

## (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2014 年 5 月 1 日 (01.05.2014)



(10) 国际公布号  
WO 2014/063570 A1

- (51) 国际专利分类号:  
G01R 35/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/084913
- (22) 国际申请日: 2013 年 10 月 9 日 (09.10.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201210411341.9 2012 年 10 月 24 日 (24.10.2012) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA (SGCC)) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。 国网重庆市电力公司电力科学研究院 (STATE GRID CHONGQING ELECTRIC POWER CO. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。
- (72) 发明人: 何建军 (HE, Jianjun); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 徐瑞林 (XU, Ruilin); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 陈涛 (CHEN, Tao); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing

401123 (CN)。 张友强 (ZHANG, Youqiang); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 王洪彬 (WANG, Hongbin); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 罗建 (LUO, Jian); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 高晋 (GAO, Jin); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 张晓勇 (ZHANG, Xiaoyong); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 胡晓锐 (HU, Xiaorui); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 钟加勇 (ZHONG, Jiayong); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 刘祖建 (LIU, Zujian); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 姚树友 (YAO, Shuyou); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 余红欣 (YU, Hongxin); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 何燕 (HE, Yan); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 李杰 (LI, Jie); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 熊伟 (XIONG, Wei); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。 魏甦 (WEI, Su); 中国重庆市渝北区

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR ON-LINE DIAGNOSING GRADUALLY-CHANGING FAULT OF ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS

(54) 发明名称: 一种电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法

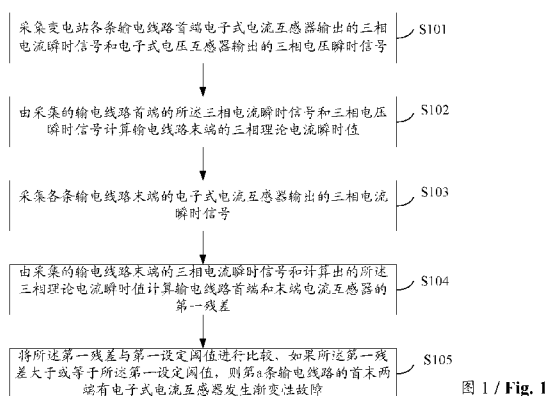


图 1 / Fig. 1

- S101 COLLECTING INSTANTANEOUS SIGNALS OF THREE-PHASE CURRENT FROM THE OUTPUT OF THE ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS AND INSTANTANEOUS SIGNALS OF THREE-PHASE VOLTAGE FROM THE OUTPUT OF THE ELECTRONIC VOLTAGE TRANSFORMERS AT THE HEAD END OF EACH POWER TRANSMISSION LINE OF A POWER TRANSFORMER SUBSTATION
- S102 CALCULATING THEORETICAL INSTANTANEOUS VALUES OF THREE-PHASE CURRENT AT THE TAIL ENDS OF THE POWER TRANSMISSION LINES FROM THE COLLECTED INSTANTANEOUS SIGNALS OF THREE-PHASE CURRENT AND THREE-PHASE VOLTAGE AT THE HEAD ENDS OF THE POWER TRANSMISSION LINES
- S103 COLLECTING INSTANTANEOUS SIGNALS OF THREE-PHASE CURRENT FROM THE OUTPUT OF THE ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS AT THE TAIL END OF EACH POWER TRANSMISSION LINE
- S104 CALCULATING FIRST RESIDUAL ERRORS OF THE CURRENT TRANSFORMERS AT THE HEAD AND TAIL ENDS OF THE POWER TRANSMISSION LINES FROM THE COLLECTED INSTANTANEOUS SIGNALS OF THREE-PHASE CURRENT AT THE TAIL ENDS OF THE POWER TRANSMISSION LINES AND THE CALCULATED THEORETICAL INSTANTANEOUS VALUE OF THREE-PHASE CURRENT
- S105 COMPARING THE FIRST RESIDUAL ERROR WITH A FIRST PRESET THRESHOLD VALUE. IF THE FIRST RESIDUAL ERROR IS GREATER THAN OR EQUAL TO THE FIRST PRESET THRESHOLD VALUE, THEN THE ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS AT THE HEAD AND TAIL ENDS OF LINE A OF POWER TRANSMISSION LINES HAVE GRADUALLY-CHANGING FAULT OCCURRED

(57) Abstract: A method for on-line diagnosing gradually-changing fault of electronic current transformers comprises the following steps: collecting output signals of electronic transformers of a whole transformer substation, calculating theoretical instantaneous values of the current at the tail ends of power transmission lines and on secondary sides of transformers at every moment, comparing the theoretical instantaneous values with the corresponding collected values, calculating residual errors of the electronic current transformers at the head and tail ends of each power transmission line and the primary and the secondary sides of each transformer respectively, judging whether gradually-changing fault occurs with the electronic current transformers by comparing the residual errors with preset threshold values, and simultaneously performing Kirchhoff detection by injecting current into a busbar to position a fault transformer. The present invention is easy and convenient to operate, high in calculation accuracy, and capable of achieving on-line diagnosis of the gradually-changing fault under the condition that the electronic current transformers are not being powered off or getting offline and no other hardware devices are being required.

(57) 摘要:

[见续页]



黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。黄飞 (HUANG, Fei); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。王瑞妙 (WANG, Ruimiao); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。蒋昆 (JIANG, Kun); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。徐鑫 (XU, Xin); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。朱特 (ZHU, Te); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。魏燕 (WEI, Yan); 中国重庆市渝北区黄山大道中段 80 号, Chongqing 401123 (CN)。

- (74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街 22 号赛特广场 7 层, Beijing 100004 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,

CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

**本国际公布:**

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法, 它包括有如下步骤: 采集整个变电站电子式互感器的输出信号, 并计算各时刻下的输电线路末端和变压器二次侧的理论电流瞬时值, 再与对应采集值比较, 分别计算出各输电线路首末端和变压器一二次侧电子式电流互感器的残差, 通过残差与设定阈值的比较来判断是否有电子式电流互感器发生渐变故障, 同时对母线注入电流做基尔霍夫检测即可定位故障互感器。本发明操作简便、计算精度高, 可在电子式电流互感器不停电、不脱网、无需附加其它硬件设备的条件下, 实现渐变故障的在线诊断。

## 一种电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法

本申请要求于2012年10月24日提交中国专利局、申请号为201210411341.9、发明名称为“一种电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

### 5 技术领域

本发明涉及电力系统电气设备故障检测技术领域，特别涉及一种电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法。

### 背景技术

10 随着智能变电站的建设推广，电子式互感器的应用日趋广泛。现场运行的电子式互感器，由于性能劣化和现场环境恶劣等原因，其输出与理想状态下的值往往存在测量误差，降低了供电可靠性。由于电子式互感器同电磁式互感器在原理上有很大的不同，其可靠性也会呈现出一些新的特点。实际挂网的电子式互感器，运行时间都不长，大多具有较高的故障率，且尚处于产品的早期故障阶段，电子式互感器在恶劣环境下长期运行后，性能不再稳定。

15 目前，尚无有效手段对运行中的电子式电流互感器进行在线监测和故障诊断。当其状态出现异常，将直接影响到站内二次设备功能的实现，鉴于尚不能消除电子式电流互感器的故障，研究电子式电流互感器的故障诊断方法具有重大的现实意义。

20 目前，对电子式互感器可靠性的研究仅限于事前分析阶段，大多以校验的方式对互感器的品质进行离线评估。而在线校验方式则需要特定的标准电流传感器挂入电网中，且标准通道还需额外的高压侧信号采集处理系统、通讯系统和高压侧供能电源，其最大的弊端是只能人工对单一固定的电子式互感器进行现场校验，现场灵活性明显大大降低，由此可见这种方式并不是真正意义上的实时在线状态监测。国内对电子式互感器的状态监测还停留在定期停电维修的水平。

25 基于信号处理的电子式互感器突变性故障诊断，利用小波变换提取电子式互感器输出信号的突变时刻，并通过检测该时刻下是否有2个及以上互感器发生信号突变，来判断是单互感器故障还是电网本身的故障。该方法对电子式互感器的突变性故障诊断进行了有益探索，然而对渐变性故障的诊断仍无能为力。

