

# (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  
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/135237 A1**

(51) 国际专利分类号:  
**H02P 8/04** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/126806

(22) 国际申请日: 2019 年 12 月 20 日 (20.12.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

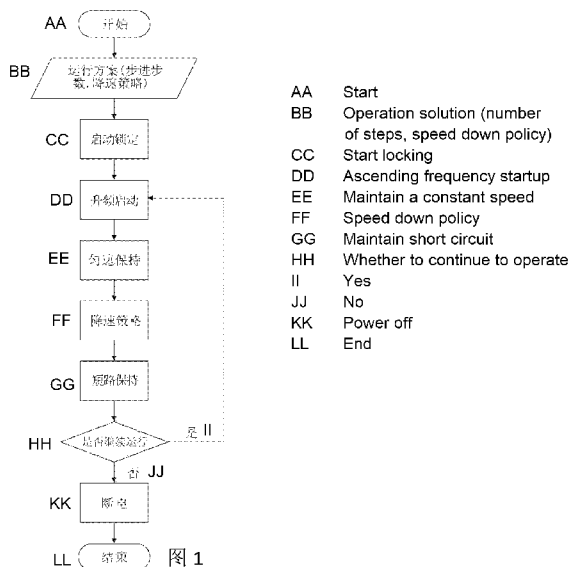
(30) 优先权:  
201811581410.4 2018 年 12 月 24 日 (24.12.2018) CN  
201811581411.9 2018 年 12 月 24 日 (24.12.2018) CN

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/  
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路  
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 吴立建(WU, Lijian); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。 朱亮(ZHU, Liang); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。 方攸同(FANG, Youtong); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。 朱加贝(ZHU, Jiabei); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。 杜一东(DU, Yidong); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。 章慍(ZHANG, Liu); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号浙江大学玉泉校区土木科技馆 6 楼, Zhejiang 310058 (CN)。

(54) Title: METHOD FOR QUANTITATIVELY ANALYZING STARTING CAPABILITY OF STEPPER MOTOR

(54) 发明名称: 定量分析步进电机启动能力的方法



(57) Abstract: A method for quantitatively analyzing the starting capability of a stepper motor. The method comprises: acquiring the maximum static starting torque of a stepper motor at different starting frequencies; drawing a static torque frequency characteristic curve of the motor at the current frequency, to obtain a total equivalent static load  $TL'$  when a rotor is dynamically started in a state of an initial speed  $\omega_0$  and an initial position  $\theta_0$ ,  $TL' = TL + TL_1 + TL_2$ ; according to the current starting frequency of the stepper motor and according to the static torque frequency characteristic curve, obtaining a maximum enabled starting static torque at the starting

(74) 代理人: 浙江杭州金通专利事务所有限公司 (ZHEJIANG HANGZHOU JINTONG PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市环城北路 47 号武林广场省科协大楼 8 层, Zhejiang 310003 (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, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条 (3))。

frequency. The total equivalent static load torque curve is compared with the maximum enabled starting static torque, if the maximum value of the total equivalent static load torque curve is less than the maximum enabled starting static torque, the motor can be normally started at the current frequency, and if the maximum value of the total equivalent static load torque curve is greater than the maximum enabled starting static torque, a motor starting failure alarm is issued. The present invention adopts a short-circuit policy for phase windings in a holding stage of the stepper motor, implementing rapid damping of rotor oscillation.

(57) 摘要: 一种定量分析步进电机启动能力的方法, 获取步进电机在不同启动频率下的最大静态启动转矩, 绘制当前频率下的电机静态转矩特性曲线, 获得转子在初始速度  $\omega_0$ , 初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $TL'$ ,  $TL' = TL + TL_1 + TL_2$ ; 根据步进电机的当前启动频率, 根据静态转矩特性曲线获得此启动频率下最大能够启动静转矩。将总等效静负载转矩曲线与最大能够启动静转矩比较, 若总等效静负载转矩曲线的最大值小于最大能够启动静转矩, 则在当前频率下能正常启动电机; 若总等效静负载转矩曲线的最大值大于最大能够启动静转矩, 则发出电机启动失败报警。通过在步进电机保持阶段, 对相绕组采用短路策略, 实现转子震荡的快速衰减。

## 定量分析步进电机启动能力的方法

**技术领域**

本发明涉及一种定量分析步进电机启动能力的方法。

**背景技术**

步进电机使将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制电机，是现代数字程序控制系统中的主要执行元件，应用极为广泛。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度，称为步距角。它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的。同时，可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。

正因为步进电机的广泛应用，对步进电机的控制研究也越来越多，在启动或加速时，如果步进脉冲变化太快，转子由于惯性而跟不上电信号的变化，产生堵转或失步。而在停止或减速时，由于惯性而跟不上电信号的变化又可能产生超步。对于防止堵转、失步和超步，提高工作频率，要对步进电机进行升降速控制。

步进电机的起动频率特性使步进电机启动时不能直接达到运行频率，而要有一个启动过程，即从一个低的转速逐渐升速到运行转速。停止时运行频率不能立即降为零，而要有一个高速逐渐降速到零的过程。

步进电机的输出力矩随着脉冲频率的上升而下降，启动频率越高，启动力矩就越小，带动负载的能力越差，启动时会造成失步，而在停止时又会发生过冲。要使步进电机快速的达到所要求的速度又不失步或过冲，其关键在于使加速过程中，加速度所要求的力矩既能充分利用各个运行频率下步进电机所提供的力矩，又不能超过这个力矩。因此，步进电机的运行一般要经过加速、匀速、减速三个阶段，要求加减速过程时间尽量短，恒速时间尽量长。特别是在要求快速响应的工作中，从起点到终点运行的时间要求最短，这就必须要求加速、减速的过程最短，而恒速时的速度最高。

有一种步进电机失步的解决方案，主要针对步进电机失步后，对丢失步数的补偿，需要增加复杂的检测统计系统，判断步进电机是否失步，以及统计丢失步数。还有一种防止步进电机失步的方案是着眼于解决步进电机启动、停机过程中的加减速控制，保证电磁转矩能够带动负载转矩，但没有考虑转子振动对失步的影响。

针对步进电机频繁启动、停止运行（保持）工况，尤其是两次运行之间步进电机保持状态时，转子容易受到上一次运行惯量而在保持位置前后反复振动。若保持状态持续的时间较

短，转子振动无法衰减完毕，就会影响下一次步进电机的启动性能。目前，步进电机在保持阶段的控制方法通常是工作相通电、同时非工作相断路。这种控制方法针对步进电机在额定功率下能够很好的避免发生失步。但是，当步进电机带动的负载超过其额定设计时，或者遇到更加复杂的工况时，就会出现稳定性下降、转子振动衰减的速度无法满足步进电机下次从平衡位置零速启动的要求，进而造成步进电机失步，影响电机性能。

## 发明内容

本发明的目的在于通过对步进电机的控制，使步进电机从额定运行阶段进入保持阶段时，尽可能快的结束转子振动，到达平衡位置；和、或，即使转子在保持阶段没有完全实现转子振动的衰减，但是使转子在从保持阶段进入启动阶段时，使电机不失步。

步进电机的控制，包括启动阶段，额定运行阶段，降速阶段，保持阶段（或停机），然后再重复启动-额定运行-降速-保持（或停机）。对于需要频繁启停的步进电机，就在这四个阶段中不断循环进行。

本发明的第一方面，目的在于在步进电机的保持进行控制，有效加快步进电机转子振动衰减，以解决步进电机失步的问题。

一种步进电机的控制方法，其特征在于：在步进电机的保持阶段，至少有一相绕组具有短路状态。整个保持阶段都短路，或者间歇性短路，都属于相绕组具有短路状态。

在步进电机保持阶段（即步进电机通电、但不转动，等待下次转动指令的阶段），采用相绕组短路控制，相绕组短路使电机转子在振动时产生反向电动势，在短路回路中产生电流，进而产生阻止电机转动的转矩。使转载在保持阶段的振动能量的一部分消耗在转子摩擦阻尼上，一部分消耗在短路回路中，从而加快转子振动的衰减速度，缩短转子从转速不为零到转速为零的耗时。

