

# 快充和無限充電效率測試及電池性能的深層分析

品勛科技股份有限公司  
(keysight正式授權經銷商)

[www.pinsyun.com.tw](http://www.pinsyun.com.tw)

線上詢問



## 快充和無限充電效率測試及電池性能的深層分析



# 解决用户焦虑办法：低功耗和电池容量

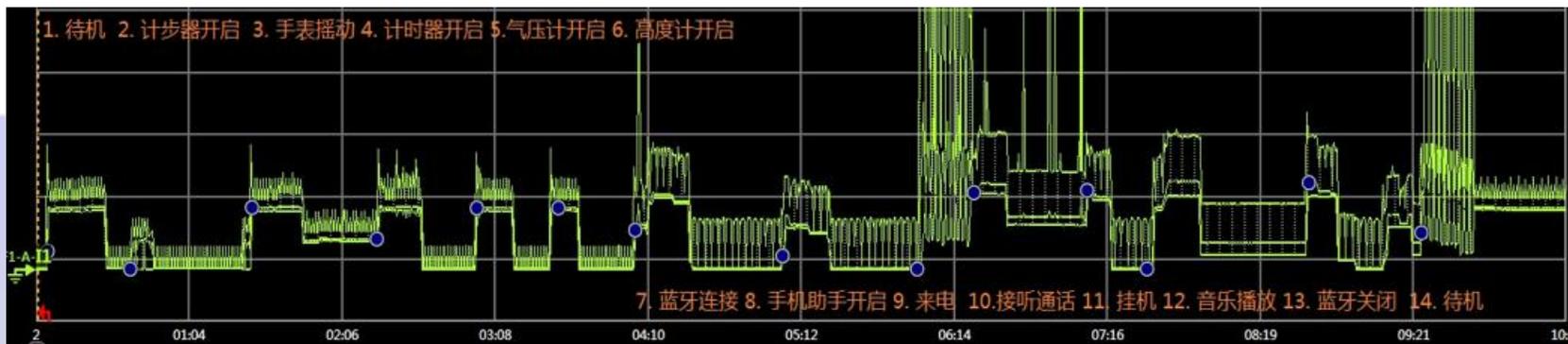


客户的诉求：长工作时间

你正在努力的方向：

- ✓ 设备和器件的超低功耗
  - ✓ 关键模块和器件的低功耗
  - ✓ 硬件性能和软件功能的平衡
- ✓ 使用更高容量的电池和优异的电池管理
  - ✓ 电池的循环寿命
  - ✓ 电池的交直流内阻
  - ✓ 电池的容量分布
  - ✓ 电池的自放电和电池均衡
- ✓ 便利的电池电量补给
  - ✓ 缩短补给的时间——快速充电
  - ✓ 无时无刻的充电——无线充电

## ➤ 便携设备的精确功耗测量



模式/ 状态	待机	显示屏亮	计步器	计时器	气压启	高度计	蓝牙连接	来电	蓝牙通话	挂机	音乐播放	蓝牙退出
起始时间	0:00	0:08	0:42	1:53	2:42	3:18	4:14	6:01	6:24	7:12	7:41	9:11
截至时间	0:06	0:28	0:49	2:15	2:58	3:28	4:26	6:20	6:35	7:17	7:55	9:46
平均电流 (mA)	0.3706	38.0202	16.6543	18.6953	0.4644	0.3794	44.1605	65.9413	52.4654	44.3494	54.0867	46.046
最大电流 (mA)	14.1589	57.466	32.0728	37.1117	15.0608	14.1623	75.708	319.6208	148.721	74.8239	87.0712	205.49

- 快速充电对电池管理和电池特性的思考
- 无线充电效率相关的测试方案
- 电池与快充或充电相关的特性分析

# 智能终端、IoT(物联网)、AI(人工智能)、VR(虚拟现实) ——耗电测量的挑战

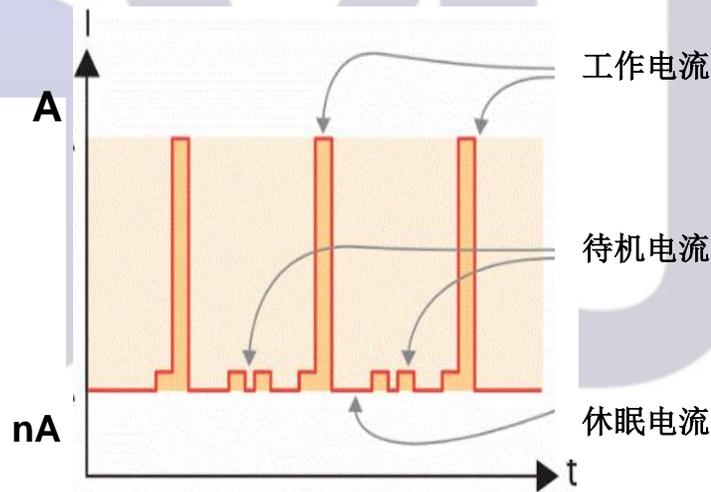
## 设备耗电特性——大范围变化、持续时间极短的动态脉冲电流

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,  $\mu\text{A}$ , 甚至 $\text{nA}$ 以下(底噪)
2. 工作电流大, 数十 $\text{mA}$ 甚至 $\text{A}$ , 需要极高的动态电流测量能力 (A/D垂直分辨率)



# 您了解您在用的電流分析儀器嗎？



 数码	 海洋监测	 智能家居
 智能穿戴	 移动支付	 智慧医疗
 网联汽车		 宠物跟踪

B2900 SMU源表  
 B2980 皮安表  
 N6705C 直流源分析仪  
 示波器  
 万用表  
 功率分析仪PA2200  
 CX3300 器件电流波形分析仪

哪个是最佳的电流测试方案？

# NB-IoT模块的PSM模式进驻和功耗测试

PSM 模式进驻和功耗测试（测试条件及步骤如下）：

TC-NB-IoT-POWER PSM 寻呼测试

预置条件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 使用 N6705B 电源分析仪 对模块供电，电压设置为模块使用的电压；</li> <li>2) UXM NB-IoT 基站模拟器 发射功率为-114.8dBm，无噪声，无衰落，室内常温状态；</li> <li>3) 设置 RRC RELEASE 超时定时器为 10 秒；</li> <li>4) 不限制上行子载波个数（single-tone 或 multi-tone），不限制上行子载波间隔；</li> <li>5) RRC_IDLE 态 DRX 周期为 1.28 秒，T3324 定时器为 10 秒，不使用 eDRX；</li> <li>6) TAU 周期为 10 分钟。</li> </ol>
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 测试模块成功附着网络；</li> <li>2) 模块不收发数据，进入 IDLE 态，并等待 T3324 超时，进入 PSM 模式；</li> <li>3) II 向模块发送寻呼，检查模块是否收到寻呼？</li> </ol>



PSM (Power Saving Mode) :

即低功耗模式，其原理是允许UE在进入空闲态一段时间后，关闭信号的收发和AS（接入层）相关功能，相当于部分关机，从而减少天线、射频、信令处理等的功耗消耗。

模式/ 状态	开机	注册	TX发射	RX接收	PSM
起始时间	0:06	0:10	0:14	0:21	0:41
截至时间	0:010	0:13	0:15	0:28	0:48
平均电流 (mA)	4.097	16.51	78.21	42.44	0.0028
最大电流 (mA)	237.01	75.94	204.83	67.03	0.0068

虽然PSM模式耗电仅仅2.868uA，但模块在进行系统注册时，最大电流为206.75mA，为PSM模式的10万倍。

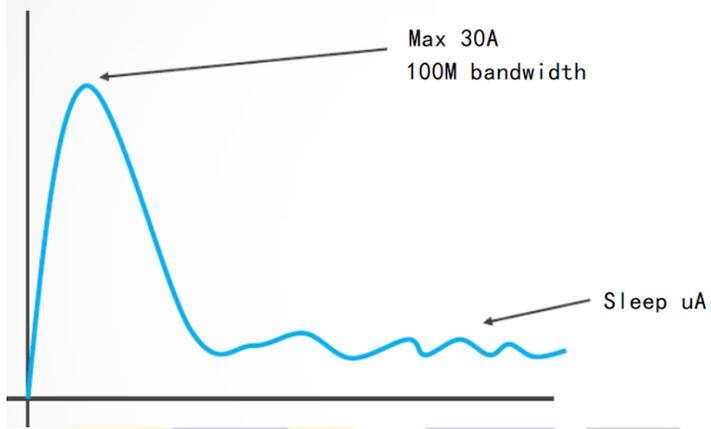
# Lora 各种状态下的功耗分析



Tx 模式放大后，观察到连续载波电流信号，对应参数为：  
频率：89.3066KHz；  
电流值（DC平均值）：70.9327mA；  
幅度（AC峰峰值）：28.5557mA。



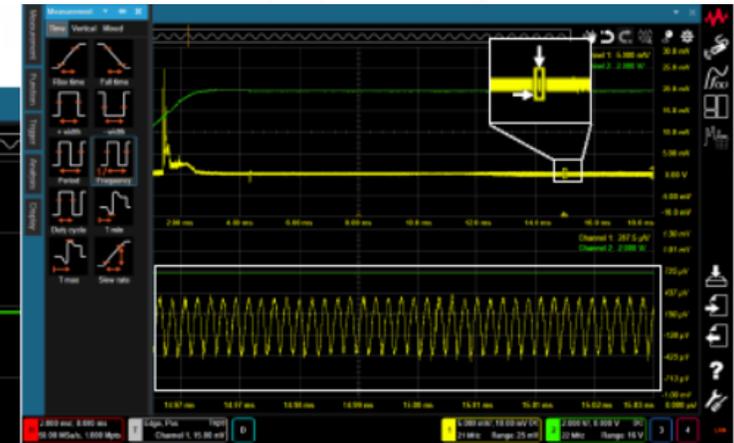
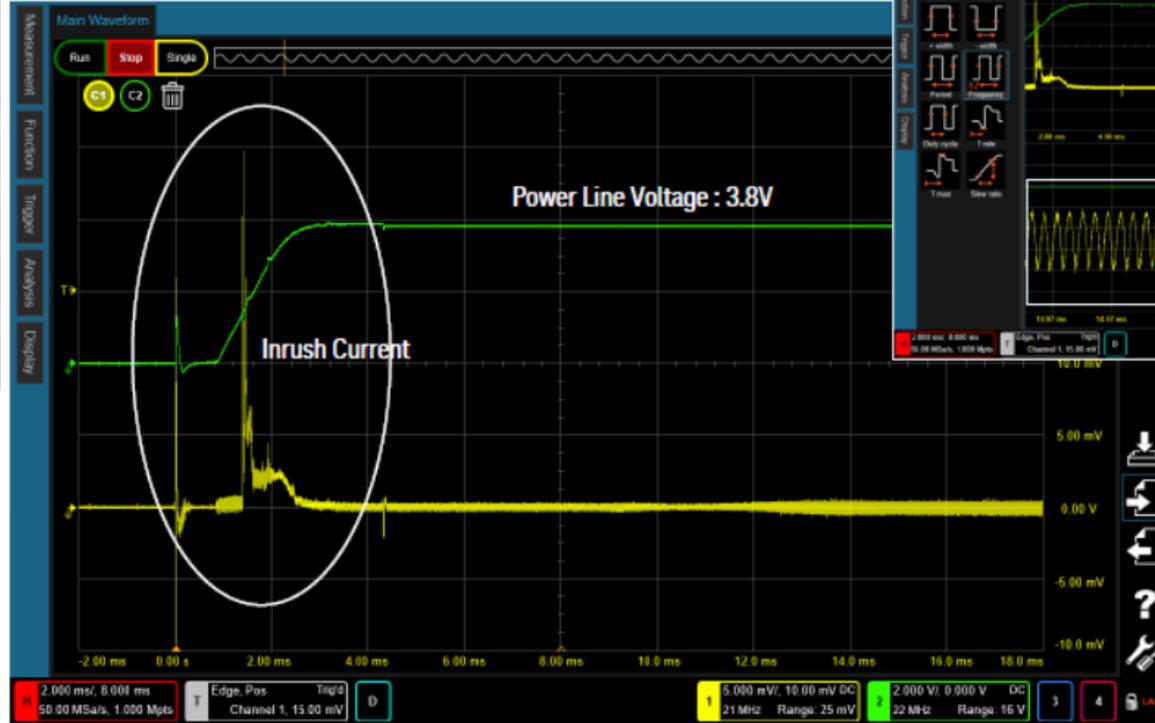
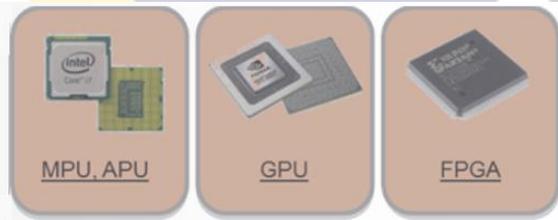
# XPU處理器芯片的大動態電流測量



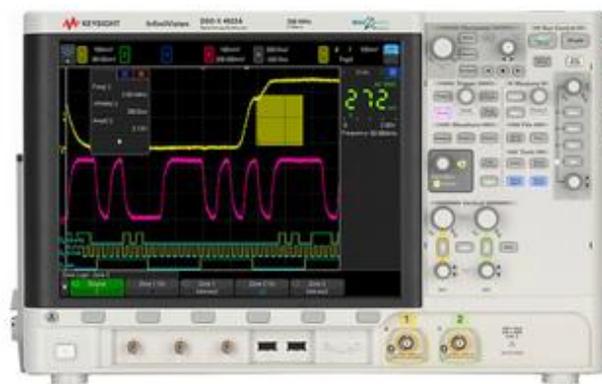
## 处理器电流特征:

带宽高、动态大、低噪声

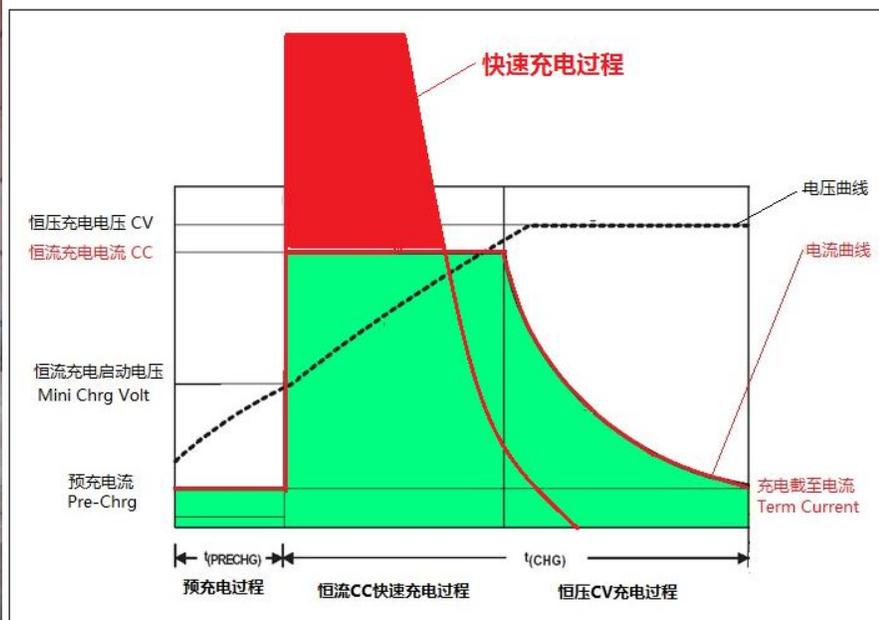
测试要求, 测量瞬间大电流时, 同时测量小信号。



# 精密电流测量 与 CX3300 器件电流波形分析仪



- 便携设备的精确功耗测量
- 快速充电对电池管理和电池特性的思考



GSMarena CHARGE TEST

Oppo N3

1:33h

TIME TO FULL CHARGE



AFTER 15 MIN

CHARGE

32%

ENDURANCE

21h



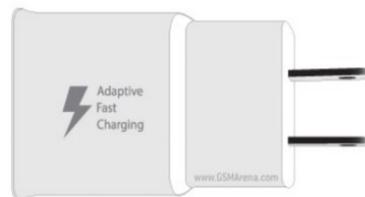
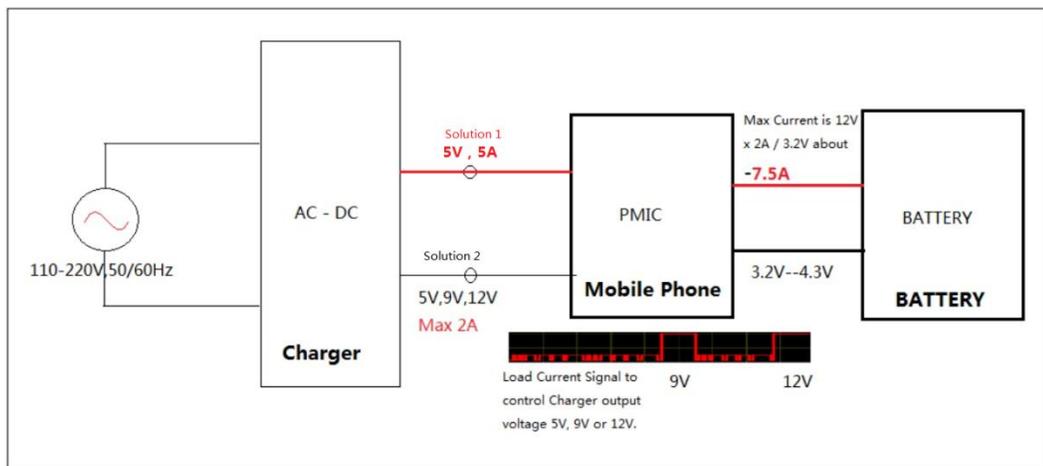
AFTER 30 MIN

