

# 第三章 变压器

- ❖ 用途、工作原理及结构
- ❖ 变压器运行
- ❖ 特殊变压器

# 用途、工作原理及结构

## 一、变压器的用途

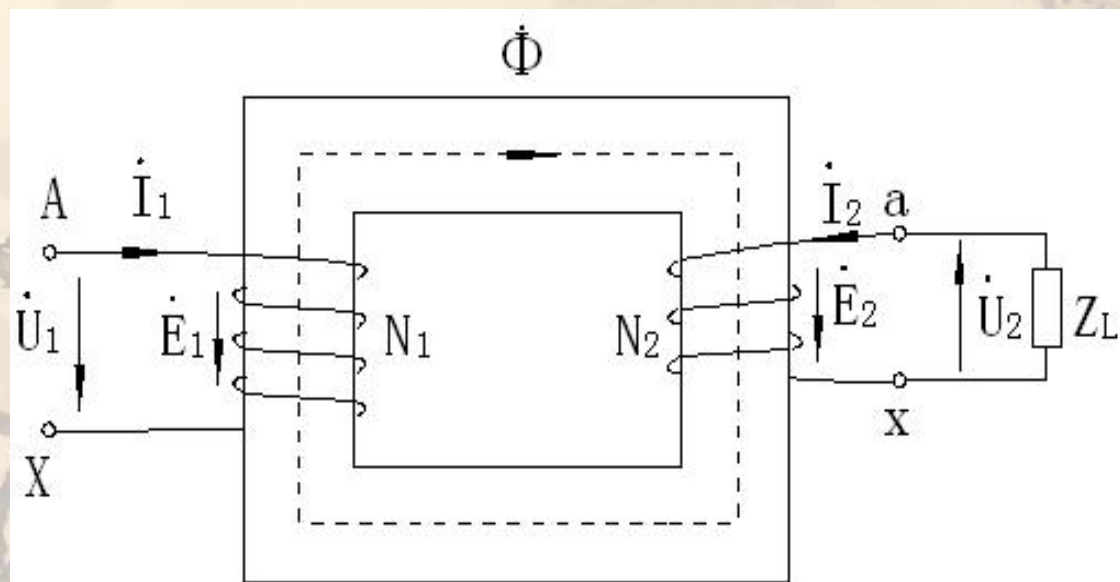
变压器是一种静止电机，利用电磁感应原理，将一种电压等级的交流电能变换为同频率的另一种电压等级的交流电能。



## 二、变压器的工作原理

变压器的主要部件是**铁心**和套在铁心上的**两个绕组**。如果在一次绕组中施加**交变电压**，在磁路中将产生交变磁通  $\Phi$ ，该磁通交链一、二次绕组，分别在两绕组中产生感应电动势。

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$
$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$



单相变压器基本工作示意图



如果不计一、二次绕组的内阻以及铁耗，且不计漏磁通，则耦合系数 $k_c=1$ （理想变压器）。根据电磁定律，可写出电动势平衡方程式：

$$u_1 \approx -e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$u_2 = e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

