



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

矢量网络分析仪端口扩展装置校准规范

Calibration Specification for Port-extended Test Sets of Vector Network Analyzer

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

矢量网络分析仪端口扩展装置校准规范

JJFXXXX-XXXX

Calibration Specification for Port-extended Test Sets
of Vector Network Analyzer

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

天津大学青岛海洋技术研究院

参加起草单位：湖南省计量检测研究院

苏州市计量测试院

广东工业大学

北京芯宸科技有限公司

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

XXX（中国计量科学研究院）
XXX（中国计量科学研究院）
XXX（天津大学青岛海洋技术研究院）

参加起草人：

XXX（湖南省计量检测研究院）
XXX（苏州市计量测试院）
XXX（广东工业大学）
XXX（北京芯宸科技有限公司）

目 录

引 言.....	I
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 方向性.....	1
3.2 端口负载匹配.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 插针深度.....	2
5.2 频率范围.....	2
5.3 端口驻波比.....	2
5.4 通道插损.....	2
5.5 通道间隔度.....	2
5.6 方向性(未修正).....	2
5.7 端口负载匹配(未修正).....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准及其它设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 外观检查.....	3
7.3 插针深度.....	4
7.4 端口驻波比.....	4
7.5 通道插损.....	4
7.6 通道间隔度.....	4
7.7 方向性(未修正).....	5
7.8 端口负载匹配(未修正).....	5
8 校准结果表达.....	6
9 复校时间间隔.....	6
附录 A 原始记录参考格式.....	7
附录 B 校准证书内页格式.....	9
附录 C 主要测量不确定度评定示例.....	11
附录 D 矢量网络分析仪端口扩展装置.....	15

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，相关术语及测量不确定度评定遵循 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》两个文件。

本规范为首次发布。

矢量网络分析仪端口扩展装置校准规范

1 范围

本规范适用于 N、SMA、3.5mm 和 2.92mm 同轴接头型式的 50Ω 矢量网络分析仪端口扩展装置（包括满足矢量网络分析仪扩展要求的开关矩阵）的校准，频率范围 10MHz~8.5GHz。其它频率范围、同轴接口类型、特性阻抗的矢量网络分析仪端口扩展装置可参照执行。

2 引用文件

JJF 1495-2014 矢量网络分析仪校准规范

IEEE Standard 287 精密同轴连接器标准(DC~110GHz) [Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz)]

凡是注日期的应用文件，仅是注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 方向性

矢量网络分析仪在进行反射测量时都要用到定向耦合器或者定向电桥，对于理想的耦合器来说，只有从被测件反射回来的信号。但实际由于耦合器等不理想，会有一部分入射信号泄漏混入到反射信号中，这就是反射测量中的方向性误差。

3.2 端口负载匹配

矢量网络分析仪在进行传输测量中，由于负载测试端口与系统阻抗之间失配，传输信号中有一部分又反射回接收端口，这就是传输测量中的负载匹配误差项。

4 概述

随着 5G MIMO 的广泛应用，需要对多端口器件进行测量，使用矢量网络分析仪(VNA)测试时，需要在被测器件(DUT)的各个端口之间多次变换测试电缆和端接负载。为同时满足较多端口散射参数测试，可以通过使用一个外置测试装置(其中包含更多的测试端口连接链路)及必要的开关(这些开关可以让外部测试装置与 VNA 本身紧密地集成在一起)来扩展 VNA 的端口数量，一般称之为矢量网络分析仪端口扩展装置，如图 1。使用端口扩展装置可以实现多端口快速测试，任意端口对组合之间的信号通道测量，同时还包括更高效的误差校准方法，消除所有测试端口和通道的系统误差。

