

非接触式TA二次回路多点接地检测方法

张佳敏,袁宇波,卜强生,宋 爽

(国网江苏省电力公司电力科学研究院,江苏 南京 211100)

摘要: 针对电流互感器(TA)二次回路多点接地导致继电保护装置误动的情况,提出了一种非接触式电流回路多点接地检测方法。该方法在TA二次回路中施加变化的磁场,如果TA二次回路多点接地,则施加的磁场会在接地点与中性线形成的回路中感应出电流,电流越大,越能说明多点接地的存在。为了防止检测时感应电流过大导致继电保护误动,提出了频率辅助判据。实验结果验证了所提方法的正确性。

关键词: 继电保护; 电流互感器; 二次回路; 接地; 故障检测; 磁场; 感应电流

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.10.021

0 引言

近年来相继出现了继电保护装置在区外故障时误动作的报道^[1-6],这几起事故都是由于电流互感器(TA)二次回路出现了两点接地,保护装置电流采样不正确引起的。出于对人身和设备安全的考虑,多项规程和反措都要求TA二次回路的1个电气连接必须有1个可靠的接地点^[7];出于对保护和自动装置正确采样的考虑,要求TA二次回路仅有1个接地点。但是由于变电站二次回路复杂、设计错误、接线不正确、回路电缆绝缘降低等各种原因,变电站TA二次回路多点接地现象时有发生。专家学者对这个问题展开研究,对TA二次回路两点接地的危害和应对措施进行了有意义的阐述^[8-14]。实际工作中主要通过拆除原有接地点,测量回路对地电阻的方法来检测二次回路是否存在多点接地,目前也有通过信号注入法实现交流二次回路多点接地在线监测的方法^[15]。对于停运、处于不带电状态的TA,上述方法是十分有效、便捷的,但是对于已经运行的TA,采用上述方法可能会影响到设备的稳定运行。

本文对TA二次回路多点接地对保护装置可能产生的影响进行了分析,经过进一步研究发现,二次回路多点接地可等效为中性线经其他接地点形成了一个闭合回路,结合法拉第电磁感应定律,闭合回路在变化的电磁场下会产生一定感应电流,而一点接地的回路则不会产生电流。基于理论分析结果提出了一种非接触式的基于电磁耦合的TA二次回路多点接地检测方法,并通过理论分析和实验结果验证了该方法的有效性。

1 TA二次回路多点接地对保护装置的影响

TA二次回路多点接地包括中性线多点接地和保护装置两侧多点接地2种情况。

图1为TA二次回路多点接地示意图。图中, R_1 、

R_2 、 R_3 分别为保护装置A、B、C相采样回路等值电阻; R_A 、 R_B 、 R_{Ci} 、 R_{Ni} ($i=1,2$)分别为A、B、C相电缆回路和中性线的电缆电阻。正常情况下,TA二次回路接地点有且仅有1个,位于TA根部或在保护室内,图1所示为接地点位于保护屏内的接线方式。①、②分别模拟了电流回路中性线多点接地和保护两侧多点接地2种接地情况。由于两点接地和多点接地对保护影响差别不大,为便于理解分析,本文研究均针对TA二次回路两点接地情况。