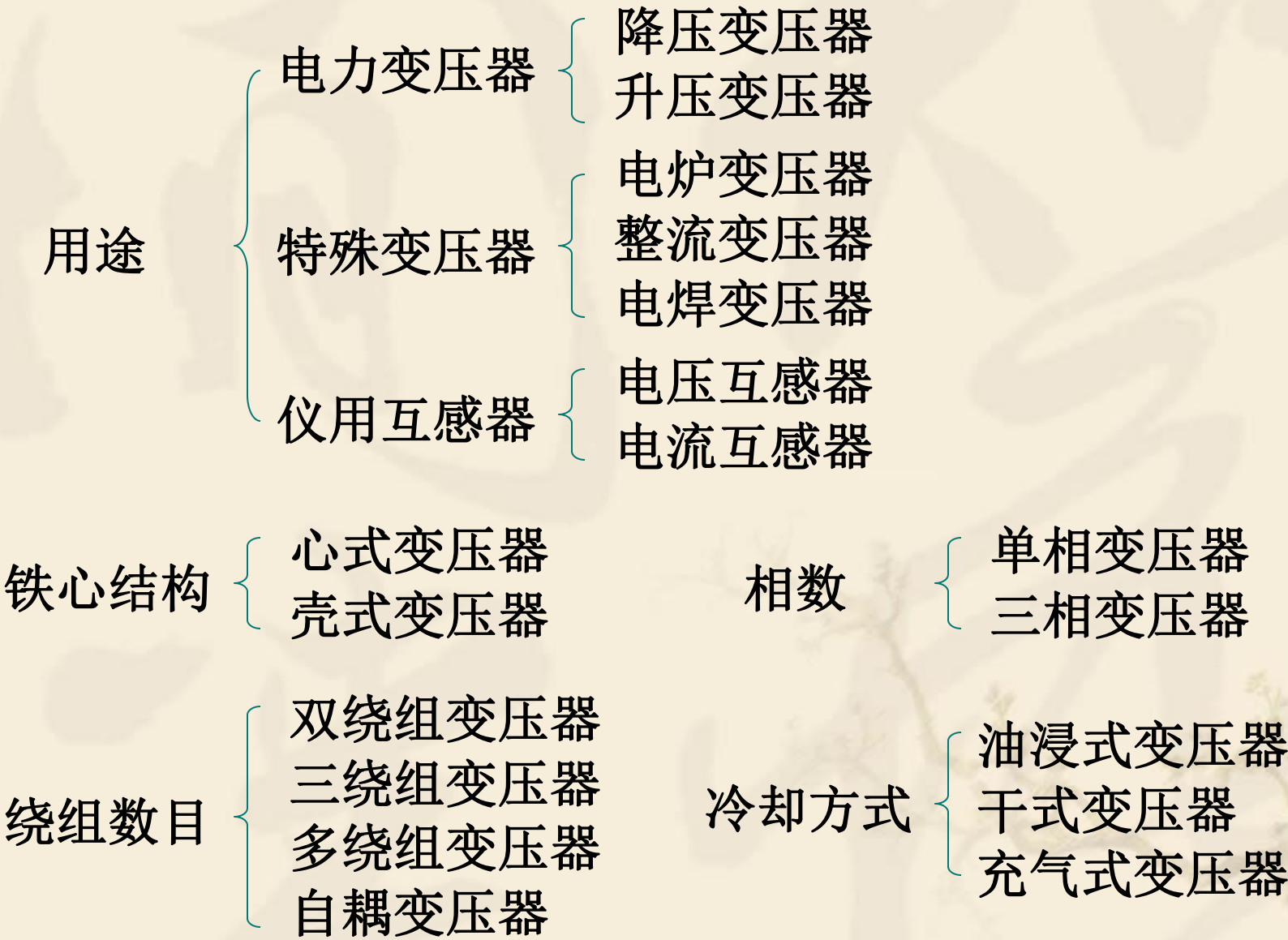
$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = k$$

