

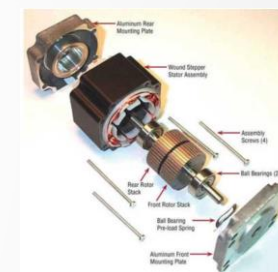
APS应对电池供电的无刷直流电机测试

先进电源系统APS挑战上电难题系列之1

饶骞

OCT 12, 2020

电源和通用产品市场经理



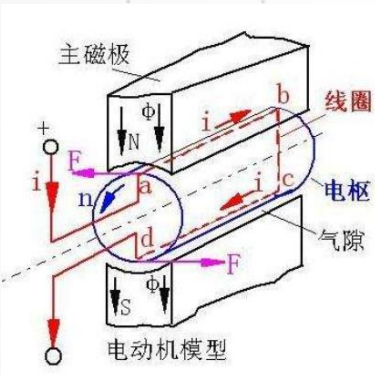
人工智能和工业4.0下的电机行业发展机遇

电池供电下电机驱动的产品市场需求激增



电机的驱动：电和磁

相伴互生



电动机-电能转机械能

一、奥斯特实验

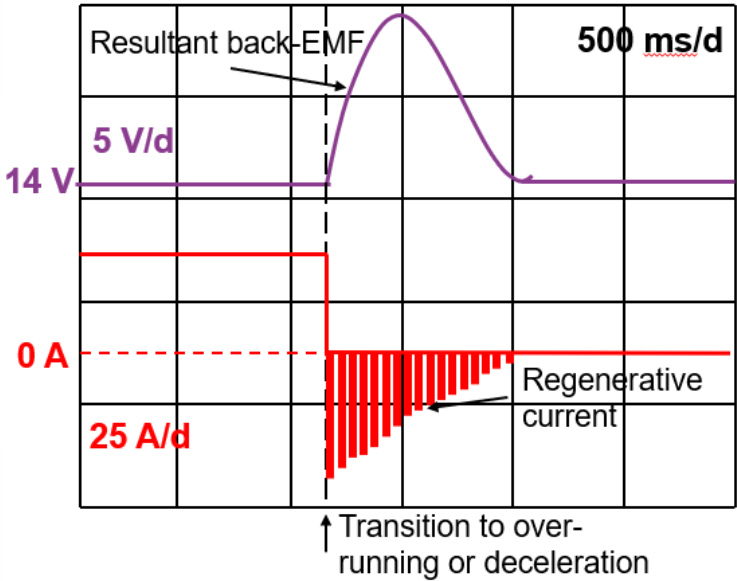
装置：

直导线

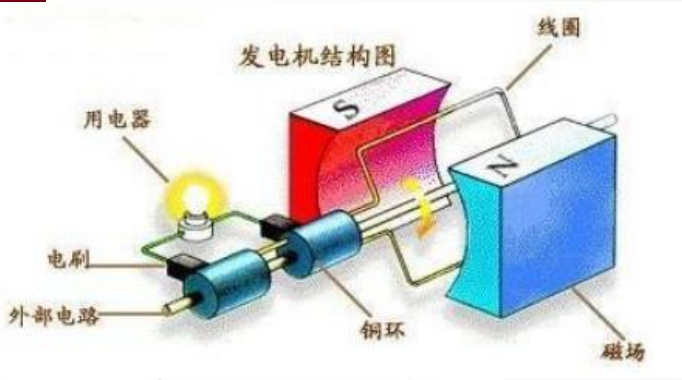
电流方向

结论：

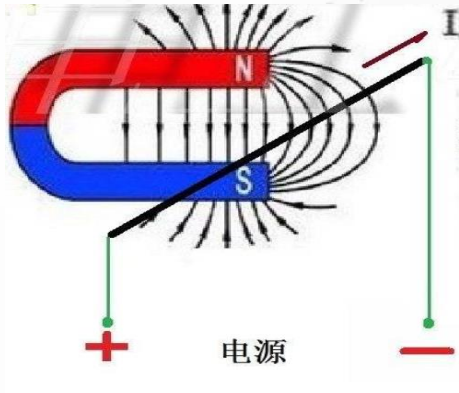
- 1、通电导线周围存在着磁场；
- 2、电流的磁场方向与电流方向有关。



电机惯性下/刹车时特征？



发电机-机械能转电能



汽车转向电机运行双向电流

驱动和回灌

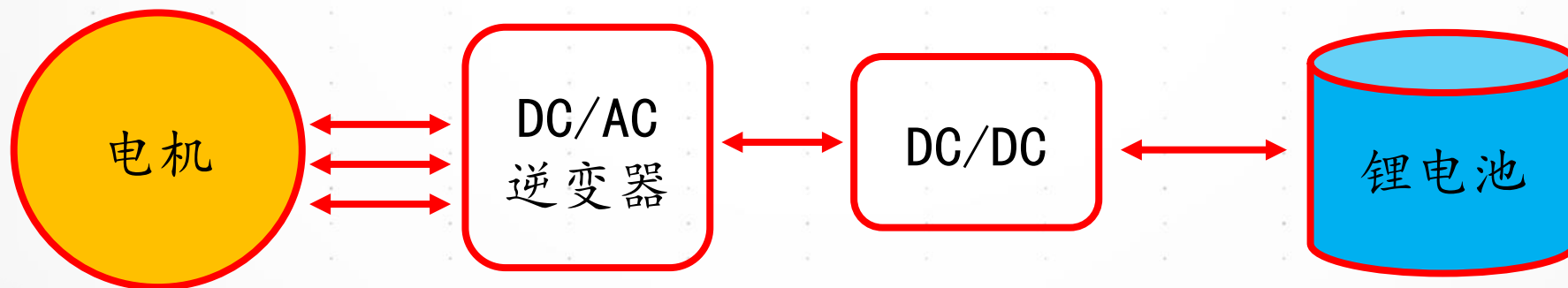


电流: +76 A/-62 A
峰值功率: 1699 W

平均功率: 186 W

电机和电池搭配使用

电池双向充、放电



我们今天的内容:

- ✓ 认识 APS先进电源系统
- ✓ 电机测试时“电池模拟器”的3个重要提示
- ✓ APS功耗分析和电池寿命的整体解决方案
- ✓ 实测和演示



从直流电源分析仪到APS

解决最为棘手的产品上电测试难题

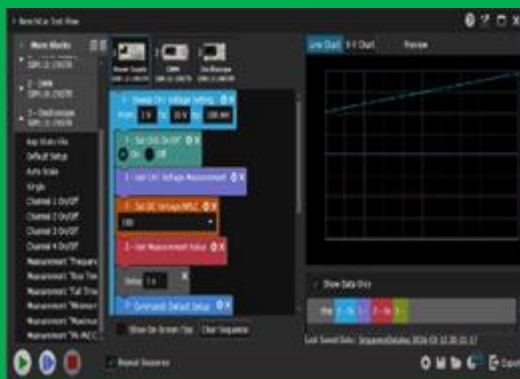


N6705C, 60V, 50A, 500W



- 电源和负载功能的无缝转换
- 大功率任意波形发生器
- 电压、电流示波器
- 电压、电流数据记录仪
- 内置电池内阻仿真
- 内置电量计
- 功能强大的分析软件和拖拽式测试序列软件

BV9200 + Test Flow



RP7900, 2000V, $\pm 800A$, 20KW
并机可达400KW



N7900, 160V, $\pm 200A$, 2KW

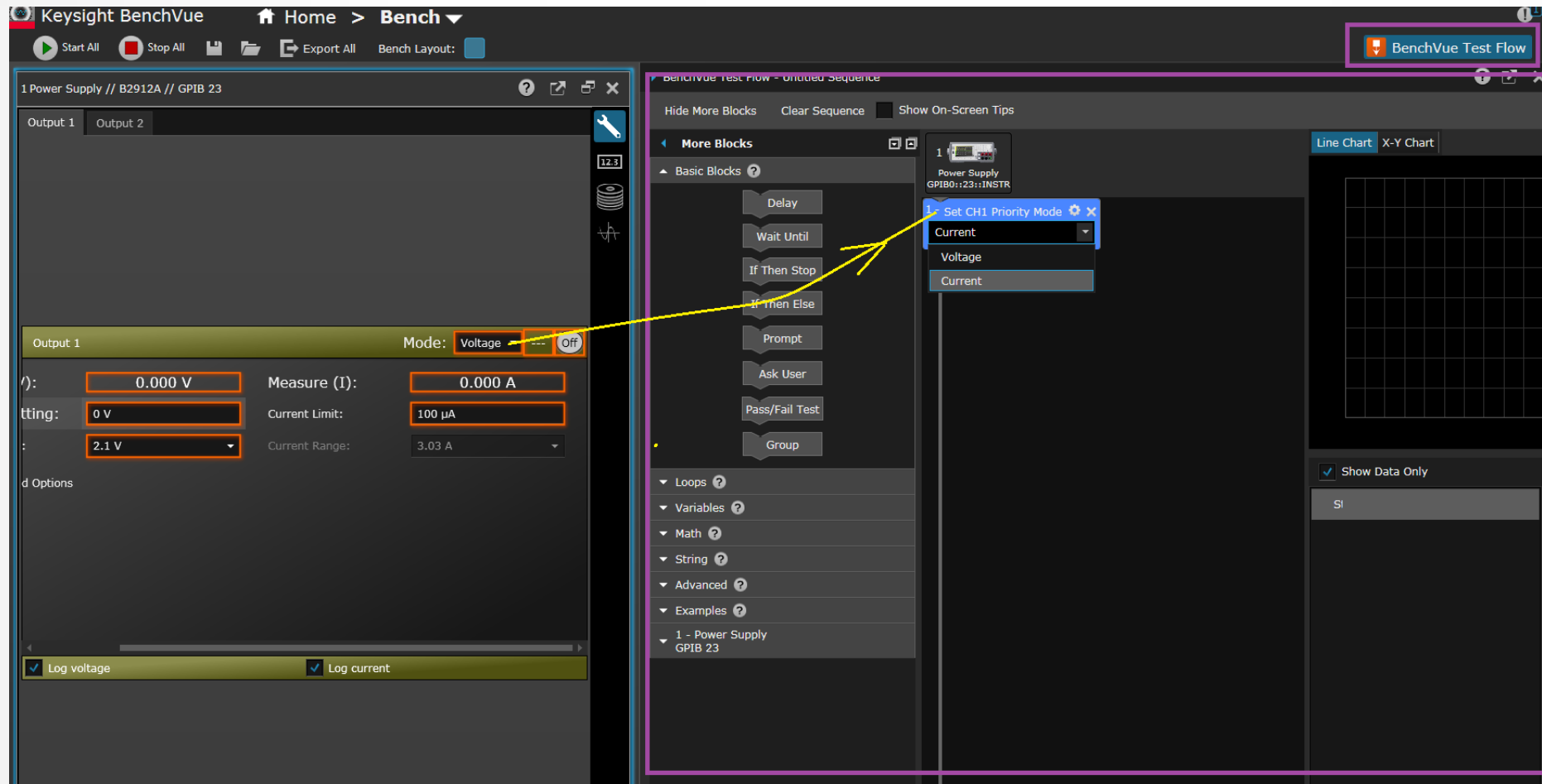
BV9200B 先进电源控制软件

- 同时控制4台 N6705 /N7900 /RP7900
- 4种操作模式
 - 示波器模式, 200KSa/s, 18bit, 精确捕获电压和电流的瞬态变化
 - Data Logger记录仪模式: 长达1000小时连续数据直接保存到PC。
 - 任意波形: 64K复杂波形编辑, 支持内置标准波形, 公式, 波形导入等
 - CCDF (统计分析):
- 支持API函数调用, 用户可进行软件二次开发



