

利用电池模型提取和电池模拟 延长储能逆变器续航时间

饶骞

4月21日

通用的电源产品市场经理



新能源发展机遇

以电池为代表的储能设备市场需求激增



储能逆变器的电池续航与效率揭秘

电池、逆变器、负载

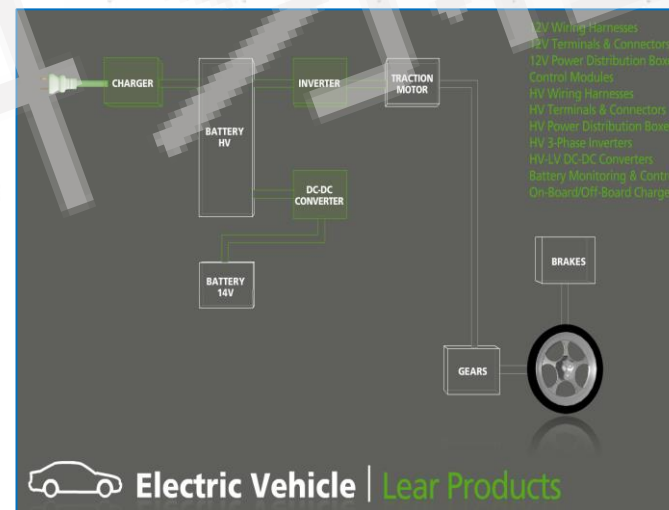
储能/电池



逆变器/电源



续航与效率



我们今天的内容：

- ✓ 产品的功耗特性和续航评估
- ✓ 电池的特性
- ✓ 电池模拟的三个重要提示
- ✓ 演示



从直流电源分析仪到APS

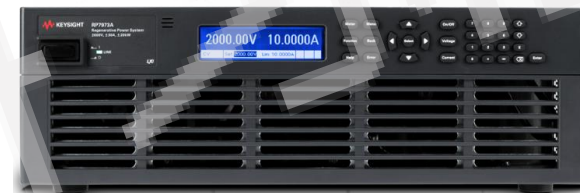
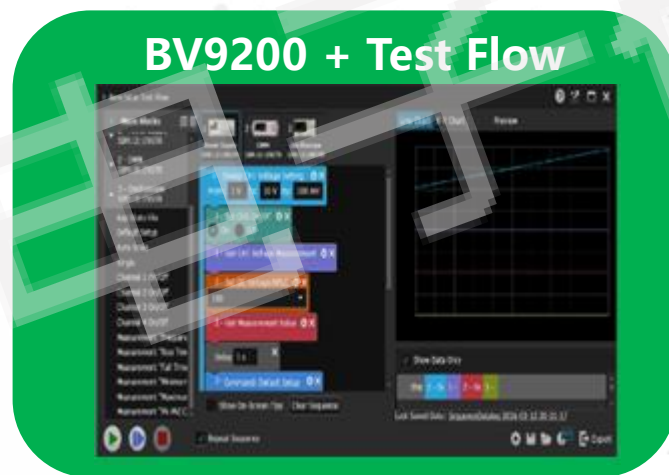
准确评估功耗的手段：从微瓦到百千瓦



N6705C, 60V, 50A, 500W



- 1-4路的电源和负载
- 大功率任意波形发生器
- 电压、电流示波器
- 长时间电压、电流数据记录
- 无缝量程的电流测量
- 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



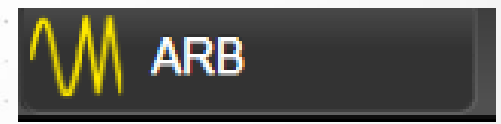
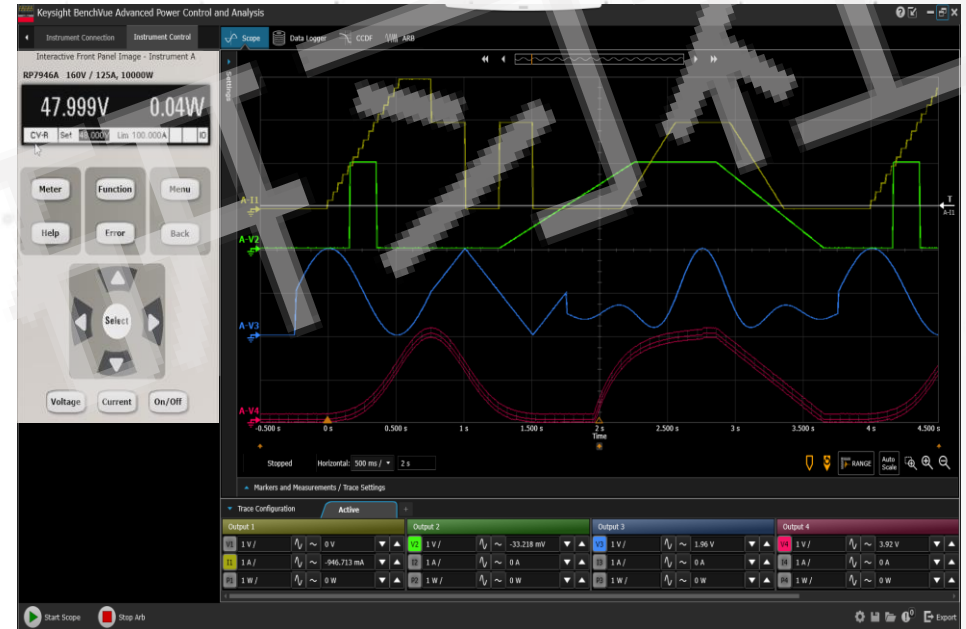
RP7900, 2000V, ±800A, 20KW
并机可达400KW



N7900, 160V, ±200A, 2KW

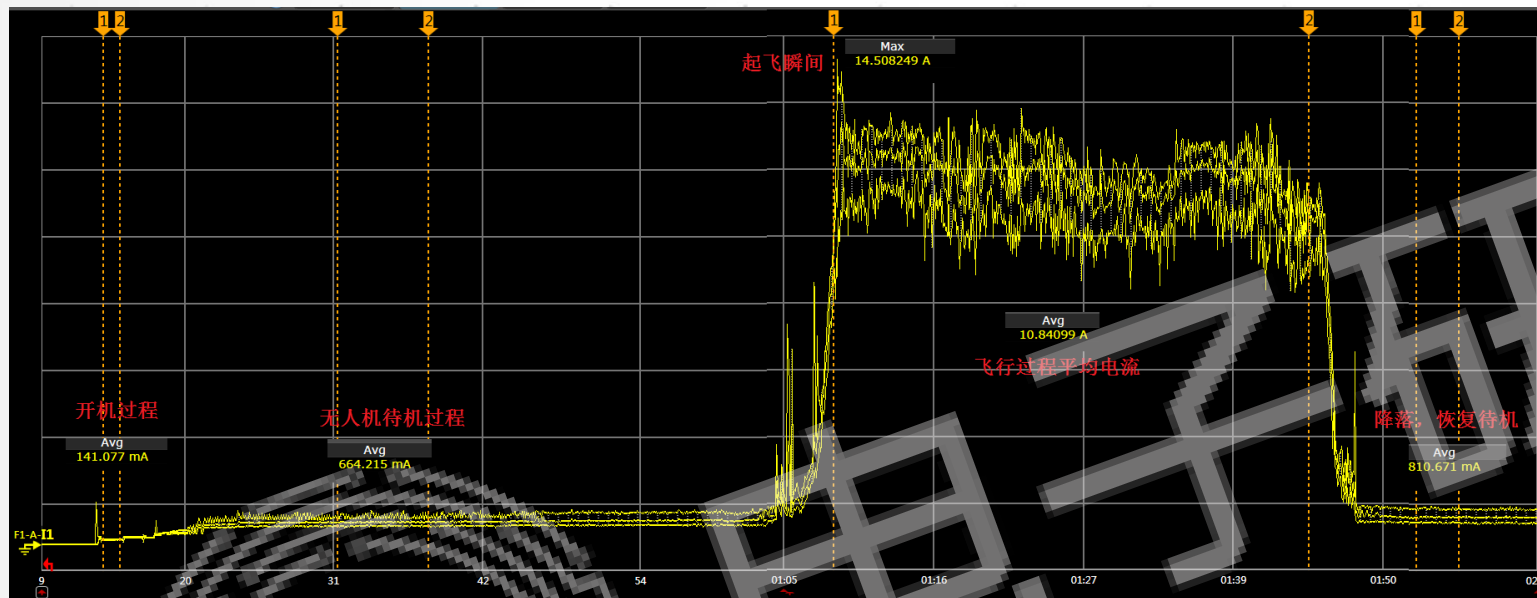
BV9200B 先进电源控制软件

- 同时控制4台 N6705 /N7900 /RP7900
- 4种操作模式：scope（短时间波形分析）；data logger（长时间波形分析），ARB（64KSa波形编辑）和 CCDF（统计分析）：
 - 示波器模式，200KSa/s，18比特，精确捕获电压和电流瞬态变化。
 - Data Logger记录仪模式，200kSa/s 采样，最高28bit分辨率，长达1000小时连续数据直接保存到PC。
 - 实现64K复杂波形编辑，支持内置标准波形，公式，波形导入等
- 支持API函数调用，用户可进行软件二次开发



典型的智能产品

无人机的功耗测试



模式/ 状态	开机	待机	起飞和飞行	降落待机
起始时间	0:14	00: 34	1:09	1: 52
截至时间	0:16	00: 44	1:45	1: 56
平均电流 (A)	0.14108	0.66421	10.84	0.81067
最大电流 (A)	0.18558	1.03	14.51	1.128

- ✓ “操作无人机起飞, 降落” 从开机->连接WIFI->起飞->降落过程;
- ✓ 软件实时记录所有操作过程电流变化。



电池续航时间的评估

问题



平均功耗电流: xx mA

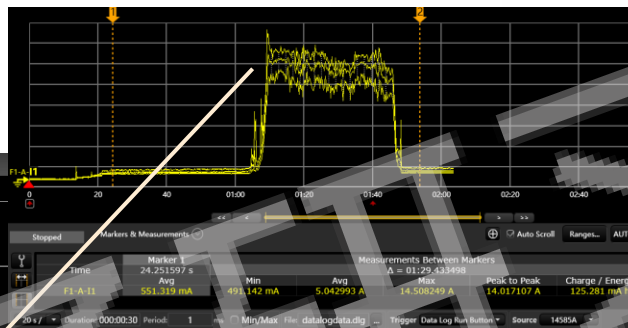
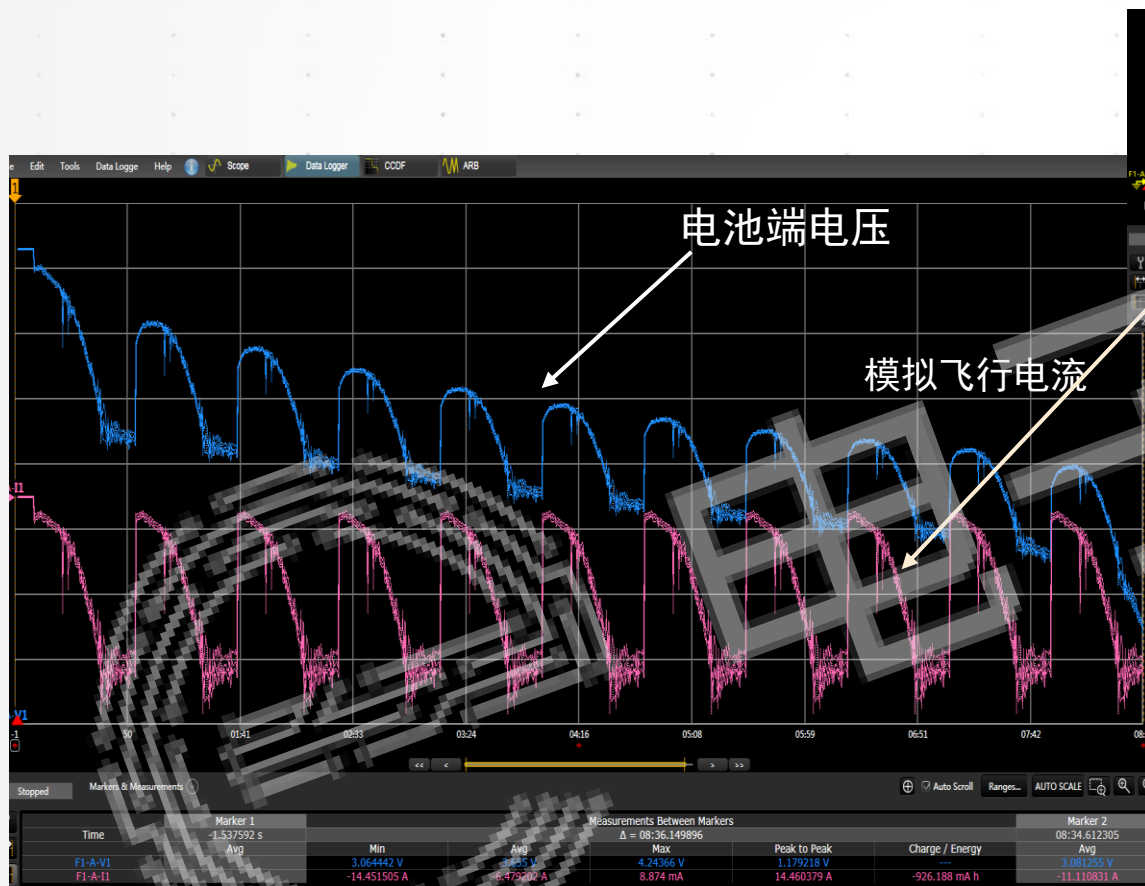
$$\text{续航时间} = \frac{yy \text{ mAh}}{xx \text{ mA}}$$



