

便携式移动电源的设计

牛小玲, 王 军, 李雷达

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 在智能手机、PDA、平板电脑等移动智能终端越来越丰富、越来越深入人们生活的今天, 能够在差旅等特殊情况下为移动设备供电的移动电源将会有越来越广泛的应用。该文提出了由 DC/DC 变换电路、锂电池保护电路和单片机构成的便携式移动电源的设计方法, 设计了原理图, 给出了各器件参数的选择和软件设计流程。该项目设计内容涵盖了电子技术、单片机技术和 EDA 技术, 非常适合作为创新研究性实验选题。

关键词: DC/DC 变换电路; 锂电池保护电路; 单片机; 便携式移动电源

中图分类号: TN79 + 1

文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1672-4550.2015.05.005

Design of the Portable Power Source

NIU Xiaoling, WANG Jun, LI Leida

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Mobile power supply will be applied more and more widely with the use of intelligent mobile phone, tablet computer, PDA. Design method of portable power source composed of DC/DC converter, lithium battery protection circuit and single chip microcontroller is put forward. The schematic circuit is proposed, the software design process and the device parameters selection are described. The project which covers the electronic technology, computer technology and EDA technology is very suitable to be used as an experiment topic oriented innovative experiment project.

Key words: DC/DC converter; lithium battery protection circuit; microcontroller; portable power source

创新研究型实验课程是中国矿业大学 2012 年新增的一门实验课程。课程的选题要求尽可能反映电子技术的新水平, 并有一定的实用价值, 能激发学生设计的兴趣和热情。便携式移动电源的设计同时涵盖了电子技术、单片机技术和 EDA 技术等, 非常适合作为创新研究型实验课程的设计选题项目。

1 便携式移动电源的组成

便携式移动电源以单片机作为控制核心, 包括 DC/DC 升压变换^[1]电路、锂电池充放电管理电路、锂电池充电保护电路、电池电量 LED 指示电路、唤醒按键等, 其组成框图如图 1 所示。

电路以(台湾义隆公司生产)单片机 EM78P2

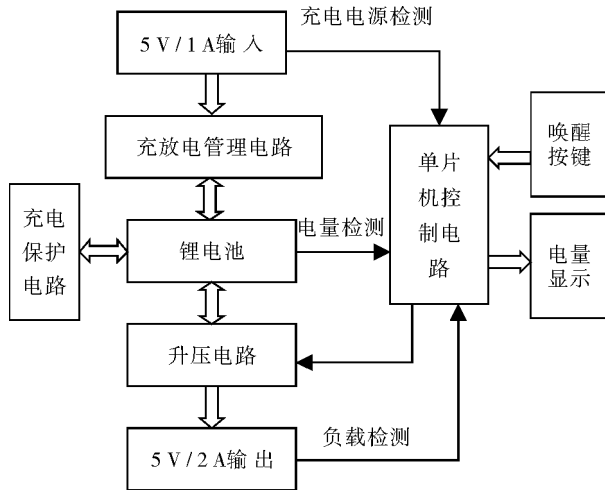


图1 便携式移动电源组成框图

59NS018J 为控制核心, 为能够最大限度地提高电池电能的利用率并延长待机时间, 要求平时单片机处于睡眠状态以降低功耗, 在睡眠时整个系统消耗的电流小于 $10\ \mu\text{A}$ 。当有外部充电电源或负载接入移动电源时, 单片机能够自动从睡眠状态下唤醒; 或者当按下唤醒按键时, 单片机也会从睡眠状态下唤醒, 再自动根据是否有外部充电电源和负载决定其工作状态, 同时通过 6 个发光二极管指示当前电池电量。

收稿日期: 2014-09-04; 修改日期: 2014-12-01

基金项目: 2013 年中国矿业大学教育教学改革与建设基金 (2013G15)。

作者简介: 牛小玲(1976-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事检测技术与智能控制方面的研究。

