



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111156131 B

(45) 授权公告日 2021.06.25

(21) 申请号 202010010368.1

(56) 对比文件

(22) 申请日 2020.01.06

CN 105242136 A, 2016.01.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106093802 A, 2016.11.09

申请公布号 CN 111156131 A

CN 103605080 A, 2014.02.26

(43) 申请公布日 2020.05.15

审查员 王萌

(73) 专利权人 上海电气风电集团股份有限公司

地址 200241 上海市闵行区东川路555号己
号楼8楼

(72) 发明人 王张良 俞庆 寻征轩 王洪印

(74) 专利代理机构 上海元好知识产权代理有限
公司 31323

代理人 张静洁 徐雯琼

(51) Int. Cl.

F03D 7/00 (2006.01)

G01R 31/40 (2014.01)

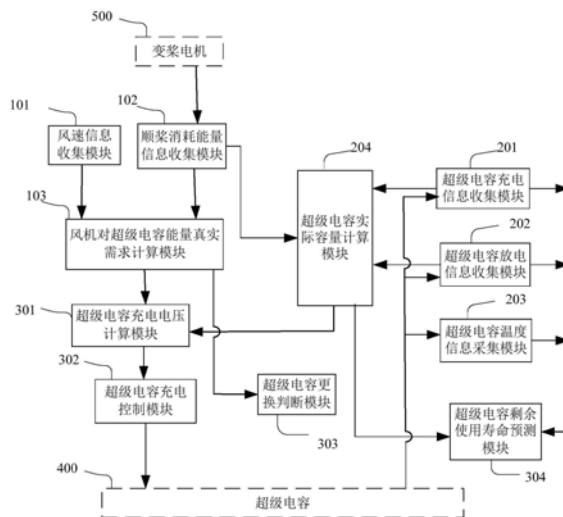
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

风机变桨系统后备电源的智能控制系统及
方法

(57) 摘要

本发明提供一种风机变桨系统后备电源的
智能控制系统,包含:风机真实需求计算模块,连
接变桨电机,用于收集风机在风场变桨的风速数
据,采集变桨电机在顺桨过程中消耗的能量,计
算在最大设计风速下风机顺桨对超级电容存储
能量的真实需求值;超级电容实际容量计算模
块,电性连接所述超级电容,收集超级电容充放
电信息,并计算超级电容当前的实际电容量;超
级电容智能控制模块,信号连接风机真实需求计
算模块、超级电容实际容量计算模块,电性连接
超级电容,根据所述真实需求值、超级电容当前
的实际电容量来控制超级电容的充电电压,预测
超级电容的剩余使用时间,判断超级电容是否需
要更换。本发明还提供一种风机变桨系统后备电
源的智能控制方法。



1. 一种风机变桨系统后备电源的智能控制系统, 风机变桨系统的后备电源采用超级电容, 其特征在于, 包含:

风机真实需求计算模块, 连接变桨电机, 用于收集风机在风场的变桨的风速数据, 采集变桨电机在顺桨过程中消耗的能量, 计算在最大设计风速下风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ;

超级电容容量计算模块, 电性连接所述超级电容, 收集超级电容充放电信息, 并计算超级电容当前的实际电容量;

超级电容智能控制模块, 信号连接所述风机真实需求计算模块、所述超级电容容量计算模块, 电性连接超级电容; 所述超级电容智能控制模块根据所述真实需求值、超级电容当前的实际电容量来控制超级电容的充电电压、预测超级电容的剩余使用寿命、判断超级电容是否需要更换。

2. 如权利要求1所述的风机变桨系统后备电源的智能控制系统, 其特征在于, 所述风机真实需求计算模块包含:

风速信息收集模块, 用于在切出风速以下的不同风速段, 采集第*i*次风机顺桨时的平均风速 $V_{avewind,i}$; 其中*i*表示顺桨的次数, $i \in [1, N]$; *N*为设定的采集风速信息的总次数;

顺桨消耗能量信息收集模块, 电性连接变桨电机, 用于采集第*j*次风机顺桨时, 变桨电机的电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$, 并根据所述的电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$ 计算得到顺桨时变桨电机所消耗的能量 $Q_{feather,j}$; *j*表示顺桨次数, *j*为自然数;

风机对超级电容能量真实需求计算模块, 信号连接风速信息收集模块、顺桨消耗能量信息收集模块, 根据所述平均风速 $V_{avewind,i}$ 、所述变桨电机所消耗的能量 $Q_{feather,i}$, 拟合得到风速与顺桨时变桨电机所消耗的能量之间的第一关系式, 并根据所述第一关系式得到在最大设计风速下, 风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ; 其中*i* $\in [1, N]$ 。

3. 如权利要求2所述的风机变桨系统后备电源的智能控制系统, 其特征在于, 所述超级电容容量计算模块包含:

超级电容充电信息收集模块, 电性连接超级电容, 用于获取并记录超级电容在第*j*次顺桨前的充电电压值 $U_{charging,j}$; 其中*j*为自然数;

超级电容放电信息收集模块, 电性连接超级电容, 用于获取并记录超级电容在第*j*次顺桨后的放电结束电压值 $U_{end,j}$, 其中*j*为自然数;