电池容量: yy mAh

无人机电池飞行续航时间和容量验证

想当然可能就会出错



- 起始电压: 4.24V
- 截至端电压: 3.08V
- 峰值流: 14.4A
- 平均电流: 6.48A
- 总放电量: 926mAH
- 持续时间: 8分30秒

飞行性能

最大飞行距离:	100米
最大飞行高度:	10米
最大飞行速度:	8m/s
最长飞行时间:	13分钟

电池

可拆卸电池: 1.1AH/3.8V

技术规格书的指标和实测近相差20%?

我们今天的内容：

✓ 产品的功耗特性和续航评估

✓ 电池的特性

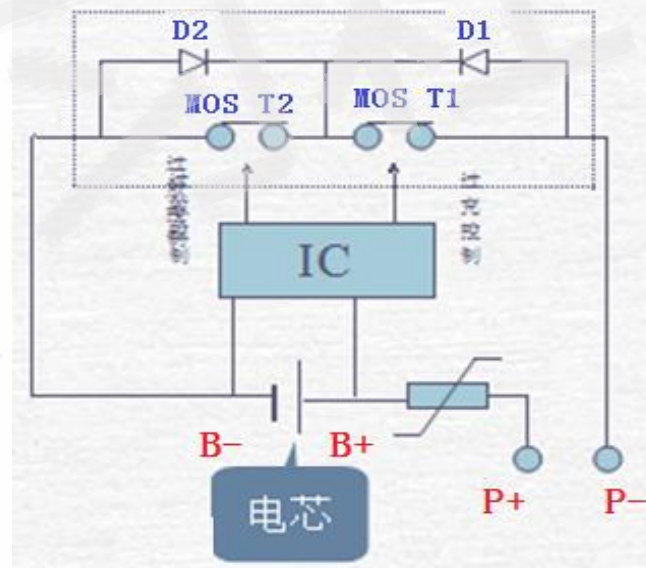
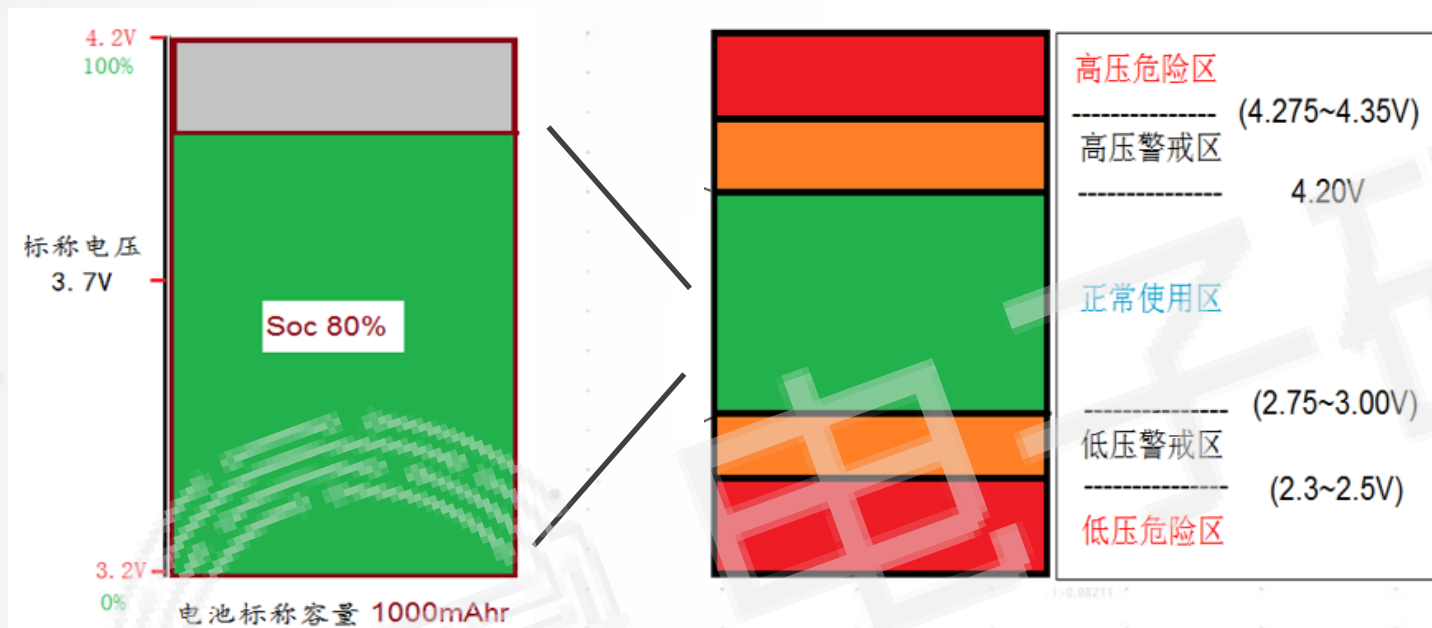
✓ 电池模拟的三个重要提示

✓ 演示



初识锂电池

电芯、模组和电池包



电池保护电路

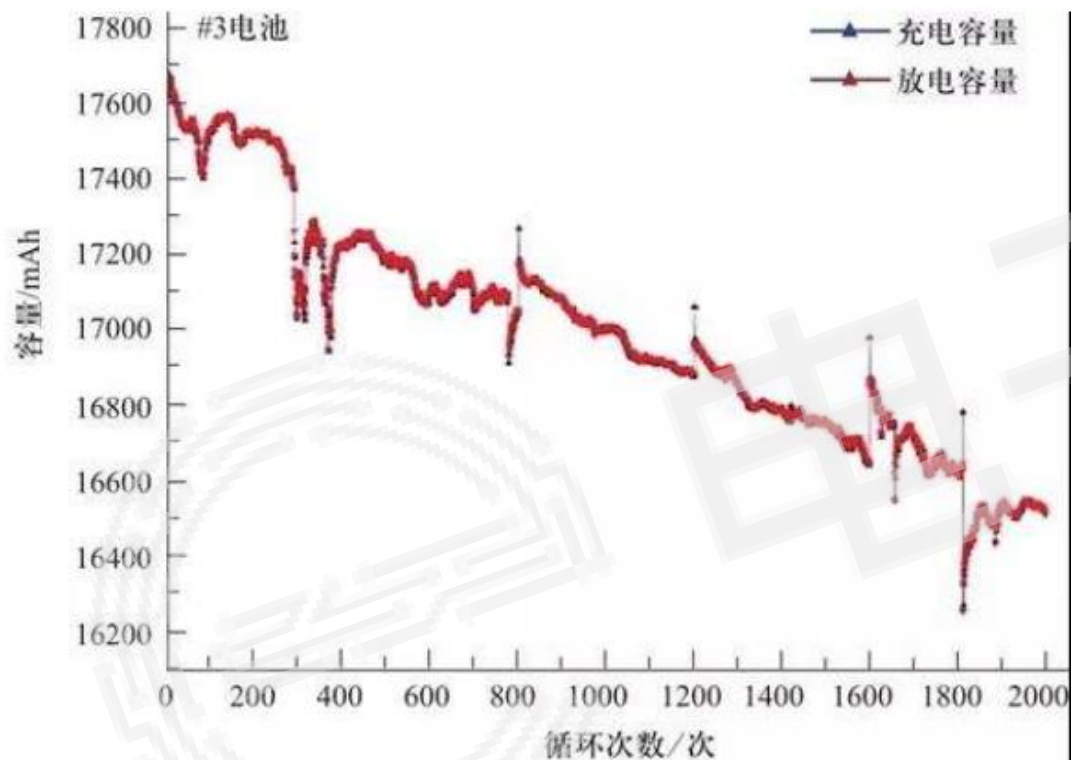
松下18650
3400mAh



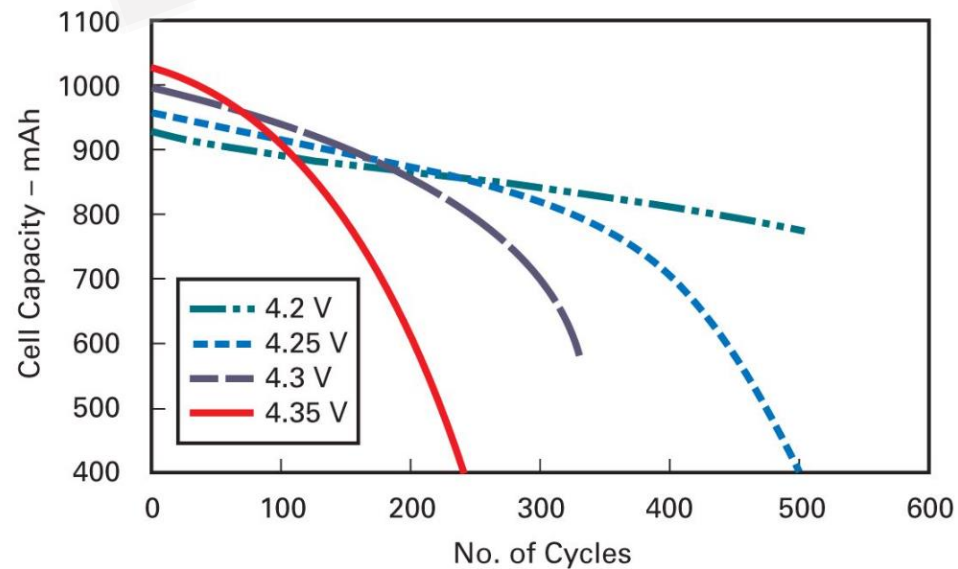
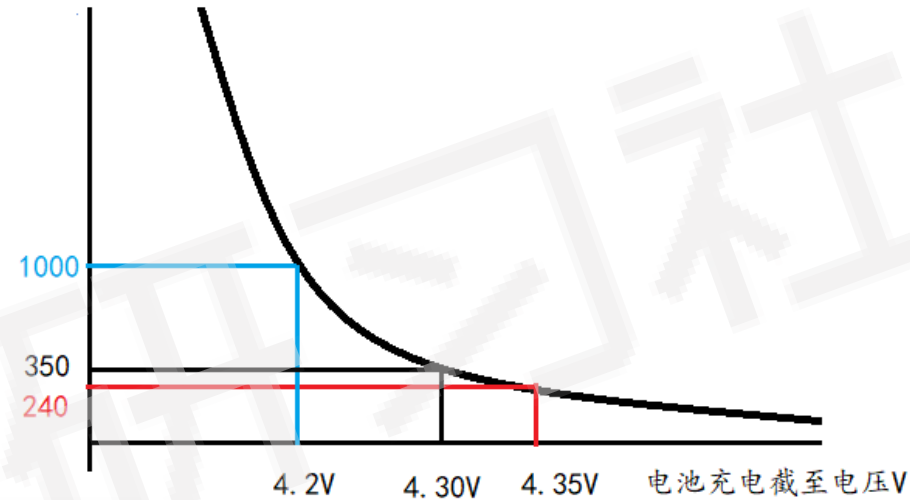
锂电池的几张非常重要曲线