变压器变比，改变匝数比即可改变电压。

# 三、变压器的分类



## 四、变压器的基本结构

### 1.铁心

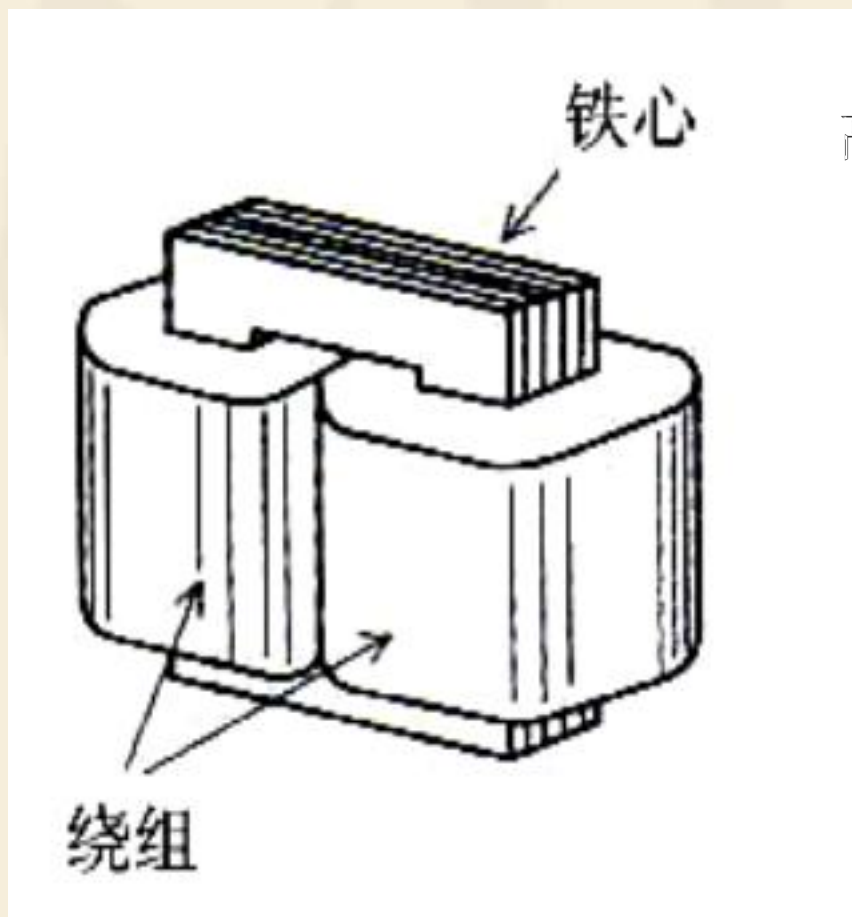
变压器的主磁路，为了提高磁路导磁性能和减少铁耗，通常用0.35mm或0.5mm厚、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠装而成。

