

# 利用电池的模型提取和仿真， 优化和提升续航时间

# 新能源发展机遇

以电池为代表的储能设备市场需求激增



# 我们今天的内容:

- ✓ 设备功耗分析和模型的建立
- ✓ 电池特性分析、模型提取和电池模拟
- ✓ 优化产品功耗和电池选型, 以延长电池续航时间



# 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



BV9200 + Test Flow



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

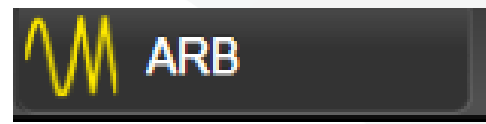


N7900, 160V, ±200A, 2KW

# BV9200B 先进电源控制软件

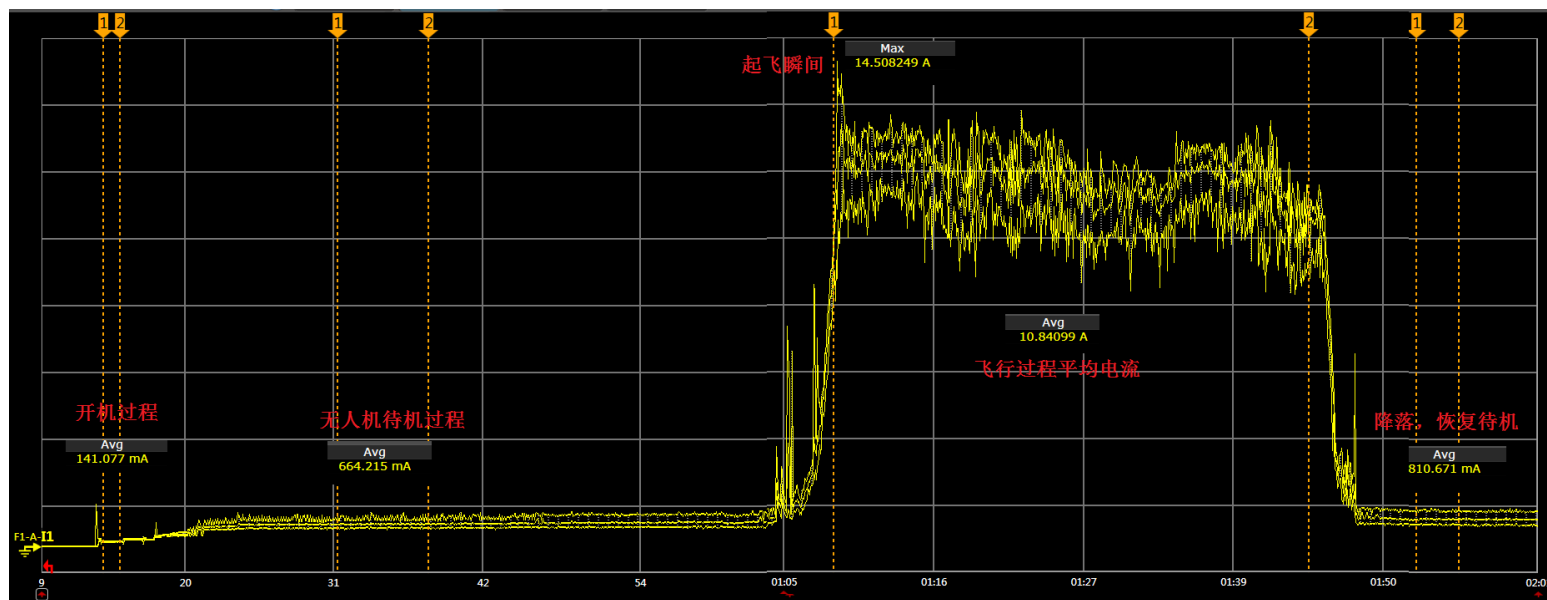
## 低功耗分析独一无二的利器

- 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 (64K Sa波形编辑) 和 CCDF (统计分析):
  - 示波器模式, 200K Sa/s, 18比特, 精确捕获电压和电流瞬态变化。
  - Data Logger记录仪模式, 200k Sa/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



# 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

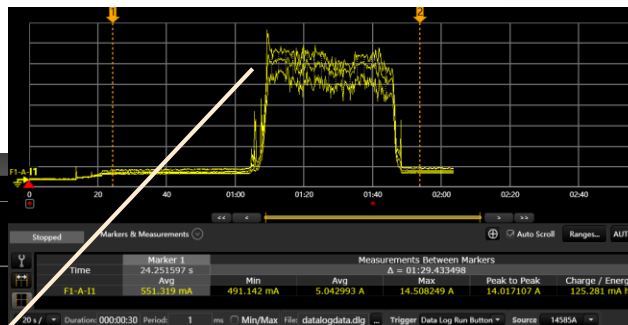
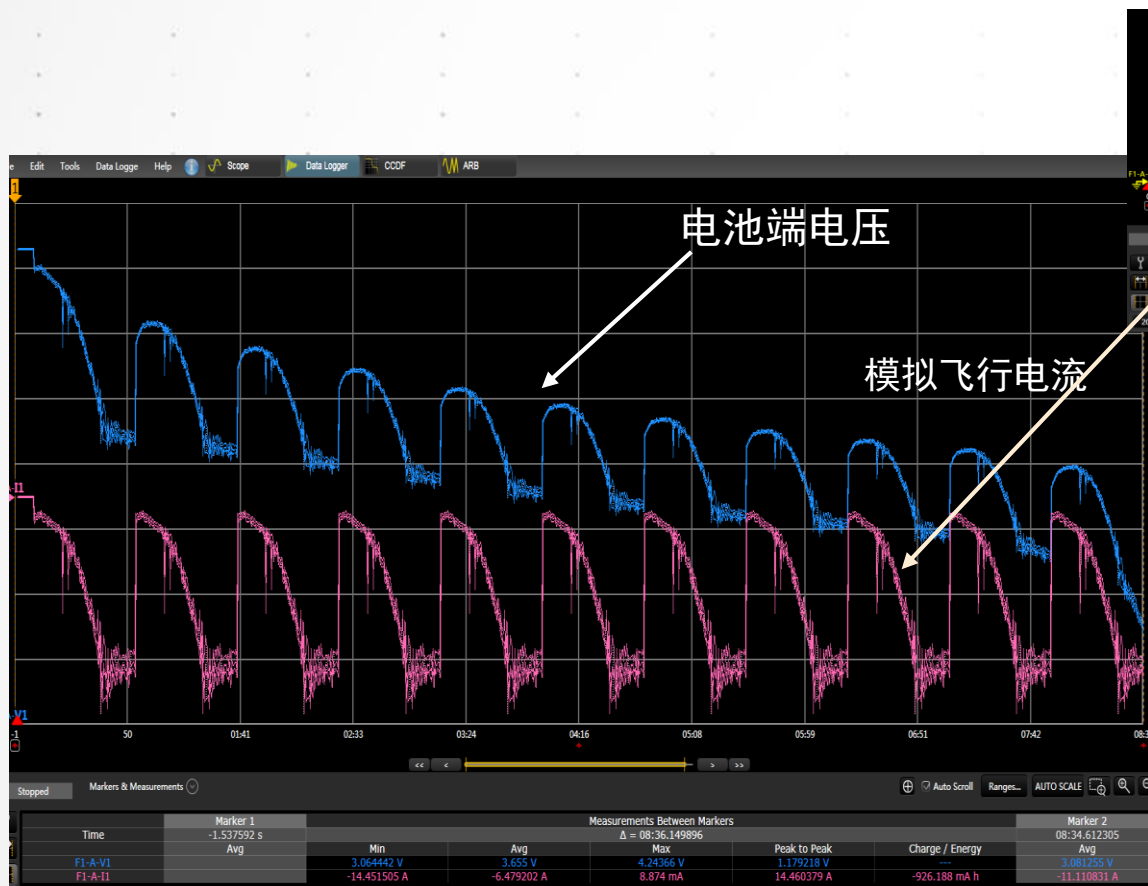
$$\text{续航时间} = \frac{yy \text{ mAh}}{xx \text{ mA}}$$



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%?



