

基于超级电容的变桨系统后备电源设计

鲁斌,田炜,刘剑,潘晨
(国网电力科学研究院,江苏南京 210003)

摘要:简要介绍了变桨系统后备电源工作原理,结合超级电容具有耐低温、长寿命的优点,设计了一种基于超级电容的变桨系统后备电源,并对该后备电源进行各项功能测试。测试结果表明,该后备电源可满足变桨系统后备电源充电、放电和紧急顺桨功能要求。

关键词:超级电容;铅酸电池;变桨系统;后备电源

中图分类号:TM614

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)05-0046-03

随着风力机大型化的发展,风力发电技术取得很大的进步,其中变桨距控制是国际主流风力机组的关键技术之一。变桨距系统作为大型风电机组的核心部分之一,对机组安全、稳定、高效的运行有十分重要的作用^[1,2]。电动变桨距系统以伺服电机驱动齿轮系实现变桨距调节功能,可使3个叶片独立实现变桨距^[3]。基于变桨系统对风机安全运行的重要性,变桨系统通常都配有后备电源,当电网供电中断时,变桨系统可自动切换到后备电源供电,并顺桨停机,确保风机的安全运行。目前变桨系统厂家通常采用铅酸蓄电池作为后备电源,铅酸蓄电池技术成熟,但其低温性能较差,使用寿命较短,充电速度慢,完全充满一般需要7~9 h。超级电容又称为双层电容,拥有非常长的使用寿命^[4],是20世纪70、80年代发展起来的介于电池和传统电容器之间的新型储能器件,具有法拉级的超大电容量,比同体积的电解电容器容量大2 000~6 000倍,功率密度比电池高10~100倍,可以大电流充放电,充放电效率高^[5]。相比铅酸蓄电池,超级电容具有低温性能好、充电时间短、使用寿命长等优点,正常工作温度可低至-40℃。相近容量下,超级电容充放电时间通常只需几分钟到十几分钟,且使用循环寿命可达到10万次以上。采用超级电容作为变桨系统后备电源,可充分发挥超级电容的耐低温和长寿命特性,在风机使用寿命内,可显著降低变桨系统维护成本,提高风机经济效益。文中设计了一种基于超级电容的变桨系统后备电源,并进行了性能测试。

1 变桨系统后备电源工作原理

变桨系统后备电源工作原理如图1所示。正常运行时,变桨系统以电网供电作为动力电源,变桨控制器从风机主控系统获取角度、速度等控制指令,并发出控制指令给伺服驱动器。伺服驱动器收到控制指令后驱动变桨电机,并将桨叶角度、变桨速度等信号实

时反馈给控制器,实现高精度实时变桨。

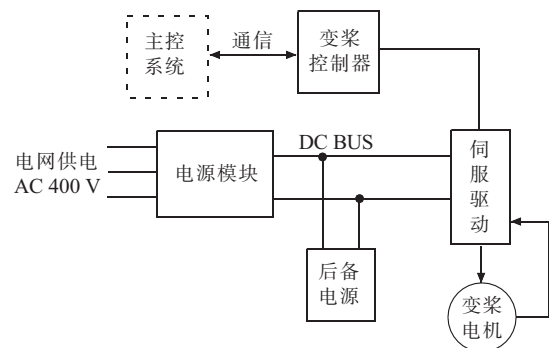


图1 变桨系统后备电源工作原理

当变桨系统电网供电因故中断时(如供电回路连接松动),变桨系统自动切换至后备电源供电,同时启动紧急顺桨,将桨叶关至安全位置,并将变桨系统电网供电中断故障反馈给主控系统,主控系统根据故障反馈采取相应安全措施,确保风电机组安全可靠运行。

2 后备电源设计

采用超级电容作为变桨系统后备电源,要综合考虑超级电容容量、工作温度、放电电压范围等参数特性,确保后备电源的可用性与可靠性。

2.1 超级电容参数选取

以某型号的2 MW电动变桨系统为例,以超级电容作为其后备电源,则超级电容需满足该变桨系统对后备电源参数要求,详见表1。此外,依据NBT 31018—2011^[6],电容组的容量应满足桨叶在规定载荷情况下完成1次以上顺桨动作要求。