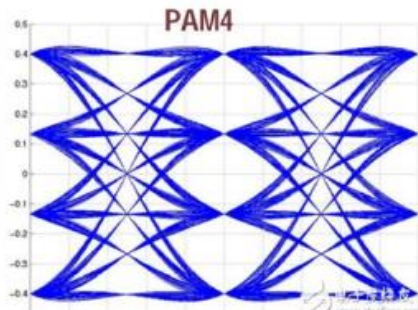
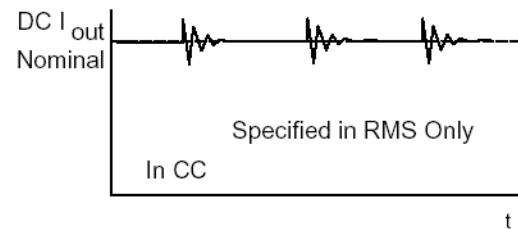
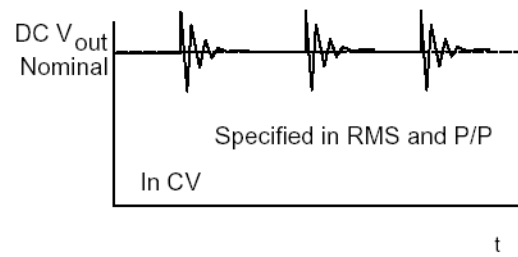
BenchVue/Testflow测试程序流

无需写一句源代码， 即可实现自动化测试



APS 电源特性

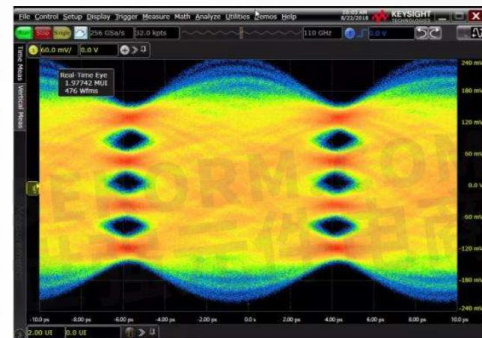
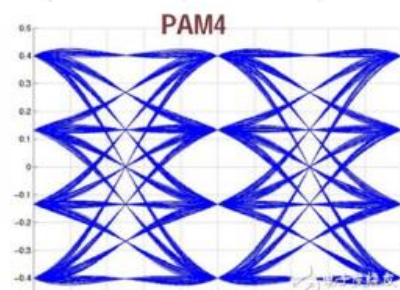
纯净电源：超低纹波和噪声(<1mVRMS)



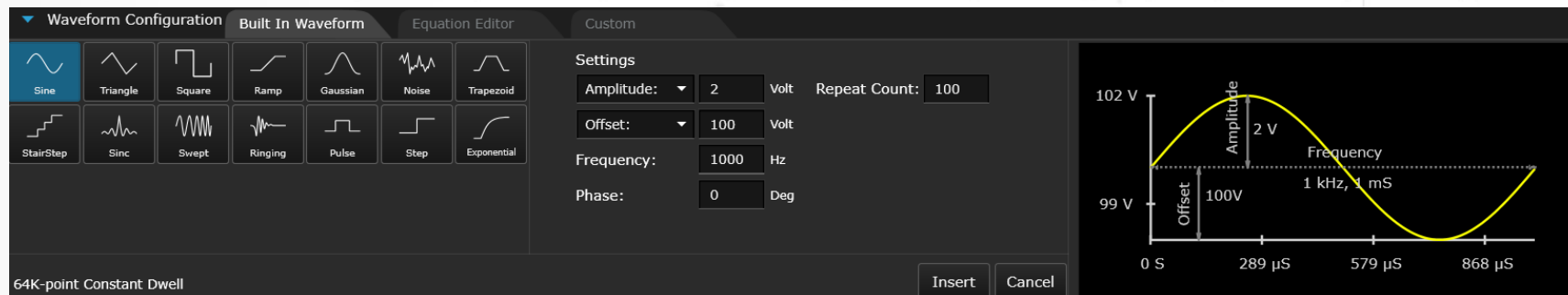
	N7950A/70A	N7954A/74A
额定直流电压范围	0 至 9V	0 至 80V
最大电流	100 A/200 A	12.5 A/25 A
10% 的电流吸收	-10 A/-20 A	-1.25 A/-2.5 A
100% 的电流吸收 ¹	-100 A/-200 A	-12.5 A/-25 A
功率	900 V/1.8 kW	1 kW/2 kW
输出纹波和噪声 ²		
CV rms	1 mV	1 mV
CV 峰峰值	9 mV	9 mV

APS 电源特性应用

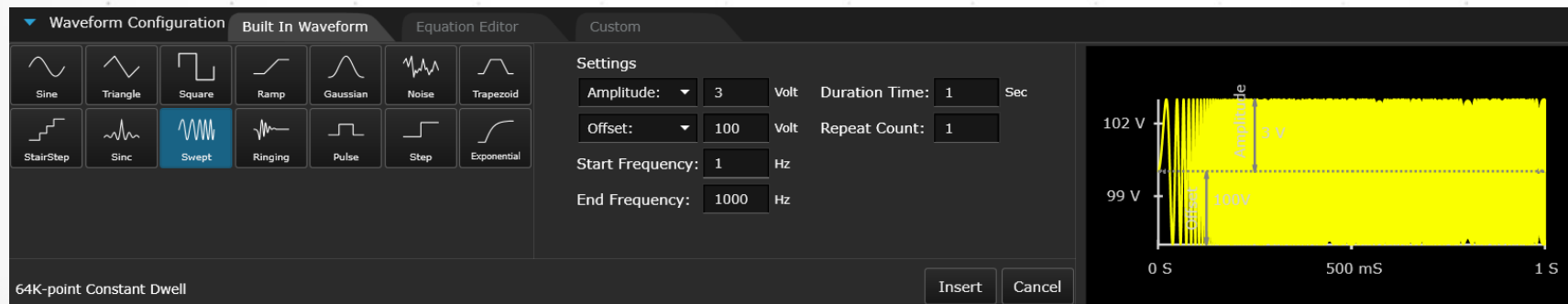
APS直流输出上叠加纹波验证电源完整性



单音

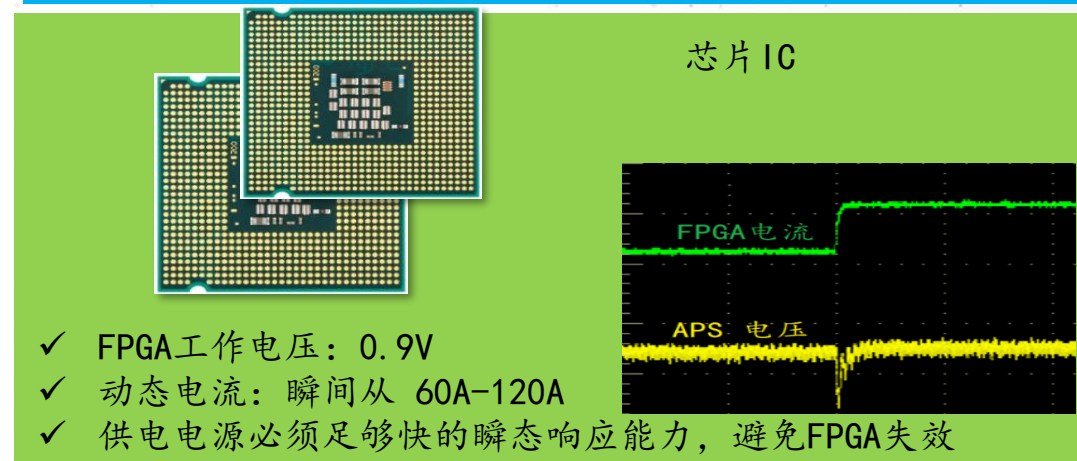
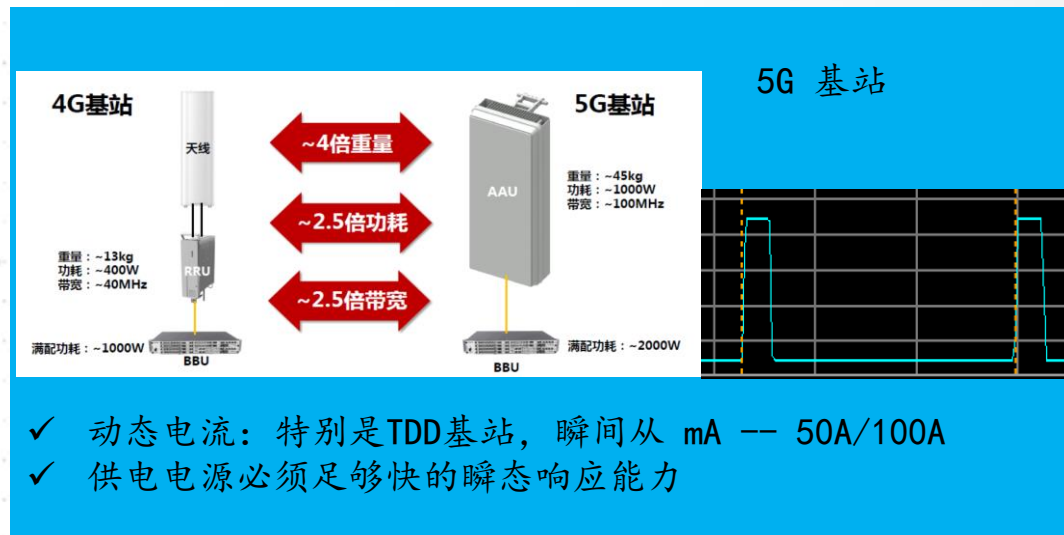
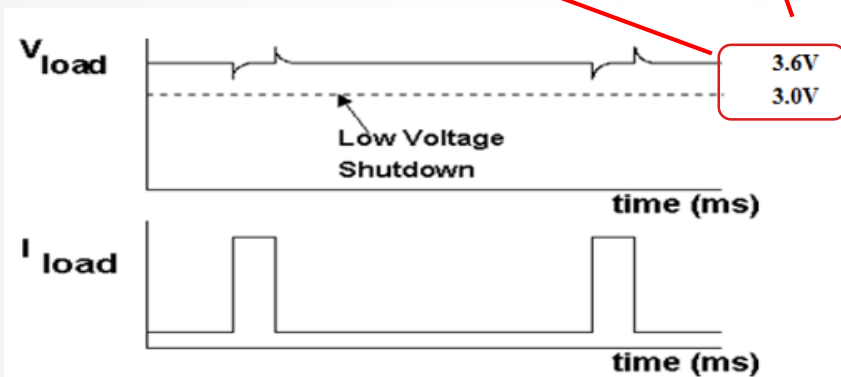
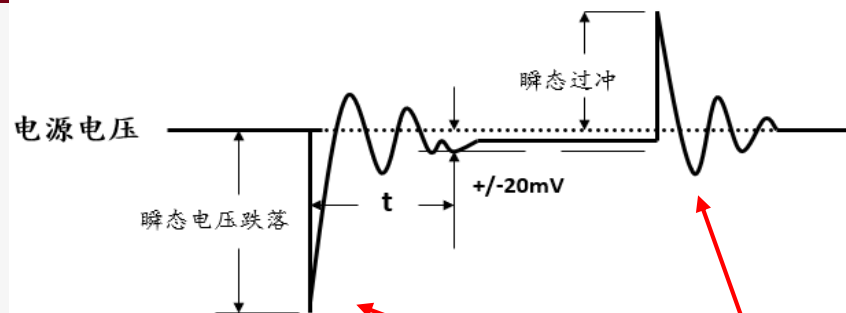


