Ceyear 思仪

1652B

函数/任意波形发生器

用户手册



中电科思仪科技股份有限公司

该手册适用下列型号 1652B，基于固件版本 Version 2.0 及以上。

1652B 函数/任意波形发生器除标准配件外的选件如下：

- SMA 射频同轴电缆
- IQ 矢量基带信号发生选件
- 中频/射频信号发生选件
- 可编辑脉冲信号发生选件
- 复杂电磁环境信号发生选件
- 雷达信号发生选件
- 多种环境信号发生选件，如 GSM、WCDMA 等

版　　本：　A.6　2024年07月，中电科思仪科技股份有限公司
地　　址：　山东省青岛市黄岛区香江路98号
服务咨询：　0532-86889847　400-1684191
技术支持：　0532-86880796
质量监督：　0532-86886614
传　　真：　0532-86889056
网　　址：　www.ceyear.com
电子信箱：　techbb@ceyear.com
邮　　编：　266555

前　言

非常感谢您选择使用中电科思仪科技股份有限公司研制、生产的 1652B 函数/任意波形发生器！该产品集高、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

YQ2.829.1092SS

版本

A.6　2024.04

中电科思仪科技股份有限公司

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思仪科技股份有限公司。

本手册版权属于中电科思仪科技股份有限公司，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或篡改，并且不得以赢利为目的对本手册进行复制、传播，中电科思仪科技股份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。中电科思仪科技股份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

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

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小心条件之后，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 3
2.1 产品综述 3
2.2 安全使用指南 4
3 操作指南 11
3.1 准备使用 11
3.2 前、后面板说明 23
3.3 基本测量方法 26
3.4 多波序列编辑输出 40
3.5 信号模拟编辑波形输出 42
3.6 校准操作 58
3.7 文件格式说明 66
4 远程控制 74
4.1 远程控制基础 74
4.2 仪器程控端口与配置 87
4.3 VISA 接口基本编程方法 87
5 故障诊断与返修 91
5.1 工作原理 91
5.2 故障诊断与排除 92
5.3 错误信息 93
5.4 返修方法 94
6 技术指标与测试方法 95

目 录

6.1 声明.....95
6.2 产品特征.....96
6.3 技术指标.....97
6.4 测试方法.....100
附 录.....109
附录 A 错误信息速查表.....109

1 手册导航

本章介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的用户手册功能、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思仪科技股份有限公司所生产的 1652B 函数/任意波形发生器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1652B函数/任意波形发生器的主要性能特点、典型应用示例及操作仪器的安全指导事项。目的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1652B函数/任意波形发生器的操作前检查、仪器浏览、基本测量方法、测量窗口使用说明及数据存储等。以便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1652B函数/任意波形发生器使用方法的用户，系统、详细地介绍、列举每种功能，使用户理解掌握1652B的一些基本用法，如设置点频、功率、调制等。高级操作指导部分针对已具备基本的1652B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。例如：步进扫频和列表扫频的列表配置、启动扫频等。

- **菜单**

  按照功能分类介绍菜单结构和菜单项说明，方便用户查询参考。

- **远程控制**

  概述了仪器远程控制操作方法，目的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 1652B 函数/任意波形发生器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；I/O 库，介绍仪器驱动器基本概念及 IVI-COM/IVI-C 驱动的基本安装配置说明。

- **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 1652B 函数/任意波形发生器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1652B函数/任意波形发生器的必要的参考信息，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

1652B 函数/任意波形发生器的产品文档包括：

- 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 1652B 函数/任意波形发生器的主要性能特点、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

1652B 函数/任意波形发生器能提供丰富的信号激励及复杂的可编辑波形输出，旨在为卫星、雷达、电子对抗、无线通信、复杂电磁环境模拟、芯片检测等测试提供灵活、精确的激励信号，可迅速便捷地创建常规/函数波形及数字调制 IQ、IF/RF 信号，支持 OFDM、复杂干扰、雷达等信号生成功能，集多种波形和噪声生成功能于一身，操作简单、使用便捷。适用于雷达、卫星及宽带通信等电子武器装备的研制、制造、维修和保障中。

2.1.1 产品特点

2.1.1.1 基本功能

1652B 函数/任意波形发生器主要性能特点是：

1) 实时输出标准/常规波形：如正弦、方波、脉冲、PWM、锯齿波、复杂脉冲编辑、噪声。

2) 调用 Matlab 工具生成标准/常规波形：如正弦、方波、脉冲、锯齿波、线性调频、多种分布方式的噪声、心电图、高斯信号、半正矢信号等。

3) 具有多种信号模拟插件：
   - ✓ IQ 矢量基带信号模拟软件
   - ✓ 中频/射频信号模拟软件
   - ✓ 复杂干扰信号模拟软件等

- ✓ 复杂电磁环境模拟软件
- ✓ 典型雷达信号生成软件

4) 简单波形编辑：将波形文件导入，可以逐点编辑波形并存储待用

5) 校准功能：信号输出幅度和偏置校准。

2.1.1.2 波形产生高度灵活

1652B 函数/任意波形发生器提供内部文件接口和格式，用户可以方便地编辑自己的数据文件满足个性化波形定制需求。为拓展其应用范围，1652B 函数/任意波形发生器提供可扩展的文件导入导出功能 ,能识别使用主流任意波形发生器产生的波形或数据文件。

2.1.2 典型应用

1) 集成电路性能测试

1652B 函数/任意波形发生器产生常规激励信号测试集成电路的性能。

2) 雷达系统测试

1652B 函数/任意波形发生器提供多路精确同步且通道间延时可调的信号进行系统性能测试。

3) 电磁环境搭建

1652B 函数/任意波形发生器模拟多种电磁环境信号、通信信号和噪声信号搭建一个复杂空间电磁环境。

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。

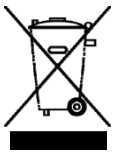
另外，正确的使用本产品也是您的责任。在开始使用本仪器之前，请仔细阅读并遵守安全说明。本产品适合在工业和实验室环境或现场测量使用，切记按照产品的限制条件正确使用，以免造成人员伤害或财产损害。如果产品使用不当或者不按要求使用，出现的问题将由您负责，我们将不负任何责任。**因此，为了防止危险情况造成人身伤害或财产损坏，请务必遵守安全使用说明。**请妥善保管基本安全说明和产品文档，并交付到最终用户手中。

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。 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，小心处理经典敏感器件。		单独收集电子器件的EU标识。 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。
	警告！辐射。 具体说明请参考本节“2.2.4 操作注意事项”中的第7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，若不避免，会带来人身和设备伤害。



警告标识，若不避免，会带来人身和设备伤害。



小心标识，若不避免，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，1652B 函数/任意波形发生器的操作环境需满足：平稳放置仪器，室内操作。操作仪器时所处的海拔高度最大不超过 4600 米，运输仪器时，海拔高度最大不超过 4500 米。实际供电电压允许在标注电压的±10%范围内变化，供电频率允许在标注频率的±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。

4) 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。

5) 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) 若供电插座未提供开/关电开关，若需对仪器断电，可直接拔掉电源插头，为此需保证电源插头可方便的实现插拔。

5) 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。

6) 仪器需使用 TN/TT 电源网络，其保险丝最大额定电流 16A（若使用更大额定电流的保险丝需与厂家商讨确定）。

7) 保持插座整洁干净，插头与插座应接触良好、插牢。

8) 插座与电源线不应过载，否则会导致火灾或电击。

9) 若在电压 Vrms > 30 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）。

10) 仪器需符合 IEC60950-1/EN60950-1 或 IEC61010-1/EN 61010-1 标准，以满足连接 PC 机或工控机。

11) 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。

12) 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。

13) 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。

14) 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。

15) 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。

16) 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) 射频类仪器会产生较高的电磁辐射，此时，孕妇和带有心脏起搏器的操作人员需要加以特别防护，若辐射程度较高，可采取相应措施移除辐射源以防人员伤害。

6) 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。

7) 激光产品上需根据激光类别标识警告标志，因为激光的辐射特性及此类设备都具备高强度的电磁功率特性，会对人体产生伤害。若该产品集成了其它激光产品（例如：CD/DVD 光驱），为防止激光束对人体的伤害，除产品手册描述的设置和功能外，不会提供其他功能。

8) 电磁兼容等级（符合 EN 55011/CISPR 11、EN 55022/CISPR 22 及 EN 55032/CISPR 32 标准）

— A 级设备：

除住宅区和低压供电环境外，该设备均可使用。

注：A 级设备适用于工业操作环境，因其对住宅区产生无线通信扰动，为此操作人员需采取相关措施减少这种扰动影响。

— B 级设备：

适用于住宅区和低压供电环境的设备。

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。某些情况下，废弃的碱性电池（例如：锂电池）需按照 EN 62133 标准进行处理。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碱性电池（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) 若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。

2.2 安全使用指南

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 操作指南

本章介绍了 1652B 函数/任意波形发生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。以便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 1652B 函数/任意波形发生器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

静电防护

注意工作场所的防静电措施，以避免对仪器带来的损害。具体请参考手册“2.2 安全使用指南”章节中的相关内容。

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：

- 为保证风扇叶片未受阻及散热孔通畅，仪器距离墙壁至少 10cm，并确保所有风扇通风口均畅通无阻；
- 保持仪器干燥；
- 平放、合理摆放仪器；
- 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；
- 信号输出端口正确连接，不要过载。

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用，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所服务咨询中心联系，我们将根据情况迅速维修或调换。

注 意

搬移：因仪器和包装箱较重，移动时，应由两人合力搬移，并轻放。

2) 型号确认

表 3.1 1652B 随箱物品清单

名 称	数 量	功 能
主机：		
✧ 1652B	1	—
标配：		
✧ 三芯电源线	1	—
✧ 用户手册	1	—
✧ 编程手册	1	—
✧ 装箱清单	1	—
✧ 产品合格证	1	—

3.1.1.2 环境要求

1652B 函数/任意波形发生器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 1652B 操作环境要求

温 度	10°C ~ 40°C
误差调整时温度范围	23°C ±5°C（误差调整时允许温度偏差 <1°C）
湿 度	<+29 °C 时，湿度计测量值范围：20% ~ 80%（未冷凝）
海拔高度	0 ~ 2,000 米 (0 ~ 6,561 英尺)
振 动	最大 0.21 G，5 Hz ~ 500 Hz

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 1652B 散热要求

仪器部位	散热距离
后侧	≥180 mm
左右侧	≥60 mm

3) 静电防护

静电对电子元器件和设备有极大的破坏性，通常我们使用两种防静电措施：导电桌垫与手腕组合；导电地垫与脚腕组合。两者同时使用时可提供良好的防静电保障。若单独使用，只有前者可以提供保障。为确保用户安全，防静电部件必须提供至少 1MΩ 的对地隔离电阻。

请正确应用以下防静电措施来减少静电损坏：

- 保证所有仪器正确接地，防止静电生成；
- 将同轴电缆与仪器连接之前，应将电缆的内外导体分别与地短暂接触；
- 工作人员在接触接头、芯线或做任何装配操作以前，必须佩带防静电手腕或采取其他防静电措施。

警 告

电压范围

上述防静电措施不可用于超过 500V 电压的场合。

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如下事项：

a) 确认供电电源参数

1652B 函数/任意波形发生器内部电源模块可以配备 220V 交流电源模块或者 110V/220V 自适应交流电源模块（选件）。配备 220V 交流电源模块的仪器只能用 220V 交流电源供电；配备 110V/220V 自适应交流电源模块的仪器可以使用 110V 交流或 220V 交流电源供电，此时内部交流电源模块采用自适应工作方式，根据外部交流供电电源的电压自动切换工作状态。因此，请您在使用 1652B 前请仔细查看仪器后面板的电源要求。

表 3.4 列出了 1652B 正常工作时对外部供电电源的要求。

表 3.4 1652B 工作电源参数要求

电源参数	适应范围			
电压、频率	220V±10%，50 ~ 60Hz		110V±10%，50 ~ 60Hz/360 ~ 440Hz	
额定输出电流	>3A		>3A	
功耗(开机)	基本配置	全部配置	基本配置	全部配置
	< 280W	< 320W	< 300W	< 340W
功耗(待机)	< 20W		< 20W	

提 示

防止电源互扰

为防止由于多台设备之间通过电源产生相互干扰 ,特别是大功率设备产生的尖峰脉冲干扰对仪器硬件的毁坏，建议使用 220V 或 110V 的交流稳压电源为 1652B 供电。

b) 确认及连接电源线

1652B 函数/任意波形发生器采用三芯电源线接口，符合国家安全标准。在 1652B 加电前，必须确认 1652B 的电源线中的**保护地线已可靠接地**，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。严禁使用不带保护地的电源线。当接上合适电源插座时，电源线将仪器的机壳接地。电源线的额定电压值应大于等于 250V ,额定电流应大于等于 6A。

仪器连接电源线时：

步骤 1. 确认工作电源线未损坏；

步骤 2. 使用电源线连接仪器后面板供电插头和接地良好的三芯电源插座。

警 告

接地

接地不良或接地错误很可能导致仪器损坏 ,甚至对人身造成伤害。在给频谱分析仪加电开机之前，一定要确保地线与供电电源的地线良好接触。

请使用有保护地的电源插座。不要用外部电缆、电源线和不具有接地保护的自耦变压器代替接地保护线。如果一定需要使用自耦变压器 ,必须把公共端连接到电源接头的保护地上。

c) 保险丝

保险丝的值印在后面板电源插座上面，保险丝长 20mm，直径 5mm，额定电流 3A，额定电压 250V，快速熔断型。如果需要更换保险丝，请按照下面的步骤操作：

步骤 1. 关机；

步骤 2. 拔掉电源线；

步骤 3. 拧出保险丝座；
步骤 4. 换保险丝；
步骤 5. 重新装入保险丝座；
步骤 6. 接上电源线；

警 告

更换保险丝
替换保险丝时，请用同等型号和参数的保险丝（250V/F3A），以防引起火灾。
严禁使用其它材料或其它型号的保险丝。

2) 初次加电

仪器开/关电方法和注意事项如下：

a) 连接电源

初次加电前，请确认供电电源参数及电源线，具体可参考用户手册中的章节“3.1.1.3 加电前注意事项”部分。

步骤 1. 连接电源线：用包装箱内与函数/任意波形发生器配套的电源线或符合要求的三芯电源线一端接入 1652B 的后面板电源插座，电源插座旁标注 1652B 要求的电压参数指标，提醒用户使用的电压应该符合要求。电源线的另一端连接符合要求的交流电源；
步骤 2. 打开后面板电源开关：观察前面板电源开关上方待机指示灯变亮为黄色。
步骤 3. 打开前面板电源开关：开机前请先不要连接任何设备到 1652B，若一切正常，可以开机，开机后前面板电源开关上方的指示灯会变为绿色。

b) 开/关电

i. 开机

步骤 1. 打开后面板电源开关（“|”）。
步骤 2. 打开前面板左下角电源开关，位于按下的位置（⏏），此时电源开关上方电源指示灯颜色由黄色变为绿色。
步骤 3. 1652B 前面板用户界面将逐步显示仪器启动过程的相关信息：首先短暂显示制造商信息，随后进入操作系统选单。选单中有两个选项，正常使用时，用户无需操作选单。计时器到 0 后 Windows 7 自动启动。
步骤 4. Windows 7 启动成功后，系统自动运行 1652B 的初始化程序，显示 1652B 的操作主界面。
仪器进入可操作状态。

提 示

10MHz 时基及预热

1652B 函数/任意波形发生器冷启动时，为使 1652B 的 10MHz 时基处于操作温度，需预热一段时间。函数/任意波形发生器从待机状态启动工作时，不需要预热时间。测试指标时，仪器需预热两小时。（具体请参考数据页中相关说明）。

提 示

接收远程控制服务开启

进入主机程序后，1652B 函数/任意波形发生器自动启动远程服务连接（等待客户端连接），若当前无 LAN 连接或没有检测到本地网卡则启动失败。

注 意

系统启动

本仪器使用了 Windows7 + x64 计算机的控制平台，在 BIOS 自检和 Windows 装载过程中，用户无需干预，勿中途断电，也勿修改 BIOS 中的设置选项。

ii. **关机**

步骤 1. 关闭前面板左下角电源开关，位于弹出的位置（⏏）。此时，仪器进入关机过程（软硬件需要经过一些处理后才能关闭电源），经过十几秒后，仪器断电，此时电源开关上方电源指示灯颜色由绿色变为黄色；

步骤 2. 关闭后面板电源开关（“O”），或者断开仪器电源连接。

仪器进入关机状态。

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。**不要直接操作后面板电源开关或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。**

c) **切断电源**

非正常情况下，为了避免人身伤害，需要 1652B 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

在函数/任意波形发生器进行各项测试过程中，经常会用到连接器，尽管测试电缆和分析仪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。

小 心

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 1652B 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。连接时应佩带防静电腕带断开连接的方法

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。

3) 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 1652B 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。

4) 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。

3.1.1.5 用户检查

1652B 函数/任意波形发生器初次加电后，需要检查仪器是否工作正常，以备后续测量操作。

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。

1) 自测试

将 1652B 函数/任意波形发生器连接电源，观察前面板左下角电源开关上方的电源指示灯为黄色，表示待机电源工作正常。轻触前面板电源开关，观察前面板电源指示灯变为绿色，显示器背光灯点亮，显示启动过程大约需等待 30 秒，显示开机状态界面。

2) 功能验证

将 1652B 函数/任意波形发生器开机并预热至少 30 分钟，连接输出端口到接收机，打开前面板输出开关【ON】，背景等显示为绿色，按下【播放】按键观察输出的两路初始型号（初始信号为正弦，幅度为 0.5Vpp）。

3.1.2 操作系统配置

本章介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的操作系统，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 1652B 操作系统的注意事项：

3.1.2.1 仪器软件说明

1652B 函数/任意波形发生器的主机软件运行的操作系统是 Windows 7，已经按照 1652B 的特性需求安装配置完成。1652B 函数/任意波形发生器主机软件基于 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

