



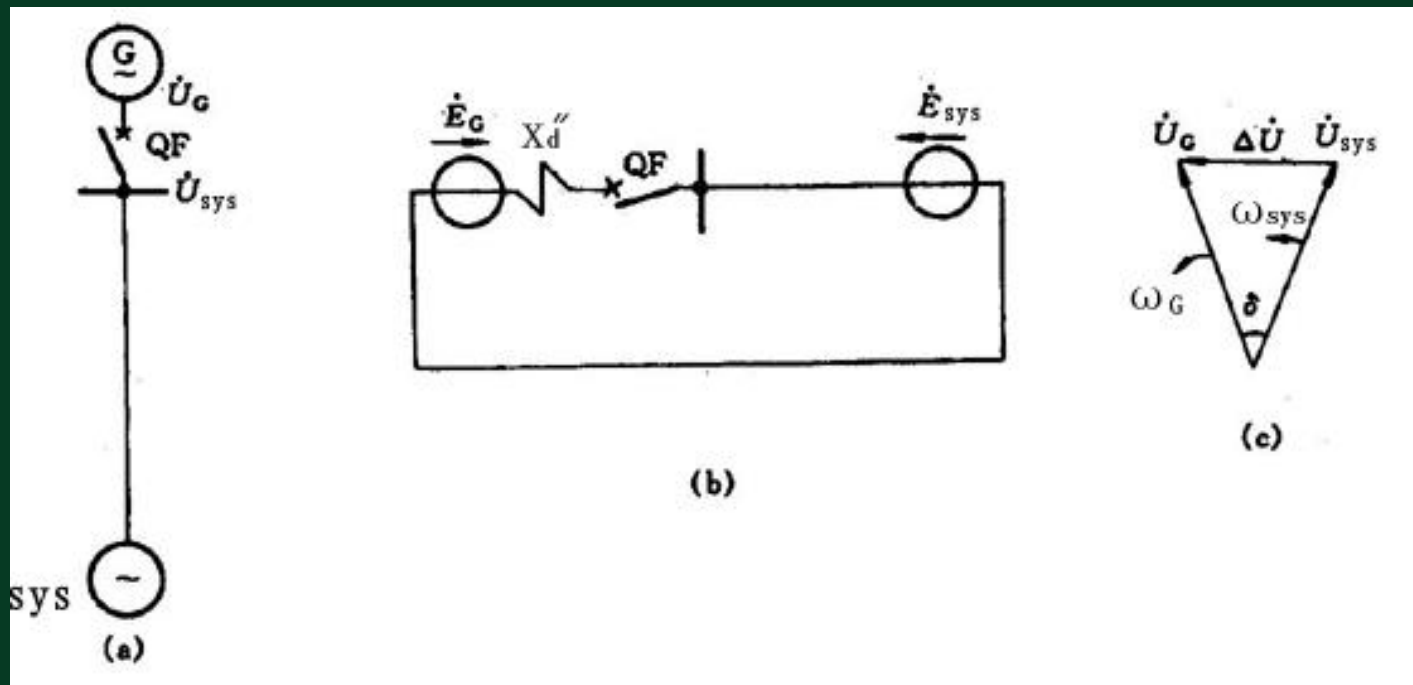
石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

同步发电机的自动并列

准同期并列

主讲：崔跃华



发电机电压  $\dot{U}_G$  角频率为  $\omega_G$ ,

电网电压  $\dot{U}_x$  的角频率为  $\omega_x$ ,

它们之间的向量差  $\dot{U}_G - \dot{U}_x$  为  $\dot{U}_s$ ,

当电网参数一定时, 冲击电流决定于合闸瞬间的  $\dot{U}_s$  值。

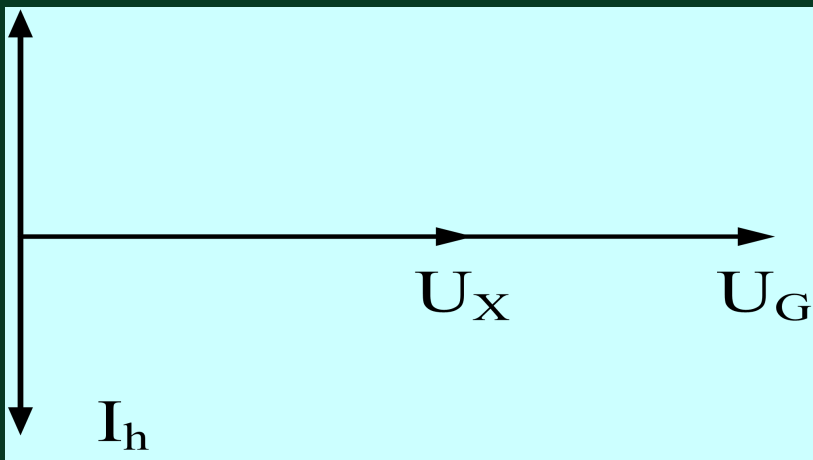
理想条件:

(1)  $\omega_G = \omega_x$  或  $f_G = f_x$  (频率相等)

(2)  $U_G = U_x$  (电压幅值相等)

(3)  $\delta_e = 0$  (相角差等于零)

# (一) 电压幅值差



$$W_G = W_x \text{ (频率相等)}$$

$$\delta_e = 0 \text{ (相角差等于零)}$$

$$U_G \neq U_x \text{ (电压幅值不相等)}$$

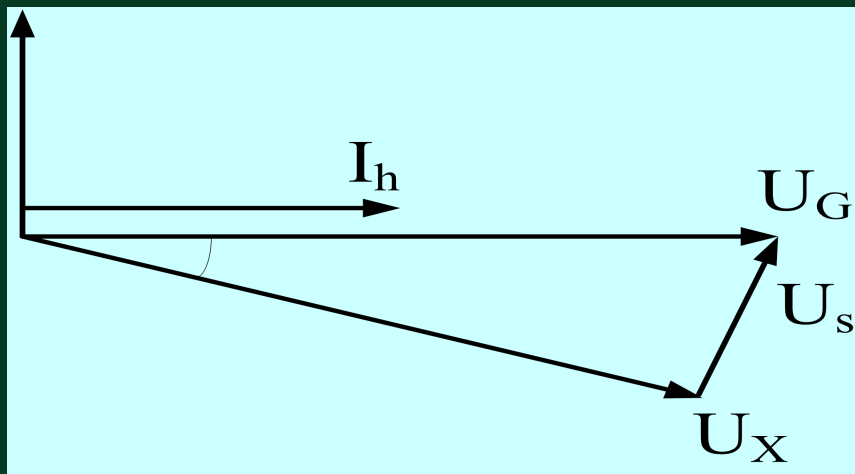
$$I_h'' = \frac{|U_G - U_x|}{X_d'' + X_x} = \frac{|\Delta U|}{X}$$

$$i_{hm}'' = 1.8 \sqrt{2} i_h''$$

- 冲击电流主要为无功电流量。
- 冲击电流的电动力对发电机绕组产生影响，由于定子绕组端部的机械强度最弱，所以特别注意对它造成的影响。
- 冲击电流最大瞬时值限制在1—2倍额定电流一下为宜

- 在电压差不为0的情况下合闸后，将会产生无功性质的冲击电流。
- 电压差越大，冲击电流越大。
- 我国一般限制电压差在5%–10%以内，大型机组在0.1%以内。

## (二) 合闸相角差



$U_G = U_x$  (电压幅值相等)

$\omega_G = \omega_x$  (频率相等)

$\delta_e \neq 0$  (合闸存在相角差)

$$I_h'' = \frac{\Delta U}{X} = \frac{2 E_q''}{X_q'' + X_x} \sin \frac{\delta_e}{2}$$

- 发电机为空载情况。
- 当相角差较小时，冲击电流主要为有功电流分量，说明合闸后发电机与电网间立刻交换有功功率，使机组联轴受到突然冲击，这对电网和机组都是不利的。
- 为了保证机组安全运行，一般将有功冲击电流限制在较小数值。



- 在相角差不为0的情况下合闸后，将会产生有功性质的冲击电流。
- 相角差越大，冲击电流越大。
- 我国一般限制角差在 $10^{\circ}$ 以内，大型机组在 $2^{\circ}$ 以内。

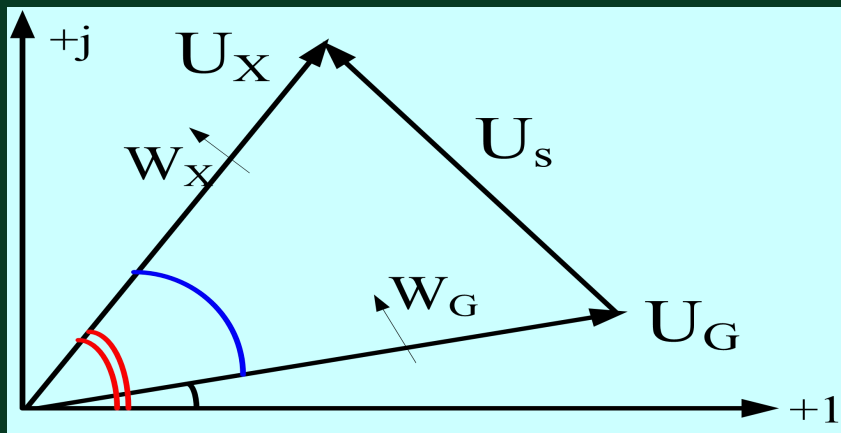
- ☆例：某发电机的次暂态电抗为0.125，系统等值电抗0.25，最大允许冲击电流为 $\sqrt{2}$
- 求：最大合闸相角