超级电容温度信息采集模块, 连接超级电容, 用于采集第*j*次顺桨至第*j*+1次顺桨的时间内, 超级电容的平均温度信息 $TEM_{uc,j}$, 其中*j*为自然数;

超级电容实际容量计算模块, 信号连接超级电容充电信息收集模块、超级电容放电信息收集模块、顺桨消耗能量信息收集模块; 根据所述充电电压值 $U_{charging,j}$ 、放电结束电压值 $U_{end,j}$, 计算得到第*j*次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{real,j}$; 其中*j*为自然数。

4. 如权利要求3所述的风机变桨系统后备电源的智能控制系统, 其特征在于, 所述超级电容智能控制模块包含:

超级电容充电电压计算模块, 信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块、所述超级电容实际容量计算模块, 根据所述真实需求值 Q_{real} 、第*j*次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{real,j}$ 、计算生成第*j*+1次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{charging,j+1}$, 其中*j* $> N$;

超级电容充电控制模块, 信号连接所述超级电容充电电压计算模块, 并电性连接超级

电容;所述超级电容充电控制模块在第j次顺桨前根据获取的所述充电电压值 $U_{\text{charging},j}$ 控制外部电源向超级电容充电,其中 $j>N$;

超级电容更换判断模块,信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块,根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容的额定电压 U_{rated} ,计算得到超级电容能够满足风机顺桨的最小电容量 C_{min} ,根据 C_{min} 判断是否需要更换超级电容;

超级电容剩余使用寿命预测模块,信号连接超级电容充电信息收集模块、超级电容放电信息收集模块、超级电容温度信息采集模块、超级电容实际容量计算模块,用于记录第k次顺桨时超级电容已投入运行的天数 $DAY_{\text{done},k}$,并拟合出 $DAY_{\text{done},k}$ 、 $U_{\text{charging},k}$ 、 $U_{\text{end},k}$ 、 $TEM_{\text{uc},k}$ 与 $C_{\text{real},k}$ 之间的第二关系式,根据所述第二关系式预测第j次顺桨后,超级电容的剩余使用寿命 $DAY_{\text{repair},j}$;其中 $k \in [1, M]$, M 为设定的自然数, $j>M$ 。

5. 一种风机变桨系统后备电源的智能控制方法,采用如权利要求1至4任一所述的风机变桨系统后备电源的智能控制系统实现的,其特征在于,包含步骤:

S1、采集第i次风机顺桨时的平均风速 $V_{\text{avewind},i}$ 、变桨电机所消耗的能量 $Q_{\text{feather},i}$;根据 $V_{\text{avewind},i}$ 与 $Q_{\text{feather},i}$ 拟合得到顺桨时变桨电机所消耗的能量与风速之间的第一关系式,其中 $i \in [1, N]$;根据所述第一关系式得到在最大设计风速下,风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ;

S2、根据第j次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{\text{charging},j}$ 、第j次顺桨后超级电容的放电结束电压值 $U_{\text{end},j}$ 、第j次顺桨变桨电机所消耗的能量 $Q_{\text{feather},j}$ 计算得到第j次顺桨后超级电容

的实际电容量 $C_{\text{real},j} = \frac{Q_{\text{feather},j}}{0.5 * (U_{\text{charging},j}^2 - U_{\text{end},j}^2)}$;j为自然数;

S3、根据所述真实需求值 Q_{real} 、所述 $C_{\text{real},j}$ 、计算生成第j+1次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{\text{charging},j+1} = Q_{\text{real}}/C_{\text{real},j}$;其中 $j>N$;

S4、判断是否需要更换超级电容,预测超级电容剩余使用寿命;若不需更换超级电容,在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{\text{charging},j+1}$ 对超级电容充电;其中 $j>N$ 。

6. 如权利要求5所述的风机变桨系统后备电源的智能控制方法,其特征在于,步骤S1中在切出风速以下的不同风速段进行第一次至第N次风机顺桨。

7. 如权利要求5所述的风机变桨系统后备电源的智能控制方法,其特征在于,步骤S4具体包含:

S41、根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容的额定电压 U_{rated} ,计算得到超级电容能够满足风机顺桨的最小电容量 $C_{\text{min}} = Q_{\text{real}}/U_{\text{rated}}$;当第j次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{\text{real},j}$ 大于 C_{min} 时,不需更换超级电容,否则需更换超级电容;其中 $j>N$;

S42、记录第k次顺桨时超级电容已投入运行的天数 $DAY_{\text{done},k}$,并拟合出 $DAY_{\text{done},k}$ 、 $U_{\text{charging},k}$ 、 $U_{\text{end},k}$ 与 $C_{\text{real},k}$ 之间的第二关系式,其中 $k \in [1, M]$, M 为设定的自然数;根据所述第二关系式预测第j次顺桨后,超级电容的剩余使用寿命 $DAY_{\text{repair},j}$,其中 $j>M$;

S43、若不需更换超级电容,在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{\text{charging},j+1}$ 对超级电容充电,其中 $j>N$ 。

