

# 电力系统自动化 实验指导书

山东理工大学

电气与电子工程学院

2014. 3. 10

## 实验一 同步发电机准同期并列实验

### 2.1.1 实验目的

- 1) 加深理解同步发电机准同期并列原理，掌握准同期并列条件。
- 2) 熟悉同步发电机准同期并列过程。

### 2.1.2 原理与说明

将同步发电机并入电力系统的合闸操作通常采用准同期并列方式。准同期并列要求在合闸前通过调整待并机组的电压和转速，当满足电压幅值和频率条件后，根据“恒定越前时间原理”，由运行操作人员手动或由准同期控制器自动选择合适时机发出合闸命令，这种并列操作的合闸冲击电流一般很小，并且机组投入电力系统后能被迅速拉入同步。根据并列操作的自动化程度不同，又分为手动准同期、半自动准同期和全自动准同期三种方式。

正弦整步电压是不同频率的两正弦电压之差，其幅值作周期性的正弦规律变化。它能反映两个待并系统间的同步情况，如频率差、相角差以及电压幅值差。线性整步电压反映的是不同频率的两方波电压间相角差的变化规律，其波形为三角波。它能反映两个待并系统间的频率差和相角差，并且不受电压幅值差的影响，因此得到广泛应用。

手动准同期并列，应在正弦整步电压的最低点（同相点）时合闸，考虑到断路器和继电器固有的合闸时间，实际发出合闸命令的时刻应提前一个相应的时间或角度。自动准同期并列，通常采用恒定越前时间原理工作，这个越前时间可按断路器的合闸时间整定。准同期控制器根据给定的允许压差和允许频差，不断地检查准同期条件是否满足，在不满足要求时闭锁合闸并且发出均压均频控制脉冲。当所有条件均满足时，在整定的越前时刻送出合闸脉冲。

同期装置一般在发电机端的电压和频率与系统侧电压和频率相差不大时投入，而在同期结束后就可退出运行。

### 2.1.3 实验项目和方法

#### 2.1.3.1 机组启动和建压

1) 将发电机组电动机三相电源插头与机组控制屏侧面“电动机出线”插座连接，发电机三相输出电压插头与“发电机进线”插座连接，发电机励磁电源插头与“励磁出线”插座连接。机组控制屏侧面的“380V电源”插座与实验室380V三相交流电源连接，220V电源插头（“发电机出线”插座左侧的黑色插头）与实验室220V交流电源连接。

2) 检查机组控制屏上各指示仪表的指针是否指在0位置，如不在则应调到0位置。

3) 合上机组控制屏上的“220V电源”开关，检查开关状态：控制屏一次系统图上1QF处信号灯应绿灯亮，红灯熄灭。观测微型自动调速装置、微型自动励磁装置及微型自动同期装置（以下分别简称为“调速装置”、“励磁装置”和“同期装置”）面板上的“运行”灯，正常应亮或闪烁。

4) 合上“调速励磁电源”开关（380V）。

**注意：**一定要先合“220V电源”开关，再合380V“调速励磁电源”开关，否则，励磁或调速输出的功率模块可能处于失控状态。

5) 将机组控制屏上的调速装置“方式选择”开关选择为“自动”方式，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效）。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调速装置开始输出控制信号。

通过“增速”按钮逐渐升高电动机转速，当按住“增速”按钮不动时，转速将快速升高。接近额定转速时，松开“增速”按钮（防止超过额定转速），然后采用点动的方式操作按钮，直到达到需要的转速。

6) 确认机组转速在额定转速（1500转/分）附近，将机组控制屏上的励磁调节装置“方式选择”开关选择为“恒U<sub>g</sub>”方式，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效），“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，励磁调节装置开始输出控制信号。

通过“增磁”按钮逐渐升高发电机电压，当按住“增磁”按钮不动时，发电机电压将快速升高。接近额定电压时，松开“增磁”按钮（防止超过额定电压），然后采用点动的方式操作按钮，直到达到需要的电压。