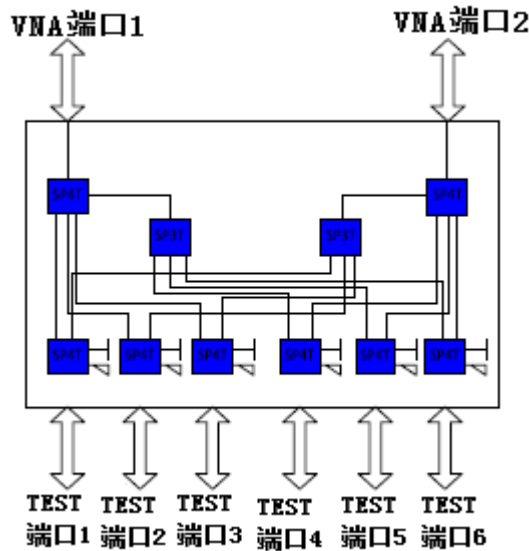


图 1 矢量网络分析仪端口扩展装置

5 计量特性

5.1 插针深度

+15 μ m~70 μ m

5.2 频率范围

10MHz~8.5GHz

5.3 端口驻波比

<1.25

5.4 通道插损

<10dB

5.5 通道间隔离度

>70dB

5.6 方向性(未修正)

>8dB

5.7 端口负载匹配(未修正)

>8dB

注：以上技术指标不作合格性判定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(23 \pm 3) $^{\circ}$ C；

相对湿度：(40~80) %；

电源电压及频率：(220 \pm 11) V，(50 \pm 1) Hz；

其他：周围无影响校准工作正常进行的电磁干扰及机械振动。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 网络分析仪

频率范围：10MHz~8.5GHz；

校准后方向性、端口匹配优于 30dB。

6.2.2 插针深度量规（含连接器量块）

测量不确定度优于 $4\mu\text{m}$ ($k=2$)。

6.2.3 同轴校准件

特性阻抗 50Ω；

频率范围：10MHz~8.5GHz；

接头型式 N、SMA、3.5mm 和 2.92mm 同轴接头；

开/短路器反射系数模值： ≥ 0.98

匹配负载回波损耗：优于 30dB。

6.2.4 线缆和连接器

频率范围：10MHz~8.5GHz；

接头型式对应 N、SMA、3.5mm 和 2.92mm 同轴接头；

驻波比： ≤ 1.20 ；

线缆幅度稳定度： $\pm 0.05\text{dB}$ ；相位稳定度： $\pm 3^\circ$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	项目名称	条款
1	外观检查	7.2
2	插针深度	7.3
3	端口驻波比	7.4
4	通道插损	7.5
5	通道间隔离度	7.6
6	方向性	7.7
7	端口负载匹配	7.8