根据上述参数要求,选择某型号额定电压为90 V,额定容量23 F的超级电容模组,采用5组该型号模组串联组成变桨系统后备电源。超级电容模组参数如表2所示。

2.2 容量校核

对采用该设计方案的后备电源进行电压跌落值、放电能量、最小电容量核算,计算公式如下:

表 1 后备电源参数要求

项目	参数
工作温度/℃	-20~+40
生存温度/℃	-30~+50
顺桨速度/(°·s ⁻¹)	7
正常变桨速度/(°·s ⁻¹)	2~3
后备电源电压/V	280~450
放电时间/s	≥30
放电能量/kJ	≥220

表 2 超级电容模组参数

项目	参数
额定电压/V	90
容量/F	23
工作温度/℃	-40~+60
储能/(W·h)	25.8
可用功率/kW	10.8
循环寿命(25℃)/次	1 000 000
交流内阻/mΩ	70
直流内阻/mΩ	100

$$\Delta U = U_C + U_{ESR} = I_{ave} \frac{\Delta t}{C} + I_{ave} R_{ESR} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{2} C (U_{max}^2 - U_{min}^2) \quad (2)$$

$$C_{min} = \Delta t / \left(\frac{\Delta U}{I_{ave}} - R_{ESR} \right) \quad (3)$$

$$I = P/U \quad (4)$$

式中: ΔU 为电压跌落值; U_C 为电容引发电压跌落值; U_{ESR} 为直流内阻引发电压跌落值; I_{ave} 为平均放电电流; Δt 为放电时间; C 为电容额定容量; R_{ESR} 为直流等效阻抗; E 为放电能量; U_{max} 为放电起始电压; U_{min} 为放电中止电压; C_{min} 为放电所需最小电容量; P 为放电功率; U 为放电电压。

放电参数选取。放电起始电压:450 V;放电终止电压:280 V;最大放电电流(3 s):90 A;放电功率:8 000 W;放电时间:≥30 s。

容量核算。计算得到放电电流最小、最大值分别为17.8 A,28.6 A,则 I_{ave} 为23.2 A。由此计算得到:电压跌落值 ΔU 为162.9 V < 170 V;放电能量 E 为285.4 kJ > 220 kJ;放电所需最小电容量 C_{min} 为4.4 F < 4.6 F。

可见,采用上述超级电容作为后备电源的设计方案可满足变桨系统对电压跌落、放电能量、最小电容量的要求。

2.3 后备电源充电设计

为满足上述变桨系统后备电源充电要求,需选用专用的超级电容充电器进行充电,充电器性能参数需要满足如下要求:工作温度为-40~+65℃;输出电压

(DC)为450 V;输入电压(AC)为220 V;充电电流为1~5 A。为保证充电器及后备电源长期可靠运行,充电器还应当具备过压保护、过温保护、短路保护功能,同时满足变桨实际应用环境的振动可靠性要求。

3 测试分析

基于上述设计方案,搭建了基于超级电容的变桨系统后备电源并进行实际测试分析,测试其充电、放电等特性,并评估其能否满足变桨系统后备电源需要。

测试曲线中各量与实际值对应关系如下:电机转速100 unit/s对应变桨速度1°/s;桨叶位置100 unit对应实际桨叶位置1°;电容电压值与实际值一致。

3.1 充电测试

充电起始电压为90 V,充电截至电压为450 V,环境温度为15.6℃,测试曲线如图2所示。可见,基于超级电容的变桨系统后备电源从90~450 V的充电曲线平滑,接近理想充电曲线。90~450 V充电时间为736 s,实测0~450 V的充电时间为931 s,远小于铅酸蓄电池7~9 h的充电时间,充电特性优异。