由于励磁电流作用可能使机组转速少许下降，在建压完成后需细微调整转速至额定值（1500转/分）。

### 2.1.3.1.2 观察与分析

- 1) 操作机组控制屏上的增速或减速按钮调整机组转速，观察发电机频率的变化。
- 2) 操作机组控制屏上的增磁或减磁按钮调节发电机端电压，观察发电机机端电压的变化。

**注：**励磁装置上频率及灭磁开关均无意义，观察发电机频率应以同期装置为准。

### 2.1.3.1.3 恒定越前时间测试

由于一般断路器的合闸机构为机械操作机构，从合闸命令发出，到断路器主触头闭合瞬间止，需要经历一段合闸时间（一般为0.1-0.7s），因而自动同期装置在检查压差和频差已符合并列条件时，还必须在角差为零的时刻前，发出合闸命令才能使断路器主触头闭合瞬间的相角差恰好为零，这一时段称为“越前时间”。由于该越前时间只需按断路器的合闸时间进行整定，与滑差及压差无关，故称其为“恒定越前时间”。

将同期装置的“合闸输出”接线端与“1QF合闸回路”红色端子相连。先观察控制屏一次系统图上的1QF是否为断开状态（即：应绿灯亮，红灯灭），然后进行合闸时间测试。

**注意：**测试前确保系统电源未带电，否则可能进行合闸测试时将出现非同期合闸！

在同期装置主界面下按“ESC”键进入“功能表”，进入“装置检查”菜单，选择“合闸时间”，稍等片刻，检查完毕后，界面显示“动作时间 xx”（xx表示动作时间数值，单位ms）。记下此动作值，大致等于恒定越前时间。之后，再次手动断开控制屏一次系统图上的1QF。

## 2.1.3.2 手动准同期并列实验

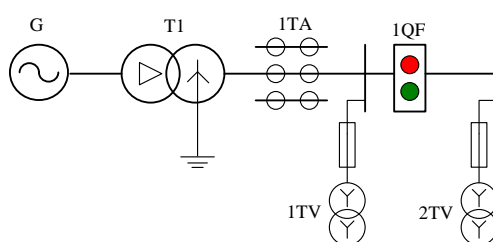


图 2-1 发电机组准同期并列示意图

发电机组准同期并列示意图如图 2-1，1QF 作为同期开关（位于机组控制屏上）。将机组控制屏侧面的“发电机出线”与“TQDZ-III 电力系统自动化实验培训系统实验台”（以下简称“实验台”）侧面的“发电机进线”相连。

## A. 按准同期条件手动合闸

1) 依次合上实验台上的 6QF、4QF、2QF、5QF、3QF 按钮，使系统侧母线带电。各 QF（即断路器）处指示灯应红灯亮、绿灯灭。

2) 在机组控制屏上完成如下实验接线：

将同期装置右侧的“ $U_g$ ”（发电机电压）端子与 1TV 接线区“ $U_a$ ”端子相连，“ $U_s$ ”（系统电压）端子与 2TV 接线区“ $U_a$ ”端子相连，“ $U_n$ ”端子同时与 1TV 和 2TV 的“ $U_n$ ”端子相连。这样同期装置可同时采集到发电机和系统两侧的电压信号。

注：台体内部已将 b、c 项电压及电流接至同期装置，同时 1TV 和 2TV 的  $U_n$  端已短接。

**注意：1TV 和 2TV 电压信号必须为同一相，否则相角差检测不准确。**

2) 将机组控制屏上的调速装置“方式选择”开关选择为“自动”方式，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效）。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调速装置开始输出控制信号。

通过“增速”按钮逐渐升高电动机转速，当按住“增速”按钮不动时，转速将快速升高。接近额定转速时，松开“增速”按钮（防止超过额定转速），然后采用点动的方式操作按钮，直到达到需要的转速。

