



上海坤友电气有限公司

SHANGHAI KUNYOU ELECTRIC CO.,LTD

# 电力谐波与治理

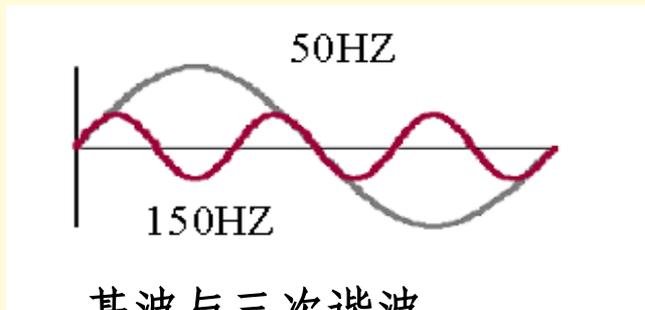
# 1、谐波的基本概念

## 什么叫谐波?

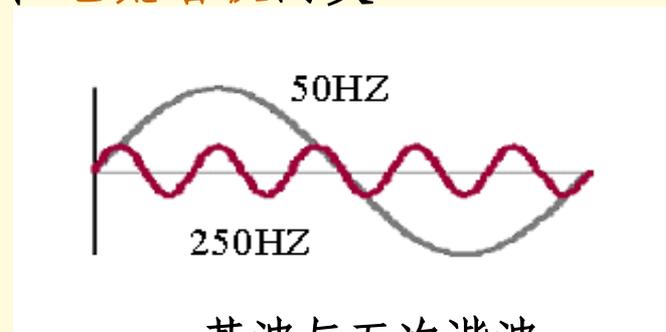
在电力系统中，可以认为除**基波** (50Hz) 外，任一周期性的信号，皆称为**谐波**。频率低于50Hz的称为**次谐波**，高于50Hz的为**高次谐波**。

**高次谐波**又常分为**偶次谐波**（频率为基波频率的偶数倍）和**奇次谐波**（频率为基波频率的奇数倍）

在电力系统中，主要存在**电压谐波**和**电流谐波**两类



基波与三次谐波



基波与五次谐波

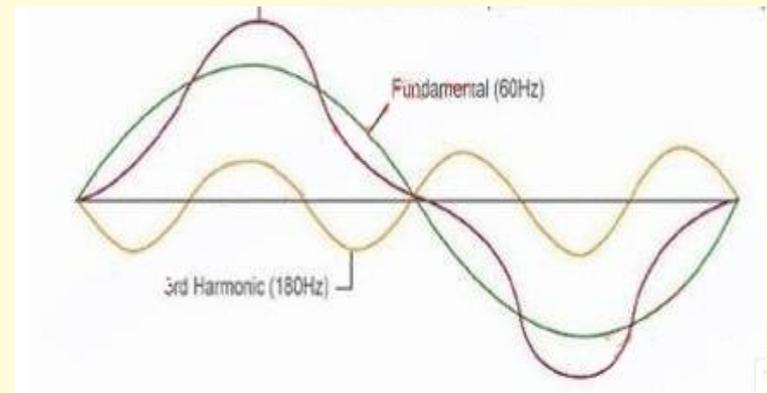
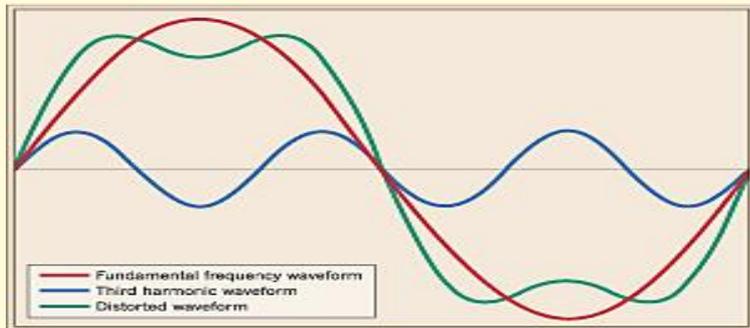
在实际电力系统中，常见的谐波是高次谐波，最常见的是奇次谐波，如3、5、7、11次等

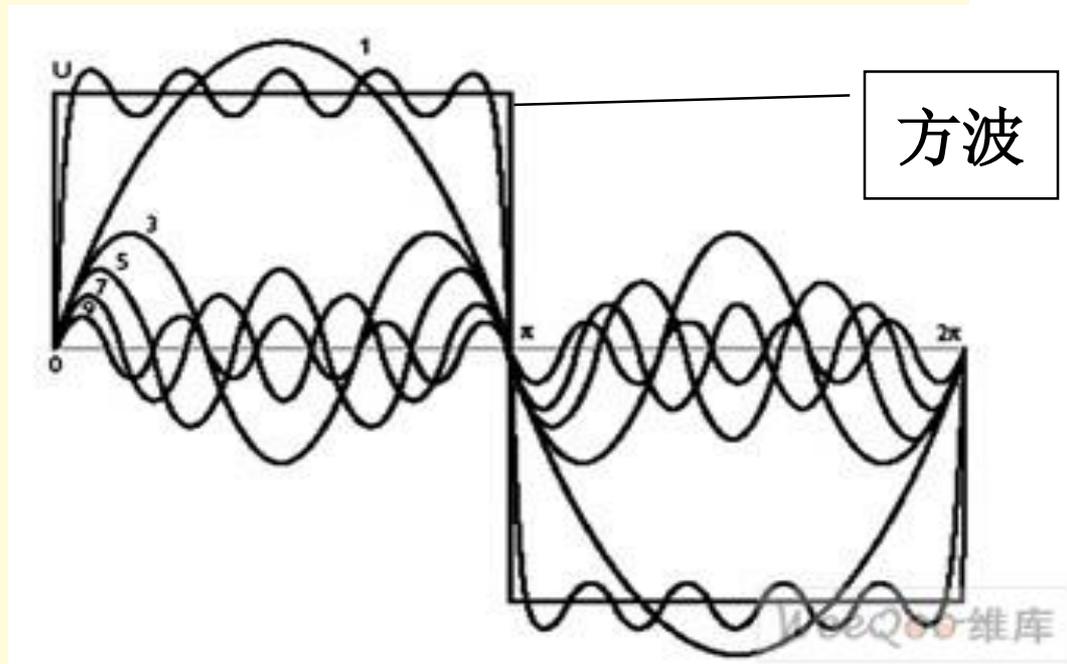
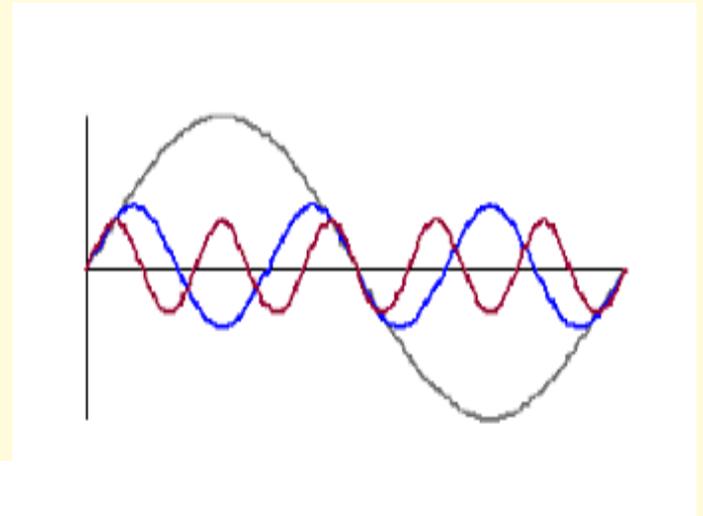
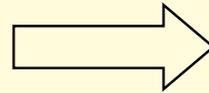
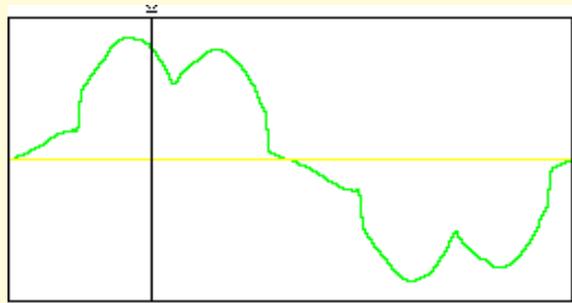
## 理论基础：