1652B 函数/任意波形发生器采用的是开放式的 Windows 环境，安装其它的第三方软件，可能会影响 1652B 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，1652B 函数/任意波形发生器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所服务咨询中心联系，我们将尽快予以解决。

注 意

BIOS 设置不可修改

BIOS 中已经对 1652B 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。

1) 配置网络

1652B 函数/任意波形发生器主机名称（计算机名）在出厂前已经被预置为“1652B 函数/任意波形发生器”。为了避免出现网络重名现象，对于一个网络连接多台 1652B 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（或 可以参考 Microsoft Windows 7 帮助文档。）

步骤 1. 关闭应用软件；

步骤 2. 设置本地 IP 地址；

步骤 3. 重新启动应用软件。

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 1652B 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。系统恢复操作参见本节“2）系统维护”的相关内容。

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，具体操作请参考章节“3.1.2.5 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 Windows 7 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) Windows 7 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 2 个分区：“C：”和“D：”。

C 盘包括 Windows 7 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 D 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

函数/任意波形发生器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。

3.1.3 例行维护

该节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的日常维护方法。

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，轻轻擦试显示面板；

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

1652B函数/任意波形发生器前面板有一个N型端口（阴头）和一个BNC端口（阴头）。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。

注 意

端口阻抗匹配

1652B函数/任意波形发生器前面的射频端口是50 Ω N型接头（阴头）。若连接不匹配阻抗连接器会损伤该接头。

3.2 前、后面板说明

该章节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的前、后面板及操作界面的元素组成及其功能。

3.2.1 前面板说明

本节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的前面板组成及功能，前面板如下（图 3.1），列项说明如表 3.5：

3.2 前、后面板说明

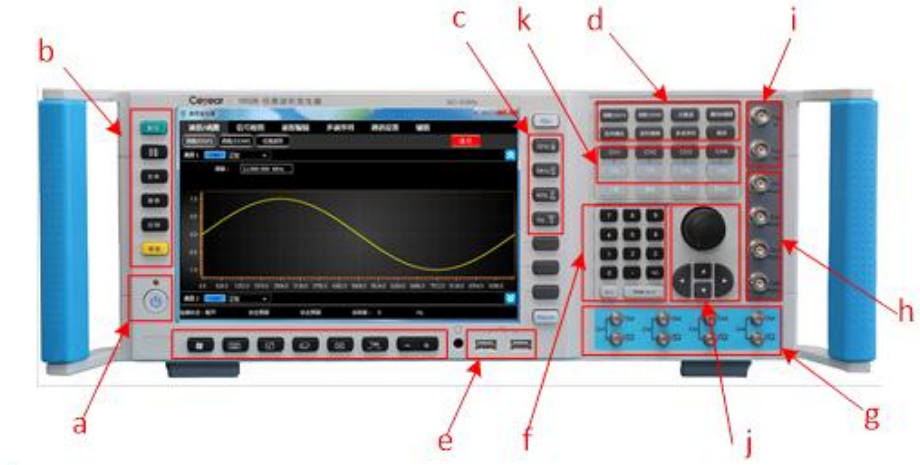


图 3.1 1652B 前面板

a、电源开关

b、系统辅助区

c、单位键

d、主功能区及通道开关

e、前置 USB

f、数字键

g、前面板输出接口

h、Mark1 输出接口

i、触发输入输出接口

j、RPG 旋钮和方向键区

k、通道及开关

表 3.5 前面板说明

序号	名 称	说 明
a	电源开关	电源开关。
b	系统辅助区	系统设置、帮助文件等
c	单位键	单位键，参数输入
d	主功能区	工作模式选择
e	前置 USB	前面板提供 2 个 USB2.0 接口
f	数字键	数字键，参数输入
g	前面板输出接口	4 路差分信号输出，接口形式 SMA
h	Mark1 输出接口	4 路 Mark1 信号输出，接口形式 BNC
i	触发输入输出	外触发输入和内触发输出，接口形式 BNC
j	RPG 旋钮和方向键	参数快速修改，功能切换
k	通道及开关	通道切换及输出射频开关控制

3.2.2 后面板说明

本节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的后面板组成及功能 ,后面板如下图(图 3.2) , 具体列项说明如表 3.6。

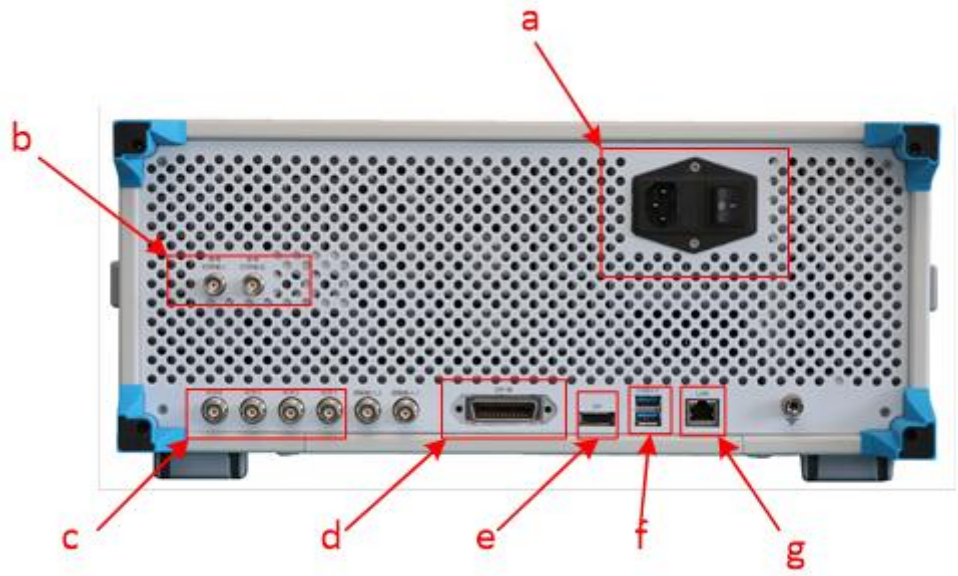


图 3.2 1652B 后面板

a、电源接口

b、Mark2 输出

c、参考输出/输出

d、GPIB 接口

e、DP 接口

f、后置 USB

g、LAN 接口

表 3.6 后面板说明

序号	名 称	说 明
a	电源接口	仪器总电源接线。
b	Mark2 输出	4 路 Mark1 信号输出，接口形式 BNC
c	参考输出/输出	本机可用外部输入的参考信号为时基，也可以将本机的参考信号输出到外部
d	GPIB 接口	GPIB 接口
e	DP 接口	外接 DP 接口显示器
f	后置 USB	后面板提供 2 个 USB2.0 接口
g	LAN 接口	程控端口，用于软件升级、控制等

3.3 基本测量方法

本节介绍了1652B函数/任意波形发生器的基本的设置和测量方法，包括：

3.3.1 基本设置说明

本节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器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

1652B函数/任意波形发生器采用新型直观的图形用户界面，本节主要介绍了1652B用户操作界面的分区组成及功能。操作界面如下图（图3.3）：

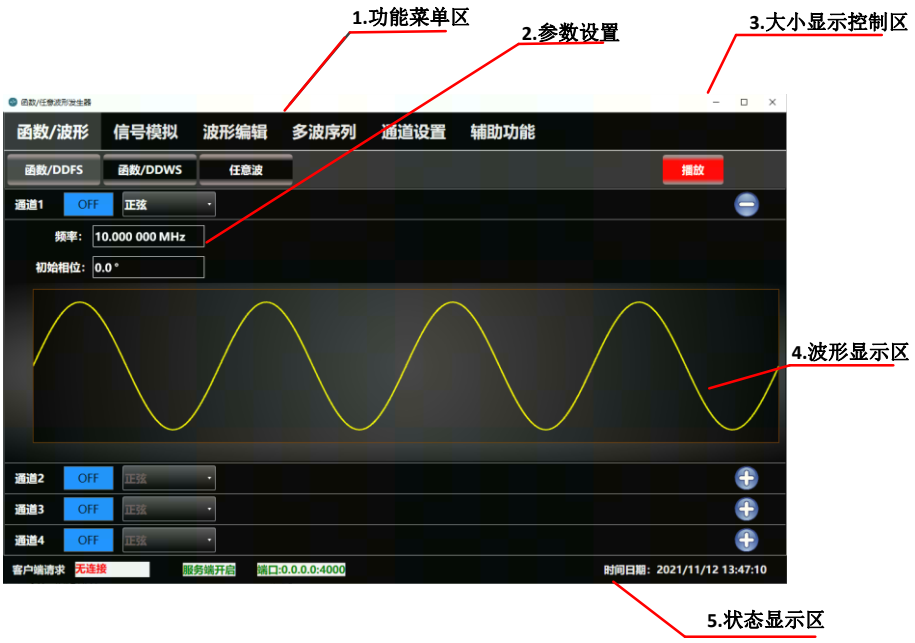


图 3.3 1652B 操作界面

应用软件界面区域说明：

表 3.7 操作界面说明

序号	名 称	说 明
1	功能菜单区	主要功能切换选择
2	参数设置区	设置当前信号/波形的参数
3	大小显示控制区	控制应用软件大小、关闭
4	波形显示区	显示时域波形曲线
5	状态信息区	➢ 远程连接状态；

		➢ 本机服务端 IP 地址信息； ➢ 外触发频率信息； ➢ 时间日期

3.3.1.2 公用测量设置方法

提 示

支持鼠标和前面板操作

1652B 函数/任意波形发生器的图形用户界面支持鼠标操作和仪器前面板操作，下面具体介绍 1652B 的几种公共设置操作。其中 ,方法 1 为鼠标操作 ,方法 2 为仪器前面板操作。

说 明

输出开关和播放开关的说明

输出开关：控制硬件输出通道的通断状态，有相关的开关继电器实现切换，可以认为是“硬开关”。

播放开关：波形输出使能开关，是由 FPGA 进行控制，可以认为是“软开关”

1) **【输出开/关】操作**

方法 1： 鼠标单击主信息显示区域的 OFF 按钮变为 ON，射频开关显示“ON”，再单击该按钮，射频开关显示“OFF”。

方法 2：按仪器前面板【ON】键，切换射频开关状态。

2) **【播放开/关】操作**

方法 1： 鼠标单击主信息显示区域的 播放 按钮变为 播放，背景变为绿色即打开播放使能，再单击该按钮，背景变为红色即关闭播放使能。

方法 2：按仪器前面板【下载/播放】键，切换播放使能开关状态。

3.3.2 波形输出

本节通过示例按步骤详细介绍了 1652B 函数/任意波形发生器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，1652B 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 10 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。

3.3.2.1 设置连续波输出

说 明

连续波输出

连续波输出的工作原理是，通过应用软件配置波形参数，软件将相关控制直接发送到 FPGA 和其它硬件控制波形实时产生和输出，不同于常规波形编辑输出（见 3.3.2.2 常规波形编辑输出）

1) 设置通道 1 输出波形为正弦波，频率为 10MHz，初始相位 0°

提 示

仪器复位状态

根据用户需求可以把函数/任意波形发生器复位条件设为用户指定的状态。但在以下实例中，使用出厂指定的复位状态。

步骤 1.切换到函数/DDFS 界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【函数/DDFS】



图 3.4 正弦波输出设置界面

步骤 2.展开通道 1

- 点击打开通道 1 的显示界面

步骤 3.择输出波形为正弦波，设置波形参数。

- 频率：10MHz
- 初始相位：0°

步骤 4.打开输出开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起）。

步骤 5.打开播放开关

点击 播放 图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起）。

提 示

步进改变输入框参数

输入框处于编辑状态时，也可以通过前面板 RPG 或 方向键步进改变输入的参数值。

提 示

输入的频率超出了任意波形发生器设置范围

频率输入框自动限定其范围，超出最大值显示最大值，小于最小值显示最小值。

2) **设置通道 1 输出脉冲波，频率为 10MHz，脉冲宽度为 50ns，边沿时间为 0.48ns，初始相位 0°**

提 示

脉冲宽度的上下限取决于当前脉冲频率

1.5ns≤脉冲宽度≤T-1.5ns。

步骤 1.切换到函数/DDFS 界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【函数/DDFS】

3.3 基本测量方法



图 3.5 脉冲输出设置界面

步骤 2.展开通道 1

- 点击打开通道 1 的显示界面

步骤 3.选择输出波形为脉冲，设置波形参数。

- 频率：10MHz；
- 脉冲宽度：50ns；
- 边沿时间：0.48ns；
- 初始相位：0°

步骤 4.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起）。

步骤 5.打开播放开关

点击图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起）。

3) 设置通道 1 输出复杂脉冲序列

设置输出复杂脉冲序列，包含 3 个子序列：子序列 1，高电平 50μs，周期 500μs，循环次数 1 次；子序列 2，高电平 100μs，周期 500μs，循环次数 2 次；子序列 3，高电平 150μs，周期 500μs，循环次数 3 次；子序列 4，高电平 200μs，周期 500μs，循环次数 3 次。

复杂脉冲设置是通过编辑子脉冲列表方式实现

复杂脉冲信号最多支持 511 条子脉冲编辑，每个子脉冲独立可编辑，参数有高电平（持续时间）、周期（时长）和循环次数，其中周期最大 0.851s，循环次数 1～1023 次，高电平范围取决于周期时长（同时有最小脉冲宽度显示）。

步骤 1.切换到函数/DDFS 界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【函数/DDFS】

步骤 2.展开通道 1

- 点击⊕打开通道 1 的显示界面

步骤 3.选择输出波形为复杂脉冲。

步骤 4.点击“清除”按钮，清除复杂脉冲列表。

步骤 5.点击“添加”按钮，逐个添加子脉冲。

- 添加子脉冲，高电平为 50μs，周期为 500μs，循环次数为 1；



图 3.6 复杂脉冲添加第 1 条子脉冲

- 添加子脉冲，高电平为 100μs，周期为 500μs，循环次数为 2；
- 添加子脉冲，高电平为 150μs，周期为 500μs，循环次数为 3；
- 添加子脉冲，高电平为 200μs，周期为 500μs，循环次数为 4

步骤 6.点击“装载”按钮是，装载成功后“装载”按钮背景色变为绿色 装载 ；

3.3 基本测量方法



图 3.7 复杂脉冲装载

步骤 7.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起 ON ）。

步骤 8.打开播放开关

点击 播放 图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起 播放 ）。

提 示

[满载按钮]

点击满载按钮，软件生成 511 条子脉冲的复杂脉冲序列，多用于测试复杂脉冲编辑条数和相关参数。

3.3.2.2 常规波形编辑输出

常规波形编辑输出下，通过应用软件设置波形类型及相关波形参数，后台软件调用 Matlab 执行计算功能，并将生成的波形数据保存为波形文件。通过高速总线将波形文件加载到 DDR 存储器中由触发信号启动输出。

1) 通道 1 编辑正弦波，频率为 1MHz，初始相位 45°，采样率 5GHz

说 明

生成波形数据

通道 1 生成的波形数据文件存储目录为“C:\Awg1652B\StandardWaveform\DDWS\CH1”，文件名为 output.awf。

步骤 1.切换到函数/DDWS 界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【函数/DDWS】

步骤 2.展开通道 1

- 点击打开通道 1 的显示界面

步骤 3.选择输出波形为正弦波，设置波形参数。

- 频率：1MHz；
- 初始相位：45°；
- 采样率：5GHz

步骤 4.生成波形数据文件

点击“下载/预览”按钮，生成正弦波数据，并在显示界面显示

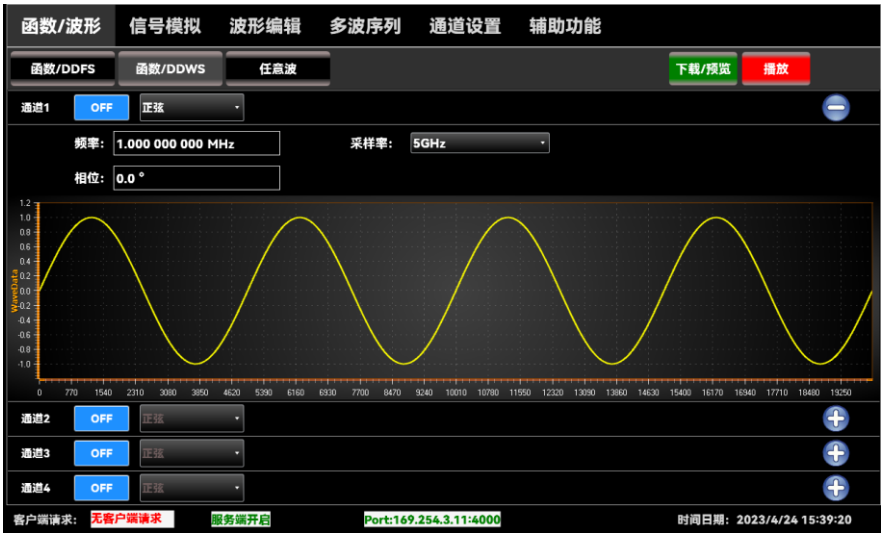


图 3.8 编辑生成正弦波信号

步骤 5.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起）。

步骤 6.打开播放开关

点击图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起）。

3.3.2.3 任意波形文件输出

说 明

任意波形数据文件

1652B 函数/任意波形发生器预置部分波形文件，分别存储在“C:\Awg1652B\AWG”目录和“C:\Awg1652B\DEFINE”目录，其中“C:\Awg1652B\AWG”对应软件界面“内置 AWG”下的波形列表，这部分文件不要随意删除添加。“C:\Awg1652B\DEFINE”目录对应软件界面“自定义”下的波形列表，这部分开放用户使用，可以拷贝、添加、删除。