解：

$$\therefore i_{h\cdot\max}'' = \frac{1.8\sqrt{2}}{X_d'' + X_X} \cdot 2U_G \cdot \sin \frac{\delta_e}{2}$$

$$\therefore \delta_e = 2 \arcsin \frac{\sqrt{2} * (0.125 + 0.25)}{1.8\sqrt{2} * 2 * 1.05} = 0.199 \text{ rad} = 11.4^\circ$$

### (三) 频率不相等



$U_G = U_x$  (电压幅值相等)

$W_G \neq W_x$  (频率不相等)

$\delta_e \neq 0$  (合闸存在相角差)

$$u_s = U_{mG} \sin(\omega_G t + \phi_1) - U_{mX} \sin(\omega_X t + \phi_2)$$

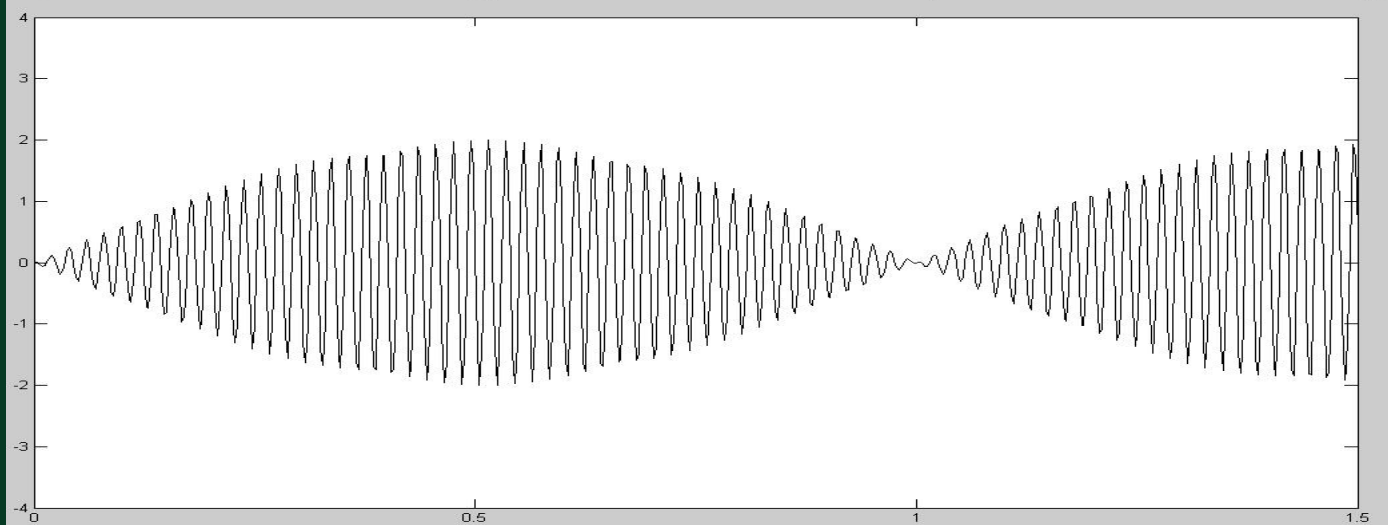
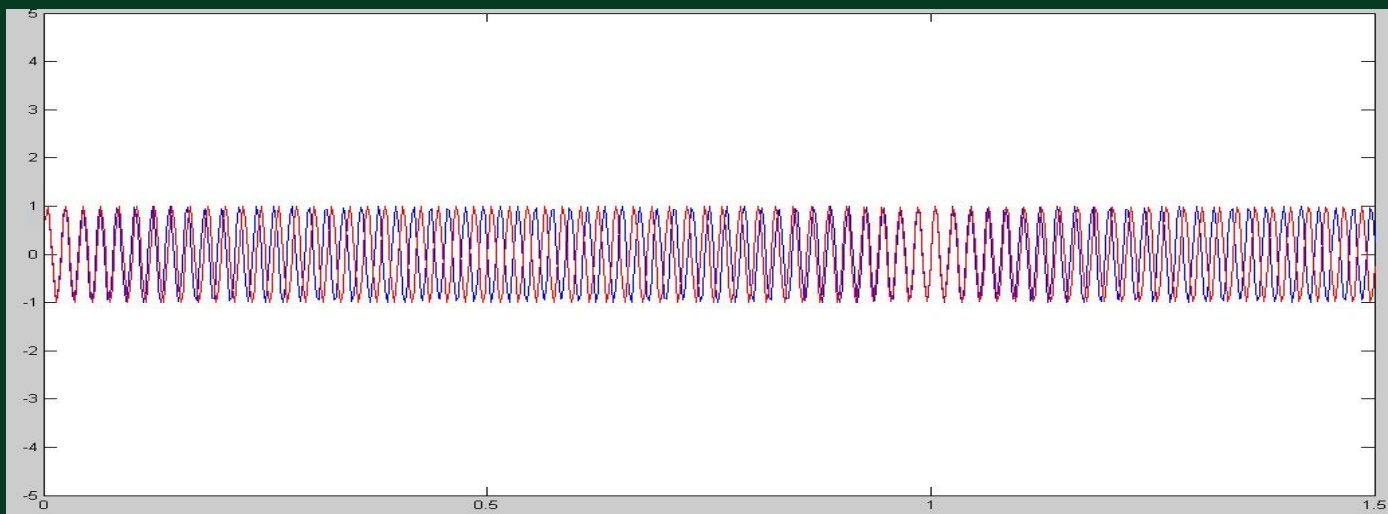
假设:  $\phi_1 = \phi_2 = 0$

