

(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
2016年8月18日 (18.08.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/127598 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/086109
- (22) 国际申请日: 2015年8月5日 (05.08.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
2015100773945 2015年2月13日 (13.02.2015) CN
- (71) 申请人: 国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街86号, Beijing 100031 (CN)。 国网河北省电力公司电力科学研究院 (STATE GRID HEBEI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 河北省电力建设调整试验所 (HEBEI ELECTRIC POWER COMMISSIONING INSTITUTE) [CN/CN]; 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。
- (72) 发明人: 高树国 (GAO, Shuguo); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 范辉 (FAN, Hui); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 陈志勇 (CHEN, Zhiyong); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 潘瑾 (PAN, Jin); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 刘宏亮 (LIU, Hongliang); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。 赵军 (ZHAO, Jun); 中国河北省石家庄市体育大街238号, Hebei 050021 (CN)。
- (74) 代理人: 石家庄新世纪专利商标事务所有限公司 (SHIJIAZHUANG XINSHIJI PATENT AND TRADE-MARK OFFICE CO. LTD.); 中国河北省石家庄市长安桥东区建设北大街2号燕华大厦1606室/刘磊娜, Hebei 050010 (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, LU,

[见续页]

(54) Title: TRANSFORMER INTERNAL COMPOSITE DEFECT FUZZY DIAGNOSIS METHOD BASED ON GAS DISSOLVED IN OIL

(54) 发明名称: 基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法

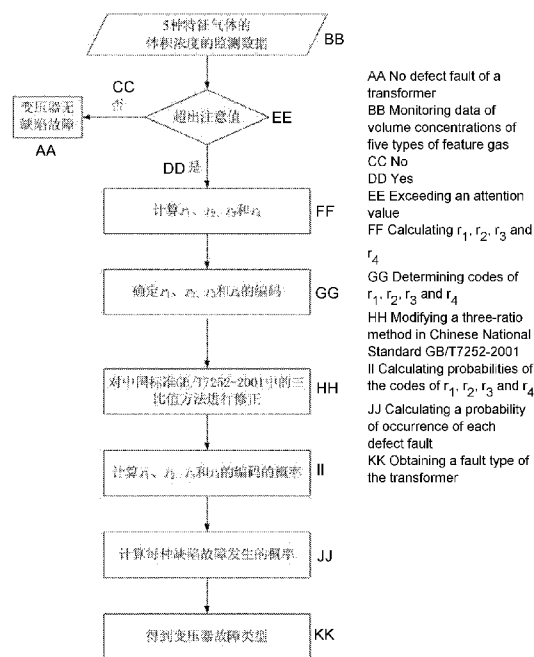


图 1

(57) Abstract: A transformer internal composite defect fuzzy diagnosis method based on gas dissolved in oil, comprising: a step of acquiring monitoring data of volume concentrations of five types of monitored feature gas; a step of determining ratio codes; a step of modifying a three-ratio method; a step of fuzzifying a boundary range; a step of calculating probabilities of the ratio codes; a step of calculating a probability of occurrence of each defect fault; and finally obtaining a fault type of a transformer. The method has the beneficial effects that: the method is simple and easy to achieve, and particularly suitable for being applied to an on-line transformer state monitoring system; based on a concept of fuzzy logic, diagnosis of composite defects of the transformer under a complicated state and evaluation of the degree of severity can be achieved, and the problem of sudden change caused by criterion boundary absolutisation can be effectively avoided; and multi-feature information such as an attention value and a ratio of the gas dissolved in the oil are merged and analysed, thereby effectively improving the diagnosis reliability.

(57) 摘要:

[见续页]



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。

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)。

(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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法, 包括获取被监测的 5 种特征气体的体积浓度的监测数据的步骤, 确定比值编码的步骤, 对三比值法进行修正的步骤, 对边界范围模糊化的步骤, 计算比值编码概率的步骤, 计算每种缺陷故障发生的概率的步骤, 最终得到变压器故障类型; 其有益效果是: 简单易于实现, 特别适应于变压器状态在线监测系统的应用; 基于模糊逻辑的思想, 能够实现变压器复杂状态下复合缺陷的诊断以及严重程度评估, 可以有效避免判据边界绝对化带来的突变问题; 将油中溶解气体的注意值、比值等多特征信息融合分析, 有效提高诊断可靠性。

说明书

基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力变压器故障诊断技术领域，涉及一种基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法。

背景技术

[0002] 电力变压器是电力系统的重要设备，对于电网安全可靠运行具有重要的意义，其例行试验是及时发现变压器潜在性隐患、避免突发事故的重要手段，其中变压器油色谱试验是一种十分有效的试验，其中蕴含着丰富的设备绝缘状态信息，能够发现变压器内部放电、局部过热、绝缘受潮等缺陷，在电力系统中应用广泛。准确诊断变压器内部缺陷有助于判断设备缺陷位置和类型，一直是该领域研究的重点课题，以此为基础可以制定科学的检修策略，从而大大提高设备运维检修效率，提高电网供电可靠性。目前较为经典的变压器油色谱分析方法主要有特征气体法、罗杰斯比值法、IEC 三比值法、杜威三角图法、改良三比值法等。其中，特征气体法是根据各特征气体浓度以及总烃浓度进行缺陷等级划分的一种方法，该方法只适于定性判断是否存在缺陷；罗杰斯四比值法是对 Doerenburg 五比值法的发展，与 IEC 三比值法一样，均以气体比值作为判断变压器缺陷类型的依据，此类比值法仅就变压器存在缺陷时的比值具有意义，在正常情况下容易导致误判，且在实际中易出现无对应比值编码、判据边界绝对化、无法准确诊断复合缺陷等问题；中国标准 GB/T7252-2001 推荐使用的改良三比值法，是在 IEC 三比值法的基础上，根据国内变压器数据统计分析结果，进行了相应编码的修正，依然是以气体比值作为判断变压器缺陷类型的依据；杜威三角图法是基于气体比例分布的三角图坐标来区分缺陷类型的一种方法，每种缺陷类型对应一定的区域，该方法解决了比值法存在的无编码对应，但依然存在绝对化边界、无法准确诊断复合型缺陷问题。

[0003] 综上所述,变压器各种油色谱缺陷诊断方法的诊断特征判据仅依赖于单一特征信息，如特征气体种类、气体浓度、气体比值，诊断判据边界过于绝对化，诊断结论无法揭示各缺陷

