

【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】

电子负载 CC 模式

黄玉良

鼎阳硬件设计与测试智库专家组成员

文档编号：HWTT0204



鼎阳硬件设计与测试智库
群策群力，连接所有硬件人！

电子负载 CC 模式

黄玉良

鼎阳硬件设计与测试智库专家组成员

电子负载和电源相反，是通过控制内部功率或晶体管的导通量，并依靠功率管的耗散功率消耗电能的设备。鼎阳科技最新推出的 SDL1000X / SDL1000X-E 可编程直流电子负载配备了 3.5 英寸 TFT-LCD 显示屏，拥有友好的人机交互界面和优异的性能指标，其输入范围可达 DC 150V/30A 300W，同时提供标准 SCPI 通讯协议，方便组建智能化测试平台，可应用于多个行业，例如电源行业、实验室通用测试、LED 照明行业、汽车电子等多种领域。

电子负载的静态操作模式有恒流模式（CC）、恒压模式（CV）、恒阻模式（CR）、恒功率模式（CP）四种模式，针对不同的测试环境我们可以选择不同的模式实现不同的功能。



图 1：SDL1000X 电子负载





1. 用电子负载 CC 模式测试的优势

蓄电池和直流电压源是现在常用的电源，广泛应用于手机、相机、小家电甚至汽车上。在蓄电池的生成测试环节，需要测试蓄电池的电池容量、循环寿命、充放电时间等参数，以保障产品的性能。而在这些测试过程中，往往需要让蓄电池以指定的电流恒流放电。在传统的生产中，由于蓄电池放电会造成电池两端的电压不断下降，如果要维持输出恒定电流，我们就需要不断地减小放电电阻。这很难通过人工的手动操作来精确控制，但使用电子负载的恒流模式就可以完美解决这个问题，既可以减少工人的工作量，也能提高测试的精度。同样的测试中，在手动测量电压源时，我们常常需要调整负载电阻值，来实现不同电流电压的输出，十分繁琐。利用直流电子负载的 CC 模式之后，可以简单地控制电流，就可以实现电压源的电压测试。

2. 电子负载 CC 模式原理

恒流模式是电子负载让输出源持续输出一个不受输出源电压影响的恒定电流，其工作原理如图 2 所示。图中 U_L 是外加的负载电压， I_L 是直流电子负载提供的负载电流， E_{ref} 是基准电压， R_D 是检测电阻，由于负载电流 $I_L = E_{ref}/R_D$ ，而电阻 R_D 固定不变，所以负载电流 I_L 只与基准电压 E_{ref} 的大小有关而与负载电压 U_L 无关。负载电流 I_L 流经电阻 R_D 得到的电压作为误差放大器 A 的一个信号，可变基准电压 E_{ref} 作为误差放大器 A 的另一个信号，改变基准电压 E_{ref} 的值可通过误差放大器 A 来控制流过功率晶体管 Q 上的负载电流的大小。若基准电压 E_{ref} 保持在某一值上，则无论负载电压 U_L 如何变化，负载电流 I_L 都维持在一个恒定的电流值。