-2-

力。当电子式互感器发生渐变性故障时，故障特征信号在时域中表现为跨度大且局部特征不明显，很难直接用于故障判断。

由此可见，目前国内外对于电子式电流互感器的故障诊断研究仍处于起步阶段，尤其对渐变性故障的诊断几乎处于空白，尚无成熟的理论和方法可供借鉴。鉴于针对电子式互感器运行状态识别的研究开展较少，其监测还停留在定期停电维修水平，对正在运行的电子式电流互感器进行在线监测，判断其是否发生渐变性故障是本领域亟待解决的技术问题。

### 发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种电子式电流互感器渐变性故障的诊断方法，它无需附加外部硬件检测设备，可在电子式电流互感器不停电、不脱网的条件下，实现渐变性故障的在线诊断，准确识别定位智能变电站中的故障电子式电流互感器。

本发明实施例提供的电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法，包括以下步骤：

采集变电站各条输电线路首端电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号和电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号；

由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号计算输电线路末端的三相理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ；

采集各条输电线路末端的电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号  $i_n(t)$ ；

由采集的输电线路末端的三相电流瞬时信号和计算出的所述三相理论电流瞬时值计算输电线路首端和末端电流互感器的第一残差  $\varepsilon_a = |i_n(t) - i_{out}(t)|$ ；其中： $\varepsilon_a$  代表第 a 条线路的残差，a 表示输电线路的条数，a=1、2、3...；

将所述第一残差  $\varepsilon_a$  与第一设定阈值  $\varepsilon_0$  进行比较，如果所述第一残差  $\varepsilon_a$  大于或等于所述第一设定阈值  $\varepsilon_0$ ，则第 a 条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变性故障。

优选地，当判断所述第 a 条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变性故障时，还包括：

对本变电站母线上所有输电线路的电子式电流互感器的三相电流瞬时信

—3—

号做基尔霍夫检测,若流入母线的电流矢量和大于 $\varepsilon_0$ ,则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第a条输电线路的首端;若流入母线的电流矢量和小于或等于 $\varepsilon_0$ ,则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第a条输电线路的末端。

5 优选地,所述由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号计算输电线路末端的三相理论电流瞬时值 $i_{out}(t)$ ,具体为:

由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号计算输电线路首端的电流正序分量 $i_{m1}(t)$ 、电流负序分量 $i_{m2}(t)$ 和电流零序分量 $i_{m0}(t)$ ;由采集的输电线路首端的所述三相电压瞬时信号计算输电线路首端的电压正序分量 $u_{m1}(t)$ 、电压负序分量 $u_{m2}(t)$ 和电压零序分量 $u_{m0}(t)$ ;

10 利用公式(1)计算输电线路末端的电流正序分量 $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量 $i_{jn2}(t)$ 和电流零序分量 $i_{jn0}(t)$ ;

$$i_{jn}(t) = i_m(t) - Cxu_m^{(1)}(t) + \frac{1}{2} \times [RCx^2i_m^{(1)}(t) + LCx^2i_m^{(2)}(t)] \quad (1)$$

其中,R是输电线路的单位长度等效电阻,针对正序分量、负序分量和零序分量的计算,它分别对应的取值是R1、R2、R0;

15 L是输电线路的单位长度等效电感,针对正序分量、负序分量和零序分量的计算,它分别对应的取值是L1、L2、L0;

C是输电线路的单位长度等效电容,针对正序分量、负序分量和零序分量的计算,它分别对应的取值是C1、C2、C0;

20 x是输电线路的长度;

$i_{jn}(t)$ 是输电线路末端的电流序分量理论计算值,针对电流正序分量, $i_{jn}(t)$ 就是 $i_{jn1}(t)$ ,针对电流负序分量, $i_{jn}(t)$ 就是 $i_{jn2}(t)$ ,针对电流零序分量, $i_{jn}(t)$ 就是 $i_{jn0}(t)$ ;

$i_m(t)$ 是输电线路首端的电流序分量;针对电流正序分量, $i_m(t)$ 就是 $i_{m1}(t)$ ;

25 针对电流负序分量, $i_m(t)$ 就是 $i_{m2}(t)$ ;针对电流零序分量, $i_m(t)$ 就是 $i_{m0}(t)$ ;

$u_m^{(1)}(t) = (u_m(t) - u_m(t - \Delta t)) / \Delta t$ ;针对电压正序分量, $u_m(t)$ 就是 $u_{m1}(t)$ ;

针对电压负序分量, $u_m(t)$ 就是 $u_{m2}(t)$ ;针对电压零序分量, $u_m(t)$ 就是 $u_{m0}(t)$ ;

$$i_m^{(1)}(t) = [i_m(t) - i_m(t - \Delta t)] / \Delta t;$$

$$i_m^{(2)}(t) = [i_m(t) - 2i_m(t - \Delta t) + i_m(t - 2\Delta t)] / \Delta t^2;$$

-4-

由所述输电线路末端的电流正序分量  $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量  $i_{jn2}(t)$  和电流零序分量  $i_{jn0}(t)$ ，计算输电线路末端的理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ， $i_{out}(t)$  所对应的三相理论电流瞬时值分别是  $i_{outA}(t)$ 、 $i_{outB}(t)$ 、 $i_{outC}(t)$ 。

优选地，所述采集三相电流瞬时信号和所述三相电压瞬时信号的时间间隔均为  $\Delta t$ ，且  $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ 。

本发明实施例还提供一种电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法，包括如下步骤：

采集变电站各台变压器一次侧电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号和电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号；

10 由采集的变压器一次侧的所述三相电流瞬时信号  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$  和三相电压瞬时信号  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$  计算变压器二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$ ；

采集变压器的二次侧的电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号  $i_2(t)$ ；

由采集的变压器二次侧的三相电流瞬时信号  $i_2(t)$  和计算出的所述二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$  获得变压器一次侧和二次侧电流互感器的第二残差  $\varepsilon_b = |i_2(t) - i_{2j}(t)|$ ；其中： $\varepsilon_b$  代表第  $b$  台变压器的残差， $b$  表示变压器的台数， $b=1、2、3...$ ；

将所述第二残差  $\varepsilon_b$  与第二设定阈值  $\varepsilon_{01}$  进行比较，如果所述第二残差  $\varepsilon_b$  大于或等于所述第二设定阈值  $\varepsilon_{01}$ ，则第  $b$  台变压器一次侧和二次侧有电子式电流互感器发生渐变性故障。

20 优选地，所述由采集的变压器一次侧的所述三相电流瞬时信号  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$  和三相电压瞬时信号  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$  计算变压器二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$ ，具体包括：

利用公式 (2) 计算出变压器励磁支路的磁通密度增量  $\Delta B(t)$ ；

$$\Delta B(t) = \frac{1}{2N_1S} [u_1(t-\Delta t) - r_1 i_1(t-\Delta t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t-\Delta t) - i_1(t-2\Delta t)}{\Delta t} + u_1(t) - r_1 i_1(t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t) - i_1(t-\Delta t)}{\Delta t}] \Delta t \quad (2)$$

25 式中：

$u_1(t)$  是变压器的一次侧电压瞬时值，它所对应的三相电压瞬时值是  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$ ；

$i_1(t)$  是变压器的一次侧电流瞬时值，它所对应的三相电流瞬时值是  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$ ；

—5—

$r_1$  是变压器一次侧绕组电阻;

$L_{1\sigma}$  是变压器一次侧绕组电感;

$N_1$  是变压器一次绕组匝数;

$S$  是铁磁材料的横截面积;

- 5 以磁通密度增量  $\Delta B(t)$  作为步长, 采用四级四阶 Runge-Kutta 法对以下方程进行迭代求解, 从而计算出  $t$  时刻下的磁化强度  $M(t)$ :

$$\frac{dM}{dB} = \frac{M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e}}{\mu_0 k\delta + \mu_0 (1 - \alpha)(M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e})}$$

式中:

$$\frac{dM_{an}}{dH_e} = \frac{M_s}{a} \left( \frac{-1}{\sinh^2((B/\mu_0 + (\alpha - 1)M)/a)} + \frac{1}{((B/\mu_0 + (\alpha - 1)M)/a)^2} \right);$$

$$10 \quad M_{an} = M_s \left( \coth\left(\frac{B/\mu_0 + (\alpha - 1)M}{a}\right) - \frac{a}{B/\mu_0 + (\alpha - 1)M} \right);$$

$M$  为磁化强度;  $M_s$  为饱和磁化强度;  $k$  为不可逆磁滞损耗参数, 表征铁磁材料的阻塞损耗作用;  $\mu_0$  为真空磁导率;  $\alpha$  为平均磁场系数, 反映了磁畴间的耦合;  $a$  为表征非磁滞磁化曲线形状的参数;  $c$  为磁畴壁弯曲系数;  $\delta = \frac{\Delta B}{\Delta t}$  为方向系数;

