



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

电力系统的无功功率和电压调整

电力系统中的电压调整

主讲：田行军

6.3 电力系统的电压调整

无功充足：

电压水平较好的必要条件，不是充分条件

调压：合理分布无功，维持电压质量

6.3 电力系统的电压调整

一、系统电压偏移的原因及影响(电压调整的必要性)

$$\Delta U \approx \frac{PR+QX}{U} \quad \text{由于} R \text{ 很小, } \Delta U \text{ 主要受} Q \text{ 的影响}$$

1、原因(随运行方式的改变而改变)

- 负荷大小的变化
- 电力网阻抗参数的变化(设备故障或检修退出)
- 电力系统接线的改变

6.3 电力系统的电压调整

2、偏移的影响（电压调整的必要性）

①电压过低

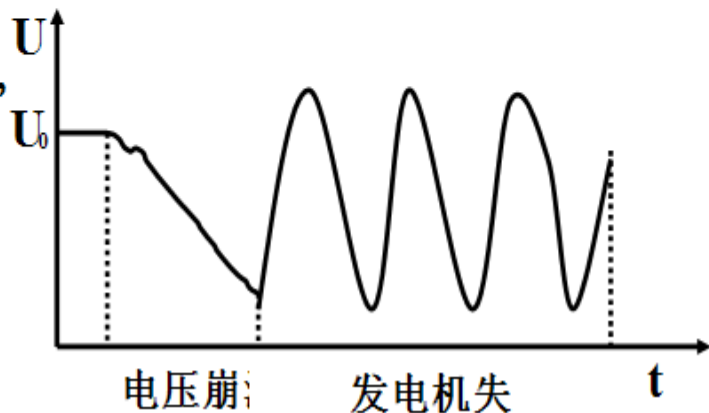
- 发电机： $U \downarrow$ ，功率角 $\delta \uparrow$ ，定子电流 $I \uparrow \rightarrow$ 发电机过热
- 异步电机： $U \downarrow$ ，转差率 $\sigma \uparrow$ ，各绕组 $I \uparrow$ ，温升 \uparrow 和 $\eta \downarrow$ ，寿命 \downarrow ，出力 $P \downarrow$ ，起动过程长 \rightarrow 烧电机
- 电炉： $P \propto U^2$
- 电灯：亮度和发光效率大幅下降

6.3 电力系统的电压调整

② 电压过高

- 变压器、电动机铁芯饱和，损耗 \uparrow ，寿命 \downarrow
- 白炽灯寿命大为缩短
- 设备绝缘受损

③ 严重时，无功不足，
电压崩溃



6.3 电力系统的电压调整

3、电力系统允许的电压偏移

- 35kV及以上电压供电的负荷 $\pm 5\%$
- 10kV及以下电压供电的负荷 $\pm 7\%$
- 低压照明负荷 $+5\% \sim -10\%$
- 农村电网 $+5\% \sim -10\%$
- 事故状态下，允许在上述基础上再增加5%，但正偏移不超过+10%

