

多通道微波模块快插式自动测试系统设计

俞利国, 张 邓, 刘希淼, 刘长斌

(南京国博电子股份有限公司, 南京 211111)

摘要: 为解决多通道微波模块存在的测试效率低、测试稳定性差、测试可追溯性弱等问题, 设计了一种多通道微波模块快插式自动测试系统; 采用虚拟仪器作为自动测试系统软件的编程语言, 设计以多通道测试为核心的自动化设备控制、仪器测试控制、数据采集与分析处理等功能, 以满足多通道微波模块的自动测试需求; 经验证结果表明该测试系统通过测试软件下发控制指令给自动化设备与测试系统协作完成取料、测试及放料等动作, 按照设计的测试流程控制测试仪器与矩阵开关组合关系, 实现多通道切换测试; 该测试系统可柔性化应用于各类型的微波模块测试场景, 相比常规测试系统, 该系统可大幅度提高多通道微波模块的测试效率和测试质量。

关键词: 多通道; 微波模块; 测试系统; 自动测试; 虚拟仪器

Design of Quick-plug Automatic Test System for Multi-channel Microwave Modules

YU Ligu, ZHANG Deng, LIU Ximiao, LIU Changbin

(Nanjing Guobo Electronics Co., Ltd., Nanjing 211111, China)

Abstract: In order to solve the problems such as low test efficiency, poor test stability and weak test traceability in multi-channel microwave modules, a quick-plug automatic test system for multi-channel microwave modules has been designed. Using virtual instruments as the programming language for the automatic test system software, the system adopts multi-channel test as the core for functions such as automatic equipment control, instrument test control, and data acquisition and analysis processing, thus meeting the automatic test requirement of multi-channel microwave modules. Verification results show that through the test software, the test system sends control instructions to the automated equipment and collaborates with the test system to complete actions such as material retrieval, testing, and material discharge. According to the designed test process, the system controls the combination relationship between the test instrument and the matrix switch to achieve multi-channel switching testing. The test system can be flexibly applied in various test scenarios of microwave modules. Compared with conventional test systems, the system can significantly improve the test efficiency and quality of multi-channel microwave modules.

Keywords: multi-channel; microwave modules; test system; automatic test; virtual instruments

0 引言

微波模块作为实现微波射频传输重要功能和用途的核心关键部件, 广泛应用于仪器、设备、系统等相关领域^[1]。随着工艺技术的进步, 微波模块功能也在不断增加, 这使得微波模块电路集成度非常高, 涉及的性能指标也更全面^[2]。例如在相控阵体制的雷达装备中, 其所配套的微波模块通道数量多、功能复杂、频带宽, 涉及的测试指标有增益、相位、功率、频谱、噪声及幅度控

制等关键参数, 导致测试数据量与测试时间呈几何级数增加^[3]。在复杂的电磁干扰下, 不同的测试场景、不同的测试动作都可能对微波模块测试的稳定性、一致性造成影响。而庞大的测试数据如何解决不同机台的批次性间波动进行一致性分析, 这对以往存储在本地或局域网的方式存在复杂的挑战^[4]。因此传统人工测试方式或者半自动测试手段已无法应对高效、稳定、可追溯的测试需求。而电子测试行业主流的射频测试解决方案供应商针对晶圆、芯片类等标准外形尺寸、封装形式都有成熟

收稿日期:2025-05-24; 修回日期:2025-06-16。

作者简介:俞利国(1987-),男,硕士,高级工程师。

引用格式:俞利国,张 邓,刘希淼,等.多通道微波模块快插式自动测试系统设计[J].计算机测量与控制,2025,33(8):94-101.

的标准自动测试机型。针对微波模块的外形尺寸与封装形式需进行专用测试设备适配, 考虑其接口无法实现标准化压接测试, 一般以定制化测试工具进行快插转接。而定制化则存在较多的不确定因素, 若未有相关成熟稳定的工程化应用, 需对微波模块高频测试的准确性、稳定性要求进行长期试验验证。同时在文献 [1-4] 中以及相关资料中对微波模块自动测试系统的研究也仅局限于针对测试系统一体化测试设计, 缺失全自动、数据分析等相关研究内容。因此当前微波模块测试领域面临着通道间一致性测试困难、高频信号测试稳定性差、复杂电磁环境干扰以及测试成本高昂带来的多重挑战。为解决这些问题, 未来微波模块测试必定向高精度自动化测试、多参数综合测试、高可靠性测试方向发展, 从而推动多通道微波模块的集成化、自动化、高频化的测试行业发展趋势, 以支撑 5G/6G 通信、卫星导航、雷达系统及自动驾驶等配套微波模块的产业化。