电池寿命与截至电压

循环寿命和容量衰减



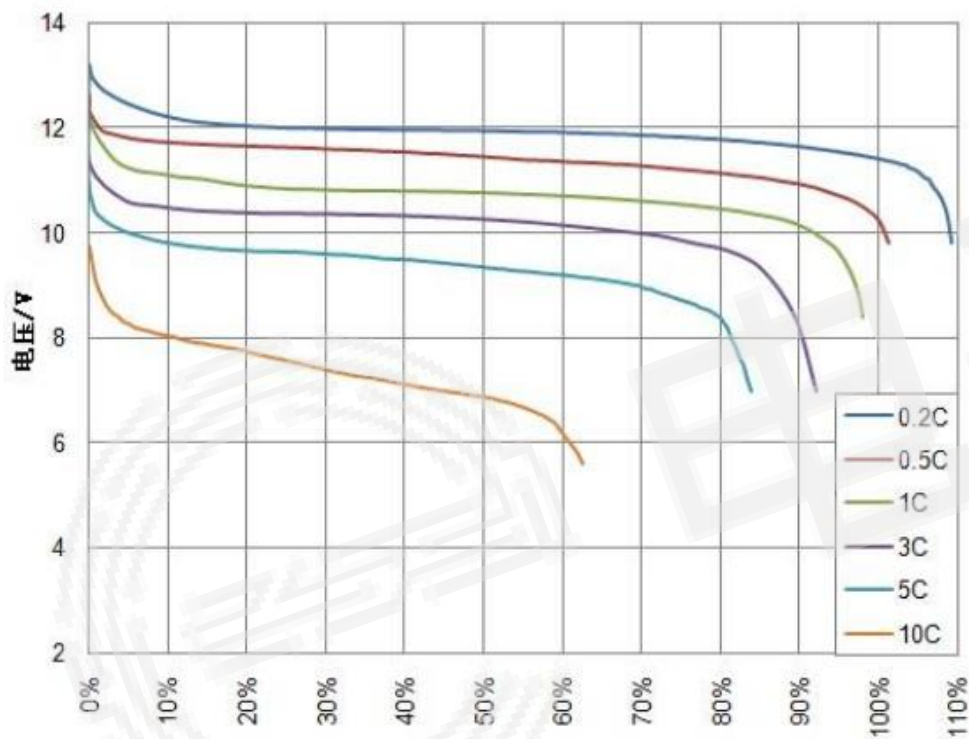
循环次数



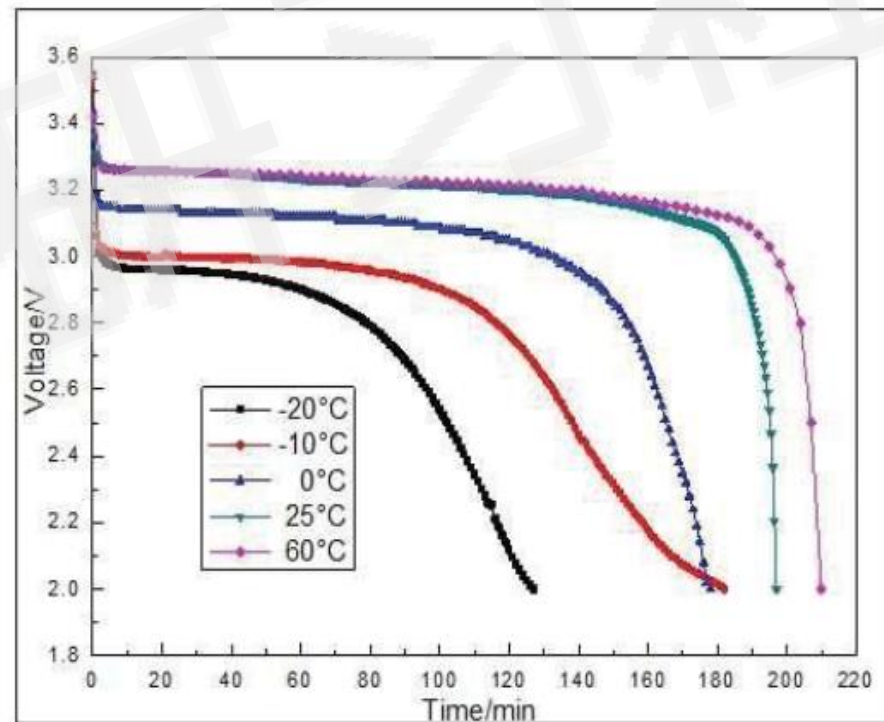
锂电池非常重要的曲线

电池容量与温度/倍率关系

放电容量vs倍率



放电容量vs温度



电池重要参数

内阻、端电压、开路电压



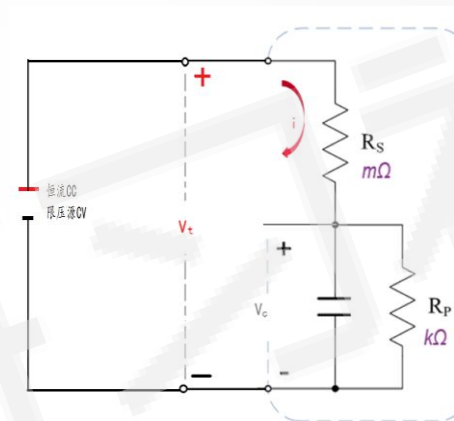
开路电压3.79V



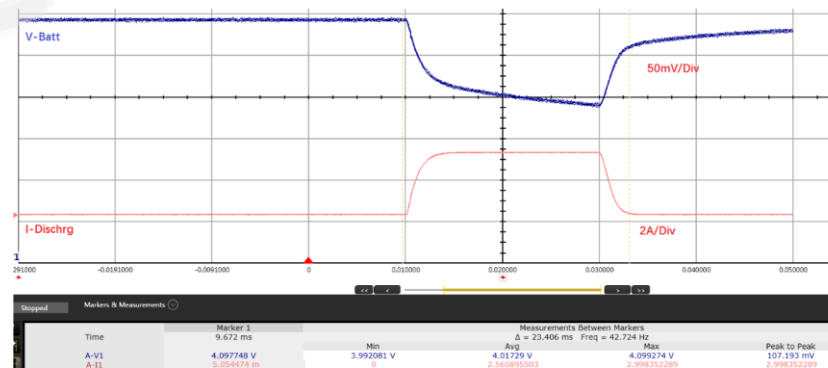
1A充电时, 电压3.95v



1A放电时, 电压3.31V



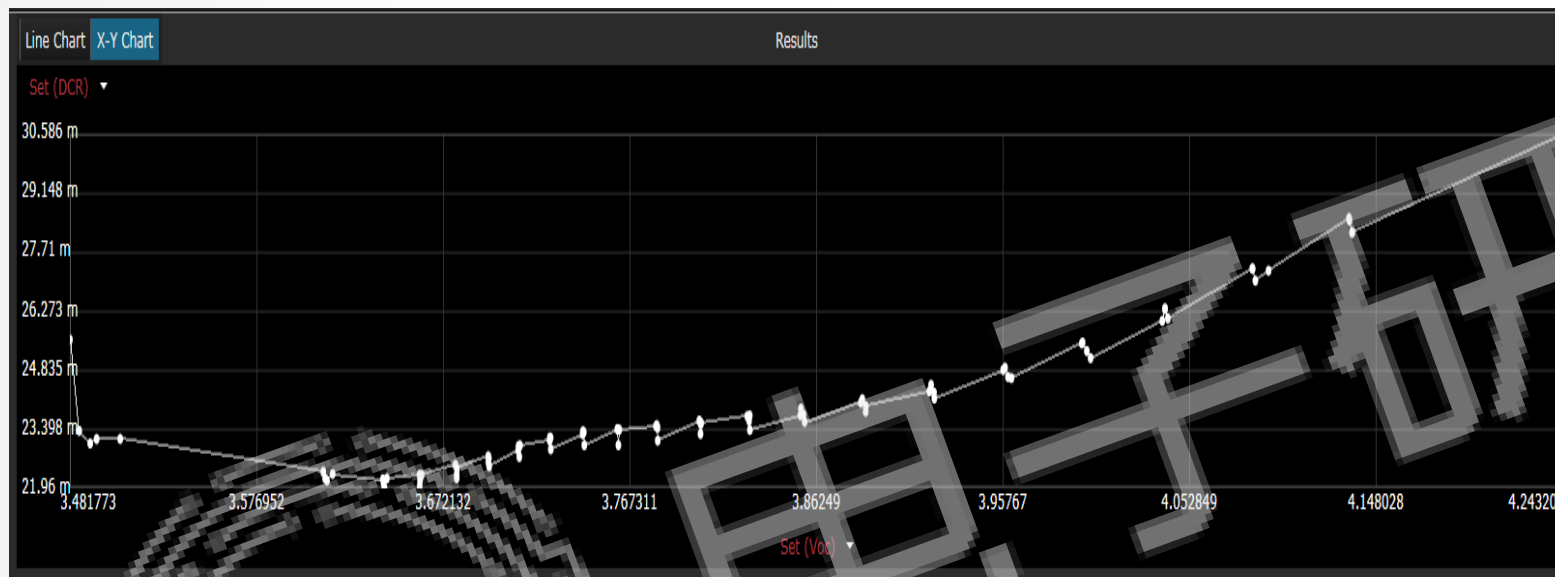
$$I_{max} = \frac{V_{chrg} - V_c}{R_s}$$



$$V_t = V_{oc} - I * R_s$$

多变的电池内阻

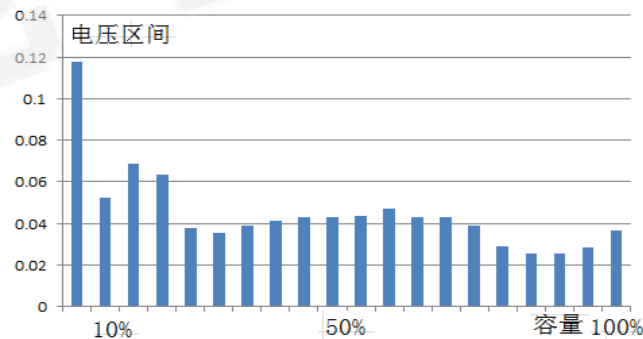
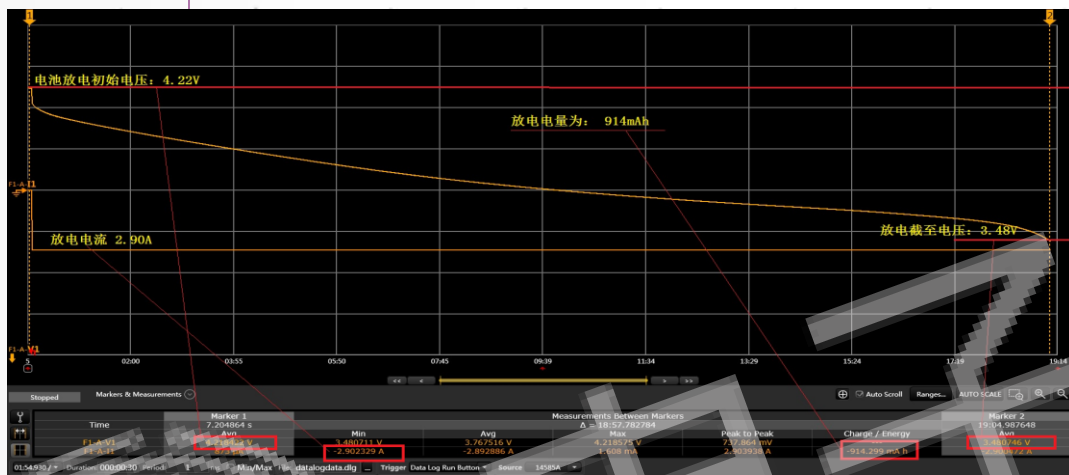
温度和容量SOC的影响



