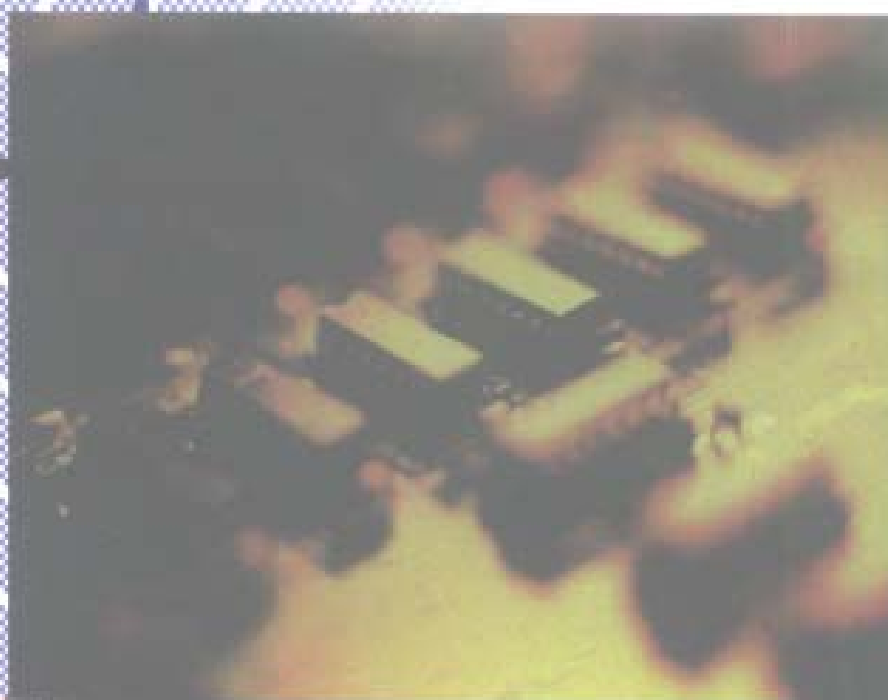


实用电源技术丛书

智能快速充电器设计与制作

王鸿麟 钱建立 周晓军 编著
车 杰 钱 聪 主审



科学出版社

序 言

什么是电源？很难用一句话概括。但是，现代人谁能离得开电源？衣食住行离不开电源，文化娱乐、办公学习、科学研究、工农业生产、国防建设、教育、环境保护、医疗卫生、交通运输、照明、通讯、宇宙探索等等，哪一样能少得了电源？只要用电就离不了电源。绝大部分的电是由发电厂生产发送的，称为市电。白炽灯、电炉、交流电动机等只要接通市电就行；计算机、电视机、X光机等虽然也是打开开关就能工作，但是这些机器里面都已经做了电能变换处理，将正弦波的交流市电转换成各自需要的直流电、高压电、脉冲电；在无法提供市电的岛屿、车船上，可以用蓄电池经过电能变换获得跟市电一样的交流电，让计算机、仪器设备等工作起来；进入太空的卫星、飞行器，把太阳能收集起来，再经过电能变换，获得需要的各种电能来维持长期运行；电能是宝贵的资源，需要珍惜和节约。绿色照明的节能荧光灯、高光效的 HID 灯电子镇流器，是经过功率因数校正和高频化处理的电源装置，既省电又净化了电网；交流电动机经过频率变换即所谓变频调整速实现了电动机科学运转及电能的合理使用；水力发电、火力发电、核电站是电的主要来源。太阳光、风力、沼气、潮汐、生物能、化学能等等在特定环境里也能发电，作为电力的补充，这些补充发电需要经过 DC/DC 和 DC/AC 电能变换使其便于储存，并转换成与电网频率一致的正弦波。电网不稳定给用电设备带来许多麻烦，甚至无法正常工作；太阳、风力受四季和天气影响，发出的电更是不稳，很多场合需要稳压供电，这有赖于电能变换加以调整。总括起来，所谓电源乃是利用电能变换技术将市电或电池等一次电能转换成适合各种用电对象的二次电能的系统或装置。

上述电能变换主要体现在变压、调压，整流、滤波，稳定，变换等。而这些基本的电能变换是通过一系列的技术方法实现的，并且这些技术方法分别适用于不同的环境条件和要求。

变压：变压器是交流变压最常用的装置，相位控制也能完成交流变压，线性补偿、频率变换、时间分割（脉冲宽度调制，即著名的 PWM）等都能实现变压。直流变压最常用的手段就是 DC/DC 变换，无源和有源分压器是小功率直流变压较简便的方法。

调压：在变压的基础上加以步进和连续的设置就成为调压。根据需要可以手动、自动或遥控。

整流：整流是最早使交流电转换成直流电的方法。利用单相性的无源器件来实现则最简单，利用有源开关的同步整流器能将整流器的损耗减至极小。

滤波：滤波为获得平滑的直流，可以通过无源或有源的滤波电路来实现。

稳定：将变压或调压引入自动负反馈控制，就能使之稳定。若反馈量分别是电压、电流、功率、频率、相位，则响应获得稳压、稳流、恒功率、稳频、稳相的稳定电源。

变换：变换的特定含义是由一种状态转变到另一种状态。比如交流-直流之间的转换；正弦波、方波、三角波、梯形波、脉冲波、特物波等波形转换；低频-高频转换；光、热、

机械、风、磁、理化等能量与电能之间的转换。

电能变换涉及的技术非常多，常见的有参数稳压、线性反馈稳压、磁放大器技术、数控调压技术、相控技术、变频、PWM、SPWM、软开关PWM、移相谐振、无功补偿、功率因数校正、裂相、电流均分、传感采样、驱动保护、储能、充电、抗干扰、电磁兼容等等。实际需要推动这些技术不断发展和进步，使电源装置能满足负载各种各样的需求。

造就这些电源装置还需要专用的元器件和材料。电能变换用到的器材有功率开关器件、专用的集成电路、软磁材料以及外围元器件等。由于很多电源装置结构相当复杂，为简化设计而出现的集功率开关、变换控制电路、传感保护电路为一体的智能功率集成模块受到欢迎。

厚膜集成的电源模块、积木式的功能模块，灵活机动，既能单独使用，又能相互组合成较大的电源系统。在这里器件和整机的界限已相当模糊。

不同的负载要求不同的电源装置，万能的电源至少今天还未出现。一个特定用途的电源装置，应当具有符合负载要求的性能参数和外特性，这是基本的要求。安全可靠是必须加以保证的。高效率、高功率因数、低噪音是普遍关注的品质。无电网污染、无电磁干扰、省电节能等绿色指标是全球范围的热门话题，并有相关的国际和国家标准规范进行约束。有时特定的使用环境又要求电源具备一些额外的适应性能力，比如高温、高寒、高湿、抗辐射、抗振动、防爆、体积小、重量轻、智能化等。

电源技术发展到今天，已融汇了电子、功率集成、自动控制、材料、传感、计算机、电磁兼容、热工等诸多技术领域的精华，已从多学科交叉的边沿学科成长为独树一帜的功率电子学。

电源技术又是实用性极强的技术，服务于各行各业、各个领域的各式各样的负载，它们的性能特点以及采用的技术方法千差万别，这就造就了电源技术的丰富内涵。

由中国电源学会和科学出版社联合组织出版的《实用电源技术丛书》将展示多彩的电源世界，帮助读者全面了解当今电源的方方面面，并希望读者能从这套丛书中获得启示，在实际工作中找到最佳的电源方案。为此，丛书的选题力求从实际需要出发，内容突出实用性、新颖性和广泛性，写作侧重于原理阐述、实例解剖和经验介绍。我们将尽力让《实用电源技术丛书》成为广大读者的良师益友，但是，电源技术浩若湮海，有限的书目实难尽述。另外，电源的新技术不断涌现，且成长周期相当短，作者的实践有限，谬误之处在所难免，敬请读者指正。

《实用电源技术丛书》编辑委员会

《实用电源技术丛书》编辑委员会

顾问: 蔡宣三 丁道宏
主任: 倪本来
副主任: 王鸿麟 张建荣 侯振程
委员: 马传添 马鹤亭 区键昌 刘凤君 庄蕃田
李厚福 李朔生 李宗光 陈 坚 严仰光
张 立 张广明 张志国 张 嵘 张承志
张占松 张卫平 陆 鸣 段军政 季幼章
周庭光 赵良炳 赵修科 徐德高 徐会明
徐泽玮 徐德洪 徐兰筠 袁维慈 黄 济青
龚绍文 喻 翔 谭 信

前 言

自蓄电池发明以来,已有一百多年了,目前广泛应用的有镍镉电池、镍氢电池、铅酸电池和锂离子电池等。各种便携式电子设备,如笔记本电脑、移动电话、无绳电话、对讲机、摄像机、小型电台和测量仪器,都要求电池轻、薄、短、小且容量大。为了满足这种要求,世界各国都投入巨大的人力和财力,开发新型电池。近年来,镍氢电池、锂离子电池已逐渐取代镍镉电池。铅酸电池具有价格低廉、供电可靠、电压稳定等优点,广泛应用于通信、铁路、交通、电力、石油、国防、工农业生产等部门,但是普通铅酸电池需要经常加水补酸,而且还产生腐蚀性气体,损伤人体和设备。全密封免维护铅酸电池具有无泄漏、无污染、容量大等优点,在国内外得到广泛应用。

目前,由于常规充电技术不能适应各类新型电池的要求,因此严重影响电池的使用寿命。实践证明,免维护电池的浮充电压偏差5%,浮充寿命将减少一半。锂离子电池的充电电压超过 $4.1V \pm 50mV$,将造成电池永久性损坏。如果采用镍镉电池常用的一 ΔV 检测法,控制镍氢电池快速充电,可能造成镍氢电池因严重过充电而损坏。

为了满足各类电池快速充电的不同要求,世界各国都在研究智能化快速充电技术。目前已研制出几十种各类电池快速充电控制集成电路,利用这些集成电路,很容易制作智能化快速充电器。本书介绍了各种新型电池的基本结构、工作原理和充放电特性,详细分析了各种快速充电控制专用集成电路的结构和工作原理。为了便于广大电子爱好者制作,给出了各类快速充电器的设计方法和实际电路。为了便于用户选购国产智能快速充电器,还简要介绍了几种国产智能快速充电器的主要性能和技术参数。

本书第一章由王鸿麟、钱建立、段景汉编写;第二章由王鸿麟、朱明媛、周晓军、许英编写;第三章由王鸿麟、王英杰、王学纪编写;第四章由周晓军、钱建立、蒋卓勤编写;第五章由田金玉、林键伟编写。全书由王鸿麟、钱建立综合整理并作了文字加工。

本书由车杰教授和钱聪副教授主审,参加审校的还有侯振义副教授。在本书编写过程中,中国航空技术设备器材进出口公司的祝大卫先生,Unitrode Electronics Asia Ltd.的Stephen So, MEMEC (Asia Pacific) Ltd.的陈永亨先生、胡立荣先生,飞利浦公司北京办事处的刘英豪先生,贵州神奇电子医疗器械公司的赵惠英女士,清华大学紫光集团通信工程部刘鹏先生都提供了许多宝贵、详实的技术资料。《国外电子元器件》杂志社的夏红霞、王迎春、陈榕等也作了大量的工作。作者在此表示衷心感谢。由于作者水平有限,书中可能有某些不当之处,敬请读者批评指正。

王 鸿 麟

1996年6月10日

目 录

第一章 镍镉/镍氢电池智能快速充电器	(1)
1.1 镍镉/镍氢电池的原理及充电方法	(1)
1.1.1 镍镉/镍氢电池的发展	(1)
1.1.2 蓄电池参数	(1)
1.1.3 镍镉蓄电池的工作原理	(2)
1.1.4 镍氢电池的工作原理	(5)
1.1.5 电池充电特性	(6)
1.1.6 充电过程与充电方法	(7)
1.1.7 快速充电终止控制方法	(9)
1.1.8 充电器控制集成电路	(10)
1.2 由 ICS1700 微处理器组成的充电器	(11)
1.2.1 ICS1700 微处理器	(11)
1.2.2 用 ICS1700 组成的镍镉电池快速充电器	(17)
1.2.3 用 ICS1720 组成的镍氢电池充电器实际电路	(19)
1.3 由 UT550 组成的智能充电器	(22)
1.3.1 UT550 功能说明	(22)
1.3.2 管脚结构及功能	(23)
1.3.3 充电电路与充电程序	(24)
1.3.4 保护功能	(27)
1.3.5 放电功能	(29)
1.3.6 电量显示	(31)
1.3.7 生产测试	(32)
1.3.8 实用电路	(32)
1.4 由 MAX2003 组成的快速充电器	(34)
1.4.1 概述	(34)
1.4.2 基本工作原理	(34)
1.4.3 实用开关型快速充电器设计	(43)
1.4.4 其它应用实例	(47)
1.5 由 bq2002 组成的快速充电器	(49)
1.5.1 bq2002 主要特点	(49)
1.5.2 基本工作原理	(51)
1.5.3 由 bq2002 组成的快速充电器实际电路	(54)
1.6 TEA1100 (1101) 组成的快速充电器	(54)
1.6.1 TEA1100/TEA1101 主要特性	(55)
1.6.2 管脚排列及功能	(55)

1.6.3	TEA1100 基本工作原理	(56)
1.6.4	串联型开关电源充电器设计	(60)
1.7	MAX712 (713) 组成的快速充电器	(63)
1.7.1	MAX712/MAX713 简介	(63)
1.7.2	简单快速充电器设计	(66)
1.7.3	充电特性曲线	(68)
1.7.4	MAX712/MAX713 的供电	(69)
1.7.5	充电状态	(69)
1.7.6	控制回路	(71)
1.7.7	控制快速充电终止的方法	(72)
1.7.8	应用实例	(73)
1.8	UCC3905 组成的伺服快速充电器	(77)
1.8.1	UCC3905 简介	(77)
1.8.2	充电特性	(78)
1.8.3	UCC3905 的充电状态	(79)
1.8.4	采用 UCC3905 的开关型充电器	(81)
第二章	密封铅酸蓄电池智能快速充电器	(82)
2.1	密封铅酸蓄电池	(82)
2.1.1	密封免维护铅酸蓄电池的结构	(82)
2.1.2	密封铅酸蓄电池的充电特性	(83)
2.2	密封铅酸蓄电池充电控制器	(84)
2.2.1	密封铅酸蓄电池线性充电控制器 UC3906	(84)
2.2.2	开关型充电控制器 UC3909	(86)
2.2.3	铅酸蓄电池快速充电控制器 bq2031	(88)
2.3	铅酸蓄电池智能充电器	(98)
2.3.1	双电平浮充充电器	(98)
2.3.2	两级恒流充电器	(104)
2.3.3	采用 UC3906 的开关型充电器	(106)
2.3.4	由 UC3909 组成的开关型快速充电器	(110)
2.3.5	离线式开关型铅酸蓄电池快速充电器	(115)
第三章	锂离子电池充电器	(116)
3.1	锂离子电池	(116)
3.1.1	锂电池进展	(116)
3.1.2	锂离子电池基本工作原理和结构	(116)
3.1.3	锂离子电池的充放电特性	(117)
3.1.4	锂离子电池的安全措施	(119)
3.1.5	锂离子电池的主要优点和缺点	(120)
3.2	锂离子电池充电控制器	(122)
3.2.1	锂离子电池充电控制器 LM3420	(122)
3.2.2	带微控制器接口的充电控制器 MC33346	(124)
3.2.3	锂离子电池快速充电控制器 bq2054	(125)

3.3	锂离子电池充电器	(127)
3.3.1	线性恒流/恒压锂离子电池充电器	(127)
3.3.2	开关型恒流/恒压充电器	(129)
3.3.3	脉冲恒流快速充电器	(130)
3.3.4	其它快速充电器	(132)
第四章	微处理器控制的多功能智能充电器	(133)
4.1	MPU 与 LTC1325 组成的智能充电器	(133)
4.1.1	充电控制器 LTC1325	(133)
4.1.2	电路分析	(139)
4.1.3	温度检测	(143)
4.1.4	硬件设计	(145)
4.1.5	软件设计	(150)
4.2	微处理器 Z86B07 控制的智能充电器	(152)
4.2.1	Z86B07 八位微处理器简介	(152)
4.2.2	采用 Z86B07 微处理器的电池充电器	(162)
4.2.3	低成本充电器实际电路	(165)
4.3	由 PIC16C71 组成的快速充电器	(167)
4.3.1	PIC16C71 单片机简介	(167)
4.3.2	由 PIC 单片机控制的智能充电器	(175)
4.4	DL5689 组成的多功能快速充电器	(177)
4.4.1	双组电池快速充电控制器 DL5689	(177)
4.4.2	实际应用电路	(180)
第五章	国产智能充电器简介	(182)
5.1	华羽牌子母式万能快速充电器	(182)
5.2	CG-101/201 开关型智能高速充电器	(184)
5.3	GC 2001/2002 智能型镍镉/镍氢电池充电器	(185)
5.4	LT-100/200 智能超快速充电器	(188)
5.5	MKC 系列脉冲快速充电器	(190)
5.6	三合一智能快速充电器	(192)
5.7	六分钟可充足电的大哥大充电器	(193)

第一章 镍镉/镍氢电池智能快速充电器

1.1 镍镉/镍氢电池的原理及充电方法

1.1.1 镍镉/镍氢电池的发展

1899年, Waldmar Jungner 在开口型镍镉蓄电池中, 首先使用了镍极板, 几乎与此同时, Thomas Edison 发明了用于电动车的镍铁电池。遗憾的是, 由于当时这些碱性蓄电池的极板材料比其它蓄电池的材料贵得多, 因此实际应用受到了极大的限制。

后来, Jungner 的镍镉电池经过几次重要改进, 性能明显改善。其中最重要的改进是在 1932 年, 科学家在镍电池中开始使用了活性物质。他们将活性物质放入多孔的镍极板中, 然后再将镍极板装入金属壳内。镍镉电池发展史上另一个重要的里程碑是 1947 年密封型镍镉电池研制成功。在这种电池中, 化学反应产生的各种气体不用排出, 可以在电池内部化合。密封镍镉电池的研制成功, 使镍镉电池的应用范围大大增加。

密封镍镉电池效率高、循环寿命长、能量密度大、体积小、重量轻、结构紧凑, 并且不需要维护, 因此在工业和消费产品中得到了广泛应用。

随着空间技术的发展, 人们对电源的要求越来越高。70 年代中期, 美国研制成功了功率大、重量轻、寿命长、成本低的镍氢电池, 并且于 1978 年成功地将这种电池应用在导航卫星上。镍氢电池与同体积镍镉电池相比, 容量可提高一倍, 而且没有重金属镉带来的污染问题。它的工作电压与镍镉电池完全相同, 工作寿命也大体相当, 但它具有良好的过充电和过放电性能。近年来, 镍氢电池受到世界各国的重视, 各种新技术层出不穷。镍氢电池刚问世时, 要使用高压容器储存氢气, 后来人们采用金属氢化物来储存氢气, 从而制成了低压甚至常压镍氢电池。1992 年, 日本三洋公司每月可生产 200 万只镍氢电池。目前国内已有 20 多个单位研制生产镍氢电池, 国产镍氢电池的综合性能已经达到国际先进水平。可以预言, 不久的将来, 镍氢电池将取代目前应用非常广泛的镍镉电池。

1.1.2 蓄电池参数

蓄电池的五个主要参数为: 电池的容量、标称电压、内阻、放电终止电压和充电终止电压。电池的容量通常用 Ah (安时) 表示, 1Ah 就是能在 1A 的电流下放电 1h。单元电池内活性物质的数量决定单元电池含有的电荷量, 而活性物质的含量则由电池使用的材料和体积决定, 因此, 通常电池体积越大, 容量越高。与电池容量相关的一个参数是蓄电池的充电电流。蓄电池的充电电流通常用充电速率 C 表示, C 为蓄电池的额定容量。例如, 用 2A 电流对 1Ah 电池充电, 充电速率就是 2C; 同样地, 用 2A 电流对 500mAh 电池充电, 充电速率就是 4C。

电池刚出厂时, 正负极之间的电势差称为电池的标称电压。标称电压由极板材料的

电极电位和内部电解液的浓度决定。当环境温度、使用时间和工作状态变化时，单元电池的输出电压略有变化，此外，电池的输出电压与电池的剩余电量也有一定关系。单元镍镉电池的标称电压约为 1.3V（但一般认为是 1.25V），单元镍氢电池的标称电压为 1.25V。

电池的内阻决定于极板的电阻和离子流的阻抗。在充放电过程中，极板的电阻是不变的，但是，离子流的阻抗将随电解液浓度的变化和带电离子的增减而变化。

蓄电池充足电时，极板上的活性物质已达到饱和状态，再继续充电，蓄电池的电压也不会上升，此时的电压称为充电终止电压。镍镉电池的充电终止电压为 1.75~1.8V，镍氢电池的充电终止电压为 1.5V。

放电终止电压是指蓄电池放电时允许的最低电压。如果电压低于放电终止电压后蓄电池继续放电，电池两端电压会迅速下降，形成深度放电，这样，极板上形成的生成物在正常充电时就不易再恢复，从而影响电池的寿命。放电终止电压和放电率有关。镍镉电池的放电终止电压和放电率的关系如表 1-1 所列，镍氢电池的放电终止电压一般规定为 1V。

表 1-1 镍镉电池不同放电率时的放电终止电压

放电率	放电终止电压 (V)
8 小时率	1.10
5 小时率	1.00
3 小时率	0.8
1 小时率	0.5

1.1.3 镍镉蓄电池的工作原理

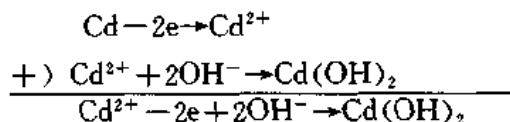
镍镉蓄电池的正极材料为氢氧化亚镍和石墨粉的混合物，负极材料为海绵状镉粉和氧化镉粉，电解液通常为氢氧化钠或氢氧化钾溶液。当环境温度较高时，使用密度为 1.17~1.19（15°C 时）的氢氧化钠溶液。当环境温度较低时，使用密度为 1.19~1.21（15°C 时）的氢氧化钾溶液。在 -15°C 以下时，使用密度为 1.25~1.27（15°C 时）的氢氧化钾溶液。为兼顾低温性能和荷电保持能力，密封镍镉蓄电池采用密度为 1.40（15°C 时）的氢氧化钾溶液。为了增加蓄电池的容量和循环寿命，通常在电解液中加入少量的氢氧化锂（大约每升电解液加 15~20g）。

镍镉蓄电池充电后，正极板上的活性物质变为氢氧化镍 [NiOOH]，负极板上的活性物质变为金属镉；镍镉电池放电后，正极板上的活性物质变为氢氧化亚镍，负极板上的活性物质变为氢氧化镉。

1. 放电过程中的电化学反应

(1) 负极反应

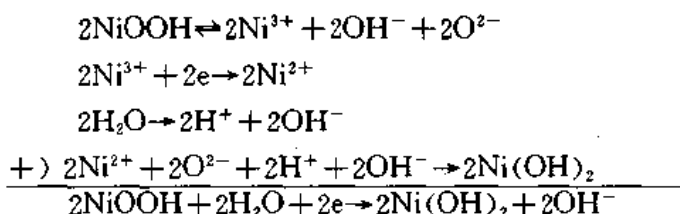
负极上的镉失去两个电子后变成二价镉离子 Cd^{2+} ，然后立即与溶液中的两个氢氧根离子 OH^- 结合生成氢氧化镉 $Cd(OH)_2$ ，沉积到负极板上。



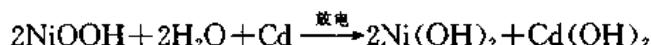
(2) 正极反应

正极板上的活性物质是氢氧化镍 (NiOOH) 晶体。镍为正三价离子 (Ni^{3+})，晶格中

每两个镍离子可从外电路获得负极转移出的两个电子，生成两个二价离子 2Ni^{2+} 。与此同时，溶液中每两个水分子电离出的两个氢离子进入正极板，与晶格上的两个氧负离子结合，生成两个氢氧根离子，然后与晶格上原有的两个氢氧根离子一起，与两个二价镍离子生成两个氢氧化亚镍晶体。



将以上两式相加，即得镍镉蓄电池放电时的总反应式：

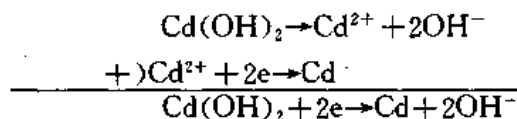


2. 充电过程中的化学反应

充电时，将蓄电池的正、负极分别与充电机的正极和负极相连，电池内部发生与放电时完全相反的电化学反应，即负极发生还原反应，正极发生氧化反应。

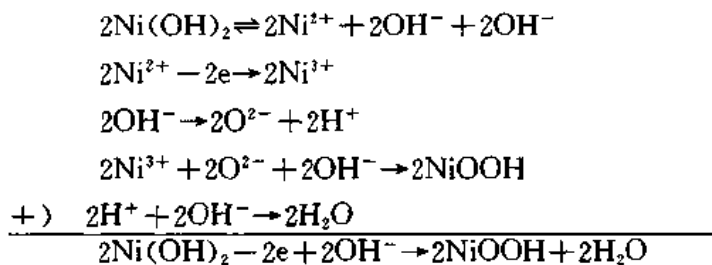
(1) 负极反应

充电时负极板上的氢氧化镉，先电离成镉离子和氢氧根离子，然后镉离子从外电路获得电子，生成镉原子附着在极板上，而氢氧根离子进入溶液参与正极反应：

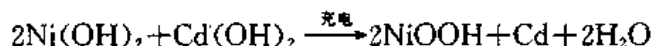


(2) 正极反应

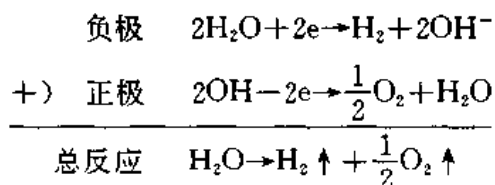
在外电源的作用下，正极板上的氢氧化亚镍晶格中，两个二价镍离子各失去一个电子生成三价镍离子，同时，晶格中两个氢氧根离子各释放出一个氢离子，将氧负离子留在晶格上，释出的氢离子与溶液中的氢氧根离子结合生成水分子。然后，两个三价镍离子与两个氧负离子和剩下的两个氢氧根离子结合，生成两个氢氧化镍晶体：



将以上两式相加，即得镍镉蓄电池充电时的电化学反应：



蓄电池充电终了时，充电电流将使电池内发生分解水的反应，在正、负极板上将分别有大量氧气和氢气析出，其电化学反应如下：



从上述电极反应可以看出，氢氧化钠或氢氧化钾并不直接参与反应，只起导电作用。从电池反应来看，充电过程中生成水分子，放电过程中消耗水分子，因此充、放电过程中电解液浓度变化很小，不能用密度计检测充放电程度。

3. 端电压

充足电后，立即断开充电电路，镍镉蓄电池的电动势可达 1.5V 左右，但很快就下降到 1.31~1.36V。

镍镉蓄电池的端电压随充放电过程而变化，可用下式表示：

$$U_{\text{充}} = E_{\text{充}} + I_{\text{充}} R_{\text{内}}$$

$$U_{\text{放}} = E_{\text{放}} - I_{\text{放}} R_{\text{内}}$$

从上式可以看出，充电时，电池的端电压比放电时高，而且充电电流越大，端电压越高；放电电流越大，端电压越低。

当镍镉蓄电池以标准放电电流放电时，平均工作电压为 1.2V。采用 8h 率放电时，蓄电池的端电压下降到 1.1V 后，电池即放完电。

4. 容量和影响容量的主要因素

蓄电池充足电后，在一定放电条件下，放至规定的终止电压时，电池放出的总容量称为电池的额定容量，容量 Q 用放电电流与放电时间的乘积来表示，表示式如下：

$$Q = I \cdot t \text{ (Ah)}$$

镍镉蓄电池容量与下列因素有关：

- ① 活性物质的数量；
- ② 放电率；
- ③ 电解液。

放电电流直接影响放电终止电压。在规定的放电终止电压下，放电电流越大，蓄电池的容量越小。

使用不同成分的电解液，对蓄电池的容量和寿命有一定的影响。通常，在高温环境下，为了提高电池容量，常在电解液中添加少量氢氧化锂，组成混合溶液。实验证明：每升电解液中加入 15~20g 含水氢氧化锂，在常温下，容量可提高 4%~5%，在 40°C 时，容量可提高 20%。然而，电解液中锂离子的含量过多，不仅使电解液的电阻增大，还会使残留在正极板上的锂离子 (Li⁺) 慢慢渗入晶格内部，对正极的化学变化产生有害影响。

电解液的温度对蓄电池的容量影响较大。这是因为随着电解液温度升高，极板活性物质的化学反应也逐步改善。

电解液中的有害杂质越多，蓄电池的容量越小。主要的有害杂质是碳酸盐和硫酸盐。它们能使电解液的电阻增大，并且低温时容易结晶，堵塞极板微孔，使蓄电池容量显著下降。此外，碳酸根离子还能与负极板作用，生成碳酸镉附着在负极板表面上，从而引

起导电不良，使蓄电池内阻增大，容量下降。

5. 内阻

镍镉蓄电池的内阻与电解液的导电率、极板结构及其面积有关，而电解液的导电率又与密度和温度有关。电池的内阻主要由电解液的电阻决定。氢氧化钾和氢氧化钠溶液的电阻系数随密度而变。18°C 时氢氧化钾溶液和氢氧化钠溶液的电阻系数最小。通常镍镉蓄电池的内阻可用下式计算：

$$R_{\text{内}} = \frac{E - U_{\text{放}}}{I_{\text{放}}} (\Omega)$$

6. 效率与寿命

在正常使用的条件下，镍镉电池的容量效率 η_{Ah} 为 67%~75%，电能效率 η_{Wh} 为 55%~65%，循环寿命约为 2000 次。容量效率 η_{Ah} 和电能效率 η_{Wh} 计算公式如下：

$$\eta_{\text{Ah}} = \frac{I_{\text{放}} \cdot t_{\text{放}}}{I_{\text{充}} \cdot t_{\text{充}}} \times 100\%$$
$$\eta_{\text{Wh}} = \frac{U_{\text{放}} \cdot I_{\text{放}} \cdot t_{\text{放}}}{U_{\text{充}} \cdot I_{\text{充}} \cdot t_{\text{充}}} \times 100\%$$

($U_{\text{充}}$ 和 $U_{\text{放}}$ 应取平均电压)

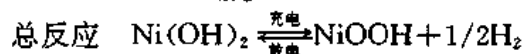
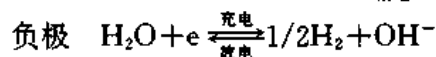
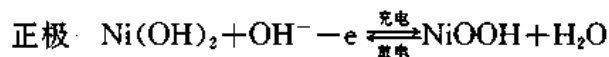
7. 记忆效应

镍镉电池使用过程中，如果电量没有全部放完就开始充电，下次再放电时，就不能放出全部电量。比如，镍镉电池只放出 80% 的电量后就开始充电，充足电后，该电池也只能放出 80% 的电量，这种现象称为记忆效应。

电池全部放完电后，极板上的结晶体很小。电池部分放电后，氢氧化亚镍没有完全变为氢氧化镍，剩余的氢氧化亚镍将结合在一起，形成较大的结晶体。结晶体变大是镍镉电池产生记忆效应的主要原因。

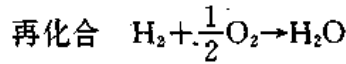
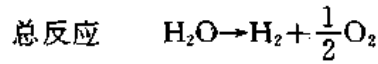
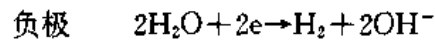
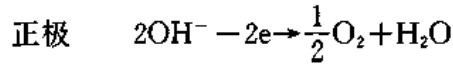
1.1.4 镍氢电池的工作原理

镍氢电池和同体积的镍镉电池相比，容量增加一倍，充放电循环寿命也较长，并且无记忆效应。镍氢电池正极的活性物质为 NiOOH (放电时) 和 Ni(OH)₂ (充电时)，负极板的活性物质为 H₂ (放电时) 和 H₂O (充电时)，电解液采用 30% 的氢氧化钾溶液，充放电时的电化学反应如下：



从方程式看出：充电时，负极析出氢气，贮存在容器中，正极由氢氧化亚镍变成氢氧化镍 (NiOOH) 和 H₂O；放电时氢气在负极上被消耗掉，正极由氢氧化镍变成氢氧化亚镍。

过量充电时的电化学反应：



从方程式看出，蓄电池过量充电时，正极板析出氧气，负极板析出氢气。由于有催化剂的氢电极面积大，而且氧气能够随时扩散到氢电极表面，因此，氢气和氧气能够很容易在蓄电池内部再化合生成水，使容器内的气体压力保持不变，这种再化合的速率很快，可以使蓄电池内部氧气的浓度，不超过千分之几。

从以上各反应式可以看出，镍氢电池的反应与镍镉电池相似，只是负极充放电过程中生成物不同，从后两个反应式可以看出，镍氢电池也可以做成密封型结构。镍氢电池的电解液多采用 KOH 水溶液，并加入少量的 LiOH。隔膜采用多孔维尼纶无纺布或尼龙无纺布等。为了防止充电过程后期电池内压过高，电池中装有防爆装置。

1.1.5 电池充电特性

镍镉电池充电特性曲线如图 1-1 所示。当恒定电流刚充入放完电的电池时，由于电池内阻产生压降，所以电池电压很快上升（A 点）。此后，电池开始接受电荷，电池电压以较低的速率持续上升。在这个范围内（AB 之间），电化学反应以一定的速率产生氧气，同时氧气也以同样的速率与氢气化合，因此，电池内部的温度和气体压力都很低。

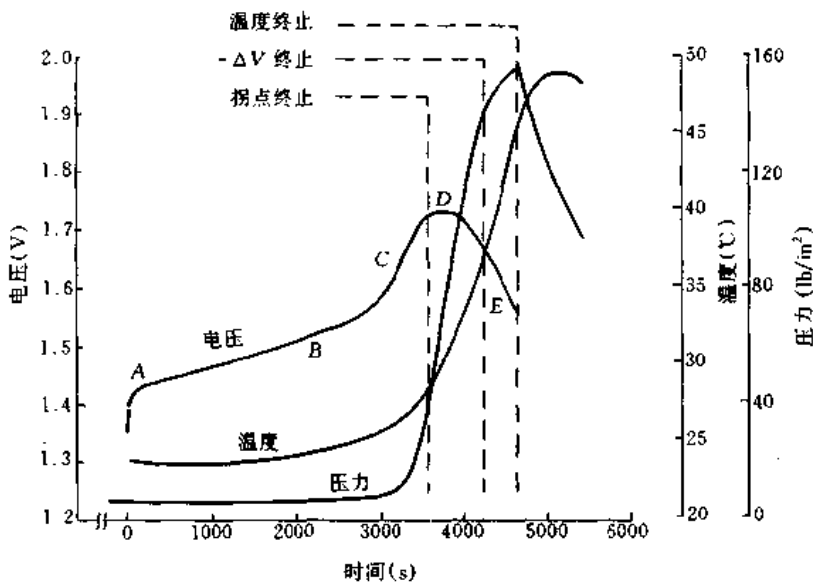


图 1-1 镍镉电池充电特性曲线

电池充电过程中，产生的氧气高于复合的氧气时，电池内压力升高。电池内的正常压力* 大约为 1 磅力/英寸²。过充电时，根据充电速率，电池内部压力将很快上升到 100

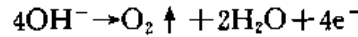
* 此处所用的压力单位磅力每平方英寸 (1bf/in²) 为非许用单位，1bf/in²=47.8803Pa，1ft=12in。

磅力/英寸²或者更高。

研究蓄电池的各种充电方法时，镍镉电池内产生的气体是一个重要问题。气泡聚集在极板表面，将减小极板表面参与化学反应的面积并且增加电池的内阻。过充电时，电池内产生的大量气体，如果不能很快复合，电池内部的压力就会显著增加，这样将损伤电池。此外，压力过大时，密封电池将打开放气孔，从而使电解液逸散。若电解液反复通过放气孔逸散，电解液的粘稠性增大，极板间离子的传输变得困难，因此电池的内阻增加，容量下降。

经过一定时间后（C点），电解液中开始产生气泡，这些气泡聚集在极板表面，使极板的有效面积减小，所以电池的内阻抗增加，电池电压开始较快上升。这是接近充足电的信号。

充足电后，充入电池的电流不是转换为电池的贮能，而是在正极板上产生氧气超电位。氧气是由于电解液电解而产生的，不是由于氢氧化镉还原为镉而产生的。在氢氧化钾和水组成的电解液中，氢氧离子变成氧、水和自由电子，反应式为



虽然电解液产生的氧气能很快在负极板表面的电解液中复合，但是电池的温度仍显著升高。此外由于充电电流用来产生氧气，所以电池内的压力也升高。

由于从大量的氢氧离子中比从很少的氢氧化镉中更容易分解出氧气，所以电池内的温度急剧上升，这样就使电池电压下降。因此电池电压曲线出现峰值（D点）。

电解液中，氧气的产生和复合是放热反应。电池过充电时（E点），不停地产生氧气，从而使电池内的温度和压力升高。如果强制排出气体，将引起电解液减少、电池容量下降并损伤电池。若气体不能很快排出，电池将会爆炸。

采用低速率恒流涓流充电时，电池内将产生枝晶。这些枝晶能够通过隔板在极板之间扩散。在扩散较严重的情况下，这些枝晶会造成电池部分或全部短路。

镍氢电池的充电特性与镍镉电池类似，充电过程中二者的电压、温度曲线如图1-2和图1-3所示。可以看出，充电终止时，镍镉电池电压下降比镍氢电池要大得多。当电池容

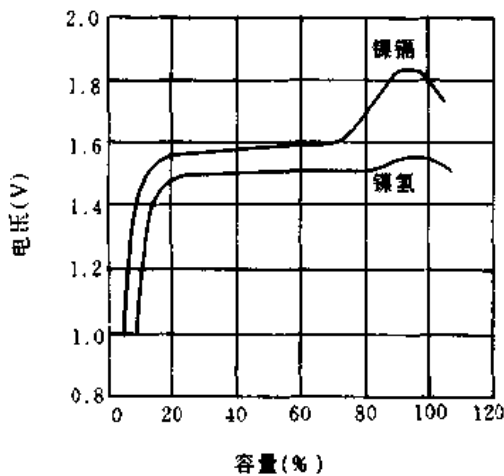


图 1-2 镍镉/镍氢电池充电电压曲线

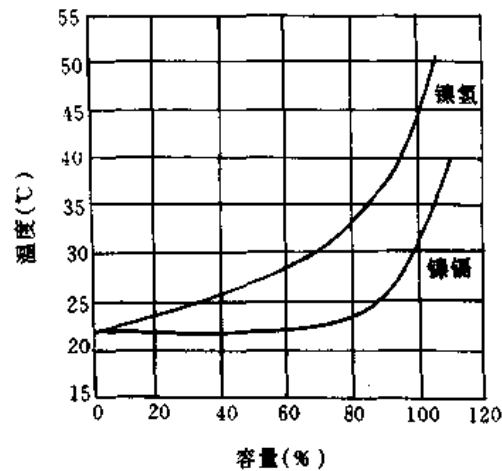


图 1-3 镍镉/镍氢电池充电温度曲线

量达到额定容量的 80% 以前，镍镉电池的温度缓慢上升，当电池容量达到 90% 以后，镍镉电池的温度才很快上升。当电池基本充足电时，镍镉/镍氢电池的温度上升率基本相同。

1.1.6 充电过程与充电方法

电池的充电过程通常可分为预充电、快速充电、补足充电、涓流充电四个阶段。

对长期不用的或新电池充电时，一开始就采用快速充电，会影响电池的寿命。因此，这种电池应先用小电流充电，使其满足一定的充电条件，这个阶段称为预充电。

快速充电就是用大电流充电，迅速恢复电池电能。快速充电速率一般在 1C 以上，快速充电时间由电池容量和充电速率决定。

为了避免过充电，一些充电器采用小电流充电。镍镉电池正常充电时，可以接受 C/10 或更低的充电速率，这样充电时间要 10h 以上。采用小电流充电，电池内不会产生过多的气体，电池温度也不会过高。只要电池接到充电器上，低速率恒流充电器就能对电池提供很小的涓流充电电流。电池采用小电流充电时，电池内产生的热量可以自然散去。

涓流充电器的主要问题是充电速度太慢，例如，容量为 1Ah 的电池，采用 C/10 充电速率时，充电时间要 10h 以上。此外，电池采用低充电速率反复充电时，还会产生枝晶。大部分涓流充电器中，都没有任何电压或温度反馈控制，因而不能保证电池充足电后，立即关断充电器。

快速充电分恒流充电和脉冲充电两种，恒流充电就是以恒定电流对电池充电，脉冲充电则是首先用脉冲电流对电池充电。然后让电池放电，如此循环。放电脉冲的幅值很大、宽度很窄。通常放电脉冲的幅值为充电脉冲的 3 倍左右。虽然放电脉冲的幅值与电池容量有关，但是，与充电电流幅值的比值保持不变，脉冲充电时，充电电流波形如图 1-4 所示。

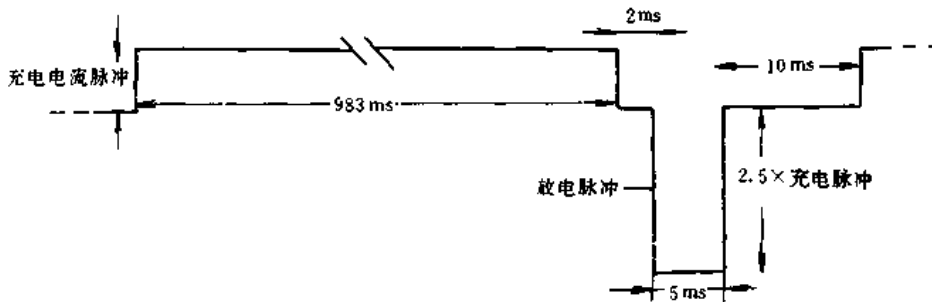


图 1-4 脉冲充电电流波形

充电过程中，镍镉电池中的氢氧化镍还原为氢氧化亚镍，氢氧化镉还原为镉。在这个过程中产生的气泡，聚集在极板两边，这样就会减小极板的有效面积，使极板的内阻增大。由于极板的有效面积变小，充入全部电量所需的时间增加。

加入放电脉冲后，气泡离开极板并与负极板上的氧复合。这个去极化过程减小了电池的内部压力、温度和内阻。同时，充入电池的大部分电荷都转换为化学能，而不会转变为气体和热量。

充放电脉冲宽度的选择应能保证极板恢复原来的晶体结构，从而消除记忆效应。采

用放电去极化措施后，可以提高充电效率并且允许大电流快速充电。

采用某些快速充电终止法时，快速充电终止后，电池并未充足电。为了保证电池充入 100% 的电量，还应加入补足充电过程。补足充电速率一般不超过 0.3C。在补足充电过程中，温度会继续上升，当温度超过规定的极限值时，充电器转入涓流充电状态。

存放时，镍镉电池的电量将按 C/30 到 C/50 的放电速率减小，为了补偿电池因自放电而损失的电量，补足充电结束后，充电器应自动转入涓流充电过程。涓流充电也称为维护充电。根据电池的自放电特性，涓流充电速率一般都很低。只要电池接在充电器上并且充电器接通电源，在维护充电状态下，充电器将以某一充电速率给电池补充电荷，这样可使电池总处于充足电状态。

1.1.7 快速充电终止控制方法

采用快速充电法时，充电电流为常规充电电流的几十倍。充足电后，如果不及时停止快速充电，电池的温度和内部压力将迅速上升。内部压力过大时，密封电池将打开放气孔，从而使电解液逸散，造成电解液的粘稠性增大，电池的内阻增大，容量下降。

从镍镉电池快速充电特性可以看出，充足电后，电池电压开始下降，电池的温度和内部压力迅速上升，为了保证电池充足电又不过充电，可以采用定时控制、电压控制和温度控制等多种方法。

(1) 定时控制

采用 1.25C 充电速率时，电池 1h 可充足；采用 2.5C 充电速率时，30min 可充足。因此，根据电池的容量和充电电流，很容易确定所需的充电时间。这种控制方法最简单，但是由于电池的起始充电状态不完全相同，有的电池充不足，有的电池过充电，因此，只有充电速率小于 0.3C 时，才允许采用这种方法。

(2) 电压控制

在电压控制法中，最容易检测的是电池的最高电压。常用的电压控制法有：

最高电压 (V_{max}) 从充电特性曲线可以看出，电池电压达到最大值时，电池即充足电。充电过程中，当电池电压达到规定值后，应立即停止快速充电。这种控制方法的缺点是：电池充足电的最高电压随环境温度、充电速率而变，而且电池组中各单体电池的最高充电电压也有差别，因此采用这种方法不可能非常准确地判断电池已充足电。

电压负增量 ($-\Delta V$) 由于电池电压的负增量与电池组的绝对电压无关，而且不受环境温度和充电速率等因素影响，因此可以比较准确地判断电池已充足电。这种控制方法的缺点是：电池电压出现负增量后，电池已经过充电，因此电池的温度较高。此外镍氢电池充足电后，电池电压要经过较长时间，才出现负增量，过充电较严重。因此，这种控制方法主要适用于镍镉电池。

电压零增量 ($0\Delta V$) 镍氢电池充电器中，为了避免等待出现电压负增量的时间过久而损坏电池，通常采用 $0\Delta V$ 控制法。这种方法的缺点是：充足电以前，电池电压在某一段时间内可能变化很小，从而造成过早地停止快速充电。为此，目前大多数镍氢电池快速充电器都采用高灵敏 $-\Delta V$ 检测，当电池电压略有降低时，立即停止快速充电。

(3) 温度控制

为了避免损坏电池，电池温度过低时不能开始快速充电，电池温度上升到规定数值

后，必须立即停止快速充电。常用的温度控制方法有：

最高温度 (T_{max}) 充电过程中，通常当电池温度达到 45°C 时，应立即停止快速充电。电池的温度可通过与电池装在一起的热敏电阻来检测。这种方法的缺点是热敏电阻的响应时间较长，温度检测有一定滞后，同时，电池的最高工作温度与环境温度有关。当环境温度过低时，充足电后，电池的温度也达不到 45°C 。

温升 (ΔT) 为了消除环境温度的影响，可采用温升控制法。当电池的温升达到规定值后，立即停止快速充电。为了实现温升控制，必须用两只热敏电阻，分别检测电池温度和环境温度。

温度变化率 ($\Delta T/\Delta t$) 镍氢和镍镉电池充足电后，电池温度迅速上升，而且上升速率 $\Delta T/\Delta t$ 基本相同，当电池温度每分钟上升 1°C 时，应当立即终止快速充电，这种充电控制方法，近年来被普遍采用。应当说明，由于热敏电阻的阻值与温度关系是非线性的，因此，为了提高检测精度应设法减小热敏电阻非线性的影响。

最低温度 (T_{min}) 当电池温度低于 10°C 时，采用大电流快速充电，会影响电池的寿命。在这种情况下，充电器应自动转入涓流充电，待电池的温度上升到 10°C 后，再转入快速充电。

(4) 综合控制

上述各种控制方法各有优缺点。为了保证在任何情况下，均能准确可靠地控制电池的充电状态，目前快速充电器中通常采用包括定时控制、电压控制和温度控制的综合控制法。

1.1.8 充电器控制集成电路

以前充电器大多用分立元件制作，近年来许多集成电路生产厂家都推出了充电器专用集成电路，如 MAXIM 公司的 MAX712/713、UNITRODE 公司的 UCC3905、BENCHMARQ 公司的 BQ2002/2003。各国充电器控制集成电路如表 1-2 所列。应当说明，这些充电器芯片不一定只用于镍镉/镍氢电池，其中一部分用于铅酸和锂离子电池。

表 1-2 世界各国或地区充电器控制集成电路一览表

序号	型号	国家	生产厂家	序号	型号	国家	生产厂家
1	LZ110	中	西安 691 厂	12	BCC101	日	BURR-BROWN
2	LZ111	中	西安 691 厂	13	BQ2007	美	BENCHMARQ
3	MTA11200	中	ARIZONA(香港)	14	BQ2004	美	BENCHMARQ
4	BQ2001	美	BENCHMARQ	15	BQ2031	美	BENCHMARQ
5	BQ2002	美	BENCHMARQ	16	BQ2053	美	BENCHMARQ
6	BQ2003	美	BENCHMARQ	17	BQ2054	美	BENCHMARQ
7	BQ2010	美	BENCHMARQ	18	BQ2090	美	BENCHMARQ
8	BQ2011	美	BENCHMARQ	19	BQ2091	美	BENCHMARQ
9	BQ2012	美	BENCHMARQ	20	BQ2005	美	BENCHMARQ
10	BQ2013	美	BENCHMARQ	21	CS2516	美	CHERRY
11	BCC100	日	BURR-BROWN	22	UT500	中	CHIPS CARDE(香港)

续表

序号	型号	国家	生产厂家	序号	型号	国家	生产厂家
23	UT550	中	CHIPS GARDE(香港)	49	BU2112	日	ROHM
24	DS1633	美	DALLAS	50	L6310	法,意	SGS-THOMSON
25	DS1634	美	DALLAS	51	H-IC	日	SANYO
26	ZLD-IC3	中	HUAFEI	52	SI-101	日	SANYO
27	ICS1700	美	ICS	53	SM5K5	日	SHARP
28	ICS1702	美	ICS	54	ATC105	美	Shorcline
29	ICS1720	美	ICS	55	ATC106	美	Shorcline
30	LS7314	美	LSI	56	TA8521	日	TOSHIBA
31	MAX712	美	MAXIM	57	TA8523	日	TOSHIBA
32	MAX713	美	MAXIM	58	TB1004	日	TOSHIBA
33	MAX2003	美	MAXIM	59	TA8332	日	TOSHIBA
34	M57930	日	MTSUBISHI	60	U2400	德	TEMIC(TFK)
35	82C752	荷	PHILIPS	61	U2401	德	TEMIC(TFK)
36	TEA1100	荷	PHILIPS	62	U2402	德	TEMIC(TFK)
37	TEA1101	荷	PHILIPS	63	U2403	德	TEMIC(TFK)
38	SAA1500	荷	PHILIPS	64	TC675	美	TELCOM
39	SAA1501	荷	PHILIPS	65	TC676	美	TELCOM
40	TEA1400	荷	PHILIPS	66	TC677	美	TELCOM
41	TEA1401	荷	PHILIPS	67	TC678	美	TELCOM
42	TEA1088	荷	PHILIPS	68	TC680	美	TELCOM
43	TEA1090	荷	PHILIPS22	69	UC3906	美	UNITRODE
44	PCA1329	荷	PHILIPS	70	Z86B07	美	ZILOG
45	74LV4799	荷	PHILIPS	71	SL5287	中	(香港)
46	AN8360	日	PANASONIC	72	TM7001	中	(中国台湾省)
47	HH8360	日	PANASONIC	73	MB88211	日	
48	SC6000	英	PAG				

充电器控制集成电路是充电器的核心,它的性能直接影响充电器的性能。一般来讲,充电器控制集成电路要配合适当的外部电路才能组成完整的充电器,外部电路决定最大充电电流和充电电压等参数,下面介绍几种常用的充电器控制集成电路的工作原理,并给出一些充电器实用电路。

1.2 由 ICS1700 微处理器组成的充电器

1.2.1 ICS1700 微处理器

ICS1700 实质上是采用专用精简指令集 (RISC) 的微处理器。该处理器适于作数值计算,因为导出充电电压的斜率和决定正确的充电终止点,需要很复杂的数值计算。

为了实现镍镉电池快速充电,必须控制充电电流,并且监控电池的充电状态。为了满足这些要求,该控制器采用脉冲电流充电并且用电池电压的导数 (dV/dt) 来判定电池的充电状态。

采用脉冲充电法时,首先用脉冲电流对电池充电,然后让电池放电。放电脉冲的幅值很大,宽度很窄,充放电电流波形如图 1-4 所示。充电脉冲的幅值决定于充电机的最大电流、电池能接受的充电速率和电池的容量。该处理器能提供的快速充电速率为 $4C$ 、 $2C$ 、

1C 和 0.5C。采用这些不同的充电速率时，充电时间分别为 20min，45min，1.5h 和 3h。

放电脉冲的幅值为充电脉冲的 2.5 倍，放电脉冲的幅值与电池容量有关，但是，与充电电流幅值的比值应保持不变。

在放电脉冲结束后的 10ms 内，没有充电电流，电池极板上的活性物质逐渐复原。在这段时间内，充电控制器可实现无电流电池电压检测，因为没有充电电流，所以电池电压不受内阻压降和外电路压降的影响，也不受极板表面电荷的影响，因此电池电压能够更准确地反映电池的真正充电状态。

快速充电控制器判定蓄电池已经充足电后，控制器直接转入维护充电状态（涓流充电状态），充电器将以 C/30 的充电速率给电池补充电量。

采用脉冲充电放电去极化快速充电模式时，在维护充电状态下，充电电流同样包括充电脉冲和放电脉冲，只是充电脉冲的占空比不同，如图 1-5 所示。例如，充电速率为 2C 时，充放电脉冲周期为 1s，在充电速率为 C/30 的维护充电状态下，充放电脉冲的周期应为 60s。

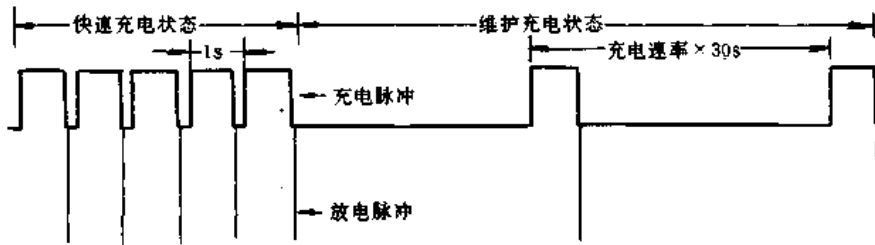


图 1-5 快速充电和维护充电状态下，充放电电流波形

在维护充电状态下，加入放电脉冲能够避免极板上形成枝晶，使极板上的活性物质保持一定的晶体结构。

电池充足电的最明显标志是电池电压曲线的峰点。在峰点以前，电压曲线的斜率为正值，曲线顶部较平坦，然后电压曲线的斜率变为负值。取电池电压对时间的导数 dV/dt ，可以作出充电电压的斜率曲线。

电池电压曲线很小的变化将引起斜率曲线很陡地变化，如图 1-6 所示。斜率曲线的峰值出现在电池电压峰值以前。该快速充电控制器利用电压斜率检测，可以使电池在过充电前终止充电。

控制器采用 10 位逐次逼近模数变换器（ADC），将取样的模拟电压信号转换成数字电压信号。对连续若干个电压取样信号平均，可得到平均电压值，这样可以消除电池和模数变换器因受干扰而产生的电压突变对取样值的影响。求取平均值所需的连续取样电压的数目，决定于充电速率。平均电压值经过滤波器，可消除电池电压曲线上较大的偏差值。经滤波后的平均值存入能保存 12 个取样信号的先进先出的堆栈中。这 12 个平均电压值用于计算电压曲线的斜率。

1. 管脚功能

ICS1700 的管脚排列如图 1-7 所示，各管脚的符号和功能如表 1-3 所列。

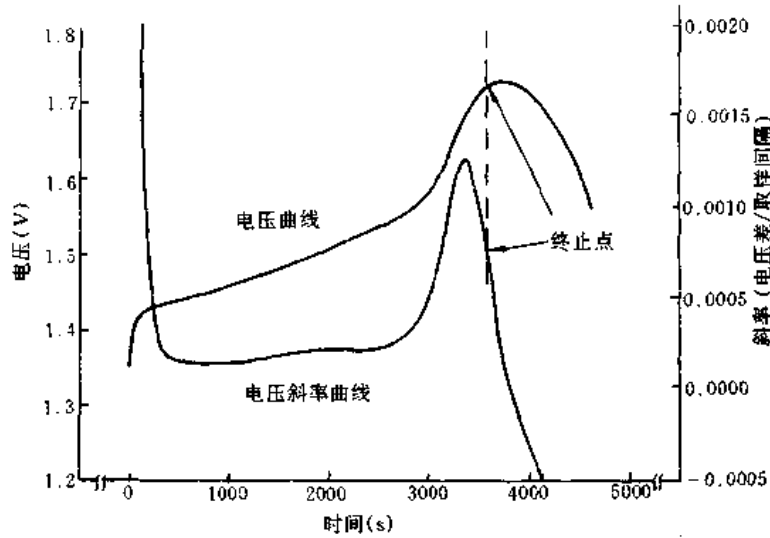


图 1-6 电池充电电压的斜率曲线

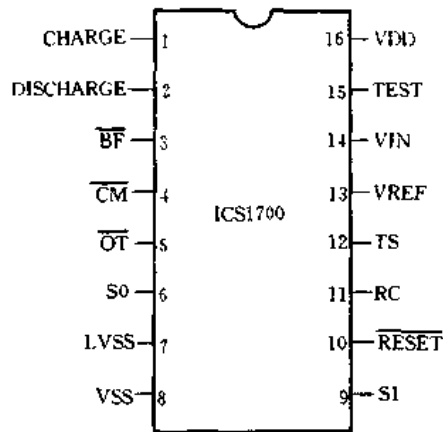


图 1-7 ICS1700 的管脚排列

表 1-3 ICS1700 管脚的符号和功能

管脚号	符 号	功 能
1	CHARGE	该脚为高电平时，接通外部恒流源，对电池充电。
2	DISCHARGE	该脚为高电平时，接通外部放电电路。
3	$\overline{\text{BF}}$	该脚为低电平时，接通外接电池故障指示灯，指示待充电电池存在故障。
4	$\overline{\text{CM}}$	该脚为低电平时，接通外接的充电状态指示灯，连续发光时，电池处于快速充电状态，指示灯闪烁时，电池处于维护充电状态。
5	$\overline{\text{OT}}$	当超温开关断开时，该脚为低电平，接通外接的电池温度过高指示灯。充电器没有接入电池时，接在该脚的指示灯也发光。
6	S0	与 S1 共同确定所需的充电速率。
7	LVSS	指示灯的接地端。
8	VSS	逻辑接地端。

续表

管脚号	符 号	功 能
9	SI	与 S0 共同确定所需的充电速率。
10	RESET	主控制器复位端，控制充电过程开始。
11	RC	外接电阻和电容端，用于确定内部时钟的频率。
12	TS	温度开关。电池组内的常闭温度开关。
13	NC	空脚。
14	V _{IN}	经分压后的单体电池电压输入。
15	TEST	该脚接高电平时，充电器处于测试状态。正常充电时，该脚接 V _{SS} 。
16	V _{DD}	5V 电源。

2. 内部框图

ICS1700 内部由以下几部分组成：基准电源、电池阻抗和电池开路检测电路、电池短路检测电路、电池超温检测电路、A/D 变换器、RC 振荡器、DSP 控制器、多路调制器、运算器、累加器、数据 ROM、指令 ROM、RAM、输出控制器等部分，如图 1-8 所示。

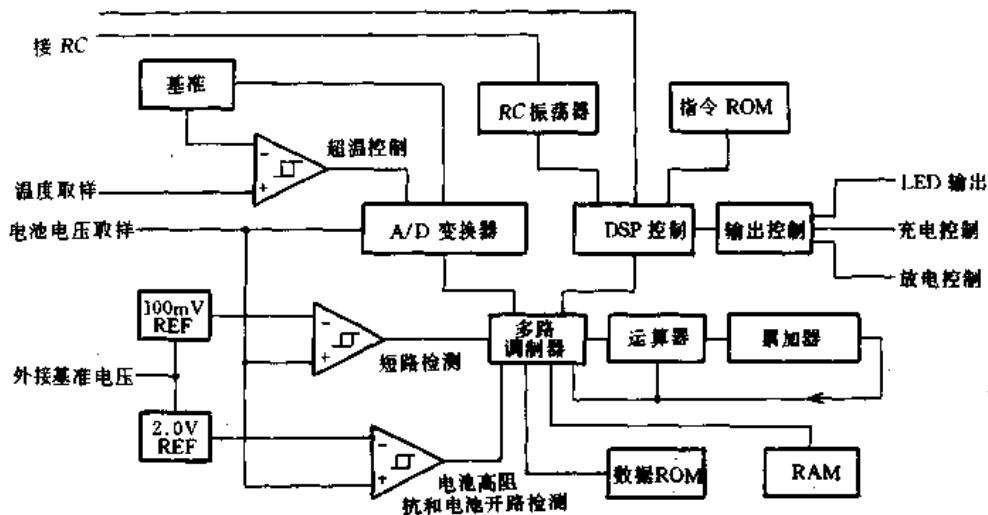


图 1-8 ICS1700 内部框图

3. 电气参数

ICS1700 的电气参数如表 1-4 所列。

表 1-4 ICS1700 的电气参数

参 数	符 号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压	V _{DD}		4.5	5.0	5.5	V
电源电流（静态）	I _{DDs}		2.9	3.9	4.2	mA
电源电流（动态）	I _{DDM}		15.4	16.4	17.4	mA

续表

参 数	符 号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
内部基准电压	V_{RG}		1.192	1.246	1.280	V
高阻抗/开路检测	V_{HI}		2.010	2.067	2.130	V
短路检测	V_{LO}		0.122	0.131	0.138	V
V_{IN} 脚输入阻抗				1.0		M Ω
充电脉冲宽度	t_{CPW}	$f_{CLK} = 1\text{MHz}$		990		ms
时钟频率	f_{CLK}	$R = 16\text{k}\Omega$ $C = 100\text{pF}$		1.0		MHz
输入高电平	V_{IH}		3.5			V
输入低电平	V_{IL}		0.80	0.84	0.89	V
输出高电平	V_{OH}	$I_{DH} = 2\text{mA}$ V_{DD} 最小	2.4			V
输出低电平	V_{OL}	$I_{OL} = 2\text{mA}$ V_{ED} 最小			0.4	V
低电平输入电流 (LED 输出)	I_{SL}		130.0	138.5	146.0	mA
低电平输出电压 (LED 输出)	V_{DL}	$I_{DL} = 10\text{mA}$	0.102	0.109	0.115	V

4. 控制快速充电终止的方法

ICS1700 通过电池电压监控、电池温度取样和定时关机等措施终止快速充电过程。

(1) 电池电压监控

充电开始后, 控制器连续计算电池电压的斜率, 当电池电压曲线的斜率达到图 1-6 中所示的终止点时, 快速充电终止并且立即转入涓流充电状态 (维护充电状态)。

由于电池电压很小的变化就会使电压曲线斜率发生很大变化。这样, 电池充电过程中发生的电压异常现象可能使快速充电过早地终止, 因此 ICS1700 在软件上采取了一些措施, 在各种异常情况下均保证电池充足电。

电池组不匹配会使电池组充电曲线不能达到电池组的峰值电压, 针对这种情况, ICS1700 还采取了另外一个终止快速充电的方法, 即连续计算电池电压曲线的斜率。当电压曲线出现负斜率后, 停止快速充电并转入维护充电状态。

充足电的电池继续快速充电时, 电池电压就会很快上升。这时, 充入电池的电量都变成了极板表面的电荷, 没有任何能量储存到电池中。为了避免过充电, ICS1700 能够检测出电压的迅速上升, 并且立即停止快速充电, 并转入维护充电状态。

存放时间长的镍镉电池具有很大的阻抗。这种电池在充足电以前, 高阻抗状态没有明显的影响。但是继续充电时, 这种电池的温度将升高, 内部压力将增大。ICS1700 能够检测出这些高阻抗电池, 如果电池的空载电压过高, 充电器将停止充电。

电池组中含有因枝晶生长或隔板损坏而短路的单体电池时, 在大电流充电以前, ICS1700 能够检测出这些电池。加入充电电流后, 正常单体电池的电压将很快上升到 1.3V。若内部有短路单体电池时, 电池组的电压将低于规定的数值。这些短路的电池应当及时更换。

(2) 定时关机

采用自动充电定时器终止电池充电时，到了预定的充电时间后，不管电池电压曲线是否达到峰值，也不管电压曲线斜率是否下降，充电器均将终止充电。定时器的充电时间应根据充电速率决定。终止充电后，若要继续充电，充电器必须复位。

(3) 电池温度控制

充电时，镍镉电池的最高温度大约为 $45\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。当电池温度达到这个数值时，温度取样信号切断充电电路。当镍镉电池快速充电时，应当采用这种温度控制法。

为了避免损坏充电器，充电前，应当检测充电器输出接头有无开路或短路。将大电流脉冲加到接有一定电压的充电器输出接头上，如果电压不上升或者上升过高，就表明充电器接头有故障。当电池极性接错时，充电器不能开始充电。

5. 外部电路

ICS1700 需要外接一些元件，以便控制时钟频率和显示充电状态。芯片还必须外接电源。对于选定的充电速率来说，所需的恒定充电电流必须由外接电源提供。例如，以 2C 速率对 1.2Ah 电池充电时，外电源必须提供 2.4A 恒定电流。充电信号为高电平时，恒流源工作，蓄电池充电。外接电源还要为放电电路供电，放电信号为高电平时，放电电路工作，蓄电池放电。

发光管 LED 用来显示充电状态和故障状态。ICS1700 有三个外接 LED 指示灯的输出端，每个输出端的电流为 20mA ，因此接入 LED 时，应串入限流电阻。三个指示灯分别显示电池故障、充电状态和电池温度过高。

当电池电压曲线的斜率很低或者电池阻抗较高时，电池故障指示灯 LED 发光。充电电压曲线斜率很低表明电池不能接受正常充电。在电池开始充电后的 20 秒内，如果电池电压上升很小，即表示电池充电电压斜率很低；如果电池电压升得非常快，即表示电池阻抗过大。电池电压斜率太低或电池阻抗太大表明充电器与电池接触不良、充电器输出端短路或者电池组内有短路的单体电池，此时电池故障指示灯 LED 发光报警。当检测到上述故障时，控制器将重新检测，每秒钟检测两次，共检测 10s 。如果 10s 内这些故障没有消除，控制器将停止工作。在这种情况下，控制器要想重新工作只有将 ICS1700 复位。

充电过程中，充电状态指示灯 (LED) 始终发光。当控制器进入维护充电状态时，该指示灯每半秒钟闪光一次。

只要超温开关一断开，超温指示灯就发光，该信号表明电池组的温度过高。超温信号也对微处理器发出复位指令。如电池处于故障状态，切断接到电池组内温度开关上的连线，故障状态就能够消除。

TS 输入端接温度传感器开关的一端，传感器开关的另一端接地。当电池温度达到 45°C 时，温度开关应当断开。此时，TS 输入端内部的正偏置电阻使该端处于高电平。只有该端处于低电平时，充电器才能正常充电。

S0 和 S1 信号由用户根据所需的充电速率来设置。不同充电速率时，S0 和 S1 的电平如表 1-5 所示。需要低电平时，S1 和 S0 应接地；需要高电平时，只需将相应的开关打开，不需要将 S1 和 S0 接到 V_{DD} 。

表 1-5 不同充电速率时, S0 和 S1 的电平

S0	S1	充电速率	充电时间 (min)	主脉冲周期 (s)
L	L	4C	30	120
L	H	2C	60	60
H	L	1C	90	30
H	H	0.5C	210	15

电池组电压经过分压后接到 V_{IN} 脚, 该电压必须为单体电池的电压。例如, 若电池组由六只单体电池组成, V_{IN} 脚的电压必须等于电池组电压除以六, 这可以通过两只外接分压电阻来完成。 V_{IN} 脚输入阻抗很高, 大约为 $1M\Omega$ 。

RC 脚用来确定内部时钟的频率。在 RC 脚与 V_{DD} 脚之间接 $16k\Omega$ 电阻, 在 RC 脚与地之间接 $100pF$ 电容时, 内部时钟的频率为 $1MHz$ 。

复位脚能够中断正在进行的充电过程, 重新开始充电程序。应在该脚和地之间接 $1\mu F$ 电容以便产生主控制器通电复位信号。另外复位脚与 $+5V$ 电源之间应接入一只二极管。这样, 电源瞬时中断时, 电容器可通过二极管放电。

ICS1700 不需要外部基准电压。内部基准电压 (通常为 $1.25V$) 是供检测电池故障用的。如果需要更精确的基准电压, 可以在 13 脚接入外部基准电压。这样, 外部基准电压将取代内部基准电压。

ICS1700 有两个接地脚 LV_{SS} 和 V_{SS} 。 LV_{SS} 用来使流入 LED 的电流返回到地。为了避免产生接地脉冲电压, LV_{SS} 应当直接接地。 V_{SS} 为复位电路的接地点。

1.2.2 用 ICS1700 组成的镍镉电池快速充电器

1. 基本工作原理

用 ICS1700 组成的镍镉电池快速充电器实际电路如图 1-9 所示。为了适应所需的充电速率、放电电流和串联电池数, ICS1700 必须外加几个元件才能组成一个完整的充电器。ICS1700 中含有 $5V$ 稳压器, 该稳压器的输入电压为 $8\sim 32V$ 。该芯片也可由 $5V$ 电源直接供电。ICS1700 的 14 脚输入电压必须是单体电池的电压, 当被充电池组的串联电池数为 $1\sim 8$ 只时, 分压电阻 R_1 和 R_2 之值必须按表 1-6 选用。

当电池组串联电池数高于 8 只时, 电阻值可按下式计算:

$$R_2 = (\text{串联电池数} - 1) \times R_1$$

电阻 R_3 的阻值决定放电脉冲电流的幅值。放电脉冲电流的幅值至少应比充电电流大 2.5 倍。 R_3 的阻值可根据实际所需的放电电流幅值计算。

ICS1700 可以采用四种不同的充电速率: $0.5C$, $1C$, $2C$, $4C$ 。充电速率可以通过接在 S1 和 S0 脚的转换开关来选择。如果在实际电路中没有转换开关, 充电速率必须通过

表 1-6 R_1 、 R_2 与电池串联数的关系

电池数	R_1	R_2
1	开路	短路
2	2k	2k
3	1k	2k
4	1k	3k
5	3k	12k
6	2k	10k
7	2k	12k
8	1.3k	9.1k

在适当的位置加入跳线来选择。所需的充电速率可根据表 1-5 来选择。

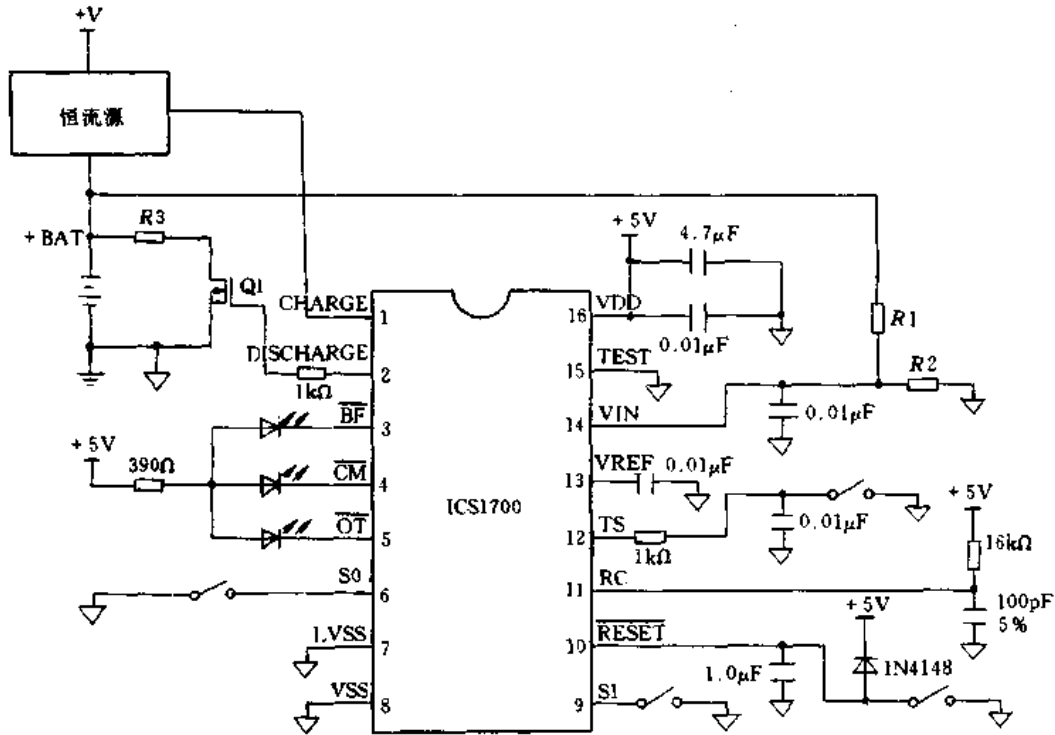


图 1-9 用 ICS1700 组成的镍镉电池快速充电器实际电路

在 TS 脚和地之间,应当接入工作温度为 45°C 的常闭温度开关。如果不用温度开关, TS 脚必须接地。

待充电电池应当接在 +BAT 和地 (GND) 之间。

充放电信号 CHARGE 和 DISCHARGE 用于控制电池充放电。当 CHARGE 脚为高电平时,充电器接通充电回路对电池充电,当 DISCHARGE 脚为高电平时,充电器接通放电回路,电池进行充电前放电,以避免记忆效应。

外部充电电路必须根据所选充电速率提供恒定的充电电流。例如,采用 2C 速率对 1.2Ah 电池充电时,充电电路必须输出 2.4A 电流。ICS1700 只能控制充电晶体管导通或截止,而不能控制电池的充电电流。

该电路接通电源后,芯片将开始充电程序。如果接通电源后,不希望立即开始充电程序,RESET 脚必须接入一个开关,以保证芯片处于复位状态。当 RESET 脚处于高电平或开路时,充电程序开始。

充电程序开始后,芯片首先检测故障状态。如果没有故障状态,经过 2 秒钟延迟后,绿色的充电状态 (CM) 发光管 (CMLED) 将发光,直到快速充电过程结束。此后,电池转入维护充电状态,充电状态发光管闪光。只有电源中断、TS (温度开关) 脚输入高电平或者 RESET 脚输入低电平时,维护充电状态才结束。

2. 故障状态

在充电前或充电过程中,ICS1700 都能够检测出各种故障状态。

充电过程开始后,如果红色电池故障发光管(BFLED)发光,通常是电池接触不良。此时应当检查电池的所有接点,保证当充电信号为高电平时,有电流流入电池,然后检查电池组两端有无短路或开路。当电流流入电池组后,如果充电控制器检测电压高于2V(开路状态)或者低于100mV(短路状态),电池故障发光管(BFLED)将发光。

如果BFLED在充电过程中某一时刻发光,说明电池组有故障,不能正确地接受充电。这种情况通常是电池组中存在短路或阻抗过大的单体电池。单体电池短路时,检测电压上升很慢;单体电池阻抗过大时,检测电压上升很快。此外,如果充电速率和充电电流不适当,也会引起上述故障现象。

如果这种故障状态持续存在,应当更换新的电池组。

当TS脚加入高电平时,红色超温发光管(OTLED)发光,这表明温度开关开路。这是因电池温度超过45°C而引起的。正常工作时,这种情况不会发生。当电池温度过高时,ICS1700处于复位状态。只有超温状态消失后,才能开始正常充电。

3. 设计考虑

采用ICS1700设计充电器时,通常应当兼顾充电速率与功率元件的价格。当特别需要高速充电时,元件的价格就不必考虑。为了降低充电器的成本,充电时间可适当延长一些。

快速充电时,需要很大的充电电流。为了降低价格、减小体积和降低功耗,电源部分应当采用脉宽调制型开关控制器。另外,当电池组所需的充电电压高于直流电源电压时,采用开关型控制也可实现快速充电。例如,采用升压型反激式开关变换器,用12V汽车电池就可以对24V电池组充电。

采用ICS1700组成充电器时,电池组中应含有温度开关,否则当控制系统的电子元件发生故障时,电池就不能及时终止充电,这会造成电池损坏。

设计印刷电路板时,接地线应当粗一些,旁路电容应当靠近集成电路。ICS1700能够测试出1mV的电压差,这对减小干扰非常重要。因为电池放电电流很大,放电脉冲上升很快,所以电池的负极应尽可能靠近放电晶体管,以减小可能干扰芯片正常工作的引线中的电流。由于温度开关输入端对电池引线的干扰很敏感,因此应当用电容旁路温度开关。

由于所需的放电脉冲电流很大,所以放电电阻的阻值很小,这种低阻值的电阻可以在印刷电路板上用连线直接作出。

1.2.3 用ICS1720组成的镍氢电池充电器实际电路

1. 镍氢电池特性和终止充电的方法

单体镍氢电池的电压为1.25V,与镍镉电池相同。两种电池的充电特性存在一定的差异,ICS1700用于镍镉电池充电控制,ICS1720用于镍氢电池充电控制。

镍氢电池最明显的特性是充电时电池温度较高。热量是由电池内部发生的放热化学反应产生的。在同等条件下,镍氢电池的温度要比镍镉电池高几度。因此,充电过程中应特别注意电池的温度,尤其是过充电时。因为过充电时,镍氢电池也象镍镉电池那样,内部温度急剧上升。电池温度过高,就可能使电池冒气。镍氢电池通常不允许出现

大电流过充电，因此采用大电流快速充电时，在镍氢电池进入过充电状态前，必须适时停止快速充电。

作为镍镉电池开始过充电信号的电池峰值电压，通常不能用作判定镍氢电池过充电的标准，因为镍氢电池的电压峰值不明显，并且过充电时，电池电压没有非常明显的下降，因此，不能象镍镉电池那样，采用 $-\Delta V$ 来终止快速充电。

ICS1720能够监控充电电池的电压，计算电池电压的斜率(dV/dt)，决定电池电压曲线的拐点，并且当拐点出现时，立即转入小电流维护充电状态。

电池进入维护充电状态后，充电电流将分为两阶段逐步由大变小。第一阶段采用C/10速率充电，大约需要2小时，这样可使镍氢电池达到很弱的过充电状态，保证电池既充足电又不会因过热而损坏。第二阶段采用C/40小电流涓流充电，这样可以补偿电池的自放电，使电池始终处于充足电状态。

除了通过计算电池电压曲线斜率来终止快速充电外，ICS1720还采用其它几种方法作为终止快速充电的备用方法。由于镍氢电池制造过程中采用了新的电化学工艺，所以这几种终止充电的方法非常重要。

电池短路、开路或内阻过大等状态可通过电压比较器来监控，当取样值超过门限值时，比较器翻转。当电池短路、开路或内阻过大时，ICS1720转入维持充电状态。定时器能够保证预定的充电时间达到后，自动终止充电。最后，所有的电池充电系统都要求在电池组中装入温度开关。该开关的开路温度为 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ 。ICS1720中也设有温度开关输入，当电池组温度达到一定数值后，也能够终止快速充电。

2. ICS1720的主要特点和工作过程

ICS1720是镍氢电池快速充电控制器，它的内部结构和主要参数与ICS1700基本相同。但是由于镍氢电池不存在记忆效应，所以不需要放电控制电路，为此，ICS1720的2脚为空脚。另外内部的快速充电终止方法也不同。

接通电源后10ms内，电池没有充电电流。在这段时间内，ICS1720检测电池的空载电压。这样，ICS1720能够精确地检测出电池的真实电压，该电压不受充电过程中电化学反应的干扰。

在ICS1720中，用户可选择的充电速率有：1C，C/2，C/4，C/8。改变S0，S1脚的接法，就可以改变充电速率。提供充电电流的恒流源和电池组也必须能够承受充电速率所确定的充电电流。

复位信号过后，ICS1720开始检查充电器输出端是否接入蓄电池，当确认接有蓄电池后，宽度为50ms的充电脉冲周期地加入蓄电池，ICS1720开始检测蓄电池电压。当单体电池的电压低于130mV时，可认为电池短路。经过几次检测后，如ICS1720发现电池存在故障状态，将继续检测，一直到单体电池电压变为正常值。

电池电压正常后，ICS1720给电池加入很大的恒定充电电流。充电过程中，ICS1720不断检测和分析电池电压，一直到快速充电过程终止。此后，ICS1720进入两阶段维护充电过程，一直到电池从充电器上取下为止。

3. 外围元件的作用

采用 ICS1720 的镍氢电池快速充电器实际电路如图 1-10 所示。当 CHARGE 脚为高电平时，外部恒流源对电池充电。单体电池的电压从电压输入脚 (V_{IN}) 接入。RC 输入用来设定内部时钟的频率。在 RC 脚和 V_{DD} 脚之间接入 $16k\Omega$ 电阻，在 RC 脚和地之间接入 $100pF$ 电容时，内部时钟的频率为 $1.0MHz$ 。

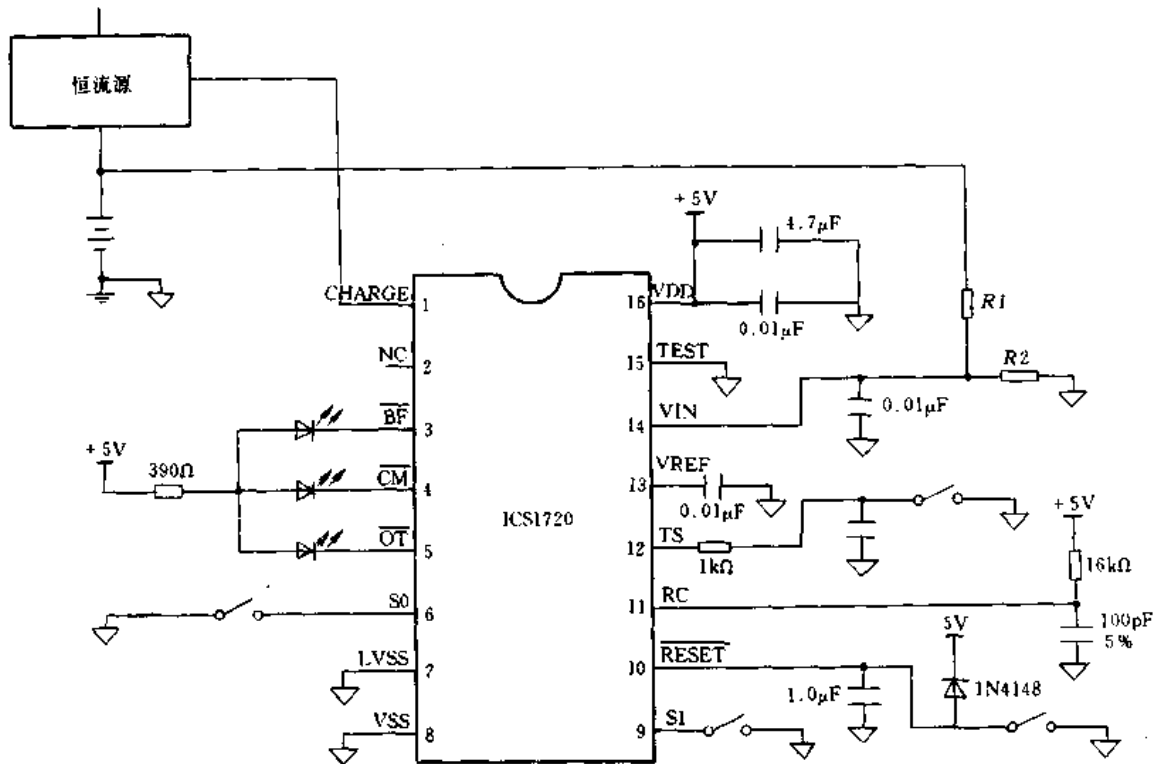


图 1-10 由 ICS1720 组成镍氢电池快速充电器实际电路

复位脚的作用和 ICS1700 一样，用于重新开始充电。为了提供通电复位信号，在复位脚和地之间应当接入 $1.0\mu F$ 电容器。另外，在电源瞬时中断的情况下，为了让电容放电，在复位脚和 $+5V$ 电源之间应接入一只二极管。

