

---

# IDC通信数据中心电能质量解决方案



上海坤友电气有限公司

# 主要内容

---

- 电能质量问题概述
- 电信行业谐波问题介绍
- 基于KYXBQ谐波保护装置的电能质量优化
- 针对电信行业的谐波治理方案
- 典型案例测试分析

---

# 电能质量问题概述

# 电能质量 (Power Quality)概述

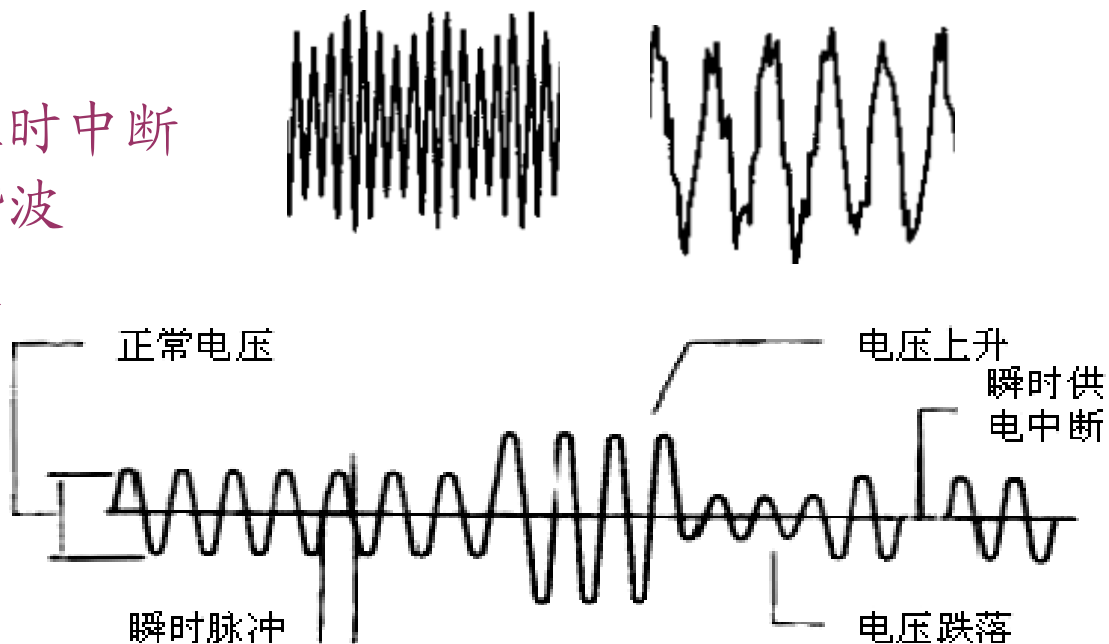
- 电能质量问题定义：一种偏差
  - 电压或电流的幅值、频率、波形等参量距规定值的偏差
  - 供电质量/用电质量
  - 电压质量/电流质量
- 常见的电能质量问题

- 电压相关：

- 跌落、骤升、短时中断
- 电压不平衡与谐波
- 电压波动与闪变

- 电流相关：

- 无功
- 谐波
- 三相不平衡



# 谐波定义

---

- “谐波（分量）为对周期性交流分量进行傅立叶分解，得到频率为基波频率大于1整数倍的分量。”
  - 国标《电能质量 公用电网谐波GB/T 14549-93》的定义
- 谐波次数：谐波频率与基波频率的比值（ $n=f_n/f_1$ ）。
- 通俗的将分解后的谐波称为n次谐波
  - n即是谐波次数。
  - 一般指从2次到50次范围，如5次谐波电压（电流）的频率是250赫兹；超过13次的谐波称高次谐波。

# 谐波分析与计算-傅立叶分解

- 傅立叶级数是研究和分析谐波畸变的有效方法，任何周期波形都可被展开为傅立叶级数：

$$f(t)=A_0+\sum_{K=1}^{\infty} [A_k\cos(k\omega_0t)+B_k\sin(k\omega_0t)] \quad (\text{式1})$$

$$=A_0+\sum_{K=1}^{\infty} C_k\sin(k\omega_0t+\phi_k) \quad (\text{式2})$$

$$A_0= \frac{1}{T} \int_0^T f(t)dt= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t)dx \quad (x=\omega_0t) \quad \text{式3}$$

$$A_k= \frac{2}{T} \int_0^T f(t)\cos(k\omega_0t)dt= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t)\cos(kx)dx \quad \text{式4}$$

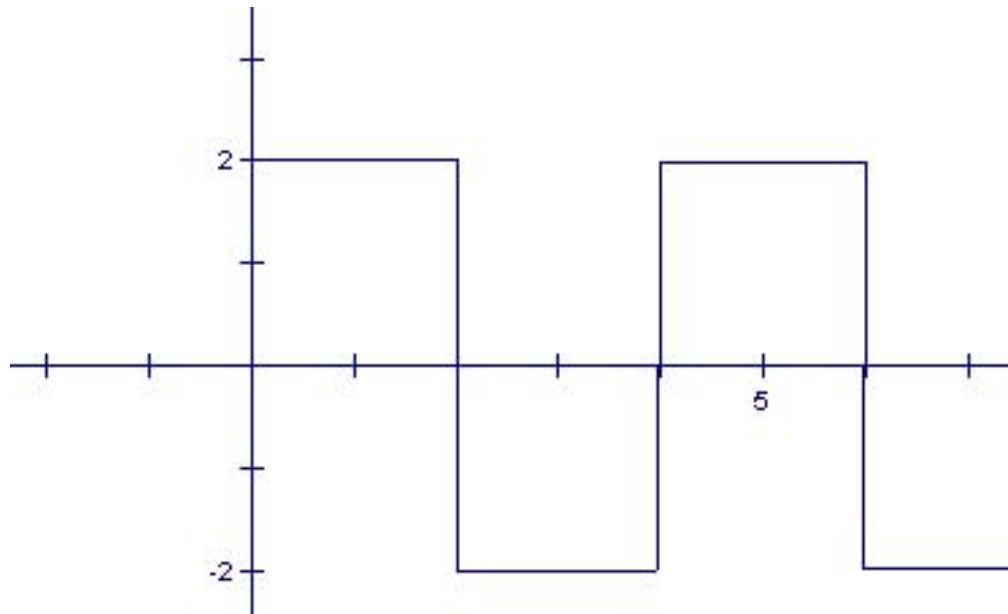
$$B_k= \frac{2}{T} \int_0^T f(t)\sin(k\omega_0t)dt= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t)\sin(kx)dx \quad \text{式5}$$

$$C_k= \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad \text{式6} \quad \phi_k=\arctan\left(\frac{A_k}{B_k}\right) \quad \text{式7}$$

# 谐波分析与计算

- 例如有方波函数，周期为4， $n$ 为整数：

$$\begin{cases} f(t) = 2 & 4n \leq t < 4n + 2 \\ f(t) = -2 & 4n + 2 \leq t < 4n + 4 \end{cases}$$

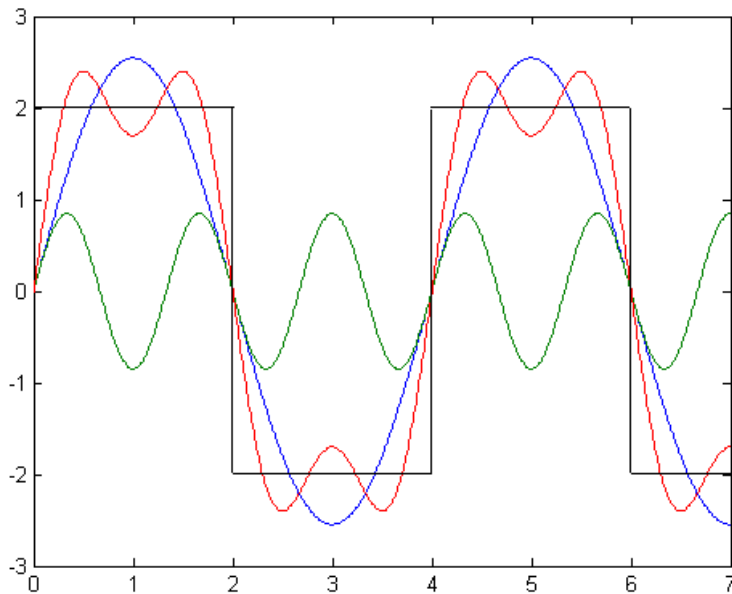


# 谐波分析与计算

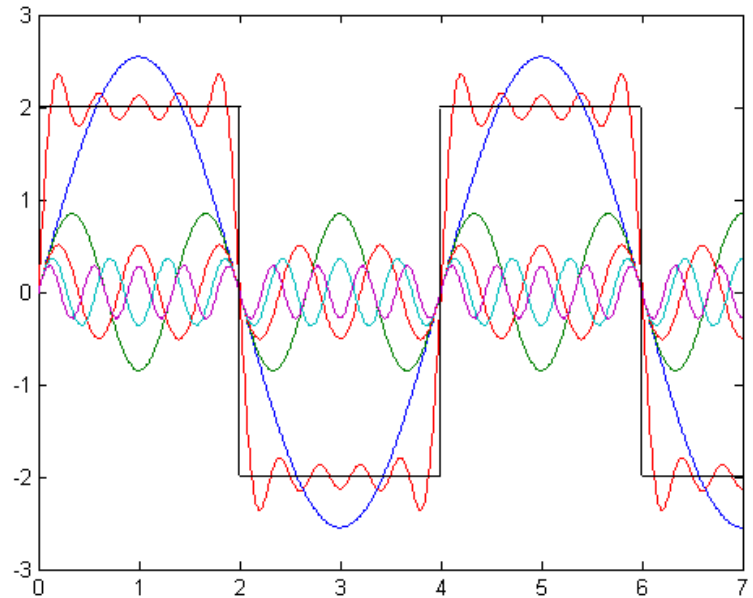
## ■ 傅立叶级数展开:

$$f(t) = \frac{8}{\pi} \left[ \sin \frac{\pi}{2} t + \frac{1}{3} \sin \frac{3\pi}{2} t + \frac{1}{5} \sin \frac{5\pi}{2} t + \dots + \frac{1}{2n-1} \sin \frac{(2n-1)\pi}{2} t + \dots \right]$$

1、3次合成图形



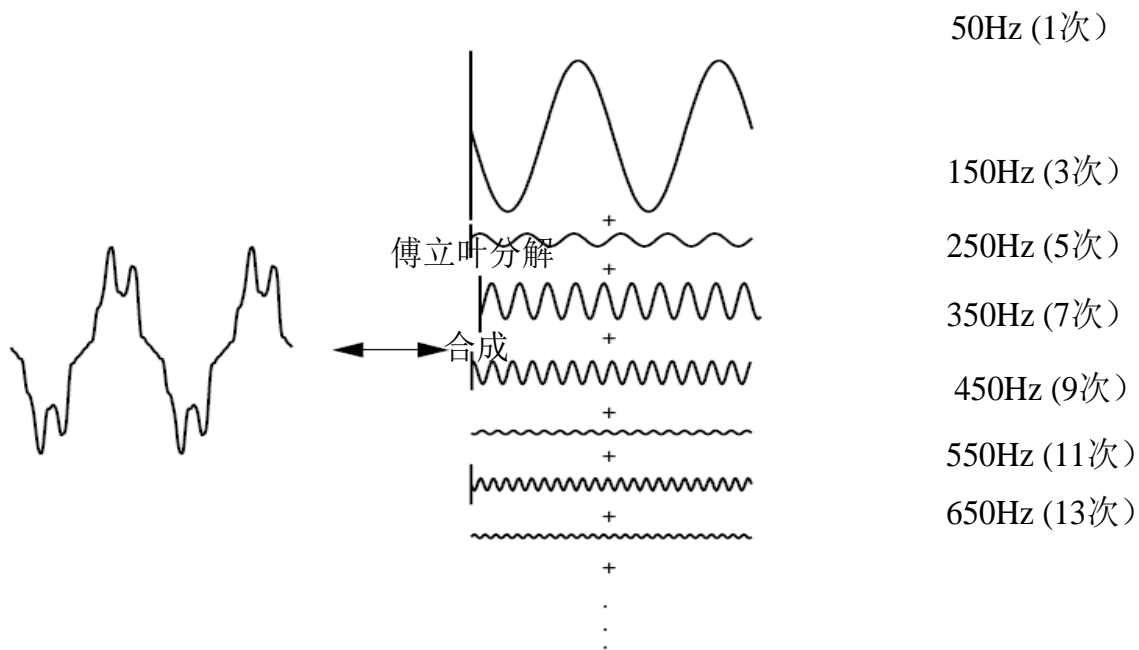
1~9次共5次合成图形





# 谐波的分解

## ■通常只关心各次谐波的幅值—频谱



- ▶ 波形正负半波对称 — 只产生奇次谐波  
例外情况：半波整流、电弧炉
- ▶ 在电力系统当中，高次谐波(例如50次以上) 通常较少考虑  
例外情况：谐振

# 谐波的参数定义

- 有效值  $I = \sqrt{I_0^2 + \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$       谐波含量  $I_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}$
- 第h次谐波含有率  $THDI_h = I_h / I_1 \times 100\%$
- 谐波电流总畸变率  $THDI = I_H / I_1 \times 100\%$
- 峰值因数    CF=峰值/有效值
  - 峰值因数对UPS容量有一定影响，举例分析如下：
  - 对于200kVA UPS，其额定电流 $I_n=303A$ ，若其峰值因数CF=3:1，则：UPS可承受峰值电流为 $303A \times 3 = 909A$
  - 如果负载峰值因数为3.5:1，那么UPS对于该负载所提供的最大电流有效值为： $909A / 3.5 = 259.7A$

$$\text{于是的功率折算} = \frac{259.7}{303} = 85.7\%$$

# 谐波电路功率因数定义

- 功率因数定义:  $PF = \frac{P}{S}$ ,  $S = UI = \sqrt{(U_0^2 + \sum_{h=1}^{\infty} U_h^2)(I_0^2 + \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2)}$
- 对线性电路
  - 功率因数降低是由于基波电压与基波电流产生相移造成的, 功率因数表达式为:
$$PF = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$
- 对非线性电路
  - 所有高次谐波电流产生的功率都是无功, 则电路的功率因数表达式为:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{VI_1 \cos \varphi_1}{VI} = \frac{I_1 \cos \varphi_1}{I} = r \cos \varphi_1$$

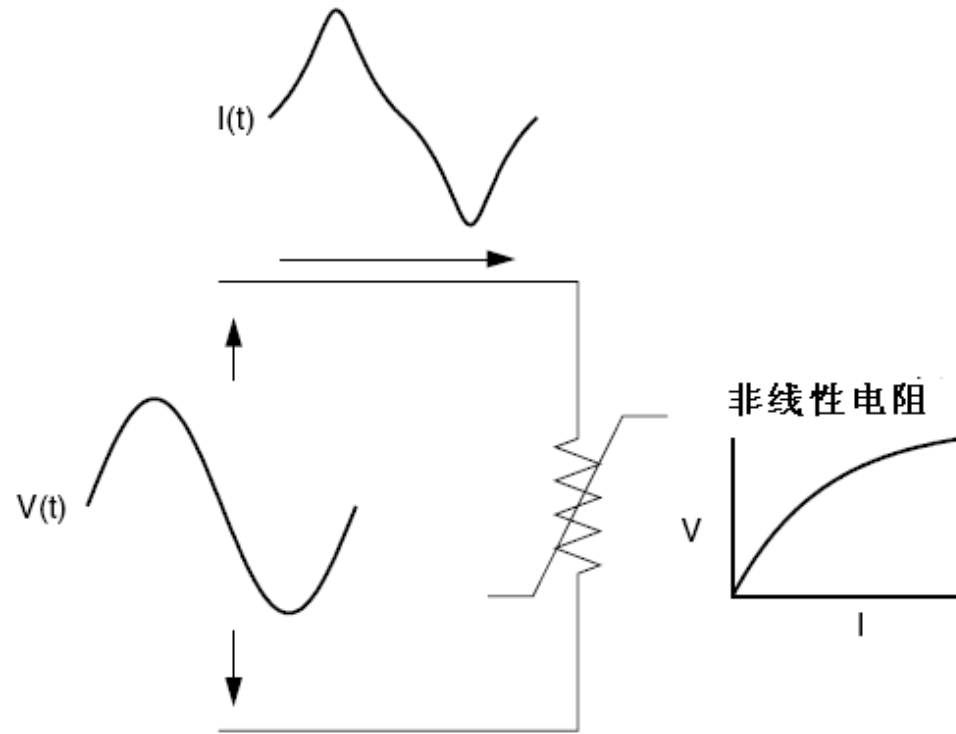
$$r = \frac{I_1}{I} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDI^2}}$$

式中, r定义为基波因数, 在UPS输入整流电路中, 基波电流相移很小,  $\cos \varphi_1 \approx 1$ , 低功率因数主要是由r造成的, 因此讨论其功率因数是容性还是感性是没有意义的。

# 谐波电流的产生

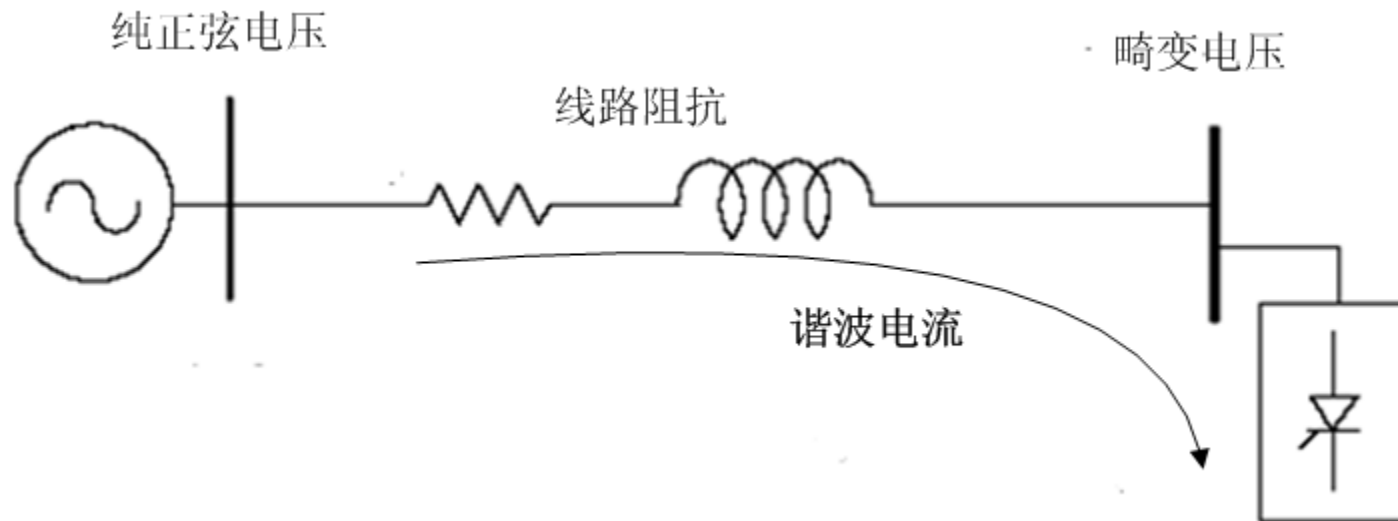
- 大部分情况下，用电设备的非线性是谐波电流产生的主要原因

- 整流器和整流设备
- UPS电源设备
- 空调
- 办公设备
  - 计算机、
  - 复印机、打印机
  - 传真机、影视设备等
- 电梯、电子式照明设备
- 电机设备、变频设备
- .....



# 谐波电流和谐波电压

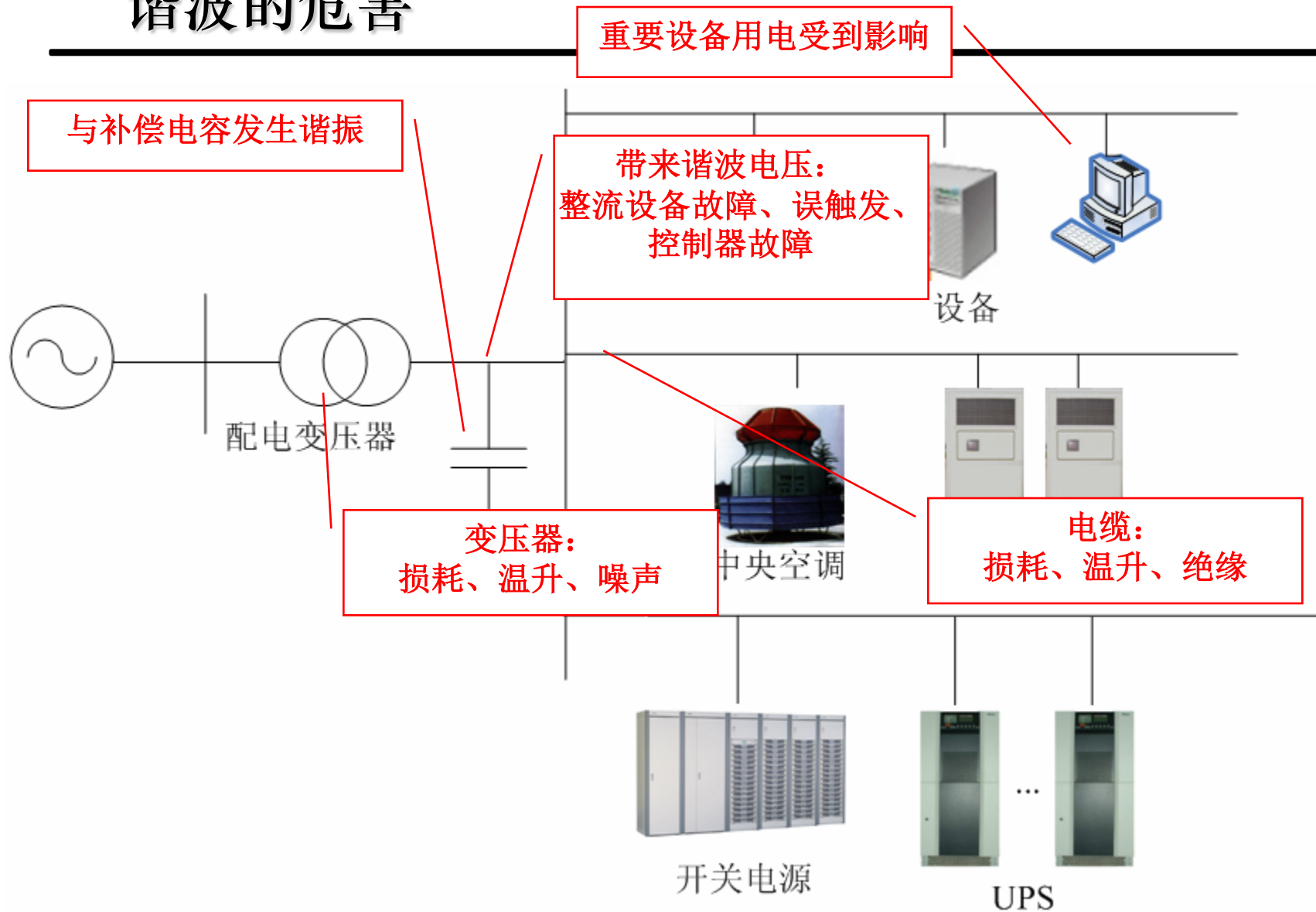
- 谐波电流：主要为终端用户负荷引起
- 负荷母线的畸变电压：谐波电流流过线路阻抗引起



## ➤ 谐波治理责任 (IEEE Standard 519-1992)

- ✓ 用户责任：控制注入电网的谐波电流
- ✓ 电力公司责任：在用户注入电网的谐波电流合格的前提下，控制线路的阻抗水平

# 谐波的危害



# 谐波的危害

---

- **对发电设备的危害**：谐波干扰增大发电机的损耗，产生寄生转矩，降低了机械能向电能转换的效率；谐波在线圈绕组和转子阻尼线圈中产生额外的损耗，产生振动和发出异常的噪音。发电机中THDI必须小于等于20%，否则发电机的功率也必须进行折算；
- **对输电设备的危害**：损耗增加（集肤效应）、引发谐振（线路电感、对地电容）、中线电流增大、影响线路的稳定运行（继电保护的误动或拒动）；
- **对供电设备的危害**：损害电容、变压器降容（铜损、涡流损耗与导体外部因漏磁通引起的杂散损耗）、降低可靠性、影响电力测量的准确性；
- **对用电设备的危害**：视在功率增大、干扰敏感性的电子设备；
- **对人体的危害**：人体细胞在受到刺激兴奋时，细胞膜静息电位会发生快速电波动或可逆翻转，其频率如果与谐波频率相接近，电网谐波的电磁辐射就会直接影响人的脑磁场与心磁场，引起不适，甚至诱发疾病，危害人体健康；
- **能源的浪费**：谐波的存在可增大视在功率、降低功率因数，大量浪费电能；

# 其他电能质量问题

---

- 无功一对应参数：功率因数
  - 感性或容性负荷
- 三相不对称一对应参数：三相不平衡度
  - 对称分量法
  - 三相不平衡负荷
  - 《电能质量 三相电压允许不平衡度》(GB/T15543-1995) 规定：PCC点正常运行方式下允许值2%，短时4%
- 中线电流
  - 基波零序
  - 3次及3次的整数倍谐波



# 国家电能质量标准

- 1988年颁布《电网电能质量技术监督管理规定》  
确定原则：“谁干扰，谁污染，谁治理”
- 迄今为止，已经制定并颁布系列电能质量标准

标准编号	标准名称
GB 12325-1990	供电电压允许偏差
GB 12326-2000	电压波动和闪变
GB/T 14549-1993	公用电网谐波
GB/T 15543-1995	三相电压允许不平衡度
GB/T 15945-1995	电力系统频率允许偏差
GB/T 18481-2001	暂时过电压和瞬态过电压

