



类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

# PNA系列 高性能网络分析仪

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

BY  
NeuHelium

# 基于PNA-X的射频全参数测试

单次连接，多次测量

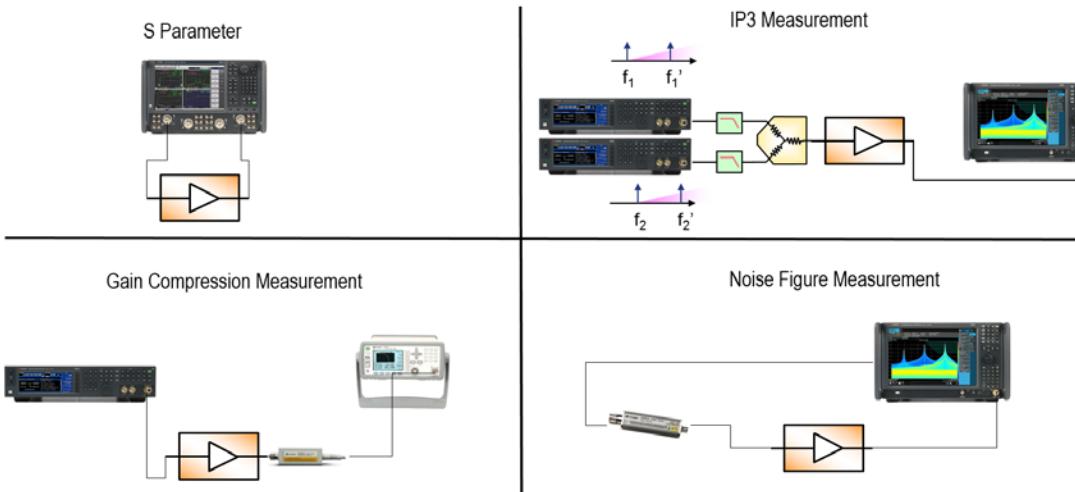
类  
脑  
智  
能

驱  
动  
未  
来

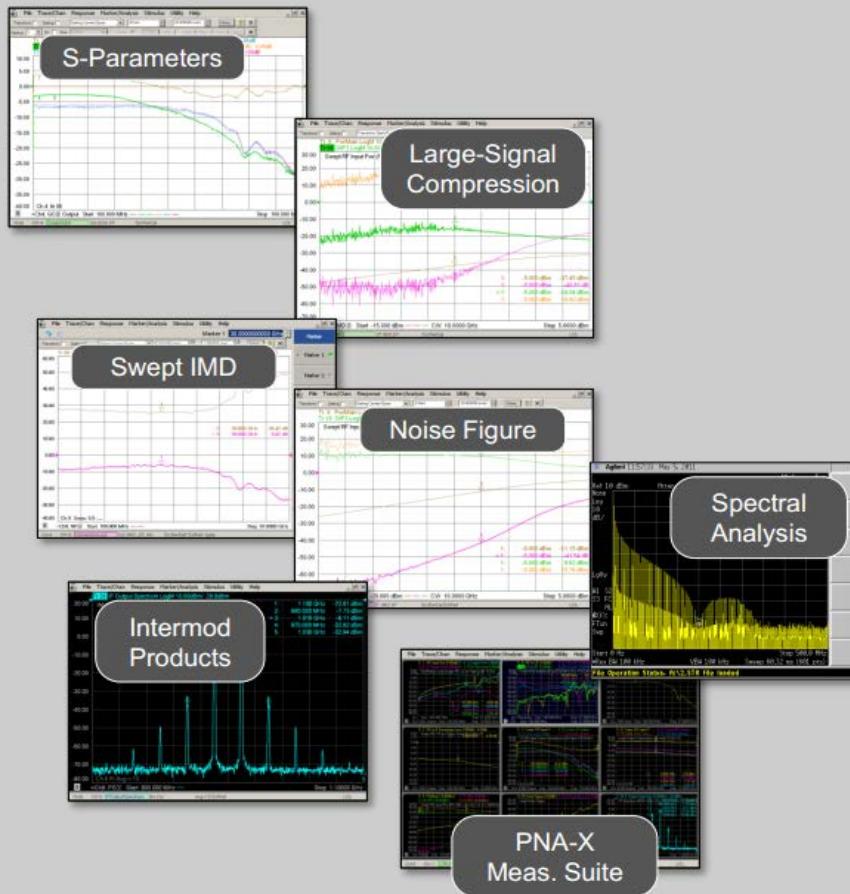
使用一台PNA-X代替传统的多套  
测试系统完成放大器的完整参  
数测试；  
极大的提升测试的效率和精度！



- S-parameters
- Compression
- Harmonics
- Intermodulation
- Spurious
- Noise figure
- Absolute power
- X-parameters
- True differential
- And more!



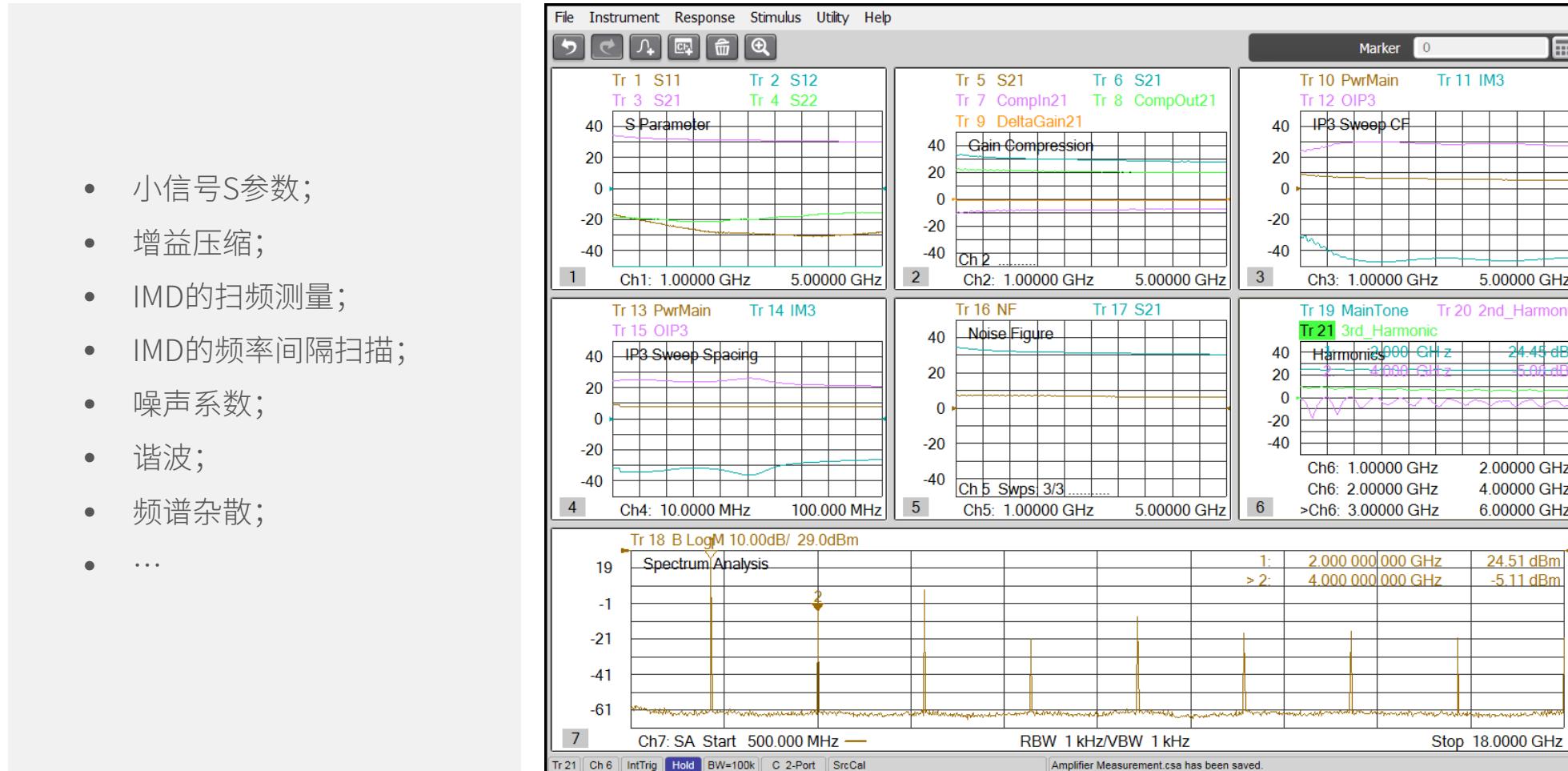
All Measurement can be done in one Box



# 基于PNA-X的射频全参数测试

类脑智能驱动未来

- 小信号S参数；
- 增益压缩；
- IMD的扫频测量；
- IMD的频率间隔扫描；
- 噪声系数；
- 谐波；
- 频谱杂散；
- ...



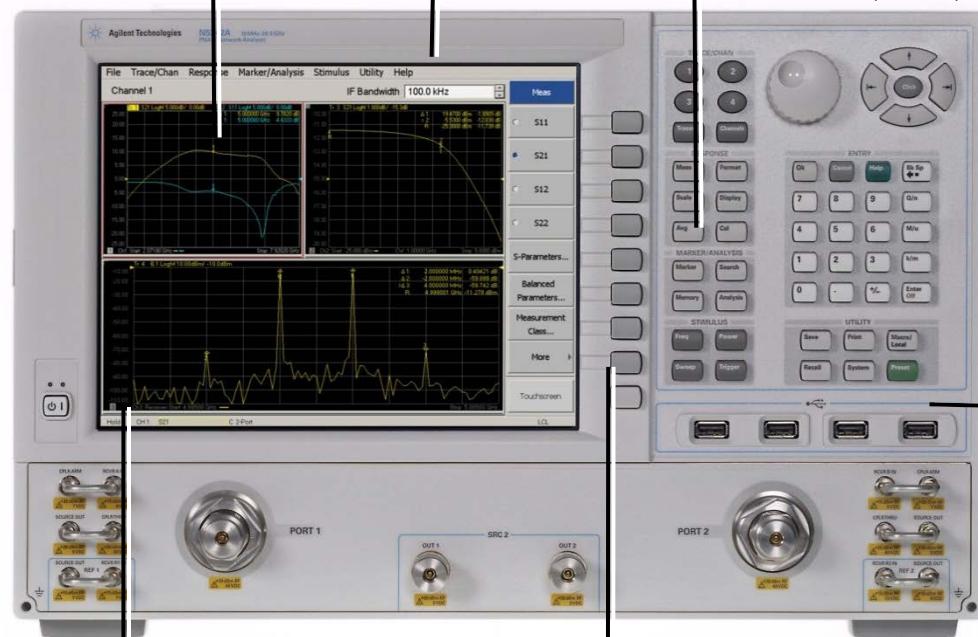
# PNA 网络分析仪操作面板

类脑智能驱动未来

类脑智能驱动未来



标配10.4”触摸显示屏高分辨率显示测试中支持鼠标拖动窗口布局，Zoom任意放大功能Undo/Redo单击鼠标右键控制窗口，显示，激励等



简洁的仪表控制操作方式 (类似8753)