任何周期性非正弦波可以利用傅立叶级数分解为基波和谐波两部分

$$x(t) = \underbrace{a_0}_{\text{信号的均值, 直流分量}} + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{A_n}_{\text{N次谐波的幅值}} \cos(\underbrace{n\omega_0 t}_{\text{N次谐波的频率}} + \underbrace{\varphi_n}_{\text{N次谐波的相角}})$$

N次谐波





方波谐波含量丰富，但主要含有3、5、7、9等奇次谐波

## 2、电力谐波的危害

### 谐波对供电设备的危害:

- ⊙ ★ 电力变压器和发电机损耗增大, 产生过热损坏;
- ⊙ ★ 电缆过热, 绝缘老化; ⊙
- ★ 电力电容器介质损耗增大, 过热;
- ★ 中线电流增大, 过热。

### 谐波对用电设备的危害:

- ★ 敏感性负载受干扰, 计算机出错, 死机;
- ★ 保护装置异常动作, 开关误跳闸; ⊙
- ★ 伺服电机产生脉动, 交流电机产生振动, 噪音增大;
- ★ 产生线路传导电磁干扰, 数字传输故障, 通讯广播中断;
- ★ 照明设备和显示器产生闪烁。

### 波对电网的危害:

- ★ 电网的品质变坏, 波形失真增大;
- ⊙ ★ 过度地消耗电网中的无功功率和增大电流有效值;
- ⊙ ★ 电网的负担加重, 可用容量下降。

## 3、谐波的来源

### 电源本身谐波

由于发电机制造工艺的问题，致使电枢表面的磁感应强度分布稍稍偏离正弦波，因此，产生的感应电动势也会稍稍偏离正弦电动势，即所产生的电流稍偏离正弦电流。

### 由非线性负载所致（主要来源）

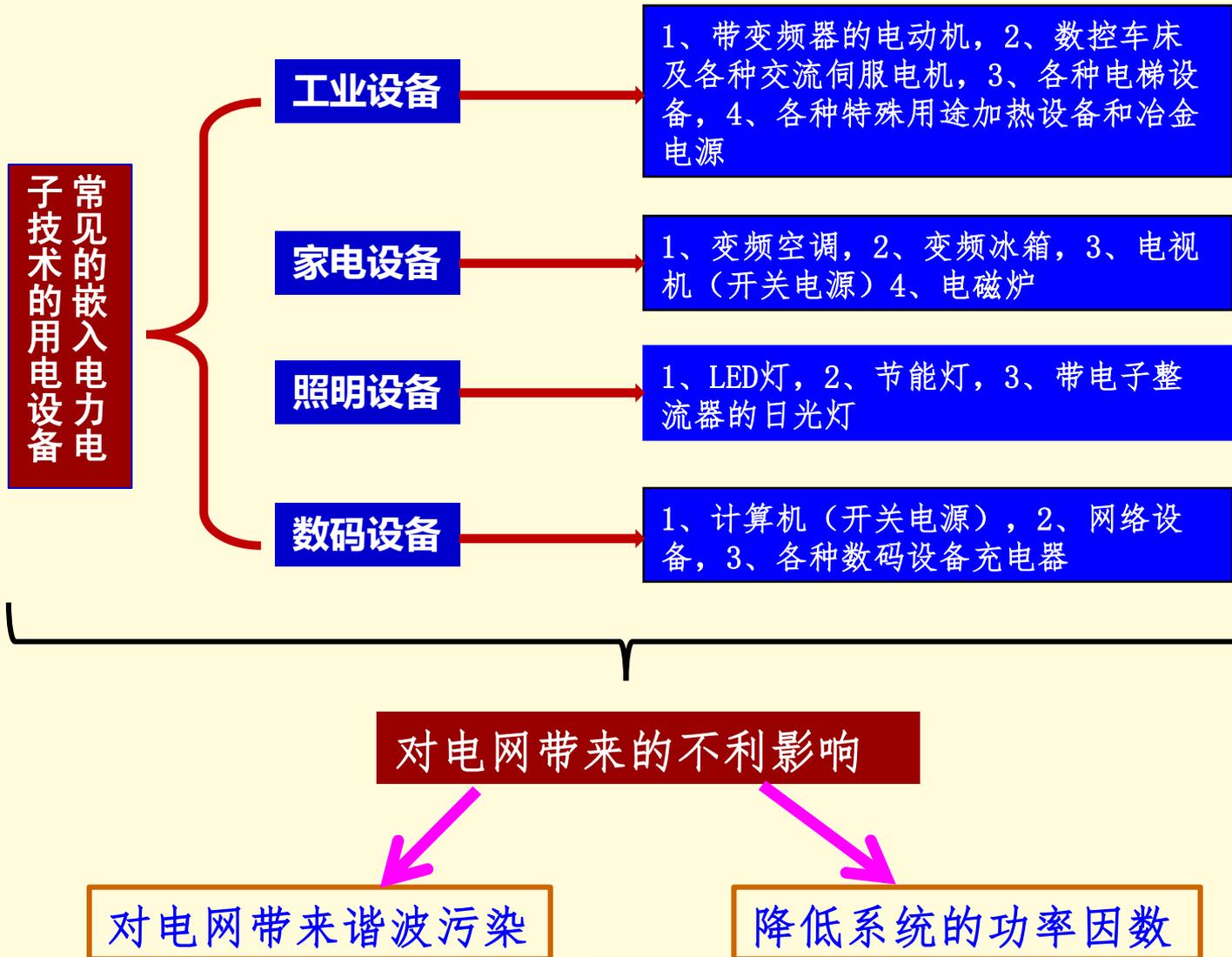
当电流流经线性负载时，负载上电流与施加电压呈线性关系；  
而电流流经非线性负载时，则负载上电流为非正弦电波，即产生了谐波。