---

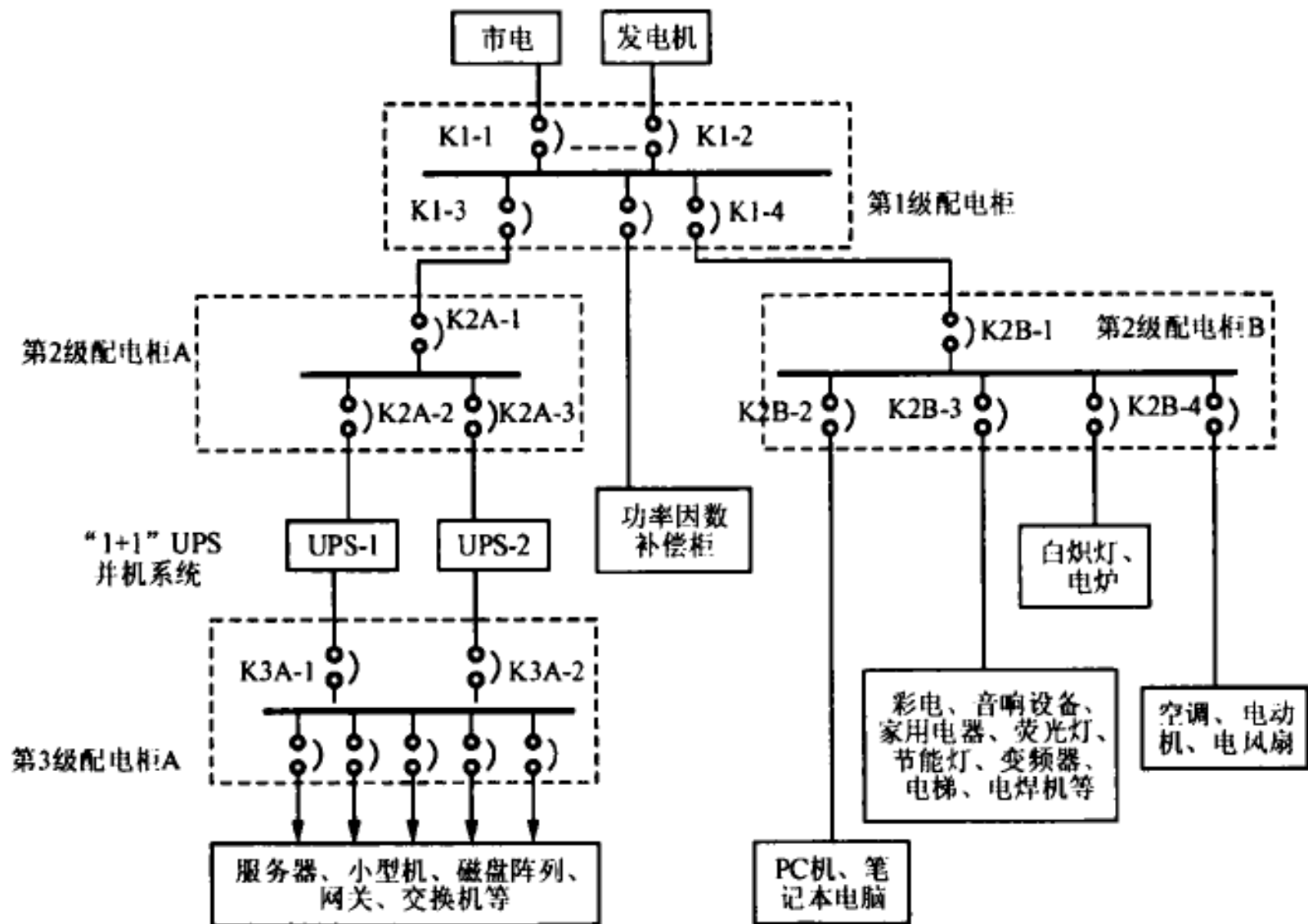
# 电信行业谐波问题介绍

# 数据中心的发展趋势及其对供配电系统的要求

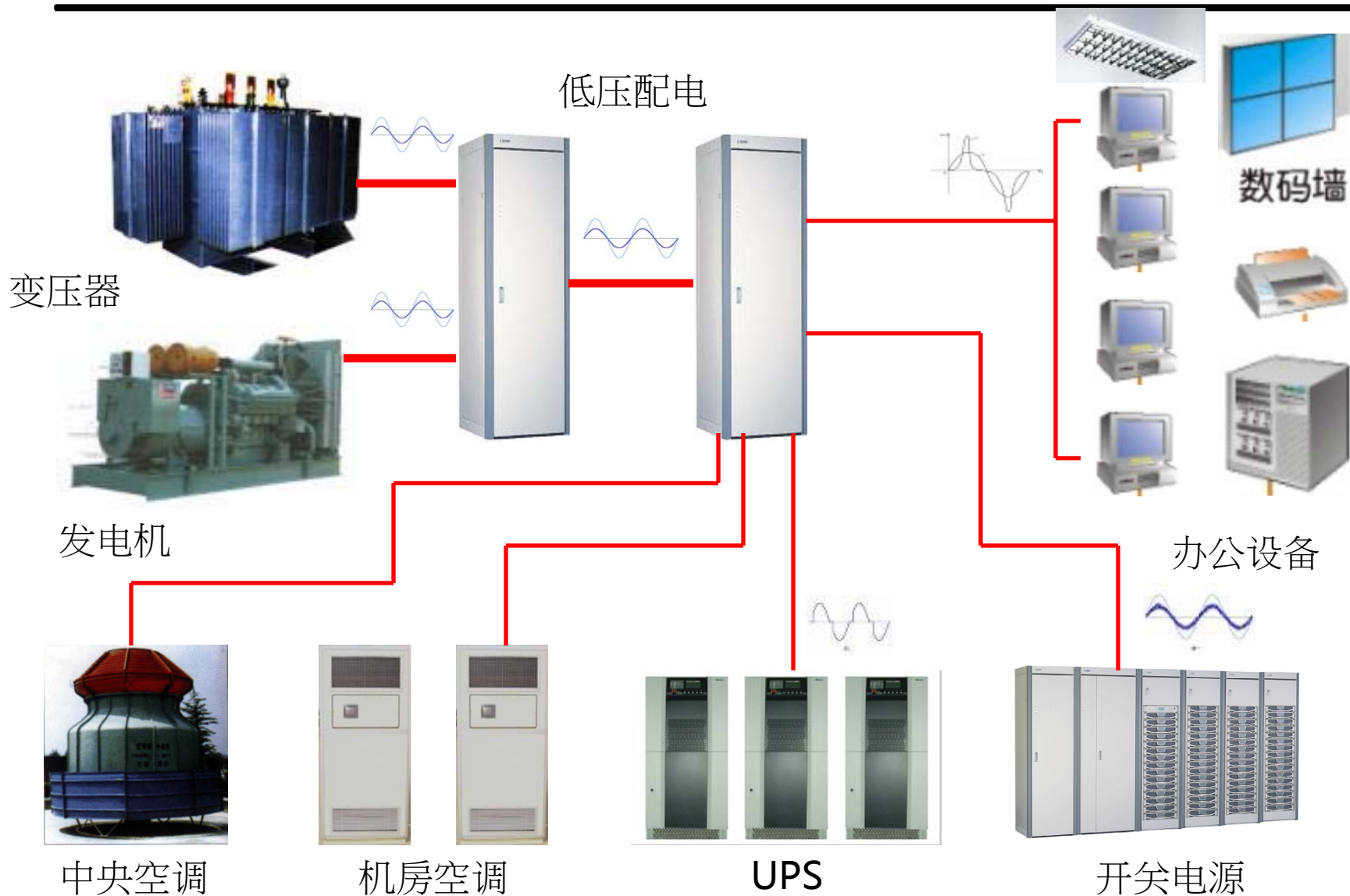
---

- 对数据中心的要求也不断提高
  - 随着信息技术的迅速发展和互联网的普及，社会各界对信息系统的应用越来越广泛，信息和数据量呈几何级增长，由此对数据中心的需求日益增加。
- 数据中心规模扩大、功率密度增高——供电总容量提高
  - 单机柜负荷 2kVA/台—3kVA/台—4kVA/台
  - 单位面积平均负荷 1kVA/m<sup>2</sup>—1.5kVA/m<sup>2</sup>—2kVA/m<sup>2</sup>
- 数据中心可靠性要求提高——供配电系统的可靠性要求相应提高。
  - 供配电系统可靠性要求99.00%—99.90%—99.99%

# 典型的数据中心配电系统

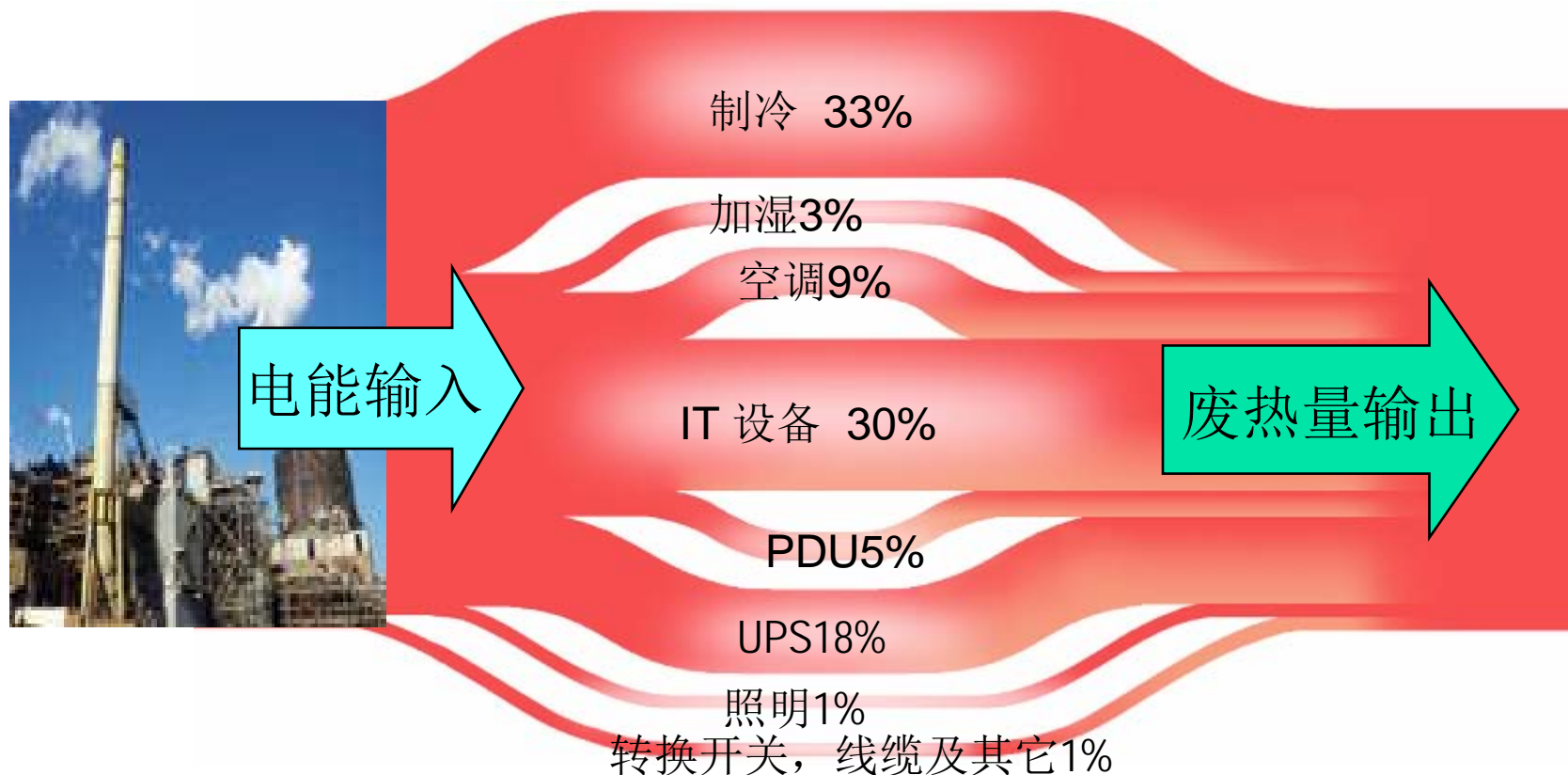


# 数据中心负荷种类



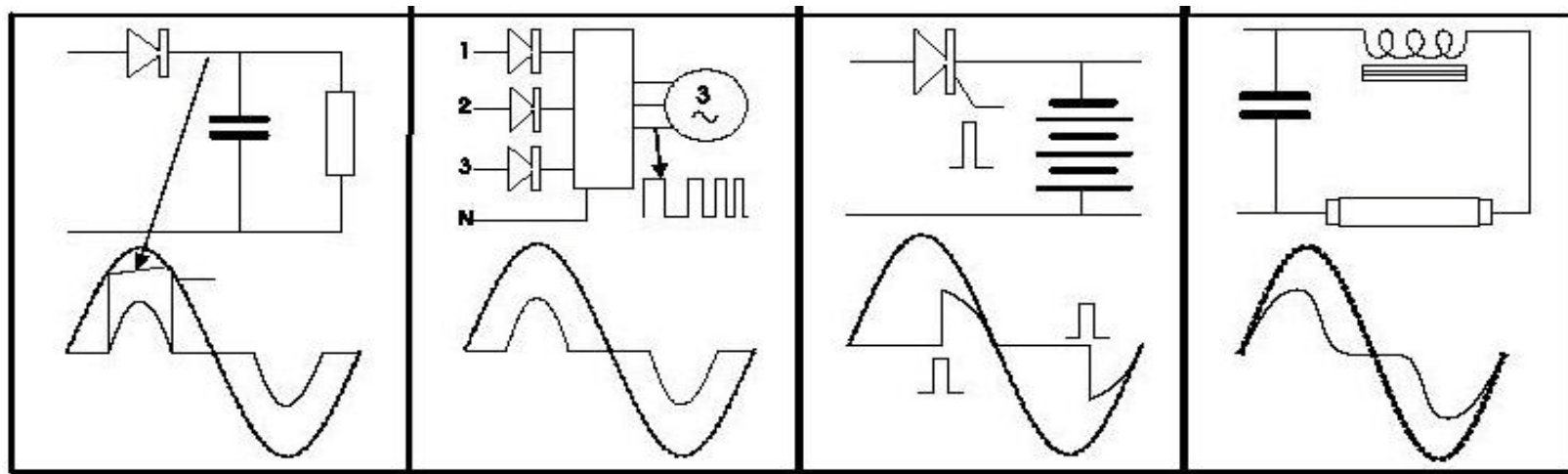
# 数据中心输入能源消耗分布

- 系统条件：N+1 CRAC 双路供电 30%额定负载



# 不同类型设备的谐波特点

- 随着电子技术的发展，电网中非线性负载呈逐渐增加的趋势，非线性负载在工作时向市电反馈高次谐波，导致供电系统的电压、电流波形畸变，进而导致与电网相联的其它负载产生更多的谐波电流，电压畸变的程度取决于谐波电流的频率和幅值。



开关电源

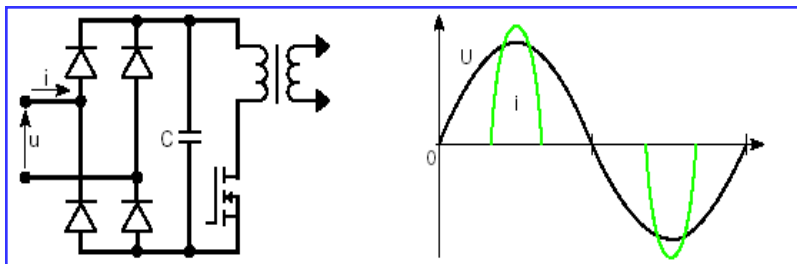
变频调速器

充电器

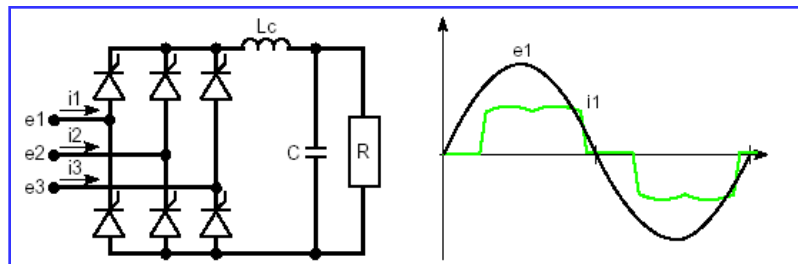
荧光灯

# 不同类型设备的谐波特点—变流设备

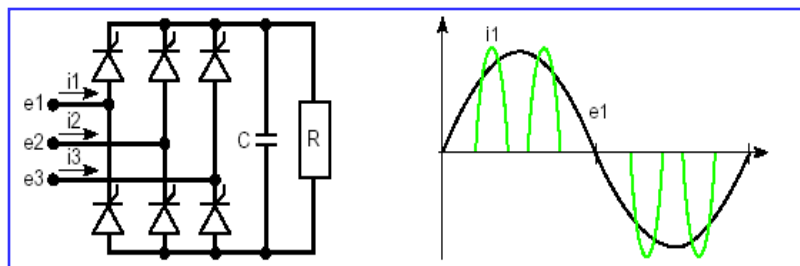
- 整流器、逆变器、变频器等各种电力变流设备采用移相控制
  - 从电网吸收的是缺角的正弦波，从而给电网留下的也是另一部分缺角的正弦波
  - 显然在留下部分中含有大量的谐波
  - 电网还必须向这类负荷产生的谐波提供额外的电能。



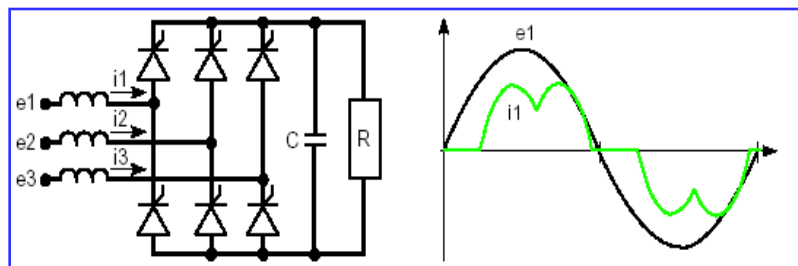
开关电源负载



整流充电器



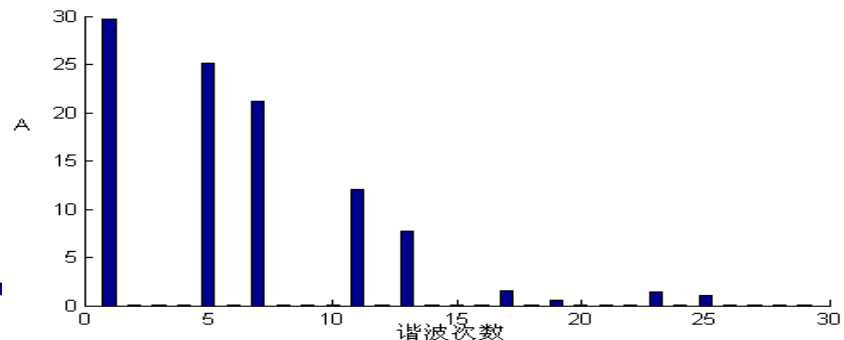
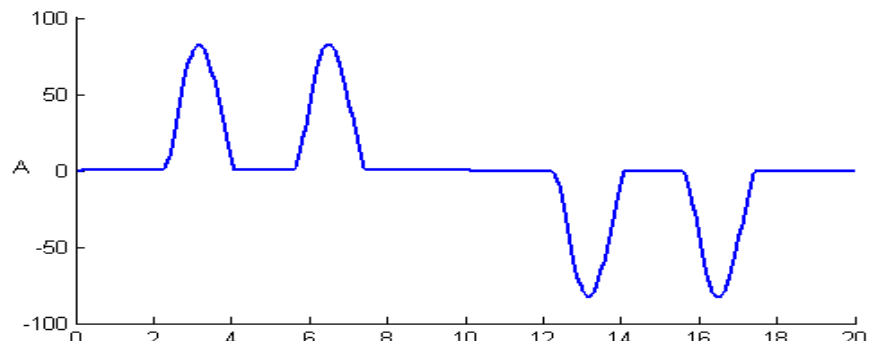
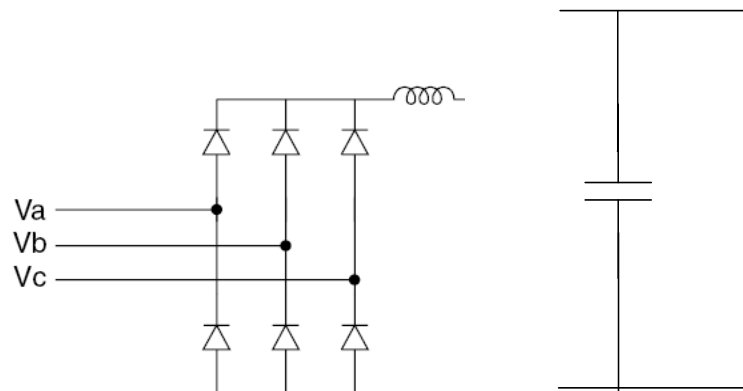
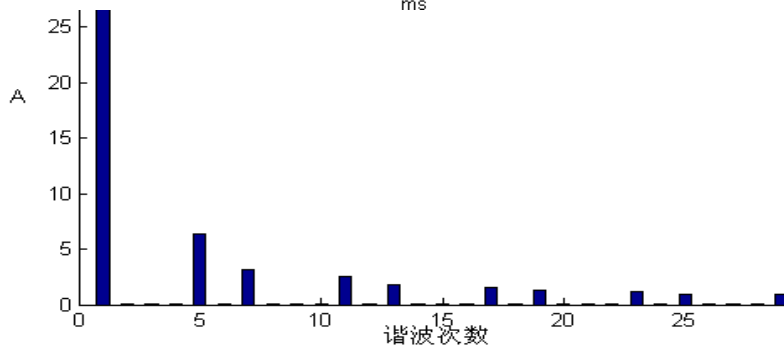
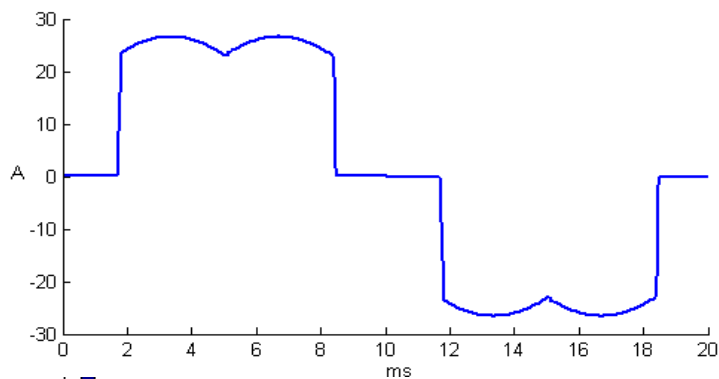
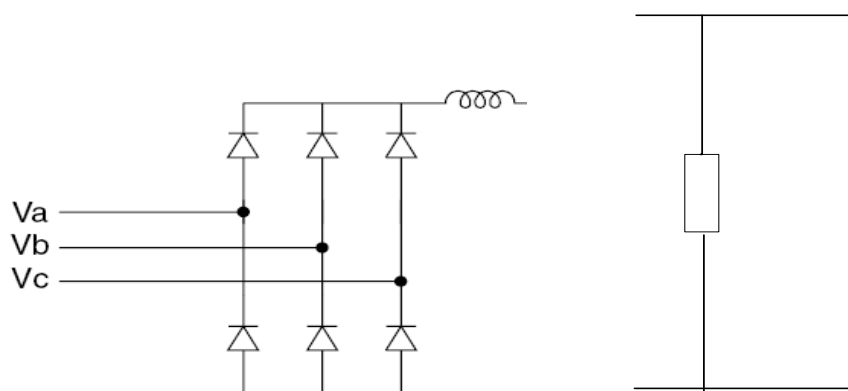
变频调速器



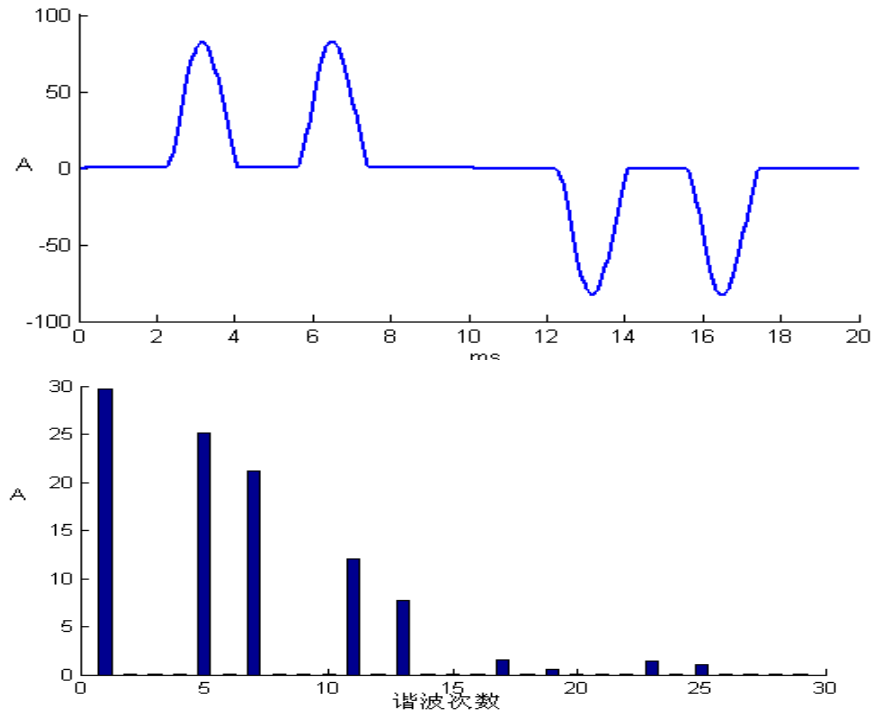
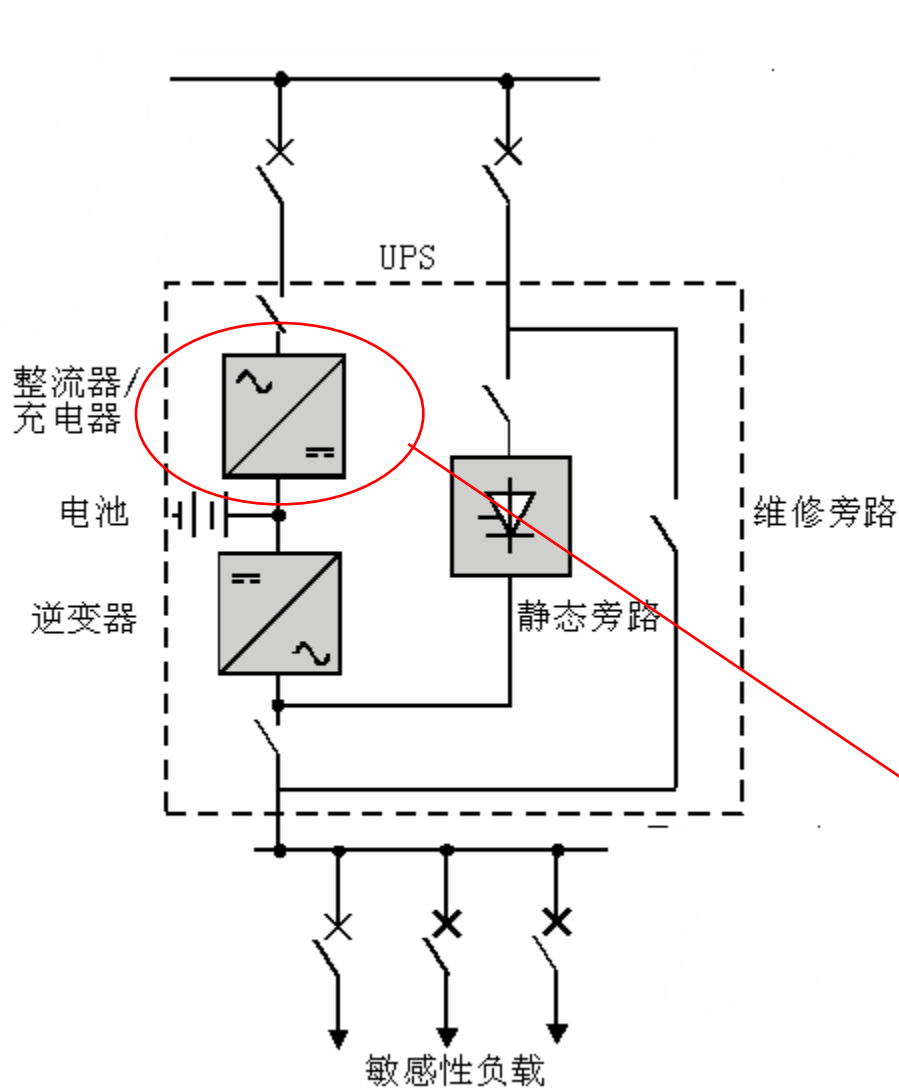
UPS整流器



# 整流器类型对谐波的影响

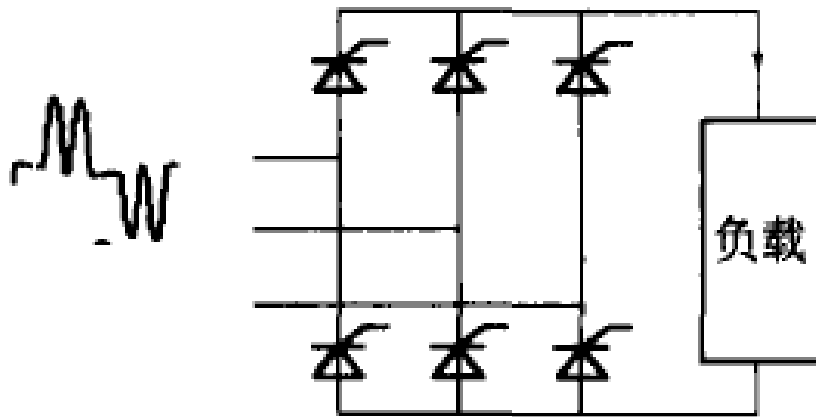


# 电信行业谐波来源—UPS



**UPS整流环节是谐波的重要来源**

# 6脉波整流UPS

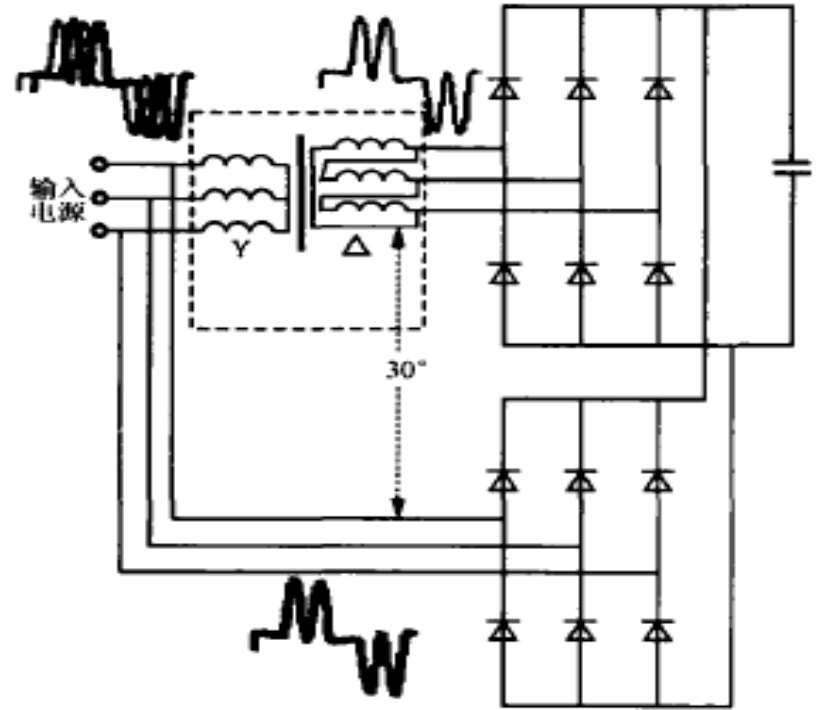


电网电流的FFT展开

$$i_A = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot I_d \cdot (\sin\omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t - \frac{1}{17} \sin 17\omega t - \frac{1}{19} \sin 19\omega t + \dots)$$

电网电流中含有**6k±1**次谐波（**5, 7, 11, 13, 17...**）

# 12脉冲整流UPS



电网电流的FFT展开:

$$i_A = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} \cdot I_d \cdot (\sin\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t \dots)$$

两个整流桥的5, 7, 17, 19次等谐波相互抵消

电网电流中只含有 $12k \pm 1$ 次谐波 (11, 13, 25...)

