

# 变电站光伏直流系统的研究与应用

## The Research and Application of Solar Sells in Substation DC System

林 航 陈晓明

(安徽继远电网技术有限责任公司,安徽 合肥 230088)

**摘要:**将太阳能光伏发电应用到变电站直流系统是电力企业节能环保的创新举措。文中介绍了变电站光伏直流系统的研究与应用情况;首先阐述了我国太阳能光伏产业发展面临的极好机遇,然后介绍了变电站光伏直流系统的构成、系统设计要素、原则和方法,并描述了组件总功率的计算方法;而后分析了光伏控制器的研究、系统工作原理及其实现方法,包括电源自动切换、蓄电池充电控制方式及系统通信;最后介绍了系统的运行情况

**关键词:**变电站;光伏直流系统;研究;应用;节能环保

**Abstract:** It is Electric Power Corporation's innovation using PV solar in substation for energy conservation and environmental protection. In this paper, it was introduced that the research and application of PV solar in substation DC system. It first expounds a good chance that the PV solar industry faces. And then, it recommends the composing, design elements, principles and methods of PV solar in substation DC system. The computational method of the module total power was also described. Next, the PV controller research, the principle and its implementation method of the system, including the power automatically switch, battery charging control and the communications was analyzed. In conclusion, the operation of the system was recommended.

**Keywords:** substation; PV-DC system; research; application; energy conservation and environmental protection

发展可再生能源已成为全球课题,综观可再生能源种类,太阳能的利用前景最好,潜力最大。而其中的太阳能光伏发电是世界上节约能源、倡导绿色电力的一种主要的高新技术产业。发展光伏产业已经成为各国解决能源与经济发展、环境保护之间矛盾的最佳途径之一。我国光伏产业在国家大型工程项目、推广计划和国际合作项目的推动下,正以前所未有的速度迅速发展。随着国家节能减排政策和光伏产业政策的陆续出台和实施,我国的光伏产业必将得到广泛的应用与推广。

在此背景下,安徽继远电网技术有限责任公司研制出了变电站光伏直流系统,2007年7月,全国第一套变电站光伏直流系统在安徽省巢湖供电公司110 kV 柘皋变电站投入运行;该系统按要求为变电站蓄电池组浮充电,同时给变电站直流负载供电。以下介绍该变电站的光伏直流系统。

## 1 变电站光伏直流系统的构成

### 1.1 系统构成

该系统主要由太阳能电池组件(光伏阵列)、光伏控制器、蓄电池组和高频开关充电装置(充电机)等组成。

太阳能电池是利用“光生伏打”效应将光能转换成电能的设备,在光照条件下,可以产生一定的电压和电流。多块太阳能电池片组成太阳能板,通过对多块太阳能板进行串并联,即可得到满足负载要求的电压、电流;这就是光伏组件阵列<sup>[1-2]</sup>。

光伏控制器是整个系统的控制核心,用来控制太阳能板的发电、蓄电池的充放电、负载的管理和保护;此外,还具备本地显示和远传监控的功能。

蓄电池是系统的储能设备,用于存储太阳能组件所产生的多余电能,并能在太阳能组件发电量无法满足负载需要时,向负载供电。变电站原有配置的蓄电池组已能满足直流系统的需求;因此,无需再做重新配置。

高频开关充电装置即充电机,是变电站直流系统原有的配置,可通过控制其交流输入端交流

接触器的闭合与断开进而控制充电机的启停。

## 1.2 系统设计

设计一个完善的变电站光伏直流系统, 主要依据相关国际、国家标准和地理、气象等数据, 不仅需要充分了解直流负载的功耗、电压等级、工作时间, 更需要获得变电站建设地点的气象资料, 如日照强度、环境温度、湿度、风速、雷暴日、沙尘暴天数和台风等情况。根据系统要求的安全级别, 进行多种设计, 如光伏组件容量设计、蓄电池容量设计、防雷接地系统设计、电气性能设计、系统安全性设计、电磁和静电屏蔽设计、机械结构设计等。系统设计的总原则是既要满足负载用电需求又可长期可靠运行, 即同时考虑可靠性和经济性<sup>[3-4]</sup>。

