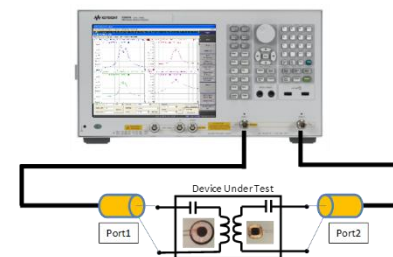
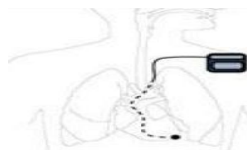


灵活而免维护的供电— 无线充电

June 2017

汪士龙
Shilong_wang@Keysight.com
18516173120



灵活而免维护的电源

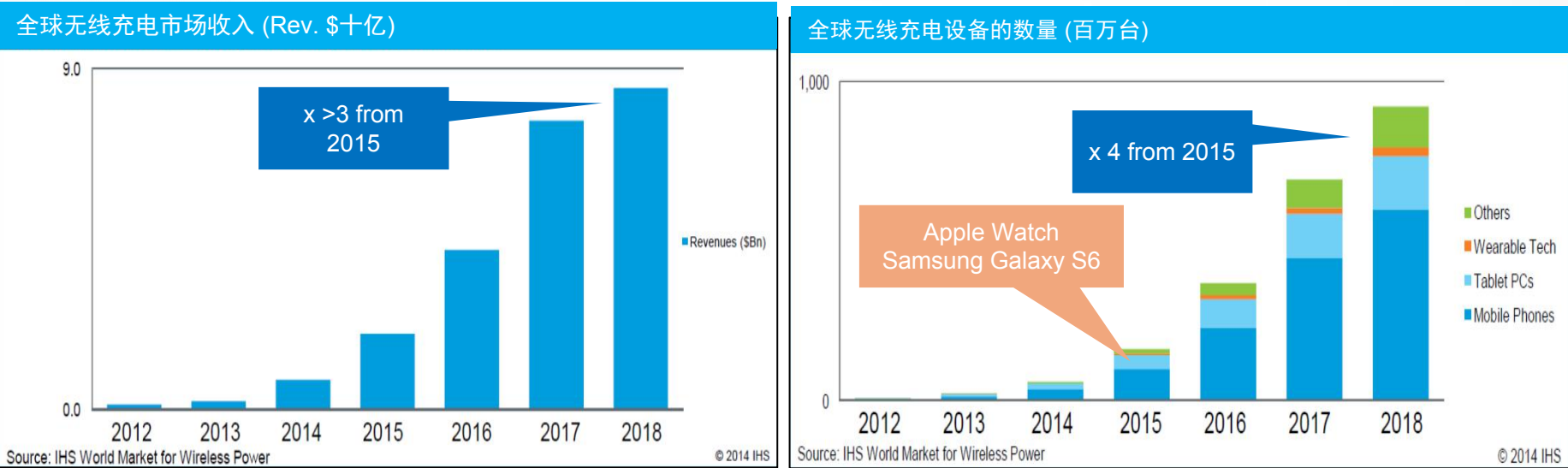
无线充电的场景



可无线充电的设备

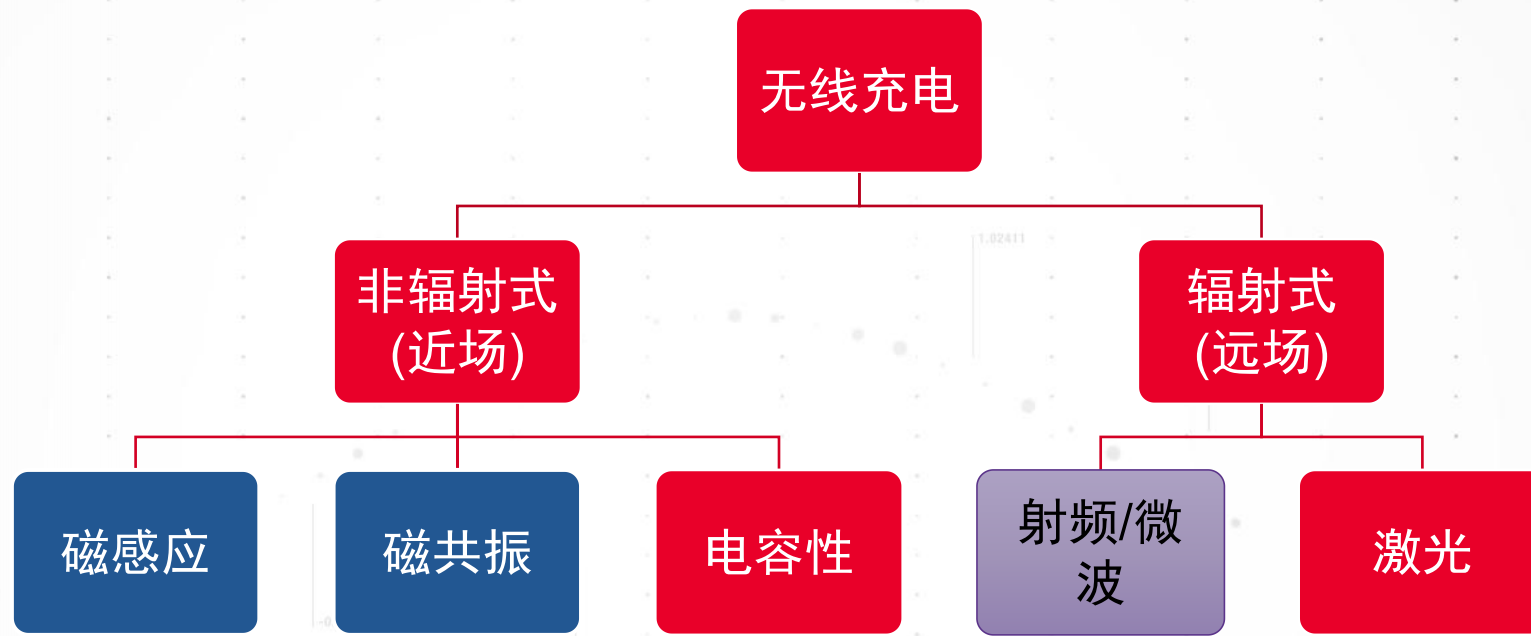


无线充电市场概述



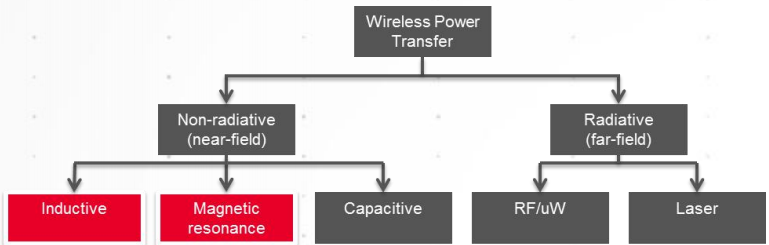
- 无线充电市场的收入在2017年和2018年将快速增长，2018年有望达到2015年的收入的三倍！
- 全球的无线充电设备数量将在2018年增长到近1000亿台，超出2015年4倍以上！

无线充电技术一览

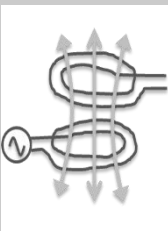
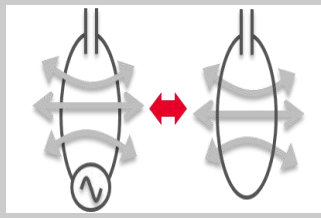


- 现有的无线充电方案基本都采用了磁感应或者磁共振技术
- 磁共振虽然传输效率低一些，但作用距离相对较长，可能会带来更好的用户体验
- 不管是磁共振还是磁感应，功率传输效率都是一个关键指标
- 基于射频的无线充电技术起步较晚，但应用场景比较有吸引力

无线充电都有哪些技术呢？







- 目前的方案基本上都是采用了电感耦合或者磁共振技术
- 无线充电的效率是关键因素
- 磁共振的效率更低，但用户体验更好

	电感耦合（高耦合）	磁共振（低耦合）
示意图		
频率	10 kHz to several 100 kHz	Several 100 kHz to several 10s of MHz
传输功率	几瓦到几十瓦	几瓦到几千瓦
传输距离	短 (Z: “mm”)	中等 (Z: “cm”)
效率	70 to 90%	40 to 60%
成本	最低	中等
部件是否能更换	不能 (多线圈设计例外，但此设计成本较高)	能

相关标准

- PMA & A4WP 与2015年6月合并为Airfuel Alliance
- WPC目前正在开发磁共振技术标准 standard

标准组织			
Logo	 (Qi)		
技术	电感耦合		磁共振
频率	100 ~ 205 KHz 80 ~ 300 kHz		6.78 MHz
通信方式	带内负载调制		蓝牙
最高功率	15 W (低) 120 W (中) 2 kW (高)		70 W
最远距离	5 mm		500 mm
可同时充电设备	一个		多个
组织成员组成	半导体, 手机, 汽车, 家具, 咖啡馆, 测试设备.		
组织成员数量 (as of May '16)	244 companies	195 companies	

E4980A/AL

E4982A/ENA

WattUp – 射频充电RF Wireless Charging



	WattUp – 无线充电 “2.0”
概述	<ul style="list-style-type: none">• 基于射频和智能天线的技术，在一定距离上能提供真正的自由充电空间• 无需内置充电线圈，让你的设备更小巧
频率	<ul style="list-style-type: none">• 5.75 - 5.85 GHz• 其他频段正在考虑中 (6 GHz以内)
传输功率	<ul style="list-style-type: none">• 5W-15W内多个等级
传输距离	<ul style="list-style-type: none">• 充电半径高达15英尺（4.5米）
应用场景	<ul style="list-style-type: none">• 可同时用一个发射装置给多个设备(接受端)充电• 多个发射装置可协同工作，提供更大的充电范围