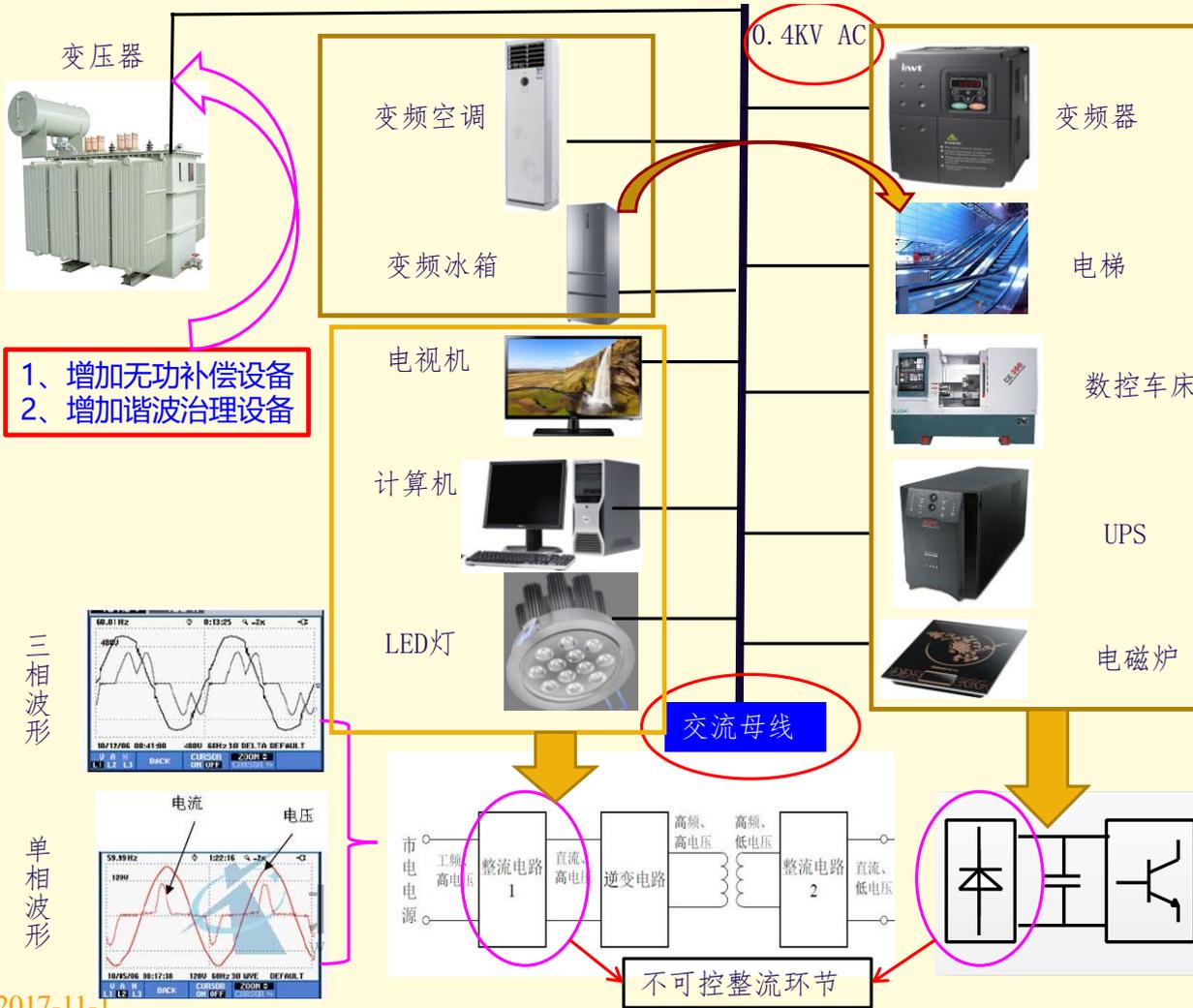
### 什么是非线性负载？

理论上讲，欧姆定律不在适用于非线性负载

- ★ 电力电子设备是**非线性负载**的主要类型，也是产生电力谐波的主要来源
- ★ 其它非线性负载：**磁路饱和的变压器；变压器空载合闸激磁涌流产生谐波；电容器组开断时瞬态过电压干扰；电焊机负荷等**

## 嵌入电力电子技术的用电设备对交流电网的影响





2017-11-1

## 嵌入电力电子技术的用电设备的特点及共性点

### 特点

主要有两类组合

AC/DC → DC/AC

AC/DC → DC/AC → 隔离 → AC/DC

### 共性点

输入环节一般都有AC/DC不可控整流环节，且一般采用电容滤波，因此其输入交流电流波形为脉动电流，谐波含量大，对电网存在谐波污染；其基波功率因数较高，但总功率因数一般不高。

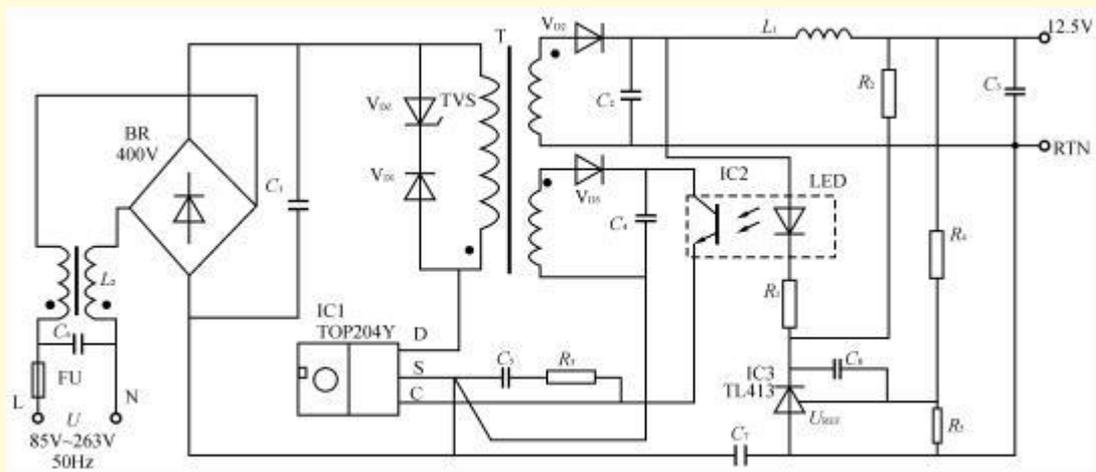
### 结论

随做电力电子用电设备应用越来越广泛和普及，谐波和功率因数成为迫切需要面对和解决的问题

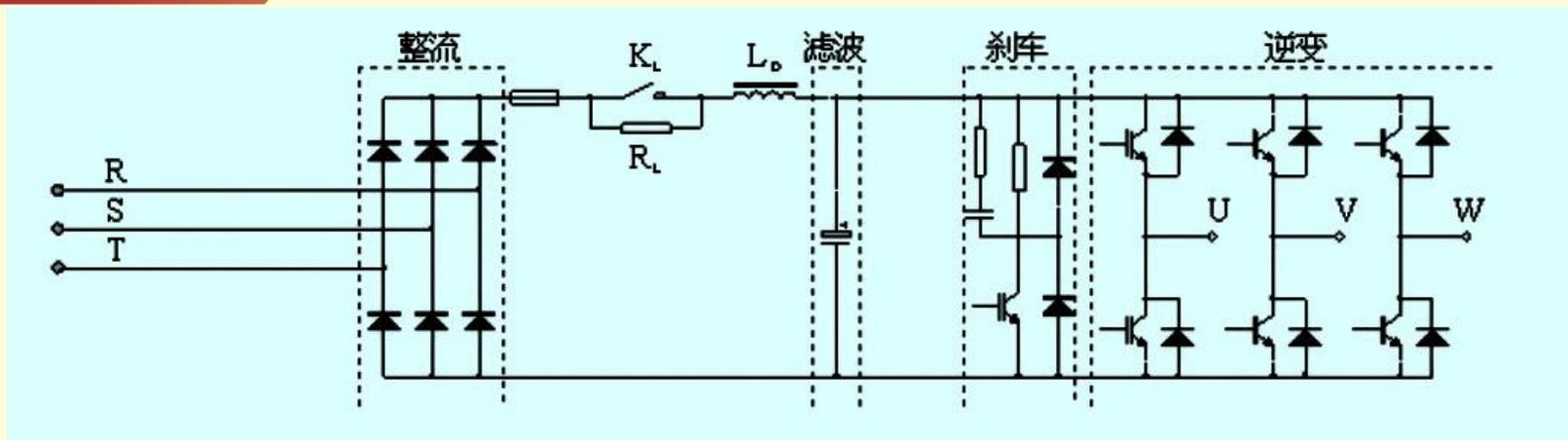
电力电子设备产生谐波的主要来源是其**整流环节** (AC/DC)

电力电子设备常用的**整流环节**:

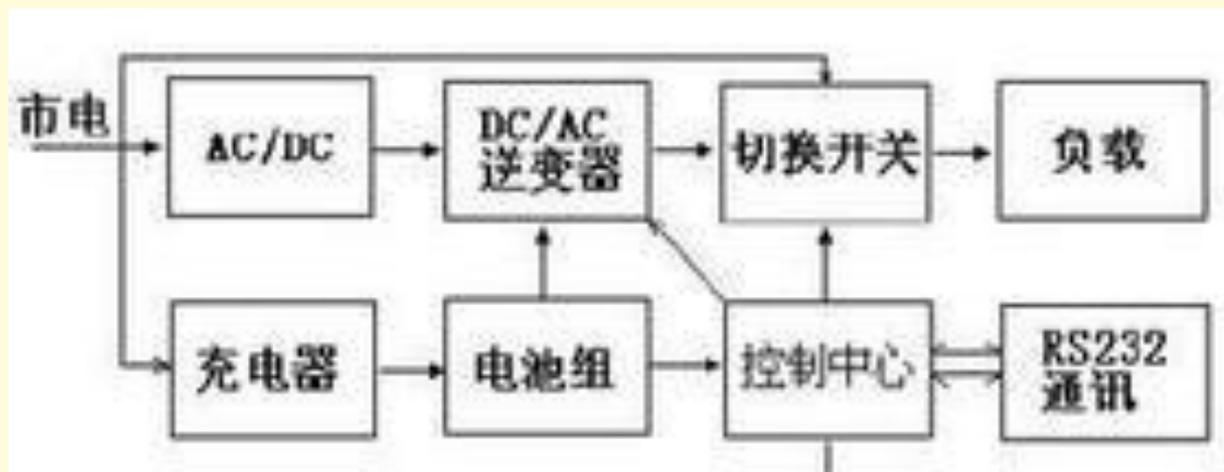
- 电容滤波的二极管不可控整流
- 电感、电容滤波的可控硅相控整流电路



开关电源电路

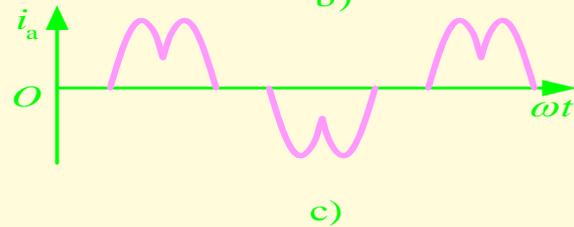
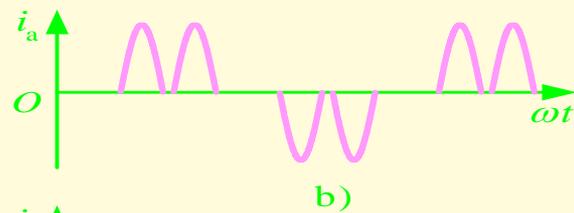
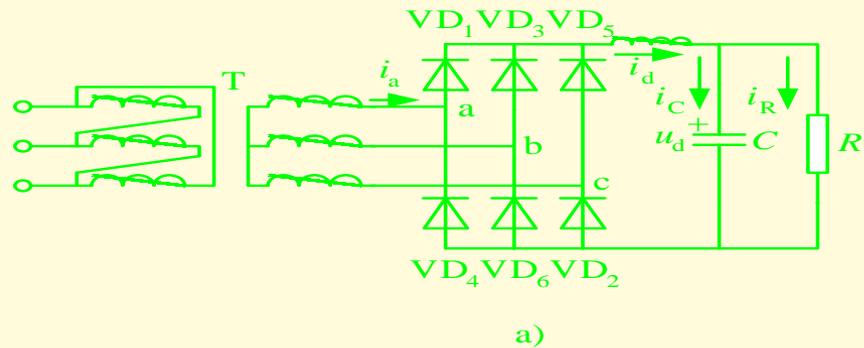
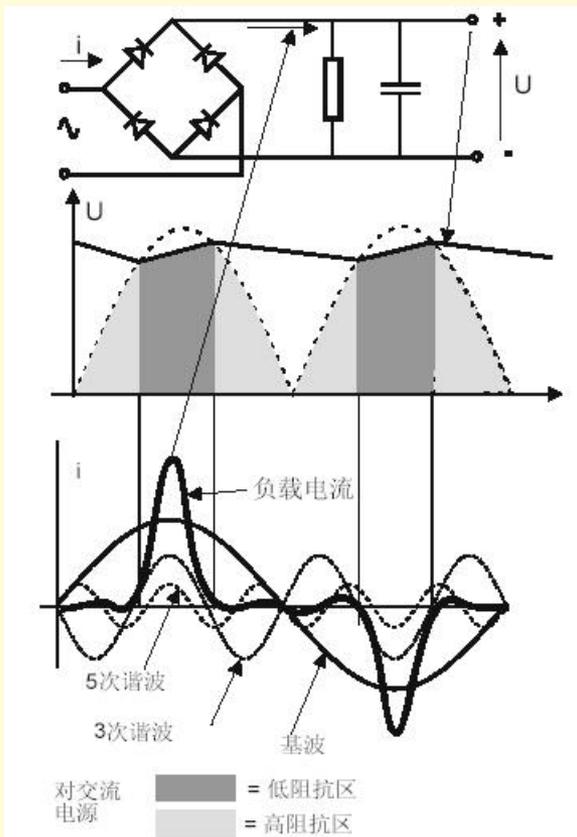


通用变频器主电路原理图

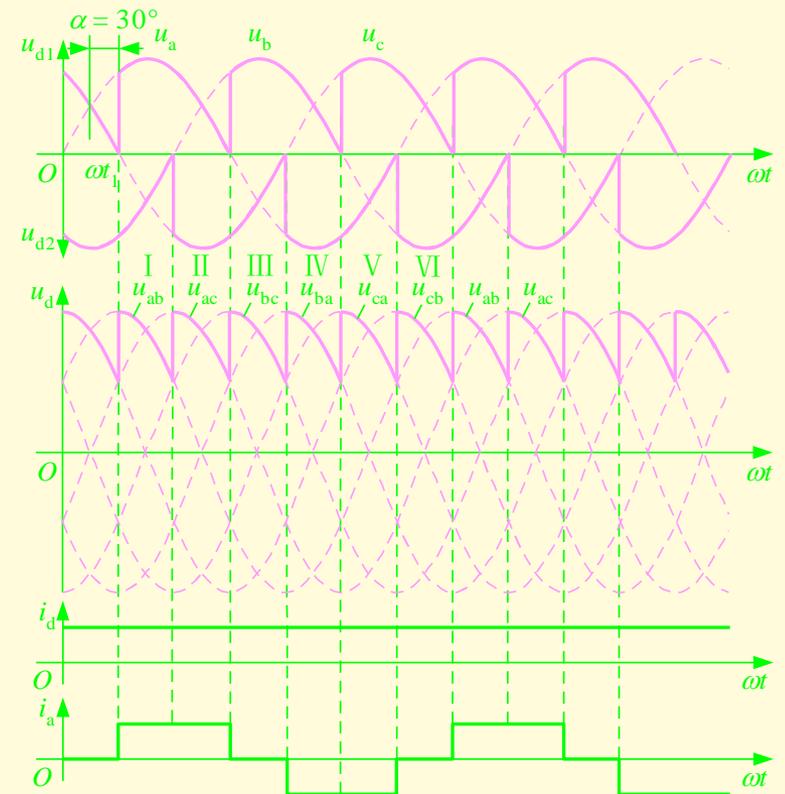
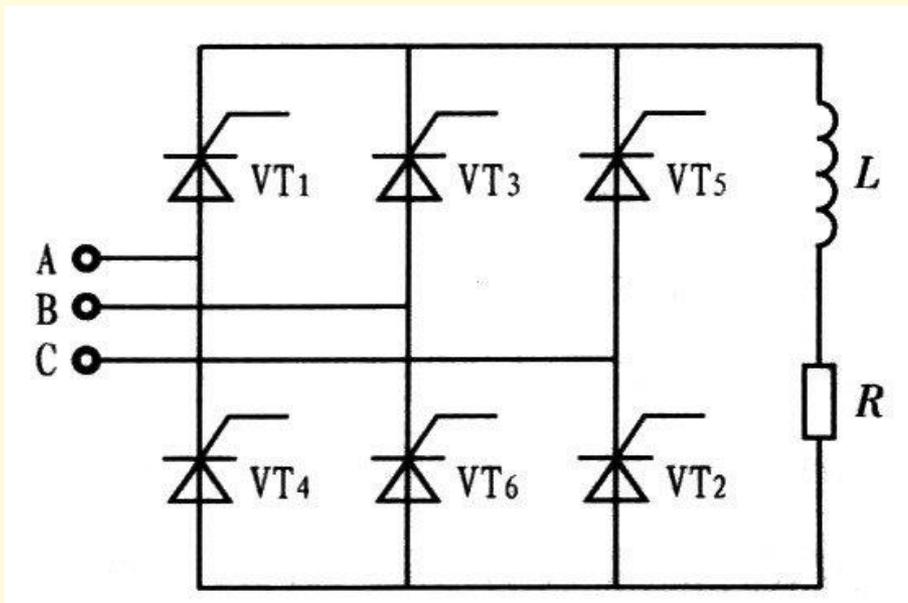