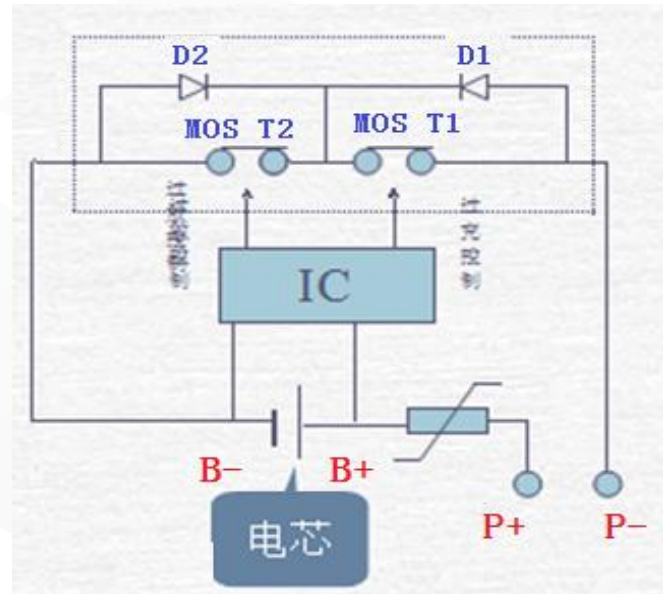
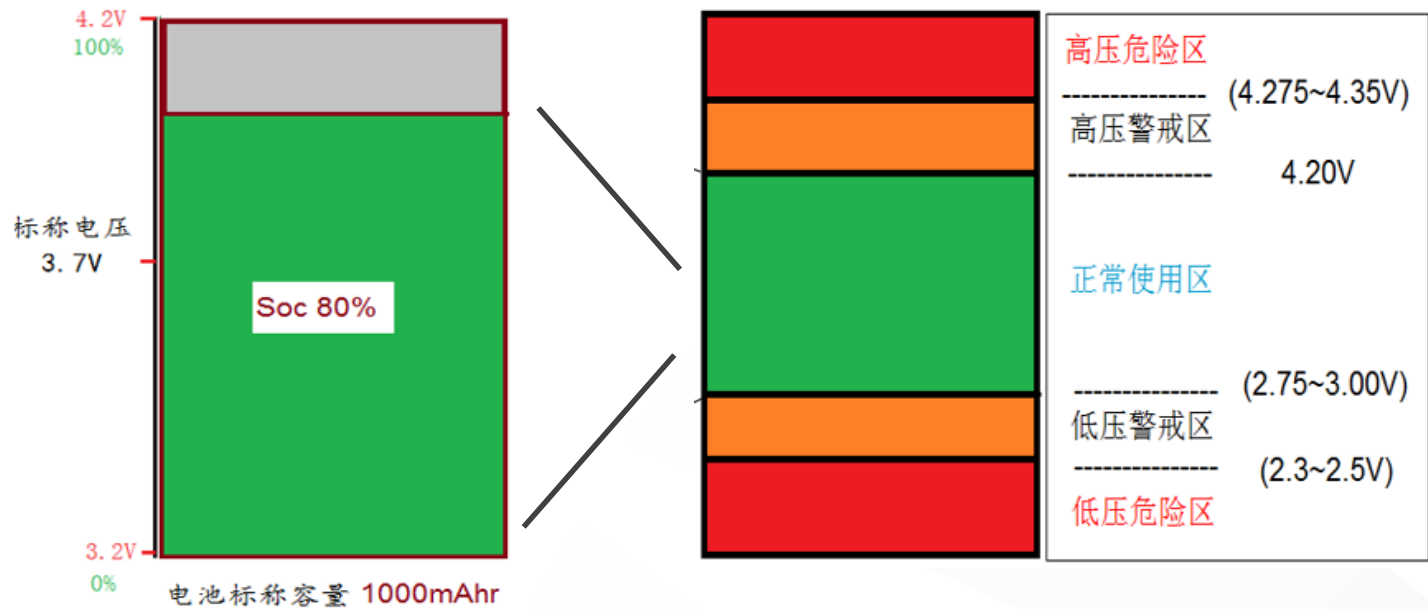
# 我们今天的内容：

- ✓ 物联网和智能设备功耗分析和模型的建立
- ✓ 电池特性分析、模型提取和电池模拟
- ✓ 优化产品功耗和电池选型，以延长电池续航时间



# 初识锂电池

## 电芯、模组和电池包



电池保护电路

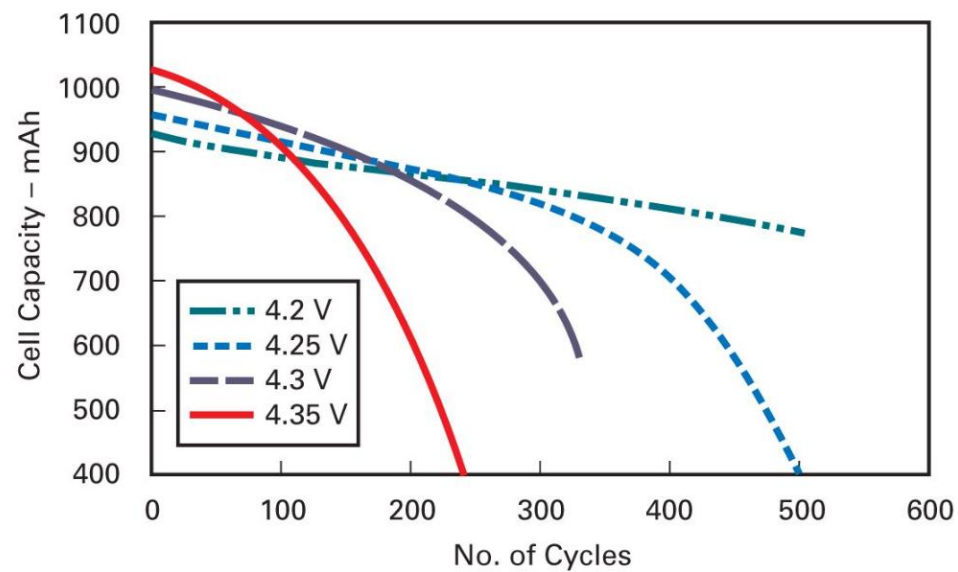
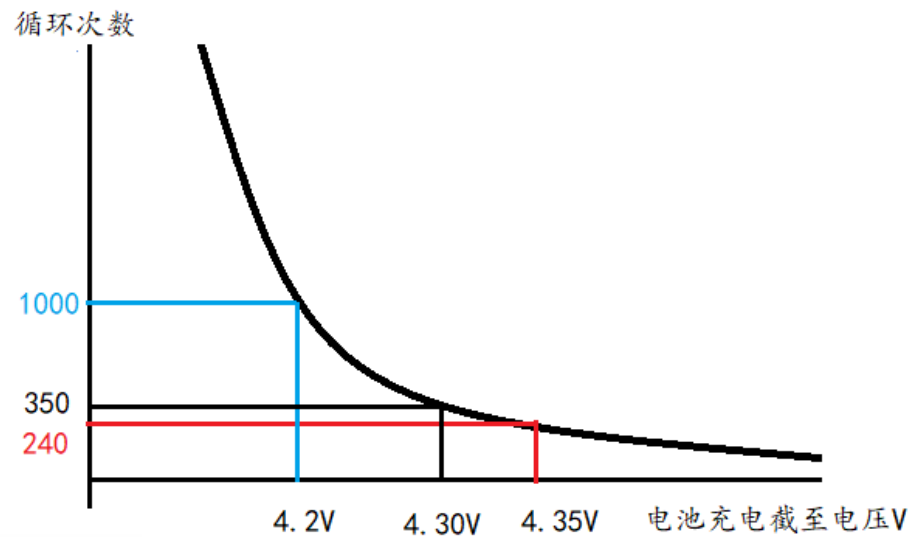
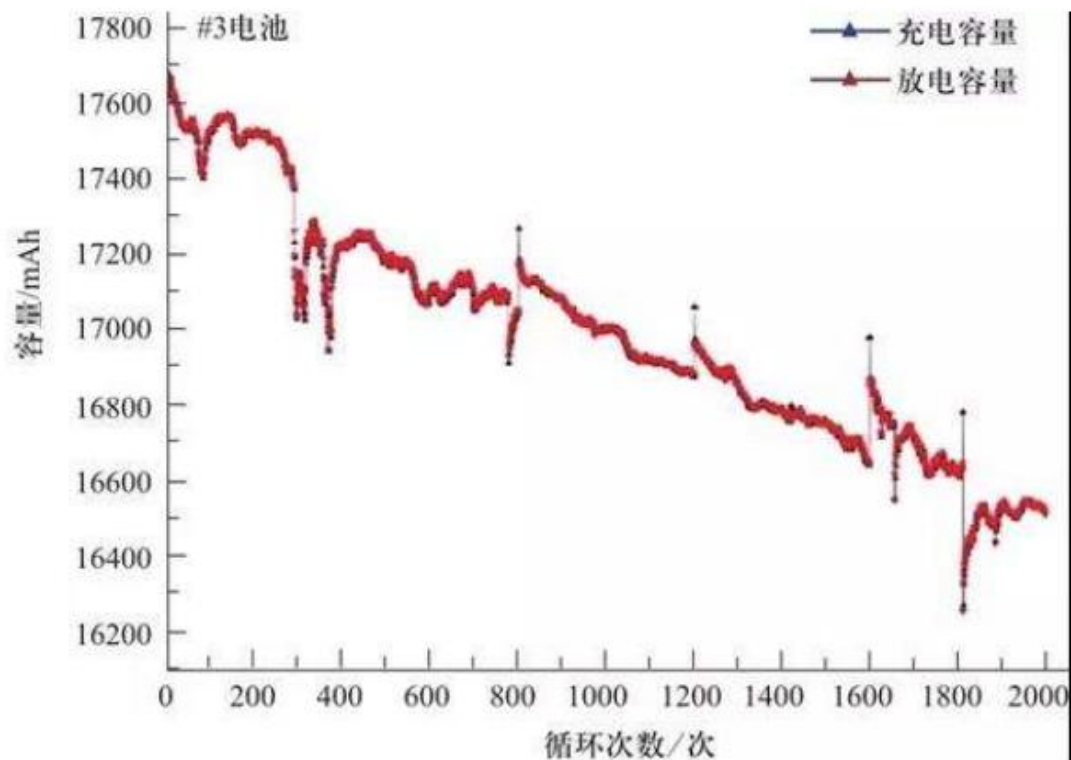
松下18650  
3400mAh



