

# 基于 STM32 的模块化雷达接口测试仪设计

李明睿, 韩丙同, 王奎, 刘海顺, 吴磊

(北京无线电测量研究所, 北京 100854)

**摘要:** 装备保障过程中, 故障信号电压检测是快速故障定位的手段; 雷达产品组合面板一般预留故障信号电压测试接口, 某些组合测试信号繁多, 不便于用户辨别故障位置, 故提出了一种基于 STM32 的模块化接口测试仪的设计方案, 介绍了该设备的工作原理、硬件组成及软件实现; 设备有人机交互界面, 对某型号雷达车内组合可实现一次连接自动采集 17 路电压信号并显示的功能, 同时对相应故障解决方案做出弹窗提示, 方便用户对设备进行维修维护; 可用于其他电压测试, 具有通用性、体积小、重量轻、方便携带等优点。

**关键词:** 模块化; 接口; 电压检测; 弹窗提示; 便携

## Design of Modular Radar Interface Tester Based on STM32

LI Mingrui, HAN Bingtong, WANG Kui, LIU Haishun, WU Lei

(Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100854, China)

**Abstract:** In the process of equipment support, it is an effective means for fault signal voltage detection to quickly locate faults. It generally reserves the test interface of fault signal voltages in the combination panel of radar products. There are too many test signals in certain combinations, which makes it difficult for users to locate faults. This paper presents a modular interface testing design scheme based on STM32, and introduces its working principle, hardware components, and software implementation. The device has a human-computer interaction interface, and can realize the automatically collecting and displaying seventeen voltage signals for a certain type of radar vehicle combination, with a corresponding fault solution to make a pop-up prompt, it is convenient for users to repair and maintain the equipment. It can be used for other voltage tests. It has the advantages of versatility, small size, light weight, and convenient to carry.

**Keywords:** modular; interface; voltage test; pop-up prompt; portable

## 0 引言

装备保障是指: “军队为所配备的武器装备顺利进行各种任务而采取的各项保证措施与进行的相应组织指挥活动的统称<sup>[1]</sup>。”可见, 装备保障是为部队作战服务的, 是保证部队顺利执行任务而对装备进行的维护、维修活动。随着当前信息化战争的发展, 对装备保障时效性的要求越来越高, 装备的可靠性, 维修及时性对战争走势极为重要。

传统保障模式为装备制造商派出技术人员对装备进行伴随式保障, 随着强军目标的推进, 武器装备也在快速发展, 列装速度也在加快, 但厂商技术人员有限, 保障时效性差, 装备故障不能快速地定位并得到有效解决。智能化保障设备能对装备进行快速检测, 可通过图文版或电子视频版故障排查手册等信息化手段给出维修方案, 改变传统保障模式, 指导用户自行解决一些故障, 减少对装备制造商的依赖, 提高问题定位和处理的速度。

雷达指用无线电的方法发现目标并测定它们的空间位置<sup>[2]</sup>, 是现代战争模式下不可或缺的重要装备。一部雷达系统由发射机、接收机、信号处理等不同功能的各种组合搭建而成, 各组合一般在面板留有故障检测接口, 接口测

试点大多是电压信号, 故障电压信号是各组合上报故障信息的基准, 是设备维护使用的重要测试指标; 关键信号的测试是快速故障定位的重要手段, 巡检巡修过程中需对检测接口中关键信号进行测试, 可确定设备运行状态或者进行故障定位。

目前雷达保障过程中对接口电压信号测试常用的设备, 主要使用万用表测试。以某型号雷达为例, 组合面板接口点位多、间距小, 检测接口如图 1 所示。使用万用表转接细插针逐点测试, 需要操作者认真查阅图纸, 熟悉电气接口定义, 且稍有不慎容易短路产生次生故障或出现漏测、误测现象, 容错率较低。随着装备向小型化发展, 组合内部结构紧凑, 电路复杂, 发射机类组合产品内含有高压单元, 测试电压值超差后用户不知该如何操作排除故障<sup>[3]</sup>。

国外对地面保障装备模块化设计起步较早, 俄罗斯在此方面已有很大进展<sup>[4]</sup>。20 世纪 80 年代, 美军也提出了装备保障力量模块化的思想, 并开展大规模应用, 极大地提高了保障能力<sup>[5]</sup>。

因此, 为落实装备与保障资源的“系列化、通用化、模块化”和“信息化、数字化”等保障设计准则, 设计了

收稿日期: 2023-12-08; 修回日期: 2024-01-16。

作者简介: 李明睿(1988-), 男, 大学本科。

引用格式: 李明睿, 韩丙同, 王奎, 等. 基于 STM32 的模块化雷达接口测试仪设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(6): 334-339.

