

《电力系统综合自 动化》

实验指导书

电子信息与电气技术实验中心

2015年2月

实验一 同步发电机准同期并列实验

一、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. 掌握微机准同期控制器及模拟式综合整步表的使用方法；
3. 熟悉同步发电机准同期并列过程；
4. 观察、分析有关波形。

二、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，考虑到断路器的固有合闸时间，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。

三、实验项目和方法

(一) 机组启动与建压

1. 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
2. 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率，调速器上“微机正常”灯和“电源正常”灯亮；
3. 按调速器上的“微机方式自动/手动”按钮使“微机自动”灯亮；
4. 励磁调节器选择它励、恒 UF 运行方式，合上励磁开关；
5. 把实验台上“同期方式”开关置“断开”位置；
6. 合上系统电压开关和线路开关 QF₁，QF₃，检查系统电压接近额定值 380V；
7. 合上原动机开关，按“停机/开机”按钮使“开机”灯亮，调速器将自动启动电动机到额定转速；
8. 当机组转速升到 95%以上时，微机励磁调节器自动将发电机电压建压到与系统电压相等。

(二) 观察与分析

1. 操作调速器上的增速或减速按钮调整机组转速，记录微机准同期控制器显示的发电机和系统频率。观察并记录旋转灯光整步表上灯光旋转方向及旋转速度与频差方向及频差大小的对应关系；观察并记录不同频差方向，不同频差大小时的模拟式整步表的指针旋转方向及旋转速度、频率平衡表指针的偏转方向及偏转角度的大小的对应关系；

2. 操作励磁调节器上的增磁或减磁按钮调节发电机端电压，观察并记录不同电压差方向、不同电压差大小时的模拟式电压平衡表指针的偏转方向和偏转角度的大小的对应关系；

3. 调节转速和电压，观察并记录微机准同期控制器的频差闭锁、压差闭锁、相差闭锁灯亮熄规律；

4. 将示波器跨接在“发电机电压”测孔与“系统电压”测孔间，观察正弦整步电压（即脉动电压）波形，观察并记录整步表旋转速度与正弦整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与正弦整步电压最小幅值间的关系；观察并记录正弦整步电压幅值达到最小值得时刻所对应的整步表指针位置和灯光位置；

5. 用示波器跨接到“三角波”测孔与“参考地”测孔之间，观察线性整步电压（即三角波）的波形，观察并记录整步表旋转速度与线性整步电压的周期的关系；观察并记录电压幅值差大小与线性整步电压最小幅值间的关系；观察并记录线性整步电压幅值达到最小值得时刻所对应的整步表指针位置和灯光位置。

(三) 手动准同期

1. 按准同期并列条件合闸

将“同期方式”转换开关置“手动”位置。在这种情况下，要满足并列条件，需要手动调节发电机电压、频率，直至电压差、频差在允许范围内，相角差在零度前某一合适位置时，手动操作合闸按钮进行合闸。

观察微机准同期控制器上显示的发电机电压和系统电压，相应操作微机励磁调节器上的增磁或减磁按钮进行调压，直至“压差闭锁”灯熄灭。

观察微机准同期控制器上显示的发电机频率和系统频率，相应操作微机调速器上的增速或减速按钮进行调速，直至“频差闭锁”灯熄灭。

此时表示压差、频差均满足条件，观察整步表上旋转灯位置，当旋转至 0° 位置前某一合适时刻时，即可合闸。观察并记录合闸时的冲击电流。

具体实验步骤如下：

- (1) 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
- (2) 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率，调速器上“微机正常”灯和“电源正常”灯亮；
- (3) 按调速器上的“模拟方式”按钮按下，使“模拟方式”灯亮；
- (4) 缓慢调节“模拟调节”电位器指针，使原动机转速达到起额定；
- (5) 励磁调节器在选择“手动励磁”开关之前需要检查手动励磁调压器是否在 0 位置，如不在应调在 0 位置，再合上励磁开关；
- (6) 缓慢调节手动励磁调压器，使发电机电压达到 380V，并维持原动机转速为其额定；
- (7) 合上系统电压开关和线路开关 QF1, QF3，检查系统电压接近额定值 380V；
- (8) 选择实验台上“同期方式”为“手动同期”档；

(9) 测同期表，其频差，压差和相差指针在中间平衡位置时合上“发电机开关”按钮。

2. 偏离准同期并列条件合闸

本实验项目仅限于实验室进行，不得在电厂机组上使用!!!

