

风光互补发电实验教学平台的搭建和研究

张媛媛¹, 沈聿农¹, 王永平², 蒋有斌¹, 黄佳星¹, 史依茗¹

(1. 南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

(2. 南通醋酸纤维有限公司, 江苏 南通 226000)

[摘要] 介绍了一种用于教学的风光互补发电实验平台. 在该实验教学平台中, 太阳能和风能互补发电, 通过控制器将电能储存在蓄电池中, 再向负载提供电能, 还可通过风光互补发电监测系统对实验平台进行访问和控制, 实现能量控制和远程监控. 该风光互补发电实验平台是一种小型微电网, 可从教学投入到实际使用, 具有实用价值.

[关键词] 太阳能, 风能, 发电, 监测

[中图分类号] TM614, TM615 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)01-0015-06

The Study of an Experimental Teaching Platform of Wind and Solar Hybrid Power Generation System

Zhang Yuanyuan¹, Shen Yunong¹, Wang Yongping², Jiang Youbin¹, Huang Jiaxing¹, Shi Yiming¹

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Nantong Cellulose Fibers Co., Ltd, Nantong 226000, China)

Abstract: An experimental teaching platform of wind and solar hybrid generation system is introduced in this paper. The generated solar and wind energies in the platform are stored in the battery and then provides power to the load, through a controller. Moreover, the experiment platform can be not only controlled and accessed by the software, but also can achieve the energy control and remote monitoring. The developed wind and solar hybrid power generation system is a small large micro grid and has real application value, due to easy applying to the practical use.

Key words: solar energy, wind energy, electric power generation, monitoring system

随着能源危机的日益突出和环境污染的日益严重, 新能源正在蓬勃发展^[1]. 在新能源体系中, 可再生能源清洁无污染, 且资源分布广泛, 适宜就地开发利用. 其中, 风能和太阳能作为可再生能源的研究热点^[2], 具有很多优点, 但易受季节、地形和气候环境等因素的影响. 而风光互补发电系统融合了风、光电系统的优点^[3], 同时弥补了两系统独立运行受季节地理环境等限制的缺陷, 因此本文研究内容具有较好的应用价值^[4].

在国家节能减排和采用新能源的产业政策指导下, 本文设计了风光互补发电的实验教学系统, 目的是为了在实验室环境条件下演示风光互补发电的教学实验, 探讨和研究系统在运行过程中可能出现的问题. 本文中搭建的风光互补发电实验教学平台是一个简单的小型微电网, 将是新能源领域的发展方向^[5].

1 系统整体设计

1.1 系统机构介绍

风光互补发电实验教学平台主要包括模拟太阳能发电系统、模拟风力发电系统、光伏自动跟随系统、风光电控制系统和蓄电池在线监测系统 6 个部分. 模拟太阳能发电系统和模拟风力发电系统产生电能, 通过控制器储存在蓄电池里, 再向负载提供电能. 为了解决电能互补和监测问题, 用计算机软件加以控制, 可实时观测.

收稿日期: 2014-01-16.

通讯联系人: 沈聿农, 副教授, 研究方向: 电气工程及其自动化. E-mail: 61018@njnu.edu.cn

该实验教学平台主要用于演示离网型发电系统的实验工作,接有直流和交流不同类型的负载,可通过控制系统中的逆变器转换成适合负载使用的电能^[6].

1.1.1 风光互补发电

该实验教学平台中模拟太阳能发电系统通过光伏阵列将模拟太阳能转换成电能,产生直流电;模拟风力发电系统中模拟风能吹动风轮带动发电机发电,产生交流电^[7]. 该实验教学平台中,太阳能电池板为 200 W,风力发电机组为 400 W.

光伏电池的输出电流方程,即电池的输出特性方程为:

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(U + IR_s)}{nKT} \right] - 1 \right\} - \frac{U + IR_s}{R_{sh}}, \quad (1)$$

式中, K 为玻尔兹曼常数; q 为库仑常数; n 为二极管理想常数; T 为光伏电池温度; U 为光伏电池输出电压; I_{ph} 为光生电流; I_0 为二极管饱和电流; R_s 为光伏电池的串联电阻; R_{sh} 为光伏电池的并联电阻.

一般文献认为,风力发电机输出的功率是研究风力发电的重要参数. 风力发电机输出的功率^[8]为:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A C_p \eta_m \eta_e V_w^3, \quad (2)$$

式中, C_p 为风能利用系数; A 为风轮扫掠面积; ρ 为空气密度; V_w 为主导风速; η_m 为齿轮箱和传动系统的机械效率,一般为 0.80~0.95; η_e 为发电机效率,一般为 0.70~0.98.