- AFA现在正开发基于射频技术的无线充电标准

WPT测量的挑战 (ENA)

- 发射机输出阻抗 => $Z \neq 50 \Omega$
- 接收机输入阻抗 => $Z_L = R + jX$
- 测量系统 => 50Ω

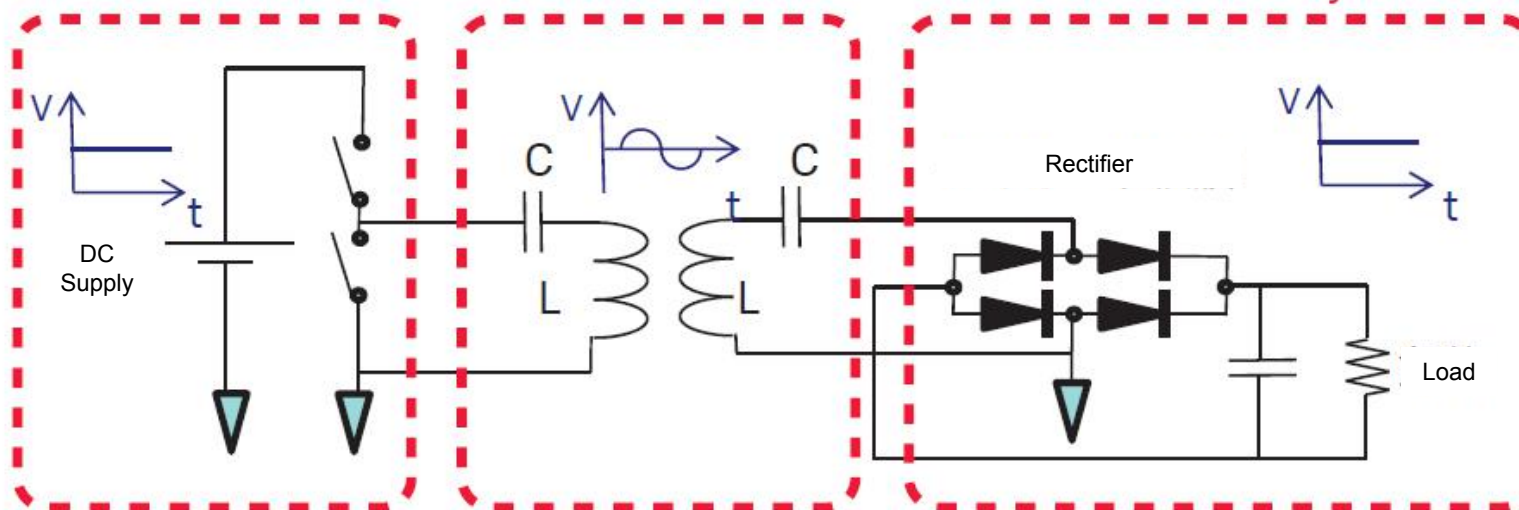


- 阻抗各自不同...
- 电压? 电流? 效率?

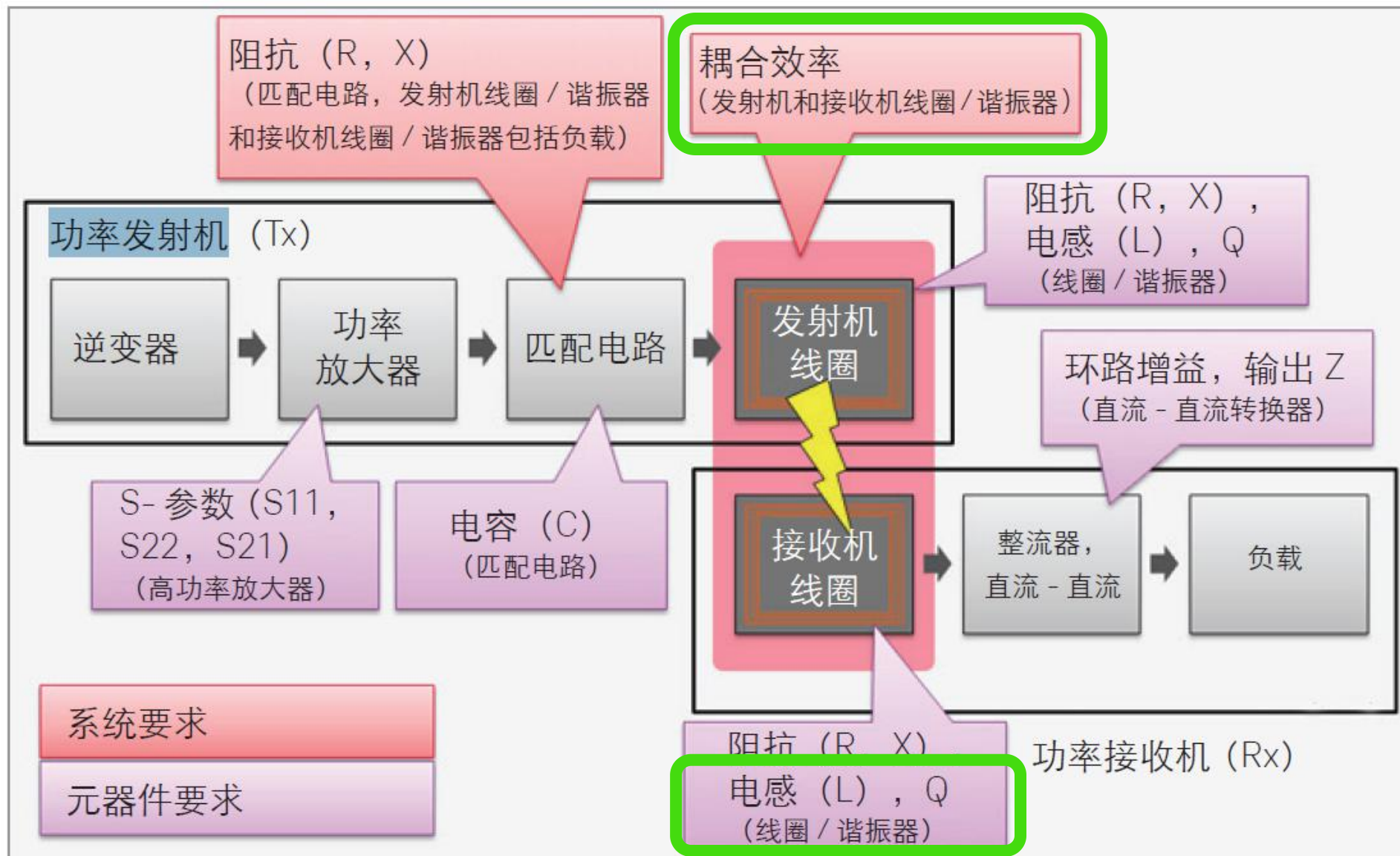
PTU (Power Transmitter Unit)
功率发射机
输出阻抗 $Z \neq 50 \Omega$

LC resonant circuit
LC谐振电路
测量环境使用了50 Ohm

PRU (Power Receiver Unit)
功率接收机
任意负载阻抗 $Z_L = R + jX$



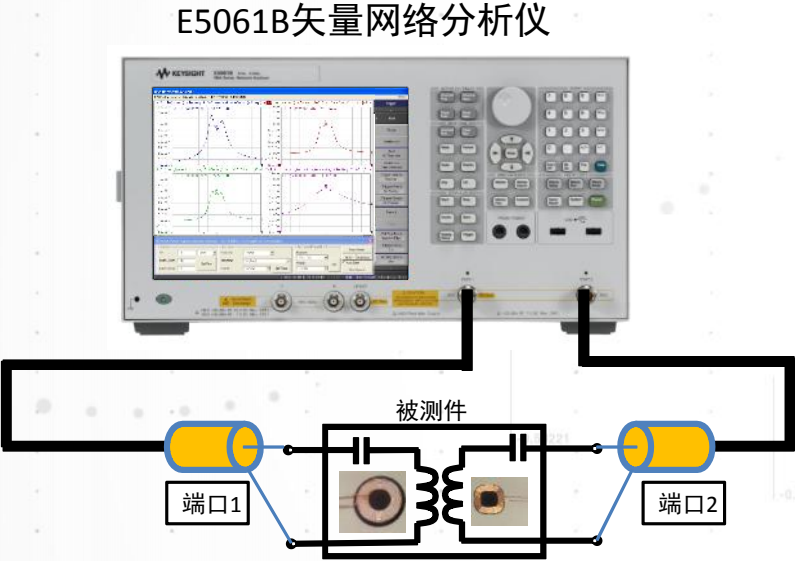
无线充电的测量项目(ENA)



测试需求总结

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
WPT 元器件	功率放大器	振幅
		相位
		增益压缩
	匹配电路	电容
		电感
	单独的线圈/谐振器	Q 因子
	直流-直流转换器	输出阻抗
		环路增益