通信作者: 王 军(1981-), 男, 在读博士, 高级实验师, 主要从事仿生机器人与特征识别方面的研究。

2 便携式移动电源硬件电路设计

2.1 锂电池充放电保护电路

锂离子电池因放电电流大、内阻低、寿命长、无记忆效应等优点被广泛使用,但是,锂电池也非常脆弱,过充、过放、过电流及短路都会对其造成不可逆转的损害。因此,需要对其充放电过程进行全面的保护^[2-4]。锂电池充放电保护电路如图 2 所示。它以锂电池保护专用集成电路 DW01^[5]为核心,外加 MOS 开关管 8205A、电阻、电容等元件组成,锂电池接在 B+ 和 B- 之间。为使 IC 功耗不超过 DW01 的功耗额定值, R_{61} 和 R_{62} 的总值要超过 1 k Ω , 且 R_{61} 一般取值比较小。因为 R_{61} 取值太大会导致检测电压升高,容易产生错误。

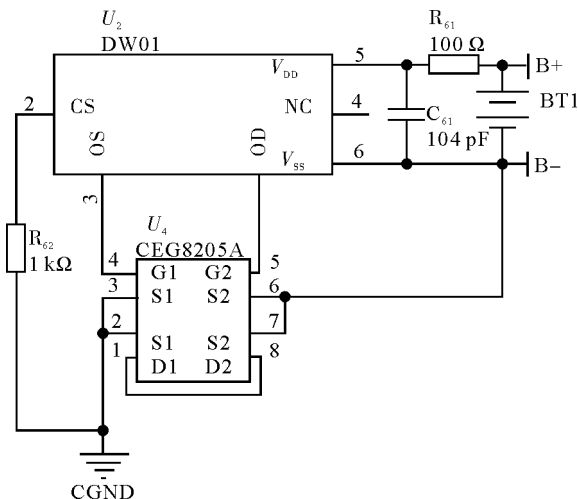


图2 锂电池充放电保护电路

2.2 锂电池充电管理电路

本设计采用 AP5056 对锂电池充电进行管理,电路如图 3 所示。AP5056 是对单节锂电池进行恒流/恒压充电的管理芯片^[6],在整个电池充电过程中有涓流充电、恒流充电、恒压充电、充电完成与再充电四种基本充电模式。当有电源接入时,使能端 CE 变成高电平,AP5056 开始工作,BAT 端检测电池电压并根据电压的大小自动选择合适的充电模式。当电池电压低于 3 V 时,充电电路进入涓流充电模式;电池电压大于 3 V 时,进入恒流充电,此时充电是最快的,充电电流由 PROG 脚与 GND 间的电阻 R_{PROG} 确定;当电池电压接近 4.2 V 左右时,转为恒压充电,充电电流慢慢减小;当充电电流减小到恒流充电电流的 10 % 后,即停止充电,进入低功耗的待机模式。在待机模式下,AP5056 会继续检测电池端的电压,如果电池电压降到 4.05 V 以下,则充电器将再次向电池充电。

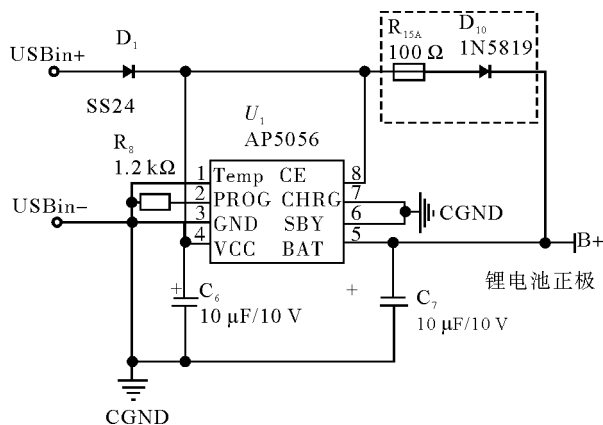


图3 锂电池充电管理电路

2.3 升压电路

本便携式移动电源有一路 5 V/2 A 的输出口 (USB 接口),为手机、PDA 等移动设备提供输入。由于单节锂电池的正常输出电压范围为 3.3 ~ 4.2 V,因此,为了得到 5 V 的输出电压就要进行升压处理。升压电路如图 4 所示。

