

(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
2018 年 3 月 15 日 (15.03.2018)

(10) 国际公布号
WO 2018/045689 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/02 (2006.01) **G06K 9/62** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/113645
- (22) 国际申请日: 2016 年 12 月 30 日 (30.12.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
2016108052802 2016年9月7日 (07.09.2016) CN
- (71) 申请人: 江南大学(JIANGNAN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号陶洪峰, Jiangsu 214122 (CN)。
- (72) 发明人: 陶洪峰(TAO, Hongfeng); 中国江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号陶洪峰, Jiangsu 214122 (CN)。 周超超(ZHOU, Chaochao); 中国

江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号陶洪峰, Jiangsu 214122 (CN)。 刘艳(LIU, Yan); 中国江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号陶洪峰, Jiangsu 214122 (CN)。 童亚军(TONG, Yajun); 中国江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号陶洪峰, Jiangsu 214122 (CN)。

(74) 代理人: 无锡华源专利商标事务所(普通合伙)(WUXI HUAYUAN PATENT AND TRADEMARK AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国江苏省无锡市滨湖区建筑路599号国家工业设计园4号楼1216室聂启新, Jiangsu 214072 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: DECISION TREE SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) FAULT DIAGNOSIS METHOD FOR PHOTOVOLTAIC DIODE CLAMPED THREE-LEVEL INVERTER

(54) 发明名称: 光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树SVM故障诊断方法

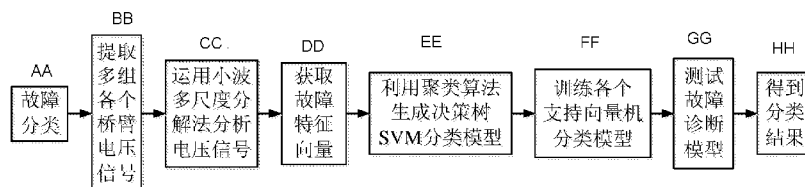


图 1

AA FAULT CLASSIFICATION
BB EXTRACT MULTIPLE SETS OF BRIDGE ARM VOLTAGE SIGNALS
CC ANALYZE THE VOLTAGE SIGNALS USING A WAVELET MULTI-SCALE DECOMPOSITION METHOD
DD OBTAIN FAULT FEATURE VECTORS
EE GENERATE DECISION TREE SVM CLASSIFICATION MODELS USING A CLUSTERING ALGORITHM
FF TRAIN THE SVM CLASSIFICATION MODELS
GG TEST THE FAULT DIAGNOSIS MODELS
HH OBTAIN A CLASSIFICATION RESULT

(57) Abstract: A decision tree SVM fault diagnosis method for a photovoltaic diode clamped three-level inverter, for use in fault diagnosis of a three-level inverter in a photovoltaic microgrid. Using an inversion state as an example, an operation state of an inverter main circuit is first analyzed and fault classification is performed, and then with middle, upper, and lower bridge arm voltages as measurement signals, feature signals are extracted using a wavelet multi-scale decomposition method, so as to generate decision tree SVM classification models using a particle swarm clustering algorithm and thus finally achieve multi-mode fault diagnosis for the photovoltaic diode clamped three-level inverter. The method is advantageous in that: the algorithm can clearly distinguish different fault states of a photovoltaic diode clamped three-level inverter, fewer classification models to complete a fault diagnosis task, and is high in diagnosis precision and strong in anti-interference capability.

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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)。

根据细则4.17的声明:

- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则4.17(ii))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树SVM故障诊断方法, 针对光伏微网中的三电平逆变器故障诊断问题, 以逆变状态为例, 首先分析逆变器主电路的运行情况并进行故障分类, 然后以中、上、下三种桥臂电压为测量信号, 采用小波多尺度分解法提取特征信号, 进而利用粒子群聚类算法生成决策树SVM分类模型, 最终实现了光伏二极管箝位型三电平逆变器的多模式故障诊断。其优点是: 该算法能够明显区分光伏二极管箝位型三电平逆变器的各个故障状态, 使用了较少的分类模型完成故障诊断任务, 且诊断精度高, 抗干扰能力强。

光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法

技术领域

本发明涉及电力电子装置故障诊断领域，尤其是一种光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法。

背景技术

全球范围的能源危机和环境危机促使人们寻求更加清洁、绿色的新型能源，在清洁型能源中太阳能凭借其：无污染、可持续、普遍性、灵活性和可靠性等优点，受到了广泛关注。在光伏系统越来越多并入电网运行的情况下，光伏逆变器作为光伏系统中最为核心的部件，关系着整个系统的安全、稳定和高效运行。与传统的两电平逆变器相比，三电平逆变器因其开关器件串联均压、开关损耗小、输出电压谐波含量低和工作效率高等优点，在光伏发电系统中得到广泛的应用。然而三电平逆变器增加了开关器件的数量，电路的可靠性也相应地降低，任意一个器件发生故障就可能导致电路非正常运行，甚至会导致二次故障，造成巨大的经济损失。

光伏三电平逆变器故障诊断的问题主要在三个方面：一是在电路故障模式方面，仅考虑单个器件开路的故障，近些年才开始讨论多器件同时故障的多故障模式诊断，但这方面的研究还较少，分析问题还不够全面，而现有的 2 个开关器件同时开路的故障诊断方法算法结构都较为复杂；二是检测信号多为输出电压和输出电流，由于输出端存在感性负载，电流变化缓慢，这往往会增加故障诊断时间；三是诊断算法方面，智能诊断算法逐渐运用到逆变器故障诊断领域，如人工神经网络、支持向量机、极限学习机等等。其中，神经网络的应用较多，而神经网络自身存在较多缺陷：需要设置的参数较多、收敛速度慢、易陷入局部最优等等，这些都严重阻碍着神经网络的应用。