因此为实现在人工极少介入或不介入的情况下, 测试系统能够全自动、稳定地执行多通道微波模块的全参数测试与分析处理量测数据, 以适当的方式显示与输出测试处理结果, 与 MES 系统、云数据库等标准信息系统进行无缝对接, 可实现生产测试流程的开工与报工、数据源的远程分布追溯与 Online 可视化分析显示^[5-6]。本文提出了多通道微波模块快插式自动测试系统设计方案。采用虚拟仪器作为自动测试系统软件的编程语言, 设计以多通道模块测试为核心的机械臂上下料控制、测试工装插拔控制、仪器测试控制、通道切换控制、后端数据采集与分析处理等功能^[7]。既能满足多通道微波模块的高效与稳定测试, 又能远程追溯测试数据源, 大大提升了批生产的测试效率和测试质量。

1 总体设计

本文提出的多通道微波模块快插式自动测试系统主要实现多通道模块一次插拔快速自动测试及多台系统并行测试需求, 同时解决测试质量稳定性差、测试数据无法有效远程追溯等问题。以此对自动测试系统进行了总体设计, 以测试流程为基础, 集成了以多通道快插式测试为核心的自动化设备控制、仪器测试控制、通道切换控制、后端数据采集分析处理等功能, 形成了一个柔性化测试平台。按组成部分主要分为自动化设备、测试硬件集成、测试软件工具, 相互之间的连接关系如图 1 所示。该自动测试系统优势在于可以实现多个系统并行测试与 Online 数据交互, 将所有系统的测试数据上传数据库存储, 可通过数据决策系统进行远程查询及可视化分析与处理。

其中自动化设备主要实现模块的上下料摆盘、抓取、扫码、检测、OK 和 NG 分类放置等动作, 以及控

制测试台与微波模块相对应的射频、信号、电源接口的柔性自动插拔连接及测试环境温度的升降控制; 测试硬件集成可以选择指定微波模块的测试通道, 设置程控仪器设备的状态参数, 同步完成微波模块的功能控制和参数测量, 并将采集的测试数据经测试软件工具进行计算分析及处理^[8]。测试软件工具可以实现机械臂上下料控制、测试工装自动插拔控制、仪器多通道切换测试控制、数据采集与信息交互、测试结果分析与处理以及最终报表的生成等任务^[9]。同时根据不同产品类型的测试需求灵活配置成可执行的自动测试流程; 也可在自动化设备出现故障时, 柔性切换至离线进行本地备份测试。以此设计的快插式自动测试系统方案相比传统半自动测试系统, 可以大幅度提高多通道微波模块批产测试效率, 减少人为因素导致的操作影响, 消除不同测试人员技能经验不同造成的测试误差。同时针对测试工装自动插拔提升测试质量的稳定性, 测试过程实时数据库管控形成质量数据的有效追溯。

