(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 118794530 B
(45)授权公告日 2025.01.21

(21)申请号 202410830589.1
(22)申请日 2024.06.25
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 118794530 A
(43)申请公布日 2024.10.18
(73)专利权人 广东原泰动力科技有限公司
地址 510880 广东省中山市小榄镇东锐三路13号G栋首层105卡及2层
(72)发明人 梁宏鑫 陈明强 许玉平 刘小翠
(74)专利代理机构 广州市诺丰知识产权代理事务所(普通合伙) 44714
专利代理师 任毅
(51)Int.Cl.
G01H 17/00(2006.01)
G06F 18/213(2023.01)
G06F 18/24(2023.01)
G06F 18/214(2023.01)
G06N 20/00(2019.01)
G01M 13/00(2019.01)
(56)对比文件
CN 101672723 A,2010.03.17
CN 104579080 A,2015.04.29
审查员 刘俊凯

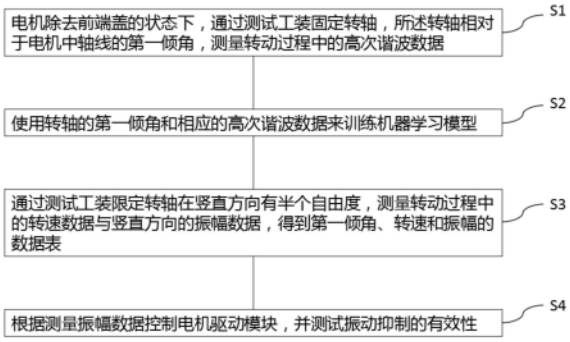
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

一种电机NVH数据智能测试方法和系统

(57)摘要

本申请公开了一种电机NVH数据智能测试方法和系统。本申请步骤为:电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴,所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据;使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表;根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。本申请通过测试工装是电机转轴处于不同的工作状态,模拟电机长期使用后的磨损情况,并且根据机器学习模型用于电机转轴的倾角计算,同时采集多维度数据用于控制和测试有效性验证。



CN 118794530 B

1.一种电机NVH数据智能测试方法,其特征在于,包括以下步骤:

电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴,所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据;

使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;

通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表;

根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。

2.根据权利要求1所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于,所述电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据这一步骤,具体为:

电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角;

在第一倾角设定范围内,测量多个第一倾角角度值对应的转动过程中的高次谐波数据。

3.根据权利要求2所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于,所述使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型这一步骤,具体为:

获取转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据作为样本集S并确定过程误差σ_p;

根据过程误差σ_p和实验样本集S计算支持向量回归机的不敏感参数ε和惩罚系数C;

确定核函数的参数σ的范围区间,遍历该区间寻找使泛化误差上界P(σ)最小化的参数σ值;

根据样本集S、参数σ、不敏感参数ε和惩罚系数C计算支持向量回归机拟合方程,计算拟合误差和泛化误差,得到样本集中的支持向量的集合。

4.根据权利要求3所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于:所述核函数为高斯径向基核。

5.根据权利要求1所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于,所述通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表这一步骤,具体为:

通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,所述电机静止时转轴相对于电机中轴线的角度为第一倾角;

在第一倾角设定范围内,测量多个第一倾角角度值对应的多个转速数据对应的竖直方向的振幅数据;

根据测量得到的数据生成用于反映第一倾角、转速和振幅数据关系的数据表。

6.根据权利要求1所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于,所述根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性这一步骤,具体为:

将测量振幅数据转换为第一倾角的振动幅度并输入至训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量;

根据谐波正向补偿量减少电机驱动模块的谐波反向补偿量以得到相应的指令电压;

根据相应的指令电压控制PWM逆变器并获取实时振幅数据;

计算测量振幅数据与实时振幅数据的差值,根据差值判断振动抑制的有效性。

7.根据权利要求2-5中任一权利要求所述的电机NVH数据智能测试方法,其特征在于:

所述第一倾角设定范围为[0,5°]。

8.一种电机NVH数据智能测试系统,其特征在于,包括有:

测试工装,用于在电机除去前端盖的状态下,固定转轴相对于电机中轴线形成第一倾角或者限定转轴在竖直方向有半个自由度;

控制模块,用于测量转动过程中的高次谐波数据,使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;还用于测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表,根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。

9.一种计算机设备,其特征在于:所述计算机设备包括处理器和存储器,所述存储器中存储有至少一条指令,所述指令由所述处理器加载并执行以实现如权利要求1-7中任一项所述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

10.一种可读存储介质,其特征在于:所述可读存储介质中存储有至少一条指令,所述指令由处理器加载并执行以实现如权利要求1-7中任一项所述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

一种电机NVH数据智能测试方法和系统

技术领域

[0001] 本申请涉及电机测试技术领域,特别是涉及一种电机NVH数据智能测试方法和系统。

背景技术

[0002] 小功率高速电机在汽车、家电、医疗器械和机器人领域的应用越来越广泛,对噪声、振动与声振粗糙度(NVH,Noise、Vibration、Harshness)的要求也越来越高。在相同或不同转速的条件下,电机的定子和转子同轴度都是其中的一个关键因素。另一方面,为了减少电机振动,也需要对电机运行过程中的高次谐波进行抑制。

[0003] 生产厂商通常会对电机进行各种测试,其中就包括NVH测试。但是常规测试中,只是对新的电机测试,无法在短时间内测试出长期使用电机之后才出现的问题,其实是加速疲劳测试也难以发现隐藏问题,而这些问题在实际用户长时间使用电机后才得以出现。

发明内容

[0004] 本申请主要提供一种电机NVH数据智能测试方法和系统,以解决电机测试过程中难以获取实际长期使用后电机NVH数据的问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本申请采用的一个技术方案是:提供一种电机NVH数据智能测试方法,包括以下步骤:

[0006] 电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴,所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据;

[0007] 使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;

[0008] 通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表;

[0009] 根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。

[0010] 在一些实施方式中,所述电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据这一步骤,具体为:

[0011] 电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角;

[0012] 在第一倾角设定范围内,测量多个第一倾角角度值对应的转动过程中的高次谐波数据。

[0013] 在一些实施方式中,所述使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型这一步骤,具体为:

[0014] 获取转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据作为样本集S并确定过程误差σ_p;

[0015] 根据过程误差σ_p和实验样本集S计算支持向量回归机的不敏感参数ε和惩罚系数C;

[0016] 确定核函数的参数σ的范围区间,遍历该区间寻找使泛化误差上界$P(\sigma)$最小化的

参数σ值;

[0017] 根据样本集S、参数σ、不敏感参数ε和惩罚系数C计算支持向量回归机拟合方程,计算拟合误差和泛化误差,得到样本集中的支持向量的集合。

[0018] 在一些实施方式中,所述核函数为高斯径向基核。

[0019] 在一些实施方式中,所述通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表这一步骤,具体为:

[0020] 通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,所述电机静止时转轴相对于电机中轴线的角度为第一倾角;

[0021] 在第一倾角设定范围内,测量多个第一倾角角度值对应的多个转速数据对应的竖直方向的振幅数据;

[0022] 根据测量得到的数据生成用于反映第一倾角、转速和振幅数据关系的数据表。

[0023] 在一些实施方式中,所述根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性这一步骤,具体为:

[0024] 将测量振幅数据转换为第一倾角的振动幅度并输入至训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量;

[0025] 根据谐波正向补偿量减少电机驱动模块的谐波反向补偿量以得到相应的指令电压;

[0026] 根据相应的指令电压控制PWM逆变器并获取实时振幅数据;

[0027] 计算测量振幅数据与实时振幅数据的差值,根据差值判断振动抑制的有效性。

[0028] 在一些实施方式中,所述第一倾角设定范围为[0,5°]。

[0029] 为解决上述技术问题,本申请采用的另一个技术方案是:提供一种电机NVH数据智能测试系统,包括有:

[0030] 测试工装,用于在电机除去前端盖的状态下,固定转轴相对于电机中轴线形成第一倾角或者限定转轴在竖直方向有半个自由度;

[0031] 控制模块,用于测量转动过程中的高次谐波数据,使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;还用于测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表,根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。

[0032] 为解决上述技术问题,本申请采用的另一个技术方案是:提供一种计算机设备,所述计算机设备包括处理器和存储器,所述存储器中存储有至少一条指令,所述指令由所述处理器加载并执行以实现上述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

[0033] 为解决上述技术问题,本申请采用的另一个技术方案是:提供一种可读存储介质,所述可读存储介质中存储有至少一条指令,所述指令由处理器加载并执行以实现上述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

[0034] 本申请的有益效果是:区别于现有技术的情况,本申请公开了一种电机NVH数据智能测试方法和系统。本申请通过测试工装是电机转轴处于不同的工作状态,模拟电机长期使用后的磨损情况,并且根据机器学习模型用于电机转轴的倾角计算,同时采集多维度数据用于控制和测试有效性验证。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图,其中:

[0036] 图1是电机转轴单侧受力示意图;

[0037] 图2是电机前端盖长期磨损后转轴位置示意图;

[0038] 图3是电机前端盖长期磨损后的结构正视图;

[0039] 图4是本申请提供具体实施例方法的步骤流程图;

[0040] 图5是图4中步骤S1的具体步骤流程图;

[0041] 图6是图4中步骤S2的具体步骤流程图;

[0042] 图7是图4中步骤S3的具体步骤流程图;

[0043] 图8是图4中步骤S4的具体步骤流程图;

[0044] 图9是本申请第一具体实施例的电机驱动控制示意图;

[0045] 图10是本申请本申请第二具体实施例的电机驱动控制示意图;

[0046] 图11是本申请本申请第三具体实施例示意图。

具体实施方式

[0047] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0048] 本申请实施例中的术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”、“第三”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。本申请的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。此外,术语“包括”和“具有”以及它们任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元,而是可选地还包括没有列出的步骤或单元,或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其他步骤或单元。

[0049] 在本文中提及“实施例”意味着,结合实施例描述的特定特征、结构或特性可以包含在本申请的至少一个实施例中。在说明书中的各个位置出现该短语并不一定均是指相同的实施例,也不是与其他实施例互斥的独立的或备选的实施例。本领域技术人员显式地和隐式地理解的是,本文所描述的实施例可以与其他实施例相结合。

[0050] 生产厂商通常会对电机进行各种测试,其中就包括NVH测试。但是常规测试中,只是对新的电机测试,无法在短时间内测试出长期使用电机之后才出现的问题,即使是加速疲劳测试也难以发现隐藏问题,而这些问题在实际用户长时间使用电机后才得以出现。

[0051] 例如,电机轴通常设置或连接有齿轮、皮带等传动装置,如图1所示,电机转轴2单侧受力,长期使用后使电机前端盖1磨损。尤其是有些小型电机的前端盖只有轴孔,没有轴承,因此长期磨损会影响转轴的位置,如图2所示,电机转轴轴线CC’偏离电机整体的轴线

BB'形成倾角θ,造成电机受力不均衡,引起震动噪声;如图3所示,电机前端盖1上,圆心3的位置为电机转轴2初始位置,而长期单侧受力和磨损情况下,电机轴孔由初始的圆孔变成如图所示的长圆孔4。通常情况下,电机安装倾斜、重力、轴端受力等原因造成电机轴偏离轴心微小角度,通常在0.5°以内,而上述前端盖磨损的电机转轴偏离轴心甚至可到5°以上,加剧电机气隙谐波造成的振动。此外,长期的轴承物理磨损或者电腐蚀也可能造成电机转轴偏离轴心较大角度,而短期的加速疲劳测试并不能模拟长期磨损后的电机工况。

[0052] 针对现有技术在存在的问题,参照图4,本申请第一具体实施例提供一种电机NVH数据智能测试方法,包括以下步骤:

[0053] S1、电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴,所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据;

[0054] 全新的电机进行测试时通常只能针对转轴的安装偏差进行测试,无法模拟电机长期使用后的磨损情况,因此本实施例中将电机前端盖除去,通过将电机本体固定在测试工装台上,即一方面固定电机定子,同时通过测试工装固定转轴,所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角θ,即另一方面固定转轴的偏转角度,模拟电机长期使用后的前端盖磨损的工况。实际测试中,第一倾角θ可采用设置于测试工装上的角度传感器来测量记录。

[0055] S2、使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;

[0056] 针对固定的第一倾角θ测量转动过程中的高次谐波数据,通常选择测量5、7次谐波数据,由于转轴存在第一倾角θ,因此转子与定子之间的气隙并非均匀一致,从而可以通过高次谐波数据来反映其倾角状态。

[0057] S3、通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表;

