

类别	内容
关键词	环路测试、FRA
摘要	本文主要介绍ZDS3000/4000系列和ZDS5000系列示波器中环路测试分析软件使用，及其测试原理。

# 环路测试分析软件用户

ZDS3000/4000 和 ZDS5000 系列示波器

Technical Note

## 修订历史

版本	日期	原因
V1.00	2018/02/02	完成初稿
V1.01	2018/02/08	修改整体框架
V1.02	2018/02/26	再次修订
V1.03	2018/03/05	再次修订
V1.04	2018/05/14	同步功能的修改
V1.05	2019/03/13	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
V1.06	2023/01/03	增加 ZDS5000 环路测试内容、更新文档页眉页脚

### 目 录

1. 简介.....	1
2. 操作步骤.....	5
2.1 简介.....	5
2.2 环路测试信号的接线.....	5
2.2.1 环路功能的同步环路测试时注意事项.....	5
2.2.2 环路测试的接线方式（同步测试）.....	5
2.3 同步扫频的具体使用步骤.....	8
2.3.1 信号的接入与捕获.....	8
2.3.2 参数设置.....	8
2.3.3 报表导出.....	13
3. 环路测试的相位校准.....	15
3.1 相位校准的信号接入.....	15
3.2 相位校准的操作设置.....	15
3.3 相位校准的注意事项.....	17
4. 环路测试的详细设置.....	18
4.1 菜单设置.....	18
4.1.1 功能使能.....	18
4.1.2 参考设置.....	18
4.1.3 相位校准.....	19
4.1.4 运行停止.....	19
4.1.5 存储数据.....	19
4.1.6 数据报表.....	21
4.2 环路测试的界面操作.....	21
4.2.1 扫频曲线合并显示和分开显示.....	22
4.2.2 扫频曲线的显示隐藏.....	23
4.2.3 增益相位垂直刻度.....	24
4.2.4 垂直刻度的档位和偏移调节.....	25
4.2.5 水平频率对数坐标.....	26
4.2.6 扫频波形显示区域.....	26
4.2.7 PM/GM 信息显示.....	26
4.2.8 快捷操作触摸按钮区域.....	26
4.2.9 存储通道的信息显示和快捷操作.....	28
4.2.10 单点手动时滤波快捷调节窗口.....	29
4.3 ZDS3000/4000 系列示波器触发输出接口的使用.....	29
5. 免责声明.....	30

### 1. 简介

致远仪器 ZDS3000/4000 和 ZDS5000 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 系列和 ZDS5000 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：

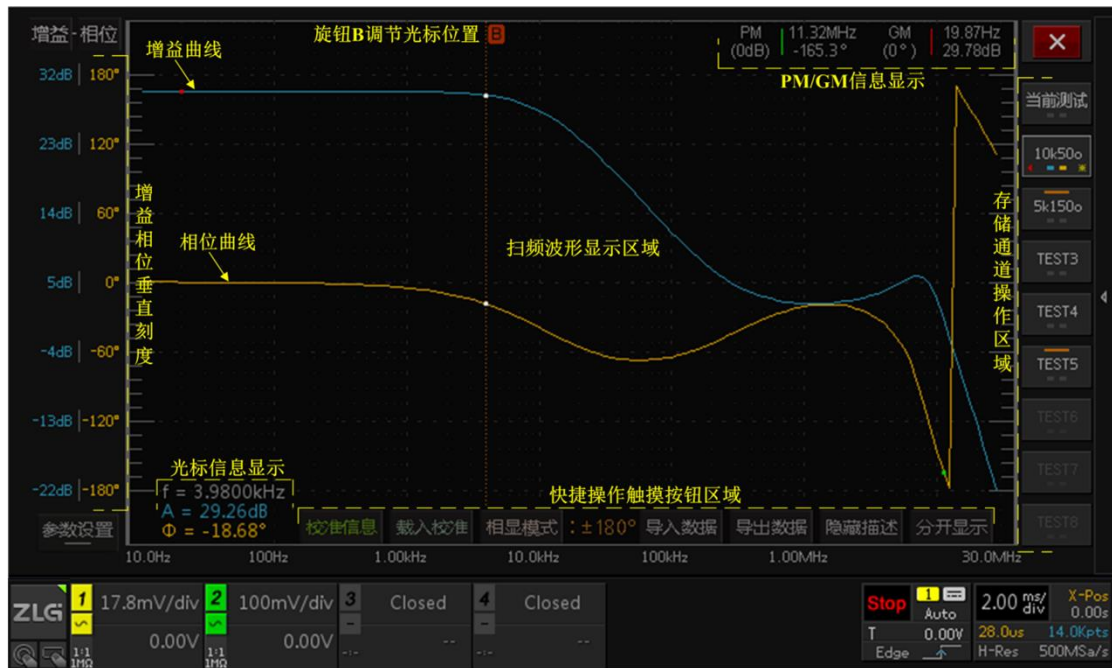


图 1.1 环路测试扫频界面

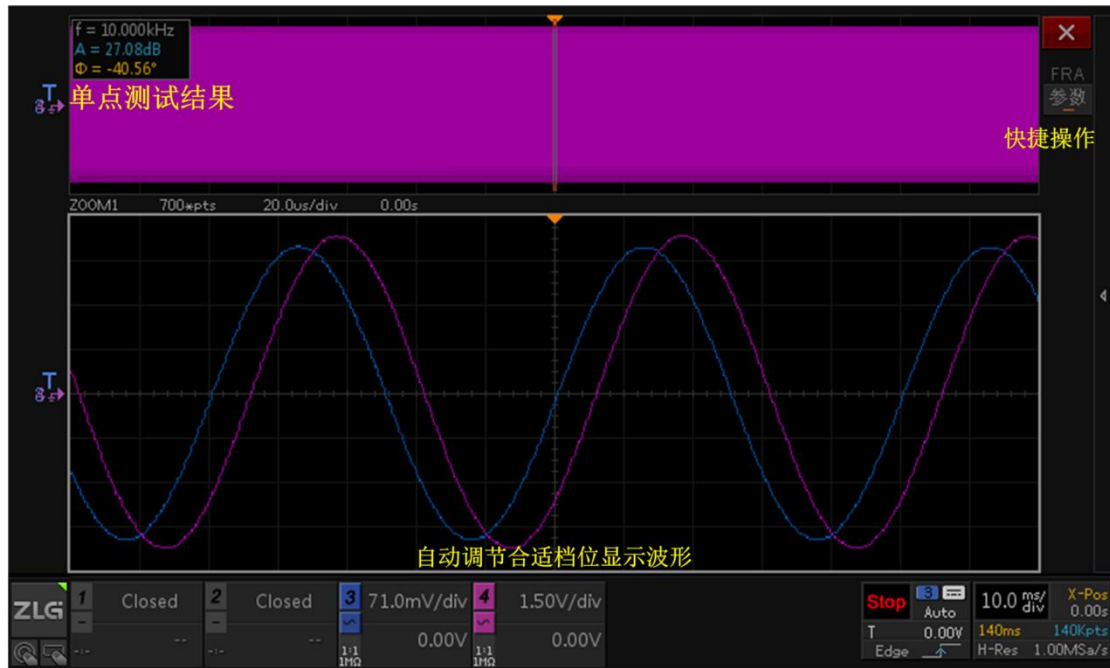


图 1.2 环路测试单点界面

### 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

### 数据报表

数据报表可直接导出，支持网页报表“html”和“CSV”两个数据格式，如图 1.3 所示为导出的 CSV 数据报表文件的截图示例。同时，该软件还支持波形原始数据文件的导出和导入。

