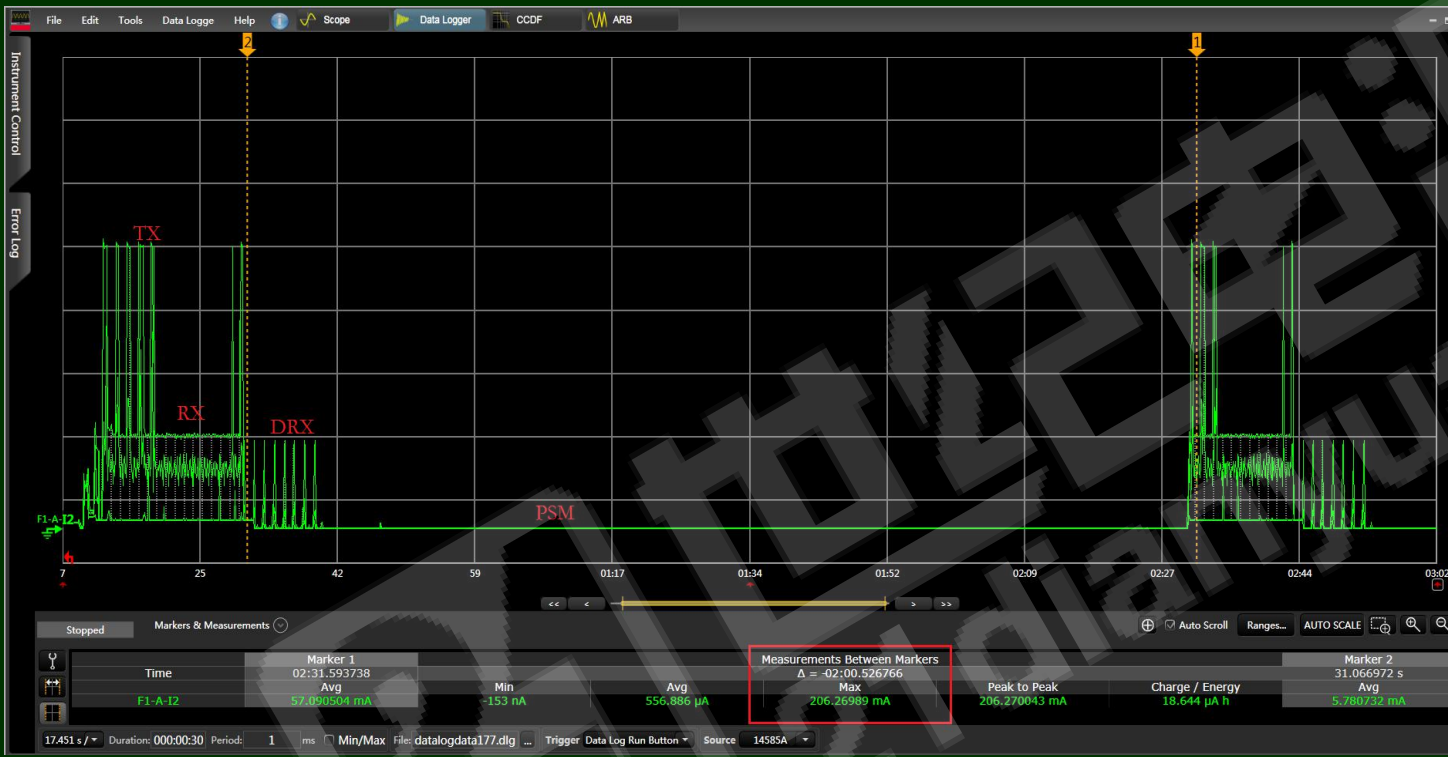


IoT物联网功耗测量和优化



➤ 物联网功耗特征



- 如何优化物联网功耗？
- 物联网功耗精确测量和分析



物联网(IoT)市场趋势及前景

根据IDC发布的《全球物联网半年度支出指南》，预测2019年全球物联网(IoT)支出将达到7450亿美元，较2018年的6460亿美元增长15.4%。IDC预计，全球物联网支出将在2017-2022期内保持两位数的年增长率，并在2022年超过1万亿美元大关。



智慧物流



智慧能源



智能医疗



智能家居



智能交通



智慧农业



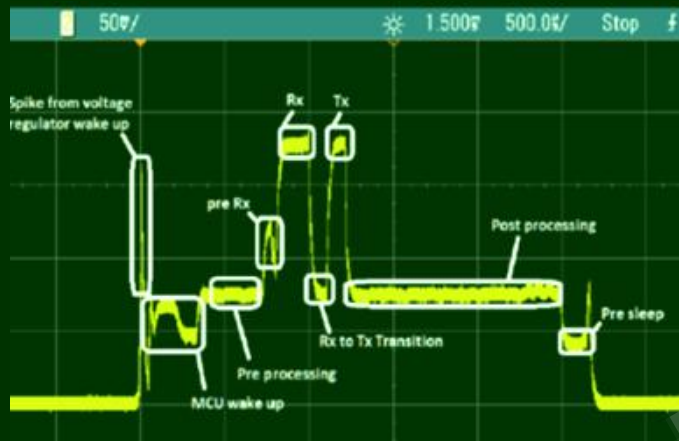
物联网 (IoT) 关键性能——射频和功耗

LPWAN

覆盖范围大
(Wide)



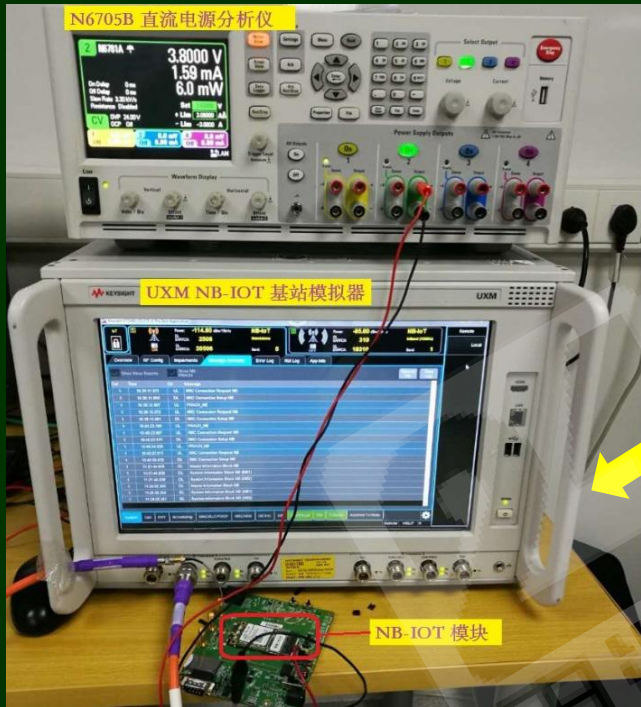
低功耗
(Low Power)



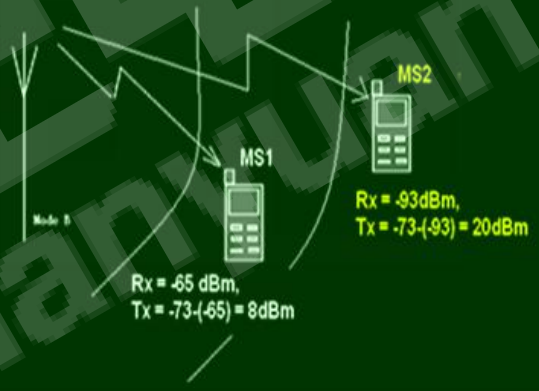
物联网关键性能

5G/NB-IoT模块功耗测试环境及平台

- 物联网终端或模块，可以说低功耗是最基础、也是最重要的指标；
- 工作寿命长是物联网模块推广的关键，某些场合需要10年以上；
- 同样需要保证各种模式下的功耗都比较低，包括降低发射及接收时的功耗，并能够及时进入超级省电模式。