扫频



APS 电源特性

动态负载——超快的瞬态响应时间(<10US)

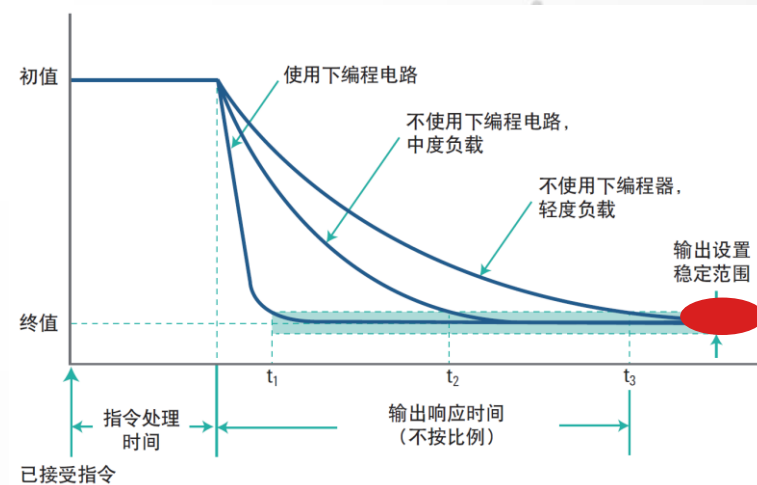
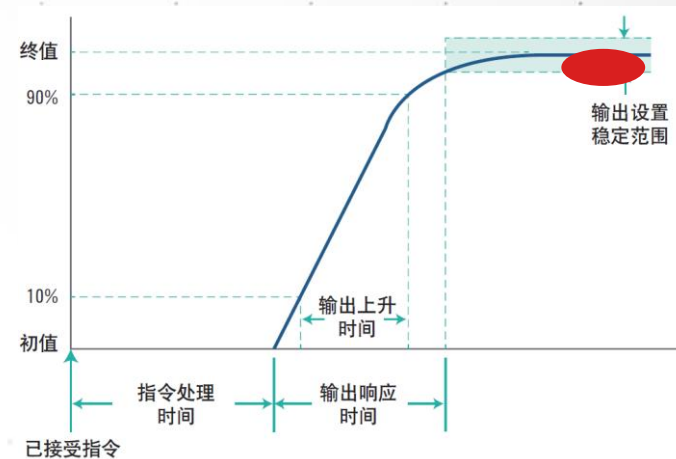


APS 优异性能

0.2MS 电压/电流快速变化时间



Specification	RP7972A	RP7973A
Output ratings		
Voltage source:	0 to 1000 V	0 to 2000V
Current:	0 to ± 60 A	0 to ± 30 A
Power:	20 kW	20 kW
Sink Capability:	20 kW	20 kW
Voltage programming & measurement accuracy³	400 ppm + 75 mV	400 ppm + 150 mV
Current programming & measurement accuracy³	300 ppm + 4 mA	300 ppm + 2 mA
Programming Speed⁴		
Voltage rise/fall time with no load:	200 μ s	200 μ s
Current rise/fall time:	100 μ s	100 μ s



APS 特性的应用

电源总线电压瞬变的模拟

ISO 16750 道路车辆—电气和电子装备的环境条件和试验

ISO 7637 道路车辆--来自传导和耦合的电气骚扰

FMC 1278 , Nissan 24800 , VW 801 01, JASO D001-94, SAE J1113

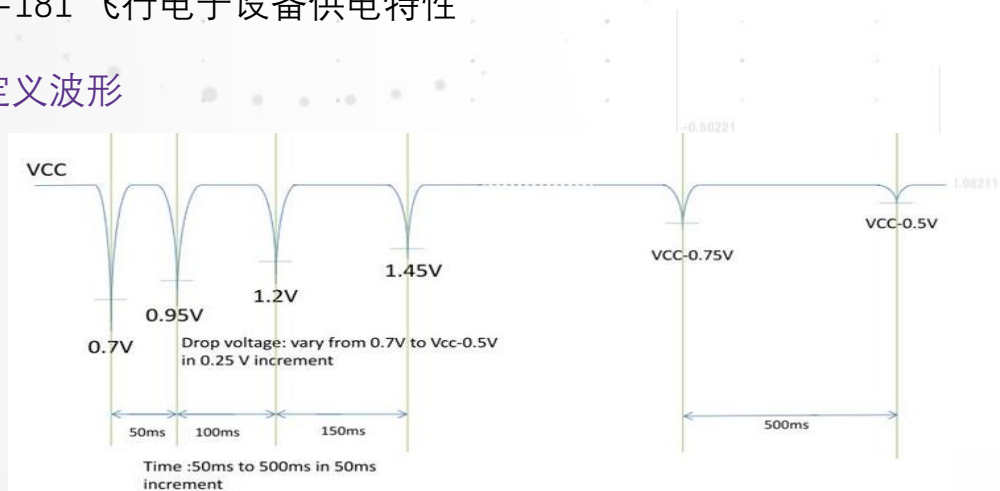
GJB-298 军用车辆28伏直流电气系统特性

IEC 61000-4-29 各种电气与电子设备作电磁兼容性的测试

RTCA DO-160F 机载设备环境条件和试验程序

GJB-181 飞行电子设备供电特性

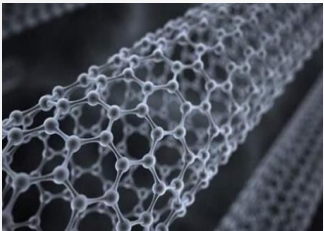
自定义波形



APS 特性的应用

纳米材料、熔断丝、充电枪、大电流分流器的测试

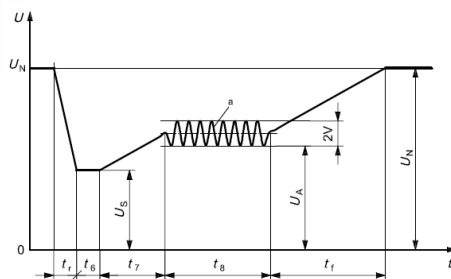
- 电流有限模式
- 电流脉冲。
- 高至 800A 电流， 0.02%的电流设定和测量精度
- 低至300uS电流上升/下降时间。



Specification	RP7931A/ RP7941A	RP7932A/ RP7942A	RP7933A / RP7943A	RP7935A/ RP7945A	RP7936A* / RP7946A*
DC ratings					
Voltage source:	0 to 20 V	0 to 80 V	0 to 20 V	0 to 80 V	0 to 160 V
Current source and sink:	0 to ±400 A	0 to ±125 A	0 to ±800 A	0 to ±250 A	0 to ±125 A
Power:	0 to ±5 kW	0 to ±5 kW	0 to ±10 kW	0 to ±10 kW	0 to ±10 kW
Voltage programming & measurement accuracy ³	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 16 mV
Current programming & measurement accuracy ³	0.04% + 45 mA	0.03% + 13 mA	0.04% + 90 mA	0.03% + 25 mA	0.03% + 13 mA
Voltage programming speed, no load (comp 0) ¹					
Rise/fall time 10% to 90% of step:	80 µs	75 µs	80 µs	75 µs	120 µs
Settling time to 0.1% of step:	810 µs	480 µs	810 µs	480 µs	2.5 ms
Current programming speed (comp 0) ³					
Rise/fall time 10% to 90% of step:	300 µs	180 µs	300 µs	180 µs	150 µs
Settling time to 0.1% of step:	960 µs	500 µs	960 µs	500 µs	3.5 ms

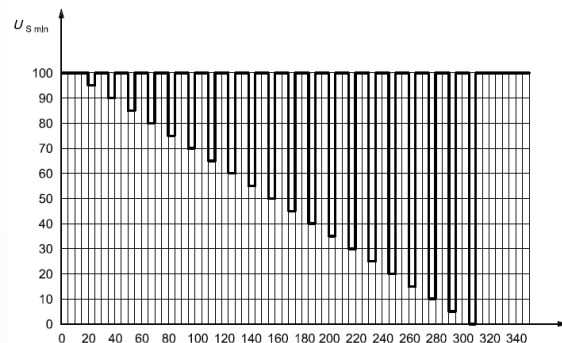
APS电源特性的应用

强大的测量能力

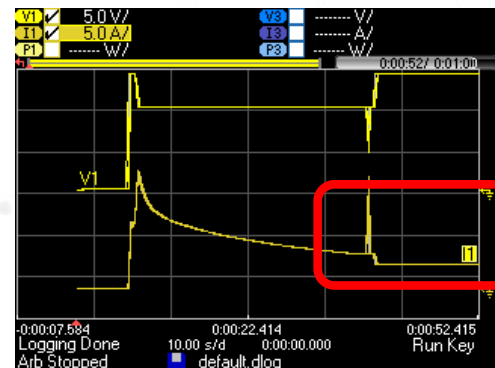


A

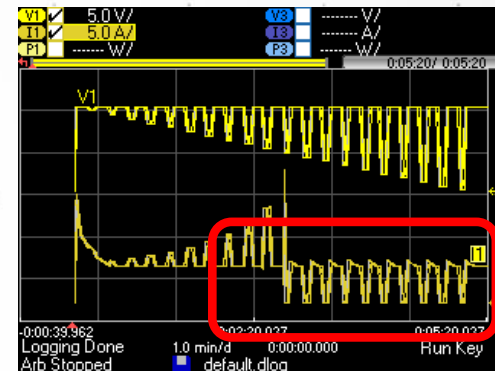
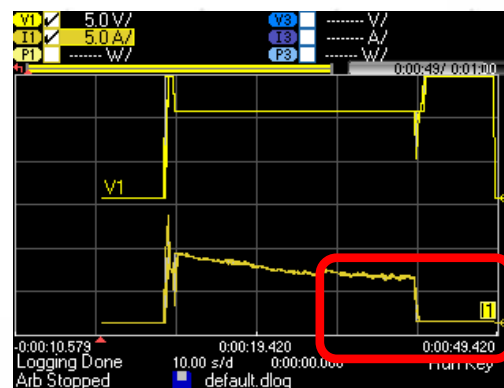
IS016750
任意电源波形编辑



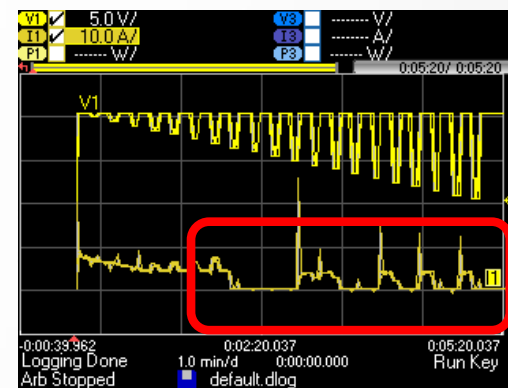
B



哪个DUT关机了?



