

电池模型提取和模拟器、产品续航时间的优化



吕宝华

是德科技（中国）有限公司

你是否在研发以下类型的产品和有续航焦虑？



续航时间或续航里程的预测和评估



$$\text{续航时间} n = \frac{yy \text{ Ah}}{xx \text{ A}}$$

平均功耗电流: $xx \text{ A}$



电量不足的**焦虑**



电池容量: $yy \text{ Ah}$

 Battery Viewer

Instrument Connection

Open Profile

Constant Current: 2.000 A

Instrument Control

1 Ah

50 A

50 %

0

0 %

32.152 V

100 %

56.947 V

A

A- RP7946A ● Stopped

C- No Instrument

D- No Instrument



2



Keysight BenchVue
Advanced Power Cont

+ Add



 >>

 SRI

Serial Control
COM Port

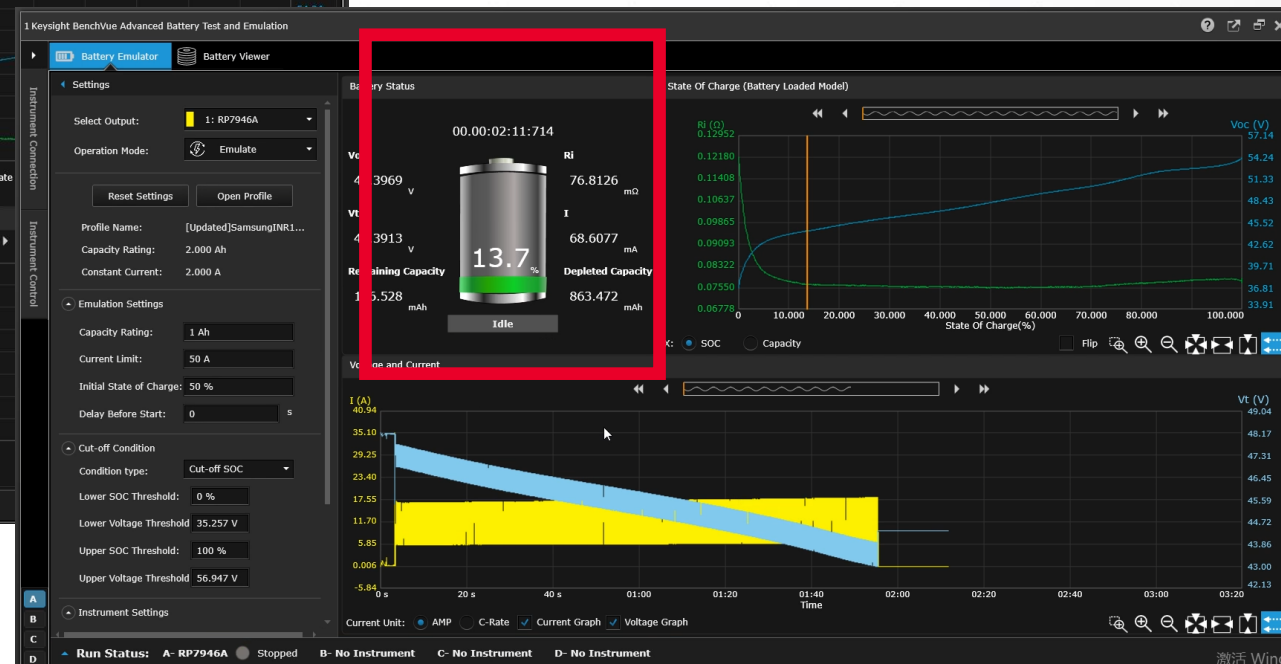
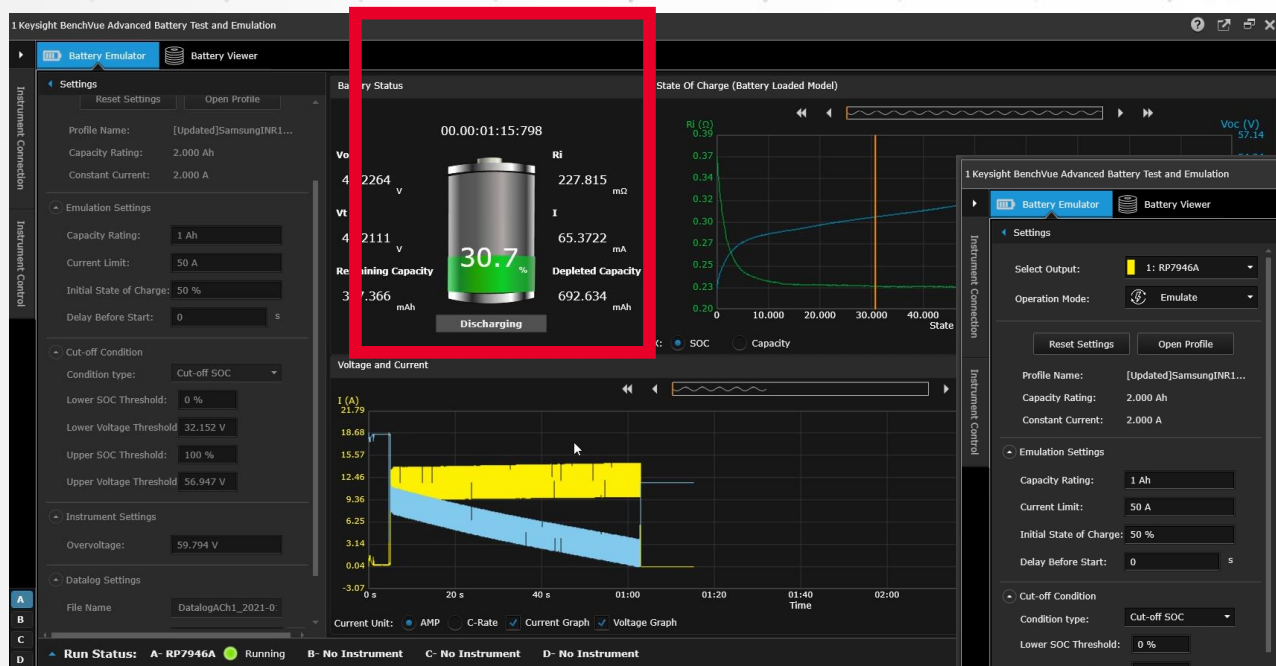
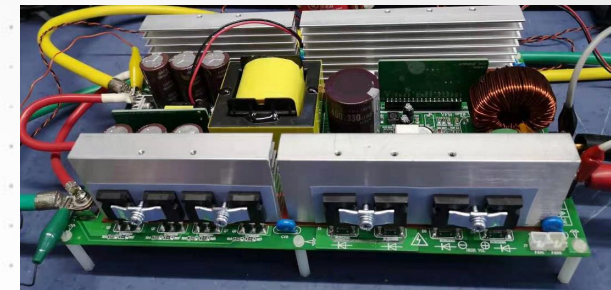
 在这里输入你要搜索的内容