为了显示充电状态和故障状态，接入了三只发光二极管。三只发光管分别指示电池故障、充电和维护充电状态及超温状态。三个脚的输入电流为 $100mA$ 。为此，发光管需要外接限流电阻。

温度检测输入端 (TS) 接到温度开关的一端，温度开关的另一端接地。当温度开关打开时，TS 脚处于高电平。

S0、S1 脚的电平与充电速率和充电时间的关系如表 1-7 所列。

表 1-7 充电速率和充电时间与 S0、S1 的关系

S0	S1	充电速率	充电时间 (min)
L	L	1C	65
L	H	C/2	130
H	L	C/4	260
H	H	C/8	520

1.3 由 UT550 组成的智能充电器

UT550 是一种快速充电专用微电脑芯片（内藏 8-位 A/D 转换器），可以设定多种外部参数，以满足不同特性的电池对快速充电的要求。该芯片具有 7 种充电保护功能，可以对镍镉/镍氢电池实现安全快速充电。采用 UT550 制作的快速充电器主要用于移动电话、无绳电话、手提式摄录像机、掌上型电脑、笔记本型电脑、便携式电子仪器和电动工具等。

1.3.1 UT550 功能说明

1. 充电控制

UT550 把充电过程分为 4 个阶段，即预充电、快速充电、补足充电、涓流充电。在各阶段，充电器均采用脉宽调制法设定充电电流。快速充电速率可分为 4C 以上、3C，2C 和 1C 以下四种。补足充电速率均为 0.2C，补足充电时间为 30min。涓流充电速率可设定为 0.025C，0.03C，0.05C 和 0.1C，涓流充电时间为 8 小时。

2. 保护功能

为了避免因过充电而损坏电池，该芯片具有以下保护功能：

定时关机 达到设定的快速充电时间后，充电器可立即关机。根据充电速率不同，快速充电时间可设定为 30min，60min，90min，120min 和 180min。

- ΔV 检测 镍镉/镍氢电池充足电后，端电压将出现负增量（ $-\Delta V$ ）。在充电过程中，当电池电压出现 $-\Delta V$ （单体电池电压下降 20mV）时，快速充电立即终止。

0 ΔV 检测 电池电压出现 $-\Delta V$ 时，电池已过充电。为了避免因等待 $-\Delta V$ 出现的时间过长而损坏电池，该芯片中设计了 0 ΔV 检测程序。在充电过程中，当电池电压在一定时间内保持不变（0 ΔV ）时，电池迅速由快速充电转为补足充电。

电压上升率 $\Delta V/\Delta t$ 检测 电池将要充足电时，电池电压将缓慢上升。当电池电压在预定时间内上升值小于某一特定值（即 $\Delta V/\Delta t$ 下降到某一数值）时，快速充电终止。

最高电压 V_{MAX} 检测 电池接近充足电时，端电压将达到较高数值 V_{MAX} ，为了避免过充电，应立即停止快速充电。

温度上升率 $\Delta T/\Delta t$ 检测 电池将要充足电时，电池温度迅速上升，当温度上升率 $\Delta T/\Delta t$ 达到一定数值后，快速充电立即终止。

最高温度 T_{MAX} 检测 充电过程中，电池的温度将逐渐上升，当温度达到 55°C 时，迅速停止快速充电。

3. 消除记忆效应

镍镉电池存在记忆效应。为了避免产生记忆效应，镍镉电池充电前应将剩余电量全部放完。该芯片具有放电功能。当未放完电的电池接入充电器后，电池可先放电。当单体电池的电压下降到 0.9V 时，充电器可自动转入充电过程。因使用其它充电器充电已经产生记忆效应的镍镉电池，该充电器可先对电池放电后再充足电，并且自动反复循环 3

次，从而彻底消除记忆效应。应当说明，由于镍氢电池不存在记忆效应，因此充电前不需要放电。

为了消除记忆效应并且降低电池充电时的温升，还可在充电过程中加入放电脉冲，即采用脉冲充电。

4. 声光指示

在充电过程中，发光管 LED 和蜂鸣器能够发出各种指示信号：

- 快充、补足充电、涓流充电和放电过程均有 LED 显示。
- 电池温度过高或者电池短路时，LED 均能显示。
- 充电过程中，发光管 LED 能够及时显示已充入电池电量占总容量的百分比。
- 消除记忆效应时，LED 能够显示自动放、充电的次数。
- 按动各种按钮时，蜂鸣器发出一声提示声。
- 电池短路时，蜂鸣器发出两声响声。
- 电池充足电后，蜂鸣器每隔 3s 发出三声响声，连续 30s。

5. 生产测试

为了缩短生产测试时间，UT550 设计有测试功能。测试时可按下测试按钮，这样，芯片内部的时基将缩短到原来的 1/14，可以快速模拟充电过程，并能迅速检查各阶段充电电流值是否正确。如果外接便携式数据记录器，还可以显示电池电压和电池温度，并能显示电池电压曲线和电池温度曲线，以便了解电池充电状态和是否达到快速充电终止条件。

1.3.2 管脚结构及功能

UT550 管脚结构如图 1-11 所示，管脚功能如表 1-8 所列。

表 1-8 UT550 管脚功能

序号	符号	I/O	功能
1	V _{AREF}	I	接 V _{DD}
2	B/I	I	电源电压检测
3	T/I	I	电池温度检测
4	+ΔV	I	+ΔV/Δt 数值选择
5	+ΔT	I	+ΔT/Δt 数值选择
6	SET	O	串联接口输出 (SIO) 与参数选择控制
7	P10	I	接地 (GND)
8	P11	I	该脚通过 82Ω 电阻与 LED 串联后接至 V _{DD} ，LED 作补足充电指示
9	P12	O	接蜂鸣器和放电电路
10	P00	O	放电控制 (低电平有效)
11	P01	O	充电控制 (低电平有效)
12	LED80	O	80%LED 输出

续表

序号	符号	I/O	功能
13	LED100	O	充足电 (100%) LED 输出
14	V _{SS}	I	接 GND
15	P02	O	充电故障 LED 输出 (低电平有效)。开机时, 充电电源输出端短路或充电过程中温度高于 60°C 时, 该 LED 闪烁, 表示充电系统有严重故障
16	LED20	O	20%LED 输出
17	LED40	O	40%LED 输出
18	LED60	O	60%LED 输出
19	V _{ASS}	I	接 GND
20	X _{IN}	I	接 RC 振荡器的电容器
21	X _{OUT}	I	接 RC 振荡器的电阻
22	RESET	I	系统复位
23	TEST	I	生产测试时, 该脚接 GND, 正常工作时, 该脚接 V _{DD}
24	R00	I	设定快速充电时间
25	R01	I	设定要求的 0.4V 持续时间
26	R02	I	设定电池最高电压
27	R03	I	接充、放电转换按钮
28	V _{CC}	I	接 V _{DD}

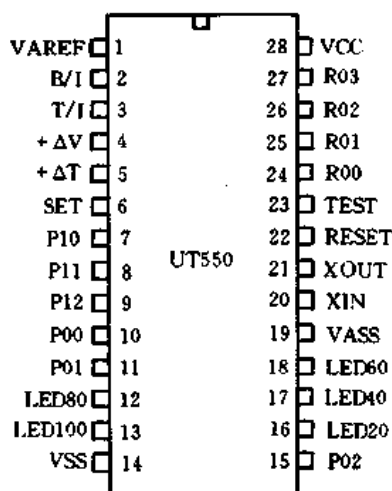


图 1-11 UT550 管脚结构

1.3.3 充电电路与充电程序

UT550 充电控制集成电路可以控制线性恒流源和开关恒流源的工作, 如图 1-12 所示。三端稳压器 78L05 输出的 5V 电压, 加到 UT550 的 1 脚和 28 脚, 给 IC 内部电路供电。UT550 的 11 脚内部接有 N 沟道开漏 MOS 管。该管截止时, 11 脚为高阻抗, 恒流源无输出电流。MOS 管导通时, 11 脚为低阻抗, 恒流源输出电流。11 脚输出脉冲的周期为 1000ms。调整该脉冲的占空比, 可以改变恒流源输出电流平均值, 如图 1-13 所示。空

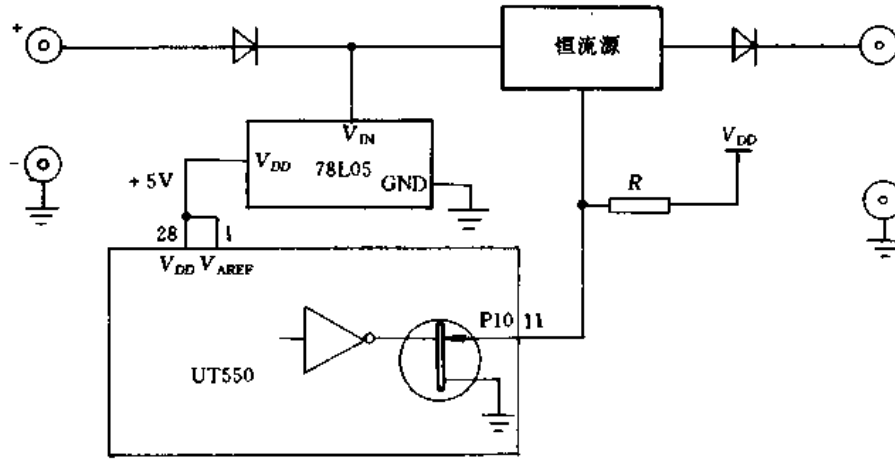


图 1-12 UT550 控制线性恒流源的电路

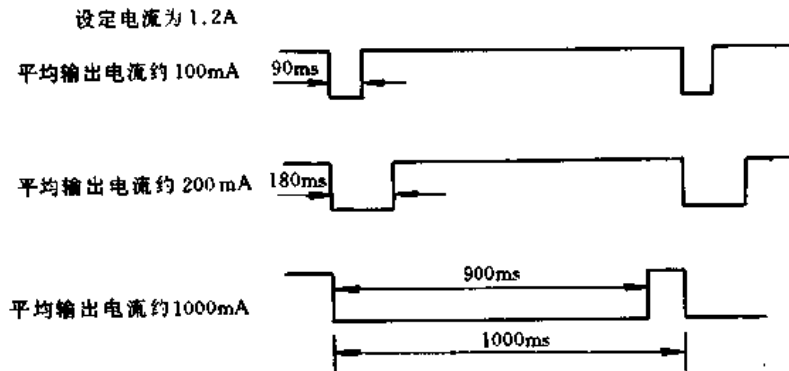


图 1-13 UT550 输出脉冲波形

载时,恒流源输出电压应在 $N \times 2.2V \sim N \times 2.5V$ 之间 (N 为电池组中单体电池数)。为了保证电池安全快速充足电, UT550 采用 4 阶段充电程序。

1. 预充电

如前所述,长期不用的电池或新电池充电时,一开始就采用 $1C$ 以上的快速充电速率,会影响电池的寿命。为了不影响电池寿命, UT550 开始先用 $0.1C$ 速率脉冲电流对电池预充电,每经过 $30s$,充电速率增加 $0.2C$,即为 $0.1C, 0.3C, 0.5C, 0.7C, 0.9C$,大约 $4min$ 后,充电速率增加到 $1C$,如图 1-14 所示。

2. 快速充电

电池经过 $4min$ 预充电后,进入快速充电过程。快速充电时间可以根据电池容量和充电速率来设定。达到设定的快速充电时间后,自动进入补足充电过程。应当说明,在快速充电过程中,为了避免因电池过热或过充电而影响寿命,快速充电时间主要由保护系统决定。当电池电压出现 $-\Delta V$ 和 $0\Delta V$ 时,或者温度上升率 $\Delta T/\Delta t$ 、电压上升率 $\Delta V/\Delta t$ 、电池电压、电池温度达到规定数值时,快速充电过程都立即结束。

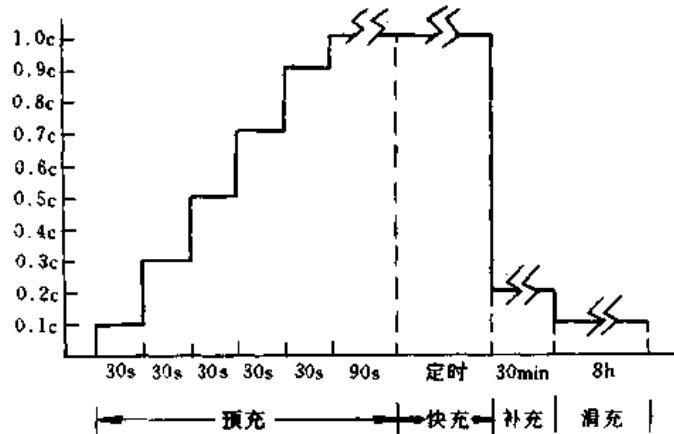


图 1-14 UT550 预充电过程

3. 补足充电

采用 $\Delta V/\Delta t$ 、 $\Delta T/\Delta t$ 等保护措施时，快速充电终止后，电池并未充足电，为了保证电池充入 100% 的电量，在快速充电终止后，还应增加补足充电过程。补足充电速率为 0.2C，补足充电过程中，如果电池温度继续上升，那么当温度超过 55°C 时，充电器会自动转入涓流充电过程。

4. 涓流充电

为了补偿电池因自放电而损失的电量，补足充电结束后，充电器自动转入涓流充电过程。根据电池的自放电特性，涓流充电速率可选定为 C/10、C/20、C/30 或 C/40，涓流充电时间为 8h。这样，可以保证电池一直处于充足电状态。

上述充电过程均有灯光指示。当 P11 (8) 脚接 GND 时，各种灯光指示如图 1-15 所示。

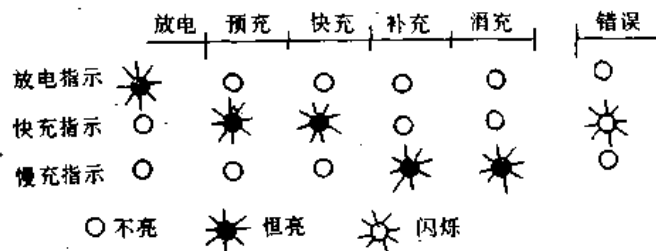


图 1-15 充电过程的灯光指示

目前，移动电话采用的电池组有厚电池（容量为 1100mAh）和薄电池（容量为 600mAh）两种。由于容量不同，要求的快速充电电流也不相同。为了满足这个要求，该充电器设有全充和半充转换电路，如图 1-16 所示。开关 K 闭合时，充电器输出额定电流；开关 K 打开时，充电电流平均值减小一半。充电电流平均值由 UT550 的 11 脚输出脉冲占空比调整。全充和半充时，11 脚输出脉冲波形如图 1-17 所示。若充电器最大充电电流

为 1200mA，那么全充时充电电流平均值为 1080mA，半充时充电电流平均值为 600mA。

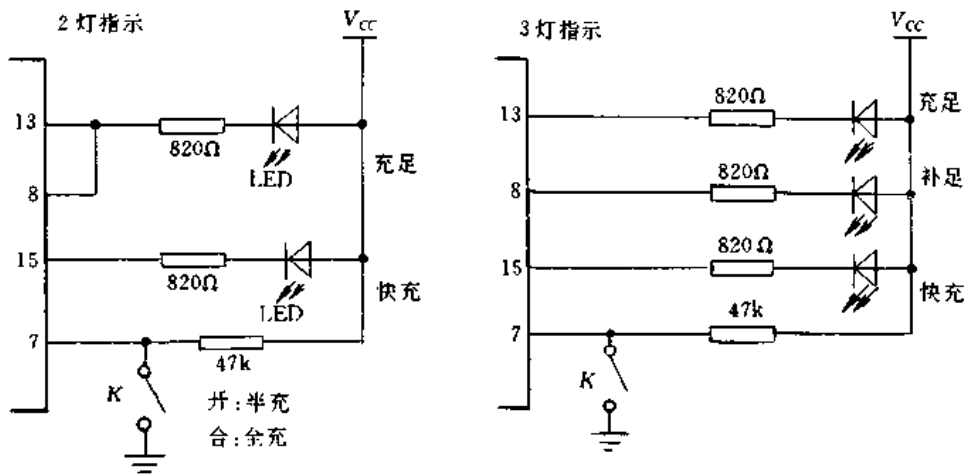


图 1-16 全充和半充转换电路

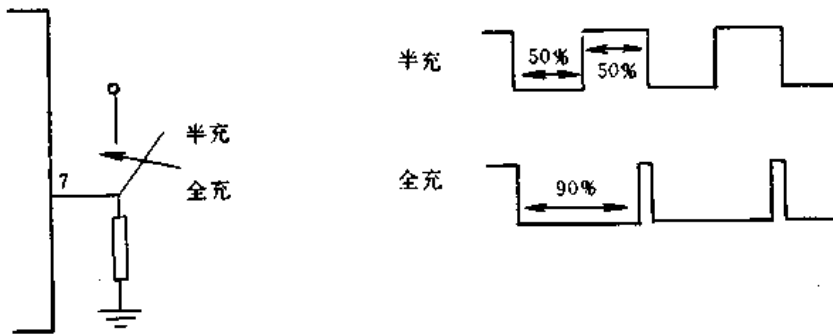


图 1-17 全充和半充时 UT550 输出脉冲波形

1.3.4 保护功能

从镍镉（镍氢）电池充电过程中电压和温度的变化曲线可以看出，采用定时控制、电压及其变化率检测、温度及其变化率检测等措施，就能可靠地避免电池过充电。

1. 定时控制

电池快速充电时间达到设定的安全时间后，充电器自动停止快速充电，可以避免因其它保护条件未能达到而损坏电池。快速充电时间由 R00（24 脚）脚所加的电压决定。当 24 脚接 GND 时，快速充电时间为 90min，24 脚接 V_{DD} 时，快速充电时间为 120min。

2. 电压检测与控制

UT550 内部 A/D 转换器直接用 V_{DD} （5V）作基准电压，因此，充电过程中，电池组的电压高于 5V 时，必须用分压电阻分压，保证加到 B/I（2）脚的取样电压为 2 只单体电池的串联电压。若充电器主电源的输出电压漂移太大，为了保证电池取样电压稳定，2 脚还应接一只滤波电容器。电池电压取样电路如图 1-18 所示。分压电阻 R_1 和 R_2 的阻值

由下式计算：

$$R_1 = (N - 2) \times R_2 / 2$$

式中, N 为电池组中的单体电池数, $N \geq 2$ 。

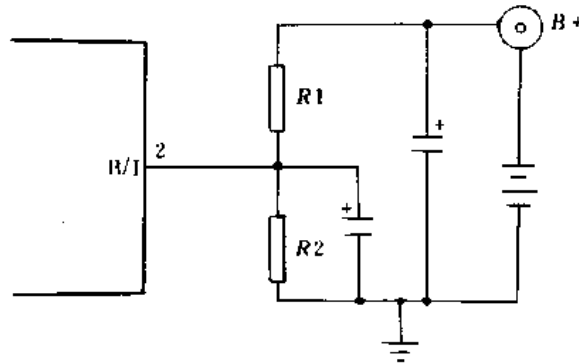


图 1-18 电池电压取样电路

假设 $R_2 = 2.2\text{k}\Omega$ ，则 R_1 值可由表 1-9 得出。

表 1-9 R_1 与串联电池数的关系

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_1 (k Ω)	0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8

电压负增量 $-\Delta V$ 检测 由电池充电特性可以看出，电池过充电后，端电压将开始下降。通常电池过充电 20%~40% 时，单体电池的端电压将下降 20mV 左右。为了避免电池严重过充电，当单体电池的电压下降 20mV 后，应当立即停止快速充电。应当说明，由于镍氢电池充足电后，电压下降值较小，因此，不能用 $-\Delta V$ 作为充足电的唯一标准。当 UT550 的 5 脚接 GND 时，单体电池电压下降 ($-\Delta V$) 30~20mV 后停止快速充电。当 UT550 的 5 脚接 V_{CC} 时，单体电池的电压下降 ($-\Delta V$) 20~10mV 时，终止快速充电。

电压零增量 $0\Delta V$ 检测 从电池充电特性可以看出，电池充足电后，在较短时间内，端电压维持基本不变 ($0\Delta V$)。为了避免等待出现 $-\Delta V$ 的时间过长而影响电池的寿命，可以采用 $0\Delta V$ 检测保护法。这样可以在出现 $-\Delta V$ 以前终止快速充电。UT550 的 R01 (25) 脚接 V_{DD} 时，当单体电池的电压达到 1.6V 且维持 3min 不变时，充电器即停止快速充电。R01 (25) 脚接 GND 时， $0\Delta V$ 保护不起作用。

电压上升率 $\Delta V/\Delta t$ 检测 充电过程中，电池电压出现 $-\Delta V$ 和 $0\Delta V$ 后，电池已经过充电。从电池充电特性可以看出，电池即将充足电时，电压上升率达到最小值，因此，根据电压上升率 $\Delta V/\Delta t$ 的数值，可以预测电池即将充足电。当 $+\Delta V$ (4) 脚接 V_{DD} 时，单体电池的电压在 14min 内只上升 80mV 时，立即终止快速充电。 $+\Delta V$ (4) 脚接 GND 时，电压上升率保护不起作用。

最高电压 V_{MAX} 检测 充电过程中，单体电池的电压超过最高允许值时，对电池寿命的影响极大，因此必须保证电池最高电压不超过允许值。R02(26)脚接 V_{CC} 时，单体电池的电压达到 1.9V 时终止快速充电，R02(26)脚接 GND 时，单体电池的电压达到

1. 85V 时，充电器立即由快速充电转入补足充电状态。

3. 温度检测

在 UT550 组成的充电器中，可采用 103AT-2 (10kΩ/25°C) 负温度系数热敏电阻来检测电池外壳温度的变化。为此，热敏电阻应与电池组装在一起，实际的温度检测电路如图 1-19 所示。

温度上升率 $\Delta T/\Delta t$ 检测 从充电特性可以看出，电池充足电后，内部温度迅速上升，每分钟大约可升高 1°C。因此，可以根据电池内部温度上升率，来判定电池是否充足电。+ $\Delta V(5)$ 脚接 V_{CC} 时，温度上升率达到 3.5°C/3.5min 时，快速充电终止。+ $\Delta V(5)$ 脚接 GND 时，温度上升率达到 2°C/2min 时，充电器由快速充电状态转入补足充电状态。

最高电池温度 T_{MAX} 检测 在快速充电过程中，当电池内部温度达到 50°C 时，充电器自动转入补足充电过程。在补足充电过程中，当电池温度继续上升到 55°C 后，充电器转入涓流充电过程。在整个充电过程中，若电池内部温度上升到 60°C，充电器将立即关断所有输出，充电指示灯闪烁，显示电池内部温度过高。此时，应取出电池，待其冷却后再充电。应当说明，此时若只关断电源再重新开始充电，往往会因电池温度仍高于 50°C 而不能充电。开始充电时，若电池温度高于 50°C，充电器将处于等待状态，一直到电池温度下降到 50°C 以下，充电器才开始充电。

在快速充电器中，若用温度继电器（固态温度开关）来防止电池温度过高，可以采用图 1-20 所示的电路。

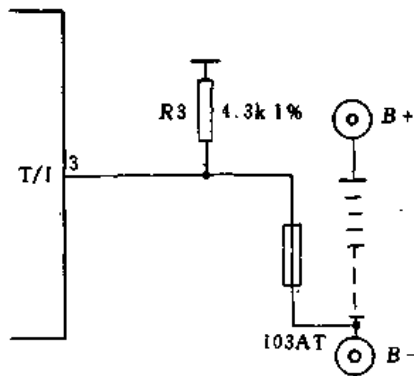


图 1-19 温度检测电路

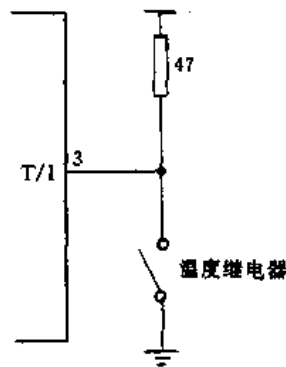


图 1-20 温度继电器控制电路

1.3.5 放电功能

为了避免镍镉电池产生记忆效应，充电前必须将剩余的电量放完。UT550 能够用两种方式完成放电功能。如图 1-21 所示，采用方式 1 放电时，充电器开机后电池先放电，当单体电池的电压下降到 0.9V 时，充电器自动转为充电。放电过程中，按下按钮 K_1 可以迫使电池转为充电。选择方式 2 时，开机后电池先充电。充电过程中，按下按钮 K_2 ，电

池即由充电转为放电。当单体电池的电压下降到 0.9V 时，再自动转为充电。

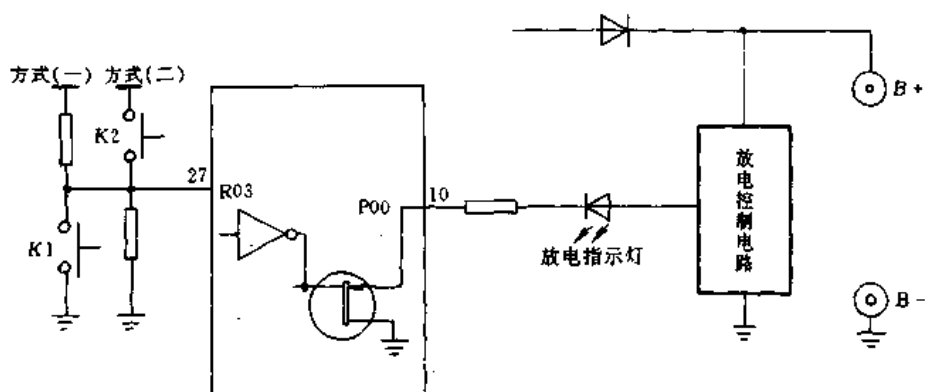


图 1-21 放电方式选择

在充电过程中，为了避免因误触按钮 K_1 或 K_2 而使正在充电的电池转为放电，设计中要求按下 K_1 或 K_2 的时间要超过 1s，电池的充放电状态才能转变。

已经产生记忆效应的镍镉电池，进行 3 次完全充放电循环后，记忆效应可以消除，UT550 能够自动完成 3 次充放电循环。电池放电时，当单体电池的电压降到 0.7V 后，会自动转为充电，充足电后，休息 30min，又自动转为放电，如此循环 3 次，最后转入涓流充电。采用这种方法消除记忆效应时，根据充足电指示灯（100%）闪烁的次数，就可知道充放电循环剩下的次数，如图 1-22 所示。

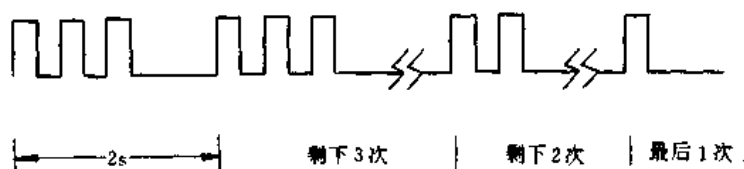


图 1-22 充放电循环次数指示信号

在充电过程中加入适当的放电脉冲，不仅可以消除镍镉电池的记忆效应，而且还可以抑制电池的温升。放电电路及充放电控制信号波形如图 1-23 所示。当 UT550 的 9 脚为高电平时，外接晶体管 C945 导通，HSD882 截止，电池不能放电。当 UT550 的 9 脚为低电平时，晶体管 C945 截止，HSD882 导通，电池通过 1Ω 电阻和 HSD882 放电。由波形图可以看出，只有 11 脚为高电平时，9 脚才可能为低电平，因此，只有停止充电时，电池才能放电。如前所述，UT550 的 11 脚为低电平时，充电恒流源输出电流，电池充电，因此，由波形图可以看出，经过 4 个充电周期（4s），才有一个放电脉冲，放电脉冲的宽度为 12ms。

应当说明，UT550 的 9 脚除了完成脉冲放电控制功能外，还能够完成音响指示功能。如图 1-24 所示，9 脚输出脉冲的频率为 2kHz，脉冲持续时间为 62.5ms。

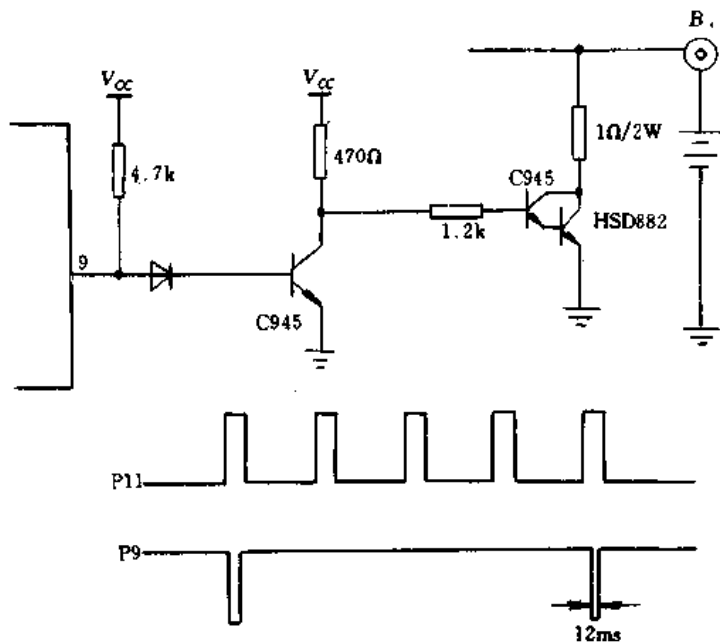


图 1-23 放电电路及充放电控制信号波形

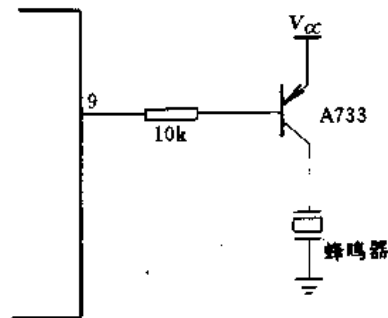


图 1-24 音响指示电路

1.3.6 电量显示

充电过程中，充入电池的电量（总容量的百分比）可以通过检测充电前电池电压和充电过程中电池电压上升率来判定，然后通过相应的发光管来显示。电池组接入充电器后，若单体电池的电压大于充足电的设定值，即认为电池组已充足电，充电器不能进入快速充电状态，只能进入补足充电状态。单体电池充足电电压的设定值，可以根据电池的型号、容量、使用年限和环境温度不同，分别设定为 1.38V, 1.40V, 1.42V 和 1.45V。充电过程中，当单体电池的电压达到设定值后，就表示电池已充足电（充入总电量的 100%）。单体电池的电压与设定值差 0.02V，表示已充入 80% 的电量，与设定值差 0.04V，表示已充入 60% 的电量，与设定值差 0.06V，表示已充入 40% 的电量，与设定值差 0.10V，表示已充入 20% 的电量。例如，当单体电池充足电电压设定为 1.42V 时，那么达到 1.40V，即表示已充入 80% 的电量；达到 1.38V，即表示已充入 60% 的电量；达到 1.36V，即表示已充入 40% 的电量；达到 1.32V，即表示已充入 20% 的电量。

在实际充电过程中，若遇上电压上升很慢的电池，该充电器即通过充电时间来显示已充入电池的电量。比如，设定充电时间为 1h，则充电时间为 1/5h，就表示已充入总电量的 20%；充电时间为 2/5h，就表示已充入总电量的 40%；充电时间为 1h，就表示已充入总电量的 100%。

充电过程中，已充入电池的电量可以用发光管来指示。充入总电量的 20% 时，20% LED 亮；充入总电量的 40% 时，40% LED 亮；充入总电量的 100% 时，100% LED 亮。如图 1-25 所示。

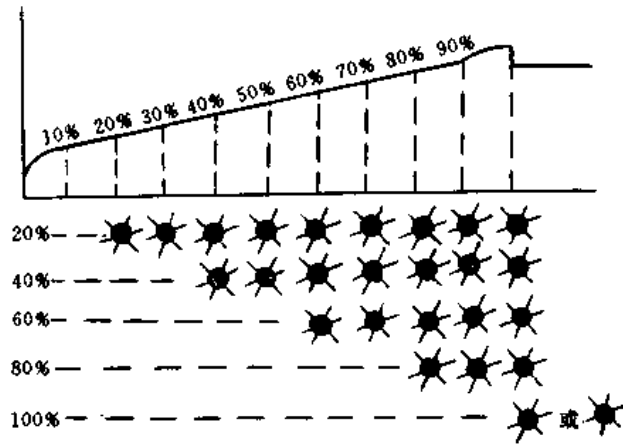


图 1-25 充入电池的电量显示

1.3.7 生产测试

充电器出厂前，通常都必须经过全面测试。为了缩短测试时间，充电器可工作于测试状态。如图 1-26 所示，接在测试 (TEST) 脚的开关打开时，充电器进入测试状态。这时，UT550 中的时基将缩短到 1/14。如果设定的快速充电时间为 60min，那么，在测试状态下，快速充电时间将缩短到 4.3min，其它各阶段的时间也缩短到 1/14，即

	预充	快充	补充	涓充
工作状态	4min	60min	30min	8h
测试状态	17s	4.3min	$2\frac{1}{6}$ min	34.3min

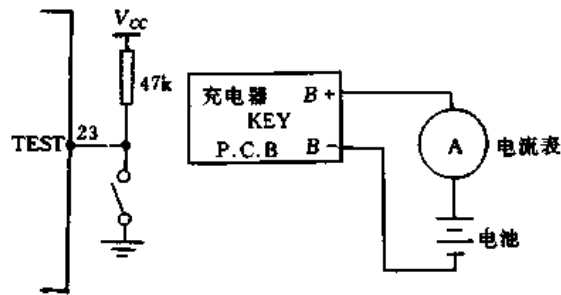


图 1-26 测试状态控制电路

1.3.8 实用电路

采用 UT550 制作的快速充电器实用电路如图 1-27 所示。该电路的功能基本包括了目前快速充电器具有的全部功能，而且电路比较简单。如果需要采用开关式充电器，可以增加开关控制器，如 TL494 或 KKA7500 等。

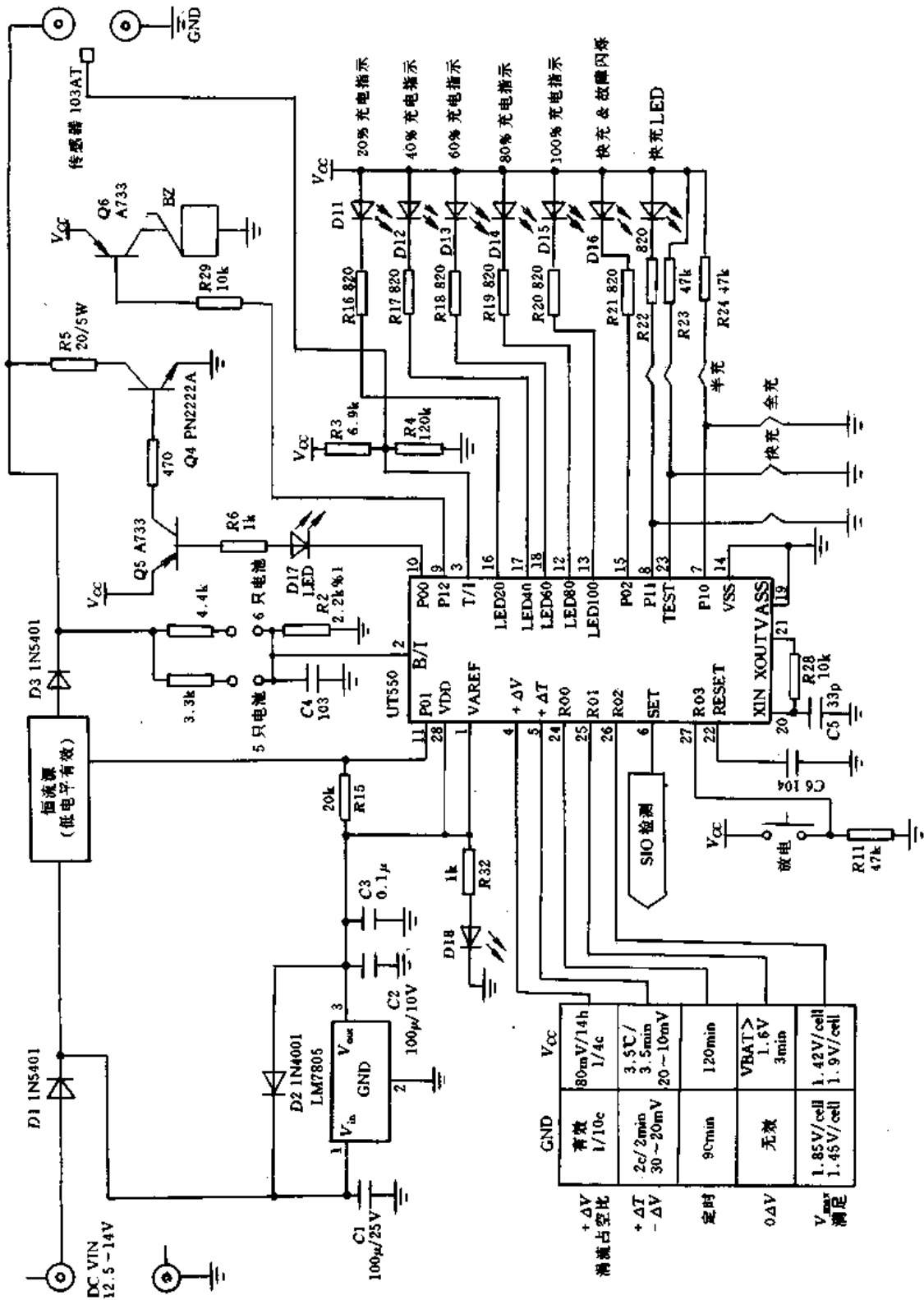


图 1-27 采用 UT550 的快速充电器实际电路

1.4 由 MAX2003 组成的快速充电器

1.4.1 概述

MAX2003 是 MAXIM 公司生产的镍镉/镍氢电池快速充电控制器。90 年代初,该公司曾推出 MAX712 镍氢电池充电控制器和 MAX713 镍镉电池充电控制器。MAX2003 继承了前两种集成电路的优点,并采用了一些新技术,需要的外围元件很少,因此用它组成的充电器体积较小,价格较便宜。

利用 MAX2003 制作的快速充电器,可以采用五种终止快速充电的方法:电池温度变化率、电池电压负增量、电池最高温度、电池最高电压和最长充电时间。为了避免损坏电池,当电池温度和电压低于规定值时,MAX2003 不允许快速充电。因此利用 MAX2003 可以制作比较理想的独立充电器。

MAX2003 具有充电前先放电的功能,这样,可以消除镍镉电池的记忆效应,而且也可以更准确的检测电池的容量。镍氢电池充电前,通常不需要放电。为了保证电池充足电,MAX2003 还能够提供涓流充电和补足充电功能,并且各种充电状态都可由发光管指示。

MAX2003 具有多种封装形式,用户可根据需要选用。MAX2003 和 Benchmarg 公司的 BQ2003 可以互换。

1.4.2 基本工作原理

MAX2003 的管脚排列如图 1-28 所示,管脚功能如表 1-10 所列,内部框图如图 1-29 所示。

表 1-10 MAX2003 管脚功能

引脚号	名称	功能描述
1	CCMD	充电使能模式输入,在此脚加一数字信号,可控制充电器进入快速充电模式。
2	DCMD	放电使能模式输入,在此脚加一信号可完成充电前的放电工作。
3	DVEN	- ΔV 使能输入,当 DVEN 为高电平时,- ΔV 检测有效,当 DVEN 为低电平时,- ΔV 检测无效。
4,5	TM1, TM2	快速充电时间和保护时间设定端。
6	TS	温度检测端,从外接 NTC 热敏电阻来的电压通过此脚接入 MAX2003。
7	BAT	单体电池的电压输入。对多只电池充电时,要使用分压器以保证此端的电压为单体电池的电压。
8	V _{SS}	地。
9	SNS	电流检测。该脚和电池负极相连,TS 和 BAT 以此脚为基准,SNS 脚的电压与通过电池的电流成正比。
10	TCO	温度阈值电压设置,如果从 TS 到 SNS 之间的电压低于 TCO 脚处的电压,表明温度超限。快速充电和补足充电停止。
11	MCV	最高单体电池电压输入,用于设置单体电池允许电压最高值。
12	TEMP	温度指示,用于指示电池温度是否超过允许极限。
13	CHG	充电状态指示。

续表

引脚号	名称	功能描述
14	MOD	调制输出,用于控制充电电流,当 MOD=1 时,有充电电流,当 MOD=0 时,充电电流停止。如用 5V 电源供电,当 SNS 端的电压低于 220mV 时,MOD 为高电平,如果 SNS 端的电压高于 220mV,MOD 为低电平。
15	DIS	放电控制,用于控制放电回路中的 FET。
16	V _{CC}	电源正极,一般为 +5V

1. 快速充电终止方法选择

MAX2003 可选择以下 5 种快速充电终止方法:

- 电池电压负增量 ($-\Delta V$)
- 温度变化率 ($\Delta T/\Delta t$)
- 最高电池电压 (V_{MAX})
- 最长充电时间 (t_{MAX})
- 最高电池温度 (T_{MAX})

设计充电器时, 首先应确定充电器适用电池的种类 (镍镉还是镍氢), 然后确定终止快速充电的方法。

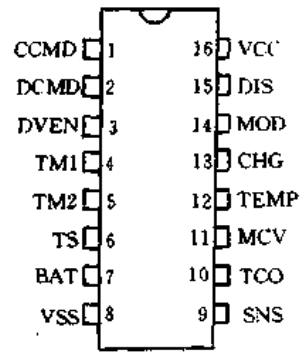


图 1-28 MAX2003 的管脚排列

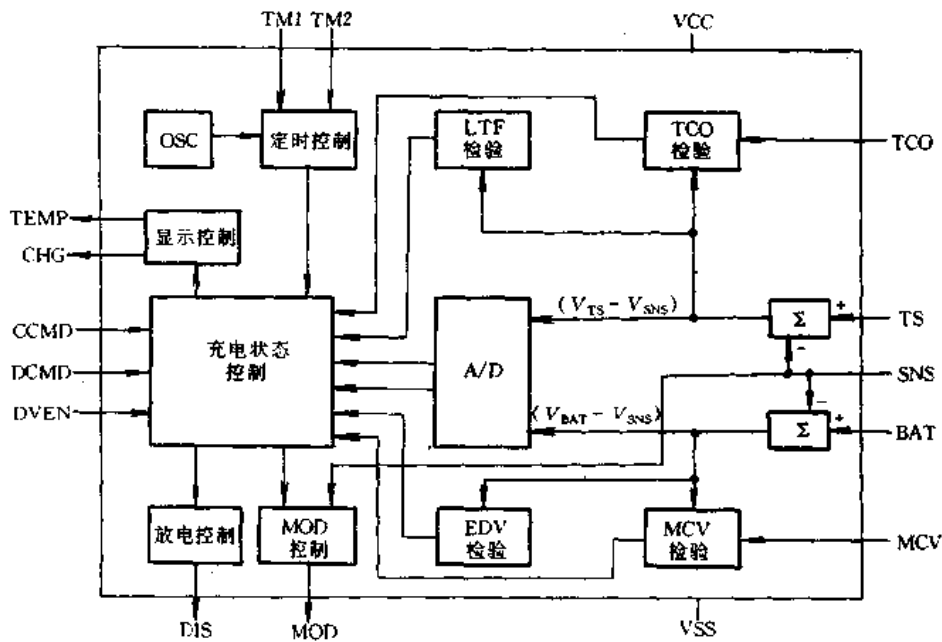


图 1-29 MAX2003 内部框图

镍氢电池的充电特性与镍镉电池类似, 但也存在一定的差异。当电池充足电时, 镍镉电池电压下降值比镍氢电池大得多, 因此, 电压负增量 ($-\Delta V$) 检测法适用于镍镉电池。镍氢电池充足电时电压负增量很小, 若采用 $-\Delta V$ 检测法, 将会造成镍氢电池过充电。

从电池充电特性曲线可以看出,当电池容量达到额定容量的80%以前,镍镉电池的温度缓慢上升,当电池容量达到90%以后,镍镉电池的温度上升很快,当电池基本充足电时,镍镉/镍氢电池温度上升率基本相同,因此,这两种电池都可以采用温度变化率来终止快速充电。当温度上升率超过规定值时,终止快速充电。

镍氢和镍镉电池应当采用的快速充电终止方法如表1-11所列。

表 1-11 电池快速充电终止法

镍氢电池					
充电速率	$\Delta T/\Delta t$	$-\Delta V$	V_{MAX}	i_{MAX}	T_{MAX}
C/2	允许	不允许	允许	允许	允许
镍镉电池					
充电速率	$\Delta T/\Delta t$	$-\Delta V$	V_{MAX}	i_{MAX}	T_{MAX}
>2C	允许	允许	允许	允许	允许
2C~C/2	*	*	允许	允许	允许

* 可任选一种或两种

2. 电池电压检测

BAT脚应加入单体电池的电压,该电压能够决定电池快速充电过程的开始和终止。在图1-30所示充电器实际电路中,该电压值由分压电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 决定:

$$\text{电池组串联电池数} = (R_{B1}/R_{B2}) + 1$$

由于BAT脚的输入阻抗很大(50M Ω),分压电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 应选用较大的数值, $R_{B1} + R_{B2}$ 的阻值通常应当在100k Ω 到500k Ω 之间。

通过简单的RC低通滤波器(R_B, C_B)可抑制噪声信号,使检测电压更加精确。检测电压的延迟时间不能超过200ms(即 $R_B \times C_B < 200\text{ms}$)。

3. 温度检测

在MAX2003组成的充电器中,可采用负温度系数(NTC)热敏电阻来检测电池的温度,决定是否开始和终止快速充电。图1-31给出了各种温度关断点和温度检测TS脚的典型电压。 V_{LTF} (低温关断电压)是指当电池温度过低时TS脚的电压, V_{HTF} (高温关断电压)是指电池温度过高时TS脚的电压。如果检测电压超出这两个电压确定的范围,MAX2003就不能进入快速充电状态。

快速充电开始后,高温终止点是 V_{TCO} (高温关断电压),而不是 V_{HTF} 。 V_{LTF} 设定为 $0.4V_{CC}$, $V_{CC}=5\text{V}$,所以 $V_{LTF}=2\text{V}$ 。快速充电开始后,与最高关断温度相应的电压 V_{TCO} 由外接电阻值设定。 V_{HTF} 由IC内部设定,其值比 V_{TCO} 高 $(V_{LTF}-V_{TCO})/8$ 。

由于热敏电阻的阻值与温度的关系是非线性的,因此采用 $\Delta T/\Delta t$ 检测值终止快速充电时,应当设法减小热敏电阻非线性的影响。为此,可采用分压网络与热敏电阻并联,如图1-32所示。

在TS脚接入 R_T, C_T 组成的低通滤波器,可以大大衰减高频干扰对TS脚温度取样信号的影响。

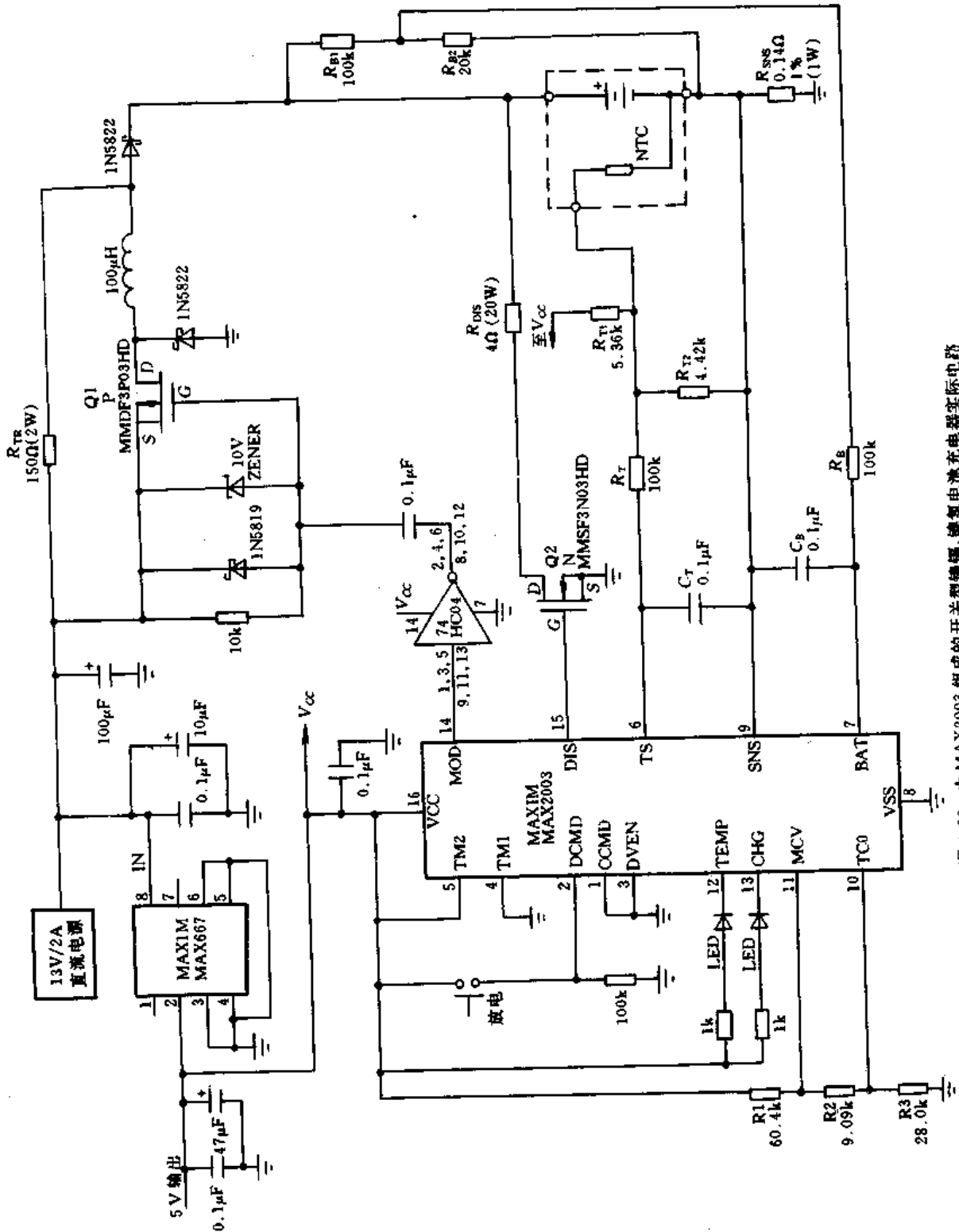


图 1-30 由 MAX2003 组成的开关型镍镉、镍氢电池充电器实际电路

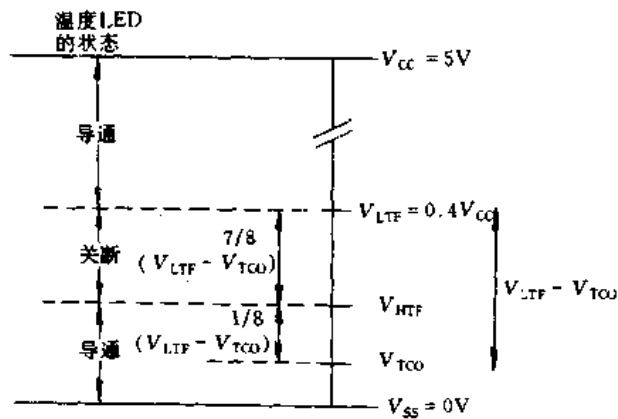


图 1-31 温度关断点与温度检测脚的电压

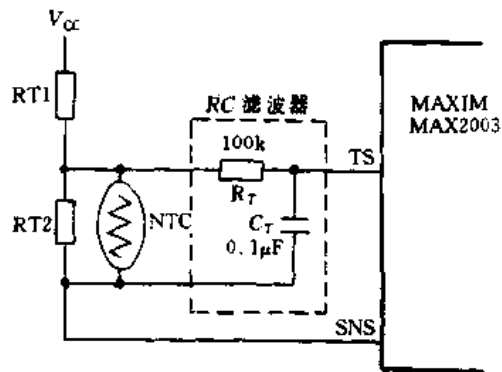


图 1-32 电池温度取样电路

4. 等待充电状态

快速充电开始之前, 要保证电池组中单体电池的电压和温度满足一定的条件, 如果电压和温度超出规定的极限值, 充电器就处于等待快速充电状态。在这种状态下, CHG 脚在高低电平之间交替转换, 低电平 (LED 导通) 持续时间为 1.25s, 高电平 (LED 关断) 持续时间为 1.37s。通常单体电池的电压高于电池放电终止电压 V_{EDV} 时, 快速充电过程才能开始。如果单体电池的电压过低 (低于 V_{EDV}), 充电器自动进入涓流充电状态, 一直到电池电压超过放电终止电压 V_{EDV} 。 V_{EDV} 设定为 $0.2V_{CC}$, 对于 5V 电源电压来说, $V_{EDV} = 1V$ 。

如果单体电池的温度超出 V_{LTF} 和 V_{HTF} 确定的温度范围, 充电器也处于等待充电状态。

5. 快速充电状态

如果 MAX2003 不处于等待充电状态, 只要满足以下任一种条件, MAX2003 就控制充电器开始快速充电:

- 电池接入
- MAX2003 接入电源 (电池已经接入)
- 数字控制信号

在快速充电过程中, CHG 脚始终处于低电平 (LED 导通), 快速充电刚开始的一段时间 (称为封锁时间) 内, 电压终止快速充电法不起作用。封锁时间由充电速率决定。

(1) 电池接入

电池接入以前, 由于图 1-30 中分压网路 R_{B1}/R_{B2} 的作用, BAT 脚的电平高于单体电池最高电压 (MCV)。当电池接入后, BAT 脚电压下降到单体电池的电压, 当 BAT 脚的电压低于 MCV 脚的电压时, 快速充电过程开始。

(2) MAX2003 接入电源 (电池已经接入充电器)

有时, 当 MAX2003 接通电源以前, 电池已经接入充电器。在这种情况下, 电源接通后, MAX2003 进入复位状态, 大约 1.5s 后, CCMD 和 DCMD 脚开始取样。充电器的工作状态由 CCMD 和 DCMD 脚的电压决定。接通电源后, MAX2003 的各种工作状态如

表 1-12 所列。

表 1-12 电池接入后, 接通电源时 MAX2003 的工作状态

CCMD	DCMD	通电后 MAX2003 的工作状态
L	L	通电后开始快速充电
L	H	* 充电器不立刻进入快速充电状态 * 在 CCMD 脚脉冲下降沿, 开始快速充电
H	L	* 充电器不立刻进入快速充电状态 * 在 CCMD 脚脉冲上升沿开始快速充电
H	H	通电后开始快速充电状态

从表 1-12 可以看出, 只要 CCMD 和 DCMD 脚电位相同, 接通电源后, 充电器立即进入快速充电状态。如果不希望通电后立即开始快速充电, 通电时, CCMD 和 DCMD 脚应置为不同的逻辑电平, 然后用数字信号去控制快速充电。

(3) 数字控制

CCMD 脚用来控制开始快速充电。充电过程意外中断后, 如果希望重新进入快速充电状态, 而又不想关掉电源和取下电池, 可采用数字信号来控制。开始快速充电所需的 CCMD 脚的信号与 DCMD 脚的电位有关。如果 DCMD 脚为低电平, 在 CCMD 脚信号的上升沿开始快速充电。如果 DCMD 脚为高电平, 在 CCMD 脚信号的下降沿开始快速充电, 如表 1-13 所列。

表 1-13 数字信号控制快速充电 (V_{CC} 和电池都已加入)

CCMD	DCMD	开始快速充电时 CCMD 的状态
上升沿	L	在 CCMD 信号的上升沿开始快速充电
下降沿	H	在 CCMD 信号的下降沿开始快速充电

6. 充电前放电

用 MAX2003 组成的充电器, 充电前可以让电池先放电, 这种功能对镍镉电池是非常有用的, 因为这种电池若没有放完电就开始充电, 电池的容量将下降。电池充电前先放完电, 就能消除记忆效应。应当说明, 镍氢电池没有记忆效应, 充电前不需要放电, 因此 MAX2003 把充电前放电设计为用户可选功能。用 MAX2003 组成的充电器中, 在 DCMD 脚脉冲的上升沿, 电池开始充电前的放电。

当加入数字信号时, 放电控制 DIS 脚升到高电平, 接通外部放电电路, 蓄电池开始放电。放电过程一直持续到单体电池的电压下降到 $0.2V_{CC}$ 。在放电过程中, CHG 脚交替出现高低电平, 低电平 (LED 发光) 持续时间为 1.375s, 高电平 (LED 不发光) 持续时间为 0.125s。

在充电前的放电过程中, MAX2003 不能控制电池的放电电流。如果放电速率过大, 电池的温度过高, 可能损坏电池, 通常放电速率要小于 1C。在设计电路时, 应当根据所要求的放电速率, 选择适当放电回路元件 (Q_2 和 R_{DIS})。由于栅源驱动电压可降低到 4.5V, 所以 Q_2 可采用逻辑电平 MOSFET。

7. 快速充电电流控制

快速充电电流可以采用以下两种电路来控制，一种是 SNS 脚接有电流取样电阻 R_{SNS} 的电路，另一种是 SNS 脚直接接 V_{SS} 的电路。

(1) SNS 脚接有取样电阻的电路

在图 1-30 所示的 MAX2003 典型应用电路中，主回路采用了开关型电流源，充电电流由接在电池负极(SNS 脚)和地(V_{SS} 脚)之间的取样电阻决定。

SNS 脚是具有滞后作用的比较器的输入端。当 SNS 脚的电压低于 $0.044V_{CC}$ 时，MOD 脚为高电平。当 SNS 脚的电压高于 $0.05V_{CC}$ 时，MOD 脚为低电平。在开关型电流源工作过程中，SNS 脚的电压在 $0.044V_{CC}$ 和 $0.05V_{CC}$ ($220mV$ 和 $250mV$) 之间波动，如图 1-33 所示。SNS 脚的平均电压为 $235mV$ ，因此可以根据下式计算充电电流：

$$I_{CHARGE} = 0.235V / R_{SNS}$$

式中 R_{SNS} 为取样电阻值。

(2) SNS 脚不接取样电阻的充电电流控制电路

在某些应用中，SNS 脚直接接地。这样，在任一快速充电终止条件达到以前，MOD 脚始终为高电平，如图 1-34 所示。在这种应用电路中，为了避免因充电电流过大而损坏电池，外接直流电源应具有有限流特性。

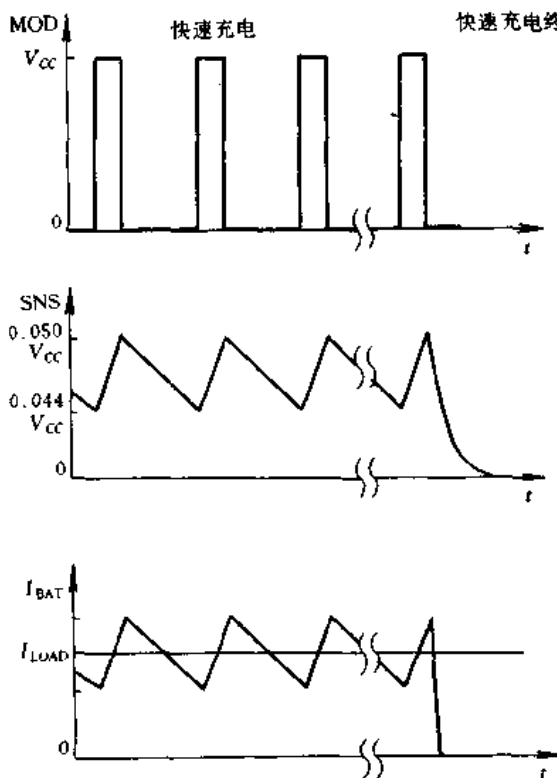


图 1-33 SNS 脚接取样电阻时，
开关型电流源工作波形

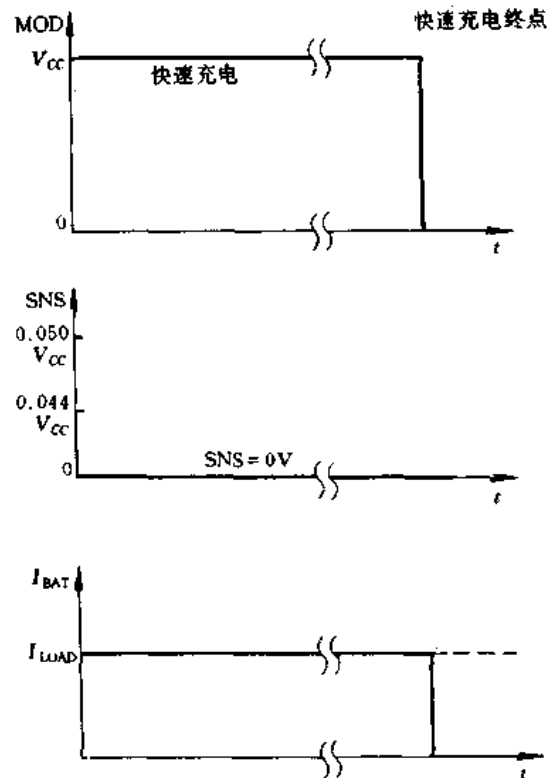


图 1-34 SNS 脚直接接地时，
电流源工作波形

8. 快速充电状态检测与控制

MAX2003 具有多种快速充电控制方法,设计充电器时,应根据电池的类型和充电速率,选择合适的控制方法。

(1) 温度变化率检测与控制

如前所述,当电池刚开始快速充电时,电池温度上升率很低,当接近充足电时,温度上升率很高。当温度变化率超过规定数值时,快速充电停止。这种快速充电控制方法适用于镍镉和镍氢电池。

每隔 34s, MAX2003 在 TS 脚取出一个随电池温度变化的电压,并且与前 68s 的取样电压值比较。因为采用负温度系数热敏电阻检测电池温度,所以,当电池温度升高时,取样电压将降低。如果新的取样电压值比以前的取样电压值低 $0.032V_{CC}$ (当 $V_{CC}=5V$ 时,该值为 16mV) 时,快速充电停止。

应当说明,只有当电池温度在 V_{LTF} 和 V_{TCO} 之间时,这种方法才有效。

(2) 电压负增量检测与控制

电压负增量 ($-\Delta V$) 控制法通过检测电池电压的负增量停止快速充电。当电池充足电后,镍镉电池的端电压明显下降,但是镍氢电池的端电压没有明显下降,因此 $-\Delta V$ 检测法只适用于镍镉电池,一般不用于镍氢电池。

每隔 34s, MAX2003 在 BAT 脚取出一个随电池端电压而变化的取样电压,该电压与所有以前的取样电压比较,如果新的取样电压比以前的取样电压值降低 12mV,快速充电立即停止。

应当说明,只有 BAT 脚的电压在 V_{MCV} 和 $0.2V_{CC}$ 之间时,这种快速充电控制法才有效。

为了避免错误地停止快速充电,在封锁时间内, $-\Delta V$ 检测不起作用。封锁时间决定于所采用的充电速率,并且可以通过在 TM1 和 TM2 脚加不同的输入信号来选择,如表 1-14 所列。封锁时间过后, MAX2003 开始监控 BAT 脚电压负增量。

(3) 最高温度设定与控制

在 MAX2003 组成的充电器中,最高温度终止法仅作为一种安全措施。充电器在正常工作状态下,不能采用这种方法。在快速充电过程中,电池能够达到的最高温度有一个相应的电压值(最高温度关断电压 V_{TCO})。该电压通过接在 V_{CC} 两端的电阻分压器来设定。温度过低(这种情况很少遇到)也不能开始快速充电。与最低温度相应的电压 V_{LTF} 由器件内部设定,其值为 $0.04V_{CC}$ 。

当热敏电阻的温度超过温度极限时,快速充电停止。

(4) 最高电压设定与控制

最高电压控制法和最高温度控制法一样,主要目的是保证在意外事件发生时仍能安全充电。充电器在正常工作状态下,只有电池没有接入时,检测电压才能达到最高电压,其它情况下,不可能达到设定的最高电压。最高单体电池电压由加在 MCV 脚的电压值来设定。当加在 BAT 脚的单体电池电压超过 MCV 脚的设定电压时,快速充电停止。对镍镉和镍氢电池来说,最高电压 V_{MCV} 通常设定为 1.9V。

在封锁时间内,若单体电池的电压超过最高电压,快速充电不会停止,充电器将继续

续快速充电，一直到封锁时间结束后，才终止快速充电。

(5) 最长充电时间设定与控制

与最高温度和最高电压控制法一样，最长充电时间控制法也是一种备用控制法。最长充电时间应根据充电速率来选择，由 TM1 和 TM2 脚的电平直接控制。TM1 和 TM2 接到不同位置时，最长充电时间如表 1-14 所列。在其它快速充电终止参数达到以前，只要达到了快速充电终止时间，为了保护充电器和电池，充电器立即停止快速充电。

表 1-14 定时器输入与封锁时间、快速充电时间和补足充电的关系

TM1	TM2	快速充电速率	快速充电时间(min)	封锁时间(s)	补足充电
接地	接地	C/4	360	140	无
开路	接地	C/2	180	820	无
接 V _{cc}	接地	C	90	410	无
接地	开路	2C	45	200	无
开路	开路	4C	23	100	无
接 V _{cc}	开路	C/2	180	820	有
接地	接 V _{cc}	C	90	410	有
开路	接 V _{cc}	2C	45	200	有
接 V _{cc}	接 V _{cc}	4C	23	100	有

9. 补足充电

快速充电终止后，镍镉和镍氢电池的容量可能达不到额定容量，为了补足电量，可增加补足充电过程。有无补足充电过程可通过 TM1 和 TM2 的连接位置来选择（参看表 1-14）。

补足充电的速率为快速充电速率的 1/8。MAX2003 的补足充电采用脉冲充电法。脉冲充电的周期为 34s。在每个周期中，MOD 脚输出高电平的时间为 4s，输出低电平的时间为 30s。MOD 脚输出高电平时，充电器对电池充电，MOD 输出低电平时，电池停止充电。补足充电过程一直持续到电池电压和温度达到最大值。

在补足充电过程中，CHG 脚交替输出高低电平，高电平（LED 关断）持续时间为 0.125s，低电平（LED 导通）持续时间为 0.125s。

10. 涓流充电

如图 1-30 所示，从直流电源到电池组正极接有一只功率较大的电阻。该电阻有两个作用，一个是控制涓流充电电流，另一个是不接电池时，保证 BAT 脚的电压高于 MCV 脚。

涓流充电速率决定于电池的类型，镍镉电池通常为 C/16，镍氢电池应当为 C/40。控制涓流充电电流的外接电阻的阻值决定于最高直流电压和电池组正常电压。例如，由六只单体镍镉电池（800mAh）组成的电池组，正常电压值为 $1.2V \times 6 = 7.2V$ ，如果直流电源电压为 14V，涓流充电电阻两端的电压为 $14V - 7.2V = 6.8V$ 。电池所需的涓流充电电

流为 $C/16=800/16=50\text{mA}$ ，因此，涓流充电电阻的阻值应为： $R_{\text{TR}}=6.8\text{V}/50\text{mA}=150\Omega$ 。镍氢电池涓流充电速率应为 $C/40$ ， R_{TR} 应根据该充电速率计算。

如果不需要涓流充电，仅仅为了检测电池是否接入，涓流充电电阻可以选用很大的阻值（比如 $100\text{k}\Omega$ ）。

11. 充电状态指示

指示充电状态的 LED 直接接到 CHG 脚，根据 CHG 脚的电压变化，LED 可指示各种充电状态，如表 1-15 所列。

表 1-15 充电状态与 LED 工作状态的对应关系

充电状态	LED 工作状态
没接电池	LED 关断
等待充电	LED 导通 0.125s，关断 1.375s
充电前放电	LED 导通 1.375s，关断 0.125s
快速充电	LED 导通
快速充电结束和补足充电	LED 导通 0.125s，关断 0.125s

1.4.3 实用开关型快速充电器设计

用 MAX2003 组成的开关型快速充电器实际电路如图 1-30 所示。该充电器可对 6 只串联的 1700mAh 镍氢电池组充电，充电电流为 1.7A ，下面详细介绍该充电器的设计方法。

1. 直流电源选择

设计快速充电器应首先选择直流电源，该电源的最低电压应当等于 $2\text{V}\times$ 串联电池数 $+1\text{V}$ ，并且该电压必须大于 6V 。在图 1-30 所示的实例中，电池组由六只单体电池串联组成，因此直流电源的最低电压为： $2\text{V}\times 6+1\text{V}=13\text{V}$ 。

2. 确定快速充电速率

快速充电速率（或快速充电电流）由电池的容量和要求的充电时间决定。最大快速充电电流可按下式计算：

$$I_{\text{FAST}}(\text{mA}) = \text{电池容量}(\text{mAh}) / \text{充电时间}(\text{h})$$

例如， 1700mAh 的电池要求两小时充足电，快速充电电流至少应为 850mA 。采用 $C/2$ 充电速率时，理论充电时间应为 2h ，但是由于电池的充电效率不可能为 100% ，因此实际充电时间要延长 $30\%\sim 40\%$ 。在图 1-30 所示的实际电路中，采用 1.7A (1C) 充电电流，放完电的电池大约需要 80min 才能充足电。

3. 取样电阻选择

取样电阻决定电池的快速充电电流，由于电流取样 SNS 脚的电压为 235mV ，因此可

根据要求的快速充电电流按下式计算取样电阻：

$$R_{\text{SNS}} = V_{\text{SNS}} / I_{\text{FAST}} = 0.235\text{V} / I_{\text{FAST}}$$

已知，快速充电电流 I_{FAST} 为 1.7A，因此取样电阻的阻值约为 0.14Ω (1W)。

4. 可编程定时器 TM1 和 TM2 选择

TM1 和 TM2 的输入可根据表 1-14 选择。TM1 和 TM2 可设定快速充电时间、封锁时间和有无补足充电过程。在图 1-30 所示的实例中，快速充电速率为 1C，并且要求有补足充电过程，因此 TM1 脚应接地，TM2 脚应接 V_{CC} 。

5. 分压电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 选择

分压电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 应根据电池组中的单体电池数来选择，并且为了避免任何干扰，分压电阻总阻值 ($R_{B1} + R_{B2}$) 应当在 $100\text{k}\Omega$ 到 500Ω 之间。在图 1-30 所示的实际电路中，单体电池数为 6， R_{B1} 选用 $100\text{k}\Omega$ 电阻， R_{B2} 可按下式计算：

$$R_{B2} = R_{B1} / (\text{单体电池数} - 1) = 100\text{k}\Omega / (6 - 1) = 20\text{k}\Omega$$

6. 温度控制元件选择

为了测试电池温度，许多密封电池组内部都装有热敏电阻，热敏电阻的尺寸和温度特性由电池组制造厂家给出。这种电池组有三个引出端，一端为电池组正极，一端为热敏电阻引出端，另一端为热敏电阻和电池负极的公共端。当充电电流很大时，充电电流能够在公共负端子两端产生电压降，使热敏电阻值产生误差。为了减小误差，热敏电阻可采用单独的引出接点。如果热敏电阻装在电池组外部，应当确保热敏电阻直接与电池组接触，并且电池和热敏电阻应装在密封的容器内。

温度超出最低和最高极限值时，电池都不能快速充电。此外，在该充电器中，还要求采用温度变化率 ($\Delta T / \Delta t$) 检测来终止快速充电。在图 1-30 中，电阻 R_{T1} 和 R_{T2} 用于决定温度关断输入电压 V_{Tco} 和温度变化率 ($\Delta T / \Delta t$)。虽然镍镉电池不一定采用 $\Delta T / \Delta t$ 检测法，但是，为了保证一台充电器对镍氢和镍镉电池都能快速充电，充电器通常都要求采用温度变化率 ($\Delta T / \Delta t$) 控制法。

图 1-30 所示的应用电路是根据杜莱塞尔公司的 DR17 电池组的参数设计的，该电池组允许的快速充电最低温度为 10°C (相应的检测电压为 V_{LTF})，最高温度为 50°C (相应的检测电压为 V_{Tco})。一般情况下，电池温度决不能达到最高温度，最高温度快速充电终止法只是一种避免电池损坏的辅助保护方法。根据电池制造厂给出的资料，可知电池组内装有 $10\text{k}\Omega$ 热敏电阻，当电池温度为 10°C 时，该电阻的阻值为 $17.96\text{k}\Omega$ ，电池温度为 50°C 时，热敏电阻的阻值为 $4.16\text{k}\Omega$ 。

在图 1-30 所示的充电器实际电路中，当电池的温度变化率达到 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 时，快速充电立即终止。温度变化率为每分钟上升 1°C 时，电池的温度从 10°C 上升到 50°C 需要 40min。在快速充电过程中，如果 TS 脚的电压在 68 秒内上升 16mV ($V_{\text{CC}} = 5\text{V}$)，或者每分钟上升 14mV 时，快速充电终止。若 TS 脚的电压每分钟上升 14mV ，那么在 40min 内，TS 脚的电压将上升 560mV 。

低温极限电压 (V_{LTF}) 由芯片内部设定，其值为 2V ($V_{\text{CC}} = 5\text{V}$)，高温极限电压

(V_{TCO}) 应比 V_{LTF} 低 560mV, 因此

$$V_{TCO} = 2.00V - 0.56V = 1.44V$$

从图 1-32 可以看出, 在任何环境温度下,

$$V_{TS} = V_{CC}(R_{T2} // R_{NTC}) / [(R_{T2} // R_{NTC} + R_{T1})]$$

当电池温度为 10°C 时, TS 脚的取样电压为:

$$V_{TS10} = V_{CC}(R_{T2} // R_{NTC10}) / [(R_{T2} // R_{NTC10} + R_{T1})]$$

当电池温度为 50°C 时, TS 脚的取样电压为:

$$V_{TS50} = V_{CC}(R_{T2} // R_{NTC50}) / [(R_{T2} // R_{NTC50} + R_{T1})]$$

解这个联立方程可得出:

$$R_{T2} = [X(R_{NTC10}) - (R_{NTC50})] / (1 - X)$$

$$R_{T1} = [(R_{T2} // R_{NTC10})(V_{CC} - V_{TS10})] / [V_{TS10}(R_{T2} + R_{NTC10})]$$

式中 $X = \frac{[(R_{NTC50})(V_{TS10})(V_{CC} - V_{TS50})]}{[(R_{NTC10})(V_{TS50})(V_{CC} - V_{TS10})]}$

已知 $R_{NTC50} = 4.16k\Omega$, $R_{NTC10} = 17.96k\Omega$, $V_{TS50} = 1.44V$, $V_{TS10} = 2.00V$, 因此可以算出 $R_{T1} = 5.26k\Omega$, $R_{T2} = 4.36k\Omega$ 。

在实际电路中, 选用接近计算值的标称电阻值, R_{T1} 为 $5.36k\Omega$, R_{T2} 为 $4.42k\Omega$ 。MCV 和 TCO 脚的精确电压可验证如下:

$$V_{TS10} = \frac{V_{CC}(R_{T2} // R_{NTC10})}{[(R_{T2} // R_{NTC10}) + R_{T1}]} = \frac{5 \times (4.42k\Omega // 17.96k\Omega)}{[(4.42k\Omega // 17.96k\Omega) + 5.26k\Omega]} = 2.01V$$

$$V_{TS50} = \frac{V_{CC}(R_{T2} // R_{NTC50})}{[(R_{T2} // R_{NTC50}) + R_{T1}]} = \frac{5 \times (4.42k\Omega // 4.16k\Omega)}{[(4.42k\Omega // 4.16k\Omega) + 5.26k\Omega]} = 1.44V$$

7. 电池最高电压 (MCV) 和最低温度 (TCO) 选择

电池最高电压 MCV 和最低温度 TCO 相应的电压可通过图 1-35 所示的电阻分压器设定。在图 1-30 所示的充电器实际电路中, 最低温度 TCO 设定为 10°C, TCO 脚相应的电压设定为 1.44V。大部分快速充电电池的最高电压 MCV 大约为 1.9V。为了减小 V_{CC}

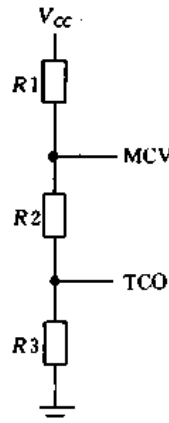


图 1-35 设定 MCV 和 TCO 电压的电阻分压器

的输出电流, 图 1-35 中, 电阻 R_1 的阻值应大于 $20k\Omega$ 。在图 1-30 所示的实际电路中, $R_1 = 60.4k\Omega$, 这样, 电阻 R_2 和 R_3 的阻值可按下式计算:

$$R_3 = (V_{TCO} \times R_1) / (V_{CC} - V_{MCV}) = 28.0k\Omega (1\%)$$

$$R_2 = (V_{MCV} \times R_1) / (V_{CC} - V_{MCV}) - R_3 = 8.96k\Omega (1\%)$$

选用最接近计算值的标称电阻值, $R_2 = 0.09k\Omega$, $R_3 = 28k\Omega$ 。

MCV 和 TCO 脚精确的电压值可验证如下:

$$V_{TCO} = V_{CC}(R_3) / (R_1 + R_2 + R_3) = 1.436V$$

$$V_{MCV} = V_{CC}(R_2 + R_3) / (R_1 + R_2 + R_3) = 1.902V$$

8. 涓流充电电阻选择

涓流充电电阻 (R_{TR}) 应根据镍镉/镍氢电池要求的涓流充电速率 (C/16~C/40) 来选择, 电阻值可由下式计算:

$$R_{TR} = (V_{DC} - V_{BAT}) / I_{TR}$$

式中, I_{TR} 为所需的涓流充电电流, V_{DC} 为充电器直流电源电压, V_{BAT} 为单体电池电压乘以电池数。

在应用实例中, 1700mAh 镍氢电池所需的涓流充电电流为 C/40, 即 1700mAh/40h = 42mA, 因此, 涓流充电电阻的电阻值为:

$$R_{TR} = [13.0V - (6 \times 1.2V)] / 42mA \approx 150\Omega$$

该电阻的最大功率可由下式计算:

$$P = (V_{DC} - V_{BAT}(\min))^2 / R_{TR}$$

式中, $V_{BAT}(\min)$ 为电池组最低电压。因为短路电池的电压为 0V, 也就是说 $V_{BAT}(\min)$ 应为 0V, 因此涓流充电电阻的功率应为:

$$P = (13 - 0)^2 / 105 = 1.2W$$

在实际充电器中, R_{TR} 选用 2W/150 Ω 电阻。

9. 电感值选择

电感值应根据下式计算:

$$V_L = L \cdot di/dt$$

式中, V_L 为电感两端的最高电压, L 为最小电感量, di 为电感内的电流增量, dt 为开关最小导通时间。

为了保证输出大电流时纹波较小, 充电器必须处于连续导通状态, 此时电感线圈中的电流不能减小到零, 电感中电流的波形如图 1-36 所示。

流过电感线圈的平均负载电流必须为 1.7A。因此为了减小电感的体积和减小纹波, 流过电感的峰值电流 (I_{MAX}) 应为 1.9A, 也就是说, 电感线圈内的电流增量为

$$di = 2 \times (1.9 - 1.7) = 0.4A$$

当电池电压为最小值时, 电感两端电压为最大值。刚开始快速充电时, 单体电池的最低电压为 1V, 电池组的电压为 6V, 因此电感两端的最高电压 (V_L) 为

$$V_L = (\text{输入电压} - \text{最低电池电压})$$

已知输入电压为 13V, 最低电池电压为 6V, 因此

$$V_L = 13V - 6V = 7V$$

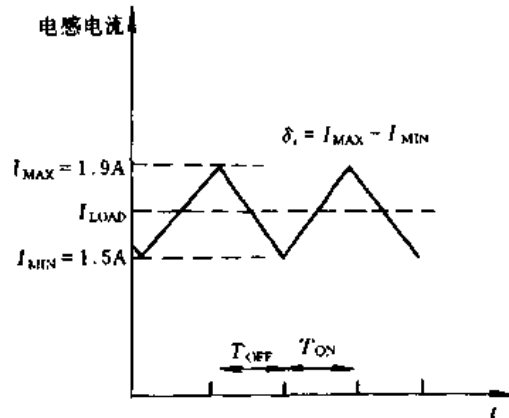


图 1-36 电感中电流的波形

开关最小导通时间 dt 为

$$dt = (V_{OUT}/V_{IN}) \times t_p$$

式中, V_{OUT} 为最低电池电压, V_{IN} 为最高输入电压, t_p 为开关信号周期。

在应用实例中, 最高输入电压为 14V, 最高允许开关频率为 100kHz, 相应的周期为 $10\mu\text{s}$, 因此最小导通时间为

$$dt = (V_{OUT}/V_{IN}) \times t_p = (6\text{V}/13\text{V}) \times 10\mu\text{s} = 4.62\mu\text{s}$$

这样, 电感量可由下式算出:

$$L = V_L \times (dt/di) = (7\text{V} \times 4.62\mu\text{s}) / 0.4\text{A} = 81\mu\text{H}$$

如果采用该电感值, 由于比较器滞后和占空比改变, 开关频率将低于 100kHz。在实际电路中, 线圈选用的电感量为 $100\mu\text{H}$, 该值略高于计算值。在工作过程中, 为了避免电感饱和, 该电感的饱和电流值应略高于线圈中的峰值电流。电感量的选择还必须保证 MOD 脚输出信号的开关频率不超过 100kHz。

1.4.4 其它应用实例

1. 采用线性电源和 $-\Delta V$ 检测的镍镉电池充电器

由 MAX2003 组成的线性充电器实际电路如图 1-37 所示, 充电电流由外接晶体管控制。由于 MAX667 的输入电压可达 16V, 所以该充电器可以对 7 只串联电池充电。如果电池组中单体电池数更多, MAX667 可以用允许输入电压更高的稳压器代替。应当注意, 为了补偿外接串联调整元件的压降, 直流电源电压应当为 $2\text{V} \times \text{单体电池数} + 2\text{V}$ 。