# 6脉冲和12脉冲整流器的谐波电流理论计算值和实测值

6脉冲全波整流器和12脉冲全波整流器的输入电流谐波分量的理论计算值及典型实测值

项目	总谐波分量	5次谐波分量	7次谐波分量	11次谐波分量	13次谐波分量	17次谐波分量	19次谐波分量	21次谐波分量	23次谐波分量
6脉冲整流器 (计算值)	29.5%	20%	14.3%	9.1%	7.7%	5.9%	5.3%	4.8%	4.3%
12脉冲整流器 (计算值)	9.4%	—	—	9.1%	7.7%	5.9%	—	—	4.3%
6脉冲UPS (实测值)	33.8%	32%	3%	8%	3%	4%	2%	1%	2%
12脉冲UPS (实测值)	10.4%	1%	1%	9%	4%	1%	0.5%	1%	1%

# 西安电信分公司重要机房UPS系统谐波调查数据

局点	二长	长话	电报	电报
系统	1 系统	1 系统	1 系统	2 系统
设备	1#机	1#机	1#机	主机
基波电流/A	234.63	62.97	20.97	47.91
1	95.61	94.82	93.96	95.61
3	1.73	1.73	2.08	0.3
5	26.79	29.29	31.73	26.38
7	5.25	4.46	5.81	5.69
9	0.56	0.4	0.47	0.14
11	7.64	8.26	8.44	8.32
13	3.64	2.44	0.98	3.22



# 常见设备谐波含量

(引自广东电信研究院动力室报告)

100kVA索克曼UPS

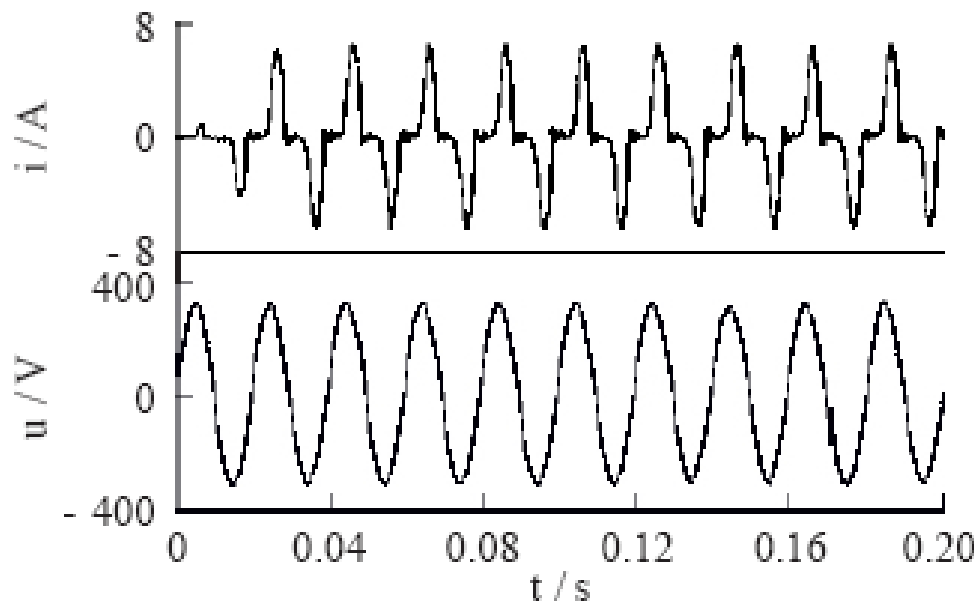
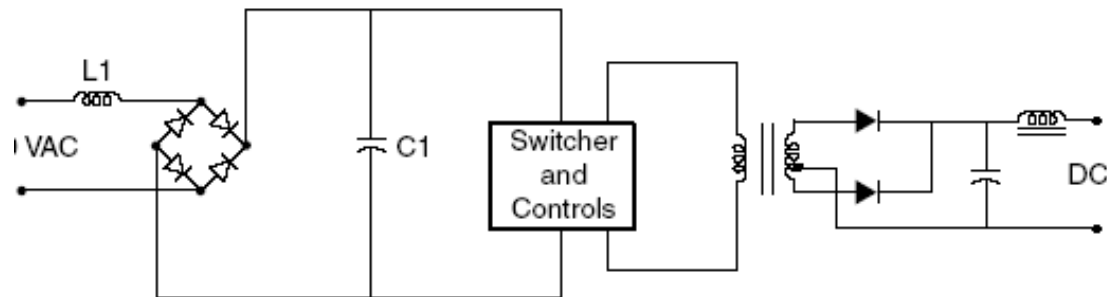
相位	A	B	C
有效值	99A	98A	96A
THD (%)	60.2%	60.3%	60.9%
5次	53.5%	53.8%	54.5%
7次	25.4%	25%	25.5%
11次	7%	7.2%	7%
13次	5.3%	5.4%	5.3%

160kVA力博特UPS

相位	A	B	C
有效值	182A	175A	176A
THD (%)	48.8%	49.3%	48%
5次	41.5%	41.9%	40.2%
7次	24.9%	25%	25.3%
11次	2%	2.4%	1.3%
13次	5.2%	5.1%	5.3%



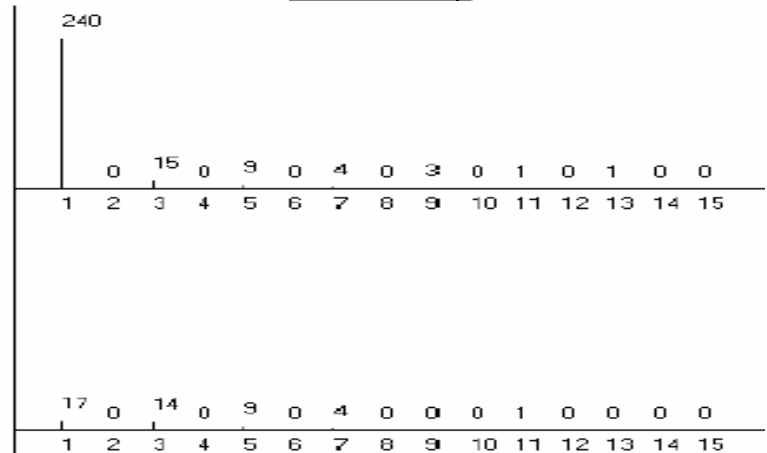
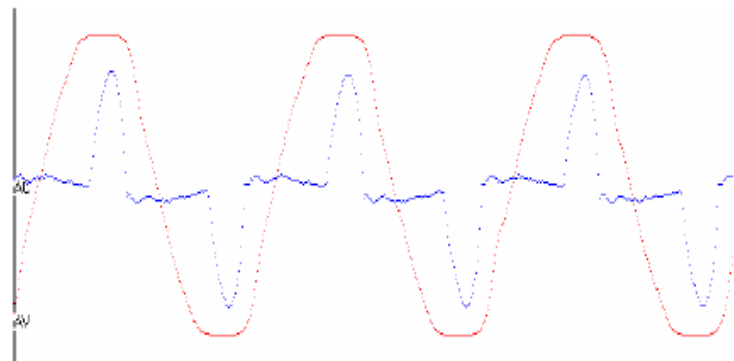
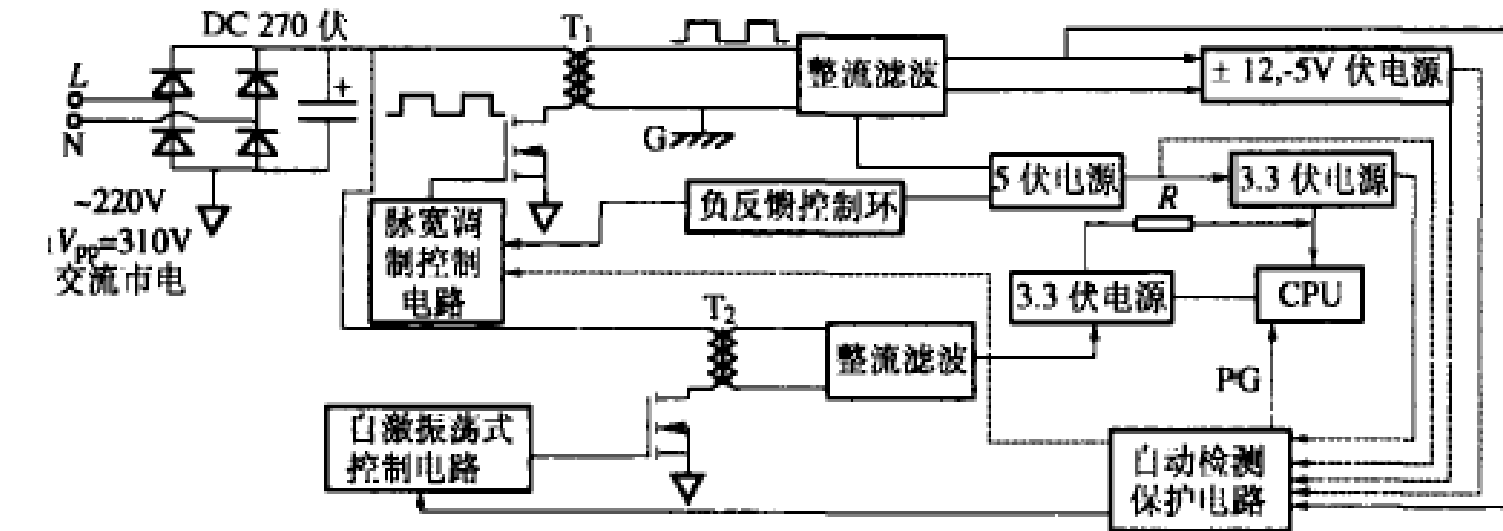
# 电信行业谐波来源—开关电源开关



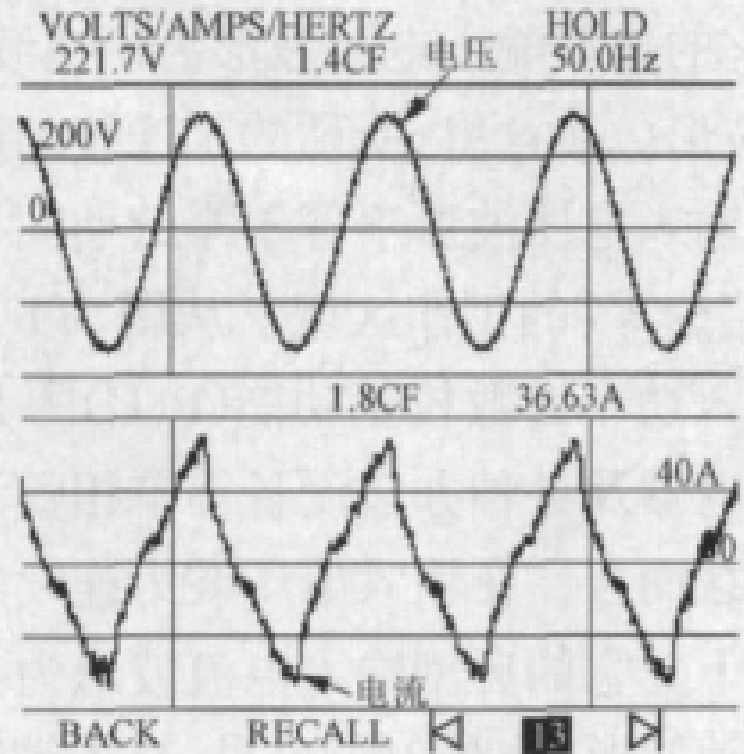
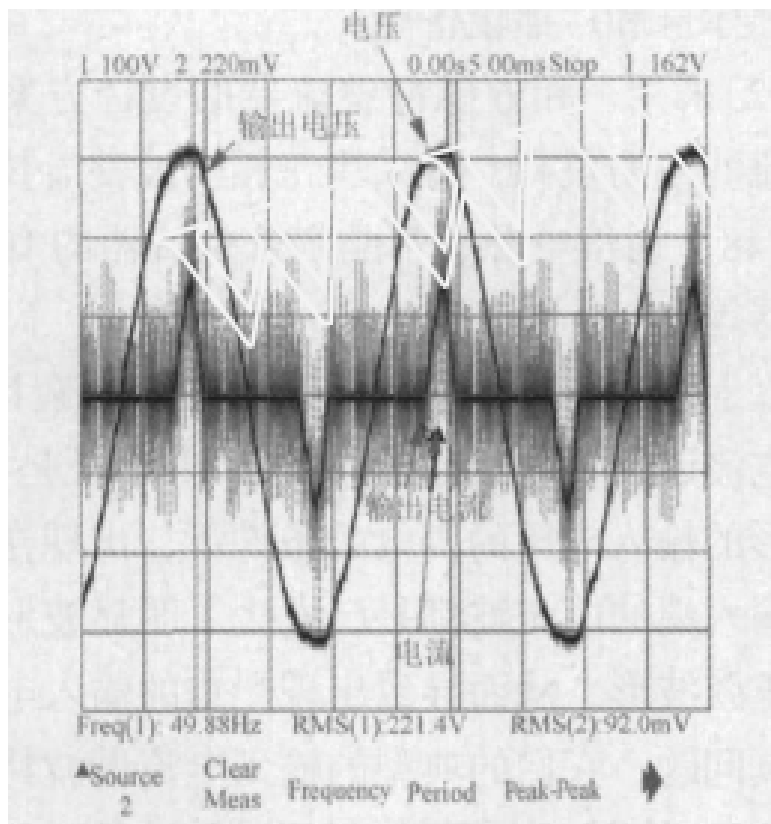


# 开关电源的电流和电压波形

## 典型无PFC的开关电源结构框图（低档PC和服务器用）



# 开关电源电压、电流波形



不带PFC  
(PC、网关、LED等)

带PFC  
(小型机、磁盘阵列、带PFC的服务器、通信电源等)

# 常见设备的谐波含量

艾默生开关电源1200A系统  
HD48100-2

相位	A	B	C
有效值	39.2A	43.8A	42.3A
THD(%)	78%	71.8%	76.3%
3次	8.8%	6.50%	17.3%
5次	64.5%	59.4%	62.5%
7次	41.2%	38.5%	40.7%
11次	9.2%	5.0%	6.4%
13次	5.5%	6.4%	5.8%

洲际DMA10-48/100S 1000系统

相位	A	B	C
有效值	52.8A	56.9A	57.4A
THD(%)	51.6%	47.6%	51.2%
5次	46%	42.5%	45.2%
7次	20.6%	19%	20.7%
11次	4.0%	3.2%	4.0%
13次	4.6%	5.3%	5.6%



# 通信机房开关电源谐波测试分析

- 联通宁波分公司测试报告：
  - 35个模块工作，负荷率48%左右
  - 输入电流总谐波畸变率38%左右
  - 5、7次谐波含量最高

项 目	开关电源 1
安装位置	梅墟 5 楼
模块数量	35
系统电压 (V)	53.8
系统电流 (A)	1688.0

谐波表格

Amp	L1	L2	L3	N
THD%r	38.4	38.1	37.5	85.5
H3%r	0.7	1.9	2.2	5.1
H5%r	31.9	31.5	31.1	5.1
H7%r	17.6	17.7	17.3	5.6
H9%r	0.5	0.7	0.9	5.1
H11%r	7.8	7.5	7.1	5.6
H13%r	8.0	8.2	7.7	8.6
H15%r	1.0	0.4	0.6	5.2

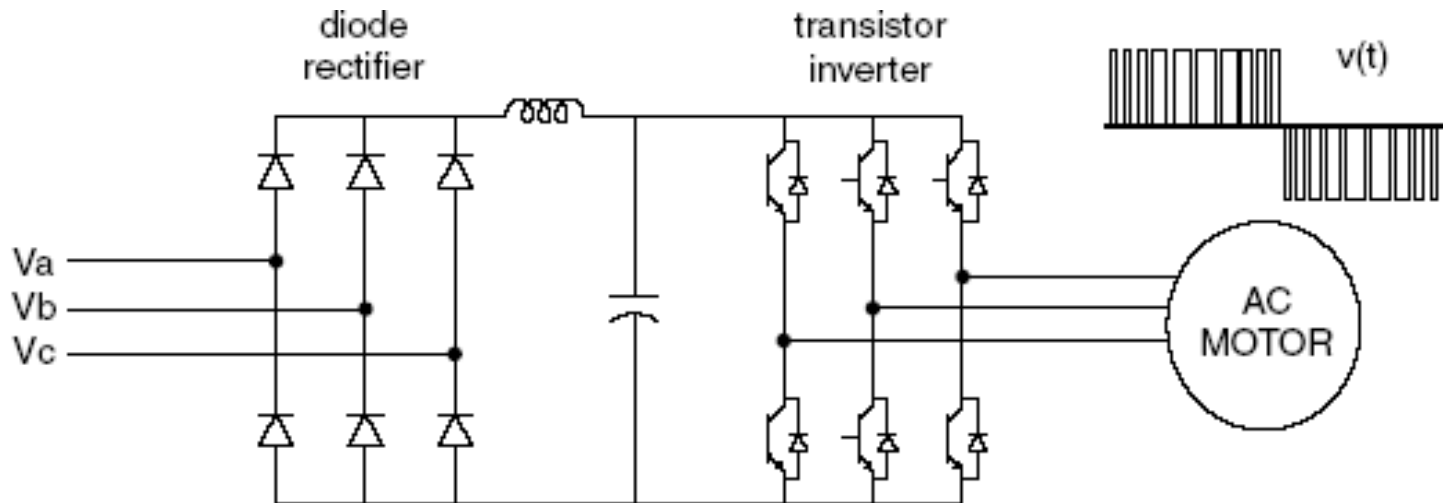
01/29/07 09:50:58 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160

U A W V&A BACK TREND HOLD RUN

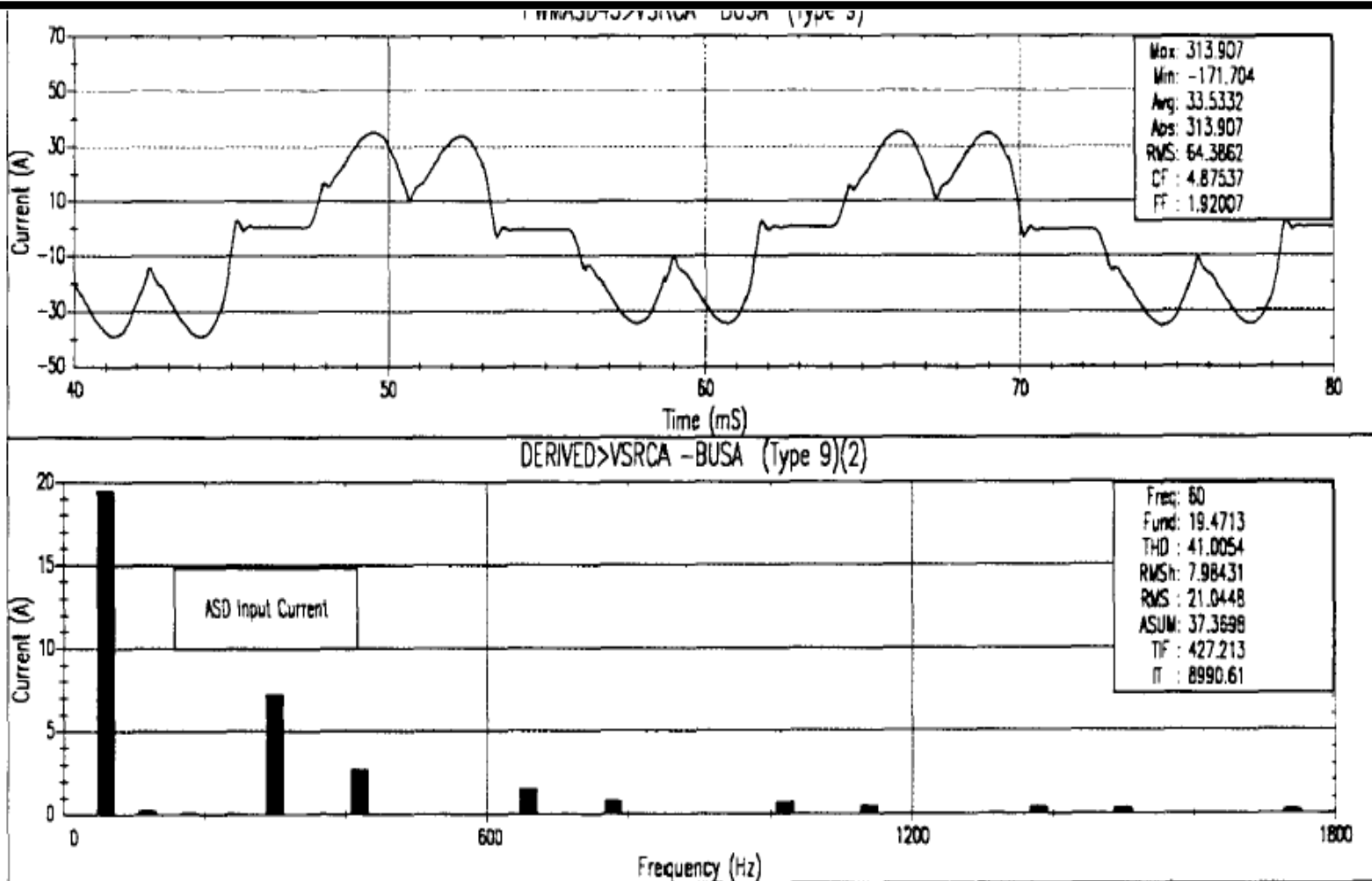


# 电信行业谐波来源—电梯、空调

- 通用变频器所带来的谐波  
(变频空调、变频电梯)



# 变频电机吸收的电流波形



变频电机的电流波形—含大量5、7次等谐波！

# 谐波对系统和电网的污染

---

- 谐波电流降低功率因数，使电能利用率和系统工作效率降低
  - 电压是基波正弦波的情况下，所有谐波电流形成的功率都是无功
- 谐波是中线电流大的主要原因
  - 所有的3次及3的整数倍次谐波电流在中线上都是同相位迭加的
- 电流峰值因数对供电设备和传输导线容量的影响
  - 增大传输损耗，限制了导线容量
- 谐波电流对供电系统的污染
  - 使设备和元件产生附加谐波损耗，降低发电、输电及用电效率；
  - 加速电缆绝缘老化，缩短使用寿命；
  - 干扰由同一电网供电的其它电气设备的正常工作；
  - 引起局部的并联谐振和串联谐振，从而使谐波放大；
  - 导致继电保护和自动装置的误动作，使电气测量仪表计量不准确；
  - 对电信和计算机系统产生干扰

# 谐波的危害的几个案例

---

(引自林海雪“电能质量及谐波标准”报告)

- 上海某高层大厦一台变压器设计为全部带空调负荷，但投运后由于大量谐波的存在，使得变压器根本就没有办法正常运行。
- 某商厦工程大量采用日光灯，全部采用电子镇流器，正常情况下，零线中产生很大电流，造成电缆发热，变压器温升过高（典型的谐波问题）。
- 某证券公司由于谐波使得网络速度变慢、数据出错，实时交易的动态信息显示屏幕出现大片空白，数据刷新和交易的速度都极慢，且经常中断，根本无法进行交易。



# 谐波的危害的几个案例-续

(引自林海雪“电能质量及谐波标准”报告)

- 某宽带运营商由于突然断电造成宽带网络客户不能正常上网，客户索赔几百万元。
- 2004年3~8月吉林省农电局一条10kV配电线（约40km）末端49个台区先后发生了500多次低压电器设备（包括电视机、计算机、冰箱温控器、交换机模块、VCD、加油机电源板等等）烧损事故，经测试分析，是某钢厂中频炉谐波，因长线“谐波容升电压”效应所致。

# 电信行业谐波危害—电缆损耗增加

- 谐波在导体中会引起更高的损耗-集肤效应
  - 这种现象取决于频率及导体的尺寸，如同增加导体交流电阻，进而导致损耗增加。

$$\Delta P_L = \sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 R_h$$

$R_h$ : h次谐波频率下的线路电阻

- $R_h$  随频率升高而增加，
  - 直径为0.76cm的圆形导体，其基波及5、7、11次谐波的交流电阻分别为直流电阻的1.01，1.21，1.35倍及1.65倍。
  - 导线的直径愈大，因集肤效应而使谐波频率下的电阻增加愈明显，谐波产生的附加损耗也越大

# 电信行业谐波危害—电缆的损耗增加

---

- 电缆损耗增加计算实例

(引自广东电信研究院动力室报告)

- 例：基波电流300A，含有100A谐波电流的导线，其损耗可计算得：
- 线路电阻取0.5欧

$$P = 100^2 \times 0.2 \times 3 \times 300m \times 10^{-3} = 1.8kW$$

- 一年损耗的电费

$$1.8kW \times 24 \times 365 \times 0.8 = 12614.4元$$

# 电信行业谐波危害一对变压器的影响

---

- 谐波电流可导致铜损和杂散损耗增加，谐波电压则会增加铁损。
- 引起硅钢片、金属紧固件及外壳发热，变压器的整体温升较高。
- 由谐波所引起的额外损耗将与电流和频率的平方成比例上升，进而导致变压器的**基波负载容量下降**。
- 引起震动和噪声