铁心分为铁心柱：铁心柱上套装有绕组。铁轭：形成闭合磁路。

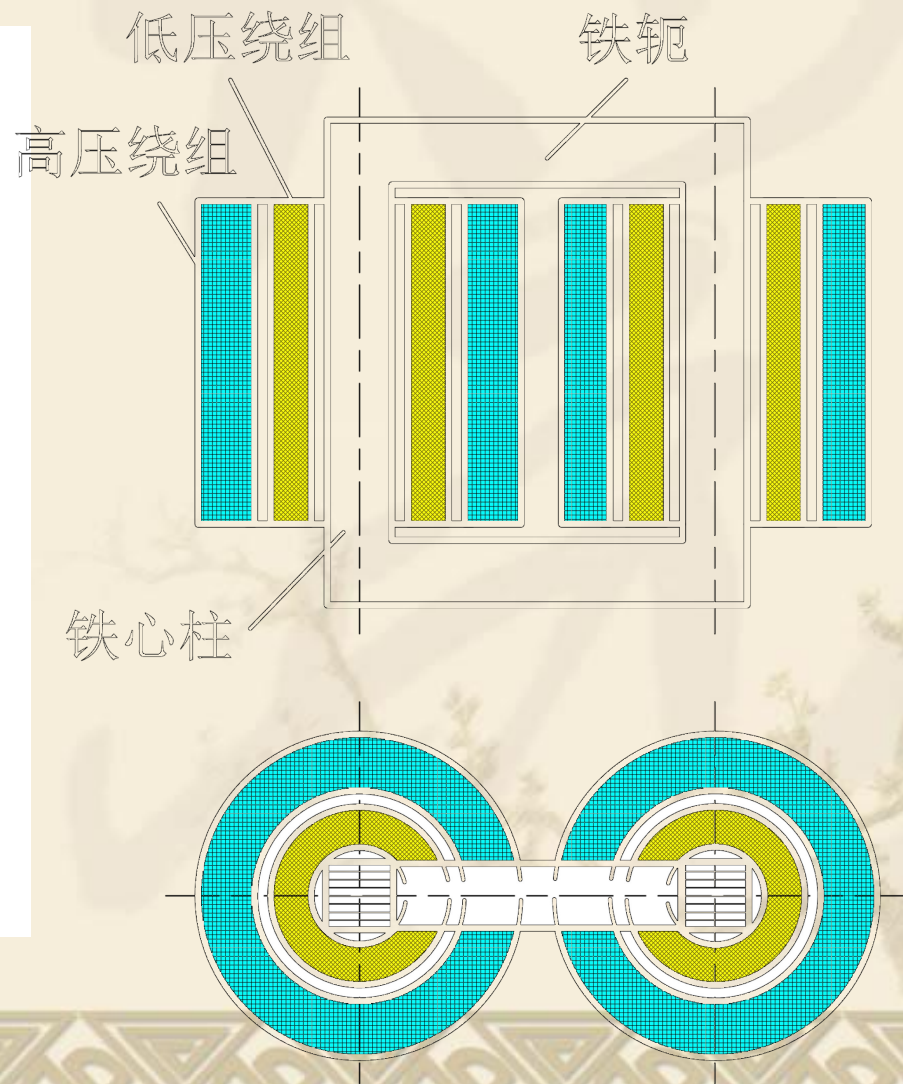
铁心结构的基本形式分为：心式和壳式两种。



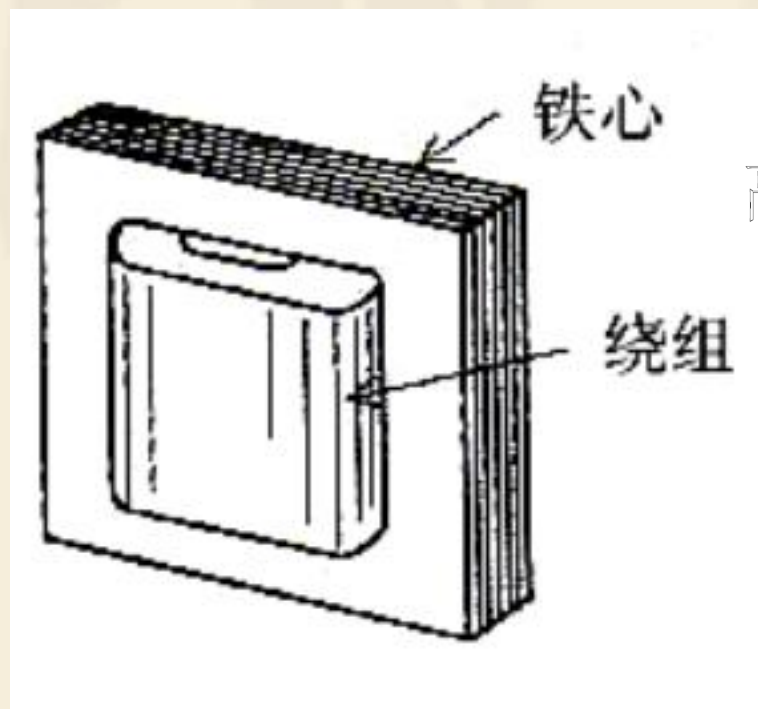
**心式：**铁轭靠着绕组的顶面和底面。而不包围绕组侧面，结构简单，装配及绝缘容易，国产变压器大多采用心式结构。（电力变压器常采用的结构）



