

# 电力系统分析

## 实验指导书

山东理工大学

电气与电子工程学院

2015.9

## 实验一 电力系统稳定性实验

### 3.1.1 实验目的

- 1) 加深理解电力系统静态稳定的原理。
- 2) 了解提高电力系统静态稳定的方法。

### 3.1.2 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”。一条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3-1所示。

本实验系统是一种物理模型。原动机采用直流电动机来模拟，当然，它们的特性与大型原动机是不相似的。原动机输出功率的大小，可通过给定直流电动机的电枢电压来调节。实验系统用标准小型三相同步发电机来模拟电力系统的同步发电机，虽然其参数不能与大型发电机相似，但也可以看成是一种具有特殊参数的电力系统的发电机。发电机的励磁系统可以用外加直流电源通过手动来调节，也可以切换到台上的微机励磁调节装置来实现自动调节。实验台的输电线路是用多个接成链型的电抗线圈来模拟，其电抗值满足相似条件。“无穷大”母线就直接用实验室的交流电源，因为它是由实际电力系统供电的，因此，它基本上符合“无穷大”母线的条件。

实验台上安装有 TQDB-III 多功能微机保护实验装置，可以用来测量电压、电流、功率和频率。实验台上还设置了模拟短路故障等控制设备。

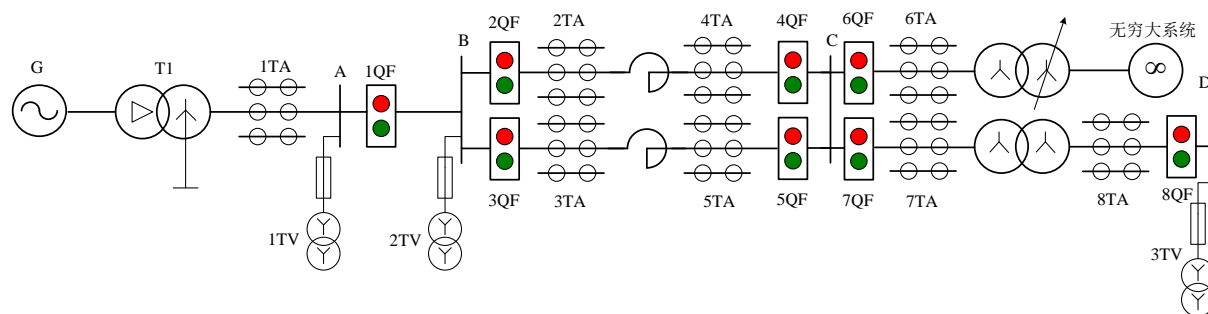


图3-1 一次系统接线图

### 3.1.3 实验项目与方法

#### 3.1.3.1 负荷调节实验

- 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”。
- 2) 将调速装置的工作方式设为“自动”，将励磁装置的工作方式设为“恒U<sub>g</sub>”。
- 3) 调节调速装置的增速减速按钮，可以调节发电机有功功率输出，调节励磁调节装置的增磁减

磁按钮，可以调节发电机输出的无功功率。

4) 将有功、无功减到零值作空载运行，记录空载励磁电流。

5) 保持励磁装置的状态不变，调节调速装置的增速按钮，增加发电机有功输出，观察有功增加时无功功率及励磁电流的变化，并记录有功功率为50%额定有功功率时的励磁电流的大小。

6) 保持调速装置的状态不变，调节励磁装置的增磁按钮，增加发电机的无功输出，观察无功功率增加时，有功功率和励磁电流的变化，并记录无功功率为50%额定无功功率时的励磁电流的大小。当无功功率较大时，线路两端的电压降落较大，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。在实验中当调节机端电压设定值在380V时，如仍要增加无功输出，则可以通过降低系统电压的方法来实现。

7) 调节调速装置的减速按钮，使有功功率为零，注意观察有功下降时无功功率的变化；使系统电压恢复为正常值（380V），调节励磁装置的减磁按钮，将发电机无功重新调节为零，注意观察无功减小时，有功功率的变化。

数据可通过机组控制屏上方的表计或励磁装置的显示屏上读取。

**注意：**

调节过程中，定子电流不应超过额定值3.61A。

**表3-1 发电机不同状态下的励磁电流**

发电机状态	励磁电流 (A)
有功功率无功功率均为 0	
50% 额定有功功率 (1KW)	
50% 额定无功功率 (0.75KVR)	