- 15 将  $t$  时刻下的磁通密度  $B(t)$  和磁化强度  $M(t)$  代入到如下公式中, 计算出变压器  $t$  时刻下的二次侧电流理论值:

$$i_{2j}(t) = \frac{N_1}{N_2} [(B(t)/\mu_0 - M(t))l / N_1 - i_1(t)]$$

式中:  $l$  为等效磁路长度;  $N_2$  为变压器二次侧绕组匝数;  $i_{2j}(t)$  所对应的三相电流理论值是  $i_{2jA}(t)$ 、 $i_{2jB}(t)$ 、 $i_{2jC}(t)$ 。

- 20 优选地, 当判断所述第  $b$  台变压器一次侧和二次侧有电子式电流互感器发生渐变故障之后, 还包括:

对母线上所有支路的电子式电流互感器的采集瞬时值做基尔霍夫检测, 若

—6—

流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_{01}$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的母线侧；若流入母线的电流矢量和小于或等于  $\varepsilon_{01}$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的非母线侧。

优选地，所述采集三相电流瞬时信号和所述三相电压瞬时信号的时间间隔

5 均为  $\Delta t$ ，且  $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ 。

相对于现有技术，本发明具有以下有益效果：

10 本发明从变电站一次系统元件的物理电气特性出发搭建诊断平台，通过构造输电线路和变压器的电路模型，以建立元件两端的电气联系，将电流计算值和互感器输出值相比较得到残差故障信息，对提取出的故障特征参考分量进行分析，以此进行互感器渐变性故障的辨识。同时根据母线上基尔霍夫电流定律的约束，可对故障互感器进行准确定位。操作简便、计算精度高，可对时域中表现为跨度大且局部特征不明显的渐变性故障进行准确识别；本发明利用智能变电站一次系统自身的电子式互感器采集到的数据，即可识别变电站网络中发生渐变性故障的电子式电流互感器，无需附加其它任何硬件设备；本发明可在  
15 电子式互感器不停电、不脱网的条件下，实现电子式电流互感器的在线故障诊断，不影响现场设备的运行；故障阈值可根据需要进行任意设定，能针对不同程度的故障进行识别，具有很强的灵活性。

### 附图说明

20 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本发明提供的方法实施例一流程图；

图 2 是输电线路分布参数电路模型结构示意图；

25 图 3 是图 2 中一个单元的电路图；

图 4 是包含励磁支路的变压器模型结构示意图；

图 5 是本发明实验例中的变电站结构示意图；

### 具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清

楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

参见图 1,该图为本发明提供的方法实施例一流程图。

本实施例提供的电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法,包括以下步骤:

10 S101:采集变电站各条输电线路首端电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号和电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号;

S102:由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号计算输电线路末端的三相理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ;

S103:采集各条输电线路末端的电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号  $i_n(t)$ ;

15 S104:由采集的输电线路末端的三相电流瞬时信号和计算出的所述三相理论电流瞬时值计算输电线路首端和末端电流互感器的第一残差  $\varepsilon_a = |i_n(t) - i_{out}(t)|$ ;其中:  $\varepsilon_a$  代表第 a 条线路的残差, a 表示输电线路的条数, a=1、2、3...;

20 S105:将所述第一残差  $\varepsilon_a$  与第一设定阈值  $\varepsilon_0$  进行比较,如果所述第一残差  $\varepsilon_a$  大于或等于所述第一设定阈值  $\varepsilon_0$ ,则第 a 条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变性故障。

25 本发明从变电站一次系统元件的物理电气特性出发搭建诊断平台,通过构造输电线路和变压器的电路模型,以建立元件两端的电气联系,将电流计算值和互感器输出值相比较得到残差故障信息,对提取出的故障特征参考分量进行分析,以此进行互感器渐变性故障的辨识。同时根据母线上基尔霍夫电流定律的约束,可对故障互感器进行准确定位。操作简便、计算精度高,可对时域中表现为跨度大且局部特征不明显的渐变性故障进行准确识别;本发明利用智能变电站一次系统自身的电子式互感器采集到的数据,即可识别变电站网络中发生渐变性故障的电子式电流互感器,无需附加其它任何硬件设备;本发明可在

电子式互感器不停电、不脱网的条件下,实现电子式电流互感器的在线故障诊断,不影响现场设备的运行;故障阈值可根据需要进行任意设定,能针对不同程度的故障进行识别,具有很强的灵活性。

下面具体介绍本发明的实现过程。

5 本发明包括有如下的步骤:

(1)、采集整个变电站电子式互感器的输出信号

①、实时采集变电站各条输电线路首端电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号、电子式电压互感器输出的电压瞬时信号,采集各条输电线路末端电子式电流互感器输出的电流瞬时信号 $i_n(t)$ ,它所对应的三相电流瞬时信号是  
10  $i_{nA}(t)$ 、 $i_{nB}(t)$ 、 $i_{nC}(t)$ ;获取电信号的时间间隔均为 $\Delta t$ ,且 $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ ;

②、实时采集变电站各台变压器一次侧电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号 $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$ ,以及电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号 $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$ ,同时,采集变压器二次侧电子式电流互感器输出的电流瞬时信号 $i_2(t)$ ,它所对应的三相电流瞬时信号是 $i_{2A}(t)$ 、 $i_{2B}(t)$ 、 $i_{2C}(t)$ ;获取电信  
15 号的时间间隔均为 $\Delta t$ ,且 $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ ;

(2)、计算t时刻下的输电线路末端和变压器二次侧的理论电流瞬时值;

①、计算t时刻下的输电线路末端的理论电流瞬时值

用步骤(1)获取的t时刻下输电线路首端的三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号,计算出输电线路首端t时刻下的电流正序分量 $i_{m1}(t)$ 、电流负序分量 $i_{m2}(t)$ 和电流零序分量 $i_{m0}(t)$ 以及电压正序分量 $u_{m1}(t)$ 、电压负序分量 $u_{m2}(t)$ 、电压零序分量 $u_{m0}(t)$ ,将它们代入到如下的公式中,分别计算出输电线路末端的  
20 电流正序分量 $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量 $i_{jn2}(t)$ 、电流零序分量 $i_{jn0}(t)$ :

$$i_{jn}(t) = i_m(t) - Cxu_m^{(1)}(t) + \frac{1}{2} \times [RCx^2i_m^{(1)}(t) + LCx^2i_m^{(2)}(t)]$$

上面式中:

25 R是输电线路的单位长度等效电阻,针对正序分量、负序分量和零序分量的计算,它分别对应的取值是R1、R2、R0;

L是输电线路的单位长度等效电感,针对正序分量、负序分量和零序分量的计算,它分别对应的取值是L1、L2、L0;

C是输电线路的单位长度等效电容,针对正序分量、负序分量和零序分量

—9—

的计算, 它分别对应的取值是 C1、C2、C0;

x 是输电线路的长度;

$i_{jn}(t)$  是输电线路末端的电流序分量理论计算值, 针对电流正序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn1}(t)$ , 针对电流负序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn2}(t)$ , 针对电流零序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn0}(t)$ ;

$i_m(t)$  是输电线路首端的电流序分量; 针对电流正序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m1}(t)$ ; 针对电流负序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m2}(t)$ ; 针对电流零序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m0}(t)$ ;

$u_m^{(1)}(t) = (u_m(t) - u_m(t - \Delta t)) / \Delta t$ ; 针对电压正序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m1}(t)$ ; 针对电压负序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m2}(t)$ ; 针对电压零序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m0}(t)$ ;

$$10 \quad i_m^{(1)}(t) = [i_m(t) - i_m(t - \Delta t)] / \Delta t;$$

$$i_m^{(2)}(t) = [i_m(t) - 2i_m(t - \Delta t) + i_m(t - 2\Delta t)] / \Delta t^2;$$

根据计算得到的 t 时刻下输电线路末端的电流正序分量  $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量  $i_{jn2}(t)$ 、电流零序分量  $i_{jn0}(t)$ , 计算出输电线路末端的理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ , 它所对应的三相理论电流瞬时值分别是  $i_{outA}(t)$ 、 $i_{outB}(t)$ 、 $i_{outC}(t)$ ;

15 ②、计算 t 时刻下变压器二次侧的理论电流瞬时值;