1) 通道 1 输出“内置 AWG”波形文件

步骤 1.切换到任意波界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【任意波】

步骤 2.展开通道 1

- 点击打开通道 1 的显示界面

步骤 3.切换到“内置 AWG”波形列表。

步骤 4.选择输出的波形文件

- 在“内置 AWG”列表下，单击选中任何一个波形文件，如“三角.awf”;
- 右击选中的文件，弹出快捷菜单；
- 点击快捷菜单中的打开，则右边显示该波形

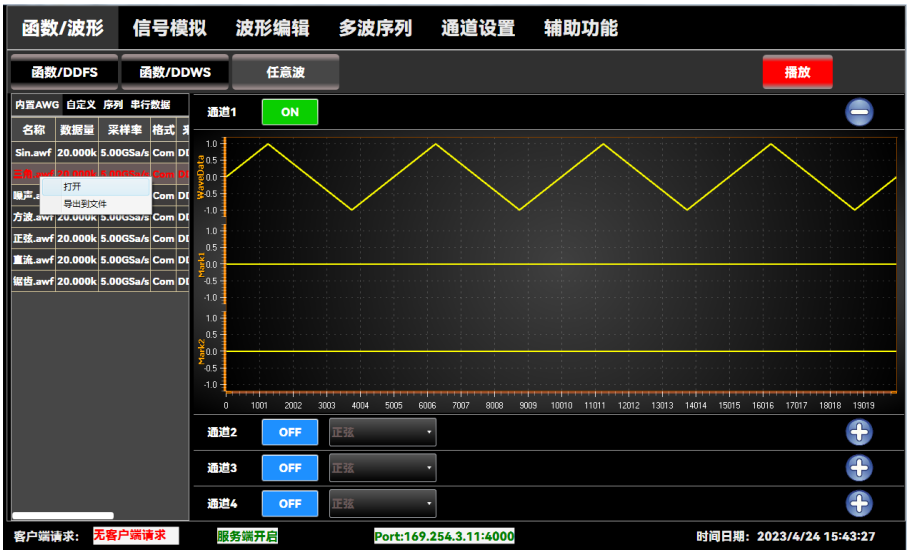


图 3.9 打开“内置 AWG”下的三角.awf 文件

步骤 5.打开播放开关

点击 播放 图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起 播放 ）。

步骤 6.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起 ON ）。

2) **通道 1 输出“自定义”波形文件**

步骤 1.切换到任意波界面

- 点击【函数/波形】；
- 点击【任意波】

步骤 2.展开通道 1

- 点击 打开通道 1 的显示界面

步骤 3.切换到“自定义”波形列表。

步骤 4.选择输出的波形文件

- 在“自定义”列表下，单击选中任何一个波形文件，如“Wave1_I.awf”;
- 右击选中的文件，弹出快捷菜单；
- 点击快捷菜单中的打开，则右边显示该波形

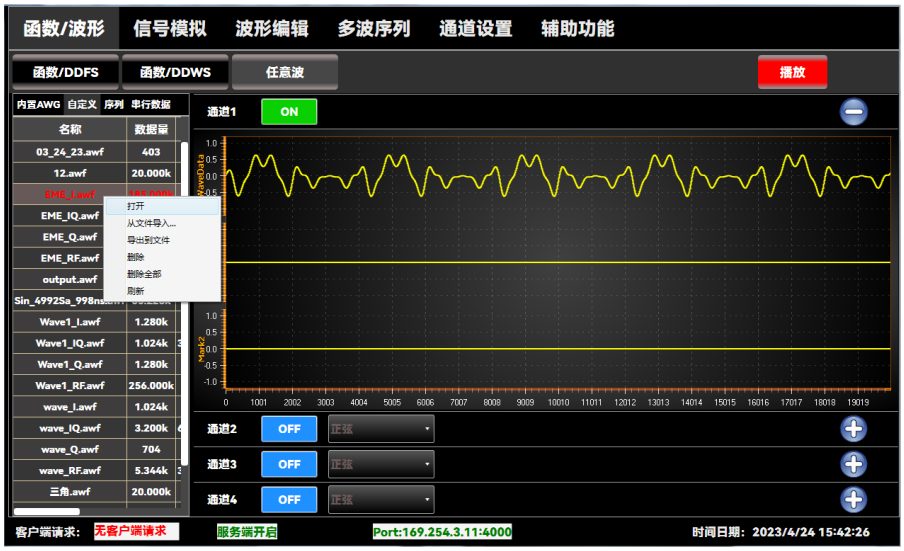


图 3.10 打开“自定义”下的 XX.awf 文件

步骤 5.打开播放开关

点击 播放 图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起 播放 ）。

步骤 6.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起 ON ）。

3.3.3 输出幅度、偏置及延时控制

提 示

幅度控制

幅度控制操作界面位于【通道设置】界面下的【通道】选项，在此选项界面下可以独立控制各输出通道信号输出幅度、直流偏移和通道间相对延时。

控制通道 1 输出峰峰值为 0.5Vpp，直流偏移为 0.2V，通道 1 信号输出延时 1.2ns。

步骤 1.输出正弦波信号

- 设置通道 1 输出正弦波，频率为 10MHz，参见“3.3.2.1”中正弦波输出

步骤 2.切换到幅度控制界面

- 点击【通道设置】；
- 点击【通道】

步骤 3.选择当前通道为“通道 1”。

步骤 4.设置幅度、偏置和延时参数

- 耦合方式：DC
- 峰峰值：500mVpp；
- 直流偏移：0.2V；
- 通道间延时：1.2ns
- 点击快捷菜单中的打开，则右边显示该波形



图 3.11 幅度、偏置和输出延时设置界面

步骤 5.打开前面板开关

按前面板【ON】开关，切换射频输出开关到开状态（软件界面开关状态为 ON，绿色背景灯亮起 ON ）。

步骤 6.打开播放开关

点击 播放 图标，打开播放使能开关（绿色背景灯亮起 播放 ）。

3.3.4 触发控制

触发控制

1652B 函数/任意波形发生器工作在【函数/DDWS】和【任意波】模式下，设置触发控制方有效，存储在 DDR 存储器中的波形依赖触发信号控制其输出时间和输出方式。

提 示

触发方式

触发方式有外部触发、固定间隔触发和单次触发。固定间隔触发方式下可以设置触发间隔时间，外部触发方式下可以设置触发沿和触发电平。外部触发方式下需要外接触发源提供触发信号，触发电平控制触发信号触发位置。设置完触发参数后，需要重新“播放”波形数据触发方能生效。

设置触发方式设置为固定触发，触发间隔为 10μs，触发个数为 3。

步骤 1.输出一个波形文件

- 输出一个任意波形文件，参见“3.3.2.3”中 1)输出三角.awf 文件

3.3 基本测量方法

步骤 2.切换到触发控制界面

- 点击【通道设置】；
- 点击【触发】

步骤 3.选择当前通道为“通道 1”。

步骤 4.设置幅度、偏置和延时参数

- 触发方式：固定间隔；
- 间隔时间：10μs；
- 播放次数：多次；
- 设置次数：3



图 3.12 固定间隔触发方式设置界面

提 示

内触发信号输出

1652B 工作在任意波模式下，可以将其工作的触发信号通过触发信号输出接口（BNC 形式）输出。如上述触发设置，可以在触发输出接口检测到周期为 10μs 的脉冲信号输出。

3.3.4 Mark 输出控制

提 示

Mark 控制

1652B 任意波形的分辨率是 16bit，其中第 0 位可以复用为 Mark1 信号，第 1 位可以复用为 Mark2 信号，多用于级联同步，只有在输出任意波形，并且任意波形最低位不全为 0（至少 32 个连续样点不全为 0）方能检测到 Mark 信号。

提 示

Mark 数量

1652B 具有 2 通道机型和 4 通道机型，每个通道可独立输出 2 路 Mart，其中 Mark 从前面板输出，Mark2 从后面板输出。

设置通道 1 输出 Mark1，高电平为 1.5V，低电平为-0.5V；输出 Mark2，高电平为 1.2V，低电平为-0.2V；Mark 延时 0ns

步骤 1.输出一个波形文件

- 输出一个任意波形文件，参见“3.3.2.3”中 1)输出 Sinc.awf 文件

步骤 2.切换到触发控制界面

- 点击【通道设置】；
- 点击【Mark】

步骤 3.选择当前通道为“通道 1”。

步骤 4.打开 Mark 开关，设置 Mark 延时 0ns。

步骤 5.设置 Mark1 参数

- Mark1 高电平：1.5V；
- Mark1 低电平：-0.5V

步骤 6.设置 Mark2 参数

- Mark2 高电平：1.2V；
- Mark2 低电平：-0.2V；



图 3.13 Mark 电平设置界面

提 示

Mark 电平

Mark 高电平应大于 Mark 低电平，可以在【任意波】下打开波形文件，观察是否存在 Mark 信号（高电平部分）。

3.4 多波序列编辑输出

本节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器具有多波形合成序列编辑输出，每段序列都可以定义独立的子波形、子波形循环次数，软件将多波序列合成为一个序列文件，扩展名为.seq。

提 示

多波序列输出

多波序列中每个子波形独立，如多波序列中包含 3 个波形，第 1 个波形为正弦，循环 1 次；第 2 个为三角波，循环 2 次；第 3 个为方波，循环 3 次。 触发方式为单次，则第 1 个触发信号来临输出 1 个周期的正弦；第 2 个触发信号来临，输出 2 个周期的三角；第 3 个触发信号来临输出 3 个周期的方波。

编辑 1 个多播序列输出，序列中包含 4 个波形：第 1 个为正弦波，循环次数 1 次；第 2 个为三角波，循环次数 2 次；第 3 个为方波，循环次数 3 次；第 4 个为 Sinc 波，循环次数 4 次，触发方式为固定间隔，间隔时间为 10μs。

步骤 1.：打开多波序列编辑界面

- 点击【多波序列】；

步骤 2. 创建一个序列文件

- 点击“新建”，创建一个新的序列文件，软件自动添加 1 个正弦波作为第 1 个序列（可编辑修改）

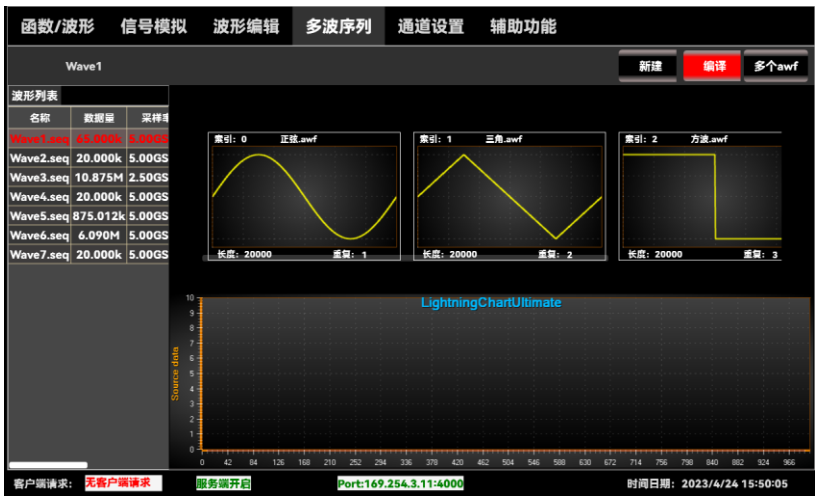


图 3.14 新建多波序列文件

步骤 3. 添加第 2 个子波形

- 在第 1 个子序列窗口右键弹出菜单，选择增加波形窗口；
- 在新添加的波形窗口右键，选择波形文件；
- 找到本地三角.awf 波形文件添加；
- 修改重复次数为 2 次。



图 3.15 添加第 2 个子波形三角.awf

步骤 4. 继续添加子波形

- 按照步骤 3 依次添加第 3 个子波形为方波，修改循环次数为 3；
- 按照步骤 3 依次添加第 4 个子波形为方波，修改循环次数为 4

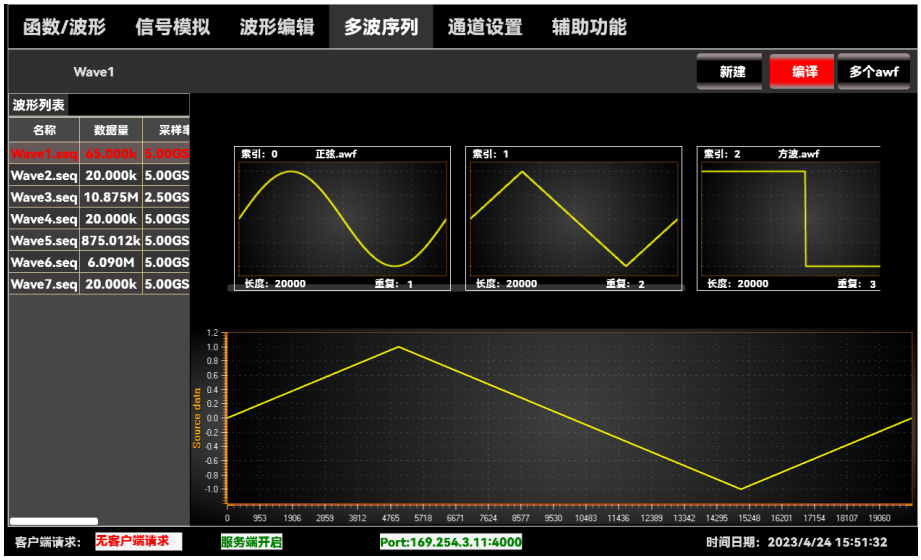


图 3.16 完成 4 个子波形添加

步骤 5. 编译多波序列

- 点击“编译”；
- 软件生成多波序列文件，如 Wave1.Seq

步骤 6. 将序列发送到通道 1 输出

- 选中 Wave1.seq 文件；
- 右键弹出菜单，选择“发送到通道 1”

提 示

多波序列显示

显示多波序列时，只显示每个子波形单周期数据，Seq 文件中只存储 1 个周期的子序列，循环次数作为子序列头信息存储在每个子序列头信息已节省存储空间。

步骤 7. 设置触发方式

- 点击【通道设置】；
- 点击【触发】；
- 触发方式：固定间隔；
- 触发间隔：10μs；
- 播放次数：多次，1

3.5 信号模拟编辑波形输出

本节介绍了 1652B 函数/任意波形发生器具有 IQ 矢量基带信号编辑输出、中频/射频信号编辑输出、复杂干扰信号编辑输出等多种信号模拟插件。

提 示

信号模拟插件

信号模拟插件下，由应用层调用 Matlab 计算引擎，通过 xml 文件传递参数，生成所需要的多种复杂信号。

3.5.1 IQ 矢量信号编辑输出

3.4.1.1 AM 调制 IQ 信号编辑输出

通道 1，上变频模式，输出调制方式 AM，调制速率为 78.125MHz，调幅深度为 50%的 IQ 信号，无基带噪声，上变频 IQ 调制载波频率 1.2GHz。

提 示

采样模式

IQ 信号生成插件采样模式由实时和上变频两种，其中实时模式即生成两路 I 和 Q 信号分别存储在两个文件中；上变频模式将生成的 I 和 Q 路信号逐个交叉存储到 1 个文件中，1652B 输出上变频模式文件时会自身产生一个载波（相当于内置上变频器）将输出信号直接调制成中频/射频信号输出。

提 示

采样率

插件中采样率后台软件自行适配 ,实时模式的采样率范围 :10kHz～312.5MHz,625MHz、1.25GHz、2.5GHz 和 5GHz ;上变频模式采样率只有 312.5MHz,625MHz、1.25GHz、2.5GHz。

实时模式通常作为外部调制源配合矢量信号发生器生成大载波可调范围的宽带信号。

步骤 1.打开 IQ 基带信号编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：选择 IQ 信号

步骤 2. 设置调制方式为 AM，同时设置其它参数

- 采样模式：上变频；
- 调制速率：78.125MHz；
- 调幅深度：50%

步骤 3. 生成 IQ 数据

点击“编译”按钮，等待波形数据生成。



图 3.17　IQ 信号插件编辑设置界面

波形生成后会在波形列表显示 1 个文件 Wave_IQ.awf。

步骤 4. 将 Wave_IQ.awf 数据发送到通道 1

- 鼠标点击选中 Wave1_IQ.awf 文件；
- 鼠标在选中文件处右击，在弹出的快捷菜单选择“发送到”、“通道 1”



图 3.18 将 AM 上变频模式信号发送到通道 1

发送完成后，显示区域显示 Wave_IQ.awf 文件波形。

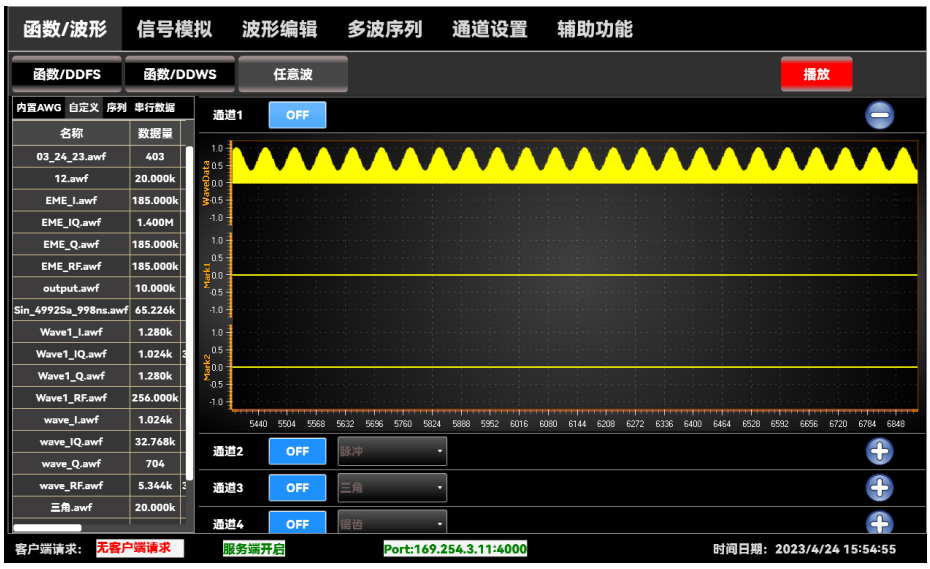


图 3.19 将 AM 上变频模式数据预览

步骤 5. 播放输出 Wave_IQ.awf

- 参见“3.3.2.3”中 1)输出三角.awf 文件

步骤 6. 设置调制载波频率

- 点击【通道设置】；
- 点击【IQ 调制】；
- 设置当前通道："通道 1"
- IQ 调制载波频率：1.2GHz
- IQ 调制载波功率：0dBm



图 3.20 上变频模式输出宽带信号载波设置

提 示

播放输出

如果 1652B 连接的是示波器，注意查看示波器的带宽是否超过 1.2GHz，如果 1652B 连接的是频谱仪，设置频谱仪的中心频率为 1.2GHz。

3.4.1.2 QPSK 调制 IQ 信号编辑输出

QPSK 调制信号的 I 路数据从通道 1 输出，Q 路数据从通道 2 输出，符号速率为 10MHz，信号源为 PRBS9，滤波类型为 RRC，滤波因子为 0.35，滤波阶数为 32