1.1.2 控制系统

该实验教学平台中,控制系统是重要的中间控制环节. 该系统的控制系统由 PLC 控制程序和风光互补控制器构成. 其中,PLC 控制程序实现现场数据采集和现场反馈控制;风光互补控制器是专门为风能、太阳能发电系统设计的,是集风能、太阳能控制于一体的智能型控制器. 充分利用风能和光能资源发电,可减少采用单一能源可能造成的电力供应不足或不平衡的情况. 设备不仅能够高效率地转化风力发电机和太阳能电池板所发出的电能对蓄电池进行充电,还提供了强大的控制功能. 控制器可以对蓄电池组的工作状态进行切换和调节^[8],当蓄电池电压过低,不足以供负载使用时,控制器可以切掉在使用的负载,从而提高风光互补发电系统的稳定性.

1.1.3 蓄电池组

风光互补发电具有不稳定性,需要配置储能装置以确保用电的持续性. 系统中选用的蓄电池是整个系统的储能核心,在整个发电系统中起到储能、稳压和互补的作用. 该实验教学平台中蓄电池组容量为 400 Ah. 蓄电池监测系统能实时监测蓄电池的工作电压,以防出现欠电压和过电压的现象.

1.2 实验平台的实现

风光互补实验教学平台要投入正常的实验教学,需构建 1 个监测系统^[9]实时监测系统平台的运行情况. 该监测系统包括现场层、控制层和管理层.

现场层由传感器及执行器构成. 风力发电机组传感器包括电压变送器、电流变送器、霍尔传感器等,霍尔传感器能将测量到脉冲信号转换成风力发电机的转速. 太阳能发电机组传感器包括光照强度传感器等. 执行器包括阀门执行器等.

控制层由分布式处理器 PLC^[10] 和风光互补控制器组成. 分布式处理器 PLC 负责收集传感器信号,并将相关电压、电流信息向上层传输,同时根据现场情况将上层控制器传来的控制信号转换成相应的控制信号向执行器发出控制指令. 本系统中,PLC 处理器采集到的信号多为模拟量,通过模数转换成数字量传输给上位机. 风光互补控制器实现对蓄电池的充放电的控制.

管理层由上位机构成. 本系统中采用 PC 机作为上位机,可通过组态王实时监测系统运行的情况,并在系统出现异常时自动报警,从而提高该实验教学平台的安全性.

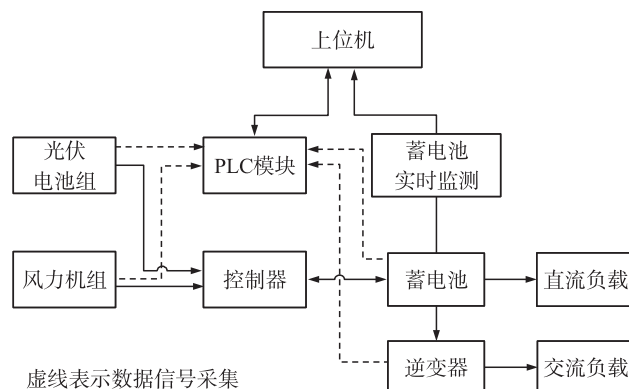


图 1 系统整体示意图

Fig.1 The diagram of the whole system

2 实现功能

在实验室的条件下,搭建风光互补发电实验教学平台实物,如图2所示.通过该实验教学平台,具体可以实现如下功能:

(1)在实验室的环境下,演示风光互补发电,储能并供给负载使用;

(2)光伏电池板装有自动跟随系统,可实现自动跟踪光源,保证最大输出.一般采用扰动观察法或增量电导法实现最大功率点的跟踪.在实际工程中,利用日照强度和光伏阵列温度的变化量来求解光伏阵列最大输出功率点对应的电流 I_m 和电压 U_m 来计算最大功率 P_m ,这种方法实现起来较简单.而模拟风机具有调节结构,保证了在实验室的条件下尽可能地接近自然条件,以达到更好的实验效果;

(3)通过上位机实时监控实验教学平台的运行情况,记录数据.同时,在该教学实验平台发生异常情况时,例如蓄电池过电流、过电压,能够自动报警并切断相关设备,确保安全;

(4)可通过建立局域网,以其他PC机作为工作站,实现对该实验教学平台的远程控制,包括查看数据、启停运行、报警处理等.