步进电机分为双相绕组步进电机，多相绕组步进电机，对控制方法进一步限定为：对步进电机保持阶段的控制方法为，至少有一相绕组短路。优选的，除工作相以外的其他相，全部采用相绕组短路控制。

也就是说，在保持阶段，一相绕组短路，或者多相绕组短路，或者除工作相以外的其他相，全部采用相绕组短路控制，这些控制方法都可以实现转子振动的快速衰减。

作为优选的方案，采用H桥逆变器为步进电机供电，对相绕组短路的控制方式为，将该相绕组的上桥臂的两个功率管导通，下桥臂的两个功率管断开；或者，将该相绕组的上桥臂的两个功率管断开，下桥臂的两个功率管导通。

H桥逆变器用自身的短路回路即可实现相绕组短路，电路中相绕组电阻、线缆电阻和两

个功率管导通电阻求和，获得整个短路回路的总电阻，总电阻消耗转子振动感应出的电能。

优选的，控制相绕组短路的过程中，实时检测短路回路电流，检测到的短路回路电流超过最大允许电流值时，相绕组间歇性短路。

当转子振动产生的反向电动势越大，相应的短路回路电流越大。当短路回路电流超过电机的额定电流时，为避免电机损坏，就不能使相绕组持续的承受过大的短路回路电流，因此采用间歇短路的方式，使相绕组在短路-开路（断路）之间不断循环，类似于点刹车。

优选的，对短路电流滞环控制，将短路电流限制在相绕组或功率器件允许通过的最大电流内。

本发明的第二个方面，目的在于提供一种即使保持阶段转子振动未完全衰减，或者转子上一次停机或保持时未到达平衡位置，也能使步进电机在下次启动时不失步的步进电机在启动阶段的控制方法。

一种步进电机启动阶段的控制方法，其特征在于，在步进电机的启动阶段进行控制，将步进电机转子在动态启动时执行以下操作：设定启动频率，计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ ；将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ， $T_{L1} = -J\omega_0/t_1$ ，其中， $J$  表示转动惯量， $\omega_0$  表示转子初始角速度， $t_1$  表示从初始位置（上一个平衡位置）转到新平衡位置的时间；

和、或将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ， $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$ ，其中， $\theta_0$  表示转子的初始位置角， $\theta_{step}$  表示电机一个步长对应的机械角度；

计算获得在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ，以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

优选的，通过步进电机的转子编码器获得转子的当前初始位置  $\theta_0$ ，和、或初始速度  $\omega_0$ 。  
优选的，当转子编码器未直接给出初始速度  $\omega_0$  时，对初始位置求导获得初始速度。

针对初始速度等效负载转矩，当初始速度  $\omega_0 = 0$  时，初始速度等效负载转矩为零。针对初始位置等效负载转矩，当初始位置  $\theta_0 = 0$ （即初始位置位于平衡位置）时，初始位置等效负载转矩为零。

本发明的第三个方面，第二方面提出的启动阶段的控制方法能够用于定量分析步进电机的启动能力。

一种定量分析步进电机启动能力的方法，执行以下操作：获取步进电机在不同启动频率下的最大静态启动转矩，绘制当前频率下的电机静态矩频特性曲线，获得转子在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ， $T_L$  表示转子在平衡位置

静态启动时的负载转矩， $T_{L1}$ 表示转子在初始速度不为零时从平衡位置启动的初始速度等效负载转矩， $T_{L1}$ 表示转子在初始速度为零时，初始位置偏离平衡位置启动的初始位置等效负载转矩；根据步进电机的当前启动频率，根据静态矩频特性曲线获得此启动频率下最大能够启动静转矩。将总等效静负载转矩曲线与最大能够启动静转矩比较，若总等效静负载转矩曲线的最大值小于最大能够启动静转矩，则在当前频率下能正常启动电机；若总等效静负载转矩曲线的最大值大于最大能够启动静转矩，则发出电机启动失败报警。

优选的，最大静态启动转矩的获得可以采用现有技术，比如，一种最大静态启动转矩的测试方法为：给步进电机通入指定启动频率的额定驱动，进行多次初始速度为零、且初始位置位于平衡位置的静止启动测试，每次静止启动过程中，逐渐增加电机的负载，确定在该启动频率下，步进电机能够带动的最大负载，记为最大静态启动转矩。额定驱动是指让电机保持额定转速和输出功率，而要给额定电流、脉冲频率。额定驱动，需要电流、脉冲都达到各自的额定值。

本发明的第四方面，针对频繁启停的步进电机，为降低其失步的风险，提高电机性能，提供一种同时对保持阶段和启动阶段进行控制的步进电机控制方法。

一种步进电机控制方法，其特征在于，该控制方法包括以下操作：在保持阶段，采用相绕组短路控制；启动阶段时，获得转子启动的初始速度  $\omega_0$  和初始位置  $\theta_0$ ，计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ ，将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ，将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ，获得电机启动的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ；以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

作为优选的方案，初始速度等效负载转矩、初始位置等效负载转矩和步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩的计算在步进电机控制器中完成计算，或者由远程终端完成计算后，将计算结果输入步进电机控制器中。

作为优选的方案，根据步进电机的当前启动频率，根据静态矩频特性曲线获得此启动频率下最大能够启动静转矩。将总等效静负载转矩曲线与最大能够启动静转矩比较，若总等效静负载转矩曲线的最大值小于最大能够启动静转矩，则在当前频率下能正常启动电机；若总等效静负载转矩曲线的最大值大于最大能够启动静转矩，则发出电机启动失败报警。

在保持阶段的具体短路控制和在启动阶段的具体控制如前所述。

本发明的优点在于：

本发明通过在步进电机保持阶段，对相绕组采用短路策略，实现转子震荡的快速衰减。相比将相绕组工作相通电、非工作相开路（短路）的控制方法，能够快速有效的衰减转子振动，提高步进电机运行的稳定性，对于需要频繁启停的电机，只需要较短的启停间隔（保持时间），降低因转子振荡导致的步进电机启动时失步。

针对步进电机在启动时，初始位置可能偏离平衡位置，初始速度不为零的情况，将初始位置影响等效为初始位置等效负载转矩，将初始速度影响等效为初始速度等效负载转矩，在启动时对初始位置等效负载转矩和初始速度等效负载转矩进行补偿获得总等效静负载，以总等效静负载作为步进电机的静态启动转矩，也就是说，将初始位置可能偏离平衡位置，初始速度不为零的情况，等效为初始位置在平衡位置，初始速度为零的情况，解决步进电机在启动阶段的失步问题。

在步进电机启动时，根据总等效静负载对步进电机的实际启动能力进行预判，给出步进电机是否能正常启动的判断预期，在步进电机无法正常启动时发出预警。

对保持阶段和启动阶段联合控制，使转子尽量能够从平衡位置零速启动；即使有偏差，也最大限度降低位置偏差和初始速度偏差，提高步进电机的动态启动能力，保障步进电机正常运行，不失步。

## 附图说明

图 1 是在保持阶段进行控制的控制框图。

图 2 是其中一相 H 桥为相绕组共点的示意图。

图 3 是双向步进电机保持阶段工作相通电、非工作相开路（断路）控制的电流变化示意图。

图 4 是双向步进电机保持阶段，每相绕组短路控制的电流变化示意图。

图 5 是双相步进电机保持阶段工作相通电、非工作相短路控制的电流变化示意图。

图 6 是单相半电流保持动态响应的动态启动的等效负载转矩示意图。

图 7 是启动频率为 1kHz 时，步进电机动态启动能力判断的示意图。

图 8 是启动频率为 333Hz 时，步进电机动态启动能力判断的示意图。

图 9 是步进电机静止启动矩频特性曲线。

图 10 是定量分析步进电机启动能力的流程图。

## 具体实施方式

结合附图，进一步说明本发明的内容。

步进电机的控制，包括启动阶段，额定运行阶段，降速阶段，保持阶段（或停机），然后再重复启动-额定运行-降速-保持（或停机）。对于需要频繁启停的步进电机，就在这四个阶段中不断循环进行。