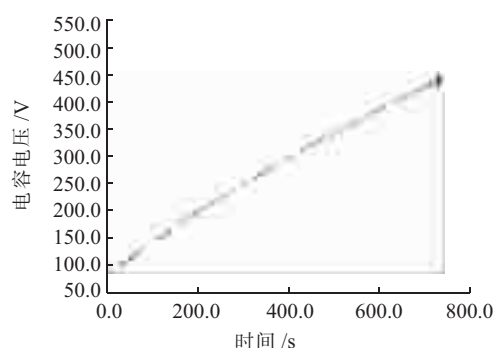


图 2 超级电容后备电源充电曲线

3.2 放电测试

模拟电网及电容供电条件下桨叶往返运动,给定桨叶角度范围91~61°,给定变桨速度3°/s,环境温度15.3℃,测试曲线如图3、图4所示。超级电容供电条件下,其位置、速度给定与响应特性与电网供电条件下基本一致,基于超级电容的变桨系统后备电源可满足变桨系统运行需要。

3.3 紧急顺桨测试

模拟变桨系统紧急顺桨功能,给定角度0~91°,给定变桨速度7°/s,环境温度14.4℃,测试曲线见图5。出现电网供电中断的情况下,变桨系统自动切换至超级电容后备电源供电,同时启动紧急顺桨,将桨叶关至安全位置。基于超级电容的变桨系统后备电源可满足变桨系统紧急顺桨时对后备电源大功率、大电流放电的要求,按设计要求投入运行,保证变桨系统按给定的角度和速度实现变桨系统的紧急顺桨功能。