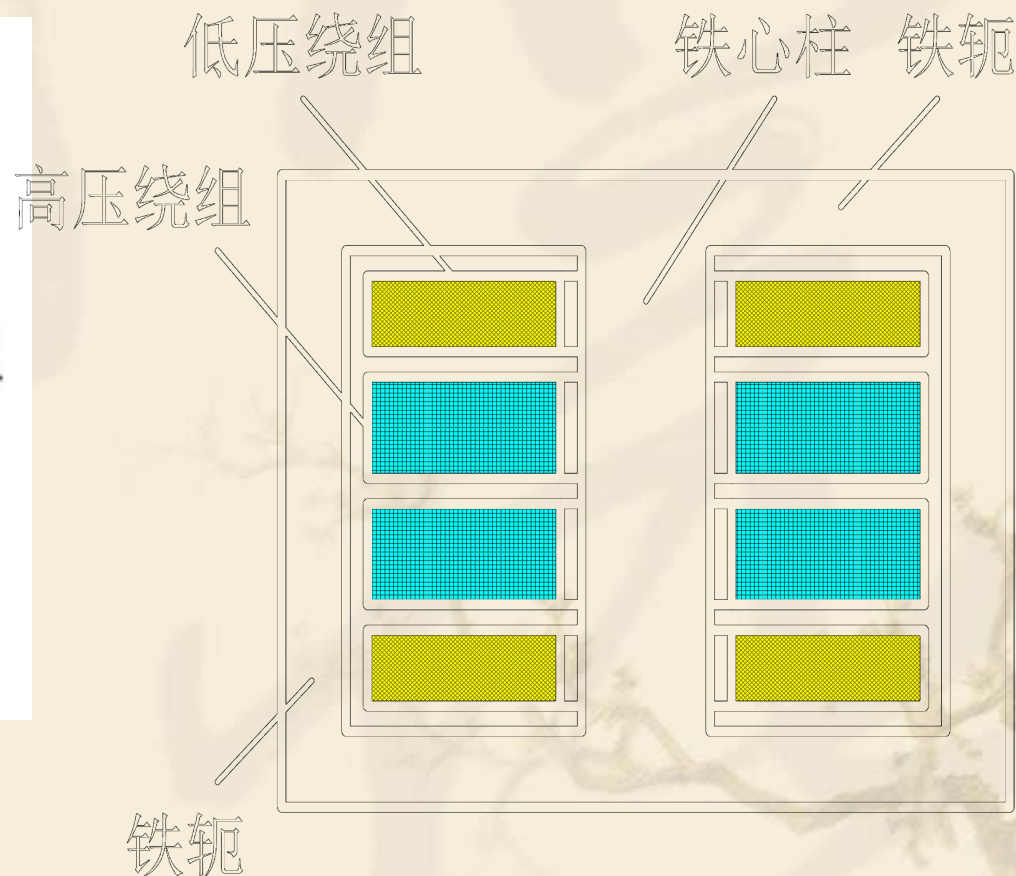
单相心式变压器



**壳式：**铁轭包围绕组的顶面和底面，也包围侧面，这种结构机械强度较好，但制造工艺复杂，用材料较多。



单相壳式变压器





## 2.绕组

**变压器的电路部分**，一般用漆包线或绝缘纸包的扁铜线绕制而成。可分为同心式和交叠式两类。

**同心式**：高低压绕组同心的套在铁心柱上。为便于绝缘，一般低压绕组在里面高压绕组在外面。

**交叠式**：高低压绕组互相交叠放置，为便于绝缘，上下两组为低压。

## 3.其他结构部件

油浸式变压器还有油箱（包括散热器或冷却器）、绝缘套管、储油柜、吸湿器、安全气道、净油器和气体继电器等。

## 五. 变压器的额定值

(1) **额定容量** $S_N$ ：指变压器的视在功率。对三相变压器指三相容量之和。以伏安（VA）千伏安（kVA）单位。

(2) **额定电压** $U_N$ ：一次侧额定端电压为一次侧额定电压，二次侧指一次侧加额定电压时二次侧的**空载电压**。三相变压器指的是线电压。以伏（V）千伏（kV）单位。

