



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

电力系统中无功功率的平衡

主讲：田行军

## 主要内容

- 1、无功负荷和无功电源及无功功率平衡
- 2、无功功率的经济分布:无功电源的最优分布和无功负荷的最优补偿
- 3、电压的调整

### ➤ 频率调整和电压调整的不同之处

调频	{	频率唯一	调压	{	电压水平各点不同
		集中调整			调整分散
		只能调原动机功率			手段多样(有多种无功电源)

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## ➤ 分析无功功率和电压分布之间的关系

无功损耗  $\gg$  有功损耗;

$\Delta U \approx \frac{PR + QX}{U}$  电压降受无功功率的影响较大;

无功功率的流动从  $U_h \rightarrow U_L$

因此，维持电压稳定，应该尽量减少无功的传输，采取就地平衡。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

- ▶ 电压是衡量电能质量的重要指标。
- ▶ 电力系统的运行电压水平取决于无功功率的平衡。
- ▶ 系统中各种无功电源的无功出力应能满足系统负荷和网络损耗在额定电压下对无功功率的需求，否则电压就会偏离额定值。

## 一、无功功率负荷和无功功率损耗

### 1. 无功功率负荷

白炽灯：纯有功

同步电动机：可发无功

异步电动机：吸收无功

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

- ▶ 电压是衡量电能质量的重要指标。
- ▶ 电力系统的运行电压水平取决于无功功率的平衡。
- ▶ 系统中各种无功电源的无功出力应能满足系统负荷和网络损耗在额定电压下对无功功率的需求，否则电压就会偏离额定值。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡



在线开放课程

## 一、无功功率负荷和无功功率损耗

### 1. 无功功率负荷

白炽灯：纯有功

同步电动机：可发无功

异步电动机：吸收无功

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 2. 变压器的无功损耗

励磁支路损耗

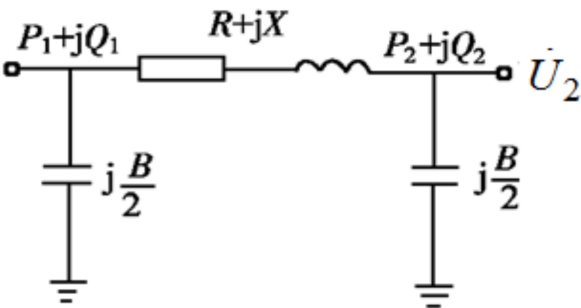
绕组漏抗中损耗

$$Q_{LT} = \Delta Q_0 + \Delta Q_T = U^2 B_T + \left(\frac{S}{U}\right)^2 X_T$$
$$\approx \frac{I_0\%}{100} S_N + \frac{U_k\% S^2}{100 S_N} \left(\frac{U_N}{U}\right)^2$$

假定一台变压器的空载电流  $I_0\% = 2.5$ ，短路电压  $U_k\% = 10.5$ ，在额定满载下运行时，无功功率的消耗将达额定容量的13%。如果从电源到用户需要经过好几级变压，则变压器中无功功率损耗的数值是相当可观的。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 3. 输电线路的无功损耗

$$\Delta Q_L = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} X = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X$$


$$\Delta Q_B = -\frac{B}{2}(U_1^2 + U_2^2)$$

输电线路的  $\pi$  型  
等值电路

线路的无功总损耗为

$$\Delta Q_L + \Delta Q_B = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} X - \frac{U_1^2 + U_2^2}{2} B$$

一般情况下，**35kV**及以下系统消耗无功功率；**110kV**及以上系统，轻载或空载时，成为无功电源，传输功率较大时，消耗无功功率。



# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 二、无功功率电源

电力系统的无功功率电源有发电机、同步调相机、静电电容器及静止补偿器，后三种装置又称为无功补偿装置。

### 1、发电机

发电机在额定状态下运行时，可发出无功功率：

$$Q_{GN} = S_{GN} \sin \varphi_N = P_{GN} \tan \varphi_N$$

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 2. 同步调相机：相当于空载运行的同步电动机。

- ▶ 过励磁运行时，它向系统供给感性无功功率而起无功电源的作用，能提高系统电压；
- ▶ 欠励磁运行时，它从系统吸取感性无功功率而起无功负荷用，可降低系统电压。
- ▶ 它能根据装设地点电压的数值平滑改变输出(或吸取)的无功功率，进行电压调节。因而调节性能较好。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 缺点:

- ▶ 同步调相机是旋转机械，运行维护比较复杂；
  - ▶ **有功功率损耗**较大，在满负荷时约为额定容量的1.5~5%，容量越小，百分值越大；
  - ▶ 小容量的调相机每kVA容量的**投资费用**也较大。故同步调相机宜大容量集中使用，容量小于5MVA的一般不装设。
- 同步调相机常安装在枢纽变电所。**

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 3. 静电电容器

静电电容器可按**三角形**和**星形接法**连接在变电所母线上。它供给的无功功率 $Q_C$ 值与所在节点电压的平方成正比，即

$$Q_C = U^2 / X_C$$

**缺点：**电容器的无功功率调节性能比较差。

**优点：**静电电容器的装设容量可大可小，既可集中使用，又可以分散安装。且电容器每单位容量的投资费用较小，运行时功率损耗亦较小，维护也较方便。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 4. 静止补偿器

- ▶ 静止补偿器由**静电电容器**与**电抗器**并联组成
- ▶ **电容器**可发出无功功率，**电抗器**可吸收无功功率，两者结合起来，再配以适当的**调节装置**，就能够平滑地改变输出（或吸收）的无功功率。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

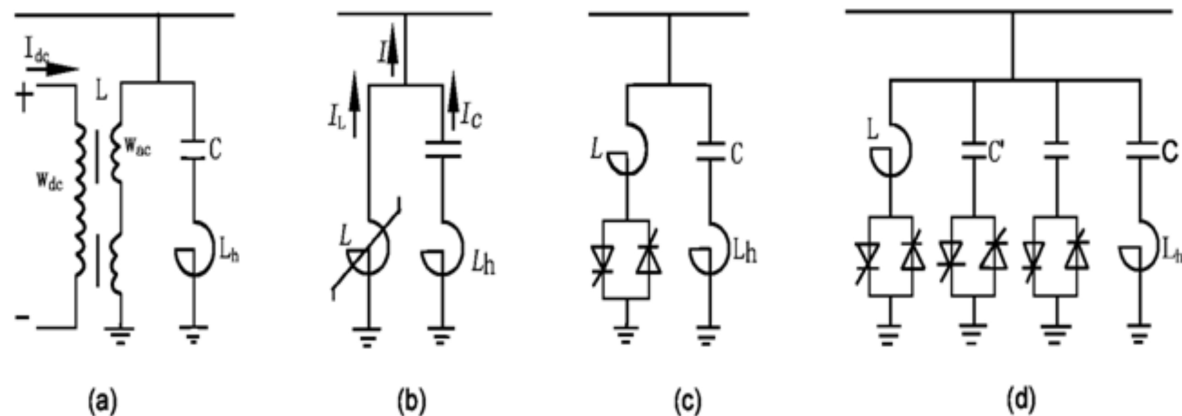


图6-5 静止无功补偿器的原理图

- (a) 可控饱和电抗器型；
- (b) 自饱和电抗器型；
- (c) 可控硅控制电抗器型；
- (d) 可控硅控制电抗器和可控硅投切电容器组合型

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 三、无功功率的平衡

系统中功率平衡:  $\Sigma Q_{GC} - \Sigma Q_L - \Delta Q_{\Sigma} = 0$

电源:  $\Sigma Q_{GC} = \Sigma Q_G + \Sigma Q_C$

$$= \Sigma Q_G + \Sigma Q_{C1} + \Sigma Q_{C2} + \Sigma Q_{C3}$$

发电机    调相机    电容器    静止补偿器

负荷:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{未改善 } \cos \phi = 0.6 \sim 0.9 \\ \text{规程规定不低于} 0.9, \text{可按此取 } Q_L \end{array} \right.$

