



IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(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)。

(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

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

提升风电机组频率支撑能力的控制系统

相关申请

本申请要求 2016 年 3 月 1 日申请的，申请号为 201610116411.6，名称为“采用超级电容提升风电机组频率支撑能力的控制系统”的中国专利申请的优先权，在此将其全文引入作为参考。

技术领域

本发明属于风力发电运行控制领域，具体涉及一种提升风电机组频率支撑能力的控制系统。

背景技术

现代风电机组经变流器控制可实现变速恒频运行，这种控制的优点是，在保证与电网同步的前提下，能够根据风机的气动特性通过转速控制实现风能的最大捕获，且功率响应速度快，可见风电机组属非同步电源，其机械转速与电网同步速解耦。这种控制在强电网下可以兼顾风能捕获和发电质量，但在弱电网、微网或以风电、光电等新能源为主导的系统中存在较大问题，主要体现在减小了系统的总惯量，不利于频率的稳定。

目前，使风电具备惯量支撑和频率响应能力主要从两个方面进行技术改造，一方面是在风电机组原有的功率控制上增加辅助控制回路，该回路用于检测系统频率变化率，并经过滤波和整形后作为转矩增量叠加到原有的转矩指令上，通过该辅助控制可以提取风电机组自身的机械惯量，同时，增加频率变化量的检测回路，并根据设定的下垂曲线可使风电机组具有频率响应的能力，但其前提是风电机组具有一定的有功备用，实现的方法主要是通过变速-变桨结合的方式让风电机组运行于降功率状态。

现有技术的不足主要表现在：

a) 惯量提取方面：风电机组在惯量提取过程中会导致转速下降，转速下降进一步导致气动功率的下降，如果控制不当，会导致机组失速，除此之外，过渡提取转速还会导致系统频率在恢复过程中产生二次跌落的现象，无疑增加了控制器设计的难度。

b) 频率响应方面：风电机组参与频率响应首先要工作于降功率状态，无疑降低了发电量，其经济可行性需要进一步讨论，除此之外，由于风速实时在波动，保证恒定的有功备用就要频繁的变桨和变速，增加了风机载荷，对风机的稳定运行和使用寿命都有影响。

发明内容

有鉴于此，需要提供一种能够提升风电机组频率支撑能力的控制系统。

一种提升风电机组频率支撑能力的控制系统，包括风轮、齿轮箱、发电机及变流器，还包括超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括直流母线，所述超级电容器通过该 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接。

本申请采用超级电容器提升风电机组频率支撑能力，能够有效的解决并网型双馈风电机组小惯量无频率支撑的问题。本申请的控制系统可用于提升双馈风电机组的故障运行能力，具备惯量支撑和频率响应的能力，具有较好的技术、经济可行性；在此基础上，不改变风电机组原有控制策略，相比现有技术，避免了导致风机失速、频率二次跌落、疲劳载荷等问题，该超级电容器储能系统可根据风电机组运行状态进行有序充、放电，维持自身运行条件，具有较好的可靠性。

附图说明

图 1 是本发明实施例双馈风电机组的主电路系统的结构示意图；

图 2 是图 1 中超级电容器储能装置的结构示意图；

图 3 是图 1 中的超级电容器的控制过程图；

图 4 是图 1 中的超级电容器的控制框图；

图 5 是图 1 中的超级电容器的支撑控制示意图；

图 6 是图 1 中的超级电容器的下垂控制曲线图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

请参阅图 1，本发明实施例提供一种提升风电机组频率支撑能力的控制系统，包括双馈风电机组，该双馈风电机组包括发电机 5、变流器 7 以及超级电容器储能装置 2。

所述双馈风电机组还可包括风轮 3 和齿轮箱 4。该风轮 3 通过齿轮箱 4 带动发电机 5 工作，从而使风能转换为电能。

所述双馈风电机组还可包括所述变压器 6，所述双馈风电机组通过变压器 6 接入电网 8。

所述双馈风电机组还可包括 crowbar 保护电路 1，所述 crowbar 保护电路 1 与所述转子连接，当所述变流器 7 的电压超过设定阈值时，所述 crowbar 保护电路 1 导通，旁路所述转子上的电流。该变压器 6（例如，箱变）可以为升压变压器，在一实施例中，该变压器 6 为额定容量 3MVA 的 0.69/35kV 升压变压器。

所述发电机 5 可以为双馈感应发电机, 包括定子和转子, 所述定子通过变压器 6 接入电网 8, 所述转子通过变流器 7 接入电网 8。

请一并参阅图 2, 所述超级电容器储能装置 2 的两端分别与变流器 7 的两条直流母线电连接。所述变流器 7 可进一步包括通过两条直流母线电连接的转子侧变流器 72 和网侧变流器 74, 以及两端分别与两条直流母线电连接的电容 76。该超级电容器储能装置 2 与该电容 76 并联。