物联网NB-IoT



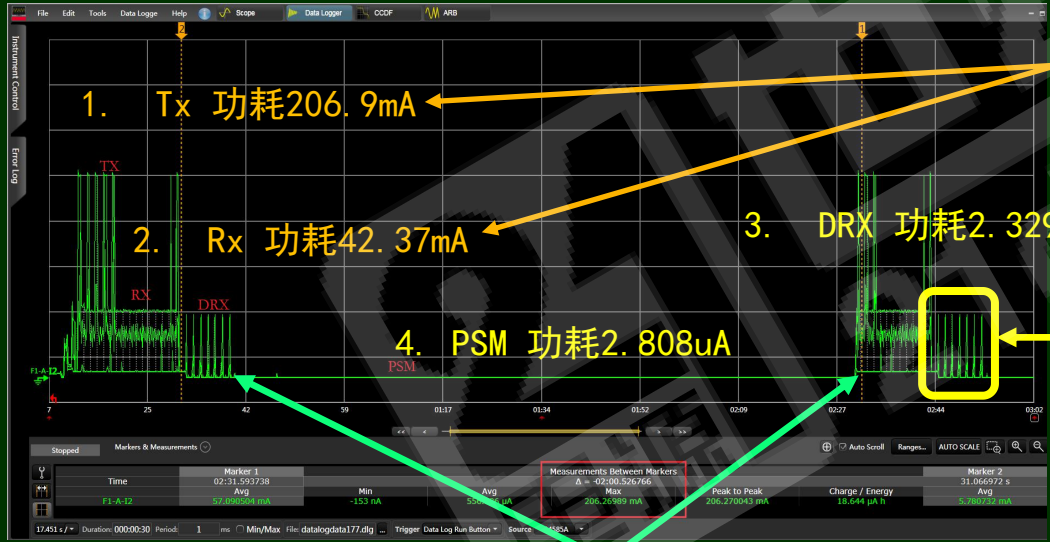
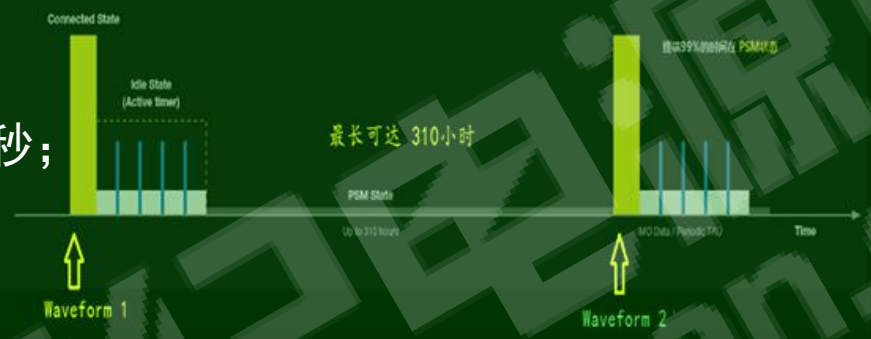
就功耗而言，接收到的信号小（弱），发射的功率大都消耗更多的电量；反之亦然。

在进行模块的功耗测试时，需要一个完全可控，替代实际网络的设备，UXM NB-IoT基站模拟器就是这样的设备。

从NB-IoT模块发射状态功耗测试过程看影响功耗的因素

网络参数设定

- 1. NB-IoT基站发射功率-124.8dBm;
- 2. 设定RRC Release 定时器T3324 为10秒;
- 3. 设定RRC_IDLE DRX 周期为 1.28秒;
- 4. 设定 TAU周期T3412为 2分钟。



基站发射功率, -124.8dBm

设定RRC_IDLE DRX 周期为 1.28秒

设定 TAU周期T3412为 2分钟

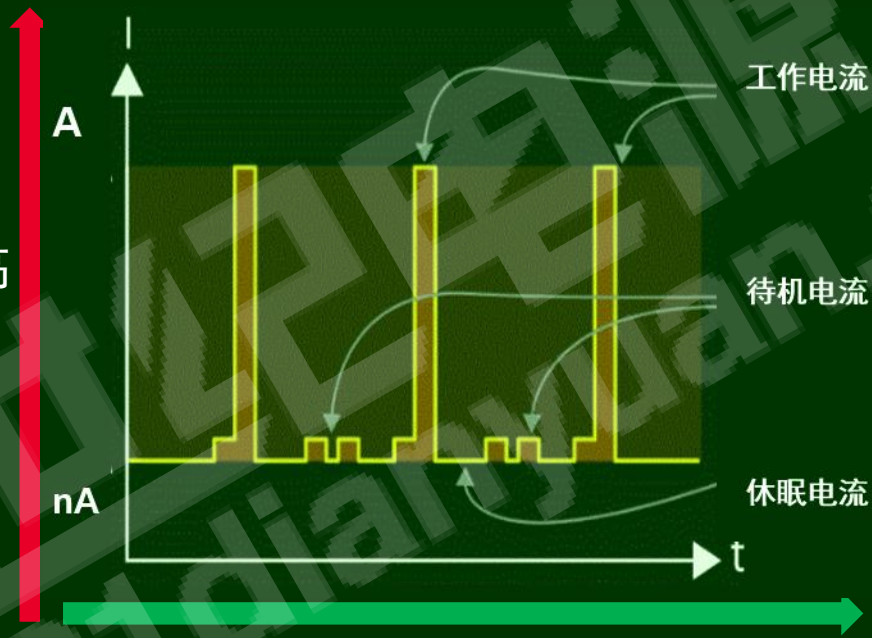


物联网耗电特征和精确测量的挑战

——大范围变化、持续时间极短的动态脉冲电流

垂直刻度(电流幅值)上:

1. 休眠电流小, μA , 甚至 nA 以下(底噪)
2. 工作电流大, 数十 mA 甚至 A , 需要极高的动态电流测量能力(A/D垂直分辨率)



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. 应用场景持续测量, 采样时间要长 (存储深度= 采样率 \times 时间)

- 物联网功耗特征
- 如何优化物联网功耗？

器件、芯片，整机功耗测量

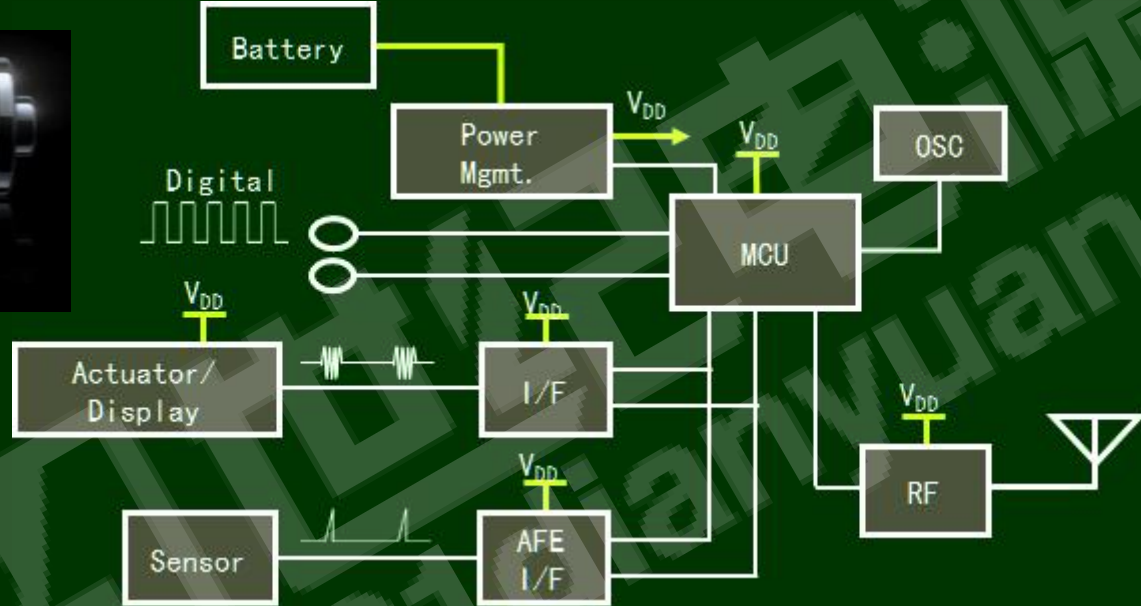
APP软件功耗分析

电源模块、电池容量、自放电测量

- 物联网功耗精确测量和分析

如何优化物联网IoT功耗？

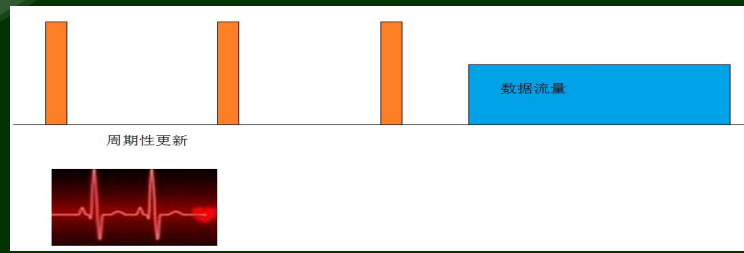
- 设备和器件的超低功耗
- ✓ 关键模块和器件的低功耗



- ✓ 硬件性能和软件功能的平衡



微信的“心跳”





如何优化物联网IoT功耗？

从互联网APP的角度看，应该区分是移动网络接入还是WLAN接入，智能调整心跳包的发送频率。在移动网络接入时，降低心跳包的发送频率，这样虽然服务器推送的信息会有一些延迟，但是终端更省电，移动网络更稳健。比如旧版QQ的心跳周期为30s，新版QQ为180s，微信为300s，已经呈现出逐步延长的趋势，还可以再调整，直至接近Google原生应用的1680s左右。

