

变电站直流系统接地点定位新技术及实施

戴平¹ 吴健¹ 龙涛¹ 熊小伏² 李善波²

(1. 国网达州供电公司, 四川 达州 635000; 2. 重庆大学电气工程学院, 重庆 400030)

摘要: 四川电网变电站多地处潮湿、高低温交变地区, 变电站直流回路容易出现因绝缘下降导致的接地故障。现有直流绝缘监测装置难以准确判定直流感地位置, 查找并排除直流感地故障耗时费力, 因此有必要研究采用新的直流感地定位技术。提出了一种分布式布置的直流感地定位装置构成的直流感地定位系统。该装置利用传感器技术、嵌入式微处理芯片、通信及信号处理技术等高新技术手段, 对各直流负载回路的直流参数采集判断并汇总到集中式检测单元, 能快速确定直流回路中的具体接地点的位置。既可以在变电站本地查看直流系统的绝缘情况, 还可实时将判断结果传送至远方的监控中心。在试验变电站安装了直流感地定位装置, 验证了该系统的有效性。

关键词: 直流感地; 漏电流; 故障定位装置; 检测单元

Abstract: Most of the substations in Sichuan power grid are located in humid and high and low temperature alternating areas, so the DC circuit of the substations is prone to ground fault caused by insulation deterioration. It is difficult for the DC insulation monitoring device to determine the location of the DC ground accurately and it will take a lot of time and work to find out and remove the ground fault, so it is necessary to adopt a new DC ground location technology. A DC ground location system composed of distributed DC ground location device is presented. With the use of sensor technology, embedded micro-processing chip, communication and signal processing technology and other high-tech means, this device collects and judges the DC parameters of the DC load circuit and gathers them into a centralized detecting unit, so it can quickly determine the specific ground point of the DC circuit. It is not only able to monitor the insulation condition of the DC system locally, but also will send the judgments to the remote monitoring center in real-time. The DC ground location device is installed in a selected substation and the running results indicate that it is effective.

Key words: DC ground; leakage current; fault location device; detecting unit

中图分类号: TM645 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2013)05-0049-06

0 引言

变电站直流系统是变电站保护、自动化系统的重要组成部分, 其安全性直接关系到电网的正常监控和事故处理手段的正常实施。变电所的直流系统是采用有蓄电池贮能的二次直流电源, 它向信号回路、控制系统、继电保护与自动装置等提供工作电源。直流系统均采用 110 V 或 220 V 电源供电, 该系统正、负母线对大地是浮空的, 除了绝缘监测装置之外, 母线及其各条馈电支路上任何一点都不与大地相联结。当直流供电系统发生一处接地绝缘故障时, 必须尽快找出接地故障线路与接地故障点, 并立即排除; 否则, 若再次发生第二处接地故障, 很可能导致主控制回路、继电保护装置等的误动作, 从而引

发重大供电事故^[1]。

目前, 在实际应用的直流系统绝缘监测中, 检测原理主要有电桥平衡原理和变频探测原理。基于电桥平衡原理的绝缘检测装置应用广泛, 但是该方法无法检测直流系统正、负母线绝缘同等下降的情况, 也不能区分多支路故障^[2]。基于变频探测原理的直流系统绝缘检测是最近几年采用的一种新方法, 但也存在问题: 一是所能检测的接地绝缘电阻大小受到直流系统对地分布电容的影响, 当分布电容很大时, 可能无法找到接地故障支路; 二是注入的低频交流信号增大了直流系统的电压纹波系数, 影响电源质量; 三是仅针对检测判断某一直流回路接地, 而不能检测到具体的接地点或接地元件。