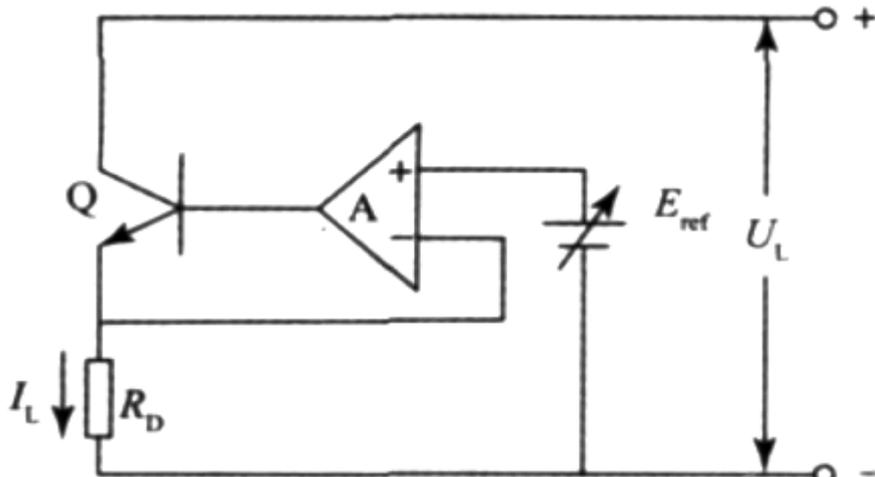


图 2：CC 模式原理

3. 电子负载 CC 模式在电池测试中的应用

3.1 锂电池循环寿命测试方案

在电池生产中，电池的循环寿命是电池测试中的重要环节。以 GJ-156192-2S1P 5000mAh 聚合物锂离子电池为例，电池容量：5000mAh；额定电压：7.4V；充电上限电压：8.74V；充电模式为恒流恒压充电至 8.4V（标准，0.2C）；放电模式为恒流恒压放电至 5.5V；为了测试电池的循环寿命，需以 0.2C 充电至 8.4V 再用 0.2C 放电至 5.5V，当放电容量降至初始容量的 80%，则认定整个过程的时长为该电池的循环寿命。

为了实现此目的，我们需要的仪器为：SPD3000X 系列可编程直流电源，SDL1000X 电子负载和一台 PC。

测试的流程为：PC 检测电子负载所测量的电池数据，对其分析电量是否达到 8.4V；如达到 8.4V，可直接控制电子负载进行放电，如未达到，则控制 SPD3000X 对电池进行充电，当电子负载检测到电池电压降至 5.5V 时，停止放电，判断电池放电容量：若大于 80%，则 PC 控制电源为电池充电，充至 8.4V 后停止充电，再由电子负载继续放电，直到检测到放电容量降至初始容量的 80%，此测试结束，PC 记录测试的次数。



由此可全程由程序控制电池循环寿命测试。

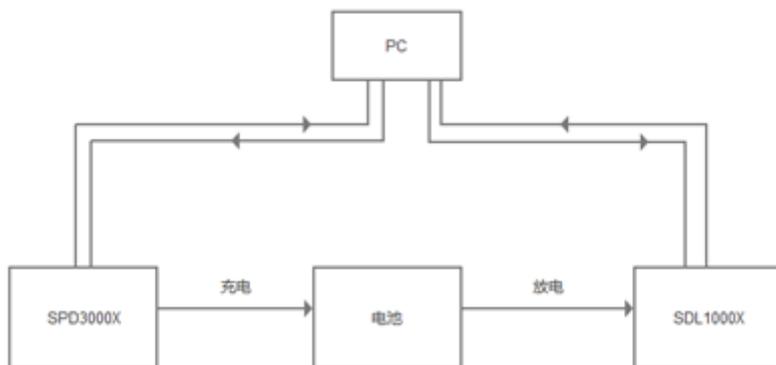


图 3 电池循环次数测试流程图

3.2 电池放电测试

为了测试电池的放电过程，我们使用一块锂电池和一台 SDL1030X 直流负载来进行测试。电池的输出端连接到电子负载的输入端，注意正负极的匹配。在电子负载一端我们选择 AUX，选择 Battery，进去到我们的功能设置界面，选择 CC 模式，选择需要设置的恒定放电值，还可以选择终止电压、放电电容和放电时间等参数。由于测试电压为锂电池，所以设置截止电压为锂电池的一般最低工作电压 3V，结合电池的使用环境，设置恒流电流为 0.1A。打开电子负载，开始电池容量测试。





图 4 电子负载连接

测试开始时，直流电子负载非常准确地控制电流，实时记录当前损耗的电池容量。随着电池电压下降，电子负载及时准确地进行调整，稳定电流在 0.1A。在经过一段时间后，电压下降到设置的 3V 以下，电子负载立刻停止了测试。通过电子负载的界面，我们可以查看电池的容量。在这次电池容量测试中，电池测试的容量为 137mAh，放电时间为 1 小时 22 分。