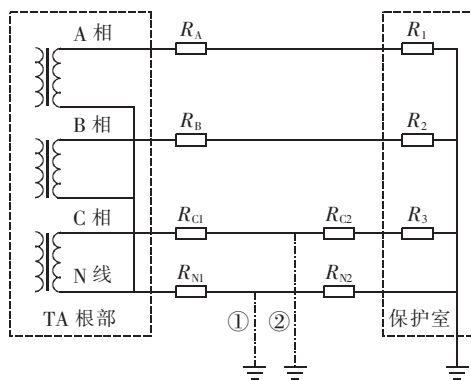


图1 TA二次回路多点接地示意图

Fig.1 Schematic diagram of multi-point grounding in CT secondary circuit

1.1 中性线多点接地对保护的影响

当中性线多点接地时,地、电网电位差和带有非周期分量的短路电流或雷击电流将会窜入TA二次回路,其非周期分量会对保护装置的正确采样产生影响。

图2(a)和(b)分别为外部流过短路电流和地网存在电位差时中性线多点接地电流分布。图中, R_C 、 R 分别为C相电缆回路和保护装置采样回路的等值电阻; I_k 为外部短路电流或雷击电流; ΔU 为2个接地点之间的电位差; I_1 、 I_2 分别为不同电流回路中流过的电流,电流大小与对应支路阻抗相关。

1.2 保护装置两侧多点接地对保护的影响

对于保护装置两侧多点接地点情况,若变电站接

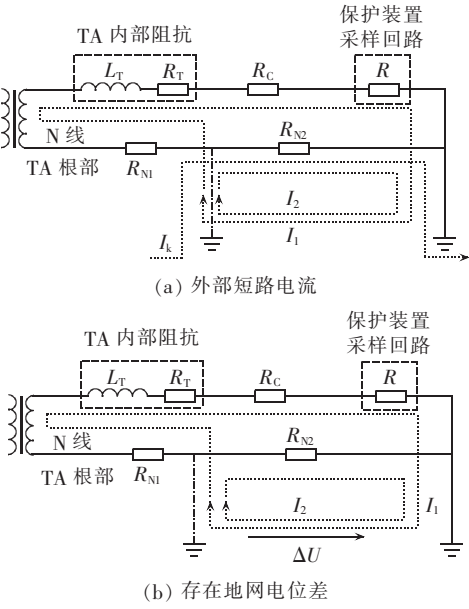


图 2 中性线多点接地电流分布

Fig.2 Current distribution when multi-point grounding exists in neutral line

地网为等电位网,2 个接地点会造成二次回路电流分流,使得流过保护装置采样回路的电流大幅减小。若变电站接地网为非等电位网,保护装置两侧接地点之间存在电位差,则电位差引起的电流流过保护装置,同样使保护装置采样不正确。

以某相 TA 二次回路为例,2 种情况下的电流分布如图 3 所示。

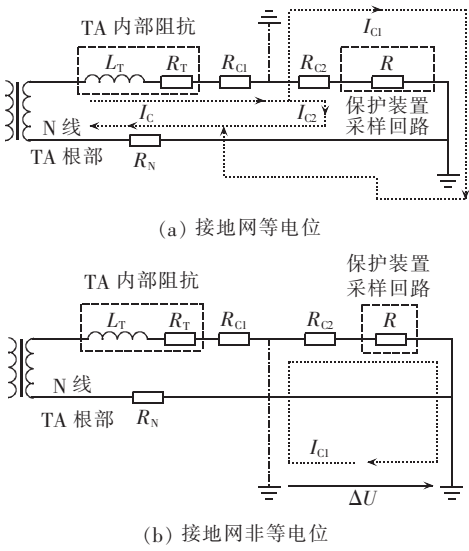


图 3 保护装置两侧多点接地电流分布

Fig.3 Current distribution when grounding point exists at both sides of protection

图 3(a)中, I_C 为 TA 二次电流; I_{C1} 为通过 2 个接地点的分流; I_{C2} 为流入保护装置的采样电流;图 3(b)中, I_{C1} 为电位差引起的电流分量。

由上述分析可知,无论是中性线多点接地还是保护装置两侧多点接地,多个接地点的存在都会直接或

间接地影响保护装置或安全自动装置的采样,进而影响保护装置的动作行为。

2 基于电磁耦合的非接触式多点接地检测方法

通过第 1 节分析可以知道,TA 二次回路多点接地会直接或间接地影响到保护装置采样的正确性,严重情况下会导致保护装置的误动作。相关文献提出了电流回路多点接地的检测方法,如文献[5]提出利用低压交流信号注入的方法检测回路的多点接地。这种方法简单有效,但是需要在原回路中串入低压信号发生装置,不适合大规模推广。因此很有必要研究一种不改变原电流回路的非接触式多点接地检测方法。