UPS电源构成图

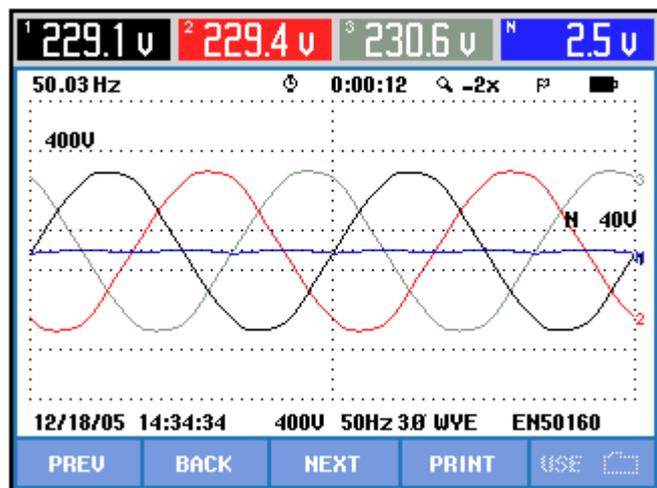
## 电容滤波二极管不可控整流电路的谐波电流波形



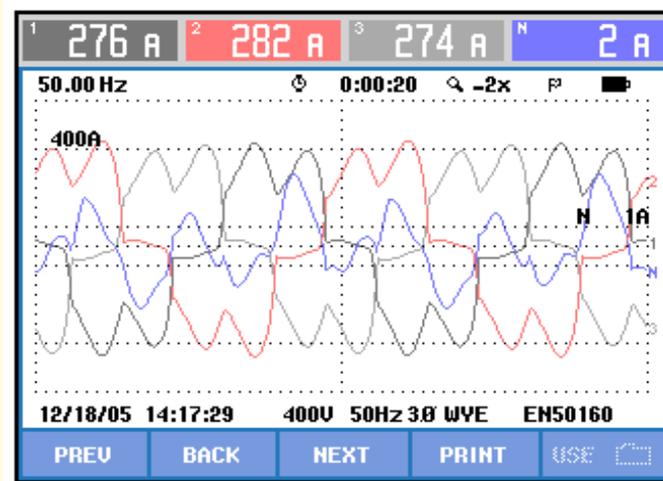
## 电感滤波的可控硅相控整流电路的谐波电流波形



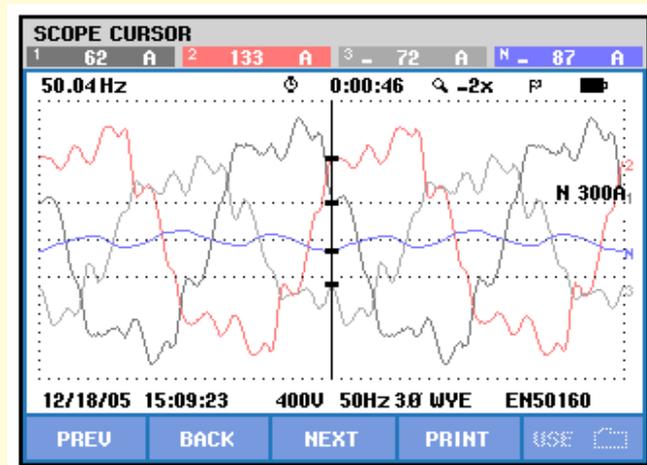
## 常用电力电子设备实测波形



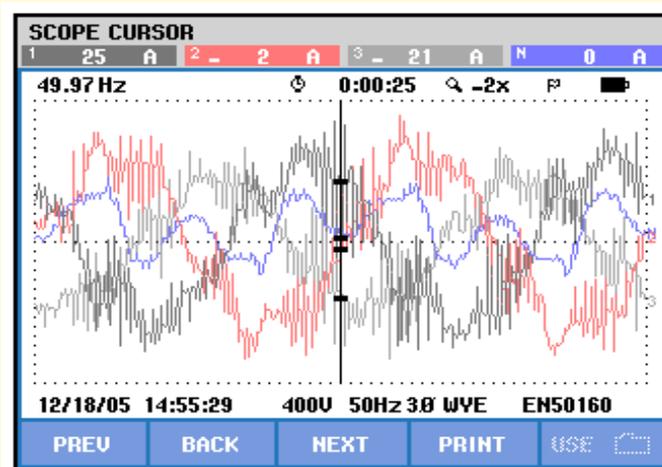
标准的正弦波形



电流波形（变频器）



电流波形（日光灯）



电流波形（电梯）

## 4、谐波的特征

### 1) 谐波的有效值(rms)

由于各次谐波电流都是正弦波，因此可以测量每次谐波的有效值，但这些正弦波的频率各不相同，为基波频率的整数倍：

$I_{H_1}$  为基波成分(50 Hz)；

$I_{H_k}$  为谐波成分，其中k 为谐波次数(50 Hz的k 倍)。

谐波分析就是要确定这些数值。

## 2) 总电流有效值

$$I_{rms} = \sqrt{IH_1^2 + IH_2^2 + IH_3^2 + \dots + IH_k^2 + \dots}$$

## 3) 各次谐波的含量

每次谐波的含量都可以用一个百分数来表示，即该次谐波电流的有效值与基波电流有效值之比，这个比率就代表了各次谐波的含量水平：

$$H_k \% = k\text{次谐波的失真度} = \frac{IH_k}{IH_1} \times 100 \%$$

#### 4) 谐波失真度或谐波畸变率

$$THD \% = \text{总失真度} = \frac{\text{所有谐波的有效值}}{\text{基波的有效值}} \times 100\%$$

$$THDI \% = \frac{\sqrt{IH_2^2 + IH_3^2 + IH_4^2 + \dots + IH_k^2 + \dots}}{IH_1} \times 100\%$$

$$THDI \% = \sqrt{H_2^2 + H_3^2 + H_4^2 + \dots + H_k^2 + \dots} \times 100\%$$

## 5) 功率因数

### (1) 功率因数(Power Factor)

功率因数为给定非线性负载两端的有功功率(kW)和视在功率(kVA)之比:

$$\lambda = \frac{P(kW)}{S(kVA)}$$

### (2) 基波电流和基波电压之间的相移

只有基波电压和基波电流为正弦波时, 它们之间的相移可以定义为:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1(kW)}{S_1(kVA)}$$

### (3) 失真因数(Distortion Factor)

失真因数定义为:

$$D = \sqrt{1 + THDI^2} = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1}$$

