



4152 型调制域分析仪系列

# 用户手册

---

中电科仪器仪表有限公司



# 前 言

非常感谢您选择使用中电科仪器仪表有限公司研制、生产的 4152 型调制域分析仪系列！本公司产品集高、精、尖于一体，在同类产品中有较高的性价比。

我们将以最大限度满足您的需求为己任，为您提供高品质的测量仪器，同时带给您一流的售后服务。我们的一贯宗旨是“质量优良，服务周到”，提供满意的产品和服务是我们对用户的承诺。

## 手册编号

AV2.740.1018SS

## 版本

A.1 2018.10

中电科仪器仪表有限公司

## 手册授权

本手册中的内容如有变更，恕不另行通知。本手册内容及所用术语最终解释权属于中电科仪器仪表有限公司。

本手册版权属于中电科仪器仪表有限公司，任何单位或个人非经本公司授权，不得对本手册内容进行修改，并且不得以赢利为目的对本手册进行复制、传播，中电科仪器仪表有限公司保留对侵权者追究法律责任的权利。

## 产品质保

本产品从出厂之日起保修期为 18 个月。质保期内仪器生产厂家会根据用户要求及实际情况维修或替换损坏部件。具体维修操作事宜以合同为准。

## 产品质量证明

本产品从出厂之日起确保满足手册中的指标。校准测量由具备国家资质的计量单位予以完成，并提供相关资料以备用户查阅。

## 质量/环境管理

本产品从研发、制造和测试过程中均遵守质量和环境管理体系。中电科仪器仪表有限公司已经具备资质并通过 ISO 9001 和 ISO 14001 管理体系。

## 安全事项



警告标识表示存在危险。它提示用户注意某一操作过程、操作方法或者类似情况。若不能遵守规则或者正确操作，则可能造成人身伤害。在完全理解和满足所指出的警告条件之后，才可继续下一步。



注意标识代表重要的信息提示，但不会导致危险。它提示用户注意某一操作过程、操作方法或者类似情况。若不能遵守规则或者正确操作，则可能引起的仪器损坏或丢失重要数据。在完全理解和满足所指出的条件之后，才可继续下一步。



# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1 手册导航.....            | 1  |
| 1.1 关于手册.....          | 1  |
| 1.2 关联文档.....          | 2  |
| 2 概述.....              | 4  |
| 2.1 产品综述.....          | 4  |
| 2.2 安全使用指南.....        | 8  |
| 3 使用入门.....            | 13 |
| 3.1 准备使用.....          | 13 |
| 3.2 前面板与接口说明.....      | 24 |
| 3.3 基本测量方法.....        | 26 |
| 3.4 数据分析与显示.....       | 29 |
| 4 操作指南.....            | 33 |
| 4.1 频率/周期功能操作指南.....   | 33 |
| 4.2 时间间隔功能操作指南.....    | 36 |
| 4.3 脉冲包络功能操作指南.....    | 38 |
| 5 菜 单.....             | 41 |
| 5.1 菜单结构.....          | 41 |
| 5.2 菜单说明.....          | 44 |
| 6 远程控制.....            | 52 |
| 6.1 远程控制基础.....        | 52 |
| 6.2 仪器控制端口与配置.....     | 64 |
| 6.3 VISA 接口基本编程方法..... | 65 |
| 7 故障诊断与返修.....         | 69 |
| 7.1 工作原理.....          | 69 |
| 7.2 故障诊断与排除.....       | 70 |
| 7.3 错误信息.....          | 71 |
| 7.4 返修方法.....          | 74 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 8 技术指标与测试方法 .....            | 75 |
| 8.1 声明.....                  | 75 |
| 8.2 产品特征.....                | 75 |
| 8.3 技术指标.....                | 76 |
| 8.4 补充信息.....                | 78 |
| 8.5 性能特性测试.....              | 79 |
| 附表.....                      | 95 |
| 表 A 4152 系列调制域分析仪性能测试记录..... | 95 |

# 1 手册导航

本章介绍了 4152 调制域分析仪系列的用户手册功能、章节构成和主要内容，并介绍了提供给用户使用的仪器关联文档。

## 1.1 关于手册

本手册介绍了中电科仪器仪表有限公司生产的 4152 型调制域分析仪系列的基本功能和操作使用方法。描述了仪器产品特点、基本使用方法、测量配置操作指南、菜单、远程控制、维护及技术指标和测试方法等内容，以帮助您尽快熟悉和掌握仪器的操作方法和使用要点。为方便您熟练使用该仪器，请在操作仪器前，仔细阅读本手册，然后按手册指导正确操作。

用户手册共包含的章节如下：

- **概述**

概括地讲述了4152型调制域分析仪系列的主要性能特点、典型应用示例及操作仪器的安全指导事项。使用户初步了解仪器的主要性能特点，并指导用户安全操作仪器。

- **使用入门**

本章介绍了4152型调制域分析仪系列的操作前检查、仪器浏览、基本测量方法、测量窗口使用说明及数据存储等。以使用户初步了解仪器本身和测量过程，并为后续全面介绍仪器测量操作指南做好前期准备。该章节包含的部分内容与快速使用指南手册相关章节一致。

- **操作指南**

详细介绍仪器各种测量功能的操作方法，包括：配置仪器、启动测量过程和获取测量结果等。主要包括两部分：功能操作指南和高级操作指南。功能操作指南部分针对不熟悉4152型调制域分析仪系列仪器使用方法的用户，系统地、详细地介绍，列举每种功能，使用户理解掌握本系列调制域分析仪的一些基本用法，如频率测量，脉冲参数测量等。高级操作指导部分针对已具备基本的调制域分析仪使用常识，但对一些特殊用法不够熟悉的用户，介绍相对复杂的测试过程、高阶的使用技巧、指导用户实施测量过程。

- **菜单**

按照功能分类介绍菜单结构和菜单项说明，方便用户查阅参考。

- **远程控制**

概述了仪器远程控制操作方法，使用户可以对远程控制操作快速上手。分四部分介绍：程控基础，介绍与程控有关的概念、软件配置、程控端口、SCPI 命令等；仪器端口配置方法，介绍 4152 型调制域分析仪系列程控端口的连接方法和软件配置方法；VISA 接口基本编程方法，以文字说明和示例代码的方式给出基本编程示例，使用户快速掌握程控编程方法。

- **故障诊断与返修**

包括整机工作原理介绍、故障判断和解决方法、错误信息说明及返修方法。

- **技术指标与测试方法**

介绍了 4152 型调制域分析仪系列的产品特征和主要技术指标以及推荐用户使用的测试方法指导说明。

- **附录**

列出4152型调制域分析仪系列的必要的参考信息，包括：术语说明、程控命令速查表、菜单速查表、错误信息速查表等。

## 1.2 关联文档

4152 型调制域分析仪系列的产品文档包括：

- 用户手册
- 程控手册
- 快速使用指南
- 在线帮助

### 用户手册

本手册详细介绍了仪器的功能和操作使用方法，包括：配置、测量、程控和维护等信息。目的是：指导用户如何全面的理解产品功能特点及掌握常用的仪器测试方法。包含的主要章节是：

- 手册导航
- 概述
- 使用入门
- 操作指南
- 菜单
- 远程控制
- 故障诊断与返修
- 技术指标与测试方法
- 附录

### 程控手册

本手册详细介绍了远程编程基础、SCPI 基础、SCPI 命令、编程示例和 I/O 驱动函数库等。目的是：指导用户如何快速、全面的掌握仪器的程控命令和程控方法。包含的主要章节是：

- 远程控制
- 程控命令
- 编程示例
- 错误说明
- 附录

### 快速使用指南

本手册介绍了仪器的配置和启动测量的基本操作方法，目的是：使用户快速了解仪器的特点、掌握基本设置和基础的操作方法。包含的主要章节是：

- 准备使用
- 典型应用
- 获取帮助



## **在线帮助**

在线帮助集成在仪器产品中，提供快速的文本导航帮助，方便用户本地和远控操作。仪器前面板硬键或用户界面工具条都有对应的快捷键激活该功能。包含的主要章节同用户手册。

## 2 概述

本章介绍了 4152 型调制域分析仪系列的主要性能特点、主要用途范围及主要技术指标。同时说明了如何正确操作仪器及用电安全等注意事项。

### 2.1 产品综述

4152 型调制域分析仪系列具有连续波、脉冲调制载波频率相对时间变化的测量功能以及时间间隔、脉冲周期、高脉冲、低脉冲、占空比、脉冲包络等功能；提供轨迹图、直方图显示方式和统计等分析功能。实现了高速高分辨率、大带宽、无死区调制域测量。可广泛应用于抗干扰通信、捷变频雷达、电子战等领域，是军民电子系统研制、生产、维护等阶段重要仪器之一。具有良好的兼容性、操作简单方便等特点，能够满足信号调制域测量中的各种性能参数的测试要求。

#### 2.1.1 产品特点

##### 2.1.1.1 基本功能

4152 型调制域分析仪系列仪器的主要功能是：

- 1) 频率/周期相对时间变化的测量功能；
- 2) 脉冲参数相对时间变化的测量功能；
- 3) 脉冲调制信号包络宽度/周期测量功能；
- 4) 时间间隔和相位测量功能；
- 5) 直方图测量功能；
- 6) 统计分析功能；
- 7) 内部、外部触发功能；
- 8) GPIB、LAN、USB 接口功能。

##### 2.1.1.2 优异的性能指标

- 1) 载波频率测量性能指标
  - a) 频率测量范围：
    - 4152A 调制域分析仪：  
通道 A、B：0.125Hz~4GHz；
    - 4152E 调制域分析仪：  
通道 A、B：0.125Hz~4GHz；  
通道 C：4GHz~26.5GHz；
    - 4152F 调制域分析仪：

通道 A、B: 0.125Hz~4GHz;

通道 C: 4GHz~40GHz;

b) 频率测量分辨率:

$[\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}]\times\text{被测信号频率}$ , 其中:

触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps;

c) 频率测量准确度:

$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号频率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号频率}$ ;

d) 频率监测最大带宽:

4152A 调制域分析仪:

通道 A、B: 3.5GHz;

4152E 调制域分析仪:

通道 A、B: 3.5GHz;

通道 C: 22.5GHz。

4152F 调制域分析仪:

通道 A、B: 3.5GHz;

通道 C: 36GHz。

2) 周期测量性能指标

a) 周期测量范围:

4152A 调制域分析仪:

通道 A、B: 0.25ns~8s;

4152E 调制域分析仪:

通道 A、B: 0.25ns~8s;

通道 C: 0.038ns~0.25ns。

4152F 调制域分析仪:

通道 A、B: 0.25ns~8s;

通道 C: 0.025ns~0.25ns;

b) 周期测量分辨率:

$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号周期}$ , 其中:

触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps;

c) 周期测量准确度:  $\pm\text{周期测量分辨率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号周期}$ 。

3) 脉冲宽度测量性能指标

a) 脉冲宽度测量范围: 20ns~8s;

b) 脉冲宽度测量分辨率:

$\pm 100\text{ps rms}\pm\text{起始触发误差}\pm\text{终止触发误差}$ , 其中:

起始触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps;

终止触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps;

c) 脉冲宽度测量准确度:

$\pm\text{脉冲宽度测量分辨率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号脉冲宽度}\pm\text{触发误差}\pm 1\text{ns}$  系统误差, 其中:

触发误差  $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ ，最小 10ps。

4) 占空比测量性能指标

a) 占空比测量范围：0.001%~99.999%；

b) 占空比分辨率：

$\pm \text{占空比} \times (100\text{ps rms} \pm 1.4 \times \text{触发误差}) \times [(\text{脉冲周期})^{-2} + (\text{脉冲宽度})^{-2}]^{1/2}$ ；

c) 占空比准确度：

$\pm \text{占空比分辨率} \pm [(\text{触发误差} \pm 1\text{ns 系统误差}) / \text{脉冲周期}] \times 100\%$ 。

注：被测脉冲要求：脉冲宽度：>100ns，脉冲重复频率：≥0.125Hz，脉冲间隔：≥100ns。

5) 脉冲调制包络测量性能指标

a) 脉冲包络宽度测量范围：

50ns~8s；

注：输入幅度要求：-20dBm~+10dBm（50MHz~4GHz）

b) 脉冲包络宽度测量准确度：

$\pm \text{时基误差} \times \text{被测脉冲包络宽度} \pm \text{被测脉冲包络宽度} \times 0.01\% \pm 20\text{ns 检波误差}$ ；

c) 脉冲包络周期测量范围：200ns~8s（50MHz~4GHz）；

d) 脉冲包络周期测量准确度：

$\pm \text{时基误差} \times \text{被测脉冲包络周期} \pm \text{被测脉冲包络周期} \times 0.01\% \pm 20\text{ns 检波误差}$ 。

6) 时间间隔测量性能指标

a) 正时间间隔测量范围：10ns~10000s；

b) 正负时间间隔测量范围：-10000s~10000s；

c) 时间间隔测量分辨率：100ps rms；

d) 时间间隔测量准确度：

$\pm \text{时间间隔测量分辨率} \pm \text{时基误差} \times \text{时间间隔} \pm \text{触发误差} \pm 1\text{ns 系统误差}$ ，其中：

触发误差  $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ ，最小 10ps。

7) 相位测量性能指标

a) 相位测量范围：0°~360°；

b) 相位测量分辨率：

$(\pm 100\text{ps rms} \pm 1.4 \times \text{触发误差}) / \text{参考周期} \times 360^\circ$ ，其中：

触发误差  $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ ，最小 10ps；

c) 相位测量准确度：

$\pm \text{相位测量分辨率} \pm (\text{时基误差} \times \text{时间间隔} \pm \text{触发误差} \pm 1\text{ns 系统误差}) / \text{参考周期} \times 360^\circ$ 。

8) 输入幅度范围性能指标

a) 通道 A、B：

-20dBm~+10dBm（0.125Hz~50MHz）；

-30dBm~+10dBm（50MHz~500MHz）；

-20dBm~+10dBm（500MHz~4GHz）；

b) 通道 C：

-20dBm~+10dBm（4GHz~15GHz）；

-15dBm~+10dBm（15GHz~30GHz）；

-10dBm~+10dBm (30GHz~40GHz);

c) 最大输入电平: +20dBm。

9) 参考时基性能指标

a) 频率: 10MHz;

b) 老化率:  $\pm 5 \times 10^{-8}$ /年;

c) 短期稳定度:  $5 \times 10^{-8}$ /秒平均;

d) 时基误差:  $\pm$ 老化率 $\pm$ 短期稳定度;

e) 时基预热时间: 30 分钟。

### 2.1.1.3 多种测量分析功能

4152系列调制域分析仪具有连续波、脉冲调制载波频率相对时间变化的测量功能以及时间间隔、脉冲周期、高脉冲、低脉冲、占空比测量功能;提供轨迹图、直方图显示方式和统计等分析功能,同时对频率测量功能,提供跳频分析、线性调频分析功能。

### 2.1.2 典型应用

#### 1) 频率切换时间/跳频序列测量

调制域分析仪十分适合测量频率切换时间,通过频率触发功能,捕获频率变化过程,通过跳频分析功能,可以直接观测跳变前频率,跳变后频率,以及两者之间的频率变化过程。当测量跳频序列时,只需将测量时间调整为序列变化的一个或多个周期,即可直接观测跳频序列。

#### 2) 线性度测量

调制域分析仪可以观测线性调频的频率变化过程,通过线性调频分析工具,可以直接分析出线性调频的线性度,可以通过 FIR 滤波,对频率变化过程进行滤波,观测滤波后的线性度。

#### 3) 通信设备测量

可以用于测量和分析信号抖动和漂移。无论是在较长时间内执行低速高度精确的测量,还是在较短时间内执行高速测量,您都可以使用 4152 系列调制域分析仪作为高精度的抖动和漂移分析解决方案。

#### 4) 高晶体振荡器元器件性能测试

4152 系列调制域分析仪可用于测量晶体振荡器件,利用载波频率测量可以测量时钟在一段时间内的稳定性。可连续无死区测量 30M 个样点。

#### 5) 雷达设备测试

4152 系列调制域分析仪可用于测量雷达发射信号中的误码。可以用一台仪器来验证发射信号的精度,同时可以直接且精准的测量雷达发射和接收之间的时间差。以及脉冲调制信息、线性调频等参数。

## 2.2 安全使用指南

请认真阅读并严格遵守以下注意事项！

我们将不遗余力的保证所有生产环节符合最新的安全标准，为用户提供最高安全保障。我们的产品及其所用辅助性设备的设计与测试均符合相关安全标准，并且建立了质量保证体系对产品质量进行监控，确保产品始终符合此类标准。为使设备状态保持完好，确保操作的安全，请遵守本手册中所提出的注意事项。如有疑问，欢迎随时向我们进行咨询。













正确的使用本产品也是您的责任。在开始使用本仪器之前，请仔细阅读并遵守安全说明。本产品适合在工业和实验室环境或现场测量使用，切记按照产品的限制条件正确使用，以免造成人员伤害或财产损害。如果产品使用不当或者不按要求使用，出现的问题将由您负责，我们将不负任何责任。**因此，为了防止危险情况造成人身伤害或财产损坏，请务必遵守安全使用说明。**请妥善保管基本安全说明和产品文档，并交付到最终用户手中。


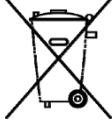

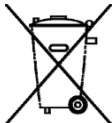

### 2.2.1 安全标识

#### 2.2.1.1 产品相关

产品上的安全警告标识如下（表 2.1）：

表2.1 产品安全标识

| 符号  | 意义                              | 符号  | 意义            |
|---|---------------------------------|---|---------------|
|  | 注意，特别提醒用户注意的信息。提醒用户应注意的操作信息或说明。 |  | 开/关 电源        |
|  | 注意，搬运重型设备。                      |  | 待机指示          |
|  | 危险！小心电击。                        |  | 直流电（DC）       |
|  | 警告！小心表面热。                       |  | 交流电（AC）       |
|  | 防护导电端                           |  | 直流/交流电（DC/AC） |
|  | 地                               |  | 仪器加固绝缘保护      |

|   |              |  |  |
|---|--------------|--|--|
|  | 接地端          |   | 电池和蓄电池的EU标识。<br>具体说明请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”中的第1项。   |
|  | 注意，小心处理敏感器件。 | <br> | 单独收集电子器件的EU标识。<br>具体说明请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”中的第2项。 |

### 2.2.1.2 手册相关

为提醒用户安全操作仪器及关注相关信息，产品手册中使用了以下安全警告标识，说明如下：



危险标识，若不可避免，会带来人身和设备伤害。



警告标识，若不可避免，会带来人身和设备伤害。



小心标识，若不可避免，会导致轻度或中度的人身和设备伤害。



注意标识，代表重要的信息提示，但不会导致危险。



提示标识，仪器及操作仪器的信息。

### 2.2.2 操作状态和位置

操作仪器前请注意：

- 1) 除非特别声明，4152 系列调制域分析仪的操作环境需满足：平稳放置仪器，室内操作。操作仪器及运输仪器时所处的海拔高度最大不超过 4600 米。实际供电电压允许在标注电压的 $\pm 10\%$ 范围内变化，供电频率允许在标注频率的 $\pm 5\%$ 范围内变化。
- 2) 除非特别声明，仪器未做过防水处理，请勿将仪器放置在有水的表面、车辆、橱柜和桌子等不固定及不满足载重条件的物品上。请将仪器稳妥放置并加固在结实的物品表面（例如：防静电工作台）。
- 3) 请勿将仪器放置在散热的物品表面（例如：散热器）。操作环境温度不要超过产品相关指标说明部分，产品过热会导致电击、火灾等危险。
- 4) 请勿随便通过仪器外壳上的开口向仪器内部塞入任何物体，或者遮蔽仪器上的槽口或开口，因为它们的作用在于使仪器内部通风、防止仪器变得过热。

### 2.2.3 用电安全

仪器的用电注意事项：

- 1) 仪器加电前，需保证实际供电电压需与仪器标注的供电电压匹配。若供电电压改变，需同步更换仪器保险丝型号。
- 2) 参照仪器后面板电源要求，采用三芯电源线，使用时保证电源地线可靠接地，浮地或接地不良都可能导致仪器被毁坏，甚至对操作人员造成伤害；
- 3) 请勿破坏电源线，否则会导致漏电，损坏仪器，甚至对操作人员造成伤害。若使用外加电源线或接线板，使用前需检查以保证用电安全。
- 4) 请勿使用损坏的电源线，仪器连接电源线前，需检查电源线的完整性和安全性，并合理放置电源线，避免人为因素带来的影响，例如：电源线过长绊倒操作人员。
- 5) 保持插座整洁干净，插头与插座应接触良好、插牢。
- 6) 插座与电源线不应过载，否则会导致火灾或电击。
- 7) 若在电压  $V_{rms} > 30\text{ V}$  的电路中测试，为避免仪器损伤，应采取适当保护措施（例如：使用合适的测试仪器、加装保险丝、限定电流值、电隔离与绝缘等）。
- 8) 除非经过特别允许，不能随意打开仪器外壳，这样会暴露内部电路和器件，引起不必要的损伤。
- 9) 若仪器需要固定在测试地点，那么首先需要具备资质的电工安装测试地点与仪器间的保护地线。
- 10) 采取合适的过载保护，以防过载电压（例如由闪电引起）损伤仪器，或者带来人员伤害。
- 11) 仪器机壳打开时，不属于仪器内部的物体，不要放置在机箱内，否则容易引起短路，损伤仪器，甚至带来人员伤害。
- 12) 除非特别声明，仪器未做过防水处理，因此仪器不要接触液体，以防损伤仪器，甚至带来人员伤害。
- 13) 仪器不要处于容易形成雾气的环境，例如在冷热交替的环境移动仪器，仪器上形成的水珠易引起电击等危害。

### 2.2.4 操作注意事项

- 1) 仪器操作人员需要具备一定的专业技术知识，以及良好的心理素质，并具备一定的应急处理反映能力。
- 2) 移动或运输仪器前，请参考本节“[2.2.7 运输](#)”的相关说明。
- 3) 仪器生产过程中不可避免的使用可能会引起人员过敏的物质（例如：镍），若仪器操作人员在操作过程中出现过敏症状（例如：皮疹、频繁打喷嚏、红眼或呼吸困难等），请及时就医查询原因，解决症状。



- 4) 拆卸仪器做报废处理前，请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”的相关说明。
- 5) 若发生火灾，损坏的仪器会释放有毒物质，为此操作人员需具备合适的防护设备(例如：防护面罩和防护衣)，以防万一。
- 6) 电磁兼容等级（符合 GJB 3947A-2009 中 3.9.2 条的要求）

### 2.2.5 维护

- 1) 只有授权的且经过专门技术培训的操作人员才可以打开仪器机箱。进行此类操作前，需断开电源线的连接，以防损伤仪器，甚至人员伤害。
- 2) 仪器的修理、替换及维修时，需由厂家专门的电子工程师操作完成，且替换维修的部分需经过安全测试以保证产品的后续安全使用。

### 2.2.6 电池与电源模块

电池与电源模块使用前，需仔细阅读相关信息，以免发生爆炸、火灾甚至人身伤害。关于电池的使用注意事项如下：

- 1) 请勿损坏电池。
- 2) 勿将电池和电源模块暴露在明火等热源下；存储时，避免阳光直射，保持清洁干燥；并使用干净干燥的柔软棉布清洁电池或电源模块的连接端口。
- 3) 请勿短路电池或电源模块。由于彼此接触或其它导体接触易引起短路，请勿将多块电池或电源模块放置在纸盒或者抽屉中存储；电池和电源模块使用前请勿拆除原外包装。
- 4) 电池和电源模块请勿遭受机械冲撞。
- 5) 若电池泄露液体，请勿接触皮肤和眼睛，若有接触请用大量的清水冲洗后，及时就医。
- 6) 请使用厂家标配的电池和电源模块，任何不正确的替换和充电电池(例如：锂电池)，都易引起爆炸。
- 7) 废弃的电池和电源模块需回收并与其它废弃物品分开处理。因电池内部的有毒物质，需根据当地规定合理丢弃或循环利用。

### 2.2.7 运输

- 1) 仪器较重请小心搬放，必要时借助工具(例如：起重机)移动仪器，以免损伤身体。
- 2) 仪器把手适用于个人搬运仪器时使用，运输仪器时不能用于固定在运输设备上。为防止财产和人身伤害，请按照厂家有关运输仪器的安全规定进行操作。
- 3) 在运输车辆上操作仪器，司机需小心驾驶保证运输安全，厂家不负责运输过程中的突发事件。所以请勿在运输过程中使用仪器，且应做好加固防范措施，保证产品运输安全。

### 2.2.8 废弃处理/环境保护

- 1) 请勿将标注有电池或者蓄电池的设备随未分类垃圾一起处理，应单独收集，且在合适的收集地点或通过厂家的客户服务中心进行废弃处理。
- 2) 请勿将废弃的电子设备随未分类垃圾一起处理，应单独收集。厂家有权利和责任帮助最终用户处置废弃产品，需要时，请联系厂家的客户服务中心做相应处理以免破坏环境。
- 3) 产品或其内部器件进行机械或热再加工处理时，或许会释放有毒物质（重金属灰尘例如：铅、铍、镍等），为此，需要经过特殊训练具备相关经验的技术人员进行拆卸，以免造成人身伤害。
- 4) 再加工过程中，产品释放出来的有毒物质或燃油，请参考生产厂家建议的安全操作规则，采用特定的方法进行处理，以免造成人身伤害。

## 3 使用入门

本章介绍了 4152 调制域分析仪系列仪器的使用前注意事项、前后面板浏览、常用基本测量方法及数据文件管理等。以使用户初步了解仪器本身和测量过程。该章节包含的内容与快速入门手册相关章节一致。

### 3.1 准备使用

#### 3.1.1 操作前准备

本章介绍了 4152 调制域分析仪系列初次设置使用前的注意事项。

#### 警告

##### 防止损伤仪器

为避免电击、火灾和人身伤害：

- 请勿擅自打开机箱；
- 请勿试图拆开或改装本手册未说明的任何部分。若自行拆卸，可能会导致电磁屏蔽效能下降、机内部件损坏等现象，影响产品可靠性。若产品处于保修期内，我方不再提供无偿维修；
- 认真阅读本手册“[2.2 安全使用指南](#)”章节中的相关内容，及下面的操作安全注意事项，同时还需注意数据页中涉及的有关特定操作环境要求。

#### 注意

##### 操作仪器时请注意：

不恰当的操作位置或测量设置会损伤仪器或其连接的仪器。仪器加电前请注意：

- 风扇叶片未受阻及散热孔通畅；
- 保持仪器干燥；
- 环境温度符合数据页中标注的要求；
- 端口输入信号功率符合标注范围。

#### 提示

##### 电磁干扰（EMI）的影响：

电磁干扰会影响测量结果，为此：

- 选择合适的屏蔽电缆。例如，使用双屏蔽射频/网络连接电缆；
- 请及时关闭已打开且暂时不用的电缆连接端口或连接匹配负载到连接端口；
- 参考注意数据页中的电磁兼容（EMC）级别标注。

