第二版前言

本实验报告之前的版本是针对武汉华工大电力自动技术研究所生产“WDT-Ⅲ型电力系统综合自动化试验台” 以及 “PS-5G型电力系统微机监控试验台”而编写的实验报告。本版本实验报告是针对“WDT-Ⅲ型电力系统综合自动化试验台” 以及 “PS-5G型电力系统微机监控试验台”的全数字实时仿真系统而编写的实验报告。由于实验内容并没有改变，该实验报告基本采用了原版本实验报告，保留了原版本中的所有51个实验项目，对部分实验项目进行了一定的改进。

在本仿真系统上完全可以实验原物理系统上的实验项目。其额外的优点是：1、通过 internet 终端可以做电力系统综合自动化实验；2、自动生成实验报告和实验成绩，大大提高了教学效率；3、辅助电力系统相关理论课的教学，讲授理论课时将活的电力系统案例搬到课堂；4、能够为学生乃至大众提供专业的电力系统实验机会。

编者

2018 年 4 月

第一版前言

《电力系统综合自动化实验指导书》是一本与电气工程专业的《电力工程》、《电力系统自动化》、《电力系统分析》、《微机保护》、《电力系统自动装置原理》、《电力系统综合自动化》等课程相配套的实验及原理指导教材。

实验教学是高等理工科学校的主要实验性环节之一，它在培养学生的实际操作能力、分析问题和解决问题的能力方面，起着极重要的作用；专业综合实验课程还肩负着综合运用所学基础知识和专业知识，培养学生创造能力的作用。

本实验指导书前六章是在武汉华工大电力自动技术研究所生产“WDT-Ⅲ型电力系统综合自动化试验台”上进行的，实验指导书后二章需增加在该研究所生产的“PS-5G 型电力系统微机监控试验台”共同完成后二章试验，而实际这个试验系统所能开出的实验远不止这些，如：同步发电机静态安全运行极限的测定，同步发电机参数的离线（在线）测定以及磁阻功率实验等，都未编写在此指导书中，这里只是提供实验平台供大家开发研究。将多个此实验平台，通过“PS-5G 型电力系统微机监控实验系统”构成一个可变的多机环型电力网络，进行各种潮流分析实验，实现电力系统的检测、控制、监视、保护、调度的自动化，具有电力系统“四遥”功能。

本指导书分为八个章节，它仅提供可以进行实验的题目。每个题目的内容多少不一，有些编写得比较详细，有的比较简略，

这便于因材施教和进行选择；有些题目内容较多，可以选做其中一部分；另外，在实验课中也可将若干部分实验内容组合成一个课题深入研究，这样可以充分发挥学生在科学实验方面的主动性和创造能力，提高实验教学的水平和质量。各学校可以根据课程设置具体情况，参考“WDT-Ⅲ型电力系统综合自动化试验台”和“PS-5G 型电力系统微机监控试验台”使用说明书和本指导书编写适合自己学校要求的指导书。

综合自动化实验平台的模型是针对电力系统教学实验而设计，其工作方式是按发电机通过输电线路与无穷大系统联接，构成“一机—无穷大”电力系统而设计的，考虑到模型操作的灵活和方便。在设计中，设计者也考虑到增加一些与外部联接的功能，在一定程度上扩大其使用功能。

首先，在接口设计中采用了通用接口标准，可为电力系统新产品（如继电保护，控制调节装置等）进行初步的性能考核实验。

其次，为了使发电机组作为一个独立设备脱离无穷大系统工作，以适应某些实验要求，可以通过改连接线，接入专用负载进行实验，如第六章的单机对负荷实验就是将调压器的副方解开来，外接电阻后进行系列实验。

本指导书的编写凝聚了许多人的辛勤汗水，编者在此一并表示衷心的感谢。由于编写者水平有限，加之时间仓促，错误和不足之处在所难免，谨请读者指正。

编者

2003 年 4 月

第一章　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同期表的使用方法；
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。

正弦整步电压是发电机出口断路器两端的正弦电压之差，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误差的影响，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．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在并网前显示控制量（左）和发电机转速（右），在并网后显示控制量（左）和功率角（右）。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“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 QF_1，QF_3，检查系统电压接近额定值 110kv；

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；

（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0º 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。

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：

（1）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；注意：频率差不要大于 0.5HZ。

（2）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；注意：电压差不要大于额定电压的 10%。

（3）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 度。

表 1-1 **分数：**0 **时间：**0

	$f_F>f_X$	$f_F<f_X$	$V_F>V_X$	$V_F<V_X$	顺时针	逆时针
频差允许值△f（Hz）	?	?	?	?	?	?
压差允许值△V（V）	?	?	?	?	?	?
整定同期开关时间（s）	?	?	?	?	?	?
实测开关时间±0.1（s）	?	?	?	?	?	?

冲击 P（MW）	?	?	?	?	?	?
冲击 Q（MVar）	?	?	?	?	?	?
摇摆振荡 P（MW）	?	?	?	?	?	?

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 0º 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。

（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。

（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 4 个，即整定开关时间、频差允许值、压差允许值、实测开关时间。以上 4 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电力系统综合自动化实验台说明书》)。

1．整定频差允许值△f=0.02Hz。压差允许值△U=0V 整定同期开关时间 t_{yq}=0.1s，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，并记录冲击有功 P_e，填入表 1-2。

表 1-2 **分数：**0 **时间：**0

频差允许值△f（Hz）	?	?	?	?
压差允许值△V（V）	?	?	?	?
整定同期开关时间（s）	?	?	?	?
实测开关时间±0.1（s）	?	?	?	?
冲击有功 P_e（MW）	?	?	?	?

据此，估算出开关操作回路固有时间的大致范围，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△f，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，并记录冲击电流 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 **分数：**0 **时间：**0

频差允许值△f（Hz）	?	?	?	?
压差允许值△V（V）	?	?	?	?
整定同期开关时间（s）	?	?	?	?
实测开关时间±0.1（s）	?	?	?	?
摇摆振荡电流峰值 I_m（A）	?	?	?	?

3．改变压差允许值△V，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，并记录冲击无功 Qe，填入表 1-4。

表 1-4 **分数：**0 **时间：**0

频差允许值△f（Hz）	?	?	?	?
压差允许值△V（V）	?	?	?	?
整定同期开关时间（s）	?	?	?	?

实测开关时间±0.1（s）	?	?	?	?
冲击无功 Q_e（MVar）	?	?	?	?

总结：以上 4 个实验反应了发电机频差大小、压差大小、合闸相角差大小对并网合闸冲击的影响。同学们需结合理论知识来验证实验现象与发电机并网的理论知识是否相符。

（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，观察灭磁结束后自动停机。

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 0º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？

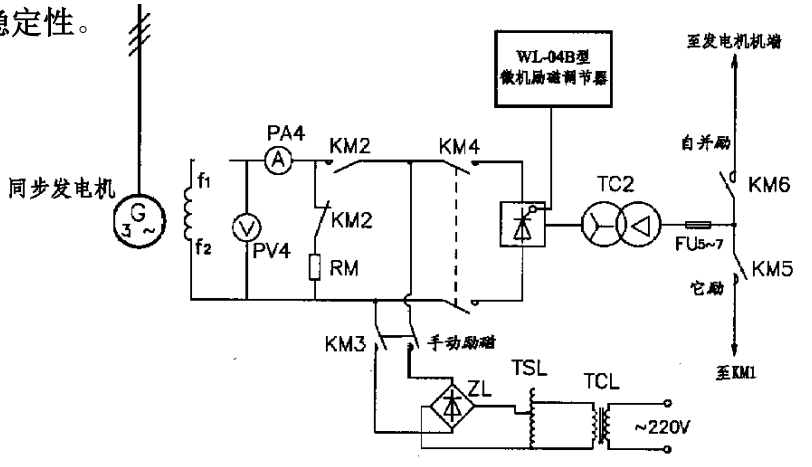
第二章　同步发电机励磁控制实验

一、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．了解自并励励磁方式和它励励磁方式的特点；
3．了解微机励磁调节器的基本控制方式；
4．了解电力系统稳定器的作用；观察强励现象及其对稳定的影响；
5．了解几种常用励磁限制器的作用；
6．掌握励磁调节器的基本使用方法。

二、原理与说明

同步发电机的励磁系统由励磁功率单元和励磁调节器两部分组成，它们和同步发电机结合在一起就构成一个闭环反馈控制系统，称为励磁控制系统。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**。



注：SAV为切换开关

图 1　励磁控制系统示意图

当三相全控桥的交流励磁电源取自发电机机端时，构成自并励励磁系统。而当交流励磁电源取自系统时，构成它励励磁系统。两种励磁方式的可控整流桥均是由微机自动励磁调节器控制的，触发脉冲为双脉冲，具有最大最小α角限制。

