



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111272222 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 202010127741.1

(22)申请日 2020.02.28

(71)申请人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段
111号西南交通大学科技处

(72)发明人 冯玓 毕胜 林圣 赵丽平

(74)专利代理机构 成都信博专利代理有限责任
公司 51200

代理人 舒启龙 卓仲阳

(51) Int. Cl.

G01D 21/02(2006.01)

G06F 17/18(2006.01)

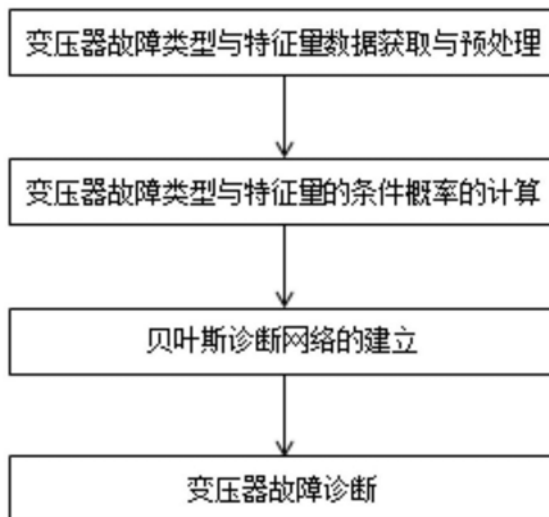
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种基于特征量集的变压器故障诊断方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,涉及电力设备领域;具体步骤为:1、数据统计与处理:收集变压器故障数据,将故障分为10类,统计数据中每个故障类型与特征量异常发生的情况;2、计算故障类型与特征量异常时的条件概率值;3、构建变压器贝叶斯诊断网络;4、根据统计现场数据,将特征量值作为网络输入,得到每个故障类型的后验概率值,将最大后验概率值所对应的故障作为最终诊断的故障类型。本发明扩展了特征量集的变压器故障诊断的方法,其结果准确,可靠,能在维持设备可靠性的前提下,提高变压器故障诊断的经济性、科学性、合理性。



1. 一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤A、变压器故障类型与特征量数据获取与预处理:

A1、统计当变压器出现故障 $d_i, i=1, 2, 3 \cdots 10$ 时,14种特征量数据,记为

$$S_i = \begin{bmatrix} d_i=1 & m_1^{1_i} & m_2^{1_i} & m_3^{1_i} & \cdots & m_{13}^{1_i} & m_{14}^{1_i} \\ d_i=1 & m_1^{2_i} & m_2^{2_i} & m_3^{2_i} & \cdots & m_{13}^{2_i} & m_{14}^{2_i} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_i=1 & m_1^{N_i} & m_2^{N_i} & m_3^{N_i} & \cdots & m_{13}^{N_i} & m_{14}^{N_i} \end{bmatrix}$$

其中 $d_i=1$ 代表变压器发生了第 i 类故障,其中 N_i 为 S_i 的矩阵行数,代表 $d_i=1$ 时,统计第 i 类故障类型下统计数据的组数; $m_1^{n_i} \sim m_{14}^{n_i}$ 分别代表第 i 类故障下的第1-14种特征量的第 n 组统计数据;

若在统计第 i 类故障下第 n 组数据时,存在第12种特征,则令 $m_{12}^{n_i}=1$,否则令 $m_{12}^{n_i}=0$;同理,存在第13种特征,则令 $m_{13}^{n_i}=1$,否则令 $m_{13}^{n_i}=0$;存在第14种特征,则令 $m_{14}^{n_i}=1$,否则令 $m_{14}^{n_i}=0$;

A2、对 S_i 进行数据处理得到 S^*_i ,判断 $m_k^{n_i} > M_k$ 是否成立,若是,则令 $m_k^{n_i}=1$,若否,则令 $m_k^{n_i}=0$,其中 $n_i=1 \sim N_i$;其中 $k=1 \sim 11$,则得到第 i 类故障与特征量数据集, S_i 中第12到14列数据保持不变;其中 M_k 为第 k 种特征量异常判断阈值;

步骤B、变压器故障类型 d_i 与特征量 $m_s, s=1, 2, 3 \cdots 14$ 的条件概率的计算与关联关系的确定:

B1、计算第 i 类故障类型 d_i 与特征量 m_s 异常时条件概率为

$$P(m_s | d_i) = \frac{\sum_{n_i=1}^{N_i} (d_i \times m_s^{n_i})}{N_i} \times 100\%$$