提 示

信号源

调制方式为数字调制方式时，需选择信号源。信号源类型有全 0，全 1，PRBS，自定义序列和文件。自定义序列即用户可以自己输入 01 码为数据源，文件即用户提供 01 码的数据源文件，软件自行读取为信号源。

提 示

实时模式

I、Q 实时输出模式通常应用场景是作为外接适量源的 I、Q 外调制源，如将“Wave1_I.awf”发送到通道 1 作为外调制 I 路信号，将“Wave1_Q.awf”发送到通道 2 作为外调制 Q 路信号（1652B 系列通道 1/2 可作为一对 I、Q 外调制源，通道 3/4 作为另外一对 I、Q 外调制源，切勿交叉使用）。这样就可以将宽带基带信号搬移到更高的频段输出。

步骤 1.连接 1652B 通道 1、2 到矢量信号发生器外调制输入端

- 通道 1 接入矢量信号发生器外调制 I 输入接口；
- 通道 2 接入矢量信号发生器外调制 Q 输入接口；
- 设置矢量信号发生器模式为外调制，调制频率为 10GHz

步骤 2.打开 IQ 基带信号编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：选择 IQ 信号；
- 采样模式：实时

步骤 3. 设置调制方式为 QPSK，同时设置其它参数

- 信号源：PRBS9；
- 符号速率：10MHz；
- 滤波类型：RRC；
- 滚减因子：0.35；
- 滤波阶数：32

步骤 4. 生成 IQ 数据

点击“编译”按钮，等待波形数据生成。



图 3.21　QPSK 信号编辑界面

波形生成后会在波形列表显示两个文件，其中 Wave_I.awf 为 I 路数据，Wave_Q.awf 为 Q 路数据。

步骤 5. 将 I 路数据发送到通道 1

- 参见“3.4.1.1”相关操作

步骤 6. 将 Q 路数据发送到通道 2

- 参见“3.4.1.1”相关操作

步骤 7. 播放输出 2 路寄到信号

步骤 8. 通过信号分析仪观察信号输出

3.5.2 中频/射频信号编辑输出

1652B 函数/任意波形发生器可以编辑中频/射频信号输出，与 IQ 矢量信号的不同之处在于中频/射频信号须加载波调制。

相关操作参见“3.4.1”IQ 矢量信号编辑输出。

3.5.3 复杂干扰信号编辑输出

1652B 函数/任意波形发生器可以编辑复杂干扰信号输出。复杂干扰信号生成插件中，信号为雷达发射信号（被干扰信号），干扰支持 SMSP 等多种干扰形式。文件保存类型可以选择被干扰信号（即发射的雷达信号）、干扰信号（即多种干扰信号）和受干扰信号（即雷达信号加上干扰后的信号），即可以保存上述信号的基带信号也可以保存上述信号的射频信号。

- **生成复杂干扰信号并保存被干扰后的射频信号。**
- **雷达脉冲形式为线性调频，带宽为 500MHz，线性调频方向为“升”，雷达发射脉冲**

宽度为 15μs，PRI 为 100μs，载波频率为 200MHz，周期数为 1；

- 干扰信号类型为 SMSP，幅度比值为 0.1（干扰/雷达信号的幅度），延迟距离为 0（米）。

步骤 1.打开复杂干扰编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：复杂干扰

步骤 2.设置雷达发射信号

点击“被干扰信号”选项，设置：

- 基带频偏：100MHz；
- 脉冲形式：线性调频；
- 带宽：500MHz；
- 线性调频方向：“升”；
- 发射脉冲宽度：15μs；
- PRI：100μs；
- 载波频率：200MHz；
- 周期数为：1



图 3.22　雷达发射编辑界面

步骤 3. 设置干扰信号和保存类型

点击“基本”选项，设置：

- 干扰信号类型：SMSP；
- 幅度比值：0.1（干扰/雷达信号的幅度）；

- 延迟距离：0（米）；
- 保存类型：受干扰信号



图 3.23 干扰编辑界面

步骤 4. 将 I 路数据发送到通道 1

参见“3.4.1.1”.

步骤 5. 播放输出 I 路数据

参见“3.4.1.1”。

3.5.4 OFDM 信号编辑输出

1652B 具有 OFDM 信号生成功能，该功能非标配，需要购买功能选件。

说 明

OFDM 信号源

“信号源”选项中提供 5 中数字信号可选，其中“All 0”表示全零。“All 1”表示全 1。“PRBS”表示伪随机序列，通过其后的弹出菜单设置阶数。“user defined bits”表示用户自定义的数字序列，可在其后的文本框中输入。“file”表示可通过后面的“浏览”选项选择某一数据文件作为信号源。

说 明

OFDM 数据编码

RS 码是一种纠错编码，在数字传输和存储中有着广泛的应用。RS 的编码就是计算信息码多项式除以校验码生成多项式之后的余数。RS 编码设置对话框有以下参数：每个符号的位数表示符号的大小，通常用 m 表示，3<=m<=16；输入的符号数表示码块中的信息长

度，通常用 k 表示，n-k 要是偶数；编码的符号数表示输入符号的编码数，通常用 n 表示，n=2^m-1；基元多项式根据以上参数有相对应的多项式；基元的初始功率，范围 0-100。

卷积码是一种纠错码，待编码的每个 m 比特信息符号(每个 m 比特串)被转换成 n 比特符号，其中 m/n 是码率(n ≥ m)。因此，在 1/2 码率下，每一位都有两位输出。卷积编码设置对话框有以下参数：约束长度，范围 1-10；码率，可选 1/2，1/3，1/4，1/5；多项式值（八进制），个数与码率的分母对应。

步骤 1.打开 OFDM 信号编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：OFDM 信号

步骤 2.设置 OFDM 信号参数

- 信号源：PRBS9；
- 信号载波：10MHz
- 采样率：5GHz

步骤 3.数据编码设置

- 编码方式：RS 编码
- 每个符号的位数：8
- 输入符号数：17
- 基元多项式：X^8+X^4+X^3+X^2+1
- 基元初始化功率：2



图 3.24　RS 编码设置

步骤 4.符号设置

- 后缀方式：循环前缀
- 前缀时间：1μs
- 频率偏置：0Hz

步骤 5.生成调制后的 OFDM 信号

- 选择 OFDM：调制
- 点击“编译”，生成 OFDM 信号

步骤 6.播放 OFDM 信号

- 参见“3.4.1.1”
- 点击“编译”，生成 OFDM 信号

说 明

OFDM 符号设置说明

频率间隔：输入载波之间的频率间隔；状态：从以下选项中选择子载波类型：数据、导频和空；调制：选择子载波的调制方式；补零后缀：选择此项可在符号末尾填充零。可以指定零填充的时间长度或百分比；循环前缀：选择此选项可在符号的开头添加一个符号结尾的副本作为前缀。可以指定循环前缀的时间长度或百分比；时间：输入循环前缀或零填充的时间(秒)；百分比：输入循前缀或零填充的百分比；频率偏置：输入选定符号的频率偏移值。

3.5.5 GSM 信号编辑输出

说 明

GSM 主要参数设置说明

在“参数设置”栏中，设置对应的参数：

采样率：单位 Hz，必须是 1.08333MHz 的整数倍，而且必须大于载波频率的 2.5 倍；

频段：有 900、1800、1900MHz；载波频率：信号的载波频率；发送：可选择发送设备类型为基站或移动终端；

无线电格式：可选择普通 GSM 模式和 EDGE 模式。EDGE 模式即增强型数据速率 GSM 演进技术。EDGE 是一种从 GSM 到 3G 的过渡技术，它主要是在 GSM 系统中采用了一种新的调制方法，即最先进的多时隙操作和 8PSK 调制技术。

时隙突发类型：可选择正常突发或频率校正突发。在一个时隙上，无线载波突发脉冲序列的数据流所调制，一个突发序列由有用部分和保护部分组成，有用部分包括待传送的已编码数据、训练序列及尾比特码，保护部分不传送信息，其作用是防止相邻实发脉冲序列间的干扰。

GSM 信号生成操作参见“3.5.4”OFDM 信号编辑输出。

3.5.6 WIFI 信号编辑输出

说 明

WIFI 主要参数设置说明

在“参数设置”栏中，设置对应的参数：

采样率：对应模式下的采样速率，单位 Hz；标准：有 802.11a 和 802.11b 两种选择；

数据数率：在 802.11a 模式下有 6、9、12Mbps 三种选择。在 802.11b 模式下有 1Mbps(DPSK)、2Mbps(DQPSK)两种选择；数据长度：可选择 40 或 1024Byte，单位字节；关闭时间：延时时间，波形尾部补零的时间，范围 1us-1s。

WiFi 信号生成操作参见“3.5.4”OFDM 信号编辑输出。

3.5.7 WCDMA 信号编辑输出

说 明

WCDMA 主要参数说明

采样率：对应模式下的采样速率，单位 Hz；

下行链路模式：从以下选项中选择模式：DPCH 或测试模式 1-6。当您在链路列表中选择下行链路时，此选项可用；载波频率：信号的载波频率；DPCH 信道个数：与链路和下行链路模式有关，根据链路和下行链路模式的选择来选择对应的信道数；时隙数：时隙个数；

数据速率：与链路类型有关，上行链路有 15/30/60/120/240/480/960kbps 可供选择，下行链路有 15/30kbps 两种可供选择。

WCDMA 信号生成操作参见“3.5.4”OFDM 信号编辑输出。

3.5.8 UWB 信号编辑输出

说 明

UWB 主要参数说明

参数设置的左边可以添加或删除数据包，并且每个数据包还能设定重复的次数；

参数设置的右边为“UWB 数据包设置”选项，用于设置选定数据包的参数：

数据源：提供 5 中数字信号可选，其中“All 0”表示全零。“All 1”表示全 1。“PRBS”表示伪随机序列，通过其后的弹出菜单设置阶数。“user defined bits”表示用户自定义的数字序列，可在其后的文本框中输入。“file”表示可通过后面的“浏览”选项选择某一数据文件作为信号源；

数据包重复数：输入该组重复的次数；

每组数据包数：输入该组中的数据包数量；

数据包间隔：输入数据包之间的距离，该值定义了数据包之间的时间间隔；

起始延迟：输入组开始时的符号延迟；

终止延迟：输入组末尾符号的延迟；

数据包模式：从以下选项中选择数据包的传输模式：标准、突发；

数据包长度：以字节为单位输入数据包的大小；

数据数率：从以下选项中选择数据包的数据速率：53.3、80 和 480 Mbps。

UWB 信号生成操作参见“3.5.4”OFDM 信号编辑输出。

3.5.9 雷达信号编辑输出

本节主要介绍利用 1652B 任意波形发生器产生雷达信号的方法。

步骤 1.打开雷达信号编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：雷达信号

步骤 2.设置雷达基本波形

说 明

雷达基本波形参数说明

雷达形式：可对雷达的天线形式进行选择，有抛物面天线方位机扫和俯仰线阵相扫方位机扫两种形式；

发射期使能：表示 PRT 发射期是否带有发射信号；

捷变频形式：是否进行捷变频处理，捷变频有脉间捷变频和脉组捷变频两种；

信号类型：选择发射信号形式，有窄脉冲，线性调频信号和非线性调频信号；

相干积累数：慢时间维相干积累的脉冲个数；

载频：设置射频信号载频；

中频频率：设置中频信号载频；

中频采样率：设置中频采样率；

带宽：设置发射信号带宽；

时宽：设置发射信号时宽；

脉冲重复频率：设置两个脉冲之间的间隔；

方位扫描周期：雷达（阵列 or 抛物面）转一圈的时间；

俯仰扫描周期：雷达（阵列）俯仰扫描一个周期的时间；

循环扫描圈数：程序运行一次，雷达旋转圈数；

面阵阵元行数：面阵列雷达阵元行数；

面阵阵元列数：面阵列雷达阵元列数

面阵阵元间距：设置阵元之间的间距；

垂直波束宽度：波束的俯仰维半波束宽度；

水平波束宽度：波束的水平维半波束宽度；

水平扫描角度 MAX：雷达（阵列 or 抛物面）旋转一周的有效接收信号回波范围，起始角度为 0；

俯仰扫描角度 MAX：雷达（抛物面）波束扫描的俯仰角最大值；

俯仰扫描角度 MIN：雷达（抛物面）波束扫描的俯仰角最小值。

步骤 3.设置雷达目标

说 明

雷达目标参数说明

在“雷达目标”栏中，可以添加或删除目标，并指定每个目标对应的参数，有以下参数可

3.5 信号模拟编辑波形输出

供选择设置：

目标使能：设置当前目标是否有效；
初始位置 X：每个目标的初始 x 坐标；
初始位置 Y：每个目标的初始 y 坐标；
初始位置 Z：每个目标的初始 z 坐标；
速度 VX：每个目标的初始 x 轴正方向速度；
速度 VY：每个目标的初始 y 轴正方向速度；
速度 VZ：每个目标的初始 z 轴正方向速度；
RCS：表示每个目标的 RSC；
RCS 闪烁使能：表示每个目标是否 RCS 闪烁；
微多普勒使能：表示每个目标分别是否有旋翼微多普勒效应；
窄带 0/宽带 1：0 表示窄带目标，1 表示宽带目标；
螺旋桨叶片数：每个目标的桨片数；
螺旋桨内径：每个目标的螺旋桨内径；
螺旋桨外径：每个目标的螺旋桨外径；
螺旋桨转速(r/s)：每个目标的螺旋桨转速；
旋转轴俯仰角：每个目标的旋转轴俯仰角；
初始桨叶镜像夹角：每个目标的初始桨叶径夹角；
桨叶角：每个目标的桨叶角

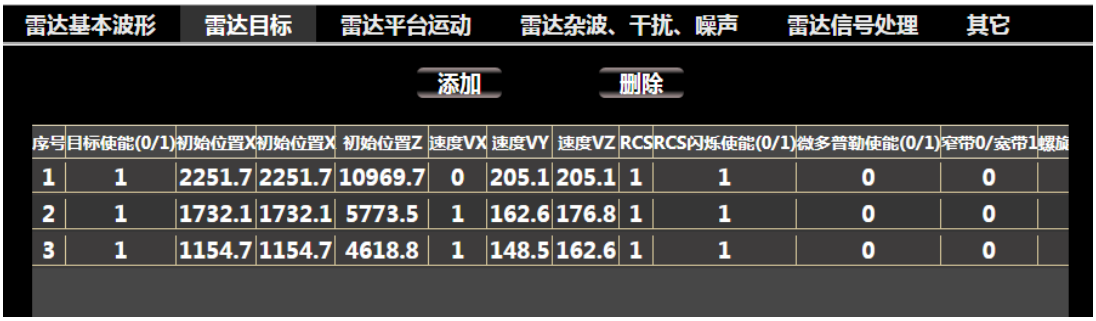


图 3.25 雷达目标参数设置界面

步骤 4.设置雷达平台运动状态

说 明

雷达平台运动状态

平台速度 Vx：平台 x 轴方向速度；
平台速度 Vy：平台 y 轴方向速度；
平台速度 Vz：平台 z 轴方向速度；
平台加速度 Ax：平台 x 轴方向加速度；
平台加速度 Ay：平台 y 轴方向加速度；
平台加速度 Az：平台 z 轴方向加速度；

步骤 5.设置雷达杂波、干扰和噪声

说 明

雷达杂波、干扰和噪声

噪声形式：噪声种类，产生不同分布的噪声；

系统噪声因子：控制产生系统噪音幅度；

杂波类型：设置杂波类型，可选择无杂波，瑞利分布，韦布尔分布，对数正态分布的杂波；

杂波平均功率：设置产生杂波的功率；

平均多普勒频率：杂波的中心多普勒频率；

云雨标准偏差：对数正态分布形状参数；

干扰类型：设置干扰类型，可选择无干扰，噪声干扰，压制性窄带干扰，压制性宽带干扰，欺骗干扰；

中心频率：设置干扰信号的中心频率；

调幅度：设置调幅干扰信号的幅度变化斜率；

调频斜率：设置调频干扰信号的频率变化斜率；

调相斜率：设置调相干扰信号的相位变化斜率；

干扰功率：设置干扰信号的功率；

子脉冲重复次数：设置欺骗干扰信号的原始脉冲压缩成子脉冲的个数；

噪声干扰选择：设置噪声干扰类型，可选择射频噪声，噪声调相干扰，噪声调幅干扰，噪声调频干扰。

步骤 6.对回波信号进行处理

说 明

雷达回波处理说明

脉冲压缩使能：使能后可对回波信号进行脉冲压缩处理；

MTD 使能：使能后可对回波信号进行 MTD 处理；

CFAR 使能：使能后可对回波信号进行 CFAR 处理。

步骤 7.生成雷达信号

雷达信号生成操作参见“3.5.4”OFDM 信号编辑输出。

3.5.10 复杂电磁环境信号输出

1652B 函数/任意波形发生器可以编辑复杂电磁信号输出。复杂电磁环境信号种类有脉冲雷达信号、Wifi 信号和复杂噪声信号，每种信号可添加 3 个，每个添加的信号均可独立编辑。