该升压电路采用 ME2109 为主控芯片^[7],配合外部 MOSFET 实现。输出电压由电阻 R_{16} 和 R_{20} 决定,即:

$$V_{\text{out}} = \left(1 + \frac{R_{16}}{R_{20}}\right) \times 1.25$$

因为 1.25 V 为内部基准电压恒定不变,因此, R_{16} 和 R_{20} 两个电阻选取时精度不应该低于 1 %。图 4 中的 D_5 为续流二极管。运放构成恒流控制电路,当负载电流大于 2 A 时,运放输出端电压较高,经过 D_9 后加到 ME2109 的反馈端 (FB),使输出电流降低,最终稳定在 2 A 左右。ME2109 是否工作受单片机 P60 端口控制,在无负载时,可以使 ME2109 停止工作,降低电池能量的消耗。另外,输出端的中间还有个 MOSFET 管 Q_1 ,在无负载时 Q_1 截止,只有检测到负载时 Q_1 才会导通为负载供电。

2.4 控制电路

电路选用单片机 EM78 P259NS018J 作为控制芯片^[8],具体电路如图 5 所示。由于按键要求具有唤醒功能,必须要将按键安排在单片机有唤醒功能的引脚上。对于该单片机来说,它的唤醒引脚在 P5 口上,所以只要将唤醒按键安排在 P5 口上即可。本设计中使用了 6 个发光二极管 (2 个红色、2 个黄色、2 个绿色) 来显示电池的电量,MCU 通过检测 ADC3 通道的电池电压,计算相对应的电池容量,并根据电池容量的大小用点亮相应的 LED 的数目来指示电池容量。

利用率和待机时间。为了能够满足该项设计指标，设计中采用了如下 4 项措施：

- 1) 单片机的 P60 引脚控制升压芯片 ME2109 的使能端 EN，在睡眠前可以将 5 V 升压电路停止工作。
- 2) 单片机的 P70 引脚控制 AD 转换所需的 2.5 V 基准电压(单片机 3#号脚)产生电路，在睡眠前控制 P70 输出低电平，以降低功耗。
- 3) 单片机的 P62 – P67 引脚控制电量显示二极管，在睡眠前通过将相应的 6 个单片机引脚输出低电平，以关闭所有发光二极管。
- 4) 单片机睡眠前，关闭单片机内部 AD 转换单元和看门狗电路，再进入睡眠状态。

通过以上的设计处理，单片机睡眠后，实测从电池正极输出的电流在 10 μ A 以内，满足了设计要求。

2.4.2 唤醒设计

设计中另一项要求是在单片机睡眠后，当外部电源接入、负载接入和按下唤醒按键后能够将处于睡眠状态的单片机唤醒。为了满足该项设计要求，设计中采用了以下 3 项措施：

- 1) 电路中设计了外部电源接入检测端，外部输入电压经过 D₁，再经过 R₃、R₁₁ 分压后，通过电阻 R5 接到单片机的 P55 引脚，当外部 5 V 接入时，单片机的 P55 引脚由低电平变为高电平。这样利用单片机 P5 口的输入状态变化就可以实现唤醒功能了。
- 2) 为了实现负载接入时的单片机自动唤醒功能，电路上将单片机 P51 通过 10 k Ω 电阻 R₁₂ 接到负载正极端，睡眠时 P51 就是高电平，当负载接入时，P51 引脚被拉到低电平，利用单片机 P5 口的输入状态变化也能够实现自动唤醒功能。
- 3) 唤醒按键 K₁ 接在单片机的 P51 口上且睡眠时 P51 为高电平，当按键按下时将 P51 口拉到低电平，利用单片机 P5 口的输入状态变化实现唤醒功能。