说明书

的严重程度或发生概率。而实际变压器缺陷较为复杂，往往是多种缺陷的复合，导致目前的诊断方法无法识别。因此，十分有必要对现有变压器内部缺陷油色谱诊断方法进行改进。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种能有效解决传统油中溶解气体分析中判据边界绝对化和无法诊断复合缺陷的问题、可以综合利用多种特征量信息、并可有效地提高缺陷故障诊断可靠性的基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法。

[0005] 为解决上述技术问题所采用的技术方案是：一种基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法，包括如下步骤：

（一）获取被监测的 5 种特征气体的体积浓度的监测数据，所述 5 种特征气体为氢气、甲烷、乙烷、乙烯和乙炔；由所述监测数据计算甲烷、乙烷、乙烯和乙炔的体积浓度之和，即总烃的体积浓度；判断所述 5 种特征气体的监测数据或总烃的体积浓度是否超出注意值；所述注意值根据中国标准 GB/T 7252-2001 中的规定选取；若所述监测数据或总烃的体积浓度超出注意值，则需进一步诊断，转步骤（二）；否则，所述监测数据及总烃的体积浓度为正常，确定变压器无缺陷故障；

（二）确定比值编码；

首先设定比值分别为：

$$r_1 = \frac{c_1(C_2H_2)}{c_2(C_2H_4)},$$

$$r_2 = \frac{c_3(CH_4)}{c_4(H_2)},$$

$$r_3 = \frac{c_2(C_2H_4)}{c_5(C_2H_6)},$$

$$r_4 = \frac{c_2(C_2H_4)}{c_5(C_2H_6)} \times \frac{c_2(C_2H_4)}{c_1(C_2H_2)} = r_3 \times \frac{c_2(C_2H_4)}{c_1(C_2H_2)};$$

其中， $c_1(C_2H_2)$ 、 $c_2(C_2H_4)$ 、 $c_3(CH_4)$ 、 $c_4(H_2)$ 、 $c_5(C_2H_6)$ 分别表示乙炔、乙烯、甲

说明书

烷、氢气、乙烷 5 种特征气体的体积浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ；

然后确定比值编码，确定比值编码的规则如下：

当 $r_1 < 0.1$ 时， r_1 的比值编码为 0；当 $0.1 \leq r_1 < 1$ 时， r_1 的比值编码为 1；当 $1 \leq r_1 < 3$ 时， r_1 的比值编码为 1； $r_1 \geq 3$ 时， r_1 的比值编码为 2；

当 $r_2 < 0.1$ 时， r_2 的比值编码为 1；当 $0.1 \leq r_2 < 1$ 时， r_2 的比值编码为 0；当 $1 \leq r_2 < 3$ 时， r_2 的比值编码为 2； $r_2 \geq 3$ 时， r_2 的比值编码为 2；

当 $r_3 < 0.1$ 时， r_3 的比值编码为 0；当 $0.1 \leq r_3 < 1$ 时， r_3 的比值编码为 0；当 $1 \leq r_3 < 3$ 时， r_3 的比值编码为 1； $r_3 \geq 3$ 时， r_3 的比值编码为 2；

当 $r_4 \leq 1.5$ 时， r_4 的比值编码为 0； $r_4 > 1.5$ 时， r_4 的比值编码为 1；

（三）对中国标准 GB/T 7252-2001 中根据三比值确定变压器缺陷故障类型的方法进行修正：
相对中国标准 GB/T 7252-2001 中三比值编码对应的变压器缺陷故障类型，增加比值编码 011
对应局部放电缺陷故障类型；

在三比值编码基础上，增加第四个比值 r_4 ；对于三比值法诊断为 101 编码的缺陷故障类型，
若 $r_4 \leq 1.5$ 时，确定变压器为火花放电缺陷故障；若 $r_4 > 1.5$ 时，则确定变压器为电弧放电
缺陷故障；

由此得到根据比值编码判断变压器缺陷故障类型的方法如下：

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 1、且 r_3 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_4 的比值编码为
0 或 1 时，变压器缺陷故障类型为局部放电；

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1
时，变压器缺陷故障类型为低于 300°C 低温过热；

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 2、且 r_3 的比值编码为 0、且 r_4 的比值编码为 0 或 1
时，变压器缺陷故障类型为低于 300°C 低温过热；

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 2、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1

说明书

时, 变压器缺陷故障类型为 300~700℃中温过热;

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 0 或 2、且 r_3 的比值编码为 2、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为高于 700℃高温过热;

当 r_1 的比值编码为 2、且 r_2 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_3 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为火花放电;

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 时, 变压器缺陷故障类型为火花放电;

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 1 时, 变压器缺陷故障类型为电弧放电;

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_3 的比值编码为 0 或 2、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为电弧放电;

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 1 或 2、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为电弧放电;

(四) 采用半柯西升降函数将比值 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 的边界范围模糊化, 对边界的上升沿和下降沿分别采用半柯西升降函数表示, 表达式为

$$\mu_2(r) = \begin{cases} 1 & , r \leq A \\ \frac{1}{1 + (\frac{A-r}{a})^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

$$\mu_1(r) = \begin{cases} 1 & , r \geq A \\ \frac{1}{1 + (\frac{A-r}{a})^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

其中, $\mu_2(r)$ 是下降沿函数; $\mu_1(r)$ 是上升沿函数; A 是边界参数; a 是分布参数; A 与 a 的取值如下:

r_1 的上升沿边界参数为 0.08, 其对应的分布参数为 0.01;

说明书

r_1 的下降沿边界参数为 3.1, 其对应的分布参数为 0.1;

r_2 的上升沿边界参数为 0.06, 其对应的分布参数为 0.02;

r_2 的下降沿边界参数为 0.6, 其对应的分布参数为 0.2;

r_3 的上升沿边界参数为 0.8, 其对应的分布参数为 0.1;

r_3 的下降沿边界参数为 3.6, 其对应的分布参数为 0.3;

r_4 的边界参数为 1.43, 其对应的分布参数为 0.1;