方便的下拉菜单式操作或面板按键操作

类似于 8753/8720/ENA的面板按键分布

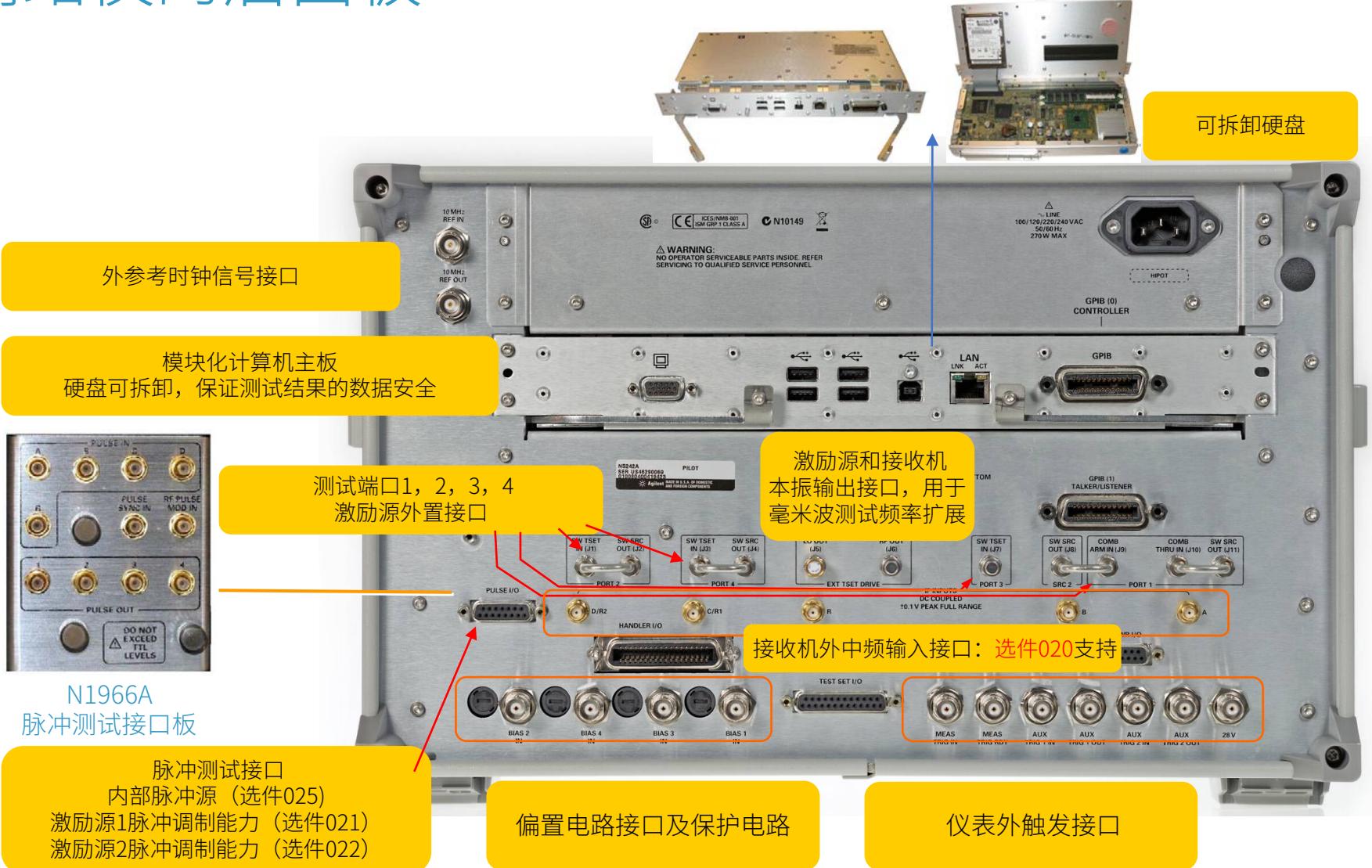
多个USB接口满足电子校准件，U盘存储要求

- 注意测试的功率和直流的范围
- 对测试环境的静电保护

# PNA-X网络仪的后面板

类  
脑  
智  
能

类  
脑  
智  
能



# PNA网络分析仪测试操作过程

操作步骤	关键设置	操作按键	
类 脑 智 能 驱 动 未 来	仪表的接地保护，被测件接地和静电保护		
	测试的准备工作	仪表测试端口的功率承载范围 (27dBm, 40vDC) 正确地使用连接接头和转接头	
	仪表测试状态 参数的确定	测试通道定义 (Channel)	[Channel]
		测试类型定义 (Measurement class)	[Measure]
		扫描方式 (频率扫描, 功率扫描, 时间扫描, 分段扫描)	[Sweep]
		测试频率, 测试功率参数确定	[Power]
		测试点数 (Point) 。设置相位参数测试和时域测试应用的影响。	[Sweep]
	校准	扫描时间 (Sweep Time) 。对大时延器件参数测试的影响。	[Sweep]
		接收机带宽 (IF Bandwidth) 。对测试精度, 动态范围和速度的影响	[Avg]
		校准方式 (频响校准, 单端口校准, 双端口校准, TRL校准, 非插入器件校准) 。对测试精度和速度的影响。	[Cal]
		存储的类型 (Cal Set, State etc)	[Save]
	测量参数确定	确定被测件的测试参数, 传输和反射参数测试。	[Measure] [Format]
	显示调整	测试结果的显示调整。比例和参考位置。	[Scale] [Marker]
	测试结果处理	对测试结果进行读值, 比较和合格判断。利用时域, 嵌入等功能对测试参数进行处理。	[Marker Search]
	测试结果输出	测试结果打印, 数据存储, 图形存储等。	[Print]; [Save]

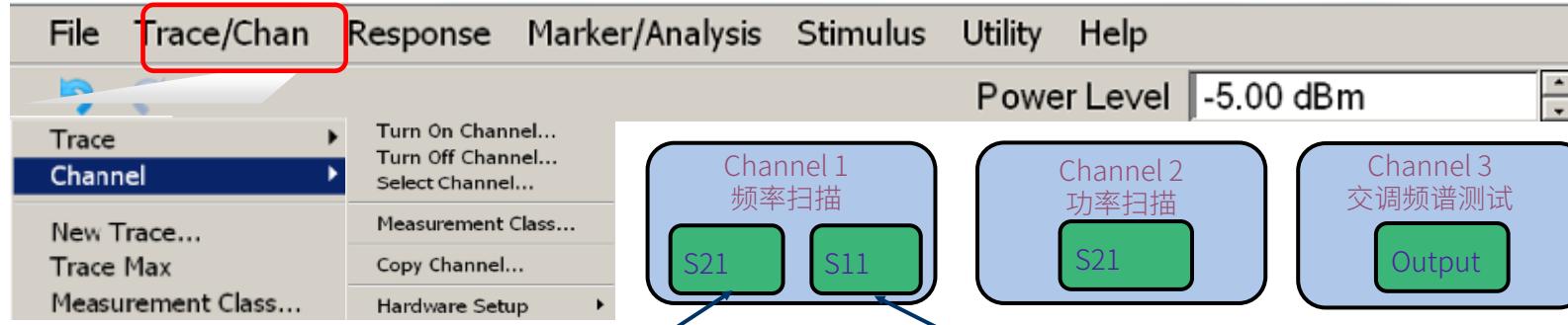
类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

# 测试通道(Channel)和测试轨迹线(Trace)

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

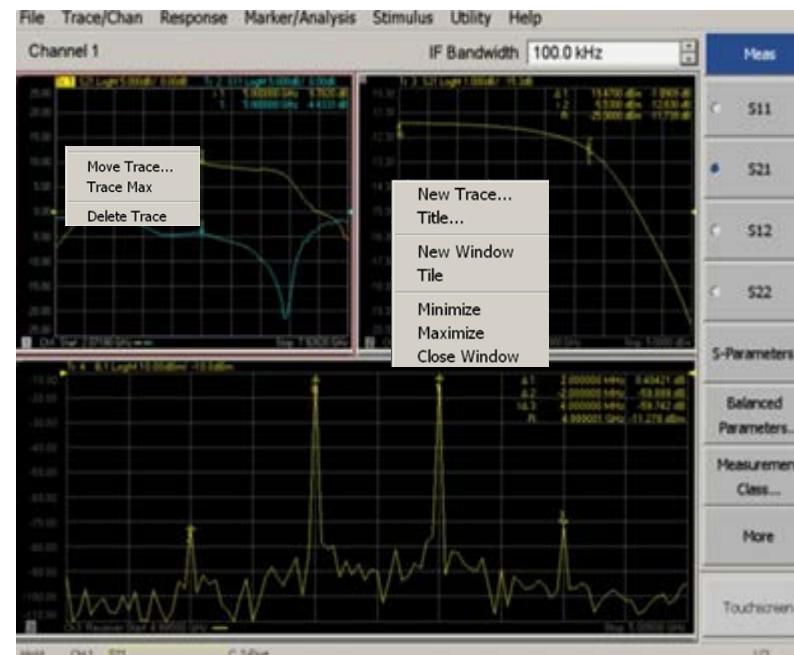
类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来



	测试通道 (Channel)	测试轨迹线 (Trace)
定义	独立的测试状态,各通道可分别工作于不同的扫描状态,测试范围内	在相同的测试状态下,显示传输或反射等不同信息
举例	Ch1:扫频状态,扫频范围为1GHz; Ch2:扫频状态,扫描范围为100MHz; Ch3:功率扫描状态	T1:反射参数,驻波比 T2:反射参数,相位 T3:传输参数;幅度

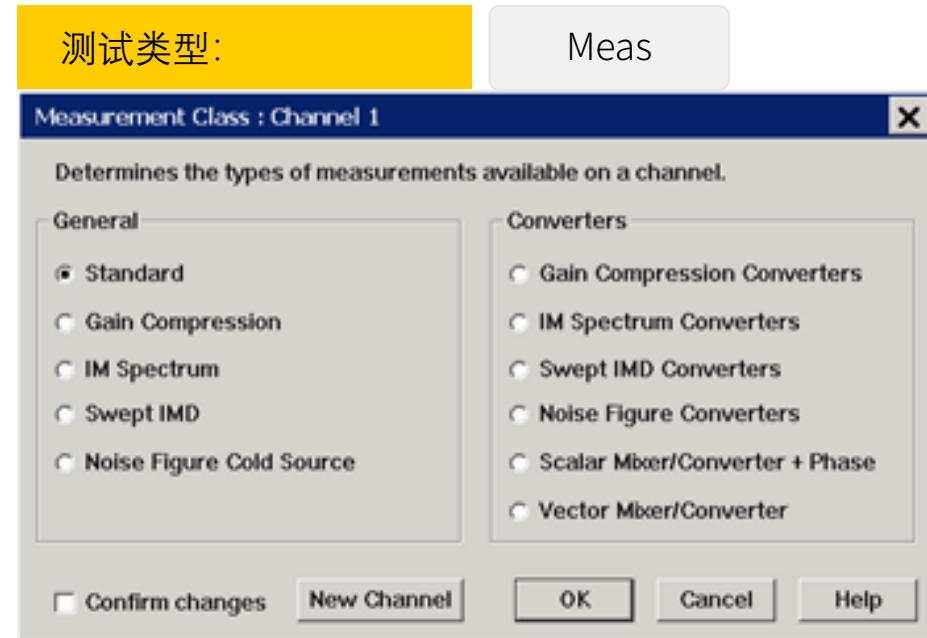


- 在窗口处单击鼠标右键可以添加轨迹, 调整窗口显示
- 选中轨迹后单击右键可以移动轨迹到新的窗口或其他窗口
- 轨迹可以在任意窗口间拖动



# 网络仪设置：测试类型

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来



General: 同频器件测试

Converters: 变频器件测试

测试类型	测试应用
Standard	标准S参数测试
Gain Compression	增益压缩测试，测试不同频点处的功率压缩点
IM Spectrum	交调频谱测试
Swept IMD	扫频交调测试
Noise Figure Cold Source	噪声系数测试
Scalar Mixer/Converter + Phase	标量变频器测试，可测变频相位特性
Vector Mixer/ Converter	矢量变频器测试

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

# 网络仪设置：激励信号功率和频率

类脑智能驱动未来

**扫描方式**

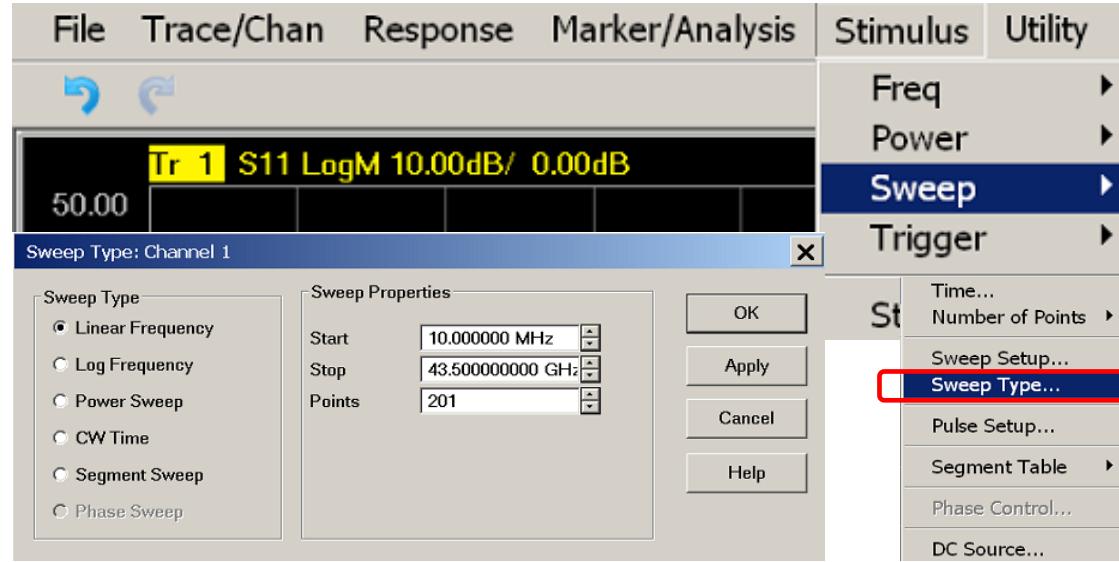
1) Sweep [Sweep Type]