快速充电开始后, 充电电流在 R_{SNS} 两端产生的压降加到 SNS 脚, 与 MAX2003 内部设定的充电转换电平 (高电平为 250mV, 低电平为 220mV) 比较。当 SNS 脚电压低于 220mV 时, MOD 脚输出高电平, $10\text{k}\Omega$ 电阻和 $1\mu\text{F}$ 电容组成的低通滤波器也输出高电平, 外接的 NPN 晶体管 Q_3 导通, 从而使达林顿晶体管 TIP115 因基极电位降低而导通, 充电电流通过该管流入电池。当流过电池和取样电阻 R_{SNS} 的电流上升到一定数值后, SNS 脚的电压超过 250mV, MOD 脚变为低电平, 串联调整管关断。

电池的快速充电电流由 SNS 脚和 V_{SS} 脚之间的电流取样电阻 R_{SNS} 的阻值决定。在图 1-37 所示电路中, 流过 R_{SNS} 的平均充电电流为

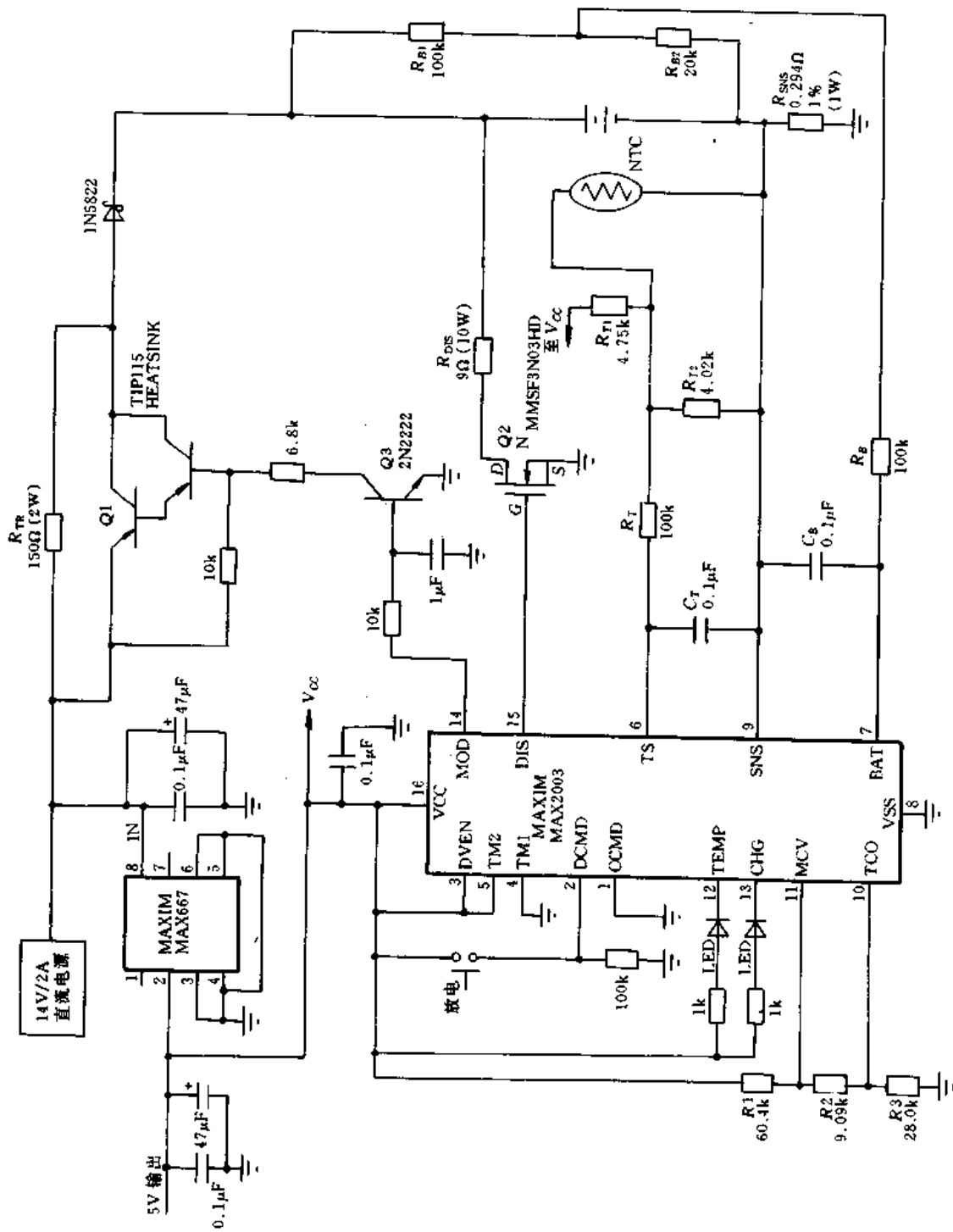


图 1-37 由 MAX2003 组成的线性镍镉电池充电器

$$I_{\text{SNS(AVG)}} = V_{\text{SNS(AVG)}} / R_{\text{SNS}} = 0.235 / 0.28 = 0.84\text{A}$$

流过 R_{SNS} 的最大电流为

$$I_{\text{SNS(MAX)}} = V_{\text{SNS(MAX)}} / R_{\text{SNS}} = 0.25 / 0.28 = 0.90\text{A}$$

达林顿晶体管的偏置电流应保证它的最小输出电流为 0.9A。在该应用实例中，达林顿管输出的最大电流为 1.8A，由于该达林顿晶体管的典型 β 值为 1000，因此，所需的基极电流为：

$$I_B = I_C / \beta = 1.8\text{A} / 1000 = 1.8\text{mA}$$

达林顿管 TIP115 的发射极电压为 14V，基极电压约为 12.6V。当 MOD 脚为高电平时，晶体管 Q_3 导通，因此，达林顿管的基极电阻应为

$$R_B = V_B / I_B = 1.26\text{V} / 1.8\text{mA} \approx 6.8\text{k}\Omega$$

应当说明，当 SNS 脚的电压达到 0.25V（相应的输出电流为 0.9A）后，MOD 脚将下降到低电平，因此，该充电器的输出电流不可能达到 1.8A。

2. 采用限流型电源和 $\Delta T / \Delta t$ 检测的镍氢电池充电器

采用限流型电源和 $\Delta T / \Delta t$ 检测的镍氢电池快速充电器实际电路如图 1-38 所示。它可以对 9 只 2.6Ah 电池组成的电池组充电。直流电源应选用 19V、2.6A 限流电源。由于大部分电源内部都有限流电路，因此采用这种方法时，外围元件很少。

在该电路中，SNS 脚直接接 V_{SS} 脚。这样，达到快速充电终止条件以前，MOD 脚一直输出高电平。此时，晶体管 Q_3 导通，MOSFET 因栅极为低电平而导通，充电器输出电流由外电源限制在 2.6A。MOSFET 源极和栅极之间接入 12V 稳压管，可以保证 MOSFET 的源栅电压不超过最大值。

快速充电终止条件达到后，MOD 脚变为低电平，MOSFET 关断，快速充电终止。

1.5 由 bq2002 组成的快速充电器

1.5.1 bq2002 主要特点

bq2002 是一种廉价的 CMOS 镍氢/镍镉电池充电控制器，电池充足电后，它能够可靠地终止快速充电。与可控限流源或恒流源配合，bq2002 不仅可以制成质优价廉的独立充电器，还能够作为机内充电器。该芯片可实现对单只或多只镍镉/镍氢电池的快速充电。为了保证充足电，快速充电结束后，还可增加补足充电过程。充足电后，为了补充电池因自放电而损失的电量，充电器将自动转入涓流充电过程。涓流充电速率可根据电池自放电的程度来选择。

接通充电电源或者接入电池后，充电过程自动开始。但是为了保证安全充电，当电池的温度和电压超出一定的极限值时，不能进入快速充电状态。

充电过程中，当以下任一条件达到时，快速充电过程立即结束： $-\Delta V$ 、最高温度、最长充电时间和温度变化率 $\Delta T / \Delta t$ （只有 bq2002T 才具备 $\Delta T / \Delta t$ 检测功能）。

快速充电结束后，自动转入补足充电（可选择）和涓流充电，涓流充电的速率可以预先设定。为了减小功耗，充电器在备用工作状态下，bq2002 的功耗很低。bq2002 管脚

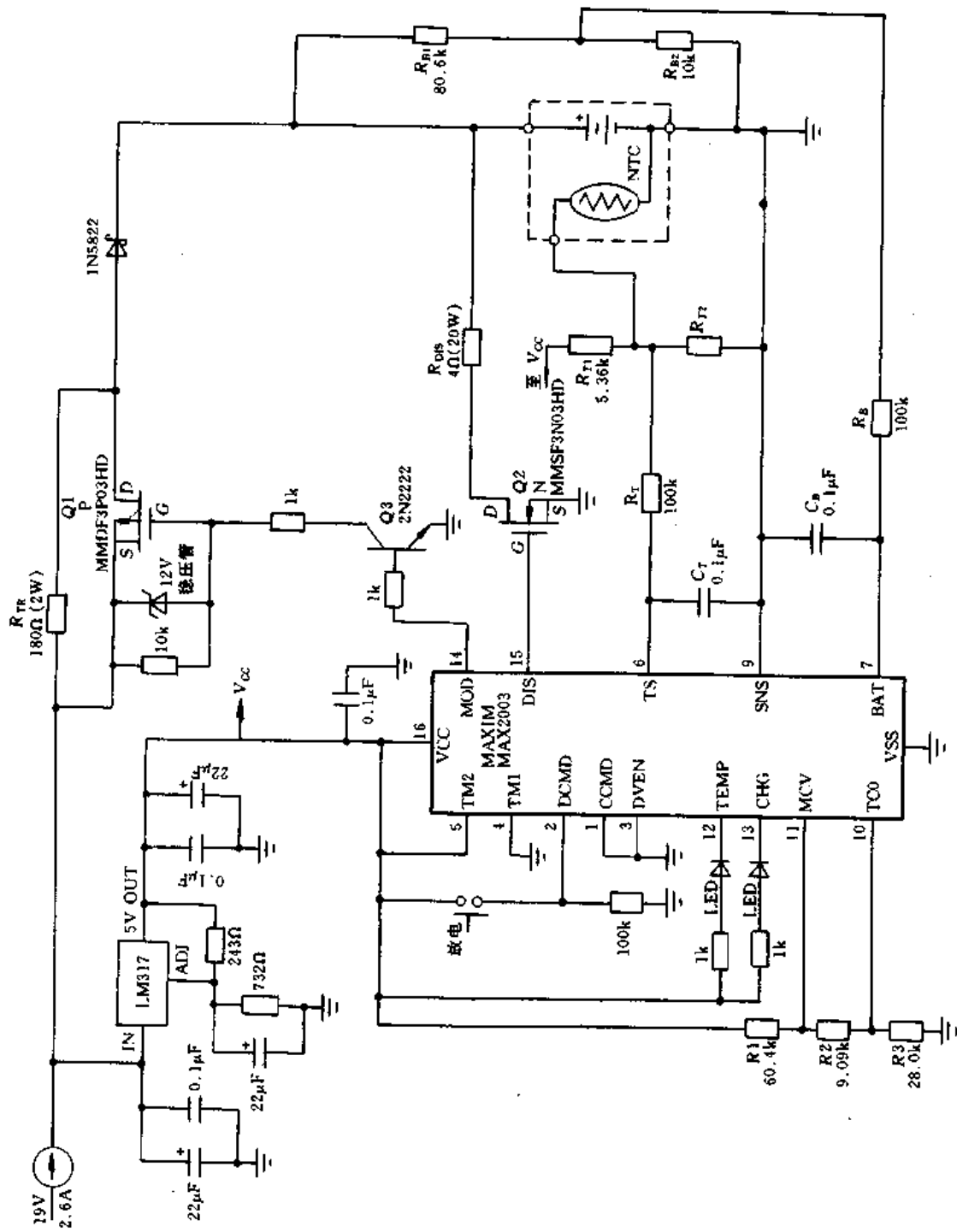


图 1-38 采用限流型电源和 $\Delta T/\Delta t$ 检测的镍氢电池充电器

排列如图 1-39 所示。各管脚的作用如下：

TM：定时状态输入。该脚为三电平输入。控制快速充电、补足充电、涓流充电和 $-\Delta V$ 检测封锁的时间。

LED：充电状态指示。

BAT：电池电压取样输入。电池组电压经过电阻分压器分压后，接入该脚。

VSS：接地端。

TS：温度取样输入。该脚输入电压由外接的电池温度监控热敏电阻决定。

VCC：电源输入。该电源的电压为 $5V \pm 20\%$ 。

INH：充电封锁输入。该脚为高电平时，bq2002 中止快速充电过程，该脚变为低电平时，bq2002 重新开始快速充电。

CC：充电控制输出。CC 为开漏输出，用来控制电池补足充电和脉冲涓流充电电流。

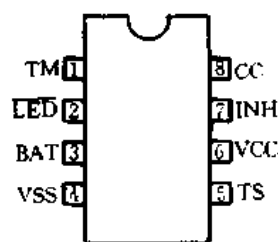


图 1-39 bq2002 管脚排列

1.5.2 基本工作原理

在整个充电过程中，bq2002 的充电控制状态如图 1-40 所示。bq2002 的各种工作状态及其有关的条件，如表 1-16 所列。

表 1-16 bq2002 工作一览表

充电状态	条件	CC 输出	LED
电池未接入	$V_{BAT} \geq V_{MCV}$	按表 1-17 给出的周期输出涓流充电脉冲	高阻抗
充电开始	V_{CC} 加入, V_{BAT} 从 $V_{BAT} \geq V_{MCV}$ 降到 $V_{BAT} \leq V_{MCV}$ (电池接入)	—	—
快速充电	$V_{TC} > V_{TC0}$ 且 $V_{BAT} < V_{MCV}$ 时, 快速充电开始	高电平	低阻抗
快速充电终止	$-\Delta V$ 、最长时间或最高温度达到时	—	—
补足充电 (参考表 1-17)	快速充电结束, 补足充电时间未超过, $V_{TS} > V_{TC0}$, $V_{BAT} < V_{MCV}$	每个周期 (4576 μ s) 内有 286 μ s 为高电平	高阻抗
涓流充电	快速充电结束, 无补足充电时或补足充电结束	按表 1-17 给出的周期输出涓流充电脉冲	高阻抗
快速充电封锁	INH 为高电平	按表 1-17 给出的周期输出涓流充电脉冲	高阻抗
低功耗	$V_{BAT} > V_{PD}$	高阻抗	高阻抗

注： $V_{BAT} > V_{MCV}$ 时停止快速充电或补足充电； V_{MCV} 为电池最高电压 (2V)； V_{PD} 为低功耗取样电压 (5V)。

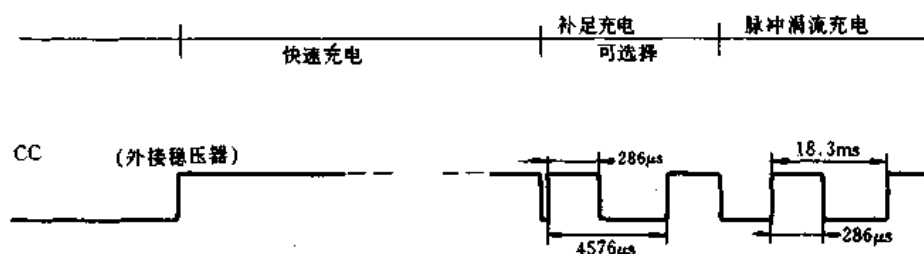


图 1-40 充电控制状态

1. 充电控制

加入 V_{CC} 并接入电池后, bq2002 即开始充电, 充电控制由 TM, TS 和 BAT 脚输入信号决定。充电开始后, bq2002 检测电池的电压和温度, 如果电池的电压和温度超过快速充电的极限值, 充电器即进入脉冲涓流充电, 涓流充电速率由 TM 脚决定。如果电池的电压和温度在快速充电极限值以内, 充电器即开始快速充电。然后, bq2002 检测电池的充足电状态, 当电池电压出现 $-\Delta V$ 、电池温度达到最高温度或者充电时间达到最长充电时间时, 充电器即停止快速充电。

2. 充电状态指示

在充电过程中, 只有在快速充电时, \overline{LED} 脚为低阻抗, 发光管才发光。在其它任何工作状态下, \overline{LED} 脚均为高阻抗。

3. 电池电压和温度检测

在充电过程中, bq2002 时刻监测电池的电压和温度, 保证这些参数不超过最大允许值。加到电池电压取样输入端的电压, 应当是单体电池的电压。为此, 在电池组两端应加入高阻抗电阻分压器。为了保证电池电压在有效范围内, 分压比应为 $R_1/R_2 = N - 1$, 式中 N 为电池数, R_1 接到电池正极, R_2 接到电池负极, 如图 1-41(a) 所示。应当注意, 为了保护 bq2002, 电阻分压网络输入到 BAT 脚的电阻应当大于 $200k\Omega$ 。

负温度系数热敏电阻可以作为廉价的温度-电压变换器, 来监控电池的温度。为了准确监控电池温度, 热敏电阻应当尽量靠近电池。 V_{CC} 和 V_{SS} 脚之间接入电阻-热敏电阻网络, 这样在电阻与热敏电阻的接点处 (接 TS 脚) 即可得到温度取样输入电压。如图 1-41 (b) 所示。

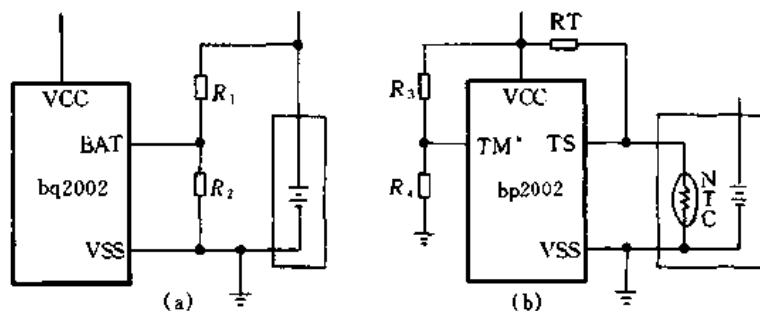


图 1-41 电池电压和温度检测电路

4. TM 脚的功能

TM 脚接入高、中、低三种不同的电平, 可以选择快速充电时间、有无补足充电过程、 $-\Delta V$ 封锁时间、脉冲涓流充电速率和周期, 如表 1-17 所列。TM 脚的高电平为 V_{CC} , 低电平为 V_{SS} , 中电平为 $0.5V_{CC}$ 。中电平可通过电阻分压器获得。

表 1-17 TM 脚的功能

快速充电速率	TM 脚电平	快速和补足充电时间 (min)	$-\Delta V$ 封锁时间 (s)	补足充电过程	脉冲涓流充电速率	脉冲涓流充电周期 (ms)
C/2	中	160	600	有	C/64	9.14
1C	低	80	300	有	C/64	18.3
2C	高	40	150	无	C/32	18.3

5. 开始充电

接入电源或者电池取样电压从 2V 开始下降时,充电器即开始充电。如果电池的温度和电压均在规定的极限值以内,即 BAT 脚的电压低于 2V,温度取样输入 (TS 脚) 电压大于 $0.5V_{CC}$ 时,充电器即开始快速充电。如果电池的电压和温度超出上述极限,充电器将进入脉冲涓流充电状态。

快速充电开始后,只要三种终止条件 (电池电压出现负增量 $-\Delta V$, 达到最长充电时间, 电池温度达到最高值 TCO) 中任一项满足,快速充电即终止。

6. $-\Delta V$ 检测封锁时间

快速充电开始后,有一段 $-\Delta V$ 检测封锁时间 (参看表 1-17)。在这段时间内,不检测电压负增量 $-\Delta V$ 。应当说明,在 $-\Delta V$ 检测封锁时间内,最高温度检测不受影响。

7. $-\Delta V$ 终止

TM 脚的电平不同, $-\Delta V$ 检测值也不同。采用标准 $-\Delta V$ 检测值时, TM 脚接高电平。此时若 V_{BAT} 比以前的测试值降低 12mV,快速充电立即终止。采用高灵敏度 $-\Delta V$ 检测值时, TM 脚接低电平或中电平,此时,若 V_{BAT} 比以前的测试值降低 5mV,快速充电立即终止。应当说明,只有 $1V < V_{BAT} < 2V$, $-\Delta V$ 检测才有效。

8. 最长充电时间和电池最高温度

充电过程中,当电池温度升到热敏电阻限定的最高温度或达到 TM 脚设定的充电时间 (参见表 17) 后,快速充电和补足充电立即停止。

9. 温度变化率终止法

bq2002T 采用温度变化率 $\Delta T/\Delta t$ 终止法。每隔 19s, bq2002T 检测一次温度变化率 $\Delta T/\Delta t$, 当 $\Delta T/\Delta t$ 达到 $1^\circ\text{C}/\text{min}$,快速充电过程立即终止。

应当说明,只有 V_{TEMP} 满足条件 $0.225 \times V_{CC} \leq V_{TEMP} \leq 0.4 \times V_{CC}$ 时, $\Delta T/\Delta t$ 终止法才有效。

采用 $10\text{k}\Omega$ (25°C) 负温度系数热敏电阻时,电阻分压网络中 TM 脚电压保持在 $V_{CC}/2 \pm 0.5\text{V}$ 。电池温度为 30°C 时,终止快速充电的温度变化率为 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。采用这种检测法时,电池温度有效范围为 10°C (LTF) 到 43°C (HTF)。

10. 补足充电

充电速率为 $1C$ 和 $C/2$ 时,快速充电终止后,电池有可能还没有真正充足电。为了适应电池的这种化学特性,bq2002 增加了补足充电程序。补足充电时间由 TM 脚的电平决定。在补足充电过程中,CC 脚输出脉冲信号,脉冲周期为 $4576\mu\text{s}$,脉冲宽度为 $286\mu\text{s}$,因此,平均充电速率为快速充电速率的 $1/18$ 。在此期间,只有达到电池补足充电时间和电池最高温度时,电池才终止补足充电。

11. 脉冲涓流充电

在快速充电或者补足充电之后,转入脉冲涓流充电。它的作用是补充电池因自放电而损失的电量。在涓流充电期间,CC 脚输出脉冲驱动信号。当快速充电速率为 $1C$ 或 $2C$ 时,脉冲周期为 18.3ms ,脉冲宽度为 $286\mu\text{s}$ 。当快速充电速率为 $C/2$ 时,脉冲周期为 9.14ms ,脉冲宽度为 $286\mu\text{s}$ 。有补足充电过程时,涓流充电速率为 $C/64$,没有补足充电过程时,涓流充电速率为 $C/32$ 。

12. 充电封锁

在 bq2002 中,当封锁脚 INH 接高电平时,快速充电、补足充电和内部充电定时控制全部中断。在充电被封锁期间,bq2002 将根据 TM 脚的电平,以不同的速率对电池进行涓流充电。当封锁脚 INH 恢复低电平后,充电控制和充电定时都从封锁起始点恢复工作。

13. 低功耗状态

当 BAT 脚的电压超过低功耗取样电压 $V_{PD}(5V)$ 时,bq2002 进入低功耗工作状态。在此状态下,CC 脚和 LED 脚都变为高阻抗,bq2002 的工作电流减小到 $5\mu\text{A}$ 以下。当 BAT 脚的电压降到 $2V$ 以下时,充电重新开始。

1.5.3 由 bq2002 组成的快速充电器实际电路

由 bq2002 组成的快速充电器实际电路如图 1-42 所示。电阻 R_2 和 $5V$ 稳压管 D_1 组成稳压电路。输出电压经电容 C_1 滤波后,加到 bq2002 的 V_{CC} 脚,为 bq2002 内部的各种电路供电。电池电压经 R_5 和 R_6 分压后,加到 bq2002 的 BAT 脚,为其提供取样电压。根据公式 $R_5/R_6 = N - 1$ 可知,被充电池数 $N = 3$ 。TM 脚接地,由表 1-17 可知,相应的快速充电速率为 $1C$,快速充电补足时间为 80min , $-\Delta V$ 检测封锁时间为 300s ,脉冲涓流充电速率为 $C/64$ 。该电路中未加电池温度取样电路,因此 TS 脚接高电平。封锁端 INH 接地,因此该脚不起封锁作用。发光管 D_2 指示充电状态。由表 1-16 可知,只有快速充电时,LED 脚才为低阻抗,因此,发光管 LED 发光。在充电状态下,CC 脚输出高电平时,晶体管 Q_1 和 Q_2 导通,电池充电。CC 脚输出低电平时, Q_1 、 Q_2 截止,电池停止充电。

1.6 TEA1100(1101)组成的快速充电器

TEA1100 和 TEA1101 是镍镉/镍氢电池快速充电专用集成电路,该电路采用 $-\Delta V$

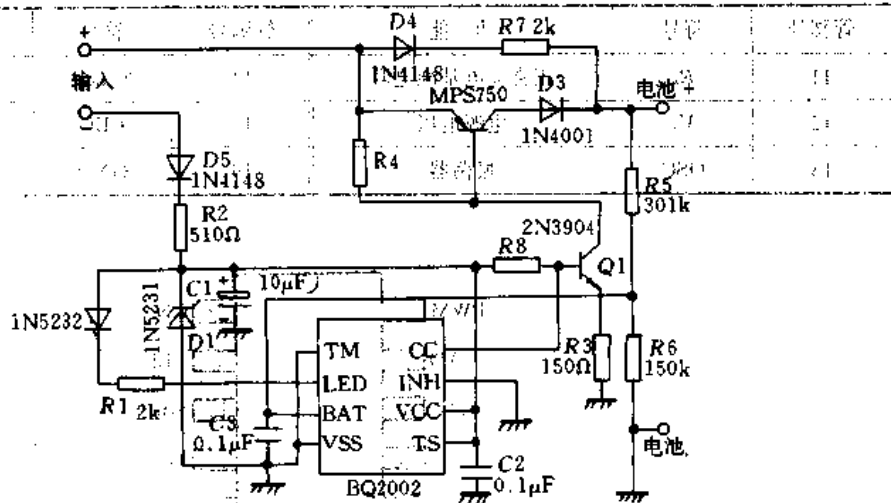


图 1-42 由 bq2002 组成的快速充电器实际电路

或 $0\Delta V$ 检测法判定电池充足电状态，同时还设计有温度检测和定时关机电路，因而可以避免蓄电池过充电。

1.6.1 TEA1100/TEA1101 主要特性

镍镉/镍氢电池快速充电控制器 TEA1100/TEA1101 的特性基本相同，只是终止快速充电的方法不同，这两种集成电路的主要特性有：

(1) TEA1100 采用高分辨率的 $-\Delta V$ 检测 (TEA1101 采用 $0\Delta V$ 检测)、数字滤波和无电流电压检测等方法，可以精确地检测电池的充足电状态。

(2) 利用负温度系数热敏电阻可以实现温度保护，电池温度超出设定的温度范围时，电池转入涓流充电。温度保护具有一定的滞后，因此，可避免该保护环节不停的动作。

(3) 快速充电时间可根据振荡器周期和充电速率定标系数，在很宽的范围内调整。采用定时法终止快速充电，可以避免电池因充电电压不出现 $-\Delta V$ ($0\Delta V$) 而损坏。

(4) 电池电压过低、电池温度过高或过低时，充电器都可自动转入涓流充电。当电池开路时，充电器输出自动关断。

1.6.2 管脚排列及功能

TEA1100/TEA1101 管脚排列如图 1-43 所示，各脚功能如表 1-18 所列。

表 1-18 TEA1100 管脚功能

管脚号	符号	功能	管脚号	符号	功能
1	PWM	脉宽调制	6	V_{source}	稳定的电源电压输出
2	AQ	模拟信号输出	7	V_{AC}	电池电压输入
3	NTC	温度取样输入	8	PR	定标系数设定
4	LS	回路稳定性补偿	9	CP	改变极性
5	I_b	充电电流调整	10	R_{ref}	基准电阻

续表

管脚号	符号	功能	管脚号	符号	功能
11	R_n	正常充电基准电阻	14	Synch	同步
12	V_s	电源电压	15	LED	输出
13	OSC	振荡器	16	GND	接地

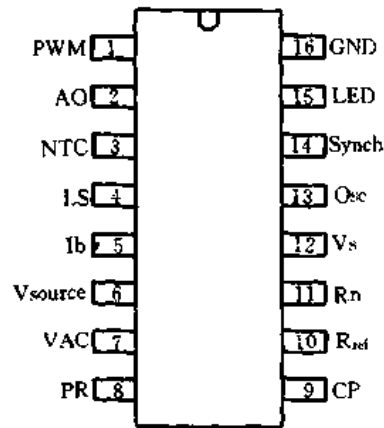


图 1-43 TEA1100/TEA1101 管脚排列

1.6.3 TEA1100 基本工作原理

TEA1100 内部由电源电路、控制电路、定时电路、保护电路和充电电流调整电路等部分组成,如图 1-44 所示。

1. 电源电路

电源为所有内部电路提供稳定的电压,并且在 R_{ref} 脚输出 1.25V 基准电压,在 V_{source} 脚输出 4.25V 电压。

该集成电路几乎所有调整特性都与 R_{ref} 脚输出电流有关。从 R_{ref} 脚经电阻到接地端的输出电流是内部电路的基准电流, V_{source} 是外围电路的基准电压。

2. 控制电路

通过检测电池电压 (0.38~3.8V), 控制器可以及时判定蓄电池是否充足电。当电池充足电时, 控制器发出信号, 使电池由快速充电转换成涓流充电。

电池电压从 V_{Ac} 脚接入, 经滤波器和取样保持电路后送至控制器。该电压经 A/D 变换后, 与存储器原来的存储值比较, 如果新测得的电压值比存储器原来的数值大, 就用新测得的电压值去更新存储器的数值。当下一个取样值因电压下降 (充足电) 而减小时, 检测值就比存储器中的数值小, 如果检测值比存储的最大值低 1%, 控制器即将充电器调整到涓流充电状态。

充电电流波动、电池接触不良、浪涌、振荡和干扰信号等都可能产生不真实的取样电压, 这种情况必须避免。最可靠的取样方法是在取样间隔内停止充电。只要在电源控

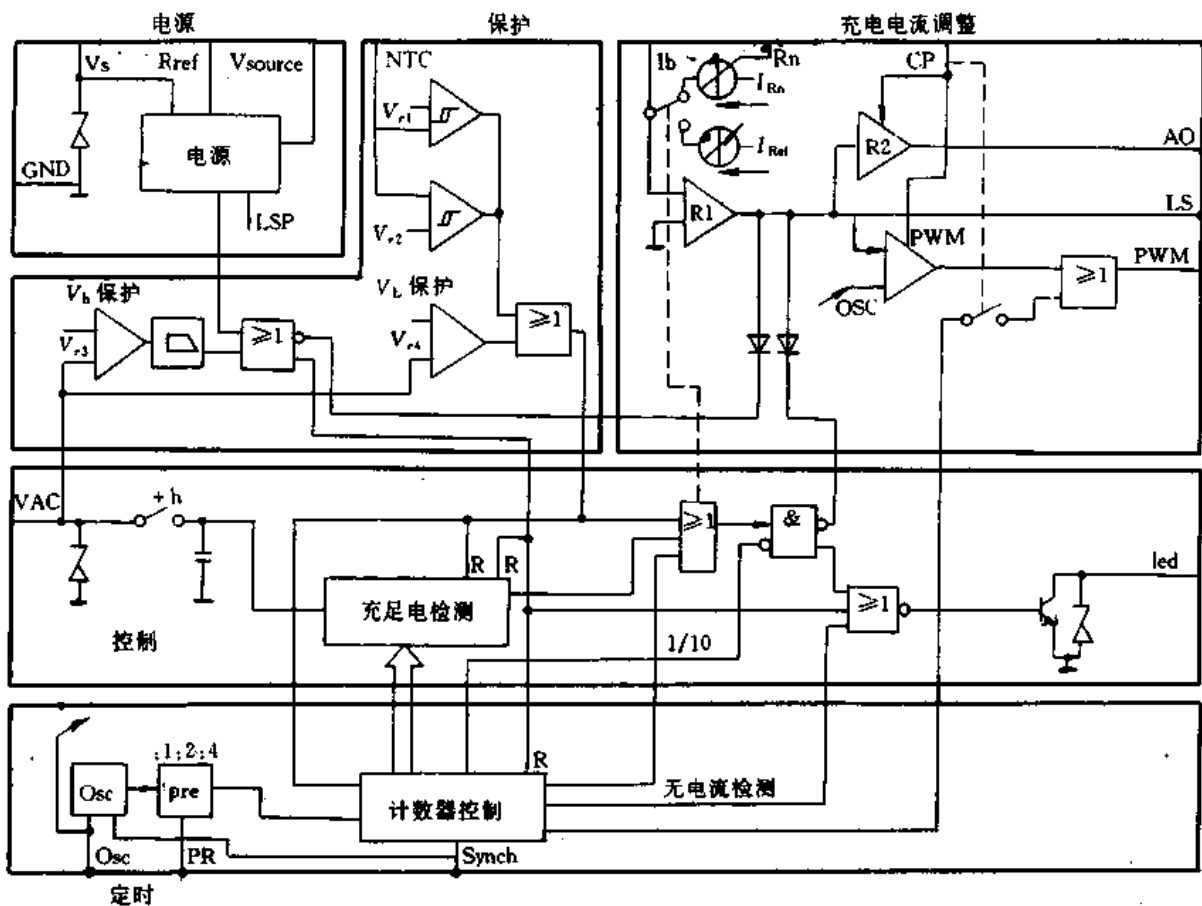


图 1-44 TEA1100 内部框图

制的所有输出加入封锁信号，即可停止充电。在封锁期间，充电电流应当下降到零，因此，可实现无电流电池电压检测。

3. 定时部分

从内部框图可以看出，TEA1100 的所有定时信号都是从计数器控制级取出。振荡器产生的信号经定标器分频后的时钟信号，加到计数器控制级，因此，定时时间与振荡周期 T_{osc} 和定标系数成比例关系。

定标系数 $P=1, 2$ 或 4 的定标器 (Pre) 用于预置快速充电和涓流充电速率之比。当开关电源所需的振荡频率调定以后，调整系数 P ，可以将最长快速充电时间 (T_0) 调到可接受的数值。

在涓流充电状态下，通断定时信号传输到所有的输出级，因此，充电电流为脉冲电流。在通和断周期内，集成电路最大电源电流分别是 $4.1mA$ 和 $1.7mA$ 。

如果用 LED 作充电指示灯，那么涓流充电周期应大于 $20ms$ ，以便看得到灯光闪动。如果需要，可以调整定标系数 P ，按比例缩短涓流充电的周期。

LED 也可接在电源输出端，或者由 LED 脚驱动。

振荡器的周期由接在 R_{REF} 脚和地之间的电阻 ($13k < R < 130k$) 和接在 OSC 脚的电容的数值决定：

$$T_{OSC} = 0.93 \times R_{REF} \times C_{OSC}$$

快速充电最长时间:

$$T_0 = 2 \times P \times T_{OSC}$$

PR 脚接 V_{REF} 脚、开路或接地时, 定标系数 P 分别为 1, 2 或 4。

4. 保护电路

电池电压在允许的范围内时, 才可能进入快速充电状态。如果电池电压过低, 应先用涪流充电电流预充电; 当电压过高时, 可看作没有接入电池, 充电停止, 充电器复位。

TEA1100 还可提供电池温度过高和过低保护。电池的温度由装在电池组内的热敏电阻检测, 当电池温度超出安全工作范围 (通常为 $10 \sim 45^\circ\text{C}$) 时, 采用较大的充电速率会损坏蓄电池, 因此不能采用快速充电方式, 而应采用涪流充电方式。

在使用中, 电池的温度过高, 表明电池放电电流过大。过热的蓄电池, 必须经过涪流充电, 使其温度逐渐降低以后, 才能使用。快速充电结束后, 由于电池内部的吸热效应, 电池的温度将很快下降。

充电期间发生温度保护后, 定时控制将继续保持。

5. 充电电流调整电路

该部分电路提供辅助控制, 它由直流电源和开关电源电流控制电路组成。该控制电路由误差放大器、脉宽调制器 PWM 和模拟放大器 AG 组成, 如图 1-45 所示。在该电路中, 电流源采用反激变换器。在反激变换器回程时间内, 充电电流即为变压器的去磁电流。由于电池负极接 TEA 1100 的地, 因此, 取样电阻 R_s 两端的锯齿波电压 V_{RS} 为负值。该电压经 R_i 、 C_i 组成的网络后变为平均值, 同时从 I_n 脚输出的基准电流经 R_n 产生压降, 使取样电压向正偏移。在充电周期内, 基准电流 I_n 可以取以下两个值:

(1) R_{REF} 脚输出的基准电流 I_{REF} 。在快速充电状态, 该电流起作用。

$$I_{REF} = 1.25 / R_{REF} \quad (10\mu\text{A} < I_{REF} < 100\mu\text{A})$$

(2) R_n 脚输出的基准电流。在涪流充电状态下, 该电流起作用。

$$I_n = 1.25 / R_n \quad (5\mu\text{A} < I_n < 50\mu\text{A})$$

不接 R_n 时, $I_n = 0.5 \times I_{REF}$ 。

误差放大器同相输入端接 V_{in} 。在线性工作区, V_{in} 在 $\pm 50\text{mV}$ 以内, $g_m = 250\mu\text{A}/\text{V}$ 。误差放大器 A1 的输出接到 LS 脚, 当 $V_{in} > \pm 150\text{mV}$ 时, 输出饱和电流为 $\pm 20\mu\text{A}$, 输出电压在 $0.5 \sim 3.6\text{V}$ 之间。这些特性对正确的电流取样、回路响应和稳定性, 都是非常重要的设计依据。

取样电阻 R_s 的阻值应当尽可能小, 电阻的功率应当合理, 但是平均电压必须大于基准电压误差 $\pm 5\text{mV}$ 。

R_i 、 C_i 时间常数 (响应时间) 不应当太长, 但是, 在最坏的情况下, 平均取样电压的残余纹波电压应小于 $\pm 100\text{mV}$ 。只有误差放大器自始至终线性工作时, 才能正确提供平均充电电流。

快速充电电流由下式确定:

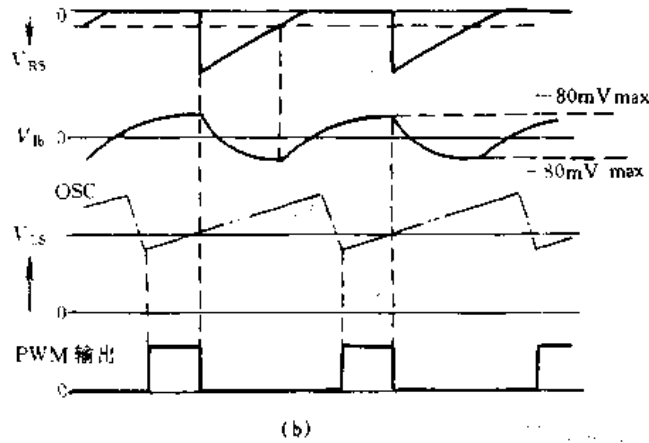
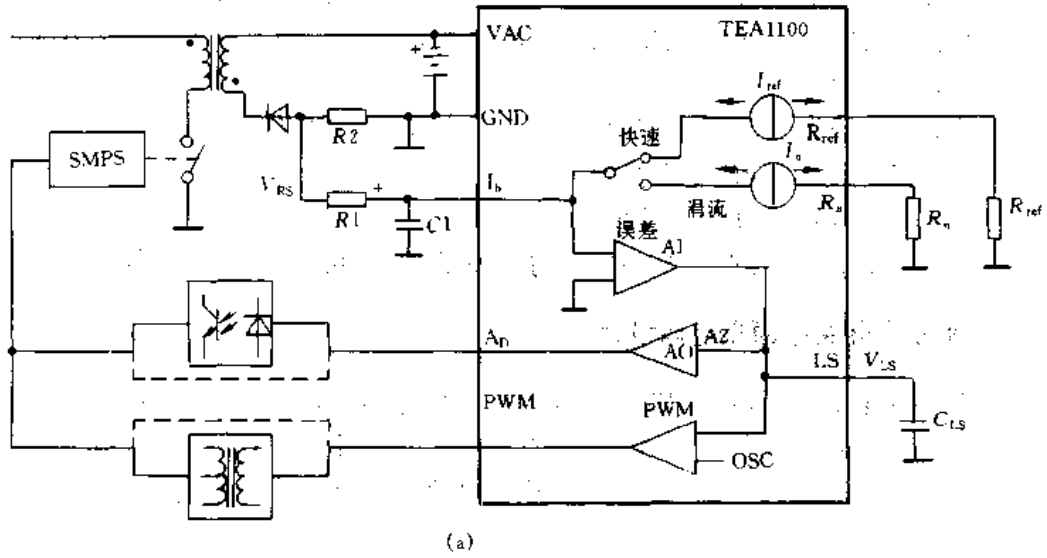


图 1-10 充电电流调整电路及主要波形

$$I_{ch} = \frac{I_{ref} \times R_1}{R_S}$$

涓流充电电流由下式确定：

$$I_{ch} = \frac{I_n \times R_1}{R_S} \times \frac{0.094}{P}$$

式中最后一项表示充电电流占空系数。

由上可知，适当选择 R_1 、 R_S 、 R_{ref} 和 R_n ，快速充电电流可以在很宽的范围内调整。快速充电电流和涓流充电电流之比，也可在很宽的范围内调整。为了保证涓流充电电流具有 1:10 的占空比，应当选择 $I_n = 0.1I_{REF}$ 。

刚开始充电或发生保护以后，利用 LS 脚的电容器，可以实现软起动。在发生保护时，该电容器通过 LS 脚到地放电。误差放大器输出经模拟放大器 AO 放大。模拟放大器 AO 的电压增益是 4，增益带宽为 4MHz。

改变 CP 脚接法，可以改变模拟放大器的极性，使其与电源电压同相或者反相。

同相：CP 脚开路时；

反相：CP 脚经 56kΩ 电阻接地；

模拟放大器的输出通过光电耦合器可以控制直流电源,也可以控制独立的开关电源。误差放大器输出通过脉宽调制器 PWM 调整占空比,误差电压与振荡器输出电压比较,产生方波脉冲。

与模拟放大器类似,调整 CP 脚的电流,也可改变 PWM 输出脉冲的极性。

同相: CP 脚经 120kΩ 电阻接地;

反相: CP 脚经 22kΩ 电阻接地;

PWM 输出可以直接驱动开关电源的开关器件,也可通过脉冲变压器控制开关器件。

1.6.4 串联型开关电源充电器设计

40 分钟充电器实际电路如图 1-46 所示。在该电路中,采用开关频率为 40kHz 的串联型开关电源,控制电路采用 TEA1100。该充电器可对四只 AA 电池 (550mAh) 充电。充电器直流输入电压在 11~16V 之间,快速充电速率为 2C,涓流充电速率为 0.05C,涓流充电电流为脉冲电流。

1. 设计要求

快速充电电流	1.1A
涓流充电电流	≈28mA
输出过压保护	<9V
最长充电时间	45~60min
涓流脉冲周期	≥80ms
充电时电池最高电压	1.7V

2. 电路说明

串联型开关电源由开关管 T_1 、续流二极管 D_2 和线圈 L_1 等组成。开关管 T_1 由晶体管 T_2 驱动,晶体管 T_2 从控制电路 TEA1100 得到占空比可调的控制脉冲。改变取样电阻 R_4 的阻值,可以调整该电源的输出电流。电池电压经过 R_{14} 、 R_{15} 分压后,送入 TEA1100,温度保护电路由分压器 R_{11} 、 R_{NTC} 组成,充电状态由发光二极管 D_5 指示。快速充电时, D_5 连续发光,涓流充电期间, D_5 闪光。

晶体管 T_3 、 R_6 、 R_7 和 D_7 组成稳压电路,将电源输入电压变换成集成电路所需的稳定电压,集成电路及外围元件完成定时控制、充电电流调整等功能。

3. 串联开关电源工作极限

串联型开关电源电压调整公式为:

$$V_o = \delta V_i$$

式中, V_o 为 T_1 关断期间 L 两端的电压,因此

$$V_o = V_{\text{BATTERY}} + V_F(D_2) + V_{R4}$$

V_i 为 T_1 导通期间 L 两端的电源电压,因此

$$V_i = V_{\text{IN}} - V_F(D_1) - V_{\text{SAT}}(T_1) - V_{R4}$$

$\delta = T_{\text{ON}}/T$, TEA1100 占空比可调范围是 0%~80%。

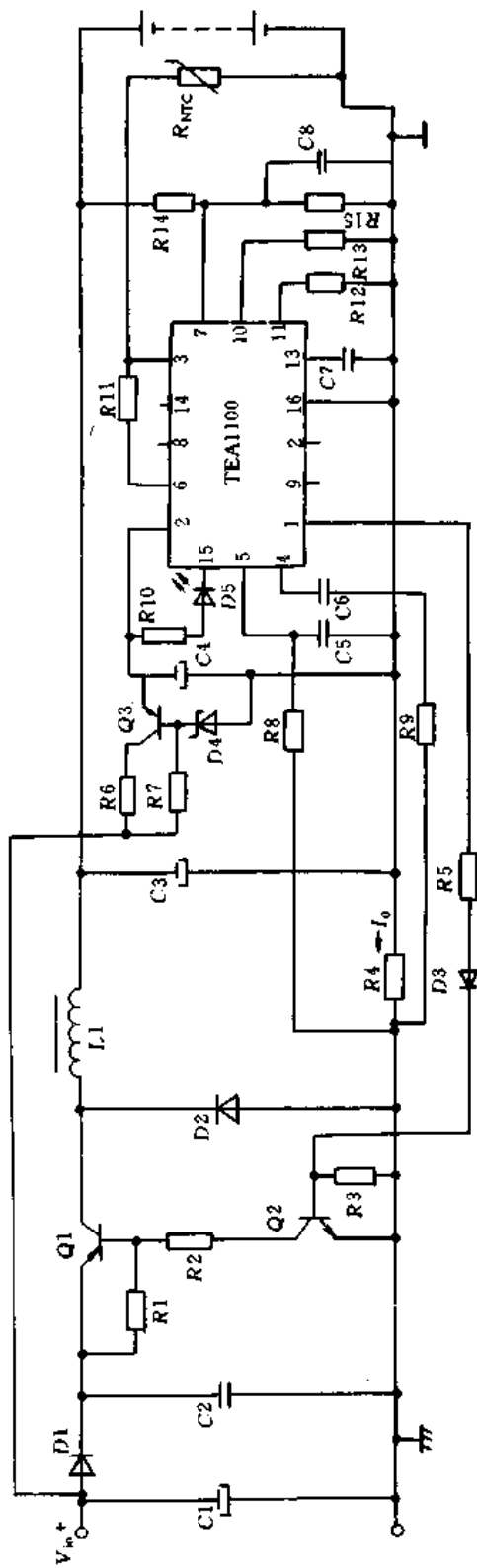


图 1-46 由 TEA1100 组成的开关型快速充电器

电阻	电容	电感	半导体元件
R1 = 680Ω	C1 = 47μF/25V	L = 400μH; N = 50, 0.35mm 漆包线	Q1 = BD227
R2 = 147Ω	C2 = 47nF	RM7/i 磁芯, 气隙 = 0.4mm	Q2, Q3 = BC548B
R3 = 470Ω	C3 = 10μF/16V		D1 = BYV27-50
R4 = 0.25Ω	C4 = 22μF/16V		D2 = BYV27-50
R5 = 620Ω	C5 = 82pF		D3 = BAV20
R6 = 短路	C6, C8 = 680pF		D4 = BZX79 C9V1
R7 = 5.1kΩ	C7 = 1nF		D5 = LED

V_i 最大、 V_o 最小时（比如在涓流充电时）， δ 最小，其值为 6%； V_i 最小、 V_o 最大（当电池接近充足电时），如果充足电时电池最高电压为 $4 \times 1.7V = 6.8V$ ，输入电压最小值 $V_{IN} \leq 10.9V$ ， D_1, D_2 的 $V_F \leq 0.8V$ ， T_1 的 $V_{SAT} \leq 0.4V$ ， $V_R = 0.28V$ ，占空比 δ 最大为 80%。

4. 线圈设计

在该电源中，最大电感电流必须在 9 个周期（控制器封锁）内衰减到零，因此线圈的最大电感量受到限制。

最坏的情况是 V_o 最小时。假定 V_o 最小值为 $4 \times 1 = 4V$ （可重复激活的电池最低电压），线圈的最大电感量可由以下近似公式计算：

$$L_{max} = 9T_{osc}(V_o + V_F)/I_o$$

代入已知数值可得：

$$L_{max} = 9 \times 25 \times 10^{-6} \times 4.8 / 1.1 \approx 980 \mu H$$

最小电感受线圈中的电流限制。输出电流很小（比如涓流充电）时，纹波电流最大，最大纹波电流 $\Delta I_L = 2 \times I_{AV} = 1.1A$ ，并且该值出现在 $\delta = 50\%$ 的 $V_{o,max}$ 时。

$$L_{min} = V'_{o,max}(1 - \delta)T_{osc} / 2I_{AV}$$

代入已知数值，可得：

$$L_{min} = 7.6 \times 0.5 \times 25 \times 10^{-6} / 2 \times 0.55 \approx 87 \mu H$$

选择电感时，应当兼顾开关峰值电流 $I_{L,max}$ 、决定 I^2L 值的铁芯尺寸和相对于回路响应的电流偏差率。

选定的电感值为 $L = 400 \mu H$ ，由此可以得出：

$$\Delta I_{L,max} = 238mA$$

$$I_{L,PEAK} = 1.1 + 0.238/2 = 1.22A$$

为了保证绝对安全，电感最大峰值电流应为 $1.25 \times I_{L,PEAK} \approx 1.5A$ 。

5. TEA1100 引脚功能及外围元件设计

10 脚：通过 R_{13} 调整基准电流 I_{REF} 。选定的基准电流为 $46 \mu A$ ，因此， $R_{13} = 1.25V / 46 \mu A = 27k\Omega$ 。该电流即为快速充电的基准电流。

11 脚：输入涓流充电基准电流，此脚不接电阻时， $I_{IN} = 0.5 \times I_{REF}$ ，该值即为选定的基准电流。这个脚可以开路。

13 脚：振荡器。振荡频率由 C_7 和接在 10 脚的基准电阻确定。振荡周期 $T_{osc} = 25 \mu s$ ， $C_7 = 25 \mu s / 0.93 \times 27k \approx 1nF$ 。

8 脚： P 定标系数。8 脚开路时， $P = 2$ ，最长充电时间 $T_o = 288 \times 2 \times 25 \mu s \approx 56min$ ；当 8 脚接到 6 脚时， $P = 1$ ， T_o 为 28min；8 脚接地时， $P = 4$ ， T_o 为 112min。

7 脚：控制器输入。该输入电压是经 R_{14} 、 R_{15} 分压后得到的电池电压。 R_{14} 、 R_{15} 分压系数为 0.5，因此电池过电压值和 $-\Delta V$ 检测最高电压值分别为 8.5V 和 7.7V。

3 脚：温度保护输入。接在 6 脚的 R_{11} 和 R_{NTC} 组成分压器，将电源电压分压后加到 3 脚，最高和最低输入电压应当与电池安全温度范围相对应。 R_{11} 和 R_{NTC} 的关系式如下：

$$R_{11} = R_N - (R_L \times 2.3) / 1.7 \quad [R_{11} \geq 4.2k]$$

式中： R_N 为最低温度时负温度系数热敏电阻的最大阻值；

R_L 为最高温度时负温度系数热敏电阻的最小阻值。

当安全温度范围为 $10\sim 45^\circ\text{C}$ 时，采用 25°C 时阻值为 $6.8\text{k}\Omega$ 的热敏电阻， $R_L = 2.3\text{k}\Omega$ ， $R_N = 14\text{k}\Omega$ ， R_{11} 应为 $4.7\text{k}\Omega$ 。

如果不采用温度取样，热敏电阻必须用一只普通电阻代替，该电阻的阻值应等于 R_{11} 的阻值。

5 脚：电流取样输入。电阻 R_4 ， R_5 ，基准电流 I_{REF} 和 I_N 决定充电电流值。已知快速充电电流为 1.1A ， $I_{\text{REF}} = 46\mu\text{A}$ ， $R_4 = 0.25\Omega$ ，则 $R_5 = 1.1 \times 0.25 / 46 \times 10^{-6} \approx 6\text{k}\Omega$ 。

实际上取 $R_5 = 6.2\text{k}\Omega$ 。

当 $\Delta I_{L\text{max}} = 0.23\text{A}$ 时，5 脚最高纹波电压为 $0.23 \times R_4 = 58\text{mV}$ 。 C_5 的容量很小，它的作用是高频滤波。

4 脚：该脚外接误差电压补偿电路并通过 C_6 确定频带宽度，提高回路的稳定性。

$C_6 = 680\text{pF}$ 。这个电容的容量应尽可能小。 $R_9 = 47\text{k}\Omega$ 。

9 脚：极性变换。9 脚开路时，1 脚输出脉冲的极性为正；在 9 脚到地之间接 $5\text{k}\Omega$ 电阻时，1 脚即可输出极性相反的脉冲。

15 脚：LED 输出。在快速充电时，该脚接通 LED，涓流充电状态由 LED 闪光来指示。

12 脚：集成电路电源。输入电压经 T_3 和 D_4 组成的稳压电路后，加到 12 脚，给集成电路供电。

1.7 MAX712(713)组成的快速充电器

1.7.1 MAX712/MAX713 简介

1. 主要功能

采用 MAX712 和 MAX713 的充电器，可对 $1\sim 16$ 只串联镍氢 (NiMH) 和镍镉 (NiCd) 电池快速充电，充电速率可达 4C 。直流电源电压应比电池组最高电压高 1V 以上。电池充电电压曲线斜率检测 A/D 变换器、定时器和温度上下限比较器共同决定快速充电结束的时间。外接直流电源经芯片内的 5V 并联稳压器给内部电路供电，不充电时，MAX712/MAX713 的最大静态工作电流为 $5\mu\text{A}$ 。直流电源除了给电池充电外，还可给电池的负载供电。

MAX712 采用检测电池充电电压曲线零斜率的方式终止快速充电，而 MAX713 则采用检测电池充电电压曲线负斜率的方式终止快速充电。两种 IC 均采用 16 脚 DIP 和 SO 封装。组成快速充电器时，IC 外部只需接入一只 PNP 功率晶体管、一只隔离二极管、三只电阻和三只电容器。

为了减小功耗，大功率充电设备一般都采用开关型电源。在这种情况下，MAX712/MAX713 很容易与 ICM7556 和功率 MOSFET 组成开关型充电器。

2. 应用范围

MAX712/MAX713 的应用范围为:

- 由电池供电的设备, 如膝上电脑、笔记本电脑、掌上电脑、手持终端设备和蜂窝网络移动电话、无绳电话、对讲机、小型电台等。
- 便携式消费产品, 如便携式立体声收录机和剃须刀等。

3. 主要特点

- 可对镍氢或镍镉电池快速充电;
- 对 1~16 只串联电池组充电;
- 额定快速充电速率为 C/3 到 4C;
- 涓流充电速率为 C/16;
- 能够由快速充电自动转入涓流充电;
- 电池充电电压曲线斜率、电池温度、定时器共同决定快速充电终止时间;
- 不充电时, 静态工作电流只有 $5\mu\text{A}$;
- 芯片内的 +5V 并联稳压器可给外部逻辑电路供电;
- 充电过程中, 直流电源还可对电池的负载供电。

4. 极限参数

MAX712/MAX713 的极限参数如下:

V_+ 到电池(-)	-0.3, +7V
电池(-)到地	$\pm 1\text{V}$
电池(+)到电池(-)	
无外接电源	$\pm 20\text{V}$
加外接电源	$> \pm 20\text{V}$ 或 $\pm 2\text{V} \times$ 串联电池数
驱动端到地	-0.3V, +20V
其它脚到地	-0.3V ($V_+ + 0.3\text{V}$)
V_+ 电流	100mA
驱动端电流	100mA
基准端电流	10mA
连续功耗 ($T_A = 70^\circ\text{C}$)	
塑封 DIP (T_A 高于 $+70^\circ\text{C}$ 时, 降额 $10.53\text{mW}/^\circ\text{C}$)	842mW
窄塑封 SO (超过 70°C 时, 降额 $8.70\text{mW}/^\circ\text{C}$)	496mW
陶瓷封装 (超过 70°C 时, 降额 $10.00\text{mW}/^\circ\text{C}$)	800mW
工作温度范围	
MAX712-C	$0 \sim 70^\circ\text{C}$
MAX712-E	$-40 \sim 85^\circ\text{C}$
MAX712-MJE	$-55 \sim 125^\circ\text{C}$

存储温度范围

-65~+150°C

引脚焊接温度 (焊接时间达 10s)

+300°C

5. 管脚排列和功能

MAX712/MAX713 的管脚排列如图 1-47 所示。管脚功能如下:

1 脚 (VLIMIT): 确定最高电池电压。如果 VLIMIT 脚接到 V_+ , 电池电压 (电池+到电池-) 不超过 $1.65 \times$ 串联电池数, VLIMIT 脚不接 V_+ 时, 电池端电压不超过 $VLIMIT \times$ 串联电池数。VLIMIT 不允许超过 +2.5V。

2 脚 (BATT₊): 电池正极。

3, 4 脚 (PGM0, PGM1): 确定待充的串联电池数。PGM0 和 PGM1 分别接 V_+ 、REF、BATT₋ 或者开路时, 待充串联电池数如表 1-19 所列。

5 脚 (THI): 设定超温比较器翻转点。当 TEMP 脚的电压超过 THI 脚的电压时, 快速充电结束。

6 脚 (TLO): 设定欠温比较器翻转点。MAX712/MAX713 接通电源后, 当 TEMP 脚的电压低于 TLO 脚电压时, 不

表 1-19 PGM1, PGM0 与串联电池数的关系

电池数	PGM1 接点	PGM0 接点
1	V_+	V_+
2	开路	V_+
3	REF	V_+
4	BATT ₋	V_+
5	V_+	开路
6	开路	开路
7	REF	开路
8	BATT ₋	开路
9	V_+	REF
10	开路	REF
11	REF	REF
12	BATT ₋	REF
13	V_+	BATT ₋
14	开路	BATT ₋
15	REF	BATT ₋
16	BATT ₋	BATT ₋

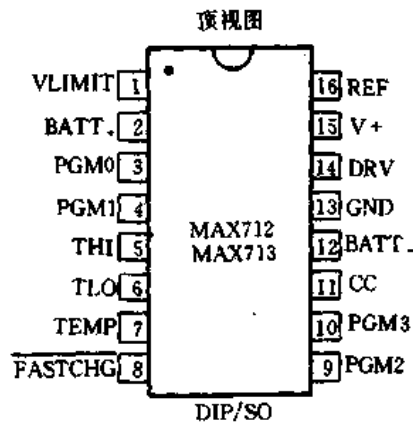


图 1-47 管脚排列

能开始快速充电, 一直到 TEMP 脚的电压超过 TLO 脚的电压后, 快速充电才能开始。TLO 脚设定值必须低于充电器的最低工作温度。

7 脚 (TEMP): 由热敏电阻决定的随温度变化的取样电压输入端。

8 脚 (FASTCHG): 快速充电状态指示。当 MAX712/MAX713 对电池快速充电时, FASTCHG 脚为低电平。当快速充电结束并开始涓流充电时, FASTCHG 脚为高电平。

9、10 脚 (PGM2、PGM3): 设定最长快速充电时间。PGM2 和 PGM3 接到 V_+ 、REF、BATT₋ 或者开路时, 快速充电时间可以在 33~264 分钟内设定, 如表 1-20 所列。

11 脚 (CC): 恒流调整回路补偿输入。

12 脚 (BATT₋): 电池负极。

13 脚 (GND): 接地端。接在 BATT₋ 和 GND 之间的电阻用来检测充入电池的电流。

14 脚 (DRV): 驱动端。驱动外接 PNP 管组成的电流源。

15 脚 (V_-): 并联稳压器。 V_+ 与 BATT₋ 之间的电压稳定在 +5V。

16 脚 (REF): 2.0V 基准电压输出, 输出电流可达 10mA。

表 1-20 PGM2、PGM3 最长充电时间的关系

充电时间(min)	A/D 取样间隔(s)	有无充电斜率限制	PGM3 接点	PGM2 接点
22	21	无	V_+	开路
22	21	有	V_-	REF
33	21	无	V_-	V_-
33	21	有	V_+	BATT ₋
45	42	无	开路	开路
45	42	有	开路	REF
66	42	无	开路	V_+
66	42	有	开路	BATT ₋
90	84	无	REF	开路
90	84	有	REF	REF
132	84	无	REF	V_+
132	84	有	REF	BATT ₋
180	168	无	BATT ₋	开路
180	168	有	BATT ₋	V_+
264	168	无	BATT ₋	V_+
264	168	有	BATT ₋	BATT ₋

1.7.2 简单快速充电器设计

MAX712/MAX713 的应用很简单, 充电器的典型工作电路如图 1-48 所示。该充电器可按以下几步设计:

(1) 根据电池制造商建议的最大充电电流, 决定实际采用的充电终止方法。表 1-21 中给出了一般原则。

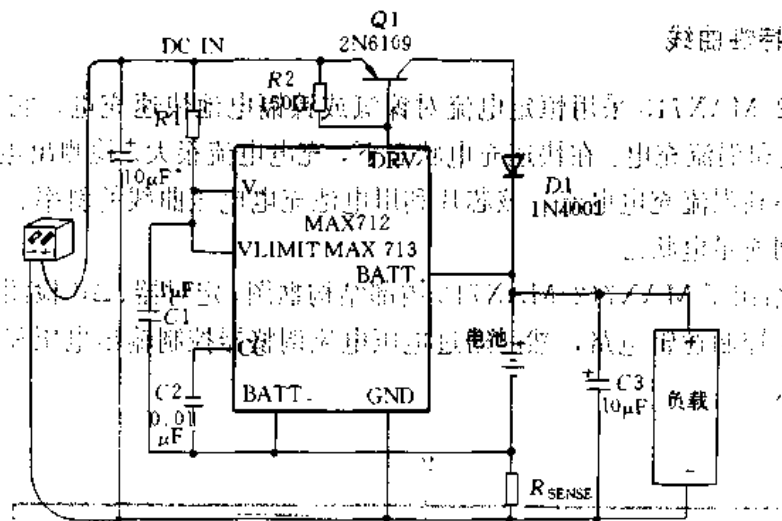


图 1-18 MAX712/MAX713 典型应用电路

表 1-21 快速充电终止检测方法

充电速率	MiMH 电池	MiCd 电池
>C/3	$\Delta V/\Delta t$ 和温度 (MAX712 或 MAX713)	$\Delta V/\Delta t$ 和温度 (MAX713)
C/3	$\Delta V/\Delta t$ 或温度 (MAX712 或 MAX713)	$\Delta V/\Delta t$ 或温度 (MAX713)
<C/3	$\Delta V/\Delta t$ 或温度 (MAX712)	$\Delta V/\Delta t$ 或温度 (MAX713)

(2) 决定充电速率。采用 C/3 充电速率时，电池充足电大约需要 3 小时。电池所需的充电电流 (mA) 可按下式计算：

$$I_{FAST} = \text{电池容量 (mAh)} / \text{充电时间 (h)}$$

由于电池的充电效率低于 80%，因此采用 C/3 充电速率时，实际充电时间应当取 3 小时 45 分钟。充电效率表示电能转化为化学能的百分数，它与充电器的效率无关。

(3) 选择外接直流电源。外接直流电源的最低输出电压 (包括纹波电压) 必须高于 6V，并且必须比电池组的最高电压高 1V 以上。

(4) 根据下式计算功率 PNP 管和二极管 (典型工作电路中的 Q₁ 和 D₁) 在最坏条件下的功耗 (W)。

$$P_{DNP} = (\text{外接电源最高电压} - \text{最低电池电压}) \times \text{充电电流 (A)}$$

(5) 如果器件不能满足最大设计功耗的要求，或者电池组中串联电池数超过 11 只、充电电流超过 6A 时，应参看器件的详细说明。除上述情况外，可采用图 1-48 所示的典型工作电路。

(6) 根据下式计算 R₁ (kΩ)：

$$R_1 = (\text{外接电源最低电压} - 5V) / 5mA$$

(7) 利用下式计算 R_{SENSE}：

$$R_{SENSE} = 0.25V / I_{FAST}$$

(8) 参考表 1-20 和表 1-21 决定有关管脚的接法。例如采用 C/2 快速充电速率时，充电终止时间应设定为 1.5 (或 2) × 充电周期，即 3 或 4 小时。充电周期为假定充电效率为

100%时所需的充电时间，如采用 C/2 充电速率时，充电周期即为 2 小时。

1.7.3 充电特性曲线

MAX712/MAX713 采用恒定电流对镍氢或镍镉电池快速充电。它具有两种充电状态：快速充电和涓流充电。在快速充电状态下，充电电流很大。检测出电池充足电后，电流应立即减小到涓流充电电流。该芯片利用电池充电电压曲线的斜率、电池温度来判定电池是否达到充足电状态。

图 1-49 给出了 MAX712/MAX713 内部结构框图。定时器、 ΔV 检测和温度比较器的取样信号加入控制逻辑电路，然后通过电压电流调整器控制输出电压和电流，并且检测电池是否接入。

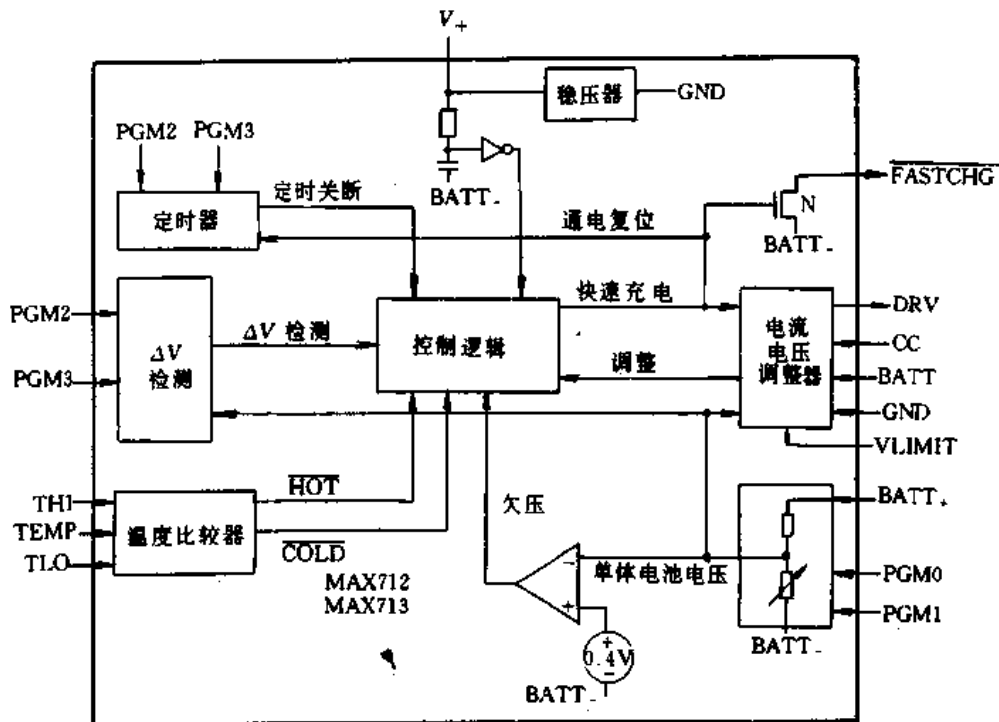


图 1-49 MAX712/MAX713 内部结构框图

接通直流电源前，如已接入电池，典型的充电曲线如图 1-50 所示。在时间 1 内，电池供给 MAX712/MAX713 的电流可忽略不计。直流电源接入 DCIN（直流输入）端后（时间 2），MAX712/MAX713 进入涓流充电状态。复位电路为高电平时，只要电池电压高于欠压锁定电压 (UVLO)（单只电池为 0.4V），充电器立即转入快速充电状态。电池组电压/串联电池数（即单体电池平均电压）超过 0.4V 后，才能开始快速充电。

只要电池电压斜率变负，快速充电即结束，MAX712/MAX713 就转入涓流充电状态（时间 4）。除去电源后（时间 5），电池供给器件的电流可忽略不计。

采用电池温度检测充足电状态时，典型的充电曲线如图 1-51 所示。在时间 1 内，电池刚从较冷的外部环境中拿来，充电器也没有接入电源。在时间 2 内，电池的温度仍低于快速充电温度下限 (TLO)，MAX712/MAX713 保持涓流充电状态。达到安全温度后

(时间 3), 立即开始快速充电。当电池温度超过允许的温度上限 THI 时, $MAX712/$
 $MAX713$ 又恢复涓流充电 (时间 4)。

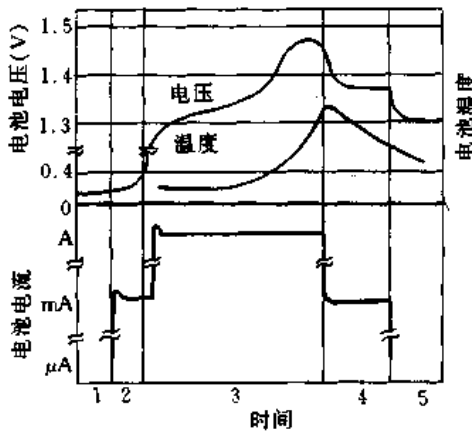


图 1-50 接通直流电源前已接入电池时的充电曲线
 1—充电器未接电源 2—电池电压低于 0.4V
 3—快速充电 4—涓流充电 5—关断电源

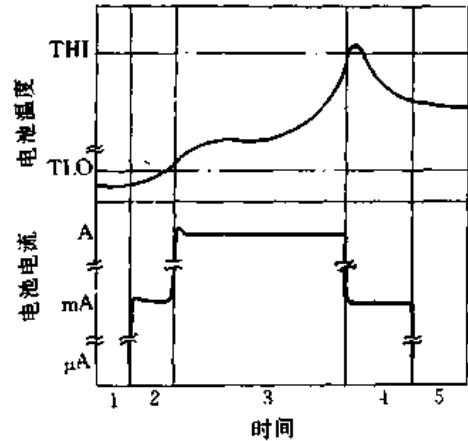


图 1-51 采用电池温度检测时的充电曲线
 1—充电器未接电源 2—电池温度太低
 3—快速充电 4—涓流充电 5—关断电源

当先接通直流电源, 再接入电池时, 充电曲线如图 1-52 所示。在时间 1 内, 充电器输出电压为串联电池数 $\times V_{LIMIT}$, 接入电池后 (时间 2), $MAX712/MAX713$ 检测电池充电电流并转入快速充电状态。一旦检测出电池充足电, 就立即转入涓流充电状态 (时间 3)。除去电池后 (时间 4), 充电器输出电压稳定在串联电池数 $\times V_{LIMIT}$ 。

1.7.4 $MAX712/MAX713$ 的供电

当没有接入直流电源时, $MAX712/MAX713$ 不工作, 它只从电池吸收 $5\mu A$ 电流。二极管 D_1 (参看典型电路图 1-48) 可避免晶体管 Q_1 的集电极基极电流流进 DRV 脚。直流电源接入后, 电源通过 R_1 给 C_1 充电, 当 C_1 两端电压达到 5V 时, 内部并联稳压器吸收电流, V_+ 脚电压稳压在 5V, 充电器开始快速充电。当三个快速充电终止条件中任意一个达到时, $MAX712/MAX713$ 结束快速充电。

直流输入电压高于 20V 时, 为了避免超过 DRV 脚最高额定电压 (20V), 应当采用图 1-53 所示的电路。当直流输入 ($DCIN$) 电压最低时, 流过 R_1 的电流应不小于 5mA。最高直流输入电压和最低直流输出电压之差, 决定 $MAX712/MAX713$ 的功耗。

$$\text{流入 } V_+ \text{ 脚的最大电流} = (\text{最高直流输入电压} - 5V) / R_1$$

$$\text{并联稳压器的功耗} = 5V \times \text{流入 } V_+ \text{ 脚的最大电流}$$

流入 DRV 脚的电流也产生功耗, 总功耗不能超过最大额定值。

1.7.5 充电状态

1. 快速充电

在下列任一条件下, $MAX712/MAX713$ 将进入快速充电状态:

- (1) 接通电源并且 $TEMP$ 高于 TLO 、电池电压高于 $UVLD$ 电压;
- (2) 接入电池并且 $TEMP$ 高于 TLO 但低于 THI , 电池电压高于 $UVLD$ 电压。

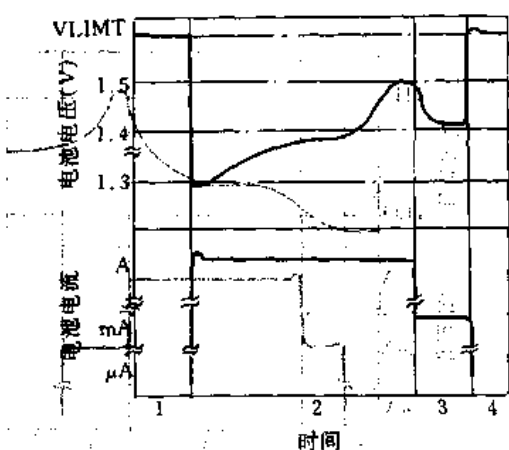


图 1-52 接通直流电源后再接入电池时的充电曲线
1——电池未插入 2——快速充电 3——涓流充电
4——将电池取下

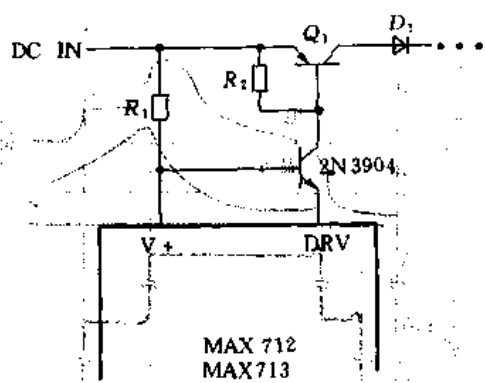


图 1-53 直流输入电压高于 20V 时的电流调整电路

电阻 R_{SENSE} 决定快速充电电流值。在快速充电状态下, BATT 和 GND 两脚之间的电压差稳定在 250mV。如果该电压差小于 250mV, 那么流入 DRV 脚的电流将增加; 如果该电压差超过 250mV, 流入 DRV 脚的电流将减小。

2. 涓流充电

快速充电电流为 C/2、1C、2C 或 4C 时, 涓流充电电流均为 C/16。快速充电速率为其它值时, 涓流充电电流也不超过 C/16。

改变 PGM3 脚的接法, MAX712/MAX713 内部电流放大器的增益将改变, 如图 1-54 所示, 这样可调整 R_{SENSE} 两端的电压, 从而调整涓流充电电流。PGM3 脚的接法与涓流充电电流的关系如表 1-22 所列。

表 1-22 PGM3 与涓流充电电流的关系

PGM3	快速充电速率	涓流充电电流
V+	4C	$I_{FAST}/64$
开路	2C	$I_{FAST}/32$
REF	C	$I_{FAST}/16$
BATT-	C/2	$I_{FAST}/8$

3. 非标准涓流充电电流实例

采用典型电路对 2 只 500mAh 镍镉电池充电, 快速充电速率为 C/3, 快速充电时间设定为 264 分钟, 采用电压曲线负斜率判定快速充电是否终结, 最低直流输入电压为 6V, 控制电路采用 MAX713, 其中 PGM0 = V+, PGM1 = 空, PGM2 = BATT-, PGM3 = BATT-, $R_{SENSE} = 1.5\Omega$ (快速充电电流 $I_{FAST} = 167mA$), $R_1 = (6V - 5V)/5mA = 200\Omega$ 。

因为 PGM3 = BATT-, 所以涓流充电时, R_{SENSE} 两端电压将稳定在 31.3mV, 涓流充电电流为 20.7mA。可见涓流充电电流为 C/25, 而不是 C/16。

利用图 1-55 所示电路, 涓流充电电流可减小到 C/16 以下。在涓流充电状态下, 由

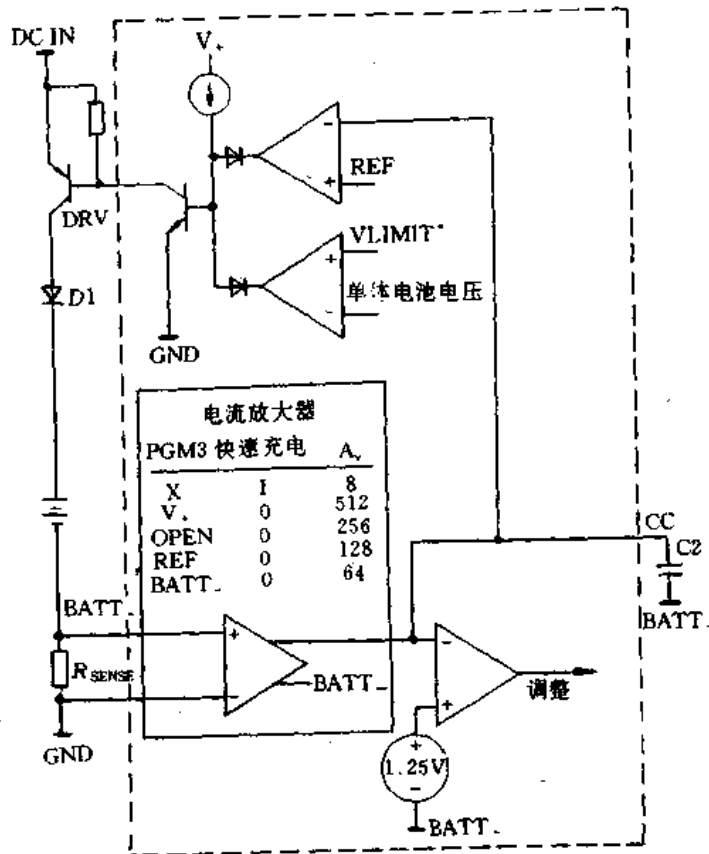


图 1-54 电流和电压调整电路

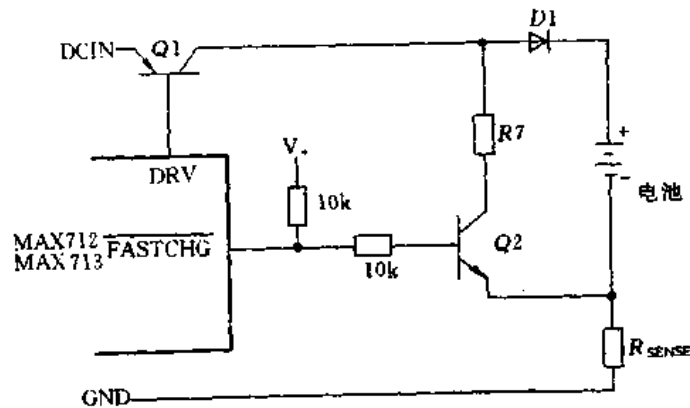


图 1-55 减小镍氢电池涓流充电电流的电路

于 Q_2 导通，部分电流将流过 Q_2 和 R_7 。 R_7 可按下式选择：

$$R_7 = (V_{BATT} + 0.4) / (I_{涓流} - I_{BATT})$$

式中， V_{BATT} 为充电时电池电压；

$I_{涓流}$ 为 MAX712/MAX713 设定的涓流充电电流；

I_{BATT} 为所需的电池涓流充电电流。

1.7.6 控制回路

1. 调整回路

调整回路控制 $BATT_+$ 和 $BATT_-$ 两端的电压，并通过 $BATT_-$ 和 GND 之间的电压

控制电池的充电电流。当输出电压超过串联电池数 $\times V_{LIMIT}$ ，或者电池充电电流超过设定值时，流入 DRV 脚的电流减小。

调整回路具有以下功能：

充电器接入电源后，去掉电池，负载电源不会中断。

如果按照典型电路接入负载，电池充电电流保持稳定，与负载电源无关（假定输入电源的功率能满足两者的要求）。

2. 电压调整回路

电压调整回路用于设定 $BATT_+$ 和 $BATT_-$ 之间的最高电压。如果 V_{LIMIT} 设定值低于 2.5V，则

$$BATT_+ \text{脚最高电压} = V_{LIMIT} \times (\text{PGM0, PGM1 设定的电池数})$$

如果 V_{LIMIT} 脚接到 V_+ ，那么

$$BATT_+ \text{脚最高电压} = 1.65V \times (\text{PGM0, PGM1 设定的电池数})$$

去掉电池后，MAX712/MAX713 不再提供恒定电流，此时， $BATT_+$ 只保持由上式决定的最高电压。通过滤波电容 C_3 ，可保持电压调整回路稳定。如果不接电池，负载只由 MAX712/MAX713 供电，滤波电容 C_3 的容量应适当增大。此时， C_3 可由下式决定：

$$C_3(\text{法拉}) = (50 \times I_{LOAD}) / (V_{OUT} \times BWVRL)$$

式中： $BWVRL$ = 回路带宽 (Hz) (建议值为 10000)， $C_3 > 10\mu\text{F}$ ； I_{LOAD} 为外接负载的电流 (A)； V_{OUT} 为设定的输出电压 ($V_{LIMIT} \times$ 串联电池数)。

3. 电流调整回路

电流调整回路如图 1-54 所示。为了保证回路稳定性，电流调整回路的带宽 (BWCRL) 应低于晶体管 Q_1 的极点频率 (f_p)。通过选择 C_2 可设定 BWCRL。

$$BWCRL(\text{Hz}) = G_M / C_2 \quad (C_2 \text{ 单位为法拉})$$

$G_M = 0.0018$ 西门子。

PNP 串联调整晶体管 Q_1 的极点频率可以通过假定单极点增益响应来得到。当 Q_1 选定型号后， f_T 和 β_0 都可从该型号晶体管的数据表上得到。利用公式 $f_p(\text{Hz}) = f_T / \beta_0$ (f_T 单位为 Hz， β_0 为直流电流增益)，可得出电流调整回路的稳定条件为： $BWCRL < f_p$ 。

MAX712/MAX713 的损耗功率是由 DRV 脚的电流和电压引起的，损耗功率不允许超过最大额定值。采用图 1-53 所示电路，可以减小 DRV 脚的功耗，此时

$$\text{DRV 产生的功耗} = \text{流入 DRV 脚的电流} \times \text{DRV 脚的电压}$$

1.7.7 控制快速充电终止的方法

1. 电压曲线斜率终止法

MAX712/MAX713 内，A/D 变换器分辨率为 2.5mV。在 T_A 间隔内 (参看表 1-20)，贮存电池电压。在两个 T_A 间隔内，可得到 T_A 间隔之间的电压差，这样就得到电压对时间的斜率。为了消除干扰，A/D 变换器取 5ms 内的采样平均值。由于调整回路的作用，即使负载发生变化，充电电流也保持恒定，因此变换结果很精确。

当变换结果等于以前的数值时, MAX712 即终止快速充电, 因此, MAX712 更适合镍氢电池的充电控制。在 MAX713 中, 当变换结果至少比以前的数值低 2.5mV 时, 才终止快速充电, 因此 MAX713 更适合镍镉电池的充电控制。这是 MAX712 和 MAX713 唯一的差别。