无线充电系统测试

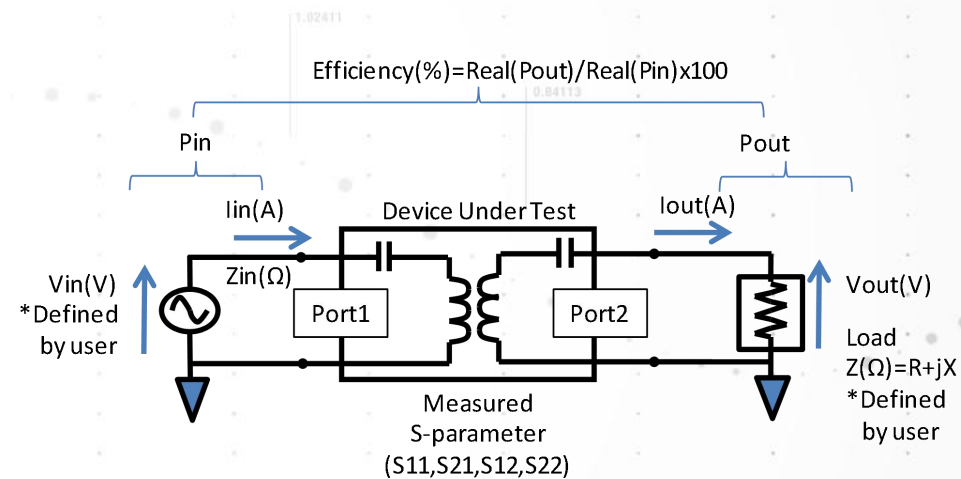
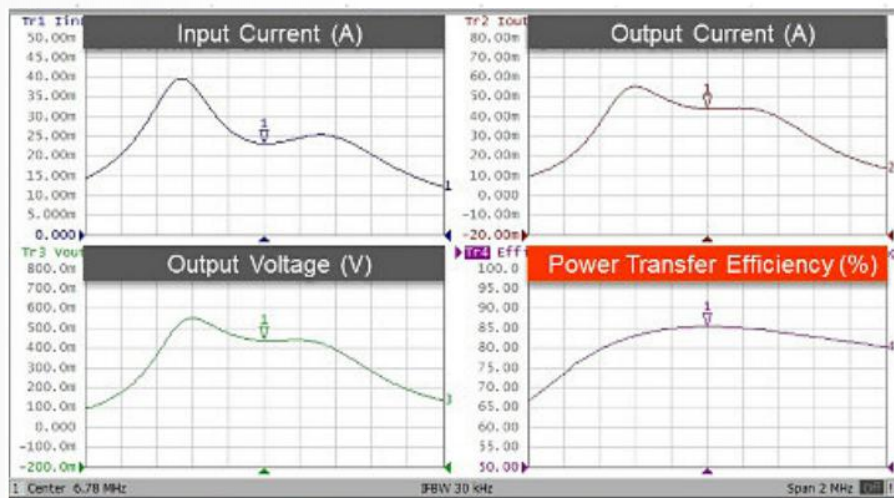


测试类别	被测件	测试要求
WPT 系统	耦合的线圈/谐振器	功率传输效率
		阻抗匹配
		系统运行条件下的阻抗匹配

测试解决方案:

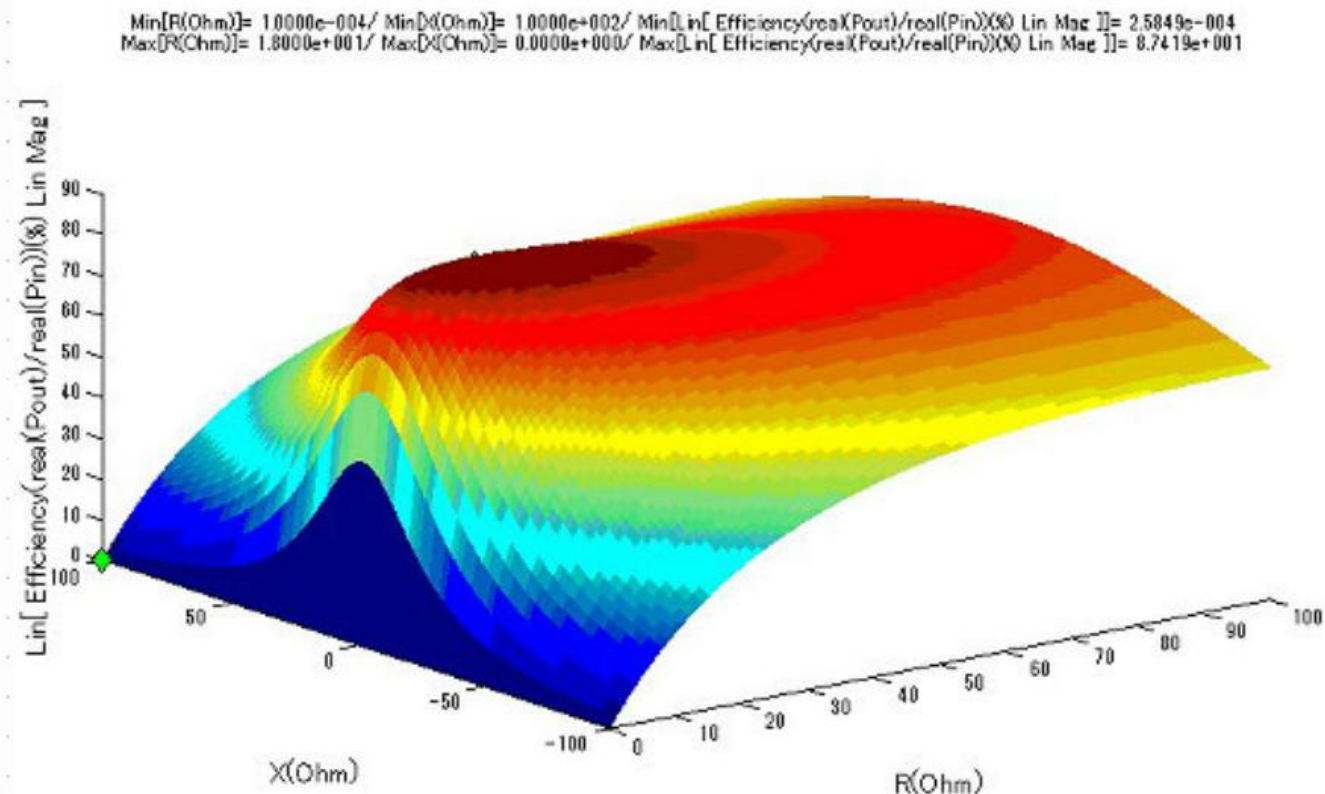
- 基于ENA系列矢量网络分析仪的无线充电测量软件
- 通过 50 欧姆的 S 参数测量来分析 WPT 系统的实时电压、电流和功率传输效率
- 用户自定义任意负载阻抗，来仿真连接电池后的功率传输效率

系统测试：实时测量无线充电效率



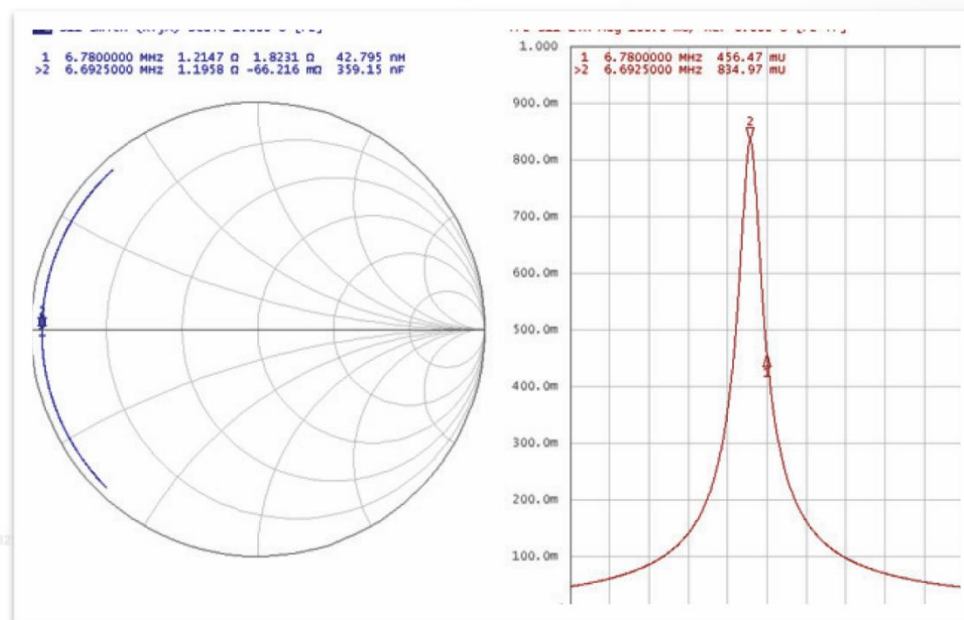
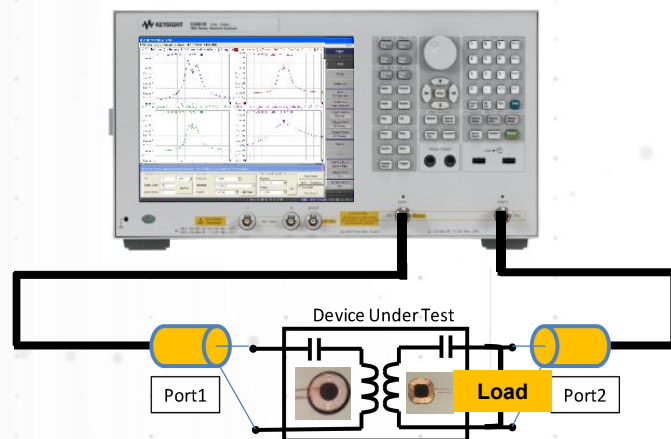
通过 50 欧姆的 S 参数测量来分析 WPT 系统的实时电压、电流和功率传输效率

系统测试：三维仿真



- 通过三维仿真了解负载阻抗的相关性
- 用户还可以定义任意负载阻抗，来仿真连接电池后的功率传输效率
- 电阻（R）、电抗（X）和频率（f）的测量结果可以用二维或三维呈现

