

即将直播授课



腾讯课堂
喊你来学习
刘崇茹的课堂



扫码上课

雨课堂邀请码ZMCQON

- 下载腾讯课堂学生端APP：
<https://ke.qq.com/s>
- 扫码进课
- 也可以看回放
- 进一次以后，下次再进课堂不需要再扫码：
我的一最近看过—刘崇茹的课堂
- 请将昵称改为：学号姓名

P64页1-10 (机端短路)

1-10 一台同步发电机短路前 $U_q = 0.95$, $I_d = 1$, 其电抗标么值分别为 $X_d = 1.5$, $X'_d = 0.26$, $X_q = 1.06$ 。

(1) 求同步发电机短路前的 E_q 和 E'_q ;

(2) 若同步发电机端发生三相短路时, 求短路瞬间的 E_{q0} 和 E'_{q0} , 并说明这些量在突变前后瞬间的变化情况。

首先: 题目出的很不严谨。尽管给了 x_d' , 但并没有给明确的考虑因素, 是否考虑阻尼绕组, 是否考虑励磁电流的衰减, 都没有说, 不好说 x_d' 是个给出的干扰因素, 还是少给了 x_d 。若不考虑励磁绕组电流衰减, 那么就应该是 E_q 不突变, 如果考虑阻尼绕组, 就应该是 E_q'' 不突变, 这题目没给条件, 也没说明白。

然后: 我们来猜测一下。题目给了 x_d' 是想说考虑励磁绕组衰减过程, 且没给 x_d'' , 是想说忽略阻尼。在这两个假设存在的前提下, 短路前后 E_q' 就应该不突变, 所以第二问中的 E_{q0}' 就应该等于第一问中的 E_q' 。

P64页1-10 (机端短路)

1-10 一台同步发电机短路前 $U_q = 0.95$, $I_d = 1$, 其电抗标么值分别为 $X_d = 1.5$, $X'_d = 0.26$, $X_q = 1.06$ 。

(1) 求同步发电机短路前的 E_q 和 E'_q ;

(2) 若同步发电机端发生三相短路时, 求短路瞬间的 E_{q0} 和 E'_{q0} , 并说明这些量在突变前后瞬间的变化情况。

计算: 等值电路及其各变量之间的关系, 短路前后总是满足。也就是说, 下面三组表达式, 短路前后都同时成立。

$$\begin{array}{lll} u_q = E_q - i_d X_d & u_q = E'_q - i_d X'_d & u_q = E''_q - i_d X''_d \\ u_d = E_d + i_q X_q = i_q X_q & u_d = E_d + i_q X_q = i_q X_q & u_d = E''_d + i_q X''_q \end{array}$$

短路前: 电压 u_q , 电流 i_d 。带入计算 E_q 和 E'_q

短路瞬间: 这个题目根据前述猜测判断 E_q' 不突变, 计算短路电流 i_d'

短路后: 电压为零, 电流为短路电流 i_d' 或 i_d'' 。带入, 即可计算 E_{q0} 、 E_{q0}' 和 E_{q0}'' 。

书上的式1-3, 即来自于短路后第二组表达式, 假定了不考虑阻尼, 考虑励磁电流的衰减, 因此 E_q' 不突变才成立, 如果考虑次暂态过程, 该电流应该是 i_d'' 。

