

法律声明

使用本仪器前请仔细阅读此说明书，对于使用本仪器的工作人员我们将视作已完成相应的阅读和培训。如有不按照使用说明书操作而引起的一切安全事故，本公司恕不承担任何法律责任。

本公司的宗旨是不断地改进和完善我们的产品，因此您所使用的仪器和配套软件可能与说明书有细微上的差别。若使用说明书有所更改，恕不另行通知，如有疑问请与公司技术服务部门联系。

安全要求

1. 变压器绕组变形试验应在所有直流试验项目之前或者在绕组充分放电后进行！
2. 使用时，请先将测试仪电源开关置于关闭位置，再接线。
3. 测试仪外壳、变压器外壳等应可靠接地。
4. 套管引线（包括架空线、封闭母线和电缆）应全部解开，并使这些引线尽可能远离变压器套管（周围接地体和金属悬浮物需离开变压器套管 20cm 以上），尤其是与封闭母线连接的变压器。
5. 遇紧急情况，应首先切断测试仪电源，再作进一步处理。

目录

一、 主要指标及特点	4
1.1 主要技术指标	4
1.2 产品特点	5
二、 面板操作及接线说明	6
2.1 面板示意图	6
2.2 参考接线	7
2.2.1 接线要求	7
2.2.2 接线示意图	7
2.2.3 接线方式	8
2.3 开关机	8
三、 软件安装说明	9
3.1 运行环境要求	9
3.2 安装流程	9
四、 软件使用说明	11
4.1 界面操作	11
4.2 连接仪器	13
4.3 站点和变压器参数配置	13
4.4 系统设置	15
4.4.1 测试设置	15
4.4.2 网络设置	16
4.4.3 分析设置	17
4.4.4 波形设置	18
4.5 开始测试	18
4.6 测试数据管理	19
4.6.1 测试数据保存	19
4.6.2 测试数据封存	19
4.6.3 测试数据打开、删除、导出	20
4.6.4 测试数据导入和兼容	20
4.7 数据分析	21
4.7.1 分析方法	21

4.7.2 数据选择	22
4.7.3 幅频响应曲线的观察	22
4.7.4 数据分析 (比较) 结果	22
4.8 生成报告	23
4.9 帮助和关于	25
4.10 相关系数 R 辅助判断绕组变形	25
五、工作原理	26
六、现场使用注意事项	27
七、设备维护	28
7.1 日常维护	28
7.2 运输	28

一、 主要指标及特点

1.1 主要技术指标

1) 扫频特性

频率范围：1KHz~2MHz (频率精确度 0.005%)

输出阻抗：50Ω

输出幅值：20Vpp (最大), 输出幅度软件自动调节

扫频方式：采用线性分布的扫频检测方式, 等间隔 (可选间隔：0.5kHz/1kHz/2kHz, 默认 1kHz)

2) 信号检测

检测范围：-100dB~+20dB

检测精确度：-60dB~+20dB 的范围内检测精确度±1dB

-80dB~ -60dB 的范围内检测精确度±2dB

3) 数据显示

显示图谱：幅频/差异曲线/差异彩虹条

频率范围：1KHz~2MHz (可选)

数据对比：待分析数据以指纹数据作为参照对比

4) 阻抗匹配

信号检测端输入阻抗：1MΩ

5) 选频滤波特性

数字滤波器选频带宽为测量频率的 0.5%

6) 电源

交流 220V , 50Hz

7) 物理特性

尺寸：364*236*320 mm 重量：9.8kg (不含包装箱)

8) 适用环境

温度：-10℃~45℃ 湿度：<90% , 无凝露

1.2 产品特点

1. 技术性能完全符合国家标准 DL/T 911-2004 《电力变压器绕组变形的频率响应分析法》；
2. 使用高性能嵌入式处理芯片、数字窄带滤波等技术，有效地抑制工频及高频干扰；
3. 可使用有线网络和无线 WIFI（分体机）两种方式连接测试仪，方便现场测量使用；
4. 扫频范围从 1KHz~2000KHz, 可以灵活选择扫频方式，便于数据对比分析；
5. 测量速度快，平均 1000 个频率点，测量时间不超过 1 分钟；
6. 一体机采用高可靠性工业电脑，屏幕分辨率为 1024X800, 显示效果清晰细腻；
7. 多种图谱和数据结果展示，如幅频图，差异曲线，差异彩虹条等，曲线高度自适应调整，有助细节观测；
8. 系统主要功能都在一个操作界面内完成，方便用户操作；
9. 对测试数据可作“封存”，保护数据，方便后续纵向对比；
10. 支持测试数据报表生成和打印输出；
11. 短路保护，确保在接线时不小心短路情况下不损坏仪器。

二、面板操作及接线说明

2.1 面板示意图

一体机背面如下图 2.1 所示。

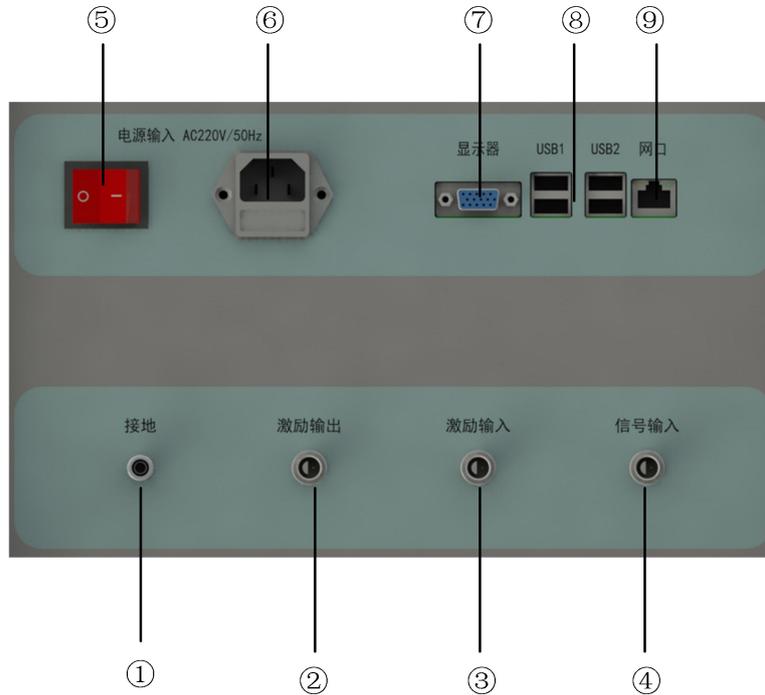


图 2.1 主机后面板示意图

- | | |
|------------|--------------------------|
| (1) 接地 | 该端口是同外壳连在一起，开机前必须可靠接地 |
| (2) 激励输出 | 使用同轴屏蔽电缆线连接变压器绕组的激励端 |
| (3) 激励输入 | 使用同轴屏蔽电缆线连接变压器绕组的激励端 |
| (4) 信号输入 | 使用同轴屏蔽电缆线连接变压器绕组的检测端 |
| (5) 电源开关 | 通电后打开开关仪器启动引导 windows 开机 |
| (6) 电源输入 | 交流电源输入 220V 50Hz |
| (7) 显示器 | 可外接 VGA 显示器接口 |
| (8) USB 接口 | 接键盘鼠标等外设 |
| (9) 网口 | 可外接网线和电脑通信 |