与单点接地相比,多点接地时接地点之间构成回路,从而影响到保护装置的采样,信号注入法是检测是否形成电流回路的有效手段,其难点在于非接触式的信号注入。

2.1 基于电磁感应的非接触式信号注入方法

根据法拉第电磁感应定律,导线回路中磁通量的变化会在导线回路中产生感应电动势,磁通量变化得越快,感应电动势越大。

TA 二次多点接地的回路可视为导线回路,在回路中施加变化的磁场,产生的感应电动势为 $E=d\phi/dt$ (其中 ϕ 为变化的磁通量),实现交流信号的注入。

图 4 给出了 TA 二次回路 2 种多点接地情况下,利用法拉第电磁感应定律实现信号注入的方法。图中, R_g 为接地回路等效电阻; I 为接地回路电流。只需在接地回路中施加变化的磁场,即可实现非接触式的信号注入。

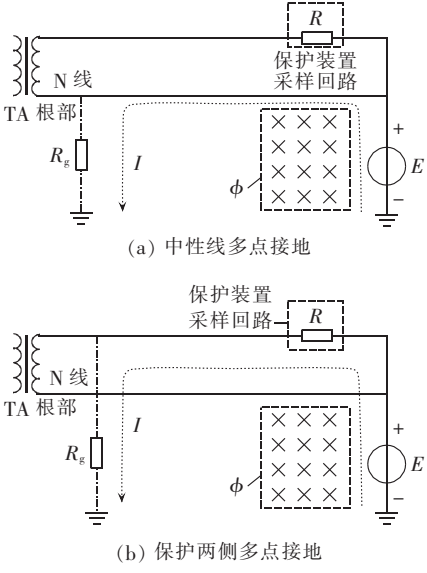


图 4 多点接地回路信号注入法

Fig.4 Signal injection method for multi-point grounding circuit

2.2 非接触式多点接地检测实现方法

实现多点接地回路非接触式信号源注入是进行多点接地检测的前提,基于电磁感应的非接触式电流回路多点接地检测系统如图 5 所示。

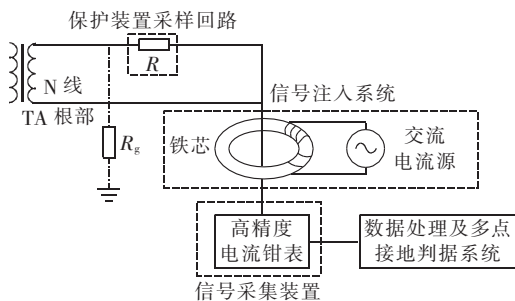


图 5 非接触式多点接地检测系统

Fig.5 Contactless detection system for multi-point grounding

非接触式多点检测系统包括信号注入系统、信号采集装置和数据处理及接地判据系统 3 个部分。整套非接触式多点接地检测系统的核心部分是钳式铁芯和数据处理及多点接地判据系统。钳式铁芯要求能方便地钳在电流回路中性线上,并具有良好的导磁性能。多点接地判据系统对采集的副边电流进行分析计算,根据设定的电流定值判断是否存在多点接地现象。

信号注入系统由钳式铁芯和交流电流源组成,交流电流源产生频率恒定可调的电流 I_1 ,该电流回路作为钳式铁芯的原边线圈(N_1 匝),钳式铁芯在原边线圈电流作用下产生稳定变化的磁通量 ϕ 。TA 二次回路中性线与其他接地点构成闭合回路,作为钳式铁芯的副边线圈,根据法拉第电磁感应定律,副边线圈中会产生感应电动势,并流过电流 I_2 。

