

锂离子电池保护电路原理分析

作者：俞峰 E-mail: azhu@pub3.fz.fj.cn

摘要：锂离子电池特点 保护电路工作原理分析 常用控制 IC 介绍

关键词：锂离子电池 保护电路 控制 IC

随着科技进步与社会发展，象手机、笔记本电脑、MP3 播放器、PDA、掌上游戏机、数码摄像机等便携式设备已越来越普及，这类产品中许多是采用锂离子电池供电，而由于锂离子电池的特性与其它可充电电池不同，内部通常都带有一块电路板，不少人对该电路的作用不了解，本文将对锂离子电池的特点及其保护电路工作原理进行阐述。

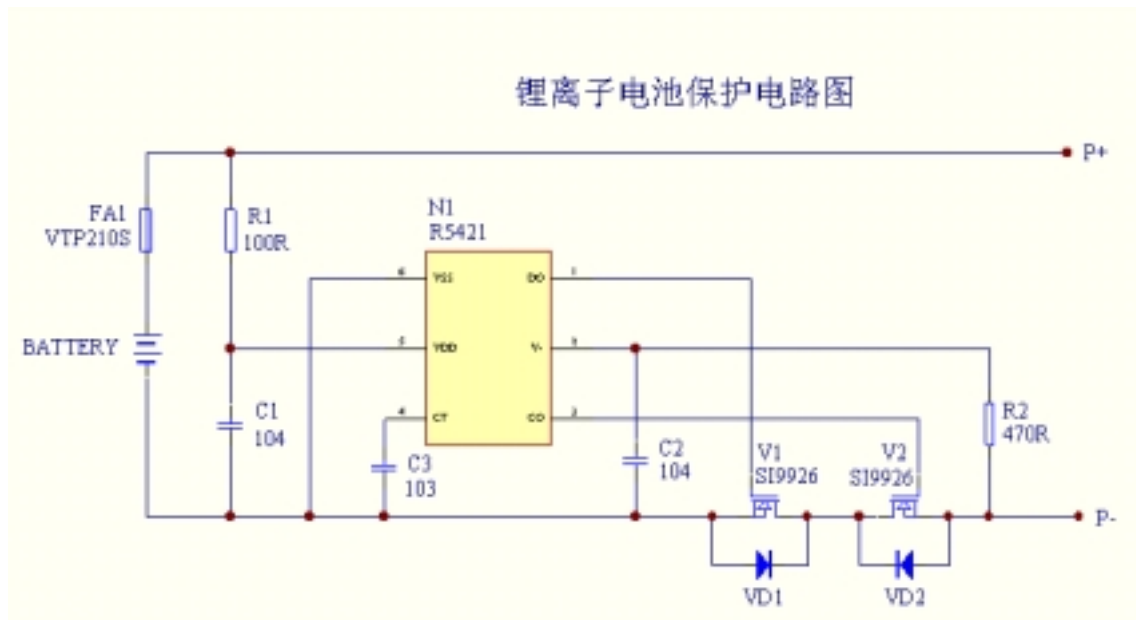
锂电池分为一次电池和二次电池两类，目前在部分耗电量较低的便携式电子产品中主要使用不可充电的一次锂电池，而在笔记本电脑、手机、PDA、数码相机等耗电量较大的电子产品中则使用可充电的二次电池，即锂离子电池。

与镍镉和镍氢电池相比，锂离子电池具备以下几个优点：

- 1、电压高，单节锂离子电池的电压可达到 3.6V，远高于镍镉和镍氢电池的 1.2V 电压。
- 2、容量密度大，其容量密度是镍氢电池或镍镉电池的 1.5-2.5 倍。
- 3、荷电保持能力强（即自放电小），在放置很长时间后其容量损失也很小。
- 4、寿命长，正常使用其循环寿命可达到 500 次以上。
- 5、没有记忆效应，在充电前不必将剩余电量放空，使用方便。

由于锂离子电池的化学特性，在正常使用过程中，其内部进行电能与化学能相互转化的化学正反应，但在某些条件下，如对其过充电、过放电和过电流将会导致电池内部发生化学副反应，该副反应加剧后，会严重影响电池的性能与使用寿命，并可能产生大量气体，使电池内部压力迅速增大后爆炸而导致安全问题，因此所有的锂离子电池都需要一个保护电路，用于对电池的充、放电状态进行有效监测，并在某些条件下关断充、放电回路以防止对电池发生损害。

下图为一个典型的锂离子电池保护电路原理图。



如上图所示，该保护回路由两个 MOSFET (V1、V2) 和一个控制 IC (N1) 外加一些阻容元件构成。控制 IC 负责监测电池电压与回路电流，并控制两个 MOSFET 的栅极，MOSFET 在电路中起开关作用，分别控制着充电回路与放电回路的导通与关断，C3 为延时电容，该电路具有过充电保护、过放电保护、过电流保护与短路保护功能，其工作原理分析如下：

1、正常状态

在正常状态下电路中 N1 的“C0”与“D0”脚都输出高电压，两个 MOSFET 都处于导通状态，电池可以自由地进行充电和放电，由于 MOSFET 的导通阻抗很小，通常小于 30 毫欧，因此其导通电阻对电路的性能影响很小。

此状态下保护电路的消耗电流为 μA 级，通常小于 $7\mu\text{A}$ 。

2、过充电保护

锂离子电池要求的充电方式为恒流/恒压，在充电初期，为恒流充电，随着充电过程，电压会上升到 4.2V(根据正极材料不同，有的电池要求恒压值为 4.1V)，转为恒压充电，直至电流越来越小。