微机励磁调节器的控制方式有四种：恒 U_F（保持机端电压稳定）、恒 I_L（保持励磁电流稳定）、恒 Q（保持发电机输出无功功率稳定）和恒 α（保持控制角稳定）。其中，恒α方式是一种开环控制方式，只限于它励方式下使用。

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。当操作励磁调节器的增减磁按钮，可以升高或降低发电机电压；当发电机并网运行时，操作励磁调节器的增减磁按钮，可以增加或减少发电机的无功输出，其机端电压按调差特性曲线变化。

发电机正常运行时，三相全控桥处于整流状态，控制角α小于90°；当正常停机或事故停机时，调节器使控制角α大于90°，实现逆变灭磁。

电力系统稳定器－－PSS 是提高电力系统动态稳定性能的经济有效方法之一，已成为励磁调节器的基本配置；励磁系统的强励，有助于提高电力系统暂态稳定性；励磁限制器是保障励磁系统安全可靠运行的重要环节，常见的励磁限制器有过励限制器、欠励限制器等。

三、实验项目和方法

（一）不同α角（控制角）对应的励磁电压波形观测（限于物理的实验台）

（1）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；

（2）励磁系统选择它励励磁方式：操作 “励磁方式开关”切到“微机它励”方式，调节器面板“它励”指示灯亮；

（3）励磁调节器选择恒α运行方式：操作调节器面板上的“恒α”按钮选择为恒α方式，面板上的“恒α”指示灯亮；

（4）合上励磁开关，合上原动机开关；

（5）在不启动机组的状态下，松开微机励磁调节器的灭磁按钮，操作增磁按钮或减磁按钮即可逐渐减小或增加控制角 α，从而改变三相全控桥的电压输出及其波形。

注意：微机自动励磁调节器上的增减磁按钮键只持续5秒内有效，过了

5 秒后如还需要调节，则松开按钮，重新按下。

实验时，调节励磁电流为表 1 规定的若干值，记下对应的 α 角（调节器对应的显示参数为“CC”），同时通过接在 Ud+、Ud-之间的示波器观测全控桥输出电压波形，并由电压波形估算出 α 角，另外利用数字万用表测出电压 Ufd 和 U_{AC}，将以上数据记入下表，通过 Ufd，U_{AC} 和数学公式也可计算出一个 α 角来；完成此表后，比较三种途径得出的 α 角有无不同，分析其原因。

表 2-1

励磁电流 Ifd	0.0A	0.5A	1.5A	2.5A
显示控制角 α				
励磁电压 Ufd				
交流输入电压 U_{AC}				
由公式计算的 α				
示波器读出的 α				

（6）调节控制角大于 90 度但小于 120 度，观察全控桥输出电压波形，与课本所画波形有何不同？为什么？

（7）调节控制角大于 120 度，观察全控桥输出电压波形，与课本所画波形有何不同？为什么？

（二）同步发电机起励实验

同步发电机的起励有三种：恒 U_F 方式起励，恒 α 方式起励和恒 I_L 方式起励。其中，除了恒 α 方式起励只能在它励方式下有效外，其余两种方式起励都可以分别在它励和自并励两种励磁方式下进行。

恒 U_F 方式起励，现代励磁调节器通常有“设定电压起励”和“跟踪系统电压起励”的两种起励方式。设定电压起励，是指电压设定值由运行人员手动设定，起励后的发电机电压稳定在手动设定的电压水平上；跟踪系统电压起励，是指电压设定值自动跟踪系统电压，人工不能干预，起励后的发电机电压稳定在与系统电压相同的电压水平上，有效跟踪范围为 85%～115%额定电压；“跟踪系统电压起励”方式是发电机正常发电运行默认的起励方式，而“设定电压起励”方式通常用于励磁系统的调试试验。

恒 I_L 方式起励，也是一种用于试验的起励方式，其设定值由程序自动设定，人工不能干预，起励后的发电机电压一般为 20%额定电压左右；恒 α 方

式起励只适用于它励励磁方式，可以做到从零电压或残压开始由人工调节逐渐增加励磁，完成起励建压任务。

1．恒 U_F 方式起励步骤

（1）将“励磁方式开关”切到“微机自并励”方式；

（2）按下“恒 U_F”按钮选择恒 U_F 控制方式，此时恒 U_F 指示灯亮；

（3）将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；

（4）启动机组；

（5）当转速接近额定时，（频率≥47Hz）,将“灭磁”按钮松开，发电机起励建压。注意观察在起励时励磁电流和励磁电压的变化（看励磁电流表和电压表）。录波，观察起励曲线，测定起励时间，上升速度，超调，振荡次数，稳定时间等指标，记录起励后的稳态电压和系统电压。

上述的这种起励方式是通过手动解除“灭磁”状态完成的，实际上还可以让发电机自动完成起励，其操作步骤如下：

（1）将“励磁方式开关”切到“微机自并励”方式；

（2）按下“恒 U_F”按钮选择恒 U_F 控制方式，此时恒 U_F 指示灯亮；

（3）使调节器操作面板上的“灭磁”按钮为弹起松开状态（注意，此时灭磁指示灯仍然是亮的）；

（4）启动机组；

（5）注意观察，当发电机转速接近额定时（频率≥47Hz），灭磁灯自动熄灭，机组自动起励建压，整个起励过程由机组转速控制，无需人工干预，这就是发电厂机组的正常起励方式。同理，发电机停机时，也可由转速控制逆变灭磁。

改变系统电压，重复起励（无需停机、开机，只需灭磁、解除灭磁），观察记录发电机电压的跟踪精度和有效跟踪范围以及在有效跟踪范围外起励的稳定电压。

按下灭磁按钮并断开励磁开关，将“励磁方式开关”改切到“微机它励”位置，恢复投入“励磁开关”（***注意：***若改换励磁方式时，必须首先按下灭磁按钮并断开励磁开关！否则将可能引起转子过电压，危及励磁系统安全。）本励磁调节器将它励恒 U_F 运行方式下的起励模式设计成“设定电压起励”方式

（这里只是为了试验方便，实际励磁调节器不论何种励磁方式均可有两种恒 U_F 起励方式），起励前允许运行人员手动借助增减磁按钮设定电压給定值，选择范围为 0～110%额定电压。用灭磁和解除灭磁的方法，重复进行不同设定值的起励试验，观察起励过程，记录设定值和起励后的稳定值。

2．恒 I_L 方式起励步骤

（1）将“励磁方式开关”切到“微机自励”方式或者“微机它励”方式，投入“励磁开关”；

（2）按下“恒 I_L”按钮选择恒 I_L 控制方式，此时恒 I_L 指示灯亮；

（3）将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；

（4）启动机组；

（5）当转速接近额定时（频率>=47Hz）,将“灭磁”按钮松开，发电机自动起励建压，记录起励后的稳定电压。起励完成后，操作增减磁按钮可以自由调整发电机电压。

3．恒 α 方式起励步骤

（1）将“励磁方式开关”切到“微机它励”方式，投入“励磁开关”；

（2）按下恒 α 按钮选择恒 α 控制方式，此时恒 α 指示灯亮；

（3）将调节器操作面板上的“灭磁”按钮按下，此时灭磁指示灯亮，表示处于灭磁位置；

（4）启动机组；

（5）当转速接近额定时（频率>=47Hz）,将“灭磁”按钮松开，然后手动增磁，直到发电机起励建压；

（6）注意比较恒 α 方式起励与前两种起励方式有何不同。

（三）控制方式及其相互切换

本型微机励磁调节器具有恒 U_F，恒 I_L，恒 Q，恒 α 等四种控制方式，分别具有各自特点，请通过以下试验自行体会和总结。（注意查阅《WD-TIII 电力系统综合自动化试验台使用说明书》，设置无功调差系数、伏赫限制、低励限制线的斜率和截距等参数）

1．恒 U_F 方式

选择它励恒 U_F 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ～55HZ，记

录频率与发电机电压、励磁电流、励磁电压的关系数据；

表 2-2　　分数：0　时间:0

机组转速(Hz)	?	?	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?	?	?

2．恒 I_L 方式

选择它励恒 I_L 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ～55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、励磁电压的关系数据；

表 2-3　　分数：0　时间:0

机组转速(Hz)	?	?	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?	?	?

3．恒 α 方式

选择它励恒 α 方式，开机建压不并网，改变机组转速 45HZ～55HZ，记录频率与发电机电压、励磁电流、励磁电压的关系数据；

表 2-4　　分数：0　时间:0

机组转速(Hz)	?	?	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?	?	?

