

环路测试分析软件快速入门

ZDS3000/4000/ZDS5000/ZUS6000 系列示波器 UM01010101 1.07 Date:2024/5/11

类别	内容
关键词	环路测试、FRA
摘要	本文主要介绍ZDS3000/ZDS4000/ZDS5000/ZUS6000系列示波器中环路测试分析软件快速入门。

修订历史

版本	日期	原因
V1.00	2018/03/05	完成修改
V1.01	2018/05/15	同步功能的修改
V1.02	2019/02/21	更新文档页眉页脚、“销售与服务网络”内容和新增“免责声明”内容
V1.03	2023/12/7	更新文档页眉页脚、ZDS5000 环路测试内容

目 录

1. 简介.....	1
1.1 概述.....	1
1.2 文档中的内容约定.....	2
2. 快速入门.....	3
2.1 简介.....	3
2.2 环路测试信号的接线.....	3
2.2.1 环路功能的同步环路测试时注意事项.....	3
2.2.2 环路测试的接线方式（同步测试）.....	3
2.3 同步扫频的具体使用步骤.....	6
2.3.1 信号的接入与捕获.....	6
2.3.2 参数设置.....	6
2.3.3 报表导出.....	11
3. 免责声明.....	13

1. 简介

1.1 概述

致远仪器 ZDS3000/4000/ZDS5000/ZUS6000 系列示波器支持环路测试分析软件。相对于几十万的专业环路分析仪器，ZDS3000/4000/ZDS5000/ZUS6000 系列内嵌的环路测试分析软件不仅有完善的环路测试方法和精准的测量精度，并且对测试操作和用户体验进行了创新性地设计。

在开关电源、运放反馈网络中，环路分析可以测量系统的增益、相位随频率变化的曲线(伯德图)，分析系统的增益余量与相位余量，以判定系统的稳定性；在被动器件的阻抗分析中，环路分析可以观察电容、电感的高频阻抗曲线，测量电容 ESR 等。

环路分析的测试原理主要是给开关电源电路注入一个频率变化的正弦信号，测量开关电源在频域上的特性，通过分析增益余量和相位余量来判断环路是否稳定，可以为电子工程师设计稳定的控制电路提供直观的数据。环路分析的测量方式可以大大减少环路稳定性的验证周期，而且具备直观的波形曲线图显示，方便观察和分析。

该分析软件具有独特设计的波形显示和快捷操作的界面，具有多种显示方式和测量方式，软件扫频测试结果显示界面如图 1.1 所示，软件单点测试结果显示界面如图 1.2 所示：

