

安全工程师辅导：电网谐波的危害及抑制技术安全工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/590/2021\\_2022\\_\\_E5\\_AE\\_89\\_E5\\_85\\_A8\\_E5\\_B7\\_A5\\_E7\\_c62\\_590554.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/590/2021_2022__E5_AE_89_E5_85_A8_E5_B7_A5_E7_c62_590554.htm) 随着电网容量迅速增长，电网运行电压也不断提高，国外输电设备电压已达 1 0 0 0 k V 我国从 2 0 世纪 8 0 年代开始进入大电网时期，输变设备电压已达 5 0 0 k V。最近开始西北地区黄河上游水电深度开发，国家电力公司已批准建设第一条 7 5 0 k V 输电线路。随着工业、农业和人民生活水平的不断提高，除了需要电能成倍增长，对供电质量及供电可靠性的要求也越来越多，电力质量 ( P o w e r Q u a l i t y ) 受到人们的日益重视。例如，工业生产中的大型生产线、飞机场、大型金融商厦、大型医院等重要场合的计算机系统一旦失电，或因受电力网上瞬态电磁干扰影响，致使计算机系统无法正常运行，将会带来巨大的经济损失。电梯、空调等变频设备、电视机、计算机、复印机、电子式镇流器荧光灯等已成为人民日常生活的一部分，如果这些装置不能正常运行，必定扰乱人们的正常生活。但是，电视机、计算机、复印机、电子式照明设备、变频调速装置、开关电源、电弧炉等用电负载大都是非线性负载，都是谐波源，如将这些谐波电流注入公用电网，必然污染公用电网，使公用电网电源的波形畸变，增加谐波成份。把安全工程师站点加入收藏夹 近几年，传感技术、光纤、微电子技术、计算机技术及信息技术日臻成熟。集成度愈来愈高的微电子技术使计算器的功能更加完美，体积愈来愈小，从而促使各种电器设备的控制向智能型控制器方向发展。随着微电子技术集成度的提高，微电子器件工

作电压变得更低，耐压水平也相对更低，更易受外界电磁场干扰而导致控制单元损坏或失灵。例如，20世纪70年代计算机迅速普遍推广，电磁干扰及抑制问题更是十分突出，一些功能正常的计算机常出现误动作，而无法找出原因。1966年日本三基电子工业公司率先开发了“模拟脉冲的高频噪音模拟器”，将它产生的脉冲注入被试计算机的电源部分，结果发现计算机在注入100~200V脉冲时就误动作，难怪计算机在现场无法正常工作，其原因之一是计算机的电源受到了污染。因此，受谐波电流污染的公用电源，轻者干扰设备正常运行，影响人们的正常生活，重者致使工业上的大型生产线、系统运行瘫痪，会造成严重经济损失。国际电工委员会（IEC）已于1988年开始对谐波限定提出了明确的要求。美国“IEEE电子电气工程师协会”于1992年制定了谐波限定标准IEEE1000。在IEEEStd.519-1992标准中明确规定了计算机或类似设备的谐波电压畸变因数（THD）应在5%以下，而对于医院、飞机场等关键场所则要求THD应低于3%。

### 1 电网谐波的产生

#### 1.1 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，即所产生的电流稍稍偏离正弦电流。当然，几个这样的电源并网时，总电源的电流也将偏离正弦波。

#### 1.2 由非线性负载所致

##### 1.2.1 非线性负载

谐波产生的另一个原因是由于非线性负载。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。

##### 1.2.2 主要非线性负载装置

(1) 开关电源的高次谐波：

开关电源的示意图见图 1。它由五部分组成：一次整流、开关振荡回路、二次整流、负载和控制，这几个部分产生的噪声不完全一样；

一次整流回路噪声：这是电容输入型线路，整流脉动电压要超过 C 1 上的充电电压，电流才从电源输入，电流波形呈脉冲形（图 2），对这种脉冲状电流波进行“傅立叶展开”后，可以看到：除了 50 Hz 基波分量外，还有 100 Hz、150 Hz、200 Hz、250 Hz、300 Hz 等高次谐波，这些高次谐波电流全部返回到公用电网中，造成公用电网的波形偏离 50 Hz；

开关振荡回路：开关三极管 T 1 一般以 20 kHz 以上频率频繁通断，使电路产生高次谐波。其次 L 1、L 2 线圈间有漏感，在 T 1 工作时也会形成噪声；

二次整流回路噪声：首先，高次谐波流过 L 2 - D 5 - L 4 - C 2 产生噪声。电流突变过程中在 L 2、L 4 上的反电动势也会形成噪声；

控制回路噪声：在完成控制过程也会产生噪声。这几种干扰可以通过电源线等产生辐射干扰，也可以通过电源产生传导干扰。

(2) 变压器空载合闸涌流产生谐波 变压器空载合闸时，可以列出下列方程： $i_0 R_1 + N_1 = \text{amp.} \sin(\omega t + \phi)$

求解后得到： $i_1 = -m \cos(\omega t + \phi) + m \cos(\phi)$  磁通的稳态分量； $m \cos(\phi)$  磁通的暂态分量。如果合闸时， $\phi = 0$ （既在  $\mu_1 = 0$  的瞬间合闸）得到： $i_1 = m - m \cos \omega t$