# 干式变压器带不同类型负载时的温升特性

负载百分比	变压器绕组的温度/℃	变压器铁心的温度/℃	变压器连接电缆的温度/℃
76%电阻性负载	60	47	45
76%整流滤波型非线性负载	131	87	68

一些研究建议，“当变压器后接负载为6脉冲整流器负载时，建议将其负载量尽量控制在其额定容量的70%以内”

# 电信行业谐波危害—对油机的影响

---

- 柴油发电机组的内阻相对市电来说大了很多，非线性负载产生的谐波电流引起的电压畸变就大很多，造成油机输出电压失真严重。这会造成：
  - 控制部分可能对失真严重的输出波形发生误判断，认为是过压、超频等原因，从而造成油机停机；
  - 输出电压不稳，输出高压造成所带负载烧毁。

# 电信行业谐波危害—对油机的影响

- 下表为柴油发电机组（200kVA）在不同的电压畸变度的情况下对不同非线性负载的带载比率：

发电机组允许的电压畸变度	发电机组允许带负载的百分比		
	12脉冲整流UPS	6脉冲整流UPS	单相整流UPS
5%	78%	42%	22%
10%	100%	69%	36%
15%	100%	96%	52%

- 采用谐波抑制电路，将谐波电流含量降低到5%—10%以内时，柴油发电机组的容量可按UPS容量的1.5—1.8倍选择。（比增加油机容量合算）

# 电信行业谐波危害—对无功补偿电容的影响

- 补偿电容谐振
- 损坏补偿电容

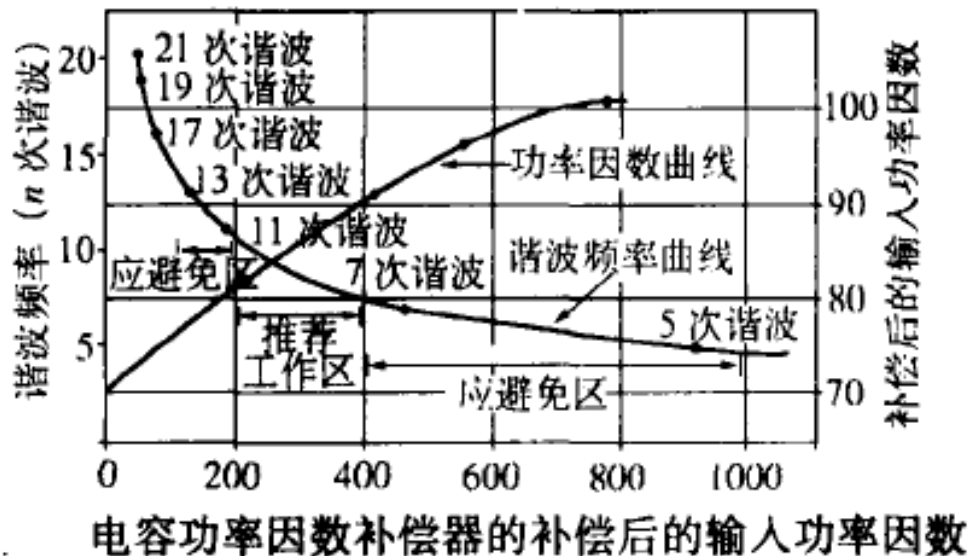
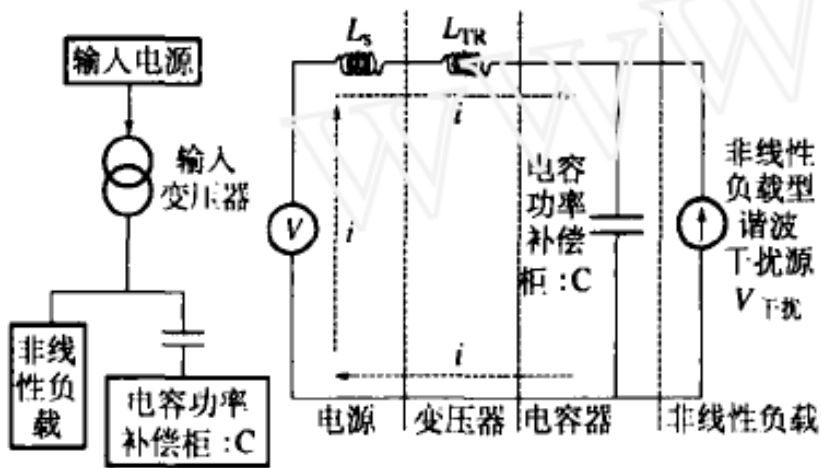
## 某市电信公司一年内的故障统计

	热偶	接触器	电容	熔丝	指示灯	连接线	电抗器	开关	电压表
故障次数	8	24	41	73	68	10	5	1	1

- 对谐波电流来说电力电容是个低阻抗
- 造成与电力电容回路有关的器件大量损坏
- 影响系统功率因数的正常补偿。



# 可能导致的偶发性谐振



- 当负载有大量的谐波时，如果补偿电容值选择不当，可能因偶发性的谐振现象导致供电网发生故障

# 电信行业谐波危害—功率因数低

## ■ 畸变无功功率

一般的，设备的输入功率因数如下式：

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD)^2}} \cos \varphi$$

在不考虑相位差的情况下，谐波对功率因数的影响如下：

谐波含量	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
功率因数	0.99	0.98	0.96	0.93	0.89	0.86	0.82	0.78



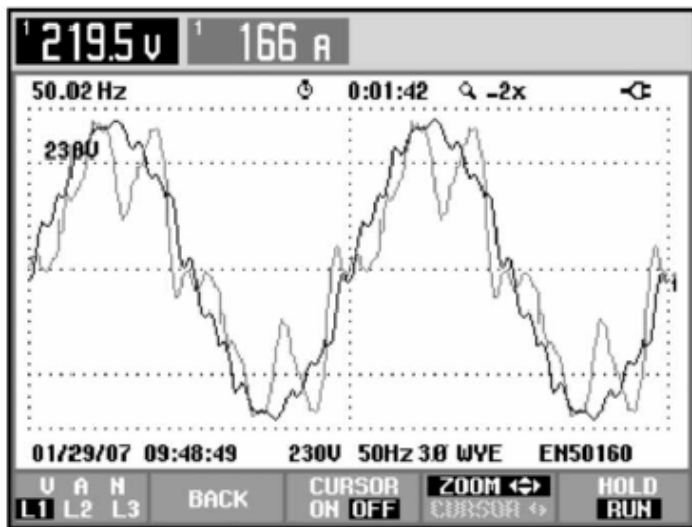
# 电信行业谐波危害—电磁干扰

---

- 电子设备对供电电压的谐波畸变很敏感
  - 对邻近的通信系统产生干扰，轻者产生噪声，降低通信质量；重者导致信息丢失，使通信系统无法正常工作
- 谐波使控制设备损坏或出现误动作的几率大大增加
  - 如可编程控制器 (PLC)，通常要求总谐波电压畸变率 (VTHD) 小于5%，且个别谐波电压畸变率低于3%，
  - 较高的畸变量可导致控制设备误动作。这也是为什么一些大型UPS控制板容易烧坏，以及一些监控设备出现误动作的重要原因

# 电信行业谐波危害—波形畸变

- 引起谐波电压
- 过电压
- 设备误触发，供电中断



(联通宁波分公司测试报告)

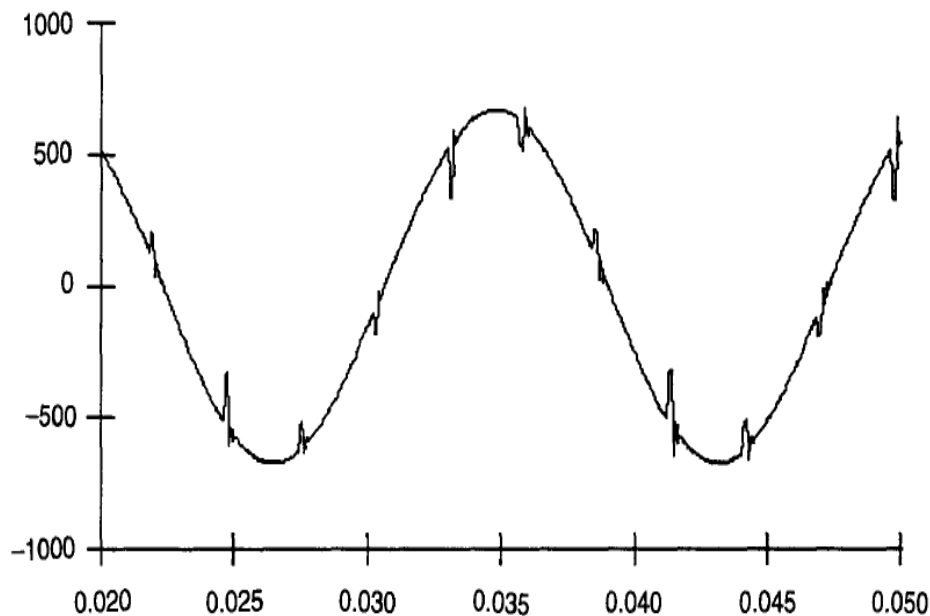


Figure 11—Example of voltage notching caused by converter operation

# 电信行业谐波危害

## 某次机房事故的发展过程



多套6脉冲  
N+1  
UPS  
系统并联

低压供电  
线路上总  
谐波电流  
增大

输入配电  
柜上的断  
路器被损  
坏

IDC机房  
空调机组  
停止运行

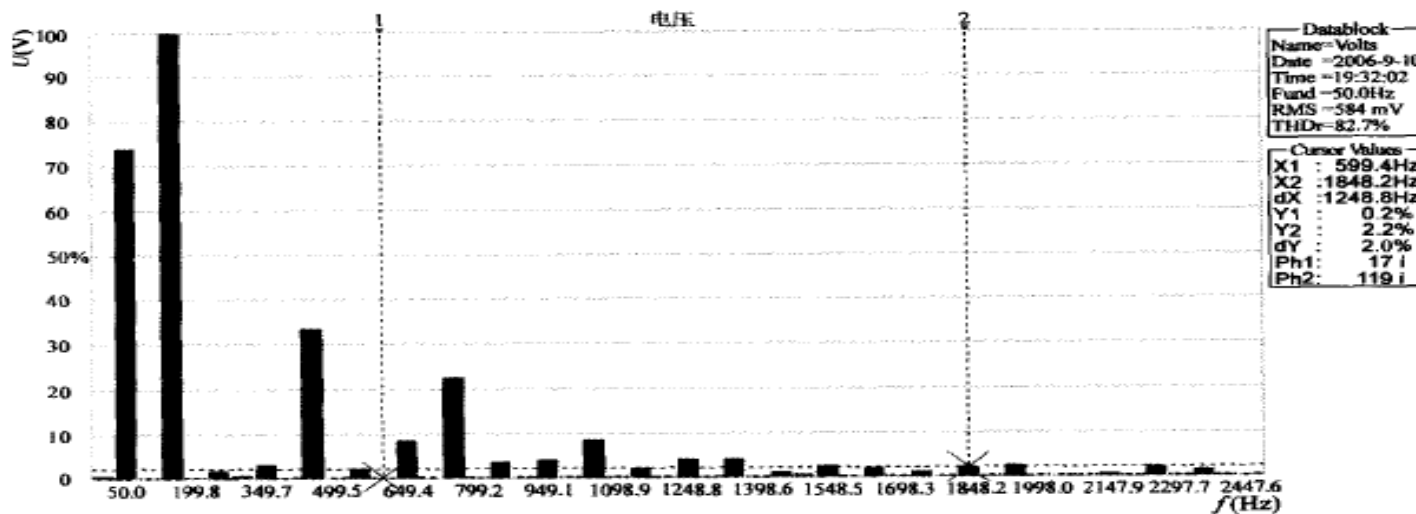
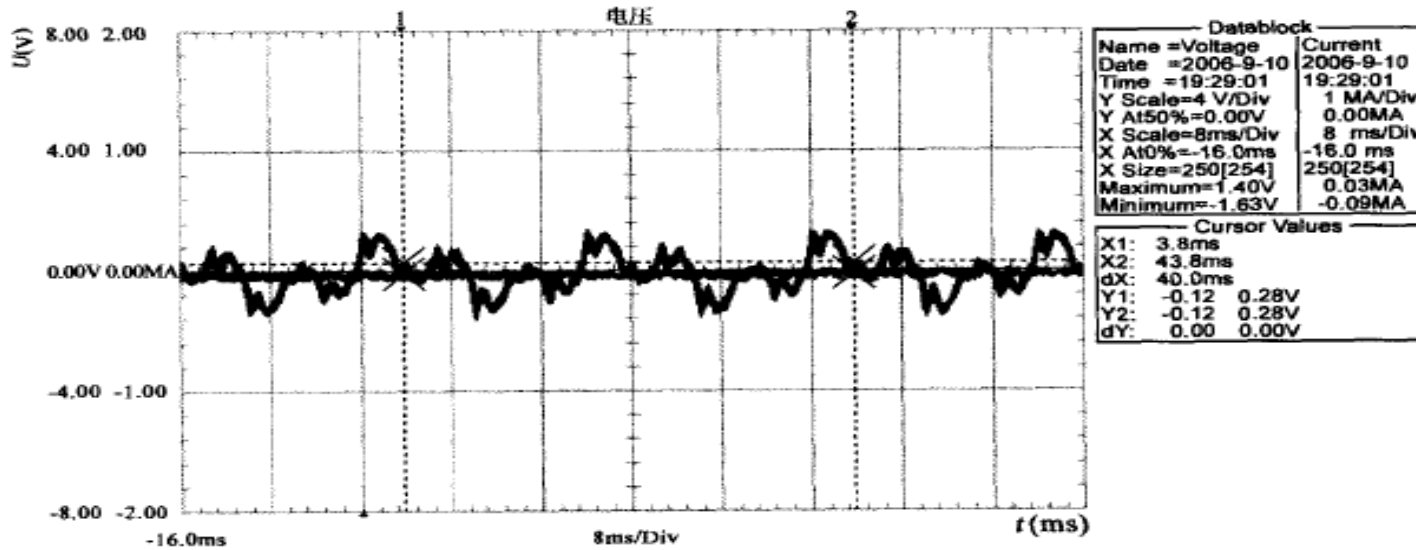
几百台服  
务器因过  
热停运

# 电信行业谐波危害—中线电流大，零地电压高

---

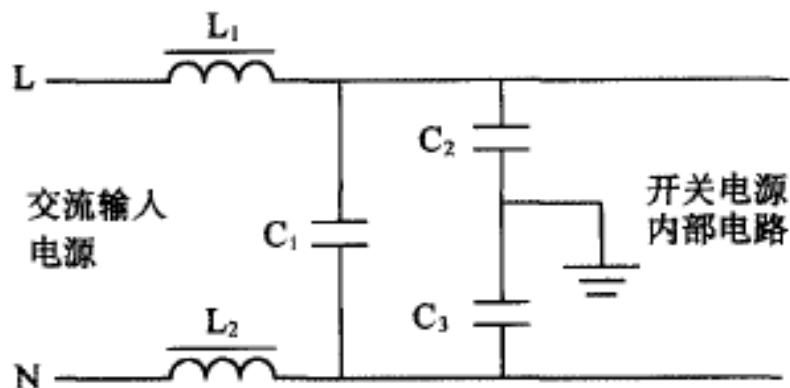
- 中线电流组成：
  - 3次及3n次谐波
  - 基波零序
  - 某些情况下，中线电流有效值甚至超过相电流！
- 危害：
  - 中线过热，火灾
  - 引起硬件故障，烧毁设备
  - 引发控制信号的误动作
  - 影响电信质量，延误或阻止电信的正常进行

# 典型零地电压波形



# 零地电压高引发的故障

- 联通宁波分公司某基站多次出现开关电源模块烧毁的情况



- 可能原因有二：
  - 单相电压过高或零地电压过高引起模块内部SPD发热烧毁；
  - 电网过压和高次谐波使得模块EMI电路共模抑制回路过载引发，特别是零地回路无空气开关，过载时无法切断回路，极易烧毁设备



# 电信行业谐波问题小结

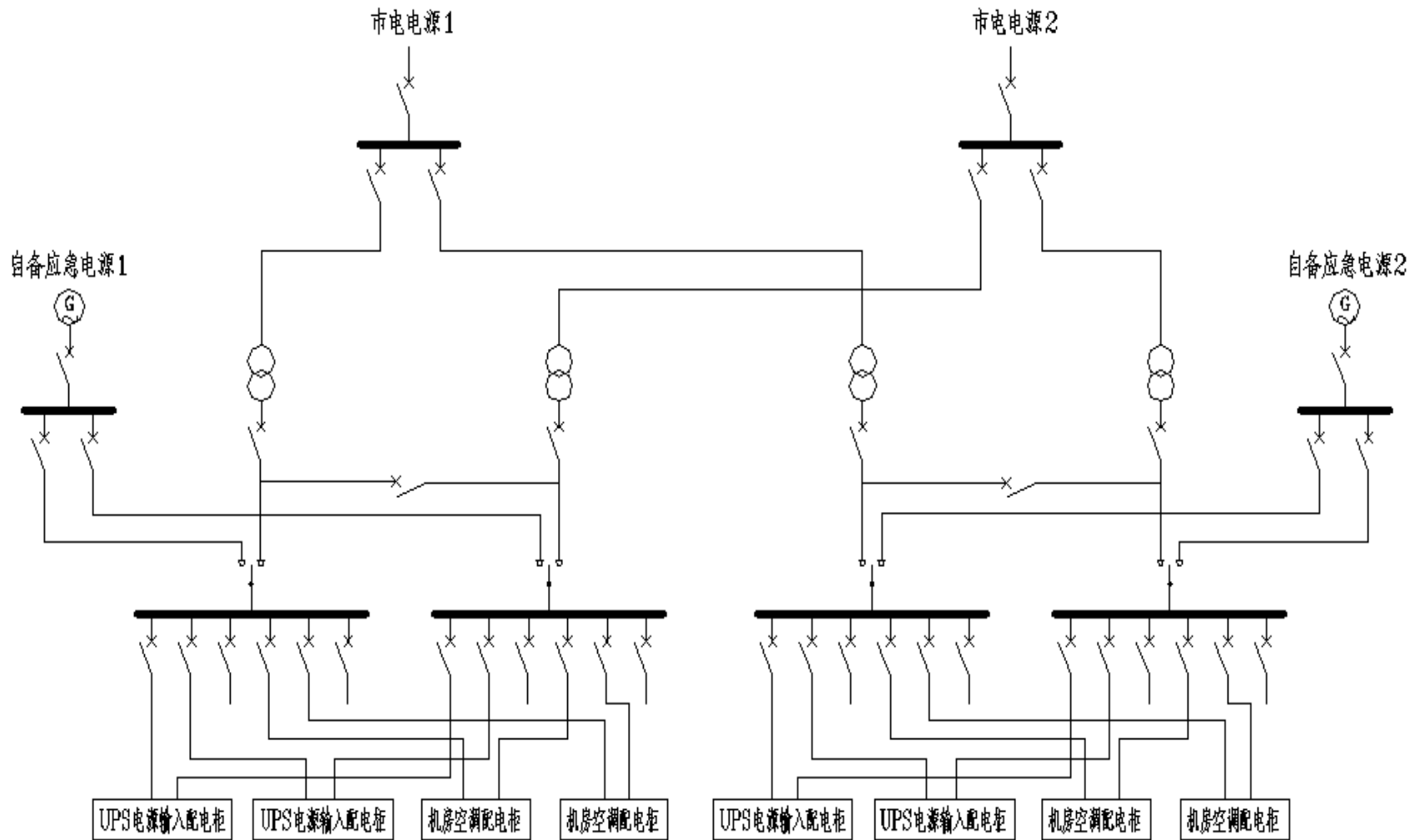
---

- 来源：
  - UPS
  - 开关电源
  - .....
- 危害：
  - 功率因数降低
  - 谐振
  - 效率降低
  - 影响安全运行等
  - .....

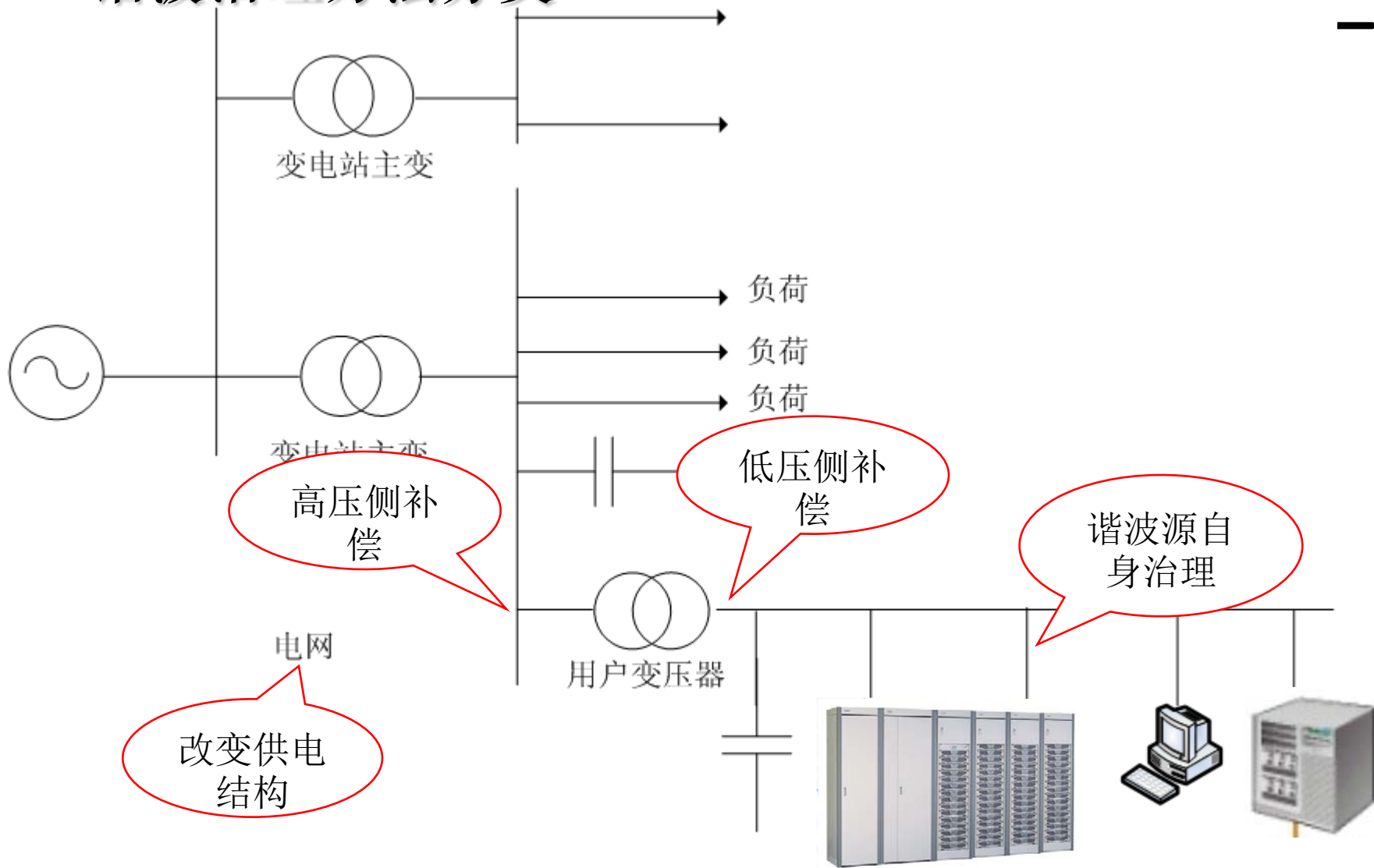
---

# 电信行业谐波治理措施

# 电信行业数据中心供电网络结构



# 谐波治理方法分类



# 电信行业谐波治理措施

---

- 增大电力系统供电容量和传输电缆、开关等设备的容量，提高其谐波耐受度；
- 改变变压器的配置和联接方式；
- 在设备输入端采用输入功率因数校正电路PFC；
- 平滑电抗器（交流侧/直流侧）
- 改变谐波源特性，6脉冲整流改为12脉冲整流；
- 改变谐波源特性，不控整流改为IGBT全控整流；
- 在系统中和设备内部配置无源滤波器；
- 在系统或设备输入端配置有源滤波器；

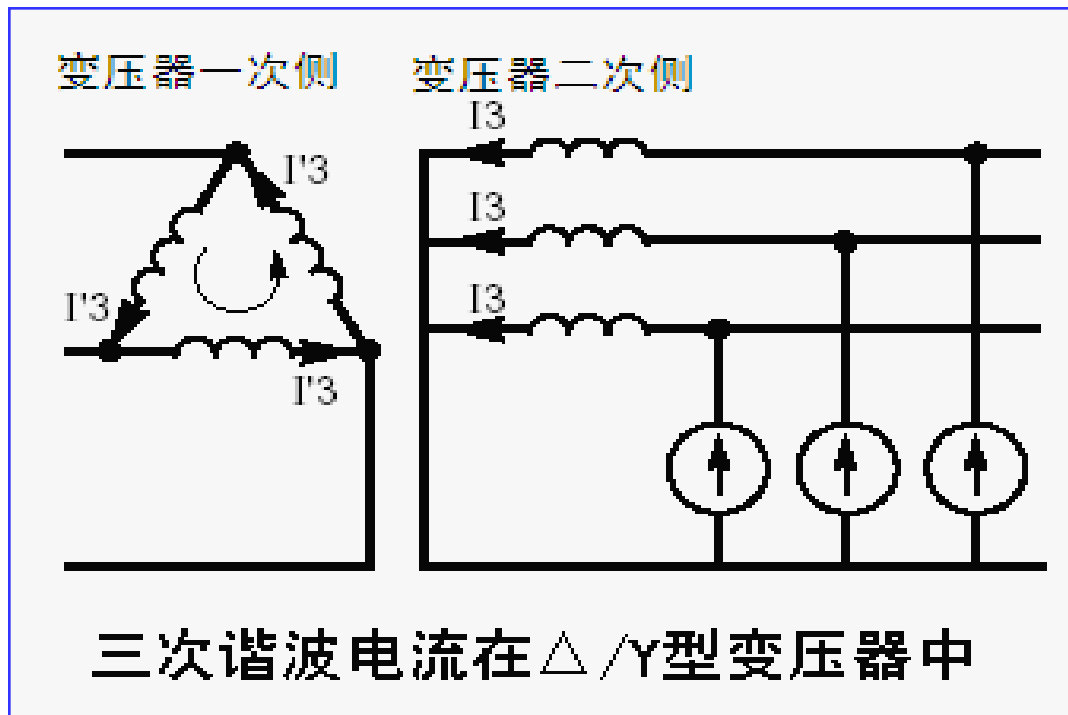
# 增大供电系统、设备容量

---

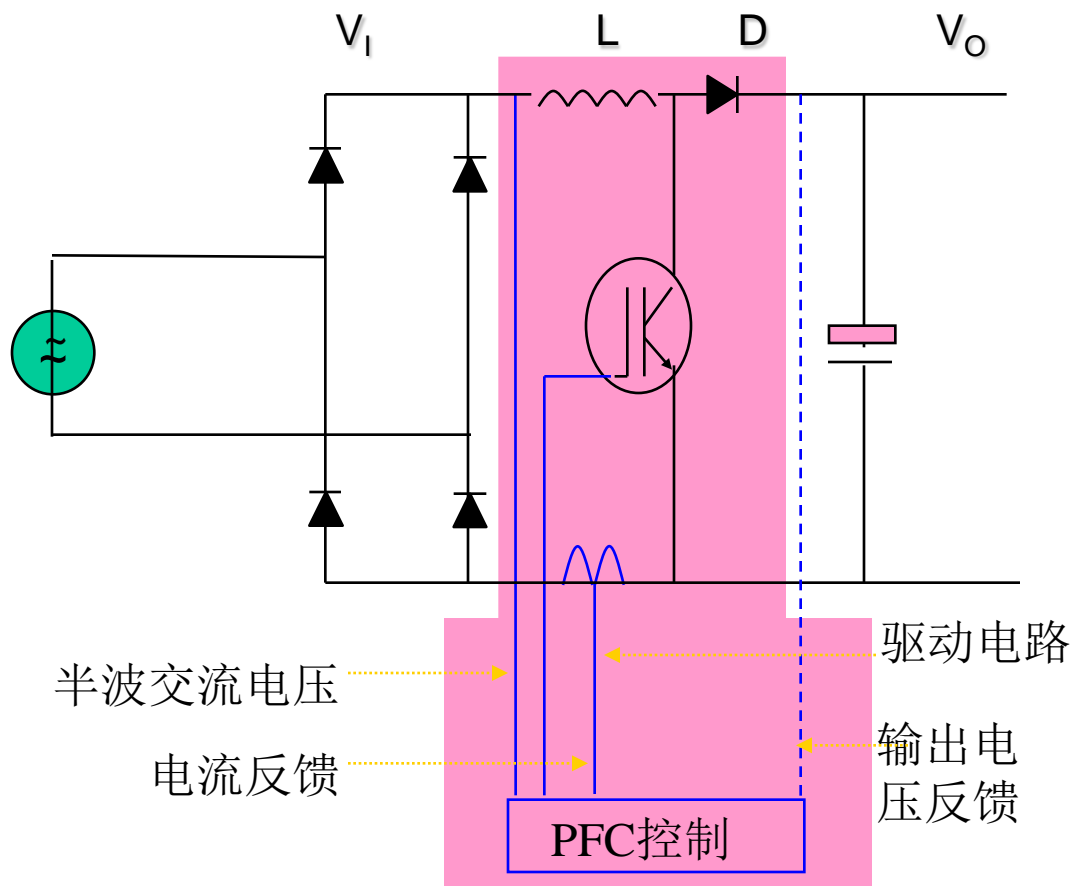
- 根据谐波标准《GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波》，系统容量越大，可以允许的谐波电流也就越大
- 缺点
  - 谐波本身并没有减少
  - 成本高，不经济
  - 供电系统容量一般固定，很难改变