[0058] 当转轴的第一倾角θ导致转子与定子之间的气隙不均匀时,高次谐波的变化也会导致电机的振动,而由于长期磨损状态下的电机轴孔由圆形变成长圆形,电机转轴可能会在长圆形轴孔中振动(或称之为跳动),这种振动一方面加剧了转轴与轴孔边缘的撞击与磨损,另一方面也由于转子与定子之间气隙的高频变动而增加了高次谐波的变化程度。为了模拟电机转轴在长圆形轴孔中振动的工况,所以通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度,例如将电机转轴限位设置在竖直方向的长圆形孔中,记录静止状态下电机转轴的第一倾角θ,转动状态中不同的转速ω则可能带来竖直方向的不同的振幅数据V。由于转轴限位在长圆形孔中,因此转轴振动时倾角存在一个最大值,即静止状态下电机转轴的第一倾角θ,转轴可能存在振动,转轴振动时转轴倾角为θ-Δθ,当最大振幅数据为Vmax时,对应振动变化角度为Δθmax,因此转轴振动时的实际转轴倾角在θ-Δθmax与θ之间变动,测试中应当注意使长圆形孔的长度大于Vmax的最大值或者采用开口槽来限位,从而使转轴在竖直方向向下振动时有支撑位置,同时在竖直方向向上的振动幅度不会受到限制,即前面提到的测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度。另外,值得注意的是,为了使测试结果能反映实际的工况数据,长圆形孔所设置的平面应当与未拆除之前的电机前端盖位置处于同一平面,而具体测试工装应当如何设置则属于电机测试领域常规技术,在此处无需赘述。

[0059] S4、根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性;

[0060] 参照图5,进一步作为优选的实施方式,所述电机除去前端盖的状态下,通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角,测量转动过程中的高次谐波数据这一步骤,

具体为：

[0061] S11、电机除去前端盖的状态下，通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角；

[0062] S12、在第一倾角设定范围内，测量多个第一倾角角度值对应的转动过程中的高次谐波数据。

[0063] 由于电机在实际使用过程中，随着前端盖的磨损会导致电机轴倾角的持续变化，因此在测试过程中，也需要对不同的多个第一倾角角度值分别测试测量对应的高次谐波数据。例如从0°开始，每隔0.05°的角度值测量对应的高次谐波数据。

[0064] 参照图6，进一步作为优选的实施方式，所述使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型这一步骤，具体为：

[0065] S21、获取转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据作为样本集S并确定过程误差σ_P；

[0066] 第一倾角和相应的高次谐波数据作为样本集S，其中

[0067] $S=\{(x_1,y_1),(x_2,y_2,\cdots\cdots,(x_n,y_n)\}$

[0068] 过程误差σ_P即过程噪声的标准差，可利用样本方差S_P^2作为过程噪声的方差σ_P^2的估计：

[0069] $$\hat{\sigma}_P^2=S_P^2=\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(y_i-\bar{y})^2$$

[0070] 其中，$\bar{y}=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}y_i$；

[0071] S_P^2为σ_P^2的无偏估计量；

[0072] m为估算精度调节参数，通常选择m＝5。

[0073] S22、根据过程误差σ_P和实验样本集S计算支持向量回归机的不敏感参数ε和惩罚系数C；

[0074] 不敏感参数ε可采用经验公式确定：

[0075] $$\varepsilon=\tau\sigma_P\sqrt{\frac{\ln n}{n}}$$

[0076] 其中常数τ通常选择3，对于不同的数据集合、噪声水平和目标函数均有较好的表现。

[0077] 惩罚系数C可采用下式确定：

[0078] $C=\max(|\mu_y+3\sigma_y|,|\mu_y-3\sigma_y|)$

[0079] 其中，$\mu_y=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i$，$\sigma_y$为$y_i$的标准差。

[0080] S23、确定核函数的参数σ的范围区间，遍历该区间寻找使泛化误差上界P(σ)最小化的参数σ值；

[0081] 核函数的参数σ的范围区间一般确定为：

[0082] $$\left(\frac{-l}{2\ln w_{\min}}\right)^{\frac{1}{2}} \le \sigma \le \left(\frac{-l}{2\ln w_{\max}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

[0083] 其中，w_{min}和w_{max}分别为给定点x的远端点x_i影响权值的下界和上界，l为输入向量空间的维数。对于复杂过程(如上述不同倾角对气隙谐波产生振动的影响)，其相应输出在可行域内变化程度通常较大，因此距离给定点x的远端点x_i对核函数的回归方程的影响需要尽量小，才能输出比较准确的支持向量回归机拟合方程$f(x)=\sum_{i=1}^{n}(\overline{\alpha}_i^*-\overline{\alpha}_i)K(x_i,x)+\overline{\beta}$，$\overline{\alpha}_i^*$、$\overline{\alpha}_i$和$\overline{\beta}$均为确定常数；

[0084] 核函数$K(x_i,x)=e^{-\frac{\|x_i-x\|^2}{2\sigma^2}}$，||$x_i$-x||即向量空间中x与$x_i$的欧氏距离，σ即为需要确定的核函数的参数σ；

[0085] $P(\sigma)=\frac{1}{2}\|W\|^2+C\sum_{i=1}^{i}(\xi_i+\xi_i^*)$，其中$W=w_{\max}-w_{\min}$，$\sum_{i=1}^{i}(\xi_i+\xi_i^*)$为拟合误差之和。

[0086] S24、根据样本集S、参数σ、不敏感参数ε和惩罚系数C计算支持向量回归机拟合方程，计算拟合误差和泛化误差，得到样本集中的支持向量的集合；上述步骤为支持向量回归机建模的基础算法，此处无需赘述。

[0087] 进一步作为优选的实施方式，所述核函数为高斯径向基核。

[0088] 参照图7，进一步作为优选的实施方式，所述通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度，测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据，得到第一倾角、转速和振幅的数据表这一步骤，具体为：

[0089] S31、通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度，所述电机静止时转轴相对于电机中轴线的角度为第一倾角；

[0090] S32、在第一倾角设定范围内，测量多个第一倾角角度值对应的多个转速数据对应的竖直方向的振幅数据：

[0091] 值得注意的是，为了使测试结果能反映实际工况数据，竖直方向的振幅数据也应当是测量转轴在未拆除之前的电机前端盖平面上的振幅，例如在未拆除之前的电机前端盖平面上采用激光测距仪等非接触式方式来测量竖直方向的振幅，具体测试工装应当如何设置则属于电机测试领域常规技术，在此处无需赘述。

[0092] S33、根据测量得到的数据生成用于反映第一倾角、转速和振幅数据关系的数据表：

[0093] 由于振幅受到第一倾角、转速的影响，因此需要测量多个第一倾角角度值以及多个转速数据对应的竖直方向的振幅数据，后续电机控制过程中可利用该数据表实现精确的反馈控制。

[0094] 通常情况下，为了减少高次谐波的影响，在电机驱动控制中会通过谐波反向补偿来减少电机振动，即注入与高次谐波反向的高次谐波来消除影响，但是这是在电机转轴偏转角度为零或者很小的时候的情况。