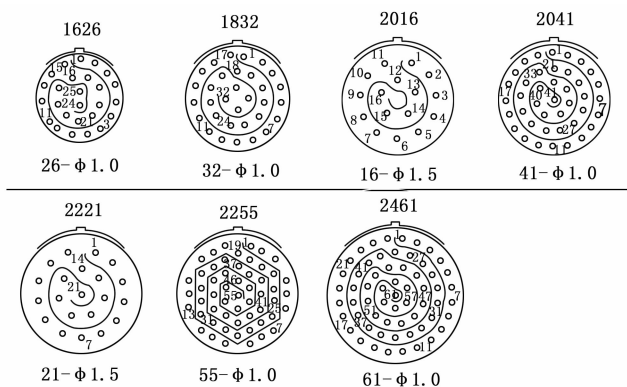


图 1 Y11 系列连接器检测接口

一款便携式模块化接口测试仪, 用于对组合面板检测接口关键电压信号测试, 便于外场作业人员或用户对组合工作状态进行快速检测, 对出现的故障通过图文给出直观排故方案, 可提高外场保障的便捷性, 安全性, 可靠性<sup>[6]</sup>, 增强雷达装备战备值班效能。

## 1 系统组成及原理

### 1.1 系统组成

模块化接口测试仪具有模块化和便携性特点, 体积和重量有严格限制<sup>[7]</sup>, 基于实际使用中的测试需求, 确保测试覆盖性的同时, 将一体化和自动化测试的设计思路融入测试系统的设计中<sup>[8]</sup>, 从而提升测试效率和测试质量<sup>[9]</sup>; 为适应外场使用环境需求, 结构设计可靠, 方便携带; 还可融入自主研发的模块化发射机保障设备中进行组网使用。主要由触摸显示屏、微处理器、电压采集模块、信号测量矩阵、电源模块、对外测试接口、通信及供电接口、配套测试电缆以及测试软件等组成。除测试电缆外均集成在测试设备主机内, 主机外壳采用铝制金属一体式铣削加工成型。系统组成如图 2 所示。

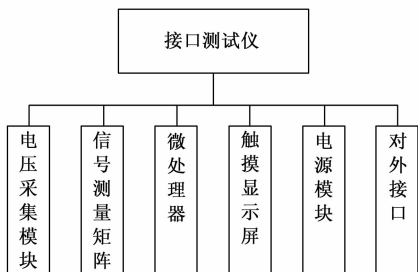


图 2 模块化接口测试仪系统组成框图

### 1.2 系统工作原理

接口测试仪以微处理器为控制核心, 通过测试软件运行控制, 完成电压采集, 人机交互等功能, 实现接口电压测试。

测试时通过转接电缆连接被测组合前面板预留接口, 接口测试仪开机, 选择对应组合测试界面, 微处理器根据封装好的测试程序控制测量矩阵切换选通通道, 电压采集模块实时进行电压采集, 微处理器对采集到数据进行预处理后送到触摸屏进行显示, 如有数据超差可标红显示, 操

作人员通过“排故方法”按钮查看图文解决方案。测试流畅, 可实现接口内监测电压的一键测试。

测试仪有两种供电方式: 内部锂电池供电和外部交流 220 V 供电。

## 2 硬件设计

### 2.1 控制电路

目前市场主流控制芯片主要为 FPGA、STM32 单片机等。FPGA 是可编程门阵列, 它的逻辑门、时序等都有开发者自己编程, 是通过硬件描述语言在 FPGA 芯片上自定义集成电路的过程, 自由度高, 理论上可以配置成任何需要的处理器。但是开发难度高, 门槛也比较高, 电路结构相对复杂, 对数电模电的要求比微处理器更高, 花费时间长, 成本高。

