

七种类型的电源问题

号白皮书 18

修改 1

作者: Joseph Seymour
Terry Horsley

> 摘要

许多令人费解的设备故障、停机、软件和数据损坏现象都是由有问题的电源造成的。在用标准方式描述电源问题方面，也有一个常见问题。本白皮书将通过使用描述电源质量问题的 **IEEE** 标准，介绍最常见的几种电源扰动类型、导致电源扰动的原因、电源扰动对关键设备可能产生什么影响，以及如何保护您的设备。

内容

点击内容即可跳转

简介	2
瞬变电压	4
中断	7
电压突降/欠电压	8
电压突升/过电压	9
波形畸变	10
电压波动	12
频率变化	13
结论	15
资源	16
附录	17

简介

在当今科技发达的时代，我们已经变得非常依赖于电能的持续供应。在大多数国家和地区，商业用电是通过全国范围内的电网提供的，电网内众多的发电厂相互连接，输出电力。电网必须能够满足住宅、照明、加热、冷却、空调和运输的基本国民需求，并且必须能够满足政府、工业、金融、商业、医疗和通讯行业的关键需求。商业电力真正使得当今现代化的世界能够迈着忙碌紧凑的步伐稳步前进。精密复杂的科技已经深深融入到了我们的家庭和事业，而随着电子商务的出现，科技正在不断地改变着我们与世界上的其他人进行交流的方式。

智能技术要求电源不能出现中断或扰动现象。大规模电源事故的后果有详实的书面记录。最近在美国进行的一项研究表明，由于电源中断，工业和数码厂商每年会损失 **457 亿美元**。¹全球各种产业由于电源中断造成的损失估计有 **1040 亿美元到 1640 亿美元**，另外，因为所有其他电源质量问题造成的损失，也高达 **150 亿美元到 240 亿美元**。在工业自动化加工中，整条生产线可能会失控，从而使现场操作人员面临危险状况并造成严重的物料浪费。在大型金融机构中，如果处理中断，每一分钟都可能造成数千美元无法挽回的损失，而随之而来还要花费很长时间进行恢复。由电源中断导致的程序和数据损坏可能使软件恢复操作出现问题，而这些问题可能需要花费几周时间才能解决。

许多电源问题的根源都在于商业电力网，而其蔓延数千英里的输电线路会受到各种天气状况（比如飓风、雷雨、大雪、冰冻以及洪水）的影响，并且设备故障、交通事故以及大规模的配电作业都会对其产生影响。同时，对当今的高科技设备造成影响的电源问题还可能是设施内部各种各样的状况造成的，比如地方建设、过高的启动负载、劣质的配电部件，甚至是典型的背景电噪音。

在处理电源扰动时，采用一致的术语是首要步骤

电子产品在各行各业的广泛使用，从家用电子产品到大规模控制设备以及耗电极高的工业加工，已经唤起了人们的电源质量意识。电源质量（更具体地说，电源质量扰动）通常被定义为电源（电压、电流或频率）中的任何变化，这些变化会干扰电子设备的正常工作。

电力公司、大型工业公司、企业甚至是家庭用户都在关注着电源质量的研究以及控制电源质量的方法。更进一步的研究表明，设备已经变得甚至对电源电压、电流和频率中的瞬间变化都越来越敏感。但遗憾的是，在描述许多现有的电源扰动现象时使用了不同的术语，从而导致了混淆，并且使对当今电源质量问题的讨论、研究和改进变得更为困难。电子和电气工程师协会 (IEEE) 制定了包含电源扰动定义的标准，已经尝试解决了此问题。该标准 (IEEE 标准 1159-1995 “IEEE 关于监测电源质量的操作规程建议”) 描述了许多电源质量问题，本白皮书将讨论其中最常见的一些问题。