2.2 参考接线

2.2.1 接线要求

- 检测前应拆除与变压器套管端部相连的所有引线，并使拆除的引线尽可能远离被测变压器套管。(对于套管无法拆除的变压器，可利用套管末屏抽头作为响应端进行检测，但应自行备注清楚，并应与同样条件下的检测结果做比较。)
- 响应输入接线应采用专用线(端头接 50Ω 匹配电阻)。
- 变压器绕组的幅频响应特性与分接开关的位置有关，宜在最高分接位置下检测，或者应保证每次检测时分接开关均处于相同的位置。
- 因检测信号较弱，所有接地均应稳定、可靠，减小接触电阻。
- 两个信号检测端的接地线均应可靠连接在变压器外壳上的明显接地端(如铁芯接地端)，接地线应尽可能短且不应缠绕。

2.2.2 接线示意图

如图所示，待测变压器为 YN 型三相变压器，O 端接激励输出和激励输入，B 相作为测量端接信号输入。

注意：激励输出端和激励输入端用绿色夹子测试线，信号输入端使用红色夹子测试线！

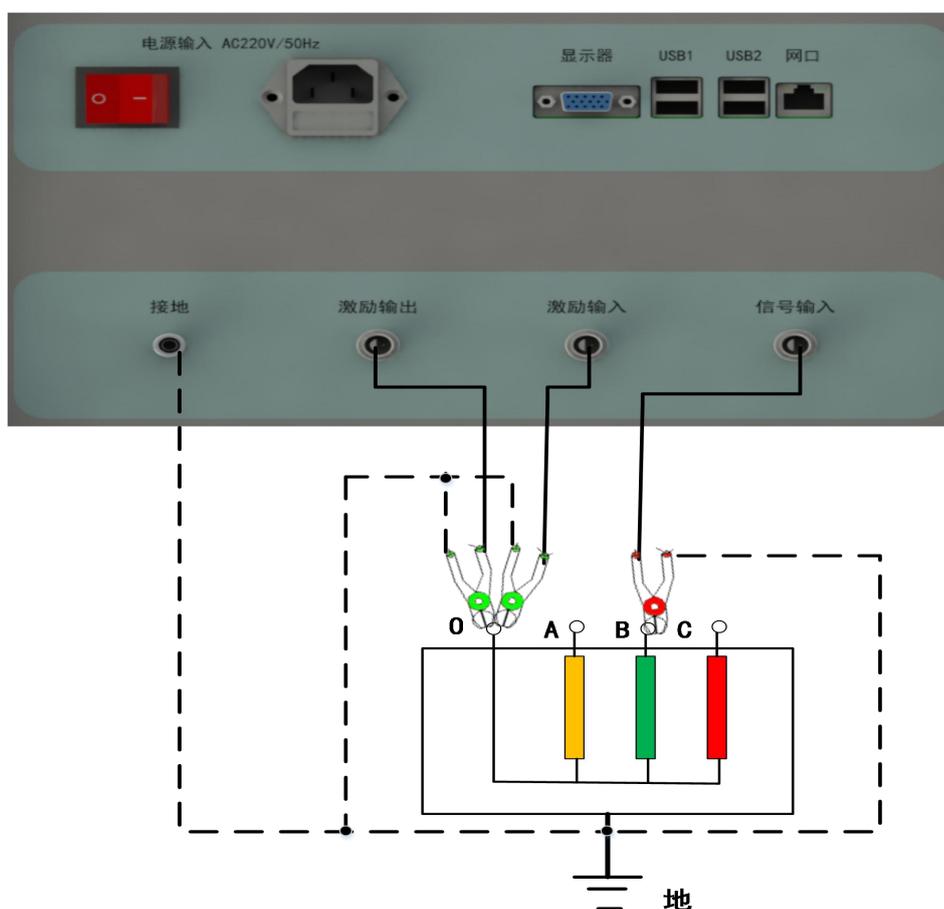


图 2.2 测试仪和变压器接线示意图

2.2.3 接线方式

接线时，非被试绕组悬空，对变压器不同的接线组别，分别按照下述方式接线，便于日后对检测结果进行标准化管理。（输入端连接测试仪的“激励输入(输出)”试验钳，测量端连接测试的“信号输入”试验钳）。

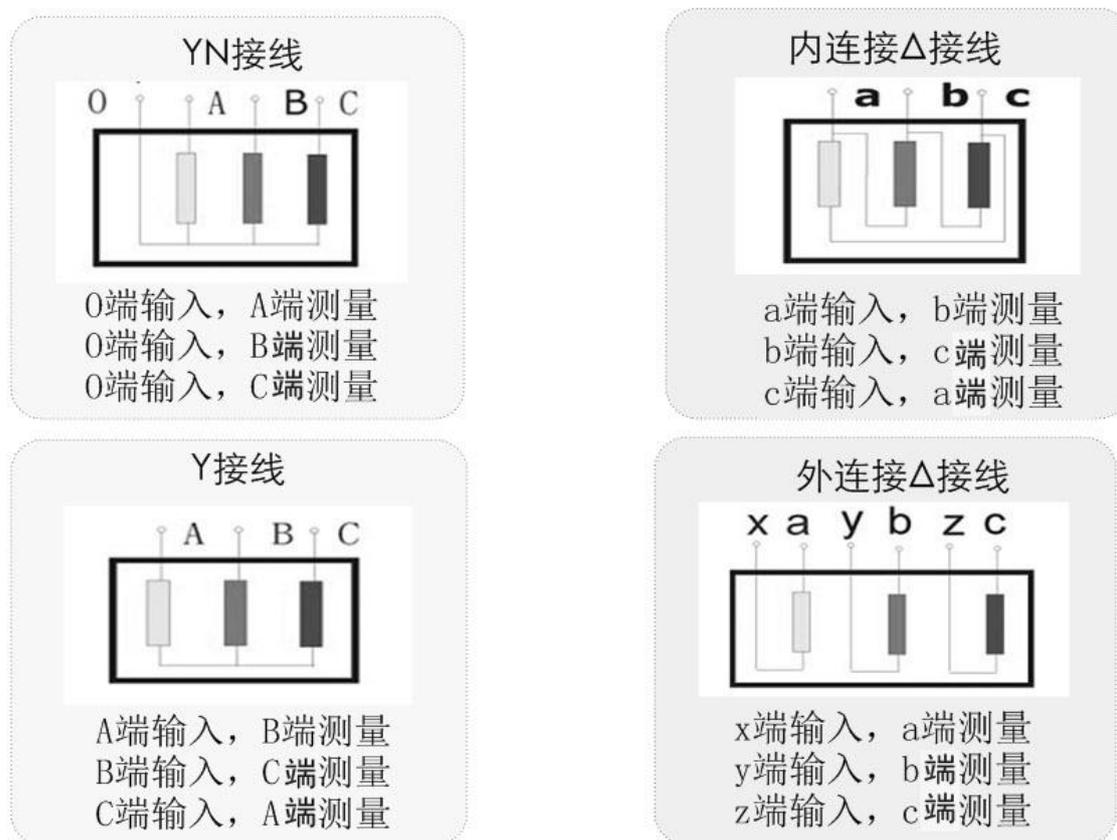


图 2.3 不同变压器接线方式

注意 在外连接 Δ 接线方式中，如果不解开连接，则可看做内连接 Δ 接线方式。

对于有平衡绕组的变压器，测试时必须解开平衡绕组的接地。

仪器的接地线和变压器的铁芯或外壳（接地点）连接在一起。

2.3 开关机

开机：按照上述完成接线后，接通仪器 220V 电源后，按下一体机背面的红色电源开关，仪器开机引导 WINDOWS 系统，等待引导完成后，可以通过点击桌面的“变压器绕组变形测试仪”快捷方式图标，进入软件，点击“**连接仪器**”，等仪器连接上后，可以进行测试操作。

