

# 光伏市电互补教室节能照明系统

光伏市电互补教室照明系统确保了教室照明供电的安全可靠；直流母线供电方式与LED节能灯驱动模式的结合，获得了简化结构、高效可靠的效果；充分发挥锂电池工作寿命长、可深度放电的特点，配合充足的光伏电池阵列和蓄电池充放电智能管理模式，有效地降低了建设成本；智能化开关灯控制方案实现了方便使用和节能管理的有机协调。

姜 涛/四川理工学院自动化与电子信息学院

王 浩/四川成都瑞康建筑设计院

作为配合校企节能照明科研课题的验证项目，利用阿坝州某专科学校的一幢4层教学楼进行了光伏节能照明项目试验。该教学楼有60个座位的教室24间，每间教室座位区配备T8/40 W双管荧光灯灯具12盏。以日常作息时间每天运行8 h，全年工作270天，电费0.6元/kW·h计算，教室照明电费支出约3.6万元/年，全年更换灯管材料费用约0.3万元，每年全楼教室照明运行费用合计约3.9万元。该校地处海拔3 200 m左右，多年平均日照时数2 386.4 h，平均太阳辐照量5 939.6 MJ/m<sup>2</sup>，具有很好的光伏日照条件，但常年风力较弱且不稳定，故本方案采用了光伏发电蓄电池储能的供电方式。考虑到秋冬阴雨天气的影响和降低建设成本，更重要的是确保教室照明供电的可靠性，利用原有的交流市电作为后备电源，设计了光伏市电互补教室节能照明系统。

人工智能四川省重点实验室项目《节能照明系统蓄电池充电管理智能控制装置研制》（2012RYY07），《智能高效大功率LED照明系统研究》（2009RY010），四川省自贡市科技局项目《高效大功率LED驱动装置研制》（10Q01）。



姜 涛/副教授

## 关键词/Keywords

光伏发电 ·  
市电互补 ·  
直流母线 ·  
充放电管理 ·  
节能照明 ·

## 直流供电系统

教室节能照明系统可根据蓄电池剩余电量及光伏阵列出力情况自动切换，亦可自由选择光伏优先或市电优先工作模式。为避免传统光伏发电系统先由DC-AC逆变的交流供电，然后又经AC-DC变换为直流实现LED驱动工作模式效率低、可靠性差的问题，在综合考虑了原有线路容量、耐压强度和LED光源驱动电压等方面因素后，确定采取320 V直流电源直接为全楼各教室供电的方式，简化了系统结构，效率和可靠性都得以提高<sup>[1]</sup>。系统框图如图1所示。

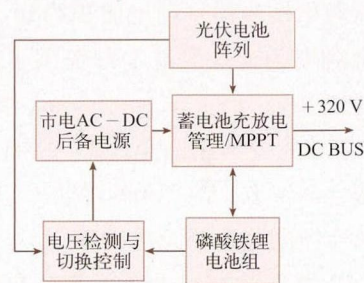


图1 光伏市电互补直流供电系统框图

### 1. 光伏发电和储能系统

教室照明光源改用18 W×2双管LED荧光灯，实际耗电约37.5 W/盏，总功率约10.8 kW，日耗电约86.4 kW·h。另外，负责黑板照明的两盏18 W双管LED节能灯，考虑到实际使用时仅不到一半的开灯时间，耗电量增加不到10%，故在容量设计时无须计入。则蓄电池容量可由式（1）确定

$$B_s = \frac{Q_L N_L}{V_0} \quad (1)$$

式中， $N_L$ 为蓄电池维持天数，由于有交

流市电后备电源,故取较小值1.5;工作电压 $V_0=320\text{ V}$ 。

计算得出 $B_s=4\,000\text{ A}\cdot\text{h}$ ,选用200块3.2 V/200 A·h大单体磷酸铁锂电池组成储能系统。为减小蓄电池内阻差异的影响,蓄电池组宜多串少并,故先用8块2并4串组装成12.8 V/400 A·h的电池单元后,再用25组串联组成320 V/400 A·h储能直流供电系统,储电量128 kW·h,工作电压320 V,放电截止电压270 V,最大充电电压365 V。

太阳能电池板功率由式(2)确定

$$W_s = \frac{(1+f_a)Q_L}{f_b S_i} \quad (2)$$

式中, $f_a$ 为综合损失系数,包括温度、污迹和线损等,一般取0.2左右; $f_b$ 为蓄电池充放电系数,锂电池可取0.9<sup>[2]</sup>;  $S_i$ 为平均日照时间,该地多年平均日照时数可达6~8 h/天,取低值6 h。

