

尊敬的顾客

感谢您购买本公司产品。在您初次使用该仪器前，请您详细地阅读本使用说明书，将可帮助您熟练地使用本仪器。



我们的宗旨是不断地改进和完善公司的产品，因此您所使用的仪器可能与使用说明书有少许的差别。若有改动，我们不一定能通知到您，敬请谅解！如有疑问，请与公司售后服务部联络，我们定会满足您的要求。



由于输入输出端子、测试柱等均有可能带电压，您在插拔测试线、电源插座时，会产生电火花，小心电击，避免触电危险，注意人身安全！

◆ 慎重保证

本公司生产的产品，在发货之日起三个月内，如产品出现缺陷，实行包换。一年（包括一年）内如产品出现缺陷，实行免费维修。一年以上如产品出现缺陷，实行有偿终身维修。

◆ 安全要求

请阅读下列安全注意事项，以免人身伤害，并防止本产品或与其相连接的任何其它产品受到损坏。为了避免可能发生的危险，本产品只可在规定的范围内使用。

只有合格的技术人员才可执行维修。

—防止火灾或人身伤害

使用适当的电源线。只可使用本产品专用、并且符合本产品规格的电源线。

正确地连接和断开。当测试导线与带电端子连接时，请勿随意连接或断开测试导线。

产品接地。本产品除通过电源线接地导线接地外，产品外壳的接地柱必须接地。为了防止电击，接地导体必须与地面相连。在与本产品输入或输出终端连接前，应确保本产品已正确接地。

注意所有终端的额定值。为了防止火灾或电击危险，请注意本产品的所有额定值和标记。在对本产品进行连接之前，请阅读本产品使用说明书，以便进一步了解有关额定值的信息。

请勿在无仪器盖板时操作。如盖板或面板已卸下，请勿操作本产品。

使用适当的保险丝。只可使用符合本产品规定类型和额定值的保险

丝。

避免接触裸露电路和带电金属。产品有电时，请勿触摸裸露的接点和部位。

在有可疑的故障时，请勿操作。如怀疑本产品有损坏，请本公司维修人员进行检查，切勿继续操作。

请勿在潮湿环境下操作。

请勿在易爆环境中操作。

保持产品表面清洁和干燥。

一安全术语

警告：警告字句指出可能造成人身伤亡的状况或做法。

小心：小心字句指出可能造成本产品或其它财产损坏的状况或做法。

目 录

一、概述.....	5
二、技术参数.....	5
三、装置组成.....	5
四、工频谐振试验的基本原理.....	5
五、工频谐振试验原理接线图.....	9
六、谐振试验实际连接图.....	9
七、操作台面板图.....	10
八、试验操作方法.....	10
九、调谐.....	11

一、概述

随着电力系统的发展，运行设备的容量越来越大，如火力发电机组，单机容量已超过 1000MW，水力发电机组，单机最大容量已达 800MW；这些设备的交流工频耐压试验，如果用传统的试验设备（即工频试验变压器），则由于试验需要的容量大，试验变压器、调压器十分笨重，大容量试验电源在现场也很难解决，现场试验极不方便。工频谐振装置，无论从试验电源容量、设备重量、试验波形及投资等方面都具有优势。该装置主要针对单机容量在 250MW 及以下水力发电机的交流耐压试验设计制造。

二、技术参数

额定容量： 1000 kVA

额定频率： 50 Hz

额定电压： 40 kV

额定电流： 25 A

可调电感量范围： 6~30H

可调间隙范围：0~300mm

三、装置组成

激励变压器JLB-100kVA/5kV/10kV/0.4kV	1台
可调电抗器 CHXB(TL)-400kVA/40kV	1台
固定电抗器 CHXB(DK)-200kVA/50kV	3台
控制台TC-(L)-100kVA/380V/0-430V	1台
分压器FRC-150kV	1套
补偿电容器BC-150kV/0.048uF	1套