与之对比 STM32 单片机开发工具比较齐全, 开发资料比较丰富, 基本不需要外部的硬件扩展, 且价格低廉<sup>[10]</sup>, 因此选用 STM32F103C8T6 为系统的处理器。基于 STM32 单片机的最小系统外观小巧轻便, 可提升系统的便携性。STM32F103C8T6 在 ARM 基础上将 Cortex-M3 作为数据内核, 其内部集成了 64 k 字节的 Flash 和 20 k 字节的 SRAM, 可以满足程序存储需求。典型工作电压为 2.0~3.3 V 和 72 MHz 的工作频率<sup>[11]</sup>。不仅如此, 该单片机外设十分全面, 拥有强大的功能, 具有 37 个增强型通用 I/O 端口; 3 个 USART 接口<sup>[12]</sup>, 可完成与计量芯片、触摸屏串口通信。微处理器主要功能是将触摸屏通过串口发送的触控指令进行分析, 选择相应测试程序, 通过 IO 口控制测量矩阵选择测试通道, 将测量模块采集的数据进行处理和运算, 并通过串口发送给触摸屏显示实现人机交互。

### 2.2 信号测量矩阵设计

经对该型号固态发射机, 真空管发射机及电源, 方位功放组合, 俯仰功放组合, 伺服控制组合面板接口故障电压信号进行梳理, 需测电压值如表 1 所示。

表 1 各组合测试点数量统计

直流电压	固态发射机	电源组合	真空管发射机	功放组合	功放组合	伺服控制组合
1.6 V		1				
3 V		1				
5 V	1	1				2
-5 V	1					
8 V			1			
10 V	12			2		
12 V		1	1			
-12 V		1				
15 V	1			1		1
-15 V				1		1
28 V				1	5	5
65 V (AC)					1	
GND	1	1	1	1	3	1
合计	15	5	2	5	6	9

由表 1 可见固态发射机需测 15 路直流电压；真空管发射机电源需测 5 路直流电压；真空管发射机需测 2 路直流电压；功放组合 X1 需测 5 路直流电压；功放组合 X2 有 3 组地，1 路交流电压，伺服控制组合有 9 路直流电压。采用继电器复用进行切换设计实现通道选择<sup>[13]</sup>。

欧姆龙公司生产的 G6K-2P-Y-3VDC 型继电器是一种双刀双掷开关，耐压值为 AC750 V，线圈电压为 3.3 V，额定电流 33 mA，开关部额定电流 1 A，导通电阻小于 100 mΩ，关断电阻大于 1 000 MΩ，封装尺寸（长×宽×高）为 10 mm×6.5 mm×5 mm，可满足测试及结构需求<sup>[14]</sup>，因此选用 12 支 G6K-2P-Y-3VDC 型继电器进行复用设计，最多可实现 17 路电压轮流测试，信号测量矩阵电路如图 3 所示。