第四章

电力系统运行稳定性的 基本概念和各元件的机电特性

刘崇茹，教授，博导，副院长
华北电力大学电气与电子工程学院
chongru.liu@ncepu.edu.cn

什么是稳定性问题？

- **电力系统稳定性问题**

- 当系统在某一正常状态下受到某种干扰后，能否经过一定的时间后，回到原来的运行状态或者过渡到一个新的稳态运行状态的问题。

- **能→稳定**

- **不能→不稳定**

- **关键词**

- **受到干扰 → 平衡遭到破坏**

- **达到稳态 → 能否重建平衡**

电力系统受到扰动后平衡遭到破坏，这里面的平衡主要指的是：

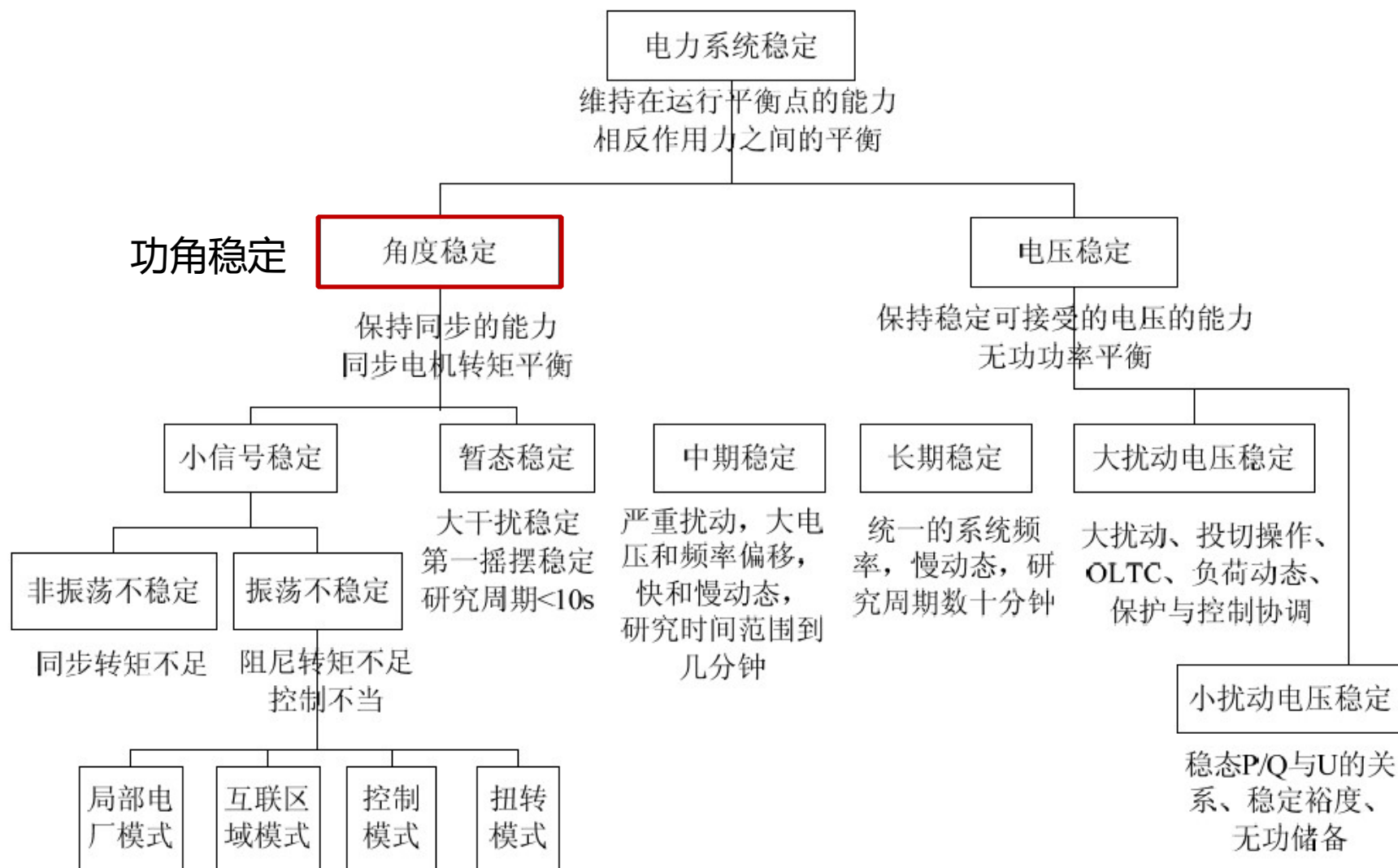
- A 电力电量平衡
- B 同步电机转矩平衡
- C 无功功率平衡
- D 以上都不对

干扰无处不在

电力系统正常运行时，在任何时刻必须使发电量和负荷相匹配；应保证所有运行设备的电流、电压、频率及波形在允许的范围内；相距数千公里的发电机必须同步运行，在系统有扰动情况下，都必须可靠同步。