不可能控制所有的节点电压，选定某些有代表性的节点 - 中枢点来进行管理。

6.3 电力系统的电压调整

二、电压波动和中枢点的电压管理

电压波动：周期短，影响范围小。冲击或间歇性负荷引起。

解决措施：

- 线路串联电容器；
- 单独供电；
- 串联电抗器加调相机；
- 加装无功补偿设备

6.3 电力系统的电压调整

电压管理：周期长，影响范围大。生活生产规律，气象条件等影响。

电压中枢点：那些能够反映和控制整个系统电压水平的节点（母线）。

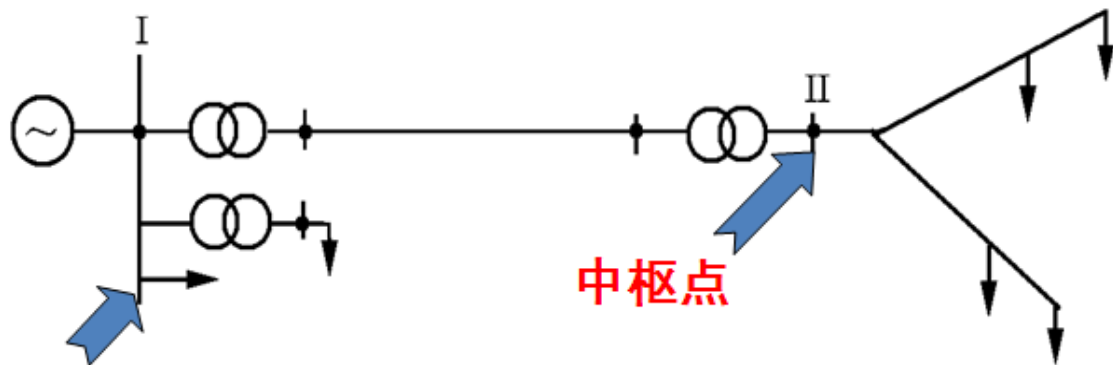
6.3 电力系统的电压调整

1. 电压中枢点的选择

一般可选择下列母线作为电压中枢点：

- ▶ 大型发电厂的高压母线；
- ▶ 枢纽变电所的二次母线；
- ▶ 有大量地方性负荷的发电厂母线。

例：

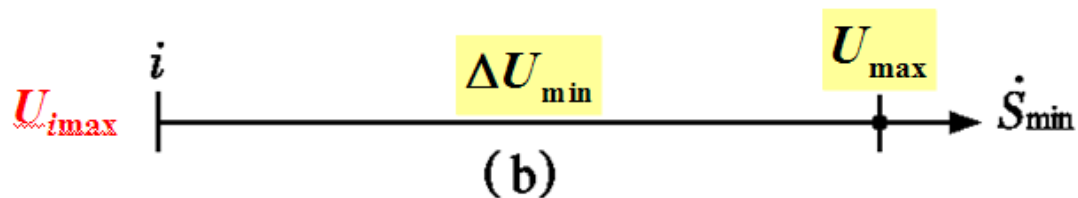
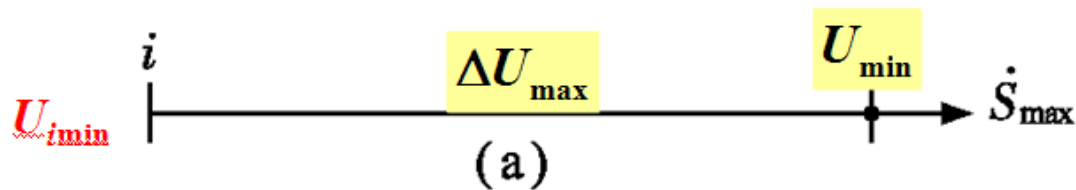


中枢点

图 电力系统的电压中枢点

6.3 电力系统的电压调整

2. 中枢纽点和负荷电压的关系



中枢纽点 i 的电压满足:

$$U_{i\min} \leq U_i \leq U_{imax}$$

图 负荷电压与中枢纽点电压

6.3 电力系统的电压调整

3、中枢点电压调整方式

■ 逆调压

➤ 适应：线路长，负荷变化大

➤ 方式：

{	最大负荷时提高中枢点电压	$1.05U_N$
	最小负荷时降低中枢点电压	$1.00U_N$

➤ 难易程度：实现较难

6.3 电力系统的电压调整

续前页

■ 顺调压

➤ 适应：线路不长，负荷变化不大

➤ 方式：

{ 最大负荷时允许中枢纽点电压低一些 $1.025U_N$
最小负荷时允许中枢纽点电压高一些 $1.075U_N$

➤ 难易程度：最易实现

6.3 电力系统的电压调整

续前页

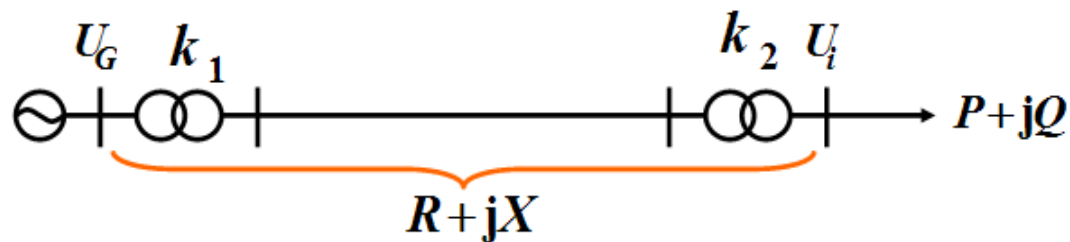
■ 常调压

- ▶ 适应：中型网络，负荷变化较小
- ▶ 方式：保持在较线路额定高2%~5%
- ▶ 难易程度：较易实现

6.3 电力系统的电压调整

三、电力系统的电压调整

1. 电压调整的基本原理



电压调整原理图

忽略线路对地电容、变压器励磁支路参数、横向压降, 则

$$U_i = (U_G k_1 - \Delta U) / k_2 = \left(U_G k_1 - \frac{PR + QX}{U_N} \right) / k_2$$

6.3 电力系统的电压调整

调压比调频复杂，频率系统为一，电压不为—

■ 调压措施

▶ 改变电压水平

- 利用发电机调压 U_G —改变励磁电流
- 改变变压器分接头 k_1, k_2

▶ 改变电压损耗

- 改变功率分布(主要是 Q): 使 ΔU 减少
- 改变线路参数 $R+jX$ (主要是 X): 减少 ΔU

6.3 电力系统的电压调整

2、改变发电机端电压调压

根据运行情况调节励磁电流来改变机端电压。适合于由**孤立发电厂**不经升压直接供电的小型电力网。在**大型电力系统**中发电机调压一般只作为一种辅助性的调压措施。

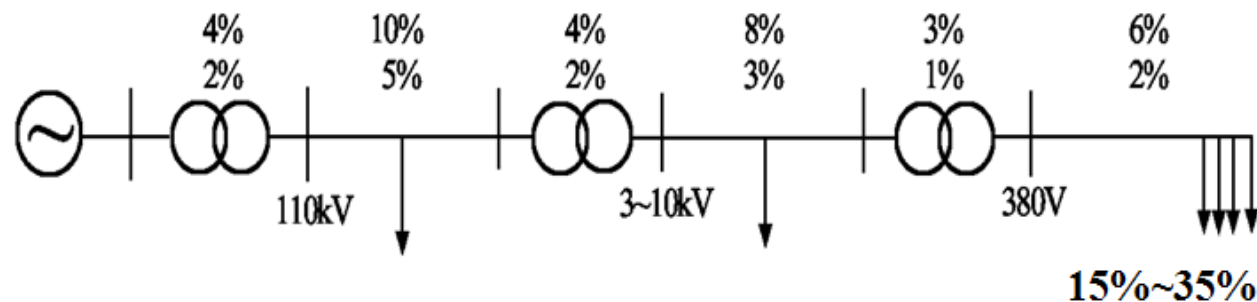


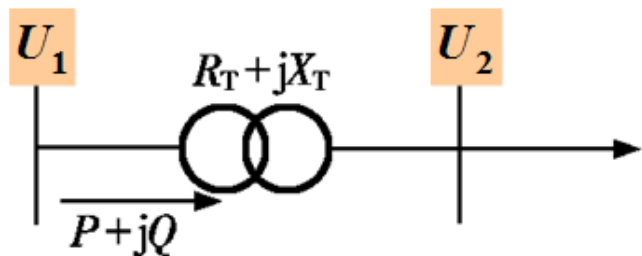
图6-19 多级变压供电系统的电压损耗分布

6.3 电力系统的电压调整

3、变压器分接头的选择

改变变压器的变比调压实际上就是根据调压要求适当选择分接头。

(1) 降压变压器分接头的选择



降压变压器

$$\Delta U_T = (PR_T + QX_T) / U_1$$

$$U'_2 = (U_1 - \Delta U_T) / k$$

$$k = U_{1t} / U_{2N}$$

6.3 电力系统的电压调整

$$U_{1t} = \frac{U_1 - \Delta U_T}{U_2'} U_{2N}$$
$$k = U_{1t} / U_{2N}$$
$$U_2' = (U_1 - \Delta U_T) / k$$