频率扫描：  
频率扫描变化，功率固定。

功率扫描：  
功率扫描变化，频率固定。

时间扫描：  
频率，功率固定，时间变化。

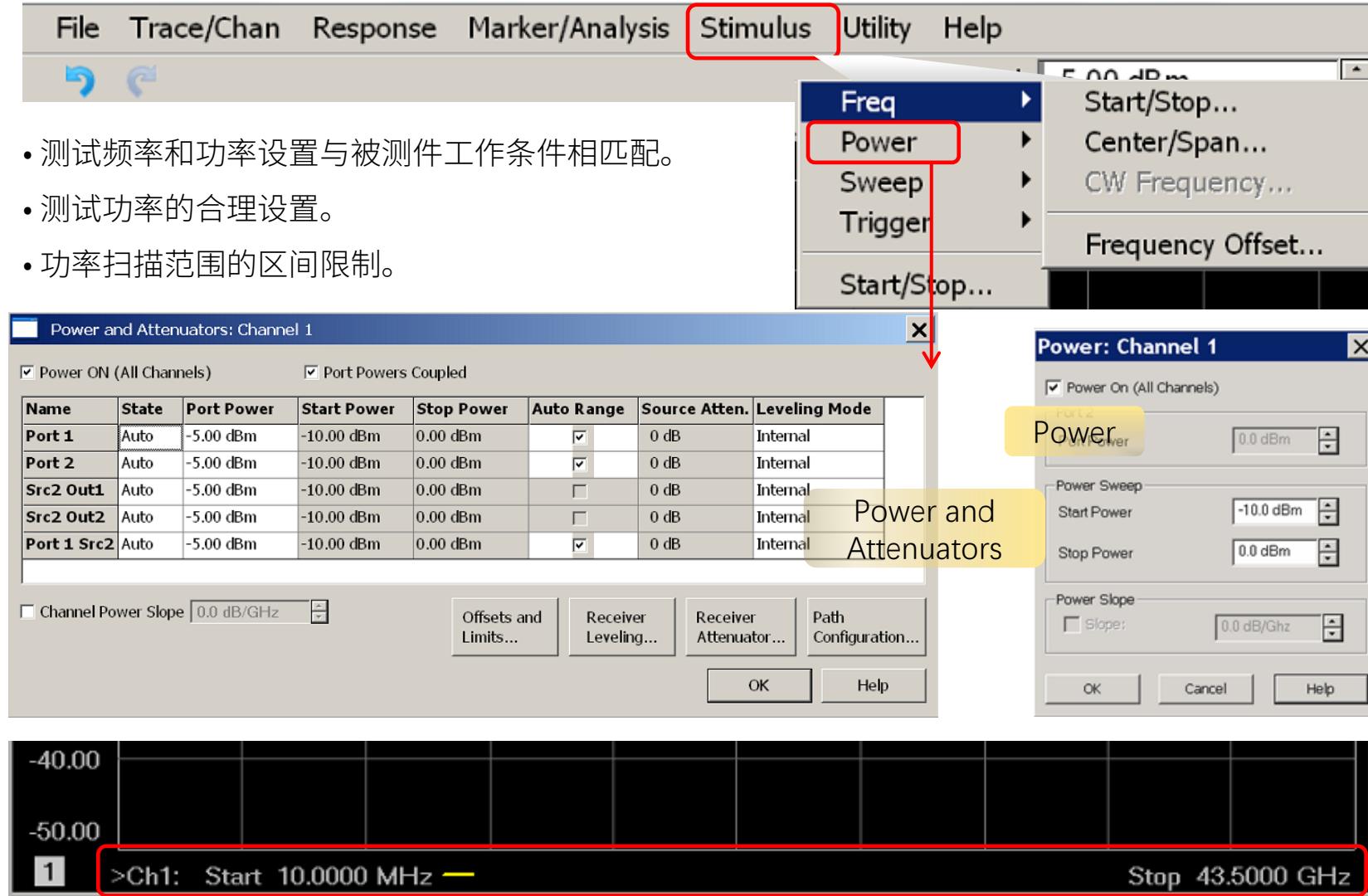
分段扫描：  
分段，每段频率，功率，点数独立设置



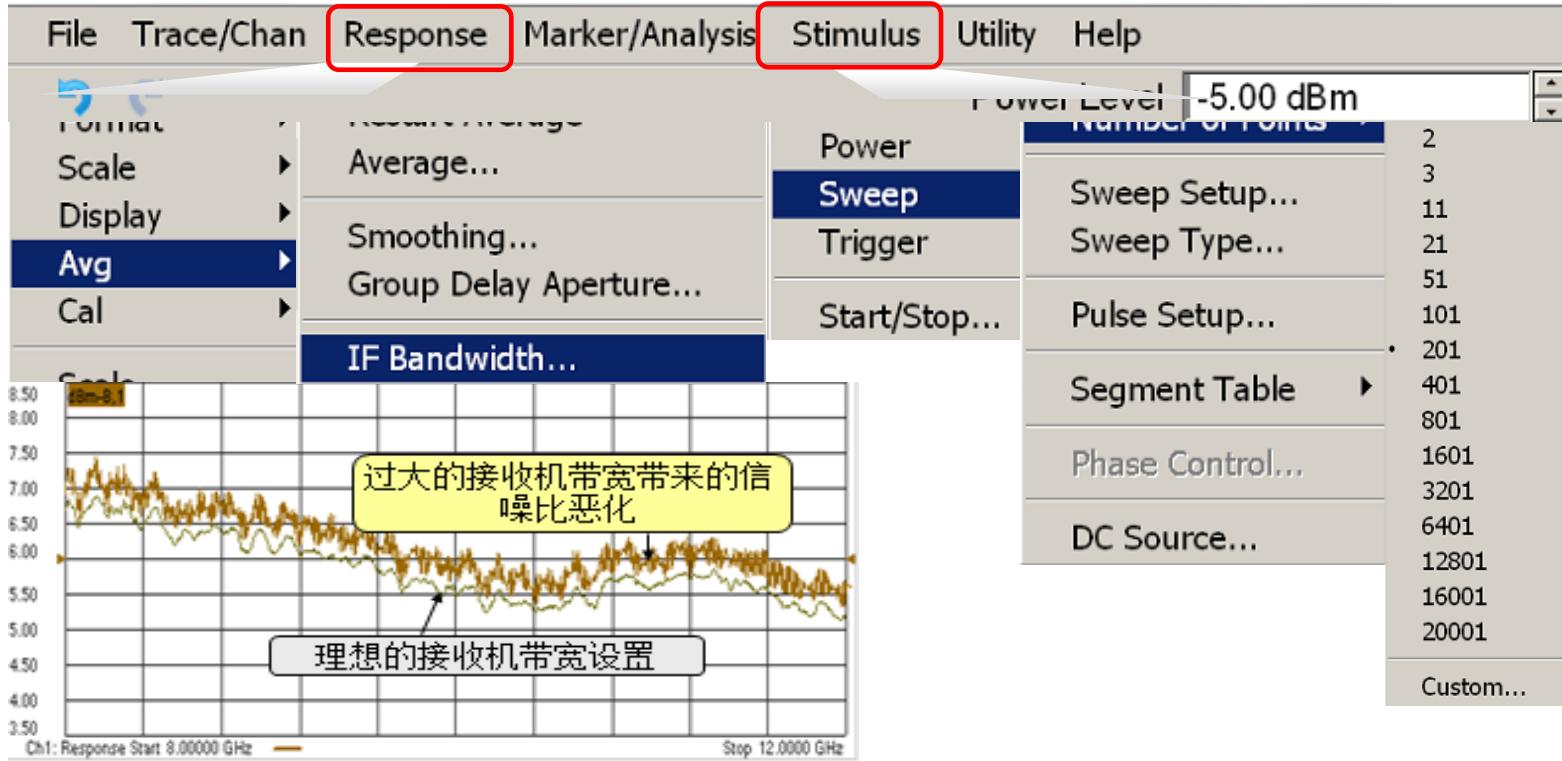
扫描方式	测试应用	相关设置
频率扫描	被测件频响特性测试	线性/对数频率扫描变化。输出功率与被测件要求匹配。
功率扫描	被测件功率压缩特性测试	功率扫描限制在一定区间内。测试频率为CW参数设定
分段扫描	滤波器等的高效测试	将网络仪的扫描范围划分为多个独立段，每段的测试频率，功率，点数，分析带宽分别设置。
时间扫描	被测件时间响应过程分析	器件时间相应过程，天线方向图等参数的测试应用。

类脑智能驱动未来

# 网络仪设置：激励信号功率和频率

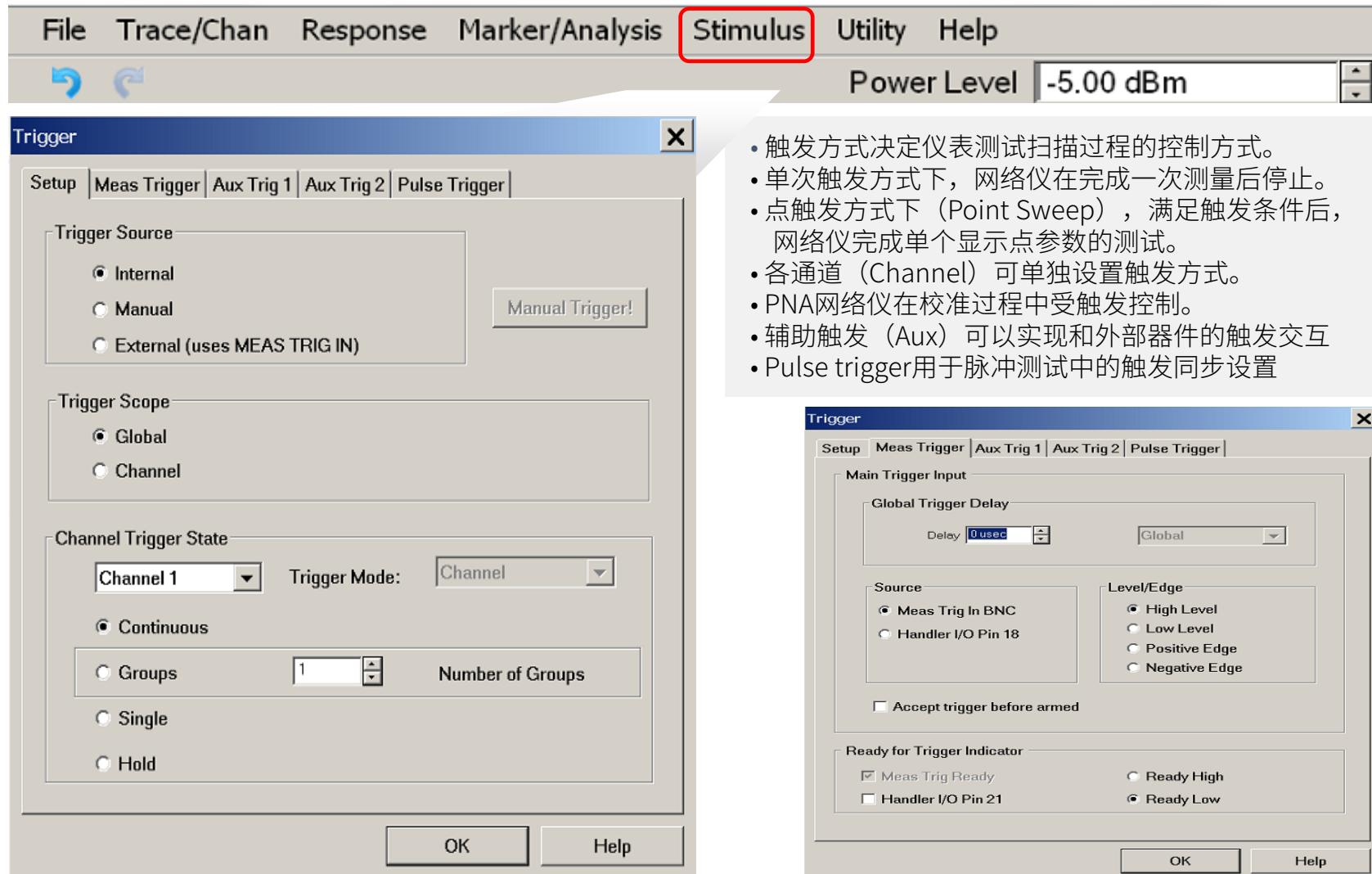


# 网络仪设置：测量点数和分析带宽



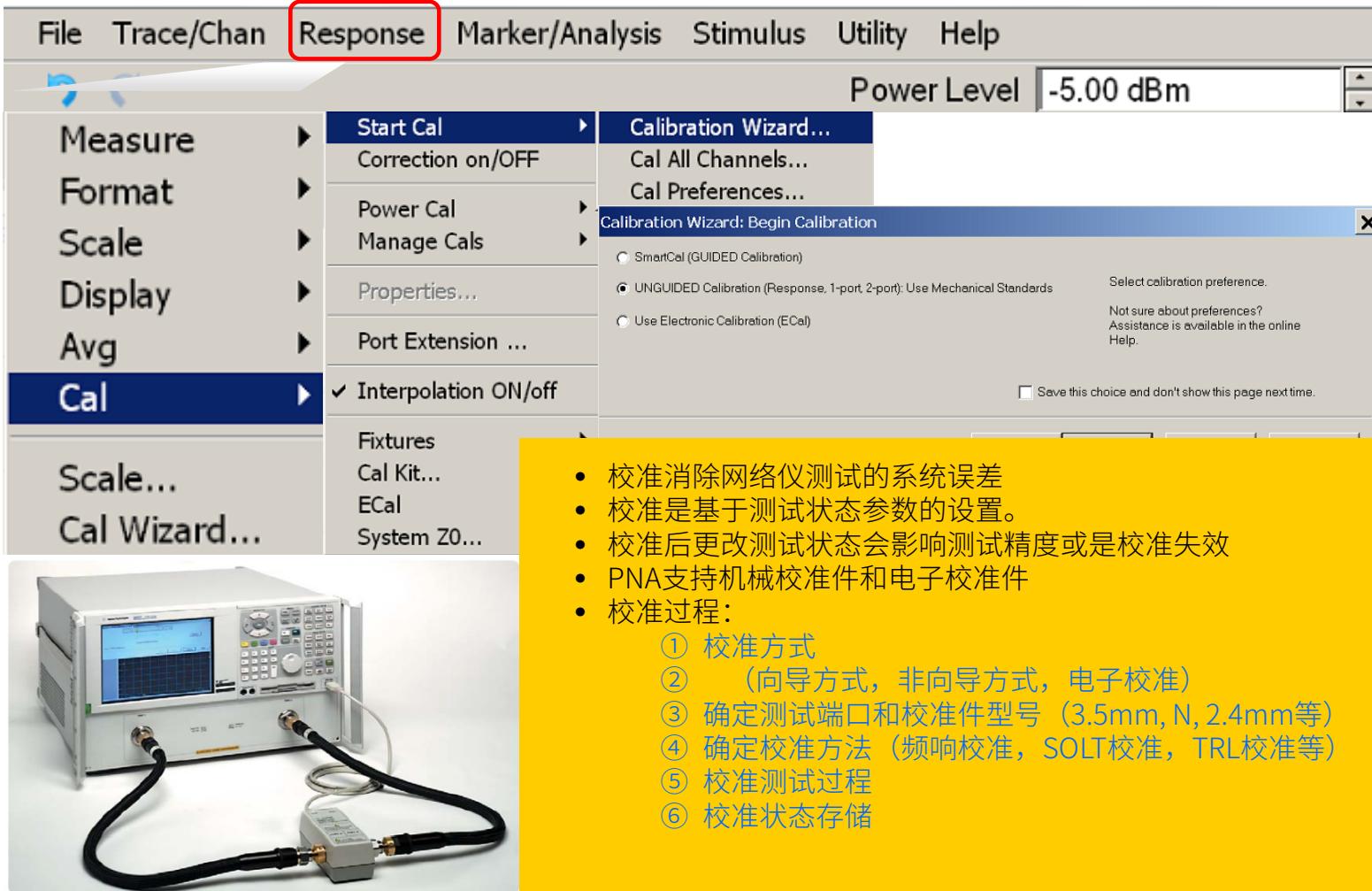
- 测试点数在测试精度和速度间折衷。默认值：201。
- 测试点数会影响相位参数和时域功能测试的正确性。
- 接收机分析带宽在测试精度和速度间折衷。
- 接收机分析带宽默认值为满足最快测试速度要求。