风机变桨系统后备电源的智能控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及风机变桨系统领域,具体涉及风机变桨系统后备电源的智能控制系统及方法。

背景技术

[0002] 风力发电技术日益成熟,成本不断下降,是目前应用规模最大的新能源发电方式。变桨系统是风力发电机(简称风机)重要的控制和保护装置,变桨系统主要由变桨驱动器、电机、后备电源组成。后备电源的任务是在电网异常时,为变桨系统提供能量,将桨叶顺桨至安全位置,实现风机的空气制动。如果后备电源存储的能量不能满足顺桨要求,那么电网异常时,桨叶将不能顺桨至安全位置,严重时会导致“飞车或倒塔”事故。

[0003] 变桨系统通常采用超级电容或蓄电池作为后备电源。其中超级电容功率密度高、循环寿命长、安全性好,目前已成为主流。超级电容存储的能量主要由电容的容量和充电电压决定。充电电压一般设置为电容的额定电压,在变桨系统设计完成后,充电电压一般不再变化。

[0004] 超级电容容量、额定电压的选取是变桨系统设计的关键,参数选择过大,会造成资源浪费,增加风机成本。选取过小,则使得变桨系统电网异常时,桨叶将不能顺桨至安全位置,严重时会导致飞车或倒塔。因此,根据风机对变桨系统的真实需求,选择合适的超级电容参数对风力发电机组的安全性、稳定性、经济性至关重要。超级电容容量、额定电压通常采用仿真计算得到,并通过实验室加载测试进行验证。

[0005] 进入运行阶段后,超级电容的容量是变桨系统的重要指标。通常,可采用检测超级电容电压、变桨测试或电阻放电测试的方式来估算电容容量。当超级电容的容量衰减到一定程度,通常为衰减20%时,需更换超级电容。

[0006] 已知超级电容根据运用条件的不同,使用寿命会有很大差异。在满足风力发电机组真实需求的同时,如何根据风机的真实需求和超级电容容量变化来控制超级电容的充电电压,使其使用寿命最长化、可靠性最高化,尚未发现相关研究。目前对变桨系统超级电容的研究主要集中在超级电容容量的检测和健康状态的监控。

[0007] 对比1:CN108087209A提供了一种风力发电机组的超级电容模组的检测方法可通过自身系统的更为精确地检测风力发电机组运行过程中超级电容模组的容值,可以较为准确预测电容使用寿命,为风机的安全提供了更可靠的保障。

[0008] 对比2:CN105866705A公开了一种风力发电机组交流变桨系统后备电源容量的测量方法,可以通过远程控制方式对交流变桨系统后备电源能量自动泄放,可以省略掉传统的后备的泄放电阻,节约了成本;并且能对后备容量进行自动测量。

[0009] 对比3:CN106093802A公开了一种风力发电机组交流变桨系统后备电源容量的检测方法,通过主控命令使得当前叶片的速度和位置变化;记录测试时当前后备电源的初始电压值;测试结束,记录当前的后备电源最低工作电压值以及测试时间值;计算出后备电源提供的能量值以及驱动电机的能量消耗值;将驱动电机的能量消耗值与后备电源提供的能

量值的比值作为测试结果,并根据测试结果的大小判定当前后备电源容量是否异常。当后备电源容量低于设备正常运行范围时,风力发电机组电控系统将后备电源模组做出判断需要更换模组,从而保证后备电源有足够的容量满足紧急顺桨的需要,具有测量简单、测试周期短、测试便捷等优点。

[0010] 现有技术存在的问题,主要体现在以下三点:

[0011] 1) 利用仿真计算得到的超级电容设计需求与风力发电机组的真实需求存在一定差异。

[0012] 超级电容的选型仅通过仿真计算和实验室验证,而未利用风场的真实运行数据进行验证、优化。因此仿真计算的结果必然与真实需求存在一定差异。一般情况下,仿真计算时添加了较大的安全系数,可以保证满足真实需求。但是,如果仿真计算的结果过大,必将造成资源浪费、增加成本。

[0013] 2) 超级电容充电电压不变的方案不是最优方案。

[0014] 由于仿真计算得到的超级电容设计需求大于风机的真实的需求;且变桨系统通常采用平台化设计:一套变桨系统可以满足多个相近型号的风力发电机组的需求,以便减少研发费用。因此,变桨系统超级电容存储的能量,常常远大于风力发电机组的真实需求。此时,如果将超级电容的充电电压设置为不变的额定电压,那么在投入运行的初期,超级电容存储的能力持续过剩,一方面不利于延长寿命;另一方面不利于提高可靠性。

[0015] 3) 利用固定的衰减比例作为超级电容需更换的指标是不合理的。

[0016] 由于仿真计算得到的超级电容设计需求大于风机的真实的需求;且平台化设计导致超级电容存储的能量常常远大于风机真实需求。因此,当超级电容容量衰减到一定比例后,如衰减20%时,其存储的能量可能依旧可以满足风机的真实需求。此时更换超级电容,造成资源浪费、增加运维成本。

发明内容

[0017] 本发明的目的在于提供一种风机变桨系统后备电源的智能控制系统及方法,通过精细化控制超级电容充电电压,延长超级电容使用寿命、提高使用可靠性,降低超级电容的更换成本和备件贮存成本。