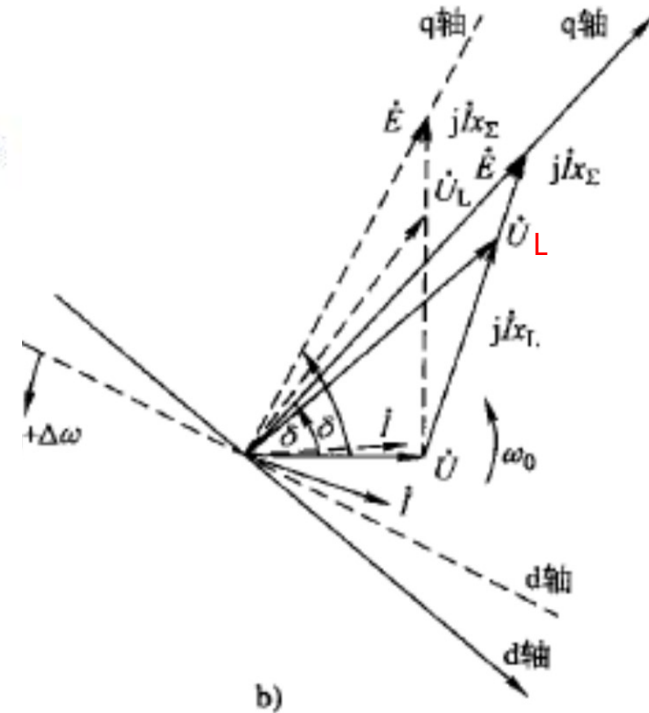
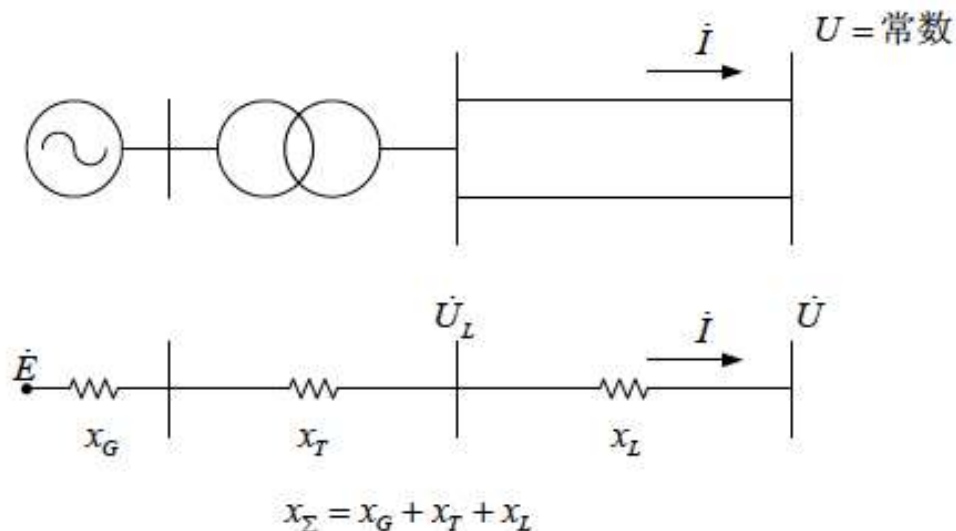
- 小的干扰经常不断的发生
 - 例如电力系统负荷的小波动，等等；
 - 可以将描述电力系统动态过程加以线性化的干扰称之为小干扰。
- 大的干扰也是时常出现的
 - 例如电网中突然发生短路引起电流的变化而造成发电机电磁转矩的大变化等等
- 根据扰动本身和受扰之后系统的特性，对电力系统稳定性进行分类。