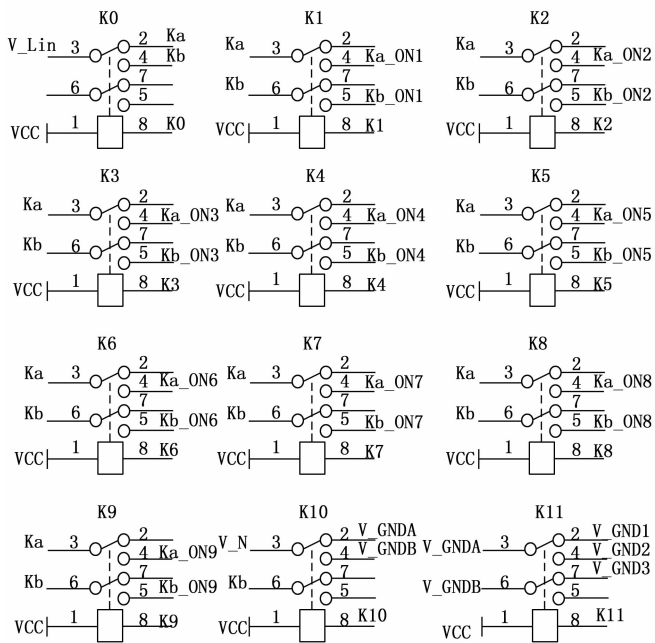


图 3 信号测量矩阵电路

STM32 微处理器通用 I/O 口最大可提高 20 mA 电流，不足以推动继电器使能端，因此还需增加两个继电器驱动芯片，选择达林顿管驱动器 ULN2803。ULN2803 是高耐压，大电流达林顿阵列，由 8 个 NPN 达林顿管组成，所有单元共用发射极，每个单元采用开集电极输出，每一对达林顿管都串联一个 2.7 kΩ 的基极电阻，直接兼容 TTL 和 CMOS 电路，可以直接处理原先需要标准逻辑缓冲器来处理的数据。ULN2803 工作电压高，工作电流大，灌电流可达 500 mA，能够在关态时承受 50 V 的电压，输出还可以在高负载电流下并行运行，内置钳位二极管适应感性负载，可驱动继电器通断进行通道选择。

### 2.3 电压采集电路设计

STM32 微处理器的 ADC 输入电压只能是正电平，且电压值在 0~3.3 V 之间，由表 1 可知测试电压大多大于 3.3 V，且存在交流电压，需要设计复杂的转换电路进行转换才可以进行数据采集。一个系统中所使用的元器件越多、电路结构越复杂，则系统的出问题的概率越大，可靠性与

稳定性越差。因此考虑使用电压采集模块进行数据采集，在选择电压采集模块的时候，希望电压采集模块内部集成功能单元越多越好，这样就能简化系统设计，增加系统的可靠性及稳定性。

IM1266 计量模块是一款单相交流自适应电能计量模块，单个模块可实现采集单相交流、直流电参数，包括电压、电流、功率因数（仅交流）、频率（仅交流）、电能、温度等多个电参量，信息全，测量精度高，采用 DL/T645-2007 或 Modbus-RTU 通信规约，电能数据掉电保护，交直流自适应测量，可测量线路中交流或直流电参数，电量存储空间大，电量存满后翻转重新开始计量，模块集成度高，体积小可方便集成嵌入到测量系统中。电压量程：0~380 V AC/DC，可通过 Uart TTL 通讯接口与微处理器进行数据交互<sup>[15]</sup>。根据所测电压特性选择 IM1266 计量模块进行测试可满足需求。IM1266 计量模块为浮地应用，推荐使用隔离应用电路，采用低成本数字隔离芯片 π121U31，该芯片通信速率 150 kbps，传输速度更快，超低功耗：0.55 mA/通道（150 kbps 时），满足蓄电池供电场景，节省电量。电压采集电路如图 4 所示。

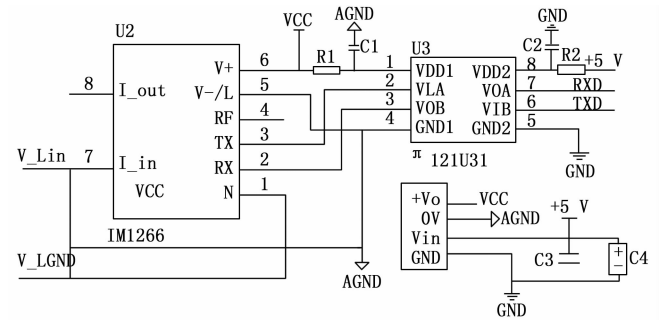


图 4 电压采集电路

### 2.4 人机交互模块设计

人机交互模块主要用来显示设备运行情况，测试值显示，图文版故障排查手册以及与用户的交互等。目前国内串口触摸屏发展迅速，有武汉中显科技、北京迪文科技、广州大彩科技等技术成熟厂家，不同厂家产品有不同的开发流程。从成本和开发效率及难易程度角度考虑，测试仪选用迪文 7 英寸高分 COF 超薄智能一体化触摸液晶串口屏型号为：DMG10600F070\_01WTCZ02。传统显示屏显示界面单调，迪文触摸屏内置 T5L2 芯片<sup>[16]</sup>，显示界面可自由编辑，工作电压为 5 V，通信接口方式主要有 RS232、RS485 和 CMOS 共 3 种，通信接口电路为 UART。使用迪文公司配套 DGUS-V7624 软件可轻松实现二次开发，根据实际需求将显示图片预置在存储器中，相应坐标点位设计触控按键和显示控件，设置对应变量地址，实现触控与显示设置，上手快，操作简便。