	A	B	C	D	E
1	系统信息				
2		设备名称	ZDS4054 Plus		
3		设备厂商	广州致远		
4		通道1档位	1.00V/div		
5		通道2档位	Closed		
6		通道3档位	Closed		
7		通道4档位	Closed		
8		时基档位	1.00us/div		
9		采样率	4.00GSa/s		
10		采样时间	14.0us		
11		采样点数	56.0Kpts		
12	环路测试设置				
13		注入通道	通道1		
14		输出通道	通道2		
15		测量选项	增益-相位		
16		测试模式	扫频		
17		最小频率	10.0Hz		
18		最大频率	10.0kHz		
19		滤波使能	OFF		
20		十倍频点数	20		
21		输出电压	100mVpp		
22		输出阻抗	1M $\Omega$		
23		分段幅值	OFF		
24	环路测试信息				
25	数据通道	TEST1			
26	描述信息				
27		Index	Frequency	Gain	Phase
28		1	10.000Hz	36.14dB	98.32°
29		2	11.221Hz	36.84dB	97.96°
30		3	12.588Hz	35.77dB	96.23°
31		4	14.124Hz	34.69dB	92.99°
32		5	15.848Hz	33.95dB	93.72°
33		6	17.781Hz	32.69dB	92.40°
34		7	19.952Hz	31.78dB	90.15°
35		8	22.391Hz	30.73dB	89.60°
36		9	25.113Hz	29.61dB	89.15°
37		10	28.185Hz	28.63dB	89.31°
38		11	31.626Hz	27.59dB	89.46°
39		12	35.486Hz	26.71dB	89.61°
40		13	39.809Hz	25.76dB	88.98°
41		14	44.683Hz	24.87dB	88.36°
42		15	50.125Hz	23.85dB	87.78°
43		16	56.243Hz	22.83dB	87.27°
44		17	63.091Hz	21.79dB	86.76°
45		18	70.771Hz	20.76dB	86.24°

图 1.3 CSV 格式数据报表示例

环路测试分析软件支持同步测试，需要配合使用致远仪器环路测试信号发生模块，与 ZDS4000 示波器相连，示波器控制信号发生模块输出需要的信号，实现同步环路测试。信号发生模块如下图 1.4 所示；

ZDS5000 示波器内置信号发生器，不需要配合致远仪器环路测试信号发生模块使用。



图 1.4 信号发生模块

## 2. 操作步骤

### 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  $5\Omega$ ，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 示波器：

ZDS5000 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：



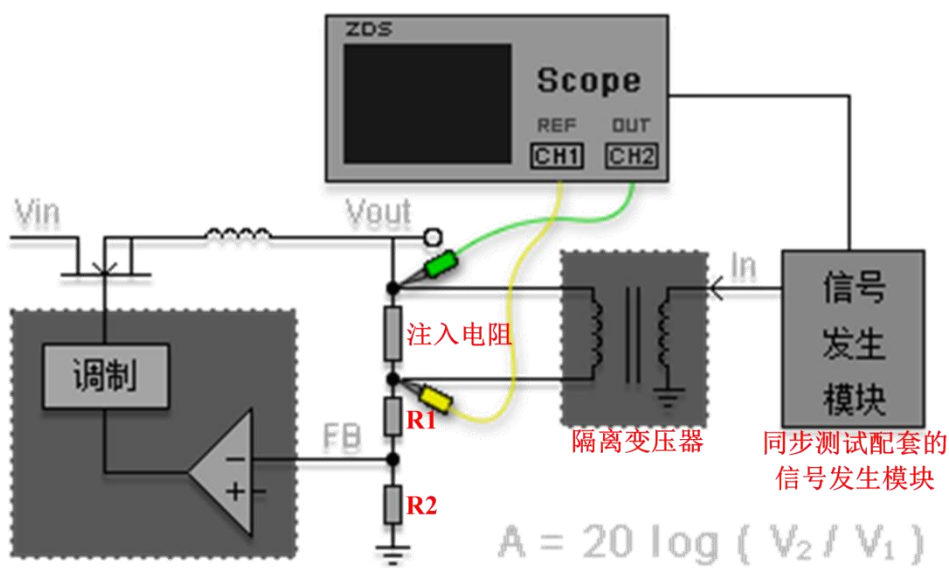


图 2.1 ZDS4000 环路测试信号接线（同步测试）

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 示波器:

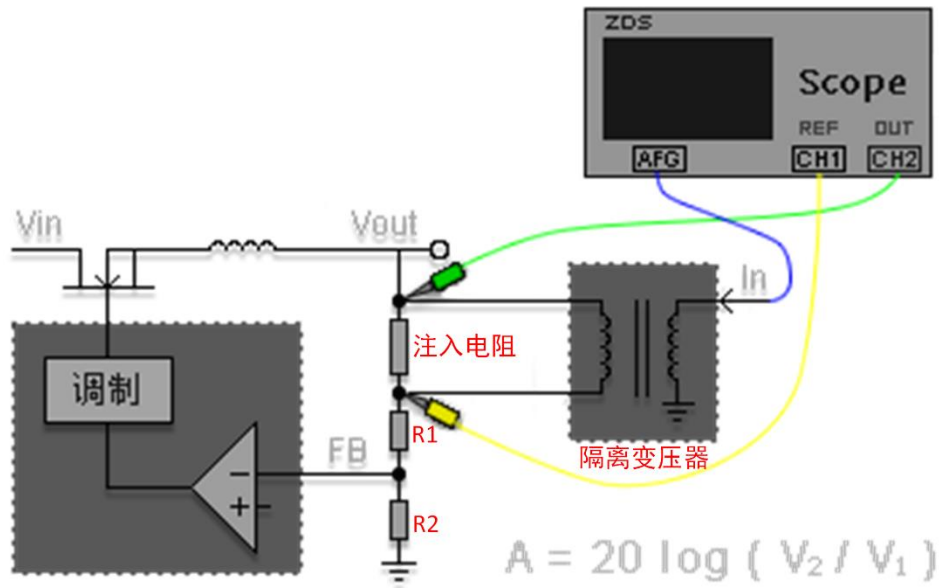


图 2.3 ZDS5000 环路测试信号接线（同步测试）

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。

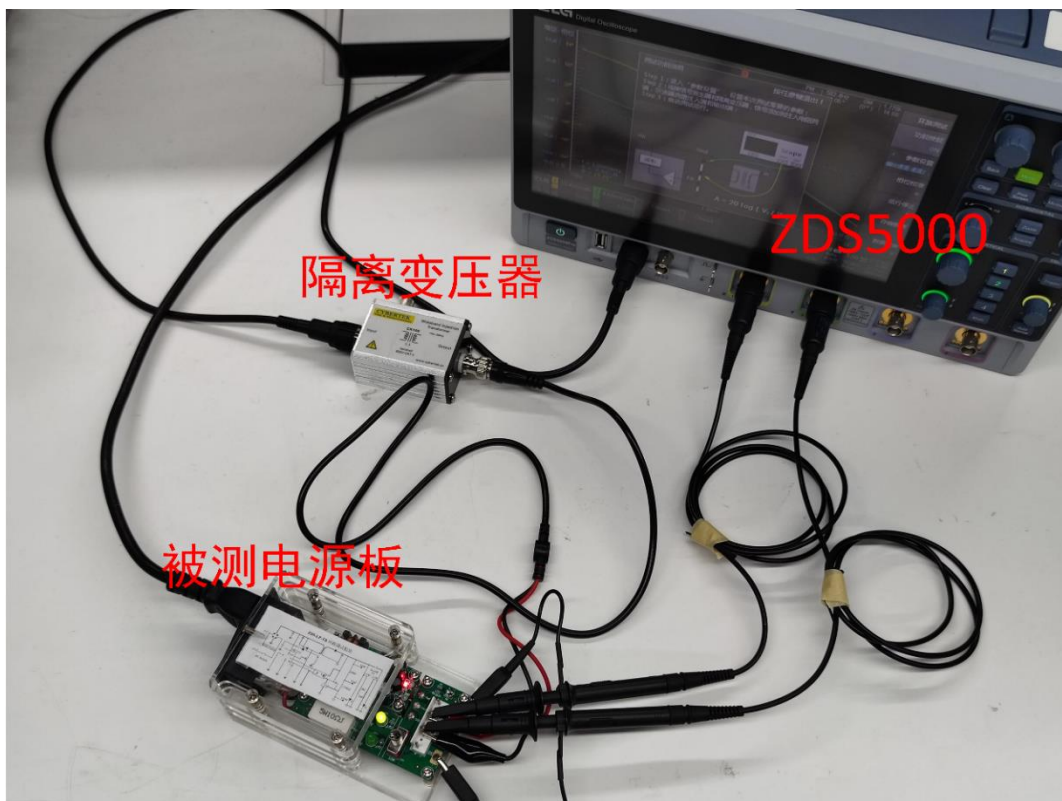


图 2.4 ZDS5000 同步测试实物连接

### 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 ZDS4000 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

- 1) ZDS4000 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

- 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：

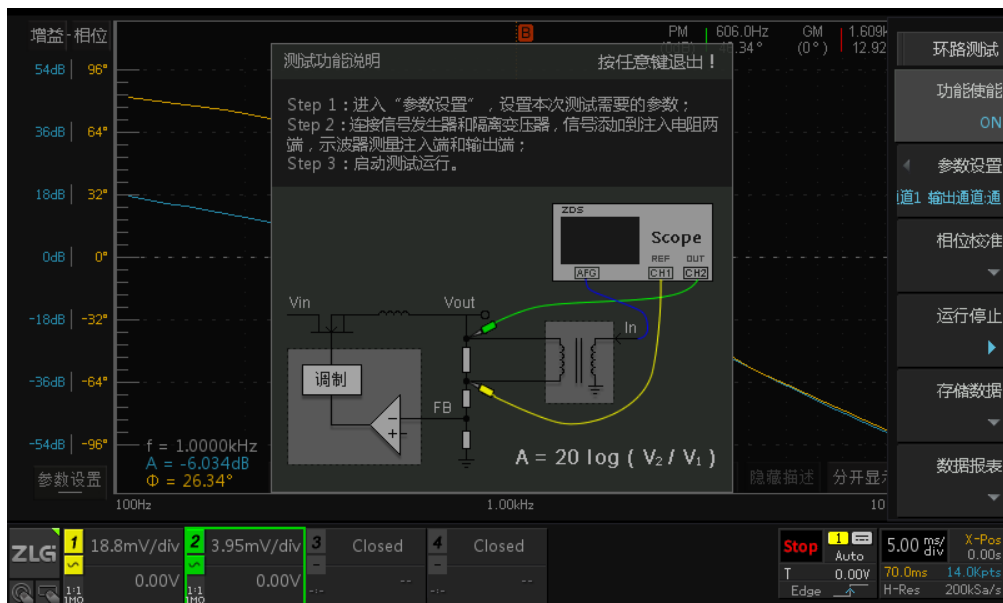


图 2.7 使能环路功能

- 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）。

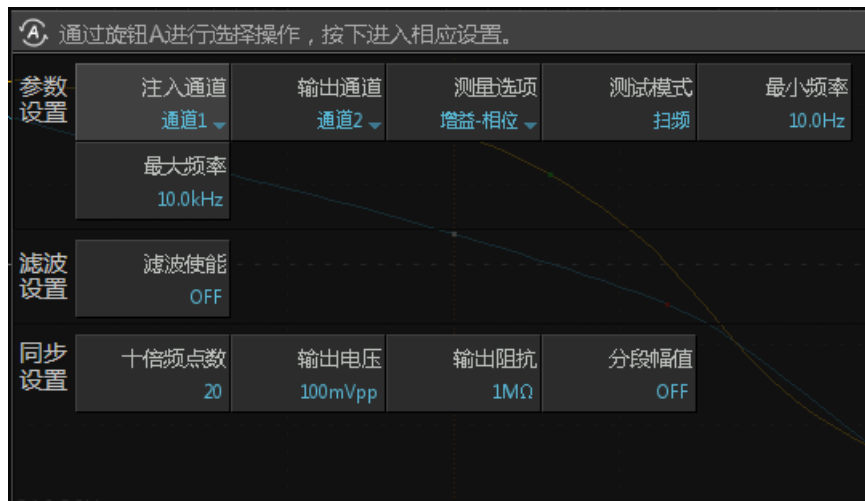


图 2.9 同步模式的参数设置

- 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

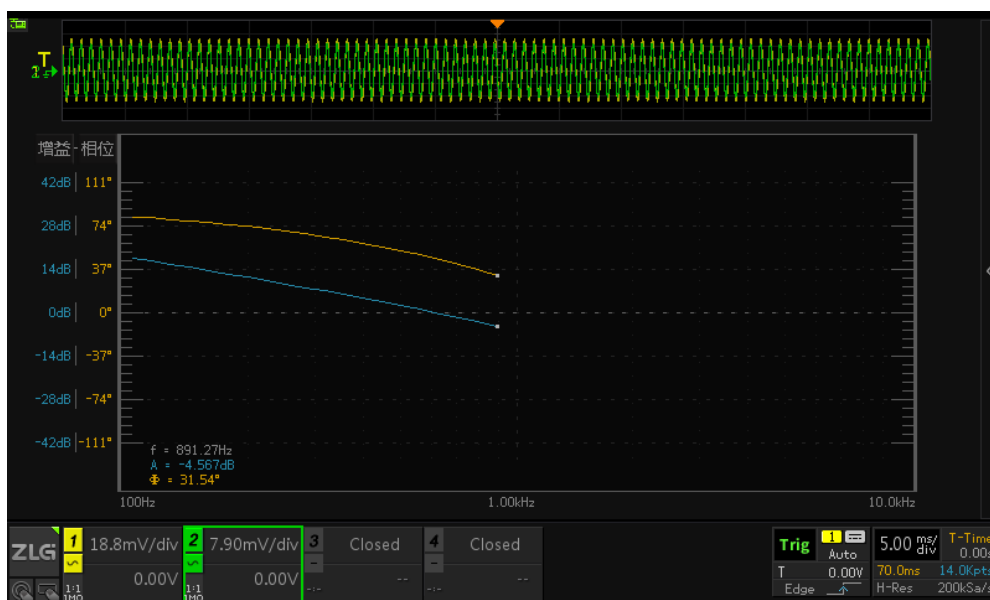


图 2.11 扫频测试进行中 2

- 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. 环路测试的相位校准