实验分别在单独一种并列条件不满足的情况下合闸，记录功率表冲击情况：

具体实验步骤如下：

- (1) 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
- (2) 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率，调速器上“并网”灯和“微机故障”灯均为熄灭状态；
- (3) 按调速器上的“模拟方式”按钮按下，使“模拟方式”灯亮；
- (4) 缓慢调节“模拟调节”电位器指针，使原动机转速达到起额定；
- (5) 励磁调节器在选择“手动励磁”开关之前需要检查手动励磁调压器是否在 0 位置，如不在应调在 0 位置，再合上励磁开关；
- (6) 缓慢调节手动励磁调压器，使发电机电压达到 380V，并维持原动机转速为其额定；
- (7) 合上系统电压开关和线路开关 QF₁，QF₃，检查系统电压接近额定值 380V；
- (8) 选择实验台上“同期方式”为“手动同期”档；
- (9) 观测同期表，按下 a，b，c 三种情况实验并记录数据填入表 1-1。

a. 电压差、相角差条件满足，频率差不满足，在 $f_F > f_X$ 和 $f_F < f_X$ 时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1-1（注意：频率差不要大于 0.5Hz）。

b. 频率差、相角差条件满足，电压差不满足， $V_F > V_X$ 和 $V_F < V_X$ 时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1-1（注意：电压差不要大于额定电压的 10%）。

c. 频率差、电压差条件满足，相角差不满足，顺时针旋转和逆时针旋转时手动合闸，观察并记录实验台上有功功率表 P 和无功功率表 Q 指针偏转方向及偏转角度大小，分别填入表 1-1（注意：相角差不要大于 30°）。

表 1-1

	$f_F > f_X$	$f_F < f_X$	$V_F > V_X$	$V_F < V_X$	顺时针	逆时针
P (kW)						
Q (kVAR)						

注：有功功率 P 和无功功率 Q 也可以通过微机励磁调节器的显示观察。

(四) 半自动准同期

将“同期方式”转换开关置“半自动”位置，按下准同期控制器上的“同期”按钮即向准同期控制器发出同期并列命令，此时，同期命令指示灯亮，微机正常灯闪烁加快。准同期控制器

将给出相应操作指示信息，运行人员可以按这个指示进行相应操作。调速调压方法同手动准同期。

当压差、频差条件满足时，整步表上旋转灯光旋转至接近 0° 位置时，整步表圆盘中心灯亮，表示全部条件满足，准同期控制器会自动发出合闸命令，“合闸出口”灯亮，随后 DL 灯亮，表示已经合闸。同期命令指示灯熄，微机正常灯恢复正常闪烁，进入待命状态。

具体实验步骤如下：

- (1) 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
- (2) 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态。各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率，调速器上“微机正常”灯和“电源正常”灯亮；
- (3) 按调速器上的“微机方式自动/手动”按钮按下，即微机手动方式开机，调速器面板上“微机手动”灯亮；
- (4) 按住“增速”按钮，使原动机转速达到起额定（按住“增速”或“减速”按钮 5 秒钟内微机会自动增，减速；
- (5) 励磁调节器在选择“手动励磁”开关之前需要检查手动励磁调压器是否在 0 位置，如不在应调在 0 位置，再合上励磁开关；
- (6) 缓慢调节手动励磁调压器，使发电机电压达到 380V，并维持原动机转速为其额定；
- (7) 合上系统电压开关和线路开关 QF₁，QF₃，检查系统电压接近额定值 380V；
- (8) 选择实验台上“同期方式”为“手动同期”档；
- (9) 观测同期表，其频差，压差和相差指针在中间平衡位置时合上“发电机开关”按钮。

(五) 全自动准同期

将“同期方式”转换开关置“全自动”位置；按下准同期控制器的“同期”按钮，同期命令指示灯亮，微机正常灯闪烁加快，此时，微机准同期控制器将自动进行均压、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，调速器上有什么反应；当“升压”或“降压”命令指示灯亮时，微机励磁调节器上有什么反应。当一次合闸过程完毕，控制器会自动解除合闸命令，避免二次合闸；此时同期命令指示灯熄，微机正常灯恢复正常闪烁。

具体实验步骤如下：

- (1) 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置，如不在则应调到 0 位置；
- (2) 合上操作电源开关，检查实验台上各开关状态：各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率，调速器上“微机正常”灯和“电源正常”灯亮；
- (3) 把调速器上的“模拟方式”和“微机方式自动/手动”按钮松开，使“微机自动”灯亮；
- (4) 按下“停机/开机”按钮，此时控制量开始缓慢增加，直至原动机转速达到额定；
- (5) 励磁调节器选择“微机它励”方式，励磁调节器选择恒 U_f 方式，再合上励磁开关；
- (6) 调节“增磁”/“减磁”按钮使数码管显示管上 U_g 参数为 380，松开“灭磁”按钮，使发电机电压达到 380V；
- (7) 合上系统电压开关和线路开关 QF₁，QF₃，检查系统电压接近额定值 380V；
- (8) 选择实验台上“同期方式”为“微机全自动同期”档；
- (9) 调节“同期开关时间”与微机同期装置中参数一的时间整定相同，然后按下“同期命令”按钮，等待微机自动并网。

