



产品技术方案书



(图片仅供参考)

设备名称: 电缆便携式变频谐振耐压装置

型 号: **GDTF-88kVA/22kV**

生产厂家: 武汉国电西高电气有限公司

品 牌: 国电西高



一、采用标准：

DL/T849.6-2004	《电力设备专用测试仪器通用技术条件：高压谐振试验装置》
DL/T846-2004	《高电压测试设备通用技术条件》
GB50150-2006	《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》
JB/T9641-1999	《试验变压器》
GB10229	《电抗器》
GB/T.311-1997	《高压输变电设备的绝缘与配合》
GB4793-1984	《电子测量仪器安全要求》
GB2900	《电工名词术语》
GB4208	《外壳防护等级》
GB191	《包装贮运标志》
GB/T16927-1997	《高电压试验技术》
DL/T 596-2005	《电力设备预防性试验规程》
GB/T16927.1~2-1997	《高电压试验技术》
GB4793-1984	《电子测量仪器安全要求》

二、产品关键字：

电缆便携式变频谐振升压装置、交流耐压谐振装置、变频谐振升压装置、变频谐振、变频串联谐振、串联谐振、串联谐振变压器、串联谐振试验设备、串联谐振高压耐压装置，变频串联谐振装置，调谐耐压试验装置，调谐高压发生器。耐压装置、工频耐压试验、工频耐压试验装置、变频串联谐振交流耐压试验装置、变频谐振、调频串联谐振、串联谐振耐压试验装置、串联谐振试验设备、电缆耐压试验装置、工频耐压试验装置、高压交联电缆交流耐压试验设备、交流耐压试验装置、调频谐振、便携式电缆交流耐压试验装置，发电机交流耐压试验装置，GIS 交流耐压试验设备、高压交联电缆的交流耐压试验、发电机的交流耐压试验、开关柜，GIS 和 SF6 开关的交流耐压试验、变压器的工频耐压试验、母线，套管，互感器的交流耐压试验、变电站电气设备交流耐压谐振装置、变电站电力设备耐压谐振装置、变频串联谐振交流耐压试验装置、调频串联谐振、电缆交流耐压试验设备、调频串联谐振交流耐压试验装置，变频谐振耐压装置，串谐试验装置，串谐耐压装置、发电机耐压试验装置，变频谐振耐压试验装置、变电站一次电气设备交流耐压试验等。

三、工作原理：

通过变频电源提供供电电源，试验电压由励磁变压器经过初步升压后，使高电压加在电抗器 L 和被试品 CX 上，通过改变变频电源的输出频率，使回路处于串联谐振状态；保持该



频率不变，调节变频电源的输出电压，使试品上的电压达到所需的较高试验电压。回路的谐振频率取决于被试品的电容 C_X 和电感 L ，谐振频率 $f=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 。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。

四、被试品对象及试验要求：

1、10kV/300mm² 电缆 2km 的交流耐压试验，电容量 $\leq 0.751\mu\text{F}$ ，试验频率 30-300Hz，试验电压 22kV，试验时间 5min。

五、使用环境：

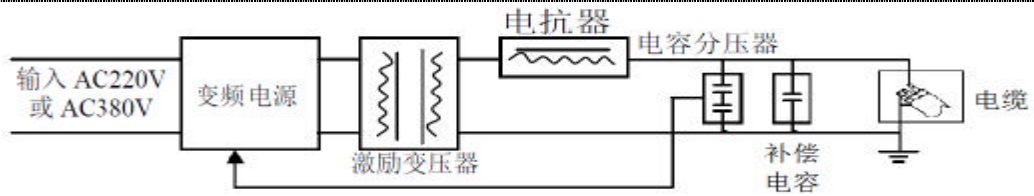
- 1、环境温度： $-10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ ；
- 2、相对湿度： $\leq 90\%RH$ ；
- 3、海拔高度： ≤ 1000 米。

六、功能简述：

电缆便携式变频串联谐振耐压装置是在 DL/T849.6-2004《电力设备专用测试仪器通用技术条件第 6 部分：高压谐振试验装置》的基础上国电西高主要针对 6-500kV 高压交联电缆的交流耐压试验设计制造。

可按规程要求满足电缆、电容等容性设备交流耐压试验也可兼做其它电力高压设备如母线，套管，互感器的交流耐压试验。既可满足高电压、小电流的设备试验条件要求，又可满足低电压、大电流的设备试验条件要求。适用于大容量，高电压的电容性试品的交接和预防性试验，具有较宽的适用范围。其中 35kV 及其以下电压等级的电缆使用数量多，试验工作量大，此类耐压试验装置体积小，重量轻，积木式叠装，便携式等优势尤为明显。是地、市、县级高压试验部门及电力承装、修试工程单位理想的耐压设备。广泛用于电力、冶金、石油、化工等行业。

电缆便携式变频串联谐振耐压装置主要由变频电源、励磁变压器、电抗器、电容式分压器等组成。耐压试验原理图，如下图所示。



耐电压试验原理图

七、装置特点:

- 1、本装置通过中国质量认证中心的 ISO9001 国际质量体系认证 (CQC);
- 2、通过国家权威部门--电力工业电气设备质量检验测试中心 (武汉高压研究所) 严格校验;
- 3、配置 30Hz—300Hz 变频控制源, 其保护功能强, 输出波形好, 稳定性好, 具备多种工作模式, 操作方便, 而且采用 220V 或 380V 两种电源, 方便现场取电;
- 4、做同电压等级、同容量的变电站工频交流耐压试验其设备整体重量大大减轻, 且单件设备重量是传统设备的 1/5, 彻底解决现场搬运困难问题;
- 5、配置灵活, 扩展功能强。可选配不同类型电抗器或采用多节串并联的方式, 满足电力系统所有容性试品试验要求;
- 6、装置既可以做电缆的交流耐压试验, 也可以做其它电力高压设备如母线、套管、互感器的交流耐压试验, 实现一机多用, 性价比高;
- 7、电抗器部分采用干式环氧浇注, 耐冲击, 美观可靠, 可任意放置;
- 8、所需电源容量大大减小: 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 1/10;
- 9、设备的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 1/10, 使得系统重量和体积大大减少, 一般为普通试验装置的 1/10-1/30;
- 10、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;
- 11、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 1/10。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忧患;
- 12、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；

- 13、全套系统使用精加工的传动机构，大大低了设备运行的噪音；
- 14、遵循国标要求，有监测电压真有效值功能，可实时监测试验电压波形；
- 15、过压, 过流, 放电, 过热及零启动保护全面可靠, 动作时间可达 us 级；
- 16、设备可选微型打印机，及时打印保存试验数据；
- 17、设备军用标准抗振和防尘及防潮设计，耐长途颠簸和严酷自然环境；
- 18、楔形导流风道，提高散热能力，大大延长使用寿命；
- 19、大屏幕触摸液晶彩屏和外接鼠标直接完成各种参数的设置；
- 20、独有软件校准功能，方便用户校准表计，确保高电压值准确度；
- 21、欧洲威图设计铝合金标准机箱, 立卧两用, 轻便耐用, 美观大方，现场使用方便；
- 22、主要器件采用原装进口，例如德州仪器，英特尔，西门子，施耐德，东芝，富士等；
- 23、110KV 及以上电压等级电缆耐压试验装置采用油浸式电抗器；
- 24、在单体重量超过 100kg 时，可选配我公司专用小型自动起吊装置。

八、功能特点：

- 1、可显示谐振电压、试验频率、测量频率、低压电压、低压电流、耐压时间；
- 2、具备高压过压、低压过流，以及失谐、零位、闪络、紧急停机、欠压等多重保护功能；
- 3、可显示频率曲线、电压曲线等可直观地判断当次试验谐振频率准确及稳定性；
- 4、全自动、半自动、手动三种操作模式以及电容，电感，频率互换计算、参数查询等功能；
- 5、具备升压、调谐、分阶段加压和阶段计时、运行状态、模式切换、故障提示等功能；
- 6、试验结果保存、打印、上传、回查等数据存储功能，可保存 50 次试验记录；
- 7、系统可自动跟踪并维持稳定的试验电压，电压稳定度可达 1.0%；
- 8、频率调节分粗调和细调，自动寻找试验谐振点，保证谐振频率在试验过程中不发生漂移；
- 9、调频范围可按需设置，最大限度的加快调谐过程；
- 10、频率分辨率根据需要预设，在调谐效率与调谐精准度之间取得优化平衡；
- 11、自动错误诊断，易于发现和解决问题；
- 12、系统谐振后具有很好的滤波特性，产生的直流电压优于交直流试验变压器出来的电压；
- 13、在高压回路串入整流装置，配备微安表、放电棒，即可完成直流耐压泄露试验（选配）；



14、可显示历史数据，配有 USB 接口，可将数据输出打印；仪器可自带打印机（选配）。

九、主要技术参数：

- 1、额定容量：88kVA；
- 2、输入电源：单相 220 或三相 380V 电压，频率为 50Hz；
- 3、额定电压：22kV；
- 4、额定电流：4A；
- 5、工作频率：30-300Hz；
- 6、装置输出波形：正弦波；
- 7、波形畸变率：输出电压波形畸变率≤1%；
- 8、工作时间：额定负载下允许连续 5min；过压 1.1 倍 1 分钟；
- 9、温升：额定负载下连续运行 5min 后温升≤65K；
- 10、品质因素：装置自身 $Q \geq 30(f=45Hz)$ ；
- 11、保护功能：对被试品具有过流、过压及试品闪络保护(详见变频电源部分)；
- 12、测量精度：系统有效值 1.5 级。

十、装置容量确定：

设计两节电抗器，则单节电抗器为 44kVA/22kV/2A/55H，装置总容量为 88kVA。

验证：1、10kV/300mm² 电缆 2km 的交流耐压试验，电容量≤0.751uF，试验频率 30-300Hz，试验电压 22kV，试验时间 5min。

使用电抗器两节并联，则 $L=55/2=27.5H$ ，则：

试验频率： $f=1/2\pi\sqrt{LC}=1/(2 \times 3.14 \times \sqrt{27.5 \times 0.751 \times 10^{-6}})=35Hz$

试验电流： $I=2\pi fCU_{试}=2\pi \times 35 \times 0.751 \times 10^{-6} \times 22 \times 10^3=3.63A$

装置容量定为 88kVA/22kV，分两节电抗器，则单节电抗器为 44kVA/22kV/2A/55H，使用电抗器串并联能满足上述被试品的试验要求。

试验时设备使用关系列表

设备组	电抗器 44kVA/22kV 两节	激励变压器 输出端 选择	试验电压 (KV)
合 被试品对象			
10kV/300mm ² 电缆 2km	使用电抗器两节并联	1.5kV	≤22kV



