

工业物联网产品的射频连接测试

左怀丰

2019-12-12

副总经理 / 广州康祺科技发展有限公司



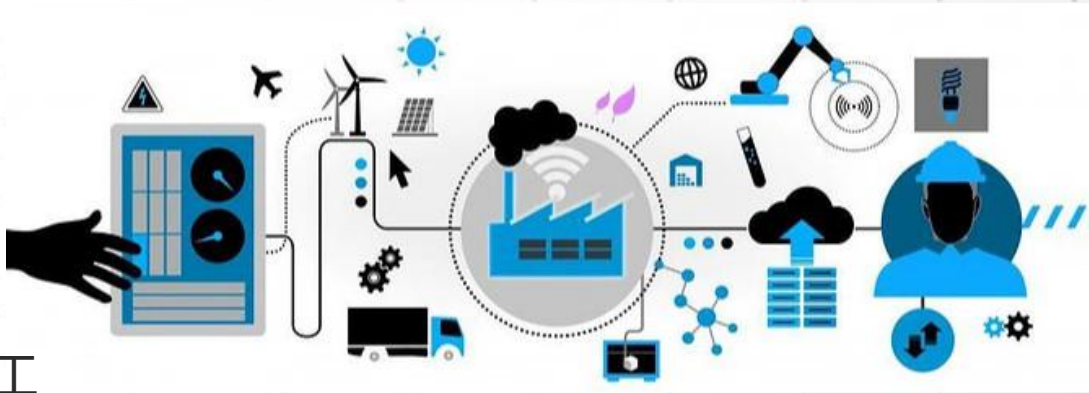
工业物联网广阔前景

可用于各种行业

有专家预计到2021年，我国工业物联网市场规模将达到**6450亿元**，超过900亿美金

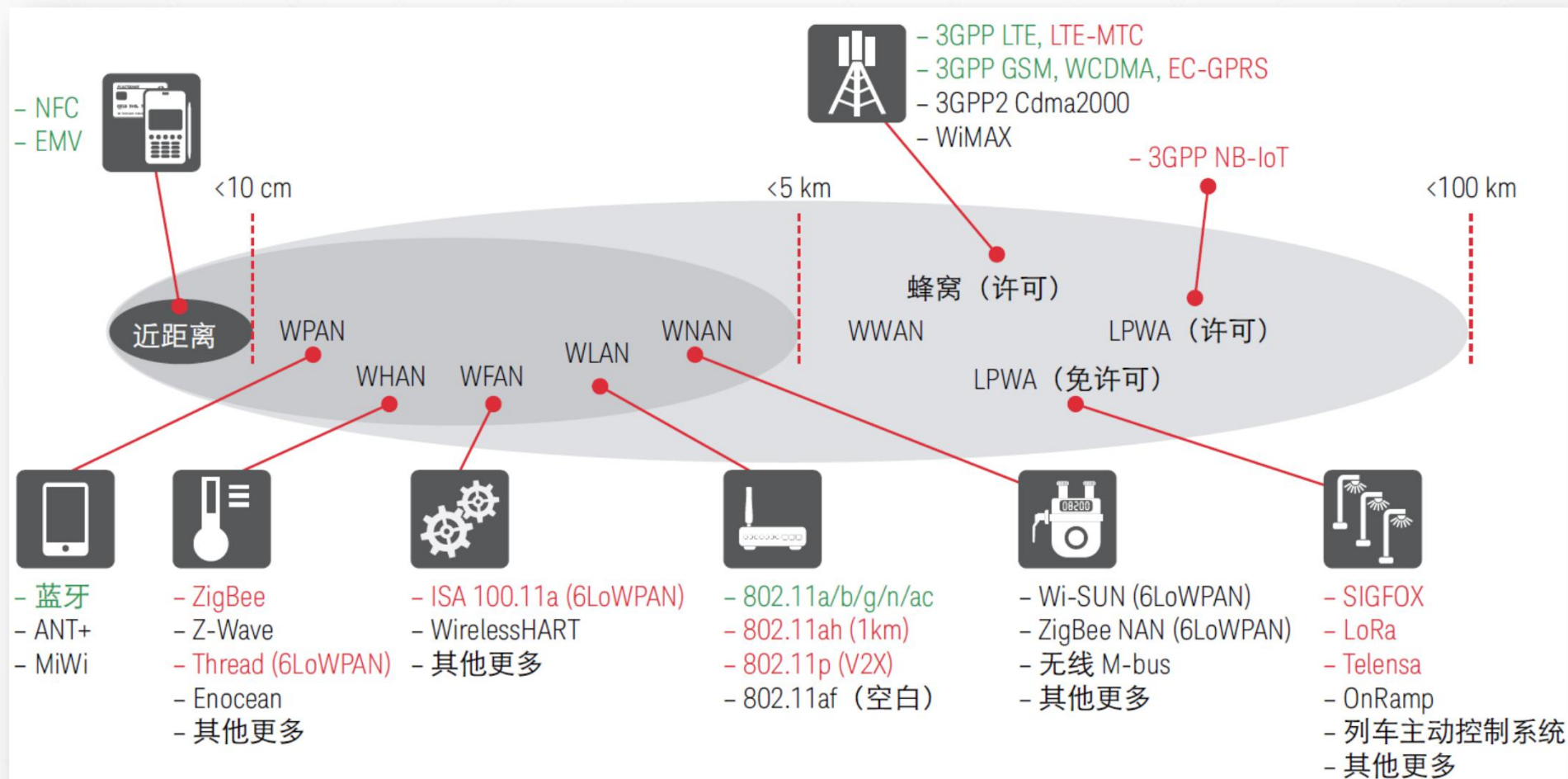
GSMA智库 (GSMA Intelligence) 估计，到2025年全球的工业物联网 (IIoT)**连接数将达到138亿**，其中大中华地区的连接数约为41亿，约占全球市场的三分之一。

根据IoT Analytics今年8月份的数据报告，截止到2020年，全球工厂里面的设备将有**50%**会通过各种网络技术连接到网络中。到2023年，工业物联网终端数量将**超过**消费物联网的终端数量。



物联网无线连接技术

多种连接技术共存, 选择适合的连接技术

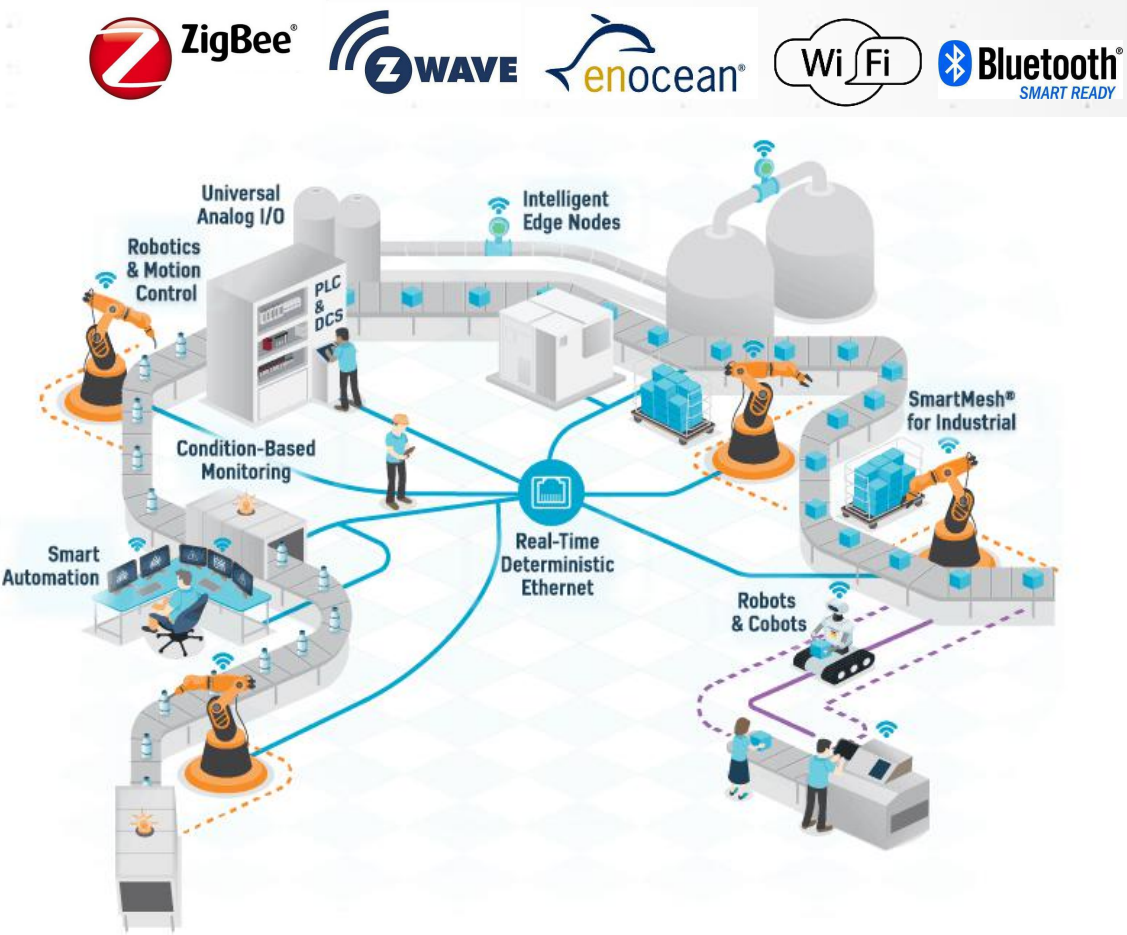


用于工业物联网的近距离无线通信技术

短距离的无线通信制式

常见的用于工业物联网短距离无线通信的技术有：
ZigBee、Z-wave、EnOcean、WiFi、蓝牙等短距离通信技术

标准	ZigBee	Z-wave	EnOcean
频率	868/915/2400 MHz	868/915 MHz	315/868/902 MHz
功耗	低功耗	低功耗	能量采集技术, 终端无需电池
调制	BPSK/O-QPSK	FSK/GFSK	ASK
速率	20/250 kbps	9.6/40 kbps	125 kbps



基于IEEE 802.15.4

常见物联网无线技术介绍



ZigBee

- 应用广泛：智能家居，智慧城市，工业应用
- 频率 868/915/2400 MHz
- 调制方式 BPSK/O-QPSK
- 传输速率20/250 kbps
- 网络拓扑多种



智能能源网络(Wi-SUN)

- 专注于能源管理，水电气，极大规模、低成本和低功率的无线能源管理产品
- 基于802.15.4g
- 频率为700MHz-1GHz和2.4 GHz
- 新定义的FSK PHY，使用了MR-FSK多速率频移键控，有效降低成本和提高了网络的可靠性



