锂电池在线充放电管理电路的设计

北京中国地震局分析预报中心(100036) 牛黎明

摘 要：介绍锂离子电池的优势和对保护电路要求高的特点，用 P87LPC767 单片机做控制，MAX1758 做充电管理，设计了一种在线式的锂离子电池充放电管理电路，并给出了充电参数的设置方法和充放电控制的状态流程。为应用锂离子电池和外电源供电的双电源系统或仪器的设计提供了一种参考。

关键词：锂离子电池 在线式 充放电管理 P87LPC767 单片机 MAX1758 芯片

1 锂离子电池的特点

近几年来，便携式电子产品的迅猛发展促进了电池技术的更新换代。其中锂离子电池以高能量密度、高内阻、高电池电压、高循环次数、低自放电率等特性，脱颖而出，迅速成为市场的主流。据统计，在笔记本电脑和移动电话领域，锂离子电池的市场占有率分别为 80%和 60%。根据日本矢野经济研究所的预测，锂离子电池正以 53.33%的年增长率快速取代传统的镍铬和镍氢电池市场。

虽然锂离子电池有以上所说的种种优点和良好的市场前景，但它对保护电路的要求比较高，在使用过程中应严格避免出现过充电、过放电现象，放电电流也不宜过大，一般而言，放电速率不应大于 0.2C。锂电池的充电过程如图 1 所示。在一个充电周期内，锂离子电池在充电开始之前需要检测电池的电压和温度，判断是否可充。如果电池电压或温度超出制造商允许的范围，则禁止充电。允许充电的电压范围是：每节电池 2.5V~

(接上页)

询作为 8 位的发送码。以生成矩阵 G_1 为例，用信息矢量 C 乘以生成矩阵 G_1 再加上一位偶校验就得到了生成码(发送码)。查询表为：

信息	生成码	信息	生成码	信息	生成码	信息	生成码
0000	00000000	0100	01001110	1000	10001011	1100	11000101
0001	00010111	0101	01011001	1001	10011100	1001	10011100
0010	00101101	0110	01100011	1010	10100110	1110	11101000
0011	00111010	0111	01110100	1011	10110001	1111	11111111

2.2 译码方法

用查询法对(8,4)码进行译码，需要建造有 256 个值的查询表。按照译码编写查询表。先写出扩展汉明码的校验矩阵，实际上就是将原校验矩阵 H_1 扩充，记为 $\tilde{H}_1$，

$$\tilde{H}_1=\begin{pmatrix}1&1&1&0&1&0&0&0\\0&1&1&1&0&1&0&0\\1&1&0&1&0&0&1&0\\1&1&1&1&1&1&1&1\end{pmatrix}$$

对于任一 8 位的接收码矢量 R，进行 $R\tilde{H}_1{}^T$ 运算，得到一个 4 位的伴随矢量，再按如下步骤比较确定原信息。

(1)如果伴随式矢量是全 0 矢量，接收码是正确的，码的前(低)4 位就是信息。

(2)如果伴随矢量的最后一位是 1，则有一位错，可纠正。将伴随矢量与矩阵 $\tilde{H}_1$ 的每一列相比较，找出相同的那一列，记下列号，再将接收码与该列号相对应的那一位变号 (1 变 0，0 变 1)，得到的码就是纠正后的原码，信息取码的前(低)4 位。

(3)否则，是一位以上的错码且不能纠正。

将一个字节可能出现的所有 0~255 个可能值都按上面的译码步骤做一遍得到查询表，留作译码用。另外译码和编码还可以对整个信息字节作一字节的垂直校验以增强校验能力。

上述检验方式已在江苏、宁夏、福建等地的实际工作中得到了验证。CRC 校验虽不具备纠错功能但有很高的检错率，应用面也很广。其中，直接模 2 除法 CRC 方式因编程简单、占用程序空间少(不用查询表)，适合于数据通信量不大且程序及内存空间有限的场合，反之可选用快速 CRC 方式。在对数据完整性要求高的场合，可根据具体情况考虑使用汉明码或扩展汉明码。在某些要求更高的特殊情况下，则可选用更复杂一些的校验码，同时通信条件的好坏也是影响校验方式选用的因素之一。