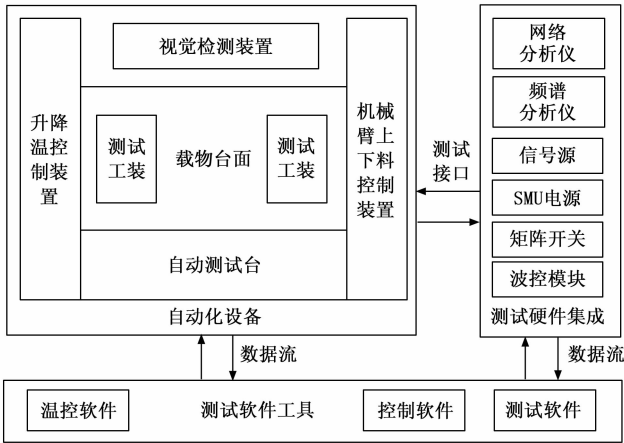


图 1 快插式自动测试系统组成示意图

2 硬件设计

2.1 测试硬件集成

测试硬件集成主要包含测试仪器和功能控制硬件。其中测试仪器可通过标准 GPIB、LAN、USB 等仪器接口总线进行通信互联, 根据微波模块不同指标项适配对应的测试仪器完成测量。功能控制硬件由矩阵开关、波控模块、总线扩展模块等组成, 根据微波模块测试要求被预置到相应的工作状态进行电性能和功能性指标测试。其中多通道微波模块能够实现对外界信号的放大、滤波和下变频等接收功能, 对源激励信号能够实现上变频、滤波和放大等发射功能, 且可实现波束控制功能, 三大功能共同构建的收发链路的微波模块零部件。其电性能测试一般涉及指标项可分为发射参数、接收参数两部分。发射参数主要包括大信号传输幅相特性、饱和输

出功率、频谱特性、波形调制参数等指标；接收参数主要包括小信号传输幅相特性、噪声系数、增益压缩等指标^[10]。

本文以此选取相应功能的矢量网络分析仪、频谱分析仪、功率分析仪等测试仪器搭建柔性化测试平台，同时集成功能控制模块实现多通道微波模块与各测试仪器端口进行一次连接测试。涵盖了微波模块的通道切换、收发切换、仪器输入输出切换、大功率衰减器链路切换等功能，可在测试过程中实现自动调用切换，也可设置人工控制切换调试通道工作状态。该测试硬件集成减少了不同测试工位间的传递和测试功能的人工切换操作时间^[11-12]，大幅度提升了多通道的测试效率，其整体硬件架构如图 2 所示。该测试系统所具备的控制功能是通过接口总线设置测试仪器的工作状态，产生微波模块所需的各种供电电压、微波激励等信号，建立相应测试通道，以实现系统的多通道自动测试；具备的测试功能是控制微波模块的工作状态，测试系统将微波模块输出信号切换至相应的仪器上进行测量。测试软件工具通过接口总线获取测试数据，实时进行计算分析及处理，以确保最终输出测试结果的准确性与直观性。

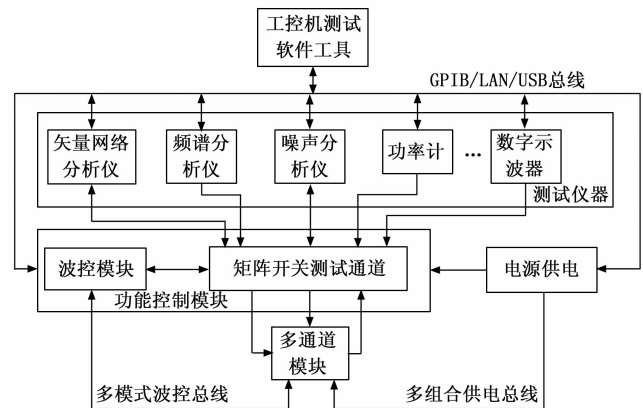


图 2 多通道微波模块测试系统的架构示意图

其中，矢量网络分析仪作为综合类的源输入与测量仪器，可用于 S 参数测试，涉及幅度、相位、驻波、群时延、增益压缩等常规微波电特性；同时与微波模块控制交互可用于模块功能组合测试，涉及移相精度、衰减精度、非线性相位、寄生调幅及寄生调相等组合微波电特性；内部可选择性集成噪声源，采用冷源方式实现噪声系数测试；内部接收机可替代部分功率计实现脉冲功率测试。而频谱仪作为时域与频域换算的测量仪器，可用于微波的谐波波、交调的频谱特性分析测试。以此设计的测试硬件集成方案可实现微波模块多通道全参数电特性的一键自动切换覆盖性测试，解决以往微波模块多台系统进行分布及单通道测试存在的一致性和稳定性差问题。同时在测试仪器计量精度范围内，对测试硬件集

成的测试范围和准确度指标进行优化设计，以满足微波模块的测试要求，如表 1 所示。

表 1 测试硬件集成射频指标项

测试指标	范围及精度
工作频段	50 MHz~40 GHz
耐功率	≤平均 5 W
幅度准确度	≤±0.1 dB
相位准确度	≤±1°
电压驻波比准确度	≤±0.1
噪声系数准确度	≤±0.1 dB
功率准确度	≤±0.1 dB
谐波波准确度	≤±0.5 dB