### 3.1.1.1 开箱

#### 1) 外观检查

**步骤 1.** 检查外包装箱和仪器防震包装是否破损，若有破损保存外包装以备，并按照下面的步骤继续检查；

**步骤 2.** 开箱，检查主机和随箱物品是否有破损；

**步骤 3.** 按照表 3.1 仔细核对以上物品是否有误；

**步骤 4.** 若外包装破损、仪器或随箱物品破损或有误，严禁通电开机！请根据封面中的服务咨询热线与我公司服务咨询中心联系，我们将根据情况迅速维修或调换。

#### 2) 型号确认

表 3.1 随箱物品清单

| 名称          | 数量 | 说明           |
|-------------|----|--------------|
| <b>主机:</b>  |    |              |
| ◇ 4152A/E/F | 1  | 对应型号调制域分析仪   |
| <b>标配:</b>  |    |              |
| ◇ 三芯电源线     | 1  | 标准电源线        |
| ◇ 光盘        | 1  | 用户手册、程控手册及示例 |
| ◇ 用户手册      | 1  | 纸质           |
| ◇ 程控手册      | 1  | 纸质           |
| ◇ 装箱清单      | 1  | 纸质           |
| ◇ 产品合格证     | 1  | 纸质           |

### 3.1.1.2 环境要求

4152 系列调制域分析仪的操作场所应满足下面的环境要求：

#### 1) 操作环境

操作环境应满足下面的要求：

表 3.2 4152 系列仪器操作环境要求

|      |   |
|------|---|
| 温度   | 0°C~ 50°C   |
| 湿度   | >+10°C 时，湿度为：(95%±5%)RH<br>>+30°C 时，湿度为：(75%±5%)RH<br>>+40°C 时，湿度为：(45%±5%)RH |
| 海拔高度 | 0~4600 米  |

## 注意

上述环境要求只针对仪器的操作环境因素，而不属于技术指标范围。

## 2) 散热要求

为了保证仪器的工作环境温度在操作环境要求的温度范围内,应满足仪器的散热空间要求如下:

表 3.3 4152 系列仪器散热要求

| 仪器部位 | 散热距离          |
|------|---------------|
| 后侧   | $\geq 150$ mm |
| 左右侧  | $\geq 60$ mm  |

### 3.1.1.3 开/关电

#### 1) 加电前注意事项

仪器加电前应注意检查确认供电电源参数

4152 系列调制域分析仪电源最大功耗小于 350W, 供电电源为 50Hz 单相 220V, 稳态电压允许范围是额定值 $\pm 10\%$  (198V~242V), 稳态频率允许范围是额定值 $\pm 5\%$  (47.5Hz~52.5Hz)。

初次加电, 仪器开/关电方法和注意事项如下:

**步骤 1.** 将包装箱内的电源线分别连接到电源和调制域分析仪后面板右侧的电源口中, 再开后面板电源开关;

**步骤 2.** 调制域分析仪前面板电源按键上侧是否亮起黄色灯光, 如不亮请按联系厂家;

**步骤 3.** 按下前面板电源按键, 开机后前面板电源开关上方的指示灯会变为绿色, 屏幕亮起, 进入软件操作界面。

## 提示

### 10MHz 时基及预热

4152 系列调制域分析仪冷启动时, 需预热一段时间。调制域分析仪从待机状态启动工作时, 不需要预热时间。测试指标时, 仪器需预热半小时。(具体请参考数据页中相关说明)。

## 注意

### 仪器断电

仪器在正常工作状态时, 只能通过操作前面板电源开关实现关机。**不要直接断开与仪器的电源连接**, 否则, 仪器不能进入正常的关机状态, 会损伤仪器, 或丢失当前仪器状态/测量数据。**请采用正确的方法关机。**

非正常情况下, 为了避免人身伤害, 需要调制域分析仪紧急断电。此时, 只需拔掉电源线(从交流电插座或从仪器后面板电源插座)。为此, 操作仪器时应当预留足够的操作空间, 以满足必要时直接切断电源的操作。

### 3.1.1.4 正确使用连接器

在调制域分析仪进行各项测试过程中，经常会用到连接器，尽管校准件、测试电缆等测量端口的连接器都是按照最高的标准进行设计制造，但是所有这些连接器的使用寿命都是有限的。由于正常使用时不可避免的存在磨损，导致连接器的性能指标下降甚至不能满足测量要求，因此正确的进行连接器的维护和测量连接不但可以获得精确的、可重复的测量结果，还可以延长连接器的使用寿命，降低测量成本，在实际使用过程中需注意以下几个方面：

#### 1) 连接器的检查

在进行连接器检查时，应该佩带防静电腕带，建议使用放大镜检查以下各项：

- a) 电镀的表面是否磨损，是否有深的划痕；
- b) 螺纹是否变形；
- c) 连接器的螺纹和接合表面上是否有金属微粒；
- d) 内导体是否弯曲、断裂；
- e) 连接器的螺套是否旋转不良。



#### 连接器检查防止损坏仪器端口

任何已损坏的连接器即使在第一次测量连接时也可能损坏与之连接的良好连接器，为保护调制域分析仪本身的各个接口，在进行连接器操作前务必进行连接器的检查。

#### 2) 连接方法

测量连接前应该对连接器进行检查和清洁，确保连接器干净、无损。正确的连接方法和步骤如下：

**步骤 1.** 如图 3.1，对准两个互连器件的轴心，保证阳头连接器的插针同心地滑移进阴头连接器的接插孔内。



图 3.1 互连器件的轴心在一条直线上

**步骤 2.** 如图 3.2，将两个连接器平直地移到一起，使它们能平滑接合，旋转连接器的螺套（注意不是旋转连接器本身）直至拧紧，连接过程中连接器间不能有相对的旋转运动。

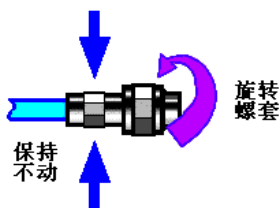


图 3.2 连接方法

**步骤 3.** 如图 3.3，使用力矩扳手拧紧完成最后的连接，注意力矩扳手不要超过起始的折点，可使用辅助的扳手防止连接器转动。

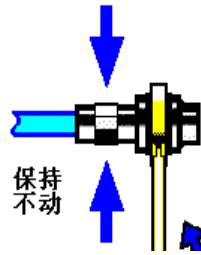


图 3.3 使用力矩扳手完成最后连接

### 3) 断开连接的方法

- 步骤 1.** 支撑住连接器以防对任何一个连接器施加扭曲、摇动或弯曲的力量；
- 步骤 2.** 可使用一支开口扳手防止连接器主体旋转；
- 步骤 3.** 利用另一支扳手拧松连接器的螺套；
- 步骤 4.** 用手旋转连接器的螺套，完成最后的断开连接；
- 步骤 5.** 将两个连接器平直拉开分离。

### 4) 力矩扳手的使用方法

力矩扳手的使用方法如图 3.4 所示，使用时应注意以下几点：

- 使用前确认力矩扳手的力矩设置正确；
- 加力之前确保力矩扳手和另一支扳手（用来支撑连接器或电缆）相互间夹角在  $90^\circ$  以内；
- 轻抓住力矩扳手手柄的末端，在垂直于手柄的方向上加力直至达到扳手的折点。

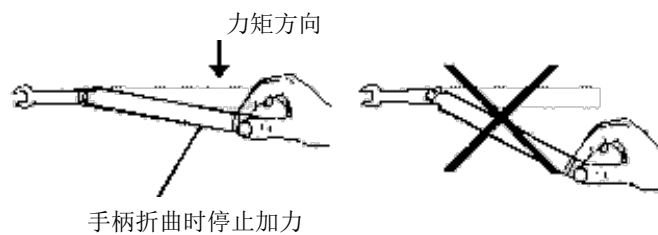


图 3.4 力矩扳手的使用方法

### 5) 连接器的使用和保存

- a) 连接器不用时应加上保护护套；
- b) 不要将各种连接器、空气线和校准标准散乱的放在一个盒子内，这是引起连接器损坏的一个最常见原因；
- c) 使连接器和分析仪保持相同的温度，用手握住连接器或用压缩空气清洁连接器都会显著改变其温度，应该等连接器的温度稳定下来后再使用它进行校准；
- d) 不要接触连接器的接合平面，皮肤的油脂和灰尘微粒很难从接合平面上去除；
- e) 不要将连接器的接触面向下放到坚硬的台面上，与任何坚硬的表面接触都可能损坏连接器的电镀层和接合表面；

- f) 佩带防静电腕带并在接地的导电工作台垫上工作, 这可以保护分析仪和连接器免受静电释放的影响。

## 6) 连接器的清洁

清洁连接器时应该佩带防静电腕带, 按以下步骤清洁连接器:

- a) 使用清洁的低压空气清除连接器螺纹和接合平面上的松散颗粒, 对连接器进行彻底检查, 如果需要进一步的清洁处理, 按以下步骤进行;
- b) 用异丙基酒精浸湿 (但不浸透) 不起毛的棉签;
- c) 使用棉签清除连接器接合表面和螺纹上的污物和碎屑。当清洁内表面时, 注意不要对中心的内导体施加外力, 不要使棉签的纤维留在连接器的中心导体上;
- d) 让酒精挥发, 然后使用压缩空气将表面吹干净;
- e) 检查连接器, 确认没有颗粒和残留物;
- f) 如果经过清洁后连接器的缺陷仍明显可见, 表明连接器可能已经损坏, 不应该再使用, 并在进行测量连接前确认连接器损坏的原因。

## 7) 适配器的使用

当调制域分析仪的测量端口和使用的连接器类型不同时, 必须使用适配器才能进行测量连接, 另外即使分析仪的测量端口和被测件端口的连接器类型相同, 使用适配器也是一个不错的主意。这两种情况都可以保护测量端口, 延长其使用寿命, 降低维修成本。将适配器连接到分析仪的测量端口前应对其进行仔细的检查 and 清洁, 应该使用高质量的适配器, 减小失配对测量精度的影响。

## 8) 连接器的接合平面

微波测量中的一个重要概念是参考平面, 对于分析仪来说, 它是所有测量的基准参考面。在进行校准时, 参考平面被定义为测量端口和校准标准接合的平面, 良好连接和校准取决于连接器间在接合面的各点上是否可以完全平直的接触。

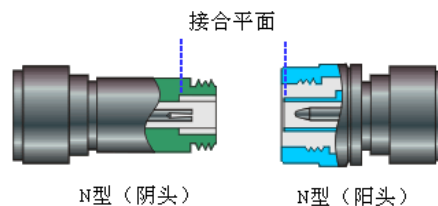


图 3.5 校准平面

### 3.1.1.5 用户检查

4152 系列调制域分析仪初次加电后, 需要检查仪器是否工作正常, 以备后续测量操作。

按 3.1.1.3 将 4152 系列调制域分析仪进行启动, 并预热 30 分钟后, 如下设置调制域分析仪:

- 步骤 1.** 利用 BNC 电缆将参考输出和通道 A 连接到一起;
- 步骤 2.** 按前面板按键【复位】, 再点击【系统】键, 进入系统菜单;
- 步骤 3.** 单击[参考时基]→[内参考输出], 选择内参考输出为开;



**步骤 4.** 单击【自动比例】，观察测试结果：若显示 10MHz 的频率测量结果，表明仪器工作正常；若没有结果显示，表明仪器工作不正常，此时，请根据本手册中的封面二或者“7.4 返修方法”中提供的联系方式与我公司服务咨询中心联系，我们将根据情况迅速维修或调换。

## 提示

### 前面板硬按键和菜单软按键说明

前面板硬按键和菜单软按键，在以下内容中的描述形式为：

- 1) 硬键描述形式：【XXX】，XXX 为硬键名称；
- 2) 软键描述形式：[XXX]，XXX 为软键名称。

若软键数值对应多种状态，那么被选中的数值的字体颜色改变且背景色加深的选项表示其状态有效。例如：[触发源 内部 外部]，表示触发源内部选项有效。

## 3.1.2 操作系统配置

本章介绍了 4152 系列调制域分析仪的操作系统，及其配置和维护等方法。为了保证仪器软件功能的正常运行，请参照下面有关调制域分析仪操作系统的注意事项：

4152 系列调制域分析仪的主机软件运行的操作系统是 Windows 7，已经按照调制域分析仪的特性需求安装配置完成。4152 系列调制域分析仪基于 Windows 7 操作系统，在仪器出厂前都已安装完毕。

### 3.1.2.2 Windows 7 使用

使用管理员帐户可以进行以下操作：

- 安装第三方软件；
- 配置网络和打印机；
- 读写硬盘上的任意文件；
- 增加、删除用户帐户和密码；
- 重新配置 Windows 设置；
- 运行其它应用程序。

## 注意

### 第三方软件影响仪器性能

4152 系列调制域分析仪采用的是开放式的 Windows 环境，安装其它的第三方软件，可能会影响调制域分析仪性能。只能运行经过厂家测试并与主机软件兼容的软件。

### 3.1.2.3 Windows 7 配置

在仪器出厂前，4152 系列调制域分析仪的操作系统已配置为最佳状态，任何操作系统设置更改都有可能造成仪器测量性能的下降。通常情况下，Windows 操作系统的设置不需要

做任何更改。

## 注意

### 更改系统配置导致问题

一旦由于更改系统配置产生仪器使用问题或者系统崩溃,可以使用仪器的系统恢复工具恢复操作系统和应用软件,或者根据本手册前言部分的服务咨询热线与我公司服务咨询中心联系,我们将尽快予以解决。

## 注意

### BIOS 设置不可修改

BIOS 中已经对 4152 系列调制域分析仪做了针对性设置,用户不要修改 BIOS 中的设置,否则会引起仪器启动和工作异常。

为了方便用户的测量报表及系统集成,以下列出的各项,用户可以根据需要自行更改。

#### 1) 配置 USB 设备

4152 系列调制域分析仪的前面板和后面板提供 USB 接口,用户可直接连接 USB 设备。若端口数量不足,可通过 USB 接口外接 USB 集线器以满足需求。4152 系列调制域分析仪可连接的 USB 设备是:

- 可直接从计算机插拔的 USB 存储器,便于数据更新;
- CD-ROM 驱动器,便于安装固件程序;
- 键盘、鼠标,便于编辑数据、操作仪器;
- 打印机,便于输出测量结果;

Windows 7 操作系统支持即插即用设备,因此安装 USB 设备十分方便,当设备连接到 USB 端口时,Windows 7 会自动搜寻匹配的设备驱动程序。若未找到,系统会提示自行查找驱动程序目录完成安装。

若 USB 设备从 USB 端口移除,Windows 7 会自动检测到硬件配置发生变化,并卸载相关驱动程序。USB 设备的插拔,不影响 4152 系列调制域分析仪的工作状态。

连接 USB 设备的方法如下说明:

##### a) 连接存储器或 CD-ROM 驱动器

若存储器或 CD-ROM 驱动器安装成功,Windows 7 会提示:“设备安装成功,可以使用”,并自动显示路径名称和提示符(例如:“D:”)。

##### b) 连接键盘

Windows 7 系统会自动检测连接到仪器的 USB 键盘,输入语言默认为“中文(中国)- 简体中文 - 美式键盘”,可通过“开始 > 设置 > 控制面板 > 区域和语言选项 > 文字服务和输入语言”配置键盘属性。

### c) 连接鼠标

Windows 7 系统会自动检测连接到仪器的鼠标, 可通过“开始 > 设置 > 控制面板 > 鼠标”配置鼠标属性。

### d) 连接打印机

使用 Windows 的控制面板可以进行打印机配置。使用外接的 USB 鼠标和键盘可以使打印机配置工作更容易进行。如果需要安装一个新的打印机, 则只需要安装该打印机的驱动程序。打印机的制造商会提供打印机的驱动安装程序。可以通过外接的 USB 光驱安装驱动程序。

## 2) 配置 GPIB

用户在利用 4152 系列调制域分析仪搭建系统时, 可能需要修改 GPIB 地址, 本机的 GPIB 地址默认为 15。更改 GPIB 地址的方法如下:

按【系统】→[程控设置] →[GPIB 地址], 就可以利用前面板数字键在本机 GPIB 地址输入框进行更改。

## 3) 配置网络

### a) 更改主机名称

调制域分析仪主机名称 (计算机名) 在出厂前已经被预置为“调制域分析仪”。为了避免出现网络重名现象, 对于一个网络连接多台调制域分析仪的情况, 用户可自行更改主机名。更改主机名称的具体操作步骤如下, 参考 Microsoft Windows7 帮助文档。

### b) 配置 IP 地址、子网掩码和默认网关

点击屏幕下方 Windows 键, 按路径打开控制面板\网络和 Internet\网络和共享中心, 其后单击本地网络, 会弹出系统网络设置控制, 对本机 IP 地址、子网掩码与默认网关等均可进行手动更改。更改 IP 地址、子网掩码与默认网关的具体操作, 参考 Microsoft Windows7 帮助文档。

### c) 改变系统防火墙设置

防火墙用于防止未授权用户从远程操作仪器。因此, 厂家建议打开防火墙保护。4152 系列调制域分析仪出厂时已经使能系统和所有远程操作相关的端口连接的防火墙保护。

管理员具备唯一的改变防火墙设置权限。

## 3.1.2.4 Windows 7 系统安全和维护

### 1) 防病毒软件

安装防病毒软件可能会对仪器性能产生一些负面影响, 强烈建议用户不要将仪器做为浏览网页或者传递文件的普通计算机使用, 以免感染病毒。

在使用各种 USB 移动存储设备之前, 应首先基于安装了最新防病毒软件的计算机对这些移动设备进行杀毒处理, 确保其不会成为病毒携带介质。

一旦调制域分析仪系统平台感染病毒, 将会对其运行和用户的使用带来负面影响, 此时

建议用户进行系统恢复操作。

## 2) 系统维护

### a) Windows 7 备份

建议用户定期地进行系统备份工作，使用本仪器的“系统恢复工具”可以完整地备份仪器数据和系统，具体操作请参考“系统备份恢复”。

建议在将仪器用于常规用途之外的其它用途之前，比如长期接入 Internet、安装第三方软件等，为避免意外中毒和其它危害仪器系统的操作，仪器需要先进行系统备份。

Windows 7 操作系统同样具有数据备份功能，可以备份仪器上所有数据，并创建可以在出现严重故障的情况下用来还原 Windows 的系统磁盘。可以参考 Windows7 的帮助和参考来获得更多信息。同时，也可以使用第三方的备份软件，但是需要确保第三方备份软件与仪器系统软件互不冲突。建议将系统数据备份在外接的设备上，比如网络硬盘或者 USB 硬盘等。

### b) Windows7 系统恢复

Windows 7 具备系统恢复功能，可以将系统还原为此前某个时刻的状态。然而，Windows 自带的系统备份恢复并不总是能够成功，所以不推荐使用这种备份方案。

## 3) 硬盘分区和使用

硬盘分为 4 个分区：“C: ”、“D: ”、“E: ”。

C 盘包括 Windows7 操作系统和仪器应用程序。也可以安装第三方软件到 C 盘。C 盘是备份程序和恢复的唯一盘符。

D 盘主要是按键的响应程序 KeyMap 软件，

E 盘主要用作数据存储。包括用户存储的软件数据和 C 盘系统备份。可以把 E 盘上的备份数据拷贝至外接的存储介质上，这样即使需要更换硬盘，也只需要把备份数据恢复到新硬盘上即可。

### 3.1.2.5 系统备份恢复

#### 1) 硬盘操作系统或者数据恢复

调制域分析仪硬盘恢复系统用来修复 C 盘错误（可能是由于系统文件或者数据的丢失造成的），或者恢复原始的出厂数据。

恢复原始出厂数据会对以下条目产生影响：

- 用户自定义的 Windows 7 设置。例如新增加的用户帐户。系统恢复以后，这些新配置需要重新设置；
- 用户安装的其它的第三方软件，系统恢复以后，这些软件需要重新安装。

用户在测量过程中产生的数据，应存放在 F 盘中，并建议用户定期将这些数据通过局域网络连接传送到计算机或者其它存储介质上保存。

#### 2) 如何使用仪器恢复程序

**步骤 1.** 确认仪器处于关闭状态；

- 步骤 2.** 插入标准键盘；
- 步骤 3.** 打开仪器，在系统信息显示之后，会出现带计时器的操作系统选单：  
Windows 7 ；  
系统恢复工具；  
在计时器到 0 之前，使用标准键盘上的上下箭头移动高亮选择“系统恢复工具”，选中后按确认键；
- 步骤 4.** 进入恢复程序界面后，按照如下步骤进行恢复操作：
- 1) 选择第 1 项 “GHOST, DISKGEN, PQMAGIC, MHDD, DOS”，等待进入下一个操作提示界面；
  - 2) 选择第 3 项启动 “GHOST11.2” 操作，等待进入 GHOST11.2 操作界面并在出现带 OK 按钮的对话框时按回车键；
  - 3) 选择 Local→Partition→From Image；在打开文件对话框中通过 Tab 按键激活 “File name” 输入框，输入 1.4: \SystemGhost.GHO；
  - 4) 在弹出的选择源分区选择文件对话框中用 Tab 键切换至点选 OK 并回车；在此后弹出的选择目的设备的对话框中用 Tab 切换至点选 OK 并回车；在此后弹出的选择目的分区的对话框中选择默认分区，用 Tab 切换至点选 OK 并回车；
  - 5) 在警告和确认对话框中选择 Yes 并回车；
  - 6) 等待系统恢复进度完毕，根据提示选择重启；
- 步骤 5.** 恢复完成仪器重新启动后，系统进入到上次备份的系统状态。

### 3.1.3 例行维护

本节介绍了 4152 系列调制域分析仪日常维护方法。

#### 3.1.3.1 清洁方法

##### 1) 清洁仪器表面

清洁仪器表面时，请按照下面的步骤操作：

**步骤 1.** 关机，断开与仪器连接的电源线；

**步骤 2.** 用干的或稍微湿润的软布轻轻擦拭表面，禁止擦拭仪器内部；

**步骤 3.** 请勿使用化学清洁剂，例如：酒精、丙酮或可稀释的清洁剂等。

##### 2) 清洁显示器

使用一段时间后，需要清洁显示 LCD 显示器。请按照下面的步骤操作：

**步骤 1.** 关机，断开与仪器连接的电源线；

**步骤 2.** 用干净柔软的棉布蘸上清洁剂，轻轻擦拭显示面板；

**步骤 3.** 再用干净柔软的棉布将显示擦干；

**步骤 4.** 待清洗剂干透后方可接上电源线。

## 注意

### 显示器清洁

显示屏表面有一层防静电涂层，切勿使用含有氟化物、酸性、碱性的清洗剂。切勿将清洗剂直接喷到显示面板上，否则可能渗入机器内部，损坏仪器。

### 3.1.3.2 测试端口维护

4152系列调制域分析仪都具有6个BNC端口（阴头），且4152E有一个3.5mmN型转接器（阳头），4152F有一个2.4mmKJ转接器（阳头）。若该接头损伤或内部存在灰尘会影响射频波段测试结果，请按照的下面的方法维护该类接头：

- 接头应远离灰尘，保持干净；
- 为防止静电泄露（ESD），不要直接接触接头表面；
- 不要使用损伤的接头；
- 请使用电吹风清洁接头，不要使用例如砂纸之类的工具研磨接头表面。

## 3.2 前面板与接口说明

该章节介绍了4152系列调制域分析仪的前面板、操作界面的元素组成及其功能、以及上方接口等。

### 3.2.1 前面板说明

本节介绍了4152系列调制域分析仪的前面板组成及功能，以4152E为例，进行说明，前面板如下（图3.6），说明见表3.4：

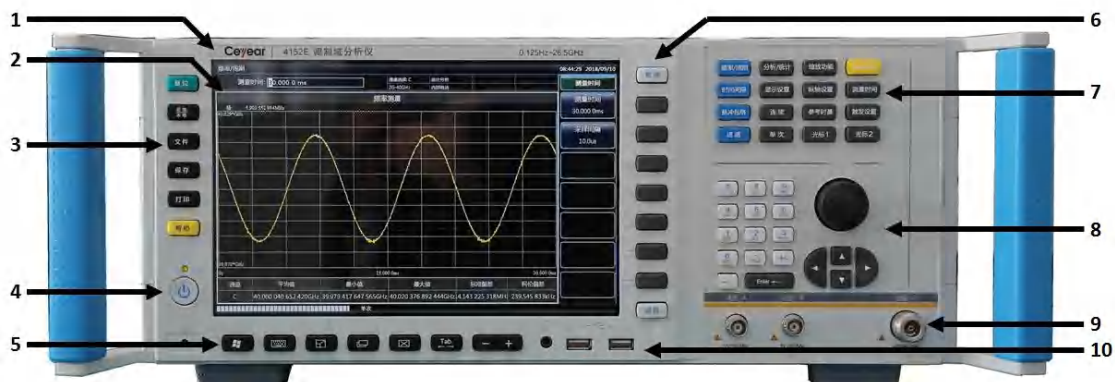


图 3.6 4152 系列调制域分析仪前面板

- |          |             |          |         |
|----------|-------------|----------|---------|
| 1. 标签区   | 2. 显示区      | 3. 功能区   | 4. 电源按键 |
| 5. 系统按键区 | 6. 软按键区     | 7. 测量功能区 | 8. 输入区  |
| 9. 接口区   | 10. USB/耳机区 |          |         |

表 3.4 前面板说明

| 序号 | 名称     | 说明   |
|----|--------|--|
| 1  | 标签区    | 4152 产品型号  |
| 2  | 显示区    | 10.1寸LCD显示器，用于显示所有测量结果、状态和设置信息，并允许不同测量任务间的切换。具体操作界面说明请参考章节“3.3.1.1 操作界面主要特征”。          |
| 3  | 功能区    | 包括：复位、系统/本地、文件、保存、打印、帮助的功能按键。  |
| 4  | 电源按键   | 电源按钮，用于开机/关机   |
| 5  | 系统按键区  | 提供操作系统的功能按键，包括开始，软键盘，截屏，切换窗口，关闭窗口，Tab 键，音量大小键。   |
| 6  | 软按键区   | 用于操作对应的软件菜单。   |
| 7  | 测量功能区  | 用于控制及配置仪器参数，来获取想要的测试结果   |
| 8  | 输入区    | 用于对参数进行输入及调整   |
| 9  | 接口区    | 提供A通道输入接口：BNC阴头连接器；B通道输入接口：BNC阴头连接器；4152E型C通道输入接口：3.5mmN型连接器；4152F型C通道输入接口：2.4mmKJ连接器。 |
| 10 | USB/耳机 | 提供两个 USB 接口及耳机插孔。耳机插口为保留接口。  |

### 3.2.2 后面板说明

本节介绍了 4152 系列调制域分析仪的后面板如下图（图 3.7），具体列项说明如表 3.5。



图 3.7 4152 系列调制域分析仪后面板

表 3.5 后面板说明

| 序号 | 名称      | 说明  |
|----|---------|---|
| 1  | GPIB 接口 | 用于 GPIB 程控。                                   |
| 2  | 系统接口区   | 包含多种扩展接口，从左到右分别为USB口，LAN接口，USB口，VGA接口。        |
| 3  | 信号接口区   | 从左向右依次为：10MHz 输入，10MHz 输出，闸门输出 1，闸门输出 2，触发输入。 |
| 4  | 电源区     | 由电源接口及电源物理开关组成。                               |



