cable bundle harnesses[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2003, 45(3): 520-530.
- [3] 罗汉武,乐健,毛涛,等. ± 800 kV 特高压直流换流站二次设备回路传导电磁干扰特性[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(1): 173-178.
LUO Hanwu, LE Jian, MAO Tao, et al. Conducted electromagnetic interference of secondary equipment circuit in ± 800 kV UHVDC converter station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(1): 173-178.
- [4] 陈福锋,赵谦,俞春林,等. 变电站继电保护就地化整体解决方案研究[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(10): 204-210.
CHEN Fufeng, ZHAO Qian, YU Chunlin, et al. Research on integrated solution of on-site substation relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10): 204-210.
- [5] 朱玛. 微机继电保护抗干扰研究[D]. 北京:华北电力大学, 2001.
ZHU Ma. The EMC research on microcomputer-based protective relays[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.
- [6] 程利军. 微机继电保护装置电磁兼容研究[D]. 北京:华北电力大学, 2001.
CHENG Lijun. Research on electromagnetic compatibility for the microprocessor based protective relay[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.
- [7] 陈琦,陈福锋,王永旭,等. 就地化继电保护误采样甄别及修正方法[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(4): 159-163.
CHEN Qi, CHEN Fufeng, WANG Yongxu, et al. Abnormal sampling distinguishing and correction for on-site protective relay[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(4): 159-163.
- [8] 唐治国,周小波,陈琦,等. 基于虚拟差流技术的母线异常大数检测方法[J]. 华电技术, 2017, 39(4): 1-3, 7.
- [9] 李春,林锦国,叶曙光,等. 基于小波的继电保护装置电磁干扰软件防护快速算法研究[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(11): 66-69.
LI Chun, LIN Jinguo, YE Shuguang, et al. Fast software anti-interference algorithm of digital relay based on wavelet[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(11): 66-69.
- [10] 黄涛,王胜利,谢华,等. 光伏逆变器短路电流3次谐波及其对保护的影响分析[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(5): 99-105.
HUANG Tao, WANG Shengli, XIE Hua, et al. Analysis of third harmonic current of photovoltaic inverter and its influence on protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(5): 99-105.
- [11] 郑涛,胡鑫. 特高压换流变故障性涌流产生机理及其对差动保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(5): 109-115.
ZHENG Tao, HU Xin. Fault inrush current mechanism of UHV converter transformer and its impacts on differential protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(5): 109-115.
- [12] 孙国强,卫志农,周封伟. 改进迭代自组织数据分析法的不良数据辨识[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(11): 162-166.
SUN Guoqiang, WEI Zhinong, ZHOU Fengwei. The application of ISODATA to bad data detection and identification based on genetic algorithms[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(11): 162-166.

- [13] 戴聪,韩智,傅士冀. 电力系统电磁现象及其典型的来源[J]. 湖北电力,2004,28(3):54-55.
DAI Cong,HAN Zhi,FU Shiji. Electric magnetic phenomenon in electric power network and its typical origination[J]. Hubei Electric Power,2004,28(3):54-55.
- [14] 李永明,何胜鱼,王旭旭,等. 变电站大型电力设备工频磁场计算及分析[J]. 南方电网技术,2019,13(11):83-88.
LI Yongming,HE Shengyu,WANG Xuxu,et al. Calculation and analysis of power frequency magnetic field of large power equipment in substation[J]. Southern Power System Technology,2019,13(11):83-88.
- [15] 中国国家标准化管理委员会. 继电保护和安全自动装置基本试验方法:GB/T 7261—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [16] 唐治国,陈琦,周小波,等. 母线保护电流互感器断线判据的分析及改进判据[J]. 电力自动化设备,2018,38(4):210-217.
TANG Zhiguo,CHEN Qi,ZHOU Xiaobo,et al. Analysis of CT failure criterion in bus protection and its improved criterion[J]. Electric Power Automation Equipment,2018,38(4):210-217.
- [17] 王风光,杜兴伟,吕航,等. 母线采样值差动保护数据窗选取方

法研究[J]. 电力工程技术,2018(3):112-117.

WANG Fengguang,DU Xingwei,LÜ Hang,et al. Research of data window selection for busbar current sampled value differential protection[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2018(3):112-117.