### 2.5 供电设计

为使该接口测试仪携带、使用方便，采用便于充电的锂电池进行供电，输出电压为 5 V，充电接口选用 Type-C

接口, 通用性、适应性强。配备电池管理系统, 具有过流保护、过载保护、过冲保护等功能, 还可以防止电池过功率放电。由于空间限制, 选用容量为 10 000 mAh 锂电池。本测试仪中的显示控制电路需要 5 V 供电电压, 信号测量矩阵电路、电压采集电路、控制电路为 3.3 V 的供电电压, 因此需要增加电压转换芯片将电压转换为 3.3 V, 以此实现整个电路的稳定供电<sup>[17]</sup>。

电压转换电路如图 5 所示, 电压转换芯片选用 AMS1117, AMS1117 芯片耗能非常低, 这款稳压器内部集成了由二极管、采样电阻、分压电阻等元器件组成的硬件电路, 具有防止过压、过温、过放、短路的保护功能, 而且拥有延时安全供电的功能, 温度适应性为 -40~125 °C, 输出电压为 3.267~3.333 V。综上 AMS1117 芯片可满足测试仪对稳压器的要求。

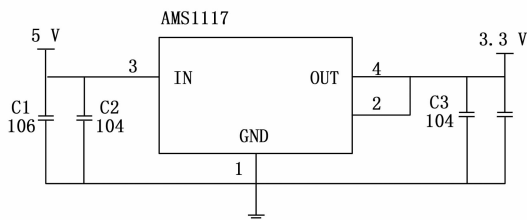


图 5 电压转换电路图

## 2.6 接口设计

测试电缆选用与各组合对应 Y11P-2255TJ2 型、Y11X-2041TJ2 型、Y11X-1626TJ2 型连接器, 可实现快速准确连接。为了防止与测试端电缆的误插, 测试电缆接口测试仪端选用 J18B-25S 型连接器进行区分。接口测试仪测试接口选用 J18B-25P 型连接器。

供电及对外通信接口采用 Type-C 型连接器, 该型接口可不用配备充电适配器, 普通安卓手机充电器即可实现外部供电。用一根 USB-Type-C 充电线实现与自研模块化保障设备组网测试通信。

## 3 系统软件设计

该接口测试仪软件主要包括触摸屏处理软件和微处理器控制软件<sup>[18]</sup>。

### 3.1 触摸屏处理软件设计

触摸屏处理软件主要功能是选择测试功能, 显示测试界面以及出现故障后弹出快速解决方案提示等人机交互功能。触摸屏显示软件流程如图 6 所示。

人机交互界面基本要求是操作简单、方便, 信息直观。首先, 需要准备素材文件, 主要包括图片、图标及字库等, 素材文件的命名需用数字开头, 每张图片或图标名称数字应不同, 显示界面美化好后通过 DGUS 软件生成背景图片库、图标库, 需要将触控功能或显示功能控件添加在相应界面上, 然后在显示界面上根据显示屏内置芯片存储规则将触控指令及显示地址进行预置。将配置好的文件通过 DGUS 软件生成触控文件、变量文件和变量初始化

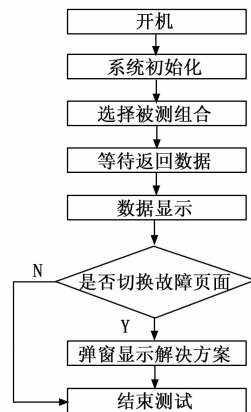


图 6 触摸屏显示软件流程图

文件。

图库文件、配置文件可通过 SD 卡或串口两种方式下载到触摸屏中。通过串口实现与 STM32 微处理器信息交互<sup>[19]</sup>。串口数据采用 8n1 格式, 即每个数据传送采用 10 个位: 1 个起始位, 8 个数据位, 1 个停止位, 采用高字节先传送方式。数据帧架构由 4 个数据块组成, 如表 2 所示。