针对上述情况, 本系统采用高精度数字式漏电流传感器与变电站中现有的绝缘检测装置相结合的技术手段, 利用传感器技术、嵌入式微处理芯片、通

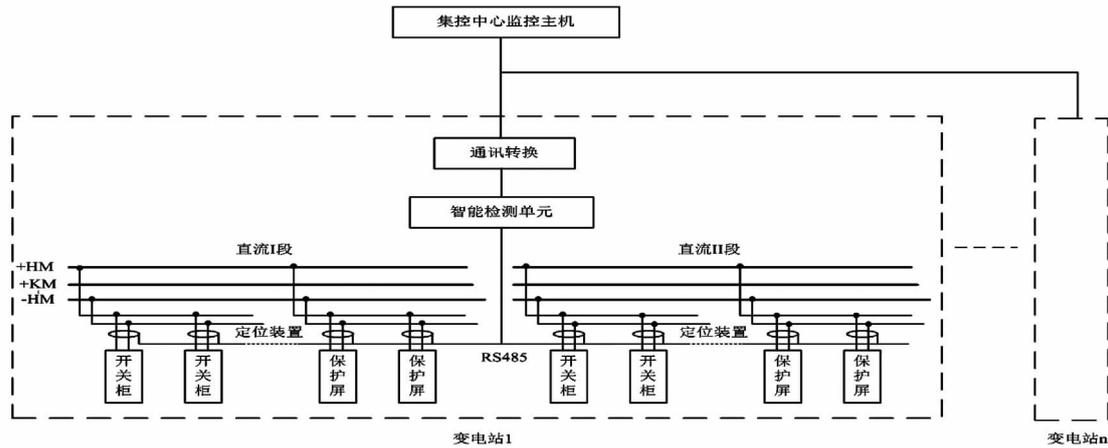


图1 系统总体结构

信及信号处理技术等高新技术手段,不仅能监测到变电站直流电源系统的母线和直流屏上的馈出回路上的接地,而且还能快速确定直流回路中的具体接地点的位置,以便快速消除接地隐患,解决了变电站直流电源系统长期存在而目前未能很好解决的诸多难题。

另外,传统的直流系统接地点检测大多是在变电站本地进行,不具备将检测结果上传的功能,这对于目前众多的无人值班变电站而言,管理起来非常不方便。本系统在变电站内设有智能检测单元,不仅可以在变电站本地查看直流系统的运行情况,还可实时将判断结果传送到远方的监控中心。

1 系统总体结构

系统的总体结构如图1所示。对于需进行直流系统接地点定位的变电站,在每个开关柜和保护屏的直流电源进线上装设定位装置,定位装置测量该处正、负直流馈线上的电流值之差(即漏电流)并通过RS485总线传送至智能检测单元,智能单元对本站内的情况进行判断后,再将判断结果上传到集控中心监控主机。集控中心监控主机既能接收各变电站智能检测单元上传的数据,也可以对系统内的任一变电站的智能检测单元进行远程查询、设置等管理。

监控主机集成有直流回路管理和图形工具软件、接地点追踪和定位软件、维护支持软件、数据通信与报警信号输出软件等功能软件,根据实际变电站设计其直流二次回路图形界面,清楚表示直流回路的结构和各回路中传感器的布置,实时显示漏电

流与其变化趋势,显示报警信息及接地点位置,可对直流供电回路进行图形化管理和直流接地指示,直观地反映了直流供电回路的工作状态。

2 系统特点

- (1) 安装定位装置时,对变电站原有直流系统基本上不作改动,安装工作量小,对变电站的运行影响很小。
- (2) 定位装置体积小,可直接安装于屏柜内的标准轨道上。
- (3) 在出现直流接地时自动、快速检测出接地点,实现对接地点位置的快速自动判断。
- (4) 不受直流母线分段运行和环网运行的影响。
- (5) 能适应直流系统出现多点接地的情况。
- (6) 可对直流供电回路进行图形化管理和绝缘下降预报及接地指示,直观地反映直流供电回路的工作状态。
- (7) 可设置放置于变电站内的图形管理界面,对直流二次回路进行图形化管理,方便运行维护人员进行维护管理和故障处理工作。
- (8) 在集控中心设置有监控主机,对多个变电站的直流系统进行监控,实现变电站直流系统的远程故障准确定位等综合管理功能。

3 接地点定位原理

3.1 已有方法分析

3.1.1 基于小波变换的检测方法

对于直流系统,判别接地支路最直接最有力的依据就是各个支路的接地电阻。一般来说,当支路的接地电阻值小于 20 kΩ 时,就认为该支路发生了接地故障。如果能够比较精确地计算出各个支路的接地电阻值,那么将可以准确地判别出接地支路。

由于以前的求取支路接地电阻的方法不够精确,受支路对地电容的影响较大,一般只能求得其大致范围,因而检测结果不太可靠。为了准确地计算出支路接地电阻值,这里可以采用基于小波分析的滤波算法^[3-6]。其总体方案如图 2 所示。