Percentage charge	RBatt Scale Factor		
	-20°C	0°C	25°C
100	1223	289	100
95	1142	283	103
90	1150	284	102
85	1114	285	106
80	1101	291	111
75	1097	291	118
70	1101	276	126
65	1106	269	110
60	1119	271	102
55	1138	280	102
50	1164	295	108
45	1196	317	116
40	1245	343	122
35	1319	362	121
30	1428	363	121
25	1665	380	126
20	2216	447	152
15	3248	535	187
10	5502	700	236
9	6454	744	247
8	7404	788	259
7	8355	702	233
6	9307	702	247
5	9269	752	260
4	10192	834	277
3	12216	1011	304
2	14942	1388	351
1	18629	2014	423
0	23448	3057	528

电池容量分布

电池端电压 VS. 容量



Soc (%)	Voc (V)
0%	3.3
5%	3.417419645
10%	3.469712651
15%	3.538586398
20%	3.601882875
25%	3.639315377
30%	3.674645796
35%	3.713511828
40%	3.754836719
45%	3.797917202
50%	3.84076305
55%	3.884100026
60%	3.930903831
65%	3.974087812
70%	4.016838519
75%	4.055635768
80%	4.084480586
85%	4.109850219
90%	4.135330419
95%	4.163642325
100%	4.199976858

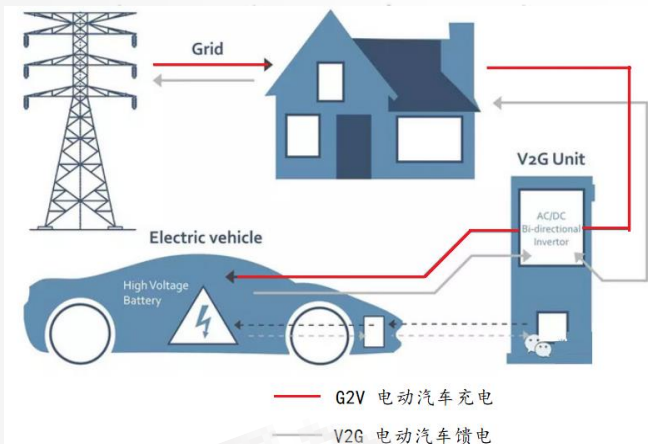
我们今天的内容：

- ✓ 产品的功耗特性和续航评估
- ✓ 电池的特性
- ✓ 电池模拟和三个重要提示
- ✓ 演示



电池模拟器

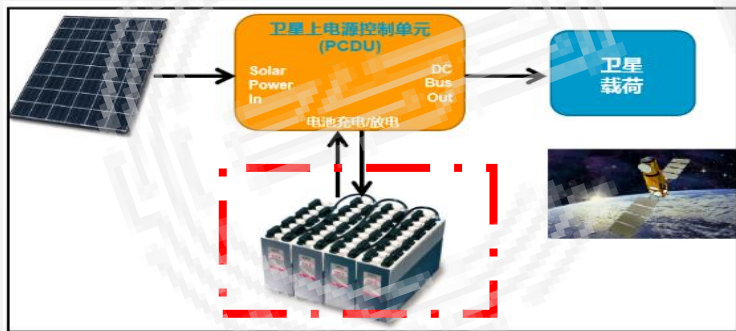
利用高性能电源和电池模型，模拟电池的真实特性



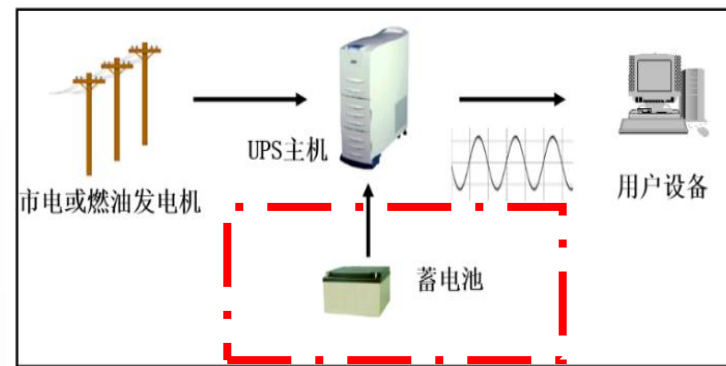
储能/电池



— 光伏对电池充电
— 电池给电网馈电



电池模拟器BSS



电池模拟器的应用

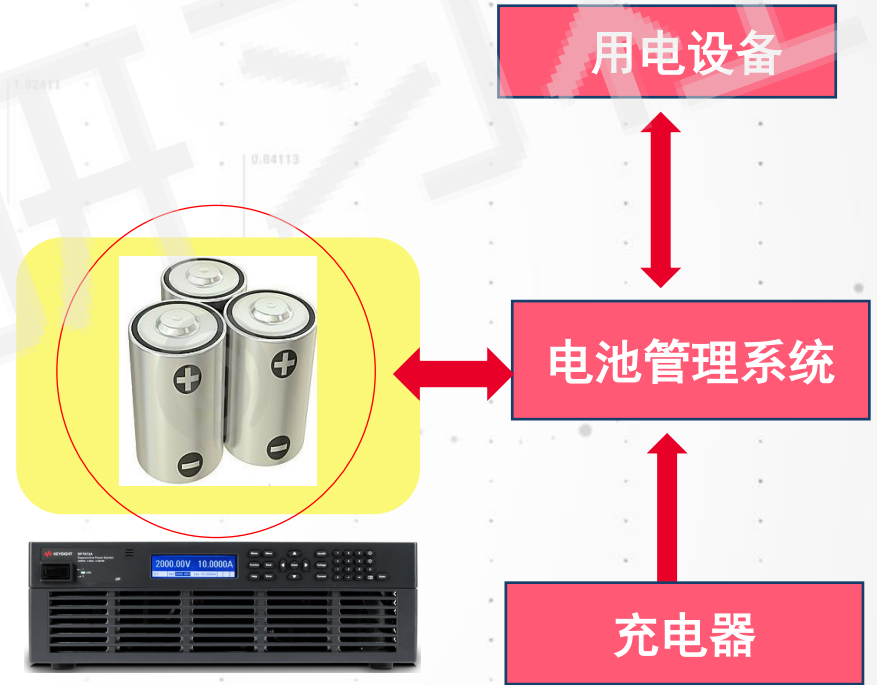
减少研发电池管理原型机的不确定性， 缩短开发时间

电池组直接供电

- 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。

电池模拟器

- ✓ 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



电池模拟的基本要求

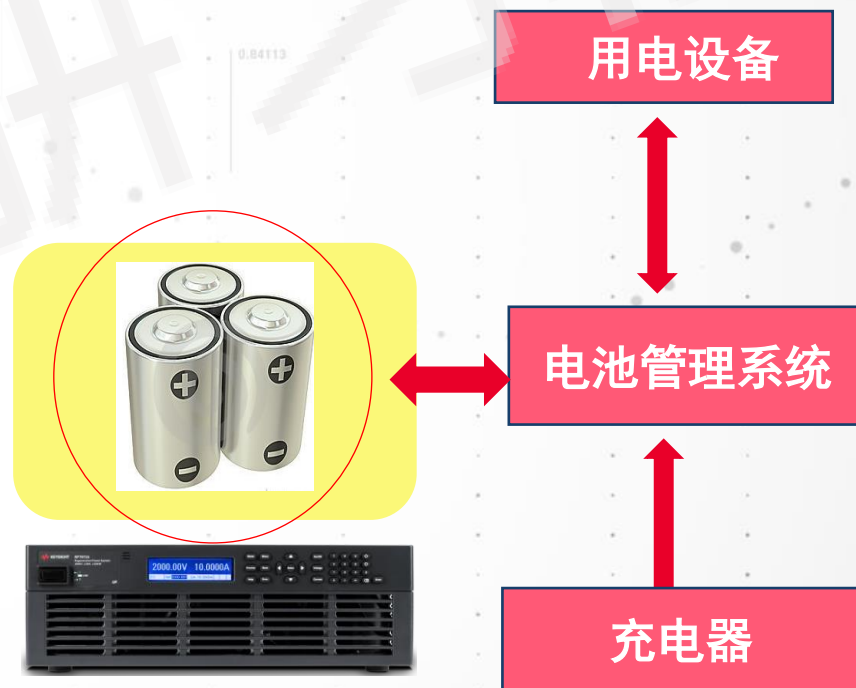
静态模拟和动态模拟

静态模拟

- 具备输出和吸收电流能力，充、放电功能可自由切换
- 具有电量计统计功能
- 模拟电池在静态工作点上的工作状况
- 体现电池内阻对电池端电压影响
- 良好的瞬态响应
- 丰富的电池种类

动态模拟

- 模拟充放电整个过程中电池端电压的变化
- 快速的电池端电压更新速率
- 充放电曲线加速测试
- 模拟蓄电池受环境因素影响，可以根据压力，温度等传感器数据修正电池容量，建立闭环仿真

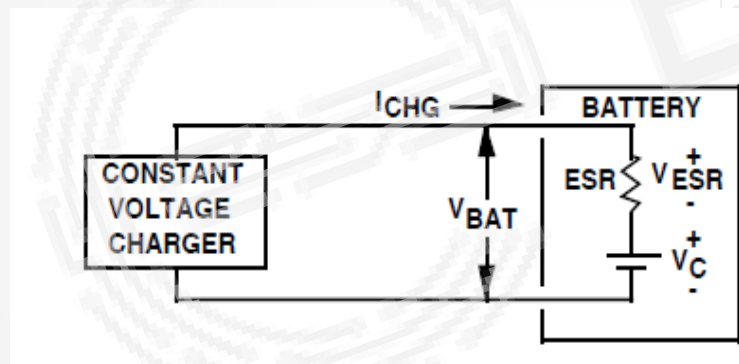


蓄电池等效模型和蓄电池供电特性

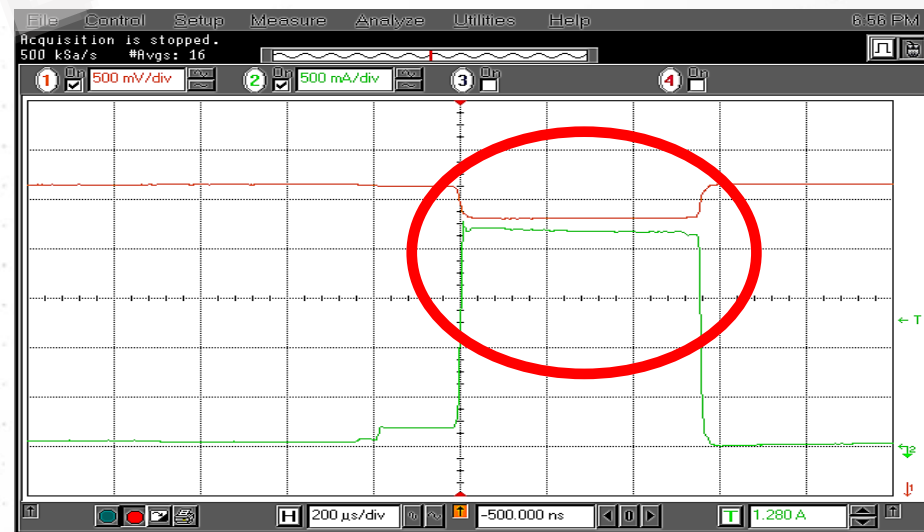
端电压和开路电压

- 蓄电池模型可以等效为理想恒压源 V_C 与内阻 ESR 串联
- 充电时，电流流入电池， V_{bat} （电池端电压） $>$ V_C （电池开路电压）
- 放电时，电流流出电池， V_{bat} （电池端电压） $<$ V_C （电池开路电压）