# 扫描测试的触发(Triggering)



- 触发方式决定仪表测试扫描过程的控制方式。
- 单次触发方式下，网络仪在完成一次测量后停止。
- 点触发方式下（Point Sweep），满足触发条件后，网络仪完成单个显示点参数的测试。
- 各通道（Channel）可单独设置触发方式。
- PNA网络仪在校准过程中受触发控制。
- 辅助触发（Aux）可以实现和外部器件的触发交互
- Pulse trigger用于脉冲测试中的触发同步设置

# 网络仪校准



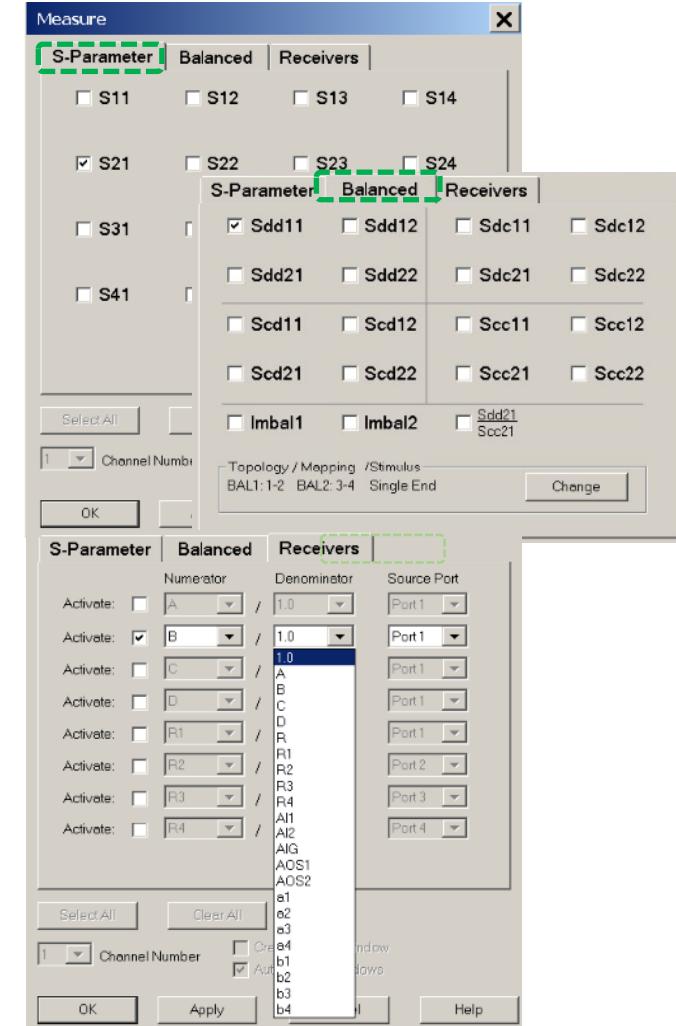
- 校准消除网络仪测试的系统误差
- 校准是基于测试状态参数的设置。
- 校准后更改测试状态会影响测试精度或是校准失效
- PNA支持机械校准件和电子校准件
- 校准过程：

- ① 校准方式
- ② (向导方式, 非向导方式, 电子校准)
- ③ 确定测试端口和校准件型号 (3.5mm, N, 2.4mm等)
- ④ 确定校准方法 (频响校准, SOLT校准, TRL校准等)
- ⑤ 校准测试过程
- ⑥ 校准状态存储

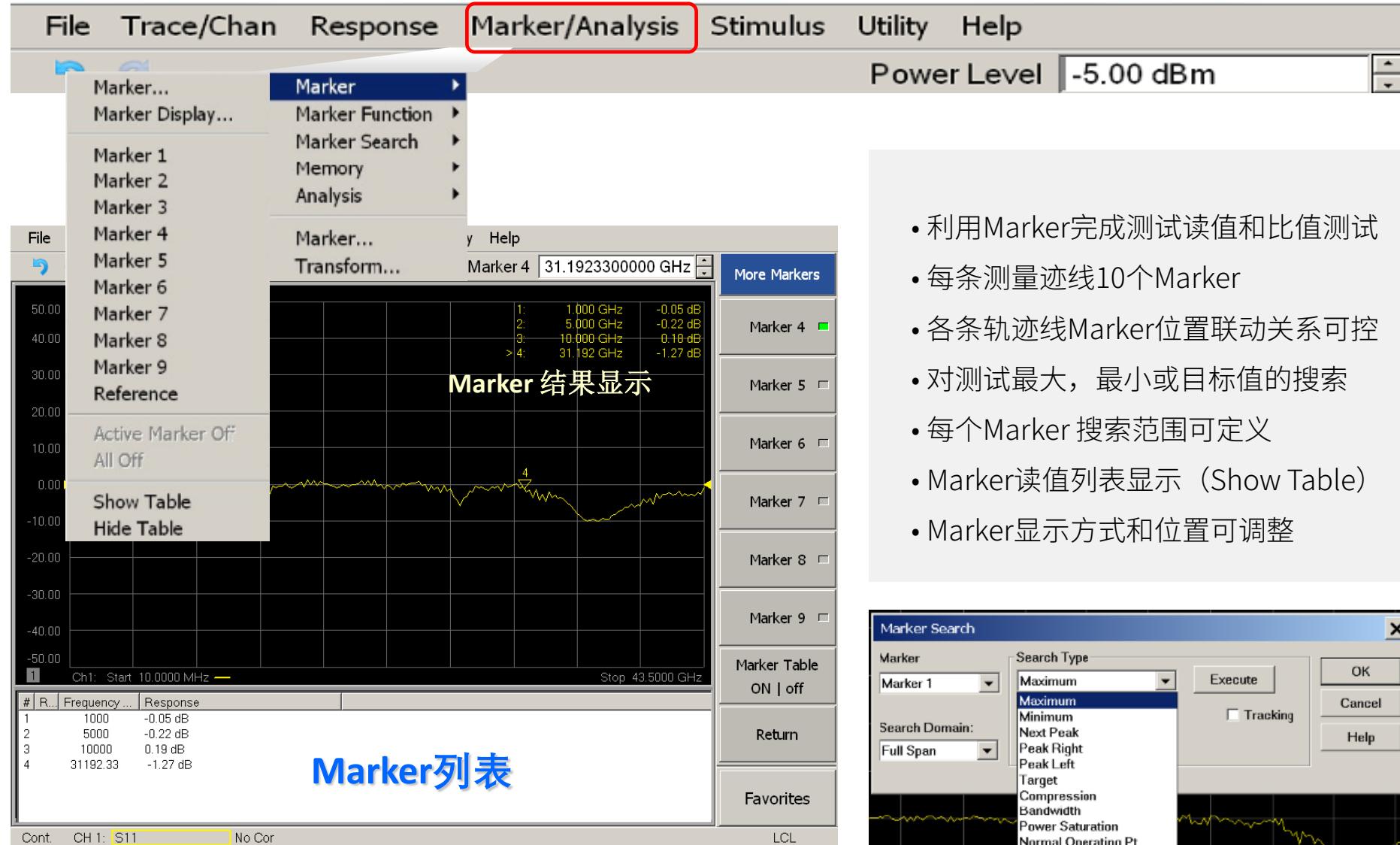
# 网络分析仪测量参数

类脑智能驱动未来

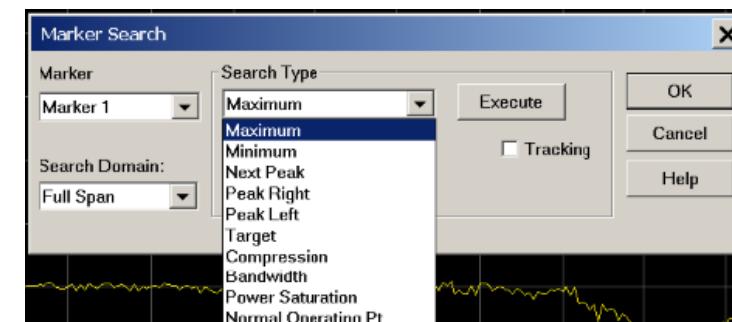
仪表设置		测量参数
[ Meas ]	[ Format ]	
S11	Log Mag	反射损耗
	SWR	被测件端口驻波比
	Smith: R+jX	被测件端口输入阻抗
S22	Smith: G+jb	被测件端口输入导纳
	Log Mag	传输幅度特性, 增益/损耗
	Phase	相位
S21	Group Delay	延迟
	Phase+	相位非线性
	Electrical Delay	
Receiver: A	Log Mag	端口1接收机A绝对功率测量
Receiver: B	Log Mag	端口2接收机B绝对功率测量
Receiver: A/B	Log Mag/Phase	A/B接收机幅度/相位比值测量
Balanced	平衡器件参数	平衡器件差分/共模参数测量



# 网络分析仪测量结果读值( Markers )



- 利用Marker完成测试读值和比值测试
- 每条测量迹线10个Marker
- 各条轨迹线Marker位置联动关系可控
- 对测试最大，最小或目标值的搜索
- 每个Marker 搜索范围可定义
- Marker读值列表显示 (Show Table)
- Marker显示方式和位置可调整