十一、系统配置及详细参数

1、激励变压器 GDJL-6kVA/1.5/0.4kV 1 台

- 1) 额定容量: 6kVA;
- 2) 输入电压: 0-400V, 单相;
- 3) 输出电压: 1.5kV;
- 4) 结构: 干式;
- 5) 重量: 约 35kg。

2、变频电源 GDTF-6kW/220/380V 1 台

- 1) 额定输出容量: 6kW
- 2) 工作电源: 220/380±10%V (三相), 工频;
- 3) 输出电压: 0 - 400V, 单相;
- 4) 额定输入电流: 15A;
- 5) 额定输出电流: 15A;
- 6) 电压分辨率: 0.01kV;
- 7) 电压测量精度: 1.5%;
- 8) 频率调节范围: 30 - 300Hz;
- 9) 频率调节分辨率: ≤0.1Hz;
- 10) 频率稳定度: 0.1%;
- 11) 运行时间: 额定容量下连续 5mi n;
- 12) 额定容量下连续运行 5mi n 元器件最高温度≤65K;
- 13) 噪声水平: ≤50dB;
- 14) 可实现以下功能

① 变频电源的放置为纵向和横向, 特别适合现场操作及观察;

② 内外部具备特殊减震橡胶支撑脚和保护铝箱, 可有效减缓运输中的颠簸震动和吊装时的冲击。保证了变频电源的长期稳定性和可靠性;

③ 参数显示: 触摸或外接鼠标大屏幕液晶界面显示系统;

可显示谐振电压(即试验前设置的目标电压)、试验频率、测量频率、低压电压、低压电流、耐压时间、过压保护、过流保护、闪络保护、阶段升压及阶段计时、操作模式切换、电容, 电感, 频率互换计算、参数查询等, 还可显示频率曲线、电压曲线等可直观地判断当次试验谐振频率准确及稳定性;



④ 参数设置：大屏幕触摸液晶彩屏和外接鼠标直接完成各种参数的设置，可对起始频率、终止频率、起始电压、阶段升压和计时、测量分压器变比、激励变变比、过压保护、过流保护、闪络保护、试验模式、电容电感频率互换计算、参数设置提示以及帮助等参数进行设置或选择；

⑤ 试验模式：触摸屏和外接鼠标操作，有全自动、半自动、手动三种运行状态。具备升压、调谐（含手动、自动）、分段加压和计时、运行状态、模式切换、故障提示、电容电感频率互换计算功能等；

⑥ 保护功能及其信息提示：具备高压过压保护、低压过流、过流保护，以及失谐保护、零位、闪络保护、紧急停机、欠压保护等多重保护功能；

⑦ 数据存储功能：试验结果保存（手动保存）、打印、上传、回查等；

a. 试验结果：手动或自动试验完毕后，在试验结果界面中可显示出试验时的详细参数，当试验发生中断时，可提示中断状态。可将参数保存在存储器中，该存储器为非易失存储器，可保存 50 次试验记录；

b. 数据查询：可将已保存的试验结果数据显示到屏幕上，同时具有 USB 接口，可将数据输出打印或利用设备所携带打印机打印；（打印机属客户自选，若客户有此需求，须在合同中予以特别写明）；

⑧ 自动稳压功能：系统根据设定的试验电压或手动升压结果，自动跟踪并维持稳定的试验电压，电压稳定度可达 1.0%；

⑨ 调频范围及频率分辨率均可设定：调频范围可设为 30~300Hz、45~100Hz、200~300Hz、按需设置，可加快调谐过程；频率分辨率根据需要，可预设为 0.1Hz、0.2Hz、0.5Hz、或 1.0Hz，在调谐效率与调谐精准度之间取得优化平衡；

⑩ 频率调节分为粗调和细调，并可自动寻找试验谐振点，保证谐振频率在整个试验过程中不发生漂移；

15) 重量：约 10kg。

3、高压电抗器 GDDK-44kVA/22kV 2 节

1) 额定容量：44kVA；

2) 额定电压：22kV；

3) 额定电流：2A；

4) 电感量：55H/单节；

5) 品质因素： $Q \geq 30$ ($f=45\text{Hz}$)；



- 6) 结构：干式；
- 7) 重量：约 40kg。
- 4、电容分压器 GDFR-30kV/3000pF 1 套
- 1) 额定电压：30kV；
- 2) 高压电容量：3000pF；
- 3) 介质损耗： $\text{tg } \sigma \leq 0.5\%$ ；
- 4) 分压比：1000: 1；
- 5) 测量精度：有效值 1.5 级；
- 6) 重量：约 6kg。

十二、主要清单

序号	设备名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	激励变压器	GDJL-6kVA/1.5/0.4kV	台	1	
2	变频电源	GDTF-6kW/220/380V	台	1	
3	高压电抗器	GDDK-44kVA/22kV	节	2	
4	电容分压器	GDFR-30kV/3000pF	套	1	
5	内部连接线	标配	套	1	
6	出厂试验报告	标配	份	1	
7	成套装置使用说明书	标配	套	1	