# 锂电池的几张非常重要曲线

## 电池寿命与截至电压

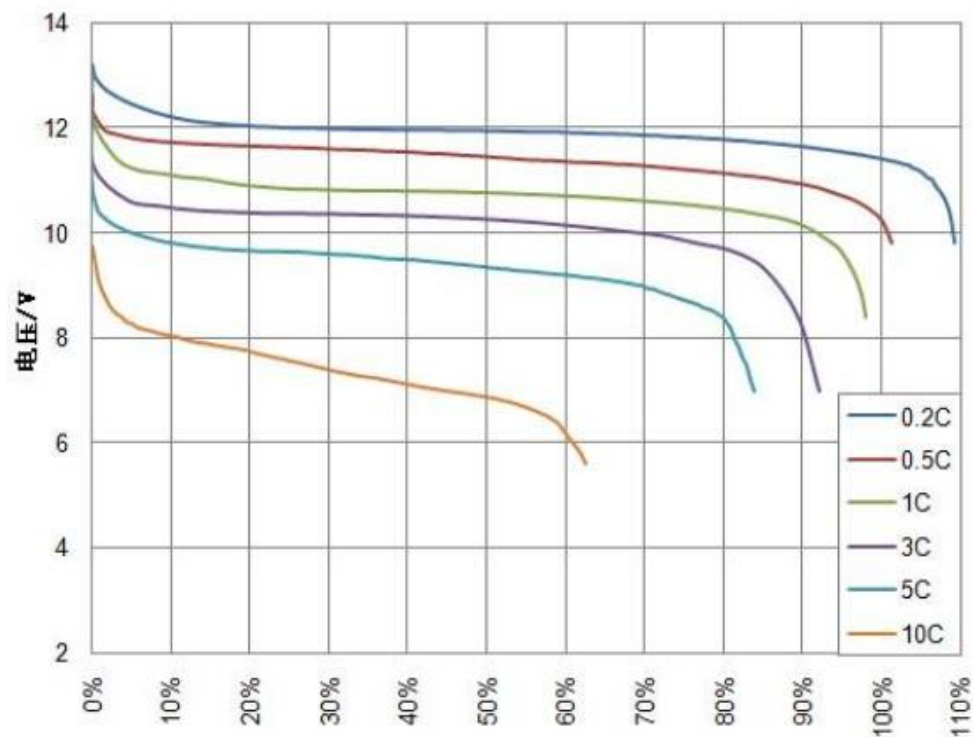
### 循环寿命和容量衰减



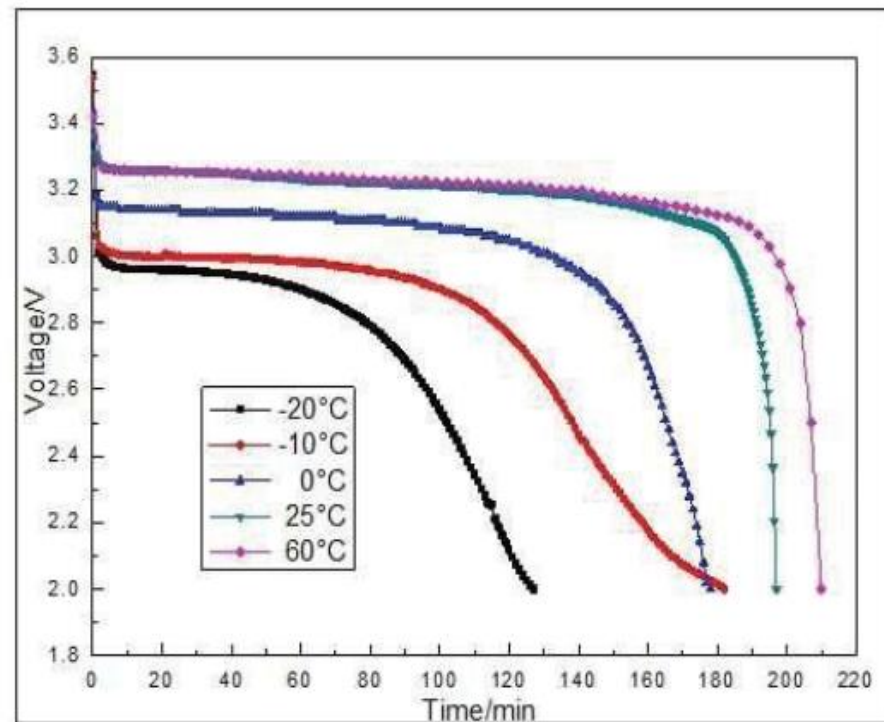
# 锂电池非常重要的曲线

## 电池容量与温度/倍率关系

### 放电容量vs倍率

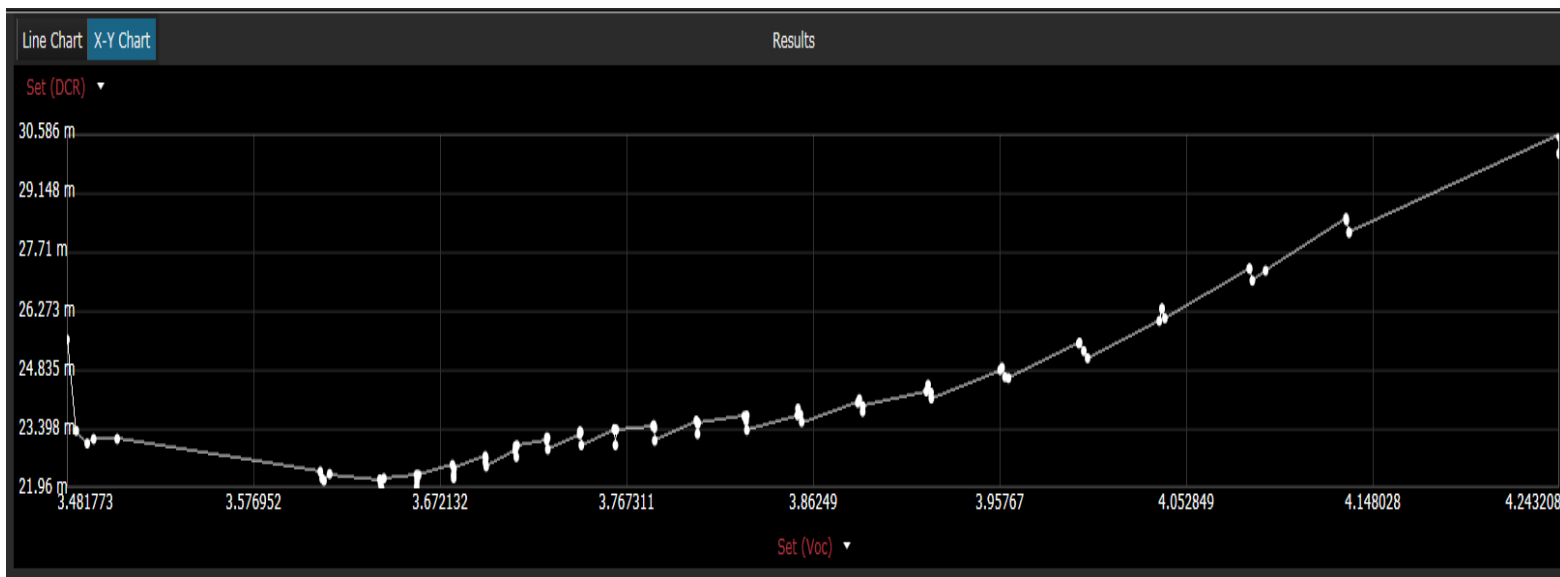


### 放电容量vs温度



# 多变的电池内阻

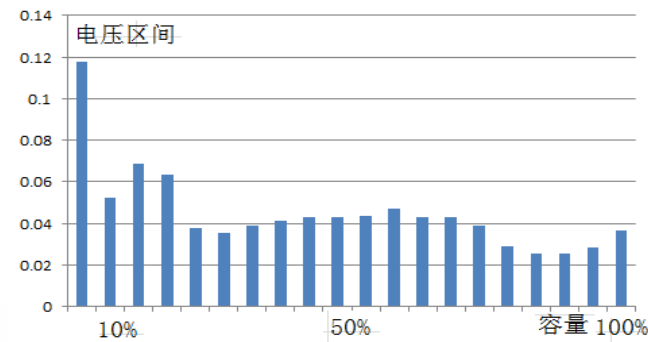
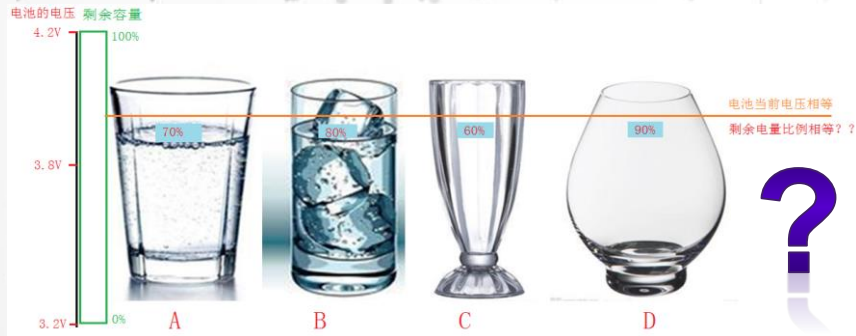
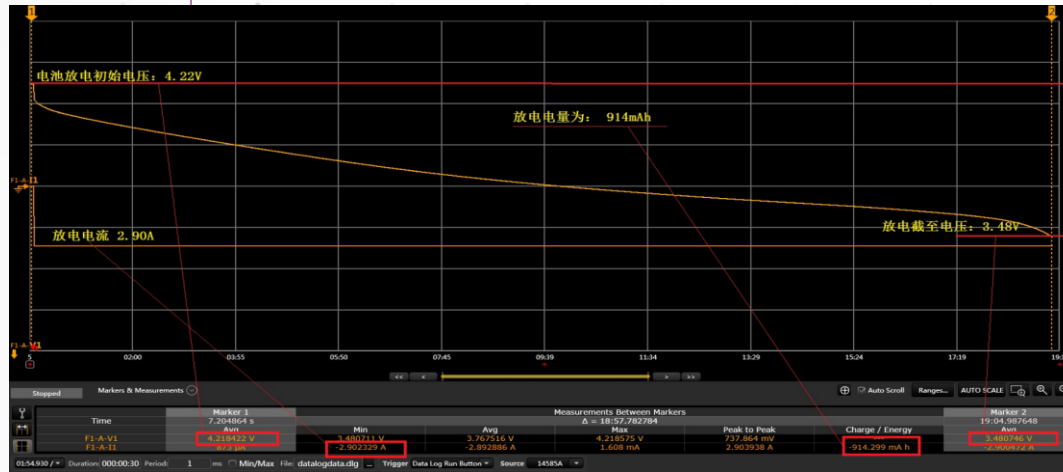
## 温度和容量SOC的影响



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

# 电池模拟

利用高性能电源和电池模型，模拟电池的真实特性

## 电池模拟



无人机锂电池专用充电器  
500瓦 15安



本充电器将AC电压转换为DC电压，适用于6.8节锂电池充电，存储充电，具备输出短路，反接保护功能。带数码管显示。

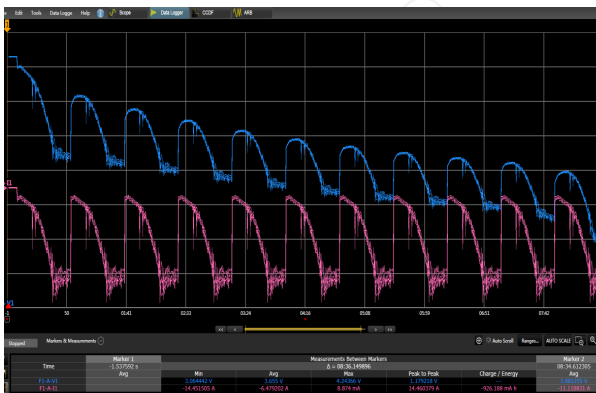
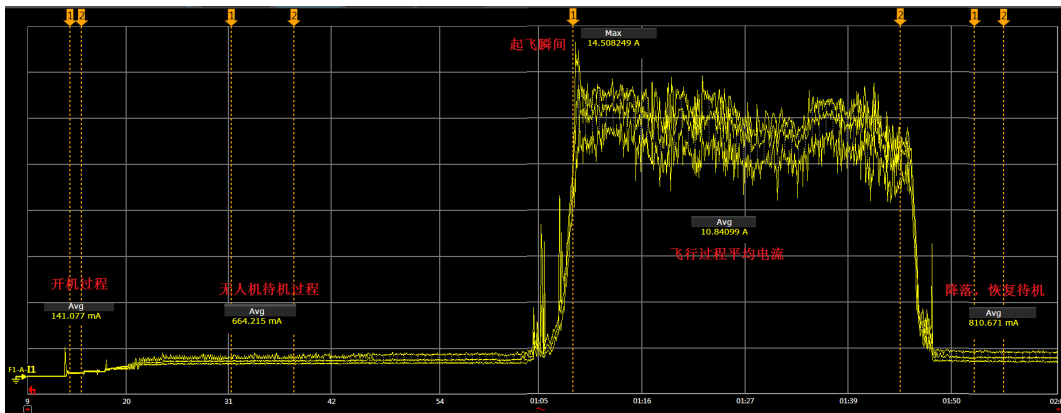