关机：鼠标点击 WINDOWS 的关机按钮，等 WINDOWS 完成关机，屏幕点灭后，按下一体机背面的红色电源开关，则整机完成关机。

三、软件安装说明

注意：如产品为一体机或者出厂已配有笔记本电脑，软件默认已安装，可以通过桌面快捷方式启动本软件，无需再次安装。若需重新安装可以参考下述步骤。

3.1 运行环境要求

硬件： CPU： Intel Core2 及以上

内存： 2G 及以上

硬盘： 80G 及以上

软件： 操作系统: Windows 7 、 10(32 位或 64 位)及以上

报告生成软件: Microsoft Office Word 2007 及以上

在某些情况下 Windows 防火墙可能会阻拦软件数据传输，请关闭之

3.2 安装流程

在安装光盘或者 U 盘中找到安装文件“ 变压器绕组变形测试仪.msi ”,双击运行该安装程序。

如有 360 等防火墙软件告警，请选择允许程序运行。

软件开始安装，弹出如图 3.1 所示欢迎界面，显示当前安装的软件版本号，确认安装，请点击“下一步(N)>”按钮，如不需要再安装则点击“取消”按钮。



图 3.1 软件安装欢迎界面

确认安装后，显示如图 3.2 所示的“选择安装文件夹”界面，请选择一个安装路径，软件默认有一个安装路径，由于后续试验数据采集需要一定的磁盘空间，请确保该目录所在分区有 10G 以上的剩余空间，如空间不够，请点击“浏览(O)”按钮，选择其他目录安装。



图 3.2 选择软件安装路径

选择好软件安装路径后，点击“下一步(N)>”按钮，软件开始正式安装，如图 3.3 所示

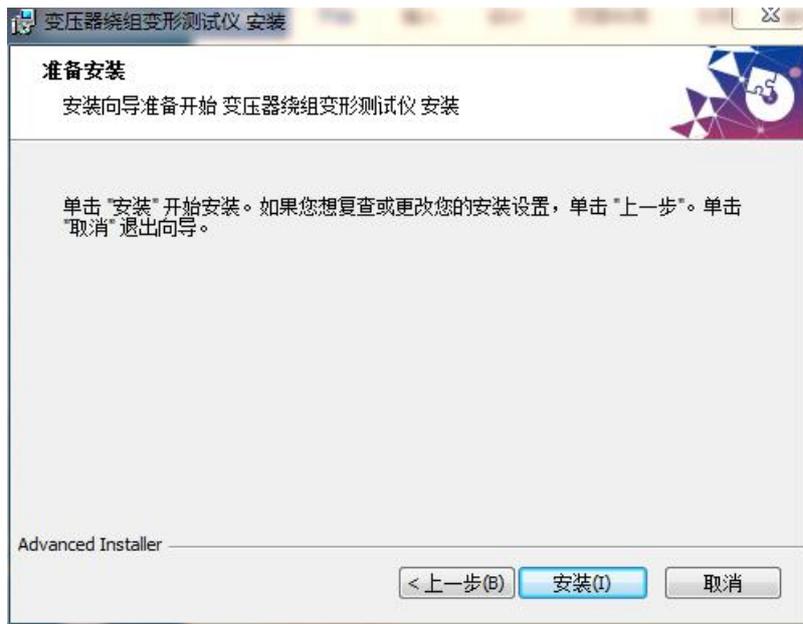


图 3.3 开始安装

请注意，在已安装有低版本软件的电脑上安装高版本软件时，将会自动删除原有低版本软件，如果在装有高版本软件电脑上，重新安装低版本，请先手动卸载掉原有版本，如果无法正常删除，请到控制面板中找到“变压器有载分接开关交直流特性测试仪”，右键卸载后，重新安装。

软件安装完成后，将在桌面和开始菜单中自动生成快捷方式，如图 3.4 所示，需要运行本软件时，请双击图标运行即可。

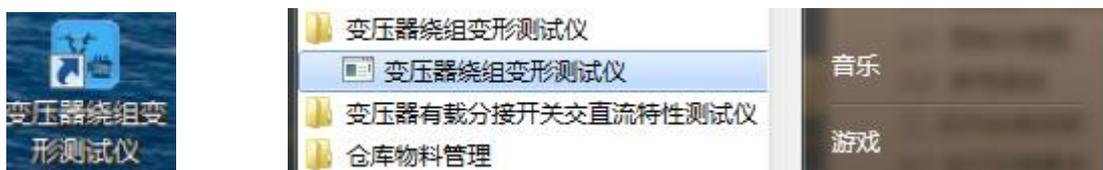


图 3.4 软件在桌面和开始菜单的快捷方式

四、软件使用说明

4.1 界面操作

本软件界面设计采用时下流行的简约平面风格，力求操作方便，突出功能应用。

打开软件后，主界面如图 4.1 所示，默认为测试数据幅频曲线窗口。

本软件是为配合变压器绕组变形测试仪主机使用，在不同信号频率激励下，检测“信号输入”端的幅频响应，从而实现对绕组变形程度的测试，软件输出各被测绕组组的幅频曲线，各频率激励下的响应值，相关系数，对比图谱，以及报告生成，数据导入导出等功能。



图 4.1 软件主界面

(1) 嵌入式主菜单

点击后，出现主菜单，包含“系统设置”，“导出报告”，“帮助”等。

(2) 测试功能按钮

用于连接仪器，开始测试，保存数据等测试过程控制。

(3) 频响曲线操作按钮

：曲线区放大按钮，点击该按钮后，鼠标移到曲线区，鼠标变成十字架形，此时按住鼠标左键拖动，将选择的波形区放大；

：波形缩小按钮，点击该按钮后，曲线区缩小一定倍数；

：平移曲线区，点击该按钮后，鼠标移动到波形区，鼠标变成手形，按住鼠标左右移动波形；

：显示全部，点击该按钮后曲线区显示全坐标范围内的曲线图；

：缩放还原，对之前曲线区的放大缩小做还原操作；

↓ : 保存为图片，保存当前显示的曲线区为 png 格式图片；

(4) 测试数据名区

a. 测试数据的名称和颜色

测试数据的名称由软件按照测试配置参数自动生成,如“HOB10_162242”,H 代表高压绕组,O 代表激励输出(输入)端,B 代表信号输入端,10 表示分接位置 10,162242 表示测试时间为 16 点 22 分 42 秒;颜色和频响曲线颜色一致。将鼠标悬停到测试波形名称上,曲线自动加粗,并且由提示框提示该条曲线的测试日期。

b. 测试数据属性

测试数据分为指纹数据,待比较数据,隐藏数据;

名称前带  图标的,表示该条数据为“指纹数据”,“指纹数据”作为当前所有展示的频响曲线的对比参照,软件下方的数据分析区的分析值也基于指纹数据计算得到。

名称前带  图标的,表示该条数据为“待比较数据”,此条数据将和“指纹数据”做对比。

名称前带  (灰色)图标的,表示该数据为“隐藏数据”,此条数据的曲线不在曲线区显示。

c. 右键菜单

在测试数据名区点右键,弹出如下菜单。“指纹数据”用于选择当前哪一条数据作为指纹;“关闭数据”将选择的某一条数据从曲线区关闭显示(非删除,数据列表中仍存在);“关闭所有数据”将当前曲线区显示的所有数据都关闭,清空显示。