总结：以上 3 个实验反应了发电机不同励磁控制方式下起励建压，并网前，机组转速 对发电机励磁电压的影响。

4．并网后恒 Q 方式

选择它励恒 U_F 方式，开机建压，并网后选择恒 Q 方式（并网前恒 Q 方式非法，调节器拒绝接受恒 Q 命令），带一定的有功、无功负荷后，记录下系统侧变压器档位为 2 时发电机的初始状态，注意方式切换时，要在此状态

下进行。改变系统电压，记录系统电压与发电机电压、发电机电流、励磁电流、有功功率、无功功率的关系数据；

表 2-5 **分数：**0 **时间:**0

系统电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电流(A)	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?	?
无功功率(Mvar）	?	?	?	?	?

将系统侧变压器档位恢复为 2，励磁调节器控制方式选择为恒 U_F 方式，改变变压器档位，记录系统电压与发电机电压、发电机电流、励磁电流、有功功率、无功功率的关系数据；

表 2-6 **分数：**0 **时间:**0

系统电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电流(A)	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?	?
无功功率(Mvar）	?	?	?	?	?

将系统侧变压器档位恢复为 2，励磁调节器控制方式选择为恒 I_L 方式，改变变压器档位，记录系统电压与发电机电压、发电机电流、励磁电流、有功功率、无功功率的关系数据；

表 2-7 **分数：**0 **时间:**0

系统电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电流(A)	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?	?
无功功率(Mvar）	?	?	?	?	?

将系统侧变压器档位恢复为 2，励磁调节器控制方式选择为恒 α 方式，改变变压器档位，记录系统电压与发电机电压、发电机电流、励磁电流、有功功率、无功功率的关系数据；

表 2-8　　分数：0　　时间:0

系统电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电压(kv)	?	?	?	?	?
发电机电流(A)	?	?	?	?	?
励磁电流(A)	?	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?	?
无功功率(Mvar）	?	?	?	?	?

注意：*四种控制方式相互切换时，切换前后运行工作点应重合。*

总结：以上 4 个实验反应了发电机不同励磁控制方式下并网运行时，改变系统电压后发电机各变量的变化情况。同学们可以根据系统电压的变化规律，得出发电机各变量的变化规律。

5．功率调节

调节调速器的增速减速按钮，可以调节发电机输出有功功率，调节励磁调节器的增磁减磁按钮，可以调节发电机输出无功功率。由于输电线路比较长，当有功功率增到额定值时，功角较大（与电厂机组相比），必要时投入双回线；当无功功率到额定值时，线路两端电压降落较大，但由于发电机电压具有上限限制，所以需要降低系统电压来使无功功率上升，必要时投入双回线。记录发电机额定运行时的励磁电流，励磁电压。

保持有功出力不变、改变无功出力的值，观察无功出力为负值、零值、和正值时有功出力、机端电压等的变化情况，理解什么是进相运行。

表 2-9　　分数：0　　时间:0

发电机状态	负无功负载	0 无功负载	正无功负载
有功功率(MW)	?	?	?
无功功率(MVar)	?	?	?

总结：以上实验反应了发电机无功出力调节对各变量的影响情况。同学们可根据实验数据得出发电机无功出力变化对有功出力等变量的影响。

（四）逆变灭磁和跳灭磁开关灭磁实验

灭磁是励磁系统保护不可或缺的部分。由于发电机转子是一个大电感，当正常或故障停机时，转子中贮存的能量必须泄放，该能量泄放的过程就是灭磁过程。灭磁只能在空载下进行（发电机并网状态灭磁将会导致失去同步，造成转子异步运行，感应过电压，危及转子绝缘）。三相全控桥当触发控制角大于 90° 时，将工作在逆变状态下。本实验的逆变灭磁就是利用全控桥的这个特点来完成的。

1．逆变灭磁步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 U_F”；

（2）启动机组，投入励磁并起励建压，增磁，使同步发电机进入空载额定运行；

（3）按下“灭磁”按钮，灭磁指示灯亮，发电机执行逆变灭磁命令，注意观察励磁电流表和励磁电压表的变化以及励磁电压波形的变化。

（五）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得较高，频率有可能降得较低。如果其机端电压 U_F 与频率 f 的比值 $B=U_F/f$ 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_F/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 Bmax 和当前频率，计算出当前允许的最高电压 $U_{Fh}=Bmax*f$，将其与电压给定值 Ug 比较，取二者中较小值作为计算电压偏差的基准 Ub，由此调节的结果必然是发电机电压 $U_F \leqslant U_{Fh}$。伏赫限制器在解列运行时投入，并网后退出。

实验步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 UF”；

（2）启动机组，投入励磁起励建压，发电机稳定运行在空载额定以上；

（3）调节原动机减速按钮，使机组从额定转速下降，从 50Hz～44Hz；

（4）每间隔 1Hz 记录发电机电压随频率变化的关系数据；

（5）根据试验数据描出电压与频率的关系曲线，并计算设定的 Bmax 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。

表 2-10　　分数：0　　时间:0

机组转速(Hz)	?	?	?	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?	?	?	?
伏赫比值(kv/Hz)	?	?	?	?	?	?	?
伏赫限制指示(1/0)	?	?	?	?	?	?	?

（六）同步发电机强励实验

强励是励磁控制系统基本功能之一，当电力系统由于某种原因出现短时低压时，励磁系统应以足够快的速度提供足够高的励磁电流顶值，借以提高电力系统暂态稳定性和改善电力系统运行条件。在并网状态，模拟短路故障可以观察强励过程。

实验步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式，励磁控制方式采用“恒 U_F”；

（2）启动机组，满足条件后并网；

（3）在发电机有功和无功输出为 50%额定负载时，进行单相接地和两相间短路实验，注意观察发电机端电压和励磁电流、励磁电压的变化情况；观察强励时的励磁电压波形；

表 2-11　　分数：0　时间: 0

方式 / 类型 / 电流值	自励		它励	
	单相接地短路	两相间短路	单相接地短路	两相间短路
励磁电流最大值(A)	?	?	?	?
发电机电流最大值(A)	?	?	?	?

（4）采用它励励磁方式，重复（1）~（2），并完成后面的思考题。

（七）欠励限制实验

欠励限制器的作用是用来防止发电机因励磁电流过度减小而引起失步或因机组过度进相引起定子端部过热。欠励限制器的任务是：确保机组在并网运行时，将发电机的功率运行点(P、Q)限制在欠励限制曲线上方。

欠励限制器的工作原理：根据给定的欠励限制方程和当前有功功率 P 计算出对应的无功功率下限：$Q_{min}=aP+b$。将 Q_{min} 与当前 Q 比较，若：$Q_{min}<Q$，欠励限制器不动作；$Q_{min}>Q$，欠励限制器动作，自动增加无功输出，使 $Q_{min}<Q$。

实验步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 U_F”；

（2）启动机组，投入励磁；

（3）满足条件后并网；

（4）调节有功功率输出分别为 0，50%，100%的额定负载，用减小励磁电流(按“减磁”按钮)的方法使发电机进相运行，直到欠励限制器动作（欠励限制指示灯亮），记下此时的有功 P 和无功 Q；

（5）根据试验数据作出欠励限制线 P=f(Q)，并计算出该直线的斜率和截距；如果减磁到失步时还不能使欠励限制动作时可以用提高系统电压来实现。

表 2-12 **分数：**0 **时间:**0

发电机有功功率 P(MW)	?	?	?
欠励限制动作时 Q(MVAR)	?	?	?

（八）调差实验

1．调差系数的测定

在微机励磁调节器中使用的调差公式为（按标么值计算）UB=Ug±KQ*Q，它是将无功功率的一部分叠加到电压给定值上（模拟式励磁调节器通常是将无功电流的一部分叠加在电压测量值上，效果等同）。

实验步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 U_F”；

（2）启动机组，投入励磁；

（3）满足条件后并网，稳定运行；

（4）用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列 U_F、Q 数据；

（5）作出调节特性曲线，并计算调差系数；

表 2-13 **分数：**0 **时间:** 0

	记录 1	记录 2	记录 3	记录 4	记录 5
发电机机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?	?
发电机无功 Q (MVAR)	?	?	?	?	?
发电机调差系数 K=2%	?	?	?	?	?

2．零调差实验

设置调差系数＝0，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列 U_F、Q 数据，作出调节特性曲线。

表 2-14 零调差实验 **分数：**0 **时间:** 0

发电机机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?	?
发电机无功输 Q(MVAR)	?	?	?	?	?

发电机调差系数 K=0%	?	?	?	?	?

3．正调差实验

设置调差系数＝4%，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列 U_F、Q 数据，作出调节特性曲线。

表 2-15　正调差实验　　分数：0　　时间: 0

发电机机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?	?
发电机无功 Q(MVAR)	?	?	?	?	?
发电机调差系数 K=4%	?	?	?	?	?