充分掌握电池特性和负载特性，为优化产品的功耗和选择最适合的电池找到最佳途径，从而延长电池工作寿命

# 执行步骤

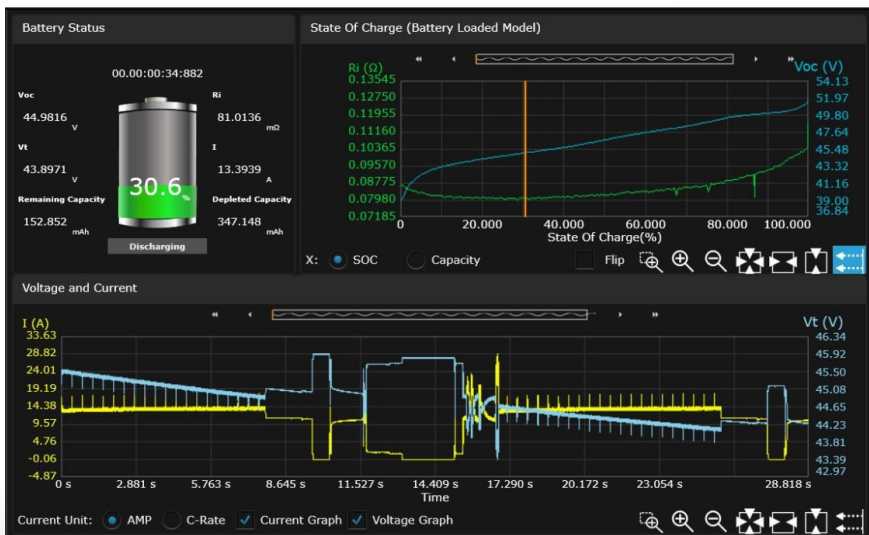
## 分析、模型提取、模拟、测试

初级



- 通过对电池的测试，选用性能较好的电池
- 提取功耗模型，测量不同电池的续航能力

高级



- 利用功耗模型和电池模型的模拟，快速评估电池的续航能力
- 更换可能的电池模型，模拟出不同负载的续航能力
- 模拟负载模型的优化，评估电池续航能力的变化

Optional Title of the Presentation



# 电池模拟的基本要求

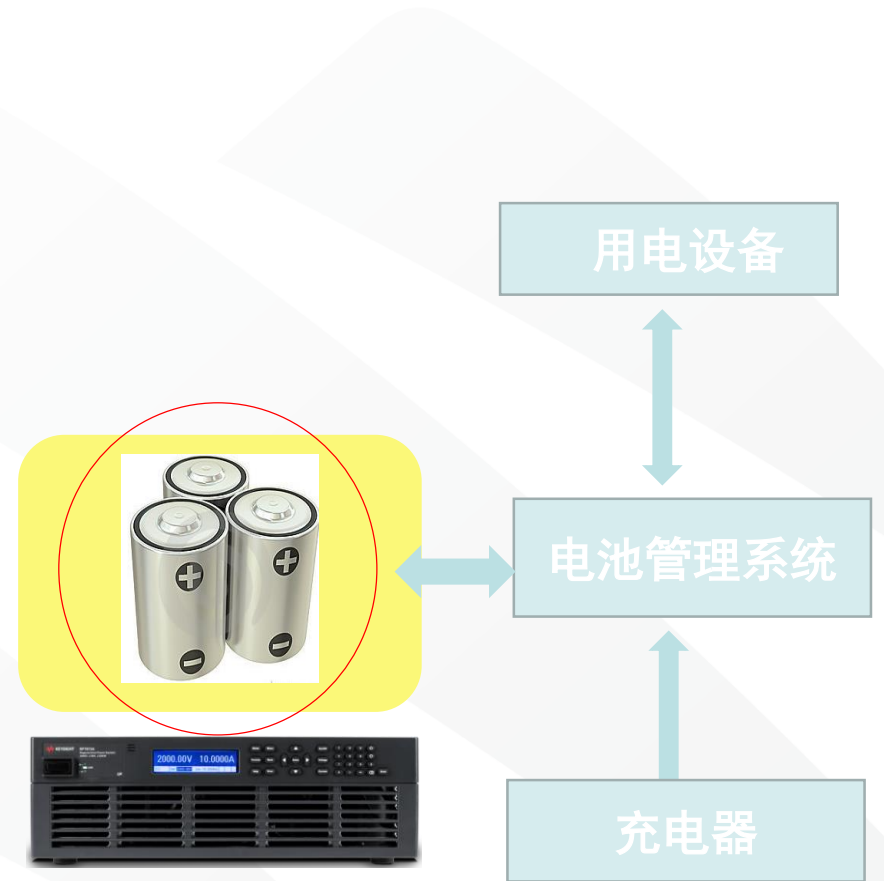
## 静态模拟和动态模拟

### 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

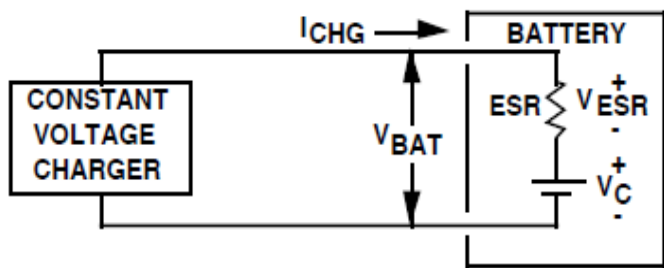
- 模拟充放电整个过程中电池端电压的变化
- 快速的电池端电压更新速率
- 充放电曲线加速测试
- 模拟蓄电池受环境因素影响，可以根据压力，温度等传感器数据修正电池容量，建立闭环仿真