7.2 外观检查

7.2.1 检查被校矢量网络分析仪端口扩展装置接头以及外表面状况，应无影响正常工作的机械损伤，各种必要的附件和文件应齐全，检查结果记录到表 A.1。

7.2.2 通电后，内部开关功能正常，测试端口切换正确。

注：被校校准件的端口表面和内部如有污垢会影响校准结果，也会将污垢带给校准中使用的其他标

准设备，因此需按被校校准件的使用指南对被校校准件进行清洁。

7.3 插针深度

7.3.1 用连接器量块对插针深度量规进行零位校准；

7.3.2 用插针深度量规分别对被校矢量网络分析仪端口扩展装置各端口进行插针深度的测量，多次测量并记录结果，取平均值为插针深度的测量结果，记录到表A.2中。

注：两种极性的接头均需测量，需配合不同接头形式的插针深度量规。

7.4 端口驻波比

7.4.1 矢量网络分析仪（标准设备）的两个测试端口均连接线缆，在线缆末端分别连接校准件配套的精密连接器，如图 2 所示。

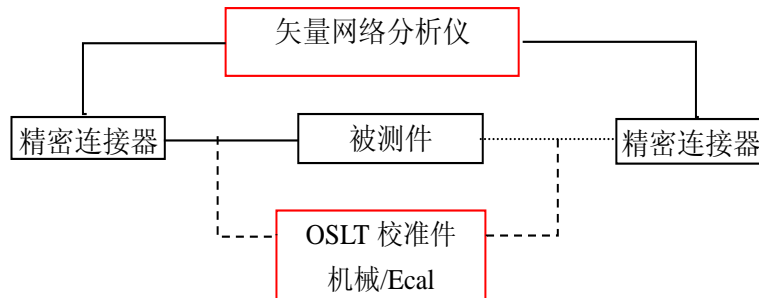


图 2 被测件校准连接框图

7.4.2 矢量网络分析仪的测试信号频率设置为被测件所需频点，功率设置在 0 dBm，接收机中频带宽设置为不大于 1KHz，仪器预热至少 30 分钟。

7.4.3 采用 OSLT 机械校准件或电子校准件，在精密连接器端面对矢量网络分析仪进行 OSLT/UOSM 校准。

7.4.4 根据被测件端口的极性，选择精密连接器相反极性线缆连接被测件已选端口，测得其反射系数，格式为驻波比 $VSWR_m$ ，记录到表 A.3 中。

7.4.5 控制开关切换，依次测量其它所有端口反射系数，记录驻波比 $VSWR_{mi}$ ，i 对应测试端口编号，记录到表 A.3 中。

注：选通链路的另一端口端接 50Ω 匹配负载。

7.5 通道插损

7.5.1 按 7.4.1~7.4.3 用校准的矢量网络分析仪，测量矢量网络分析仪端口扩展装置已选通两端口对的传输系数，记录对数格式结果 L_m ；

7.5.2 控制开关切换，依次测量其它所有端口两两组合之间的传输系数，记录对数格式结果 L_{mij} ，i,j 对应测试端口编号；

7.5.3 依次将测得的结果记录于附录 A.4。

7.6 通道间隔离度

7.6.1 按 7.4.1~7.4.3 用校准的矢量网络分析仪，测量矢量网络分析仪端口扩展装置已选通端口与未选通端口对的传输系数，记录对数格式结果 $I.O_m$ ；

7.6.2 控制开关切换，依次测量其它所有端口与未选通端口两两组合之间的传输系数，记录对数格式结果 $I.O_{mij}$ ， i,j 对应测试端口编号；

7.6.3 依次将测得的结果记录于附录 A.5。

注：选通链路的未测试端口均端接 50Ω 匹配负载。

7.7 方向性(未修正)

7.7.1 用矢量网络分析仪与端口扩展装置，按端口扩展规则进行连接，如图 3；

7.7.2 采用单端 OSL 校准，在端口扩展装置测试端口完成自校准，记录方向性对数格式结果 D_m ；

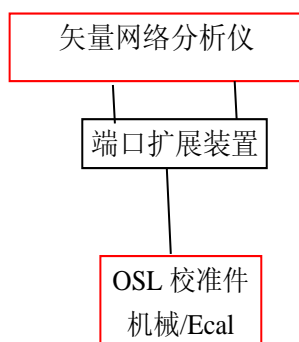


图 3 被测件校准连接框图

7.7.3 控制开关切换，依次对其它所有测试端口进行 OSL 校准后，记录方向性对数格式结果 D_{mi} ； i 对应测试端口编号；

7.7.4 依次将测得的结果记录于附录 A.5。

7.8 端口负载匹配(未修正)

7.8.1 用矢量网络分析仪与端口扩展装置，按端口扩展规则进行连接，如图 4；

7.8.2 采用双端 Q-OSLT 校准，完成在端口扩展装置所有测试端口的自校准，记录端口负载匹配对数格式结果 M_{mi} ， i 对应测试端口编号；

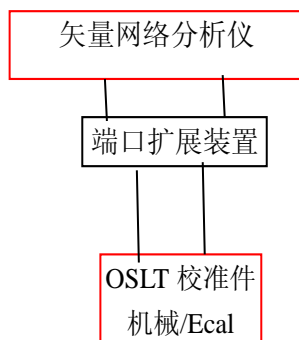


图 4 被测件校准连接框图

7.8.3 依次将测得的结果记录于附录 A.6。

注：7.8.2 也可采用OSLT或UOSM校准。

8 校准结果表达

矢量网络分析仪端口扩展装置校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a)标题：“校准证书”；
- b)实验室名称和地址；
- c)进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d)证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e)客户的名称和地址；
- f)被校对象的描述和明确标识；
- g)进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h)如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i)校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j)本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k)校准环境的描述；
- l)校准结果及其测量不确定度的说明；
- m)对校准规范的偏离的说明；
- n)校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o)校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p)未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为1年。

附录 A 原始记录参考格式

表 A.1 外观检查

检查项目	结果
外观	

表 A.2 插针深度

被测件	极性	下限 / μm	实测值/ μm				上限 / μm	不确定度/ μm
			1	2	3	平均值		
端口 1	-M-							
	-F-							
.....								
端口 n								

