

基于 PLC 的风力发电混合储能系统控制方法研究

王战栋, 赵丰刚

(新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 风力发电具有波动性的特点, 因此为了避免风力发电并网对电网的冲击及其影响, 将西门子 S7-200 系列的 PLC 控制系统应用在储能系统中来平抑风电功率的波动性。根据蓄电池和超级电容器组成的混合储能系统的控制要求, 绘制 PLC 的硬件接线图; 分析混合储能的控制过程, 利用 PLC 的编程软件进行 PLC 编程; 最后验证该控制策略的可行性。

关键词: 风力发电; 混合储能系统; PLC

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0018-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.03.005

Research on Control Method in Hybrid Energy Storage System of Wind Power Generation Based on PLC

Wang Zhandong, Zhao Fenggang

(Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract: Because of the fluctuation of wind power generation, in order to avoid the impact of grid integration on power grid and its influences, PLC control system of Siemens S7-200 series is applied to energy storage system to reduce the fluctuation of wind power. According to the control requirements of hybrid energy storage system composed of battery and ultracapacitor, the hardware wiring diagram of PLC is drawn. The control process of hybrid energy storage is analyzed, and PLC is programmed using PLC programming software. Finally, the feasibility of the proposed control strategy is verified.

Key words: wind power generation; hybrid energy storage system; PLC

0 引言

由于环境污染愈发严重, 迫切需要一种新型无污染的能源。风力发电作为一种对环境无污染的新型可再生能源受到人们的追捧。而由于受到复杂的地理环境和气象环境的影响, 风电输出功率具有较强的随机性和波动性, 因此风力发电大规模并入电网将会产生不利的影[1-2]。怎样降低风电的波动性满足并网条件就成了当前的研究热点, 储能技术是当前平滑风电功率波动最有效的方式之一。储能设备成本快速下降、性能大幅度提升, 使得储能技术在风力发电的平抑输出功率波动性上的应用趋于热门。利用蓄电池和超级电容各自的优缺点形成互补性, 基于 PLC 的核心控制作用于蓄电池和超级电

基金项目: 国家自然科学基金(51467020, 11762021)

容器, 使其吞吐能力起到了平抑风电功率波动性的目的, 即风力发电输出功率快速增大时, PLC 控制混合储能系统吸收功率; 反之则控制混合储能系统释放功率^[1-5]。

随着工业控制领域的快速发展, PLC 作为一种可编程的存储器, 用于内部存储程序、执行逻辑运算、顺序控制、计数与算术等指令, 并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的工业生产过程^[5]。PLC 具有抗干扰能力强、可靠性高、编程简单、功能强大、成本低廉等特点, 广泛应用于各种工业控制领域中。总结上面所述优势, 将 PLC 应用在以蓄电池和超级电容器组成的混合储能系统中, 能快速响应调节混合储能的充放电, 平抑风电的输出功率, 使蓄电池和超级电容器的 SOC 荷电状态稳定在可靠范围之内, 避免蓄电池和超级电容器过充过放, 延长其使用寿命。

1 混合储能系统总体设计

1.1 控制要求

混合储能系统以 PLC 为核心控制器,将混合储能系统分为储能阶段和释能阶段,由电力采集模块将风力发电输出功率的采集信息传到 PLC 控制器中,与满足电网要求的功率设定值进行比较:当采集值大于设定值时,即风力发电输出功率大于并网需求功率时,向混合储能中输入功率;当采集值小于设定值时,即风力发电输出功率小于并网需求功率时,混合储能系统输出功率。

1.2 混合储能系统构成

除了风力发电机组和 AC/DC 变换器外,混合储能系统主要包括 PLC 主控制器、电力参数采集模块、DC/AC 变换器、通信模块、数字量输入/输出模块、显示屏。混合储能系统将 PLC 作为控制器把各个模块连接起来,提高系统的稳定性。

