

Ceyear 思仪

Focus on measurement Explore the future

矢量网络分析仪

CETC

中电科思仪科技股份有限公司

www.ceyear.com

侯俊庆

电话/微信：13964833298



思仪云服务

内容提纲



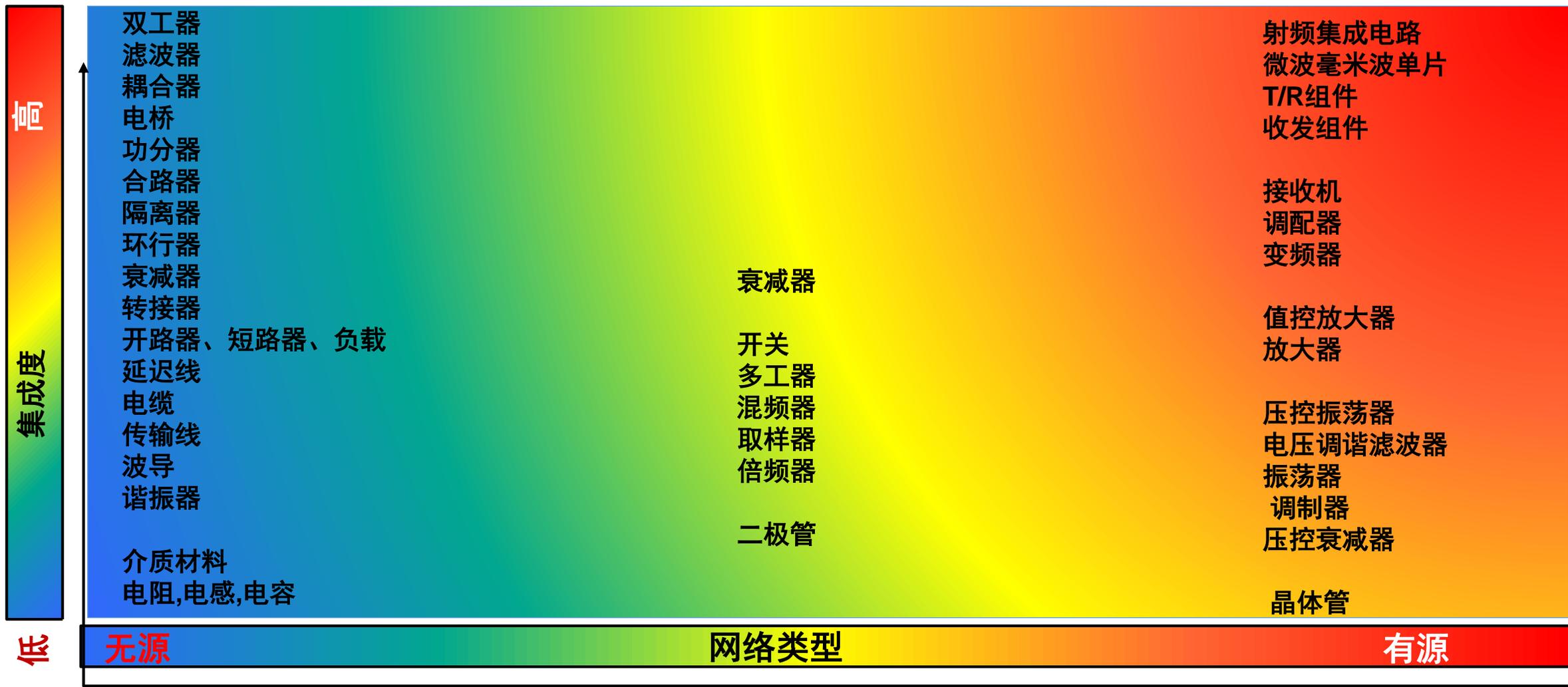
一、基本概念

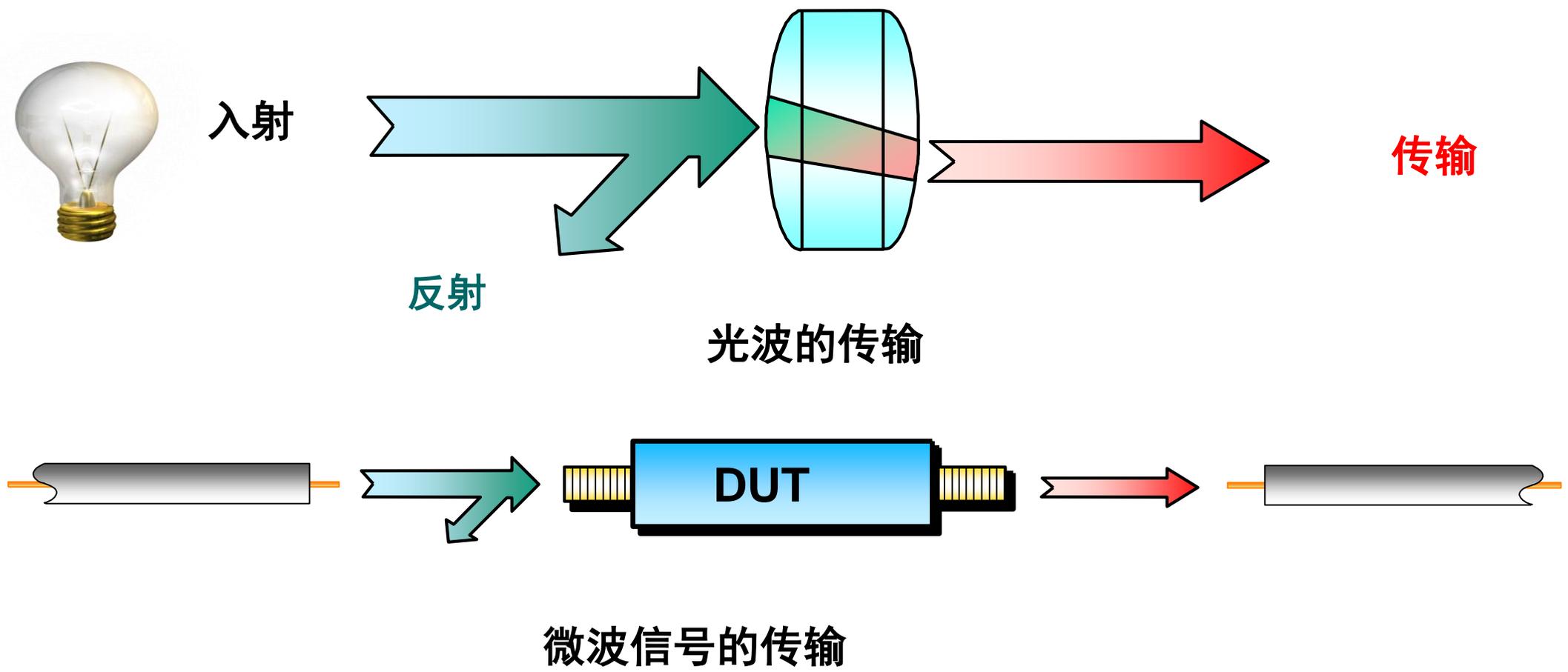
二、系统硬件组成

三、校准与误差修正

四、产品介绍及测量应用

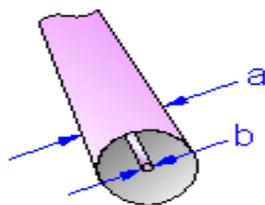
五、如何提高测量精度



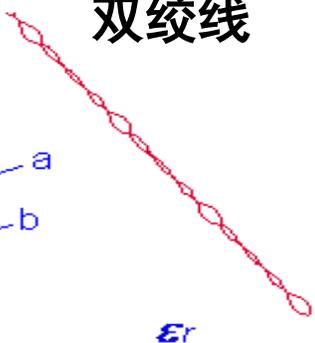


- 传输线的特性阻抗决定了其传输的电压和电流行波的关系
- 特性阻抗是传输线物理尺寸和介质介电常数的函数
- 特性阻抗值通常为实数（如 50 Ω or 75 Ω ）

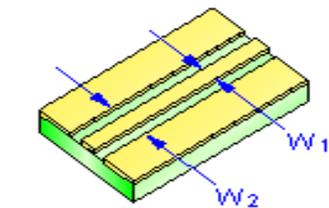
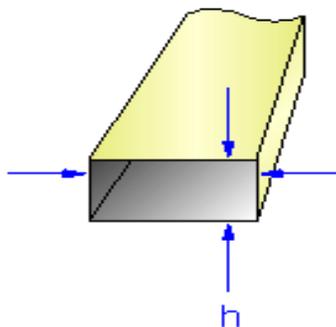
同轴线



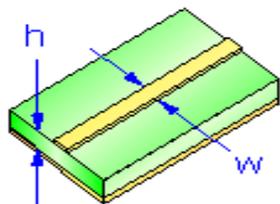
双绞线



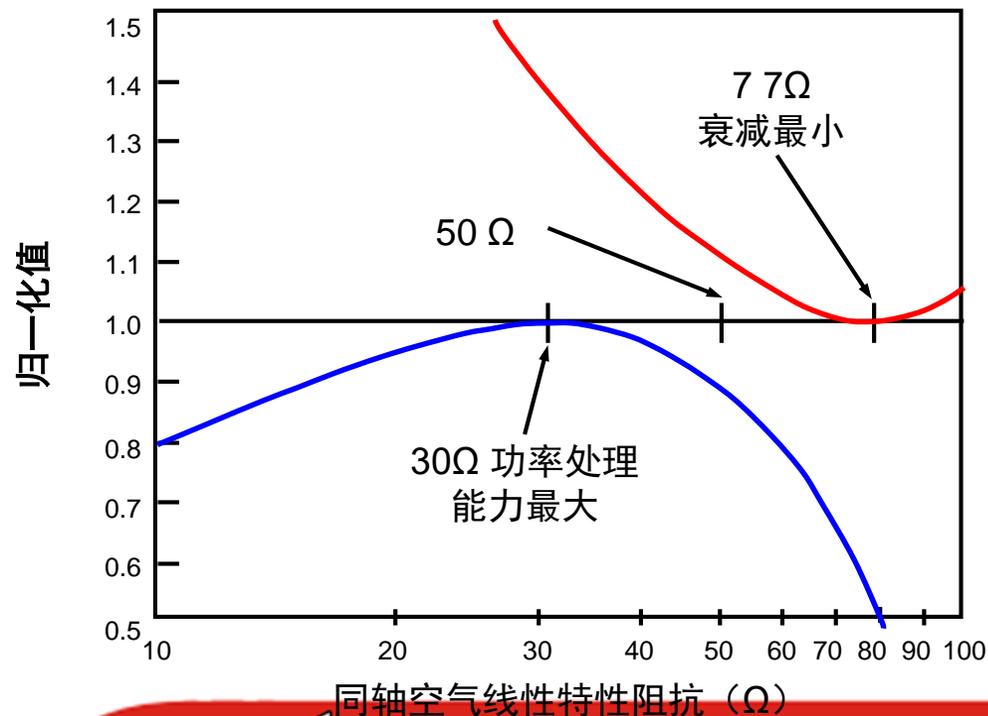
波导



共面波导

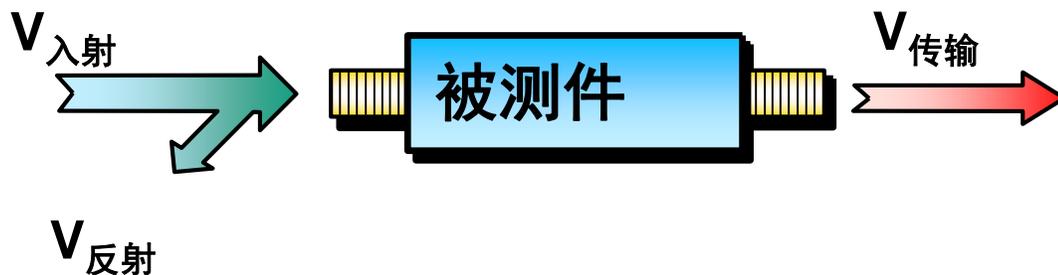


微带线



反射系数

$$\Gamma = \frac{V_{\text{反射}}}{V_{\text{入射}}} = \rho \angle \Phi = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

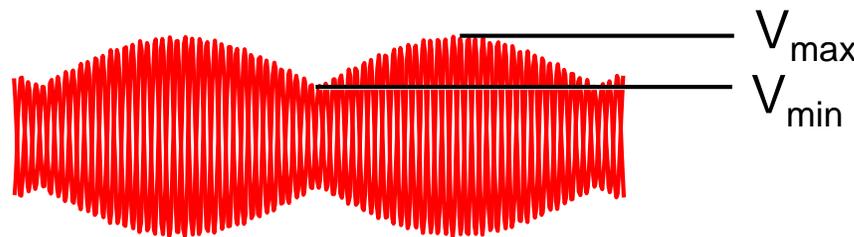


回波损耗

$$RL = -20 \lg(\rho), \quad \rho = |\Gamma|$$

电压驻波比

$$VSWR = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \left| \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \right|$$



无反射
($Z_L = Z_0$)

∞ dB

0

反射系数幅度: ρ

1

回波损耗: RL

0 dB

1

电压驻波比: VSWR

∞

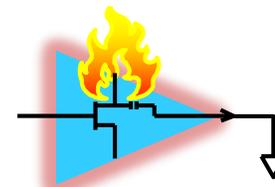
全反射
($Z_L = \text{开路器、短路器}$)



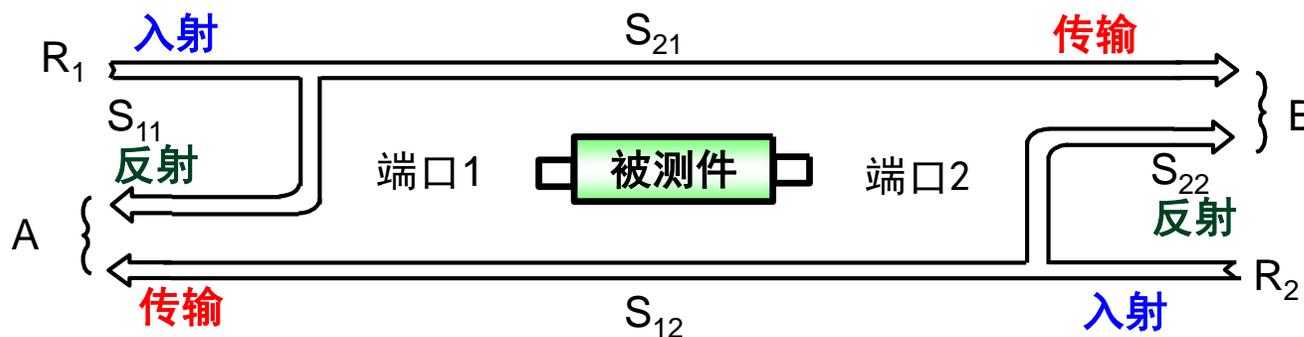
$$\text{传输系数: } T = \frac{V_{\text{传输}}}{V_{\text{入射}}} = \tau \angle \Phi$$

$$\text{插入损耗 (dB): } L = -20 \lg \left| \frac{V_{\text{传输}}}{V_{\text{入射}}} \right| = -20 \lg \tau$$

$$\text{增益 (dB): } G = 20 \lg \left| \frac{V_{\text{传输}}}{V_{\text{入射}}} \right| = 20 \lg \tau$$

