

智能型太阳能充电电路设计

冯显争 李训铭

(河海大学电气学院, 南京 210098)

摘要: 针对油田无线示功仪及其无线网络节点的供电问题, 采用开关电源技术实现了太阳能组件电压变化或负载波动时自动调节占空比的供电网络, 运用自动控制技术设计了过电压保护电路、过放电保护电路与应急充电电路等, 采用充电管理技术实现了锂电池充电及电压调节电路, 根据光敏传感器输出差值比较电压设计了太阳自动跟踪控制器. 该太阳能充电电路思路新颖, 在应用上是一种突破, 工作效率达到 92%, 输出电压精度为 98%, 系统运行一年来, 工作性能安全、稳定. 应用证明具有较高的实用和推广价值.

关键词: 太阳能; 供电网络; 充电; 锂电池; 自动跟踪

中图分类号: TP202 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 0505 (2007)增刊 () -0194-05

Design of intelligent solar charging circuit

Feng Xianzheng Li Xunming

(College of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Aiming at the power-supply problem of the wireless dynamometers and its wireless network nodes in oilfields, automatic adjustment of the duty cycle was accomplished when the voltage of solar energy components or load changed, and the power supply network was achieved by using switching power technology. The over-voltage protection circuit, over-discharge protection circuit and emergency charging circuit were designed based on automatic control technology. Lithium batteries charging circuits and voltage regulator circuits were realized by charge management technology. Voltage difference comparison was produced by photosensitive sensors, and automatic solar tracking controller was designed. The solar charger circuit is innovative in design ideas and applications. The work efficiency reaches 92%, and output voltage precision achieves 98%. The system performance is stable and safe over the past year. The results has proved that this circuit is valuable in practical application and worth popularizing.

Key words: solar energy; power supply network; charge; lithium batteries; automatic tracking

随着无线技术的发展, 无线网络技术越来越多投入到实际应用中, 无线传感器网络一般分布范围较广, 架设供电线路, 投资大, 维护成本高. 如采取干电池方式供电, 则每个节点的电源供电能力有限, 对每个节点更换电池不仅费时、费力, 增加成本, 而且影响工作效率. 能否稳定持续的供电, 成为制约油田无线示功仪及其无线网络发展的一个重要因素, 太阳能技术的发展使供电方式产生了飞跃式的发展, 已经成为油田无线示功仪及其中继网络节点供电方式的发展方向. 本文拟对油田监测示功仪及中继网络节点设计一种智能化、免维护型的太阳能充电电路, 为无线网络节点供电. 该设计电路具有以下特点: 基于开关电源技术设计的充电网络具有自动调节占空比的功能, 具有很宽的输入电压范围. 采用线性电源管理芯片, 用先预充恒流恒压的充电方式完成整个充电过程. 采用低噪声、高速度的 CMOS 型电压调节器, 具有高精度的恒压、恒流输出. 充电过电压保护、锂电池过放电保护功能, 使锂电池充、放电安全可靠. 自动跟踪太阳的功能, 太阳能采集板始终保持对准太阳, 充分利用太阳能.

收稿日期: 2008-10-12

作者简介: 冯显争 (1977—), 男, 硕士生, fengtao981@163.com; 李训铭 (联系人), 男, 教授, 硕士生导师, lxm@vip.sina.com.

1 系统设计

现有的光伏电池,单体的输出电压都很低(在 1V 以下),本设计中,将多个光伏电池相串联,组成太阳能组件.通过可以自动调节占空比的供电网络保证在光照强度变化和负载变化时,输出电压基本稳定^[1],为充电管理芯片提供稳定的电压输入.通过对供电网络的副边电压监测,保护充电管理芯片不因电压过高而损坏.通过对电池两端的电压监测,保证锂电池不会因过放电而损坏.由于无线示功仪及其中继网络节点的供电要求是 3.3V,采用低噪声、高速度的 CMOS 型电压调节器.在自动跟踪控制器作用下,始终保持全天候跟踪太阳.为了防止因连续阴雨天而导致的太阳能供电不足,设计应急充电电路,充电期间,无线示功仪及其节点正常运行.具体系统设计模块如图 1 所示.