68%

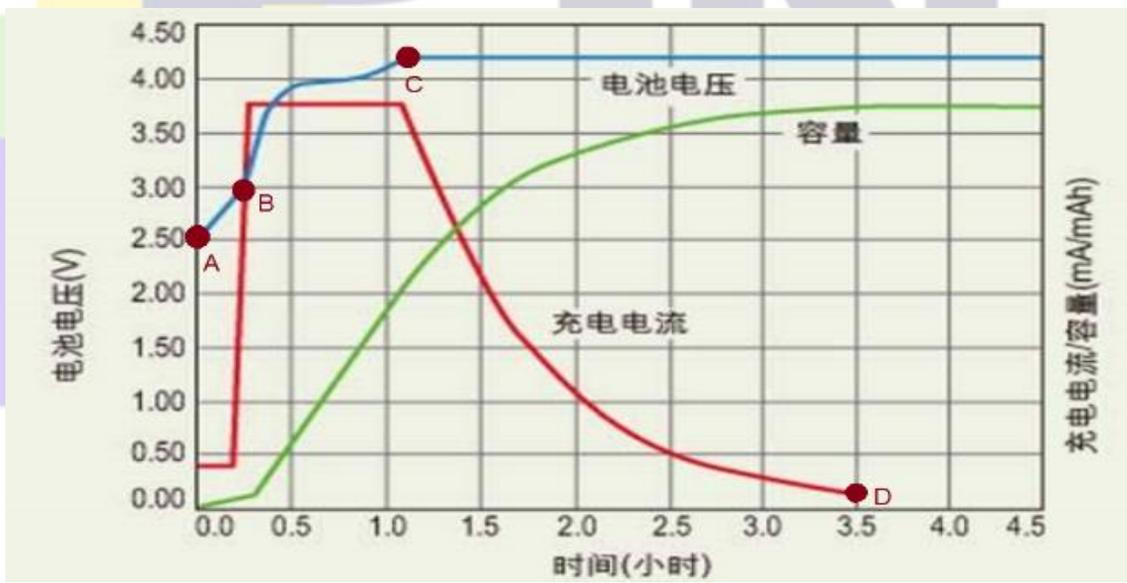
44h

- 无线充电效率相关的测试方案
- 电池与快充或充电相关的特性分析

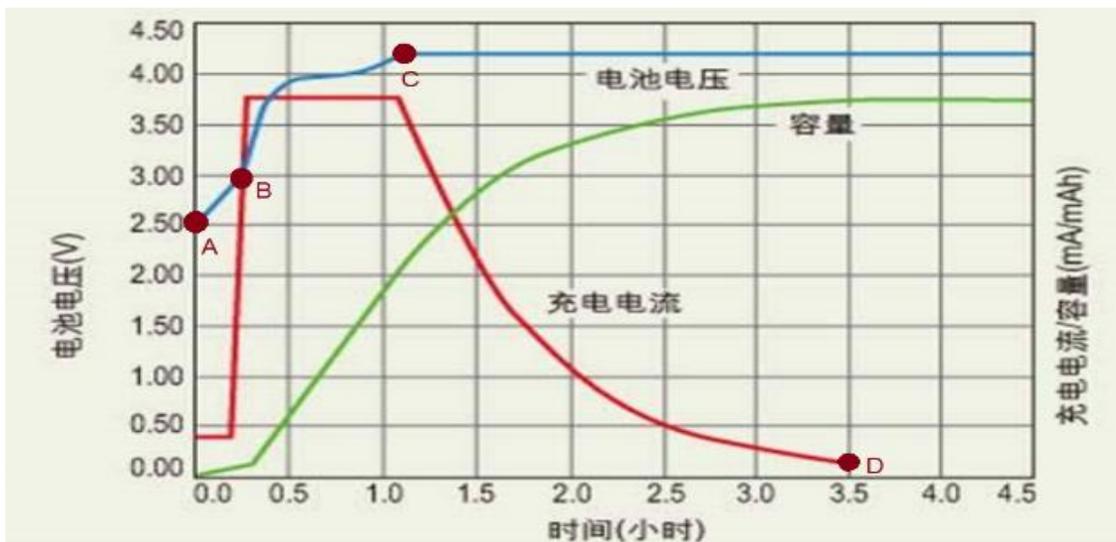
# 充电曲线对快充的启示？



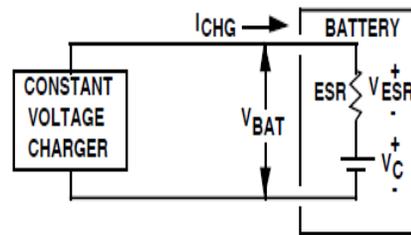
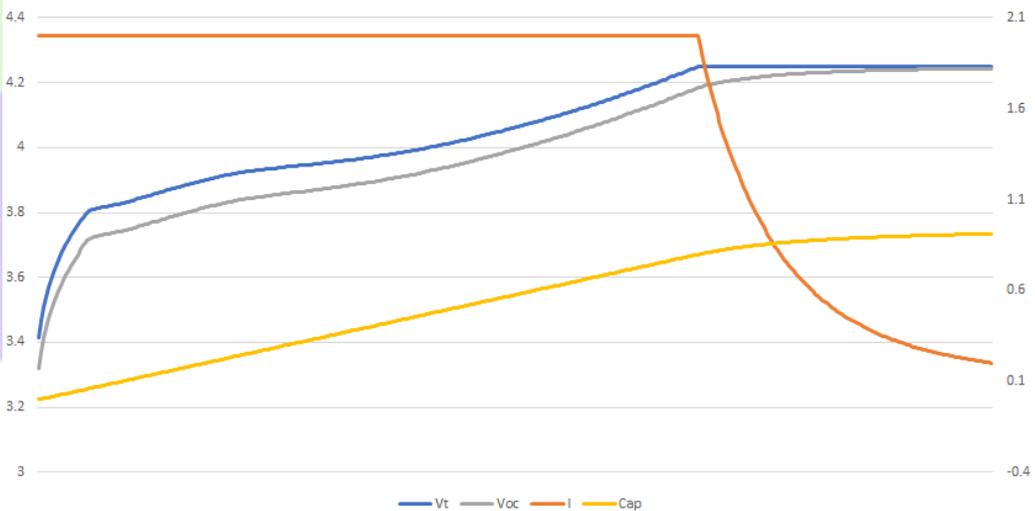
“三件套”的思考！



# 电池充电曲线的分析——端电压Vt/开路电压Voc



Charge Vt, Voc, I, Cap



$$V_{ESR} = I_{CHG} \times ESR$$

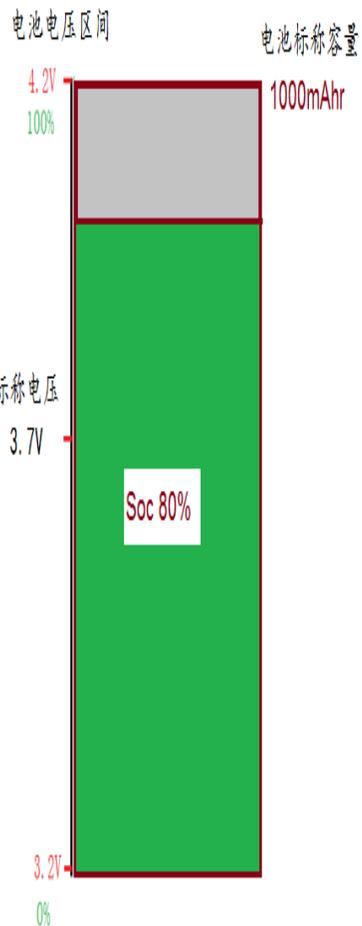
$$V_{BAT} = V_C + V_{ESR}$$

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

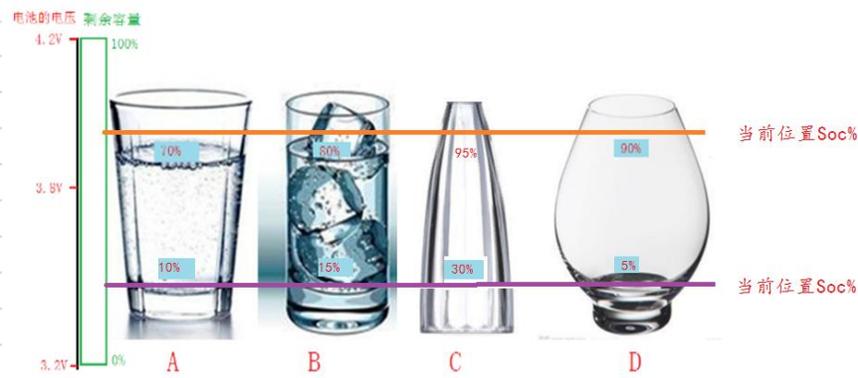
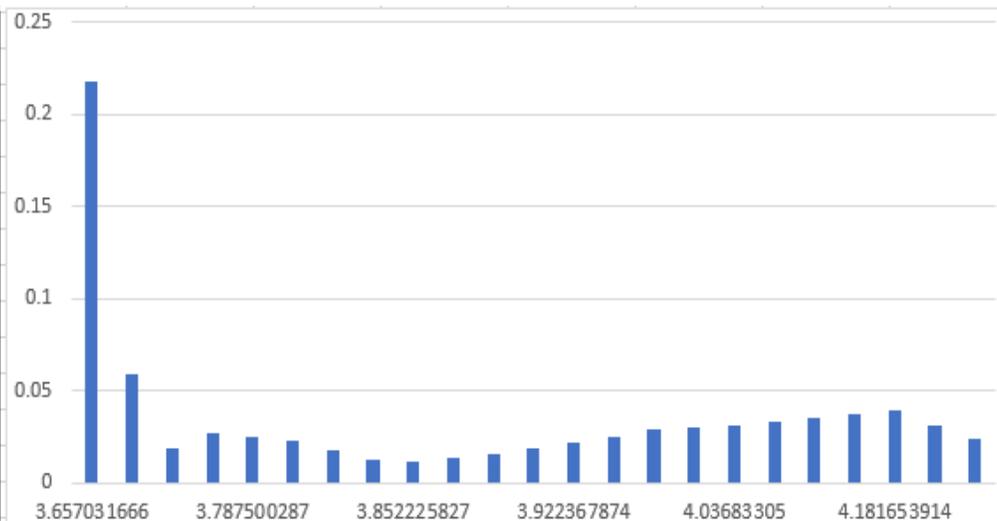


开路（不充放电）电压3.79V，1A充电时，电压3.95V；-1A放电时，电压3.31V

# 电池充电曲线的分析——电池容量分布



DCR (ohm)	Voc (V)	V_Diff	Capacity (%)
0.026973467	3.439683182		0.0
0.026404381	3.657031666	0.217348484	4.3
0.027300577	3.715984956	0.05895329	8.6
0.028127499	3.734977014	0.018992058	13.0
0.029376952	3.762391339	0.027414325	17.3
0.030164715	3.787500287	0.025108948	21.6
0.030612322	3.810691171	0.023190884	26.1
0.030762719	3.828152746	0.017461574	30.5
0.030622899	3.840507143	0.012354398	34.9
0.030085567	3.852225827	0.011718684	39.2
0.029601442	3.86584736	0.013621533	43.6
0.029172119	3.881852574	0.016005213	47.9
0.028755904	3.900348199	0.018495625	52.3
0.02823026	3.922367874	0.022019675	56.6
0.027860027	3.947557652	0.025189778	61.0
0.027454544	3.976328753	0.028771101	65.3
0.027279973	4.006074014	0.029745261	69.7
0.027063011	4.03683305	0.030759037	74.1
0.027019078	4.070077821	0.033244771	78.4
0.027011747	4.105446137	0.035368316	82.8
0.027203013	4.142569867	0.03712373	87.1
0.027314364	4.181653914	0.039084047	91.5
0.027608565	4.212539878	0.030885964	95.7
0.02849117	4.236150871	0.023610993	100.0



想一想，上图四种类型电池，  
哪一项不适合快速充电？  
哪一项不适合快速放电？

# 你了解在用的电池吗—— 电池管理的快充 或 快放哪里需要改进？

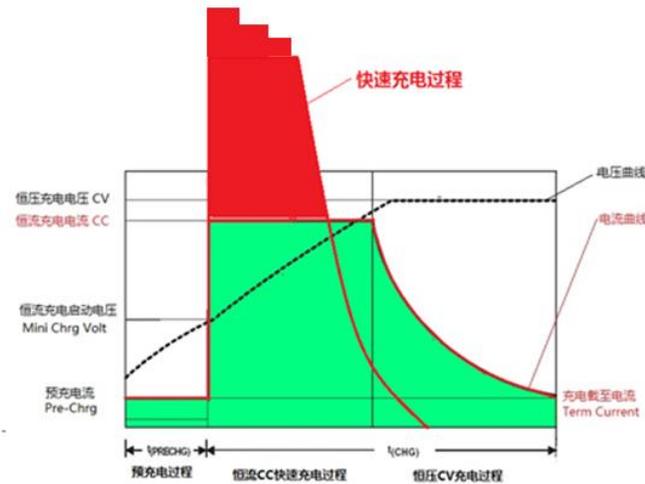


容量: 10AH  
标称电压: 12V

更多指标



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



# 温度对电池的充、放电影响



某个冬天的早晨、你正打算开着你的电动汽车以时速120Km/hr 见她。。。。。

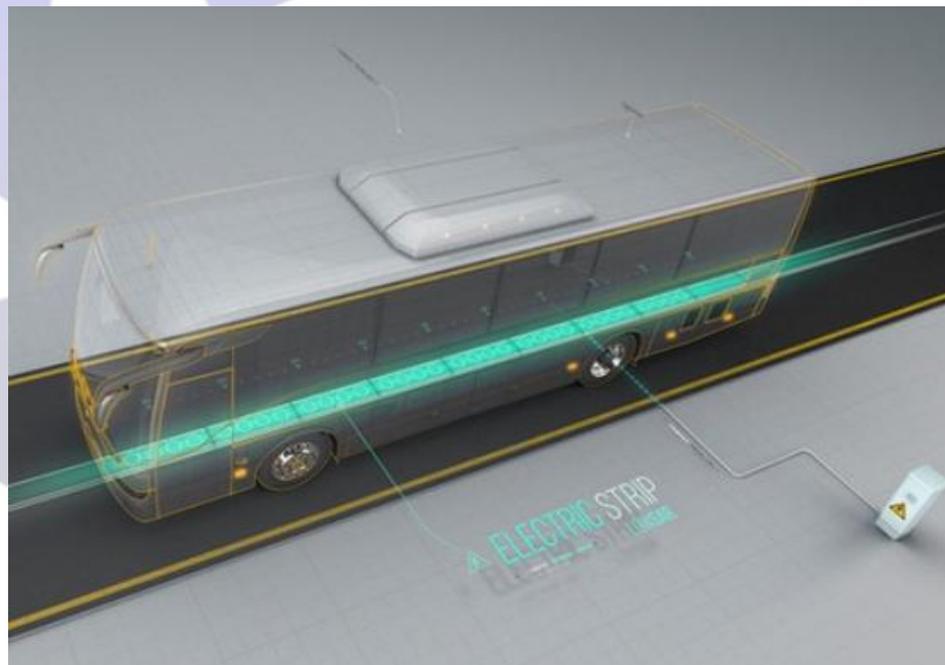
但你看时速表 仅仅显示 20km/hr....., 你要为她点赞 👍👍👍

### 痛点三：寒冷天气的快速充电

全新升级的 [ ] 全系标配了国内ITCS电池智能温控管理系统，完美实现了动力电池低能耗的低温预热和高温冷却技术突破，使得车辆在-20℃能快速充电，-30℃仍可正常使用，保障 [ ] 在极寒、极热地区的充电效率及续航里程能力，完美解决了极寒极热天气纯电动车主的充电续航顾虑。