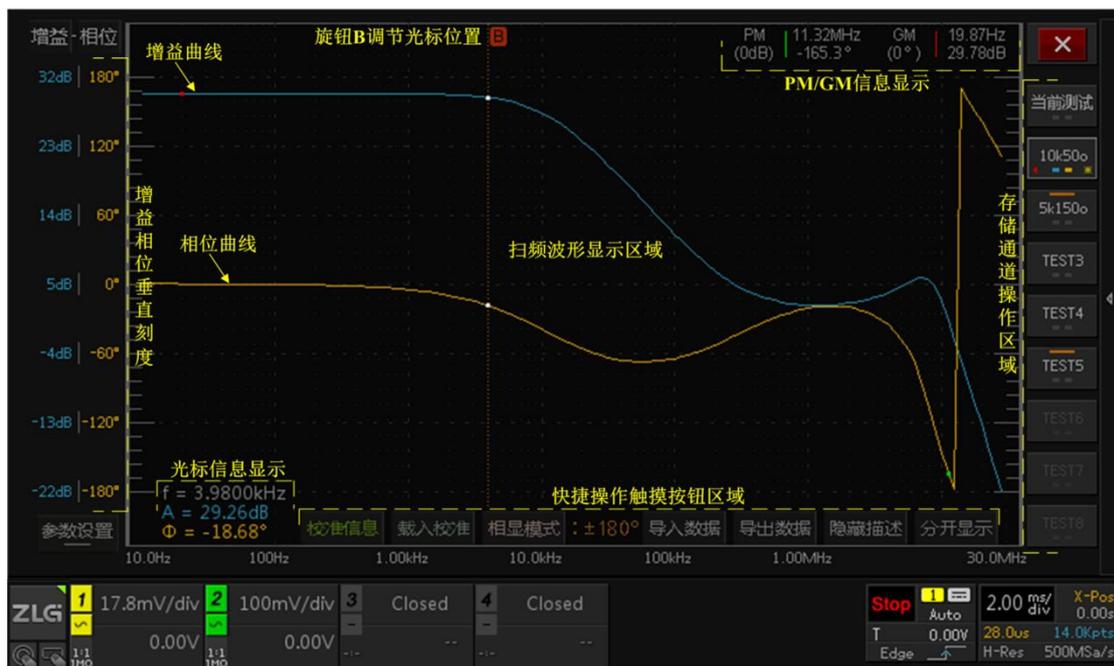


图 1.1 环路测试扫频界面

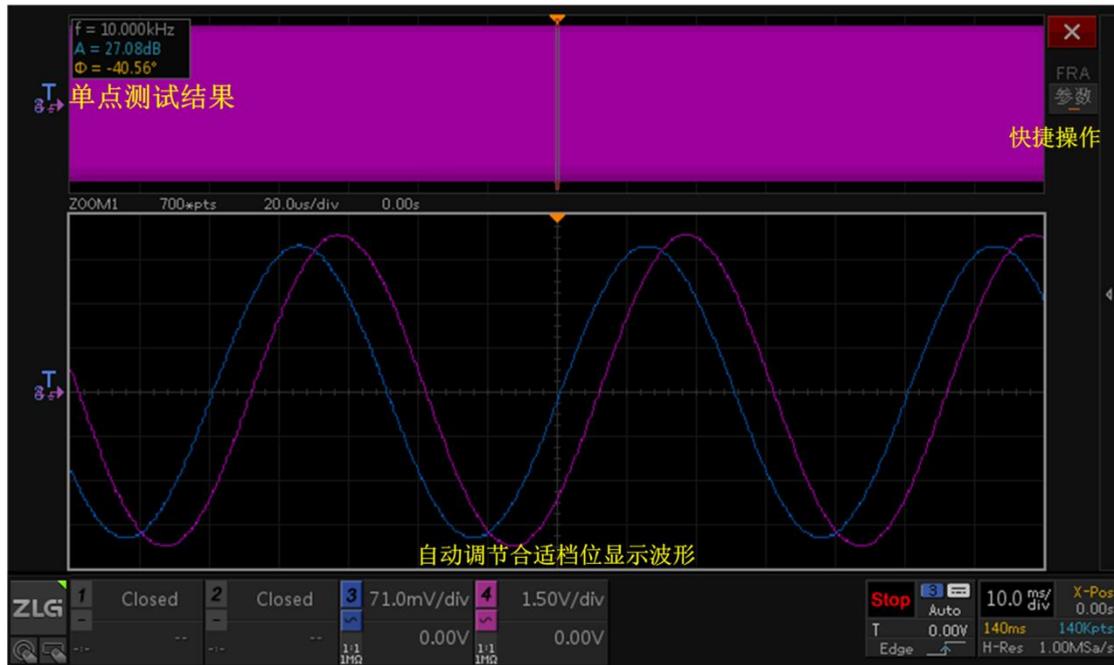


图 1.2 环路测试单点界面

主要特点

- 支持扫频测试模式和单点测试模式
- 支持多种测量选项：增益-相位（FRA）、阻抗-相位、幅值-相位、THD-相位
- 支持扫频曲线的合并显示和分开显示
- 支持扫频曲线的档位可调、偏移可调，可设置曲线的显示隐藏
- 支持正向和反向放大器，相位范围可选 $[-180^{\circ}\sim 180^{\circ}]$ 和 $[-360^{\circ}\sim 0^{\circ}]$
- 支持开启硬件滤波，支持低通滤波和带通滤波
- 支持光标测量，自动 PM/GM 测量
- 支持相位校准，以及校准参数的导入导出
- 扫频模式的频率范围可选从 10Hz 到 30MHz
- 单点模式支持自动和手动方式
- 扫频模式的每种测量方式支持存储 8 个暂存波形，并且自动存储
- 所有存储波形支持重命名、设置描述信息、显示隐藏、相位校准、查看数据、指定存储通道波形数据的导入导出，清除指定存储通道波形的数据，同时可指定显示某个存储通道的波形或显示、隐藏所有存储通道波形
- 测试结果数据的导出，导出的数据类型支持 html 和 CSV
- 独特的环路界面显示，多种一键操作