2. 电池温度终止充电法

利用负温度系数热敏电阻检测电池超温和欠温的电路如图 1-56 (a) 所示。热敏电阻 T_1 和 T_2 的型号相同, 因此额定阻值相同。在室温下充电时, TEMP 脚的电压 (对于 BATT-) 为 1V。

THI 脚设定的门限电压值为快速充电超温终止电压。只要 TEMP 脚的电压超过 THI 脚的电压, 快速充电即结束。当 TEMP 脚的电压低于 THI 脚的电压时, 快速充电不会重新开始。

TLO 脚设定的门限电压值为快速充电欠温封锁电压。当 MAX712/MAX713 开始工作后, 只要 $V_{TLO} > V_{TEMP}$, 快速充电就不能开始。一直到 $V_{TLO} < V_{TEMP}$, 才能开始快速充电。

若去掉 R_5 , T_3 和 $0.022\mu\text{F}$ 电容器, 并且 TLO 脚接到 BATT- 脚, 在低温下也可对电池充电。

若去掉 T_1 、 T_2 、 T_3 、 R_3 、 R_4 、 R_5 及有关的电容器, 并且 TEMP 脚接 REF、THI 接 V_+ 、TLO 接 BATT-, 则全部温度比较器都不起作用。

在电池组中, 当热敏电阻接到电池组负端时, 可采用图 1-56 (b) 所示的电路。

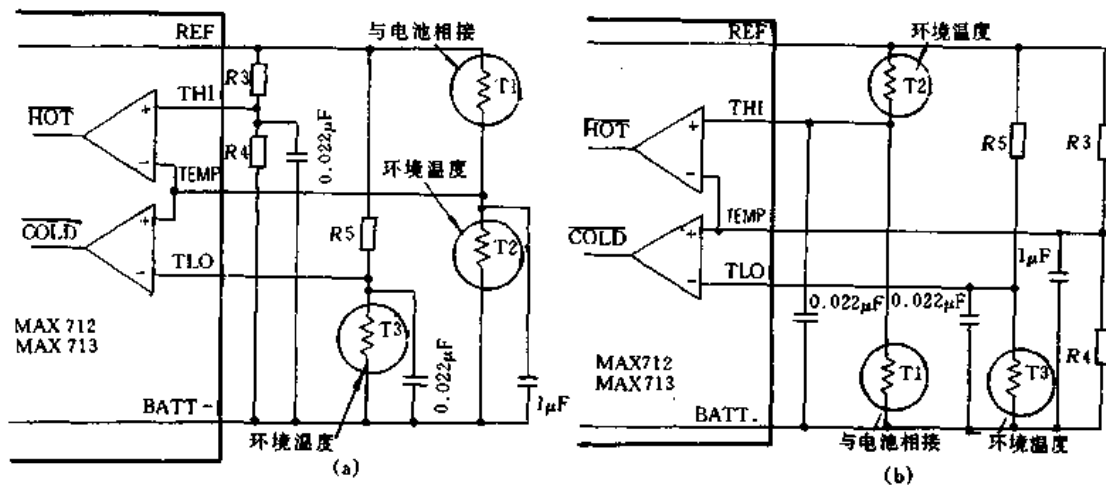


图 1-56 电池温度检测电路

1.7.8 应用实例

1. AD-DC 适配器

由交流电源供电的 AC/DC 适配器, 通常都由变压器、桥式整流电路和电容器等组成。图 1-57 至图 1-59 给出了三种常用 AC/DC 适配器的特性。三种适配器的输出电压中都含有 120Hz 纹波电压。选用适配器时, 在快速充电状态下, 适配器的最低电压应比电池最高电压高 1V 以上。

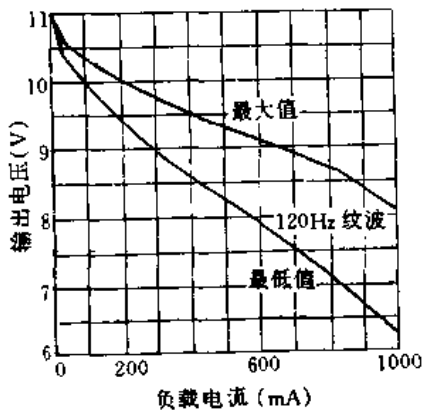


图 1-57 索尼 AC-190 适配器负载特性

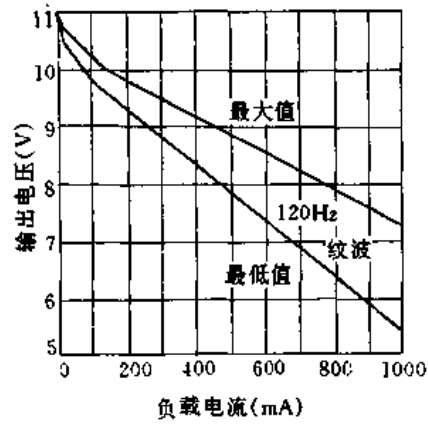


图 1-58 索尼 AC-96N 适配器负载特性

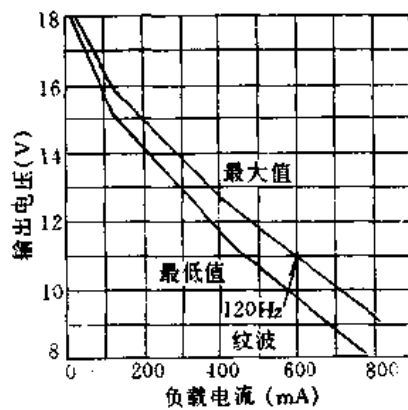


图 1-59 松下 KX-ALL 适配器负载特性

2. 充电器实例

3 只 1000mAh 镍氢电池分别采用 MAX712 和 MAX713 并以 1A 电流充电时，充电特性曲线如图 1-60 和 1-61 所示。充电电路采用典型电路，热敏电阻接法如图 1-56(a) 所示。

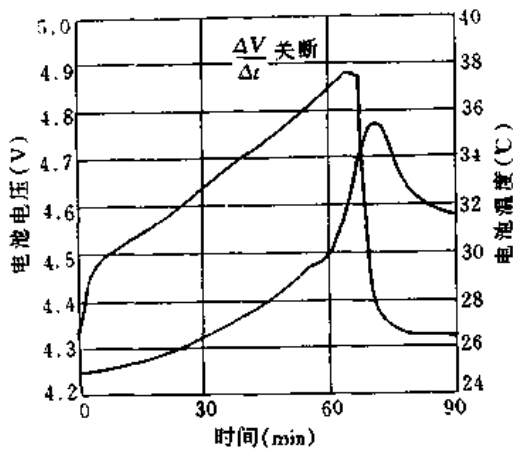


图 1-60 采用 MAX712 时，镍氢电池(三只)的充电特性

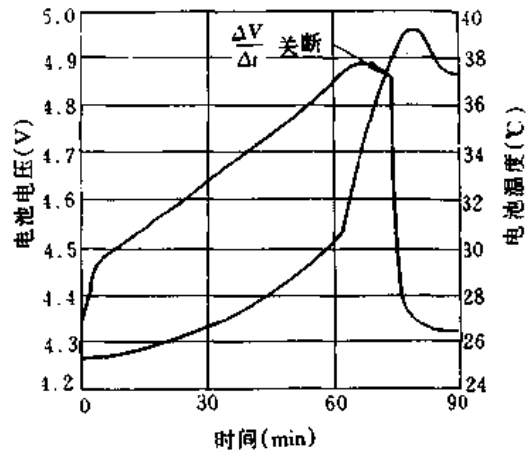


图 1-61 采用 MAX713 时，镍氢电池(三只)的充电特性

图中 DC IN = +9V (在 800mA 时), 采用 AC-DC 适配器 (索尼 AC-190), PGM0 接 V_+ , PGM1 接 REF, PGM2 接 REF, PGM3 接 REF, $R_1 = 200\Omega$, $R_2 = 150\Omega$, $R_{SENSE} = 0.25\Omega$, $C_1 = 1\mu F$, $C_3 = 10\mu F$, VLIMIT 接 REF, $R_3 = 10k\Omega$, $R_4 = 15k\Omega$, T_1 、 T_2 采用 13A1002, R_5 省去, T_3 省去, TLO 接 BATT-。

3. 串联电池数很多时应采用的电路

串联电池数超过 11 只时, BATT+ 脚的电压将超过允许的最大额定值, 必须采用图 1-62 所示的外加电路, 限制 BATT+ 脚的输入电压。

4. 提高放电效率的电路

电池放电时, 电流取样电阻 R_{SENSE} 将使效率略有降低。如果 R_{SENSE} 远大于电池组的内阻, 效率将明显降低。采用图 1-63 所示的电路后, 当充电器去掉电源后, 功率 MOS 管可分流取样电阻。

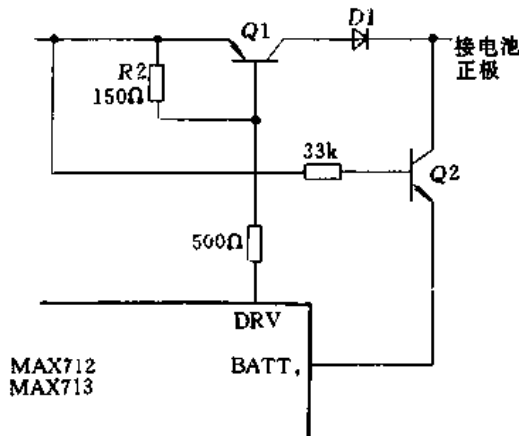


图 1-62 限制 BATT+ 脚输入电压的电路

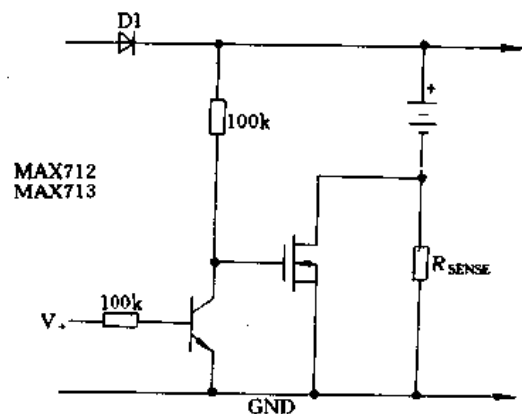


图 1-63 提高放电效率的电路

5. 充电状态指示

图 1-64 所示电路可以通过逻辑电平来指示充电器的工作状态。快速充电时, FASTCHG 脚为低电平 (0V), 涓流充电时, FASTCHG 脚为高电平 (V_{CC})。图 1-65 所示电路采用发光管来指示电源和充电器的状态, 接通输入电源时, V_+ 脚电压为 5V, 未接电源时, V_+ 脚电压为 0V。

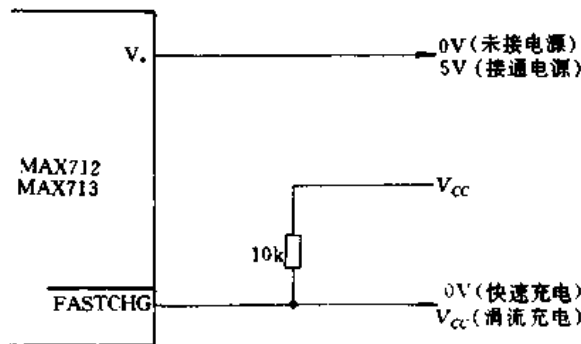


图 1-64 逻辑电平指示充电状态

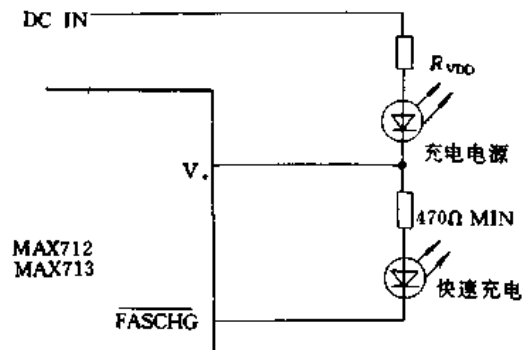


图 1-65 LED 指示电源通断和充电状态的电路

6. 开关型充电器电路

为了减少调整管的功耗，可采用开关型充电器。最简单的开关型充电器实际电路如图 1-66 所示。采用 MAX712/MAX713 与 ICM7556 的开关型充电器电路如图 1-67 所示。

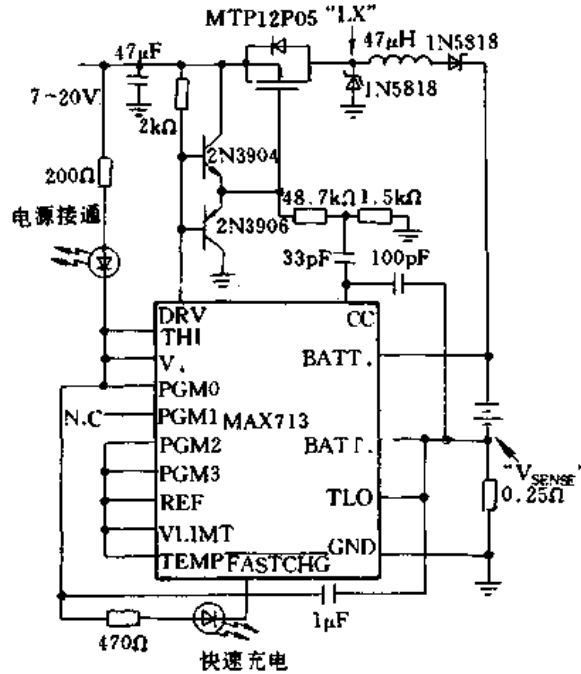


图 1-66 最简单的开关型充电器

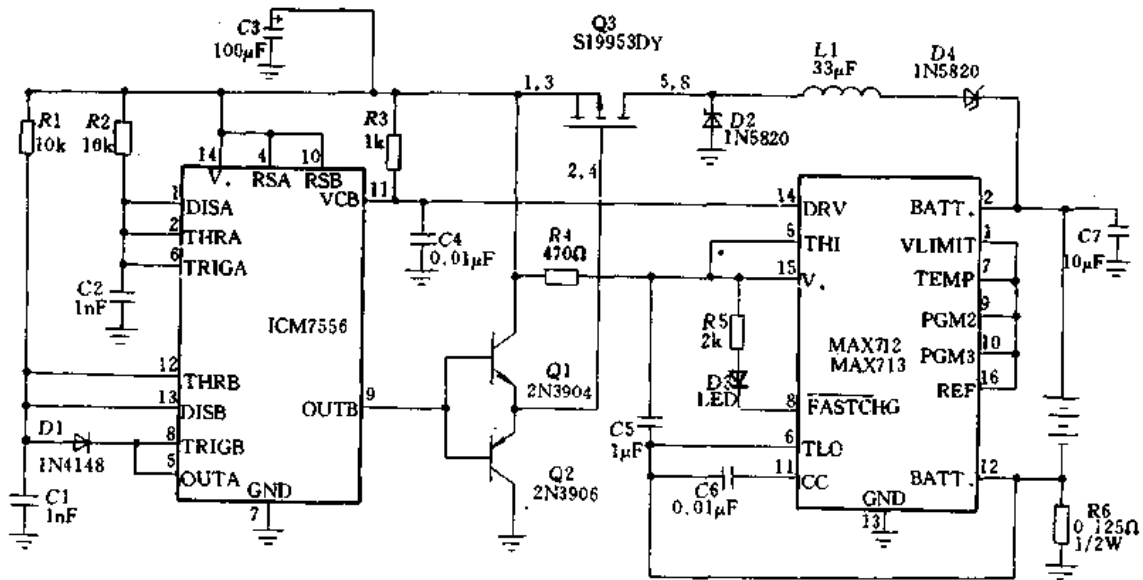


图 1-67 采用 ICM7556 的开关型充电器

1.8 UCC3905 组成的伺服快速充电器

1.8.1 UCC3905 简介

1. 主要特点

UCC3905 是一种镍镉/镍氢电池智能充电控制器,采用这种控制器,在任何环境温度下,不同结构和不同容量的电池,都可以安全快速地充足电。伺服充电系统可以连续供给电池安全充电所需的最大充电电流,从而在最短的时间内使电池的容量恢复到额定容量。采用伺服充电系统时,电池组内装一只热敏电阻,在温度反馈信号控制下,开始充电后,UCC3905 能够为电池提供高速率充电电流,然后,适当地减小充电电流,在最短的时间内完成整个充电过程。通过连续监控电池温度、电池电压、电池电压变化率和充电时间等参数,充电器可在关断、预充电、高温伺服充电、低温伺服充电、涓流充电五种充电状态之间自动转换。所有参数的检测都在充电电流一秒钟中断周期内完成。在充电电流中断期间,检测的电池电压不受电源电压、电池接点和电池内阻的影响。该充电系统可以由开关型和线性电源供电,快速充电速率可以从 1C 到 6C,可对由 2 只到 12 只电池组成的电池组充电。

2. 极限参数

电源电压 (V_{DD})	+16.5V
电池电压输入 (V_B)	+30V
R_1 、 R_2 、 R_3 、LED、OUT、CLK/TSTCLK、 S_0 、 S_1 、 S_2 、SOE、 D_0 、 D_1 、START 各脚电压	-0.3~ V_{DD}
输出电流	10mA
存贮温度	-65~150°C
结温	-55~+150°C
焊接温度 (持续时间 10s)	300°C

3. 管脚功能

UCC3905 内部框图如图 1-68 所示,各管脚功能如下:

CA: 0ΔV 检测用 10 位 ADC 的积分电容器接点。该脚与接地脚之间应接入 0.1μF 电容器。

D_0 、 D_1 : 最大充电速率 C_{max} 设定。最大充电速率与 D_0 和 D_1 脚电平的关系如表 1-23 所示。

GND: 接地脚。

LED: 充电状态指示。快速充电时,该脚为低电平;涓流充电开始后,该脚变为高电平。

表 1-23 最大充电速率与 D_0 和 D_1 脚电平的关系

C_{max}	D_0	D_1
1	0	0
2	1	0
4	0	1
6	1	1

OUT: 开路漏极输出, 当充电中断时, 该脚为低电平。

R_1 、 R_2 和 R_3 : 确定电池组串联电池数的输入端, 电池组串联电池数与 R_1 、 R_2 、 R_3 脚连接位置的关系如表 1-24 所列。

RCAL: 热敏电阻校准电阻。该脚到接地脚之间应接入 10k Ω 电阻。

START: 开始充电信号。当该脚变为低电平时, 开始预充电状态。

THERM: 电池组内 10k Ω 热敏电阻输入脚。

CLK/TSTCLK: 时钟监控 (内部时钟频率为 32.768kHz) 和快速功能测试输入脚。

V_B : 电池电压输入。允许接入 2~12 只电池组成的电池组。

V_{DD} : 芯片电源电压。2.7V < V_{DD} < 16.5V。

S_0 、 S_1 和 S_2 : 充电状态指示输出脚。这些引脚的灌电流为 10mA。

SOE: 充电状态输出控制脚。

VREF: 5V 基准电压, 该脚可输出 10mA 电流。

表 1-24 串联电池数与 R_1 、 R_2 和 R_3 脚连接位置的关系

串联电池数	R_1	R_2	R_3
2	空	V_{DD}	V_{DD}
3	空	空	V_{DD}
4	空	GND	V_{DD}
5	空	空	空
6	GND	GND	V_B
7	空	GND	空
8	空	GND	空
9	空	空	GND
10	GND	空	空
11	GND	GND	空
12	GND	GND	GND

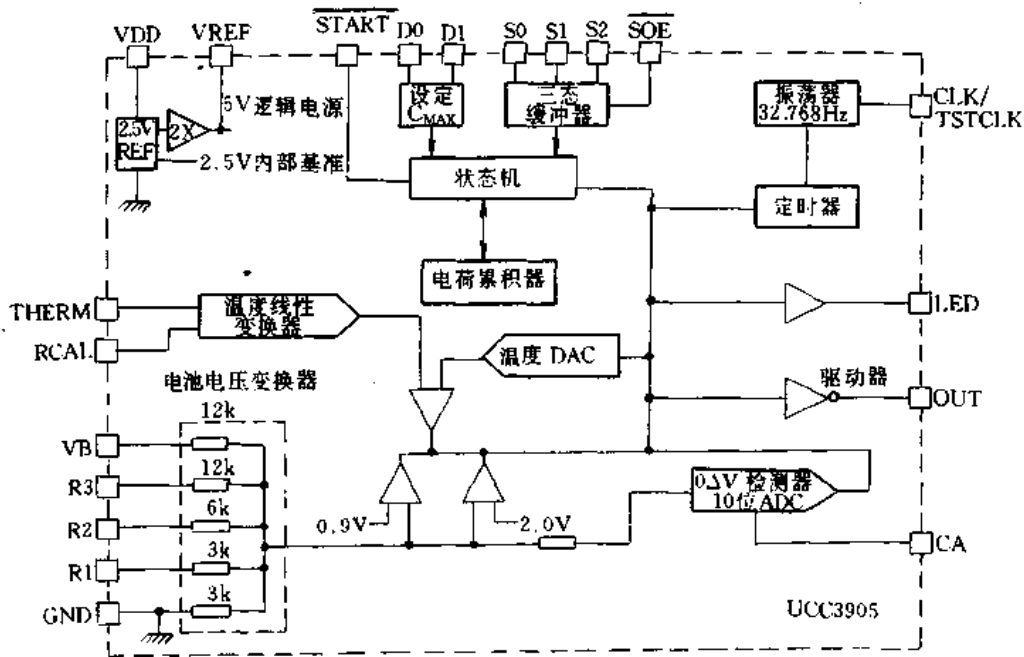


图 1-68 UCC3905 内部结构框图

1.8.2 充电特性

在充电过程中, 电池可接受的电量随充电时间增加而逐渐减小。为了使电池充足电,

充入电池的电量必须达到额定容量的 160%，其中 60% 的输入电量损耗在电池中并且产生热量，这些热量可能使电池的温度升高，最终有可能使电池损坏。采用 C/10 安全充电速率时，镍氢电池的容量、电池接受的电量和电池温度与充电时间的关系如图 1-69 所示。

目前，几乎所有的快速充电控制器都采用大电流恒流充电，充电速率在 1C~4C 之间，同时采用一种或多种快速充电终止方法。虽然这些方法可以保证电池安全充电，但是充电终止后，电池容量达不到额定容量。图 1-70 给出了镍氢电池快速充电特性，起始充电速率为 4C。从理论上讲，充电速率为 4C，充足电的时间应为 15min，但实际情况远非如此。应当注意，当充电速率为 4C 时，电池可接受的电量将下降到 40% 左右。同时，多余的电量将变成热量，使电池的温度很快上升 15°C，在这样高的温升下，充电器的充电速率必须下降到 C/10。采用 C/10 充电速率，还需要 6~7 小时，电池容量才能达到额定容量。因此用户采用这种充电器时，通常电池只能恢复到额定容量的 80%。

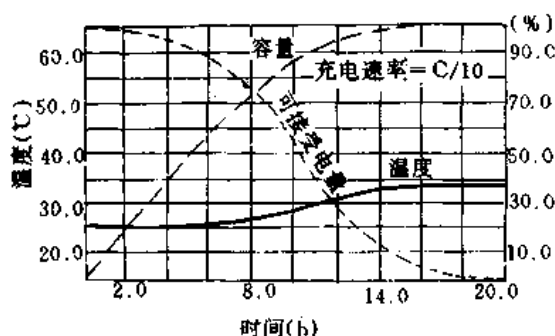


图 1-69 镍氢电池常规充电特性

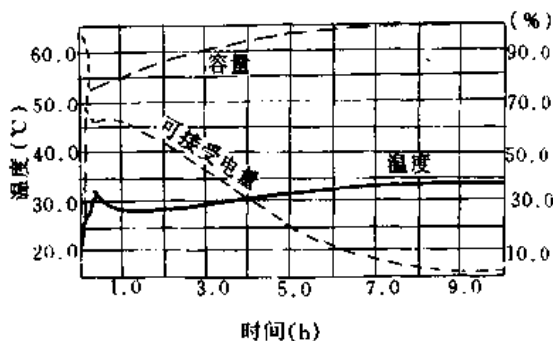


图 1-70 镍氢电池快速充电特性

伺服充电控制器 UCC3905 控制恒流源对电池充电，使电池很快达到“象征性”充足电，然后通过适当的电池温度控制，在很短的补足充电时间内，使电池电量真正达到额定容量。改变输出脉冲占空比，可以改变充电速率，从而改变充电状态，最终使电池真正充足电。

1.8.3 UCC3905 的充电状态

UCC3905 组成的充电器有五种不同的充电状态，如图 1-71 所示，下面分别介绍。

1. 关断状态

在关断状态下，充电器等待开始充电的指令。在该状态下，没有电流充入电池。此外，在充电过程中，当发生故障（电池的电压和温度超出规定范围）或者充电器在预充电状态的时间超出规定值时，充电器都自动转入关断状态。

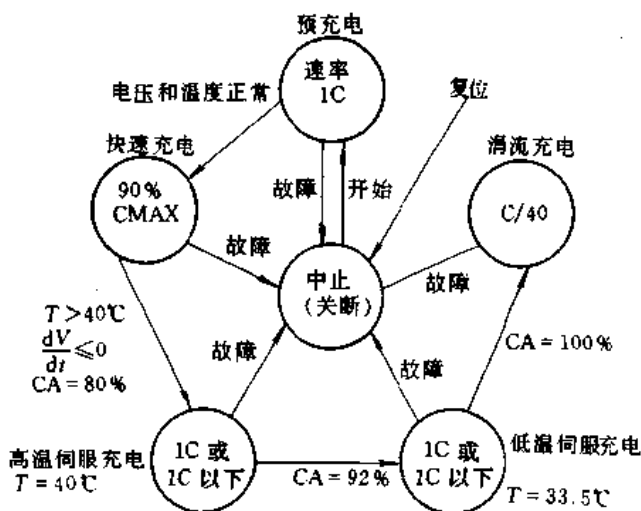


图 1-71 UCC3905 的充电状态

规定的电池电压和温度的范围是：电池电压不小于 0.9V 或不大于 2.0V，电池温度不低于 0°C 或不高于 50°C。

当 START 脚接地、电池插入充电器或再次接通 UCC3905 的电源使充电器自动复位后，关断状态自动转入预充电状态。

2. 预充电状态

在预充电状态下，充电速率由电池的温度 T_B 决定。当 $0^\circ\text{C} < T_B < 10^\circ\text{C}$ 时，充电速率为 $C/40$ ；当 $10^\circ\text{C} < T_B < 15^\circ\text{C}$ 或 $40^\circ\text{C} < T_B < 50^\circ\text{C}$ 时，充电速率为 $C/10$ ，当 $15^\circ\text{C} < T_B < 40^\circ\text{C}$ 时，充电速率为 $1C$ 。

在预充电状态中，充电器将按以上充电速率对电池充电，一直到电池的电压和温度进入非故障范围内。此时，充电器进入下一个充电状态。如果在一定的时间内，电池的电压和温度不能进入非故障范围内，充电器将进入关断状态。

3. 快速充电状态

在快速充电状态下，充电速率为设定最大充电速率的 90%，即 $0.9C_{\max}$ ，此时充电占空比是固定的，充电时间为 9s，停止充电时间为 1s。在充电停止时间内，连续检测电池电压、电压变化率 dV/dt 和电池温度，并且当发生以下情况时，转入下一种充电状态：

两次测试之间，电池电压变化率 dV/dt 变为零或者变为负值；

电池温度超过 40°C ；

电荷累加器判断出电池的容量已经达到额定容量的 80%。

4. 高温伺服充电状态

在该状态下，通过调整充电电流的占空比，电池的温度将保持在 40°C 。充电时间为 1s，充电电流幅值为 C_{\max} ，充电停止时间不低于 $(C_{\max} - 1)\text{s}$ ，有效充电速率为 $1C$ 。如果要求电池温度保持 40°C ，充电停止时间将延长，从而减小有效充电速率。当电荷累加器判断电池的容量增加 12%（即达到额定容量的 92%）时，充电器转入下一个充电状态。

5. 低温伺服充电状态

在此状态下，充电时间和充电电流幅值与高温伺服充电状态完全相同，但是为了使电池温度保持在 33.5°C ，充电停止时间将延长。在该状态下，当电荷累加器判断出电池容量增加 8%（即达到额定容量）时，充电器转入下一个充电状态。

6. 涓流充电状态（维护充电状态）

在该充电状态下，充电器输出涓流充电电流，以补充蓄电池因自放电而损失的电量，使蓄电池始终保持充足电状态。在这种状态下，充电时间为 1s，充电电流幅值仍为 C_{\max} ，充电停止时间为 $40(C_{\max} - 1)\text{s}$ ，有效充电速率为 $C/40$ 。只要电池不出现故障状态，这种充电状态就一直持续下去。

应当说明，在以上各种充电状态下，若电池出现故障状态 ($0.9\text{V} > V_B$ 或 $V_B > 2.0\text{V}$ ， $0^\circ\text{C} > T_B$ 或 $T_B > 50^\circ\text{C}$)，充电器都会立即转入关断状态。

充电电流占空比（充电时间/停充时间）如表 1-25 所列。

采用上述充电程序时，充电特性曲线如图 1-72 所示，从该图可以看出，在大约 15min 内，电池容量可以恢复到额定容量的 80%，在 3~4h 的伺服充电过程中，电池容量可达到额定容量。采用其他充电法时，从额定容量的 80% 到充足电需要 8~9h。

表 1-25 充电电流占空比

设定的 C_{max}	平均电流				单位
	C_{max}	C	$C/10$	$C/40$	
C	9/1	1/1	1/9	1/39	s/s
2C	9/1	1/1	1/19	1/79	s/s
4C	9/1	1/3	1/39	1/159	s/s
6C	9/1	1/5	1/59	1/239	s/s

1.8.4 采用 UCC3905 的开关型充电器

UCC3905 组成的开关型充电器实际电路如图 1-73 所示。

该充电器采用单端反激式开关电源，PWM 控制器 UC3842（也可采用其它 PWM 控制器）控制功率 MOSFET 的导通时间。充电器的输出电压和电流通过光电耦合器反馈到 UC3842 反馈控制端，改变 UC3842 输出脉冲的宽度，进而控制电池的充电电流。

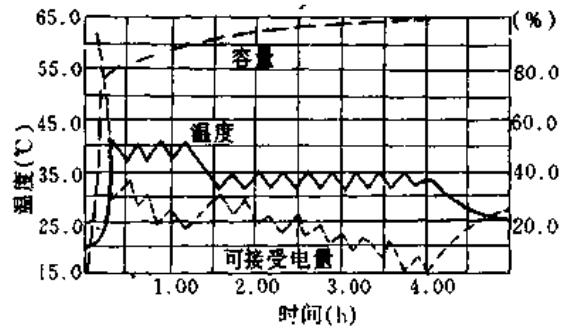


图 1-72 UCC3905 的快速充电特性

使用该充电器时，为了能正确检测单体电池的电压，应首先根据串联电池数，决定 R_1 、 R_2 和 R_3 脚的接法，然后根据要求的最高充电速率 C_{max} 决定 D_1 、 D_2 的接法。电池的温度由装在电池组内的 $10k\Omega$ 热敏电阻检测。START 脚外接一只开关，开关闭合后，充电器进入充电状态，然后，根据检测出的电池电压和温度转入各种充电状态。

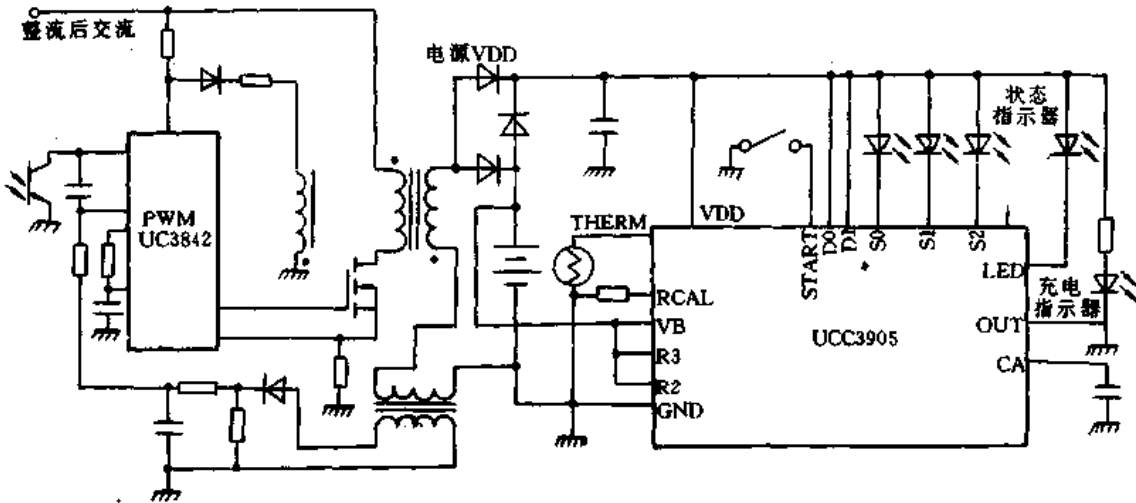


图 1-73 UCC3905 组成的开关型充电器

第二章 密封铅酸蓄电池智能快速充电器

2.1 密封铅酸蓄电池

铅酸蓄电池具有价格低廉、供电可靠、电压稳定等优点，因此广泛应用于国防、通信、铁路、交通、工农业生产等部门。但是普通铅酸蓄电池在使用过程中，需要经常加水、补酸，而且还会产生腐蚀性气体，污染环境，损伤人体和设备。近年来，许多先进国家已停止生产和销售普通铅酸蓄电池。

全密封免维护铅酸蓄电池具有密封好、无泄露、无污染等优点，能够保证人体和各种用电设备的安全，而且在整个寿命期间，无需任何维护，从而揭开了铅酸蓄电池发展历史新的一页。近年来，在国内外得到广泛应用。众所周知，通信设备一般都采用免维护电池作备用电源，许多电子设备必须的不间断电源系统（UPS）也离不开免维护电池，在太阳能供电和风力发电系统中，免维护电池是非常重要的组成部分，此外在应急灯、矿灯、汽车、摩托车中，也越来越多地选用免维护电池。目前，由于充电技术不能适应免维护电池的特殊要求，严重影响电池的寿命。国内外多年来的实践证明，免维护电池浮充电压偏差 5%，电池的浮充寿命将减少一半。国内通信设备和 UPS 中的免维护电池很难达到规定的浮充寿命（12~16 年），大量的免维护电池用几年后即报废，造成巨大的经济损失。在其他方面，由于充电方法不正确，免维护电池也很难达到规定的循环寿命。

2.1.1 密封免维护铅酸蓄电池的结构

全密封免维护铅酸蓄电池由正负极板、隔板、电解液、安全阀、气塞、外壳等部分组成，如图 2-1 所示。正负极板均采用涂浆式极板，活性材料涂在特制的铅钙合金骨架上。这种极板的耐酸性强，导电性好，寿命较长，自放电速率也较小。隔板采用超细玻璃纤维制成，全部电解液吸附在极板和隔板中，电池内没有流动的电解液，即使外壳破裂，电池也能正常工作。电池顶部装有安全阀，当电池内部气压达到一定数值时，安全阀自动开启，排出多余气体；电池内气压低于一定数值时，安全阀自动关闭。顶盖上还有内装陶瓷过滤器的气塞，它可以防止酸雾从蓄电池中逸出。正负极接线端子用铅合金制成，采用全密封结构，并用沥青封口。

在免维护电池中，电解液全部吸附在隔板和

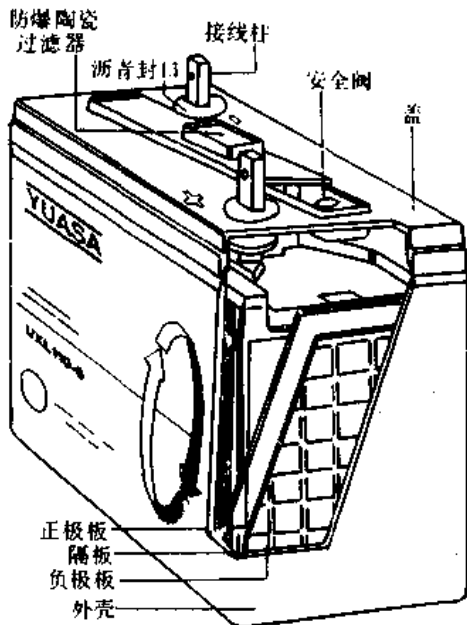


图 2-1 免维护铅酸蓄电池的结构

极板中，负极活性物质（海棉状铅）在潮湿的条件下活性很高，能与氧气快速反应。充电过程中，正极板产生的氧气通过隔板扩散到负极板，与负极板活性物质快速反应，化合成水。因此，在整个使用过程中，不需要加水补酸。

2.1.2 密封铅酸蓄电池的充电特性

容量和寿命是蓄电池的重要参数，如前所述，蓄电池的容量（C）指的是：采用规定的放电速率（通常为10小时放电率），充足电的电池能够放出的安时数。蓄电池的额定容量（C）通常作为电池充放电速率的单位。例如，100Ah的蓄电池，采用20A电流充电时，充电速率为C/5，采用10A电流放电时，放电速率就是C/10。蓄电池的寿命通常分为循环寿命和浮充寿命两种。蓄电池的容量减小到规定值以前，蓄电池的充放电循环次数称为循环寿命。在正常维护条件下，蓄电池浮充供电的时间，称为浮充寿命。通常免维护电池的浮充寿命可达10年以上。

电池充电通常要完成两个任务，首先是尽可能快地使电池恢复额定容量，另一个任务是用涓流充电补充电池因自放电而损失的电量，以维持电池的额定容量。在充电过程中，铅酸电池负极板上的硫酸铅逐渐变为铅，正极板上的硫酸铅逐渐变为二氧化铅。当正负极板上的硫酸铅完全变成铅和二氧化铅后，电池开始发生过充电反应，产生氢气和氧气。这样，在非密封铅酸蓄电池中，电解液中的水将逐渐减少。在密封铅酸蓄电池中，采用中等充电速率时，氢气和氧气能够重新化合为水。

过充电开始的时间与充电速率有关。当充电速率大于C/5时，电池容量恢复到放出容量的80%以前，即开始过充电反应，如图2-2所示。只有充电速率小于C/100，才能使电池容量恢复到100%后，才开始过充电反应。由图2-2还可以看出，采用较大充电速率时，为了使电池容量恢复到100%，必须允许一定的过充电反应。过充电反应发生后，单格电池的电压迅速上升，达到一定数值后，上升速率减小，然后电池电压开始缓慢下降。由此可知，电池充足电后，维持电池容量的最佳方法是在电池组两端加入恒定的电压。这就是说，电池充足电后，充电器应输出恒定的浮充电压。在浮充状态下，充入电池的电流应能补充电池因自放电而失去的电量。浮充电压不能过高，以免因严重过充电而缩短电池的寿命。采用适当的浮充电压，免维护铅酸蓄电池的浮充寿命可达10年以上。实践证明，实际的浮充电压与规定的浮充电压相差5%时，免维护蓄电池的寿命将缩短一半。

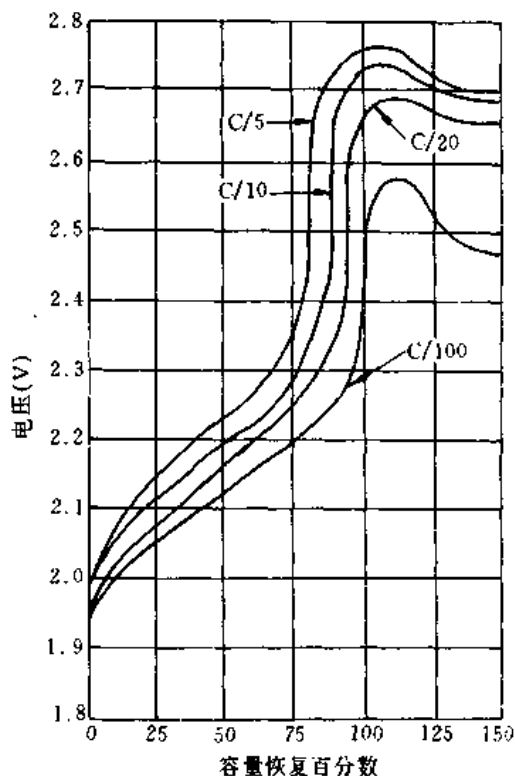


图 2-2 铅酸蓄电池充电特性

由铅酸蓄电池的电压与温度的关系可知，温度每升高1°C，单格电池的电压将下降4mV。也就是说，铅酸电池的电压具有负温度

系数，其值为 $-4\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。由此可知，环境温度为 25°C 时，工作很理想的充电器，当环境温度降到 0°C 时，电池就不能充足电，当环境温度升到 50°C 时，电池将因严重过充电而缩短寿命。因此，为了保证在很宽的温度范围内，都能使电池刚好充足电，充电器的各种转换电压必须随电池电压的温度系数而变。

2.2 密封铅酸蓄电池充电控制器

目前，世界各国的半导体厂商已推出许多铅酸蓄电池充电器专用集成电路，这里选择具有代表性的 UC3906、UC3909 和 bq2031 作一简要介绍。

2.2.1 密封铅酸蓄电池线性充电控制器 UC3906

UC3906 具有密封铅酸蓄电池充电所需的全部控制和检测功能。用 UC3906 制作的充电器，在各种条件下，均能保证电池充足电，并能保证电池的寿命不受影响。

1. UC3906 基本工作原理

UC3906 内部框图如图 2-3 所示。该芯片内含有独立的电压控制回路和限流放大器，它可以控制芯片内的驱动器。该驱动器的输出电流可达 25mA ，可直接驱动外部串联调整管，从而调整充电器的输出电压和电流。电压和电流取样比较器用来检测蓄电池的充电

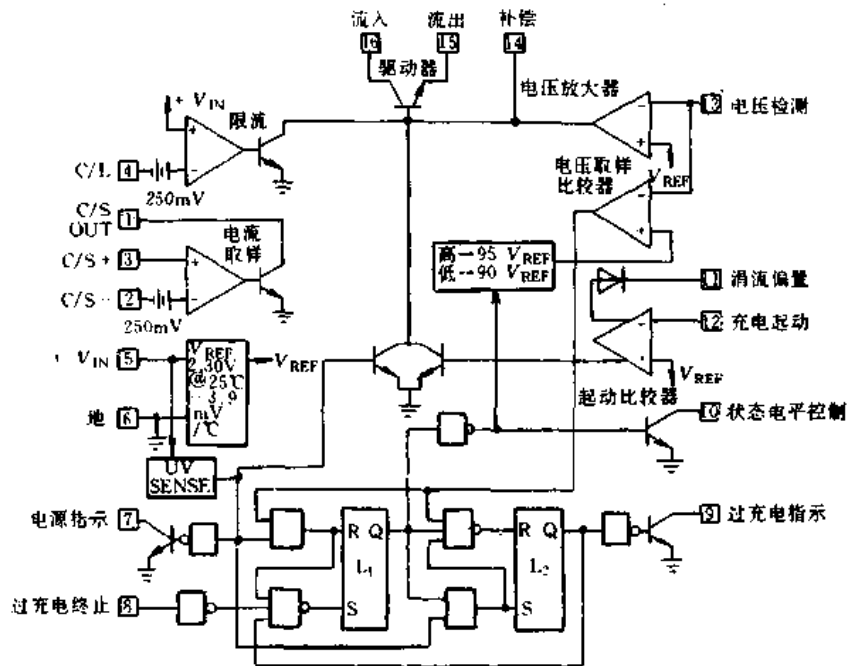


图 2-3 UC3906 内部框图

状态，并且控制充电状态逻辑电路的输入信号。当电池电压或温度过低时，充电启动比较器控制充电器进入涓流充电状态。另外，当芯片内的驱动器无输出时，该比较器还能输出 25mA 涓流充电电流。这样，当电池短路或反接时，充电器开始只能输出很小的充电

电流，可以避免因充电电流过大而损坏电池。

UC3906 的一个非常重要的特性是：基准电压随环境温度而变，并且变化规律与铅酸电池电压的温度特性完全一致。UC3906 内部基准电压的温度特性如图 2-4 所示。因此，在很宽的温度范围（0~70°C）内，都能精确地检测环境温度，保证电池既充足电又不会严重过充电。UC3906 的电源电流只有 1.7mA，芯片的功耗很小。该芯片中，还有欠压检测电路。当电源接通后，欠压检测电路还能使逻辑电路输出信号，指示输入电源已经接通。

在过充电终止输入端加入控制信号，可以终止过充电状态，在过充电指示输出端加入外接元件，可以监控电池的过充电状态。

2. UC3906 管脚排列及引脚功能

UC3906 管脚排列如图 2-5 所示，管脚功能如表 2-1 所列。

3. UC3906 的主要参数

UC3906 的主要参数如表 2-2 所列。

表 2-1 UC3906 引脚功能

引脚	名称	功能描述
1脚	C/S OUT	电流取样放大器输出端
2脚	C/S-	电流放大器反相输入端
3脚	C/S+	电流放大器同相输入端
4脚	C/L	限流比较器反相输入端
5脚	+V _{IN}	输入电源正极
6脚	GROUND	接地端
7脚	POWER INDICATE	电源指示
8脚	OVER-CHARGE TERMINATE	过充电终止
9脚	OVER-CHARGE INDICATE	过充电指示
10脚	STATE LEVEL CONTROL	状态电平控制
11脚	TRICKLE BIAS	涓流输出
12脚	CHARGE ENABLE	启动比较器反相输入端
13脚	VOLTAGE SENSE	电压取样
14脚	COMPENSATION	补偿
15脚	DRIVER SOURCE	驱动电流输出
16脚	DRIVER SINK	驱动电流输入

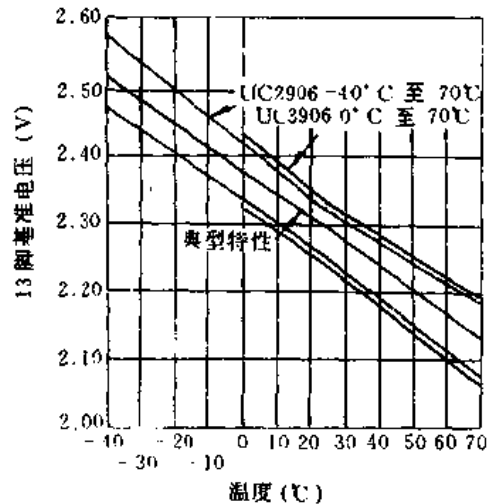


图 2-4 UC3906 基准电压的温度特性

表 2-2 UC3906 的电气参数

电源电压(+V _{IN})	40V
集电极开路输出电压	40V
放大器和比较器输入电压	-0.3~40V
过充电终止端输入电压	-0.3~40V
电流取样放大器输出电流	40mA
涓流输出端输出电流	40mA
驱动级最大输出电流	40mA
T _A = 25°C 时的功耗	1000mW
工作结温	-55~150°C
焊接温度(10)	300°C

2.2.2 开关型充电控制器 UC3909

1. 主要特点和额定值

利用 UC3909 充电控制器可以组成开关型铅酸电池快速充电器。该芯片内的电流型 PWM 电路,用以产生充电状态逻辑电平,该逻辑电平根据充电状态控制充电器的输出电压和电流。该芯片内的欠压封锁电路,保证只有电源电压足够高时充电器才能正常工作。

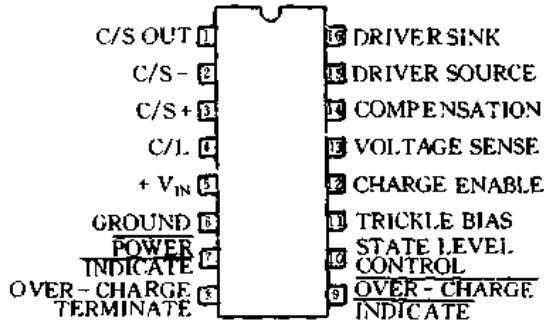


图 2-5 UC3906 管脚排列图

此外,该芯片还含有差动电流取样放大器、精度为 1% 的基准电压、 $-3.0\text{mV}/^\circ\text{C}$ 热敏电阻线性化电路、电压和电流误差放大器、PWM 振荡器、PWM 比较器、PWM 锁存器、充电状态译码器和一个 100mA 集电极开路输出驱动器。内部框图如图 2-6 所示。

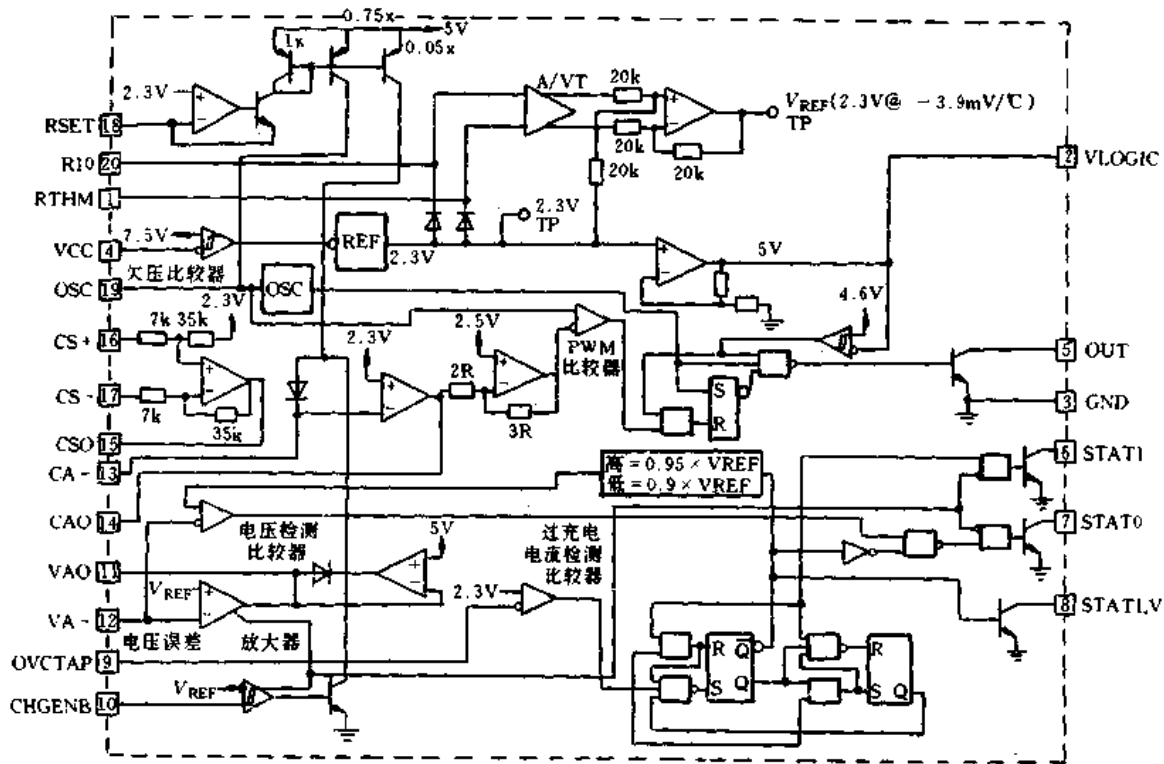


图 2-6 UC3909 内部框图

表 2-3 UC3909 极限参数

电源电压 (V_{cc})	40V
OUT, STAT0, STAT1 脚电压	40V
输出灌电流	0.1A
CS+ 和 CS- 脚电压	$0.4 \sim V_{cc}$

续表

其他脚电压	0.3~9V
存贮温度	-65~+150°C
结温	-55~+150°C
焊接温度 (焊接时间 10s)	+300°C

该芯片的极限参数如表 2-3 所列。

2. 管脚功能

UC3909 管脚排列如图 2-7 所示, 各管脚功能如表 2-4 所列。

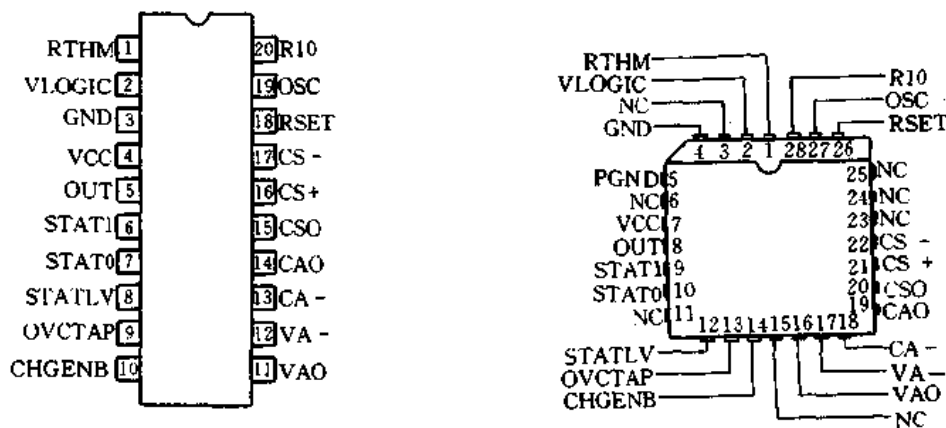


图 2-7 UC3909 管脚排列

表 2-4 UC3909 管脚功能定义

引脚	名称	功能描述
1	RTHM	该脚与接地脚之间应接入检测电池温度用的 10kΩ 热敏电阻。在整个工作温度范围内, 热敏电阻的阻值按指数规律变化。为了正确取样电池温度, 热敏电阻阻值的变化将使内部 2.3V 基准电压按 -3.9mV/°C 变化。
2	VLOGIC	精密基准电压, 其值为 5V±1%。该脚与接地脚之间应接入 0.1μF 电容器。
3	GND	接地脚, 该脚为内部基准电压和所有门限电压的基准点。集电极开路输出晶体管的发射极接到该脚。
4	VCC	电源电压输入脚。工作电压范围为 7.5~40V。该脚与接地脚之间应接入 1μF 旁路电容器。该脚输入电流 I_{CC} 与温度的关系如图 2-8 所示。
5	OUT	PWM 驱动器输出脚, 集电极开路晶体管的灌电流为 100mA。
6	STAT1	晶体管开路集电极输出端, 它是译码充电状态的第二译码位, 充电状态与 STAT1 和 STAT2 的关系如表 2-5 所列。
7	STAT0	晶体管开路集电极输出端, 对于逻辑 0 电平来说, 该脚输出电压为 0.2V。该输出端是译码充电状态的第一译码位。

续表

引脚	名称	功能描述
8	STATLV	充电器在浮充状态下, 该位为高电平。
9	OVCTAP	过充电电流检测比较器输入脚。在过充电状态下, 当输出电流逐渐减小到浮充门限值时, 该比较器输出控制信号。
10	CHGENB	充电器启动比较器输入。当电池电压较低时, 该比较器使充电器进入涪流充电状态。该比较器可使电压误差放大器变为高阻抗输出, 使 $10\mu\text{A}$ 的固定电流流入 CA- 脚, 从而设定涪流充电电流。
11	VAO	电压误差放大器输出端, 该放大器输出电压箝位在 5V 。
12	VA-	电压误差放大器的反相输入端。
13	CA-	电流误差放大器反相输入端。
14	CAO	电流误差放大器输出。在芯片内部, 该脚电压箝位在 4V , 该脚在芯片内部与 PWM 比较器反相输入端相连。
15	CSO	电流取样放大器的输出, 该脚输出电压在内部被箝位在 5.7V 。
16	CS+	电流取样放大器同相输入, 电流取样放大器的固定增益为 5。
17	CS-	电流取样放大器反相输入。
18	RSET	该脚与接地脚之间应接入一只电阻, 以便设置振荡器的充电电流和振荡器涪流控制电流。振荡器充电电流约为 $1.75/R_{\text{SET}}$, 振荡器涪流控制电流约为 $0.115/R_{\text{SET}}$ 。
19	OSC	振荡器斜坡电压控制脚。在该脚与接地脚之间应接一电容器 C_T , 振荡器斜坡电压应在 1.0V 到 3V 之间变化。振荡频率可由下式计算: $f = \frac{1}{1.2 \times C_T \times R_{\text{SET}}}$ 。
20	R10	该脚与接地脚之间应接入一只 $10\text{k}\Omega$ 电阻, 以便产生修正热敏电阻因温度变化而产生的电压差。

2.2.3 铅酸蓄电池快速充电控制器 bq2031

1. 概述

单片 CMOS 集成电路 bq2031 能够完成铅酸蓄电池的充电控制。脉宽调制稳压器可以采用恒压或恒流方式对电池充电。开关稳压器的的工作频率由外接元件设定, 设定适当的开关频率可减小射频干扰。当充电电流较大时, 充电器主回路应采用开关稳压器, 这样可以减小充电器调整元件的功耗, 提高充电器的效率。

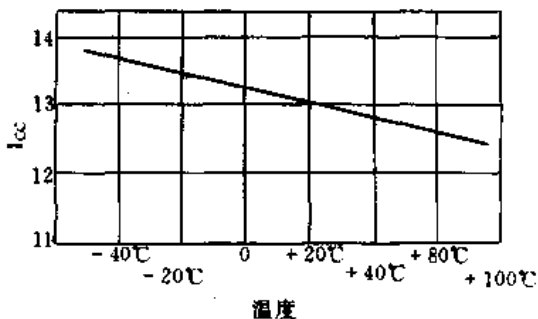


图 2-8 I_{cc} 与温度的关系

各种门限电压均随温度而改变, 因此电池采用恒压充电时, 在很宽的温度范围内, 电池可以连续涪充, 这样可以延长电池的寿命。

接通电源并接入电池后, 充电器首先检

测电池的电压和温度。若电池电压和温度低于规定的门限值，bq2031 控制充电器先对电池涓流充电。当电池的电压和温度达到规定值以后，充电器自动转入大电流快速充电，这样可避免过放电的电池因充电电流过大而损坏。

bq2031 组成的充电器可以根据电池电压和充电电流自动转换充电状态。采用两阶段恒压充电模式时，有两种充电状态。一种是恒压限流快速充电状态，在这种状态下，电池的容量将恢复到额定容量的 80%；另一种充电状态是恒压补足充电状态，在这种状态下，电池将恢复额定容量。同时，由于采用了温度补偿浮充电压，所以在整个浮充供电过程中，电池始终处于充足电状态。

采用双电平恒流充电模式时，也有两种充电状态：恒流快速充电状态和稳压涓流维护充电状态。bq2031 采用最长充电时间 (MTO) 来终止充电状态。定时时间由外接 RC 元件的时间常数决定。bq2031 在恒流型充电状态下，为了延长电池寿命，采用电池电压二阶负增量 $-\Delta^2V$ 终止法。同时，为了延长浮充寿命，维护状态采用脉冲充电。

在欠压状态下，充电时间终止计数器可用来指示故障状态。在故障状态下，电池不能达到额定电压。

应根据电池的要求，预先设定电池温度门限（包括高温和低温门限值）。电池温度超出规定的门限值后，充电器进入等待充电状态。当电池温度在规定的门限值以内时，充电器开始快速充电。在温度取样输入脚 (TS) 加入外部控制信号，可以封锁或暂停充电。

超过电池的各种门限值时，快速充电状态终止，并且立即转入浮充状态。终止快速充电的主要方法有：

- 最高门限电压 (V_{MLK})；
- 电池电压二阶负增量 ($-\Delta^2V$)；
- 最小终止电流 (MCI)；
- 最长充电时间 (MTO)；
- 最高终止电压 (MCV)。

三个充电状态指示输出脚 $\text{LED}_{1\sim 3}$ 直接接发光二极管，可以指示以下充电状态：

- 待充电状态；
- 充电状态；
- 充电结束；
- 故障状态。

充电模式、充电终止方法和各种电压电流门限值，都要根据电池制造厂的要求来设定。

bq2031 内部由通电复位电路、温度补偿基准电压、最长充电时间定时器、充电状态控制器、电压/电流调整器、振荡器和显示控制电路等部分组成，如图 2-9 所示。

2. 管脚功能

bq2031 采用 16 脚窄 DIP 封装或 SOIC 封装，管脚排列如图 2-10 所示。各脚名称及功能如表 2-6 所列。

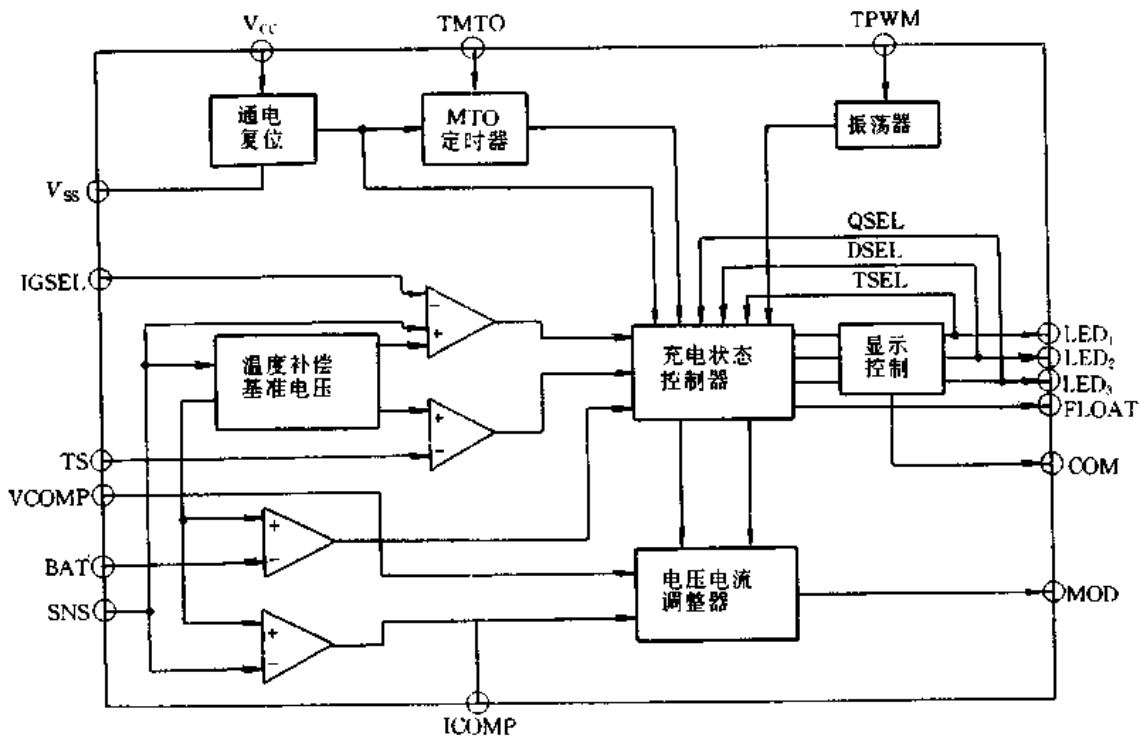


图 2-9 bq2031 内部框图

3. 参数定义

I_{MAX} : 最大充电电流, $I_{MAX} = 0.250V/R_{SNS}$ 。

I_{MIN} : 补足充电或涓流维护充电的最小电流。

I_{COND} : 调整状态电流门限值, $I_{COND} = I_{MAX}/5$ 。

I_{SNS} : 充电电流取样输入脚(SNS)的电流。

V_{BLK} : 最高门限电压。恒压补足充电的稳定电压或快速充电的终止电压。

V_{PLT} : 温度补偿浮充电压。

V_{BAT} : 单体电池输入脚(BAT)的电压。

V_{SNS} : 充电电流取样输入脚(SNS)的电压。

V_{TEMP} : 温度取样输入脚(TS)的电压。

V_{CELL} : 单体电池的电压, $V_{CELL} = V_{BAT} - V_{SNS}$ 。

V_{REF} : 内部温度补偿基准电压。

V_{HTF} : 高温故障电压。当温度取样输入脚(TS)的电压 V_{TEMP} 达到此值时, 电池暂时停止充电。当 V_{TEMP} 低于 V_{HTF} 后, 电池重新开始充电。

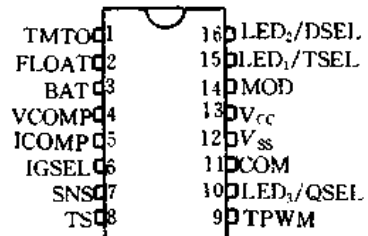


图 2-10 bq2031 管脚图

表 2-6 bq2031 管脚功能

引脚	名称	功能描述
1	TMTO	定时关断时基输入端,用于确定最长充电时间,在 V_{CC} 脚与该脚之间应接入定时电阻 R_{MTO} ,在该脚与 V_{SS} 脚之间应接入定时电容 C_{MTO} 。
2	FLOAT	状态控制器输出。该脚为开漏极输出,外接分压网络,以控制浮充单体电池电压门限。
3	BAT	单体电池电压输入。该脚应加入电池组的单体电池电压。为此,在电池组的正极和负极之间应接入电阻分压网络。
4	VCOMP	电压补偿输出。为了提高电压回路的稳定性,该脚应外接补偿电容。
5	IGSEL	电流增益选择。为了设定要求的 I_{MIN} ,该脚应外接电阻。
6	ICOMP	电流补偿输出。为了提高电流回路的稳定性,该脚应外接补偿电容。
7	SNS	充电电流取样输入。该脚和 V_{SS} 脚之间应接入电流取样电阻 R_{SNS} 。取样电阻两端的电压控制开关控制器的占空比,以调整充电电流。
8	TS	温度取样输入。该脚应接电池温度监控热敏电阻或电池温度检测器,外接电阻和装在电池内的热敏电阻组成的网络,用来设定最低和最高温度门限值。
9	TPWM	时基调整输入。该脚外接定时电容器,用于设定脉宽调制器(PWM)的频率。
10	QSEL	恒压、恒流充电模式选择输入。用来选择恒压充电模式或恒流充电模式。
11	COM	LED 公共输出端。该脚为发光管 LED_{1-3} 的公共输出端,当开始读出程序时,该端为高阻抗。
12	V_{SS}	接地脚。
13	V_{CC}	输入电源电压。输入电源电压为 $5.0V \pm 10\%$ 。
14	MOD	电流开关控制输出。MOD 用来控制电池的充电电流,MOD 脚为高电平时,电池充电,MOD 脚为低电平时,电池停止充电。
15,16,10	LED_{1-3}	充电状态指示输出。可直接驱动 LED,显示各种充电状态。
15	TSEL	终止方法选择,可编程,用于选择恒流快速充电终止方法。
16	DSEL	显示选择,可编程,三态输入,控制 LED_{1-3} 以显示充电状态。

V_{LTF} : 低温故障电压。当 V_{TEMP} 达到此值时,暂停充电,当 V_{TEMP} 高于 V_{LTF} 后,电池重新开始充电。

V_{TCO} : 高温关断电压,内部设定为 $0.4V_{CC}$ 。

V_{MIN} : 开始快速充电的最低电压。如果单体电池的电压 V_{CELL} 低于 V_{MIN} ,就不能开始快速充电。

V_{MCV} : 最高单体电池电压。单体电池电压 V_{CELL} 高于 V_{MCV} 时,可能是电池未接入,也可能是存在过压故障。

4. 主要功能

(1) 充电模式

恒压/恒流选择脚 QSEL 和快速充电终止方法选择脚 TSEL 的接法不同, bq2031 可以采用多种充电模式和快速充电终止方法。采用两级恒压限流充电模式时, bq2031 使电池电压保持与充电状态无关的恒定数值。两阶段恒压限流充电模式的充电曲线和各种电压门限如图 2-11 所示,当电源电压加到 V_{CC} 脚并且接入电池后,充电过程开始。bq2031 时刻都在检测电池温度,当 TS 脚电压在 LTF (低温故障) 和 HTF (高温故障) 之间时,充电器进入预充电过程。在此过程中,充电电流保持较小的恒定数值 (I_{COND}), 电池电压

迅速上升，当单体电池的电压上升到快速充电允许的最低电压 V_{MIN} 时，充电器转入快速充电状态。在快速充电状态下，充电电流限制在最大值 I_{MAX} 以下。当单体电池电压达到快速充电终止电压 V_{BLK} 的 0.94 倍时，电池的容量已经达到额定容量的 80% 以上，此时，充电器转入补足充电状态。在补足充电状态下，限流充电一直持续到电池电压 V_{CELL} 等于

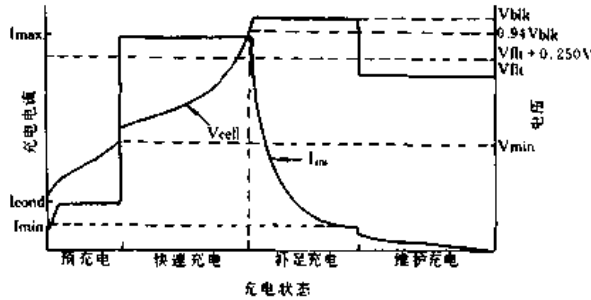


图 2-11 两阶段恒压限流充电曲线

快速充电终止电压 V_{BLK} 。然后，电池电压稳定在 V_{BLK} ，充电电流按指数规律逐渐减小。当充电电流 (I_{SNS}) 下降到外部设定的补足充电最小电流 I_{MIN} 时，补足充电状态结束。采用恒压限流充电模式时，充电安全定时器 (MTO) 可以终止快速充电和补足充电状态。进入补足充电状态后，充电定时器 (MTO) 复位。达到规定的时间后，MTO 终止补足充电，充电器转入维护充电状态。在该状态下，电池电压维持在浮充电压 (V_{FLT})。各种充电状态的代码如表 2-5 所列。

恒压充电模式的优点是：能够根据电池的充电状态，自动调整电池的充电电流，并且所有电压值都具有温度补偿。恒压充电模式适用于循环充电和浮充充电。在快速充电状态下，充电器输出较高的恒定电压，然后下降到温度补偿浮充电压。

两阶段恒流充电模式的充电曲线如图 2-12 所示。采用恒流充电模式时，预充电后，充电器以较高的充电速率（充电电流为 I_{MAX} ）对电池充电，一直到电池电压上升到接近充足电电压，当单体电池的电压 V_{CELL} 等于或大于快速充电终止电压 V_{BLK} 时，快速充电终止，然后转入维护充电状态。在该状态下，充电电流稳定在涓流充电电流 I_{MIN} 。

恒流脉冲充电模式的充电曲线如图 2-13 所示。采用该充电模式时，限流快速充电状态与上述恒流充电模式相同，但是充电电流不是连续电流。在充电过程中，当单体电池的电压 V_{CELL} 超过快速充电终止电压 V_{BLK} ，或者当单体电池电压的二阶增量 Δ^2V 小于零（即 $\Delta^2V < 0$ ）时，快速充电状态立即终止，充电器转入维护状态。在该状态下，充电电流为零 ($I_{SNS} = 0$)，因此，电池电压开始下降。当单体电池的电压低于或等于设定的浮充电压 V_{FLT} 时，快速充电状态重新开始，单体电池的电压 V_{CELL} 迅速上升，当 V_{CELL} 等于 V_{BLK} 或者 V_{CELL} 的二阶增量小于零（即 $\Delta^2V < 0$ ）时，充电器又转入维护状态，单体电池电压 V_{CELL} 缓慢下降到浮充电压 V_{FLT} 。此后，重复上述过程。在整个充电过程中，快速充电电流脉冲的宽度逐渐减小，维护充电状态持续的时间逐渐增加。应当说明，在快速充电状态下，定时器 (MTO) 能够终止快速充电状态。

表 2-5 充电状态译码表

充电状态	状态 1	状态 2
涓流充电	0	0
大电流快速充电	0	1
过充电	1	0
浮充充电	1	1

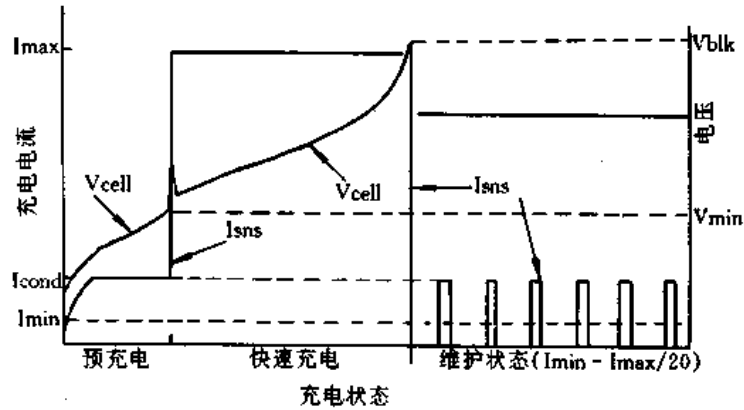


图 2-12 两阶段恒流充电模式的充电曲线

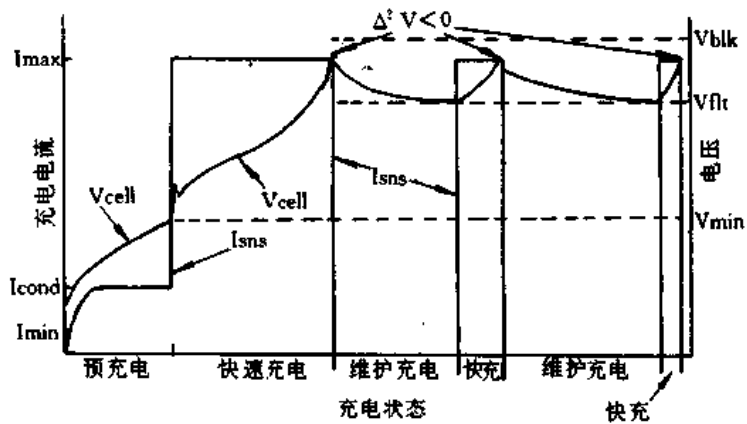


图 2-13 恒流脉冲充电模式充电曲线

(2) 充电终止方法

根据充电模式选择脚 QSEL 和充电终止方法选择脚 TSEL 所加电压的不同 (高电平“1” = V_{CC} , 低电平“0” = V_{SS}), 各种充电状态具有不同的终止方法, 如表 2-7 所列。

表 2-7 各种充电状态终止方法

充电模式	QSEL	TSEL	快速充电终止法	补足充电终止法	维护充电
恒 压	0	1/0	V_{BLK} , MTO	I_{MIN} , MTO	电压稳定在 V_{FLT}
脉冲恒流	1	1	V_{BLK} , $-\Delta^2V$, MTO	I_{MIN} , MTO	脉冲电流幅值稳定在 I_{MAX}
恒 流	1	0	V_{BLK} , $-\Delta^2V$, MTO	I_{MIN} , MTO	充电电流稳定在 I_{COND}

最高电压 (V_{BLK}) 终止法 采用恒流或恒压限流充电模式时, 通常采用最高电压 (V_{BLK}) 终止法。采用恒流充电模式时, 当电池电压 V_{CELL} 超过最高电压 V_{BLK} 时, 快速充电状态立即终止。采用恒压充电模式时, 当 $V_{CELL} > 0.94 \times V_{BLK}$ 时, 快速充电状态转换为补足充电状态; 当 $V_{CELL} = V_{BLK}$ 时, 充电电压开始稳定在 V_{BLK} 。

单体电池电压二阶负增量 ($-\Delta^2V$) 终止法 这种方法只适用于恒流充电模式。bq2031 根据专利算法来计算二阶负增量。

最小关断电流 (MCI) 终止法 采用恒压充电模式时, 补足充电状态采用这种终止法。当充电电流下降到最小关断电流 (即 $I_{SNS} < I_{MIN}$) 时, 充电状态控制器终止补足充电状态, 充电器转入维护充电状态。

最长充电时间 (MTO) 终止法 所有恒压和恒流充电模式都可采用最长充电时间终止法。根据预充电状态、快速充电状态和补足充电状态下电池应接受的电量, 定时器设定最长充电时间。当预充电状态、快速充电状态和补足充电状态开始时, 最长充电时间定时器首先清零, 然后开始计时。当达到最长充电时间时, 快速充电或补足充电状态终止, 充电器转入维护充电状态, 这样可以避免电池过充电。

电压终止法封锁时间 快速充电状态刚开始时, 有一段封锁时间。在这段时间内, 最高电压 (V_{BLK}) 终止法和电池电压二阶负增量 ($-\Delta^2V$) 终止法不起作用。过放电的电池或严重硫化的电池刚开始充电时, 由于充电电流很大, 因此将产生很高的浪涌电压, 这样可能造成过早地终止快速充电状态。为了克服这个缺点, bq2031 中加入了电压检测封锁时间 ($t_{hold-off}$)。在封锁期间, 最高关断电压 (V_{MCV}) 也不起作用。应当说明, 采用恒流脉冲充电模式时, 只在第一个快速充电周期内加入电压检测封锁时间。

(3) 电压和温度限制

为了保证电池和充电器的安全, 充电开始以前, 电池的电压和温度必须在规定的范围内。温度取样脚 (TS) 输入电压 V_{TEMP} 与内部低温门限电压 V_{LTF} ($0.6 \times V_{CC}$)、高温门限电压 V_{HTF} ($0.4 \times V_{CC}$) 比较。充电过程开始时, V_{TEMP} 必须高于 V_{HTF} 并且小于 V_{LTF} 。如果电池温度超出这个范围, bq2031 将使充电器进入等待充电状态, 直到电池温度变化到规定范围内。设定温度门限值的电路如图 2-14 所示。

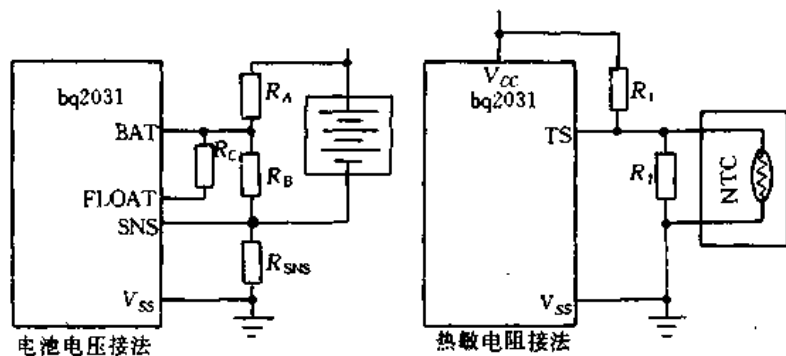


图 2-14 设定电池电压和温度门限值的电路

当电池电压 V_{CELL} 低于开始快速充电的最低电压 V_{MIN} 时, 电池不能开始快速充电。在电池过放电的情况下, $V_{CELL} < V_{MIN}$, 充电器将开始预充电 (调整) 过程。在预充电过程中, 充电器首先以恒定电压 ($V_{FLT} + 0.250V$) 对电池充电。当电池充电电流 $I_{SNS} \geq I_{COND}$ 时, 恒压调整状态结束, 并立即转入恒流调整状态。在恒压调整状态下, 如果 $I_{SNS} < I_{COND}$, 说明电池有故障, 充电过程应当停止。在恒流调整状态下, 充电器输出恒定电流, 电池电压逐渐升高。当单体电池的电压 V_{CELL} 高于 V_{MIN} 时, 恒流调整状态终止, 充电器开始快速充电。

(4) 温度补偿

为了与铅酸电池电压的温度系数相适应, bq2031 内含有精确的温度补偿基准电压, 因此, 在很宽的温度范围内, 充电器能够及时准确地调整各种充电状态。选择准确的浮充电压不仅可以避免电池过充电, 而且还能延长电池的寿命并能保证电池充足电。bq2031 可以根据电池的温度改变浮充电压, 从而改变电池的充电速率。内部基准电压的温度系数与铅酸电池的温度系数($-3.9\text{mV}/^\circ\text{C}$)完全一致。

(5) 充电状态指示

充电状态指示选择 (DSEL) 脚接入不同电平时, 各种充电状态均可由发光管 LED₁, LED₂ 和 LED₃ 指示, 如表 2-8 所列。

表 2-8 充电状态指示

状态	充电状态	LED ₁	LED ₂	LED ₃
DSEL = 0 (状态 1)	电池未接或过压故障	0	0	1
	充电调节 (有限制的预充电)	1/6s 0 1/6s 1	0	0
	快速充电或补足充电	1	0	0
	维护充电 (涓流充电)	0	1	0
	等待充电 (电池温度超出范围)	×	×	1/6s 0 1/6s 1
	充电故障 (过压或调节 MTO)	×	×	1
DSEL = 1 (状态 2)	电池未接或过压故障	0	0	1
	充电调节 (有限制的预充电)	1	1	0
	快速充电	0	1	0
	维护充电或补足充电	1	0	0
	等待充电 (温度超出规定范围)	×	×	1/6s 0 1/6s 1
	充电故障 (过压或调节 MTO)	×	×	1
DSEL 悬空 (状态 3)	电池未接或过压故障	0	0	1
	充电调节 (有限制的预充电)	1/6s 0 1/6s 1	1/6s 0 1/6s 1	0
	快速充电	0	1	0
	补足充电	1	1	0
	维护充电	1	0	0
	等待充电 (温度超出规定范围)	×	×	1/6s 0 1/6s 1
	充电故障 (过压或调节 MTO)	×	×	1

注: “1” = V_{CC} , “0” = V_{SS} , ×为发生故障时 LED 的状态。

应当说明, 在任何情况下, 若 BAT 脚的电池电压超过最高单体电池电压 ($0.6 \times V_{CC}$), LED₁ 和 LED₂ 将输出高电平, LED₃ 将输出低电平。

(6) 充电电流和电池电压控制

bq2031 通过 MOD 脚输出信号控制充电电流。由 bq2031 控制的开关型充电器原理电路如图 2-15 所示。

最大充电电流 I_{MAX} 由下式给出:

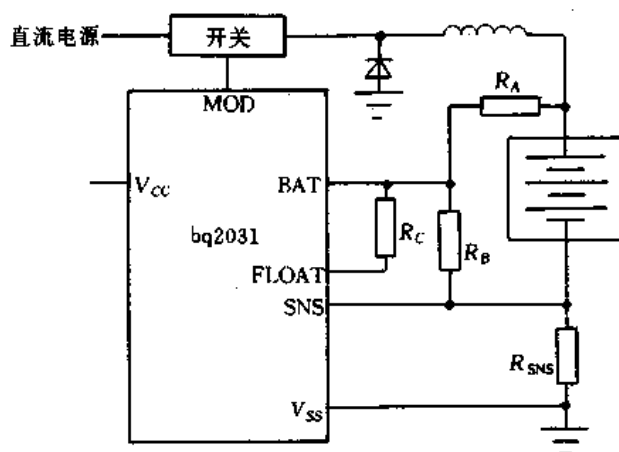


图 2-15 由 bq2031 控制的开关型充电器原理电路

$$I_{\text{MAX}} = \frac{0.275\text{V}}{R_{\text{SNS}}}$$

充电电流在电流取样电阻 R_{SNS} 两端产生的压降，加到充电电流取样输入脚 SNS。改变取样电阻 R_{SNS} 的阻值可以改变充电电流。

电池电压通过接在 BAT 脚的高阻抗分压网路检测，如图 2-15 所示。bq2031 通过改变状态控制输出 (FLOAT) 脚的阻抗来改变各种电压门限值。快速充电终止电压 V_{BLK} 可根据下式计算：

$$N \times V_{\text{BLK}} \times \frac{R_{\text{BP}}}{R_{\text{A}} + R_{\text{BP}}} = 2.30$$