B2、若 $P(m_s | d_i) = 0$,则定义将故障类型 d_i 与第 s 种特征量 m_s 无关联关系,否则,定义为有关联关系;

步骤C、贝叶斯诊断网络的建立:

建立包含原因节点和结果节点、有向线段两层的贝叶斯网络,其中原因节点为故障类型 $d_1 \sim d_{10}$,结果节点为特征量 $m_1 \sim m_{14}$,有向线段为对有关联关系的故障类型 d_i 与特征量 m_s 之间的条件概率 $P(m_s | d_i)$;

步骤D、变压器故障诊断:

D1、将现场采集的14种特征量 $m_1 \sim m_{14}$ 的数据输入到建立好的贝叶斯网络,由贝叶斯网络计算10种故障类型的后验概率 $P_1 \sim P_{10}$;

D2、判断 $P_1 \sim P_{10}$ 的最大值为 P_q ,即 d_q 的后验概率 P_q ;则诊断发生的变压器故障为第 q 类故障类型 d_q 。

2. 根据权利要求1所述的一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,其特征在于,所述故障类型 $d_1 \sim d_{10}$ 分别代表铁心多点接地及局部短路、绝缘老化、漏磁发热或磁屏蔽放电过

热、匝绝缘损伤与匝间短路、绝缘受潮、分接开关及引线故障、悬浮放电、围屏放电、绕组变形与匝间短路和油中放电。

3. 根据权利要求1所述的一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,其特征在于,所述14种特征量分别是:第1种特征量:铁心接地电流 m_1 ;第2种特征量:绕组直流电阻的三相不平衡系数 m_2 ;第3种特征量:变压器本体油中含水量 m_3 ;第4种特征量:绕组变比偏差 m_4 ;第5种特征量:CO与CO₂浓度比 m_5 ;第6种特征量:绕组的吸收比 m_6 ;第7种特征量:铁心绝缘电阻 m_7 ;第8种特征量:介损正切值 m_8 ;第9种特征量:油气强度 m_9 ;第10种特征量:工频耐压 m_{10} ;第11种特征量:泄露电流 m_{11} ;第12种特征量:三比值编码呈过热性特征 m_{12} ;第13种特征量:三比值编码呈放电性特征 m_{13} ;第14种特征量:局部放电 m_{14} 。

4. 根据权利要求1所述的一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,其特征在于,所述阈值 M_k 根据《变压器试验标准与操作规程》进行设定。

一种基于特征量集的变压器故障诊断方法

技术领域

[0001] 本发明属于变压器故障诊断分析领域,具体涉及一种基于特征量集的变压器故障诊断方法。

背景技术

[0002] 目前,现场对于变压器故障诊断主要是根据色谱数据进行三比值法判断大致的故障类型,之后根据故障类型进行相关的试验,结合各项试验数据,现场工作人员通过经验判断故障发生的情况。人工经验判断具有一定的主观性和不确定性,同时对于不常见的试验数据异常往往还需要多个现场工作人员进行讨论判断,针对于较为复杂的情况往往还需对变压器进行拆机放油,检修人员进入到变压器内部进行逐一的排查,耗时耗力,其时间成本和经济成本都比较高。

[0003] 变压器内部故障的发生是一个渐变的过程,往往变压器故障发生的初期是一些特征量的异常,在此阶段变压器往往还能运行;当达到某一临界点时,变压器故障严重导致不稳定运行甚至停止运行。为了避免变压器故障所导致的损失,在变压器发生特征量异常时,及时的检测并诊断出故障为现场检修人员准确提供变压器发生的故障类型,可快速的解决故障,从而避免了因故障以及故障扩大化所带来的巨大损失。