# 电池等效模型和供电特性

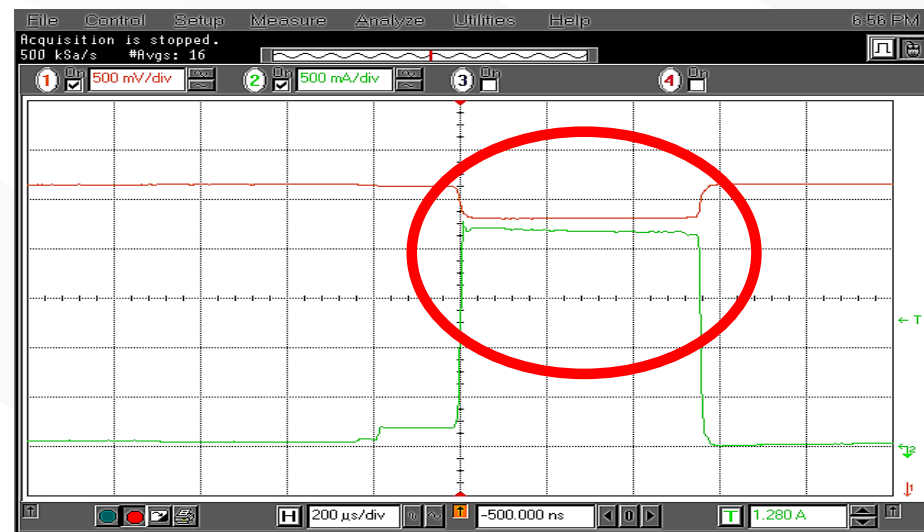
## 端电压和开路电压

- 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）



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

实际效果：当负载  
电流变化时，电池端电  
压会随之产生波动

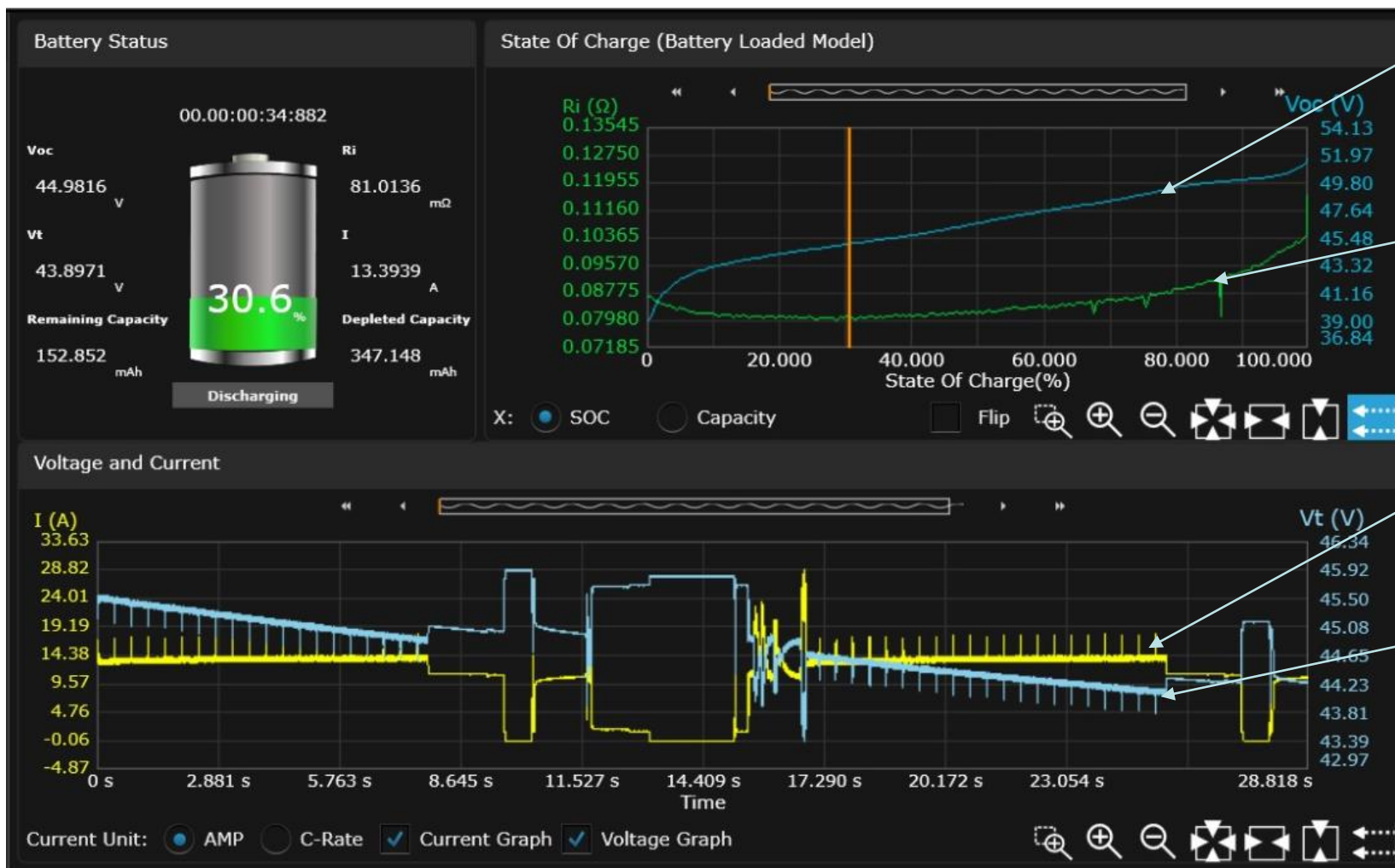


## 我们今天的内容：

- ✓ 物联网和智能设备功耗分析和模型的建立