○    battery model ex...      Keysight BenchVue



晴 5°C ~ 10°C 9

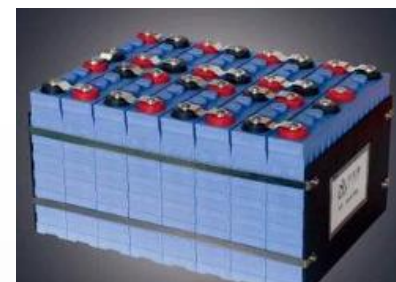
1) 不同电池A/B剩余电量—相同逆变器



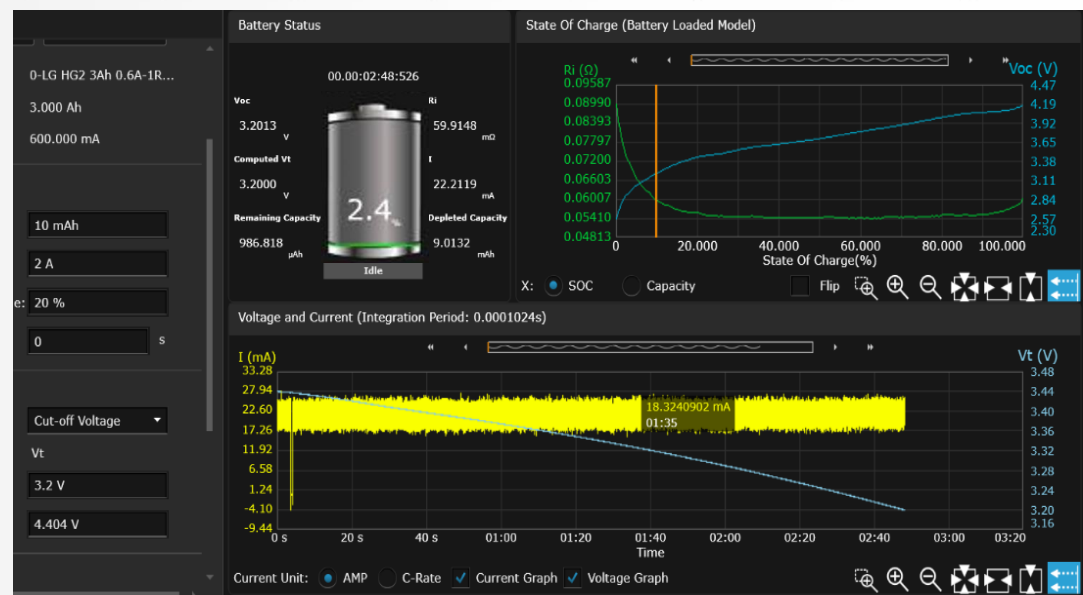
电池模型A



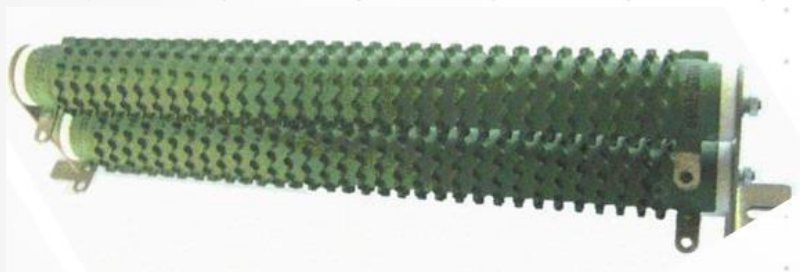
电池模型B



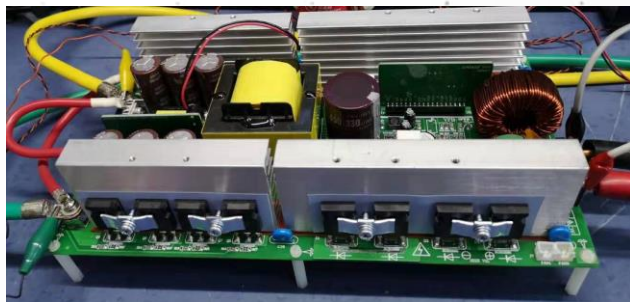
2) 不同逆变器剩余电量比较——相同电池



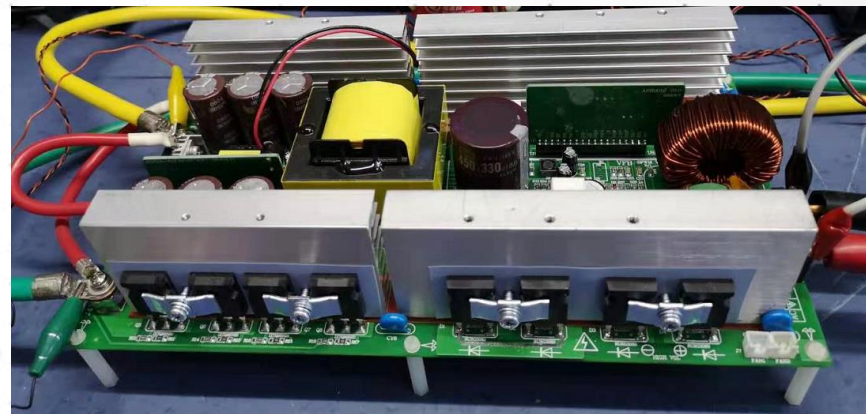
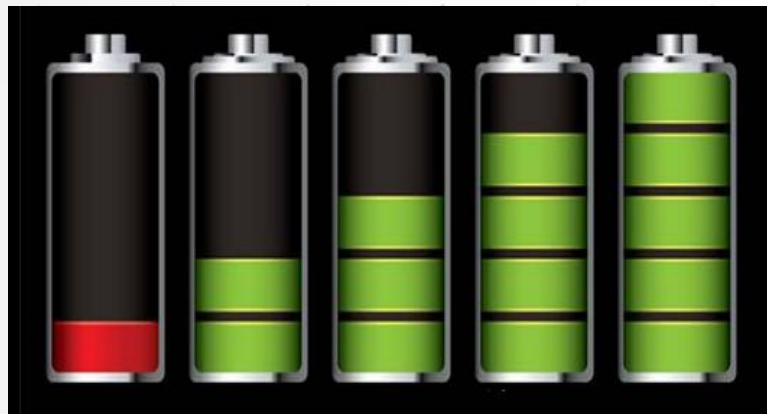
DUT 1



DUT 2



续航时间精准评估的方法



提取“真实”的电池模型

提取产品DUT的“功耗”模型

“精准”的电池模拟

交叉遍历各种DUT功耗 + 电池状态的性能

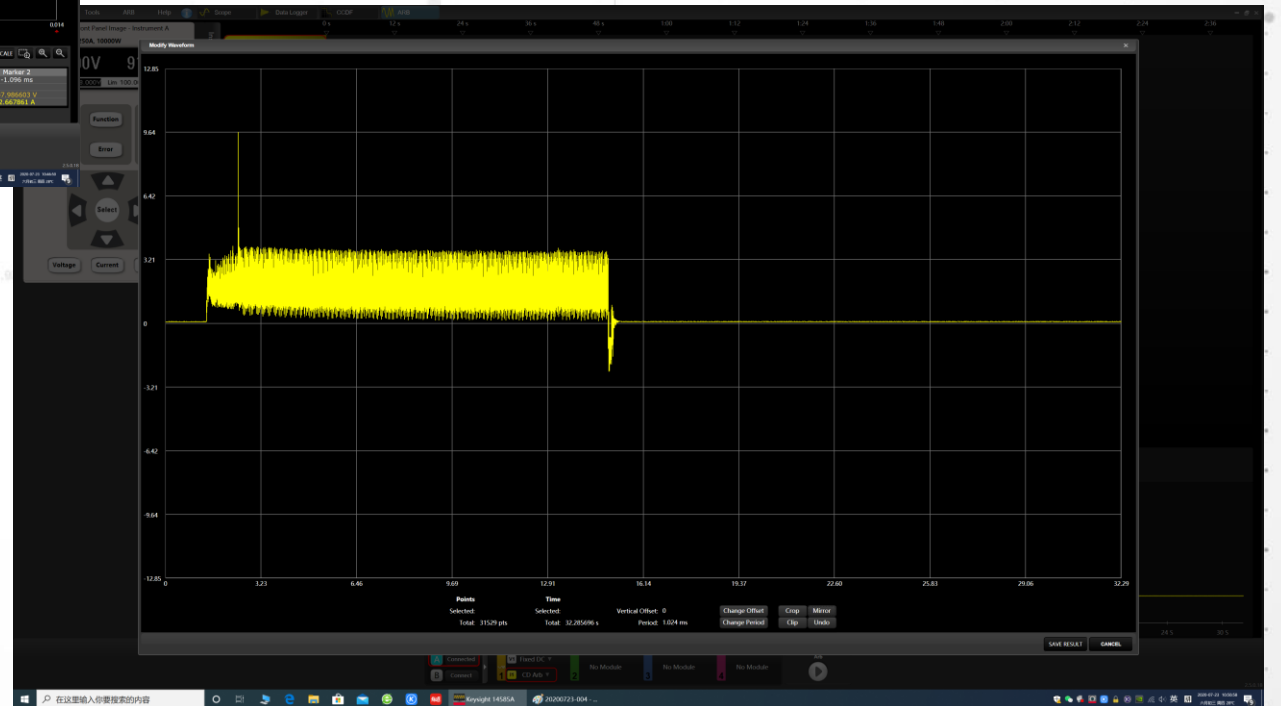
内容:

- ✓ “用电产品”的动态电流和功耗分析
- ✓ “电池”模型提取和电池模拟器
- ✓ 续航能力精准评估和续航优化

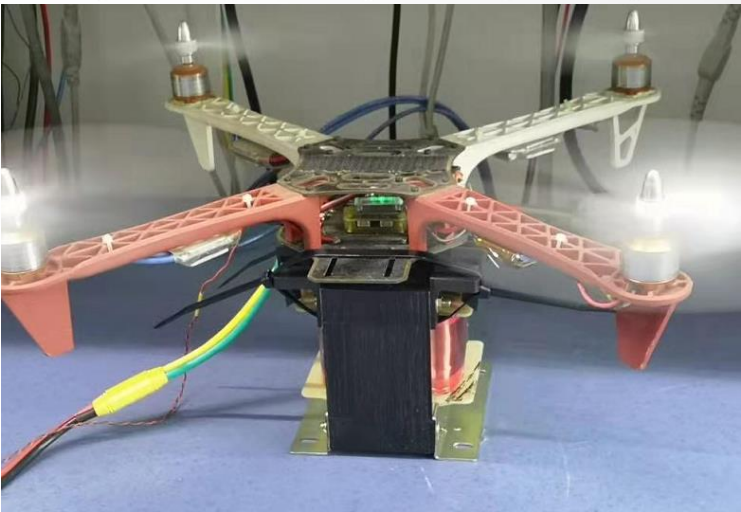
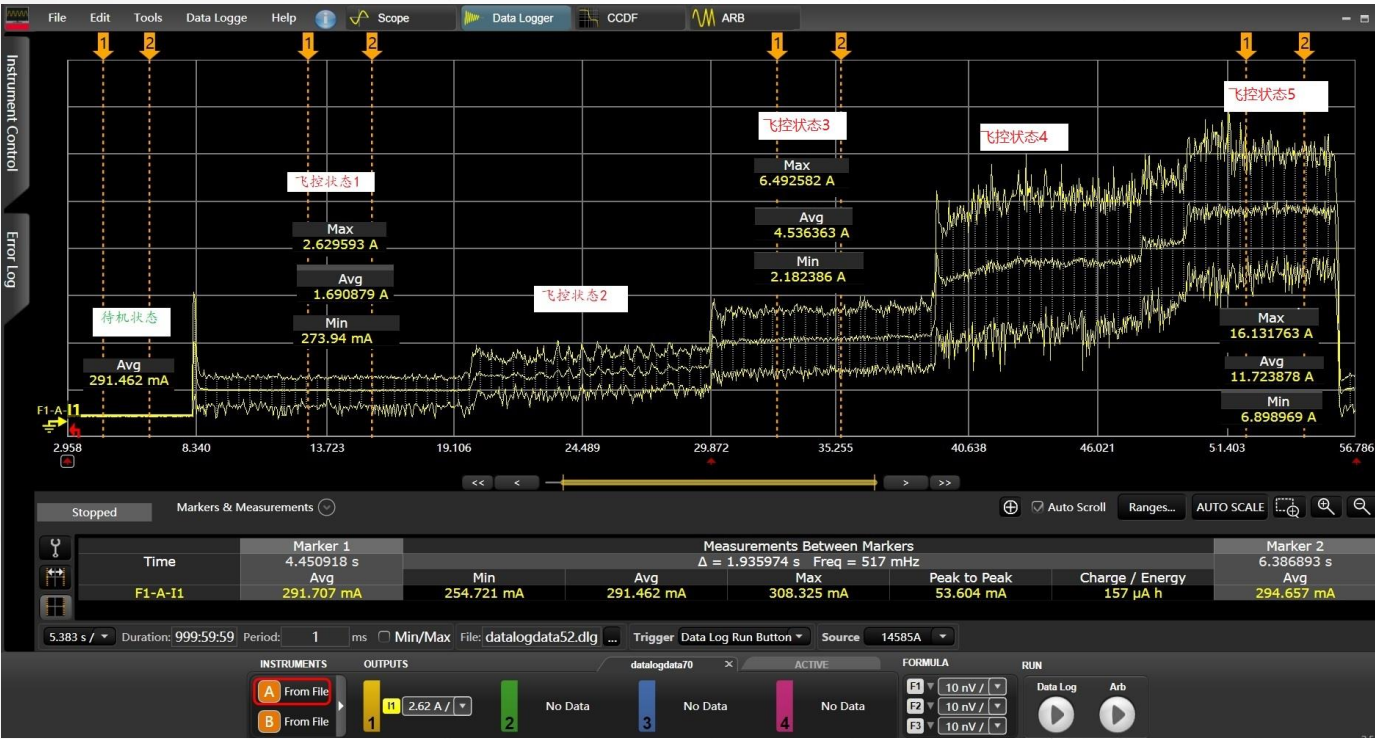
储能逆变器/电动工具的耗电波形



储能逆变器



“无人机”功耗 VS 飞控状态



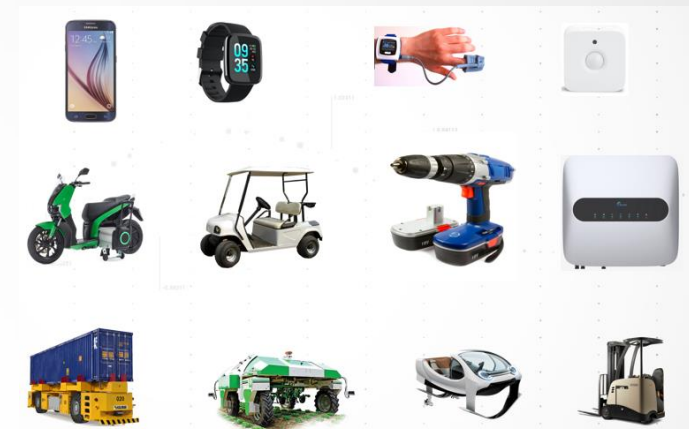
模式/ 状态	待机	飞控状态1	飞控状态2	飞控状态3	飞控状态4	飞控状态5
平均电流 (A)	0.29	1.69A		4.53		11.72
最大电流 (A)	0.31	2.63		6.49		16.13