[0018] 为了达到上述目的,本发明提供一种风机变桨系统后备电源的智能控制系统,风机变桨系统的后备电源采用超级电容,包含:

[0019] 风机真实需求计算模块,连接变桨电机,用于收集风机在风场的变桨的风速数据,采集变桨电机在顺桨过程中消耗的能量,计算在最大设计风速下风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ;

[0020] 超级电容容量计算模块,电性连接所述超级电容,收集超级电容充放电信息,并计算超级电容当前的实际电容量;

[0021] 超级电容智能控制模块,信号连接所述风机真实需求计算模块、所述超级电容容量计算模块,电性连接超级电容;所述超级电容智能控制模块根据所述真实需求值、超级电容当前的实际电容量来控制超级电容的充电电压、预测超级电容的剩余使用寿命、判断超级电容是否需要更换。

[0022] 所述风机真实需求计算模块包含:

[0023] 风速信息收集模块,用于在切出风速以下的不同风速段,采集第*i*次风机顺桨时的平均风速 $V_{avewind,i}$;其中*i*表示顺桨的次数, $i \in [1, N]$;N为设定的采集风速信息的总次数;

[0024] 顺桨消耗能量信息收集模块,电性连接变桨电机,用于采集第*j*次风机顺桨时,变桨电机的电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$,并根据所述电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$ 计算得到顺桨时变桨电机所消耗的能量 $Q_{feather,j}$;j表示顺桨次数,j为自然数;

[0025] 风机对超级电容能量真实需求计算模块,信号连接风速信息收集模块、顺桨消耗能量信息收集模块,根据所述平均风速值 $V_{avewind,i}$ 、所述变桨电机所消耗的能量 $Q_{feather,i}$,拟合得到风速与顺桨时变桨电机所消耗的能量之间的第一关系式,并根据所述第一关系式得到在最大设计风速下,风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ;其中 $i \in [1, N]$ 。

[0026] 所述超级电容容量计算模块包含:

[0027] 超级电容充电信息收集模块,电性连接超级电容,用于获取并记录超级电容在第*j*次顺桨前的充电电压值 $U_{charging,j}$;其中j为自然数;

[0028] 超级电容放电信息收集模块,电性连接超级电容,用于获取并记录超级电容在第*j*次顺桨后的放电结束电压值 $U_{end,j}$,其中j为自然数;

[0029] 超级电容温度信息采集模块,连接超级电容,用于采集第*j*次顺桨至第*j+1*次顺桨的时间内,超级电容的平均温度信息 $TEM_{uc,j}$,其中j为自然数;

[0030] 超级电容实际容量计算模块,信号连接超级电容充电信息收集模块、超级电容放电信息收集模块、顺桨消耗能量信息收集模块;根据所述充电电压值 $U_{charging,j}$ 、放电结束电压值 $U_{end,j}$,计算得到第*j*次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{real,j}$;其中j为自然数。

[0031] 所述超级电容智能控制模块包含:

[0032] 超级电容充电电压计算模块,信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块、所述超级电容实际容量计算模块,根据所述真实需求值 Q_{real} 、第*j*次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{real,j}$ 、计算生成第*j+1*次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{charging,j+1}$,其中 $j > N$;

[0033] 超级电容充电控制模块,信号连接所述超级电容充电电压计算模块,并电性连接超级电容;所述超级电容充电控制模块在第*j*次顺桨前根据获取的所述充电电压值 $U_{charging,j}$ 控制外部电源向超级电容充电,其中 $j > N$;

[0034] 超级电容更换判断模块,信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块,根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容的额定电压 U_{rated} ,计算得到超级电容能够满足风机顺桨的最小电容量 C_{min} ,根据 C_{min} 判断是否需要更换超级电容;

[0035] 超级电容剩余使用寿命预测模块,信号连接超级电容充电信息收集模块、超级电容放电信息收集模块、超级电容温度信息采集模块、超级电容实际容量计算模块,用于记录第*k*次顺桨时超级电容已投入运行的天数 $DAY_{done,k}$,并拟合出 $DAY_{done,k}$ 、 $U_{charging,k}$ 、 $U_{end,k}$ 、 $TEM_{uc,k}$ 与 $C_{real,k}$ 之间的第二关系式,根据所述第二关系式预测第*j*次顺桨后,超级电容的剩余使用寿命 $DAY_{repair,j}$;其中 $k \in [1, M]$,M为设定的自然数, $j > M$ 。

[0036] 本发明还揭示了一种风机变桨系统后备电源的智能控制方法,采用本发明的风机变桨系统后备电源的智能控制系统实现的,包含步骤:

[0037] S1、采集第*i*次风机顺桨时的平均风速 $V_{avewind,i}$ 、变桨电机所消耗的能量 $Q_{feather,i}$;根据 $V_{avewind,i}$ 与 $Q_{feather,i}$ 拟合得到顺桨时变桨电机所消耗的能量与风速之间的第一关系式,其中 $i \in [1, N]$;根据所述第一关系式得到在最大设计风速下,风机顺桨对超级电容存储能