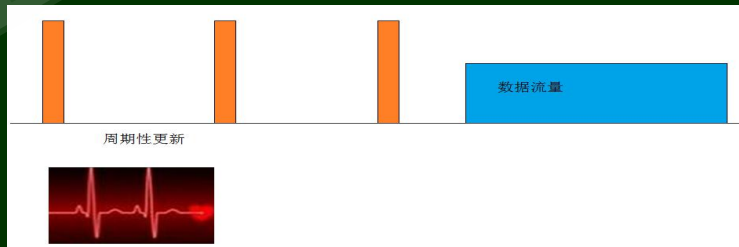
目前，互联网APP心跳包的发送频率由APP一手包办，这是不合理的，应该开放给用户进行设置，允许用户在省电和及时等多个场景间切换。

现在每个人的手机上都装有多多个互联网APP，比如QQ、微信、微博和淘宝等，如果每个APP都发送心跳包，心跳包的发送频率将大幅增加。像微信、QQ等APP，可以考虑联合发送心跳包，这样可以减少不少心跳包。另外如果从操作系统的层面统一心跳包，效果会更好。苹果的IOS已经做了一个很好的尝试，建立了一个位置寄存器APNS，将所有的APP联合起来，统一发送心跳。Android系统其实也可以如法炮制，据称小米手机有意这样做，像阿里OS也应该可以做。运营商自己开发的OS更加

✓ 硬件性能和软件功能的平衡



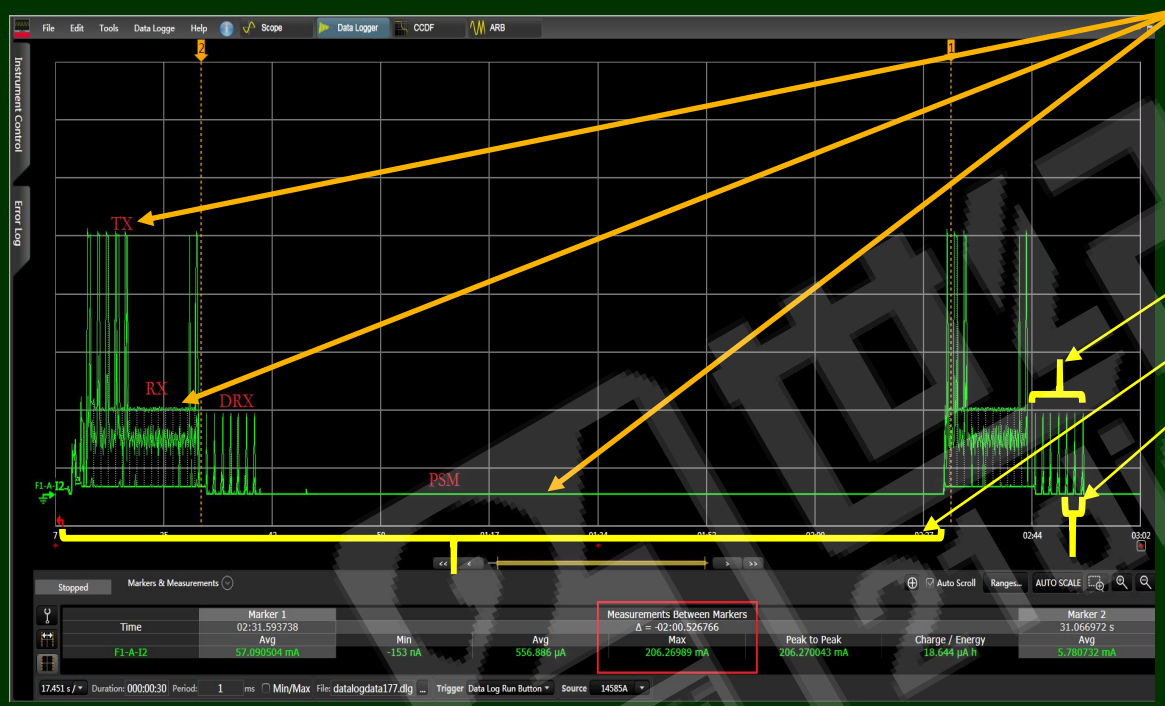
微信的“心跳”



如何优化物联网IoT功耗？

✓ 硬件性能和软件功能的平衡

射频/天线 硬件性能
将决定TX/RX 的功耗
硬件是否超低功耗 决
定PSM功耗



RRC Release 定时器
T3324 为10秒
RRC_IDLE DRX 周期为
1.28秒
TAU周期T3412为 2分钟

是否请软件工程师参与功耗优化？



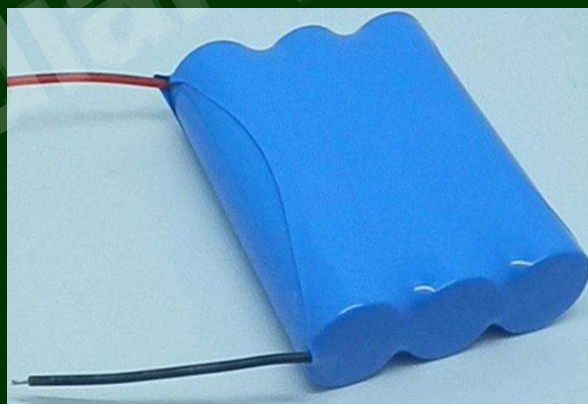
如何优化物联网IoT功耗?



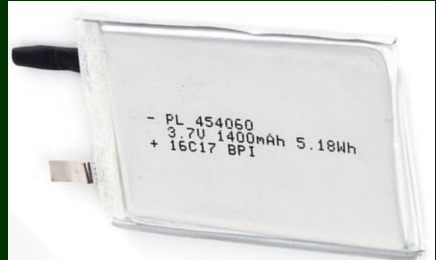
➤ 设备和器件的超低功耗

- ✓ 关键模块和器件的低功耗
- ✓ 硬件性能和软件功能的平衡

➤ 提升电池容量和优异的电池性能



锂电池的技术指标——标称电压 + 容量？



3.7V, 1400mAh



7.4V, 900mAh



14.8V, 750mAh



12V, 10Ahr

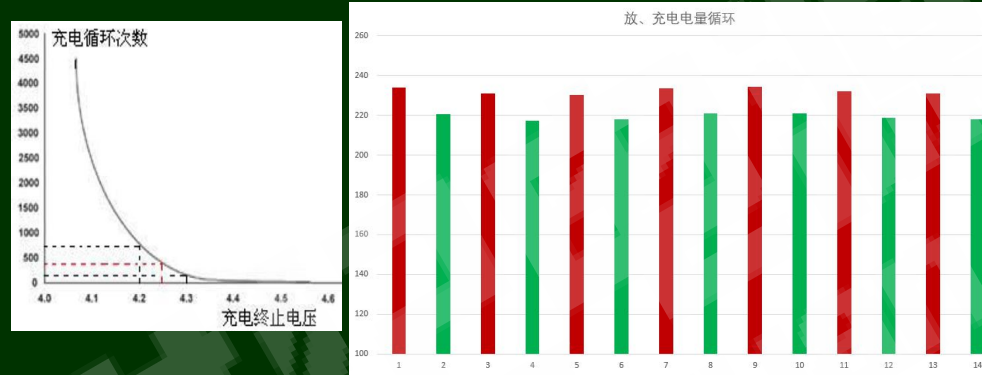
还需要评估哪些指标???

更多关于锂电池的指标?

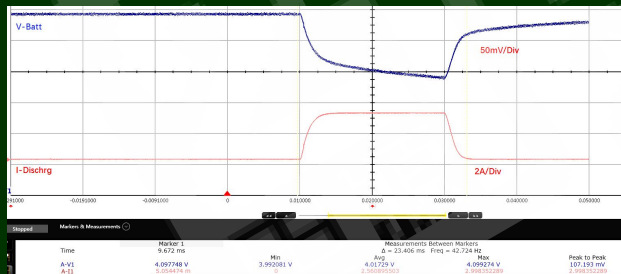
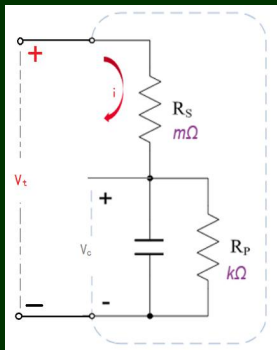
1. 容量 Vs 电压分布