哪个DUT不能自动重启?

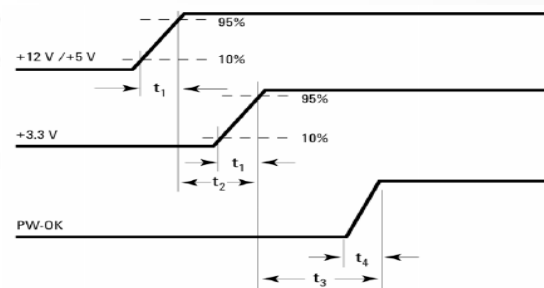


APS 电源特性应用

时序上电

问题的提出:

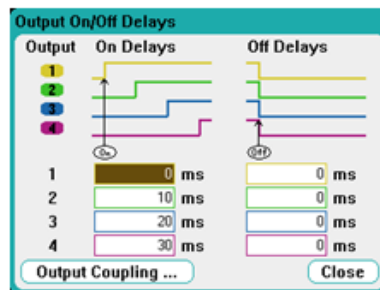
- ✓在主板的测试中，用多路ATX电源以正确的序列电压给主板组件加电是非常重要的，通常在开机后的几毫秒内使该组件实现正确的功能。**不正确的序列不仅会导致组件不能起动**，还可能因诱发电流锁存而损坏被测组件
- ✓传统的测试方法：用多台电源、开关和控制器构成一套系统，且时序控制重复性差



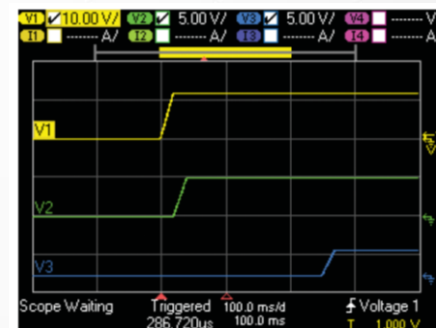
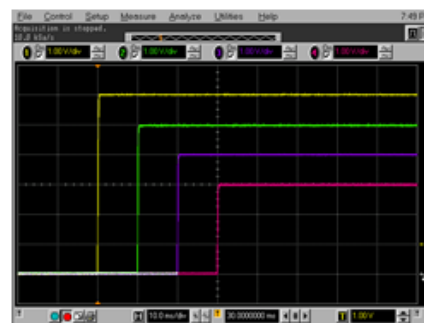
	Min. (ms)	Max. (ms)
t ₁	2	20
t ₂	0	20
t ₃	100	2,000
t ₄	2	10



4路延时的设定 (依次延时10ms)



重复100次输出的结果



APS 电源特性应用

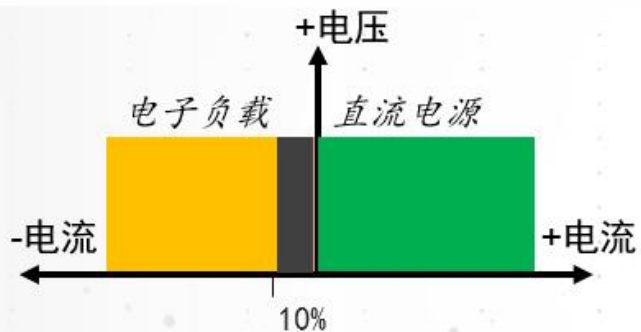
长时间功耗记录

- 200KSa/s, 18 bit, 1000小时



APS 电源特性

无间隙的源和负载转换



- 锂电池电芯/模组/电池包
- 超级电容器
- 电动机、发电机系统
- 电池管理系统BMS
- 制动能源回收系统
- UPS、逆变器双向DC-DC转换系统

Set (Dischr_Charg_Cycle_index)	Set (AHour)
1	0.001211069
2	0.9590132
3	0.9497363
4	0.9537523
5	0.9503627
6	0.9542792
7	0.9509925
8	0.9544028
9	0.9528654

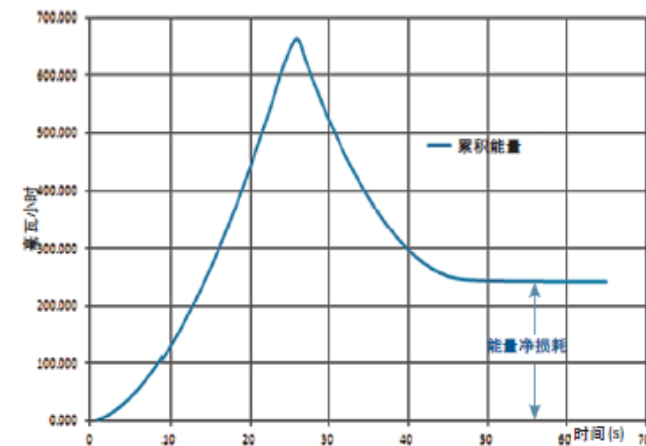
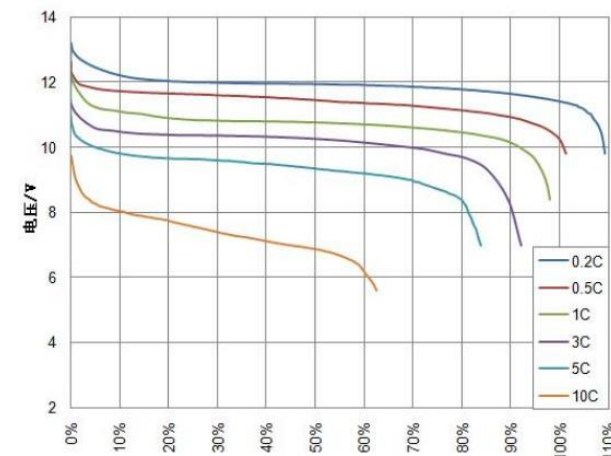
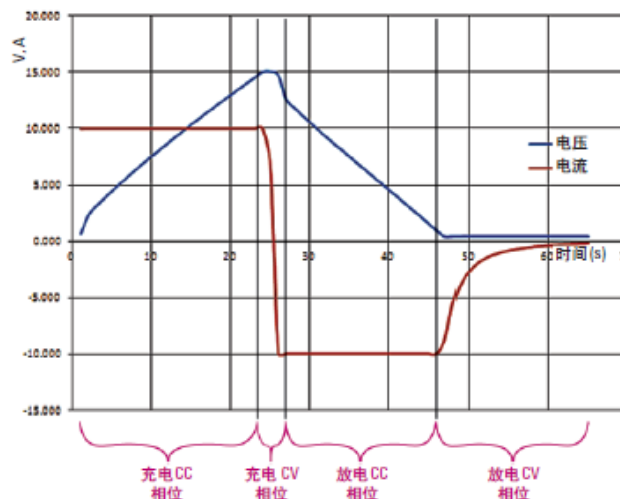
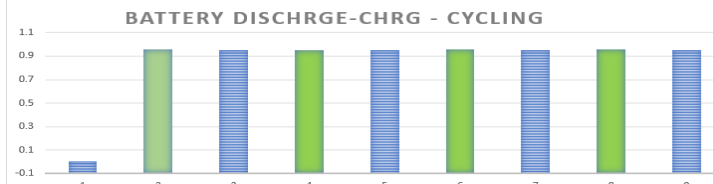


图9. 超级电容器充放电能量

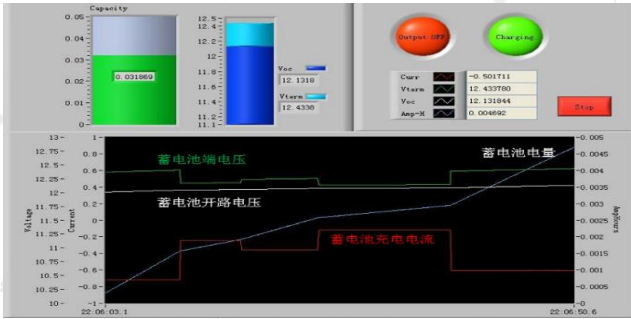
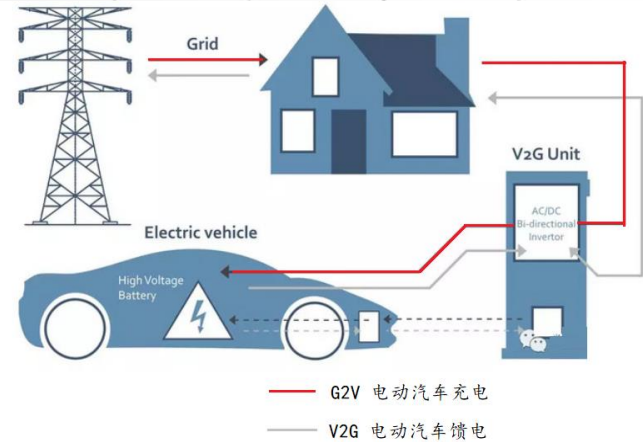
我们今天的内容:

- ✓ 认识 APS先进电源系统
- ✓ 电机测试时“电池模拟器”的3个重要提示
- ✓ APS功耗分析和电池寿命的整体解决方案
- ✓ 实测和演示



电池模拟器

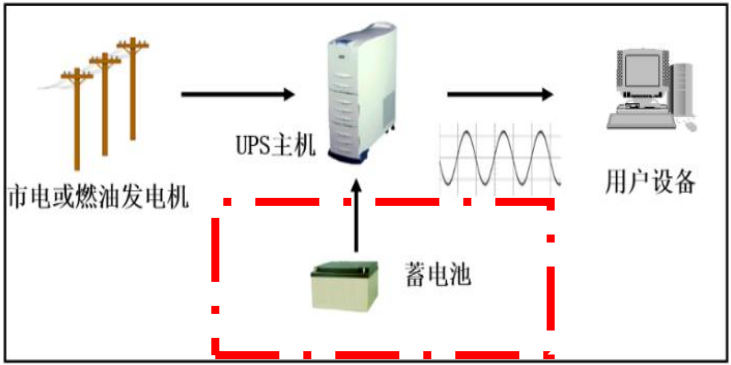
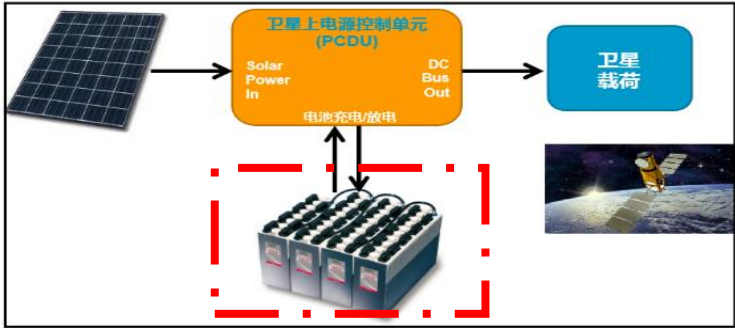
电池管理器（BMS）开发和测试