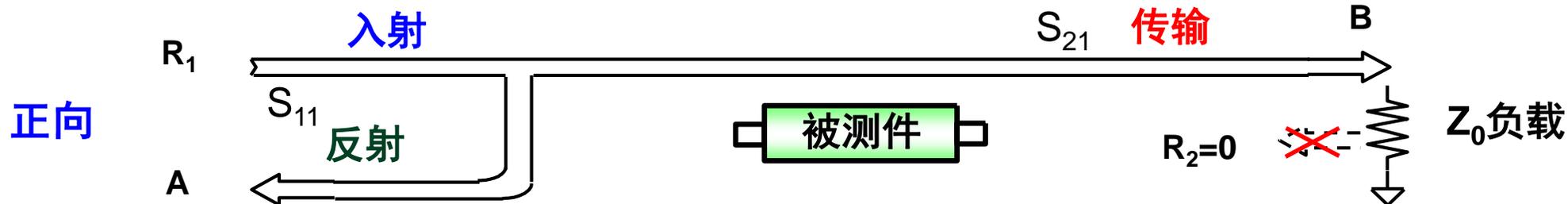


- 在高频更容易实现
 - 使用网络分析仪测量行波电压更容易
 - 不需要使用可能导致有源器件振荡或烧毁的开路和短路状态
- 易于得到增益、损耗和反射系数等常用的参数
- 可通过一定方式级联多个器件的S参数预测系统性能
- 由S参数可以计算得到 H、Y 或 Z 参数
- 在EDA工具中导入和使用S参数容易方便



$$A = S_{11}R_1 + S_{12}R_2$$

$$B = S_{21}R_1 + S_{22}R_2$$



$$A = S_{11}R_1 + S_{12}R_2$$

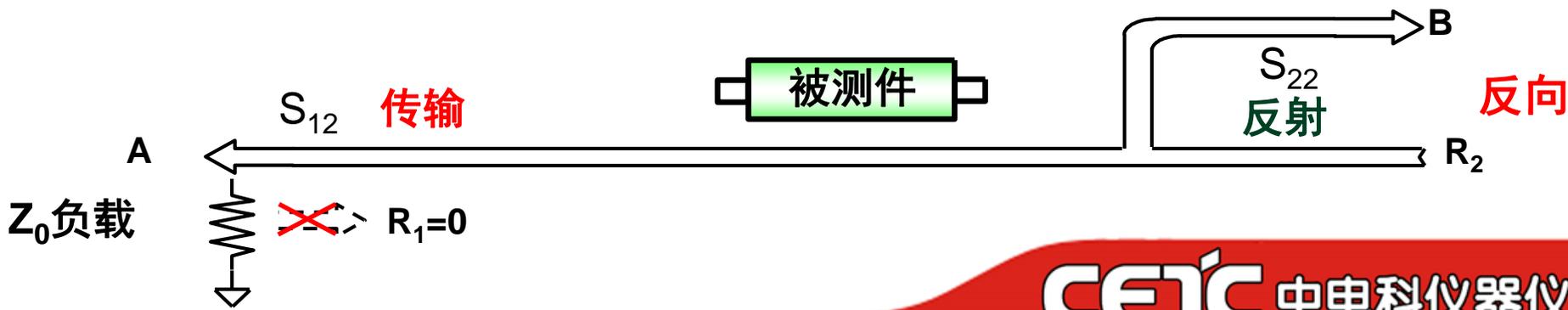
$$B = S_{21}R_1 + S_{22}R_2$$

$$S_{11} = \frac{\text{反射信号}}{\text{入射信号}} = \frac{A}{R_1} \Big|_{R_2=0}$$

$$S_{21} = \frac{\text{传输信号}}{\text{入射信号}} = \frac{B}{R_1} \Big|_{R_2=0}$$

$$S_{12} = \frac{\text{传输信号}}{\text{入射信号}} = \frac{A}{R_2} \Big|_{R_1=0}$$

$$S_{22} = \frac{\text{反射信号}}{\text{入射信号}} = \frac{B}{R_2} \Big|_{R_1=0}$$



一、基本概念

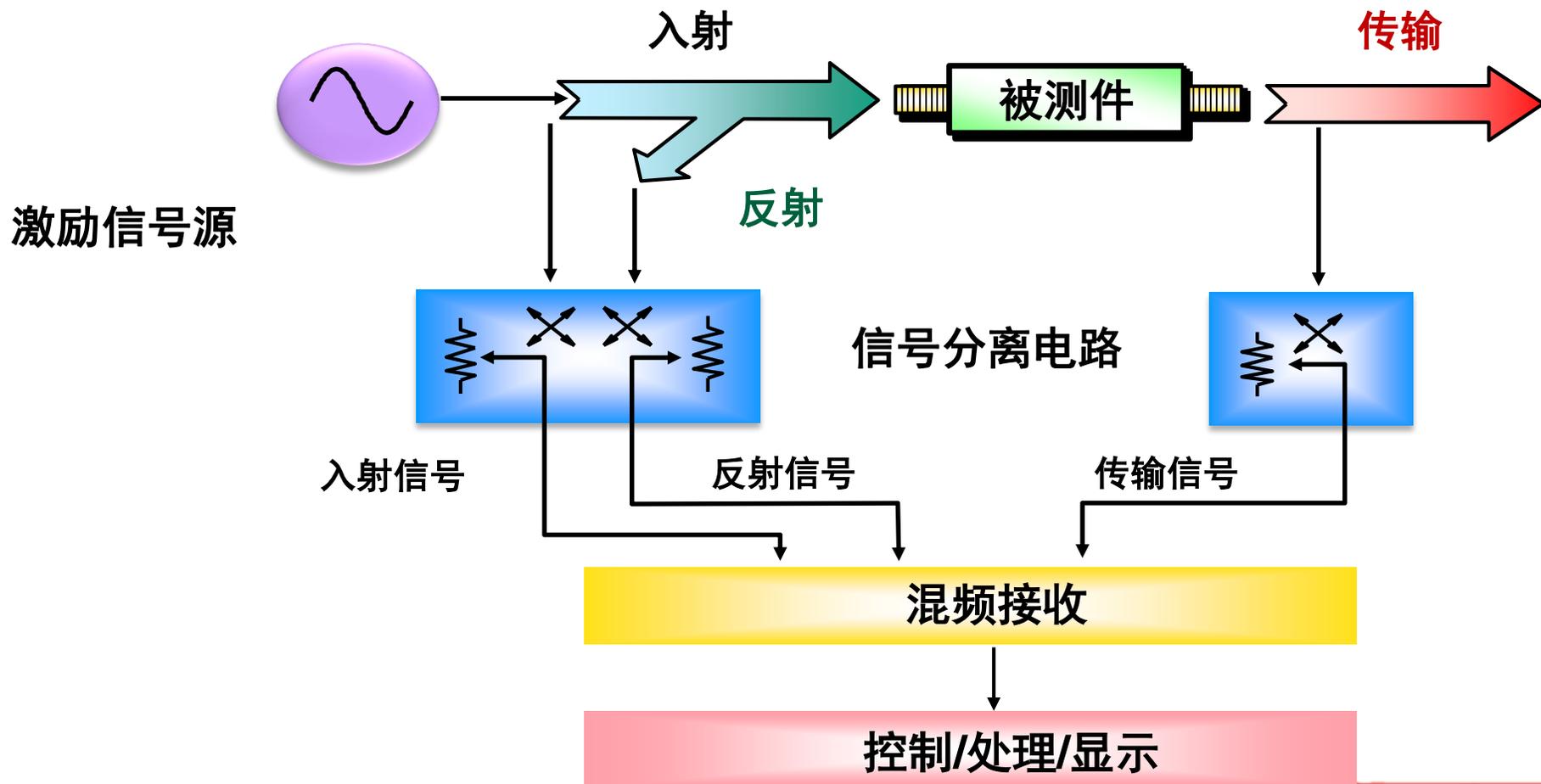


二、系统硬件组成

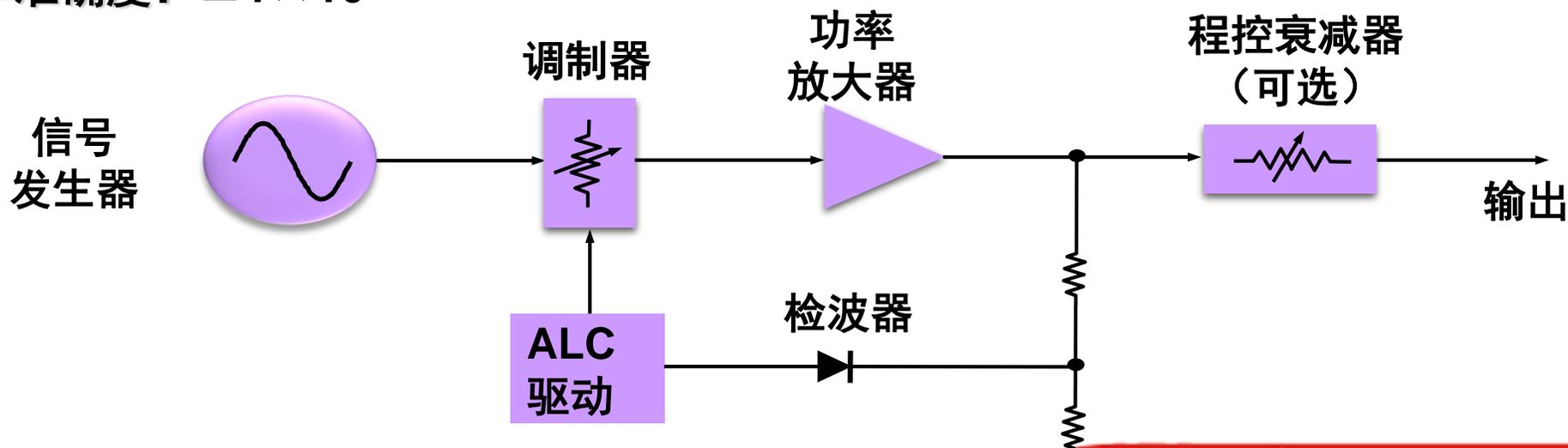
三、校准与误差修正

四、产品介绍及测量应用

五、如何提高测量精度

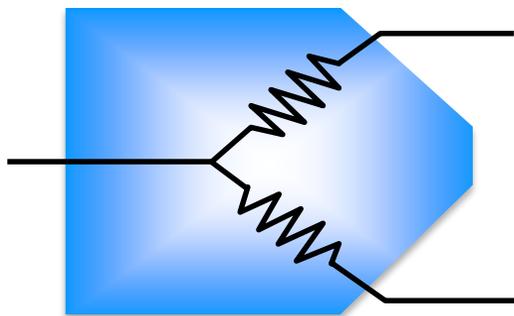


- 提供测量的激励信号
- 端口1输出谐波抑制: $-51\sim-61\text{dBc}$
- 最大输出功率: $0\sim+13\text{dBm}$
- 端口功率扫描范围: $23\sim38\text{dB}$
- 频率准确度: $\pm 1 \times 10^{-7}$

