



高电科技
HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY

www.hzhv.com



HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY

CT7000

数字变频综合试验电源

使用说明书

杭州高电科技有限公司

HANGZHOU HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY CO.,LTD

前 言

欢迎惠顾:

衷心感谢您选用本公司的产品，您因此将获得本公司全面的技术支持和服务保障。

使用本产品前，请仔细阅读本说明书，并妥善保存以备今后使用参考。如果您在使用过程中有疑问，请及时联系本公司。

关于本仪器:

调频式串联谐振耐压试验是利用电抗器和试品电容串联组成 LC 谐振回路，通过调节输出频率，找到谐振点，在被试品上获得较高的试验电压。它是用小容量低电压的电源获得高电压大容量的输出，是当前高压试验的一种新方法，已得到广泛的应用。

调频式串联谐振在电力系统中应用具有如下优点:

1. 所需电源容量大大降低。串联谐振电源是利用谐振电抗器和被试品电容谐振产生高电压和大电流的，在整个系统中，电源只需要提供系统中有功消耗的部分，因此，试验所需的电源功率只有试验容量的 $1/Q$

2. 设备重量和体积大大减少。串联谐振电源中，不但省去了笨重的大功率调压装置和普通的大功率工频试验变压器，而且，谐振激磁电源只需试验容量的 $1/Q$ ，使得系统重量和体积大大减少。

3. 改善输出电压的波形。谐振电源是谐振式滤波电路，能改善输出电压的波形畸变，获得很好的正弦波形，有效的防止了谐波峰值对试品的误击穿。

4. 防止大的短路电流烧伤故障点。在串联谐振状态，当试品的绝缘弱点被击穿时，电路立即脱谐，回路电流迅速下降为正常试验电流的 $1/Q$ 。而并联谐振或者试验变压器方式做耐压试验时，击穿电流立即上升几十倍，两者相比，短路电流与击穿电流相差数百倍。所以，串联谐振能有效的找到绝缘弱点，又不存在大的短路电流烧伤故障点的隐患。

5. 不会出现任何恢复过电压。试品发生击穿时，因失去谐振条件，高电压也立即消失，电弧即刻熄灭，且恢复电压的再建立过程很长，很容易在再次达到闪络电压前断开电源，这种电压的恢复过程是一种能量积累的间歇振荡过程，其过程长，而且，不会出现任何恢复过电压。

6. 调频式串联谐振耐试验装置以调频的方式实现谐振，频率的调节范围为 $20\sim 300\text{Hz}$ ，符合国标《电气设备交接试验标准》(GB50150-2006)中推荐使用频率 $20\sim 300\text{Hz}$ 的谐振耐压试验。

目 录

一、	主要功能及技术特点.....	4
二、	系统整体技术指标.....	4
三、	主要相关标准.....	4
四、	应用范围.....	5
五、	设备组成.....	5
5.1	变频控制电源.....	5
5.2	励磁变压器.....	5
5.3	电抗器.....	5
5.4	电容分压器.....	5
5.5	补偿电容器.....	5
5.6	附件.....	6
5.7	单套设备详细供货清单一览表：.....	6
六、	串联谐振原理.....	6
七、	现场试验的频率与容量计算.....	7
7.1	串谐振耐压试验要考虑的因素.....	7
7.2	电抗器串环节数.....	7
7.3	谐振频率.....	7
7.4	变频控制电源与励磁变压器容量.....	8
7.5	计算实例.....	8
八、	变频控制电源操作说明.....	9
8.1	操作面板说明.....	9
8.2	仪器触摸屏操作界面说明.....	10
1.	开机界面.....	10
2.	参数设置.....	10
3.	历史记录.....	13
4.	参数计算.....	13
5.	手动试验.....	14
6.	自动试验.....	15
九、	现场试验接线及操作.....	16
9.1	试验的一般步骤.....	16
9.2	交联电缆试验.....	16
9.3	变压器耐压试验.....	17

十、	现场试验注意事项.....	17
十一、	常用表格.....	18
11.1	交联聚乙烯电缆电容量表.....	18
11.2	35kV 全绝缘变压器工频耐压等效电容量表.....	20
11.3	66kV 全绝缘变压器工频耐压等效电容量表.....	20
11.4	110kV 分级绝缘变压器工频耐压等效电容量表.....	20
11.6	国内部分地区(省)修订后交联电缆试验规程主要内容一览表.....	21
11.7	变压器交流耐压试验电压值一览表.....	22
11.8	不同试品试验频率的选择.....	22
十二、	常用试品的交流耐压试验选型及基本配置参考表.....	23
12.1	电缆谐振耐压试验选型及基本配置.....	23
12.2	其它 110kV、220kV 等电气设备谐振耐压试验选型及基本配置.....	24
12.3	不同发电机组的工频交流耐压试验选型及基本配置.....	25

一、主要功能及技术特点

本装置完全由公司自主研发，采用了基于 DSP 平台技术的 SPWM 控制，集调压、调频、控制及保护于一身，输出波形失真小，频率稳定，具有良好的过流、过压、过热、放电保护等功能，可广泛适用于发电机、电力变压器、GIS、交联高压电缆、高压开关、互感器等电力设备的交流耐压试验。

1. 装置具有过压、过流、零位启动、系统失谐（闪络）等保护功能，过压过流保护值可以根据用户需要进行整定。

2. 整个装置单件重量很轻，便于现场使用。

3. 装置具有自动和手动两种工作模式，方便用户根据现场情况灵活选择，提高试验速度。手动模式可使用电位器进行升压，使用尤其方便。

4. 能存储和异地打印数据。

5. 采用工业触摸屏进行控制，人机界面好，操作方便，触摸屏可显示扫频曲线，方便使用者直观了解是否找到谐振点。

二、系统整体技术指标

1. 工作温度：-10℃~45℃；

2. 工作湿度：≤85%；

3. 海拔：≤1000m；

4. 供电电源电压：三相 AC380V±10% (或单相 AC220V±10%)，50Hz；

注：当实际输出电流大于 15A 时，建议使用三相 AC380V 电源供电

5. 电源最大功率：10kW (三相 AC380V 电源供电时)；

6. 最大试验容量：300kVA；

7. 工作频率范围：20~300Hz；

8. 调频步进频率：0.1Hz；

9. 调频不稳定性：<0.05%；

10. 谐振电压波形：正弦波，畸变率<1%；

11. 系统测量精度：1.0 级；

12. 外形尺寸：410mm×270mm×320mm

13. 重量：17kg

三、主要相关标准

- | | |
|-----------------------------------|------------------|
| 1. 《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》 | GB50150-2006 |
| 2. 《高压谐振试验装置》 | DL/T 849.6-2004 |
| 3. 《高压试验装置通用技术条件 第 2 部分：工频高压试验装置》 | DL/T848.1-2 |
| 4. 《电力设备预防性试验规程》 | DL/T T596.6-1996 |
| 5. 《电抗器》 | GB10229.88 |
| 6. 《耦合电容器和电容分压器》 | IEC358(1990) |