电池模拟器BSS



— 光伏对电池充电
— 电池给电网馈电



电池模拟器的应用

减少研发原型机的不确定性， 缩短开发时间



电池状态调节困难，如Soc容量，内阻，循环次数，温度变化等。

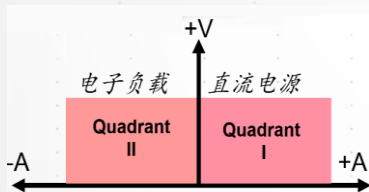
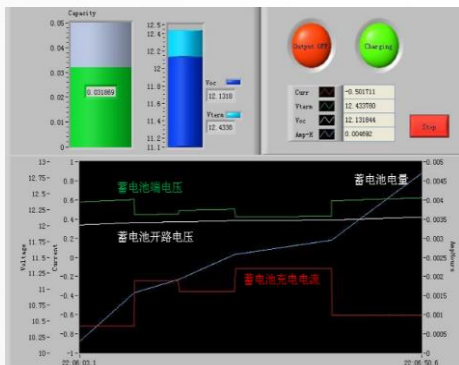
电池状态受温度、循环次数、压力等影响大、重复性差。

PCS/BMS等研发测试、如果失效将导致电池的过充/放，甚至安全隐患。

需要使用其它的测量设备监控电压、电流、电量等参数。

电压源、双向无缝电流、内阻模拟、电压/电量变化、强大的保护

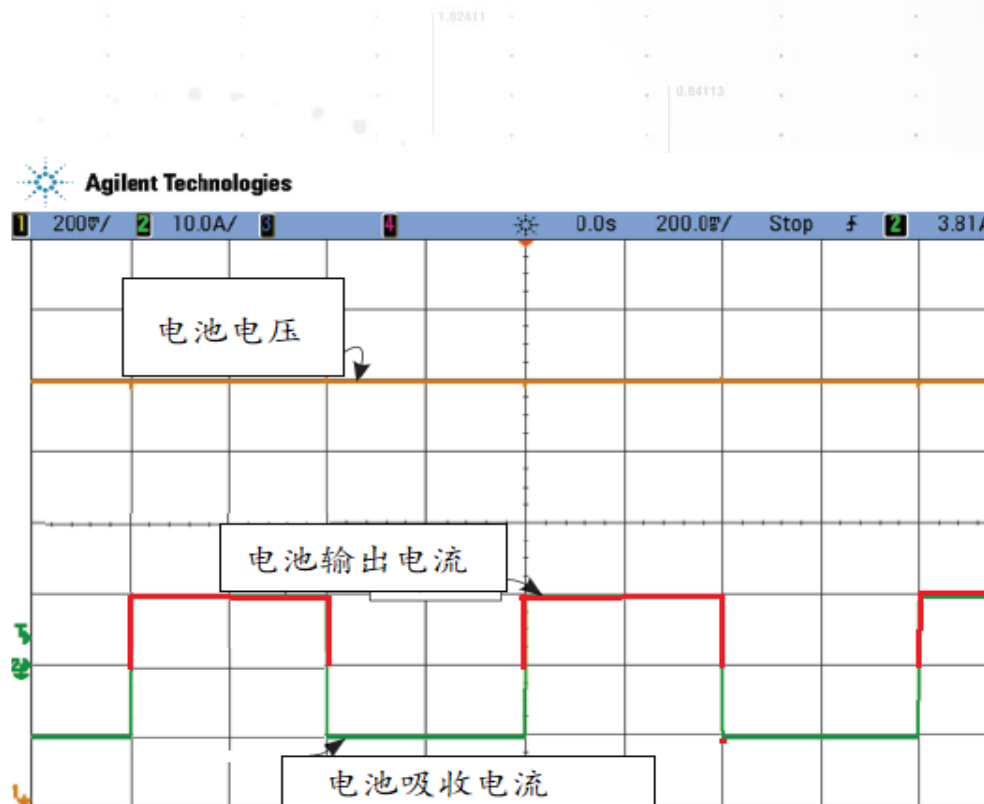
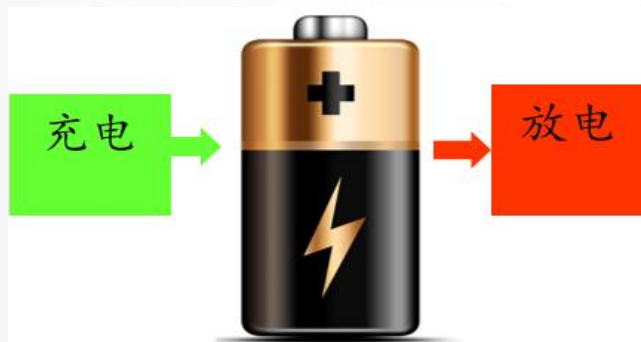
- ✓ 适用于任意的规格的电池模型（电压，电量不限）
- ✓ 内置电池内阻仿真（符合电池端电压，开路电压、电量变化规律）
- ✓ 任意设置电池模拟的起始点（研发调试灵活）
- ✓ 模拟电池端电压与电量变化（随充、放电过程改变电压）
- ✓ 强大的保护，无任何电池安全隐患和风险



“电池模拟器”的提示1

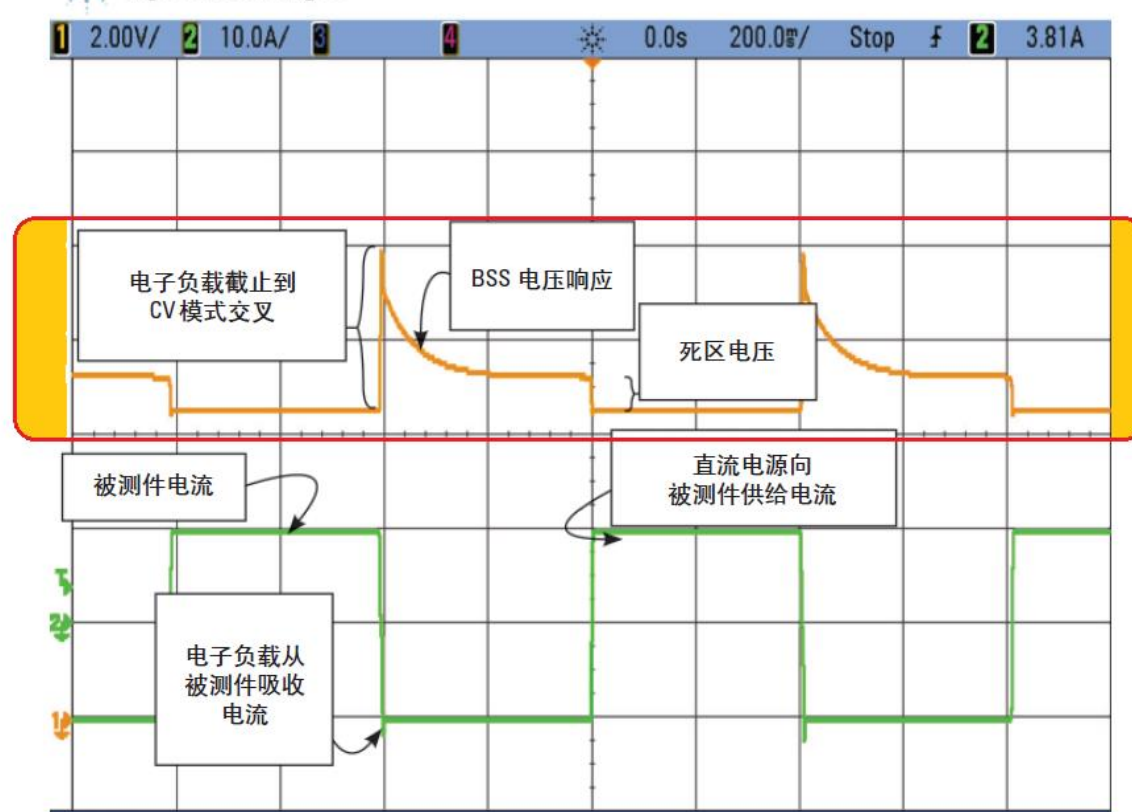
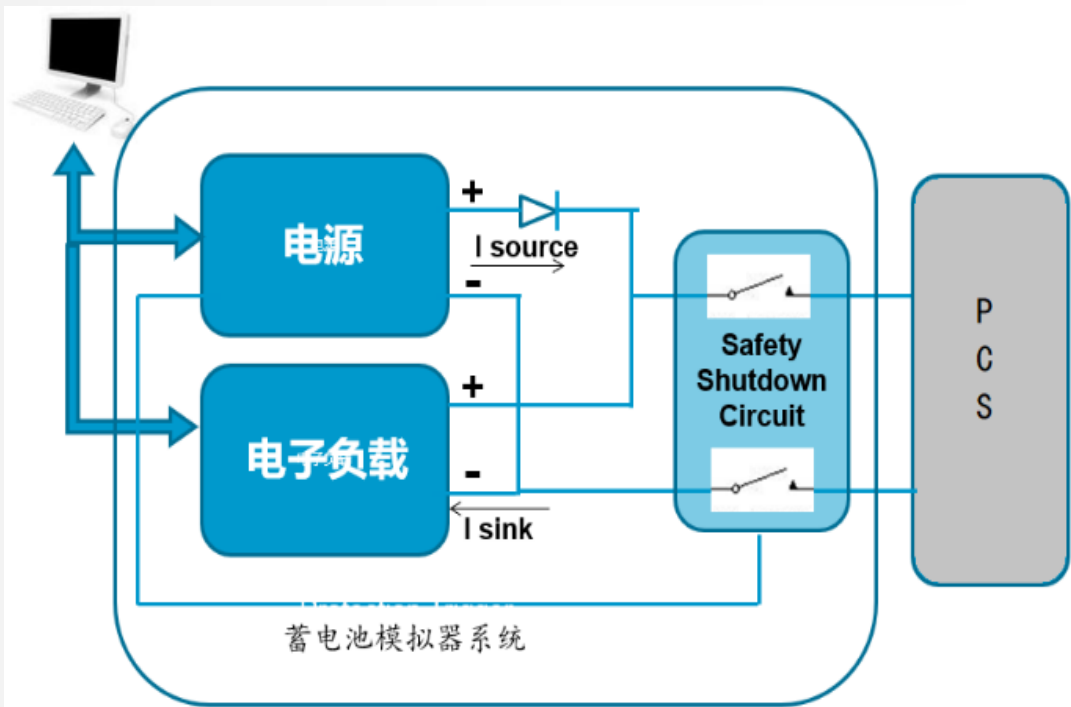
无缝正/负电流切换