# 改变变压器的联接方式

- 这种方式仅抑制3次和3n次谐波，例如 $\Delta$ 型/Y型变压器，如图所示，三次谐波和3n次谐波在 $\Delta$ 绕组中形成环流，在输入端消除3n次谐波。



# 谐波治理—功率因数校正电路PFC

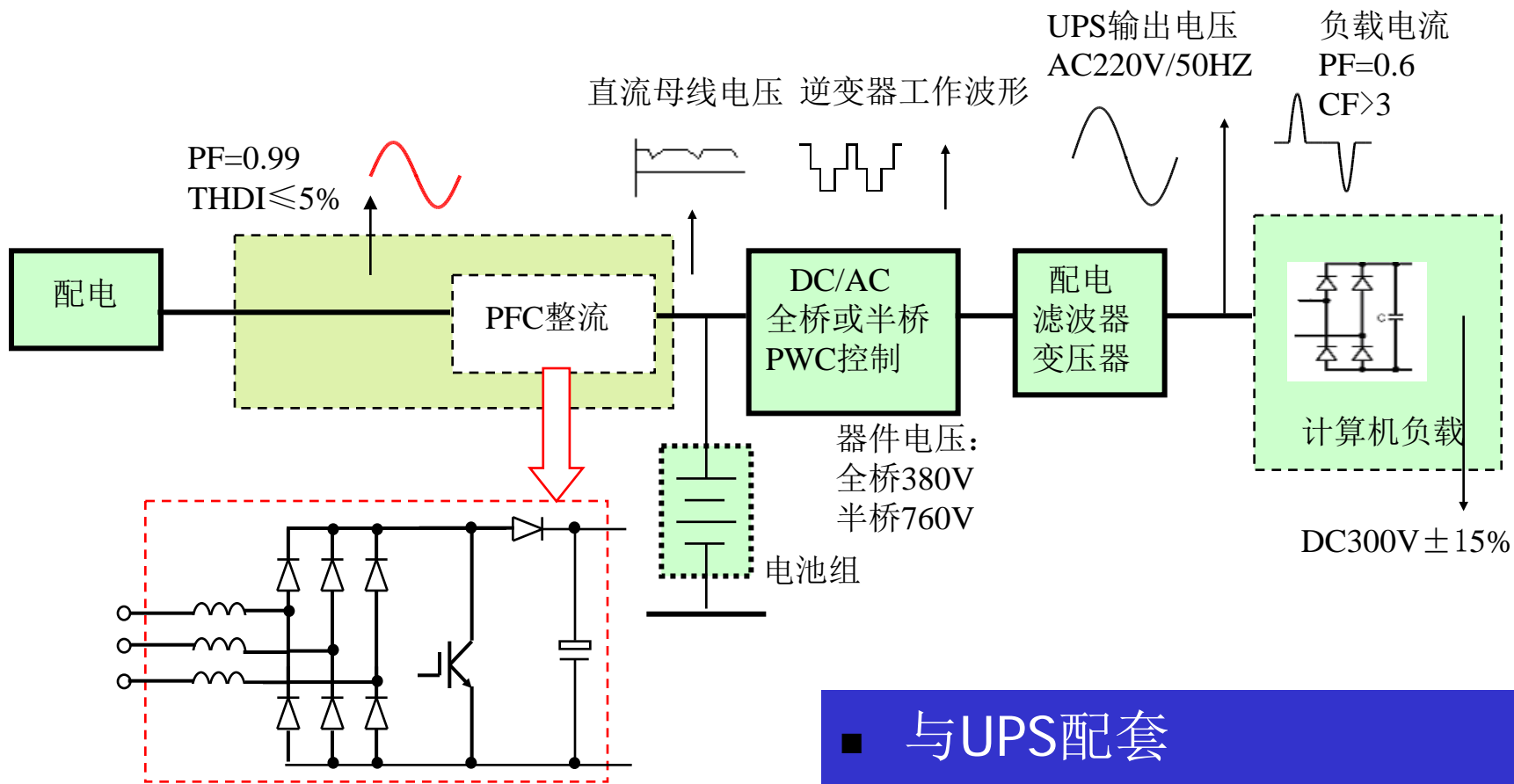


## ■ 特点与功能

- 采用升压开关电路（Boost电路）
- 补偿功率因数到0.99
- 稳定输出直流电压
- 功率强度为100%负载功率

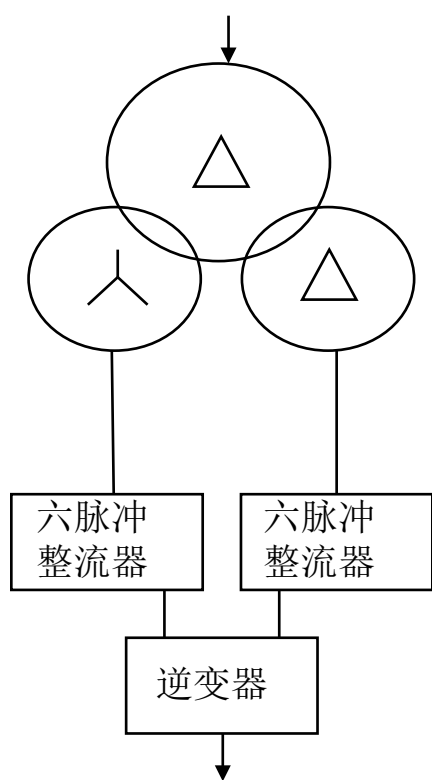


# 谐波治理—PFC高频整流

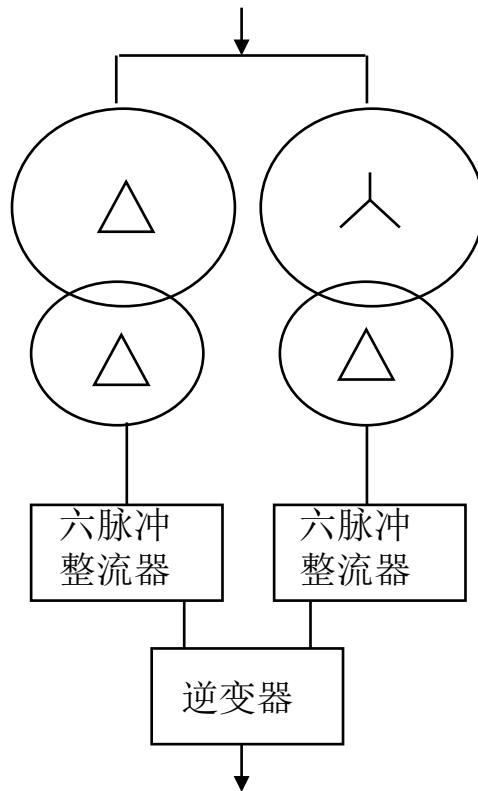


- 与UPS配套
- 当前的器件水平可做到 120kVA

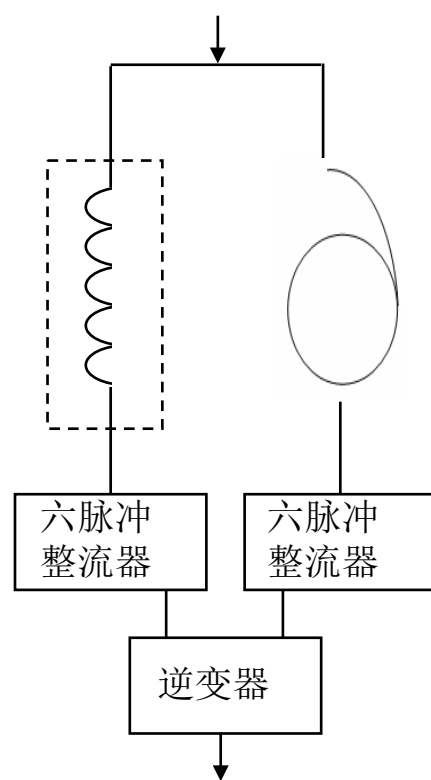
# 谐波治理—12脉冲整流电路形式



(a) 双绕阻变压器



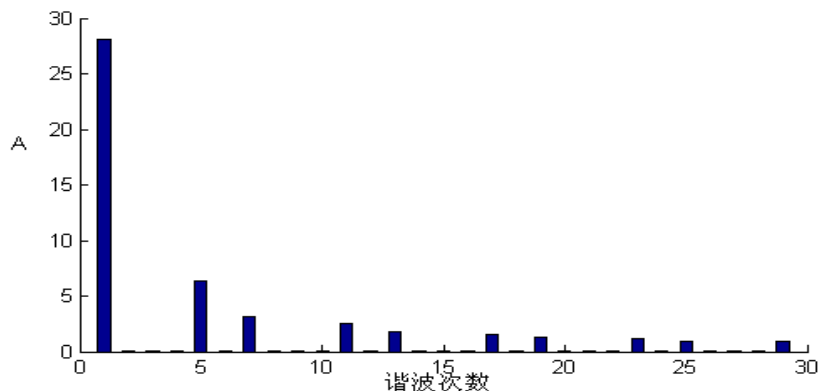
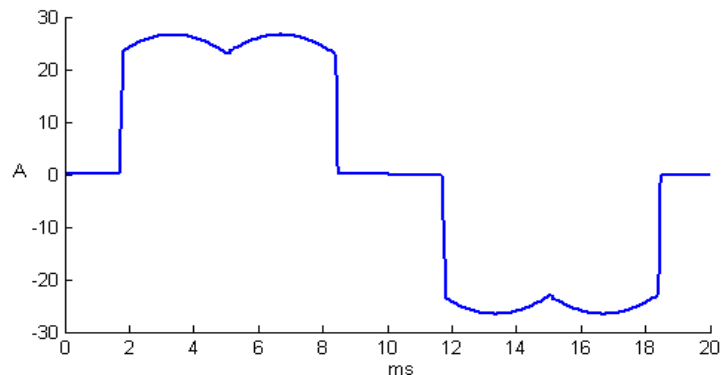
(b) 单绕阻双变压器



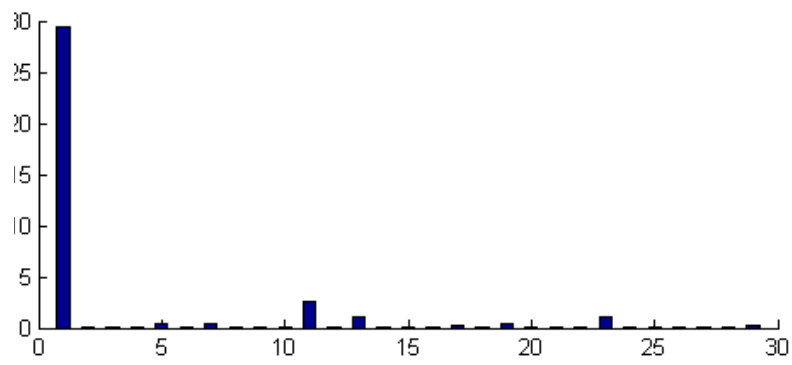
(b) 移相自藕变压器

# 6脉冲整流与12脉波整流的谐波含量比较

## 6脉波整流器



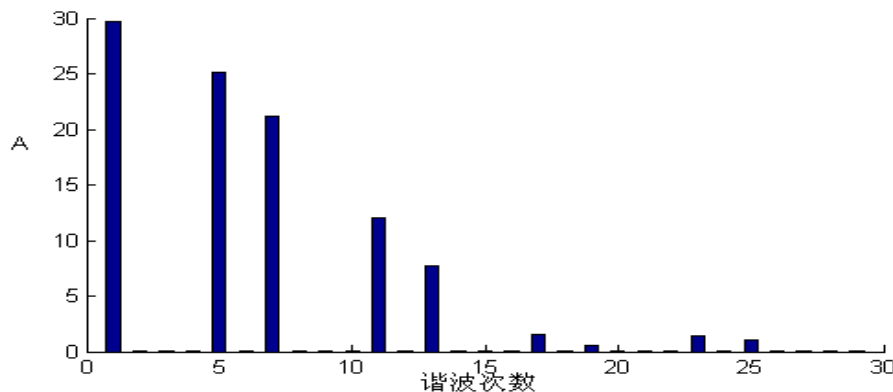
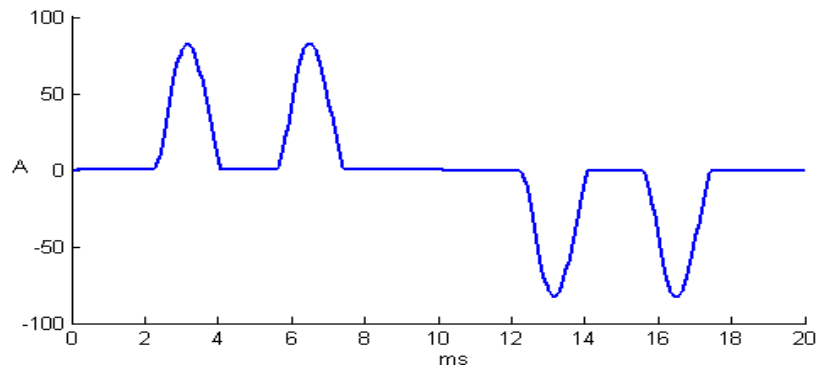
## 12脉波整流器



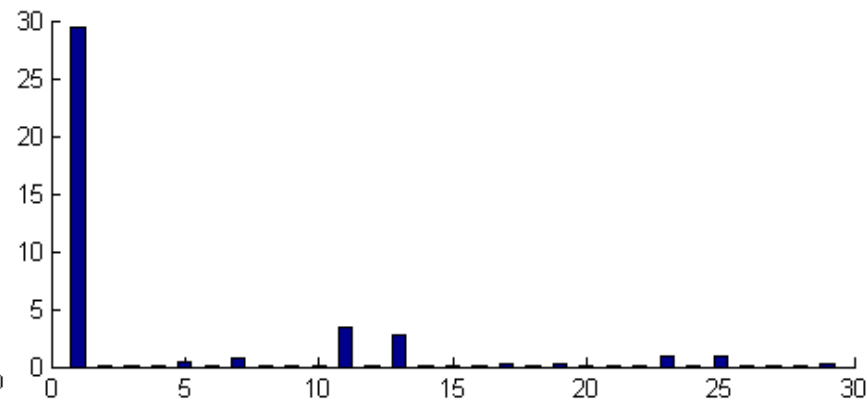
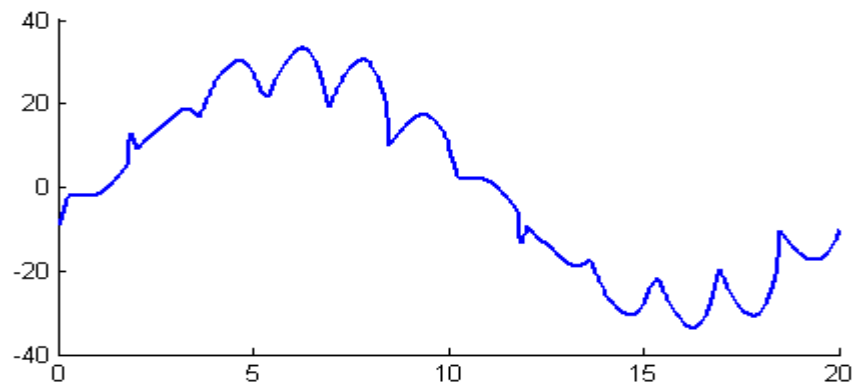
直流侧无大电容

# 6脉冲整流与12脉波整流的谐波含量比较

## 6脉波整流器

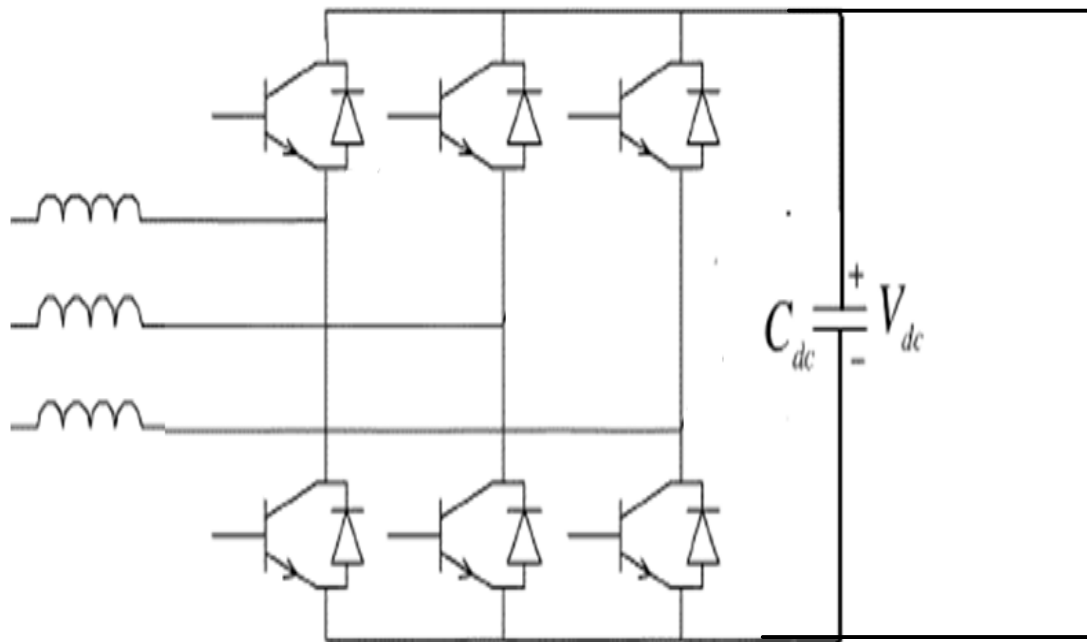


## 12脉波整流器

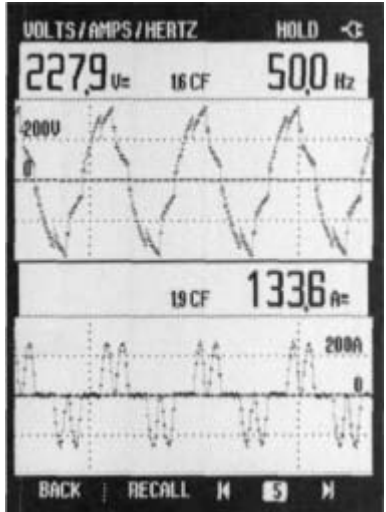
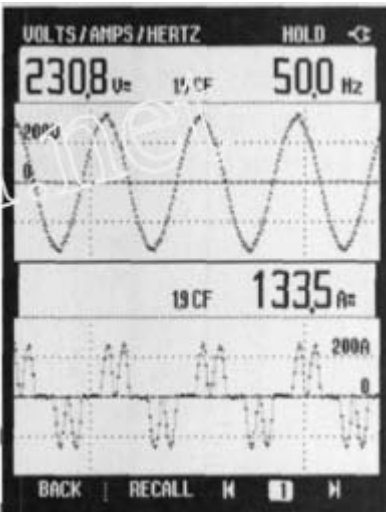
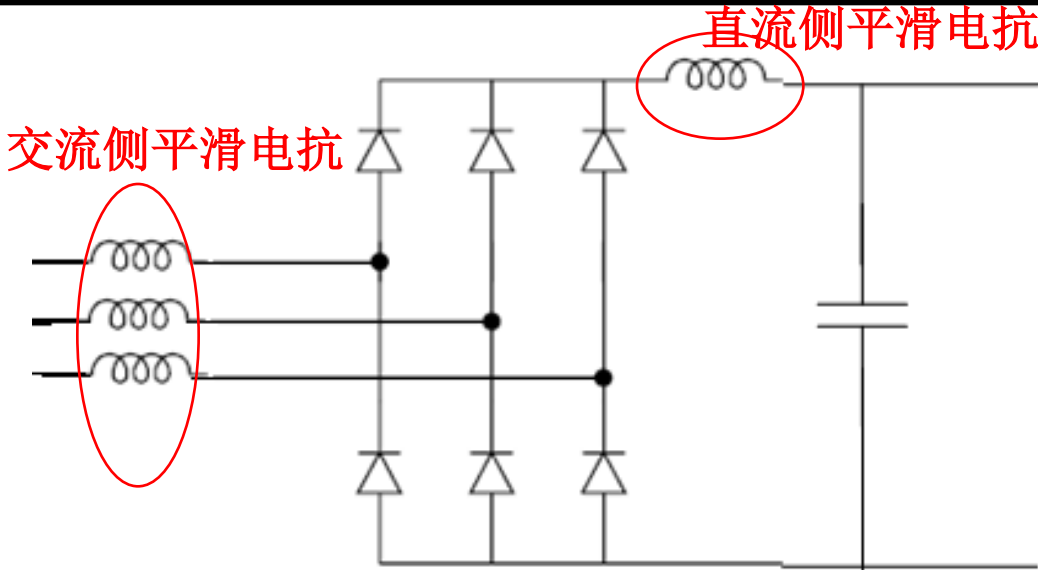


直流侧有大电容

# 有源IGBT整流



# 平滑电抗器

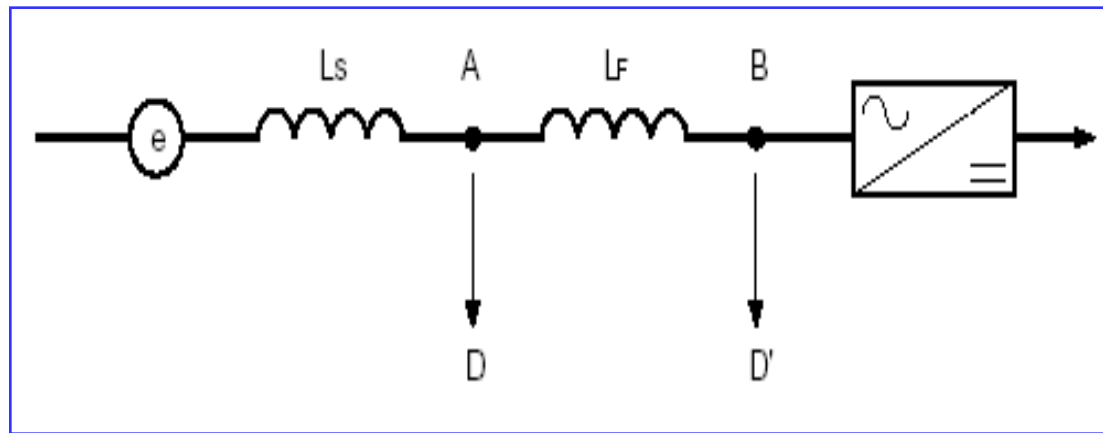


- 平滑电抗器对于改善电压波形畸变有明显作用
- 对于改善电流波形畸变作用不大
- 主要应用于3次谐波治理



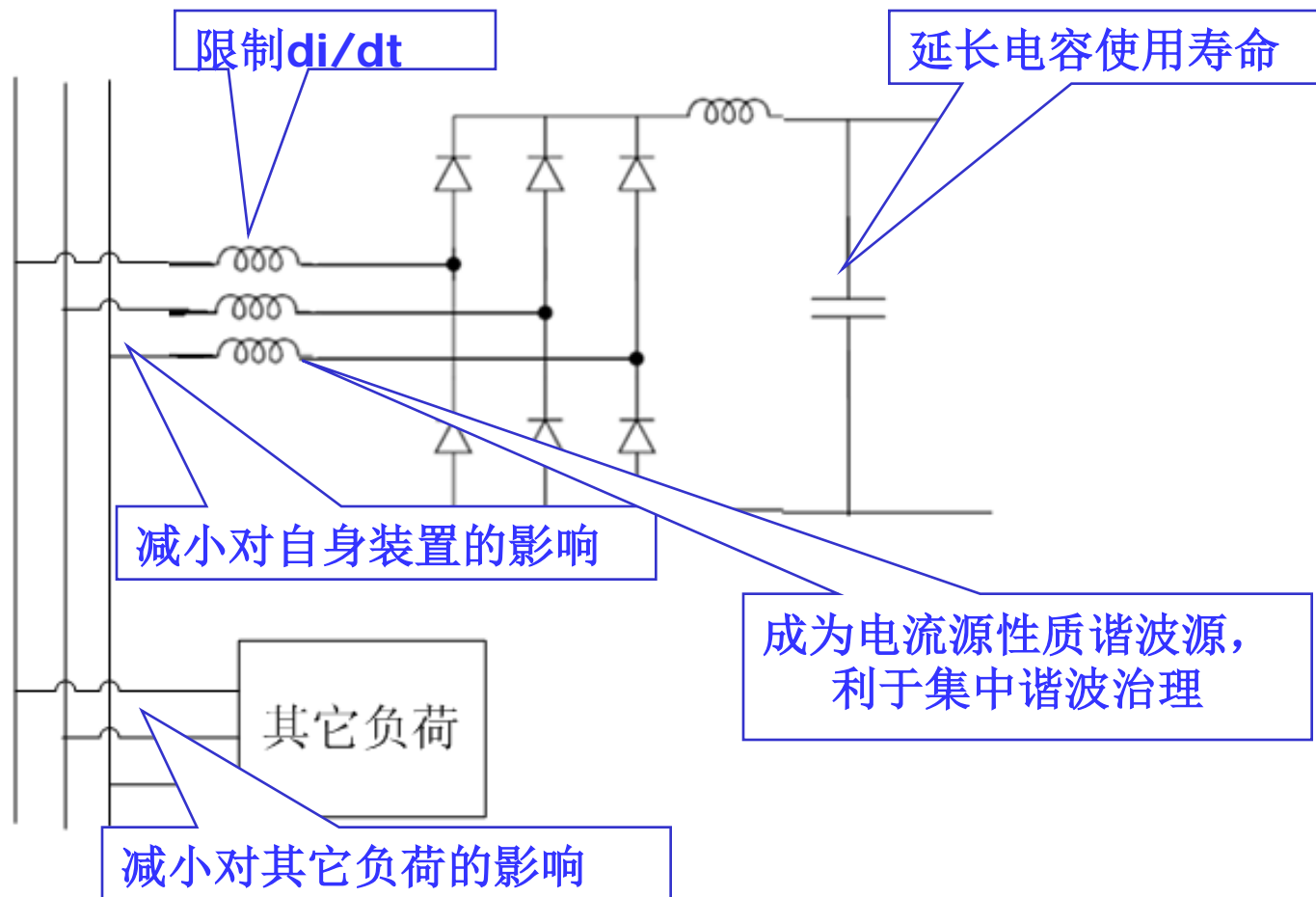
# 平滑电抗器应用—串入交流侧

- 例：如下图所示在谐波源前方采用串联电抗器 $L_F$ 作为谐波抑制。电源和线路阻抗为 $L_S$ ， $e$ 为理想电压源，B点的电压失真度THDU为 $D'$ ，A点的电压失真度为 $D$