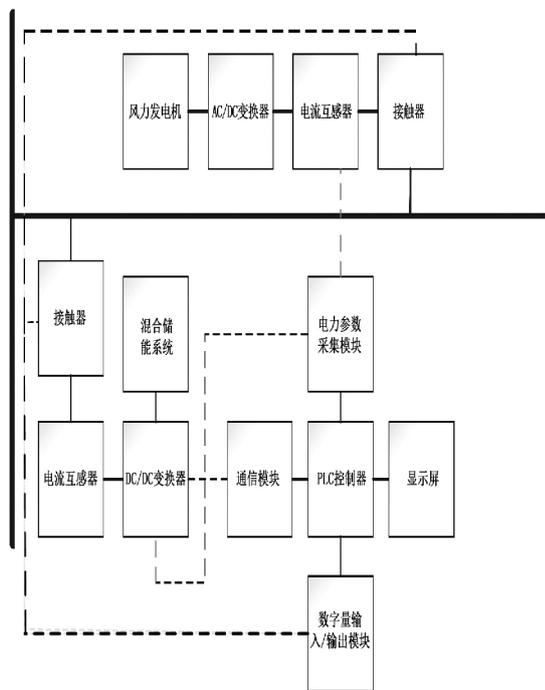


图1 控制系统硬件结构

2 控制过程

采用蓄电池和超级电容器组成的混合储能系统对风力发电输出功率进行平抑的控制方法,是将风力发电的输出功率分为高频与低频部分,用蓄电池

与超级电容器进行功率补偿^[4]。

在研究混合储能的控制方法时,风电机组接收到的风速是平均风速,由于国网调度的需要,在进行功率的参考值设定时,一定时间内电网调度需要的功率是稳定不变的^[3-5]。

蓄电池由于能量密度大,价格较低,经常应用于储能系统中,但其功率密度小,不能应用于大功率、频繁的充放电场合。若单独使用蓄电池充放电,会缩短蓄电池的使用寿命,因此将蓄电池应用在平抑风电输出功率的低频部分。而超级电容器由于功率密度大,充放电速度较快,将其应用在平抑风电输出功率的高频部分^[6-8]。混合储能系统补偿功率公式为

$$\Delta P = P_w - P_k$$

式中: ΔP 为蓄电池需要补偿的功率; P_w 为风力发电输出功率; P_k 为电网调度需要输入的稳定不变功率。

若 $\Delta P > 0$ 时,即风力发电输出功率大于电网调度需求功率,向混合储能系统中储存能量; $\Delta P < 0$ 时,即风力发电输出功率小于电网调度需求功率,则由混合储能系统进行功率补偿。低频功率部分由蓄电池进行补偿,高频部分由超级电容器进行补偿。为了使混合储能系统充放电能力得到保证,并发挥超级电容器反应速度快和储能电池容量大的特点,利用电池荷电状态(state of charge, SOC)分级优化平抑混合储能系统的风电功率,此方法在实现风力发电有功功率波动平抑的同时,使混合储能系统整体较高的充放电能力得以实现,充分利用超级电容器反应速度快和储能电池容量大的特点,维持储能器件 SOC 在合理范围,避免了储能设备的过充过放。

3 PLC 模块设计

平抑风电功率的混合储能系统需要实时的数学计算以及分析,西门子生产的 PLC 控制器能满足混合储能系统的控制要求。PLC 控制器运算速度快、逻辑分析准确,其可靠的网络结构和系统性都为 PLC 应用在混合储能系统中提供了可能。

3.1 CPU 模块

当前市场上大多数采用的 PLC 产品为 PLC - 200。PLC - 200 系列可靠性高,指令集丰富,便于学习,操作简单,内置集成功能丰富,通讯能力较强。PLC - 200CPU 模块主要有 CPU224CN、CPU221、

CPU224 - XP 等,不同的 CPU 型号对应的功能不同。为了所提控制要求,这里采用的 CPU 模块为 S7 - 224CN^[6]。

3.2 I/O 模块

I/O 模块具有 PLC 与外部设备进行数据信息交换的功能,其将系统中各种数据与信息连接起来,并传送到 PLC 控制器中进行处理与传出。PLC224CN 型 CPU 的 I/O 地址分配如表 1 所示,模拟量输入地址分配如表 2 所示。

表 1 I/O 地址分配

序号	信息	地址
1	风机启动	I0.0
2	风机急停	I0.1
3	蓄电池储能	I0.2
4	蓄电池释能	I0.3
5	超级电容储能	I0.4
6	超级电容释能	I0.5
7	停止	I0.6
8	风机启动	Q0.0
9	风机启动指示灯	Q0.1
10	蓄电池	Q0.2
11	超级电容器	Q0.3
12	蓄电池报警指示灯	Q0.4
13	超级电容器报警指示灯	Q0.5
14	报警喇叭	Q0.6