(3) **额定电流** $I_N$ ：以 $S_N$  和 $U_N$ 计算出来的线电流值，即为额定电流。

$$\text{单相：} S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

$$\text{三相：} S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$$

此外，额定值还有额定频率、效率、温升等。

额定值通常标注在铭牌上。

# 特殊变压器

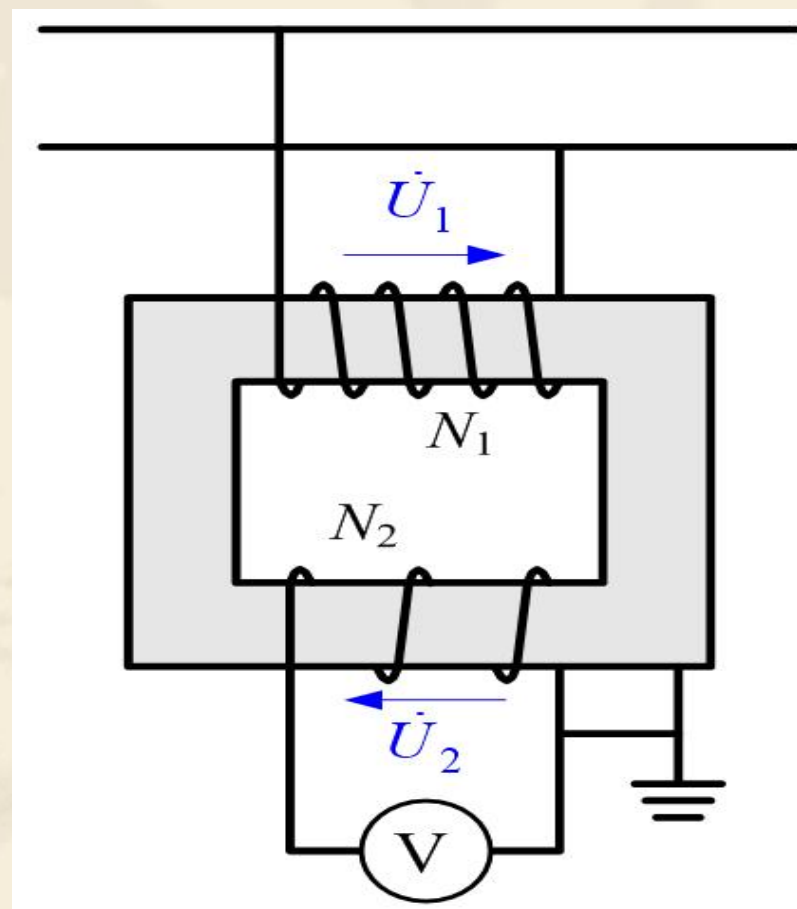
## 一、互感器

互感器是一种测量装置，按变压器原理工作。在高电压，大电流的电力系统中，为能够对高电量进行测量，须将高电量转换为能用普通标准仪表测量的电量（1A/5A/100V/500V），同时使测量回路与被测量回路隔开，以保证测量人员的安全，需用电压互感器和电流互感器。



# 1、电压互感器

将高电压降为低电压（一般额定值为100V）供电给测量仪表和继电器的电压线圈。电压互感器一次绕组并联在被测的高压线路上，二次绕组与电压表、功率表的电压线圈等构成闭合回路。由于二次边所接的电压表等负载的阻抗很大，所以二次电流很小，电压互感器实际上相当于一台空载运行的双绕组降压变压器。