信号采集装置实为高精度电流钳表,其采集到中性线中的电流 I_2 ,并送入数据处理及多点接地判据系统进行数据分析和多点接地判别。数据处理及多点接地判据系统根据设置的判据逻辑和定值判断是否发生多点接地,如果发生则发出告警信号。

2.3 多点接地检测方法的理论分析

接地回路电阻、铁芯励磁特性、钳式铁芯与中性线的位置都会影响到最终的检测结果,所以还应建立相应的数学模型对所提方法的可靠性和可行性进行严格的分析。

非接触式多点接地检测系统工作原理与理想变压器相似^[16],其等效回路如图 6 所示。钳式铁芯可以看成理想变压器的励磁铁芯,交流电流源缠绕的电流回路看成原边线圈,中性线和其他接地点形成的接地回路看成副边线圈。

非接触式多点接地检测系统的二次电流可以根据法拉第电磁感应定律进行计算,将副边线圈看成一个导线回路平面,原边电流在铁芯中产生变化的磁

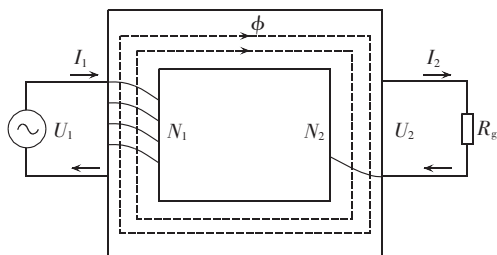


图 6 非接触式多点接地系统等效回路

Fig.6 Equivalent circuit of contactless detection system for multi-point grounding

通量 ϕ ,副边线圈中会相应产生感应电动势 U_2 。设 $\phi = \sqrt{2} \phi_r \cos \omega t$ (ϕ_r 为铁芯中主磁通的有效值),且钳式铁芯垂直夹在中性线上,则副边线圈中的感应电压为:

$$U_2 = -\frac{d\phi}{dt} = 2\sqrt{2} \pi f \phi_r \sin \omega t \quad (1)$$

副边线圈电流为:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_g} = \frac{2\sqrt{2} \pi f \phi_r \sin \omega t}{R_g} \quad (2)$$

铁芯中的磁通 ϕ 是由原边载流线圈产生的,为便于分析,假设原边线圈为圆线圈,其在圆心的磁场强度为:

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2r}$$

其中, μ_0 为铁芯的磁导率; I_1 为原边线圈中的电流; r 为原边圆线圈的半径。设 $I_1 = \sqrt{2} I_{1r} \sin \omega t$,则有:

$$\phi_r = N_1 B S = \frac{N_1 \mu_0 I_{1r} S}{\sqrt{2} r} \quad (3)$$

其中, S 为钳式铁芯的截面积; I_{1r} 为原边电流有效值。

将式(3)代入式(2)中,可以得到副边线圈电流幅值为:

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{\sqrt{2} N_1 \mu_0 \pi f I_{1r} S \sin \omega t}{r R_g} \quad (4)$$

由式(4)可以看出,当多点接地时接地回路中电流 I_2 幅值与铁芯磁导率 μ_0 、原边电流频率 f 、原边电流有效值 I_{1r} 、铁芯截面积 S 成正比,而与接地回路电阻 R_g 和原边线圈半径 r 成反比。当 TA 二次回路只有一点接地时, $R_g = \infty$, $I_2 = 0$; 当多点接地时, $I_2 \neq 0$, 检测 I_2 的值即可判断是否存在多点接地现象。

3 实验验证及检测实现方案

本文提出的非接触式多点接地检测方法是以后 $I_2 \neq 0$ 作为第一判据,对于判别逻辑, I_2 越大越能证明多点接地的存在,然而 I_2 过大存在使保护误动的风险,这是一个不可调和的矛盾。因此既要保证检测装置能根据采集的电流 I_2 进行接地判断,还要避免 I_2 过大导致保护装置的不正确动作。本节将从理论和实验验证 2 个方面分析注入信号对 I_2 的影响,并对非