四、应用范围

本装置配置主要针对6~35kV交联电缆的交流耐压试验以及实际试验电压低于300kV的其它电力高压设备如发电机、变压器、GIS、开关、母线、套管、互感器等的交流耐压试验。

五、设备组成

装置主要由变频控制电源、励磁变压器、电抗器、电容分压器和补偿电容器组成。各部件分别介绍如下：

5.1 变频控制电源

输入电压：三相 AC380V 或单相 AC220V±10% 50Hz

最大功率：10kW

输出电压频率：20~300Hz 连续可调

频率步进：0.1Hz 步进可调

输出波形：正弦波

频率不稳定性：≤0.05%

额定工作电流：25A

5.2 励磁变压器

励磁变压器为单相干式自冷，它的主要作用是将变频电源输出的正弦波电压升压到合适的试验电压值，一般励磁变压器有多个绕组，配合电抗器使用，可满足不同电压等级、不同容量的试验要求，励磁变压器的容量与变频电源相同。

5.3 电抗器

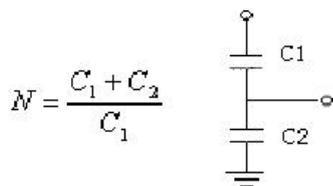
电抗器采用干式结构，可单独或任意串联、并联使用，环氧树脂绝缘筒外壳。

电抗器并联，增加电流容量，电感减小；电抗器串联，增加电压耐压等级，电感增加。实际应用时，可根据实际情况进行串、并联，以满足试验电压、电流的需要。

5.4 电容分压器

环氧筒外壳，用来测量被试品(电力电缆或其它)的试验电压。

电容分压器是高电压测试设备，内部一般由两个电容 C1、C2 串联而成，如图它将高电压降为几十伏的低电压输出，供测量和保护使用，如不考虑寄生电感的影响，分压比 N 与频率无关，由 C1、C2 的电容量决定。



5.5 补偿电容器

补偿电容是在小容量试品（如短电缆、变压器、GIS 等）试验时，把它和试品并联，将谐振频率控制在一定的范围内（如 45~65Hz），使用时，应注意电容的耐压，可选配。

5.6 附件

变频电源主控器配备有专用引线和插头与其他设备进行连接，包括与电源的专用动力引线，与励磁变压器的低压引线，与分压器的专用测量引线，专用接地引线等。

5.7 单套设备详细供货清单一览表：

序号	部件名称	型号规格	单位	数量
1	变频控制电源		台	1
2	励磁变压器		台	1
3	电抗器		台	若干
4	电容分压器		台	1
5	补偿电容器		台	选配
6	装置附件（电源线、各部分连接线）		套	1

六、 串联谐振原理

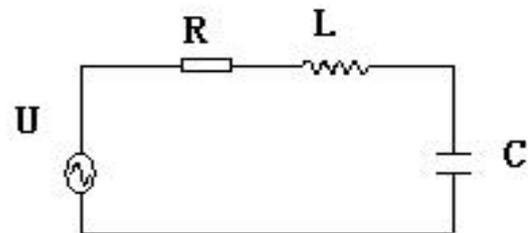
如图右图所示，电感 L 与电容 C 串联构成串联谐振回路，R 为整个回路的等效电阻。当在回路中施加一个交流电压时：

$$\text{回路的感抗： } X_L = 2\pi fL$$

$$\text{回路的容抗： } X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\text{回路总阻抗： } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

谐振原理图



当改变回路参数或电源频率，使感抗和容抗相等时，施加于电感上的电压 U_L 和电容上的电压 U_C 大小相等，方向相反，相互抵消，整个回路呈阻性，阻抗为最小值 $Z = R$ ，回路电流为最大值，电容上的电压为最大值，此时称为**串联谐振状态**。

当回路处于谐振状态时，

$$X_L = X_C, 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\text{回路电流： } I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R} \quad (2-1)$$

$$\text{电源功率： } P = IU = \frac{U^2}{R} \quad (2-2)$$

$$\text{谐振频率： } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-3)$$

$$\text{回路品质因素： } Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \quad (2-4)$$

$$\text{电容上的电压: } U_C = I_C \times X_C = \frac{U}{R} \times X_C = U \times \frac{X_C}{R} = QU \quad (2-5)$$

$$\text{电感上的电压: } U_L = I_L \times X_L = \frac{U}{R} \times X_L = U \times \frac{X_L}{R} = QU \quad (2-6)$$

$$\text{电容上的功率: } P_C = I_C \times U_C = \frac{U}{R} \times QU = Q \frac{U^2}{R} = QP \quad (2-7)$$

根据上述分析，可以得出以下几点结论：

1. 串联回路的谐振条件为 $X_L = X_C$, $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$;

对于不同的试品电容 C，调节频率 f 或电感 L 均可以使回路谐振，前者称为变频谐振系统，后者称为调感式谐振系统。

2. 由式 (2-5) 可知，谐振时试品电容上的电压 U_C 等于电源输入电压 U 的 Q 倍。在工程应用中，品质因素主要由电抗器决定，约等于电抗器的感抗与直流电阻之比，一般为 20~120 之间，因此可以用低压电源通过谐振在试品上获得高电压。

3. 由式 (2-7) 可知，谐振时试品电容上所产生的容量是电源提供容量的 Q 倍。因此可以用低容量的电源通过谐振，在试品上产生大的试验容量。其中 Q 为回路的品质因素。

七、现场试验的频率与容量计算

在现场试验之前，应根据不同的试验对象、规程要求和计算结果，预先确定本次试验的方案与需要携带的变频控制电源、电抗器、分压器等试验设备的规格与数量。下面将以 6~35kV 电缆变频串联谐振耐压试验为例，对现场试验的频率与容量如何确定与计算示例如下：

7.1 串联谐振耐压试验要考虑的因素

1. 谐振频率控制范围
2. 试验电缆长度（主要确定试品的电容量）
3. 试验电压
4. 单节电抗器的绝缘耐压、电感量、最大工作电流
5. 变频控制电源与励磁变压器功率
6. 补偿电容的电压等级与容量