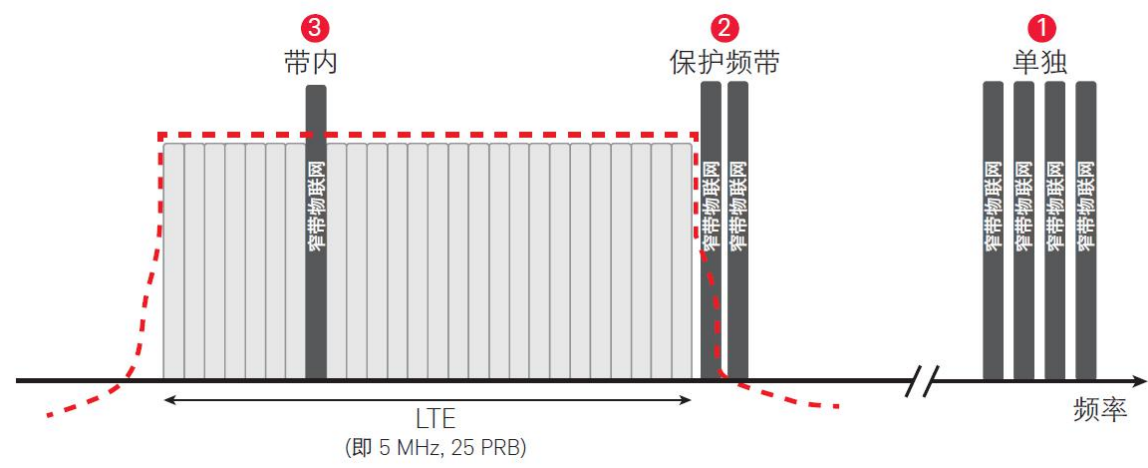
WirelessHART

- HART是美国ROSEMOUNT公司于1985年推出的一种用于现场智能仪表和控制室设备之间的通信协议. 2014年5月8日纳入中国国标
- WirelessHART基于HART协议和IEEE 802.15.4, 全球第一个获得国际认证的工业无线通讯技术

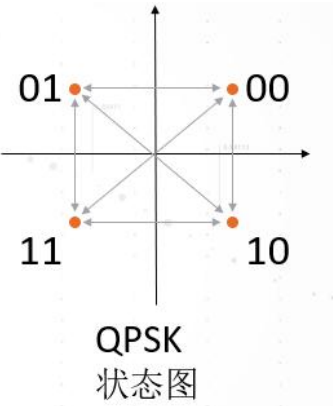
LPWAN低功耗广域网

常见的LORA和NB-IOT

Technology	Link Budget (dB)	Range	Max Data Rate (kbps)
Ingenu	168 to 172	13 km	41
LoRaWAN	150 to 168	15 km	5
LTE Cat-M1	156	10 km	1000
LTE Cat-NB1	164	10 km	200
Sigfox	146-162	50 km	0.3
WAVIoT	~160	2 km	0.1
Wireless M-Bus	130	1 km	2.4



无需授权	需授权
 	3GPP支持的2/3/4G蜂窝通信技术，比如EC-GSM、LTE Cat-m、NB-IoT等 



LPWAN技术比较



	SIGFOX	LoRa	NB-IoT	eMTC/CAT- M1	EC-GSM
Release	Now	Now	H2 2016	H2 2016	H2 2016
Link budget	~162dB	~157dB	~164dB	~156dB	~164dB
Battery life	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years
Spectrum	un & lightly-license bands e.g. 868, 915 MHz	un & lightly-license bands e.g. 169, 433, 470, 868, 915 MHz	GSM & LTE Licensed bands	LTE Licensed bands	GSM Licensed bands
Data rate	< 100 bps	<10 kbps	10's kbps	100's kbps	10's kbps
Silicon	Multi-vendor	Semtech (2 nd vendor announced)	Multi-vendor	Multi-vendor	TBC
Protocol	SIGFOX	Semtech (2 nd vendor announced)	3GPP Multi-vendor	3GPP Multi-vendor	3GPP Multi-vendor
Certification	SIGFOX	LoRa Alliance	GCF/PTCRB (TBC)	GCF/PTCRB	GCF/PTCRB TBC

物联网产品 = 常规产品 + 无线模块？

物联网 +



+

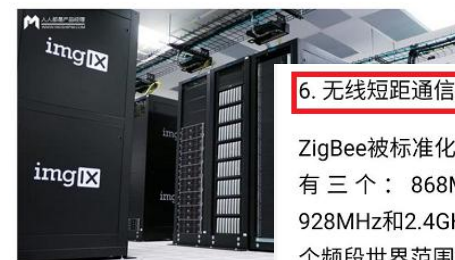


无线模块厂商提供**参考电路设计**，
分分钟把模块放入产品中工作。

So Easy,
Right?

AI产品经理的必修课：物联网通讯的设计方法

本文主要从5大方面具体介绍了关于物联网通讯的相关知识，分别是什么是物联网通信、物联网通信有哪些通信技术、有哪些协议、协议是如何选择的以及物联网通讯技术选型考量因素。enjoy~



6. 无线短距通信：ZigBee

ZigBee被标准化为IEEE 802.15.4，工作频段有三个：868MHz-868.6MHz、902MHz-928MHz和2.4GHz-2.4835GHz，其中最后一个频段世界范围内通用，16个信道，并且该频段为免付费、免申请的无线电频段。

三个频段传输速率分别为20kbps，40kbps以及250kbps。但是实际中ZigBee远没有像Wi-Fi或者蓝牙那样得到广泛的应用，这是由于它复杂，成本高，抗干扰性差，ZigBee协议没有开源，以及和IP协议不的对接比较复杂等等又限制了它在实际中的应用。

7. 无线短距通信：LoRa

LoRa来源于Long Range这个词，是一种长距离通信的通信技术。LoRa技术基于线性

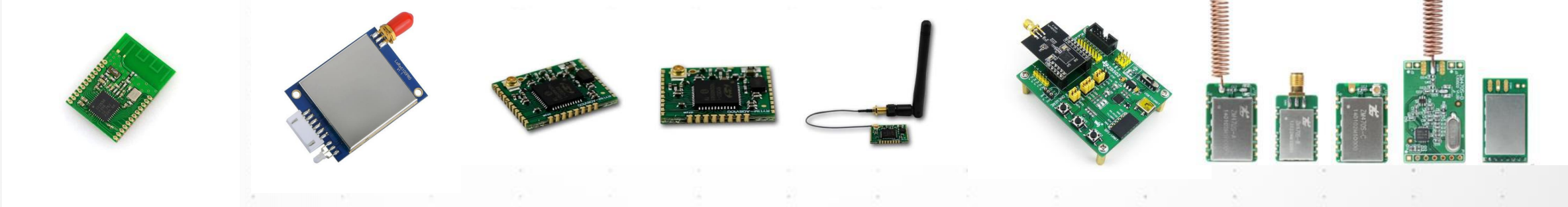
射频模块的关键指标

哪个模块的性能比较好？

技术指标	参数	备注
工作电压	1.8—3.6V	DC 直流
中心频率	433MHz	可定制其它频率
频率误差	+/- 10ppm	
调制方式	FSK,GFSK,OOK/LoRa TM	可编程设置
输出功率	最大20 dbm	
接收灵敏度	-139dbm	@1.2kbps
接收电流	10-12 mA	@1.2kbps
发射电流	<120 mA	@+20 dbm
待机电流	IDLE 1.jpg SLEEP(0.2uA)	参考工作方式
传输速率	0-300KHz	可编程设置
通讯距离	5km/ LoRa模式	
天线阻抗	50欧姆	
工作温度	-40~+85 ℃	
存储温度	-40~+85 ℃	
外形尺寸	17 x 17 mm	

备注：

- 1、 模块的通信速率会影响通信距离，速率越高，通信距离会越近。
- 2、 模块的通信速率会影响接收灵敏度，速率越高，接收灵敏度越低。
- 3、 模块的供电电压会影响发射功率，在工作电压允许范围内，电压越低，发射功率越低。
- 4、 模块的工作温度的变化，会导致工作频率偏移，只要不超出工作温度范围，不影响应用。
- 5、 天线对通信距离有很大影响，要使用和工作频率标称的天线，驻波比要小，阻抗接近50欧姆。
- 6、 模块的安装位置和方式会影响通信距离。



无线模块会对你产品引入的新问题？

客户和产品经理关心的

无线模块能否正确
建立通信

系统工作距离是否
符合设计要求

产品功耗，能否用
电池供电长期工作？

产品能否满足规范
上市销售

翻译成工程师语言的问题

1. 无线模块的发射频率是否正确和准确？
 2. 发射的调制信号是否正确，调制质量如何？
-
1. 无线模块的附属电路，例如天线和滤波器是否合理匹配？
 2. 无线模块模块本身发射功率是不是经过正确的校准？
 3. 无线模块在放入产品的外壳之后,天线发射的功率是否被衰减太多？
 4. 加上产品外壳之后，是否能达到设计的接受灵敏度（影响工作距离）？
-
1. 在模块的默认工作模式下，终端产品的功耗情况？
 2. 是否可以通过优化模块的发射和接受参数，优化终端产品的功耗情况？
-
1. 产品的电磁兼容是否符合规范？
 2. 产品是否符合CE/FCC/CCC等不同地区对射频收发设备的要求？
 3. 是否有带外的杂散产生？

物联网（IOT）实验室整体测试解决方案

实际平台构成

得来这么一套测试神器！



1 模块能否正常建立通信？建立测试环境

CXA N9000B Signal Analyzer



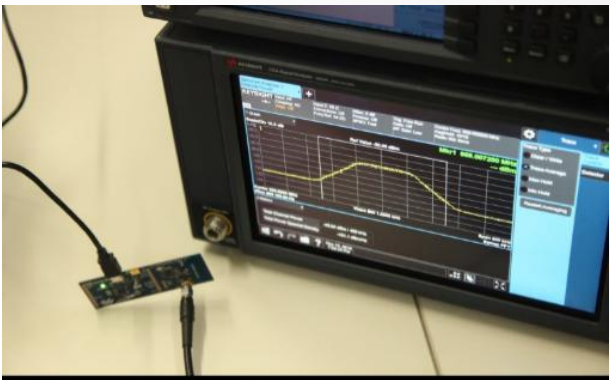
这个机器就是射频工程师都认识的**频谱分析仪**

建立好测试环境之后，就可以使用频谱仪对模块的信号进行测试了。

时域测试 信号频率测试 占用带宽测试 调制分析

通过标准的N型接口输入射频信号

测试连接方式



传导方式测试
(用电线连接模块发射口)



耦合方式测试
(通过天线测试模拟真实场景)

N9000B CXA信号分析仪概述

性能:

- ✓ 9 kHz – 26.5 GHz频率范围
- ✓ -163 dBm 底噪
- ✓ ± 0.5 dB 幅度精度
- ✓ 25 MHz分析带宽

特性:

- ✓ 多点触控图形界面
- ✓ 全面的频谱分析和信号分析
- ✓ 追踪源

硬件属性:

- ✓ 高性能双核64位CPU
- ✓ 8GB内存/160GB存储 (可移动固态存储器)
- ✓ 10.6 英寸高清显示屏

X-Series
apps
running
inside

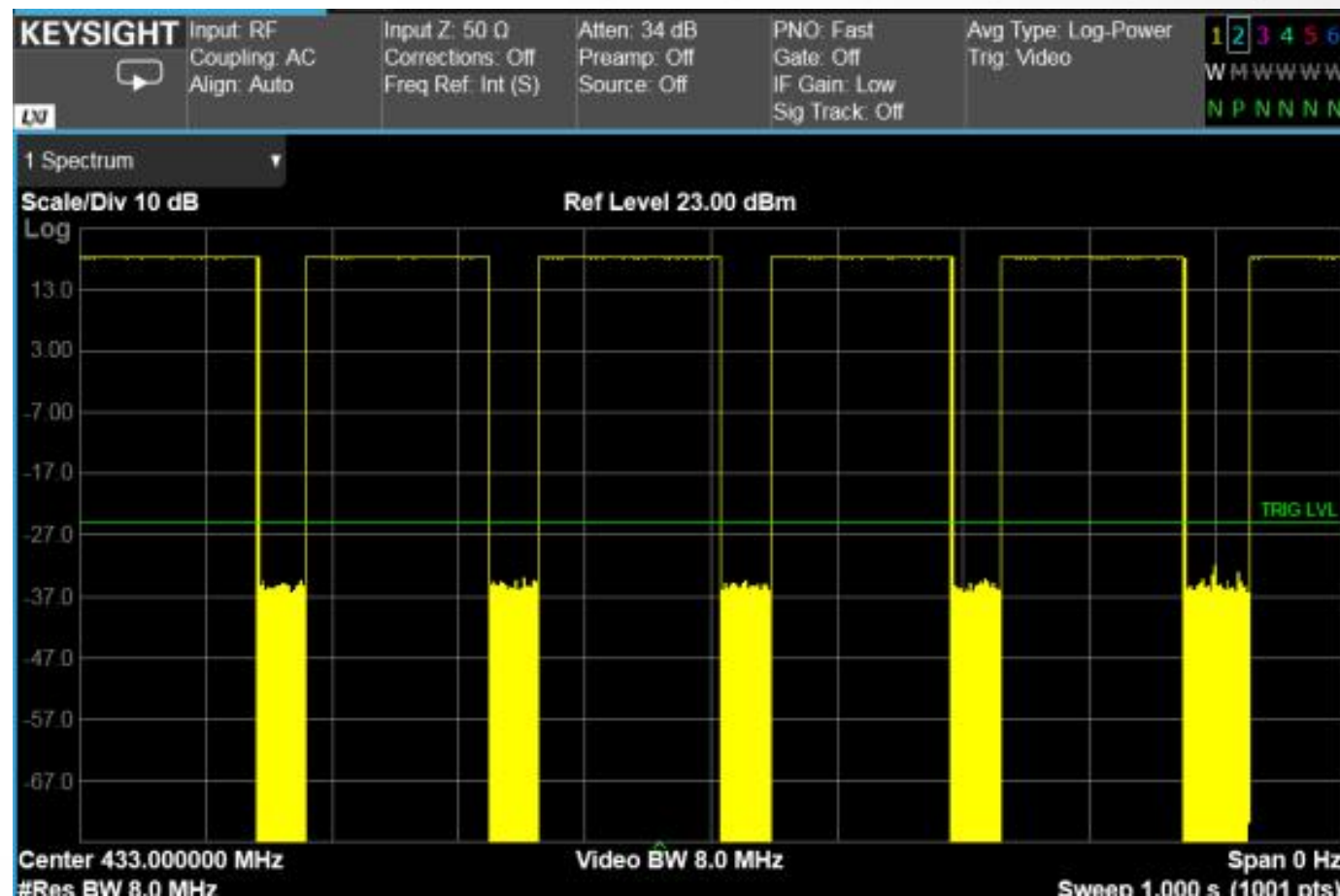


Master the essentials of signal characterization

零扫宽看LoRa信号（时域）

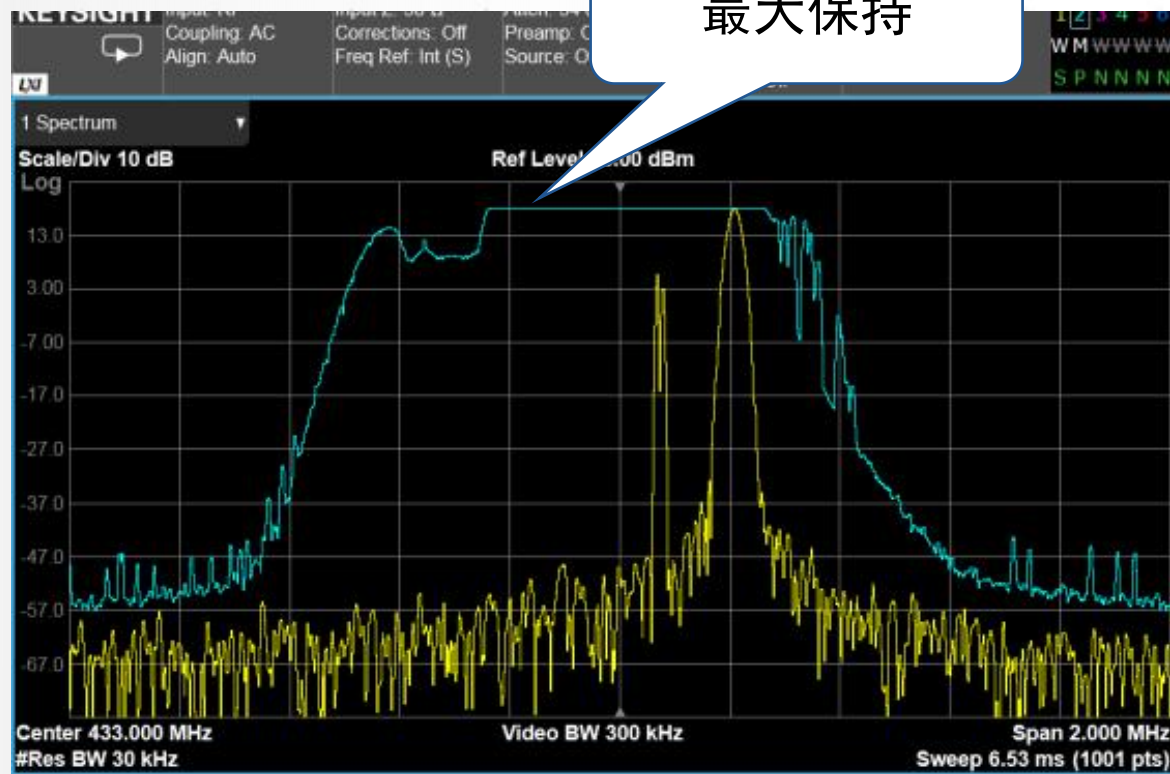
LoRa技术：

- 载波采用Chirp FM调制
- 可编程的扩频因子SF: 7,8,9,10,11,12
 - SF越高，灵敏度越高
- 可编程带宽: 125kHz, 250kHz, 500kHz
- 中心频率433 MHz，零扫宽