理想的电池一个恒压源CV，而且电流输出和吸收转换时是无缝，即电池电压不会因为电流的正负转换而突变。



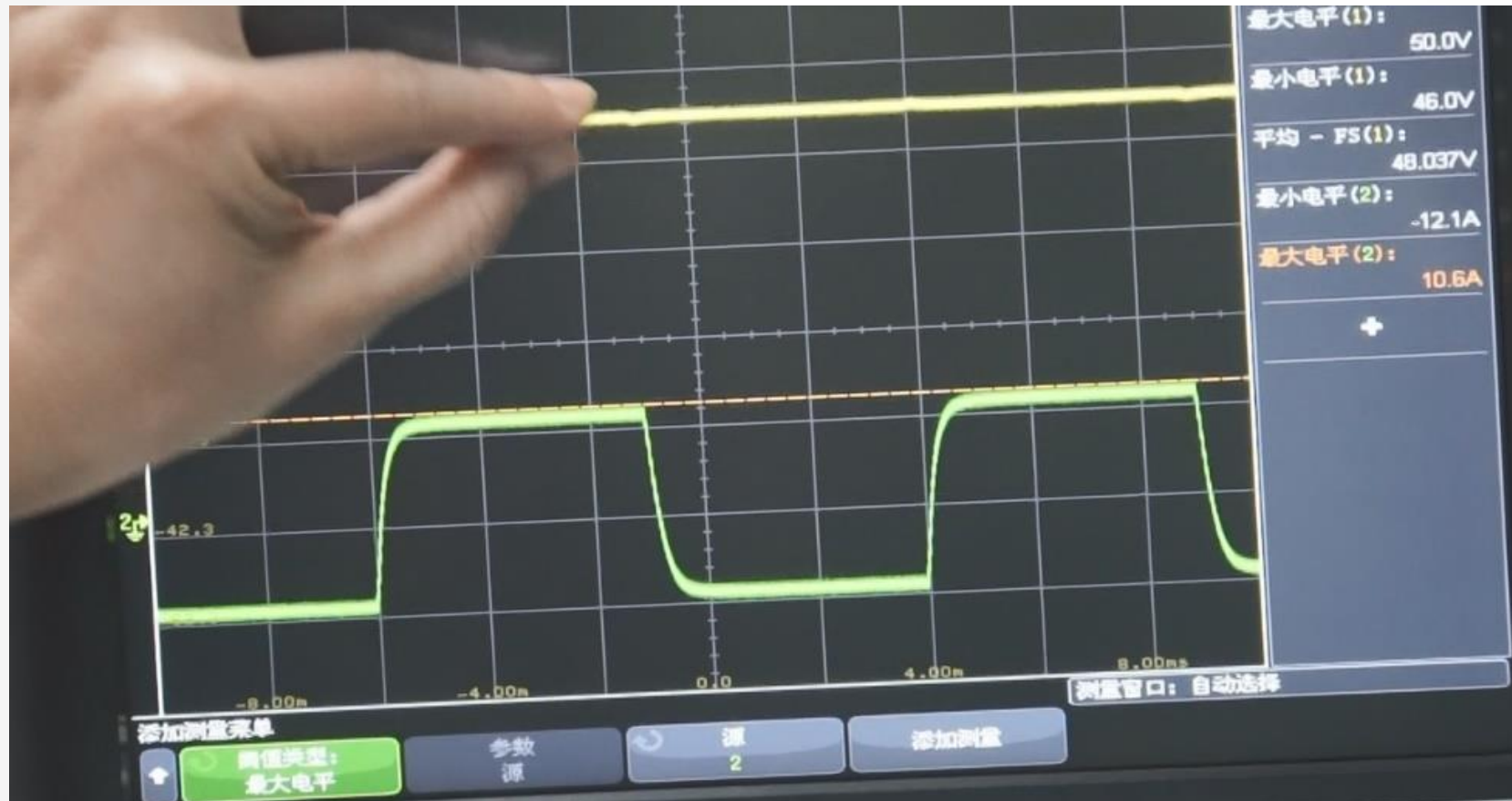
电池模拟提示 1

电源+负载珠海存在的问题



APS电池模拟

正负电流穿越时，极小的电压变化



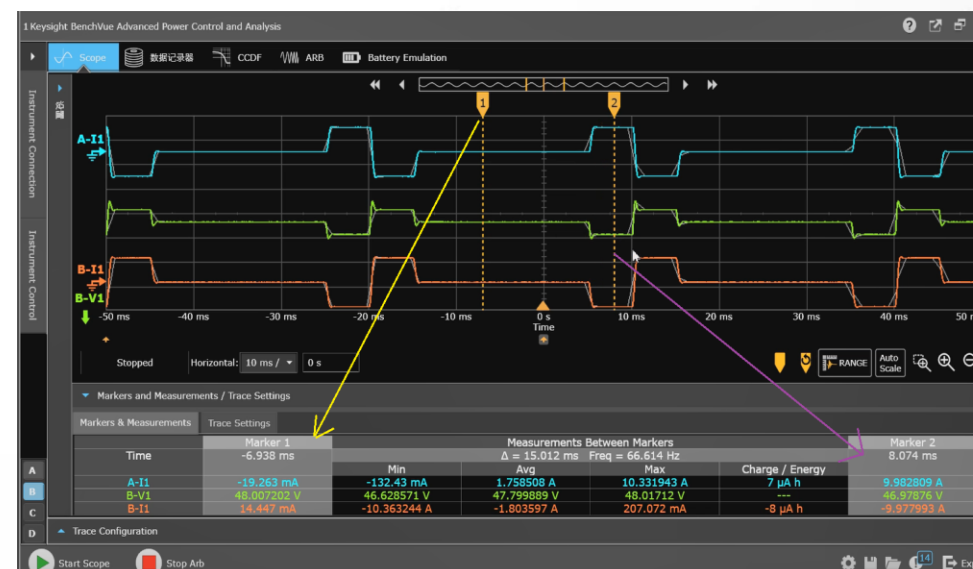
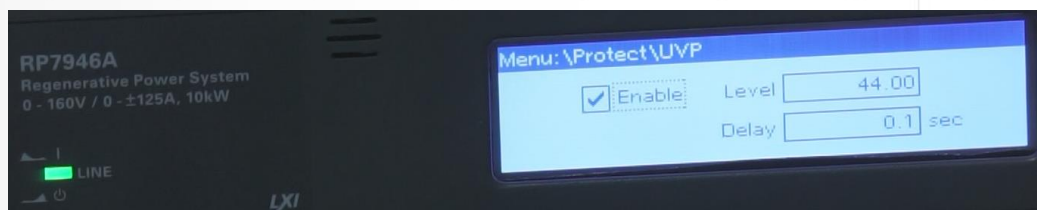
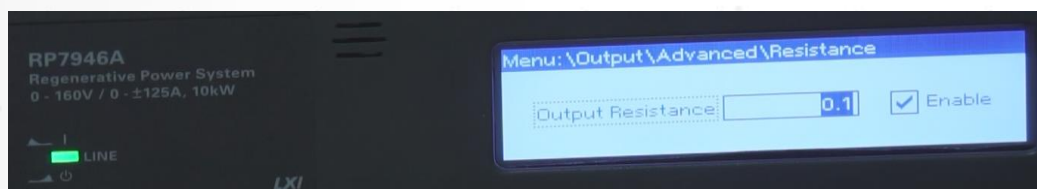
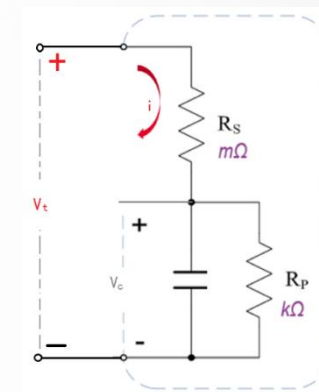
电池模拟提示 2

内阻模拟、OVP、UVP，电量计

电池内阻是电池非常关键的核心参数，影响各种电池曲线！

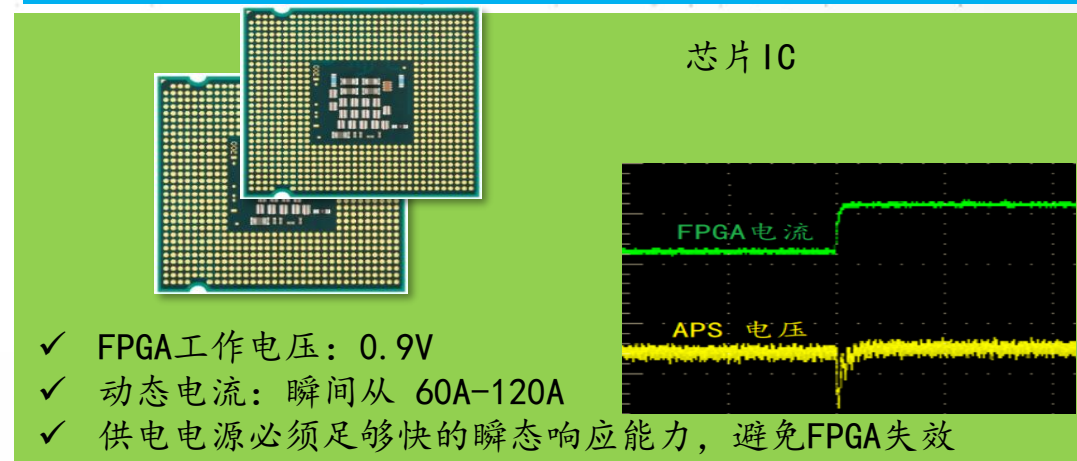
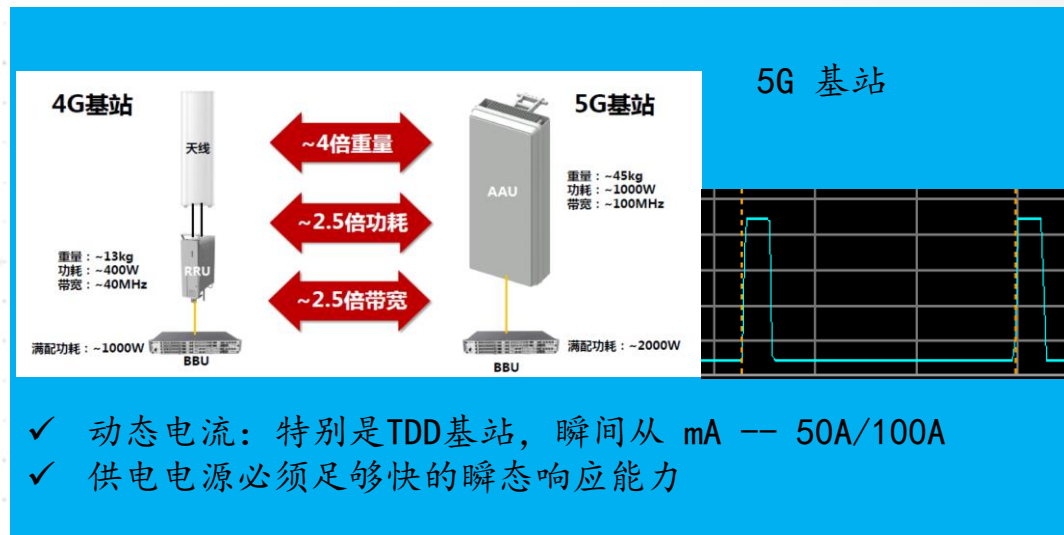
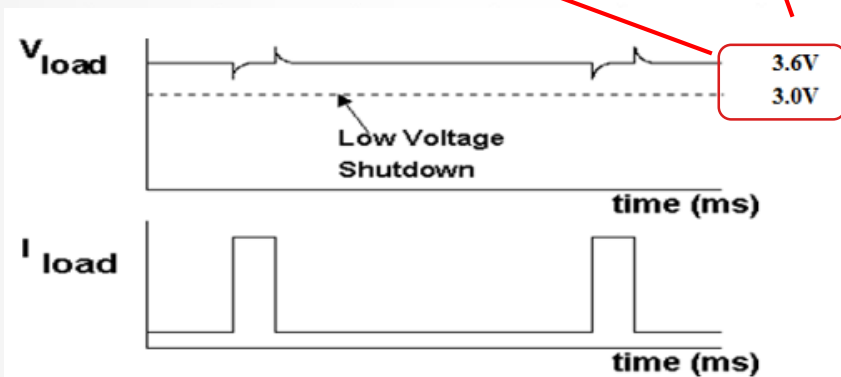
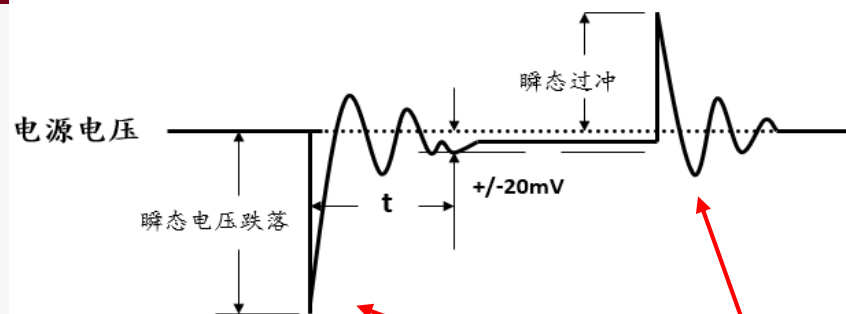
- ✓ 放电倍率容量衰减曲线
- ✓ 充电曲线的CC和CV位置
- ✓ 电池实时电压的变化大小