(五) 通过半柯西升降函数得到每个比值 r_1 、 r_2 和 r_3 的比值编码分别为 0,1,2 的概率, 以及 r_4 的比值编码分别为 0,1 的概率; 表达式如下:

r_1 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code0}(r_1)$:

$$f\text{-code0}(r_1) = \begin{cases} 1 & (r_1 \leq 0.08) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{0.08 - r_1}{0.01}\right)^2} & (r_1 > 0.08) \end{cases}$$

r_1 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code1}(r_1)$:

$$f\text{-code1}(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{0.08 - r_1}{0.01}\right)^2} & (r_1 < 0.08) \\ 1 & (0.08 \leq r_1 \leq 3.1) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{3.1 - r_1}{0.1}\right)^2} & (r_1 > 3.1) \end{cases}$$

r_1 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code2}(r_1)$:

$$f\text{-code2}(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{3.1 - r_1}{0.1}\right)^2} & (r_1 < 3.1) \\ 1 & (r_1 \geq 3.1) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code0}(r_2)$:

说明书

$$f-code0(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{0.06 - r_2}{0.02}\right)^2} & (r_2 < 0.06) \\ 1 & (0.06 \leq r_2 \leq 0.6) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{0.6 - r_2}{0.2}\right)^2} & (r_2 > 0.6) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 1 的概率 $f-code1(r_2)$:

$$f-code1(r_2) = \begin{cases} 1 & (r_2 \leq 0.06) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{0.06 - r_2}{0.02}\right)^2} & (r_2 > 0.06) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 2 的概率 $f-code2(r_2)$:

$$f-code2(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{0.6 - r_2}{0.2}\right)^2} & (r_2 < 0.6) \\ 1 & (r_2 \geq 0.6) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 0 的概率 $f-code0(r_3)$:

$$f-code0(r_3) = \begin{cases} 1 & (r_3 \leq 0.8) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{0.8 - r_3}{0.1}\right)^2} & (r_3 > 0.8) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 1 的概率 $f-code1(r_3)$:

$$f-code1(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{0.6 - r_3}{0.1}\right)^2} & (r_3 < 0.8) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{3.6 - r_3}{0.3}\right)^2} & (r_3 > 3.6) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 2 的概率 $f-code2(r_3)$:

$$f-code2(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{3.6 - r_3}{0.3}\right)^2} & (r_3 > 3.6) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \end{cases}$$

说明书

r_4 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code0}(r_4)$:

$$f\text{-code0}(r_4) = \begin{cases} 1 & (r_4 \leq 1.43) \\ \frac{1}{1 + (\frac{1.43 - r_4}{0.1})^2} & (r_4 > 1.43) \end{cases}$$

r_4 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code1}(r_4)$:

$$f\text{-code1}(r_4) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{1.43 - r_4}{0.1})^2} & (r_4 < 1.43) \\ 1 & (r_4 \geq 1.43) \end{cases}$$

(六) 将比值编码的概率以最大值逻辑、最小值逻辑表示, 从而得到变压器缺陷故障类型诊断结果的模糊多值形式, 变压器缺陷故障类型的概率如下:

$f(\text{局部放电}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code1}(r_2)]$;

$f(\text{低温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code0}(r_3)]\}$;

$f(\text{中温过热}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)]$;

$f(\text{高温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code2}(r_3)]\}$;

$f(\text{火花放电}) = \max\{f\text{-code2}(r_1), \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code0}(r_4)]\}$;

$f(\text{电弧放电}) = \max\{\min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code1}(r_4)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code1}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)]\}$ 。

[0006] 本发明的有益效果是: 本发明简单易于实现, 特别适应于变压器状态在线监测系统的应用; 本发明是基于模糊逻辑的思想, 能够实现变压器复杂状态下复合缺陷的诊断以及严重程度的评估, 可以有效避免判据边界绝对化带来的突变问题; 本发明将油中溶解气体的注意值、比值等多特征信息融合分析, 有效提高诊断可靠性。

说明书

附图说明

[0007] 图 1 为本发明的诊断流程图；

图 2 为比值 r_3 的比值编码为 2 时的模糊边界。

具体实施方式

[0008] 下面结合附图 1-2 和实施例对本发明做进一步说明。

[0009] 本实施例具体实现步骤如下：

（一）获取被监测的 5 种特征气体的体积浓度的监测数据，其中被监测的 5 种特征气体包括氢气、甲烷、乙烷、乙烯、乙炔；由所述监测数据计算甲烷、乙烷、乙烯和乙炔的体积浓度之和，即总烃的体积浓度；判断所述 5 种特征气体的监测数据或总烃的体积浓度是否超出注意值；所述注意值根据中国标准 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中的规定选取；若所述监测数据或总烃的体积浓度超出注意值，则需进一步诊断，转步骤（二）；否则，所述监测数据及总烃的体积浓度为正常，确定变压器无缺陷故障；

（二）确定比值编码；

首先设定比值分别为：

$$r_1 = \frac{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)}{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)},$$

$$r_2 = \frac{c_3(\text{CH}_4)}{c_4(\text{H}_2)},$$

$$r_3 = \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_5(\text{C}_2\text{H}_6)},$$

$$r_4 = \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_5(\text{C}_2\text{H}_6)} \times \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)} = r_3 \times \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)};$$

其中， $c_1(\text{C}_2\text{H}_2)$ 、 $c_2(\text{C}_2\text{H}_4)$ 、 $c_3(\text{CH}_4)$ 、 $c_4(\text{H}_2)$ 、 $c_5(\text{C}_2\text{H}_6)$ 分别表示乙炔、乙烯、甲烷、氢气、乙烷 5 种特征气体的体积浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ；

然后确定比值编码，确定比值编码的规则见表 1。

说明书

[0010] 表 1 确定比值编码的规则

比值范围	比值编码			比值范围	比值编码
r_1 、 r_2 或 r_3	r_1	r_2	r_3	r_4	r_4
<0.1	0	1	0	≤ 1.5	0
$\geq 0.1 \sim <1$	1	0	0		
$\geq 1 \sim <3$	1	2	1	>1.5	1
≥ 3	2	2	2		

其中， r_1 、 r_2 和 r_3 的比值编码为根据中国标准 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中比值编码规则得到的；在中国标准 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中比值编码规则基础上增加了比值 r_4 及 r_4 的比值编码规则；

（三）通过对国家电网公司 728 组实际典型故障案例的分析，对中国标准 GB/T 7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中的根据三比值确定变压器缺陷故障类型的方法进行修正，得到变压器缺陷故障类型比值编码判断规则见表 2。

[0011] 在三比值编码基础上，增加了第四个比值 r_4 ；对于三比值法诊断为 101 编码的缺陷故障类型，若 $r_4 \leq 1.5$ 时，确定变压器为火花放电缺陷故障；若 $r_4 > 1.5$ 时，则确定变压器为电弧放电缺陷故障。