实际效果：当负载电流变化时，电池端电压会随之产生波动

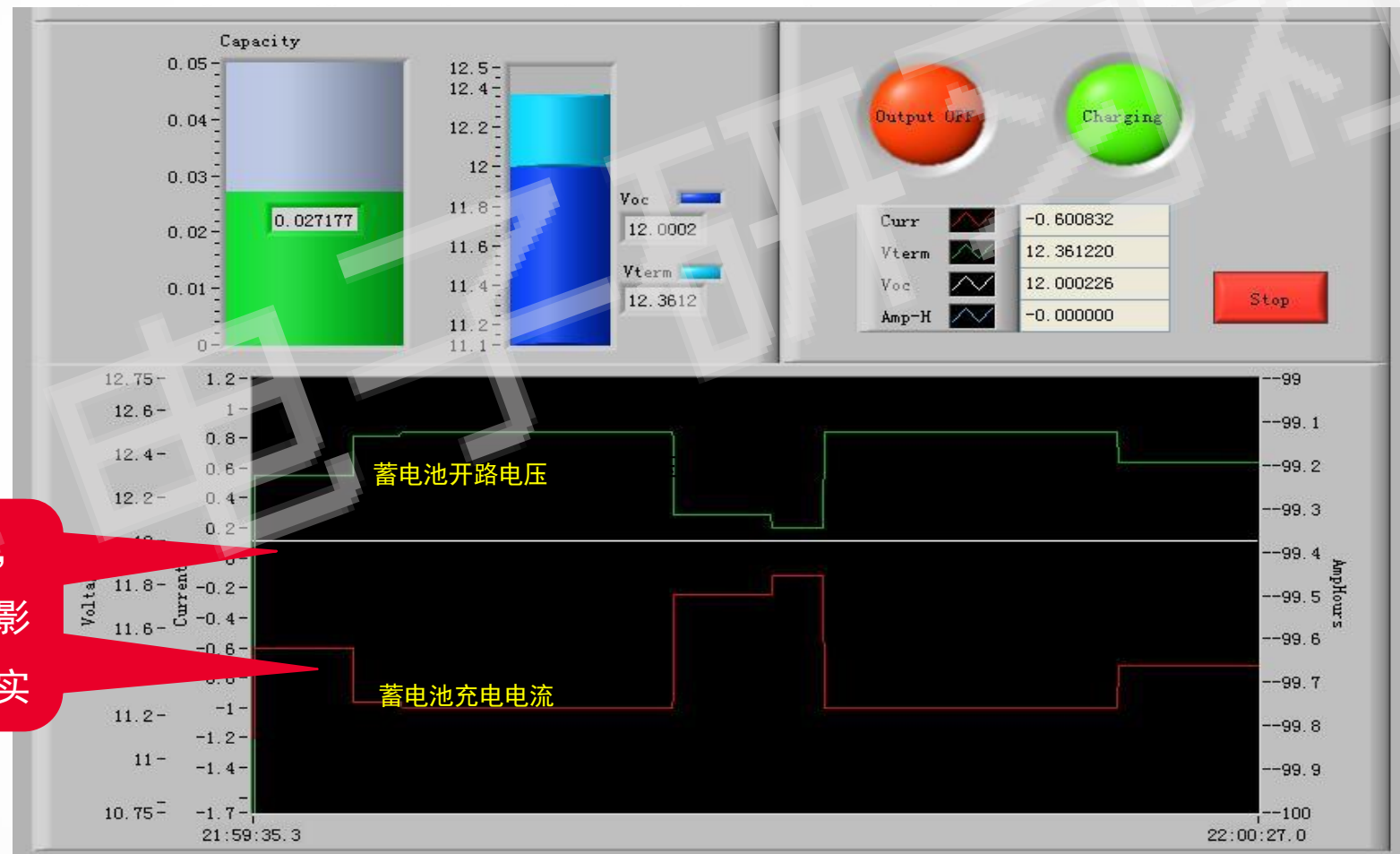


$$V_{ESR} = I_{CHG} \times ESR$$
$$V_{BAT} = V_C + V_{ESR}$$
$$V_{BAT} = V_C + (I_{CHG} \times ESR)$$



APS电池内阻仿真功能

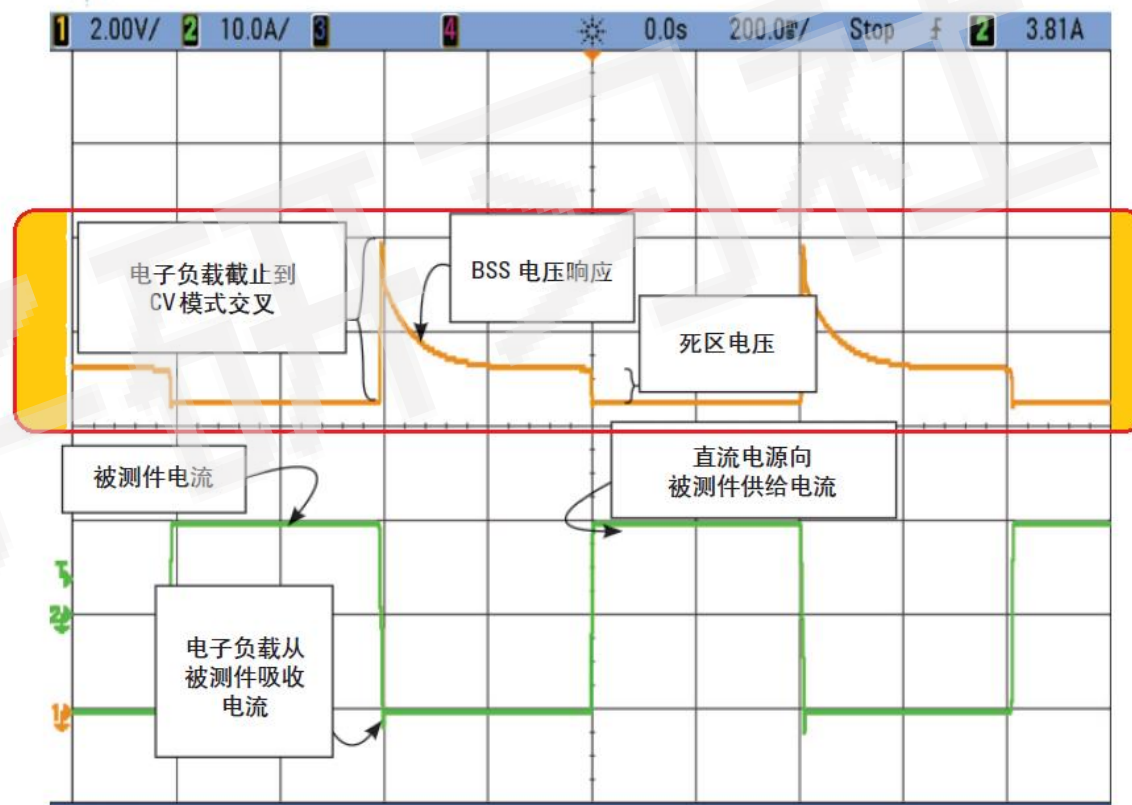
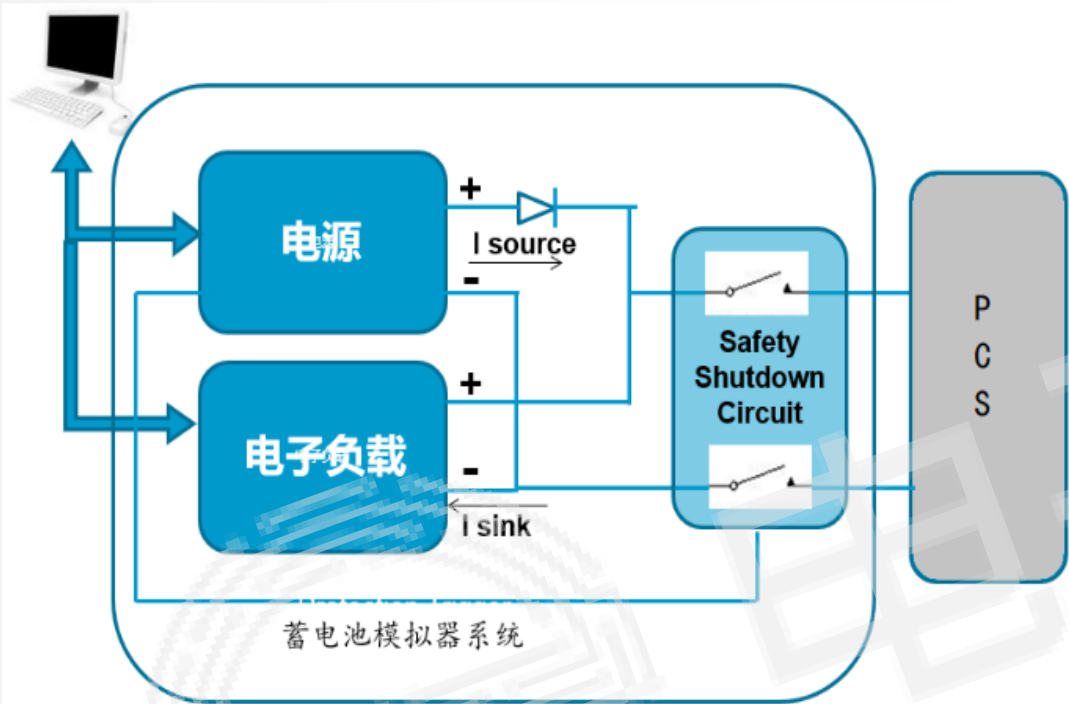
任意设置电池电流和内阻，模拟输出端电压



当充电电流发生改变时，
蓄电池的端电压受内阻影响而发生波动，符合真实

电池模拟提示 1

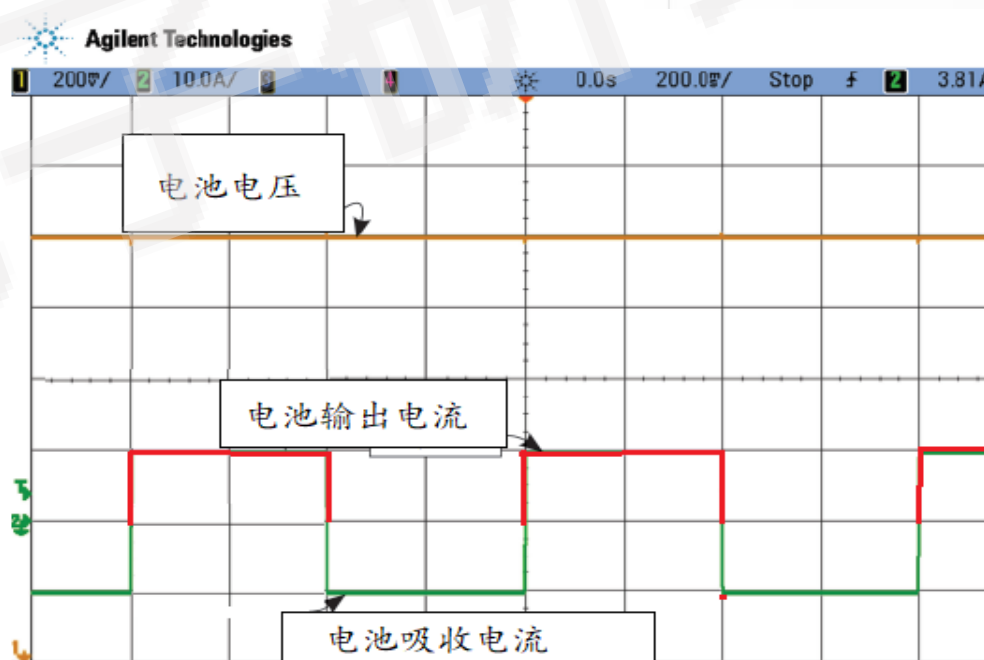
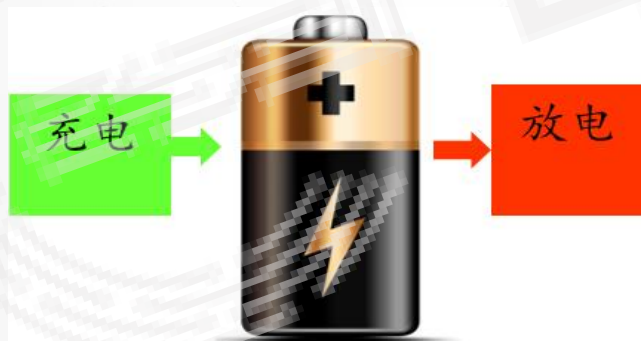
电源+负载模式存在的问题