其中，谐振频率控制范围、试品的电容量与试验电压在试验之前需要明确。需要通过计算明确的有：电抗器的规格与数量、变频电源与励磁变压器容量。

7.2 电抗器串环节数

电抗器是否需要串联，首先应考虑试验电压，通常单节电抗器的额定电压在 18~26KV，电感量一般在 20~100H 左右。对 10kV 电缆一般用单节或单节并联即可满足要求。而对 35kV 电缆则需要考虑采用 2 节或 3 节电抗器串联，或者 2 节或 3 节电抗器串联后再并联。

7.3 谐振频率

对于长电缆尤其是截面积较大的长电缆，由于其电容量较大，根据谐振频率公式 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，会出现谐振频率低于下限频率的情况。此时应设法减小电感量，采用的方法是电抗器并联。

对于短电缆尤其是截面积较小的短电缆，由于其电容量较小，根据谐振频率公式 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，会出现谐振频率高于上限频率的情况，此时应设法增大电感量。采用的方法是电抗器串联，电抗器串联后会减小试验回路电流，减小变频控制器与励磁变压器的功率。对于更短的电缆（如 50m 左右），则可考虑采用并联补偿电容方法来降低谐振频率。

7.4 变频控制电源与励磁变压器容量

试品上试验功率由变频控制器通过励磁变压器提供，由于谐振放大作用，变频控制器与励磁变压器输出的功率只需试品上试验功率的 1/Q 倍。尽管如此，当被试电缆长度较长时，要求变频控制器与励磁变压器输出功率仍比较高。通常情况下 10kVA 的输出容量可满足绝大部分 6~35KV 电缆试验要求。

7.5 计算实例

例 1：某交接试验，有一条 YJV 8.7/10kV、截面积为 300mm²、长度为 1km 的电缆，要求试验频率控制在 45~65Hz。单节电抗器规格为：额定电压 18kV，额定工作电流 1.2A，电感量 55H。

根据交联电缆试验规程，该等级电缆的试验电压为 2U₀，即 17.4kV；查表得知该型号电缆 1km 的电容量为 0.37uf，电抗器只要选择单节不小于 18KV 的额定电压即可。

$$\text{计算谐振频率: } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \sqrt{55 \times 0.37 \times 10^{-6}}} = 35.3\text{Hz}$$

此时谐振频率已低于下限频率 45Hz，因此可采用 2 节电抗器并联以减小电感量，并联后的电感量为 27.5H，此时谐振频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \sqrt{27.5 \times 0.37 \times 10^{-6}}} = 49.9\text{Hz}，\text{该谐振频率符合控制要求。}$$

此时回路的谐振电流为：

$$I_c = U_c \omega c = U_c 2\pi f c = 17.4 \times 2 \times 3.14 \times 49.9 \times 0.37 \times 10^{-3} = 2.02\text{A}$$

两只电抗器并联后的额定电流为 2.4A，谐振电流为 2.02A 符合要求。

$$\text{试品上的视在功率: } S_c = U_c I_c = 17.4 \times 2.02\text{kVA} = 35.15\text{kVA}$$

若 Q 值取 30，变频控制电源与励磁变压器有效输出功率：

$$S_B = S_c / Q = 35.15 / 30 = 1.17\text{kVA}$$

例 2：某交接试验，有一条 YJV 26/35kV、截面积为 185mm²、长度为 1km 的电缆，要求试验频率控制在 30~75Hz。单节电抗器规格为：额定电压 18kV，额定工作电流 2.0A，电感量 55H。

根据交联电缆试验规程，该等级电缆的试验电压为 2U₀，即 52kV，根据试验电压值，电抗器必须要 3 个单节串联（165H）；查表得知该型号电缆 1km 的电容量为 0.163uf。

计算谐振频率：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \sqrt{165 \times 0.163 \times 10^{-6}}} = 30.69\text{Hz} \text{符合控制要求。}$$

此时回路的谐振电流为：

$$I_c = U_c \omega c = U_c 2\pi f c = 52 \times 2 \times 3.14 \times 30.69 \times 0.163 \times 10^{-3} = 1.63 A$$

$$\text{试品上的视在功率: } S_c = U_c I_c = 52 \times 1.63 kVA = 84.76 kVA$$

若 Q 值取 30, 变频控制电源与励磁变压器有效输出功率:

$$S_B = S_c / Q = 84.76 / 30 = 2.83 kVA$$

八、变频控制电源操作说明

8.1 操作面板说明



仪器面板图

- 电源输入

电源接入, 接三相 AC 380V \pm 10%或单相 AC 220V \pm 10% 50Hz, 当电源为 380V 时, 接 A、B、C 三相, 可做额定负载试验; 当电源为 220V 时, 接 A、B、C 任意二相, 只可做 1/2 负载试验。

注: 当变频源实际输出电流大于 15A 时, 建议使用三相 AC 380V 电源供电!

- 输出

变频电源输出接至激励变压器输入。

- 电源开关

负责变频电源部分的电源供给。

- 调压电位器

手动控制模式时用于升压操作(启动前电位器必须置于“零”位)。

- **高压指示灯**
变频电源启动指示。
- **复位按钮**
负载失谐、变频源过热以及其它保护动作后的故障复位。
- **急停按钮**
发生紧急情况的应急停止按钮。
- **分压器信号**
用于接入分压器低压臂，最大电压 100V，输入阻抗 10MΩ。
- **接地**
用于系统安全接地。
- **USB 接口**
用于接入 U 盘存储资料或接入鼠标代替触摸操作。
- **触摸屏**
用于系统各参数、波形、菜单等的显示以及相关控制操作。

8.2 仪器触摸屏操作界面说明

1. 开机界面

仪器开机后，显示界面如下图所示。



2. 参数设置

每次试验前必须正确设置当次试验的各种参数！点击“参数配置”后，显示界面如下图所示。

试验参数设置

起始频率: <input type="text" value="0.00"/> Hz 终止频率: <input type="text" value="0.00"/> Hz 起始电压: <input type="text" value="0.00"/> V 分压比: <input type="text" value="0"/> : 1	<input type="button" value="帮助"/> <input type="button" value="恢复出厂设置"/> <input type="button" value="返回"/>
试验电压: <input style="border: 2px solid red;" type="text" value="0.00"/> kV 试验时间: <input type="text" value="00"/> : <input type="text" value="00"/> : <input type="text" value="00"/>	数字键盘 <input type="button" value="取消"/> <input type="button" value="BackSpace"/> <input type="button" value="1"/> <input type="button" value="2"/> <input type="button" value="3"/> <input type="button" value="0"/> <input type="button" value="4"/> <input type="button" value="5"/> <input type="button" value="6"/> <input type="button" value="."/> <input type="button" value="7"/> <input type="button" value="8"/> <input type="button" value="9"/> <input type="button" value="确定"/>
保护电压: <input type="text" value="0.00"/> kV 过流保护: <input type="text" value="0.0"/> A 闪络保护: <input type="text" value="0.00"/> kV <input type="button" value="版本选择"/>	2013年09月16日 08:42:46 星期一