将步骤 (1) 中获取的 t 时刻下变压器一次侧三相电流  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$  和三相电压  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$  的瞬时信号代入到如下公式中, 计算出变压器励磁支路的磁通密度增量  $\Delta B(t)$ :

$$\Delta B(t) = \frac{1}{2N_1S} [u_1(t - \Delta t) - r_1 i_1(t - \Delta t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t - \Delta t) - i_1(t - 2\Delta t)}{\Delta t} + u_1(t) - r_1 i_1(t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t) - i_1(t - \Delta t)}{\Delta t}] \Delta t$$

20 式中:

$u_1(t)$  是变压器的一次侧电压瞬时值, 它所对应的三相电压瞬时值是  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$ ;

$i_1(t)$  是变压器的一次侧电流瞬时值, 它所对应的三相电流瞬时值是  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$ ;

25  $r_1$  是变压器一次侧绕组电阻;

$L_{1\sigma}$  是变压器一次侧绕组电感;

$N_1$  是变压器一次绕组匝数;

S 是铁磁材料的横截面积;

以磁通密度增量  $\Delta B(t)$  作为步长, 采用四级四阶 Runge-Kutta 法对以下方程

-10-

进行迭代求解,从而计算出  $t$  时刻下的磁化强度  $M(t)$ :

$$\frac{dM}{dB} = \frac{M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e}}{\mu_0 k\delta + \mu_0 (1 - \alpha)(M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e})}$$

式中:

$$\frac{dM_{an}}{dH_e} = \frac{M_s}{a} \left( \frac{-1}{\sinh^2((B/\mu_0 + (\alpha - 1)M)/a)} + \frac{1}{((B/\mu_0 + (\alpha - 1)M)/a)^2} \right);$$

$$5 \quad M_{an} = M_s \left( \coth\left(\frac{B/\mu_0 + (\alpha - 1)M}{a}\right) - \frac{a}{B/\mu_0 + (\alpha - 1)M} \right);$$

$M$  为磁化强度;  $M_s$  为饱和磁化强度;  $k$  为不可逆磁滞损耗参数,表征铁磁材料的阻塞损耗作用;  $\mu_0$  为真空磁导率;  $\alpha$  为平均磁场系数,反映了磁畴间的耦合;  $a$  为表征非磁滞磁化曲线形状的参数;  $c$  为磁畴壁弯曲系数;  $\delta = \frac{\Delta B}{\Delta t}$  为方向系数;

10 将  $t$  时刻下的磁通密度  $B(t)$  和磁化强度  $M(t)$  代入到如下公式中,计算出变压器  $t$  时刻下的二次侧电流理论值:

$$i_{2j}(t) = \frac{N_1}{N_2} [(B(t)/\mu_0 - M(t))l/N_1 - i_1(t)]$$

式中:  $l$  为等效磁路长度;  $N_2$  为变压器二次侧绕组匝数;  $i_{2j}(t)$  所对应的三相电流理论值是  $i_{2jA}(t)$ 、 $i_{2jB}(t)$ 、 $i_{2jC}(t)$ ;

15 (3)、分别计算所有输电线路首末两端和变压器一二次侧电子式电流互感器的残差  $\varepsilon_a$ 、 $\varepsilon_b$ ; ①、输电线路首末两端电流互感器的残差  $\varepsilon_a = |i_n(t) - i_{out}(t)|$ , 其中:  $\varepsilon_a$  代表第  $a$  条线路的残差,  $a$  表示输电线路的条数,  $a=1, 2, 3, \dots$ ;

②、变压器一二次侧电流互感器的残差  $\varepsilon_b = |i_2(t) - i_{2j}(t)|$ , 其中:  $\varepsilon_b$  代表第  $b$  台变压器的残差,  $b$  表示变压器的台数,  $b=1, 2, 3, \dots$ ;

20 (4)、电子式电流互感器渐变故障判断;

①、当  $\varepsilon_a < \varepsilon_0$  且  $\varepsilon_b < \varepsilon_0$  时,  $\varepsilon_0$  为所设定的阈值,说明变电站一次系统中无电子式电流互感器发生渐变故障,将  $t + \Delta t$  作为新的时刻  $t$ , 执行步骤 (2);

②、当  $\varepsilon_a > \varepsilon_0$  时,说明变电站中第  $a$  条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变故障,执行步骤 (5);

③、当  $\varepsilon_b > \varepsilon_0$  时，说明变电站中第 b 台变压器的一二次侧有电子式电流互感器发生渐变性故障，执行步骤 (6)；

(5)、对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采集瞬时值做基尔霍夫检测，若流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 a 条输电线路的首端；若流入母线的电流矢量和小于或等于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 a 条输电线路的末端；将  $t + \Delta t$  作为新的时刻 t，执行步骤 (2)；

(6)、对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采集瞬时值做基尔霍夫检测，若流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的母线侧；若流入母线的电流矢量和小于或等于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的非母线侧；将  $t + \Delta t$  作为新的时刻 t，执行步骤 (2)；

如此循环往复的重复步骤 (2)、(3)、(4)、(5)、(6)，实现实时地对变电站所有电子式电流互感器的渐变性故障进行在线诊断的目的。

15 本发明从变电站一次系统元件的物理电气特性出发搭建诊断平台，通过构造输电线路和变压器的电路模型，以建立元件两端的电气联系，将电流计算值和互感器输出值相比较得到残差故障信息，对提取出的故障特征参考分量进行分析，以此进行互感器渐变性故障的辨识。同时根据母线上基尔霍夫电流定律的约束，可对故障互感器进行准确定位。

20 本发明是将输电线路完全等效为由无穷多个单元彼此串联而成的电路模型，如图 2 所示。每个单元是由电阻、电感和电容构成，如图 3 所示。基本思想是将每个单元建立电路参数微分方程，把每个微分方程进行反复叠加推算，即可求出等值电路模型沿线各点的电流值。再根据波动原理以特高压线路两端电流过零点作为共同标准，利用相对同步时间处理采样值，将电磁波沿线路的传播过程电路化，便可得分布参数线路上任何一点的电流是距离  $x$  和时间  $t$  的函数关系。同时，结合变压器电路方程，并通过电磁耦合构建了考虑铁磁磁滞的变压器模型，如图 4 所示，从而建立变压器元件两端的电流电气联系。则可以由变压器一次侧的电压、电流采样值，精确计算到二次侧的电流瞬时值。

智能变电站中的电子式电流互感器，输出的电流信号在正常情况下，必须

-12-

满足两方面约束:

- a: 一次系统元件的电气特性约束;
- b: 母线的基尔霍夫电流定律约束。

智能变电站是由变压器、母线和输电线路等一次系统电力元件按一定形式  
5 联结而成的整体,其电气运行特性受到元件物理特性约束和母线基尔霍夫电流  
定律约束。本发明可以根据实际需要,完全控制相对误差在 1%以内,可由输  
电线路和变压器元件一端的电压、电流采样值,精确计算到另一端的电流瞬时  
值,将电流计算瞬时值与该侧电流采样值相比较,即可提取出电子式电流互感  
器的故障特征,进而根据基尔霍夫电流约束准确辨识变电站中的故障电子式电  
10 流互感器。

现结合实验例对本发明作进一步说明:

本实验例所针对的是一 500kV 变电站,变电站结构如图 5 所示,具体参  
数如下:

输电线路参数分别为:

- 15 1 电阻:  $R1=R2=0.02083\ \Omega/\text{km}$ ,  $R0=0.300\ \Omega/\text{km}$ ;
- 2 电感:  $L1=L2=8.984\text{mH}/\text{km}$ ,  $L0=3.159\text{mH}/\text{km}$
- 3 电容:  $C1=C2=0.0129\ \mu\text{F}/\text{km}$ ,  $C0=0.010\ \mu\text{F}/\text{km}$ ;
- 4 角频率:  $\omega=2\pi f\approx 314(\text{rad}/\text{s})$ ;
- 5 三条出线全长分别为 300km、400km、300km;

20 变压器参数为:

- 1 额定电压: 24 kV /512.5kV;
- 2 额定容量: 223MVA;
- 3 绕组匝数: 35/715;
- 4 高压绕组电阻:  $0.7905\ \Omega$ ;
- 25 5 低压绕组电阻:  $0.0029\ \Omega$ ;
- 6 短路阻抗百分比: 16.54%;
- 7 铁心直径: 1200mm;
- 8 铁心横截面积  $9343\text{cm}^2$ ;
- 9 等效磁路长度 10.87m;

10 磁滞回线参数:  $a=6.5\text{A/m}$ 、 $\alpha=1.49\times 10^{-5}$ 、 $M_S=1.48\times 10^6\text{A/m}$ 、 $k=8.6\text{A/m}$ 、 $c=0.1$ ;