表 2 迪文屏通信数据帧结构表

数据块	1	2	3	4	5
定义	帧头	数据长度	指令	数据	指令和数据的 CRC 校验(可选)
长度	2	1	1	最大 249 字节	2
说明	固定为 0x5AA5	指令、数据、校验的字节数	0x82 写 0x83 读		CRC-16(x16+x15+x2+1)

### 3.2 STM32 微处理器处理程序设计

微处理器程序通过 Arduino IDE 软件进行编写, Arduino IDE 是多种不同的开源软件和自由软件包的集合, 在 Microsoft Windows、Apple Mac OS 或 Linux 计算机上都可以运行, 可覆盖很大的人群。Arduino 语言基于 wiring 语言开发, 是对 avr-gcc 库的二次封装, 不需要了解太多的单片机寄存器等, 编程语言简单灵活, 适用于初学者。

STM32 微处理器软件主要完成通过串口 1 接收触摸屏发送的串口指令, 对收到的指令进行解析选择对应测试程序, 控制信号测量矩阵选择测试通道, 通过串口 2 读取计量模块测试数据, 对数据处理并判断是否符合要求, 将对应显示指令回送至触摸屏, 测试值若不符合要求进行标红显示, 弹出“排故方法”按键, 点击“排故方法”按键跳转至图文排故提示界面。软件将测试程序模块化封装, 可直接调用, 方便后期开发<sup>[20]</sup>。微处理器软件程序流程如图 7 所示。

#### 3.2.1 计量模块数据读取程序设计

计量模块 IM1266 寄存器数据通信遵循 Modbus 规约, Modbus 协议是在一根通讯线上采用主从应答的通讯连接方式<sup>[21]</sup>。通讯数据由发送设备(主机)发送至接收设备(从

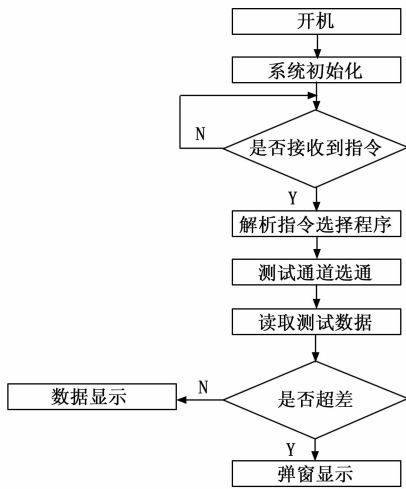


图 7 微处理器软件程序流程图

机)时,对应地址码的接收设备接收到命令后根据功能数据位定义读取信息,CRC 校验无误后执行相应的任务,然后把执行结果(数据)回送至发送设备。每个接收设备地址码唯一,只有地址码正确的接收设备才能完成通信。Modbus 协议只能发送设备和接收设备通讯,接收设备之间不可以进行通信,因此各接收设备不会在初始化时占据通讯线路,只能响应到达本机的查询信号<sup>[22]</sup>。

IM1266 计量模块的上传的数据格式为每个字节包含 1 个起始位、8 个数据位、奇校验或偶校验或无校验、1 个或 2 个停止位。数据帧的结构如表 3 所示。

表 3 计量模块数据帧格式

设备地址	功能代码	数据段	CRC16 校验码
1 个 byte	1 个 byte	N 个 byte	2 个 byte(低字节在前)

设备地址是由一个字节组成,每个终端设备的地址必须是唯一的,仅被寻址到的终端会响应相应的查询。设备地址更改后需改变检验码,可使用配套资料包中 CRC 校验计算工具直接得出。

接口测试仪只需读取计量模块测得电压数值,因此功能代码设置为 03H(读取一个或多个寄存器的值),通讯报文设置为:0x01 0x03 0x00 0x48 0x00 0x02 0x44 0x1d。STM32 微处理器读取计量模块返回数值的第四至第七位即所测电压值。

### 3.2.2 测试通道选择程序设计

STM32 微处理器根据测试界面指令选择调用测试子程序,通过 I/O 口高低电平变化依次控制测试通道打开与关闭。将选通通道进行模块化封装设计,可直接调用,程序简洁明了。