1.2 文档中的内容约定

环路分析支持型号包括：ZDS3000、ZDS4000、ZDS5000、ZUS6000。除特别注明外，本手册的说明主要以 ZDS5000 说明为例。

2. 快速入门

2.1 简介

环路的测试方式分为扫频和单点。

- 扫频即输出和测试一段频率范围内的信号，生成这个范围内的频率与相位、增益/阻抗/幅值/THD 等的曲线图；
- 单点则是输出和测试单一频率的信号，在界面上的信息窗口会显示当前的频率、增益、相位差等测试信息。

本章节主要包括以下几点内容：

- 1) 环路测试信号的接线
- 2) 同步扫频的具体使用步骤

2.2 环路测试信号的接线

开关电源实际上是一个包含了负反馈控制环路的放大器，会放大交流信号并对负载变化作出反馈响应。为了完成控制环路响应测试，需要把一个误差信号（一定幅度和频率范围的扫频正弦波信号或单一频点正弦波信号）注入到控制环路的反馈路径中。这个反馈路径就是指 R1 和 R2 的电阻分压器网络。我们需要把一个阻值很小的注入电阻插入到反馈环路中，才能注入一个误差信号。例如下图 2.1 和图 2.3 所示的注入电阻为 5Ω ，注入电阻与 R1 和 R2 串联阻抗相比是微不足道的。所以，用户可以考虑把这个低阻值注入电阻器作为长久使用的测试器件。另外还需要使用一个隔离变压器来隔离这个交流干扰信号，从而不产生任何的直流偏置。