电力系统稳定性分类



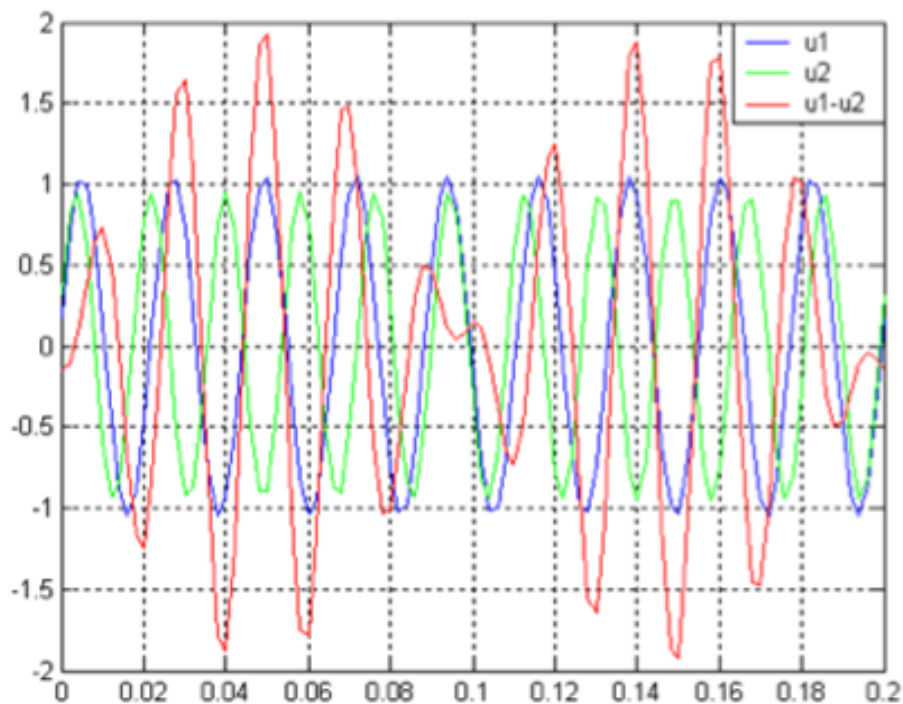
举例1——单机无穷大系统

如果机组间失去同步，系统的电压、电流和功率等状态变量就会大幅度地、周期性地振荡变化，以致系统不能向负荷正常供电。



(P115页图4-1有误)

举例2——双机系统



电压将不再保持正弦，忽高忽低，影响正常供电。

稳定性授课内容

小干扰分析法

等面积定则

数值计算

第五章 静态稳定

第六章 暂态稳定

第四章 发电机的机电特性方程

静态稳定和暂态稳定的定义

- **静态稳定**

- 指电力系统受到小干扰后，不发生非周期性失步或自发性振荡，自动恢复到初始运行状态或达到新的稳态运行状态的能力。

- **暂态稳定**

- 指电力系统受到大扰动后，各同步电机保持同步运行并过渡到新的或恢复到原来稳态运行方式的能力。

- **动态稳定**

- 1) 暂态稳定；
- 2) 是指电力系统受到小的或大的干扰后，在自动调节和控制装置的作用下，保持长过程运行稳定性的能力；
- 3) 不建议使用。

发电机转子的稳定性与平衡



发电机稳定运行时 **加速转矩 = 减速转矩**

同步发电机组的转子运动方程

旋转物体力学定律 $J\alpha = J \frac{d\Omega}{dt} = \Delta M = M_T - M_E$

额定转速下转子动能 $W_k = \frac{1}{2} J \Omega_0^2 \Rightarrow J = \frac{2W_k}{\Omega_0^2}$

代入上式 $J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{2W_k}{\Omega_0^2} \frac{d\Omega}{dt} = \Delta M$

标么化 $\frac{2W_k}{\Omega_0^2} \cdot \frac{d\Omega}{dt} \cdot \frac{1}{M_B} = \frac{\Delta M}{M_B}$

$$\frac{2W_K}{S_B \Omega_0} \frac{d\Omega}{dt} = \frac{T_J}{\Omega_0} \frac{d\Omega}{dt} = T_J \frac{d\Omega_*}{dt} = \Delta M_*$$

发电机惯性时间常数 T_J

- 物理意义（黑板推导）

$$T_J \frac{d\Omega_*}{dt} = \Delta M_*$$

- 在发电机转子上施加**单位转矩**后，转子从**停顿状态**加速到**额定转速**时所经过的时间。

发电机惯性时间常数 T_J

- 根据定义计算

$$T_J = \frac{2W_K}{S_B} = \frac{GD^2}{4S_B} \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2 \approx \frac{2.74 GD^2}{1000 S_B} n^2$$

- 其他的表示方式

- $H, 2H = T_J$

- 取值范围

- 额定容量基准下($S_B = S_N$), 一般在2~10秒内, 对水轮机组, 其数值一般随机组容量的增加而增加, 汽轮机则正好相反。

Type of generating unit	H
Thermal unit	
(a) 3600 r/min (2-pole)	2.5 to 6.0
(b) 1800 r/min (4-pole)	4.0 to 10.0
Hydraulic unit	2.0 to 4.0