## 4 实验结果与分析

该接口测试仪体积小,外形尺寸(长×宽×高)为:235 mm×130 mm×44 mm;重量轻,仅为 1.2 kg,方便出

差携带。为适应雷达车使用环境需求,模块化接口测试仪按照《GJB1032A-2020 电子产品环境应力筛选方法》要求,进行了相关温度试验和振动试验。温度范围为-20~+70℃,低温保持 1 h,高温保持 1 h,循环 10 次;振动试验为寻找缺陷振动和无故障振动,在温度循环前后各 5 min,该测试仪性能稳定,设计可靠。

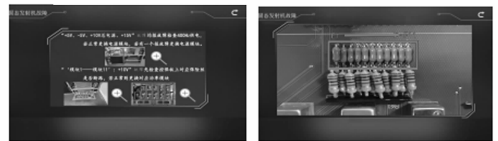
模块化接口测试仪已随某型号雷达车在高原、戈壁、沿海等实战环境下开展实际应用,使用效果如图 8 所示。



(a) 设备整体外观



(b) 数据超差提醒



(c) 排故方法提示与故障部位放大图

图 8 接口测试仪使用效果

在野外不具备 220 V 市电的情况下,测试仪由内部锂电池供电,进行接口电压测试,系统开机测试时间超过 4 小时仍能正常工作,系统稳定可靠。只需选择对应组合的测试电缆快速对接口面板接口,仪器开机,选择对应测试界面,实现故障电压信号自动采集,单人即可完成测试,测试效率相对传统人工测试提高 98% 以上,准确度 100%。可随时查看图文版排故手册,有效提升战时装备保障效率。与万用表(FLUKE 15B)测试结果对比如表 4 所示。

由表 4 可见,该测试仪测试精度与标准仪器相当,可灵敏检测出故障点位,满足面板接口电压测试功能。

综上,该设备达到预期效果,满足测试要求,性能良好,可替代通用仪器进行测试。

## 5 结束语

该接口测试仪以 STM32F103 微处理器作为主控制器,利用 IM1266 进行电压的采集,把采集的数据通过串口发送给 STM32 微处理器,结合迪文触摸屏实现对电压的实时采集和实时显示,STM32 微处理器稳定可靠低价,迪文屏开发快速,拓展简单,界面直观,结合两者的优点可以很好地帮助用户实时监控雷达各组合监测电压的波动,提早发现

表 4 组合电压检测对比表

V

	测试点位 分别对地	接口测试 仪测试值	FLUKE 15B 测试值	误差
固态 发射机	Xa:1	-5.10	-5.09	0.01
	Xa:4	10.90	10.91	0.01
	Xa:5	10.90	10.90	0
	Xa:6	10.90	10.90	0
	Xa:7	10.90	10.90	0
	Xa:8	10.90	10.90	0
	Xa:9	10.90	10.91	0.01
	Xa:10	10.90	10.91	0.01
	Xa:11	10.90	10.90	0
	Xa:12	10.90	10.90	0
	Xa:13	10.90	10.90	0
	Xa:14	10.90	10.91	0.01
	Xa:16	15.0	15.01	0.01
	真空管 发射机	Xb:1	12.0	11.99
Xb:2		8.10	8.10	0
真空管 发射机电源	Xc:1	4.90	4.90	0
	Xc:2	12.00	11.99	-0.01
	Xc:3	-12.00	-12.01	-0.01
	Xc:5	1.60	1.60	0
	Xc:7	3.03	3.03	0
功放 组合 X1	Xd:1	15.00	15.00	0
	Xd:2	15.00	15.01	0.01
	Xd:4	1.30	1.31	0.01
	Xd:6	0	0.01	0.01
	Xd:18	15.00	15.01	0.01
功放 组合 X2	Xd:1	28.00	28.01	0.01
	Xd:3	1.00	1.00	0
	Xd:10	0	0	0
	Xd:11	27.80	27.81	0.01
	Xd:15	27.80	27.81	0.01
	Xd:25	64.80	64.80	0
伺服控制	Xe:3	5.00	4.99	-0.01
	Xe:5	5.00	4.98	-0.02
	Xe:6	15.00	15.01	0.01
	Xe:7	-15.00	-15.01	0.01
	Xe:9	28.00	28.02	0.02
	Xe:50	0	0	0
	Xe:51	0	0	0
	Xe:52	0	0	0
Xe:53	0	0	0	