[0004] 变压器故障发生时其所包含的特征量种类繁多且具有模糊性和不完备性,每个特征量的异常与故障类型并非一一对应,根据单一的特征量去判断故障类型,其准确性较低。因此,结合多种特征量在运行时的信息可以全面分析变压器运行状态,以提高变压器故障诊断的准确性。目前所采用的特征量信息主要有铁心接地电流、三比值编码呈过热性特征、绕组直流电阻的三相不平衡系数、变压器本体油中含水量、三比值编码呈放电性故障特征、绕组变比偏差、局部放电、 $\varphi(\text{CO})/\varphi(\text{CO}_2)$ 和绕组的吸收比9种特征量,其中 $\varphi(\text{CO})$ 为变压器中的一氧化碳浓度, $\varphi(\text{CO}_2)$ 为变压器中的二氧化碳浓度。现场所能检测到更多的变压器的运行时的特征量,对于一些检测出来的特征量,这些特征量更加能够反映出变压器异常运行时的故障类型,在现有特征量的基础上,通过添加铁心绝缘电阻、介损正切值 tg 、油气强度、工频耐压和泄露电流现场所频发的5种特征量对于提高诊断变压器的故障类型十分必要,通过将原始的特征量集与新添加的特征量集共同考虑,可以结合现场情况更加全面的分析变压器异常运行时所可能的故障类型,得出准确的故障类型诊断结果。根据变压器故障发生机理统计计算故障类型与特征量之间的因果关系和条件概率,构建贝叶斯网络。通过现场所收集到的部分特征量输入到贝叶斯网络,所诊断出的故障类型的准确度更高。

发明内容

[0005] 本发明的目的是克服现有变压器故障诊断方面的不足之处,提高变压器故障诊断的经济性、科学性、合理性。为此,本发明提供了一种基于特征量集的变压器故障诊断方法。

[0006] 本发明的一种基于特征量集的变压器故障诊断方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤A、变压器故障类型与特征量数据获取与预处理:

[0008] A1、统计当变压器出现故障 $d_i, i=1, 2, 3 \cdots 10$ 时, 14种特征量数据, 记为

$$[0009] \quad S_i = \begin{bmatrix} d_i=1 & m_1^{1_i} & m_2^{1_i} & m_3^{1_i} & \cdots & m_{13}^{1_i} & m_{14}^{1_i} \\ d_i=1 & m_1^{2_i} & m_2^{2_i} & m_3^{2_i} & \cdots & m_{13}^{2_i} & m_{14}^{2_i} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_i=1 & m_1^{N_i} & m_2^{N_i} & m_3^{N_i} & \cdots & m_{13}^{N_i} & m_{14}^{N_i} \end{bmatrix}$$

[0010] 其中 $d_i=1$ 代表变压器发生了第 i 类故障, 其中 N_i 为 S_i 的矩阵行数, 代表 $d_i=1$ 时, 统计第 i 类故障类型下统计数据的组数; $m_1^{n_i} \sim m_{14}^{n_i}$ 分别代表第 i 类故障下的第1-14种特征量的第 n 组统计数据。

[0011] 若在统计第 i 类故障下第 n 组数据时, 存在第12种特征, 则令 $m_{12}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{12}^{n_i}=0$; 同理, 存在第13种特征, 则令 $m_{13}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{13}^{n_i}=0$; 存在第14种特征, 则令 $m_{14}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{14}^{n_i}=0$ 。

[0012] A2、对 S_i 进行数据处理得到 S^*_i , 判断 $m_k^{n_i} > M_k$ 是否成立, 若是, 则令 $m_k^{n_i}=1$, 若否, 则令 $m_k^{n_i}=0$, 其中 $n_i=1 \sim N_i$; 其中 $k=1 \sim 11$, 则得到第 i 类故障与特征量数据集, S_i 中第12到14列数据保持不变; 其中 M_k 为第 k 种特征量异常判断阈值。

[0013] 步骤B、变压器故障类型 d_i 与特征量 $m_s, s=1, 2, 3 \cdots 14$ 的条件概率的计算与关联关系的确定:

[0014] B1、计算第 i 类故障类型 d_i 与特征量 m_s 异常时条件概率为

$$[0015] \quad P(m_s | d_i) = \frac{\sum_{n_i=1}^{N_i} (d_i \times m_s^{n_i})}{N_i} \times 100\%$$

[0016] B2、若 $P(m_s | d_i) = 0$, 则定义将故障类型 d_i 与第 s 种特征量 m_s 无关联关系, 否则, 定义为有关联关系。

[0017] 步骤C、贝叶斯诊断网络的建立:

[0018] 建立包含原因节点和结果节点、有向线段两层的贝叶斯网络, 其中原因节点为故障类型 $d_1 \sim d_{10}$, 结果节点为特征量 $m_1 \sim m_{14}$, 有向线段为对有关联关系的故障类型 d_i 与特征量 m_s 之间的条件概率 $P(m_s | d_i)$ 。