计算得 $W_s=19.2\text{ kW}$ ,选用65块300 W的单晶硅电池板组成13串5并光伏电池阵列, $V_{\text{omax}}=375\text{ V}$ , $I_{\text{omax}}=52\text{ A}$ 。

该教学楼屋顶可利用面积约36 m×15 m,长边南北朝向为光伏改造工程提供了较好的条件,光伏电池板尺寸约为1 m×2 m,65块电池板按13×5行方式安装在倾角约35°的钢支架上,每行光伏板之间留有1.5~2 m的消防人行通道。12.8 V/400 A·h锂电池组单元重约60 kg,为均衡屋顶载荷,施工单位将25组电池单元分布放置在利用屋面楼梯间改造成的配电控制室附近的结构梁上,并做了遮阳防雨处理。

## 2. 蓄电池充放电管理系统

储能电池组由光伏电池阵列通过自行改装的MPPT控制器实现智能充放电管理。控制器采用三段式充电模式,当 $V_{\text{bat}}<240\text{ V}$ 时,工作于8 A涓流充电模式;当 $V_{\text{bat}}\geq 240\text{ V}$ 时,工作于55 A恒流充电模式;当 $V_{\text{bat}}\geq 360\text{ V}$ 时,工作于恒压充电模式,直至充电电流小于5.5 A时充电结束;充电结束电压 $V_{\text{batm}}=365\text{ V}$ ,当放电至 $V_{\text{bat}}\leq 328\text{ V}$ 时开始新的充电周期<sup>[3]</sup>。

交流市电的接入由电压检测与切换电路控制,设定蓄电池最低放电电压为270 V,这时放电

容量可达80%~90%。即当蓄电池电压 $V_{\text{bat}}\leq 270\text{ V}$ 且光伏阵列出力不足时,交流市电通过经改装的PAT350-68.4TMX恒压恒流开关电源以75 A恒定电流充电,充电截止电压设定为362 V。

该光伏/市电互补直流供电系统,在正常天气可以完全替代市电实现全楼教室照明,全年平均节电率达85%~95%。

## LED驱动与控制系统

### 1. LED驱动电路

教室照明光源采用前期研发的直流母线供电18 W LED节能灯替代T8/40 W日光灯,可达到1 800 lm以上的有效光通量<sup>[4]</sup>。方案由20只1 W大功率LED焊装在PCB铝基板上,并降额10%使用制作成18 W LED灯组。LED驱动采用BP2808无电解恒流电路,仅需使用10 nF聚丙烯电容作输入滤波,极大地改善了由于电解电容失效而引起的驱动电路寿命短、可靠性差的问题。

18 W LED灯组端电压70 V,工作电流0.3 A,取纹波系数0.65,关断时间10.8 μs时,电感峰值电流为0.5 A,纹波电流为0.4 A,计算得到储能电感值为1.9 mH。考虑到驱动电路板装入铝制灯管后对电感值的影响,实际使用2.4 mH/1 A工字型功率电感,0.5 Ω采样电阻使用3只1.50 Ω±1%贴片电阻并联,MOSFET选用2N60,续流二极管选用MUR160<sup>[5]</sup>。

### 2. 照明控制方式

教室照明灯具平面布置图如图2所示,座位区设置4行3列LED双管荧光灯12盏,由智能控制器控制,黑板照明设置有两盏LED荧光灯,由手动开关按需控制。教室座位区的12盏照明灯采取分组控制方式,将每盏灯具的两支LED灯管分别组成两

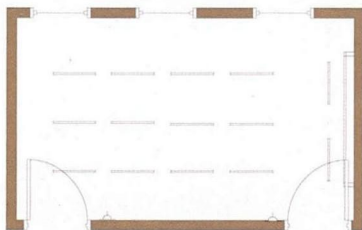


图2 教室照明平面布置图

组，每组12支，根据前后门进出门检测和室内区域人体检测结果实行照明功率控制，以使用继电器控制320 V直流供电的简单方式实现24/12支灯管开关的“全功率/半功率”照明。