在 2011 年 3 月 7 日至 2012 年 2 月 19 日期间, 对上述变电站中的电子式电流互感器进行在线监测, 开展渐变型故障诊断, 其中阈值  $\varepsilon_0$  设定为额定电流

5 I0 的 2%, 取  $\Delta t=0.25\text{ms}$ 。

实验例 1: 2011 年 3 月 7 日, 监测数据如下表 1 所示

表 1 残差比较

| 残差项                | 对应元件 | 各序列残差/额定电流 ( $\varepsilon_a/I_0$ 或 $\varepsilon_b/I_0$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |      | 1                                                        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $\varepsilon_{a1}$ | 变压器  | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 0                                                        | 1    | 3    | 2    | 1    | 2    | 2    | 3    | 2    | 1    |
| $\varepsilon_{b1}$ | 线路 1 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 0                                                        | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 3    | 2    | 1    | 1    |
| $\varepsilon_{b2}$ | 线路 2 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 3                                                        | 2    | 2    | 1    | 3    | 3    | 2    | 5    | 3    | 2    |
| $\varepsilon_{b3}$ | 线路 3 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 1                                                        | 0    | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 0    | 1    |

在表 1 中可看出, 各条输电线路与变压器的残差均小于阈值  $\varepsilon_0$ , 说明变电站中无电子式电流互感器发生渐变性故障, 经现场检测确无故障, 以此证明判断正确, 实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

10 站中无电子式电流互感器发生渐变性故障,经现场检测确无故障,以此证明判断正确,实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

实验例 2: 2011 年 6 月 28 日, 监测数据如下表 2 所示

表 2 残差比较

[illegible]

|                    |      | 4    | 7    | 1    | 3    | 4    | 5    | 6    | 5    | 6    | 7    |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\varepsilon_{b2}$ | 线路 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 3    | 1    | 2    | 4    | 5    | 3    | 2    | 4    | 6    | 7    |
| $\varepsilon_{b3}$ | 线路 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 1    | 4    | 2    | 1    | 3    | 6    | 4    | 9    | 3    | 1    |

在表 2 中可以看出, 线路 1 从第三个采样点开始, 残差  $\varepsilon_{b1}$  分别是  $0.021I_0$ 、 $0.023I_0$ 、 $0.024I_0$ 、 $0.025I_0$ 、 $0.026I_0$ 、 $0.025I_0$ 、 $0.026I_0$ 、 $0.027I_0$ , 均超过设定的阈值  $\varepsilon_0$ , 其它线路和变压器上的计算残差并不超过阈值  $\varepsilon_0$ , 表明线路 1 上有电子式电流互感器发生渐变性故障, 线路 2、线路 3、变压器上电子式电流互感器均无渐变性故障。对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采样瞬时值做基尔霍夫检测, 检测结果大于  $0.027 I_0$ , 即流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_0$ , 说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于线路 1 的首端, 即 ECT3。此时, 到现场对电子式电流互感器 ECT3 进行实际检查, 发现确为该电子式电流互感器故障, 以此证明判断正确, 实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

实验例 3: 2011 年 8 月 16 日, 监测数据如下表 3 所示

表 3 残差比较

| 残差项                | 对应元件 | 各序列残差/额定电流 ( $\varepsilon_a/I_0$ 或 $\varepsilon_b/I_0$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |      | 1                                                        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $\varepsilon_{a1}$ | 变压器  | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 4                                                        | 2    | 5    | 3    | 1    | 2    | 3    | 4    | 2    | 3    |
| $\varepsilon_{b1}$ | 线路 1 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 2                                                        | 1    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 5    | 1    | 1    |
| $\varepsilon_{b2}$ | 线路 2 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 1                                                        | 1    | 7    | 3    | 2    | 5    | 9    | 7    | 6    | 3    |
| $\varepsilon_{b3}$ | 线路 3 | 0.01                                                     | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
|                    |      | 5                                                        | 9    | 0    | 2    | 1    | 2    | 3    | 5    | 7    | 6    |

在表 3 中可看出，线路 3 从第四个采样点开始，残差  $\varepsilon_{b3}$  分别是  $0.022I_0$ 、 $0.021I_0$ 、 $0.022I_0$ 、 $0.023I_0$ 、 $0.025I_0$ 、 $0.027I_0$ 、 $0.026I_0$ ，均超过设定的阈值  $\varepsilon_0$ ，其它线路和变压器上的计算残差并不超过阈值  $\varepsilon_0$ ，表明线路 3 上有电子式电流互感器发生渐变性故障，线路 1、线路 2、变压器上电子式电流互感器均无渐变性故障。对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采样瞬时值做基尔霍夫检测，检测结果小于  $\varepsilon_0$ ，即流入母线的电流矢量和小于  $\varepsilon_0$ ，说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于线路 3 的末端，即 ECT2。此时，到现场对电子式电流互感器 ECT2 进行实际检查，发现确为该电子式电流互感器故障，以此证明判断正确，实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

实验例 4：2011 年 12 月 21 日，监测数据如下表 4 所示

表 4 残差比较

| 残差项                | 对应元件 | 各序列残差/额定电流 ( $\varepsilon_a/I_0$ 或 $\varepsilon_b/I_0$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |      | 1                                                        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $\varepsilon_{a1}$ | 变压器  | 0.01                                                     | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
|                    |      | 8                                                        | 2    | 3    | 5    | 6    | 8    | 7    | 9    | 0    | 1    |
| $\varepsilon_{b1}$ | 线路 1 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 1                                                        | 2    | 1    | 1    | 3    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    |
| $\varepsilon_{b2}$ | 线路 2 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 2                                                        | 2    | 1    | 3    | 4    | 1    | 3    | 4    | 6    | 5    |
| $\varepsilon_{b3}$ | 线路 3 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 5                                                        | 4    | 2    | 1    | 3    | 2    | 2    | 2    | 1    | 1    |

在表 4 中可看出，变压器从第二个采样点开始，残差  $\varepsilon_{a1}$  分别是  $0.022I_0$ 、 $0.023I_0$ 、 $0.025I_0$ 、 $0.026I_0$ 、 $0.028I_0$ 、 $0.027I_0$ 、 $0.029I_0$ 、 $0.0030I_0$ 、 $0.031I_0$ ，均超过设定的阈值  $\varepsilon_0$ ，各条线路上的计算残差并不超过阈值  $\varepsilon_0$ ，表明变压器上有电子式电流互感器发生渐变性故障，线路 1、线路 2、线路 3 上电子式电流互感器均无渐变性故障。对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采样瞬时值做基尔霍夫检测，检测结果大于  $\varepsilon_0$ ，即流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_0$ ，

说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于变压器的母线侧，即 ECT5。此时，到现场对电子式电流互感器 ECT5 进行实际检查，发现确为该电子式电流互感器故障，以此证明判断正确，实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

5        实验例 5: 2012 年 1 月 30 日，监测数据如下表 5 所示

表 5 残差比较

| 残差项                | 对应元件 | 各序列残差/额定电流 ( $\varepsilon_a/I_0$ 或 $\varepsilon_b/I_0$ ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |      | 1                                                        | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| $\varepsilon_{a1}$ | 变压器  | 0.01                                                     | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
|                    |      | 3                                                        | 5    | 8    | 9    | 2    | 3    | 5    | 6    | 7    | 9    |
| $\varepsilon_{b1}$ | 线路 1 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 2                                                        | 1    | 1    | 3    | 5    | 4    | 2    | 3    | 1    | 2    |
| $\varepsilon_{b2}$ | 线路 2 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 1                                                        | 3    | 1    | 3    | 4    | 3    | 3    | 2    | 4    | 3    |
| $\varepsilon_{b3}$ | 线路 3 | 0.00                                                     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
|                    |      | 7                                                        | 3    | 5    | 3    | 2    | 2    | 1    | 3    | 1    | 1    |