3) 确认机组转速在额定转速（1500 转/分）附近，将机组控制屏上的励磁调节装置“方式选择”开关选择为“恒  $U_g$ ”方式，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效），“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，励磁调节装置开始输出控制信号。

通过“增磁”按钮逐渐升高发电机电压，当按住“增磁”按钮不动时，发电机电压将快速升高。接近额定电压时，松开“增磁”按钮（防止超过额定电压），然后采用点动的方式操作按钮，直到达到需要的电压。

由于励磁电流作用可能使机组转速少许下降，在建压完成后需细微调整转速至额定值（1500 转/分）。

4) 将同期装置“方式选择”开关选择为“手动”方式。手动调节机组频率和电压，观察机端电压表和发电机频率表的数值有何变化（也可在同期装置液晶屏上查看）。

5) 根据发电机频率和系统频率的大小，相应操作调速装置上的增速或减速按钮进行调速，直至发电机频率近似等于系统频率。根据发电机电压和系统电压的大小，相应操作励磁装置增磁或减磁按钮进行调压，直至发电机的端电压近似等于系统电压。

此时表示压差、频差均满足条件，观察同期装置液晶显示屏上的相角图，当旋转至0度位置前某一合适时刻时，按下机组控制屏上的1QF，将发电机并网。由于人的反应时间，应选择在即将接近0度之前按1QF。

在同期装置主界面下按“ESC”键，进入“功能表”，选择“报告管理”选项，再选择“浏览事件报告”选择，观察冲击电流大小。

- 注意：**
- 1) 此实验中同期装置应打到停止位
  - 2) 由于发电机组容量较小，冲击电流可能不明显。
  - 3) 在发电机未与系统解列之前，不应再次同期。

### 2.1.3.3 全自动准同期并列

1) 将同期装置右侧的“U<sub>g</sub>”（发电机电压）端子与1TV接线区“U<sub>a</sub>”端子相连，“U<sub>s</sub>”（系统电压）端子与2TV接线区“U<sub>a</sub>”端子相连，“U<sub>n</sub>”端子同时与1TV和2TV的“U<sub>n</sub>”端子相连。这样同期装置可同时采集到发电机和系统两侧的电压信号。

注：台体内部已将b、c项电压及电流接至同期装置，同时1TV和2TV的U<sub>n</sub>端已短接。

**注意：**1TV和2TV电压信号必须为同一相，否则相角差检测不准确。

将同期装置的“合闸输出”接线端与“1QF合闸回路”红色端子相连。先观察控制屏一次系统图上的1QF是否为断开状态（即：应绿灯亮，红灯灭）。由于全自动准同期自动发出均频、均压脉冲，因此将同期装置右侧的“升压”、“降压”端子接到励磁装置的“升压”、“降压”端子。这样，励磁装置就可以接收到同期装置发出的调压信号，进行相应的调节；将同期装置的“加速”、“减速”信号端子与调速装置的“加速”、“减速”信号端子相接，这样调速装置就可以接到同期装置发出的调速信号，进行相应的调节。

2) 启动、建压：将调速装置的工作方式设置为“自动”，“启动/停止”打到“启动”，按“增速”按钮，调节发电机转速接近1500转/分；将励磁装置的工作方式设置为“自动”，“启动/停止”打到“启动”，按“升压”按钮，调节发电机机端电压接近系统电压380V（可根据同期装置对比观察）。

3) 并列：调节转速和电压，使其偏离合闸允许条件（转速小于1500转/分；电压小于380V）。选择微机同期装置的“方式选择”开关，选择为“自动”。将“启动/停止”打到“启动”，微机准同期装置将自动进行均压、均频控制并检测合闸条件，一旦合闸条件满足即发出合闸命令。在全自动过程中，观察当“升速”或“降速”命令指示灯亮时，调速装置上有什么反应；当“升压”或“降压”命令指示灯亮时，励磁装置上有什么反应。观察合闸时机组控制屏上电流表和有功表、无功表的摆动情况。合闸后同期装置主界面显示合闸后发电机端电压、系统电压，发电机频率、系统频率和相角的情况。