4．负调差实验

设置调差系数＝–4%，实验步骤同 1。

用降低系统电压的方法以增加发电机无功输出，记录一系列 U_F、Q 数据，作出调节特性曲线。

表 2-16　负调差实验　　分数：0　　时间: 0

发电机机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?	?
发电机无功 Q(MVAR)	?	?	?	?	?
发电机调差系数 K=-4%	?	?	?	?	?

（九）过励磁限制实验

发电机励磁电流超过额定励磁电流 1.1 倍称为过励。励磁电流在 1.1 倍以下允许长期运行，1.1～2.0 之间按反时限原则延时动作，限制励磁电流到 1.1 倍以上，2.0 倍以下，瞬时动作限制励磁电流在 2.0 倍以上。过励限制指示灯在过励限制动作时亮。

实验步骤：

(1) 选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 U_F”；

(2) 启动机组，投入励磁；

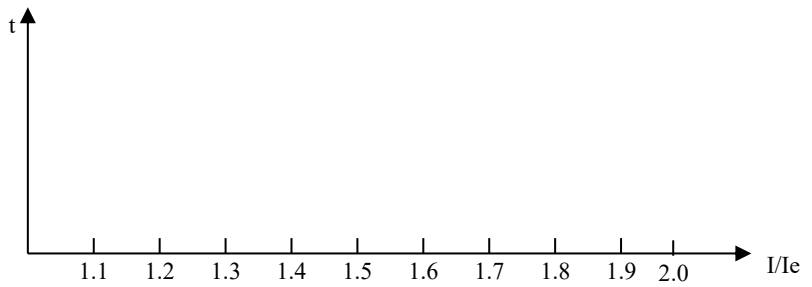
(3) 用降低额定励磁电流定值的方法模拟励磁电流过励（注：无法使励磁电流真正过励，你有办法吗？），此时限制器将按反时限特性延时动作，记录励磁电流值和延时时间，观察过励限制器动作过程；

(4) 描出励磁限制特性曲线，$t = f\left(I / I_e\right)$；

(5) 做本实验时需要改变过流整定值。

表 2-17 额定电流整定值 I_e=____ **分数：**0 **时间:**0

励磁电流(A)	?	?	?	?	?	?	?	?
过励倍数(I/I_e)	?	?	?	?	?	?	?	?
延时时间(t)	?	?	?	?	?	?	?	?



（十）PSS 实验

PSS（电力系统稳定器）的主要作用是抑制系统的低频振荡。它的投入对提高电力系统的动态稳定性有非常重要的意义。

实验步骤：

（1）选择“微机自励”励磁方式或者“微机它励”方式，励磁控制方式采用“恒 UF”；

（2）启动机组，投入励磁；

（3）满足条件后并网，稳定运行；

（4）在不投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角（由调速器的显示器读数）；

（5）在投入 PSS 的条件下，增加发电机有功输出，直到系统开始振荡，记下此时的机端电压、有功输出和功角；

（6）比较 PSS 投和不投两种情况下的功率极限和功角极限有何不同。

表 2-18 **时间:**{218time}

	单回输电线		双回输电线	
	PSS 投	PSS 不投	PSS 投	PSS 不投
机端电压 U_a				
发电机有功 P				
功角 δ				

（十一）停机灭磁

发电机解列后，直接控制调速器停机，励磁调节器在转速下降到 43HZ 以下时自动进行逆变灭磁。待机组停稳，断开原动机开关，跳开励磁和线路等开关，切除操作电源总开关。

四、实验报告要求

1．分析比较各种励磁方式和各种控制方式对电力系统安全运行的影响；

2．比较各项的实验数据，分析其产生的原因。

3．分析励磁调节器、空载实验的各项测试结果。

4．分析励磁调节器、负载实验的各项测试结果。

五、思考题

1．比较恒 UF 方式起励、恒 IL 方式起励和恒 α 方式起励有何不同？

2．逆变灭磁与跳励磁开关灭磁主要有什么区别？

3．为什么在并网时不需要伏赫限制？

4．比较在它励方式下强励与在自并励下强励有什么区别？

5．比较在它励方式下逆变灭磁与在自并励下逆变灭磁有什么差别？

6．比较单回线路和双回线路有功功率与功角的关系有何变化，线路电压降落与无功功率的关系有何不同？

7．比较四种运行方式：恒 U_F、恒 I_L、恒 Q 和恒 α 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。

第三章　单机—有限等值系统稳态运行方式实验

一、实验目的

1．了解和掌握对称稳定情况下，输电系统的各种运行状态与运行参数的数值变化范围；

2．了解和掌握输电系统稳态不对称运行的条件；不对称度运行参数的影响；不对称运行对发电机的影响等。

二、原理与说明

电力系统稳态对称和不对称运行分析，除了包含许多理论概念之外，还有一些重要的“数值概念”。不同电压等级的输电线路，在典型运行方式下，用相对值表示的电压损耗，电压降落等的数值范围，是用于判断运行报表或监视控制系统测量值是否正确的参数依据。因此，除了通过结合实际的问题，让学生掌握此类“数值概念”外，实验也是一条很好的、更为直观、易于形成深刻记忆的手段之一。实验用一次系统接线图如图 2 所示。

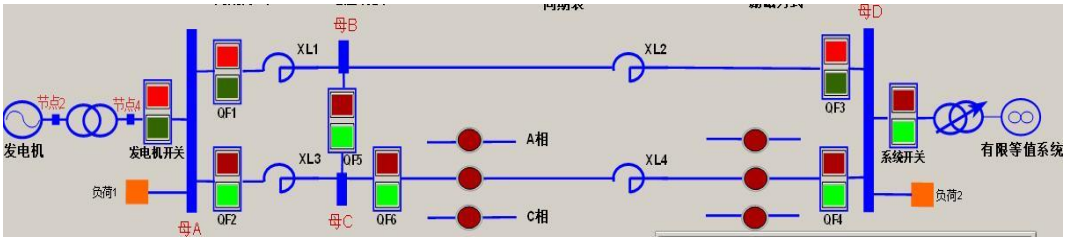


图 2　一次系统接线图

本实验系统采用数字仿真方式模拟了一个由水轮机及其调速系统、变压器、开关、负荷、输电线路、有限等值电力系统等构成的小型电力系统。

三、实验项目和方法

1．单回路稳态对称运行实验

在本章实验中，励磁采用他励方式，恒 uF，并网后调整发电机有功出力，

观察记录发电机有功功率、无功功率、线路首、末端的测量表计值及线路开关站的电压大小及变化规律。计算、分析、比较运行状态不同时，运行参数变化的特点及数值范围，为电压损耗、电压降落、沿线电压变化、两端无功功率的方向（根据沿线电压大小比较判断）等。

表 3-1 单回路 分数：0 时间：0

发电机 Pe(MW)	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?
机端电流 Ia(A)	?	?	?	?
机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?
站端母 A 电压 (kv)	?	?	?	?
系统端母 D 电压 (kv)	?	?	?	?
系统频率(Hz)	?	?	?	?

2．双回路对称运行与单回路对称运行比较实验

按实验 1 的方法进行实验 2 的操作，只是将原来的单回线路改成双回路运行。将实验 1 的结果与实验 2 进行比较和分析。

表 3-2 双回路 分数：0 时间：0

发电机 Pe(MW)	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?
机端电流 Ia(A)	?	?	?	?
机端电压 U_a(kv)	?	?	?	?
站端母 A 电压 (kv)	?	?	?	?
系统端母 D 电压(kv)	?	?	?	?
系统频率(Hz)	?	?	?	?

总结：通过本实验，观察发电机组有功出力变化时系统中各量的变化情况，思考原因。建议自行设计相关实验，验证静态稳定相关问题。

3．单回路稳态非全相运行实验

确定实现非全相运行的接线方式，断开一相时，与单回路稳态对称运行时相同的输送功率下比较其运行状态的变化。

具体操作方法如下：

（1）首先按双回路对称运行的接线方式（不含 QF5）；

（2）输送功率按实验 1 中单回路稳态对称运行的输送功率值一样；

（3）微机保护定值整定：动作时间 0 秒，重合闸时间 100 秒；

（4）在故障单元，选择单相故障相，整定故障时间为 0″<t<100″；

（5）进行单相短路故障，此时微机保护切除故障相，准备重合闸，这时迅速跳开“QF1”、“QF3”开关，即只有一回线路的两相在运行。观察此状态下的三相电流、电压值与实验 1 进行比较；

（6）故障 100″以后，重合闸成功，系统恢复到实验 1 状态。

表 3-3 全相运行 分数：0 时间：0

U_A	?	?
U_B	?	?
U_C	?	?
I_A	?	?
I_B	?	?
I_C	?	?
P	?	?
Q	?	?
S	?	?