通过以上的设计处理，在单片机睡眠后，只要有外部电源输入或有负载接入都可以自动唤醒单片机；同样，按下唤醒按键也能够唤醒单片机，实现了设计要求。

通过以上的设计处理，在单片机睡眠后，只要有外部电源输入或有负载接入都可以自动唤醒单片机；同样，按下唤醒按键也能够唤醒单片机，实现了设计要求。

3 便携式移动电源的软件设计

该移动电源的软件部分使用 C 语言^[9]进行编程，并且采用状态机的编程思想^[10-11]来完成程序

的设计和编写。单片机唤醒后，根据检测到是否有外部输入充电电源和负载，决定程序进入不同的处理状态，主程序流程图如图 6 所示。在上述 4 个状态下，单片机都会时刻检测外部充电电源和负载的状态，并根据它们的状态实现各个状态间的迁移，最终都进入状态 4，在状态 4 下显示 10 s 电池电量。如果在这个 10 s 时间段内没有发生状态迁移，10 s 结束后单片机会进入睡眠状态，以节省电池电量的消耗，最大可能地延长待机时间。

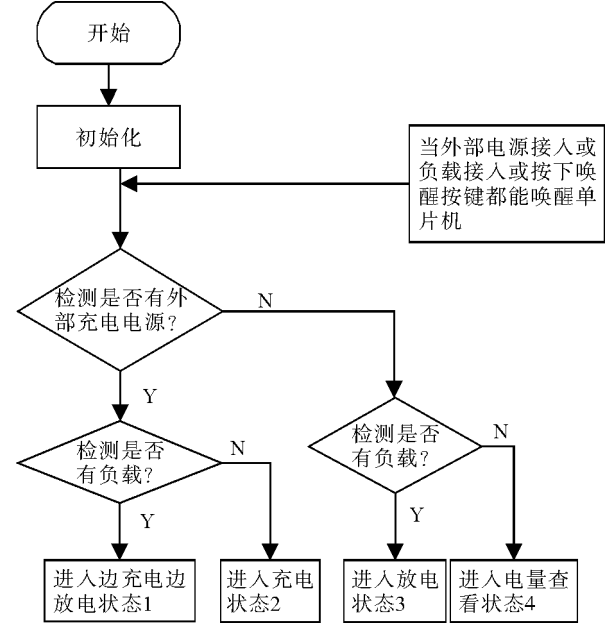


图 6 主程序流程图

4 测试结果与性能指标

本便携式移动电源在充电电压为 5 V (DC)，充电电流为 1.2 A (max) 时，电池电压与 LED 显示关系见表 1，放电时电池电压与 LED 显示关系见表 2，其性能指标见表 3。

表 1 充电时电池电压与 LED 显示关系

电池电压 (V_{cell})/V	LED1 (红)	LED2 (红)	LED3 (黄)	LED4 (黄)	LED5 (绿)	LED6 (绿)
$V_{cell} < 3.1$	闪烁	灭	灭	灭	灭	灭
$3.1 \leq V_{cell} < 3.3$	亮	闪烁	灭	灭	灭	灭
$3.3 \leq V_{cell} < 3.5$	亮	亮	闪烁	灭	灭	灭
$3.5 \leq V_{cell} < 3.7$	亮	亮	亮	闪烁	灭	灭
$3.7 \leq V_{cell} < 3.9$	亮	亮	亮	亮	闪烁	灭
$3.9 \leq V_{cell} < 4.15$	亮	亮	亮	亮	亮	闪烁
$4.15 \leq V_{cell}$	亮	亮	亮	亮	亮	亮

表 2 放电时电池电压与 LED 显示关系						
电池电压 (V_{cell})/V	LED1 (红)	LED2 (红)	LED3 (黄)	LED4 (黄)	LED5 (绿)	LED6 (绿)
$V_{cell} < 3.58$	闪烁	灭	灭	灭	灭	灭
$3.58 \leq V_{cell} < 3.65$	亮	闪烁	灭	灭	灭	灭
$3.65 \leq V_{cell} < 3.71$	亮	亮	闪烁	灭	灭	灭
$3.71 \leq V_{cell} < 3.76$	亮	亮	亮	闪烁	灭	灭
$3.76 \leq V_{cell} < 3.84$	亮	亮	亮	亮	闪烁	灭
$3.84 \leq V_{cell} < 3.88$	亮	亮	亮	亮	亮	闪烁
$3.88 \leq V_{cell}$	亮	亮	亮	亮	亮	亮