- **起始频率**

选择自动调谐时的启动频率，下限频率最低为 20Hz，起始频率必须小于终止频率，且至少 $\leq 30\text{Hz}$ 。

- **终止频率**

选择自动调谐时的终止频率，上限频率最高为 300Hz，终止频率必须大于起始频率，且至少 $\geq 30\text{Hz}$ 。

1. 设置的“终止频率”必须大于“起始频率”，且至少 $\geq 30\text{Hz}$ 。
2. 当第一次试验时建议采用 30Hz~300Hz 进行扫描。
3. 当已经知道大概频率范围时，可以选定在适当的频率段扫描，以减少试验时间。

- **起始电压**

自动调谐时的初始工作电压，最高为 100V。

1. 对 Q 值较低的试品如发电机、电动机、架空母线，初始值设定为 50~70V。
2. 对 Q 值较高的试品如电力电缆、变压器、GIS 等，初始值设定为 20~50V。

- **分压比**

电容分压器的变比值，根据实际值设定（出厂默认值为 1000:1）。

- **试验电压**

设置试验电压值。

- **试验时间**

设置试验电压的耐压时间。

- **过压保护**

设置试验电压的极限值，电压超过时自动终止试验，一般比试验电压高 10%。

- **过流保护**

设置低压输出电流的保护值。

注：在不知道实际试验电流的情况下，一般将其设置成装置额定电流。

- **闪络保护**

设置击穿电压的偏差值，且当闪络后触摸屏须重新启动。

- **数字键盘**

设置各功能参数的数值。

- **帮助**

提供设置“试验参数”时的操作提示。

- **恢复出厂设置**

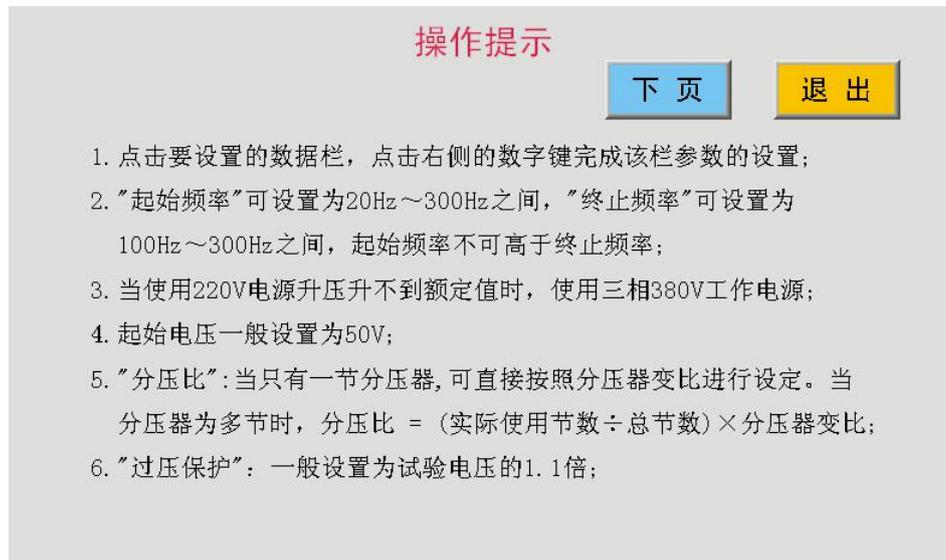
将设置参数恢复到出厂设置值。

- **版本设置**

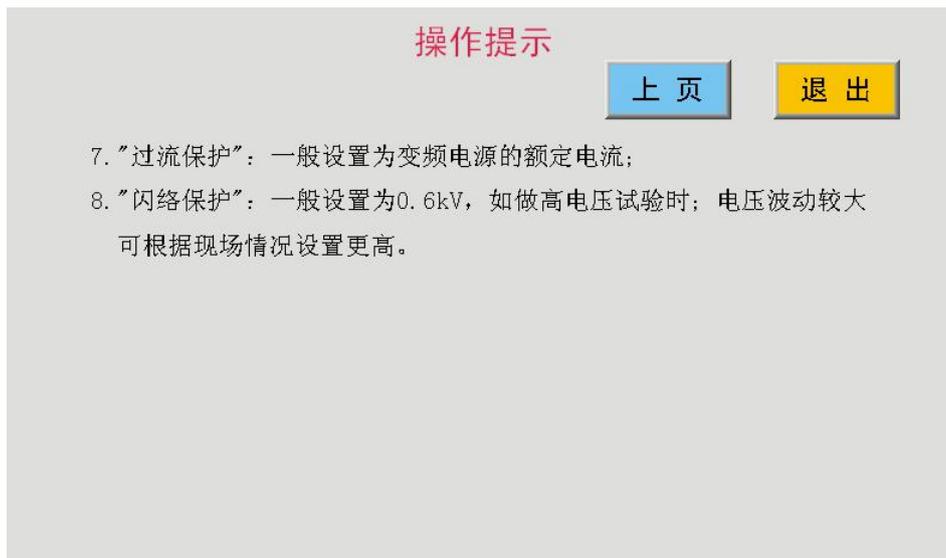
厂家的出厂参数设置，用户无需设置。

2.2. 帮助

点击“帮助”后，显示界面如下图所示。



点击“下页”后，显示界面如下图所示。



3. 历史记录

点击“历史记录”，显示界面如下图所示。