十三、验收及技术培训：

- 1、交货后供方须派技术人员指导用户进行 1 次现场实测，以验证仪器性能；
- 2、卖方应负责对买方进行现场培训，并提供相应的培训资料；

十四、技术服务：

- 1、设备的免费质保期不低于 1 年；
- 2、设备终身维修；
- 3、系统软件终身免费升级；
- 4、卖方对售后服务的需求必须在 24 小时答复，在 48 小时内提供技术服务；
- 5、卖方长期为买方提供备件采购和供应服务；

十五、相关技术资料：



请查看附件。

附件一：被试品的电容值参考：

1、交联聚乙烯电缆每公里电容量

电缆导体截面积 (mm ²)	电容量 (uF/km)				
	YJV, YJLV 6/6kV, 6/10kV	YJV, YJLV 8.7/10kV, 8.7/15kV	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
1×630	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256

电缆导体截面积 (mm ²)	电容量 (uF/km)				
	YJV, YJLV 6/6kV, 6/10kV	YJV, YJLV 8.7/10kV, 8.7/15kV	YJV, YJLV 12/20kV	YJV, YJLV 21/35kV	YJV, YJLV 26/35kV
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
3×630	0.667	0.470	0.416	0.287	0.256

电缆导体截 面积 (mm ²)	电容量 (uF/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	0.207
3×2000	0.296	0.215
3×2200		0.221
3×2500		0.232

2、60kV 级全绝缘变压器的电容(pF)

类 型	试品容量(kVA)					
	630	2000	3150	6300	8000	16000
高压-地	2700	4100	4600	5900	7000	8200
低压-地	4200	6600	7900	10000	11000	15300

3、110kV 中性点分级绝缘变压器的电容(pF)



类型	试品容量(kVA)				
	50000	31500	20000	10000	5600
高压-中压、低压、地	14200	11400	8700	6150	4200
中压-高压、低压、地	24800	11800	13200	9600	
低压-高压、中压、地	19300	19300	12000	9400	6800

4、220kV 级中性点非全级绝缘部分变压器的电容(pF)

试品型号		SEPSL-63000	SSPSL-120000	SSPSL-240000
类型	高压-中压、低压、地	12100	13500	17050
	中压-高压、低压、地	18500	19700	23260
	低压-高压、中压、地	18200	23600	29940
试品型号		SFPL-240000	SFP-360000	SFPSZL-120000
类型	高压-中压、低压、地	32230	33910	38020
	中压-高压、低压、地			23260
	低压-高压、中压、地	22470	23790	22160

5、部分发电机的电容值

类别	型号	生产厂家	额定容量 (MW)	额定电压 (kV)	相电容 (uF)
汽轮发电机	QFS-125-2	上海电机厂	125	13.8	0.08-0.12
	QFSN-200-2	哈尔滨电机厂	200	15.75	0.19-0.21
	QFQS-200-2	东方电机厂	200	15.75	0.1928-0.21
	QFQS-200-2	北京重型电机厂	200	15.75	0.18-0.19
	QFS-300-2	上海电机厂	300	18.0	0.16-0.20
	QFSN-300-2	上海电机厂	300	18.0	0.18-0.20
	ATB-2	美国 GE 公司	352	23.0	0.268(设计值)
	TBB-320-2	前苏联	320	22.0	0.31
	2-105×234	美国西屋公司	600	20.0	0.2(工厂试验值)
	50WT23E-138	ABB	600	22.0	0.253(设计值)
水轮发电机			72.5-85	10.5	0.694
			300	15.75	1.7-2.5



			400	18.0	2~2.5
--	--	--	-----	------	-------

附件二：被试品的试验电压标准：

1、电缆 30~75Hz 的交流耐压试验电压标准

电缆额定电压	交接试验电压		预防性试验电压	
	倍数	电压值(kV)	倍数	电压值(kV)
U0/U				
1.8/3	2U0	3.6	1.6U0	3
3.6/6	2U0	7.2	1.6U0	6
6/6	2U0	12	1.6U0	10
6/10	2U0	12	1.6U0	10
8.7/10	2U0	17.4	1.6U0	14
12/20	2U0	24	1.6U0	19
21/35	2U0	42	1.6U0	34
26/35	2U0	52	1.6U0	42
64/110	1.7U0	109	1.36U0	87
127/220	1.4U0	178	1.15U0	146

2、发电机定子绕组交流耐压试验标准



周期	要求				
额定电压 (kV) 大修前	(1)全部更换定子绕组并修好后的试验电压如下:				
	最高容量电压	线端交流试验电压值 kV		中性点交流试验电压值 kV	
	UnV	试验电压 V			
	小容量	全部更换绕组	部分更换绕组 36 以上 或交接时 6000 以下	全部更换绕组	部分更换绕组 或交接时 2.5Un
<1	10000 及以上	3	6000~18000	3	2Un+3000
3	3.5	18	18000 以上	18	按专门协议
6	(2)交接时按上表的 0.8 倍执行				
10	(3)大修前或局部更换定子绕组并修好后试验电压为:				
15	运行 20 年及以下者	25	25	21	21
20	运行 20 年以上与架空线路直接连接者	35	30	35	1.5Un
25	运行 25 年以上不接架空线路直接连接者	45	38	45	1.5Un
35	运行 35 年以上不接架空线路直接连接者	55	47	55	1.5Un
40.5	运行 40.5 年以上不接架空线路直接连接者	65	55	65	1.5Un
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
说明	1、应在停机后清除污秽前热状态下进行。备用状态可在冷状态下进行。 2、水冷电机一般应在通水的情况下进行试验，进口机组按厂家规定。 3、有条件时，可采用超低频（0.1Hz）耐压，试验电压峰值为工频试验电压峰值的 1.2 倍。				