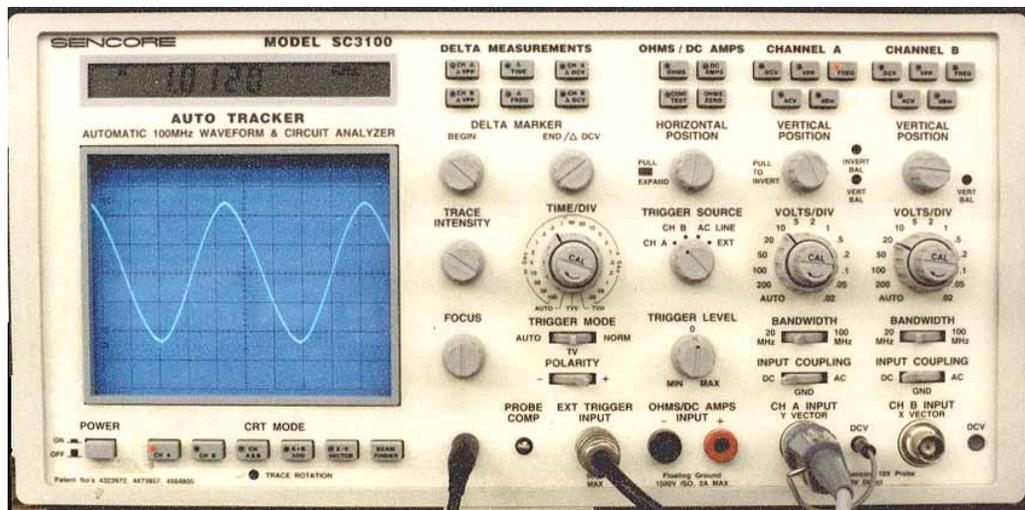
如何看待电源？

墙壁插座中的电力是一种电磁现象。商业电力是以交流电 (AC) 的方式提供的，它是一种安静的、似乎取之不尽的能量源，可以由发电厂送出，通过变压器升压，并传输数百英里之远到达区域中的任何地点。看看能量在一小段时间内发挥的作用，就可以了解到简单平稳的交流电对于我们所依赖的精密系统的稳定运行有多么重要。通过示波器，我们可以看到能量的样子。在理想的环境中，商业交流电显示为一种平滑对称的正弦波，取决于所处的地区，每秒变化 **50 或 60 个周期** (赫兹 - Hz)。图 1 显示了普通 AC 正弦波在示波器上的样子。

¹ 白皮书“The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies”，版权所有 2001 年，Electric Power Research Institute。

图 1

正弦波的示波器图像



上图所示的正弦波形表示从正值到负值的电压变化（每秒 60 次）。当此流动波形的大小、形状、对称性、频率发生变化或者出现缺口、脉冲、振荡或降到零（不过是暂时的）时，就存在电源扰动。在本白皮书中，对于将讨论的七种电源质量扰动，都将以简单的绘图方式表示上面的理想正弦波形中的变化。

正如所述，在整个电子行业和企业界中，在使用术语描述各种电源扰动时就存在一些不明确性。例如，在某个工业部门看来，术语“浪涌”意味着电压的瞬间升高，通常将由正在关闭的大型负载导致。另一方面，术语“浪涌”的使用也可以看作是持续时间从几微秒到只有几毫秒具有极高峰值的瞬变电压。后面这些描述通常与闪电以及导致在触点之间产生瞬间放电或电弧放电的开关事件有关。

IEEE 标准 1100-1999 已经解决了术语不确定性的问题，并且建议在专业报告或参考资料中不要使用许多术语的俗称，因为它们无法准确地描述问题的特性。IEEE 标准 1159-1995 也解决此问题，目标是为专业团体的电源质量报告提供一致的术语。下面是一些不明确的术语：

断电	电力短缺	冲击	电源浪涌
纯净电源	浪涌	断电	闪烁
电网污染	频率偏移	短时脉冲波形干扰	尖峰脉冲
电源浪涌	原始电源	原始市电	瞬时闪烁

如果能够有效地谈论电源，比如说知道中断和暂态振荡之间的不同之处，那么，在做出购买电源校正设备的决策时，将会使情况大为不同。如果购买了不能满足需求的错误的电源校正设备，通信错误可能会导致严重的后果，其中包括停机、工资损失，甚至会造成设备损坏。