### 步进电机保持阶段的控制方法

保持阶段控制的目的在于在步进电机的保持进行控制，有效加快步进电机转子振动衰减，

以解决步进电机失步的问题。

一种步进电机保持阶段的控制方法，在步进电机的保持阶段，至少有一相绕组具有短路状态。这种控制方法适用于两相步进电机和两相以上的多相步进电机。

在一些实施例中，以双向步进电机为例说明，但不应保持阶段的控制方法不应局限于对双向步进电机。

双相步进电机启动前，先设定运行方案：步进电机先前进 121 步，采用直接停机进入到步进电机保持单相保持阶段，再重新启动步进 121 步，直接停机，切断电源。

如图 1 所示，步进电机上电启动后，先施加一个保持电流，使得步进电机能够将转子位置锁定在给定位置。为了使得步进电机从零速到额定，有足够的时间作用在负载上，故步进电机启动采用升频启动策略，使得步进电机具有更大的带载能力。步进电机额定步进频率为 1kHz，步进电机升频启动第一步时间为 3ms，第二步作用时间为 2ms，第三步作用时间为 1ms，其后进入额定转速运行状态。步进电机降速阶段采用直接停机，相对于降频停机策略，其特点在于停机快，控制简单。但采用直接停机策略，会引起控制不稳定，转子振荡加剧导致失步风险。因此，需要在降速后的保持阶段，采用每相绕组短路策略实现转子振荡。步进电机采用直接停机，则停机阶段不需要任何时间，直接进入保持阶段。在保持阶段中，步进电机每一相都采用下桥臂短路的方式，加快步进电机的振荡衰减。

如图 2 所示，为双相步进电机其中一相的 H 桥供电示意图，其中，虚线框内为步进电机模型，从左到右依次为步进电机相反电动势、相电阻、相电感。T1、T2、T3、T4 分别为 H 桥驱动电路的四个驱动器件，器件包含 IGBT 与二极管并联，也可以是 MOSFET 与二极管并联。

当步进电机从运行状态进入保持状态时，步进电机控制器通过滞环控制，将所有相绕组都自行短路(或者将工作相电流控制在保持电流大小，控制非工作相短路)。

下面以非工作相(例如 B 相)绕组为例，介绍控制相绕组短路的具体过程：B 相 H 桥驱动器上 T1、T3 获得控制器导通信号持续导通，T2、T4 获得控制器关断信号保持关断。在短路阶段，B 相内电流通过 T1、T3 的一个二极管和一个 IGBT 进行续流，短路电流产生的电磁力矩阻碍运行，使得电机快速停机。若在 B 相短路时，检测到 B 相电流过大，大于相电流或驱动器允许通过的最大电流，则 B 相 T1、T3 在电流过大时获得控制器开路信号，电机、T1、T2 的短路回路断开，防止短路电流过大。当短路电流下降后，T1、T3 获得控制器导通信号，电机、T1、T2 的短路回路闭合。针对 B 相短路电流，控制器采用滞环控制，通过控制 T1、T3 通断，控制短路电流大小。

下面对保持阶段工作相(A 相)通电非工作相(B 相)开路和每相均短路的两相电流变化进行

比较。

如图 3 所示, 工作相(A 相)通电非工作相(B 相)开路时, B 相内部没有电流, 而 A 相在保持阶段后会出现一个电流尖峰, 其是由于转子振荡过大而产生较反电势在 A 相上, 导致 A 相电流上升, 这对于驱动器、直流母线等都不利。

如图 4 所示, 采用本发明每相均短路控制后, A、B 相可以有电流流通。当转子振荡, 会在 A、B 相绕组上产生感应电动势, 并且产生感应电流。故 A、B 相上电流的振荡情况与转子振荡情况一致, 并且此电流是阻碍转子运动的, 使得转子振荡快速衰减。

图 5 为步进电机保持阶段采用工作相通电非工作相断路和每相均短路控制方法的对比示意图, 可以明显看出, 在其他条件一样情况下, 采用每相均短路的控制方法, 步进电机转子振荡幅值小, 衰减快, 进入稳定时间短。采用短路策略, 等效于给步进电机在降速后的保持阶段, 增加了一个电磁阻尼。

步进电机可以采用直接启动, 施加额定运行频率, 实现电机的快速启动。为了保证步进电机拥有足够的启动能力, 可以采用升频启动, 在步进电机第一步作用时间最长, 第二步逐渐缩短作用时间, 直到将电机逐步代入带额定转速。

步进电机额定运行时, 根据运行速度, 施加相应切换频率驱动信号。

步进电机降速阶段, 若步进电机所带负载较小, 转速较低, 可以直接进入步进电机保持阶段, 即选择直接停机, 通过保持阶段保持力矩与快速振荡衰减来实现停止转动。若步进电机所带负载较大, 转速较高, 无法通过直接进入步进电机保持阶段实现无失步停机, 则通过降频进入步进电机保持阶段停机, 驱动器换相频率从高到低下降, 逐渐加长每一步作用时间, 实现电机停止。

步进电机保持阶段紧接在步进电机降速阶段后面, 主要实现步进电机锁定保持功能。由于本发明在保持阶段采用相短路策略, 可以使步进电机从降速阶段到保持阶段转子振荡衰减加快, 提高电机运行稳定性, 能够实现短时间内再次启动的要求。

在一些实施例中, 控制相绕组短路的过程中, 实时检测短路回路电流, 检测到的短路回路电流超过最大允许电流值时, 相绕组间歇性短路。

当转子振动产生的反向电动势越大, 相应的短路回路电流越大。当短路回路电流超过电机的额定电流时, 为避免电机损坏, 就不能使相绕组持续的承受过大的短路回路电流, 因此采用间歇短路的方式, 使相绕组在短路-开路(断路)之间不断循环, 类似于点刹车。

对短路电流滞环控制, 将短路电流限制在相绕组或功率器件允许通过的最大电流内。电流滞环控制过程为: 开关闭合则电流逐渐增大, 检测到电流达到设定上限值, 则断开开关, 电流下降。

下降到设定电流下限，再闭合，电流上升。以此循环反复。

### 步进电机启动阶段的控制方法

启动阶段的目的在于提供一种即使保持阶段转子振动未完全衰减，或者转子在上一次停机或保持时未到达平衡位置，也能使步进电机在下一次启动时不失步的步进电机在启动阶段的控制方法。

一种步进电机启动阶段的控制方法，将步进电机转子在动态启动时执行以下操作：设定启动频率，计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ ；将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ， $T_{L1} = -J\omega_0/t_1$ ，其中， $J$  表示转动惯量， $\omega_0$  表示转子初始角速度， $t_1$  表示从初始位置（上一个平衡位置）转到新平衡位置的时间；

和、或将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ， $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$ ，其中， $\theta_0$  表示转子的初始位置角， $\theta_{step}$  表示电机一个步长对应的机械角度；

计算获得在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ，以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

通过步进电机的转子编码器获得转子的当前初始位置  $\theta_0$ ，和、或初始速度  $\omega_0$ 。当转子编码器未直接给出初始速度  $\omega_0$  时，对初始位置求导获得初始速度。

针对初始速度等效负载转矩，当初始速度  $\omega_0 = 0$  时，初始速度等效负载转矩为零。针对初始位置等效负载转矩，当初始位置  $\theta_0 = 0$ （即初始位置位于平衡位置）时，初始位置等效负载转矩为零。