### 1.2.1 影响光伏组件方阵容量设计的因素

影响光伏组件方阵发电量的主要因素有日照强度、光谱、温度; 其中以日照强度的影响最为直接和显著。一般气象部门提供的日照强度大多为水平面上测得的数据, 而在绝大多数情况下, 太阳能板都是以一定倾角放置的; 因此, 要将水平面上的数值换算成倾斜面上的日照强度<sup>[3]</sup>。

### 1.2.2 光伏组件方阵倾角的选择

确定最佳倾角应通过分别计算光伏组件方阵处于不同倾角时的发电量并对其进行比较, 最终使各月接收到的日照强度尽量均匀, 以适合系统常年运行的需要。现在已有相应的软件可以对光伏组件方阵最佳倾角进行计算, 一般来说, 我国境内大部分地区最佳倾角要大于本地区纬度<sup>[5]</sup>。

安徽巢湖位于北纬 31.36°, 东经 117.52°, 经过计算和综合考虑, 确定光伏组件方阵最佳倾角为 35°。

### 1.2.3 组件总功率设计

该变电站直流系统设计负荷为: 蓄电池浮充电流 0.7 A (现场实际浮充电压为 246 V); 正常直流负荷电流 6 A; 事故照明电流 4 A。即设计耗电功率为:

$$W=UI=246 \times 0.7 + 220 \times (6+4) = 2\,370\text{ W} = 2.37\text{ kW}$$

此外, 还有一功率为 2 kW 的电炉负载。

$$\text{负载总功率 } W = 2.37 + 2 = 4.37\text{ kW}$$

考虑到系统中存在线损和设备损耗等, 系统总损耗为 10%, 则设计系统总功率为:

$$P = 4.37 / (1 - 10\%) = 4.86\text{ kW}$$

因此, 光伏组件设计总功率为 5 kW。组件分

成 3 个回路, 每路峰值功率 1.667 kW, 每路峰值电压 307 V, 峰值电流 5.43 A。

## 2 光伏直流系统工作原理

### 2.1 光伏控制器的研究

本系统研制中, 核心设备是光伏控制器; 因此, 光伏控制器的研究在项目开发中起到关键性的作用。光伏控制器是连接太阳能电池组件方阵和蓄电池组的控制中心, 通过对系统输入输出功率的调节与分配, 实现光伏直流系统的各种控制功能。

光伏控制器主要由单片机电路、开关电源电路、液晶驱动显示电路、实时时钟电路、充电开关电源、键盘接口驱动电路等部分组成。单片机电路通过其输入输出实现与其它各功能电路的连接, 其 A/D 输入口实现对蓄电池、光伏电路采样测量; 开关电源电路给单片机电路及其它电路提供电源; 液晶驱动显示电路通过半字节的数据总线与控制总线再与单片机电路相连接 (液晶显示电路带有独立的控制器, 其工作电源由电源模块提供); 实时时钟电路通过串行总线 SCL、SDA 与单片机连接实现读写功能; 充电开关电源 (采用场效应管) 由一组控制线与单片机相连接, 由软件模拟波形输出充电控制信号; 键盘接口驱动电路与单片机电路之间通过两条 I/O 口线相连接。光伏控制器还设计有防雷和保护电路、RS485 通讯模块等; 光伏控制器原理如图 1 所示。