此 IEEE 定义本白皮书中所示的电源质量扰动，根据波形划分为七种类别：

1. 瞬变电压
2. 中断
3. 电压突降/欠电压
4. 电压突升/过电压
5. 波形畸变
6. 电压波动
7. 频率变化

本白皮书将根据这些类别加以说明，并包含一些图形，利用这些图形应该能够理解个别电源质量扰动之间的不同之处。

1. 瞬变电压

瞬变电压有可能是破坏性最强的电源扰动类型，它分为两种子类别：

1. 脉冲
2. 暂态振荡

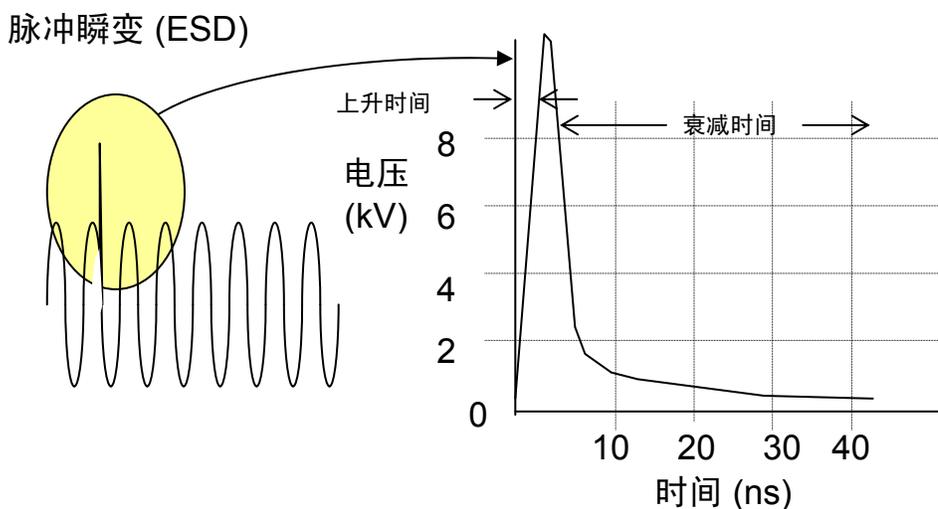
脉冲

脉冲瞬变是电压和/或电流正向或负向急速升高的现象。根据这些脉冲瞬变发生的速度（快、中等、慢），可以对这些类型的现象进一步加以划分。脉冲瞬变可能非常快（在 5 纳秒 [ns] 内从稳定状态升到脉冲峰值），且持续时间很短（不到 50 ns）。

注：[1000 纳秒 = 1 微秒] [1000 微秒 = 1 毫秒] [1000 毫秒 = 1 秒]

图 2 中展示了由静电释放 (ESD) 现象导致的正脉冲瞬变的一个示例。

图 2
正脉冲瞬变



大多数人在说他们遇到了浪涌或尖峰脉冲时，他们指的就是脉冲瞬变。人们曾经使用了许多不同的术语（如冲击、短时脉冲波形干扰、电源浪涌和尖峰脉冲）来描述脉冲瞬变。

造成脉冲瞬变的原因包括闪电、接地不良、电感负载切换、市电故障排除以及 ESD（**静电释放**）。结果可能会造成数据丢失（或损坏），直至设备的物理损毁。在这些原因中，闪电可能破坏性最强。

如果观察到了电暴，则可以很容易分辨出闪电造成的问题。能够照亮夜空的能量毫无疑问可以摧毁敏感的设备。而且，不用直接闪电就会造成损坏。在图 3 中，由闪电造成的电磁场会在邻近的导电结构上产生感生电流，从而可能造成大量的潜在损坏。