$$D = D' \times \frac{L_S}{L_S + L_F}$$

# 平滑电抗器所带来的好处

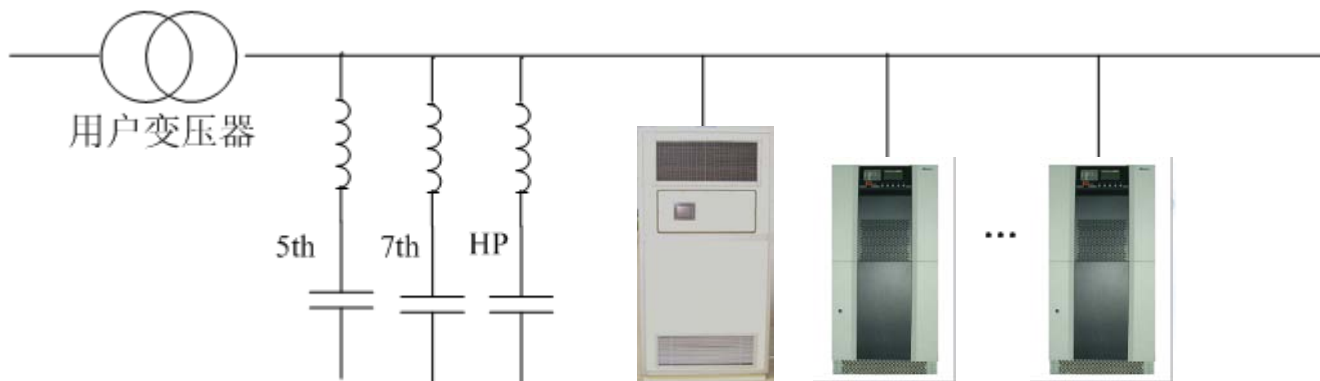




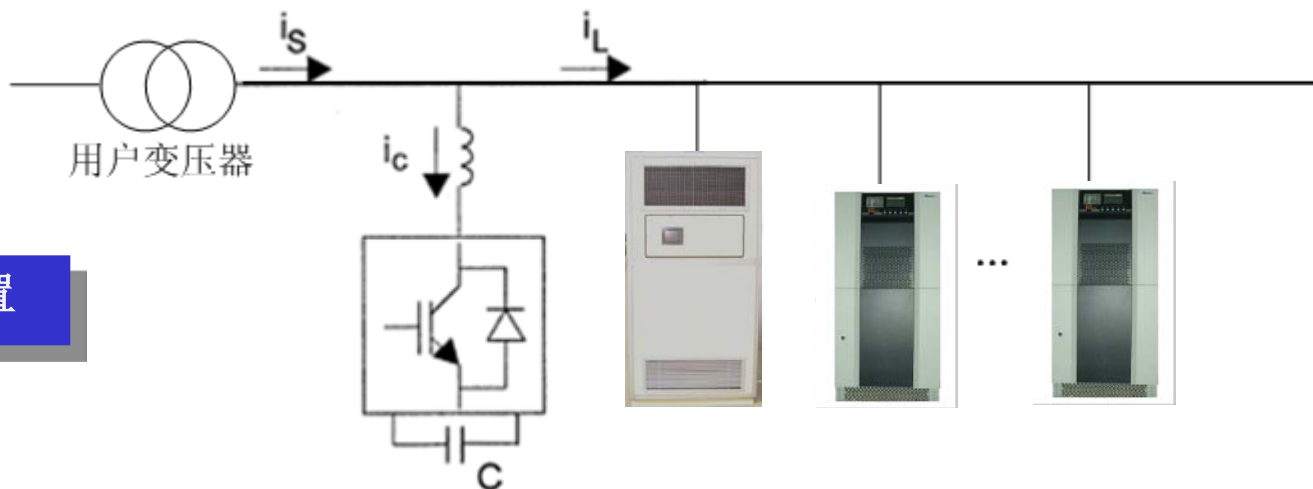
# 并联补偿装置

- 并联补偿：将谐波电流吸收到补偿装置中

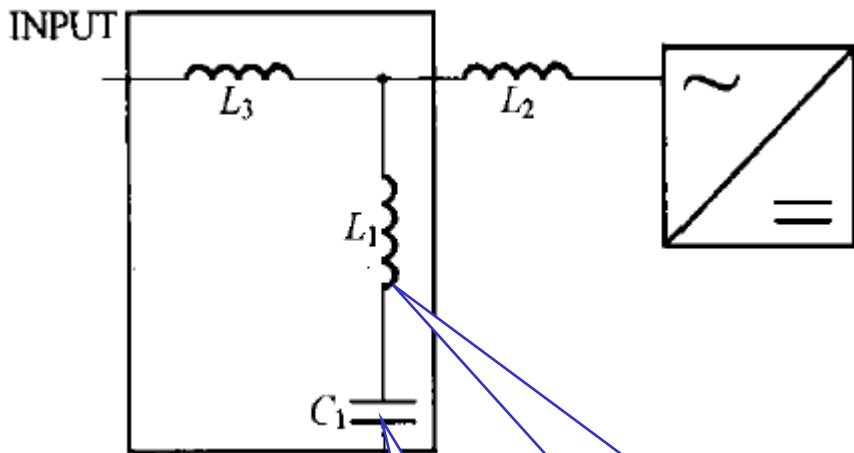
无源LC滤波器



KYXBQ谐波保护装置



# LC无源滤波器



$$\frac{1}{j\omega C} + j\omega L_1 = 0$$

$$\omega^2 L_1 C = 1$$

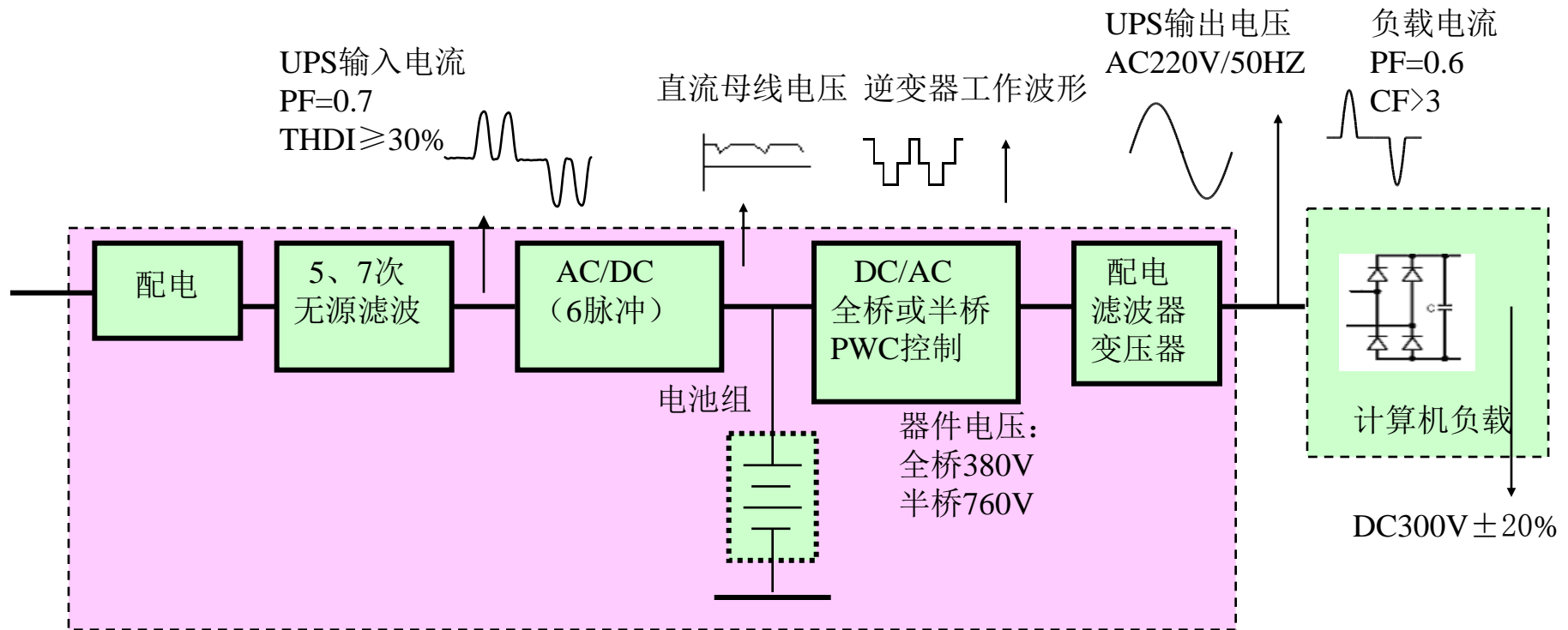
$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times (n \times 50\text{Hz})$$

- 一个被调至6次谐波频率的陷阱电路可用于削弱6脉冲整流器电路中的5次和7次谐波成分，从而可使 *THD* 从34%降至10%

LC: 谐振频率  
阻抗为零

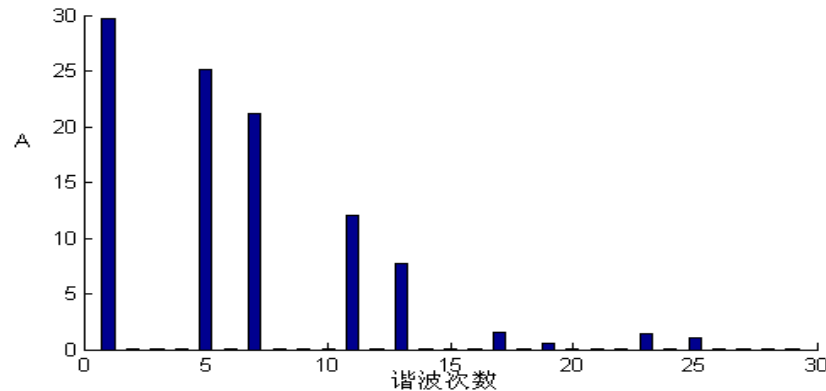
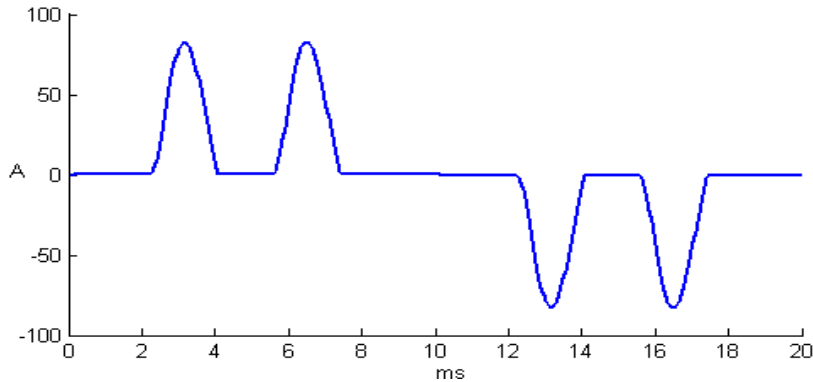
C: 无功电流补偿功  
率因数

# 谐波治理—6脉冲整流+无源滤波器

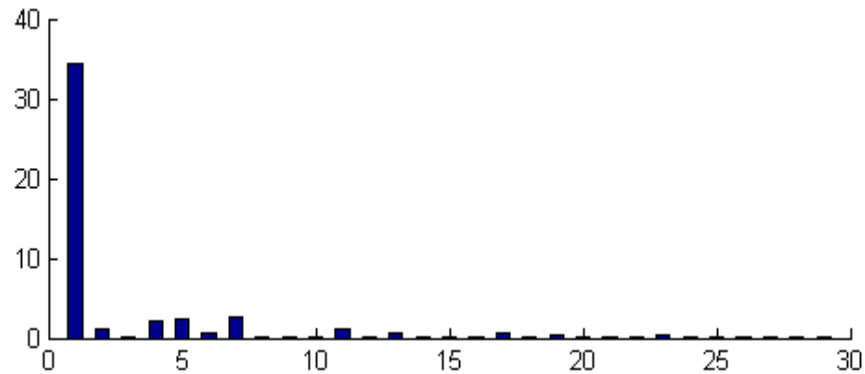


# LC滤波器 — 直流侧有大电容

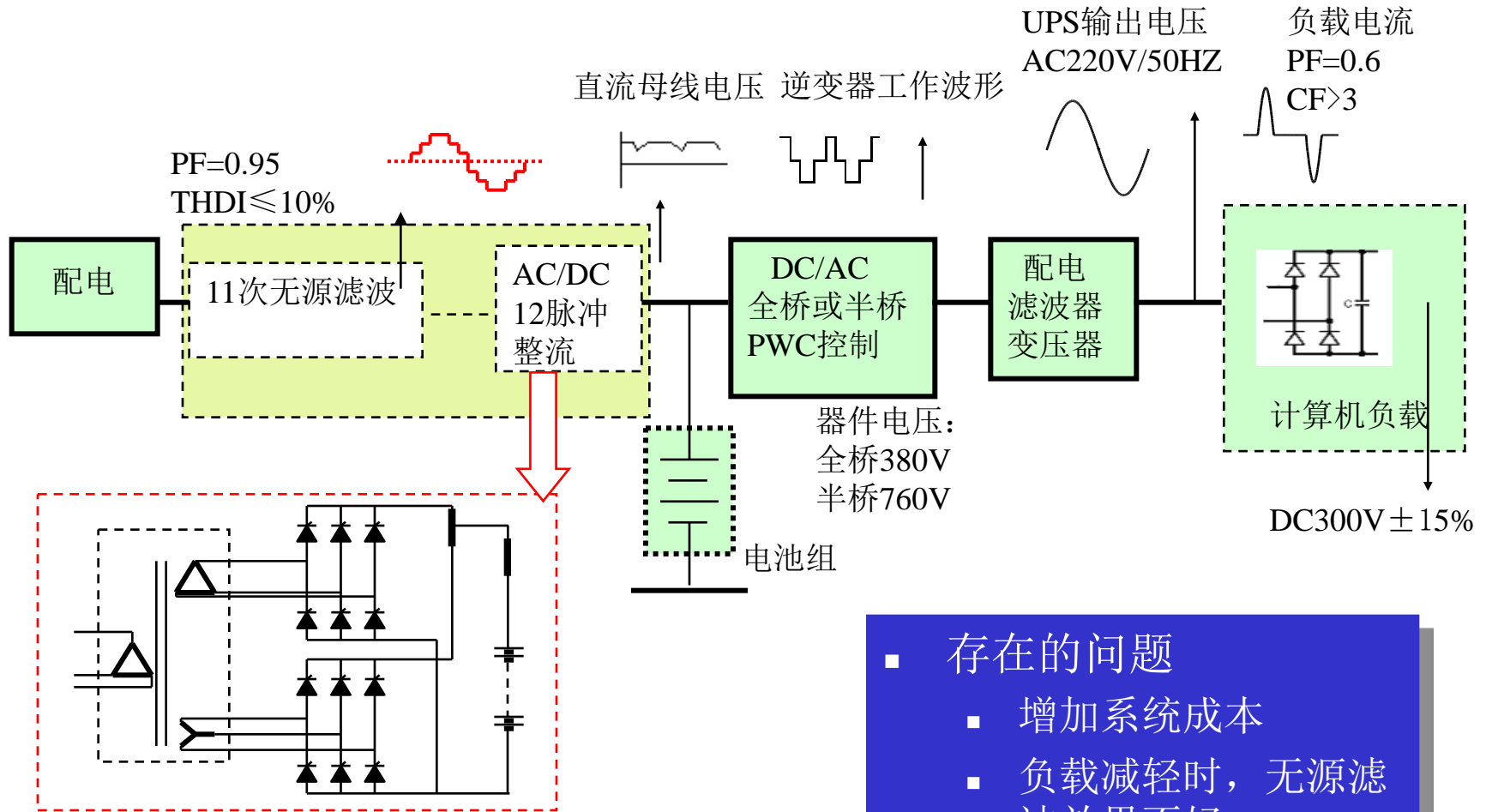
KYLB低压无功补偿装置



KYXBQ谐波保护装置



# 谐波治理—12脉冲整流+无源滤波



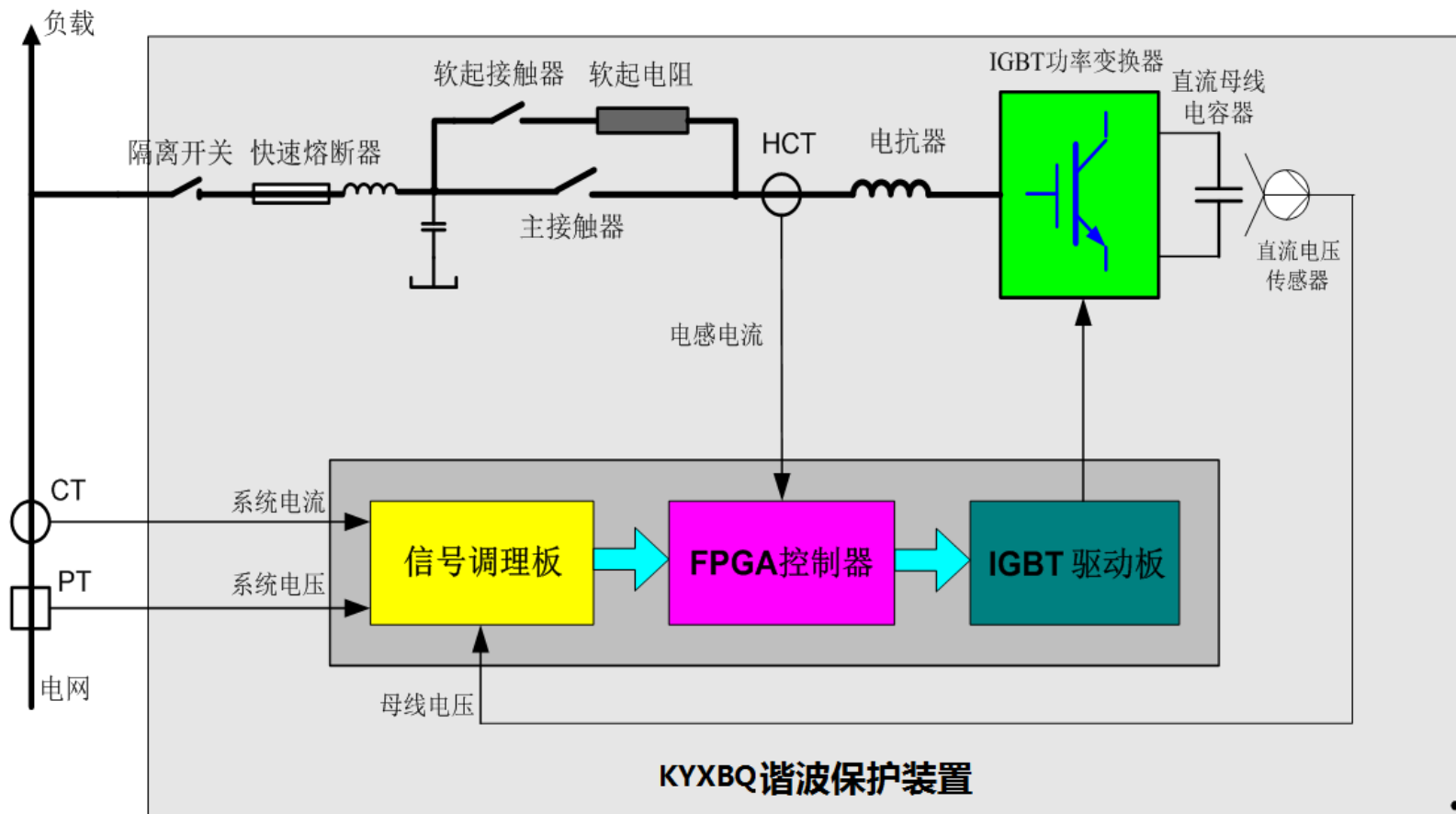
- 存在的问题
  - 增加系统成本
  - 负载减轻时，无源滤波效果不好

# 无源滤波器LC不足

---

- 只能抑制固定的几次谐波，并且对某次谐波在一定条件下会产生谐振而使谐波放大，引起其他事故；
- 只能补偿固定的无功功率，对变化的无功负载不能进行精确补偿
- 其滤波特性依赖于电源阻抗，受系统参数影响较大，并且其滤波特性有时很难与调压要求相协调；
- 由于对其中的元件参数和可靠性要求较高，且不能随时间和外界环境变化，故对无源滤波器的制造工艺要求也很高
- 对系统负荷变化较大的情况，不宜采用；
- 重量与体积较大等等。

# KYXBQ谐波保护装置的原理及结构



# KYXBQ谐波保护装置的优点

---

- 衰减性：THDI衰减率 $\geq 10$
- 安全性：并联方式可保证对负载供电的连续性和安全性；
- 节能性：可提高负载的输入功率因数，降低负载从电网中耗用的电流有效值和视在功率，真正实现节能；
- 净化电源：改善电磁兼容性，减少设备间的传导干扰，增强设备运行的可靠性，消除对电网的污染；
- 满足标准：最大限度满足IEC61000-3-4标准和通信标准（YD/T 1095 – 2000）



# 无源LC滤波器与KYXBQ谐波保护装置的对比

	无源滤波器	KYXBQ谐波保护装置
成本	低	中
占地	大	小
谐波补偿性能	一般	好
谐振风险	高	低
无功补偿能力	有	好
不对称补偿能力	无	好
中线电流补偿能力	无	好

# 抑制谐波干扰方法及效果比较

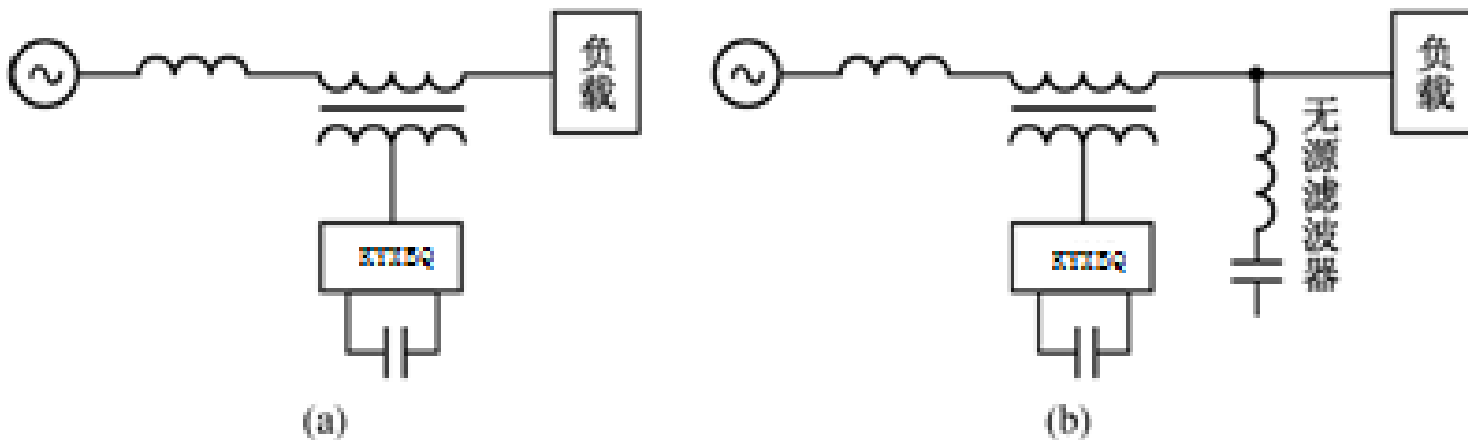
方 式	优 缺 点
增大电力系统的供电容量和电缆、开关等	谐波没有消除，且成本昂贵；
变压器以不同的方式联接	仅能限制3次和3n次谐波，且目前高低压电网已定，不可改造；
采用12脉冲整流、移相式滤波器	仅能削减5次和7次谐波。效率低，损耗大；效果差，不满足IEC61000-3-4标准；上电时有非常大的浪涌电流；
平滑电抗器	仅能有限度地降低谐波电流THDI，安全性差；
LC无源滤波器	仅能按谐波频率选择衰减次数，安全性差；
IGBT型整流和逆变	小功率60KW以下较好，大功率时控制系统复杂系统的稳定和安全性待验证；
KYXBQ谐波保护装置	可有效消除谐波，安全系数高，并联于电路回路，为首选方案；