[0095] 当电机前端盖磨损严重之后，转轴在轴孔中的活动空间变大，而转轴偏转角度变

大时,转子在转速较高时极易产生过大的振幅,不仅加剧了转轴与轴孔边缘的高频振动撞击与磨损,同时也是重要的噪声来源。

[0096] 然而,技术人员发现若在此时额外增加一个谐波正向补偿量,也可理解为适当减少原来的谐波反向补偿量,而不是如常规方案中的试图在电机驱动控制中注入与高次谐波完全等量的反向的高次谐波来消除影响,则额外增加的谐波正向补偿量相当于给转轴在图1的箭头方向施加一个较小的力来抑制转轴朝向箭头反方向的振动,因此谐波正向补偿量反而降低了电机的振动噪声,也同时减缓了转轴与轴孔边缘的高频振动撞击与磨损,延长电机的使用寿命。因此,参照图8,进一步作为优选的实施方式,所述根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性这一步骤,具体为:

[0097] S41、将测量振幅数据转换为第一倾角的振动幅度并输入至训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量;

[0098] 如图9所示,测量的振幅数据V转换为第一倾角的振动幅度Δθ并输入至输入到训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量i'_{dq5h}和i'_{dq7h}。

[0099] S42、根据谐波正向补偿量减少电机驱动模块的谐波反向补偿量以得到相应的指令电压;

[0100] 常规的谐波抑制方案是对输入电机的三相输入电流i_a、i_b、i_c进行高次谐波电流提取得到i_{dq5h}和i_{dq7h};并将高次谐波电流i_{dq5h}和i_{dq7h}作为谐波反向补偿量并依次进行谐波电流控制和电压坐标转换;

[0101] 本方案中,先对输入电机的三相输入电流i_a、i_b、i_c进行高次谐波电流提取得到i_{dq5h}和i_{dq7h},高次谐波电流i_{dq5h}和i_{dq7h}分别减去谐波正向补偿量i'_{dq5h}和i'_{dq7h},然后再依次进行谐波电流控制和电压坐标转换得到电压补偿值u^*_{dh}和u^*_{qh},然后根据电流控制模块输出的电压指令值u^*_d和u^*_q分别减去电压补偿值u^*_{dh}和u^*_{qh}得到最终的指令电压。

[0102] S43、根据相应的指令电压控制PWM逆变器并获取实时振幅数据;即将指令电压依次进行Park逆变换、SVPWM调制得到PWM控制信号并输入至逆变器,得到电机的输入电压以控制电机转动,并通过测试工装上的角度传感器测量电机转轴的倾角变化并转换为实时振幅数据。

[0103] S44、计算测量振幅数据与实时振幅数据的差值,根据差值判断振动抑制的有效性;其中测量振幅数据反映的是未利用谐波正向补偿量作振动抑制控制时的振幅数据,实时振幅数据是利用谐波正向补偿量作振动抑制控制后的振幅数据,理论上实时振幅数据应当小于测量振幅数据。

[0104] 具体的有效性判断方式可采用常规的判断方法,例如采用MSE均方误差计算,当均方误差小于设定值时即可判断振动抑制有效,或者作为一种简化计算的方法,当测量振幅数据与实时振幅数据的差值的均值小于设定阈值即可判断振动抑制有效。

[0105] 进一步作为优选的实施方式,所述第一倾角设定范围为[0,5°]。

[0106] 进一步作为优选的实施方式,由于第一倾角设定范围为[0,5°],角度值很小,该设定范围内可以近似认为振幅数据$V=L\tan\theta\approx L\theta$,L为电机轴在电机内部的轴向上的长度,即前、后端盖之间的距离,可简化计算量节约电机控制器的计算资源。

[0107] 参照图10,第二具体实施例具体说明经过本方案测试后得到相应数据后,实际使用过程中的电机驱动控制方案:

[0108] A、获取输入电机的三相输入电流i_a、i_b、i_c依次进行Clark变换和Park变换,得到转子dq坐标系下的反馈电流i_d、i_q;

[0109] B、获取转子dq坐标系下的指令电流i^*_d、i^*_q,根据反馈电流i_d、i_q和指令电流i^*_d、i^*_q进行电流控制,得到转子dq坐标系下的第一电压矢量u^*_d、u^*_q;

[0110] C、对输入电机的三相输入电流i_a、i_b、i_c进行高次谐波电流提取得到i_{dq5h}、i_{qq7h};

[0111] 通常情况下,为了减少高次谐波的影响,在电机驱动控制中会通过谐波反向补偿来减少电机振动,即注入与高次谐波反向的高次谐波i_{dq5h}、i_{qq7h}来消除影响,但是这是在电机转轴偏转角度为零或者很小的时候的情况。

[0112] 当电机前端盖磨损严重之后,转轴在轴孔中的活动空间变大,而转轴偏转角度变大时,转子在转速较高时极易产生过大的振幅,不仅加剧了转轴与轴孔边缘的高频振动撞击与磨损,同时也是重要的噪声来源。

[0113] 然而,技术人员发现若在此时额外增加一个谐波正向补偿量,也可理解为适当减少原来的谐波反向补偿量,而不是如常规方案中的试图在电机驱动控制中注入与高次谐波完全等量的反向的高次谐波来消除影响,则额外增加的谐波正向补偿量相当于给转轴在图1的箭头方向施加一个较小的力来抑制转轴朝向箭头反方向的振动,因此谐波正向补偿量反而降低了电机的振动噪声,也同时减缓了转轴与轴孔边缘的高频振动撞击与磨损,延长电机的使用寿命。

[0114] 为了实现上述谐波正向补偿量的计算,首先需要在电机运行过程中预测转轴第一倾角数据θ。

[0115] D、根据最近N个采样时间点提取到的高次谐波电流分别输入至训练好的机器学习模型得到N个转轴第一倾角数据θ;

[0116] 由于电机轴上一般不会安装角度传感器,尤其是小型化电机,因此需要通过高次谐波数据计算第一倾角数据θ来反映其倾角状态。而由于电机振动的复杂特性,为了避免单次测量数据误差,因此采用多次采用平均值来作为计算依据。

[0117] E、当N个转轴第一倾角数据的均值$\overline{\theta}$大于设定阈值时,即可判断此时电机转轴存在倾斜的情况,因此,根据N个转轴第一倾角数据的均值$\overline{\theta}$和电机转速ω计算谐波正向补偿量i'_{dq5h}、i'_{qq7h};

[0118] F、根据谐波正向补偿量i'_{dq5h}、i'_{qd7h}和当前采样时间点提取到的高次谐波电流i_{dq5h}、i_{qq7h}计算得到谐波反向补偿量;

[0119] G、根据谐波反向补偿量依次进行谐波电流控制和电压坐标转换得到谐波补偿电压u^*_{dh}、u^*_{qh};

[0120] H、根据第一电压矢量u^*_d、u^*_q和谐波补偿电压u^*_{dh}、u^*_{qh}生成指令电压;

[0121] I、将指令电压依次进行Park逆变换、SVPWM调制得到PWM控制信号并输入至逆变器,得到电机的输入电压以控制电机转动。

[0122] 进一步作为优选的实施方式,所述当N个转轴第一倾角数据的均值大于设定阈值时,根据N个转轴第一倾角数据的均值和电机转速计算谐波正向补偿量这一步骤,具体为:

[0123] E1、当N个转轴第一倾角数据的均值大于设定阈值时,根据N个转轴第一倾角数据的均值$\overline{\theta}$和电机转速ω查询数据表得到振幅数据V;

[0124] E2、将振幅数据V输入至谐波正向补偿模块得到谐波正向补偿量。

[0125] 进一步作为优选的实施方式,当N个转轴第一倾角数据的均值大于设定预警值时,发出警报提示或报错,此时表示转轴倾角可能过大,影响正常运行或可能带来严重故障。

[0126] 进一步作为优选的实施方式,所述将振幅数据输入至谐波正向补偿模块得到谐波正向补偿量这一步骤,具体为:

[0127] E21、根据振幅数据V计算得到第一倾角的振动幅度Δθ;

[0128] E22、将第一倾角的振动幅度Δθ输入至训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量i'_{dq5h}、i'_{dq7h}。

[0129] 上述第一具体实施例中步骤D和E中均用到机器学习模型,一方面是输入谐波值输出角度值,另一方面是输入角度值输出谐波值,因此对于机器学习模型的训练可以是单独训练两个机器学习子模型,第一机器学习子模型用于输入谐波值输出角度值,第二机器学习子模型用于输入角度值输出谐波值;或者是训练其中一个输入角度值输出谐波值的机器学习模型的训练,而在输入谐波值时利用支持向量回归机拟合方程进行反向求解得到输出角度值。

[0130] 在上述第一具体实施例和第二具体实施例中,电机驱动控制的区别在于,电机测试阶段,振幅数据V是可以通过实际测量得到准确数据的,而电机实际运行阶段,振幅数据V变化较快,通常也不会在电机上安装高精度的传感器来增加小型化电机的成本。因此,通过转速获取模块来获取转速,并根据第一倾角数据的均值$\bar{\theta}$和电机转速ω查询数据表得到振幅数据V是最低成本最便捷的方式,因为转速获取模块在电机控制中有众多成熟方案可选择,实现难度小。

[0131] 参照图11,针对现有技术在存在的问题,本申请第三具体实施例提供一种电机NVH数据智能测试系统,包括有:

[0132] 测试工装,用于在电机除去前端盖的状态下,固定转轴相对于电机中轴线形成第一倾角或者限定转轴在竖直方向有半个自由度;

[0133] 控制模块,用于测量转动过程中的高次谐波数据,使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型;还用于测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据,得到第一倾角、转速和振幅的数据表,根据测量振幅数据控制电机驱动模块,并测试振动抑制的有效性。

[0134] 针对现有技术在存在的问题,本申请第四具体实施例提供一种计算机设备,所述计算机设备包括处理器和存储器,所述存储器中存储有至少一条指令,所述指令由所述处理器加载并执行以实现上述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

[0135] 针对现有技术在存在的问题,本申请第五具体实施例提供一种可读存储介质,所述可读存储介质中存储有至少一条指令,所述指令由处理器加载并执行以实现上述的电机NVH数据智能测试方法所执行的操作。

[0136] 以上所述仅为本申请的实施例,并非因此限制本申请的专利范围,凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本申请的专利保护范围内。