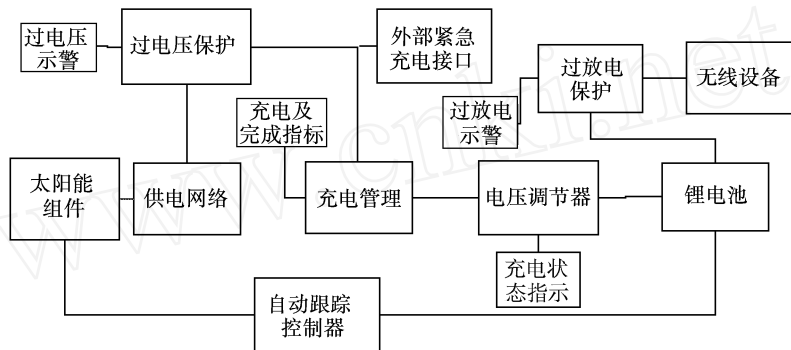


图 1 系统设计示意图

2 硬件电路设计

2.1 太阳能组件及充电电路设计

本文设计中采用 16 个光伏电池串联,组成电压约为 12.8V 的太阳能组件,通过采集较高的光能,保证日照能够使锂电池完全充满电.供电网络设计电路采用正激式拓扑结构^[1].具体电路如图 2 所示.

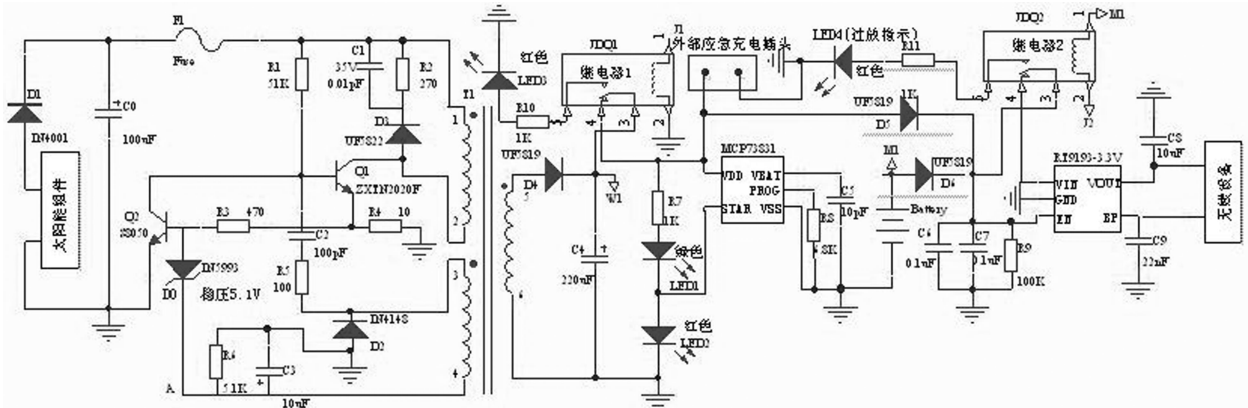


图 2 智能型太阳能充电电路设计主电路

太阳能组件产生的电能,一路经过开关变压器 T_1 的 1-2 绕组加至开关管 Q_1 的集电极 (c),另一路经过 R_1 为 Q_1 提供基极电压.当基极 (b) 的电压为高电平时, Q_1 开始导通,变压器 T_1 的 1-2 绕组中产生 1 正 2 负的电动势,经 T_1 耦合,在 T_1 的 3-4 绕组中产生 3 正 4 负的感应电动势,此电动势经 R_5 、 C_2 叠加到 Q_1 的基极 (b),使 Q_1 迅速饱和导通.由于变压器 T_1 的 1-2 间的电流不能突变,在此过程中会产生 1 负 2 正的电动势.变压器 T_1 的 3-4 绕组中感应出 3 负 4 正的电动势,通过 R_5 、 C_2 ,使 Q_1 迅速进入截止状态.经 R_1 对 C_2 的不断充电, Q_1 又开始导通,进入下一轮的开关振荡状态.在导通期间, T_1 变压器的副边绕组 5-6,经整流二极管 D_4 向外输送能量.