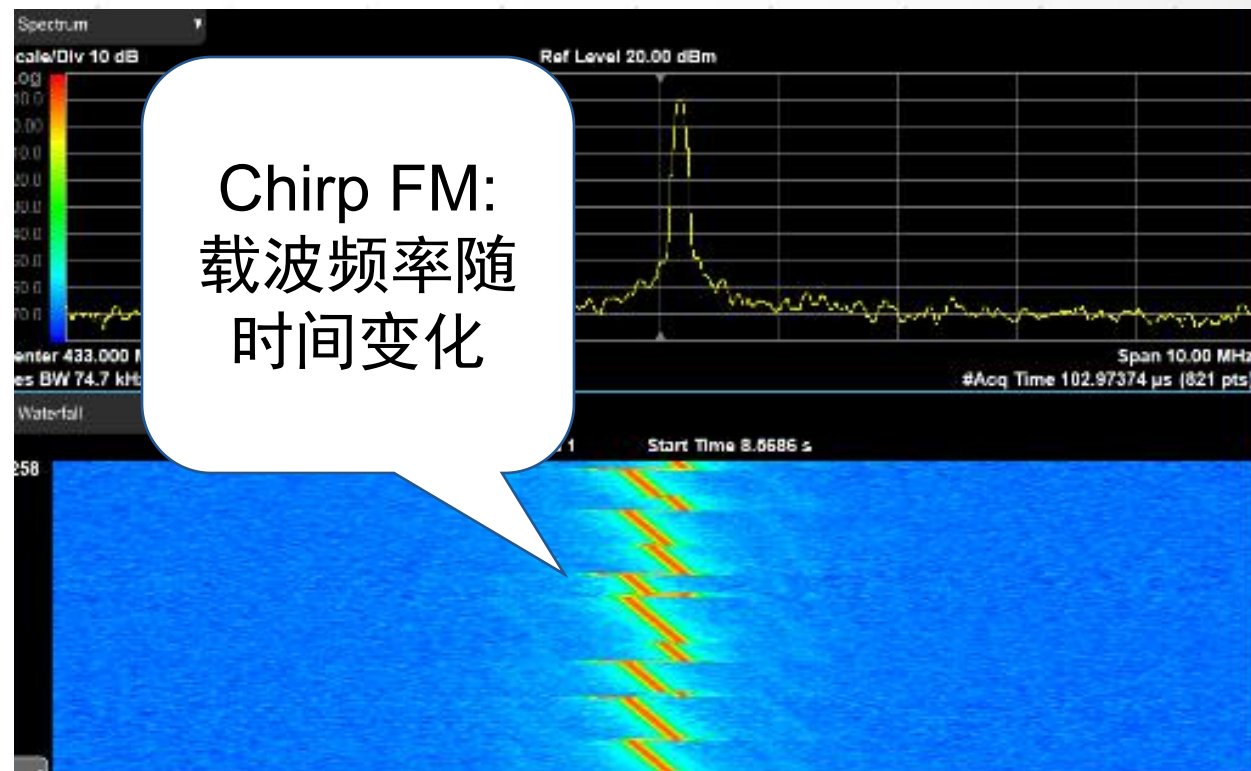


频域看LoRa信号

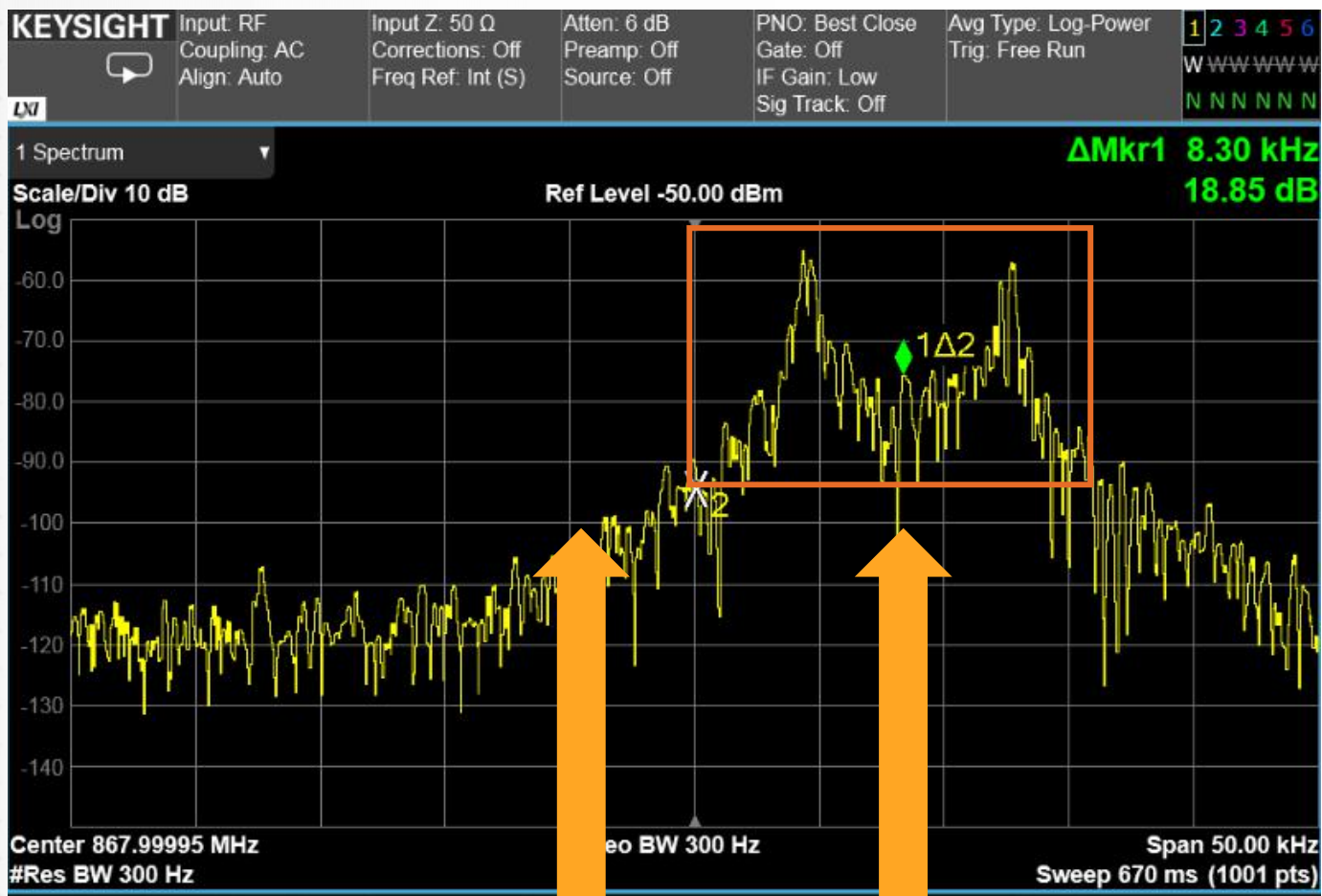
最大保持



Chirp FM:
载波频率随
时间变化



1 模块能否正常建立通信？ 工作频率需要正确

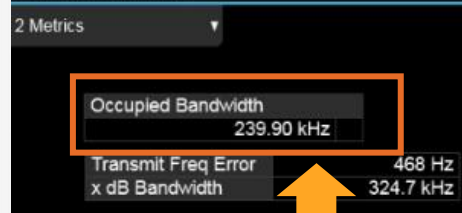
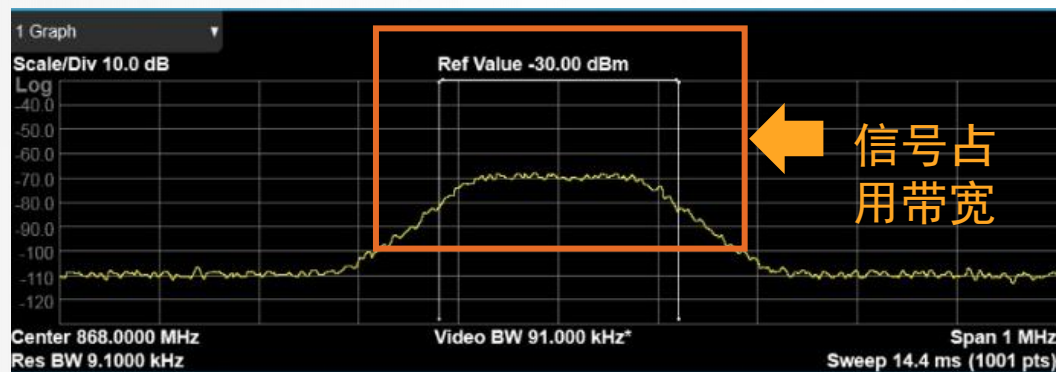


实际案例：

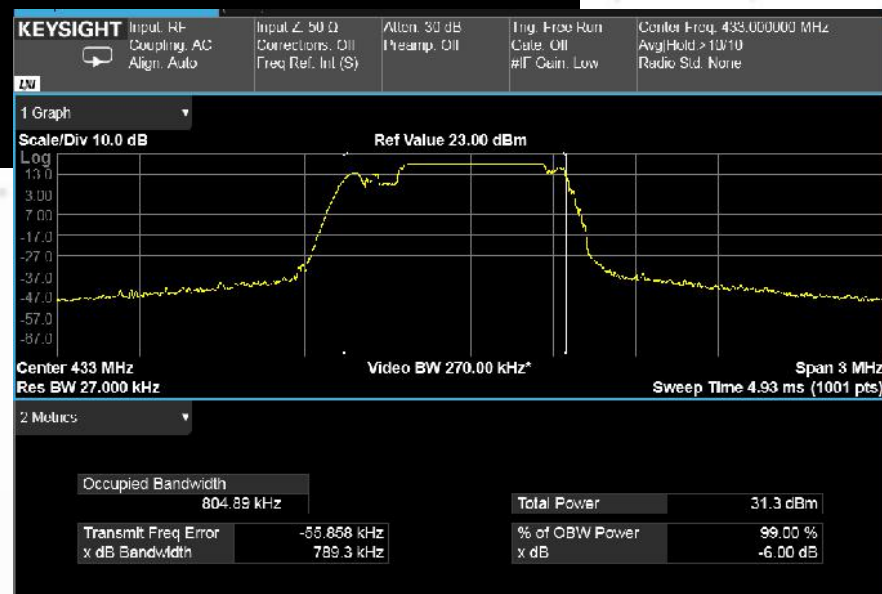
设置的模块工作频率是868MHz，但是实际测试出来的工作频率比设计偏了8.3kHz。（**发射频率错误**）

需要检查，是底层控制软件造成的错误，还是模块本身的硬件问题。

1 模块能否正常建立通信？ 占用正确的信道带宽



频谱仪可以直接测量占用带宽



不同的无线通信制式，从Lora到NB-IoT再到WIFI，提供不同的最大和最小的传输速率，因此不同的信号会有多种占用信道带宽。从小于1kHz，到大于100MHz。

信号带宽符合标准要求，首先是模块之间能正常建立通信的必要条件，也是模块不影响其他相邻信道信号的先决条件。

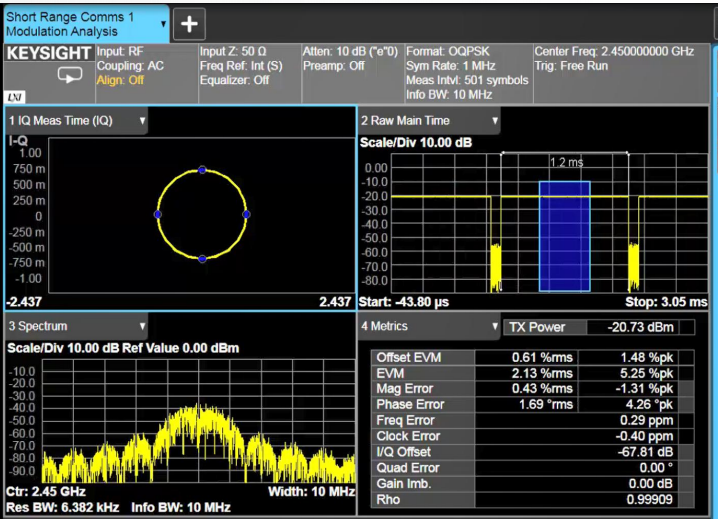
频谱分析仪能方便地测试信号的占用带宽。

例子：FCC 15.247(a)(2)的标准要求LoRa的信号6dB带宽大于500k，直接使用N9000B CXA的占用带宽OBW功能，输入6 dB，可以方便得直接测量6 dB带宽

1 模块能否正常建立通信？

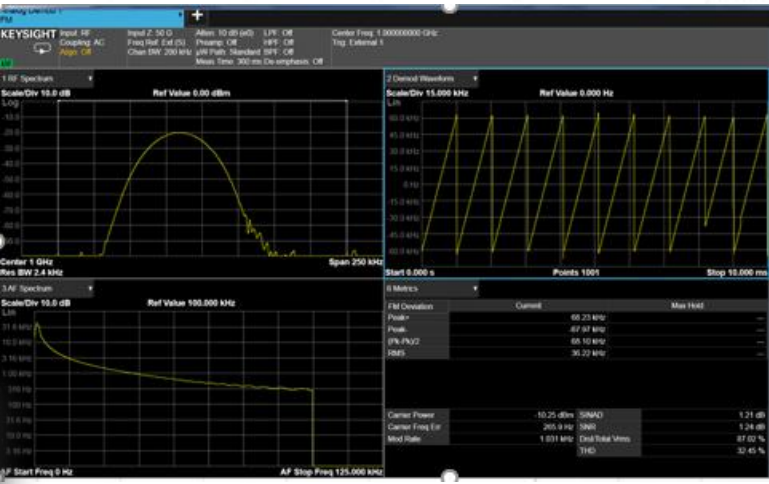
调制质量分析：

各种物联网的通信制式，都具有不同的占用带宽和速率，也使用不同的调制方式和数据帧结构。也就是所谓的“**物理层定义**”。相应的设置如果有问题，也不能正常通信。而N9000B能对相应的物理层调制质量作测量和分析。