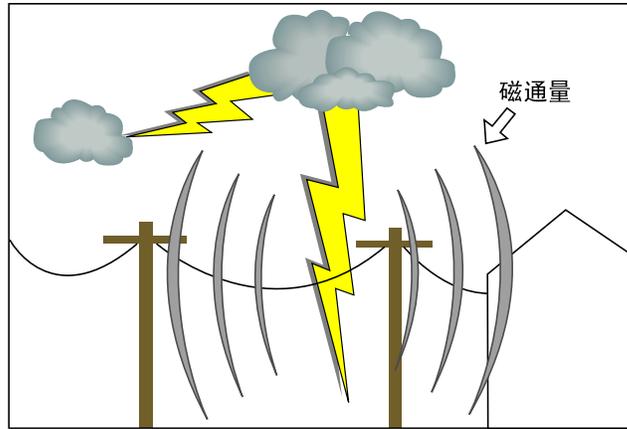


图 3

由闪电造成的磁场

在遇到脉冲瞬变时，两种最可行的保护方法是：消除潜在的 ESD，以及使用浪涌抑制设备（通常称为瞬变电压浪涌抑制器：TVSS 或浪涌保护设备：SPD）。

尽管 ESD 可以在您的手指上产生电弧而不会对您造成伤害，但有点出人意料的是，这么一点静电却足以使整块计算机主板损毁，并且再也无法工作。在数据中心、印刷电路板生产机构或者人员直接接触 PCB 的任何类似环境中，务必要消除可能的 ESD 情况。例如，几乎任何采用适当方法的数据中心环境都会对室内的空气进行调节。进行空气调节不仅仅可以冷却空气以帮助驱除数据中心设备产生的热量，而且能够调整空气中的湿度。将空气中的湿度保持在 40 - 55% 之间将可以减少 ESD 发生的几率。如果您曾经度过（空气非常干燥的）冬天，将袜子在地毯上拖动几下就造成巨大的电弧从您的指尖出人意料地跳到打算抓的门把手上，或者您故意想用拖动袜子产生的电弧去碰别人的耳朵，您就可能体验过湿度对 ESD 的影响有多么大。您在 PCB 环境中将会看到的另一样东西，例如您在任何小型计算机维修企业中看到的，就是保持人体接地的设备。此设备包括腕带、抗静电垫和抗静电桌面以及抗静电鞋。大多数这种设备都连接到一条线，这条线又接到设施的地面上，这样可以保护人员不会受到电击，并且还可以将可能的 ESD 分散到地面上。

SPD 已经使用了很多年。这些设备今天仍然在市电网络上使用，并且用于大型设施和数据中心的设备，以及小型企业和家庭的日常用途；随着金属氧化物变阻器 (MOV) 技术的完善，这些设备的性能也日渐提升。利用 MOV 能够可靠地抑制脉冲瞬变、电压突升以及其他高电压状况，而且可以将 MOV 与热跳闸设备（如断路器、热敏电阻）以及其他组件（如导气管和晶闸管）结合使用。某些情况下，电气设备本身就内置了 SPD 电路，比如内置有抑制功能的计算机电源。更常见的情况是，SPD 电路用在单独的浪涌抑制设备中，或者随 UPS 附带以便在发生断电的情况下（或者在功率级超出额定级别、安全级别或电源条件时）提供浪涌抑制和紧急情况电池供电。

将 SPD 和 UPS 设备串联在一起是保护电子设备免受电源扰动影响的最有效方法。通过使用此方法，SPD 设备将放在线路入口处，并且具有特定规模，可以消除来自任何进入瞬变电压的大部分能量。位于电气底板处以及位于敏感设备本身的后面的设备可以将电压稳定到一个不会对设备造成损坏或干扰的水平。在确定这些设备的额定电压和额定能量损耗以及调整设备使其有效工作时，必须特别注意。同时，对于浪涌抑制设备在 MOV 达到故障点时能够发挥多大的效用，也要加以注意。尽管在一段时间内，MOV 的浪涌抑制能力是稳定的，但它的抑制能力仍然会随着使用而降低，或者，如果超出了其额定的有效抑制能力，MOV 也可能会失败。如果 MOV 达到了其不再可使用的水平，SPD 应能够中断电路，并防止任何会造成损坏的异常电能进入它所保护的的设备，这一点非常重要。有关此主题的更多信息，请参见 APC 的 85 号白皮书 *数据线瞬变电压保护*。