注意: 1) 一定要首先将同期装置停止, 然后再跳开1QF, 防止同期装置再次合闸。

2) 在发电机与系统未解列之前, 不应再次选择同期操作。

#### 2.1.3.4 停机操作

首先将同期装置的“启动/停止”开关打到“停止”位, 调节转速和电压使机组负荷接近0(观察有功、无功接近0即可), 跳开同期开关1QF, 使同步发电机与系统解列。在发电机与系统解列之后, 将励磁的“启动/停止”开关打到“停止”位置, 使发电机端电压迅速降为零, 或者通过“减磁”按钮使发电机电压降低到零时再选择“停止”, 励磁装置将停止功率单元的输出。此时, 将调速装置的“启动/停止”开关打到“停止”, 使电动机转速迅速降为零, 或者通过“减速”按钮使电动机转速降低到零时再选择“停止”。调速装置将停止功率单元的输出。待机组停稳后先断开380V“励磁电源开关”, 再断开“220V电源”开关。

注意: 1) 一定要首先将同期装置停止, 然后再跳开1QF, 防止同期装置再次合闸。

2) 一定要先断开380V“励磁电源开关”再断开“220V电源”开关, 先断220V电源的话功率输出模块可能失控!

#### 2.1.4 实验报告要求

- 1) 比较手动准同期和自动准同期的调整并列过程。
- 2) 分析合闸冲击电流的大小与哪些因素有关?

#### 2.1.5 思考题

- 1) 相序不对(如系统侧相序为A、B、C、而发电机侧相序为A、C、B), 能否并列? 为什么?

注: 由于同期装置只采用一相电压作为同期条件的判断, 在没有我司技术人员的情况下请勿随意改动实验室内电源相序及机组、调压器接线, 如需修改, 请与我司技术人员联系。

- 2) 电压互感器的极性如果有一侧(系统侧或发电机侧)接反, 会有何结果?

3) 当两侧频率几乎相等, 电压差也在允许范围内, 但合闸命令迟迟不能发出, 这是一种什么现象? 应采取什么措施解决?

#### 本实验注意事项:

1) 在起励建压时, 只有当原动机的转速在额定附近时, 方可投入励磁调节装置的“自动”运行方式, 否则可能会造成发电机过电压, 对发电机造成危害。

2) 手动合闸时, 仔细观察同期装置显示器上的相角差指示, 在接近 $360^\circ$ 位置之前某一时刻合闸。

3) 在做三种同期切换方式时, 做完一项后, 需做另一项时, 断开断路器开关, 重新选择同期方式。

4) 同期装置合闸成功后, 退回到主菜单, 并且在发电机未与系统解列之前, 不应再次选择同期操作。

5) 停机时, 应先将发电机灭磁, 使发电机电压降下来, 再降电动机的转速。

## 实验二 同步发电机励磁控制实验

### 2.2.1 实验目的

- 1) 加深理解同步发电机励磁调节原理和励磁控制系统的基本任务。
- 2) 了解微机励磁调节装置的基本控制方式。
- 3) 了解几种常用励磁限制器的作用。
- 4) 掌握励磁调节装置的基本使用方法。

### 2.2.2 原理与说明

同步发电机是将旋转形式的机械功率转换成三相交流电功率的特定的机器设备。为完成这一转换，它本身需要一个直流磁场，产生这个磁场的直流电流成为同步发电机的励磁电流，又称为转子电流。具有自动控制与自动调节设备的励磁系统称为自动调节励磁系统或称发电机自动电压调节系统。

同步发电机励磁系统由励磁功率单元和励磁调节装置两部分组成，它们和同步发电机结合在一起构成一个闭环反馈控制系统，称为发电机励磁控制系统。励磁控制系统的三大基本任务是：稳定电压、合理分配无功功率和提高电力系统稳定性。