作者简介:



陈琦

陈琦(1985—),男,江苏盐城人,高级工程师,硕士,主要从事继电保护及智能变电站等方面的研究与开发工作(E-mail: carl-qi.chen@sac-china.com);

刘志仁(1984—),男,江苏无锡人,高级工程师,硕士,研究方向为电力系统二次技术;

殷建荣(1979—),男,江苏宜兴人,工程师,硕士,主要从事电气工程及其自动化方面的教学和研究工作;

王永旭(1991—),男,山东日照人,工程师,硕士,主要从事继电保护及智能变电站等方面的研究与开发工作。

(编辑 任思思)

Identification of frequency magnetic field interference and technology to prevent misoperation of bus differential protection

CHEN Qi^{1,2}, LIU Zhiren³, YIN Jianrong⁴, WANG Yongxu^{1,2}, TANG Zhiguo^{1,2}, XUE Mingjun^{1,2}, ZHOU Zhaoqing^{1,2}, CHEN Hongyan^{1,2}, WU Luming^{1,2}

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China;

2. Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China;

3. Wuxi Power Supply Company of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Wuxi 214026, China;

4. Yixing Secondary Vocational School of Jiangsu Province, Yixing 214206, China)

Abstract: The influence of power frequency magnetic field interference on bus differential protection is analyzed, and according to the characteristic that amplitude and phase of power frequency magnetic field interference current in each branch are similar and the characteristic that the standby branches in bus protection device are multiple are combined, the power frequency magnetic field interference is identified and the interference value is obtained by judging the current characteristics of the standby interval of the bus protection device, then the differential current after compensating interference current is calculated, and the criterion of compensating differential current is added to the criterion of bus differential protection, which can effectively prevent the misoperation in the power frequency magnetic field interferes and improve the protection reliability. The simulative results show that the proposed algorithm can accurately and effectively compensate the interference of frequency magnetic field, avoid the misoperation of bus differential protection in power frequency magnetic field interference and has no influence on bus differential protection performance during short circuit faults.

Key words: bus differential protection; electromagnetic interference; frequency magnetic field; relay protection

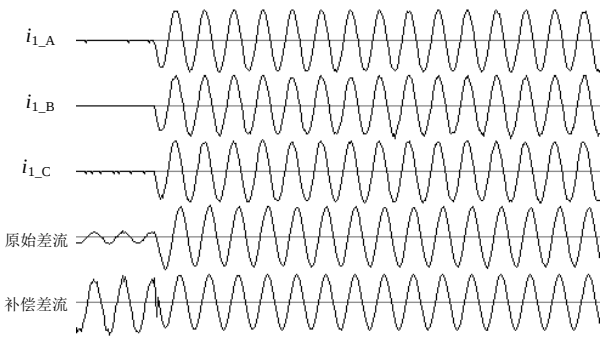


图 A1 工频磁场测试电流
Fig.A1 Currents of frequency magnetic field test

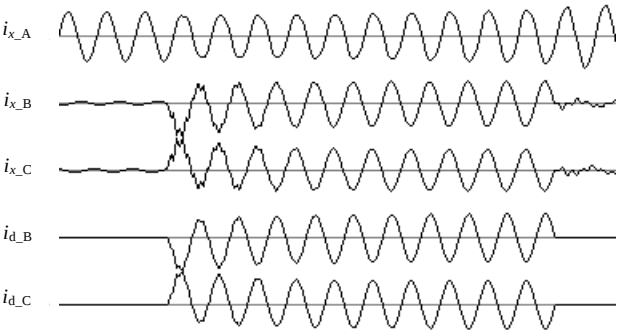


图 A2 区内 BC 相间故障仿真波形
Fig.A2 Simulative results of internal phase B-phase C fault

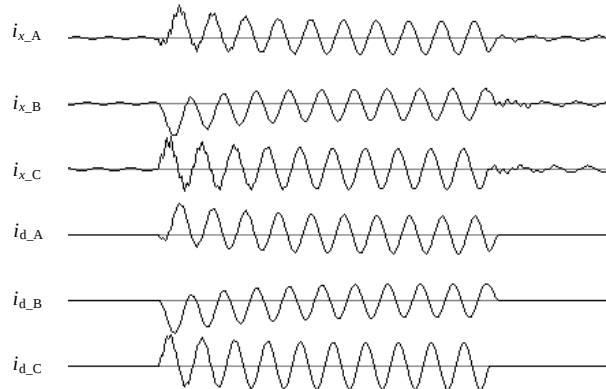


图 A3 区内三相故障仿真波形
Fig.A3 Simulative results of internal three phase fault