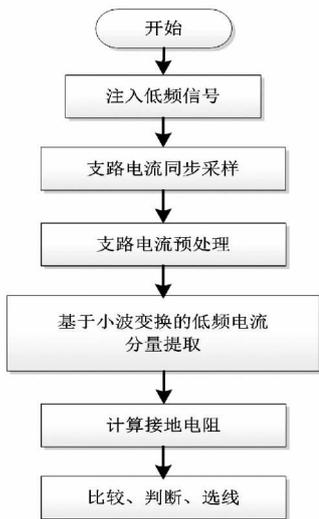


图 2 基于小波分析的滤波算法的总体流程

小波分析能够准确反映特定频率信号的幅值和相位信息,因而适用于信号特征的提取。复值小波具有优异的窄带滤波特性,对于这里所述的直流接地故障检测问题,能准确提取出低频电流相量,从而可以通过计算各支路接地电阻值的方法来检测故障支路,避免了直流系统中对地电容对检测结果的影响。

3.1.2 基于分形原理的检测方法^[7]

直流变电站直流系统一般采用分段环形供电法,并且按照负荷的种类和路径,分成各自独立的供电网。环网方式供电使直流电网结构复杂,进行接地检测的困难加大。

目前的直流系统通常是处于浮充状态的可充蓄电池组。浮充电源实际上就是单相或三相桥式整流电路,大多采用可控硅调压方式,这些整流装置必然会产生纹波电压。由于整流电源纹波电压的影响,流经各段导线的电流中包含谐波分量,且谐波分量的幅值和相位各不相同。在连接成环网运行时,可

以等效为 4 个电压源和 4 个复阻抗串联在同一回路中,就会形成由谐波分量组成的环流。当环流很大时,电流互感器甚至会达到饱和。一般的检测装置不能分辨出支路环网电流和接地电阻电流,往往在发生接地时会把环网支路误选出来,而真正的接地故障支路却无法选出。因此,不能忽略环网在进行直流系统接地检测中的影响。

分形原理^[8]能够建立数学模型并准确地描述有高复杂度和不规则度的自然现象和图形。用分形测量图形表面得到分形维数,更够准确地说明两种信号的不同之处。

分形维数是对分形(fractal)复杂程度的定量描述。常用的求分形维数的方法叫盒维数法^[7-8],是应用最广泛的维数之一。设 F 是 R^n 上任意非空的有界子集, $N_\delta(F)$ 是直径最大为 δ 、可以覆盖 F 的集的最小个数,则 F 的盒维数记为

$$\dim_B F = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log N_\delta(F)}{-\log \delta} \quad (1)$$

为计算一个平面集 F 的盒维数,可以构造一些边长为 δ 的正方形或称为盒子。然后,计算不同的 δ 值的盒子与 F 相交的个数 $N_\delta(F)$,这个维数是当 $\delta \rightarrow 0$ 时 $N_\delta(F)$ 增加的对数速率,也可以由函数 $\log N_\delta(F)$ 与 $-\log \delta$ 关系图的斜率来估计。

为了克服不同的时间曲线却有可能得到相同的分形维数这个问题,可引入有表面凹凸度 Λ 这个参数^[9],用来表示图形表面的密度稠密程度。这样,通过凹凸度参数和分形维数这两个数值在二维平面上对应的点来唯一确定一个函数图形的分形特征,从而达到分区的目的,且不会出现因为分形维数相同而无法区分的情况。

该方法提出基于分形理论的环网故障的识别方法,实现了环网支路的故障定位,未充分考虑噪声强度较大、低频电流较小情况下的检测难题。

3.1.3 基于数字滤波器的检测方法^[10]

针对低频信号注入法会带来含有谐波环流、纹波电压干扰以及其他许多干扰的问题,在这里可以采用一种克服低频干扰,提高信噪比的数字滤波方法。

为了能够滤除这些低频干扰,精确检测接地电阻,可对传统的低频信号注入法进行改进,在硬件滤除 10 Hz 以上频率的干扰前提下,通过采用提高信噪比,加入数字滤波器方法去除低频大干扰,并在信

号支路上对电流进行相位幅度的提取,从而精确判断接地支路。

(1) 基本原理

在原理上仍采用低频信号注入法,首先对所采集的电流信号进行硬件滤波(滤除10 Hz以上干扰信号),隔离放大并对A/D采样数据进行低通数字滤波,然后再提取电流信号,以计算接地电阻。其流程图如图3所示。