当步进电机从平衡位置静止启动时，步进电机启动频率与负载转矩  $T_L$ ，转动惯量  $J$  之间满足以下关系： $T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt}$ （公式 1），其中， $T_e$  表示步进电机的电磁转矩， $\omega$  表示步进电机的角速度。

步进电机从静止状态启动时，施加第一个脉冲后，转子从初始位置转到平衡位置的时间为  $t_1$ ，转过角度为  $\theta$ ， $T_e$  为电磁转矩，转子的速度从 0 上升到  $\omega_1$ ，则由角动量守恒定律可知： $\int_0^{t_1} (T_e - T_L) dt = J\omega_1$ （公式 2）；

当步进电机动态启动时，转子的初始速度不为零。因此，图 2 所示矩频特性曲线无法直接用于判定是否能够成功启动。当步进电机动态启动时，假设转子初始位置与静止启动测试时的初始位置相同（即平衡位置），转子初始角速度为  $\omega_0$ 。如果电机在该状态下能正常启动，那么在施加第一个脉冲后，转子从初始位置（第一个位置）转到新平衡位置的时间为  $t_1$ ，转过角度为  $\theta$ ，转子的速度从  $\omega_0$  上升到  $\omega_1$ ，由角动量守恒定律可知： $\int_0^{t_1} (T_e' - T_L) dt = J\omega_1 - J\omega_0$ （公式

3) ;

联立公式 2 和公式 3, 得到:  $\int_0^{t_1} (T_e' - T_e) dt = -J\omega_0$  (公式 4) ; 将  $0 \sim t_1$  区间内所有时刻的  $T_e' - T_e$  取均值, 该均值可以近似认为是恒定值, 定义:  $T_{L1} = T_e' - T_e = -J\omega_0/t_1$  (公式 5) ;

将公式 5 代入公式 3, 获得:  $\int_0^{t_1} (T_e' - T_L) dt + J\omega_0 = \int_0^{t_1} (T_e' - T_L) dt - \int_0^{t_1} T_{L1} dt = \int_0^{t_1} [T_e' - (T_L + T_{L1})] dt = J\omega_1$  (公式 6) ; 将  $T_{L1} = T_e' - T_e$  代入公式 6, 得到的结果与公式 2 一致。由此可知, 转子初始位置与静止启动测试时的初始位置相同时, 可以近似将总等效静负载等效为电机的负载转矩  $T_L$  与初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$  的和, 具体计算公式为:  $T_L' = T_L + T_{L1}$  (公式 7) 。虽然在公式 7 中, 初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$  与转子转过的角度无关, 但是转子的初始角速度会随转子的初始位置角而变化。如果转子在启动时刻正好反向通过平衡位置, 则其具有最大的反向初始角速度, 此时初始速度等效转矩  $T_{L1}$  最大, 启动最困难。

当转子初始位置与静止启动测试时的初始位置不相同是, 假设转子初始位置  $\theta_0$  偏离平衡位置, 依据能量守恒, 初始位置的等效负载转矩需要在一个补偿里将这部分能量补偿完:  $T_{L2}\theta_{step} = T_L\theta_0$ ; 其中,  $\theta_{step}$  为电机一个补偿对应的机械角度。所以, 初始位置等效负载转矩为  $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$  (公式 9) 。

综上, 不经电机的等效启动负载转矩由三部分组成, 电机静态启动时的负载转矩  $T_L$ , 受电机初始速度影响得到的初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ , 以及受电机初始位置影响得到的初始速度等效负载转矩  $T_{L2}$ 。总等效静负载的计算公式为:  $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$  (公式 10)。

如图 6 所示, 给出了单相半电流保持动态响应的动态启动的附加等效转矩, 附加等效转矩包括初始速度等效转矩和初始位置等效转矩, 可以看出, 初始速度和初始位置等效转矩相差 90 度。同时, 初始位置等效转矩比初始速度等效转矩小得多。所以, 合成的附加等效转矩幅值与初始速度的等效转矩相似, 只是最大值出现时刻向后稍微延迟。动态启动的最困难点是当转子动态回冲稍过平衡位置。

### 总等效静负载用于定量分析步进电机启动能力的方法

一定频率下, 步进电机能带动的负载是一定的。在给定启动频率下, 步进电机能够从零速到额定转速所带动的最大负载转矩, 即为最大静态启动转矩。当负载转矩大于当前启动频率下的最大静态启动转矩时, 步进电机无法正常启动, 出现失步问题。

当步进电机从静止启动时, 在一定的电磁转矩  $T_e$  输出下, 转子的角加速度  $d\omega/dt$  越大(相当于启动时脉冲频率越大), 负载能力越小。

如图 9 所示, 一种定量分析步进电机启动能力的方法, 执行以下操作: 获取步进电机在不同启动频率下的最大静态启动转矩, 绘制当前频率下的电机静态矩频特性曲线, 获得转子在初始速度  $\omega_0$ , 初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ,  $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ,  $T_L$  表示转子在平衡位置静态启动时的负载转矩,  $T_{L1}$  表示转子在初始速度不为零时从平衡位置启动的初始速度等效负载转矩,  $T_{L2}$  表示转子在初始速度为零时, 初始位置偏离平衡位置启动的初始位置等效负载转矩; 判断总等效静负载的最大值是否小于静态矩频特性曲线的最大静态启动转矩, 若是, 则认为电机能够正常启动, 若否, 则认为电机面临启动失败。

最大静态启动转矩的获得可以采用现有技术, 比如, 一种最大静态启动转矩的测试方法为: 给步进电机通入指定启动频率的额定驱动, 进行多次初始速度为零、且初始位置位于平衡位置的静止启动测试, 每次静止启动过程中, 逐渐增加电机的负载, 确定在该启动频率下, 步进电机能够带动的最大负载, 记为最大静态启动转矩。

本步进电机静止启动时的矩频特性测试结果如表 1 所示, 数据都由实际实验测得。

表 1

| 启动频率 (Hz) | 启动转矩 (N.m) |
|-----------|------------|
| 200       | 1.04125    |
| 333       | 0.99225    |
| 400       | 0.79625    |
| 500       | 0.74725    |
| 600       | 0.74725    |
| 800       | 0.74725    |
| 1000      | 0.69825    |

据表 1 的数据绘制得到步进电机静止启动矩频特性曲线, 参见图 10, 图 10 表示的含义为, 在不同启动频率下, 步进电机从静止状态启动时所能带动的最大负载。

当步进电机动态启动时, 转子的初速度不为零, 静态矩频特性曲线无法直接用于判定是否能够成功启动。当步进电机动态启动时, 假设转子初始位置与静止启动测试时的初始位置相同(即平衡位置), 可以将速度对电机启动能力的影响等效为一个静态启动负载, 将其称为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ 。

转子的初始角速度会随转子的初始位置角而变化。如果转子在启动时刻正好反向通过平衡位置, 则其具有最大的反向初始角速度, 此时初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$  最大, 启动最困难。

步进电机的初始位置也会影响其启动能力。首先, 动态振荡幅值与该电机矩角特性的稳定区域相比很小, 所以转子位置在下一个脉冲的牵引范围内。但是, 转子位置回到平衡位置过程中, 负载转矩对转子也会做功。这部分的影响也可以等效为一个额外的等效负载转矩,

将其称为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ 。

如图 7 所示, 针对启动第一个脉冲为 1ms 的情况, 也就是相当于启动频率 1kHz。根据图 2 可以看出, 针对 1kHz 启动频率, 最大能够启动的静态转矩为 0.7Nm。而图 7 显示在局部范围内, 动态启动附加等效转矩加上 0.2Nm 负载转矩之后的总等效静负载已经超过了 0.7Nm, 会出现失败的情况。