坐标轴类型,可选择普通坐标和对数坐标两种形式。



图 4.2 测试数据名区右键菜单

(5) 幅频响应曲线区

幅频响应曲线的绘制区域,可以显示多条频响曲线,曲线以不同颜色对应各测试数据名;紫色的竖线作为游标,鼠标悬停到此游标上,鼠标变成左右向箭头,此时拖动游标,界面下方的数据分析区将显示游标对应频率点的测量值和其他数据信息。

(6) 数据分析区

显示各条频响曲线当前游标所在位置的测量值,扫描频率,增益,相关系数,方差等数据信息。

(7) 数据分析选择按钮

用于切换数据分析区显示的类型，分为“相关系数/均方差”，“报告数据”，“差异曲线”，“差异彩虹条”。

(8) 测试数据列表

以层级树形结构显示数据库中存储的测试记录。站点名，变压器名，测试日期三级分类管理测试数据，双击某条测试数据，曲线区和数据分析区将显示该条记录。

(9) 基本信息区

根据测试数据列表中选择的层级，显示站点信息，变压器信息，某条测试记录的信息。

(10) 网络类型

显示当前电脑与测试仪的网络连接方式，分有线网络和 WIFI（分体机）两种。

4.2 连接仪器

一体机内部使用有线网络连接方式，网络设置固定在“有线网络”（默认）即可（WIFI 连接方式为分体机上才支持）。



图 4.3 网络连接方式

在正式连接仪器之前，请先认真确认按照 2.2 节所述接线方式接好电缆，将网线可靠连接到网络接口上，打开测试仪电源开关，等待 windows 引导完成，点击桌面“变压器绕组变形测试仪”快捷方式，此时通过点击主界面中的“**连接仪器**”按钮，建立与仪器的连接，软件提示“**握手成功**”后，“**连接仪器**”按钮变成“**断开仪器**”，此时可以开始测试。

如果连接仪器失败，请尝试再次连接，如一直连接不成功，请联系厂家技术部门解决。

4.3 站点和变压器参数配置

仪器连接成功后，可右键点击界面左侧站点树，选择“添加站点”或“添加设备”来添加新站点和新变压器，也可以右键选择“删除站点”或“删除设备”来删除不需要的站点和变压器，注意，删除操作将清空保存的本设备（站点）下的所有测试数据！操作界面如图 4.4 所示



图 4.4 添加站点、设备

当需要编辑某变压器时，将鼠标移至该变压器节点，右键点击“**选择设备**”，界面左下方显示该变压器信息，此时可以浏览和设置变压器信息，设置完成后，点击“保存”按钮，即可将信息录入数据库，如图 4.5 所示

⤴ 基本属性

所属单位

设备名称

型号

⤴ 变压器属性

相数

绕组数

绕组类型

⤴ 分接开关

开关生产厂家

开关型号

开关序列号

开关分列数

起始位置

结束位置

中间位置

3个中间位置

保存
刷新

图 4.5 变压器参数配置

变压器设置参数意义如下：

- (1) **所属单位**：变压器的所属单位名称，确定资产的归属方，如 xxx 变电站；
- (2) **设备名称**：变压器的名称，用于区别所属单位下不同变压器设备，如变压器#1；
- (3) **变压器型号**：变压器型号名，可以设置成和变压器铭牌上一致；
- (4) **相数**：变压器相数设置，单相变压器或三相变压器；
- (5) **绕组数**：变压器绕组设置，双绕组或三绕组；
- (6) **绕组类型**：变压器绕组接线类型，分 Y 型，YN 型或三角型；
- (7) **分接开关生产厂家**：变压器所配置的分接开关厂家名称；
- (8) **开关型号**：变压器所配置的分接开关型号名；
- (9) **开关序列号**：分接开关厂家出厂序列号；
- (10) **开关分列数**：开关内部的过渡电路组数，分单分列，双分列或三分列；
- (11) **起始位置**：测试时分接开关的起始位置；
- (12) **结束位置**：测试时分接开关的结束位置；
- (13) **中间位置**：测试时分接开关的中间位置；
- (14) **中间位置**：分接开关是否有三个中间位置，如 9A，9B，9C；

4.4 系统设置

4.4.1 测试设置

开始测试前，需要先设置测试参数，请点击界面右上角  按钮，在出现的下拉列表中选择“系统设置”，在弹出的对话框中选择“测试设置”选项，如图 4.6 所示



设置项	值
变压器	变压器#1
绕组类型	高压
信号输入端	A
信号检测端	B
分接位置	9
开始频率(KHz)	1
结束频率(KHz)	1000
扫频间隔(KHz)	1

图 4.6 测试设置

测试设置参数意义如下：

【基本设置】

1. **变压器**：在设备列表中已经选中的当前测试的变压器设备名；
2. **绕组类型**：当前测试的绕组时高压、低压、还是中压绕组，后续生成的测试名称分别以 H, L, M 开头；
3. **激励输出(入)端**：选择当前激励输出和激励输出所连接的相别或套管名；
4. **信号输入端**：选择信号输入所连接的相别；
5. **分接位位置**：“当前分接位”设置当前分接开关所在位置，如分接位置发生改变，请选择；

【扫频设置】

开始频率(KHz): 扫频的起始频率，KHz 为单位；

结束频率(KHz): 扫频的结束频率，KHz 为单位，最大为 2000KHz;