表 2 模拟量输入地址分配

序号	信息	地址
1	风力发电输出功率	AIW0
2	蓄电池补偿功率	AIW2
3	超级电容器补偿功率	AIW4
4	电网调度需要的稳定功率	AQW0

4 PLC 软件设计

PLC 作为混合储能平抑风力发电输出功率功能的核心控制器,在进行软件设计的过程中需要对重要的参数进行初始化,使其满足系统任务的设定;对 I/O 端口的设计,使其能够准确读取参数传送到 PLC 核心控制器中进行处理,完成对混合储能系统的控制作用;对整个混合储能系统控制作用进行分

析,写出整个系统的控制主流程图以及子流程图;基于 PLC 任务平台设计控制程序,当整个系统出现故障时,PLC 应能够及时发送停机指令,使得整个系统能够平稳安全的运行。PLC 工作方式采用循环扫描方式,在输入采样阶段对所有的输入信号进行采样,然后对被控制量执行编程程序,在输出阶段根据执行结果输出到输出接口。

PLC 结构紧凑,编程指令丰富,性价比较高,抗干扰能力强大,PLC 中程序将外部模拟量信号经过逻辑运算处理转变为 PLC 的脉冲信号输出^[10-12]。将功能强大的 PLC 作为混合储能系统的核心控制器,使混合储能控制系统在平抑风电输出功率时可靠性高,系统维护方便,保证风电输出功率安全平稳地输出到电网中。

4.1 系统流程设计

由于整个控制系统较为复杂,可采用模块化的方式把一个复杂的程序,分解成两个或若干个便于理解和调用的过程,使整个程序段变得简单,每个模块都具有各自的子功能。采用模块化进行系统编程,加上一定的运行条件和逻辑判断实现整个控制系统的功能。在进行编程时,需要注意降低软件编程的复杂性,提高理解能力和维护能力,模块不能任意划分,在分解时应保证其具有独立性。因此将控制程序分为主程序和子程序,主程序主要用于系统的初始化以及子程序的调用,子程序主要应用于具有独立功能的混合储能系统的控制程序段。模块化的程序设计有利于后期的系统调试以及程序的修改。主程序、混合储能控制系统子程序流程如图 2、图 3 所示。

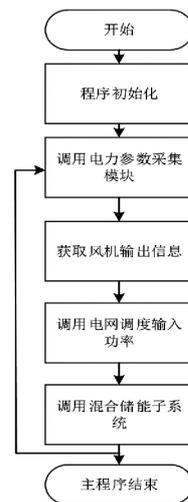


图 2 主程序流程

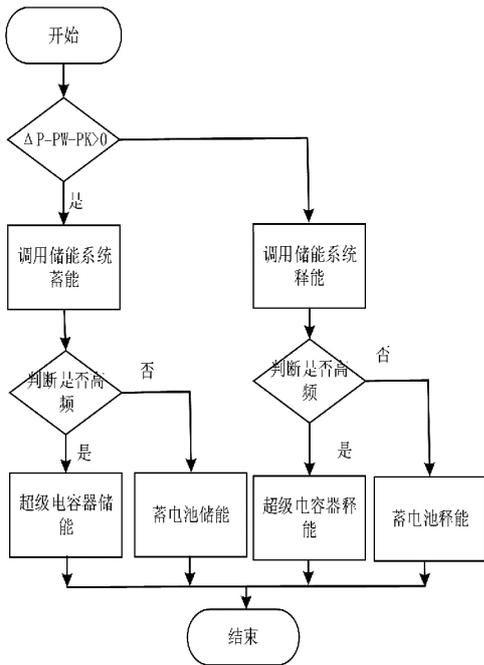


图 3 子程序流程

程序初始化是对程序中准备使用的寄存器设定初始值,因为 PLC 有断电保护作用,通电之后其数据分配被打乱,因此要对这些数字量信号进行清零与复位操作。程序初始化流程见图 4。