---

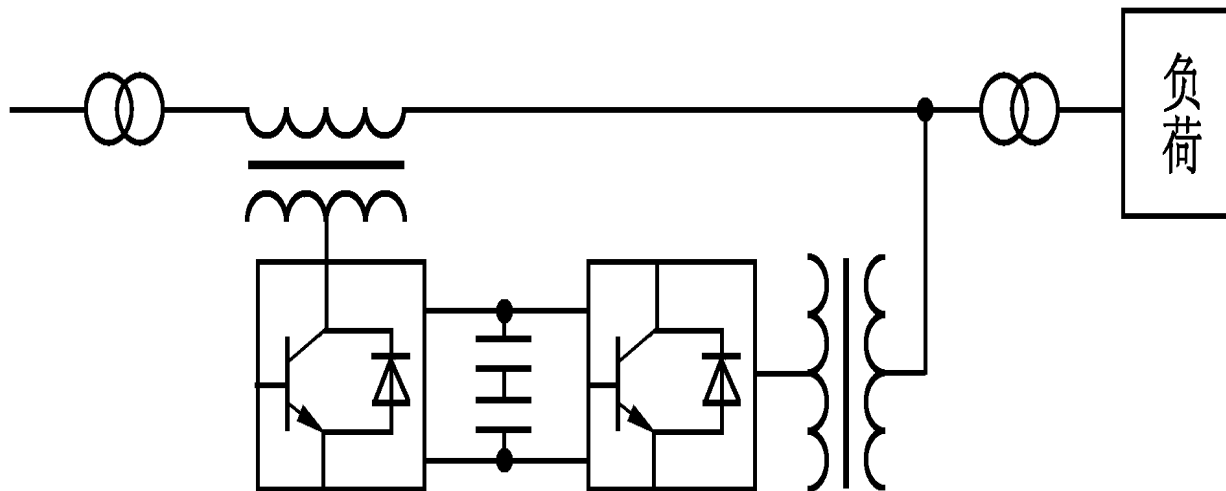
# 基于谐波保护装置的电能质量优化

# KYXBQ谐波保护装置种类和拓扑



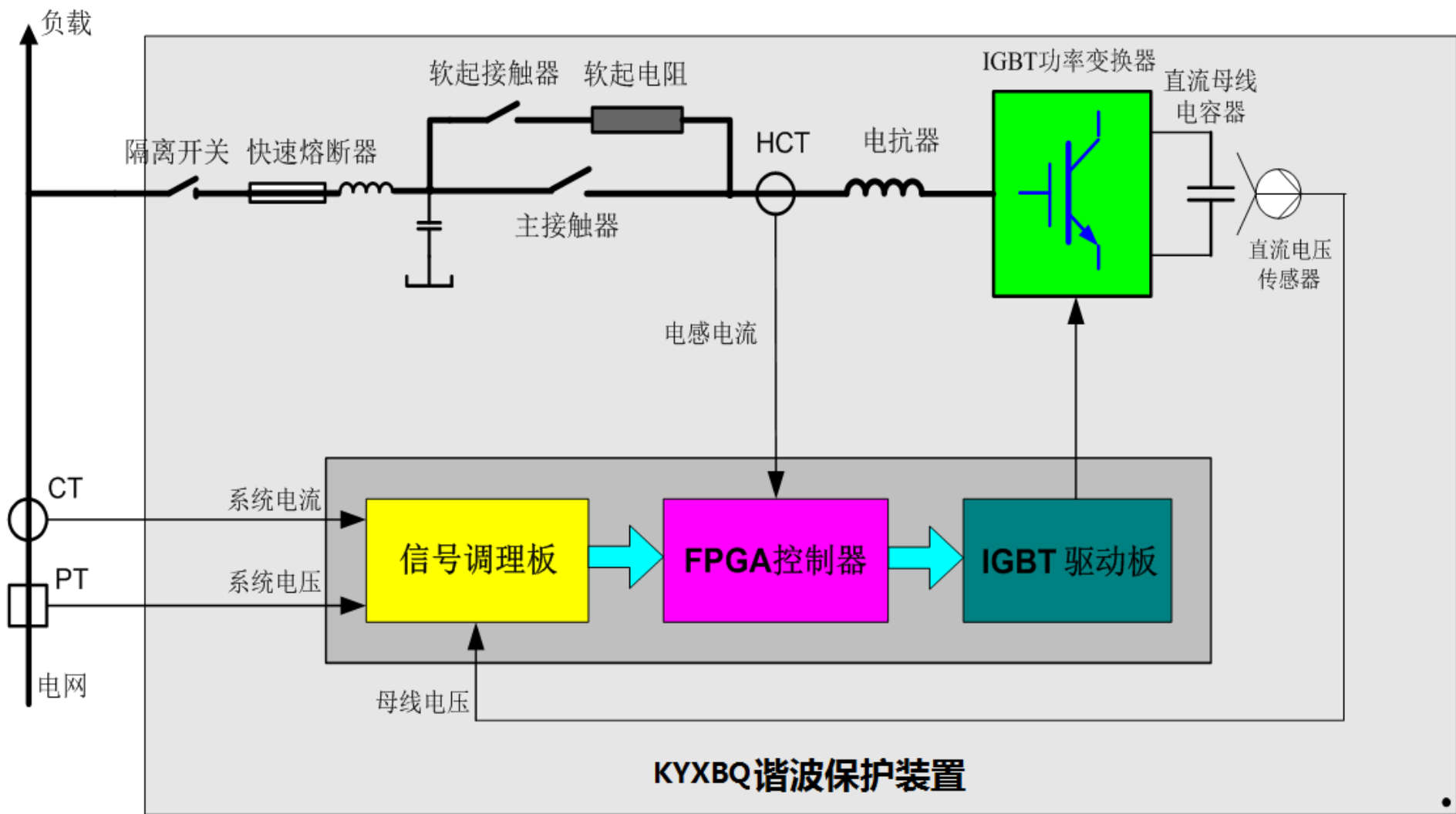
串联KYXBQ谐波保护装置

混合式串联KYXBQ谐波保护装置



串并联KYXBQ谐波保护装置

# KYXBQ谐波保护装置的结构



# KYXBQ谐波保护装置控制—谐波电流检测

## 模拟追踪补偿方式



模拟追踪补偿方式的滤波器原理是将电源电流采样后，将基波滤除，而将剩下的谐波量翻转去抵消电源电流中的谐波



响应速度快（ $<1\text{ms}$ ），并且可以补偿2—50次谐波

## 快速傅里叶级数方式



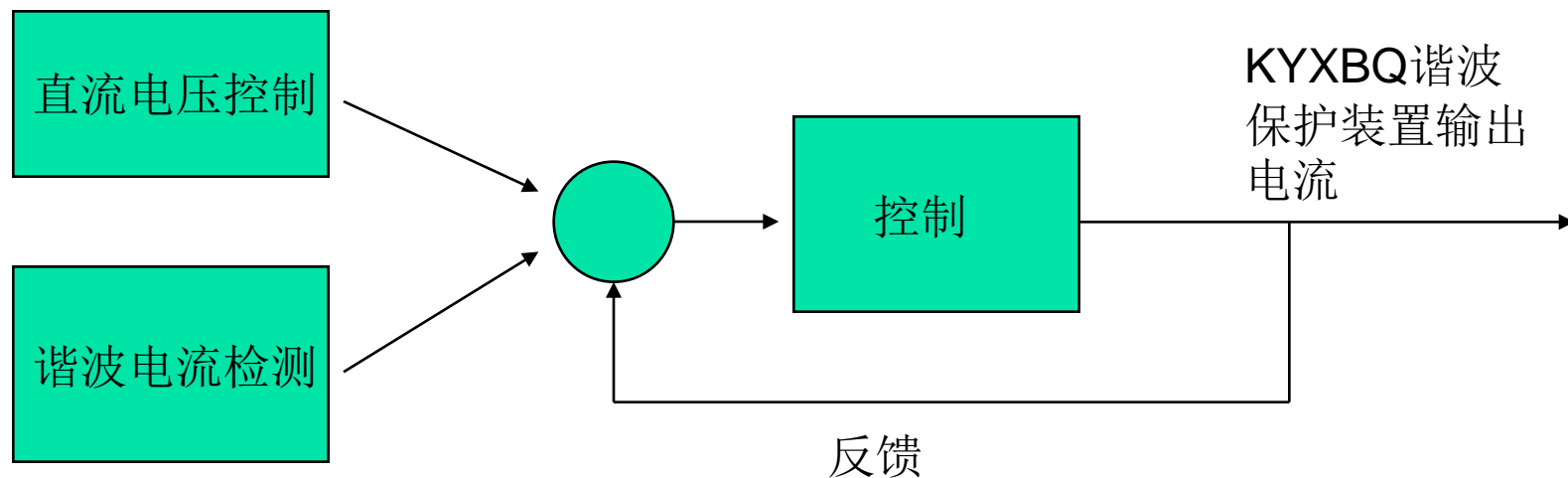
将电流采样后，使用快速傅里叶级数计算的方式将其分解为各次波形，然后可以针对其中的特定某次谐波进行消除。



需要采样至少一个完整的波形才能进行付里叶级数的计算，故响应速度一般在20—40ms

# 有源滤波器—电流控制

- KYXBQ谐波保护装置输出参考电流由两部分构成：
  - 控制直流电压稳定的电流
  - 需补偿的谐波电流以及无功和不平衡补偿电流
- KYXBQ谐波保护装置电流输出采用反馈闭环控制，输出跟随给定的参考值



# KYXBQ谐波保护装置接入方式

---

- 串联KYXBQ谐波保护装置需串入电网，本身的工作状态对电网产生影响，电网的异常情况也会影响设备的安全。这种方式较少采用。
- 采用并联补偿方案，系统作为整体并联接入电网，不必改接电网，便于现场安装；
- 模块化设计，并联扩容方便；
- 并联接入系统，维护更加方便，可在线维护；



# KYXBQ谐波保护装置功能

---

- KYXBQ谐波保护装置输出完全跟踪给定的参考电流，因此在容量足够的情况下可以实现负荷电流的完美补偿：
  - 谐波：开关频率可达10kHz以上，对谐波补偿效果很好，谐波补偿次数可达50次
  - 无功：可以输出基波无功电流，实时改善负荷的功率因数
  - 不平衡：可以补偿不对称负荷引起的电流不平衡，改善和提高电源的工作效率，提高系统稳定性
  - 中线电流：可以补偿基波零序电流、3次和3n次谐波电流，有效降低零地电压

# KYXBQ谐波保护装置节能效果

---

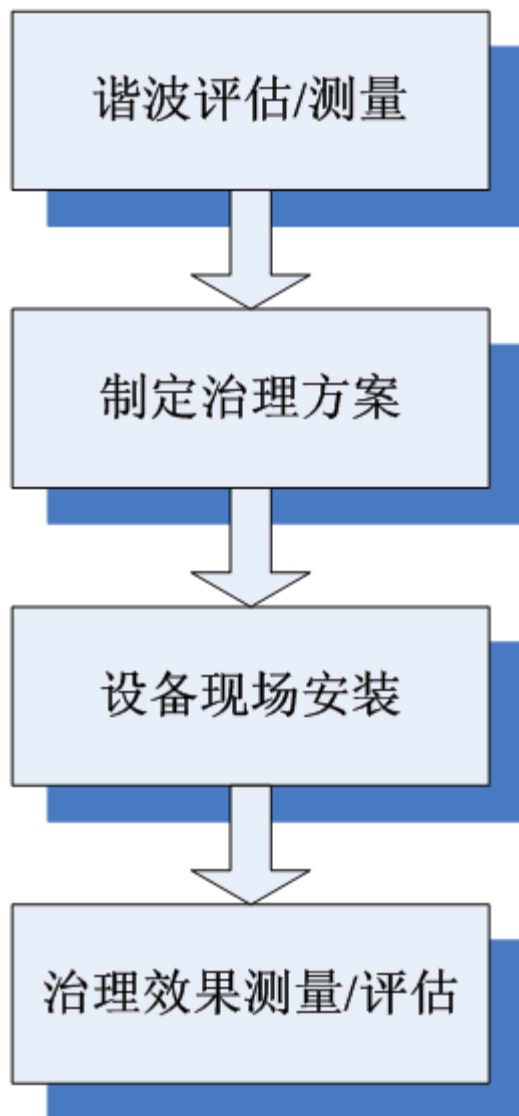
- 防治因谐波引起的供电事故而导致生产受损
- 提高负荷的功率因数，降低总谐波电流，可以避免供电部门的处罚
- 可补偿基波无功，节省固定电容器投入及维护费用
- 减小谐波电流和电压引起的设备故障，降低维护费用，延长设备使用寿命
- 降低谐波电流引起的各种损耗，综合节能效果可达4%~20%
- 增加电力设备的有功功率输出能力，减少扩容投资

---

# 基于电信行业的谐波治理方案

# 现场谐波治理方案 — 有源滤波器

---



# 谐波评估/现场测量

---

- 设计所依据的基础数据
  - 供电系统主接线图及设备参数
  - 谐波源负荷特性（谐波电流大小、次数）
    - 民(商)用：空调、冰箱、电视、计算机、UPS、变频器
    - 工业用：变频器、电焊机、电弧炉
  - 其它负荷（非谐波负荷）大小及特性
  - 系统谐波阻抗（尤其是采用LC滤波器时非常重要）
  - 现有谐波水平、应达到的谐波指标
  - 功率因数要求
  - 不对称补偿要求
  - 中线电流补偿要求（三相四线）

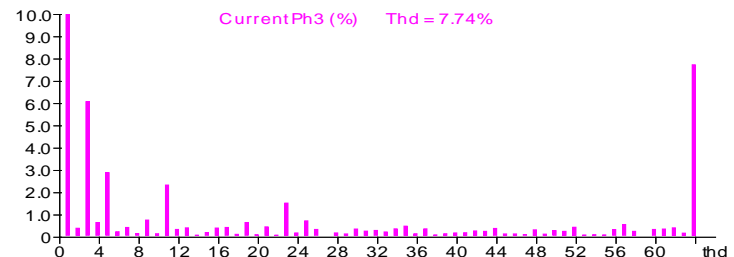
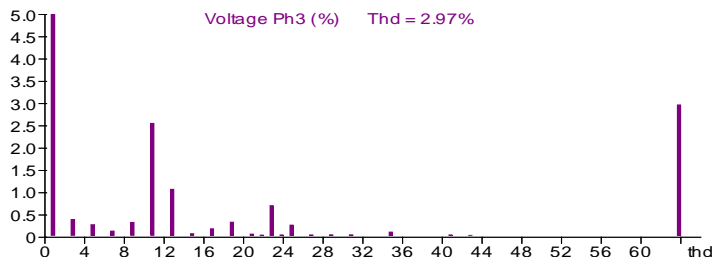
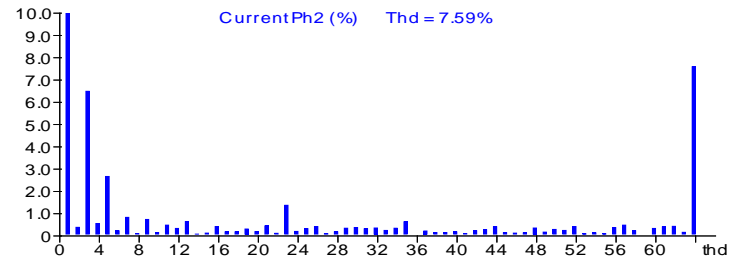
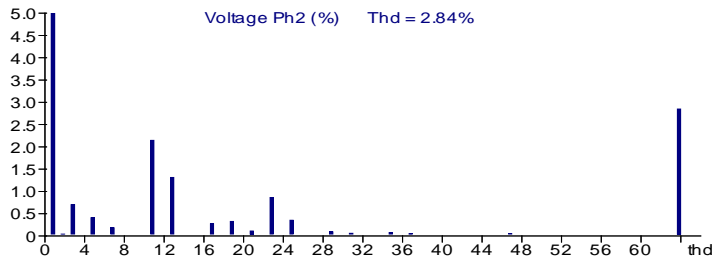
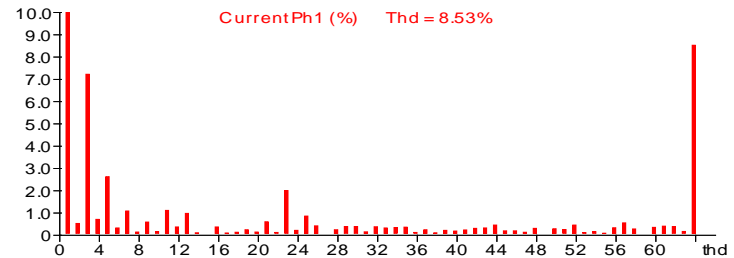
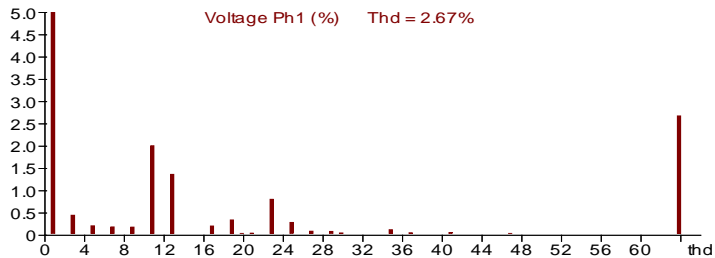
# 谐波评估/现场测量—某降压站测量数据

谐波问题复杂性、随机性  
大多以实际测量结果作为处理问题依据

Voltages

Magnitudes (26.03.2008. 13:26:13)

Currents



# 测量数据分析

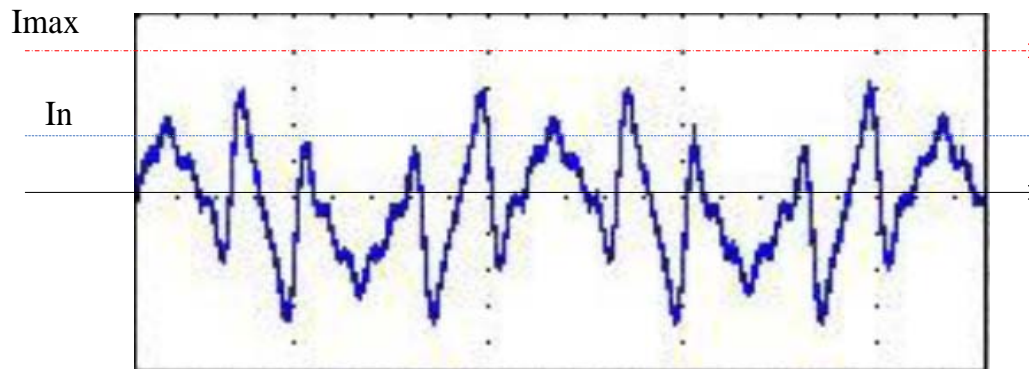
母线	类别	数值	中线电流
I段	基波电流 (A)	370	110A
	电流THD (%)	9.28	
	电压THD (%)	3.05	
II段	基波电流 (A)	520	110A
	电流THD (%)	9.26	
	电压THD (%)	2.75	

- 两段母线谐波电流均超标
- 测量时非用电高峰，夏季高峰期间（空调机组）谐波电流可能更大
- 中线电流严重超标



# KYXBQ谐波保护装置配置方案选型

- KYXBQ谐波保护装置的标称电流 $I_n$ 
  - 一般为额定滤波电流有效值
  - 基波正弦情况： $I_{max}=1.414I_n$
  - KYXBQ谐波保护装置一般原则： $I_{max}=3I_n$ （峰值因数为3）





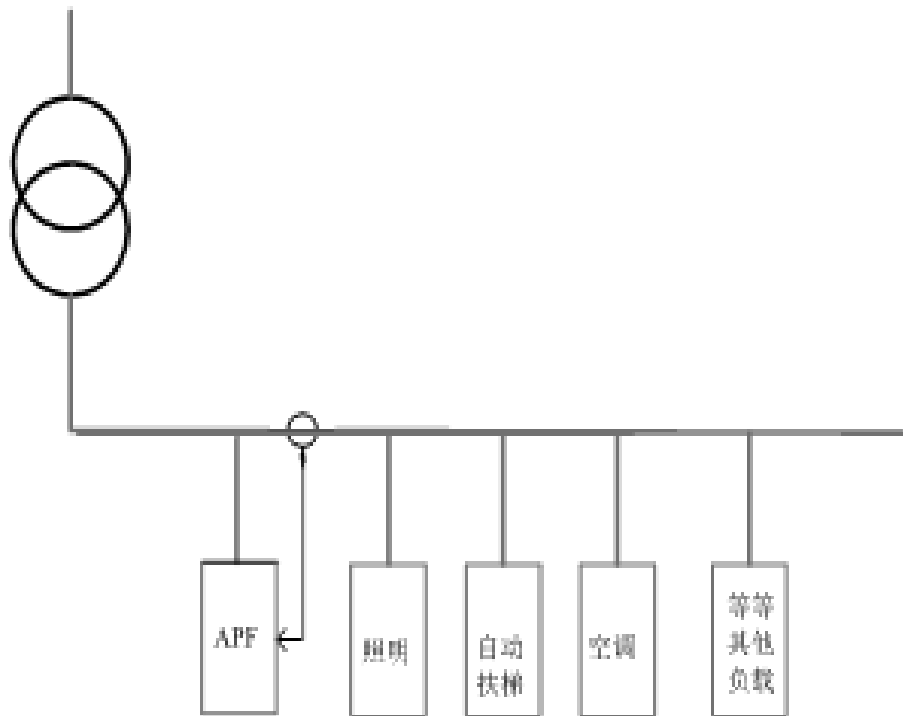
# KYXBQ谐波保护装置配置方案选型—容量选择

---

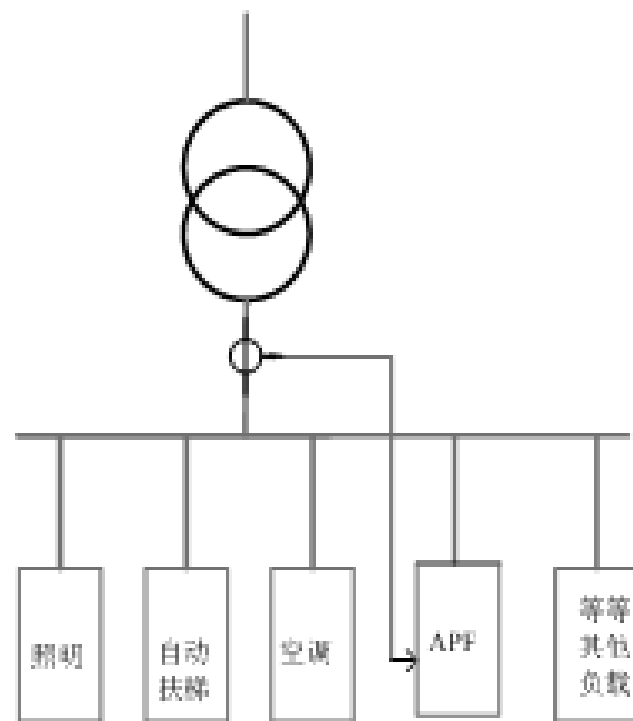
- KYXBQ谐波保护装置标称型号  $I_n$
- KYXBQ谐波保护装置所补偿负荷的谐波电流有效值  $I_h$
- 治理后，谐波满足标准
  - GB/T14549-93 《电能质量-公用电网谐波》
    - 谐波电流
    - 谐波电压
- KYXBQ谐波保护装置容量选型

“根据预估负载的被补偿的谐波电流 $I_h$ 的大小，然后选择输出的补偿电流的额定值大于 $I_h$ 的有源滤波器。选择标准是大于 $I_h*1.25$ ”

# 设备安装方式



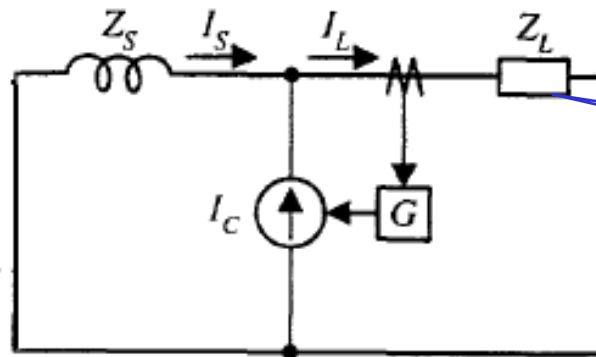
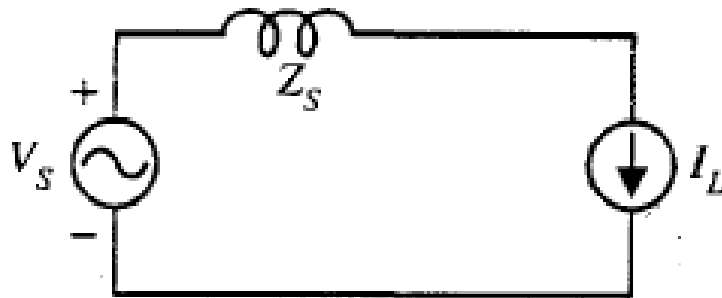
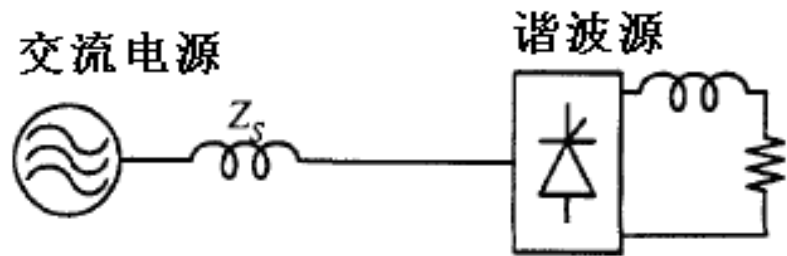
CT位置在负荷侧



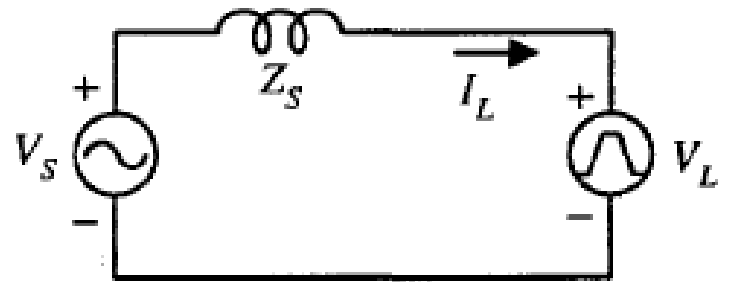
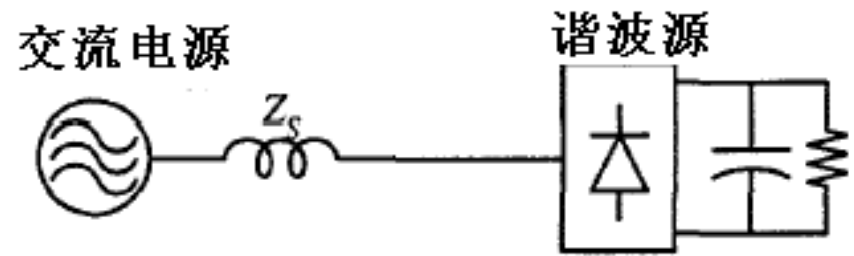
CT位置在电网侧

# 谐波负荷类型对并联补偿的影响

## 谐波电流源



## 谐波电压源



实际上反映为负荷侧的谐波阻抗

# “谐波电压源”负荷

---

- 如果负荷过于呈现“谐波电压源”性质，采用并联谐波补偿方案可能引起谐波放大现象
  - 负荷阻抗在高频时过小
  - 在这一点上，KYL B无源滤波和KYXBQ谐波保护装置是共同的
- 解决方案
  - 补偿的负荷支路里尽量避免纯电容性性质的支路
  - 负荷支路串入适当电抗(3%左右)
  - 对于产生谐波放大的频率，不选择补偿

---

# 典型案例测试报告与分析

# KYXBQ谐波保护装置产品特点

## ■ 产品系列

额定滤波电流	100A	150A	200A	300A
额定电压	400V/690V ± 20%			
频率	50Hz ± 10%			
谐波衰减比	>10典型值(负载电流THD<50%)			
冲击电流	小于额定电流			
滤波范围	同时滤除2~61次谐波,共高达60种谐波			
滤波程度	全面跟踪滤波			
滤波能力	对目标谐波,有效滤波能力可高达97.5%(在额定负载)			
正常响应时间	100μs			
阶跃响应时间	响应时间<100μs,对阶跃变化的谐波完全补偿时间<10ms			
有功功率损耗	<2.5%额定模块功率下,97.5%效率			
过载能力	120%,瞬间300%			
冷却方式	强制风冷			
运行噪音	≤70dB(额定工况下1m距离)			
多台运行方式	能实现8台KYXBQ并联运行,且由一个FPGA进行集中控制			
平均无故障时间	≥10万小时			

## ■ 测量CT位置

- 负荷侧
- 电网侧

## ■ 并联运行

- 最多可以10台装置并联运行

# 补偿功能

---

- 补偿功能
  - 谐波补偿：2~61次谐波任意可选
  - 无功补偿：提高功率因数
  - 不对称补偿：均衡三相负载
  - 中线电流补偿：消除中线上电流
  
- 补偿功能组合
  - 各种补偿功能可以组合
  - 可以设置优先模式，充分利用KYXBQ谐波保护装置补偿能力
    - 谐波优先模式
    - 无功优先模式
    - 均等模式

