

# 第一篇 变压器



-1-

电力工程系

## 目录

- 第一章 变压器的基本工作原理和结构
- 第二章 变压器的运行分析
- 第三章 三相变压器
- 第四章 三相变压器的不对称运行
- 第五章 三绕组变压器、自耦变压器和互感器
- 第六章 变压器的并联运行



-2-

电力工程系

# 第一篇 变压器

## 第一章

### 变压器的基本工作原理和结构



-3-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 本章基本要求

- 了解变压器的用途、分类
- 了解变压器的主要结构
- 掌握变压器的基本工作原理
- 掌握变压器的额定参数



-4-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### § 1.1 变压器在电力系统中的应用

#### 一、输配电系统及其设备的电压等级

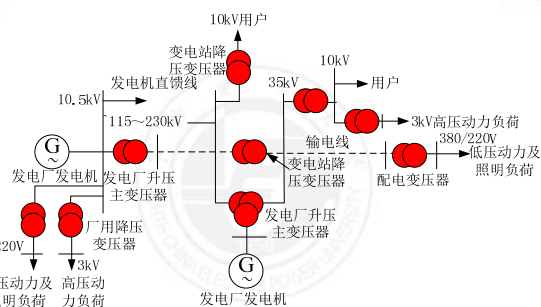
- 发** ➡ 发电机端口电压：10-20kV
- 输** ➡
  - 高压输电线路（HV）：110kV、220kV
  - 超高压输电线路（EHV）：330kV、500kV
  - 特高压输电线路（UHV）：750kV、1000kV
- 配** ➡ 配电线路：63kV、35kV、10kV、380/220V
- 用** ➡
  - 大型动力设备：10kV以下，一般为6.3kV
  - 小型动力设备：400V以下，一般为380V/220V



-5-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构



据统计，电力系统中变压器的安装容量大约是发电机安装容量的6~8倍。



-6-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 二、变压器的作用

- 1) 降低输电线路压降
- 2) 减小输电线路损耗
- 3) 向用户提供符合标准的电压
- 4) 提高电力系统的稳定性

### 三、变压器的常用电压等级

升: 10kV(20kV)/110kV(220kV、500kV)

降: 500kV(220kV)/110kV

110kV/35kV

35kV/10kV

10kV/380V



-7-

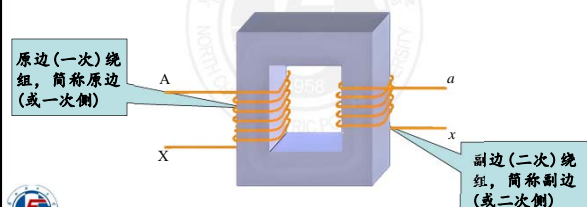
电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### §1.2 变压器的基本工作原理及分类

#### 一、变压器的基本工作原理

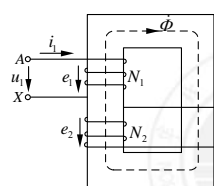
**定义:** 变压器是根据**电磁感应定律**将一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一等级的交流电能的**静止电器**。



-8-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构



$$\text{原边电动势: } e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{副边电动势: } e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{电势比: } \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \begin{cases} N_2 > N_1 \text{ 时: } U_2 > U_1 \text{ 升压变压器} \\ N_2 < N_1 \text{ 时: } U_2 < U_1 \text{ 降压变压器} \end{cases}$$

$$\text{变压器变比: } k = \frac{N_1 (\text{一次绕组匝数})}{N_2 (\text{二次绕组匝数})}$$



-9-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 二、变压器的分类

#### (1) 按用途分



-10-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

#### (2) 按相数分

- 单相变压器
- 三相变压器
- 多相变压器



#### (3) 按绕组形式分

- 双绕组变压器
- 三绕组变压器
- 多绕组变压器
- 自耦变压器



-11-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

#### (4) 按冷却介质分

- 干式变压器
- 油浸式变压器
  - 自冷
  - 风冷
  - 强迫油循环



干式变压器



油浸式变压器



强迫油循环



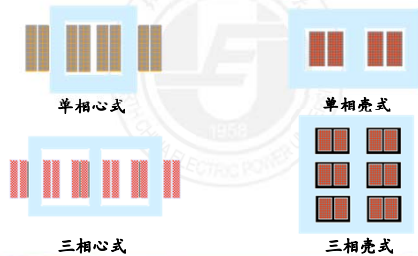
-12-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### (5) 按铁心结构分