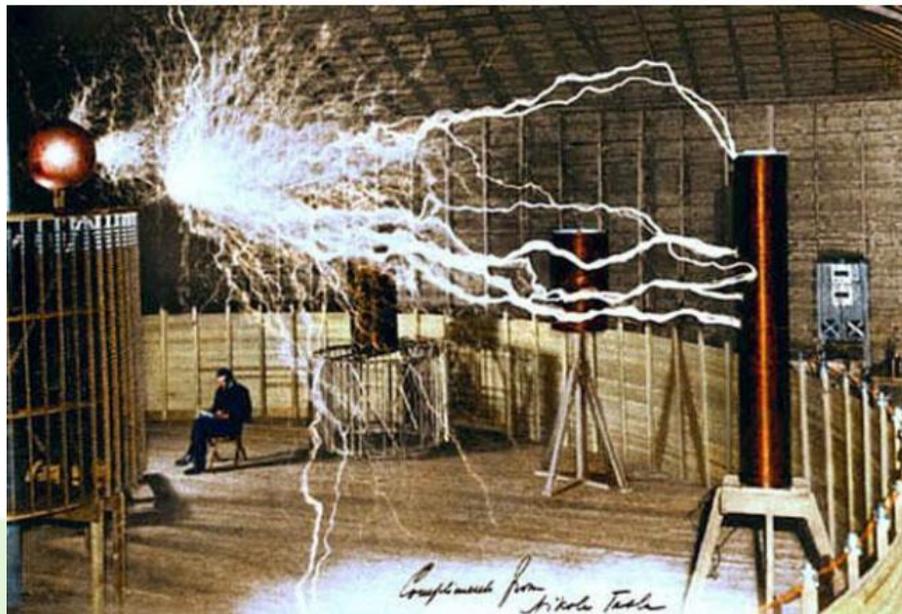
可以肯定的是 [ ] 绝不逊色于市面上的任何一款同级纯电动车，从它的销量数据中我们就可以看出， [ ] 已经得到了国内消费者的认可。5月6日在北京举办的 [ ] 团购会中，在90分钟的时间实现销量破千，充分展示了 [ ] 的实力。相信在新能源汽车不断发展的大势之下， [ ] 将迈出更加坚实的步伐，成就销售榜上的“王者荣耀”！

- 便携设备的精确功耗测量
- 快速充电对电池管理和电池特性的思考
- 无线充电效率相关的测试方案



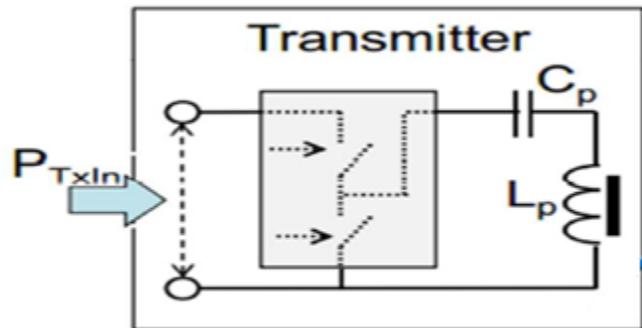
- 电池与快充或充电相关的特性分析

# 无线充电的应用关键因子——功率和效率

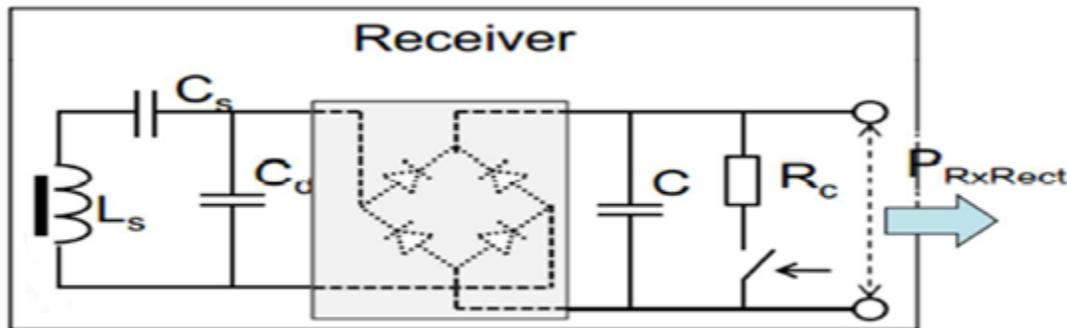


技術	電磁電感式	磁耦合共振	電耦合 (電場耦合)	電波充電
輸電距離	數mm~10cm	數cm~數m	數mm~數cm	數cm~數m
輸電電力	數w~數kW	數W~數kW	數W~數百W	1W以下
傳送效率	70~90%	40~60%	60~90%	極低
頻率	10kHz~數百kHz	數百kHz~數十MHz	數百kHz~數MHz	中頻~特高頻

# 无线充电的效率测量



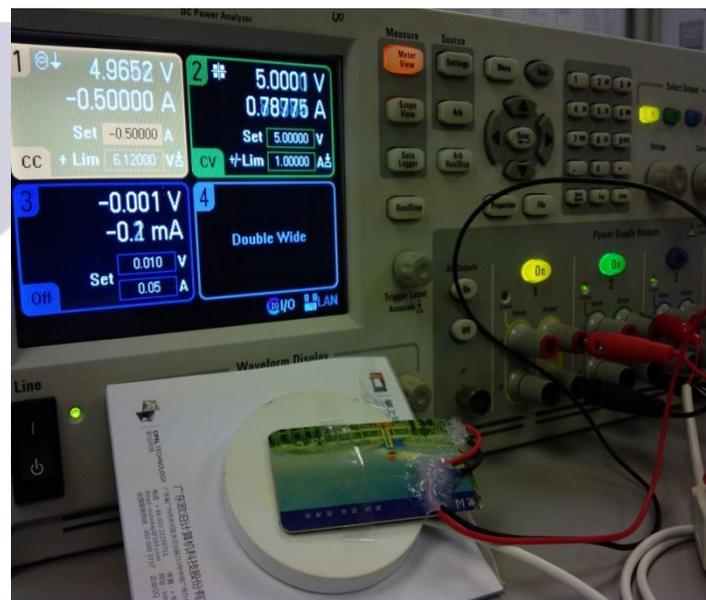
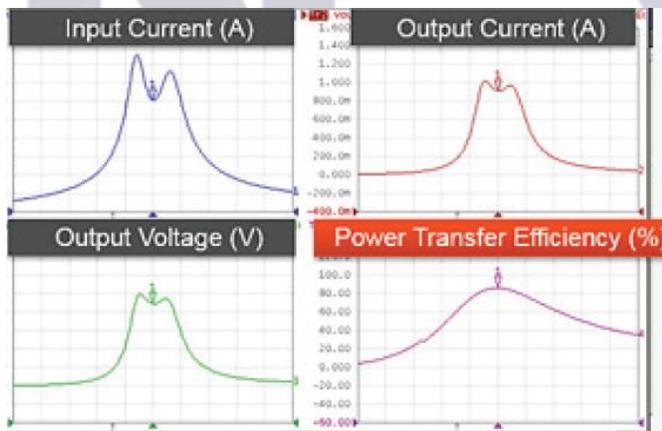
DC-AC 转换效率:  $Eff_1$



无线传输效率:  $Eff_2$

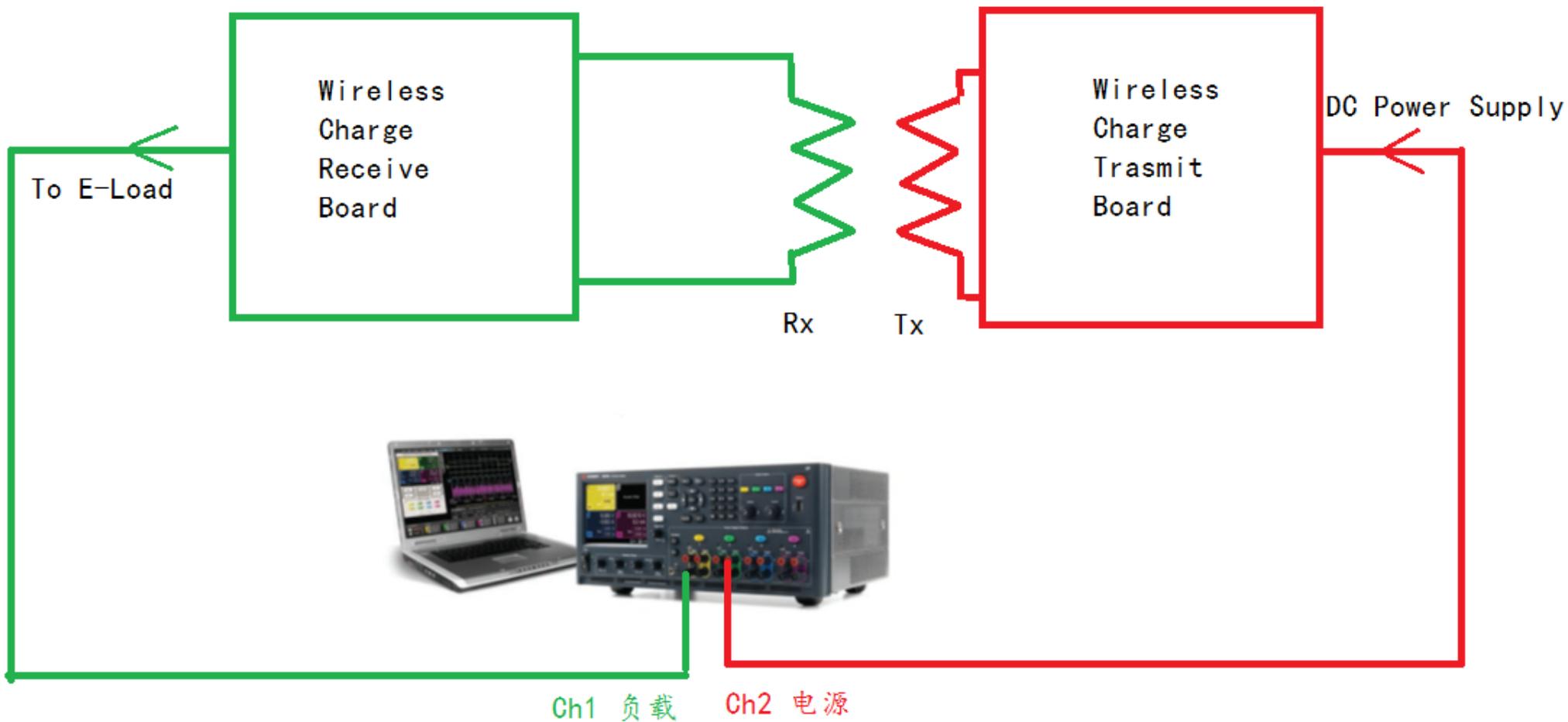
AC-DC转换效率:  $Eff_3$

DC输入功率



电池吸收功率

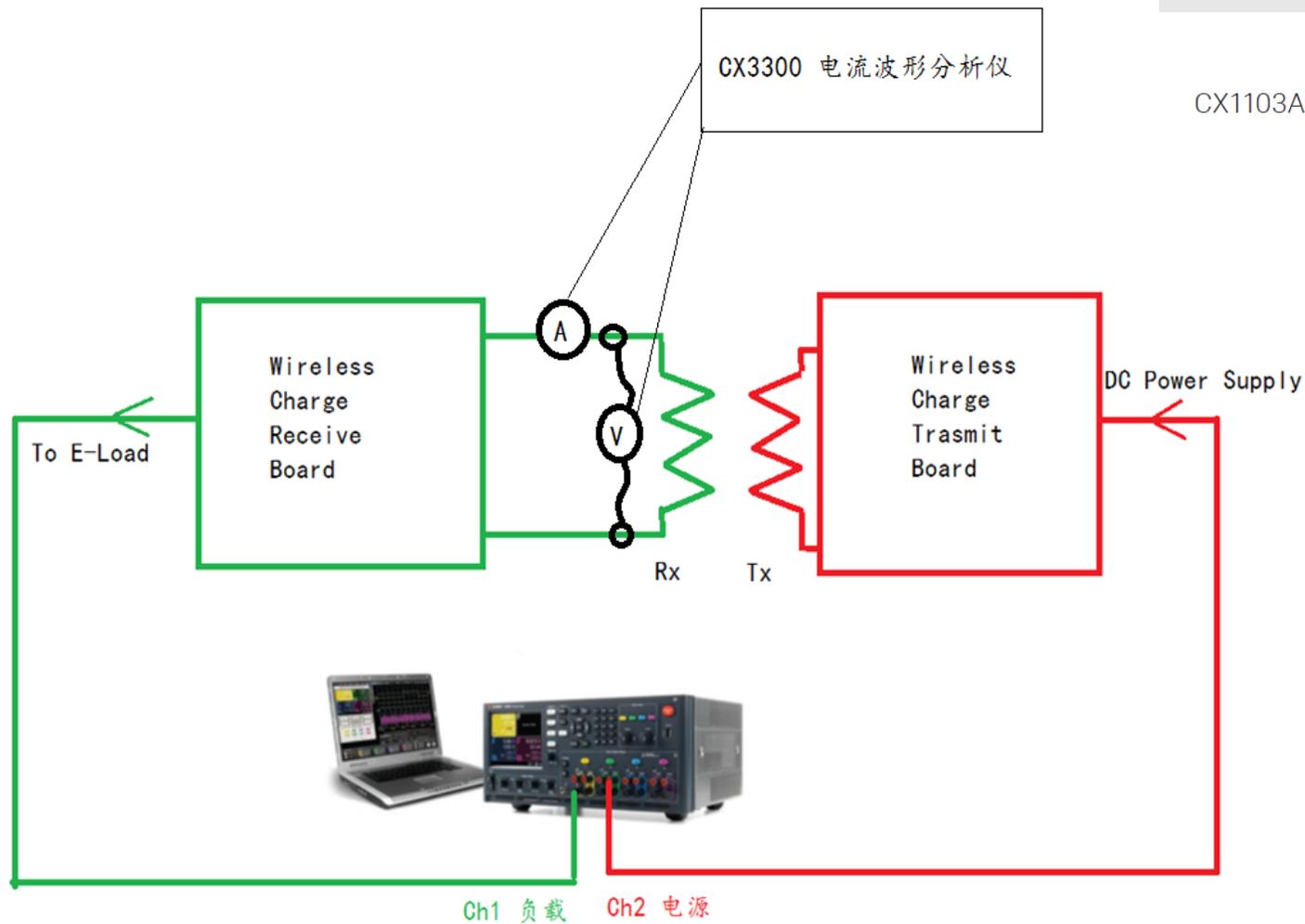
# 无线充电的效率测试环境之1 —— DC-DC一体化测量



# 内置ARB实现一键式无线充电的效率曲线扫描



# 无线充电的效率测试环境之2 —— Rx/Tx 接收端AC信号测量



CX1103A

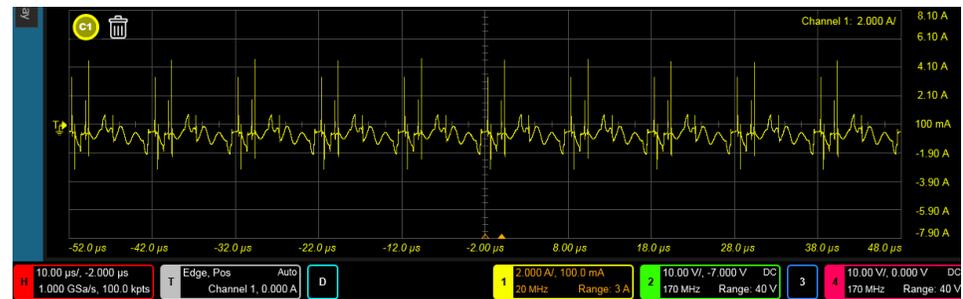
Range	Noise (rms) <sup>1</sup>	Maximum bandwidth (-3 dB)
20 mA	5 $\mu$ A	200 MHz
2 mA	1.5 $\mu$ A	75 MHz
200 $\mu$ A	150 nA	9 MHz
20 $\mu$ A	25 nA	2.5 MHz
2 $\mu$ A	1.5 nA	250 kHz
200 nA	150 pA	100 kHz