式中， N 为电池组中单体电池数；

2.30V 为 bq2031 中的基准电压值；

$$R_{\text{BP}} = R_{\text{B}} \times \frac{R_{\text{C}}}{R_{\text{B}} + R_{\text{C}}}$$

温度补偿浮充电压 V_{FLT} 可根据下式计算：

$$N \times V_{\text{FLT}} \times \frac{R_{\text{B}}}{R_{\text{A}} + R_{\text{B}}} = 2.30$$

式中， N 为电池组中单体电池数；

2.30V 为 bq2031 中的基准电压值。

在实际应用中， $R_{\text{A}} + R_{\text{B}}$ 之值应在 $300\text{k}\Omega$ 和 $800\text{k}\Omega$ 之间。设计充电器时，应首先选择 $R_{\text{A}} = 200\text{k}\Omega$ 。然后将 R_{A} 的值和要求的浮充电压值代入 $N \times V_{\text{FLT}} = R_{\text{B}} / (R_{\text{A}} + R_{\text{B}}) = 2.30$ 中，即可计算出 R_{B} 。将 R_{A} 的值和要求的快速充电终止电压 V_{BLK} 代入 $N \times V_{\text{BLK}} \times R_{\text{BP}} / (R_{\text{A}} + R_{\text{BP}}) = 2.30$ 中，即可算出 R_{BP} 的阻值，再将 R_{BP} 和 R_{B} 的阻值代入 $R_{\text{BP}} = R_{\text{B}} \times R_{\text{C}} / (R_{\text{B}} + R_{\text{C}})$ 中，即可算出 R_{C} 。

(7) 开关频率和充电时间控制

bq2031 的 PWM 频率由 TPWM 脚外接电容 C_{PWM} 的容量决定，如图 2-16 所示。开关频率计算公式如下：

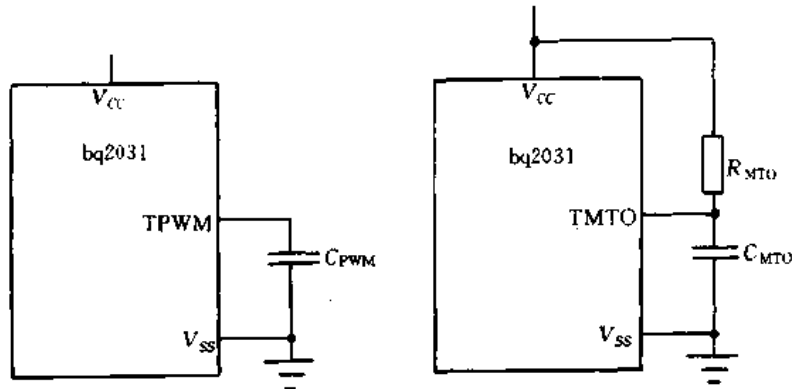


图 2-16 开关频率和充电时间控制电路

$$F_{PWM}(\text{kHz}) = \frac{1}{C_{PWM}(\mu\text{F})} \times 10^{-1}$$

当 C_{PWM} 的容量为 $0.001\mu\text{F}$ 时, 开关频率为 100kHz 。

安全充电时间由接在 V_{CC} 脚与 TMTO 脚之间的电阻 R_{MTO} 的阻值和接在 TMTO 脚与 V_{SS} 之间的电容 C_{MTO} 的容量决定, 如图 2-16 所示。采用固定电容器时, 充电时间与 R_{MTO} 的阻值成正比。安全充电时间 t_{MTO} 可由下式计算:

$$t_{MTO}(\text{h}) = R_{MTO}(\text{k}\Omega) \times C_{MTO}(\mu\text{F}) \times 10^{-1}$$

(8) 最小充电电流 (MCI) 选择

在恒压充电状态下, 充电电流降到最小值 I_{MIN} 时, bq2031 将终止快速充电状态。最小充电电流 I_{MIN} 由电流增益选择输入 (IGSEL) 脚的电压决定, 如图 2-17 所示。当 IGSEL 脚接入不同电平时, I_{MIN} 的值如表 2-9 所列。

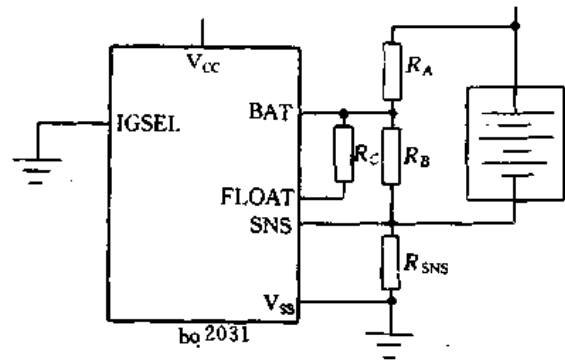


图 2-17 最小充电电流 I_{MIN} 设定电路

表 2-9 I_{MIN} 与 IGSEL 脚电压的关系

IGSEL	I_{MIN}
0	$I_{MAX}/10$
1	$I_{MAX}/20$
Z	$I_{MAX}/40$

5. 主要参数

(1) 极限参数

bq2031 极限参数值如表 2-10 所列。

(2) 直流门限电压

当环境温度 T_A 在规定范围内, 电源电压 $V_{CC} = 5V \pm 1\%$ 时, 各直流门限电压如表 2-11 所列。

表 2-10 bq2031 极限参数

符号	参 数	最小值	最大值	单位	注
V_{CC}	电源电压	-0.3	+7.0	V	
V_T	除 V_{CC} 和 V_{SS} 外任意脚电压	-0.3	+7.0	V	

续表

符号	参 数	最小值	最大值	单位	注
T_{OPR}	工作环境温度	-20	+70	°C	民品
		-40	+85	°C	工业品
T_{STG}	贮存温度	-55	+125	°C	
T_{SOLDER}	焊接温度		+260	°C	10s

表 2-11 直流门限电压值

符号	参 数	额定值	单位	公差	说明
V_{BEF}	内部基准电压	2.20	V	1%	$T_A=25^\circ\text{C}$
	基准电压温度系数	-3.9	mV/°C	10%	
V_{LTF}	TS 最高门限电压	$0.6 \times V_{CC}$	V	$\pm 0.03\text{V}$	低温故障
V_{HTF}	TS 最低门限电压	$0.44 \times V_{CC}$	V	$\pm 0.03\text{V}$	高温故障
V_{TCO}	最低关断电压	$0.4 \times V_{CC}$	V	$\pm 0.03\text{V}$	温度关断
V_{MCV}	最高关断电压	$0.6 \times V_{CC}$	V	$\pm 0.03\text{V}$	
V_{MIN}	BAT 脚最低电压	$0.34 \times V_{CC}$	V	$\pm 0.03\text{V}$	
V_{INT}	充电起始电压	0.8	V	$\pm 0.3\text{V}$	
V_{SNS}	电流取样脚电压	0.27	V	10%	最大值
		0.05	V	10%	最小值

2.3 铅酸蓄电池智能充电器

2.3.1 双电平浮充充电器

能够满足密封铅酸蓄电池充电要求的充电状态曲线如图 2-18 所示,完成这种充电功

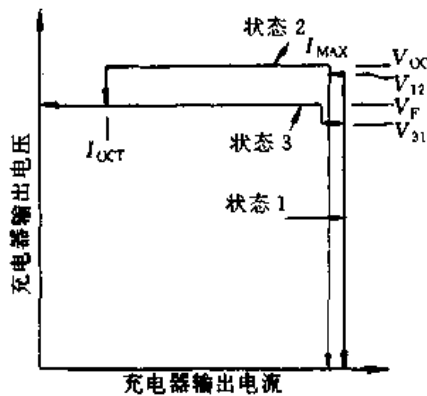


图 2-18 双电平浮充充电器充电状态曲线

能的充电器通常称为双电平浮充充电器。它有三种充电状态:大电流恒流充电状态、高电压恒压过充电状态和低电压恒压浮充状态。充电过程从大电流恒流充电状态开始,在这种状态下,充电器输出恒定的充电电流 I_{MAX} ,同时,充电器连续监控电池组两端电压。当电池电压达到转换电压 V_{12} 时,电池的电量已恢复到放出容量的 70%~90%,充电器转入过充电状态。在此状态下,充电器输出电压升高到 V_{OC} 。由于充电器输出电压保持恒定不变,所以充电电流连续下降。当充电电流下降到 I_{OCT} 时,电池的容量已达到额定容量的 100%,

充电器输出电压下降到较低的浮充电压 V_F 。

1. 基本功能

能够完成双电平浮充功能的充电器电路如图 2-19 所示。在各种状态下，充电器的输出电压和电流，均由外接电阻 R_S 、 R_A 、 R_B 和 R_C 决定。在给定电池组电压和容量的情况下，外接元件的数值可由以下各式计算：

$$V_{OC} = V_{REF}(1 + R_A/R_B + R_A/R_C)$$

$$V_F = V_{REF}(1 + R_A/R_B)$$

$$V_{12} = 0.95V_{OC}$$

$$V_{31} = 0.9V_F$$

$$I_{MAX} = 0.25V/R_S$$

$$I_{OCT} = 0.025V/R_S$$

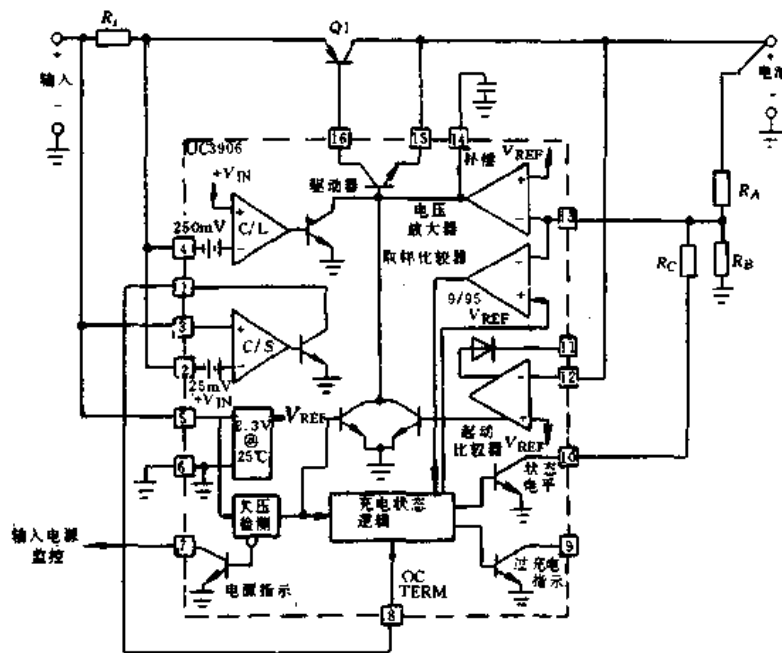


图 2-19 双电平浮充电器基本电路

输入电源加到充电器输入端后，在正常情况下，充电器立即进入大电流恒流充电状态。此外，充电器在浮充状态下，当电池电压下降到 V_{31} 时，充电器也自动转入大电流恒流充电状态。UC3906 内的欠压检测电路 (UVSENSE) 用于检测充电器的输入电压。当输入电压低于 4.5V 时，U3906 内部的驱动级没有输出电流，充电器停止充电。

电压取样比较器送至充电状态逻辑电路的信号，反映了电池电压的状态。如果电池电压过低，充电器不能进入大电流恒流充电状态。在这种情况下，充电状态电平 (STATE LEVEL0) 端为低电平，即 UC3906 的 10 脚为低电平，分压电阻 R_B 被电阻 R_C 旁路，电压放大器 (VOLTAGE AMP) 的输入电压升高，使驱动级停止导通。此时，限流放大器 (C/L) 将控制驱动级使输出电流达到某一恒定值。此时，电压比较器同相输入端的电压等于内部基准电压 V_{REF} 的 0.95 倍。开始充电后，电池电压开始上升，该电压经 R_A 和 R_B 分压后，加到 UC3906 的 13 脚。随着电池电压的上升，13 脚的电压 (即电压取样比较器

反相输入端电压)也上升。该电压达到 $0.95V_{REF}$ 时,电压取样比较器输出低电平,充电器进入过充电状态。此时,过充电指示端(OC IND)输出低电平。

刚进入过充电状态时,充电器继续输出最大电流。当电池电压上升到 V_{OC} 后,电压放大器开始控制驱动级,使充电器输出电压稳定在 V_{OC} 。此时 UC3906 的 13 脚电压等于内部基准电压。此后,电池接受的充电电流开始减小。

电阻 R_S 两端的电压与充电电流成正比,因此,电流取样比较器通过检测 R_S 两端电压即可连续监控充电速率。电流取样比较器(C/S)的输出信号加到过充电终止端(OC TERM),当充电电流下降到过充电终止电流 I_{OCT} ($25\text{mV}/R_S$) 时,电流取样比较器的输出中断。UC3906 内部的 $10\mu\text{A}$ 提升(PULL-UP)电流,使过充电终止脚(8脚)的电位升高。当干扰或其他原因使充电电流瞬时下降时,为了避免充电器过早地转入浮充状态,在 UC3906 的 8 脚和接地脚之间应接入一只电容器。当 8 脚电压上升到规定的门限值(1V)后,充电状态逻辑电路使充电器转入浮充状态。此时,状态电平(STATE LEVEL)级的输出关断,消除了 R_C 对 R_A , R_B 分压器的旁路作用。

在浮充状态下,充电器使电池两端电压维持在 V_F ,充电电流根据要求可在 I_{MAX} 和零之间变化。同时,充电状态逻辑电路使电压取样比较器同相端电压由 $0.95V_{REF}$ 下降到 $0.90V_{REF}$ 。如果因电池自放电使端电压比浮充电压低 10%,电压取样比较器的输出电压将控制充电状态逻辑电路,使上述充电过程重新开始。

浮充电压 V_F 、过充电电压 V_{OC} 和其他各种转换电压都与 UC3906 内部基准电压 V_{REF} 成正比。内部基准电压的温度系数约为 $-3.9\text{mV}/^\circ\text{C}$,与大部分免维护电池生产厂给出的电池充电电压的温度补偿电压基本相同。

I_{MAX} , I_{OCT} , V_{OC} 和 V_F 都可以单独设定。 I_{MAX} 为大电流恒流充电电流。根据输入电源能够提供的电流和串联调整管能够承受的电流, I_{MAX} 应当尽可能选大一些。免维护电池生产厂建议充电速率最好在 $C/20\sim C/3$ 之间,有些厂家提出,如果加入过充电指示电路,免维护电池最大充电速率可达到甚至可超过 $2C$ 。 I_{OCT} 为过充电终止电流,该电流应当正确选择,以保证电池充足电。 I_{OCT} 与过充电电压 V_{OC} 有关,也与电池充电电流的衰减特性有关。

I_{MAX} 和 I_{OCT} 分别由 UC3906 内的限流放大器和电流取样比较器的补偿电压和电流取样电阻 R_S 决定。限流放大器与电流取样比较器的补偿电压之比是固定的,即 $250\text{mV}/25\text{mV}=10$ 。如果要求的比率不是 10,应当另外加入电流取样电阻或电流取样网络,如图 2-20 所示。当 $I_{MAX}/I_{OCT}=10$ 时, $I_{MAX}=250\text{mV}/R_S$, $I_{OCT}=25\text{mV}/R_S$, $\Delta V_{MAX}=250\text{mV}$; 当 $I_{MAX}/I_{OCT}>10$ 时, $I_{MAX}=250\text{mV}/R_{S1}$, $I_{OCT}=25\text{mV}/(R_{S1}+R_{S2})$, $\Delta V_{MAX}=250\text{mV}\cdot I_{MAX}/10I_{OCT}$; 当 $I_{MAX}/I_{OCT}<10$ 时, $I_{MAX}=250\text{mV}/(R_{S1}+R_{S2})$, $I_{OCT}=25\text{mV}/R_{S1}$, $\Delta V_{MAX}=250\text{mV}$ 。

控制过充电状态的另一种方法是利用过充电指示端(9脚)输出信号启动外接定时器,当过充电达到规定时间后,终止充电。过充电开始后,过充电指示脚(9脚)变为低电平,由该信号启动外接定时器开始计时。经过一段时间过充电后,过充电终止输入脚(8脚)变为低电平,过充电过程终止。这种方法特别适用于采用集中控制器的充电系统。

浮充电压 V_F 和过充电电压 V_{OC} 都是由 UC3906 内部基准电压和外接电阻 R_A , R_B 和 R_C 的阻值决定的。在双电平浮充充电器中,环境温度为 25°C 时,单体电池 V_F 的范围为 $2.3\sim 2.4\text{V}$, V_{OC} 的范围为 $2.4\sim 2.7\text{V}$ 。浮充电压 V_F 由电池制造厂给出,允许的变化范围

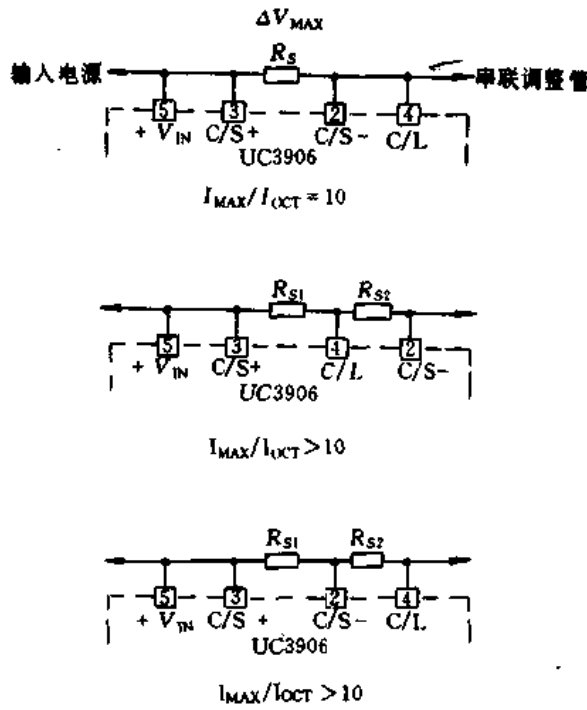


图 2-20 电流取样电阻的接法

很小。过充电电压 V_{OC} 随充电速率而变，允许的变化范围较大。分压电阻 R_A 、 R_B 和 R_C 应取较大的阻值，以免影响 V_F 和 V_{OC} 的控制精度。

2. 辅助功能

电池组电压过低可能是个别单体电池短路造成的。若采用大电流快速充电，正常单体电池的出气率过大。另外，电池组电压过低时，一开始就采用大电流快速充电，充电器串联调整管将产生过大的功耗。如图 2-21 (a) 所示，电池电压取样分压器的部分电压，加到起比较器的反相输入端。当电池电压低于设定的门限值 V_T 时，UC3906 内部驱动

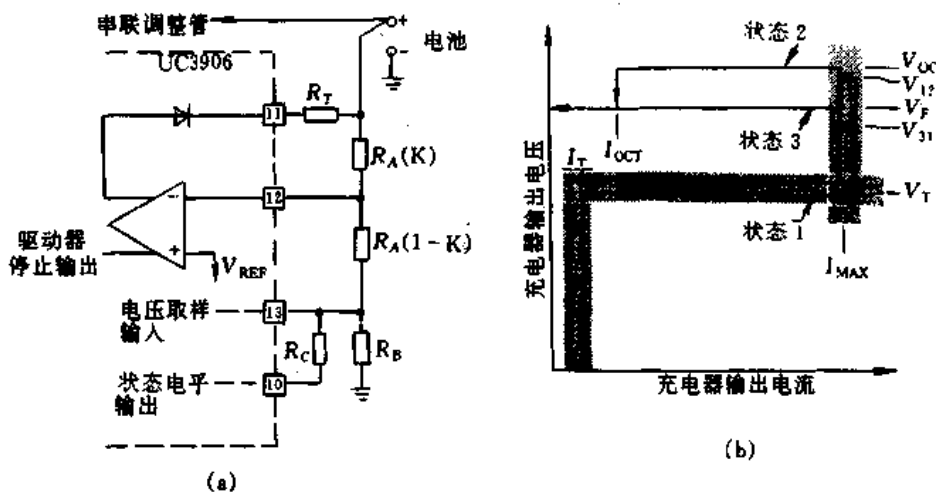


图 2-21 涪流充电电路及充电状态曲线

器无输出信号，充电器的串联调整管不导通。但是，此时起动比较器的涓流输出端（11脚）为高电平。从该输出端到电池组正极接入电阻 R_T ，就可设定涓流充电电流（ $\leq 25\text{mA}$ ）。充电状态曲线如图 2-21(b)所示，采用这种方法，充电器可以鉴别严重过放电的电池、损坏的电池和极性接错的电池。

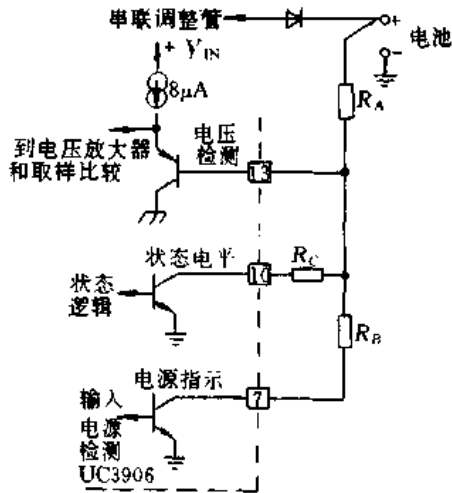


图 2-22 防止电池组对充电器放电的电路

在浮充电系统中，充电器始终接在电池组上，并且蓄电池输出电流非常小。当充电器的输入交流电源中断时，应当尽可能减小蓄电池的输出电流。在图 2-22 所示的电路中，在充电器串联调整管与输出端之间串入一只二极管，可以防止蓄电池输出电流流入充电器。为了避免电池通过充电器中的分压电阻放电，分压电阻 R_B 不能直接接地，应当接到 UC3906 的 7 脚，这样，该电阻将通过 UC3906 内部的输入电源指示晶体管接地。当市电中断时，输入电源指示晶体管关断，因此，可避免蓄电池通过分压电阻放电。市电恢复后，输入电源指示晶体管导通， R_B 通过该晶体管接地。当分压器中的电流为 $50\mu\text{A}$ 时，该晶体管的饱和电压低于

50mV 。

利用起动比较器可以完成电池过放电保护功能，如图 2-23 所示。与过充电一样，铅酸电池过放电也会大大缩短使用寿命。该电路可监控蓄电池的放电状态，并且当电池电压下降到规定值时，及时切断负载。一直到输入电源恢复正常并且电池重新开始充电后，负载才能接到电池两端。

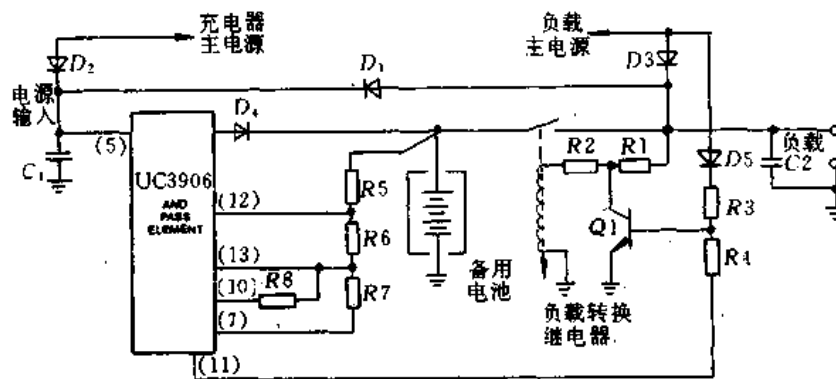


图 2-23 电池过放电保护电路

在该电路中，蓄电池和负载之间加有一只继电器。该继电器由晶体管 Q_1 控制。当负载主电源通过二极管 D_5 使晶体管 Q_1 导通时，继电器接点中断，负载主电源通过二极管 D_3 给负载供电，蓄电池处于充电状态，UC3906 涓流输出（11脚）为低电平。当负载主电源和充电器主电源输出中断后，晶体管 Q_1 关断，电容 C_2 能够使输出电压维持一段时

间，然后继电器接点闭合。蓄电池一方面给负载供电，另一方面又通过二极管 D_1 给 UC3906 供电，UC3906 正常工作电流小于 2mA。在电池放电过程中，UC3906 连续监控电池电压，当电池电压下降到由 $R_5 \sim R_9$ 分压网络确定的关断电压时，UC3906 涓流输出端（11 脚）变为高电平，晶体管 Q_1 导通，继电器接点断开，电池停止向负载供电，一直到充电器主电源恢复正常工作后，蓄电池才重新开始充电。

3. 双电平浮充充电器实用电路

6V、2.5Ah 密封铅酸电池双电平浮充充电器实际电路如图 2-24 所示。当环境温度为 25°C 时，该充电器的主要参数如下：

输入电源电压	9~13V
工作温度范围	0~70°C
起动涓流充电电流 (I_T)	10mA ($V_{IN}=10V$)
起动电压	5.1V
最大充电电流 (I_{MAX})	500mA
过充电转换电压 (V_{12})	7.125V
过充电电压 (V_{OC})	7.5V
过充电终止电流 (I_{OCT})	50mA
浮充电压 (V_F)	7V
浮充转换电压 (V_{31})	6.3V
电压温度系数	-12mV/°C
$V_{IN}=0V$ 时充电器灌电流	$\leq 5\mu A$

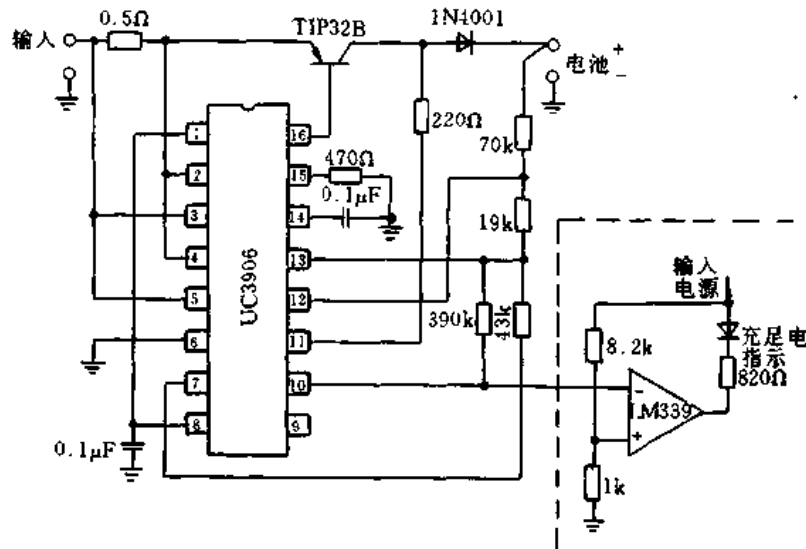


图 2-24 6V、2.5Ah 密封铅酸电池双电平浮充充电器电路

为了降低输入输出电压差，该充电器采用 PNP 管作调整管。输入电压较低时，它也能工作于饱和区。输入电源中断时，为了保证充电器的倒灌电流小于 $5\mu A$ ，在充电器输出端串入了一只二极管，同时，当输入电源中断后，分压电阻不应接地。为此，在该电

路中,分压电阻通过输入电源指示脚接地。在 UC3906 的 15 脚和接地脚之间接有 470Ω 电阻,这样,在最恶劣的工作条件下,串联调整管的最小正向电流增益为 35, UC3906 的功耗不会超过 100mW 。

在该电路中,还加入了电池充足电检测和指示电路。当状态电平控制级的输出中断时,蓄电池进入浮充状态,此时,发光二极管发光,指示蓄电池已充足电。

当环境温度分别为 25°C 、 50°C 和 0°C 时,充电电流、电池电压和容量恢复的百分数与充电时间的关系曲线如图 2-25、2-26、2-27 所示。在这三种情况下,充电前,电池均先以 $C/10(250\text{mA})$ 的速率放电,放出额定容量的 $80\%(2\text{Ah})$ 。

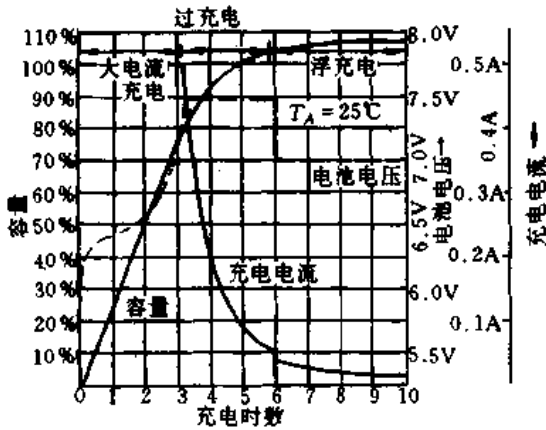


图 2-25 环境温度为 25°C 时,充电电流、电池电压、容量恢复百分比与充电时间的关系

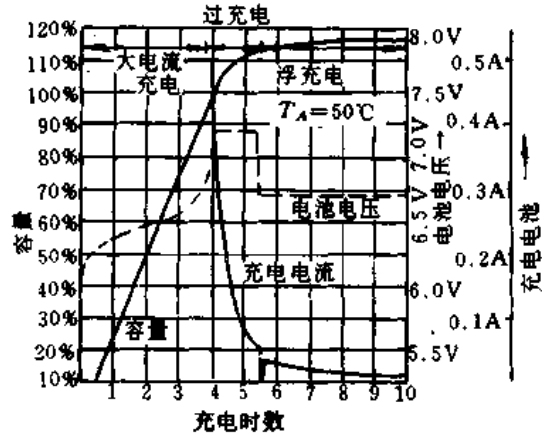


图 2-26 环境温度为 50°C 时,充电电流、电池电压、容量恢复百分比与充电时间的关系

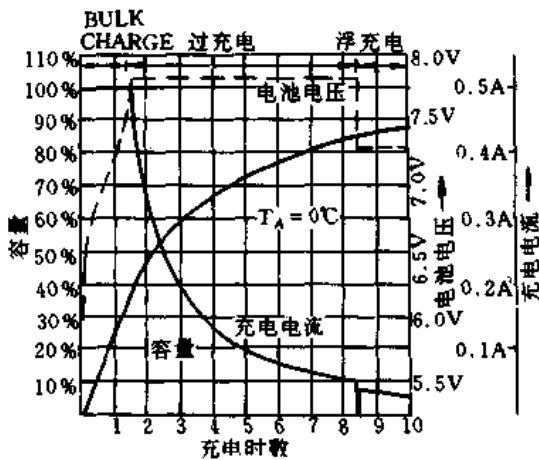


图 2-27 环境温度为 0°C 时,充电电流、电池电压、容量恢复百分比与充电时间的关系

从图中可以看出,当环境温度为 0°C 时,电池容量恢复的百分数低于 100% 。因为,在 0°C 时,电池的容量将减小。

2.3.2 两级恒流充电器

1. 基本工作原理

多只蓄电池串联充电时,两级恒流充电器比上述双电平浮充充电器有一些明显的优点。两级恒流充电器的充电状态曲线和电路图如图 2-28 所示。串联电池组的电压不是 6V 或 12V 。在备用状态下,串联电池组中各个电池的自放电率大不相同,如果采用恒定的浮充电压,那么将影响单体

电池的充电状态。在两级恒流充电过程中,当电池电压升高到一定数值后,采用较小的维护电流(涓流)对电池继续充电,这样可以使各个单体电池都充足电。采用这种充电方法时,常用的维护充电电流或涓流充电电流约为 $0.005C$ 到 $0.0005C$ 。

为了使电池尽快充足电,该充电器的第一种充电状态也是带有温度补偿的大电流恒流充电状态。但是,当电池电压上升到转换电压 V_{12} 时,不是转入高电压过充电状态,而

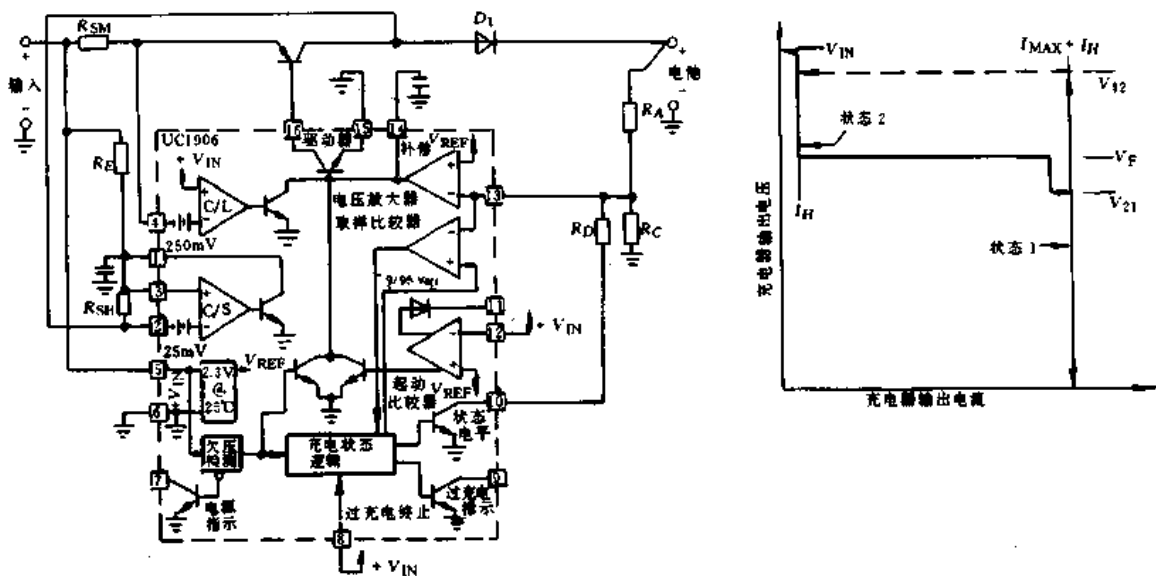


图 2-28 两级恒流充电器的充电状态曲线和电路图

是转入小电流恒流维护充电状态。维护充电电流 (I_H) 将使电池电压略有上升, 但不会引起明显的过充电。如果电池的充电电流增加, 充电器将使电池电压维持在 V_F 。应当注意, 如果电池的温度显著增加, 那么自放电电流将会超过维护充电电流。另外, 如果从大电流充电状态直接转入浮充状态, 电池的容量只能恢复到额定容量的 80%~90%。

在该充电器中, 电流取样比较器用来调整维护充电电流。维护充电电流的大小由取样电阻 R_{SH} 的阻值决定。为了使电流取样比较器能够稳定维护充电电流, 还需要接入另一只电阻 R_S 。该电阻的阻值应等于最小输入输出电压差除以维护电流 I_H 。如果电源电压变化范围很大, 或者维护电流 I_H 较大 ($>25\text{mA}$), 在电流取样比较器的输出端还应外接缓冲元件。

虽然 UC3906 的工作电源电压低于 45V, 但是由 UC3906 组成的充电器可以对电压高于 45V 的串联电池组充电。为了采用两级恒流充电器对高压电池组充电, UC3906 的接地脚应当接到串联电池组的中点, 如图 2-29 所示。充电器检测上半部分电池的电压, 确定各种充电状态的转换点。流过电阻 R_B 的电流应等于分压器的电流 I_D 和 UC3906 接地脚的电流 I_B 之和, 因此 $R_B = V_{BL} / (I_D + I_B)$, 其中 V_{BL} 为下半部分电池组两端的电压。

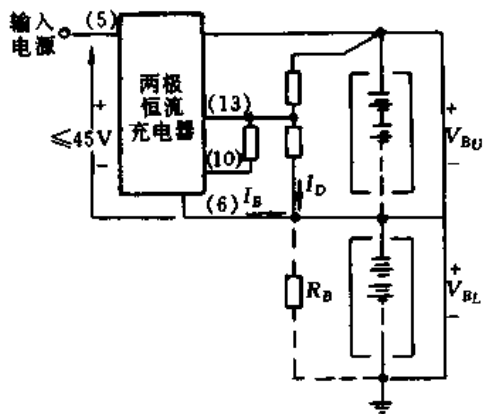


图 2-29 高压电池组充电电路

2. 串联调整管的选择

选择串联调整管时, 应当考虑以下四点:

(1) 串联调整管能够承受的电流和功率应满足输入输出最大电压差和最高充电速率的要求。

(2) 充电速率最大时, 串联调整管必须有较大的电流增益, 以保证所需的驱动电流

小于 25mA。

(3) 所用器件的类型 (NPN、PNP 或 FET) 及电路结构决定于充电器要求的最小输入输出电压差。

(4) 电压和电流控制回路开环增益决定于串联调整管的类型和电路结构。

图 2-30 给出了多种可供选择的串联调整元件实用电路。设计充电器时, 应根据要求的充电电流范围和最小输入输出电压差来选择串联调整管。图中还给出了 UC3906 驱动级允许功耗的计算公式。为了减小驱动级功耗, 可加入电阻 R_D , 图中给出了 R_D 的计算公式以及电压和电流控制回路开环增益的表示式。可以看出, 开环增益决定于 UC3906 补偿脚外接的阻抗 Z_c 。调整该阻抗的数值, 可以使电压和电流控制回路保持稳定。根据选用的串联调整管及其电路结构, 补偿电容的容量可在 1000pF 到 0.22 μ F 之间选择。采用图中所示的复合管共发射极电路时, 补偿电容的容量约为 0.22 μ F, 串联电阻值应小于 1k Ω , 也可小于 100 Ω 。

	共发射极 PNP	复合射极跟随器	复合共发射极	NPN 射极跟随器
电路范围	25mA < I < 1000mA	25mA < I < 1000mA	100mA < I < 15A	25mA < I < 1000mA
最小 ΔV	$\Delta V > 0.5V$	$\Delta V > 2.0V$	$\Delta V > 1.2V$	$\Delta V > 2.7V$
功耗	$P_D = \frac{V_{IN} - 0.7V}{\beta_{Q1}} \cdot I + \frac{I^2 R_D}{\beta_{Q1}}$	$P_D = \frac{V_{IN} - 0.7V - V_{OUT}}{\beta_{Q1}} \cdot I + \frac{I^2 R_D}{\beta_{Q1}}$	$P_D = \frac{V_{IN} - 0.7V}{\beta_{Q1} \beta_{Q2}} \cdot I + \frac{I^2 R_D}{\beta_{Q1} \beta_{Q2}}$	$P_D = \frac{V_{IN} - 0.7V - V_{OUT}}{\beta_{Q1}} \cdot I + \frac{I^2 R_D}{\beta_{Q1}}$
R_D	$R_D = \frac{V_{IN} - 0.7V - 2.0V}{I_{MAX}} \cdot \beta_{Q1} \text{ MIN}$	$R_D = \frac{V_{IN} - 0.7V - V_{OUT} - 1.2V}{I_{MAX}} \cdot \beta_{Q1} \text{ MIN}$	$R_D = \frac{V_{IN} - 0.7V}{I_{MAX}} \cdot \beta_{Q1} \text{ MIN} \cdot \beta_{Q2} \text{ MIN}$	$R_D = \frac{V_{IN} - 0.7V - V_{OUT} - 1.2V}{I_{MAX}} \cdot \beta_{Q1} \text{ MIN}$
电压控制回路开环增益	$A_{OV} = \frac{Z_c}{1.3K} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot Z_o \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT}}$	$A_{OV} = \frac{Z_c}{1.3K} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot Z_o \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT}}$	$A_{OV} = \frac{Z_c}{1.3K} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2} \cdot Z_o \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT}}$	$A_{OV} = \frac{Z_c}{1.3K} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot Z_o \cdot \frac{V_{REF}}{V_{OUT}}$
限流回路开环增益	$A_{OC} = \frac{Z_c}{300} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot \beta_S$	$A_{OC} = \frac{Z_c}{300} \cdot \frac{1}{12\beta_{Q1} + Z_o} \cdot \beta_S$	$A_{OC} = \frac{Z_c}{300} \cdot \frac{1}{R_D + 12} \cdot \beta_{Q1} \cdot \beta_{Q2} \cdot \beta_S$	$A_{OC} = \frac{Z_c}{300} \cdot \frac{1}{12\beta_{Q1} + Z_o} \cdot \beta_S$

图 2-30 串联调整元件的接法及其特性

UC3906 的功耗也应当认真考虑, 因为该器件采用 DIP 封装时, 热阻 (100 $^{\circ}$ C/W) 能够使芯片与周围空气之间产生很大的温度差。采用不同的串联调整电路, UC3906 的功耗将有很大差别。如图中所示, 串入一只电阻, 可以降低 UC3906 的功耗。因为该电阻将分担 UC3906 的部分功耗。驱动级功耗增加后, 影响最大的充电参数是状态转换门限电压 (V_{12} 和 V_{21})。因为根据设计要求, 在这些点, 充电器要提供最大充电电流。充电器的输出电流基本上不受驱动级功耗的影响, 因为电流放大器和电流取样比较器中的输入补偿电压受温度的影响很小。另外, 充电器的浮充电压仍将随环境温度变化而变化, 因为在浮充状态下, 通常充电器只输出很小的电流。

2.3.3 采用 UC3906 的开关型充电器

当充电电流较大时, 为了提高效率, 通常都选用开关型充电器。由 UC3906 组成的开关型充电器实际电路如图 2-31 所示。在该电路中, 用两只专用集成电路 (UC3906 和 UC3823) 和一只通用运放可完成全部控制功能。充电器主电路由功率 MOSFET

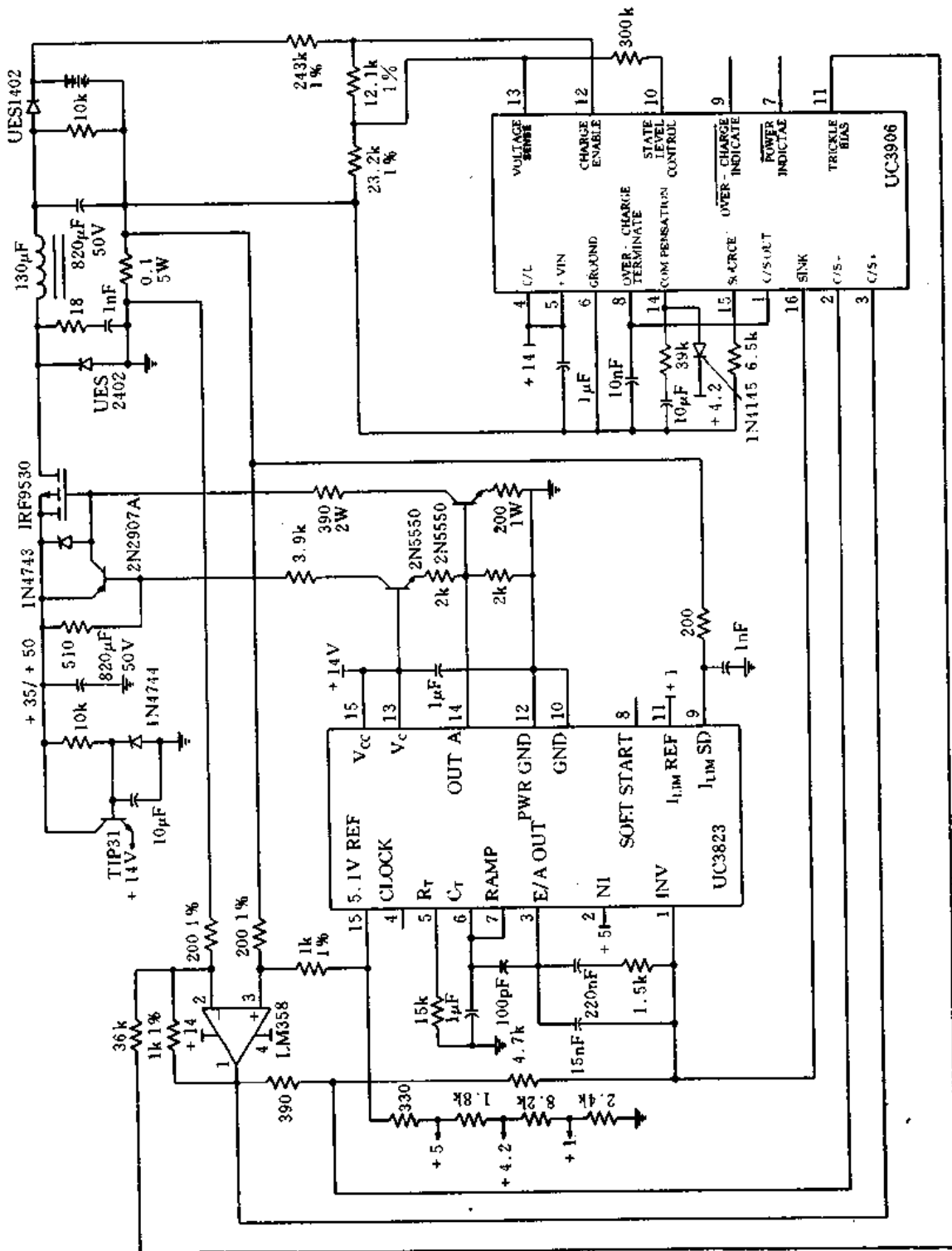


图 2-31 开关型密封铅酸电池充电器实用电路

(IRF9530)、续流二极管(UES2402)和滤波电感($130\mu\text{H}$)等元件组成。

该电路可分为以下三大部分。

1. 电压电流控制回路和状态控制逻辑

如前所述,小容量充电器通常都采用线性串联调整管来控制充电电流。在开关型充电器中,UC3906 直接完成电压控制回路和状态控制逻辑的功能。

电池两端的分压电阻监控电池电压。分压电阻的阻值确定浮充电压、过充电电压和涓流充电门限电压。

差动电流取样比较器产生过充电状态至浮充电状态的转换信号,电压放大器放大并补偿电压回路的信号。

2. 开关型电流源控制回路

在大电流快速充电状态下,充电器要提供最大的充电电流。在浮充状态下,充电器输出电流很小。因此,充电器要求电流控制回路的动态范围必须大于 60db。采用普通的峰值电流反馈很难满足这个要求,该充电器采用平均电流反馈回路。

平均电流反馈回路的基本电路如图 2-32 所示。采用这种电流反馈回路能够大大提高开关电流源的性能。误差放大器在低频段的增益很高,这样不仅能够提高闭环电流回路的精度,而且还能改善大电流输出级的非线性。当电感电流出现断续时,输出级将出现非线性现象。

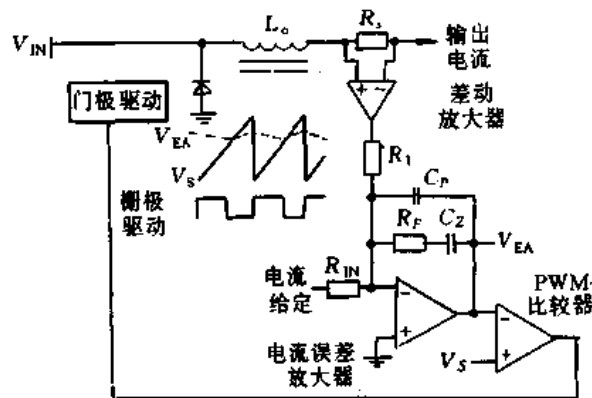


图 2-32 平均电流反馈回路

电流控制回路选用 UC3823 PWM 控制器。该控制器的内部结构如图 2-33 所示。选用 UC3823 的主要原因是当占空比从很小变到 100% 时它都能线性工作。另外,UC3823 内误差放大器的带宽和电路结构完全满足平均电流控制回路的要求。此外,UC3823 的输出驱动级与开关电流源输出功率级的连接也很简单。

运放作差动放大器使用,用来检测开关电流源的输出电流,并把该电流信号变换为适当的电压信号。该放大器的补偿和共模抑制是电流回路产生误差的主要原因。

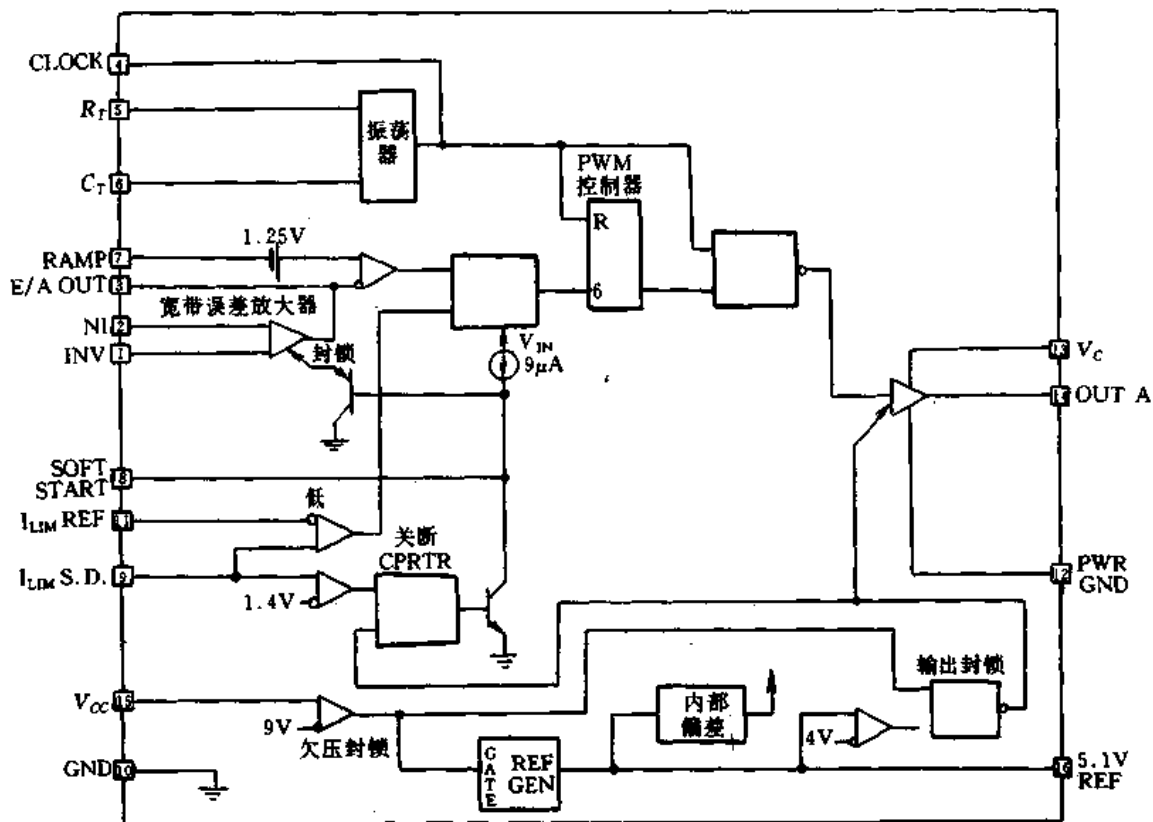


图 2-33 UC3823 PWM 控制器内部框图

3. 输出功率级

输出功率级采用降压式开关电流源。为了简化驱动电路，输出开关管采用直接耦合 P 沟道 MOSFET。流入 MOSFET 的开关电流提供栅极电荷，使 MOSFET 导通。接在栅极和源极的稳压管将栅源电压限制在 12V。PNP 管的作用是释放栅极电荷，从而使 MOSFET 加速关断。

虽然采用 N 沟道 MOSFET 可以制作容量更大、效率更高的开关电流源，但是外部驱动电路较复杂。为了减小充电器的体积和成本，滤波线圈的电感量可以选小一些。该电感对输出纹波电压的影响也没有输出电容的影响大。在续流二极管两端加入 RC 缓冲器，可以抑制电路寄生参数引起的高频自激振荡。在输出电路中串入整流管，当输入电源中断后，可以避免电池组对充电器放电。

在开关型密封铅酸电池充电器实际电路中，输入电压 (35V/50V) 经 10kΩ 电阻和 IN4744 稳压管组成的稳压电路稳压后，又经 TIP31 晶体管射随器输出 +14V 电压，作为控制电路的电源电压。PWM 频率设定为 100kHz，这样可以使输出滤波器的体积较小，而且开关损耗也不太大。电池充电电流从 0.1Ω/5W 电阻上取样，差动放大器的增益为 5。

电流反馈信号与电流控制信号在误差放大器的反相输入端叠加。为了适应最恶劣的工作条件，误差放大器和差动放大器都加有补偿电压，以保证零输出电流。误差放大器的同相输入端加有比 5.1V 基准电压低 130mV 的偏置电压。PWM 比较器输入端接

100pF 电容器，可以抑制噪声，特别是当占空比较小时。

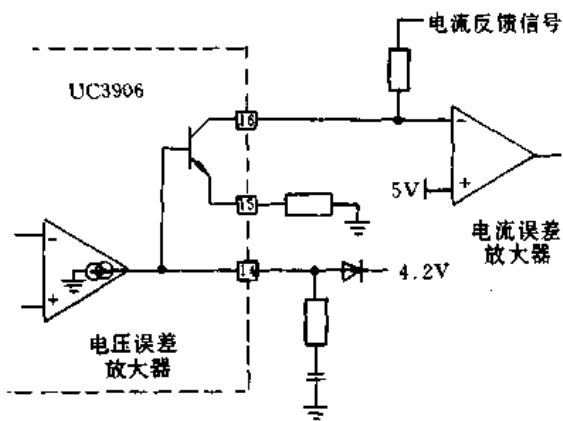


图 2-34 UC3906 输出晶体管与开关电流源的连接电路

为了实现最佳控制并且提高浮充电压的精度，UC3906 的接地端直接接到电池组的负极。这样，可以排除电流取样电阻两端压降的影响。UC3906 内部射随器输出晶体管与开关电流源的连接电路如图 2-34 所示。UC3906 内的电压误差放大器输出控制信号限制在 4.2V，采用这种箝位电路，还可以避免射随器饱和。若射随器饱和，过大的基极驱动信号，将使集电极和发射极电流的差值更大。

电池电压由电阻分压器检测，图 2-31 中给出的电阻值适用于 24V 电池组。电池组的电压不是 24V 时，这些电阻的阻值应根据上述公式重新计算。电阻分压器可以确定状态转换电压的门限值。当输出电流下降到大电流快速充电电流值的十分之一时，UC3906 内的电流取样比较器从差动放大器输出适当的信号，使充电器转入浮充状态。

输入电压为 40V、电池组电压为 24V 时，该充电器的效率可达 85%。提高差动放大器的精度，减小电流取样电阻的阻值，把充电器输出端的普通整流管改为肖特基二极管，选用导通电阻更低的 MOSFET，并且用较大的栅极峰值电流驱动时，还可以减小该充电器的损耗。这样，该充电器的效率可达 90% 以上。

2.3.4 由 UC3909 组成的开关型快速充电器

采用 UC3909 的铅酸电池开关型快速充电器实际电路如图 2-35 所示。虚线框图内为 UC3909。该充电器输入直流电压范围为 12~40V。

UC3909 采用具有平均电流限制的电压控制回路，精确地控制铅酸电池的充电速率。虽然平均电流限制电路稍复杂些，但是控制回路的设计比较简单。

1. 控制回路

(1) 电流取样放大器

电流取样放大器(CS)的固定增益为 5，补偿电压为 2.3V，它的作用是检测取样电阻 R_S 两端的电压，该电压与电池充电电流成正比。取样电压的正端接到电流取样放大器的反相输入端，以保证极性正确的电压加到 PWM 比较器。当电池没有充电电流时，电流取样放大器的输出端(CSO)电压为 2.3V。

电流取样电阻 R_S 的阻值应等于 350mV 除以最大允许充电电流。为了减小功耗， R_S 应取较小的阻值。

最大充电电流 I_{BULK} 由已知的电压误差放大器最高输出电压 ($V_{OH}=5V$)、取样电阻 R_S 两端允许的最大压降 V_{R_S} 和电阻 R_{G1} 和 R_{G2} 的阻值决定。

$$\frac{R_{G1}}{R_{G2}} = \frac{5 \times V_{R_S}}{V_{1.0GIC} - CA_-} = \frac{5 \times V_{R_S}}{5V - 2.3V} = \frac{5 \times V_{R_S}}{2.7V} = 1.852 \times I_{BULK} \times R_S$$

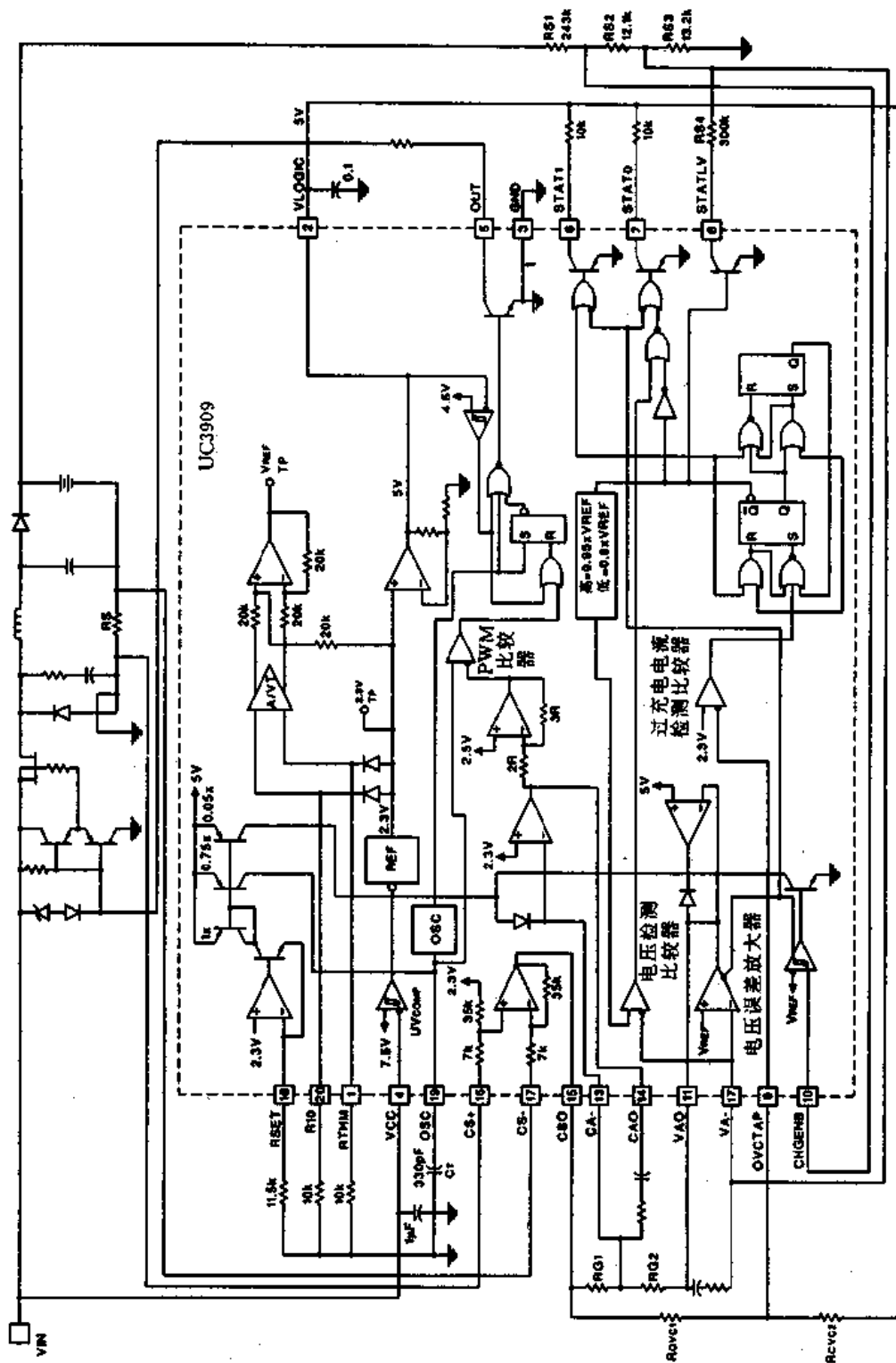


图 2-35 采用 UC3909 的铅酸电池开关型充电器

为了避免电流取样放大器饱和,必须限制电流取样放大器输出端(CSO)电压的最大幅值。因此电流取样电阻 R_S 两端最高压降必须限制在 2V 以内。

无充电电流时,电流取样放大器输出端电压 $V_{CSO}=2.3V$ 。

最大充电电流时,电流取样放大器输出端最高电压 $V_{MAX}(CSO)=2.3V-2.0V=0.3V$ 。

(2) 电压误差放大器

电压误差放大器(VEA)用于检测电池电压并与带有温度补偿的基准电压($2.3V-3.9mV/^\circ C$)比较。电压误差放大器的输出电压转换为电流控制信号后,与电流取样放大器输出信号相加。电压误差放大器最高输出电压限制在 5V,这样可限制最大负载电流。在涓流充电状态下,充电起动比较器使电压误差放大器输出开路(高阻抗输出)。此时,涓流偏置电流与电流误差放大器 CA 的反相输入端(CA-)的电流相加,设定最大涓流充电电流。

在涓流充电状态下,最大允许充电电流(I_{TC})由下式决定:

$$I_{TC} = \frac{I_{TRCK} \times R_{G1}}{R_S \times 5}$$

式中 I_{TRCK} 为流入电流误差放大器反相输入端 CA- 的固定控制电流。当 RSET 脚外接电阻为 $11.5k\Omega$ 时, I_{TRCK} 为 $10\mu A$ 。

(3) 电流误差放大器

电流取样放大器与电压误差放大器的输出信号通过电流误差放大器(CA)进行比较。电流误差放大器的输出信号改变 PWM 占空比,从而调整平均充电电流。接有积分补偿电路时,电流误差放大器的电流增益非常高。为了提高放大器的稳定性,电流误差放大器的高频增益必须满足以下条件:电流误差放大器输出信号下降斜率应低于或等于 PWM 斜坡上升斜率。

2. 充电算法

(1) 涓流充电状态

此时, $STAT0=STAT1=STATLV=$ 逻辑“0”。

当充电起动比较器输入脚(CHGNB)的电压低于基准电压 $V_{REF}(2.3V-3.9mV/^\circ C)$ 时, $STATLV$ 脚为低电平。这样取样电压分压比减小,使电池达到过充电电压 (V_{OC})。

$$V_{OC} = V_{REF} \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}{R_{S3} // R_{S4}}$$

在涓流充电状态下,电压误差放大器输出端为高阻抗,涓流控制电流直接输入到电流放大器反相输入端(CA-),用来设定最大涓流充电电流。

(2) 大电流快速充电状态

此时, $STAT1=STATLV=$ 逻辑“0”; $STAT0=$ 逻辑“1”。

在充电过程中,电池电压逐渐升高,当充电起动比较器的输入端(CHGENB)电压高于基准电压 V_{REF} ,但电池电压仍然低于过充电电压 (V_{OC}) 的 95% 时, $STATLV$ 脚仍然为低电平。

在大电充快速充电状态下,电压误差放大器(VEA)开始工作,并且控制最大充电

电流 I_{BULK} 。电压控制回路使电池电压逐渐上升到过充电电压 V_{OC} 。

(3) 过充电状态

此时, $\text{STAT0}=\text{STATLV}=\text{逻辑“0”}$; $\text{SATAT1}=\text{逻辑“1”}$ 。

在充电过程中, 电池电压超过过充电电压 (V_{OC}) 的 95% 后, UC3909 使充电器进入过充电状态。

在过充电状态下, 充电电压保持恒定, 充电电流逐渐下降。当充电电流下降到过充电终止电流时, 电流取样放大器输出端 (CSO) 电压接近 2.3V。电流取样放大器输出端 (CSO) 和精密基准电压脚 (VLOGIC) 之间的两只电阻用于设定充电电流最小门限值 (OVCTAP)。已知所需的过充电终止电流 (I_{OCT}), 并且选定电阻 R_{OVC2} 的阻值后, R_{OVC1} 的阻值可按式计算:

$$R_{\text{OVC1}} = 1.8518 \times I_{\text{OCT}} \times R_S \times R_{\text{OVC2}}$$

(4) 浮充充电状态

此时, $\text{STAT0}=\text{STAT1}=\text{STATLV}=\text{逻辑“1”}$ 。

在充电过程中, 电池充电电流下降到过充电终止电流 I_{OCT} 后, STATLV 变为高电平, 电压取样分压比增加。电压控制回路使充电器输出电压稳定在浮充电压 V_F , 充电器进入浮充状态。浮充电压由下式决定:

$$V_F = V_{\text{REF}} \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}}{R_{S3}}$$

在浮充状态下, 当电池电压低于浮充电压的 90% 时, 充电器能够自动返回到大电流快速充电状态。

3. 充电器设计

(1) 选择 R_{S1} , R_{S2} , R_{S3} 和 R_{S4}

基本计算公式如下:

$$V_{\text{OC}} = V_{\text{REF}} \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}{R_{S3} // R_{S4}}$$

$$V_T = V_{\text{REF}} \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}{R_{S2} + R_{S3} // R_{S4}}$$

$$V_F = V_{\text{REF}} \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}}{R_{S3}}$$

$$R_P = R_{S3} // R_{S4}$$

(2) 选择 R_{G1} , R_{G2}

基本计算公式如下:

$$I_{\text{TC}} = \frac{I_{\text{TRCK}} \times R_{G1}}{R_S \times 5}$$

$$I_{\text{TRCK}} = \frac{0.115\text{V}}{R_S}$$

$$\frac{R_{G1}}{R_{G2}} = 1.852 \times I_{\text{BULK}} \times R_S$$

(3) 选择 R_{OVC1} 和 R_{OVC2}

基本计算公式为:

$$R_{OVc1} = 1.8518 \times I_{OCT} \times R_S \times R_{OVc2}$$

4. 12V/10Ah 电池充电器计算实例

(1) 选择 R_{E1} , R_{E2} , R_{S3} 和 R_{S4}

12V 铅酸电池由六个单体电池组成, 已知单体电池的 $V_{OC} = 2.5V$, $V_T = 1.7V$, $V_F = 2.33V$, 因此该电池组的几个基本电压值为:

$$V_{OC} = 2.5V \times 6 = 15V$$

$$V_T = 1.7V \times 6 = 10.2V$$

$$V_F = 2.33V \times 6 = 14V$$

为了便于计算, 设定 R_{S3} 与 R_{S4} 的并联电阻值 $R_P = 50k\Omega$, 将 $R_P = 50k\Omega$ 代入 V_{OC} 表达式中可得:

$$15V = 2.3V \times \frac{R_{S1} + R_{S2} + 50k\Omega}{50k\Omega}$$

由该式可得出:

$$R_{S1} + R_{S2} = 276k\Omega$$

将已知数值代入 V_T 表达式中, 可得:

$$10.2V = 2.3V \times \frac{276k\Omega + 50k\Omega}{R_{S2} + 50k\Omega}$$

由该式可得出:

$$R_{S2} = 23.7k\Omega \approx 24k\Omega$$

因此

$$R_{S1} = 276k\Omega - 24k\Omega = 252k\Omega$$

将已知数值代入 V_F 表达式中, 可得:

$$14V = 2.3V \times \frac{276k\Omega + R_{S3}}{R_{S3}}$$

由该式可得出:

$$R_{S3} = 54k\Omega \approx 56k\Omega$$

已知 $R_P = 50k\Omega$, $R_{S3} = 56k\Omega$, 因此 $R_{S4} = 466k\Omega \approx 470k\Omega$ 。

(2) 选择 R_{G1} 和 R_{G2}

已知 R_{REF} 脚外接电阻为 $11.5k\Omega$, 取样电阻 $R_S = 0.1\Omega$, 根据 $I_{TRCK} = 0.115V / 0.1\Omega = 10\mu A$ 。假设允许的涓流充电电流 $I_{TC} = 0.004 \times C = 40mA$, 快速充电电流 $I_{BULK} = C / 5 = 2A$ 。

将已知数值代入 I_{TC} 表达式中:

$$0.04A = \frac{10\mu A \times R_{G1}}{0.1\Omega \times 5}$$

由此式可得出:

$$R_{G1} = 2k\Omega$$

将已知数值代入下式:

$$\frac{R_{G1}}{R_{G2}} = 1.852 \times I_{\text{BULK}} \times R_S$$

可以得出：

$$R_{G2} = 5.4\text{k}\Omega \approx 5.6\text{k}\Omega$$

(3) 选择 R_{OVC1} 和 R_{OVC2}

假定过充电终止电流为 $C/50 = 200\text{mA}$ ， $R_S = 0.1\Omega$ ，可得出：

$$\frac{R_{\text{OVC1}}}{R_{\text{OVC2}}} = 0.037$$

若选择 $R_{\text{OVC1}} = 5\text{k}\Omega$ ，则

$$R_{\text{OVC2}} = R_{\text{OVC1}} / 0.037 = 5\text{k}\Omega / 0.037 = 135\text{k}\Omega \approx 130\text{k}\Omega$$

2.3.5 离线式开关型铅酸蓄电池快速充电器

离线式开关型铅酸蓄电池快速充电器基本电路如图 2-36 所示。该电路采用反激式单端变换器，交流市电经整流和滤波后，加到高频隔离变压器初级线圈的一端，该线圈的另一端接功率 MOSFET。变压器初级辅助线圈两端电压经整流和滤波后给 PWM 控制器供电。变压器次级线圈两端电压经整流后对电池充电。次级辅助线圈两端电压经整流和滤波后，给 UC3909 供电。在充电过程中，电池的电压和电流分别通过电阻分压器和取样电阻 R_S 检测，并将检测信号送入 UC3909，UC3909 的电流放大器输出信号(CAO)通过光电耦合器控制 PWM 的占空比，从而调整反激式单端变换器的输出电压，进而改变电池的充电电流，以满足铅酸蓄电池的要求。分压器电阻和取样电阻 R_S 的计算方法与上述电路完全相同。

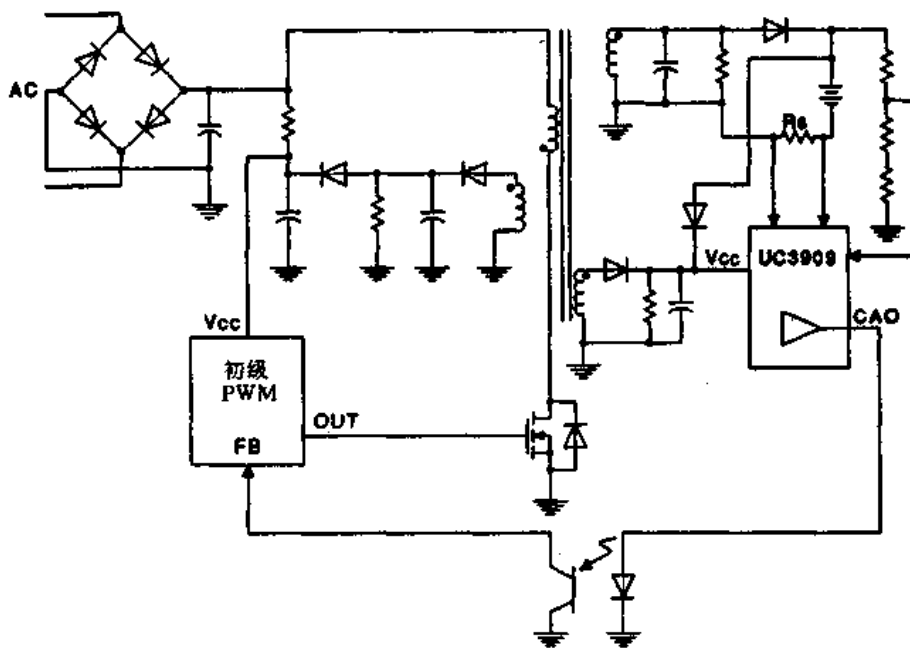


图 2-36 离线式开关型铅酸蓄电池快速充电器

第三章 锂离子电池充电器

3.1 锂离子电池

3.1.1 锂电池进展

各种便携式电子产品，如笔记本电脑、移动电话、无绳电话、对讲机、摄像机、军用夜视仪、激光测距仪、小型电台和便携式测量仪等，都要求电池轻、薄、短、小且容量大。为了满足这种要求，世界各国都投入巨大的人力和财力，开发新型电池。目前最理想的蓄电池是锂电池，现在锂干电池在手表、计算器等领域已经占有稳定的市场，各种不同型式的锂干电池都已经大批量生产。

早期的圆柱型金属锂蓄电池，阴极采用 MnO_2 ，阳极采用金属锂。这种金属锂蓄电池的能量密度较高，但安全性能较差。金属锂蓄电池放电时，阳极的金属锂溶解成锂离子，充电时锂离子还原成锂，在阳极析出。反复充放电时，金属锂反复溶解和析出，在阳极上将形成枝状结晶的金属锂。这种枝状结晶容易刺破阳极和阴极之间的隔板，金属锂蓄电池内部将因局部短路而发生激烈反应，有可能造成电池爆炸。

为了保证安全工作，近年来，金属锂蓄电池开始被锂离子电池取代。锂离子电池的阳极采用能吸藏锂离子的碳电极（锂碳化合物），放电时，锂变成离子，脱离电池阳极，到达电池阴极。锂离子在阳极和阴极之间移动，电极本身不发生变化。这是锂离子电池与金属锂蓄电池本质上的差别。

3.1.2 锂离子电池基本工作原理和结构

1. 工作原理

锂离子电池的阳极为石墨晶体，阴极通常为二氧化钴锂 ($LiCoO_2$)，石墨晶体和 $LiCoO_2$ 都具有层状结构。这种层状结构化合物允许锂离子进出，而材料结构不会发生不可逆变化。 $LiCoO_2$ 为一层氧 (O) 原子紧邻一层 Li (锂) 原子，再紧邻一层氧原子和钴 (Co) 原子，即 $OLi-O-Co-O-Li-O$ ，如图 3-1 所示。锂离子插入反应式为：

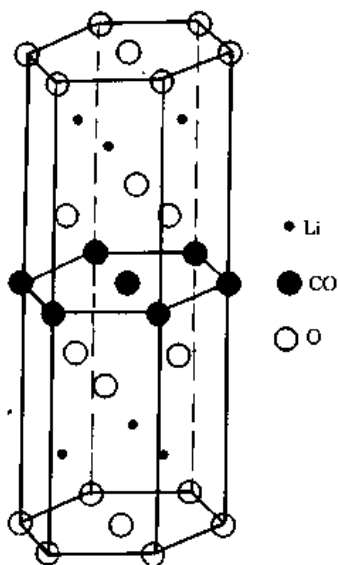
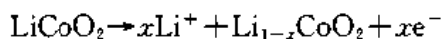
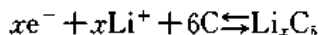


图 3-1 $LiCoO_2$ 层状结构示意图



阳极采用碳电极，从理论上讲，每六个碳原子可吸藏一个锂离子，锂离子插入反应式为：



充电时，阴极中的锂原子电离成锂离子和电子。得到外部输入能量的锂离子，在电解液中由能量较低的阴极向能量较高的阳极迁移，并且锂离子和电子在阳极上复合成锂原子。重新形成的锂原子插入到石墨晶体的晶

状层之间。

放电时，插入到石墨晶体晶状层中的锂原子从石墨晶体内部向阳极表面移动，并在阳极表面电离成锂离子和电子。锂离子和电子分别通过电解质和负载流向阴极，在阴极表面复合成锂原子，然后插入到二氧化钴锂的晶状层中。从以上反应可知，在该电池中，锂永远以离子的形态出现，不会以金属的形态出现，所以这种电池叫做锂离子电池。

2. 基本结构

圆柱型锂离子电池的基本构造如图 3-2 所示。用 LiCoO_2 复合金属氧化物在铝板上形成阴极，用锂碳化合物在铜板上形成阳极，两极板间插入聚烯烃 (Polyolefin) 薄膜状隔板。为了使锂离子能通过隔板，隔板上有亚微米级的微孔，电解液为有机溶剂，阳极和阴极极板卷成螺旋状，插在圆筒形的容器中。为了确保锂离子电池安全工作，该电池中装有检测电池温度的正温度系数热敏电阻 (PTC)。为了防止电池内压力过高，电池顶盖上留有安全放气孔。

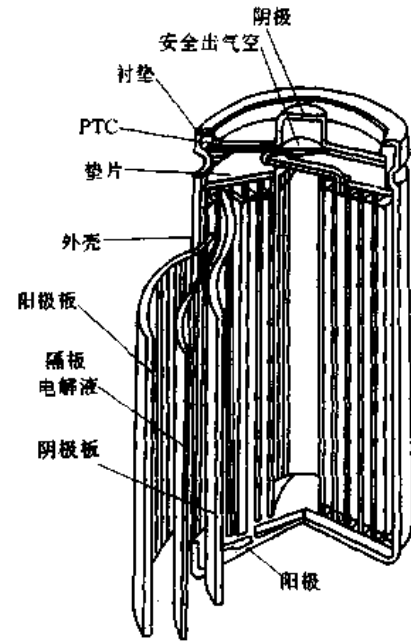


图 3-2 圆柱型锂离子电池的构造

3. 国产锂离子电池的技术规格

国产锂离子电池的技术规格如表 3-1 所示。

表 3-1 国产锂离子电池技术规格

规格	电压 (V)	容量 (mAh)	外形尺寸 (mm)		使用温度范围 (°C)			重量 (g)
			直径 D	高度 H	充电	放电	保存	
1/2AA	3.6	250	14	28	0~40	-20~60	-20~60	约 10
AA	3.6	500	14	50				约 19
18500	3.6	900	18	50				约 30
18600	3.6	1300	18	65				约 40

3.1.3 锂离子电池的充放电特性

1. 充电特性

500mAh 的 AA 型锂离子电池充电特性曲线如图 3-3 所示。单体锂离子电池的充电电压必须严格保持在 $4.1\text{V} \pm 50\text{mV}$ ，充电电流通常应限制在 1C 以下。若充电电压超过 4.5V，可能造成锂离子电池永久性损坏。锂离子电池通常都采用恒流转恒压充电模式。首

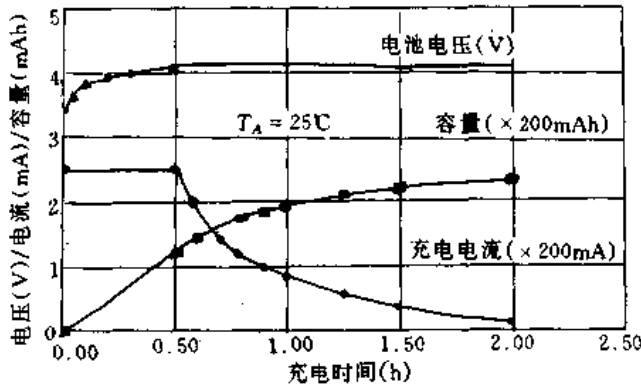


图 3-3 AA 型锂离子电池充电特性曲线

先用 1C (即 500mA) 充电速率充电, 在此过程中, 充电电流稳定不变, 电池电压逐渐上升。当单体电池电压上升到 4.1V (或 4.2V) 时, 充电器应立即转入恒压充电, 充电电压波动应控制在 50mV 以内。充电电流逐渐减小, 当电池充足电时, 电流下降到涓流充电电流。用这种方法, 大约两小时, 电池可充到额定容量 (500mAh)。

2. 放电特性

当环境温度为 25°C 时, 500mAh

的 AA 型锂离子电池的放电特性曲线如图 3-4 所示。放电电流通常不应超过 3C。放电时, 单体电池电压不得低于 2.2V。电池电压低于 2.2V, 也会造成永久性损坏。采用 0.2C 放电速率 (即放电电流为 100mA), 单体电池电压下降到 2.7V 时, 可放出额定容量 (500mAh)。采用 1C 放电速率 (即放电电流为 500mA) 时, 能够放出额定容量的 90% 左右。应当说明, 环境温度对电池的放电容量有较大影响,

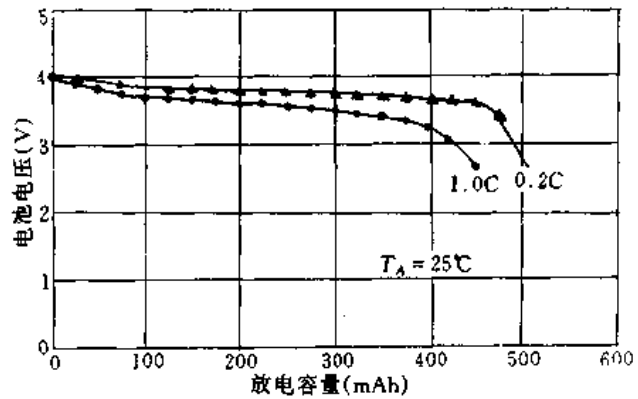


图 3-4 AA 型锂离子电池放电特性曲线 (25°C)

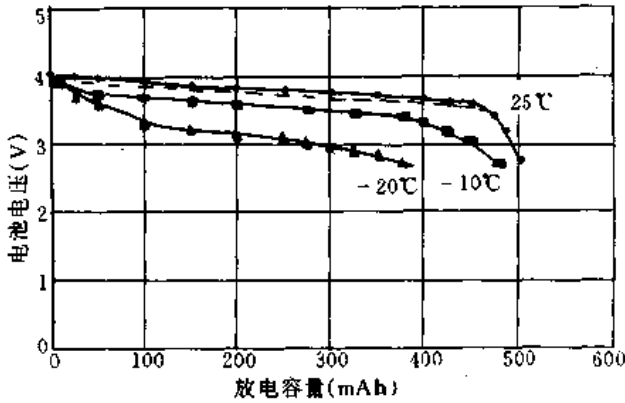


图 3-5 环境温度与电池容量的关系

如图 3-5 所示。采用 0.2C 放电速率, 当环境温度为 25°C 时, 可放出额定容量 (500mAh); 当环境温度为 -10°C 时, 电池容量下降约 5%, 当环境温度为 -20°C 时, 电池容量下降约 10%。锂离子电池放电时, 允许环境温度范围为 -20°C ~ +60°C。

锂离子电池的一个特点是比较容易显示剩余电量, 因为锂离子电池的工作电压随时间徐徐下降, 如图 3-6 所示。镍镉电池、镍氢电池则保持一定的电压值, 直到放电末期, 电压才急速下降。

锂离子电池放电起始电压为 4.1V 或 4.2V, 放电终止电压约为 2.5V。阳极采用结晶度较低的焦炭时, 放电过程中电压下降较为明显, 如图 3-6 中曲线 A 所示。阳极采用结晶度较高的石墨时, 放电特性比较平稳, 如图中曲线 B 所示。

锂离子电池放电起始电压为 4.1V 或 4.2V, 放电终止电压约为 2.5V。阳极采用结晶度较低的焦炭时, 放电过程中电压下降较为明显, 如图 3-6 中曲线 A 所示。阳极采用结晶度较高的石墨时, 放电特性比较平稳, 如图中曲线 B 所示。