上述测试表明,文中搭建的基于超级电容变桨系

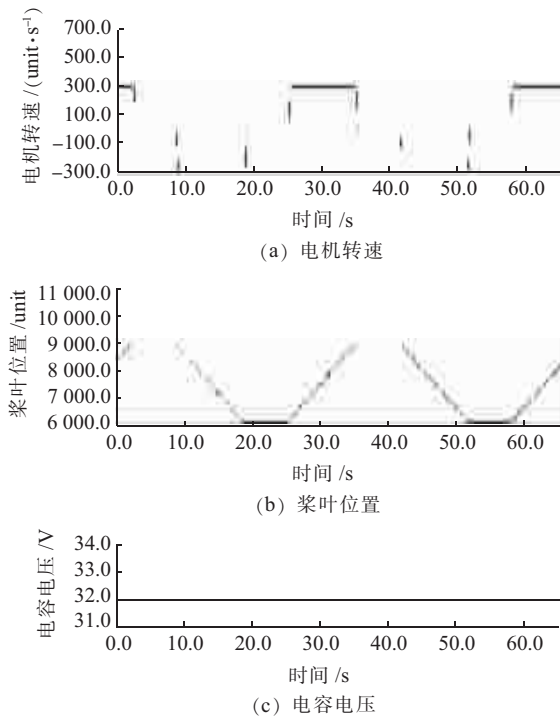


图3 电网供电条件下变桨运动模拟

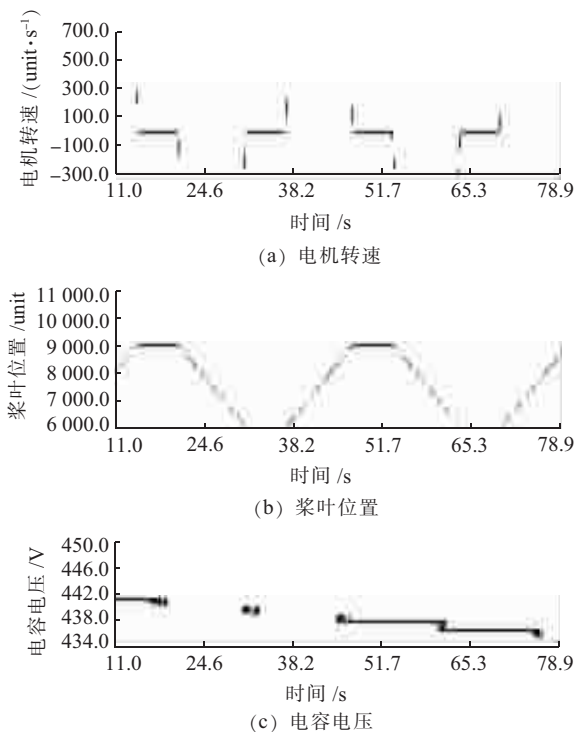


图4 超级电容供电条件下变桨运动模拟

统后备电源可满足变桨系统后备电源充电、放电及紧急顺桨功能需求,且相比于铅酸蓄电池,超级电容所具有的耐低温及长寿命特性使其作为变桨系统后备电源更具优势。

4 结束语

针对传统变桨系统铅酸蓄电池后备电源低温性能差、寿命短等缺陷,结合近些年迅速发展的超级电容技术,设计了以超级电容作为变桨系统后备电源的方案,

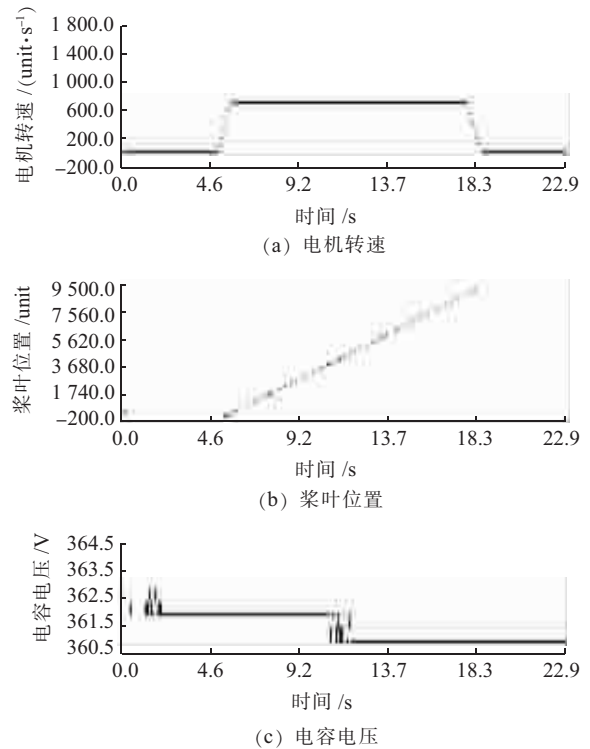


图5 超级电容后备电源顺桨曲线

该方案可克服以铅酸蓄电池为后备电源存在的问题,降低变桨系统故障率,减少风机维护成本,改善风电机组经济效益。目前,超级电容模组价格较高,一定程度上影响了其在变桨系统后备电源上的应用与推广,随着超级电容技术的进一步发展,产业的进一步升级,生产成本的进一步下降,相信基于超级电容的变桨系统后备电源具有良好的市场前景。

参考文献:

- [1] 叶杭冶,李伟,林勇刚,等.基于半物理仿真的变速恒频独立变桨控制[J].机床与液压,2009,37(1):90-93.
- [2] 汪海波,田炜,鲁斌,等.兆瓦级风机直流和交流电动变桨距技术[J].江苏电机工程,2011,30(4):42-44,47.
- [3] 姚兴佳,宋俊.风力发电机组原理与应用[M].第2版.北京:机械工业出版社,2011.128-129.
- [4] SEHWAN K, KEUN-SIK N, CHOU P H. Design and Performance Analysis of Supercapacitor Charging Circuits for Wireless Sensor Nodes [J]. Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2011, 1(3):391-402.
- [5] AEWATERT B, CYGAN P J, LEUNG F C. Man Portable Power Needs of the 21st Century [J]. Journal Power Sources, 2000, 91(1):27-36.
- [6] NBT 31018—2011, 风力发电机组电动变桨控制系统技术规范[S].