发电机转子角表示的运动方程组

- 通常说到发电机转子角指的都是电角度，转子角速度指的是转子电角速度。
- 机械角速度与电角速度的关系为： $\Omega = \omega/p$

$$\Omega_* = \frac{\Omega}{\Omega_0} = \frac{\omega/p}{\omega_0/p} = \frac{\omega}{\omega_0} = \omega_*$$

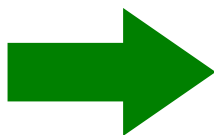
- 功率与转矩的关系为： $P = M\Omega$

$$\Delta M_* = \frac{\Delta M}{M_B} = \frac{\Delta M}{S_B/\Omega_0} = \frac{\Delta M\Omega_0}{S_B} \approx \frac{\Delta M\Omega}{S_B} = \frac{\Delta P}{S_B} = \Delta P_*$$

- 改写

$$T_J \frac{d\Omega_*}{dt} = \Delta M_*$$

$$\text{OR} \left(\frac{T_J}{\Omega_0} \frac{d\Omega}{dt} = \Delta M_* \right)$$

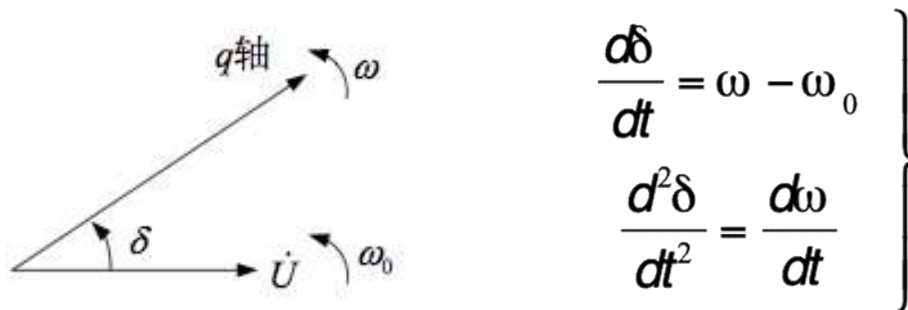


$$T_J \frac{d\omega_*}{dt} = \Delta P_* \quad \text{OR} \quad \frac{T_J}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = \Delta P_*$$

发电机转子角表示的运动方程组

$$T_J \frac{d\omega_*}{dt} = \Delta M_* \quad \text{OR} \quad \frac{T_J}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = \Delta M_*$$

■ 考虑转子角相对运动



■ 转子运动方程

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\omega_0}{T_J} (P_{T^*} - P_{E^*} - P_{D^*}) \end{aligned} \right. \quad \begin{array}{c} \omega \text{ 的有名值形式} \\ \longleftrightarrow \\ \omega \text{ 的标么值形式} \end{array} \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= (\omega_* - 1)\omega_0 \\ \frac{d\omega_*}{dt} &= \frac{1}{T_J} \cdot \Delta P_* \end{aligned} \right.$$

转子运动方程

$$\begin{cases} \frac{d\delta}{dt} = (\omega - 1)\omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_J} \cdot (P_{T^*} - P_{E^*}) \end{cases}$$

转子运动方程，表明了电的或机械的角加速度和转子上不平衡转矩或功率的关系。

- 稳态和暂态时的表征？
- 稳态时

$$\Delta P = 0 \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = 0 \Rightarrow \omega = \omega_0 \Rightarrow \frac{d\delta}{dt} = 0 \Rightarrow \delta = \delta_0$$

转子运动方程——暂态情况

$$\begin{cases} \frac{d\delta}{dt} = (\omega - 1)\omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_J} \cdot (P_{T^*} - P_{E^*}) \end{cases}$$

- 机械功率 P_T
 - 在分析较短时间内的暂态过程时，可以假设调速器不起作用，即忽略电磁暂态过程。
 - =? 干扰发生时刻的稳态电磁功率 $P_{E|0}$
- 电磁功率 P_E
 - 电力系统稳定性计算的复杂性和工作量，主要取决于发电机电磁转矩(或功率)的描述和计算。
 - =? 发电机功角特性方程