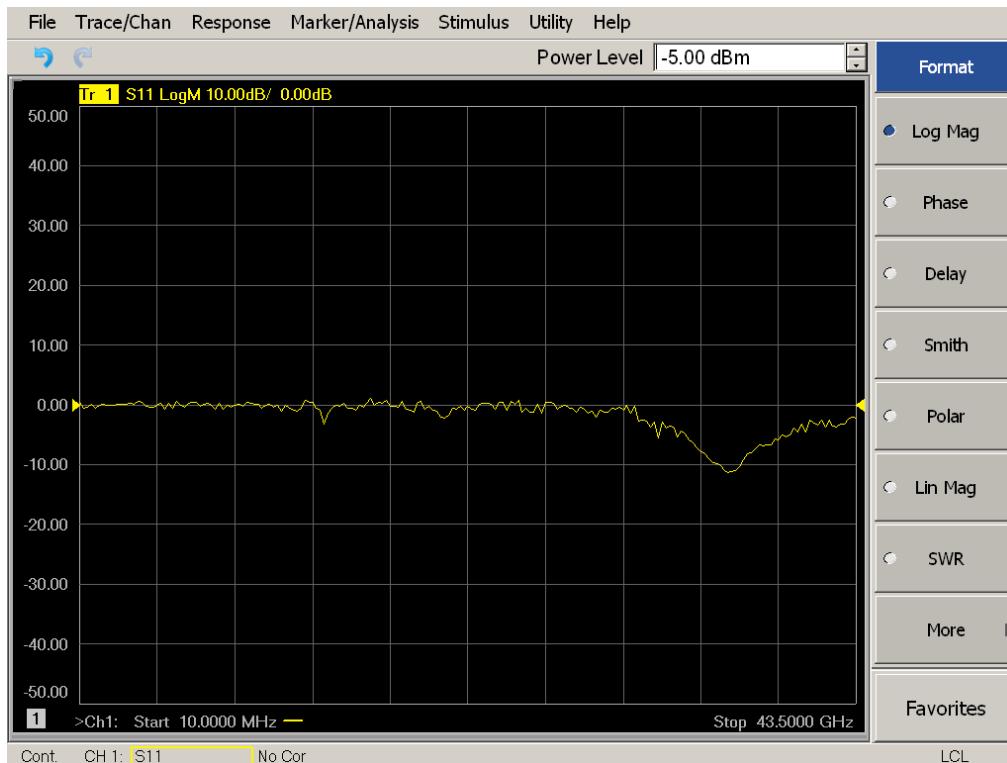


# PNA 测试结果处理

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

测试结果图形存储  
*Print to File (.bmp)*



测试数据保存  
*Save Data As..*

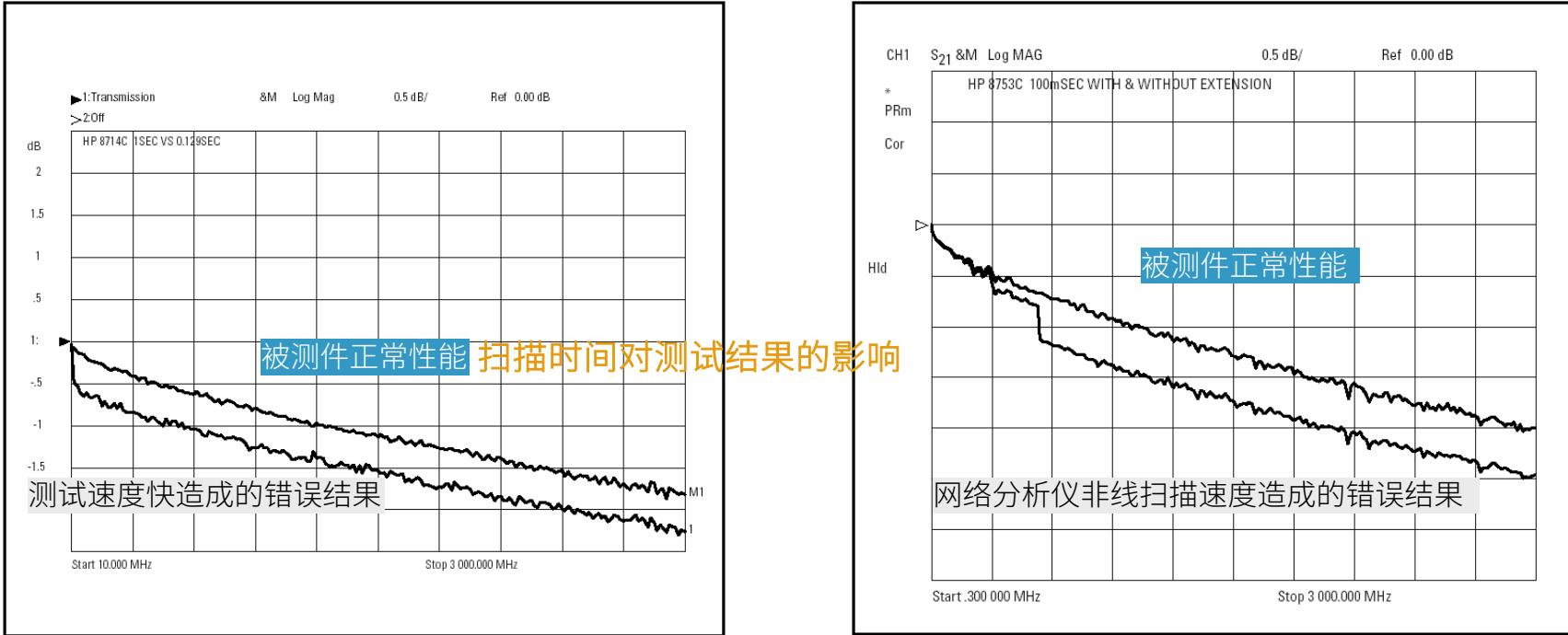
- .prn: 文本文件，仅存储当前轨迹
- .snp: touchstone文件，保存全部S参数，数据格式可为RI, LinMag, LogMag
- .cti: 与8510兼容，可保存当前轨迹，全部显示轨迹或者S参数，数据格式可为RI, LinMag, LogMag
- .CSV: 支持excel编辑，可保存当前轨迹，全部显示轨迹或者S参数，数据格式可为RI, LinMag, LogMag
- .mdf: 与ADS兼容，可保存当前轨迹，全部显示轨迹或者S参数，数据格式为RI

# 网络仪测试中需要注意的问题-1

## 扫描时间对测试结果的影响

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来



### 测试错误的原因

- 网络分析仪输出扫描信号的频率变化速度为  $df/dt$
- 器件的延时会造成输入到仪表接收机的信号和参考信号存在频率差( $\Delta t \times (df/dt)$ )
- 频差大于接收机带宽时会造成测试错误

### 解决的方法

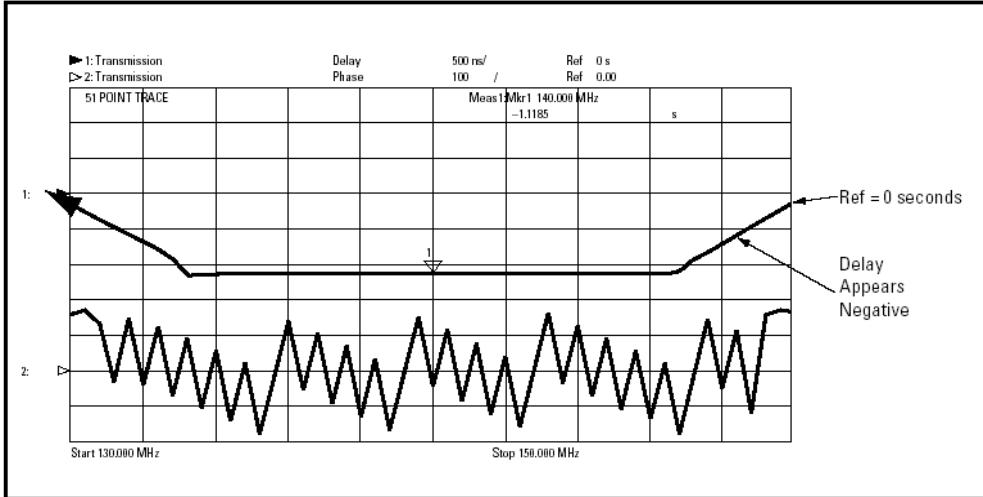
- 增加扫描时间
- 在参考通道上使用延迟线

# 网络仪测试中需要注意的问题-2

检查相位或延时测试是否正确

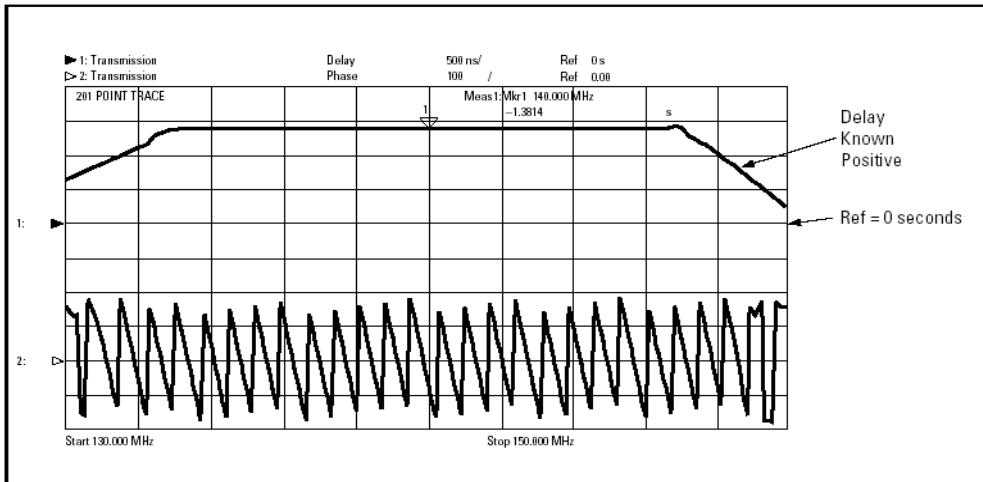
类脑智能驱动未来

类脑智能驱动未来



## 错误的测试频率范围和点数量设置

- 造成相邻测量间相位变化超过180度
- 显示的测件相位特性被颠倒
- 显示的被测件延时参数为负

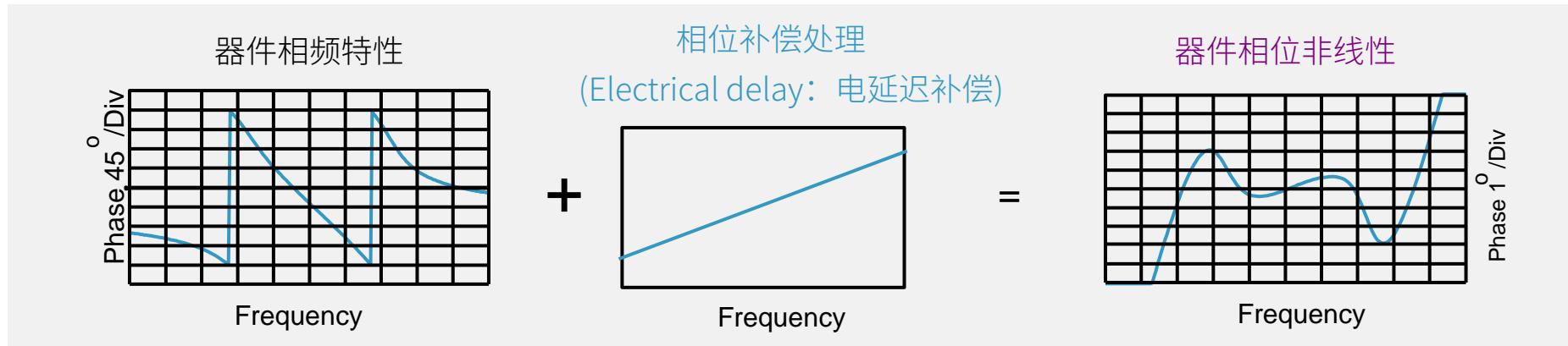


## 正确的测试频率范围和点数量设置

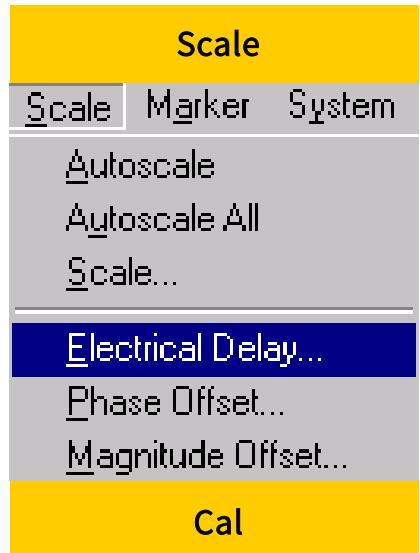
- 造成相邻测量间相位变化小于180度
- 正确显示测件的相位特性
- 正确显示被测件的延时参数

# 网络仪测试中需要注意的问题-3

## 系统相位非线性参数分析



### 器件传输特性中线性相位的补偿方法



#### Electrical Delay

- 所有频率一致的时间偏移, 相位随频率变化
- 利用Mkr→Delay确定电时延的补偿值
- 对传输和反射指标的影响相同

#### Phase offset

- 所有频率一致的相位偏移
- 对传输和反射指标的影响相同

#### Port Extension

- 端口的时间延迟补偿, 可定义单独
- 对测试仪表的每个测量端口进行时间补偿
- 对传输和反射指标的影响不同

### 同轴传输线具有线性的相位特性

$$\phi(\text{radians}) = \frac{2\pi\ell}{\lambda} = 2\pi f(\text{delay})$$

### 波导传输线具有非线性的相位特性

$$\phi(\text{radians}) = \frac{2\pi\ell}{\lambda_g}$$

where

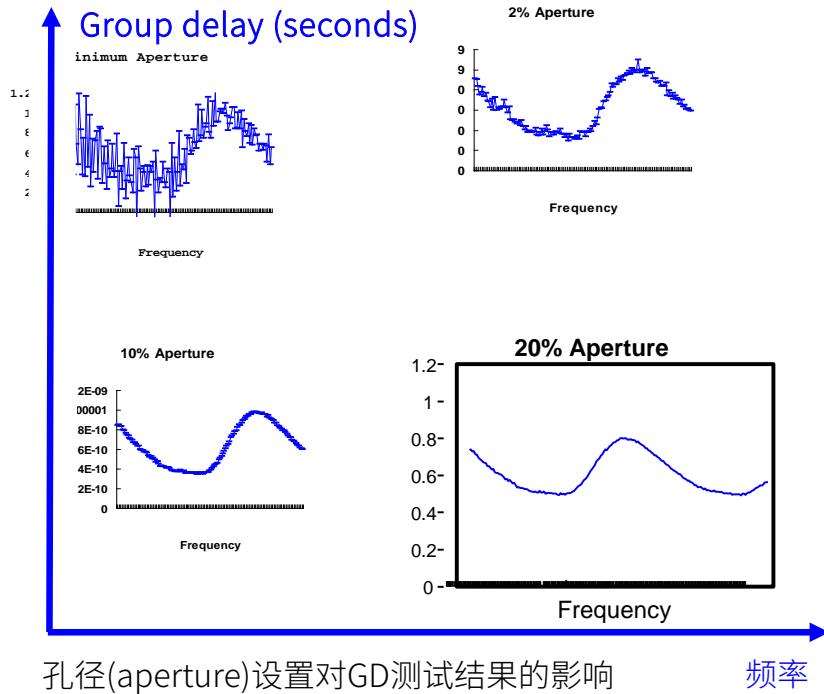
$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{co})^2}}$$