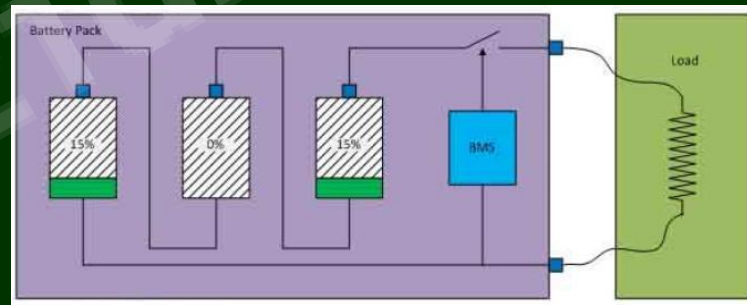
2. 循环充放电次数和容量衰减



3. ACR / DCR 内阻



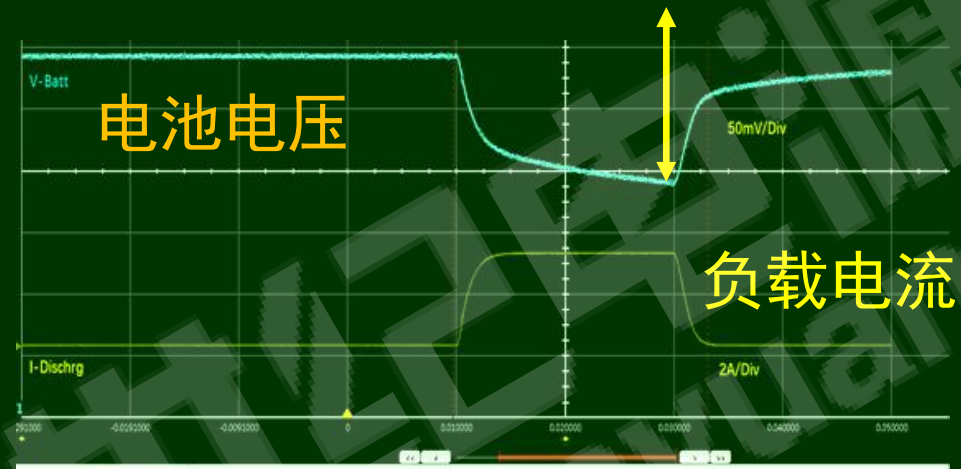
4. 自放电与电池均衡



电池内阻的分析——随温度及容量分布？

$$\Delta V = I X R_s$$

Percentage charge	RBatt Scale Factor		
	-20°C	0°C	25°C
100	1223	289	100
95	1142	283	103
90	1150	284	102
85	1142	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	247
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



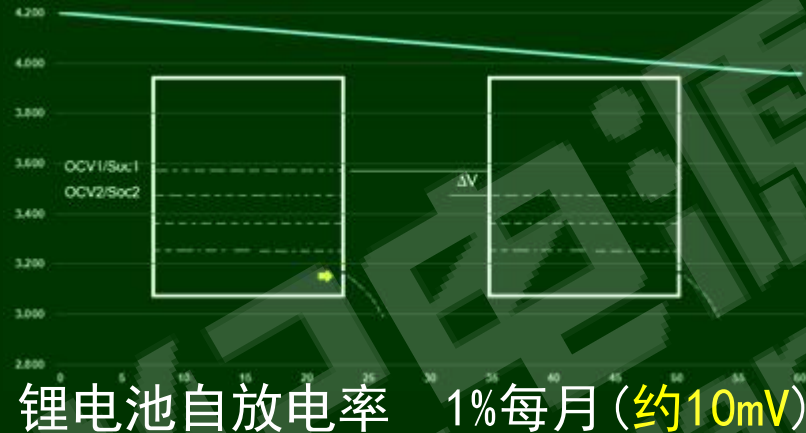
Marker & Measurements					
Time	Marker 1		Measurements Between Markers		
	9.572 ms		Δ = 23.456 ms	Freq = 42.724 Hz	
A-V1	4.057748 V	Min	3.992081 V	Avg	4.01725 V
A-I1	2.058471 A			Max	4.059274 V
					Peak to Peak
					107.193 mV





电池的自放电—— IoT “滴水石穿”

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%



10年不换电池！这是很多新型NB-IoT设备提出的要求，例如无线水表、智能传感器等。

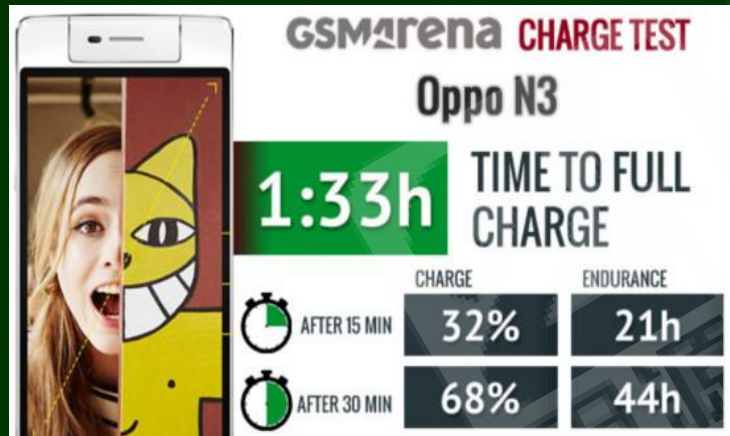
电池的续航时间与多个因素有关，最关键的是产品本身的低功耗特性，还有**电池本身自放电特性**。例如一个10000mAh 的电池，如果自放电率是50uA，10年就是 $10\text{年} \times 365\text{天} \times 24\text{小时} \times 50\text{ uA} = 4380\text{ mAh}$ ，约50% 的电能被自身漏掉了，所以有效的电池电量其实只有**50%**

$$10\text{年} \times 365\text{天} \times 24\text{小时} \times 50\text{ uA} = 4380\text{ mAh}$$

所以，选择低自放电的电池对物联网装置非常关键！

如何快速测量自放电率？

如何优化物联网IoT功耗？



➤ 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

➤ 提升电池容量和优异的电池性能

- ✓ 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
- ✓ 能量收集系统——热能、震动、空中电磁场等

什么特性的电池更适合快放、快放？



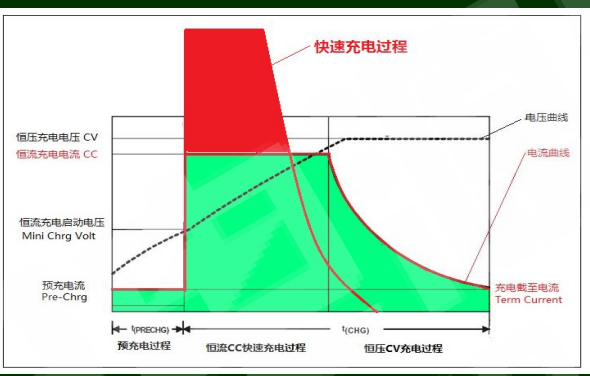
开路（不充电）
电压**3.79V**



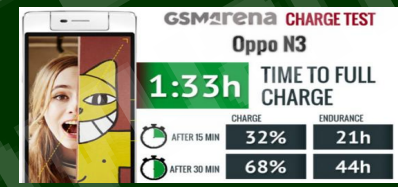
1A充电时，
电压**3.95V**



-1A放电时，
电压**3.31V**

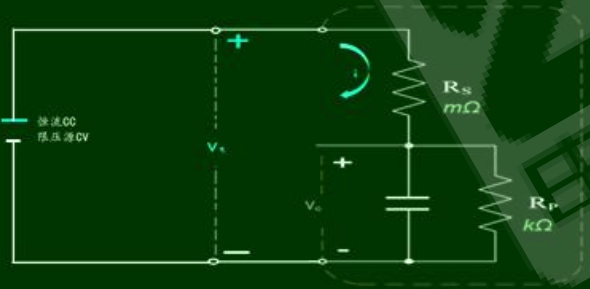


低压区才能快充



→ 如果2A，5A充电会怎样？

→ 如果-2A， -5A放电又会如何？



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

$$I * R_s$$

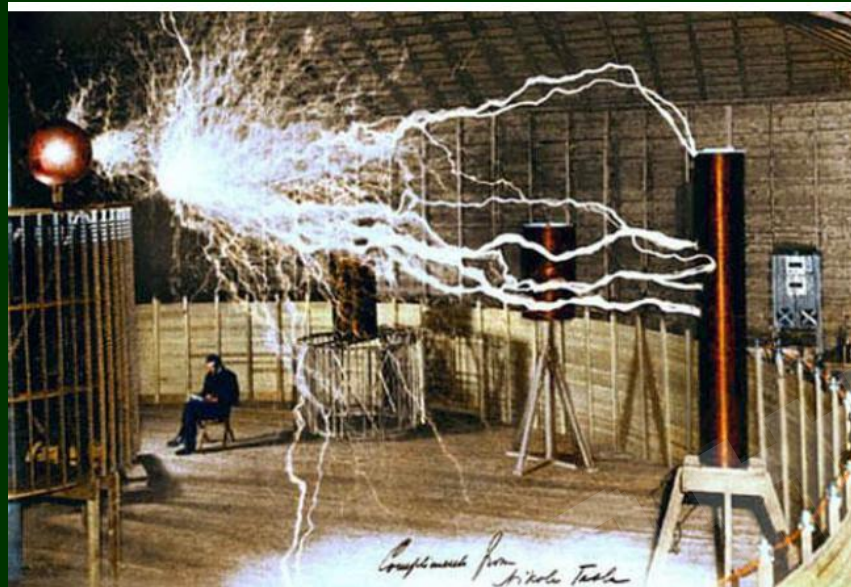
$$V_t = V_{oc} - I * R_s$$

$$I * R_s$$



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？

无线充电的应用关键因子——功率和效率

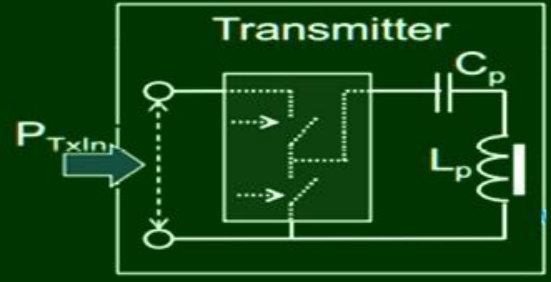


技術	電磁電感式	磁耦合共振	電耦合 (電場耦合)	電波充電
輸電距離	數mm~10cm	數cm~數m	數mm~數cm	數cm~數m
輸電電力	數w~數kW	數W~數kW	數W~數百W	1W以下
傳送效率	70~90%	40~60%	60~90%	極低
頻率	10kHz~數百kHz	數百kHz~數十MHz	數百kHz~數MHz	中頻~特高頻