系统测试：阻抗匹配测量



S11测试-史密斯圆图(R, X), 谐振频率 @6.78MHz

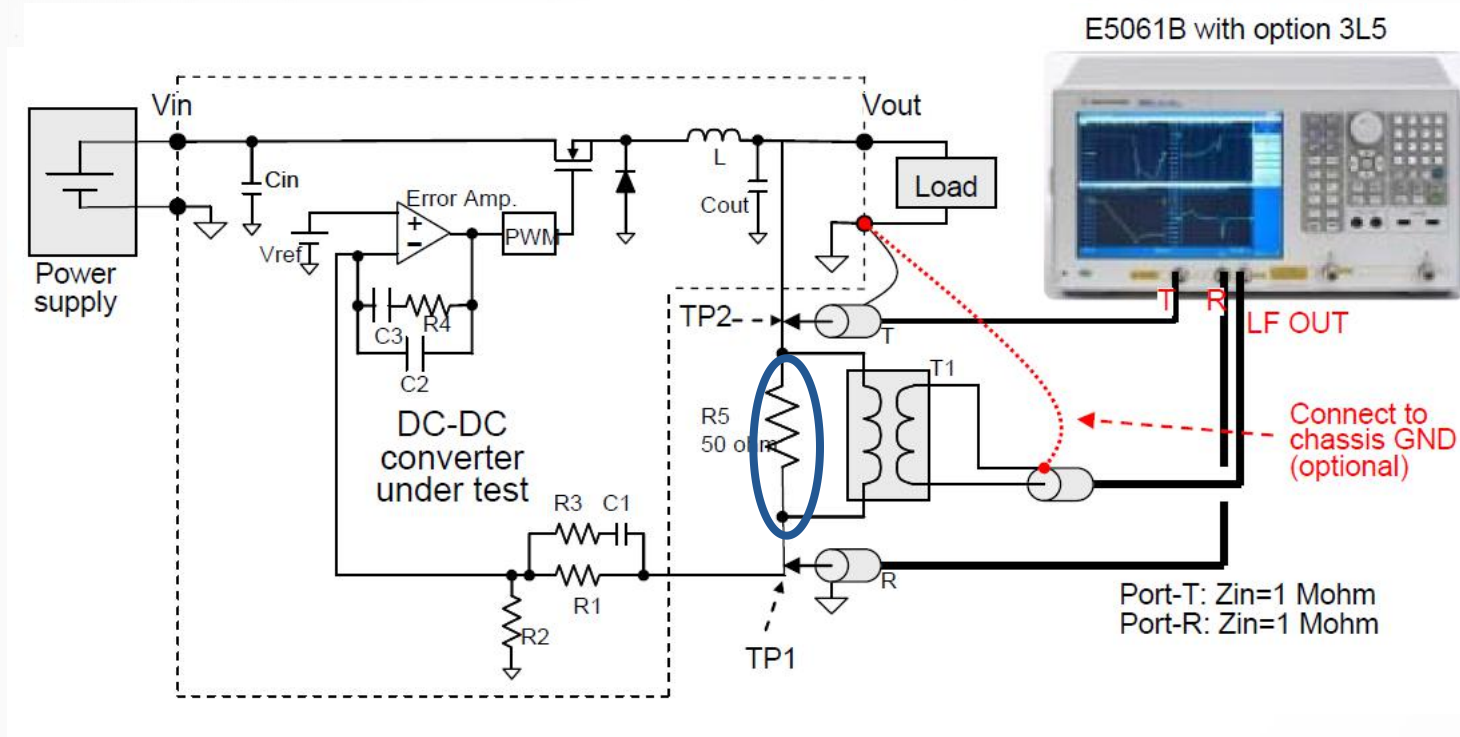
元器件测试： DC-DC测量

测量DC-DC 变换器的反馈环路特征

测量DC-DC 变换器的输出阻抗



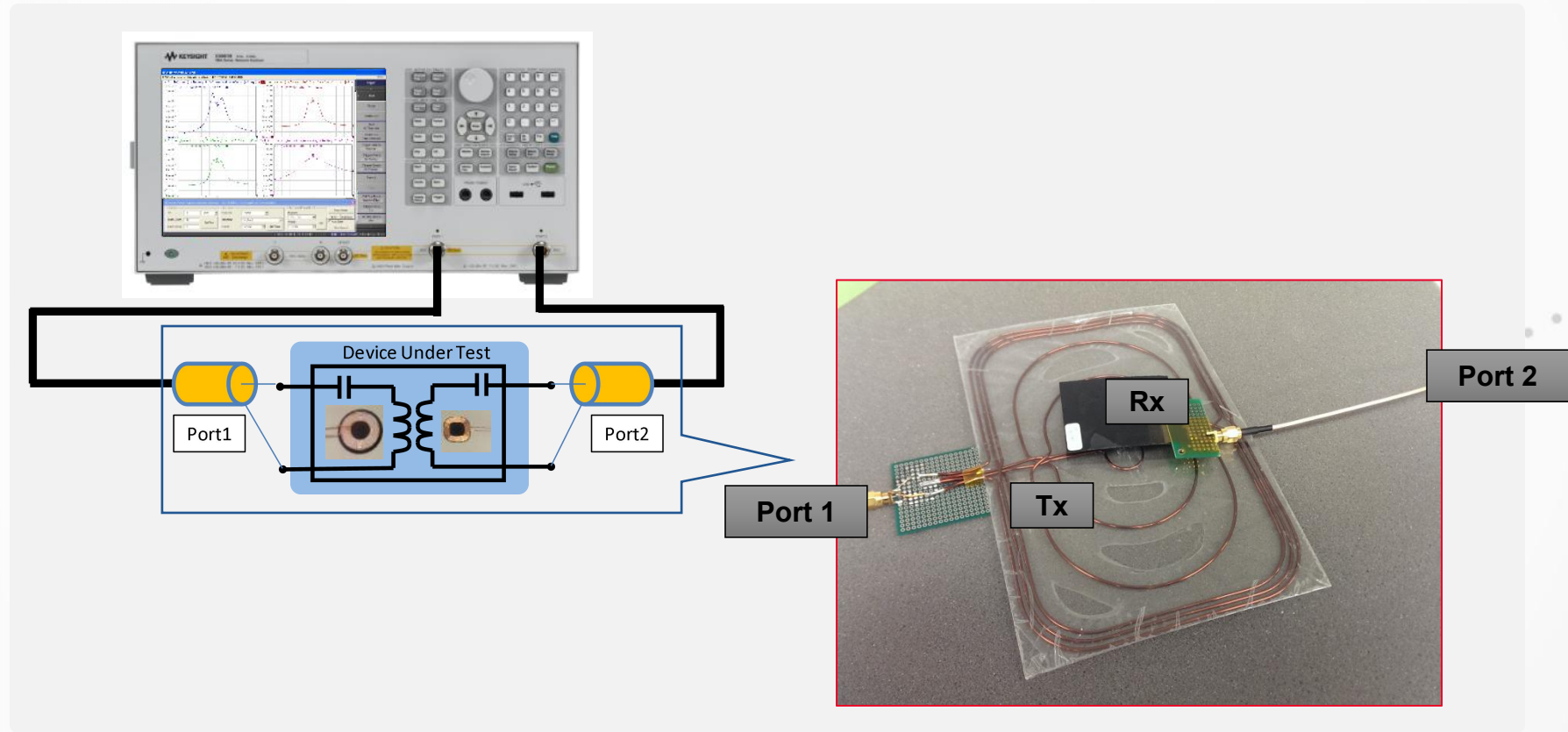
DC-DC环路增益响应测试方案



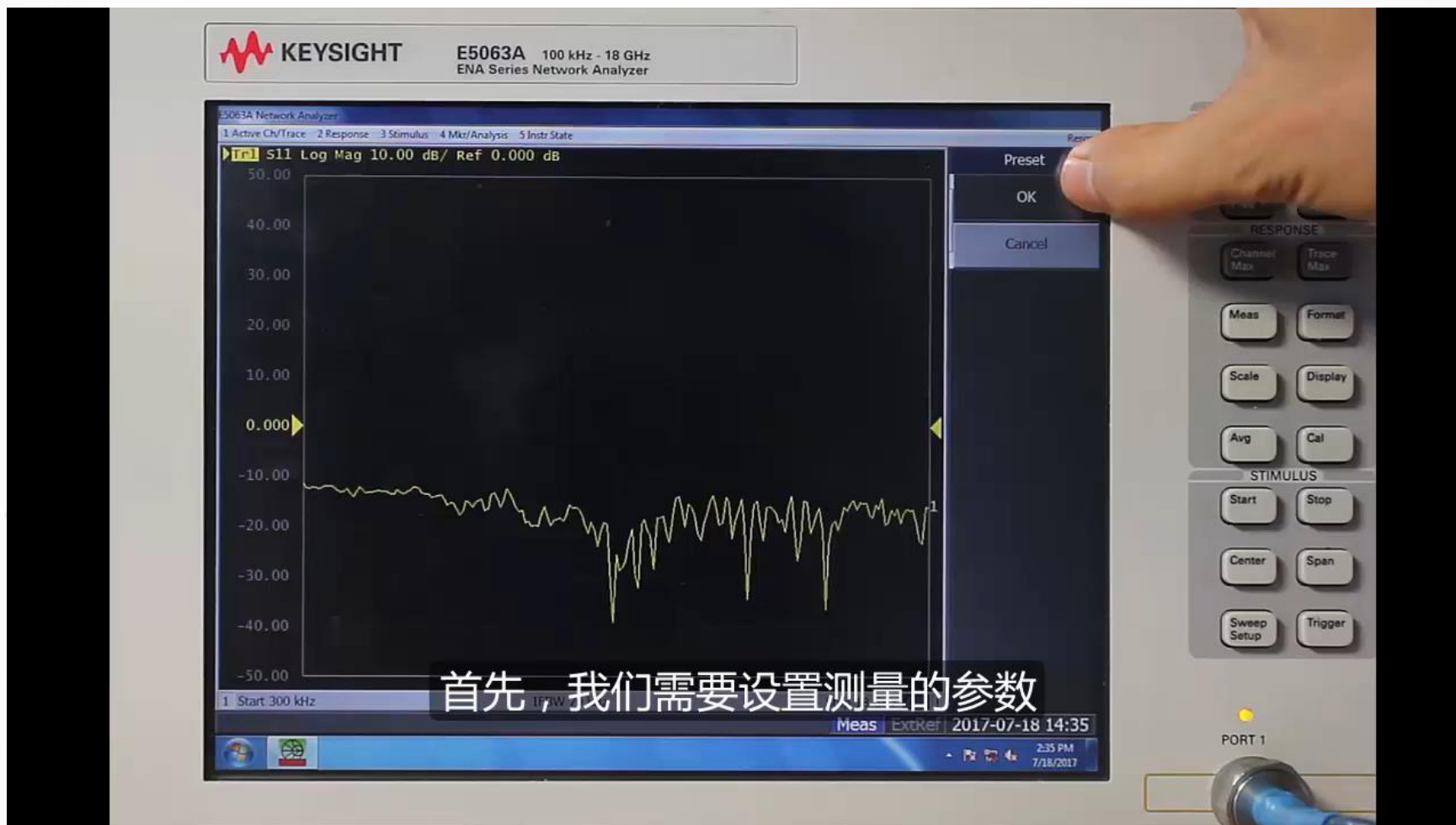
- 使用外部电路把仪表激励源提供的测量信号施加到被测的反馈环路上
- 仪表在高输入阻抗测量接收机的R 和T 端口上测量激励施加电路两侧的交流电压
- 把这两个测量结果进行比值计算得到最终的测量结果