3、变压器的交流耐压试验电

压标准



附件三：变频谐振技术依据：

高压电力设备交流耐压试验的电源频率传统经典是取用工频电源。随着技术的发展，多年来国际国内在发电机和高压电力设备上成功地完成了关于使用非工频频率耐压试验电源的研究，并付诸实用，

例如：

IEC5178 规定：CIS 的现场试验，以 10-300 Hz 电压，耐压 5 分钟。

IEC62067/CD1999.04.15 讨论稿规定，35kV 、110kV 高压电缆的现场竣工试验，以 30-300 HZ，（2.-1.7）U₀ 电压，耐压 60 分钟。

理论分析和实践经验表明，交联电缆的反复直流耐压对电缆有损伤的积累效应。而在 30-300 HZ 频率范围内对设备进行交流耐压试验，考核和对故障的击穿检出性能则与工频



基本一致，积累效应甚微，也基本与工频无异，故允许使用 20-300 HZ，范围的可调频率。

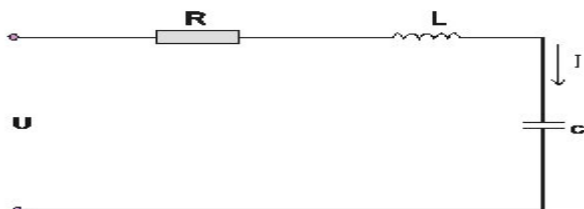
CIGREWG21.09 国际大电网会议的工作小组，对测量频率的范围定义为 30-300 HZ，国际上的试验设备制造厂商均按此定义设计制造产品。

据此，当前本公司为输变电设备的耐压试验提供的 **GDTF** 系列产品的频率，为 30-300 Hz。

附件四：工作原理及使用中注意事项：

A. 谐振原理

串联谐振回路等值回路电路如下：



U: 为励磁变压器高压绕组串并联后的输出电压，受变频电源控制可以由 0 到 U_{max} (U_{max} 为励磁变压器高压绕组串并联后的额定输出电压) 连续变化，频率 30-300Hz 连续变化。

R: 为串联谐振回路的等值电阻，包括励磁变压器等效到高压侧的内阻、高压电抗器内阻、试品内阻以及试验电晕损耗等值电阻等。

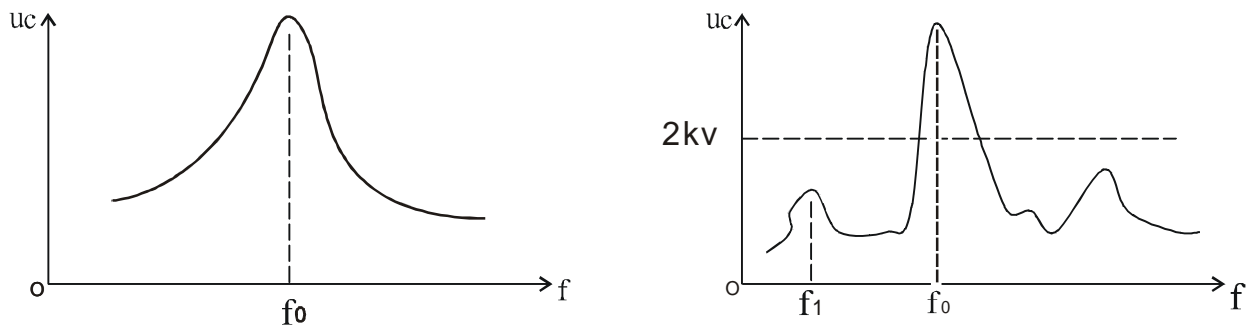
L: 为串联回路的等值电感，即励磁变压器等效到高压侧的漏电感、谐振电抗器电感之和。实际试验中，励磁变压器漏电感相对谐振电抗器电感较小，可忽略。因此粗略计算时，可认为电抗器的电感即为谐振回路的等值电感。

实际试验中电抗器可能有多台串并联，此时的回路电感为多台电抗器串并联后的电感。电抗器串并联电感计算时，可忽略其内阻，按照纯电感串并联来计算。

C: 为串并联谐振回路的负载电容与分压器电容之和。因分压器的电容很小，粗略计算时可忽略，当负载电容与其可比较不可忽略时，则应参与计算。

通过变频电源提供供电电源，试验电压由励磁变压器经过初步升压后，使高电压加在电抗器 **L** 和被试品 **C_x** 上，通过改变变频电源的输出频率，使回路处于串联谐振状态；保持该频率不变，调节变频电源的输出电压，使试品上的电压达到所需值。回路的谐振频率取决于被试品的电容 **C_x** 和电感 **L**，谐振频率 $f=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 。

LC 电路的幅频特性曲线:



L-C串联电路幅频特性理想曲线

L-C串联电路实际幅频特性曲线

试验时在调频界面里寻找谐振点。找谐振点的方法是：在调频界面里通过升、降频率来看试验电压，如果在某一频率时试验电压最大，而在其他频率时试验电压都小，则此点为谐振点。有时出现试验电压低于 2kV 的在某个频率如 f_1 ，则该频率不是真正的谐振点，一般情况下，只有试验电压大于 2kV，这样找出来的才是真正的谐振点（如果负载太大，也可能小于 2kV）。找出谐振点后在调压界面升电压，直到所需值为止。