### 3.1.3.2 单回路与双回路稳态对称运行比较实验

#### A. 单回路稳态对称运行实验

在本节实验中，原动机采用手动方式开机，励磁采用手动励磁方式，然后启机、建压，并网后调整发电机电压和原动机功率，使输电系统处于不同的运行状态（输送功率的大小，线路首、末端电压的差别等），观察记录线路首、末端的数值，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。

实验步骤：

- 1) 合上实验台的 3QF、5QF、6QF、7QF、8QF 和 9QF，构成单回线路。
- 2) 将机组控制屏3TV二次侧A相电压引入到实验台上的“微机保护装置端子图”中的 $U_A$ 端子；将实验台的4TV二次侧A相电压引入到端子 $U_B$ 。3TV二次侧电压公共端与4TV二次侧电压公共端相连后引入端子 $U_N$ 。

这样接线的作用是：利用微机保护装置同时监测A母线（线路始端）电压和B母线（线路末端）

电压。

3) 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”。

4) 改变发电机组的运行状态，记录励磁装置上的有功(P)、无功(Q)、发电机机端电流( $I_g$ )、机端电压( $U_g$ )以及多功能微机保护实验装置显示屏上的 $U_A$ (线路首端电压 $U_p$ )和 $U_B$ (线路末端电压 $U_e$ )。

### B. 双回路对称运行与单回路对称运行比较实验

合上实验台上的 2QF、4QF，将线路改为双回路运行。重复上面实验步骤，并将结果进行比较和分析。

表 3-2 单双回线运行方式下各状态参数表

	P	Q	$I_g$	$U_g$	$U_p$	$U_e$	$\Delta U$
单回路							
双回路							

注： $\Delta U$ —输电线路的电压损耗 $\Delta U=U_p-U_e$ ；

### 3.1.4 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。

### 3.1.5 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) 什么是电压损耗、电压降落？

## 实验二 电力系统潮流分布和线损分析实验

### 5.1.1 实验目的

- (1) 了解常用潮流计算方法。
- (2) 了解影响潮流分布的因素。
- (3) 掌握利用电力网信号源控制系统软件组态电力网络及潮流分析的方法。

### 5.1.2 实验说明

本实验内容是利用“电力网信号源控制系统”软件任意组态电力网模型，并观察潮流分布情况。本实验系统出厂时提供了一组潮流计算实验模型，可直接利用该模型或自行组态任意结构的新实验模型。提供的潮流计算模型结构图如图 5-1。

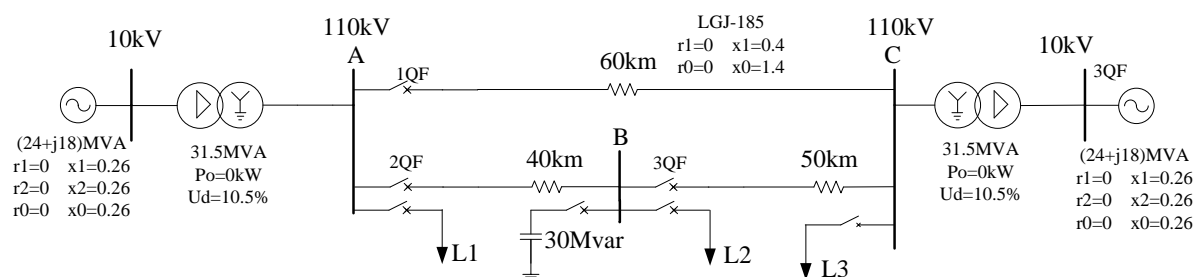


图 5-1 电力系统潮流计算实验模型

### 5.1.3 实验内容

#### 5.1.3.1 网络组态

组态一个新电力网模型的方法：

1) 在 PC 机上运行“电力网信号源控制系统”软件，参考《电力网信号源控制系统使用说明书》组态一个新的电力网模型。

2) 打开“电力网信号源控制系统”软件安装路径下 Projects 文件夹，拷贝“电力系统潮流计算实验模型.ddb”，并粘贴，重新命名，如“潮流计算实验模型 1.ddb”。