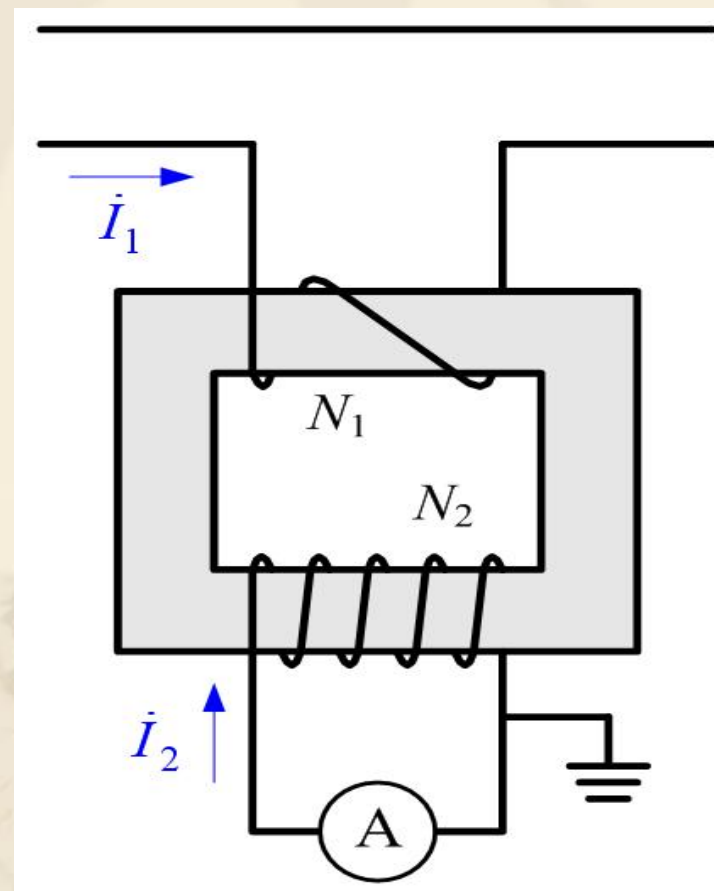


在使用电压互感器时应注意：

- ①副方不允许短路，否则会产生很大的短路电流，烧坏互感器的绕组；
- ②副方应可靠接地；
- ③副方接入的阻抗不得小于规定值，以减小误差。测量精度分0.5、1.0和3.0级。

## 2、电流互感器

将电路中流过的大电流变换成小电流（额定值为5A或1A）供电给测量仪表和继电器的电流线圈。一次绕组串在被测的高压线路中，二次绕组与电流表、功率表的电流线圈等构成闭合回路。由于一次绕组匝数为一匝或几匝，而副绕组匝数很多，所接的电流表等负载的阻抗很小，电流互感器实际上相当于一台处于短路状态升压变压器。