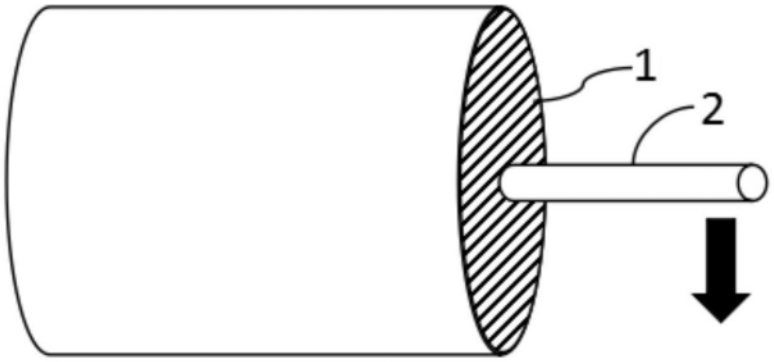


图1

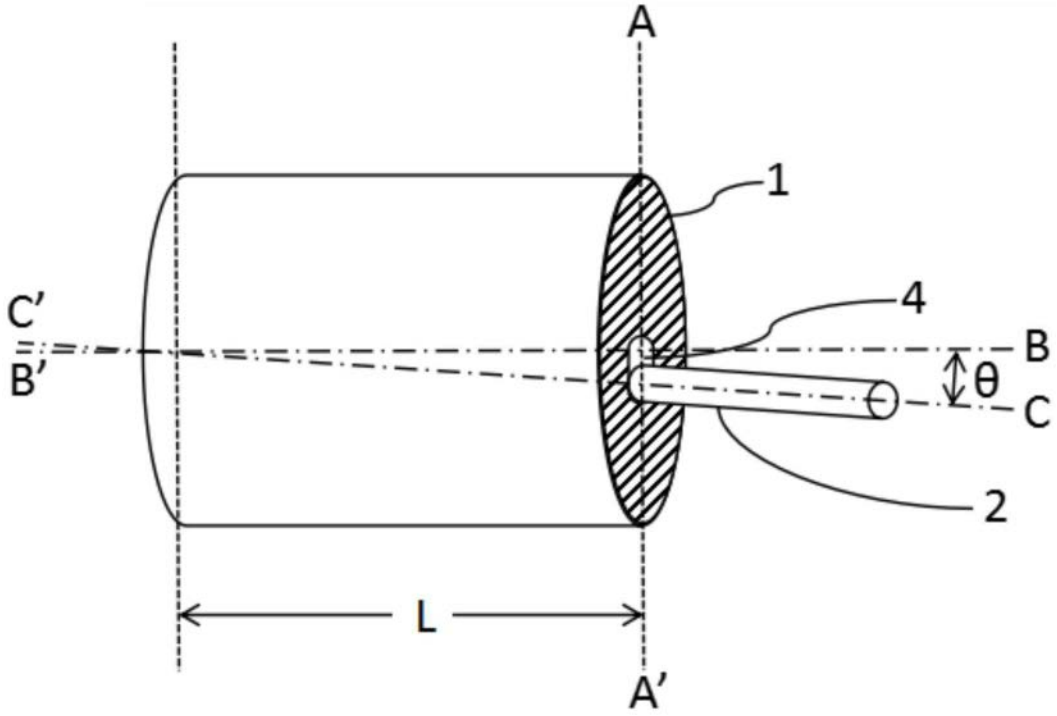


图2

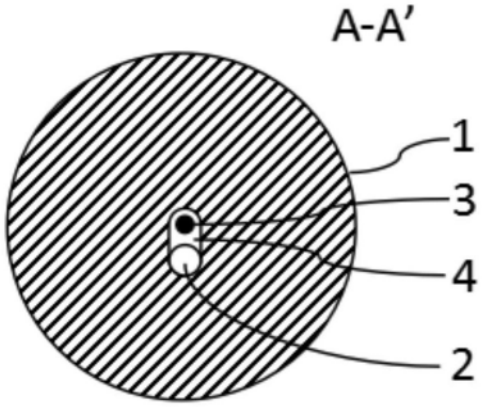

A-A'
1
3
4
2

图3

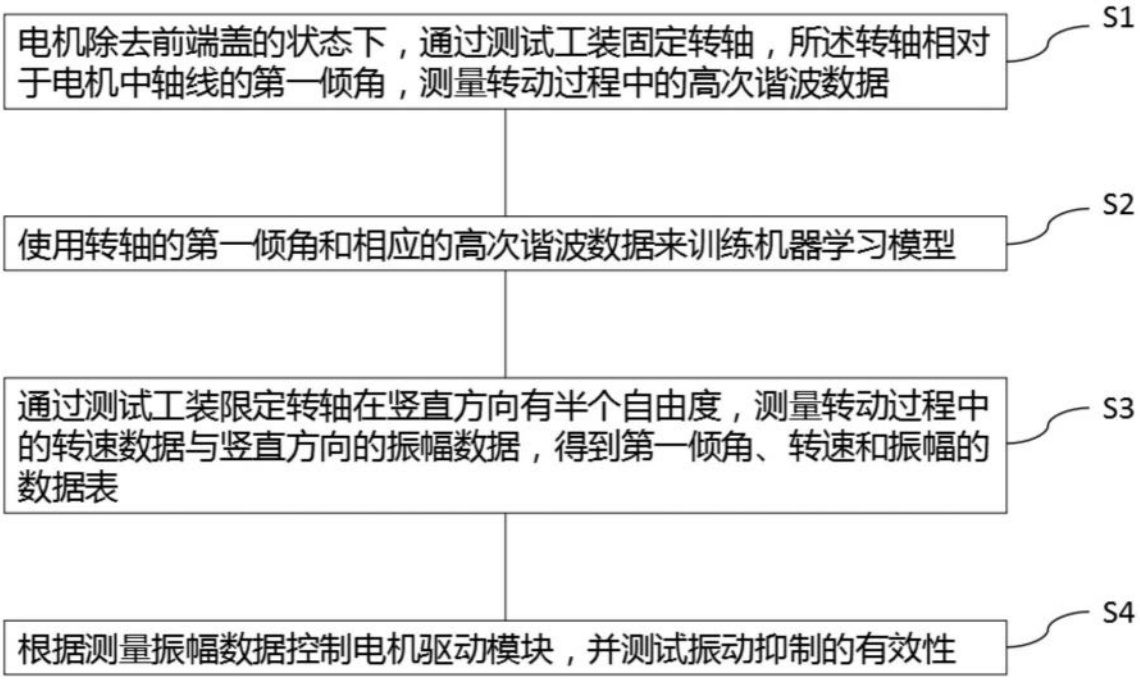

电机除去前端盖的状态下，通过测试工装固定转轴，所述转轴相对于电机中轴线的第一倾角，测量转动过程中的高次谐波数据
S1
使用转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据来训练机器学习模型
S2
通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度，测量转动过程中的转速数据与竖直方向的振幅数据，得到第一倾角、转速和振幅的数据表
S3
根据测量振幅数据控制电机驱动模块，并测试振动抑制的有效性
S4

图4

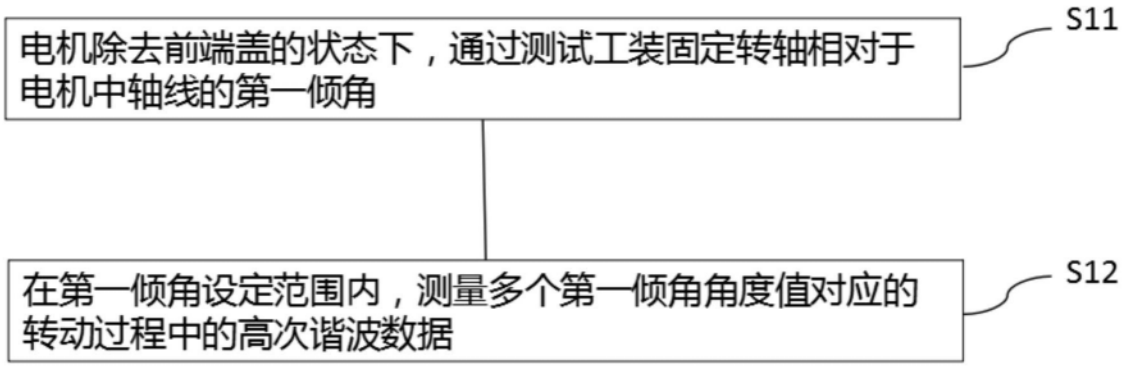

电机除去前端盖的状态下，通过测试工装固定转轴相对于电机中轴线的第一倾角
S11
在第一倾角设定范围内，测量多个第一倾角角度值对应的转动过程中的高次谐波数据
S12