由于实际的注入和输出的电压一般都很小，因此信号注入端建议使用 BNC 头转夹子的线缆进行信号注入，并且使用 X1 的探头进行注入端和反馈端的信号测量。

2.2.1 环路功能的同步环路测试时注意事项

- 1) 使用 ZDS4000 示波器：

需要使用致远仪器环路测试配套的信号发生模块与 ZDS4000 示波器相连，通过示波器控制信号发生模块配合生成需要的频率信号。

- 2) 使用 ZDS5000 和 ZUS6000 示波器：

ZDS5000 和 ZUS6000 示波器内置信号发生器可直接生成需要的频率信号。

2.2.2 环路测试的接线方式（同步测试）

- 1) 使用 ZDS4000 示波器：

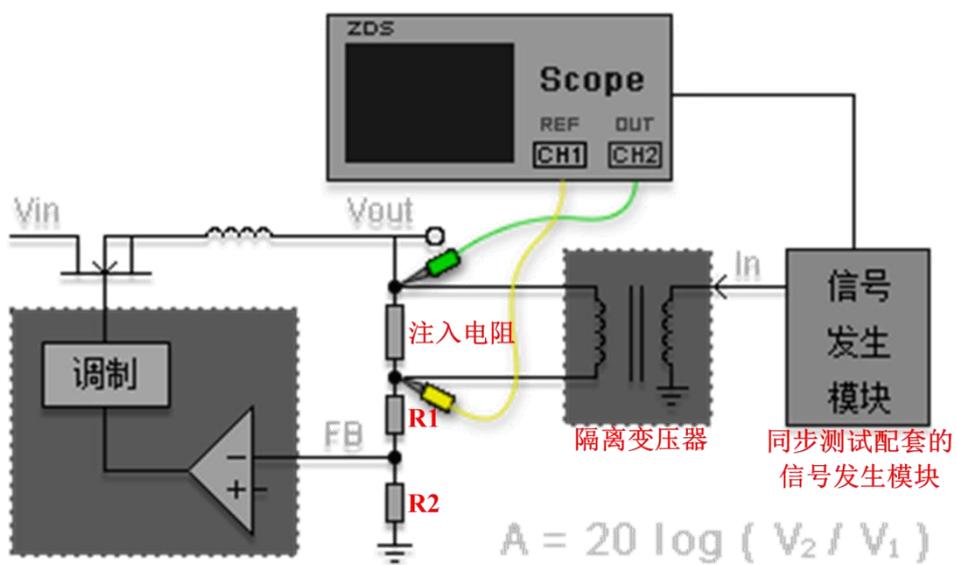


图 2.1 ZDS4000 环路测试信号接线（同步测试）

同步环路测试的实物连接图如下图 2.2 所示，该图中使得一根 BNC 线缆连接 ZDS4000 背部的触发输出端与信号发生模块，信号发生模块的输出再用 BNC 线缆连接到隔离变压器，隔离变压器的输出通过 BNC 转夹子的线缆，将信号注入到被测板的注入电阻两端，然后用两根衰减比为 X1 的探头，测量注入端与输出端的信号。



图 2.2 ZDS4000 同步测试实物连接

2) 使用 ZDS5000 和 ZUS6000 示波器:

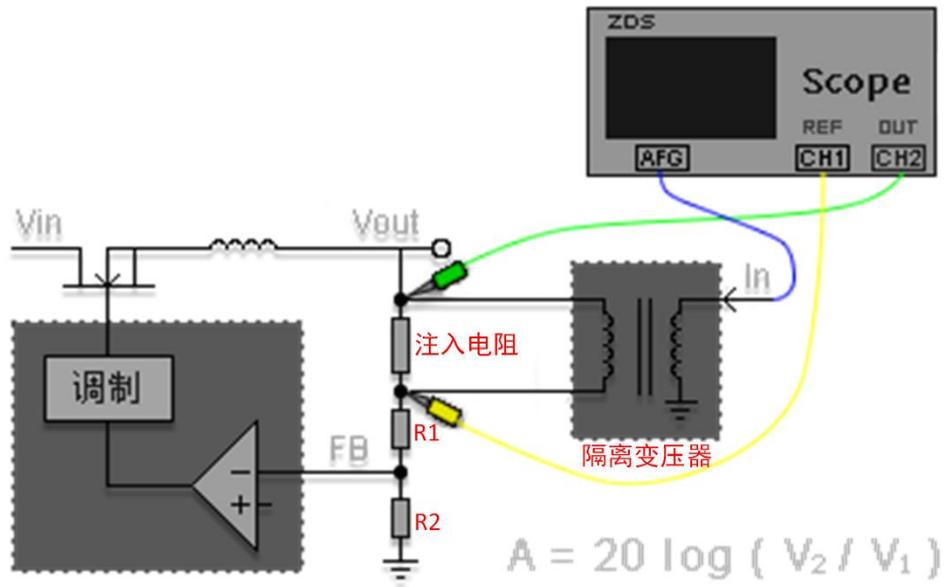


图 2.3 ZDS5000、ZUS6000 环路测试信号接线（同步测试）

同步环路测试的实物连接图如下图 2.4 所示，该图中使得一根 BNC 线缆连接 ZDS5000 信号发生器的信号输出端与隔离变压器，隔离变压器的输出通过 BNC 转夹子的线缆，将信号注入到被测板的注入电阻两端，然后用两根衰减比为 X1 的探头，测量注入端与输出端的信号。