光伏三电平逆变器的开关器件较多，故障问题种类繁杂，同时为了满足系统的实时性要求，传统的方法已经不能满足实际需求。这里利用数据驱动的思想，利用逆变器系统运行过程中不断产生并反映系统运行机理和状态的数据，通过合适的特征提取和分析方法，实现光伏逆变器的故障诊断和识别。

小波分析是一种信号时频域分析方法，它可以同时描述信号的时域和频域，

并且可以获得信号的局部化信息，是近年来故障特征提取的热点。粒子群聚类算法是在粒子群优化算法的基础上推广得到的，粒子群优化算法是一种基于群智能的新兴进化计算技术，通过群体中个体的合作和竞争而产生的群体智能指导优化搜索，具有较强的通用性。支持向量机是一种基于统计学习理论的机器学习算法，它在解决高维、非线性及小样本为特点的模式识别中，具有独特的优势，在电力电子的故障诊断领域也有很好的实用价值和应用前景。

发明内容

本发明的目的是提供一种光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法。

一种光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法，其特征包括：建立光伏二极管箝位型三电平逆变器电路的模型；提取三电平逆变器主电路开路故障特征；构建粒子群聚类故障诊断决策树；训练和测试决策树支持向量机 SVM 故障分类模型，最终实现光伏二极管箝位型三电平逆变器的故障诊断。

第一步：建立光伏二极管箝位型三电平逆变器电路的模型

三电平逆变器主电路主要由 A、B 和 C 三相桥臂构成，每相桥臂由四个主开关管、四个续流二极管和两个中点钳位二极管组成。由于三电平逆变器电路本身的结构，每个开关管在工作过程中所可能承受的最高电压只有两电平逆变器的一半，因此三电平逆变器可以大大降低开关器件的电压应力，满足高压逆变的要求。三电平逆变器主电路故障主要是开路故障，包括 IGBT 开路、串联熔断器熔断和触发脉冲丢失故障，同时还有中点钳位二极管开路的情况，因此根据实际运行的情况进行故障分类，以主电路 A 相为例，共三大类十三小类。

1) 所有 IGBT 开关管都正常运行，逆变器无故障，共一小类。

2) 单个器件发生故障，即在四个功率管和两个中点钳位二极管中任意一个发生故障，共六小类。

3) 两个器件发生故障，这大类存在两种情况，一是故障的两个开关管不在同一桥臂，这种情况可以归结为不同桥臂上的单个器件故障，可以参考单个器件发生故障的情况；二是故障的两个开关管在同一桥臂，即四个开关管中任意两个开关管发生故障的情况，共六小类。

第二步：提取三电平逆变器主电路开路故障特征

三电平逆变器主电路不同故障的各个桥臂电压经分解后在各频带上的投影

是不同的, 即主电路故障时, 会对各频带的能量发生影响, 一般情况下, 故障会对某些频率能量其增强作用, 某些频率能量其抑制作用, 故障输出和正常输出会有差异, 所以可以采用不同频带的能量作为故障特征。对采用空间矢量脉宽调制(SVPWM)控制的二极管箝位型三电平逆变器主电路进行建模, 建模后对各种故障发生时的桥臂电压进行 j 层小波多尺度分解, 分别提取 $j+1$ 个信号特征。再对小波多尺度分解系数进行重构, 提取各个频带的能量, 计算频带信号的能量。设 E_n 为第 n 个分解系数序列 S_n 的能量, 则

$$E_n = \sum_{k=1}^N |X_n|^2 \quad (1)$$

式中, X_n , $n=0,1,\dots,j$ 为重构信号的 S_n 的离散点幅值。进而得到各个桥臂电压的能量后就可以构建特征向量, 其中特征向量 T_1 为:

$$T_1 = [E_0 \ E_1 \ \dots \ E_j] \quad (2)$$

统一量纲, 归一化处理特征向量:

$$T_1' = [E_0/E \ E_1/E \ \dots \ E_j/E] \quad (3)$$

其中, E 为信号的总能量, T_1' 中各个元素对应各个频带能量的百分比。采用同样的方法再处理上、下桥臂, 可以分别得到特征向量 T_2' 和 T_3' , 定义故障特征向量为:

$$T = [T_1' \ T_2' \ T_3'] \quad (4)$$

将各个故障情况下的桥臂电压按照上述过程进行特征提取, 最后构建数据样本。

第三步: 构建粒子群聚类故障诊断决策树

三电平逆变器共有 13 种故障小类, 若要构建决策树将故障完全区分, 就需要用到粒子群聚类算法将故障不断地划分成两类。粒子群聚类算法需要先进行初始化, 随机初始化粒子群, 设置聚类数目、粒子数目、迭代次数等参数, 再将每个样本随机分类, 并作为最初的聚类划分后计算聚类中心、适应度等参数, 将粒子初速度设为零。这样就可以根据初始粒子群, 得到的粒子个体最优位置 p_{id} 和全局最优位置 p_{gd} 。并利用公式

$$\omega = \omega_{max} - \frac{iter}{itermax} (\omega_{max} - \omega_{min}) \quad (5)$$

$$c_1 = R_1 + \frac{iter}{itermax} R_2 \quad (6)$$

$$c_2 = R_3 - \frac{iter}{itermax} R_4 \quad (7)$$

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}(t)) \quad (8)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (9)$$