$$V_t = V_c + I * R_s$$



电池模拟提示 3

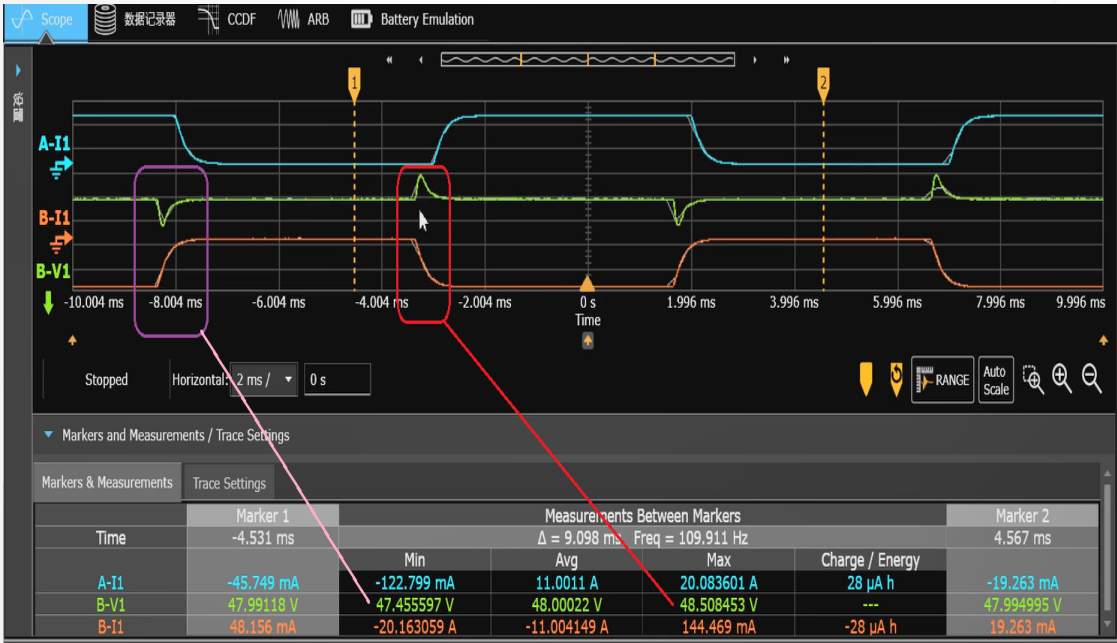
动态负载——超快的瞬态响应时间(<10US)



APS 仿真电池性能

APS 具有绝佳的瞬态/保护等响应

锂电池几乎接近理想电源，任何直流电源的瞬态响应速度都不可能优于锂电池（锂电池可看作超级电容）如下图所示，上述RP7946A模拟的48V电池，在电流0, 20A变化时，电压波动极小（0.5V/48V，约 1%）。



Specification	RP7931A/ RP7941A	RP7932A/ RP7942A	RP7933A / RP7943A	RP7935A/ RP7945A	RP7936A/ RP7946A
DC ratings					
Voltage source	0 to 20 V	0 to 80 V	0 to 20 V	0 to 80 V	0 to 160 V
Current source and sink	0 to $\pm$ 400 A	0 to $\pm$ 125 A	0 to $\pm$ 800 A	0 to $\pm$ 250 A	0 to $\pm$ 125 A
Power	0 to $\pm$ 5 kW	0 to $\pm$ 5 kW	0 to $\pm$ 10 kW	0 to $\pm$ 10 kW	0 to $\pm$ 10 kW
Output ripple and noise					
CV peak-to-peak ¹	30 mV	80 mV	30 mV	80 mV	200 mV
CV rms ²	3 mV	8 mV	3 mV	8 mV	20 mV
Load regulation					
Voltage	1 mV	3 mV	1 mV	3 mV	6 mV
Current	25 mA	13 mA	50 mA	25 mA	13 mA
Voltage programming and measurement accuracy ³					
	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 16 mV
Current programming and measurement accuracy ³					
	0.04% + 45 mA	0.03% + 13 mA	0.04% + 90 mA	0.03% + 25 mA	0.03% + 13 mA
Transient response ⁴					
Recovery time	300 μ s	300 μ s	300 μ s	300 μ s	300 μ s
Settling band	0.2 V	0.8 V	0.2 V	0.8 V	1.6 V

Overvoltage protection

Maximum setting:

Accuracy:

Response time:²

1200 V

0.02% + 75 mV

< 30 μ s

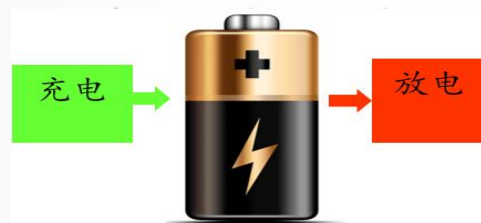
2400 V

0.02% + 150 mV

< 30 μ s

真实电池 vs. 电池模拟器

关键性能对比



纹波噪声小
瞬态响应快
无缝电流切换



重复性差
电池内阻导致端电压变化
SoC状态不可控
存在安全隐患
需外部监测电压、电流和电量



稳压源/电池内阻模拟
任意电池SoC/状态
重复性好、精度高
内置电压、电流和电量测量
OVP/UVP/OCP等保护

纹波噪声大
瞬态响应快
无缝电流切换

我们今天的内容:

- ✓ 认识 APS先进电源系统
- ✓ 电机测试时“电池模拟器”的3个重要提示
- ✓ APS功耗分析和电池寿命的整体解决方案
- ✓ 实测和演示



长时间功耗记录

200K, 18 比特分辨率, 最长1000小时



RP7945A 记录电机运行时的电流，电压和功率变化

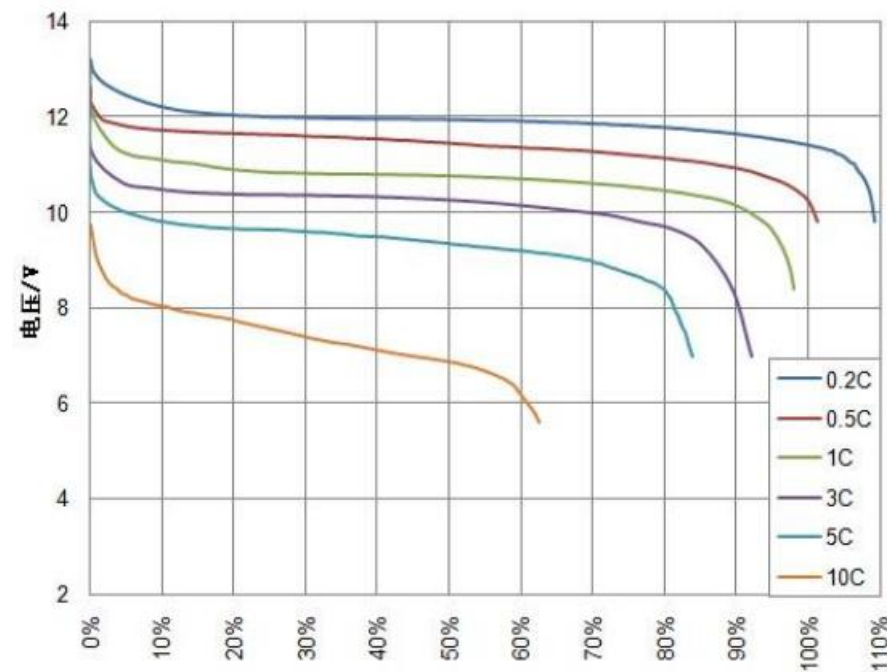
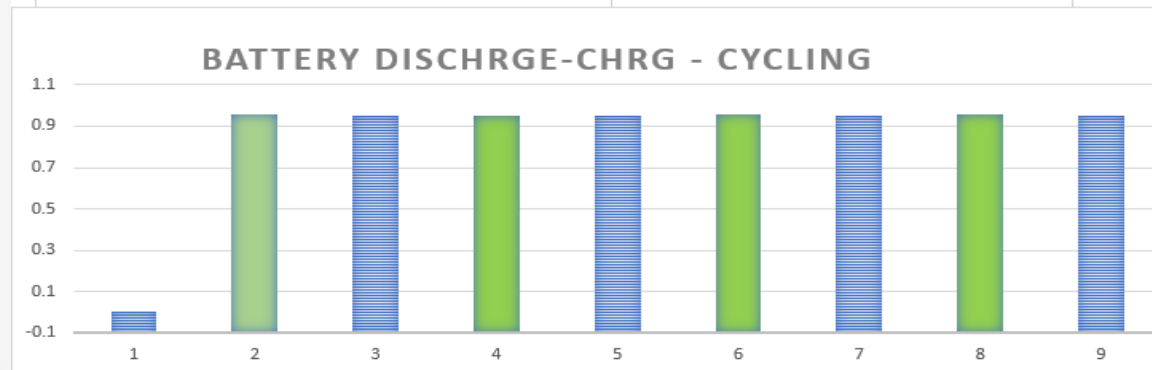