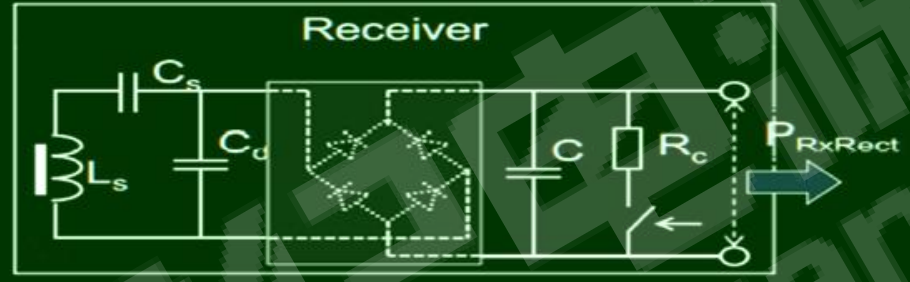


“充电公路”在未来功能将会越来越完善

无线充电的效率测量



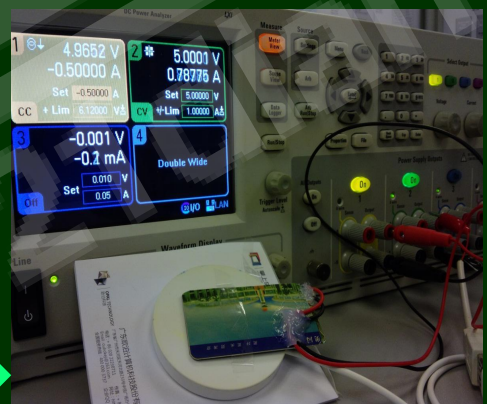
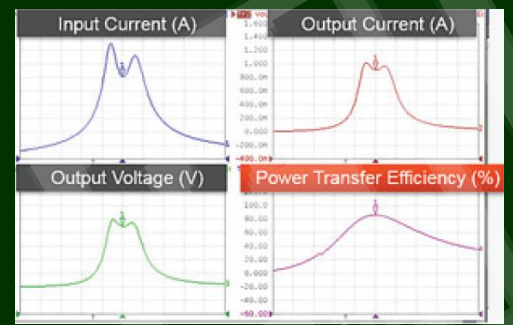
DC-AC 转换效率: Eff1



无线传输效率: Eff2

AC-DC转换效率: Eff3

DC输入功率



电池吸收功率

微弱震动或无线RF能量收集系统

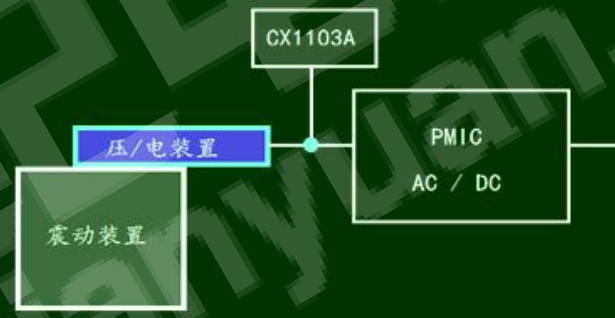
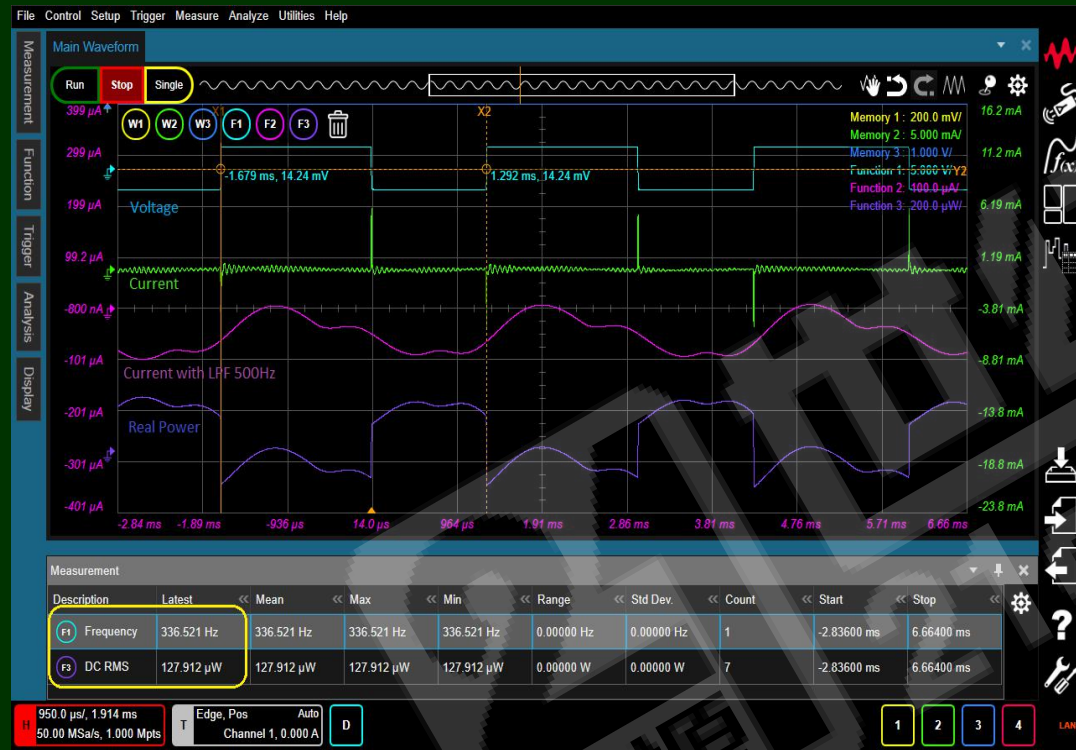
该装置电路的测试数据：

主频率：336/52 Hz

平均功率(RMS)：127uW

峰值电流：5.24mA

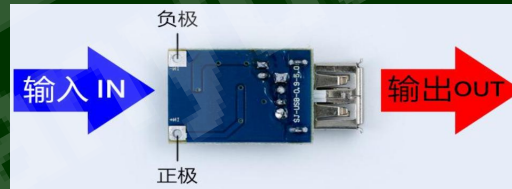
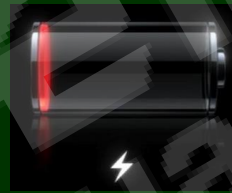
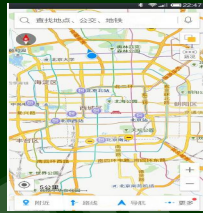
次频率：18.67KHz