- ✓ 电池特性分析、模型提取和电池模拟
- ✓ 优化产品功耗和电池选型，以延长电池续航时间



# 电池状态和高速动态模拟



电池的SOC

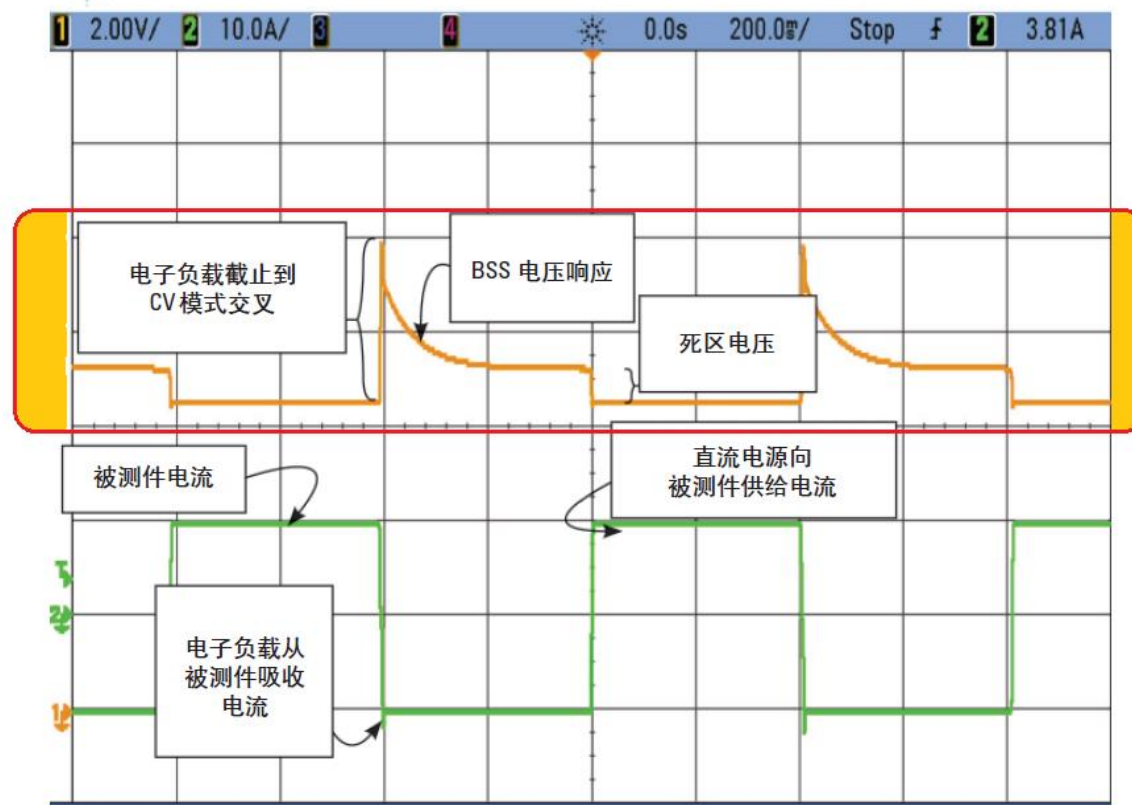
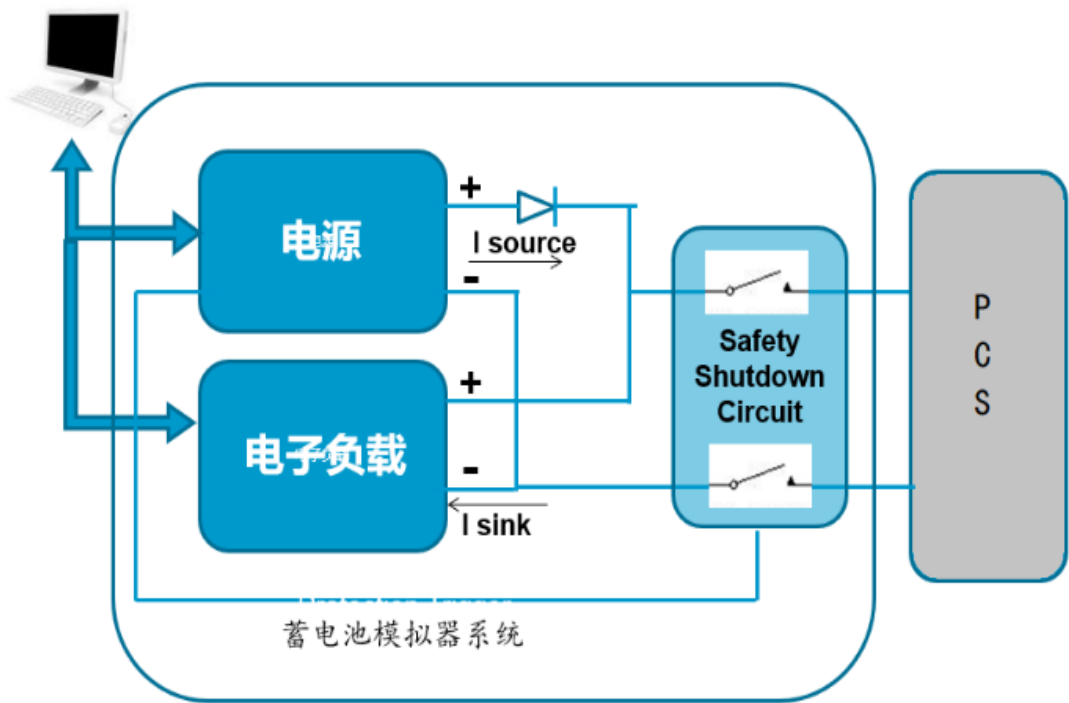
电池的内置

变化的端电压

变化的拉载电流

# 电池模拟提示 1

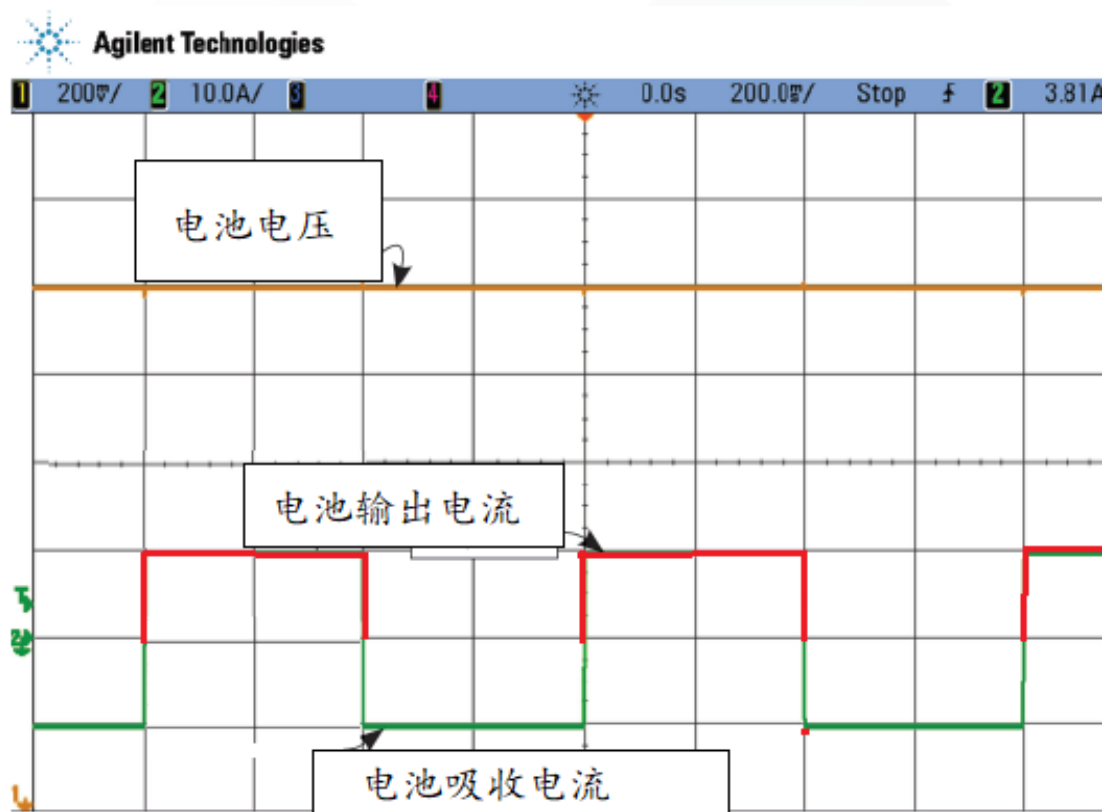
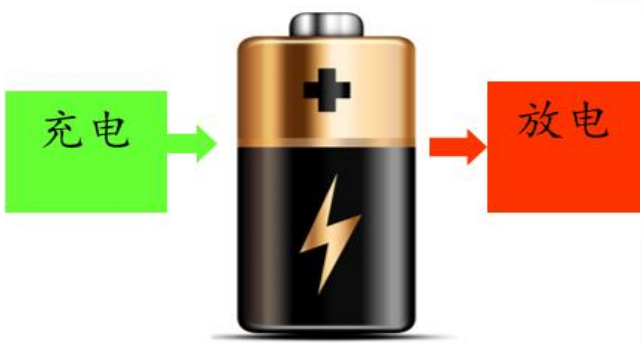
## 电源 + 负载模式存在的问题