该超级电容器储能装置 2 包括 DC-DC 变换器 24 和超级电容器 22。该超级电容器 22 加装在所述变流器 7 的直流母线上, 该超级电容器 22 通过 DC-DC 变换器 24 与变流器 7 的直流母线电连接, 具体是通过该 DC-DC 变换器 24 接入变流器 7 的两条直流母线。图 2 中超级电容器 22 的等效电路包括相互串联的等效电容 C_{sc} 和等效电阻 R_{res} 。超级电容器 22 额定电压优选在 450V~960V, 功率和容量在理论上没上限, 在一实施例中, 超级电容电压 E_{sc} 的容量为 4F, 功率为 350kW, 额定电压为 800V。

该 DC-DC 变换器 24 优选为 buck-boost 双向变换器, 由第一全控型开关 S1、第二全控开关 S2 以及升压电感 L 构成。电能从直流母线的电容器 76 转移到超级电容器 22 时对超级电容器充电, DC-DC 变换器 24 工作在 buck 模式。电能从超级电容器 22 转移到直流母线电容 76 时超级电容器 22 放电, DC-DC 变换器 24 工作在 boost 模式。通过调节所述 DC-DC 变换器中开关的占空比, 具体是全控开关 S1 和/或 S2 的占空比, 可以实现超级电容器 22 电压的调节, 该占空比可以在 0~1 之间变化。DC-DC 变换器 24 的电压高于超级电容器 22 的电压。

在一实施例中, 该升压电感 L 的第一端与第一全控开关 S1 串联, 并通过该第一全控开关 S1 连接至该变流器 7 的第一直流母线, 该升压电感 L 的第二端与该超级电容器 22 第一电极电连接。该超级电容器 22 的第二电极与该变流器 7 的第二直流母线电连接。该第二全控开关 S2 连接在该升压电感 L 的第一端与该超级电容器的第二电极之间。该第二全控开关 S2 与该超级电容器 22 均与该直流母线的电容器 76 并联。

该第一全控开关 S1 包括并联的第一晶体管和第一二极管。该第一晶体管的漏极与第一二极管的阳极连接, 并连接至该电感 L 的第一端。该第一晶体管的源极与该第一二极管的阴极连接, 并连接至变流器 7 的一条直流母线。该第二全控开关 S2 包括并联的第二晶体管和第二二极管。该第二晶体管的源极与第二二极管的阴极连接, 并连接至该电感 L 的第一端。该第二晶体管的漏极与第二二极管的阳极连接, 并与该超级电容器 22 的第二电极电连接。

请参阅图 3 及图 4, 该提升风电机组频率支撑能力的控制系统还包括控制器 23、电压监测模块 24、电压控制模块 25。该电压监测模块 24 能够对超级电容器 22 电压进行检测, 该控制器 23 判断超级电容器 22 的电压是否在允许工作范围内; 当该控制器 23 判断超级电容器 22 的电压在允许工作范围内, 即第一判断结果为“是”时, 该电压控制模块 25 根据电网电

压的频率变化率和频率变化量,调节该超级电容器 22 的电压以满足频率支撑控制;当控制器 23 判断超级电容器 22 的电压不满足允许工作范围内时,即第一判断结果为“否”时,该电压控制模块 25 将该超级电容器 22 自身电压调整至满足允许工作范围内。该电压控制模块 25 具体是通过控制所述 DC-DC 变换器 24 中全控开关的占空比对超级电容器 22 的电压进行调节。

所述超级电容器 22 允许工作的电压范围可以根据需要设置,在一实施例中为 450V~960V。当超级电容器 22 的电压处于该允许工作的电压范围,该第一判断结果为“是”,否则为“否”。

在一实施例中,该控制器 23 能够产生代表所述判断结果的使能信号,例如当判断结果为“否”时将使能信号设置为“0”,当判断结果为“是”时将使能信号设置为“1”。该电压控制模块 25 能够接收该使能信号,并根据该使能信号进行响应,在频率支撑控制模式和超级电容器能量管理控制模式之间切换,例如当该使能信号设置为“0”时该电压控制模块 25 切换至频率支撑控制模式,当该使能信号设置为“1”时该电压控制模块 25 切换至超级电容器能量管理控制模式。

所述电压控制模块 24 可以通过控制 DC-DC 变换器 24 的第一全控开关 S1 和第二全控开关 S2 的占空比(d1/d2)调节超级电容器 22 的电压,实现频率支撑控制和超级电容器能量管理控制。在一实施例中,当 DC-DC 变换器 24 工作在 boost 模式时,通过调节第二全控开关 S2 的占空比 d2 调节超级电容器的电压和电流,当 DC-DC 变换器 24 工作在 buck 模式时,通过调节第一全控开关 S1 的占空比 d1 调节超级电容器的电压和电流,并且 d1 与 d2 均相互闭锁,即 $d1=1-d2$ 。d1 和 d2 在 0~1 内变化。

所述超级电容器能量管理控制能够实现超级电容器自身的电压控制调节,保证超级电容器处于额定工作状态。所述频率支撑控制可包括惯量控制和下垂控制,惯量控制用于提高暂态频率支撑,下垂控制用于参与电网频率一次调节,辅助电网频率恢复。