B. 常见试验

1. 电缆试验及注意事项

随着交联乙烯电缆的广泛应用，长度和容量不断增加，由于这种电缆的试验容量较大，运用传统的试验设备无法满足交接试验和预防性试验容量的要求。串谐成套试验装置则可以用较小的试验容量很好地满足电缆的交接试验与预防性试验的试验要求。

电缆试验注意:

- 1、待试验电缆已安装到位，达到投运状态要求方能进行试验。
- 2、被试相芯线接高压源，被试相屏蔽层、非试相芯线及非试相屏蔽层均应



接地，确认无误后开始试验。

3、电缆屏蔽层过压保护器短接，对应端电缆金属屏蔽或金属套临时接地。

4、如果电缆头与 GIS 直接连接，在试验时应使 GIS 符合运行条件且 GIS 内部 PT、避雷器断开。

5、如果电缆头安装在杆塔上，电缆的屏蔽层和非试相连接接地，该接地线不可利用杆塔架代替，须采用专配的接地线与变频谐振系统连成回路。

2. GIS 试验原理及注意事项

GIS 是把断路器、隔离开关、电压互感器、电流互感器、避雷器等组合在一起并以 SF₆ 气体绝缘的电力设备，GIS 一般由 2-18 个间隔组成，试验中每一间隔相当于一个电容器，对 GIS 进行耐压试验相当于对这个电容进行耐压试验。

试验原理如下：

根据 IEC517: 1990 标准规定，GIS 交流试验电压为出厂电压的 80%，频率范围 100-300Hz，下表是各电压等级 GIS 的参数表：

系统电压等级	每间隔电容量	最大电压 (KV)	出厂试验电压 (KV)	交接试验电压 (KV)	试验时间
110kV	600-800p	126(145.6)	231(275)	184(220)	1min
220kV	800-1000p	252	395(462)	316(370)	1min
500kV	1000-1500p	550	680(740)	544(592)	1min

以上试验电压值仅作参考，实际加压按照国标或当地电力行业标准。

GIS 试验注意：

1、试验时，试验相接高压源，高压引线需采用专用无晕引线，非试验相连同 GIS 外壳接地。

2、试验必须保证各气室 SF₆ 气体在额定压力下，并且充气压 4 小时后气体含量在合格范围内，GIS 处于可运行状态，确认无误后方可试验。

3、试验加压前，确保 GIS 内的电压互感器拆除（如果 GIS 厂家同意，电压互感器可以一起加压，但试验谐振频率必须大于 100Hz）、CT 二次短路，避雷器连接处应断开。

4、试验电压在输出套管加入，套管芯子接高压源，套管金属法兰接系统专用地线。

5、试验时，试验系统各部件之间、试验系统与 GIS 壳体之间必须采用专用接地线，切不可利用现场接地排代替试验系统与 GIS 外壳之间的地线连接。

6、注意试验系统与现场电网之间采用一点连接，接地点必须位于分压器与试品之间的连线上。

3. 变压器外施试验原理及注意事项

外施试验是考验变压器主绝缘的基本试验，试验频率不低于额定频率的 80%。

变压器外施试验注意：



- 1、被试绕组、非试验绕组均短接，非试验绕组短接后接地，原则上，试品不可有电位悬浮。
- 2、试验时，变频谐振系统与被试变压器外壳之间的连接采用本公司提供的专用地线。

4. 变压器感应耐压试验原理及注意事项

变压器感应耐压试验是同时检验变压器的主绝缘和纵绝缘的基本试验。试验电压一般为额定电压的两倍，为避免铁心饱和，试验频率应为额定频率的两倍以上，一般规定试验频率在 100-400Hz 之间，经验表明试验频率在 150-200Hz 较为合适。

变压器感应耐压试验注意：

- 1、电源电压从低压绕组施加，高压绕组中性点不接地，非试验相绕组短接接地。
- 2、若变压器具有中压绕组、平衡绕组，注意这些绕组电位不得悬浮。
- 3、试验补偿电容位于低压侧，分压器位于高压侧。
- 4、试验时试验系统与被试变压器之间采用本公司提供的专用接地线连接。

5. 发电机工频耐压试验及注意事项

根据国家和地方电力部门的规定发电机在制造、安装、检修、运行以及预防性试验中均应进行交流耐压试验，试验电压的波形、频率和工作电压的波形、频率一致。试验电压一般为 $0.75(2U_n+3000)$ 或 $1.5U_n$ ，频率为工频。试验时一般配上合适的补偿电容器就能满足发电机的交流耐压要求。

发电机工频耐用压试验注意：

- 1、通过调整补偿电容，将谐振频率控制在 50Hz 附近。
- 2、试验时试验系统与被试发电机之间采用本公司提供的专用接地线连接。

C. 试验设备组合及参数匹配方法

该方法适用于电缆、GIS、高压套管、断路器、隔离开关、绝缘子等试品的耐压试验以及变压器外施试验、发电机工频耐压试验以及 PT 耐用压试验。由于电抗器有几节，励磁变压器高压绕组有几组，面对不同的试验电压、不同试验容量的试品，需要对系统进行不同的组合联结。该方法不适用于变压器感应耐压试验。