### 3.3 基本测量方法

本节介绍了4152系列调制域分析仪的基本的设置和基本的测量方法，包括：

#### 3.3.1 基本设置说明

本节介绍了 4152 系列调制域分析仪的用户操作界面主要特征及基本测量设置方法，后续的不同测量任务都会用到这些基本的测量设置方法。本节包括：

##### 3.3.1.1 操作界面主要特征

4152系列调制域分析仪采用新型直观的图形用户界面，将清晰的配置信息和结果显示在界面上，如下图（图3.8），列项说明如表3.6：



图3.8 4152系列调制域分析仪界面示意图

表 3.6 操作界面说明

| 序号 | 名称    | 说明                   |
|----|-------|----------------------|
| 1  | 标题区   | 显示测量功能与当前时间。         |
| 2  | 输入区   | 会弹出输入框，右侧显示常用设置信息    |
| 3  | 结果显示区 | 用于显示当前测量功能的测量结果。     |
| 4  | 统计显示区 | 根据分析功能，显示不同的信息       |
| 5  | 状态信息区 | 显示测量进度条、当前测量模式、及错误信息 |
| 6  | 菜单区   | 用于控制整机的功能，通过软按键进行操作  |

##### 3.3.1.2 基本测量设置方法

###### 1) 基础参数设置方法



**步骤 1**、点击前面板【频率/周期】/【时间间隔】/【脉冲包络】，在软按键中，选择需要的测量功能；

**步骤 2**、点击前面板的【通道】→[通道选择]，选择相应的测量通道，并选择通道的测量波段；

**步骤 3**、点击【自动比例】按键，将会自动搜索电平等参数进行设置，给出测量结果注：上述步骤可完成 90%的基本操作需求。

## 2) 设置参数型菜单

通过软按键，点击参数型菜单，在界面的最上方会刷新出输入框，通过前面板按键可直接输入数字，当输入数字时，菜单刷新为当前参数的单位，可通过软按键进行选择。如图 3.9 所示。

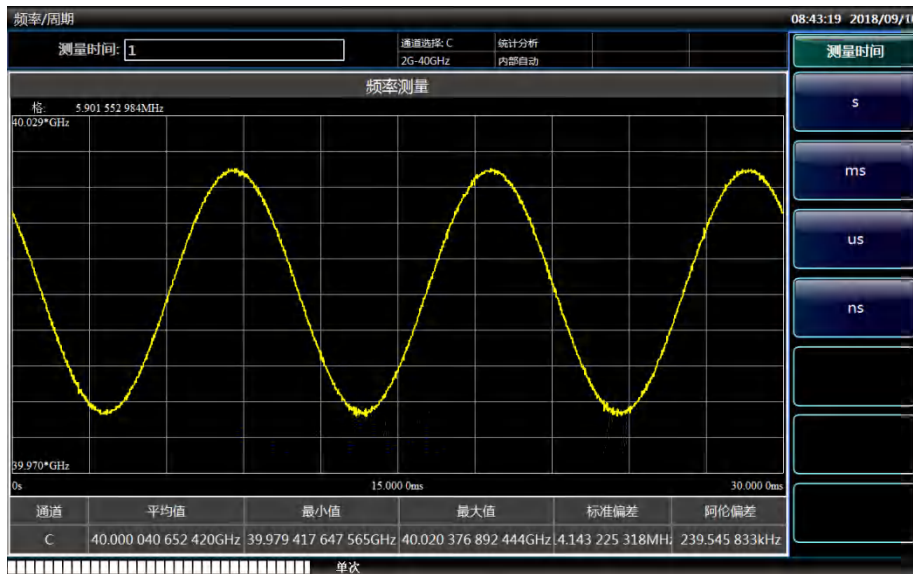


图 3.9 输入框示意图

也可通过步进按钮进行设置，通过左右键选择步进位，通过上下键进行调整。如图 3.10 所示。

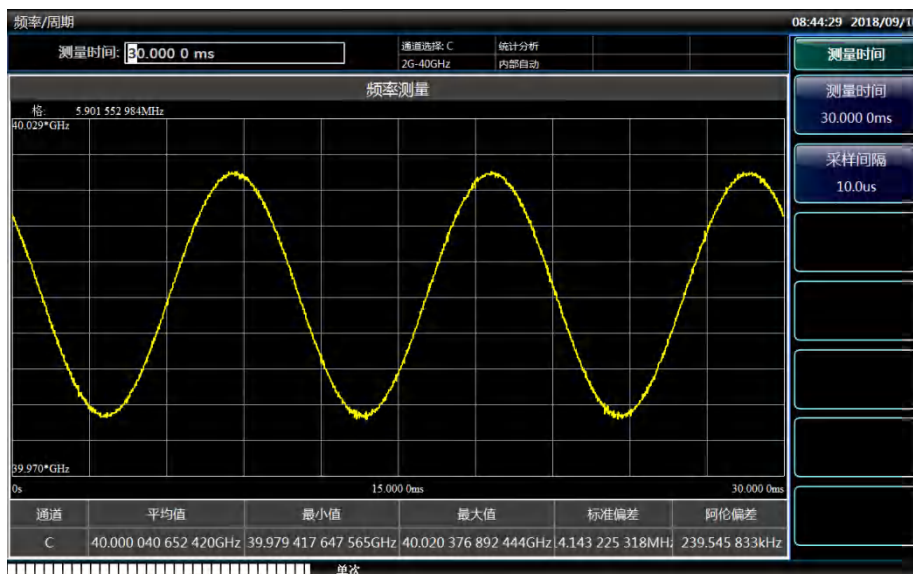


图 3.10 按位步进输入参数

### 3) 设置离散型参数

离散型参数主要分为两种设置方法，一种为切换型，一种为下拉菜单选择型。

切换型菜单如图 3.11 所示，通过利用软按键单击菜单，选择不同的设置，图中显示为当前选中状态是[通道 A 磁滞 30mV|60mV]，即选择 60mV。



图 3.11 切换型离散菜单

下拉菜单选择型，通过软按键单击菜单，菜单区会刷新为选项，通过软按键进行参数选择，如图 3.12 所示，选择结束后，选择项显示在菜单下方。



图 3.12 下拉菜单型离散菜单

### 3.3.2 操作示例

本节通过示例按步骤详细介绍了 4152 系列调制域分析仪的一些常用且重要的基本设置和功能，目的是使用户快速了解仪器的特点、掌握基本测量方法。

首先，调制域分析仪按照下面的步骤完成操作前预准备工作：

- 步骤 1.** 加电开机；
- 步骤 2.** 进入系统后初始化设置；
- 步骤 3.** 预热 30 分钟后；
- 步骤 4.** 前面板操作主界面无任何错误信息提示后，再开始下面的操作。

#### 提示

频率/周期测量功能包括：频率、周期；时间间隔测量功能包括：脉冲宽度、占空比周期、正时间间隔、正负时间间隔、相位；脉冲包络测量功能包括：脉冲包络参数、脉冲包络宽度、脉冲包络周期。

设置方法步骤基本一致，下面进行统一说明，结果查看方法见 3.5 节数据分析与显示。利用基本设置方法，可以满足 90% 的测量，其他情况参见操作指南中的高级操作指南。

- 步骤 1.** 按【复位】键。

- 按【复位】，恢复到厂家初始状态。

## 步骤 2.选择测量功能。

按以下路径，选择所需要的测量功能，并在出现的参数软菜单中选择所需要的参数：

- 按【频率/周期】→[频率]；  
按【频率/周期】→[周期]；
- 按【时间间隔】→[脉冲宽度]；  
按【时间间隔】→[脉冲占空比]；  
按【时间间隔】→[正时间间隔]；  
按【时间间隔】→[正负时间间隔]；  
按【时间间隔】→[相对相位]。
- 按【脉冲包络】→[脉冲包络参数]；  
按【脉冲包络】→[脉冲包络周期]；  
按【脉冲包络】→[脉冲包络宽度]。

## 步骤 3. 设置通道及通道参数：

按【通道】→[通道选择]，选择相应的测量通道；

按【通道】→[通道 X 波段]，选择被测通道所在波段。

## 步骤 4. 按【自动比例】，等待测量结果

测量结果及分析方法，参见 3.4 中结果数据分析与显示。

## 3.4 数据分析与显示

### 3.4.1 运算

#### 3.4.1.1 统计/分析

4152 系列调制域分析仪具有多种统计分析功能，每种测量功能的统计结果项目如表 3.7 所示。

除脉冲包络参数测量功能外，均提供统计、柱状图功能，路径为【分析/统计】→[分析功能]。柱状图模式下，提供累积功能，对统计结果进行累积。频率测量功能额外提供线性分析及跳频分析功能，详情见 4.1.1 频率测量功能。

表 3.7 统计结果说明表

| 测量功能   | 提供的统计分析 |      |     |     |      |
|--------|---------|------|-----|-----|------|
|        | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | 阿仑偏差 |
| 频率     | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | 阿仑偏差 |
| 周期     | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 脉冲宽度   | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 脉冲周期   | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 占空比    | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 正时间间隔  | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 正负时间间隔 | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 相对相位   | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 脉冲包络参数 | 包络周期    | 正脉宽  | 负脉宽 | 占空比 | 脉冲频率 |
| 脉冲包络周期 | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |
| 脉冲包络宽度 | 平均值     | 标准偏差 | 最大值 | 最小值 | —    |

### 3.4.2 图形

该节讲述 4152 系列调制域分析仪的图形显示方法，包括：

#### 3.4.2.1 趋势图

4152 系列调制域分析仪可对结果默认进行趋势图显示，如图 3.13 所示，坐标系中，横轴为时间，纵轴为结果，图中以频率测量为例，结果为频率值，可以看到频率随时间的变化趋势，图 3.13 为【分析/统计】→[关]下的显示曲线。

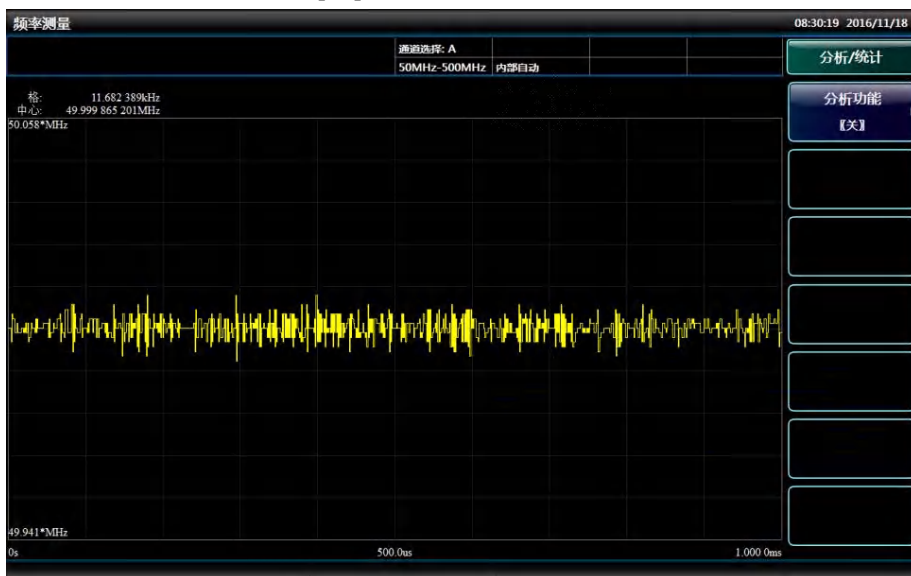


图 3.13 趋势图

为观测方便，可对坐标系进行设置。当单击【自动比例】时，趋势图自动调整纵轴，将全部数据点显示在坐标系中，也可以通过【纵轴设置】的子菜单中[起始][终止]或[中心][跨

度]对纵轴显示进行控制，查看想查询的频率范围。横轴可以通过控制【测量时间】→[全景模式]细节查看，观测某一段数据的详细信息，如图 3.14 所示。

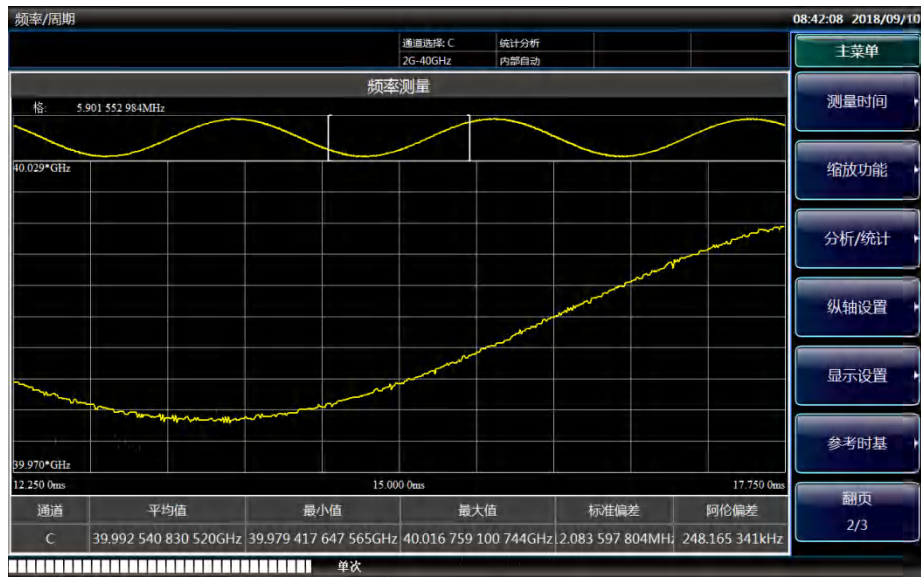


图 3.14 全景模式开结果显示示意图

同时，趋势图提供光标功能，可通过【光标】调整两条垂直光标，获取信息，光标信息显示在坐标系的右上方，显示光标的横纵轴值，同时显示两个光标横轴之间的差值，用来观测时间信息。



图 3.15 光标显示示意图

### 3.4.2.2 柱状图

4152 系列调制域分析仪可对结果进行柱状图统计显示，如图 3.16 所示，坐标系中，横轴为由频率段组成的柱子，纵轴为结果按柱子进行统计的百分比，图中最上方显示为横轴的起始和终止位置以及每个柱子的大小，坐标系的横轴显示为第几个柱子，柱状图通过【分析/统计】→[分析功能]选择柱状图，打开柱状图显示模式。

为适应不同用户统计的需求，可通过【分析/统计】显示的的子菜单对柱状图坐标系进行配置：通过[柱子个数]对柱子个数进行控制，可对柱状图统计的[起始][终止]进行直接输入

手动配置，按起始和终止进行统计。也可进行[累积]，当累积开时，会对测量结果持续进行柱状图累积显示，可通过清除累积，重新开始累积柱状图，如图 3.17 所示。

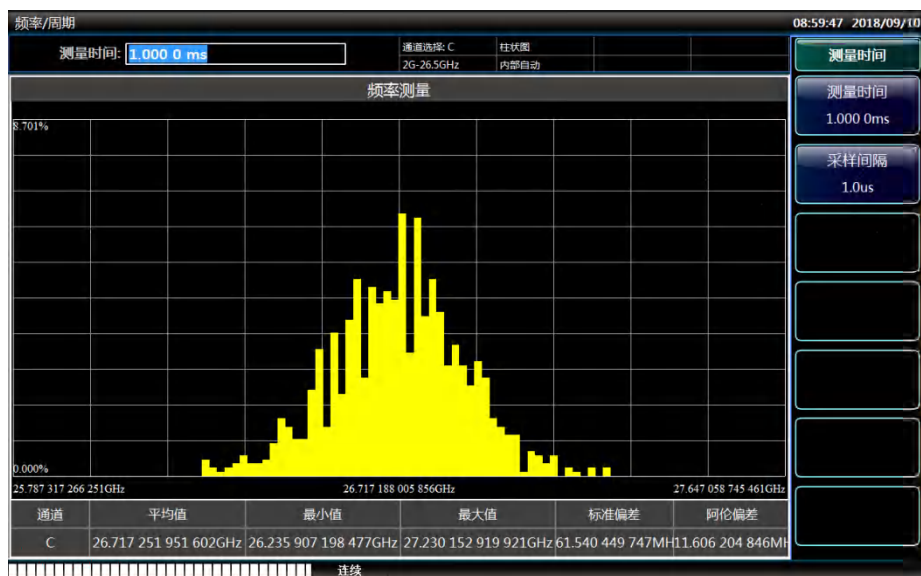


图 3.16 柱状图显示

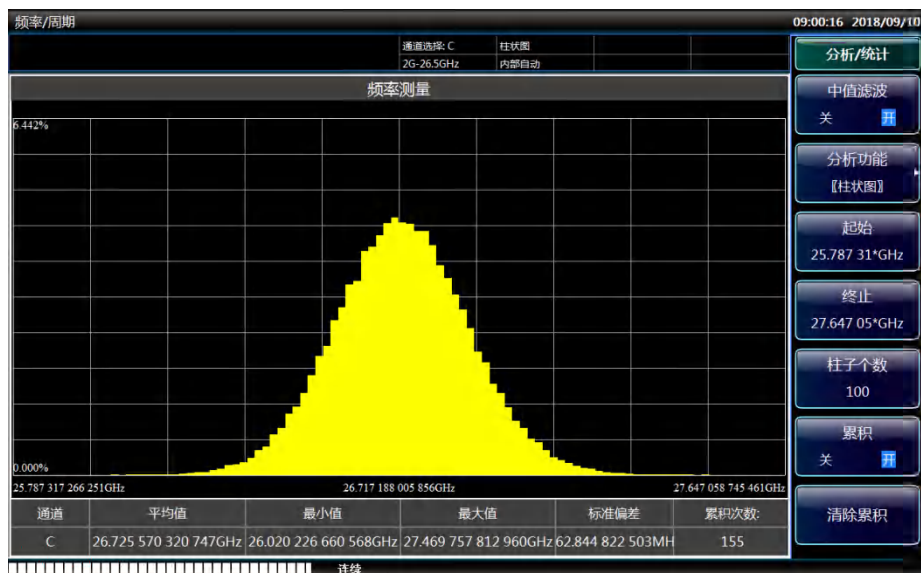


图 3.17 柱状图累积示意图



## 4 操作指南

本章详细介绍了 4152 系列调制域分析仪的除 3.3 基本测量方法外的操作方法，用于获取更加精确的测量结果。

### 4.1 频率/周期功能操作指南

#### 4.1.1 频率测量功能

该功能主要对信号的频率进行测量，每次测量为一个采样间隔的平均频率。以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的频率测量结果。自动流程见 3.3 基本测量方法。

##### 步骤 1.按【复位】

##### 步骤 2. 选择频率测量功能：

- 按【频率/周期】→[频率]。

##### 步骤 3. 设置通道及通道参数：

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A|B|C。
- 按【通道设置】→[通道 X 波段选择]，选择符合被测信号的波段
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

##### 步骤 4. 设置测量参数：

- 按【测量时间】→[测量时间]，直接设置测量时间
- 按【测量时间】→[采样间隔]，设置采样间隔，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

##### 步骤 5. 自动比例：

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

##### 步骤 6. 结果分析

- 【分析/统计】→【分析功能】选择跳频分析|线性分析，可以利用光标对测量结果进行分析。

跳频分析如图 4.1 所示，图中为跳频分析功能，将两个光标移动到两个频点位置，即可在统计结果栏中直接读取结果：频点 1 频率，频点 1 驻留时间，频点 2 频率，频点 2 驻留时间，频率切换时间。



图 4.1 跳频分析功能

线性调频分析如图 4.2 所示，将光标移动至要分析的线性变化曲线的两端，分析工具会自动分析线性变化的线性度、带宽、最大值、最小值、总时间。

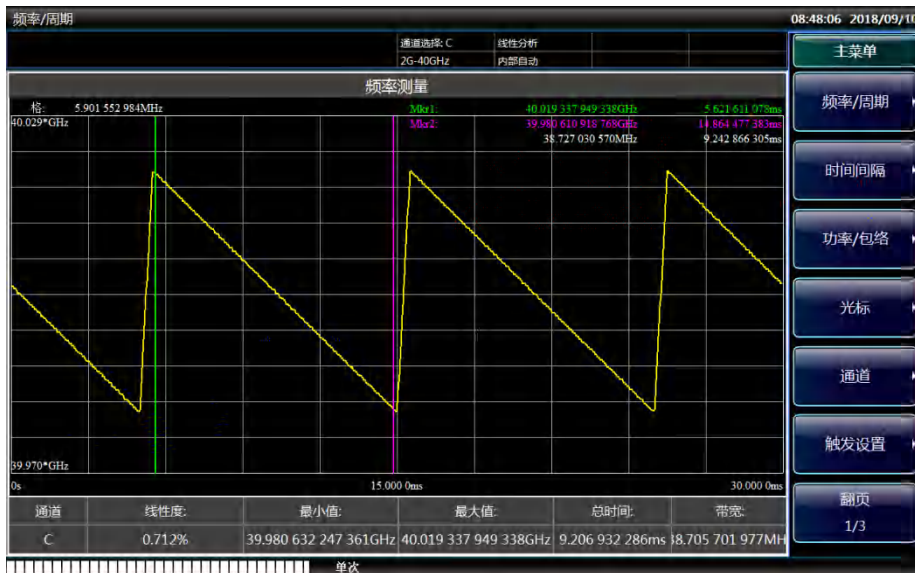


图 4.2 线性分析功能

线性调频还提供 FIR 滤波功能，默认为关，可选择 11 阶、23 阶、29 阶、65 阶四种阶数，对应不同的 FIR 滤波系数组，如图 4.3 所示，调制域分析在测量频率时，时间间隔越短，频率测量准确度越低，时间准确度越高，为了避免仪器自身测量不准确性对结果的影响，提供了该种视频滤波功能，阶数越大，滤波效果越好，滤波后结果用红色迹线显示在原始迹线上方。可以通过设置分析范围百分比，截取中间部分进行线性度分析，来满足不同用户对分析段的不同要求。



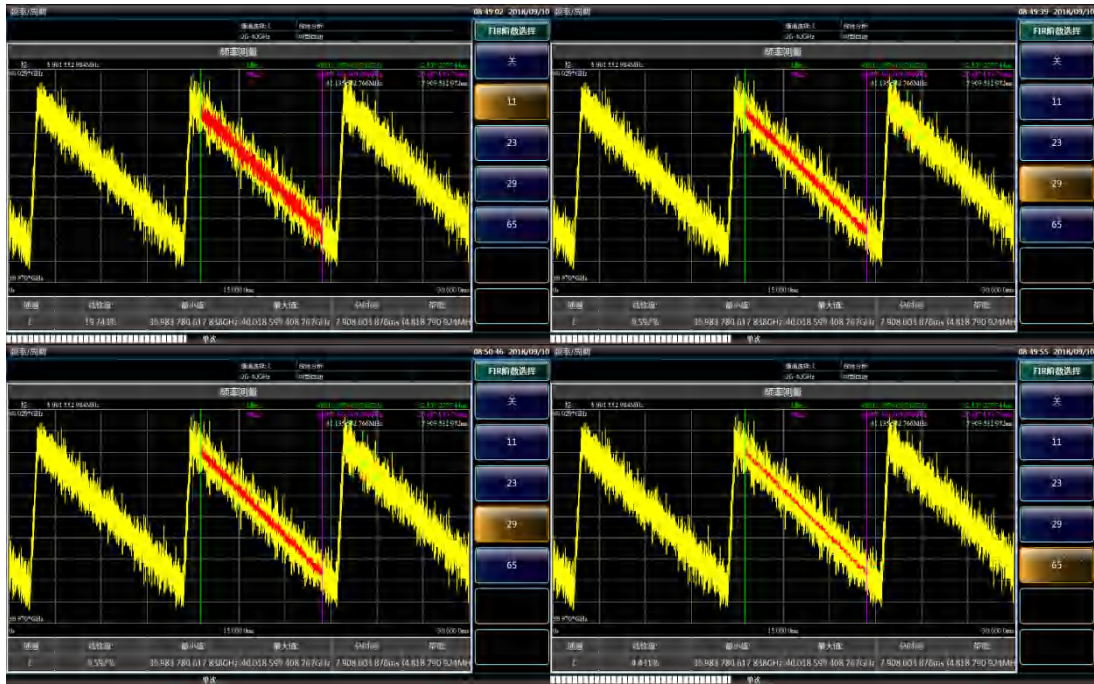


图 4.3 FIR 滤波结果示意图

#### 4.1.2 周期测量功能

该功能主要对信号的周期进行测量，每次测量为一个采样间隔的平均周期。以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的周期测量结果。自动流程见 3.3 基本测量方法。

##### 步骤 1.按【复位】

##### 步骤 2. 选择频率测量功能:

- 按【频率/周期】→[周期]。

##### 步骤 3. 设置通道及通道参数:

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A|B|C；
- 按【通道设置】→[通道 X 波段选择]，选择符合被测信号的波段；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

##### 步骤 4. 设置测量参数:

- 按【测量时间】→[测量时间]，直接设置测量时间；
- 按【测量时间】→[采样间隔]，设置采样间隔，具体设置效果及影响见 4.2 菜

单说明。

#### 步骤 5. 自动比例:

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

## 4.2 时间间隔功能操作指南

这部分介绍了 4152 系列调制域分析仪关于时间间隔类测量功能的具体的测量操作过程。注意，时间间隔类测量功能只能测量 A/B 通道，可测频率为 10MHz 以下的被测信号。

### 4.2.1 脉冲宽度测量功能

该功能主要对信号的脉冲宽度进行测量，以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的脉冲宽度测量结果。自动流程见 3.3 基本测量方法。

#### 步骤 1.按【复位】

#### 步骤 2. 按【时间间隔】→[脉冲宽度]

#### 步骤 3. 设置通道及通道参数:

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A/B；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

#### 步骤 4. 设置测量参数:

- 按【测量时间】，直接设置测量时间，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

#### 步骤 5. 自动比例:

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

## 4.2.2 占空比测量功能

该功能主要对脉冲信号占空比进行测量，以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的频率比测量结果。自动流程见 [3.3 基本测量方法](#)。

### 步骤 1.按【复位】

### 步骤 2. 按【时间间隔】→[脉冲占空比]：

### 步骤 3. 设置通道及通道参数：

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A|B；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 [4.2 菜单说明](#)。

### 步骤 4. 设置测量参数：

- 按【测量时间】，直接设置测量时间，具体设置效果及影响见 [4.2 菜单说明](#)。

### 步骤 5. 自动比例：

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 [3.5 数据分析与显示](#)的操作获取想要的测量结果。

## 4.2.3 时间间隔测量功能

该功能主要是对两个通道的相对时间间隔测量，分为正时间间隔和负时间间隔，以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的时间间隔测量结果。自动流程见 [3.3 基本测量方法](#)。

### 步骤 1.按【复位】

### 步骤 2. 按【时间间隔】→→[正时间间隔]或[正负时间间隔]

### 步骤 3. 设置通道及通道参数：

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A→B | B→A；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输

入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 4. 设置测量参数：**

- 按【测量时间】，直接设置测量时间，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 5. 自动比例：**

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

#### 4.2.4 相对相位测量功能

该功能主要对信号的相对相位进行测量，即  $A \rightarrow B$  |  $B \rightarrow A$  的相对相位。以下为更为详细的手动控制流程，用于获得更个性化的相位测量结果。自动流程见 3.3 基本测量方法。

**步骤 1.按【复位】**

**步骤 2. 按【时间间隔】** → [相对相位]

**步骤 3. 设置通道及通道参数：**

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选  $A \rightarrow B$  |  $B \rightarrow A$ ；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[输入阻抗]、[输入范围]、[输入耦合]、[滤波器]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 4. 设置测量参数：**

- 按【测量时间】，直接设置测量时间，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 5. 自动比例：**