### 3.1 相位校准的信号接入

测试使用的 BNC 线缆和硬件通道在不同的频率信号下会有一些的相位偏差，环路测试分析软件支持进行相位校准，校准时将两个测试线缆都连接信号发生注入信号，通过扫频的测试方式，得到所有频率范围的通道间的相位偏差，从而为实际的环路测试的相位测量提供更精确的测量值。

相位校准的过程和扫频环路测试一致，在设置的扫频范围内测量通道间的相位差，绘制出频率-相位的曲线图。

相位校准的接线图如下图 3.1 所示：

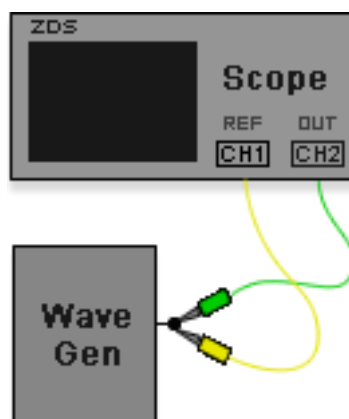


图 3.1 相位校准接线图

### 3.2 相位校准的操作设置

相位校准的菜单设置，包括参数设置（主要是包括通道源的选择、扫频的频率范围、信号发生模块的同步设置），运行停止、信息显示、清除、导入导出等。如下图 3.2 所示：

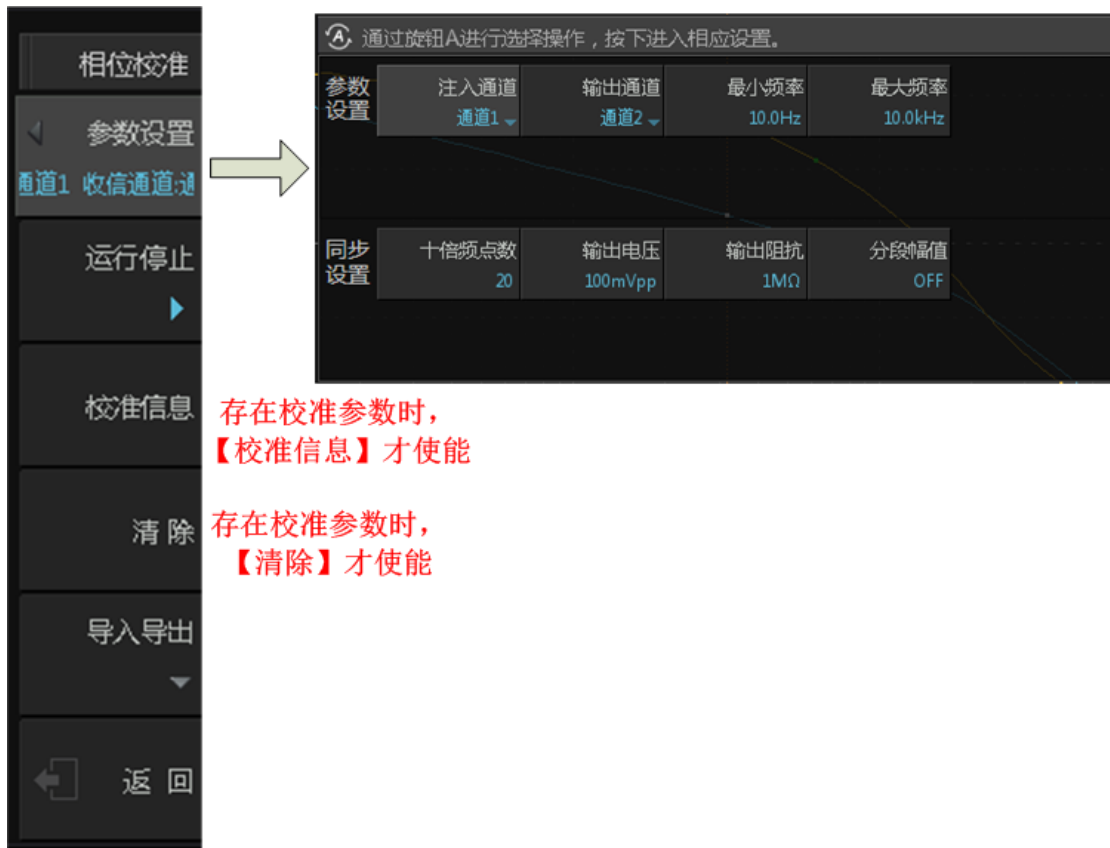


图 3.2 相位校准参数设置

### 1) 参考设置:

- 注入通道: 指连接注入基准信号的通道, 以该通道为当前频率的基准;
- 输出通道: 指连接反馈输出信号的通道;
- 最小频率: 扫频的最小频率值, 扫频范围可选 10Hz 到 30MHz;
- 最大频率: 扫频的最大频率值, 扫频范围可选 10Hz 到 30MHz;
- 十倍频点数: 对数下十倍频率范围内的输出频点数, 例如 10Hz 到 100Hz;
- 输出电压: 设置输出电压的峰峰值;
- 输出阻抗: 输出阻抗需要设置与被测开关电源的阻抗一致;
- 分段幅值: 设置不同的频率范围下输出不同的电压。

### 2) 运行停止

相位校准时, 只能通过按【运行停止】按键, 启动校准。校准进行中, 可以通过按【RUN/STOP】按键, 快速进行停止操作。

### 3) 校准信息

当存在校准参数时 (通过成功校准或导入校准参数), 该按键才会使能, 否则是变灰显示。按下该按钮, 会显示当前校准参数的信息显示窗口, 会显示出校准参数的通道源、校准的频率范围、校准时间, 并且可以浏览所有的校准数据。如下图 3.3 所示:

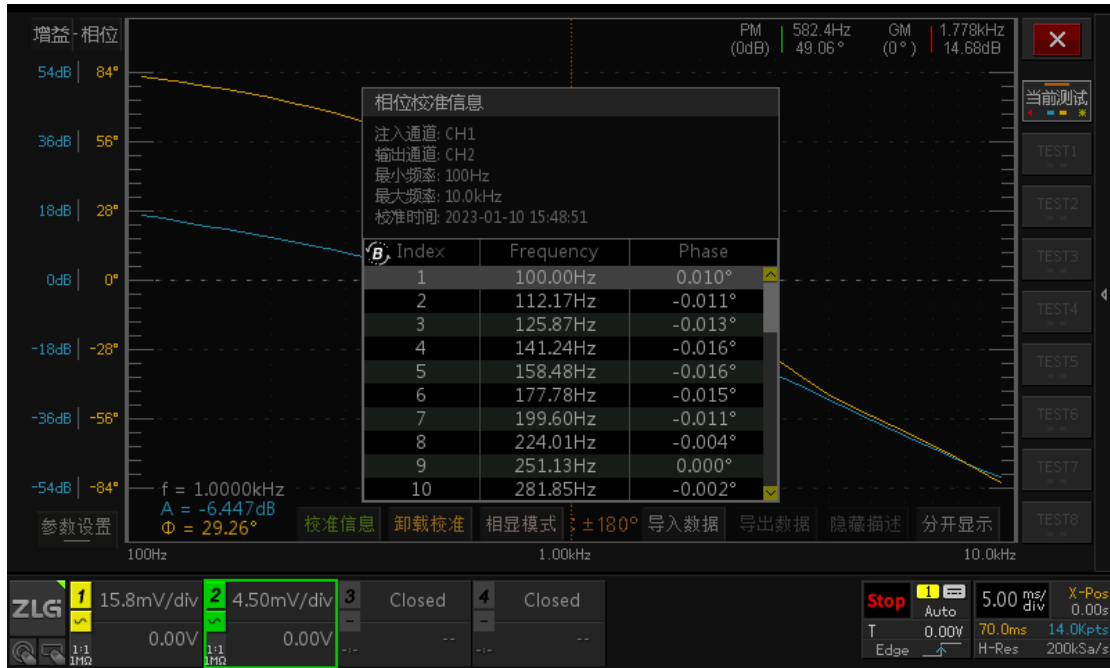


图 3.3 校准信息显示窗口

#### 4) 清除

当存在校准参数时（通过成功校准或导入校准参数），该按钮才会使能，否则是变灰显示。按下该按钮，会清除当前的校准参数。

#### 5) 导入导出

对当前校准参数进行导入和导出操作，校准文件的后缀名为 CAL，默认会跳转到 /Flash/FRACal 文件夹进行存储。

### 3.3 相位校准的注意事项

相位校准参数的应用是区分通道的，通道源不相同的测试波形数据是不能应用该校准参数，会提示通道源不一致。例如校准参数的 REF 通道为通道 1、收信通道为通道 2，而当前测试的 REF 通道为通道 3、收信通道为通道 4，则不能应用该校准参数

存在校准参数后，再进行环路测试就会默认都应用该校准参数，可以在校准完后对“当前测试”波形进行取消应用校准。

可以对每一个测试波形进行应用校准和取消校准，方便用户对测试波形是否使用校准的差别比较。

## 4. 环路测试的详细设置

### 4.1 菜单设置

环路测试的菜单设置如下图 4.1 所示：



图 4.1 环路测试的菜单设置

#### 4.1.1 功能使能

环路测试功能的开关。当打开功能时，会显示环路测试的帮助说明窗口，之后再弹框询问是否需要进行相位校准。

使能环路测试功能后，会禁能【Filter】按键，只有环路功能根据测试需求自动开启和修改滤波设置。

#### 4.1.2 参考设置

- 注入通道：指连接注入基准信号的通道，以该通道为当前频率的基准；
- 输出通道：指连接反馈输出信号的通道；
- 测量选项：可选增益-相位、阻抗-相位、幅值-相位和 THD-相位；
- 测试模式：可选扫频或单点；
- 最小频率：扫频的最小频率值，扫频范围最小值可选 10Hz 到 20MHz；
- 最大频率：扫频的最大频率值，扫频范围最大值可选 100Hz 到 30MHz；
- 滤波使能：是否使能扫频时开启数字滤波；
- 滤波类型：可选择低通或带通滤波；
- 截止频率/中心频率：低通滤波或带通滤波的频率设置；
- 十倍频点数：同步模式下需要设置，设置信号发生模块在对数下 10 倍频点下的输出的频点个数，例如 100Hz 到 1kHz 之间的输出频点个数；

- 输出电压：同步模式下需要设置，设置信号发生模块的输出电压峰峰值。
- 输出阻抗：同步模式下需要设置，设置信号发生模块的输出阻抗，需要与被测电路的阻抗匹配；
- 分段幅值：同步模式下需要设置，设置为 ON 时，可以当前设置的扫频范围内的每个 10 倍频点进行幅值调节，如果设置为 OFF，则统一使用一个幅值；

### 4.1.3 相位校准

按下该按钮，可进入相位校准菜单。具体相位校准细节请查看相位校准章节。

### 4.1.4 运行停止

环路测试功能打开后，可以通过按该【运行停止】开始测试，也可以直接按【RUN/STOP】按键开始测试，测试运行过程中，可以直接按【RUN/STOP】按键停止测试。

### 4.1.5 存储数据

该菜单是对扫频时当前测量选项的 8 个暂存波形进行重命名、设置描述信息、存储数据、导入和导出数据、清除数据、显示隐藏等操作。如下图 4.2 所示：



图 4.2 存储数据的菜单设置

- 重命名: 功能默认每个测试选项下的 8 个存储通道的名称为“TEST1”到“TEST8”，用户可以根据实际测试的需要，修改每个存储通道的名称。由于环路网格右侧界面显示的限制，通道名称最大支持 6 个字符；
- 描述信息: 每个存储通道光有通道名称可能还不够，还需要更详细的描述，因此可以对每个存储通道进行编辑描述信息，默认为空。对应通道的描述信息，会显示在环路网格的左下角。可以在菜单和环路网格的快捷按钮中设置描述信息的显示或隐藏；
- 存储: 只有“当前测试”有数据时，【存储】按钮才会使能，否则是变灰显示。点击【存储】，会将“当前测试”的数据存储到对应的存储通道，同时自动存储在 /Flash/FRAData 文件夹下的对应文件，即掉电不丢失，文件名是以当前的通道名称为前缀，文件后缀为 FRA；
- 导入: 可以将之前导出的 FRA 文件，导入到当前存储通道中。导入的过程中，会以导入的文件名，修改当前存储通道的通道名称，同时 FRA 文件中存储的描述信

息和波形数据，也会覆盖到当前存储通道，Flash 中自动存储的该通道的 FRA 文件也会同步更新；

- 导出：将当前存储通道的描述信息和波形数据进行导出，导出时的文件名为当前通道的通道名称，用户可以修改，类型为 FRA 文件；
- 清除：清除当前存储通道的波形数据；
- 通道显示：可对当前所有存在波形数据的通道进行显示和隐藏操作，同时也可一键进行显示所有和隐藏所有。

### 4.1.6 数据报表

该菜单可对“当前测试”和所有有存储数据的通道进行报表查看，以及报表导出，导出的文件类型可选择 csv 或 html，导出文件的表格显示与界面的报表显示一致。如下图 4.3 所示：