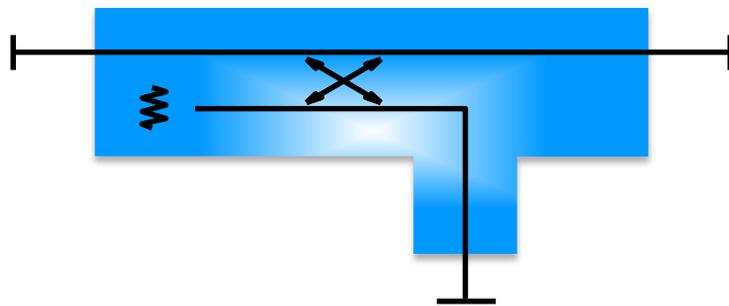


- 产生测量的参考信号
- 分离入射信号和反射信号
- 耦合器的方向性

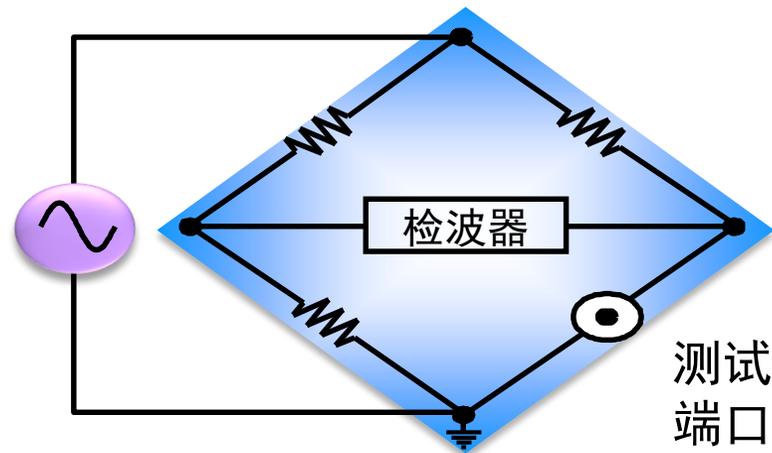
功分器

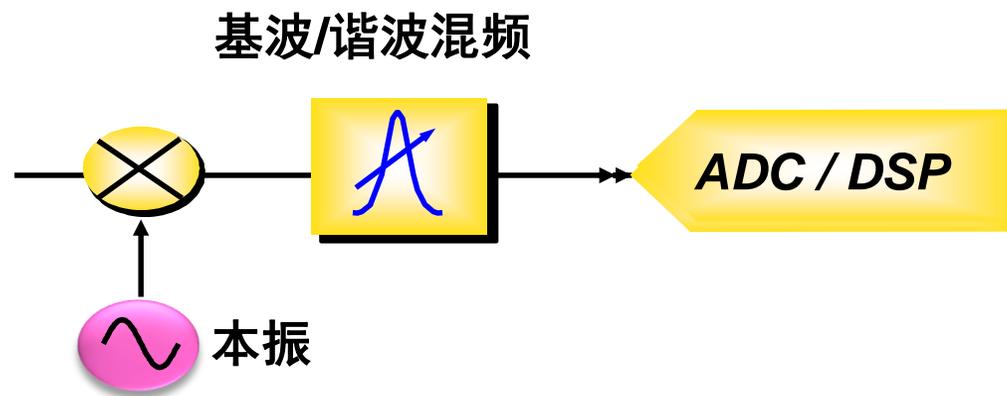
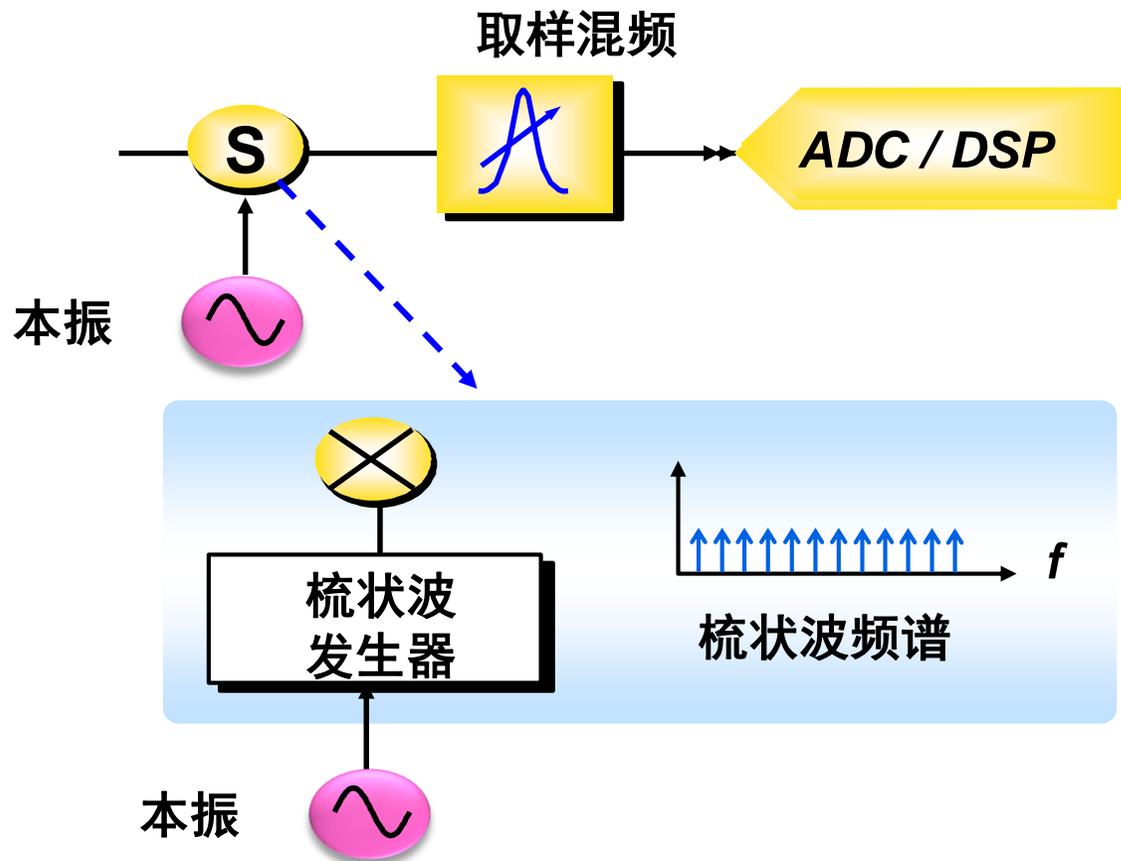


定向耦合器

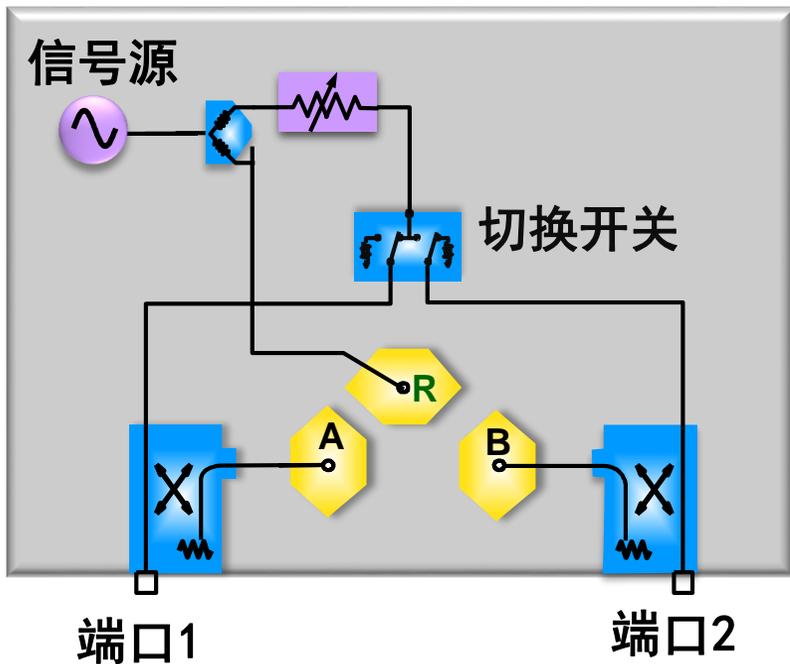


电桥



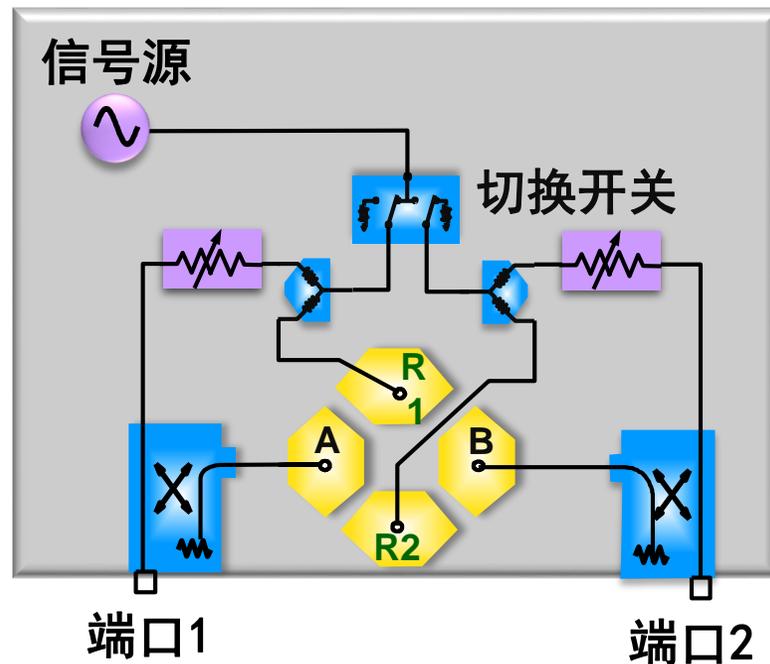


N+1接收结构



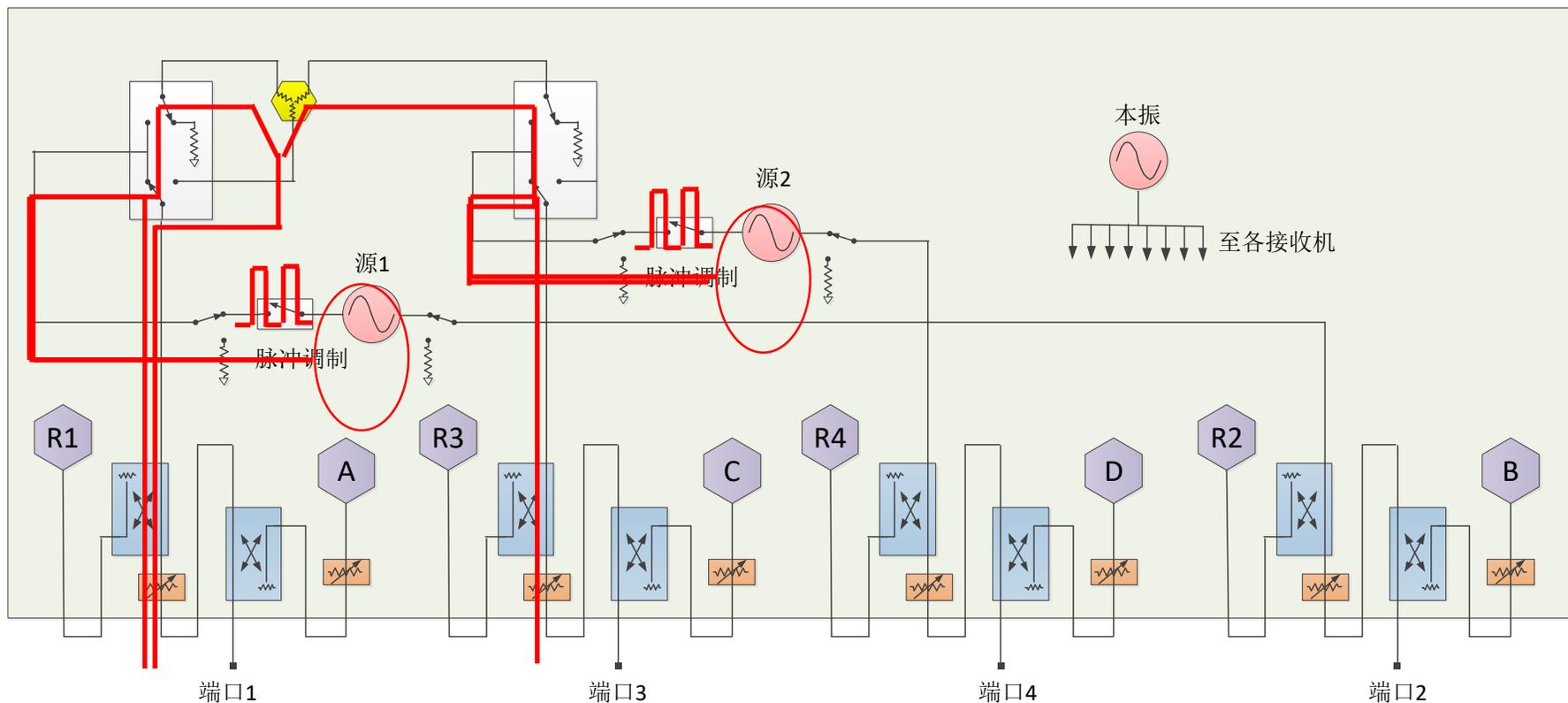
- 成本更低
- 准TRL、准 LRM校准

2N接收结构



- 成本高
- TRL、LRM校准
- 未知直通、快速SOLT校准





内置双激励源，四个测试端口，满足差分、混频器测试。

内置脉冲发生器、脉冲调制器，满足脉冲射频S参数测试。

内置合路器和开关，满足互调失真测试。

一、基本概念

二、系统硬件组成



三、校准与误差修正

四、产品介绍及测量应用

五、如何提高测量精度



系统误差

- 分析仪整机和测试组成附件性能指标非理想
- 假定不随时间变化（可预知的）



随机误差

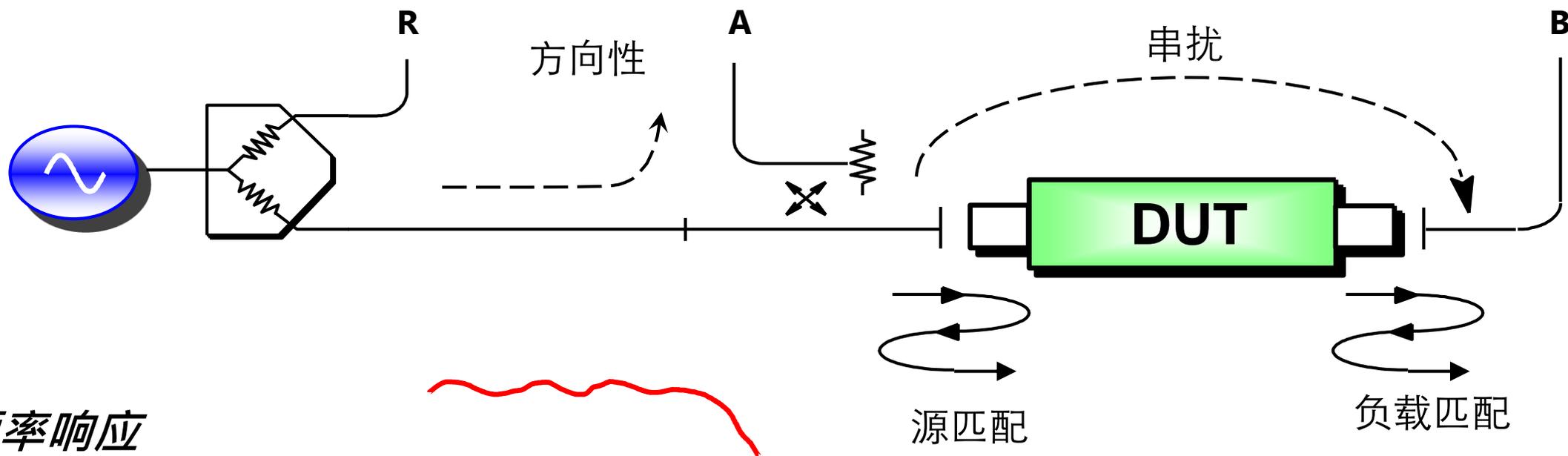
- 随时间随机变化（不可预知），可尽量减小
- 主要来源： 仪器噪声，开关和连接器的重复性