在 PC 机上运行“电力网信号源控制系统”软件，打开“潮流计算实验模型 1.ddb”，并在此模型基础上进行修改，构建新的电力网模型。

如果利用实验台提供的“电力系统潮流计算实验模型”，则不需要进行网络组态。

#### 5.1.3.2 实验过程

(1) 切除系统中的补偿电容器，改变系统所带负载，观察系统各支路潮流和母线电压的变化。

将从模型图中读取的电压数据记入表 5-1，潮流及线损数据记入表 5-2。

其中 L1 为纯有功负载，容量为 6MVA，L2 容量为(4+j5)MVA，L3 为纯无功负载，容量为 j5MVA，电容器容量为 30Mvar。

潮流观察方法:

首先点击“帮助”菜单中的“密码管理”按钮,输入正确的密码(cc)后才可显示潮流计算结果。

点击“设备管理”菜单中的“设备初始化”按钮,点击“运行”菜单的“运行”按钮,软件即可自动进行潮流计算。观察左下角状态栏,显示“潮流计算结束”后,点击“选项”菜单中的“显示结果”按钮,此时网络图上将显示各母线电压值,各支路流过的有功、无功及电流值。在“运行”菜单的“结果浏览”中可看到更详细的潮流分布及线路损耗等数据。

每次投切断路器或修改负载数值后,应重新点击“设备初始化”,再点击“运行”!

(2) 投入 L1、L2 和 L3,分别投入电容器和切除电容,观察各母线电压和系统潮流的变化,将数据记入表 5-3 和 5-4。

(3) 如表 5-5 所示,改变网络结构,观察各母线电压和系统潮流的变化。完成表 5-5 和表 5-6。

表 5-1 不接电容器改变负载时母线电压记录表

	投入 L1、L2、L3	投入 L1、L2	投入 L1、L3	投入 L2、L3
母线 A 电压(kV)				
母线 B 电压(kV)				
母线 C 电压(kV)				

表 5-2 不接电容器改变负载时潮流分布及线损记录表

	投入 L1、L2、L3		投入 L1、L2		投入 L1、L3		投入 L2、L3	
	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)
T1 高压侧								
T2 高压侧								
线路 AC (1QF 处)								
线路 AB (2QF 处)								
线路 BC (3QF 处)								

表 5-3 投切电容器对母线电压的影响记录表

	切除电容器	投入电容器
母线 A 电压(kV)		
母线 B 电压(kV)		
母线 C 电压(kV)		

表 5-4 投切电容器对线路潮流的影响记录表

	不投入电容器			投入电容器		
	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	过载情况	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	过载情况
线路 AC (1QF 处)						!
线路 AB (2QF 处)						
线路 BC (3QF 处)						

表 5-5 网络结构的变化对母线电压的影响记录表（投入电容器）

	1QF、2QF、3QF 合闸	1QF、3QF 合闸，2QF 断开	1QF、2QF 合闸，3QF 断开
母线 A 电压(kV)			
母线 B 电压(kV)			
母线 C 电压(kV)			

表 5-6 网络结构的变化对线路潮流的影响记录表（投入电容器）

	1QF、2QF、3QF 合闸		1QF、3QF 合闸，2QF 断开		1QF、2QF 合闸，3QF 断开	
	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)	P+jQ (MVA)	线损 (MVA)
线路 AC (1QF 处)						
线路 AB (2QF 处)						
线路 BC (3QF 处)						

#### 5.1.4 思考题

- 1) 欲改变电力网络的有功功率和无功功率分布，分别需要调整网络的什么参数？
- 2) 投切电容器对系统潮流及母线电压有何影响？

## 实验三 电力系统故障分析实验

### 5.2.1 实验目的

- (1) 了解电力系统基本故障类型。
- (2) 掌握利用电力网信号源控制系统软件进行电力系统故障分析的方法。

### 5.2.2 实验说明

本实验内容是利用“电力网信号源控制系统”软件任意组态电力网模型，并进行故障分析实验。本实验系统出厂时提供了一组故障分析实验模型，可直接利用该模型或自行组态任意结构的新实验模型。提供的故障分析实验模型结构图如图 5-2。

