

# 安森美半导体针对充电电池的低成本 CCR 充电解决方案

## 〈企业与产品栏目〉

安森美半导体供稿

对于手机、数码相机(Digital Still Camera, DSC)、音乐播放器等便携设备中常见的单节锂离子电池等而言,充电一直是一个颇有挑战性的问题,因为既要满足特定应用要求,又要确保安全和无故障的充电操作。本文将讨论怎样将安森美半导体的恒流稳流器(CCR)用于可充电电池的低成本充电电路,为其提供了终止充电的简单控制器。

### 1 电池种类及充电技术选择

三种最常见的充电电池分别是镍金属氢化物(NiMH)、镍镉(NiCad)和锂离子(Li-ion)。电池充电速率用字母“C”表示。“C”定义了 1.0 小时的电池容量。例如,一个额定值为 800 mAh(毫安时)的电池可以用 0.5C 充电,因而使电池完全充电需要以 400 mA 充电电流充电超过 2 个小时。图 1 是充电电路的基本框图。

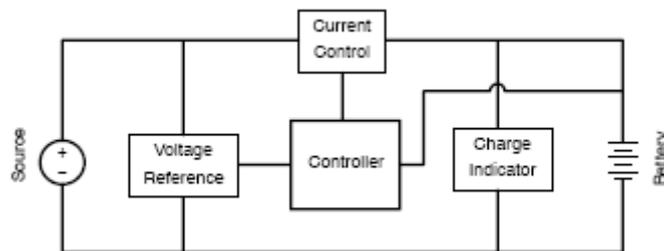


图 1 充电电路基本框图

#### 1) 镍氢和镍镉电池

镍氢电池的额定电压为 1.2 V/节,应该用高达 1.5~1.6 V/节的电压充电。要决定何时中断充电,有几种不同技术可以采用,其中包括:峰值电压检测、负  $\Delta$  电压、 $\Delta$  温度( $dT/dt$ )、温度阈值和定时器。对于高端充电器这些技术都有可能组合用在一个充电器当中。

CCR 充电器是一个峰值电压检测电路,可在预定峰值终止充电,为上述电池的充电提供了一个合适的解决方案。其预定峰值电压为 1.5 V/节,可将电池充电至约 97%的程度。镍镉电池可以使用该电路充电。其表现与镍氢电池非常相似,所以这种方法很合适。

#### 2) 锂离子电池

对锂离子电池而言,常用的充电方法是在 0.5C 到 1C 条件下通过涓流充电将电池充电至 4.2 V/节。在充电过程中,锂离子电池的温升应保持在低于 5°C,较高的温升表明可能会引发自燃。涓流部分的充电周期电池温升最大,最有可能自燃。由于这个问题,高端充电可使用智能 IC(如安森美半导体的 NCP1835B)来监视和控制锂离子电池的充电过程。

### 2 恒流稳流器(CCR)充电电路设计

本文讨论的 CCR 控制器没有使用涓流充电,因此消除了可能自燃的问题,让电池处在一个安全工作区有助于提高电池的使用寿命。不过,不使用涓流充电,电池将只能充电到约

85%的程度。

### 1) 设置参考电压

利用三端可编程分流稳压器 TL431 可以设置参考电压。它可在其参考引脚提供一个恒定的 2.5 V 输出。当如图 2 所示连接两个外部电阻时，参考电压可以选为 2.5 V 至 36 V。出于我们的目的，我们将  $R_2$  设置为 1.0 k $\Omega$ ，并将  $R_{ref}$  调整到我们想要匹配的参考电压。用来得出  $R_2/R_{ref}$  比率的公式是：