图2 风光互补发电实验教学平台实物

Fig.2 Picture of the wind and solar hybrid power generation system

3 系统平台的实验教学

风光互补发电实验教学平台可以在实验室演示风光互补发电,既能直观地观察到设备的运行,也能通过上位机监测系统工作时产生的电压电流,包括风机转速、风力发电电压、太阳能发电电压和电流、逆变电流和电压频率、蓄电池电压和电流^[11]等,如图3所示.通过实验数据可验证光伏电池和风力发电机的输出特性.图3中,光伏电流 I 为式(1)中的光伏电池的输出特性 I ,功率 P 为式(2)中的风力发电机的输出功率 P_w ,并可计算出系统的功率关系^[12]:

$$P_L(t) = P_{wt}(t) + P_{pv}(t) + P_{bs_dch}(t), \quad (3)$$

式中, $P_{pv}(t)$ 、 $P_{wt}(t)$ 分别为光伏发电单元、风力发电单元的输出功率; $P_{bs_dch}(t)$ 为蓄电池的放电功率; $P_L(t)$ 为负荷功率.

同时,通过监控中心能监测到光伏发电、风力发电和电池监控3个子系统,如图4所示.在光伏发电和风力发电监测的子系统中,既能实时读出输出电压,也能绘制历史曲线.而在电池监控子系统中,除了能够实时监测2节电池的电压,还能测出蓄电池的温度,确保安全性.



图3 总体实验教学演示

Fig.3 Demonstration of the whole experiment teaching

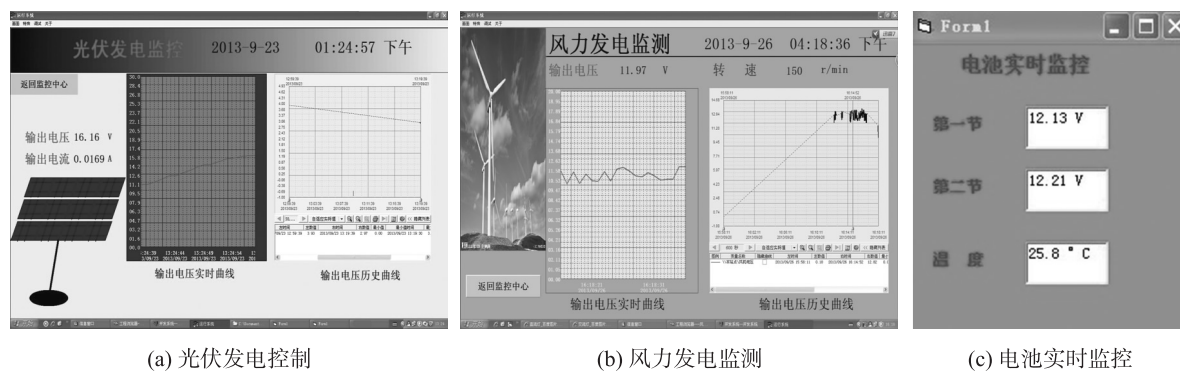


图 4 子系统实验教学演示

Fig.4 Demonstration of the two subsystem experiment teaching

该实验教学平台在系统发生异常情况时,能够自动报警并记录事件,包括报警事件的时间、类型、报警因素和恢复情况.当蓄电池充电达到其容量的 80%时(通过计算机根据实际设置安全容量)或当蓄电池电压过低时,监测系统会报警并形成完整的报警记录.通过报警系统既能详细地了解到每一次报警事件,也能明确故障,恢复系统.

该实验教学平台还能够实现数据查询和远程控制.数据查询包括实时数据和历史数据查询,既能查看当前运行结果,也能查看到历史数据.通过 PC 机投切模拟光源或负载等,初步完成远程控制.

4 仿真与实验结果

根据电路方程和等效电路利用仿真模块进行实验仿真.

4.1 光伏系统仿真

光伏阵列模型可模拟出任意太阳辐射强度、环境温度、光伏模块参数和光伏阵列串并联方式组合下的光伏阵列 $I-V$ 特性,缩短光伏系统的研究周期,提高研究效率,增强研究结果的可信度.根据教学实验平台中所使用的光伏模块,在仿真中选择电压输入型光伏模块.