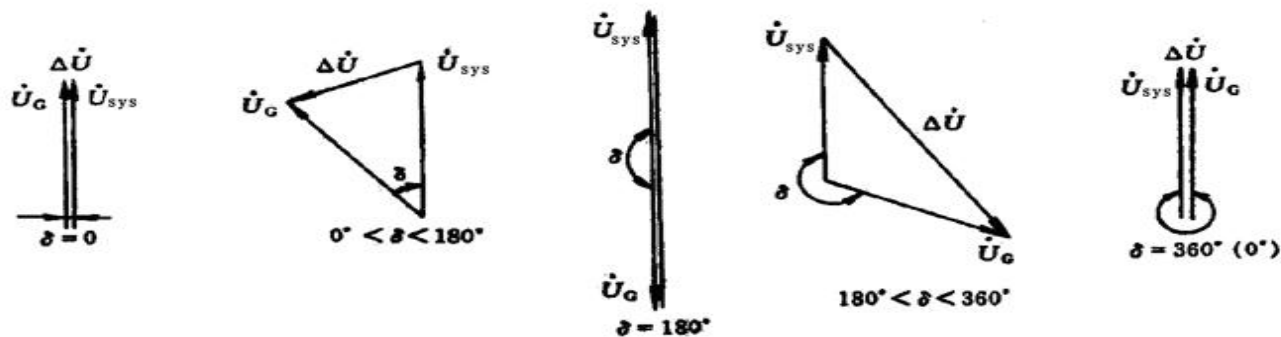
$$u_s = 2U_{mG} \sin\left(\frac{\omega_G - \omega_X}{2}t\right) \cos\left(\frac{\omega_G + \omega_X}{2}t\right)$$

令:  $U_s = 2U_{mG} \sin\left(\frac{\omega_G - \omega_X}{2}t\right)$  为脉动电压的幅值

$$u_s = U_s \cos\left(\frac{\omega_G + \omega_X}{2}t\right)$$

$$U_s = 2U_{mG} \sin\left(\frac{\omega_G - \omega_X}{2}t\right) = 2U_{mG} \sin \frac{\omega_s}{2}t = 2U_{mG} \sin \frac{\delta_e}{2}$$