说 明

开关说明

3.5 信号模拟编辑波形输出

复杂电磁环境信号列表中，每个信号均有独立的开关，当信号开关选择“on”时该信号参与复杂电磁环境构建，否则不参与。

■ **生成复杂电磁环境信号，含 1 个 Wifi 信号、1 个脉冲雷达信号和 1 个噪声信号。**

步骤 1.打开复杂电磁环境编辑界面

- 点击【信号模拟】；
- 类型：复杂电磁环境

步骤 2.设置采样率

- 采样率：5GHz

步骤 3 添加 Wifi 信号

点击“添加 WiFi”按钮，设置：

- 信号源：伪随机数据；
- 基带频偏：500MHz；
- 功率：0dB；
- 发射脉冲宽度：15μs；
- 起始时间：1μs；
- 标准：802.11a；
- 数据速率：24Mbps；
- 数据长度：40Byte；
- 关闭时间：1μs

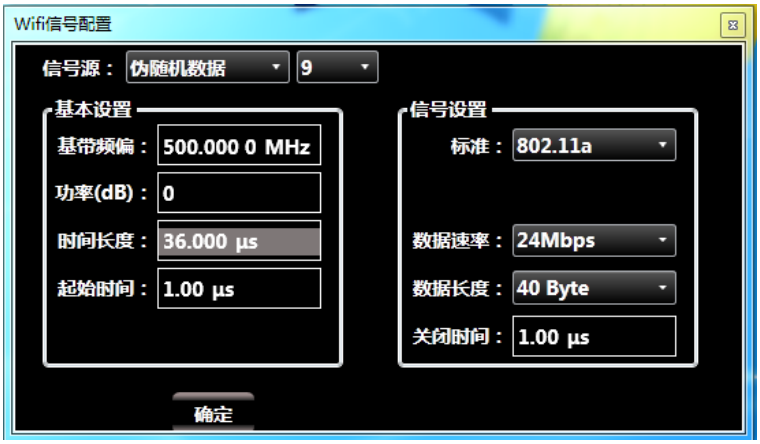


图 3.26　WiFi 信号编辑界面

步骤 4 添加脉冲雷达信号

点击“添加脉冲雷达”按钮，设置：

- 脉冲波形：线性调频；
- 带宽：500MHz；

- 功率：0dB；
- 起始时间：1μs；
- 带宽：100MHz；
- 方向：升；
- 脉冲宽度：15μs；
- 载波频率：500MHz；
- PRI：100μs；
- 周期数：1



图 3.27　脉冲雷达信号编辑界面

步骤 5 添加噪声信号

点击“添加噪声”按钮，设置：

- 噪声类型：高斯分布；
- 功率：0dB；
- 时间长度：1μs；
- 起始时间：0ns；
- 起始频率：100MHz；
- 终止频率：200MHz；
- 均值：0；
- 方差：1



图 3.28　脉冲信号编辑界面

步骤 6. 点击编译生成复杂电磁环境信号



图 3.29 复杂电磁环境编辑界面

步骤 7. 将数据发送到通道 1

参见“3.4.1.1”.

步骤 8. 播放数据

参见“3.4.1.1”。

3.6 校准操作

1652B 函数/任意波形发生器在使用过程中，可以根据实际需要进行“幅度校准”、“偏置校准”和“宽大调制校准”。其中“幅度校准”和“偏置校准”为标配，“宽带校准”为选件。



图 3.30 常用校准

提 示

校准说明

1652B 支持 LAN 口连接的幅度校准、偏置校准和宽带校准，其中宽带校准分为 IQ 宽带校准和 DUC 宽带校准 。IQ 宽带校准需要的仪器有 1652B 1 台 ,矢量信号调制器 1 台(具有外调制功能，须注意仪器调制带宽性能）和信号与频谱分析仪 1 台。说明中连接相关通道均指**连接通道的正端**，1652B 前面板上面一排输出接口（SMA 形式）。

提 示

校准测量仪器相关设置及测试

目标 IP 地址指用于校准的仪器如 FSW 的本地 IP 地址，目标端口号指 FSW 的远程控制服务端口号，如 5025。须将 1652B 和 FSW 设置为同一网段，FSWd 的端口号可以通过查看仪器系统信息得到。校准前进行连接测试，配置好信息后点击校准操作界面的“连接”测试物理连接是否可用。

3.6.1 幅度校准

连接说明

1652B 通过 LAN 口连接信号与频谱分析仪或测量接收机，支持的校准仪器有电科思仪 4051 系列频谱分析仪，R&S 公司 FSW50 信号与频谱分析仪，R&S 公司 FMSR50 测量接收机。

每个通道都需要校准，校准数据存储在 C 盘 Cali 文件夹下（切勿随意删除，否则会造成输出幅度不准）。

校准 1652B 通道 1 输出幅度。

步骤 1.连接 1652B 和校准测量仪器

- 通过网线连接 1652B 网口和校准测量仪器网口；
- 将通道 1 输出端口接入校准测量仪器输入端接口

步骤 2.切换到校准操作界面

- 点击【辅助功能】；
- 点击【校准】

步骤 3.选择校准类型和校准测量仪器

- 校准类型：幅度校准
- 校准测量仪器：FSW50；
- 目标 IP 地址，如“169.254.3.238”；
- 目标端口，如 5025
- 校准通道：通道 1

步骤 4.测试物理连接

- 点击“连接”测试物理连接是否可用

步骤 5.启动

- 点击“开始”，启动校准执行流程

3.6.2 偏置校准

1652B 函数/任意波形发生器偏置校准仪器只支持泰克公司的 MDO4104 系列示波器和是德科技 34470A 电压表。校准文件存储路径为“C:\Cali”文件夹，所以在平常仪器使用时，切勿随意删除该文件夹下的数据文件。

校准 1652B 通道 1 输出偏置。

步骤 1.连接 1652B 和校准测量仪器

- 通过网线连接 1652B 网口和校准测量仪器网口；
- 将通道 1 输出端口接入校准测量仪器输入端接口

步骤 2.切换到校准操作界面

- 点击【辅助功能】；
- 点击【校准】

步骤 3.选择校准类型和校准测量仪器

- 校准类型：偏置校准
- 校准测量仪器：34470A；
- 目标 IP 地址，如“169.254.3.62”；

- 目标端口，如 5025
- 校准通道：通道 1

步骤 4.测试物理连接

- 点击“连接”测试物理连接是否可用

步骤 5.启动

- 点击“开始”，启动校准执行流程

3.6.3 宽带校准

宽带校准主要针对 IQ 信号生成插件中输出的两种矢量基带信号输出模式。即**实时模式**（Real 模式）和**上变频模式**（DUC 模式）开发的一种宽带输出校准即补偿算法。在播放 Real 模式 IQ 基带信号和 DUC 模式上变频信号时，能够补偿其带内平坦度和群时延误差，改善输出信号的 EVM。

提 示

宽带校准生成文件说明

1652B 函数/任意波形发生器偏置校准仪器支持 R&S 公司的 FSW50 系列信号分析仪和 Ceyear 公司的 4051 系列频谱仪。校准文件存储路径在 C 盘根目录下，文件名中包含模式信息、通道信息、带宽信号、信号输出幅度/功率信息以及校准时间日期信息等。

如：“IQ_CH12_CF1000MHz_BW500MHz_2021_11_8.bin”表明这是一个 Real 模式校准数据文件，校准的是通道 1、2 的 IQ 实时模式基带信号输出，外接的矢量信号发生器载波频率为 10GHz，该文件可用补充 500MHz 的宽带调制信号（矢量信号发生器 10GHz 中心频率位置的 500MHz 带宽）。

3.6.3.1 IQ 外调制宽带信号校准

提 示

IQ 外调制宽校准带宽

1652B 校准 IQ 调制带宽“4GHz”、“2GHz”、“1GHz”、“500MHz”。4GHz 校准数据可用于 4GHz 带内所有带宽的宽度补偿，即向下覆盖。理论上越接近补偿效果越好，如 IQ 信号符号速率为 400MHz，建议调用“500MHz”带宽下的校准数据。

3.6 校准操作



图 3.31　IQ 宽带校准接线图

外调制仪器为 SMW200A ,外调制载波频率为 10GHz ,校准 500MHz 的 IQ 宽带信号，得到校准数据文件。

步骤 1.连接 1652B、SMW200A 和 FSW50

- 1652B 通道 1 输出连接 SMW200A I 输入，通道 2 输出连接 SMW200A Q 输入；
- 1652B LAN 接口与 FSW50 LAN 接口通过网线连接，并设置为同一网段程控；
- SMW200A 射频输出接到 FSW50 测量输入端。

步骤 2.切换到校准操作界面

- 点击【辅助功能】；
- 点击【校准】



图 3.32 1652B 宽带校准界面

步骤 3.校准前设置

- 目标 IP 地址设置为 FSW50 的本地 IP 地址，如：169.254.3.238；
- 目标端口号：“5025”（5025 是 FSW50 默认提供程控的端口）
- 校准类型：宽带 IQ 调制，选择“IQ CH1+CH2”；
- 校准仪器：“FSW 频谱”或“FSW 多载波群延时（MCGS）”

注意：很多 FSW50 是没有购买 MCGS 选件的，可以通过查看 FSW50 信息查看是否可用。



图 3.33　FSW50 MCGS 选件

步骤 4.调制带宽和载波频率设置

- 调制带宽：500MHz
- 载波（RF）频率：10GHz

步骤 5.IQ 输出电平设置

- IQ 输出电平：500mVpp（默认）

步骤 6.启动校准

- 点击“开始”按钮；
- 等待校准完成，如校准不成功，会有相关提示信息

3.6.3.2 IQ 外调制宽带校准数据使用

IQ 信号生成插件生成 QPSK 实时模式基带信号，符号速率为 500MHz，I 路信号文件名为 Wave1_I.awf，Q 路信号文件名为 Wave1_Q.awf，通道 1 输出 I 路数据，通道 2 输出 Q 路数据，调用校准文件进行宽带补偿。

步骤 1.连接 1652B 生成 QPSK 实时模式基带信号

- 参见“3.4.12”中信号生成部分操作，注意符号速率为 500MHz



图 3.34　IQ 信号模拟插件生成 500MHz QPSK 调制信号（实时）

步骤 2.启动 IQ 信号补偿功能

- 点击【通道设置】；
- 点击【IQ 调制】；
- 当前通道：选择通道 1
- 勾选 QMC 前面的复选框



图 3.35　开启通道 1&2 的 IQ 宽带补偿功能

步骤 3.点击播放，选择补偿文件

- 点击“播放”按钮；
- 选择校准补偿文件

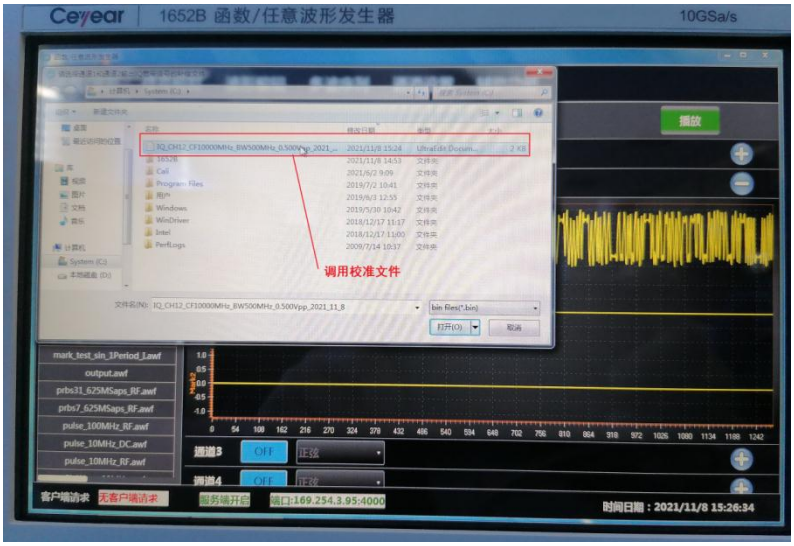


图 3.36　选择校准补偿文件

3.6.3.3 上变频模式校准（DUC）

提　示

上变频模式宽带校准

实时模式下，通道 1&2 作为 1 对外调制基带信号，通道 3&4 作为 1 对外调制基带信号至多能输出 2 路宽带信号。在调制载波要求不高的情况下，1652B 可以通过内部上变频模式输出 4 路宽带信号。即通道 1/2/3/4 同时输出 4 路不同的调制信号，调制载波范围 10MHz～3GHz，2GHz 以上载波信号质量会有所下降。如果需要向更高载波频段，可以通过外界上变频器实现。

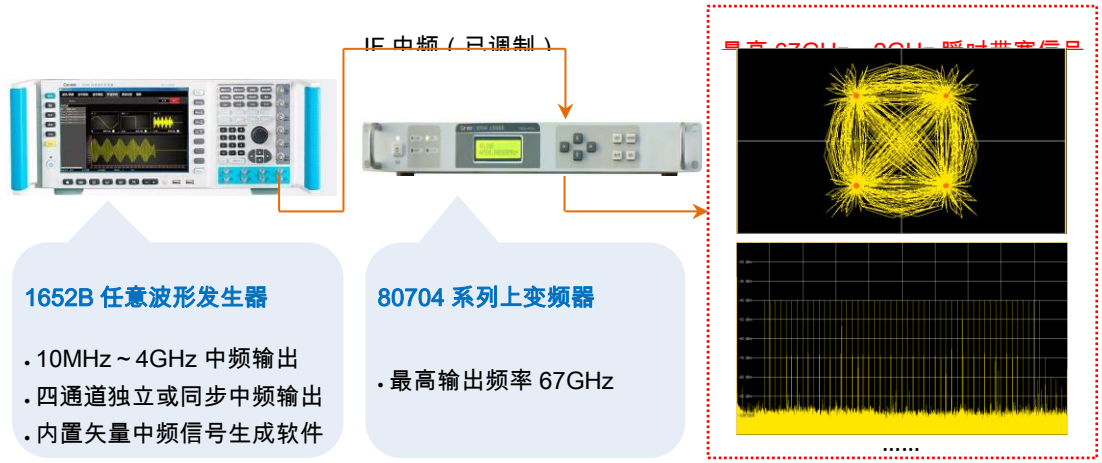


图 3.37　外接上变频器实现最多 4 路宽带信号输出方案

上变频模式校准（DUC）校准操作同 IQ 外调制宽带信号校准类似，这里不做叙述。

3.7 文件格式说明

awf 文件格式是 1652B 中默认的任意波形数据文件格式。分为两个部分，即文件头和数据部分。

3.7.1 1652B 内部文件头格式

本函数/任意波形发生器 DAC 为 16 位，其中高 14bit 为数据位，低 2bit 为 Mark1 和 Mark2 标记位，数据位为无符号数，awf 文件头大小为 48Bytes，其具体结构如下。

表 3.1 awf 文件头结构信息

序号	内容	标识	uint16	备注
0	帧识别码 L	FramHeadSynL	0xBBAA	2Bytes 固定不变
1	帧识别码 H	FramHeadSynH	0x3412	
2	固件版本号	Firmware version	0x0001	
3	上传的数据位宽	DataFormat	0x0002	2Bytes，1 个数据点位宽为 1 字节 ,固定不变
4	帧长度	FramLenLong64		8Bytes ,文件中数据的长度 ,单位为字节。
5				
6				
7				
8	采样率	SampleRateLong64	2500000000	8Bytes ,采样率单位 SPS
9				
10				
11				
12	仪器型号	识别码	0x0001 表示 1652B； 0x0002 表示 1652B； 0x0003 表示 1652BM； 0x0004 表示 1652C	0x0001
13	文件格式（不同插件以及普通文件或未知文件之间的区分）	识别码	0x0000 表示未知文件; 0x0001 表示通用数据； 0x0002 表示（IQ 插件）;	0x0000

			0x0003 表示 RF 数据（IF/RF 插件）； 0x0004 表示 OFDM 数据（OFDM 插件）； 0x0005 表示 Radar 数据（Radar 插件）； 0x0006 表示 GSM 数据（GSM 插件）； 0x0007 表示 Wifi 数据（Wifi 插件）； 0x0008 表示 WCDMA 数据（WCDMA 插件）； 0x0009 表示 UWB 数据（UWB 插件）； 0x1000 绘图文件（波形编辑下）	
14	文件数据存储标记	识别码	0x0000 表示常规数据，用户自己用 Matlab 生成的； 0x0001 表示单路 I 数据； 0x0002 表示单路 Q 数据； 0x0003 表示 IQ 数据；（一个 I 一个 Q 交叉存储） 0x0004 表示 RF 数据；	0x0000
15	_defaultInfo3			0x0000
16	文件处理标记		0x0001：Bab（即基带数据） 0x0002：Duc（即上变频 IQ 数据）	0x0000
17	_defaultInfo4			0x0000
18	_defaultInfo5			0x0000
19	_defaultInfo6			0x0000
20	_defaultInfo7			0x0000

3.7 文件格式说明

21	_defaultInfo8			0x0000
22	_defaultInfo9			0x0000
23	_defaultInfo10			0x0000

3.7.2 awf 数据部分说明

数据格式为 16 位无符号数 ,其中若文件为非 IQ 格式(IQ 格式文件播放需要设置 1652B 的 IQ 调制载波和载波频率), 其量化后范围为 0x0000～0xFFFF；若文件为 IQ 格式，其量化后范围为 0x4000～0xC000。

注意：16 位无符号数的低 2 位为 Mark 标记为，其中 Bit0 为 Mark1，Bit1 为 Mark2，Mark 信号和数据是“绑定”在一起，存储在 DDR 存储器中。可以用 Mark 来标记输出、级联同步、控制触发等等。