[0012] 相对中国标准 GB/T7252-2001《变压器油中溶解气体分析和判断导则》中的变压器缺陷故障编码增加比值编码 011 为局部放电缺陷故障。

[0013] 表 2 根据比值编码判断变压器缺陷故障类型的方法

说明书

比值编码组合				缺陷故障类型
r_1	r_2	r_3	r_4	
0	1	0,1,2	0,1	局部放电
	0	1	0,1	低于 300℃低温过热
	2	0	0,1	
	2	1	0,1	300~700℃中温过热
	0,2	2	0,1	高于 700℃高温过热
2	0,1,2	0,1,2	0,1	火花放电
1	0	1	0	
			1	电弧放电
	0,1,2	0,2	0,1	
	1,2	1		

(四) 为了改变非此即彼的绝对化边界判断, 采用半柯西升降函数将表 1 中的编码边界模糊化, 对边界的上升沿和下降沿分别采用半柯西升降函数表示。然后, 通过半柯西升降函数得到每个比值 r_1 、 r_2 、 r_3 编码分别为 0,1,2 的概率 (分别用 f-code0 (r_1), f-code1 (r_1), f-code2 (r_1) 表示), 以及 r_4 编码为 0,1 的概率。例如, 比值 r_3 编码为 2 时的概率用 f-code2 (r_3) 表示, 模糊边界采用半柯西上升沿函数表示如图 2 所示。

[0014] 采用半柯西升降函数将比值 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 的边界范围模糊化, 对边界的上升沿和下降沿边界模糊分别采用半柯西升降函数表示, 表达式为

$$\mu_2(r) = \begin{cases} 1 & , r \leq A \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{A-r}{a}\right)^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

$$\mu_2(r) = \begin{cases} 1 & , r \geq A \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{A-r}{a}\right)^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

说明书

其中, $\mu_d(r)$ 是下降沿函数; $\mu_u(r)$ 是上升沿函数; A 是边界参数; a 是分布参数; A 与 a 的取值是利用电网公司 728 组实际典型故障案例数据验证得到的最优值, 取值见表 3。

[0015] 表 3 边界参数 A 及分布参数 a

$A_1(r_1)$	$A_2(r_1)$	$A_1(r_2)$	$A_2(r_2)$	$A_1(r_3)$	$A_2(r_3)$	$A(r_4)$
0.08	3.1	0.06	0.6	0.8	3.6	1.43
$a_1(r_1)$	$a_2(r_1)$	$a_1(r_2)$	$a_2(r_2)$	$a_1(r_3)$	$a_2(r_3)$	$a(r_4)$
0.01	0.1	0.02	0.2	0.1	0.3	0.1

在表 3 中:

r_1 的上升沿边界参数 $A_1(r_1)$ 为 0.08, 其对应的分布参数 $a_1(r_1)$ 为 0.01;

r_1 的下降沿边界参数 $A_2(r_1)$ 为 3.1, 其对应的分布参数 $a_2(r_1)$ 为 0.1;

r_2 的上升沿边界参数 $A_1(r_2)$ 为 0.06, 其对应的分布参数 $a_1(r_2)$ 为 0.02;

r_2 的下降沿边界参数 $A_2(r_2)$ 为 0.6, 其对应的分布参数 $a_2(r_2)$ 为 0.2;

r_3 的上升沿边界参数 $A_1(r_3)$ 为 0.8, 其对应的分布参数 $a_1(r_3)$ 为 0.1;

r_3 的下降沿边界参数 $A_2(r_3)$ 为 3.6, 其对应的分布参数 $a_2(r_3)$ 为 0.3;

r_4 的边界参数 $A(r_4)$ 为 1.43, 其对应的分布参数 $a(r_4)$ 为 0.1;

(五) 通过半柯西升降函数得到每个比值 r_1 、 r_2 和 r_3 的比值编码为 0,1,2 的概率, 以及 r_4 的比值编码为 0,1 的概率; 表达式如下:

r_1 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code}0(r_1)$:

$$f\text{-code}0(r_1) = \begin{cases} 1 & (r_1 \leq 0.08) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.08 - r_1}{0.01})^2} & (r_1 > 0.08) \end{cases} \quad (\text{式}1)$$

r_1 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code}1(r_1)$:

$$f\text{-code}1(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.08 - r_1}{0.01})^2} & (r_1 < 0.08) \\ 1 & (0.08 \leq r_1 \leq 3.1) \\ \frac{1}{1 + (\frac{3.1 - r_1}{0.1})^2} & (r_1 > 3.1) \end{cases} \quad (\text{式}2)$$

说明书

r_1 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code}2(r_1)$:

$$f\text{-code}2(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{3.1 - r_1}{0.1})^2} & (r_1 < 3.1) \\ 1 & (r_1 \geq 3.1) \end{cases} \quad (\text{式3})$$

r_2 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code}0(r_2)$:

$$f\text{-code}0(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.06 - r_2}{0.02})^2} & (r_2 < 0.06) \\ 1 & (0.06 \leq r_2 \leq 0.6) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.6 - r_2}{0.2})^2} & (r_2 > 0.6) \end{cases} \quad (\text{式4})$$

r_2 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code}1(r_2)$:

$$f\text{-code}1(r_2) = \begin{cases} 1 & (r_2 \leq 0.06) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.06 - r_2}{0.02})^2} & (r_2 > 0.06) \end{cases} \quad (\text{式5})$$

r_2 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code}2(r_2)$:

$$f\text{-code}2(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.6 - r_2}{0.2})^2} & (r_2 < 0.6) \\ 1 & (r_2 \geq 0.6) \end{cases} \quad (\text{式6})$$

r_3 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code}0(r_3)$:

$$f\text{-code}0(r_3) = \begin{cases} 1 & (r_3 \leq 0.8) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.8 - r_3}{0.1})^2} & (r_3 > 0.8) \end{cases} \quad (\text{式7})$$

r_3 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code}1(r_3)$:

说明书

$$f\text{-code1}(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{0.6 - r_3}{0.1}\right)^2} & (r_3 < 0.8) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{3.6 - r_3}{0.3}\right)^2} & (r_3 > 3.6) \end{cases} \quad (\text{式8})$$

r_3 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code2}(r_3)$:

$$f\text{-code2}(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{3.6 - r_3}{0.3}\right)^2} & (r_3 > 3.6) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \end{cases} \quad (\text{式9})$$

r_4 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code0}(r_4)$:

$$f\text{-code0}(r_4) = \begin{cases} 1 & (r_4 \leq 1.43) \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{1.43 - r_4}{0.1}\right)^2} & (r_4 > 1.43) \end{cases} \quad (\text{式10})$$

r_4 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code1}(r_4)$:

$$f\text{-code1}(r_4) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{1.43 - r_4}{0.1}\right)^2} & (r_4 < 1.43) \\ 1 & (r_4 \geq 1.43) \end{cases} \quad (\text{式11})$$

(六) 将比值编码判断规则中的 0、1 逻辑分别改为最小值逻辑、最大值逻辑, 按照比值编码与变压器缺陷故障类型的对应关系进行缺陷故障诊断, 对诊断的结果采用模糊多值形式表示, 结果以概率形式给出, 诊断的结果为缺陷发生的概率, 即严重程度; 各种故障的概率其总和为 1; 将比值编码的概率以最大值逻辑、最小值逻辑表示, 各种故障的概率分别为:

$$f(\text{局部放电}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code1}(r_2)]; \quad (\text{式12})$$

$$f(\text{低温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code0}(r_3)]\}; \quad (\text{式13})$$

$$f(\text{中温过热}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)];$$

说明书

$$f(\text{高温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code2}(r_3)]\}; \quad (\text{式 } 14)$$

$$f(\text{火花放电}) = \max\{f\text{-code2}(r_1), \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code0}(r_4)]\}; \quad (\text{式 } 15)$$

$$f(\text{电弧放电}) = \max\{\min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code1}(r_4)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code1}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)]\}. \quad (\text{式 } 16)$$

实施例 1:

某变压器油色谱试验数据 (5 种特征气体及总烃的体积浓度, 单位为 $\mu\text{L/L}$) 见表 4。

表 4 某变压器油色谱试验数据

试验日期	$c_4(\text{H}_2)$	$c_3(\text{CH}_4)$	$c_5(\text{C}_2\text{H}_6)$	$c_2(\text{C}_2\text{H}_4)$	$c_1(\text{C}_2\text{H}_2)$	$c_z(\text{总烃})$
2012.4.26	31.33	10.52	1.98	4.01	6.09	22.60

由表 4 可知, 乙炔体积浓度超过注意值, 该变压器不正常。

[0016] 1. 分别计算四个比值:

$$r_1 = \frac{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)}{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)} = 1.52,$$

$$r_2 = \frac{c_3(\text{CH}_4)}{c_4(\text{H}_2)} = 2.03,$$

$$r_3 = \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_5(\text{C}_2\text{H}_6)} = 2.03,$$

$$r_4 = \frac{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)}{c_5(\text{C}_2\text{H}_6)} \times \frac{c_2(\text{C}_2\text{H}_4)}{c_1(\text{C}_2\text{H}_2)} = 1.33;$$

2. 根据 (式 1) 至 (式 11), 通过计算, 得到四个比值各个比值编码的概率:

$$f\text{-code0}(r_1)=0; \quad f\text{-code1}(r_1)=1; \quad f\text{-code2}(r_1)=0.004;$$

$$f\text{-code0}(r_2)=1; \quad f\text{-code1}(r_2)=0.0051; \quad f\text{-code2}(r_2)=0.37;$$

$$f\text{-code0}(r_3)=0.00657; \quad f\text{-code1}(r_3)=1; \quad f\text{-code2}(r_3)=0.035;$$

说明书

$f\text{-code0}(r_4)=1$; $f\text{-code2}(r_4)=0.5$;

3. 根据 (式 12) 至 (式 16), 通过计算, 得到各种故障的概率:

$f(\text{局部放电})=0\%$;

$f(\text{低温过热})=0\%$;

$f(\text{中温过热})=0\%$;

$f(\text{高温过热})=0\%$;

$f(\text{火花放电})=66.7\%$;

$f(\text{电弧放电})=33.3\%$;

4. 对变压器故障进行诊断

由上述故障的概率可以判断出该变压器存在火花放电兼电弧放电故障。

[0017] 以上所述实施方式仅为本发明的优选实施例, 而并非本发明可行实施的穷举。对于本领域一般技术人员而言, 在不背离本发明原理和精神的前提下对其所作出的任何显而易见的改动, 都应当被认为包含在本发明的权利要求保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种基于油中溶解气体的变压器内部复合缺陷模糊诊断方法，其特征在于包括如下步骤：

（一）获取被监测的 5 种特征气体的体积浓度的监测数据，所述 5 种特征气体为氢气、甲烷、乙烷、乙烯和乙炔；由所述监测数据计算甲烷、乙烷、乙烯和乙炔的体积浓度之和，即总烃的体积浓度；判断所述 5 种特征气体的监测数据或总烃的体积浓度是否超出注意值；所述注意值根据中国标准 GB/T 7252-2001 中的规定选取；若所述监测数据或总烃的体积浓度超出注意值，则需进一步诊断，转步骤（二）；否则，所述监测数据及总烃的体积浓度为正常，确定变压器无缺陷故障；

（二）确定比值编码；

首先设定比值分别为：

$$r_1 = \frac{c_1(C_2H_2)}{c_2(C_2H_4)},$$

$$r_2 = \frac{c_3(CH_4)}{c_4(H_2)},$$

$$r_3 = \frac{c_2(C_2H_4)}{c_5(C_2H_6)},$$

$$r_4 = \frac{c_2(C_2H_4)}{c_5(C_2H_6)} \times \frac{c_2(C_2H_4)}{c_1(C_2H_2)} = r_3 \times \frac{c_2(C_2H_4)}{c_1(C_2H_2)};$$

其中， $c_1(C_2H_2)$ 、 $c_2(C_2H_4)$ 、 $c_3(CH_4)$ 、 $c_4(H_2)$ 、 $c_5(C_2H_6)$ 分别表示乙炔、乙烯、甲烷、氢气、乙烷 5 种特征气体的体积浓度，单位为 $\mu L/L$ ；

然后确定比值编码，确定比值编码的规则如下：

当 $r_1 < 0.1$ 时， r_1 的比值编码为 0；当 $0.1 \leq r_1 < 1$ 时， r_1 的比值编码为 1；当 $1 \leq r_1 < 3$ 时， r_1 的比值编码为 1； $r_1 \geq 3$ 时， r_1 的比值编码为 2；