案例一：空中无线能量捕获材料和装置研究

- ✓ MHz的电流信号
- ✓ 极低电流信号约 1  $\mu$ A

案例二：无线充电装置在低功率时的性能分析

- ✓ 100-200KHz
- ✓ 较低电流信号约 1mA



# 无线充电的效率测试环境之3 ——Tx/Rx线圈效率

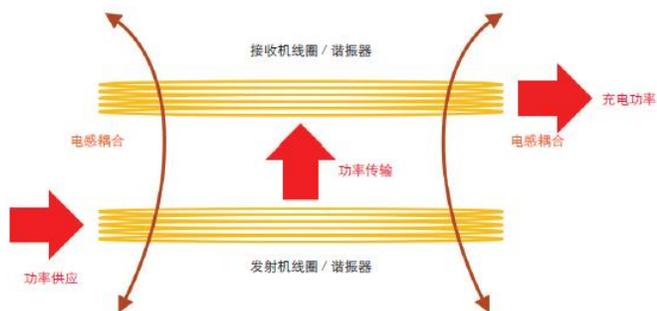
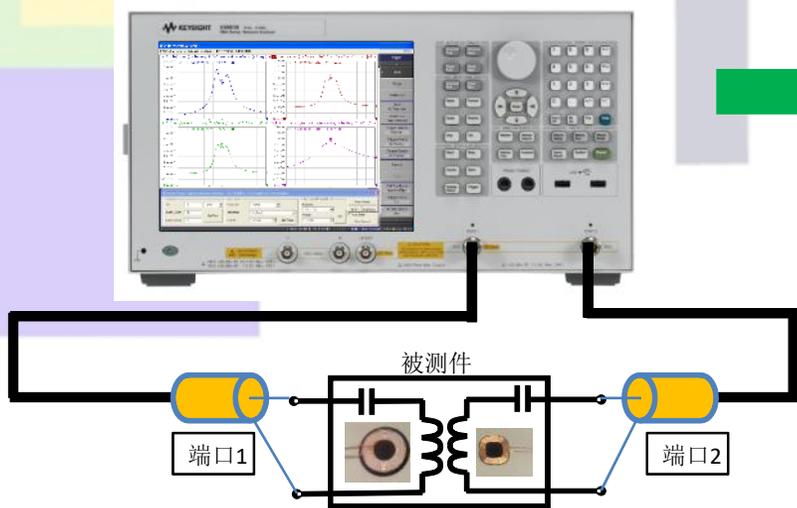


图 1. 线圈 / 谐振器之间通过磁场利用电感耦合进行功率传输

测试类别	被测件	测试要求
WPT 系统	耦合的线圈/谐振器	功率传输效率
		阻抗匹配
		系统运行条件下的阻抗匹配

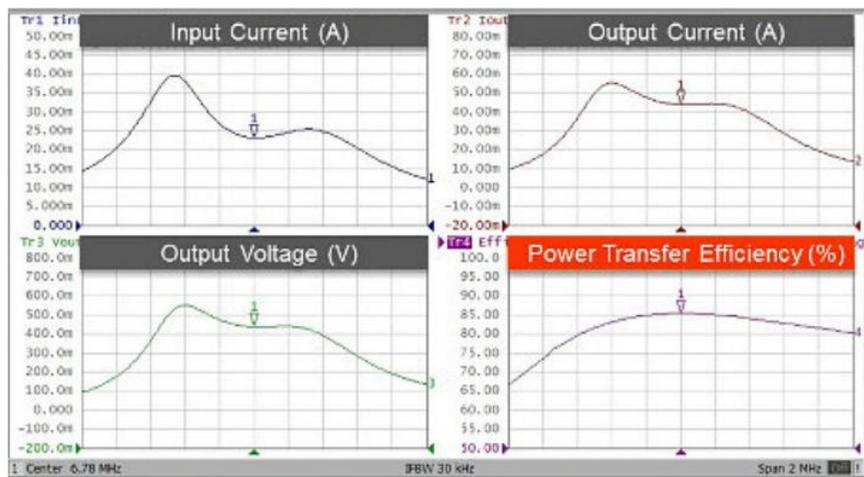
E5061B 矢量网络分析仪



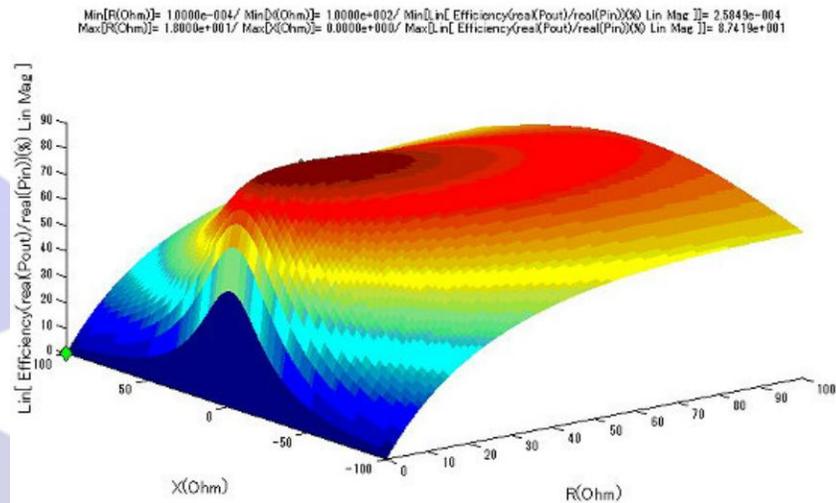
## 测试解决方案:

- ▶ 基于ENA系列矢量网络分析仪的无线充电测量软件
- ▶ 通过 S 参数测量来分析 WPT系统的实时电压、电流和功率传输效率
- ▶ 用户自定义任意负载阻抗，来仿真连接电池后的功率传输效率

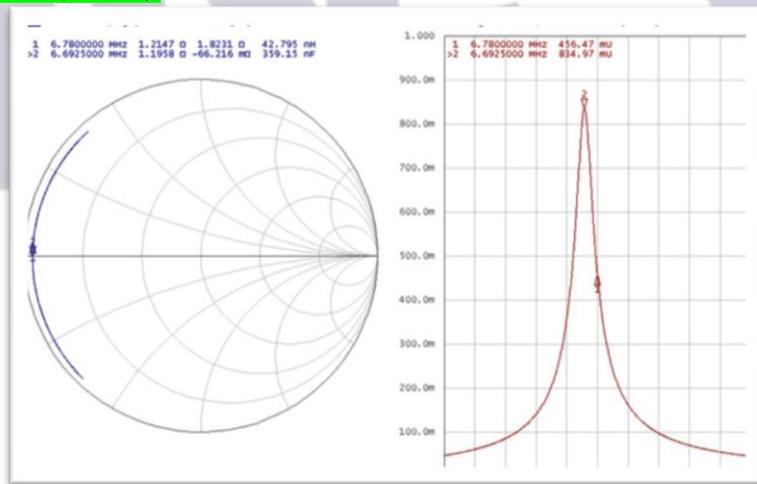
# E5601B 实测Tx/Rx线圈效果



实时电压、电流和功率传输效率



三维仿真了解负载阻抗的相关性，电阻 (R)、电抗 (X) 和频率 (f) 的测量结果。

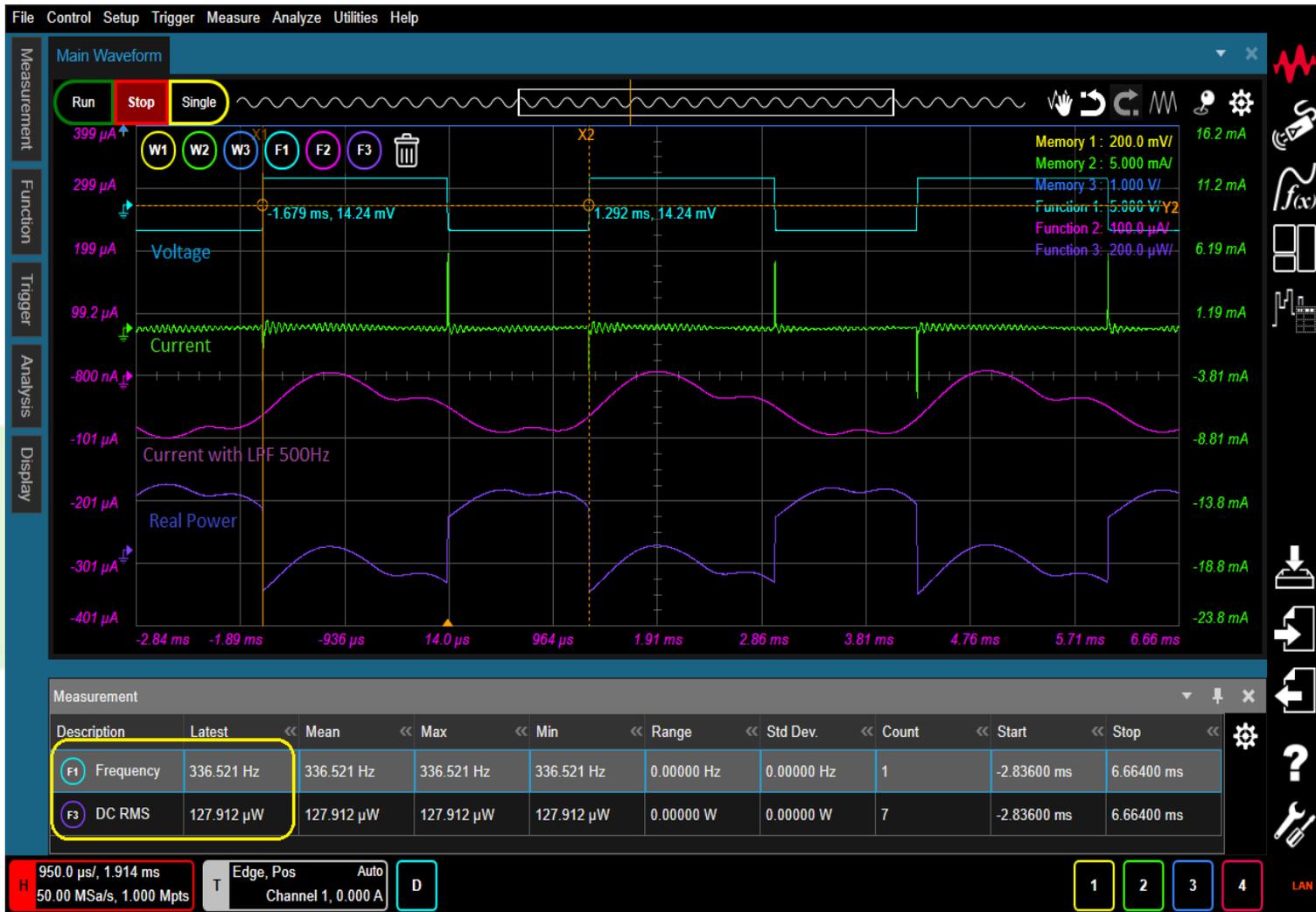


史密斯圆图 (R, X), 谐振频率为 6.78 MHz

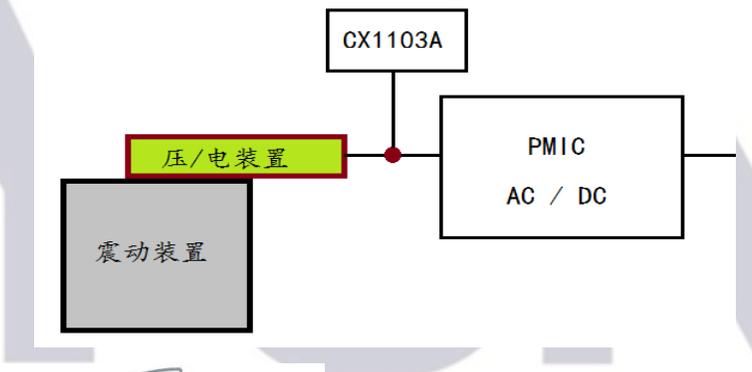
# 空中能量捕获系统测试



# 微弱震动或无线RF能量收集



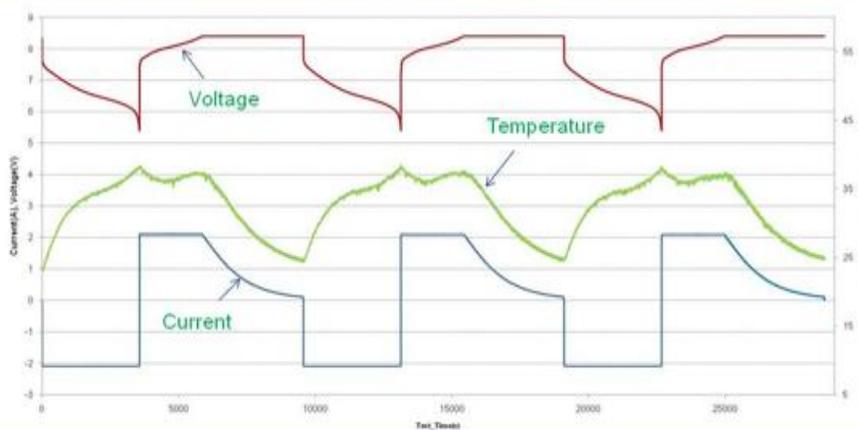
该装置电路的测试数据：  
 主频率：336/52 Hz  
 平均功率(RMS)：127uW  
 峰值电流：5.24mA  
 次频率：18.67KHz