传统的照明控制装置常采用进出门人数统计的方法决定教室照明灯光的开关，但这种方法容易出现统计错误，实际使用效果不理想。关键是，如果一旦出现“无人”的错误判断而发出关灯指令，势必造成对学生学习的严重干扰甚至引发安全事故，所以教室照明应以“开灯”优先，“关灯”为最后选择。方案在教室前后区域各设置一个热释红外检测装置，在得到“有人”检测信号后，立刻发出“开灯”指令。而关灯指令则在开灯后延时25 min，并在其间进行室内人体检测，如若未获得人体检测信号则先行“半功率”照明并再延时25 min。此时若有人，势必会激发起开灯的动作而重新获得人体检测信号，则即刻恢复“全功率”照明；若继续无人人体检测信号则发出“关灯”指令。

对于室内人体的检测，由于学生在教室中看书学习一般都处于长时间静止状态，传统的热释电红外动态扫描方法，经试用效果并不理想，而图像识别的检测方案，技术复杂、成本较高。

故设计方案采取了热释电红外被动检测与“半功率”照明控制结合，主动触发人体活动而获取人体检测信号的方法实现开关灯控制，简单而有效。红外模块在检测到人体时输出1，未检测到时输出0；照度模块在照度小于设定值时输出1，大于设定值时输出0<sup>[6]</sup>。

3. 智能控制装置

项目使用数字时序逻辑电路研发的全硬件智能控制装置，较之单片机程序控制方案简单、可靠和廉价，便于批量生产。控制装置电路如图3所示。电源开关由壁开关手动控制，由于继电器的常闭触点接通LED灯组的320 V直流电源，使上电时LED灯组即刻点亮。同时，执行复位操作，使电路各输出为0，继电器不动作。当光照低于设定值或检测到人体信号时，经运算使各输出为0，LED<sub>1</sub>、LED<sub>2</sub>灯组持续点亮。当光照大于设定值和未检测到人体信号时，开始延时计数，延时25 min后，K<sub>1</sub>动作，LED<sub>1</sub>灯组关灯，实现“半功率”照明，同时实施锁闭。此后，若CR持续为0（包括教室在“半功率”照明后未能激发人的动作和无人进出教室），则经延时25 min后，K<sub>2</sub>动作，LED<sub>2</sub>灯组关灯，同时锁闭并使计数器停止工作。至此，教室全部关灯，直至重新得到有效的照度信