如图 8 所示, 针对启动第一个脉冲为 3ms 的情况, 也就是相当于启动频率 333Hz。根据图 5 可以看出, 针对 333Hz 启动频率, 最大能够启动的静态转矩为 1Nm。图 8 中最大的动态启动附加等效转矩值为 0.619Nm, 考虑最大负载 0.28Nm, 最终的最大总等效静负载为 0.899Nm, 所以可以在整个区域内安全启动。

### 避免失步的步进电机控制方法

针对频繁启停的步进电机, 为降低其失步的风险, 提高电机性能, 提供一种同时对保持阶段和启动阶段进行控制的步进电机控制方法。

一种步进电机控制方法, 该控制方法包括以下操作: 在保持阶段, 采用相绕组短路控制; 启动阶段时, 获得转子启动的初始速度  $\omega_0$  和初始位置  $\theta_0$ , 计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ , 将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ , 将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ , 获得电机启动的总等效静负载  $T_L'$ ,  $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ; 以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

初始速度等效负载转矩和初始位置等效负载转矩的获取, 均采用本发明中记载的方案。

在一些实施例中, 初始速度等效负载转矩、初始位置等效负载转矩和步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩的计算在步进电机控制器中完成计算, 或者由远程终端完成计算后, 将计算结果输入步进电机控制器中。

在一些实施例中, 预先获得该步进电机在各启动频率下对应的静态矩频特性曲线, 根据步进电机的当前启动频率获得对应的静态矩频特性曲线, 将总等效静负载曲线与静态矩频特性曲线比较, 若总等效静负载曲线的最大值小于静态矩频特性曲线, 则以总等效静负载在当前频率下启动电机; 若总等效静负载曲线的最大值大于静态矩频特性曲线, 则发出电机启动失败报警。

以上所述的实施例对本发明的技术方案和有益效果进行了详细说明, 应理解的是以上所述仅为本发明的具体实施例, 并不用于限制本发明, 凡在本发明的原则范围内所做的任何修改、补充和等同替换, 均应包含在本发明的保护范围之内。

## 权利要求书

1、一种定量分析步进电机启动能力的方法，其特征在于：该方法执行以下操作：获取步进电机在不同启动频率下的最大静态启动转矩，绘制当前频率下的电机静态矩频特性曲线，获得转子在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ， $T_L$  表示转子在平衡位置静态启动时的负载转矩， $T_{L1}$  表示转子在初始速度不为零时从平衡位置启动的初始速度等效负载转矩， $T_{L2}$  表示转子在初始速度为零时，初始位置偏离平衡位置启动的初始位置等效负载转矩；根据步进电机的当前启动频率，根据静态矩频特性曲线获得此启动频率下最大能够启动静转矩。将总等效静负载转矩曲线与最大能够启动静转矩比较，若总等效静负载转矩曲线的最大值小于最大能够启动静转矩，则在当前频率下能正常启动电机；若总等效静负载转矩曲线的最大值大于最大能够启动静转矩，则发出电机启动失败报警。

2、如权利要求 1 所述的定量分析步进电机启动能力的方法，其特征在于：将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ， $T_{L1} = -J\omega_0/t_1$ ，其中， $J$  表示转动惯量， $\omega_0$  表示转子初始角速度， $t_1$  表示从初始位置（上一个平衡位置）转到新平衡位置的时间；

和、或将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ， $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$ ，其中， $\theta_0$  表示转子的初始位置角， $\theta_{step}$  表示电机一个步长对应的机械角度；

计算获得在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ 。

3、一种步进电机启动阶段的控制方法，其特征在于，在步进电机的启动阶段进行控制，将步进电机转子在动态启动时执行以下操作：设定启动频率，计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ ；将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ， $T_{L1} = -J\omega_0/t_1$ ，其中， $J$  表示转动惯量， $\omega_0$  表示转子初始角速度， $t_1$  表示从初始位置（上一个平衡位置）转到新平衡位置的时间；

和、或将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ， $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$ ，其中， $\theta_0$  表示转子的初始位置角， $\theta_{step}$  表示电机一个步长对应的机械角度；

计算获得在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ，以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

4、如权利要求 12 所述步进电机启动阶段的控制方法，其特征在于，通过步进电机的转子编码器获得转子的当前初始位置  $\theta_0$ ，和、或初始速度  $\omega_0$ ；或者，当转子编码器未直接给出初始速度  $\omega_0$  时，对初始位置求导获得初始速度。

5、一种步进电机的控制方法，其特征在于：在步进电机的保持阶段，至少有一相绕组具有短路状态。

6、如权利要求 5 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：对步进电机保持阶段的控制方法为，至少有一相绕组短路。

7、如权利要求 6 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：除工作相以外的其他相，全部采用相绕组短路控制；或者保持阶段时，所有相绕组短路控制。

8、如权利要求 5 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：采用 H 桥逆变器为步进电机供电，对相绕组短路的控制方式为，将该相绕组的上桥臂的两个功率管导通，下桥臂的两个功率管断开；或者，将该相绕组的上桥臂的两个功率管断开，下桥臂的两个功率管导通。

9、如权利要求 8 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：控制相绕组短路的过程中，实时检测短路回路电流，检测到的短路回路电流超过最大允许电流值时，相绕组间歇性短路。

10、如权利要求 9 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：对短路电流滞环控制，将短路电流限制在相绕组或功率器件允许通过的最大电流内。

11、如权利要求 5 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：在步进电机的启动阶段进行控制，将步进电机转子在动态启动时执行以下操作：设定启动频率，计算步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩  $T_L$ ；将初始速度的影响等效为初始速度等效负载转矩  $T_{L1}$ ， $T_{L1} = -J\omega_0/t_1$ ，其中， $J$  表示转动惯量， $\omega_0$  表示转子初始角速度， $t_1$  表示从初始位置（上一个平衡位置）转到新平衡位置的时间；

和、或将初始位置的影响等效为初始位置等效负载转矩  $T_{L2}$ ， $T_{L2} = T_L\theta_0/\theta_{step}$ ，其中， $\theta_0$  表示转子的初始位置角， $\theta_{step}$  表示电机一个步长对应的机械角度；

计算获得在初始速度  $\omega_0$ ，初始位置  $\theta_0$  的状态下动态启动时的总等效静负载  $T_L'$ ， $T_L' = T_L + T_{L1} + T_{L2}$ ，以总等效静负载在该频率下启动步进电机。

12、如权利要求 11 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：通过步进电机的转子编码器获得转子的当前初始位置  $\theta_0$ ，和、或初始速度  $\omega_0$ 。

13、如权利要求 12 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：当转子编码器未直接给出初始速度  $\omega_0$  时，对初始位置求导获得初始速度。

14、如权利要求 5 或 7 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：初始速度等效负载转矩、初始位置等效负载转矩和步进电机在平衡位置静态启动时的负载转矩的计算在步进电机控制器中完成计算，或者由远程终端完成计算后，将计算结果输入步进电机控制器中。

15、如权利要求 11 所述的步进电机的控制方法，其特征在于：预先获得该步进电机在各启动频率下对应的静态矩频特性曲线，根据步进电机的当前启动频率，根据静态矩频特性曲线获得此启动频率下最大能够启动静转矩。将总等效静负载转矩曲线与最大能够启动静转矩比较，

若总等效静负载转矩曲线的最大值小于最大能够启动静转矩，则在当前频率下能正常启动电机；若总等效静负载转矩曲线的最大值大于最大能够启动静转矩，则发出电机启动失败报警。