# 电池模拟器”的提示1

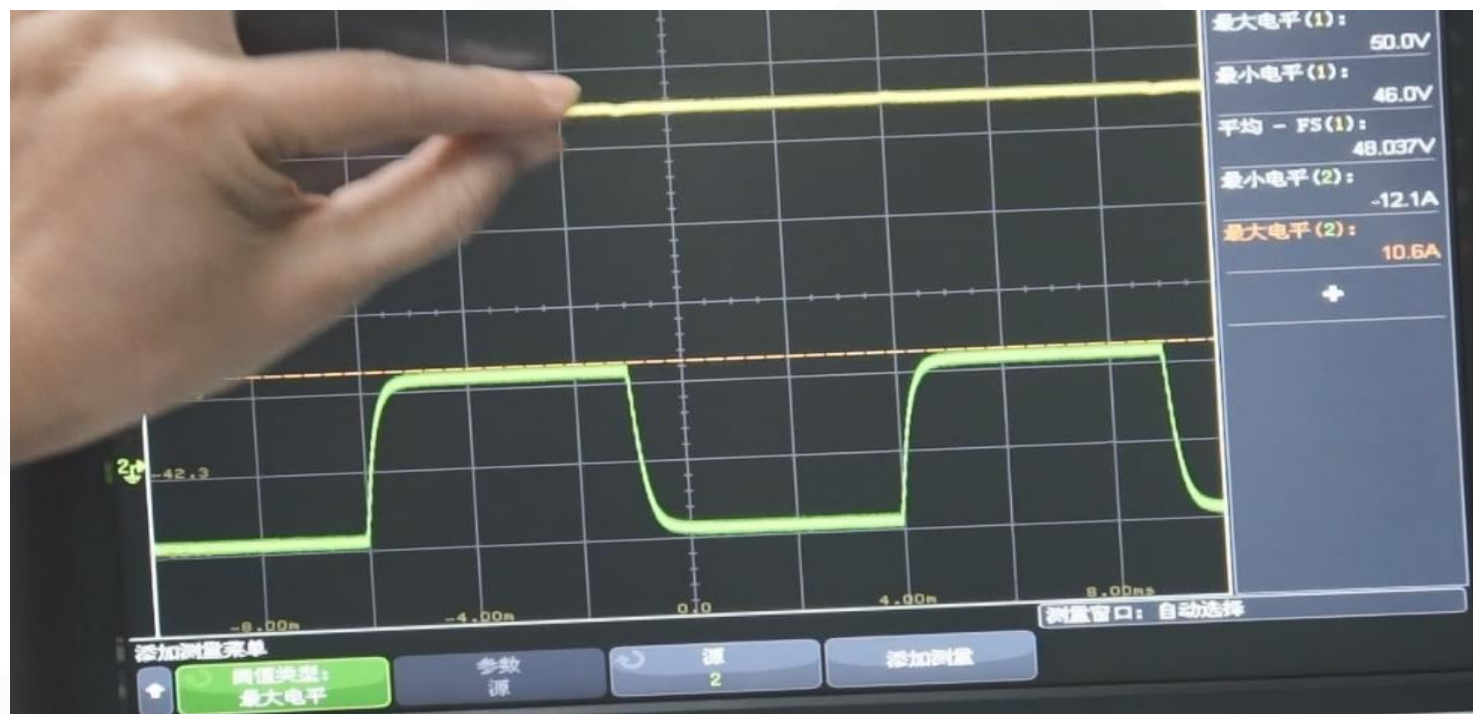
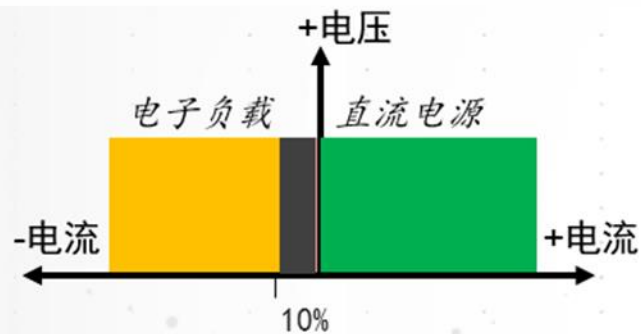
## 无缝正/负电流切换

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

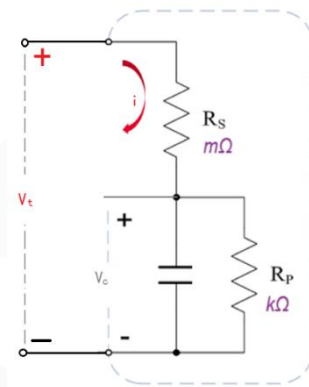


正负电流穿越时，极小的电压变化

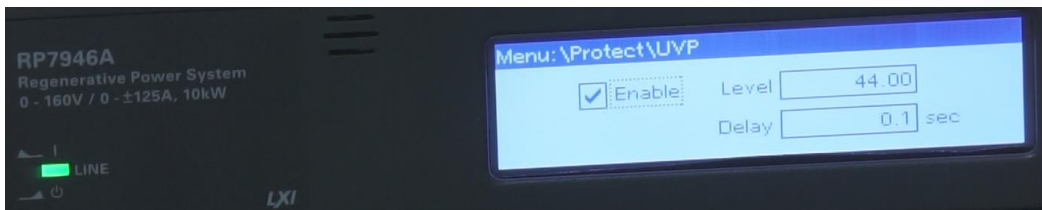
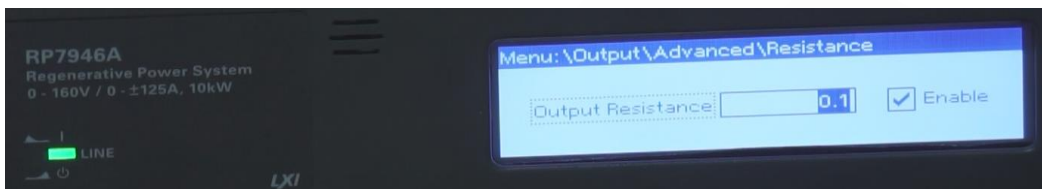
# 电池模拟提示 2

## 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



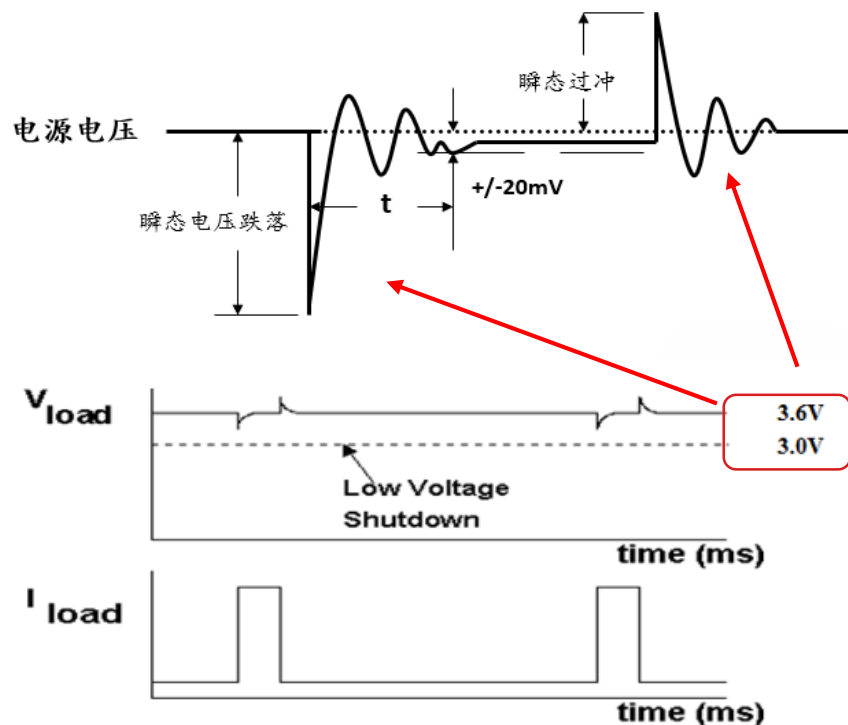
$$V_t = V_c + I * R_s$$





# 电池模拟提示 3

## 动态负载——超快的瞬态响应时间(<10US)



This section compares 4G and 5G base stations. On the left, a 4G station is shown with components: 天线 (Antenna), RRU, and BBU. Its specifications are: 重量: ~13kg, 功耗: ~400W, 带宽: ~40MHz, 满配功耗: ~1000W. On the right, a 5G station is shown with components: AAU and BBU. Its specifications are: 重量: ~45kg, 功耗: ~1000W, 带宽: ~100MHz, 满配功耗: ~2000W. Three red double-headed arrows between them indicate: ~4倍重量 (4x weight), ~2.5倍功耗 (2.5x power consumption), and ~2.5倍带宽 (2.5x bandwidth). To the right of the 5G station is a graph showing a square wave pulse. Below the comparison are two checkmarks: ✓ 动态电流: 特别是TDD基站, 瞬间从 mA -- 50A/100A (Dynamic current: especially TDD base stations, instant from mA -- 50A/100A) and ✓ 供电电源必须足够快的瞬态响应能力 (Power supply must have fast transient response capability).