稳压电路由稳压管 D_0 、三极管 Q_2 等元件组成.当负载减轻或太阳能组件输出电压升高时, A 点电压上升.当该电压大于 5.1V 时, D_0 击穿, Q_2 因 b-e 结正向偏置而迅速导通,使 Q_1 提前截止,从而使输出电

压趋于下降;反之,则控制过程相反,从而使变压器 T_1 副边输出电压基本稳定.当负载过重时, Q_1 的 $c-e$ 电流增大, R_4 上的压降也随之增大.当该电压大于 $0.7V$ 时, Q_2 导通, Q_1 截止,达到过流保护的目.为避免截止期间变压器 T_1 的 1-2 绕组感应出的尖峰脉冲击穿开关管 Q_1 ,并联了尖峰脉冲吸收电路.

2.2 过电压保护控制

过电压保护控制,具体电路如图 3 所示:整流二极管 D_4 接电压保护继电器 $JDQ1$ 输出.充电控制管理芯片 $MCP73831$ 最大输入电压为 $6V$.虽然供电网络基本输出电压为 $5V$,但当光照强度发生剧烈变化或负载变化较大时,输出电压仍然会有一定波动,为保护 $MCP73831$ 不因短时的电压波动而损坏,设计了过电压保护控制器.当 W_1 的电压超过 $6V$, $JDQ1$ 会断开输出电路, $MCP73831$ 因断电而得到保护.具体分析如下:此部分电路设计主要采用了 $LM2903$ 电压比较器和外围电路扩展而成. $LM2903$ 包含两路比较器,1,2,3脚为一路,1脚为 $OUTPUTA$,2,3脚为 $INPUTA$.5,6,7脚为另一路,7脚为 $OUTPUTB$,5,6脚为 $INPUTB$.其中过电压保护控制器用 5,6,7脚的比较器^[2].电阻 R_{11} , R_{13} 分压后接至比较器的 5脚.当电压大于 $6V$ 即分压值大于 $2.4V$.比较器的 7脚输出电平由低转为高. Q_3 饱和导通,则 Q_5 截止,安全指示灯熄灭,接点 $J1$ 为高电平,此时 $JDQ1$ 开始工作,供电电路与后续电路断开,同时过电压红色警示灯亮起.

2.3 过放电保护控制

当锂电池电压低于 $3.5V$ 时,即电池电量释放 92% 以上时,认为不能继续放电,否则锂电池内部介质会发生变化,致使充电特性变坏,容量降低等.为此设计过放电保护控制电路,此电路的具体设计如图 3,分析如下:采用了 $LM2903$ 的 1,2,3脚组成的一路比较器,与外围器件构成过放电压比较器, R_{12} , R_{14} 分压后接至 $LM2903$ 的 3脚.当电压值小于 $3.5V$ 时,分压值小于 $2.4V$, $LM2903$ 的 1脚由高电平转变为低电平, Q_4 由导通转变为截止状态, Q_6 饱和导通, $JDQ2$ 工作,同时过放红色指示灯亮.