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

#### 4.3 脉冲包络功能操作指南

该功能主要对脉冲调制信号的脉冲包络参数进行测量。自动流程见 3.3 基本测量方法。

### 4.3.1 脉冲包络参数测量

#### 步骤 1.按【复位】

#### 步骤 2. 选择脉冲包络测量功能:

- 按【脉冲包络】→[脉冲包络参数]。

#### 步骤 3. 设置通道及通道参数:

- 按【通道设置】→[通道选择], 选择被测通道, 可选 A|B;
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上, 配置通道参数, 根据需求, 选择[衰减器]、[磁滞], 具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

#### 步骤 4. 设置测量参数:

- 按【测量时间】, 直接设置测量时间, 具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

#### 步骤 5. 自动比例:

- 按下【自动比例】, 自动搜索触发电平, 并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

### 4.3.2 脉冲包络周期测量

#### 步骤 1.按【复位】

#### 步骤 2. 选择脉冲包络测量功能:

- 按【脉冲包络】→[脉冲包络周期]。

#### 步骤 3. 设置通道及通道参数:

- 按【通道设置】→[通道选择], 选择被测通道, 可选 A|B;
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上, 配置通道参数, 根据需求, 选择[衰减器]、[磁滞], 具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

#### 步骤 4. 设置测量参数:

- 按【测量时间】, 直接设置测量时间, 具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 5. 自动比例：**

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

### 4.3.3 脉冲包络宽度测量

**步骤 1.按【复位】**

**步骤 2. 选择脉冲包络测量功能：**

- 按【脉冲包络】→[脉冲包络宽度]。

**步骤 3. 设置通道及通道参数：**

- 按【通道设置】→[通道选择]，选择被测通道，可选 A|B；
- 在【通道设置】→[设置]的下级软菜单上，配置通道参数，根据需求，选择[衰减器]、[磁滞]，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 4. 设置测量参数：**

- 按【测量时间】，直接设置测量时间，具体设置效果及影响见 4.2 菜单说明。

**步骤 5. 自动比例：**

- 按下【自动比例】，自动搜索触发电平，并按 3.5 数据分析与显示的操作获取想要的测量结果。

## 5 菜单

### 5.1 菜单结构

菜单结构依次如下图 5.1 到图 5.14 所示：



图 5.1 频率/周期菜单结构



图 5.2 时间间隔菜单结构

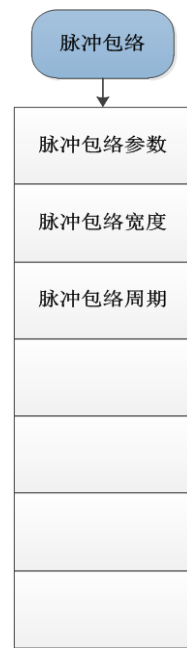


图 5.3 脉冲包络菜单结构



图 5.4 频率/周期菜单结构



图 5.5 通道设置菜单结构



图 5.6 触发菜单结构



图 5.7 测量时间菜单结构



图 5.8 纵轴设置菜单结构



图 5.9 分析/统计菜单结构

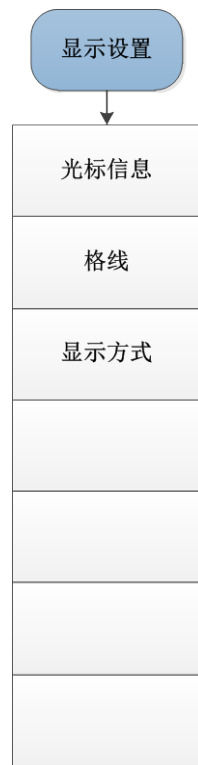


图 5.10 显示设置菜单结构





图 5.11 参考时基菜单结构

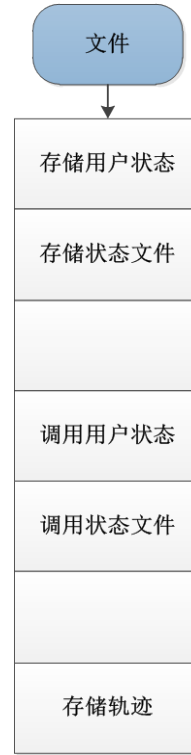


图 5.12 文件菜单结构

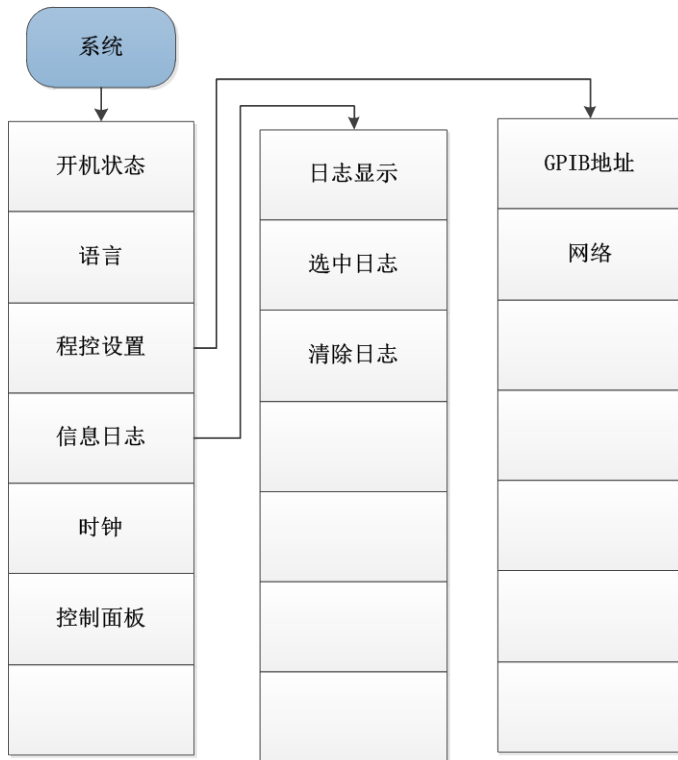


图 5.13 系统菜单结构



图 5.14 缩放菜单结构

## 5.2 菜单说明

本节详细介绍菜单项功能，参数等信息。

### 5.2.1 频率/周期

按前面板按键【频率/周期】，可选[频率]/[周期]两种测量功能。

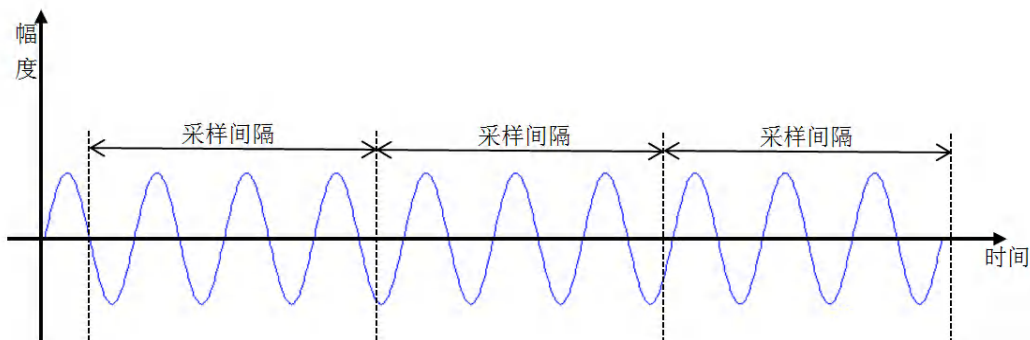


图 5.15 频率/周期测量示意图

如图 5.15 所示，测量的为一个采样间隔的平均频率与平均周期。

### 5.2.2 时间间隔

按前面板按键【时间间隔】，可选[脉冲宽度]/[脉冲占空比]/[正时间间隔]/[正负时间间隔]/[相对相位]测量功能。

#### 5.2.1 脉冲宽度/脉冲占空比

4152 系列宽度调制域分析仪的脉冲宽度与脉冲占空比测量的是频率：0.125Hz~5MHz 即周期范围为 200ns~8s 的被测信号，脉冲宽度范围要求为脉冲宽度：20ns~8s。

$$\text{占空比} = (\text{脉冲宽度} / \text{脉冲周期}) * 100\%$$

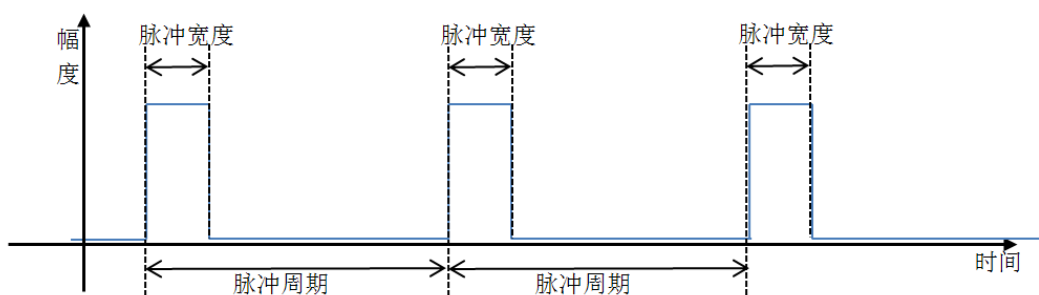


图 5.16 脉冲宽度/脉冲占空比测量图解

#### 5.2.2 正时间间隔/正负时间间隔

时间间隔测量是测量两个通道的脉冲信号之间的时间差，被测信号要求脉冲周期相同。下面分正时间间隔和正负时间间隔进行说明。

##### 1) 正时间间隔测量

正时间间隔可以分为两种情况：

由于此种测量模式，永远从参考点为基准，只能测量之后的时间差，即时间间隔永远为正，因此称为正时间间隔。如当前为 A←B，即参考通道为 A，则以 A 的沿为起始，

B 的沿为终止测量时间间隔。

正时间间隔以参考通道的沿为基准，测量另一个通道相对于参考通道的时间间隔。如图 5.17 所示，↑箭头表示的是参考通道 A，即  $A \leftarrow B$ ，当确认参考通道 A 的上升沿时，等待 B 的上升沿到达，并记录时间差，记为 B 相对于 A 的正时间间隔。

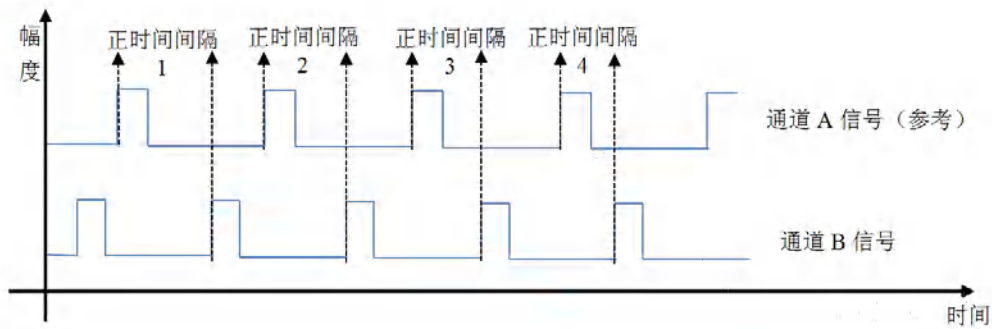


图 5.17 正时间间隔 AB 通道相对测量

## 2) 正负时间间隔测量

正负时间间隔测量只能测量双通道协同测量，测量结果的正负与测量的启动位置有关，如图 5.18 所示，以 A 通道为参考通道，AB 通道协同测量为例。图中启动点 1 与启动点 2，启动后，通道 B 的上升边沿先到，通道 A 的后到，则以通道 A 上升边沿为 0 时刻，B 相对与 A 的时间间隔为负时间值。同理，对于启动点 3 与 4 而言，B 通道的上升边沿滞后于 A 通道上升边沿，则测量出的时间间隔为正时间间隔值。

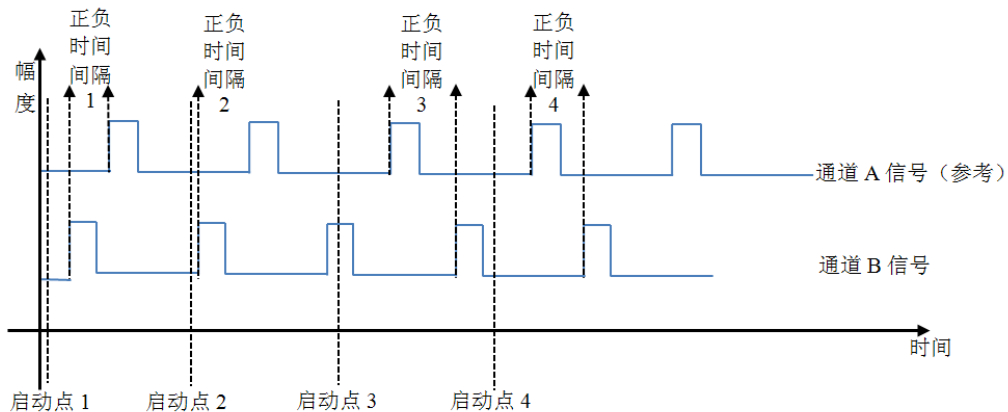


图 5.18 正负时间间隔测量示意图

### 5.2.3 相对相位

相对相位测量主要是测量双通道输入的脉冲信号之间的相位关系。要求两个信号的周期相同。具有两种结果计算形式：360 度模式、 $\pm 180$  度模式。

相对相位=时间间隔/周期。

### 5.2.3 脉冲包络

按下【脉冲包络】按钮，可以选[脉冲包络参数]/[脉冲包络宽度]/[脉冲包络周期]三种测量功能。主要测量脉冲调制信号的包络参数特性。具体测量的如图 5.19 所示

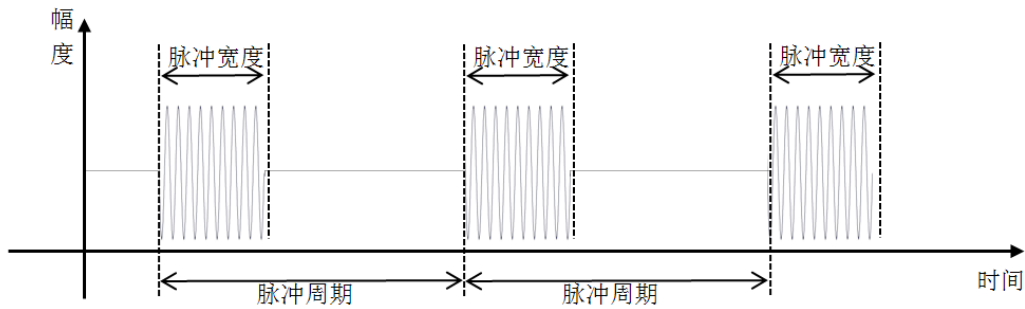


图 5.19 脉冲包络测量示意图

#### 5.2.4 光标

##### 【光标 1】

单击菜单，自动打开光标 1，弹出输入框，可以控制光标 1 位置，光标信息显示在坐标系中，即显示位置，又显示当前所在点的结果值。通过[关闭全部]关闭光标。

##### 【光标 2】

单击菜单，自动打开光标 2，弹出输入框，可以控制光标 2 位置，光标信息显示在坐标系中，即显示位置，又显示当前所在点的结果值。通过[关闭全部]关闭光标。

##### [自动峰值]

当频率测量时，选择线性分析，该菜单显示，将光标 1 移动至线性变化的中部位置，点击此菜单，会自动向两边搜索峰峰值，标定线性变化范围。只能线性查找，即所有测量结果的线性变化方向一致才可以正确搜索。

##### [关闭全部]

关闭所有打开的光标。

#### 5.2.5 通道设置

##### [通道选择 A | B | C | A→B | B→A]

通道选择的默认值为 A，通过下拉菜单选择所要测量的通道，可以选择 A | B | C | A→B | B→A。当功能选择为【时间间隔】→[正时间间隔]/[正负时间间隔]/[相位]时可选 A→B | B→A，当功能选择为【时间间隔】→[脉冲宽度]、【脉冲包络】→[脉冲包络参数]/[脉冲包络宽度]/[脉冲包络周期]时，可选 A | B，除上述功能外的测量功能可选 A | B | C。

##### [通道 A 波段 0.125Hz-50MHz | 50-500MHz | 0.5-4GHz]

通道 A 波段选择的默认值为 50-500MHz，可选 10Hz-50MHz | 50-500MHz | 0.5-4GHz，载波频率时，根据被测信号载波频率选择波段。

##### [通道 B 波段 0.125Hz-50MHz | 50-500MHz | 0.5-4GHz]

通道 B 波段选择的默认值为 50-500MHz，可选 10Hz-50MHz | 50-500MHz | 0.5-4GHz，载波频率时，根据被测信号载波频率选择波段。

##### [通道 C 波段]

通道 C 波段不可选，用于显示当前的测量范围，4152A 没有 C 通道，4152E 的 C 通道波段为 4GHz-26.5GHz，4152F 的 C 通道波段为 4GHz-40GHz。

##### [通道 A 阻抗 1MΩ | 50Ω]

选择通道 A 阻抗。通道选 A 时，且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

##### [通道 B 阻抗 1MΩ | 50Ω]

选择通道 B 阻抗。通道选 B 时且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 A 耦合 DC|AC]**

选择通道 A 耦合。通道选 A 时，且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 B 耦合 DC|AC]**

选择通道 B 耦合。通道选 B 时，且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 A 衰减 /1/ 5]**

选择通道 A 衰减。通道选 A 时，且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 B 衰减 /1/ 5]**

选择通道 B 衰减。通道选 B 时且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 A 滤波器 开关]**

选择通道 A 滤波器。通道选 A 时，且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 B 滤波器 开关]**

选择通道 B 滤波器。通道选 B 时且波段为 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 A 衰减]30dB (0 dB,30 dB)**

选择通道 A 衰减，0~30dB 步进为 2dB。通道选 A 时，且波段不是 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 B 衰减] 30dB (0 dB,30 dB)**

选择通道 B 衰减，0~30dB 步进为 2dB。通道选 B 时，且波段不是 0.125Hz-50MHz 才可设置。

**[通道 A 磁滞 30mV| 60mV]**

设置 A 通道磁滞，可选 30mV| 60mV。通道选 A 时才可设置。

**[通道 B 磁滞 30mV| 60mV]**

设置 B 通道磁滞，可选 30mV| 60mV。通道选 B 时才可设置。

**[通道 C 磁滞 30mV| 60mV]**

设置 C 通道磁滞，可选 30mV| 60mV。通道选 C 时才可设置。

**[通道 C 衰减] 30dB (0 dB,30 dB)**

选择通道 C 衰减，0~30dB 步进为 2dB。通道选 C 时才可设置。

**[通道 C 放大 关|开]**

选择通道 C 放大，可选开关放大器。通道选 C 时才可设置。

## 5.2.6 触发

**[触发设置 内部自动|数值触发|外部触发]**

可选：内部自动|数值触发|外部触发 默认内部自动。

具体触发源选项说明如表 5.1 所示：

表 5.1 触发源说明

| 选项   | 描述                             |
|------|--------------------------------|
| 内部自动 | 设置触发源为内部连续触发信号，即自动触发           |
| 数值触发 | 测量结果满足用户所设置的数值触发条件才可触发，仅频率测量有效 |
| 外部触发 | 触发输入口输入信号，按极性及设置电平，满足才可触发      |

**[触发电平]0V (-5V, 5V)**

当[触发设置]选择的为外部触发时，通过设置此菜单，设置外部信号的触发电平值，一个满足极性的电平跳变过程，按测量时间测量一次数据结果，测量过程中不再接收触发信号，测量结束后继续等待触发条件，满足后继续下一次测量。

**[极性 正|负]**

选择外部触发极性，选择正时，上升沿且电平超过设置的触发电平，才触发一次测量，选择负时相反。

**[触发延迟]** 0s [0s,4s]

当[触发设置]选择的为非内部信号时，通过设置此菜单，设置当仪器检测到外部信号的满足触发电平时，需要延时多长时间开始测量。仅外部触发模式下有效。

**[触发方式]** 上升沿|下降沿|边沿

[触发方式]选择数值触发是上升沿、下降沿以及边沿与[触发频率]配合，如果触发频率在结果数值的变化前后值之间，则边沿触发条件满足，如果在满足边沿触发条件下，测量结果变大，则上升沿触发满足；如果在满足边沿触发条件下，测量结果变小，则下降沿触发满足。

只有在触发设置选择数值触发时才能设置使用。

**[触发频率]** 0Hz (0Hz, 40GHz)

载波频率测量时，此菜单才会出现，默认值为0Hz，可设置范围是0Hz~40GHz。

## 5.2.7 测量时间

**[测量时间]**

设置测量总时间。

**[采样间隔]**

仅当测量载波频率时有效，自动模式关时可以设置，设置多长时间采一个频率点。

## 5.2.8 缩放功能

**[缩放功能]** 关|开

控制关开缩放功能，当开时可以通过设置中心跨度，观察当前测量结果的细节。

**[中心]**

在全景模式开时，调节观测段位置。

**[跨度]**

在全景模式开时，调节观测段大小。

## 5.2.9 纵轴设置

**[自动]** 关|开

自动开时，结果在坐标系内自动调整，当均值超出坐标系范围时，自动设置纵轴，将结果迹线显示在坐标系中间位置。

**[起始]**

设置纵轴的起始值。单击菜单激活用户输入区，可用数字键、步进键或旋轮调整该值。

起始、终止、中心和每格比例之间存在自适应关系，计算公式是：

$$\text{中心} = (\text{起始} + \text{终止}) / 2$$

$$\text{每格比例} = (\text{终止} - \text{起始}) / 10$$

**[终止]**

设置纵轴的终止值。单击菜单激活用户输入区，可用数字键、步进键或旋轮调整该

值。

起始、终止、中心和每格比例之间存在自适应关系，计算公式同上。

#### [中心]

设置纵轴中心值。单击菜单激活用户输入区，可用数字键、步进键或旋轮调整该值。

起始、终止、中心和每格比例之间存在自适应关系，计算公式同上。

柱状图坐标系的纵轴设置没有[中心]菜单。

#### [每格]

设置纵轴的每格值。单击菜单激活用户输入区，可用数字键、步进键或旋轮调整该值。

起始、终止、中心和每格比例之间存在自适应关系，计算公式同上。

柱状图坐标系的纵轴设置没有[每格比例]菜单。

### 5.2.10 显示设置

#### [光标信息 关|开]

单击菜单，可以切换是否在坐标系内显示光标信息。

#### [格线 关|开]

单击菜单，控制坐标系格线显示。

### 5.2.10 分析/统计

用于对测量结果进行统计分析。

#### [分析功能 关|统计分析|跳频分析|线性分析|柱状图]

可选关|统计分析|跳频分析|线性分析|柱状图，统计分析对测量结果进行统计均值、最大值、最小值、标准偏差等信息，可以进行累积；跳频分析用于对跳频信号进行分析，可以利用光标直接读取频点均值，切换时间，驻留时间等信息；线性分析主要对线性调频进行分析，分析两个光标之间的线性度等信息；柱状图对测量结果进行柱状图显示分析，可累积。

#### [起始]

当分析功能选择柱状图时，设置柱状图起始位置。

#### [终止]

当分析功能选择柱状图时，设置柱状图终止位置。

#### [柱子个数]100（10,1000）

当分析功能选择柱状图时，设置柱状图柱子个数。

#### [累积 关|开]

控制累积功能开关，仅柱状图有效。

#### [清除累积]

累积清零，重新开始累积。

#### [线性度分析范围] 100%（10%，100%）

设置光标标定范围内的百分之多少进行线性度分析，标定范围中间位置向两侧进行判断计算范围。

#### [FIR 阶数选择 关|11|23|29|65]

对光标范围标定内的 FIR 滤波阶数进行选择，用于降低仪器自身的测量不准确度。

#### [跳频识别 自动|手动]

对光标标定的频点识别同一频点的方式，自动模式下，以像素点为搜索方式，超过一个像素，认为频率已经发生改变。手动模式下，按用户设置的识别范围进行判断。

**[识别范围]** 1MHz (0,40GHz)

手动模式下，输入同一频点判断范围。

## 5.2.11 参考时基

**[参考选择]** 内参考|外参考

通过点击菜单，切换参考选择为内参考还是外参考。

当参考选择为“内参考”时，使用仪器自己提供时钟信号

当参考选择为“外参考”时，使用外部信号提供时钟信号

**[参考输出]** 关|开

通过点击菜单，切换参考输出是关还是开。

当参考输出为“关”时，不对外输出时钟信号

**[时基校准值]** [0, 4095]

通过调整此菜单数值，可以对内部时钟进行校准。默认值根据用户设置后变化而变化。

**[恢复校准值]**

通过此菜单，将实际校准值恢复到厂家状态。

**[闸门设置]**

**[闸门 1 输出]**

控制闸门 1 是否输出。

**[闸门 1 极性]**

控制闸门 1 输出是否反向。

**[闸门 2 输出]**

控制闸门 2 是否输出。

**[闸门 2 极性]**

控制闸门 2 输出是否反向。

## 5.2.12 文件

**[存储用户状态]**

将当前状态存储为用户状态，可直接调用或设置开机状态，复位使用。

**[存储状态文件]**

将当前状态存储为文件，弹出管理窗口，可自定义名称。

**[调用用户状态]**

调用之前存储的用户状态，将所有菜单设置成相应状态。

**[调用状态文件]**

从状态文件中读取状态，将所有菜单设置成相应状态。

**[存储轨迹]**

存储测量结果。



## 5.2.13 系统

### [开机状态 厂家|用户]

通过下拉菜单选择，开机状态在厂家和用户之间切换。

开机状态“厂家”时，用户开机后使用厂家默认菜单设置。

开机状态“用户”时，用户开机后使用用户复位状态中保存的菜单设置。

### [程控设置▶]

该菜单用于设置程控接口，具体菜单包括：

#### [GPIB 地址] 15[0,30]

设置 GPIB 地址，默认地址 15。单击菜单显示参数编辑框，可编辑设置当前 GPIB 接口地址。提供 0-30 的 GPIB 地址。设置后不随开关机或复位恢复厂家状态。

#### [网络▶]

该菜单用于进行网络配置，弹出操作系统的“网络连接”面板，根据需要设置本地连接属性。

### [信息日志▶]

该菜单用于操作信息日志，具体菜单包括：

#### [日志显示 关|开]

选择“开”，显示日志表格，显示整机的错误信息。

选择“关”，关闭日志表格。

#### [选中日志]

单击菜单，选中日志表格后可以通过上下左右进行表格单元选择。

#### [清除日志]

单击菜单，清除日志表格中的错误信息。

### [时钟▶]

该菜单用于设置整机时钟，单击菜单，弹出操作系统的“日期和时间 属性”面板，可根据需要设置整机的年、月、日和时

### [控制面板]

单击菜单弹出操作系统的“控制面板”，根据需要设置相关项。

## 6 远程控制

本章简要的介绍了 4152 系列调制域分析仪的程控基础、程控接口与配置方法及基本 VISA 接口编程方法，以方便用户起步实现远程控制操作。具体内容包括：

### 6.1 远程控制基础

#### 6.1.1 程控接口

具备远程控制功能的仪器一般支持两种程控接口：LAN、GPIB，具体型号仪器支持的端口类型由仪器本身功能决定。

程控接口及关联 VISA 寻址字符串说明，如下表：

表 6.1 远程控制接口类型和 VISA 寻址字符串

| 程控接口                             | VISA 寻址字符串  | 说明   |
|----------------------------------|---|--|
| LAN<br>(Local Area Network)      | <b>VXI-11协议:</b><br>TCPIP::host_address[::LAN_device_name][::INSTR]<br><b>原始套接字协议:</b><br>TCPIP::host_address::port::SOCKET | 控者通过仪器后面板网络端口连接仪器实现远程控制。<br>具体协议请参考：<br><a href="#">“6.1.1.1 LAN 接口”</a>                               |
| GPIB<br>(IEC/IEEE Bus Interface) | GPIB::primary address[::INSTR]  | 控者通过仪器后面板端口连接仪器实现远程控制。<br>遵守 IEC 625.1/IEEE 418 总线接口标准。<br>具体请参考：<br><a href="#">“6.1.1.2 GPIB 接口”</a> |

