HTOOL STB R1

信号完整性测试板

Signal Integrity Test Board R1

产 品 说 明 书

版本 V1.0 | 2026 年 4 月

目录

1. 产品概述
2. 包装清单
3. 技术规格
4. 功能模块详解（4.1–4.7）
5. 注意事项

一、产品概述

HTOOL STB R1（HTOOL Signal Integrity Test Board R1，信号完整性测试板第一版）是一款面向高频硬件工程师、射频工程师、SI/PI 仿真工程师以及高校电子实验室的信号完整性教学与验证平台。

本产品将信号完整性测试的核心基础功能集成于一块独立的 PCB 上，聚焦于传输线效应研究和 VNA 测量实践，降低入门门槛，帮助用户快速上手高频 PCB 的 S 参数测量、阻抗分析与信号质量评估。

核心功能一览

☑	功能	说明
☑	**板载 VNA 校准套件**	集成 SOL（Short-Open-Load）三端口，无需额外购买校准件

☑	**5 种传输线拓扑**	单端带状线、长/短分支线、紧/松蛇形线，全面覆盖 SI 典型结构
☑	**分支线效应研究**	一板对比长/短分支线对信号传输的频域影响
☑	**蛇形走线串扰分析**	等长不等距，直观量化布线间距对信号质量的影响
☑	**平面天线测试**	集成的 PCB 天线结构，可用于 EMI/EMC 及天线匹配研究

本板采用 **4 层板 + 受控阻抗设计**，所有信号端口均为 **SMA 母座（边缘安装型）**，可直接连接矢量网络分析仪（VNA）、频谱仪、示波器等标准射频测试设备 。

二、包装清单

序号	物品	数量	备注
1	HTOOL STB R1 主板	1 块	已焊接 SMA 连接器及 50Ω 端接电阻
2	防静电真空包装袋	1 个	银色屏蔽袋
3	干燥剂	1 包	—

三、技术规格

项目	参数
产品型号	HTOOL STB R1
PCB 层数	4 层
PCB 材质	FR-4（TG ≥ 150℃）
PCB 板厚	1.6 mm
表面处理	ENIG（沉金）
端口特性阻抗	50Ω（单端，受控阻抗设计）
阻抗精度	50Ω ±10%
连接器	SMA 母座，边缘安装，镀金触点
板卡尺寸	约 50mm × 50mm

四、功能模块详解

4.1 板载 SOL 校准套件

本板集成了完整的 **SOL（Short-Open-Load）单端口校准**所需的三组 SMA 端口，用于 VNA 使用前的校准，消除电缆、连接器带来的系统误差 。

校准端口	板载丝印	内部结构	Smith 圆图位置
50Ω 负载	LOAD	精密 50Ω 电阻端接到地	圆心（Γ ≈ 0）
开路	OPEN	SMA 中心针悬空	最右端（Γ ≈ +1）
短路	SHORT	SMA 中心针直连地层	最左端（Γ ≈ -1）

4.2 单端带状线（基准传输线）

项目	说明
板载丝印	PASS
结构	标准 50Ω 受控阻抗单端带状线
SMA 端口	2 个（输入 / 输出）
用途	作为**基准参考线**，与其他拓扑进行对比

4.3 带长分支线的带状线（Long Stub）

项目	说明

板载丝印	LONG STUB
结构	50Ω 主传输线 + 较长分支桩线
SMA 端口	2 个

陷波频率：f ≈ c/(4·L·√εr_eff)。分支线越长 → 陷波频率越低。

4.4 带短分支线的带状线（Short Stub）

项目	说明
板载丝印	SHORT STUB
结构	50Ω 主传输线 + 较短分支桩线
SMA 端口	2 个

📊 **核心实验**：将长/短分支线的 S21 叠图对比——"分支线越短，陷波频率越高"。

4.5 紧蛇形走线（Tight Meander）

板载丝印 **TIGHT MEANDER**，1 个 SMA 端口（未端接 50Ω 电阻），总长度与松蛇形线等长。紧密走线间存在更大的近端串扰（NEXT），S21 插损更大。

4.6 松蛇形走线（Loose Meander）

板载丝印 **LOOSE MEANDER**，1 个 SMA 端口。与紧蛇形线**等长**但**间距更大**，串扰更小。

对比维度	紧蛇形	松蛇形	结论
总延迟	≈ 相同	≈ 相同	等长等延迟
S21 插损	较大	较小	间距大 → 串扰小
S11 回损	较差	较好	紧耦合 → 阻抗偏离
PCB 面积	小	大	面积 vs 信号质量的权衡

4.7 简单平面天线（Simple Planar Antenna）

项目	说明
板载丝印	ANTENNA
结构	PCB 铜箔平面天线
SMA 端口	1 个

板上丝印 4 GHz 为原参考设计叠构下的天线设计频率；因本批 PCB 的板厂叠层结构与原设计存在差异，实测谐振频率偏移至约 3.85 GHz，具体以实测 S11 为准。

可用 S11 扫频找谐振频率、评估带宽、检视 Smith 圆图阻抗匹配。测量时天线区域应远离金属和人体。

五、注意事项

5.1 静电防护（ESD）

- 操作前触摸接地金属放电，建议佩戴防静电手环
- 勿用手触摸 SMA 中心针

5.2 SMA 操作规范

操作	☑ 正确	✖ 错误
旋入	对准螺纹，手指轻旋	强行拧入
紧固	扭矩扳手 0.8~1.1 N·m	扳手暴力拧死
拔出	完全松开后轴向拔出	斜向/晃动拔出

5.3 存储与保养

- 不使用时放入防静电袋密封保存，加干燥剂
- 存放于常温干燥环境，避免 SMA 连接器氧化