量的真实需求值 Q_{real} ；优选的，步骤S1中在切出风速以下的不同风速段进行第一次至第N次风机顺桨，每个风速段均进行多次风机顺桨。

[0038] S2、根据第j次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{\text{charging},j}$ 、第j次顺桨后超级电容的放电结束电压值 $U_{\text{end},j}$ 、第j次顺桨变桨电机所消耗的能量 $Q_{\text{feather},j}$ 计算得到第j次顺桨后超

级电容的实际电容量 $C_{\text{real},j} = \frac{Q_{\text{feather},j}}{0.5 * (U_{\text{charging},j}^2 - U_{\text{end},j}^2)}$ ；j为自然数；

[0039] S3、根据所述真实需求值 Q_{real} 、所述 $C_{\text{real},j}$ 、计算生成第j+1次顺桨前超级电容的充电电压值 $U_{\text{charging},j+1} = Q_{\text{real}} / C_{\text{real},j}$ ；其中j>N；

[0040] S4、判断是否需要更换超级电容，预测超级电容剩余使用寿命；若不需更换超级电容，在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{\text{charging},j+1}$ 对超级电容充电；其中j>N。

[0041] 步骤S4具体包含：

[0042] S41、根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容的额定电压 U_{rated} ，计算得到超级电容能够满足风机顺桨的最小电容量 $C_{\text{min}} = Q_{\text{real}} / U_{\text{rated}}$ ；当第j次顺桨后超级电容的实际电容量 $C_{\text{real},j}$ 大于 C_{min} 时，不需更换超级电容，否则需更换超级电容；其中j>N；

[0043] S42、记录第k次顺桨时超级电容已投入运行的天数 $\text{DAY}_{\text{done},k}$ ，并拟合出 $\text{DAY}_{\text{done},k}$ 、 $U_{\text{charging},k}$ 、 $U_{\text{end},k}$ 与 $C_{\text{real},k}$ 之间的第二关系式，其中 $k \in [1, M]$ ，M为设定的自然数；根据所述第二关系式预测第j次顺桨后，超级电容的剩余使用寿命 $\text{DAY}_{\text{repair},j}$ ，其中j>M；

[0044] S43、若不需更换超级电容，在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{\text{charging},j+1}$ 对超级电容充电，其中j>N。

[0045] 与现有技术相比，本发明风力发电机组变桨系统的后备电源智能控制系统及方法，通过利用风机在风场实际运行过程中的数据，精准地计算顺桨时风机对超级电容存储的能量的真实需求、控制超级电容的充电电压、预测超级电容的剩余使用寿命，使得超级电容的使用寿命延长、使用可靠性提升、备件贮存成本降低，为风机的安全运行提供了更经济、可靠的保障。本发明不需要额外的硬件变更，可随时、随地优化控制新风机或在役风机的变桨系统超级电容。本发明实施成本低、风险小。

附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本发明技术方案，下面将对描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一个实施例，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：

[0047] 图1为本发明的风机变桨系统后备电源的智能控制系统结构示意图；

[0048] 图2为本发明的风机变桨系统后备电源的智能控制方法流程图；

[0049] 图中：101、风速信息收集模块；102、顺桨消耗能量信息收集模块；103、风机对超级电容能量真实需求计算模块；201、超级电容充电信息收集模块；202、超级电容放电信息收集模块；203、超级电容温度信息采集模块；204、超级电容实际容量计算模块；301、超级电容充电电压计算模块；302、超级电容充电控制模块；303、超级电容更换判断模块；304、超级电容剩余使用寿命预测模块；400、超级电容；500、变桨电机。

具体实施方式

[0050] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,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,都属于本发明保护的范围。

[0051] 风机变桨系统的后备电源采用超级电容400,本发明提供一种风机变桨系统后备电源的智能控制系统,如图1所示,包含:风机真实需求计算模块、超级电容容量计算模块、超级电容智能控制模块。

[0052] 如图1所示,所述风机真实需求计算模块包含:风速信息收集模块101、顺桨消耗能量信息收集模块102、风机对超级电容能量真实需求计算模块103。

[0053] 风速信息收集模块101,用于在切出风速以下的不同风速段,采集第*i*次风机顺桨时的平均风速 $V_{avewind,i}$;其中*i*表示顺桨的次数, $i \in [1, N]$; *N*为设定的采集风速信息的总次数。优选的,在切出风速以下,步长1m/s,在设定的每个风速段内至少收采集五次风机变桨的平均风速。

[0054] 顺桨消耗能量信息收集模块102,电性连接变桨电机500,用于采集第*j*次风机顺桨时,变桨电机500的电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$,并根据所述电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$ 计算得到顺桨时变桨电机500所消耗的能量 $Q_{feather,j}$; *j*表示顺桨次数, *j*为自然数。

[0055] 风机对超级电容能量真实需求计算模块103,信号连接风速信息收集模块101、顺桨消耗能量信息收集模块102,根据所述平均风速值 $V_{avewind,i}$ 、所述变桨电机500所消耗的能量 $Q_{feather,i}$,拟合得到风速与顺桨时变桨电机500所消耗的能量之间的第一关系式,并根据所述第一关系式得到在最大设计风速下,风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} ;其中 $i \in [1, N]$ 。