心式变压器  
壳式变压器

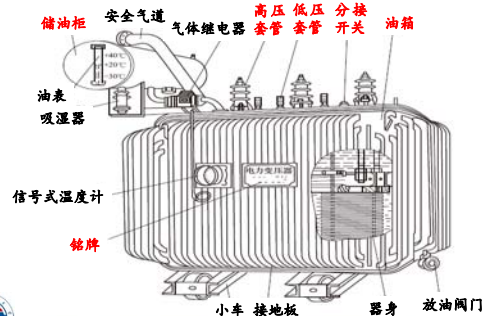


-13-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

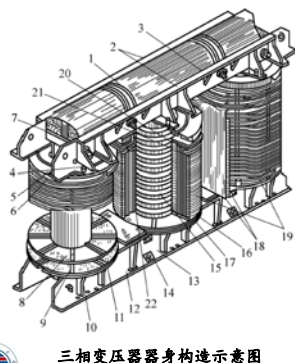
### §1.3 变压器的基本结构



-14-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构



三相变压器器身构造示意图

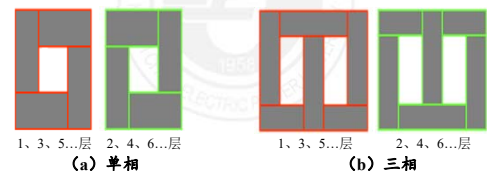
-15-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 一、铁心

**作用：**磁路的构成部分。为减少铁心中的磁滞和涡流损耗，铁心均用0.35—0.5mm厚的热轧或冷轧**硅钢片**叠成，片间涂以0.01~0.013mm厚的**漆膜**，以避免片间短路。铁心采用**交错式叠装**可减小气隙，降低激磁电流。



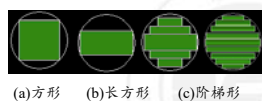
-16-

电力工程系

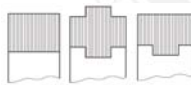
## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

**心柱截面：**正方形(长方形)或阶梯形。

**铁轭截面：**矩形或阶梯形。



铁心柱截面形状



铁轭截面形状



叠装好的三相铁心

铁轭的面积比心柱大5~10%，以减少激磁电流和铁心损耗。

-17-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 二、绕组

**作用：**电路的组成部分。纸包、纱包或漆包绝缘**扁线**或**圆线**绕成，起**感应电势**、**通过电流**、**实现电能变换**的作用。

类型	交叠式绕组	同式绕组		
		圆筒式	螺旋式	连续式
绕法	高低压绕组沿心柱方向平行排列	一根或几根平行并绕导线沿铁心柱方向连续绕制	多根垂直并绕导线沿铁心柱方向连续绕制，呈螺旋状	单根或多根并绕导线分若干线饼连续绕成
应用范围	低压、大电流的电焊、电炉变压器和壳式变压器	每柱容量210kVA以下	800kVA以上、25KV以下	630~10000kVA变压器高压绕组及10000kVA以上低压绕组
优点	漏抗较小，易于构造多条并联支路	简单	易于冷却	易于冷却
注意事项	低压绕组靠近铁轭	轴向可能分成若干段以便冷却	换位，保证各股导线电流分布均匀	线饼之间留有油道