无线广播RF能量收集

IoT物联网功耗优化总结

——续航能力 优化“三套件”思考

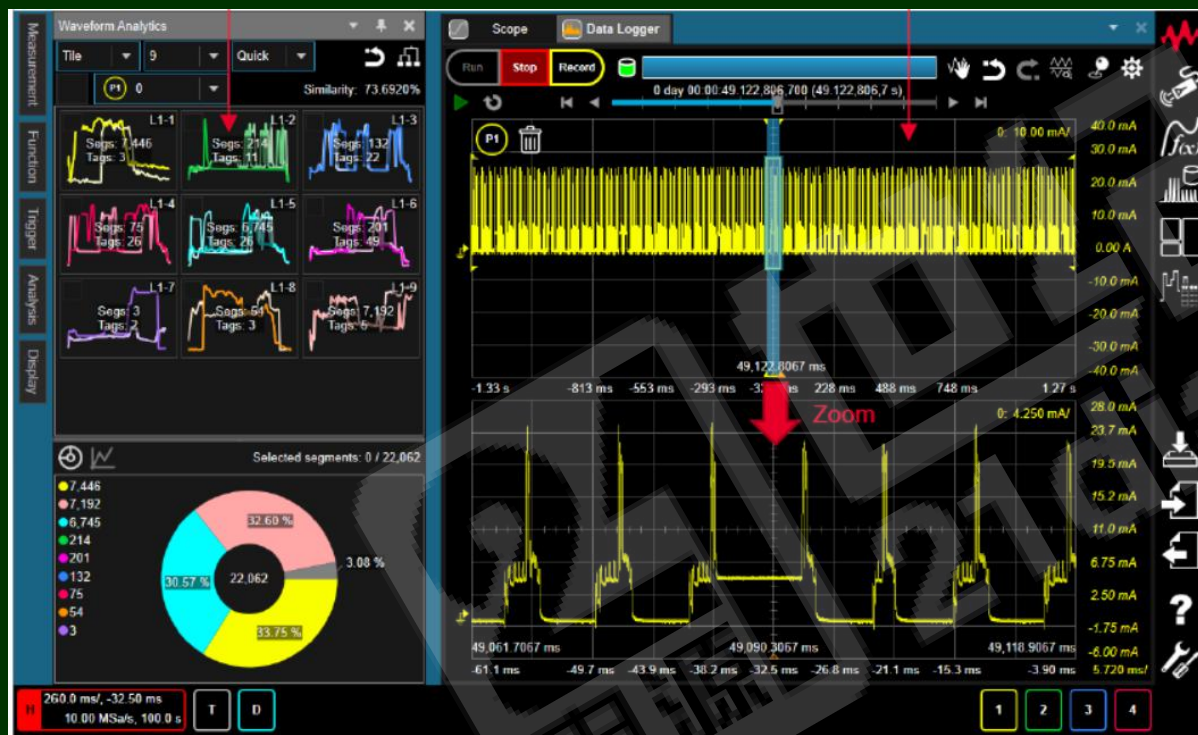


器件/芯片
整机功耗测量

APP软件功耗分析

电源模块
电池容量、
自放电测量

- 物联网功耗特征
- 如何优化物联网功耗？
- 物联网功耗精确测量和分析



N6705C 直流源分析仪



CX3300 器件电流波形分析仪

物联网功耗分析神器之1——N6705C 直流分析仪



N6705C



N6781A



- ✓ 独有的无缝量程切换技术，可以轻松测量大范围（8A-80nA，约28比特动态）
- ✓ 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
- ✓ 14585A可视化测试软件，电流与状态转换同步

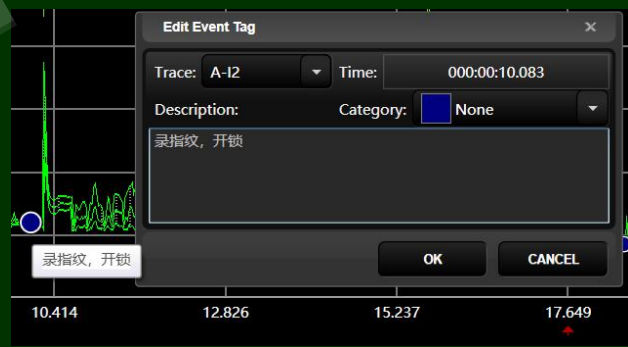
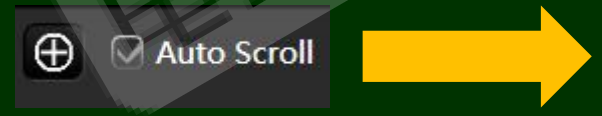
Data Logger » Duration/Period » Run

功耗测量、操作如此简单！

“智能门锁” 功耗实测/分析过程



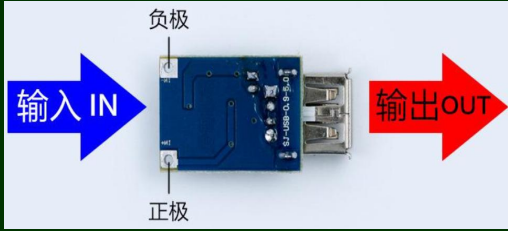
- ✓ 14585A启动数据记录仪 Data Logger
- ✓ “门锁”的锁盖开启 → 指纹识别 → 开锁 → 锁盖闭合
- ✓ 软件可在操作处设定“事件标签”



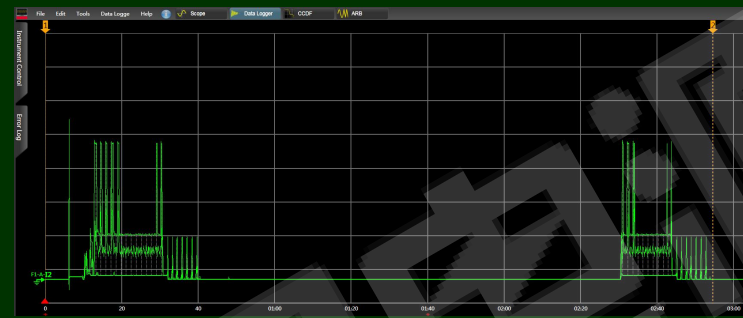
真实负载电流下的电池或DC-DC特性分析——电流录制和回放



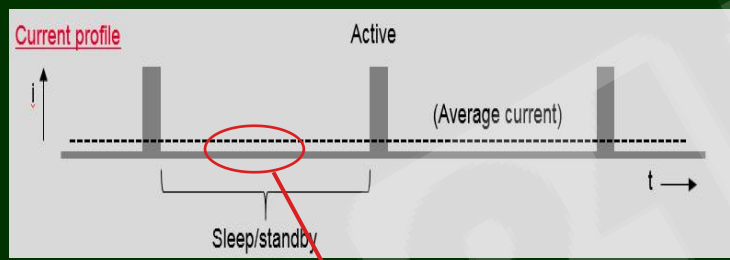
电池



DC-DC电源

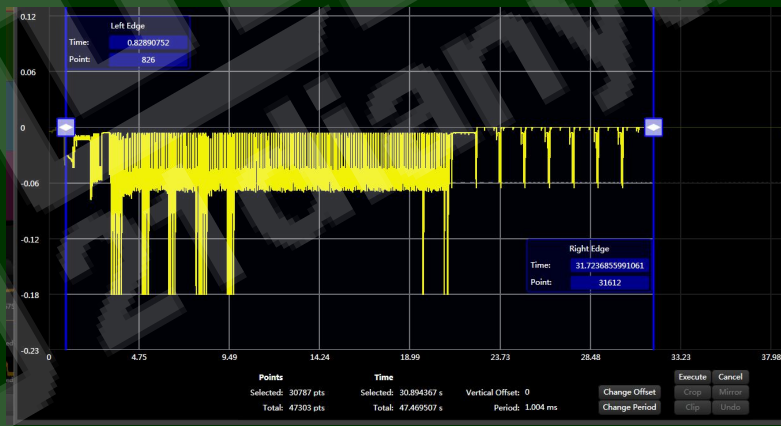


实测物联网模块的耗电波形



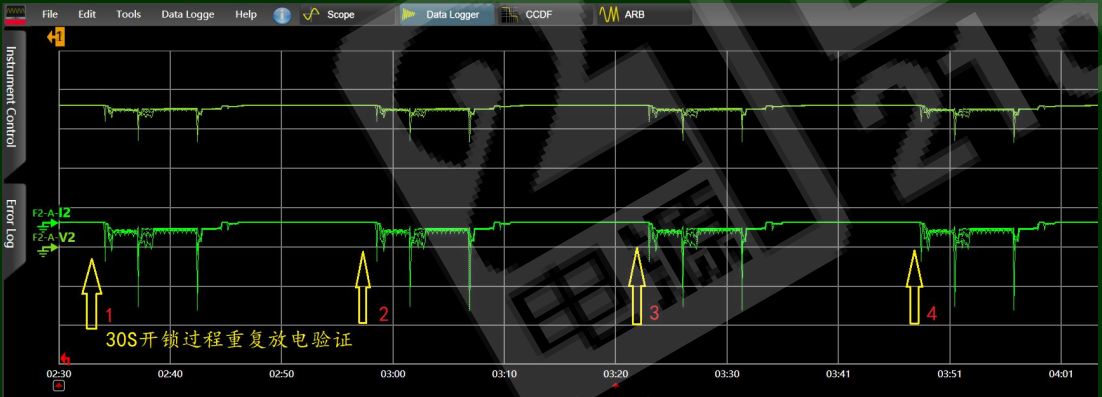
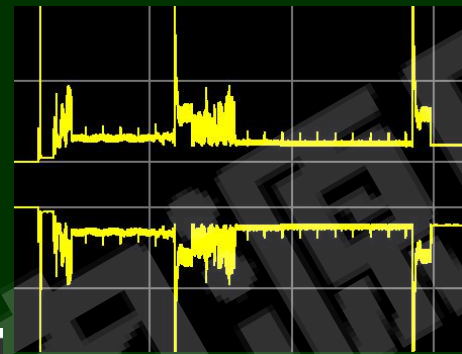
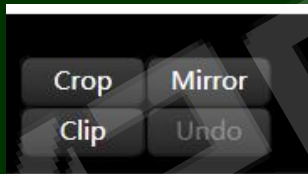
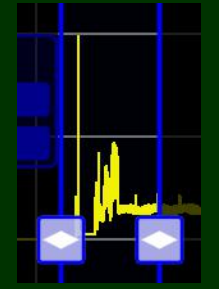
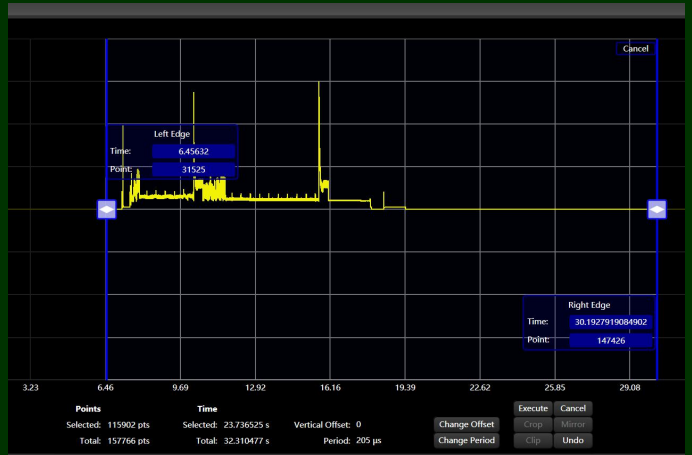
N6784A 低至uA级电流设定精度