四、工频谐振试验的基本原理

工频谐振有串联谐振和并联谐振两种方式，这两种方式取用电源容量的补偿效果基本相同，达到全补偿后，输入容量都可降为试验输出容量的 $1/Q$ 以下。

4.1 串联谐振

串联谐振电路原理见图 1，向量图见图 2。

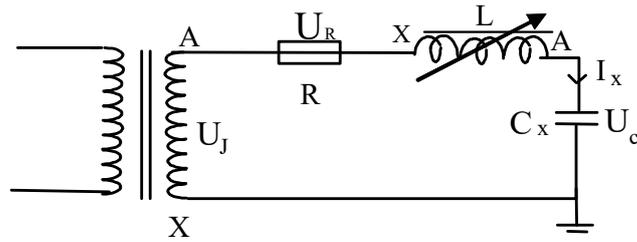


图 1 串联谐振回路原理图

L——可调电抗器的电感量

C_x ——被试品电容量

R——可调电抗器的有功损耗与被试品介损等及回路综合损耗归算的等效串联电阻。

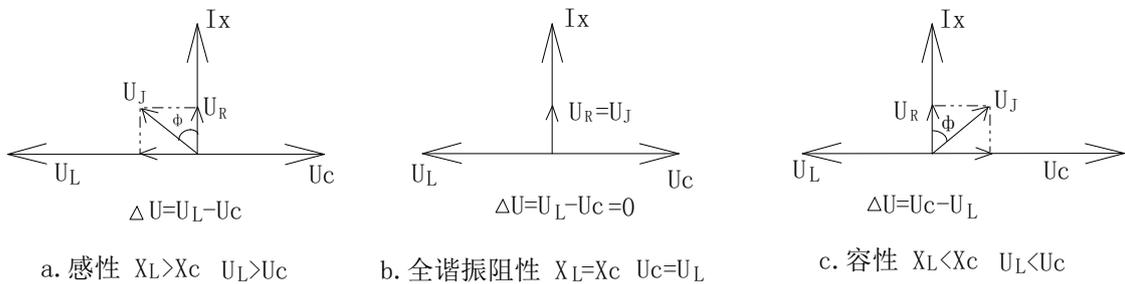


图 2 R、L、C 串联电路向量图

串联电路的谐振特性曲线见图 3，图 1 电路中的激励电压：

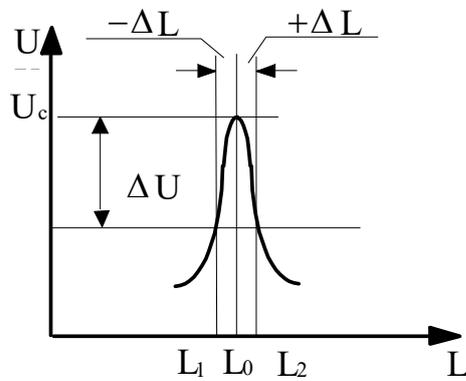


图 3 串联谐振特性曲线

$$\dot{U}_J = \dot{I}_X R + j\dot{I}(X_C - X_L) \text{----- (1)}$$

调节串联电路中可调电抗器的电感量，令其在工频 f 下的感抗 X_L 全等于负载电容的容抗 X_{Cx} ，此时即实现了完全谐振，电抗的电感量为谐振点电感量 L ，向量图见图 2，谐振特性曲线见图 3。电路全谐振时：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_x}} = \text{工频频率}, L_0 = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_x} \text{----- (2)}$$

$$I_x = \frac{U_J}{R} \quad (3)$$

$$U_C = I_x X_{CX} \quad (4)$$

(4) 式中负载电容 C_x 基本为常量，调节 L 使其达到全谐振 L_0 时，调节 I_x ，实际是调节 (3) 式中的 U_J ，当达到要求的 U_C 值时，即开始耐压试验。

完全串联谐振下，电源仅提供 U_J 建立 I_x ，提供的 $\cos \Phi = 1$ 的激励功率 $P_J = U_J I_x$ 克服电路中等效的综合有功损耗 $I_x^2 R$ ，激发并维持稳定的谐振。串联谐振是电压补偿或低电压激励的谐振。

谐振电路综合品质因数 Q 也称谐振电路补偿效率：

$$Q = \frac{S_{CX}}{P_J} = \frac{I_x^2 X_{CX}}{I_x^2 R} = \frac{U_C}{U_J} \quad (5)$$