扫频间隔(KHz): 扫频的相邻两个频率之间的间隔，0.5KHz, 1KHz, 2KHz 三档可选；

修改完测试设置后，点“确认”按钮，当前设置即刻生效。

4.4.2 网络设置

选择电脑以何种网络方式连接测试仪，IP 地址和端口不需要更改。



图 4.7 网络设置

4.4.3 分析设置



图 4.8 分析设置

【频段设置】

定义测试信号的频率区段，后续数据分析依据所设置的低中高频段来区分，一般情况下保持默认设置即可。

频段	开始频率	结束频率
低频	1kHz	100kHz
中频	100kHz	600kHz
高频	600kHz	1000kHz

【曲线相关性告警】

在测试软件底部数据区是否显示相关性数据的严重，中度，轻度，正常等变形程度告警和颜色提示，以及在自动生成的报表中，是否提示这些严重程度。

【幅频差异彩虹条】

差异彩虹条的绘制根据此处设定的相同频点不同曲线之间的幅频响应差值。

【表格显示】

选择数据分析区显示的可选项，分为“增益列”，“相关系数列”，“理论相关系数”，“均方差列”。

4.4.4 波形设置

设置波形曲线的坐标类型，分为普通线性坐标和对数坐标两种，当设置为对数坐标时，响应曲线以对数坐标形式绘制。

背景色，网格颜色，曲线宽度（默认为 1），游标颜色，低频，中频，高频的背景色。

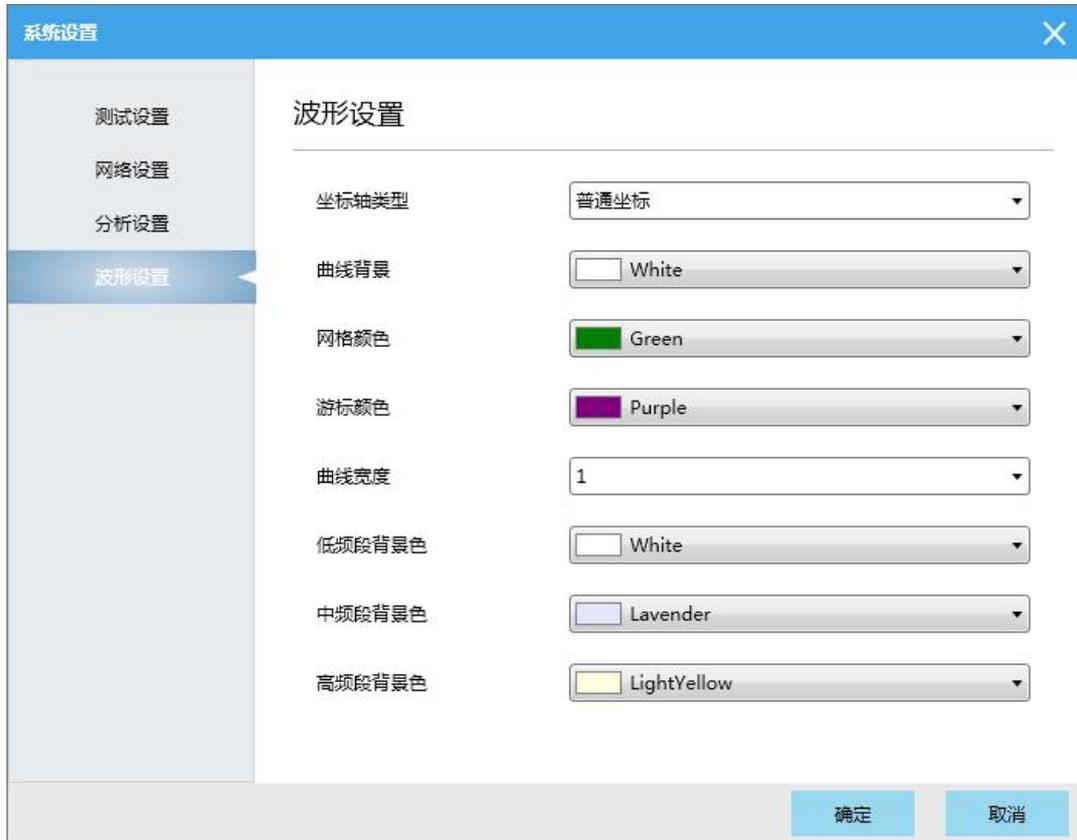


图 4.9 波形设置

4.5 开始测试

常规测试步骤：

1. 按【安全要求】做好试验准备。
2. 按接线要求和接线方法进行接线，检查接线是否正确且可靠；特别要注意检查信号接地线与历次测试是否接在变压器外壳的同一位置上。
3. 开机并启动测试仪软件，点击“连接仪器”，等连接完成。
4. 在软件左侧数据列表区右键中添加站点或设备，记录变压器的属性，分接开关等信息（如已有设备记录，此步骤可省略），**右键选择要测试的设备，选中后设备名和所属站点名标红。**
5. 点击“开始测试”，根据实际需求并参照以前的测试记录，确定要测试的绕组，分接位置及扫频设置。
6. 点击“确定”后，软件开始扫频，绘制曲线，扫频进度条滚动，X轴频率点按照设置的频率间隔逐渐递增。
7. 等待测试结束，如需要保存当前测试曲线，点击界面右上方“保存数据”按钮，测量数据和波形将保存到软件数据库中，并出现在左侧测量记录列表中。

8. 重复 5~7，对变压器各绕组逐一测试

危险 变压器绕组变形检测应在所有直流试验项目之前或者在绕组充分放电后进行。

注意 每次点击“开始测试”前，均应认真核对扫频参数，确保同实际接线一致。

一次测试完成，需要点击“保存数据”才会把当前测试保存到数据库，否则下一次测试将覆盖当前数据。如果在测试过程中需要停止测试，请点击“停止测试”。

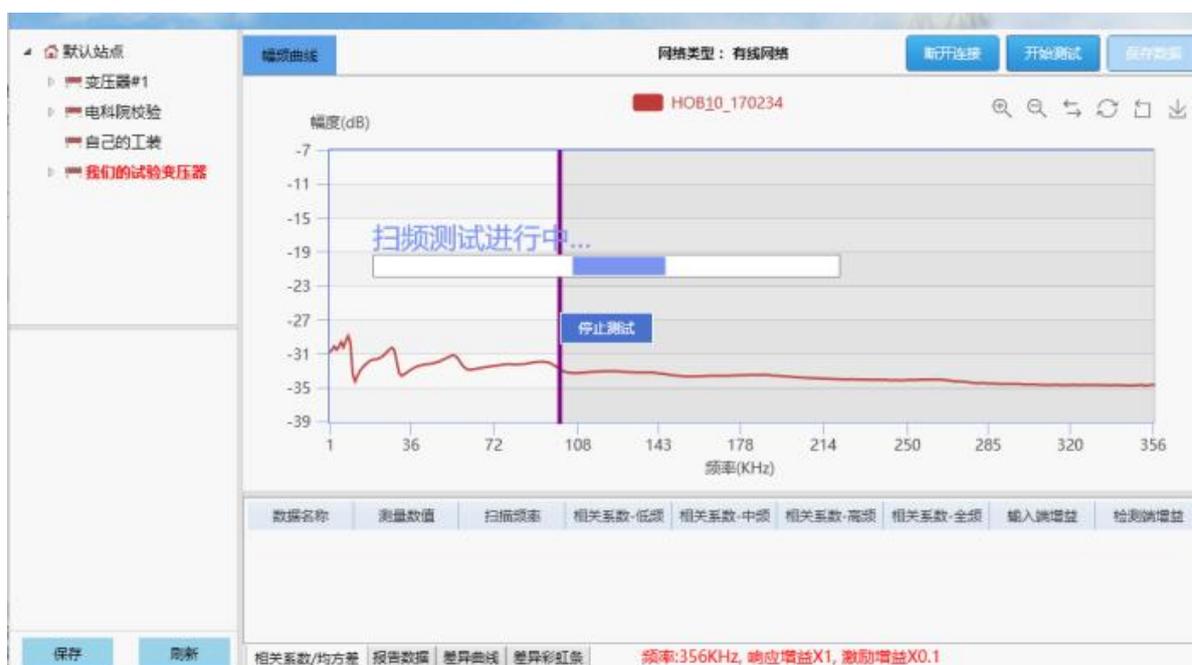


图 4.10 测试进行中

4.6 测试数据管理

4.6.1 测试数据保存

测试开始后，请耐心等待一定时间，此时扫频进度条滚动，等扫频到结束点，进度条退出，此时请确认当前测试数据是否需要保存，如需保存，点击界面右上角“保存数据”按钮，当前数据录入数据库中，并会展示在软件左侧测试数据列表中，如不保存，则当前数据将被下一次测试覆盖。频响曲线以不同颜色绘制，以区别不同的测试。测试数据名称区以对应的颜色显示测试名称，名称含义和属性请参考 4.1 节所述。

4.6.2 测试数据封存

由于绕组变形测试做纵向对比，时间上具有一定的跨度，为了确保数据安全，防止误操作误删除，测试的数据可以封存，将某次测试保存后出现在数据列表中，在该条数据上点击右键，选择“封存数据”，数据名前的图标变成 ，此时无法删除该数据，也无法删除其所属的设备，只有将封存取消后才能做删除操作。



图 4.11 测试数据管理

4.6.3 测试数据打开、删除、导出

数据列表区右键菜单中“打开数据”，和双击该测试数据一样，曲线区和数据分析区将显示该条测试记录。”删除数据“将该条测试记录从数据库中删除，封存的数据将不可删除，需要先解除封存，注意删除操作不可逆，请谨慎确认。”导出数据“将该条记录的源文件导出到电脑，供数据迁移使用。

