

# 谐波和零线过载 的风险

## 第 26 号白皮书

版本 1

作者 Neil Rasmussen

### > 摘要

本文档将对与谐波电流相关的问题进行概述，并特别关注于信息技术设备。同时对国际规章中解决这些问题的方式进行介绍。

### 目录

*点击内容即可跳转至具体章节*

简介	2
该标准对实际系统的意义	3
结论	6
资源	7

## 简介

非线性负载会导致电力线路中出现谐波电流。谐波是频率为基本线路基频（50 或 60 Hz）倍数的有害电流。谐波电流可能使导线和变压器过载，导致发热，极端情况下会发生火灾。在信息技术电源系统中，了解何时应该以及如何应对这一问题十分重要。最近，由于相关国际章程被广泛采纳，这一问题在很大程度上被消除了。

### 非线性负载

许多台式个人电脑对交流电源表现为非线性负载。这是因为它们采用了称为“电容输入开关电源”的电源设计。

包括服务器、路由器、集线器和存储系统在内的信息技术设备则几乎普遍采用另一种名为“功率因数校正”的不同电源设计。这些设备对交流电源表现为非常好的线性负载，不会产生谐波电流。实际上它们是电网上最“干净”的负载类别之一，所产生的谐波电流比日光灯和变速电机等其他许多设备要低。10 年以前，这些设备与个人电脑一样是非线性负载，但今天它们已经完全接受要求其采用“功率因数校正”设计进行生产的国际规章。

### 规章

业界对于减少交流电源系统中的非线性负载量有很大的兴趣。非线性负载会降低公用电力系统的配电能力，并使提供给附近客户的交流电波形失真，从而降低电源质量等级。此外还存在导致客户设施起火的风险。

在 20 世纪 80 年代，公共电力企业和包括 IEC（国际电工委员会）在内的国际公约机构注意到了电气设备耗电量所占百分比以及此类设备采用“电容输入开关电源”的百分比均日益提高的趋势。日光灯、高性能空调系统以及个人电脑是推动这一变化的主要产品类别。面对这种趋势，IEC 于 1982 年制定了国际标准 IEC 555-2“在交流主要线路中的谐波注入”。该标准专门限制“非专业”设备的谐波电流注入。瑞士、日本及其他国家在 IEC 555 标准发布后很快就采用了该标准。

全球计算机产品供应商们在 20 世纪 80 年代最早开始感受到向已采用 IEC 555-2 标准的国家销售计算机受到了限制。这种形势促成了功率因数校正电源技术的发展。

1995 年，IEC 引入了经过更新的 IEC 555-2 标准，称为 IEC 1000-3-2。在 IEC 1000-3-2 中，适用范围大大超出 IEC 555-2，涵盖了每相吸收电流不超过 16A 的所有设备。该标准对采用非线性开关电源的产品的谐波绝对值和百分比值均增加了额外的限制。除美国和欧盟之外的许多国家采用了这一标准。欧盟在 1995 年稍晚时候采用了其自行制定的这一标准的对应版本，即 EN61000-3-2，并要求设备制造商遵守名为“电磁兼容性指令”的欧盟指令之下的标准。该指令允许制造商在 1998 年之前采用已有的产品设计。后来欧盟又将这一期限延长至 2001 年 1 月 1 日。

该标准对谐波电流注入作如下限制：

**表 1**  
IEC 对谐波注入的限制

谐波阶次	每瓦特功率最大许可谐波电流 (mA/W)
3	3.4
5	1.9
7	1
9	0.5
13	0.35
最高 39 次的奇次谐波	3.85/n

到 1995 年之前，几乎所有针对网络和通信引入的新的计算机设备都符合 IEC 1000-3-2。虽然并非所有国家都立即采用了这一标准，但它却已成为延迟达标企业要面对的强大的贸易壁垒。计算机原始设备制造商（OEM）对于系统集成的 OEM 设备几乎普遍规定要符合 IEC 1000-3-2。这就使得 IT 行业在 2001 年 1 月 1 日期限甚至是原定的 1998 年期限之前事实上已 100% 遵照该标准执行。

美国提出了“14 号修正案”对该标准进行修正，“14 号修正案”弱化了该标准，允许更多谐波存在。采用这一修正案的国家数量目前还不清楚。

在欧盟及其他许多国家内销售的产品必须符合 EN61000-3-2 标准。美国尚未正式采纳此标准。现今所生产的信息技术设备普遍针对全世界应用而设计，故要求有 CE 标志并须符合 IEC 标准。因此，除小型 PC 之外的 IT 设备普遍遵照此标准（在美国仍有不合此标准的 PC 在销售）。在过去 5 年中，由于新型设备对老设备的自然替代，谐波在数据中心环境中实际已被消除。