表 3-4

	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	P	Q	S
非全相运行值									

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？

第四章　电力系统功率特性和功率极限实验

一、实验目的

1. 加深理解功率极限的概念，在实验中体会各种提高功率极限措施的作用；
2. 通过对实验中各种现象的观察，结合所学的理论知识，培养理论结合实际及分析问题的能力。

二、原理与说明

所谓简单电力系统，一般是指发电机通过变压器、输电线路与无限大容量母线联接而且不计各元件的电阻和导纳的输电系统。

对于简单系统，如发电机至系统 d 轴和 q 轴总电抗分别为 $X_{d\Sigma}$和 $X_{q\Sigma}$，则发电机的功率特性为：

$$P_{Eq}=\frac{E_qU}{X_{d\Sigma}}\sin\delta+\frac{U^2}{2}\times\frac{X_{d\Sigma}-X_{q\Sigma}}{X_{d\Sigma}\cdot X_{q\Sigma}}\sin 2\delta$$

当发电机装有励磁调节器时，发电机电势 E_q 随运行情况而变化。根据一般励磁调节器的性能，可认为保持发电机 E'_q（或 E'）恒定。这时发电机的功率特性可表示成：

$$P'_{Eq}=\frac{E'_qU}{X'_{d\Sigma}}\sin\delta+\frac{U^2}{2}\times\frac{X'_{d\Sigma}-X_{q\Sigma}}{X'_{d\Sigma}\cdot X_{q\Sigma}}\sin 2\delta$$

或　$P'_E=\dfrac{E'_qU}{X'_{d\Sigma}}\sin\delta'$

这时功率极限为

$$P'_{Em}=\frac{E'U}{X_{d\Sigma}}$$

随着电力系统的发展和扩大，电力系统的稳定性问题更加突出，而提高电力系统稳定性和输送能力的最重要手段之一是尽可能提高电力系统的功率极限，从简单电力系统功率极限的表达式看，提高功率极限可以通过发电机装设性能良好的励磁调节器以提高发电机电势、增加并联运行线路回路数或串联电容补偿等手段以减少系统电抗、受端系统维持较高的运行电压水平或输电线采用中继同步调相机或中继电力系统以稳定系统中继点电压等手段实现。

三、实验项目和方法

（一）无调节励磁时功率特性和功率极限的测定

1．网络结构变化对系统静态稳定的影响（改变 $xd\Sigma$）

在相同的运行条件下（即系统电压 U_x、发电机电势保持 E_q 保持不变，即并网前 $U_x=E_q$。在微机励磁调节器上选择“恒 IL 控制方式”），测定输电线单回线和双回线运行时，发电机的功一角特性曲线，功率极限值和达到功率极限时的功角值。同时观察并记录系统中其他运行参数（如发电机端电压等）的变化。将两种情况下的结果加以比较和分析。

实验步骤：

（1）输电线路为单回线；

（2）发电机与系统并列后，调节发电机使其输出的有功和无功功率为零；

（3）逐步增加发电机输出的有功功率，而发电机不调节励磁；

（4）观察并记录系统中运行参数的变化，填入表 4-1 中；

（5）输电线路为双回线，重复上述步骤，填入表 4-2 中。

表 4-1 单回线，无调节励磁　　分数：0　**时间：**0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

表 4-2　双回线，无调节励磁　　分数：0 时间：0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

注意：

（1）有功功率应缓慢调节，每次调节后，需等待一段时间，观察系统是否稳定，以取得准确的测量数值。

（2）当系统失稳时，可重新加载工况或重新启动系统。

2．发电机电势 E_q 不同对系统静态稳定的影响

在微机励磁调节器上选择“恒 IL 控制方式”。在同一接线及相同的系统电压下，测定发电机电势 E_q 不同时（$E_q<U_x$ 或 $E_q>U_x$）发电机的功一角特性曲线和功率极限。

实验步骤：

（1） 输电线为单回线，并网前 $E_q<U_x$，或并网后调节发电机无功为 -10MW；

（2） 发电机与系统并列后，调节发电机使其输出有功功率为零；

（3） 逐步增加发电机输出的有功功率，而发电机不调节励磁；

（4） 观察并记录系统中运行参数的变化，填入表 4-3 中；

（5）输电线为单回线，并网前 $E_q>U_x$，或并网后调节发电机无功为 10MW；重复上述步骤，填入表 4-4 中。

表 4-3　单回线，并网前 $E_q<U_x$　分数：0 时间：0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?

励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

表 4-4　单回线，并网前 E_q>U_x　　分数：0　**时间：**0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

（二）自动调节励磁（恒 Q 控制方式）时，功率特性和功率极限的测定

测定发电机的功一角曲线和功率极限，并与无调节励磁时所得的结果比较分析，说明励磁调节对功率特性的影响。

实验步骤：

（1）单回线输电线路；

（2）发电机与系统并列后，使 P=0，Q=0，δ=0，校正初始值；

（3）逐步增加发电机输出的有功功率；

（4）观察并记录系统中运行参数的变化，填入表 4-5 中。

表 4-5　单回线 ，恒 Q 控制方式　　分数：0　**时间：**0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?

发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

表 4-6　双回线 ，恒 Q 控制方式　　分数：0 时间：0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

（三）自动调节励磁（恒压控制方式）时，功率特性和功率极限的测定

将自动调节励磁装置接入发电机励磁系统，测定功率特性和功率极限，并将结果与无调节励磁和手动调节励磁时的结果比较，分析自动励磁调节器的作用。

1．微机自并励，实验步骤自拟；

表 4-7　　单回线　　微机自并励方式

δ(度)	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
发电机 Pe(MW)										
机端 I_a(A)										
站端 Uz(kv)										
励磁 U_f(V)										
励磁 I_{fd}(A)										
发电机 Qe(MVar)										

表 4-8　　双回线　　微机自并励方式

δ(度)	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
发电机 Pe(MW)										
机端 I_a(A)										

站端 Uz(kv)										
励磁 U_f(V)										
励磁 I_{fd}(A)										
发电机 Qe(MVar)										

2．微机它励，实验步骤自拟。

表 4-9 单回线，微机它励方式　分数：0 **时间：**0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

表 4-10　双回线，微机它励方式　分数：0 **时间：**0

δ(度)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Pe(MW)	?	?	?	?	?	?	?
机端 I_a(A)	?	?	?	?	?	?	?
站端 Uz(kv)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 U_f(V)	?	?	?	?	?	?	?
励磁 I_{fd}(A)	?	?	?	?	?	?	?
发电机 Qe(MVar)	?	?	?	?	?	?	?

总结：通过以上实验可以观察在不同的运行方式下，发电机的功角变化曲线。根据功角变化曲线形成对电力系统静态稳定性和暂态稳定性的认识和理解。建议以上各实验完成后，大家自主完成：调节功角观察有功-功角曲线的变化情况（将功角设为横坐标，有功设为纵坐标）。

四、实验报告要求

1. 根据实验装置给出的参数以及实验中的原始运行条件，进行理论计算。将计算结果与实验结果进行比较。

2．认真整理实验记录，通过实验记录分析的结果对功率极限的原理进行阐述。同时对理论计算和实验记录进行对比，说明产生误差的原因。并作出$Uz(\delta)$，$P(\delta)$ ，$Q(\delta)$特性曲线，对其进行描述。

3．分析、比较各种运行方式下发电机的功—角特性曲线和功率极限。

五、思考题

1. 功率角指示器的原理是什么？如何调节其零点？当日光灯供电的相发生改变时，所得的功角值发生什么变化？

2．多机系统的输送功率与功角δ的关系和简单系统的功—角特性有什么区别？

3．自并励和它励的区别和各自特性是什么？

4．自动励磁调节器对系统静态稳定性有何影响？

5．实验中，当发电机濒临失步时应采取哪些挽救措施才能避免电机失步？

第五章　电力系统暂态稳定实验

一、实验目的

1．通过实验加深对电力系统暂态稳定内容的理解，使课堂理论教学与实践结合，提高学生的感性认识。

2．学生通过实际操作，从实验中观察到系统失步现象和掌握正确处理的措施

3．熟悉保护装置等的使用，为暂态稳定实验的分析和设计做好准备。

二、原理与说明

电力系统暂态稳定问题是指电力系统受到较大的扰动之后，各发电机能否继续保持同步运行的问题。在各种扰动中以短路故障的扰动最为严重。

正常运行时发电机功率特性为：$P1=(Eo\times Uo)\times \sin\delta_1/X1$；

短路运行时发电机功率特性为：$P2=(Eo\times Uo)\times \sin\delta_2/X2$；

故障切除发电机功率特性为：　$P3=(Eo\times Uo)\times \sin\delta_3/X3$；

对这三个公式进行比较，我们可以知道决定功率特性发生变化与阻抗和功角特性有关。而系统保持稳定条件是切除故障角 δc 小于 δmax，δmax 可由等面积原则计算出来。本实验就是基于此原理，由于不同短路状态下，系统阻抗 X2 不同，同时切除故障线路不同也使 X3 不同，δmax 也不同，使对故障切除的时间要求也不同。