当 $r_2 < 0.1$ 时， r_2 的比值编码为 1；当 $0.1 \leq r_2 < 1$ 时， r_2 的比值编码为 0；当 $1 \leq r_2 < 3$ 时， r_2 的比值编码为 2； $r_2 \geq 3$ 时， r_2 的比值编码为 2；

当 $r_3 < 0.1$ 时， r_3 的比值编码为 0；当 $0.1 \leq r_3 < 1$ 时， r_3 的比值编码为 0；当 $1 \leq r_3 < 3$ 时，

权 利 要 求 书

r_3 的比值编码为 1; $r_3 \geq 3$ 时, r_3 的比值编码为 2;

当 $r_4 \leq 1.5$ 时, r_4 的比值编码为 0; $r_4 > 1.5$ 时, r_4 的比值编码为 1;

(三) 对中国标准 GB/T 7252-2001 中根据三比值确定变压器缺陷故障类型的方法进行修正:
相对中国标准 GB/T 7252-2001 中三比值编码对应的变压器缺陷故障类型, 增加比值编码 011
对应局部放电缺陷故障类型;

在三比值编码基础上, 增加第四个比值 r_4 ; 对于三比值法诊断为 101 编码的缺陷故障类型,
若 $r_4 \leq 1.5$ 时, 确定变压器为火花放电缺陷故障; 若 $r_4 > 1.5$ 时, 则确定变压器为电弧放电
缺陷故障;

由此得到根据比值编码判断变压器缺陷故障类型的方法如下:

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 1、且 r_3 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_4 的比值编码为
0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为局部放电;

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1
时, 变压器缺陷故障类型为低于 300°C 低温过热;

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 2、且 r_3 的比值编码为 0、且 r_4 的比值编码为 0 或 1
时, 变压器缺陷故障类型为低于 300°C 低温过热;

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 2、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1
时, 变压器缺陷故障类型为 300~700°C 中温过热;

当 r_1 的比值编码为 0、且 r_2 的比值编码为 0 或 2、且 r_3 的比值编码为 2、且 r_4 的比值编码为 0
或 1 时, 变压器缺陷故障类型为高于 700°C 高温过热;

当 r_1 的比值编码为 2、且 r_2 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_3 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_4 的比值
编码为 0 或 1 时, 变压器缺陷故障类型为火花放电;

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 时,
变压器缺陷故障类型为火花放电;

权 利 要 求 书

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 1 时，变压器缺陷故障类型为电弧放电；

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 0,1 或 2、且 r_3 的比值编码为 0 或 2、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时，变压器缺陷故障类型为电弧放电；

当 r_1 的比值编码为 1、且 r_2 的比值编码为 1 或 2、且 r_3 的比值编码为 1、且 r_4 的比值编码为 0 或 1 时，变压器缺陷故障类型为电弧放电；

（四）采用半柯西升降函数将比值 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 的边界范围模糊化，对边界的上升沿和下降沿分别采用半柯西升降函数表示，表达式为

$$\mu_d(r) = \begin{cases} 1 & , r \leq A \\ \frac{1}{1 + (\frac{A-r}{a})^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

$$\mu_u(r) = \begin{cases} 1 & , r \geq A \\ \frac{1}{1 + (\frac{A-r}{a})^2} & , \text{其它} \end{cases}$$

其中， $\mu_d(r)$ 是下降沿函数； $\mu_u(r)$ 是上升沿函数； A 是边界参数； a 是分布参数； A 与 a 的取值如下：

r_1 的上升沿边界参数为 0.08，其对应的分布参数为 0.01；

r_1 的下降沿边界参数为 3.1，其对应的分布参数为 0.1；

r_2 的上升沿边界参数为 0.06，其对应的分布参数为 0.02；

r_2 的下降沿边界参数为 0.6，其对应的分布参数为 0.2；

r_3 的上升沿边界参数为 0.8，其对应的分布参数为 0.1；

r_3 的下降沿边界参数为 3.6，其对应的分布参数为 0.3；

r_4 的边界参数为 1.43，其对应的分布参数为 0.1；

（五）通过半柯西升降函数得到每个比值 r_1 、 r_2 和 r_3 的比值编码分别为 0,1,2 的概率，以及 r_4

权 利 要 求 书

的比值编码分别为 0,1 的概率；表达式如下：

r_1 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code}0(r_1)$ ：

$$f\text{-code}0(r_1) = \begin{cases} 1 & (r_1 \leq 0.08) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.08 - r_1}{0.01})^2} & (r_1 > 0.08) \end{cases}$$

r_1 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code}1(r_1)$ ：

$$f\text{-code}1(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.08 - r_1}{0.01})^2} & (r_1 < 0.08) \\ 1 & (0.08 \leq r_1 \leq 3.1) \\ \frac{1}{1 + (\frac{3.1 - r_1}{0.1})^2} & (r_1 > 3.1) \end{cases}$$

r_1 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code}2(r_1)$ ：

$$f\text{-code}2(r_1) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{3.1 - r_1}{0.1})^2} & (r_1 < 3.1) \\ 1 & (r_1 \geq 3.1) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 0 的概率 $f\text{-code}0(r_2)$ ：

$$f\text{-code}0(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.06 - r_2}{0.02})^2} & (r_2 < 0.06) \\ 1 & (0.06 \leq r_2 \leq 0.6) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.6 - r_2}{0.2})^2} & (r_2 > 0.6) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 1 的概率 $f\text{-code}1(r_2)$ ：

$$f\text{-code}1(r_2) = \begin{cases} 1 & (r_2 \leq 0.06) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.06 - r_2}{0.02})^2} & (r_2 > 0.06) \end{cases}$$

r_2 的比值编码为 2 的概率 $f\text{-code}2(r_2)$ ：

权 利 要 求 书

$$f-code2(r_2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.6 - r_2}{0.2})^2} & (r_2 < 0.6) \\ 1 & (r_2 \geq 0.6) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 0 的概率 $f-code0(r_3)$:

$$f-code0(r_3) = \begin{cases} 1 & (r_3 \leq 0.8) \\ \frac{1}{1 + (\frac{0.8 - r_3}{0.1})^2} & (r_3 > 0.8) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 1 的概率 $f-code1(r_3)$:

$$f-code1(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{0.6 - r_3}{0.1})^2} & (r_3 < 0.8) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \\ \frac{1}{1 + (\frac{3.6 - r_3}{0.3})^2} & (r_3 > 3.6) \end{cases}$$

r_3 的比值编码为 2 的概率 $f-code2(r_3)$:

$$f-code2(r_3) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{3.6 - r_3}{0.3})^2} & (r_3 > 3.6) \\ 1 & (0.8 \leq r_3 \leq 3.6) \end{cases}$$

r_4 的比值编码为 0 的概率 $f-code0(r_4)$:

$$f-code0(r_4) = \begin{cases} 1 & (r_4 \leq 1.43) \\ \frac{1}{1 + (\frac{1.43 - r_4}{0.1})^2} & (r_4 > 1.43) \end{cases}$$

r_4 的比值编码为 1 的概率 $f-code1(r_4)$:

$$f-code1(r_4) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\frac{1.43 - r_4}{0.1})^2} & (r_4 < 1.43) \\ 1 & (r_4 \geq 1.43) \end{cases}$$