“智能门锁”功耗实测/分析过程



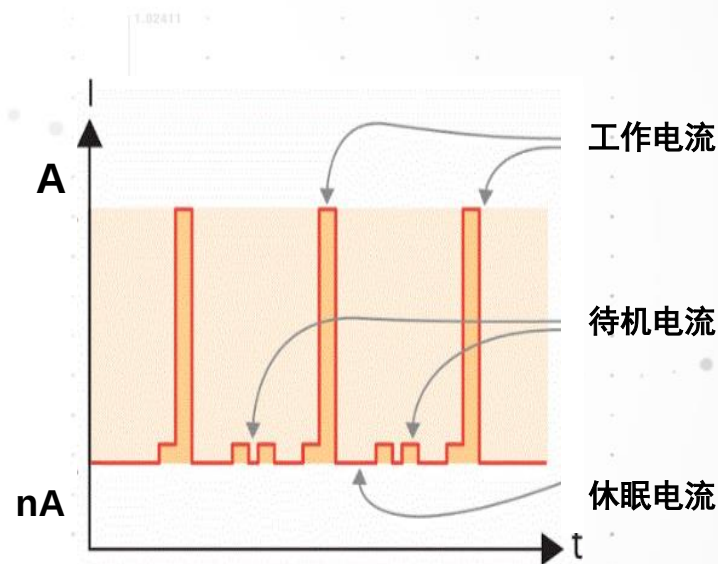
储能逆变器、电动工具、无人机、电动汽车等 ——耗电测量的挑战

设备耗电特性——大范围变化、持续时间长、极短的动态脉冲电流



水平刻度（时间）来看：

1. 窄电流脉冲测量，采样速度快（采样率）
2. 应用场景测量持续测量，采样时间要长（存储深度）



垂直刻度（电流幅值）上：

1. 休眠电流小， $\mu\text{A}/\text{mA}$ ，甚至 nA 以下（底噪）
2. 工作电流大， mA 、 A 甚至数百 A ，需要极高的动态电流测量能力（A/D垂直分辨率）

“APS” 功耗和电流分析



- ✓ 高达28比特动态，覆盖从休眠至工作电流范围
- ✓ 高达200KHz (5us) 采样率，精确脉冲电流测量
- ✓ Data Logger数据记录仪，1000小时连续数据记录
- ✓ BV9200可视化测试软件，电流与状态转换同步

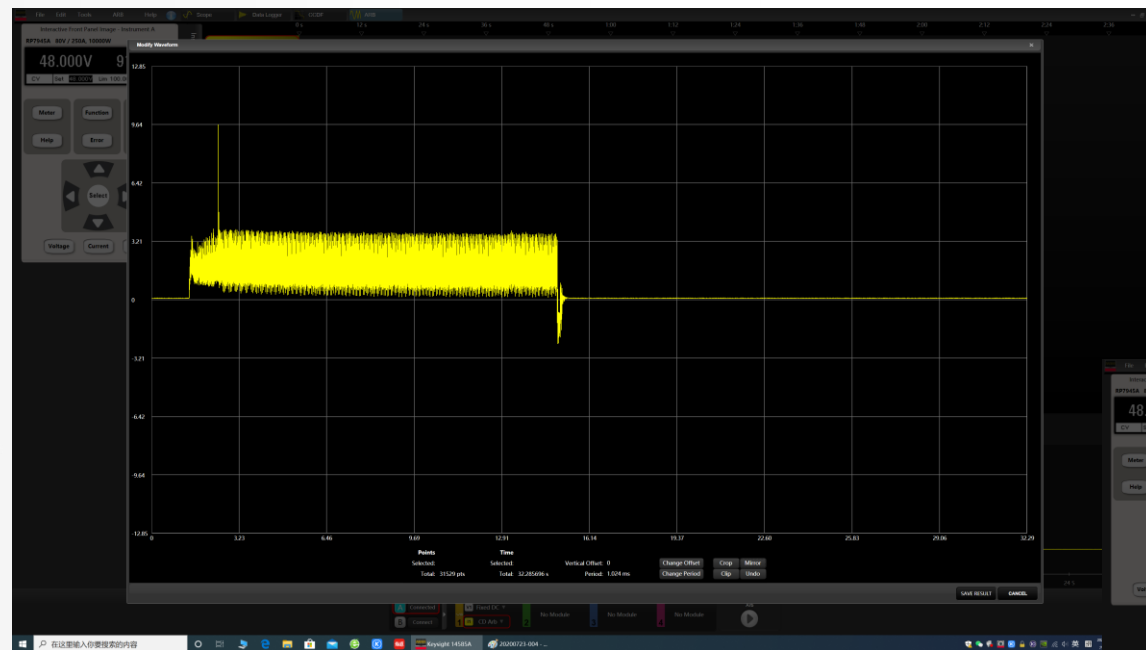


BV9200 电源分析软件

- ✓ 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）：
 1. 示波器模式，200KSa/s，18比特，精确捕获电压和电流的瞬态变化。
 2. Data Logger记录仪模式，长达1000小时连续数据直接保存到PC。
 3. 64K ARB，实现复杂波形编辑，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。

电池寿命测试和预测

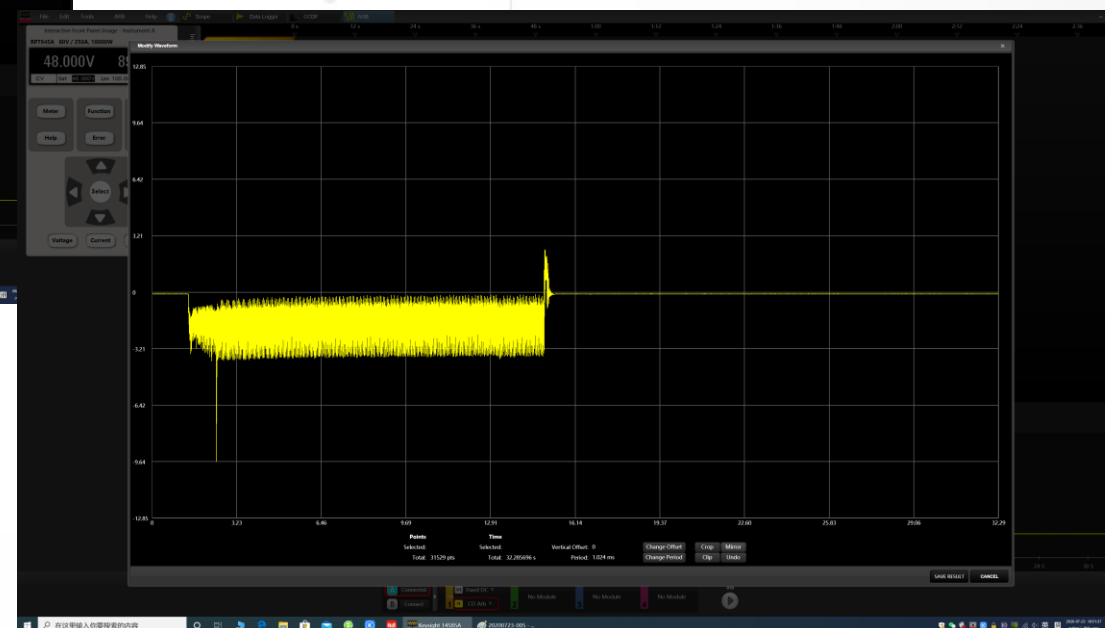
电流录制和回放



耗电波形记录



镜像翻转

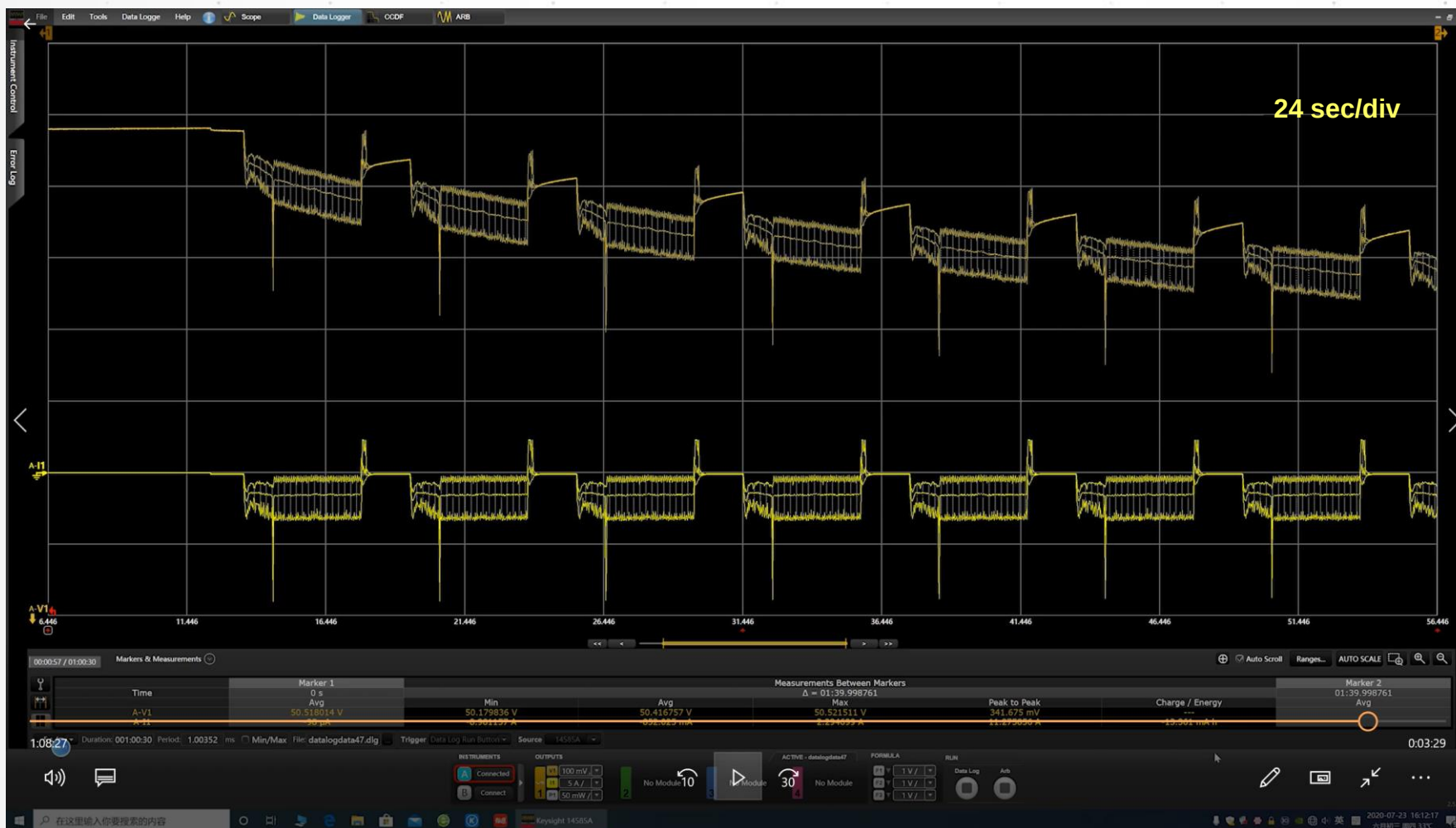


负载波形回放



真实DUT放电电流下的电池容量测试分析

接近与真实状态的电池寿命评估



内容:

- ✓ 动态电流和功耗分析
- ✓ 电池模型提取和电池模拟器
- ✓ 续航能力精准评估和续航优化

电池模拟器 应对 超级快充/放的 BMS管理和安全



充电5分钟，
通话2小时

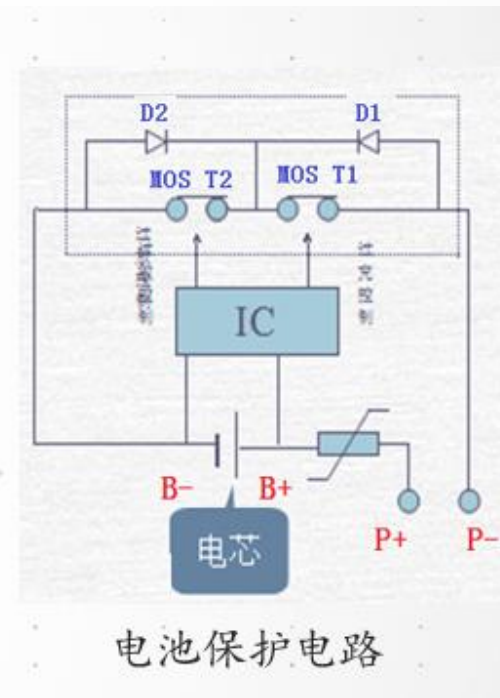
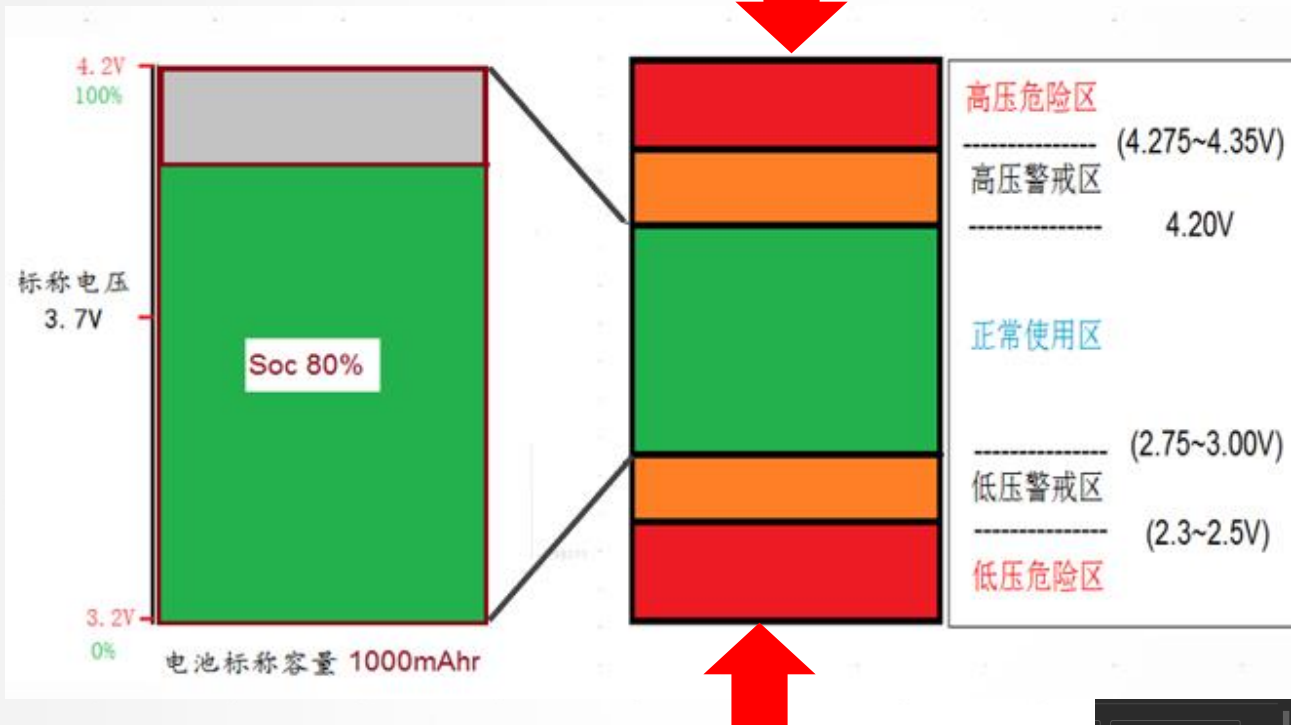


充电8分钟，
行驶1000Km

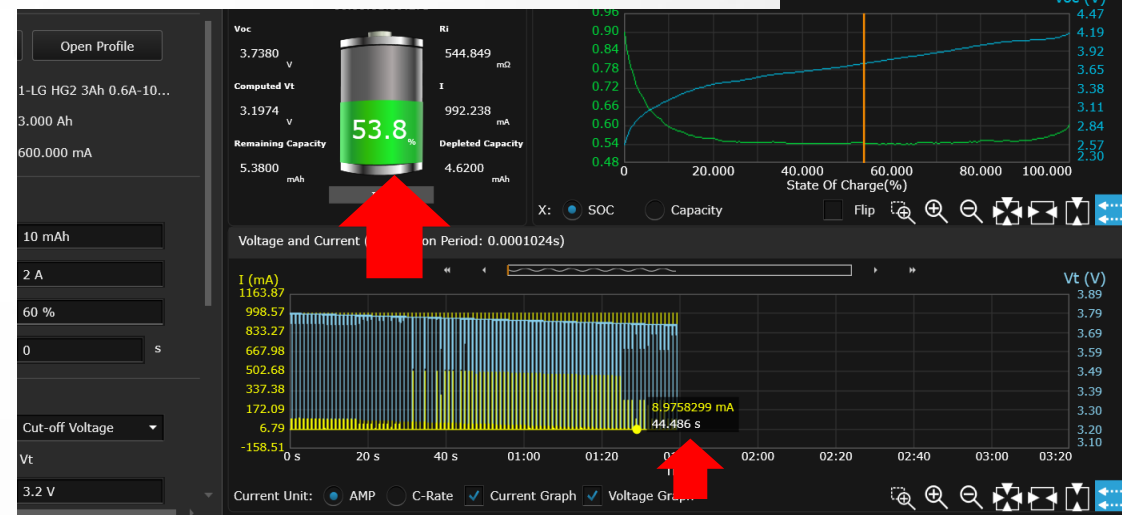


瞬时高达25C放电

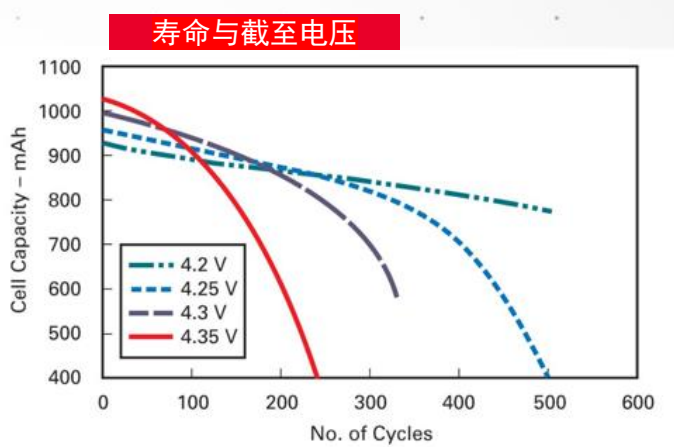
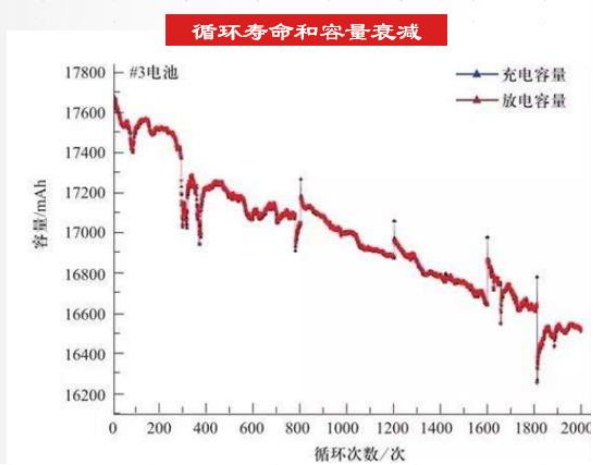
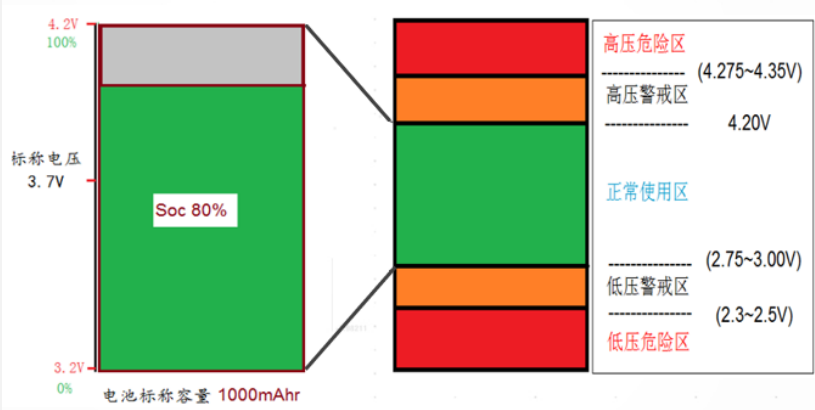
超级快充/放大大增加对 BMS 的挑战