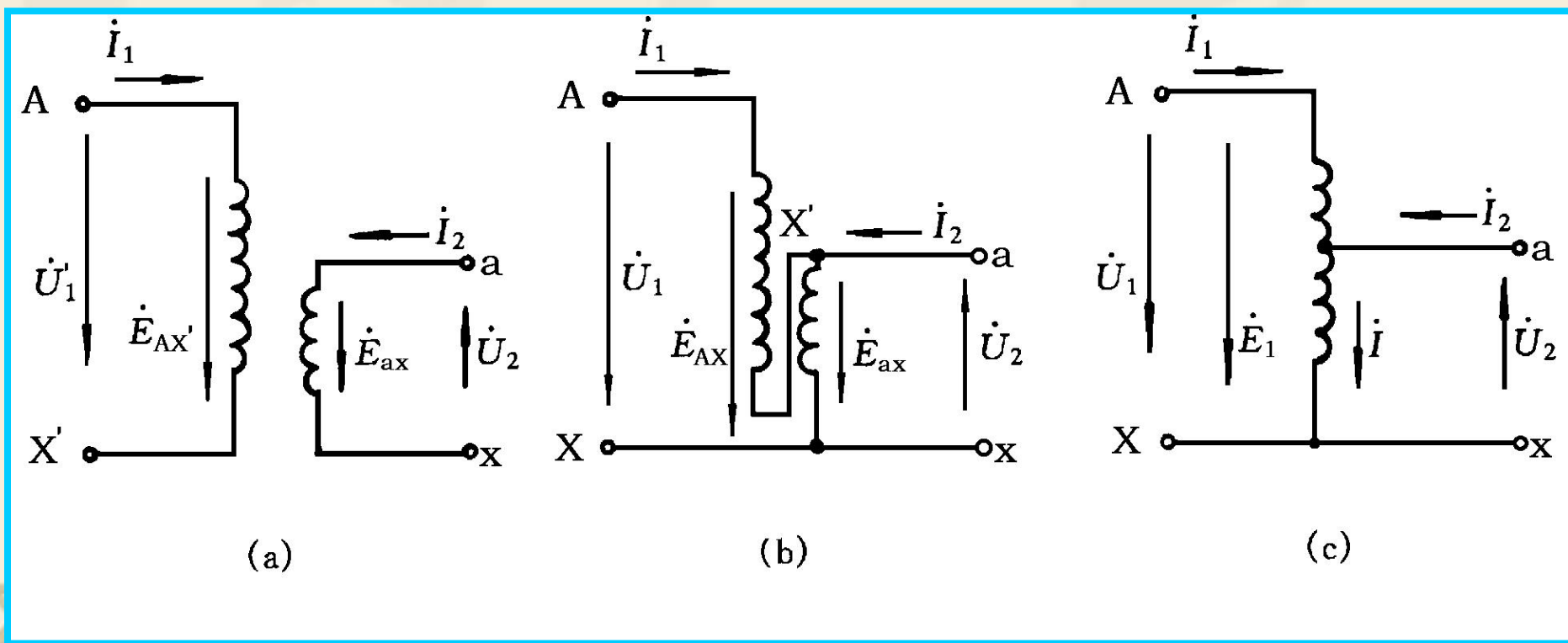
电流互感器在使用时应注意：

- ①副边决不允许开路，否则， $I_2=0$ 时，被测线路中的大电流 $I_1$ 全部成为励磁电流，使铁芯严重过热，副边感应高电压，损坏电流互感器，并危及人员和其它设备安全；
- ②为确保工作人员安全，电压互感器的副绕组以及铁芯应可靠接地；
- ③为确保测量精度，电流互感器的副边所接负载阻抗不应超过允许值。

### 三、自耦变压器

#### 1. 工作原理

把普通双绕组变压器的高压绕组和低压绕组串联，便构成一台自耦变压器，如图所示。正方向规定与双绕组变压器相同。



## 2. 容量关系:

作为双绕组变压器使用时:

$$k = U_{1N}/U_{2N} = E_1/E_2 \approx N_1/N_2$$

$$S_N = U_{1N}I_{1N} = U_{2N}I_{2N}$$

作为自耦变压器使用时（绕组串联）：

$$k_A = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 + N_2}{N_2} \approx \frac{U_{1N\phi}}{U_{2N\phi}} = k+1$$

$k_A$  — 自耦变压器的变比。

$$S_{NA} = (U_{1N} + U_{2N})I_{1N} = S_N + S_N/k = S_N + S_N/(k_A - 1)$$

可看出： $S_N$ 为双绕组变压器容量，称为感应功率；另一部分 $S_N/(k_A - 1)$ 由电路直接传导给负载，称为传导功率。



### 3. 自耦变压器的特点

自耦变压器与双绕组变压器相比，其单位容量所消耗的材料少、变压器的体积小、造价低，而且铜耗和铁耗也小，因而效率高。当 $k_A$ 越接近于1时，自耦变压器优点越突出。因此，电力系统使用的自耦变压器 $k_A=1.5\sim 3$ 。可见在变压器原、副方额定电压相差不大时采用自耦变压器是合理的。在工厂和实验室中自耦变压器常用来做调压器使用。

# 电子变压器（电力电子变压器）