表 A.3 端口驻波比@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	VSWR 标称值		VSWR 实测值		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 A.4 通道插损@Port i-j (i,j=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 标称值/dB		Log 幅度 实测值/dB		不确定度/ $^{\circ}$	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 A.5 通道间隔离度@Port i-j (i,j=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 标称值/dB		Log 幅度 实测值/dB		不确定度/ $^{\circ}$	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 A.6 方向性@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 标称值/dB		Log 幅度 实测值/dB		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 A.7 端口负载匹配@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 标称值/dB		Log 幅度 实测值/dB		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

附录 B 校准证书内页格式

表 B.1 外观检查

检查项目	结果
外观	

表 B.2 插针深度

被测件	极性	下限/ μm	实测值/ μm	上限/ μm	不确定度/ μm
端口 1	-M-				
	-F-				
.....					
端口 n					

表 B.3 端口驻波比@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	VSWR 实测值		VSWR 标称值		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 B.4 通道插损@Port i-j (i,j=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 实测值/dB		Log 幅度 标称值/dB		不确定度/ $^{\circ}$	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 B.5 通道间隔离度@Port i-j (i,j=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 实测值/dB		Log 幅度 标称值/dB		不确定度/ $^{\circ}$	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 B.6 方向性@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 实测值/dB		Log 幅度标称值/dB		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

表 B.7 端口负载匹配@Port i (i=1n)

信号频率 GHz	Log 幅度 实测值/dB		Log 幅度标称值/dB		不确定度	
	-M-	-F-	-M-	-F-	-M-	-F-
.....						

附录 C

主要测量不确定度评定示例

C.1 插针深度

C.1.1 不确定度来源

插针深度测量的不确定度来源主要包括：插针量规的不确定度、插针测量仪的分辨力以及随机误差。

C.1.1.1 插针量规引入的不确定度分量 u_1

由插针量规的校准证书上获得，如校准证书上给出的不确定度为 $0.2\mu\text{m}$ ($k=2$)，则此不确定度分量为：

$$u_1 = 0.1\mu\text{m}$$

C.1.1.2 插针测量仪的分辨力引入的不确定度分量 u_2

插针测量仪的分辨力为 $0.0001''$ ，对应的标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.0001 \times 25.4}{2\sqrt{3}} \text{mm} = 0.73\mu\text{m};$$

C.1.1.3 随机误差引入的不确定度分量 u_3

由多次测量的统计方法得到，如 5 次测量的标准差 $1.4\mu\text{m}$ ，则平均值的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{1.4}{\sqrt{5}} \mu\text{m} = 0.62\mu\text{m};$$

C.1.2 合成标准不确定度 u_c

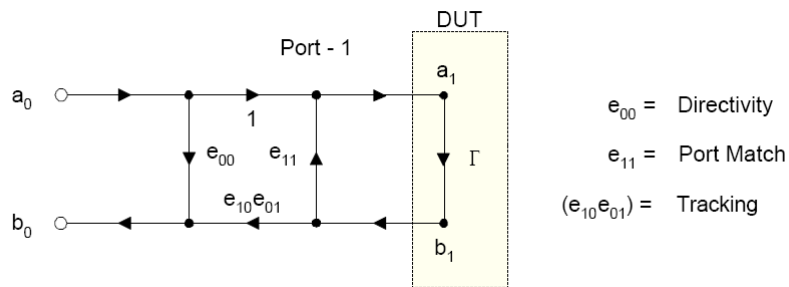
$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.96\mu\text{m}$$