- 电池进入过充、过放安全
- 电池续航与剩余容量的管理



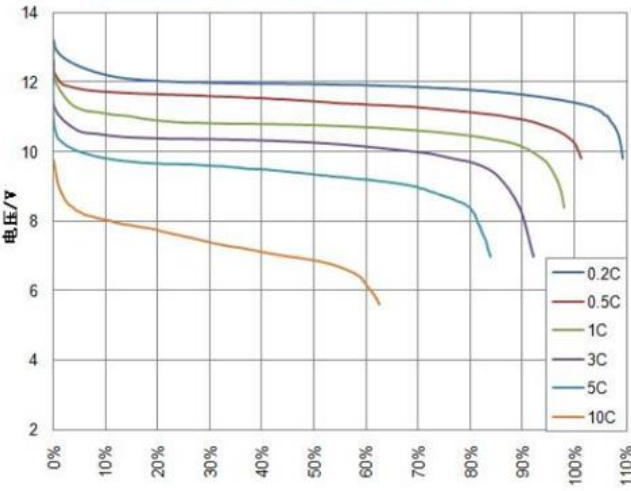
BMS工程师需要全面的了解“电池黑盒子”特性？



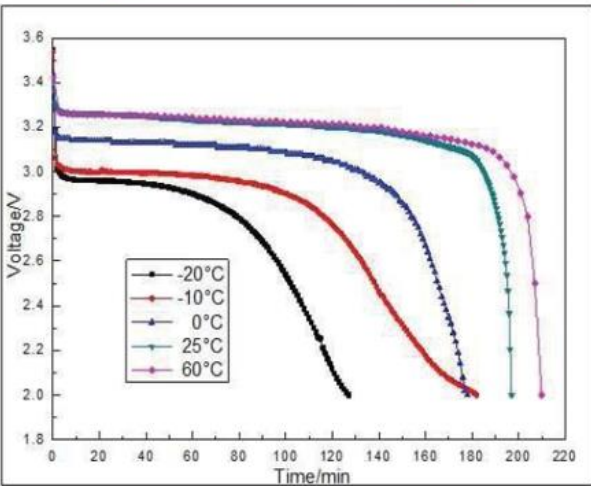
电池内阻与Soc/温度

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

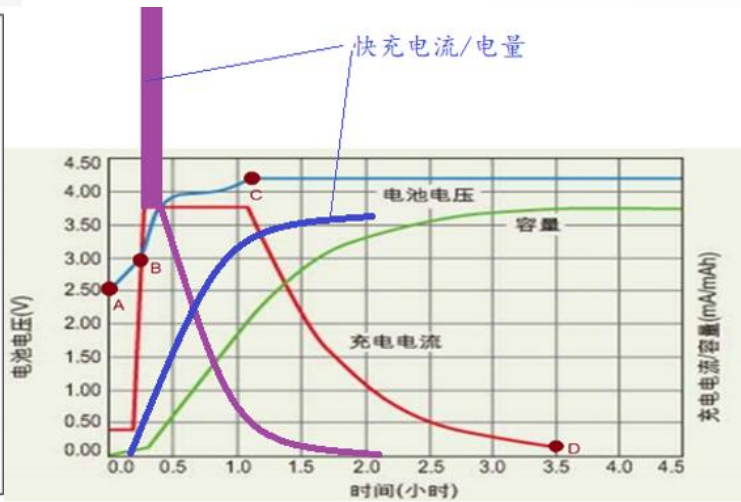
放电容量VS倍率



放电容量VS温度



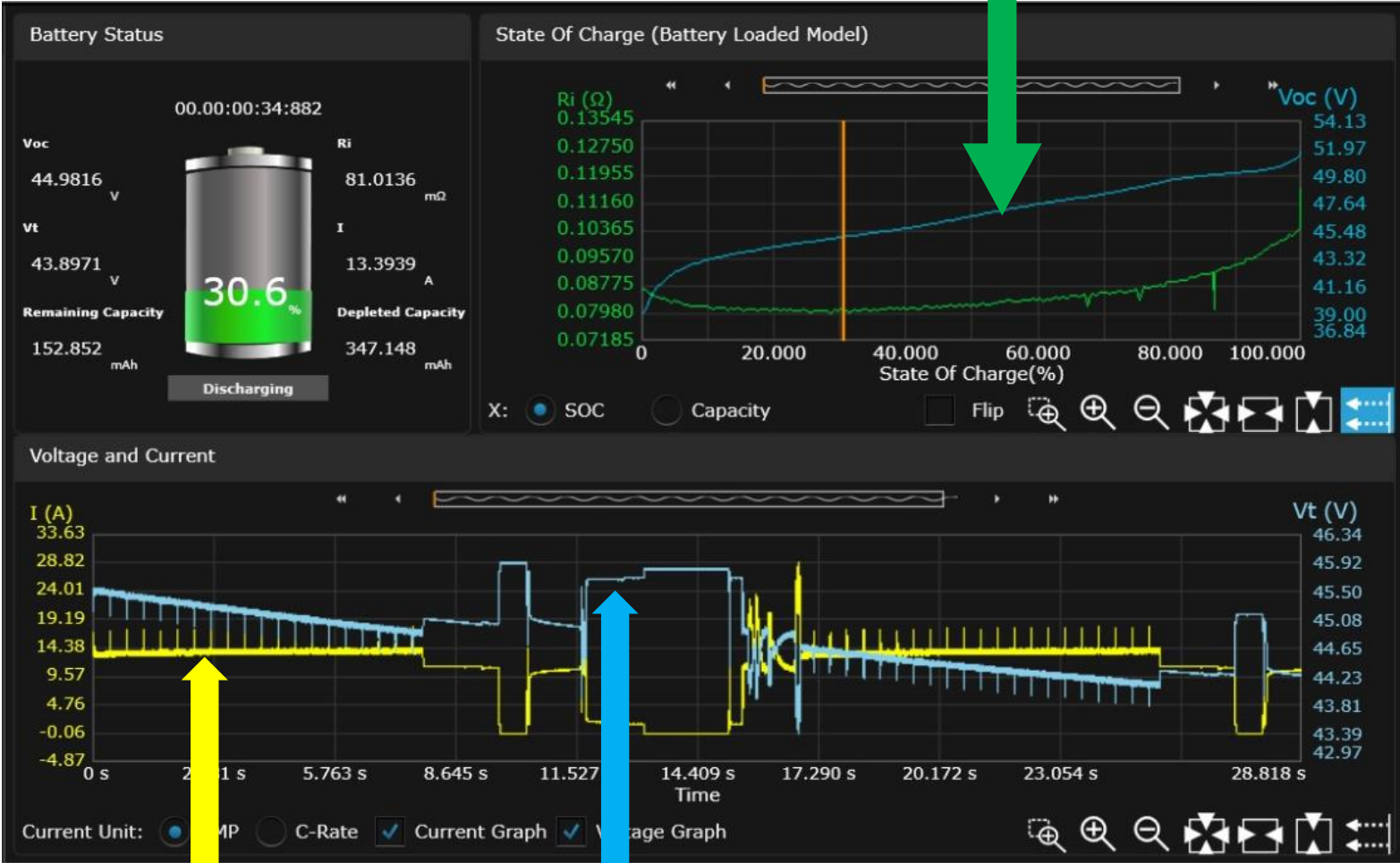
充电曲线与快充



APS 电池模拟器 (Emulate) 软件BV2910B

Operation Mode:  Emulate

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

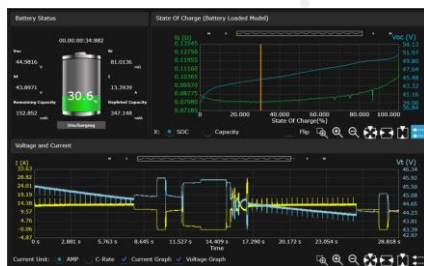
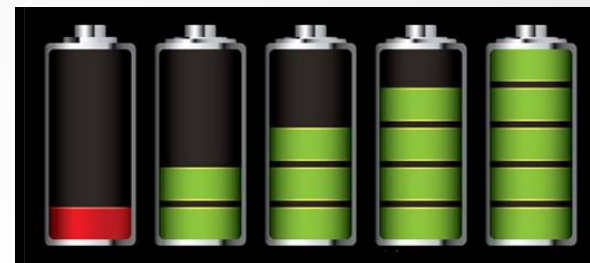


实时电流波形

实时电压波形

电池模拟器如何帮助提升BMS的安全和性能

- ✓ **真实的电池**、特别是大容量的电池，为了让电池从高压切换到低压，或者从低压切换到高压，必须对其进行完整的充、放电过程，需要花费大量的等待时间。
- ✓ **真实的电池** 在进行过压、欠压、过流、高温等测试时，尚未确保工作性能的电池管理电路，可能会导致电池使用的安全隐患和危险。



- ✓ 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（BSS） 针对上述真实电池存在的不足 而设计的特殊电源系统。该系统可用于模拟电池的充、放电特性；电池端电压随电池充、放电过程的变化；任意的初始工作电压、容量设置；任意容量、电压的电池模拟；无过压、过流甚至短路导致的电池爆炸、泄漏等安全隐患。

APS 覆盖 20W-1kW-30kW-600KW 功率——快充/放峰值功率更大



功率等级约 20W



快充功率-> 140W



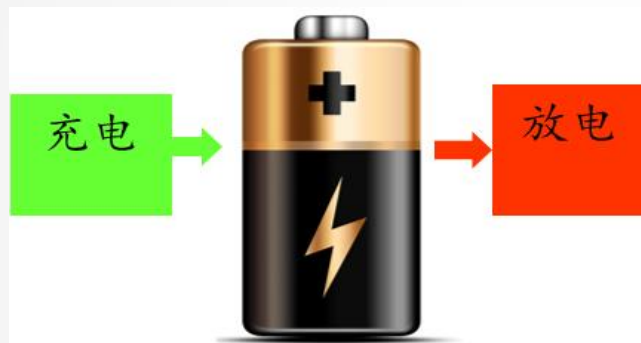
功率等级约 30W



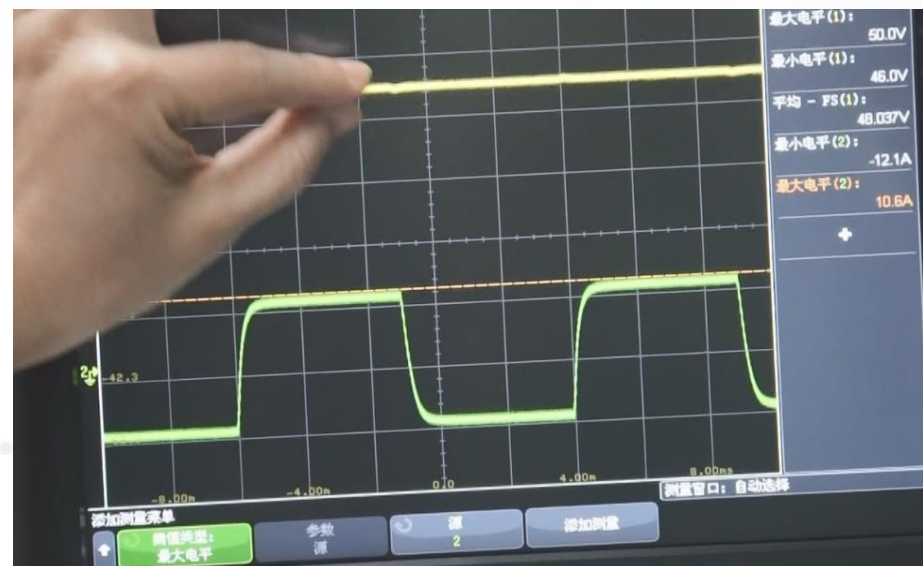
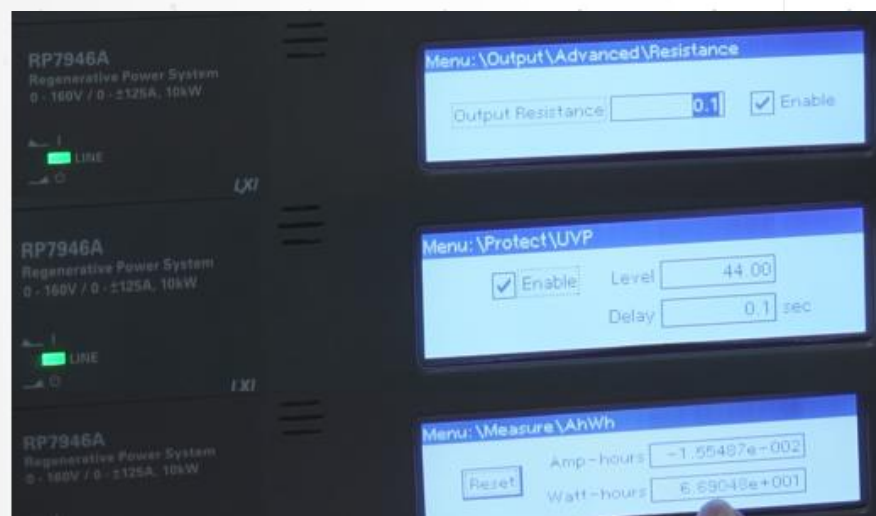
放电峰值功率-> 300W