在表 5 中可看出，变压器从第五个采样点开始，残差  $\varepsilon_{a1}$  分别是  $0.022I_0$ 、 $0.023I_0$ 、 $0.025I_0$ 、 $0.026I_0$ 、 $0.027I_0$ 、 $0.029I_0$ ，均超过设定的阈值  $\varepsilon_0$ ，各条线路上的计算残差并不超过阈值  $\varepsilon_0$ ，表明变压器上有电子式电流互感器发生渐变性故障，线路 1、线路 2、线路 3 上电子式电流互感器均无渐变性故障。对本变电站母线上所有支路的电子式电流互感器的采样瞬时值做基尔霍夫检测，检测结果小于  $\varepsilon_0$ ，即流入母线的电流矢量和小于  $\varepsilon_0$ ，说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于变压器的非母线侧，即 ECT1。此时，到现场对电子式电流互感器 ECT1 进行实际检查，发现确为该电子式电流互感器故障，以此证明判断正确，实验结果验证了本发明电子式电流互感器故障诊断方法的准确性。

以上所述，仅是本发明的较佳实施例而已，并非对本发明作任何形式上的限制。虽然本发明已以较佳实施例揭露如上，然而并非用以限定本发明。任何熟悉本领域的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围情况下，都可利用上述揭示的方法和技术内容对本发明技术方案做出许多可能的变动和修饰，或修改

—17—

为等同变化的等效实施例。因此，凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰，均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

## 权 利 要 求

1、一种电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法，其特征在于，包括以下步骤：

5 采集变电站各条输电线路首端电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号和电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号；

由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号计算输电线路末端的三相理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ；

采集各条输电线路末端的电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号  $i_n(t)$ ；

10 由采集的输电线路末端的三相电流瞬时信号和计算出的所述三相理论电流瞬时值计算输电线路首端和末端电流互感器的第一残差  $\varepsilon_a = |i_n(t) - i_{out}(t)|$ ；其中： $\varepsilon_a$  代表第 a 条线路的残差，a 表示输电线路的条数，a=1、2、3...；

15 将所述第一残差  $\varepsilon_a$  与第一设定阈值  $\varepsilon_0$  进行比较，如果所述第一残差  $\varepsilon_a$  大于或等于所述第一设定阈值  $\varepsilon_0$ ，则第 a 条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变性故障。

2、根据权利要求 1 所述的电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法，其特征在于，当判断所述第 a 条输电线路的首末两端有电子式电流互感器发生渐变性故障时，还包括：

20 对本变电站母线上所有输电线路的电子式电流互感器的三相电流瞬时信号做基尔霍夫检测，若流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 a 条输电线路的首端；若流入母线的电流矢量和小于或等于  $\varepsilon_0$ ，则说明发生渐变性故障的电子式电流互感器位于第 a 条输电线路的末端。

25 3、根据权利要求 1 所述的电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法，其特征在于，所述由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号和三相电压瞬时信号计算输电线路末端的三相理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ，具体为：

由采集的输电线路首端的所述三相电流瞬时信号计算输电线路首端的电流正序分量  $i_{m1}(t)$ 、电流负序分量  $i_{m2}(t)$  和电流零序分量  $i_{m0}(t)$ ；由采集的输电线路首端的所述三相电压瞬时信号计算输电线路首端的电压正序分量  $u_{m1}(t)$ 、电

- 19 -

压负序分量  $u_{m2}(t)$  和电压零序分量  $u_{m0}(t)$ ;

利用公式 (1) 计算输电线路末端的电流正序分量  $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量  $i_{jn2}(t)$  和电流零序分量  $i_{jn0}(t)$ ;

$$i_{jn}(t) = i_m(t) - Cxu_m^{(1)}(t) + \frac{1}{2} \times [RCx^2i_m^{(1)}(t) + LCx^2i_m^{(2)}(t)] \quad (1)$$

5 其中, R 是输电线路的单位长度等效电阻, 针对正序分量、负序分量和零序分量的计算, 它分别对应的取值是 R1、R2、R0;

L 是输电线路的单位长度等效电感, 针对正序分量、负序分量和零序分量的计算, 它分别对应的取值是 L1、L2、L0;

10 C 是输电线路的单位长度等效电容, 针对正序分量、负序分量和零序分量的计算, 它分别对应的取值是 C1、C2、C0;

x 是输电线路的长度;

$i_{jn}(t)$  是输电线路末端的电流序分量理论计算值, 针对电流正序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn1}(t)$ , 针对电流负序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn2}(t)$ , 针对电流零序分量,  $i_{jn}(t)$  就是  $i_{jn0}(t)$ ;

15  $i_m(t)$  是输电线路首端的电流序分量; 针对电流正序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m1}(t)$ ; 针对电流负序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m2}(t)$ ; 针对电流零序分量,  $i_m(t)$  就是  $i_{m0}(t)$ ;

$u_m^{(1)}(t) = (u_m(t) - u_m(t - \Delta t)) / \Delta t$ ; 针对电压正序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m1}(t)$ ; 针对电压负序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m2}(t)$ ; 针对电压零序分量,  $u_m(t)$  就是  $u_{m0}(t)$ ;

$$i_m^{(1)}(t) = [i_m(t) - i_m(t - \Delta t)] / \Delta t;$$

$$20 \quad i_m^{(2)}(t) = [i_m(t) - 2i_m(t - \Delta t) + i_m(t - 2\Delta t)] / \Delta t^2;$$

由所述输电线路末端的电流正序分量  $i_{jn1}(t)$ 、电流负序分量  $i_{jn2}(t)$  和电流零序分量  $i_{jn0}(t)$ , 计算输电线路末端的理论电流瞬时值  $i_{out}(t)$ ,  $i_{out}(t)$  所对应的三相理论电流瞬时值分别是  $i_{outA}(t)$ 、 $i_{outB}(t)$ 、 $i_{outC}(t)$ 。

4、根据权利要求 1 所述的电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法, 其特征在于, 所述采集三相电流瞬时信号和所述三相电压瞬时信号的时间间隔均为  $\Delta t$ , 且  $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ 。

5、一种电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

采集变电站各台变压器一次侧电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信

号和电子式电压互感器输出的三相电压瞬时信号;

由采集的变压器一次侧的所述三相电流瞬时信号  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$  和三相电压瞬时信号  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$  计算变压器二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$ ;

采集变压器的二次侧的电子式电流互感器输出的三相电流瞬时信号  $i_2(t)$ ;

- 5 由采集的变压器二次侧的三相电流瞬时信号  $i_2(t)$  和计算出的所述二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$  获得变压器一次侧和二次侧电流互感器的第二残差  $\varepsilon_b = |i_2(t) - i_{2j}(t)|$ ; 其中:  $\varepsilon_b$  代表第  $b$  台变压器的残差,  $b$  表示变压器的台数,  $b=1, 2, 3, \dots$ ;

- 10 将所述第二残差  $\varepsilon_b$  与第二设定阈值  $\varepsilon_{01}$  进行比较, 如果所述第二残差  $\varepsilon_b$  大于或等于所述第二设定阈值  $\varepsilon_{01}$ , 则第  $b$  台变压器一次侧和二次侧有电子式电流互感器发生渐变性故障。

- 6、根据权利要求 5 所述的电子式电流互感器的渐变性故障在线诊断方法, 其特征在于, 所述由采集的变压器一次侧的所述三相电流瞬时信号  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$  和三相电压瞬时信号  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$  计算变压器二次侧的三相电流理论值  $i_{2j}(t)$ , 具体包括:

利用公式 (2) 计算出变压器励磁支路的磁通密度增量  $\Delta B(t)$ ;

$$\Delta B(t) = \frac{1}{2N_1S} [u_1(t-\Delta t) - r_1 i_1(t-\Delta t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t-\Delta t) - i_1(t-2\Delta t)}{\Delta t} + u_1(t) - r_1 i_1(t) - L_{1\sigma} \frac{i_1(t) - i_1(t-\Delta t)}{\Delta t}] \Delta t \quad (2)$$

式中:

- 20  $u_1(t)$  是变压器的一次侧电压瞬时值, 它所对应的三相电压瞬时值是  $u_{1A}(t)$ 、 $u_{1B}(t)$ 、 $u_{1C}(t)$ ;

$i_1(t)$  是变压器的一次侧电流瞬时值, 它所对应的三相电流瞬时值是  $i_{1A}(t)$ 、 $i_{1B}(t)$ 、 $i_{1C}(t)$ ;

$r_1$  是变压器一次侧绕组电阻;

$L_{1\sigma}$  是变压器一次侧绕组电感;

- 25  $N_1$  是变压器一次绕组匝数;

$S$  是铁磁材料的横截面积;

以磁通密度增量  $\Delta B(t)$  作为步长, 采用四级四阶 Runge-Kutta 法对以下方程进行迭代求解, 从而计算出  $t$  时刻下的磁化强度  $M(t)$ :