[0056] 所述超级电容容量计算模块,电性连接所述超级电容400,收集超级电容400充放电信息,并计算超级电容400当前的实际电容量,其包含:超级电容充电信息收集模块201、超级电容放电信息收集模块202、超级电容温度信息采集模块203、超级电容实际容量计算模块204。

[0057] 所述超级电容充电信息收集模块201电性连接超级电容400,用于获取并记录超级电容400在第*j*次顺桨前的充电电压值 $U_{charging,j}$;其中*j*为自然数;

[0058] 所述超级电容放电信息收集模块202电性连接超级电容400,用于获取并记录超级电容400在第*j*次顺桨后的放电结束电压值 $U_{end,j}$,其中*j*为自然数;

[0059] 所述超级电容温度信息采集模块203连接超级电容400,用于采集第*j*次顺桨至第*j*+1次顺桨的时间内,超级电容400的平均温度信息 $TEM_{uc,j}$,其中*j*为自然数;

[0060] 所述超级电容实际容量计算模块204信号连接超级电容充电信息收集模块201、超级电容放电信息收集模块202、顺桨消耗能量信息收集模块102;根据所述充电电压值 $U_{charging,j}$ 、放电结束电压值 $U_{end,j}$,计算得到第*j*次顺桨后超级电容400的实际电容量 $C_{real,j}$;其中*j*为自然数。

[0061] 所述超级电容智能控制模块信号连接所述风机真实需求计算模块、所述超级电容容量计算模块,电性连接超级电容400;所述超级电容智能控制模块根据所述真实需求值、超级电容400当前的实际电容量来控制超级电容400的充电电压、预测超级电容400的剩余

使用寿命、判断超级电容400是否需要更换。

[0062] 所述超级电容智能控制模块包含：超级电容充电电压计算模块301、超级电容充电控制模块302、超级电容更换判断模块303、超级电容剩余使用寿命预测模块304。

[0063] 所述超级电容充电电压计算模块301信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块103、所述超级电容实际容量计算模块204，根据所述真实需求值 Q_{real} 、第j次顺桨后超级电容400的实际电容量 $C_{real,j}$ 、计算生成第j+1次顺桨前超级电容400的充电电压值 $U_{charging,j+1}$ ，其中 $j>N$ ；

[0064] 所述超级电容充电控制模块302信号连接所述超级电容充电电压计算模块301，并电性连接超级电容400；所述超级电容充电控制模块在第j次顺桨前根据获取的所述充电电压值 $U_{charging,j}$ 控制外部电源向超级电容充电，其中 $j>N$ ；

[0065] 所述超级电容更换判断模块303信号连接所述风机对超级电容能量真实需求计算模块103，根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容400的额定电压 U_{rated} ，计算得到超级电容400能够满足风机顺桨的最小电容量 C_{min} ，根据 C_{min} 判断是否需要更换超级电容400；

[0066] 所述超级电容剩余使用寿命预测模块304信号连接超级电容充电信息收集模块201、超级电容放电信息收集模块202、超级电容温度信息采集模块203、超级电容实际容量计算模块204，用于记录第k次顺桨时超级电容400已投入运行的天数 $DAY_{done,k}$ ，并拟合出 $DAY_{done,k}$ 、 $U_{charging,k}$ 、 $U_{end,k}$ 、 $TEM_{uc,k}$ 与 $C_{real,k}$ 之间的第二关系式，根据所述第二关系式预测第j次顺桨后，超级电容400的剩余使用寿命 $DAY_{repair,j}$ ；其中 $k \in [1, M]$ ，M为设定的自然数， $j>M$ 。

[0067] 本发明还揭示了一种风机变桨系统后备电源的智能控制方法，采用本发明的风机变桨系统后备电源的智能控制系统实现的，如图2所示，包含步骤：

[0068] S1、采集第i次风机顺桨时的平均风速 $V_{avewind,i}$ 、变桨电机500所消耗的能量 $Q_{feather,i}$ ；根据 $V_{avewind,i}$ 与 $Q_{feather,i}$ 拟合得到顺桨时变桨电机500所消耗的能量与风速之间的第一关系式，其中 $i \in [1, N]$ ；根据所述第一关系式得到在最大设计风速下，风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} 。优选的，在切出风速以下的不同风速段进行第一次至第N次风机顺桨，每个风速段至少进行五次风机顺桨。变桨电机电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$ 随时间变化，在本发明的实施例中，优选的，整个顺桨过程中对变桨电机电流 $I_{motor,j}$ 和转速 $n_{motor,j}$ 的采样的步长为20ms。

[0069] 可选的，采用最小二乘平方拟合法来拟合得到所述第一关系式

$$[0070] \quad Q = f(V_{wind}), \quad (2)$$

[0071] 其中Q为顺桨时变桨电机所消耗的能量， V_{wind} 为顺桨时的风速，f表示Q与 V_{wind} 之间的关系。f满足：

$$[0072] \quad \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N [f(V_{avewind,i}, a, b, c) - Q_{feather,i}]^2 = \min, \quad (3)$$