“电池模拟器”三个重要提示

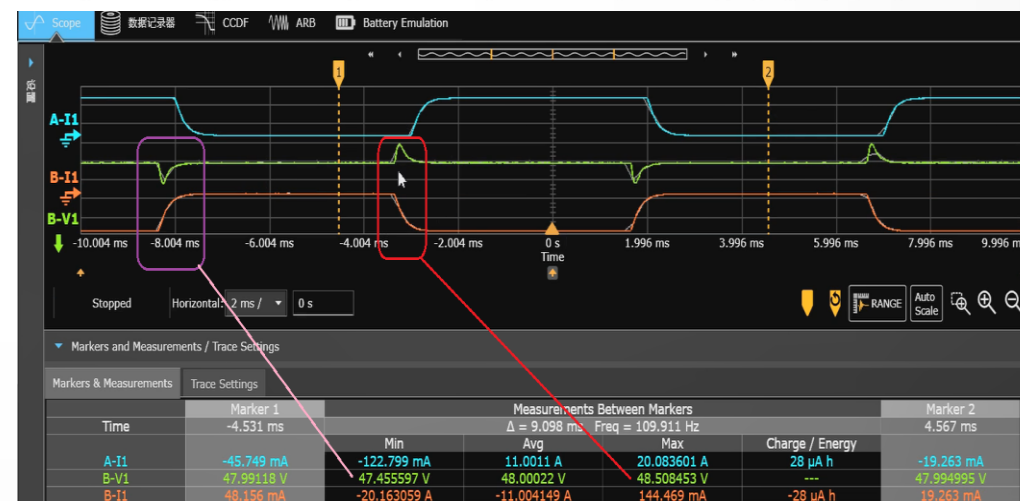


2) 精准的内阻模拟/OVP/UVI/A-Hr

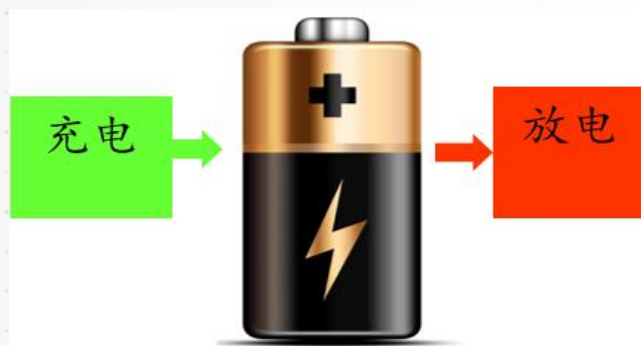


1) 无缝正/负电流切换

3) 快速的瞬态/保护等响应



真实电池和“电池模拟器”关键性能对比

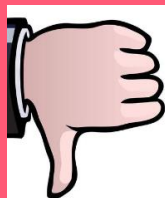


RP7900 2000V/±800A, 30KW

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



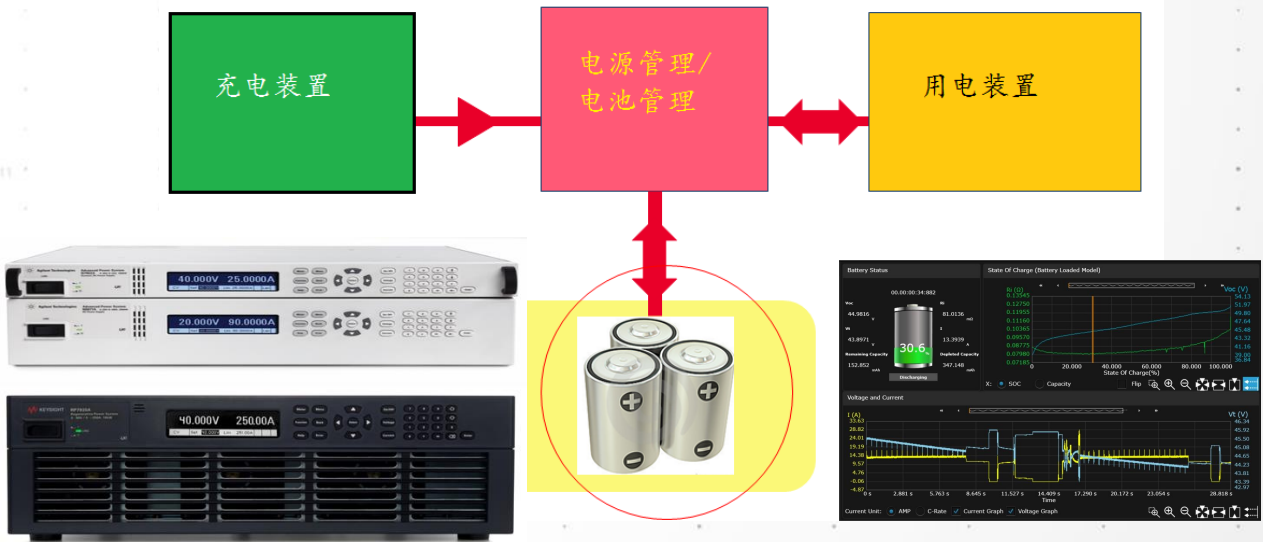
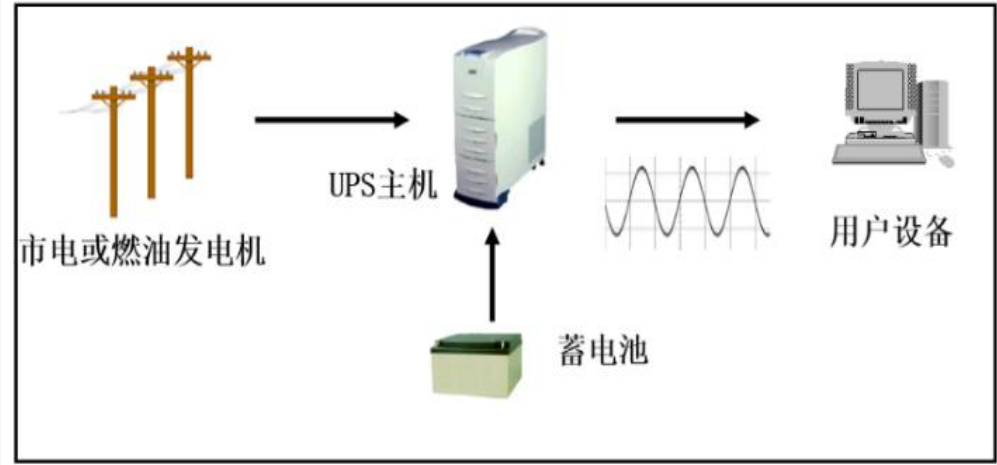
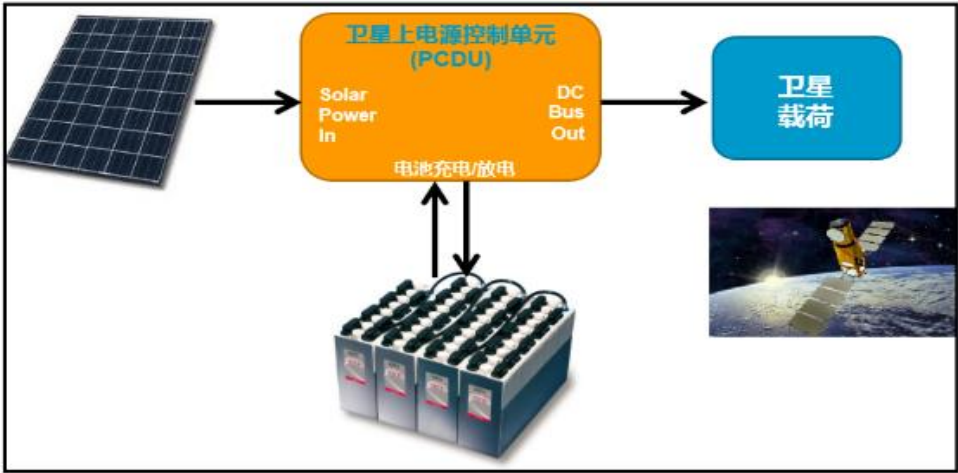
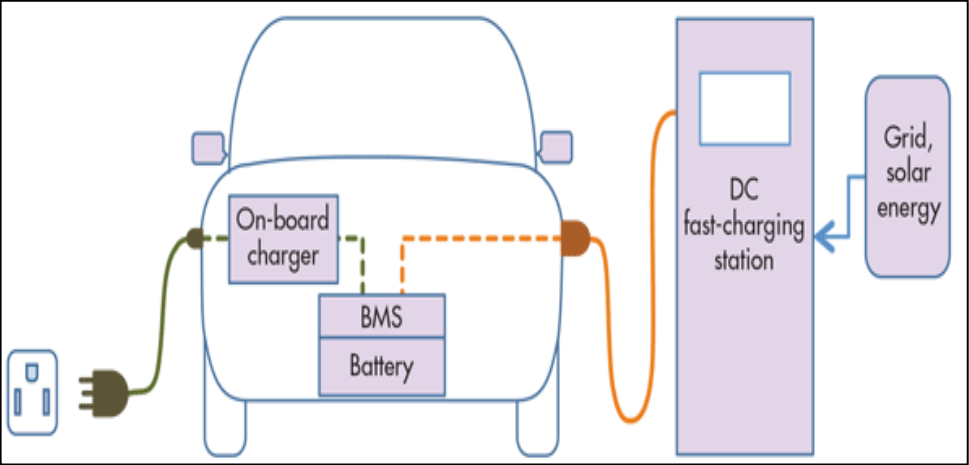
稳压源/电池内阻模拟
任意电池SoC/状态
重复性好、精度高
内置电压、电流和电量测量
OVP/UVP/OCP等保护



纹波噪声小
瞬态响应快
无缝电流切换



建议考虑电池模拟器的场合



内容:

- ✓ 动态电流和功耗分析
- ✓ 电池模型提取和电池模拟器
- ✓ 续航能力**精准**评估和续航优化

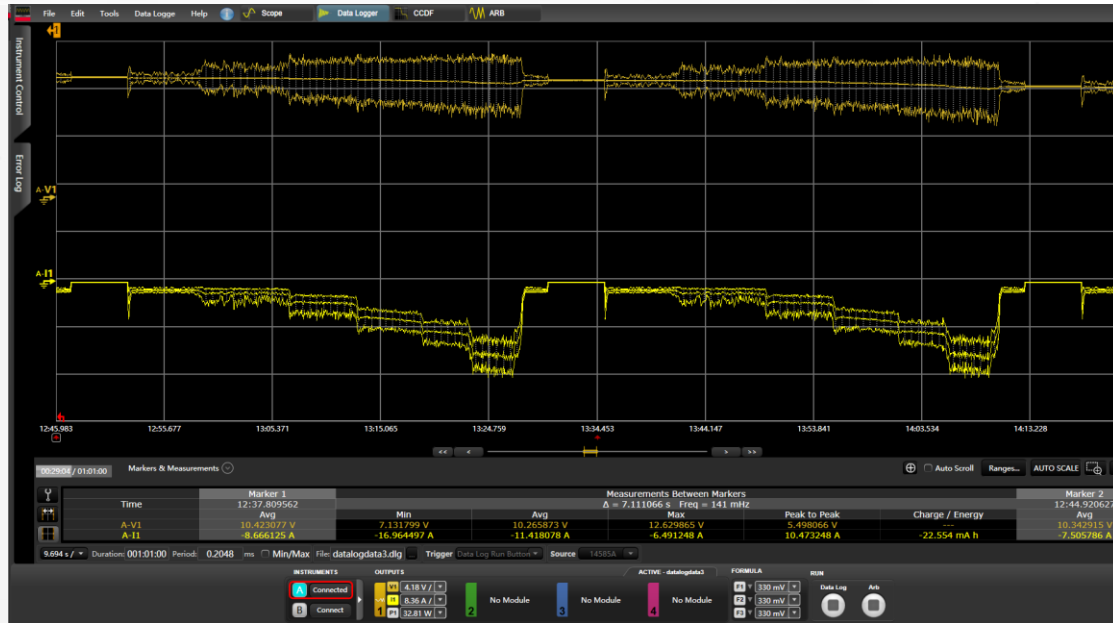
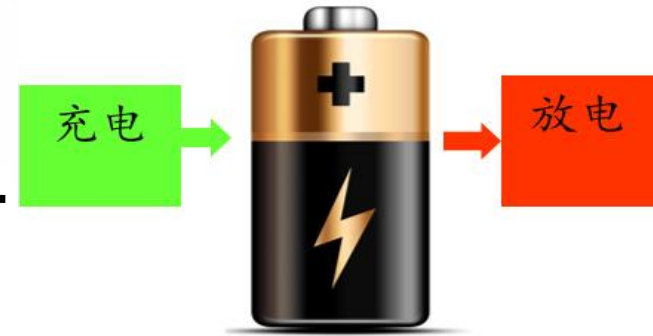
1) 精确测量产品的各种状态下的功耗特征（电源+分析仪）



模式/ 状态	待机	飞控状态1	飞控状态2	飞控状态3	飞控状态4	飞控状态5
平均电流 (A)	0.29	1.69A		4.53		11.72
最大电流 (A)	0.31	2.63		6.49		16.13

BV9200 Data Logger

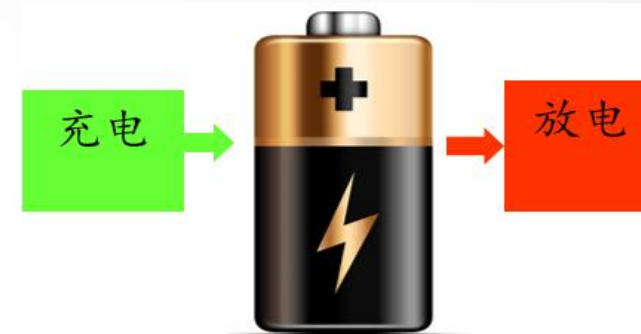
2) 替代产品各种状态来评估电池放电容量（负载）



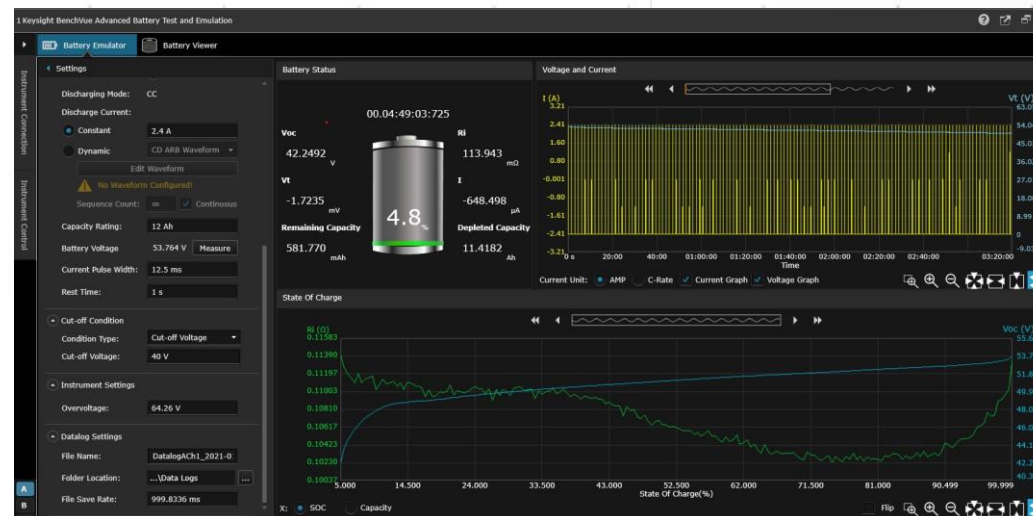
BV9200 ARB-Data Logger



3) 真实电池的模型提取 (电池测试仪)

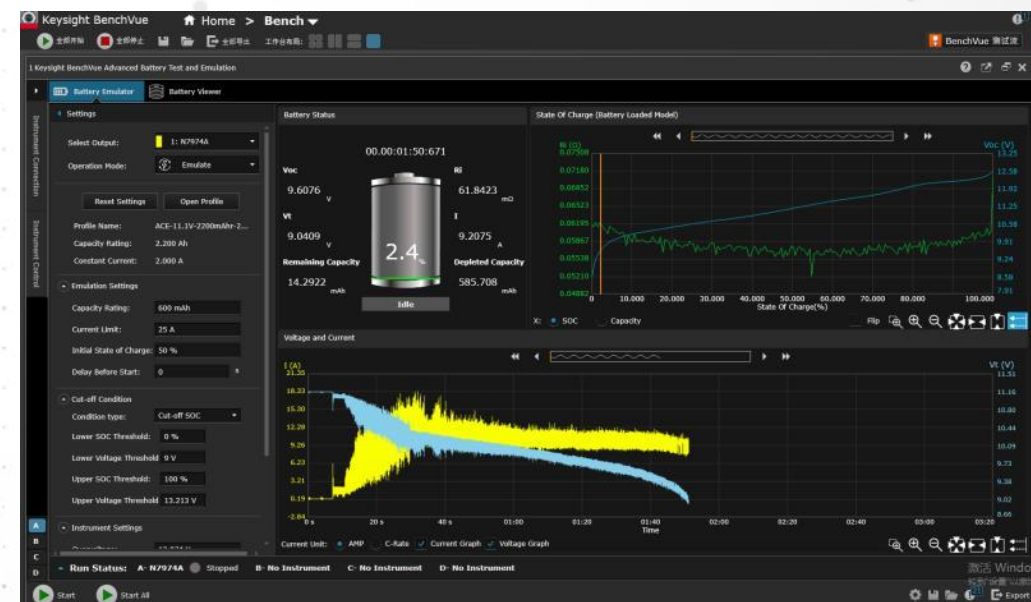
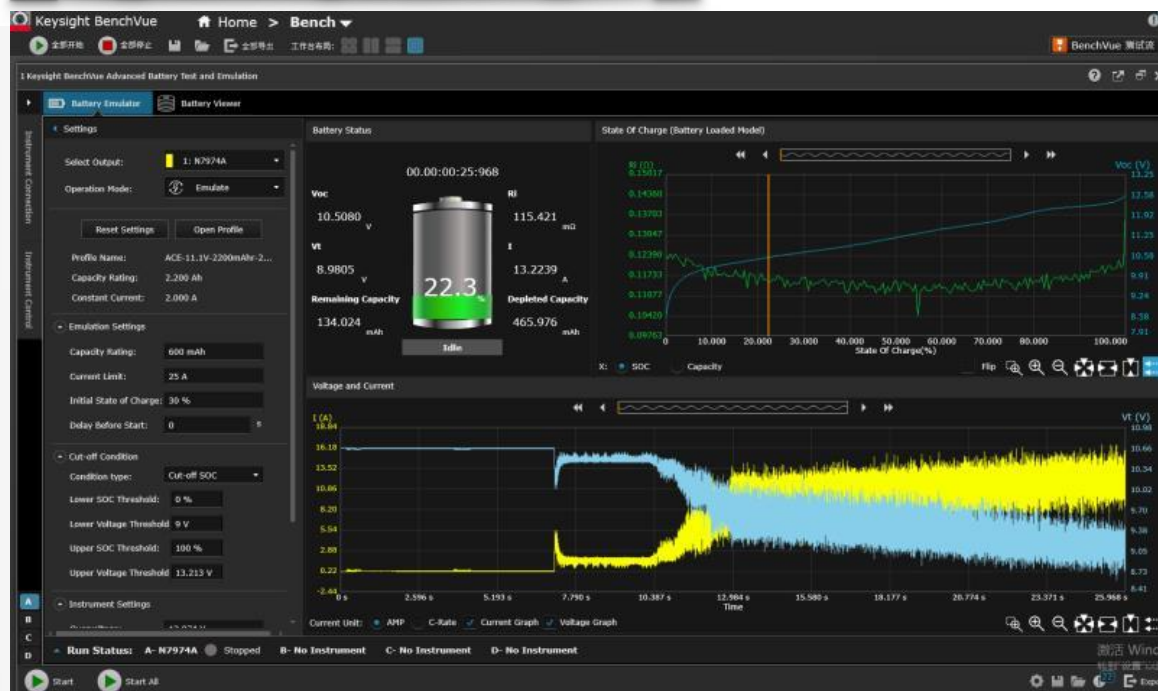
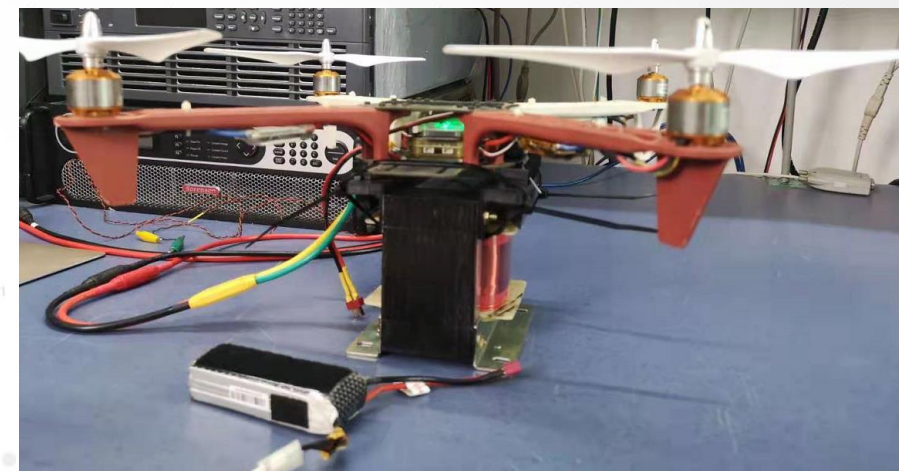