图5

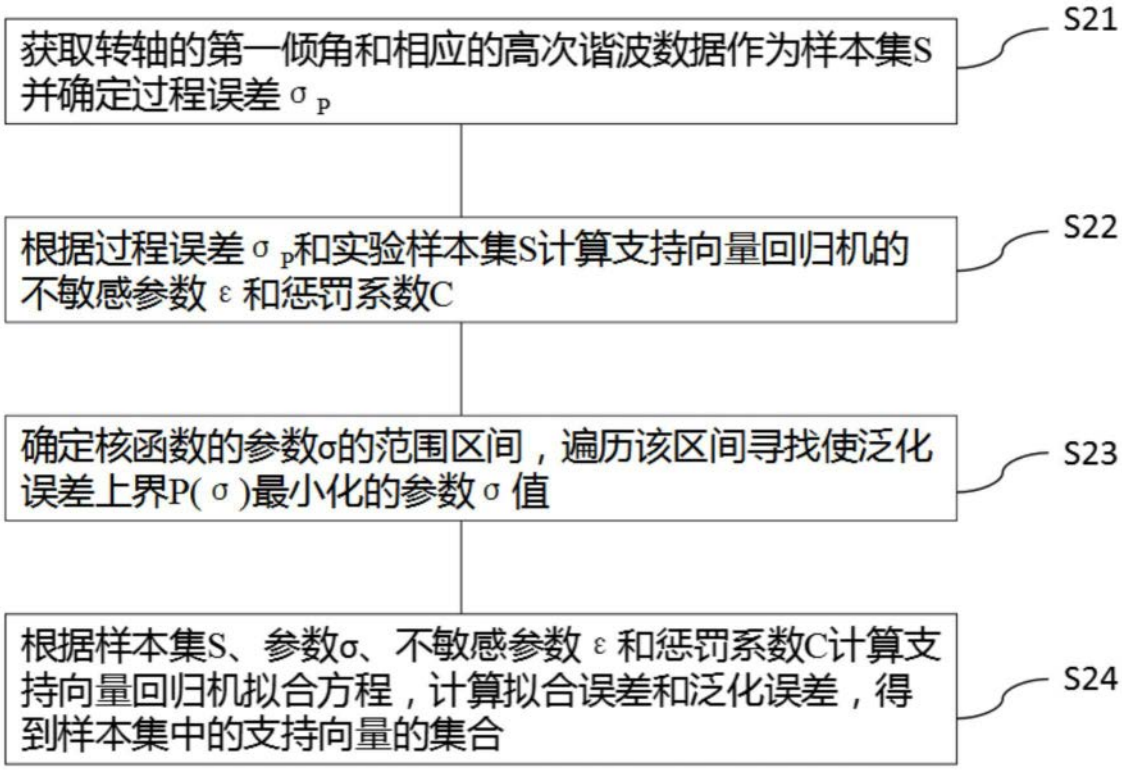

获取转轴的第一倾角和相应的高次谐波数据作为样本集S并确定过程误差 σ p
S21
根据过程误差 σ p和实验样本集S计算支持向量回归机的不敏感参数 ε 和惩罚系数C
S22
确定核函数的参数σ的范围区间，遍历该区间寻找使泛化误差上界P(σ)最小化的参数 σ 值
S23
根据样本集S、参数σ、不敏感参数 ε 和惩罚系数C计算支持向量回归机拟合方程，计算拟合误差和泛化误差，得到样本集中的支持向量的集合
S24

图6

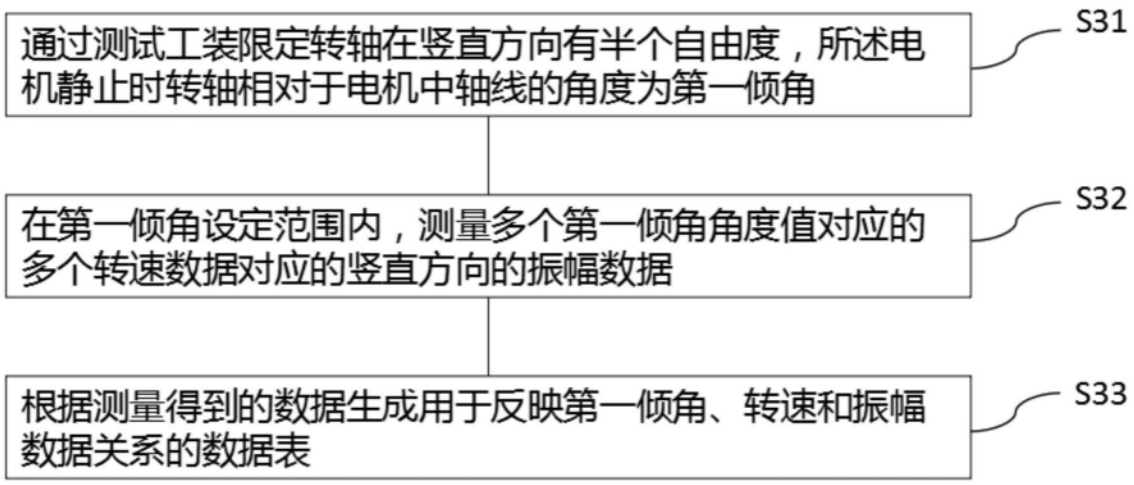

通过测试工装限定转轴在竖直方向有半个自由度，所述电机静止时转轴相对于电机中轴线的角度为第一倾角
S31
在第一倾角设定范围内，测量多个第一倾角角度值对应的多个转速数据对应的竖直方向的振幅数据
S32
根据测量得到的数据生成用于反映第一倾角、转速和振幅数据关系的数据表
S33

图7

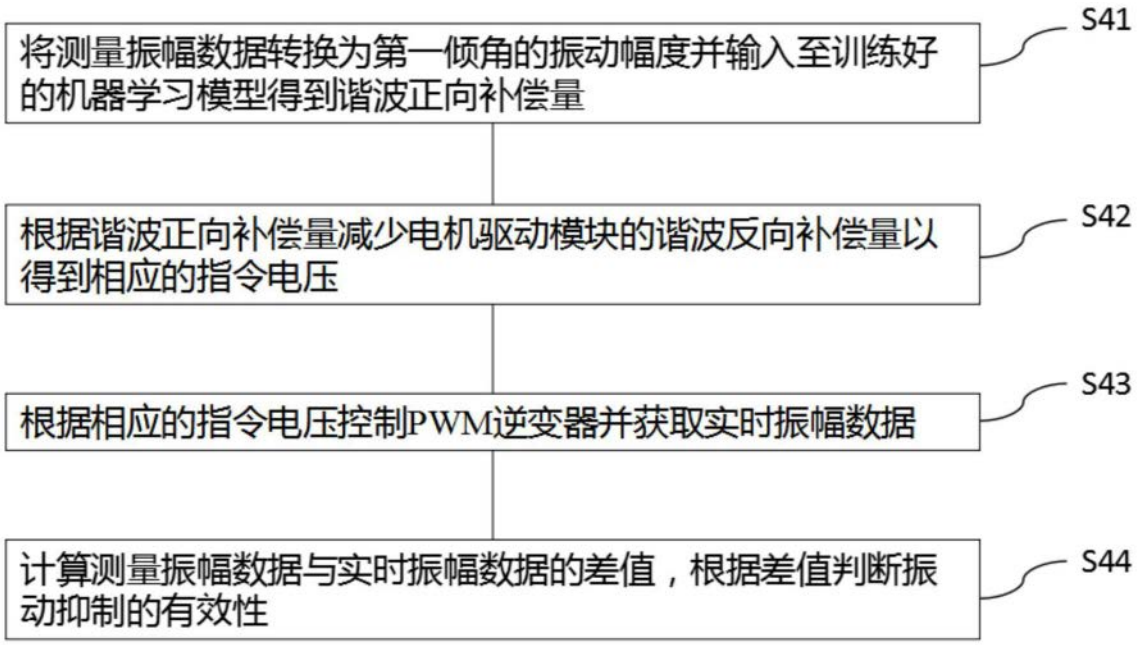

将测量振幅数据转换为第一倾角的振动幅度并输入至训练好的机器学习模型得到谐波正向补偿量
S41
根据谐波正向补偿量减少电机驱动模块的谐波反向补偿量以得到相应的指令电压
S42
根据相应的指令电压控制PWM逆变器并获取实时振幅数据
S43
计算测量振幅数据与实时振幅数据的差值，根据差值判断振动抑制的有效性
S44