$$V_{ref} = \left(1 + \frac{R_2}{R_{ref}}\right) 2.5$$

连接到 TL431 阴极的电阻用来限制电流，并将参考电压与输入电压分开。

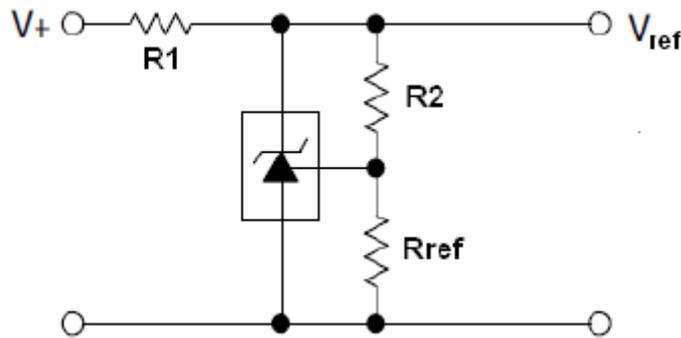


图 2 参考电压的设置

### 2) 迟滞环路比较器

如图 3 所示，LM311 是一个单比较器，用来比较参考电压与电池电压。连接到反相输入端的是电池电压。迟滞是由输出和非反相输入端之间的反馈电阻( $R_h$ )提供的。 $R_3$  是一个 1.0 k $\Omega$  的电阻，用来简化  $R_3/R_h$  的比例。通过调整  $R_h$  可以改变迟滞环的带宽。增加  $R_h$  可以减少带宽，反之亦然。建议迟滞的带宽大于 200 mV，因为在充电终止时，电池的电压会略微下降一些。高电压与低电压的反相输入公式是：

$$V_{inL} = \frac{R_3}{R_3 + R_h} (V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R_3}{R_3 + R_h} (V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

1.0 k $\Omega$  电阻( $R_4$ )连接到比较器的输出端作为一个上拉电阻，如图 4 所示。

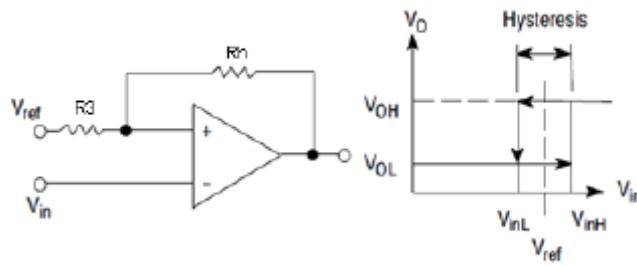


图 3 迟滞设置

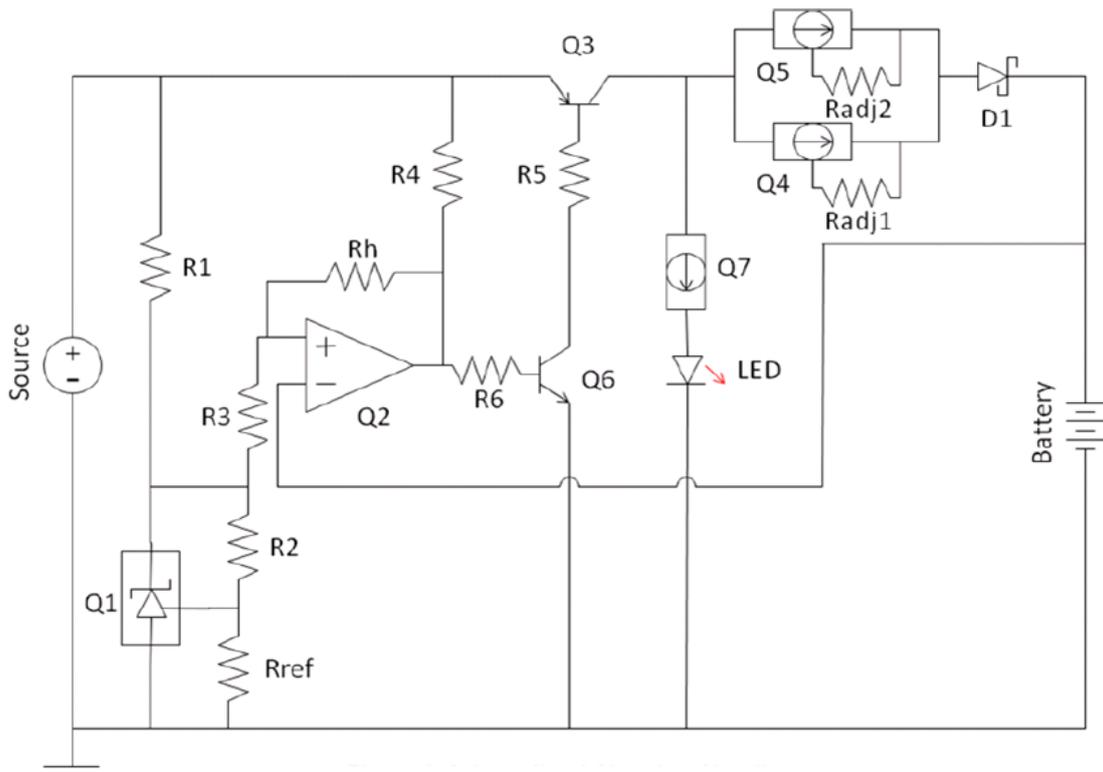


图 4 充电电路原理图

### 3) 电流开关

电路中的两个双极结型晶体管(BJT)( $Q_3$  和  $Q_6$ )作为控制充电电流的开关。 $Q_6$  的基极是通过一个  $5.6\text{ k}\Omega$  电阻( $R_6$ )由比较器的输出控制的。 $Q_6$  的集电极通过一个  $1.0\text{ k}\Omega$  电阻( $R_5$ )连接到  $Q_3$  的基极。当比较器的输出变为低电平时,  $Q_6$  被关闭, 导致  $Q_3$  关闭而终止充电电流。