接触式多点接地具体实现方案进行研究。

3.1 电流 I_2 幅值影响因子分析

在式(4)的推导过程中,假设铁芯与中性线间的夹角为 90° ,而实际操作中不可能保证铁芯与中性线完全垂直。假设铁芯与中性线夹角为 θ ,则式(4)可转化为式(5):

$$I_2 = \frac{\sqrt{2} N_1 \mu_0 \pi f I_{1r} S \sin \omega t}{r R_g} \cos \theta \tag{5}$$

从式(5)中可以看出,选定铁芯后, I_2 大小只与原边线圈电流幅值、频率和接地回路电阻有关。只要测试过程中保持铁芯与中性线角度不变, $\cos \theta$ 也是定值,对式(5)进一步简化得:

$$I_2 = \frac{K f I_{1r} \sin \omega t}{R_g} \tag{6}$$

其中, $K = \frac{\sqrt{2} N_1 \mu_0 \pi S}{r} \cos \theta$ 。

根据式(6)计算一般情况下 I_2 的有效值 I_{2r} 。假设: $N_1=3, f=50\text{ Hz}, I_{1r}=2\text{ A}, \mu_0=4\pi\times10^{-4}\text{ H/m}$ (取真空磁导率的 1000 倍), $R_g=1\text{ }\Omega, S=12\times10^{-4}\text{ m}^2, r=0.05\text{ m}$ 。由式(6)可计算得 $I_{2r}=0.0284\text{ A}$ 。

从式(6)可知注入源的频率、幅值以及接地回路电阻会直接影响到 I_2 的幅值,不同接地情况下接地回路电阻不同,因此注入源的频率和幅值为可控影响因子,回路电阻为不可控影响因子。

除此之外,铁芯磁导率在小电流时并非定值,电流钳表采样也有误差,这些都会影响到 I_{2r} 大小。

3.2 实验验证

前文定性地分析了电流幅值 I_2 的影响因子,为进一步研究非接触式多点接地检测实施方案还需相关实验数据的支撑。实验接线如图 5 所示,其中,电流源由单相继电保护测试仪提供,铁芯为 TA 所用铁芯,副边绕组串入可调电阻($0\sim50\text{ }\Omega$)模拟电缆回路的电阻。

根据式(6)可知,导线回路电流 I_2 大小取决于 N_1, f, I_{1r} 和 R_g 。按相关规程要求,变电站二次接地网电阻应不大于 $0.5\text{ }\Omega$,根据现场经验将电阻调至 $1\text{ }\Omega$,利用电流钳表,检测 N_1, f, I_{1r} 对 I_2 大小的影响,实验数据如表 1—3 所示。

表 1 N_1 对 I_{2r} 的影响
Table 1 Influence of N_1 on I_{2r}

$N_1/\text{匝}$	f/Hz	I_{1r}/A	I_{2r}/A
1	50	2	0.0072
2	50	2	0.0155
3	50	2	0.0269

表 2 f 对 I_{2r} 的影响
Table 2 Influence of f on I_{2r}

$N_1/\text{匝}$	f/Hz	I_{1r}/A	I_{2r}/A
3	50	2	0.0267
3	100	2	0.0488
3	150	2	0.0800

表 3 I_{1r} 对 I_{2r} 的影响
Table 3 Influence of I_{1r} on I_{2r}

$N_1/\text{匝}$	f/Hz	I_{1r}/A	I_{2r}/A
3	50	1	0.011
3	50	2	0.027
3	50	4	0.066

由表 1—3 可知,考虑到电流钳表精度和实验误差, N_1, f 与导线回路电流幅值 I_2 基本成线性关系;而 I_2 虽然与 I_{1r} 成正比,但并非为线性关系,这主要是由于小电流时磁导率 μ_0 非定值导致。综上所述,实验数据与理论分析相符。