C.1.3 扩展不确定度

$$U = ku_c = 1.9\mu\text{m} (k = 2)$$

C.2 方向性

C.2.1 测量模型



$$e_{00} + \Gamma_1 \Gamma_{M1} e_{11} - \Gamma_1 \Delta_e = \Gamma_{M1}$$

$$e_{00} + \Gamma_2 \Gamma_{M2} e_{11} - \Gamma_2 \Delta_e = \Gamma_{M2}$$

$$e_{00} + \Gamma_3 \Gamma_{M3} e_{11} - \Gamma_3 \Delta_e = \Gamma_{M3}$$

通过测量单端口校准件 Open/Short/Load，可以计算出方向性 D 。

$$D = e_{00} = \Gamma_{ML} \quad (1)$$

C.2.2 不确定度来源

方向性不确定度来源主要包括矢量网络分析仪 OSL 校准的剩余误差，测试端口连接重复性、线缆移动以及其他随机误差。

C.2.2.1 矢量网络分析仪 OSL 校准剩余误差引入的不确定度分量 u_1 ，可以根据校准后的有效方向性、有效反射跟踪、有效源匹配计算得到；服从正态分布， $k=2$ ，自由度为 ∞ 。

C.2.2.2 测试端口连接重复性、线缆移动以及其他随机误差引入的不确定度分量 u_2 ，由于是取多次测量结果的中位数，中位数的分散性用标准四分位数间距表示，假设测量次数 N 为 6 次，自由度为 5。

C.2.2.3 方向性，线性模值 $|D|$ 校准结果小于 0.1 附近，在 100 MHz，8.5 GHz 的不确定度分量，如表 C.2.1 所示。

表 C.2.1 方向性线性模值校准结果不确定度分量一览表

频率	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定
100 MHz	$u(\Gamma)$	网络分析仪 自校准不完善	B 类	正态	2	0.002
	$u_A(\Gamma)$	测量重复性	A 类			0.001
8.5 GHz	$u(\Gamma)$	网络分析仪 自校准不完善	B 类	正态	2	0.002
	$u_A(\Gamma)$	测量重复性	A 类			0.002

由式 (2)，方向性线性模值校准结果的标准不确定度如表 C.2.2 所示：

$$u_{kii} = \sqrt{u^2(\Gamma) + u_A^2(\Gamma)} \quad (2)$$

表 C.2.2 方向性线性模值校准结果的标准不确定度

频率	标准不确定度
100 MHz	0.0022
8.5 GHz	0.0028

合成标准不确定度 u_c ，对数模值，

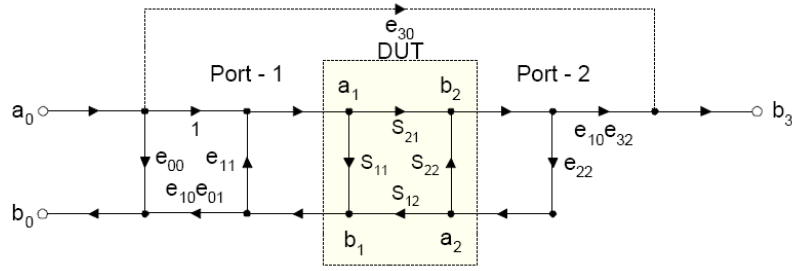
$$u_c = 1 \text{ dB}$$

扩展不确定度，对数模值，

$$U = k u_c = 2 \text{ dB} (k = 2)$$

C.3 端口负载匹配

C.3.1 测量模型



- e_{00} = Directivity
- e_{11} = Port-1 Match
- $(e_{10}e_{01})$ = Reflection Tracking
- $(e_{10}e_{32})$ = Transmission Tracking
- e_{22} = Port-2 Match
- e_{30} = Leakage

通过测量单端口校准件 Open/Short/Load 和双端口校准件 Thru 或 Line，采用 OSLT/UOSM/Q-OSLT 校准后，可以计算出端口负载匹配。

$$e_{22} = \frac{S_{11m} - e_{00}}{S_{11m}e_{11} - \Delta e} \quad (3)$$

C.3.2 不确定度来源

端口负载匹配不确定度来源主要包括矢量网络分析仪 OSLT/UOSM/Q-OSLT 校准的剩余误差，测试端口连接重复性、线缆移动以及其他随机误差。

C.3.2.1 矢量网络分析仪 OSLT/UOSM/Q-OSLT 校准剩余误差引入的不确定度分量 u_1 ，可以根据校准后的有效方向性、有效反射跟踪、有效源匹配，有效负载匹配，有效传输跟踪计算得到；服从正态分布， $k=2$ ，自由度为 ∞ 。