漂移误差

- 校准完成后系统性能产生变化
- 主要由环境温度改变导致

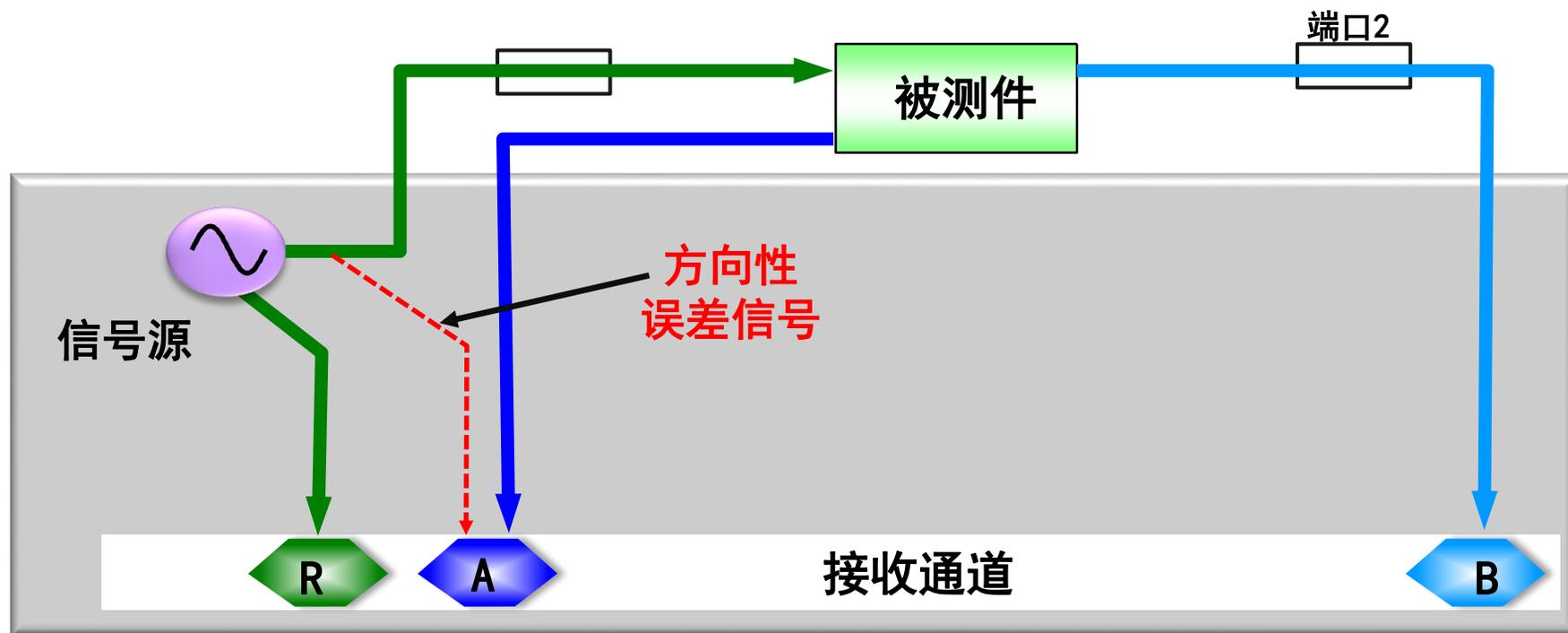




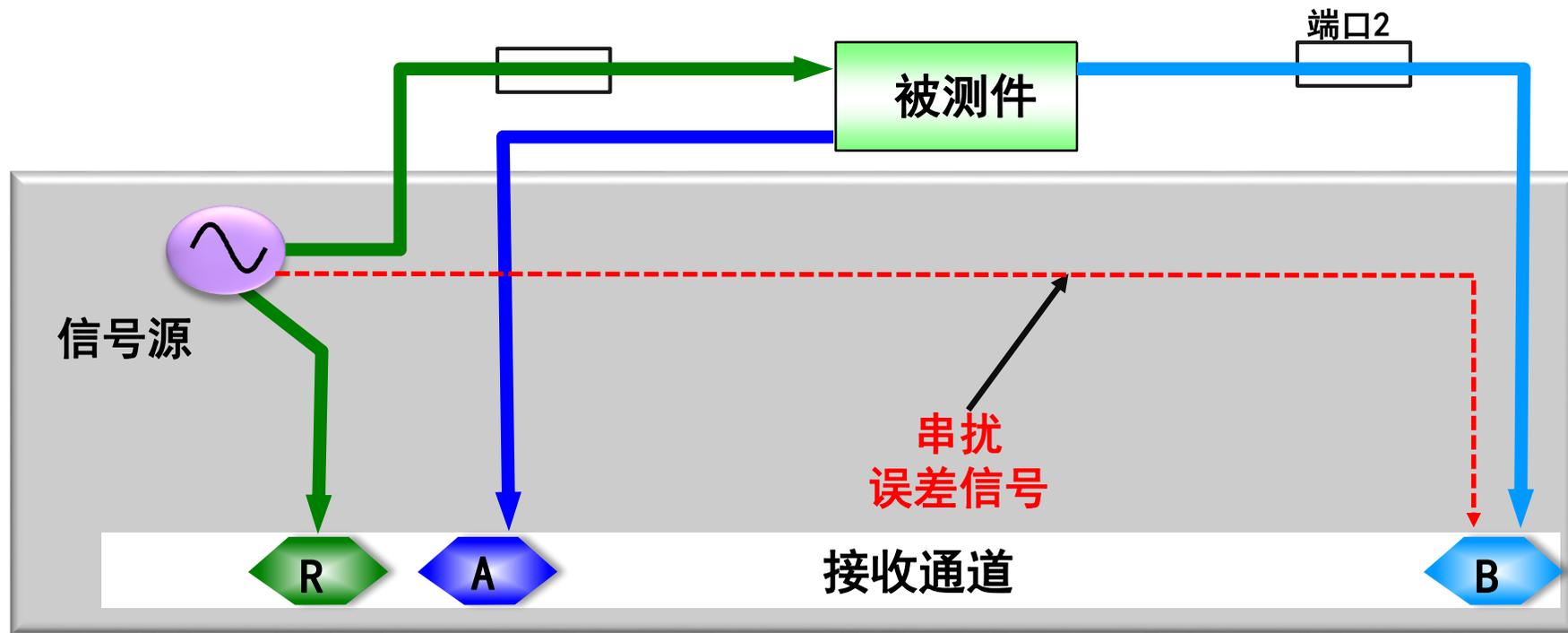
频率响应

- 反射跟踪 (A/R)
- 传输跟踪 (B/R)

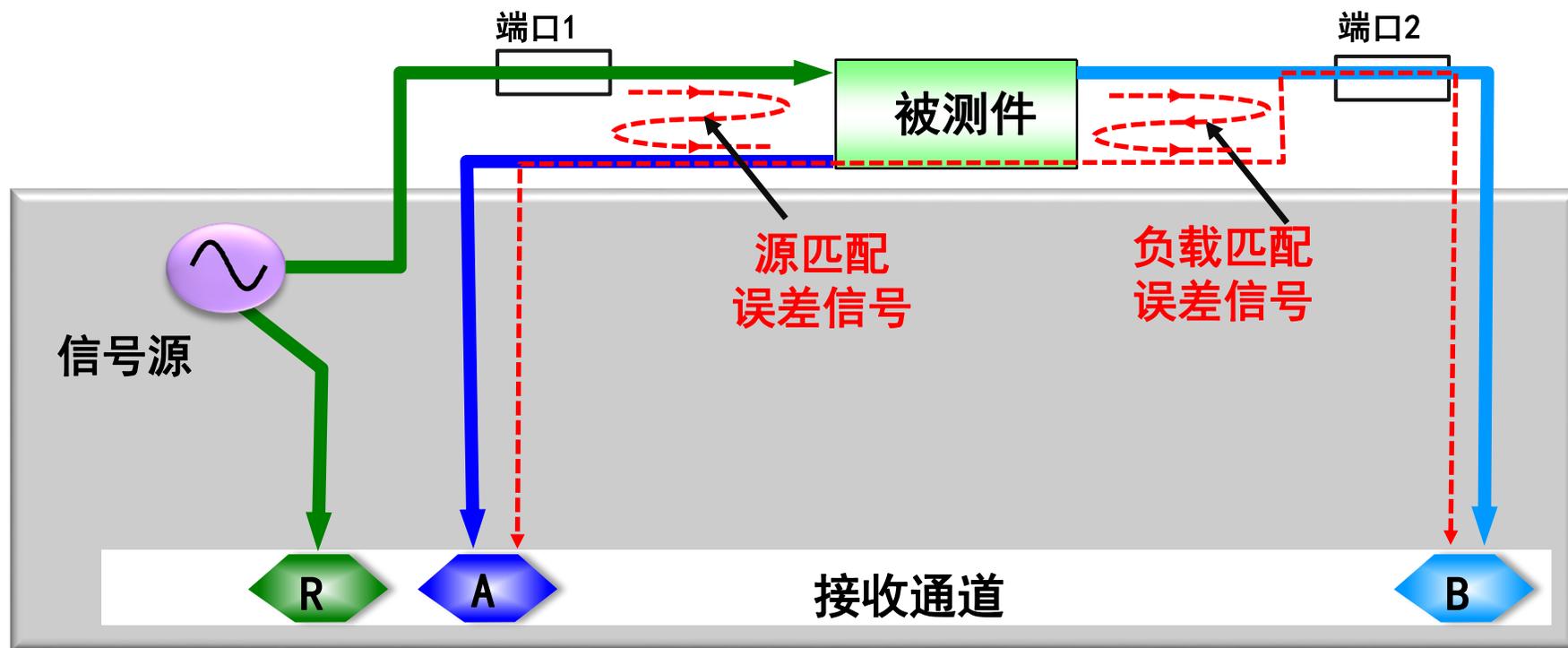
◆ 两端口矢量网络分析仪共有12个误差项



- 反射接收机接收的非被测件反射信号称为方向性误差信号
- 主要决定于定向耦合器或电桥的方向性指标
- 有效方向性：44~48dB



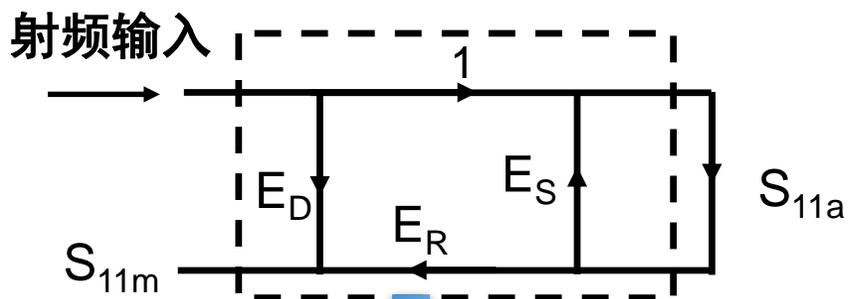
- 测试接收机接收到非被测件传输信号称为串扰误差信号
- 主要决定于接收机各通道的隔离指标



- 激励端口非理想匹配产生源失配误差
- 接收端口的非理想匹配产生负载匹配误差
- 同时影响反射和传输的测量精度
- 有效源匹配：30~40，有效负载匹配：44~48

校准方法与修正的误差

校准方法	适合的测量类型	修正的误差项	使用的校准标准
响应校准	精度要求不高的反射/传输测量	传输跟踪或反射跟踪1项	传输响应用零直通标准 反射响应用开路器或短路器
响应与隔离校准	精度要求不高的大动态范围传输测量	传输跟踪、串扰2项	零直通标准、2个负载共3种
单端口校准	高精度单端口、非测量端口匹配端接或到测量端口良好隔离的双端口器件反射测量	方向性、反射跟踪、源匹配3项	开路器、短路器、负载共3种
增强响应校准	单向的反射和传输测量	方向性、反射跟踪、源匹配、传输跟踪4项	单端口的开路器、短路器、负载和零直通标准共4种
全二端口校准	插入式双端口器件高精度的反射和传输测量	前向和反向方向性、反射跟踪、源匹配、传输跟踪、负载匹配和串扰共12项	双端口的开路器、短路器、负载和零直通标准7种
未知直通校准	非插入式双端口器件高精度的反射和传输测量	前向和反向方向性、反射跟踪、源匹配、传输跟踪、负载匹配共10项	双端口的开路器、短路器、负载和零直通标准7种
快速SOLT校准	插入式双端口器件高精度的反射和传输测量	前向和反向方向性、反射跟踪、源匹配、传输跟踪、负载匹配共10项	单端口的开路器、短路器、负载和零直通标准共4种



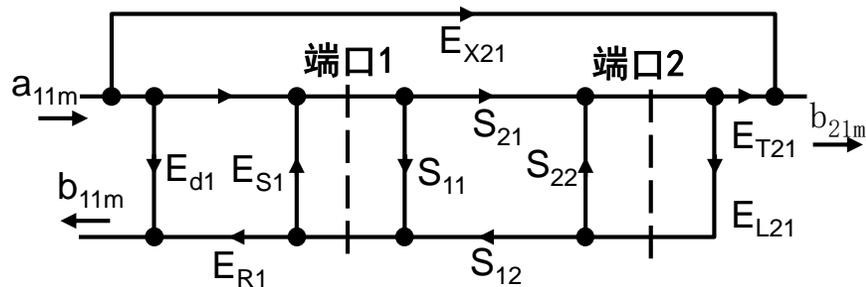
E_D : 方向性误差
 E_R : 反射跟踪误差
 E_S : 源匹配误差
 S_{11m} : 测量参数
 S_{11} : 被测件真实值

$$S_{11m} = E_D + E_R \frac{S_{11}}{1 - E_S S_{11}}$$

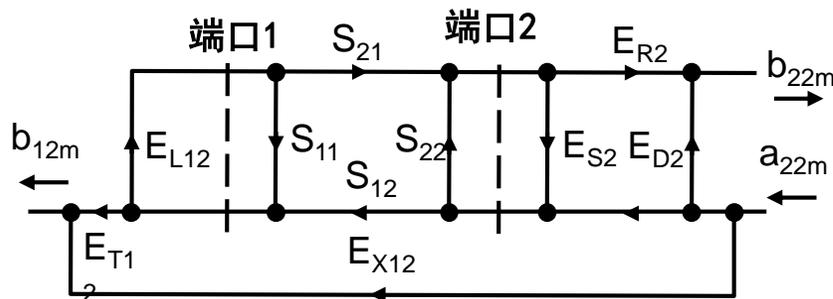
$$S_{11} = \frac{S_{11m} - E_D}{S_{11m} E_S - E_D E_S + E_R}$$

- ◆ 测量3个已知标准产生3个测量等式，组成方程组求解出误差项；
- ◆ 测量时使用误差修正公式得到被测件真实值。

前向误差模型

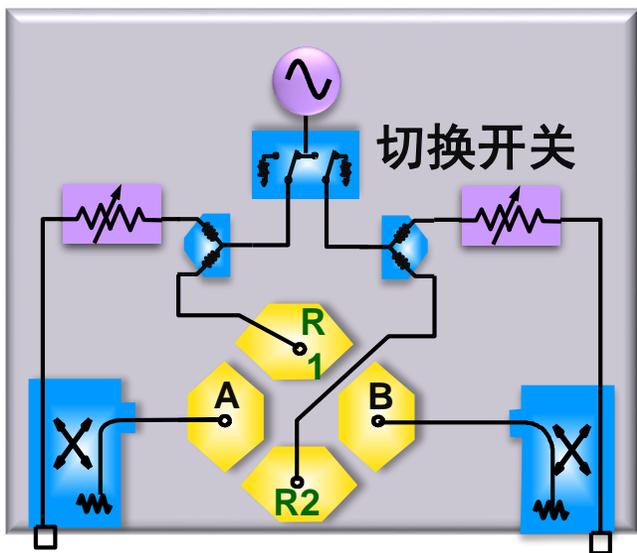


反向误差模型

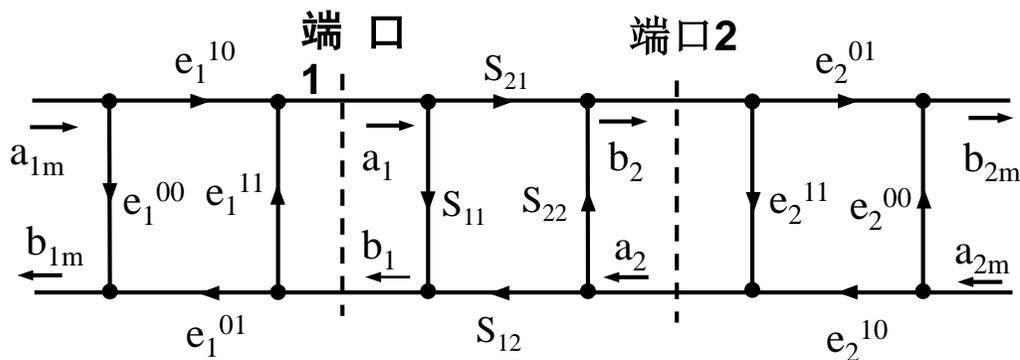


E_{D1} : 前向方向性误差
 E_{S1} : 前向源匹配误差
 E_{R1} : 前向反射跟踪误差
 E_{T21} : 前向传输跟踪误差
 E_{L21} : 前向负载匹配误差
 E_{X21} : 前向串扰误差

E_{D2} : 反向方向性误差
 E_{S2} : 反向源匹配误差
 E_{R2} : 反向反射跟踪误差
 E_{T12} : 反向传输跟踪误差
 E_{L12} : 反向负载匹配误差
 E_{X12} : 反向串扰误差