表 1—3 均为可控影响因子对导线回路电流的影响,实际中接地回路电阻大小受接地电阻、变电站接地电网电阻及电缆长度影响较大,部分长电缆回路电阻甚至可能达到 $10\text{ }\Omega$,因此需对接地回路电阻影响因子做重点分析。接地回路电阻变化范围很大,取 R_g 在 $0.1\sim10\text{ }\Omega$ 内变化, $N_1=3, f=50\text{ Hz}, I_{1r}=1\text{ A}$ 时, I_{2r} 随 R_g 的变化曲线如图 7 所示。

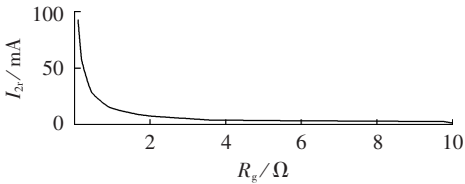


图 7 I_{2r} 随接地电阻变化曲线
Fig.7 Curve of I_{2r} vs. R_g

由图 7 可见, $R_g=0.1\text{ }\Omega$ 时, I_{2r} 为 90 mA ; $R_g>1\text{ }\Omega$ 时, $I_{2r}<10\text{ mA}$ 。

3.3 非接触式多点接地检测实施方案

根据上述分析和实验结果,当回路中存在多点接地时,通过非接触式信号注入的方法,中性线中确有电流产生。多点接地判别原理虽然简单,但是实际操作时仍需考虑 I_{2r} 阈值的确定。综合考虑电流钳表精度和对保护装置影响,将阈值设为 10 mA 。目前大部分高精度的电流钳表能准确测量 10 mA 的电流,同时该电流也不会对保护采样产生大的影响。

由于测试前不知道回路中是否有多点接地,接地回路电阻大小未知,因此不能直接注入高频大电流信号,以防存在多点接地且回路电阻较小时, I_{2r} 过大引起保护装置误动。因此,本文提出的非接触式多点接地检测应按如下步骤进行测试。

- a. 检测前确保电流源输出工频电流幅值为 0, 频率可设为 50 Hz 。
- b. 将钳式铁芯夹到中性线后,逐渐增大输出电流幅值,并时刻观察钳表数值。若电流钳表显示数值一直为 0,则转步骤 c,否则转步骤 d。
- c. 将电流源电流增大到 5 A ,中性线电流仍然为 0,则再增加电流源输出频率至 150 Hz ,若中性线电

流仍为 0,则可判断 TA 二次回路中不存在多点接地现象。

d. 若随着电流源输出电流增加,电流钳表检测电流 I_{2r} 也变大,继续增大输出电流直至 I_{2r} 大于 10mA,同时 I_{2r} 频率应为 50 Hz,根据电流幅值判据可初步判定回路存在多点接地现象;在此基础上适当减小电流源输出电流幅值,提高输出电流频率至 100 Hz(其间确保 I_{2r} 不大于 10mA),检测 I_{2r} 频率应为 100Hz。结合电流幅值判据和频率判据可以确定 TA 二次回路中存在多点接地现象。

4 结语

本文在详细分析 TA 二次回路多点接地对保护及测控装置影响的基础上,利用电磁感应的原理提出了一种非接触式的电流回路多点接地检测方法;通过理论分析得到了接地回路电流的计算公式,分析其幅值影响因子,并通过试验数据进行验证;最后根据理论分析和试验数据给出了基于电磁感应的非接触式多点接地检测实施方案,方案充分考虑了电流源参数可能对保护装置产生的影响,并提出基于电流幅值和频率双重判据的检测方法,在成功检测多点接地的同时保证运行设备的安全。

参考文献:

- [1] 张会文,张帅辉. 一起 500 kV 主变差动保护误动分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(11):137-139.
ZHANG Huiwen,ZHANG Shuaihui. Analysis of a 500 kV main transformer differential protection malfunction[J]. Power System Protection and Control,2010,38(11):137-139.
- [2] 郭润生. 电流回路多点接地对变压器差动保护的影响[J]. 继电器,2008,36(7):80-82.
GUO Runsheng. Impact of current loop multipoint earth on transformer differential protection[J]. Relay,2008,36(7):80-82.
- [3] 钟成元. 翠山电站 110 kV 线路保护误动原因分析[J]. 继电器,2008,36(7):86-91.
ZHONG Chengyuan. Analysis of maloperation of line protection in Cuishan 110 kV hydro-substation[J]. Relay,2008,36(7):86-91.
- [4] 邓卫民,孙扩业,周宏宇,等. 一次特别的系统故障分析[J]. 继电器,2005,33(23):68-72.
DENG Weimin,SUN Kuoye,ZHOU Hongyu,et al. Analysis of an unusual system fault[J]. Relay,2005,33(23):68-72.
- [5] 陈杰云. 一起 220 kV 线路保护误动事故的分析和处理[J]. 南方电网技术,2008,2(1):67-70.
CHEN Jieyun. Analysis and treatment of a 220 kV transmission line relay misaction fault[J]. Southern Power System Technology,2008,2(1):67-70.
- [6] 李志兴,许志华. 电压互感器二次回路接地点的分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(10):141-144.
LI Zhixing,XU Zhihua. Analysis of grounding point for voltage transformer secondary circuit[J]. Electric Power Automation Equip-

ment,2010,30(10):141-144.

- [7] 国家电网公司.《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》继电保护专业重点实施要求[S]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [8] 张帆,李一泉,袁亮荣,等. 电压互感器二次回路接地研究[J]. 广东电力,2008,21(4):5-14.
ZHANG Fan,LI Yiquan,YUAN Liangrong,et al. Research on multiple earth in voltage transformer secondary circuit[J]. Guangdong Electric Power,2008,21(4):5-14.
- [9] 杨忠礼,郭奇,赵慧光. 电压二次回路的改进措施[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(22):111-113.
YHANG Zhongli,GUO Qi,ZHAO Huiguang. Improvement of PT secondary circuit[J]. Power System Protection and Control,2008,36(22):111-113.
- [10] 成小胜,成峰波,成军蒲. N600 不正确接线的分析[J]. 电力学报,2005,20(4):387-389.
CHENG Xiaosheng,CHENG Fengbo,CHENG Junpu. The analysis about N600 uncurrent connecting leads[J]. Journal of Electric Power,2005,20(4):387-389.
- [11] 赵武智,高昌培,林虎. 电压互感器二次回路一点接地检查及查找多个接地点方法[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):148-150.
ZHAO Wuzhi,GAO Changpei,LIN Hu. One-point grounding detection of PT secondary circuit and multi-grounding points searching method[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(6):148-150.
- [12] 梁雨林,黄霞,陈长材. 电压互感器二次回路异常的原因及对策[J]. 电力自动化设备,2001,21(11):73-74.
LIANG Yulin,HUANG Xia,CHEN Changcai. The cause of TV secondary wire abnormality and its countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(11):73-74.
- [13] 刘晓忠,叶东印. 电压互感器二次回路接地点分析[J]. 继电器,2007,35(18):65-67.
LIU Xiaozhong,YE Dongyin. Analysis of voltage transformer secondary circuit grounding point[J]. Relay,2007,35(18):65-67.
- [14] 李新,彭勇,王志新. 交流电流回路两点接地危害的分析及应对措施[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(17):125-127.
LI Xin,PENG Yong,WANG Zhixin. Analysis and solution of harm of two points grounding in AC loop[J]. Power System Protection and Control,2009,37(17):125-127.
- [15] 张志军,孟庆波. 交流二次回路多点接地的解决方案[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(23):125-127.
ZHANG Zhijun,MENG Qingbo. Many-place earthing solution of the AC secondary circuit[J]. Power System Protection and Control,2009,37(23):125-127.
- [16] 赵凯华,陈熙谋. 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社,2012:112-194.