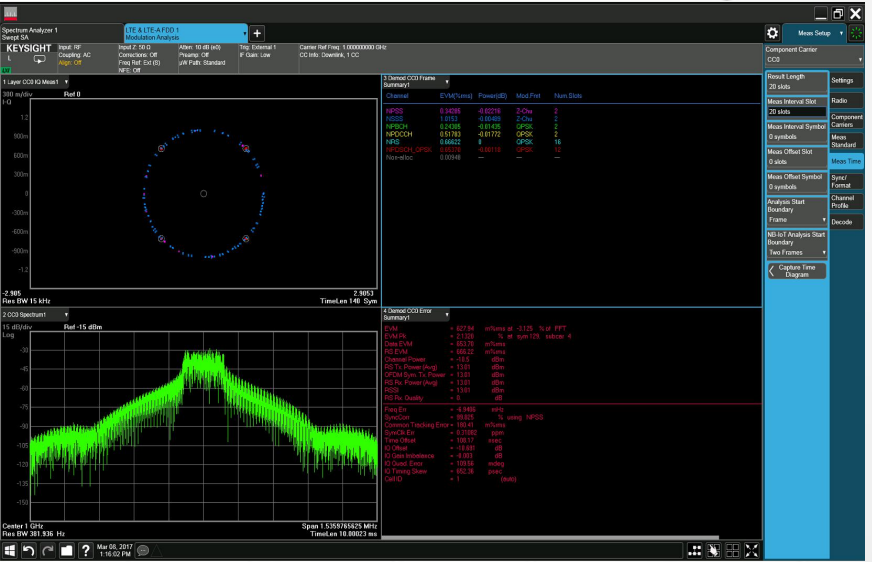


Zigbee信号解调分析

Mode	Measurement	View
Spectrum Analyzer	Channel Power	Basic *
IQ Analyzer (Basic)	Occupied BW	Meas Summary
W-CDMA with HSPA+	ACP	RB Slot Meas
GSM/EDGE /EDGE Evo	SEM	Subcarrier Meas
Phase Noise	Spurious Emissions	MIMO Summary
Noise Figure	Transmit On/Off Power	Cross Carriers Summary
Analog Demod	Modulation Analysis	User View
Bluetooth	Conformance EVM	Basic 1
LTE FDD & LTE-A FDD	Power Stat CCDF	
LTE TDD & LTE-A TDD	Monitor Spectrum	
WLAN	IQ Waveform	
SCPI Language Compatibility		



Lora信号解调分析



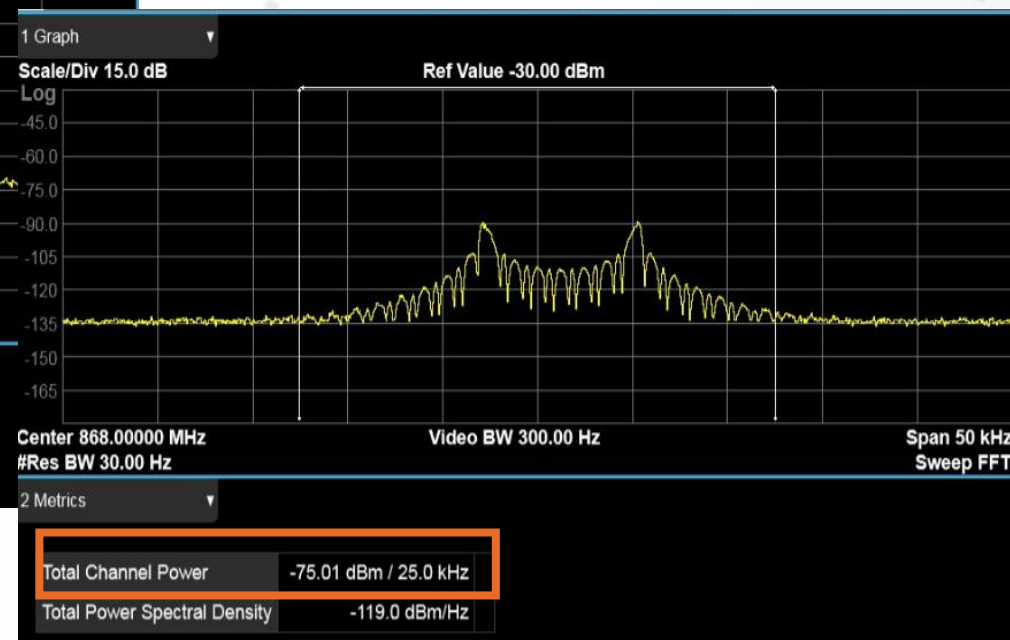
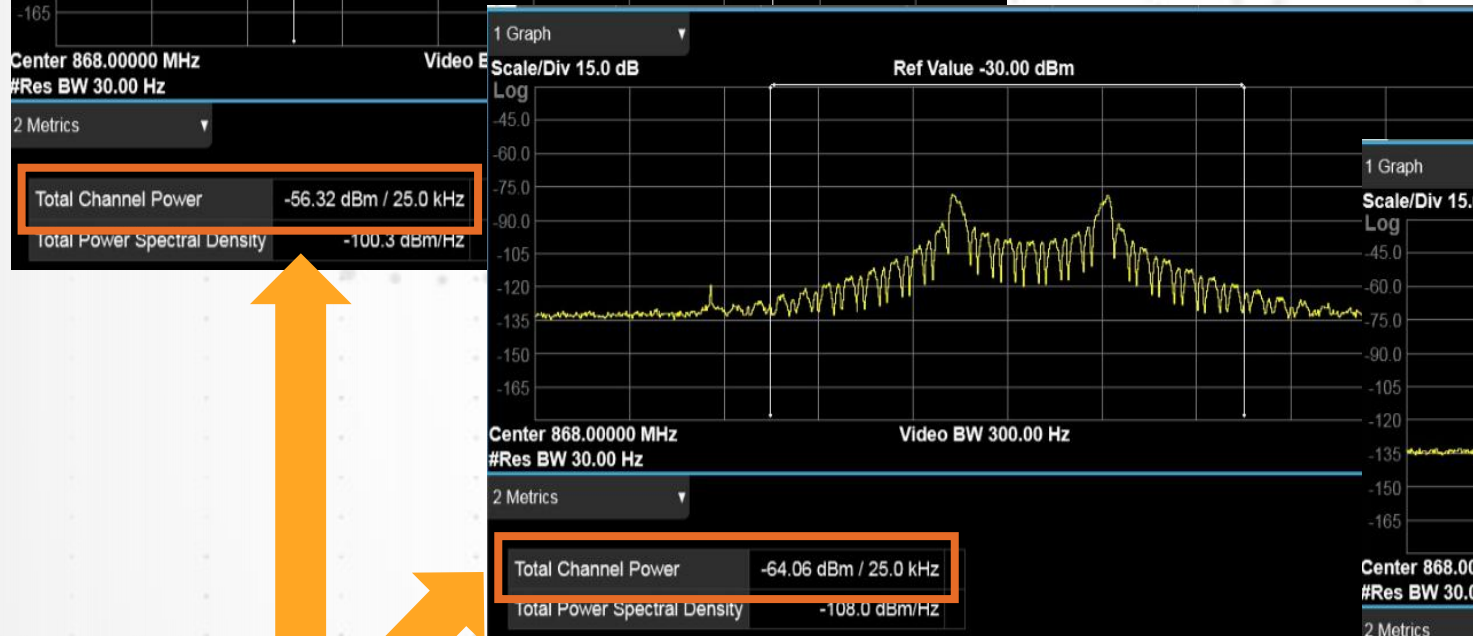
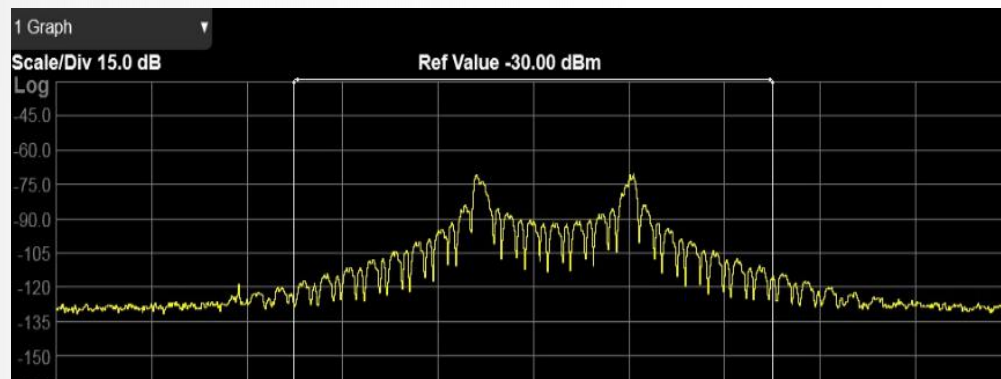
NB-IoT信号解调分析