(六) 将比值编码的概率以最大值逻辑、最小值逻辑表示, 从而得到变压器缺陷故障类型诊断结果的模糊多值形式, 变压器缺陷故障类型的概率如下:

权 利 要 求 书

$f(\text{局部放电}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code1}(r_2)];$

$f(\text{低温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code0}(r_3)]\};$

$f(\text{中温过热}) = \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)];$

$f(\text{高温过热}) = \max\{\min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code0}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code2}(r_3)]\};$

$f(\text{火花放电}) = \max\{f\text{-code2}(r_1), \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code0}(r_4)]\};$

$f(\text{电弧放电}) = \max\{\min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_2), f\text{-code1}(r_3), f\text{-code1}(r_4)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code0}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code1}(r_2), f\text{-code1}(r_3)], \min[f\text{-code1}(r_1), f\text{-code2}(r_2), f\text{-code1}(r_3)]\}。$

说明书附图

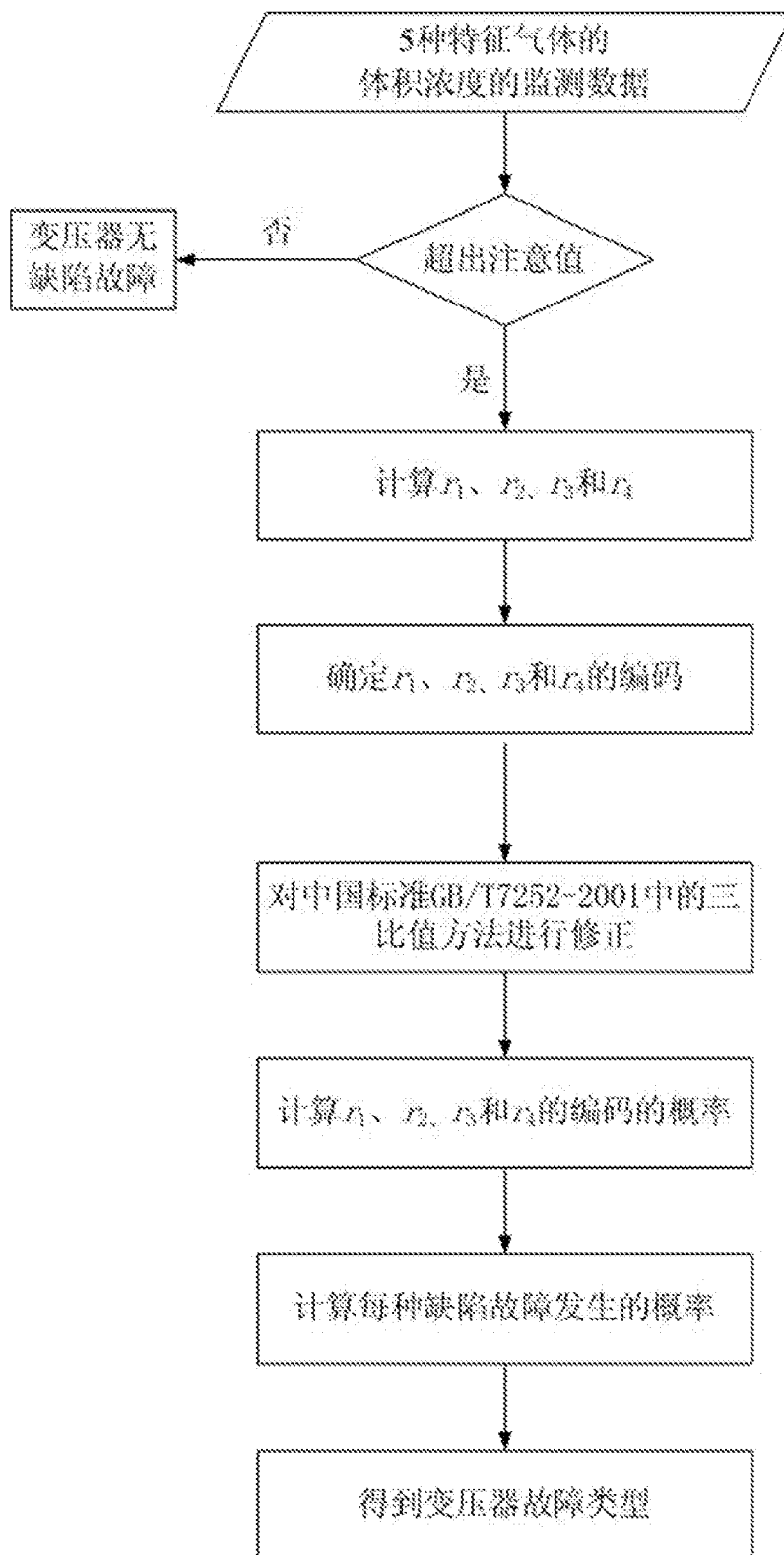


图 1

说明书附图

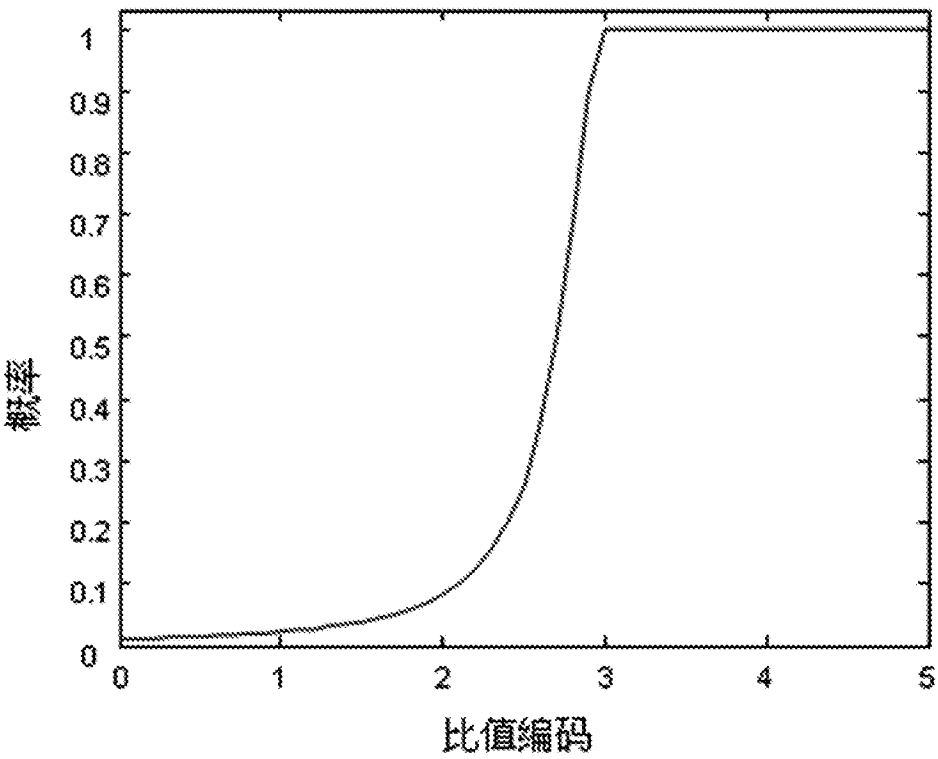


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2015/086109

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/00 (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)

G01R 31/-

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)
CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: STATE GRID CORPORATION OF CHINA; STATE GRID HEBEI ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE; HEBEI ELECTRIC POWER CONSTRUCTION ADJUSTMENT INSTITUTE; GAO, Shuguo; FAN, Hui; CHEN, Zhiyong; PAN, Jin; LIU, Hongliang; ZHAO, Jun; boundary, rising edge, fall edge, defect, monitor, detect, maximum, minimum, electric, power, voltage, potential, transformer, changer, oil, gas, fuzz+, diagnosis, fault, ratio, probability, max, min

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104730378 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 24 June 2015 (24.06.2015), description, paragraph 5, and figures 1-2	1
A	CN 101907665 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY et al.), 08 December 2010 (08.12.2010), description, paragraphs 11-26, and figures 1-4	1
A	CN 104102215 A (YANCHENG HUASHENG TRANSFORMER MANUFACTURING CO., LTD.), 15 October 2014 (15.10.2014), the whole document	1
A	WO 2013100593 A1 (HYOSUNG CORP.), 04 July 2013 (04.07.2013), the whole document	1
A	WO 2013100591 A1 (HYOSUNG CORP.), 04 July 2013 (04.07.2013), the whole document	1
A	GAO, Shuguo et al., "Outliers Detection and Distribution Characteristics of the Transformer DGA Data Based on MCD Robust Statistics", HIGH VOLTAGE ENGINEERING, vol. 40, no. 11, 30 November 2014 (30.11.2014), pages 3477-3482	1

☐ 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 05 November 2015 (05.11.2015)	Date of mailing of the international search report 13 November 2015 (13.11.2015)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Leyan Telephone No.: (86-10) 61648487