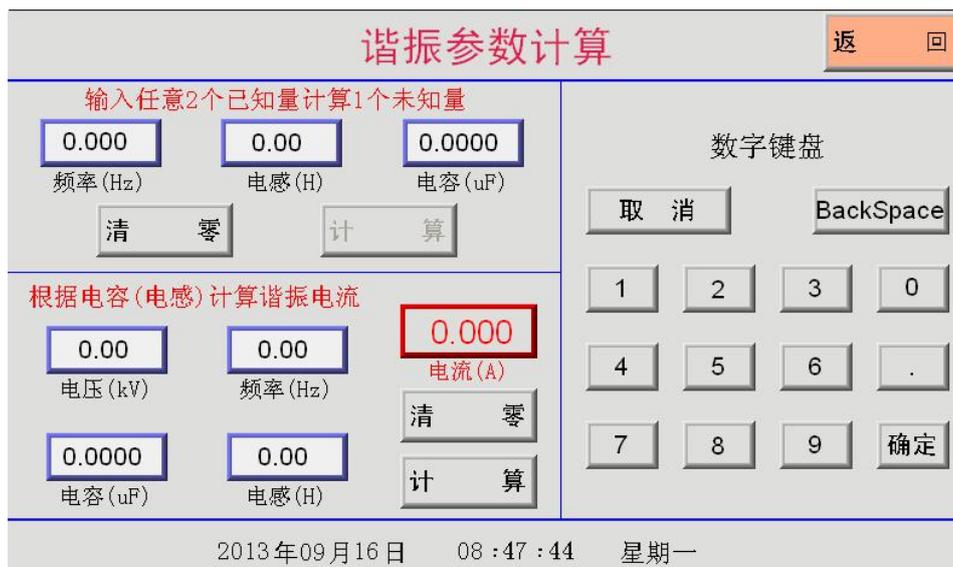
历史数据			
上一 页	已有记录：0000 条 剩余记录：3200 条		删除所有记录
	序号	数据标识	时间标签
		—	
		—	
		—	
下一 页			
			目前要打开的记录序号 0000
			U盘可用空间： 955288
			导出数据
			打开文件
			返回
2013年09月16日 09:08:08 星期一			

选择相应的数据记录，可打开相应文件。插入U盘，点击“导出数据”可以把试验记录输入到U盘。打开文件界面如下图所示。

记录编号：000—000		关闭
试验方式：自动方式	时间标签：2013—0819/09—3259	
谐振频率：000.00 Hz	试验情况：试验完成	
试验电压：000.00 kV	低压输出：000 V	
耐压时间：00 时 00 分 00 秒	试验电流：000.00 A	
电路电感：0000.0 H	电路电容：0000.0 uF	

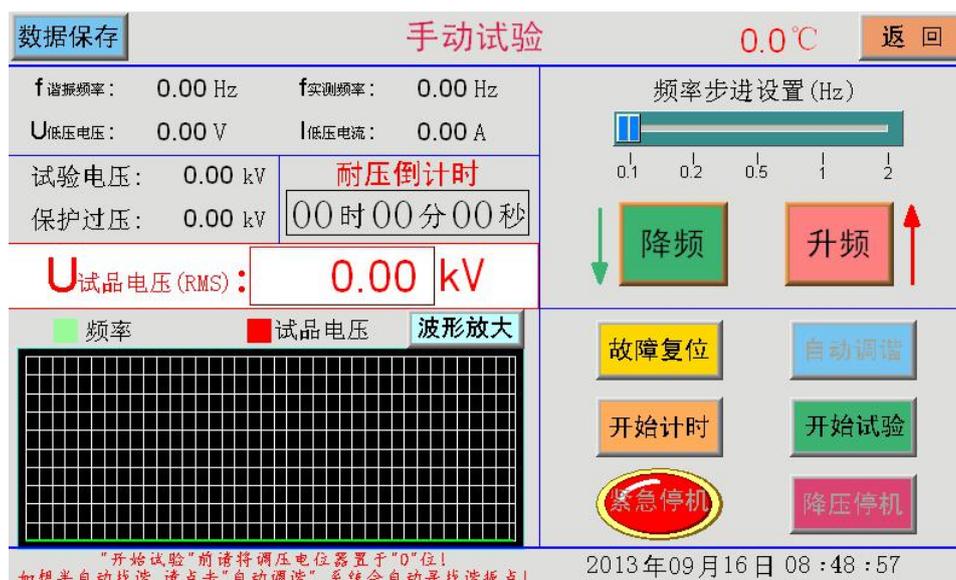
4. 参数计算

若需要计算电感、电容、频率和谐振电流等参数，请点击“谐振参数计算”，显示界面如下图所示。计算谐振电流时，电容和电感只输入一个参数即可，另外一个需设为0，若电容和电感都有输入，则系统自动默认通过电容来计算谐振电流。

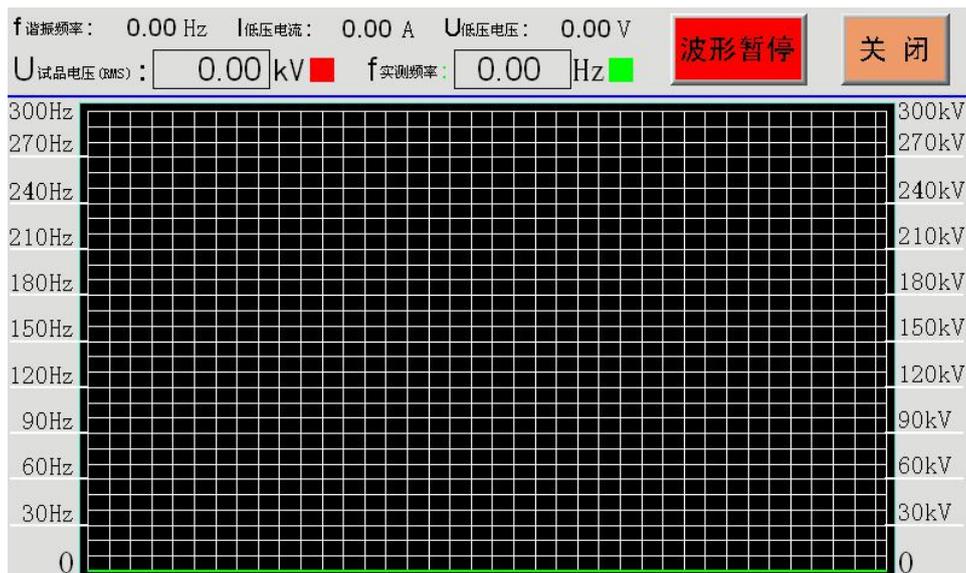


5. 手动试验

当“试验参数”设置完成时，点击“手动试验”，进入“手动试验”界面，显示界面如下图所示。



- 将面板上调压电位器逆时针调到底(置于“0”位)，点击“开始试验”按钮，若想自动寻找谐振点，则点击“自动调谐”按钮，扫频波形里红色代表电压曲线，绿色代表频率曲线。若不想自动找谐振点，则调节面板上调压电位器，将“U_{低压电压}”升到10V左右，再点击“升频”或“降频”按钮来找谐振点(频率步进值可根据实际情况来进行适当设置)。为方便读数(自动扫频时)，可点击“波形放大”按钮来放大波形。波形放大界面如下所示，为方便精确读数，可点击“波形暂停”按钮来停止波形显示。