无线充电演示

模式1和模式2



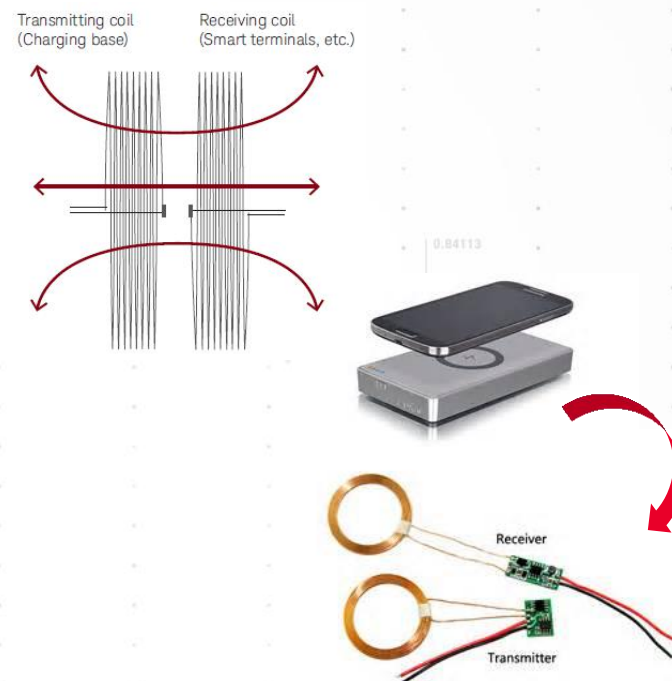
无线充电演示



元器件测试：线圈

线圈中的 LC 谐振电路会直接影响功率传输效率，因此需要用阻抗、电感、电容和 Q 因子 仔细地进行表征

对于高效率的无线充电设计来说，更低的损耗（低 DCR ）和寄生（高 Q ）是必不可少的。



被测件指标举例:

$L = 9.5 - 10.2 \text{ uH}$

$R_s = 595 - 640 \text{ mOhm @ } 128 \text{ kHz}$

高精度的标准 DCR 测量

发射机线圈和接收机线圈的直流电阻会直接影响能量传输的电阻损耗，因此需要更低的 DCR（通常低到毫欧级）来确保更高的功率传输效率。

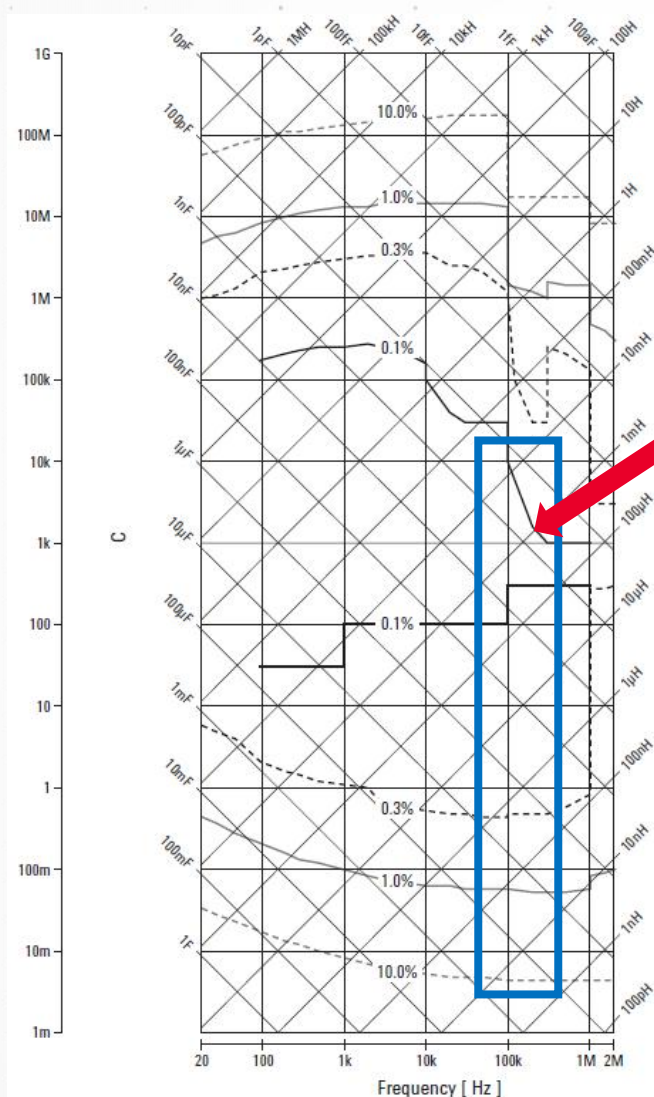
DCR（直流电阻）测量是 E4980A/AL 精密 LCR 表的标配功能。

E4980A/AL 能非常精确地测量低到毫欧级的 DCR 值。同时，E4980A/AL 支持低接触电阻夹具，如 16047E 和夹具补偿功能。

如果线圈的 DCR 是 100 毫欧，E4980A/AL 的 DCR 精度可达 5%，意味着真值在大约 95 毫欧到 105 毫欧之间。



高精度的电感测量



无线充电线圈的
典型阻抗范围和
频率范围

发射机和接收机线圈的电感通常在微亨 μH 范围，测试在几十到数百kHz的频率范围内进行。因此，阻抗范围从几毫欧到几欧。

E4980A/AL LCR 表具有优异的宽阻抗范围性能，可保持 10% 以内的精度，特别适合于无线充电系统线圈的测量。

稳定测量电感的等效串联电阻(ESR)

为了满足低功耗要求，线圈电感的等效串联电阻 (ESR) 也要尽量低。

E4980A提供稳定的低ESR测量

被测件 1 毫欧，频率 100 千赫兹，参数 R-X
测试信号 10 V (E4980A)，
20 V (4234A)

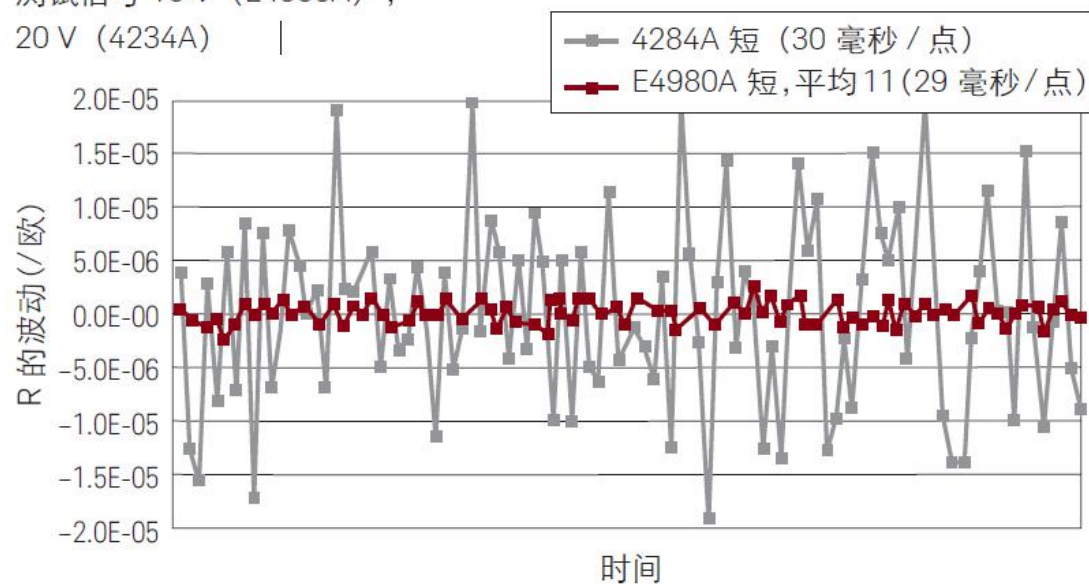


图 3. 低阻抗评估 (E4980A, 1 毫欧 100K 赫兹)

专为产线测试设计

制造业主要关心的是提高产量，降低测试成本。

E4980A/AL 具有快速测量功能，提高了设计和制造的测量效率。

E4980A 的测量速度如下：

- 短 (SHORT) 模式下，1 兆赫兹每点 5.6 毫秒
- 中 (MED) 模式下，1 兆赫兹每点 88 毫秒
- 长 (LONG) 模式下，1 兆赫兹每点 220 毫秒