DCR	Voc	Ahr	Soc	ΔVoc
0.027	3.440	0.000	0.000	0.000
0.026	3.657	0.040	4.279	0.217
0.027	3.716	0.081	8.605	0.059
0.028	3.735	0.123	12.983	0.019
0.029	3.762	0.163	17.298	0.027
0.030	3.788	0.204	21.643	0.025
0.031	3.811	0.246	26.065	0.023
0.031	3.828	0.288	30.511	0.017
0.031	3.841	0.330	34.895	0.012
0.030	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



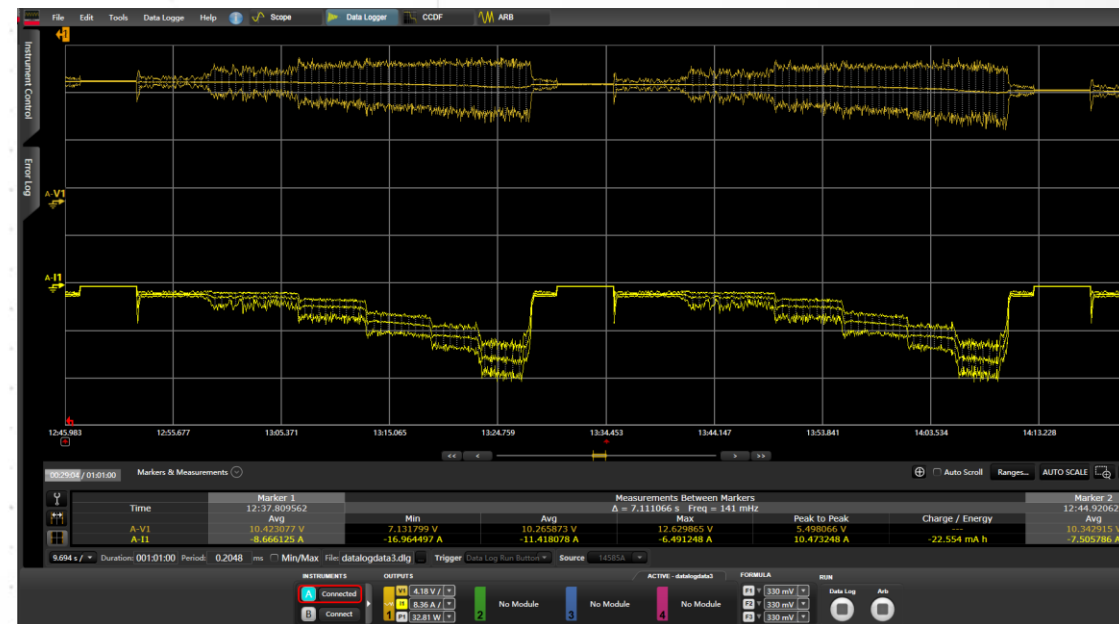
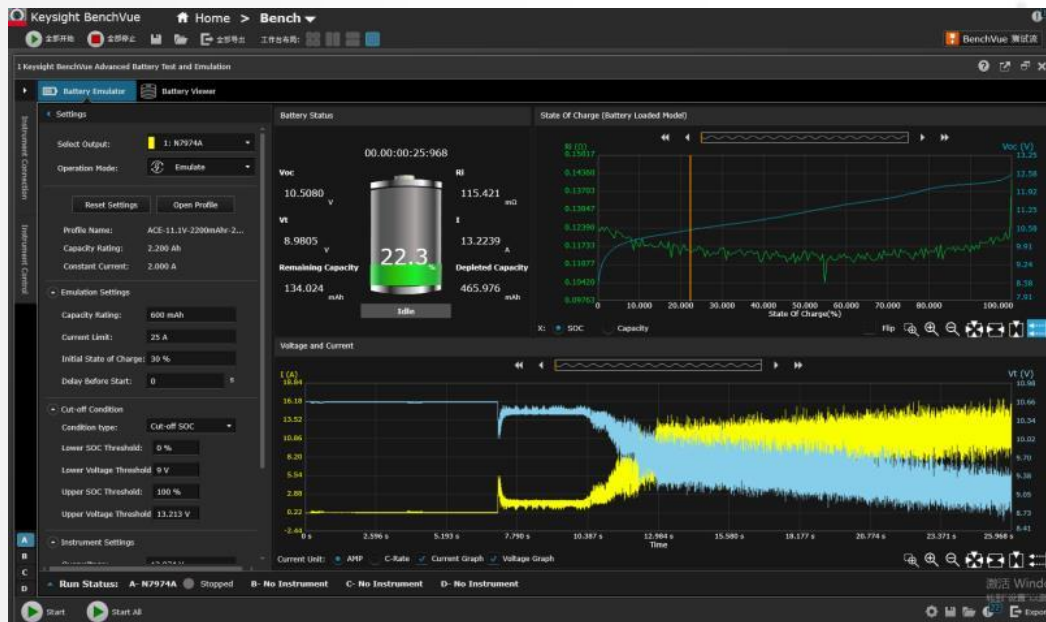
BV9210 电池 Profiler

4) 电池模拟器 产品的剩余电量评估 (替代电池)



BV9210 电池 Emulate

5) 电池模拟器 产品的剩余电量评估 (双替代)



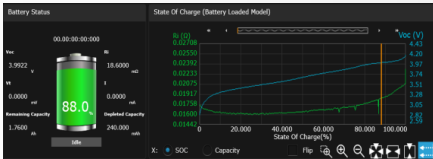
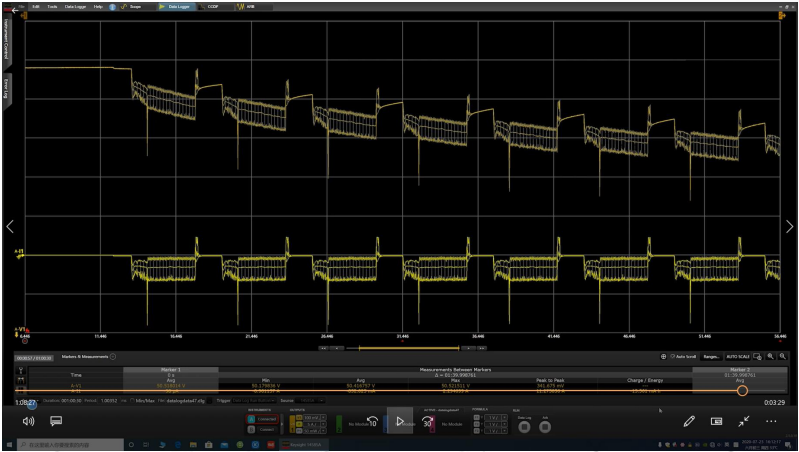
BV9210 电池 Emulate

BV9200 替代产品耗电

续航时间精准评估步骤——无人机+电池+电源管理



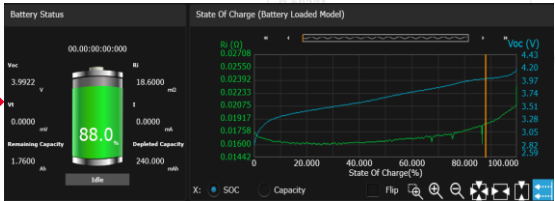
DCR	Voc	Ahr	Soc	ΔVoc
0.027	3.440	0.000	0.000	0.000
0.026	3.657	0.040	4.279	0.217
0.027	3.716	0.081	8.605	0.059
0.028	3.735	0.123	12.983	0.019
0.029	3.762	0.163	17.298	0.027
0.030	3.788	0.204	21.643	0.025
0.031	3.811	0.246	26.065	0.023
0.031	3.828	0.288	30.511	0.017
0.031	3.841	0.330	34.895	0.012
0.030	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



1 电池测试和模型提取

4 交叉验证DUT对电池容量的影响

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



2 电池模拟器

3 逆变器的电流特性测试

你是否在研发以下类型的产品和有续航焦虑？



APS 先进电源系统的小结

- ✓ 储能逆变器的电流和功耗分析和电池续航测试
- ✓ 快充快放的电池BMS安全和续航分析
- ✓ 电池模拟和产品耗电模拟提升电池安全和续航



N7900 APS



RP7900 R-APS



BV9200 APS分析软件



BV9210 电池模拟器软件

电源棘手问题，就找“APS”

电压	型号	电流	功率	备注
9V	N7950A	±100A	1KW	工作于负载时，N7900 为功率消耗型，100%功率吸收需要配置N7909A功能耗散器
	N7970A	±200A	2KW	
20V	N7951A	±50A	1KW	
	N7971A	±100A	2KW	
	RP7941A	±400A	5KW	
	RP7943A	±800A	10KW	
40V	N7952A	±25A	1KW	
60V	N7972A	±50A	2KW	
	N7953A	±16.7A	1KW	
80V	N7973A	±33A	2KW	
	N7954A	±12.5A	1KW	
120V	N7974A	±25A	2KW	RP7900为馈网式
	RP7942A	±125A	5KW	
160V	RP7945A	±250A	10KW	
	N7976A	±16.7A	2KW	
500V	N7977A	±12.5A	2KW	
	RP7946A	±125A	10KW	
950V	RP7961A	±20A	5KW	
	RP7962A	±40A	10KW	
1000V	RP7963A	±20A	10KW	
	RP7972A	±60A	20KW	
2000V	RP7982A	±90A	30KW	光伏模拟器
2000V	RP7973A	±30A	20KW	
2000V	RP7983A	±30A	30KW	
1500V	PV8921A	30A	20KW	
1500V	PV8931A	60A	30KW	
2000V	PV8922A	30A	20KW	
2000V	PV8932A	30A	30KW	
BV9201A	PC 电源控制软件，不适用于 PV89xx 型号			
BV9210B	PC 电源控制软件，不适用于 PV 89xx 型号			
DG9000A	PC 光伏模拟器软件，适用于 PV89xx 和 20KW/30KW RP 型号			
BV0003B	PC BenchVue电源控制软件，兼容Keysight 所有电源			

更多内容请观看APS系列的



直播和技术白皮书

直播回放



APS直播5——智能门锁，穿戴，物联网终端电池模拟和续航优化



APS直播4——无人机的动态电池模型提取



APS直播3——储能逆变器的电池续航与效率揭秘



APS直播2（下）——电池模拟的三个重要提示和快充、续航三套件思维



APS直播2（上）——深探锂电池/超级电容的特性和锂电池的模型提取



APS直播1——无刷直流电机能量回馈应用

-0.50221



白皮书

APS 先进电源系统技术和应用 白皮书

电源工程师面临的棘手测试挑战和APS 十大案例

- 2.1 精密的电流测量和功耗分析优化
- 2.2 动力电池的模型提取和电池模拟器PCS, OBC, BMS 测试
- 2.3 电机惯性和刹车自激电流吸收和稳压输出
- 2.4 严格的同步或时序上电、下电及故障协同保护
- 2.5 汽车、军车、船舰、飞机的瞬变电压
- 2.6 纯净电源 Vs 纹波噪声注入
- 2.7 耐流、熔断、低阻、功率器件测试
- 2.8 燃料电池、光伏电池的V-I 曲线扫描和内阻测试
- 2.9 光伏模拟器进行逆变器的MPPT 效率
- 2.10 燃料电池模拟器进行DC-DC 电源模块性能