- 找到谐振点后，调节面板上调压电位器，升压至试验电压值。
- 电压升到试验电压后，点击“开始计时”按钮，系统开始计时。
- 在试验过程中，如果出现异常情况请直接点击面板上或触摸屏界面上的“紧急停机”按钮(面板上的按钮具有优先控制权)，若想终止本次试验，可点击“降压停机”按钮来结束本次试验。
- 当“耐压倒计时”到0时，蜂鸣器鸣叫提示计时时间已到，此时可点击“降压停机”，系统自动降压，当电压降为零时试验完成。
- 若想保持本次试验数据，可点击“数据保存”按钮来保存本次试验数据，供以后查询和打印。
- 若试验过程中出现故障保护后，再次试验时，须点击“故障复位”按钮来使设备复位，否则无法再次开始试验。

注：手动试验和自动试验界面的“ $U_{\text{低压电压}}$ ”显示值为计算的近似值而非实际测量值，存在较大误差的可能，该值仅供参考！

6. 自动试验

当“试验参数”设置完成时，点击“自动试验”，进入“自动试验”界面，显示界面如下图所示。



- 点击“开始试验”按钮，系统自动完成“找谐振点”、“升压”、“计时”、“停机”等试验过程。
- 在试验过程中，如果出现异常情况请直接点击面板上或触摸屏界面上的“紧急停机”按钮(面板上的按钮具有优先控制权)，若想终止本次试验，可点击“降压停机”按钮来结束本次试验。
- 试验完成后，若想保持本次试验数据，可点击“数据保存”按钮来保存本次试验数据，供以后查询和打印。
- 若试验过程中出现故障保护后，再次试验时，须点击“故障复位”按钮来使设备复位，否则无法再次开始试验。
- “自动试验”的波形放大界面与“手动试验”界面相同。

九、现场试验接线及操作

9.1 试验的一般步骤

1. 根据附录或其他资料计算试品电容量 C。

2. 根据 $L = \left(\frac{1}{2\pi f}\right)^2 \times \frac{1}{C}$ 计算受控频率的高、低限范围（如 45~65Hz）时的电感量，并依据试验规程中

建议的试验电压，确定电抗器、励磁变压器的数量及规格。

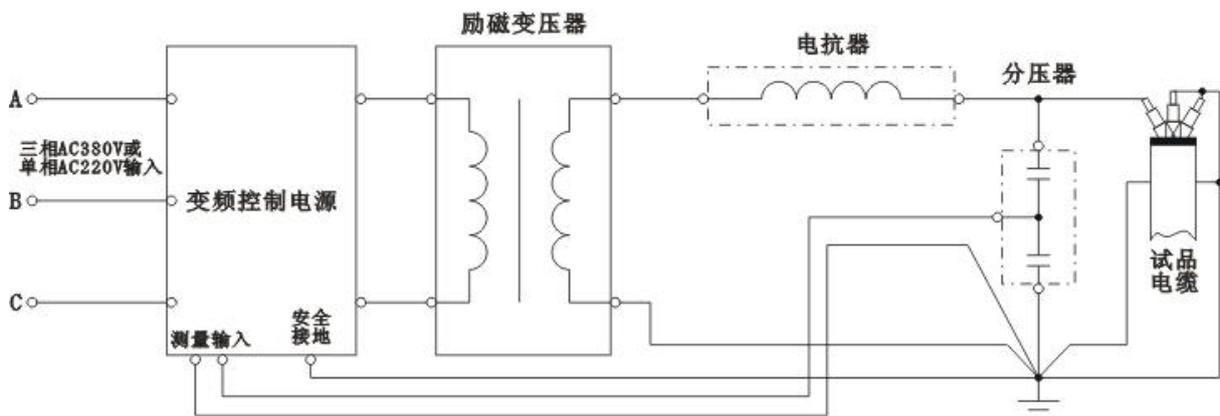
3. 确定试品的试验接线图并连接整个试验装置。

4. 在变频电源的“手动试验”或“自动试验”界面中确定试验电压、保护电压（一般为试验电压的 1.1 倍）、保护电流、试验时间、扫频范围等参数。

5. 选择手动或自动寻找谐振点。

6. 选择手动或自动试验，依据说明书操作，最终完成试验。

9.2 交联电缆试验



交联电缆试验连接示意图

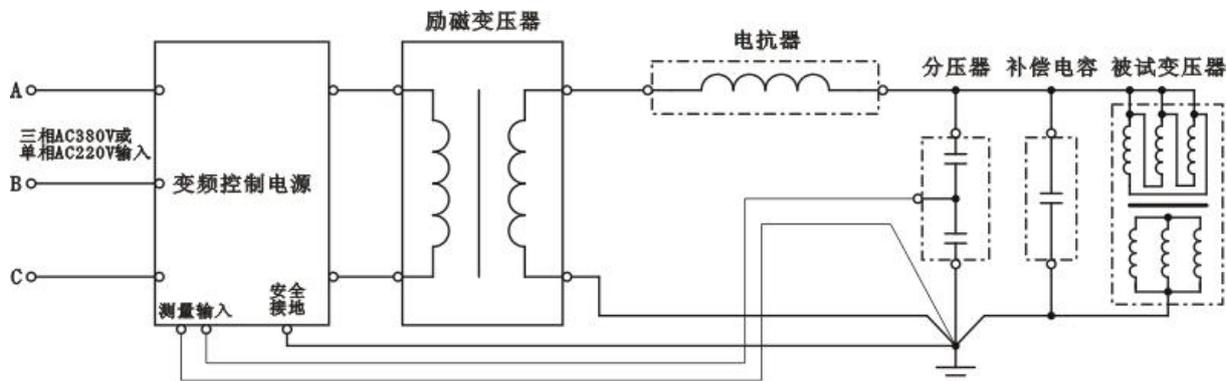
试验要求及注意事项如下：

1. 电缆屏蔽层过电压保护器应短接，并使试验电缆的金属屏蔽层与非试相导线一并接地。如果电缆头安装在杆塔上，该接地不可利用杆塔架。电缆的屏蔽层与非试相，应采用规范的接地线可靠接地，并与试验系统的接地相连接。

2. 如果电缆头与 GIS 直接连接，试验时 GIS 内部的 PT、避雷器需要断开。

3. 变频电源主控制器的接地线必须保证没有试验电流流过。
4. 高压引线不得放置在电抗器上，也不得拖地。

9.3 变压器耐压试验



变压器交流耐压试验连接示意图

试验要求及注意事项：

1. 试验频率通常要求在 45~65Hz 左右。
2. 串谐系统地应与变压器外壳采用专用接地线连接。
3. 试验项目一般可分为以下三种：
 - 高压绕组接高压，中压绕组、低压绕组、外壳短接后接地。
 - 中压绕组接高压，高压绕组、低压绕组、外壳短接后接地。
 - 低压绕组接高压，高压绕组、中压绕组、外壳短接后接地。
4. 被试验绕组短接后接高压，非试验绕组短接后和外壳接地，试验设备和被试品不得有悬浮电位存在。