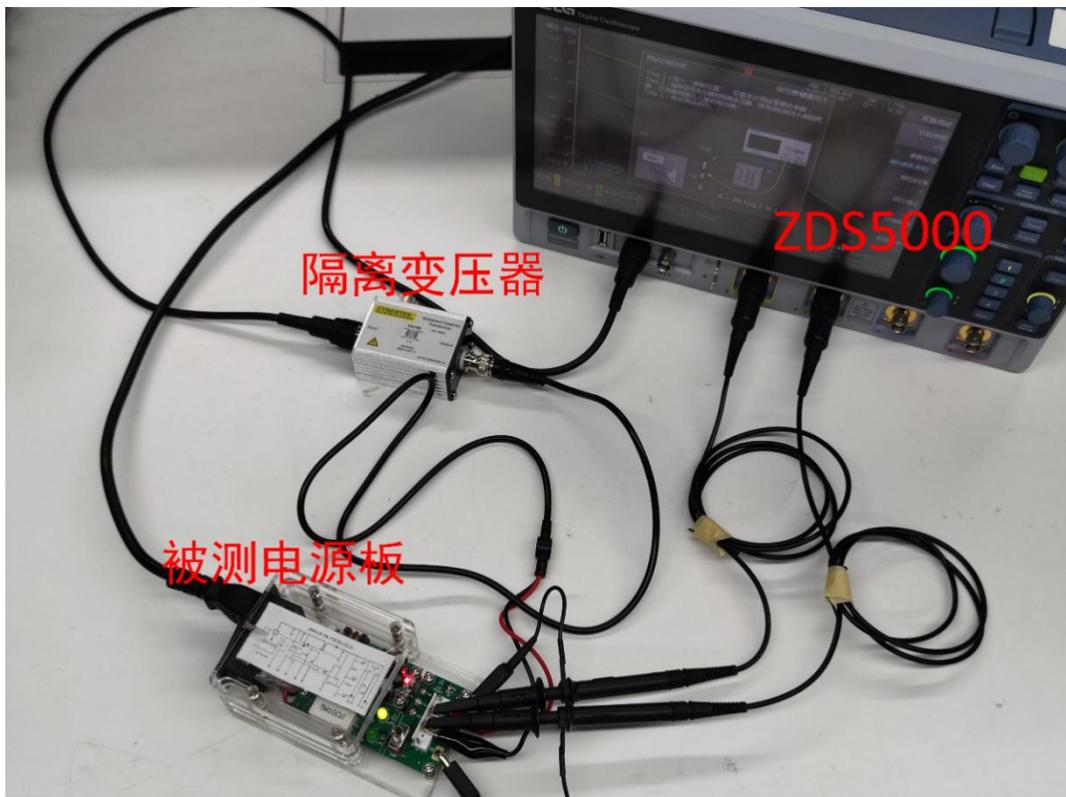


图 2.4 ZDS5000、ZUS6000 同步测试实物连接

2.3 同步扫频的具体使用步骤

同步方式扫频，就是示波器控制信号发生模块，产生需要的一段频率范围内的信号，输出到被测的开关电源电路的注入点，示波器测试注入端和输出端在不同频率下的相位差变化的曲线和增益变化的曲线。

2.3.1 信号的接入与捕获

根据上一节的环路测试的信号接法，将注入端与输出端的信号通过 X1 探头接入示波器，接入的两个通道可选择 CH1 和 CH2 中的任意两个，或 CH3 和 CH4 中的任意两个（这个限制为了得到更高的通道间的数据处理的精度）。

环路信号发生模块是专用于 ZDS3000/4000 的环路测试功能的同步测试配套组件，需要单独电源给模块供电，使用 BNC 线缆连接示波器的触发输出端口与信号发生模块的输入端口，环路测试功能就是利用触发输出端口与信号发生模块进行通信，设置模块输出指定频率和幅值的信号。