## 该标准对实际系统的意义

由符合 IEC 1000-3-2 标准的设备所组成的系统将具有以下特性：

1. 当零线回路中高于三次的谐波总含量低于 2% 时，除三次谐波之外的所有谐波对零线电流的贡献均可忽略。
2. 在负载不高于 675 W 的条件下，系统“K”系数的理论最大值为 9。如果存在更大的负载，则理论最大“K”系数将减小：例如，在 2k 负载下，最大“K”系数为 3。
3. 如果所有回路均被加载至最大额定值，没有负载高于 675 W，且所有负载产生的三次谐波均在限制内，则理论最大零线电流将是额定相电流值的 1.7 倍。如果有更大的负载，则理论最大零线电流将相对减小：例如，在 2 kW 负载下，理论最大零线电流小于相电流。

在实际的系统中，由于以下原因，谐波电流将低于理论值：

1. 制造商必须在较宽的电压、制造容差及负载范围内满足规范要求，其结果是实际产品在典型运行条件下远低于规定要求。

## 2. 某些负载采用相对相连接（特别是在美国），因此不会贡献零线电流。

在实际系统上进行了试验，以确定 K 系数和零线电流要求。采用了两个试验系统。系统 1 由一系列 Dell 设备组成，包括 4 台不同的服务器、1 个磁带库以及 1 套联网存储系统（采用其他品牌设备也获得了类似结果）。系统 2 由所有 PC 负载组成。谐波电流测量采用 Fluke 电力线路分析仪。K 系数采用 IEEE 标准 1100-1992 计算。零线电流容量选型系数按照加载至最大容量的三相系统计算。以下表 2 给出试验结果。

### 表 2

测试结果

	系统 1: Dell 网络设备	系统 2: 个人电脑	系统 3: 网络设备与个人电脑 50-50 组合
K 系数	1.2	11.4	5.2
零线选型（为相线电流要求的百分比）	8%	102%	42%

应注意到 PC 与网络设备之间的巨大差异。注意当 PC 与网络设备混合时，K 系数和零线选型要求低于 PC 所要求的值。此数据显示，几乎不可能构建出要求“K”额定值高于 5 或要求零线额定电流超出相电流额定值的信息技术数据中心。对于完全由 PC 组成的数据系统，可以实现 K 系数达到 11 的要求，但零线过度配置仍然没有必要。

## 谐波如何使楼宇内零线过载并造成潜在火灾危险

三相楼宇配线由 3 条火线（或相线）、1 条地线和 1 条零线组成。单相负载连接在各火线与零线之间。因此，零线充当了所有单相负载电流的“公共”回路。三相电力系统的一个性质是，如果各条火线的负载基本相当，则零线电流将接近于零，因为各个相电流相互“不同相”。换言之，零线内的负载电流被“抵消”。在北美，有时楼宇配线设计会利用这种抵消作用，零线导线规格小于火线。然而，计算机所产生的谐波电流会使此类系统的运行发生变化。计算机会产生大量的三次谐波电流。由于数学相位性质，三次谐波电流在零线上相互叠加而不是相互抵消。因此，在安装有大量个人电脑的楼宇中，零线可能承载比其设计值高得多的电流。事实上，单纯零线中的谐波电流在理论上可达电力线满负荷额定电流的 1.7 倍。这是谐波和 PC 有关的最严重的问题。注意上述数据显示，尽管零线电流不可能超过相电流，但在 PC 环境中零线电流却可能达到相电流值。因此，在办公环境中决不允许零线降低规格。

这一问题并非 PC 环境所独有，因为还存在其他非线性负载，如日光灯镇流器。不过这一问题在数据中心内已不再显著，因为相关规章中已要求采用功率因数校正设备（应注意即使所有插座均为单相，多数楼宇还是采用三相配线）。

## 谐波使楼宇电力变压器过载并导致其老化

电力变压器采用 KVA 为单位标示，设计用以承载频率为工频频率（50 或 60 Hz）的电流。限制变压器送电容量的是其温升水平。变压器内的热量由变压器的固有电阻及其输送的电流产生。当电力变压器承载谐波电流时，一种称为“邻近效应”的效应（有时会与涡流作用相混淆）将导致变压器的有效电阻随频率提高而增大。其结果是，如果变压器承载有显著的谐波电流，则必须降低变压器容量，否则它可能过热并因绝缘老化而损坏。变压器故障经常是灾难性的，会释放有害烟雾和火焰；这可能导致公共设施关闭数日以及对健康和安全的多种不良后果。