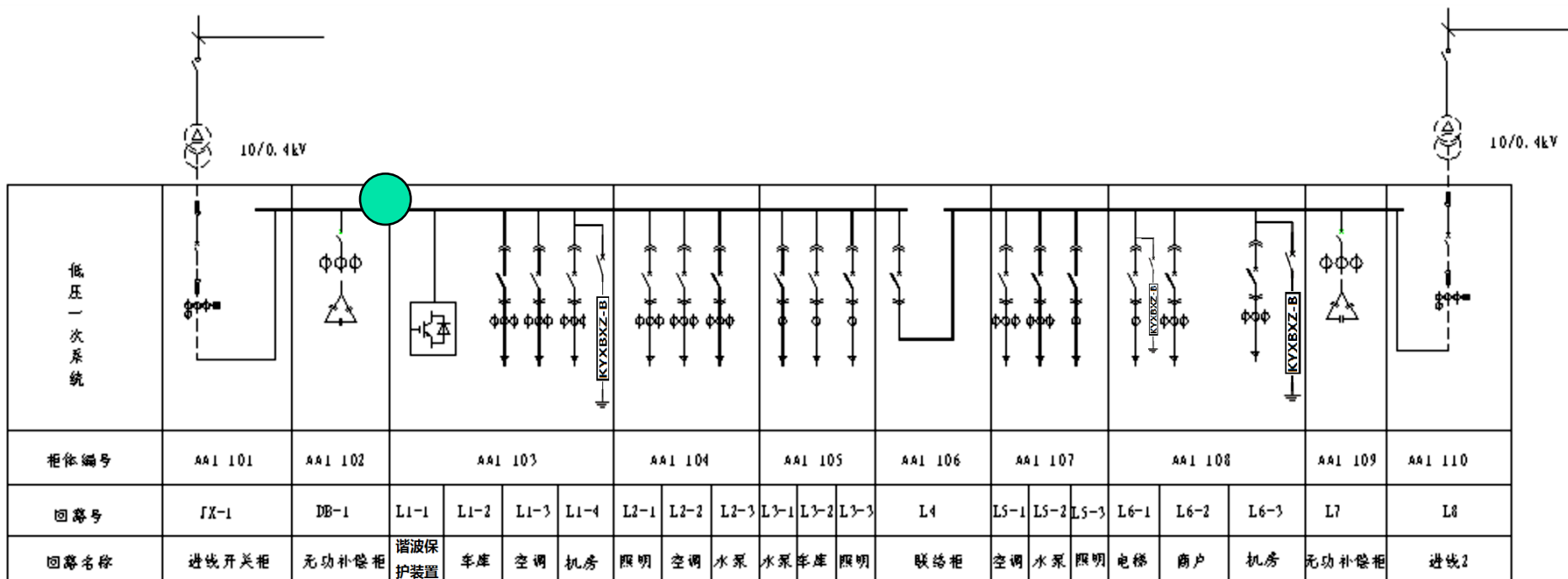
# 响应速度

---

- 谐波检测时间
  - 瞬时模式：快速动态补偿
  - FFT模式（推荐）：精确补偿、灵活选择补偿次数
- 控制速度
  - 开关频率：10kHz~20kHz
  - 电流跟踪速度 < 100us
- 全响应时间
  - FFT模式：20~30ms



# 兰州海红技术股份有限公司电信机房供电系统图



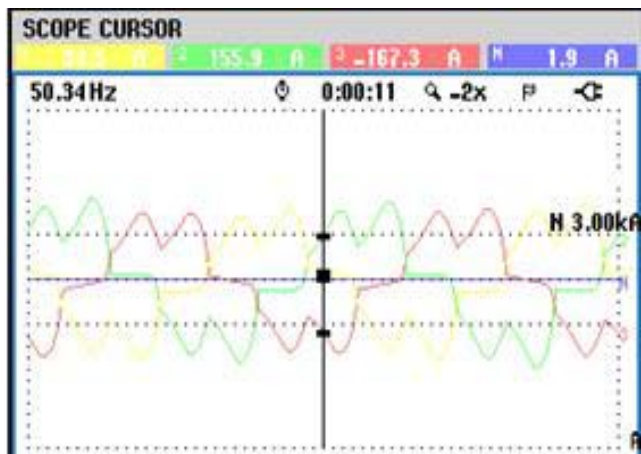
- 2台800kVA变压器供电，单母线分段
- 8组总容量为240kvar电容无功补偿装置，采用传统的接触器投切

# KYXBQ谐波保护装置安装现场



# KYXBQ谐波保护装置测试报告

## ■ 该机房存在的问题



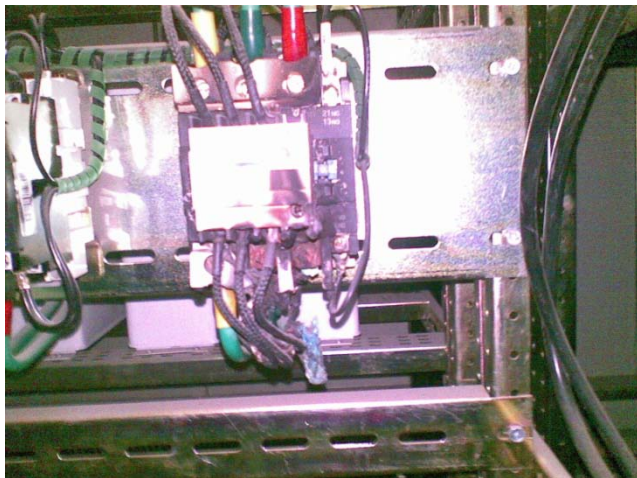
谐波表格

0:01:08

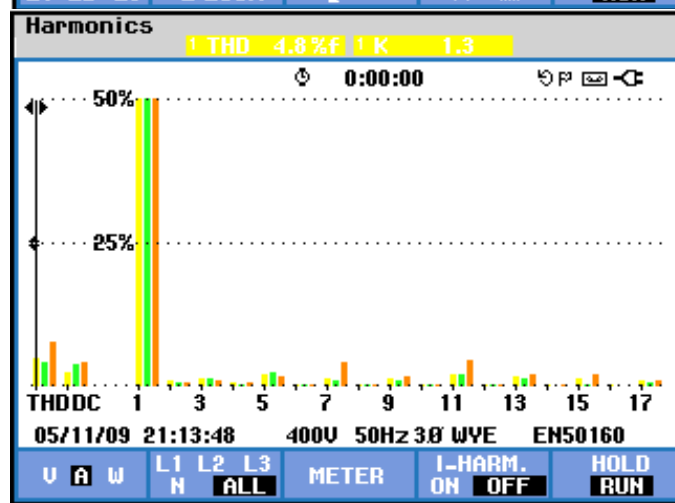
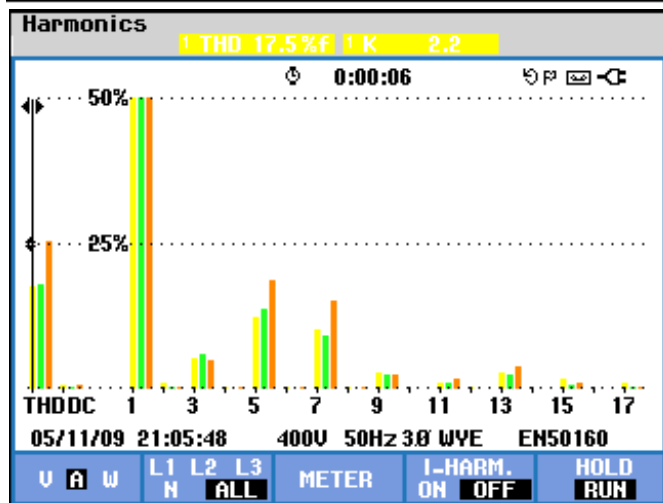
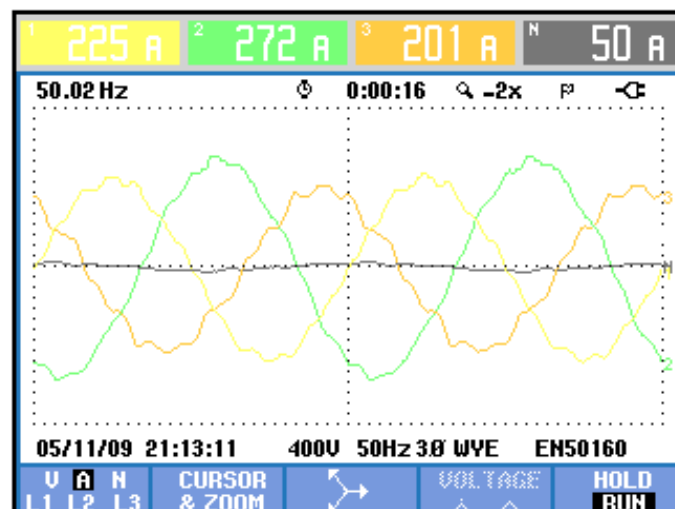
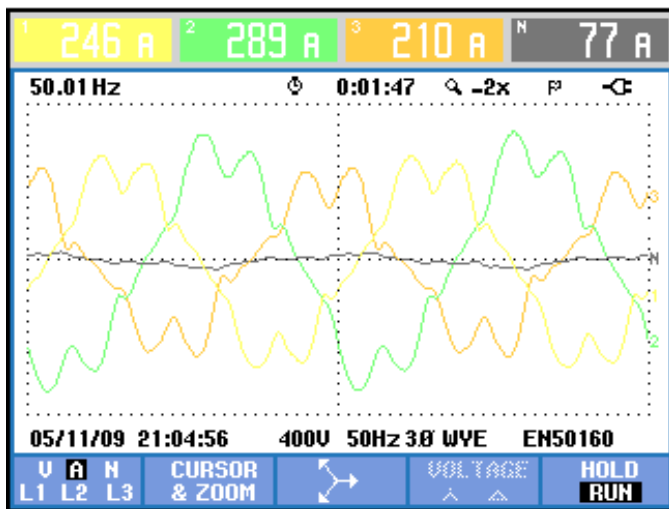
Amp	L1	L2	L3	N
THD%f	19.2	19.9	14.7	145.9
H3%f	3.9	9.2	4.5	121.2
H5%f	12.2	10.4	9.8	12.7
H7%f	12.4	12.3	8.8	7.0
H9%f	3.0	4.4	3.4	76.0
H11%f	3.4	2.8	1.5	9.3
H13%f	5.0	4.3	2.5	2.1
H15%f	1.0	1.0	0.5	15.6

02/17/09 16:50:15 400V 50Hz 3Ø WYE EN50160

U A W HARMONIC GRAPH TREND HOLD RUN  
U&A

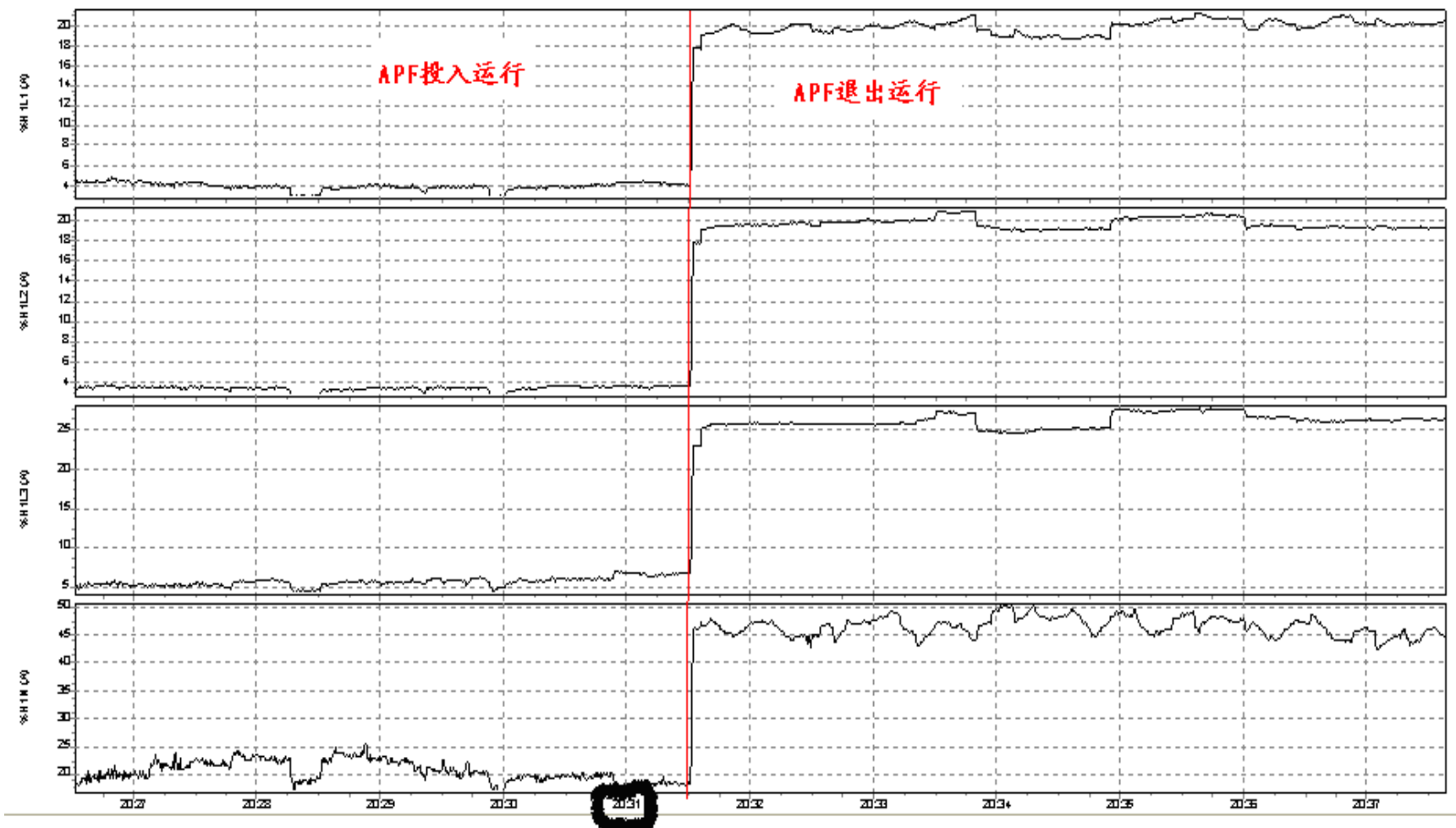


# KYXBQ谐波保护装置投入前后谐波补偿效果



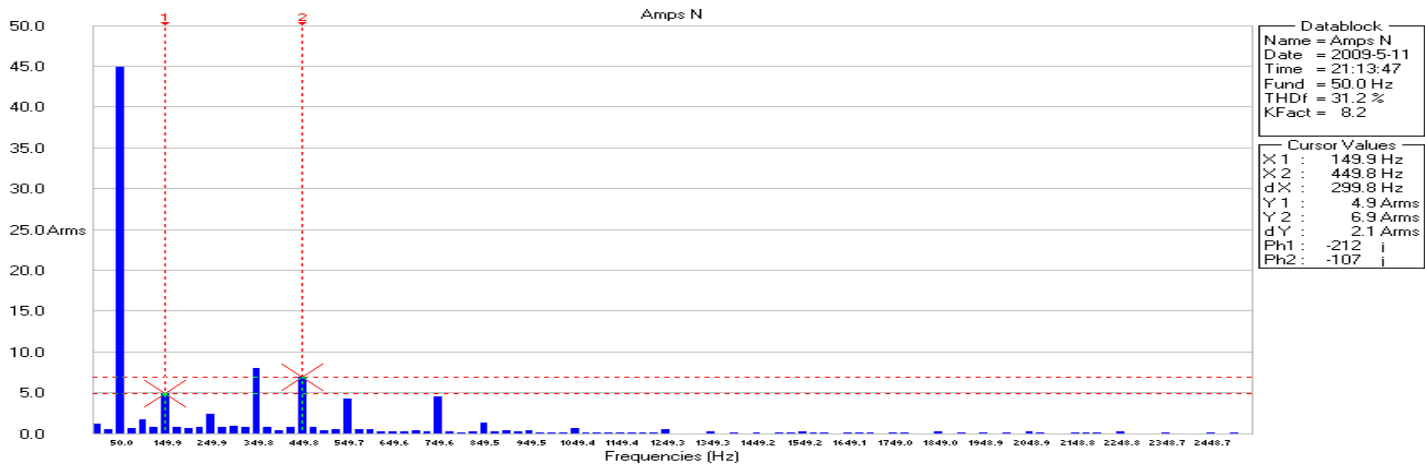
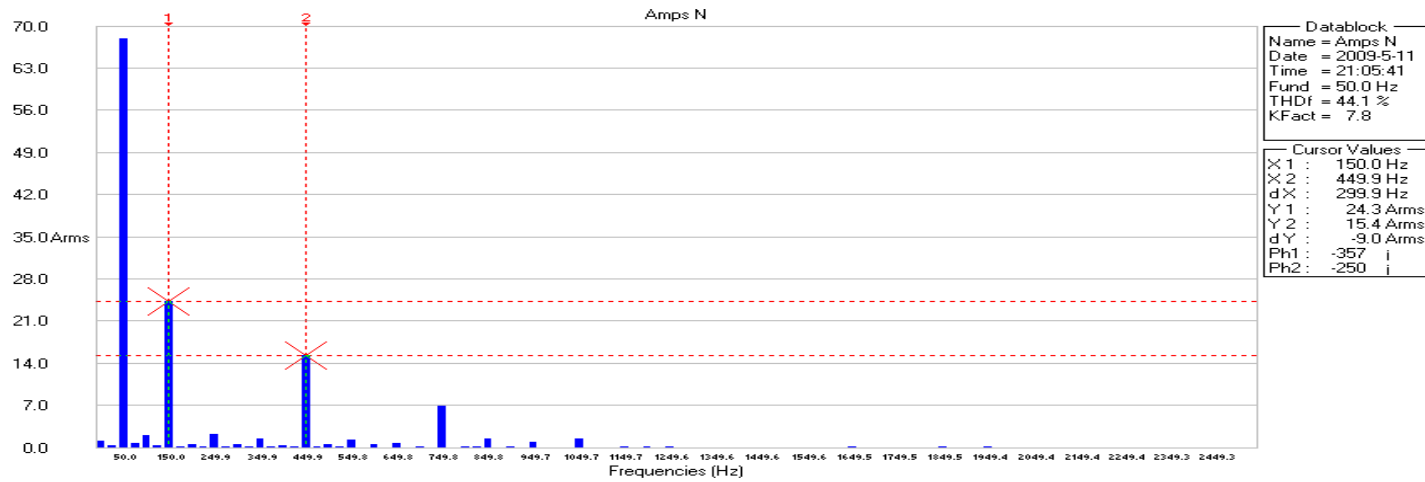
- KYXBQ谐波保护装置补偿后，3，5，7次谐波均控制在3%以内

# KYXBQ谐波保护装置投入前后谐波补偿效果



- APF投入，THD约4%；APF退出，THD在20%以上

# KYXBQ谐波保护装置投入前后N相电流频谱



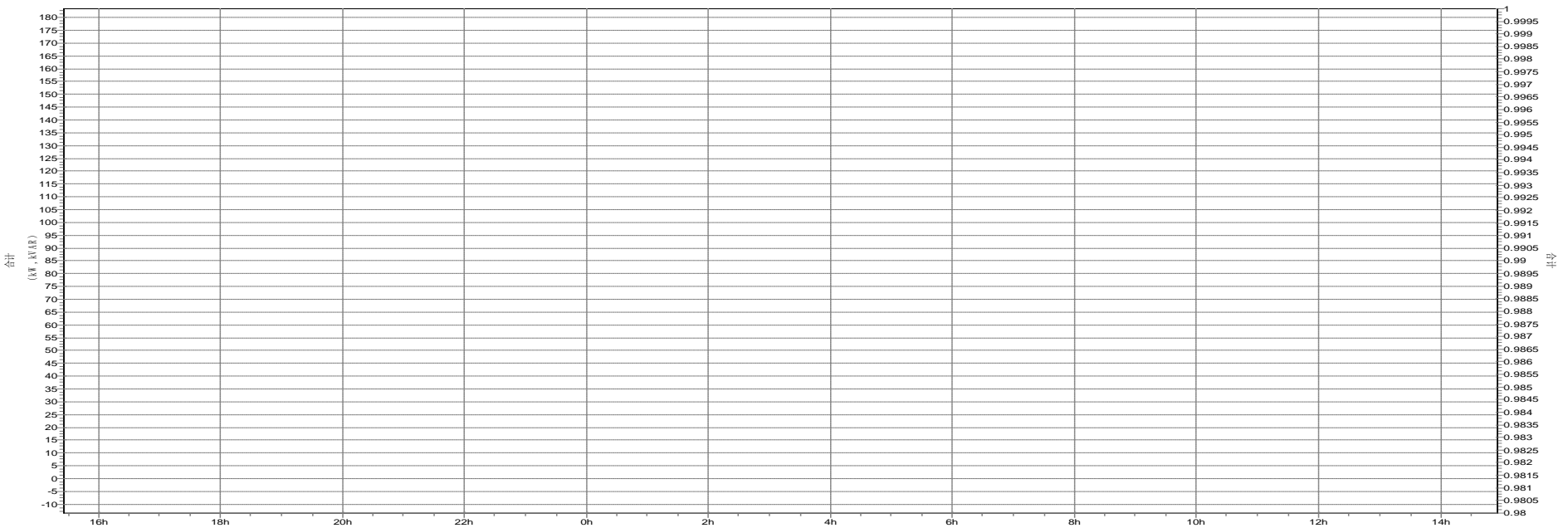
- 3次谐波由24.3A下降到4.9A；9次谐波由15.4A降到6.9A

# 无功（功率因数）补偿情况—未投入无功补偿



- 左侧纵坐标：功率(-70~200kvar/kW)
- 右侧纵坐标：功率因数(0.9~0.978)
- 横坐标：时间(18h~次日14h)
- 无功缺额最大70kvar，平均40kvar

# 无功（功率因数）补偿情况—投入无功补偿



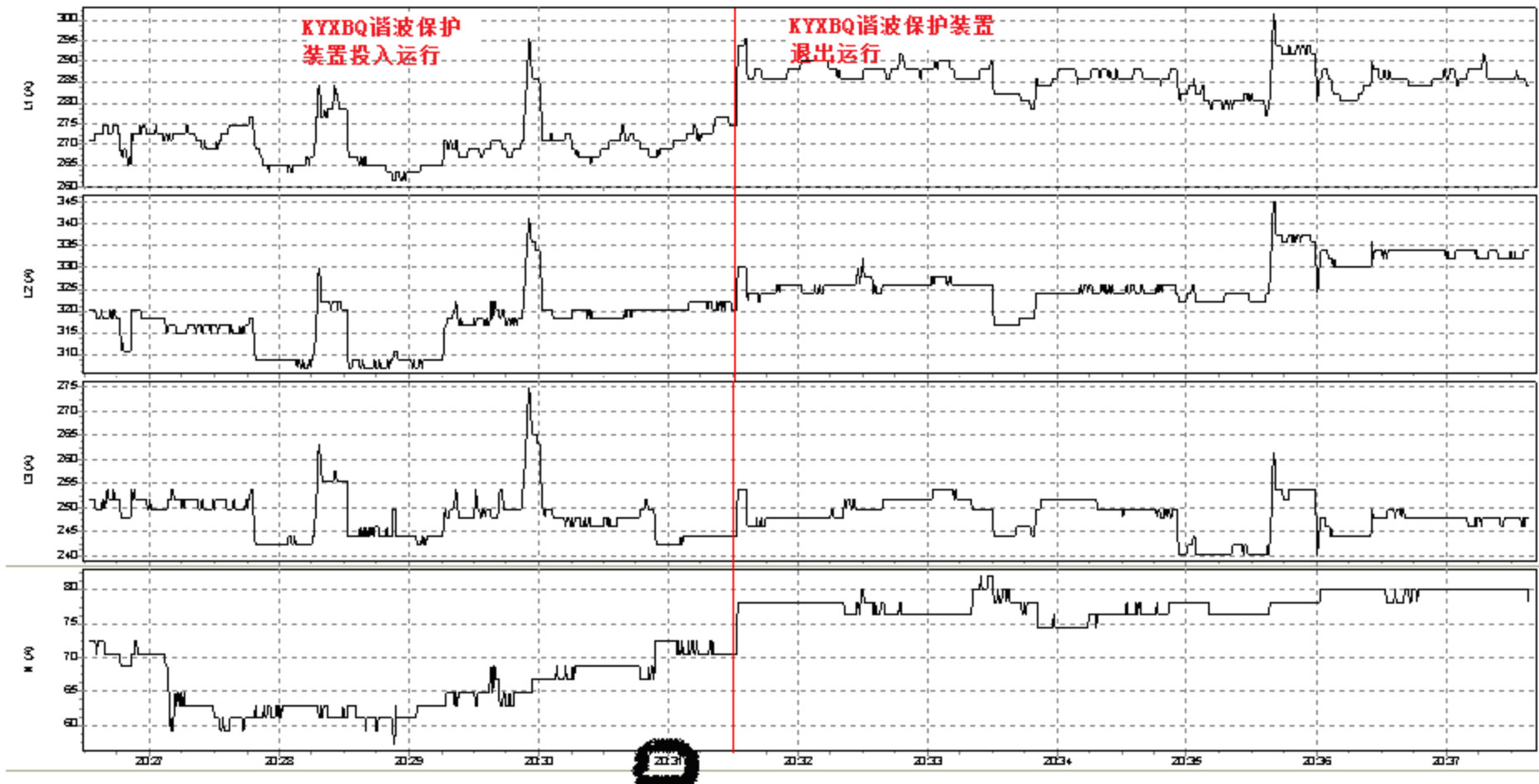
- 左侧纵坐标：功率(-10~180kvar/kW)
- 右侧纵坐标：功率因数(0.98~1)
- 横坐标：时间(16h~次日14h)
- 无功控制在10kvar以内



# 不平衡补偿情况

	项目	A相	B相	C相
负荷侧	负荷电流(A)	209.5	301.6	222.3
	THDi	30%	22.9%	33.8%
	负序	35.7		
	零序	23		
系统侧	系统电流(A)	226.4	234.2	226.6
	THDi	3.2%	2.0%	2.0%
	负序	1.2		
	零序	3.9		

# KYXBQ谐波保护装置投入前后有效值比较



# KYXBQ谐波保护装置节能情况计算

- 谐波损耗与系统畸变率直接关联，系统内的谐波电流根据下式，得谐波电流工作日、休息日以平均运行电流200A计，谐波畸变率以平均20%计，经计算，系统电流减少1.94%，全年可减少22.370MVAh。以上计算未记入夏天负荷增长情况。
- 目前测试无功缺额平均以40kVar计，无功缺额实时补偿至10kVar以内。工作日全天平均负荷约140kW，休息日全天平均负荷约120kW，经计算，工作日减少视在功率、系统电流3.5%，休息日减少视在功率、系统电流5.4%。相应地，变压器的带载效率有效提升3.5-5.4%，电信业空调负荷占总负荷50%，全年减少49.073MVAh。以上计算未记入夏天负荷增长情况。
- 通过以上两方面提升变压器带载系数，带来因系统扩容而增配开关柜投资效益达5万元以上

# KYXBQ谐波保护装置节能情况计算

- 避免力率调整电费罚款，还可产生奖励电费：  
采用KYXBQ谐波保护装置，设备具备无功优化功能，会产生更多奖励电费。按调整目标为功率因数达到0.99，其奖励调整率为 $(0.9 - \cos\phi) * 0.15 = 1.35\%$ 。根据本地网近3月供电部门出具电费单平均电费20万/月，可带来经济效益为3.24万元/年。
- 电容在谐波环境下极易发生损坏且会存在投切不上的故障导致功率因数恶化。KYXBQ谐波保护装置滤除系统内谐波，保障电容器装置正常投切，免除电容器更换投资和维修费用。可挽回电容柜2-4万元的维护费用。

# KYXBQ谐波保护装置使用效果

---

- 系统电流波形在使用KYXBQ谐波保护装置后，输出波形为正弦波；
- KYXBQ谐波保护装置实现谐波滤除率超过97%，充分保障了供电安全及通信安全；
- KYXBQ谐波保护装置无功优化功能效果良好，额定容量范围内，功率因数实时保持在0.98以上；
- KYXBQ谐波保护装置补偿系统不平衡效果显著，负序电流由原35.7A下降为1.2A；
- 系统滤除中线电流能力效果显著，零序电流由23A下降到3.9A，消除了原有的中性线发热的安全隐患；
- KYXBQ谐波保护装置投运后，降低谐波和无功损耗，提高了设备的带载能力，起到了节能降耗的作用。

---

谢谢!