4.6.4 测试数据导入和兼容

为方便历史测试数据的管理和对比，软件支持将从别的设备拷贝来的的测试数据导入到当前设备上，右键选择设备名，点击“导入数据”，选择要导入的数据，数据格式支持本测试仪的自有格式，如名为“HAB_1_202201.bin”格式文件，也支持兼容其他厂家，将数据通过 U 盘拷贝到测试仪，然后选择数据导入，如浦江宏顺格式，在数据类型中选择“浦江宏顺数据格式 (*.txt)”，如西湖电子格式，在数据类型中选择“西电数据文件(*.XD)”，如圣泰数据格式，在数据类型中选择“圣泰数据(*.cvs)”等，导入后，数据将出现在左侧目录列表中。

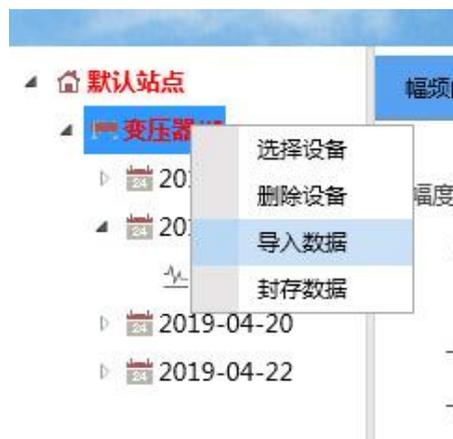


图 4.12 测试数据导入

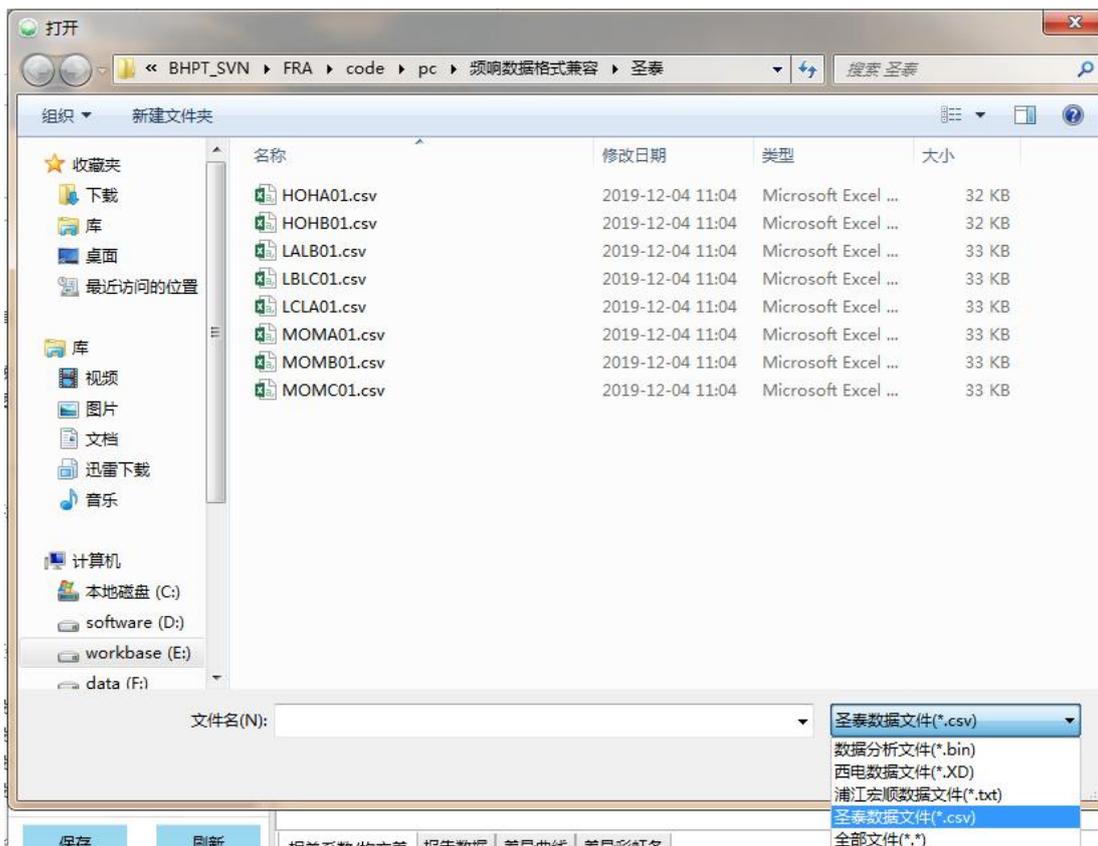


图 4.13 数据兼容性导入选择

4.7 数据分析

4.7.1 分析方法

采用频率响应分析法判断变压器绕组变形，主要是对绕组的幅频响应特性进行纵向或横向比较，并综合考虑变压器遭受短路冲击的情况、变压器结构、电器试验及油中溶解气体分析等因素。幅频曲线的相似程度和相关系数的大小，可较直观地反应出变压器绕组幅频响应特性的变化，通常可作为判断变压器绕组变形的手段。

1.纵向比较法

根据频率响应法检测原理，同一台变压器、同一绕组、同一分接开关位置幅频响应特性唯一，而跟测量时间无关，这一幅频响应特性可以形象的称为“指纹”。“指纹”数据往往在变压器状况良好的情况下测得，将不同时期的幅频响应特性与“指纹”数据比较，根据变化情况判断变压器的绕组变形。该方法具有较高的检测灵敏度和判断准确度，但需要预先获得变压器原始的幅频响应特性，并应排除因检测条件及检测方式变化所造成的影响。

2.横向比较法

横向比较法是指对变压器同一电压等级的三相绕组幅频响应特性进行比较，必要时借鉴同一制造厂在同一时期制造的同型号变压器幅频响应特性，来判断变压器绕组是否变形。该方法不需要变压器原始幅频响应特性，现场应用较为方便，但应排除变压器的三相绕组发生相似程度的变形或者正常变压器绕组的幅频响应特性本身存在差异的可能性。

4.7.2 数据选择

1. 在数据列表中点击站点名，设备名，测试时间，测试名称找到需要参加对比的数据。通过鼠标右键或者双击选择需要对比的数据。

2. 将其中一条作为“指纹数据”（默认选中的第一条作为指纹），也可以通过 4.1 节第四点说述选择其他数据作为指纹。

4.7.3 幅频响应曲线的观察

纵坐标为信号输入相对于激励输出的量化幅度值，以 dB 作为计量单位。

横坐标为激励输出信号的频率，以 KHz 为单位。

可以按照 4.1 节所述，通过曲线操作按钮和右键菜单来操作和设计频响曲线的显示方式和属性。

典型的变压器绕组幅频响应特性曲线，通常包含多个明显的波峰和波谷。经验及理论分析表明，幅频响应曲线中的波峰或波谷分布位置以及数量的变化，是分析变压器绕组变形的重要依据，波峰或波谷位置发生明显位移，或数量发生大的变化，提示变压器绕组发生变形，详细可参考《DL 911-2004 电力变压器绕组变形的频率响应分析法》所述。