# 网络仪测试中需要注意的问题-4

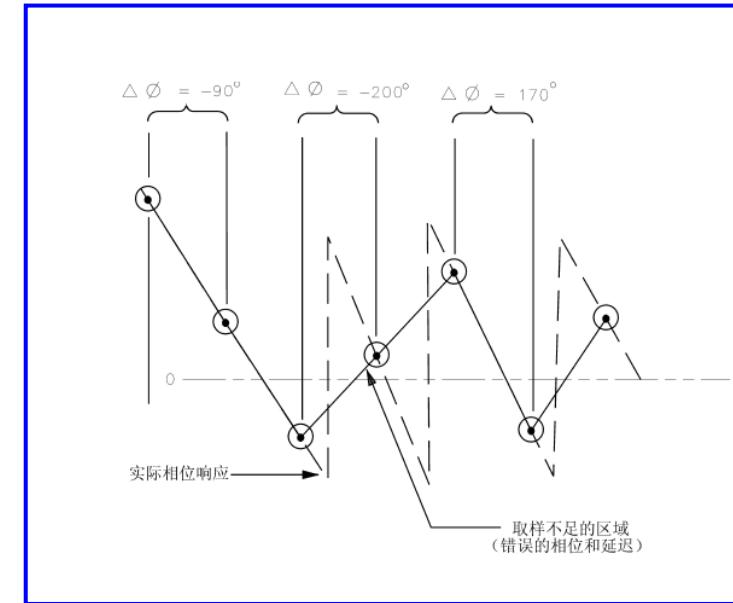
## 群时延参数测试

类脑智能驱动未来

类脑智能驱动未来



孔径(aperture)设置对GD测试结果的影响 频率



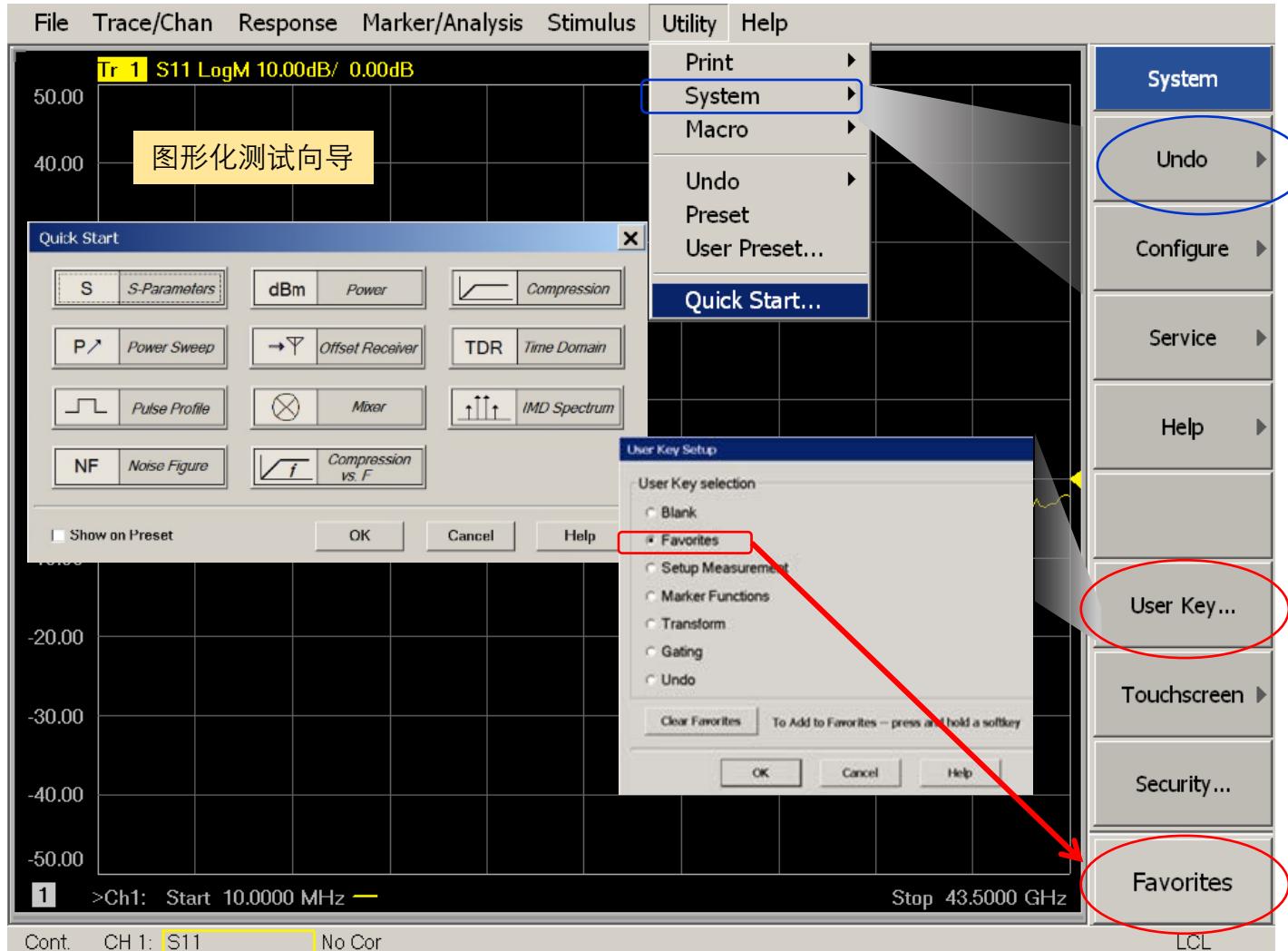
测量扫宽(Span)和点数(Point)设置对GD测试结果的影响

Trace

Smoothing: \_%

- 孔径的设置在测量分辨率和一致性间折衷
- 扫宽和点数的设置需保证连续两个测量点间相位变化小于180度

# PNA快捷操作



类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

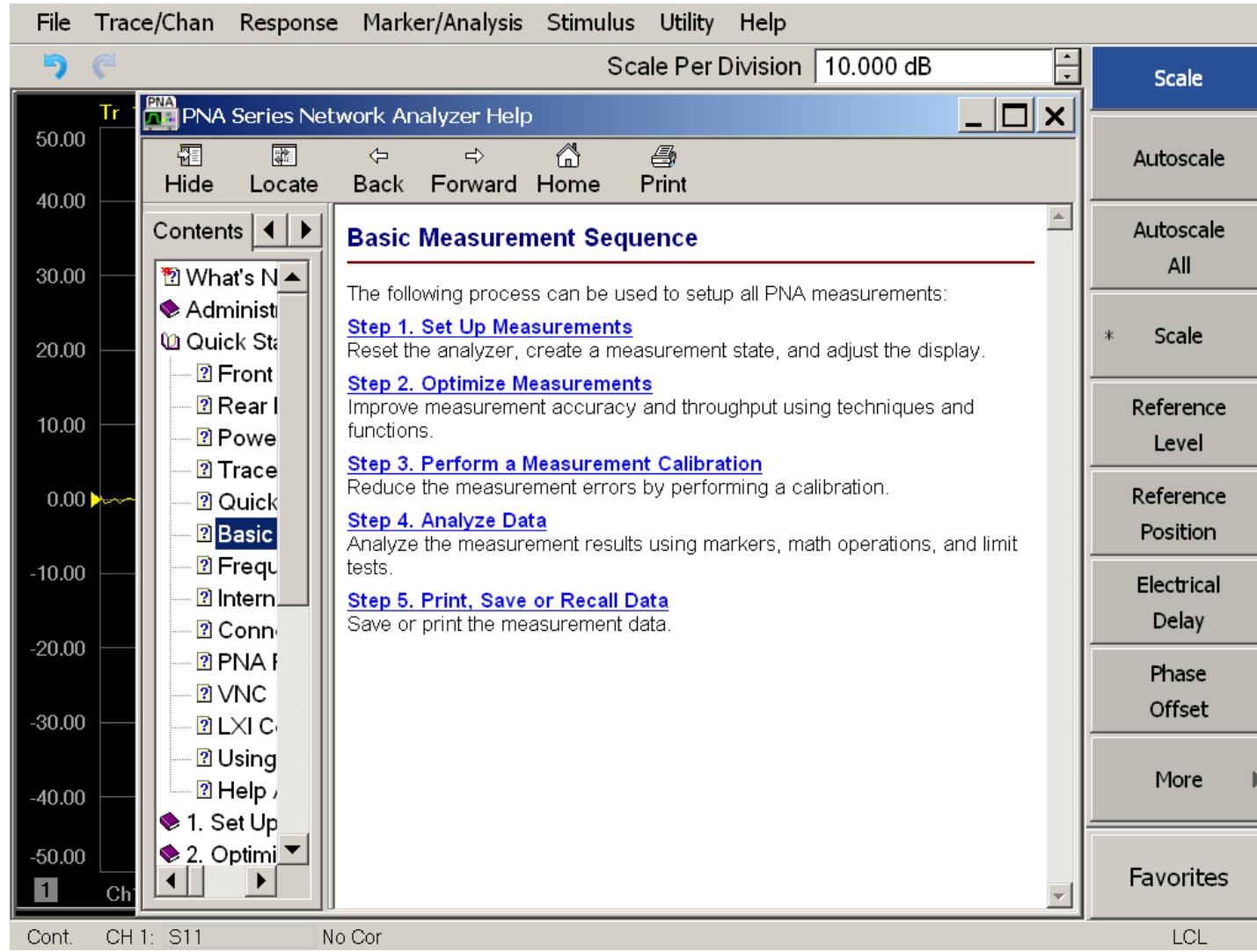
Undo/Redo  
误操作恢复

自定义快捷键

# PNA网络仪的操作使用指南

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来



## 第四部分：网络分析仪测试校准技术

- 网络仪测试误差分析
- 网络仪校准原理
- 网络仪校准方法
- 非插入器件的校准方法
- TRL校准
- 多端口网络仪校准

# 网络分析仪测量误差

类  
脑  
智  
能

驱  
动  
未  
来

## 系统误差

由于测试仪表原理或测试设备引起  
变化有规律  
能够被定量描述  
可通过校准消除

## 随机误差

随时间随机变化  
**不能通过校准消除**  
引起随机误差的原因:设备噪声、开关重  
复性、连接器重复性

## 飘移误差

校准后仪表性能变化  
主要由温度变化造成  
**通过定期计量消除**



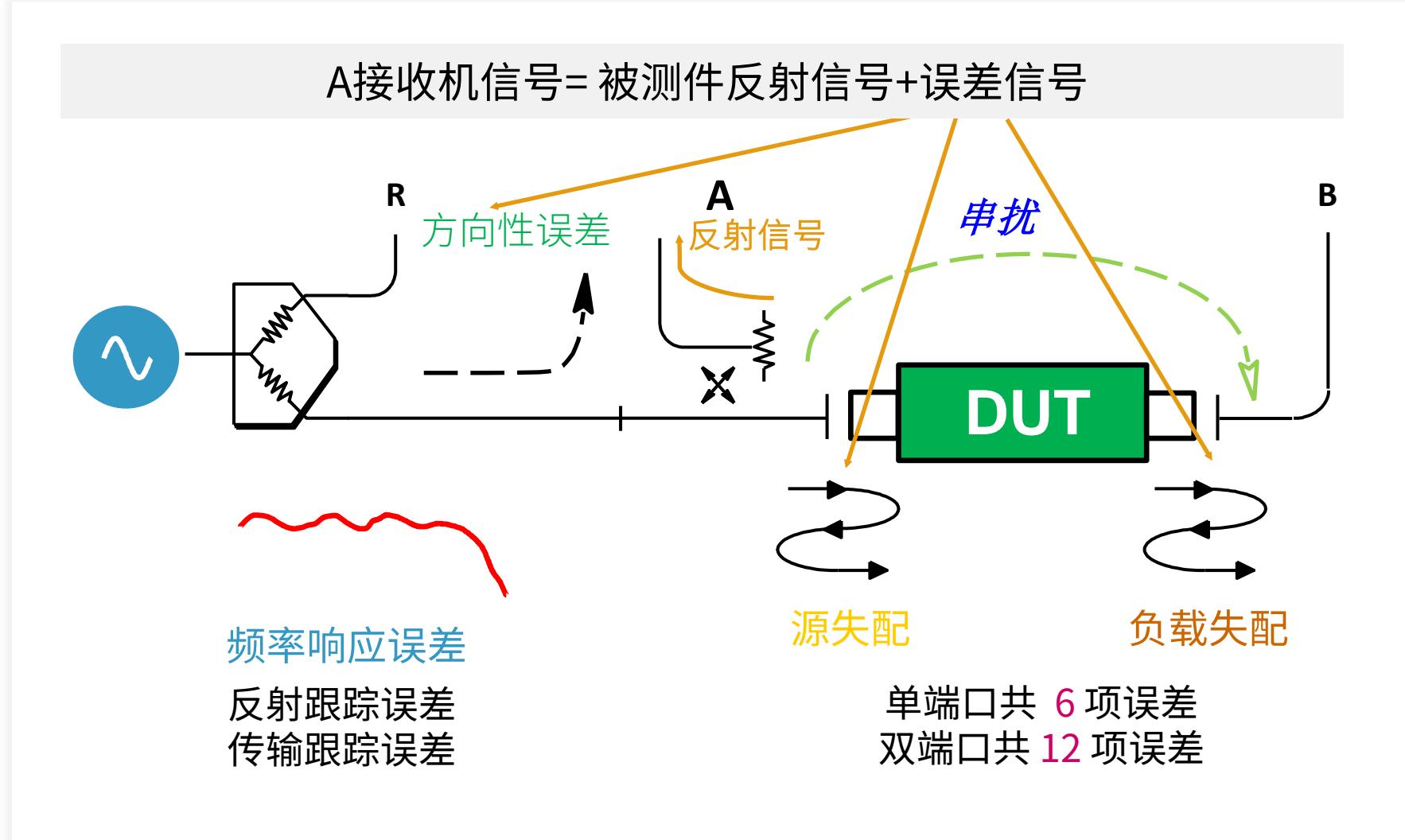
类  
脑  
智  
能

驱  
动  
未  
来

# 反射参数测试误差分析

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来



# 网络分析仪校准的概念

- 网络仪校准的原理
  - 测量参数已知的标准校准件,得到误差项
  - 将测试结果中误差项成份消除, 得到正确测试结果
- 校准的方法不同, 分为标量校准和矢量校准。
- 校准过程中消除的误差数量不同, 最终测试精度不同
- 网络仪校准过程
  - 校准件型号的确定
  - 校准方法确定
  - 校准测试过程
  - 测试状态和校准参数的存储和调用
- 反射参数测试 (S11, S22)
  - 存在三项误差:方向性,源失配,反射通道频率响应
  - 频响校准(推荐标准件: Short)消除频响误差
  - 1-Port 单端校准 消除3项误差
- 传输反射参数同时测试
  - 存在12项误差
  - 频响校准( 校准件: Through) 消除频响误差
  - Full 2 port 双端口校准消除12项误差
- 用户可定义校准件: 校准件定义必须和实际校准件相符