十、现场试验注意事项

1. 本试验设备应由高压试验专业人员使用，使用前应仔细阅读使用说明书，并经反复操作训练。
2. 操作人员应不少于 2 人。使用时应严格遵守本单位有关高压试验的安全作业规程。
3. 为了保证试验的安全正确，除必须熟悉本产品说明书外，还必须严格按国家有关标准和规程进行试验操作。
4. 各联接线不能接错，否则可能导致试验装置损坏。
5. 整个试验系统应在分压器最近距离单点接地，所有接地线应短、粗、直，接地应绝对可靠以便尽可能减小接地感抗，在试品击穿时保护人员与设备安全。
6. 电缆屏蔽层过电保护器短接，并使试验电缆的金属屏蔽层与非试相导线一并接地。如果电缆头安装在杆塔上，该接地不可利用杆塔架。电缆的屏蔽层与非试相应采用规范的接地线可靠接地并与试验系统的接地相联接。
7. 如果电缆头与 GIS 直接连接，试验时 GIS 内部的 PT、避雷器需要断开。
8. 谐振点的扫频建议采用自动方式，本公司的自动方式扫频所得的谐振频率非常准确、可靠。而升压则尽可能选择手动方式，以防在升压过程中被被品击穿。

十一、常用表格

11.1 交联聚乙烯电缆电容量表

电缆导体截面积 (平方毫米)	电容 ($\mu\text{F}/\text{km}$)				
	YJV、YJLV 6/6kV、6/10kV	YJV、YJLV 8.7/10kV、8.7/15kV	YJV、YJV、YJLV 12/20kV	YJV、YJLV 21/35kV	YJV、YJLV 26/35kV
1×35	0.212	0.173	0.152		
1×50	0.237	0.192	0.166	0.118	0.114
1×70	0.270	0.217	0.187	0.131	0.125
1×95	0.301	0.240	0.206	0.143	0.135
1×120	0.327	0.261	0.223	0.153	0.143
1×150	0.358	0.284	0.241	0.164	0.153
1×185	0.388	0.307	0.267	0.180	0.163
1×240	0.430	0.339	0.291	0.194	0.176
1×300	0.472	0.370	0.319	0.211	0.190
1×400	0.531	0.418	0.352	0.231	0.209
1×500	0.603	0.438	0.388	0.254	0.232
1×600	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256
3×35	0.212	0.173	0.152		
3×50	0.237	0.192	0.166	0.118	0.114
3×70	0.270	0.217	0.187	0.131	0.125
3×95	0.301	0.240	0.206	0.143	0.135
3×120	0.327	0.261	0.223	0.153	0.143
3×150	0.358	0.284	0.241	0.164	0.153
3×185	0.388	0.307	0.267	0.180	0.163
3×240	0.430	0.339	0.291	0.194	0.176
3×300	0.472	0.370	0.319	0.211	0.190
3×400	0.531	0.418	0.352	0.231	0.209
3×500	0.603	0.438	0.388	0.254	0.232
3×600	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256

电缆导体截面积 (平方毫米)	电容(μF/km)	
	YJV、YJLV 64/110kV	YJV、YJLV 128/220kV
3×240	0.129	
3×300	0.139	
3×400	0.156	0.118
3×500	0.169	0.124
3×630	0.188	0.138
3×800	0.214	0.155
3×1000	0.231	0.172
3×1200	0.242	0.179
3×1400	0.259	0.190
3×1600	0.273	0.198
3×1800	0.284	0.297
3×2000	0.296	0.215
3×2200		0.221
3×2500		0.232

11.2 35kV 全绝缘变压器工频耐压等效电容量表

试验项目 \ 等效电容量 (pF)	变压器容量 (kVA)					
	630	2000	3150	6300	16000	20000
高压—低压、地	2700	4100	5600	7900	8000	15000
低压—高压、地	4200	6600	7900	13000	15000	19000

11.3 66kV 全绝缘变压器工频耐压等效电容量表

试验项目 \ 等效电容量 (pF)	变压器容量 (kVA)					
	630	2000	3150	6300	12500	20000
高压—低压、地	2700	4100	4600	5900	7000	8200
低压—高压、地	4200	6600	7500	10000	11000	15300

11.4 110kV 分级绝缘变压器工频耐压等效电容量表

试验项目 \ 等效电容量 (pF)	变压器容量 (kVA)					
	5600	10000	20000	31500	40000	50000
高压—中压、低压、地	4200	6150	8700	11400	14000	14200
中压—高压、低压、地		9400	12000	11800	17000	19300
低压—高压、中压、地	6800	9600	13200	19300	20000	24800

11.6 国内部分地区(省)修订后交联电缆试验规程主要内容一览表

参数 地区	试验频率 (Hz)	U _m /U		1.8/3		3.6/6		6/6		6/10		8.7/10		12/20		21/35		26/35		/66		64/110		127/220	
		U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)	U(kV)	T(min)
浙江 江苏 安徽 湖北 福建	30~300	交接	U(kV)	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	-	1.7 U ₀	1.7 U ₀	1.4 U ₀	
			U(kV)	3.6	7.2	12	12	12	17.4	24	42	52	-	109	178										
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5										
		预试	U(kV)	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	-	1.36 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀
			U(kV)	3	6	10	10	10	14	19	34	42	-	87	146										
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5										
华北	1~300	交接	U(kV)	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	1.7 U ₀	1.7 U ₀	1.7 U ₀	1.7 U ₀	
			U(kV)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	5	5	5
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		预试	U(kV)	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	5	5	5
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
山东	20~300	交接	U(kV)	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	2 U ₀	-	1.7 U ₀	1.7 U ₀	
			U(kV)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	5	5	
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	5	5	
		预试	U(kV)	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.6 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀	1.36 U ₀	
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	5	5	
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
吉林	20~70	交接	U(kV)	3.5 U ₀	11.6	3.0 U ₀	17.4	3.0 U ₀																	
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
		预试	U(kV)	5.7	9.9	9.9	14.8	14.8																	
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
广东	35~75	交接	U(kV)	U _n	6	6	10	10	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35					
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					
		预试	U(kV)	2 U _m /√3	8	8	13	13	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46				
			U(kV)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
			T(min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				

注：广东 2 U_m/√3=2×1.15 U₀=2.3 U₀，中压电缆 35~75Hz；浙江 110kV 及以上电缆，用 35~75Hz(式 U₀=U_m/√3)，35kV 及以下电缆用 45~65Hz。