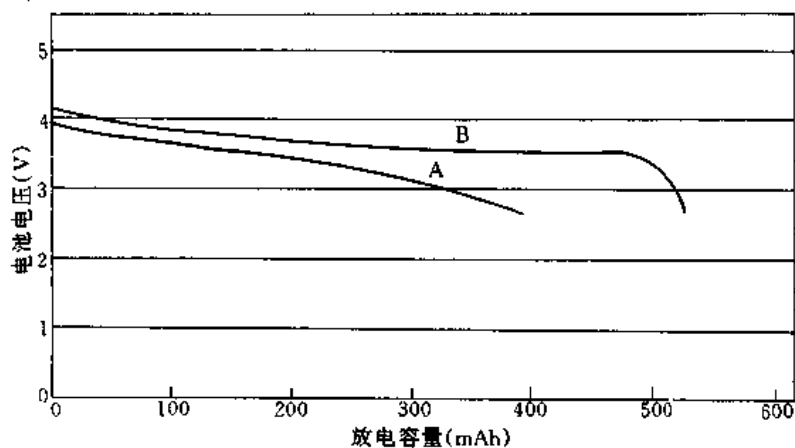


图 3-6 电池电压和放电容量的关系

3.1.4 锂离子电池的安全措施

1. 单体电池内的安全机构

为了避免因使用不当而造成电池过放电或过充电，在单体锂离子电池内设有三种安全机构。

第一个安全机构为 PTC 元件，当电池内的温度上升时，PTC 的阻值随之上升，因而当电池内部的温度过高时，会自动切断阴极引线及阴极之间的电路。

第二个安全措施是选择适当的隔板材料。当电池内温度上升到一定数值时，隔板上的微孔会自动溶解掉，从而使电池内的反应停止。

第三个安全机构是设置安全阀，当电池内部的压力升高到一定数值时，安全阀将自动打开。

2. 锂离子电池组保护电路

采用锂离子电池的设备，几乎都用 2 只以上单体串联电池。串联电池更容易过充电或过放电，这是因为串联的各单体电池的容量有一定差别，在充电过程中，若一个单体电池已经充足电，另一个单体电池尚未充足，若继续对串联电池组充电，已充足的那只电池就会过充电。这样，阴极将会析出金属锂。此时，若遇到高温或内部短路，就有可能发生爆炸。同时，在串联电池组中，若一个单体电池已放完电，另一个单体电池尚有一定剩余电量，若继续放电，先放完电的那只电池将发生过放电。这样，电池内的电解质将被分解，电池内部的压力将上升。

为了防止电池组过放电或过充电，电池组中应装入检测过放电和过充电的集成电路及切断充放电回路的 MOSFET，如图 3-7 所示。集成电路监控每个单体电池的端电压，一旦电池组发生过充电或过放电，MOSFET 关断，电池组立即停止充、放电。此外，电池组内还应装入保险丝，保险丝一旦熔断，电池组就不能再用。除电池组内的安全措施外，充电器或用电设备中，也应装有保险丝，当电池过充电或过放电时，充电器或用电设备的保险丝应先熔断。

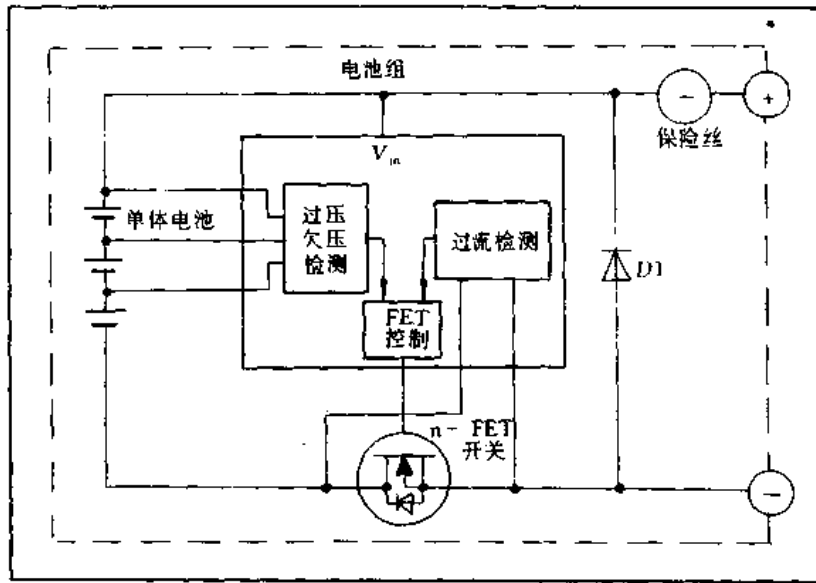


图 3-7 过充电或过放电检测电路

耗能较大的设备（如笔记本电脑等）希望多个单体电池并联。但是，并联电池组的安全性比串联电池组更差。电池并联时，若某一单体电池内部短路，就会有很大的电流流入短路的电池中，使电池发热，而且并联的电池数愈多，短路电流愈大。

为了满足笔记本电脑的要求，虽然也可能制造出容量更大的单体电池，但是随着容量增大，单体电池的散热问题很难解决，因此目前制造 2000mAh 以上的密封锂离子电池仍有一定难度。

3.1.5 锂离子电池的主要优点和缺点

1. 主要优点

锂离子电池与镍镉和镍氢电池相比，有以下优点：

(1) 工作电压高。通常单体锂离子电池的电压为 3.6V，为镍镉和镍氢电池的三倍。单体电池即可为 3V 的逻辑电路供电。对于要求较高供电电压的电子设备，电池组所需串联电池数也可大大减少。

(2) 体积小、重量轻、比能量高。通常锂离子电池的比能量可达镍镉电池的 2 倍以上，与同容量镍氢电池相比，体积可减小 30%，重量可降低 50%，有利于便携式电子设备小型轻量化。

(3) 寿命长。锂离子电池采用碳阳极，在充放电过程中，碳阳极不会生成锂枝晶，从而可以避免电池因内部锂枝晶短路而损坏。国外锂离子电池的寿命可达 1200 次以上，远远高于各类电池。

(4) 安全快速充电。锂离子电池与金属锂电池不同，它的阳极用特殊的碳电极代替金属锂电极，因此允许快速充电。采用 1C 充电速率，可在两小时内充足电，而且安全性能大大提高。

(5) 允许温度范围宽。锂离子电池具有优良的高低温放电性能，可在 $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 之间工作。高温放电性能优于其它各类电池。

此外，锂离子电池还具有自放电电流小、无记忆效应和无环境污染等优点，综合性能优于铅酸、镍镉、镍氢和金属锂电池，被称为性能最好的电池。锂离子电池的应用，在世界各地引起巨大轰动。

2. 锂离子电池的主要缺点

(1) 与干电池无互换性。锂离子电池虽然有电压高的好处，但也有很难和干电池互换的缺点。当蓄电池放完电时，一般人立刻会想到用干电池暂时取代，但由于二者电压不同，不能直接代换。

(2) 无法急速充电。锂离子电池无法像镍镉电池那样，用15分钟急速充足电。锂离子电池的充电方法是：最初以恒定电流充电，最后则以恒定电压完成充电。现在各电池公司推荐的充电速率是1C，这样，充电时间约需2小时，第一个小时可充入电池额定容量的80%左右。

(3) 内部阻抗高。因为锂离子电池的电解液为有机溶液，其电导率比镍镉电池、镍氢电池的水溶液电解液小得多，所以，锂离子电池的内部阻抗比镍镉电池或镍氢电池约大10倍。直径18mm、长50mm的单体电池的阻抗为90mΩ。

(4) 工作电压变化较大。电池放电到额定容量的80%时，镍镉电池的电压变化很小(约20%)，锂离子电池的电压变化很大(约40%)，如图3-8所示。对电池供电的设备来说，这是严重的缺点。但是由于锂离子电池放电电压变化较大，很容易据此检测电池的剩余电量。

(5) 放电速率较大时，容量下降较大。放电速率为0.5C时，锂离子电池和镍镉电池容量的减少量相当，但高放电速率大于1C时，锂离子电池的容量严重减少，如图3-9所示。

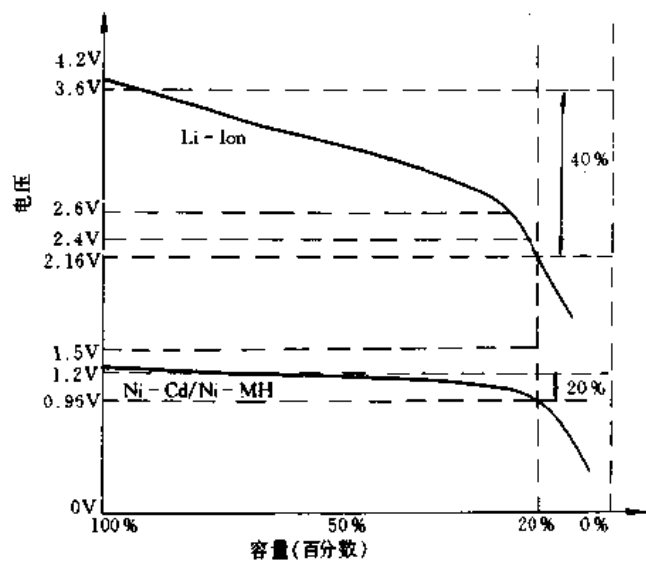


图 3-8 锂离子电池与镍镉/镍氢电池放电特性比较

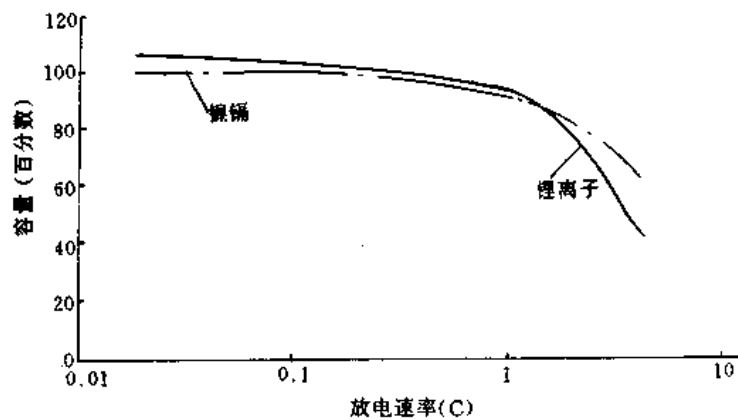


图 3-9 锂离子电池与镍镉电池放电容量比较

因此，锂离子电池无法大电流放电，最大放电速率为1C。放电速率超过1C，电池的容量和寿命将减少。电动工具用的镍镉电池，放电速率要求达到10C，因此锂离子电池不能用于驱动大转矩电动机。

3.2 锂离子电池充电控制器

目前广泛应用的锂离子电池充电控制集成电路有LM3420, MC33346, bq2054等，下面分别介绍。

3.2.1 锂离子电池充电控制器 LM3420

1. 概述

LM3420 是控制锂离子电池充电和终止充电的单片集成电路。它有三种不同的型号：LM3420-4.2、LM3420-8.4 和 LM3420-12.6，分别提供 4.2V、8.4V 和 12.6V 恒压输出，适用于对 1 只、2 只和 3 只锂离子电池组充电。

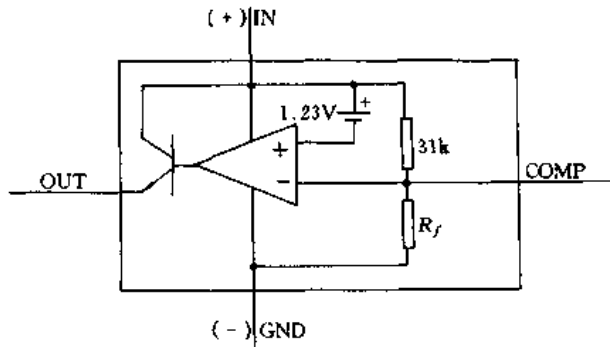


图 3-10 LM3420 内部框图

LM3420 中含有运放、带隙基准、NPN 输出晶体管和设置输出恒定电压的分压电阻，如图 3-10 所示。运放反相输入端外接回路频率补偿元件，输出级采用发射极开路 NPN 晶体管，输出电流为 15mA。在工作温度范围内，带隙基准电压具有非常高的稳定性。A 类产品的精度为 0.5%，标准产品的精度为 1%。LM3420 能够精确地控制锂离子电池终止充电。LM3420 采用 SOT23-5 表面贴装型封装，电路板可设计得非常密集，管脚排列如图 3-11 所示。

2. 电气参数

LM3420-12.6 锂离子电池充电控制器的主要电气参数如表 3-2 所列。

3. 极限参数

输入电压 V_{IN}	20V
输出电流 I_{OUT}	20mA
工作温度范围	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$
结温 T_J	150°C
功耗 P_D	300mW

4. 基本工作原理

LM3420 是一种专门设计的并联稳压器，稳压器输出电压由输入脚 (IN) 和接地脚

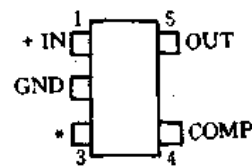


图 3-11 LM3420 的管脚图

表 3-2 LM3420-12.6 电气参数

符号	参数	条 件	典型值	极限值	单位
V_{REG}	稳定电压	$I_{OUT} = 1\text{mA}$	12.6	12.726 12.348	V
	稳定电压误差	$I_{OUT} = 1\text{mA}$		± 1 ± 2	%
I_S	静态电流	$I_{OUT} = 1\text{mA}$	85	125 150	μA
G_m	跨导 $\Delta I_{OUT} / \Delta V_{REG}$	$1\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 15\text{mA}$ $V_{OUT} = 10\text{V}$	6.0	最小值 1.4	mA/mV
A_v	电压增益 $\Delta V_{OUT} / \Delta V_{REG}$	$1\text{V} \leq V_{OUT} \leq V_{REG} - 1.2$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	3500	最小值 700	V/V
V_{SAT}	输出饱和电压	$V_{IN} = V_{REG} = 100\text{mV}$ $V_{OUT} = 15\text{mA}$	1.0	最大值 1.3	V
I_L	输出漏电流	$V_{IN} = V_{REG} - 100\text{mV}$ $V_{OUT} = 0\text{V}$	0.1	最大值 0.5/1.0	μA
R_f	内部反馈电阻		287	359/215	$\text{k}\Omega$
E_R	输出噪声电压	$I_{OUT} = 1\text{mA}$ $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{kHz}$	210		μV_{RMS}

(GND) 之间的电阻分压器决定。如果输入脚的电压低于 LM3420 的稳定电压 (V_{REG})，输出脚无输出电流。当输入脚的电压达到稳定电压 V_{REG} 后，输出脚开始输出电流。该电流驱动反馈器件（光电耦合器）或线性稳压器、开关稳压器的功率器件，使输出电压稳定在 V_{REG} 。

在某些应用中，输入脚 (IN) 的电压可能超过 V_{REG} 。在这种情况下，加到 IN 脚的最高电压不应当超过 20V。此外在输出脚 (OUT) 还应加接一个电阻，将最大输出电流限制到 20mA。

许多应用电路中，在 LM3420 的补偿脚 (COMP) 和输出脚之间接入电容器 C_c ，可以实现闭环回路补偿。根据所需的回路响应，补偿电容器的容量应选用适当的数值。

当频率为 f 时，AC 增益可由下式求出：

$$\text{增益}(f) = 1 + \frac{Z_r(f)}{R_f}$$

式中， $Z_r(f) = \frac{1}{j \times 2\pi \times f \times C_c}$ 。

在 4.2V 的器件中， $R_f = 75\text{k}\Omega$ ；8.4V 的器件中， $R_f = 181\text{k}\Omega$ ；12.6V 的器件中， $R_f = 287\text{k}\Omega$ 。

如图 3-12 所示，在 COMP 脚与 IN 脚之间接入一只电阻，可将 LM3420 的稳压值 V_{REG} 升高 10%。在 COMP 脚与 GND 脚之间加入一只电阻，可将 LM3420 的稳压值 V_{REG} 降低 10%。应当说明，外接电压调整电阻后，稳定电压将随结温变化而变化，如图 3-13 所示。

外接电阻计算公式如下：

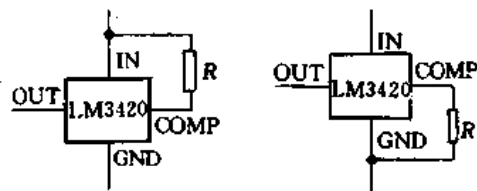


图 3-12 V_{REG} 调整电路

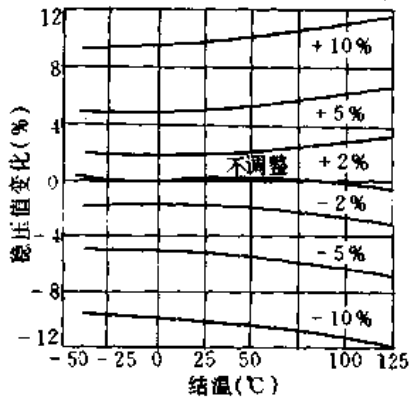


图 3-13 稳压值随结温的变化

对于 LM3420-4.2 器件来说，需要增加稳压值时，

$$R = \frac{22 \times 10^5}{\text{电压增加百分数}}$$

需要降低稳压值时，

$$R = \frac{53 \times 10^3}{\text{电压降低百分数}} - 75 \times 10^3$$

对于 LM3420-8.4 器件来说，需要增加稳压值时，

$$R = \frac{26 \times 10^5}{\text{电压增加百分数}}$$

需要降低稳压值时，

$$R = \frac{154 \times 10^5}{\text{电压降低百分数}} - 181 \times 10^3$$

对于 LM3420-12.6 来说，需要增加稳压值时，

$$R = \frac{28 \times 10^5}{\text{电压增加百分数}}$$

需要降低稳压值时，

$$R = \frac{259 \times 10^5}{\text{电压降低百分数}} - 287 \times 10^3$$

LM3420 稳压器/驱动器能够为锂离子电池充电器提供基准电压和反馈驱动功能，它能够用于线性充电器和开关充电器中，保证锂离子电池安全快速充电，输出电压误差可控制在 0.5% 以内。

3.2.2 带微控制器接口的充电控制器 MC33346

MC33346 是一种锂离子电池充电控制器，它能够控制 3~4 只锂离子电池的充放电电压，并且具有微控制器接口。

MC33346 可与其它外部元件一起，装入锂离子电池组内，构成智能化电池组，主要作用是保证电池组安全充放电。该器件采用 TSSOP-24 或 SO-24L 两种封装形式，管脚排列如图 3-14 所示。

1. 充电控制作用

可以控制 3~4 只锂离子电池安全充电；
电池电压检测精度为 1.0%；

微控制器能够保证每只单体电池均衡充电；

不用微控制器也可独立完成充电功能；
充电 MOSFET 可为电池提供恒定的充

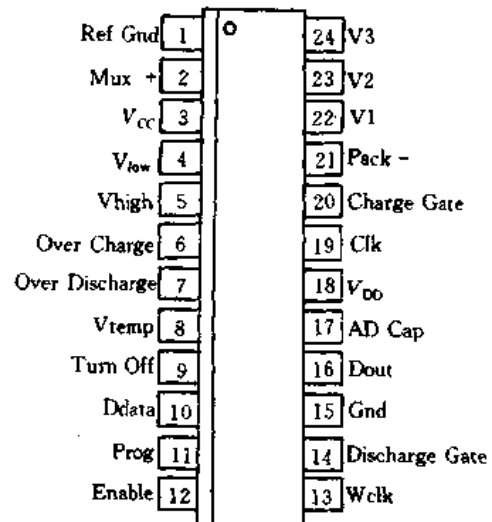


图 3-14 MC33346 管脚图

电电压。

2. 保护作用

在欠压状态下，为了避免损坏锂离子电池，能够使电池自动停止输出电流；
单体电池过压和欠压保护；
在充放电过程中，能够完成过流保护功能。

3. 在智能电池组中的应用

采用 SO-24L 和 TSSOP-24 表面贴装型封装，便于装入智能电池组中；
智能电池组与微控制器只有简单的三脚接头，与膝上电脑等设备容易连接，如图 3-15 所示。

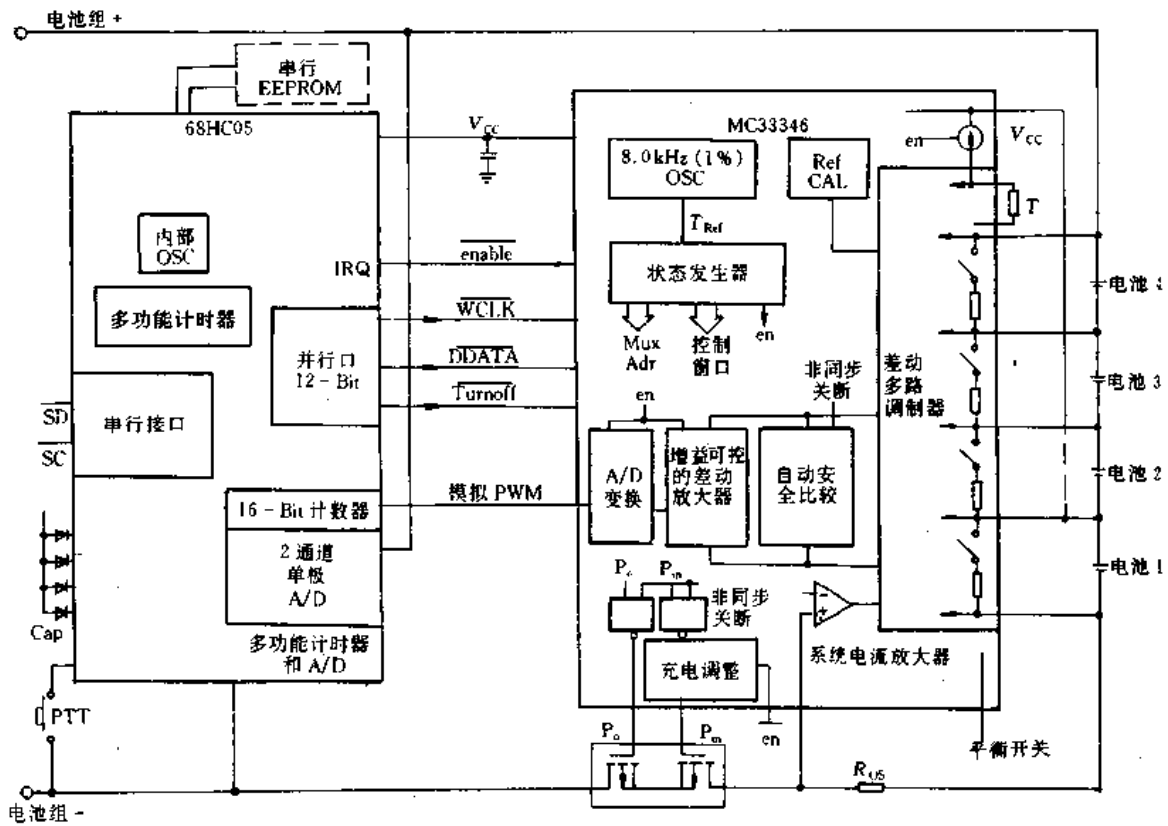


图 3-15 MC33346 应用电路

3.2.3 锂离子电池快速充电控制器 bq2054

1. 主要特点

保证锂离子电池组安全充电。

采用脉宽调制稳压器，充电主回路可采用高效开关型电源，也可以采用线性稳压器。

为了保证在不同环境温度下锂离子电池都能充足电，所有电压极限值都随环境温度而改变。

采用恒压限流充电控制方式，充电过程由芯片内部的定时器控制。

充电过程受温度范围和电压范围限制。

充电电压和电流门限值可以选择。

外部元件少，控制精度高。

充电电压为最高极限值时，充电电流下降到规定的最小值后，快速充电自动终止；为了保证安全充电，还采用了最长充电时间和最高温度等快速充电终止法。

该芯片可直接驱动发光管，以显示各种充电状态和故障状态。

2. 管脚排列及名称

bq2054 管脚排列如图 3-16 所示。管脚名称如下：

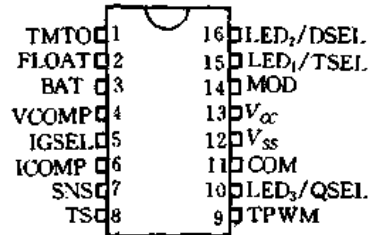


图 3-16 bq2054 管脚图

TMTO	定时关断时基
FLOAT	充电状态控制
BAT	电池电压
VCOMP	电压回路补偿
IGSEL	电流增益选择
ICOMP	电流回路补偿
SNS	取样电阻输入
TS	温度取样
TPWM	稳压器时基
COM	LED 公共输出端
LED ₃ /QSEL	充电状态输出 3/充电终止选择
V _{SS}	接地
V _{CC}	电源电压 (5.0V ± 10%)
MOD	调制方式控制
LED ₁ /TSEL	充电状态输出 1/充电终止选择
LED ₂ /DSEL	充电状态输出 2/显示选择

3. 主要功能

单片 CMOS 集成电路 bq2054 能够实现锂离子电池最佳充电控制，采用脉宽调制稳压器可以实现恒压充电或恒流充电。为了便于控制电磁干扰，稳压器的开关频率由外接元件的数值确定。当充电电流较大时，充电器主回路采用开关型稳压器，可以大大减小功耗，提高充电器的效率。

充电电压门限值可随环境温度而变。这样，在恒压充电状态下，可以延长锂离子电

池的寿命。利用外接的温度传感器，bq2054 可以精确地检测电池的温度，从而准确地限制电池温度，并且实现电池充电电压温度补偿。

当接通电源并接入待充锂离子电池时，bq2054 开始充电。当电池的温度和电压正常时，充电器进入快速充电状态；当电池的电压和温度达到规定的极限时，快速充电状态自动终止。刚开始充电时，如果电池电压低于最低门限值，bq2054 先进入涓流充电状态。在此状态下，电池电压逐渐升高。当电池电压达到规定值后，充电器自动转入快速充电状态，这样，可避免损坏过放电的电池。

在充电过程中，根据电池的电压和充电电流，bq2054 可在限流充电和恒压充电模式之间自动切换。

bq2054 内部还设有最长充电时间安全定时器。充电过程中，为了避免电池过充电，达到最长充电时间后，bq2054 能够自动终止快速充电。定时时间由外接 RC 电路的时间常数确定。

为了准确地了解电池和充电系统的状态，bq2054 还可以指示各种充电状态和故障状态。

3.3 锂离子电池充电器

3.3.1 线性恒流/恒压锂离子电池充电器

1. 最简单的线性恒流/恒压充电器

最简单的线性恒流/恒压锂离子电池充电器实际电路如图 3-17 所示，该充电器采用 LM3420-8.4 充电控制器，可对两只串联锂离子电池充电。开始充电时，电池电压低于 8.4V，LM3420 输出端 (OUT) 无输出电流，晶体管 Q_2 处于截止状态，因此，电压可调稳压器 LM317 输出恒定电流 (LM317 输出额定电流为 1.5A，如果需要更大的充电电流，可选用 LM350 或 LM338)。LM317 使电阻 R_{LIM} 两端电压稳定在 1.25V，因此，输出的恒定电流值为：

$$I_{LIM} = \frac{1.25V}{R_{LIM}}$$

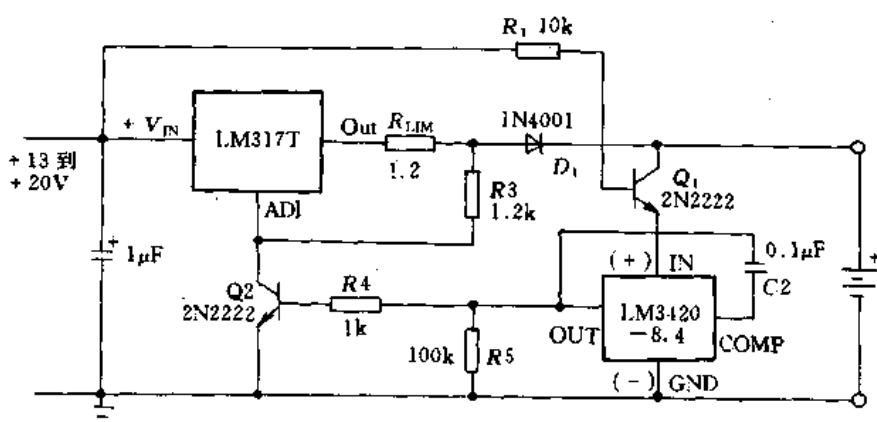


图 3-17 最简单的线性恒流/恒压充电器

当输入电压中断后，晶体管 Q_1 截止，电池与 LM3420 断开。在该电路中， Q_1 作为低补偿饱和开关，集电极-发射极饱和电压非常低（大约 5mV）。当直流输入电压切断后，二极管 D_1 可以避免电池通过 LM317 放电。

充电过程中，电池电压开始上升，该电压被 LM3420 输入脚 (IN) 检测，当电池电压达到 8.4V 后，LM3420 开始输出电流，该电流经电阻 R_4 加入晶体管 Q_2 的基极。晶体管 Q_2 开始控制 LM317 的调整脚 (ADJ)，从而调整电池两端电压，充电器转入恒压充电过程，电池两端电压稳定在 8.4V。此后，充电电流开始减小，当电池充足电后，充电电流下降到非常小的数值。

2. 低压差恒流/恒压充电器

输入输出电压差小于 1V 的恒流/恒压锂离子电池充电器如图 3-18 所示。开始充电后，该充电器工作于恒流状态，电池接近充足电时，自动转换到恒压状态。该电路中包含两个基本反馈回路，一个回路控制电池的恒定充电电流，另一个回路确定电池两端的恒定电压。

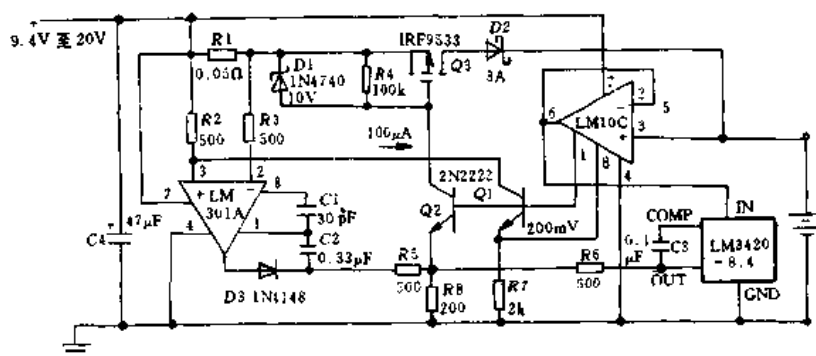


图 3-18 低压差恒流/恒压充电器

已放完电的电池接入充电器后，电池电压低于 8.4V，充电器开始恒流充电过程。运放 LM10C 的基准电压使电阻 R_7 两端电压稳定在 200mV，因此， Q_1 的发射极电流约为 $100\mu\text{A}$ ， Q_2 的发射极电流约为 1mA， Q_1 的集电极电流也约为 $100\mu\text{A}$ 。该电流在 R_2 两端产生 50mV 压降。该压降确定电流取样电阻 R_1 两端的基准电压。

恒流反馈回路工作过程如下：刚开始充电时， Q_2 的发射极和集电极电流都接近 1mA。该电流为 Q_3 的门极驱动电流，因此， Q_3 导通，运放 LM301A 输出低电平。当 Q_3 的电流达到 1A 时， R_1 两端电压约为 50mV，它能够抵消 R_2 两端的 50mV 压降，因此运放 LM301 的输出开始变正，运放输出电流开始流入电阻 R_5 。当更大的电流从运放流入 R_5 时， Q_2 集电极电流将减小同样的数值，这样， Q_3 门极驱动电流减小，从而使 0.05Ω 电流取样电阻 R_1 两端电压稳定在 50mV，这样，该充电器的充电电流可稳定在 1A。

当 D_3 正向偏置时， C_1 和 C_2 给运放 LM301A 加入所需的补偿，从而稳定限流回路。当 D_3 反向偏置时， C_1 和 C_2 能缩短响应时间，当 LM301A 输出低电平时，二极管 D_3 反向偏置，这样可以避免 Q_2 的发射极大电流流入运放。当电池电压达到 8.4V 并且不再需要 1A 充电电流时，应避免 Q_2 发射极电流过大。电阻 R_5 可将运放 LM301A 输出与 Q_2 发射极的公共反馈接点隔开。

接成电压跟随器的运放 LM10C 检测并缓冲电池电压，然后驱动 LM3420。当电池电压达到 8.4V 时，LM3420 输出电流输入 R_6 从而控制 Q_2 的集电极电流，进而减小 Q_3 的门极电压，充电器变为恒压状态，电阻 R_6 将 LM3420 的输出端与 Q_2 发射极的公共反馈接点隔开。如果不用 R_5 和 R_6 ，从恒流状态转换到恒压状态时，可能产生振荡。当输入电源电压中断时，为了避免电池放电，肖特基二极管 D_2 和运放 LM10C 中的 PNP 晶体管输入级将使电池与充电器电路分开。

3. 采用 MOSFET 的低压差恒压充电器

采用 MOSFET 的低压差恒压充电器实际电路如图 3-19 所示。在该充电器中，采用导通电阻很小的 MOSFET (Q_2) 作调整管，因此输入输出电压差很低 (约 0.6V)。在该电路中，没有限流保护，因此输入电源应当采用具有限流保护的 9~12V 直流电源。当输入电源中断时，晶体管 Q_3 和肖特基二极管 D_1 可以使电池与充电电路隔离，防止电池通过充电电路放电。调整管 Q_2 应选用大电流 (导通电阻为 0.2Ω) MOSFET， Q_3 应选用小电流 (导通电阻为 2Ω) MOSFET。

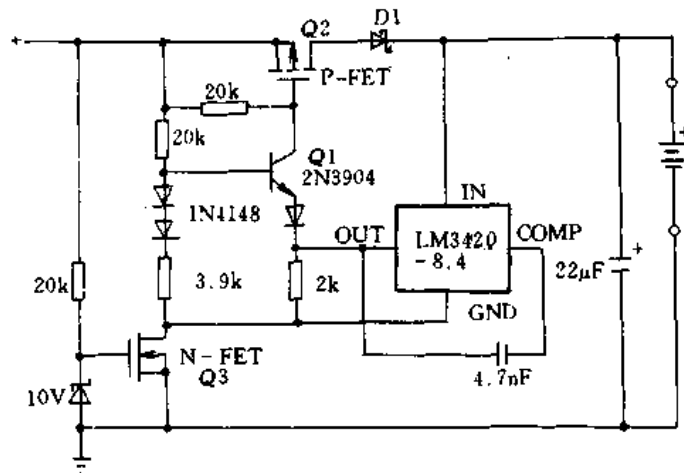


图 3-19 采用 MOSFET 的低压差恒压充电器

3.3.2 开关型恒流/恒压充电器

1. 高效开关型恒流/恒压充电器

能够对 2 只串联锂离子电池充电的高效开关型恒流/恒压充电器实际电路如图 3-20 所示。该充电器允许输入电压范围比上述线性充电器宽得多，而且效率也高得多。由于最大充电电流为 1A，所以选用 LM2575-ADJ 组成斩波式开关稳压器。若要求的充电电流不是 1A，应当选用其他开关稳压器 IC。

该电路工作原理如下：当放完电的电池接入充电器后，该电路输出恒定电流，对电池充电。该充电器的恒流控制部分由双运放 LM358 的一半、增益设定电阻 R_3 和 R_4 、电流取样电阻 R_5 和 1.23V 反馈基准电压源组成。刚接入电池后，运放 LM358 输出低电平，开关稳压器 LM2575-ADJ 输出电压升高，电池开始充电。当充电电流上升到 1A 时，取样电阻 R_5 ($50m\Omega$) 两端压降达到 50mV，该电压经过增益为 25 的运放放大后，输出 1.23V 电压，该电压加到 LM2575 的反馈端，稳定反馈回路。

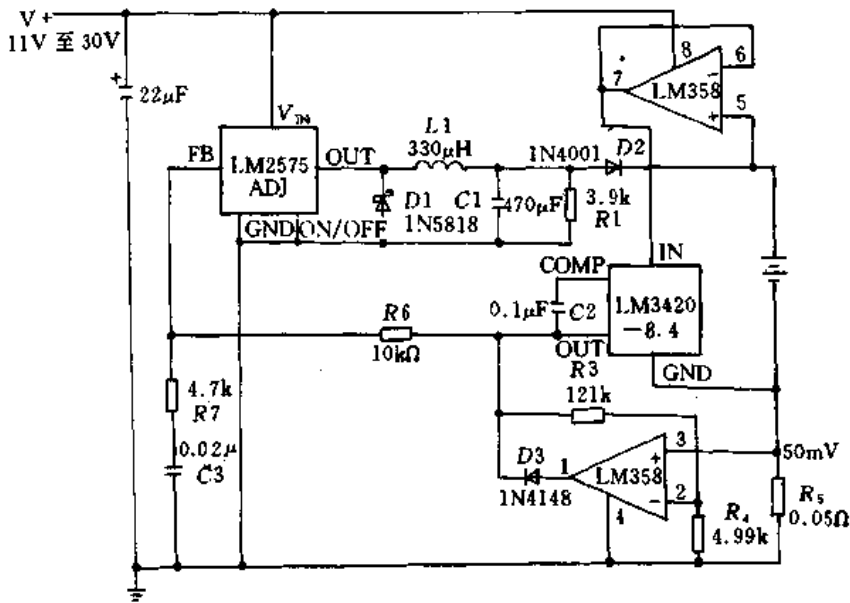


图 3-20 高效开关型恒流/恒压充电器

当电池电压达到 8.4V 后, LM3420 开始控制 LM2575-ADJ 的反馈脚。LM3420 使充电器转入恒压充电过程, 电池两端电压稳定在 8.4V。R₆、R₇ 和 C₃ 组成补偿网络, 保证充电器在恒流/恒压状态下稳定工作。若输入电源电压中断, 二极管 D₂ 和运放 LM358 中的 PNP 输入级反向偏置, 从而使电池与充电电路隔离, 保证电池不会通过充电电路放电。当充电转入恒压充电状态时, 二极管 D₃ 反向偏置, 因此, 运放中不会产生灌电流。

该充电器可对 2 只串联锂离子电池充电。输入电压最小值为 11V, 最高电压为 30V (主要受 LM358 最高工作电压限制)。若用其他运放代替 LM358, 只要保证运放的共模输入范围扩展到地, 就能精确检测 50mV 电压。电阻 R₁ 是开关稳压器 LM2575 的负载电阻, 接入该电阻后, 可保证电池去掉后输出电压不会上升。

2. 采用高端电流取样的高效开关型恒流/恒压充电器

采用高端电流取样的高效开关型恒流/恒压充电器实际电路如图 3-21 所示。该充电器的电流、电压反馈回路与上述电路基本相同。在该电路中, 电流取样电阻 R₃ 接在电池的正端, 因此, 输入电源与电池共地。另外, 在该电路中, 运放 IC₁ 采用 LMC7101, 此运放采用 SOT23-5 微封装, 因此可以缩小印制电路板的面积。当输入电源中断时, 二极管 D₁ 可防止电池通过充电器放电, 但是 LM3420 的静态电流 (约为 85μA) 将由电池供给。

3.3.3 脉冲恒流快速充电器

锂离子电池脉冲恒流快速充电器实际电路如图 3-22 所示。电池开始充电后, 充电器工作于恒流充电状态, 充电电流为 1A。当电池电压达到 8.4V 后, 充电电流由 1A 连续电流转换为脉冲电流, 这样充电时间可大大缩短。经过一个充电脉冲后, 充电停止, 电池电压开始下降, 当电池电压低于 8.4V 时, LM555 定时器另一个周期重新开始, 电池

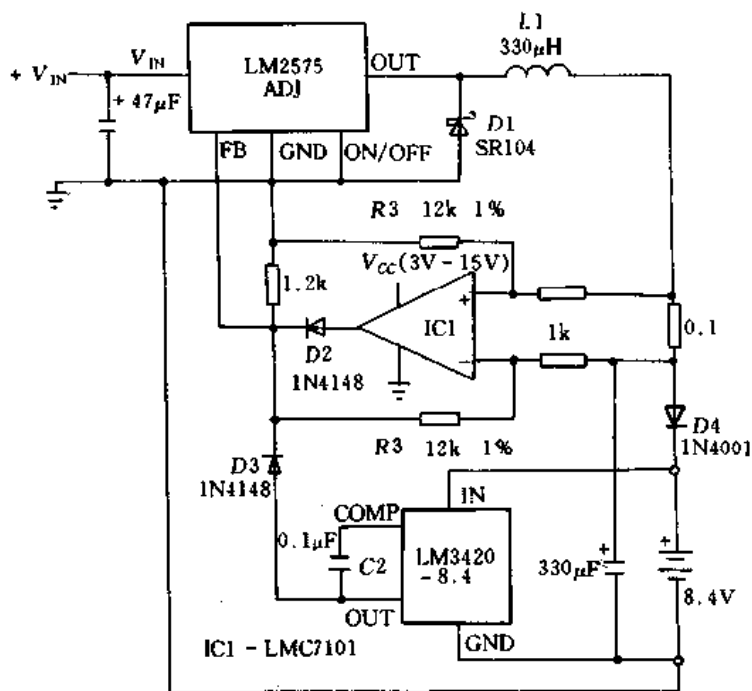


图 3-21 采用高端电流取样的开关型充电器

又开始充电，充电脉冲的幅值为 1A，脉冲宽度为 5s。电池停止充电时间是变化的，它等于电池电压下降到 8.4V 以下所需的时间。当电池电压第一次达到 8.4V 时，停止充电时间很短 (1ms 或者更短)，但是当电池快要充足电时，停止充电时间将达到几十秒，甚至几分钟或几小时。

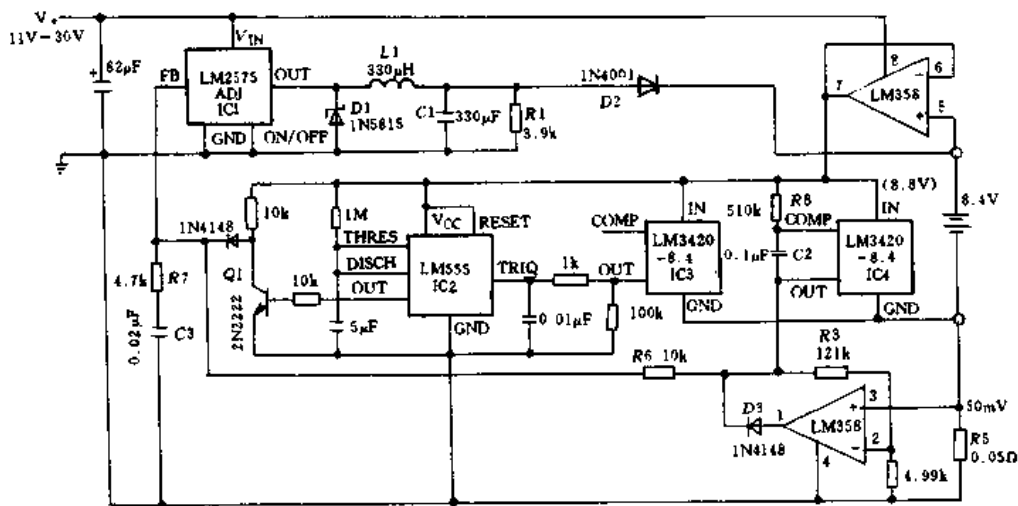


图 3-22 脉冲恒流快速充电器

在该充电器中，恒流控制回路和稳定 1A 充电电流的方法都与上述采用 LM2575-ADJ 的开关型充电器完全相同。在该充电器中，IC₃ (LM3420) 的 IN 脚与 COMP 脚之间接有 510kΩ 电阻，因此它的基准电压 V_{REG} 约升高 400mV，这样，当电池接触不良或者电池去掉后，可将充电器的输出电压限制在 8.8V。

LM555 定时器接成单稳态电路，用来提供宽度为 5s 的充电脉冲。只要电池电压低于 8.4V，IC₃ (LM3420-8.4) 将输出低电平，因此，LM555 单稳态电路决不能触发 (LM555 输出高电平)，这样 LM555 单稳态电路对充电器无任何影响。一旦电池电压超过 8.4V，IC₃ (LM3420-8.4) 将输出高电平，LM555 的触发脚加入高电平，单稳电路开始定时。此时 LM555 输出高电平，晶体管 Q₁ 导通，LM2575 输出的宽度为 5s、幅值为 1A 的脉冲电流流入蓄电池。电池停止充电时间由电池的充电状态决定。

3.3.4 其它快速充电器

LM3420 也可以通过系统内的 CPU 控制锂离子电池快速充电，控制电路如图 3-23 (a) 所示，LM3420 输出电压和电池两端电压波形如图 3-23 (b) 所示。LM3420 还可以通过光电耦合器控制高频 PWM 控制器，组成离线式开关电源充电器，如图 3-24 所示，这样可以大大提高充电器的效率，减小充电器的体积和重量。

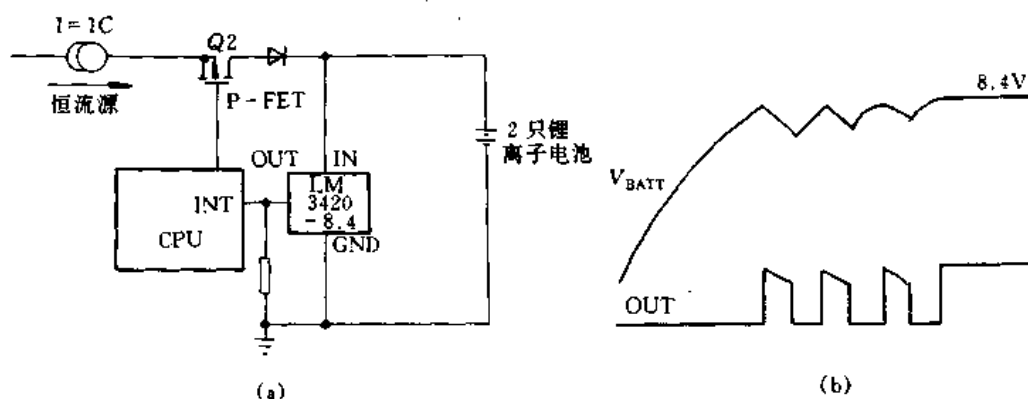


图 3-23 CPU 控制的充电器

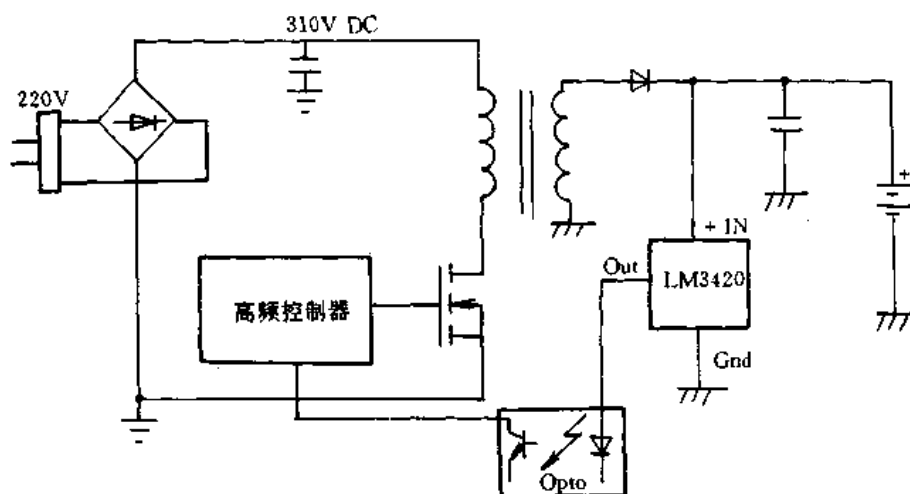


图 3-24 离线式开关电源充电器

第四章 微处理器控制的多功能智能充电器

前面我们介绍的充电控制集成电路，不需外接控制器即可工作，但是功能比较单一，一般只能用于某种电池的专用充电器。微处理器控制的多功能智能充电器，可以对不同种类和不同容量的电池充电。

4.1 MPU 与 LTC1325 组成的智能充电器

LTC1325 是一种高性能充电控制器 IC，和外部微处理器配合，外接少量元件即可组成多功能充电器。它采用串行接口和 μP 通信，充电前可先让电池放电，充电过程中，可以监控充电量、电池温度、电池电压、充电时间等参数，以达到最佳的充电效果并延长电池的寿命。

4.1.1 充电控制器 LTC1325

1. 概述

LTC1325 是单片 CMOS 快速充电控制器，它可以对镍镉、镍氢、铅酸和锂电池进行充电控制。该器件内含可编程 111kHz 的 PWM 恒流源控制器、10 位 ADC、内部稳压器、充电前放电控制器、可编程电池电压衰减器和串行接口，工作电压为 4.5~16V，使用非常方便。

LTC1325 有五种工作模式：电源关断、空闲、放电、充电和电量检测。在电源关断模式下，该芯片的电流下降到 $30\mu\text{A}$ 。在充电过程中，芯片瞬间进入空闲模式，可以使 ADC 的输出精度不受开关噪声的影响。在放电模式下，电池可通过外接晶体管放电。在充电模式下，LTC1325 控制电池充电，同时检测电池电压、电池温度、环境温度和充电时间，当某个参数达到规定值时，结束充电状态。LTC1325 还能检测充电前和充电过程中发生的故障；在电量检测模式下，LTC1325 能计算出充入电池的总电量。

2. 管脚功能定义

LTC1325 的封装如图 4-1 所示，各管脚的功能如下：

REG (1 脚)：内部稳压器输出。该稳压器为内部模拟电路提供 3.072V 的稳定电压，并为 MCV、HTF 和 LTF 控制电路提供不受温度影响的基准电压，还能通过外接电阻为热敏电阻提供电压。该脚与地之间应接入 $4.7\mu\text{F}$ 或者容量更大的旁路电容。

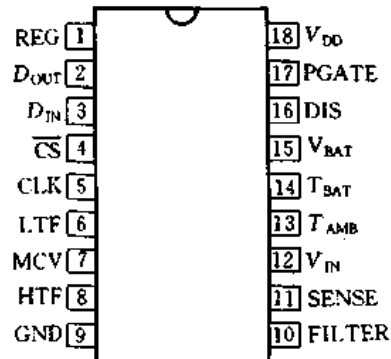


图 4-1 LTC1325 的封装图

D_{OUT} (2脚):TTL电平的串行数据输出。 D_{OUT} 和 D_{IN} 接在一起时,它和CLK、 \overline{CS} 组成3线接口,两脚不接在一起时,组成4线接口,在CLK(5脚)脉冲的下降沿,传送数据。

D_{IN} (3脚):TTL电平的串行数据输入。在CLK(5脚)脉冲的上升沿,数据锁存在芯片中。

\overline{CS} (4脚):片选信号。

CLK(5脚):串行接口的时钟。

LTF(6脚):与电池最低允许温度相应的模拟电压设置端。改变REG脚与地之间的分压电阻值,可以改变LTF设定值。

MCV(7脚):单体电池最高允许电压设置端。改变REG脚与地之间的分压电阻值,可改变MCV设定值。

HTF(8脚):与电池最高允许温度相应的电压设置端。改变REG脚与地之间的分压电阻值,可改变HTF设定值。

GND(9脚):接地脚。

FILTER(10脚):该脚接外部滤波电容器 C_F 。滤波电容器应接在电池两端的内部电阻分压器的引出端,以减小充电过程中开关噪声对取样电压的影响。在电量检测状态下, C_F 与内部的 R_F (1k Ω)组成低通滤波器,以便在取样电阻两端得到平均电压。

SENSE(11脚):取样脚。在充电模式下,取样电压控制111kHz PWM恒流源的工作。外接取样电阻 R_{SENSE} 接在取样脚和电池负端。充电回路强制取样脚平均电压与内部可编程基准电压 V_{DAC} 相等。电池的充电电流等于 V_{DAC}/R_{SENSE} 。

在电量检测态下,取样电压经RC网络(R_F 和 C_F)滤波后,通过内部放大器(增益为4)放大,然后经过复用选通后至ADC,这样即可测出电池的平均放电电流,从而算出电池剩余的总电量。

V_{IN} (12脚):通用ADC输入。

T_{AMB} (13脚):环境温度输入。如果需要检测环境温度,在该脚和REG脚之间,应接入热敏电阻网络,该脚也可作为其他的通用ADC输入。

T_{BAT} (14脚):电池温度输入。如果需要取样电池温度,在该脚和REG脚之间,应接入NTC热敏电阻网络。如不需取样电池温度,该引脚要接至REG脚。

V_{BAT} (15脚):电池电压输入。内部分压器接在 V_{BAT} 和SENSE脚之间,把电池组的电压变换成单体电池的电压。分压器可按1/1,1/2,1/3, ..., 1/15,1/16来调整。在关断和电量检测模式下,分压器断开。

DIS(16脚):放电控制脚。该脚为高电平时,外接晶体管导通,电池通过放电电阻和晶体管放电。

PGATE(17脚):MOSFET驱动器输出。该输出信号在地电位到 V_{DD} 之间变化。

V_{DD} (18脚):电源正电压,4.5V $<V_{DD}<16$ V。

3. 工作原理

LTC1325的内部框图如图4-2所示。它包括5V数字电路稳压器、3.072模拟电路稳压器、控制逻辑电路、故障检测电路、串行I/C、10位A/D、111kHz振荡器、占空比产生器和电量测试电路等部分。

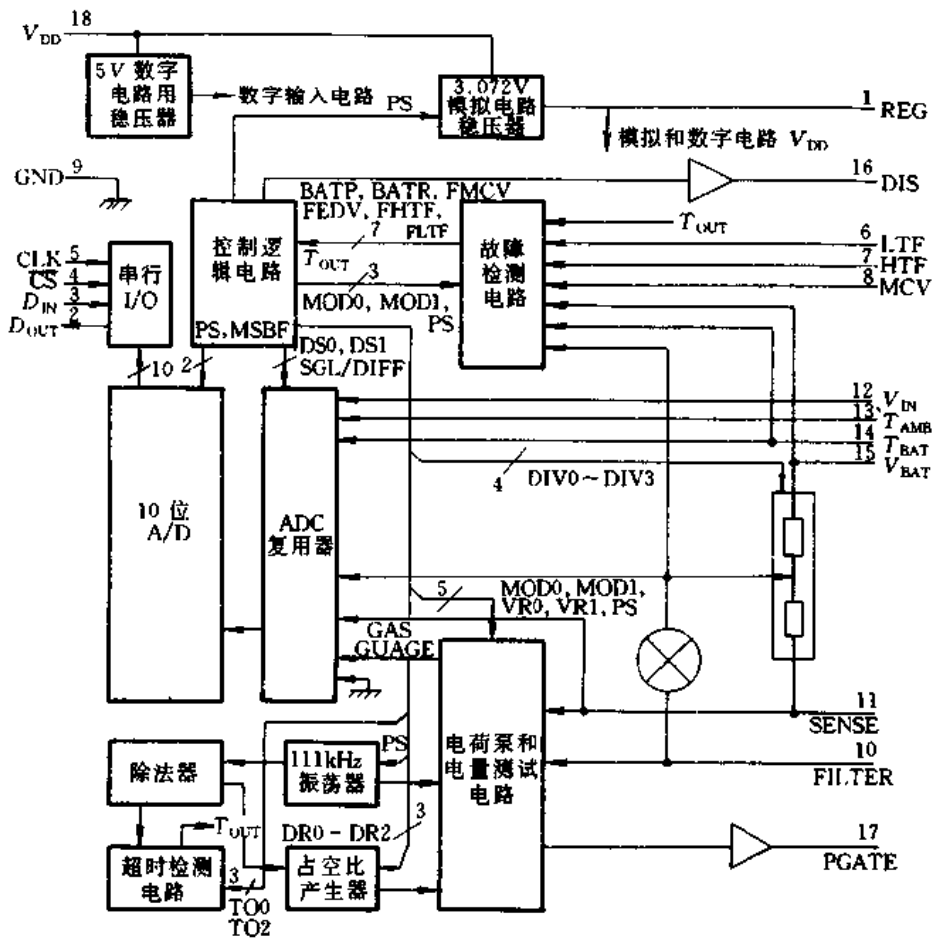


图 4-2 LTC1325 的内部框图

(1) 工作状态

正常工作时，指令通过串行接口送入该芯片，ADC 对参数进行测量，产生 10 位读数和芯片状态字，然后送至外接微处理器。外部微处理器根据返回的参数和状态，发出指令使 LTC1325 进入下面五种模式中的一种：电源关断、空闲、放电、充电和电量测量模式。

在电源关断模式下，给内部模拟电路和外部偏置网络供电的稳压器关断，模拟部分不工作，电源电流下降到 $30\mu\text{A}$ 。同时，电池两端的分压器断开，只有给串行接口逻辑电路供电的稳压器工作。

在空闲模式下，芯片内部电源全部处于工作状态。但是放电电路、充电电路和电量检测电路关断。在充电过程中，芯片瞬时进入空闲模式，可以使 ADC 变换值的精度不受 PWM 电流源开关噪声的影响。当模式指令字开始移入时，应恢复状态指令位。

在放电模式下，电池通过外接晶体管和串联电阻放电，同时 LTC1325 监控电池的故障状态。

在充电模式下，微处理器通过 10 位 ADC 监控电池的电压、温度和环境温度。各种充电终止法，比如 $-\Delta V_{\text{BAT}}$ 、 $\Delta V_{\text{BAT}}/\Delta \text{Time}$ 、 ΔT_{BAT} 、 $\Delta T_{\text{BAT}}/\Delta \text{Time}$ 、 $\Delta (T_{\text{BAT}} - T_{\text{A}})$ 、 T_{MAX} 、

V_{BATmax} 、 t_{max} 都可以由软件精确地实现，LTC1325 同时监控电池的故障状态。

在电量检测模式下，通过测试取样电阻两端的平均电压可以决定平均负载电流。取样电压经 RC 电路滤波，并经过增益为 4 的放大器放大，然后通过 ADC 变换为数字信号，微处理器累积 ADC 测量值并且取时间平均值，从而决定电池剩余的总电量。 RC 滤波电路由 $1k\Omega$ 内部电阻 R_F 和接在 FILTER 脚的外接电容 C_F 组成。

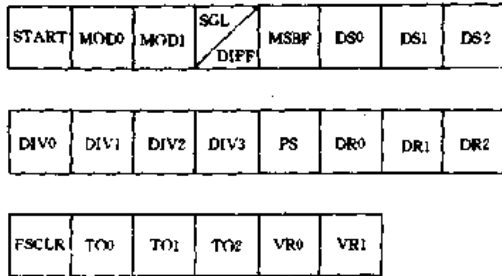


图 4-3 LTC1325 的指令字

(2) 指令字

指令字总长为 22 位，如图 4-3 所示，它包括控制 LT1325 所需的全部信息。电源接通时，所有位全部清零。

第 1 位：起始位 (Start)

\overline{CS} 变为低电平后，进入 D_{IN} 输入脚的第一个“逻辑 1”就是起始位，数据传输就从起始位开始，而该逻辑 1 以前的所有逻辑 0 都不予考虑。

起始位被接受以后，指令字的剩余位将依次写入。

第 2 和 3 位：模式选择 (MOD0 和 MOD1)

这两个模式位决定芯片将进入以下模式中的一种：空闲、放电、充电或电量检测，如表 4-1 所列。

第 4 位：单端、差分变换 (SGL/DIFF)

SGL/DIFF 决定 ADC 作对地单端变换，或者对取样脚作差分变换，如表 4-2 所列。

表 4-1 MOD0 与 MOD1 真值表

MOD1	MOD0	说明
0	0	空闲
0	1	放电
1	0	充电
1	1	电量检测

表 4-2 SGL/DIFF 真值表

SGL/DIFF	说明
0	单端 ADC 变换(对地)
1	差分 ADC 变换(对取样脚)

第 5 位：MSB-First/LSB-First (MSBF)

利用 MSBF 位可以设定对 ADC 测得数据读出的顺序，是 MSB 在前，还是 LSB 在前，如表 4-3 所列，可参考串行 I/O 说明部分。

第 6~8 位：ADC 数据输入选择 (DS0~DS2)

DS2、DS1 和 DS0 用于选择接入 ADC 输入端的信号，如表 4-4 所列。

表 4-3 MSBF 真值表

MOBF	说明
0	LSB-First 数据在 MSB-First 数据之后
1	只有 MSB-First 数据

表 4-4 DS2, DS1, DS0 真值表

DS2	DS1	DS0	说明
0	0	0	电量检测输出
0	0	1	T_{BAT} 脚
0	1	0	T_{AMB} 脚
0	1	1	单体电池电压 V_{CELL}
1	0	0	V_{IN} 脚

第 9~12 位: 电池分压比选择 (DIV0~DIV3)

DIV3, DIV2, DIV1 和 DIV0 用于选择电池组两端分压器的分压比, 如表 4-5 所列。

表 4-5 DIV 位真值表

DIV3	DIV2	DIV1	DIV0	说 明
0	0	0	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/1$
0	0	0	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/2$
0	0	1	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/3$
0	0	1	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/4$
0	1	0	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/5$
0	1	0	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/6$
0	1	1	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/7$
0	1	1	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/8$
1	0	0	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/9$
1	0	0	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/10$
1	0	1	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/11$
1	0	1	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/12$
1	0	1	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/13$
1	1	0	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/14$
1	1	1	0	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/15$
1	1	1	1	$(V_{BAT} - V_{SENSE})/16$

第 13 位: 电源关断(PS)

PS 脚用于选择正常工作模式还是电源关断模式, 如表 4-6 所列。通过 PS 和 MOD0, MOD1 可使芯片工作于五种模式中的任何一种。

表 4-6 PS 位真值表

PS	说 明
0	正常工作
1	除数字电路外的全部电路关断

第 14~16 位: 占空比选择(DR0~DR2)

DR2, DR1 和 DR0 用于选择充电回路的占空比, 如表 4-7 所列。最后三种指令使芯片进入测试状态, 用于出厂前 IC 的测试, 设计者可不使用。

表 4-7 DR2, DR1, DR0 真值表

DR2	DR1	DR0	说 明
0	0	0	1/16
0	0	1	1/8
0	1	0	1/4
0	1	1	1/2
1	0	0	1
1	0	1	测试状态 1

续表

DR2	DR1	DR0	说 明
1	1	0	测试状态 1
1	1	0	测试状态 2
1	1	1	测试状态 3

第 17 位:故障保护锁存器清零(FSCLR)

当 FSCLR 为 1 时,内部自动保护定时器清零,并且故障保护锁存器复位。当 \overline{CS} 变为高电平时,FSCLR 自动清零。

第 18~20 位:定时时间选择(TO0~TO2)

TO2, TO1 和 TO0 用于设定故障检测所需的定时时间。接通电源后,默认定时时间为 5 分钟。

第 21 和 22 位:充电回路基准电压选择 (VR0 和 VR1)

VR1 和 VR0 用于选择充电回路所需的基准电压。充电回路将使取样脚的平均电压等于 V_{DAC} , 平均充电电流为 V_{DAC}/R_{SENSE} 。

(3) 状态字

状态字用于表示测得的各种参数和充电器所处的状态。状态字总长为 8 位,如图 4-4 所示,它包含内部故障保护电路的各种状态。

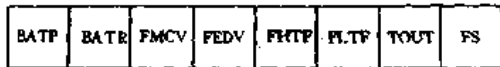


图 4-4 LTC1325 的状态字

第 1 位: 电池接入 (B ATP)

B ATP 用于指示电池接入。当 V_{BAT} 脚的电压比 V_{DD} 低 1.8V 时,该位置“1”。

第 2 位: 电池反接或短路 (B ATR)

B ATR 用于指示电池反接或短路。当电池分压器取出的单体电池电压 V_{CELL} 低于 100mV 时,该位置“1”。

第 3 位: 单体电池最高电压(F MCV)

F MCV 用于指示单体电池的电压 V_{CELL} 超过预置的极限值。当单体电池的电压 V_{CELL} 超过 MCV 脚的电压时,该位置“1”。

第 4 位: 终止放电电压(F E DV)

F E DV 用于指示单体电池的电压低于预定的极限值。当电池分压器输出的单体电池电压低于 900mV 时,该位置“1”。

第 5 位: 高温故障(F H TF)

F H TF 用于指示电池温度过高。采用负温度系数 (NTC) 热敏电阻检测电池的温度,并将电池温度的变化转换为 T_{BAT} 脚的电压变化。当 T_{BAT} 脚的电压 V_{BAT} 低于高温故障 HTF 脚的电压 V_{HTF} 时,该位置“1”。

第 6 位: 低温故障(F L TF)

F L TF 用于指示电池温度过低。采用负温度系数 (NTC) 热敏电阻检测电池的温度,并将电池温度的变化转换为 T_{BAT} 脚的电压变化。当 T_{BAT} 脚的电压 V_{BAT} 高于 LTF 脚的电压 V_{LTF} 时,该位置“1”。

第 7 位: 超时(T O UT)

TOUT 用于指示电池充电时间超过预置的充电时间。当内部定时器的时间超过指令位 TO0, TO1 和 TO2 设定的极限时间时, 该位置“1”。

第 8 位: 故障自动保护(FS)

FS 用于指示充放电过程中发生某种故障。在放电过程中, 当出现 EDV, LTF, GTF 或 TOUT (到达放电终止电压、温度过低、温度过高或超时) 等情况时, 该位置“1”。在充电过程中, 当出现 MCV, LTF, GTF 或 TOUT (达到充电终止电压、温度过高、温度过低或超时) 等情况时, 该位置“1”。指令字中的 FSCLR 可使该位清零。

4.1.2 电路分析

1. 故障状态

在充放电前或充放电过程中, LTC1325 能够监控电池的各种故障状态, 如电池未接 (BATP)、电池反接或短路 (BATR)、充电时电池电压超过单体电池最高电压 (MCV)、放电时电池电压低于单体电池最低电压 (EDV)、超过高温极限 (HTF)、超过低温极限 (LTF) 和超过定时时间 (TOUT)。安全保护和故障检测电路如图 4-5 所示。

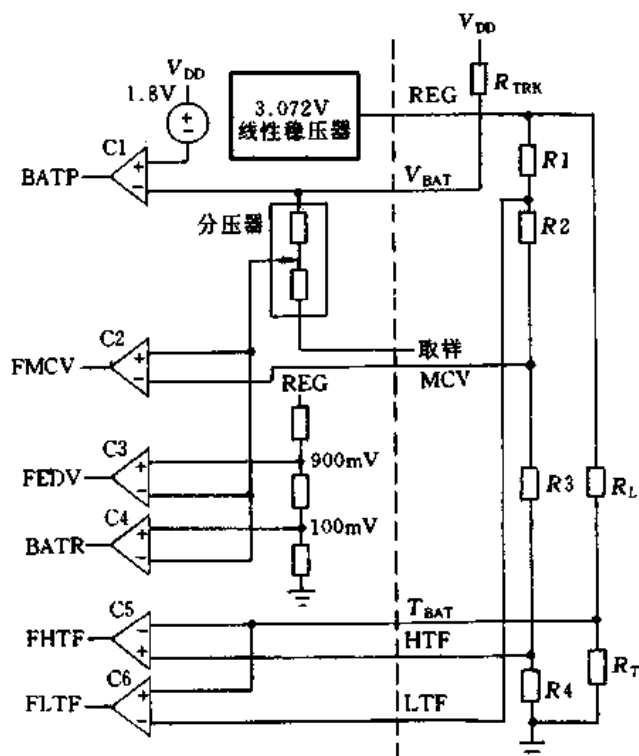


图 4-5 安全保护或故障检测电路

当出现任意一种故障时, 充放电回路停止工作, 并且故障保护位 (FS) 置“1”。通过安全保护清零位 (FSCLR) 置“1”, 加入新的指令, LTC1325 才能重新开始工作。8 位状态字能指示出全部故障状态。

2. 电源关断模式

指令: MOD1=X, MOD0=X, PS=1

状态: BATP=X, BATR=X, FMCV=X, FEDV=X, FHFT=X, FLTF=X, TOUT

=X

在电源关断模式下，模拟电路关断，电源电流下降到 $30\mu\text{A}$ 。为内部模拟电路和外接偏置网络供电的内部稳压器关断，电池两端的分压器开路，只有给串行接口逻辑电路供电的稳压器工作。

3. 空闲模式

指令: $\text{MOD1}=0, \text{MOD0}=0, \text{PS}=0$

状态: $\text{BATP}=\text{X}, \text{BATR}=\text{X}, \text{FMCV}=\text{X}, \text{FEDV}=\text{X}, \text{FHTF}=\text{X}, \text{FLTF}=\text{X}, \text{TOUT}=\text{X}$

当特定的模式指令位置“1”并且电源关断指令位清零后，芯片进入空闲模式。当控制指令位在 D/W 脚出现时，要检测出来，以便随着剩余指令的输入，在 ADC 测试完成以前，调整充电回路。

4. 放电模式

指令: $\text{MOD1}=0, \text{MOD0}=1, \text{PS}=0$

状态: $\text{BATP}=\text{X}, \text{BATR}=\text{X}, \text{FMCV}=\text{X}, \text{FEDV}=\text{X}, \text{FHTF}=\text{X}, \text{FLTF}=\text{X}, \text{TOUT}=\text{X}$

当特定的模式指令位置“1”并且电源关断指令位清零后，充电器进入放电模式。如果不发生故障，内部驱动器使 DIS 脚的电压升高到 V_{DD} ，该电压使外接的放电晶体管导通，电池通过与放电晶体管串联的电阻 R_{DIS} 放电，如图 4-6 所示。

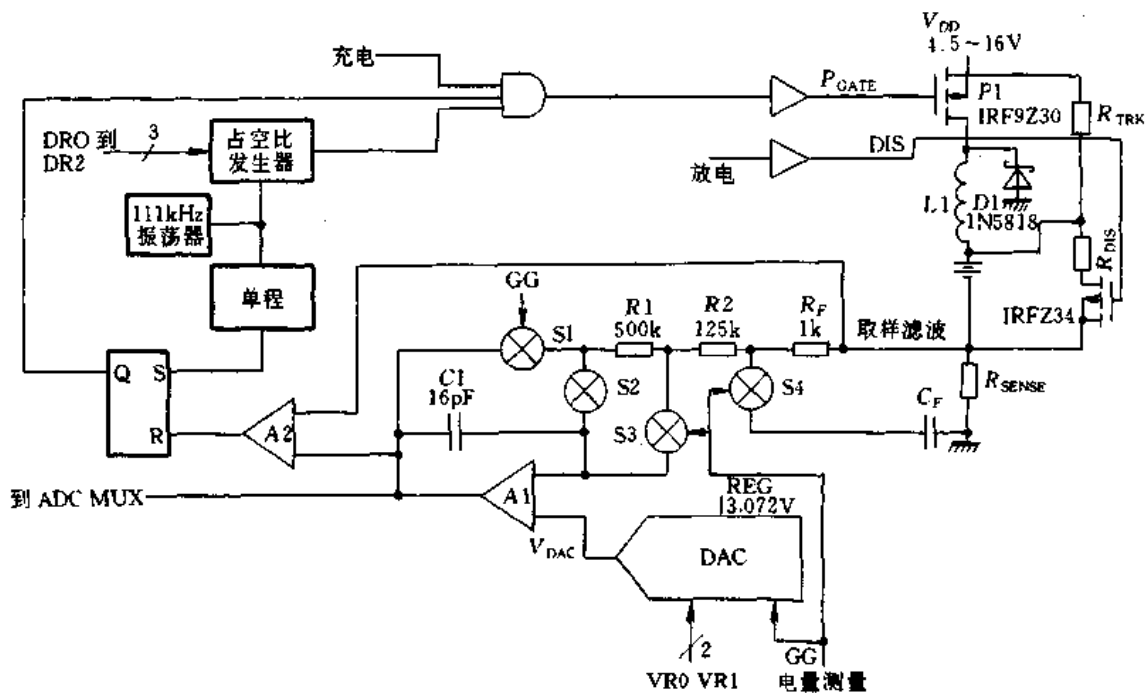


图 4-6 充放电回路方框图

直到有新的指令输入或电池放完电时，放电过程才结束。

5. 充电模式

指令: MOD1=1, MOD0=0, PS=0

状态: B ATP=1, B ATR=0, F MCV=0, F EDV=X, F HTF=0, F LTF=0, T OUT=0

当发出上述指令后, 如果不处于故障模式, 就开始给电池充电, 直到有新指令输入或发生故障状态, 才结束充电。

充电电流可以通过 111kHz PWM 斩波式恒流源来调整, 也可用 PFET 控制外接恒流源或用限流互感器来调整。

6. 111kHz PWM 控制器

采用 PWM 斩波式恒流源的充电回路方框图如图 4-6 所示。PWM 可工作于连续状态, 也可工作于间断状态。该回路使取样电阻 R_{SENSE} 两端的平均电压等于 DAC 输出电压 V_{DAC} , 故充电电流等于 $V_{\text{DAC}}/R_{\text{SENSE}}$ 。

在图 4-6 中, 开关 S2 导通, 其他开关关断时, 放大器 A_1 与 C_1 , R_1 和 R_2 组成带宽为 16kHz 的积分器, 该积分器输出电压是取样电阻两端电压和 DAC 输出电压之差的平均值。

在 111kHz 振荡器输出电压的上升沿产生一个单触发脉冲, 使双稳态触发器输出高电平, 然后, 经过 MOSFET 驱动器使外接的 PMOSFET (P_1) 导通。此后, 流过电感 L_1 中的电流开始上升, 取样电阻 R_{SENSE} 两端电压也开始上升。当取样电阻两端电压高于积分器的输出电压时, 比较器 A_2 工作状态改变, 从而使双稳态触发器复位, 外接晶体管 P_1 关断。当电感中的电流开始下降时, 续流二极管 D_1 导通, 晶体管 P_1 的漏极电位比零电位低一个二极管的压降, 取样电阻两端的电压也下降, 甚至可能会降到零, 直到下一个时钟周期开始。

平均充电电流仅由 DAC 输出电压 V_{DAC} 和占空比发生器确定。 V_{DAC} 可以设定为 1, 1/3, 1/5 或 1/10, 占空比可设定为 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 或 1。当占空比为 1 时, 占空比发生器输出始终为低电平, 充电回路连续工作 (参见图 4-6)。占空比为其他设定值时, 占空比发生器输出周期为 42s 的方波信号, 占空比发生器输出低电平的时间随设定的占空比而改变。例如, 占空比设定为 1/2 时, 占空比发生器输出低电平的时间为 $1/2 \times 42\text{s}$, 即 21s, 平均充电电流为充电电流幅值的一半。通常, 平均充电电流由下式给出:

$$I_{\text{CHRG}} = V_{\text{DAC}} \times (\text{占空比}) / R_{\text{SENSE}}$$

7. 栅控 PMOSFET 控制器

充电器采用外接恒流源或限流电源时, 可以省去电感 L_1 和续流二极管 D_1 。假定 DAC 控制位 VR1=1, VR0=1, 并且占空比已选定, 只要保证取样脚 (SENSE) 的电压不超过 140mV, 积分器 A_1 就饱和, 输出高电平, 比较器 A_2 就不可能翻转, 充电回路保持关断。如果用于电量检测, 可去掉取样电阻或取样脚接地, 这样就能保证 $R_{\text{SENSE}} I_{\text{CHRG}} < 140\text{mV}$ 。

8. 电量检测模式

指令: MOD1=1, MOD0=1, PS=0

状态: BATP=X, BATR=X, FMCV=X, FEDV=X, FHTF=X, FLTR=X, TOUT=X

在电量检测模式下, 通过测量取样电阻两端的平均电压就可确定电池的平均负载电流。DAC 的输出接地, 开关 S_1 , S_2 和 S_4 闭合, A_1 接成反相放大器, R_1 和 R_2 把该放大器的增益设定为 -4。取样电阻两端的电压经 RC 电路 (R_F , C_F) 滤波和放大器 A_1 放大, 最后经过 ADC 转换成数字信号。

微处理器能够累加 ADC 的测量值并取时间平均值, 以便决定电池剩余的电量。为了保证 A_1 工作于线性放大状态, 取样 (SENSE) 脚的电压不能大于 -450mV。

$R_F C_F$ 电路由内部的 1k Ω 电阻和接到滤波器 (FILTER) 脚的外部电容 C_F 组成。 $R_F C_F$ 应当大于测试间隔。串行时钟的频率为 100kHz 时, 移入指令字和移出 ADC 测试值和状态字需要 380 μ s。

9. 涓流充电电阻 R_{TRK}

外接的涓流充电电阻有以下几种功能: 首先, 它能够提供连续涓流充电电流, 以补足电池因自放电而损失的电量; 第二, 它能够使深放电的电池在充电前达到要求的充电状态, 即预充电。采用 LTC1325 充电控制器时, 当单体电池的电压低于 100mV (BATR) 时, 为了保证电池的寿命不受影响, 不能对电池快速充电, 要先经过涓流充电使电池的电压达到一定数值; 第三, 当不接电池时, 该电阻可升高 V_{BAT} 脚的电压, 以满足电池检测电路的要求。

10. 串行接口

LTC1325 可通过同步半双工 4 线串行接口与微处理器及其它外部电路通信。在发送和接收过程中, 时钟要与数据传送同步, 每一位数据都是在时钟下降沿开始发送, 在时钟上升沿接收。LTC1325 首先接收输入数据, 然后发送回 A/D 变换结果和状态字 (半双工)。由于采用半双工工作, D_{IN} 和 D_{OUT} 脚可以接在一起, 允许发送三线信号: \overline{CS} , CLK 和 DATA。

在片选信号 \overline{CS} 的下降沿过后, 开始数据传输。 \overline{CS} 下降沿过后, LTC1325 在 D_{IN} 脚寻找起始位。起始位是 \overline{CS} 变为低电平后输入 D_{IN} 的第一个逻辑 “1” 信号。LTC1325 对逻辑 “1” 以前的所有 “0” 信号不加理会。起始位接收以后, 22 位的输入指令字节移入 D_{IN} 输入脚, 设置 LTC1325 的工作状态, 一个空位以后, D_{OUT} 脚输出 8 个状态位和数据。在数据交换结束时, \overline{CS} 脚应当升为高电平。

11. MSBF 控制位

利用 MSBF 控制位, LTC1325 的输出数据格式可设定为 MSB 先出或 LSB 先出。当 MSBF = “1” 时, 数据将按 MSB 先出的格式出现在 D_{OUT} 脚, 该部分数据跟在 8 个状态位后。为了适应某些微处理器字长较长的要求, 后面不确定的数据位应用 “0” 填满。当

MSBF = “0” 时, LSB 先出数据将跟随在 MSB 先出的状态字后。不管 MSBF 的状态如何, 状态字总是以同样的次序移出 (参见图 4-4)。

12. 能适应不同字长的微处理器

为适应不同字长的微处理器, LTC1325 在发送数据时, 后面不确定的数据位用逻辑“0”填满, 此时, D_{OUT} 脚不起作用 (处于三态), 这样, 便于与不同的 MPU (例如 COP400、SP1 和 MICROWIRE/PLUS) 串行端口相连。通过修正输入字中起始位的位置, LTC1325 可以适应任何字长的 MPU。

13. D_{IN} 和 D_{OUT} 脚接在一起时的工作

当 D_{IN} 和 D_{OUT} 接在一起时, LTC1325 也能正常工作。这样, 可以省去一条与微处理器的通信线, 数据在一条线上半双工传输。与这条数据线相连的微处理器的管脚, 应该既是输入脚也是输出脚。LTC1325 在接收起始位 23 个 CLK (时钟) 脉冲下降沿后, 使数据总线上的数据位变为低电平。为了避免冲突, 数据位变为低电平前, 微处理器的端口必须转换到输入状态。

14. 关断后重新接通电源

当 PS 位置为 “1” 的控制字写入 LTC1325 后, LTC1325 进入电源关断状态, V_{DD} 输出电流下降到 $30\mu A$ 。在这种状态下, 芯片内的 3V 稳压器和由它供电的所有电路都关断, 只有 D_{IN} 、 \overline{CS} 和 CLK 输入缓冲器通电。为了使 LTC1325 脱离关断状态, 可在 \overline{CS} 脚加入由高到低的脉冲信号。为了避免错误控制字传输到 LTC1325, 当 \overline{CS} 为低电平时, D_{IN} 和 CLK 必须为低电平。当 $C_{REG} = 4.7\mu F$ 时, 3V 输出电压衰减时间常数为 300ms。为了确保正常接通电源, 在 \overline{CS} 脚加入触发脉冲前, 微处理器应当等待 3 秒钟。

4.1.3 温度检测

1. 负温度系数 (NTC) 热敏电阻

为了用 NTC 热敏电阻检测电池或环境温度, 应当利用由 REG 脚电压供电的分压器, 如图 4-5 所示, 该分压器由负载电阻 R_L 和热敏电阻 R_T 组成。对于给定的热敏电阻来说, R_L 为某一确定数值时, 在满足充电器要求的较窄的温度范围内, 分压器输出电压 $V_{DIV}(T)$ 随温度线性变化。计算 R_L 最容易的方法是采用拐点法并假定分压器输出电压的二阶温度导数为 0。有关的公式如下:

$$\frac{V_{DIV}(T)}{V_{REG}} = \frac{1}{\left(\frac{1 + R_L}{R_T}\right)} = f(T) \quad (4-1)$$

$$\frac{R_T}{R_{T_0}} = \exp\left[\beta \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (4-2)$$

$$R_L = R_{T_0} \times \frac{\beta - 2T_0}{\beta + 2T_0} \quad (4-3)$$

$$\beta = \left[T \times \frac{T_0}{T_0 - T} \right] \times \ln \frac{R_{T_0}}{R_T} \quad (4-4)$$

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \times \frac{dR_T}{dT} \quad (4-5)$$

$$\alpha = \frac{-\beta}{T_0^2} \quad (4-6)$$

$$\frac{dV_{DIV}}{dT} = V_{DIV}(T_0) \times \left(-\frac{\beta}{2T_0^2} + \frac{1}{T_0} \right) \quad (4-7)$$

式中, $V_{DIV}(T)$ 是分压器的输出电压, V_{REG} 是 REG 脚的电压 (3.072V), R_T 是当温度为 T 时热敏电阻的阻值, R_{T_0} 是在基准温度 T_0 下热敏电阻的阻值, β 是由热敏电阻材料决定的常数, α 是温度为 T_0 时热敏电阻 R_T 的温度系数 (%/°C), 并且所有温度应为绝对温度 K (即 $T(^{\circ}\text{C}) + 273$)。

在推导上述公式时, 作了两个假设: β 是个常数, R_L 的温度系数远小于热敏电阻 R_T 的温度系数。

大部分热敏电阻的数据手册中都给出了 R_{T_0} 、 β 、两种温度下的 R_T/R_{T_0} 的公差值。如给定 β 和 R_{T_0} , 就很容易根据公式 (4-3) 算出 R_L 。另外 β 值也可利用公式 (4-4) 由比值 R_T/R_{T_0} 算出, 也可以利用公式 (4-6) 由已知的 α 值算出。

松下 (PANASONIC) 公司的 ERT-D2FHL103S 型热敏电阻特性如下:

$$R_T(25^{\circ}\text{C}) = R_{T_0} = 10\text{k}\Omega$$

$$\alpha = -4.6\%/^{\circ}\text{C} \quad (T_0 = 25^{\circ}\text{C})$$

$$\text{比值 } R_{25}/R_{50} = 2.9$$

利用公式 (4-4) 和 $R_{25}/R_{50} = 2.9$ 可算出:

$$\beta = (323 \times 298) \times \ln(2.9) / (298 - 323) = 4099\text{K}$$

另外, 利用公式 (4-6) 和 $\alpha = -4.6\%/^{\circ}\text{C}$ 也可算出:

$$\beta = -(-0.046) \times 298^2 = 4085\text{K}$$

由两个公式计算出的 β 值是非常接近的。

把 $\beta = 4085\text{K}$ 代入公式 (4-3), 可算出:

$$R_L = 10\text{K} \times (4085 - 2 \times 298) / (4085 + 2 \times 298) = 7.45\text{k}\Omega$$