2.2 自动化设备

多通道微波模块的生产具有小批量、多品种的特点，其定制化封装结构导致主要依赖人工完成模块与测试系统的测试互连，存在测试效率低、测试一致性差等问题。因此为解决该问题，本文采用自动化设备替代人工来实现模块自动上下料、全自动搬运、快速流转、精确定位连接等功能。为确保自动化设备的通用性，主要实现的是机械臂上下料控制和测试工装插拔控制两部分操作。同时为适配不同模块测试则针对测试工装的测试治具进行定制化设计。其中机械臂上下料控制采取的是产品通过物料载盘放置在储料装置，由储料装置集中存储与搬运，具备上、下料位和 NG 位，同时兼容多种微波模块的生产转运需求，能够实现多种微波模块的自动上下料^[13]；测试工装插拔控制采取的是在微波模块放入工装后，对模块进行固定，并通过工装上连接器和探针实现与微波模块相对应的射频、信号、电源接口的柔性自动连接。在测试完成后，测试工装能够自动复位，等待机械臂取出模块并进行下一个模块的测试^[14]，直到料盘里的模块全部测试完成清空，进行下一个料盘的摆放测试。

其中机械臂影响到多通道微波模块的上下料控制效果。本文选用了 6 轴机械臂，将机械臂的多轴灵活性、可编程性与精确的末端执行器、丰富的传感器信息以及强大的中央控制系统与自动化设备深度融合。自动设备通过 6 轴机械臂可实现多区域放置物料的微波模块搬运、设备测试台面的微波模块上下料动作控制、微波模块外观的视觉检测及全过程异常情况的自动监控，其作业周期相比其他同类机械臂缩短了一半。针对影响测试精度、测试稳定性的测试工装核心部件的测试治具做相关设计优化。本次微波模块快插式测试治具采用径向和轴向双浮动接头，轴向浮动为了保护测试产品，径向浮动为了消除公差导致的测试孔与测试头不同心而导致的径向力，影响测试效果。采用细缆进行转接，从而解决多通道之间的测试线缆干涉与测试工装对电缆柔性的要

求，插拔简易示意如图 3 所示。

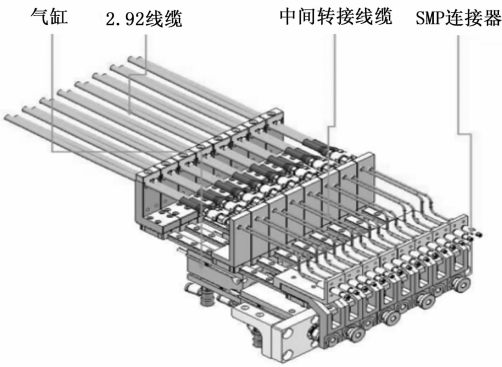


图 3 测试工装简易示意图

2.3 通信接口设计

针对自动化设备与测试硬件工控机之间的通信方式采用 OPC 通信接口。该通信接口具有开放性与互操作性，OPC 为不同厂商的设备和系统提供了统一通信标准，同时便于多种类型的设备和系统集成一起，降低了开发难度。同时具备数据传输的高效性，实时性强，可以快速采集和传输现场设备的数据，同时采用了可靠的通信协议和数据校验机制，确保数据在传输过程中的准确性和完整性。以及其简单的编程接口，为开发人员提供了简洁明了的编程接口，具备标准化和模块化设计，当系统中的设备或软件发生变更时，只需对相应的 OPC 进行替换，而不影响整个系统的运行。因此本文基于 OPC 通信接口，设置自动化设备为客户端，测试硬件工控机为服务器，保障双方之间的指令协议传输，具体交互指令集如表 2 所示。其中服务器提供 OPC 通信链接地址 URL，URL 包含主机名称和 OPC UA 服务器端口，格式一般为 `opc.tcp://hostname:port`，主机名称为 IP 地址或测试硬件工控机名称。以此在测试硬件工控机服务器安装 OPC 通信插件，与自动化设备客户端建立握手协议。当握手成功时，服务器传输控制指令给客户端按照制定的测试流程执行；当握手失败时，设置弹窗提醒测试人员检查客户端连接情况，避免测试过程中的结果不能正常上传。

表 2 OPC 通信接口交互指令集

OPC 参数	含义	类型	写入值
TestStatus	设备状态	String	0/1
TestOperation	测试状态	String	0/1/2
ProductSN	产品 SN 码	String	扫码字符串
TestResult	测试结果	String	测试相关信息
IsReTest	复测	String	0/1