3.7.3 awf 文件示例

前 48 个字节为头信息部分。后面为波形数据部分。



图 3.37 awf 文件示例

3.7.4 Matlab 生成 awf 文件示例

3.7.4.1 正弦波常规数据生成

```
%  请先阅读此部分内容!!!
% 注意点_1：采样率范围为 10kHz～312.5MHz,625MHz、1.25GHz、2.5GHz 和 5GHz，不在此
```

```
% 范围内的波形文件播放时均最高采样率 5GHz 播放
% 注意点_2：16bit 无符号波形数据最后两位[Bit_1][Bit_0]为 Mark 标记位，Mark 可用于触发
% 同步，仪器级联和同步等多种场景
% 注意点_3：SignalTypeUint16（信号插件识别码，文件来源）:
%                                          0x0001 表示 DDWS 生成的数据；
%                                          0x0002 表示 IQ 数据（IQ 插件下）;
%                                          0x0003 表示 IF/RF 数据（IF/RF 插件下）;
%                                          0x0004 表示 OFDM 数据（OFDM 插件下）;
%                                          0x0005 表示 Radar 数据（Radar 插件下）;
%                                          0x0006 表示 GSM 数据（GSM 插件下）;
%                                          0x0007 表示 Wifi 数据（Wifi 插件下）;
%                                          0x0008 表示 WCDMA 数据( WCDMA 插件下）;
%                                          0x0009 表示 UWB 数据（UWB 插件下）;
%                                          0x1000  绘图文件（波形编辑下）;
%注意点_4： FileFormatUint16（文件存储格式识别码）:
%          0x0000 表示常规数据，用户用 Matlab 自己生成的，或者 DDWS 生成数据存储
%          0x0001 表示单路 I 数据；
%          0x0002 表示单路 Q 数据；
%          0x0003 表示 IQ 数据；( 一个 I 一个 Q 交叉存储 );
%          0x0004 表示 RF 数据；( 软件层面加载波调制处理后的数据 )
%注意点_5 ：FileProcessUint16（文件播放时处理识别码）:
%           0x0001 表示直接播放（适用于绝大多数情况）
%           0x0002 表示上变频（仅仅限于 IQ 插件下 IQ 存储格式文件）
%   dec2bin(2,8)：10 进制转 2 进制
%   hex2dec('C000')：16 进制转 10 进制
%   bin2dec('0100100')：2 进制转 10 进制
%   bitand(7,6)：按位求与
%   bitor(7,6)：按位求或
%--------------------------------------------------------------------------
clc;
clear;
%% 参数配置
filename='sin1MHz_10.awf';
sampleRate=5e9;          % 采样率，范围见注意点_1！
freq=1e6;                % 正弦波输出频率
```

```
%% 计算波形起始和终止频率
point=sampleRate/freq;      % 1 个周期正弦波对应数据量，point 有可能不是整数，所以有时需要扩展数据量，即*cyc
cyc=10;                     % 扩展数据量，存储几个周期的数据到 awf 文件,不影响输出频率，只影响生产 awf 文件的大小
count=cyc * point;          % 波形总数据量，注意：(1)确保 count 为整数且能整除 32☆  (2)count 不小于 320☆
startPhase=0;               % 正弦波初始相位
step=(2*pi*cyc-startPhase)/count;      % 相位步进
stopPhase=2*pi*cyc -step;   % 正弦波终止相位，注意终止相位不是 2*pi*cyc，以前确保相位连续，不会在交界处产生连个相位一样的点

%% 生成数据
x=0:step:stopPhase;
y=sin(x);                   % 数值范围[-1,+1]

%% 将正弦波数据线性量化到[0,65535]，即 hex2dec('0000') ~ hex2dec('FFFF')
intputVmin= min(y); %输入最小值
inputVmax= max(y);  %输入最大值
outputVmin=hex2dec('0000');  %输出最小值
outPutVmax=hex2dec('FFFF');  %输出最大值
output=outputVmin +(outPutVmax - outputVmin)*(y-intputVmin)/(inputVmax -intputVmin);%[0,65535]
output=bitand(uint16(output),hex2dec('FFFC'));%最低 2 位设置为 0 ,滤除 Mark1 和 Mark2
%% 给正弦数据前 marklen 个数据加上 Mark 标记
mark1_len=uint32(length(output)/2);
mark2_len=uint32(length(output)/4);
output(1:mark1_len)=bitor(output(1:mark1_len),1);%初始化前 1/2 周期 Mark1 信号为高电平
output(1:mark2_len)=bitor(output(1:mark2_len),2);%初始化前 1/4 周期 Mark2 信号为高电平

%% 文件头
FramHeadSynLUint16 = 48042;      % BBAA（不要修改）
FramHeadSynHUint16 = 13330;      % 3412（不要修改）
FirmwareVersionUint16 = 1;       % 固件版本（不要修改）
```

```
DataFormatUint16 = 2;                    % 数据位宽，一个点占多少字节（不要修改）
FramSizeUint64=length(output)*2;         % 波形数据长度，单位：字节
SampleRateInt64 = sampleRate;            % 采样率
InstrumentModelUint16 = 2;               % 仪器型号 0x0001 表示 1652B ,0x0002 表示 1652B；
0x0003 表示 1652BM；0x0004 表示 1652C
SignalTypeUint16 = 1;                    % “1”表示这是 1 个通用数据文件，区别于插件模块下
生成的数据文件
FileFormatUint16 = 0;                    % “0”表示这是常规数据（区别于 I 路数据 ,Q 路数据，
IQ 数据和 RF 数据）
FileProcessUint16 = 1;                   % “1”标识 REAL 模式，不需要硬件上变频处理
ReservedUint16 = 0;                      %  预留
%% 存储文件头信息 共计 48 个字节
fid=fopen(filename, 'wb');
fwrite(fid, FramHeadSynLUint16, 'uint16');   %帧识别码 L
fwrite(fid, FramHeadSynHUint16, 'uint16');   %帧识别码 H
fwrite(fid, FirmwareVersionUint16, 'uint16');   %固件版本
fwrite(fid, DataFormatUint16, 'uint16') ;      %数据位宽
fwrite(fid, FramSizeUint64, 'uint64');         %帧长
fwrite(fid, SampleRateInt64, 'uint64');         %采样率
fwrite(fid, InstrumentModelUint16, 'uint16');%仪器识别码
fwrite(fid, SignalTypeUint16, 'uint16');   %信号插件识别码
fwrite(fid, FileFormatUint16, 'uint16');   %文件格式识别码
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, FileProcessUint16, 'uint16'); %文件处理识别码
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, output, 'uint16');
fclose(fid);
```

3.7.4.2 I、Q 波形常规数据生成

```
%生产 DUC 模式 IQ 数据
```

3.7 文件格式说明

```
%注：1. SignalTypeUint16（信号插件识别码，文件来源）:
%                0x0001 表示 DDWS 生成的数据；
%                0x0002 表示 IQ 数据（IQ 插件下）;
%                0x0003 表示 IF/RF 数据（IF/RF 插件下）;
%                0x0004 表示 OFDM 数据（OFDM 插件下）;
%                0x0005 表示 Radar 数据（Radar 插件下）;
%                0x0006 表示 GSM 数据（GSM 插件下）;
%                0x0007 表示 Wifi 数据（Wifi 插件下）;
%                0x0008 表示 WCDMA 数据（WCDMA 插件下）;
%                0x0009 表示 UWB 数据（UWB 插件下）;
%                0x1000  绘图文件（波形编辑下）;
%   2.FileFormatUint16（文件存储格式识别码）:
%               0x0000 表示常规数据，用户用 Matlab 自己生成的，或者 DDWS 生成数据存
储
%               0x0001 表示单路 I 数据；
%               0x0002 表示单路 Q 数据；
%               0x0003 表示 IQ 数据；(一个 I 一个 Q 交叉存储)；
%               0x0004 表示 RF 数据；(软件层面加载波调制处理后的数据)
%   2.FileProcessUint16（文件播放时处理识别码）:
%               0x0001 表示直接播放（适用于绝大多数情况）
%               0x0002 表示上变频（仅仅限于 IQ 插件下 IQ 存储格式文件）
%    dec2bin(2,8)：10 进制转 2 进制
%    hex2dec('C000')：16 进制转 10 进制
%    bin2dec('0100100')：2 进制转 10 进制
%    bitand(7,6)：按位求与
sampleRate=5000000000.0;   %采样率
%% 数据头信息初始化
FramHeadSynLUint16 = 48042;   % BBAA
FramHeadSynHUint16 = 13330;   % 3412
FirmwareVersionUint16 = 1;     %固件版本
DataFormatUint16 = 2;            %数据位宽，一个点占多少字节
FramSizeUint64 = 0;              %裸数据长度，字节
SampleRateInt64 = sampleRate;%采样率
InstrumentModelUint16 = 2;    %仪器型号 0x0001 表示 1652B；0x0002 表示 1652B；
0x0003 表示 1652BM；0x0004 表示 1652C
SignalTypeUint16 = 2;            %信号插件识别码，详细定义见注 1
FileFormatUint16 = 3;            %文件格式识别码，详细定义见注 2
```

```
FileProcessUint16 = 2;            %文件处理识别码，详细定义见注 3
ReservedUint16 = 0;               %预留
%% 数据生成（1 个周期）
waveformname='MyIQFile_1M.awf';
count=1000000;      %数据量（点） 1MSa
startPhase=0;       %正弦波初始相位
stopPhase=2*pi;     %正弦波终止相位
step=(stopPhase-startPhase)/count;%相位步进）
%% 生成数据 I 路为 cos，Q 路为全 0（注意：全 0 对应的是 0x8000 而不是 0x0000!）
x=0:step:stopPhase-step;%确保正弦波最后 1 个点和下次播放的第 1 个点相位连续☆
y=cos(x);%数值范围[-1,+1]
outi=QuanFunc(y,-1,1,hex2dec('4000'),hex2dec('C000'));
outi=uint16(outi);%16 位无符号数
outi=bitand(outi,hex2dec('FFFC'));
outq=ones(1,length(outi))*hex2dec('8000');
% 1 个 I 路数据，1 个 Q 路数据，依次间隔
%为提高.awf 文件加载效率，I 路为 32 位数据的高 16bit，Q 路数据为 32 位数据的低 16bit
outi=outi(:)';
outq=outq(:)';
interpData=[outi;outq];
out=interpData(:)';
%% 写数据文件
fid=fopen([waveformname,'_IQ.awf'], 'wb');
FramSizeUint64=length(out)*2;%1 个点占用 2 个字节
fwrite(fid, FramHeadSynLUint16, 'uint16');%帧识别码 L
fwrite(fid, FramHeadSynHUint16, 'uint16');%帧识别码 H
fwrite(fid, FirmwareVersionUint16, 'uint16');%固件版本
fwrite(fid, DataFormatUint16, 'uint16');%数据位宽
fwrite(fid, FramSizeUint64, 'uint64');   %帧长
fwrite(fid, SampleRateInt64, 'uint64'); %采样率
fwrite(fid, InstrumentModelUint16, 'uint16');%仪器识别码
fwrite(fid, SignalTypeUint16, 'uint16');%信号插件识别码
fwrite(fid, FileFormatUint16, 'uint16');%文件格式识别码
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');   %预留 2 个字节
fwrite(fid, FileProcessUint16, 'uint16');%文件处理识别码
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');    %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');    %预留 2 个字节
```

```
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, ReservedUint16, 'uint16');     %预留 2 个字节
fwrite(fid, out, 'uint16');
fclose(fid);
```

4 远程控制

本章简要的介绍了 1652B 函数/任意波形发生器的程控基础、程控接口与配置方法及基本 VISA 接口编程方法，并简要的介绍了 I/O 仪器驱动库的概念及分类。以方便用户起步实现远程控制操作。具体内容包括：

4.1 远程控制基础

4.1.1 程控接口

1652B 只支持 LA 形式的程控接口。

表 4.1 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 (Local Area Network)	**VXI-11协议:** TCPIP::host_address[::LAN_device_name][::INSTR] **原始套接字协议：** 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。具体协议请参考：1652B 远程控制幅度的端口号默认为 4000

4.1.1.1 LAN 接口

1652B 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。1652B 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。网卡的三种工作模式是：

- 10Mbit/s 以太网 IEEE802.3；

- 100Mbit/s 以太网 IEEE802.3u；
- 1Gbit/s 以太网 IEEE802.3ab。

控者计算机和 1652B 需通过网口连接到共同的 TCP/IP 协议网络上。连接计算机和 1652B 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 1652B 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：

4.1.1.2 IP 地址

通过局域网对 1652B 进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。通过 1652B 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 169.254.3.1，则 1652B 的 IP 地址应设为 169.254.3.XXX，其中 XXX 为 2 ~ 255 之间的数值。

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169.254.3.115，VXI-11协议的有效资源字符串是：

  TCPIP: 169.254.3.115::INSTR
- 建立原始套接字连接时可使用：

  TCPIP:: 169.254.3.115::4000::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。

4.1.1.3 VXI-11 协议

VXI-11 标准基于 ONC RPC(Open Network Computing Remote Procedure Call)协议，它是 TCP/IP 协议的网络/传输层。TCP/IP 网络协议和相关的网络服务被预先配置好，通信时，这种面向连接的通讯，即遵循按序交换并能识别连接的中断，保证了不丢失信息。

4.1.1.4 套接字通信

TCP/IP 协议通过局域网套接字在网络中连接信号源。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 1652B 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。

1652B 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 1652B 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 1652B 的套接字端口号。1652B 的套接字端口号为 5000。

4.1.2 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。

4.1.3 SCPI 命令

4.1.3.1 SCPI 命令简介

SCPI(Standard Commands for Programmable Instruments——可程控设备的标准命令)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.

1652B 函数/任意波形发生器的程控命令集合、分类及说明，具体请参考：

4.1.3.2 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。

4.1 远程控制基础

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 5.2 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。因通用令均以一个星号打头，因此很容易辨认。例如*IDN？、*OPC、*RST 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：FREQuency[:CW？]。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 ,功率子系统(:POWer)包含功率相关命令 ,而状态子系统(:STATus) 包含状态控制寄存器的命令。

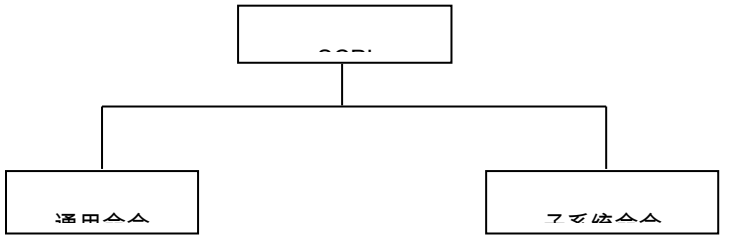


图 4.1 SCPI 命令类型

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。

[:SOURce]:POWer[:LEVel] MAXimum|MINimum

在上面的例子中 ,命令中的[:LEVel]部分紧跟着:POWer ,中间没有空格。紧跟着[:LEVel]的部分：MINimum|MAXimum 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 4.2 和 4.3。

表 4.2 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。	[:SOURce]:AM: SOURce EXTernal|INTernal EXTernal 和 INTernal 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。	[:SOURce]:AM[:DEPTh]:EXPon ential? SOURce 和 DEPTh 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。	[:SOURce]:FREQ:STOP <val><unit> 该命令中，<val>和<unit>必须用实际的频率和单位替代。 例如：:FREQ:STOP 3.5GHz

表 4.3 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。	[:SOURce]:FREQuency[:CW]?, FREQ 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 :FREQ,:FREQuency 或者:FREQUENCY，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。更多消息请参照“命令树”的命令路径部分。	:TRIGger:OUTPut:POLarity? 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。	[:SOURce]:LIST:DWELl <val>{,<val>}
分号分隔相邻的 2 条命令，但不影响当前命令路径。	:FREQ 2.5GHZ; :POW 10DBM
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。	:FREQ uency 或者:POWer :LEVel6.2 是不允许的。在:LEVel 和 6.2 之间必须由空格隔开。 即 :POWer:LEVel 6.2

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 2.3 所示：

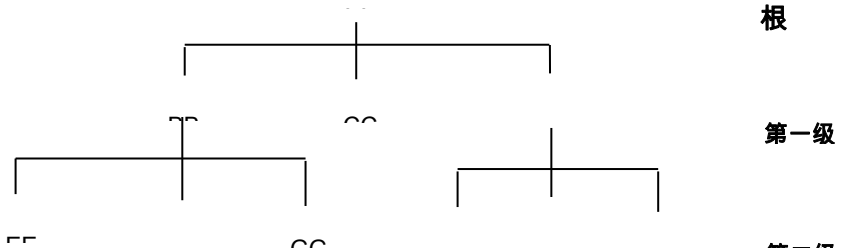


图 4.2　简化的命令树示意图

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：:POWer:ALC:SOURce？，其中，:POWer 代表 AA，:ALC 代表 BB，:SOURce 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。

例如 1652B 设置频率偏移状态命令 :FREQuency:OFFSet:STATe ON|OFF|1|0，

以下命令格式都是设置频率偏移功能开：

:FREQuency:OFFSet:STATe ON，:FREQuency:OFFSet:STATe 1，

:FREQ:OFFS:STAT ON，:FREQ:OFFS:STAT 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，查询功率状态（:POWer:ALC:STATe?），当其为开时，不管之前发送的设置命令是:POWer:ALC:STATe 1 或者 :POWer:ALC:STATe ON，查询时，返回的响应数据总是 1。

表 4.4 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

4.1 远程控制基础

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

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。所有的扩展数值参数都接收 MAXimum 和 MINimum 作为参数值。其它特殊值，例如：UP 和 DOWN 是否接收由仪器解析能力决定，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
MAXimum	最大的有效设置
MINimum	最小的有效设置
UP	增加一个步进
DOWN	减少一个步进

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[:SEQuence]:SOURce BUS|IMMediate|EXTernal

BUS	GPIB,LAN,RS-232 触发
IMMediate	立刻触发
EXTernal	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	稳幅方式为内部
EXTernal	稳幅方式为外部
MMHead	稳幅方式为毫米波源模块

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

4.1.4 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。

4.1.4.1 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 4.5 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； 置位 SRE BIT5； 发送交迭命令和*OPC； 等待服务请求信号（SRQ） 服务请求信号代表交迭命令执行完成。
*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。

4.1.5 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。

4.1.6 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。

4.2 仪器程控端口与配置

4.2.1 LAN

LAN(Local Area Network)程控系统采用SICL-LAN控制1652B函数/任意波形发生器。

4.2.1.1 建立连接

使用网线将1652B系列函数/任意波形发生器与外部控者（计算机）连接到局域网。

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。

4.3 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。

4.3.1 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，以实现对仪器的程控。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、GPIB 及 RS-232 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。1652B 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 1652B。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。