与该值最接近的标称电阻值为 $7.5\text{k}\Omega$ (精度为 1%)。当分压器中 R_L 选用 $7.5\text{k}\Omega$ 电阻, R_T 选用 $10\text{k}\Omega$ (25°C) 热敏电阻时, 分压器输出电压与温度的关系曲线如图 4-7 所示。

利用 T_{BAT} 或 T_{AMB} 取样信号得到的 ADC 读数计算电池或环境温度的方法有两种。第一种是通过 $V_{DIV}(T)$ 与温度 T 的关系曲线来计算。第二种是利用关系曲线的近似直线来计算。该直线的方程式可根据在 T_0 处的斜率 dV_{DIV}/dT

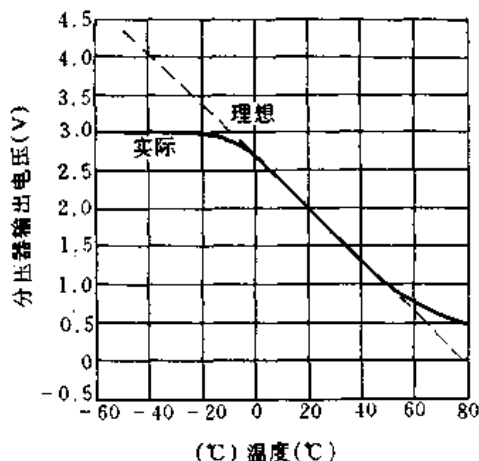


图 4-7 分压器输出电压与温度的关系

来计算, 并且假设该直线通过曲线上的 $[T_0, V_{DIV}(T_0)]$ 点。对于热敏电阻 ERT-

D2FHL103S 来说,斜率是 $-34\text{mV}/^\circ\text{C}$,因此,直线的方程式应为 $T = [2.065 - V_{\text{drv}}(T)] / 0.034$ 。假定 β 的公差为 3%, R_{T0} 的公差为 10%,在从 5°C 到 45°C 的范围内,用近似直线公式得到的温度误差在 2°C 以内。

2. 正温度系数 (PTC) 热敏电阻

正温度系数 (PTC) 热敏电阻可用于不需要精确检测温度的电池充电器中。PTC 的温度与电阻值的关系曲线中,存在一个阈值温度,超过此温度后,电阻值将迅速上升。采用温度关断 (TCO) 或电池温升 (ΔTCO) (即电池温度与环境温度之差) 控制充电结束的充电器中,常常利用 PTC 的这种特性来完成充电控制。采用温度关断法 (TCO) 时,PTC 热敏电阻和低温度系数负载电阻组成的分压器,应接在 REG 和 GND 脚之间,并且 PTC 热敏电阻的上端应接在 REG 脚。另外 PTC 热敏电阻应装在电池组内以检测电池的温度。分压器的输出端应接到 T_{BAT} 脚。当温度达到预定值时,PTC 热敏电阻的阻值迅速增加,从而使 T_{BAT} 脚的电压下降到与 HTF 相应的电压值以下。这样,充电器将发出高温故障报警信号,充电立即终止。如采用电池温升终止法 (ΔTCO),从原理上讲,负载电阻可以用阻值相等的 PTC 热敏电阻代替。这样,分压器输出电压将决定于电池温度和环境温度之差。同时采用温度终止 (TCO) 和温升终止 (ΔTCO) 两种控制方法时,检测电池温度的 PTC 热敏电阻应当与负载电阻或检测环境温度的 PTC 热敏电阻交换位置。在以上两种情况下,当达到预定关断温度时,LTF 故障位将置位,从而终止充电。应当说明,在实际应用中,不可能找到阻值完全相等的 PTC 热敏电阻,因此采用温升终止法时,最好选用负温度系数 (NTC) 热敏电阻。

4.1.4 硬件设计

由微处理器和 LTC1325 组成的充电器实际电路如图 4-8 所示。下面介绍主要元件的选择方法。

1. 取样电阻 R_{SENSE} 的选择

选择取样电阻 R_{SENSE} 时,应考虑以下三种因素:

- LTC1325 的基准电压值 V_{REF} 和设定的占空比;
- 取样电阻的功耗;
- 为了保证电量检测的线性度,取样电阻 R_{SENSE} 上的压降 ($I_{\text{LOAD}} \times R_{\text{SENSE}}$) 应小于 450mV 。

LTC1325 有 5 种可选择的占空比和 4 个 V_{DAC} 设定值,因此当取样电阻 R_{SENSE} 确定后,有 20 种充电速率可供选择,如表 4-8 所列。

对于不同 V_{DAC} 和占空比的组合,充电器平均电流都由下式给出:

$$I_{\text{CHRG}} = V_{\text{DAC}}(\text{占空比}) / R_{\text{SENSE}}$$

应当说明,在表 4-8 中,当 $\text{VR1} = "1"$ 、 $\text{VR0} = "1"$ 、占空比 = 1 时,充电速率为 1C。当 VR1 、 VR0 和占空比为其他不同数值时,充电速度 (用 C 表示) 可以从表中直接查出。当 $\text{VR1} = "1"$ 、 $\text{VR0} = "1"$ 、占空比 = 1 时,实际充电速率可以为任何数值,比如说 1C 的 K 倍,此时表中各项应当同时乘以 K 。通常,不同容量的电池要求的充电电流不同,而

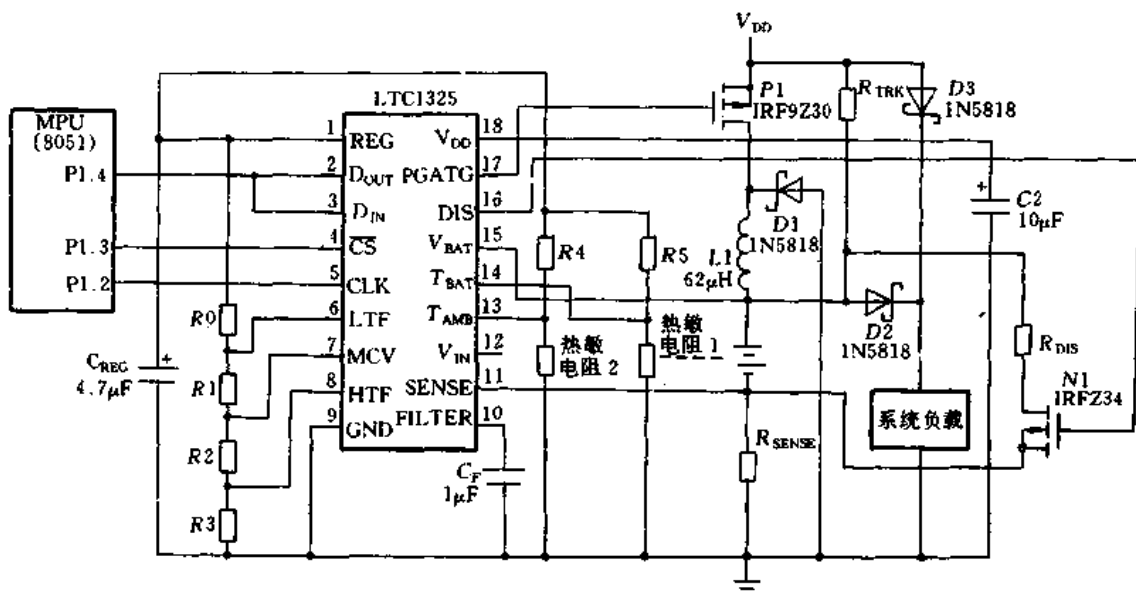


图 4-8 简单充电器实际电路

且充电过程的各个阶段要求的充电速率也不相同。为此，可通过微处理器改变 V_{DAC} 和占空比。为了提高精度，应尽可能将 $VR1$ 和 $VR0$ 设置为“1”。

表 4-8 充电速率和占空比, V_{DAC} 的关系

规一化 V_{DAC}	占空比				
	1	1/2	1/4	1/8	1/16
1 ($VR1 = "1", VR0 = "1"$)	1	1/2	1/4	1/8	1/16
1/3 ($VR1 = "1", VR0 = "0"$)	1/3	1/6	1/12	1/24	1/48
1/5 ($VR1 = "0", VR0 = "1"$)	1/5	1/10	1/20	1/40	1/80
1/10 ($VR1 = "0", VR0 = "0"$)	1/10	1/20	1/40	1/80	1/160

取样电阻在充电、放电、电量检测模式下的功耗不同，应分别计算。通常在放电和电量检测模式下，流过取样电阻的电流比充电电流更大，因此取样电阻的功耗要大一些。

在电量检测模式下，由电池供给的负载电流不应该超过 $450mV/R_{SENSE}$ ，以便保持电量检测的线性度。在保证压降 ($I_{LOAD} \times R_{SENSE}$) 比地电位低一个二极管压降的情况下， R_{SENSE} 要尽可能小。

2. V_{DD} 选择

V_{DD} 最小值必须大于待充电池额定电压乘以电池只数再加上在 PFET、电感 L 、电池内阻 R_{INT} 和 R_{SENSE} 上的压降之和，即：

$$V_{DDMIN} > I_{CHRG} \times [R_{DS(ON)}(P_1) + R_{SENSE} + N \times R_{INT}] + N \times V_{EC} + V_L$$

假定 $V_{EC} = 2V$ ，用 16V 的电源，LTC1325 最多只能对 8 节电池充电，如果需要同时对更多的电池充电，需要外接升压电路。

3. 电感 L 的选择

为了降低损耗,电感的电阻应尽可能小,并且还要保证在最大充电电流(峰值)下,电感不饱和。如果电感饱和,充电电流将仅受 PFET 的 $R_{DS(ON)}$ 、电感绕线电阻、 R_{SENSE} 和 V_{DD} 电源内阻的控制,这可能导致充电电流过大,造成电池损坏,也可能使电流值超过 PFET、电感、 R_{SENSE} 的额定电流,从而损坏这些器件。

4. 续流二极管的选择

续流二极管应选择正向导通压降低、反向恢复时间短的二极管,以使总损耗最小。二极管的总损耗为:

$$P_{dD1} = V_F \times I_F + V_R \times f \times t_{RR} \times I_F$$

其中, I_F 为正向导通电流, I'_F 为关断前的正向导通电流, V_F 为通态压降, V_R 为反向电压(约等于 V_{DD}), f 为 PWM 频率(111kHz), t_{RR} 为反向恢复时间。

二极管的功率和最高反向电压应当分别大于 P_{dD} 和 V_{DD} 。为了减小 D_1 导通续流时产生的尖峰电压,续流二极管的开通时间应当尽可能小。

肖特基二极管的开关时间很短,正向压降也很小,因此续流二极管 D_1 应选用肖特基二极管。

5. 涓流充电电阻 R_{TRK}

镍镉和镍氢电池的自放电率分别为 C/100 和 C/200。为补充因自放电而损失的电量,该充电器中加有涓流充电电路。通常涓流充电速率应在 C/30 到 C/50 之间。涓流充电电流 I_{TRK} 由下式决定:

$$I_{TRK} = (V_{DD} - V_{BAT}) / R_{TRK}$$

式中, V_{BAT} 为电池充足电时的电压, V_{DD} 为电源电压。应当说明,涓流充电过程中,电流将发生微小变化。

6. 热敏电阻 R_T 和负载电阻 R_L

为了减小负载变化的影响,在高温极限时,热敏电阻网络的总电阻应大于 30k Ω 。

7. 故障设定电阻 R_0 , R_1 , R_2 和 R_3

R_0 , R_1 , R_2 和 R_3 串联后,接在 REG 脚和 GND 脚之间,组成电阻分压器。该分压器输出的三个电压分别加在 LTF、HTF 和 MCV 脚,用于设定高温极限电平、低温极限电平和最高电池电压。在选择各故障点对应的电压值时,应考虑以下几点:

- 电池生产厂建议采用的电池温度和电压极限值;
- REG 脚的最大负载电流 (<2mA);
- LTF、HTF 和 MCV 比较器输入电压范围: $V_{LTF} > 1.6V$, $V_{MCV} < 2.8V$, $0.5 < V_{HTF} < 1.3V$
- 热敏电阻分压器的温度曲线。

镍镉和镍氢电池的温度极限如表 4-9 所列。

应当说明, 该表中给出的电池放电温度范围要比充电温度范围宽, 但是为了延长电池寿命, 电池制造厂通常建议放电温度范围与充电温度范围相同。因此, LTC1325 设定的充放电低温极限电平 LTF 和高温极限电平 HTF 是相同的。最高充电电压 MCV 应当略高于电池说明书中给出的单体电池的充电电压, LTF 和 HTF 脚的电压应当与最窄的温度范围相适应, 最窄的温度范围为 15~45°C。与该温度范围相应的电压, 可以由图4-7所示的热敏电阻分压器温度曲线上找出。采用这种热敏电阻时, LTF 约为 2.21V, HTF 约为 1.13V。由于 MCV 通常为 2V, 所以 MCV 可以接在 LTF 脚, 如果需要的话, 可针对各种不同的状态和不同的充电速率, 由微处理器控制模拟开关来改变 LTF、HTF 和 MCV 的电压值。充电电路中的 R_0 , R_1 , R_2 和 R_3 的阻值可按以下各式计算:

表 4-9 电池充放电温度极限

电池类型	放电温度范围 (°C)		充电温度范围 (°C)	
	最低	最高	最低	最高
标准	-20	45/50	0	45/50
高速	-20	45/50	10	45/50
快速	-20	45/50	15	45/50
涓流	-20	45/50	0	45/50

$$R_3 = V_{HTF} \times R_E / V_{REG}$$

$$R_2 = V_{MCV} \times R_E - R_3$$

$$R_1 = V_{LTF} \times R_E - (R_2 + R_3)$$

$$R_0 = R_E - (R_1 + R_2 + R_3)$$

式中, $R_E = R_0 + R_1 + R_2 + R_3$ 。 R_E 值应根据 REG 脚的负载电流来选择, R_E 的最小阻值为 30kΩ。应当说明, 在实际电路中, V_{LTF} 略高于 V_{MCV} , 否则, MCV 脚与 LTF 脚应当接在一起, 电阻 R_2 设定为 0。

8. REG 脚的负载

LTC1325 内 3.072V 稳压器的负载调整率为 -5mV/mA。由于 ADC 也采用该稳压器的电压作基准电压, 因此在整个工作温度范围内, 应当尽可能减小负载对 REG 脚输出电压的影响。在 25°C 时, 热敏电阻 R_{T0} 的阻值至少应为 10kΩ, 在 50°C 时, 热敏电阻的阻值可下降到 25°C 时电阻值的三分之一。与热敏电阻串联的电阻 R_3 的计算方法已经在温度检测一节中作了详细介绍。由于取样电路由热敏电阻的温度系数控制, 因此 R_3 的温度系数不很重要。

9. 放电电阻 R_{DIS}

放电电阻 R_{DIS} 用来限制电池的放电电流, 使其不超过电池允许的放电电流。该电阻的额定功率应大于 $I_{DIS}^2 \times R_{DIS}$, 其中放电电流 I_{DIS} 可由下式计算:

$$I_{DIS} = V_{BAT} / (R_{DIS} + R_{DS(ON)})$$

式中 $R_{DS(ON)}$ 为放电 MOSFET (N_1) 的通态电阻。

10. 充电 MOSFET(P_1)和放电 MOSFET(N_1)

由于 LTC1325 的 PGATE 和 DIS 脚的电压在 0 和 V_{DD} 之间变化, 所以为了保证充放电晶体管正常工作, MOSFET 的栅源电压 V_{GS} 应该小于 V_{DD} 。为了减小充放电晶体管的功耗, V_{GS} 要远远小于 V_{DD} , P_1 和 N_1 的额定功率应分别大于 $I_{CHRG}^2 \times R_{DS(ON)P1}$ 和 $I_{DIS}^2 \times R_{DS(ON)N1}$ 。MOSFET 的源漏最高电压 V_{DSMAX} 应当大于 V_{DD} 。

11. 充电器电源电压高于 16V 时的辅助电路

LTC1325 额定电源电压 V_{DD} 为 16V。但是在许多实际应用中, 充电电源的电压往往超过 16V。只要增加三个简单的辅助电路, 由 LTC1325 组成的充电器就能采用高于 16V 的直流电源。

- 用稳压器将直流电源电压降到 LTC1325 允许的供电电压以内;
- 在 PGATE 脚和 PMOSFET (P_1) 的栅极之间加入电平变换器, 以保证当 PGATE 脚的电压上升到 V_{DD} 时, 晶体管 P_1 能够完全关断;
- 为了避免涓流充电电阻 R_{TRK} 使 V_{BAT} 超过 V_{DD} , 在 V_{BAT} 脚应加入电压箝位电路。

在图 4-9 所示的电路中, C_1 , R_{11} 和稳压管 D_4 组成 15V 稳压器, 给 LTC1325 供电。 D_3 和 C_2 组成电平变换器, 稳压管 D_3 应能将晶体管 P_1 的栅源电压箝位到额定值以内。最后, 稳压管 D_2 能够将 V_{BAT} 脚的电压箝位到 15V。

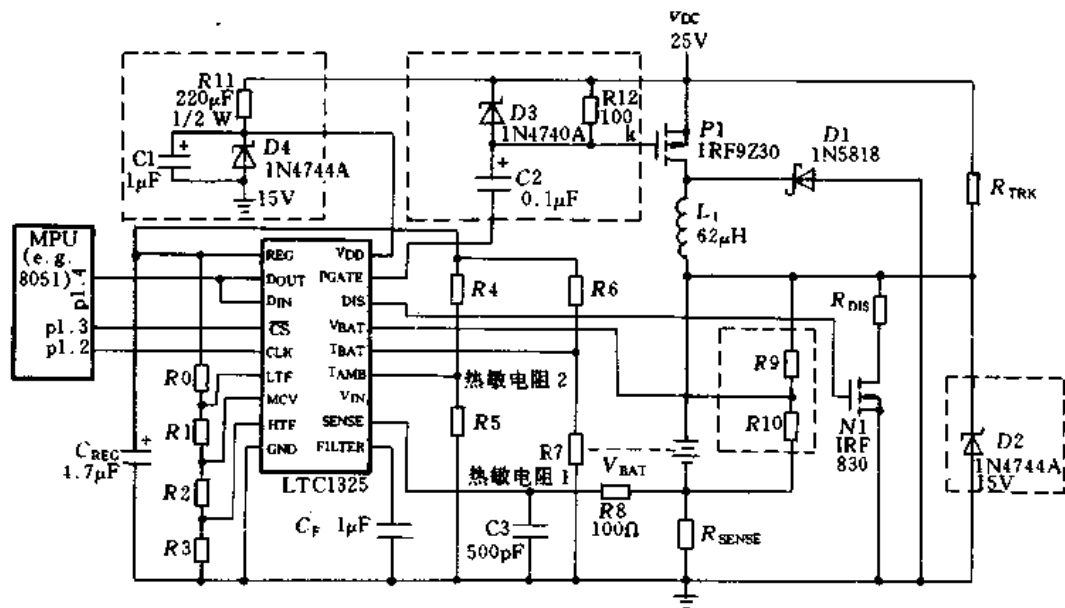


图 4-9 电源电压高于 16V 时的充电器电路

12. 对电压高于 16V 的电池组充电

为了对电压高于 16V 的电池组充电, 充电器的直流电源电压必须高于 16V。为此, 充电器电路中必须增加稳压器、电平变换器和电压箝位电路。此外, 为了使 V_{BAT} 脚的电压低于 LTC1325 的电源电压 V_{DD} , 还必须外加电池电压分压器, 如图 4-9 所示。选择分压

电阻 R_9 和 R_{10} 时, 应保证电池组电压除以电池只数后的电压经内部分压器后, 等于单体电池的电压。此外, 外部分压器还可避免 V_{BAT} 上升到 V_{DD} , 这样, 不管电池是否接入, B ATP (电池接入标记) 脚均为高电平。接入外部分压器不会影响 LTC1325 的其他工作。

4.1.5 软件设计

通常, 充电流程包括以下几部分:

充电前放电;

快速充电;

补足充电;

涓流充电。

在某些工作状态下, 镍镉和镍氢电池不能放出全部电量, 镍镉电池如未放完电就充电, 将产生记忆效应, 使电池不能放出全部电量。此外, 长期在高温下存放的电池, 也不能放出全部电量。为了恢复容量, 必须让这些电池进行多次深放电/充电循环。重复上述工作过程就能恢复电池的容量。

简单的充电流程图如图 4-10 所示。实际上, 该流程图中已考虑了任何个工作进程可能检测到的各种故障 (例如, 在放电或充电时, 电池温度超过 HTF)。微处理器在流程的每一步发送到 LTC1325 相应的指令如表 4-10 所列。

表 4-10 LTC1325 指令表

序号	步骤	S T A R T	M O D 1	M O D 0	S G L - D I F F	M S B F	D S 0	D S 1	D S 2	D I V 0	D I V 1	D I V 2	D I V 3	P S	D R 0	D R 1	D R 2	F S C L R	T O 0	T O 1	T O 2	V R 0	V R 1
1	开始放电	1	1	0	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	?	?	?	1	1	1	1	x	x
2	读状态字	1	1	0	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	?	?	?	0	1	1	1	x	x
3	开始快速充电	1	0	1	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	d_1	d_1	d_1	1	t_1	t_1	t_1	V_1	V_1
4	空载状态和等待	1	0	0	0	m	c	c	c	b	b	b	b	0	d_1	d_1	d_1	0	t_1	t_1	t_1	V_1	V_1
5	读 ADC 和状态字	1	0	0	0	m	c	c	c	b	b	b	b	0	d_1	d_1	d_1	0	t_1	t_1	t_1	V_1	V_1
6	重新快速充电	1	0	1	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	d_1	d_1	d_1	0	t_1	t_1	t_1	V_1	V_1
7	开始补足充电	1	0	1	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	d_2	d_2	d_2	1	t_2	t_2	t_2	V_2	V_2
8	空载状态和等待	1	0	0	0	m	c	c	c	b	b	b	b	0	d_2	d_2	d_2	0	t_2	t_2	t_2	V_2	V_2
9	读 ADC 和状态	1	0	0	0	m	c	c	c	b	b	b	b	0	d_2	d_2	d_2	0	t_2	t_2	t_2	V_2	V_2
10	重新补足充电	1	0	1	0	m	x	x	x	b	b	b	b	0	d_2	d_2	d_2	0	t_2	t_2	t_2	V_2	V_2

说明: c 是 ADC 各信道 (T_{BAT} 、 T_A 、 V_{CELL}) 中的一个; b 是电池分压比; d_1 是快速充电占空比; d_2 是补足充电占空比; t_1 是快速充电定时时间; t_2 是补足充电定时时间; V_1 是为快速充电设置的基准电压 V_{REF} ; V_2 是为补足充电设置的基准电压 V_{REF} 。

一般注意事项说明如下:

(1) 起始位总是高电平;

(2) SGL/DIFF 位通常设置为低电平, 这样得到的 ADC 是以地为基准的。

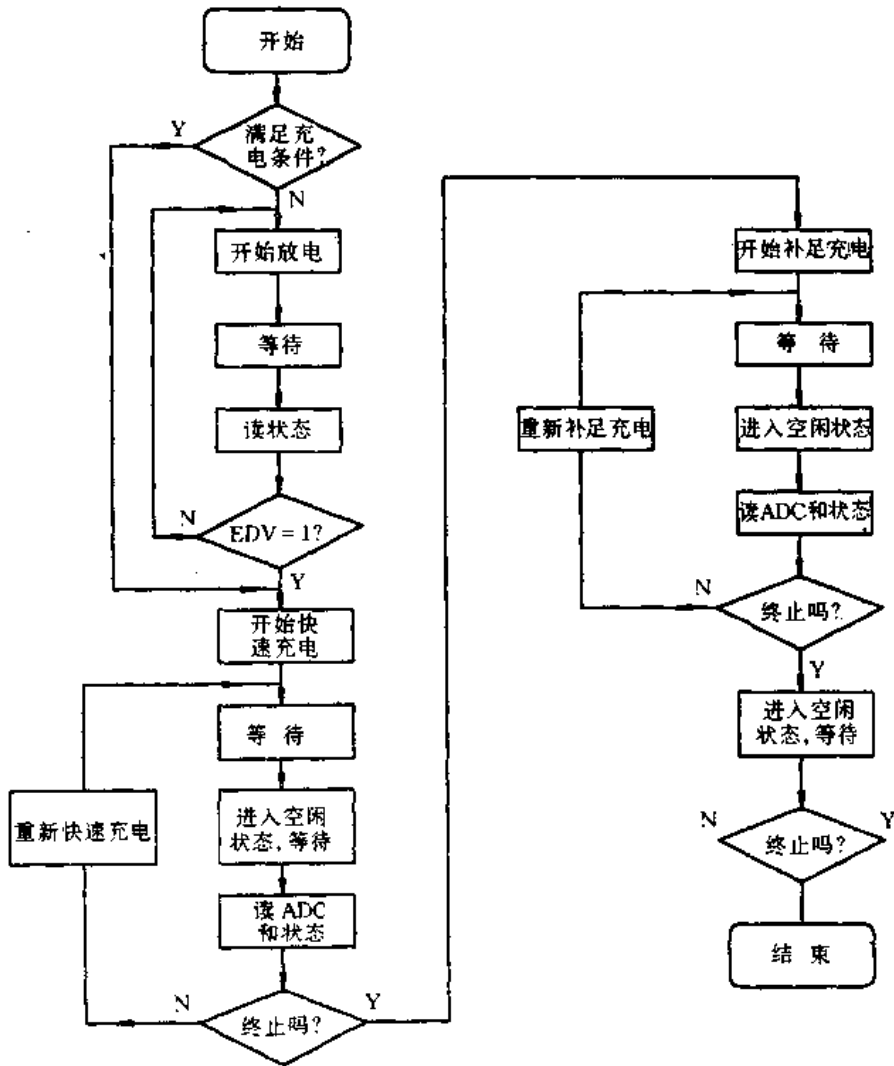


图 4-10 LTC1325 充电流程图

- (3) MSBF 位应根据微处理器的串行数据是 MSB 在先还是 LSB 在先来设定。
- (4) 除了空载状态或者需要读 ADC 数外, DS0 到 DS2 位可以任意设定。在空载状态或者读 ADC 时, 要根据所需的读数是 T_{BAT} , V_{CELL} 或 T_{AMB} 来设定 DS0 到 DS2。
- (5) PS 位应当为 0, 这样 LTC1325 就不能进入关断模式。
- (6) DR0 到 DR2 不应当选择任何一种测试模式。
- (7) 在 \overline{CS} 有效时, FSCLR 自动置为“0”。为了在放电、快速充电、补足充电前清除以前的故障报警状态, 此位应该先置“1”。除执行 START 指令外, FSCLR 应设置为“0”。
- (8) 在放电状态下, 为了避免因定时故障而过早地结束放电, TO0~TO2 位都应当设置为“1”。在快速充电或补足充电状态下, TO0~TO2 应根据所需的充电速率设置数值。例如, 若快速充电速率为 1C, 那么定时周期应当设置为 80 分钟。
- (9) 在充电状态下, 电容 C_F 用于滤除 V_{CELL} 的纹波。在 LTC1325 取出 ADC 读数以前, 为了减少噪声, 先进入空闲模式。与之对应, 微处理器应当在取读数前等待一秒。这样可使 V_{CELL} 下降到准确的单体电池电压值。等待时间最长为 $150k\Omega \times C_F$ 。

(10) 第一个开始 (START) 指令以前, 电池分压器设置可能不正确, C_F 可能充电到一个不正常的电压, 从而引起 EDV、BATR 或 MCV 告警。微处理器发送 START 指令时, 应当检查各种故障告警位, 并且当 C_F 充电到正确的电压值时, 微处理器应当重新发送 START 指令。

(11) 微处理器接口。LTC1325 能够直接与大部分通用微处理器的同步串行端口或并行 I/O 端口相连。采用并行端口时, 其中的 3 条或 4 条 I/O 线要编程为串行线路, 以便和 LTC1325 匹配。

(12) 与 MOTOROLA SPI (68HC11) 相连。

68HC11 微处理器具有同步串行接口, 该接口称为外部串行接口 (SPI), 它能够以 MSB 先出的原则每次传输 8 位数据。为了与这个微处理器通信, LTC1325 的 MSBF 控制位应当设置为“1”。微处理器 68HC11 的外部串行接口 (SPI) 有四条线: 主入从出线 (MISO)、主出从入线 (MOSI)、串行时钟 (SCK) 和从选择 (\overline{SS})。把 \overline{SS} 线接成高电平, 68HC11 即构成主机。把控制字节写入外部串行控制寄存器, 就可以设定主控状态、波特率与时钟定时的关系, 其他字节写入直接寄存器的端口指令寄存器, 设定 MOSI, SCK 和 0 位 (LTC1325 的 \overline{CS}) 作为输出使用。由于 SCK 的控制, 微处理器 68HC11 时钟与 LTC1325 的时钟完全同步。

微处理器发往 LTC1325 的指令分成 3 个字节。为了给 LTC1325 的 ADC 读数和状态位读出提供时钟, 微处理器在发出 3 字节指令后, 应跟上两个或更多的冗余字节 (所有位为“0”)。

4.2 微处理器 Z86B07 控制的智能充电器

4.2.1 Z86B07 八位微处理器简介

1. 概述

Z86B07 是 Z8 系列单片微处理器中一种, 内含 2K ROM 和 124 字节 RAM, 采用 CMOS 工艺制造, 封装形式有 18-DIP、18-SOIC 两种。它具有 Z8 系列微处理器所有的特点, 用作智能化快速充电器时软件、硬件设计都十分简单。

Z86B07 I/O 设计灵活, 具有足够的寄存器和地址空间, 还具有许多辅助功能, Z86B07 I/O 能力很强, 有 14 个输入输出脚, 它们可分为 3 组端口, 通过软件控制可以提供 I/O、时钟和状态信号。

根据 Z86B07 的特性, 很容易设计出充电时间小于 15 分钟的智能快速充电器; 其精确的检测功能和充电控制功能, 可以避免电池过充电。

Z86B07 含有两组基本的地址空间: 程序存储器 124 字节的通用寄存器。为减少实时工作 (如计算、定时和 I/O 数据通讯) 时的编程量, Z86B07 中有两组计数器/时钟, 有多种模式供用户选择; Z86B07 中还有两个可处理模拟信号的比较器, 它们使用共同的基准电压。Z86B07 功能框图如图 4-11 所示。

2. 管脚说明

Z86B07 采用 18 脚 DIP 和 18 脚 SOIC 两种封装形式, 管脚排列如图 4-12 和图 4-13

所示，管脚定义如表 4-11 所列。

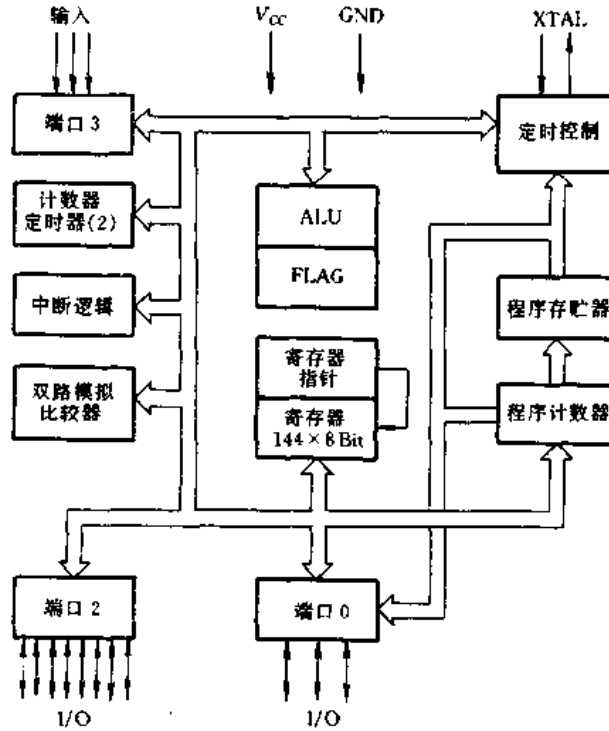


图 4-11 Z86B07 功能框图

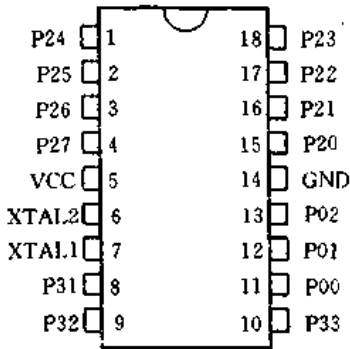


图 4-12 DIP 封装管脚图

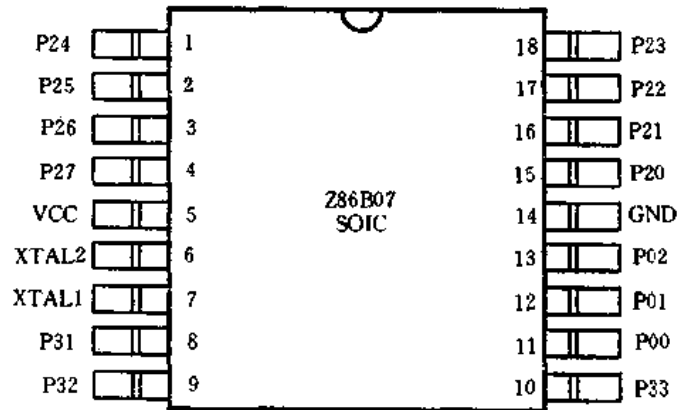


图 4-13 SOIC 封装管脚图

XTAL1 和 XTAL2 脚：为晶振输入和输出端，可连接晶振、LC 电路或外部脉冲信号（最高频率为 12MHz），给芯片提供时钟信号。

P0 端口（P02~P00 脚）：3 位可编程双向传输 CMOS I/O 端口，在软件控制下，可作为输入端或输出端，如图 4-14 所示。

P2 端口（P27~P20 脚）：是 8 位可编程双向 CMOS I/O 端口。在软件控制下，这 8 条线中的每一条都可独立地作为输入或输出使用，如图 4-15 所示。

P3 端口（P33~P31 脚）：3 位 CMOS 电平输入端口，在软件控制下，这三条输入线可作为数字信号输入或模拟信号输入，也可作为中断源 IRQ0~IRQ3 和时基输入信号 (T_{LN})，如图 4-16 所示。

比较器输入：端口 3 的输入端增加了两个模拟信号比较器，使输入接口更加灵活。两

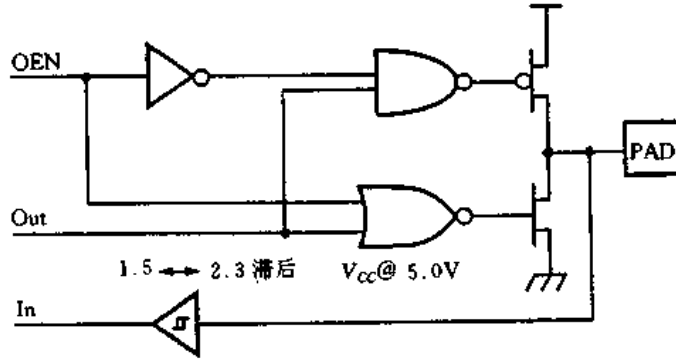
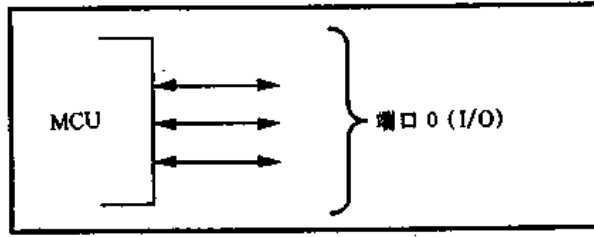


图 4-14 Z86B07 P0 口结构

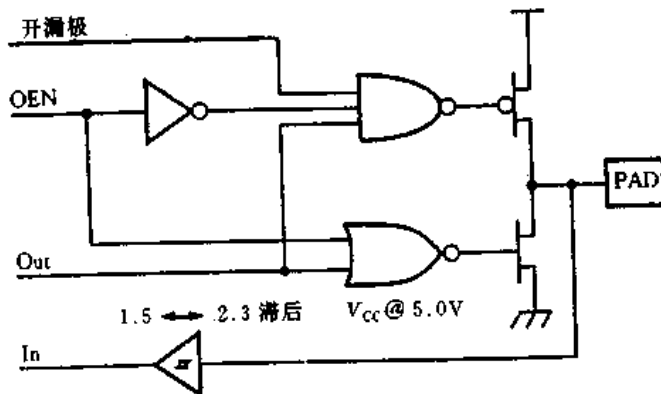
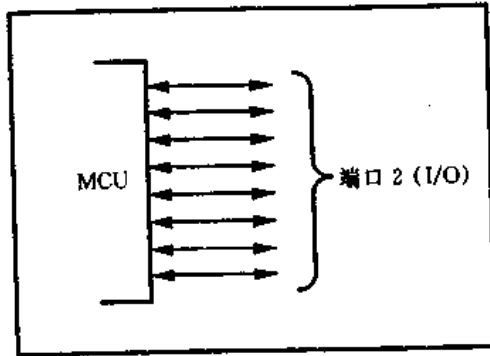


图 4-15 Z86B07 P2 口结构

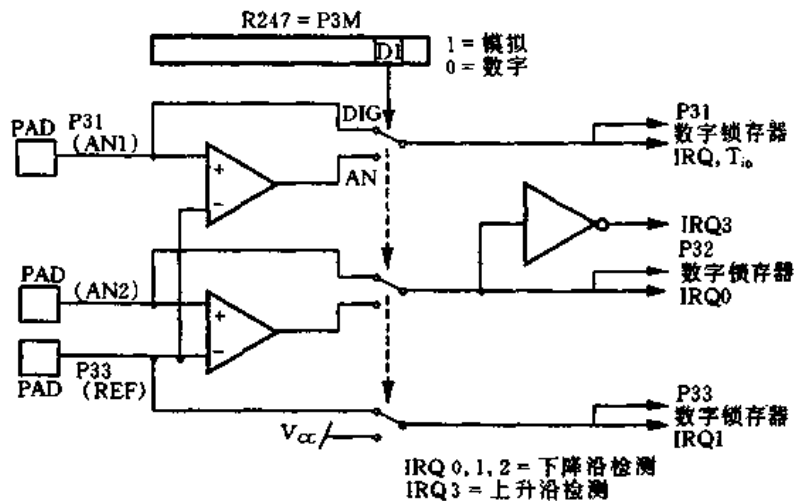
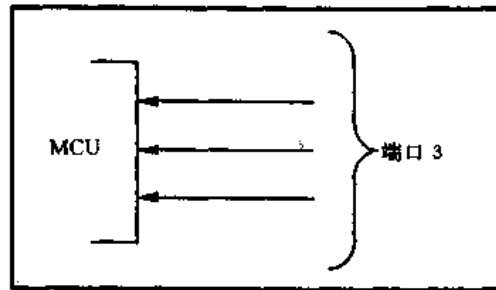


图 4-16 Z86B07 P3 口结构

个比较器的典型应用为:零电流检测、A/D 转换、分压和阈值检测。这两个比较器由单电源供电,电压范围为 0~4V,电源抑制比和共模抑制比分别为 90dB 和 60dB。

表 4-11 Z86B07 管脚说明

管脚号	符号	功能	方向
1~4	P24~P27	端口 2	输入/输出
5	V _{CC}	电源	
6	XTAL2	晶振	输入
7	XTAL1	晶振	输出
8	P31	端口 3	输入
9	P32	端口 3	输入
10	P33	端口 3	输入
11~13	P00~P02	端口 0	输入/输出
14	GND	地	
15~18	P20~P23	端口 2	输入/输出

中断发生在比较器 2 输出信号的上升或下降沿,也可发生在比较器 1 输出信号下降沿。比较器输出可用于产生中断,也可作为端口 3 数据输入,或通过 P31 用来作为信号 T_{IN}。比较器也可不工作,P33 脚作为 IRQ1 基准输入端。

3. 主要功能

Z86B07 系列微处理器可完成许多特殊的功能，广泛应用于工业和高技术领域，主要功能如下：

复位 芯片加电后，通电复位电路处于等待状态， T_{POR} 加 18 个时钟周期后，开始从地址 000CH 处执行程序，如图 4-17 所示。Z86B07 各寄存器的初始值如表 4-12 所列。

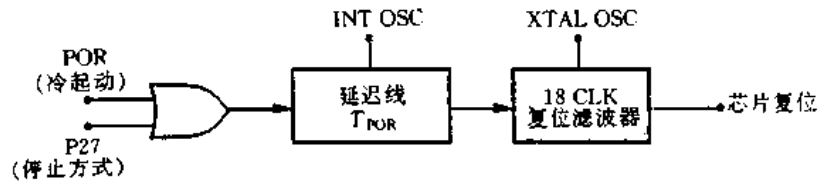


图 4-17 Z86B07 复位电路

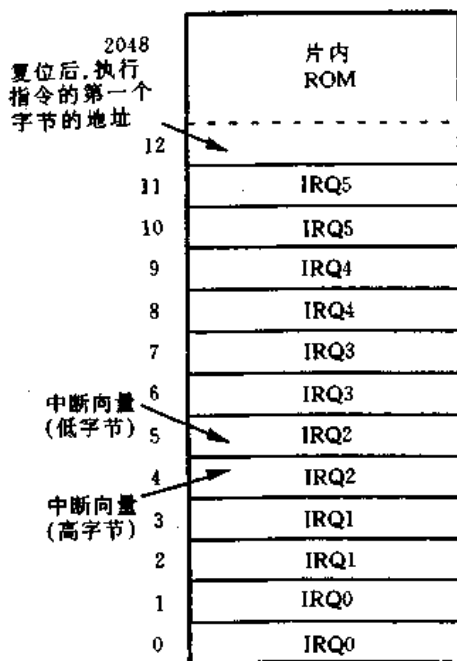


图 4-18 Z86B07 程序存储器地址分配

程序存储器分配 如图 4-18 所示，Z86B07 的内部程序存储器的寻址能力为 2K。前 12 个字节是供中断向量用的，可供 6 个中断使用。

寄存器阵列 寄存器阵列包括 3 个 I/O 口寄存器 R3~R0、124 个通用寄存器 R4~R127、15 个控制/状态寄存器 R241~R255，如图 4-19 所示。Z86B07 可通过 8 位地址直接或间接地访问所有寄存器。使用寄存器指针可支持 4 位寄存器寻址。在 4 位寻址状态下，寄存器阵列分为 8 个组，每组有连续的 16 个单元，如图 4-20 所示。寄存器指针的高 4 位指示工作寄存器的起始地址，指针的低 4 位则指向组内相对于起始地址的某一寄存器。

通用寄存器 Z86B07 共有 254 个通用寄存器。

堆栈指针 Z86B07 有一个 8 位堆栈指针 (R255)，用于内部堆栈指示。

计数器/定时器 芯片内含两个 8 位可编程计数器/定时器 (T0 和 T1)，每个定时器都由独立的可编程 6 位预分频器驱动。T1 可由内部或外部时钟驱动，但 T0 只能由内部时钟驱动，如图 4-21 所示。

6 位预分频器可将时钟频率除以 1~64 之间的任一整数，每个分频器独立驱动它的计数器，采用递减计数，使装入计数器中的数值 (1~255) 不断减小。当计数器和预分频器同时为零时，就产生一个时钟中断请求 IRQ4 (T0) 或 IRQ5 (T1)。

计数器开始计数、停止、重新开始计数或从初始值重新开始计数都是可编程的，计数器可以计数到 0 后停止，也可以自动装入初始值并继续计数。

计数器 (不包括预分频器) 的计数值可在任何时候读出，而且不会改变其数值和计

地址		缩写	
255	堆栈指针(7~0位)	SPL	
254	通用寄存器		
253	寄存器指针	RP	
252	程序控制标志	Flags	
251	中断屏蔽寄存器	IMR	
250	中断请求寄存器	IRQ	
249	中断优先级寄存器	PR	
248	端口 0~1 方式	P01M	
247	端口 3 方式	P3M	
246	端口 2 方式	P2M	
245	T ₀ 预分频器	PRE0	
244	定时器/计数器 0	0	
243	T ₁ 预分频器	PRE1	
242	定时器/计数器 1	T1	
241	定时方式	TMR	
240	保留		
128	通用寄存器		
127			
4			
3		端口 3	P3
2		端口 2	P2
1		留作专用	P1
0		端口 0	P0

图 4-19 Z86B07 中的寄存器

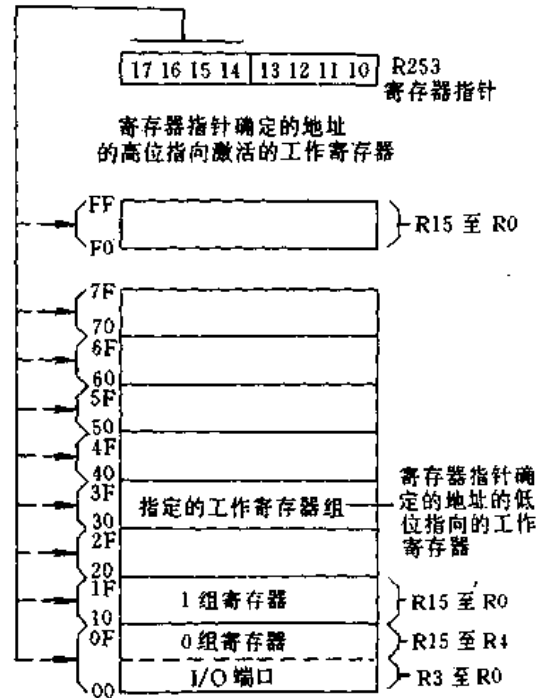


图 4-20 Z86B07 的寄存器寻址

数状态。时钟 T1 的信号源，可以采用微处理器内部时钟的 4 分频信号，也可采用端口 3 输入的外部信号。定时方式寄存器决定外部定时器输入信号 (P30)，作外部时钟触发器输入信号，还是作为内部时钟的门输入信号。

表 4-12 Z86B07 控制寄存器的初始值

地址	寄存器	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	备注
F1	TMR	0	0	0	0	0	0	0	0	
F2	T1	U	U	U	U	U	U	U	U	
F3	PRE1	U	U	U	U	U	U	0	0	
F4	T0	U	U	U	U	U	U	U	U	
F5	PRE0	U	U	U	U	U	U	U	0	
F6	P2M	1	1	1	1	1	1	1	1	复位后输入
F7	P3M	U	U	U	U	U	U	0	0	
F8	P01M	U	U	U	0	U	U	1	1	
F9	IPR	U	U	U	U	U	U	U	U	
FA	IRQ	U	U	0	0	0	0	0	0	
FB	IMR	0	U	U	U	U	U	U	U	
FC	FLAGS	U	U	U	U	U	U	U	U	
FD	RF	0	0	0	0	0	0	0	0	
FE	SPH	U	U	U	U	U	U	U	U	内部栈保留
FF	SPL	U	U	U	U	U	U	U	U	

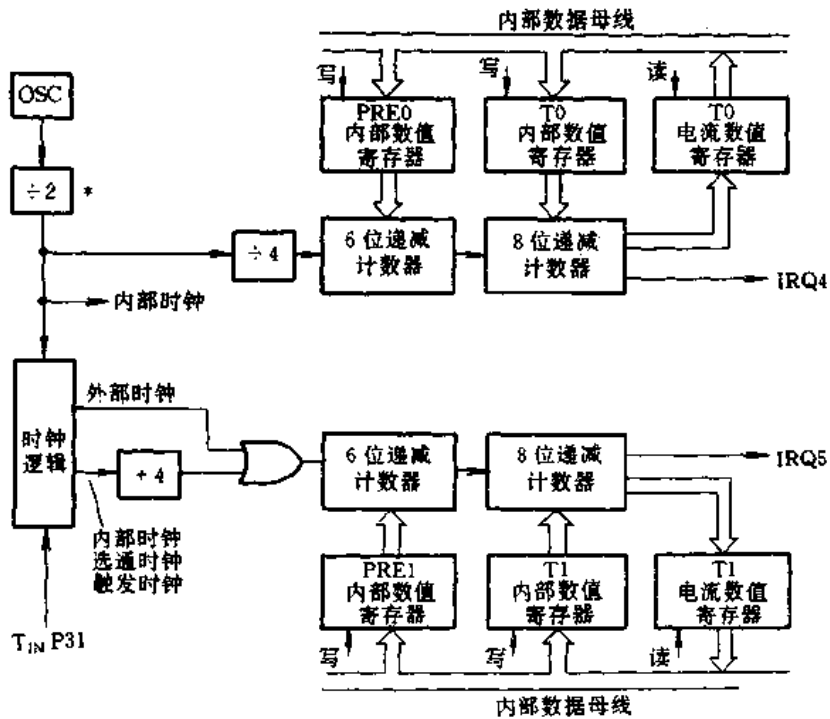


图 4-21 Z86B07 计数器/定时器框图

中断管理 Z86B07 含有 6 个中断源，这 6 个中断源可屏蔽，也可以设置成不同的优先级。如图 4-22 所示。六个中断源分别为：P31 (AN1)、P32 (AN2)、P33 (REF) 的下降沿、P32 (AN2) 的上升沿和两个时钟中断。中断屏蔽寄存器可将全部或个别的中断请求屏蔽，如表 4-13 所列。

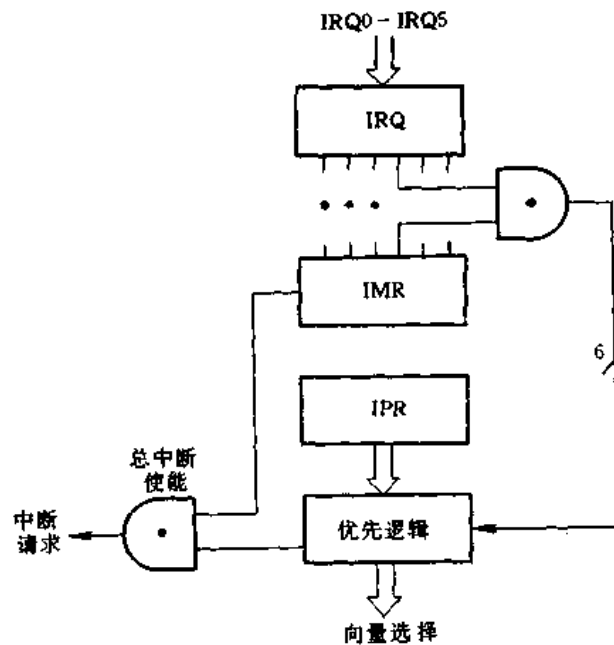


图 4-22 Z86B07 中断框图

表 4-13 中断类型、中断源与中断数据向量表

中断源	中断号	地址	备注
AN2 (P32)	IRQ0	0, 1	外部下降沿
REF (P33)	IRQ1	2, 3	外部下降沿
AN1 (P31)	IRQ2	4, 5	外部下降沿
AN2 (P32)	IRQ3	6, 7	外部上升沿
T0	IRQ4	8, 9	内部中断
T1	IRQ5	10, 11	内部中断

当多个中断同时发生时，中断优先级由可编程的优先权译码器决定，该译码器由中断优先权寄存器控制。当某一中断产生时，首先屏蔽其它中断，保存程序计数器和状态寄存器，然后到中断向量表中找到该中断所对应的起始单元，该单元和下一单元包含的 16 位地址就是中断请求服务程序的入口地址。

为解决多个中断系统的中断冲突问题，必须对中断输入进行屏蔽，由中断请求寄存器决定响应哪一个中断请求。

时钟 Z86B07 内部振荡器有一个高增益并联谐振放大器，可连接晶振或适当的外部时钟信号源 (XTAL1=输入, XTAL2=输出)，晶振的最高频率为 12MHz，串联电阻 $R_s \leq 100\Omega$ 。

晶振应接在 XTAL1 与 XTAL2 脚之间，并且每个脚到接地脚 (14 脚) 之间应接入电容器，如图 4-23 所示。

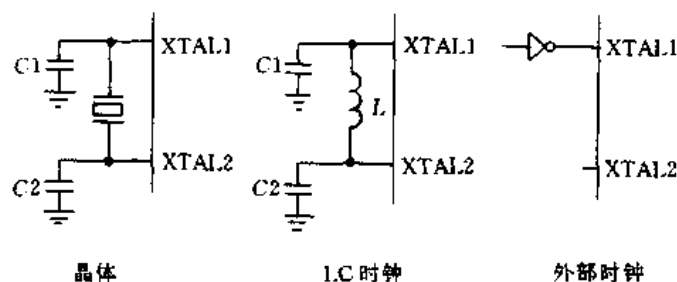


图 4-23 Z86B07 振荡器电路

暂停 (HALT) 方式 关闭 CPU 内部时钟，晶体振荡器、计数器和外部中断输入 IRQ0, IRQ1, IRQ2, IRQ3 仍处于工作状态。当内部中断或外部中断发生后，能够自动恢复原有状态，程序从地址 000CH 处执行。为了结束暂停方式，必须执行一次中断请求，当中断结束后，CPU 可继续执行暂停后的指令。

停止 (STOP) 方式 该指令关闭内部时钟和外部晶体振荡器，芯片静态工作电流减小到 $10\mu A$ 。有两种方法可以退出 CPU 的停止方式：去掉 V_{CC} ，可以使器件复位；P27 脚作为输入脚时，在 P27 脚加入低电平，也可以退出停止方式。在这两种情况下，程序将从 000CH 处执行，但是，当 P27 脚用于退出停止方式时，I/O 状态寄存器不能恢复加电时的状态，这样，器件进入不定状态。

使用 P27 退出停止方式的指令如下：

```
LD P2M, #1XXXXXXXXB
```

NOP
STOP

指令中的 X 决定于用户的实际应用。

为了进入停止方式或暂停方式，必须首先清除指令队列，以防指令执行过程中被停止。为此，可执行一个 NOP 指令，即：

FF NOP； 清除指令队列
6F STOP； 进入 STOP 方式

或者

FF NOP； 清除指令队列
7F HALT； 进入 HALT 方式

监视定时器 (WDT) 该定时器永久有效，WDT 在每个时钟周期 (T_{WDT}) 内必须刷新，否则 Z86B07 自动复位。WDT=5FH 的指令用于清除 WDT 计数器，应至少每 15ms 清除一次，否则 WDT 将超时并产生复位信号，此复位信号与通电后经过 $T_{POR} + 18XTAL$ 时钟周期后产生的通电复位信号相同。WDT 指令将影响标志位：Z=1, S=0, V=0。

欠压保护 (V_{LV}) V_{LV} 一般在 1.4~3V 之间。当电源电压高于 3.0V 时，器件可正常工作。电源电压在 3.0V 以下至 V_{LV} 之间时，器件也可正常工作。实际上，欠压保护值 V_{LV} 与温度和工艺参数有关，如图 4-24 所示。

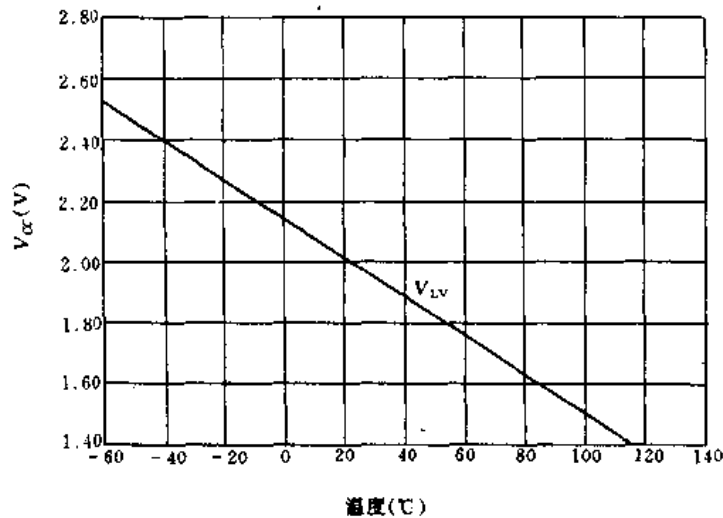


图 4-24 Z86B07 的 V_{LV} 与温度的关系

4. 极限参数

	最小值	最大值	单位
环境温度	-40	+105	°C
贮存温度	-65	+150	°C
任意脚对地的电压	-0.6	+12	V
V_{DD} 脚对地的电压	-0.3	+7	V
7 脚对地的电压	-0.6	+ V_{DD}	V
总功耗	462		mW

	最小值	单位
V_{SS} 最大输出电流	85	mA
V_{DD} 最大输入电流	85	mA
输入脚最大电流	± 600	μA
开路漏极最大输入电流	± 600	μA
任意 I/O 端最大灌电流	12	mA
任意 I/O 端最大输入电流	12	mA
端口 2 最大灌电流	70	mA
端口 2 最大输入电流	70	mA

5. 指令设置约定

(1) 寻址方式

符号	含义
I_{RR}	间接寄存器对间接工作寄存器对寻址
I_r	间接工作寄存器对
X	索引寻址
DA	直接寻址
RA	相对寻址
IM	立即寻址
R	寄存器或寄存器寻址
r	寄存器寻址
IR	间接寄存器或寄存器间接寻址
I_r	寄存器间接寻址
RR	双寄存器或双寄存器寻址

(2) 使用符号

描述指令时要使用以下符号：

符号	含义
dst	目的
src	源
cc	条件码
@	间接寻址前缀
sp	栈指针
PC	程序指针
FLAGS	标志寄存器 (控制寄存器 252)
RP	寄存器指针 (R253)
ImR	中断屏蔽寄存器 (R251)

6. 条件指令

Z86B07 编程的命令和助记符如表 4-14 所示。

表 4-14 Z86B07 的命令和助记符

值	助记符	含 义	设置标志位
1000	-	恒为真	-
0111	C	进位	C=1
1111	NC	无进位	C=0
0110	Z	零	Z=1
1110	NZ	非零	Z=0
1101	PL	加	S=0
0101	MI	减	S=1
0100	OV	溢出	V=1
1100	NOV	无溢出	V=0
0110	EQ	相等	Z=1
1110	NE	不相等	Z=0
1001	GE	\geq	$(S \text{ XOR } V) = 0$
0001	LT	$<$	$(S \text{ XOR } V) = 1$
1010	GT	$>$	$[Z \text{ OR } (S \text{ XOR } V)] = 0$
0010	LE	\leq	$[Z \text{ OR } (S \text{ XOR } V)] = 1$
1111	UGE	(无符号数) \geq	C=0
0111	ULT	(无符号数) $<$	C=1
1011	UGT	(无符号数) $>$	$(C=0 \text{ AND } Z=0) = 1$
0011	ULE	(无符号数) \leq	$(\text{CORZ}) = 1$
0000	F	恒为假	-

4.2.2 采用 Z86B07 微处理器的电池充电器

由 Z86B07 微处理器组成的充电器原理电路如图 4-25 所示。该充电器由三大部分组成：Z86B07 控制的恒流源、RS232 串行数据接口（该部分在简单的充电器中可不用）和电池放电电路。

1. 充电电流控制回路

该充电器采用恒定电流对电池充电，通过软件控制 $R_{13} \sim R_{16}$ 衰减网络来检测电池电压，电池电压的允许范围非常宽（4.8~12V），接在电池电压 A/D 变换器输入端（9 脚）的 R_{17} 和 C_{14} 组成低通滤波器，二极管 D_3 将 9 脚输入电压箝位在 V_{CC} 。

充电电路输入电压由降压变压器供给，因为检测无电池接入时，需要较高的电压，该电压由 C_1 、 D_1 、 D_2 组成的倍压电路供给。当无电池接入时，电容 C_2 充电，端电压高于 25V。倍压电路的电流受 R_5 限制。当电池接入时，电容 C_2 两端电压和电池端电压一样。在进行电压检测时，如果 Z86B07 内部的电压 A/D 转换器发现 C_2 两端电压超过最高电压，就认为没有电池接入。

电池接入充电器后，Z86B07 通过 P25 端使充电器开始充电，PNP 串联调整管 Q_1 进入开关状态，开关频率主要决定于输入电压、电池电压，电感 L_1 的电感量及比较器 U_1 外接元件的数值。当 Q_1 导通时，通过 L_1 的电流线性增加，电流变化率 $dI/dt = V_L/L$ ，式中

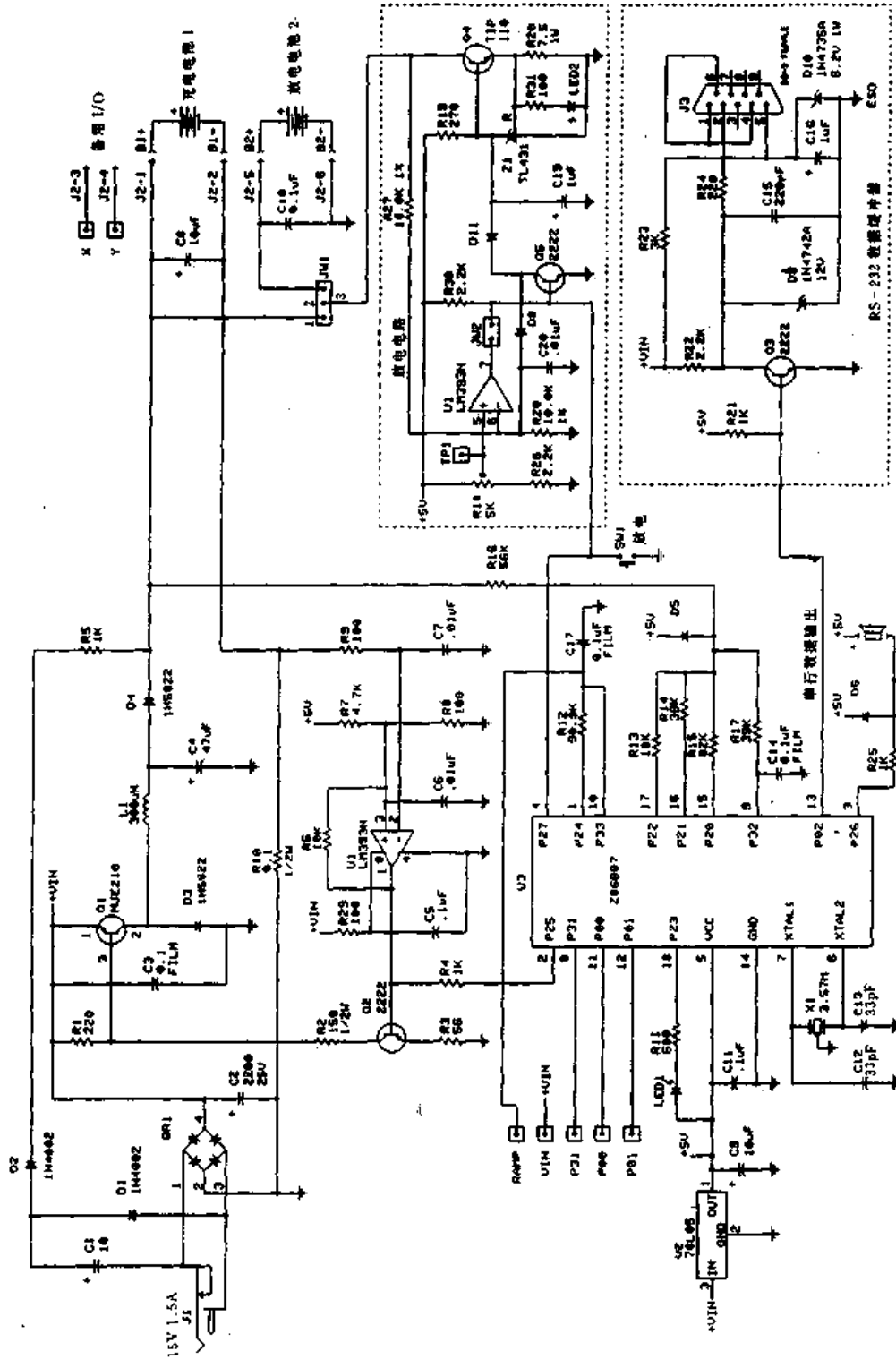


图 1-25 用 Z36B07 组成的充电器电路

V_L 为 $(+V_{IN}-V_{BAT})$ 。

充电电流在电阻 R_{10} 两端产生压降, 该压降被恒流反馈控制电路检测。 R_9, C_7 组成的低通滤波器可以抑制比较器反相输入端 (U_1 的 2 脚) 的开关噪声, R_7, R_8 组成的分压器设定电池的充电电流。 取样电阻 R_{10} 两端产生 0.1V 直流压降时, 充电电流为 $0.1V/0.1\Omega = 1A$ 。 5V 电压经 R_7, R_8 分压后, 作为比较器的门限电压。 当充电电流增大时, R_{10} 两端压降超过比较器门限电压, 比较器输出低电平, Q_2 和 Q_1 关断, 流过 L_1 的电流线性减小, 电流变化率 $dI/dt=V_L/L$, 式中 $V_L \approx V_{BAT}$; 当取样电阻 R_{10} 两端的压降低于门限电压时, 比较器 U_1 的滞后作用使 Q_1 在适当的时间导通。 充电电流直流分量主要由分压电阻 R_7 和 R_8 、检测电阻 R_{10} 决定, 交流分量由电阻 R_6 引起的滞后作用产生, 交流分量所占的比例由 R_6 的阻值决定。 当充电器工作时, 充电电流可在 R_{10} 两端检测, 充电电流为 1A 时, R_{10} 两端压降为 0.1V。

调整 R_6 可以改变比较器的门限值。 当比较器输出高电平或低电平时, R_6 与 R_8 或 R_7 并联。 当比较器开路时, R_6 与 R_7 并联, 最高门限电压为:

$$V_{CC} \times R_8 / (R_X + R_8)$$

式中,

$$R_X = R_6 // R_7 = R_6 \times R_7 / (R_6 + R_7)$$

采用图 4-25 所标注的元件数值时, 最高门限电压为 0.16V, 最大充电电流 I_{LMAX} 为 1.6A。

当比较器输出低电平时, 最低门限电压为:

$$V_{CC} \times R_7 / (R_Y + R_7)$$

式中,

$$R_Y = R_6 // R_8 = R_6 \times R_8 / (R_6 + R_8)$$

因 R_6 比 R_8 大 100 倍, 对分压器的影响不大, 因此 $R_Y \approx R_8$, 这样上式可简化为 $V_{CC} \times R_7 / (R_8 + R_7)$ 。 采用图中所标注的元件数值时, 最低门限电压为 0.1V, 最小充电电流 $I_{LMIN} = 1.0A$ 。

平均充电电流约等于 $0.5 \times (I_{LMIN} + I_{LMAX})$ 。 充电电流交流纹波电压由 R_6 决定。 R_6 增大, 交流分量减少, 但两门限电压更接近, 开关频率升高。

采用这样的恒流控制电路时, 应注意以下几点: 首先 Q_1 应具有足够的电流容量和较高的开关速度。 在该电路中, Q_1 选用 5A/25V 晶体管, 开关频率 $f_T = 65MHz$ 。 为了缩小充电器的体积, Q_1 可选表面封装型晶体管。 为减小 Q_1 开关耗损, 开关频率应限制在 25kHz 以内, 通常 15~20kHz 比较理想。 充电器需要连续工作时, Q_1 应加装散热器。

在电池组电压最低而输入电压最高的情况下, 开关频率最高。 开关频率由充电电流上升和下降的斜率 (V_L/L) 决定。 当输入交流电压最低且电池电压最高时, 即使 C_2 的纹波电压很小, 电感两端压降也必须大于 4V, C_2 两端有一定纹波电压是正常的, 但是因为 V_L 在每个周期内都会变化到零, 因此不能加入未滤波的输入电压。

当输入电压下降到电池电压以后, 改变电感 L_1 也能改变开关频率。 总之可通过选用不同厂家、不同系列、不同类型的电感, 以达到降低成本, 提高性能的目的。

2. RS232 串行数据缓冲器

串行数据缓冲器是一个简单的电平变换电路。缓冲晶体管 Q_3 的输出电压可在 Z86B07 “地” 电位与 $+V_{IN}$ 之间转换, R_{23} , C_{15} , D_{10} 提供外接计算机的实际接“地”点, R_{24} , C_{15} , D_9 组成静电保护电路, D_9 将输出信号箝位。因此对于 RS232 信号“地”(5脚)来说, 数据信号在 $+6\sim-6V$ 之间变化。

串行数据的输出端接到 PC 机的 RS232 串行口上, 利用自己开发或厂商提供的软件, 可以在计算机屏幕上方便地研究充电器的工作。

3. 电池放电电路

恒流放电电路由运放 LM393N、晶体管 Q_4 , Q_5 和可调并联稳压器 Z_1 等元件组成, 放电电流由可调并联稳压器 Z_1 控制。当 Z_1 反偏时 (反偏电流 $>1mA$), 它的基准输出和阳极之间产生 2.5V 固定电压。当 Q_4 集电极电流增大使电阻 R_{20} 两端压降超过 2.5V 时, 并联稳压器 Z_1 阴极到阳极电导增大, 晶体管 Q_4 基极驱动电流减少, 从而使 R_{20} 两端压降不超过 2.5V, 因此放电电流维持恒定。放电电流由 R_{20} 的阻值决定, 采用图中所示的元件数值时, 放电电流大于 1A。应当注意, 电阻 R_{20} 的功率为 V^2/R , 其中 $V=2.5V$, 因此功耗为 $6.25/R(W)$ 。 $R_{20}=2.5\Omega$, 放电电流为 1A, R_{20} 的功耗为 2.5W。若需要高速率放电, 晶体管 Q_4 必须加装适当的散热器。

通常, 单体镍镉和镍氢电池的电压下降到 1V 时, 就不允许再放电, 因此, 该充电器设计了自动停止放电电路。单体电池放电终止电压 (EOD) 由电位器 R_{18} 决定。由比较器 U_1 决定终止放电时, 要通过跳线 JW2。由 Z86B07 控制终止放电时, JW2 可不用。由于 R_{27} 和 R_{28} 的分压作用, 测试点 TP1 处的电压为终止电压的一半, 因此对于 6V 镍镉电池组来说, 应调节 R_{18} 的阻值, 使 TP1 点的电压为 2.5V。这样当电池组电压低于 5V 时就会自动停止放电。在电池放电过程中, LED1 发光。当 LED1 关断时, 说明电池组电压已降到 R_{18} 设定的终止电压。

电池的负载切断后, 电池电压就会上升, 采用高速率放电时, 电池电压上升更高, 这样放电电路将处于振荡状态。为防止此现象, 加入了锁定电路。当比较器反相输入端电压第一次降到设定的终止电压时, Q_5 关断, 使比较器反相输入电压一直低于放电终止电压, 从而避免因电池电压回升而产生振荡。

按下 SW1 按钮或者当 Z86B07 的 4 脚输出低电平时, 电池即开始放电。跳线 JW1 的 1, 2 脚相连时, 第一组电池放电。在 Z86B07 控制下, 电池可以循环充、放电, 也可在充电前放电, 以消除镍镉电池的记忆效应。改变操作方法要相应修改 Z86B07 的程序。

跳线 JW1 的第 2, 3 脚用于电池 2 放电。这样, 在电池 1 充电的同时, 可让电池 2 放电。进行充电实验时, 经常需要电池放电, 采用该充电器非常方便。

4.2.3 低成本充电器实际电路

Z86B07 组成的简单充电器电路如图 4-26 所示。该电路中去掉了 RS232 串行数据缓冲器和电池放电电路。该充电器可以对 4.8~9.6V 电池组充电, 提高输入电压后, 也可对 12V 电池组充电。

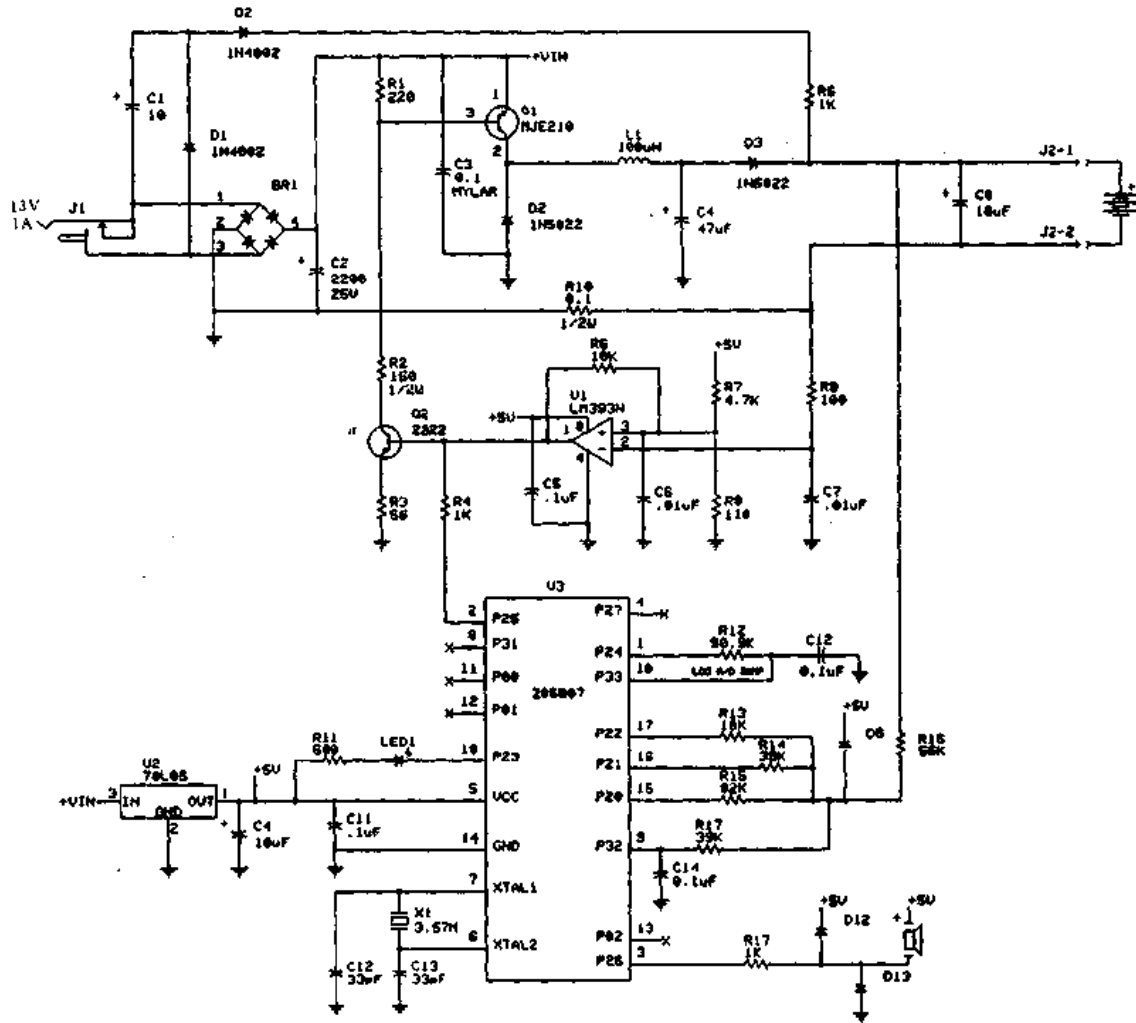


图 4-26 Z86B07 组成的简单充电器电路

对单体电池数固定的电池组充电时，还可采用如图 4-27 所示的电路，该电路有以下特点：

(1) 去掉了调试用的 RS232 串行数据缓冲器；

(2) 自动分压网络由简单的分压器 R_{10} 、 R_{11} 代替，同时也去掉了倍压整流电路 (D_1 、 D_2 、 R_5 、 C_1)。当无电池插入时，输入电源通过电阻 R_3 给 C_2 充电，使 C_2 两端电压上升到输入电压。插入电池后， C_2 两端电压降至电池电压。通过 A/D 转换可检测出电池是否插入（应当注意，软件也需作相应修改）。

(3) 恒流控制电路大大简化。在该电路中，电源由 DC 适配器供给。充电电流由 R_2 的阻值决定。二极管 D_1 和 D_2 串联后，接在 Q_1 的基极和 R_1 与 R_2 的接点之间。对并联电流通路来说， Q_1 的发射极基极只有一个二极管的压降，所以充电电流为 $0.7V/R_2=1A$ 。

(4) 简化了电池放电电路。充电前放电对减小镍镉电池的记忆效应非常有效。首先让电池放电，当单体电池电压下降到 1V 左右时再充电。为了便于放电晶体管散热，放电速率一般为 $C/6\sim C/4$ 。对于 1200mAh 的电池来讲，放电电流为 200~300mA，因此可采用电阻放电，降低成本。

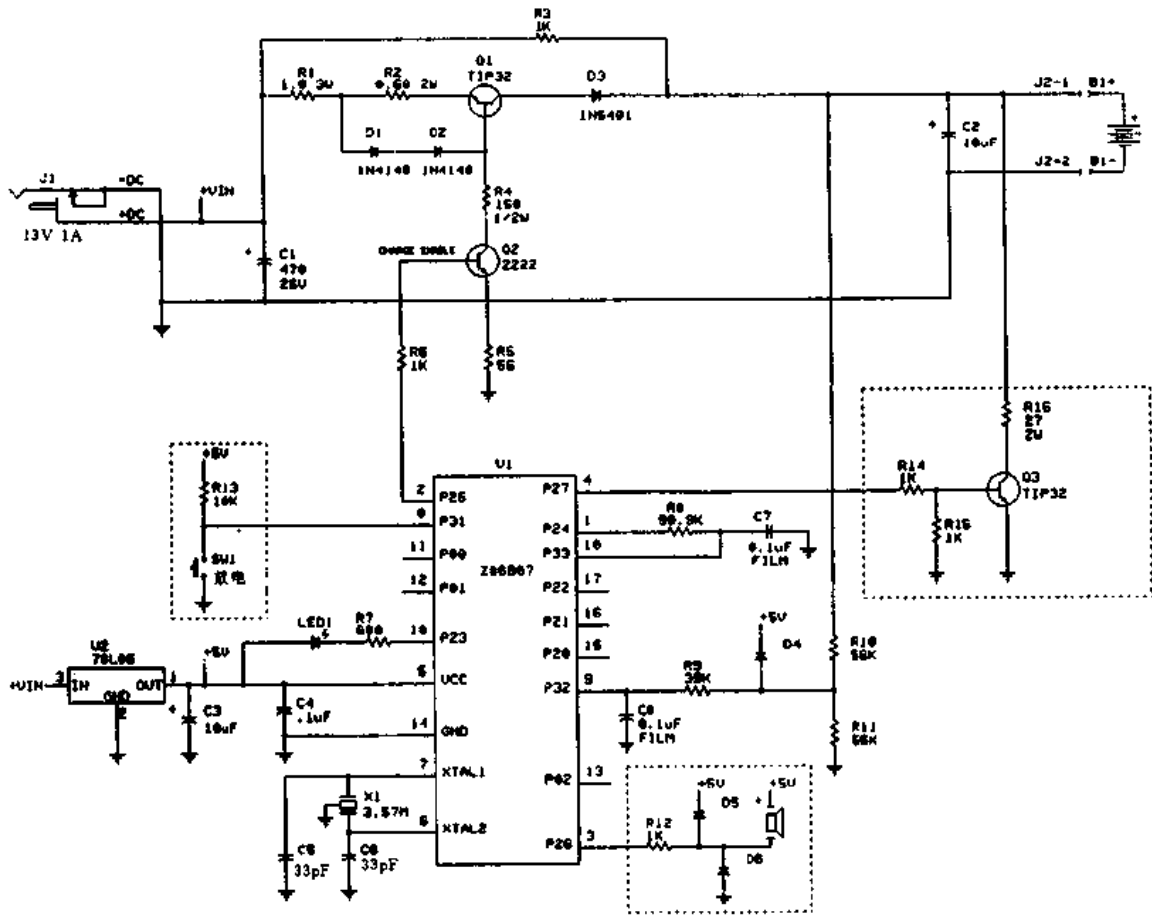


图 4-27 电池电压固定时的电池组充电器电路

该充电器中，去掉了放电电路中的比较器锁定电路，而采用 Z86B07 放电监控系统。如前所述，在电池放电过程中，负载去掉后，电池电压会回升，采用 Z86B07 控制放电，不需要锁定电路。通过修改程序，Z86B07 可监测电池电压，当电池放电电压达到设定值时，立即停止放电。

4.3 由 PIC16C71 组成的快速充电器

4.3.1 PIC16C71 单片机简介

PIC16C71 是一种高性能、低价格、采用 CMOS 工艺制造、全静态设计的 8 位单片机，内部带有 4 路 8 位 A/D 转换器。

1. 主要功能特点

(1) 高性能 RISC 结构 CPU

- 精简指令集，仅 35 条单字节指令，易学易用
- 除分支、跳转指令 (GOTO, CALL) 为双周期指令外，其余指令都为单周期指令
- 执行速度：DC-20MHz 振荡时钟

DC-200ns 指令周期

- 数据宽度 8 位, 指令宽度 14 位
- 1024(1K)×14(位)片内程序存储器
- 36×8 (位) 通用寄存器
- 15 个特殊寄存器
- 8 级程序堆栈
- 直接寻址、间接寻址、相对寻址三种寻址方式
- 四个中断源: 外部触发 (INT 脚) 中断、RTCC 计数器/定时器溢出中断、A/D 转换完成中断以及四个 B 端口引脚电平变化引起的中断

(2) 外围特性

- 13 个可独立编程的双向 I/O 引脚
- 可直接驱动数码显示 (LED) 的高驱动电流
 - 每个引脚最大灌电流为 25mA
 - 每个引脚最大拉电流为 20mA
- 8 位宽的计数器/定时器 (RTCC), 带 8 位可编程预设倍数 (最大为 1:256)
- A/D 转换部件
 - 4 路模拟量输入
 - 可采样和保持
 - 转换时间为每路 20 μ s
 - 精度为 8 位, 分辨率为 ± 1 LSB
 - 外部参考电压输入 V_{REF} ($V_{REF} \leq V_{DD}$)
 - 模拟量输入范围: $V_{SS} \sim V_{REF}$

(3) 微控制器特性

- 上电复位电路
- 上电定时器
- 振荡起振定时器
- 自振式 (片内 RC 振荡) 看门狗
- 程序保密位, 可防程序代码的非法拷贝
- 低功耗睡眠 (SLEEP) 方式
- 四种可选振荡方式
 - 低成本阻容振荡: RC
 - 标准晶体振荡: XT
 - 高速晶体振荡: HS
 - 节电低频振荡: LP

(4) CMOS 工艺特性

- 低功耗
 - < 2 mA (5V, 4MHz)
 - < 5 μ A (3V, 32kHz)
 - < 1 μ A (3V, 睡眠状态下)

• 高速

在 4MHz 振荡频率下，指令周期为 1 μ s；在 20MHz 振荡频率下，指令周期为 200ns

• 工作电压范围宽：3.0~6.0V

• 全静态设计

2. 型号介绍

PIC16C71 具有各种封装 (DIP, SOIC 等) 形式，有多种频率范围，有商用级 (0 $^{\circ}$ C ~ +70 $^{\circ}$ C) 和工业级 (-40 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C) 产品等等，适合各种应用场合。