##### 6.1.1.1 LAN 接口

调制域分析仪可通过 10Base-T 和 100Base-T 局域网内计算机进行远程控制，各种仪器在局域网内组合成系统，并统一由网内计算机控制。调制域分析仪为实现局域网内远程控制，需事先安装端口连接器、网卡和相关网络协议，并配置相关的网络服务，同时网内控者计算机也需事先安装仪器控制软件和 VISA 库。

控者计算机和调制域分析仪需通过网口连接到共同的 TCP/IP 协议网络上。连接计算机和调制域分析仪之间的电缆是商用 RJ45 电缆（带屏蔽或无屏蔽的 5 类双绞线）。数据传输时，采用数据分组传输方式，LAN 传输速度较快。通常，计算机和调制域分析仪之间的电缆长度不应超过 100 米（100Base-T 和 10Base-T）。关于 LAN 通信的更多信息，请参考：<http://www.ieee.org>。下面介绍 LAN 接口相关知识：

## 1) IP 地址

通过局域网对调制域分析仪进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。通过调制域分析仪的菜单“本机 IP”将地址设置到主控计算机所在的子网内即可。例如：主控计算机的 IP 地址是 192.168.12.0，则调制域分析仪的 IP 地址应设为 192.168.12.XXX，其中 XXX 为 1~255 之间的数值。调制域分析仪 IP 可以从【系统】→[程控设置]→[网络]，会弹出网络设置界面，可以查看 IP 地址，默认端口号为 5000。

建立网络连接时只需 IP 地址，VISA 寻址字符串形式如下：

TCPIP::host address[::LAN device name][::INSTR] 或

TCPIP::host address::port::SOCKET

其中：

- TCPIP 表示使用的网络协议；
- host address 表示仪器的 IP 地址或者主机名称，用于识别和控制被控仪器；
- LAN device name 定义了协议和子设备的句柄号（该项可选）；
  - 0 号设备选择 VXI-11 协议；
  - 0 号高速 LAN 仪器选择较新的高速 LAN 仪器协议；
- INSTR 表示仪器资源类型（该项可选）；
- port 标识套接字端口号；
- SOCKET 表示原始网络套接字资源类。

举例：

- 仪器的 IP 地址是 192.1.2.3，VXI-11 协议的有效资源字符串是：  
TCPIP::192.1.2.3::INSTR
- 建立原始套接字连接时可使用：  
TCPIP::192.1.2.3::5000::SOCKET

## 提示

### 程控系统中多仪器识别方法

若网络中连接多台仪器，采用仪器单独的 IP 地址和关联的资源字符串区分。主控计算机使用各自的 VISA 资源字符串识别仪器。

## 2) 套接字通信

TCP/IP 协议通过局域网套接字在网络中连接调制域分析仪。套接字是计算机网络编程中使用的一个基本方法，它使得使用不同硬件和操作系统的应用程序得以在网络中进行通信。这种方法通过端口（port）使调制域分析仪与计算机实现双向通信。

套接字是专门编写的一个软件类，里面定义了 IP 地址、设备端口号等网络通信所必需的信息，整合了网络编程中的一些基本操作。在操作系统中安装了打包的库就可以使用套接字。两个常用的套接字库是 UNIX 中应用的伯克利（Berkeley）套接字库和 Windows 中应用的 Winsock 库。

调制域分析仪中的套接字通过应用程序接口（API）兼容 Berkeley socket 和 Winsock。此外，还兼容其他标准套接字 API。通过 SCPI 命令控制调制域分析仪时，程序中建立的套接字程序发出命令。在使用局域网套接字之前，必须先设置调制域分析仪的套接字端口号。调制域分析仪的套接字端口号为 5000。

### 6.1.1.2 GPIB 接口

GPIB 接口是目前仍被广泛使用的仪器程控接口,通过 GPIB 电缆连接不同种类仪器,与主控计算机组建测试系统。为实现远程控制,主控计算机需要事先安装 GPIB 总线卡,驱动程序以及 VISA 库。通信时,主控计算机首先通过 GPIB 总线地址寻址被控仪器,用户可设置 GPIB 地址和 ID 查询字符串,GPIB 通信语言可默认为 SCPI 命令形式。

GPIB 及其相关接口操作在 ANSI/IEEE 标准 488.1-1987 和 ANSI/IEEE 标准 488.2-1992 中有详细的定义和描述。具体标准细节请参考 IEEE 网站: <http://www.ieee.org>。

GPIB 以字节为单位来处理信息,数据传输速率能够达到 8MBps,因此 GPIB 的数据传输比较快。因数据传输速度受限于设备/系统与计算机之间的距离,GPIB 连接时,需注意以下几点:

- 通过 GPIB 接口最多可组建 15 台仪器;
- 传输电缆总长度不超过 15 米,或者不超过系统中仪器数量的两倍。通常,设备间传输电缆最大长度不能超过 2 米。
- 若并行连接多台仪器,需要使用“或”连接线。
- IEC总线电缆的终端应该连接仪器或控者计算机。

### 6.1.2 消息

数据线上传输的消息分为以下两类:

#### 1) 接口消息

仪器与主控计算机间通信时,首先需要拉低attention线,然后接口消息才能通过数据线传送给仪器。只有具备GPIB总线功能的仪器才能发送接口消息。

#### 2) 仪器消息

有关仪器消息的结构和语法,具体请参考章节“5.1.4 SCPI命令”。根据传输方向的不同,仪器消息可分为命令和仪器响应。如不特别声明,所有程控接口使用仪器消息的方法相同。

##### a) 命令:

命令(编程消息)是主控计算机发送给仪器的消息,用于远程控制仪器功能并查询状态信息。命令被划分为以下两类:

- 根据对仪器的影响:
  - 设置命令:改变仪器设置状态,例如:复位或设置频率等。
  - 查询命令:查询并返回数据,例如:识别仪器或查询参数值。查询命令以后缀问号结束。
- 根据标准中的定义:
  - 通用命令:由IEEE488.2定义功能和语法,适用所有类型仪器(若实现)用于实现:管理标准状态寄存器、复位和自检测等。
  - 仪器控制命令:仪器特性命令,用于实现仪器功能。例如:设置频率。语法同样遵循SCPI规范。

##### b) 仪器响应:

仪器响应(响应消息和服务请求)是仪器发送给计算机的查询结果信息。该信息包括测量结果、仪器状态等。

### 6.1.3 SCPI 命令

#### 6.1.3.1 SCPI 命令简介

SCPI(Standard Commands for Programmable Instruments——可编程设备的标准命令)是一个基于标准 IEEE488.2 建立的, 适合所有仪器的命令集。其主要目的是为了使相同功能具有相同的程控命令, 以实现程控命令的通用性。

SCPI 命令由命令头和一个或多个参数组成, 命令头和参数之间由空格分开, 命令头包含一个或多个关键字段。命令直接后缀问号即为查询命令。命令分为通用命令和仪器专用命令, 它们的语法结构不同。SCPI 命令具备以下特点:

- 1) 程控命令面向测试功能, 而不是描述仪器操作;
- 2) 程控命令减少了类似测试功能实现过程的重复, 保证了编程的兼容性;
- 3) 程控消息定义在与通信物理层硬件无关的分层中。
- 4) 程控命令与编程方法和语言无关, SCPI 测试程序易移植。
- 5) 程控命令具有可伸缩性, 可适应不同规模的测量控制。
- 6) SCPI 的可扩展性, 使其成为“活”标准。

如果有兴趣了解更多关于 SCPI 的内容, 可参考:

IEEE Standard 488.1-1987, IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation. New York, NY, 1998。

IEEE Standard 488.2-1987, IEEE Standard Codes, Formats, Protocols and Comment Commands for Use with ANSI/IEEE Std488.1-1987. New York, NY, 1998

Standard Commands for Programmable Instruments(SCPI) VERSION 1999.0.

4152 系列调制域分析仪的程控命令集合、分类及说明, 具体请参考《4152 型调制域分析仪程控手册》

#### 6.1.3.2 SCPI 命令说明

##### 1) 通用术语

下面这些术语适用本节内容。为了更好的理解章节内容, 您需要了解这些术语的确切定义。

##### 控制器

控制器是任何用来与 SCPI 设备通讯的计算机。控制器可能是个人计算机、小型计算机或者卡笼上的插卡。一些人工智能的设备也可作为控制器使用。

##### 设备

设备是任何支持 SCPI 的装置。大部分的设备是电子测量或者激励设备, 并使用 GPIB 接口通讯。

##### 程控消息

程控消息是一个或者多个正确格式化过的 SCPI 命令的组合。程控消息告诉设备怎样去测量和输出信号。

##### 响应消息

响应消息是指定 SCPI 格式的数据集合。响应消息总是从设备到控制器或者侦听设备。响应消息告诉控制器关于设备的内部状态或测量值。

## 命令

命令是指满足 SCPI 标准的指令。控制设备命令的组合形成消息。通常来说，命令包括关键字、参数和标点符号。

## 事件命令

事件型程控命令不能被查询。一个事件命令一般没有与之相对应的前面板按键设置，它的功能就是在某个特定的时刻触发一个事件。

## 查询

查询是一种特殊类型的命令。查询控制设备时，返回适合控制器语法要求的响应消息。查询语句总是以问号结束。

## 2) 命令类型

SCPI 命令分为两种类型：通用命令和仪器专用命令。图 6.1 显示了两种命令的差异。通用命令由 IEEE 488.2 定义，用来管理宏、状态寄存器、同步和数据存储。因通用命令均以星号打头，因此很容易辨认。例如 \*IDN?、\*OPC 都是通用命令。通用命令不属于任何仪器专用命令，仪器采用同一种方法解释该类命令，而不用考虑命令的当前路径设置。

仪器专用命令因包含冒号 (:)，因此容易辨认。冒号用在命令表达式的开头和关键字的中间，例如：[:SENSe]:MEASure:TIME?。根据仪器内部功能模块，将仪器专用命令划分为对应的子系统命令子集合。例如，输入子系统 (:INPut) 包含通道相关命令，而状态子系统 (:STATus) 包含状态控制寄存器的命令。

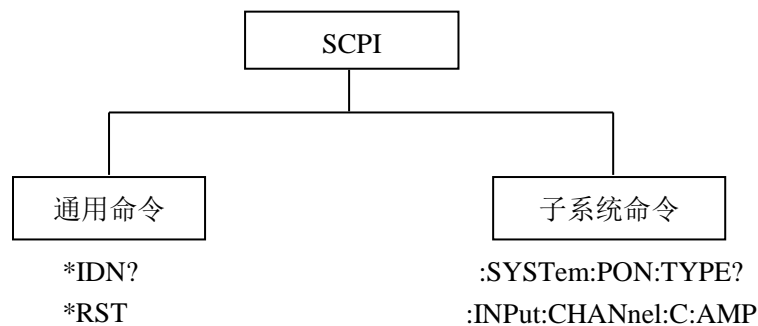


图 6.1 SCPI 命令类型

## 3) 仪器专用命令语法

一个典型的命令是由前缀为冒号的关键字构成。关键字后面跟着参数。下面是一个语法声明的例子。

```
:INPut:CHANnel:SElect A|B|C|ATOB|BTOA
```

在上面的例子中，命令中的:INPut 部分紧跟着:CHANnel，中间没有空格。紧跟着:SElect 的部分：A|B|C|ATOB|BTOA 是参数部分。在命令与参数之间有一个空格。语法表达式的其它部分说明见表 6.2 和 6.3。

表 6.2 命令语法中的特殊字符

| 符号 | 含义   | 举例   |
|----|--|--|
|    | 在关键字和参数之间的竖号代表多种选项。                                      | :INPut:CHANnel:SElect<br>A B C ATOB BTOA 。<br>A B C ATOB BTOA 是选项  |
| [] | 方括号表示被包含的关键字或者参数在构成命令时是可选的。这些暗含的关键字或者参数甚至在它们被忽略时命令也会被执行。 | [:SENSe]:FREQuency:INTerva<br>l 。<br>:SENSe 是可选项。  |
| <> | 尖括号内的部分表示在命令中并不是按照字面的含义使用。它们代表必需包含的部分。                   | :CALCulate:TRACe:MARKer<br>[1]2 <val><unit><br>该命令中，<val>和<unit><br>必须用实际的频率和单位替<br>代。例<br>如：:CALCulate:TRACe:MA<br>RKer 2 3ms |

表 6.3 命令语法

| 字符、关键字和语法  | 举例  |
|--|---|
| 大写的字符代表执行命令所需要的最小字符集合。   | :CALCulate:AVERAge:ALL<br>CAL 是命令的短格式部分。  |
| 命令的小写字符部分是可选择的；这种灵活性的格式被称为“灵活地听”。更多信息请参照“命令参数和响应”部分。                             | :FREQuency<br>:FREQ,:FREQuency 或<br>者:FREQUENCY，<br>其中任意一个都是正确的。                            |
| 当一个冒号在两个命令助记符之间，它将命令树中的当前路径下移一层。更多信息请参照“命令树”的命令路径部分。                             | :TRIGger:MODE?<br>TRIGger 是这个命令的最顶层关键字。   |
| 如果命令包含多个参数，相邻的参数间由逗号分隔。参数不属于命令路径部分，因此它不影响路径层。                                    | [:SENSe]:ROSCillator:SOURce <val>   |
| 分号分隔相邻的 2 条命令，但不影响当前命令路径。  | :FUNC FREQ; : MEAS:TIM 10ms   |
| 空白字符，例如<space>或者<tab>，只要不出现在关键字之间或者关键字之中，通常是被忽略的。然而，你必须用空白字符将命令和参数分隔开来，且不影响当前路径。 | :ROSCillator:SOUR ce 或者：<br>MEAS:TIM10ms 是不允许的。<br>在:TIM 和 10 之间必须由空格隔开。<br>即 MEAS:TIM 10ms |



#### 4) 命令树

大部分远程控制编程会使用仪器专用命令。解析该类命令时，SCPI 使用一个类似于文件系统的结构，这种命令结构被称为命令树，如图 6.2 所示：

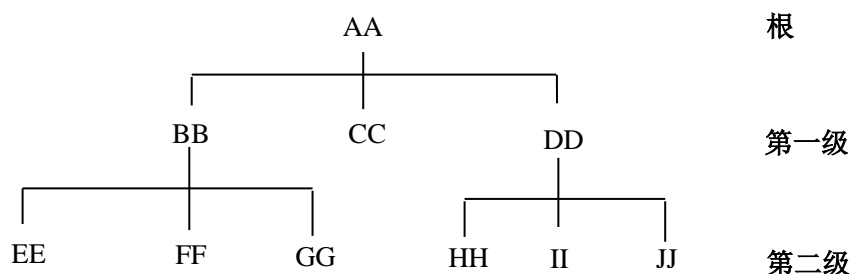


图 6.2 简化的命令树示意图

顶端命令是根命令，简称“根”。命令解析时，依据树结构遵循特定的路径到达下一层命令。例如：:SENSe:MEAS:TIM?，其中，:SENSe 代表 AA，:MEAS 代表 BB，:TIM 代表 GG，整个命令路径是 (:AA:BB:GG)。

仪器软件中的一个软件模块——**命令解释器**，专门负责解析每一条接收的 SCPI 命令。命令解释器利用一系列的分辨命令树路径的规则，将命令分成单独的命令元。解析完当前命令后，保持当前命令路径不变，这样做的好处是，因为同样的命令关键字可能出现在不同的路径中，更加快速有效的解析后续命令。开机或\*RST（复位）仪器后，重置当前命令路径为根。

#### 5) 命令参数和响应

SCPI 定义了不同的数据格式在程控和响应消息的使用中以符合“灵活地听”和“精确地讲”的原则。更多的信息请参照 IEEE488.2。“灵活地听”指的是命令和参数的格式是灵活的。

表 6.4 SCPI 命令参数和响应类型

| 参数类型      | 响应数据类型  |
|-----------|---------|
| 数值型       | 实数或者整数  |
| 扩展数值型     | 整数      |
| 离散型       | 离散型     |
| 布尔型       | 数字布尔型   |
| 字符串       | 字符串     |
| 块         | 确定长度的块  |
|           | 不确定长度的块 |
| 非十进制的数值类型 | 十六进制    |
|           | 八进制     |
|           | 二进制     |



例如调制域分析仪设置通道 C 放大器开关命令：`:INPut:CHANnel:C:AMP ON|OFF|1|0`,

以下命令格式都是设置通道 C 放大器开:

```
:INPut:CHANnel:C:AMP ON, :INPut:CHANnel:C:AMP 1,  
:INPut:CHANnel:C:AMP ON, :INPut:CHANnel:C:AMP 1
```

不同参数类型都有一个或多个对应的响应数据类型。查询时，数值类型的参数将返回一种数据类型，响应数据是精确的，严格的，被称为“**精确地讲**”。

例如，查询通道 C 放大器状态 (`:INPut:CHANnel:C:AMP?`)，当其为开时，不管之前发送的设置命令是 `:INPut:CHANnel:C:AMP 1` 或者 `:INPut:CHANnel:C:AMP ON`，查询时，返回的响应数据总是 1。

## 数值参数

仪器专用命令和通用命令中都可使用数值参数。数值参数接收所有的常用十进制计数法，包括正负号、小数点和科学记数法。如果某一设备只接收指定的数值类型，例如整数，那么它自动将接收的数值参数取整。

以下是数值类型的例子:

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| 0             | 无小数点            |
| 100           | 可选小数点           |
| 1.23          | 带符号位            |
| 4.56e<space>3 | 指数标记符 e 后可以带空格  |
| -7.89E-01     | 指数标记符 e 可以大写或小写 |
| +256          | 允许前面加正号         |
| 5             | 小数点可先行          |

## 扩展的数值参数

大部分与仪器专用命令有关的测量都使用扩展数值参数来指定物理量。扩展数值参数接收所有的数值参数和另外的特殊值。其 SCPI 命令表中会列出所有有效的参数。

注意：扩展数值参数不适用于通用命令或是 STATus 子系统命令。

扩展数值参数举例:

|        |                    |
|--------|--------------------|
| 101    | 数值参数               |
| 1.2GHz | GHz 可以被用作指数 (E009) |
| 200MHz | MHz 可以被用作指数 (E006) |
| -100mV | -100 毫伏            |
| 10DEG  | 10 度               |

## 离散型参数

当需要设置的参数值为有限个时，使用离散参数来标识。离散参数使用助记符来表示每一个有效的设置。象程控命令助记符一样，离散参数助记符有长短两种格式，并可使用大小写混合的方式。

下面的例子，离散参数和命令一起使用。

```
:TRIGger: FUNCtion INTernal|VALue|ESLope  
  
INTernal          内部触发
```

|        |      |
|--------|------|
| VALue  | 数值触发 |
| ESLope | 外部触发 |

### 布尔型参数

布尔参数代表一个真或假的二元条件，它只能有四个可能的值。

布尔参数举例：

|     |     |
|-----|-----|
| ON  | 逻辑真 |
| OFF | 逻辑假 |
| 1   | 逻辑真 |
| 0   | 逻辑假 |

### 字符串型参数

字符串型参数允许 ASCII 字符串作为参数发送。单引号和双引号被用作分隔符。

下面是字符串型参数的例子。

```
'This is Valid'   "This is also Valid"   'SO IS THIS'
```

### 实型响应数据

大部分的测试数据是实数型，其格式可以为基本的十进制计数法或科学计数法，大部分的高级程控语言均支持这两种格式。

实数响应数据举例：

```
1.23E+0  
-1.0E+2  
+1.0E+2  
0.5E+0  
0.23  
-100.0  
+100.0  
0.5
```

### 整型响应数据

整数响应数据是包括符号位的整数数值的十进制表达式。当对状态寄存器进行查询时，大多返回整数型响应数据。

整数响应数据事例：

|      |        |
|------|--------|
| 0    | 符号位可选  |
| +100 | 允许先行正号 |
| -100 | 允许先行负号 |
| 256  | 没有小数点  |

### 离散响应数据

离散型响应数据和离散型参数基本一样，主要区别是离散型响应数据的返回格式只为大写的短格式。

离散响应数据示例：

|          |      |
|----------|------|
| INTernal | 内部触发 |
|----------|------|

|        |      |
|--------|------|
| VALue  | 数值触发 |
| ESLope | 外部触发 |

### 数字布尔型响应数据

布尔型的响应数据返回一个二进制的数值 1 或者 0。

### 字符串型响应数据

字符串响应数据和字符串参数是同样的。主要区别是字符串响应数据的分隔符使用双引号，而不是单引号。字符串响应数据还可嵌入双引号，并且双引号间可以无字符。下面是一些字符串型响应数据的例子：

```
"This is a string"
```

```
"one double quote inside brackets: ("")"
```

## 6) 命令中数值的进制

命令的值可以用二进制，十进制，十六进制或者八进制的格式输入。当用二进制，十六进制或者八进制时，数值前面需要一个合适的标识符。十进制（默认格式）不需要标识符，当输入一个数值前面没有表示符时，设备会确保其是十进制格式。下面的列表显示了各个格式需要的表示符：

- #B 表示这个数字是一个二进制数值。
- #H 表示这个数字是一个十六进制数值。
- #Q 表示这个数字是一个八进制数值。

下面是 SCPI 命令中十进制数 45 的各种表示：

```
#B101101
```

```
#H2D
```

```
#Q55
```

下面的例子用十六进制数值 000A 设置 RF 输出功率为 10dBm（或者当前选择单位的等数值的值，如 DBUV 或者 DBUVEMF）。

```
:POW #H000A
```

在使用非十进制格式时，一个测量单位，如 DBM 或者 mV，并没有和数值一起使用。

## 7) 命令行结构

一条命令行或许包含多条 SCPI 命令，为表示当前命令行结束，可采用下面的方法：

- 回车；
- 回车与 EOI；
- EOI 与最后一个数据字节。

命令行中的命令由分号隔开，属于不同子系统的命令以冒号开头。例如：

```
MMEM:COPY "Test1", "MeasurementXY";:HCOP:ITEM ALL
```

该命令行包含两条命令，第一条命令属于 MMEM 子系统，第二条命令属于 HCOP 子系统。

若相邻的命令属于同一个子系统，命令路径部分重复，命令可缩写。例如：

```
HCOP:ITEM ALL;:HCOP:IMM
```

该命令行包含两条命令，两条命令均属于HCOP子系统，一级相同。所以第二条命令可从HCOP的下级开始，并可省略命令开始的冒号。可以缩写为如下命令行：

```
HCOP:ITEM ALL;IMM
```

#### 6.1.4 命令序列与同步

IEEE488.2 定义了交迭命令和连续命令之间的区别：

- 连续命令是指连续执行的命令序列。通常各条命令执行速度较快。
- 交迭命令是指下条命令执行前，前条命令未自动执行完成。通常交迭命令的处理时间较长并允许程序在此期间可同步处理其它事件。

即使一条命令行中的多条设置命令，也不一定按照接收的顺序依次执行。为了保证命令按照一定的顺序执行，每条命令必须以单独的命令行发送。

##### 举例：命令行包含设置和查询命令

一条命令行的多条命令若包含查询命令，查询结果不可预知。下面的命令返回固定值：

```
:FREQ:STAR 1GHZ;SPAN 100;:FREQ:STAR?
```

返回值：1000000000 ( 1GHz )

下面的命令返回值不固定：

```
:FREQ:STAR 1GHz;STAR?;SPAN 1000000
```

返回结果可能是该条命令发送前仪器当前的起始频率值，因为主机程序会接收完毕命令消息后，才逐条执行命令。若主机程序接收命令后执行，返回结果也可能是1GHz。

### 提示

#### 设置命令与查询命令分开发送

一般规则：为保证查询命令的返回结果正确，设置命令和查询命令应在不同的程控消息中发送。

#### 6.1.4.1 防止命令交迭执行

为了防止命令的交迭执行，可采用多线程或者命令：`*OPC`、`*OPC?`或者`*WAI`，只有硬件设置完成后，才执行这三种命令。编程时，计算机可强制等待一段时间以同步某些事件。下面分别予以说明：

- **控者程序使用多线程**  
多线程被用于实现等待命令完成和用户界面及程控的同步，即单独的线程中等待`*OPC?`完成，而不会阻塞GUI或程控线程的执行。
- **三种命令在同步执行中的用法如下表：**

表 6.5 命令语法

| 方法   | 执行动作                      | 编程方法  |
|------|---------------------------|---|
| *OPC | 命令执行完后，置位 ESR 寄存器中的操作完成位。 | 置位 ESE BIT0;<br>置位 SRE BIT5;<br>发送交迭命令和*OPC;<br>等待服务请求信号 (SRQ)<br>服务请求信号代表交迭命令执行完成。 |

表 6.5 命令语法 (续)

| 方法    | 执行动作   | 编程方法                            |
|-------|--|---------------------------------|
| *OPC? | 停止执行当前命令，直到返回1。只有 ESR 寄存器中的操作完成位置位时，该命令才返回，表明前面命令处理完成。 | 执行其它命令前终止当前命令的处理，在当前命令后直接发送该命令。 |
| *WAI  | 执行*WAI 前，等待发送完所有命令，再继续处理未完成的命令。                        | 执行其它命令前终止当前命令的处理，在当前命令后直接发送该命令。 |

### 6.1.5 状态报告系统

状态报告系统存储当前仪器所有的操作状态信息及错误信息。它们分别存储在状态寄存器和错误队列中，并可通过程控接口查询。

#### 6.1.5.1 状态寄存器组织结构

寄存器分类说明如下：

##### 1) STB, SRE

状态字节 (STB) 寄存器和与之关联的屏蔽寄存器——服务请求使能寄存器 (SRE) 组成了状态报告系统的最高层寄存器。STB 通过收集低层寄存器信息，保存了仪器的大致工作状态。

##### 2) ESR, SCPI 状态寄存器

STB 接收下列寄存器的信息：

- 事件状态寄存器 (ESR) 与事件状态使能 (ESE) 屏蔽寄存器两者相与的值。
- SCPI 状态寄存器包括：STATus:OPERation 与 STATus:QUESTionable 寄存器 (SCPI 定义)，它们包含仪器的具体操作信息。所有的 SCPI 状态寄存器具备相同的内部结构 (具体请参考程控手册 2.1.5.2 “SCPI 状态寄存器结构” 章节部分)。

##### 3) IST, PPE

类似 SRQ，IST 标志 (“Individual Status”) 单独的一位，由仪器全部状态组合而成。关联的并行查询使能寄存器 (PPE (parallel poll enable register)) 决定了 STB 的哪些数据位作用于 IST 标志。

##### 4) 输出缓冲区

存储了仪器返回给控者的消息。它不属于状态报告系统，但是决定了 STB 的 MAV 位的值。

以上寄存器具体说明请参考程控手册 “2.1.6 状态报告系统” 章节部分。

## 提示

### **SRE, ESE**

服务请求使能寄存器 SRE 可被用作 STB 的使能部分。同理，ESE 可被用作 ESR 的使能部分。

### 6.1.5.2 状态报告系统的应用

状态报告系统用于监测测试系统中的一个或多个仪器状态。为了正确实现状态报告系统的功能，测试系统中的控者必须接收并评估所有仪器的信息，使用的标准方法包括：

- 1) 仪器发起的服务请求（SRQ）；
- 2) 串行查询总线系统中的所有的仪器，由系统中的控者发起，目的是找到服务请求发起者及原因。
- 3) 并行查询所有仪器；
- 4) 程控命令查询特定仪器状态；