扫频测试的启动，可以通过点击菜单中的【运行停止】按钮来启动，也可以直接按面板上的【RUN/STOP】按键来启动扫频测试。

测试运行过程中，环路功能会根据设置的测试参数，以及注入端与输出端的信号幅值和频率，自动调节和设置示波器的垂直参数、水平参数、触发参数，以达到全自动的测试效果。

2.3.2 参数设置

- 进入参数设置界面：

- 1) ZDS3000/4000 系列示波器：

点击示波器面板上【Analyze】键，再点击【环路测试】按钮，进入环路测试功能菜单，如图 2.5 所示：



图 2.5 ZDS4000 进入环路测试菜单

- 2) ZDS5000 系列示波器：

点击示波器面板上【menu】键，再点击【环路测试】按钮，进入环路测试功能菜

单，如图 2.6 所示：



图 2.6 ZDS5000 进入环路测试菜单

3) ZUS6000 系列示波器：

点击示波器屏幕【分析】-【环路分析】，进入环路测试。

- 在环路测试菜单，切换【功能使能】为“ON”，即使能环路测试功能，这时菜单中禁能的按钮就会使能，同时会弹出功能操作说明窗口，按任意按键可以关闭说明窗口，如下图 2.7 所示：

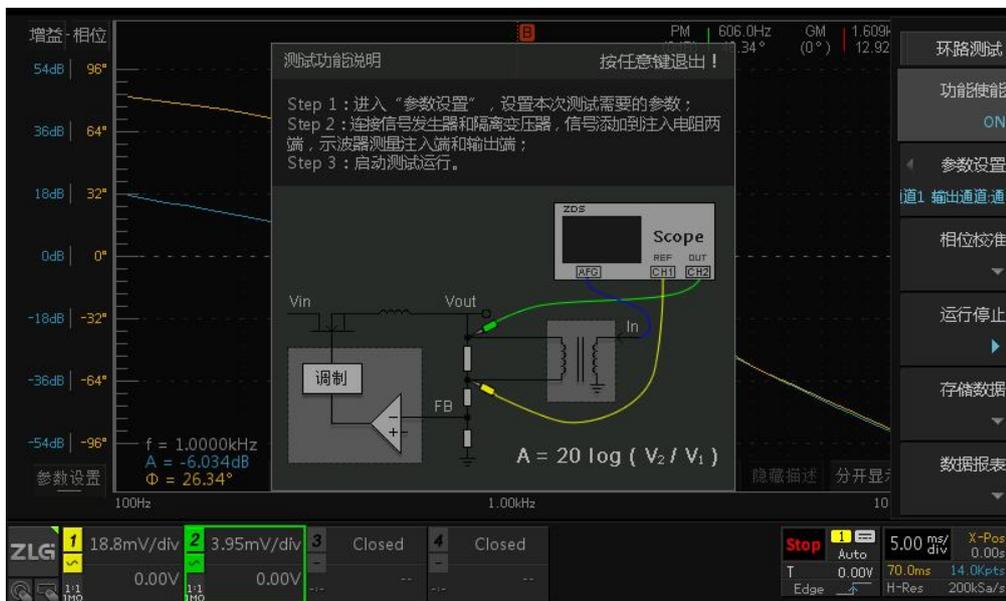


图 2.7 使能环路功能

- 按任意键关闭功能说明窗口后，如果当前环路功能没有相位校准参数，则会弹出提示框，提示“当前无相位校准参数，建议校准或导入！”。如果用户需要进行相位校准，文档在后面的章节（[章节：环路测试的相位校准](#)）中有详细说明如何操作。

如下图 2.8 所示：

当前无相位校准参数，建议校准或导入！

图 2.8 询问是否需要相位校准

➤ 点击【参数设置】按钮，会弹出参数设置窗口，旋转旋钮 A 可选择参数，短按旋钮 A 后可进行参数修改，其中包括【参数设置】、【滤波设置】和【同步设置】。如图 2.9 所示。