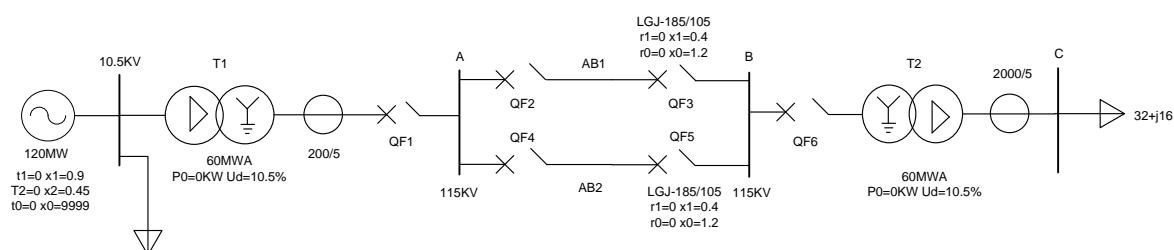


图 5-2 电力系统故障分析实验线路模型一次图

### 5.2.3 实验内容

在 PC 机上运行“电力网信号源控制系统”软件，打开“电力系统故障分析实验模型.ddb”。输入密码(cc)，只有密码正确才能查看故障分析结果。

- 1) 不设置故障，观测系统正常运行时的母线电压和支路电流的大小。点击“设备初始化”，并点击“运行”，点击“显示结果”，读取模型图中各支路电流和母线电压，记入表 5-7。

表 5-7 系统正常运行时主要数据记录表

	数值
(s 母线) 发电机母线电压 (kV)	
母线 A (kV)	
母线 B (kV)	
母线 C (kV)	
QF1 处电流 (A)	
QF2 处电流 (A)	
QF3 处电流 (A)	
QF4 处电流 (A)	
QF5 处电流 (A)	
QF6 处电流 (A)	

- 2) 设置不同类型的故障，观测系统发生故障时，母线电压和支路电流的大小。



把鼠标移动到模型图上线路 AB1 元件上，点击右键选择“设置故障”，在同一故障点设置不同的故障类型进行实验。点击“设备初始化”，并点击“运行”。故障计算完毕后，点击“运行”菜单中的“结果浏览”查看各支路三相电流和母线电压数据，记入表 5-8 和 5-9。

表 5-8 AB 线路上故障时系统母线三相电压（单位：kV）

	发电机母线			母线 A			母线 B			母线 C		
	Ua	Ub	Uc	Ua	Ub	Uc	Ua	Ub	Uc	Ua	Ub	Uc
A 相接地短路												
AB 相间短路												
AB 相间接地短路												
三相短路												

表 5-9 AB 线路上故障时各支路三相电流（单位：A）

	QF1 处			QF2 处			QF3 处			QF4 处			QF5 处		
	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
A 相接地短路															
AB 相间短路															
AB 相间接地短路															
三相短路															

#### 5.2.4 思考题

分析 AB 相间短路与 AB 相间接地短路时，短路电流的不同由什么因素造成？

## 实验四 单机带负荷实验

### 3.4.1 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。

### 3.4.2 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，受无穷大系统的频率牵制。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（原动机的调速装置，发电机的励磁调节装置均为有差调节）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。单机带负荷实验图如图 3-2 所示。

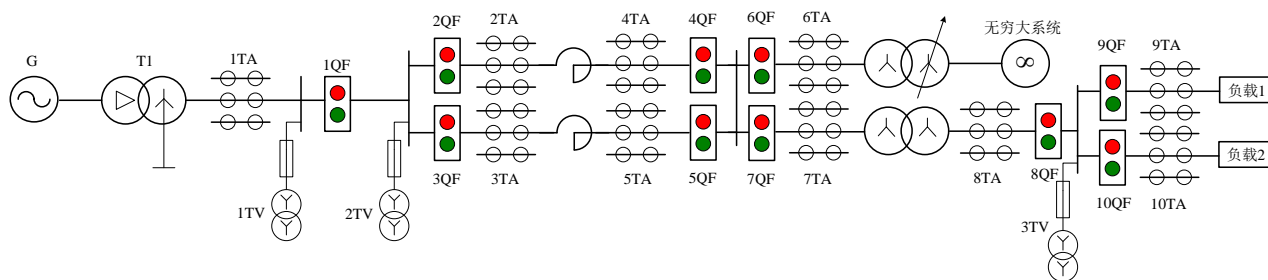


图 3-2 单机带负荷接线图

此实验中的负载可使用三相滑线变阻器或者灯箱，每一组负载的功率应小于 600W。接线方法：在停电状态下，连接负载 1 和负载 2 三相接线，负载 1 接在 10QF 上，负载 2 接在 11QF 上。