(六) 准同期条件的整定

按“参数设置”按钮使“参数设置”灯亮进入参数设置状态，（再按一下“参数设置”按钮即可使“参数设置”灯熄退出参数设置状态）共显示 8 个参数，可供修改的参数共有 7 个，即开关时间、频差允许值、压差允许值、均压脉冲周期、均压脉冲宽度、均频脉冲周期、均频脉冲宽度。另第 8 个参数是实测上一次开关合闸时间，单位为毫秒。以上 7 个参数按“参数选择”按钮可循环出现，按上三角或下三角按钮可改变其大小。改变某些参数来重复做一下全自动同期（参数整定参见《WDT-III C 电力系统综合自动化实验台说明书》）。

1. 整定频差允许值 $\Delta f=0.3\text{Hz}$ 。压差允许值 $\Delta U=3\text{V}$ 超前时间 $t_{yq}=0.1\text{s}$ ，通过改变实际开关动作时间，即整定“同期开关时间”的时间继电器。重复进行全自动同期实验，观察在不同开关时间 t_{yq} 下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值 I_m ，填入表 1-2。

表 1-2

整定同期开关时间 (s)	0.1	0.2	0.3	0.4
实测开关时间 (s)				
冲击电流 I_m (A)				

据此，估算出开关操作回路固有时间的范围，根据上一次开关的实测合闸时间，整定同期装置的越前时间。在此状态下，观察并列过程时的冲击电流的大小。

2. 改变频差允许值 Δf ，重复进行全自动同期实验，观察在不同频差允许值下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值 I_m ，填入表 1-3。

注：此实验微机调速器工作在微机手动方式。

表 1-3

频差允许值 Δf (Hz)	0.4	0.3	0.2	0.1
冲击电流 I_m (A)				

3. 改变压差允许值 ΔV ，重复进行全自动同期实验，观察在不同压差允许值下并列过程有何差异，并记录三相冲击电流中最大的一相的电流值 I_m ，填入表 1-4。

表 1-4

压差允许值 ΔV (V)	5	4	3	2
冲击电流 I_m (A)				

(七) 停机

当同步发电机与系统解列之后，按调速器的“停机/开机”按钮使“停机”灯亮，即可自动停机，当机组转速降到 85%以下时，微机励磁调节器自动逆变灭磁。待机组停稳后断开原动机开关，跳开励磁开关以及线路和无穷大电源开关。

切断操作电源开关。

四、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；
3. 分析正弦整步电压波形的变化规律；
4. 滑差频率 f_s ，开关时间 t_{yq} 的整定原则？

注意事项：

1. 手动合闸时，仔细观察整步表上的旋转灯，在旋转灯接近 0° 位置之前某一时刻合闸。
2. 当面板上的指示灯、数码管显示都停滞不动时，此时微机准同期控制器处于“死机”状态，按一下“复位”按钮可使微机准同期控制器恢复正常。
3. 微机自动励磁调节器上的增减磁按钮按键只持续 5 秒内有效，过了 5 秒后如还需调节则松开按钮，重新按下。
4. 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，然后选择“同期方式”转换开关。

五、思考题

1. 相序不对（如系统侧相序为 A、B、C、为发电机侧相序为 A、C、B），能否并列？为什么？
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. 准同期并列与自同期并列，在本质上有何差别？如果在这套机组上实验自同期并列，应如何操作？
4. 合闸冲击电流的大小与哪些因素有关？频率差变化或电压差变化时，正弦整步电压的变化规律如何？
5. 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？
6. 在 $f_F > f_X$ 或者 $f_F < f_X$ ， $V_F > V_X$ 或者 $V_F < V_X$ 下并列，机端有功功率表及无功功率表的指示有何特点？为什么？

四、实验报告要求

1. 整理实验数据，说明单回路送电和双回路送电对电力系统稳定运行的影响，并对实验结果进行理论分析。
2. 根据不同运行状态的线路首、末端和中间开关站的实验数据、分析、比较运行状态不同时，运行参数变化的特点和变化范围。
3. 比较非全相运行实验的前、后实验数据，分析输电线路输送功率的变化。

五、思考题

1. 影响简单系统静态稳定性的因素是哪些？
2. 提高电力系统静态稳定有哪些措施？
3. 何为电压损耗、电压降落？
4. “两表法”测量三相功率的原理是什么？它有什么前提条件？