1. 电抗器的组合方法

面对不同的试品电抗器组合采用反算的方法。先由试验电压确定电抗器是否串联组合，再由电抗器电感、系统工作频率（20-300Hz）等确定试品容量范围。（组合方法为近似估算）

1) 试品试验电压必须保证小于或等于电抗器的额定电压，若单台电抗器不能满足电压要求，可采用两台或两台以上的电抗器串联来满足试验电压。

2) 确定试品允许试验频率范围 (f_{min} , f_{max})，满足 $20\text{Hz} \leq f_{min} \leq f_{max} \leq 300\text{Hz}$ 。

3) 依据电抗器电感 L (单台或几台串联或串联组合的电感，由步骤 1 确定)、试品允许频率范围 (f_{min} , f_{max})，确定试品电容允许范围值 (C_{min} , C_{max})。

$$C_{min} = 1 / [(2\pi f_{max})^2 L]$$

$$C_{max} = 1 / [(2\pi f_{min})^2 L]$$

试品与分压器电容量之和应处于 (C_{min} , C_{max}) 之间。

若试品电容过大则采用电抗器并联的方式来满足，若试品电容过小则通过对试品进行电容补偿 (若配备补偿电容) 的方式来满足。特别注意：并联后电抗器组的电压等级及补偿电容电压等级必须大于或等于试品电压。

因断路器、隔离开关、绝缘子等试品电容较小 (相对分压器电容约 (1000pF) 而言)，组合方法计算时可忽略不计。PT 耐压试验时需借助补偿电容将试验谐振频率控制在 100Hz 以上。

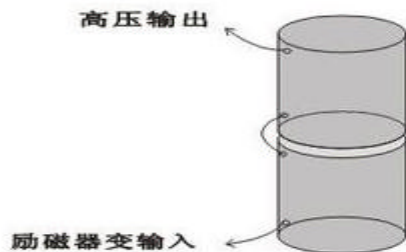
4) 电抗器的联接方式必须保证流过试品的电流小于或等于电抗器的电流。

电抗器的联接：

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

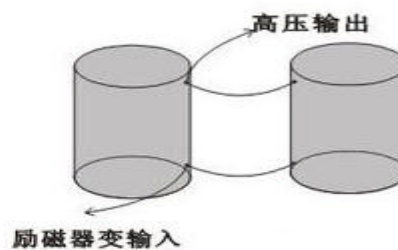
其中 L 为电抗器的等值电感。电抗器可串、可并联，串、并联时的示意图如下：

(以两个电抗器联接为例，其余类推)



电抗器串联连接

(示意图)



电抗器并联连接

(示意图)

等值电感的计算：

1、串联时：设每一个电抗器的电感为 L' ，则两串等值电感为 $L=2L' \times 1.1$

三串时等值电感为 $L=3L' \times 1.15$

四串时等值电感为 $L=4L' \times 1.2$

其余类推。1.1、1.15、1.2 为互感系数，是经验值。

2、并联时：设每一个电抗器的电感为 L' ，则两并等值电感为 $L=L'/2$

三并时等值电感为 $L=L'/3$

四并时等值电感为 $L=L'/4$

其余类推。

3、混联时依上述计算。

串联时主要用于提高电压，并联时主要用于增大电流，具体地说，就是由被试品的电压决定电抗器串联的个数，由被试品的电流决定电抗器并联的组数。

若组合后电抗器组同时满足上述四个步骤，则组合确定完毕。

2. 励磁变压器高压绕组的组合方法

变压器的联接也分为串联和并联，正常为串联方式使用，当负载电流比较大超过其参数时 (需计算)，用并联。一般情况下，当电抗器采用了并联或并联组合方式时也采用并联方式。



D. 试验举例:

1、电缆:

例一、

首先了解一下电缆的长度及截面积，然后查表求每公里电缆的电容值。

如截面为 240mm²的 8.7/15KV 电缆 700M。交接试验时应加 17.4KV 的电压。查表知电容值为：0.339uF/KM，故其电容值为 C=0.339×0.7=0.2373(uF)。也可以通过电容表直接测量得出。

设电抗器参数为：20KV/2A/35H。

因加压为 17.4KV，故可考虑一只电抗器，

$$C_{min}=1/[(2\pi f_{max})^2 L] \quad C_{max}=1/[(2\pi f_{min})^2 L]$$

$$f_{max}=300 \quad f_{min}=30 \quad \text{代入得} \quad C_{min}= 0.008\mu F \quad C_{max}=0.8\mu F$$

试品电容介于 C_{min} 与 C_{max} 之间,因此可考虑一只电抗器。计算一下试品电流:

$$\text{由公式: } f=1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad I=U/X_C \quad X_C=1/(\omega C) \quad \omega=2\pi f$$

$$\text{推导出: } I=U\sqrt{C/L}$$

$$\text{数据代入得: } I=1.43A < 2A$$

同样用两只电抗器串联或并联也同样可以完成该试验。数据可以自己算一下。

例二、

如截面为 300mm²的 26/35KV 电缆 700M。交接试验时应加 52 K V 的电压。查表知电容值为：0.19uF/KM 故其电容值为 C=0.19×0.7=0.133(uF)。也可以通过电容表直接测量得出。