实验用的励磁控制系统示意图如图2-2所示，交流励磁电源取自380V市电，构成他励励磁系统，励磁系统的可控整流模块由TQLC-III微机自动励磁装置控制。

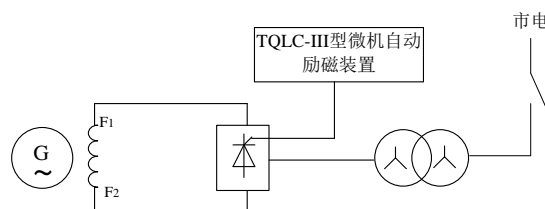


图2-2 励磁控制系统示意图

TQLC-III型微机自动励磁装置的控制方式有四种：恒 $U_g$ （恒机端电压方式，保持机端电压稳定）、恒 $I_L$ （恒励磁电流方式，保持励磁电流稳定）、恒 $Q$ （恒无功方式，保持发电机输出的无功功率稳定）和恒 $\alpha$ （恒控制角方式，保持控制角稳定），可以任选一种方式运行。恒 $Q$ 和恒 $\alpha$ 方式一般在抢发无功的时候才投入。大多数情况下应选择恒电压方式运行，这样能满足发电机并网后调差要求，恒励磁电流方式下并网的发电机不具备调差特性。

同步发电机并入电力系统之前，励磁调节装置能维持机端电压在给定水平。当操作励磁调节装置的增减磁按钮，可以升高或降低发电机电压；当发电机并网运行时，操作励磁调节装置的增减磁按钮，可以增加或减少发电机的无功输出。

无论是在“手动”还是“自动”方式下，都可以操作增减磁按钮，所不同的是调节的参数不同。在“自动”方式下，调节的是机端电压，也就是上下平移特性曲线，在“手动”方

式下，改变的是励磁电流的大小，此时即使在并网的情况下，也不具备调差特性。

## 2.2.3 实验项目与方法

### 2.2.3.1 不同 $\alpha$ 角对应的励磁电压测试

**注：本实验机组不并网。**

1) 检查机组控制屏上各指示仪表的指针是否指在0位置，如不在则应调到0位置。

2) 合上机组控制屏上的“220V电源”开关，检查开关状态：控制屏一次系统图上1QF处信号灯应绿灯亮，红灯熄灭。

3) 合上380V “调速励磁电源”开关。

**注意：一定要先合“220V电源”开关，再合“调速励磁电源”开关，否则，励磁或调速输出的功率模块可能处于失控状态！**

4) 根据液晶显示屏显示和面板指示灯状态检查调速、励磁、同期装置是否正常。

5) 将调速装置“方式选择”开关选择为“自动”或“手动”方式均可，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效）。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调速装置开始输出控制信号。

**注：“自动”和“手动”方式均可，但实验结果可能有所差别。**

通过“增速”按钮逐渐升高电动机转速，当按住“增速”按钮不动时，转速将快速升高。接近额定转速时，采用“点动”的方式操作按钮，使电动机达到需要的转速（1500转/分）。

6) 将励磁装置“方式选择”开关拨到中间位置（“恒Q/恒 $\alpha$ ”），10秒后，将“恒Q/恒 $\alpha$ ”开关选择为“恒 $\alpha$ ”（此时的增磁、减磁按钮控制导通角 $\alpha$ 的减小和增大），“远方/就地”开关选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调节器开始输出控制信号。

通过“增磁”按钮逐渐降低发电机电压，当按住“增磁”按钮不动时，电压将快速降低。接近额定电压时，采用“点动”的方式操作按钮，使发电机达到需要的电压。

实验时，调节励磁电流为表2-2规定的若干值，记下对应的 $\alpha$ 角，对应的励磁电压，观察其变化规律。（励磁电流、 $\alpha$ 角及励磁电压在励磁装置液晶显示屏上读取）

实验完毕后停机，应严格按照“同步发电机准同期并列实验”中的停机步骤执行。

**表2-2 不同控制角下的状态参数**

励磁电流 $I_{fd}$ (A)	1.0	0.75	0.5	0.25	0.0
显示控制角 $\alpha$					
励磁电压 $U_{fd}$ (V)					