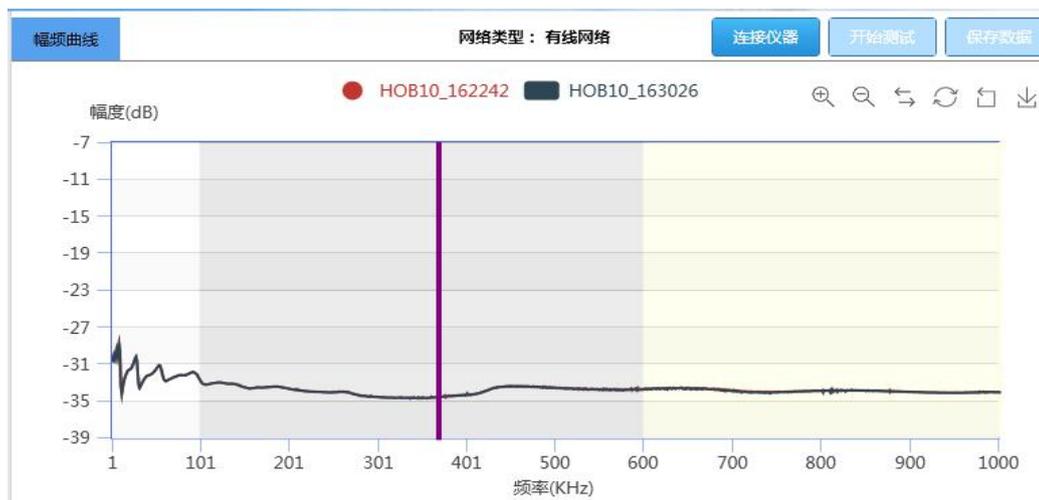


图 4.14 幅频响应曲线图

4.7.4 数据分析（比较）结果

数据分析时，系统自动将待分析测试数据和指纹数据相比较，比较的差异值以曲线或颜色方式显示出来。

要查看某类数据比较结果，请点击对应的数据分析区选项卡进行选择：

相关系数/均方差 | 报告数据 | 差异曲线 | 差异彩虹条

1. 【相关系数/均方差】

选择好要分析的测试数据和指纹数据后，包含高、中、低频段及全频段的工程相关系数、理论相关系数、均方差，其中根据《DL 911-2004 电力变压器绕组变形的频率响应分析法》，使用工程相关系数判断绕组变形程度（判断方法请参照 4.10 节），判断结果数值在表格中以不同背景颜色显示。

严重 明显 轻度 正常

数据名称	测量数值	扫描频率	相关系数-低频	相关系数-中频	相关系数-高频	相关系数-全频
HAB133031	-19.11	457.5	-	-	-	-
HAB133402	-19.12	457.5	2.14	0.79	0.2	0.68
HAB133523	-19.11	457.5	2.04	0.72	0.29	0.77

- 红色提示严重变形，黄色为明显，蓝色为轻度，白色为正常。
- 紫色显示的波形数据为指纹数据。

2. 【报告数据】

输出测试报告时所引用的各个数据结果，显示当前界面上所有频响曲线两两对比的相关系数列表。

比较数据	相关系数-低频	相关系数-中频	相关系数-高频	相关系数-全频
HOC141424 - HAB185407	4.72	2.35	1.9	1.36
HOC141424 - HAB162827	0.23	-0.06	0.92	0.54
HAB185407 - HAB162827	0.23	-0.06	0.76	0.53

相关系数/均方差 | 报告数据 | 差异曲线 | 差异彩虹条

严重 明显 轻度 正常

3. 【差异曲线】

各待分析曲线与指纹曲线的差值形成的曲线图。

4. 【差异彩虹条】

彩虹条由【绿-黄-红】依次过渡的颜色显示，绿色代表差异较小、黄色代表明显差异、红色代表较大差异；绿黄红各颜色对应的差异值可在【系统设置】--【分析设置】--【幅频差异彩虹条】中设置，彩虹条的显示效果完全依赖于您设置的各颜色对应的差异值。

4.8 生成报告

本软件支持直接生成测试报告，点击界面右上角按钮，在出现的下拉列表中选择“导出报告”选项。导出的报告以 WORD 文档格式另存到电脑硬盘，在生成报告前请确保电脑上已经安装 Microsoft Office Word 2003 及以上版本的 WORD 软件。否则，报告将无法成功生成。

生成的报告格式如图 4.16 所示。

导出设置

测试人

审核人

批准人

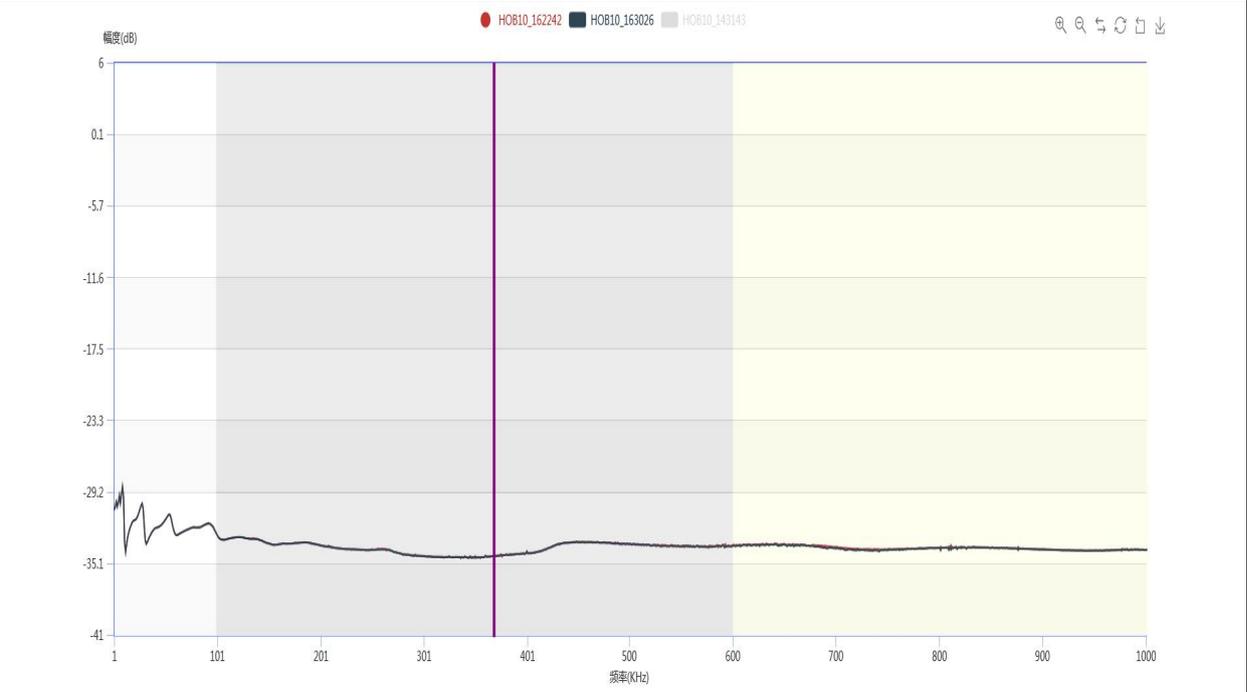
测试结论

确定 取消

图 4.15 导出报告选项

变压器频响测试报告

变压器所属单位名称: 默认站点	变压器名称: 大湾变 1#
变压器型号: XXX	变压器相数: 单相
变压器绕组数: 双绕组	变压器绕组接线方式: Y 型
分接开关生产厂家: XXXX	分接开关型号: TLMX
分接开关出厂序号: 090910	分接开关分列数: 单分列



幅频响应曲线
数据相关性结果

比较数据	相关系数-低频	相关系数-中频	相关系数-高频	相关系数-全频	均方差-低频	均方差-中频	均方差-高频	均方差-全频
HOB_10_162242 - HOB_10_163026	3.86	2.65	1.3	2.82	0.02	0.04	0.06	0.05
HOB_10_162242 - HOB_10_143143	0.35	0.18	-0.33	-0.18	31.81	33.59	33.68	33.42
HOB_10_163026 - HOB_10_143143	0.35	0.17	-0.3	-0.18	31.81	33.59	33.71	33.44