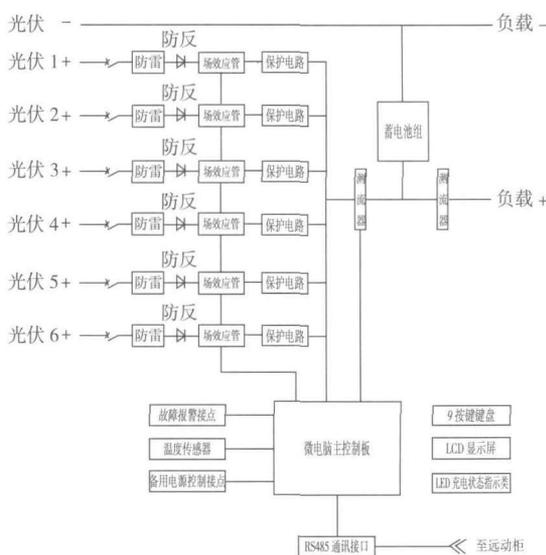


图 1 光伏控制器原理框图

光伏控制器设计为 6 路光伏输入控制, 分别对应光伏组件设计的每一路。每路都有不同的过充电电压限制, 且每路过充限制电压值之间有一个级差。采用阶梯式逐级限流充电方法, 依据蓄电池组端电压的变化趋势自动控制多路太阳能电池方阵的依次接通或切离, 实现对蓄电池组充电电压和充电电流的调节, 即通过检测蓄电池组两端的电压, 来控制每一组太阳能电池方阵对蓄电池组的充电以及对负载供电的控制。这种控制方式, 满足了蓄电池充电时对电流和电压变化规律的要求, 且将满足充电规律和可靠性要求完美地结合起来。

## 2.2 系统工作原理

系统原理如图 2 所示。

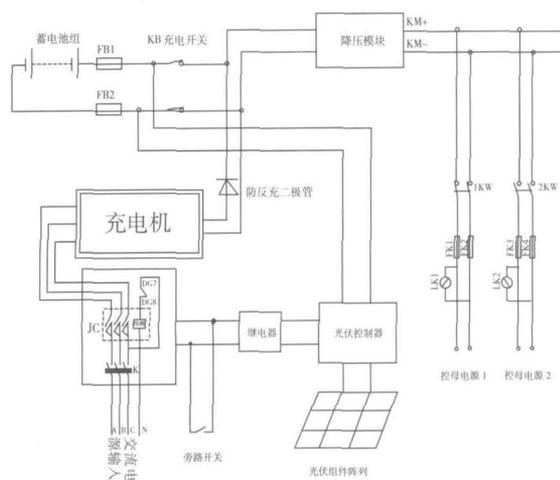


图 2 变电站光伏直流系统结构

该系统利用太阳能电池组件方阵将太阳能转换成电能, 经光伏控制器稳压输出接直流系统合母上。当太阳能电池组件输出电压在直流系统电压要求范围时, 充电机输入端交流接触器受光伏控制器控制而断开, 由光伏电源给变电站直流系统供电; 当太阳能电池组件输出电压不符合直流系统电压要求时, 光伏控制器自动停止输出且控制充电机输入端交流接触器闭合, 此时由充电机给变电站直流系统供电。光伏控制器和充电机自动切换, 交替工作。

## 2.3 系统工作原理的实现

### 2.3.1 光伏回路与充电机回路的自动切换

变电站内充电机输出给蓄电池组的浮充电压

为 246 V, 设置充电机关断电压为 248 V (可根据实际情况修改此值), 充电机启动电压为 242 V (可根据实际情况修改此值)。

当光伏控制器检测到蓄电池组端电压高于 248 V 时, 控制器内的备用电源控制接点动作, 输出一个关断信号给中间继电器, 带动中间继电器动作, 中间继电器闭合触点断开, 进而控制充电机输入端交流接触器断开, 充电机失电关机。此时系统切换为由光伏回路给直流系统供电。当光伏控制器检测到蓄电池组端电压低于 242 V 时, 控制器内的备用电源控制接点动作, 输出一个闭合信号给中间继电器, 带动中间继电器动作, 中间继电器常开触点闭合, 进而控制充电机输入端交流接触器闭合, 充电机得电开机, 由充电机给直流系统供电; 中间继电器的作用是增加接点容量。

另外, 系统还具备手动旁路功能。当光伏控制器故障时, 接通旁路, 使充电机运行, 增强了直流系统供电的安全性、可靠性。

### 2.3.2 蓄电池充电控制方式

系统设计 6 路光伏输入控制, 变电站目前用 3 路, 另 3 路做备用, 供系统扩容等用途。第 1 路光伏回路过充电电压: 250 V; 第 2 路光伏回路过充电电压: 247 V; 第 3 路光伏回路过充电电压: 244 V。当蓄电池组电压低于 244 V 时, 3 路同时投入充电; 当蓄电池组电压高于 244 V 且低于 247 V 时, 第 3 路停止输出, 由第 1、2 路充电; 当蓄电池组电压高于 247 V 且低于 250 V 时, 第 2、3 路停止输出, 仅由第 1 路充电; 当蓄电池组电压高于 250 V 时, 光伏回路自动停止输出, 对蓄电池组进行过充保护。