【参数设置】中，设置的【注入通道】为通道 1，【输出通道】为通道 2，【测量选项】为增益-相位，【测试模式】为扫频，【扫频范围】为 10Hz 到 10KHz。

【滤波设置】中，不使用低通滤波。

【同步设置】中，【十倍频点数】为 20（即对数下的十倍频范围有 20 个点，如 100Hz 到 1KHz），【输出电压】为 100mVpp（输出的电压峰峰值），【输出阻抗】为“1MΩ”（输出阻抗需要设置与被测开关电源的阻抗一致），【分段幅值】为 OFF（分段幅值即不同频率范围输出不同的幅值）。

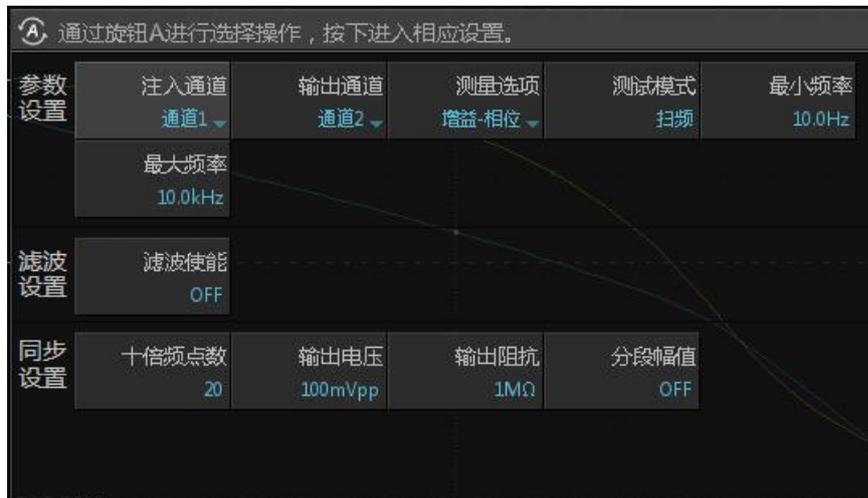


图 2.9 同步模式的参数设置

- 检测无误后，则可以启动环路功能的运行。环路功能的运行可以点击菜单的【运行停止】按钮，或者直接按示波器面板上的【RUN/STOP】按键；
- 测试启动后，界面会切换到环路扫频运行的界面，功能会根据当前采样到的频率、相位差、增益，不断地绘制出频率与相位、频率与增益的动态曲线，并且根据曲线的范围，自动调节显示的垂直刻度，如图 2.10 和图 2.11 所示：