RP7945A → 直流无刷电机

APS 电源特性

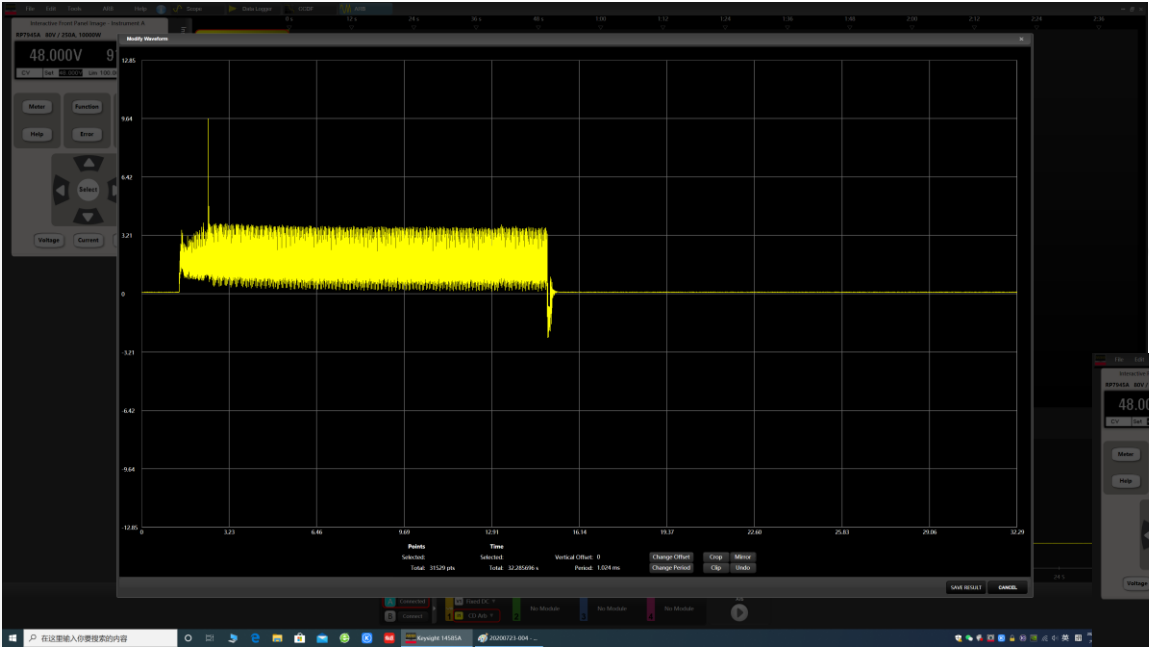
电池容量 VS 放电倍率

Set (Dischr_Charg_Cycle_index)	Set (AHour)
1	0.001211069
2	0.9590132
3	0.9497363
4	0.9537523
5	0.9503627
6	0.9542792
7	0.9509925
8	0.9544028
9	0.9528654



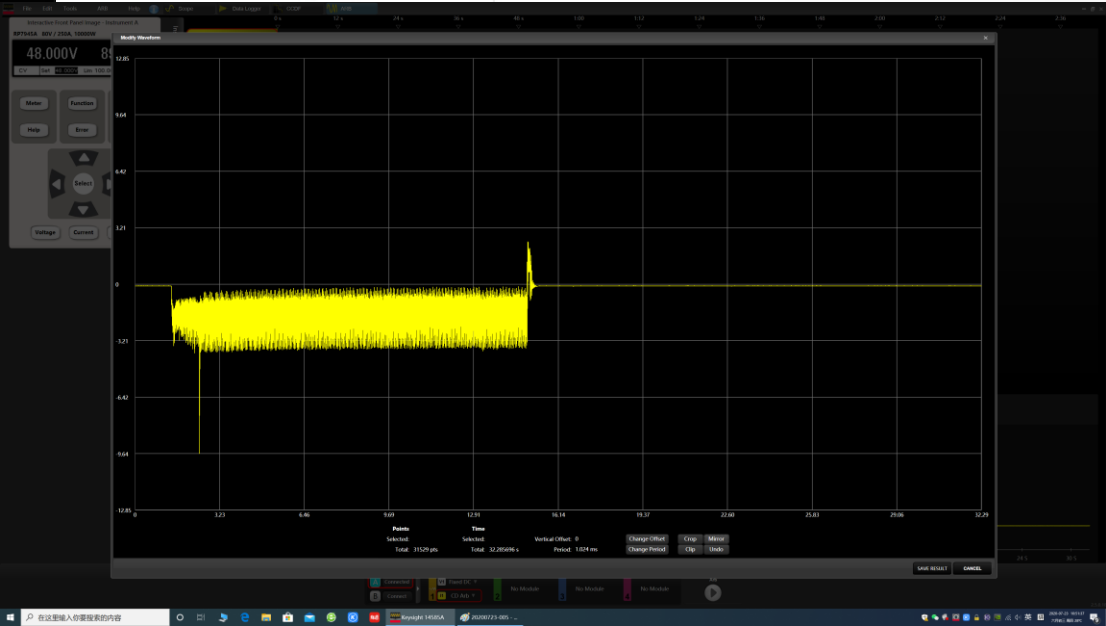
电池寿命测试和预测

电流录制和回放



耗电波形记录

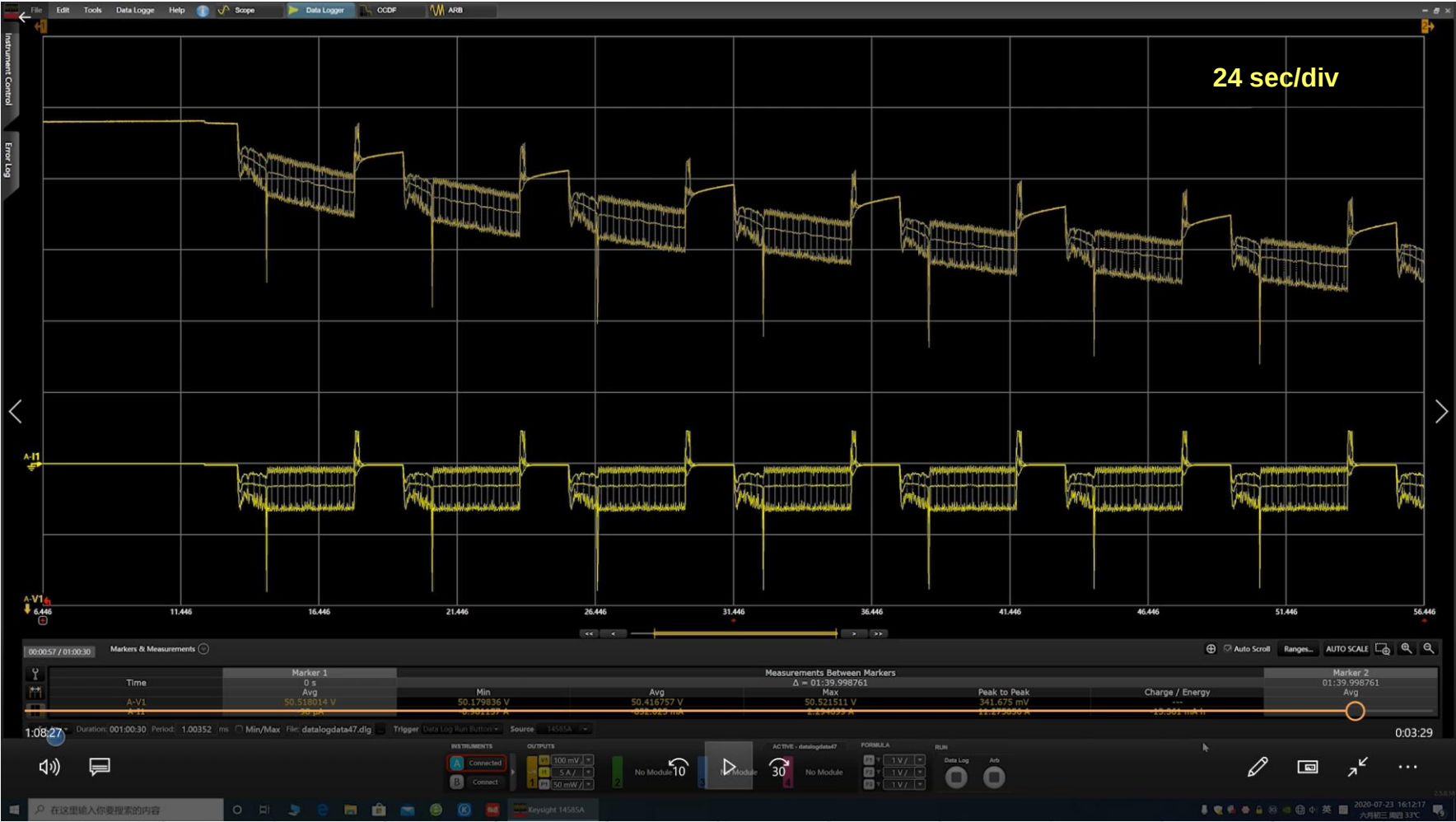
镜像翻转



负载波形回放

电池耗尽测试分析案例

接近与真实状态的电池寿命评估



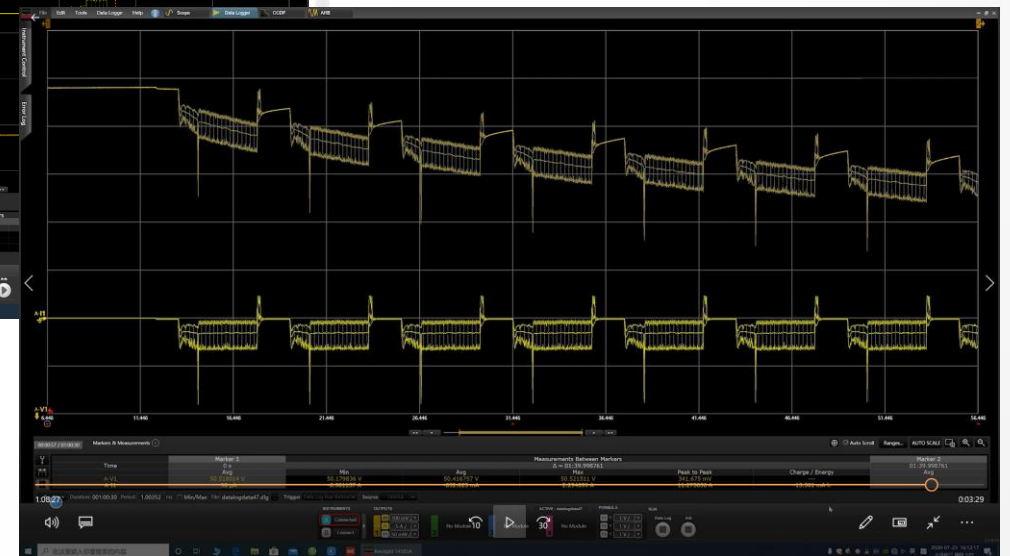
APS 测试电池供电直流无刷电机和电池性能



模拟电池精确测量电机的工作电流特性

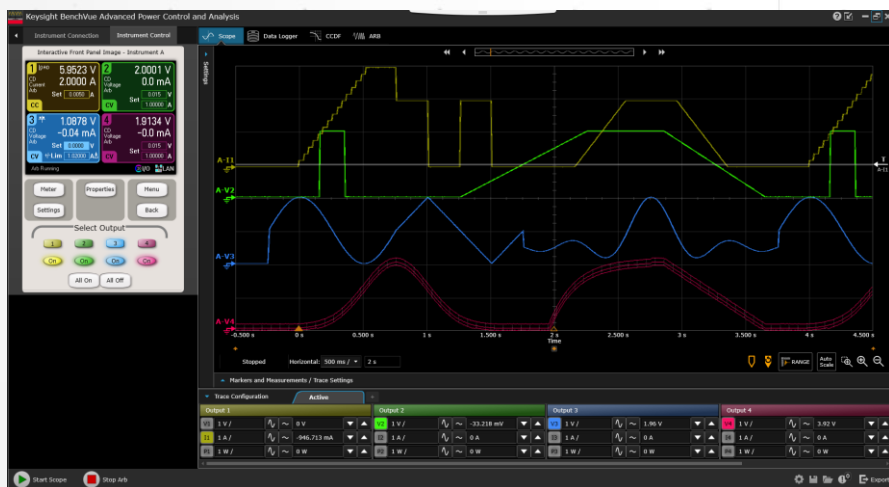


长时间功耗记录和分析



评估电池寿命

APS 帮助你解决最棘手的上电测试难题



BV9200 APS电源控制分析软件



演示更精彩