### 2.2.3.2 同步发电机起励

同步发电机的起励方式有两种：恒机端电压方式起励，恒励磁电流方式起励。恒机端电压方式起励，起励后的发电机电压稳定在手动设定的电压水平上；恒励磁电流方式起励，起励后的发电机励磁电流稳定在手动设定的电流水平上。

本实验机组不并网。

#### A. 恒机端电压方式起励

1) 将调速装置“方式选择”开关选择为“自动”或“手动”方式，“远方/就地”选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”。按增速按钮，使发电机转速达到表2-3中频率对应的转速附近。

注：实验中所涉及到频率均以同期装置上显示为准，在未建压的情况下所有频率均不准确。

2) 将励磁装置“方式选择”开关选择为“恒U<sub>g</sub>”方式，“远方/就地”选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”。按“增磁”按钮，使发电机机端电压达到接近需要的电压（如380V）。

3) 微调转速使其达到需要测试的某一频率，同时微调励磁装置使机端电压稳定在某一定值（如380V）。

说明：在恒U<sub>g</sub>方式下，按“增磁”按钮表示增加发电机机端电压给定值。

4) 观测在起励时励磁电流和励磁电压的变化，并记录起励后的发电机稳态电压、励磁电流、励磁电压和控制角 $\alpha$ 。

每次实验完毕后停机，应严格按照“同步发电机准同期并列实验”中的停机步骤执行。改变起动时机组转速，重复步骤1)~3)，将记录数据填入表2-3。

表2-3 恒U<sub>g</sub>方式起励测试

发电机组频率 (Hz)	发电机电压 (V)	励磁电流 (A)	励磁电压 (V)	控制角 $\alpha$ ( $^{\circ}$ )
48				
49				
50				
51				
52				

#### B. 恒励磁电流方式起励

1) 将调速装置“方式选择”开关选择为“自动”或“手动”方式，“远方/就地”选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”。按增速按钮，使发电机转速达到表2-4中频率对应的转速附近。

2) 将励磁调节装置“方式选择”开关选择为“恒 $I_L$ ”方式，“远方/就地”选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”，按“增磁”按钮，使发电机机端电压或励磁电流达到接近需要值。

3) 微调转速使其达到需要测试的某一频率，同时微调励磁装置使机端电压或励磁电流稳定在某一定值。

**说明：**

在恒 $I_L$ 方式下，按“增磁”按钮表示增加发电机励磁电流给定值，进而改变发电机电压。

每次实验完毕后停机，应严格按照“同步发电机准同期并列实验”中的停机步骤执行。

改变起动时机组转速，重复步骤1)~3)，将记录数据填入表2-4。

**表2-4 恒 $I_L$ 方式起励测试**

发电机组频率 (Hz)	发电机电压 (V)	励磁电流 (A)	励磁电压 (V)	控制角 $\alpha$ ( $^\circ$ )
48				
49				
50				
51				
52				

### 2.2.3.3 伏/赫限制实验

单元接线的大型同步发电机解列运行时，其机端电压有可能升的较高，而其频率有可能降的较低。如果其机端电压  $U_g$  与频率  $f$  的比值  $B=U_g/f$  过高，则同步发电机及其主变压器的铁芯就会饱和，使空载激磁电流加大，造成发电机和主变过热。因此有必要对  $U_g/f$  加以限制。伏赫限制器工作原理就是：根据整定的最大允许伏赫比  $B_{max}$  和当前频率，计算出当前允许的最高电压  $U_{gh}=B_{max}*f$ ，将其与电压给定值  $U_g$  比较，取二者中较小值作为计算电压偏差的基准  $U_b$ ，由此调节的结果必然是发电机电压  $U_g \leq U_{gh}$ 。以上数值均按标么值计算。伏赫限制器在解列运行时投入，并网后退出。