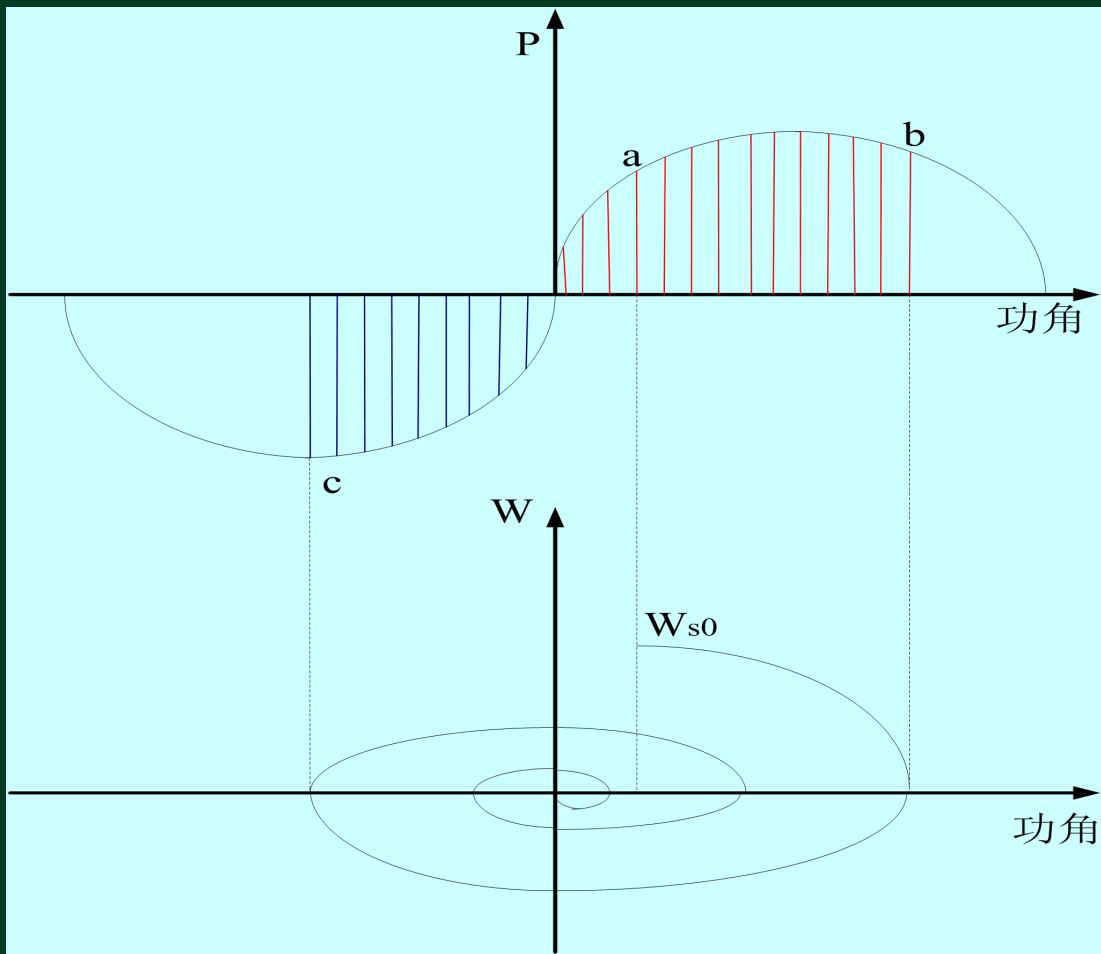
- 假设系统电压恒定，机端电压以恒定角频率 $\omega_s$ 对系统电压转动，当相角差从0到180度时， $U_s$ 的幅值相应的从零到最大值，当相角差从180度到360度（0度）时， $U_s$ 的幅值又从最大值回到零。转动一圈的时间为脉动周期 $T_s$

○

$$T_s = \frac{2\pi}{|\omega_s|} = \frac{1}{|f_s|}$$

- 脉动周期 $T_s$ 、滑差频率 $f_s$ 、滑差角频率 $\omega_s$ 都可以用来表示发电机频率与电网频率之间的差值。
- 相角差是时间的函数，所以合闸相角信号差与发出合闸信号的时间有关。
- 合闸时间恰当，合闸相角差很小，冲击电流很小。
- 合闸时间不恰当，合闸相角差大，冲击电流很大。
- 还需注意，如果并列频率差值很大，即使合闸时相角差很小，满足要求，但这时发电机需要很长一段时间才能进入同步过程，严重时甚至失步，因而也是不允许的。

# 发电机组进入同步运行过程





- 同步运行进入暂态运行过程
  - ① WS0较小时，很快进入同步运行
  - ② WS0较大时，较长时间进入同步运行
  - ③ WS0很大时，最大相角超过 $180^\circ$ ，导致失步
- 并网后，需经过加速或减速的振荡过程，力矩将会对机组造成冲击
- 有可能出现在功角达到 $180^\circ$ 时，滑差频率还没有降到零，机组会运行到功角大于 $180^\circ$ 的区域，失去稳定性。
- 我国一般限制滑差周期在10—16s之间

# 小结

- 压差、角差、滑差三者中，压差与其他两个无关，但是角差和滑差相关  $\delta = \Delta\omega * t$
- 压差、角差、滑差不为零的影响

	冲击电流	并列后振荡
压差 $\neq 0$	有，无功性质	没有
角差 $\neq 0$	有，有功性质	有，不会导致失稳
滑差 $\neq 0$	没有	有，会导致失稳