2.4 自动跟踪控制器

控制器的输入端,光敏传感器分别由两只光敏电阻串联交叉组合而成.每一组两只光敏电阻中的一只为比较器的上偏置电阻,另一只为下偏置电阻.一只检测太阳光照,另一只则检测环境光照,送至比较器输入端的比较电平始终为两者光照之差^[3-4].具体电路如图 4 所示:光敏电阻 RT_1 , RT_2 与电位器 R_{27} 和光敏电阻 RT_3 , RT_4 与电位器 R_{28} 分别构成光敏传感电路.将 RT_1 和 RT_3 安装在垂直遮阳板的一侧, RT_4 和 RT_2 安装在另一侧.当 RT_1 , RT_2 , RT_3 和 RT_4 同时受环境自然光线作用时, R_{27} 和 R_{28} 的中心点电压不变.当只有 RT_1 , RT_3 受太阳光照射, RT_1 的内阻减小, $LM2903$ 的 5脚电位升高,7脚输出高电平,三极管 Q_7 导通, $JDQ4$ 工作,其触点 3,5 闭合.同时 RT_3 内阻减小, $LM2903$ 的 3脚电位下降, $JDQ5$ 不工作,电机 M 正转;当只有 RT_2 , RT_4 受太阳光照射,同理,电机 M 反转.当转到垂直遮阳板两侧的光照度相同时, $JDQ4$, $JDQ5$ 都导通,电机 M 才停转.在太阳不停地偏移过程中,垂直遮阳板两侧光照度的强弱不断地交替变化,电机不停的运动,使太阳能接收装置始终面朝太阳.

2.5 充电管理电路设计

锂电池的充电过程一般分为 3 个阶段:涓流充电阶段.恒流充电阶段.一般可以充电到电池容量的 85% 左右.恒压充电阶段^[5].锂电池过充,轻则减少电池寿命,性能变坏,重则产生漏液等^[6].在本文的设计中,采用了线性充电管理芯片 $MCP73831$ ^[7],如图 1 所示.该芯片具有输出电压准确,任意设定充电电流,自动转换充电模式,消耗电流极小 ($25\mu A$),过充监测保护等功能和特点. $MCP73831$ 各管脚的功能:

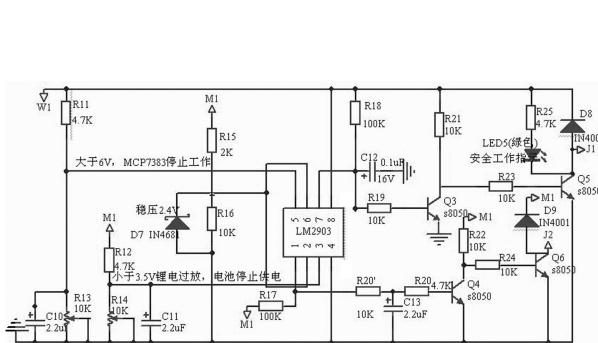


图 3 过电压与过放电保护控制电路

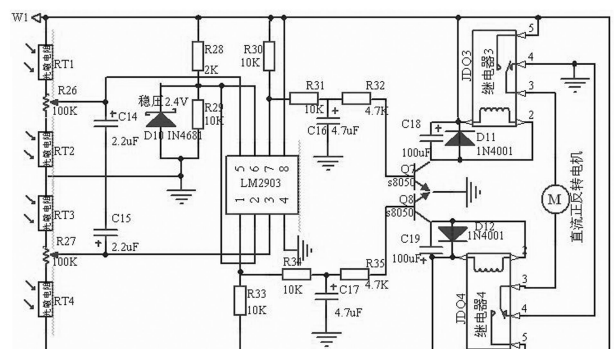


图 4 自动跟踪控制器

VDD 为输入电压端; VSS 为参考零电压端; VBAT 为充电控制输出端; STAT 为充电状态输出端. PROG 为电流设定与充电控制使能端. 锂电池充电时, 充电管理芯片 MCP73831 的 PROG 接口须外接电阻到 VSS, 具体计算公式: $I_{REG} = 1000(V) / R_{PROG}$ 其中 R_{PROG} 的单位为 k, I_{REG} 的单位为 mA. 在本文设计中 $R_{PROG} = 2k$. 则 $I_{REG} = 500mA$. STAT 的各接口状态及电路设计中指示灯的逻辑关系如表 1 所示. 充电管理芯片 MCP73831 通过检测锂电池的 BAT 引脚来判断电池的各个状态, 从而对电池进行充电管理. 不发生过电压保护时, 供电网络一方面对 MCP73831 提供 5V 电压. 一方面通过 D5 传输到 JDQ2 对后续电路供电. 应急充电时, 外接 5V 电源, 一路通过 D5 到继电器 JDQ2 另一路到达 MCP73831 对锂电池充电. D5 阴极端输出电压 $5(V) - 0.7(V) = 4.3(V)$, 由于锂电池的电压在充满或非充满电状态的时候, 都低于 D6 阴极输出端电压 (D5, D6 共阴极), 所以在应急充电的过程中, RT9193 正常工作. 在 CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 型电压调节器 RT9193 的 BP 端和地之间连接一个 22nF 的电容, 可以极大的减少调节器的输出噪声^[8]. 在常温状态下, 充电完成时电压 4.2V 的锂电池, 消耗了 90% 的电量时候, 电压仍然会保持 3.5V. 本文设计中选用电压调节器 RT9193, 即使 3.4V 的时候, 输出电压仍然可以稳定在 3.3V.

表 1 MCP73831 电路设计中指示灯的逻辑关系

Charge Cycle State	STAT	LED1	LED2
Shutdown	Hi-Z	ON	ON
No Battery Present	Hi-Z	ON	ON
Preconditioning	L (Low)	ON	OFF
Constant Current Fast Charge	L (Low)	ON	OFF
Constant Voltage	L (Low)	ON	OFF
Charge Complete—Standby	H (High)	OFF	ON

3 试验数据及结果分析

在调试中, 采用模块化测试的方法, 最后进行联合调试. 对供电网络进行测试, 选用可调电源, 调节输入电压, 输出电压及试验数据如表 2 所示. 通过应急充电接口接入标准 5V 电压, 断开 RT9193, 对进行测试时, 没有连接二极管 D5, D6, 发现 MCP73831 的指示灯指示不正确. 分析发现, 不连接二极管 D5, D6, 相当于 RT9193 直接连接在 BAT 引脚输出, 在 MCP73831 上电的瞬间, 要检测 BAT 的状态, RT9193 的输入引脚及支路连接到锂电池的正极, 直接影响到了 MCP73831 对 BAT 引脚的检测状态, 致使充电进入涓流充电阶段. 增加 D5, D6 后, 再进行试验, 指示灯符合逻辑要求. 测试输出电流为最大为 485mA, 充电电压达到 4.2V 时, 绿色指示灯熄灭, 红色指示灯亮起, 完成对锂电池的充电. W1 接入 0~10V 可调节电压源 (初始值设为 5V), M1 接入 0~5V 可调节电压源 (初始值设为 4V), 调节滑动变阻器 R13, R14. 使 W1 输入电压 6V 时 LM2903 的 7 脚由低电平转为高电平. 测量此时滑动电阻器 R13 = 3.15k, 固定此电阻值. M1 输入电压 3.5V 时 LM2903 的 1 脚由高电平转为低电平, 测量此时滑动变阻器 R14 = 1k, 固定此电阻值. 此时发现 LM2903 的 1 脚输出处于临界值, 不停的在高低电平之间变换, 继电器 JDQ2 不停的通断, 减少了 JDQ2 的使用寿命, 极易损坏无线示功仪及无线网络设备, 对无线设备的寿命影响也极大. 分析发现: 在过放电保护过程中, 检测值和比较值如果达到基本一致的状态, 则会产生临界保护. 为此在电阻 R20 与 R20 之间接电解电容 C13, 通过对电容的充放电, 延迟了 Q4 的关断时间, 增加了开启和关断的时间间隔, 电容的大小决定了时间间隔的长短. 该时间即为过放保护控制器的保护延时时间. 设计选用 2.2μF 电容, 测试发现延时 15s 左右.