请参阅图 5,该电压控制模块 24 能够根据电网频率 f 进行频率响应和惯量响应,通过下垂控制获得频率响应电压输出 E_{sc}^D ,并通过惯量控制得到惯量响应电压输出 E_{sc}^I ,然后得到超级电容器 22 电压增量控制信号 $\Delta E_{sc}=E_{sc}^D + E_{sc}^I$ 。其中,频率响应是指系统输出功率响应电网频率的变化量 Δf ,惯量响应是指系统输出功率响应电网频率的变化率 $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ 。

该电网频率的变化量 Δf 可通过将电网的系统频率 f 经过隔直环节获得,该隔直环节的时间常数为 τ ,隔直环节能够滤除频率信号 f 中的低频直流分量,使惯量响应控制仅在频率变化较大或暂态时工作,当频率变化率较小或将进入稳态时,频率信号经过隔直环节后输出为零,惯量响应控制自然断开。

该惯量响应电压输出 $E_{sc}^I = 2H \frac{df}{dt}$,其中 H 为风电机组惯性时间常数。

该频率响应电压输出 E_{sc}^D 通过频率 f -超级电容器电压 E_{sc} 下垂曲线获得,该下垂曲线可包

括两段一次函数曲线,在高频和低频具有不同的斜率,下垂曲线的两个端点分别为 (f_l, E_{sc}^{low}) 和 (f_u, E_{sc}^{up}) ,其中 E_{sc}^{low} 为设定电压下限值, E_{sc}^{up} 为设定电压上限值, f_l 为电网频率变化的下限值, f_u 为电网频率变化的上限值。该超级电容器 22 允许工作的电压范围与 E_{sc}^{low} 及 E_{sc}^{up} 可以相同或不同,该 E_{sc}^{low} 及 E_{sc}^{up} 可以位于该超级电容器 22 允许工作的电压范围内。两段一次函数曲线具有共同点 (f^*, E_{sc}^*) ,即当 $f^*=1\text{p.u.}$ (per unit)时, $E_{sc}^*=1\text{p.u.}$,或者当电网频率变化为 0 时,超级电容器 22 的电压为额定电压。根据该下垂曲线及电网频率的变化量 Δf ,可以得到频率响应电压输出 E_{sc}^D 。这种下垂曲线制定方法,采用超级电容电压作为输出量,所以很容易保证超级电容电压稳定。

超级电容器的额定电压 E_{sc}^* 、 E_{sc}^{low} 及 E_{sc}^{up} 满足功率平衡式: $\frac{(E_{sc}^*)^2 - (E_{sc}^{low})^2}{2} = \frac{(E_{sc}^{up})^2 - (E_{sc}^*)^2}{2}$,可根据该功率平衡式任选 E_{sc}^{low} 或 E_{sc}^{up} 一个变量计算另一个变量,得到超级电容器允许的工作电压上下限值。频率的变化量由电网频率决定,可根据实际需要确定 f_l 和 f_u 。

图 6 为一个实施例所制定的下垂控制曲线,该下垂曲线并没设置死区,原因是利用超级电容器调节功率不涉及机械部件频繁动作磨损,认为系统频率变化 $\pm 0.2\text{Hz}$,超级电容器电压变化达到上下极限,可以看出,下垂控制曲线在高频和低频的斜率是变化的,这是为了保证超级电容器充电、放电能力一致。在图 6 的实施例中,使 $E_{sc}^{low}=0.613\text{p.u.}$,代入功率平衡式,即可求得 $E_{sc}^{up}=1.28\text{p.u.}$ 。频率的变化量由电网频率决定,一般为 $\pm 0.2\text{Hz}$,在 50Hz 系统下,为 $\pm 0.004\text{p.u.}$,因此,图 6 频率的上下限值为 $f_l=0.996, f_u=1.004$ 。

该增量电压信号 ΔE_{sc} 叠加到超级电容器额定工作电压 E_{sc}^* 上,形成新的指令信号 $E_{sc}^* + \Delta E_{sc}$,通过控制 DC-DC 变换器 24 的第一全控开关 S1 和第二全控开关 S2 的占空比 d1/d2,可以将超级电容器的电压调整至 $E_{sc}^* + \Delta E_{sc}$ 。具体为,当 $\Delta E_{sc} \leq 0$ 时,意味着超级电容器要增加(发出)输出功率,调整占空比 d1/d2(例如通过控制开关 S2 的占空比 $d2 > 0.5$, $d1+d2=1$),使 DC-DC 变换器 24 在 boost 模式工作,即超级电容器放电而使电压降低;反之,如果 $\Delta E_{sc} > 0$,意味着超级电容器要减小(吸收)输出功率,此时调整占空比 d1/d2(例如通过控制开关 S1 的占空比 $d1 > 0.5$, $d1+d2=1$),使 DC-DC 变换器 24 以 buck 模式工作,即超级电容器充电而使电压升高,从而实现惯量和频率的响应,最终实现指令响应。

注意到频率和惯量控制均采用超级电容器 22 电压增量输出,而没有采用更为直观的功率输出是出于超级电容器 22 电压限制的考虑,这种设计更为简洁也便于耦合到超级电容器 22 控制回路上。

超级电容器 22 注入/吸收的功率是通过网侧变流器 74 实现的,当系统频率升高,超级电容器 22 通过 DC-DC 变换器 24 在 buck 模式工作,吸收一部分转子变流器 72 的输出功率,从而减小风电机组总的入网功率;当系统频率降低时,超级电容器 22 通过 DC-DC 变换器 24