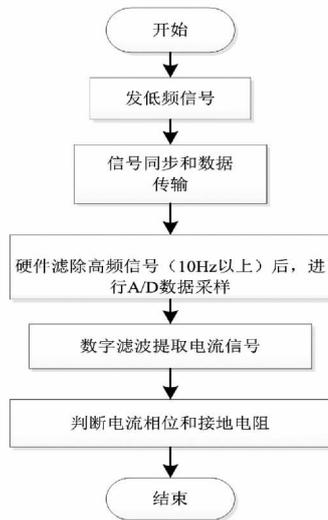


图3 检测方案流程图

(2) 信号发生与同步

由信号发生器向支路电流检测器发同步信号,并传送直流系统电压,系统正、负母线对地电压参数,以及加载到直流电网正、负母线上信号电压大小和相位给支路电流检测器。

支路电流检测器则根据接收到的系统参数和信号参数,以及来自电流传感器的采样电流数据进行数字滤波、计算等处理。

(3) 信号滤波

从支路电流传感器获得的是流过接地电阻的电流大小,由于直流系统成分复杂,存在着各种低频干扰,在进行数据处理之前,需要对其进行信号过滤和判断。

(4) 计算接地电阻

信号电流经过硬件滤除高频干扰后再经过数字低通滤波器处理低频干扰,可以很好地排除绝大部分干扰,加大电流信号幅度,并且可以得到比较好的效果。滤波后的电流信号已经排除了绝大部分的低频段干扰,剩下了原始信号的分量和相位,因此可以根据所得到的结果来计算接地电阻,准确判断变电

站直流系统是否发生接地故障。而当存在分布电容时,则可通过滤波后的相位延时来判断电容影响。

3.1.4 基于Duffing振子的检测方法^[11-14]

由于变频注入法在直流系统检测中存在一定局限,文献[11-14]中利用Duffing振子与变频检测法相结合的直流接地故障检测思想,以Duffing振子系统发生相变的条件为依据,实现变频电流信号幅值的检测,进而求得接地电阻值,实现故障支路的定位。

(1) Duffing振子系统模型

Duffing振子是目前研究较为充分的、典型的混沌系统模型之一。设含 x^3 项的Holmes-Duffing振子模型为

$$\ddot{x} + c\dot{x} - x + x^3 = A\sin(\omega t) \quad (2)$$

式中 c 为阻尼比; $(-x + x^3)$ 为恢复力项; ω 是策动力的角频率; $A\sin(\omega t)$ 为内置策动力。

在待检测信号角频率 ω 已知情况下,利用混沌系统对初值的敏感性,根据系统是否发生混沌到大尺度周期状态的相变,检测直流接地系统微弱低频正弦信号的幅值。

(2) 待测信号幅值的检测

首先,在阻尼比 c 固定的前提下,调节内置策动力的幅值 A ,使系统处于从混沌状态向大尺度周期状态过渡的临界混沌状态,此时内置策动力的幅值为 A_d (简称为临界阈值)。

然后,送入待测正弦信号 $B\sin(\omega t + \varphi)$,此时系统的总的策动力为

$$F(t) = A_d\sin(\omega t) + B\sin(\omega t + \varphi) = A'\sin(\omega t + \theta) \quad (3)$$

式中 A' 为总策动力的幅值; θ 为总策动力的初相位。

$$A' = \sqrt{A_d^2 + 2A_dB\cos\varphi + B^2} \quad (4)$$

$$\theta = \arctg [B\sin\varphi / (A_d + B\cos\varphi)] \quad (5)$$

由式(4)知,系统的总策动力 A' 与待测信号的相位 φ 有关。若 $A' < A_d$ 时,系统处于混沌状态,此时相位应满足

$$\pi - \arccos(B/2A_d) \leq \varphi \leq \pi + \arccos(B/2A_d) \quad (6)$$

当待测信号的相位不满足式(6)时,系统发生混沌状态到大尺度周期状态的跃迁。当待测信号的初相位与内置策动力的相位相同时, $A' = A_d + B >$

A_d 则 Duffing 振子系统发生从临界混沌到大尺度周期状态的变化。然后逐步减小内置策动力的幅值 A_d 到 A'_d 此时系统由大尺度周期退化至临界状态。由此确定出待测信号的幅值

$$B = A_d - A'_d \quad (7)$$

基于 Duffing 振子的变频注入法直直接地故障检测方法,是以 Duffing 振子系统发生相变的条件为依据,在强噪声背景下准确提取支路电流、电压的幅值和相位,从而实现直流系统接地支路的定位。