式中： S_{CX} ——被试品 C_x 耐压时需要提供的功率，其中的很大部是无功功率分量。
耐压中试品闪络或击穿后的短路电流 I_K 将下降为短路前试验电流 I_x 的 $1/Q$ 以下：

$$\frac{I_K}{I_x} = \frac{R}{R + jX_L} < \frac{1}{Q} \quad (6)$$

综述串联谐振耐压电路的主要特点是：

- a) 由于谐振无功全补偿，电源和设备的功率仅为被试品所需容量的 $1/10$ 以下 ($1/Q > 10$)；同容量的体积小，重量轻，装置输出容量大而所需配置的电源容量小，价廉，使用操作便捷而安全；
- b) 串联谐振实际是个电流滤波回路，使通过被试品的电流基本是基波电流，输出电压的波形畸变率 (THD) 极小，优于现有所有类型的交流耐压设备；
- c) 试品闪络或击穿后的短路电流仅为短路前试验电流的 $1/10$ 以下的 ($1/Q$) 能有效防止击穿后扩大对故障点的损伤；
- d) 闪络后立即自动熄弧，熄弧后恢复谐振状态电压建立的过程较长 (秒数) 是一个稳态的建立过程，既无电压过冲之虑更无微秒级毫秒级瞬态过程的恢复过电压的危险。

4.2 并联谐振

并联谐振电路原理见图 4，向量图见图 5。

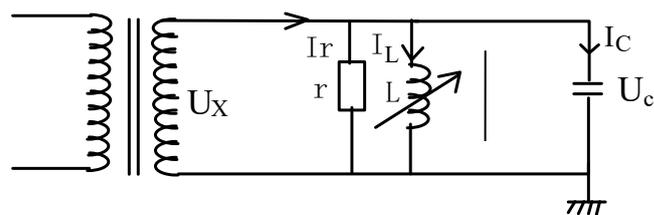


图4 并联谐振回路原理图

L——可调电抗器的电感量 C_x ——被试品电容量

r——可调电抗器的有功损耗及被试品介损等全回路综合损耗的等效并联电阻。

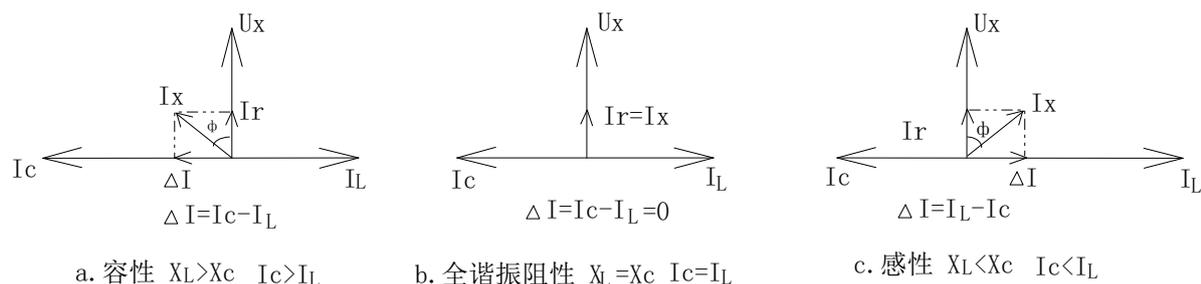


图5 r、L、C 并联电路向量图

并联谐振是电流补偿方式，谐振特性曲线见图6，图4中的电流：

$$\dot{I}_X = \frac{\dot{U}_X}{r_L} + j\dot{U}_X \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right) \quad (7)$$

当图4中的L调节至谐振点电感量 L_0 时， $X_L = X_C$ ， $I_L = I_C$ 此时即实现了完全并联谐振，见图6， L_0 与 (2) 式相同。

并联谐振时，电源供给的电压 U_x 与试验电压相同，由于无功电流完全补偿抵消，电源仅需提供 $\cos \Phi = 1$ 的 $I_x = I_r$ 补偿谐振回路的综合有功损耗，便可激发并维持稳定的谐振。

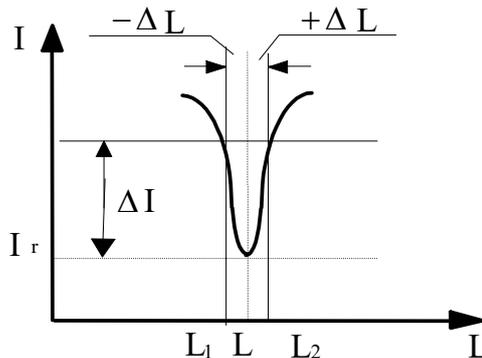


图6 并联谐振特性曲线

$$\text{同理 } Q = \frac{Scx}{P_j} = \frac{U^2_x / X_{cx}}{U^2_x / r} = \frac{I_c}{I_x} \quad (8)$$