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

损耗:  $\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_T + \Delta Q_X + \Delta Q_b$

变压器 线路电抗 线路电纳

无功备用:为最大无功负荷的7%~8%

注意:

- 1、系统中无功功率平衡的前提是系统的电压水平正常
- 2、无功不足时应就地补偿



# 6.1 电力系统中无功功率的平衡



在线开放课程

## 电力系统无功功率平衡的基本要求：

系统中的无功电源可以发出的无功功率应该大于或至少等于负荷所需的无功功率和网络中的无功损耗。

## 6.1 电力系统中无功功率的平衡

### 无功不足应采取的措施:

电力系统的无功功率平衡应分别按**正常运行时的最大和最小负荷**进行计算。经过无功功率平衡计算发现**无功功率不足时**，可以采取的措施有：

(1) 要求各类用户将负荷的自然功率因数提高到现行规程规定的数值。

## 6.1 电力系统中无功功率的平衡

(2) 挖掘系统的无功潜力。例如将系统中暂时闲置的发电机改作调相机运行；动员用户的同步电动机过励磁运行等。

(3) 根据无功平衡的需要，增添必要的无功补偿容量，并按无功功率就地平衡的原则进行补偿容量的分配。小容量的、分散的无功补偿可采用静电电容器；大容量的、配置在系统中枢点的无功补偿则宜采用同步调相机或静止补偿器。

# 6.1 电力系统中无功功率的平衡

## 四、无功功率平衡和电压水平的关系

问题：在什么样的电压水平下实现无功功率平衡？

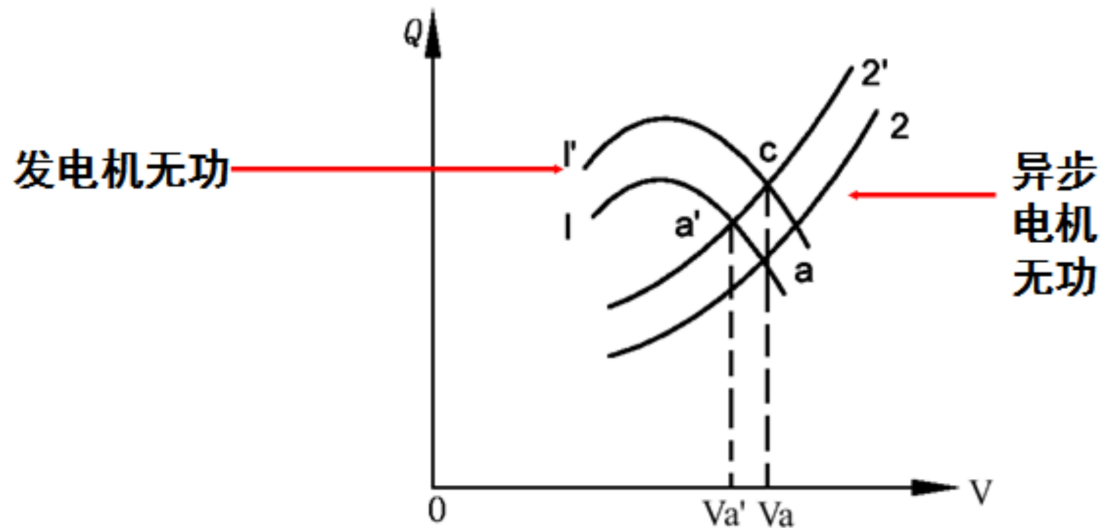


图6-7 无功平衡与电压水平

应该力求实现在额定电压下的系统无功功率平衡。

# 小结

- 👉 介绍了无功功率的负荷和无功功率的损耗；
- 👉 介绍了无功功率电源；
- 👉 介绍了无功功率的平衡；
- 👉 介绍了无功功率的平衡与电压水平的关系。