该方法减弱了低频注入法给系统带来的安全隐患,解决了分布电容对传统检测方法影响较大的传统难题。尤其是在降低注入信号源幅值,且检测环境恶劣的情况下(-19 ~ -52 dB),未影响该方法的检测精度,这是传统方法难以做到的。

该方法检测时间由判断系统相态所需的时间决定,耗时稍长。但就规程要求而言,能够满足检测实时性的要求,为直直接地故障检测提供了新思路,具有应用前景。

3.2 基于分布式漏电流检测的方法

变电站的直流系统在正常运行的情况下,与地电位没有任何联系。对于本直直接地点定位系统所设计到的变电站,已装设有直流母线绝缘监察装置。在绝缘监察装置内部,直流母线(包括 +HM、+KM 和 -HM)各自通过一高阻值电阻与地电位相连。在直流系统没有其他接地点的情况下,直流母线的对地电压保持恒定,也不会有接地电流的出现;当直流母线或其馈线上因绝缘损坏而出现接地点时,直流母线与地电位间通过接地电阻形成回路,导致直流母线的对地电压发生变化(接地极对地电压降低、非接地极对地电压升高)并在接地支路上出现接地电流。

当在每一个开关柜或保护屏的直流电源进线上装有接地装置,其所属的开关柜或保护屏中没有直直接地点时,正、负直流馈线上的电流大小相等而方向相反,定位装置测不到电流;当有接地点存在时,正、负直流馈线上的电流不能相互平衡,其差值即是通过接地电阻入地的漏电流,此漏电流可被定位装置所测量到并传送到监控主机。根据监控主机图形界面上所显示的有漏电流出现的定位装置及其安装位置,即可确定接地点的具体位置;根据漏电流的正、负,可以确定是哪一极母线接地;由漏电流绝对值的大小、结合直流母线电压值,还可计算出接地电

阻的数值。接地点定位原理如图4所示。

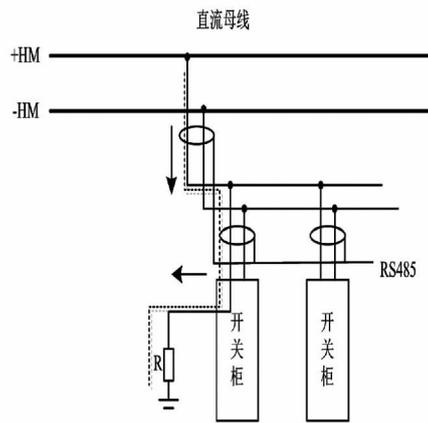


图4 接地点定位原理

在试验变电站研究使用基于分布式漏电流检测方法的直直接地点定位装置,安装图如图5所示。

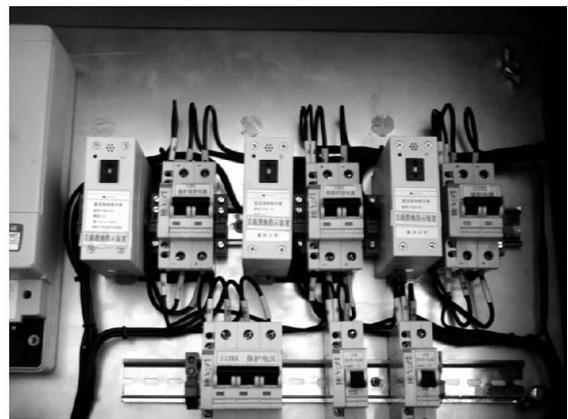


图5 直直接地点定位装置现场安装图

在直流回路模拟接地点进行了测试,基于分布式漏电流检测方法的直直接地点定位装置在漏电流大于设定报警阈值时可靠准确地报警,快速准确地定位接地点,缩小查找范围,在直直接地故障检测领域率先实现了对变电站直流系统各馈线支路及具体用电设备的绝缘状况监测和接地故障报警,自动指示接地范围。该方法的使用大大缩短了直直接地查找时间,方便了运行维护人员高效进行维护管理和故障处理工作。