表 3 性能指标	
电芯类型	三星 18650 锂离子电池
电芯容量/mAH	3 × 2 600
电芯连接方式	三节并联
电芯标称容量/mAH	7 800
实测电芯容量/mAH	7 906
实测输出容量/mAH	5 381
输入参数(充电)	5 V/1 A
输出参数(放电)	5 V/2 A
工作模式	DC/DC 升压
实际转换效率/%	87.65
可用容量比/%	68.99
放电电压/V	最高: 5.302
	最低: 4.996
平均放电电压/V	5.154
电压波动范围/V	0.306
静态耗电量/ μ A	6.5
停止输出时电芯电压/V	3.06

5 结束语

在智能手机、PDA、平板电脑等移动智能终端越来越丰富、越来越深入人们生活的今天,其电池续航能力会越来越受到人们的关注。因此,能够在差旅等特殊情况下为移动设备供电的移动电源将会有越来越广泛的应用,学生也会有很浓厚的设计兴趣。本设计课题是 2012 年笔者所带的大学生实践创新训练项目,2013 年作为创新研究型实验题目让学生来做,设计完成后学生普遍认为受益匪浅。

在具体实施时,只将设计任务及要求提供给学生,由学生自主进行探究性学习,确定设计方案,设计电路并进行 Proteus 仿真^[12],仿真成功后进行电路焊接和调试,最后提交一份完整的设计报告和实物样品。

参 考 文 献

[1] Sanjaya Maniktala. 精通开关电源设计[M]. 王志强,译. 北京:人民邮电出版社,2008.

[2] 朱爱敏,朱华. 锂离子电池保护电路设计[J]. 常州工学院学报,2005,18(4): 39-41.

[3] smallsmall2008. 单节锂电池保护电路 [EB/OL]. (2011-02-19) [2014-07-10]. <http://wenku.baidu.com/view/51750cabd1f34693daef3e99.html>.

[4] DS2762. High-precision Li+ battery monitor with alerts [EB/OL]. (2012-08-14) [2014-07-10]. <http://www.docin.com/p-461443334.html>.

[5] Tangmuyang2013. DW01-one cell lithium-ion/polymer battery protection IC [EB/OL]. (2011-01-23) [2014-07-10]. <http://wenku.baidu.com/view/9a782d1352d380eb62946d16.html>.

[6] AP5056. 采用 SOP8/MSOP8 封装 1A 线性锂离子电池充电器 [EB/OL]. (2010-01-23) [2014-07-10]. <http://www.chipown.com.cn/cn/product.aspx?id=122>.

[7] 美美. ME2109-升压超小型 300 kHz PWM/PFM 切换控制 DC/DC 控制器 [EB/OL]. (2012-05-09) [2014-07-10]. <http://www.docin.com/p-398626445.html>.

[8] ELAN. 8-Bit Microprocessor with OTP ROM [EB/OL]. [2014-07-10]. http://www.emc.com.tw/twn/database/Data_Sheet/8BIT/EM78P259N.pdf.

[9] 马忠梅. 单片机的 C 语言程序设计[M]. 北京:航空航天大学出版社,2007.

[10] 黄新林,王钢,刘春刚. 有限状态机在单片机编程中的应用[J]. 哈尔滨理工大学学报,2008,13(4): 7-9.

[11] 张俊. 状态机思路在单片机程序设计中的应用[J]. 今日电子,2009(2): 37-39.

[12] 周润景,张丽娜,丁莉,等. 基于 PROTENUS 的电路及单片机设计与仿真[M]. 2 版. 北京:航空航天大学出版社,2010.