并联谐振具有串联谐振同等的无功补偿及其相应的优点，但不能充分具有串联谐振所具的其他三项特点。一般大多采用串联谐振交流耐压的方式。

4.3 调谐操作优先

为了试验的安全和顺利进行，在进行串联谐振耐压试验时，必须是先在给定的很低的起始激励电压 U_{J0} 下（一般为几百伏），调节 L 使其达到全谐振 L_0 ，在较小的脱谐度 ST 范围内缓缓升压，至 U_C 达到预定的耐压值。

五、工频谐振试验原理接线图

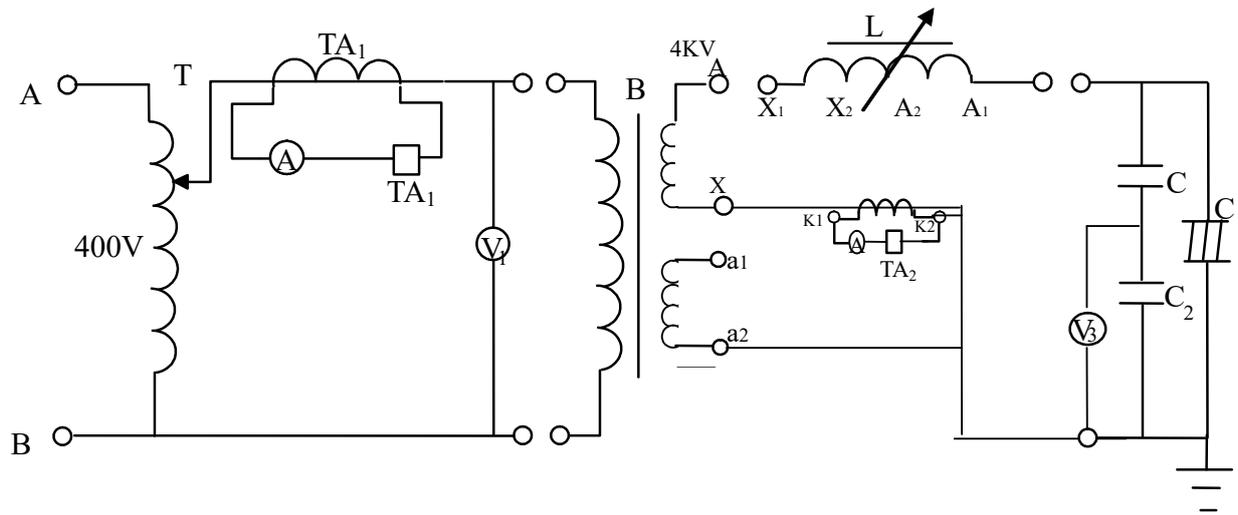
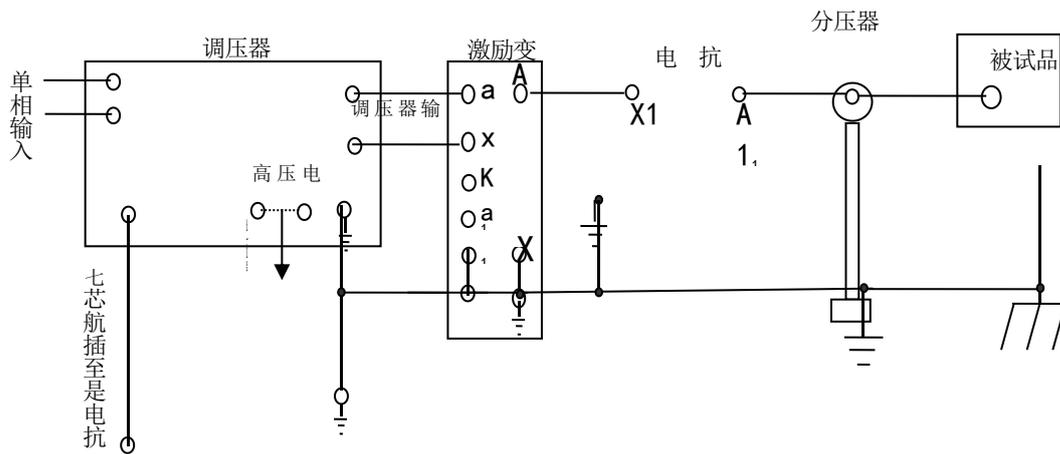