参考文献

1 顾慰文.纠错码及其在计算机中的应用.北京:国防工业出版社,1980
2 马彦恒,尚朝轩.CRC 差错校验在 IBM/PC 与 8031 单片机无线通讯中的应用.电子技术应用,1997;23(7):17~18
3 Joe Campbel,张国定译.串行通信 C 程序指南.北京:清华大学出版社,1995
4 王义忠.水情无线数据通信.北京:中国科学技术出版社,1997

(收稿日期:2001-11-13)

欢迎邮购本刊 1995~1999 年光盘版，每套 100 元

万方数据

4.2V；温度范围是 :2.5℃~50℃。在电池处于深放电的情况下，必须要求充电器具有预充过程，使电池满足快速充电的条件；然后，根据电池厂商推荐的快速充电速度，一般为 1C，充电器对电池进行恒流充电，电池电压缓慢上升；一旦电池电压达到所设定的终止电压（一般为 4.1V 或 4.2V），恒流充电终止，充电电流快速衰减，充电进入满充过程；在满充过程中，充电电流逐渐衰减，直到充电速率降低到 C/10 以下或满充时间超时时，转入顶端截止充电；顶端截止充电时，充电器以极小的充电电流为电池补充能量。顶端截止充电一段时间后，关闭充电。

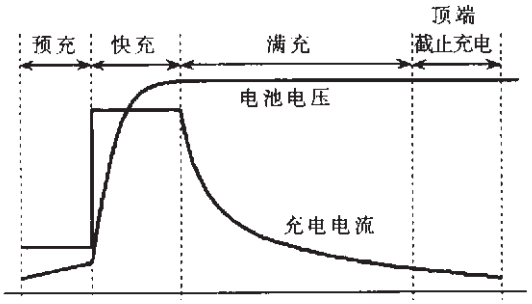


图 1 电池充电过程

一般而言，锂离子电池的安全电压下限为 2.4V，其所要求的误差精准度并不如充电电压精确，但亦必须配合适当的过放电延迟时间，以同时兼顾最大使用电量与过放电保护的要求。当电池进行放电动作、电池电压低于过放电保护电压时，应当关闭电池放电，避免电池过放电现象发生。当放电电流过大，保护电路应该关闭电池放电，执行过放电电流保护功能。至于保护电流的大小，可以根据负载的大小加以设定。值得注意的是：保护电路不能因为负载需要短时间的大电流而误动作，保护电路必须提供不同的过放电电流保护延迟时间，提高工作的稳定性。

除此之外，整体锂离子电池组的保护功能还可以通过电池内部的安全阈作内压保护，外部电路的热敏电阻进行高温保护。

2 在线充放电管理的电路结构

由于锂离子电池对保护电路要求比较高，在设计充电和放电电路时，应该充分考虑到可能出现的各种情况，并加以保护，以确保电池安全工作。在实际设计中，需要将锂离子电池应用在长期无人看守的仪器中，要求充放电管理电路可自动监测锂离子电池、外部供电以及负载的状态，并做出相应的动作，以确保负载长期稳定地工作，锂电池安全有效地工作。选择 MAXIM 公司生产的锂离子充电管理芯片 MAX1758 和 PHILIPS 公司生产的低功耗单片机 P87LPC767 来实现对锂离子电池的充电和放电管理，以及对电池工作状态的实时监测，完成外部供电电压和内部电池电压的实时切换。充放电管理电路的结构如图 2 所示。

3 充电管理电路原理

图 2 所示电路的上半部分是用 MAX1758 构成的 1~4 节锂离子电池充电管理电路。MAX1758 芯片内部电路包括：输入调节器、电压检测器、充电电流检测器、定时器、温度检测器和主控制器。

输入电流调节电路用于限制电源的总输入电流，包括系统负载电流和充电电流。当检测到输入电流大于设定的限流门限时，通过降低充电电流可达到限制输入电流的目的。因为系统工作时电源电流的变化范围较大，如果充电器没有输入电流检测功能，则输入电源（墙上适配器或其它直流电源）必须能够提供最大负载电流与最大充电电流之和。这将使电源的成本增高、体积增大。而利用输入限流功能则能够降低充电器对直流电源的要求，同时也简化了输入电源的设计。图 2 中利用 MAX1758 的 CSSP 引脚与 CSSN 引脚之间的外接电阻 $R1$ 来检测输入电流，ISETIN 引脚设置检测门限。需要注意的是：电阻 $R1$ 上的压差使充电器的功耗增大、效率降低。为减小压差，一般应选择较小的电阻值；但过小的阻值会使内部输入检流放大器的失调电压增大，从而降低电流检测精度。因此，应综合考虑，选择适当的 $R1$ 值。