TRL校准误差模型



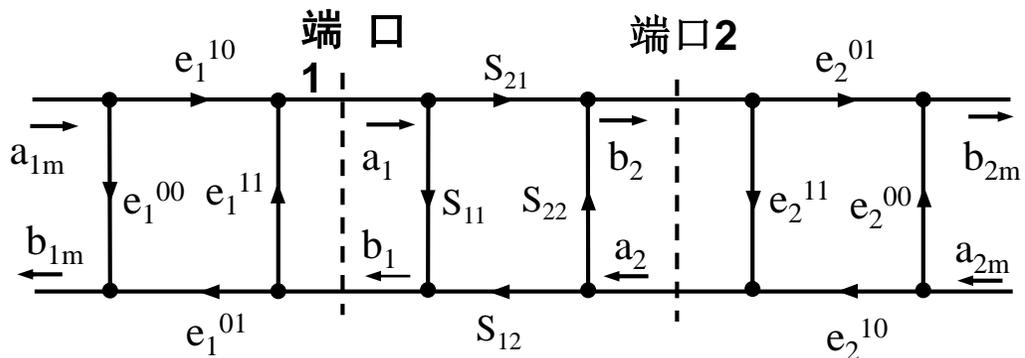
- 在非同轴环境（波导、夹具、探针测量）广泛使用
- 校准件更容易制造和表征定义
- 其他变形: Line-Reflect-Match (LRM) Thru-Reflect-Match (TRM) 等
- 适用于2N接收结构的矢量网络分析仪

传输线标准

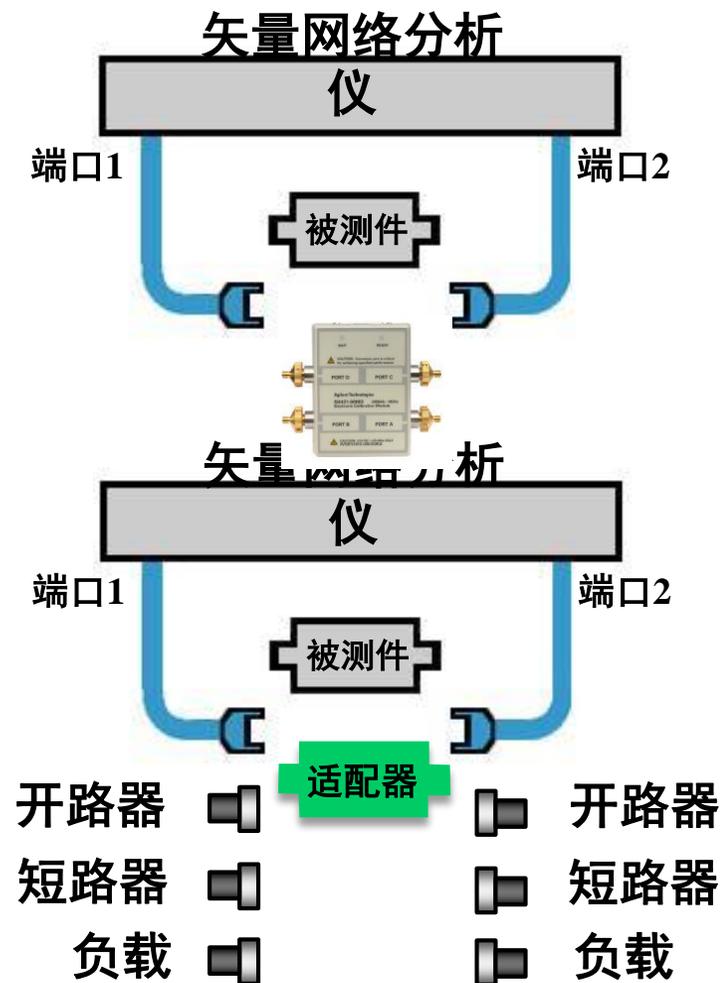
直通标准

反射标准

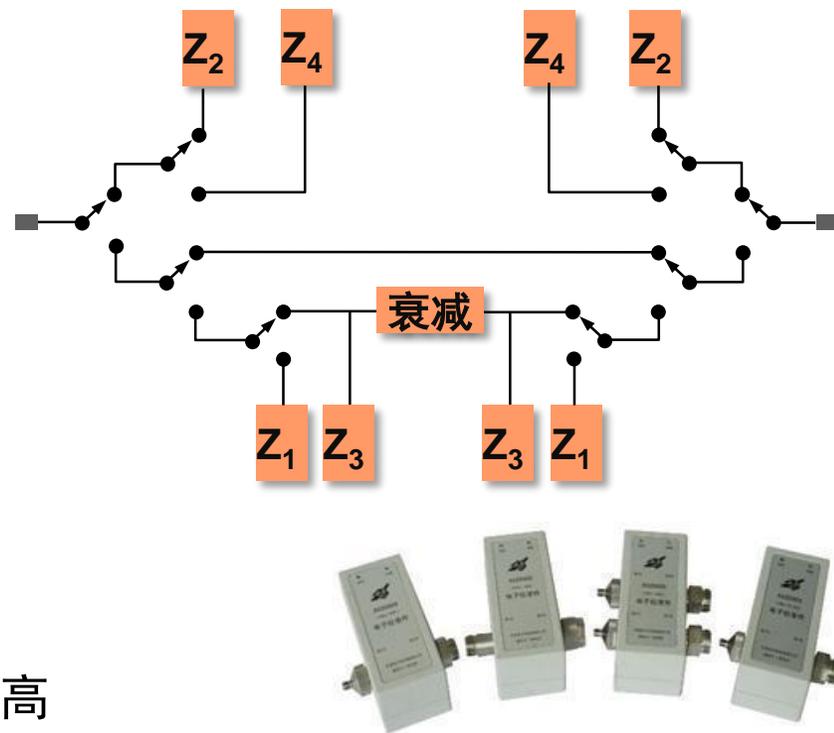
误差模型



- 适用于2N接收结构矢量网络分析仪
- 使用与TRL校准相同的8项误差修正模型
- 实际需要求解的误差项为7项
- 要求作为未知直通的适配器是互异的
- 使用精密的适配器可减小校准误差
- 自动测量出的未知直通的电延迟可能不正确
- 电子校准件未知直通一般比已知直通精度要高



- 内部包括通过开关切换的电子标准
- 简化校准过程，减少连接误差
- 校准精度在TRL和SOLT之间
- 直通标准精度低于理想的零直通标准
 - 电子校准件直通标准：校准方便，不是十分精确
 - 电子校准件未知直通标准：校准方便，非常精确
 - 零直通校准：适用于插入式测量，校准稍复杂，精确最高



一、基本概念

二、系统硬件组成

三、校准与误差修正

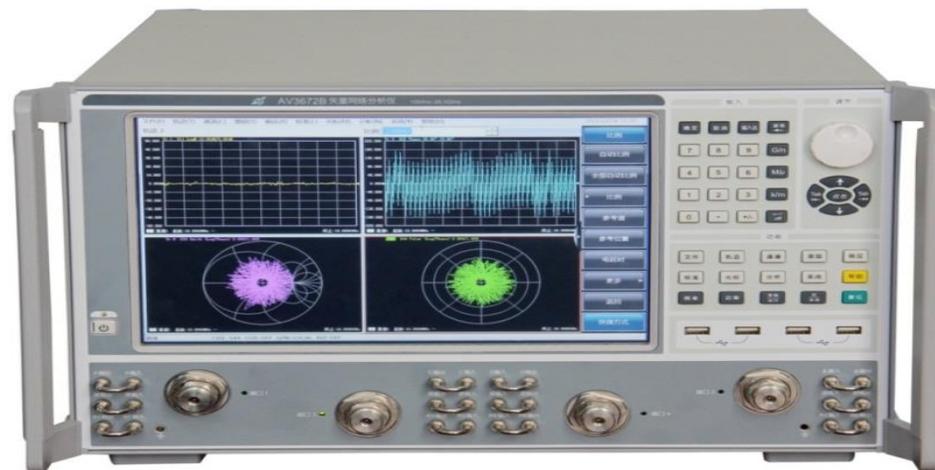


四、产品介绍及测量应用

五、如何提高测量精度

主要特点:

- 3672A/B/C/D/E频段覆盖
10MHz~13.5/26.5/43.5/50/67GHz
- 3672A-S/B-S/C-S频段覆盖
10MHz~13.5/26.5/43.5GHz
- 率先采用12.1英寸触摸显示屏
- 两端口、四端口至十六端口配置
- 中/英文菜单，优化的面板操作
- 优化的关键性能指标、扫描速度、稳定性和可靠性
- 脉冲S参数、放大器测试、混频器测试等线性/非线性测试直接测量类选件丰富
- 平台化建设，支持用户二次开发与应用



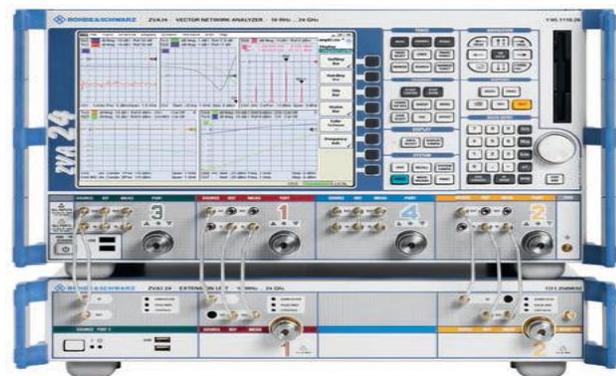
(一) 高度集成的10MHz~67GHz四端口矢量网

集成：



三路独立信号源
八路接收通道
脉冲发生、调制器
丰富的非线性选件
软/硬件接口：

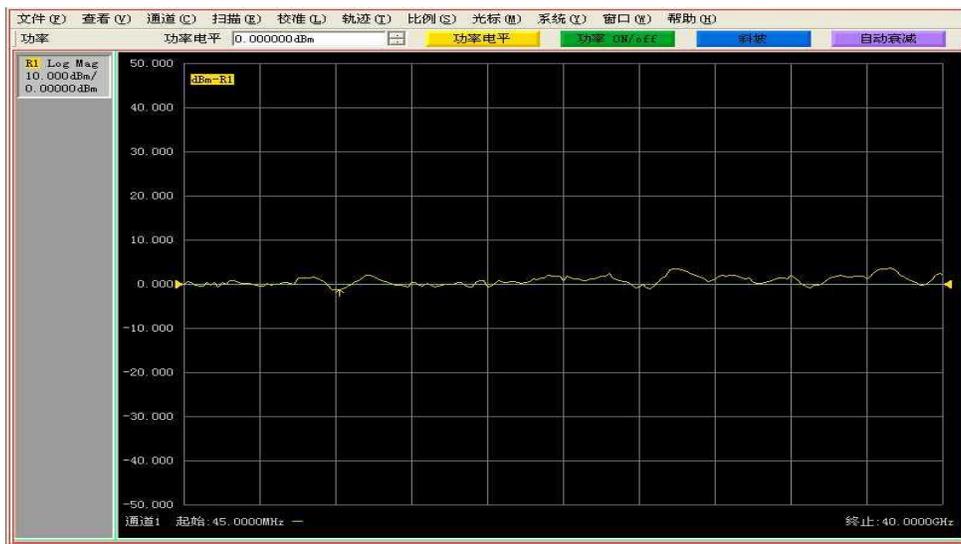
开放的接收机/源跳线
独有的宏与一键录制
率先推出智能远程控制
完善的USB、GPIB、LAN程控
11种外置接口



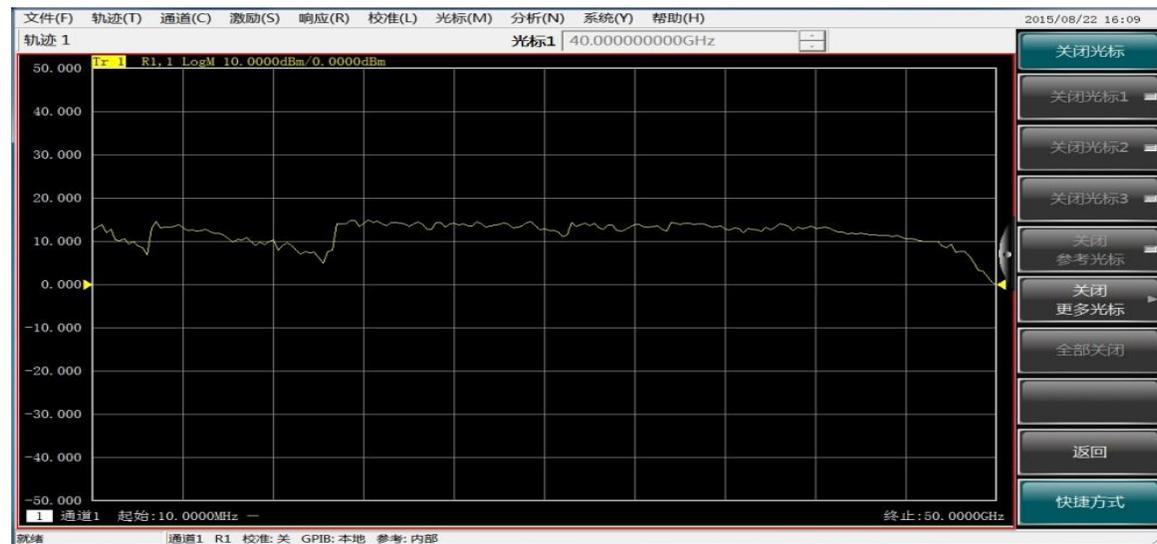
快速、便捷、易用！

(二) 大功率高纯信号输出

频段输出功率指标由-7dBm提高到+7dBm，典型值达到+15dBm，大大提高了仪器的适用范围。



上一代

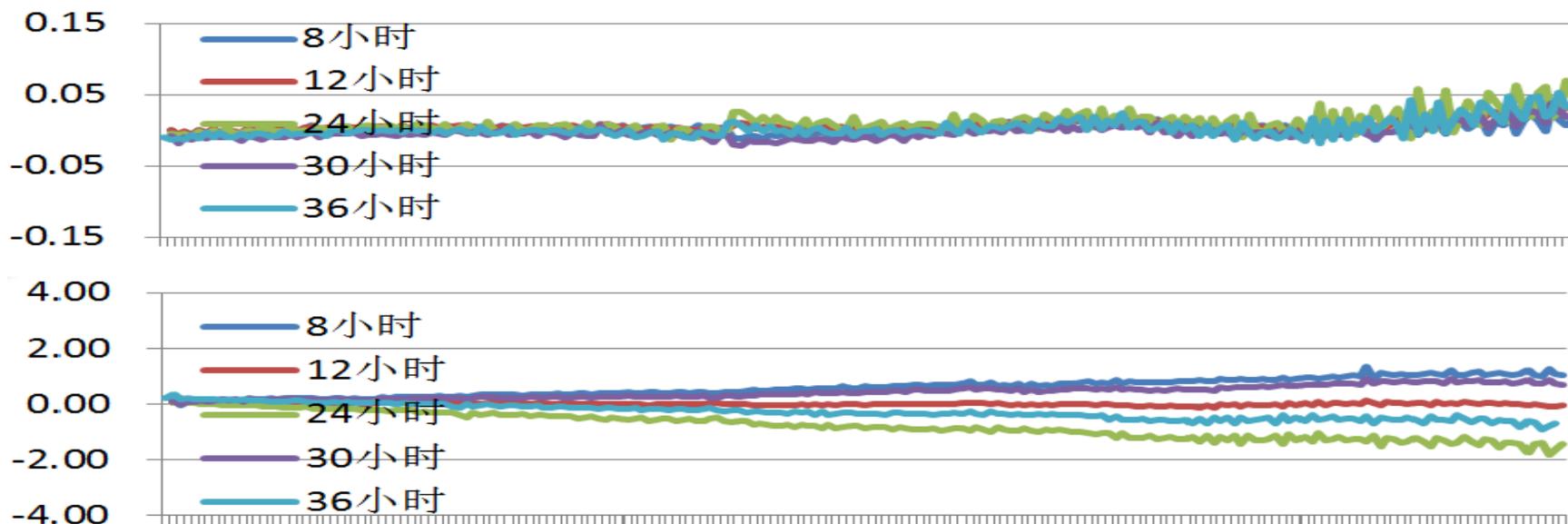


AV3672

输出功率大大提高!

