

## 1、前言

- ◆ 数据业务（IDC）的迅猛发展；
- ◆ 大型UPS的使用；
- ◆ 空调变频技术的推广；
- ◆ - - - 这些都导致了供电系统中的谐波含量不断增大。
- ◆ - - - 不讨论谐波治理，只讨论谐波的起源和具有的危害。

## 2、谐波的起源

### ◆ 什么叫谐波？

在电力系统中，可以认为除基本波(50Hz)外，任一周期性的讯号，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。

### ◆ 使用电力电子技术的设备是产生谐波的主要原因。

开关型的电源主要是由半导体元件组成的，这些元件轮回地导通和关断，尽管由于电感的存在使这一过程并未产生突变，但造成了交流电源回路的波形强行发生了变化，使得正弦波产生畸变，电流波形不再是正弦波形，造成正弦波电流的失真并从市电电网吸收谐波电流。例如计算机、变频调速器，等等。

其它负载造成的电流失真，主要是因为它们的工作原理，并且也会产生谐波。例如荧光灯、放电灯、电焊机和其它带有磁饱和铁芯的装置。

## 2、谐波的起源

◆ 供电电源为负载提供的是50Hz 的正弦波电压，但负载所需要的、由电源提供的电流波形却取决于负载的类型。

### ◆1、线性负载

负载吸收的电流是与电压频率相同的正弦波电流，电流与电压之间可能存在着相位差(角度为)；欧姆定律定义了线性负载的电压与电流的比值为一个常系数——负载的阻抗，电流和电压之间的关系是线性的。

例如：标准的白炽灯泡、电加热器、电阻负载、变压器，等等。

这类负载中没有任何有源电子器件，只有电阻(R)、电感(L)和电容(C)。

## 2、谐波的起源

◆ 供电电源为负载提供的是50Hz的正弦波电压，但负载所需要的、由电源提供的电流波形却取决于负载的类型。

### ◆2、非线性负载

负载吸收的电流为周期性的，但不是正弦波电流，电流中因含有谐波而造成波形失真；欧姆定律中定义的电压和电流之间的关系不再有效，因为负载的阻抗在一个周期内是变化的，电流和电压之间的关系不再是线性的了。

## 2、谐波的起源

◆ 供电电源为负载提供的是50Hz 的正弦波电压，但负载所需要的、由电源提供的电流波形却取决于负载的类型。

### ◆2、非线性负载

负载吸收的电流为周期性的，但不是正弦波电流，电流中因含有谐波而造成波形失真；欧姆定律中定义的电压和电流之间的关系不再有效，因为负载的阻抗在一个周期内是变化的，电流和电压之间的关系不再是线性的了。

事实上，负载吸收的电流是以下电流的合成：

- 1) 频率为50 或60 Hz 正弦波电流，称为基波电流；
- 2) 各次谐波电流，它们都是正弦波电流，幅值比基波小，但频率是基波频率的整数倍，这个倍数就定义为谐波的次数(例如，三次谐波的频率为3 x 50 Hz)。

## 2、谐波的起源

◆ RCD 负载(电阻、电容、二极管)就是一个例子，大多数电子设备的电源部分都是图中这种电路。

在稳定条件下，只有当瞬时电压超过电容两端的电压后才对电容充电；

从这时起，负载的阻抗很低(二极管导通)，在此之前，阻抗非常高(二极管截止)；

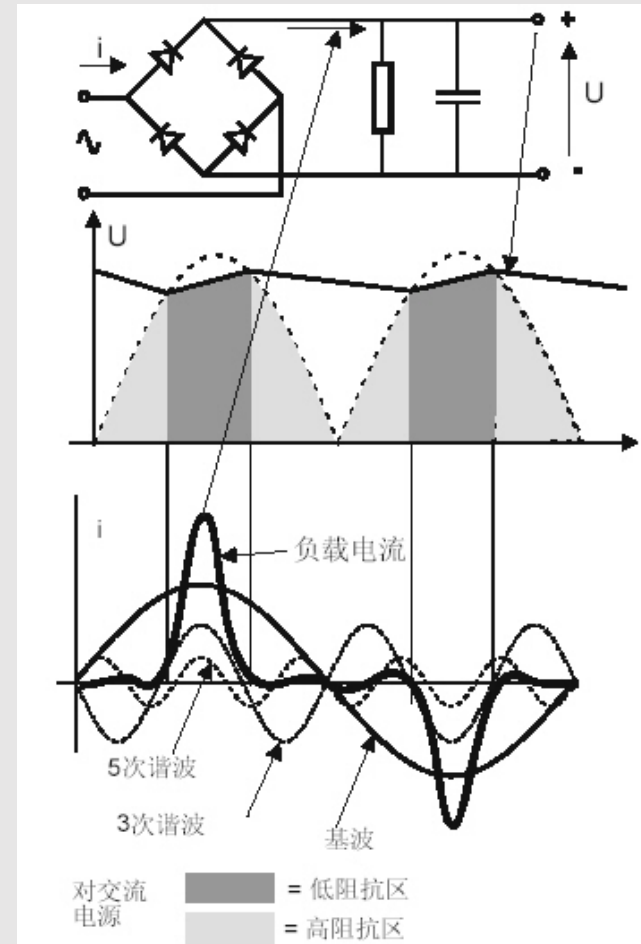
由此可见，非线性负载的阻抗是随电容两端的电压变化的；阻抗不是恒定不变的，且电压和电流也不再是正弦波；