4.3.2 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：

4.3.2.1 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：

```
#define BUFF_SIZE 1024
#define PACK_BUFF_SIZE 16384 + 256
#define WAIT_READ    Sleep(100);
#define WAIT_WRITE Sleep(150);
#define WAIT_PREV    Sleep(500);
#define WAIT_RUN     Sleep(1000);
static char outputBuffer[VI_FIND_BUFLEN];//输出缓存
static char inputBuffer[VI_FIND_BUFLEN];//输入缓存
static char strErrMsg[BUFF_SIZE];//错误字符串
ViSession rmSession; //仪器句柄
```

4.3.2.2 初始化仪器

```
/*****************************************************************************/
    功能：初始化1652B，两通道函数模式
    参数：
            ResourceNam：主机地址（仪器）
                    Vi：主机句柄
/*****************************************************************************/
ViStatus   AWG1652B_Init(ViRsrc ResourceNam, ViSession * Vi)
{
    ViChar     IPadress[BUFF_SIZE];
    ViStatus status = VI_SUCCESS;//visa操作函数的返回值
    ViUInt32 instrSession;        //需要的句柄
    char cmBuf[BUFF_SIZE];
    if (ResourceNam != NULL)
    {
        printf_s(IPadress, ResourceNam);
    }
    status = viOpenDefaultRM(&rmSession);
    if (status < 0)
```

```
    {
        sprintf_s(strErrMsg, "无法打开VISA资源管理器!");
        return status;
    }
    status = viOpen(rmSession, (ViRsrc)IPadress, VI_NULL, VI_NULL, &instrSession);
    if (status < 0)
    {
        sprintf_s(strErrMsg, "无法打开仪器资源%s!", ResourceNam);
        viClose(rmSession);
        return status;
    }
    *Vi = instrSession;
    viSetAttribute(instrSession, VI_ATTR_TERMCHAR_EN, VI_TRUE);
viSetAttribute(instrSession, VI_ATTR_TERMCHAR, 0xa);
    viSetAttribute(instrSession, VI_ATTR_SEND_END_EN, VI_TRUE);
    viSetAttribute(instrSession, VI_ATTR_SUPPRESS_END_EN, VI_TRUE);
    viSetAttribute(instrSession, VI_ATTR_TMO_VALUE, 10000);
    viSetBuf(instrSession, VI_READ_BUF, BUFF_SIZE);
    viSetBuf(instrSession, VI_WRITE_BUF, BUFF_SIZE);
    memset(cmBuf, '\0', BUFF_SIZE);
    sprintf_s(cmBuf, "AWGC:MODE DDFS\n");
    status = AWG1652B_SendCommand(instrSession, cmBuf);
    if (status < VI_SUCCESS)
    {
        return status;
    }
    return status;
}
```

4.3.3 清空设置命令

```
    /*****************************************************************
    功 能：清空设备
    参 数：
            Vi主机句柄
    *****************************************************************/
    ViStatus   AWG1652B_ClearBuf(ViSession Vi)
   {
```

```
    ViStatus status = VI_SUCCESS;//visa操作函数的返回值
        if (Vi == 0)
        {
            sprintf_s(strErrMsg, "已经关闭或初始化失败!");
            return -1;
        }
        status = viClear(Vi);
        return status;
    }
```

4.3.4 发送设置命令

```
/*****************************************************************************
功    能：  发送字符串指令
参    数：      Vi :主机句柄
          cmBuf :字符串指令
           length :指令字符串有效长度
*****************************************************************************/
ViStatus   AWG1652B_SendString(ViSession Vi, ViChar * cmBuf, ViInt32 length)
{
    ViUInt32 retCnt;
    ViStatus status = VI_SUCCESS;//visa 操作函数的返回值
    AWG1652B_ClearBuf(Vi);
    status = viWrite(Vi, (ViBuf)cmBuf, length, &retCnt);
    if (status < VI_SUCCESS)
    {
        return status;
    }
    else
    {
        return 0;
    }
}
```

4.3.5 关闭仪器

```
    /*****************************************************************************
    功    能：关闭仪器控制
    参    数：  Vi   主机句柄
    *****************************************************************************/
    ViStatus   AWG1652B_Close(ViSession Vi)
```

```
{
    ViStatus status = VI_SUCCESS;//visa操作函数的返回值
    if (Vi>0)
    {
        status = viClose(Vi);
        if (status < VI_SUCCESS)
        {
            sprintf_s(strErrMsg, "关闭句柄失败!");
            return status;
        }
        Vi = 0;
    }
    if (rmSession>0)
    {
        status = viClose(rmSession);
        if (status < VI_SUCCESS)
        {
            sprintf_s(strErrMsg, "关闭VISA资源管理器失败!");
            return status;
        }
        rmSession = 0;
    }
    return status;
}
```

5 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 1652B 出错信息。

如果您购买的 1652B 函数/任意波形发生器，在操作过程中遇到一些问题，或您需要购买 1652B 相关部件或附件，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 1652B 处于保修期，我们将按照保修单上的承诺对您的信号源进行免费维修；如果超过保修期，具体维修费用按照合同要求收取。

5.1 工作原理

为了便于用户了解 1652B 函数/任意波形发生器的功能，更好的解决操作过程中遇到的问题，本节介绍 1652B 的基本工作原理及硬件原理框图。

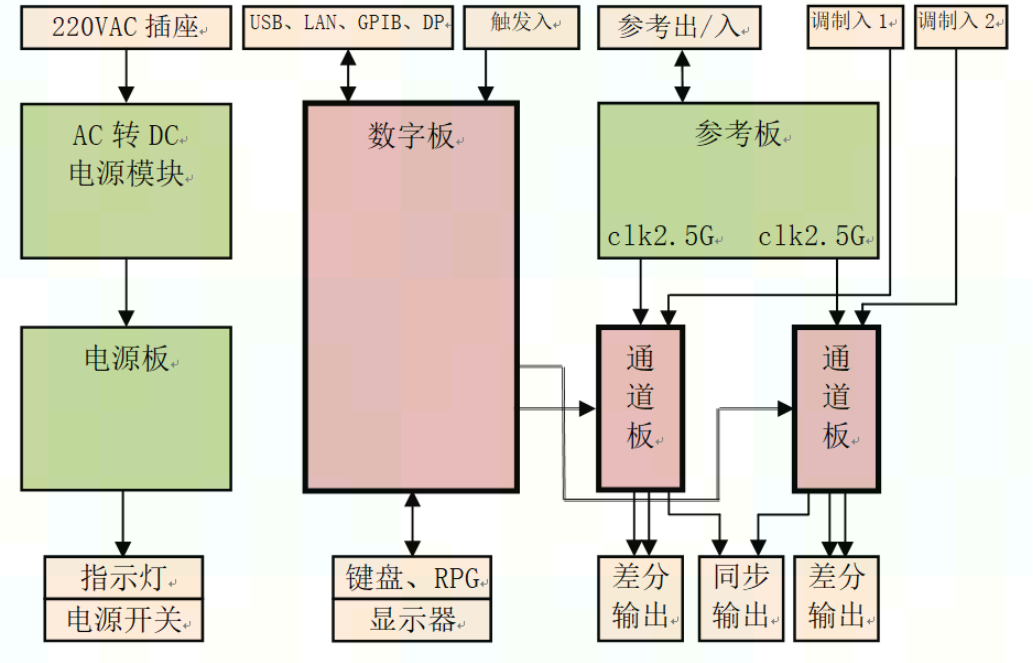


图 5.1 整机硬件总体方案框图

1652B 任意波形发生器硬件与软件一起构成整个仪器的整体部分。软件负责整机控制，安装于 CPU 模块上。本系统的系统框图如下图所示。机箱结构与电源整体借用，包括 2U 标准台式机箱、前后面板及显示、母板、电源板等 ;参考模块为每个通道的 DAC 提供 2.5GHz 采样时钟；数字模块包含 CPU、存储控制 FPGA 与存储器；一个通道板卡对应一个任意波波形发生通道，单通道机型插一块通道板卡，双通道机型插两块通道板卡即可。

整机主控平台为所有整机功能单元提供工作环境支撑。

5.2 故障诊断与排除

提 示

故障诊断与指导

本部分是指导您当 1652B 函数/任意波形发生器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 1652B 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—>错误信息列表……”，以了解具体错误信息说明。

5.2.1 系统问题

5.2.1.1 待机灯不亮

检查 1652B220V 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。

5.2.1.2 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。

5.2.2 前面板按键不响应

如果 1652B 对前面板按键不响应，检查 1652B 是否处于远程控制模式(在远程控制模式下，显示屏上会出现远控指示)。要退出远控控制模式，按前面板【本地】键把 1652B 由远控状态切换到本地控制。

5.2.3 远程控制问题

远程控制模式下，若 1652B 接受一系列 SCPI 程控命令，执行失败超时，例如：触发扫描模式下，一直未接收到触发信号导致控者等待超时，控者与 1652B 之间的远控通道（GPIB, LAN 或其它接口）阻塞，无法接收其它命令。此时，必须中断当前的远控测量过程，以使得控者重新获取远程通道的控制权。

5.3 错误信息

1652B 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。

5.3.1 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。

5.3.2 错误信息说明

1652B测量过程中若检测到错误，状态指示区右侧会显示告警或错误信息(错误缩写 + 详细错误说明)，并以状态条的不同颜色标注错误级别，如下图：

表5.1 字体颜色区分状态指示区错误级别

颜色	错误级别	错误说明
红色	严重错误	测量过程中的严重错误，出现此类错误时，仪器无法正常工作。 operation is no longer pos- sible.

红色	错误	测量过程中出现的错误，例如因数据丢失或错误的设置导致测量无法正常完成。
橘色	警告	测量过程中不规律出现的工作状况,例如：仪器设置与显示结果不匹配，或者与外部连接的仪器暂时断开连接，无法继续测量。
灰色	信息	步骤设置或测量信息。
灰色	消息	导致下一步操作错误的事件或者状态。
绿色	正常	无错误信息显示。

表5.2 本地错误信息说明列表

错误关键字段	详细错误说明
ISA初始化失败	ISA总线不可用,前面板控制失效
PCIE初始化失败	PCIE总线不可用,通道板控制失效
母板未识别或初始化失败	母板未识别或初始化失败,时钟控制失败
DAC板卡未识别	数字板无法正常工作,时钟失锁或PCIE总线初始化失败导致
GTX同步失败	同步失败,输出信号无法同步
MARK芯片状态错误	MARK芯片工作不正常,可能是供电一场造成
DDR存储器状态错误	DDR存储器无法工作,任意波模式无法输出波形

5.4 返修方法

5.4.1 联系我们

若1652B函数/任意波形发生器出现问题，首先观察错误信息并保存，分析可能的原因并参考章节“5.2 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：

服务咨询： 0532-86889847 400-1684191

技术支持： 0532-86880796

传　　真： 0532-86889056

网　　址： www.ceyear.com

电子信箱： techbb@ceyear.com

邮　　编：　**266555**

地　　址：　**中国山东省青岛市黄岛区香江路98号**

5.4.2 包装与邮寄

当您的 1652B 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 1652B 需要返修时，请您用原包装材料和包装箱包装 1652B，并按下面的步骤进行包装：

1) 写一份有关 1652B 故障现象的详细说明，与 1652B 一同放入包装箱。
2) 用原包装材料将 1652B 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 1652B 需注意

使用其它材料包装 1652B，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“2.1.1 开箱”中描述的注意事项。

6 技术指标与测试方法

本章介绍 1652B 函数/任意波形发生器的技术指标和主要测试方法。

6.1 声明

除非特别声明，所有的指标测试条件是：温度范围是：23°C ± 5°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°C 至 40°C 的工作温度范围内放置至少两小时，再经过 45 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°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 Ω 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°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°C) 条件下测得。

6.2 产品特征

表 6.1 环境及尺寸

描述	补充信息
操作环境	
温度	0 °C ~ +40 °C
湿度	20 % ~ 80 %湿球温度< +29 °C (非冷凝)
海拔高度	0 ~2,000 m (0 ~ 6,561 英尺)
振动	最大0.21 G, 5 Hz ~ 500 Hz
非工作存储环境	
温度	−40 °C ~ +70 °C
湿度	20 % ~ 90 % 湿球温度 < +40 °C (非冷凝)
海拔高度	0 ~ 4,572 m (0 ~ 15,000英尺)
振动	最大0.5 G, 5 Hz ~ 500 Hz
重量	≤16.5 kg

表6.2 产品特征

一般特性		
远程控制	**接 口**	LAN 1000BaseT LAN 接口
	程控语言	SCPI 版本 1997.0

显示屏	TFT-LCD
操作界面语言	中文/英文
电源要求	100-120 VAC, 50/60/400Hz 220-240 VAC, 50/60 Hz 安全：EN 61010-1, UL 3111-1, CDA C22.2 No. 1010-1, IEC 1010-1
操作温度范围	0°C ~ +40°C
存储温度范围	-40°C ~ +70°C
工作湿度（额定值）	40°C 时，0 ~ 80% 相对湿度
海拔高度	0 ~ 3000 m
自检测	1652B启动时，自动检测大部分模块。
最大重量	≤16.5kg
建议校准周期	36 个月

6.3 技术指标

提 示

测试条件

性能指标的测试条件是：函数 DDFS 模式模式下的单端信号输出状态，测量接收仪器 50Ω 输入阻抗。

6.3.1 通道数

2/4 （4 通道需要相应选件支持）

6.3.2 数据采样率

5GSa/s（DAC 内部插值到 10 GSa/s）

6.3.3 垂直分辨率

16bit

6.3.4 输出波形

函数波形（DDFS）：正弦、方波、脉冲、三角、锯齿、噪声、直流、PWM

常规波形（DDWS）：正弦、方波、脉冲、三角、锯齿、噪声、直流、指数、sinc、高斯、半正矢、洛仑兹

6.3.5 频率特性（DC 耦合）

正弦波输出频率范围：0.142mHz ~ 2.0GHz
脉冲输出频率范围： 0.142mHz ~ 240MHz
方波输出频率范围： 0.142mHz ~ 240MHz
三角波输出频率范围：0.142mHz ~ 120MHz
锯齿波输出频率范围：0.142mHz ~ 120MHz
正弦波频率准确度：±10ppm

6.3.6 幅度输出特性

（1）DC 模式（正弦，单端）
幅度输出范围：50mVpp～1.0Vpp（≤1.3GHz）
50mVpp～500mVpp（≤2GHz）
幅度准确度： ±5%设定值 ± 35mV
（2）AC 模式（正弦，单端）
幅度输出范围：50mVpp～1.50Vpp（15MHz～1.3GHz）
50mVpp～700mVpp（1.3GHz～2GHz）
幅度准确度： ±5%设定值 ± 35mV （≤700mVpp）
±5%设定值 ± 50mV （≤1.5Vpp）

6.3.7 偏置输出特性

（1）DC 模式
直流偏移范围：±0.5V
直流偏移准确度：±5%设置值 ± 30mV
（2）AC 模式
直流偏移范围：±2.0V
直流偏移准确度：±5%设置值 ± 30mV

6.3.8 正弦波输出特性

（1）谐波失真(@ 0.3Vpp，DC 模式)
≤-71dBc（@2MHz）
≤-65dBc（@10MHz）
≤-50dBc（@200MHz）
≤-42dBc（@ 500MHz）
（2）非谐波失真(@ 0.5Vpp，DC 模式)
≤-71dBc（@ 100MHz，观测范围 5MHz～1GHz），

≤-58dBc（@ 500MHz，观测范围 5MHz～1GHz），

≤-62dBc（@ 1000MHz，观测范围 5MHz～2GHz），

≤-50dBc（@ 1500MHz，观测范围 5MHz～2GHz），

≤-50dBc（@ 2000MHz，观测范围 5MHz～2GHz，不包含 1GHz 点）

（3）相噪(@10kHz，DC 模式)

≤-112dBc/Hz（@ 500MHz）

≤-110dBc/Hz （@2GHz）

6.3.9 脉冲波输出特性

边沿时间设置范围：0.48ns～10.08ns（10%～90%,最小步进 0.32ns）

最小上升时间: ≤1.0ns（10%～90%,边沿时间设置为 0.48ns）

过冲:

≤8%（边沿时间设置为 0.48ns）

≤7%（边沿时间设置为 0.8ns）

≤6%（边沿时间设置为 1.12ns）

抖动: ≤27ps（@100MHz,通道 1/2 至通道 2/1）

6.3.10 任意波

最大波形存储深度：2G 点/通道，采样大数据灌入方式

非易失存储：内置硬盘，不低于 100GBytes

6.3.11 接口

（1）差分输出端口：SMA

（2）Mark 输出端口：BNC 连接器

（3）触发输入端口：BNC 阴头

（4）同步输出端口：BNC 阴头

（5）10MHz 参考输入端口：BNC 阴头

（6）10MHz 参考输出端口：BNC 阴头

（7）USB 接口

（8）LAN 接口

（9）DP 接口

（10）时钟输入端口

（11）时钟输出端口

6.4 测试方法

本节介绍 1652B 的主要指标测试方法

表6.3 主要测试仪器

序号	设备名称	主要技术指标	推荐型号
1	频谱分析仪	频率范围：3Hz～50GHz	FSW50
2	频率计	频率范围：10Hz～12.5GHz	53152A
3	示波器	带宽：2.5GHz 采样率：20GSa/s	MSOS254A
4	取样示波器	带宽：18GHz	86100C
5	任意波形发生器	频率范围：DC～4GHz	7122
6	SMA-SMA 高频稳相线缆	频率范围：DC～26.5GHz 回波损耗：18dB，衰减：2.6dB	3.5mm/3.5mm-JJ-1m
注✶：可用同等性能特性的测试设备代替。			