大量测试夹具满足测试需求

E4980A/AL 可搭配二十多种夹具，来满足从材料到SMD 元件的各种评估需求。16047 系列引线式夹具是测量低 DCR 和 ESR 引线式线圈的最佳夹具。此外，E4980A/AL 内置的补偿功能最大限度地减少了测试夹具的影响。

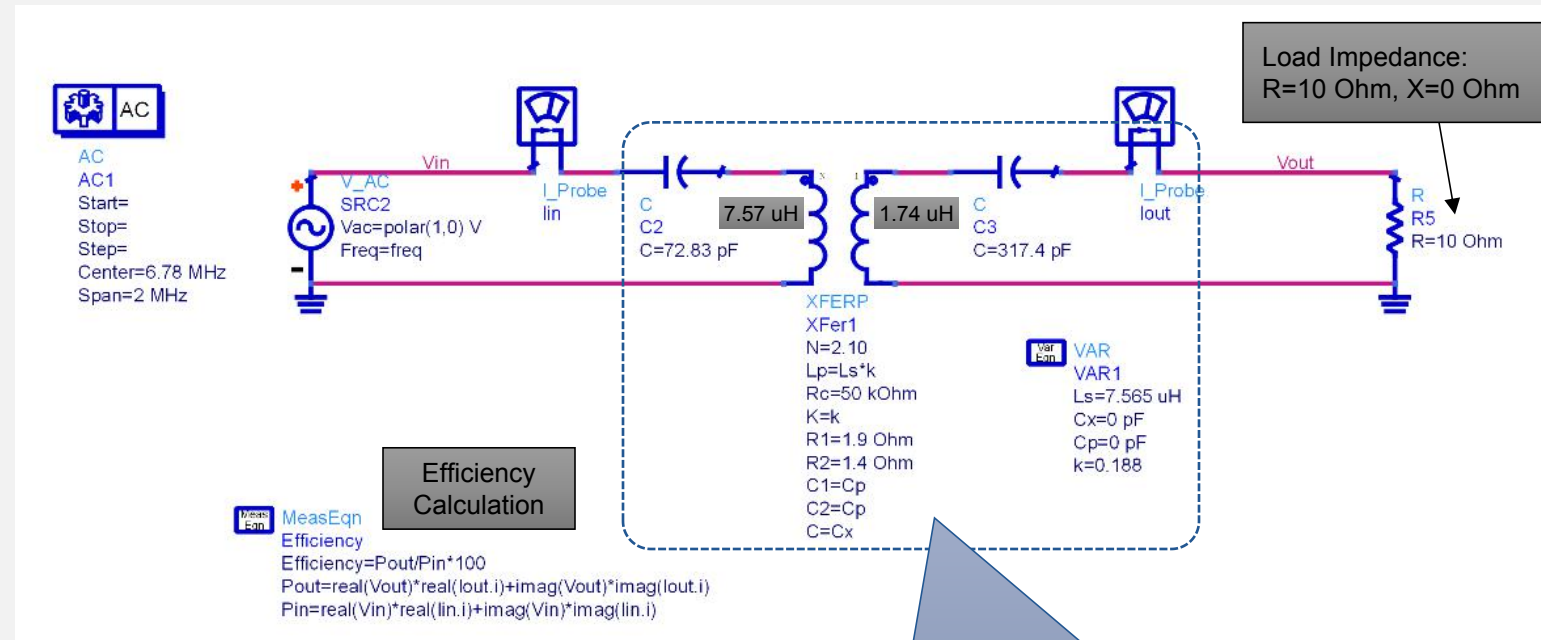
无线充电测试方案总结

	磁感应	磁共振
频率	100 ~ 300 kHz	6.78 MHz
研发	  E5061B-3L5 低频-射频网络分析仪 E5063A射频网络分析仪	
生产	 E4980A/E4980AL 精密LCR表	 E4982A精密LCR表

无线充电分析软件(#006) vs. ADS

仿真电路

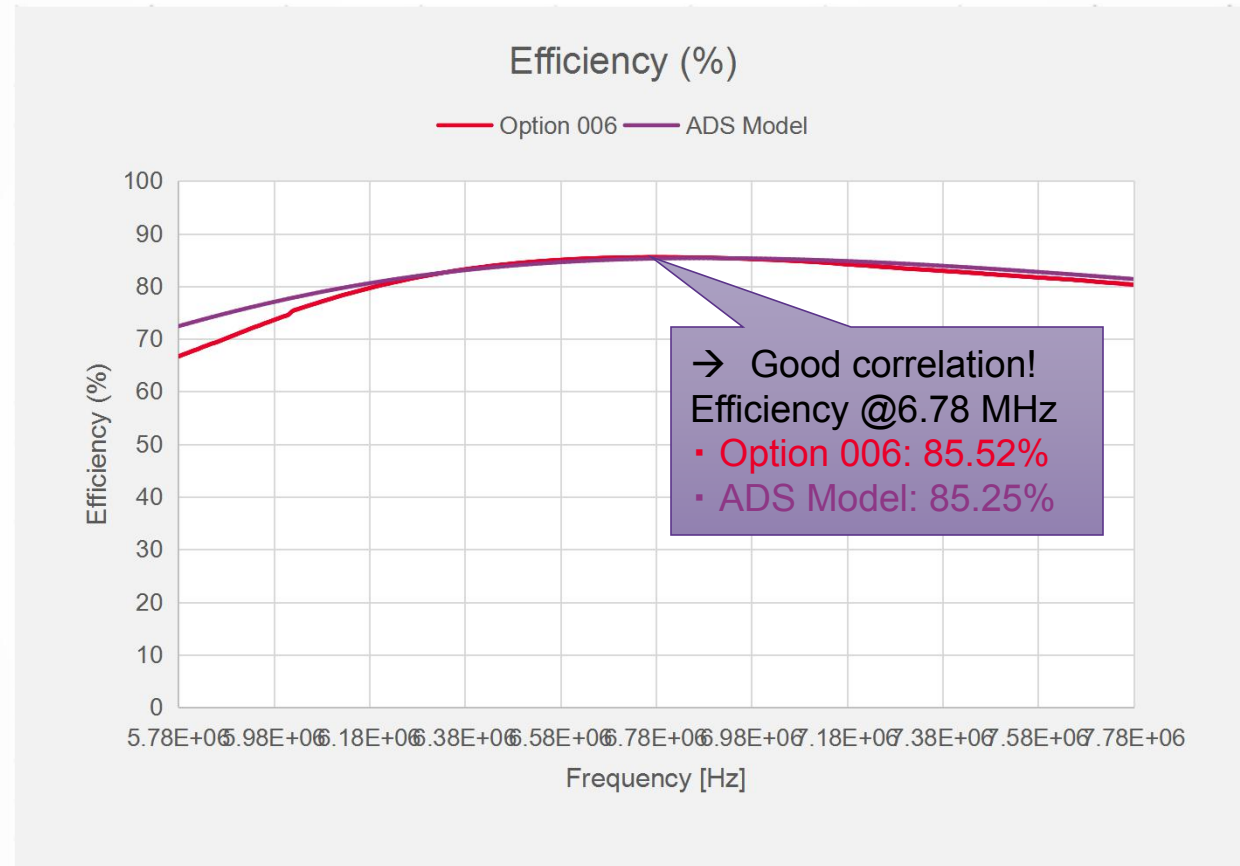
Circuit Model based on Component Measurements.



Variables used in the circuit model are determined by actual measurements using Keysight E4990A Impedance Analyzer.