(三) 自研的宽带高稳定性模块与整机稳定性改善技术

工作2个小时内，综合平均幅度漂移为0.052dB/h，综合平均相位漂移为0.8258°/h。
工作3个小时后，综合平均幅度漂移为0.007dB/h，综合平均相位漂移为0.2661°/h。



新研混频组件

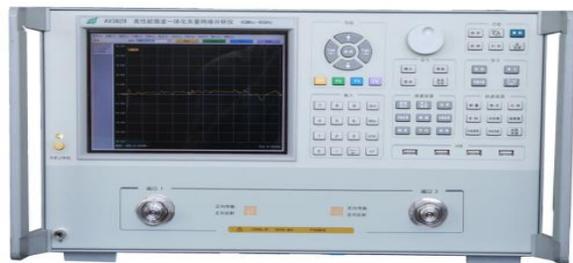
36小时内归一化S11幅度/相位变化曲线

混频器等部件稳定性的改善,整机综合稳定性大大改善!

(四) 改善的扫描速度

扫描点数201点，中频带宽1kHz。扫一屏时间：

3629D



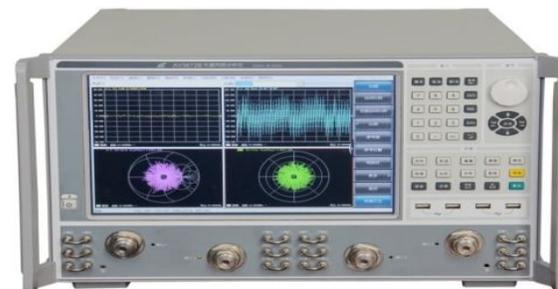
约2S

3672B第一批



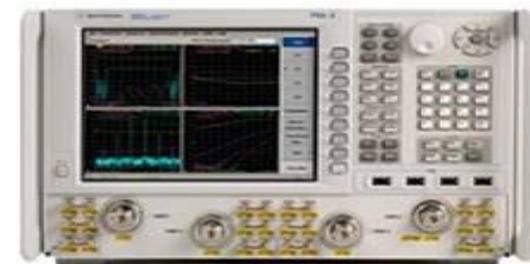
875ms

3672B



292ms

N5242A



298ms

43.5GHz也由3.1S提高到0.34S，和安捷伦0.43S相当！

(五) 大幅提升的动态范围

提高激励源输出功率

提高接收机灵敏度

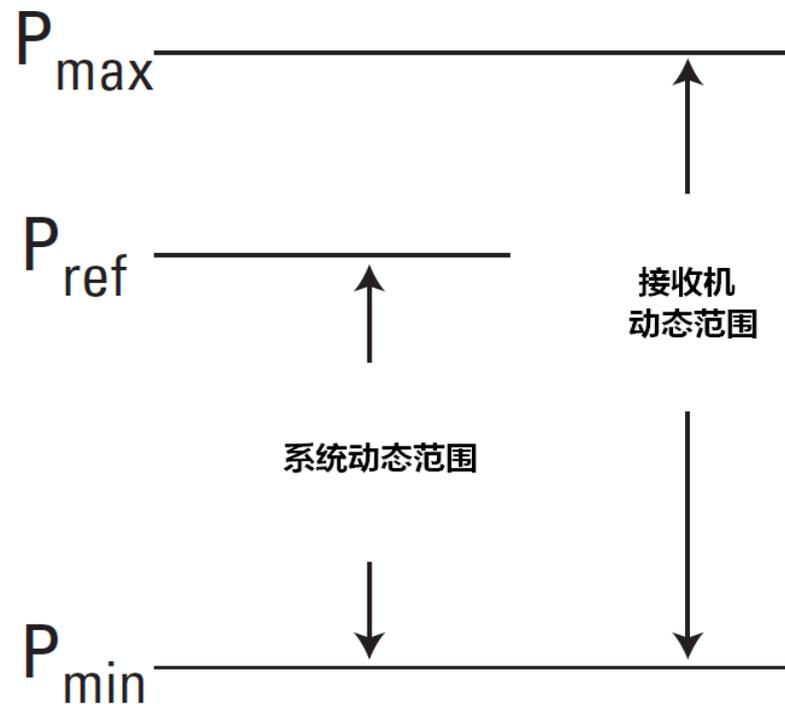
减小通道间串扰

激励源
输出通路
串扰

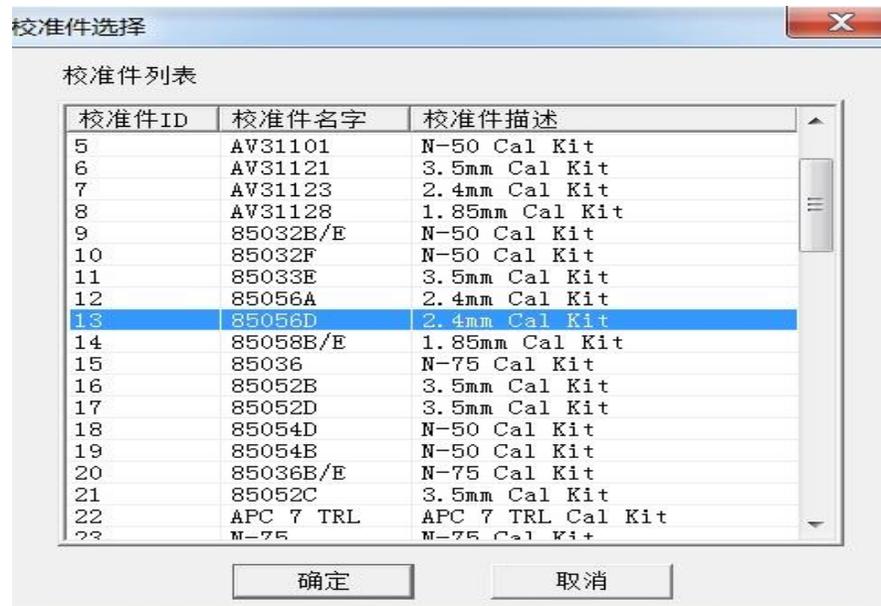
混频接
收通路
串扰

中频调
理通路
串扰

数字信
号处理
通路串
扰



(六) 兼容多种校准件和校准方式



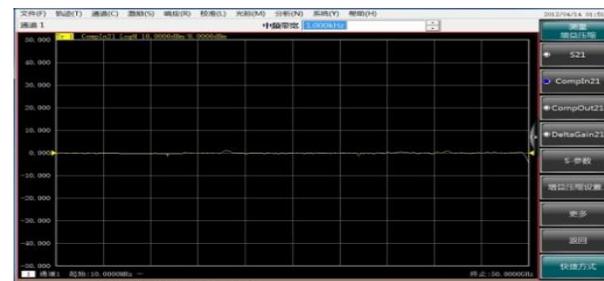
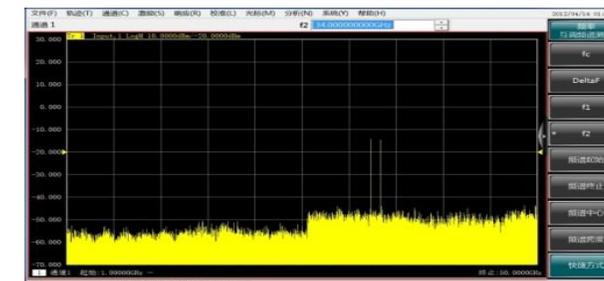
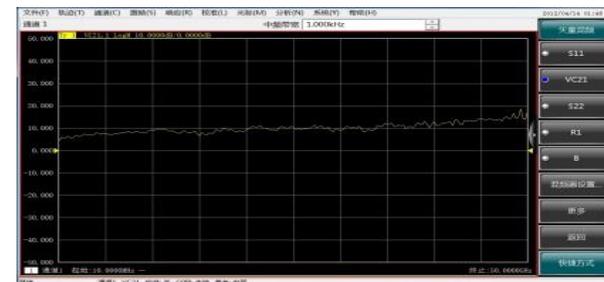
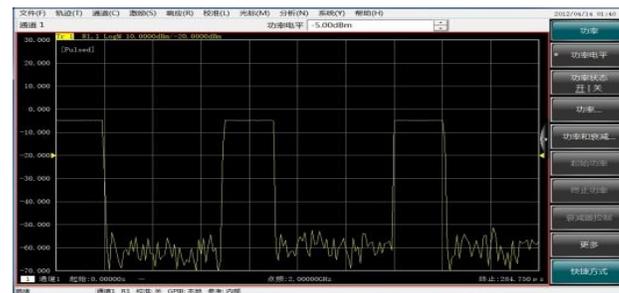
支持的校准方式：直通、单端口、SOLT、TRL等

支持的校准件类型：同轴、TRL、波导、电子

支持国内外机械校准件，进口仪器支持自研电子校准件！

(七) 丰富的测试与扩展功能

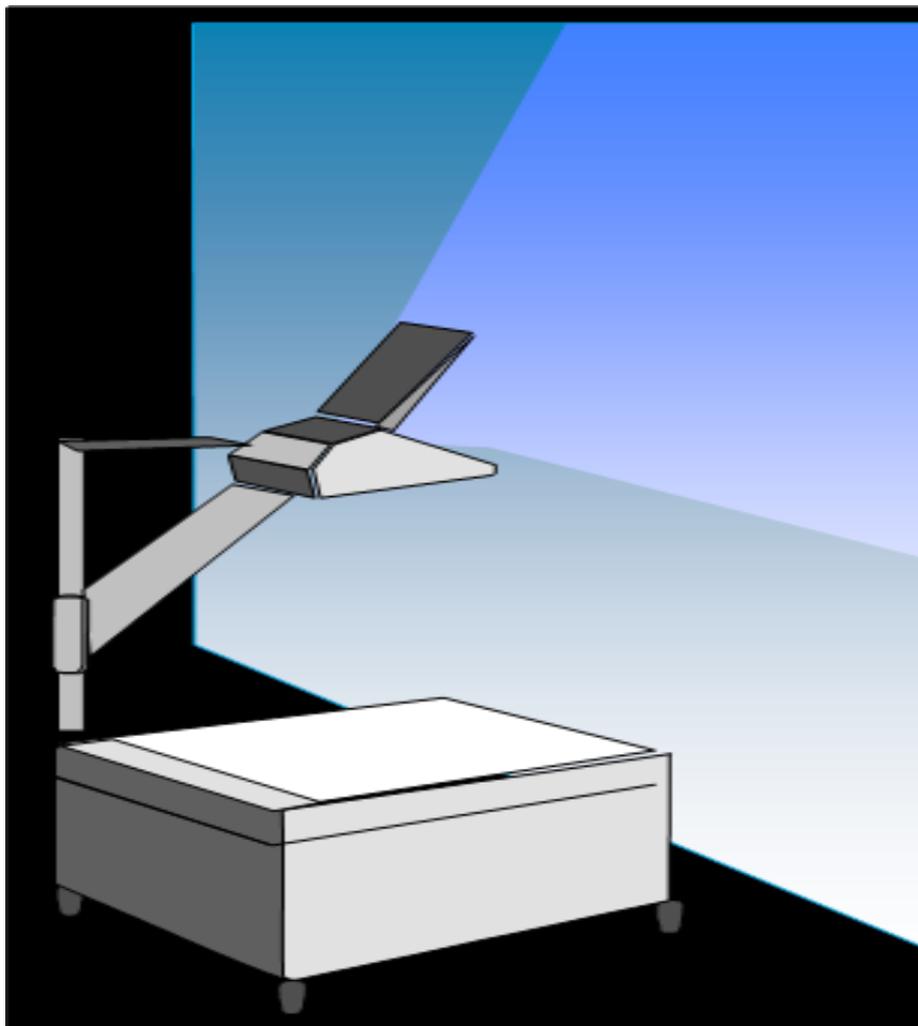
- 时域测试
 - 低通冲击、低通阶跃、带通
- 一体化脉冲S参数测试
 - 宽带测试、窄带测试、包络域测试
- 增益压缩二维扫描测试
 - CompIn21、CompOut21、DeltaGain21
- 互调失真测试
 - fc扫描、 Δf 扫描、互调频谱
- 混频器测试
 - 标量测试、矢量测试、嵌入式本振测试



(八) 前面板界面改进



进行了工业面板设计改进，更加大气、美观！

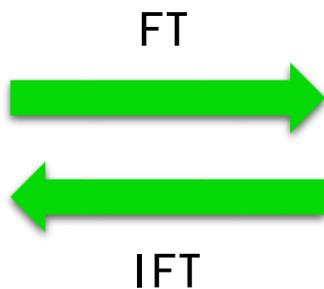
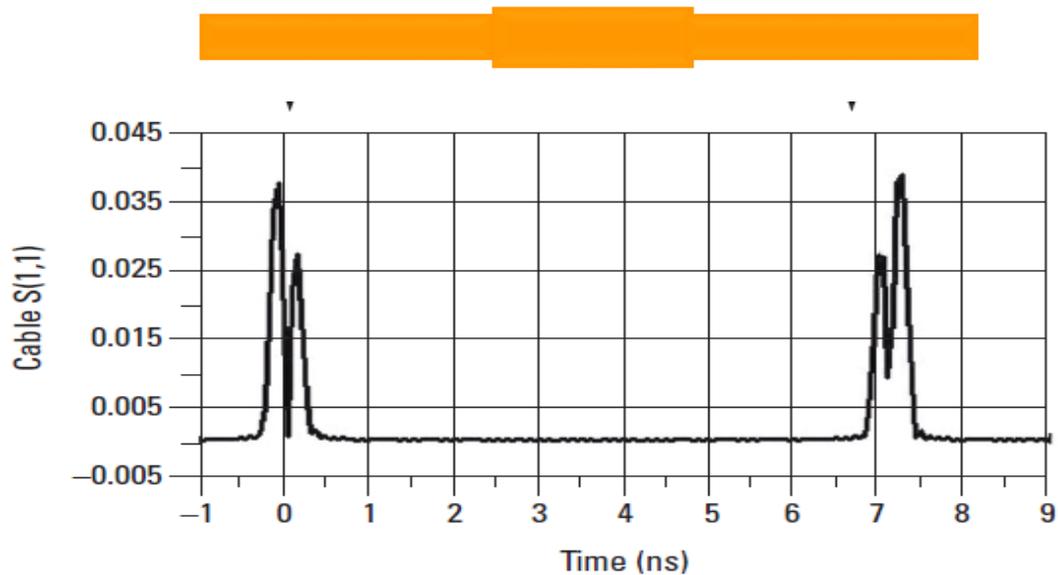