11.7 变压器交流耐压试验电压值一览表

额定电压 (kV)	最高电压 (kV)	线端试验电压值		工频试验电压值(中性点)	
		出厂	交接	出厂	交接
3	3.5	18	15	18	15
6	6.9	25	21	25	21
10	11.5	35	30	35	30
15	17.5	45	38	45	38
20	23.0	55	47	55	47
35	40.5	85	72	85	72
110	126.0	200	170 (195)	95	80
220	252.0	360	306	85	72
		395	336	(200)	(170)
500	550.0	630	536	85	72
		680	578	140	120

注：以上试验电压值仅作参考，实际加压值按照国家或当地电力行业标准执行！

11.8 不同试品试验频率的选择

1. 发电机(50Hz)，取 50Hz
2. 变压器(45~65Hz)，取 50Hz
3. GIS、开关、母线(30~300Hz)，取 45Hz
4. 电力电缆(30~300Hz)，取 35Hz

十二、常用试品的交流耐压试验选型及基本配置参考表

12.1 电缆谐振耐压试验选型及基本配置

产品型号	基本配置				
	变频源	电抗器	励磁变	分压器	适用对象
CTSR-44/22	2.5kW	1A/22kV 2台	2.5kVA/1kV	25kV	10kV 电缆≤1kM (300mm ²)
CTSR-88/22	4kW	2A/22kV 2台	4kVA/1kV	25kV	10kV 电缆≤2kM (300mm ²)
CTSR-132/22	6kW	2A/22kV 3台	6kVA/1/3kV	60kV	10kV 电缆≤3kM (300mm ²) 35kV 电缆≤1kM (300mm ²)
CTSR-176/22	7.5kW	2A/22kV 4台	7.5kVA/1/3kV	60kV	10kV 电缆≤4kM (300mm ²) 35kV 电缆≤1kM (300mm ²)
CTSR-220/22	10kW	2A/22kV 5台	10kVA/1/3kV	60kV	10kV 电缆≤5kM (300mm ²) 35kV 电缆≤1.5kM (300mm ²)
CTSR-264/22	12kW	2A/22kV 6台	10kVA/1/3kV	60kV	10kV 电缆≤6kM (300mm ²) 35kV 电缆≤2kM (300mm ²)
CTSR-330/22	15kW	2.5A/22kV 6台	15kVA/1/3kV	60kV	10kV 电缆≤8kM (300mm ²) 35kV 电缆≤2.5kM (300mm ²) 兼容 10~35KV 开关, 变压器
CTSR-640/32	25kW	2.5A/32kV 8台	25kVA/1/3/5kV	130kV	10kV 电缆≤10kM (300mm ²) 35kV 电缆≤4kM (300mm ²) 110kV 电缆≤1kM (400mm ²) 兼容 35~110KV GIS
CTSR-1280/32	50kW	5A/32kV 8台	50kVA/1/3/5kV	130kV	10kV 电缆≤20kM (300mm ²) 35kV 电缆≤8kM (300mm ²) 110kV 电缆≤2kM (400mm ²) 兼容 35~110kV GIS
CTSR-1950/130	100kW	3.75A/130KV 4台	100kVA/6.67kV	520kV	110kV 电缆≤2.5kM, 220kV GIS, 110kV 开关, 主变
CTSR-3250/130	150kW	6.25A/130KV 4台	150kVA/6kV	520kV	110kV, 220kV GIS、开关、主变 110kV 电缆≤5kM
CTSR-6500/130	300kW	12.5A/130KV 4台	300kVA/6kV	520kV	110kV, 220kV GIS 开关、主变 110kV 电缆≤10kM

12.2 其它 110kV、220kV 等电气设备谐振耐压试验选型及基本配置

产品型号	基本配置			
	变频源	电抗器	励磁变	适用对象
CTSR-108/54/108	5kW	27kV/1A 4台 频率 \geq 45Hz	5kVA	31.5kVA 及以下 35kV 主变 35kVA 断路器及闭母线、绝缘子 10kV (300mm ²) 电缆 2kM 35kV (300mm ²) 电缆 0.5kM
CTSR-216/108/216	10kW	54kV/1A 4台 频率 \geq 45Hz	10kVA	110kVA 断路器及母线 110kVA GIS \leq 10 隔断 35kV (300mm ²) 电缆 1.5 kM 10kV (300mm ²) 电缆 3kM 110kV 全绝缘主变压器
CTSR-270/270	15kW	54kV/1A 5台	15kVA	300KV 电缆 \leq 2kM 10KV 电缆 \leq 5KM 110kV GIS、开关主变
CTSR-200/400	10kW	100kV/0.5A 4台	10kVA	110kV GIS 开关 220kV 主变、GIS 开关
CTSR-400/400	20kW	100kV/1A 4台	20kVA	35kV 电缆 \leq 1kM 10kV 电缆 \leq 4kM 35~220kV GIS、开关、主变
CTSR-520/130-260	25kW	65kV/2A 4台 频率 \geq 45Hz	25kVA	110kVA 断路器及母线 110kVA GIS \leq 10 隔断 110kV (300mm ²) 电缆 0.8kM 35kV (300mm ²) 电缆 3kM 10kV (300mm ²) 电缆 6kM 110kV 全绝缘主变压器
CTSR-500/250-500	20kW	125kV/1A 4台 频率 \geq 45Hz	20kVA	220kVA 及以下电压互感器、电流互感器 220kVA 及以下穿墙套管 220kVA 及以下支柱绝缘子、隔离开关 220kV 及以下断路器 220kV 及其以下绝缘工器具
CTSR-600/600	30kW	120kV/1A 5台	30kVA	35~220kV GIS, 主变, 开关, 绝缘子 110kV 电缆 \leq 0.8kM 35kV 电缆 \leq 0.11kM
CTSR-800/800	40kW	200KV/1A 4台	40kVA	35~500kV GIS、主变、开关、绝缘子 110KV 电缆 \leq 0.8kM 220KV 电缆 \leq 0.5kM

12.3 不同发电机组的工频交流耐压试验选型及基本配置

产品型号	基本配置			
	变频源	电抗器	励磁变	适用对象
CTSR-176/44	20kW	22kV/2A 4台	20kVA	容量：600、1000MW 出口电压：24~26kV 额定电容量：0.26~0.29uF
CTSR-150/36	20kW	18kV/1.4A 2台 18kV/2.8A 2台	20kVA	容量：200、300、600（660）MW 出口电压：15.75~22kV 额定电容量：0.20~0.30uF
CTSR-100/36	10kW	18kV/2.8A 2台	10kVA	容量：200、300、600（660）MW 出口电压：15.75~22kV 额定电容量：0.20~0.23uF