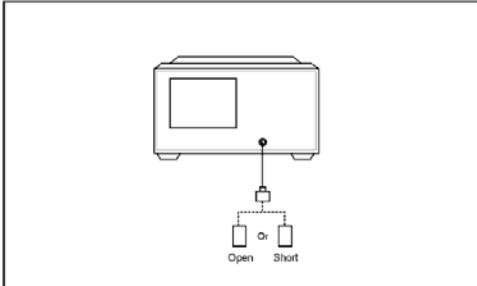
# 网络分析仪校准的基本分类

类  
脑  
智  
能

类  
脑  
智  
能

## 频响校准(Response校准): 归一化处理 (normalization)

- 简单, 使用一个校准件, 单次校准操作
- 只能消除跟踪误差(频响误差)
- 包含对幅度和相位的归一化处理
- 反射参数测试时, 使用开路或短路校准件
- 传输参数测试时, 使用直通校准件

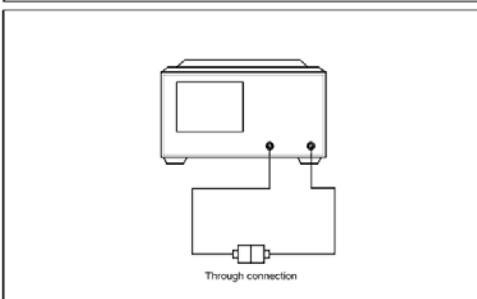


### 反射测试频响校准

端口1频响校准, Meas: S11

端口2频响校准, Meas: S22

使用开路或短路校准件



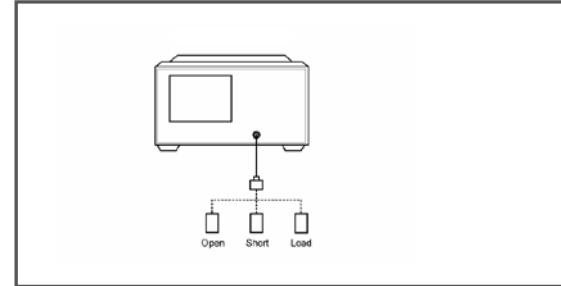
### 传输测试频响校准

测试参数: S21/S12

使用直通校准件

## 矢量校准

- 需要测试更多校准件
- 可消除更多误差项目, 提高测试精度
- 要求网络仪具备矢量测试能力
- 单端口校准使用开路, 短路和负载校准件

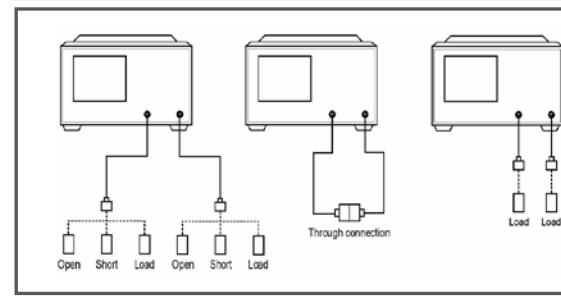


### 单端口误差矢量校准

开路

短路

匹配负载



### 双端口误差矢量校准

开路

短路

匹配负载

直通

类  
脑  
智  
能

驱  
动  
未  
来

# PNA网络仪的先进校准技术

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

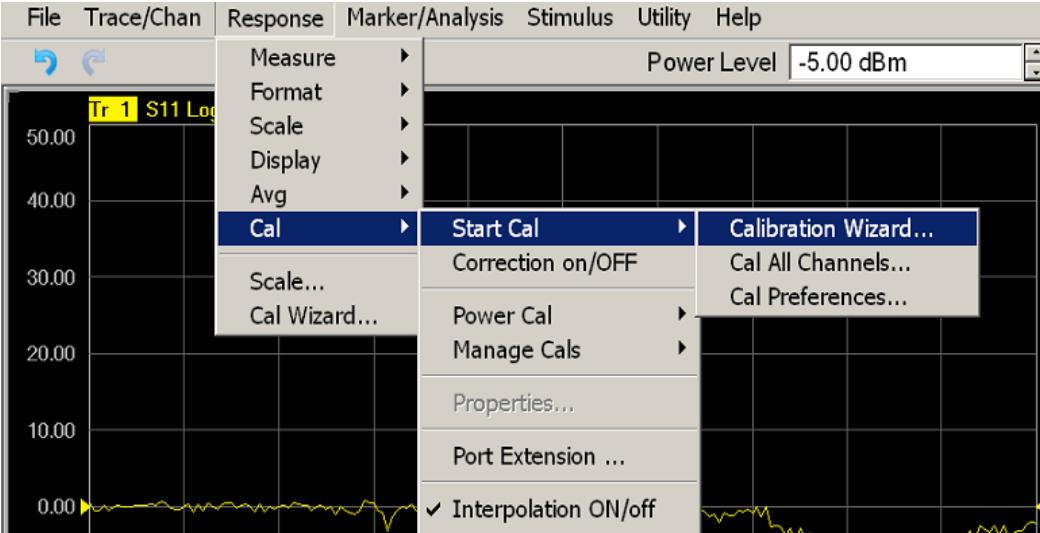
- 机械和电子校准件
- 电子校准件的端口自动识别功能
- 微波频段多端口电子校准件
- 校准操作指导向导
- 对非插入器件测量的校准技术
- **自动端口延伸功能**
- 混合端口校准
- 转接头移去处理功能
- 用户定义的校准件,包含电子校准件
- TRL校准
- 嵌入/去嵌入处理功能



类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

# PNA 网络分析仪的校准功能

CaL



电子校准件



单次连接

Single Connection

## Calibration Wizard: Begin Calibration

SmartCal (GUIDED Calibration)

向导方式校准。可使用机械和电子校准件，  
支持多端口校准以及混合端口校准

UNGUIDED Calibration (Response, 1-port, 2-port): Use Mechanical Standards

非向导校准。使用机械校准件，  
不支持多端口校准。

Use Electronic Calibration (ECal)

电子校准 (必须使用电子校准件)

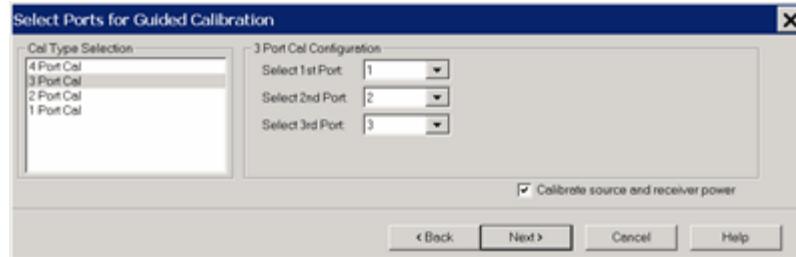
Assistance is available in the online  
Help.

Save Preferences. Don't show this page again.

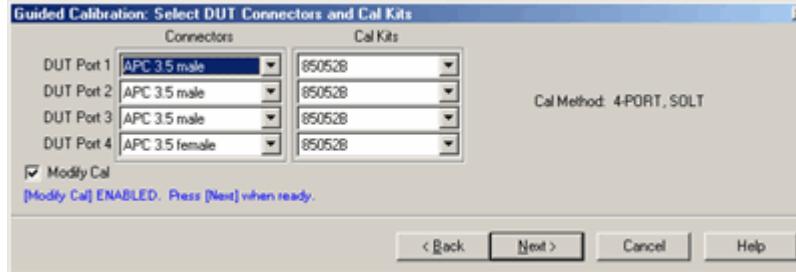
# 采用SmartCal的校准过程

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

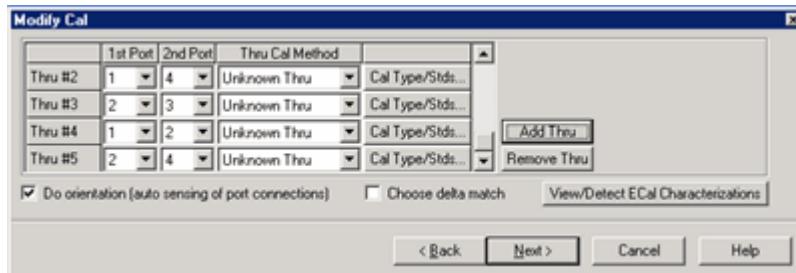
步骤1:  
选择校准端口



步骤2:  
定义测试端口类  
型及校准件型号



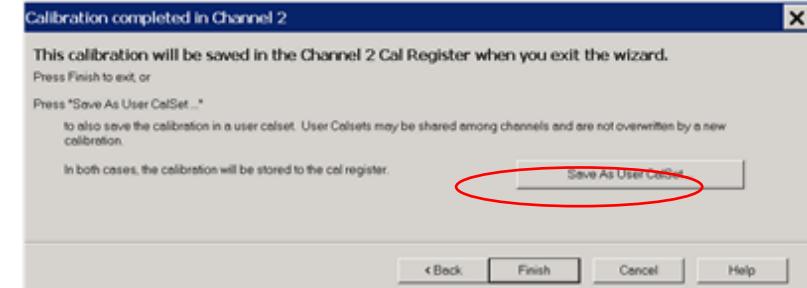
步骤3:  
根据需要调整直  
通件类型



步骤4:  
连接校准件进行  
校准



步骤5:  
校准状态存储/调用



Cal

[Manage Cals]  
[Cal Set]

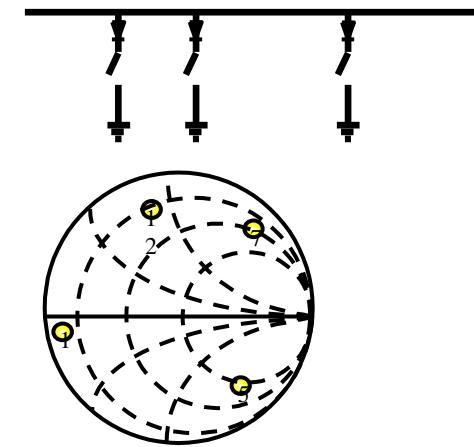
CalSet Name	Description	Channels	Cal Type/Ports	Date Modified
MyVMDCal		VMC		03/41/42 PM 11-09-05
CH1_CALREG		VMC		03/41/41 PM 11-09-05
MySMCCal		SMC_2P		01:30:27 PM 11-09-05
MyECallo5GHz	MyECallo5GHz	2P/1-2		02:42:46 PM 11-08-05
CalSet_3		2P/1-2		02:33:10 PM 10-26-05
CalSet_2		2P/1-2		02:32:17 PM 10-26-05
CalSet_1		2P/1-2		08:09:20 AM 12-21-04

# 电子校准件

- 通过PIN二极管将阻抗控制在不同状态**
- 13 个反射状态, 不同高低反射性能
  - 2 个直通状态, 1 个隔离状态
  - 校准速度快, 重复性好
  - 通过 TRL-校准后网络仪进行测试
  - 校准精度介于 2-PORT 校准 和 TRL 校准 之间
  - Agilent PNA 网络仪支持自动端口识别功能

## 2-port

Connector Type	Frequency range	Ecal module model number
Type-F	300 kHz to 3 GHz	<b>85099C</b>
Type-N 50 ohms	300 kHz to 9 GHz	<b>85092C</b>
Type-N 50 ohms	300 kHz to 18 GHz	<b>N4690B</b>
Type-N 75 ohms	300 kHz to 3 GHz	<b>85096C</b>
3.5 mm	300 kHz to 9 GHz	<b>85093C</b>
3.5 mm	300 kHz to 26.5 GHz	<b>N4691B</b>
7 mm	300 kHz to 9 GHz	<b>85091C</b>
7 mm	300 kHz to 18 GHz	<b>N4696B</b>
7-16	300 kHz to 7.5 GHz	<b>85098C</b>
2.92 mm	10 MHz to 40 GHz	<b>N4692A</b>
2.4 mm	10 MHz to 50 GHz	<b>N4693A</b>
1.85 mm	10 MHz to 67 GHz	<b>N4694A</b>