3 软件设计

针对自动测试系统涉及软件工具的多样化功能需求，本文在软件编程语言选取上相比文本编程语言更注

重图形化编程语言的开发效率和适用性，因此采用虚拟仪器作为自动测试系统软件编程语言。同时自动测试系统的软件设计有两个重要概念即虚拟仪器（VI）与虚拟仪器软件结构（VISA）。VI 与 VISA 结合通过标准 I/O 函数库，使用程控仪器的标准 SCPI 命令集经接口总线远程控制仪器，使仪器完成相应的测试要求^[15-16]，因此自动测试软件按照软件功能层级划分，分为人机交互、ASCII 码转换、I/O 接口、接口总线、硬件实现等功能。

该虚拟仪器软件结构是基于 VISA 提供的仪器编程标准 I/O 函数库进行自底向上的软件开发方式。VISA 函数库驻留在工控机系统中，构成工控机与仪器间标准的软件通信接口，工控机可通过它来实现对仪器的控制。同时作为通用 I/O 标准，VISA 为用户提供了统一的设备资源管理、操作和使用机制，独立于硬件设备、接口、操作系统和编程语言之外，有与硬件结构无关的特性。该特性适用于各种标准仪器接口，即使仪器使用不同的接口总线，都具有相同的操作函数，实现了功能指令的统一^[16]。因此自动测试系统基于该软件架构设计了仪器控制软件、模块控制软件、自动测试软件等工具包，其相互的连接关系和数据流向的软件整体架构如图 4 所示，以满足柔性化测试平台不同类型微波模块的测试需求。

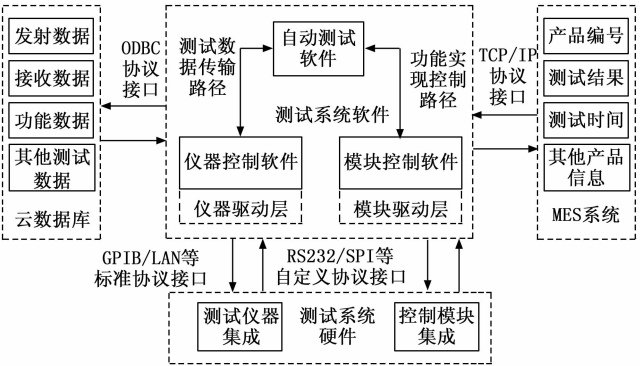
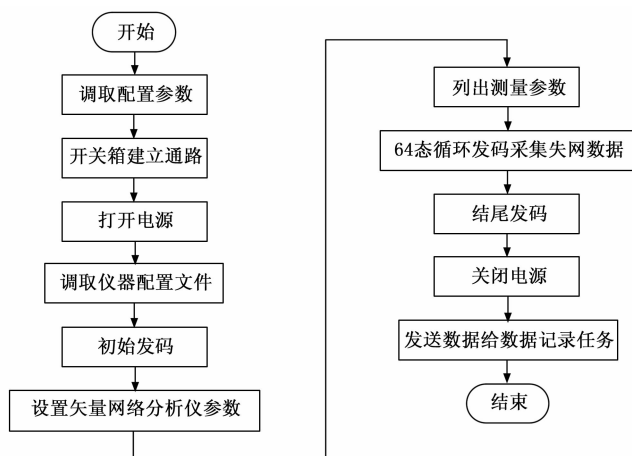


图 4 软件整体架构图

其中仪器控制软件主要是仪器采集的驱动层，为自动测试软件提供了微波测试数据的采集路径；模块控制软件主要是模块控制的驱动层，为自动测试软件提供了模块功能实现的控制路径；以及与 MES 系统采用 Web service 方式经 TCP/IP 接口协议进行产品信息交互，主要上传产品编号、测试时间、通道测试结果等产品相关信息；与云数据库则采用 ODBC 接口协议进行产品数据交互，主要实时上传微波模块各生产过程的所有测试数据，便于生产追溯。