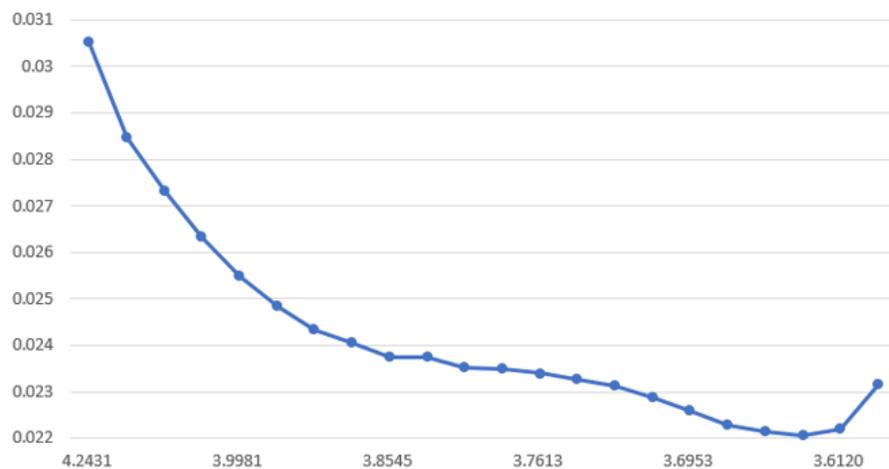
无线广播RF能量收集

- 便携设备的精确功耗测量
- 快速充电对电池管理和电池特性的思考
- 无线充电效率相关的测试方案
- 电池与快充或充电相关的特性分析

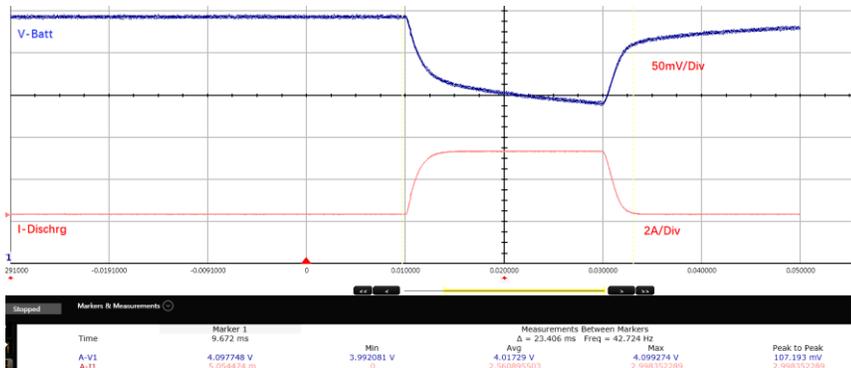
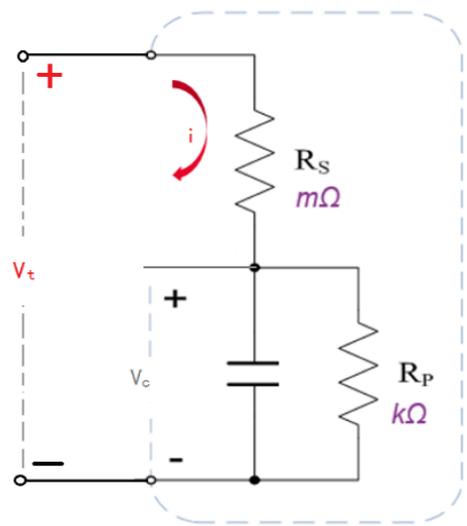
充放电交替测试不再困难？



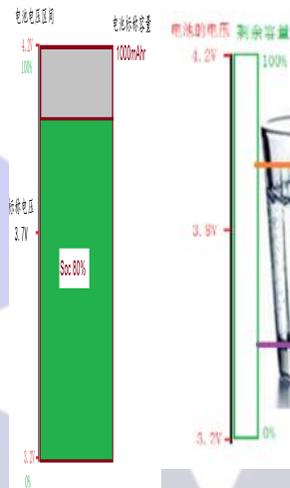
DCR Vs Voc



# 电池全面性能指标?

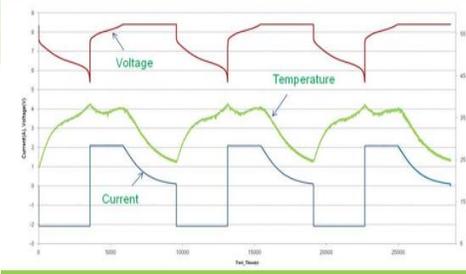


ACR / DCR 内阻

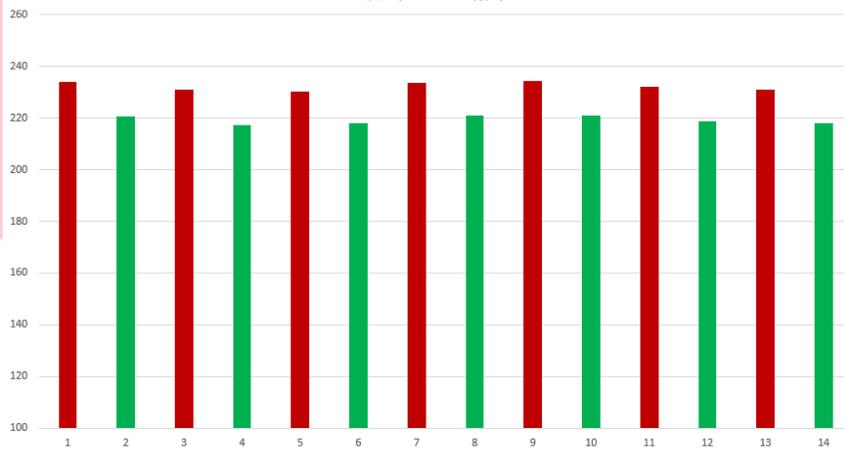


容量 及容量Vs电压分布

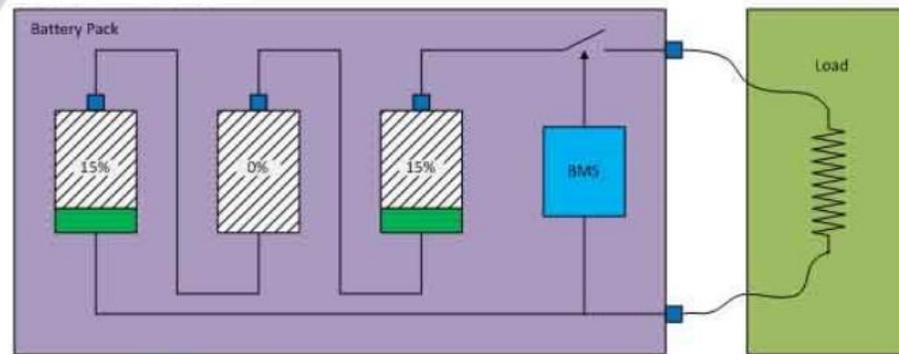
充放电交替测试不再困难?



放、充电量循环



循环充放电次数和容量



自放电与电池均衡

# 电池循环充放电寿命验证

充放电交替测试不再困难?



- 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

- ✓ 具备+/-电流能力，单次连接，可以对电池进行充电和放电测试；
- ✓ 内置电量测试能力，可以直接获得累积的电量(AHr)数据，测试和验证电池容量。
- ✓ 高精度测量，可以用于测量电池的内阻DCR。
- ✓ 输出端具备继电器开关，可以完全断开与蓄电池的连接。



N6705C,  
20- 500W



RP7900, 950V, 40A, 10KW



N7900, 160V, 200A, 2KW

充电

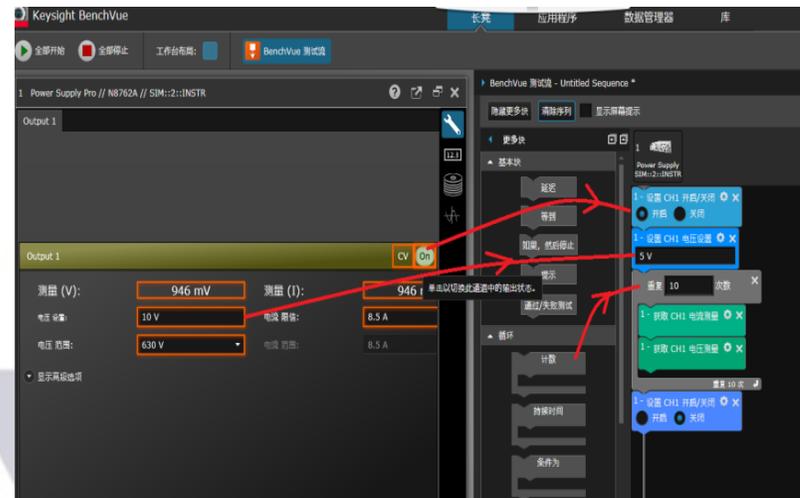


放电

# BenchVue / Test Flow 软件平台



支持Keysight全系列仪表



Test Flow拖拽式编程

用户无需编程（经验）即可：

- 连接仪器
- 编辑测试序列
- 记录数据
- 获取测量结果

BenchVue可视作仪器与上位机的神经网络



Time	Step	Voltage	Current	Power
31:52.9	1	5	0.5	0.01
31:53.3	2	5	1	0.11
31:53.7	3	5	1.5	0.151421356
31:54.1	4	5	2	0.183205081
31:54.5	5	12	0.5	0.21
31:55.0	6	12	1	0.233606798
31:55.5	7	12	1.5	0.254948974
31:55.9	8	12	2	0.274575131
31:56.3	9	18	0.5	0.292842712
31:56.7	10	18	1	0.31
31:57.1	11	18	1.5	0.326227766
31:57.5	12	18	2	0.341662479

自动生成详细测试数据

# 电池循环充放电寿命验证 / \*Test Flow (Benchvue 软件)

Power Supply GPIB0::5::INSTR

1 - \*RST  
Address: GPIB0::5::INSTR

1 - Set CH1 Priority Mode  
Current

1 - Set CH1 Voltage Limit  
4.25 V

Repeat 100 time(s)

1 - Set CH1 On/Off  
On

1 - Amper Hour Reset  
Address: GPIB0::5::INSTR N7951A  
SCPI: SENS:AHO:RES Validate

1 - Set CH1 Current Setting  
Curr\_Dischrg

Repeat Until  
Get CH1 Voltage Measurement <= 3.5 V  
@Timeout @Count

1 - Get CH1 Voltage Measurement

1 - Get CH1 Current Measurement

Set  
1 - Amper Hour Reset  
Address: GPIB0::5::INSTR N7951A  
SCPI: FETC:AHO? Validate  
Return Type: Double

Delay 5 s

APS 电源复位 RST

电池放电/充电循环 次数

放电测试

电量计清零

放电截至条件电压 < 3.5V

获取 电池电压、电流 和 电量

Delay 60 s

1 - Set CH1 On/Off  
On

1 - Set CH1 Current Setting  
Curr\_Chrg

1 - Amper Hour Reset  
Address: GPIB0::5::INSTR N7951A  
SCPI: SENS:AHO:RES Validate

Repeat Until  
Get CH1 Current Measurement <= 200 mA  
@Timeout @Count

1 - Get CH1 Voltage Measurement

1 - Get CH1 Current Measurement

Set  
1 - Amper Hour Reset  
Address: GPIB0::5::INSTR N7951A  
SCPI: FETC:AHO? Validate  
Return Type: Double

Delay 5 s

1 - Set CH1 On/Off  
On

Export Data  
File Name: Battery-Dischrg - Chrg - 14  
Export Target: CSV  
Export Path: C:\0 D盘-工作文件\Work SPD\Baohua...

Delay 60 s

放电 --> 充电 静置 时间

充电测试

电量计 清零

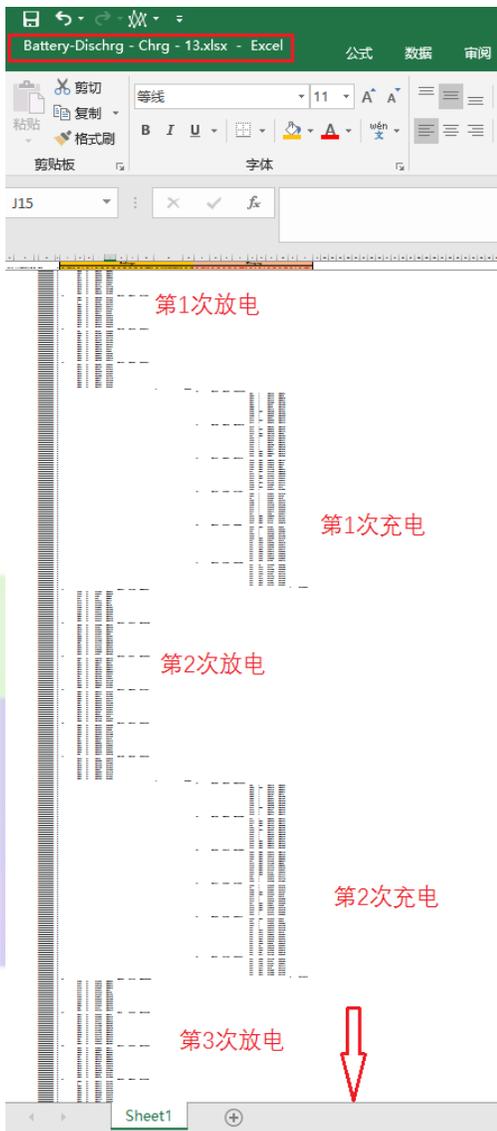
充电截至条件 电流 < 200mA

获取 电池电压、电流 和 电量

测试CSV文件保存 至 指定文件夹



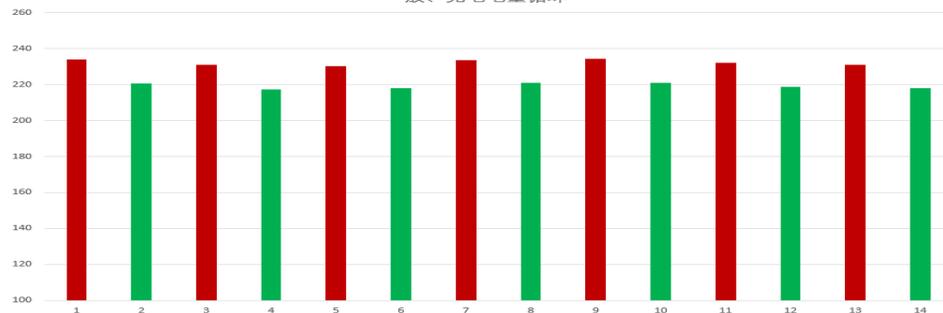
# \*Test Flow 实测数据——电池循环 充/放电 的容量



序号	电量 (mAh)
1	233.9181
2	220.5058
3	230.9164
4	217.3428
5	230.4694
6	218.2006
7	233.7589
8	221.1083
9	234.2563
10	220.9343
11	232.1937
12	218.8267
13	230.9993
14	217.9437

\*数据来源,  
某1100mAh电池浅充、浅放。  
放电截至电压-3.9V;  
充电截至电流1A;  
有效容量约240mAh。

放、充电电量循环



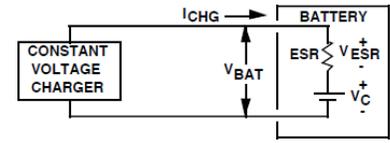
Discharge									
Set (DCR_Index)	Set (Vt)	Set (Curr)	Set (Voc)	Set (AHour)	Set (DCR)	Set (Voc)	Set (AHour_Last)	Set (Dischr_Charg_Cycle_index)	Set (AHour)
	3.9436	-2.00046	3.998791831	0.1901003					
	3.940888	-2.000527	3.996081679	0.1929784					
	3.938181	-2.000422	3.993371782	0.1959068					
	3.9355	-2.000424	3.990690837	0.1987895					
	3.932749	-2.000405	3.987939313	0.2017178					
15					0.027348342	3.986836279	0.2045972		
	3.931904	-2.000259	3.986607768	0.2049734					
	3.92785	-2.000254	3.982553631	0.207865					
	3.924792	-2.000567	3.979504191	0.2107454					
	3.921884	-2.000486	3.976593976	0.2136343					
	3.919059	-2.000555	3.973770863	0.2165197					
	3.916252	-2.000355	3.970958393	0.2194197					
	3.913564	-2.0005	3.968274359	0.2222927					
	3.910788	-2.000525	3.965499043	0.2251878					
	3.907999	-2.000385	3.962706214	0.2280797					
	3.905253	-2.000603	3.959966176	0.231016					
	3.902505	-2.000777	3.957222934	0.2339181					
								3	0.2339181

第3次放电, 234mAh

Charging									
Set (DCR_Index)	Set (DCR)	Set (Voc)	Set (AHour_Last)	Set (Vt)	Set (Curr)	Set (Voc)	Set (AHour)	Set (Dischr_Charg_Cycle_index)	Set (AHour)
				4.249961	1.606179	4.204784357	0.1940794		
				4.249909	1.553527	4.206213288	0.196357		
				4.24999	1.502312	4.207734801	0.1985567		
				4.249954	1.453893	4.209060671	0.2006834		
				4.249969	1.406921	4.210396843	0.2027518		
21	0.028157405	4.210419008	0.2047659						
				4.249972	1.399845	4.210555997	0.205084		
				4.250011	1.325097	4.212699707	0.2070612		
				4.24998	1.274649	4.214089191	0.2089584		
				4.250036	1.230624	4.215384821	0.2107688		
				4.249979	1.188887	4.216503027	0.2125469		
				4.249928	1.149887	4.217550166	0.2142484		
				4.249945	1.113993	4.218577847	0.2158887		
				4.249967	1.078446	4.219600759	0.2174812		
				4.250027	1.044372	4.220620194	0.2190295		
				4.250003	1.01161	4.221518687	0.2205058		
								4	0.2205058