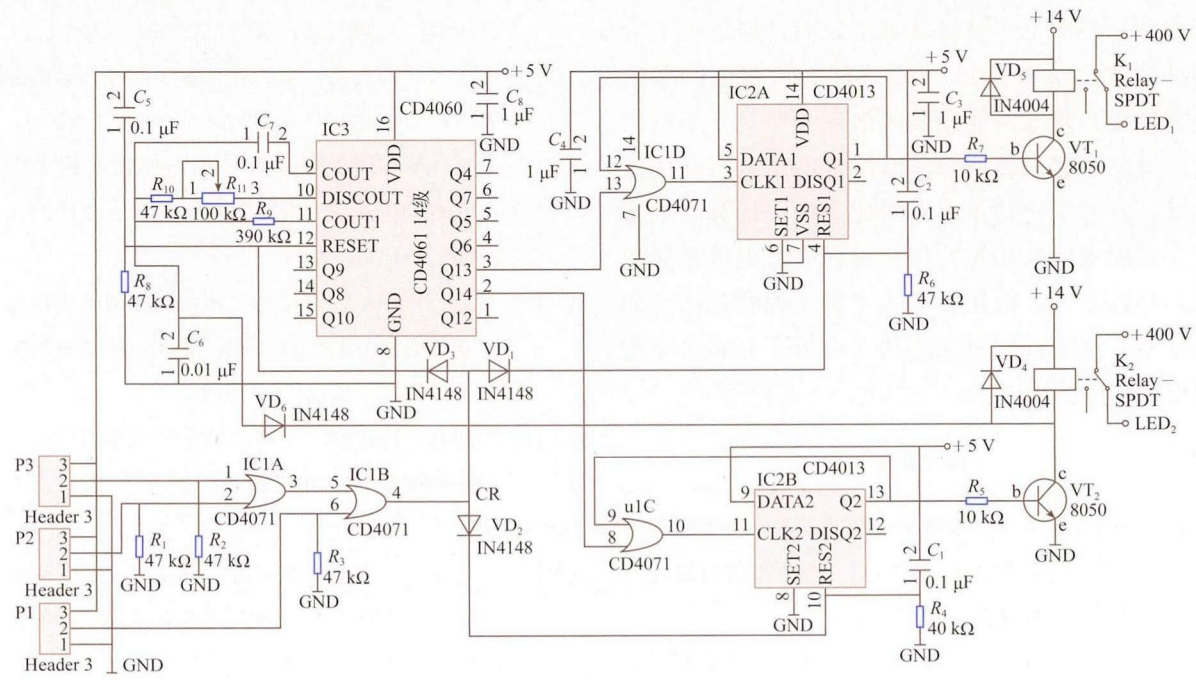


图3 控制装置电路图

号或人体信号时执行开灯。经试验该照明控制装置平均节电率约为16.4%。

## 结束语

经初步试验和测算,光伏市电互补节能照明系统,在正常天气可以完全替代市电实现全楼教室照明,试验中选择了连续两天的阴雨天气进行测试,节电率亦可达到50%以上,全年平均节电率约为85%~95%,每年可节约电费及材料费3.36万元。

试验项目的光源及控制装置由学校实习工厂加工制作,成本约2.5万元,蓄电池组10万元,光伏电池板及控制器4.5万元,市电开关电源由现有实验设备改造成成本约2.5万元,共计投入19.5万元,在设计寿命期内运行5.8年即可收回投资。如果采用普通铅酸蓄电池组,整个改造仅需投入约15.5万元,但目前国产铅酸蓄电池普遍深度放电性能不好,且很难达到设计工作寿命,故还是采用磷酸铁锂电池。

设计方案考虑到锂电池目前价格还较高,结合本地日照特点,蓄电池容量富余量选取较小

(取1.5天),但光伏电池阵列容量充足,蓄电池充电起始电压亦取得较高(为328 V),使系统可以很好地确保在下午日照强烈时完成蓄电池的补充充电,经试用符合设计预期。

## 参考文献

- [1] 汪义旺,曹丰文,张波.新型太阳能光伏LED照明驱动控制器的设计[J].电气应用,2012,31(14):32-34.
- [2] 王志勇,夏国明,江洪,等.智能小区太阳能路灯的设计[J].电气应用,2011,30(6):32-35.
- [3] 姜涛,王浩.高校道路节能照明改造与设计[J].电气应用,2014,33(6):110-111.
- [4] 茅于海.LED日光灯[OL].<http://static.ednchina.com/client/chuangxinjiang/longmaowei.pdf>.
- [5] 姜涛.大功率LED灯组的串并联驱动模式[J].电气应用,2014,33(2):33-35.
- [6] 姜涛,王浩.高校教室节能照明改造与设计[J].照明工程学报,2014(10):40-45.

(收稿日期:2015-05-15) EA

(上接第26页)

析对象,对上述能源特点、并网结构展开仿真分析。并在上述分析基础上,对含新能源配电网结构优化展开分析,对一典型33配电网系统展开分析,加入新能源接入限制条件,分别采用遗传算法、禁忌搜索算法对配电网结构展开优化设计,并对优化结果展开对比分析。计算结果证实,在配电网结构重构优化过程中,遗传算法受早熟特性影响,优化结果劣于禁忌搜索算法,间接证明,禁忌搜索算法更适合应用于分布式电源配电网优化设计。

## 参考文献

- [1] 杨艳红,裴玮,齐智平.基于动态运行策略的混合能源微电网规划方法[J].电力系统自动化,2012,36(10):30-36.
- [2] 梁有伟,胡志坚,陈允平.分布式发电及其在电力系统中的应用研究综述[J].电网技术,2003,27(12):71-75.
- [3] 钱科军,袁越.分布式发电对配电网可靠性影响分析[J].电网技术,2008,32(11):74-79.
- [4] 葛少云,刘自发,余贻鑫.基于改进搜索的配电网重构[J].电网技术,2004,28(23):22-26.
- [5] 王成山,陈凯,谢莹华.配电网扩展规划中分布式电源的选址和定容[J].电力系统自动化,2006,30(3):38-43.
- [6] 郭力,富晓鹏,李霞林.独立交流微电网中电池储能与柴油发电机的协调控制[J].中国电机工程学报,2012,32(25):70-78.
- [7] 杨向真,苏建徽,丁明.微电网孤岛运行时的频率控制策略[J].电网技术,2010,34(1):164-168.
- [8] 王志群,朱守真,周双喜.分布式发电对配电网电压分布的影响[J].电力系统自动化,2004,28(16):38-43.

(收稿日期:2015-03-19) EA