(2) 在合闸后半周期（ $\omega t = \pi$ ）时，磁通达到最大值  $i_1 = 1 \text{ max} = 2m$ ，如图 3。铁心中磁通波形对时间轴不对称，考虑剩磁  $\phi_0$ ，则磁通波形再向上移  $\phi_0$ ，从而使对应磁化曲线工作点移向饱和区，因此在磁通变化时，会产生

8 ~ 15 倍额定电流的涌流，由于线圈电阻  $R_1$  的存在，变压器空载合闸涌流一般经过几个周波即可达到稳定。所产生的励磁涌流所含的谐波成份以 3 次谐波为主。

(3) 单相电容器组开断时的瞬态过电压干扰：如果  $t = 0$  时，CB 触头刚分开，弧电压很低略去，因此电源电压  $u$  与电容电压相等，即  $u = u_c$ 。  $t = t_1$  时，电流为零，电弧熄灭，而电源电压仍然按正弦变化，经过半周到达正向最大。但是，电容电压  $u_c = -U_m$  不再变化。断路器 CB 触头间电压  $U_j = U - U_c = 2U_m$ 。当  $t = t_2$  时，如果此时弧隙介质击穿，这一过程可以看为  $U_m$  直流电源经电感  $L$  突然加到电压为  $-U_m$  的电容上，因分布参数产生高频振荡，形成高频电流： $i_c = 2 \text{ amp.} \cdot \cos \omega t$ ，(  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  ) 电容器上电压为： $u_c = i_c dt = U_m - 2U_m \cos \omega t$  (3) 因此，高频电流  $i_c$  经时间第一次过零时，高频电流被切断，电容器上电压  $U_c = 3U_m$  最大值，如果此时电弧被熄灭，则  $U_c$  将保持  $3U_m$  不变。  $t = t_3$  时， $U_j = 4U_m$ ，此时弧隙又出现击穿，则电容器电压可达到  $5U_m$  值。实际上，由于触头间距在开断过程中不断增加，因此介质强度不断增大，当介质恢复强度超过电压增加速度，重击穿现象中止，完成开断，所以电容上过电压倍数不会达到 3 倍（上面的讨论是假设弧隙重击穿发生在电流过零后  $10 \text{ ms}$ ，因此恢复电压达到最大值）。用普通断路器投切电容器  $c_1$  时（ $c_1$  处于  $20 \text{ kV}$  线路），产生  $1.8 (p.u)$  过电压，导致谐振，谐振却又在  $c_2$  处（ $c_2$  处于  $6 \text{ kV}$  线路）产生高于  $4 (p.u)$  的过电压。电力电子调速系统普遍应用于工业中改进电机效率及灵活性设备，调速装

置内电力电子器件对过电压特别敏感，因此线路中瞬态过电压会造成调速系统的过电压保护误跳闸。由于与中压母线相连的电容器要经常操作，这意味着调速系统误跳闸事故会经常发生；（4）电压互感器铁磁谐振过电压：在我国 10 kV、35 kV 等级的中性点不接地配电网中，为了监视对地绝缘，一般采用三相五柱式电压互感器。在正常情况下，三相对地电压是平衡的，但是由于发生单相接地故障等原因，会导致三相对地电压平衡的破坏，还有可能使电压互感器线圈电感  $L$  和系统对地电容  $C$  在参数上配合，而产生谐振过电压。为了分析，我们先看一下图 5，它是典型的  $L$ 、 $C$  并联电路。图中  $x_C = \frac{1}{\omega C}$ ， $x_L = \omega L$ ， $x_C$  是线性参数，但是  $x_L$  是非线性参数，其大小与铁芯饱和程度有关，如发生并联谐振，则产生较高的谐振过电压；（5）整流器和逆变器产生的谐波电压、电流：整流器的作用将交流电转成直流电，而逆变器是将直流电转变成交流电。大功率整流器广泛应用于冶金、化工等领域，大功率整流器逆变器广泛应用于交流变频调速及交 - 直流电动机的调速等领域。其电路中的二极管视为理想二极管，即正向阻抗接近零，反向阻抗无穷大。因此，只允许电流单方向流动，从整流器的输出端看，每相电流波形为矩形波，不是正弦波，利用傅氏级数展开式展开周期的矩形波形，可以看到除了工频正弦波（50 Hz 基波）外，还叠加了一系列高次波形谐波。应该说电动机采用变频器进行调速，可以高水平完成调速外，也可以节省大量电能（近 30%），但如前面分析，变频调速过程中要产生高次谐波，即形成高次谐波污染，造成厂区的电视、音响系统不能正常工作，还要干扰二次仪表压力、流量、可编程控制

器及智能控制器正常工作，谐波还要使变压器、电动机、电容器及电抗器产生过热。这些高次谐波是通过三个途径窜入产生干扰的。其一是通过电容耦合；其二是通过高次谐波电流产生的电磁感应；其三是直接由接地回路或电源线窜入的。

(6) 电弧炉运行引起电压波动：随着冶炼工业的发展，当然会更多地使用电弧炉，这是一个重要负荷。运行时，电极和金属碎粒之间会发生频繁断路，而在熔化期间，电源两相短路，一旦熔化金属从电极上落下，电弧熄灭，电源又开路，因此，可以说冶炼过程是频繁的短路 - 开路 - 短路的过程，会引起用户端电压波动及白炽灯闪烁，一般电压波动频率是  $0.1 \text{ Hz} \sim \text{几十 Hz}$ ，这种谐波是以 3 次谐波为主。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)