一、产品介绍

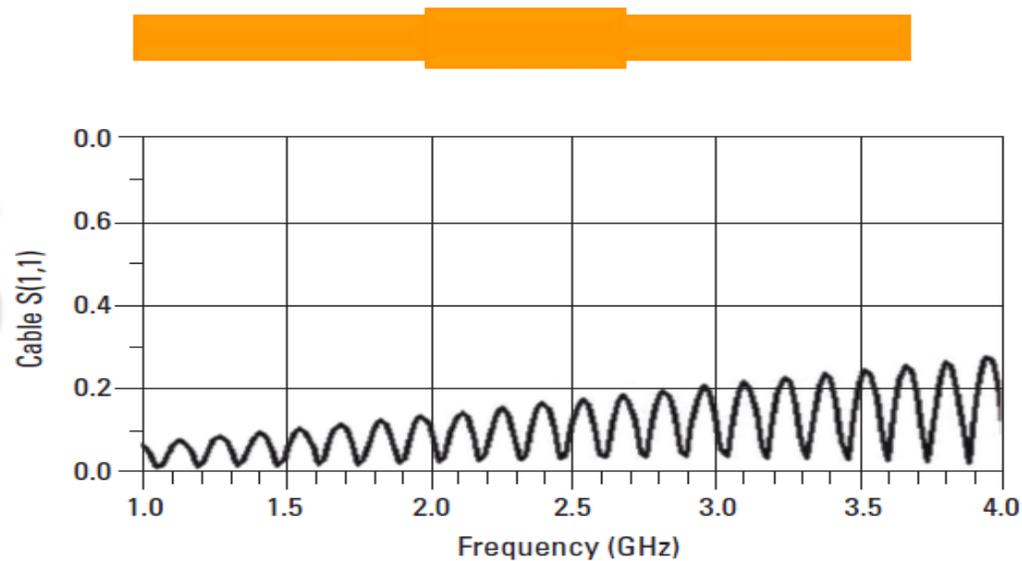
二、测量应用

- 1、时域测试
- 2、混频器/变频器测试
- 3、互调失真测试
- 4、放大器增益压缩测试
- 5、一体化脉冲测试解决方案
- 6、THz器部件测试解决方案
- 7、天线测试解决方案
- 8、材料测试解决方案

时域



频域



混频器/变频器的广泛应用及技术参数

混频器测量参数：

变频损耗/增益

变频压缩

群时延

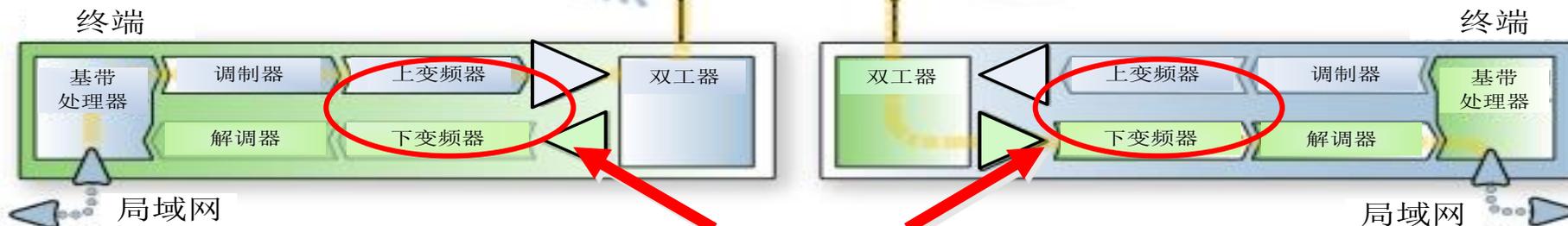
回波损耗/驻波比

隔离度

嵌入式本振变频器



卫星应用系统实例



普通变频器件



混频器最新测试方法—混频器标量测量

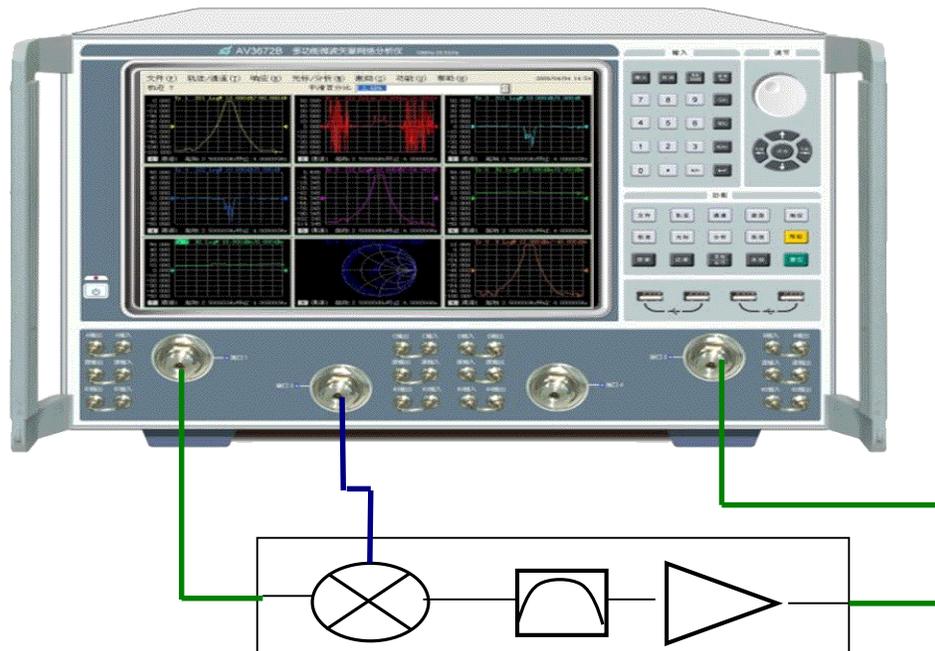
测量参数:

正向变频损耗 (SC_{21})

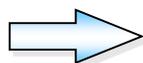
反向变频损耗 (SC_{12})

输入回波损耗 (S_{11})

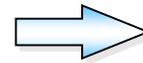
输出回波损耗 (S_{22})



在被测件的输入频率范围内进行双端口校准

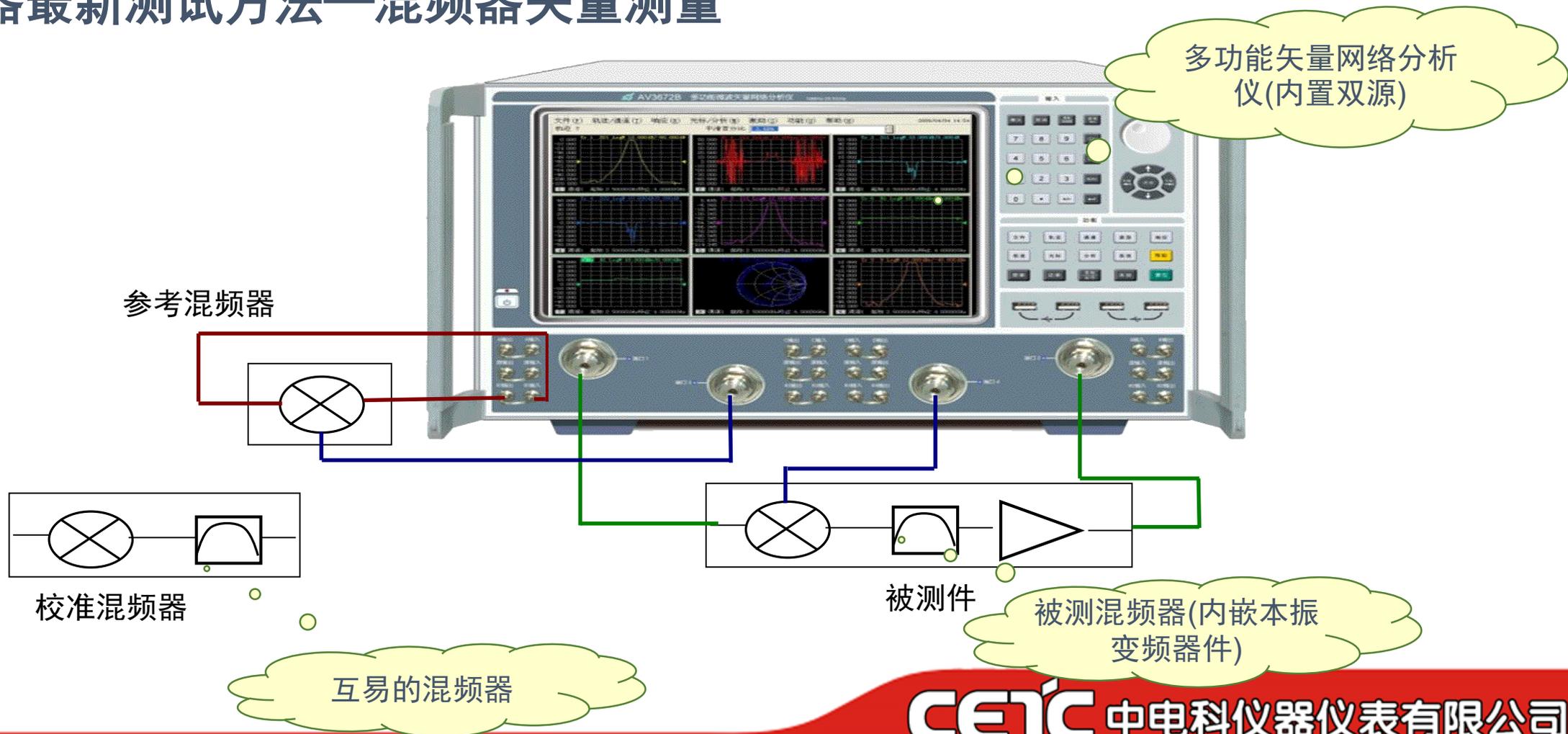


在被测件的输出频率范围内进行双端口校准

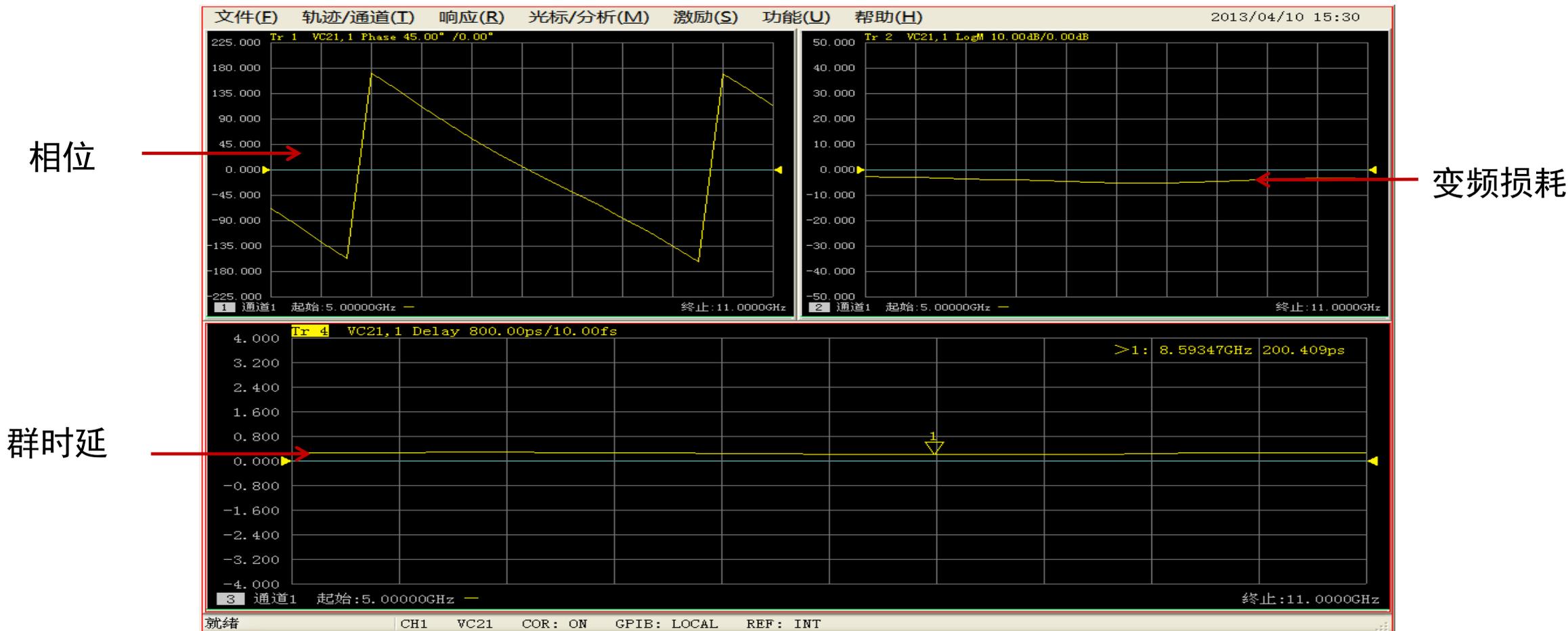


在被测件的输入和输出频率范围内进行匹配修正的功率计校准

混频器最新测试方法—混频器矢量测量



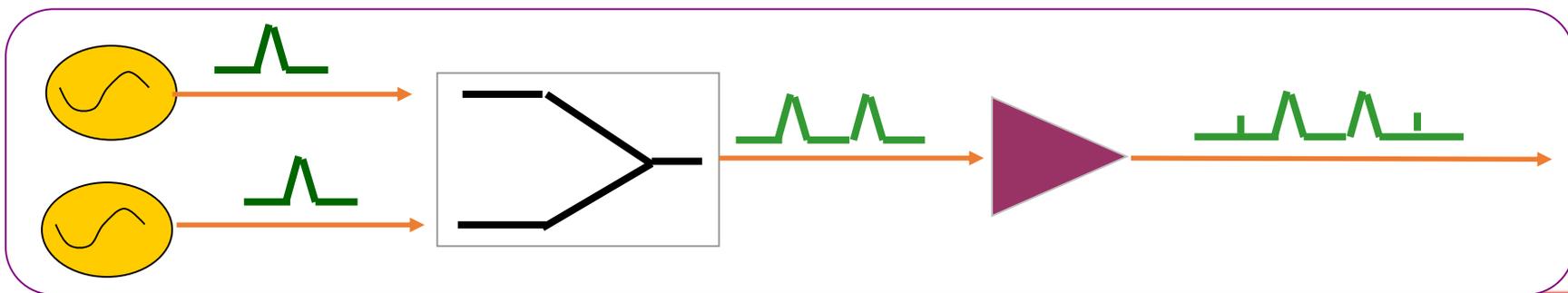
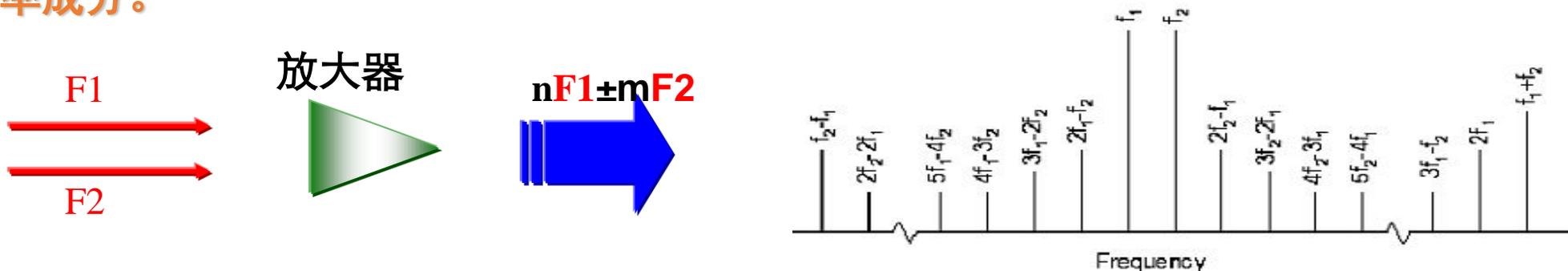
混频器测试曲线