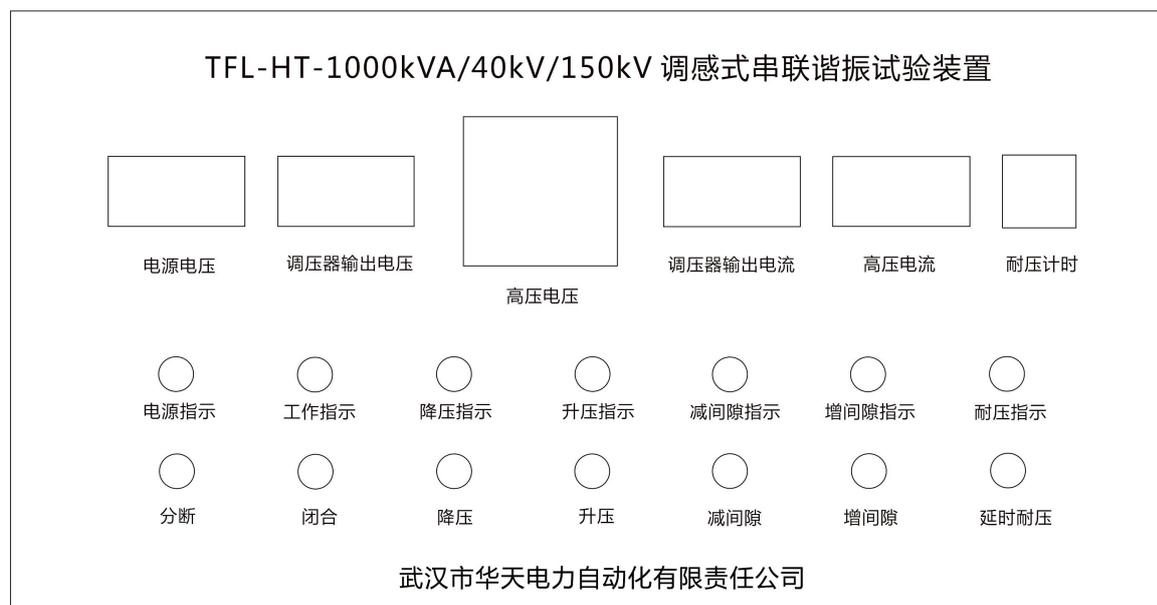
图 7 串联谐振试验原理接线图

六、谐振试验实际连接图



串联谐振试验连接图

七、操作台面板图



操作台面板图

八、试验操作方法

1. 过流保护设定：将操作台内低压电流继电器和高压电流继电器分别整定，一般整定为试验电流的 1.1 倍。
2. 过压保护设定：按试验时的电压的 1.1 倍整定。
3. 例：该试验电压为 45kV 时，则其显示器应调整为 47kV。
4. 将分压器的屏蔽线接到控制台上高压电压两接线柱，注意：所有地线必须接好，牢固可靠。
5. 将激励变压器上的高压电流 K1、K2 接到控制台上高压电流两接线柱。
6. 耐压时间整定：将时间继电器上的试验时间设置到所需的试验时间。
7. 按上图所示连接好试验接线检查无误后方可合闸。
8. 合上控制台的断路器，此时若调压器不在零位，调压器将自动回零。待调压器回零后方可试验。
9. 一般在不接通主电源前，调节电抗器铁芯间隙，观察升降及间隙限位保护功能是否正常。另外还可适当调节升压、降压，观察按钮及低压电压表头是否都正常工作。

九、调谐

1. 合闸主电源，按“升压”按钮，一般升压到 30V, 即升压到电抗器上获得几百伏电压。
2. 调节间隙，一般试验前铁芯为下线位零间隙位置，通过增加或减小铁芯间隙来找到谐振点。
3. 即在调间隙过程中，高压电压最大时，此时铁芯所处位置即为谐振点位置，此时调谐完毕。
4. 即可升压，升压到试验电压值时，会自动耐压计时，到达设定耐压时间，设备自动降压到零。
5. 断开主电源。
6. 试验时，有关人员应加强对被试设备的监护，一旦出现异常现象，应将调压器迅速降压，并同时断开电源。