**注意：**

通电前一定要检查接线是否正确？负荷是否大于发电机组的额定功率？三相负载是否平衡？

### 3.4.3 实验项目与方法

**注：**此实验中单双回路设置为 1：3（设置方法见《3.1.3.2 单回路与双回路稳态对称运行比较实验》注释）。负载采用灯箱形势——组负责为 3 个 200W 白炽灯星型连接。

#### 3.4.3.1 原动机转速自动方式（自动调节）下负荷容量对发电机的电压，频率的影响

测定负荷容量对发电机的电压，频率的影响并计算出调差系数实验步骤：

**注意：**

1QF 要在启动完发电机（1500n/m），起励加完电压（380V）后，再手动合上。

表 3-14 不同运行方式下各断路器状态表（“+”表示合闸，“-”表示分闸）

运行方式	控制屏 1QF	实验台断路器状态									
		2QF	3QF	4QF	5QF	6QF	7QF	8QF	9QF	10QF	11QF
单回线	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+
双回线	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+

1) 按表3-14，对机组控制屏及实验台上的断路器状态进行设置。

**注意：**

**实验台上的6QF应跳开，使发电机组单机运行！**

2) 将调速装置的工作方式设为“自动”，启动机组到额定转速(1500n/m)；将励磁装置的工作方式设为“恒 $U_G$ ”，并起励建压(380v)。

3) 合上10QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-15中。表中的数据可在励磁装置和调速装置液晶显示屏上读取。

4) 合上10QF和11QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-16中。

表3-15 只投入负载1

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

表3-16 投入负载1和负载2

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

### 3.4.3.2 原动机转速手动方式（无调节）下负荷容量对发电机的电压，频率的影响

测定负荷容量对发电机的电压，频率的影响并计算出调差系数实验步骤：

1) 按表3-14，对机组控制屏及实验台上的断路器状态进行设置。

**注意：**

**实验台上的6QF应跳开，使发电机组单机运行！**

2) 将调速装置的工作方式设为“手动”，启动机组到额定转速（1500n/m）；将励磁装置的工作方式设为“恒 $U_G$ ”，并起励建压(380v)。

3) 合上10QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-17中。表中的数据可在励磁装置和调速装置液晶显示屏上读取。

4) 合上10QF和11QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-18中。

表3-17 只投入负载1

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

表3-18 投入负载1和负载2

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

### 3.4.3.3 励磁系统无调节下负荷容量对发电机的电压，频率的影响

测定负荷容量对发电机的电压，频率的影响并计算出调差系数实验步骤：

1) 按表3-14，对机组控制屏及实验台上的断路器状态进行设置。

**注意：**

**实验台上的6QF应跳开，使发电机组单机运行！**

2) 将调速装置的工作方式设为“自动”，启动机组到额定转速(1500n/m)；将励磁装置的工作方式设为“恒 $I_L$ ”，并起励建压(380v)。

3) 合上10QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-19中。表中的数据可在励磁装置和调速装置液晶显示屏上读取。

4) 合上10QF和11QF，分别接单、双回路接线进行实验，将实验数据填入表3-20中。

表3-19 只投入负载1

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

表3-20 投入负载1和负载2

	电压 $U_g$ (V)	电流 $I_g$ (A)	有功功率 (kW)	无功功率 (kVAR)	功率因数	原动机转速 N
单回线						
双回线						

### 3.4.4 实验报告要求

1) 通过改变不同的线路运行方式及负荷的大小，得出有功功率、无功功率、功率因数，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，计算原动机的调差系数。

3) 分析比较在负荷相同时调速装置在不同的运行方式时转速有什么不同？为什么？

### 3.4.5 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，调速装置在手动方式和自动方式时转速有何不同？为什么？