6.4.1 通道数

测试所需的仪器及附件：

示波器 MSO254A　　1 台

射频电缆　　2 根

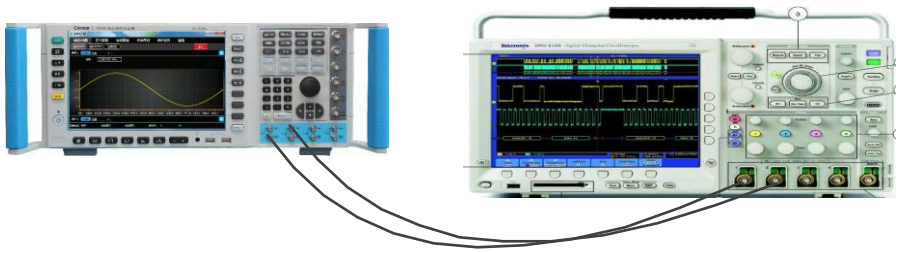


图 6.1 通道输出测试图

测试步骤：

1) 如图 6.1 所示连接系统；

2) 点击选择 1652B〖函数 DDFS〗进入常规波形实时发生设置模式；

3) 打开通道 1，选择输出波形为“正弦”；

4）点击频率设置，输入波形频率为 100MHz；

5)点击通道后面的【OFF】按钮 ,按钮状态由 OFF 变为 ON ,仪器前面板的【ON】

按钮下的背景灯同步点亮；

6）点击右上角【播放】按钮，其状态由红色变为绿色；

7）将 1652B 的通道 2 按照 2）~ 6）依次设置；

8）用示波器依次观测 1、2 通道，均能看到相应的双通道 100MHz 波形，则通道数满足要求。

9）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.2 采样率、最大存储深度

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A

b） 高频稳相电缆 1 根

测试步骤：

1）如图 6.1 所示连接系统；

2）将 1652B 点击选择〖通道设置〗下的 [触发]，触发方式选择为“单次触发”，播放次数设置为“无限次”；

3）打开〖函数/波形〗下的【任意波】操作界面，默认打开通道 1；

4）调用长度为 2G 点的任意波形文件（注意：该文件中内含一个完整周期的正弦信号，播放采样率为 5GSa/s，2G 点对应的波形长度为 2×10^9 个采样点，则该波形的周期为 2×10^9Sa/(5GSa/s) = 400ms）；

5）右击该波形弹出快捷菜单，选择“打开”，则显示区域将显示该波形形状；

6）点击[播放]按钮，按钮背景变为绿色，前面板播放按键下的绿色背景灯点亮；

7）示波器单次，调节示波器测试光标，查看 1 个波形周期长度应为 400ms，正弦波形的周期正确则表示采样率与最大存储深度都符合要求；

8）将测试结果记入测试表格。

6.4.3 输出模式、最大输出频率

测试所需的仪器及附件：

a） 频率计 53152A

b） 高频稳相电缆 1 根

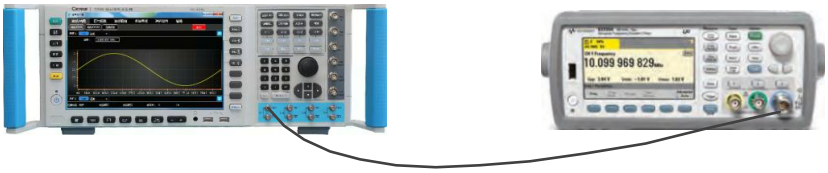


图 6.2 频率范围测试图

6.4 测试方法

测试步骤：

1）如图 6.2 所示连接系统；

2）在 1652B 功能菜单中选择〖通道设置〗，选择〖通道〗，设置通道 1 的输出参数，【幅度】、【偏移】默认；

3）点击选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗进入函数波形发生模式；

4）点击通道 1 的波形选择下拉列表，选中“正弦”选项；

5）点击【耦合方式】控件，从下拉列表选择通道的耦合方式为 DC；

6）设置输出波形频率为 2GHz；

7）点击通道后面的【OFF】按钮，按钮状态由 OFF 变为 ON，则仪器前面板的【ON/OFF】按钮下的背景灯点亮；

8）点击右上角【播放】按钮，其状态由红色变为绿色；

9）在频率计上读出频率值，然后参照以上步骤，将耦合方式为 AC，频率设置为 4GHz，读出频率值；

10）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.4 函数波形（DDFS）/ 函数波形（DDWS）

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A

b） 高频稳相电缆　　1 根

测试步骤：

1） 如图 6.1 所示连接系统；

2）在 1652B 功能菜单中选择〖通道设置〗，选择〖通道〗；

3）选择当前通道为通道 1，【幅度】、【偏移】默认；

4）点击选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗进入函数波形发生模式；

5）分别设置波形为正弦、方波、脉冲、三角、锯齿，示波器上测试波形正常，说明〖函数/DDFS〗模式工作正常；

6）切换到〖函数/DDWS〗界面，设置波形为正弦，频率为 1MHz，初始相位为 0°；

7）点击【下载/预览】按钮，等待软件生成正弦波数据文件；

8）点击【播放】按钮，示波器测试输出波形及频率正常，说明〖函数/DDWS〗模式工作正常，在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.5 输出电平、电平准确度、电平分辨率

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A

b） 高频稳相电缆　　2 根

测试步骤：

1）如图 6.1 所示连接系统；
2）在功能菜单中选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗，通道 1，波形列表中选择正弦，频率设为 100MHz；
3）在功能菜单中选择〖通道设置〗，选择〖通道〗，设置通道 1 输出；
4）点击【耦合方式】控件，从下拉列表选择通道的耦合方式为 DC 耦合模式，其余参数默认；
5）点击【幅度】参数输入控件，将频率、电平分别重新设为 1.3GHz//50mVpp、1.3GHz/1Vpp、2.0GHz/50mVpp、2.0GHz/500mVpp，用示波器测试波形输出电平及准确度应满足对应指标要求；
6）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.6 直流偏移

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A
b） 高频稳相电缆 1 根

测试步骤：

1）如图 6.1 所示连接系统；
2）在功能菜单中选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗,通道 1 输出波形设置为直流；
3）在功能菜单中选择〖通道设置〗，选择〖通道〗；
4）选择通道号，设置通道 1 输出；
5）耦合方式设置为 DC，其余参数默认；
6）设置【偏移】参数输入框，设置偏移值为-0.5V，用示波器测试输出波形的偏置；
7）然后将偏置设置为+0.5V，再用示波器测试输出波形的偏置，应满足直流偏移对应指标要求；
8）耦合方式设置为 AC ,偏移分别设置为+2V 和-2V ,再用示波器测试输出波形的偏置，应满足直流偏移对应指标要求；
9）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.7 正弦波测试

6.4.7.1 谐波失真

测试所需的仪器及附件：

a） 频谱分析仪 4051 系列
b） 高频稳相电缆 1 根

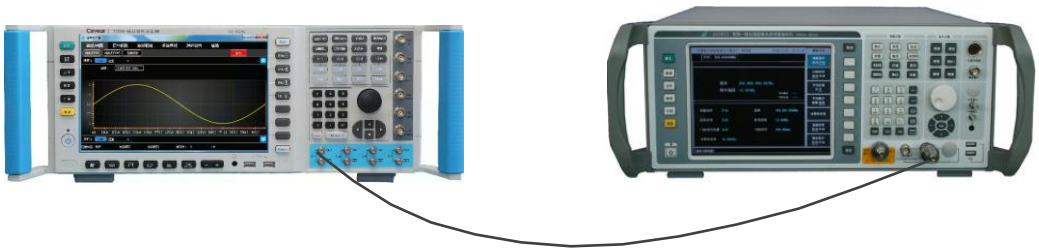


图 6.3　谐波测试图

测试步骤：

1）如图 6.3 所示连接系统；

2）设置 1652B 通道 1 为工作状态，耦合方式设置为 DC 耦合，设置输出波形 10MHz 的正弦波，输出幅度 300mVpp；

3）设置频谱分析仪为频谱分析模式，并复位；

4）设置频谱分析仪起始频率和终止频率，基波和二次谐波可同时显示在屏幕上，并设置好合适的视频带宽，将基波峰值电平值为参考电平，按“峰值搜索”；

5）激活频谱分析仪第二标记，按“峰值搜索”、“差值标记”、“次峰值”，则测试出二次谐波；

6）计算两次功率差值，在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.7.2 非谐波

测试所需的仪器及附件：

a）　频谱分析仪　　4051 系列

b）　高频稳相电缆　　1 根

测试步骤：

1）如图 6-3 连接设备；

2）在功能菜单中选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗，通道 1 输出波形设置为正弦波，频率为 100MHz，幅度为 500mVpp，耦合方式为 DC；

3）设置频谱分析仪扫宽为 10MHz～1.1GHz ,参考电平为 0dBm ,分辨率带宽为 100kHz，用频谱仪测试并找出杂波最差的点，用频标差值观测并记录杂波的最差点，非谐波=基波-杂波最高电平；

4）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.7.3 相噪

测试所需的仪器及附件：

a）　频谱分析仪　　4051 系列

b）　高频稳相电缆　　1 根

测试步骤：

1) 如图 6.3 连接设备；
2) 在功能菜单中选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗，通道 1 输出波形设置为正弦波，频率为 500MHz，幅度为 500mVpp，耦合方式为 DC；
3) 如下设置频谱分析仪：
   中心频率：100MHz；
   扫宽：100kHz；
   频标：10kHz；
   相噪测量频标：开，并打开轨迹平均。
4) 在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.8 脉冲波测试

6.4.8.1 边沿时间可设范围

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A
b） 高频稳相电缆　　1 根

测试步骤：

1）如图 6.1 所示连接系统；
2）在功能菜单中选择〖通道设置〗，选择〖通道〗，设置通道 1 输出，耦合方式为 DC；
3）选择〖波形/函数〗下的〖函数/DDFS〗，设置通道 1 输出脉冲，频率为 10MHz，脉宽为 50ns，电平为 500mVpp，其余参数默认；
5) 边沿时间芬妮额设为 0.48ns、10.08ns，在示波器上测试波形的边沿时间；
6) 在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.8.2 最小上升/下降时间

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A
b） 高频稳相电缆　　1 根

测试步骤：

1) 按图 6.1 连接设备；
2) 设置被测任意波形发生器通道 1 为开状态 ,波形选择脉冲 ,边沿时间设置为 0.48ns，脉冲频率为 10MHz，幅度为 500mVpp；

3) 观测数字存储示波器测量脉冲输出上升与下降时间：示波器输入阻抗设为 50Ω，示波器的测量功能中的上升与下降时间测量选项测量范围选为电平的 10%～90%，示波器自动测量脉冲的上升与下降时间；

4) 在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.8.3 过冲

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A

b） 高频稳相电缆 1 根

测试步骤：

1) 按图 6.1 连接设备；

2) 分别设置被测任意波形发生器通道 1 为开状态，波形选择脉冲，边沿时间设置为 0.48ns，脉冲频率为 10MHz，幅度为 500mVpp；

3) 用数字存储示波器测量脉冲输出波形的过冲：示波器输入阻抗设为 50Ω，采用示波器的测量功能中的过冲测量选项，或者用光标测量过冲的最高电平值为 x mV，根据公式：过冲=(x-250)mV/500，计算得出测量结果；

4) 在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.8.4 抖动

测试所需的仪器及附件：

a） 取样示波器 86100C

b） 高频稳相电缆 1 根

测试步骤：

1) 1652B 的通道 1 连接 86100C 的通道 1 ,1652B 的通道 2 连接 86100C 的参考输入；

2) 设置被测任意波形发生器通道 1 为开状态，波形选择脉冲，边沿时间默认，脉冲频率：100MHz，幅度：500mVpp；

3) 设置被测任意波形发生器通道 2 为开状态，波形选择脉冲，边沿时间默认，脉冲频率：50MHz，幅度：500mVpp；

4) 用数字存储示波器测量脉冲输出波形的过冲：示波器输入阻抗设为 50Ω，采用示波器的测量功能中的抖动测量选项，测量脉冲的抖动；

5) 在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.9 非易失存储

非易失存储，内置硬盘，打开 1652B 桌面上的计算机图标，硬盘显示空间产低于 200GBytes。

6.4.10 外触发门限电平

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A

b） 任意波形发生器　　7122

c） 高频稳相电缆　　3 根

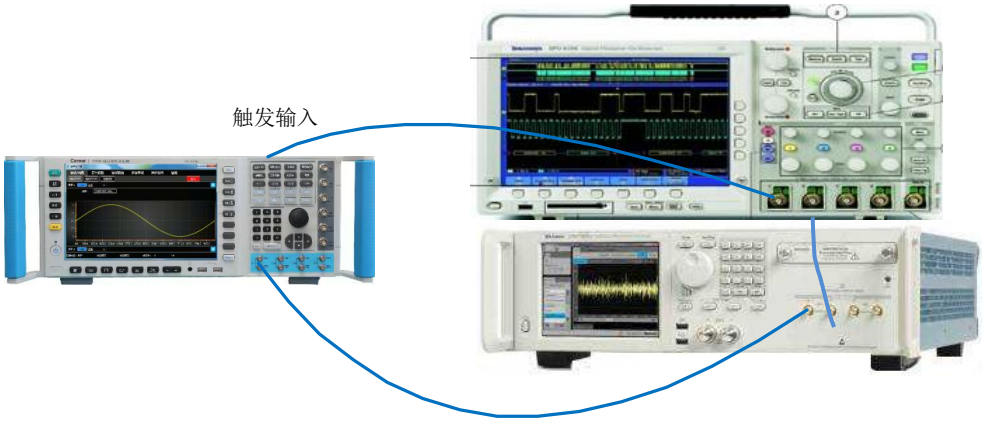


图 6.4 触发特性测试

测试步骤：

1）按图 6.4 连接设备；

2）点击选择 1652B 下的〖函数 DDWS〗，选择通道 1 为开状态,选择内置波形“正弦”，正弦频率为 1MHz，电平为 500mVpp，DC 耦合输出方式，点击播放；

3）选择〖通道设置〗下的 [触发]，触发方式选择为外部触发，单次触发播放次数为 1 次，触发门限设置为 2V；

4)设置 7122 输出任意波形 ,脉冲频率为 100kHz ,脉宽为 5us ,输出电平为-5V～+5V，7122 的两个通道都设置成一样，一路输出给 1652B，另一路输出给示波器。在示波器上观测 1652B 输出正弦波的间隔时间，若为 10us，则触发电平范围正确；

5）在性能测试记录表中记录-4V～+4V。

6.4.11 外触发沿选择

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器　　MSO254A

b） 任意波形发生器　　7122

c） 高频稳相电缆　　2 根

测试步骤：

1）按图 6.4 连接设备；

2）点击选择 1652B 下的〖函数 DDWS〗，选择通道 1 为开状态,选择内置波形“正弦”，正弦频率为 1MHz，电平为 500mVpp，DC 耦合输出方式，点击播放；

3）选择〖通道设置〗下的 [触发]，触发方式选择为外部触发，单次触发播放次数为 1

次，触发门限设置为 2V；

4)设置 7122 输出任意波形 ,脉冲频率为 100kHz ,脉宽为 5us ,输出电平为-5V～+5V，分别设置 1652B 的触发沿为上升沿、下降沿，在示波器上观测 1652B 输出正弦波的间隔时间，若为 10us，则上升沿、下降沿响应正确；

5）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.12 最大可设触发延时

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A

b） 任意波形发生器 7122

c） 高频稳相电缆 2 根

测试步骤：

1）按图 6.4 连接设备；

2)点击选择 1652B 下的〖函数 DDWS〗,选择通道 1 为开状态,选择内置波形“正弦”，正弦频率为 1MHz，电平为 500mVpp，DC 耦合输出方式，点击播放；

3）选择〖通道设置〗下的 [触发]，触发方式选择为外部触发；

4)设置 7122 输出任意波形 ,脉冲频率为 10Hz ,脉宽为 10us ,输出电平为-5V～+5V，设置 1652B 触发时延 3.3ms，在示波器上测量触发信号与 1652B 输出信号之间的延时，若为 3.3ms，则延时响应正常；

5）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.13 内触发输出

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A

b） 高频稳相电缆 1 根



图 6.5 内触发输出测试

测试步骤：

1）按图 6.5 连接设备；

2）点击选择 1652B〖通道设置〗下的〖触发〗，勾选内触发信号输出；

3） 设置示波器的接收阻抗为 50 欧，在示波器上能显示 1652B 触发输出的低电平为

0V，高电平为 1V，脉宽周期为 25.6ns 的任意波形，若脉冲高电平大于 800mVpp，则内触发输出信号合格；

4）在性能测试记录表中记录测试结果。

6.4.14 可编辑任意波形发生

测试所需的仪器及附件：

a） 示波器 MSO254A

b） 高频稳相电缆 1 根

测试步骤：

1) 按图 6.1 连接设备；
2) 选择〖函数/DDFS〗功能模块，点击波形选择下拉列表，选中“复杂脉冲”选项；
3) 点击【添加】，在复杂脉冲编辑列表中添加 1 行子脉冲参数；
4) 选中“高电平时间”，设置为 0.42s；
5) 选择“周期”， 设置为 0.421s；
6) 选择“循环次数”，设置该子脉冲连续输出个数，可设置 1 次；
7) 继续 3）添加第二个子脉冲：高电平时间 2ms，周期 4ms，循环次数 3 次；
8) 点击【装载】，再点击通道后面的【OFF】按钮，按钮状态由 OFF 变为 ON，同时仪器前面板的【ON/OFF】按钮下的背景灯点亮；
9) 点击右上角【运行】按钮，其状态由红色变为绿色；
10) 在示波器上可测得子脉冲数目、周期、高电平时间和每个子脉冲循环次数；
11) 在性能测试记录表中记录测试结果。

附 录

附录 A 错误信息速查表

附表 A 本地错误信息表

错误关键字段	错误说明
通道1任意波未选择文件	通道1工作在任意波状态，播放通道1时发现通道1没有指定要播放的文件。
通道2任意波未选择文件	通道2工作在任意波状态，播放通道1时发现通道1没有指定要播放的文件。

附录 A 错误信息速查表

复杂脉冲下点击装载 ,显示列表数据为空	复杂脉冲中没有数据，即没有任何子脉冲。