系统采用阶梯式逐级限流充电方法, 依据蓄电池组端电压的变化趋势自动控制多路太阳能电池方阵的依次接通或切离, 实现对蓄电池组充电电压和充电电流的调节。

光伏回路接到直流系统合母上, 给蓄电池充电的同时, 通过降压硅链稳压到 DC220 V 输出至直流系统控母, 给变电站直流负荷供电。蓄电池组充电曲线如图 3 所示。

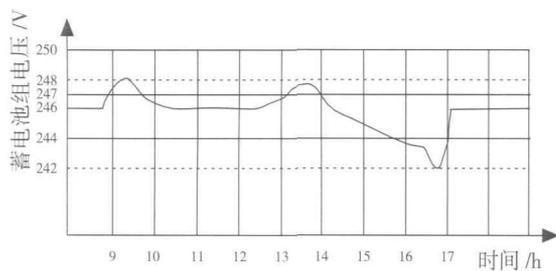


图 3 蓄电池充电曲线

### 2.3.3 通信

光伏控制器配置了 RS485/RS232 接口, 通过规约转换与现场的通讯服务器连接, 接入变电站综合自动化系统, 实现遥测、遥信等远程通讯功能, 变电站直流系统运行情况可实现远程监视<sup>[6]</sup>。

## 3 系统运行效果

变电站直流系统为单母线接线; 原直流系统配置有 1 套蓄电池和 1 套高频开关电源 (即充电机)。

### 3.1 光伏阵列的安伏曲线

运行过程中抽取某一阵列测得的 IV 曲线见图 4。

Peak Power /W:	1 002.03	Fill Factor	71.3
$V_{pk}$ /V:	276.617	$V_{oc}$ /V:	355.554
$I_{pk}$ /A:	3.622	$I_{sc}$ /A:	3.955

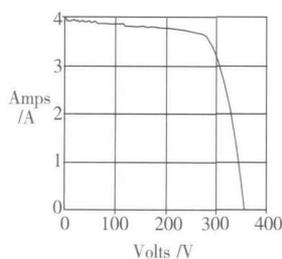


图 4 光伏阵列的 IV 曲线

### 3.2 系统运行情况说明

在白天有太阳光照的情况下, 以光伏直流电为主用直流电源, 输出接直流系统合母, 给直流负载供电和给蓄电池组浮充电。太阳光照减弱时, 光伏直流电压下降, 蓄电池组电压也随之下降; 光伏控制器实时检测蓄电池组的电压, 当检测到蓄电池组电压降到 242 V 以下时, 光伏控制器自动控

制充电机开机, 此时由充电机给直流系统供电。太阳光照逐渐增强的时候, 光伏直流电压会上升; 当光伏控制器检测到蓄电池组电压上升到 248 V 以上时, 光伏控制器自动控制充电机关机, 此时由光伏直流电源给直流系统供电。

光伏控制器和原有的充电机自动切换, 交替工作, 向变电站直流系统供电, 提高了变电站直流系统的可靠性。光伏发电无噪声、不消耗燃料, 不产生有害物质, 对环境没有任何污染, 是节能环保的“绿色发电”。系统投入运行以来, 运行情况良好, 运行安全稳定。

## 4 结 语

变电站光伏直流系统利用新能源发电, 符合国家能源政策和光伏产业政策, 对建设“资源节约型、环境友好型”电网企业和促进社会节能环保具有深远的影响和重要意义。该系统具有节能环保、运行稳定可靠等优点和广阔的推广应用前景; 但由于系统只是在给直流负载供电的同时满足蓄电池组浮充电要求, 在这种运行方式下, 系统不能完全充分地利用太阳光照; 为了进一步提高利用率, 可将光伏直流系统延拓至站用电系统, 开发出变电站光伏并网发电系统。

(收稿日期: 2008-11-3)

### 参考文献

- [1] 沈辉, 曾祖勤. 太阳能光伏发电技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 王长贵, 崔容强, 周簧. 新能源发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [3] 杨晓宇, 王运涛. 通信基站太阳能供电系统设计[J]. 电力系统通信, 2007, 28(176): 47-50.
- [4] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 刘荣. 自然能供电技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 丁书文, 黄训诚, 胡起宙. 变电站综合自动化原理及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

### 作者简介:

林航(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。