**注：本实验机组不并网。**

实验步骤：

- 1) 检查机组控制屏上各指示仪表的指针是否指在0位置，如不在则应调到0位置。
- 2) 合上机组控制屏上的“220V电源”开关，检查开关状态：控制屏一次系统图上1QF处信号灯应绿灯亮，红灯熄灭。
- 3) 合上380V “调速励磁电源”开关。

**注意：**一定要先合“220V电源”开关，再合“调速励磁电源”开关，否则，励磁或调速输出的功率模块可能处于失控状态！

4) 根据液晶显示屏显示和面板指示灯状态检查调速、励磁、同期装置是否正常。

5) 将调速装置“方式选择”开关选择为“自动”方式，“远方/就地”选择为“就地”（选择为“远方”时，就地控制失效）。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调速装置开始输出控制信号。

通过“增速”按钮逐渐升高电动机转速，当按住“增速”按钮不动时，转速将快速升高。接近额定转速时，采用“点动”的方式操作按钮，使电动机达到需要的转速（1500转/分）

6) 将励磁装置“方式选择”开关选择为“自动（恒  $U_g$ ）”方式，“远方/就地”选择为“就地”。“启动/停止”开关选择为“启动”，此时，调节器开始输出控制信号。通过“增磁”按钮逐渐升高发电机电压，当按住“增磁”按钮不动时，发电机将快速升高电压。接近额定电压时，采用“点动”的方式操作按钮，使发电机达到需要的电压。本实验要求发电机稳定运行在空载额定以上。

7) 在励磁装置主界面下，按“OK”键进入主菜单，进入“参数设定”选项，设置“V/Hz 倍数”的值为1.1。

8) 在励磁装置主界面下，按“OK”键进入主菜单，进入“投退保护”选项，将“V/Hz 限制”选为“投”，其他两项设为“退”。退出并保存设置。

**注意：此功能若未投入，实验所要求的功能将无法实现。**

9) 调节调速装置“减速”按钮，使机组从额定转速开始下降。

10) 从 50Hz~45Hz，每间隔 1Hz 记录发电机电压随频率变化的关系数据，填入表 2-5。

11) 根据实验数据描出电压与频率的关系曲线，并计算设定的  $B_{max}$  值（用限制动作后的数据计算，伏赫限制指示灯亮表示伏赫限制动作）。做本实验时先增磁到一个比较高的机端电压后再慢慢减速。（若机组不稳，励磁和同期装置上显示的频率摆动剧烈，可读取调速装置上的转速进行计算）

实验完毕后停机，应严格按照“同步发电机准同期并列实验”中的停机步骤执行。

表 2-5 不同频率下的发电机电压

发电机频率 $f$ (Hz)	50	49	48	47	46	45
机端电压 $U_g$ (V)						

## 2.2.3.4 调差特性实验

### A. 调差系数的测定

同步发电机的调差调整特性是发电机在不同电压值时，发电机转子电流  $I_e$  与无功负荷电流  $I_w$  的关系。发电机的调差系数决定于自动励磁调节系统总的放大系数。调差系数与励磁系统的总放大倍数成反比。它决定并联机组间无功电流的分配关系。

当调差系数大于零即为正调差系数时，表示发电机外特性下倾，即发电机无功电流增加，其机端电压降低。当调差系数小于零即为负调差系数时，表示发电机外特性上翘，即发电机

无功电流减小，其机端电压上升。调差系数等于零为无差调节。在实际运行中，发电机一般采用正调差系数，因为它具有系统电压下降而发电机的无功电流增加这一特性，这对于维持系统稳定运行是十分必要的。至于负调差系数，一般只能在大型发电机-变压器组单元接线时采用。

在励磁装置中，使用的调差公式为（按标么值计算）： $U_B = U_g \pm K_q * Q$ ，它是将无功功率的一部分叠加到电压给定值上，其中 $U_g$ 为电压给定值， $Q$ 为无功功率， $K_q$ 为调差系数。