(1) 窗口型可重擦写型 (UV)

这种型号芯片系陶瓷封装，中间开有紫外光擦除窗口，可反复擦写，是开发过程中理想的器件。

(2) 一次性用户可编程型 (OTP)

OTP 型芯片系塑料封装，允许用户用编程器对其进行一次性编程，非常适用于中小批量的产品以及需要随时改变程序代码的产品。这类器件的价格很低。

(3) 掩膜型 (Mask)

对于程序代码已经稳定并拥有稳定市场的用户，可以选择掩膜型芯片以降低成本。

3. 引脚功能

PIC16C71 有 DIP 和 SOIC 两种封装形式，管脚排列如图 4-28 所示，管脚功能如下：
RA2/AIN2：双向 I/O 脚/模拟输入通道 2。

RA3/AIN3/VREF：双向 I/O 脚/模拟输入通道 3/模拟参考电压输入。

RA4/RTCC：开漏输出/输入脚，它也是 RTCC 定时器/计数器的输入脚，内部含有施密特触发器输入缓冲器。

\overline{MCLR} ：外部复位脚，低电平有效，内部含有施密特触发器输入缓冲器。

V_{SS} ：电源地

RB0/INT：双向 I/O 脚/外部触发中断脚。

RB1：双向 I/O 脚

RB2：双向 I/O 脚

RB3：双向 I/O 脚

RB4：双向 I/O 脚

RB5：双向 I/O 脚

RB6：双向 I/O 脚

RB7：双向 I/O 脚

V_{DD} ：电源

OSC2/CLKOUT：振荡器连接脚/时钟输出脚。当选择 RC 振荡器时，它有 OSC/4 的时钟输出。

OSC1：振荡器连接脚/外部振荡时钟输入脚。

RA0/AIN0：双向 I/O 脚/模拟输入通道 0。

RA1/AIN1：双向 I/O 脚/模拟输入通道 1。

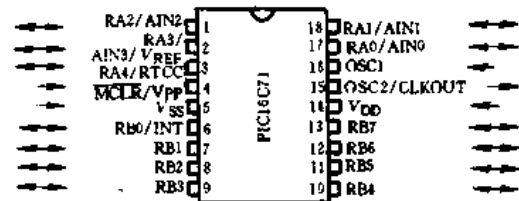


图 4-28 PIC16C71 引脚图

4. PIC16C71 内部结构

PIC16C71 的内部结构如图 4-29 所示, PIC16C71 采用精简指令集 (RISC) 结构。它采用的总线结构比传统的总线结构优越。该总线配备独立的数据线和指令线, 程序和数

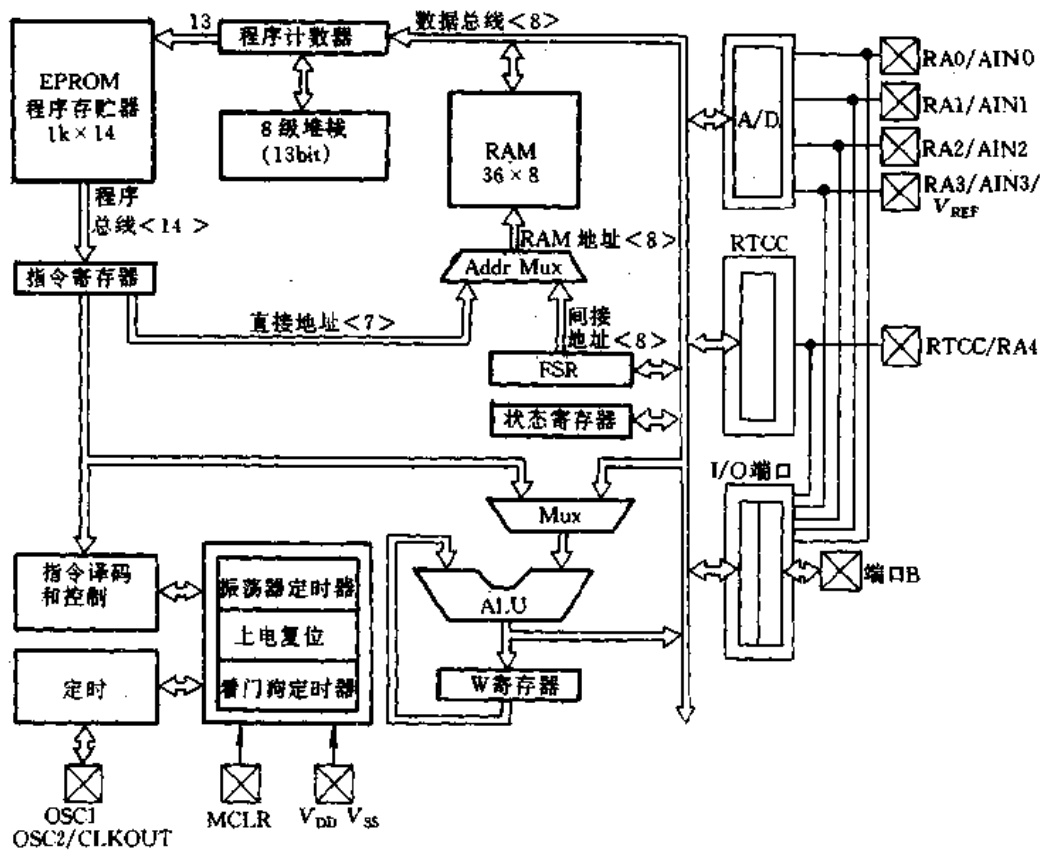


图 4-29 PIC16C71 内部结构

据存储在不同的存储器中, 这样, 使指令执行和取指操作可以同时进行, 因而可达到很高的执行速度 (20MHz 振荡频率下指令周期仅为 200ns)。在 PIC16C71 中, 指令线为 14 位, 所有指令都可以是单字节, 因此与其他 8 位单片机相比, 它可节省一半程序空间, 并且速度可提高五倍。

PIC16C71 内带有 1K x 14 程序存储器, 不需外接程序存储器, 是一种真正的单片式微控制器。

PIC16C71 能直接或间接寻址, 它的 48 个寄存器 (或称为数据存储器 RAM), 包括程序计数器、I/O 口寄存器在内的所有特殊寄存器, 都直接映射到数据寄存器 RAM 有关单元中, 所以编程非常简洁灵活而且效率高。

5. 程序存储器及堆栈

PIC16C71 有一个 13 位程序计数器 PC, 可寻址 8K 的程序存储器空间, 但 PIC16C71 只用了第一个 1K (000H ~ 03FFH) 的空间。PIC16C71 的复位向量在 0000H, 中断向量

表 4-15 PIC16C71 特殊功能寄存器

寄存器名称	7 位	6 位	5 位	4 位	3 位	2 位	1 位	0 位	通电复位值
0 页									
00 IND0	FSR 的存储信息用于地址数据存储寄存器								00000000
01 RTCC	8 位实时时钟计数器								XXXXXXXX
02 PCL	PC 的低 8 位								00000000
03 STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	00011XXX
04 FSR	间接数据存储, 地址指针 0								XXXXXX
05 PORTA				RA4/RT	RA3/AIN3/VREF	RA2/AIN2	RA1/AIN1	RA0/AIN0	XXXXXXXX
06 PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT	XXXXXXXX
07	保留								
08 ADCON0	ADCS1	ADCS0		CHS1	CHS0	GO/DONE	ADIF	ADON	00000000
09 ADRES	8 位 A/D 结果寄存器								XXXXXXXX
0A PCLATH	PC 高字节保持寄存器								---00000
0B INTCON	GIE	ADIE	RTIE	INTE	FBIE	RTIF	INTF	RBIF	0000000X
1 页									
80 IND0	映射到 0 页								
81 OPTION	RBPU	INTEG	RTS	RTE	PSA	PS2	PS1	PS0	11111111
82 PCL	映射到 0 页								
83 STATUS	映射到 0 页								
84 FSR	映射到 0 页								
85 TRISA	PORTA (105) 数据直接寄存器								---11111
86 TRISB	PORTA (106) 数据直接寄存器								11111111
87	保留								
88 ADCON1							PCFG1	PCFBG0	-----00
89 ADRES	映射到 0 页								
8A PCLATH	映射到 0 页								
8B INTCON	映射到 0 页								

7. 看门狗 WDT

看门狗计时器 (Watch Dog Timer) 是一个片内自振式的 RC 振荡计时器, 不需任何外接元件。这样, 即使芯片中 OSC1/OSC2 振荡停止了 (例如执行指令 SLEEP 后), WDT 照样计时, WDT 计时溢满将产生 RESET。

WDT 有一个基本的溢出周期 18ms (无预设倍数), 如果需要更长的 WDT 周期, 可以把预设倍数分配给 WDT (最大可达 1:128), 这时, WDT 溢出周期是 2.5s。

“CLRWDT”和“SLEEP”指令将清除 WDT 计时器以及 WDT 的预设倍数。WDT 一般用来防止系统失控或者说防止单片机程序“失控”。在正常情况下, WDT 应在计时溢出前被 CLRWDT 指令清零, 以防止产生 RESET。如果程序由于某种干扰而失控, 不

能在 WDT 溢出前执行一条 CLRWDT 指令, 就会使 WDT 溢出而产生 RESET, 此时系统可重新启动运行, 不会失去控制。若 WDT 溢出 RESET, 则状态寄存器 F3 的“TO”位被清零。

如果使用 WDT, 一定要在程序中放一条“CLRWDT”指令, 以保证在 WDT 溢出前清零, 否则将造成芯片不停地产生 RESET, 使系统无法正常工作。

8. 中断

PIC16C71 有四种中断源: 来自 INT 脚的外部触发中断、RTCC 溢出中断、A/D 转换完成中断和 RB7~RB4 脚电平变化引起的中断。中断控制寄存器 INTCON (0BH) 用于区分不同的中断请求, 中断复位向量在 0004H。当发生某种中断时, 程序进入 0004H (PC=0004H) 运行, 这时用户程序可通过判断 INTCON 中相应的标志位来判断发生了何种中断并输入相应的中断处理程序。唯一的例外是 A/D 转换完成中断标志 ADIF 放在 ADCON 寄存器中。

PIC16C71 有独立和全体的中断屏蔽位。全体中断允许位 GIE 在 INTCON 中的 bit7。当 GIE=1, 所有中断开放, 当 GIE=0, 禁止所有中断。如果要禁止某些中断, 可以屏蔽它们在 INTCON 中相应的位。复位时, GIE 自动为零。当一个中断发生并得到响应时, GIE 被清零, 此时禁止其他任何中断, 返回地址被压入堆栈保存, 0004H 装入 PC。为避免发生重复中断, 在结束中断处理之前, 必须通过软件将有关中断标志位清零。

执行中断返回指令 RETFIE, 退出中断处理, 同时置 GIE=1, 重新允许中断。

(1) INT 中断

外部触发中断是边沿触发。当 OPTION 的 INTEDG=1 时, 为上升沿触发, 当 INT-EDG=0 时为下降沿触发。当 INT 脚出现有效触发沿时, INTCON 的 INTF 被置“1”。通过设置 INTCON 中的 RTIE 为“0”来屏蔽 INT 中断。在退出 INT 中断的再次开中断之前, 必须用程序清除 INTF 位, 以免发生重复的 INT 中断。如果进入睡眠 (低功耗 SLEEP) 前, INTF 被置为“1”, 那么 INT 中断则可以唤醒处理 SLEEP 中的 CPU, 此时 GIE 位的状态决定是否进入中断处理。

(2) RTCC 中断

当 RTCC 定时器/计数器发生溢出时 (从 FFH→0), 就会产生 RTCC 中断。发生 RTCC 中断后, INTCON 寄存器的 RTIF 位置为“1”。设置 INTCON 的 RTIE 位为“0”, 可以避免重复的 RTCC 中断。由于 CPU 处于睡眠 (SLEEP) 时, RTCC 不工作 (振荡停止), 所以 RTCC 中断不能唤醒睡眠中的 CPU。

(3) RB 口中断

PIC16C71 的 RB 口有中断的特性, 即当 RB7~RB4 脚的电平发生变化时, 会引起中断。如果把 RB7~RB4 设置为输入时, 那么在每个指令周期, CPU 都会读取 RB7~RB4 脚的电平并和原来的电平 (锁存在内部) 比较。当两者不等时, 就会产生一个高电平输出, 以产生中断请求。当 RB 口中断发生后, INTCON 中的 RBIF 位被置“1”。

应当注意, 设置为输出的 RB 脚不参与电平比较 (不会产生中断)。RB 口中断可以唤醒睡眠中的 CPU。在中断过程中, 可以用以下两种方法来清除中断:

- 使 INTCON 的 RBIE 位为“0”。

· 读 RB 口，结束电平不匹配条件，然后再使 RBIF 为“0”。

由于 RB 口中断的特点以及在 RB7~RB4 脚具有软件可设置的弱上拉电流，因此在 RB 口可以很容易地构成一个键盘接口，并且可以通过按键唤醒睡眠中的处理器。

(4) A/D 中断

当 A/D 转换器完成一次转换后，即产生 A/D 中断请求。中断发生后，ADCON 中的 ADIF 位将被置为“1”。设置 INTCON 的 ADIE 为“0”可屏蔽 A/D 中断。

9. I/O 端口

PIC16C71 有 13 个 I/O 脚，它们被组织成二个 I/O 端口，即 RA 口（5 位）和 RB 口（8 位）。RA 口是双向的 5 位 I/O 端口，引脚号为 RA4~RA0，RA4 为集电极开路（OC）输出。RA 的寄存器地址是 05H，它的方向控制寄存器 TRISA 映射在 85H，TRISA 也是一个 5 位寄存器，可由程序直接读/写。RA3~RA0 引脚和模拟输入通道 AIN3~AIN0 复用，而 RA3 还与外部参考电压 VREF（用于 A/D）复用。在控制寄存器 ADCON1（寄存器 88H）中，PCFG1 和 PCFG0 位，用来设置 RA3~RA0 是数字端口还是模拟端口。当引脚被设置为模拟输入时，这些引脚的数字逻辑读为“0”，TRISA 寄存器也不再起控制方向的作用。上电复位时，RA3~RA0 被自动设置成模拟输入。

RB 口是 8 位双向端口（寄存器地址 06H），它的方向控制寄存器是 TRISB。TRISB 为 8 位宽，和 RB 口的 8 位一一对应。TRISB 中某位为“1”，表示 RB 口相应的脚设置为输入态，该位为“0”时，则表示设置为输出态。读 RB 端口时，读的是各引脚的状态，而写 RB 端口时，写的是端口的锁存器。

每个 RB 口引脚都有很小的内部上拉电流（典型值为 $250\mu\text{A}$ ），如果引脚设置为输出，这个上拉电流将自动被关断。另外，设置 OPTION 寄存器的 $\overline{\text{RBP}}\overline{\text{U}} = “1”$ 时，也能关断所有引脚的弱上拉电流。上电复位时，自动关断所有弱上拉电流。RB7~RB4 还具有中断功能，当这 4 个引脚设置为输入时，在每个指令周期内，CPU 都会采样引脚上的电平，如果引脚上的电平发生变化，就会产生一个有效高电平输出，从而产生 RBIF 中断请求，这种中断能把芯片从睡眠中唤醒。被设置成输出方式的引脚不具备中断功能。

10. A/D 转换

PIC16C71 有 4 路模拟输入通道，共同复用一個采样/保持器和 A/D 转换器，参考电压可来自内部 V_{DD} ，也可来自外部（VREF 输入脚）。A/D 转换器为逐次逼近型，转换结果放到 ADREX（09H）寄存器中，为 8 位数字量。

A/D 转换器的时钟，可以来自芯片 OSC1 振荡输入，也可以来自 RC 振荡源。

每位的转换时间为 t_{ad} ，总的转换时间为 $10t_{ad}$ 。 t_{ad} 不能小于 $2\mu\text{s}$ 。

在转换频率较低的情况下，可以用片上的 RC 振荡来实现较短的转换时间。RC 振荡频率随电压、温度及各种处理参数而变化（振荡周期在 $2\sim 6\mu\text{s}$ 之间，一般为 $4\mu\text{s}$ ）。

当 ADCON0 寄存器的 ADON=0 时，为了减少功耗，A/D 转换器内所有消耗直流电流的偏置电路全部关闭。进入睡眠状态时，如果采用内部 RC 振荡器的 A/D 转换正在进行，转换过程将持续至完成，ADCON 中的 ADIF 位将置为“1”，而且如果 INTCON 中的 ADIE=1，将会发生 A/D 中断而唤醒 CPU。在睡眠期间，由于消除了开关噪音，A/

D 转换精度大大提高。

使用 OSC1 振荡源的 A/D 转换正在进行时, 进入睡眠将会导致转换失效, A/D 转换也随之关闭, 用户必须重新初始化和采样。

11. 程序保密位

用户用烧写编程器编程使 CP=0, 则程序存储器中的程序代码将会得到保密, 即程序存储器中的程序代码再被读出时高位都将被屏蔽而无法恢复原形式, 这样可防止芯片内的程序代码泄露或被人非法拷贝。

此外, 当芯片 CP=0 后, 从 0040H 以上的程序空间即不能再被编程, 而 0000H~003FH 单元仍可被编程 (即“1”可编写为“0”)。

12. PIC16C71 指令集

PIC16C71 每条指令长 14 位, 指令由操作码和操作数组成, PIC16C71 共有 35 条指令, 可分为面向字节操作、面向位操作、常数操作和控制类操作。

4.3.2 由 PIC 单片机控制的智能充电器

用 PIC16C71 组成的智能充电器如图 4-32 所示。该充电器采用廉价单片机 PIC16C71 作为控制核心, 可同时对四节 1.2V 镍镉电池单独高效率充电, 并能根据电池的状态自动选择放电及充电方式, 具有快充、慢充及涓流充电功能。因为采用了脉冲电流充电, 所以能克服电池的“记忆效应”。

1. 工作原理

镍镉电池的最佳充电方式是先让电池放电, 然后转入快速充电, 最后再进行涓流充电。要实现这种充电方式, 必须随时检测充电状态, 根据检测结果选择放电还是快速充电。采用单片机控制, 许多控制功能都可用软件实现, 因此可大大简化电路。单片机 PIC16C71 的 RA0~RA3 为 A/D 端口, RB0~RB7 为双向数据端口。利用 RA0~RA3 作电池电压的检测输入端口, RB0~RB3 作为控制输出端口。RB4、RB5 作双译码器 IC3 (74HC239) 的输入, IC3 输出作为充、放电电路的公共控制端并驱动发光二极管, 指示工作状态。RB6 作为快、慢充电选择控制输入端口。图中有四组相同的由分立元件组成的放电、充电及检测电路。它的工作原理是: 以第一组为例, D_1 、 Q_1 、 Q_3 、 R_3 构成 500mA 恒流源, R_4 、 Q_2 构成放电回路。充放电电路的工作分别由 Q_{13} 、 Q_{14} 控制。充电前, 电池电压经 RA0 送入 IC₁ 检测, 该电压如果大于 1V, IC₁ 的 RB0 输出高电平, RB4 及 RB5 输出信号使放电控制晶体管 Q_{14} 导通, 充电控制晶体管 Q_{13} 截止, 电池通过 R_4 、 Q_2 放电, 放电电流为 500mA。当放完后 (电池电压等于 1V 时), IC₃ 控制 Q_{13} 导通, Q_{14} 截止, 充电电路开始工作。为了使四组充电电路不发生冲突, 采用 2.5s 充电周期, 其中 2s 为充电时间, 0.5s 为检测时间。一组电池充电时, 其余通道应封锁, 每个通道轮流检测, 在 0.5s 之内全部检测完毕, 然后通过 IC₁ 内程序设定的控制方式, 在充电时间输出控制字。图 4-33 给出了快充 (放电)、慢充、涓流三种充电方式的电流脉冲波形, 图(a)为快充及放电电流波形, 图(b)为慢充电流的波形, 图(c)为涓流充电电流波形。发光二极管 D_{11} 、 D_{12} ,

D_{13} , D_{14} 分别指示检测、放电、充电及涓流充电四种工作状态。图 4-34 为电池检测流程图。

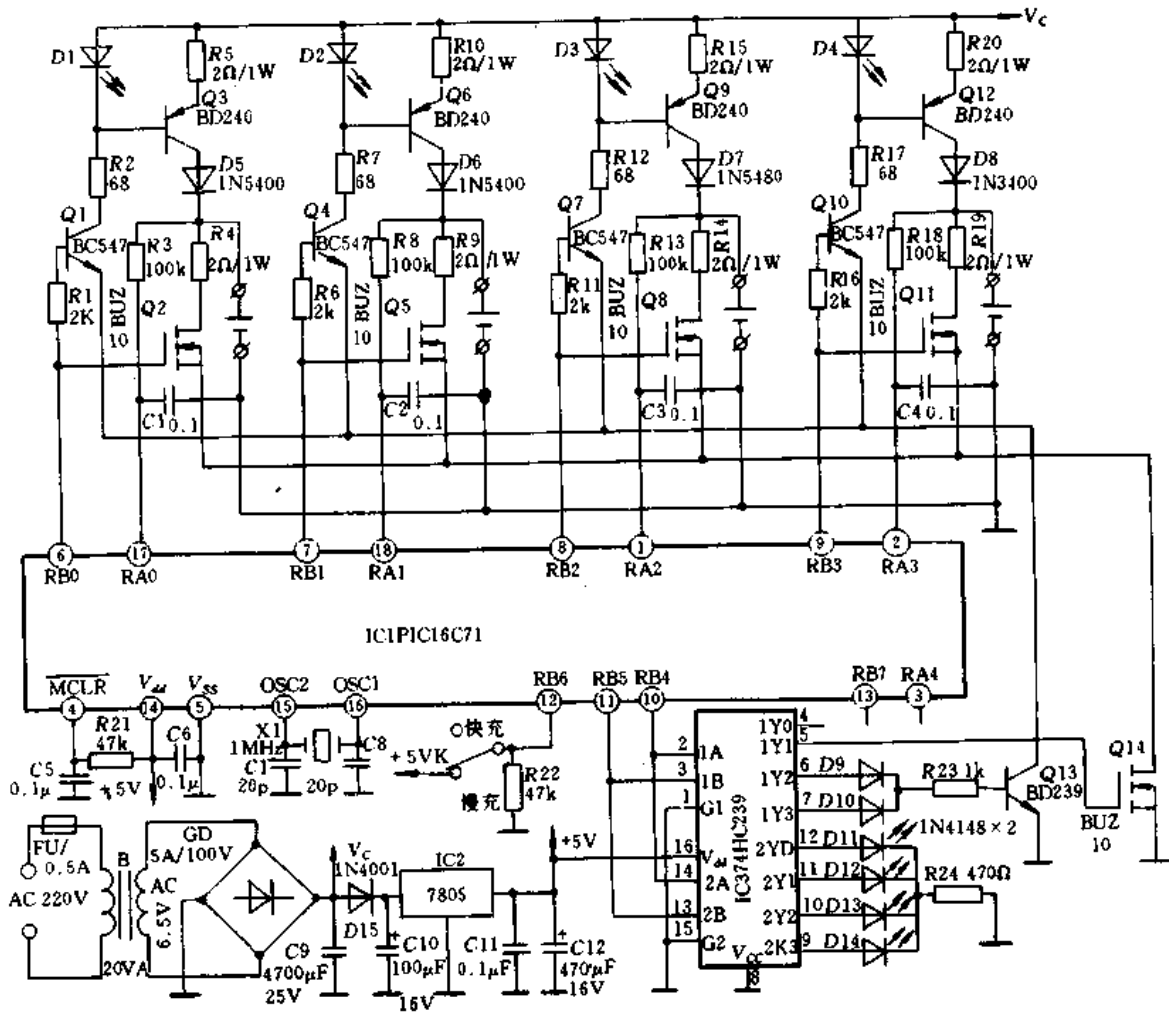


图 4-32 用 PIC16C71 组成的充电器电路

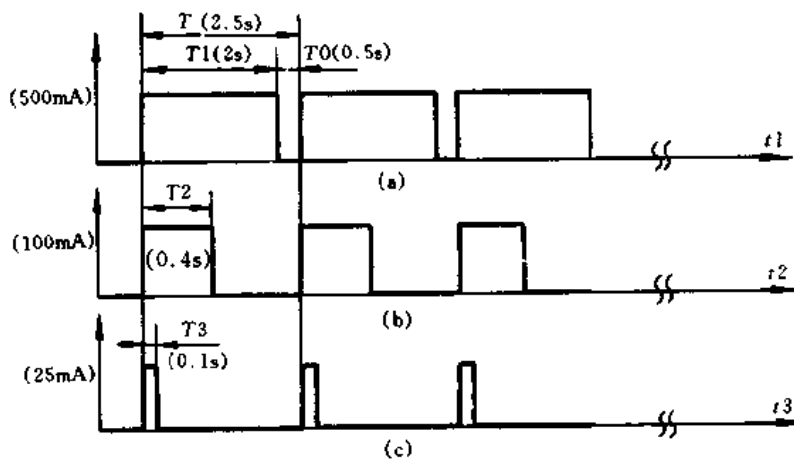


图 4-33 充电器电流波形

2. 电路的安装与调试

单片机应先通过开发机模拟调试，成功后再一次性编程。因充电及放电时电流较大，图中除 Q_1, Q_4, Q_7, Q_{10} 外，其余三极管均应加散热器。为了缩小体积，全部三极管可共用一只散热器，但所有三极管应与散热器绝缘。充电电路中的发光二极管 D_1, D_2, D_3, D_4 必须采用普通的红色发光管，才可达恒流充电。电路只要接线无误，便可通电工作，硬件电路几乎没有调试的地方。充电电路中的发光二极管充电时，会按一定的周期闪烁，根据红色发光管的亮灭时间，可判断出是大电流充电，还是涓流充电。

4.4 DL5689 组成的多功能快速充电器

4.4.1 双组电池快速充电控制器 DL5689

1. 主要特点

(1) 适用于单组或双组镍镉、镍氢、锂离子电池快速充电，也可作碱性电池和铅酸电池快充控制。

(2) 可以实现 A 组充镍镉和镍氢电池，B 组充锂离子电池，也可以两组同时充一种电池。

(3) 充镍镉或镍氢电池时，采用 $0\Delta V$ 、 $-\Delta V$ 、 $\Delta T/dt$ 、最高电压 V_{max} 、最长时间 t_{max} 等快速充电终止法；充锂离子电池时，采用恒流转恒压、 $\Delta T/dt$ 、 V_{max} 、 T_{max} 等快充终止法。

(4) 采用 28 脚 SOP 和 30 脚 SSOP 两种封装形式。

(5) 设计有测试模式，可供批量生产时快速测试用。

2. DL5689 双组快充控制功能

同时对镍镉与镍氢电池充电时，一般采用 $\Delta T/\Delta t$ 加 $-\Delta V$ 检测来终止快速充电，但如果热敏电阻失效或无法正确反馈温度时，将使镍氢电池因温升过高而产生泄压漏液。从电池充电电压与温升曲线上可以看出，当电池充电电压出现 $0\Delta V$ 后，电池温度迅速上升，出现 $-\Delta V$ 时，电池温度上升更快，电池内部气压也同时上升。如果电池内部压力到达泄压点时，电池的泄压阀门打开，将造成因电解液流失而使容量下降，甚至可能引起电池

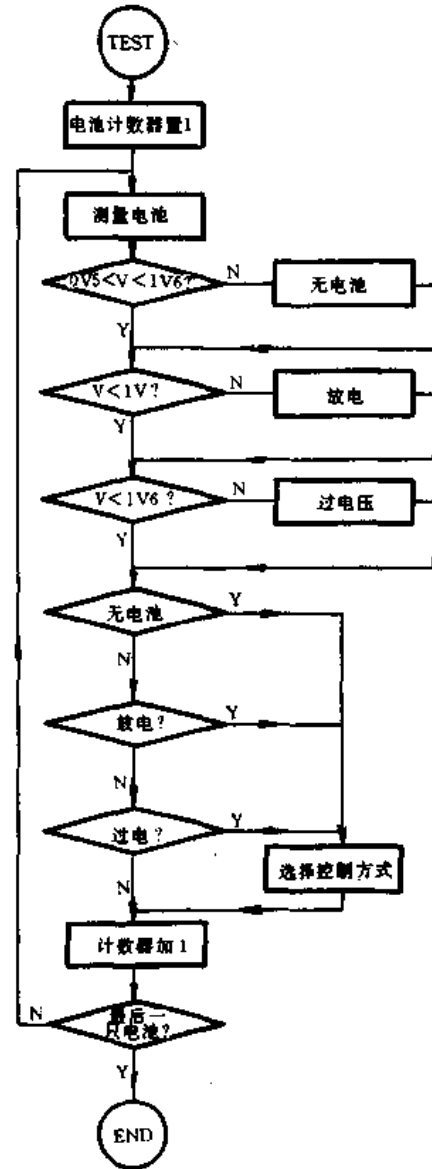


图 4-34 电池检测流程图

爆裂。因此 DL5689 快充控制 IC 提供了 $0\Delta V$ 关断方式，可在电池电压出现 $0\Delta V$ 时，停止快速充电，避免温度持续上升。这样，在温度反馈有误差时，仍能正常控制电池充电特性。DL5689 中采用 8 位 A/D 转换器， $0\Delta V$ 检测范围为 $0\sim 7.5\text{mV}$ ， $-\Delta V$ 检测范围为 $7.5\sim 15\text{mV}$ ，单体电池允许最高电压 V_{max} 为 1.9V 。

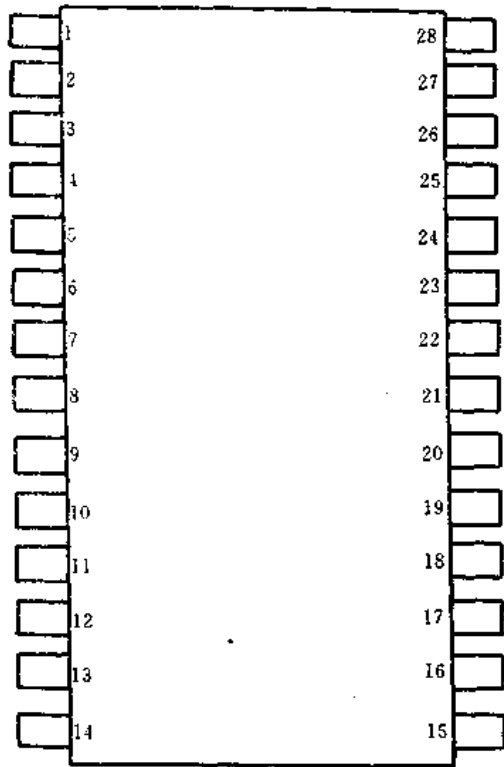


图 4-35 DL5689 封装图

脚结构，如图 4-35 所示。

4. 管脚功能说明

脚 1 和脚 2：系统时钟输入。时钟输入电路如图 4-36 所示。

脚 3：复位。复位脚的接法如图 4-37 所示。

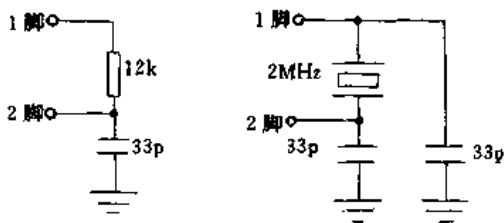


图 4-36 DL5689 的时钟电路

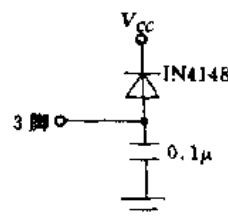


图 4-37 DL5689 复位电路

脚 4：B 组电池放电输入。放电电路如图 4-38 所示。

当开关 SW1 接通时，电池通过 15Ω 电阻和 PNP 晶体管放电，当单体电池的电压下降到 0.9V 后，再开始充电。

$\Delta T/\Delta t$ 检测时，采用 103AT 负温度系数热敏电阻作为温度反馈元件，将单位时间内的温度变化量传至中央处理器。当单位时间内的温度变化量达到 ΔT 设定值时，快充立即停止。 T_{max} 为电池充电时的最高允许温度，电池接入充电器后，检测电池的温度，如低于 0°C 或高于 45°C ，则充电器进入等待模式，待温度达到正常温度时，才进入快速充电状态。

锂离子电池采用恒流转恒压充电控制方式。当单体电池电压尚未达到设定的电压值时，充电器以恒定电流对电池充电，当单体电池电压达到 4.1V 后，立即转入恒压充电，此后，充电电流开始缓慢下降。

3. 管脚结构

采用 SOP-28 封装的 DL5689 管

脚 5: 热敏输入选择。该脚接高电平时, 热敏电阻输入起作用。该脚接低电平时, 热启动起作用。

脚 6: +5V 电源电压。

脚 7 和脚 8: 镍氢电池充电电压检测。镍氢电池充电电压检测电路如图 4-39 所示。充电电池数与 R_1/R_2 的关系如表 4-16 所列。

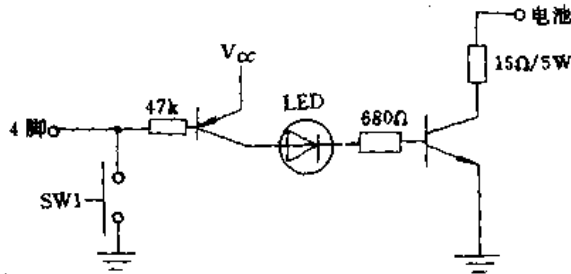


图 4-38 DL5689 放电电路

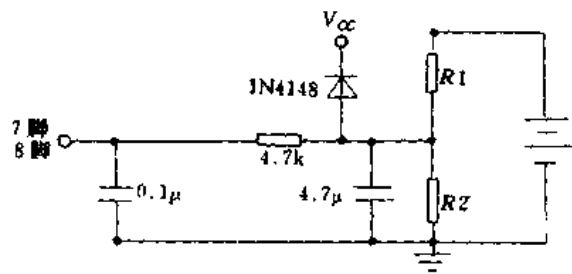


图 4-39 DL5689 充电电压检测电路

表 4-16 电池数与 R_1/R_2 的关系

电池数	3	4	5	6	8	9	10	12
R_1/R_2	0.2	0.6	1.0	1.4	2.2	2.6	3.0	3.8
R_1	2kΩ	6kΩ	10kΩ	14kΩ	22kΩ	26kΩ	30kΩ	33kΩ
R_2	10kΩ	10kΩ	10kΩ	10kΩ	10kΩ	10kΩ	10kΩ	10kΩ

脚 9 和脚 10: 电池温度检测。温度检测电路如图 4-40 所示。此脚决定采用 OPT (电池环境温度保护)、 T_{max} (电池最高温度保护)、 $\Delta T/\Delta t$ (温度变化率保护) 中哪一种温度保护方式。电池可进入快充的温度为 $0^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$, 电池最高温度为 50°C , 温度变化率 $3^\circ\text{C}/2\text{min}$ 。

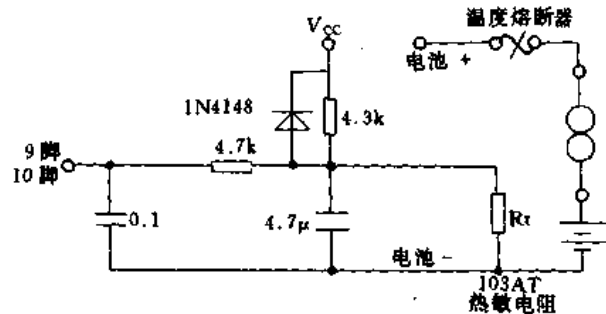


图 4-40 DL5689 温度检测电路

电池刚接入充电器时, 若电池温度在 OPT 范围之外, 虽然充电器显示充电状态, 但是不能进入快充状态, 直到电池温度进入 OPT 范围, 充电器才会进入快充状态。

若电池因 T_{max} 或 $\Delta T/\Delta t$ 达到规定值而进入充足电状态, 则电池一直维持在充足电状态。

脚 9 亦可当作测试状态输入脚。如图 4-41 所示, 当 SW1 接通后, 再接通电源。当 TA 脚电压为 $0.7 \pm 0.1\text{V}$ 时, 充电器进入测试状态, LED1~4 导通 0.5s 后关断。此时将开关 SW2、SW3 接通,

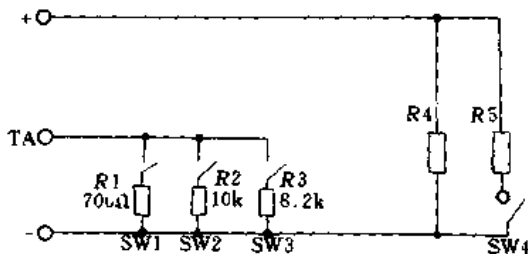


图 4-41 DL5689 功能测试电路

充电器进入快充状态。大约 10s 后，将开关 SW4 接通，在 10s 以内，充电器转为充足电状态。

将开关 SW1 接通后（原来开关 SW2 接通），充电器再次进入快充状态，将开关 SW3 接通（原来开关 SW2 也接通），大约 15s 后，充电器转为充足电状态，测试过程总共需 2min。

脚 11 和脚 12：锂离子电池充电电压检测。分压电阻值的设定方法同脚 7 和脚 8，但单体锂离子电池电压应为镍镉或镍氢电池的 3 倍。

脚 13：镍镉、镍氢电池充电时间设定（最长充电时间为 512min）。充电时间设定电路如图 4-42 所示，实际充电时间由电阻 R_1 和 R_2 按下式决定：

$$512 \times R_1 / (R_1 + R_2) = \text{实际充电时间}$$

脚 14：接地。

脚 15：锂离子电池充电计时器设定（最长充电时间为 256min）。锂离子电池充电时间设定电路如图 4-43 所示。实际充电时间由电阻 R_1 和 R_2 按下式决定：

$$256 \times R_1 / (R_1 + R_2) = \text{实际充电时间}$$

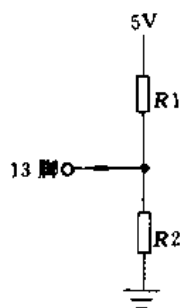


图 4-42 镍镉/镍氢电池充电时间设定电路

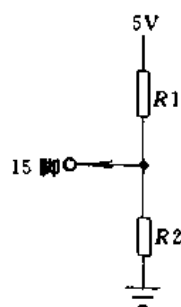


图 4-43 锂离子电池充电时间设定电路

脚 16 和脚 17：A 组电池充电显示（低电平工作）。

脚 18 和脚 19：B 组电池充电显示（低电平工作）。

脚 20：A 组电池快充输出控制（低电平工作）。

脚 21：B 组电池快充输出控制（低电压工作）。

脚 22 和脚 23：锂离子电池恒压输出控制（低电平工作）。当单体锂离子电池充电至 4.2V 时，此脚为低电平，将锂离子电池的端电压固定在 4.2V，避免锂离子电池过充电。

脚 24：定功率输入脚。当此脚为低电平时，进入定功率模式（仅适用镍镉和镍氢电池）。此时，将定时器原设定但未执行完的时间延长 3 倍，并检测电压和温度。进入此模式时，若单体电池电压低于 1.1V，则输出不工作。

脚 25 和 26：电池种类设定输入。对镍镉/镍氢电池充电时，该脚接高电平，对锂离子电池充电时，该脚接低电平。

脚 27：模式预备功能输入（接 V_{CC} ）。

脚 28： V_{CC} 接 +5V 电源。

4.4.2 实际应用电路

DL5689 组成的实际充电器电路如图 4-44 所示。

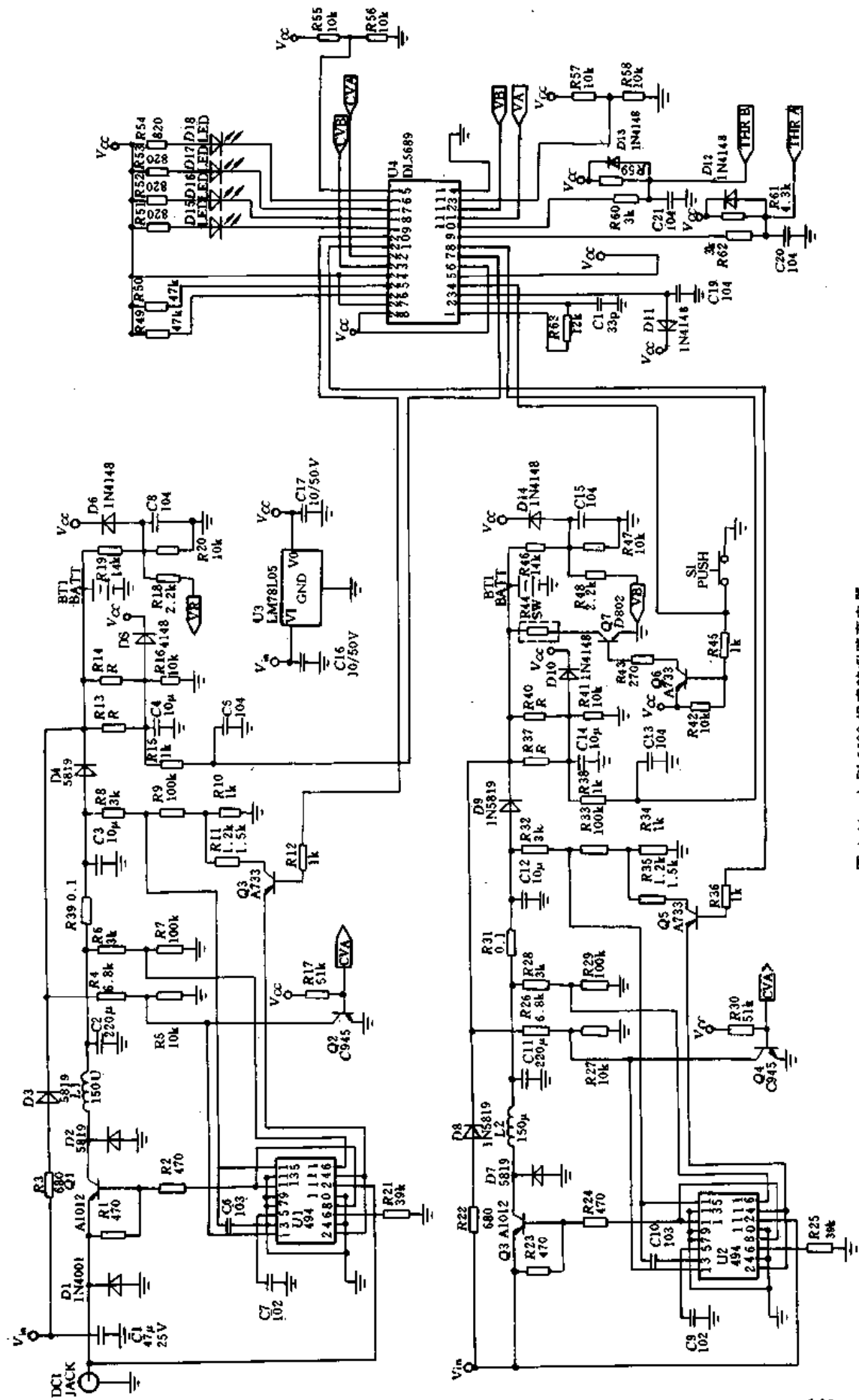


图 4-44 由 DL5689 组成的双路充电器

第五章 国产智能充电器简介

目前,可充电电池已广泛用于通讯、交通和家用电器等领域(如移动电话、录放机、便携式计算机、汽车和摩托车等),因此市场上出现了许多充电器。当前国产的智能充电器基本上可分为两类,一类是主要用于移动电话的镍镉/镍氢电池充电器,另一类是主要用于汽车和摩托车的铅酸电池充电器。这些充电器各具特色,如华羽牌子母式充电器的子母式结构和“磁力电极”,CG-101/CG-201充电器利用汽车点烟器电源,LT-2100充电器采用的 $+\Delta V$ 检测,MKC系列脉冲快速充电器采用的脉冲充电放电去极化模式等,下面简单介绍几种国产智能化快速充电器。

5.1 华羽牌子母式万能快速充电器

1. 概述

蓄电池充放电理论的研究实验证明,采用低频脉冲非恒压充电方式,不仅能有效地消除电池的记忆现象,抑制电池内部枝状晶体生长,延长电池的使用寿命,而且可提高充电效率。此外,快速充电过程中,控制电池的温度至关重要。充电过程中若电池温度超过 50°C ,不仅充电器输出的电能全部转化为电池热能而损失掉,而且还会加速电池自放电并导致电池损坏。电池充足电后继续充电,电池内将产生大量气体,使电池内部压力增高,内阻变大,容量下降,加速电池失效。电池过放电后,也会产生同样的结果。目前,大部分充电器在电池充足电后,继续以小电流充电,手机电池的电压可高达 8.4V ,而手机电池的标准电压为 7.2V ,因此高出了 1.2V 。使用时,过高的电压使手机产生很大的冲击电流,因此时有损坏手机的现象发生。因此当电池充足电后,应停止充电,使电池电压下降到规定值,然后再用。

2. 主要特点

(1)该充电器采用优选的低频脉冲充电方式,能可靠地消除镍镉电池的记忆现象,延长电池的使用寿命。

(2)本充电器采用子母结构,如图5-1所示。充电器母机用于大哥大电池充电,充电器子机用于各种型号的单体电池充电,并且有与母机同样优良的充电性能。

(3)采用 $-\Delta V$ 检测与温度检测。当镍镉电池充足电时,电池的电动势会下降 20mV 左右,检测这个微小的电压瞬态变化,并转化为控制信号,可实现充电自动控制。现有充电器大都采用 $-\Delta V$ 控制法,而忽视了温度控制。一旦电源电压产生过大的波动,就会造成检测失误,使电池过充电,这就是这类充电器易损坏电池的原因。

华羽充电器除了具有电压负增量控制和时间控制外,还采用了温度控制。因为电池的温升是充电时最易捕捉的宏观现象。充电过程中,镍镉和镍氢电池充足电前,温度上

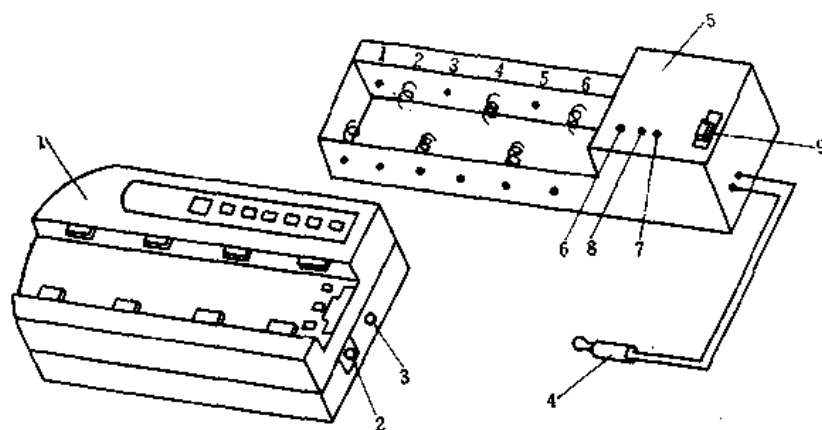


图 5-1 子母式万能快速充电器的结构

1. 母机 2. 直流电源 DC 输入 3. 直流电源输出孔 4. 插头 5. 子机 6. 红灯 7. 轻触按键 8. 绿灯 9. 分配开关

升很慢，每分钟约为 0.08°C 。充足电时，电池温度上升很快，每分钟约为 1.5°C 左右，因此利用温度控制能够既安全又可靠地充足电。该充电器设有双重温度控制，第一个温度传感器装在母机上，第二个温度传感器装在电池盒内。母机上的热敏元件与发热器隔离，能够可靠地判断电池温度。

(4) 采用磁力电极可以对各类电池充电。各类电器所用的电池规格品种繁多，充电器互不通用。尽管目前有了充电器转接板，但仍然解决不了用一台充电器为众多品种电池充电的问题。因为除了充电器功率应与电池容量相应外，充电器还要适应各种电池组的电压，最重要的是适应各种电池的电极位置的变化。各种小型摄像机、移动电话手机所用电池的电极一般为一字形排列，无绳电话机和子母电话机所用电池的电极设在电池组端部垂直方向同一侧，而电动工具所用电池的电极则设在电池组两侧。由此可知，充电器即使配上一大堆转接板，也解决不了各类电池的充电问题。

由于镍镉电池、镍氢电池、锂离子电池的电极都可被磁铁吸引，并且磁铁对电池充电没有影响，因此华羽充电器特别设计了一对“磁力电极”，它可以非常方便灵活地定位在多种电池组上。无论电池电极的位置怎样变化，磁力电极都会使你得心应手。此外，“磁力电极”内还装有温度控制电路，可以准确监控电池温升，一旦电池温度达到设定的安全温度，充电器可及时自动关机。为适应各种电池组的容量与电压变化，母机上设有变换开关。

3. 使用方法

(1) 母机使用

接通电源，黄灯亮，表示电源接通，同时绿灯也亮并发出声响，表明充电器工作正常。此时，插上电池，绿灯亮，声音停止，充电器自动进入充电状态，充电量由 1 至 4 级红灯显示。当充足电后，自动停止充电，绿灯亮同时发出声音，此时电池可取下使用。

(2) 子机使用

将子机插头 4 插入母机上的直流电源输出插孔 3，母机上的绿灯熄灭，声响停止，子机上的红灯亮。此时，放入电池，即进入自动充电状态。应特别说明的是可以放入 2 节或 4 节电池，同时，子机上的“分配开关”9 必须放在与电池个数相应的位置。充足电后，子机上绿灯 8 亮，并发出声响，此时可取下电池。当重新放入电池后，须按一下轻触按

键7，充电器才能进入充电状态。充足电后，绿灯又亮并发出声响。

(3) 温控电池的使用

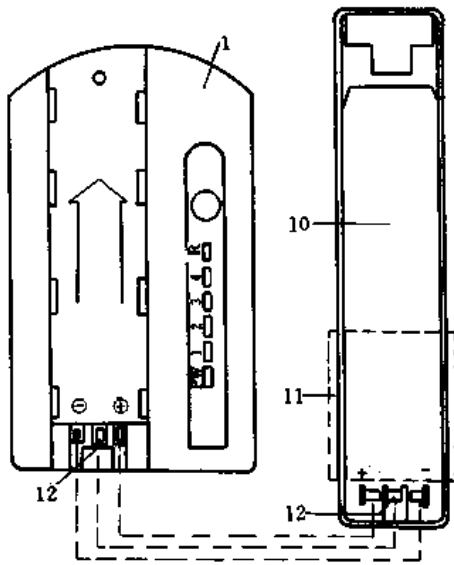


图 5-2 温控电池的接法

1. 母机 10. 温控电池

11. 内装温控电路 12. 温控电极

温控电池与常规电池使用方法完全相同，但两者性能不同。常规电池三个电极的中间电极未利用，普通充电器输出电极的中间电极也是空着的。温控电池内部装有专用温控电路，温控信号由中间电极输入充电器，可准确测定电池的温度，如图 5-2 所示。常规电池的温度控制是由充电器内的温控装置实现的，效果要稍差一些。该充电器可对温控电池充电。

4. 注意事项

(1) 母机因温度过高而关机时，第二块电池推上去的时间须间隔 3 分钟左右，否则不能马上自动进入充电状态。

(2) 电池内部短路、断路，或电压小于 6V 时，充电器不能进入充电状态。

(3) 充电器不能受强烈阳光照射，也不能

在过热的环境中使用。

5.2 CG-101/201 开关型智能高速充电器

CG-101/CG-201 智能快速充电器，适用于 MOTOROLA8000/9000 系列的手提电话充电电池及 2~10 节镍镉和镍氢电池充电。

1. 主要特性

(1) 采用高分辨率电压负增量 ($-\Delta V$) 数字无电流检测法控制充电全过程，可精确地判定电池的充电状态，保证电池 100% 充足电。

(2) 采用微处理器控制的充电程序，可自动跟踪、调整充电电压，无须人为干预，电池充足电后自动显示并转入涓流充电，不会因过充电而缩短电池寿命。

(3) 采用高频脉冲充电，可有效地消除电池的记忆效应，使电池容量恒久不降。

(4) 充电时间短、操作简单、无须放电即可充电，使电池寿命延长一倍。

(5) 设有温度保护电路，当电池内部温度超过 45°C 时，可自动转入涓流充电，以保护电池。

(6) 设有电池开路、短路、反接保护。

(7) 设有定时关断功能，当异常情况导致不停止充电时，可自动定时关断充电器输出。

(8) 采用新型开关电源，适用电压范围宽、体积小、重量轻、携带方便，也可用于汽车电池充电。

(9) 设有充电输出适配接口, 可对不同用途的电池组充电。

2. 主要技术指标

输入电压: 交流 180~240V、50~60Hz, 或直流 12~24V。

充电时间: 薄型电池: 28 分钟; 普通型电池: 50 分钟; 加厚型电池: 80 分钟。

3. 操作说明

CG-101 型高速充电器的外形结构如图 5-3 所示, 操作使用方法如下:

(1) 将充电器的电源插头插入 220V 交流电源上, 电源指示灯 2 发光, 表示电源接通, 在车内使用时, 将直流电源线 5 一头插入汽车点烟器插口, 另一头插入该机直流输入插口。

(2) 将需充电的电池插入充电器上, 充电指示灯 1 由闪亮变为连续发光, 充电器开始对电池充电。

(3) 当充电指示灯 1 再次出现闪亮时, 电池进入涓流充电状态, 表示电池已充足电, 电池取出后应拔掉电源插头。

(4) 对容量小于 800mAh 的电池充电时, 需将直流输出转换开关 4 拨到 1 档; 对容量大于 800mAh 的电池充电时, 转换开关 4 应拨到 2 档。

(5) 使用充电输出适配器对电池组充电时, 应使电池组的极性与充电器极性相同。

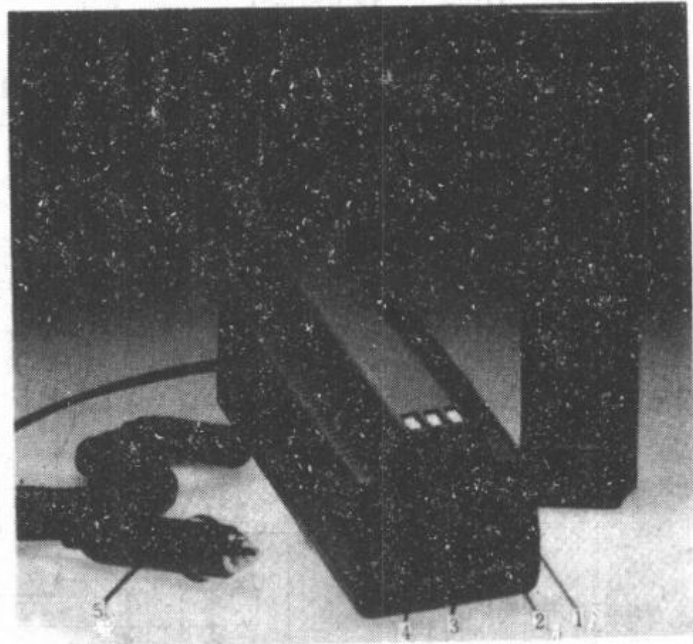


图 5-3 CG-101 高速充电器的结构

1. 充电指示灯
2. 电源指示灯
3. 充电输出适配器插口
4. 转换开关
5. 直流电源线

5.3 GC2001/2002 智能型镍镉/镍氢电池充电器

1. 主要特点

(1) 采用性价比极高的 PIC16C5X 系列八位单片机控制, GC2001 型智能充电器实际电路如图 5-4 所示, GC2002 型智能充电器实际电路如图 5-5 所示。

(2) 可按用户需要修改程序、升级方便迅速。

(3) 独特的软、硬件设计, 能精确地检测电池的 $+\Delta V$ 、 $0\Delta V$ 、 $-\Delta V$ 特性, 避免误判断, 保证电池 100% 充足电。具有最高电压 V_{max} 和最高温度 T_{max} 检测, 可避免在异常情况下发生过充电, 保证最佳充电效果。

(4) 采用高频脉冲充电, 充电过程中夹有放电脉冲, 可通过按键选择快充、中充、慢

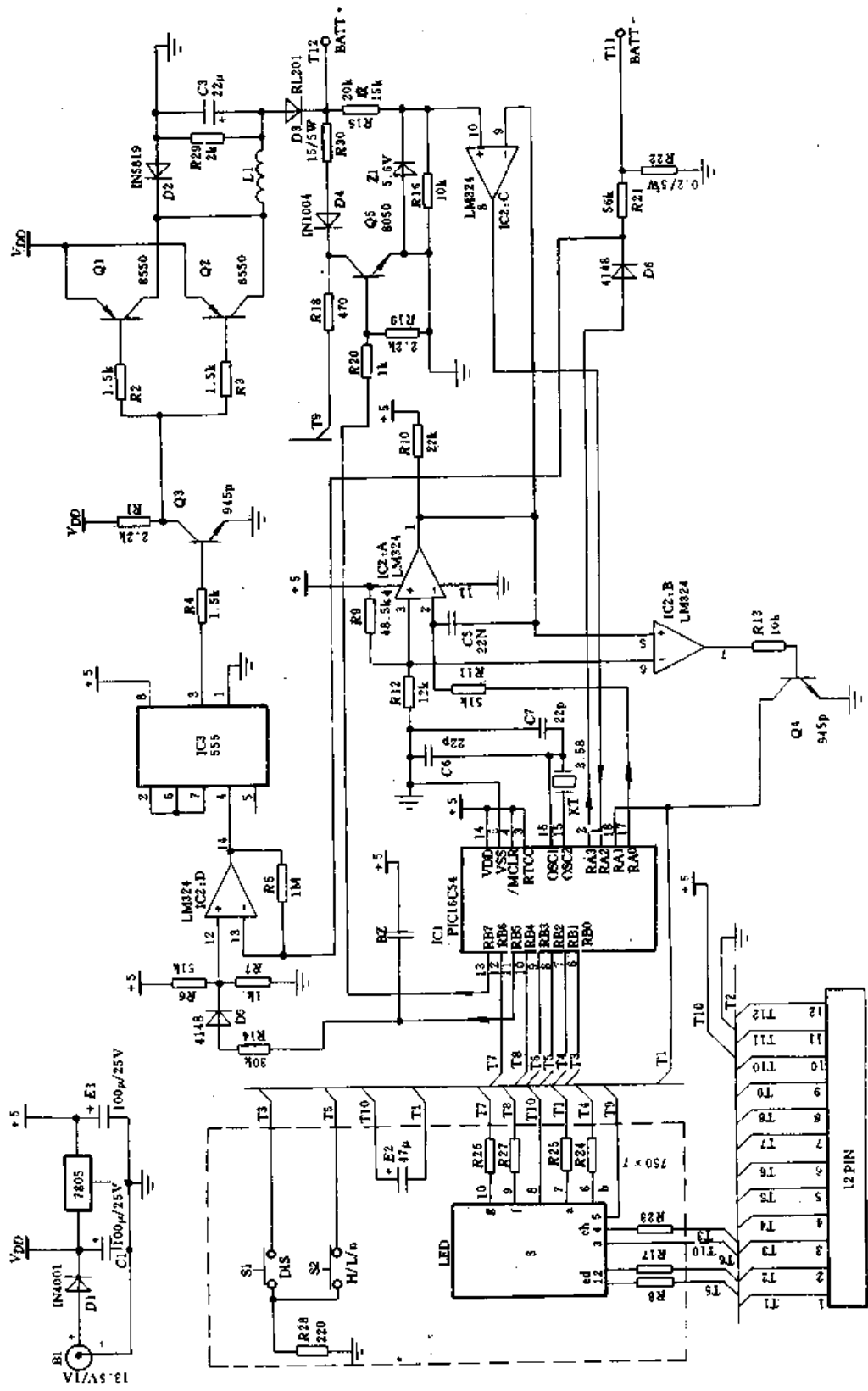


图 5-4 GC2001 型充电器内部电路图

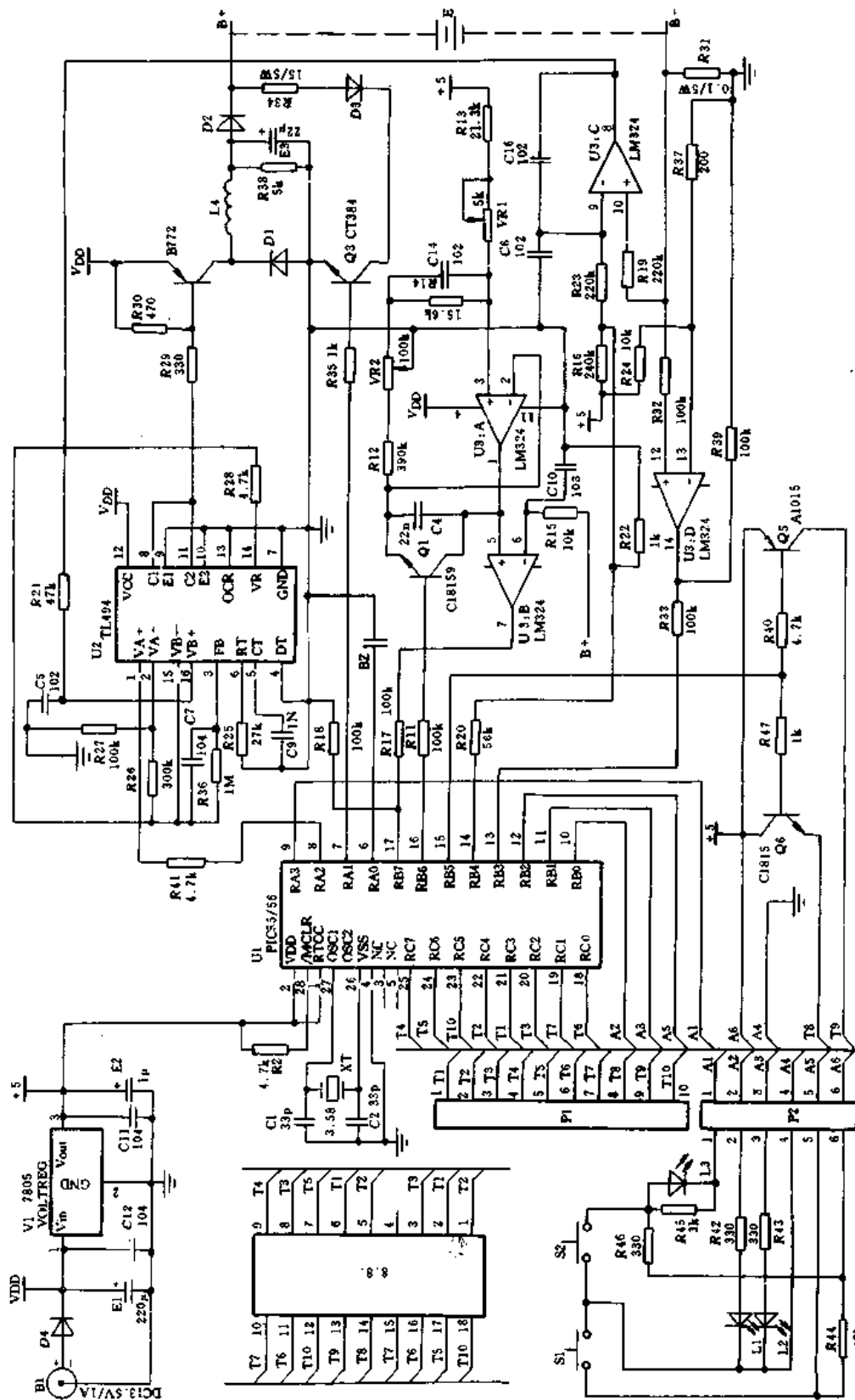


图 5-5 GC2002 型充电器内部电路图

充等充电方式，以满足不同电池的要求。

(5) 可通过按键选择预放电，以消除电池的记忆效应。电池放完电后，可自动转为预先设定的充电方式。

(6) 充电过程中，能够显示电池的电量及各种充电状态。

(7) 电池充足电后自动转为涓流充电，以补偿电池因自放电而损失的电量，使电池始终保持最佳备用状态。

(8) 优美的声响效果，按键、电池插拔及各种状态切换时均有声响提示。

(9) 电池极性接错或短路时，能发出声光报警信号。

2. 使用方法

(1) GC2001 型（一位 LED 显示）使用方法

• 通电后响一声“嘀”，LED 从“1”显示到“9”，然后显示“H”。

• 通过按键选择当前的工作方式，键音回响，LED 显示：

“H”——快充 “L”——中充 “n”——慢充 “d”——放电

• 未插入电池时“H”（“L”、“n”）闪烁，插入电池后，按预定方式充电，LED 显示电量相对值（“0”~“9”），快充时，指示灯快闪，中充时，指示灯慢闪，慢充时，指示灯不闪。

• 电池充足电后，响一声“嘀”，然后显示“F”，两小时后“F”闪烁。

(2) GC2002 型（两位 LED 显示）使用方法

• 通电后，响一声“嘀”，若未装上电池，LED 各段轮流交替点亮。

• 通过按键选择当前的工作方式，键音回响，指示灯点亮：

橙色——快充 黄色——慢充 绿色——放电。

• 插入电池，按预定方式充电，LED 显示电量百分比：“00”“25”“75”“90”，按放电键可切换为放电。

• 本机可对 4.8V，6.0V，7.2V 等电池组充电，刚工作时，LED 闪烁表示正在测试电池容量。

5.4 LT-100/200 智能超快速充电器

LT-100/200 智能超快速充电器适用于多种系列的手提电话电池充电，也可给对讲机、摄像机等电器的电池组充电。

1. 主要特点

(1) 充电电流采用高频脉冲电流，充电过程中夹有深度放电脉冲，不仅可有效地消除记忆效应，还可恢复已产生记忆效应的电池的容量。深度放电脉冲可使电池电极间的结晶体保持微粒状，增强电池活性。充电脉冲波形如图 5-6 所示，如果充电器采用恒流充电，极板上容易形成较大的结晶体，从而使电池容量下降。

(2) 采用高精度电池电压正增量（ $+\Delta V$ ）、零增量（ $0\Delta V$ ）控制技术，可精确判断电池的充足电状态，保证 100% 充足电，而且不会过充电。现有充电器多数采用 $-\Delta V$ 技术，当充电电流大于 1C（2C，4C）时，出现 $-\Delta V$ 时，镍氢电池已严重发热，所以采用 $-\Delta V$

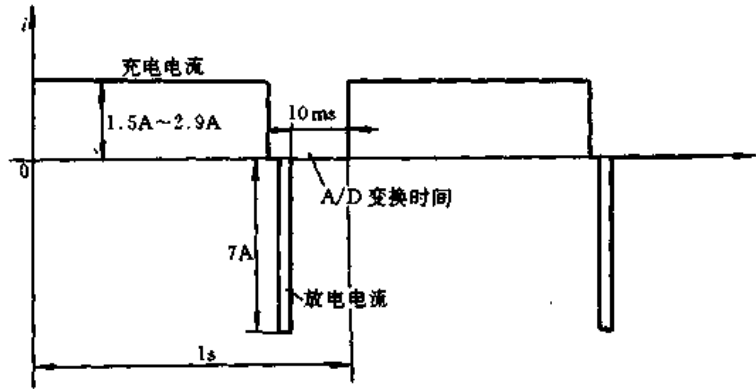


图 5-6 LT-100/200 充电器充电电流波形

技术，虽能在电池充足电时自动停机，但对镍氢电池有害。

(3) 充电过程中，电池的插拔不影响充电过程，并对电池无任何影响，电池插好后，充电过程重新开始。

(4) 充电前先放电，可彻底消除镍镉电池的记忆效应。

(5) 双重温度保护，当电池温度高于 45°C 时，自动停止快充；当电池温度低于 10°C 时，先进行小电流充电，待电池温度高于 10°C 后，再转入快速充电。

2. 主要性能指标

(1) 充电时间

LT-100 智能超快速充电器的充电时间如表 5-1 所列。

表 5-1 LT-100 智能超快速充电器时间

电池型号	电池容量 (mAh)	充电速率	充满时间 (min)	电池容量 (mAh)	充电速率	充满时间 (min)
8800	1200	快速	24	1600	快速	30
		正常	48		正常	60
9800	600	快速	15	1000	快速	30
		正常	31		正常	60

LT-200 智能超快速充电器的充电时间如表 5-2 所列。

表 5-2 LT-200 智能超快速充电器充电时间

电池型号	电池容量 (mAh)	充满时间 (min)	电池容量 (mAh)	充满时间 (min)
9800	500	24	1000	45
8800	1200	52	1600	68

(2) 输入电压

交流 180~240V, 50/60Hz (由开关电源供电)；

直流 12~20V (用于汽车上)。

(3) 输出电流

1.5A~2.9A

(4) 最大功耗

35W

5.5 MKC 系列脉冲快速充电器

1. 概述

MKC 系列脉冲快速充电器, 采用了脉冲充电放电消除极化原理, 并采用了厚膜控制电路和环形变压器等先进元器件。该机具有自动检测、自动保护、温度补偿、充足自停等功能。该机还具有省时、节电、安全、效率高、可靠性高等优点, 能有效地保护电池, 延长电池寿命。本机广泛适用于镍镉、镍氢电池和各类铅酸电池充电, 特别适用于高寒地区。

该机面板和后盖板布局如图 5-7 所示。

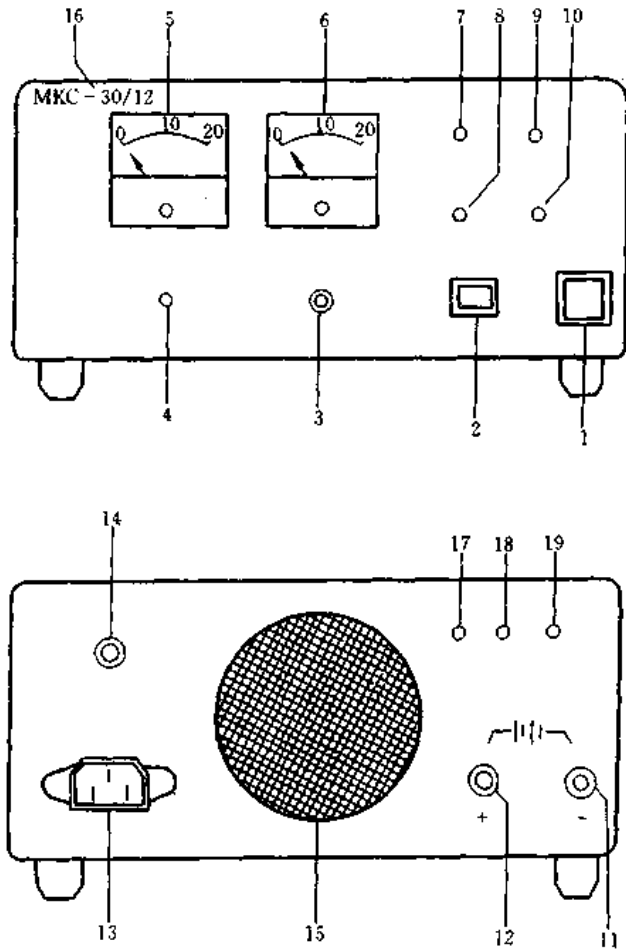


图 5-7 MKC 系列充电器面板和后盖板布局

1. 电源开关 2. 复位开关 3. 电流调节 4. 快慢充开关 5. 输出电压表 6. 输出电流表 7. 定时指示灯 8. 过流保护指示灯 9. 充电指示灯 10. 放电指示灯 11. 输出负极接线柱 12. 输出正极接线柱 13. 电源插座 14. 保险丝座 15. 排风扇 16. 规格标志 17. 正常充电接点 18. 共用充电接点 19. 硫化电池充电接点

2. 主要特点

(1) 省时。镍镉、镍氢电池充电时间小于 1h, 铅酸电池充电时间小于 2h。

(2) 节电。该系列脉冲快速充电器功耗小, 效率高, 可节约用电量 30% 以上。

(3) 经济。具有放电消除极化功能, 充电时电池温度小于 45°C , 电池寿命可延长两倍。

(4) 安全。电流可连续调节, 具有电源过流和电池极性反接保护。

(5) 自动。具有电池电压和充电电流自动检测功能, 电池充足电后自动关机。该机电压检测具有温度自动补偿, 在很宽的温度范围内电池既能充足电, 也不会过充电。

(6) 无污染。充电中能防止有害气体产生并且无噪音。

(7) 可靠。由于采用先进的厚膜控制电路及环型变压器, 所以该机具有较高的可靠性。

(8) 轻小。该机重量轻、体积小、便于携带。

(9) 复活电池。用普通充电器无法充电的硫化电池, 采用该机充电可恢复其容量。

3. 使用方法

(1) 开机准备

- 首先检查充电电池的型号、电压和容量，按电池容量的 1/3 选择充电电流值。
- 接好电源线。
- 连接输出线，并与电池连接牢靠。红色输出线接电池正极，黑色输出线接电池负极。

(2) 充电

- 把充电电流旋钮调至最小位置，接通电源开关，电源指示灯亮。
- 充电器工作时，充电、放电指示灯交替闪烁。
- 调节充电电流旋钮，选择充电电流值。
- 如电池需要慢速充电，可将快慢开关置于慢充档，此时，表针不摆动，放电指示灯不亮。

• 本机具有可靠的检测功能，充电时，电压电流表指针左右摆动，电压表指示的最低值为检测电压值。

• 被充电电池的电压过低时（12V 电池组电压低于 6V 时），机器后盖板上的短路线中间接头 18 应与硫化电池充电接头 19 短接。这样可以使已硫化的电池快速恢复容量。

• 当充电电池的容量达到额定容量的 90% 时，充电电流自动减小，定时指示灯亮，充电器开始定时充电。电池充足关机后，只有定时指示灯亮。其余指示灯熄灭。

(3) 关机

- 关断充电器的电源开关。
- 拆除电池上的输出线。

(4) 注意事项

- 尽量避开潮湿和有腐蚀性气体的环境，充电器勿长期倒置并应防止剧烈撞击和振动。
- 充电器工作时，不要随意移动输出线和电池，如需移动，先关断电源。
- 本机的自动检测电压是按铅酸电池设定的，如对镍镉、镍氢电池充电，需另行设定。
- 本机是专为 12V 电池充电设计的，6V 电池充电时，应将 2 只电池串联。
- 24V 接点无反接保护，连接时应注意电池的正负极。

4. 常见故障和处理方法

常见故障现象、原因及处理方法如表 5-3 所列。

表 5-3 常见故障现象、原因及处理方法

序号	故障现象	原因及处理方法
1	打开电源开关，充电器不启动	检查保险管 检查电源线是否接通
2	输出线与电池连接后，电压表反打	充电器输出线与电池正负极反接

序号	故障现象	原因及处理方法
3	电压表表针摆动, 电流表无指示	输出线的夹子与电池没有连接牢靠
4	无电流或电流调不到设定值	电池已损坏 电池已充足 先用小电流充电, 充放电正常后再调整
5	电解液无气泡	只要有电流指示, 本机就正常工作, 无气泡是由于本机具有消除极化功能

5.6 三合一智能快速充电器

1. 概 述

三合一智能快速充电器, 采用目前国际上最先进的智能充电控制专用集成电路 BQ2004E。它可以对镍镉、镍氢和锂离子电池快速充电。对镍镉镍氢电池充电时, 充电过程包括预充电、快速充电、补足充电和涓流充电等四个阶段, 采用的快速充电终止方法有: 温度变化率 ($\Delta T/\Delta t$) 检测法、最高电压 V_{max} 检测法、最高温度 T_{max} 检测法和最长充电时间 t_{max} 控制法, 确保电池安全充电。为了消除镍镉电池的记忆效应, 充电前还可以加入放电过程。对锂离子电池快速充电时, 采用恒流转恒压充电法。在恒压充电状态下, 充电器输出电压具有非常高的稳压精度 (1%以内), 因而可有效地避免锂离子电池过充电。

电源适配器采用由 TOP 智能开关器件组成的离线式开关电源, 该电源的电路特别简单, 可靠性也很高, 交流输入电压范围非常宽 (85~265V), 可以适用于任何国家和地区。

该充电器可用于: 手提电话、无绳电话、语言传呼机、笔记本电脑、对讲机、摄像机、便携式电子仪器和其他电子设备。

2. 主要特性

- (1) 可对三种电池 (镍镉、镍氢、锂离子) 快速充电。
- (2) 采用四阶段 (预充电、快速充电、补足充电、涓流充电) 充电控制法, 确保电池充足电。
- (3) 采用温度变化率 $\Delta T/\Delta t$, 电压负增量 $-\Delta V$ 、最高电压 V_{max} 、最高温度 T_{max} 和最长充电时间 T_{max} 快速充电终止法, 可有效避免电池过充电。
- (4) 具有多种保护功能: 超温和欠温保护、过压保护、短路和开路保护等, 确保电池安全充电。
- (5) 采用高频脉冲充电, 可有效地消除镍镉电池的记忆效应; 通常镍镉电池充电前不需要放电。

(6) 锂离子电池采用恒流转恒压充电模式, 充电电压具有很高的稳压精度 (1%以内), 可有效避免锂离子电池过充电。

(7) 可由市电供电, 也可由 12V 电池组供电, 因此, 可在室内使用, 也可在汽车内由汽车电池给镍镉、镍氢和锂离子电池充电。

3. 主要技术参数

(1) 充电时间

600mAh 镍镉镍氢电池	24min
1600mAh 镍镉镍氢电池	60min
锂离子电子池	3~5h

(2) 充电器主要参数

输入直流电压	12~20V
输出电流	2A

(3) 电源适配参数

输入交流电压	85~265V
频率	50/60Hz
输出电压	15V
输出电流	2A

5.7 六分钟可充足电的大哥大充电器

1. 概 述

该充电器采用了高频谐振型开关电源、高效同步整流电路和电池放电能量反馈电路, 充电控制系统采用了国际上最先进的电池温度变化率 ($\Delta T/\Delta t$) 检测控制方法。因此, 该机具有体积小、重量轻、效率高、充电时间短 (普通大哥大电池六分钟可充足) 等特点。由于该机采用脉冲充电、放电去极化快速充电模式, 因而在超快速充电状态下, 可以彻底消除电池内部产生的各种极化现象。因此, 在任何情况下, 都能保证电池既充足电又不会过充电。该充电器采用了电池温度变化率检测和电池最高温度控制, 因此对不同结构和不同容量的大哥大电池, 该充电器都可实现安全高速充电。该充电器的伺服系统, 可供给电池所需的最大充电电流, 从而使放完电的电池在极短的时间内恢复额定容量。应当说明, 采用机内伺服系统时, 待充电池组内应装入 $10k\Omega$ 负温度系数热敏电阻。热敏电阻的误差可由伺服系统自动进行补偿, 从而使充电器在最短的时间内完成整个充电过程。采用该充电器, 可以大大延长大哥大电池的使用寿命。

4. 主要性能指标

电源电压	95~260V (AC)
充电时间	6~10min
充电速率	10C



电池最高温度	43°C
充电器使用温度	-10°C~+40°C
检测方式	$\Delta T/\Delta t, t_{max}$
充电器功率	120W
整机重量	0.3kg
效率	>97%
体积	60mm×35mm×154mm

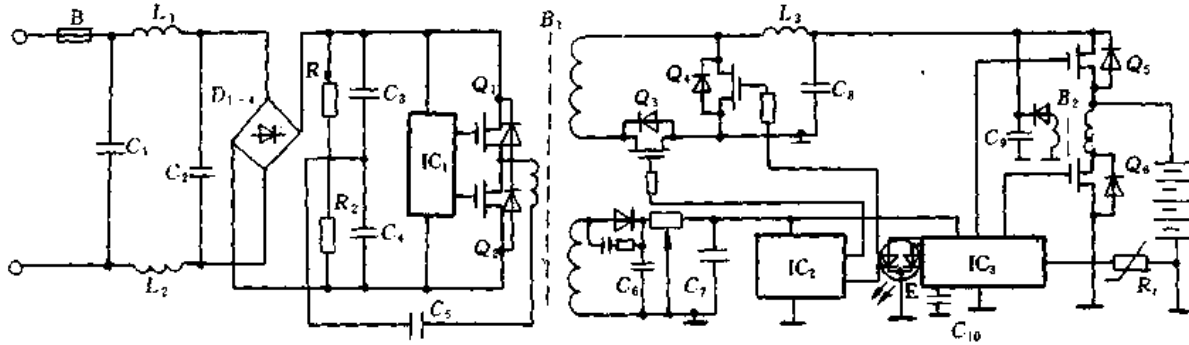


图 5-8 六分钟大哥大充电器原理电路

3. 基本工作原理

该充电器原理电路如图 5-8 所示。交流输入电压经 L_1, L_2, C_1, C_2 滤波和 $D_1 \sim D_4$ 整流后，输出的 146~354V 直流电压，供给 IC_1, B_1, Q_1, Q_2 和 C_3, C_4 组成的半桥式谐振变换电路。由于变换器工作在谐振状态，所以开关管 Q_1 和 Q_2 的开关损耗为零。因此，谐振型开关电源的效率很高。 IC_1 内部的 PWM 控制电路，可根据输入电压的变化自动调整输出脉冲宽度，使变压器 B_1 次级输出稳定的方波电压。该电压经 IC_2, Q_3, Q_4, L_3 和 C_4 组成的同步整流电路后，变成稳定的直流电压。由于 MOSFET (Q_3 和 Q_4) 的导通压降远远小于常用的肖特基二极管，因此，在低电压大电流充电器中，同步整流电路的效率非常高，完成整流和续流作用的 Q_3 和 Q_4 的温度很低，充电器内部温度因而也很低。 IC_3, Q_5, Q_6, R_1 和 B_2 组成充电控制和伺服系统。 IC_3 输出的正负脉冲，通过 Q_5 和 Q_6 控制电池充电和放电。 IC_3, Q_6 和 B_2 组成的电池放电能量反馈电路，将电池放出的电量经 B_2 反馈到电源，从而提高充电效率。 IC_3 和 R_1 组成温度变化率检测电路，当电池的温度变化率达到一定数值后，该电路可立即停止快速充电。充电器的两种工作状态，可由变色二极管显示。

内 容 简 介

本书介绍了各类新型电池(镍镉电池、镍氢电池、免维护铅酸电池和锂离子电池)的基本结构、工作原理和充放电特性,详细分析了各种快速充电控制专用集成电路的结构和工作原理,给出了各种智能快速充电器的设计方法和实际电路,并简要介绍了几种国产智能快速充电器的主要性能和技术参数。

本书可供广大电子工程技术人员作设计手册,以便研制性能优良的新型智能快速充电器;也可供广大电子爱好者阅读,学习和制作小型智能快速充电器;还可供广大电池用户参考,以便选用更适当的智能快速充电器。

图书在版编目(CIP)数据

智能快速充电器设计与制作/王鸿麟等编者. -北京:
科学出版社, 1998. 5
ISBN 7-03-006315-5

I. 智… I. 王… III. ①充电器-设计 ②充电器-制作
IV. TM910.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01777 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新 世 纪 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

1998 年 5 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1998 年 5 月 第 一 次 印 刷 印张: 12 3/4
印数: 1—3 000 字数: 287 000

定 价: 20.00 元