

第四章 电力系统功率特性和功率极限实验

一、实验目的

1. 初步掌握电力系统物理模拟实验的基本方法；
2. 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；
3. 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：

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

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：

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

或 $P'_E = \frac{E'_q U}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta'$

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 x)

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 $U_x=E_q$), 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) 功率角指示器调零;
- (4) 逐步增加发电机输出的有功功率, 而发电机不调节励磁;
- (5) 观察并记录系统中运行参数的变化, 填入表 4-1 中;
- (6) 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

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

表 4-2 双回线

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

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，减小原动机出力，使发电机拉入同步状态。

2. 发电机电势 E_q 不同对系统静态稳定的影响

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 $E_q < U_x$ ；
- (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 $E_q > U_x$ ，重复上述步骤，填入表 4-4 中。

表 4-3 单回线 并网前 $E_q < U_x$

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0^-									

表 4-4 单回线 并网前 $E_q > U_x$

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0^+									

(二) 手动调节励磁时，功率特性和功率极限的测定

给定初始运行方式，在增加发电机有功输出时，手动调节励磁保持发电机端电压恒定，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

I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

表 4-8 双回线 微机自并励方式

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

2. 微机它励（恒流或恒压控制方式），实验步骤自拟。

表 4-9 单回线 微机它励方式

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

表 4-10 双回线 微机它励方式

δ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
P	0									
I_A	0									
U_Z										
U_F										
I_{fd}										
Q	0									

注意事项：

1. 调速器处停机状态时，如果“输出零”灯不亮，不可开机；
2. 实验结束后，通过励磁调节使无功输出为零，通过调速器调节使有功输

出为零，解列之后按下调速器的停机按钮使发电机转速至零。跳开操作台所有开关之后，方可关断操作台上的操作电源开关。

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 $U_z(\delta)$, $P(\delta)$ $Q(\delta)$ 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一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一角特性有什么区别？
3. 自并励和他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？