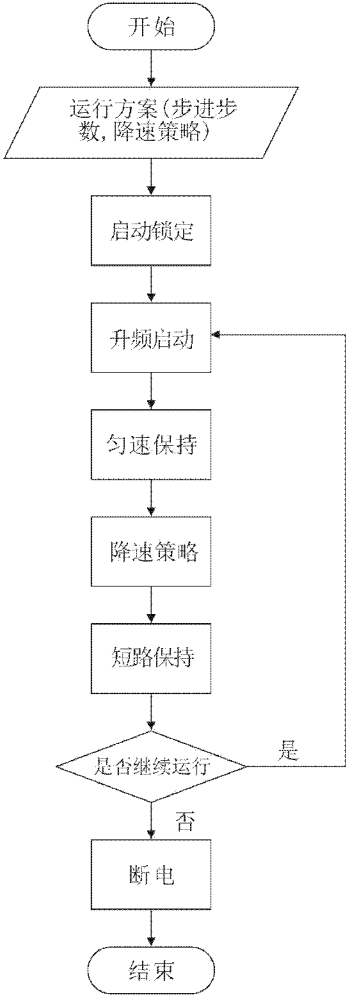


图 1

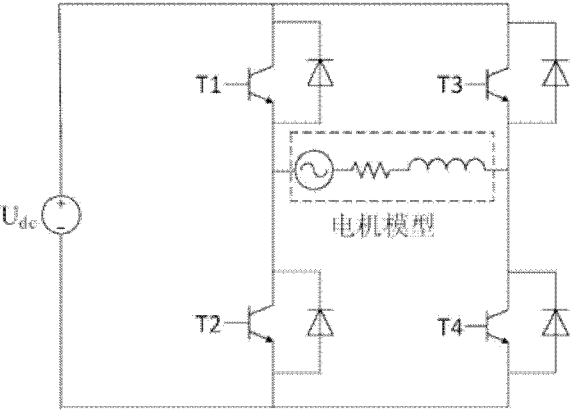


图 2

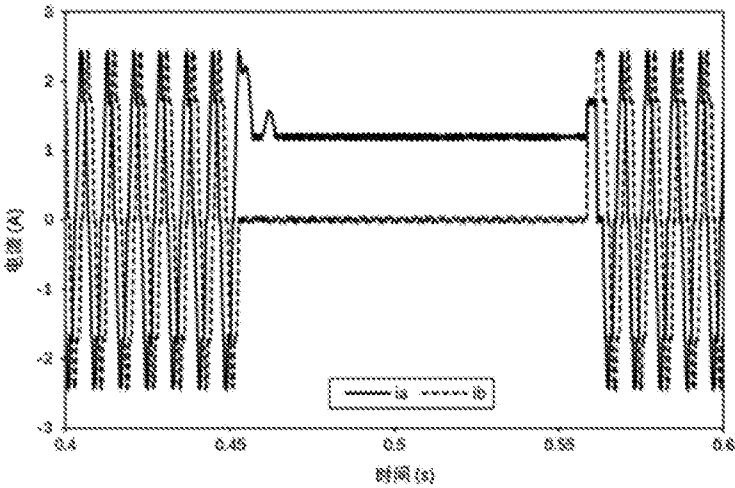


图 3

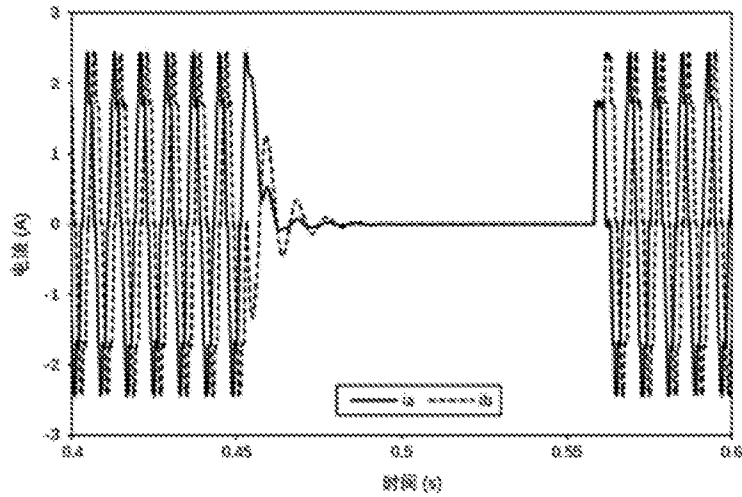


图 4

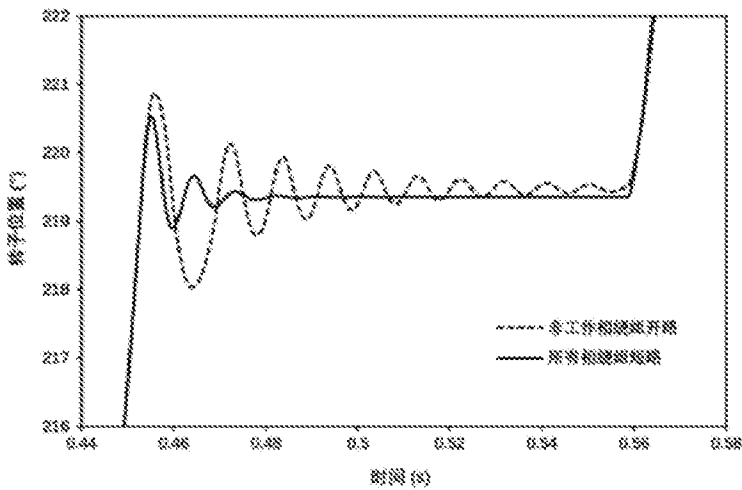


图 5

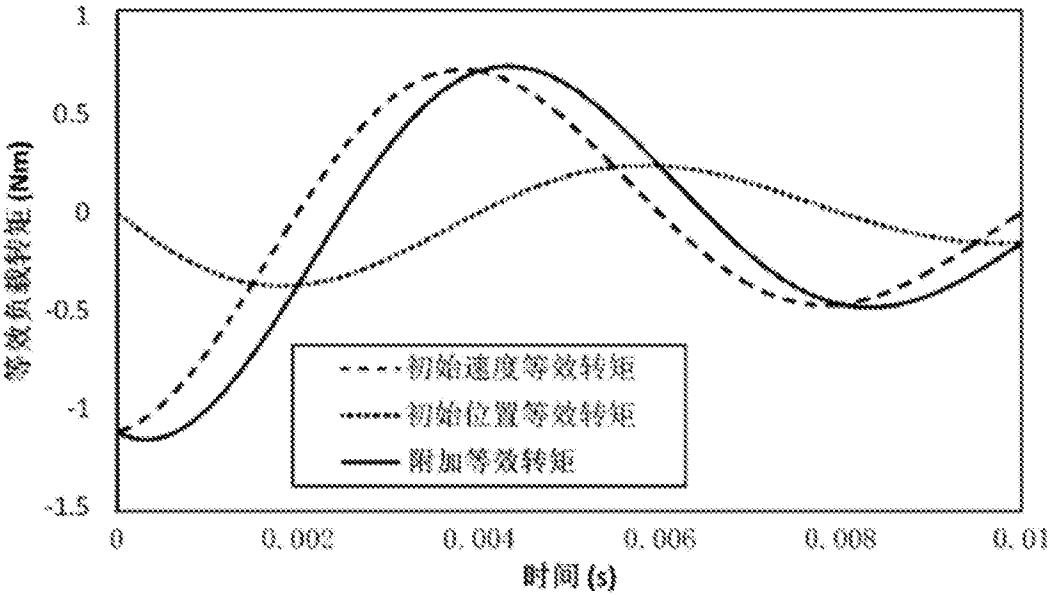


图 6

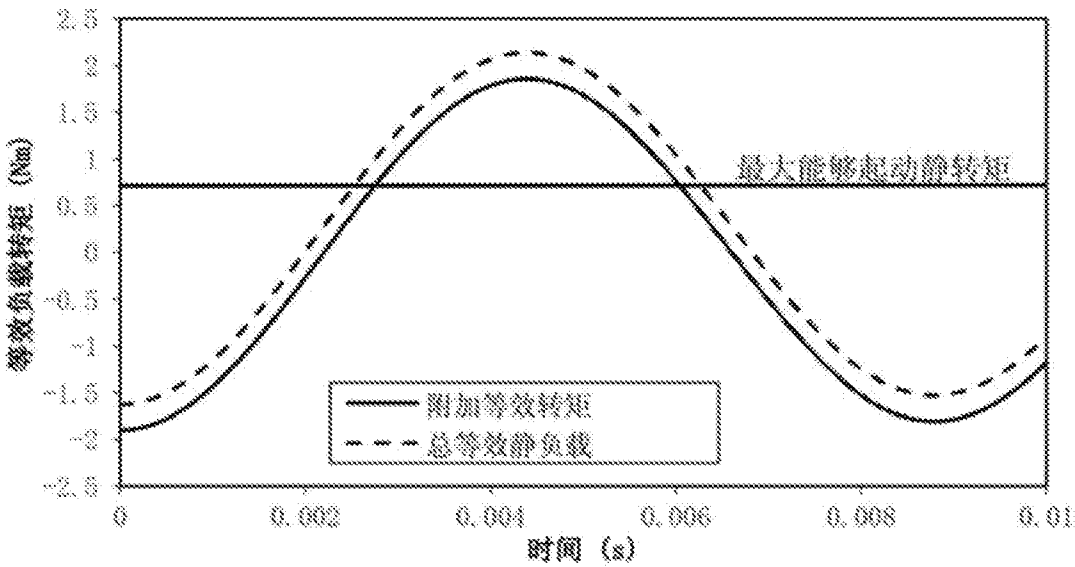


图 7

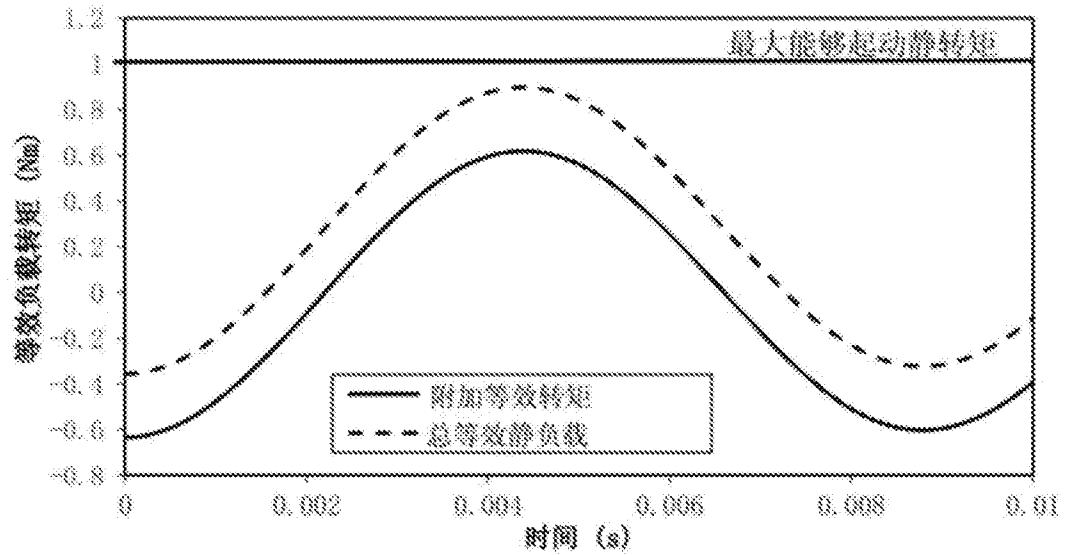


图 8

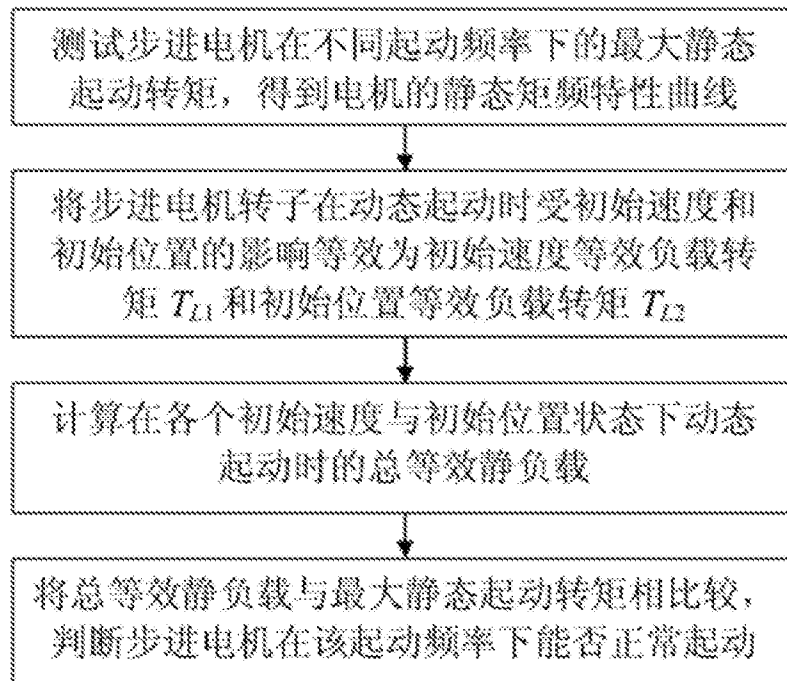


图 9

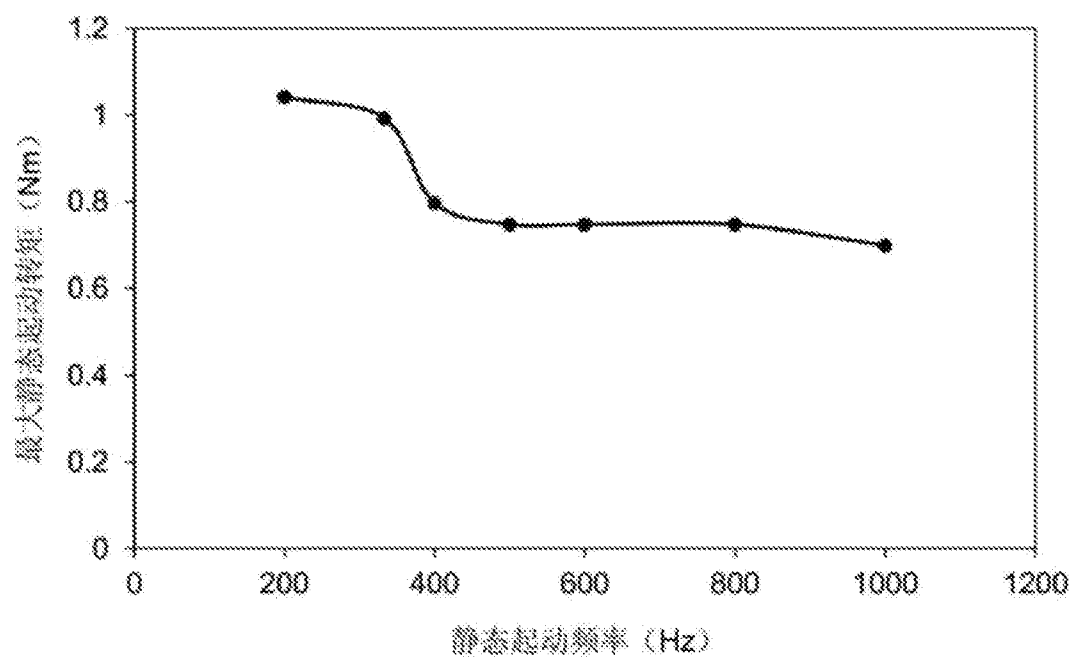


图 10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/126806

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H02P 8/04(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)

H02P

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, CNPAT, WPI, EPODOC: 步进, 启动, 起动机, 电机, 电动机, 马达, 保持, 停机, 绕组, 短路, 短接, 频率, 负载, 转矩, 速度, 位置, step+, start+, motor, hold+, stop+, winding, short, circuit, frequency, load, torque, speed, position