[0073] e_i 为第i次顺桨所需能量的偏差，a、b、c分别为 $f(V_{wind})$ 通过最小二乘法拟合可确定的参数。

[0074] 根据拟合得到的a、b、c，可计算得到最大风速 V_{max_wind} 下，变桨系统顺桨所需的能量，即风机对超级电储能量的容存真实需求值 Q_{real} 。

$$[0075] \quad Q_{real} = f(V_{max_wind}, a, b, c) \quad (4)。$$

[0076] S2、根据第j次顺桨前超级电容400的充电电压值 $U_{charging,j}$ 、第j次顺桨后超级电容

400的放电结束电压值 $U_{end,j}$,第j次顺桨变桨电机500所消耗的能量 $Q_{feather,j}$ 计算得到第j次顺桨后超级电容400的实际电容量 $C_{real,j}$,其中j为自然数;

$$[0077] \quad C_{real,j} = \frac{Q_{feather,j}}{0.5 * (U_{charging,j}^2 - U_{end,j}^2)} \quad (5);$$

[0078] S3、根据所述真实需求值 Q_{real} 、所述 $C_{real,j}$ 、计算生成第j+1次顺桨前超级电容400的充电电压值 $U_{charging,j+1}$;其中 $j > N$,

$$[0079] \quad U_{charging,j+1} = Q_{real} / C_{real,j} \quad (6);$$

[0080] S4、判断是否需要更换超级电容400,预测超级电容400剩余使用寿命;若不需更换超级电容400,在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{charging,j+1}$ 对超级电容400充电;其中 $j > N$ 。

[0081] 步骤S4具体包含:

[0082] S41、根据所述真实需求值 Q_{real} 、超级电容400的额定电压 U_{rated} ,计算得到超级电容400能够满足风机顺桨的最小电容量 C_{min} ,

$$[0083] \quad C_{min} = Q_{real} / U_{rated} \quad (7);$$

[0084] 当第j次顺桨后超级电容400的实际电容量 $C_{real,j}$ 大于 C_{min} 时,不需更换超级电容400,否则需更换超级电容400;其中 $j > N$ 。

[0085] 当同一型号变桨系统,用于不同类型的风机时,因风机对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} 不同,导致超级电容400能够满足风机顺桨的最小电容量 C_{min} 存在差异,因此更换超级电容400的标准不同;即,不再使用固定的超级电容容量衰减比例作为其是否需要更换的标准。

[0086] S42、记录第k次顺桨时超级电容400已投入运行的天数 $DAY_{done,k}$,并根据 $DAY_{done,k}$ 、 $U_{charging,k}$ 、 $U_{end,k}$ 、 $TEM_{uc,k}$ 与 $C_{real,k}$,拟合出超级电容实际容量 C_{real} 、超级电容400投入运行天数 DAY_{done} 、顺桨前超级电容400的充电电压 $U_{charging}$,顺桨后超级电容400的放电结束电压 U_{end} 、超级电容工作温度 TEM_{uc} 之间的第二关系式,其中 $k \in [1, M]$,M为设定的自然数。所述第二关系式为

$$[0087] \quad C_{real} = g(DAY_{done}, U_{charging}, U_{end}, TEM_{uc}) \quad (8);$$

[0088] 在本发明的实施例中,优选的,通过最小二乘平方拟合法得到公式(8),g表示 DAY_{done} 、 $U_{charging}$ 、 U_{end} 、 TEM_{uc} 与 C_{real} 之间的关系,g满足

$$[0089] \quad \sum_{k=1}^M \varepsilon_k^2 = \sum_{i=1}^M [g(DAY_{done,k}, U_{charging,k}, U_{end,k}, TEM_{uc,k}, l, m, n) - C_{real,k}]^2 = \min \quad (9)$$

[0090] ε_i 为第k次顺桨时超级电容容量的计算偏差;l、m、n分别为 $g(DAY_{done}, U_{charging}, U_{end}, TEM_{uc})$ 通过最小二乘法拟合可确定的参数;

[0091] 根据拟合得到的l、m、n,可计算得到第j次顺桨后超级电容400的剩余使用寿命 $DAY_{repaire}$,其中 $j > M$; $DAY_{repaire}$ 满足

$$[0092] \quad g(DAY_{repaire}, U_{charging}, U_{end}, TEM_{uc}, l, m, n) = C_{min} \quad (10)$$

[0093] 根据 $DAY_{repaire}$,可提前规划超级电容400的更换计划、及时的准备超级电容400备件,减少超级电容400的备件贮存成本。

[0094] S43、若不需更换超级电容400,在第j+1次顺桨时以电压值 $U_{charging,j+1}$ 对超级电容充电, $j > N$ 。其中,在确定 Q_{real} 之前,即第一次至第N次顺桨前,对超级电容400的充电电压为

超级电容400的额定电压 U_{rated} , $U_{\text{charging},1}$ 至 $U_{\text{charging},N}$ 均为 U_{rated} 。确定风机对超级电容存储能量的真实需求值 Q_{real} 后, 超级电容400的充电电压随着超级电容400实际容量的变化而变化。因此能够实现延长超级电容400的使用寿命, 提高超级电容400的可靠性。