设电抗器参数为：20KV/2A/35H

因加压为 52KV，故需三只电抗器串联

$$L=3L' \times 1.15 = 3 \times 35 \times 1.15 = 120.75(H)$$

$$C_{min}=1/[(2\pi f_{max})^2 L] \quad C_{max}=1/[(2\pi f_{min})^2 L]$$

$$f_{max}=300 \quad f_{min}=30 \quad \text{代入得} \quad C_{min}= 0.0023\mu F \quad C_{max}=0.23\mu F$$

试品电容介于 C_{min} 与 C_{max} 之间,因此可行。计算一下试品电流:

$$\text{由公式: } f=1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad I=U/X_C \quad X_C=1/(\omega C) \quad \omega=2\pi f$$

$$\text{推导出: } I=U\sqrt{C/L}$$

$$\text{数据代入得: } I=1.73A < 2A$$

故可以用三只电抗器串联即可完成该试验。

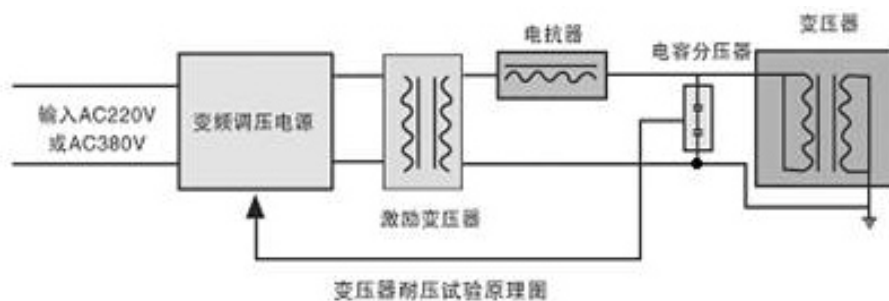
(若上述求得的电流大于 2A 则必须用六只电抗器两个三只串后再并联方可，这时的需要重新计算。)

2、电力变压器:

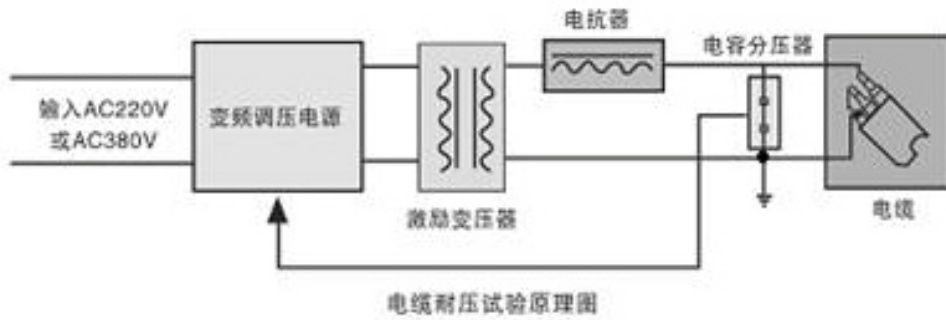
目前，变压器主要做的是外施高压试验。首先了解一下变压器的电压等级及容量。一般来说，变压器的电容值都比较小，主要考虑它的耐压，电抗器一般用串联，无需补偿电容器即可完成试验。如若电容太小时，其谐振点有可能超过 300Hz，这时可并联补偿电容器把它的频率降到 300Hz 以内即可。

附件五：各类型试验接线图：

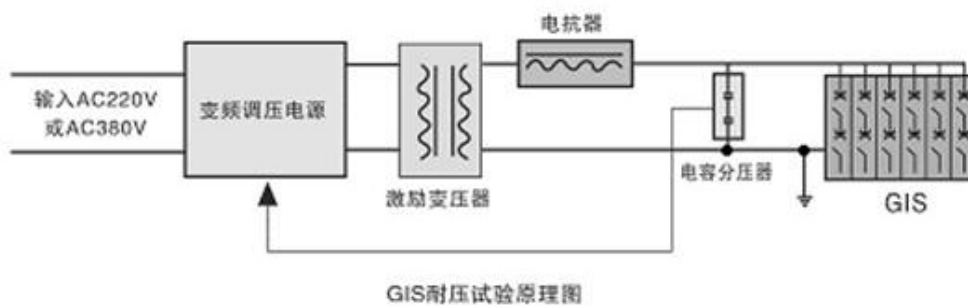
A. 变压器耐压试验



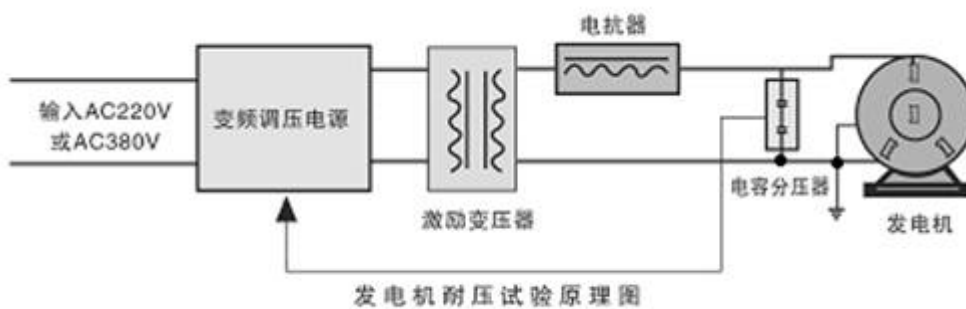
B. 电缆耐压试验



C. GIS 耐压试验



D. 发电机耐压试验



E. 变压器感应耐压试验