图 2.10 扫频测试进行中 1

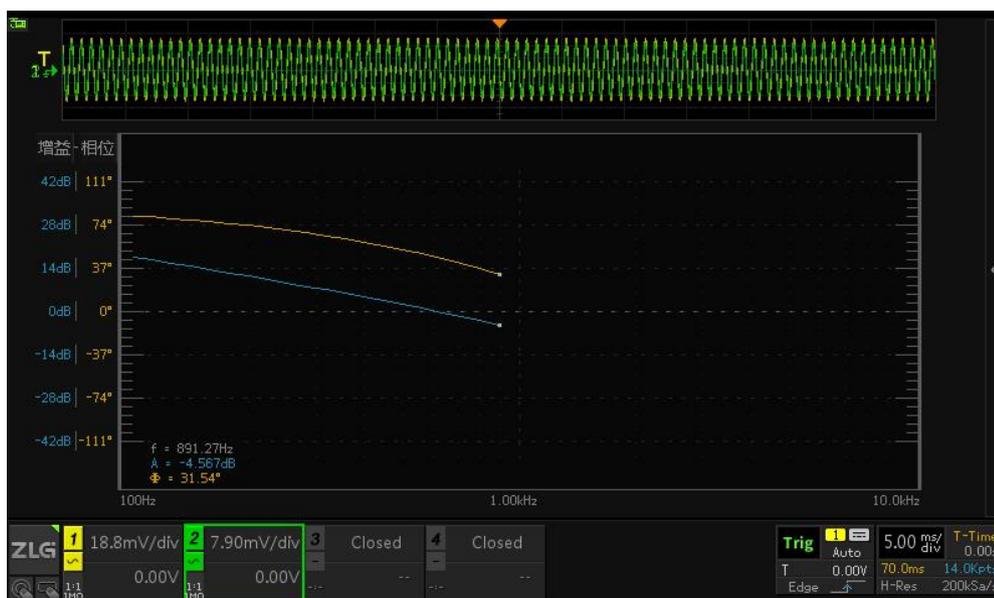


图 2.11 扫频测试进行中 2

- 环路扫频会根据当前波形频率来判断是否自动停止。用户也可以按【RUN/STOP】按键提前中止这次测试；
- 测试停止后，功能会询问是否需要保存这次的测试数据，可以保存到 8 个存储通道中的一个，方便后续的波形对比，选择“是”则会弹出 8 个存储通道的列表，旋转旋钮来选择存储到哪个通道，选择“否”则直接关闭弹框。如下图 2.12 所示：



图 2.12 选择保存通道

- 选择存储到某个存储通道后，在界面右侧的存储通道显示区域中会有相应地更新和显示，如下图 2.13 所示，这个是将当前轨迹存储到 TEST1 通道后的显示界面。存储通道的显示框上显示了当前通道的名称，是否显示隐藏，通道的增益曲线和相位曲线的波形颜色。旋转旋钮 A 可以选择哪个通道为操作通道，按下旋钮 A 可以设置当前操作通道的显示或隐藏；



图 2.13 存储通道的显示和操作区域

- 可以通过旋转旋钮 B 来查看当前测试轨迹的每一个测量频点的信息，在左下角的信息显示区域会显示当前频点、增益值、相位差，按下旋钮 B 可对当前位置的波形进行放大显示，如下图 2.14 所示；



图 2.14 旋钮 B 查看信息

- 再次进行测试的过程中，会保留上一次测试的波形显示，方便与上一次进行动态对比，显示上通过波形中的白色小方块来观察当前测试的进度，当前测试实际停止下来后，只有当前测试的波形曲线。如下图 2.15 所示



图 2.15 再次测试的运行过程

2.3.3 报表导出

当前测试的数据，以及 8 个存储通道的数据，都可以在【数据报表】菜单中，通过表格浏览所有的测试数据，以及对数据进行 html 和 csv 类型的报表导出。如下图 2.16 所示：

Index	Frequency	Gain	Phase
1	100.00Hz	17.48dB	82.30°
2	112.17Hz	16.56dB	80.84°
3	125.87Hz	15.58dB	79.41°
4	141.24Hz	14.57dB	77.95°
5	158.48Hz	13.54dB	76.35°
6	177.78Hz	12.51dB	74.66°
7	199.60Hz	11.46dB	72.79°
8	224.01Hz	10.39dB	70.81°
9	251.13Hz	9.300dB	68.66°
10	281.85Hz	8.189dB	66.31°
11	316.26Hz	7.059dB	63.75°
12	354.86Hz	5.902dB	60.98°
13	398.09Hz	4.730dB	58.01°
14	446.83Hz	3.535dB	54.84°
15	501.00Hz	2.300dB	51.41°

图 2.16 存储数据的报表显示

只有存储有数据的通道，才可被选择，从而进行导出操作。如下图 2.17 所示：



图 2.17 数据通道的选择

3. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远仪器有限公司（下称“致远仪器”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远仪器不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远仪器有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远仪器官方网站或者与致远仪器工作人员联系。感谢您的包容与支持！

赋能高效测试， 共创美好生活

Empower efficient testing, co-create a better life

广州致远仪器有限公司

更多详情请访问
www.zlgtmi.com

欢迎拨打全国服务热线
400-888-4005