- 21 -

$$\frac{dM}{dB} = \frac{M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e}}{\mu_0 k\delta + \mu_0(1-\alpha)(M_{an} - M + k\delta c \frac{dM_{an}}{dH_e})}$$

式中:

$$\frac{dM_{an}}{dH_e} = \frac{M_s}{a} \left( \frac{-1}{\sinh^2((B/\mu_0 + (\alpha-1)M)/a)} + \frac{1}{((B/\mu_0 + (\alpha-1)M)/a)^2} \right);$$

$$M_{an} = M_s \left( \coth\left(\frac{B/\mu_0 + (\alpha-1)M}{a}\right) - \frac{a}{B/\mu_0 + (\alpha-1)M} \right);$$

- 5 M 为磁化强度;  $M_s$  为饱和磁化强度; k 为不可逆磁滞损耗参数, 表征铁磁材料的阻塞损耗作用;  $\mu_0$  为真空磁导率;  $\alpha$  为平均磁场系数, 反映了磁畴间的耦合; a 为表征非磁滞磁化曲线形状的参数; c 为磁畴壁弯曲系数;  $\delta = \frac{\Delta B}{\Delta t}$  为方向系数;

- 10 将 t 时刻下的磁通密度  $B(t)$  和磁化强度  $M(t)$  代入到如下公式中, 计算出变压器 t 时刻下的二次侧电流理论值:

$$i_{2j}(t) = \frac{N_1}{N_2} [(B(t)/\mu_0 - M(t))l / N_1 - i_1(t)]$$

式中:  $l$  为等效磁路长度;  $N_2$  为变压器二次侧绕组匝数;  $i_{2j}(t)$  所对应的三相电流理论值是  $i_{2jA}(t)$ 、 $i_{2jB}(t)$ 、 $i_{2jC}(t)$ 。

- 15 7、根据权利要求 5 所述的电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法, 其特征在于, 当判断所述第 b 台变压器一次侧和二次侧有电子式电流互感器发生渐变故障之后, 还包括:

- 20 对母线上所有支路的电子式电流互感器的采集瞬时值做基尔霍夫检测, 若流入母线的电流矢量和大于  $\varepsilon_{01}$ , 则说明发生渐变故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的母线侧; 若流入母线的电流矢量和小于或等于  $\varepsilon_{01}$ , 则说明发生渐变故障的电子式电流互感器位于第 b 台变压器的非母线侧。