无线充电分析软件(#006) vs. ADS

仿真结果

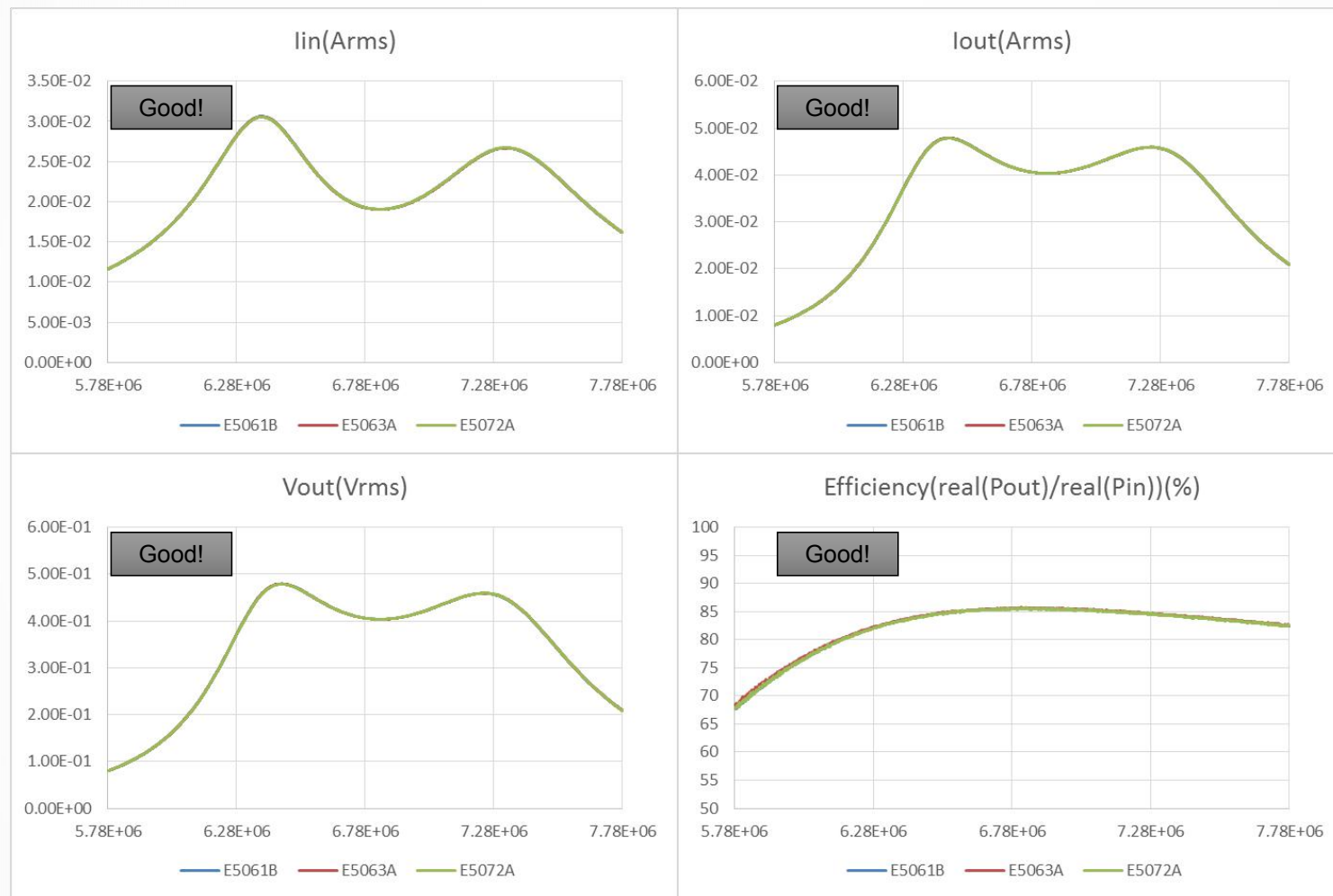


不同网分比较(E5072A/61B/63A)

测量结果

→ Good correlation!

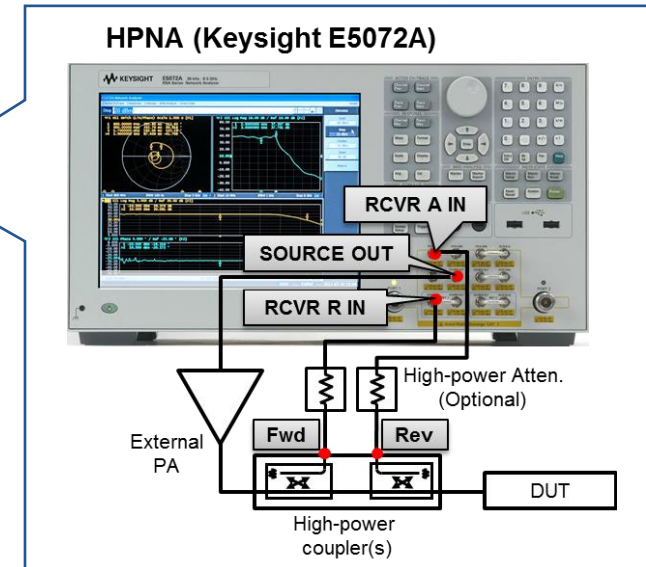
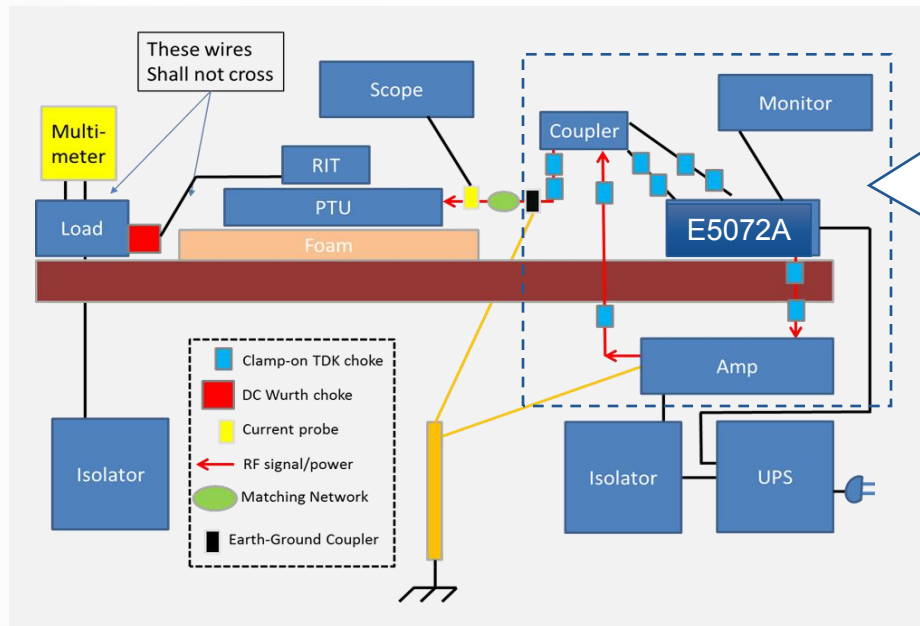
- I_{in} , I_{out} , V_{out} : ~0.5%
- Efficiency: ~1%



RAT HPNA Measurement

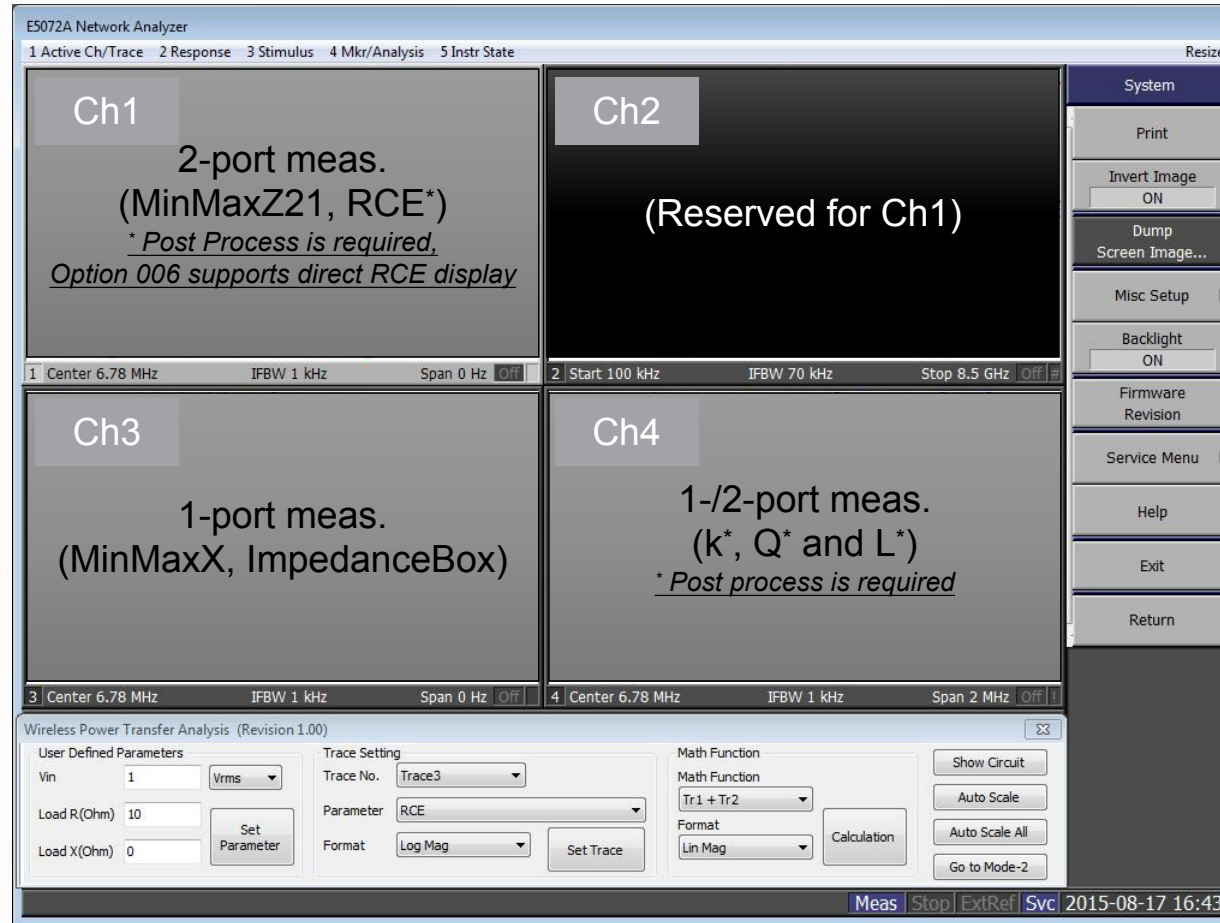
4.6 RAT/ImpedanceBox

- This test is used to characterize the range of reflected Impedance to the PTU Resonator by all valid RITs (approved Rx devices).