3.1 仪器控制软件

仪器控制软件主要通过 GPIB、LAN、USB、RS232 等连接方式，控制测试仪器系统中的相应设备，



基于该流程设计的多通道测试切换, 主要实现的是矩阵开关通道间的切换与仪器间的切换组合。正常的多通道的收发微波性能测试顺序, 依次从通道 1 开始进行发射测试, 输入端切换成信号源或矢量网络分析仪或其他激励仪器, 输出端切换成功率计或频谱仪或矢量网络分析仪或其他测量仪器, 完成通道 1 测试后, 切换通道 2 进行收发测试, 依次完成多通道切换测试; 同时也可以控制矩阵开关实现交替的不同通道间和不同激励端口及测量端口之间的任意组合关系, 实现不同组合切换测试。矩阵开关的不同链路的灵活组合关系, 简化了不同测试功能搭建的系统链路, 大幅度提升了多通道测试效率, 具体矩阵开关连接如图 7 所示。

其中软件功能设计主要构成包括 OPC 通讯、仪器及模块控制指令发送、数据采集、数据处理分析等,最终生成可视化趋势和上传测试结果,并根据功能操作设计软件显示界面如图 8 所示。设计的人机交互界面划分窗格 1 为结果指示灯,显示产品最终测试结果;窗格 2 为文件选择区,包含定义文件选择及存储文件选择;窗格 3 为功能及显示区,可设置产品测试型号和测试机

台,可选择各项测试模式,显示各通道测试结果和测试时间,状态框可显示当前程序运行状态;窗格4为结果显示区,显示各通道指标测试结果及部分指标数据曲线;窗格5为配置参数区,设置各项测试参数及开启测试^[20]。

自动化测试系统

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 数据(D) 窗口(W) 帮助(H) 系统(S)

最近文件(PFD) 存储文件(ew)

打开文件: C:\Program Files\Automation Test System\Automation Test System.exe

保存文件: C:\Program Files\Automation Test System\Automation Test System.exe

扫描(SN号) 型号 测试频率 极化器 高频功率 空载 复制 高频上传 测试打印(Print)

通道测试结果

快速测试 ON/Off 转换 校准性 NG

配置 校准文件 电流初检 单通道测试 开始测试 停止

在线操作 分槽打印 输出功率 温度 S11 S22 噪声

其中自动测试软件涉及的关键技术在于配置参数与测试选项人性化设置。内部设置所需参数会导致测试的不够人性化,常常由于测试项的细微更改导致修改程序,而开发代码给测试人员又不能直观更改,耽搁生产进度。因此本软件采用了配置定义的方式,测试人员只需调用原先定义好的配置,细微修改后进行配置即可进行所需项目测试,该技术既体现了测试软件的人性化设置,又能实现修改测试项的灵活切换,大大提高了测试切换的稳定性和可持续性;其次是大数据分析过程中不合格频点、指标参数等信息实时定位直观显示。由于测试过程中,未达标的模块指标项,需返工定位查找原因,涉及测试数据的查询分析,耗时较大。因此本软件

采用了测试频点、参数等信息实时合格比对方式，通过测试人员自行在判据参数设置中输入判据值，测试软件会根据实测数据逐一比较，并于数据统计窗口显示出最大或最小的频点值，以及红绿灯直观显示该测试项是否合格，提高了测试结果分析效率。

4 系统验证

基于多通道微波模块自动测试系统的工作原理和各组成部分的硬件集成、软件功能设计要求,根据涉及的多通道微波模块的测试指标项如表3所示,对测试系统进行了柔性化集成,以满足各类型的多通道微波模块通用化测试需求。

表 3 微波模块测试项与仪器

测试项目	主要测试用仪器	测试分类
发射输出功率、发射增益、带内平坦度、输出功率同频多通道一致性、发射相位突变、发射相位同频多通道一致性耗等	矢量网络分析仪、电源等	发射参数测试
接收增益、带内平坦度、1 dB 压缩点、接收动态控制、相位控制精度、接收相位突变、接收相位同频多通道一致性、衰减控制精度、接收增益突变、接收增益同频多通道一致性、输入输出驻波等	矢量网络分析仪、噪声分析仪、电源等	接收参数测试
收发谐波杂波、交调、沿时间、转换时间、总功耗等	频谱分析仪、示波器、信号源、电源等	公共参数测试