具体使用方法请参考程控手册“2.1.5 状态报告系统的应用”章节部分。

### 6.1.6 编程注意事项

#### 1) 改变设置前请初始化仪器状态

远程控制设置仪器时，首先需要初始化仪器状态（例如发送“\*RST”），然后再实现需要的状态设置。

#### 2) 命令序列

一般来说，需要分开发送设置命令和查询命令。否则，查询命令的返回值会根据当前仪器操作顺序而变化。

#### 3) 故障反应

服务请求只能由仪器自己发起。测试系统中的控者程序应指导仪器在出现错误时主动发起服务请求，进而进入相应的中断服务程序中进行处理。

#### 4) 错误队列

控者程序每次处理服务请求时，应查询仪器的错误队列而不是状态寄存器，来获取更加精确的错误原因。尤其在控者程序的测试阶段，应经常查询错误队列以获取控者发送给仪器的错误命令。

## 6.2 仪器控制端口与配置

### 6.2.1 LAN

LAN（Local Area Network）程控系统采用SICL-LAN控制4152系列调制域分析仪。

#### 注意

##### 前面板 USB 主控端口连接器的使用

前面板的 Type-A 连接器是 USB 主控端口连接器，在 4152 系列调制域分析仪中，该端口用来连接 USB 1.1 接口的闪存盘，以实现仪器驻机软件的升级，也可以连接 USB 键盘和鼠标对调制域分析仪进行控制。不能通过该端口程控仪器。

### 6.2.1.1 建立连接

使用网线将4152系列调制域分析仪与外部控者（计算机）连接到局域网。

### 6.2.1.2 接口配置

通过局域网对调制域分析仪进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。由于不支持DHCP、域名访问以及广域网络连接，因此调制域分析仪的网络程控设置相对简单，将其中“IP地址”，“子网掩码”，“默认网关”设置到主控制器所在的子网内即可。

## 注意

**确保调制域分析仪通过 10Base-T LAN 或 100Base-T LAN 电缆物理连接正常**

由于该调制域分析仪只支持单一局域网控制系统的搭建，且只支持静态IP地址的设置，不支持DHCP，也不支持通过DNS和域名服务器访问主机，因此不需要用户修改子网掩码，仪器内将其固定设置为：255.255.255.0。

## 6.2.2 GPIB

使用GPIB电缆连接4152系列调制域分析仪与外部控者（计算机）。

## 6.3 VISA 接口基本编程方法

下面举例说明如何使用VISA库实现仪器程控编程的基本方法。以C++语言为例。

### 6.3.1 VISA 库

VISA是标准的I/O函数库及其相关规范的总称。其中，VISA库函数是一套可方便调用的函数，其核心函数能够控制各种类型器件，无需考虑器件的接口类型和不同I/O接口软件的使用方法。这些库函数用于编写仪器的驱动程序，完成计算机与仪器间的命令和数据传输，以实现仪器的程控。通过初始化寻址字符串（“VISA资源字符串”），可建立具备程控端口（LAN、USB等）的仪器的连接。

为实现远程控制首先需要安装VISA库。其中，VISA库封装了底层的VXI、GPIB、LAN及USB接口的底层传输函数，方便用户直接调用。调制域分析仪支持的编程接口为：GPIB、LAN和RS-232。这些接口与VISA库和编程语言结合使用可以远程控制调制域分析仪。目前常使用Agilent公司为用户提供的Agilent I/O Library作为底层I/O库。

图6.3以USB接口为例显示了程控接口、VISA库、编程语言和调制域分析仪之间的关系。

### 6.3.2 初始化和设置默认状态

程序开始时首先需要初始化VISA资源管理器，打开并建立VISA库与仪器的通信连接。具体步骤如下：

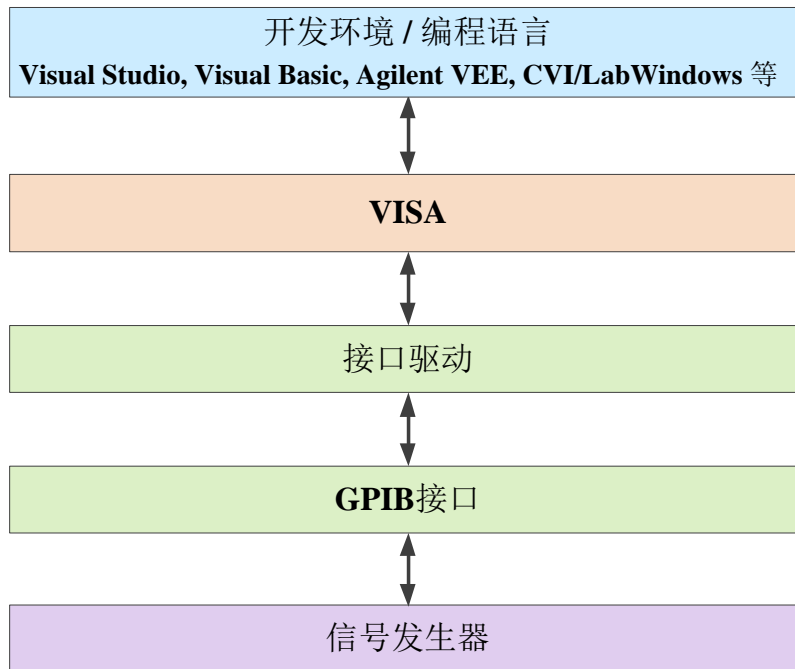


图6.3 程控软硬件层

### 6.3.2.1 生成全局变量

首先生成其它程序模块需要调用的全局变量，例如：仪器句柄变量。以下示例程序需要包含下面的全局变量：

```
ViSession analyzer;
ViSession defaultRM;
Const char analyzerString [VI_FIND_BUFLLEN] = "GPIB0::20::INSTR";
Const analyzerTimeout = 10000;
```

其中，常量analyzerString代表仪器描述符，“GPIB0”代表控者，“20”代表连接到控者的仪器。若假设仪器连接到LAN，IP地址是“192.168.1.1”，那么该变量值是：

```
Const char analyzerString [VI_FIND_BUFLLEN] = "TCPIP::192.168.1.1::INSTR";
```

### 6.3.2.2 初始化控者

下面的示例说明了如何打开并建立VISA库与仪器（仪器描述符指定）的通信连接。

初始化控者：打开默认资源管理器并且返回仪器句柄analyzer。

初始化控者：打开默认资源管理器并且返回仪器句柄analyzer。

下面的示例说明了如何打开并建立VISA库与仪器（仪器描述符指定）的通信连接。

```
void InitController()
{
    ViStatus status;
    status = viOpenDefaultRM(&defaultRM);
    status = viOpen(defaultRM, analyzerString, VI_NULL, VI_NULL, &analyzer);
}
```



### 6.3.2.3 初始化仪器

```
/******  
下面的示例初始化仪器默认状态，并且清空状态寄存器。  
*****  
void InitDevice()  
{  
    ViStatus status;  
    long retCnt;  
    status = viWrite(analyzer, "*CLS", 4, &retCnt); //复位状态寄存器  
    status = viWrite(analyzer, "*RST", 4, &retCnt); //复位仪器  
}
```

### 6.3.3 发送设置命令

```
/******  
下面的示例说明如何设置4152系列调制域分析仪的测量时间和采样间隔。  
*****  
void SimpleSettings()  
{  
    ViStatus status;  
    long retCnt;  
    //设置测量时间10ms  
    status = viWrite(analyzer, ": MEASure:TIME 10ms", 22, &retCnt);  
    //设置采样间隔10us  
    status = viWrite(analyzer, ":FREQuency:INTerval 10us", 23, &retCnt);  
}
```

### 6.3.4 读取测量仪器状态

```
/******  
下面的示例说明了如何读取仪器的设置状态。  
*****  
void ReadSettings()  
{  
    ViStatus status;  
    long retCnt;  
    char rd_Buf_Meas[VI_READ_BUFLEN]; // #define VI_READ_BUFLEN 20  
    char rd_Buf_Interval[VI_READ_BUFLEN];  
  
    //查询测量时间  
    status = viWrite(analyzer, ": MEASure:TIME?", 12, &retCnt);  
    Sleep(10);  
    status = viRead(analyzer, rd_Buf_Meas, 20, &retCnt);  
    //查询采样间隔
```

```
status = viWrite(analyzer, ":FREQUENCY:INTERVAL?", 12, &retCnt);  
Sleep(10);  
status = viRead(analyzer, rd_Buf_Interval, 20, &retCnt);  
//打印调试信息  
sprintf("Meas Time is %s", rd_Buf_Meas);  
sprintf("Interval Time is %s", rd_Buf_Interval);  
}
```

其它编程方法详见《4152 调制域分析仪程控手册》。

## 7 故障诊断与返修

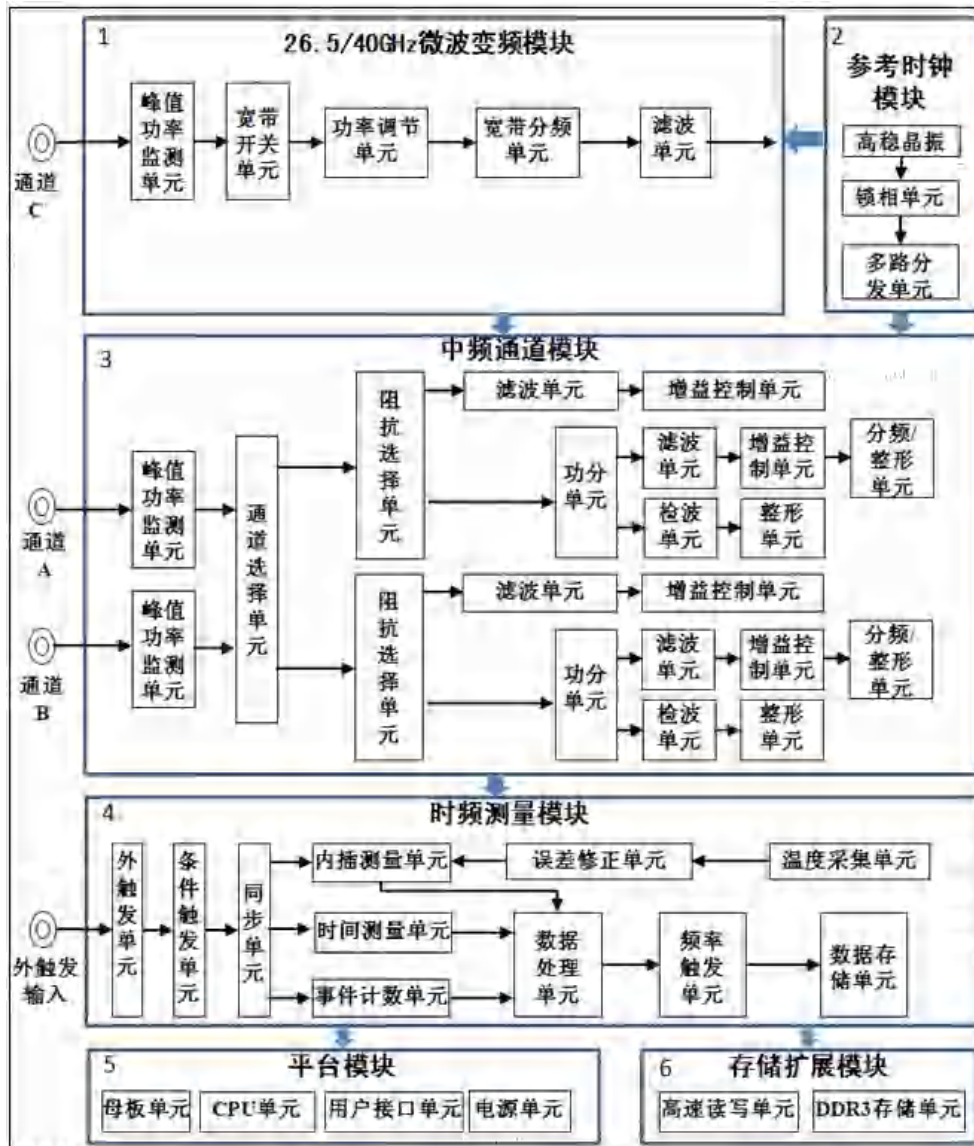
本章将告诉您如何发现问题并接受售后服务。并说明调制域分析仪出错信息。

如果您购买的 4152 系列调制域分析仪，在操作过程中遇到一些问题，或您需要购买调制域分析仪相关部件或附件，本公司将提供完善的售后服务。

通常情况下，产生问题的原因来自硬件、软件或用户使用不当，一旦出现问题请您及时与我们联系。如果您所购买的调制域分析仪处于保修期，我们将按照保修单上的承诺对您的调制域分析仪进行免费维修；如果超过保修期，具体维修费用按照合同要求收取。

### 7.1 工作原理

为了便于用户了解 4152 系列调制域分析仪的功能，更好的解决操作过程中遇到的问题，本节介绍调制域分析仪的基本工作原理及硬件原理框图。



调制域分析仪系列仪器的原理图如图 7.1 所示，40GHz 微波变频模块、26.5GHz 微波变频模块为两个单独模块，对应 4152F 调制域分析仪和 4152E 调制域分析仪，如图 7.1 中虚线部分，从而形成 4GHz/26.5GHz /40GHz 三款仪器，具体设计如下：

通道 A/B 信号频率范围为 0.125Hz~4GHz，输入信号先经过峰值功率监测单元进行峰值功率监测；其后，进行通道选择与阻抗匹配：当信号为 0.125Hz~50MHz 信号时，信号直接通过滤波单元、增益控制单元，送给时频测量模块，时频测量模块对信号进行对应功能测试；当信号大于 50MHz 时，通过功分单元，如测量为检波脉冲参数时，信号直接进行检波与整形，送给时频测量模块进行测量，如是频率测量，则通过滤波、增益控制、分频整形后送给时频测量模块进行测量。时频测量模块将结果存储到捕获存储深度扩展模块或直接通过总线传递给显示模块。

4152F 通道 C 频率范围是 4GHz~40GHz、4152E 通道 C 频率范围是 4GHz~26.5GHz，进入微波变频模块，输入信号经过峰值功率监测单元进行峰值功率监测后进入宽带开关单元，宽带开关单元将信号送给功率调节单元。功率调节单元接收到信号后，对信号进行功率调节，调节到 -5dBm~+5dBm 之间，送至宽带分频单元，将频率范围 4GHz~26.5GHz 或 4GHz~40GHz 的信号频率降至 31.25MHz~414.0625MHz 或 15.625MHz~312.5MHz，分频处理后的信号送至中频通道模块，后续处理与 A/B 通道相同。

4152A 仅含有 A/B 两个通道，裁减图 7.1 中的 26.5/40GHz 微波变频模块，保留其它模块及功能。

## 7.2 故障诊断与排除

### 提示

#### 故障诊断与指导

本部分是指导您当 4152 系列调制域分析仪出现故障时如何进行简单的判断和处理，如果必要请您尽可能准确的把问题反馈给厂家，以便我们尽快为您解决。

若调制域分析仪用户界面的状态指示区出现错误信息提示，请查看菜单“系统—>信息日志”，以了解具体错误信息说明。

下面按照功能类型，分类列出故障现象和排除方法。

### 7.2.1 系统问题

#### 7.2.1.1 待机灯不亮

检查调制域分析仪 220V 交流电输入是否正常，最大允许偏差 220V±10%，如果太高或太低都可能使仪器不能正常工作。如果不正常，检查外部线路，找出故障，排除后，重新给仪器上电，开机。如果 220V 交流电输入正常，检查仪器保险丝，如需更换可参看第一章第四节保险丝一部分。如果是仪器本身电源引起的则需拿回厂家维修或更换电源。

#### 7.2.1.2 开机后风扇不转

若开机风扇不转，请检查风扇是否有物体阻挡或是灰尘太多，此时应关机除掉障碍物或清理风扇。然后重新开机上电，如果风扇还不转就需返回厂家维修或更换风扇。

## 7.2.2 曲线结果显示异常

### 7.2.2.1 两条分离的曲线

校准数据不正确，在 F 盘中找到对应数据，将其拷贝至 ComData 文件夹内，从新启动仪器软件，如问题依然存在，则按 7.4 联系方式联系我们。

### 7.2.2.2 测量结果固定偏移某一比例值

利用铷钟作为输入信号连接到通道 A，【通道设置】→[通道选择]A，[通道 A 波段]选择 0.125~50MHz，按【参考时基】→[时基校准值]，进行调整，直到偏移量消失。

## 7.3 错误信息

调制域分析仪采用两种途径记录测量过程中出现的错误：前面板显示错误信息队列和 SCPI（远程控制模式）错误信息队列，两种错误信息队列分别存储管理。

### 7.3.1 错误信息文件

随机光盘存储文件errormessage.pdf，其中记录了完整的错误信息。错误列表以错误序号和错误说明组成。对于同一错误序号对应的多个错误信息，则采用字母顺序以区别不同错误信息。

### 7.3.2 错误信息说明

#### 通过界面操作方法：

如果使用过程中在分析仪的右下脚显示有错误提示信息，则说明调制域分析仪软件运行或硬件出现问题。您根据错误代码可以大致判断问题类型，并采取相应措施排除故障。

在一个时刻，调制域分析仪错误显示区只能显示一条错误提示信息。由于仪器可能同时存在若干问题，执行下面的操作就可以看到所有错误提示信息：

**步骤 1.** 按【系统】，然后按 [信息日志]，将信息日志打开。

**步骤 2.** 提示信息会显示在窗口中。

**步骤 3.** 用鼠标可以浏览错误信息，关闭对话框。

**步骤 4.** 选择清除错误列表按钮可以清除历史错误信息。

### 7.3.2.2 程控错误信息

远程控制模式下，错误信息记录在状态报告系统中的错误/事件队列中，可由命令“SYSTem:ERRor?”查询错误信息，格式如下：

“<错误代码>，<错误队列中错误信息>; <详细错误信息描述>”

举例：

“-110，数据超界；输入参数超出下界。”

表7.3错误信息说明列表

| 错误代码 | 错误关键字段  | 详细错误说明 |
|------|---------|--------|
| 0    | NoError | 没有错误   |

表7.3错误信息说明列表（续表）

| 错误代码 | 错误关键字段                       | 详细错误说明    |
|------|------------------------------|-----------|
| -100 | Commanderror                 | 命令错误      |
| -101 | Invalidcharacter             | 无效字符      |
| -102 | Syntaxerror                  | 语法错误      |
| -103 | Invalidseparator             | 无效分隔符     |
| -104 | Datatypeerror                | 数据类型错误    |
| -105 | GETnotallowed                | 不允许群执行触发  |
| -108 | Parameternotallowed          | 参数不允许     |
| -109 | Missingparameter             | 缺少参数      |
| -110 | Commandheadererror           | 命令头错误     |
| -111 | Headerseparatorerror         | 命令头分隔符错误  |
| -112 | Programmemonictoolong        | 编程串太长     |
| -113 | Undefinedheader              | 未定义命令     |
| -114 | Headersuffixoutofrange       | 命令后缀超范围   |
| -115 | Unexpectednumberofparameters | 参数个数不对    |
| -120 | Numericdataerror             | 数值数据错误    |
| -121 | Invalidcharacterinnumber     | 数值中存在无效字符 |
| -123 | Exponenttoolarge             | 指数太大      |
| -124 | Toomanydigits                | 位数太多      |
| -128 | Numericdatanotallowed        | 数值数据不允许   |
| -130 | Suffixerror                  | 语法错误      |
| -131 | Invalidsuffix                | 无效后缀      |
| -134 | Suffixtoolong                | 后缀太长      |
| -138 | Suffixnotallowed             | 后缀不允许     |
| -140 | Characterdataerror           | 字符数据错误    |
| -141 | Invalidcharacterdata         | 无效字符数据    |
| -144 | Characterdatatoolong         | 字符数据太长    |
| -148 | Characterdatanotallowed      | 字符数据不允许   |
| -150 | Stringdataerror              | 字符串数据错误   |
| -151 | Invalidstringdata            | 无效字符串     |
| -158 | Stringdatanotallowed         | 字符串不允许    |
| -160 | Blockdataerror               | 块数据错误     |
| -161 | Invalidblockdata             | 无效块数据     |
| -168 | Blockdatanotallowed          | 块数据不允许    |
| -170 | Expressionerror              | 表达式错误     |
| -171 | Invalidexpression            | 无效表达式     |
| -271 | Macrosyntaxerror             | 宏语法错误     |
| -272 | Macroexecutionerror          | 宏执行错误     |
| -273 | Illegalmacrolabel            | 无效宏标识     |
| -274 | Macroparametererror          | 宏参数错误     |
| -275 | Macrodefinitiontoolong       | 宏定义太长     |

表7.3错误信息说明列表（续表）

| 错误代码 | 错误关键字段                                   | 详细错误说明     |
|------|--|------------|
| -276 | Macrorecursionerror                      | 宏嵌套错误      |
| -277 | Macroredefinitionnotallowed              | 重复宏定义不允许   |
| -278 | Macroheadernotfound                      | 未发现宏       |
| -280 | Programerror                             | 程序错误       |
| -281 | Cannotcreateprogram                      | 不能创建程序     |
| -282 | Illegalprogramname                       | 非法程序名      |
| -283 | Illegalvariablename                      | 非法变量名      |
| -284 | Programcurrentlyrunning                  | 程序正在运行     |
| -285 | Programsyntaxerror                       | 程序语法错误     |
| -286 | Programruntimeerror                      | 程序运行错误     |
| -290 | Memoryuseerror                           | 内存使用错误     |
| -291 | Outofmemory                              | 内存溢出       |
| -292 | Referencednamedoesnotexist               | 引用名不存在     |
| -293 | Referencednamealreadyexists              | 引用名已存在     |
| -294 | Incompatibletype                         | 类型不兼容      |
| -300 | Device-specificerror                     | 设备相关错误     |
| -310 | Systemerror                              | 系统错误       |
| -311 | Memoryerror                              | 内存错误       |
| -312 | PUDmemorylost                            | PUD 内存丢失   |
| -313 | Calibrationmemorylost                    | 校准内存丢失     |
| -314 | Save/recallmemorylost                    | 存储/调用内存丢失  |
| -315 | Configurationmemorylost                  | 配置内存丢失     |
| -320 | Storagefault                             | 存储故障       |
| -321 | Outofmemory                              | 内存溢出       |
| -330 | Self-testfailed                          | 自测试失败      |
| -340 | Calibrationfailed                        | 校准失败       |
| -350 | Queueoverflow                            | 查询溢出       |
| -360 | Communicationerror                       | 通讯错误       |
| -361 | Parityerrorinprogrammmessage             | 编程消息奇偶错误   |
| -362 | Framingerrorinprogrammmessage            | 编程消息帧错误    |
| -363 | Inputbufferoverrun                       | 输入缓冲区过载    |
| -365 | Timeouterror                             | 超时错误       |
| -400 | Queryerror                               | 查询错误       |
| -410 | QueryINTERRUPTED                         | 查询被中断      |
| -420 | QueryUNTERMINATED                        | 查询未结束      |
| -430 | QueryDEADLOCKED                          | 查询死锁       |
| -440 | QueryUNTERMINATEDafterindefiniteresponse | 不定响应后查询未结束 |



## 7.4 返修方法

### 7.4.1 联系我们

若4152系列调制域分析仪出现问题，首先观察错误信息并保存，分析可能的原因并参考章节“7.2 故障诊断与排除”中提供的方法，予以先期排查解决问题。若未解决，请根据下面的联系方式与我公司服务咨询中心联系并提供收集的错误信息，我们将以最快的速度协助您解决问题。

#### 联系方式：

免费客服电话：800-868-7041

技术支持：0532-86889847 86897262

传 真：0532-86889056 86897258

网 址：[www.ceyear.com](http://www.ceyear.com)

电子信箱：[eiqd@ceyear.com](mailto:eiqd@ceyear.com)

邮 编：266555

地 址：中国山东青岛经济技术开发区香江路98号

### 7.4.2 包装与邮寄

当您的调制域分析仪出现难以解决的问题时，可通过电话或传真与我们联系。如果经联系确认是调制域分析仪需要返修时，请您用原包装材料和包装箱包装调制域分析仪，并按下面的步骤进行包装：

- 1) 写一份有关调制域分析仪故障现象的详细说明，与调制域分析仪一同放入包装箱。
- 2) 用原包装材料将调制域分析仪包装好，以减少可能的损坏。
- 3) 在外包装纸箱四角摆放好衬垫，将仪器放入外包装箱。
- 4) 用胶带密封好包装箱口，并用尼龙带加固包装箱。
- 5) 在箱体上标明“易碎！勿碰！小心轻放！”字样。
- 6) 请按精密仪器进行托运。
- 7) 保留所有运输单据的副本。

## 注 意

#### 包装调制域分析仪需注意

使用其它材料包装调制域分析仪，可能会损坏仪器。禁止使用聚苯乙烯小球作为包装材料，它们一方面不能充分保护仪器，另一方面会被产生的静电吸入仪器风扇中，对仪器造成损坏。

## 提 示

#### 仪器的包装和运输

运输或者搬运本仪器时，请严格遵守章节“3.1.1.1开箱”中描述的注意事项。



## 8 技术指标与测试方法

本章介绍 4152 系列调制域分析仪的技术指标和主要测试方法。

### 8.1 声明

除非特别声明，所有的指标测试条件是：温度范围是： $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，开机半小时后。仪器补充信息是帮助用户更加了解仪器性能，而不属于技术指标范围内的信息。重要词条说明如下：

**技术指标 (spec):** 除非另行说明，已校准的仪器在  $0^{\circ}\text{C}$  至  $50^{\circ}\text{C}$  的工作温度范围内放置至少两小时，再经过 30 分钟预热之后，可保证性能；其中包括测量的不确定度。对于本文中的数据，如无另行说明均为技术指标。

**典型值 (typ):** 表示 80% 的仪器均可达到的典型性能，该数据并非保证数据，并且不包括测量过程中的不确定性因素，只在室温（约  $25^{\circ}\text{C}$ ）条件下有效。

**额定值 (nom):** 表示预期的平均性能、设计的性能特征或受限测试手段无法测试的性能，比如  $50\ \Omega$  连接器等。标注为额定值的产品性能不包含在产品质量保证范围内，在室温（大约  $25^{\circ}\text{C}$ ）条件下测得。

**测量值 (meas):** 表示为了和预期性能进行比较，在设计阶段所测得的性能特征，比如幅度漂移随时间的变化。该数据并非保证数据，并且是在室温（约  $25^{\circ}\text{C}$ ）条件下测得。

### 8.2 产品特征

- 1) 结构形式：台式机箱；
- 2) 外形尺寸（宽×高×深）： $426\text{mm} \times 177\text{mm} \times 480\text{mm}$ （不含支架和把手）；
- 3) 重量： $\leq 20\text{kg}$ ；
- 4) 供电方式：50Hz 单相 220V；
- 5) 最大功耗： $\leq 350\text{W}$ ；
- 6) 环境适应性：符合 GJB3947A-2009 中 3.8 的 3 级环境要求；
- 7) 电磁兼容性：符合 GJB 3947A-2009 中 3.9.2 中 CE102、CS101、CS114、RE102、RS103 的规定要求；
- 8) 可靠性： $\text{MTBF}(\theta_0) \geq 6000\text{h}$ ；
- 9) 可维护性： $\leq 2\text{h}$ 。