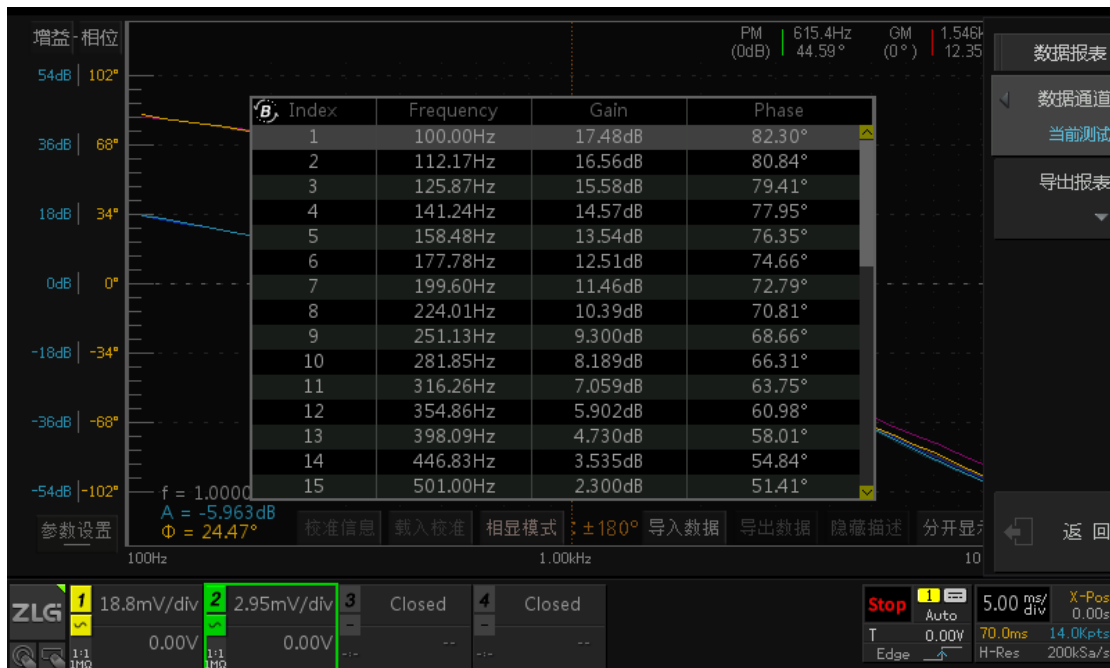


图 4.3 数据报表菜单

## 4.2 环路测试的界面操作

环路测试功能拥有自己独特的界面和快捷用户操作，包括增益相位垂直刻度、光标信息显示、快捷操作触摸按钮区域、存储的 8 个波形数据的信息显示和快捷操作等等。界面设置只有在停止下才可设置，运行时只显示当前扫频或单点进行中的波形。扫频的界面如下图 4.4 所示，单点的界面如图 4.5 所示：



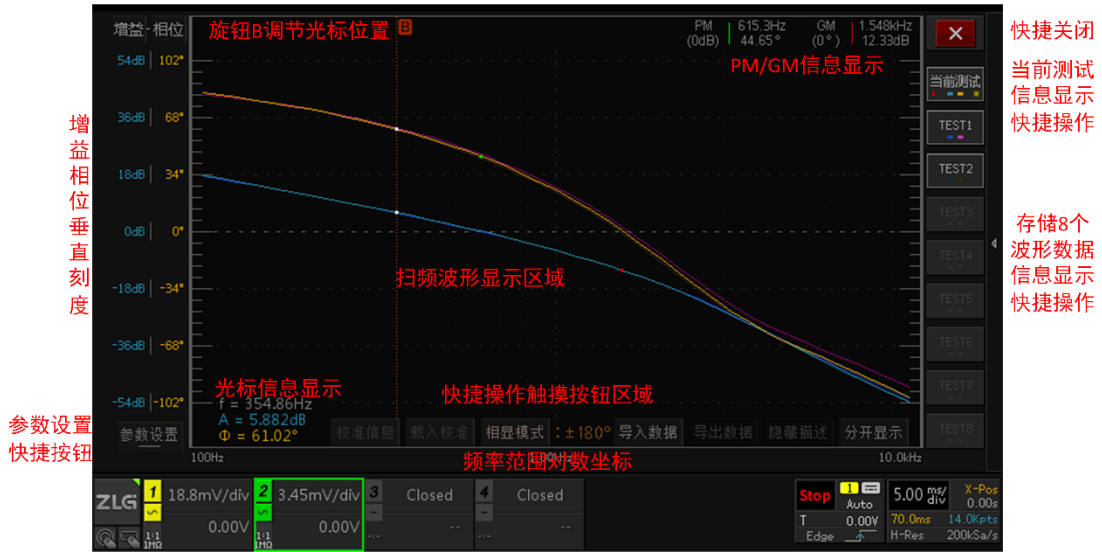


图 4.4 环路测试的扫频操作界面

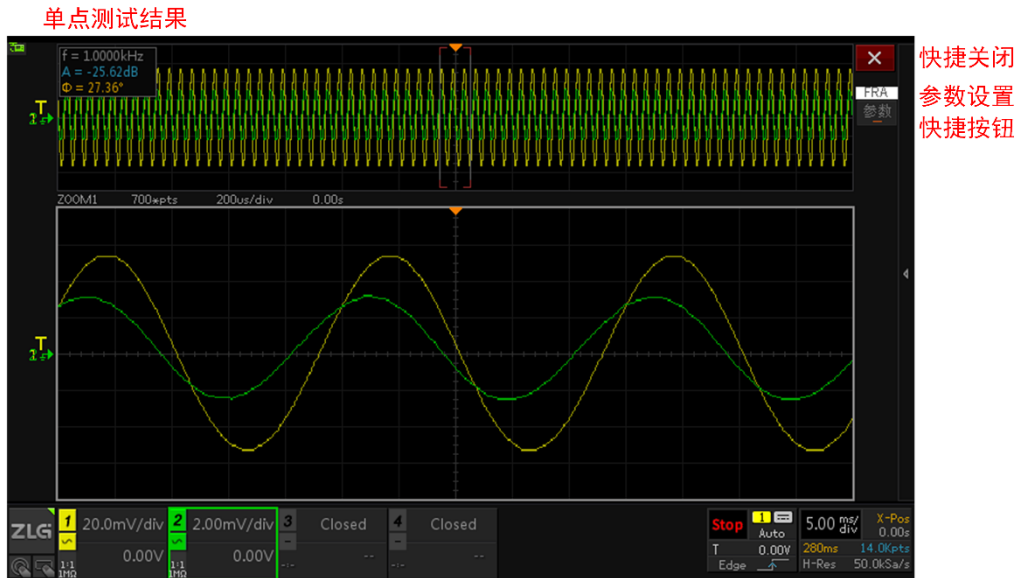


图 4.5 环路测试的单点操作界面

### 4.2.1 扫频曲线合并显示和分开显示

扫频模式下的增益曲线和相位曲线，支持合并显示和分开显示。

触摸点击扫频界面右下角的快速操作区域的【合并显示】或【分开显示】按钮，即可切换当前的扫频曲线的显示模式。

- 合并显示模式，增益和相位曲线共用整个垂直区域，优点是曲线在垂直方向展开更多，方便观察，缺点是两个曲线之间会有重叠；
- 分开显示模式，增益和相位曲线分别使用半个垂直区域，优点是两个曲线不会有重叠，干扰观察，缺点是曲线垂直方向压缩得比较小。