### 4) 稳流

电池的充电电流采用一个 CCR 来控制。电流可以通过一个可调节 CCR 和/或并联 CCR 来调整。这个演示板是专门为两个并联 CCR( $Q_4$  和  $Q_5$ )设计的(可以并联连接两个以上的 CCR, 以便能够达到你想要的任何电流)。对于本文讨论的实验, CCR(NSI45090JDT4G)可以在  $90\text{ mA}$  至  $160\text{ mA}$  范围内调整。三个用于数据分析的电流分别是  $90$ 、 $180$  和  $300\text{ mA}$ 。

### 5) 指示器 LED

为了表明电池正在充电, 组合使用了一颗 CCR,  $Q_7$  及一个 LED。CCR 为 LED 提供恒

流。在没有电池连接到充电器时，LED 也将“导通”。当 LED“关闭”时，表明电池已完全充电。

### 6) 设置不同的测试电流

表 1 显示了决定充电电流的不同电阻值和充电终止电压（流与电阻值相乘即得电压值，表 1 中无电压）。同时在 180 mA 测试使用两颗 NSI45090JDT4G CCR 及阻值为 10 Ω 的调节电阻 R<sub>adj</sub> 来提供 90 mA 的电流输出。

### 7) 测试结果

CCR 充电电路是通过在 90 mA、180 mA 和 300 mA 对锂离子电池和镍氢电池充电进行测试的。表 2 是正在充电的电池监测到的关键电压。表 3 显示了电路终止电池充电后相同的关键电压。在测试过程中，电池的温度开始迅速升高(见表 4)，测试结束之前，电池电压达到参考电压。

表 4 包含了电池的温度数据。在所有情况下，环境温度约为 25℃。对于锂离子电池而言，可以得出这样的结论：充电电流越大，电池温升就越高。在 0.1C 以上的速率充电时，镍氢电池的情况相同(即充电电流越大，电池温升越高)。重要的是要记住，在何时选择使用多大的充电速率。

表 1 用于测试的电阻值

Battery Type /Charge Current	R <sub>ref</sub>	R <sub>h</sub>	R <sub>adj1</sub>	R <sub>adj2</sub>
Li-Ion/90 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	∞	*
Li-Ion/180 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	∞	∞
Li-Ion/300 mA	1.8 kΩ	18 kΩ	5.0 Ω	5.0 Ω
NiMH/90 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	∞	*
NiMH/180 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	∞	∞
NiMH/300 mA	1.4 kΩ	18 kΩ	5.0 Ω	5.0 Ω

\*Q5 is not used, no need for R<sub>adj2</sub>

表 2 充电时的电压

Battery Type /Charge Current	Comparator Output Voltage (V)	PNP Collector Voltage (V)	PNP Emitter Voltage (V)	PNP Collector - Emitter Voltage (V)	PNP Base Voltage (V)	Diode Forward Voltage (V)
Li-Ion/90 mA	10.13	12.123	12.141	0.018	8.776	0.2914
Li-Ion/180 mA	10.124	12.102	12.134	0.032	8.785	0.3109
Li-Ion/300 mA	10.08	12.029	12.08	0.051	8.745	0.3247
NiMH/90 mA	10.155	12.132	12.151	0.019	8.782	0.2918
NiMH/180 mA	10.142	12.103	12.135	0.032	8.787	0.3107
NiMH/300 mA	10.109	12.045	12.094	0.049	8.746	0.3263

表 3 刚充完电电压即被终止

Battery Type /Charge Current	Comparator Output Voltage (V)	PNP Collector Voltage (V)	PNP Emitter Voltage (V)	PNP Collector – Emitter Voltage (V)	Diode Forward Voltage (V)
Li-Ion/90 mA	0.223	1.381	12.167	10.786	-2.764
Li-Ion/180 mA	0.223	1.3	12.165	10.865	-2.378
Li-Ion/300 mA	0.223	1.383	12.16	10.777	-2.679
NiMH/180 mA	0.223	1.37	12.165	10.795	-3.025
NiMH/300 mA	0.223	1.35	12.16	10.81	-2.936