更新所有粒子的速度和位置; 其中 ω 为惯性权重; v_{id} 为粒子的速度; c_1 和 c_2 为

加速度因子； r_1 和 r_2 是分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数； $R_1=1$ ； $R_2=0.5$ ； $R_3=4$ ； $R_4=2$ ； $\omega_{\max}=1.2$ ； $\omega_{\min}=0.4$ ； $iter$ 为当前迭代次数； $itermax$ 为最大的迭代次数。依据粒子的聚类中心编码，按照最近邻法则，确定每个样本的聚类划分，并按照新的聚类划分，计算新的聚类中心，更新适应度。再一次比较适应度，若其优于个体最优位置 p_{id} ，则更新 p_{id} ；若其优于全局最优位置 p_{gd} ，则更新 p_{gd} 。如果达到最大迭代次数，则算法结束，否则继续迭代。

决策树结构的生成需要先将全部训练样本集作为初始节点，利用粒子群聚类算法，将其划分成两类，形成两个子节点。判断子节点是否只包含一类故障样本，若是则算法结束，否则继续采用粒子群聚类算法进行处理，划分成两个新的子节点，这样不断划分，直到所有子节点只包含一类故障样本，算法结束。这样将所有的故障样本进行聚类划分，就可以反向构建故障诊断决策树。

第四步：训练和测试决策树支持向量机 SVM 故障分类模型

按照 4:1 的比例将故障数据样本划分成训练集和测试集，训练集按照决策树结构上故障的分布训练支持向量机 SVM 分类模型，支持向量机 SVM 分类模型均采用径向基核函数，并各自优化支持向量机 SVM 的参数。训练完成后，利用测试集测试决策树支持向量机 SVM 故障诊断模型，得到诊断精度等指标，最终实现光伏二极管箝位型三电平逆变器的故障诊断。

本发明的有益效果是：

1) 本发明所提出的二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法，是基于数据驱动的思想，核心是先聚类后分类，将小波多尺度分解、粒子群聚类和支撑向量机算法结合起来，实现光伏二极管箝位型三电平逆变器的数据实时故障诊断。

2) 本发明通过粒子群聚类算法，将二极管箝位型三电平逆变器的数据样本进行聚类划分，直到每个子类只包含一类故障信息，然后反向构建决策树，这样可以使各个子类之间的可分度尽可能地强，既提高诊断精度，又加强抗干扰能力。

3) 本发明采用决策树的故障诊断模型结构，构建的分类模型较少，大大提高故障诊断效率，采用径向基作为核函数，进行各个参数的寻优，从而有效地实现三电平逆变器的故障诊断。

附图说明

图 1 为二极管箝位型三电平逆变器的故障诊断流程

图 2 为二极管箝位型三电平逆变器主电路拓扑结构

图 3 为逆变器主电路的 A 相拓扑

图 4 为单个器件故障时的桥臂电压

图 5 为两个器件同时开路时的桥臂电压

图 6 为逆变器正常时的故障特征向量直方图

图 7 为聚类划分后的决策树结构图

具体实施方式

下面结合附图对本发明做进一步说明。

本发明的二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断流程图如图 1 所示，本发明方法的具体实施包括以下步骤：

如图 2 所示为二极管箝位型三电平逆变器主电路拓扑结构图，为简化分析，只研究逆变器逆变状态下 A 相的工作状态，其电路拓扑如图 3 所示。A 相桥臂有三种工作状态：

P 状态： S_{a1} 和 S_{a2} 导通， S_{a3} 和 S_{a4} 关断，电流方向为正时，电流从 P 点经 S_{a1} 和 S_{a2} 流进 A 点，忽略开关器件的正向导通压降后，输出端 A 点电位等于 P 点电位，即 $U_{dc}/2$ ；当电流方向为负时，电流从 A 点经续流二极管 VD_{a1} 和 VD_{a2} 流进 P 点，输出端 A 点电位仍等于 P 点电位。

O 状态： S_{a2} 和 S_{a3} 导通， S_{a1} 和 S_{a4} 关断，电流方向为正时，电流从中性点 O 经 VD_{a5} 和 S_{a2} 流进 A 点，输出端 A 点电位等于 O 点电位，即中性点电位；当电流方向为负时，电流从 A 点经 S_{a3} 和 VD_{a6} 流进 O 点，输出端 A 点电位仍等于 O 点电位。

N 状态： S_{a3} 和 S_{a4} 导通， S_{a1} 和 S_{a2} 关断，电流方向为正时，电流从 N 点经 VD_{a3} 和 VD_{a4} 流进 A 点，输出端 A 点电位等于 N 点电位，即 $-U_{dc}/2$ ；当电流方向为负时，电流从 A 点经 S_{a3} 和 S_{a4} 流进 N 点，输出端 A 点电位仍等于 N 点电位。

根据拓扑结构，将故障分为三大类十三小类，即二极管箝位型三电平逆变器的故障类型。

1) 所有 IGBT 开关管都正常运行，逆变器无故障，共一小类。

2) 单个器件发生故障，即功率管 S_{a1} 、 S_{a2} 、 S_{a3} 、 S_{a4} 和钳位二极管 VD_{a5} 、 VD_{a6} 中任意一个发生故障，共六小类。