被测开关分接位置:	测试时间:
测试温度:	测试人员: 王 XX
试验结论: 正常	

图 4.16 导出报告格式

注意：数据相关性结果列表展示了每两条曲线之间的对比数据值，如“HOB_10_162242 - HOB_10_163026”表示将 HOB_10_162242 曲线作为参考，HOB_10_163026 相对于它的相关性计算结果值。

4.9 帮助和关于

如在使用本软件过程中，遇到一些操作问题，请点击界面右上角 ▾ 按钮，在出现的下拉列表中选择“帮助”，打开简易的帮助手册，对操作有概要说明，详细操作说明请参考本说明书。

请点击界面右上角 ▾ 按钮，在出现的下拉列表中选择“关于”，显示本仪器的详细型号，软件版本号 and 固件版本号，固件版本为仪器硬件版本号，如使用过程中需要本公司技术咨询，请提供版本信息给本公司。

4.10 相关系数 R 辅助判断绕组变形

设两个长度为 N 的传递函数幅值序列 $x(k)$ 、 $y(k)$ ， $k=0\dots N-1$ ，且 $x(k)$ 、 $y(k)$ 为实数

1. 平均值

$$Xp = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \quad , \quad Yp = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k)$$

2. 标准方差

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [X(k) - Xp]^2 \quad , \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [Y(k) - Yp]^2$$

3. 协方差

$$Cxy = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [X(k) - Xp][Y(k) - Yp]$$

4. 归一化协方差系数

$$L_{Rxy} = C_{xy} / \sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

5. 工程相关系数

$$R_{xy} = \begin{cases} 10 & 1 - L_{Rxy} < 10^{-10} \\ -\log(1 - L_{Rxy}) & \text{其它} \end{cases}$$

相关系数与变压器绕组变形程度的关系（仅供参考）

绕组变形程度	相关系数 R
严重变形	RLF < 0.6
明显变形	0.6 ≤ RLF < 1.0 或 RMF < 0.6
轻度变形	1.0 ≤ RLF < 2.0 或 0.6 ≤ RMF < 1.0
正常变形	2.0 ≤ RLF 且 1.0 ≤ RMF 且 0.6 ≤ RHF

注：RLF 为曲线在低频段（1kHz~100kHz）内的相关系数
 RMF 为曲线在中频段（100kHz~600kHz）内的相关系数
 RHF 为曲线在高频段（600kHz~1000kHz）内的相关系数

五、工作原理

在较高频率的电压作用下，变压器的每个绕组均可视为一个有线性电阻、电感（互感）、电容等分布参数构成的无源线性双口网络，其内部特征可通过传递函数 $H(j\omega)$ 描述，如图 5.1 所示。如果绕组发生变形，绕组内部的分布电感、电容等参数必然改变，导致其等效网络传递函数 $H(j\omega)$ 的零点和极点发生变化，使网络的频率响应特性发生变化。

用频率响应分析法检测变压器绕组变形，是通过检测变压器各个绕组的幅频响应特性，并对检测结果进行纵向或横向比较，根据幅频响应特性的差异，判断变压器可能发生的绕组变形。

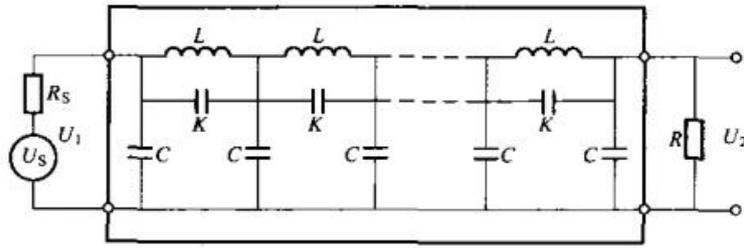


图 5.1 频率响应分析法的基本检测回路

U_s —正弦波激励信号源电压 R_s —信号源输出阻抗 R —匹配电阻

L 、 K 、 C —绕组单位长度的分布电感、分布电容及对地分布电容

U_1 、 U_2 —等效网络的激励端电压、响应端电压

变压器绕组幅频响应特征采用频率扫描方式获得，连续改变外施正弦波激励源 U_s 的频率 f ($\omega=2\pi f$)，测量在不同频率下的响应端电压 U_2 和激励端电压 U_1 的信号幅值之比，获得指定激励端和响应端情况下绕组的幅频响应曲线，幅频响应曲线通常以对数形式表示，即：

$$H(f) = \lg[h(f)] = K \lg[U_2(f)/U_1(f)] = 20 \lg[U_2(f)/U_1(f)]$$

式中：

$H(f)$ ——频率为 f 时传递函数的模 $|H(j\omega)|$

$U_2(f)/U_1(f)$ ——频率为 f 时响应端和激励端电压的峰值或有效值 $|U_2(j\omega)|$ 和 $|U_1(j\omega)|$

六、现场使用注意事项

按【接线示意图】和【接线方式】所述进行接线且确保连接可靠。

为便于比较，应查看以前的测试记录，按照统一的扫频方式进行测试，对同一变压器的历次测试接线应相同。

详细记录被试品的铭牌数据、原始工况有否异常以及被试品变压器当前测试状况下的分接开关位置（这些信息可以在测试软件中进行记录）。

对刚退出运行的变压器进行测量，测量前应尽量让其散热降温；但在整个测量过程中应停止对其所施的降温手段，保持温度，以免测量过程中温度变化过大而影响测量结果的一致性。

一般测量一条曲线约 80 秒钟(1kHz~1000kHz,间隔 1kHz) ,需要存盘的数据请点击“保存数据” ,如果发现一次测试长时间不能完成，请尝试结束扫描后重新扫描。

如果在仪器正常使用中，发现测试数据明显不合理，请检查是否存在以下情况：

1. 空气湿度大、试品表面脏污

空气湿度大、试品表面脏污或受潮，会使测试数据异常增大或减小，可采取清洁表面，烘干处理。

2. 接地线或信号线接触不良

接触不良会引起测量数据严重波动。如试品表面氧化层太厚、接地点上有油漆和生锈等。请保持接触点良好的导电性，现场试验时应使接线各个连接点接触良好，以保证测量数据的稳定性。

3. 仪器端子接触不良

请务必保证仪器上的激励输入，激励输出，信号输入连接到变压器正确位置，端子牢固连接再仪器连接件上。

试验前，如想确认试验线，夹具和连接有无问题，可以将仪器的激励输入，输出，信号输入三个实验钳连接在一起（不需要接变压器绕组上），软件扫频，**幅频响应曲线应该为 0dB 直线且平滑，否则检查接线是否可靠。**

注意事项：

在未经本公司允许或知情的情况下请勿擅自打开机器、拆卸或更换元器件，如遇到质量问题，请立即与本公司技术服务部门联系。

七、设备维护

7.1 日常维护

本仪器在平时不用时，应定期检查确保结构坚固，并存放在环境温度-20 - 60℃，相对湿度不超过80%，通风、无腐蚀性气体的室内，防止雨水、灰尘进入，存贮时不应紧靠地面和墙壁。

7.2 运输

运输时请确保各装置固定，无松动，适当加以减震保护。搬运时，主机正面朝上，轻拿轻放，切勿碰撞！

产品自发货起两年内，如果用户遵守运输、储存和使用规则，由于制造上的原因而使质量低于特性要求的，本公司负责修理或更换。在产品使用寿命内，本公司负责提供有关本产品的维护、使用培训及附件供应等相关服务。