根据光伏阵列的数学模型和实际参数,建立光伏电池的仿真模型,并给模型设定相应的参数,具体包括光伏阵列短路电流 I_{sc} 、开路电压 V_{oc} .在仿真环境下建立光伏电池阵列封装仿真模型.根据该实验教学平台的运行情况进行仿真,图 5(a)所示为照度 $1\,000\text{ W/m}^2$ 下仿真模型输出电压与电流的关系,(b)所示为根据实验教学平台的实际实验结果绘制的输出电流-电压的关系曲线.通过对比可清晰地看出,实验数据结果与仿真结果整体趋势一致,但也存在一定的误差,主要是由于仿真系统所设置的额定电压与实际搭建系统的额定电压不一致,同时还受到其他因素的影响,例如实验室模拟自然光的不足.

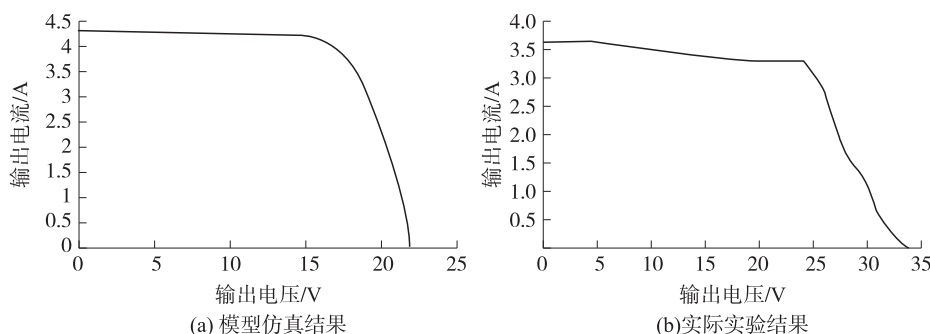
图 5 $1\,000\text{ W/m}^2$ 照度下输出电流-电压的关系曲线Fig.5 Characteristics of the model output current-voltage property under $1\,000\text{ W/m}^2$

图 6 所示为仿真模型在光强分别为 200 、 400 、 600 、 800 和 $1\,000\text{ W/m}^2$ 下的输出电压与输出功率的特性曲线.从图 6 可看出,光强越大,输出功率也越大,且每条曲线都有唯一的 1 个最大值,即最大功率点,最大功率点的值随着光照强度的增强而增大.采用式(1)计算出的最大功率与实际最大功率相差不大,因此工程中采用式(1)计算光伏阵列数学模型的最大功率是满足精度要求的.

4.2 风力发电系统仿真

风力发电系统的仿真是一个复杂的系统工程,包括了风轮、传动系统、发电机、发电机控制系统、电网系统等各部分的仿真. 根据需要,本文只针对发电机控制系统部分进行了仿真,其中包括风力机、永磁同步发电机、整流桥和一个 Boost 电路. 风力机将所吸收的风能转换为机械能传递给发电机,发电机再将机械能转换为电能供负载使用.

仿真实验结果如图 7 所示. 从图 7(a)中可以看出,在相同的风速条件下,随着开关管占空比的增大,发电机的转速和功率逐渐减小. 而实际系统运行,开关管的占空比已确定. 根据运行情况绘制出输出功率与风机转速的关系曲线,如图 7(b)所示. 通过仿真实验结果与实际系统运行曲线的对比分析可以看出,随着风机转速的增大,输出功率逐步上升,当风机转速达到风机自保护限定值时,输出功率逐步减小. 仿真结果与实际系统运行情况总体趋势相同,但也存在较大误差,这是由模拟风机和实际系统中风机的具体型号和输出功率、自保护限定值等一些风机特性不一致引起的.

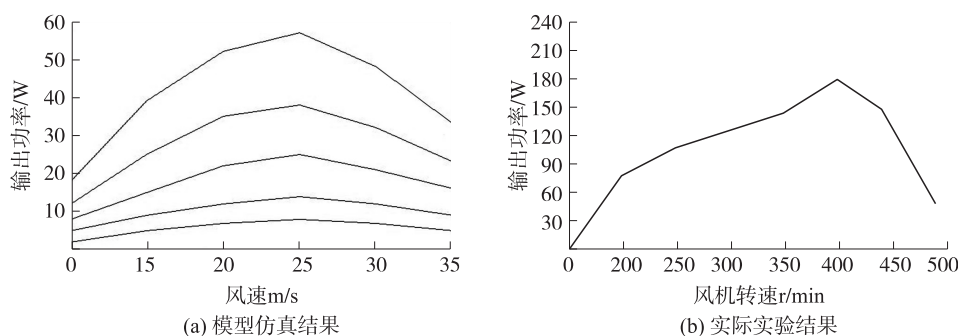


图 7 风速与输出功率关系曲线

Fig.7 Characteristics of the model output power-rotation speed property

5 结语

风光互补发电实验教学平台在实验室条件下,能有效地模拟实际风光互补发电的现实场景,包括风光发电、蓄电池储能、智能监控等,可直观地观察到各种监测结果. 风光互补发电实验教学平台的建立为电气专业学生提供了良好的实践操作平台.