图 4.6 点击【分开显示】，则会切换到分开显示模式



图 4.7 分开显示模式

### 4.2.2 扫频曲线的显示隐藏

在停止状态下，可以设置每个扫频曲线的显示隐藏状态。

触摸点击扫频界面左上角的曲线名称按钮，即可设置该曲线显示或隐藏，曲线隐藏时，曲线名称会变灰，垂直刻度值和曲线都会消失。

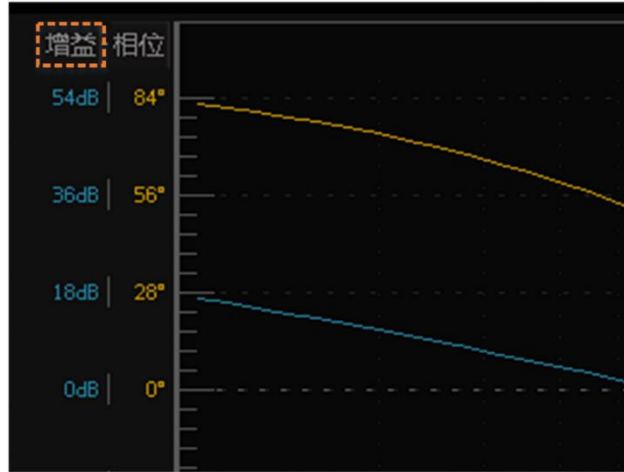


图 4.8 增益曲线的显示隐藏触摸区域

### 4.2.3 增益相位垂直刻度

垂直刻度区域位于波形显示网格的左侧，为了满足人眼习惯于从左侧来观察波形和对齐刻度，我们特意将增益和相位的垂直刻度都放在网格的左侧，中间用“|”来隔开，并用颜色来区分。

垂直刻度显示的颜色值，是与当前光标通道的曲线颜色一致（光标通道的定义和选择请查看后面章节）。

当扫频测试停止时，垂直刻度范围会根据当前光标通道（当前测试或 8 个波形中的一个）的波形的数据最大值最小值，将当前光标通道的波形显示尽可能满刻度显示。

当在扫频测试的过程中，为了后续数据的有一定的变化范围，垂直刻度会根据当前测试中的波形的最大值和最小值，在垂直刻度范围内上下预留了一到两格刻度，因此测试过程中的波形不会满刻度显示，如下图 4.9 所示：



图 4.9 运行过程中的刻度调节

### 4.2.4 垂直刻度的档位和偏移调节

在停止状态下，垂直刻度是支持档位和偏移的调节。

触摸点击增益或相位的刻度显示区域，即可切换到该刻度的调节状态，调节状态会在刻度旁边显示旋钮 A 和旋钮 B 的图标。旋钮 A 调节垂直档位，旋钮 B 调节垂直偏移。档位和偏移在改变时，对应的曲线会根据当前的档位和偏移来进行重绘。

在调节状态下，按【Select】按键，可以切换两个刻度的调节状态。

在调节状态下，直接触摸点击曲线显示区域，就会回到曲线观察状态。

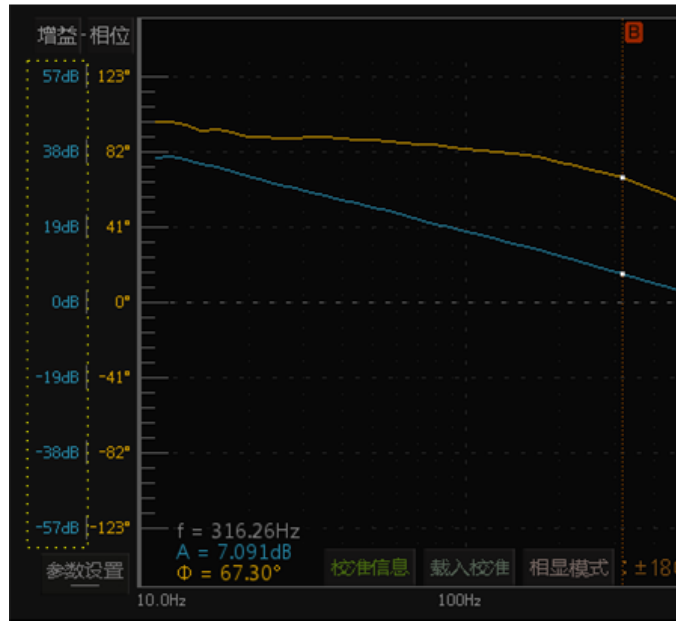


图 4.10 增益刻度的触摸点击区域

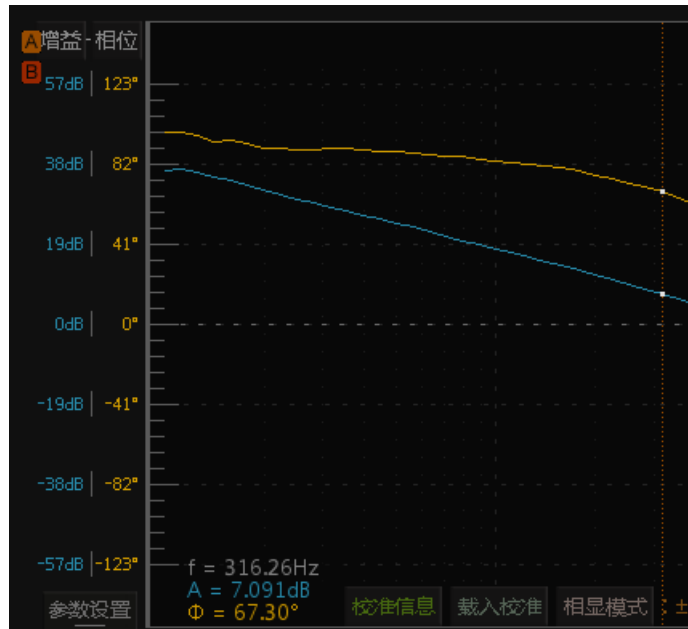


图 4.11 增益刻度的调节状态

#### 4.2.5 水平频率对数坐标

水平的频率刻度采用对数坐标，每一个对数下的小刻度都有虚线标出。

水平的频率最大值和最小值可选 10Hz、100Hz、1kHz、10kHz、100kHz、500kHz、1MHz、5MHz、10MHz、15MHz、20MHz、30MHz 等。对数坐标的显示范围是根据参数设置菜单中的设置来同步显示。

停止状态下，可以通过调节频率范围来对水平方向进行放大。

#### 4.2.6 扫频波形显示区域

根据当前的水平范围和垂直刻度范围，在此范围内的波形，都会以点与点连线的形式绘制出曲线。

每个通道的波形的颜色，是根据波形通道的显示隐藏和优先级来决定的。所有有数据并且设置为显示的通道中，根据当前测试、TEST1、TEST2 依次递减的优先级顺序，也就是网格右侧的从上往下的所有设置为显示的通道顺序，第一通道为顶层通道，第二通道为对比通道，其余的通道为统一的颜色很淡的颜色。