同时，在故障发生时及故障切除通过强励磁增加发电机的电势，使发电机功率特性中 Eo 增加，使 δmax 增加，相应故障切除的时间也可延长；由于电力系统发生瞬间单相接地故障较多，发生瞬间单相故障时采用自动重合闸，使系统进入正常工作状态。这二种方法都有利于提高系统的稳定性。

三、实验项目与方法

（一）短路对电力系统暂态稳定的影响

1．短路类型对暂态稳定的影响

本实验台通过对操作台上的短路选择按钮的组合可进行单相接地短路，两相相间短路，两相接地短路和三相短路试验。

固定短路地点，短路切除时间和系统运行条件，在发电机经双回线与“无穷大”电网联网运行时，某一回线发生某种类型短路，经一定时间切除故障成单回线运行。短路的切除时间在微机保护装置中设定，同时要设定重合闸是否投切。

改变电网的接线方式，测定不同短路运行时发电机输出的最大功率，并进行比较，分析不同故障类型对暂态稳定的影响。将实验结果与理论分析结果进行分析比较。记录有功表读数，最大电流读数可以从 YHB－Ⅲ型微机保护装置读出，具体显示为：

GL-×××　三相过流值

GA-×××　A 相过流值

GB-×××　B 相过流值

GC-×××　C 相过流值

微机保护装置的整定值代码如下：

01：　过流保护动作延迟时间

02：　重合闸动作延迟时间

03：　过电流整定值

04：　过流保护投切选择

05：　重合闸投切选择

另外，短路时间 T_D 由面板上“短路时间”继电器整定，具体整定参数为表 5-1。

表 5-0

整定值代码	01	02	03	04	05	T_D
整定值	0.5(s)	/	5.00(A)	On	Off	1.0(s)

微机保护装置的整定方法如下：按压“画面切换”按钮，当数码管显示『PA－ 』时，按压触摸按钮“＋”或“－”输入密码，待密码输入后，按下按键“△”，如果输入密码正确，就会进入整定值修改画面。进入整定值修改画面后，通过“△”“▽”先选 01 整定项目，再按压触摸按钮“＋”或“－”选择当保护时间（s）；通过“△”“▽”选 03 整定项目，再按压触摸按钮“＋”或“－”选择当过电流保护值；通过“△”“▽”选 04 整定项目，再按压触摸按钮“＋”或“－”选择当过电流保护投切 ON；通过“△”“▽”选 05 整定项目，再按压触摸按钮“＋”或“－”选择重合闸投切为 OFF。（详细操作方法 WDT－Ⅲ综合自动化试验台使用说明书。）

表 5-1　　四种不同接线方式

接线方式	QF1	QF2	QF3	QF4	QF5	QF6
1	1	1	1	1	0	1
2	0	1	0	1	0	1
3	1	1	0	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1

（0：表示对应线路开关断开状态；1：表示对应线路开关闭合状态）

短路切除时间 t=0.5s　短路类型：单相接地短路

表 5-2　　分数：0　时间：0

接线方式	?	?	?	?
过流保护延时(s)	?	?	?	?
启动电流(A)	{5218}	{5219}	{5220}	{5221}
过流保护允许	{5222}	{5223}	{5224}	{5225}
重合闸允许	{5226}	{5227}	{5228}	{5229}
返回电流(A)	{5230}	{5231}	{5232}	{5233}
P_{max}(MW)	{5234}	{5235}	{5236}	{5237}

(0：表示对应线路开关断开状态　　1：表示对应线路开关闭合状态)

短路切除时间 t=0.5s　　短路类型：两相相间短路

表 5-3　　分数：0　时间：0

接线方式	?	?	?	?
过流保护延时(s)	?	?	?	?
启动电流(A)	{5318}	{5319}	{5320}	{5321}
过流保护允许	{5322}	{5323}	{5324}	{5325}
重合闸允许	{5326}	{5327}	{5328}	{5329}
返回电流(A)	{5330}	{5331}	{5332}	{5333}
P_{max}(MW)	{5334}	{5335}	{5336}	{5337}

短路切除时间 t=0.5s　　短路类型：两相接地短路

表 5-4　　分数：0　时间：0

接线方式	?	?	?	?
过流保护延时(s)	?	?	?	?
启动电流(A)	{5418}	{5419}	{5420}	{5421}
过流保护允许	{5422}	{5423}	{5424}	{5425}
重合闸允许	{5426}	{5427}	{5428}	{5429}
返回电流(A)	{5430}	{5431}	{5432}	{5433}
P_{max}(MW)	{5434}	{5435}	{5436}	{5437}

短路切除时间 t=0.5s　　短路类型：三相短路

表 5-5　　分数：0　时间：0

接线方式	?	?	?	?
过流保护延时(s)	?	?	?	?
启动电流(A)	?	?	?	?
过流保护允许	?	?	?	?
重合闸允许	?	?	?	?
机械功率 Pm_{max} (MW)	?	?	?	?
电磁功率 Pe_{max}(MW)	?	?	?	?

2．故障切除时间对暂态稳定的影响

固定短路地点，短路类型和系统运行条件，测定不同故障切除时间时发电机输出的最大功率，分析故障切除时间对暂态稳定的影响。

短路类型：

表 5-6　　分数：0　时间：0

接线方式	?	?	?	?
过流保护延时(s)	?	?	?	?
启动电流(A)	?	?	?	?
过流保护允许	?	?	?	?
重合闸允许	?	?	?	?
机械功率 Pm_{max} (MW)	?	?	?	?
电磁功率 Pe_{max}(MW)	?	?	?	?

总结：通过本实验，观察在短路故障对电力系统机械暂态稳定性的影响，思考原因。可重点观察作用在发电机转轴上的机械功率和电磁功率的相互关系和变化情况，理解电力系统的动态平衡过程。建议自行设计相关实验，进一步验证短路故障对电力系统机械暂态稳定性的影响。

（二）研究提高暂态稳定的措施

1．强行励磁

在微机励磁方式下短路故障发生后，微机将自动投入强励以提高发电机电势。观察它对提高暂态稳定的作用。

2．单相重合闸

在电力系统的故障中大多数是送电线路（特别是架空线路）的“瞬时性”故障，除此之外也有“永久性故障”。

在电力系统中采用重合闸的技术经济效果，主要可归纳如下：

① 大提高供电可靠性；

② 高电力系统并列运行的稳定性；

③ 对继电保护误动作而引起的误跳闸，也能起到纠正的作用。

对瞬时性故障，微机保护装置切除故障线路后，经过延时一定时间将自动重合原线路，从而恢复全相供电，提高了故障切除后的功率特性曲线。同

样通过对操作台上的短路按钮组合，选择不同的故障相。

通过调速器的增（减）速按钮调节发电机向电网的出力，观察它对提高暂态稳定的作用，观察它对提高暂态稳定的作用。

其故障的切除时间在微机保护装置中进行修改，同时要设定进行重合闸投切，并设定其重合闸时间。其操作步骤同上，不同的是在 05 整定项目时，按压触摸按钮“＋”或“－”选择投合闸投切 on，并选 02 整定项目时，按压触摸按钮“＋”或“－”设定重合闸动作延时时间。瞬时故障时间由操作台上的短路时间继电器设定，当瞬时故障时间小于保护动作时间时保护不会动作；当瞬时故障时间大于保护动作时间而小于重合闸时间，能保证重合闸成功，当瞬时故障时间大于重合闸时间，重合闸后则认为线路为永久性故障加速跳开整条线路。

表 5-7

整定值代码	01	02	03	04	05	IFH
保护不动作	0.2	1.5	5.00	on	on	0
重合闸	0.2	1.5	5.00	on	on	0
永久故障	0.2	1.5	5.00	on	on	0

（三）异步运行和再同步的研究

1．在发电机稳定异步运行时，观察并分析功率，发电机的转差，振荡周期及各表的读数变化的特点。

2．在不切除发电机的情况下，研究调节原动机功率，调节发电机励磁对振荡周期，发电机转差的影响，并牵入再同步。

四、实验报告要求

1．整理不同短路类型下获得实验数据，通过对比，对不同短路类型进行定性分析，详细说明不同短路类型和短路点对系统的稳定性的影响。

2．通过试验中观察到的现象，说明二种提高暂态稳定的措施对系统稳定性作用机理。

五、思考题

1、不同短路状态下对系统阻抗产生影响的机理是什么？

2、提高电力系统暂态稳定的措施有哪些？

3、自动重合闸装置对系统暂态稳定的影响是什么？

第六章　单机带负荷实验

一、实验目的

1. 了解和掌握单机带负荷运行方式的特点。
2. 了解在单机带负荷运行方式下原动机的转速和功角与单机无穷大系统方式下有什么不同。
3. 通过独立电力网与大电力系统的分析比较实验进一步理解系统稳定概念。