RAT Testing Image

Method of implementation (MOI) using Option 006

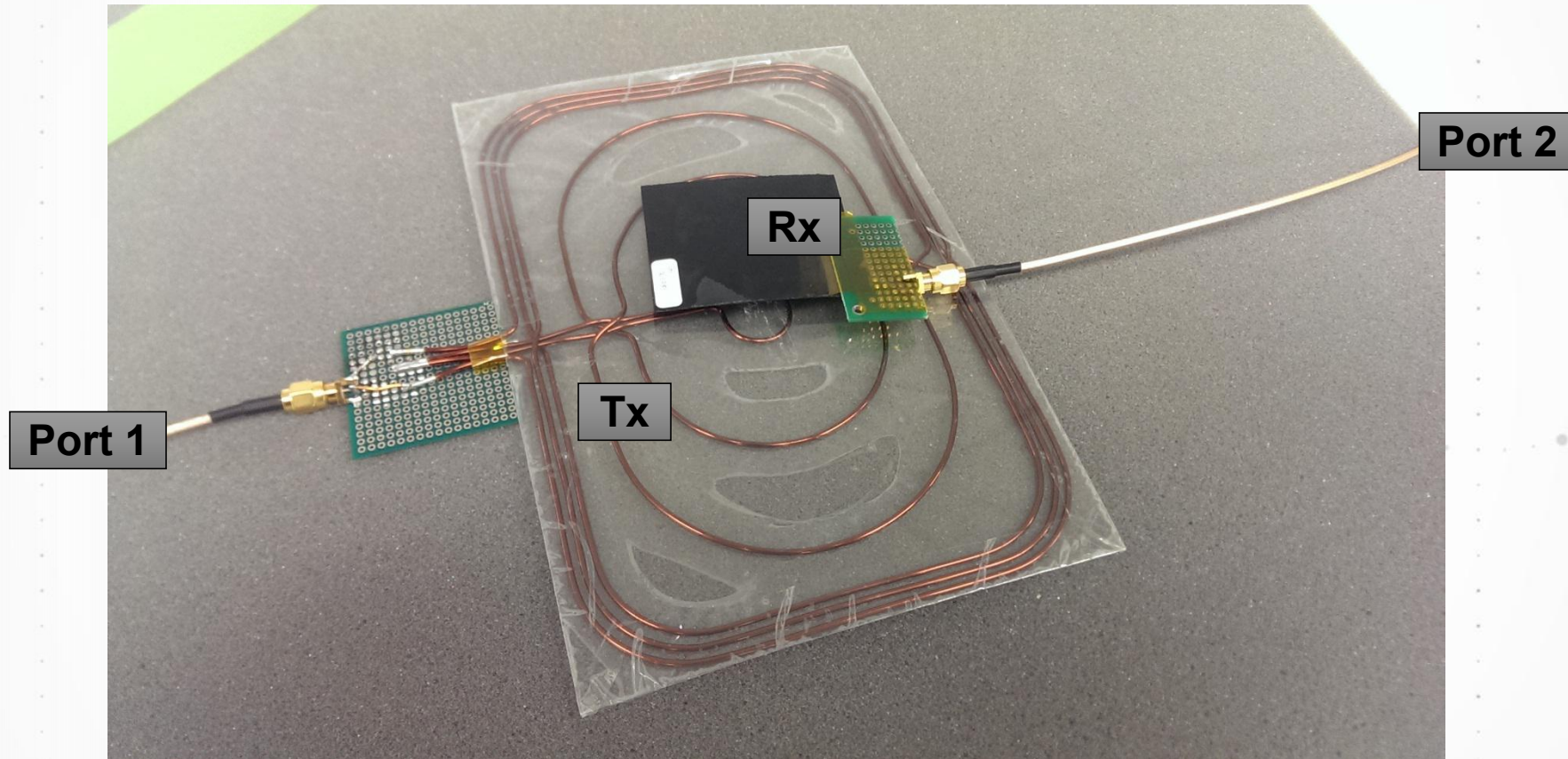


KEYSIGHT CONFIDENTIAL

NOT FOR EXTERNAL AUDIENCES

Verification of Measurement Results

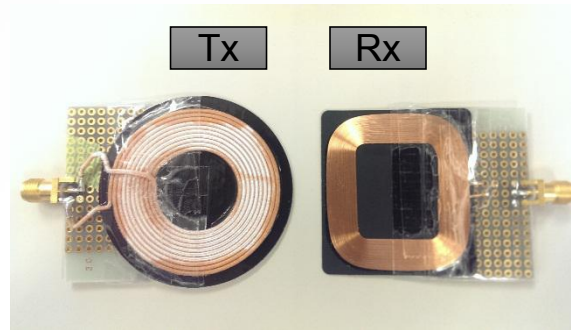
DUT, Resonant @6.78 MHz



Demo Kit

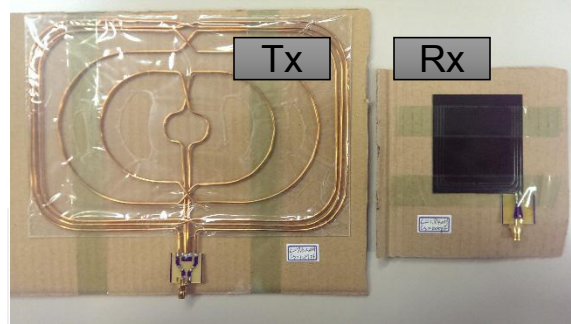
WPC – Qi

All regions



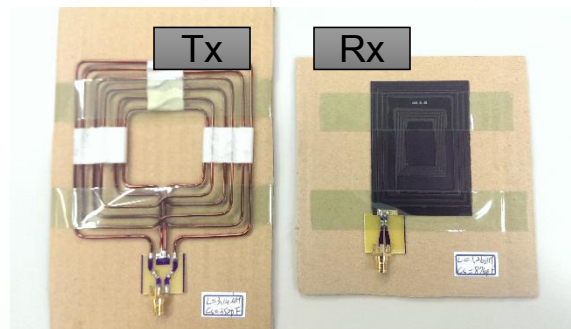
A4WP (a)

Korea, US



A4WP (b)

China, EMEA



Efficiency (%) @R=10, X=0

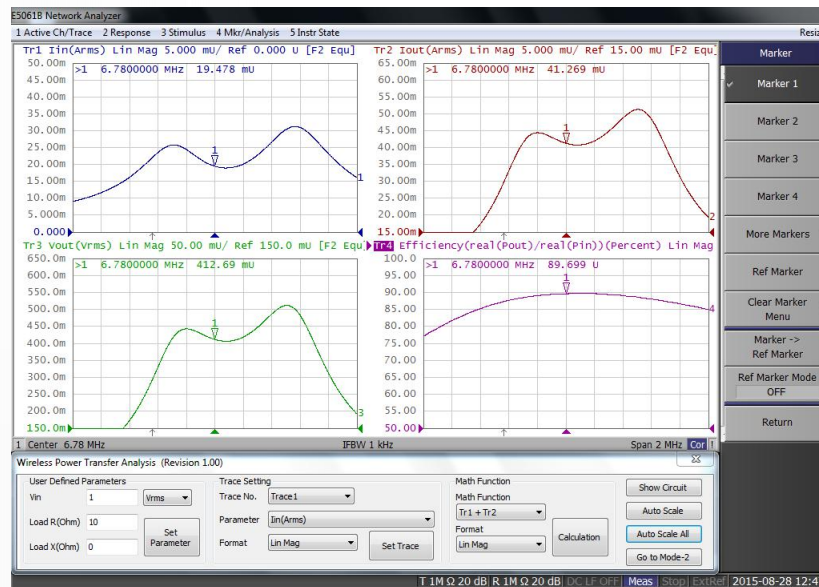
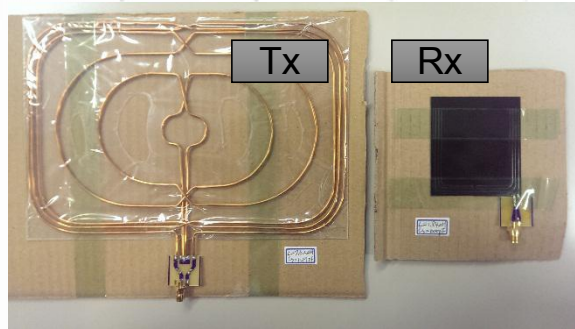
90%~ @100k – 205 kHz

~90% @6.78 MHz

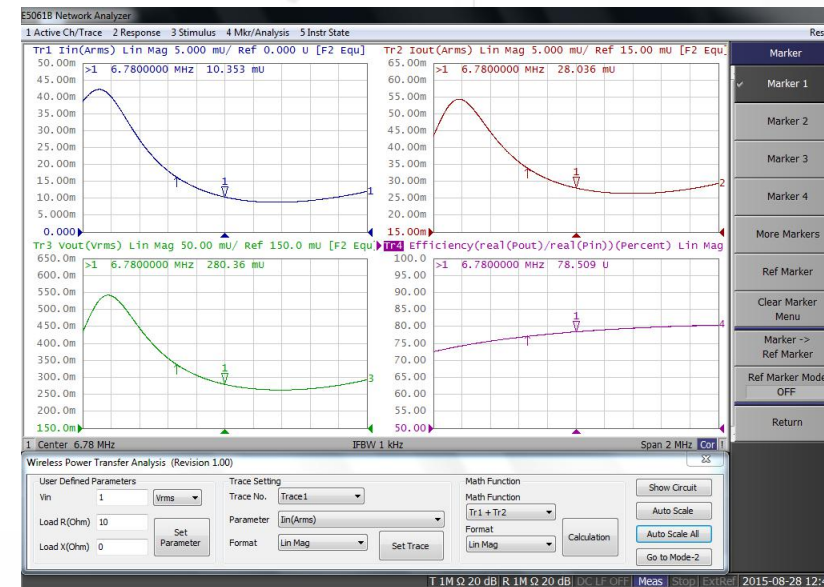
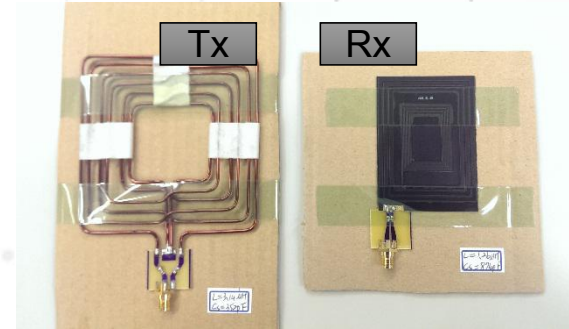
~80% @6.78 MHz

Measurement Example

A4WP (a)



A4WP (b)



Verification of Measurement Results

Measurement Setup