图 5 测试结果图片

4. 直流电压源恒压模式负载调整率测试

额定输入电压的情况下，在满载范围内改变输出负载的大小，测试此时的输出电压相对于设定值的百分比。这反映了在改变负载的条件下，电路维持预定输出电压的能力。一般称为负载调整率，公式如下：

$$\text{负载调整率} = \frac{\Delta V_o}{\Delta I_o} \times 100\%$$

4.1 设备连接与测试

这次使用的设备是 SPD3303X 直流电源、SDM3055 万用表和 SDL1030X 直流电子负载。

连接测试：测试环境为实验室，测试温度为室温。

SPD3303X 使用 220V AC 供电，其输出端接在电子负载的测试端子上，万用表的表笔接在电源输出端子的正、负极。注意固定好万用表的表笔，否则会影响测试结果。

打开各个设备的电源，电子负载设置为恒流模式，万用表设置为 DCV 档位的自动量程。（此次测试，只以 SDP3303X 5V 恒流输出电压作为测量实例，其他恒流档位输出可参考本次测试。）

在参数设置上，SPD3303X 设置为 5V/3.2A，打开输出，可以从万用表上读取此时电源空载时的输出参数。接下来，依次设置电子负载为 0.5A、1A、1.5A、2A、2.5A、3A、3.2A，然后依次记下万用表的



读数。



图 6 电源负载调整率连接测试

4.2 测试结果

通过上面的测试，从万用表得到了以下数据：

A	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.2	ΔU
V	4.9996	4.9995	4.9993	4.9993	4.9993	4.9992	4.9992	4.9992	0.0004

表 1：测试结果记录

利用测试得到的数据，我们可以根据前面的公式进行计算：SDP3303X 的恒压模式负载调整率为 0.0125%，符合产品规格标准：0.01%+2mV。

5. 结论

在以上的测试中，直流电子负载都发挥了巨大的作用，不但减少了以往手动测试的低效，提高了测试的效率，改进了测试的流程，也使得整个过程更为自动化，方便测试与数据的管理，为现在的多元化电子测试提供了一个新的测试方法。



版权声明：

本微信所有文章皆为鼎阳硬件设计与测试智库专家呕心沥血之原创。希望我们的经验总结能够帮助到更多的硬件人，欢迎转载！我们鼓励分享，但也坚决捍卫我们的权益。引用请注明出处——“鼎阳硬件设计与测试智库”微信号（SiglentThinkTank）。鼎阳硬件设计与测试智库将保留追究文章非法盗用者法律责任的权利！”

『关于鼎阳』

鼎阳科技（SIGLENT）是通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业。

2002年，鼎阳科技创始人开始专注于示波器研发，2005年成功研制出第一款数字示波器。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、矢量网络分析仪、台式万用表、射频信号源、直流电源、电子负载等基础测试测量仪器产品。2007年，鼎阳与高端示波器领导者美国力科建立了全球战略合作伙伴关系。2011年，鼎阳发展成为中国销量领先的数字示波器制造商。2014年，鼎阳发布了带宽高达1GHz的中国首款智能示波器SDS3000系列，引领实验室功能示波器向智能示波器过渡的趋势。2017年，鼎阳发布了多项参数突破国内技术瓶颈的SDG6000X系列脉冲/任意波形发生器。2018年，鼎阳推出了旗舰版高端示波器SDS5000X系列；同年发布国内第一款集频谱分析仪和矢量网络分析仪于一体的产品SVA1000X。目前，鼎阳已经在美国克利夫兰和德国汉堡成立子公司，产品远销全球70多个国家，SIGLENT已经成为全球知名的测试测量仪器品牌。

『关于鼎阳硬件设计与测试智库』

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。

鼎阳硬件智库顺势顺势，倡导“连接-分享-协作-创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。

鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测





试测量进行聚焦。寻找“最针尖”的问题进行研讨，针对“最针尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。

鼎阳硬件智库的运作载体包括“线上”的微信公众号分享，微信群，网站，网络社区论坛，博客，邮件群等多种互联网工具和“线下”的专家论坛和专家把脉。“线上”的分享坚持原创，坚持干货，保持专注和深耕。“线下”专家论坛邀请硬件相关的一线实战派专家分享“最干货”的硬件设计与测试知识与经验，面对面相互研讨；“线下”的专家把脉，通过大数据连接，促使具体问题和最熟悉这个具体问题的专家“精准匹配”，远程问诊和现场解决问题相结合。

鼎阳硬件智库，群策群力，连接所有硬件人。

有硬件问题，找鼎阳硬件智库。