一、原理与说明

单机带负荷运行方式与单机对无穷大系统运行方式有着截然不同的概念，单机对无穷大系统在稳定运行时，发电机的频率与无穷大频率一样，它是受大系统的频率牵制。随系统的频率变化而变化，发电机的容量只占无穷大系统容量的很小一部分。而单机带负荷它是一个独立电力网。发电机是唯一电源，任何负荷的投切都会引起发电机的频率和电压变化（原动机的调速器，发电机的励磁调节器均为有差调节）此时，也可以通过二次调节将发电机的频率和电压调至额定值。学生可以通过理论计算和实验分析比较独立电力网与大电力系统的稳定问题。具体方法如下：断开系统侧开关即得到单机带负荷系统。

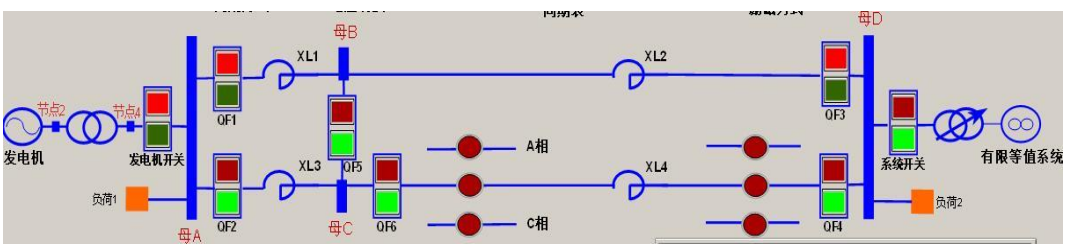


图 3　单机带负荷接线图

三、实验项目与方法

测定不同性质的负荷对发电机的电压，频率的影响并计算出调差系数实验步骤：

1．调速器选择微机自动方式，启动机组到额定转速；

2．合上发电机开关；

3．选择所需要的励磁方式后，发电机建压；

4．按下面的实验选择对应的线路。

表 6-1　　四种不同接线方式

接线方式	QF1	QF2	QF3	QF4	QF5	QF6
1	1	0	1	0	0	0
2	1	1	1	0	1	0
3	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	0	1

（0：表示对应线路开关断开状态；1：表示对应线路开关闭合状态）

表 6-2　负荷 1，P=0MW，Q=0MVar　分数：0　**时间：**0

接线方式	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?
机端电流(A)	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?
无功功率(MVar)	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?
原动机转速 N	?	?	?	?

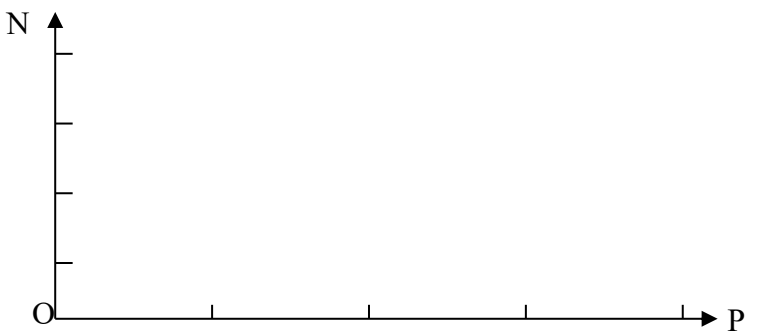
表 6-3　负荷 2，P=30MW，Q=0MVar　分数：0　**时间：**0

接线方式	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?
机端电流(A)	?	?	?	?

有功功率(MW)	?	?	?	?
无功功率(MVar)	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?
原动机转速(Hz)	?	?	?	?

表 6-4　负荷 3，P=60MW，Q=0MVar 分数：0 时间：0

接线方式	?	?	?	?
机端电压(kv)	?	?	?	?
机端电流(A)	?	?	?	?
有功功率(MW)	?	?	?	?
无功功率(MVar)	?	?	?	?
励磁电压(V)	?	?	?	?
原动机转速(Hz)	?	?	?	?



总结：

四、实验报告要求

1. 通过改变不同的线路运行方式及负荷有功无功大小，得出有功功率，无功功率，功率因素，计算分析实验结果。
2. 根据负荷大小不同时转速的不同，绘出转速和有功功率的关系曲线，计算出原动机的调差系数。
3. 分析比较在负荷相同时调速器在不同的运行方式时转速有什么不

同？为什么？

五、思考题

1．单机带负荷与单机无穷大系统有什么不同?

2．在单机带负荷方式下，在相同的负荷条件下，调速器在手动方式和自动方式时转速有何不同？为什么？

第七章　复杂电力系统运行方式实验

一、实验目的

1. 了解和掌握对称稳定情况下，输电系统的网络结构和各种运行状态与运行参数值变化范围。
2. 理论计算和实验分析，掌握电力系统潮流分布的概念。
3. 加深对电力系统暂态稳定内容的理解，使课堂理论教学与实践相结合，提高学生的感性认识。

二、原理与说明

现代电力系统电压等级越来越高，系统容量越来越大，网络结构也越来越复杂。仅用单机对无穷大系统模型来研究电力系统，不能全面反映电力系统物理特性，如网络结构的变化，潮流分布，多台发电机并列运行等等。

“PS—5G 型电力系统微机监控实验台”是将五台“WDT—Ⅲ型电力系统综合自动化实验台”的发电机组及其控制设备作为各个电源单元组成一个可变环型网络，如图 4 所示

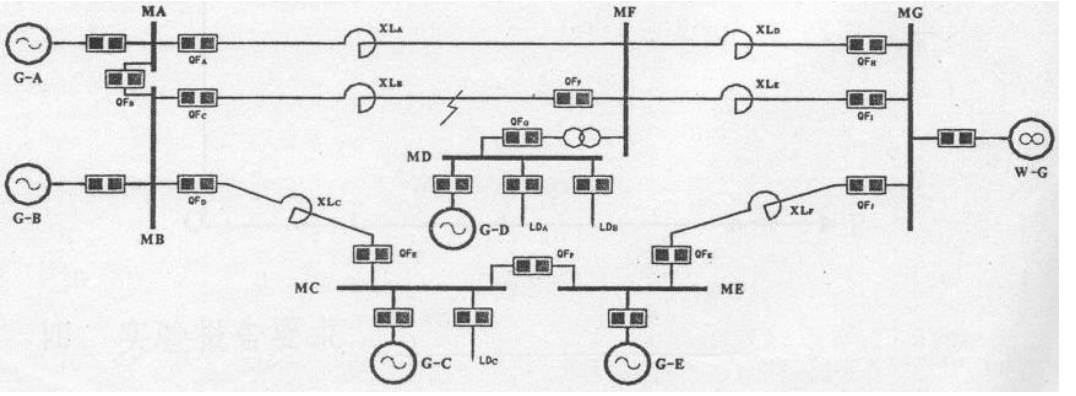


图 4　多机系统网络结构图

此电力系统主网按 500KV 电压等级来模拟，MD 母线为 220KV 电压等级，每台发电机按 600MW 机组来模拟，无穷大电源短路容量为 6000MVA。

A 站、B 站相联通过双回 400KM 长距离线路将功率送入无穷大系统，也可将母联断开分别输送功率。在距离 100KM 的中间站的母线 MF 经联络变压器与 220KV 母线 MD 相联，D 站在轻负荷时向系统输送功率，而当重负荷时则从系统吸收功率（当两组大小不同的 A，B 负荷同时投入时）从而改变潮流方向。

C 站，一方面经 70KM 短距离线路与 B 站相联，另一方面与 E 站并联经 200KM 中距离线路与无穷大母线 MG 相联，本站还有地方负荷。

此电力网是具有多个节点的环形电力网，通过投切线路，能灵活的改变接线方式，如切除 XL_C 线路，电力网则变成了一个辐射形网络，如切除 XL_F 线路，则 C 站、E 站要经过长距离线路向系统输送功率，如 XL_C、XL_F 线路都断开，则电力网变成了 T 型网络等等。

在不改变网络主结构前提下，通过分别改变发电机有功、无功来改变潮流的分布，可以通过投、切负荷改变电力网潮流的分布，也可以将双回路线改为单回路线输送来改变电力网潮流的分布，还可以调整无穷大母线电压来改变电力网潮流的分布。