电流的波形非常复杂，可以用傅立叶定理描述为以下项之和：

—一个频率与电压频率 $f$  相同的电流，称为基波电流；

—其它频率为 $kf$  的电流( $k$  为 $>1$  的整数)，这些电流称为谐波电流；

图提供了电流的大致形状，但只给出了两个谐波电流成份： $I_{H3}$  和  $I_{H5}$ (三次谐波电流和五次谐波电流)，其实实际上还有更多的谐波电流成分。



### 3、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。

### 3、谐波的特征

#### ◆ 2) 总电流有效值

$$I_{rms} = \sqrt{I_{H_1}^2 + I_{H_2}^2 + I_{H_3}^2 + \dots + I_{H_k}^2 + \dots}$$

#### ◆ 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：

$$H_k \% = k\text{次谐波的失真度} = \frac{I_{H_k}}{I_{H_1}} \times 100 \%$$



### 3、谐波的特征

#### ◆ 4 电压和电流的谐波失真度

非线性负载同时产生电流和电压的失真，这是因为每次谐波电流都会产生同频率的电压谐波，结果谐波也会造成电压的失真。

正弦波的总失真度用百分数来表示：

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

总电压谐波失真度THDU%，基于电压谐波的度量；

总电流谐波失真度TDHI%，基于电流谐波的度量。

THDI (或者THDU 用 $UH_k$  表示各次谐波) 可以用各次谐波的有效值的方程式表示：

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

THDI (或THDU) 也可以用各次谐波的含量来表示：

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

### 3、谐波的特征

#### ◆ 5) 峰值因数(Crest Factor)

峰值因数(Fc)定义为峰值与有效值的比率，用来表示信号(电流或电压)形状的特征。

$$F_c = \frac{\text{峰值}}{\text{有效值}}$$

下面是不同负载的典型峰值因数：

线性负载：  $F_c = \text{SQRT}(2) = 1.414$ ；

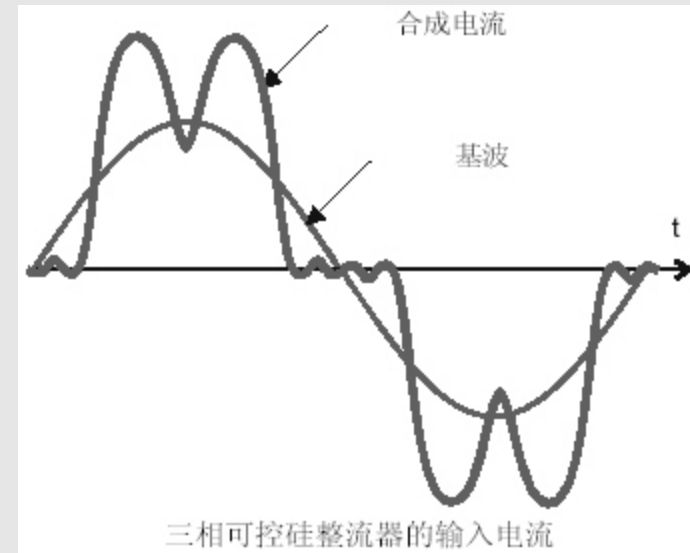
计算机主机：  $F_c = 2 \sim 2.5$ ；

微机：  $F_c = 2 \sim 3$ 。

### 3、谐波的特征

#### ◆ 6) 谐波电流的频谱

定义谐波电流的频谱是为了确定电流的波形和各次谐波的含量，以及某些数值，例如THDI和 $F_c$ 。



各次谐波： $H_5 = 33\%$ ， $H_7 = 2.7\%$ ， $H_{11} = 7.3\%$ ， $H_{13} = 1.6\%$ ，

$H_{17} = 2.6\%$ ， $H_{19} = 1.1\%$ ， $H_{23} = 1.5\%$ ， $H_{25} = 1.3\%$ 。

$THDI = 35\%$ ， $F_c = 1.45$

谐波频谱和对应的THDI

### 3、谐波的特征

#### ◆ 7) 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：

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

它不是电压和电流之间的相移，因为此时电压和电流均不是正弦波了。

##### (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：

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

其中 $P_1$  和 $S_1$  分别为基波有功功率和视在功率。

### 3、谐波的特征

#### ◆ 7 ) 功率因数

##### ( 3 ) 失真因数(Distortion Factor)

失真因数定义为：

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

其中 $\lambda$ ，按照标准IEC60146的定义。

在没有谐波时，失真因数等于1，这时功率因数可以简单地表示为 $\cos \varphi$ 。

### 3、谐波的特征

#### ◆ 8 ) 功率

在一个平衡的三相线性负载上施加线电压 $U$ ，流过的线电流为 $I$ ， $U$ 和 $I$ 之间的相移为 $\varphi$ ，则该负载消耗的功率为：

$$P_{\text{视在}} = S = \sqrt{3}UI \quad \text{单位为kVA；}$$

$$P_{\text{有功}} = S \cos \varphi \quad \text{单位为kW；}$$

$$P_{\text{无功}} = S \sin \varphi \quad \text{单位为kVAr。}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/457026025035006062>