这一问题出现需要 3 个条件同时发生：1) 变压器负载必须接近其容量（不常见）；2) 变压器“K”系数额定水平较差（邻近效应设计不佳）；3) 楼宇内的主要负载须为 PC。这是真正的潜在问题，在已部署了大量 PC 的情况下尤其如此。需要关注的地点通常还是 PC 密度较高的办公室环境，如呼叫中心。如前文所解释的原因，这一问题在数据中心环境中已不再被关注。

## 谐波问题的消除和缓解

有多种方式可以避免谐波问题，包括：

- 指定采用不产生谐波的设备
- 矫正谐波
- 过度配置零线
- 采用 K 额定值的变压器

## 指定采用不产生谐波的设备

对于网络设备，由于采用 IEC 规章，问题已被解决。对于 PC 则较为困难，因为大量谐波分量来自显示器。一种方式是采用总体吸收功率较低的 PC 和显示器，例如采用液晶显示器或笔记本电脑。这样楼宇配线和变压器问题均可避免。

## 矫正谐波

如果有 UPS 配合设备使用时，则在某些情况下 UPS 可以矫正或消除谐波。某些单相 UPS（如施耐德电气旗下 APC Symmetra）可完全消除零线电流。如果采用功率因数校正 UPS 来为一组 PC 供电，则谐波问题不能向上游传递到楼宇配线或电力变压器。这种方式的优势是，它可以对现有楼宇进行改造，并可和现有负载一起使用。此方式也可对配线和变压器问题进行矫正。对于其他类型的负载，如谐波治理规章未涵盖的大型工业电机变频器，可采用在谐波产生处附近吸收谐波的专门产品。

## 过度配置零线

在现代设施中，零线总是应被设计为与电力线相同的容量（或更大）。这与允许降低零线规格的电气规范大不相同。对于呼叫中心等大型个人电脑负载应用，一种合适的设计是规定零线超出相线容量约 50%（在美国为 2 级规格，即如果相线为 8 级规格，零线就应为 6 级规格）。对于办公室机柜内的配线应予以特别注意。这种方法可保护楼宇配线，但对保护变压器没有帮助。

## 采用 K 额定值的变压器

在 PC 密度高的现代办公设施中包含“K”额定值至少为 9 的变压器应被使用。这些变压器被专门设计以耐受谐波电流。对于数据中心，“K”额定值为 9 的变压器有向确保由原传统负载、PC 负载或照明负载组成的数据中心部分的谐波承载能力。

## 结论

国际规章已对计算系统的电力需求产生了显著的影响。网络设备曾被理所当然地指责为“电力污染”，并会因变压器和配线过热而造成火灾，现在却已经转型成为现代商业或工业设施中最“干净”的负载之一。数据中心设计标准中要求采用双重零线或 K20 变压器造成不必要的开支，应加以更新。



### 关于作者

**Neil Rasmussen** 是施耐德电气旗下 IT 事业部—APC 的高级创新副总裁。他负责为全球最大的用于关键网络设备（电源、制冷和机柜等基础设施）科技方面的研发预算提供决策指导。

Neil 拥有与高密度数据中心电源和制冷基础设施相关的 19 项专利，并且出版了电源和制冷系统方面的 50 多份白皮书，其中大多白皮书均以 10 几种语言印刷出版。近期出版的白皮书所关注的重点是如何提高能效。他是全球高效数据中心领域闻名遐迩的专家。Neil 目前正投身于推动高效、高密度、可扩展数据中心解决方案专项领域的发展，同时还担任 APC 英飞系统的首席设计师。

1981 年创建 APC 前，Neil 在麻省理工学院获得学士和硕士学位，并完成关于 200MW 电源托克马克聚变反应堆的论文。1979 年至 1981 年，他就职于麻省理工学院林肯实验室，从事飞轮能量储备系统和太阳能电力系统方面的研究。



点击图标打开相应  
参考资源链接



浏览所有 白皮书  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## 联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

数据中心科研中心  
[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)

如果您作为我们的客户需要咨询数据中心项目相关信息：

请与所在地区或行业的 **施耐德电气** 销售代表联系，或登陆：  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)