4 结 语

针对当前变电站直流系统绝缘监测的不足,提出了采用基于漏电流原理的分布式接地检测方法。本系统采用高精度直直接地点定位装置,该装置利用嵌入式微处理芯片、高灵敏度微电流传感器技术、通信及信号处理技术等高新技术,建立了变电站直直接

系统接地点定位系统。通过在试验变电站的实际应用,验证了该系统的有效性。对未来发电厂、变电站直流系统绝缘监测及接地点查找和故障的快速排除均具有一定的参考意义和推广价值。

参考文献

[1] 张永生,胡旭东,王伟,等. 变电站直流系统接地故障分析[J]. 电力安全技术, 2012, 14(1): 49-50.

[2] 蔡勇,严屏,夏勇军,等. 绝缘监测装置在直流系统中的应用分析[J]. 湖北电力, 2012, 36(1): 37-39.

[3] 李冬辉,史临潼. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案[J]. 电网技术, 2006, 30(2): 57-60.

[4] 李冬辉,任晓栋. 基于复值小波变换的直流系统接地故障检测[J]. 中国电力, 2003, 36(11): 12-14.

[5] 季涛,谭思园,徐丙垠,等. 基于波形分析的直流系统接地故障检测新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 69-71.

[6] 李冬辉,史临潼. 小波理论在直流系统接地故障检测中的应用[J]. 继电器, 2004, 32(21): 29-33.

[7] 李冬辉,王金凤,史临潼. 分形在直流系统故障检测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(21): 53-56.

[8] 张济忠. 分形[D]. 北京:清华大学出版社, 2011.

[9] 史临潼. 分形和小波在直流系统接地故障检测中应用

的研究[D]. 天津:天津大学, 2004.

[10] 胡君,尹华杰. 基于数字滤波器的直流系统接地故障检测法[J]. 继电器, 2006, 34(17): 13-17.

[11] 王洪涛,刘辉军. 基于 Duffing 振子的直流系统接地故障检测新方法[J]. 厦门理工学院学报, 2011, 19(1): 52-56.

[12] 王洪涛,刘辉军. Duffing 振子检测直流系统接地应用研究[C]. 工程学会第十届青年学术会议, 2008.

[13] 尚秋峰,尹成群,李士林,等. 基于 Duffing 振子的微弱正弦信号检测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(2): 67-70.

[14] 刘海波,吴德伟,戴传金,等. 基于 Duffing 振子的弱正弦信号检测方法研究[J]. 电子学报, 2013, 41(1): 8-12.

作者简介:

戴平(1962),男,高级工程师,研究方向为电力系统保护与控制;

吴健(1973),男,工程师,研究方向为电力系统保护与控制;

龙涛(1987),男,初级工程师,研究方向为电力系统运行与规划。

(收稿日期:2013-07-24)

(上接第19页)

由表1可知,本程序与 PSCAD 结果相比,最大误差不超过 3%,说明本程序的变压器模型是准确、可靠的,满足工程调试所需的试验场景模拟和相关研究分析。

3 结论

提出了一种可模拟变比、联结组、内部故障和相间耦合等特性的三相三绕组变压器电磁暂态仿真模型,并给出详细的计及变比和联结组特性的变压器模型推导公式。模型准确、可靠,易于编程实现,仿真精度满足工程调试需求,也适用于研究分析。

参考文献

[1] Dommel H W. 电力系统电磁暂态计算理论[M]. 李永庄,林集明,曾昭华,译. 北京:水利电力出版社, 1991: 14-26.

[2] 夏道止. 电力系统分析(下册)[M]. 北京:中国电力出版社, 1995: 48-93.

[3] 王晓彤,牛晓明,施围. 电磁暂态计算中新的变压器模型[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(4): 9-12.

[4] 曾麟钧,林湘宁,黄景光,等. 特高压自耦变压器的建模和电磁暂态仿真[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(1): 91-97.

[5] 王庆平,董新洲,周双喜,等. 基于自适应模型的变压器暂态全过程数值计算[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(18): 54-58.

[6] 王彪,甄威,张华,等. 智能变电站二次系统实验方法综述[J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 4-8.

作者简介:

王彪(1985),男,工程师,从事电力系统仿真分析研究工作;

甄威(1956),男,教授级高工,从事电力系统仿真、继电保护技术研究工作。

(收稿日期:2013-06-19)