3) 两个器件发生故障，这大类存在两种小类，一是故障的两个开关管不在同一桥臂，可以参考单个器件发生故障的情况，不计入故障分类；二是故障的两个开关管在同一桥臂，即功率管(S_{a1} , S_{a2})、(S_{a1} , S_{a3})、(S_{a1} , S_{a4})、(S_{a2} , S_{a3})、(S_{a2} ,

S_{a4})或(S_{a3} , S_{a4})任意一组发生故障的情况,共六小类。

建立三相三电平 SVPWM 逆变器模型,选取桥臂电压为研究对象,可以得到各种故障情况下的桥臂电压模型,如图 3 和图 4 所示。考虑到输出电压的特点,选取 sym4 小波基函数,分别对中、上和下桥臂电压进行三层多尺度分解,每个桥臂电压被分解成 4 个小信号,经过重构后,计算信号的能量,统一量纲后,构建每个桥臂的故障特征向量。整合桥臂的故障特征向量,按照中、上和下的顺序构建系统的故障特征向量,并按照不同的故障类型,构建数据样本。其中,当逆变器正常工作时,其对应的故障特征向量的直方图如图 5 所示。

采用粒子群聚类算法,将获得的全部数据样本进行聚类划分,判断得到的子类,若该子类只包含一类故障样本,则停止划分,否则继续进行聚类划分,直到所有子类只包含一类故障信息。划分结束后可以反向构建决策树,最终构建的故障诊断决策树结构如图 6 所示。从图中可以看出该方法对于 13 种故障的问题,只需要构建 12 个分类模型,而一对一结构的 SVM 需要构建 $N(N-1)/2$ 个分类模型,即 78 个分类模型,采用决策树结构无疑将大大减少模型构建数目,提高运算效率。

将数据样本分成训练集和测试集。按照构建的决策树结构,分别训练 SVM1~SVM12,共 12 个支持向量机分类模型,均采用径向基核函数,并优化各个支持向量机的参数。为了验证算法的抗干扰能力,对原始数据加入信号幅值 10%和 15%的白噪声进行对比,同时还横向比较了 BP 神经网络(BPNN)、一对一结构的支持向量机(SVM)和决策树支持向量机(DT-SVM)的诊断精度,最终的故障诊断结果汇总如表 1 所示。从表中可以看出随着噪声的增加,各个算法的诊断精度都有一定下降,但决策树支持向量机算法的诊断精度下降较小,抗干扰能力较强。

表 1 故障诊断结果

	10%白噪声	15%白噪声
BPNN	96.92%	92.31%
SVM	97.69%	93.85%
DT-SVM	98.46%	96.15%

上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所做的举例,而并非是对本发明的实施方式限定,对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其他不同形式的变化或变动。

权利要求书

1. 一种光伏二极管箝位型三电平逆变器的决策树 SVM 故障诊断方法，其特征包括：建立光伏二极管箝位型三电平逆变器电路的模型；提取三电平逆变器主电路开路故障特征；构建粒子群聚类故障诊断决策树；训练和测试决策树支持向量机 SVM 故障分类模型，最终实现光伏二极管箝位型三电平逆变器的故障诊断；

第一步：建立光伏二极管箝位型三电平逆变器电路的模型

三电平逆变器主电路主要由 A、B 和 C 三相桥臂构成，每相桥臂由四个主开关管、四个续流二极管和两个中点钳位二极管组成，由于三电平逆变器电路本身的结构，每个开关管在工作过程中可能承受的最高电压只有两电平逆变器的一半，因此三电平逆变器可以大大降低开关器件的电压应力，满足高压逆变的要求；三电平逆变器主电路故障主要是开路故障，包括 IGBT 开路、串联熔断器熔断和触发脉冲丢失故障，同时还有中点钳位二极管开路的情况，因此根据实际运行的情况进行故障分类，以主电路 A 相为例，共三大类十三小类；

1) 所有 IGBT 开关管都正常运行，逆变器无故障，共一小类；

2) 单个器件发生故障，即在四个功率管和两个中点钳位二极管中任意一个发生故障，共六小类；

3) 两个器件发生故障，这大类存在两种情况，一是故障的两个开关管不在同一桥臂，这种情况可以归结为不同桥臂上的单个器件故障，可以参考单个器件发生故障的情况；二是故障的两个开关管在同一桥臂，即四个开关管中任意两个开关管发生故障的情况，共六小类；

第二步：提取三电平逆变器主电路开路故障特征

三电平逆变器主电路不同故障的各个桥臂电压经分解后在各频带上的投影是不同的，即主电路故障时，会对各频带的能量发生影响，一般情况下，故障会对某些频率能量其增强作用，某些频率能量其抑制作用，故障输出和正常输出会有差异，所以可以采用不同频带的能量作为故障特征，对采用空间矢量脉宽调制 SVPWM 控制的二极管箝位型三电平逆变器主电路进行建模，建模后对各种故障发生时的桥臂电压进行 j 层小波多尺度分解，分别提取 $j+1$ 个信号特征，再对小波多尺度分解系数进行重构，提取各个频带的能量，计算频带信号的能量，设 E_n 为第 n 个分解系数序列 S_n 的能量，则

$$E_n = \sum_{k=1}^N |X_n|^2 \quad (1)$$

式中, X_n , $n=0,1,\dots,j$ 为重构信号序列 S_n 的离散点幅值, 进而得到各个桥臂电压的能量后就可以构建特征向量, 其中特征向量 T_1 为:

$$T_1 = [E_0 \ E_1 \ \dots \ E_j] \quad (2)$$

进一步统一量纲, 归一化处理特征向量得到:

$$T_1' = [E_0/E \ E_1/E \ \dots \ E_j/E] \quad (3)$$

其中, E 为信号的总能量, T_1' 中各个元素对应各个频带能量的百分比, 采用同样的方法再处理上、下桥臂, 可以分别得到特征向量 T_2' 和 T_3' , 定义故障特征向量为:

$$T = [T_1' \ T_2' \ T_3'] \quad (4)$$

将各个故障情况下的桥臂电压按照上述过程进行特征提取, 最后构建数据样本;