表 4 电池的温度

Battery Type /Charge Current	Start Battery Temperature (°C)	Maximum Battery Temperature (°C)	Change in Battery Temperature (°C)
Li-Ion/90 mA	25.0	26.0	1.0
Li-Ion/180 mA	25.0	27.7	2.7
Li-Ion/300 mA	25.0	28.4	3.4
NiMH/90 mA	25.0	30.0	5.0
NiMH/180 mA	25.0	27.9	2.9
NiMH/300 mA	25.0	28.1	3.1

### 3 充电电流、功耗及电池电压

#### 1) 充电电流随时间的变化

使用恒流稳流器充电时电流可保持不变，直到充电终止，如图 5 所示。

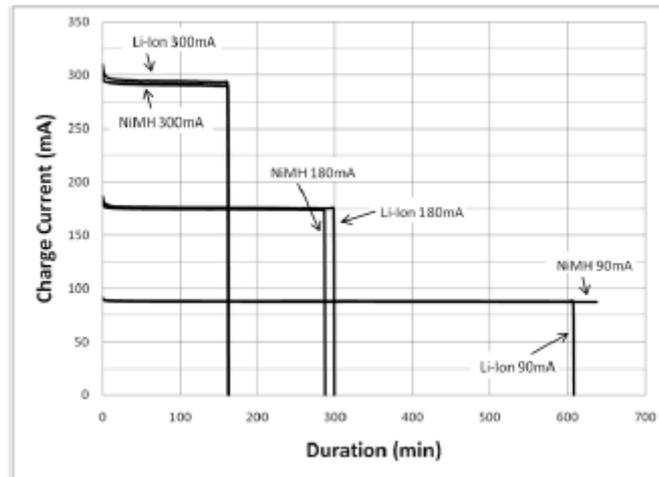


图 5 充电电流随时间的变化

#### 2) BJT 和二极管的功耗

如今，人们都非常关心电路的功耗。降低输入电压是一种方式，为的是提高电路性能。这是使用低  $V_{CE(sat)}$  晶体管的原因之一。晶体管的  $V_{CE}$  非常低。图 6 也描述了随着时间推移 PNP 晶体管所消耗的功率。正如人们所预期的，在充电电流增加时耗散功率(PD)也增加了。然而，在约 300 mA 的充电电流下，晶体管消耗的功率小于 15 mW。

除了使用低  $V_{CE(sat)}$  的 BJT，还可使用一个封装的低正向压降( $V_F$ )肖特基二极管 DSN2 来降低功耗。该二极管用于反向电流保护。选择安森美半导体的 NSR10F40NXT5G 的原因是它有市场上最低的  $V_F$ 。在最高充电电流下测得的二极管消耗功率大约为 95 mW。图 7 显示了电池正在充电时 DSN2 低  $V_F$  肖特基势垒二极管的功耗。