“电池模拟器”的提示1

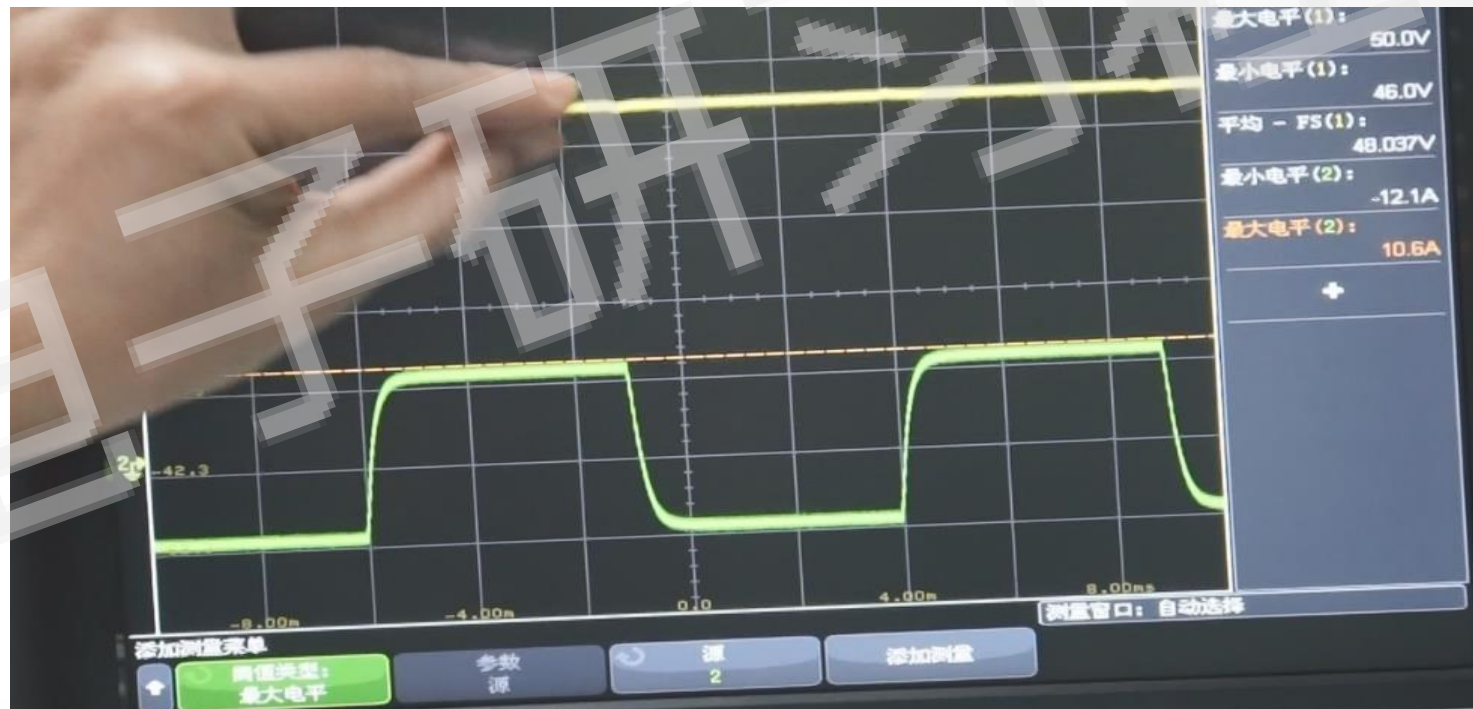
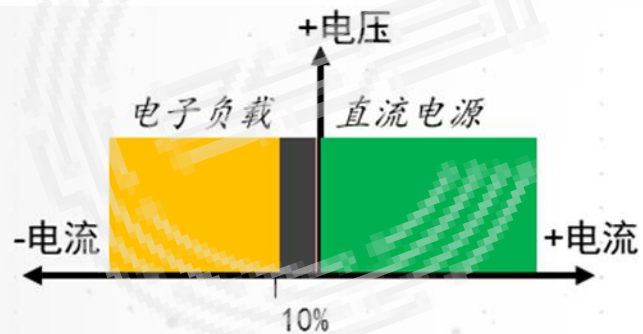
无缝正/负电流切换

理想的电池是一个**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。



电池模拟器提示1

APS双象限，无间隙的负载和源的转换



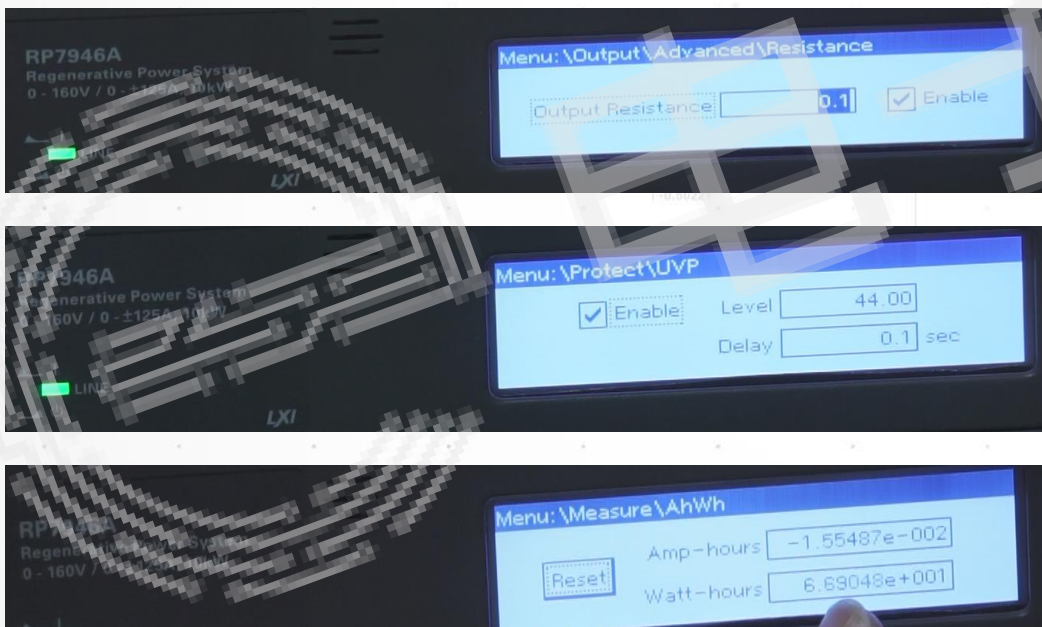
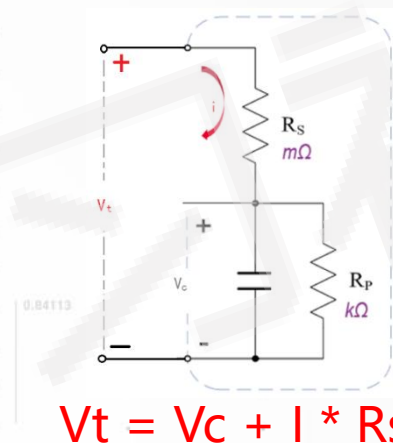
正负电流穿越时，极小的电压变化

电池模拟提示 2

内阻模拟、OVP、UVP, 电量计

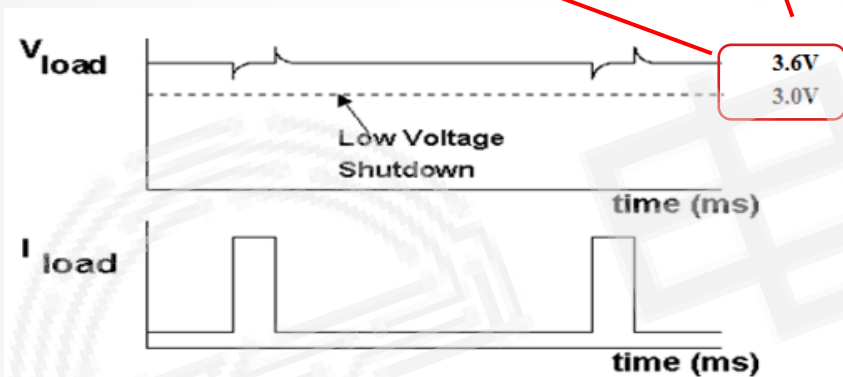
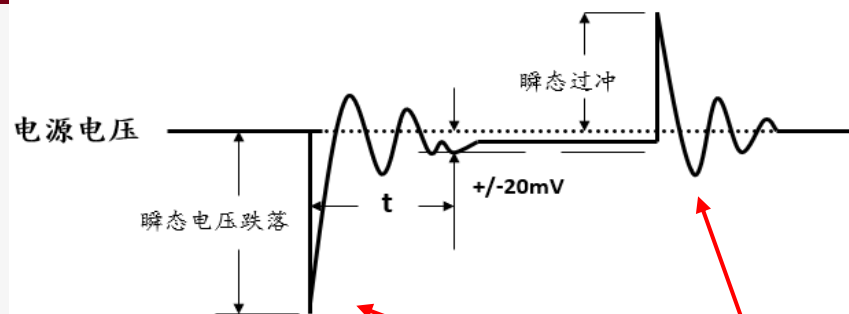
电池内阻是电池非常关键的核心参数, 影响各种电池曲线!

- ✓ 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



电池模拟提示 3

动态负载——超快的瞬态响应时间(<10US)



4G基站 vs 5G基站

4G基站	对比	5G基站
重量: ~13kg	~4倍重量	重量: ~45kg
功耗: ~400W	~2.5倍功耗	功耗: ~1000W
带宽: ~40MHz	~2.5倍带宽	带宽: ~100MHz

4G基站: 天线, RRU, BBU, 满配功耗: ~1000W
5G基站: AAU, BBU, 满配功耗: ~2000W

- ✓ 动态电流: 特别是TDD基站, 瞬间从 mA -- 50A/100A
- ✓ 供电电源必须足够快的瞬态响应能力

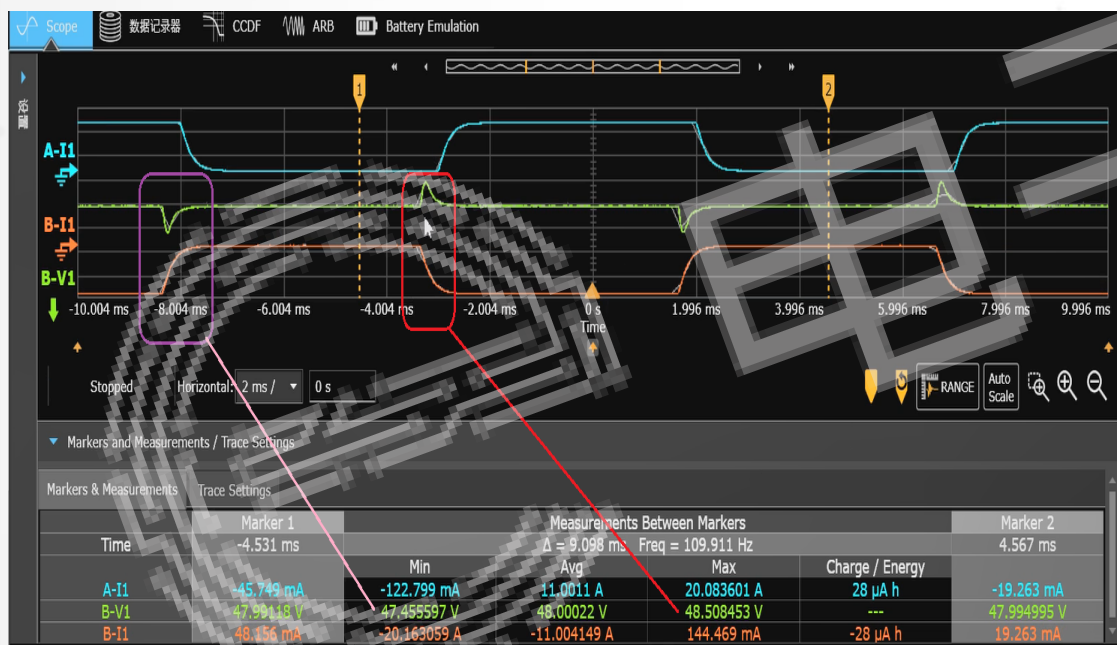
芯片IC

- ✓ FPGA工作电压: 0.9V
- ✓ 动态电流: 瞬间从 60A-120A
- ✓ 供电电源必须足够快的瞬态响应能力, 避免FPGA失效

APS 模拟电池性能

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 ± 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
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 accuracy³					
	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 16 mV
Current programming and measurement accuracy³					
	0.04% + 45 mA	0.03% + 13 mA	0.04% + 90 mA	0.03% + 25 mA	0.03% + 13 mA
Transient response⁴					
Recovery time	300 μs	300 μs	300 μs	300 μs	300 μs
Settling band	0.2 V	0.8 V	0.2 V	0.8 V	1.6 V