第4次充电, 220mAh

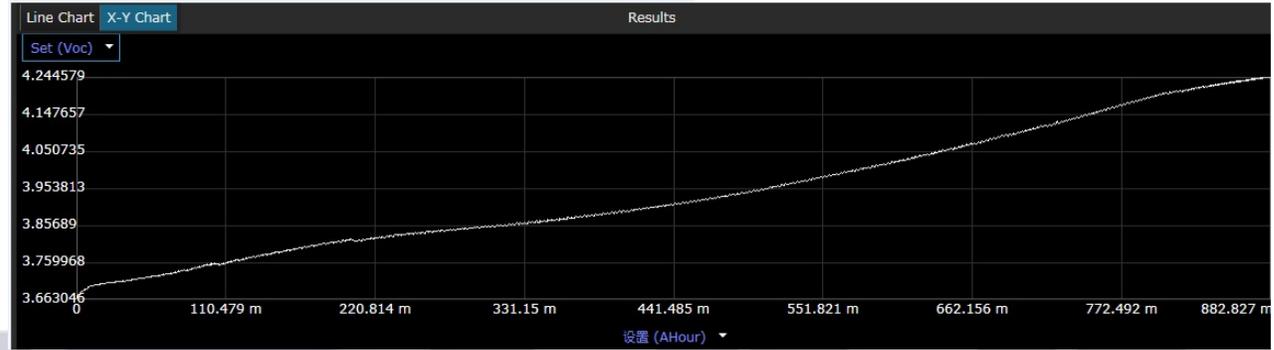
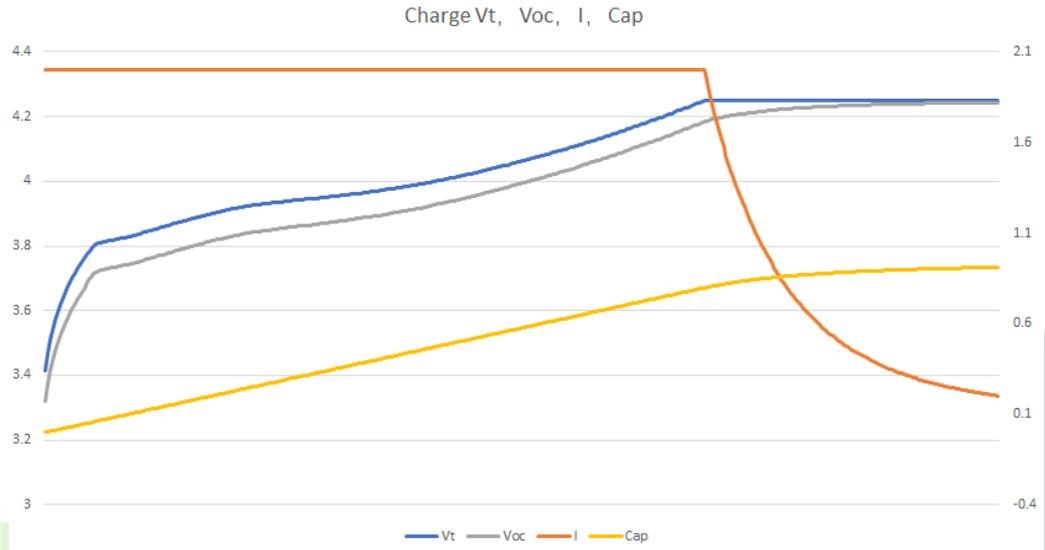
# \*Test Flow 实测数据——电池充/放电曲线/DCR



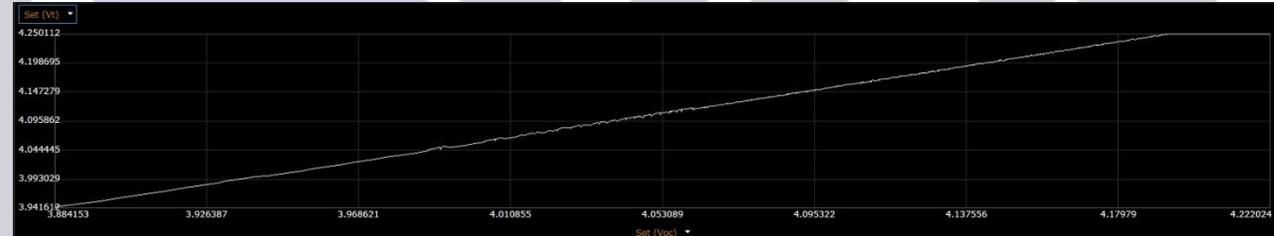
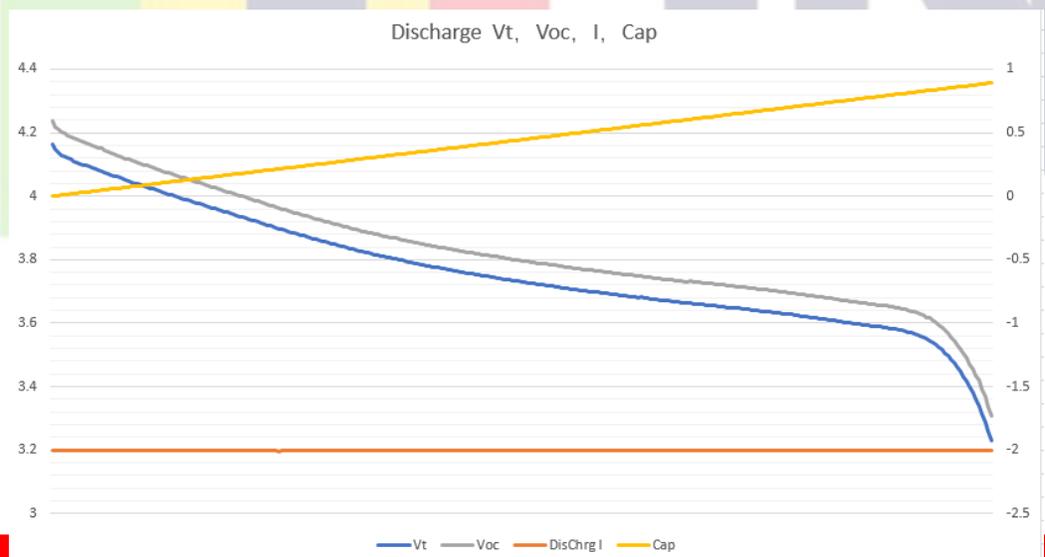
$$V_{ESR} = I_{CHG} \times ESR$$

$$V_{BAT} = V_C + V_{ESR}$$

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



充电过程中的, 电池电量 (Ahr) Vs 电池开路电压 Voc



电池开路电压 Vt Vs 电池开路电压 Voc

Set DCR = Volt\_Last - Volt\_Now :: Curr\_Last - Curr\_Now

34.937 m

Set Vt = 1 - Get CH1 Voltage Measurement 3.808362 V

3.808362

Set Curr = 1 - Get CH1 Current Measurement -2.000556 A

-2.000556

Set Voc = Vt - Curr x DCR

3.871989

\*数据来源,  
某1100mAh电池充、放电。  
放电截至电压-3.3V;  
充电截至电流0.2A;  
有效容量约900mAh。

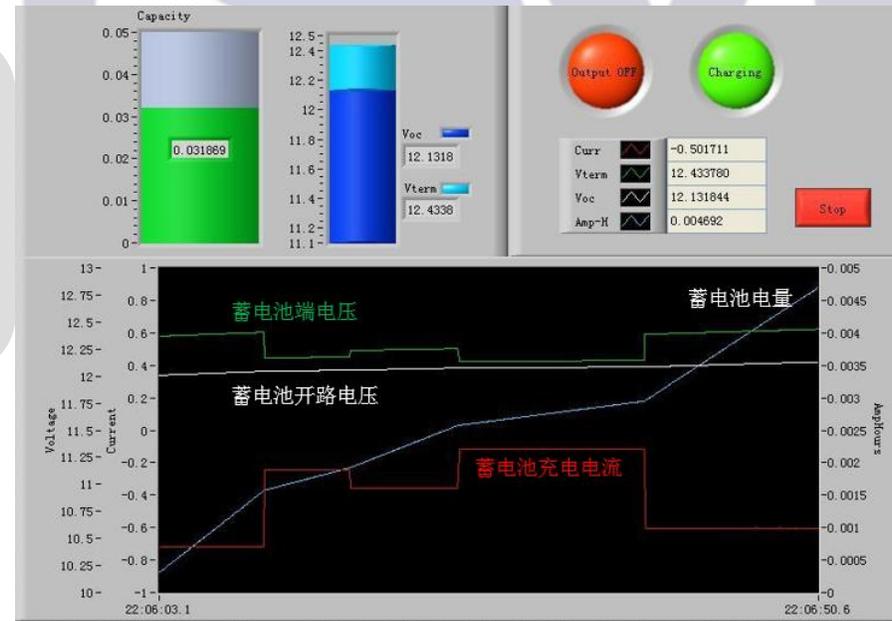
# \*Test Flow 实测数据——电池充/放电曲线/DCR



电量 (Ahr)	DCR ( $\Omega$ )	Voc (V)
0.04614512	0.036577742	3.66068004
0.09261718	0.037212373	3.725647529
0.1390386	0.037949672	3.75157968
0.185453	0.038170871	3.783113753
0.231905	0.037785937	3.809761714
0.2761011	0.037766115	3.830160602
0.3201899	0.037423396	3.843590786
0.3642329	0.036487066	3.855946993
0.410844	0.035521265	3.871300519
0.455037	0.034597368	3.889032882
0.4995854	0.033692061	3.910274475
0.546194	0.033087522	3.936957706
0.5927671	0.032560164	3.968097114
0.6393005	0.031937653	4.001754347
0.6836839	0.031874742	4.034612951
0.7278504	0.031515196	4.070978841
0.7722958	0.031095616	4.109864043
0.8166187	0.031558307	4.151470423
0.862938	0.031553856	4.194197557
0.9077889	0.031978325	4.222493098

## 电池模型参数

- ✓ 电压区间
- ✓ 电量分布
- ✓ 内阻分布

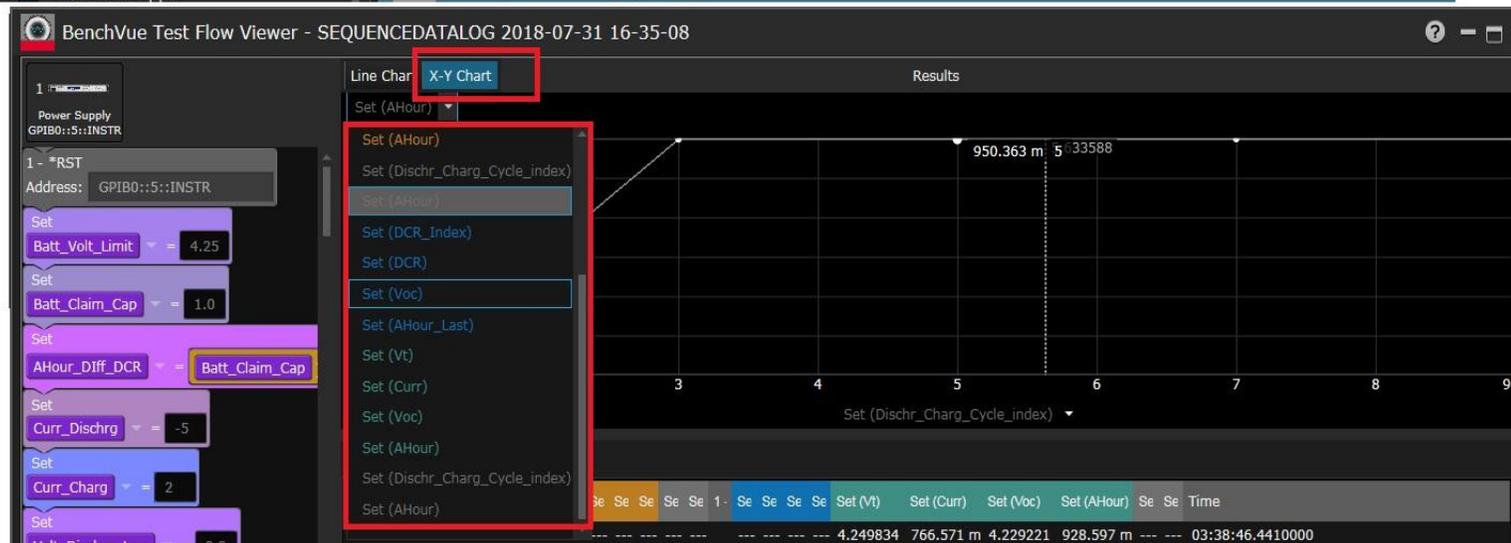
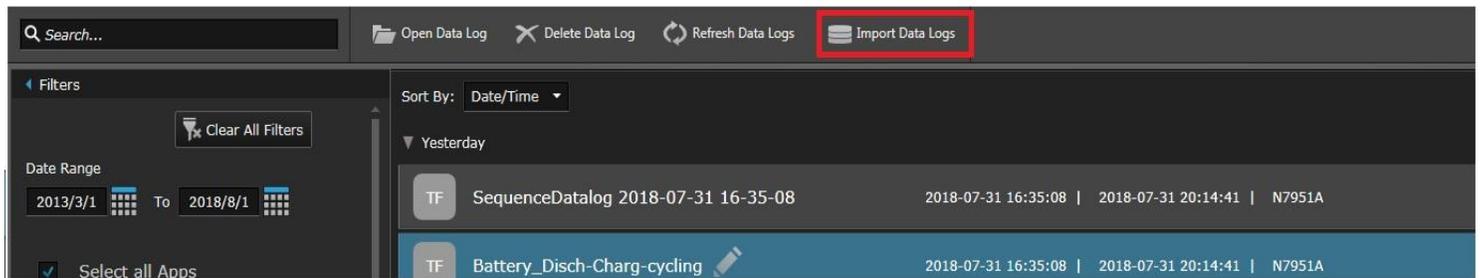


Percentage charge	RBatt Scale Factor		
	-20°C	0°C	25°C
100	1223	289	100
95	1142	283	103
90	1150	284	102
85	1114	285	106
80	1101	291	111
75	1097	291	118
70	1101	276	126
65	1106	269	110
60	1119	271	102
55	1138	280	102
50	1164	295	108
45	1196	317	116
40	1245	343	122
35	1319	362	121
30	1428	363	121
25	1665	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

## 某电池内阻随电量和温度的分布

\*数据来源,  
某1100mAhr电池充、放电。  
放电截至电压-3.3V;  
充电截至电流0.2A;  
有效容量约900mAhr。

# \*Test Flow 实测DataLogger数据X-Y分析 —— Benchvue软件演示



1. 放电容量 VS 放电序号
2. 放电容量 VS  $V_t$
3. 放电DCR VS DCR序号

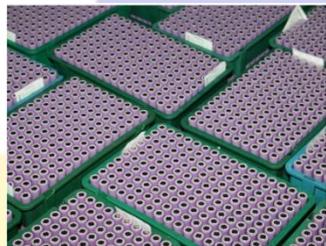
1. 充电容量 VS 充电序号
2. 充DCR VS DCR序号
3. 充电容量 VS  $V_{oc}$
4. 充电电流 VS  $V_{oc}$
5. 充电端电压 $V_t$  VS  $V_{oc}$

\*数据来源，  
某1100mAh电池充、放电。  
放电截至电压-3.3V；  
充电截至电流0.2A；  
有效容量约900mAh。

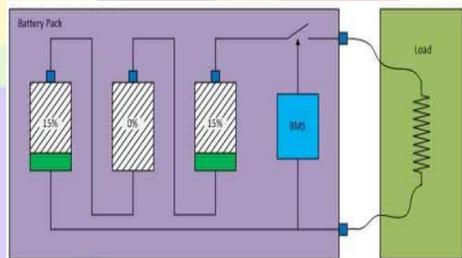
免费下载安装Benchvue软件，[咨询Keysight](#) 获取以上测试文件。