C.3.2.2 测试端口连接重复性、线缆移动以及其他随机误差引入的不确定度分量 u_2 ，由于是取多次测量结果的中位数，中位数的分散性用标准四分位数间距表示，假设测量次数 N 为 6 次，自由度为 5。

C.3.2.2 端口负载匹配，线性模值 $|D|$ 校准结果小于 0.1 附近，在 100 MHz，8.5 GHz 的不确定度分量，如表 C.2.2 所示。

表 C.2.2 端口负载匹配线性模值校准结果不确定度分量一览表

频率	不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定
100 MHz	$u(\Gamma)$	网络分析仪自校准不完善	B 类	正态	2	0.002
	$u_A(\Gamma)$	测量重复性	A 类			0.001
8.5 GHz	$u(\Gamma)$	网络分析仪自校准不完善	B 类	正态	2	0.002
	$u_A(\Gamma)$	测量重复性	A 类			0.002

由式 (2)，端口负载匹配线性模值校准结果的标准不确定度如表 C.3.2 所示：

表 C.3.2 方向性线性模值模值校准结果的标准不确定度

频率	标准不确定度
100 MHz	0.0022
8.5 GHz	0.0028

合成标准不确定度 u_c ，对数模值，

$$u_c = 1\text{dB}$$

扩展不确定度，对数模值，

$$U = ku_c = 2\text{dB} (k = 2)$$

附录 D 矢量网络分析仪端口扩展装置

矢量网络分析仪多端口扩展装置是由主机控制开关矩阵来实现。一般来说，采用开关矩阵扩展端口，是通过开关逻辑根据端口数和端口链路需求来进行编辑，以实现将测试端口从少到多，VNA 的两端口或扩展成多端口，如图 2 所示。可采用开关矩阵实现端口从多到少，如图 3，采用 4 只 SPDT 同轴开关与 4 端口 VNA 的端口连接，再采用 2 只 SP4T 同轴开关，进行编辑开关逻辑实现 4 端口 VNA 的 6 通道任意输出成 2 端口。

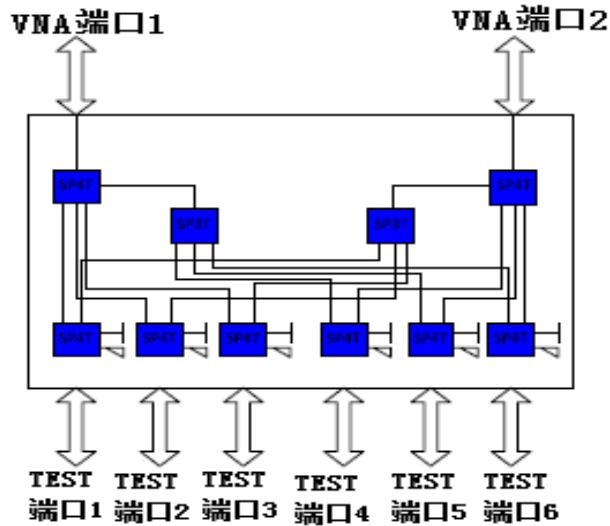


图 2 2 to 6 端口扩展装置

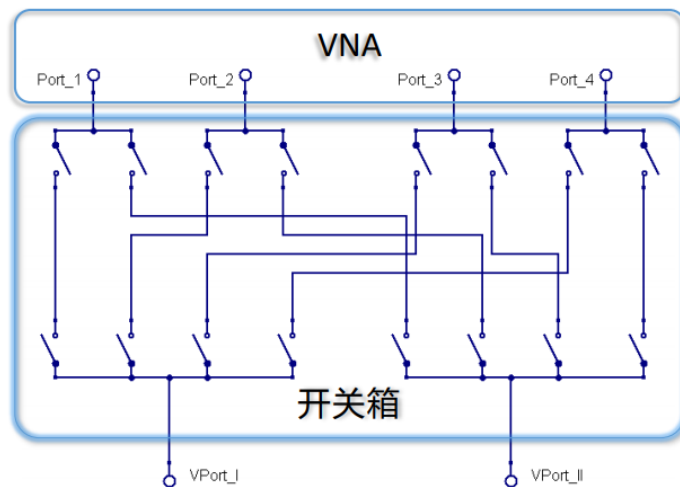


图 3 4 to 2 端口扩展装置