第三步: 构建粒子群聚类故障诊断决策树

由于三电平逆变器共有 13 种故障小类, 若要构建决策树将故障完全区分, 就需要用到粒子群聚类算法将故障不断地划分成两类; 粒子群聚类算法需要先进行初始化, 随机初始化粒子群, 设置聚类数目、粒子数目、迭代次数等参数, 再将每个样本随机分类, 并作为最初的聚类划分后计算聚类中心、适应度等参数, 设置粒子初速度为零; 这样就可以根据初始粒子群得到的粒子个体的最优位置 p_{id} 和全局最优位置 p_{gd} , 并利用公式

$$\omega = \omega_{max} - \frac{iter}{itermax} (\omega_{max} - \omega_{min}) \quad (5)$$

$$c_1 = R_1 + \frac{iter}{itermax} R_2 \quad (6)$$

$$c_2 = R_3 - \frac{iter}{itermax} R_4 \quad (7)$$

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}(t)) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}(t)) \quad (8)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (9)$$

更新所有粒子的速度和位置; 其中 ω 为惯性权重; v_{id} 为粒子的速度; c_1 和 c_2 为加速度因子; r_1 和 r_2 是分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数; $R_1=1$; $R_2=0.5$; $R_3=4$; $R_4=2$; $\omega_{max}=1.2$; $\omega_{min}=0.4$; $iter$ 为当前迭代次数; $itermax$ 为最大的迭代次数; 依据粒子的聚类中心编码, 按照最近邻法则, 确定每个样本的聚类划分, 并按照新的聚类划分, 计算新的聚类中心, 更新适应度, 再一次比较适应度, 若其优于个体最优位置 p_{id} , 则更新 p_{id} ; 若其优于全局最优位置 p_{gd} , 则更新 p_{gd} , 如果达到最大迭代次数, 则算法结束, 否则继续迭代;

决策树结构的生成需要先将全部训练样本集作为初始节点, 利用粒子群聚

类算法，将其划分成两类，形成两个子节点，判断子节点是否只包含一类故障样本，若是则算法结束，否则继续采用粒子群聚类算法进行处理，划分成两个新的子节点，这样不断划分，直到所有子节点只包含一类故障样本，算法结束，这样将所有的故障样本进行聚类划分，就可以反向构建故障诊断决策树；

第四步：训练和测试决策树支持向量机 SVM 故障分类模型

按照 4:1 的比例将故障数据样本划分成训练集和测试集，训练集按照决策树结构上故障的分布训练支持向量机 SVM 分类模型；支持向量机 SVM 分类模型均采用径向基核函数，并各自优化支持向量机 SVM 的参数，训练完成后，利用测试集测试决策树支持向量机 SVM 故障诊断模型，得到诊断精度等指标，最终实现光伏二极管箝位型三电平逆变器的故障诊断。