8、根据权利要求 5-7 任一项所述的电子式电流互感器的渐变故障在线诊断方法, 其特征在于, 所述采集三相电流瞬时信号和所述三相电压瞬时信号

—22—

的时间间隔均为  $\Delta t$ ，且  $0.05ms \leq \Delta t \leq 0.25ms$ 。

5

10

- 1/3 -

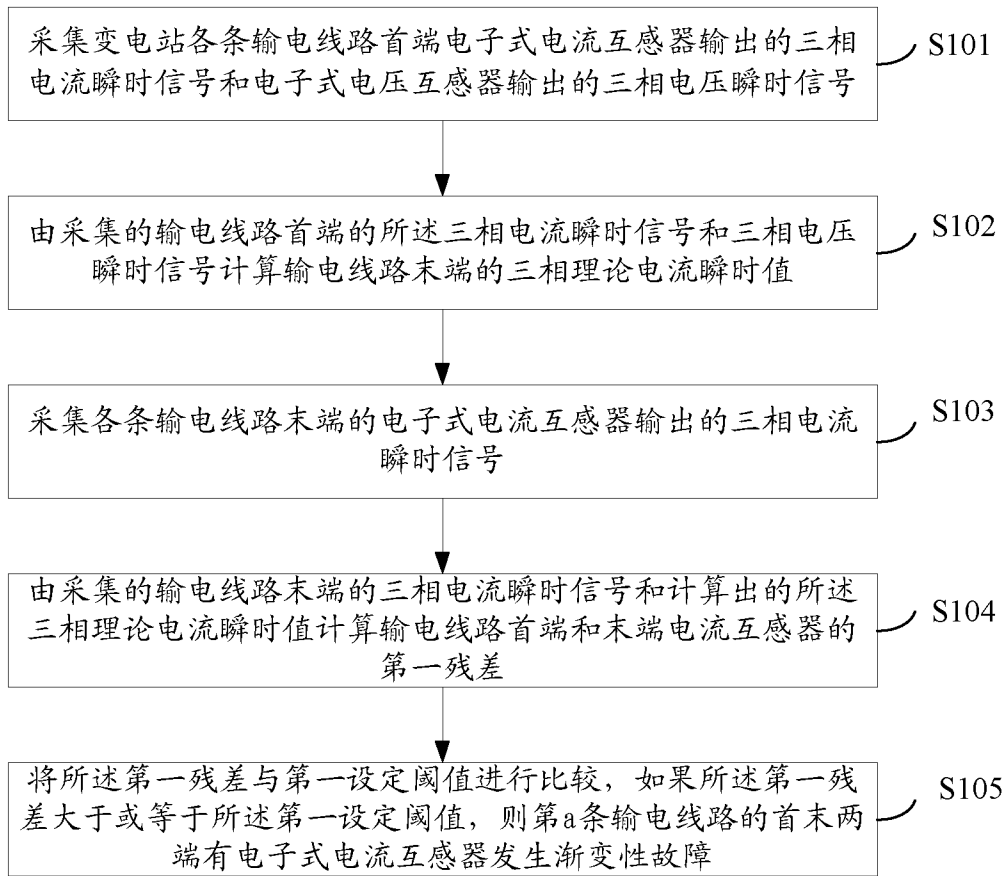


图 1

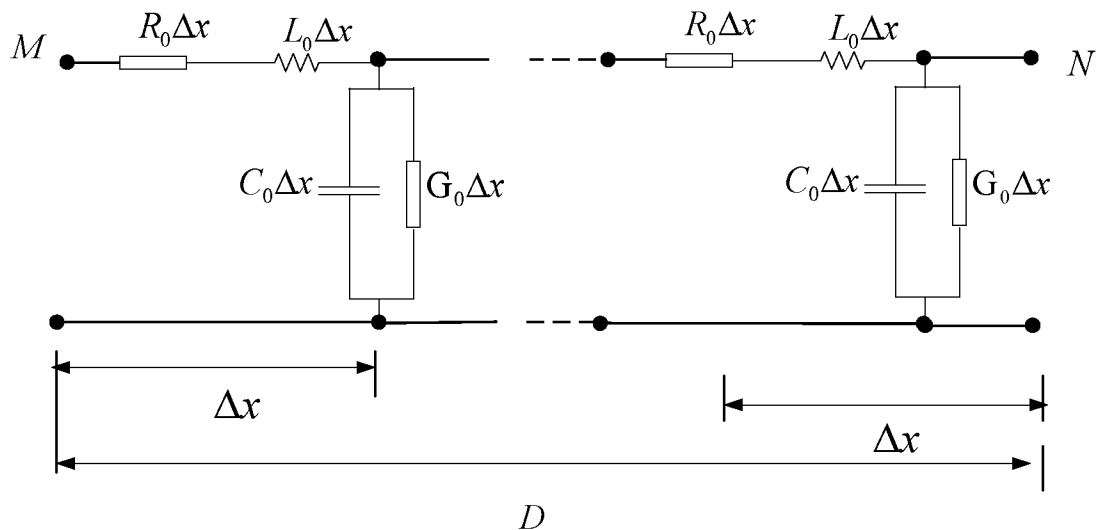


图 2

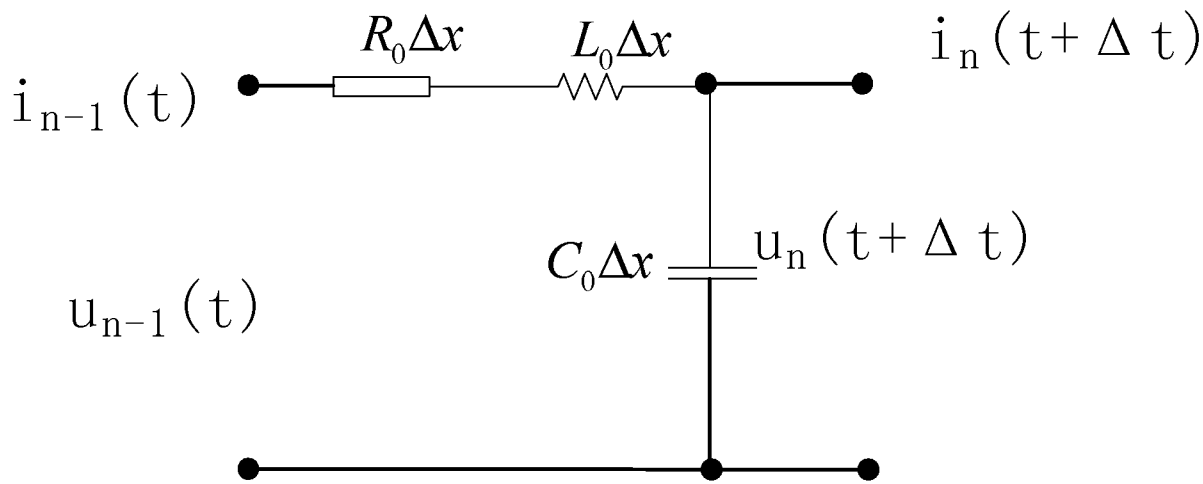


图 3

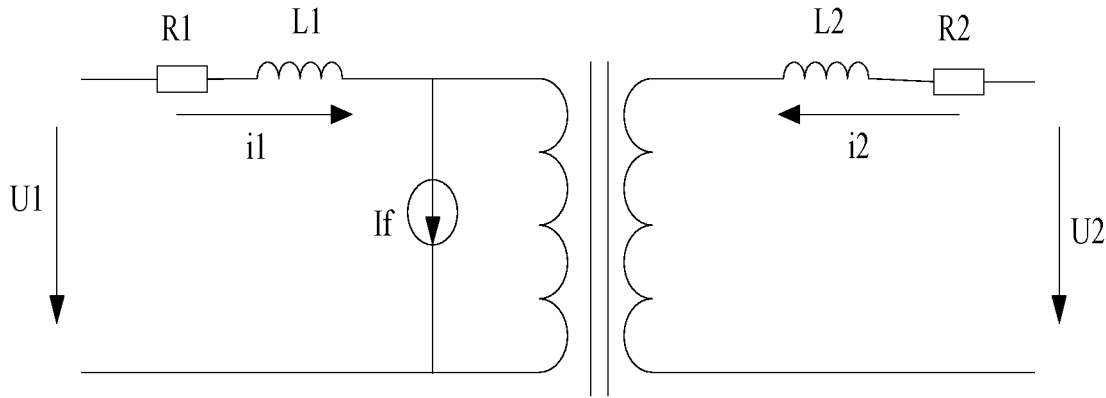


图 4

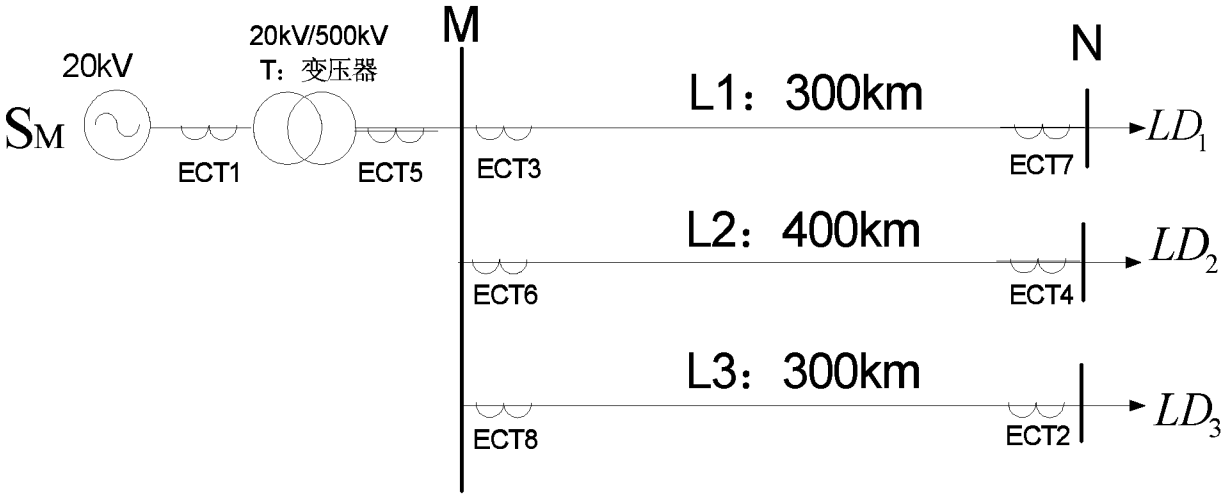


图 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2013/084913**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 35/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI: current transformer, electronic transformer, converter, voltage, theory, actual, collection, test, detected, detection, monitoring, d abnormal, real time, current, transformer, threshold, computed, calculated, error?, fault?, difference, differential, online, on-line

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                           | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | CN 102082420 A (CHONGQING UNIVERSITY et al.), 01 June 2011 (01.06.2011), description, paragraphs 0009-0085, and figures 1-5  | 1-8                   |
| PX        | CN 102967842 A (CHONGQING UNIVERSITY et al.), 13 March 2013 (13.03.2013), description, paragraphs 0007-0095, and figures 1-4 | 1-8                   |
| A         | CN 101408597 A (RED PHASE ELECTRIC (SHANGHAI) CO., LTD.), 15 April 2009 (15.04.2009), the whole document                     | 1-8                   |
| A         | WO 2012/090036 A1 (ABB TECHNOLOGY LTD.), 05 July 2012 (05.07.2012), the whole document                                       | 1-8                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                                              |
| “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                                                                     |
| “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date                                                                               | “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | “&” document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date of the actual completion of the international search<br>11 December 2013 (11.12.2013)                                                                                                                         | Date of mailing of the international search report<br><b>09 January 2014 (09.01.2014)</b> |
| Name and mailing address of the ISA/CN:<br>State Intellectual Property Office of the P. R. China<br>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao<br>Haidian District, Beijing 100088, China<br>Facsimile No.: (86-10) 62019451 | Authorized officer<br><b>DU, Kai</b><br>Telephone No.: (86-10) <b>62413981</b>            |

International application No.  
**PCT/CN2013/084913**

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. 主题的分类</b>                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| G01R 35/02 (2006.01) i                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| <b>B. 检索领域</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| IPC: G01R                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) WPI; EPODOC; VEN; CNPAT; CNABS; CNKI; 电流互感器, 电子互感器, 电子式互感器, 变流器, 电压, 电流, 计算, 算出, 算得, 理论, 实际, 采集, 测试, 测得, 检测, 监测, 差, 故障, 异常, 在线, 实时, current, transformer, threshold, computed, calculated, error?, fault?, difference, differential, online, on-line |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| <b>C. 相关文件</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                         | 相关的权利要求                                                                                                                                                                             |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CN102082420A (重庆大学 等) 01.6 月 2011 (01.06.2011)<br>说明书第 0009-0085 段、附图 1-5 | 1-8                                                                                                                                                                                 |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                        | CN102967842A (重庆大学 等) 13.3 月 2013 (13.03.2013)<br>说明书第 0007-0095 段、附图 1-4 | 1-8                                                                                                                                                                                 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CN101408597A (红相电力(上海)有限公司) 15.4 月 2009 (15.04.2009)<br>全文                | 1-8                                                                                                                                                                                 |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                         | WO2012/090036A1 (ABB TECHNOLOGY LTD.) 05.7 月 2012(05.07.2012)<br>全文       | 1-8                                                                                                                                                                                 |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在 C 栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                    |                                                                           |                                                                                                                                                                                     |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件                                                                                 |                                                                           | “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br>“&” 同族专利的文件 |
| 国际检索实际完成的日期<br>11.12 月 2013 (11.12.2013)                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                           | 国际检索报告邮寄日期<br><b>09.1 月 2014 (09.01.2014)</b>                                                                                                                                       |
| ISA/CN 的名称和邮寄地址:<br>中华人民共和国国家知识产权局<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088<br>传真号: (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                  |                                                                           | 授权官员<br><br>杜凯<br><br>电话号码: (86-10) <b>62413981</b>                                                                                                                                 |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号  
**PCT/CN2013/084913**

| 检索报告中引用的<br>专利文件 | 公布日期       | 同族专利             | 公布日期       |
|------------------|------------|------------------|------------|
| CN102082420A     | 01.06.2011 | 无                |            |
| CN102967842A     | 13.03.2013 | 无                |            |
| CN101408597A     | 15.04.2009 | 无                |            |
| WO2012/090036A1  | 05.07.2012 | US2013/0279048A1 | 24.10.2013 |
|                  |            | EP2659561A1      | 06.11.2013 |