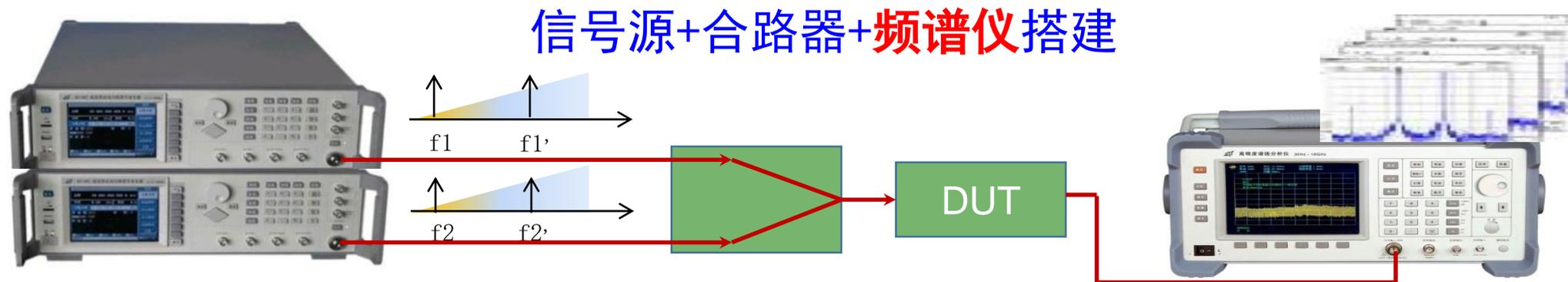
互调失真的产生

- 有源互调失真:放大器、混频器等

当两个或者多个信号加到放大器等有源器件上后，因有源器件的非线性而产生额外的频率成分。

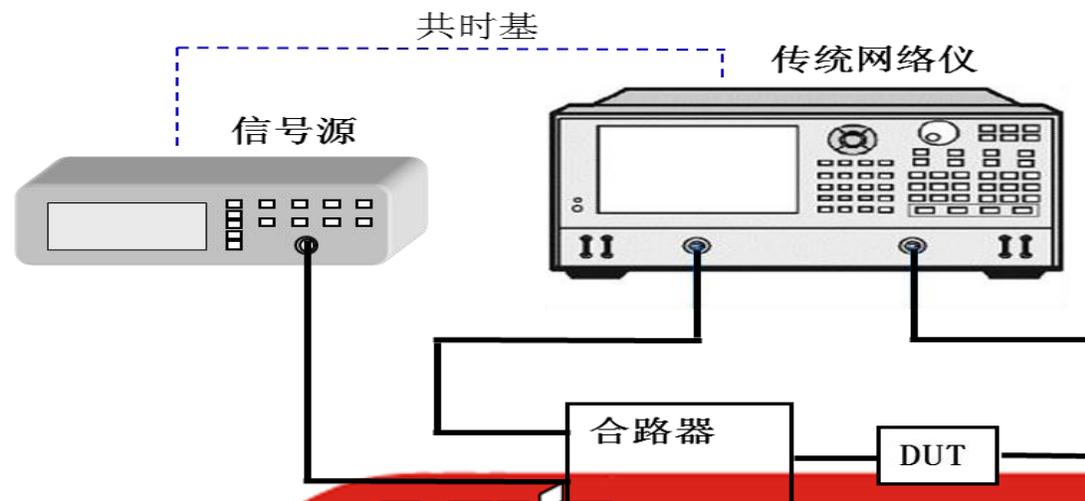


互调失真传统测量技术

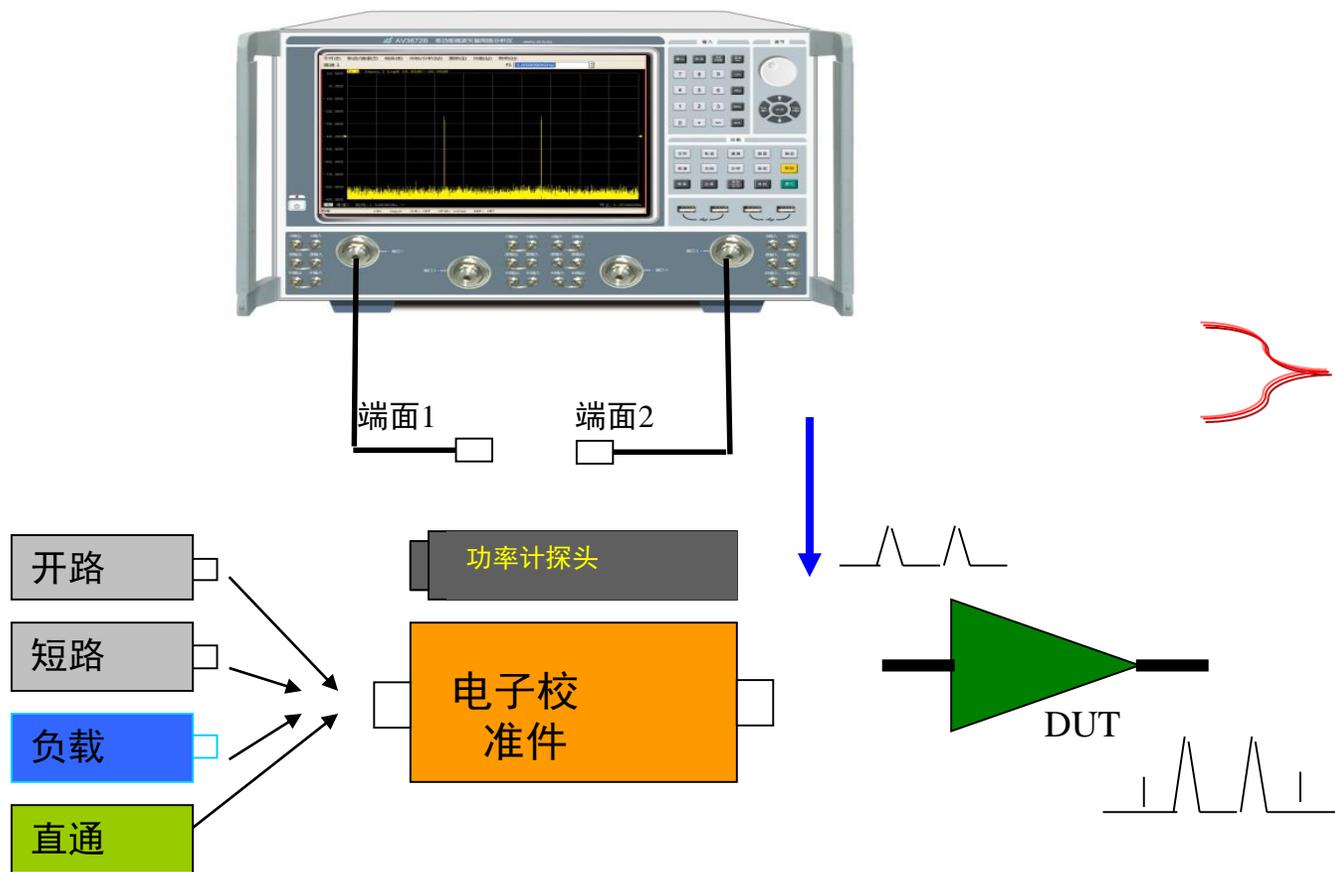


网络仪+合成源+合路器系统搭建

使用传统网络分析仪搭建测试系统，构建复杂，测量误差较大；在测量精度、速度方面上都不能满足高精度、大批量测试需求。



互调失真测试校准新技术

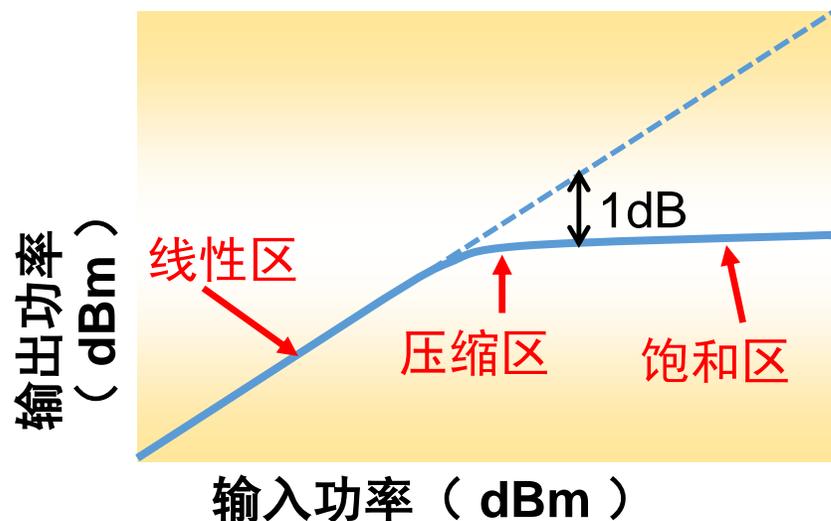


测量校准:

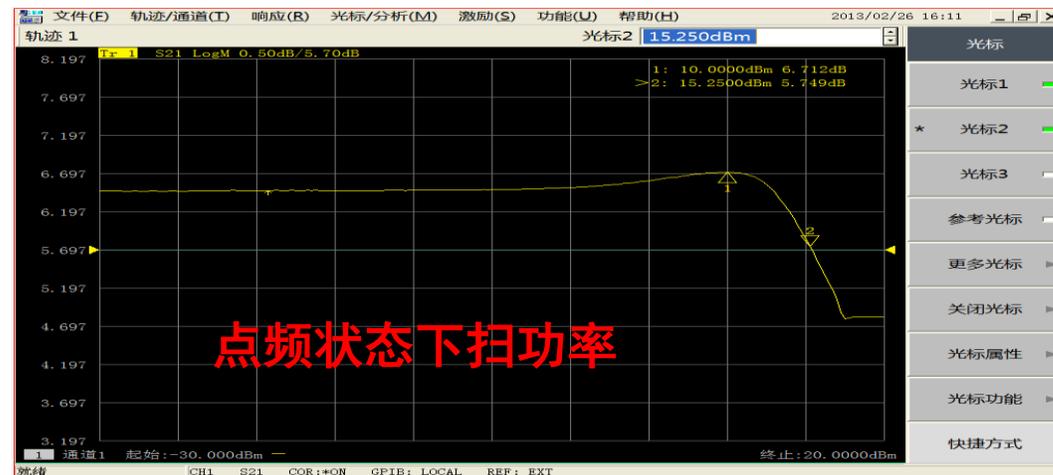
- 双源功率校准
- 接收机校准
- 双端口矢量误差修正
- IMD自动化测量

互调测量精度提高

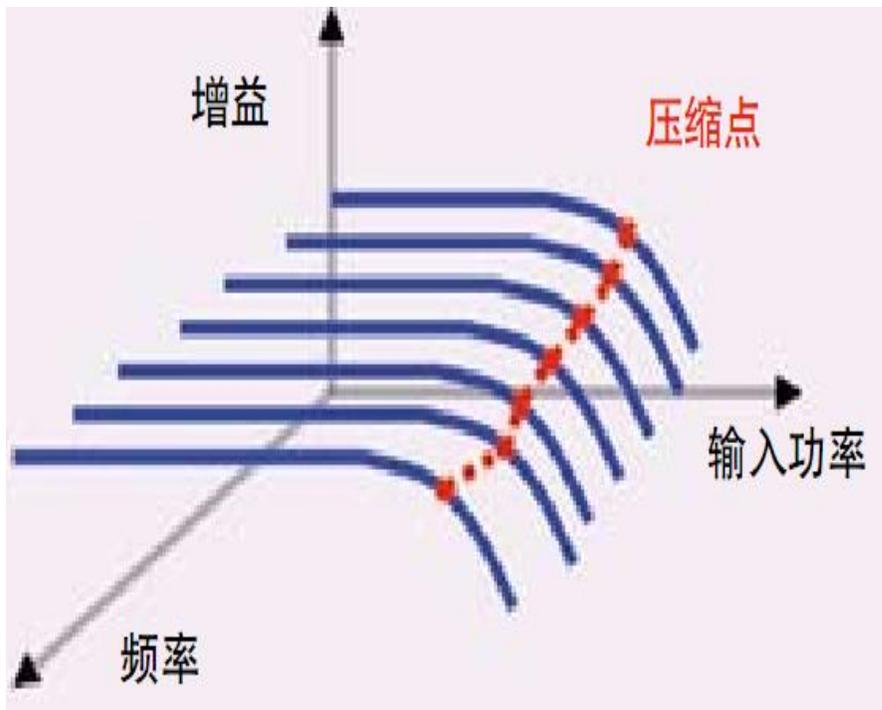
传统测试方法



- ▶ 传统方法是一维扫描;
- ▶ 压缩特性需要在很多频点和功率值上做大量测试
- ▶ 在整个频段切换频点需重新校准
- ▶ 无法获取全面的数据曲线
- ▶ 测试效率低



独创的放大器增益压缩二维快速测试技术



每个频点上扫功率

+

每个功率点上扫频率

||

表征器件的增益压缩特性

全程引导式测量菜单，测试效率高

全频段完整功率增益压缩信息，测量精度高

一、基本概念

二、系统硬件组成

三、校准与误差修正

四、产品介绍及测量应用

五、如何提高测量精度



1. 设置，测量速度和准确度的折中。
2. 连接测试电缆，把电揽拧紧；
3. 要进行温度控制，校准和测试尽量恒温；
4. 电缆在测试时要尽量保持校准时的姿态；
5. 如果感觉到测试有问题，请首先检测您的测量设置；
6. 标量混频器/变频器测试、互调失真测试，要使用功率计和校准件重新校准接收机；
7. 放大器测试要尽量使用负载牵引

矢志不渝，网罗天下！

Ceyear 思仪

谢谢，请多指点



eiqd@ceyear.com



<http://www.ceyear.com>