[0019] 步骤D、变压器故障诊断:

[0020] D1、将现场采集的14种特征量 $m_1 \sim m_{14}$ 的数据输入到建立好的贝叶斯网络, 由贝叶斯网络计算10种故障类型的后验概率 $P_1 \sim P_{10}$ 。

[0021] D2、判断 $P_1 \sim P_{10}$ 的最大值为 P_q , 即 d_q 的后验概率 P_q ; 则诊断发生的变压器故障为第 q 类故障类型 d_q 。

[0022] 进一步的, 故障类型 $d_1 \sim d_{10}$ 分别代表铁心多点接地及局部短路、绝缘老化、漏磁发热或磁屏蔽放电过热、匝绝缘损伤与匝间短路、绝缘受潮、分接开关及引线故障、悬浮放电、围屏放电、绕组变形与匝间短路和油中放电。

[0023] 进一步的, 14种特征量分别是: 第1种特征量: 铁心接地电流 m_1 ; 第2种特征量: 绕组直流电阻的三相不平衡系数 m_2 ; 第3种特征量: 变压器本体油中含水量 m_3 ; 第4种特征量: 绕组

变比偏差 m_4 ；第5种特征量：CO与CO₂浓度比 m_5 ；第6种特征量：绕组的吸收比 m_6 ；第7种特征量：铁心绝缘电阻 m_7 ；第8种特征量：介损正切值 m_8 ；第9种特征量：油气强度 m_9 ；第10种特征量：工频耐压 m_{10} ；第11种特征量：泄露电流 m_{11} ；第12种特征量：三比值编码呈过热性特征 m_{12} ；第13种特征量：三比值编码呈放电性特征 m_{13} ；第14种特征量：局部放电 m_{14} 。

[0024] 进一步的，值 M_k 根据《变压器试验标准与操作规程》进行设定。

[0025] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0026] 1、鉴于变压器故障诊断的现实状况，在变压器故障诊断方法的基础上进行改进，通过将现场频发的变压器的特征量异常添加至贝叶斯网络诊断模型中，具有现实性和可操作性；

[0027] 2、计算对于现场中的特征量异常与故障类型所对应的条件概率，使新添加的特征量与故障类型间的条件概率较为客观；

[0028] 3、基于贝叶斯网络故障诊断的方法，通过考虑更多的特征量，全面的分析变压器运行时特征量的情况，根据故障类型与特征量间明确因果关系进行后验概率计算，得出的后验概率值其结果具有较强可信性和说服力。

附图说明

[0029] 图1为本发明的流程示意图。

具体实施方式

[0030] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细说明。

[0031] 本发明的一种基于特征量集的变压器故障诊断方法如图1所示，包括以下步骤：

[0032] 步骤A、变压器故障类型与特征量数据获取与预处理：

[0033] A1、统计当变压器出现故障 d_i 时，14种特征量数据，记为

$$[0034] \quad S_i = \begin{bmatrix} d_i=1 & m_1^{1_i} & m_2^{1_i} & m_3^{1_i} & \cdots & m_{13}^{1_i} & m_{14}^{1_i} \\ d_i=1 & m_1^{2_i} & m_2^{2_i} & m_3^{2_i} & \cdots & m_{13}^{2_i} & m_{14}^{2_i} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_i=1 & m_1^{N_i} & m_2^{N_i} & m_3^{N_i} & \cdots & m_{13}^{N_i} & m_{14}^{N_i} \end{bmatrix}$$

[0035] 其中 $d_i=1$ 代表变压器发生了第 i 类故障，其中 N_i 为 S_i 的矩阵行数，代表 $d_i=1$ 时，统计第 i 类故障类型下统计数据的组数； $i=1, 2, 3 \cdots 10$ ， $d_1 \sim d_{10}$ 分别代表铁心多点接地及局部短路、绝缘老化、漏磁发热或磁屏蔽放电过热、匝绝缘损伤与匝间短路、绝缘受潮、分接开关及引线故障、悬浮放电、围屏放电、绕组变形与匝间短路和油中放电10种故障类型； $m_1^{n_i} \sim m_{14}^{n_i}$ 分别代表第 i 类故障下的第1种特征量（铁心接地电流 m_1 ）、第2种特征量（绕组直流电阻的三相不平衡系数 m_2 ）、第3种特征量（变压器本体油中含水量 m_3 ）、第4种特征量（绕组变比偏差 m_4 ）、第5种特征量（CO与CO₂浓度比 m_5 ）、第6种特征量（绕组的吸收比 m_6 ）、第7种特征量（铁心绝缘电阻 m_7 ）、第8种特征量（介损正切值 tgm_8 ）、第9种特征量（油气强度 m_9 ）、第10种特征量（工频耐压 m_{10} ）、第11种特征量（泄露电流 m_{11} ）、第12种特征量（三比值编码呈过热性特征 m_{12} ）、第13种特征量（三比值编码呈放电性特征 m_{13} ）和第14种特征量（局部放电 m_{14} ）14种特征量的第 n 组统计数据；若在统计第 i 类故障下第 n 组数据时，存在三比值编码存过热性特