电池在被充电过程中，如果充电器电路失去控制，会使电池电压超过 4.2V 后继续恒流充电，此时电池电压仍会继续上升，当电池电压被充电至超过 4.3V 时，电池的化学副反应将加剧，会导致电池损坏或出现安全问题。

在带有保护电路的电池中，当控制 IC 检测到电池电压达到 4.28V(该值由控制 IC 决定，不同的 IC 有不同的值)时，其“C0”脚将由高电压转变为零电压，使 V2 由导通转为关断，从而切断了充电回路，使充电器无法再对电池进行充电，起到过充电保护作用。而此时由于 V2 自带的体二极管 VD2 的存在，电池可以通过该二极管对外部负载进行放电。

在控制 IC 检测到电池电压超过 4.28V 至发出关断 V2 信号之间，还有一段延时时间，该延时时间的长短由 C3 决定，通常设为 1 秒左右，以避免因干扰而造成误判断。

3、过放电保护

电池在对外部负载放电过程中，其电压会随着放电过程逐渐降低，当电池电压降至 2.5V 时，其容量已被完全放光，此时如果让电池继续对负载放电，将造成电池的永久性损坏。

在电池放电过程中，当控制 IC 检测到电池电压低于 2.3V(该值由控制 IC 决定，不同的 IC 有不同的值)时，其“D0”脚将由高电压转变为零电压，使 V1 由导通转为关断，从而切断了放电回路，使电池无法再对负载进行放电，起到过放电保护作用。而此时由于 V1 自带的体二极管 VD1 的存在，充电器可以通过该二极管对电池进行充电。

由于在过放电保护状态下电池电压不能再降低，因此要求保护电路的消耗电流极小，此时控制 IC 会进入低功耗状态，整个保护电路耗电会小于 $0.1\mu\text{A}$ 。

在控制 IC 检测到电池电压低于 2.3V 至发出关断 V1 信号之间，也有一段延时时间，该延时时间的长短由 C3 决定，通常设为 100 毫秒左右，以避免因干扰而造成误判断。

4、过电流保护

由于锂离子电池的化学特性，电池生产厂家规定了其放电电流最大不能超过 2C(C=电池容量/小时)，当电池超过 2C 电流放电时，将会导致电池的永久性损坏或出现安全问题。

电池在对负载正常放电过程中，放电电流在经过串联的 2 个 MOSFET 时，由于 MOSFET 的导通阻抗，会在其两端产生一个电压，该电压值 $U=I \cdot R_{DS} \cdot 2$ ， R_{DS} 为单个 MOSFET 导通阻抗，控制 IC 上的“V-”脚对该电压值进行检测，若负载因某种原因导致异常，使回路电流增大，当回路电流大到使 $U > 0.1\text{V}$ (该值由控制 IC 决定，不同的 IC 有不同的值)时，其“D0”脚将由高电压转变为零电压，使 V1 由导通转为关断，从而切断了放电回路，使回路中电流为零，起到过电流保护作用。

在控制 IC 检测到过电流发生至发出关断 V1 信号之间，也有一段延时时间，该延时时间的长短由 C3 决定，通常为 13 毫秒左右，以避免因干扰而造成误判断。

在上述控制过程中可知，其过电流检测值大小不仅取决于控制 IC 的控制值，还取决于 MOSFET 的导通阻抗，当 MOSFET 导通阻抗越大时，对同样的控制 IC，其过电流保护值越小。

5、短路保护

电池在对负载放电过程中，若回路电流大到使 $U > 0.9\text{V}$ (该值由控制 IC 决定，不同的 IC 有不同的值)时，控制 IC 则判断为负载短路，其“D0”脚将迅速由高电压转变为零电压，使 V1 由导通转为关断，从而切断放电回路，起到短路保护作用。短路保护的延时时间极短，通常小于 7 微秒。其工作原理与过电流保护类似，只是判断方法不同，保护延时时间也不一样。

以上详细阐述了单节锂离子电池保护电路的工作原理，多节串联锂离子电池的保护原理与之类似，在此不再赘述，上面电路中所用的控制 IC 为日本理光公司的 R5421 系列，在实际的电池保护电路中，还有许多其它类型的控制 IC，如日本精工 S-8241 系列、日本 MITSUMI 的 MM3061 系

列、台湾富晶的 FS312 和 FS313 系列、台湾类比科技的 AAT8632 系列等等，其工作原理大同小异，只是在具体参数上有所差别，有些控制 IC 为了节省外围电路，将滤波电容和延时电容做到了芯片内部，其外围电路可以很少，如日本精工的 S-8241 系列。

除了控制 IC 外，电路中还有一个重要元件，就是 MOSFET，它在电路中起着开关的作用，由于它直接串接在电池与外部负载之间，因此它的导通阻抗对电池的性能有影响，当选用的 MOSFET 较好时，其导通阻抗很小，电池包的内阻就小，带载能力也强，在放电时其消耗的电能也少。

随着科技的发展，便携式设备的体积越做越小，而随着这种趋势，对锂离子电池的保护电路体积的要求也越来越小，在这两年已出现了将控制 IC 和 MOSFET 整合成一颗保护 IC 的产品，如 DIALOG 公司的 DA7112 系列，有的厂家甚至将整个保护电路封装成一颗小尺寸的 IC，如 MITSUMI 公司的产品。