图8

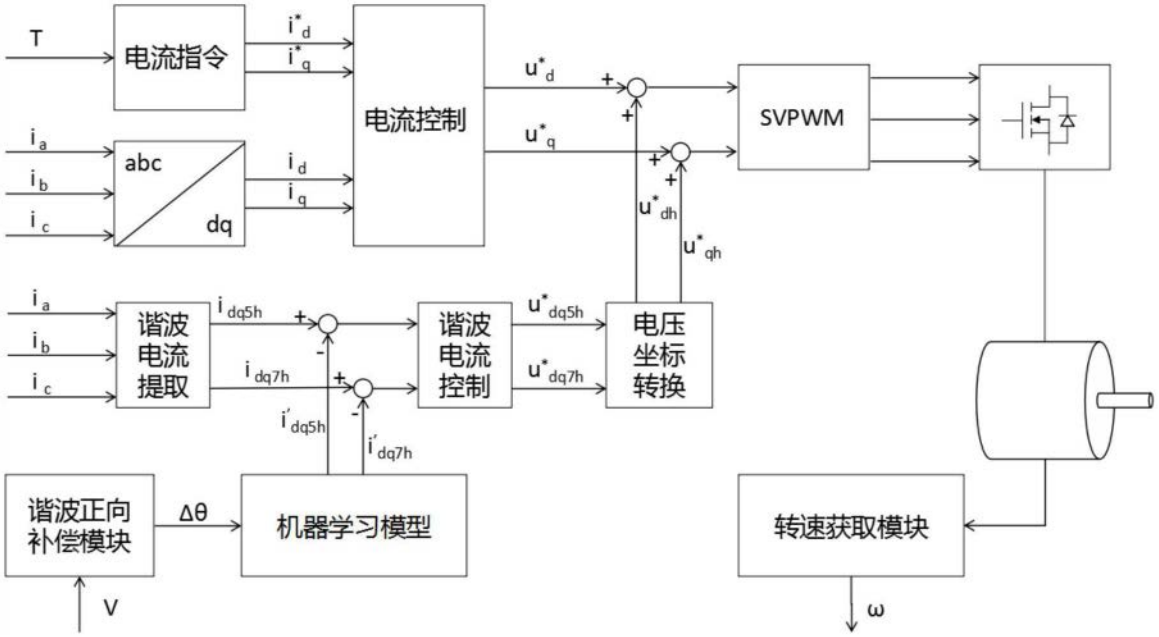

T
电流指令
i^*_d
i^*_q
电流控制
u^*_d
u^*_q
SVPWM
i_a
i_b
i_c
abc
dq
i_d
i_q
u^*_{dh}
u^*_{qh}
谐波电流提取
i_{dq5h}
i_{dq7h}
谐波电流控制
u^*_{dq5h}
u^*_{dq7h}
电压坐标转换
i'_{dq5h}
i'_{dq7h}
谐波正向补偿模块
Δθ
机器学习模型
转速获取模块
V
ω

图9

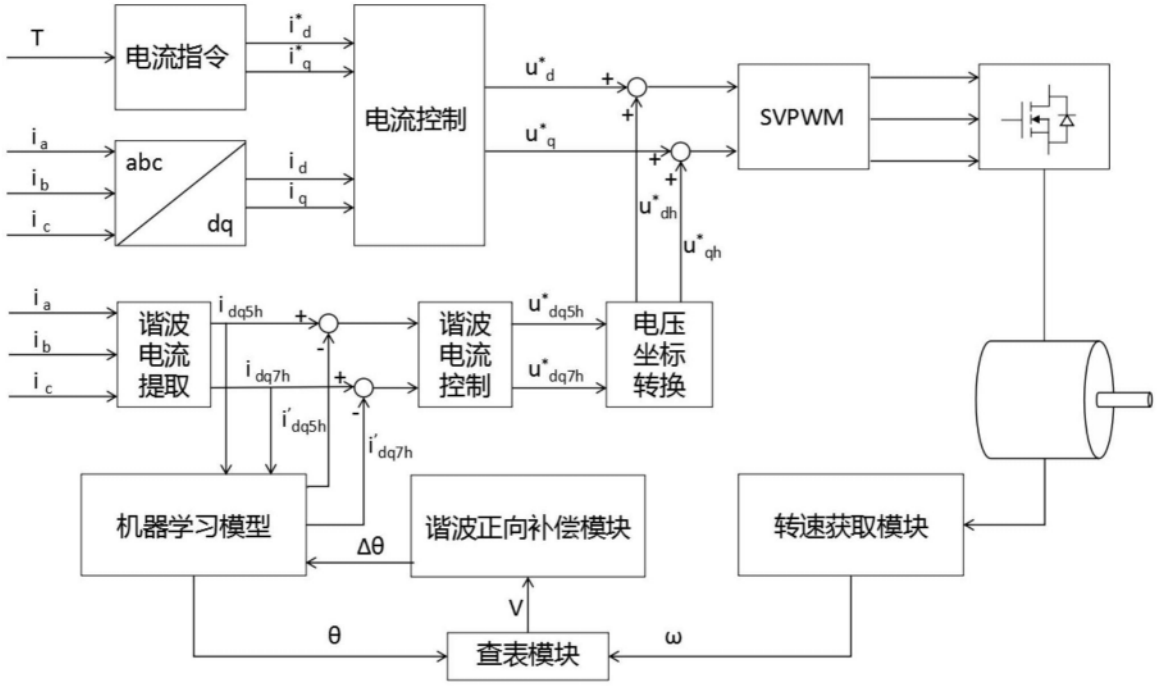

T
电流指令
i^*_d
i^*_q
电流控制
u^*_d
u^*_q
SVPWM
i_a
i_b
i_c
abc
dq
i_d
i_q
u^*_{dh}
u^*_{qh}
谐波电流提取
i_{dq5h}
i_{dq7h}
谐波电流控制
u^*_{dq5h}
u^*_{dq7h}
电压坐标转换
i'_{dq5h}
i'_{dq7h}
机器学习模型
Δθ
谐波正向补偿模块
转速获取模块
V
θ
查表模块
ω

图10

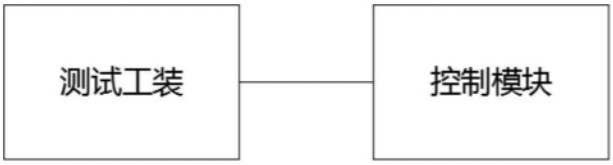


图11