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| PX        | CN 109672374 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 23 April 2019 (2019-04-23)<br>description, paragraphs [0006]-[0082], and figures 1-5                             | 1-4                   |
| PX        | CN 109600081 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 09 April 2019 (2019-04-09)<br>description, paragraphs [0006]-[0041], and figures 1-5                             | 5-10                  |
| PX        | CN 209088848 U (ZHEJIANG UNIVERSITY) 09 July 2019 (2019-07-09)<br>description, paragraphs [0009]-[0060], and figures 1-10                             | 5, 6                  |
| PX        | CN 109274298 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 25 January 2019 (2019-01-25)<br>description, paragraphs [0009]-[0062], and figures 1-10                          | 5, 6                  |
| X         | CN 1270443 A (ASCOM S. A.) 18 October 2000 (2000-10-18)<br>description, page 4, line 16 to page 5, line 24, and figures 2 and 3                       | 5-10                  |
| A         | CN 108667363 A (PEKING UNIVERSITY FOUNDER GROUP CO., LTD. et al.) 16 October 2018 (2018-10-16)<br>description, paragraphs [0027]-[0054], and figure 1 | 1-15                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

06 March 2020

Date of mailing of the international search report

26 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/  
CN)  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing  
100088  
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2019/126806**

| Patent document<br>cited in search report |           |   | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|-----------|---|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 109672374 | A | 23 April 2019                        | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 109600081 | A | 09 April 2019                        | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 209088848 | U | 09 July 2019                         | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 109274298 | A | 25 January 2019                      | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 1270443   | A | 18 October 2000                      | ES                      | 2336860    | T3 | 16 April 2010                        |
|                                           |           |   |                                      | CA                      | 2303606    | A1 | 12 October 2000                      |
|                                           |           |   |                                      | JP                      | 2000333496 | A  | 30 November 2000                     |
|                                           |           |   |                                      | EP                      | 1045512    | A1 | 18 October 2000                      |
|                                           |           |   |                                      | AU                      | 2519400    | A  | 19 October 2000                      |
|                                           |           |   |                                      | DE                      | 59915105   | D1 | 07 January 2010                      |
|                                           |           |   |                                      | EP                      | 1045512    | B1 | 25 November 2009                     |
|                                           |           |   |                                      | TW                      | 477103     | B  | 21 February 2002                     |
|                                           |           |   |                                      | US                      | 6373209    | B1 | 16 April 2002                        |
|                                           |           |   |                                      |                         |            |    |                                      |
| CN                                        | 108667363 | A | 16 October 2018                      | None                    |            |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/126806

| <b>A. 主题的分类</b><br>H02P 8/04 (2006.01) i<br><br>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><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>H02P<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>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))<br>CNKI, CNPAT, WPI, EP0D0C: 步进, 启动, 起动机, 电机, 电动机, 马达, 保持, 停机, 绕组, 短路, 短接, 频率, 负载, 转矩, 速度, 位置, step+, start+, motor, hold+, stop+, winding, short, circuit, frequency, load, torque, speed, position                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                     |                                     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| <b>C. 相关文件</b> <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>PX</td> <td>CN 109672374 A (浙江大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23)<br/>说明书第0006-0082段及附图1-5</td> <td>1-4</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109600081 A (浙江大学) 2019年 4月 9日 (2019 - 04 - 09)<br/>说明书第0006-0041段及附图1-5</td> <td>5-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 209088848 U (浙江大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09)<br/>说明书第0009-0060段及附图1-10</td> <td>5-6</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109274298 A (浙江大学) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25)<br/>说明书第0009-0062段及附图1-10</td> <td>5-6</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 1270443 A (阿斯科姆股份公司) 2000年 10月 18日 (2000 - 10 - 18)<br/>说明书第4页第16行至第5页第24行及附图2-3</td> <td>5-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108667363 A (北大方正集团有限公司 等) 2018年 10月 16日 (2018 - 10 - 16)<br/>说明书第0027-0054段及附图1</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                                                                                     |                                     | 类 型*                                                                                                                                                                                                       | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求 | PX | CN 109672374 A (浙江大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23)<br>说明书第0006-0082段及附图1-5 | 1-4 | PX | CN 109600081 A (浙江大学) 2019年 4月 9日 (2019 - 04 - 09)<br>说明书第0006-0041段及附图1-5 | 5-10 | PX | CN 209088848 U (浙江大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09)<br>说明书第0009-0060段及附图1-10 | 5-6 | PX | CN 109274298 A (浙江大学) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25)<br>说明书第0009-0062段及附图1-10 | 5-6 | X | CN 1270443 A (阿斯科姆股份公司) 2000年 10月 18日 (2000 - 10 - 18)<br>说明书第4页第16行至第5页第24行及附图2-3 | 5-10 | A | CN 108667363 A (北大方正集团有限公司 等) 2018年 10月 16日 (2018 - 10 - 16)<br>说明书第0027-0054段及附图1 | 1-15 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                                                                                   | 相关的权利要求                             |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CN 109672374 A (浙江大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23)<br>说明书第0006-0082段及附图1-5                                                                                                         | 1-4                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CN 109600081 A (浙江大学) 2019年 4月 9日 (2019 - 04 - 09)<br>说明书第0006-0041段及附图1-5                                                                                                          | 5-10                                |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CN 209088848 U (浙江大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09)<br>说明书第0009-0060段及附图1-10                                                                                                         | 5-6                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | CN 109274298 A (浙江大学) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25)<br>说明书第0009-0062段及附图1-10                                                                                                        | 5-6                                 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CN 1270443 A (阿斯科姆股份公司) 2000年 10月 18日 (2000 - 10 - 18)<br>说明书第4页第16行至第5页第24行及附图2-3                                                                                                  | 5-10                                |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | CN 108667363 A (北大方正集团有限公司 等) 2018年 10月 16日 (2018 - 10 - 16)<br>说明书第0027-0054段及附图1                                                                                                  | 1-15                                |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| <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。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                     |                                     |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;">           * 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         </td> <td style="vertical-align: top;">           “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/>           “&amp;” 同族专利的文件         </td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                     |                                     | * 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 |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| * 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>2020年 3月 6日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                     | 国际检索报告邮寄日期<br>2020年 3月 26日          |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br>中国国家知识产权局 (ISA/CN)<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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                     | 受权官员<br>李娜<br>电话号码 86-(10)-53961514 |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                     |         |    |                                                                             |     |    |                                                                            |      |    |                                                                             |     |    |                                                                              |     |   |                                                                                    |      |   |                                                                                    |      |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/126806

| 检索报告引用的专利文件 |           |   | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|-----------|---|----------------|------|------------|----|----------------|
| CN          | 109672374 | A | 2019年 4月 23日   | 无    |            |    |                |
| CN          | 109600081 | A | 2019年 4月 9日    | 无    |            |    |                |
| CN          | 209088848 | U | 2019年 7月 9日    | 无    |            |    |                |
| CN          | 109274298 | A | 2019年 1月 25日   | 无    |            |    |                |
| CN          | 1270443   | A | 2000年 10月 18日  | ES   | 2336860    | T3 | 2010年 4月 16日   |
|             |           |   |                | CA   | 2303606    | A1 | 2000年 10月 12日  |
|             |           |   |                | JP   | 2000333496 | A  | 2000年 11月 30日  |
|             |           |   |                | EP   | 1045512    | A1 | 2000年 10月 18日  |
|             |           |   |                | AU   | 2519400    | A  | 2000年 10月 19日  |
|             |           |   |                | DE   | 59915105   | D1 | 2010年 1月 7日    |
|             |           |   |                | EP   | 1045512    | B1 | 2009年 11月 25日  |
|             |           |   |                | TW   | 477103     | B  | 2002年 2月 21日   |
| CN          | 108667363 | A | 2018年 10月 16日  | US   | 6373209    | B1 | 2002年 4月 16日   |
|             |           |   |                | 无    |            |    |                |