说明书附图

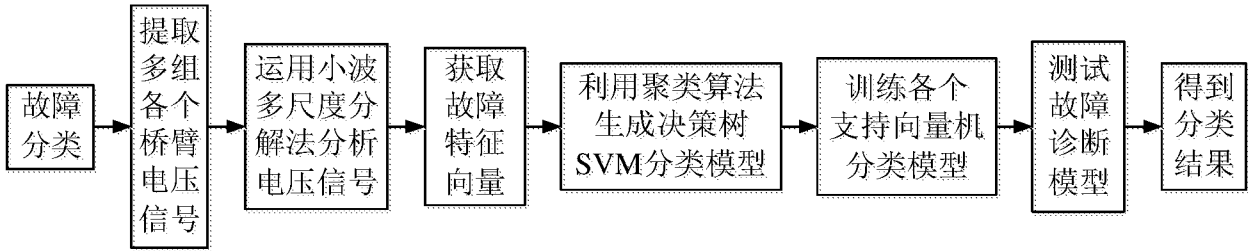


图 1

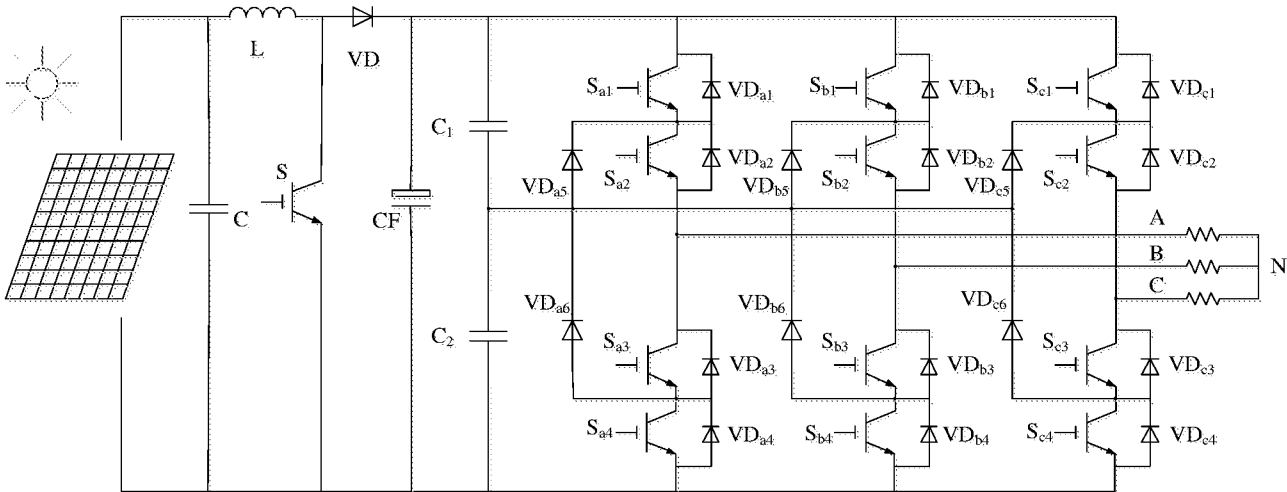


图 2

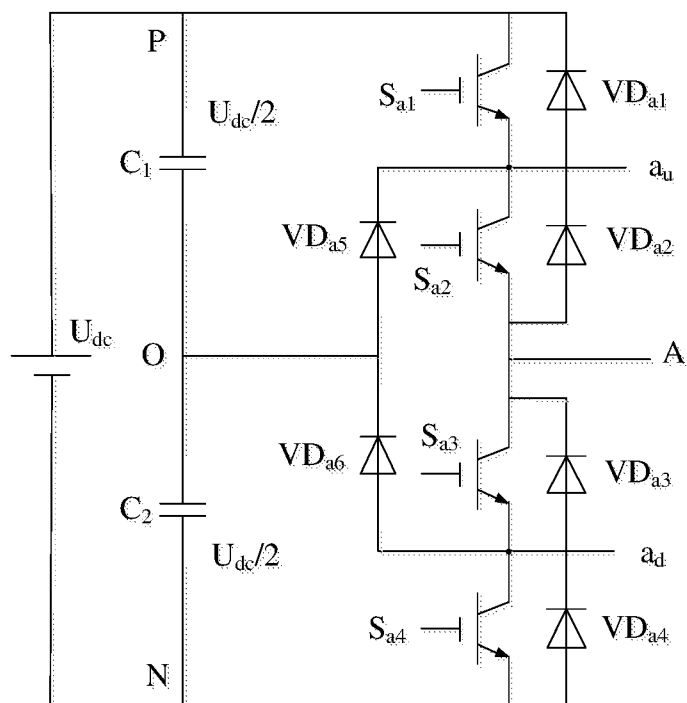
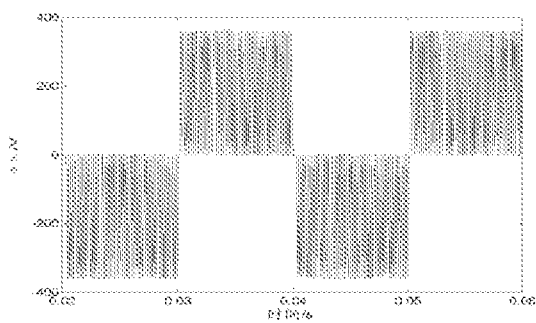


图 3



a: 无故障

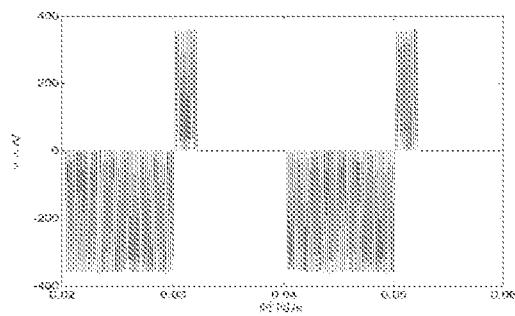
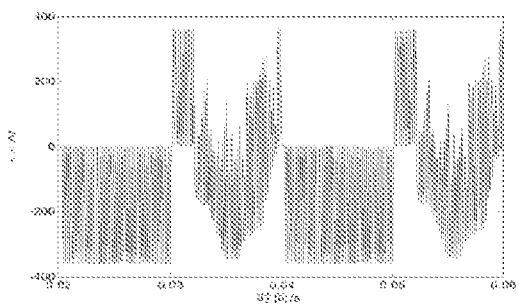
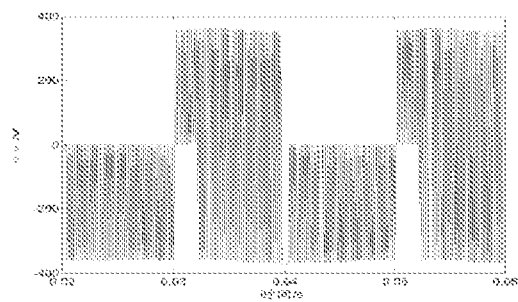
b: S_{a1} 开路c: S_{a2} 开路d: VD_{a5} 开路