2 系统工作距离是否满足设计要求？发射功率功率功率！

客服和测试人员：你说能覆盖1公里，为啥超过500米没信号了？

软件工程师：怎么可能，我已经按照芯片的AT命令设置了最大发射功率了？？

数字研发工程师：这个功率，到底对没对？我也不知道怎么测试？



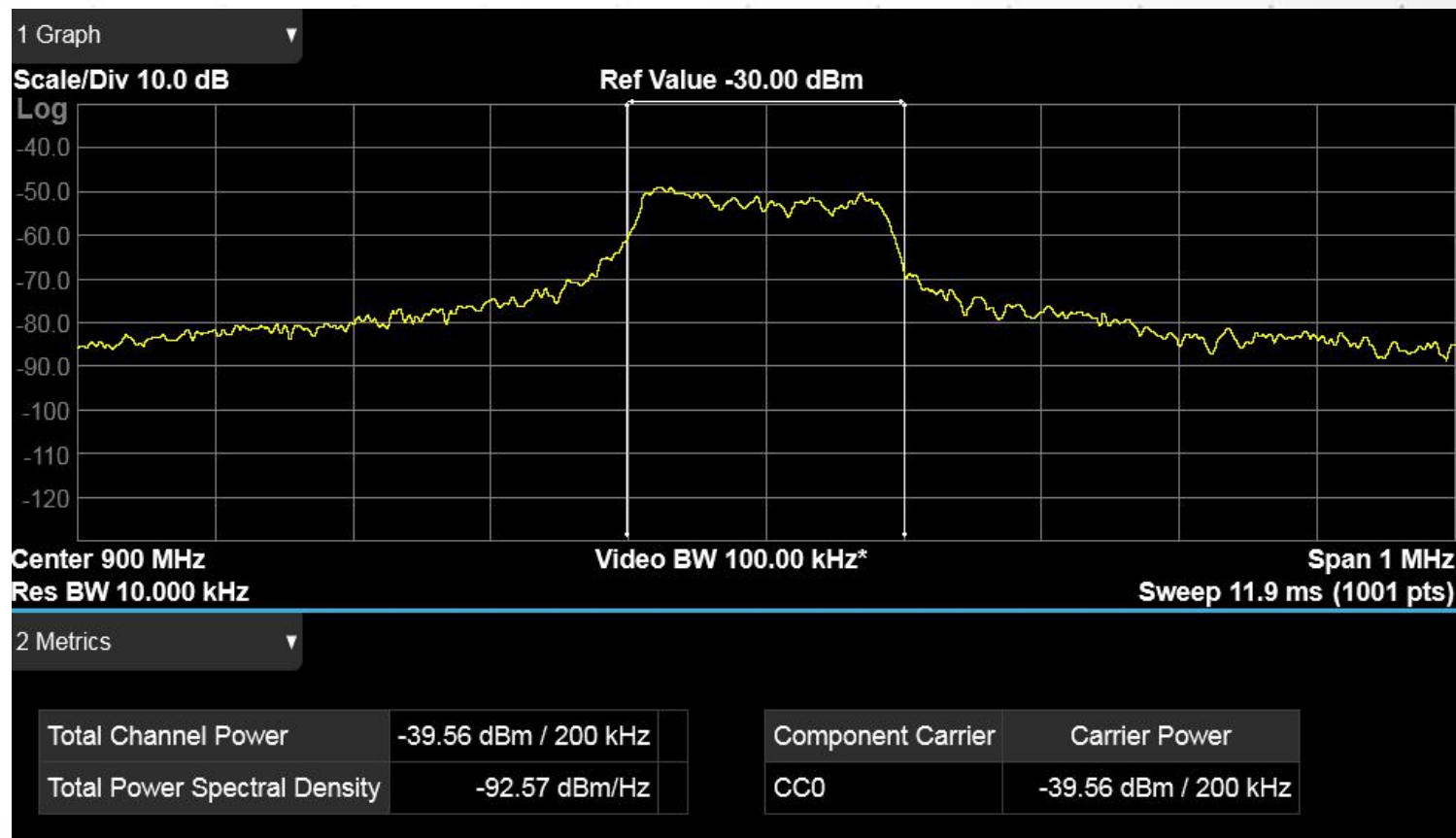
频谱仪可以测！

2 系统工作距离是否满足设计要求？如何测试发射功率

- 测量UE最大发射功率

Class 3 (dBm)	Tolerance (dB)	Class 5 (dBm)	Tolerance (dB)
23	±2	20	±2

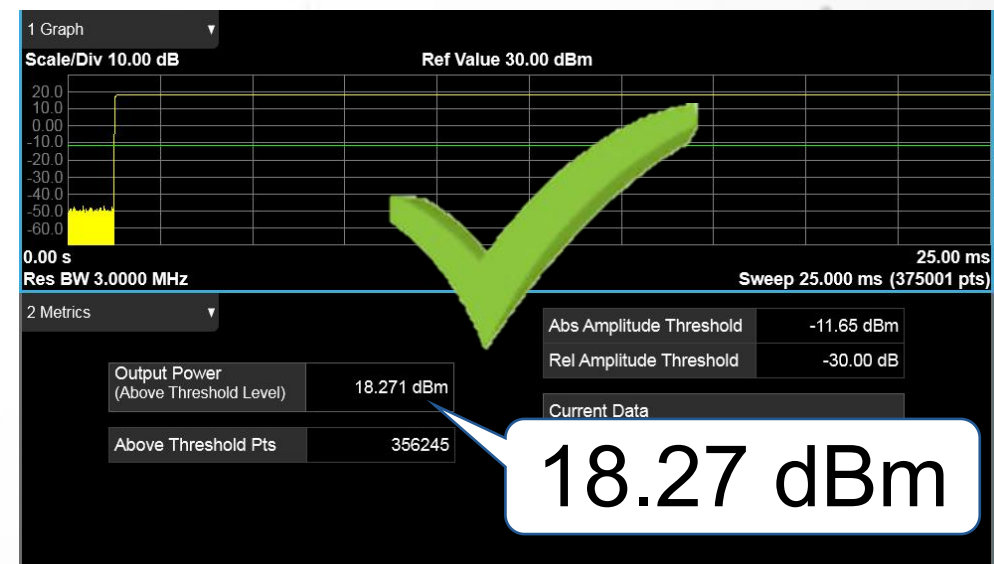
- 测量UE最小发射功率 -40 dBm
- 如何准确测量？
 - 不能使用Max hold加Marker
 - 必须使用Channel Power信道功率
 - 注意测量的时候需要使用Burst触发或者视频触发，这样才能准确地抓到完整的频谱



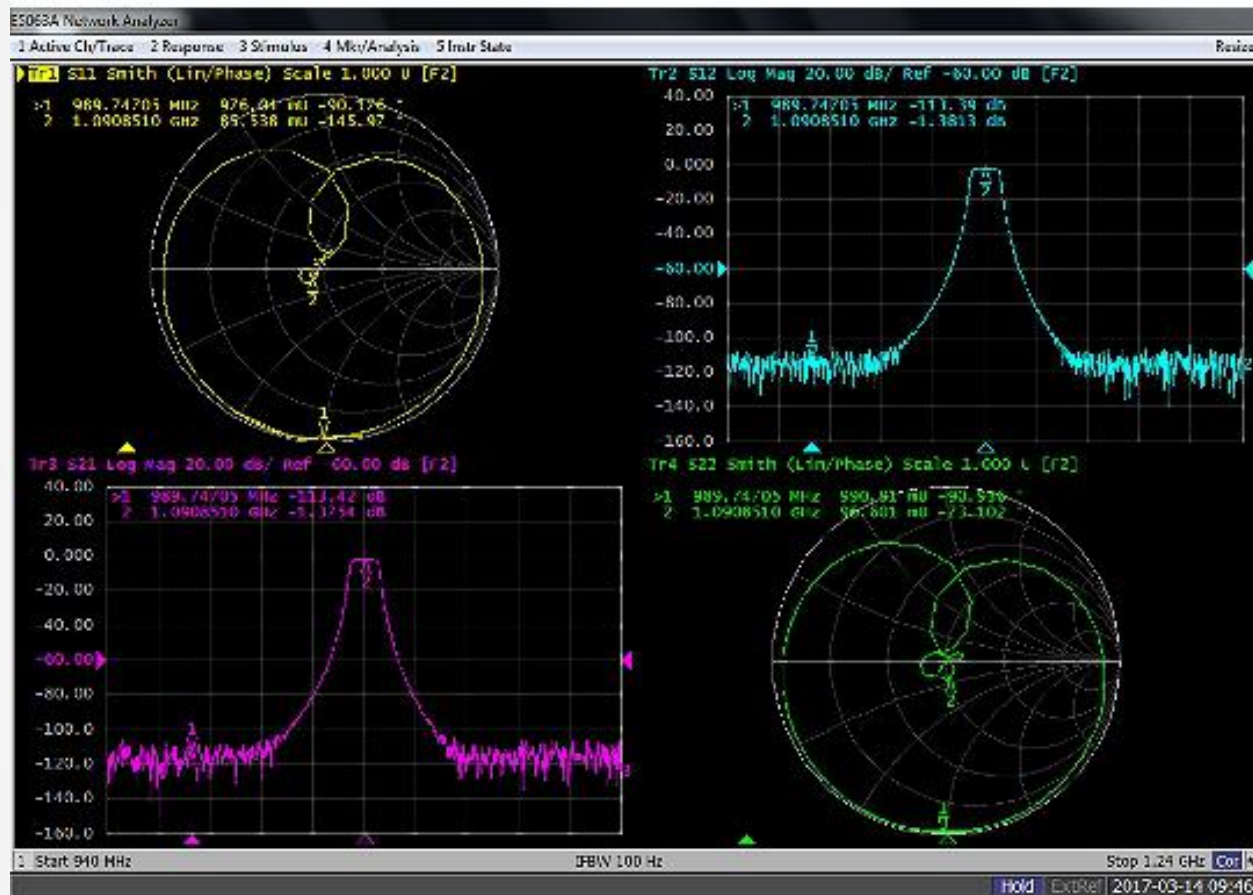
2 发射机输出功率的测试方法

根据FCC Part 15.247(b)(3); LoRa传导输出功率不能超过 **30dBm**. 注意在做输出功率测试之前, 必须先测量占用带宽.

- LoRa是Chirp FM信号, 因此不能用传统的信道功率测试
- N9000B CXA提供Burst Power功能, 可以准确测量LoRa的输出功率
- 检波器选用功率平均 (RMS), 能够计算出真实的平均功率, 最适用于测量复杂信号的功率