在 boost 模式工作, 通过网侧变流器 74 注入有功功率, 从而增大风电机组总入网功率。由于超级电容器 22 实现暂态频率支撑控制需要经过网侧变流器 74 才能注入电网, 因此, 在风机额定出力下, 理论上超级电容器 22 不能再注入功率, 但实际变流器都有一定的长期过载能力, 所以在实现此功能时不考虑网侧变流器 74 容量限制。

另外, 该提升风电机组频率支撑能力的控制系统还可以包括风速监测模块 26, 当所述控制器 23 第一判断结果为“否”时, 所述控制器 23 进一步判断当前风速是否满足要求; 当该控制器 23 判断当前风速满足要求时, 即第二判断结果为“是”时, 该电压控制模块 24 对该超级电容器自身电压进行调节; 当该控制器 23 判断当前风速不满足要求时, 即第二判断结果为“否”时, 该电压控制模块 24 不对该超级电容器自身电压进行调节, 该控制器 23 继续判断当前风速是否满足要求; 直至当前风速时, 该电压控制模块 24 才对该超级电容器自身电压进行调节。

在一实施例中, 该风速监测模块 26 直接对风电机组风轮 3 附近的风速进行监测, 可设置相对较高的第一风速, 代表当前为大风状态, 并设置一相对较低的第二风速, 代表当前为小风状态。在另一实施例中, 该风速监测模块 26 通过检测风电机组功率, 间接判断风速大小, 可设置相对较高的第一风电机组功率, 代表当前为大风状态, 并设置一相对较低的第二风电机组功率, 代表当前为小风状态。当所述控制器 23 判断超级电容电压低于所述允许工作电压范围的下限时, 所述控制器 23 进一步判断当前风速是否满足大风状态; 当满足所述大风状态时, 该电压控制模块 24 通过控制开关 S1/S2 占空比, 将 DC-DC 变换器 24 切换至 buck 模式, 对该超级电容器 22 进行充电。当所述控制器 23 判断超级电容电压高于所述允许工作电压范围的上限时, 所述控制器 23 进一步判断当前风速是否满足小风状态; 当满足所述小风状态时, 该电压控制模块 24 通过控制开关 S1/S2 占空比, 将 DC-DC 变换器 24 切换至 boost 模式, 对该超级电容器 22 进行放电。

使能信号是开启超级电容器能量管理控制模式的信号, 超级电容器在参与惯量控制(对 f 变化率)和下垂控制(对偏差量)后其荷电状态发生变化, 需要卸放或补充能量从而保证超级电容器电压在工作电压范围内, 当超级电容器电压低于工作电压时, 检测风电机组功率状态, 优先在大风状态(限功率状态)时进行充电; 当超级电容器电压高于工作电压时, 优先在小风状态进行放电。

本发明实施例还提供一种提升风电机组频率支撑能力的控制方法, 包括:

循环检测超级电容器 22 的电压;

判断超级电容器 22 的电压是否在允许工作范围内;

当超级电容器 22 的电压在允许工作范围内时, 根据电网电压的频率变化率和频率变化量, 调节该超级电容器 22 的电压以满足频率支撑控制;

当超级电容器 22 的电压不在允许工作范围内时,进一步循环检测当前风速是否满足要求;

当超级电容器 22 的电压不在允许工作范围内且风速不满足要求时,不对超级电容器 22 的电压进行调节;以及

当超级电容器 22 的电压在允许工作范围内且风速满足要求时,进行超级电容器能量管理控制,使该超级电容器 22 的电压调整至允许工作范围内。

所述调节该超级电容器 22 的电压以满足频率支撑控制包括通过控制 DC-DC 变换器 24 的开关的占空比,使 DC-DC 变换器 24 在 boost 模式和 buck 模式之间切换,调整超级电容器 22 的电压至 $E_{sc}^* + \Delta E_{sc}$ 。

所述使该超级电容器 22 的电压调整至允许工作电压范围内包括:

当超级电容电压低于所述允许工作电压范围的下限时,判断当前风速是否满足大风状态;

当满足所述大风状态时,将 DC-DC 变换器 24 切换至 buck 模式,对该超级电容器 22 进行充电;

当超级电容电压高于所述允许工作电压范围的上限时,判断当前风速是否满足小风状态;以及

当满足所述小风状态时,将 DC-DC 变换器 24 切换至 boost 模式,对该超级电容器 22 进行放电。

本发明提供了一种采用超级电容提升风电机组频率支撑能力的控制系统和控制方法,可用于提升双馈风电机组的故障运行能力,具备惯量支撑和频率响应的能力,具有较好的技术、经济可行性;在此基础上,不改变风电机组原有控制策略,相比现有技术,不会导致风机失速、频率二次跌落、疲劳载荷等问题,超级电容储能系统可根据风电机组运行状态进行有序充、放电,维持自身运行条件,具有较好的可靠性。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求