电压检测电路可与电流检测电路分别对电池电压和充电电流进行调节、监测。最大充电电流由 ISETOUT 引脚的电压值确定，电池充电终止电压限定为 4.2V，通过 VADJ 引脚的外接分压电阻在 4.0V~4.4V 之间调节。电池节数由 CELL 引脚设置，CELL 引脚接 GND、浮空、接 REF、接 VL 分别表示电池节数为 1 节、2 节、3 节、4

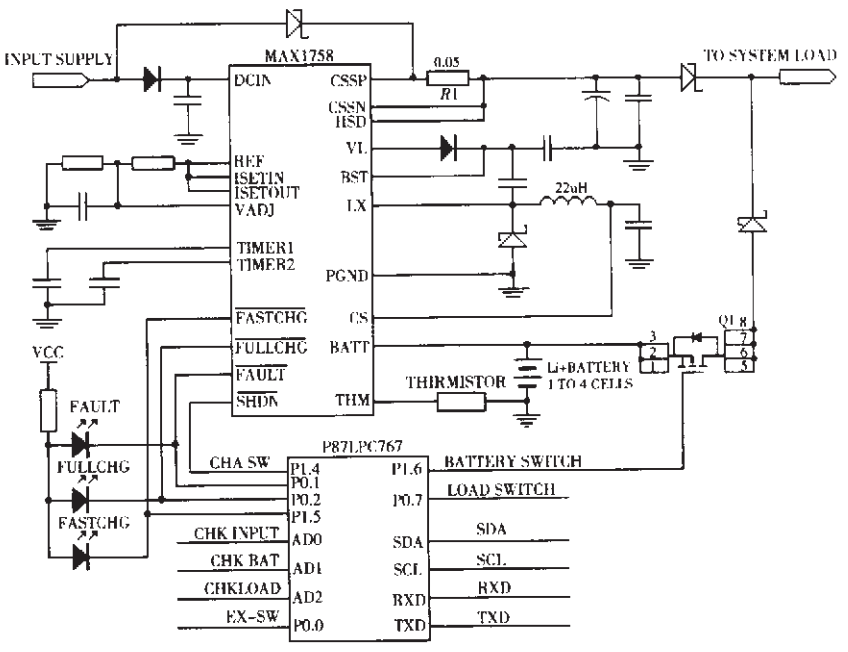


图 2 充、放电管理电路结构

万方数据

节。MAX1758 的电压检测精度为±0.8%。电压检测和电流检测结果送入内部主控制器，主控制器通过驱动内部 MOSFET 导通或断开以达到控制电流或限制电池电压的目的。

定时器和温度检测器为电池充电提供附加保护。由于充电效率达不到 100%，充电时间限定值应留有余量。温度传感器应接在 THM 和 GND 之前，靠近电池安装。温度传感器可选择具有负温度系数的热敏电阻，+25℃时阻值为 10kΩ。Philips、Cornerstone 传感器公司、Fenwall 电子公司均可提供适当的产品。MAX1758 以 1.2Hz 的频率检测电池温度。

4 充电参数设置

4.1 电池终止电压设置

通过 MAX1758 的 VADJ 引脚外接分压电阻可以设置电池充电终止电压，分压电阻应选择阻值低于 100kΩ、精度为 1%以上的精密电阻。电池充电终止电压与电池的化学特性和内部构造有关，具体参数由电池厂商提供。VADJ 引脚的电压(V_{VADJ})与电池充电终止电压(V_{BATTR})、电池节数(N)、基准电压(V_{REF})之间的关系由下式确定：

$$V_{VADJ}=(9.5V_{BATTR}/N)-(9.0\times V_{REF})$$

4.2 充电电流设置

快充过程的充电电流由 ISETOUT 引脚的电压值($V_{IESTOUT}$)决定，该电压由连接在 REF 和 GND 之间的分压电阻调节。当 ISETOUT 引脚接 REF 时，电流为最大值(1.5A)。I_{CHG} 与 $V_{IESTOUT}$ 的关系式如下：