在不同的网络结构前提下，针对 XL_B 线路的三相故障，可进行故障计算分析实验，此时当线路故障时其两端的线路开关 QF_C、QF_F 跳开（开关跳闸时间可整定）。

三、实验项目与方法

1．网络结构变化对系统潮流的影响

在相同的运行条件下，即各发电机的运行参数保持不变，改变网络结构，观察并记录系统中运行参数的变化，并将结果加以比较和分析。

实验方案同学们自己设计，并记录下各开关状态。

表 7-1　　网络结构变化前

	G-A	G-B	G-C	G-D	G-E	MC	MD
U							
I							

P							
Q							
COSϕ							

	QFA	QFC	QFD	QFG	QFH	QFI	QFJ
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

表 7-2 **网络结构变化后**

	G-A	G-B	G-C	G-D	G-E	MC	MD
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

	QFA	QFC	QFD	QFG	QFH	QFI	QFJ
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

2．投、切负荷对系统潮流的影响

在相同的网络结构下各发电机向系统输送一定负荷，投入各地方负荷 LD_A、LD_B 和 LD_C。观察并记录系统中运行参数的变化并将结果加以分析和比较。

网络结构和各发电机输出功率大小由同学们自己设计，并记录下各开关状态。

表 7-3　　投地方负荷前

	G-A	G-B	G-C	G-D	G-E	MC	MD
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

	QFA	QFC	QFD	QFG	QFH	QFI	QFJ
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

表 7-4　　投地方负荷后

	G-A	G-B	G-C	G-D	G-E	MC	MD
U							
I							
P							
Q							
COSϕ							

	QFA	QFC	QFD	QFG	QFH	QFI	QFJ
U							
I							
P							

Q							
COSϕ							

注： LD_A 负荷的性质可以通过台后三刀三掷开关切换。即纯电阻负荷，感性负荷，纯电感负荷。

3．短路对电力系统暂态稳定的影响

同学们自己设计网络结构，发电机运行参数以及切除故障线路的保护动作时间，分析比较实验结果。

注意： 在此多机电力系统中，三相短路时故障电流很大，故线路保护动作时间整定在 0.1～0.3 秒以内。

四、实验报告要求

1．整理实验数据，分析比较网络结构的变化和地方负荷投，切对潮流分布的影响，并对实验结果进行理论分析

2．通过实验中观察到的现象，说明提高暂态稳定的措施对系统稳定性作用机理。

五、思考题

1．影响电力系统静态稳定性的因素有哪些？

2．如何提高电力系统的静态稳定性？

3．提高电力系统的暂态稳定的措施有哪些？

第八章　电力系统调度自动化实验

一、实验目的

1．了解电力系统自动化的遥测，遥信，遥控，遥调等功能

2．了解电力系统调度的自动化

二、原理与说明

电力系统是由许多发电厂，输电线路和各种形式的负荷组成的。由于元件数量大，接线复杂，因而大大地增加了分析计算的复杂性。作为电力系统的调度和通信中心担负着整个电力网的调度任务，以实现电力系统的安全优质和经济运行的目标。

“PS—5G 型电力系统微机监控实验台”相当于电力系统的调度和通信中心。针对 5 个发电厂的安全、合理分配和经济运行进行调度，针对电力网的有功功率进行频率调整，针对电力网的无功功率的合理补偿和分配进行电压调整。

微机监控实验台对电力网的输电线路、联络变压器、负荷全采用了微机型的标准电力监测仪，可以现地显示各支路的所有电气量。开关量的输入、输出则通过可编程控制器来实现控制，并且各监测仪和 PLC 通过 RS-485 通信口与上位机相联，实时显示电力系统的运行状况。

所有常规监视和操作除在现地进行外，均可以在远方的监控系统上完成，计算机屏幕显示整个电力系统的主接线的开关状态和潮流分布，通过画面切换可以显示每台发电机的运行状况，包括励磁电流、励磁电压、通过鼠标的点击，可远方投、切线路或负荷，还可以通过鼠标的操作增、减有功或无功功率，实现电力系统自动化的遥测、遥信、遥控、遥调等功能。运行中可以打印实验接线图、潮流分布图、报警信息、数据表格以及历史记录等。

三、实验项目和方法

1．电力网的电压和功率分布实验
2．电力系统有功功率平衡和频率调整实验
3．电力系统无功功率平衡和电压调整实验。

同学们自己设计实验方案，拟定实验步骤以及实验数据表格。

四、实验报告要求

1．详细说明各种实验方案和实验步骤
2．认真整理实验记录
3．比较各项的实验数据，分析其产生的原因

五、思考题

1．电力系统无功功率补偿有哪些措施？为了保证电压质量采取了哪些调压手段？
2．何为发电机的一次调频、二次调频？
3．电力系统经济运行的基本要求是什么？

附表 a　电力系统综合自动化在线仿真实验成绩汇总表

章节	实验项目	百分制分数	日期
第一章 同步发电机准同期并列实验	偏离准同期(表 1-1)	0	0
	半自动准同期(表 X)	{BSX}	{DAX}
	全自动准同期(表 X)	{BSX}	{DAX}
	准同期条件—整定开关时间(表 1-2)	0	0
	准同期条件—整定频差允许值(表 1-3)	0	0
	准同期条件—整定压差允许值(表 1-4)	0	0
	停机(表 X)	{BSX}	{DAX}
第二章 同步发电机励磁控制实验	它励恒 UF 方式起励(表 2-2)	0	0
	它励恒 IL 方式起励(表 2-3)	0	0
	它励恒 a 方式起励(表 2-4)	0	0
	并网后它励恒 Q 方式(表 2-5)	0	0
	并网后它励恒 UF 方式(表 2-6)	0	0
	并网后它励恒 IL 方式(表 2-7)	0	0
	并网后它励恒 a 方式(表 2-8)	0	0
	负荷调节(表 2-9)	0	0
	灭磁实验(表 X)	{BSX}	{DAX}
	伏赫限制(表 2-10)	0	0
	强励实验(表 2-11)	0	0
	欠励实验(表 2-12)	0	0
	调差系数测定实验(表 2-13)	0	0
	0 调差实验(表 2-14)	0	0

实验人：三峡大学电气与新能源学院电气工程系小明

	正调差实验(表 2-15)	0	0
	负调差实验(表 2-16)	0	0
	过励磁限制实验(表 2-17)	0	0
	PSS 实验(表 2-18)	{BSX}	{DAX}
第三章 稳态实验	稳态单回路对称实验(表 3-1)	0	0
	稳态双回路对称实验(表 3-2)	0	0
	稳态非对称运行实验(表 3-3)	0	0
第四章 电力系统功率特性和功率极限实验	单回线，无调节励磁(表 4-1)	0	0
	双回线，无调节励磁(表 4-2)	0	0
	单回线，Eq<Ux(表 4-3)	0	0
	单回线，Eq> Ux(表 4-4)	0	0
	单回线，手动调节励磁(表 4-5)	0	0
	双回线，手动调节励磁(表 4-6)	0	0
	单回线，微机自并励(表 4-7)	{BSX}	{DAX}
	双回线，微机自并励(表 4-8)	{BSX}	{DAX}
	单回线，微机它励(表 4-9)	0	0
	双回线，微机它励(表 4-10)	0	0
第五章 暂态实验	单相短路(表 5-2)	0	0
	两相相间短路(表 5-3)	0	0
	两相接地短路(表 5-4)	0	0
	三相短路(表 5-5)	0	0
	故障切除时间的影响(表 5-6)	0	0
第六章 负荷实验	负荷 1(表 6-1)	0	0
	负荷 2(表 6-2)	0	0
	负荷 3(表 6-3)	0	0

第七章 复杂运行实验	网络结构变化前(表 7-1)	{BSX}	{DAX}
	网络结构变化后(表 7-2)	{BSX}	{DAX}
	投地方负荷前(表 7-3)	{BSX}	{DAX}
	投地方负荷后(表 7-4)	{BSX}	{DAX}
第八章 电力系统调度自动化实验	(表 X)		
百分制总分		**0.0**	2022/4/2 9:51:26

目　　录

前　言 1
第一章　同步发电机准同期并列实验 4
第二章　同步发电机励磁控制实验 11
第三章　一机—无穷大系统稳态运行方式实验 27
第四章　电力系统功率特性和功率极限实验 31
第五章　电力系统暂态稳定实验 38
第六章　单机带负荷实验 45
第七章　复杂电力系统运行方式实验 49
第八章　电力系统调度自动化实验 54
附表 a　电力系统综合自动化实时仿真实验成绩汇总表 56

电力系统自动化实时仿真实验报告

学　　院：三峡大学电气与新能源学院电气工程系

学　　号：134188050

学生姓名：小明

报告时间：2022/4/2 9:51:26