异常,防患于未然。测试程序进行了模块化封装,适用面广,可根据接口定义进行快速拓展。

经过实际使用,该测试仪满足设计及使用需求,成本低廉,可靠性良好,可显著提高接口电压测试效率,提升用户排故能力,适合应用的场景广泛,效果理想。

#### 参考文献:

[1] 唐琳,黄猛,孙煜飞. 第十六届全国信号和智能信息处理

与应用学术会议论文集 [C] //第十六届全国信号和智能信息处理与应用学术会议, 2022: 199-202.

- [2] 王泉祥,党同心,赵拥军. 现代雷达的特点及测试系统的发展方向 [J]. 空间电子技术, 2005 (2): 19-23.
- [3] 房莉,陈湘平,伍良坤. 基于 PXI 的某型设备接口测试系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2011 (8): 48-54.
- [4] 胡涛,吕瑞强,王双川. 航空地面保障装备模块化设计 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2016, 30 (5): 36-39.
- [5] SMITH J D. A proposed modular distribution unit [J]. Army Logistician, 2006, 38 (2): 26-28.
- [6] 邵怀宗,袁祥荆,吴颖,等. 小型化通信电台综合测试系统的设计研究 [J]. 兵工学报, 2009 (10): 1389-1395.
- [7] 庄会慧,杨志,戴润峰,等. 卫星地面电缆便携式测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (7): 19-23.
- [8] 张振山,张春林,高子恒,等. 基于 PXI 总线的装甲车辆武器测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 528-530.
- [9] 魏路明,余世刚,邹笑校,等. 基于 STM32 和小波自适应滤波算法的生理参数监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (2): 76-82.
- [10] 季力. 基于 STM32 芯片的电参数测量与数据传输 [J]. 自动化与仪器仪表, 2010 (3): 137-139.
- [11] 张卫星,张桂香,谭成午. 基于 STM32 的环境多点监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3141-3164.
- [12] 梁明远,陈强,张崇琪,等. 基于 STM32 的声波式地下管道探测仪的设计与实现 [J]. 制造业自动化, 2022 (10): 29-33.
- [13] 张鸿基,王荣刚,张文宏. 基于 CAN 总线的矿用智能继电器板卡系统设计 [J]. 煤矿机电, 2008 (2): 19-21.
- [14] 乔新锋,穆平安,戴曙光,等. 基于腐蚀电阻挂片的多通道测量系统的设计 [J]. 电子测量技术, 2015 (6): 125-129.
- [15] 许德成,林阳,李骅芮. 基于 FPGA 的电能参数测量实验设计 [J]. 吉林师范大学学报 (自然科学版), 2022 (3): 70-71.
- [16] 杨大奎,曹川川,谭修彦. 基于迪文 DGUS 屏在 PM2.5 自动换膜采样器中的应用研究 [J]. 山东工业技术, 2016 (22): 15-16.
- [17] 刘辉,范良忠,刘鹰. 基于 STM32 的溶氧监测仪设计 [J]. 渔业现代化, 2016 (2): 28-32.
- [18] 时智勇,谢平,刘剑峰,等. 基于微控制器的便携式白蛋白与尿素检测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (7): 852-854.
- [19] 姚建真,迪文 DGUS 与 Modbus 协议的基本应用 [J]. 电子技术应用, 2013, 39 (1): 8-9.
- [20] 何显. 基于 STM32F407 的单相电参数测量仪 [J]. 成都大学学报 (自然科学版), 2013 (4): 386-388.
- [21] 母才莘. 基于 ModBusRTU 协议的 MCGS 应用系统与单片机通信设计 [J]. 自动化应用, 2017 (7): 49-51.
- [22] 陆敏,李振海,艾木拉江. Modbus 通信协议在电量采集系统中的应用 [J]. 水利水文自动化, 2004 (1): 26-29.