Overvoltage protection

Maximum setting:

1200 V

2400 V

Accuracy:

0.02% + 75 mV

0.02% + 150 mV

Response time:²

< 30 μs

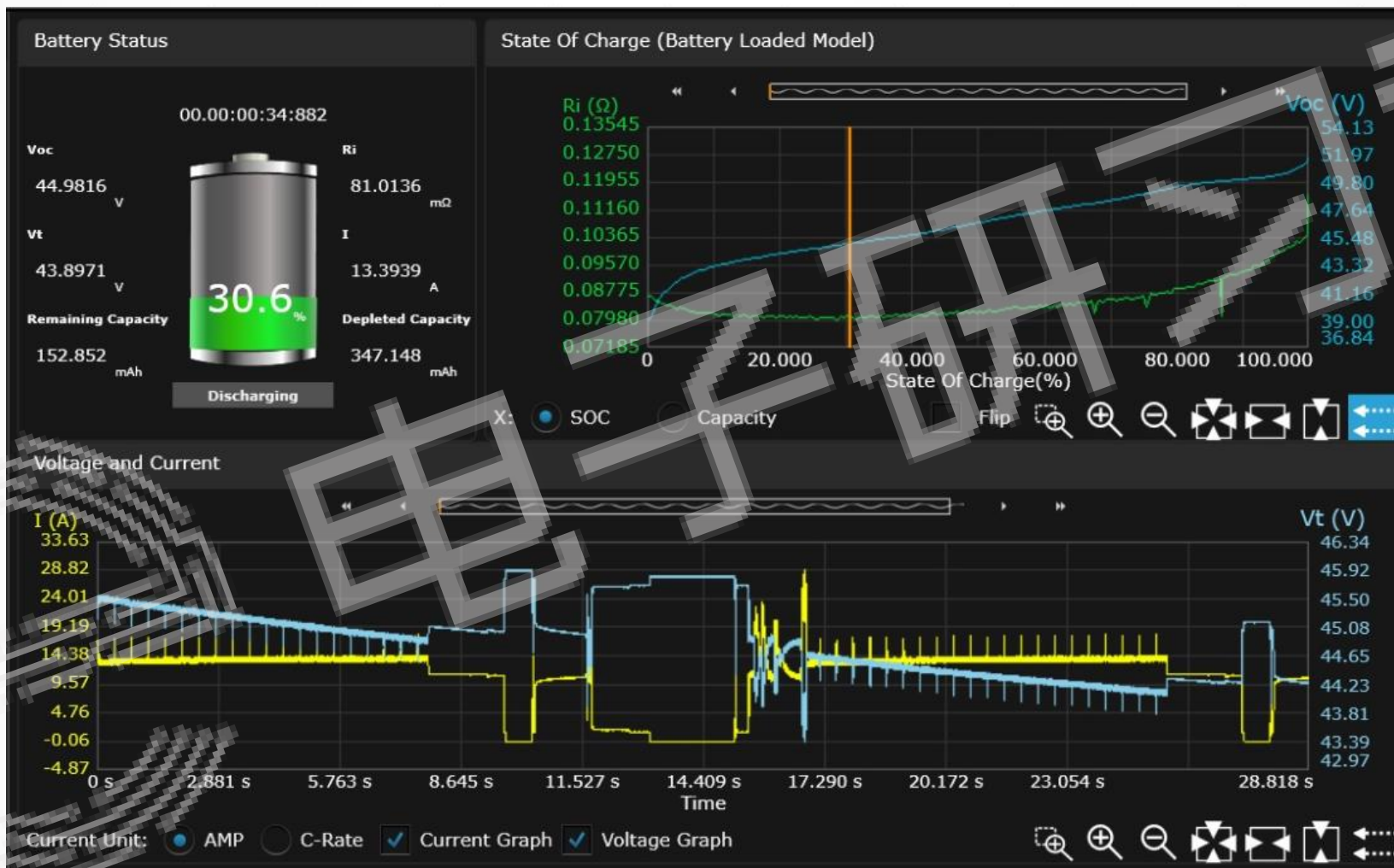
< 30 μs

BV9210B 电池测试和电池模拟器软件

- BV9210B - 同时4台仪表控制
- BV9211B - 单台仪表控制
- 四种操作模式：
 - 电池模型提取
 - 电池模拟器
 - 电池充/放电测试
 - 电池循环充/放电测试
- 提供API接口，允许进行软件的二次开发
- 支持多种仪表，覆盖20W - 400KW 应用领域
 - N6705C/N6700C主机 及 N6781-86A SMU模块
 - N7900A 1KW/2KW APS先进电源系统
 - RP7900 5KW-20KW R-APS 回馈先进电源系统



电池状态和高速动态模拟



我们今天的内容：

- ✓ 产品的功耗特性和续航评估
- ✓ 电池的特性
- ✓ 电池模拟和三个重要提示
- ✓ 演示

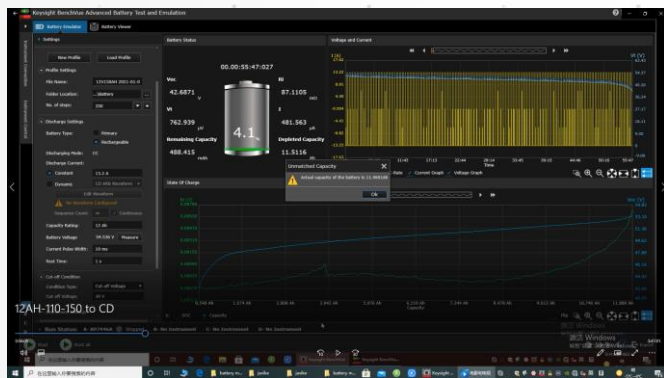


演示：提升逆变器工作的续航

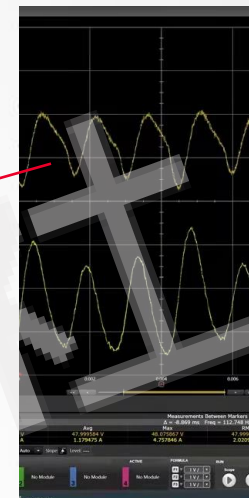
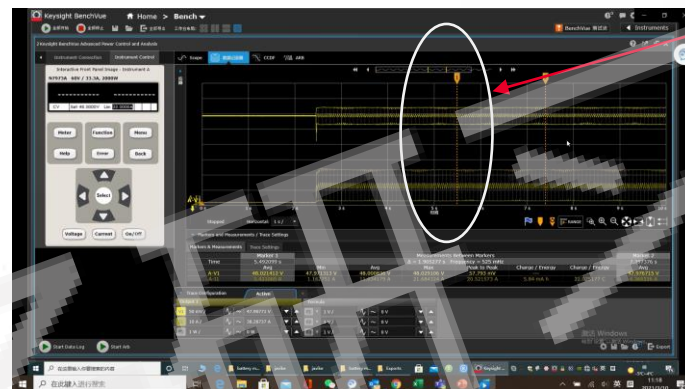


APS储能逆变器续航测试验证演示

对电池测试和模型提取

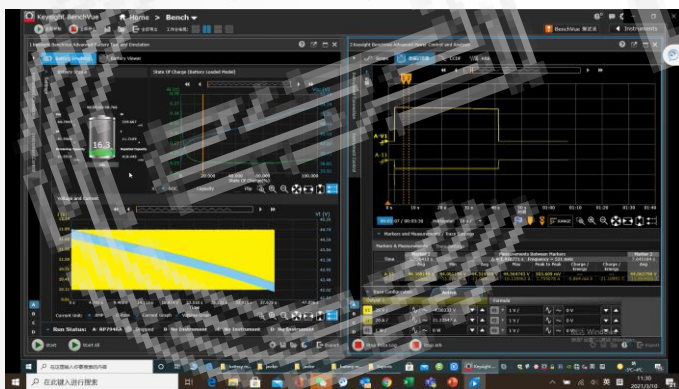


用APS测试逆变器的负载特性

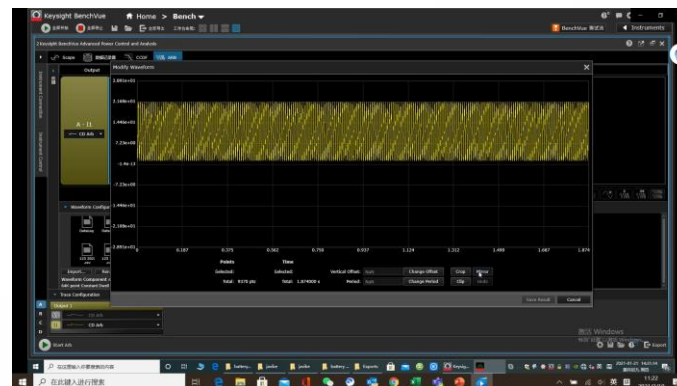


20A 的电流峰峰值噪声!

4 更换电池或改进模拟逆变器设计， 研究对续航的影响



模拟电池和逆变器， 测量续航能力



电池模型提取 (Profiler)

电量、内阻随开路电压的变化

DCR	Voc	Ahr	Soc	ΔVoc
0.027	3.440	0.000	0.000	0.000
0.026	3.657	0.040	4.279	0.217
0.027	3.716	0.081	8.605	0.059
0.028	3.735	0.123	12.983	0.019
0.029	3.762	0.163	17.298	0.027
0.030	3.788	0.204	21.643	0.025
0.031	3.811	0.246	26.065	0.023
0.031	3.828	0.288	30.511	0.017
0.031	3.841	0.330	34.895	0.012
0.030	3.852	0.371	39.247	0.012
0.030	3.866	0.412	43.597	0.014
0.029	3.882	0.453	47.950	0.016
0.029	3.900	0.494	52.295	0.018
0.028	3.922	0.535	56.644	0.022
0.028	3.948	0.576	60.990	0.025
0.027	3.976	0.617	65.336	0.029
0.027	4.006	0.658	69.703	0.030
0.027	4.037	0.699	74.050	0.031
0.027	4.070	0.740	78.412	0.033
0.027	4.105	0.782	82.768	0.035
0.027	4.143	0.823	87.121	0.037
0.027	4.182	0.864	91.462	0.039
0.028	4.213	0.904	95.710	0.031
0.028	4.236	0.944	100.000	0.024