图 4

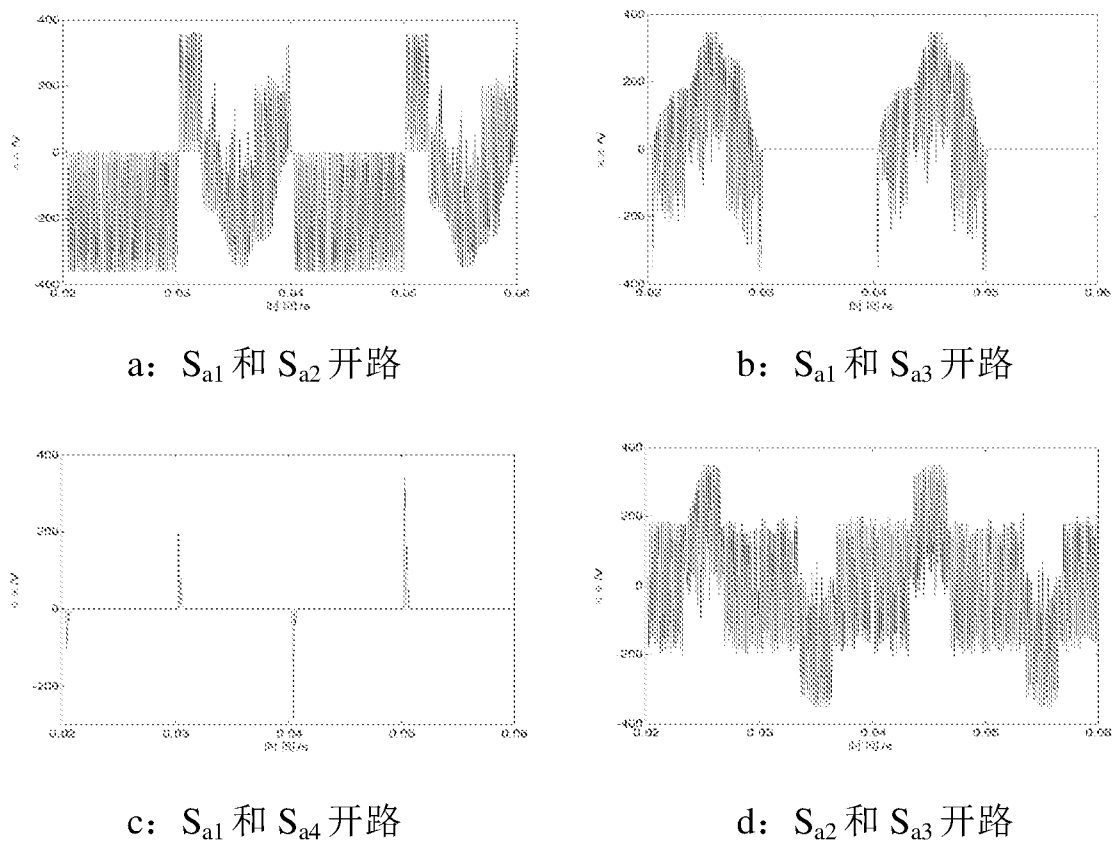


图 5

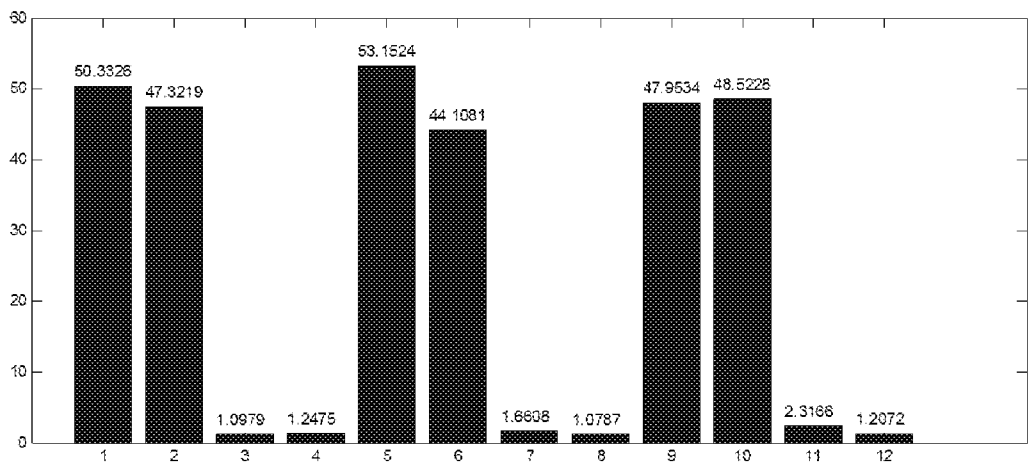


图 6

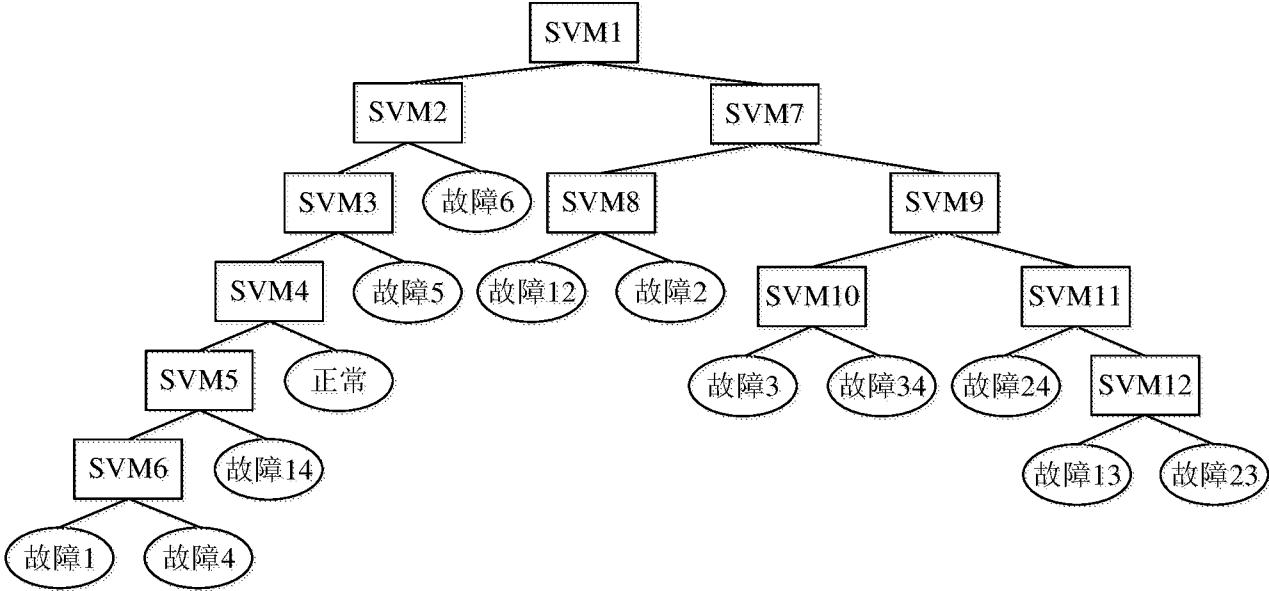


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/113645

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/02 (2006.01) i; G06K 9/62 (2006.01) n

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; G06K

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)

EPODOC, WPI, CNPAT, CNKI, IEEE: 二极管, 钳位, 三电平, 逆变器, 决策树, 支持向量机, 故障, diode, clamp, three level, inverter, decision tree, SVM, support vector machine, fault

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104698397 A (ZHEJIANG WANLI UNIVERSITY) 10 June 2015 (10.06.2015), description, paragraphs [0038]-[0072], and figures 1 and 2	1
A	KR 20150130594 A (UNIV. AJOU IND. ACAD COOP. FOUND) 24 November 2015 (24.11.2015), entire document	1
A	CN 102937688 A (ZHEJIANG WANLI UNIVERSITY) 20 February 2013 (20.02.2013), entire document	1
A	CN 102704054 A (HOHAI UNIVERSITY, CHANGZHOU) 03 October 2012 (03.10.2012), entire document	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 11 May 2017	Date of mailing of the international search report 16 June 2017
Name and mailing address of the ISA 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, Xun Telephone No. (86-10) 62413643

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/113645

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104698397 A	10 June 2015	None	
KR 20150130594 A	24 November 2015	KR 101627307 B1	07 June 2016
CN 102937688 A	20 February 2013	CN 102937688 B	28 January 2015
CN 102704054 A	03 October 2012	CN 102704054 B	08 October 2014

A. 主题的分类 G01R 31/02 (2006.01)i; G06K 9/62 (2006.01)n 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; G06K 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)) EPDOC, WPI, CNPAT, CNKI, IEEE: 二极管, 钳位, 三电平, 逆变器, 决策树, 支持向量机, 故障, diode, clamp, three level, inverter, decision tree, SVM, support vector machine, fault																			