# 电池自放电的影响

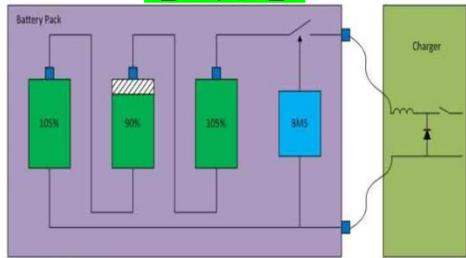
——动力电池和物联网设备的低功耗长寿命电池



电池放电



电池充电



**动力电池**需要自放电特性一致的电芯进行配组，以确保长期工作的均衡充、放电。有数据表明，使用单体1200次循环的电池，良好的配组之后，电池组循环次数可能不到200次！

很多新型NB-IoT设备提10年不换电池出的要求，例如无线水表、智能传感器等。电池的长时间续航，一方面要求产品本身低功耗，还要求电池本身低自放电损耗。例如一个10000mAh 的电池，如果自放电率是50uA，10年就是 4380 mAh，约50% 的电能被自身漏掉了，有效的电池电量其实只有50%！

# 电池的自放电率和传统的测试手段

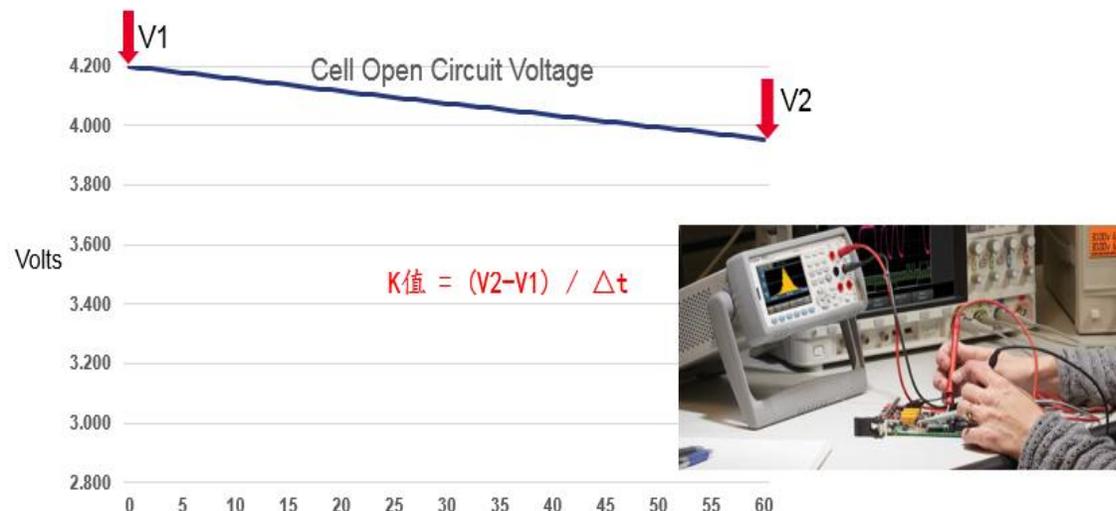
## 自放电率:

又称电荷保持能力，是指电池在开路状态下，电池所储存的电量在一定条件下的保持能力。主要受电池制造工艺、材料、储存条件等因素影响，是衡量电池性能的重要参数。

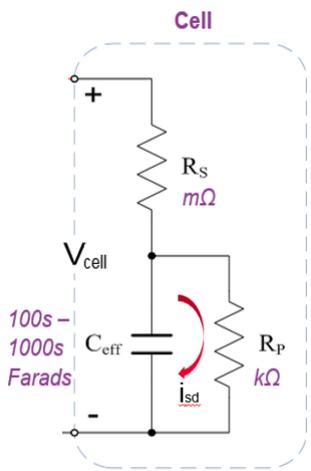
传统的测试手段：高精度万用表 + 大量存放的电池 + 数月的时间

下表列出了正常储存条件下自放电的近似值:

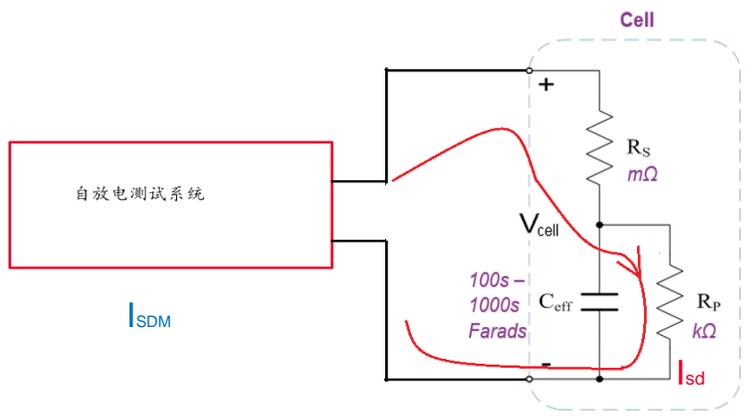
类型	自放电率 / 月
锂离子纽扣电池	1%
碱锰圆形电池	2 %
锌碳圆形电池	4%
铅蓄电池	20-30%
镍镉/镍氢电池	35%



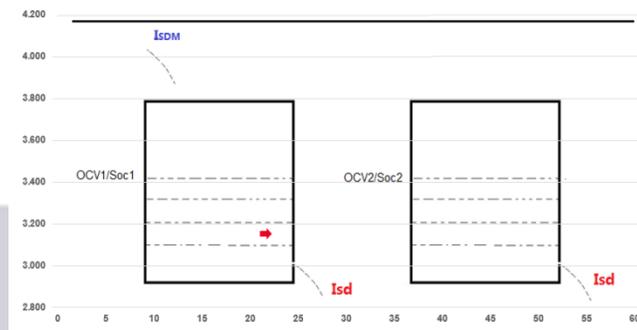
# Keysight创新的自放电测试原理



电芯开路时，等效的内部电阻 $R_p$ 构成的放电回路  $I_{sd}$ 。



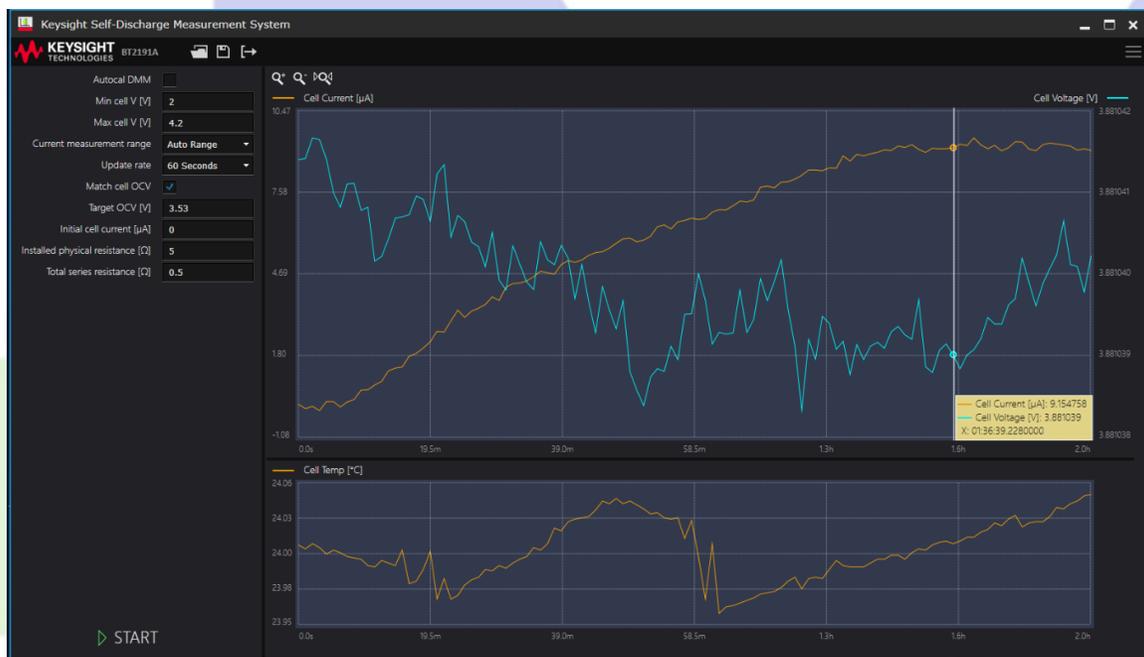
自放电测试系统保持电芯电压/Soc，因此，电芯没有被充电（Soc减少），也没有被充电（Soc增加），此时测试系统提供的电流 $I_{SDM}$ 就等于 $I_{sd}$ 。



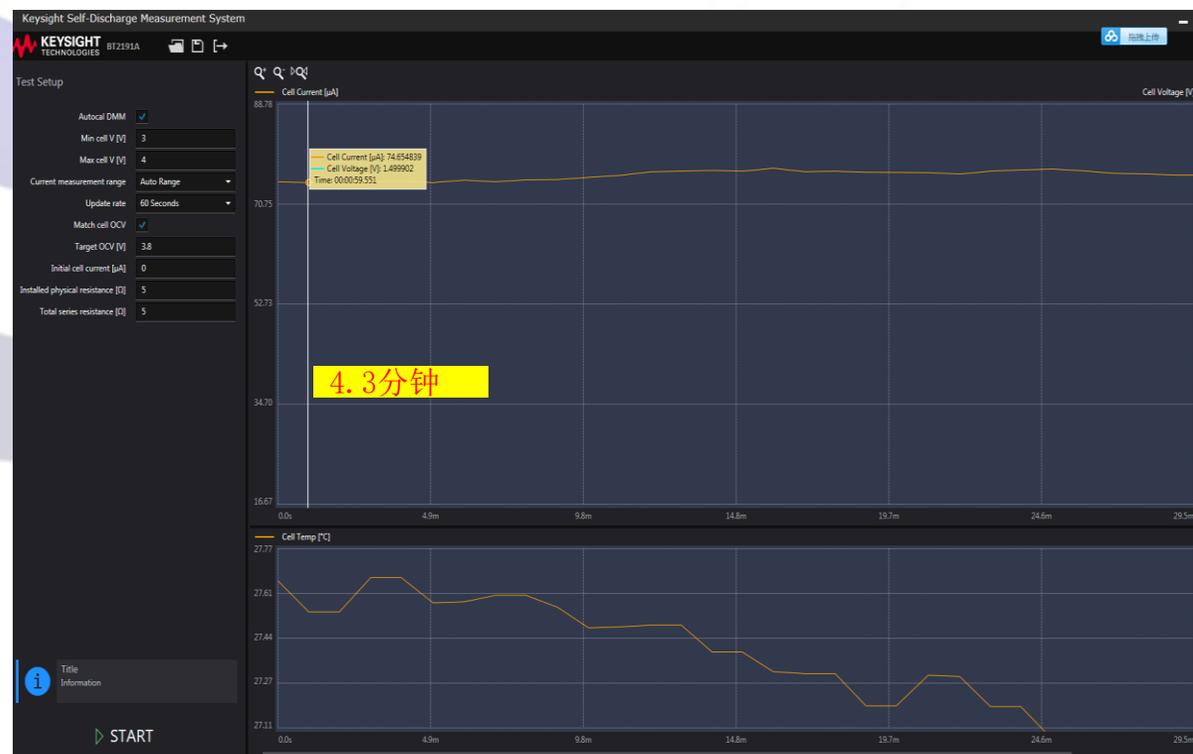
假设用一个水杯代替电芯，水杯的高度对应电芯电压 $O_{cv}$  (nV)，该水位对应的容积代表电芯电量Soc (n%)。虽然水杯依然有一个很小的洞，但由于外部补充的速度（ $I_{SDM}$ ）与漏水速度（自放电电流 $I_{sd}$ ）一样，且电芯电压OCV和SOC均保持不变，所以测量 $I_{SDM}$  就等于 $I_{sd}$ 。

# BT2100 SDM测试系统界面及实时结果

某18650电芯，测试时间约1.5小时，自放电电流9.15uA



电池模拟器 瞬间获得-自放电电流74.6uA

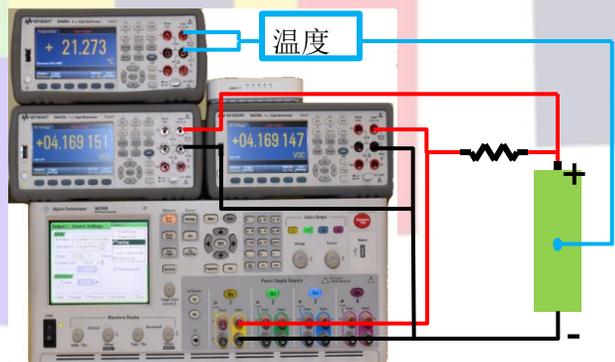


# BT2191A 自放电测量系统

## ——帮您迅速筛选出低放电率的电池型号

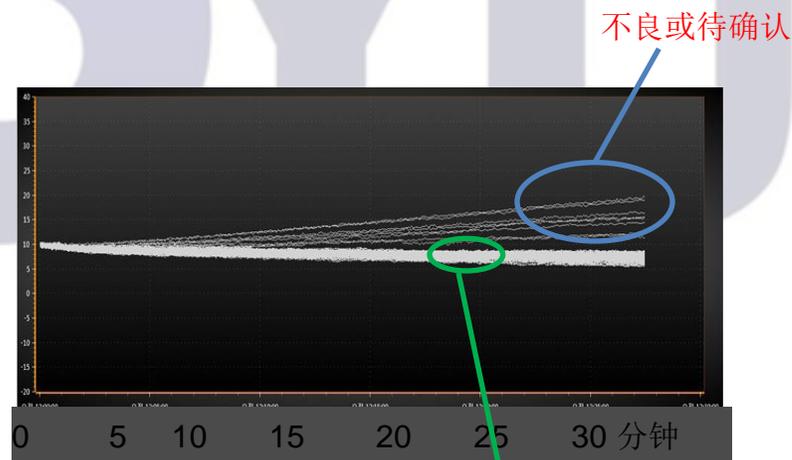
### 研发测试方案

- » 测量和记录电池自放电电流、电池电压、电池温度
- » 能够显著缩短测量电池自放电电流所需的时间
- » 0.5-2小时即可完成 18650 等小型电池自放电率的测试
- » 2-5 个小时完成大容量软包电池（例如 10-60 Ah）测试