顶层通道的增益曲线颜色为■，顶层通道的相位曲线颜色为■，对比通道的增益曲线颜色为■，对比通道的相位曲线颜色为■，其他显示通道的增益曲线颜色为■，其他显示通道的相位曲线颜色为■。

光标通道波形显示区域的点，可以通过旋转旋钮 B 来查看每一个点，在网格的左下角会有当前光标的信息显示。

按下旋钮 B，可对光标通道的波形进行放大显示，水平和垂直刻度同时放大满刻度，通过旋钮 B 在放大的模式下，也可以左右翻页显示。

#### 4.2.7 PM/GM 信息显示

相位裕度 (PM) 是指增益穿越 0dB 时的相位值，增益裕度 (GM) 是指相位穿越 0° (或 180°) 的增益值。PM/GM 信息显示窗口只有在光标通道的数据存在 PM 值或 GM 值时，才会显示，并且在波形曲线中标出对应的点，PM 值为绿色点，GM 点为红色点。

增益裕度 (GM) 正常情况下都是指相位穿越 0° 时的增益值，但为了满足更多的测试情况，如果用户将参数设置中的“相位范围”改为 0° 到 360°，则该功能会认为这是一个正向放大电路，因此此时的 GM 会变为相位穿越 180° 时的增益值。

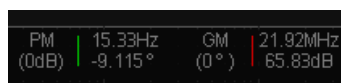


图 4.12 PM/GM 信息显示

#### 4.2.8 快捷操作触摸按钮区域

网格底部的一排快捷操作触摸按钮，是为了方便用户可以直接在环路界面上进行常用的操作而设计的。



图 4.13 快捷操作触摸按钮

##### 1) 校准信息

该按钮变灰表示当前没有校准参数，需要用户进行相位校准或者导入校准参数文件。

- 当该按钮变灰时，触摸点击该按钮，则会提示当前无校准参数，并且菜单跳转到相位校准菜单，用户可以选择进行校准或导入校准参数文件。
- 当该按钮变亮时，说明此时已经有校准参数了，这时触摸点击该按钮，则会显示相位校准信息窗口，即相位校准菜单的【校准信息】弹出的窗口。



相位校准信息			
注入通道: CH1			
输出通道: CH2			
最小频率: 100Hz			
最大频率: 10.0kHz			
校准时间: 2023-01-10 15:48:51			
B	Index	Frequency	Phase
	1	100.00Hz	0.010°
	2	112.17Hz	-0.011°
	3	125.87Hz	-0.013°
	4	141.24Hz	-0.016°
	5	158.48Hz	-0.016°
	6	177.78Hz	-0.015°
	7	199.60Hz	-0.011°
	8	224.01Hz	-0.004°
	9	251.13Hz	0.000°
	10	281.85Hz	-0.002°

图 4.14 点击校准信息弹出信息窗口

### 2) 载入校准/卸载校准

当存在校准参数后，“校准信息”按钮旁边的“载入校准”按钮也会变亮，该按钮与当前箭头通道相关联（箭头通道是指网格右侧的通道信息框区域中黄色“\*”号焦点所在的通道），如果当前的箭头通道波形没有进行过相位校准，则该按钮显示“载入校准”，如果已经进行过相位校准，则该按钮显示“卸载校准”。

当需要对箭头通道的波形进行相位校准时，则可以点击“载入校准”按钮，对该通道的波形进行相位修正；当需要对箭头通道的波形取消相位校准时，则点击“卸载校准”按钮。

### 3) 相显模式

该按钮是对菜单参数设置中的相位范围的快捷切换操作，触摸点击“相显模式”显示区域，可以在-180°--180°和 0°--360°之间切换。



图 4.15 相显模式的切换

### 4) 导入数据/导出数据

当触摸点击“导入数据”和“导出数据”，可对当前箭头通道，跳转到快捷导入和快捷导出的菜单进行波形数据文件的导入和导出。



图 4.16 快捷导入导出菜单

### 5) 显示描述/隐藏描述

扫频模式下每种测量方式的 8 个存储通道，每个通道都可以设置描述信息，这里的“显示描述”/“隐藏描述”按钮是对描述信息是否显示隐藏的快捷设置。



图 4.17 描述信息的显示

### 6) 合并显示/分开显示

设置扫频显示的显示方式，合并显示则是共用整个垂直网格区域，分开显示则是两个曲线分别使用上下半个垂直网格区域。

## 4.2.9 存储通道的信息显示和快捷操作

网格右边有“当前测试”和 8 个存储通道的信息显示框，存储通道的名称是与菜单中对通道名重命名后的名称一致，默认为“TESTx”（x 从 1 到 8）。

当该信息框为全灰时，代表该存储通道没有存储数据，当该信息框中的通道名称变亮，而外框还是灰色，则代表该存储通道有存储数据，但是设置为隐藏显示。



图 4.18 存储通道信息框状态

通道的信息显示框，有标明该通道的波形显示颜色（增益颜色和相位颜色）、是否是光标通道、是否是箭头通道。如下图 4.19 所示：



图 4.19 存储通道的信息框说明



信息框快捷操作说明：

- 光标通道的切换，是通过【Select】按键，在顶层通道与对比通道之间切换；
- 箭头通道的切换，是通过旋钮 A，在所有存储数据的通道之间滚动切换；
- 按下旋钮 A，设置当前箭头通道的波形显示和隐藏，即白色外框的指示状态；
- 触摸点击信息框，会跳转到重命名菜单，对该存储通道进行重命名；
- 按下 Clear 按键，会对当前箭头通道，弹出窗口询问是否需要清除该通道的波形。

### 4.2.10 单点手动时滤波快捷调节窗口

单点手动模式时，如果开启了滤波功能，则在运行过程中，功能会在网络的右上角显示当前的滤波类型和滤波频率，并且可以使用旋钮 A 和旋钮 B 进行慢速和快速地调节滤波频率，这样方便用户快捷地改变滤波参数。

滤波调节窗口如下图 4.20 所示：



图 4.20 滤波快捷调节窗口

### 4.3 ZDS3000/4000 系列示波器触发输出接口的使用

ZDS3000/4000 系列示波器使用背面的触发输出接口，正常工作时是用于波形触发的信号同步，但在环路测试功能中，进行了功能的扩展，同步测试时用于与致远仪器环路信号发生模块的通信。

- 开启环路功能后，触发输出接口不再是波形触发的信号同步了，而是输出为地电平；
- 如果是同步模式的扫频测试，可以将示波器的触发输出通过 BNC 线与致远仪器环路信号发生模块的输入 BNC 头相连，示波器会与信号发生模块进行通信，实现输出信号的控制。



### 5. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远电子有限公司（下称“致远电子”）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，致远电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远电子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电子官方网站或者与致远电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！

诚信共赢，客户为先，专业专注，只做第一

广州致远电子有限公司

更多详情请访问  
[www.zlg.cn](http://www.zlg.cn)

欢迎拨打全国服务热线  
400-888-4005