1、一种提升风电机组频率支撑能力的控制系统，包括风轮、齿轮箱、发电机及变流器，其特征在于，还包括超级电容器储能装置，所述超级电容器储能装置包括 DC-DC 变换器和超级电容器，所述变流器包括直流母线，所述超级电容器通过该 DC-DC 变换器与所述直流母线电连接。

2、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，所述 DC-DC 变换器为 buck-boost 双向变换器，电能从所述直流母线输入所述超级电容器时，所述 DC-DC 变流器工作在 buck 模式，电能从所述超级电容器输入所述直流母线时，所述 DC-DC 变流器工作在 boost 模式，所述超级电容器的电压通过控制所述 DC-DC 变换器中开关的占空比调节。

3、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，所述直流母线包括第一直流母线和第二直流母线，所述 DC-DC 变换器包括电感、第一全控开关和第二全控开关，所述电感的第一端与所述第一全控开关串联，并通过所述第一全控开关连接至所述第一直流母线，所述电感的第二端与所述超级电容器的第一电极电连接，所述超级电容器的第二电极与所述第二直流母线电连接，所述第二全控开关电连接在所述电感的第一端与所述超级电容器的第二电极之间。

4、根据权利要求 3 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，所述第一全控开关包括并联的第一晶体管和第一二极管，所述第一晶体管的漏极与第一二极管的阳极连接，并连接至所述电感的第一端，所述第一晶体管的源极与该第一二极管的阴极连接，并连接至所述第一直流母线；所述第二全控开关包括并联的第二晶体管和第二二极管，所述第二晶体管的源极与所述第二二极管的阴极连接，并连接至所述电感的第一端，所述第二晶体管的漏极与所述第二二极管的阳极连接，并与所述超级电容器的第二电极电连接。

5、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，进一步包括：

电压监测模块，该电压监测模块能够对超级电容器电压进行检测；

控制器，该控制器能够判断超级电容器的电压是否在允许工作范围内；以及

电压控制模块，当超级电容器的电压在允许工作范围内，该电压控制模块能够根据电网电压的频率变化率和频率变化量，调节该超级电容器的电压以进行频率支撑控制；当超级电容器的电压不满足允许工作范围内时，该电压控制模块能够将该超级电容器自身电压调整至允许工作范围内。

6、根据权利要求 5 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，所述电压控制模块进行频率支撑控制为通过 DC-DC 变换器将所述超级电容器的电压调整至

$E_{sc}^* + \Delta E_{sc}$, 其中 E_{sc}^* 为超级电容器额定工作电压, ΔE_{sc} 为增量电压, ΔE_{sc} 等于惯量响应电压输出与频率响应电压输出之和。

7、根据权利要求 6 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 该惯量响应电压输出满足 $E_{sc}^l = 2H \frac{df}{dt}$ 。

8、根据权利要求 6 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 该频率响应电压输出 E_{sc}^D 通过频率 f -超级电容器电压 E_{sc} 下垂曲线获得, 该下垂曲线的两个端点分别为 (f_l, E_{sc}^{low}) 和 (f_u, E_{sc}^{up}) , 其中 f_l 为电网频率变化的下限值, f_u 为电网频率变化的上限值。

9、根据权利要求 5 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 当所述超级电容器的电压不满足允许工作范围内时, 所述控制器进一步判断当前风速是否满足要求; 当该控制器判断当前风速满足要求时, 该电压控制模块对该超级电容器自身电压进行调节; 当该控制器判断当前风速不满足要求时, 该电压控制模块不对该超级电容器自身电压进行调节。

10、根据权利要求 5 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 当所述控制器判断超级电容电压低于所述电压范围的下限时, 所述控制器进一步判断当前风速是否满足大风状态; 当满足所述大风状态时, 该电压控制模块对该超级电容器进行充电; 当所述控制器判断超级电容电压高于所述电压范围的上限时, 所述控制器进一步判断当前风速是否满足小风状态; 当满足所述小风状态时, 该电压控制模块对该超级电容器进行放电。

11、根据权利要求 10 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 所述控制器根据风电机组功率, 判断当前风速是否满足大风状态和小风状态。

12、根据权利要求 8 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 能够实现以下控制:

检测超级电容器自身电压, 判断超级电容器自身电压是否在允许工作范围内, 得到第一判断结果;

当所述第一判断结果为“是”, 则使能信号设置为“0”, 并检测电网电压的频率变化率 and 变化量, 作为频率支撑控制的输入信号;

当所述第一判断结果为“否”, 则使能信号设置“1”, 并进一步检测风速是否满足要求, 得到第二判断结果; 以及

当所述第二判断结果为“是”, 开启超级电容器能量管理控制, 使超级电容器自身电压调整至允许工作范围内。

13、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统, 其特征在于, 当系统频率升高时, 超级电容器分流转子变流器输出功率, 减小风电机组总入网功率; 当系统频率降低时, 超级电容器通过网侧变流器注入有功功率, 增大风电机组总入网功率。

14、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，进一步包括 crowbar 保护电路，所述 crowbar 保护电路与所述发电机的转子连接。