在新能源的发展前提下,风光互补发电实验教学平台将会有很好的开发应用前景^[13]. 届时,这样的风光互补发电实验平台可以变换构建成为一个小型的家庭微电网,从而实现节能用电、绿色用电,在用户端具有实际应用价值.

参考文献

- [1] 郭栋,徐欣,杨根科,等. 一种基于风光互补发电的物联网远程监控系统[J]. 现代电子技术,2013,36(1):124-127.
Guo Dong, Xu Xin, Yang Genke. IOT-based remote monitoring system for wind-solar hybrid power generation[J]. Modern Electronics Technique. 2013,36(1):124-127.
- [2] 彭晓华,邓隐北,孟雪玲,等. 离网型风光互补发电系统的研制与应用[J]. 太阳能,2009(2):24-26.
Peng Xiaohua, Deng Yinbei, Meng Xueling. Development and application of the off-grid wind/PV hybrid power system[J]. Solar Energy, 2012(2):24-26.
- [3] 贺伟. 互补发电系统的应用展望[J]. 上海电力,2008(2):134-138.
He Wei. Application of wind-solar hybrid generating system[J]. Shanghai Electric Power, 2008(2):134-138.
- [4] 尹静,张庆范. 浅析风光互补发电系统[J]. 节能与新能源,2008,6(8):43-45.
Yin Jing, Zhang Qingfan. Analysis of wind-solar hybrid generating system[J]. Energy and Energy Conservation, 2008,6(8):

- 43-45.
- [5] 朱芳,王培红. 风能与太阳能光伏互补发电应用及其优化[J]. 上海电力,2009(1):23-25.
Zhu Fang, Wang Peihong. Application and optimization of wind-solar hybrid generating system[J]. Shanghai Electric Power, 2009(1):23-25.
- [6] 陈亚爱,金雍奥. 风光互补发电系统控制技术综述[J]. 电气传动,2012,42(1):3-6.
Chen Yaai, Jin Yongao. Review of control technologies for wind-solar hybrid generation system[J]. Electric Drive, 2012, 42(1):3-6.
- [7] 齐志远,王生铁,田桂珍. 风光互补发电系统的协调控制[J]. 太阳能学报,2010,31(5):654-659.
Qi Zhiyuan, Wang Shengtie, Tian Guizhen. Coordination control of wind/PV hybrid system[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2010, 31(5):654-659.
- [8] 李洁,陈宇. 含储能装置的微电网并网/孤岛运行仿真研究[J]. 低压电器,2011(2):32-36.
Li Jie, Chen Yu. Simulation study on micro-grid connection/isolation operation containing energy storage device[J]. Low Voltage Apparatus, 2011(2):32-36.
- [9] 许守平,李斌. 基于 LabVIEW 的风光互补发电户用监测系统[J]. 可再生能源,2008,26(5):93-95.
Xu Shouping, Li Bin. The LabVIEW based monitoring system for household wind-PV generating station[J]. Renewable Energy Resources, 2008, 26(5):93-95.
- [10] 赵艳斌,齐向东. 基于 PLC 的风光互补独立发电系统研究[J]. 机械工程与自动化,2012(3):164-165.
Zhao Yanbin, Qi Xiangdong. Stand-alone wind and solar power generation system based on PLC[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2012(3):164-165.
- [11] 程志江. 离网型风光互补发电数据采集系统的实现[J]. 自动化仪表,2009,30(9):43-46.
Cheng Zhijiang. Realization of data acquisition system for the stand-alone wind-solar hybrid power generation[J]. Process Automation Instrumentation, 2009, 30(9):43-46.
- [12] 徐林,阮新波,张步涵,等. 风光蓄互补发电系统容量的改进优化配置方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(25):88-98.
Xu Lin, Ruan Xinbo, Zhang Buhan, et al. An improved optimal sizing method for wind-solar-battery hybrid power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25):88-98.
- [13] 蔡朝月,夏立新. 风光互补发电系统及其发展[J]. 机电信息,2009(24):99-101.
Cai Chaoyue, Xia Lixin. Wind-solar hybrid power generation system and development[J]. Mechanical and Electrical Information, 2009(24):99-101.

[责任编辑:严海琳]