- 0.03% + 12 μ A
- 0.025% + 5 μ A



用真实的物联网模块的耗电做负载

“智能门锁” 电池验证过程



N6705C——物联网功耗必备测试仪



- 1. 高达200 KHz (5us) 电流采样率，精确测量脉冲电流；
- 2. 无缝量程切换技术，28 比特动态，可以轻松测量大范围 (8A-80nA) 快速变化的耗电电流波形；
- 3. 长达1000小时连续数据记录；
- 4. 可视化电流测试软件，电流测试与操作同步测量（电流优化必备）。

物联网必备功耗测试仪！



物联网功耗分析神器之2—— CX3300 器件电流波形分析仪

高性能

- ✓1GSa/s采样，200MHz带宽
- ✓14/16比特分辨率
- ✓100小时连续的波形记录
- ✓电流范围100A至150pA
- ✓低至150pA电流噪声
- ✓低至400nV电压噪声

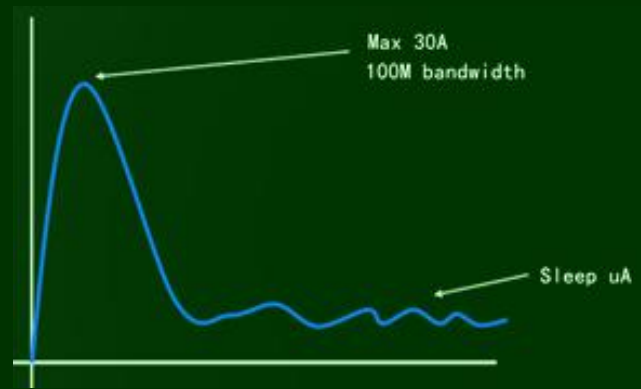


洞察秋毫，电流测试专家

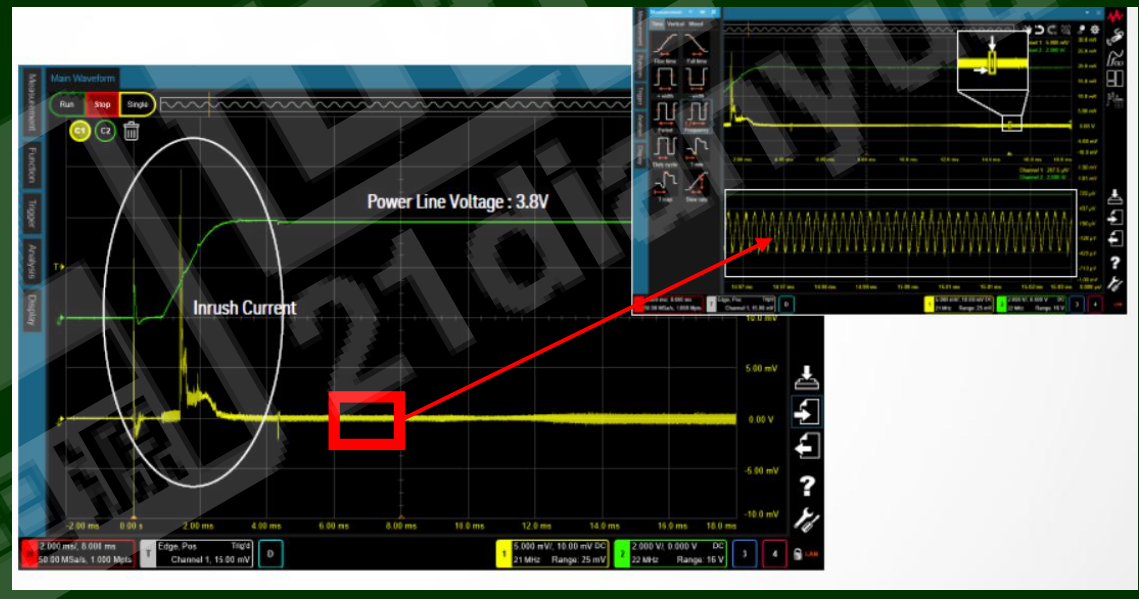
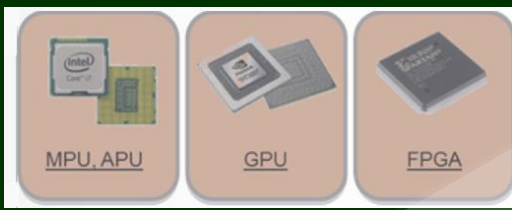
易用、高效

- ✓Window操作系统
- ✓14.1英寸电容多点触屏
- ✓一键式“功耗特征提取”
- ✓区域测量
- ✓任意区域放大
- ✓100小时，10MSa/s数据记录仪
- ✓波形自动区分和筛选

CPU处理器芯片的大动态电流测量

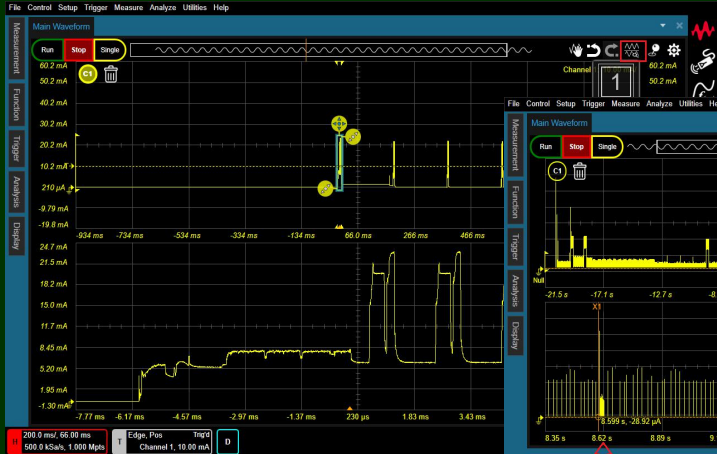


处理器电流特征：
带宽高、动态大、低噪声
测试要求，测量瞬间大电流时，
同时测量小信号。





无线RF模块功耗分析



BLE蓝牙电流表波形

峰值电流: 20mA
 休眠电流: 2uA
 带宽: >10MHz



Lora电流表波形

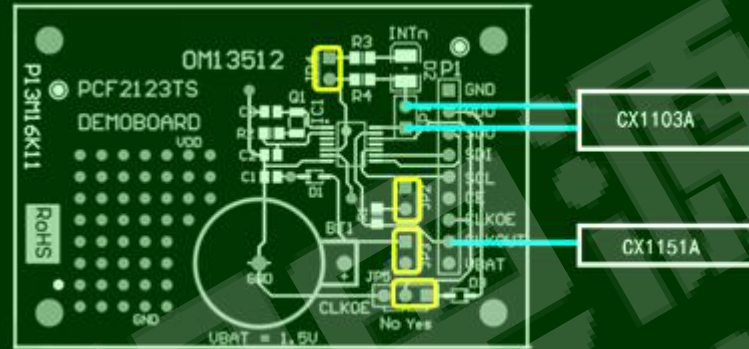
峰值电流: 269mA
 休眠电流: 28uA
 带宽: >1MHz



NB-IoT电流表波形

峰值电流: 300mA
 休眠电流: 17uA
 带宽: >1MHz

RTC时钟的电流测量



该RTC时钟电路的测试数据：

- 频率：32.7705KHz
- 平均电流：134.015nA
- 峰值电流：4.0548uA



CX3300 数据记录仪 (Data logger)

数据记录仪 (Data Logger) 模式

□ 长达100小时连续测试，采样率10MSa/秒，直接存储值外部硬盘

□ 高效的数据分析

(超大数据分析，譬如 12 小时 X 2MSa/s X 2通道 => 350 GB)