15、根据权利要求 1 所述的提升风电机组频率支撑能力的控制系统，其特征在于，进一步包括变压器，所述发电机通过所述变压器接入电网。

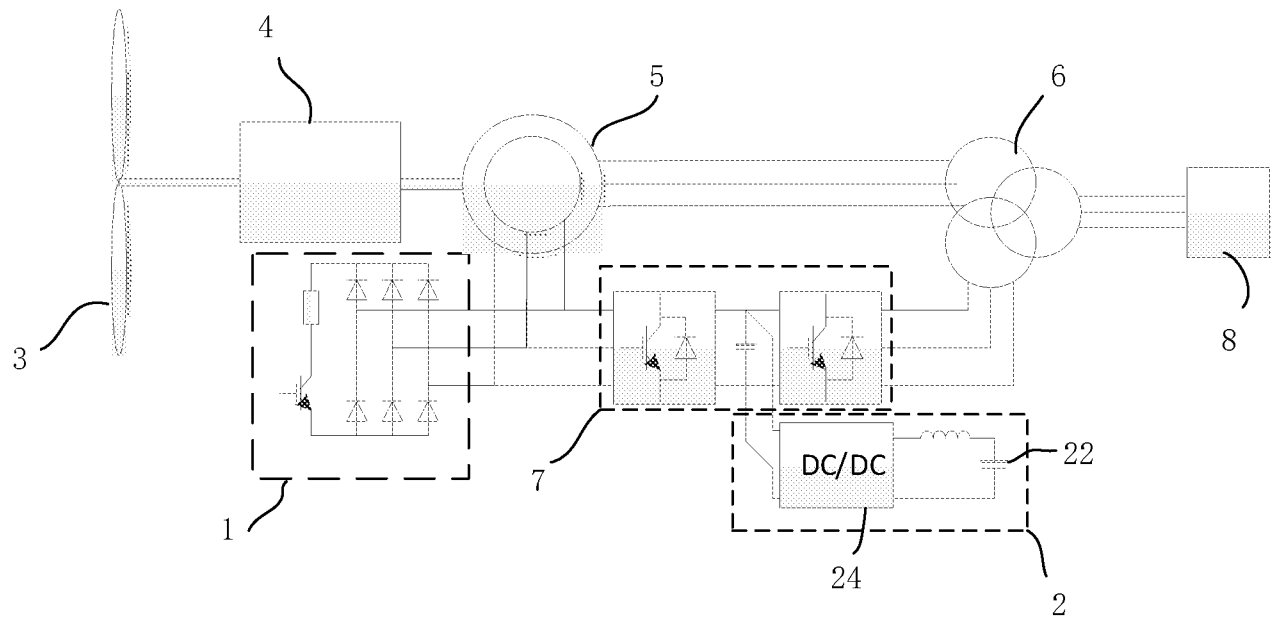


图 1

2/6

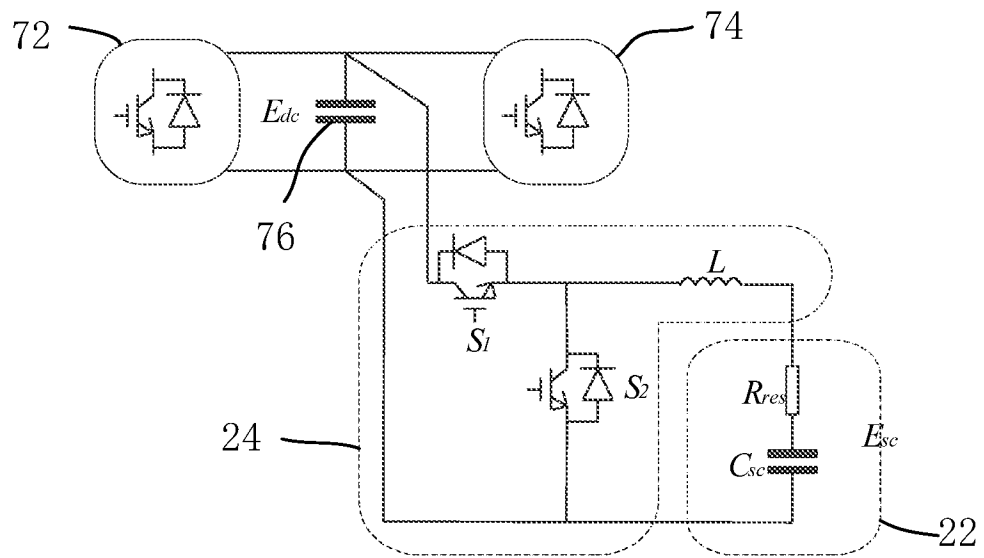


图 2

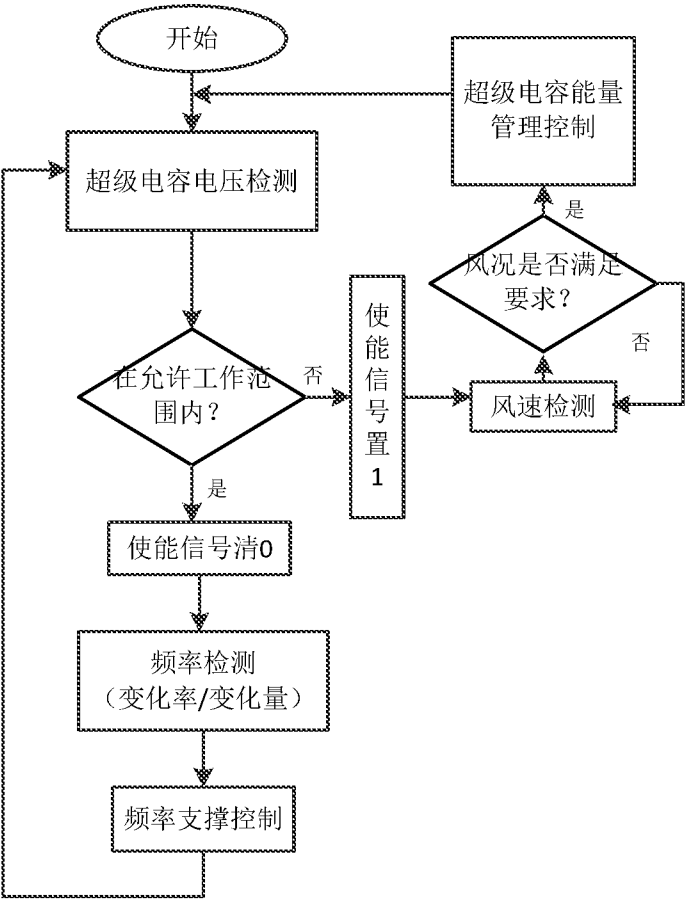


图 3

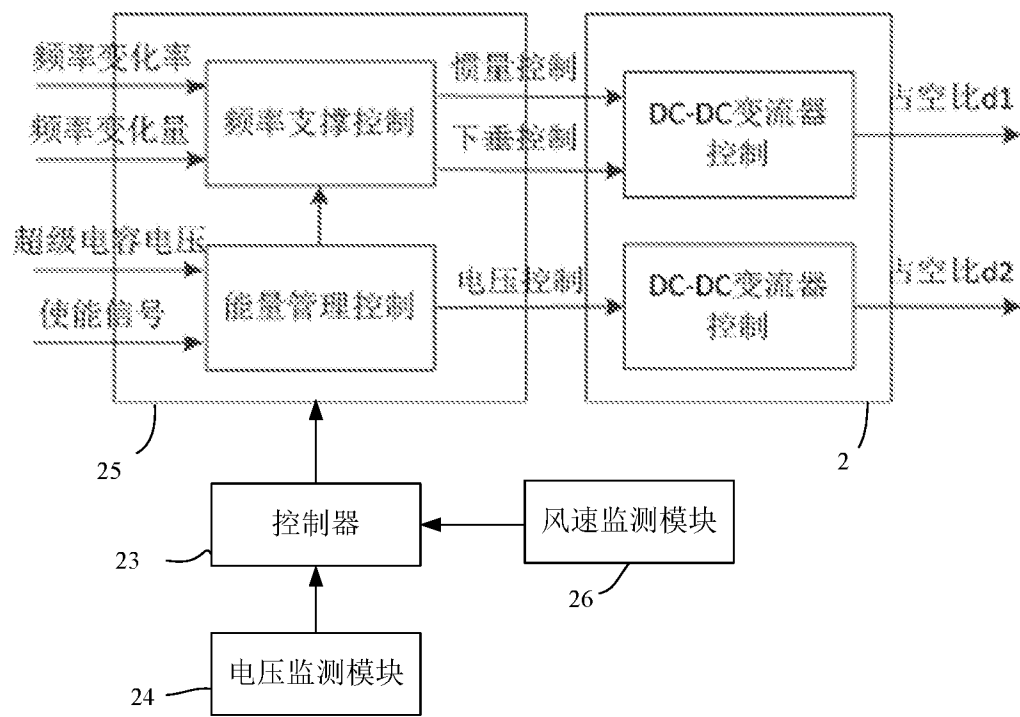


图 4

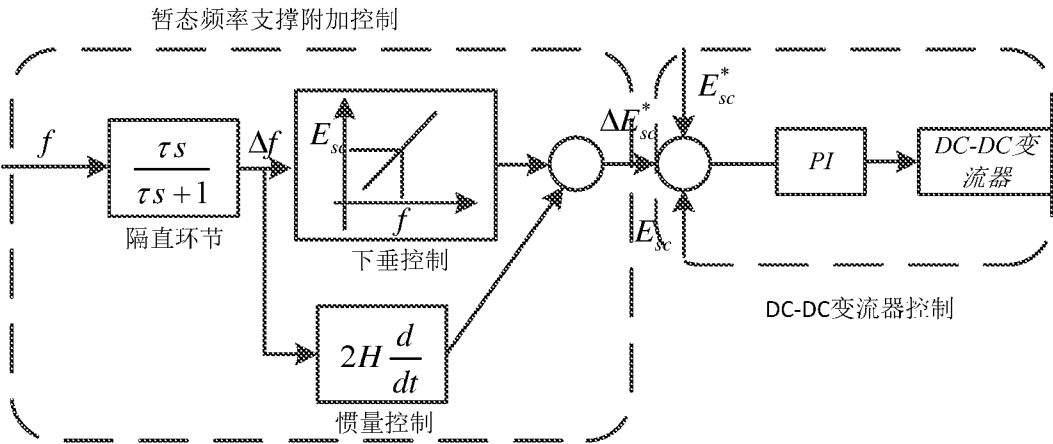


图 5

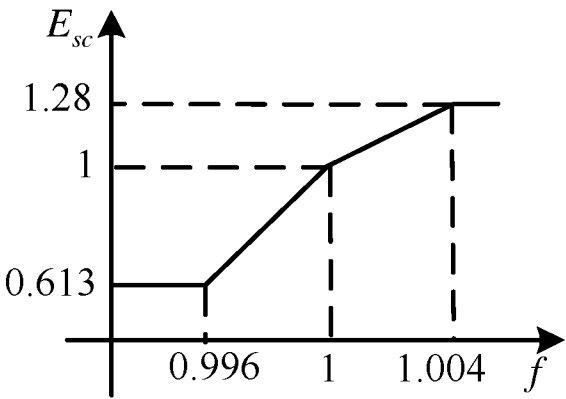


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/073109

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/24 (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)

H02J

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)

CNABS, CNTXT, CNKI, DWPI: wind electricity, wind power generation, air blower, ESS, stored energy, super-capacitor, wind, generat+, energy, stor+, super, ultra, capacitor, frequency, support, stable, stabiliz+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 105633983 A (STATE GRID GANSU ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 01 June 2016 (01.06.2016) description, paragraphs [0027]-[0036], and figures 1-6	1-15
Y	CN 102780229 A (CNR WIND TURBINE CO., LTD.) 14 November 2012 (14.11.2012) description, paragraphs [0032]-[0042], and figure 1	1-4, 13-15
Y	CN 103907259 A (GE ENERGY POWER CONVERSION TECHNOLOGY LTD.) 02 July 2014 (02.07.2014) description, paragraphs [0062]-[0085], and figures 1-3	1-4, 13-15
A	CN 103078339 A (WUHAN UNIVERSITY) 01 May 2013 (01.05.2013) the whole document	1-15