## 5、谐波治理方法

### (1) 治理主要途径

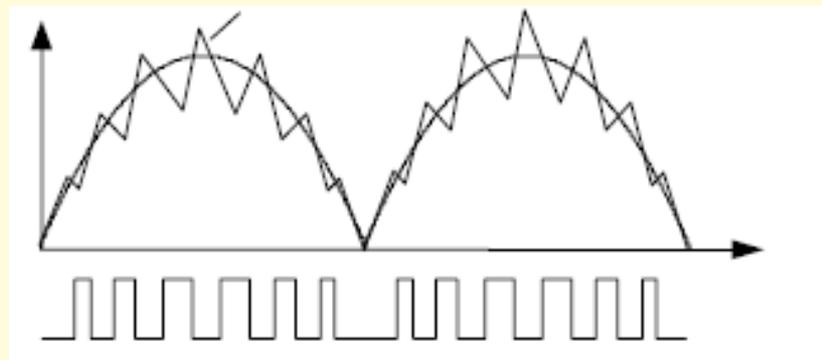
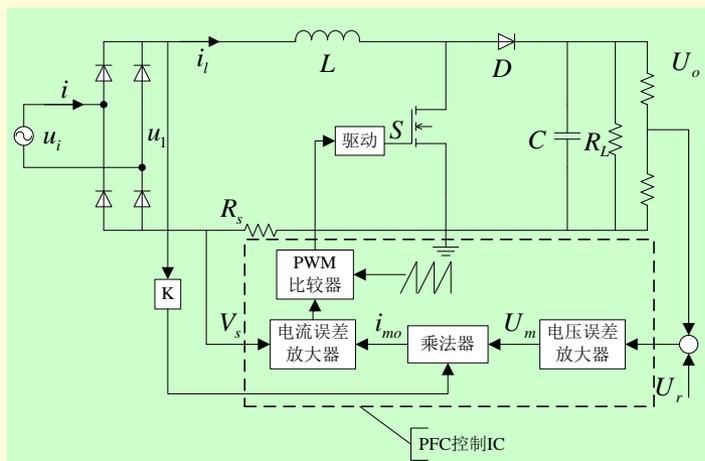
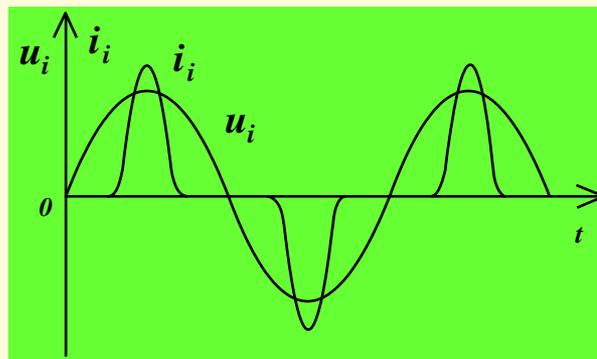
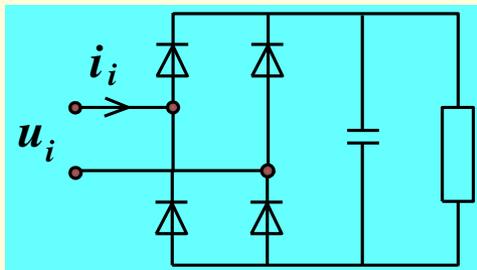
#### ● 内部治理

直接从电力电子装置内部进行改造，主要针对整流环节进行功率因数校正，目前主要方法是功率因数校正电路或高频整流技术

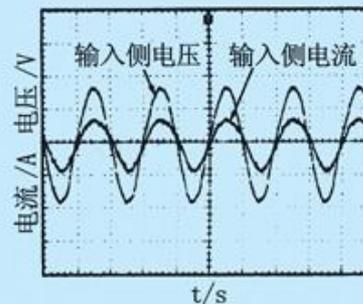
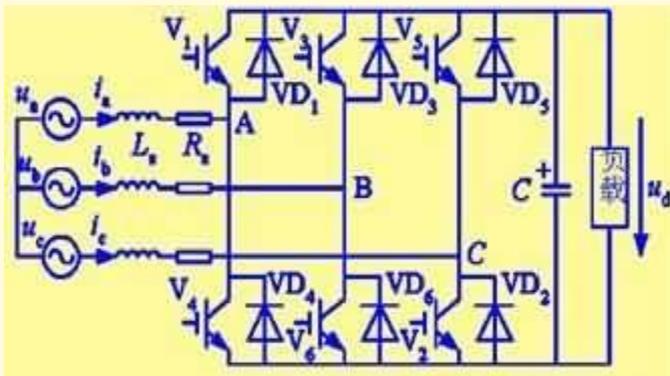
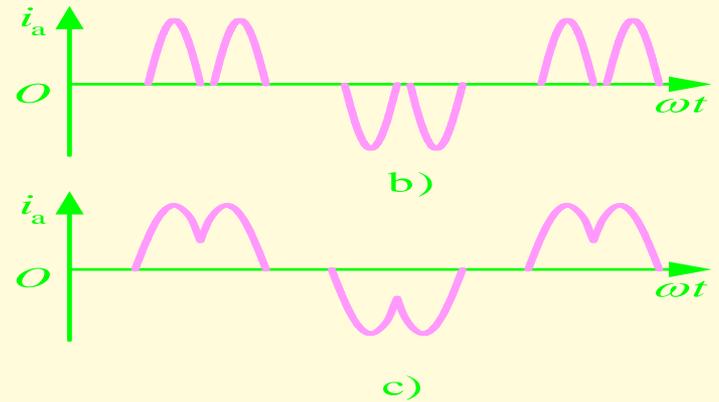
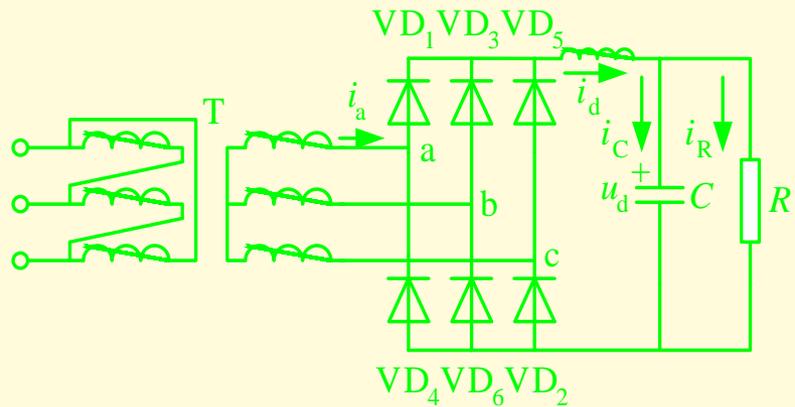
#### ● 外部治理

从装置的外部治理，主要途径是通过滤波，抑制和减少谐波含量，目前主要方法无源滤波和电力有源滤波

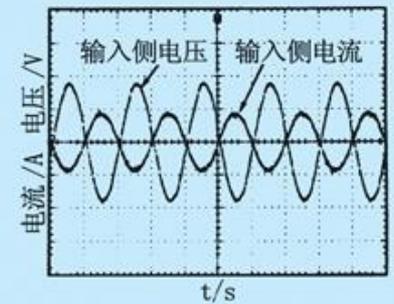
## 功率因数校正技术和高频整流技术



### 单相功率因数校正技术



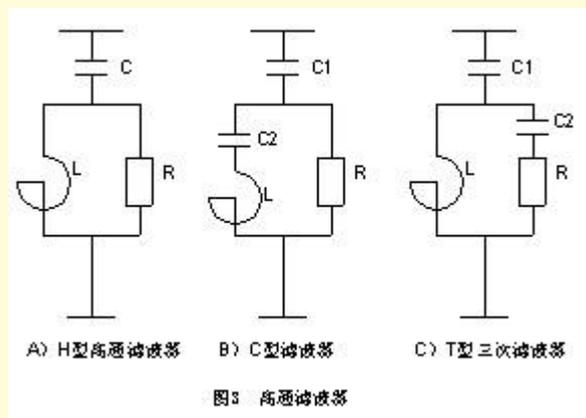
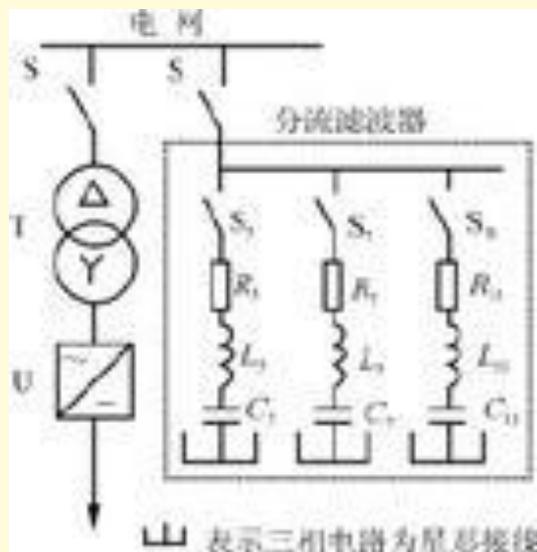
(a) 整流状态时的电压电流