表 2 供电网络部分试验数据

输入电压 /V	变压器副边输出电压 /V	在负载突变或输入电压突变时, 变压器副边输出电压
8	4.9	
9	5.1	电压变化范围是 4.5~6.5V, 随后 1~6s 后能基本调整结束, 输出电压基本保持稳定, 恢复到正常输出电压
10	5.2	
11	5.4	
12	5.4	
13	5.5	

自动跟踪控器调试, 调试时 W1 接 5V 电源, 用一只 100W 灯泡照射 RT1 与 RT3 并移动灯光, 可以发现太阳能采集板跟着灯光运动. 但稳定状态时电机不停震动, 此时通过在电阻 R31 与电阻 R32 之间增加一个 4.7μF 电容, 延迟电机启动、停止时间. 经测试发现延时时间 40s 左右, 相对太阳照射时间来说, 此时间可以忽略不计, 不影响跟踪功能. 同理在电阻 R34 与电阻 R35 之间增加一个 4.7μF 电容. 经测试发现: 可以完全消除电机震动现象且跟踪效果良好. 各部分独立调试完成后对供电网络和充电管理芯片 MCP73831 进行联调, 然后增加 RT9193 进行调试, 最后实现整个系统的调试. 经测试证明, 实现了设计目标和功能要求.

4 结语

此智能型太阳能充电电路,具有工作性能稳定,运行安全可靠、低损耗、高效率、结构简单,输出电压精度高优点.自动调节占空比的供电网络与电源管理芯片的结合,过压与过放电保护,自动跟踪太阳等功能是比较有创造性的设计方式,特别是将这些设计应用到油田无线示功仪和无线网络节点中,是一种崭新的尝试,也是应用上的突破.目前本文所设计开发的太阳能充电及自动跟踪电路已经成功应用于江苏油田无线示功仪及其无线通讯网络中.实践证明该系统充电速度快,效率较高,可以实时跟踪太阳,工作稳定,维护量少.具有较高的实用及推广价值.

参考文献 (References)

- [1] 赵同贺,刘军.开关电源设计技术与应用实例 [M].北京:人民邮电出版社,2007:40-93.
- [2] STMicroelectronics. Low power dual voltage comparators LM2903 [EB/OL]. (1998-08) [2008-09]. <http://pdf.dzsc.com/88889/4775.pdf>
- [3] 王雪文,王洋,阎军锋,等.太阳能电池板自动跟踪控制系统的设计 [J].西北大学学报:自然科学版,2004(34):163-164.
Wang Xuewen, Wang Yang, Yan Junfeng, et al. Design of automatic track control system in solar cell [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2004(34): 163-164. (in Chinese)
- [4] Kobayashi K, Matsuo H, Sekine Y, Sekine A. An excellent operating point tracker of the solar-cell power supply system [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2006, 53(2): 495-499.
- [5] Scott Dearborn. 锂离子电池充电:充电系统的差异与选择 [J].世界电子元器件,2008(4):14-16.
Scott Dearborn. Lithium-ion battery charge: difference and choice of charging system [J]. Global Electronics China, 2008(4): 14-16. (in Chinese)
- [6] 庞静,卢世刚,刘莎.锂离子电池过充特性的研究 [J].电化学,2005(4):398-401.
Pang Jing, Lu Shigang, Liu Sha. A study of overcharge characteristic of lithium-ion cells [J]. Electrochemistry, 2005(4): 398-401. (in Chinese)
- [7] Microchip Technology. Miniature single-cell, fully integrated Li-ion, Li-Polymer charge management controllers MCP73831 [EB/OL]. (2006) [2008-09]. <http://soft.laogu.com/datasheet/86/MCP73831.MICROCHIP.713634.pdf>
- [8] Richtek Technology Corporation. 300mA, ultra-low noise, ultra-fast CMOS LDO regulator RT9193 [EB/OL]. (2007-03) [2008-09]. <http://pdf.dzsc.com/88890/21610.pdf>