作者简介:

鲁斌(1984),男,浙江衢州人,助理工程师,从事风力发电控制技术研究工作;
田炜(1978),男,湖北应城人,高级工程师,从事风力发电控制技术、电力电子在电力系统中的应用研究工作;

(下转第51页)

母线故障还是 110 kV 出线线路故障,是第一段母线故障还是第二段母线故障。因此,应配置 110 kV 母线差动保护,用跳第一段母线断路器的出口继电器代替进线 1 保护闭锁 110 kV 备自投,跳第二段母线断路器的出口继电器代替进线 2 保护闭锁 110 kV 备自投。

设置 110 kV 母线差动保护后,第一段母线故障时,母线差动保护的第一段母线小差动保护和总差动保护会动作,跳第一段母线上断路器的同时闭锁备自投;第二段母线故障同第一段母线故障。在 110 kV 出线线路上或变电所变压器高压侧故障或进线线路故障时,第一段或第二段母线小差动保护和总差动保护都不会动作去误闭锁备自投,从而使保护闭锁备自投的配合性能达到最佳。

5 结束语

当 110 kV 变电所采用单母线分段接线方式且任一段 110 kV 母线上有 110 kV 出线线路时,应优先装设 110 kV 母线差动保护作为闭锁 110 kV 备自投的措施,不仅增加了母线故障的保护,还可以使保护闭锁备自投的配合性能达到最佳。对于没有装设 110 kV 母线差动保护但 110 kV 母线上没有 110 kV 负荷线路时,可以采用电源进线线路保护作为闭锁 110 kV 备自投

的临时措施,但保护的方向应由线路指向母线,该方案已在镇江电网 12 座单母线分段接线的 110 kV 变电所得到实施,取得了良好的运行效果。

参考文献:

- [1] GB/T 14285—2006, 继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [2] DL/T584—2007, 3~110 kV 电网继电保护运行整定规程[S].
- [3] 吴金玉,高金伟,张 帅.常规备用电源自投装置适应双母线接线的措施[J].电力系统自动化,2012,36(05):112-115
- [4] 周洪益.地区电网单母分段接线变电站 110 kV 母线故障分析[J].今日科苑,2010(14):58.
- [5] 朱英杰,潘朝文.110 kV 变电站防误设计探讨[J].江苏电机工程,2011,30(4):39-41.

作者简介:

- 刘丛洲(1986),男,江苏镇江人,助理工程师,从事变电生产管理工
作;
黄 治(1978),男,江苏镇江人,工程师,从事电网调度运行管理工
作;
汤大海(1963),男,江苏镇江人,高级工程师,从事电网继电保护运
行管理工作;
施伟成(1966),男,江苏镇江人,高级工程师,从事电网调度运行工
作;
杨 静(1974),男,江苏镇江人,工程师,从事电网继电保护运行维
护工作。

Analysis on Blocking Automatic Switchover for Sectionalized Single-bus Protection in 110 kV Substation

LIU Cong-zhou, HUANG Zhi, TANG Da-hai, SHI Wei-cheng, YANG Jing
(Zhengjiang Power Supply Company, Zhengjiang 212001, China)

Abstract: The inlet feeder protection is widely used to block automatic switchover in case of its mis-operation in the 110 kV substations with sectionalized single-bus configurations. However, the protection would act improperly to fail to block automatic switchover when a phase-to-phase fault occurs. To improve the cooperation of the protection and switchover, the method of changing protection's direction from line to bus is proposed. Also, the way of adding a bus differential protection to improve the cooperation is proposed.

Key words: 110 kV substations; automatic switchover with protective blocking; sectionalized single-bus configuration; bus protection

(上接第 48 页)

刘 剑(1983),男,江苏徐州人,工程师,从事风力发电控制技术
研究工作;

潘 晨(1985),男,湖北宜昌人,工程师,从事风力发电控制技术
研究工作。

Design of Backup Power based on Super-capacitor for Pitch System

LU Bin, TIAN Wei, LIU Jian, PAN Chen
(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper first introduces the operational principal of the backup power for pitch system. With considering the characteristics of low-temperature resistance and long service time, a super-capacitor based backup power for pitch system is designed and built. The testing results suggest that the proposed backup power is qualified for various operational conditions of pitch system. The proposed backup power can improve the poor low-temperature performance and prolong the service time of traditional lead-acid batteries. It will also reduce the maintenance cost and increase the profit of wind turbines.

Key words: super-capacitor; lead-acid battery; pitch system; backup power