实验步骤：

1) 启动机组，满足条件后并网运行，并网后退出同期装置，并网步骤见“同步发电机准同期并列实验”。

注：调速装置设置为“自动”方式，励磁装置设置为“恒 $U_g$ ”方式。

### A. 零调差实验

设置调差系数=0，在励磁装置的主界面下按“OK”键，进入主菜单，进入“参数设置”选项，将调差系数设为“00.0%”。退出保存设置。

用降低系统电压的方法（调节调压器）以增加发电机无功输出，记录一系列机端电压和无功功率的数据，将数据填入表2-6。（如果记录数据时，励磁调节装置上的数值显示有波动，则可以参考控制屏上方的电压表和无功表，计算时额定无功功率为kVar，额定电压380V）

作出调节特性曲线，并计算出调差系数。比较计算得出的调差系数与设置的调差系数是否大致相同。（设置的“调差系数”可在励磁装置的主界面下按“OK”键，进入主菜单，进入“参数设置”选项查看）

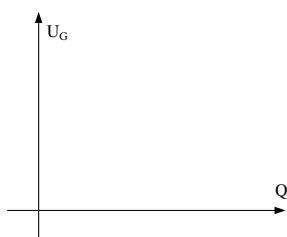


图2-4 调节特性曲线

### B. 正调差实验

设置调差系数=5%，在励磁装置主界面下按“OK”键，进入主菜单，进入“参数设置”选项，将“调差系数”设为“05.0%”。将“调差极性”设为“+”。退出保存设置。

用降低系统电压的方法增加发电机无功输出，记录一系列机端电压、和无功功率的数据，将数据填入表2-6，作出调节特性曲线。

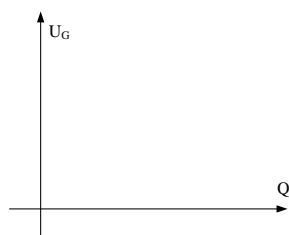


图2-5 调节特性曲线

### C. 负调差实验

设置调差系数 $=-5\%$ ，在励磁装置主界面下按“OK”键，进入主菜单，进入“参数设置”选项，将“调差系数”设为“05.0%”。将“调差极性”设为“-”。退出保存设置。

用降低系统电压的方法增加发电机无功输出，记录一系列机端电压、和无功功率的数据，将数据填入表2-6，作出调节特性曲线。

表2-6不同调差系数下机端电压与无功关系表

Kq=0		Kq=+5%		Kq=-5%	
U <sub>G</sub>	Q	U <sub>G</sub>	Q	U <sub>G</sub>	Q

#### 2.2.3.8 停机

调节有功输出和无功输出分别为零，在不带负载的情况下跳开同期开关1QF，使同步发电机与系统解列。在发电机与系统解列之后，将励磁调节装置“启动/停止”选择为“停止”，使发电机机端电压降为零，将调速装置“启动/停止”选择为“停止”，使电动机转速降为零。待机组停稳后先断开机组控制屏上的380V“调速励磁电源开关”，然后断开“220V电源”开关。然后断开实验台上的6QF、5QF、4QF、3QF、2QF开关，最后断开实验台的“总电源”开关。

#### 2.2.4 实验报告要求

- 1) 整理各项实验数据
- 2) 分析各项负载实验的测试结果
- 3) 分析为什么励磁调节装置工作在“自动”方式时，调节有功功率的输出时，无功功率会随之变化，而在调节无功功率时有功功率不变？

### 2.2.5 思考题

- 1) 三相可控桥对触发脉冲有什么要求?
- 2) 比较恒机端电压方式起励、恒励磁电流方式起励有何不同?
- 3) 为什么在并网时不需要伏赫限制?
- 4) 比较四种运行方式: 恒机端电压、恒励磁电流、恒无功功率和恒  $\alpha$  的特点, 说说他们各适合在何种场合应用? 对电力系统运行而言, 哪一种运行方式最好? 试就电压质量, 无功负荷平衡, 电力系统稳定等方面进行比较。