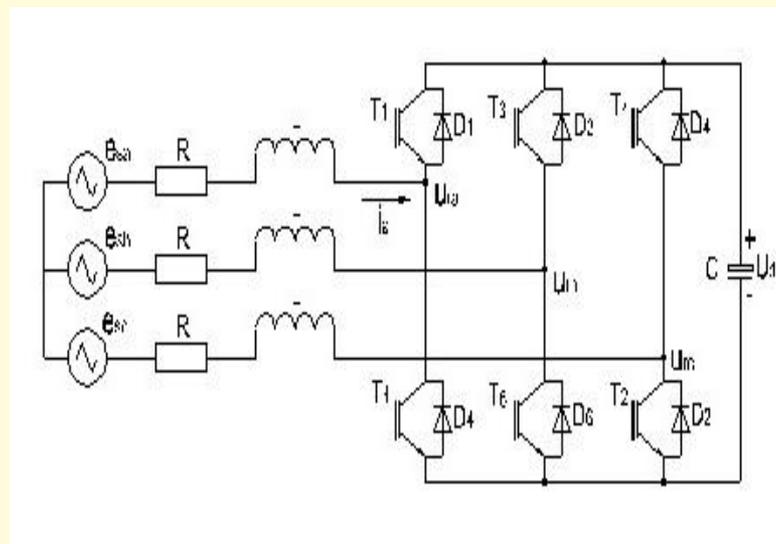
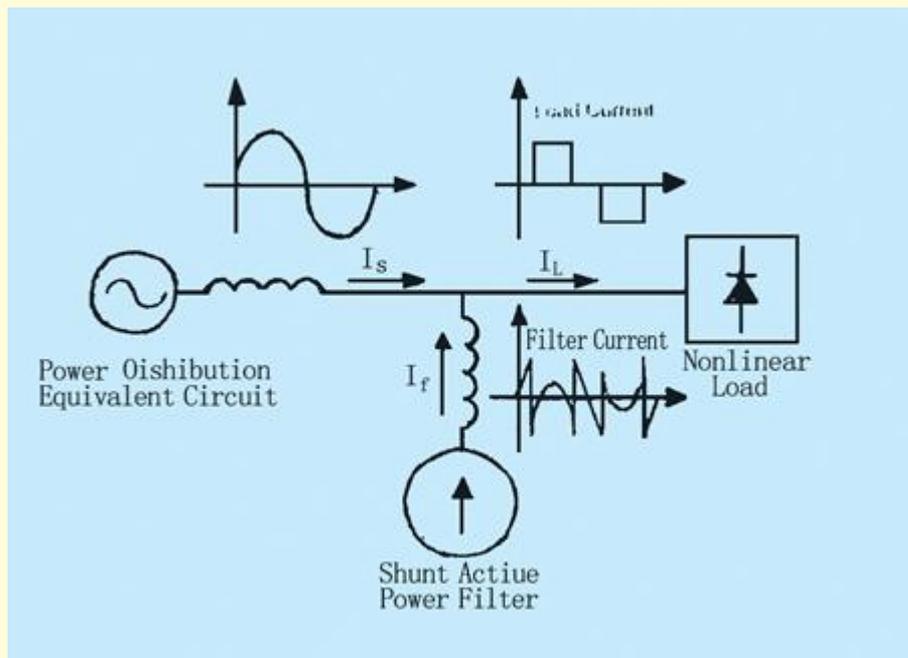
(b) 逆变状态时的电压电流

## 三相高频整流技术

## 谐波外部治理---滤波



## 无源滤波方式



## 电力有源滤波技术

## (2) 治理主要方式

- **集中治理——保护变压器的所有非线性设备；**

当非线性负荷容量与配电变压器容量的比例超过50%，分布区域较广且自然功率因数较高时，宜在变压器低压侧配电母线上集中装设。

- **分散治理——保护区域内少量的非线性设备；**

仅在一个区域内有较分散且容量较小的非线性负荷时，宜在配电箱母线上装设。

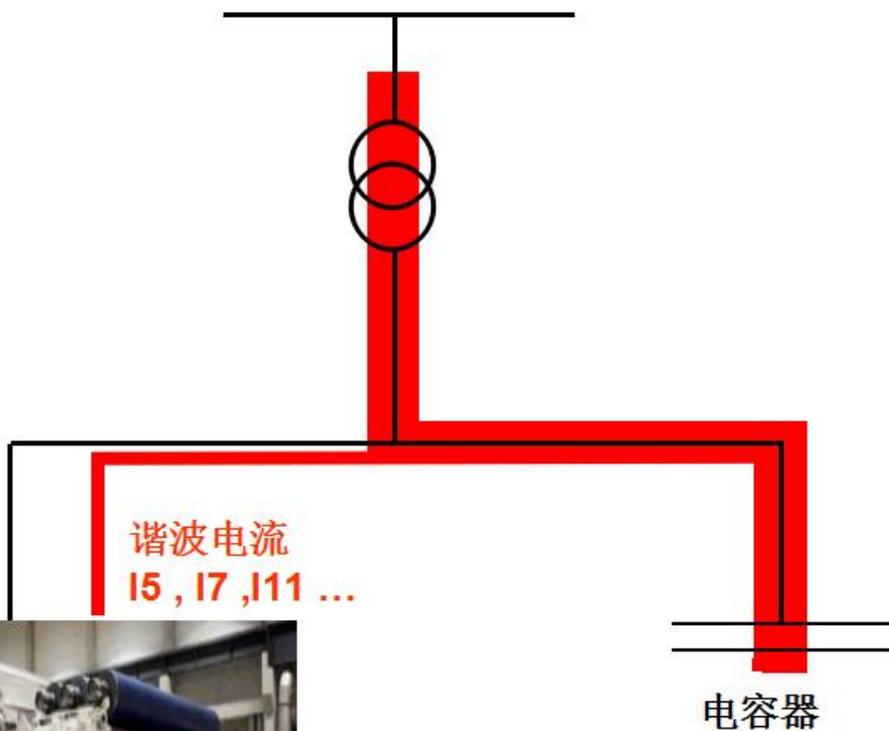
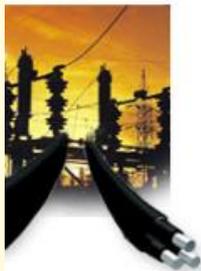
- **就地治理——保护局部区域内的几台重要的非线性设备。**

仅有几台大容量的非线性设备，宜在每台谐波源处就地配装。

## 5、关于谐波与无功补偿电容器的关系

- 造成电容器过电流
- 与系统产生并联谐振
- 与系统产生串联谐振
  
- 造成电容器故障
- 增大谐波对电网的影响

## 与系统产生并联谐振



- 造成电容器故障
- 增大谐波对电网的影响

## 与系统产生并联谐振



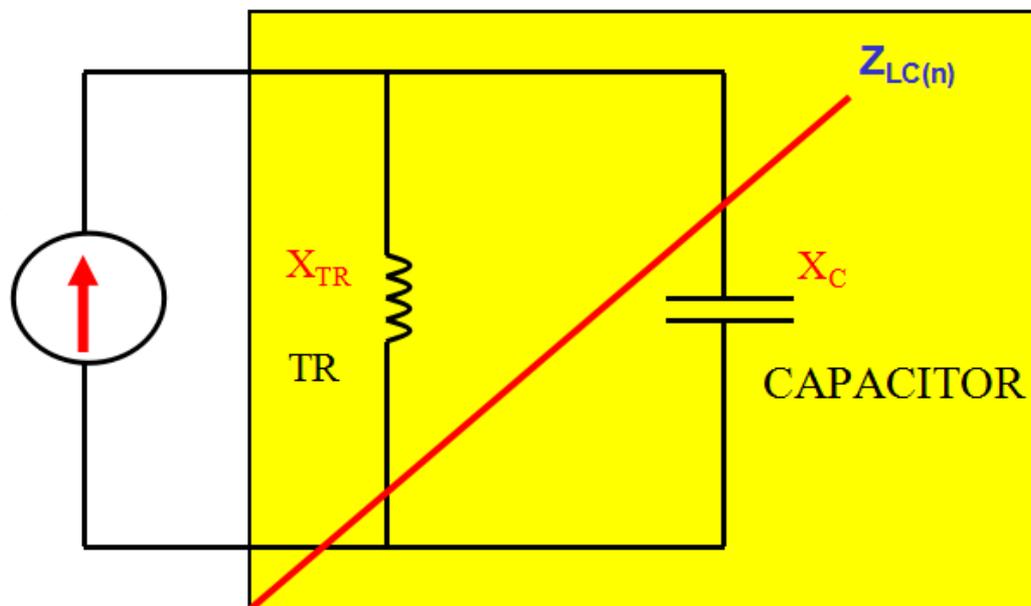
Load

Harmonic

I5

I7

...