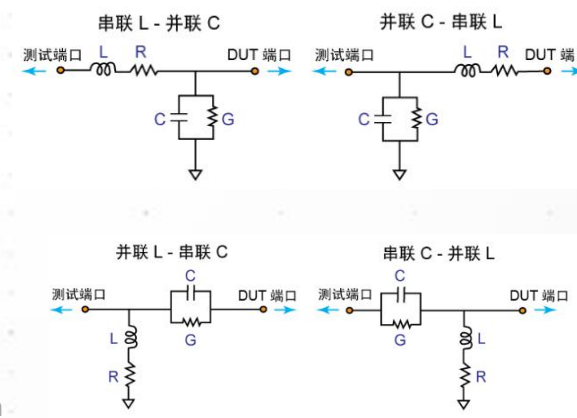


2 发射效率不够，如何优化？



为了让信号尽可能高效的发射，需要进行
阻抗匹配测试

- 1、通过使用E5063A测试天线的特征阻抗是否接近50欧姆
- 2、E5063A具有匹配电路嵌入功能，可以在为每个测试端口添加匹配电路之后轻松获得结果特性。

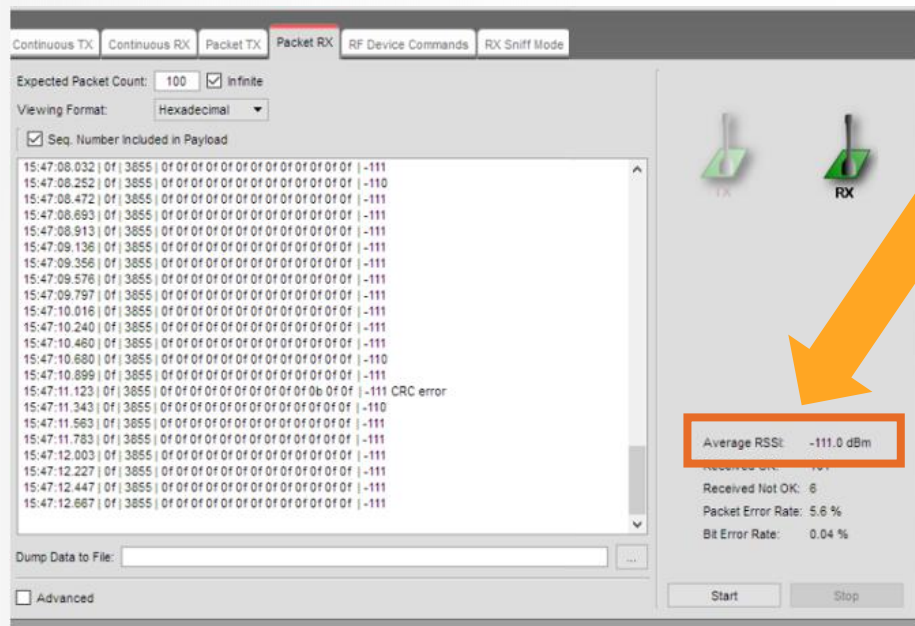


2 系统工作距离是否满足设计要求？接受到的功率和灵敏度

客服和测试人员：你说能覆盖1公里，为啥超过500米收不到信号？

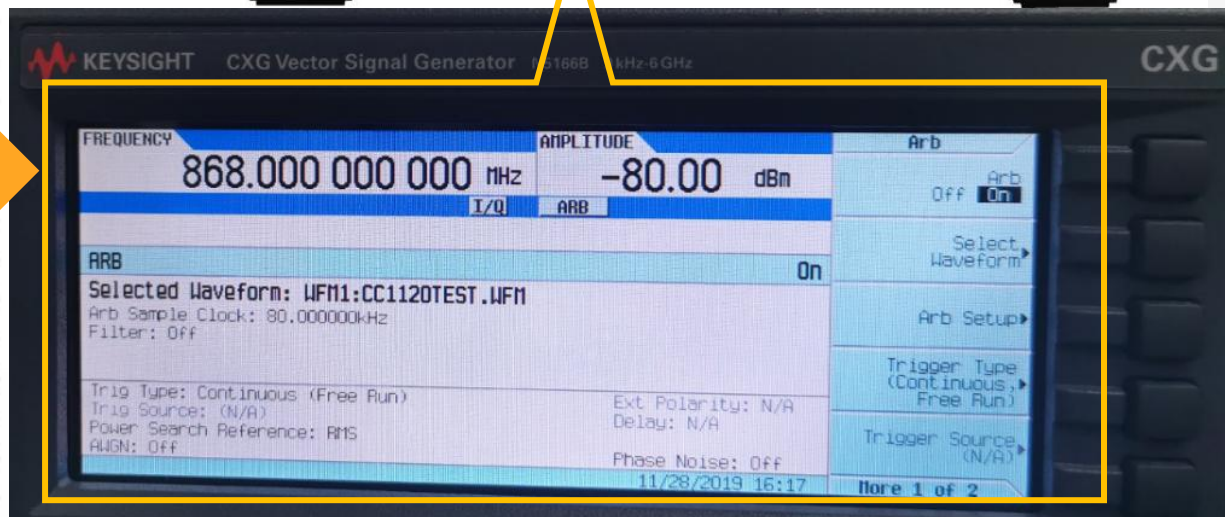
软件工程师：给软件上报的接收信号功率挺小的啊，这准确么？

硬件研发工程师：我怎么知道。。。也没有个参考啊。。。



N5166B 矢量信号源，提供可以精确设定发射信号的频率和功率，这样可以精确判断进入无线模块接收机的信号的功率是都多少。

CXG N5166G 矢量信号源



2 系统工作距离是否满足设计要求？ 调制制式是否正确



硬件研发工程师：我有个函数发生器，还有台信号源，但是为什么产生了对应频率的信号，我的模块就是不能识别呢？

你需要一台可以产生对应制式的矢量信号源？



N5166B 矢量信号源，支持产生目前几乎所有的物联网使用的无线通讯技术，可以产生相应的矢量调制信号。

同时为了满足不同芯片厂商的要求，还可以自定义规定通讯制式下，数据序列的内容，以保证无线模块可以识别。这样配合准确的功率，达到测试仪器的灵敏度的要求。



Signal Studio 软件

简单的创建对应制式的信号

- 创建性能优化的参考信号
- 验证组件，发射器和接收器测试
- 确保设计符合最新标准
- 加快信号创建速度并减少仿真时间



Cellular communications	
N7600C*	W-CDMA/HSPA+
N7601C*	cdma2000®/1xEV-DO
N7602C*	GSM/EDGE/Evo
N7612C	TD-SCDMA/HSPA
N7624C*	LTE/LTE-A FDD
N7625C*	LTE/LTE-A TDD
N7626C	V2X
N7630C	5GTF (Pre-5G)
N7631C	5G NR (New Radio)
General purpose	
N7608C	Custom modulation
N7614C	Power amplifier test
N7621B	Multitone distortion
N7622C	IQ Waveform Download Toolkit

Wireless connectivity	
N7606C	Bluetooth®
N7607C	DFS Radar Profiles
N7610C	IoT: WiSUN, ZigBee, Z-Wave, and LoRa
N7615C	Mobile WiMAX
N7617C	WLAN 802.11 a/b/g/j/p/n/ac/ah/af/ax
Video, audio and radio test	
N7611C*	Broadcast Radio
N7623C*	Digital Video (w/DOCSIS3.1)
N7640C	Land Mobile Radio
Detection and positioning	
N7609C*	Global Navigation Satellite Systems
N7620B	Pulse building

* Support both Real-Time and ARB mode

3 产品功耗如何测量？

功耗怎么测？

通过测试电压电流，来计算呗。
万用表来一个~



新问题来了：

1. 万用表能连续长时间记录电流的变化么？
2. 万用表的电流电压测量量程能自动切换么？从几十uA变化到几A。
3. 能很方便的计算出一段时间的功耗值么？
4. 能顺便提供供电么？

所以您得来一台这个
N6705B直流电源分析仪



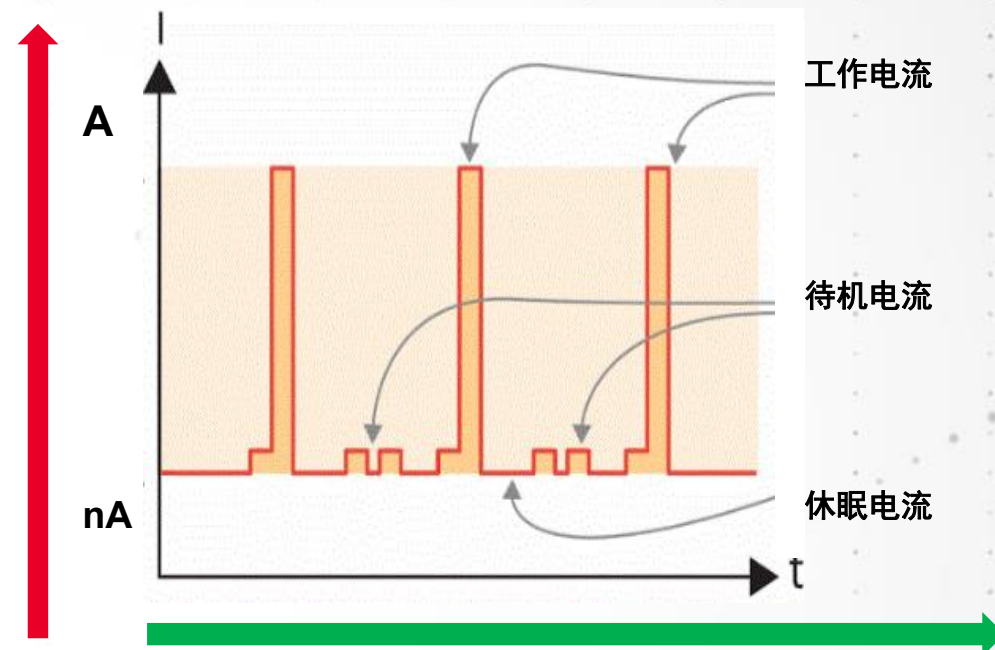
3 物联网耗电特征和精确测量的挑战

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. 应用场景测量持续测量, 采样时间要长 (存储深度)



3 物联网功耗分析方案——就这么简答！



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

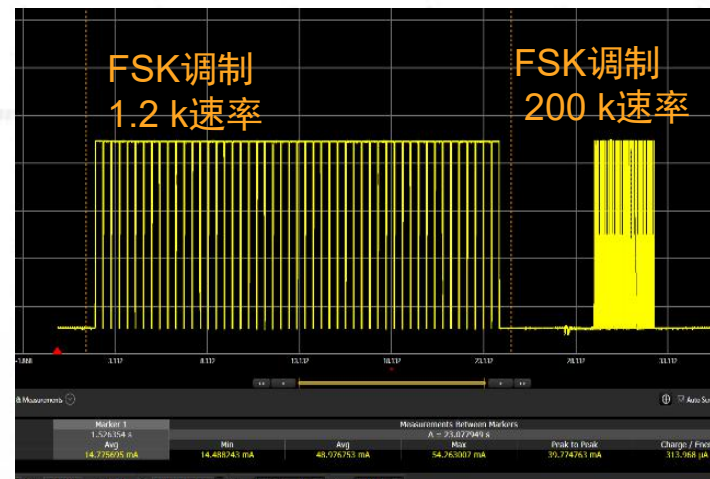
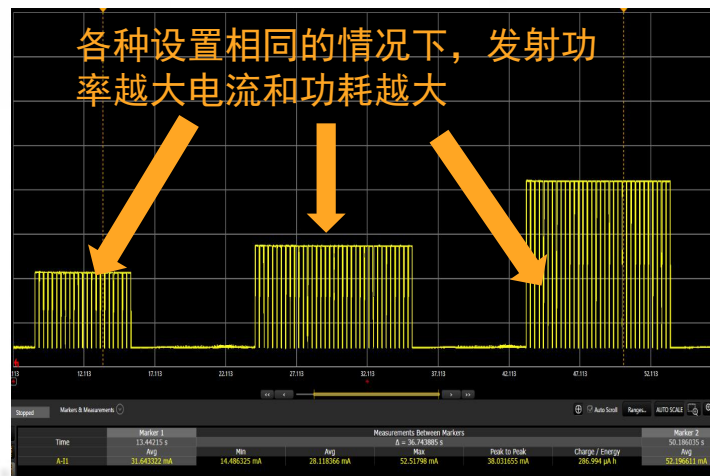
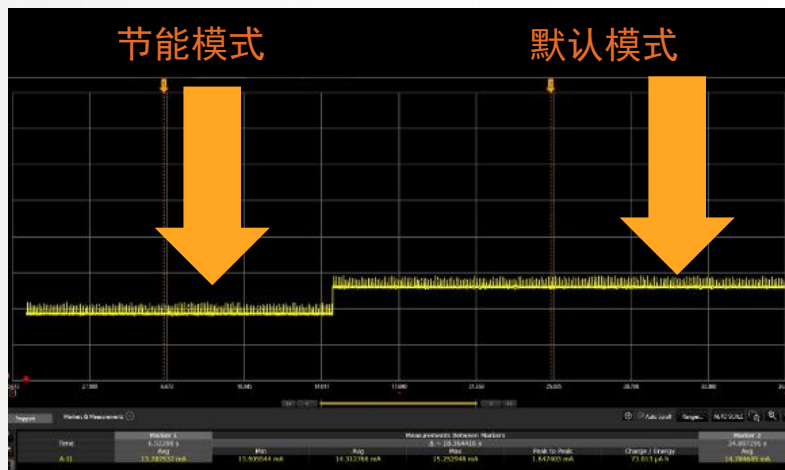
》 Duration/Period

》 Run



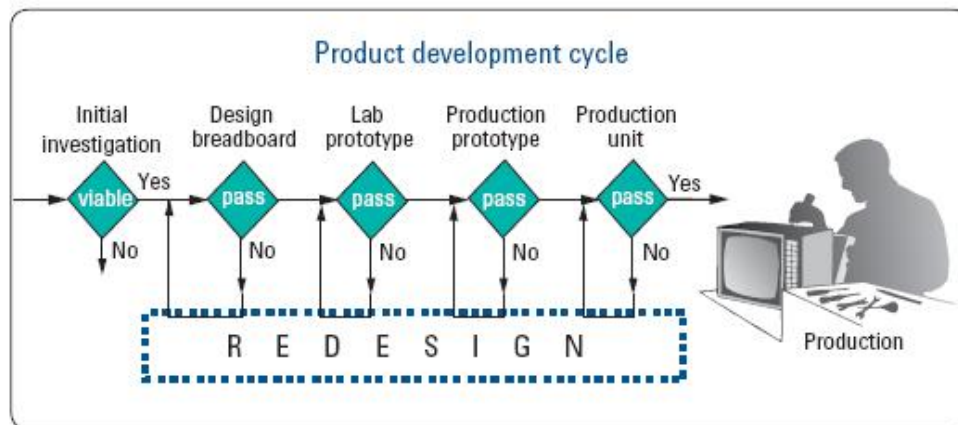
功耗测量、操作如此简单！

3 产品功耗和射频性能如何优化？ 硬件+软件综合优化



- 1、合理调用**节能模式**
- 2、合理设置**发射功率**
- 3、合理设置**发射速率**
- 4、合理设置**时间参数**

EMI预兼容测试的重要性



是德推荐所有的电子类产品都进行EMI预兼容测试

避免产品整体研发完成后才交付EMI实验室进行测试

EMI 预兼容: 在最早的时间发现和解决电磁干扰的问题
通过观察干扰信号的频谱, 优化设计, 提高EMI一致性测试通过率。

EMI预兼容

干扰排查
优化设计

加速产品上市!