A	CN 101871433 A (HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY) 27 October 2010 (27.10.2010) the whole document	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 13 March 2017	Date of mailing of the international search report 24 March 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Zhe Telephone No. (86-10) 62087667

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2017/073109

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101621204 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 06 January 2010 (06.01.2010) the whole document	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/073109

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105633983 A	01 June 2016	None	
CN 102780229 A	14 November 2012	CN 102780229 B	14 January 2015
CN 103907259 A	02 July 2014	WO 2013041443 A3	31 October 2013
		WO 2013041443 A2	28 March 2013
		US 2015001931 A1	01 January 2015
		EP 2573896 A1	27 March 2013
		CA 2848807 A1	28 March 2013
		IN 201402105 P4	29 May 2015
CN 103078339 A	01 May 2013	CN 103078339 B	18 February 2015
CN 101871433 A	27 October 2010	CN 101871433 B	11 July 2012
CN 101621204 A	06 January 2010	CN 101621204 B	11 May 2011

A. 主题的分类 H02J 3/24(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) H02J 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS, CNTXT, CNKI, DWPI: 风电, 风力发电, 风机, ESS, 储能, 超级电容, 频率, 支撑, 支持, 稳定; wind, generat+, energy, stor+, super, ultra, capacitor, frequency, support, stable, stabiliz+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 105633983 A (国网甘肃省电力公司 等) 2016年 6月 1日 (2016 - 06 - 01) 说明书第[0027]-[0036]段, 图1-6	1-15
Y	CN 102780229 A (北车风电有限公司) 2012年 11月 14日 (2012 - 11 - 14) 说明书第[0032]-[0042]段, 图1	1-4, 13-15
Y	CN 103907259 A (通用电气能源能量变换技术有限公司) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第[0062]-[0085]段, 图1-3	1-4, 13-15
A	CN 103078339 A (武汉大学) 2013年 5月 1日 (2013 - 05 - 01) 全文	1-15
A	CN 101871433 A (哈尔滨工程大学) 2010年 10月 27日 (2010 - 10 - 27) 全文	1-15
A	CN 101621204 A (清华大学 等) 2010年 1月 6日 (2010 - 01 - 06) 全文	1-15
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2017年 3月 13日		2017年 3月 24日
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		王喆 电话号码 (86-10)62087667

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/073109

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105633983	A	2016年 6月 1日	无	
CN	102780229	A	2012年 11月 14日	CN	102780229 B 2015年 1月 14日
CN	103907259	A	2014年 7月 2日	WO	2013041443 A3 2013年 10月 31日
				WO	2013041443 A2 2013年 3月 28日
				US	2015001931 A1 2015年 1月 1日
				EP	2573896 A1 2013年 3月 27日
				CA	2848807 A1 2013年 3月 28日
				IN	201402105 P4 2015年 5月 29日
CN	103078339	A	2013年 5月 1日	CN	103078339 B 2015年 2月 18日
CN	101871433	A	2010年 10月 27日	CN	101871433 B 2012年 7月 11日
CN	101621204	A	2010年 1月 6日	CN	101621204 B 2011年 5月 11日