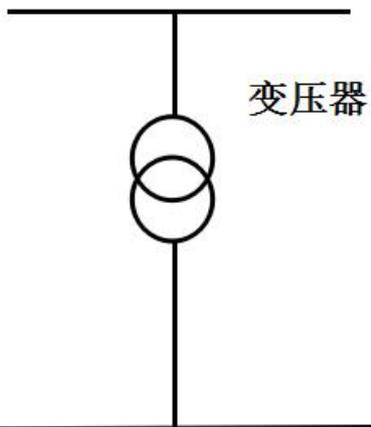


$$Z_{LC(n)} = \frac{X_{TR(n)} \times X_{C(n)}}{0}$$

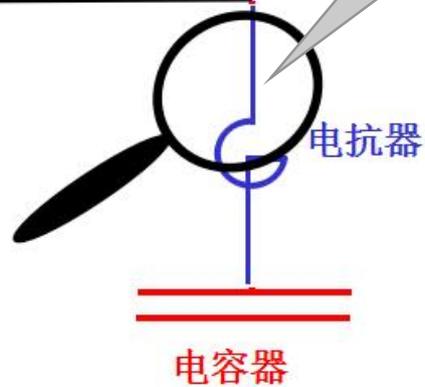
当  $X_{TR(n)} = X_{C(n)}$  时

$Z_{LC(n)}$  的阻抗为无限大

## 如何避免谐波电流对电容器的影响？



谐波电流  
15, 17, 111 ...

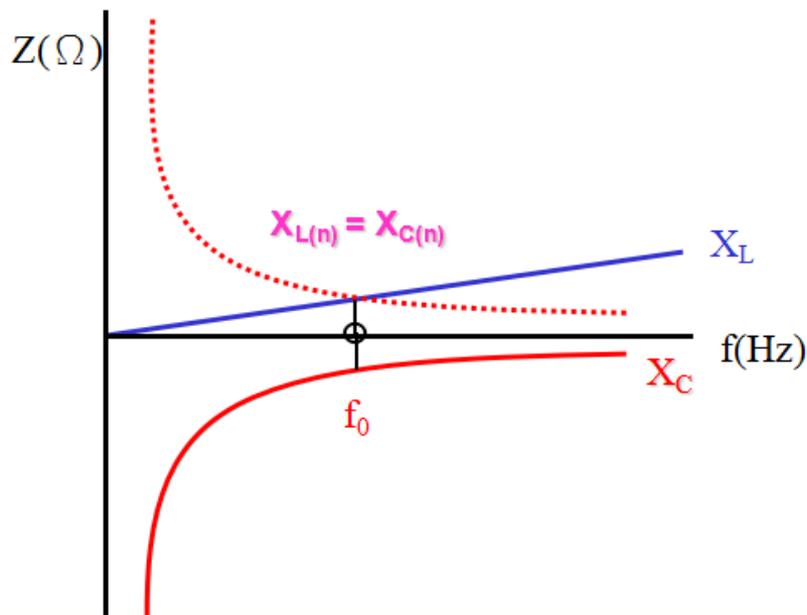
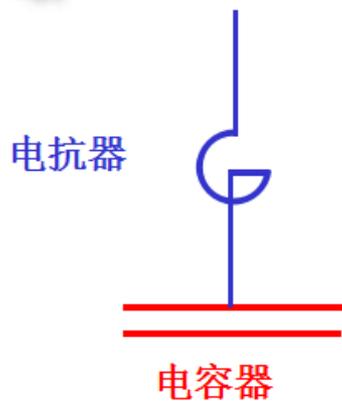


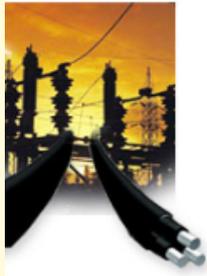
增加电抗器



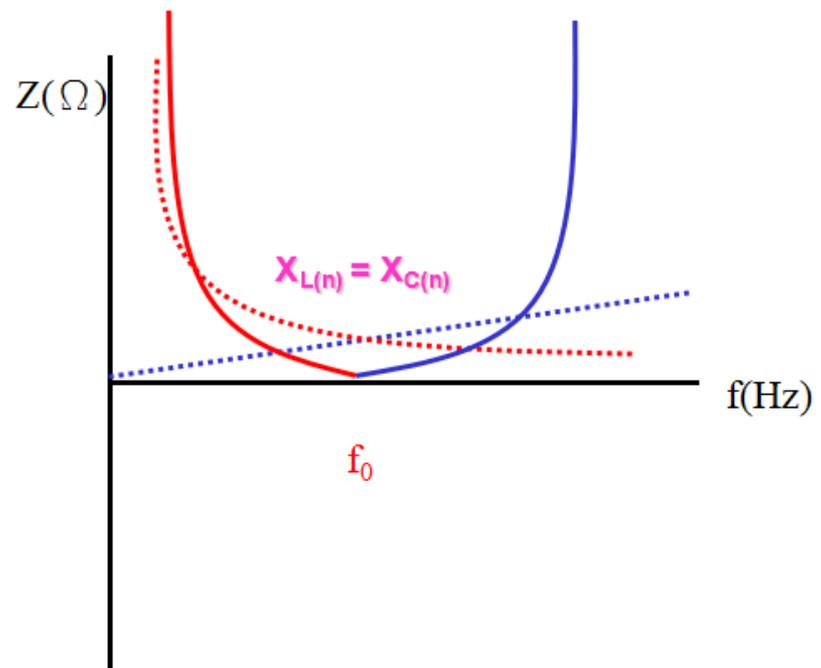
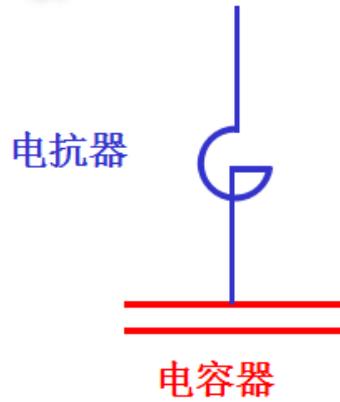
$$X_{L(n)} = 2 \times \pi \times f_n \times L$$

$$X_{C(n)} = \frac{1}{2 \times \pi \times f_n \times C}$$





$$Z_{LC(n)} = X_{L(n)} - X_{C(n)}$$





## 谐波治理应用行业

- 电梯及提升系统
- 污水处理系统
- 酒店、医院
- 水泥行业
- 焊机系统
- 石化行业
- 隧道通风
- 矿井、油田等等
- 风力发电站
- 冶金业
- 建材
- 橡胶行业
- 汽车工业
- 造纸业
- 计算机中心
- 轨道交通
- 变频驱动设备
- 智能建筑
- 烟草行业
- 造船业
- 纺织
- 不间断电源 (UPS)



上海坤友电气有限公司

SHANGHAI KUNYOU ELECTRIC CO.,LTD