由此构建多通道微波模块快插式自动测试系统组成主要包含：自动化设备、测试仪器、测试附件和工控机测试软件。

采用该自动测试系统对四种类型的多通道微波模块进行测试验证，涵盖了 S 波段、X 波段、Ku 波段、Ka 波段以判定是否满足多通道快插式测试场景的使用需求。

1) 对自动测试系统的测试软件进行设置操作，载入某型某频段的多通道模块的相关测试项目、测试条件含频段、激励功率等信息，以及测试系统对应的仪器的通信地址、控制特殊功能等信息，设置的配置界面如图 9 所示。



图 9 测试配置界面图

导入参数后，为确保多通道模块测试结果的准确性，需对自动测试系统配套测试仪器进行通道链路校准。针对测试系统涉及的 S 参数、噪声、交调、频谱等测试功能在对应微波模块的测试带宽、测试激励等条件下需进行逐项校准，耗时较长，因此基于自动软校准方式攻克了多通道切换校准难点，简化了多通道的校准流程。

2) 测试仪器设置校准后，对自动测试系统控制的自动化设备进行功能设置，并按照测试系统的测试流程方式执行。点击开始测试后，会根据所选型号微波模块从初始通道开始进行测试，自动切换完成全通道全指标测试，各通道测试结果会依次显示在界面上，红灯为不通过，绿灯为通过；系统主界面会显示各测试项、测试指标详细结果，以及关键指标的图形化显示，如图 10 所示。

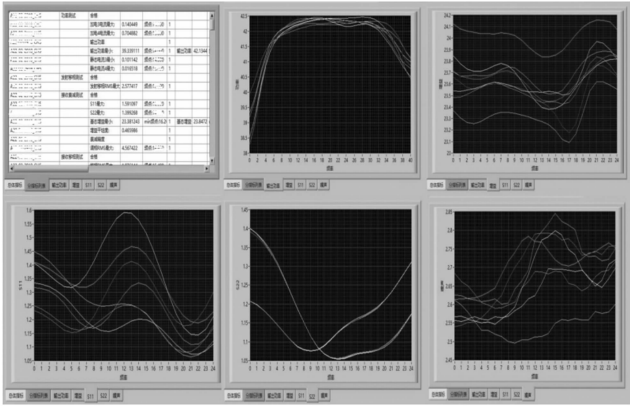


图 10 测试结果显示界面

由于部分测试指标判断涉及全通道数据处理，当只有这些指标出现不通过时，系统会对全通道指标处理判断，最终结果以系统主界面右上角指示灯为准。如通过，则将再次回到检测状态，如不通过，则进入复测环节。测试完毕后再次发送测试结果至工控机，机械臂会将产品取走放入下料托盘中，至此一轮测试结束。

3) 测试结束后，系统会将测试结果上传至工控机，当有通道测试指标不通过时，为确保测试结果不受测试工装自动插拔稳定性因素所影响，会发送复测指令至工控机，此时测试台装载夹具会在松开后再次夹紧，测试程序自动进行新一轮测试，以复测为最终结果，如图 11 所示。



图 11 测试结果复测示意图

为延长测试治具使用寿命和避免插拔引入新的问题指标,复测设置两种形式,第一种形式为不插拔复测,第二种形式为重新插拔测试,由系统分析测试数据的偏移情况触发自动选择复测形式。同时对自动测试系统的测试结果与人工测试结果进行精度对比,以确认系统误差是否符合微波模块测试精度要求。经 S 波段、X 波段、Ku 波段、Ka 波段共 4 种不同类型的多通道微波模块的测试验证,具体指标项情况为如表 4 所示。

表 4 自动测试系统射频指标项范围及精度

测试指标	范围及精度	实测范围及精度	符合度
工作频段	50 MHz~40 GHz	50 MHz~40 GHz	符合
耐功率	≤平均 5 W	≤平均 5 W	符合
幅度准确度	≤±0.1 dB	≤±0.08 dB	符合
相位准确度	≤±1°	≤±1°	符合
电压驻波比准确度	≤±0.1	≤±0.05	符合
噪声系数准确度	≤±0.1 dB	≤±0.08 dB	符合
功率准确度	≤±0.1 dB	≤±0.05 dB	符合
谐波波准确度	≤±0.5 dB	≤±0.5 dB	符合