-18-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 三、绝缘结构

**作用：**实现变压器的绝缘。

**分类：**

#### 1) 外部绝缘(油箱盖外部)

瓷质绝缘套管和空气间绝缘；

#### 2) 内部绝缘(油箱盖内部)

**a)主绝缘：**绕组与绕组之间、绕组与铁心及油箱之间(采用油与绝缘板结构)；

**b)纵绝缘：**绕组的匝间、层间及线段之间(采用电缆纸、电工纸板和油隙)。



-19-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 四、油箱和其它附件

**作用：**铁心和绕组组成变压器的器身，放置在装有变压器油的油箱内，变压器油既是绝缘介质，又是冷却介质。

**分类：**平板式、管式和散热器式。

**其他附件：**1) 储油柜(油枕)

2) 气体继电器

3) 安全气道

4) 绝缘套管(多级伞形)：实心瓷套管、空心充气式或充油式和电容式

5) **分接开关：**装在高压边

调压范围  $\pm 5\%$  或  $\pm 2 \times 2.5\%$



-20-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### § 1.4 变压器的额定值

#### 一、额定值

**额定容量 $S_N$ ：**指在额定状态下变压器的**视在功率**(三相变压器指**三相的总容量**)，单位：VA、kVA或MVA

**额定电压 $U_{1N}/U_{2N}$ ：**三相变压器指**线电压**，单位：V、kV

**额定电流 $I_{1N}/I_{2N}$ ：**三相变压器指**线电流**，单位：A、kA

**额定频率 $f_N$ ：**我国额定工频为**50Hz**，单位：Hz

**注：**额定工作状态下变压器的**效率**、**温升**等数据，均属于额定值。



-21-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 二、铭牌

**铭牌：**标示产品名称、品牌、型号、规格、性能、制造日期及厂商名称的金属牌。

型号：	出厂序号：
制造厂名：	制造年月：
相数：	串联或三相
额定容量：	kVA或MVA
额定电压：	V或kV
短路阻抗：	以百分数表示
额定频率：	Hz
额定电流：	A
冷却方式：	

标准代号 GB1094.1-2-1996 GB1094.3-2003	产品代号 ONS710
额定容量 kVA	电压(V) 高压 低压
额定频率 50 Hz	电流(A) 高压 低压
分接位置	1 2 3 4 5
冷却方式 ONAN	1 2 3 4 5
短路阻抗 %	1 2 3 4 5
绝缘水平 1.2 AC 1.2 AC	1 2 3 4 5
出厂序号	1 2 3 4 5

铭牌上的主要信息

真实变压器铭牌

**注：**有的铭牌上还标有**绕组联结图**、**分接开关**等。

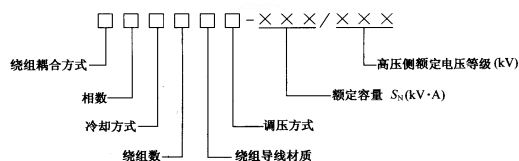


-22-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 变压器型号



#### OSFPSZ-250000/220

自耦(O)三相(S)强迫油循环(P)风冷(F)三绕组(S)铜线有载调压(Z)，额定容量250000kVA，高压额定电压220kV电力变压器。



-23-

电力工程系

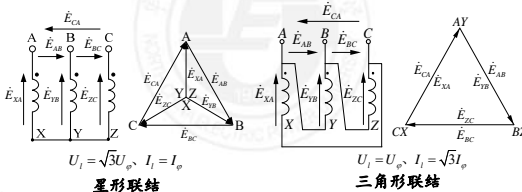
## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

### 三、特别说明

#### 1) 双绕组变压器原、副边容量按相等进行设计

**单相变压器：** $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$

**三相变压器：** $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$



-24-

电力工程系

## 第一章 变压器的基本工作原理和结构

2)  $U_{1N}$ 指原边额定电压;  $U_{2N}$ 指原边加上额定电压时的副边开路电压。

一般情况下, 当  $U_1=U_{1N}$  和  $I_2=I_{2N}$  时, 由于变压器有阻抗压降, 使得  $U_2 \neq U_{2N}$ , 因此  $S_2 \neq S_{2N}$ 。

3) 分析变压器和发电机时, 所说负载一般是指电流而不是阻抗, 负载的增减是指电流的增减。当副边电流为额定电流时, 称为额定负载。