## 8.3 技术指标

按照功能分类给出技术指标列表：描述/特征值

### 8.3.1 载波频率测量性能指标

a) 频率测量范围：

4152A 调制域分析仪：

通道 A、B：0.125Hz~4GHz；

4152E 调制域分析仪：

通道 A、B：0.125Hz~4GHz；

通道 C：4GHz~26.5GHz；

4152F 调制域分析仪：

通道 A、B：0.125Hz~4GHz；

通道 C：4GHz~40GHz；

b) 频率测量分辨率：

$[\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}]\times\text{被测信号频率}$ ，其中：

$$\text{触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps};$$

c) 频率测量准确度：

$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号频率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号频率}$ ；

d) 频率监测最大带宽：

4152A 调制域分析仪：

通道 A、B：3.5GHz；

4152E 调制域分析仪：

通道 A、B：3.5GHz；

通道 C：22.5GHz。

4152F 调制域分析仪：

通道 A、B：3.5GHz；

通道 C：36GHz。

### 8.3.2 周期测量性能指标

a) 周期测量范围：

4152A 调制域分析仪：

通道 A、B：0.25ns~8s；

4152E 调制域分析仪：

通道 A、B：0.25ns~8s；

通道 C：0.038ns~0.25ns。

4152F 调制域分析仪：

通道 A、B：0.25ns~8s；

通道 C：0.025ns~0.25ns；

b) 周期测量分辨率：

$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号周期}$ ，其中：

$$\text{触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps};$$

c) 周期测量准确度:  $\pm$ 周期测量分辨率 $\pm$ 时基误差 $\times$ 被测信号周期。

### 8.3.3 脉冲宽度测量性能指标

a) 脉冲宽度测量范围: 20ns~8s;

b) 脉冲宽度测量分辨率:

$\pm 100\text{ps rms} \pm$ 起始触发误差 $\pm$ 终止触发误差, 其中:

$$\text{起始触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps};$$

$$\text{终止触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps};$$

c) 脉冲宽度测量准确度:

$\pm$ 脉冲宽度测量分辨率 $\pm$ 时基误差 $\times$ 被测信号脉冲宽度 $\pm$ 触发误差 $\pm 1\text{ns}$  系统误差, 其中:

$$\text{触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps}。$$

### 8.3.4 占空比测量性能指标

a) 占空比测量范围: 0.001%~99.999%;

b) 占空比分辨率:

$$\pm \text{占空比} \times (100\text{ps rms} \pm 1.4 \times \text{触发误差}) \times [(\text{脉冲周期})^{-2} + (\text{脉冲宽度})^{-2}]^{1/2};$$

c) 占空比准确度:

$$\pm \text{占空比分辨率} \pm [(\text{触发误差} \pm 1\text{ns 系统误差}) / \text{脉冲周期}] \times 100\%。$$

注: 被测脉冲要求: 脉冲宽度:  $> 100\text{ns}$ , 脉冲重复频率:  $\geq 0.125\text{Hz}$ , 脉冲间隔:  $\geq 100\text{ns}$ 。

### 8.3.5 脉冲调制包络测量性能指标

a) 脉冲包络宽度测量范围:

50ns~8s;

注: 输入幅度要求: -20dBm~+10dBm (50MHz~4GHz)

b) 脉冲包络宽度测量准确度:

$\pm$ 时基误差 $\times$ 被测脉冲包络宽度 $\pm$ 被测脉冲包络宽度 $\times 0.01\% \pm 20\text{ns}$  检波误差;

c) 脉冲包络周期测量范围: 200ns~8s (50MHz~4GHz);

d) 脉冲包络周期测量准确度:

$\pm$ 时基误差 $\times$ 被测脉冲包络周期 $\pm$ 被测脉冲包络周期 $\times 0.01\% \pm 20\text{ns}$  检波误差。

### 8.3.6 时间间隔测量性能指标

a) 正时间间隔测量范围: 10ns~10000s;

b) 正负时间间隔测量范围: -10000s~10000s;

- c) 时间间隔测量分辨率: 100ps rms;
- d) 时间间隔测量准确度:  
 $\pm$ 时间间隔测量分辨率 $\pm$ 时基误差 $\times$ 时间间隔 $\pm$ 触发误差 $\pm$ 1ns 系统误差, 其中:  
 触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps。

### 8.3.7 相位测量性能指标

- a) 相位测量范围:  $0^\circ \sim 360^\circ$ ;
- b) 相位测量分辨率:  
 $(\pm 100\text{ps rms} \pm 1.4 \times \text{触发误差}) / \text{参考周期} \times 360^\circ$ , 其中:  
 触发误差 $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ , 最小 10ps;
- c) 相位测量准确度:  
 $\pm$ 相位测量分辨率 $\pm$ (时基误差 $\times$ 时间间隔 $\pm$ 触发误差 $\pm$ 1ns 系统误差)/参考周期 $\times 360^\circ$ 。

### 8.3.8 输入幅度范围性能指标

- a) 通道 A、B:  
 -20dBm $\sim$ +10dBm (0.125Hz $\sim$ 50MHz);  
 -30dBm $\sim$ +10dBm (50MHz $\sim$ 500MHz);  
 -20dBm $\sim$ +10dBm (500MHz $\sim$ 4GHz);
- b) 通道 C:  
 -20dBm $\sim$ +10dBm (4GHz $\sim$ 15GHz);  
 -15dBm $\sim$ +10dBm (15GHz $\sim$ 30GHz);  
 -10dBm $\sim$ +10dBm (30GHz $\sim$ 40GHz);
- c) 最大输入电平: +20dBm。

### 8.3.9 参考时基性能指标

- a) 频率: 10MHz;
- b) 老化率:  $\pm 5 \times 10^{-8}$ /年;
- c) 短期稳定度:  $5 \times 10^{-8}$ /秒平均;
- d) 时基误差:  $\pm$ 老化率 $\pm$ 短期稳定度;
- e) 时基预热时间: 30 分钟。

## 8.4 补充信息

### 接口:

- a) A通道输入接口: BNC阴头连接器;
- b) B通道输入接口: BNC阴头连接器;
- c) C通道输入接口:  
 4152E: 3.5mmN型阴头连接器;

4152F: 2.4mmKJ连接器;

- d) 外触发接口: BNC阴头连接器;
- e) 10MHz输出: BNC阴头连接器;
- f) 10MHz输入: BNC阴头连接器;
- g) GPIB接口: 标准IEEE488接口;
- h) LAN: 网络接口, 标准RJ-45型, 支持10M/100M自适应的网络互联。
- i) USB2.0接口, 支持键盘和鼠标

## 8.5 性能特性测试

【菜单】为前面板菜单, [菜单]为软菜单, 下述【复位】为复位到厂家状态, 即在【系统】→[开机状态]选择为厂家。

### 8.5.1 频率测量范围测试

本次测试采用高稳定性和准确度的信号发生器给被测调制域分析仪提供测试信号, 在规定的频率范围内, 调制域分析仪应能够正常测量。

1) 测试连接框图及所需仪器和设置:

- a) 函数发生器 Keysight 33250A 1 台
- b) 信号发生器 SMF 100A / E8257C 1 台

2) 测试步骤:

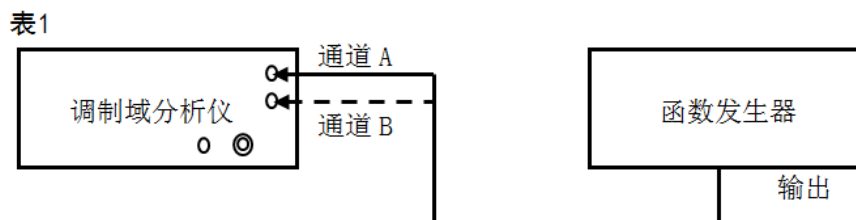


图 8.1 连接示意图 1

**通道 A、B 测试:**

- a) 如图 8.1 所示连接测试仪器, 将函数发生器连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B;
- b) 设置调制域分析仪:

【复位】;

【频率/周期】→[频率];

【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B];

【通道】→[通道 A 波段]或[通道 B 波段]→[0.125Hz-50MHz];

【通道】→[搜索电平]→[慢];

【测量时间】→[测量时间]→80s;

【测量时间】→[采样间隔]→8.1s;

- c) 设置函数发生器: 频率 0.125Hz, 幅度 1Vpp, 偏置 0V, 输出开;
- d) 设置调制域分析仪: 【自动比例】;
- e) 观察调制域分析仪测量是否正确; 将测量频率值记入测试结果表中;
- f) 如图 8.2 所示连接测试仪器, 将信号发生器连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道;

表2

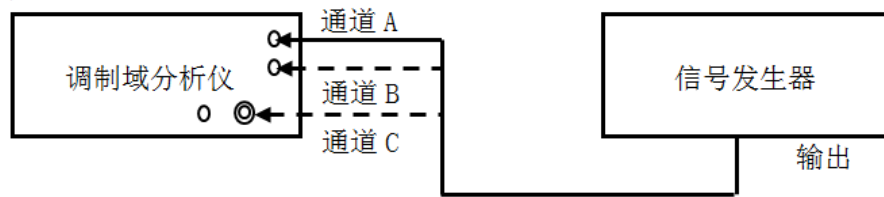


图 8.2 连接示意图 2

- g) 设置调制域分析仪：
  - 【复位】；
  - 【频率/周期】→[频率]；
  - 【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；
  - 【通道】→[通道 A 波段]或[通道 B 波段]→[500MHz-4GHz]；
- h) 设置信号发生器：频率 4GHz，功率 0dBm；
- i) 观察调制域分析仪测量是否正确；将测量频率值记入测试结果表中。

**通道 C 测试：**

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将信号发生器连接到调制域分析仪 C 通道；
- b) 设置调制域分析仪：
  - 【复位】；
  - 【通道】→[通道选择]→[C]；
- c) 设置信号发生器：频率 4GHz，功率 0dBm；  
观察调制域分析仪能测量是否正确；将测量频率值记入测试结果表中；
- d) 设置信号发生器：
  - 4152E:频率 26.5GHz，功率 0dBm；
  - 4152F: 频率 40GHz，功率 0dBm；
- e) 设置调制域分析仪：
  - 【自动比例】；
- f) 观察调制域分析仪能测量是否正确；将测量频率值记入测试结果表中。

**8.5.2 频率测量分辨率和准确度测试**

频率测量分辨率是指频率测量 RMS 分辨率，表示对频率变化的分辨能力，用频率测量值的标准偏差来表征。频率测量准确度用频率测量均值偏离理想值的大小来表征。本次测试用铷原子钟给高稳定度的信号发生器提供参考时基，如没有铷钟，被测源时基准确度需高于调制域分析仪一个数量级，在不共时基的条件下，用被测调制域分析仪对高稳定度的信号发生器进行测量得到实测频率值，实测频率值减去信号源频率设置值即为频率测量准确度。

频率测量分辨率和准确度指标按以下公式进行计算：

频率测量分辨率：

$$[\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}]\times\text{被测信号频率}, \text{ 其中:}$$

$$\text{触发误差} \leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}, \text{ 最小 } 10\text{ps};$$

频率测量准确度：

$$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号频率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号频率};$$

1) 测试连接框图及所需仪器和设置

- a) 信号发生器 SMF 100A / E8257C 1 台
- b) 铷原子钟 俄罗斯 41-82/5 1 台

2) 测试步骤

**通道 A、B 测试:**

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将函数发生器连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；
- b) 设置信号发生器：频率 200MHz，功率 0dBm，射频输出开；
- c) 设置调制域分析仪：

【复位】；

【频率/周期】→[频率]；

【测量时间】→[采样间隔]→1 μs；

【测量时间】→[测量时间]→100 μs；

【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；

【通道】→[通道 A 波段]或[通道 B 波段]→[50MHz-500MHz]；

【自动比例】；

读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率，并记入测试测试结果表中；

- d) 设置调制域分析仪：

【测量时间】→[采样间隔]→100 μs；

【测量时间】→[测量时间]→100ms；

【自动比例】；

- e) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率，记入测试测试结果表中。

**通道 C 测试:**

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将信号发生器连接到调制域分析仪 C 通道；
- b) 设置信号发生器：频率 20GHz，功率 0dBm，射频输出开；
- c) 设置调制域分析仪：

【复位】；

【频率/周期】→[频率]；

【测量时间】→[采样间隔]→100ns；

【测量时间】→[测量时间]→100 μs；

【通道】→[通道选择]→[C]；

【自动比例】；

- d) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率，记入测试测试结果表中；

- e) 设置调制域分析仪：

【测量时间】→[采样间隔]→100 μs；

【测量时间】→[测量时间]→100ms；

【自动比例】；

- f) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率，并记入测试测试结果表中。

### 8.5.3 频率监测最大带宽测试

频率监测最大带宽是指在满足频率测量准确度规定的条件下，调制域分析仪不改变设置时，所能正确测量的最大频率范围。本次测试用铷原子钟给高稳定度的信号发生器提供参考时基，如没有铷钟，被测源时基准确度需高于调制域分析仪一个数量级。频率测量准确度指标： $\pm(\text{分辨率}+\text{被测信号频率}\times\text{时基误差})$ 。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 信号发生器 Keysight E8257C 1 台

#### 2) 测试步骤

##### 通道 A、B 测试：

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将信号发生器连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；
- b) 设置调制域分析仪：
- 【复位】；
  - 【频率/周期】→[频率]；
  - 【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；
  - 【通道】→[通道 A 波段]或[通道 B 波段]→[500MHz-4GHz]；
  - 【测量时间】→[采样间隔]→1ms；
  - 【测量时间】→[测量时间]→1s；
  - 【统计/分析】→[跳频分析]；
- c) 设置信号发生器：编辑列表扫描，频点 1 频率 500MHz，频点 2 频率 4GHz，功率 0dBm，驻留时间 100ms，列表扫描开，射频输出开，模式开；
- d) 设置调制域分析：
- 【自动比例】；
  - 【单次】；
  - 【光标 1】 通过滑轮移动到显示结果中较为低的线段中间；
  - 【光标 2】 通过滑轮移动到显示结果中较为高的线段中间；
- e) 观察调制域分析仪是否正确测量；读调制域分析仪的频点 1 与频点 2 均值读数，记入测试测试结果表中。

##### 通道 C 测试：

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将信号发生器连接到调制域分析仪 C 通道；
- b) 设置调制域分析仪：
- 【复位】；
  - 【频率/周期】→[频率]；
  - 【通道】→[通道选择]→[C]；
  - 【通道】→[通道 C 放大器]开；
  - 【测量时间】→[采样间隔]→1ms；
  - 【测量时间】→[测量时间]→1s；
  - 【统计/分析】→[跳频分析]；
- c) 设置信号发生器：
- 编辑列表扫描，功率 0dBm，驻留时间 100ms，列表扫描开；
- 4152E：，频点 1 频率 4GHz，频点 2 频率 26.5GHz；
- 4152E：，频点 1 频率 4GHz，频点 2 频率 40GHz；



- 射频输出开，模式开；
- d) 设置调制域分析：
- 【自动比例】；
  - 【单次】；
  - 【光标 1】 通过滑轮移动到显示结果中较为低的线段中间；
  - 【光标 2】 通过滑轮移动到显示结果中较为高的线段中间；
- e) 观察调制域分析仪是否正确测量；读调制域分析仪的频点 1 与频点 2 均值读数，记入测试测试结果表中。

#### 8.5.4 载波周期测量分辨率和准确度测试

本次测试采用高稳定性和准确度的脉冲发生器给被测调制域分析仪提供测试信号，被测脉冲发生器时基由铷钟提供。如没有铷钟，被测源时基准确度需高于调制域分析仪一个数量级，周期测量准确度用脉冲宽度测量均值偏离理想值的大小来表征，周期测量分辨率由周期测量值的标准偏差来表征。

载波周期测量分辨率和准确度指标按以下公式进行计算：

周期测量分辨率：

$\pm(100\text{ps rms}+1.4\times\text{触发误差})/\text{采样间隔}\times\text{被测信号周期}$ ，其中：

触发误差  $\leq 10\text{ps} \times \frac{1\text{V/ns}}{\text{信号转换速率}}$ ，最小 10ps；

周期测量准确度： $\pm\text{周期测量分辨率}\pm\text{时基误差}\times\text{被测信号周期}$ 。

##### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A 1 台

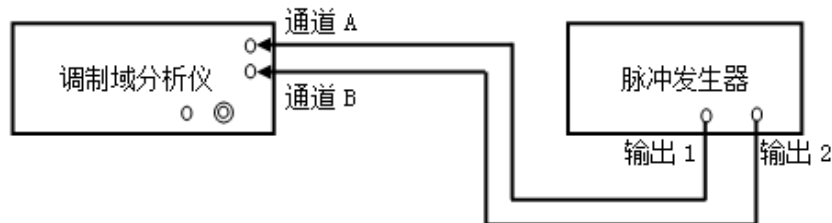


图 8.3 连接示意图 3

##### 2) 测试步骤

###### 通道 A、B 测试：

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器，将脉冲发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；
- b) 设置脉冲发生器：周期  $2\mu\text{s}$ ，脉冲宽度  $1\mu\text{s}$ ，幅度高电平 0.5V，低电平 -0.5V；
- c) 设置调制域分析仪：
- 【复位】；
  - 【频率/周期】  $\rightarrow$  [周期]；
  - 【通道】  $\rightarrow$  [通道选择]  $\rightarrow$  [A] 或 [B]；
  - 【通道】  $\rightarrow$  [通道 A 波段]或[通道 B 波段]  $\rightarrow$  [0.125Hz-50MHz]；
  - 【测量时间】  $\rightarrow$  [采样间隔]  $\rightarrow 20\mu\text{s}$ ；
  - 【测量时间】  $\rightarrow$  [测量时间]  $\rightarrow 20\text{ms}$ ；

- 【自动比例】;
- d) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率,并记入测试测试结果表中。
- e) 设置脉冲发生器: 脉冲周期 2ms, 宽度 1ms;
- f) 设置调制域分析仪:
  - 【测量时间】→[采样间隔]→20ms;
  - 【测量时间】→[测量时间]→2s;
  - 【通道】→[搜索电平]→[中];
  - 【自动比例】;
- g) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率,记入测试测试结果表中。

#### 通道 C 测试:

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器, 将信号发生器连接到调制域分析仪 C 通道; 设置信号发生器: 频率 4GHz, 射频开;
- b) 设置调制域分析仪:
  - 【复位】;
  - 【频率/周期】→[周期];
  - 【通道】→[通道选择]→[C];
  - 【测量时间】→[采样间隔]→1 μs;
  - 【测量时间】→[测量时间]→1ms;
  - 【自动比例】;
- c) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率,记入测试测试结果表中。
- d) 设置信号发生器: 频率 10GHz;
- e) 设置调制域分析仪:
  - 【自动比例】;
- h) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率,记入测试测试结果表中。

### 8.5.5 脉冲宽度测量范围测试

本次测试采用高稳定性和准确度的脉冲发生器给被测调制域分析仪提供测试信号,对脉冲宽度范围的边界点和最低有效显示位进行测试。脉冲宽度测试到 1s, 1s 以上技术保证。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A      1 台

#### 2) 测试步骤

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器, 将脉冲发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B;
- b) 设置脉冲发生器: 周期 1μs, 脉冲宽度 20ns, 幅度高电平 0.5V, 低电平 -0.5V;
- c) 设置调制域分析仪:
  - 【复位】;

- 【时间间隔】→[脉冲宽度];
- 【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B];
- 【测量时间】→ 1ms;
- 【自动比例】;
- d) 观测调制域分析仪是否测量正确, 如测量正确, 将脉冲宽度平均值记入测试测试结果表中;
- e) 设置脉冲发生器: 脉冲宽度 1s, 周期 1.1s;
- f) 设置调制域分析仪:
  - 【测量时间】→ 20s;
  - 【通道】→[搜索电平]→[慢];
  - 【自动比例】;
- g) 观测调制域分析仪是否测量正确, 如测量正确, 将脉冲宽度平均值记入测试测试结果表中。

### 8.5.6 脉冲宽度测量分辨率和准确度测试

本次测试采用高稳定性和准确度的脉冲发生器给被测调制域分析仪提供测试信号, 被测脉冲发生器时基由铷钟提供。如没有铷钟, 被测源时基准确度需高于调制域分析仪一个数量级, 脉冲宽度测量准确度用脉冲宽度测量均值偏离理想值的大小来表征, 脉冲宽度测量分辨率由用脉冲宽度测量值的标准偏差来表征。

- 1) 测试框图及测试仪器和设备
  - a) 脉冲发生器 Keysight 81110A      1 台
- 2) 测试步骤
  - a) 如图 8.3 所示连接测试仪器, 将脉冲发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B;
  - b) 设置脉冲发生器: 周期 2 $\mu$ s, 脉冲宽度 1 $\mu$ s, 幅度高电平 0.5V, 低电平 -0.5V;
  - c) 设置调制域分析仪:
    - 【复位】;
    - 【时间间隔】→[脉冲宽度];
    - 【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B];
    - 【测量时间】→ 2ms;
    - 【自动比例】;
  - d) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率, 并记入测试测试结果表中;
  - e) 设置脉冲发生器: 脉冲宽度 1ms, 周期 2ms;
  - f) 设置调制域分析仪:
    - 【测量时间】→ 2s;
    - 【通道】→[搜索电平]→[慢];
    - 【自动比例】;
  - g) 读调制域分析仪的均值读数记录在准确度和标准差读数记录在分辨率, 并记入测试测试结果表中。

### 8.5.7 占空比测量范围

本次测试采用高稳定性和准确度的脉冲发生器给被测调制域分析仪提供测试信号，本次测试检验调制域分析仪所能测量的脉冲信号的脉宽与信号周期之比。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A            1 台

#### 2) 测试步骤

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器，将脉冲发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；脉冲发生器锁相；  
b) 设置脉冲发生器：周期 10ms，脉冲宽度 100ns，幅度高电平 0.5V，低电平 -0.5V；  
c) 设置调制域分析仪：

【复位】；

【时间间隔】→[占空比]；

【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；

【测量时间】→100ms；

【自动比例】；

观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将占空比均值记入测试测试结果表中；

- d) 设置脉冲发生器：周期 10ms，脉冲宽度 9.9999ms，  
e) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将占空比均值记入测试测试结果表中。

### 8.5.8 脉冲调制包络宽度测量范围及准确度测试

本次测试采用高稳定性和准确度的信号发生器给被测调制域分析仪提供测试信号，对脉冲宽度范围的边界点及准确度进行测试。检验时最大脉宽测量到1s，更长时间脉宽技术设计保证。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 信号发生器 SMF 100A / E8257C            1 台

#### 2) 测试步骤

##### 通道 A、B 测试：

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器，将信号发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；  
b) 设置信号发生器：频率 4GHz，功率 -10dBm，稳幅环路关，脉冲宽度 50ns，周期 1 $\mu$ s，脉冲调制开，调制开，射频输出开；  
c) 设置调制域分析仪：

【复位】；

【脉冲包络】→[脉冲包络宽度]；

【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；

【测量时间】→[测量时间]→10ms；

【自动比例】；

- d) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将测量脉冲宽度均值记入测试测试结果表中。

结果表中;

- e) 设置信号发生器频率 50MHz, 脉冲宽度 1s, 周期 1.1s, 稳幅环路开;
- f) 设置调制域分析仪:
  - 【测量时间】→20s;
  - 【通道】→[搜索电平]→[慢];
  - 【自动比例】;
- g) 观测调制域分析仪是否测量正确, 如测量正确, 将测量脉冲宽度均值记入测试测试结果表中;

### 8.5.9 脉冲调制包络周期测量范围及准确度测试

本次测试采用高稳定性和准确度的信号发生器给被测调制域分析仪提供测试信号, 对周期范围及准确度进行测试。检验时最大周期测量到1s, 更长时间周期技术设计保证。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 信号发生器 SMF 100A / E8257C 1 台

#### 2) 测试步骤

##### 通道 A、B 测试:

- a) 如图 8.2 所示连接测试仪器, 将信号发生器输出连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B;
- b) 设置信号发生器: 频率 2GHz, 功率 0dBm, 稳幅环路关, 脉冲宽度 100ns, 周期 200ns, 脉冲调制开, 调制开, 射频输出开;
- c) 设置调制域分析仪:
  - 【复位】;
  - 【脉冲包络】→[脉冲包络周期];
  - 【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B];
  - 【测量时间】→[测量时间]→2ms;
  - 【自动比例】;
- d) 读调制域分析仪的脉冲周期均值读数, 记入测试测试结果表中;
- e) 设置信号发生器: 脉冲宽度 500ms, 周期 1s, 稳幅环路开;
- f) 设置调制域分析仪:
  - 【测量时间】→20s;
  - 【通道】→[搜索电平]→[慢];
  - 【自动比例】;
- g) 读调制域分析仪的脉冲周期均值读数, 记入测试测试结果表中;

### 8.5.10 正时间间隔范围测试

正时间间隔对两个通道信号的相对时间关系进行测量, 正时间间隔范围是指在满足时间间隔准确度规定的条件下调制域分析仪的正时间间隔的正确测量范围。测量前选择某个通道作为参考通道, 测量时每个测量点都先检测参考通道信号上升沿, 把该时刻作为参考值, 随后检测另外一个通道信号上升沿, 把该时刻作为终止值, 终止值减去参考值即为该测量点的

正时间间隔, 随后的测量点循环上述测量过程。本次测量采用高稳定性和准确度的双通道脉冲发生器给被测调制域分析仪提供信号, 通过调节脉冲发生器两个通道信号边沿之间的时间差值, 来测试调制域分析仪正时间间隔测量范围。时间间隔准确度指标:  $\pm$ 时间间隔测量分辨率 $\pm$ 时基误差 $\times$ 时间间隔 $\pm$ 触发误差 $\pm 1\text{ns}$  系统误差。检测测量最大值为 1s, 更大时间间隔技术保证。

1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A          1 台

2) 测试步骤

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器;

- b) 设置脉冲发生器: 周期 10 $\mu\text{s}$ , 输出 1 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ , 输出 2 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ , 输出 1 脉冲延时 0ns, 输出 2 脉冲延时 10ns, 输出 1 高电平 0.5V, 输出 1 低电平 -0.5V, 输出 2 高电平 0.5V, 输出 2 低电平 -0.5V, 脉冲输出 1 开, 脉冲输出 2 开;

- c) 设置调制域分析仪:

【复位】;

【时间间隔】 $\rightarrow$ [正时间间隔];

【通道】 $\rightarrow$ [通道选择][B $\rightarrow$ A];

【测量时间】 $\rightarrow$ [测量时间] $\rightarrow$ 1ms;

【自动比例】;

- d) 观测调制域分析仪是否测量正确, 将正时间间隔均值记入测试测试结果表中;

- e) 设置脉冲发生器: 周期 2s, 输出 1 脉冲宽度 1s, 输出 2 脉冲宽度 1s, 输出 2 脉冲延时 1s;

- f) 设置调制域分析仪:

【测量时间】 $\rightarrow$ [测量时间] $\rightarrow$ 20s;

【通道】 $\rightarrow$ [搜索电平] $\rightarrow$ [慢];

【自动比例】;

- g) 观测调制域分析仪是否测量正确, 将正时间间隔均值记入测试测试结果表中;