$$I_{CHG}=1.5A\times(V_{IESTOUT}/V_{REF})$$

4.3 输入电流限制

输入限流门限 I_{IN} 由 ISETIN 引脚的电压确定，根据下式可确定 I_{IN} 的值。

$$I_{IN}=I_{FSS}(V_{ISETIN}/V_{REF})$$

式中：$I_{FSS}=0.1V/R1$

4.4 选择电感

电感值与电流纹波的大小有关。选用较大的电感时电流纹波较小，但如果电感的物理尺寸相同时，电感值越大，通常电感的等效串联电阻和额定电流较小。从总体指标考虑，电流纹波一般设置为平均充电电流的 30%~50%。假设纹波电流与直流充电电流之比为 LIR，则电感值由下式确定：

$$L=\frac{V_{BATT}(V_{DCIN(MAX)}-V_{BATT})}{V_{DCIN(MAX)}\times f_{OSC}\times I_{CHG}\times LIR}$$

式中：f_{OSC} 为充电器内部 DC/DC 变换器的开关频率，为 300kHz。电感额定电流应大于 $I_{CHG}[1+LIR/2]$。

4.5 充电时间设置

MAX1758 内含 4 个定时时间设置功能，即预充、快充、满充、顶端截止充电时间。在 TIMER1 外接电容可设置预充、满充和顶端截止充电过程的时间限制，在 TIMER2 上外接电容可设置快充时间限制。充电速率为 1C 时，典型充电时间设置为(TIMER1 与 TIMER2 的外接电容均为 1nF)：预充时间为 7.5 分钟、快充时间为 90 分钟、满充时间为 90 分钟、顶端终止充电时间为 45 分钟。

5 过充、过放保护

单片机 P87LPC767 的主要功能是实时监测外供电电压、电池电压、负载电压和电池温度，并根据监视参数的状态实现对电池过充、过放、过温、负载过流的保护，以及与主 CPU 进行参数交换。

P87LPC767 有四个 A/D 转换接口，分别用于监测外供电电压、电池电压、负载电压和电池温度。工作时 P87LPC767 每 20 毫秒就对外供电电压进行一次 A/D 转换，读取外供电电压值。一旦外供电电压低于设定值时，P87LPC767 就打开功率 MOSFET Q1，将负载供电切换到电池上，如图 3。P87LPC767 每秒钟检测一次电池电压、负载电压和电池温度，判断电池是否需要充电。若电池电压低于设定的值，而外供电电压和温度都满足充电的条件，则打开 MAX1758，对电池充电，补充电池能量。当电池给负载供电，电池电压低于安全放电的电压值(每节电池电压低于 2.4V)时，P87LPC767 立刻将 Q1 关断，防止电池过放，并将负载、MAX1758 等外围电路关闭，转入低功耗工作模式，以节省耗电，等待外供电电压恢复正常时，再重新启动。如果检测到负载电压过低，会认为是过流引起的，也将立即关闭负载，转入低功耗工作模式，等待外部唤醒。这样，P87LPC767 可以实现电池以及负载电路的保护，使得仪器在外部供电电源不太稳定的环境下可以长期稳定地工作。

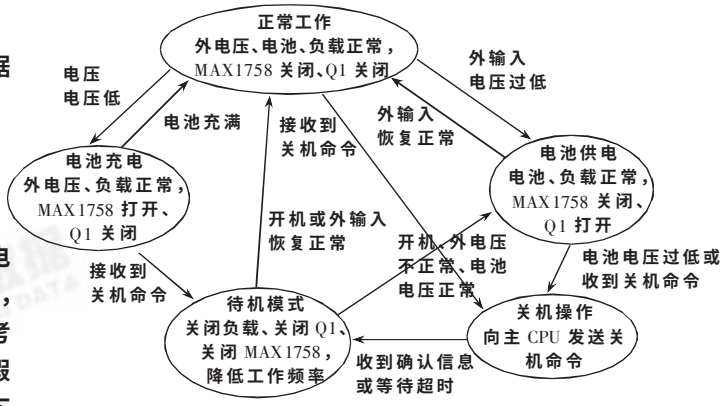


图 3 充放电状态转换流程

参考文献

1 Phlips Semiconductors. Datasheet: P87LPC767 Low Power, Low Price, Low Pin Count Microcontoller with 4kB OTP and 8-bit A/D, Feb. 02. 2000

2 Maxim. Datasheet: Stand-Alone, Switch-Mode Li+ Battery Charger with Intenal 28V Switch, 2001

3 金 里.锂离子电池及其保护电路. 电子产品世界

(收稿日期：2001-11-23)

欢迎邮购本刊 1995~1999 年光盘版，每套 100 元

万方数据