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2015/086109

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104730378 A	24 June 2015	None	
CN 101907665 A	08 December 2010	None	
CN 104102215 A	15 October 2014	None	
WO 2013100593 A1	04 July 2013	US 2015007635 A1	08 January 2015
		KR 20130074673 A	04 July 2013
		KR 101290806 B1	29 July 2013
		KR 20130074671 A	04 July 2013
		KR 101290295 B1	26 July 2013
WO 2013100591 A1	04 July 2013	US 2015020572 A1	22 January 2015
		KR 20130074674 A	04 July 2013
		KR 101290807 B1	29 July 2013
		KR 20130074672 A	04 July 2013
		KR 101325177 B1	20 November 2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/086109

A. 主题的分类

G01R 31/00(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. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R 31/-

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))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 国家电网公司, 国网河北省电力公司电力科学研究院, 河北省电力建设调整试验所, 高树国, 范辉, 陈志勇, 潘瑾, 刘宏亮, 赵军, 变压器, 油, 气体, 模糊, 边界, 上升沿, 下降沿, 缺陷, 故障, 诊断, 监测, 检测, 概率, 最大值, 最小值, electric, power, voltage, potential, transformer, changer, oil, gas, fuzz+, diagnosis, fault, ratio, probability, max, min

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104730378 A (国家电网公司等) 2015年 6月 24日 (2015 - 06 - 24) 说明书第5段、图1-2	1
A	CN 101907665 A (西安交通大学等) 2010年 12月 8日 (2010 - 12 - 08) 说明书第11-26段、图1-4	1
A	CN 104102215 A (盐城华盛变压器制造有限公司) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 全文	1
A	WO 2013100593 A1 (HYOSUNG CORP.) 2013年 7月 4日 (2013 - 07 - 04) 全文	1
A	WO 2013100591 A1 (HYOSUNG CORP.) 2013年 7月 4日 (2013 - 07 - 04) 全文	1
A	高树国等. "基于MCD稳健统计分析的变压器油色谱异常值检测及分布特性" 《高电压技术》, 第40卷, 第11期, 2014年 11月 30日 (2014 - 11 - 30), 第3477-3482页	1

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“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)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“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

“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

“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

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 11月 5日

国际检索报告邮寄日期

2015年 11月 13日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10)62019451

授权官员

王乐妍

电话号码 (86-10)61648487

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/086109

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104730378	A	2015年 6月 24日	无			
CN	101907665	A	2010年 12月 8日	无			
CN	104102215	A	2014年 10月 15日	无			
WO	2013100593	A1	2013年 7月 4日	US	2015007635	A1	2015年 1月 8日
				KR	20130074673	A	2013年 7月 4日
				KR	101290806	B1	2013年 7月 29日
				KR	20130074671	A	2013年 7月 4日
				KR	101290295	B1	2013年 7月 26日
WO	2013100591	A1	2013年 7月 4日	US	2015020572	A1	2015年 1月 22日
				KR	20130074674	A	2013年 7月 4日
				KR	101290807	B1	2013年 7月 29日
				KR	20130074672	A	2013年 7月 4日
				KR	101325177	B1	2013年 11月 20日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)