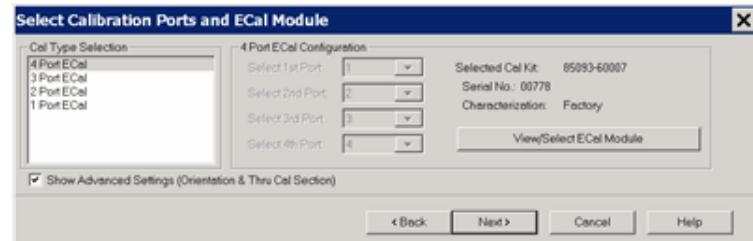
## 4-port

Connector Type	Frequency range	Ecal module model number
3.5 mm or Type-N 50 ohms	300 kHz to 13.5 GHz	<b>N4431B</b>
Type-N 50 ohms	300 kHz to 18 GHz	<b>N4432A</b>
3.5 mm	300 kHz to 20 GHz	<b>N4433A</b>



# PNA 采用电子校准件校准过程

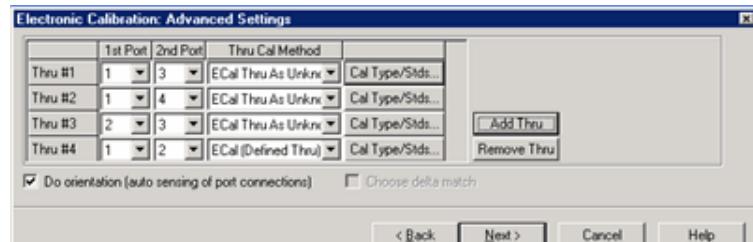
步骤1:  
选择校准端口



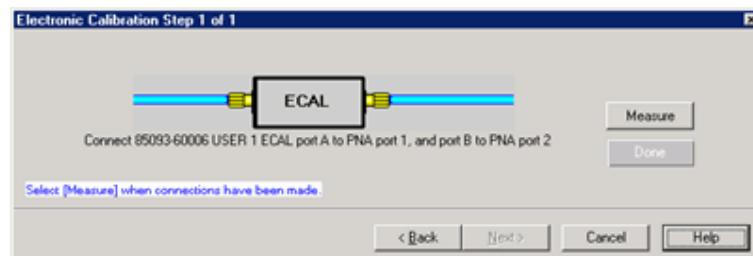
步骤2:  
定义测试端口类型



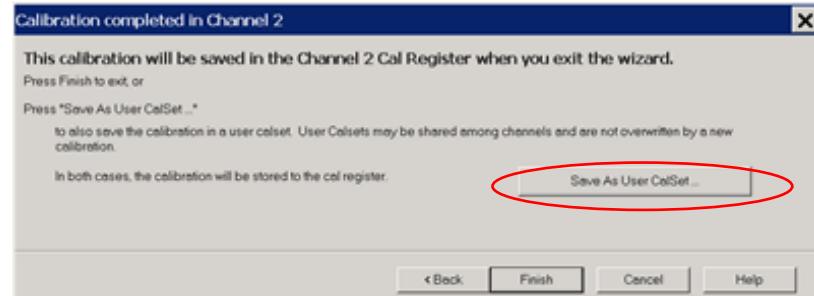
步骤3:  
选择直通校准方法



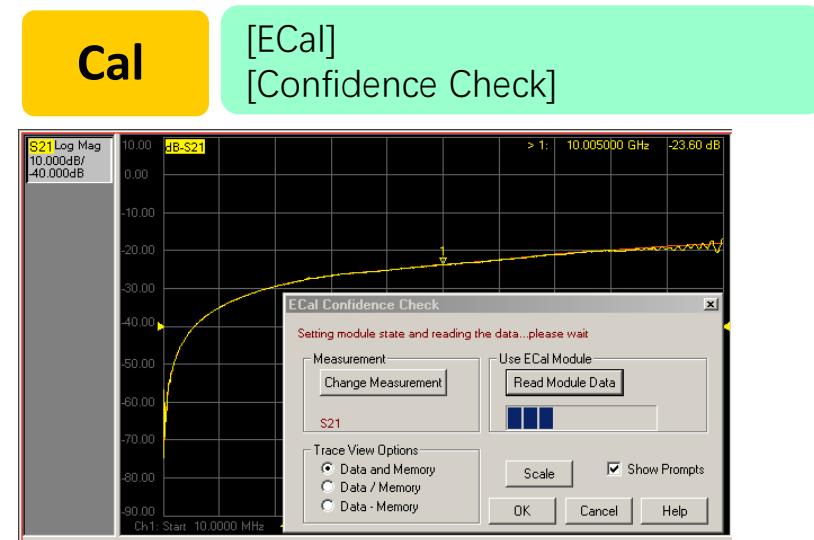
步骤4:  
校准测试



步骤5:  
校准状态存储



步骤6:  
校准结果验证



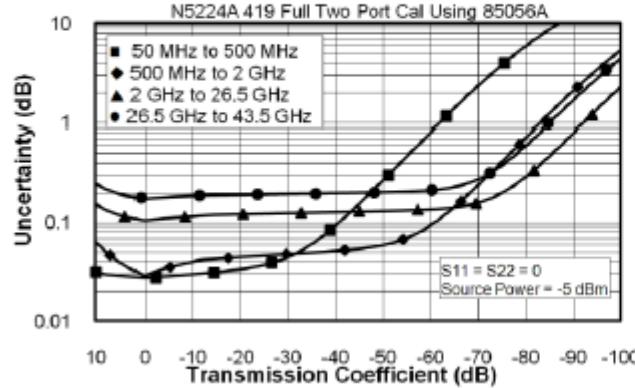
# 通过校准提高仪表测试精度

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

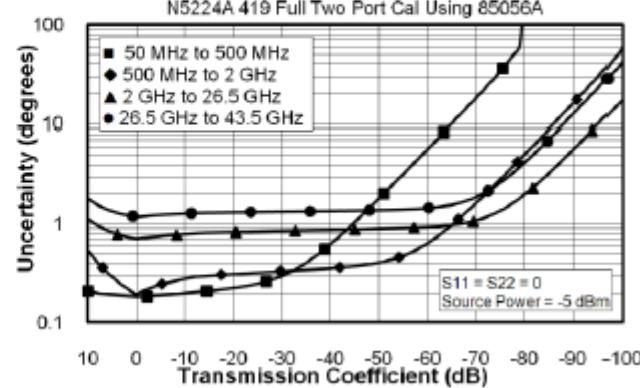
类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

### Transmission Uncertainty, All Options

#### Magnitude

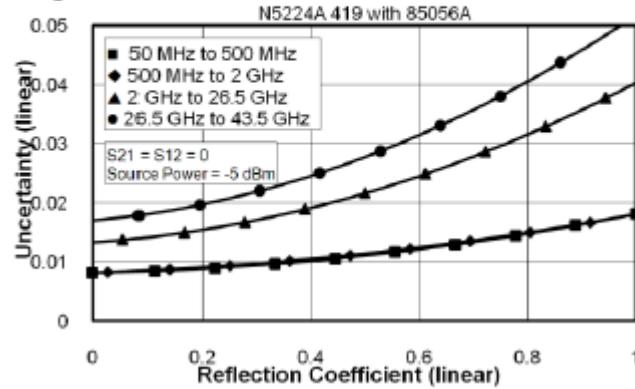


#### Phase

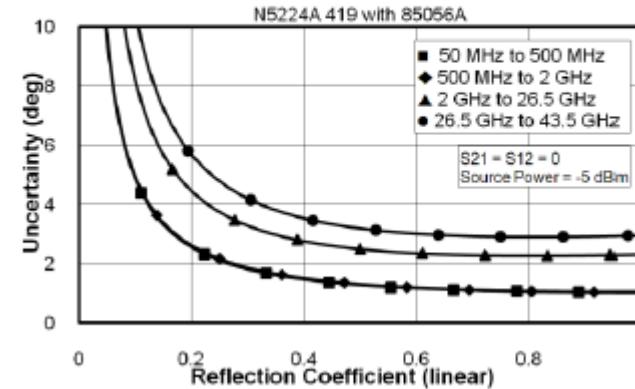


### Reflection Uncertainty, All Options

#### Magnitude



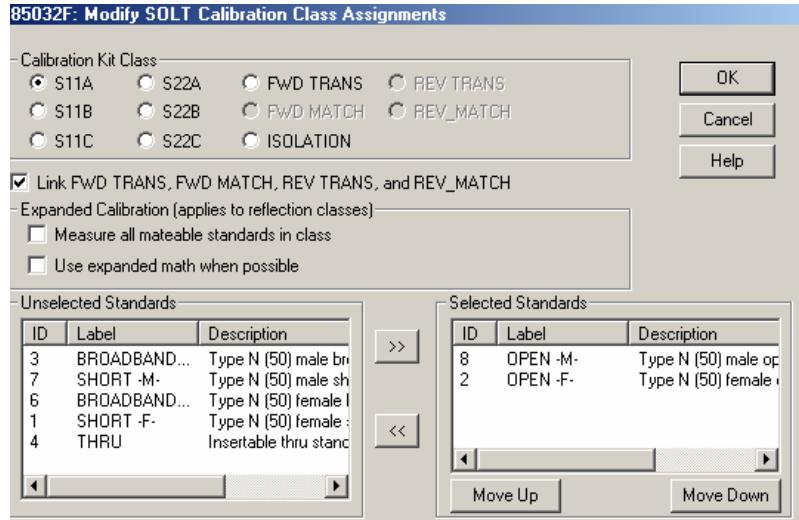
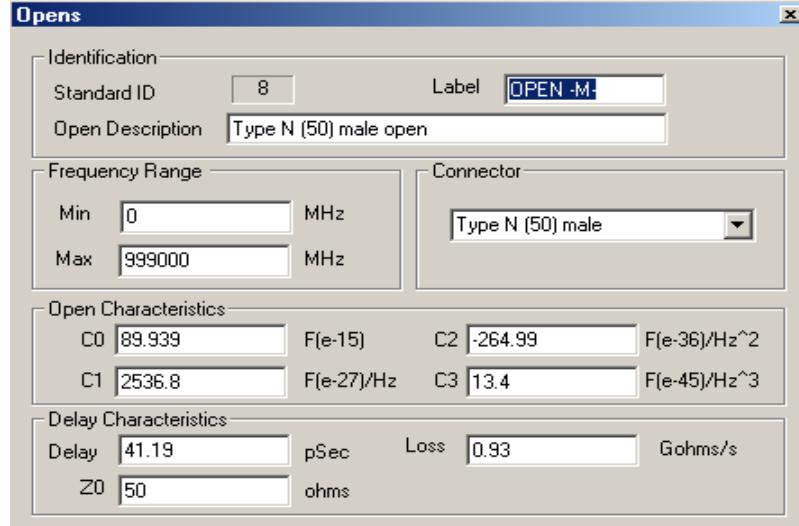
#### Phase



# 用户定义的校准件

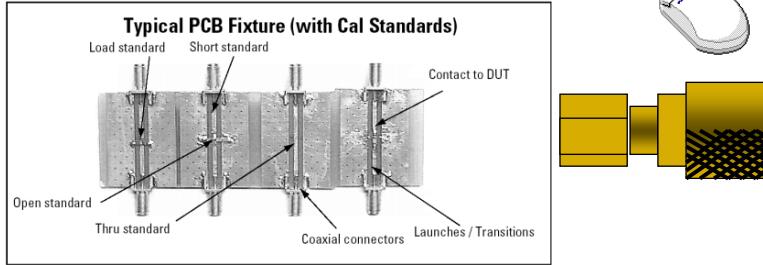
类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

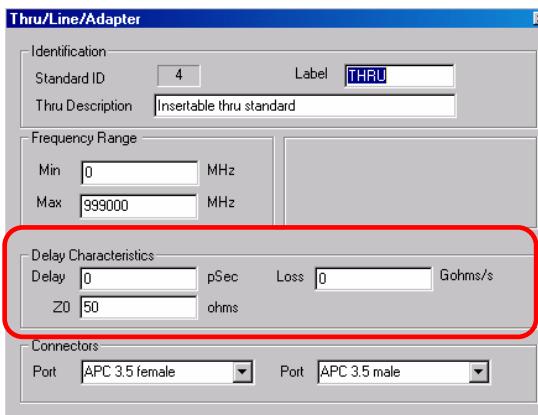


## 1.校准件参数确定

## 2.校准件分类(Class)



- 选择校准件
- 定义校准件参数
- 定义校准件类 (Class)
- 每一个类包含多个校准件，覆盖测试频率范围
- 每一个校准件类对应消除的某项误差
- 验证测试



# 用户重新定义的电子校准件

重新定义的电子校准件名称

Electronic Calibration: Select Characterization

ID	Port A Connector	Port B Connector	Min. Frequency	Max. Frequency
Factory	APC 3.5 female	APC 3.5 male	10.000000 MHz	26500.000000
User 1	APC 3.5 male	APC 3.5 male	45.000000 MHz	26500.000000
User 2	APC 3.5 female	APC 3.5 female	45.000000 MHz	26500.000000
User 3	APC 3.5 female	APC 2.4 male	45.000000 MHz	26500.000000
User 4	Type N (50) male	Type N (50) male	45.000000 MHz	26500.000000
User 5	APC 7	APC 7	45.000000 MHz	26500.000000

重新定义的波导电子校准件



重新定义电子校准件参数的测试过程

User Characterize ECal Module: Select Cal Kits

PORT A: 85052B  
PORT B: 85032F

Enable Unknown Thru Cal for characterizing the module

类  
脑  
智  
能  
驱  
动  
未  
来

# THANKS



BY  
NeuHelium