N9000B CXA频谱分析仪预兼容测试

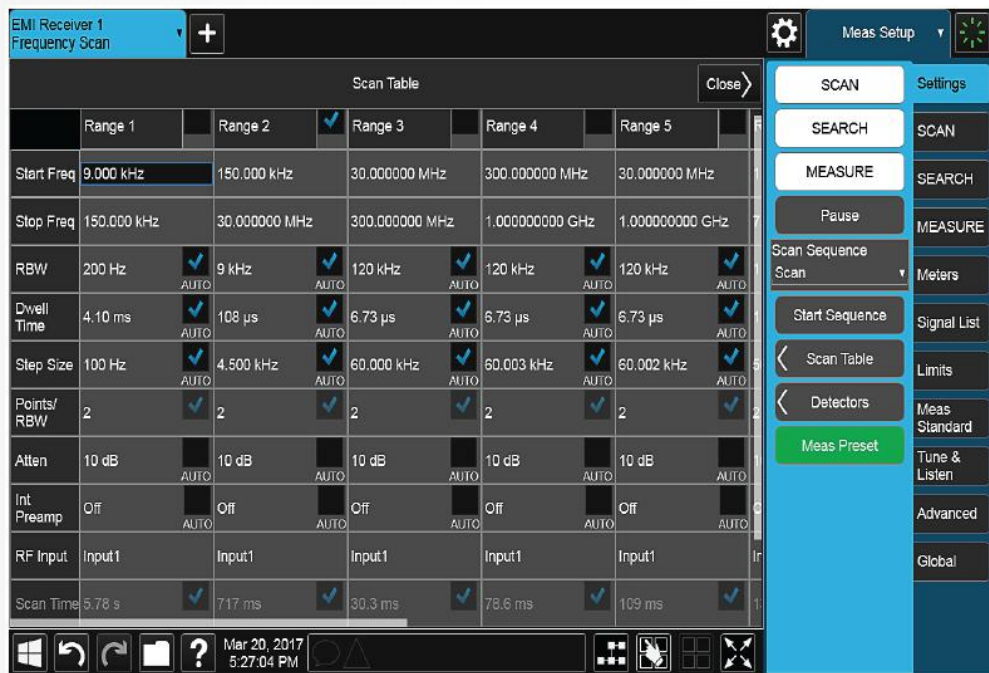
频率: 9 kHz – 3, 7.5, 13.6, 26.5 GHz
DANL: -163 dBm
幅度精度: ± 0.5 dB

- AM/FM 侦听与解调
- 符合CISPR规范的分辨率带宽，检波器
- 全面的CISPR限值线
- 预置的CISPR Band Presets
- 强大的标记功能(markers)
- 方便快捷的屏幕保存

N9000B CXA运行N6141C EMI测量应用软件



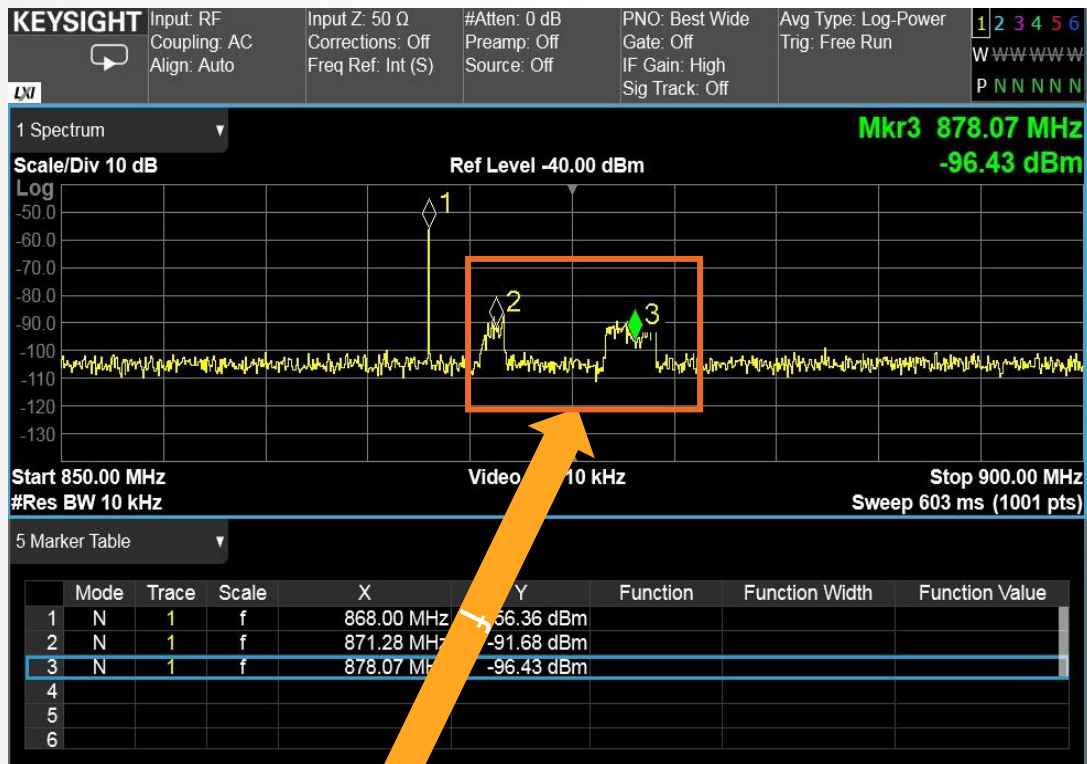
N6141C: 运行于N9000B上的专业EMI测试软件



- 基于标准的预设：频段(CE, RE)，驻留时间，步进，分析带宽RBW
- 显著节省测试时间

- 功能完全满足CISPR-16-1 要求
- 提供EMI专用检波器，带宽
- 最大40001扫描点保证频率测量精度
- 灵活的峰值列表功能

4 是否满足规范要求



明显的带外杂散，需要改进电路去除。

产品必须满足CE/FCC/CCC等规范要求

N9000B的频谱分析功能，也能够很容易地测试到无线模块的带外杂散。

无线模块装上之后，确实能发射信号，但是不必要的带外杂散，即影响其他频段的通信，也容易违反相应规范的要求。可以通过改进外围匹配电路，或者加滤波器的方法改进。

N9000B CXA有杂散辐射一键测试功能，切换到该功能可以非常方便的测试



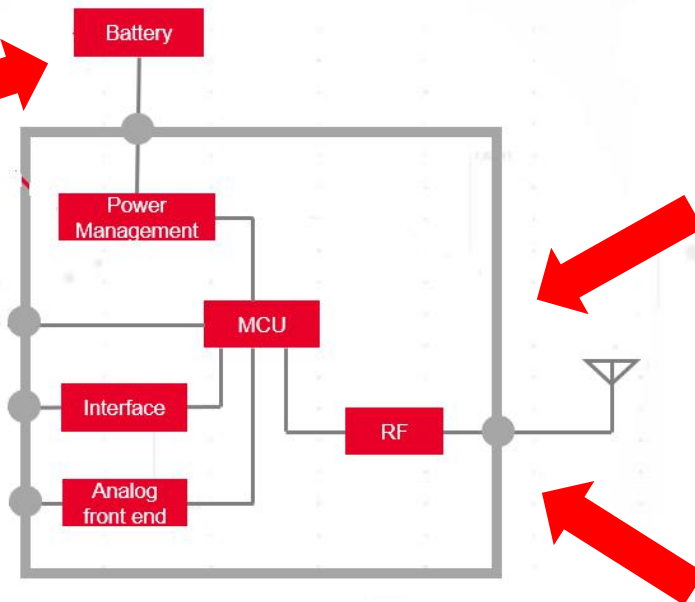
物联网（IOT）实验室整体解决方案

COVER ALL IOT R&D TEST REQUIREMENT

集成一体化电流测量 N6705C DC Power Analyzer



- a. 捕获 8nA - 8A 快速变化的耗电电流波形
- b. 测量设备在睡眠/唤醒/发射/接收等不同状态的电流消耗
- c. 高达200 KSa/s、28bit电流采样率，精确测量脉冲电流
- d. 长时间连续记录完成产品的完整耗电分析



射频接收机测试

CXG N5166B Vector Signal Generator



New

- a. 9kHz – 3/6GHz的工作频率，覆盖目前所有的IoT的工作频段。
- b. 支持signal Studio软件，可以生成市面所有的IoT相应制式。
- c. 可调的+19到-144dBm功率输出，可以完成精确的灵敏度测试

射频发射机 & EMC 电池兼容测试

CXA N9000B Signal Analyzer



- a. 准确的RF功率和频谱测试。
- b. X-series分析软件，可以对调制质量进行分析。
- c. N6141A EMI测量选件，配合N9311X-100 近场探头，完成实验室的EMI预兼容测试。

	N6705B	N5166B	N9000B	Total
典型配置	N67058B+ 056(analysis software) + N6781A (S/M unit)	503 (9k-3GHz)+ 653 (ARB 60MHz) + 250 (50 pack waveform)	503 (3GHz) + N6141EM0E(EMI)+ N9311X-100+ N9054EM0E	
价格	16.6k USD	30.4k USD	36k USD	83k USD

物联网（IOT）实验室整体解决方案

实际平台构成



- 1、解决无线连接是否正常通信的问题
- 2、解决通信距离的问题
- 3、解决发射机调制质量的问题
- 4、解决接收机灵敏度的问题
- 5、解决是否满足规范的问题
- 6、解决功耗测试和优化的问题

联系方式

了解更多信息，请访问广州康祺网站：

<http://www.kontchi.com>

或致电客服电话：

400-878-5200



欢迎扫描关注，将奉上精美礼品一份

幸运抽奖