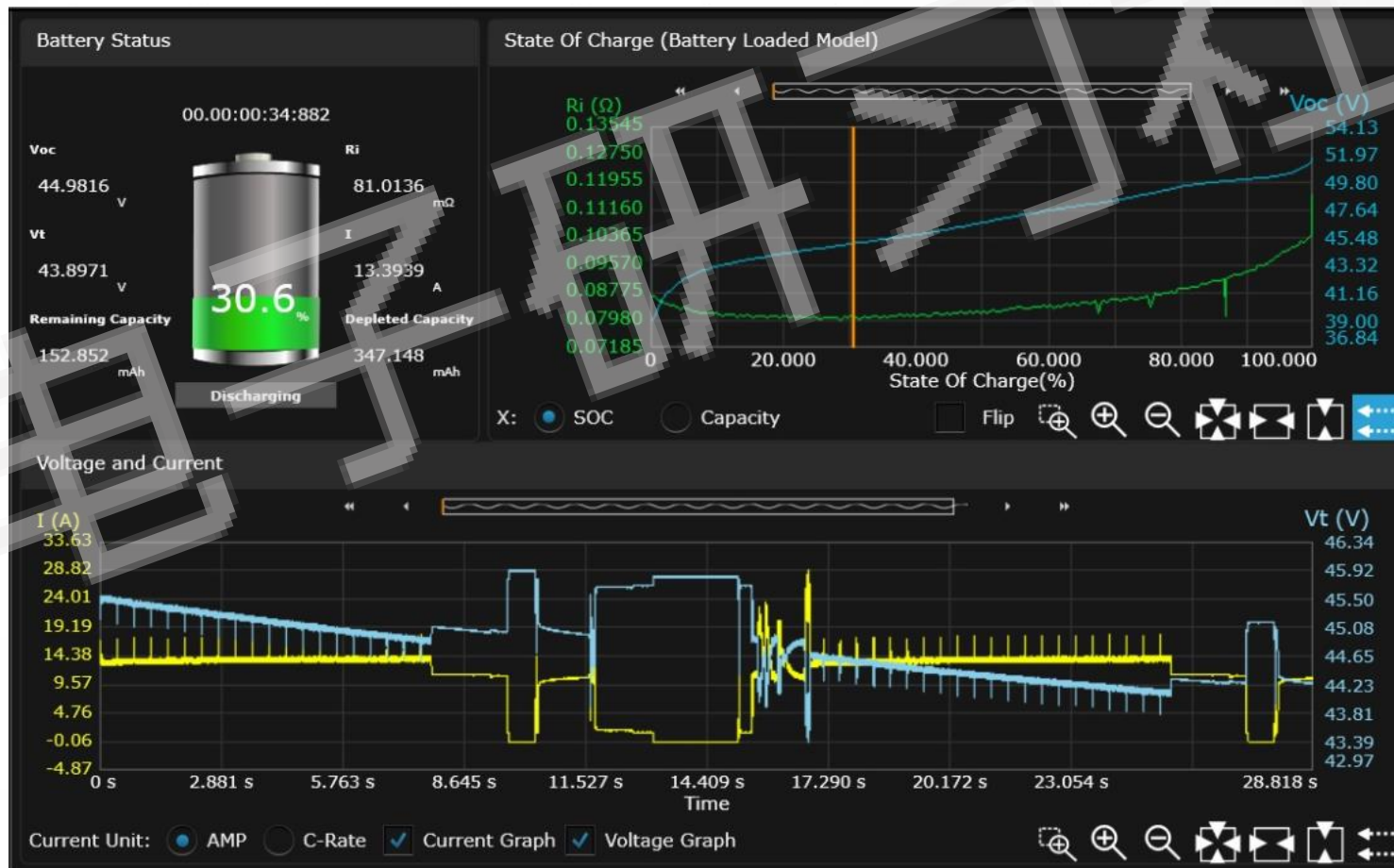
电池模拟器 (Emulate)

模拟真实的电池

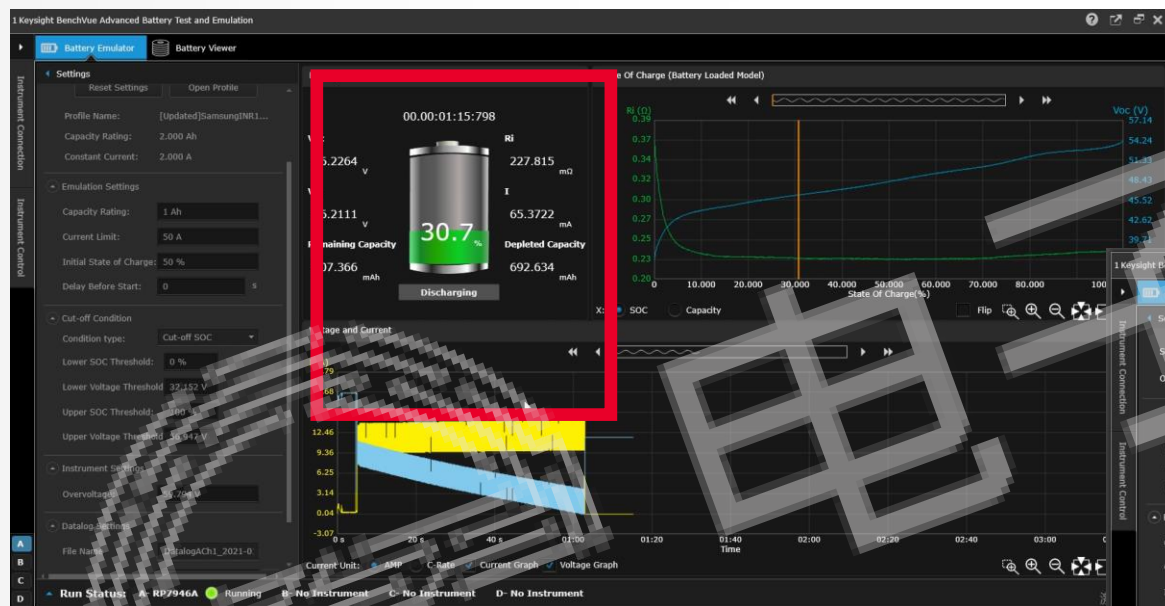
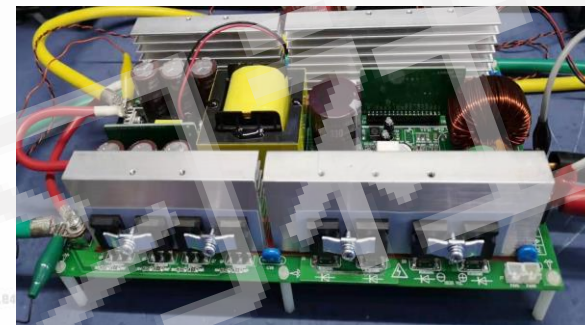
Operation Mode:



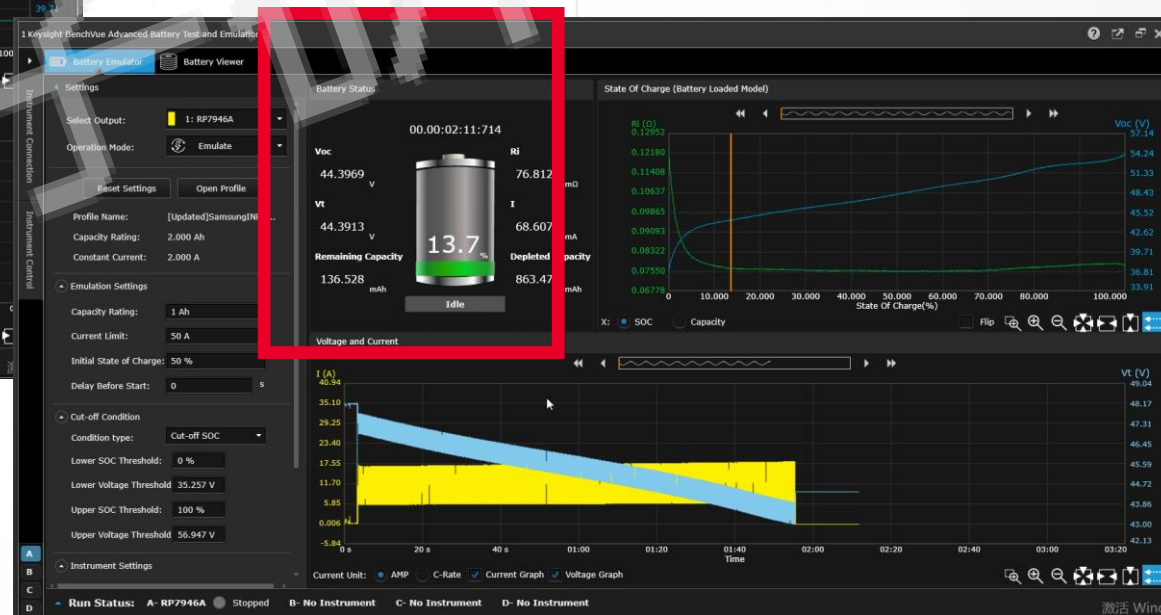
Emulate



改进逆变器的纹波，对电池续航的影响



改进前



改进后

从直流电源分析仪到APS

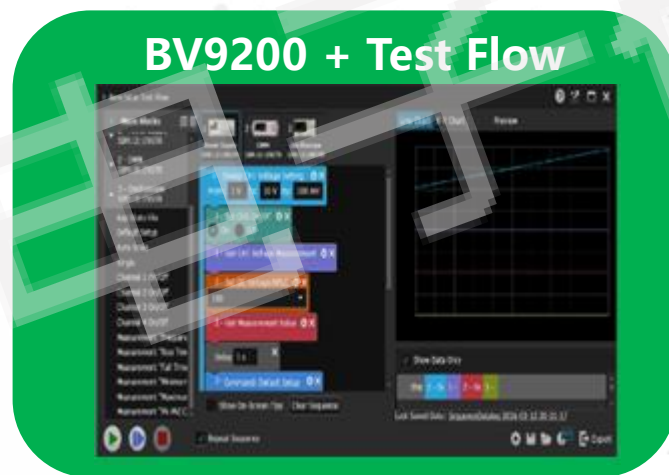
从功耗分析到电池表征、建模、模拟和续航评估



N6705C, 60V, 50A, 500W



- 1-4路的电源和负载
- 大功率任意波形发生器
- 电压、电流示波器
- 长时间电压、电流数据记录
- 无缝量程的电流测量
- 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



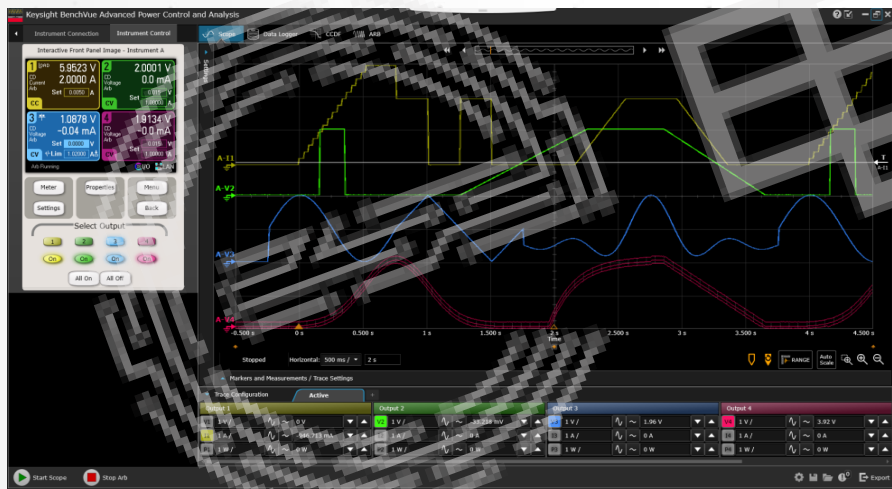
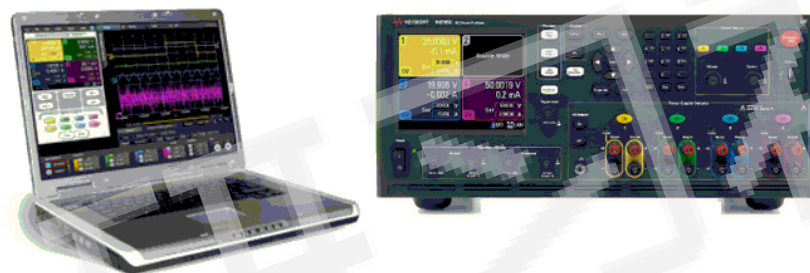
RP7900, 2000V, $\pm 800A$, 20KW
并机可达400KW



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

APS 帮助你解决最棘手的上电测试难题

- 构建无缝的电源和负载功能转换
- 大功率电源瞬变的仿真
- 对被测件进行正确的上电和下电
- 提高测试系统吞吐率
- 表征浪涌电流
- 跟踪记录供电事件, 分析故障的根本原因
- 精心保护被测件, 谨防供电损坏
- 表征动态电流波形
- 在动态负载条件下, 保持输出的稳定性



BV9200 APS电源控制分析软件