通过验证结果表明该快插式自动测试系统可以按照设计的测试流程完成多种类型的多通道微波模块自动切换的全参数测试,以满足多通道微波模块一次插拔、一键自动测试、数据可追溯等层面需求,且自动测试误差满足微波模块测试精度要求。相比常规单通道测试系统无法高效完成多通道测试的局限性,该系统可柔性化应用各种类型多通道微波模块测试场景。

5 结束语

本文针对多通道微波模块的高效高稳定测试需求,设计了一种多通道快插式自动测试系统,并详细介绍了其工作原理,对组成的自动化设备、测试硬件、测试软件进行详细的设计与实现。本文对该自动测试系统进行了验证,结果表明该自动测试系统设计可通过软件工具下发控制指令给自动化设备与测试系统协作完成取料、测试、放料等动作,按照多通道测试流程,配合测试仪器与矩阵开关的组合关系完成多通道模块全参数切换测试任务。解决多通道微波模块存在的测试效率低、测试质量稳定性差、测试数据可追溯性低等问题,实现了多通道微波模块一次插拔、一键测试、数据可追溯等层面的需求,大幅度提高了测试效率和测试质量,具有很好的工程应用价值。

参考文献:

[1] 郑宏斌. 微波超宽带多通道接收模块自动测试系统设计与实现 [J]. 电子技术与软件工程, 2020 (10): 117-120.
[2] 刘俊杰, 李富国, 魏德宝, 等. 微波模块自动测试系统研制 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (18): 162-168.

[3] 钱 佩, 邓 彬. 通用微波组合自动测试系统的设计与实现 [J]. 舰载电子对抗, 2019, 42 (5): 113-116.
[4] 白海斌, 孙玉伟. 微波设备自动测试系统设计 [J]. 软件, 2021, 42 (8): 129-131.
[5] ZENG Z J, ZHU X F, QI S J, et al. Method of top-level design for automated test systems [J]. 2018 3rd International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering, 2018: 202-205.
[6] 俞利国, 倪赫男, 张 鑫, 等. 基于 FPGA 的便携式射频前端测控系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2025, 44 (1): 62-72.
[7] 许明明, 刘 畅, 侯其坤. 有源相控阵雷达 TRM 高功率微波在线测试系统 [J]. 安全与电磁兼容, 2023 (2): 30-37.
[8] 尚建波, 展 利. 一种射频滤波模块自动测试系统的设计与实现 [J]. 电子质量, 2019 (3): 61-64.
[9] 徐天琪, 杜 磊, 张殿龙. 基于虚拟仪器技术的 77 GHz 毫米波雷达目标运动参数模拟校准装置 [J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (8): 118-125.
[10] 雷 彬. 某型米波极化收发组件的设计与研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2016: 10-25.
[11] 祝军生, 胡顺平, 李明军, 等. 微波开关自动测试系统 [J]. 工控机测量与控制, 2024, 32 (5): 31-37.
[12] 张 雨, 王 钢, 裴君妍. 多通道切换式阵列一致性测试系统设计 [J]. 电子测量技术, 2020, 43 (8): 169-174.
[13] 王金萍. 集成电路工程化测试方法研究 [J]. 电子与封装, 2020, 20 (1): 11-13.
[14] 周 辉. 微波激励变频模块集成测试系统设计 [J]. 微波学报, 2020, 36 (1): 398-400.
[15] 俞利国, 张 强, 蒋 鹏. T/R 组件测试系统的波控技术研究 [J]. 现代信息科技, 2019, 3 (16): 46-47.
[16] 丁 旭. 基于 C# 语言与数据库的微波自动测试系统设计 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
[17] TIAN Y, TIAN Z, ZHAO J, et al. Wave height field extraction from first-order Doppler spectra of a dual-frequency wide-beam high-frequency surface wave radar [J]. IEEE Transactions on Geoenvironment and Remote Sensing, 2020, 58 (2): 1017-1029.
[18] 李 林, 刘永芳. 基于 mTCA 平台的射频前端板性能测试与研究 [J]. 电子测量技术, 2022, 45 (5): 163-168.
[19] 薛 松. 电动汽车热系统协同管理试验平台开发与研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
[20] 华枝发, 张 兰, 岳显昌, 等. 高频地波雷达无线数据传输系统设计 [J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (1): 151-158.
[21] 史泽民, 高旭东, 王耀利, 等. 射频 MEMS 开关寿命测试系统的设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2023, 46 (9): 42-47.