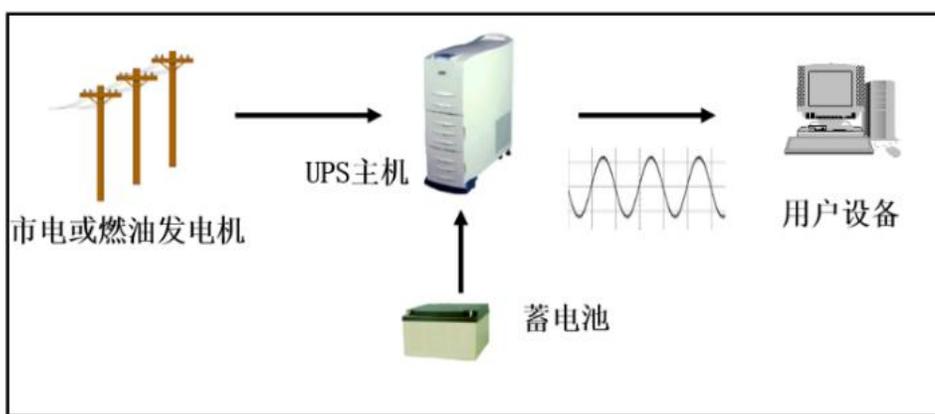
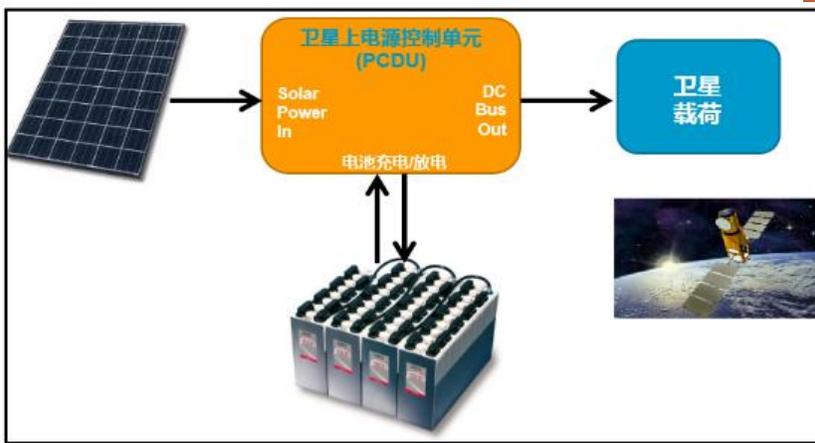
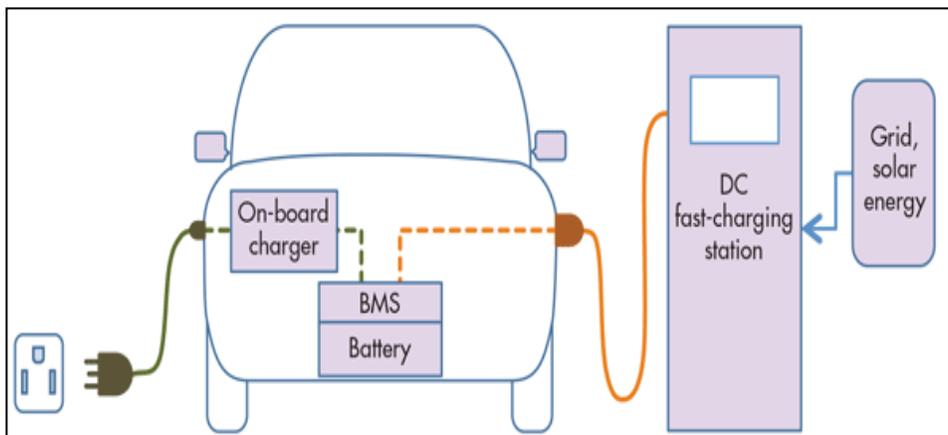


### 批量生产的一致性筛选

- 256个电芯同时开始测试，绝大部分曲线重合；
- 在很短（约5分钟）的时间后，电流开始分开，大约10-15分钟后明显区分；
- 针对分离后的电芯可以再进行完整的电芯自放电验证。



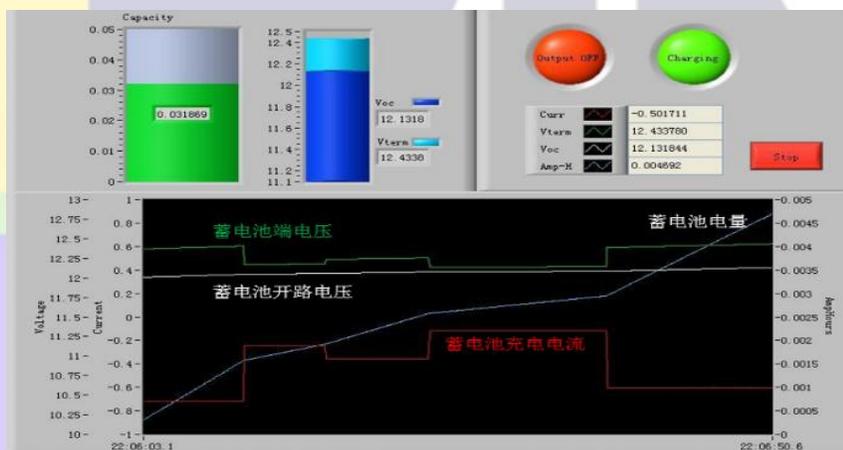
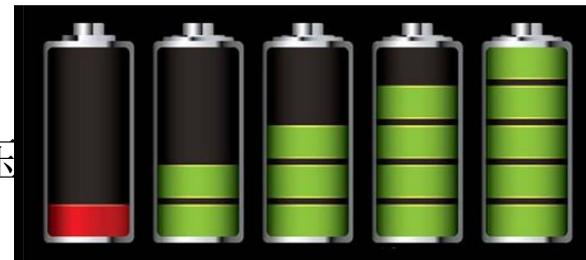
# 电池模拟器BSS的应用



测试时，推荐使用BSS替代真实电池！

# 电池模拟器BSS的好处

- **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）**就是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。

## 是德蓄電池BSS的仿真過程



基於上述Test Flow和高性能電源開發的蓄電池，具備以下功能：

- ✓ **測量真實電池：**  
完整充、放電過程數據，包括電池端電壓，電量，電池DCR內阻等；
- ✓ **自動生成電池的模型：**  
根據電池的充電或放電曲線數據，自動提取電池模型，模型中包括電池內阻，電池開路電壓，電池電量；
- ✓ **電池仿真功能：**  
根據提取出的電池模型，模擬任意荷電狀態下的充電或者放電特性，模擬充放電過程，模擬電池狀態。

# Test Flow某电池模拟器程序流

Test Flow软件控制N7900 APS先进电源系统，配合上述BTS测量电池模型序列。

Power Supply  
GPIB0::5::INSTR

\*RST  
Address: GPIB0::5::INSTR

Set  
Battery Current + Limit  
Curr\_High\_Limit = 5

Set  
Battery Current - Limit  
Curr\_Low\_Limit = -5

Set  
Battery Capacity (Ahr)  
Cap\_Claim = 0.3

Set  
Initial Battery Soc %  
Init\_Soc\_% = 0.9

Set  
Battery Model Para- V[20]  
Voc\_[20] = 4.236

Set  
Battery Model Para- V[10]  
Voc\_[10] = 3.90

Set  
Battery Model Para- V[0]  
Voc\_[0] = 3.44

Set  
Battery Model Para- DCR[20]  
DCR\_[20] = 0.028

Set  
Battery Model Para- DCR[10]  
DCR\_[10] = 0.029

Set  
Battery Model Para- DCR[0]  
DCR\_[0] = 0.027

Set  
Battery Model Para- Cap[20]  
Cap\_[20] = Cap\_Claim × 1

Set  
Battery Model Para- Cap[10]  
Cap\_[10] = Cap\_Claim × 529 m

Set  
Battery Model Para- Cap[0]  
Cap\_[0] = Batt\_Claim\_Cap × 0

电池电流限值, +5A

电池限流值, -5A

标称电池容量

初始电池Soc (%)

Soc = 100%

Soc = 52.9%

Soc = 0%

DCR	Voc	Soc
0.027	3.440	0.000
0.026	3.657	4.279
0.027	3.716	8.605
0.028	3.735	12.983
0.029	3.762	17.298
0.030	3.788	21.643
0.031	3.811	26.065
0.031	3.828	30.511
0.031	3.841	34.895
0.030	3.852	39.247
0.030	3.866	43.597
0.029	3.882	47.950
0.029	3.900	52.295
0.028	3.922	56.644
0.028	3.948	60.990
0.027	3.976	65.336
0.027	4.006	69.703
0.027	4.037	74.050
0.027	4.070	78.412
0.027	4.105	82.768
0.027	4.143	87.121
0.027	4.182	91.462
0.028	4.213	95.710
0.028	4.236	100.000

电池模拟器 BSS 主循环 分支

Set  
LoopCnt = 0

Repeat Forever

依据 Ahr 区间,  
选择 Soc - 电压调整斜率 和 DCR值

If All conditions met  
Cap\_Now <= Cap\_[10]  
Cap\_Now >= Cap\_[0]

Then  
Set  
Slew\_Voc-Ahr = Voc\_[10] - Voc\_[0] × Cap\_[10] - Cap\_[0]

Set  
Voc\_Now = Voc\_[0] + Slew\_Voc-Ahr × Cap\_Now - Cap\_[0]

Set  
DCR\_Now = DCR\_[10]

LoopCnt = LoopCnt + 1

Set  
SCPI Command: RES DCR[n]

Concatenate  
DCR\_CmdString = RES DCR\_Now

Set DCR Value  
Address: GPIB0::5::INSTR  
SCPI: DCR\_CmdString

1 - Set Voc  
Adjust Voltage (Voc)  
Voc\_Now

1 - Read Vt  
Measure Voltage (V)  
Voc\_Now

1 - Read I  
Measure current (A)

Set  
Show DCR Now  
DCR\_Now = DCR\_Now

Set  
Cap\_Now = Init\_Cap\_Ahr

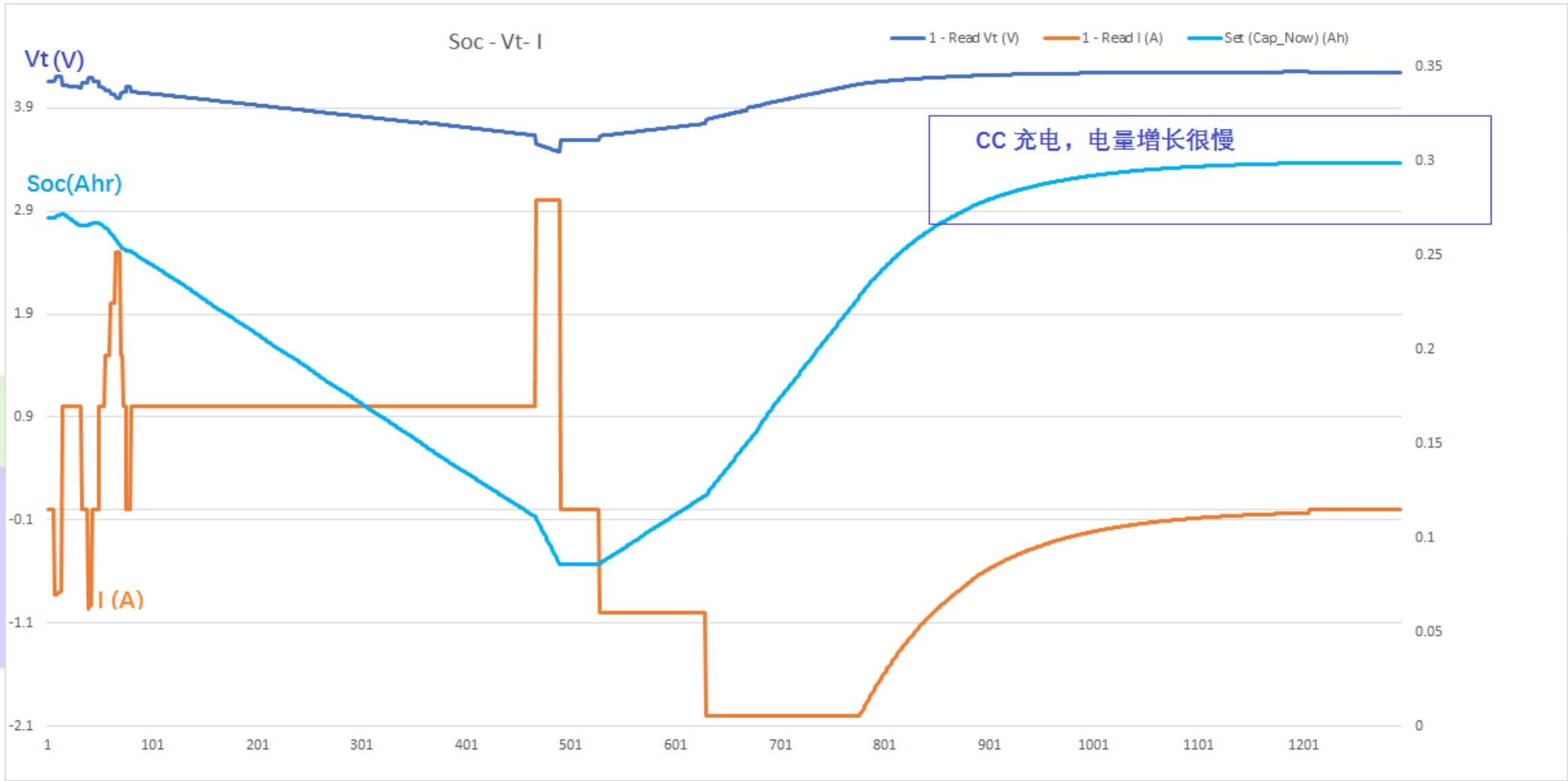
SCPI  
Address: GPIB0::5::INSTR  
SCPI: FETC:AHO?  
Return Type: Double

Delay 1 s

实时获取当前的  
电压Vt;  
电流I;  
电阻DCR;  
容量Ahr

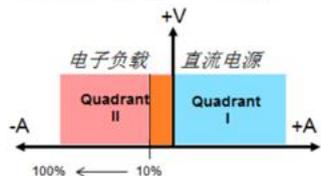
电池实时更新序列

# 实测某电池模拟电量、电压和外部充放电电流关系



# 关于N7900 和 RP 7900

N7900A/N6900A 先进电源系统 – 1/2KW、160V、200A



- 采用 VersaPower 技术，一台电源实现系统级功能：
- ✓ 无缝的电源和负载功能转换；
  - ✓ 高达 18bit, 200kHz 电压、电流和功率实时采样；
  - ✓ 大功率的电压或电流任意波形功能；
  - ✓ 小于 0.5ms 的电压编程速度；
  - ✓ 内置高达 100A 的输出短路开关；
  - ✓ 高达积分时间 5us 的电量计；
  - ✓ 0.01% 级别的电压和电流测量精度；

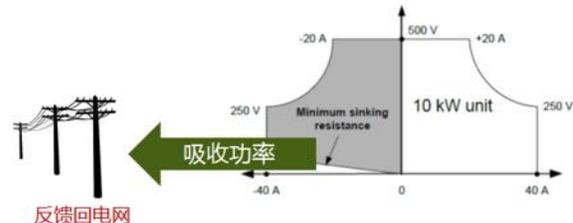
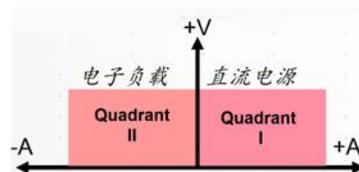
型号和配置：

N6900 / N7900 型号	电压, 电流 和功率范围
N6950A/ N7950A	9 V, 100 A, 1000 W
N6951A/N7951A	20 V, 50 A, 1000 W
N6952A/N7952A	40 V, 25 A, 1000 W
N6953A/N7953A	60 V, 16.7 A, 1000 W
N6954A/N7954A	80 V, 12.5 A, 1000 W
N6970A/M7970A	9 V, 200 A, 2000 W
N6971A/N7971A	20 V, 100 A, 2000 W
N6972A/N7972A	40 V, 50 A, 2000 W
N6973A/N7973A	60 V, 33 A, 2000 W
N6974A/N7974A	80 V, 25 A, 2000 W
N6976A/N7976A	120 V, 16.7 A, 2000 W
N6977A/N7977A	160 V, 12.5 A, 2000 W
N7909A	1000 W 功耗耗散器, 扩展主机吸收电流
BV0003B	BenchVue Power Supply App 软件
R-D5B-004-D	Transportable license

RP7900A 回馈式先进电源系统 – 5/10kW、950V、800A



与上述 N7900 相同平台, 高功率型号; 采用 **反馈电网** 设计, 即 RP7900 在吸收功率时, 将吸收的电能返回电网。  
此外, RP7900 采用 **自动量程** 功率设计, 覆盖更宽电



型号和配置：

型号	电压	电流	功率
RP7961A	500V	± 20A	5kW
RP7962A	500V	± 40A	10kW
RP7963A	950V	± 20A	10kW
RP7941A	20V	± 400A	5kW
RP7942A	80V	± 125A	5kW
RP7943A	20V	± 800A	10kW
RP7945A	80V	± 250A	10kW
RP7946A	160V	± 125A	10kW

## 解决用户焦虑办法:



朝着美好的方向， 但任重而道远……

- ✓ 设备和器件的超低功耗
  - ✓ 关键模块和器件的低功耗
  - ✓ 硬件性能和软件功能的平衡
- ✓ 使用更高容量的电池和优异的电池管理
  - ✓ 电池的循环寿命
  - ✓ 电池的交直流内阻
  - ✓ 电池的容量分布
  - ✓ 电池的自放电和电池均衡
- ✓ 便利的电池电量补给
  - ✓ 缩短补给的时间—— 快速充电
  - ✓ 无时无刻的充电—— 无线充电