使用低  $V_{CE(sat)}$  BJT 和低  $V_F$  肖特基二极管输入电压可降至尽可能最低。

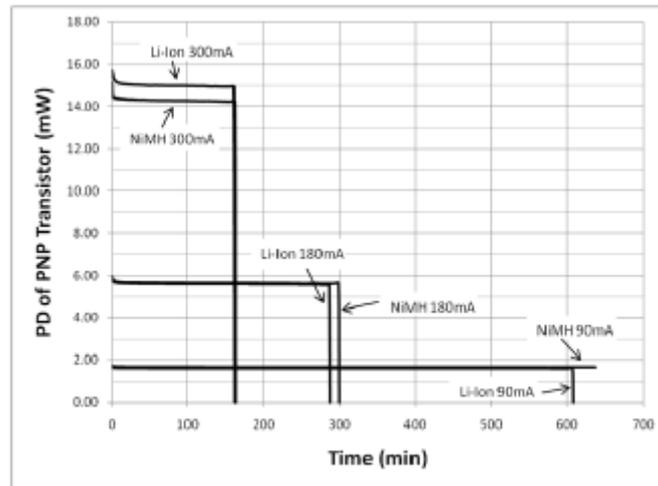


图 6 PNP 晶体管耗散功率随时间的变化

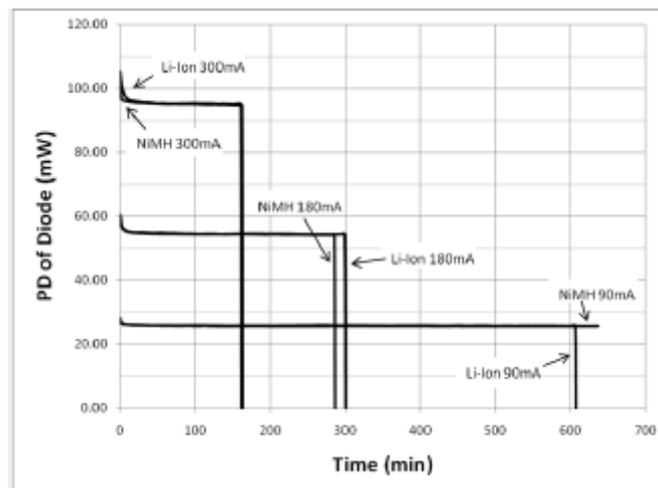


图 7 二极管耗散功率随时间的变化

### 3) CCR 的功耗

功耗是使用 CCR 时一个非常重要的参数。它是使所有电压下降以确保恒流电池充电的器件。当器件开始升温时，电流开始下降。为了尽量减少 CCR 温升，板上大部分空位放置了铜箔。然后 CCR 的阴极被连接到该区域的铜箔作为散热片。当使用多个并联 CCR 时，要牢记各 CCR 的功耗只是 CCR 独立电流乘以电压的值，而不是总充电电流值。图 8 显示了随时间推移的 CCR 消耗的功率。当使用多个 CCR 获取更高充电电流时，只显示了一个 CCR 数据。

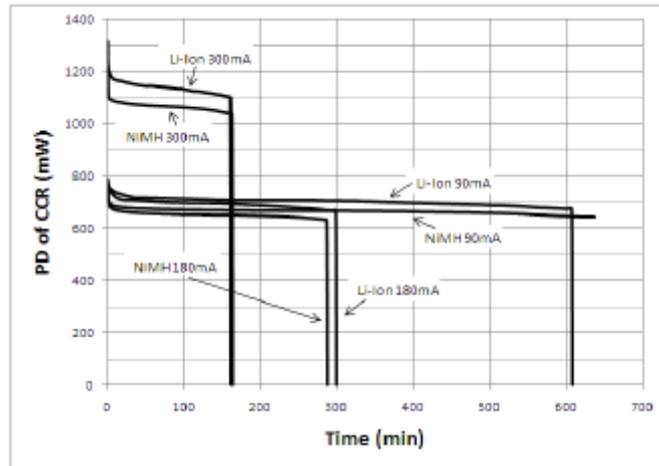


图 8 CCR 的耗散功率随时间的变化

#### 4) 随时间推移的电池电压

图 9 描述了所有六个测试用例的电池电压。对于锂离子电池电压，人们期望看到当电压达到 4.2 V 时电压开始变平。在比较先进的电路中，这将适用于涓流充电。然而，如上所述该电路设计为的是在预定电压下停止充电，本例中为 4.15 V。

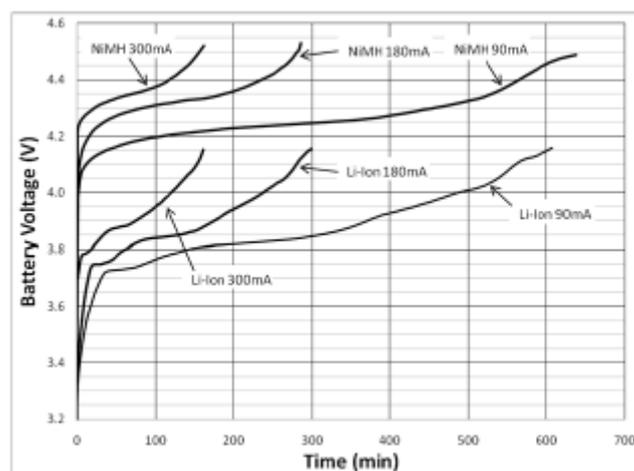


图 9 电池电压随时间的变化

#### 4 结论

综上所述，恒流稳流器也就是 CCR 可以提供电池充电用的恒流。此外，当用 CCR 实现上面讨论的控制器时，有可能用相同的电路以不同的电流为不同的化学电池充电。这样，既可以满足特定应用要求，又能确保安全和无故障的充电操作。

致作者：已对本文作了编辑修改，请复核，并对文中标有（????）之处作修改补充。修改时请用修订模式，并保留编辑修改字迹。谢谢！

罗敬承