- 快速数据文件加载 (如 350GB数据约5秒)
- 支持趋势图表生成
- 自动波形分类和区分

CX3300APPC 电流波形分析仪软件

□ 客户端PC电脑上进行离线数据分析





来自用户的心声

客户G

- “我们的产品性能验证，需要至少2个小时以上才能有效分析和调试产品异常，同时采样率必须足够（至少2MSa/s）捕获到电源管理电路的瞬态变化。”

客户H

- “为了优化我们的气表（Gas Meter）的功耗，需要测量4天以上，且至少1MSa/s。”

客户Q

- “我们需要10MSa/s，2分钟时间的精确电流测量，用以分析RF Cal过程随机电流脉冲和电流特征的提取。”

CX3300 数据记录仪功能参数

数据记录仪模式



推荐使用USB 3.0 UASP (USB SCSI 协议) 存储设备

数据记录仪模式 (Data Logger)	
存储器	内置或外部HDD/SSD
最高采样率	通道数Ch = 1 10MSa/s (14-bit) 7.5MSa/s (16-bit)
	2 5 MSa/s (14-bit/16-bit)
	4 2 MSa/s (14-bit/16-bit)
最长时间	100 hours
通道数	模拟通道 (CH1, 2, 3, 4)
最大数据量	采样率 x 100 小时
波形分析功能	数学运算 FFT 一键功耗提取 波形趋势分析 波形区分和筛选

超大数据分析, 譬如 12 小时 X 2MSa/s X 2通道 => 350 GB

分析功能#1：趋势分析及“可疑信号”深入分析

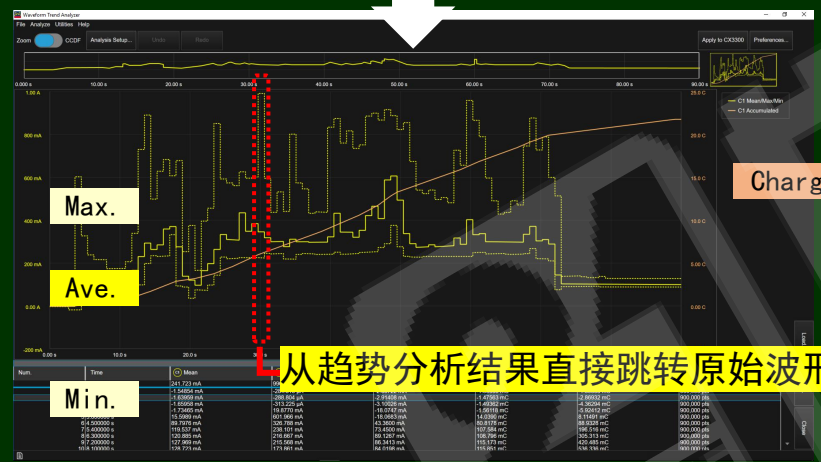
DUT OS开机过程最大电流验证和分析过程
数据记录仪Data logger 捕获的2分钟电流波形如下



参考案例：

- ◆ 核实高电流部分是否存在异常的尖峰毛刺
- ◆ 高低温测试时，验证趋势是否与温度相关等

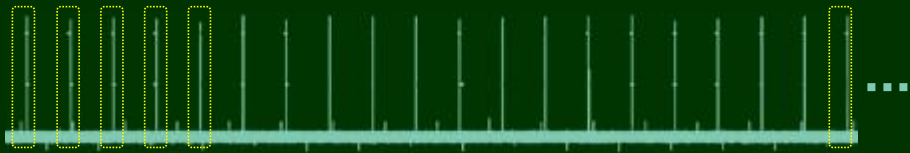
CX3300 趋势分析展现结果



从非常大的波形数据中，快速生成电流趋势图形和关注波形区域。

分析功能#2：相似特征波形区分和归类

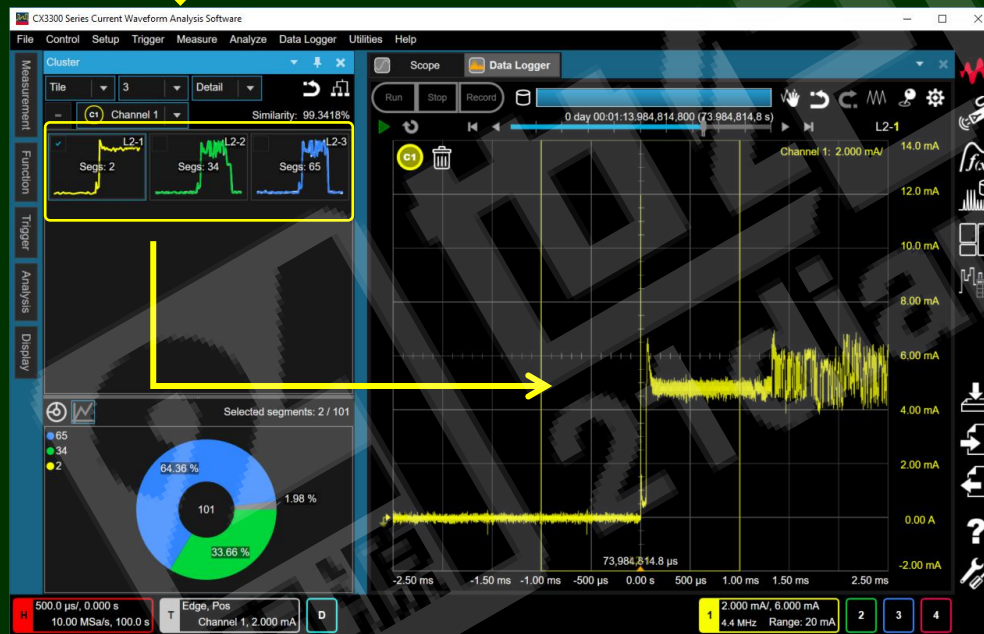
验证IoT设备的工作电流波形一致性



参考案例：

- ◆ 优化IoT产品工作状态行为以降低整体功耗
- ◆ 查找重复信号中的异常波形
- ◆ 网络安全产品中恶意波形探测

设定触发条件，
自动区分波形



波形归类占比

通过相似波形归类，快查找异常或可疑波形。



CX3300 器件电流波形分析仪

IoT、通信、医疗、汽车电子等 电路供电线路电压和电流分析调试
“一体化” 方案

精密示波器Scope

- ✓ 高带宽
- ✓ 高采样率



数字万用表DMM

- ✓ 高分辨率
- ✓ 低噪声



Data Logger

- ✓ 长时间测量

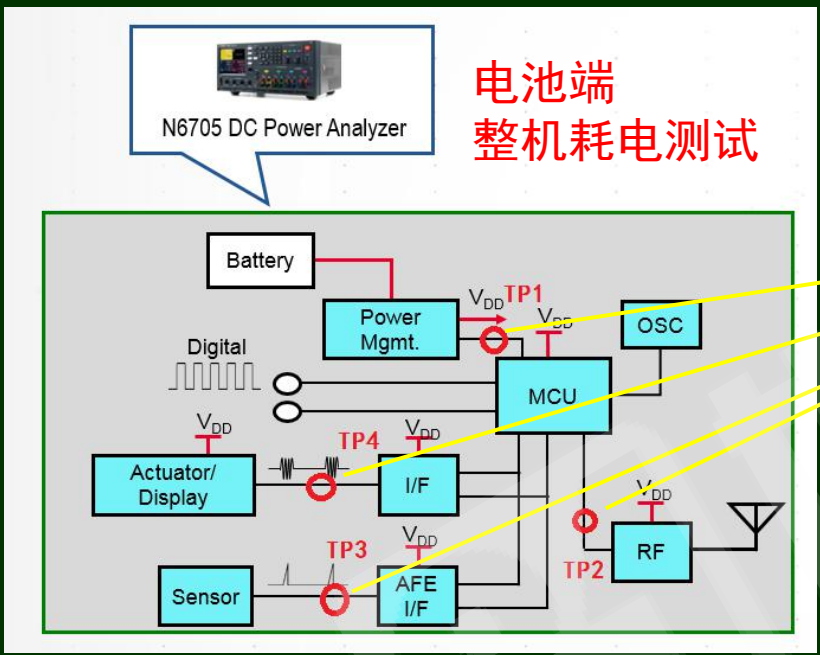


CX3300A

主要功能和性能:

- 带宽 200MHz
- 采样率 14 bit 1GSa/s
- 采样率 16 bit 75MSa/s
- 示波器模式: 存储深度 256MSa
- 数据记录仪模式: 100hours , 10MSa/s
- 测量范围:
 - 电流: 150pA to 100 A
 - 电压: 400nV - 2.5 V (差分)
 - 电压: 20uV - 8V (1:1 电压探头)
- FFT, 电流特征提取、数学运算等
- 记录波形回放、波形区分和归类, 趋势分析等
- 离线PC分析软件

N6705C直流源分析仪与CX3300器件电流波形分析仪



电池端
整机耗电测试

MCU/RF/Display
模块的电流测试
和分析



CX3300
电流波形分析仪

强大的波形分析仪，快速查找“可疑”信号，洞察波形细节！