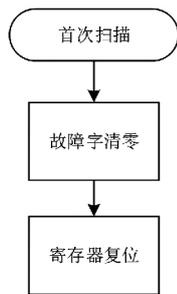


图 4 初始化流程

4.2 PLC 编程软件的设计

采用西门子公司 PLC-200 系列的编程软件 Step 7 编写 PLC 程序。PLC-200 编程软件常采用梯形图以及语句表。梯形图由于直观、实用、形象,是当前工业控制领域最为常用的 PLC 编程语言。梯形图以网络为单位,逻辑顺序按从左到右、从上到下的顺序进行^[9,12]。部分梯形图如图 5 所示。

5 仿真分析

将所提的以 PLC 为控制器的混合储能系统,对风力发电的功率波动控制策略在 Matlab/Simulink

中进行仿真分析。以额定功率为 0.5 MW 的风机输出功率数据,对其进行仿真分析,结果如图 6、图 7 所示。

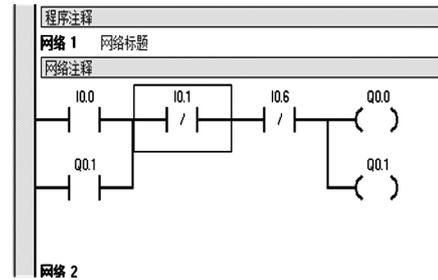


图 5 部分梯形图

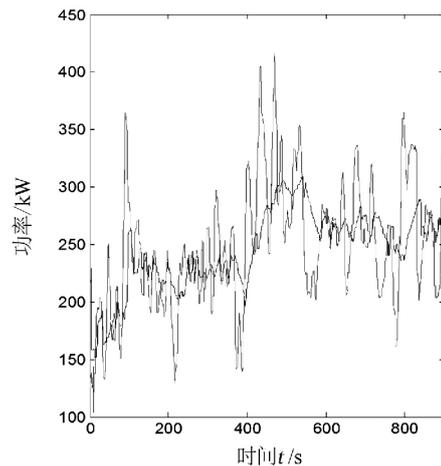


图 6 风机输出功率曲线和混合储能平抑后功率曲线

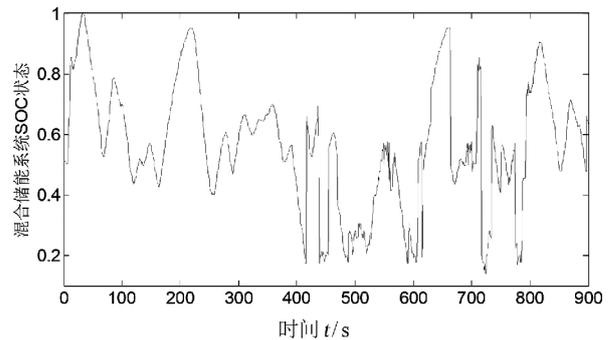


图 7 混合储能系统 SOC 状态

由图 6 可知,混合储能结合了蓄电池和超级电容器两者的优点,蓄电池平抑风电输出功率的低频部分,超级电容器平抑风电输出功率的高频部分,两者能够很好地平抑风电输出功率的波动性。

由图 7 可知以蓄电池和超级电容器组成的混合储能系统荷电状态工作于 25%~75% 之间,始终在可靠范围之内,避免了蓄电池与超级电容器的过充过放,保证了混合储能系统的安全性。

(下转第 38 页)

雷性能的研究[J]. 电网技术 2005 29(21):27-30.

[5] 周浩 赵斌财 王东举 等. 500/220 kV 同塔四回线路的耐雷性能研究[J]. 高电压技术 2008 34(10):2075-2080.

[6] 莫付江 陈允平 阮江军. 输电线路杆塔模型与防雷性能计算研究[J]. 电网技术 2004 28(21):81-84.

[7] 孙义豪 司马文霞 杨庆 等. 1000 kV/500 kV 同塔混压4回输电线路的防雷性能 [J]. 高电压技术 2011 37(9):2102-2110.

[8] 范冕 万磊 戴敏 等. 1000 kV/500 kV 特、超高压同塔4回交流输电线路雷电性能仿真分析[J]. 高电压技术, 2013 39(3):584-591.