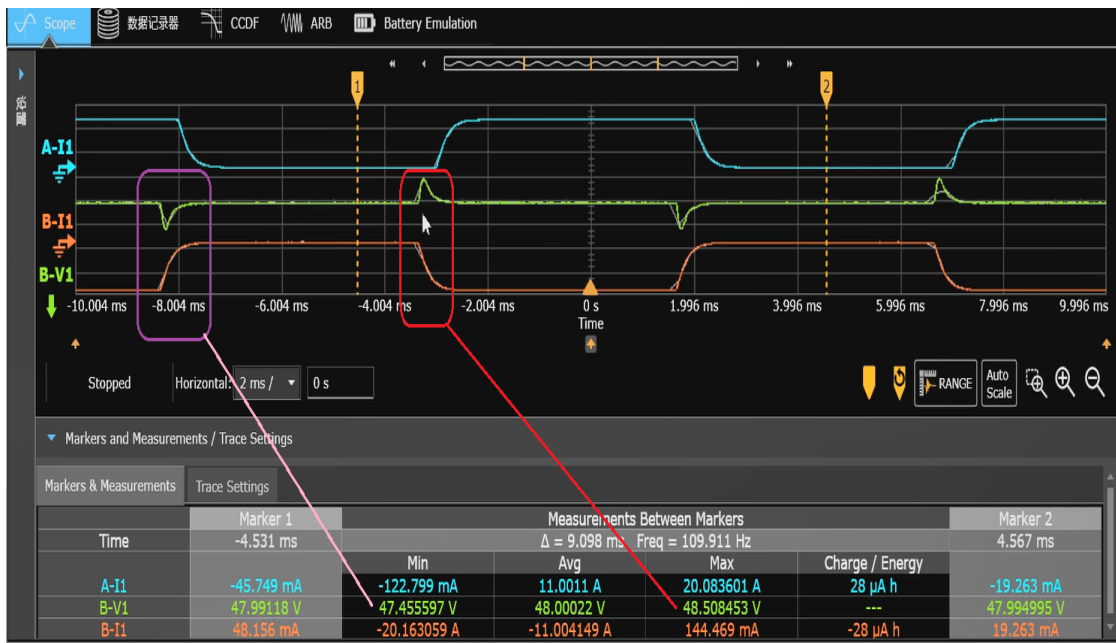
This section shows an FPGA chip and its electrical characteristics. On the left is a photograph of an FPGA chip. On the right is a graph showing 'FPGA 电流' (FPGA Current) in green and 'APS 电压' (APS Voltage) in yellow. The FPGA current shows a sharp spike followed by a steady-state level. Below the chip and graph are three checkmarks: ✓ FPGA工作电压: 0.9V (FPGA operating voltage: 0.9V), ✓ 动态电流: 瞬间从 60A-120A (Dynamic current: instant from 60A-120A), and ✓ 供电电源必须足够快的瞬态响应能力, 避免FPGA失效 (Power supply must have fast transient response capability to avoid FPGA failure).

# 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
<b>DC ratings</b>					
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
<b>Output ripple and noise</b>					
CV peak-to-peak <sup>1</sup>	30 mV	80 mV	30 mV	80 mV	200 mV
CV rms <sup>2</sup>	3 mV	8 mV	3 mV	8 mV	20 mV
<b>Load regulation</b>					
Voltage	1 mV	3 mV	1 mV	3 mV	6 mV
Current	25 mA	13 mA	50 mA	25 mA	13 mA
<b>Voltage programming and measurement accuracy<sup>3</sup></b>					
	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 2 mV	0.02% + 8 mV	0.02% + 16 mV
<b>Current programming and measurement accuracy<sup>3</sup></b>					
	0.04% + 45 mA	0.03% + 13 mA	0.04% + 90 mA	0.03% + 25 mA	0.03% + 13 mA
<b>Transient response<sup>4</sup></b>					
Recovery time	300 $\mu$ s	300 $\mu$ s	300 $\mu$ s	300 $\mu$ s	300 $\mu$ 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:<sup>2</sup>

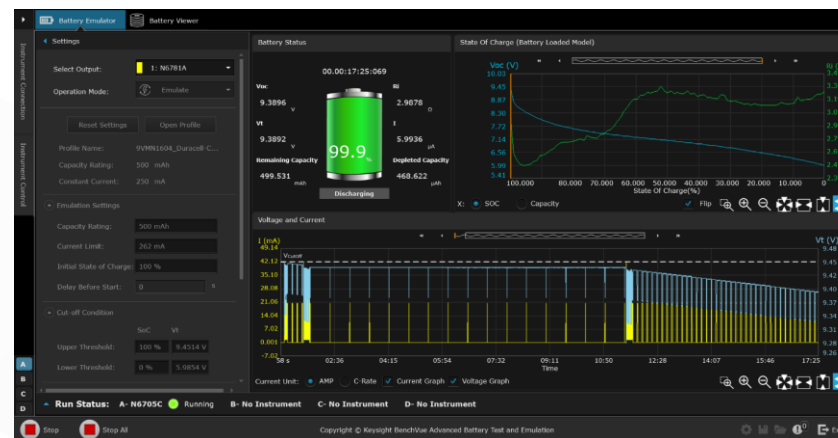
1200 V  
0.02% + 75 mV  
< 30  $\mu$ s

2400 V  
0.02% + 150 mV  
< 30  $\mu$ s

# BV9210B 电池测试和电池模拟器软件

## 测试、模型提取、模拟、测试

- 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



## 我们今天的内容：

- ✓ 设备功耗分析和模型的建立
- ✓ 电池特性分析、模型提取和电池模拟
- ✓ 优化产品功耗和电池选型，以延长电池续航时间



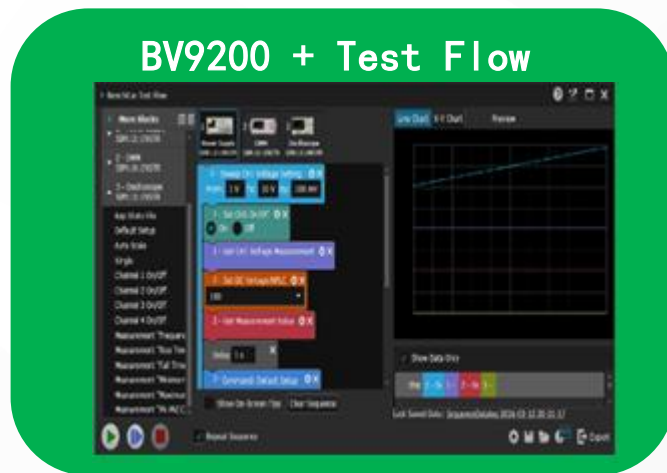
# 从直流电源分析仪到APS

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



BV9200 + Test Flow

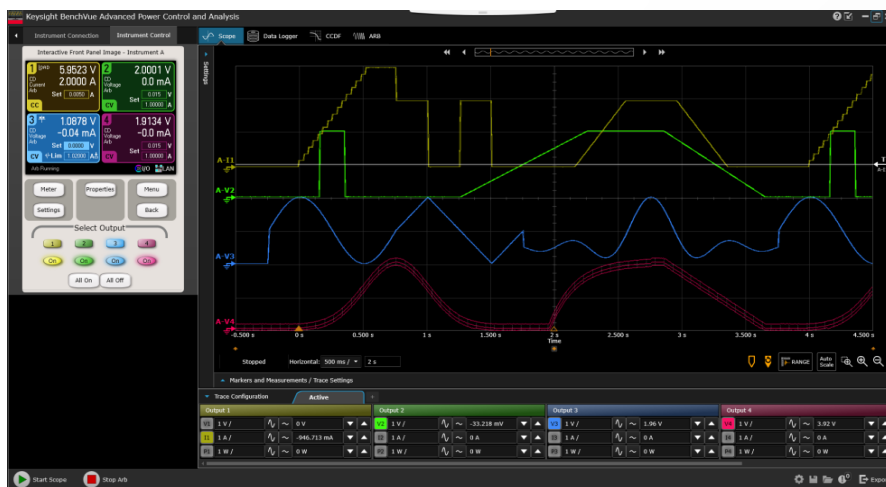


RP7900, 2000V,  $\pm 800A$ , 20KW  
并机可达400KW



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

# APS 帮助你解决最棘手的上电测试难题



BV9200 APS电源控制分析软件