$$U_{1t\max} = (U_{1\max} - \Delta U_{T\max}) U_{2N} / U_{2\max}'$$

最大运方

$$U_{1t\min} = (U_{1\min} - \Delta U_{T\min}) U_{2N} / U_{2\min}'$$

最小运方

$$U_{1t\cdot av} = (U_{1t\max} + U_{1t\min}) / 2$$

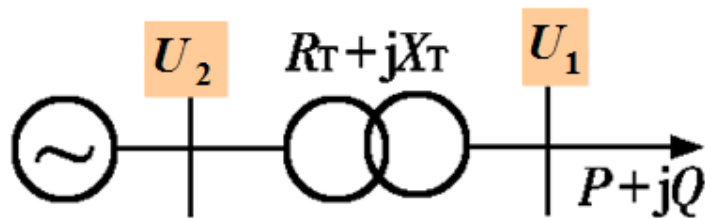
平均

根据 $U_{1t\cdot av}$ 值可选择一个与它最接近的分接头。然后根据所选取的分接头校验最大负荷和最小负荷时低压母线上的实际电压是否满足要求。

6.3 电力系统的电压调整

(2) 升压变压器分接头的选择

选择升压变压器分接头的方法与选择降压变压器的基本相同。



升压变压器

$$U_{1t} = \frac{U_1 + \Delta U_T}{U'_2} U_{2N}$$

6.3 电力系统的电压调整

(3) 有载调压变压器

①有载调压变压器可以在带负荷的条件下切换分接头而且调节范围也比较大，一般在15%以上。

②目前我国暂定，110kV级的调压变压器有7个分接头，即 $U_N \pm 3 \times 2.5\%$ ；220kV级的有9个分接头。即

$$U_N \pm 4 \times 2.0\%$$

6.3 电力系统的电压调整

③采用有载调压变压器时，可以根据最大负荷算得的 U_{1tmax} 值和最小负荷算得的 U_{1tmin} 分别选择各自合适的分接头。这样就能缩小次级电压的变化幅度，甚至改变电压变化的趋势。

6.3 电力系统的电压调整

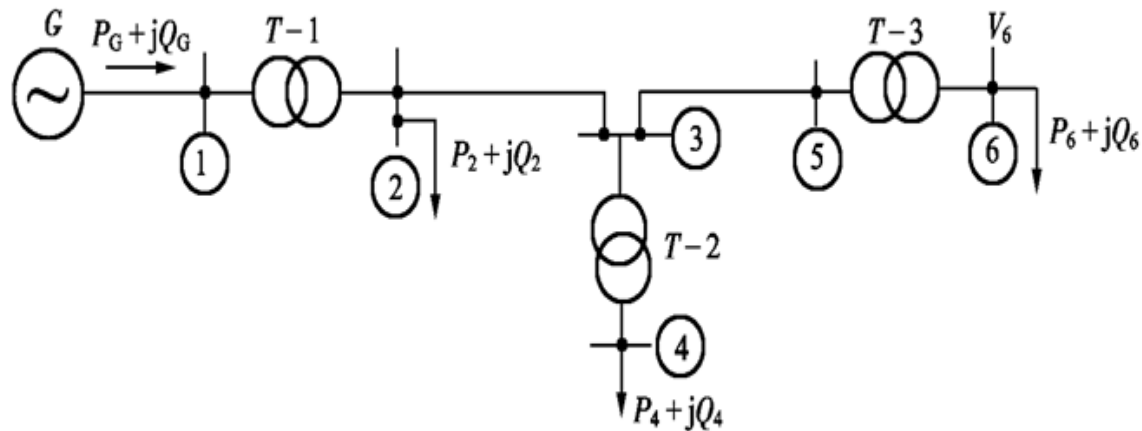
(4) 三绕组变压器分接头的选择

三绕组变压器高压侧和中压侧都有分接头，低压侧没有三绕组变压器可看作两个双绕组变压器：

- ▶ 高、低压侧：确定高压绕组的分接头（根据低压侧要求）
- ▶ 高、中压侧：确定中压绕组的分接头（根据中压侧要求）。

6.3 电力系统的电压调整

注意：只有当系统无功功率电源容量充足时，用改变变压器变比调压才能奏效。



简单的电力系统图

因此，当系统无功功率不足时应首先装设无功补偿设备。

小结

- 👉介绍了系统电压偏移的原因及影响；
- 👉介绍了电压波动和中枢点的电压管理；
- 👉介绍了电力系统的电压调整。