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 104698397 A (浙江万里学院) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 说明书第38-72段, 附图1、2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>KR 20150130594 A (UNIV. AJOU IND. ACAD COOP. FOUND) 2015年 11月 24日 (2015 - 11 - 24) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102937688 A (浙江万里学院) 2013年 2月 20日 (2013 - 02 - 20) 全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102704054 A (河海大学常州校区) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> ☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。 <table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 104698397 A (浙江万里学院) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 说明书第38-72段, 附图1、2	1	A	KR 20150130594 A (UNIV. AJOU IND. ACAD COOP. FOUND) 2015年 11月 24日 (2015 - 11 - 24) 全文	1	A	CN 102937688 A (浙江万里学院) 2013年 2月 20日 (2013 - 02 - 20) 全文	1	A	CN 102704054 A (河海大学常州校区) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文	1	* 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
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																	
A	CN 104698397 A (浙江万里学院) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 说明书第38-72段, 附图1、2	1																	
A	KR 20150130594 A (UNIV. AJOU IND. ACAD COOP. FOUND) 2015年 11月 24日 (2015 - 11 - 24) 全文	1																	
A	CN 102937688 A (浙江万里学院) 2013年 2月 20日 (2013 - 02 - 20) 全文	1																	
A	CN 102704054 A (河海大学常州校区) 2012年 10月 3日 (2012 - 10 - 03) 全文	1																	
* 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	国际检索报告邮寄日期																		
2017年 5月 11日	2017年 6月 16日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员																		
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451	王迅 电话号码 (86-10) 62413643																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/113645

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	104698397	A	2015年 6月 10日	无	
KR	20150130594	A	2015年 11月 24日	KR	101627307 B1 2016年 6月 7日
CN	102937688	A	2013年 2月 20日	CN	102937688 B 2015年 1月 28日
CN	102704054	A	2012年 10月 3日	CN	102704054 B 2014年 10月 8日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)