征,则令 $m_{12}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{12}^{n_i}=0$; 若在统计第 i 类故障下第 n 组数据时, 存在三比值编码呈放电性特征, 则令 $m_{13}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{13}^{n_i}=0$; 若在统计第 i 类故障下第 n 组数据时, 存在局部放电特征, 则令 $m_{14}^{n_i}=1$, 否则令 $m_{14}^{n_i}=0$;

[0036] A2、对 S_i 进行数据处理得到 S^*_i , 判断 $m_k^{n_i} > M_k$ 是否成立, 若是, 则令 $m_k^{n_i}=1$, 若否, 则令 $m_k^{n_i}=0$, 其中 $n_i=1 \sim N_i$ 其中 $k=1 \sim 11$, 则得到第 i 类故障与特征量数据集, S_i 中第 12 到 14 列数据保持不变; 其中 M_k 为第 k 种特征量异常判断阈值, 其根据《变压器试验标准与操作规程》进行设定。

[0037] 步骤 B、变压器故障类型 d_i 与特征量 m_s 的条件概率的计算与关联关系的确定

[0038] B1、计算第 i 类故障类型 d_i 与特征量 m_s 异常时条件概率为

$$[0039] \quad P(m_s | d_i) = \frac{\sum_{n_i=1}^{N_i} (d_i \times m_s^{n_i})}{N_i} \times 100\%$$

[0040] 其中 i 取 $1 \sim 10$, s 取 $1 \sim 14$;

[0041] B2、若 $P(m_s | d_i) = 0$, 则定义将故障类型 d_i 与第 s 种特征量 m_s 无关联关系, 否则, 定义为有关联关系。

[0042] 步骤 C、贝叶斯诊断网络的建立

[0043] 建立包含原因节点和结果节点、有向线段两层的贝叶斯网络, 其中原因节点为故障类型 $d_1 \sim d_{10}$, 结果节点为特征量 $m_1 \sim m_{14}$, 有向线段为对有关联关系的故障类型 d_i 与特征量 m_s 之间的条件概率 $P(m_s | d_i)$;

[0044] 步骤 D、变压器故障诊断

[0045] D1、将现场采集的 14 种特征量 $m_1 \sim m_{14}$ 的数据输入到建立好的贝叶斯网络, 由贝叶斯网络计算 10 种故障类型的后验概率 $P_1 \sim P_{10}$;

[0046] D2、判断 $P_1 \sim P_{10}$ 的最大值为 P_q , 即 d_q 的后验概率 P_q ; 则诊断发生的变压器故障为第 q 类故障类型 d_q 。

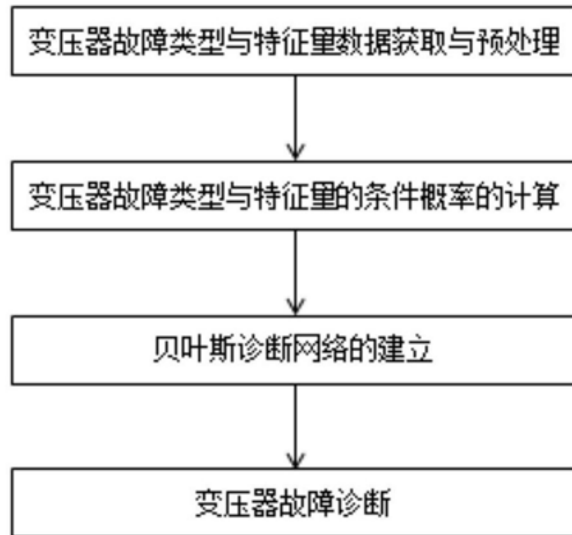


图1