作者简介:



张佳敏(1986—),男,江苏泰州人,工程师,硕士,研究方向为电力系统及其自动化(E-mail:15105168889@163.com)。

[19] 石文辉,别朝红,王锡凡. 大型电力系统可靠性评估中的马尔可夫链蒙特卡洛方法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(4):9-15.
SHI Wenhui,BIE Zhaohong,WANG Xifan. Applications of Markov chain Monte Carlo in large-scale system reliability evaluation [J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(4):9-15.

[20] 赵渊,周家启,刘志宏. 大电网可靠性的序贯和非序贯蒙特卡洛仿真的收敛性分析及比较[J]. 电工技术学报,2009,24(11):127-133.
ZHAO Yuan,ZHOU Jiaqi,LIU Zhihong. Convergence analysis and comparison of sequential and nonsequential Monte-Carlo simulation for bulk power system reliability assessment [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24 (11):127-133.

作者简介:



郑秀波(1984—),男,山东聊城人,工程师,硕士,从事电力系统规划方面的研究(E-mail: zhengxiubo@gd.csg.cn);
张永凯(1990—),男,山东潍坊人,硕士研究生,从事电力系统备用容量评估、电力系统可靠性评估方面的研究;
别朝红(1970—),女,山东潍坊人,教授,博士研究生导师,博士,从事电力系统规划及可靠性评估、新能源接入系统方面的研究;
林 勇(1973—),男,四川广安人,高级工程师,硕士,从事电力系统规划与运行方面的研究。

Maintenance reserve capacity evaluation considering uncertainty of maintenance demands for power system

ZHENG Xiubo¹,ZHANG Yongkai²,BIE Zhaohong²,LIN Yong¹

(1. Power Grid Planning Center,Guangdong Power Grid Company,Guangzhou 510080,China;
2. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment,Xi'an Jiaotong University,Xi'an 710049,China)

Abstract: Since the power system planning needs urgently the maintenance reserve capacity evaluation but the uncertainty of unit maintenance demands influences greatly the evaluation,a method of maintenance reserve capacity evaluation is proposed,which builds a model of maintenance reserve capacity evaluation considering the uncertainty of maintenance demands and adopts the minimum accumulated load principle to determine the maintenance period for solving the model. Two maintenance reserve capacity adequacy indices based on Monte Carlo simulation method are proposed for determining the system maintenance reserve capacity and further the system capacity requirement. They are the loss of maintenance reserve capacity probability and the expected maintenance reserve capacity not supplied. A case study based on the actual unit maintenance data of a power system verifies the correctness and effectiveness of the proposed method.

Key words: maintenance; reserve capacity; uncertainty of maintenance demands; Monte Carlo methods; loss of maintenance reserve capacity probability; expected maintenance reserve capacity not supplied; electric power systems; planning

(上接第 132 页 continued from page 132)

Contactless detection of multi-point grounding in CT secondary circuit

ZHANG Jiamin,YUAN Yubo,BU Qiangsheng,SONG Shuang

(State Grid Jiangsu Electric Power Research Institute Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China)

Abstract: Since the multi-point grounding in the secondary circuit of CT(Current Transformer) may cause the misoperation of relay protections,a detection method without any contact is proposed for it,which exerts the varying magnetic field on the secondary-circuit of CT and detects the induced current. If multi-point grounding exists,the induced current will be detected in the neutral line between two grounding points,and the larger the current is,the more obviously the multi-point grounding exists. An auxiliary frequency criterion is proposed to prevent the misoperation of relay protections caused by the large inductive current. Experimental results verify the correctness of the proposed method.

Key words: relay protection; current transformers; secondary circuit; electric grounding; fault detection; magnetic fields; inductive currents