[0095] 与现有技术相比, 本发明风力发电机组变桨系统的后备电源智能控制系统及方法, 通过利用风机在风场实际运行过程中的数据, 精准地计算顺桨时风机对超级电容存储的能量的真实需求、控制超级电容400的充电电压、预测超级电容400的剩余使用寿命, 使得超级电容400的使用寿命延长、使用可靠性提升、备件贮存成本降低, 为风机的安全运行提供了更经济、可靠的保障。本发明不需要额外的硬件变更, 可随时、随地优化控制新风机或在役风机的变桨系统超级电容400。本发明实施成本低、风险小。

[0096] 以上所述, 仅为本发明的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到各种等效的修改或替换, 这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此, 本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

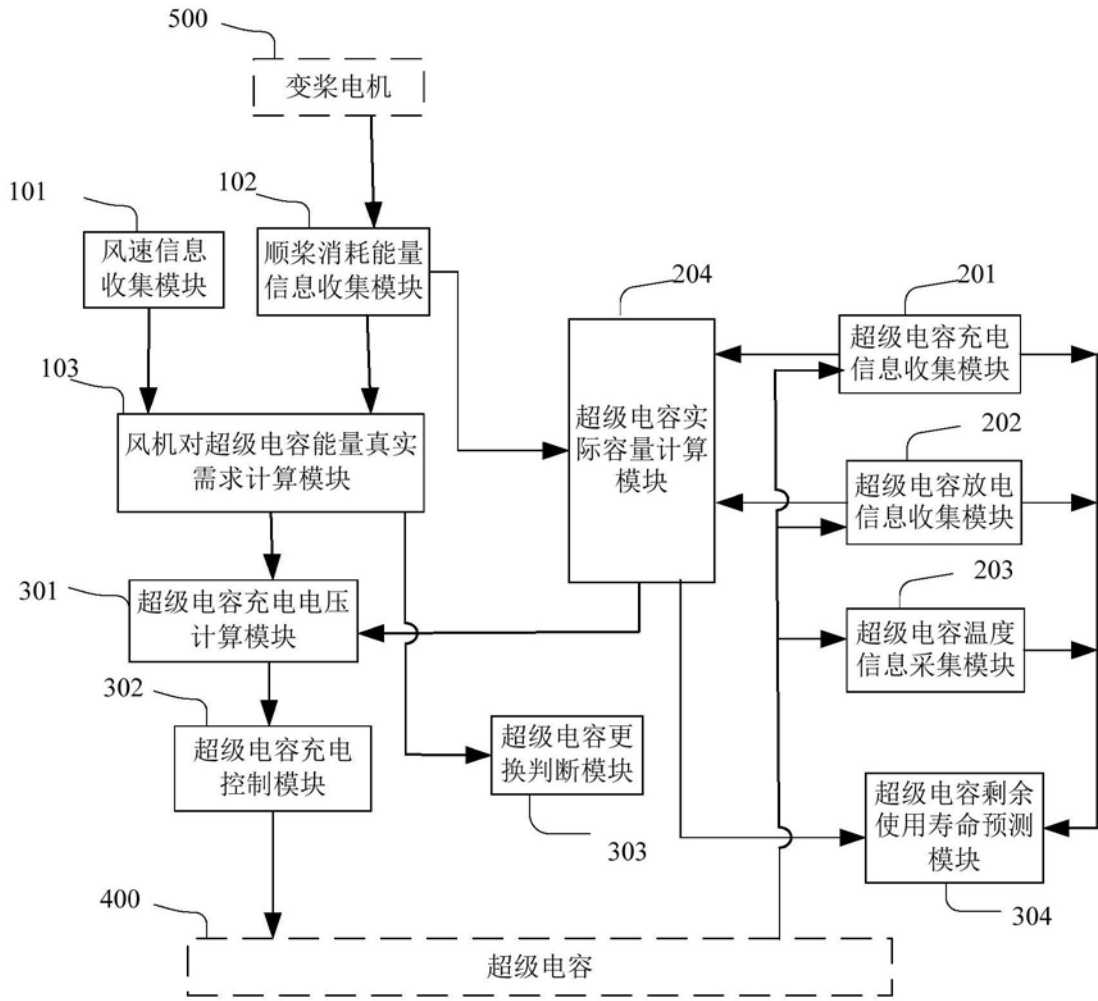


图1

S1、在不同风速段下采集风机顺桨时的平均风速、变桨电机所消耗的能量；拟合得到顺桨时变桨电机所消耗的能量与风速之间的第一关系式，根据第一关系式得到风机顺桨对超级电容存储能量的真实需求值；

S2、根据顺桨前超级电容的充电电压值、顺桨后超级电容的放电结束电压值，顺桨时变桨电机所消耗的能量计算得到顺桨后超级电容的实际电容量；

S3、根据所述真实需求值、所述顺桨后超级电容的实际电容量、计算生成下一次顺桨前超级电容的充电电压值；

S4、判断是否需要更换超级电容，预测超级电容剩余使用寿命；若不需更换超级电容，对超级电容充电；

图2