- h) 设置脉冲发生器: 周期 10 $\mu\text{s}$ , 输出 1 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ , 输出 2 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ , 输出 1 脉冲延时 10ns;

- i) 设置调制域分析仪:

- j) 【通道】 $\rightarrow$ [通道选择] $\rightarrow$ [A $\rightarrow$ B];

【测量时间】 $\rightarrow$ [测量时间] $\rightarrow$ 1ms;

【通道】 $\rightarrow$ [搜索电平] $\rightarrow$ [快];

【自动比例】;

- k) 观测调制域分析仪是否测量正确, 将正时间间隔均值记入测试测试结果表中;

- l) 设置脉冲发生器: 周期 2s, 输出 1 脉冲宽度 1s, 输出 2 脉冲宽度 1s, 输出 1 脉冲延时 1s;

- m) 设置调制域分析仪:

【测量时间】 $\rightarrow$ [测量时间] $\rightarrow$ 20s;

【通道】 $\rightarrow$ [搜索电平] $\rightarrow$ [慢];

【自动比例】;

- n) 观测调制域分析仪是否测量正确, 将正时间间隔均值记入测试测试结果表中。

### 8.5.11 正负时间间隔范围测试

正负时间间隔对两个通道信号的相对时间关系进行测量，正负时间间隔范围是指在满足时间间隔准确度规定的条件下调制域分析仪的正负时间间隔的正确测量范围。测量前选择某个通道作为参考通道，测量时以两个通道中先检测到的信号上升沿的时刻作为起始时刻，随后检测另外一个通道信号上升沿，把该时刻作为终止时刻，每次都用非参考通道的时刻减去参考通道的时刻，由于检测时不区分先后顺序，无论检测到哪个通道的上升沿都启动测量，因此按照上述算法得到的时间间隔有正负之分。本次测量采用高稳定性和准确度的双通道脉冲发生器给被测调制域分析仪提供信号，通过调节脉冲发生器两个通道信号边沿之间的时间差值，来测试调制域分析仪正时间间隔测量范围。时间间隔准确度指标： $\pm$ 时间间隔测量分辨率 $\pm$ 时基误差 $\times$ 时间间隔 $\pm$ 触发误差 $\pm 1\text{ns}$  系统误差。检测测量最大值为 $\pm 1\text{s}$ ，更大时间间隔技术保证。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A 1 台

#### 2) 测试步骤

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器；
- b) 设置脉冲发生器：周期 2s，输出 1 脉冲宽度 1s，输出 2 脉冲宽度 1s，输出 1 脉冲延时 0ns，输出 2 脉冲延时 1s，输出 1 高电平 0.5V，输出 1 低电平 -0.5V，输出 2 高电平 0.5V，输出 2 低电平 -0.5V，脉冲输出 1 开，脉冲输出 2 开；
- c) 设置调制域分析仪：
- 【复位】；
  - 【时间间隔】 $\rightarrow$ [正负时间间隔]；
  - 【通道】 $\rightarrow$ [通道选择] $\rightarrow$ [B $\rightarrow$ A]；
  - 【测量时间】 $\rightarrow$ [测量时间] $\rightarrow$  20s；
  - 【自动比例】；
- d) 观测调制域分析仪是否测量正确，将正负时间间隔均值记入测试测试结果表中；
- e) 不断设置调制域分析仪【单次】，直到得 $\pm 1\text{s}$ 的测量结果；
- f) 观测调制域分析仪是否测量正确，将正负时间间隔均值记入测试测试结果表中。

### 8.5.12 时间间隔测量分辨率和准确度测试

时间间隔测量分辨率是指时间间隔测量 RMS 分辨率，表示对时间间隔变化的分辨能力，一般用时间间隔测量值的标准偏差来表征。时间间隔测量准确度用时间间隔测量均值偏离理想值的大小来表征。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 脉冲发生器 Keysight 81110A 1 台

#### 2) 测试步骤

- a) 如图 8.3 所示连接测试仪器，将脉冲发生器连接到调制域分析仪；
- b) 设置脉冲发生器：周期 10 $\mu\text{s}$ ，输出 1 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ ，输出 2 脉冲宽度 5 $\mu\text{s}$ ，输出 1 脉冲延时 0ns，输出 2 脉冲延时 1 $\mu\text{s}$ ，输出 1 高电平 0.5V，输出 1 低电平 -0.5V，输出 2 高电平 0.5V，输出 2 低电平 -0.5V，脉冲输出 1 开，脉冲输出 2 开；
- c) 设置调制域分析仪：

- 【复位】;
- 【时间间隔】→[正时间间隔];
- 【通道】→[通道选择]→[B→A];
- 【测量时间】→[测量时间]→1s;
- 【自动比例】;
- d) 读调制域分析仪的标准差读数, 记入测试测试结果表中; 读调制域分析仪的均值读数, 记入测试测试结果表中;
- e) 设置脉冲发生器: 输出 1 脉冲延时 1 $\mu$ s, 输出 2 脉冲延时 0ns;
- f) 设置调制域分析仪:
- g) 【通道】→[通道选择]→[A→B];
- h) 读调制域分析仪的标准差读数, 记入测试测试结果表中; 读调制域分析仪的均值读数, 记入测试测试结果表中。

### 8.5.13 相位测量分辨率和准确度测试

相位测量对两个通道信号的相对相位关系进行测量, 测量前选择某个通道作为参考通道, 测量时每个测量点都先检测参考通道信号上升沿, 把该时刻作为参考值, 随后检测另外一个通道信号上升沿, 把该时刻作为终止值, 终止值减去参考值即为该测量点的时间间隔, 时间间隔除以周期即为相位, 随后的测量点循环上述测量过程。本次测量采用高稳定性和准确度的双通道脉冲发生器给被测调制域分析仪提供信号。

- 1) 测试框图及测试仪器和设备
  - a) 脉冲发生器 Keysight 81110A      1 台
- 2) 测试步骤
  - a) 如图 8.3 所示连接测试仪器, 将脉冲发生器连接到调制域分析仪;
  - b) 设置脉冲发生器: 周期 10 $\mu$ s, 输出 1 脉冲宽度 5 $\mu$ s, 输出 2 脉冲宽度 5 $\mu$ s, 输出 1 脉冲延时 0ns, 输出 2 脉冲延时 2.5 $\mu$ s, 输出 1 高电平 0.5V, 输出 1 低电平 -0.5V, 输出 2 高电平 0.5V, 输出 2 低电平 -0.5V, 脉冲输出 1 开, 脉冲输出 2 开;
  - c) 设置调制域分析仪:
    - 【复位】;
    - 【时间间隔】→[相位];
    - 【通道】→[通道选择]→[B→A];
    - 【测量时间】→[测量时间]→100ms;
    - 【自动比例】;
  - d) 读调制域分析仪的相位均值读数和方差读数, 记入测试测试结果表中;
  - e) 设置脉冲发生器: 输出 1 脉冲延时 2.5 $\mu$ s, 输出 2 脉冲延时 0ns;
  - f) 设置调制域分析仪:
    - 【通道】→[通道选择]→[A→B];
    - 【自动比例】;
  - g) 读调制域分析仪的相位均值读数和方差读数, 记入测试测试结果表中。



### 8.5.14 输入幅度范围测试

输入幅度范围是调制域分析仪对被测信号的幅度要求，只有在输入幅度范围内，才能保证测试结果的准确度。本次测试在被测调制域分析仪与信号发生器共时基的条件下，采用高稳定性和准确度的信号发生器给被测调制域分析仪提供测试信号，选择几个典型的频率点，在规定的输入幅度范围的上下边界点附近进行测量，调制域分析仪应能够正常测量。

#### 1) 测试框图及测试仪器和设备

- |                          |     |
|--------------------------|-----|
| a) 函数发生器 Keysight 33250A | 1 台 |
| b) 信号发生器 Keysight E8257C | 1 台 |
| c) 功率计 AV2436            | 1 台 |
| d) 功率探头 AV71712/ AV23211 | 1 个 |

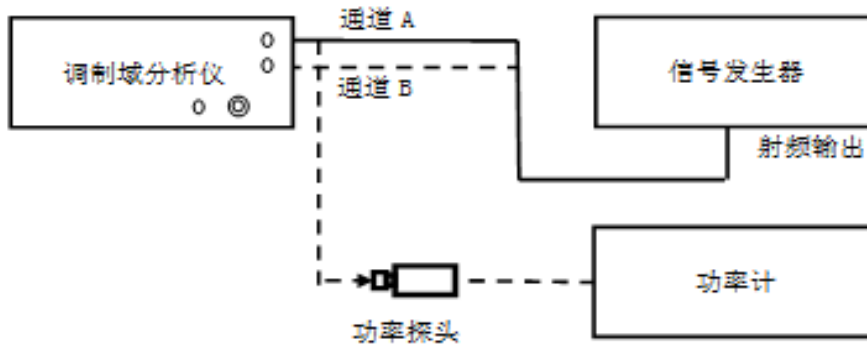


图 8.4 连接示意图 4

#### 2) 测试步骤

##### 通道 A、B 测试：

- 如图 8.4 所示连接测试仪器，将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 50MHz，功率 -22dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-22dBm；再将信号源连接到调制域分析仪通道 A 或通道 B；
- 设置信号发生器：频率 50MHz，功率-22dBm 并调整调至功率计；
- 设置调制域分析仪：  
【复位】；  
【频率/周期】→[频率]；  
【通道】→[通道选择]→[A] 或 [B]；  
【通道】→[通道 A 波段]或[通道 B 波段] →[0.125Hz-50M Hz]；  
【通道】→ [通道 A 磁滞]或 [通道 A 磁滞] →30mV；  
【自动比例】；
- 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值入测试测试结果表中；
- 重新将信号发生器直接连接到功率计，设置信号发生器：频率 50MHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源直接连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道；  
设置调制域分析仪：【自动比例】；
- 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 记入测试测试结果表中；
- 设置调制域分析仪：

**【频率/周期】**→[频率];

**【通道】**→[通道选择]→[A] 或 [B]→[[50MHz-500MHz];

设置调制域分析仪：**【自动比例】**;

- h) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 500MHz，功率-32dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-32dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道；
- i) 设置调制域分析仪：**【自动比例】**;
- j) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值-32dBm 记入测试测试结果表中；
- k) 重新将信号发生器直接连接到功率计，设置信号发生器：频率 500MHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源直接连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道；
- l) 设置调制域分析仪：**【自动比例】**;
- m) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 记入测试测试结果表中；
- n) 将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 4GHz，功率-22dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-22dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道；  
设置调制域分析仪：  
**【自动比例】**;
- o) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值-22dBm 记入测试测试结果表中；
- p) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 4GHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 A 通道或 B 通道；
- q) 设置调制域分析仪：**【自动比例】**;
- r) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 记入测试测试结果表中；

#### **通道 C 测试:**

- a) 如图 8.4 所示将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 15GHz，功率 -22dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-22dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；
- b) 设置调制域分析仪：  
**【复位】**;  
**【频率/周期】**→[频率];  
**【通道】**→[通道选择]→[C];  
**【自动比例】**;
- c) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值-22dBm 记入测试测试结果表中；
- d) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 15GHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；  
设置调制域分析仪：**【自动比例】**;

- e) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 记入测试测试结果表中；
- f) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 26.5GHz，功率-17dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-17dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；  
设置调制域分析仪：【自动比例】；
- g) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值-17dBm 记入测试测试结果表中；
- h) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 26.5GHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；  
设置调制域分析仪：【自动比例】；
- i) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 记入测试测试结果表中；

**当仪器型号为 4152F 时，继续以下步骤：**

- 1) 将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 40GHz，功率-12dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为-12dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；
- 2) 设置调制域分析仪：【自动比例】；
- 3) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值-12dBm 记入测试测试结果表中；
- 4) 重新将信号发生器连接到功率计，设置信号发生器：频率 40GHz，功率 13dBm，射频输出开；调整信号源功率，使功率计读数为 13dBm；再将信号源连接到调制域分析仪 C 通道；
- 5) 设置调制域分析仪：【自动比例】；
- 6) 观测调制域分析仪是否测量正确，如测量正确，将功率计的功率测量值 13dBm 测试结果表中；

### 8.5.15 参考时基测试

本次测试检查内部时基的日老化率指标。在满足规定的预热时间和环境条件下，用标准时基和微波信号源对仪器内部时基的频率漂移进行测量，连续测量 15 天以上，其平均频率漂移即为内部时基老化率。**内部时基老化率指标由时基生产厂家或具有相关资质的权威部门出具的测试报告数据为准。本标准中不做具体测试，但下面给出了一般的验证方法。**

在进行测试前，应对内部时基进行充分的预热，仪器从交流电源断开 2 小时后，需预热 7 天才能达到规定的时基老化率指标。对如果内部时基和频率标准在频率上相差很大，应首先进行时基校准，调整内部时基的频率准确度与标准时基一致。

因测试环境的影响对内部时基准确度的影响较大，因此测试应保证：

- 环境温度变化在 $\pm 2$  °C。
- 仪器保持和地球磁场一致的方向。
- 仪器处于同样的高度。
- 仪器不能受到任何机械撞击。

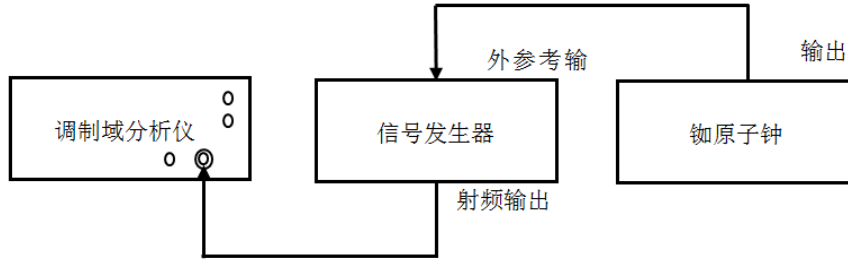


图 8.5 连接示意图 5

1) 测试框图及测试仪器和设备

- a) 铷原子钟俄罗斯 Ч1-82/5 1 个
- b) 信号发生器 R&S SMF 100A /Keysight E8257 1 台

2) 测试步骤

- a) 测试设备按规定要求预热，按图 8.5 连接测试设备，调制域分析仪与信号发生器不共时基，将信号发生器输出连接到调制域通道 C；
- b) 设置信号发生器：频率 10GHz，功率 -10dBm，射频输出开，调制输出关；
- c) 设置调制域分析仪：
  - 【复位】；
  - 【频率/周期】→[频率]；
  - 【通道】→[通道选择]→[C]；
  - 【自动比例】；
- d) 每隔 2 小时测量调制域分析仪读数 1 次，将结果记入测试记录表中。连续测量 15 天以上；
- e) 用最小二乘法按下式计算老化率 A。

$$A. 1. 1. 1. 1. 1 \quad A = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_p)(t_i - t_p)}{\sum_{i=1}^N (t_i - t_p)^2} \times \frac{24}{1 \times 10^{10}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：Y<sub>i</sub>——为第 i 次测量的频率值，单位为 Hz；  
 Y<sub>p</sub>——为 N 次测量的平均频率值，单位为 Hz；  
 t<sub>i</sub>——为第 i 次测量时的时间，单位为 h；  
 t<sub>p</sub>——为第 N 次测量的时间，单位为 h；  
 N——为测量次数。

# 附表

表 A 4152 系列调制域分析仪性能测试记录

编号: \_\_\_\_\_ 测试条件: 温度  $^{\circ}\text{C}$  相对湿度 % RH 共 4 页 第 1 页

| 序号   | 检验项目                  | 标准要求  |                                     |                   |                                     | 测试结果                               |     |
|--|-----------------------|---|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----|
| 1  | 外观                    | 目测检查调制域分析仪, 无明显机械损伤和镀涂损伤现象, 各控制件均需安装正确、牢固可靠, 操作灵活。                        |                                     |                   |                                     |                                    |     |
| 2  | 颜色                    | 淡灰色亚光   |                                     |                   |                                     |                                    |     |
| 3  | 安全性要求                 | 设备的电源输入端与机壳之间的绝缘电阻在试验用标准大气条件下应不小于 100M, 设备的电源输入端与机壳之间的绝缘电阻在潮湿环境条件下应不小于 2M |                                     |                   |                                     |                                    |     |
|  |                       | 抗电强度  | AC1.5kV/10mA/1min 无飞弧、无击穿。          |                   |                                     |                                    |     |
|  |                       | 漏电流   | $\leq 3.5\text{mA}$                 |                   |                                     |                                    |     |
| 4  | 功能                    | 开机启动后, 目测显示区域, 应正常显示测量界面; 用手触按右侧键盘按键, 测量功能应按对应标识响应。                       |                                     |                   |                                     |                                    |     |
| 5  | 频率测量范围                | 通道  | 被测频率                                | 采样间隔              | 判定条件                                | 实测值                                |     |
|  |                       | 通道 A  | 0.125Hz                             | 8s                | $0.125\text{Hz} \pm 0.87\text{mHz}$ |                                    |     |
|  |                       |   | 4GHz                                | 1 $\mu\text{s}$   | $4\text{GHz} \pm 456\text{kHz}$     |                                    |     |
|  |                       | 通道 B  | 0.125Hz                             | 8s                | $0.125\text{Hz} \pm 0.87\text{mHz}$ |                                    |     |
|  |                       |   | 4GHz                                | 1 $\mu\text{s}$   | $4\text{GHz} \pm 456\text{kHz}$     |                                    |     |
|  |                       | 通道 C  | 4GHz                                | 1 $\mu\text{s}$   | $4\text{GHz} \pm 456\text{kHz}$     |                                    |     |
| 26.5GHz  | 1 $\mu\text{s}$       |   | $26.5\text{GHz} \pm 3.02\text{MHz}$ |                   |                                     |                                    |     |
| 6  | 频率测量准确度/分辨率           | 通道  | 被测频率                                | 采样间隔              | 项目                                  | 判定条件                               | 实测值 |
|  |                       | 通道 A  | 200MHz                              | 1 $\mu\text{s}$   | 准确度                                 | $200\text{MHz} \pm 22.8\text{kHz}$ |     |
|  |                       |   |                                     |                   | 分辨率                                 | $\leq 22.8\text{kHz}$              |     |
|  |                       |   |                                     | 100 $\mu\text{s}$ | 准确度                                 | $200\text{MHz} \pm 228\text{Hz}$   |     |
|  |                       |   |                                     |                   | 分辨率                                 | $\leq 228\text{Hz}$                |     |
|  |                       | 通道 B  | 200MHz                              | 1 $\mu\text{s}$   | 准确度                                 | $200\text{MHz} \pm 22.8\text{kHz}$ |     |
|  |                       |   |                                     |                   | 分辨率                                 | $\leq 22.8\text{kHz}$              |     |
|  |                       |   |                                     | 100 $\mu\text{s}$ | 准确度                                 | $200\text{MHz} \pm 228\text{Hz}$   |     |
|  |                       |   |                                     |                   | 分辨率                                 | $\leq 228\text{Hz}$                |     |
|  |                       | 通道 C  | 20GHz                               | 100ns             | 准确度                                 | $20\text{GHz} \pm 22.8\text{MHz}$  |     |
|  |                       |   |                                     |                   | 分辨率                                 | $\leq 22.8\text{MHz}$              |     |
|  |                       |   |                                     | 100 $\mu\text{s}$ | 准确度                                 | $20\text{GHz} \pm 22.8\text{kHz}$  |     |
| 分辨率  | $\leq 22.8\text{kHz}$ |   |                                     |                   |                                     |                                    |     |
| 本页指标测试结论: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 |                       |   |                                     |                   |                                     |                                    |     |

| 序号   | 检验项目          | 标准要求  |            |                 |               |                   | 测试结果 |
|--|---------------|-------|------------|-----------------|---------------|-------------------|------|
| 7  | 频率测量最大带宽      | 通道    | 跨度         | 被测频率            | 采样间隔          | 判定条件              | 实测值  |
|  |               | 通道 A  | 3.5GHz     | 500MHz          | 1ms           | 500MHz ± 57Hz     |      |
|  |               |       |            | 4GHz            | 1ms           | 4GHz ± 456Hz      |      |
|  |               | 通道 B  | 3.5GHz     | 500MHz          | 1ms           | 500MHz ± 57Hz     |      |
|  |               |       |            | 4GHz            | 1ms           | 4GHz ± 456Hz      |      |
|  |               | 通道 C  | 22.5GHz    | 4GHz            | 1ms           | 4GHz ± 456Hz      |      |
|  |               |       |            | 26.5GHz         | 1ms           | 26.5GHz ± 3.02kHz |      |
| 通道 C   | 36GHz         | 4GHz  | 1ms        | 4GHz ± 456Hz    |               |                   |      |
|  |               | 40GHz | 1ms        | 40GHz ± 4.56kHz |               |                   |      |
| 8  | 载波周期测量准确度/分辨率 | 通道    | 被测周期       | 采样间隔            | 项目            | 判定条件              | 实测值  |
|  |               | 通道 A  | 2 μ s      | 20 μ s          | 准确度           | 2 μ s ± 11.4ps    |      |
|  |               |       |            |                 | 分辨率           | ≤ 11.4ps          |      |
|  |               |       | 2ms        | 20ms            | 准确度           | 2ms ± 24ps        |      |
|  |               |       |            |                 | 分辨率           | ≤ 11.4ps          |      |
|  |               | 通道 B  | 2 μ s      | 20 μ s          | 准确度           | 2 μ s ± 11.4ps    |      |
|  |               |       |            |                 | 分辨率           | ≤ 11.4ps          |      |
|  |               |       | 2ms        | 20ms            | 准确度           | 2ms ± 24ps        |      |
|  |               |       |            |                 | 分辨率           | ≤ 11.4ps          |      |
|  |               | 通道 C  | 0.5ns      | 1 μ s           | 准确度           | 0.5ns ± 0.228ps   |      |
|  |               |       |            |                 | 分辨率           | ≤ ± 0.228ps       |      |
|  |               |       | 0.1ns      | 1 μ s           | 准确度           | 0.1ns ± 0.011ps   |      |
| 分辨率  | ≤ 0.011ps     |       |            |                 |               |                   |      |
| 9  | 脉冲宽度测量范围      | 通道    | 被测脉冲宽度     |                 | 判定条件          |                   | 实测值  |
|  |               | 通道 A  | 20ns       |                 | 20ns ± 1.4ns  |                   |      |
|  |               |       | 1s         |                 | 1s ± 100ns    |                   |      |
|  |               | 通道 B  | 20ns       |                 | 20ns ± 1.4ns  |                   |      |
| 1s   |               |       | 1s ± 100ns |                 |               |                   |      |
| 10   | 脉冲宽度准确度/分辨率   | 通道    | 被测脉冲宽度     |                 | 项目            | 判定条件              | 实测值  |
|  |               | 通道 A  | 1 μ s      | 准确度             | 1 μ s ± 1.1ns |                   |      |
|  |               |       |            | 分辨率             | ≤ 120ps       |                   |      |
|  |               |       | 1ms        | 准确度             | 1ms ± 1.2ns   |                   |      |
|  |               |       |            | 分辨率             | ≤ 120ps       |                   |      |
|  |               | 通道 B  | 1 μ s      | 准确度             | 1 μ s ± 1.1ns |                   |      |
|  |               |       |            | 分辨率             | ≤ 120ps       |                   |      |
|  |               |       | 1ms        | 准确度             | 1ms ± 1.2ns   |                   |      |
| 分辨率  | ≤ 120ps       |       |            |                 |               |                   |      |
| 本页指标测试结论: <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 |               |       |            |                 |               |                   |      |

| 序号      | 检验项目                         | 标准要求     |         |                 | 测试结果         |     |
|---------|------------------------------|----------|---------|-----------------|--------------|-----|
| 11      | 占空比<br>测量范围                  | 通道       | 被测占空比   | 判定条件            | 实测值          |     |
|         |                              | 通道 A     | 0.001%  | 0.001%±0.0005%  |              |     |
|         |                              |          | 99.999% | 99.999%±0.0005% |              |     |
|         |                              | 通道 B     | 0.001%  | 0.001%±0.0005%  |              |     |
| 99.999% | 99.999%±0.0005%              |          |         |                 |              |     |
| 12      | 脉冲调制<br>包络宽度<br>测量范围<br>及准确度 | 通道       | 被测包络宽度  | 判定条件            | 实测值          |     |
|         |                              | 通道 A     | 50ns    | 50ns±20ns       |              |     |
|         |                              |          | 1s      | 1s±0.1ms        |              |     |
|         |                              | 通道 B     | 50ns    | 50ns±20ns       |              |     |
| 1s      | 1s±0.1ms                     |          |         |                 |              |     |
| 13      | 脉冲调制<br>包络周期<br>测量范围<br>及准确度 | 通道       | 被测包络周期  | 判定条件            | 实测值          |     |
|         |                              | 通道 A     | 200ns   | 200ns±20ns      |              |     |
|         |                              |          | 1s      | 1s±0.1ms        |              |     |
|         |                              | 通道 B     | 200ns   | 200ns±20ns      |              |     |
| 1s      | 1s±0.1ms                     |          |         |                 |              |     |
| 14      | 正时间间<br>隔测量隔<br>范围           | 通道       | 被测正时间间隔 | 判定条件            | 实测值          |     |
|         |                              | A→B      | 10 ns   | 10 ns±1.1ns     |              |     |
|         |                              |          | 1 s     | 1 s±101ns       |              |     |
|         |                              | B→A      | 10 ns   | 10 ns±1.1ns     |              |     |
| 1 s     | 1s±101ns                     |          |         |                 |              |     |
| 15      | 正负时间<br>间隔测量<br>范围           | 被测正负时间间隔 |         | 判定条件            | 实测值          |     |
|         |                              | -1 s     |         | -1 s±101ns      |              |     |
|         |                              | 1 s      |         | 1 s±101ns       |              |     |
| 16      | 时间间隔<br>准确度/<br>分辨率          | 通道       | 被测时间间隔  | 项目              | 判定条件         | 实测值 |
|         |                              | A→B      | 1 μ s   | 准确度             | 1 μ s±1100ps |     |
|         |                              |          |         | 分辨率             | ≤100ps       |     |
|         |                              | B→A      | 1 μ s   | 准确度             | 1 μ s±1100ps |     |
| 分辨率     | ≤100ps                       |          |         |                 |              |     |
| 17      | 相位测量<br>准确度/<br>分辨率          | 通道       | 被测相位测量  | 项目              | 判定条件         | 实测值 |
|         |                              | A→B      | 90°     | 准确度             | 90°±0.04°    |     |
|         |                              |          |         | 分辨率             | ≤0.004°      |     |
|         |                              | B→A      | 90°     | 准确度             | 90°±0.04°    |     |
| 分辨率     | ≤0.004°                      |          |         |                 |              |     |

本页指标测试结论：    合格

不合格

编号:

测试条件: 温度 °C 相对湿度 % RH 共 4 页 第 4 页

| 序号     | 检验项目   | 标准要求 |         |        | 测试结果 |
|--------|--------|------|---------|--------|------|
| 18     | 输入幅度范围 | 通道   | 被测频率    | 判定条件   | 实测值  |
|        |        | 通道 A | 50MHz   | -20dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 500MHz  | -30dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 4GHz    | -20dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        | 通道 B | 50MHz   | -20dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 500MHz  | -30dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 4GHz    | -20dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        | 通道 C | 15GHz   | -20dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 26.5GHz | -15dBm |      |
|        |        |      |         | +10dBm |      |
|        |        |      | 40GHz   | -10dBm |      |
| +10dBm |        |      |         |        |      |

本页指标测试结论: 合格

不合格