[9] 苏杰 曹炯 姜文东 等. 220 kV/110 kV 同塔四回输电线路双回同时闪络耐雷性能及防治[J]. 电瓷避雷器, 2013(5):90-96.

[10] 彭向阳 李振 李志峰 等. 杆塔接地电阻对同塔多回线路防雷性能的影响[J]. 高电压技术 2011 37(12):3113-3119.

[11] 张永记 司马文霞 张志劲. 防雷分析中杆塔模型的研究现状[J]. 高电压技术 2006 32(7):93-98.

[12] 王东举 周浩 陈稼苗 等. 特高杆塔的多波阻抗模型设计及雷击暂态特性分析[J]. 电网技术 2007 31(23):12-16.

[13] 梁义明 葛栋. 同塔多回线路防雷计算中的杆塔模型[J]. 高电压技术 2006 32(1):76-78.

[14] 李振 余占清 何金良 等. 线路避雷器改善同塔多回线路防雷性能的分析[J]. 高电压技术 2011 37(12):3120-3128.

[15] 彭晓亮,陈坤,刘新 等. ±500 kV 直流线路避雷器在江城线的应用[J]. 电瓷避雷器, 2014(4):111-115.

[16] 郑江 林苗. 线路避雷器在防雷中的作用研究[J]. 电瓷避雷器 2006(6):38-41.

[17] 钱冠军. 下行雷闪屏蔽问题的研究及其在输电线路中的应用[D]. 武汉:华中科技大学,1998.

[18] 李晓岚 尹小根 余仁山 等. 基于改进电气几何模型的绕击跳闸率的计算[J]. 高电压技术 2006 32(3):42-44.

作者简介:

王恒康(1989),工程师,从事输电线路运行检修工作;
王佳灿(1988),助理工程师,从事输电线路运行检修管理工作;
高洛宣(1995),助理工程师,从事防雷研究及相关工作;
何发玺(1993),助理工程师,从事防雷研究及相关工作。
(收稿日期:2019-01-18)

(上接第21页)

6 结 语

先是分析了风力发电的混合储能系统硬件结构,以 PLC 作为控制器,利用 PLC 成熟的技术应用在混合储能系统对风力发电输出功率波动性的平抑上;再是设计了系统的主流程图以及子流程图,在 PLC 的编程软件中设计了梯形图。通过对整个控制系统软硬件的设计,较好地解决了风力发电在并网中的波动性问题。

参考文献

[1] 蒋平 熊华川. 混合储能系统平抑风力发电输出功率波动控制方法设计[J]. 电力系统自动化,2013,37(1):122-127.

[2] 周念成 闫立伟 王强钢. 光伏发电在微电网中接入及动态特性研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(14):119-127.

[3] 薛文 任宝森 王凯. 超级电容器与蓄电池的混合储能技术在风力发电中的应用[J]. 电源世界,2016(11):38-42.

[4] 王振浩 刘金龙 李国庆 等. 基于超级电容器储能的并网风电场功率与电压调节技术[J]. 电力自动化设

备 2011 31(3):113-116.

[5] 刘青 樊世通 付超 等. 考虑不同蓄电池 SOC 状态的风/储/海水淡化孤立微电网能量管理系统设计. 高电压技术 2015 41(7):2173-2179.

[6] 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2014.

[7] Qu L, Qiao W. Constant Power Control of DFIG Wind Turbines with Super Capacitor Energy Storage [J]. IEEE Transactions on Industry Application 2011 47(1):359-367.

[8] Li Jianlin, Liang Liang, Yang Shuili et al. Study on Energy Storage System Smoothing Wind Power Fluctuations [C]// International Conference on Power System Technology, IEEE Xplore, 2010:1-4.

[9] Siemens AG. Step 7 V5.5 硬件配置与通信连接[Z]. 2010.

[10] 王阿根. 电气可编程控制原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2013.

[11] 王永华. 现代电气控制及 PLC 应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.

[12] 石淮. 西门子 S7-200 PLC 模拟量输入处理方法的应用研究[J]. 中国高新技术企业,2012(8):66-68.

作者简介:

王战栋(1992),硕士研究生,从事风力发电与储能技术研究;
陈 洁(1976),博士研究生,教授,从事储能技术方面的研究。

(收稿日期:2019-01-16)