资源
APC 号白皮书 85
数据线瞬变电压保护

暂态振荡

暂态振荡是信号电压和/或电流的稳定状态状况的突然变化，在正和负信号防护区段处同时发生，并按自然系统频率振荡。简而言之，瞬变电压会使功率信号以非常快的速度交替放大然后收缩。暂态振荡经常会在一个周期内衰减到零（衰减暂态振荡）。

在关闭电感负载或电容性负载（比如电机或电容器组）时，将会出现这些瞬变。由于负载会与变动产生对抗，因此会发生暂态振荡。这类似于当您突然关闭水流很急的水龙头并在管道中听到一声敲打声时所发生的情况。流动的水与变化产生对抗，因此就发生了相当于暂态振荡的流动。

例如，在关闭旋转的电机时，它在断电时会暂时起到发电机的作用，从而会产生电能并通过配电系统发送电能。在打开或关闭电源时，较长的配电系统的作用就像是一个振荡器，因为所有电路都有一些固有的电感器和分布电容，这些电感器和分布电容会以衰减的方式暂时带电。

如果带电电路上出现了暂态振荡（通常是由于市电配电操作引起的，特别是在将电容器组自动接入系统时），将会对电子设备造成很大的破坏。图 4 显示了由于电容器组带电而引起的典型的低频暂态振荡。

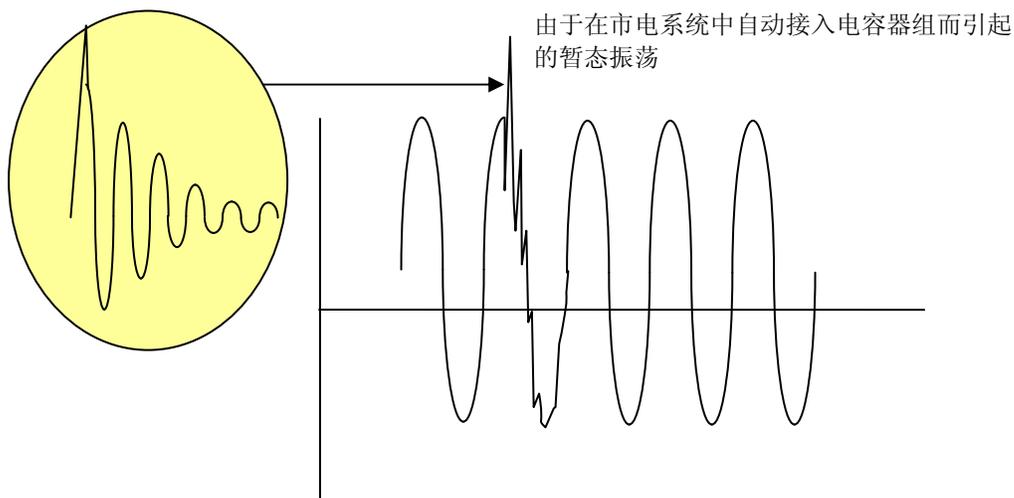


图 4
暂态振荡

与电容器切换及其暂态振荡有关的最常见问题是可调速驱动器 (ASD) 跳闸。相对较慢的瞬变会导致 DC 链路电压（控制 ASD 激活的电压）升高，从而使得驱动器由于过电压而断路。

解决电容器断路的一种常见方法是安装线路感应器或扼流器，它们可将暂态振荡抑制到一个可管理的水平。

这些感应器可以安装在驱动器之前或安装在 DC 链路上，并且作为大多数 ASD 上的标准功能或选件提供。（注 - 将在下面的“中断”一节中进一步讨论 ASD 设备。）

另一种越来越多人使用的解决电容器切换瞬变问题的方法是零交叉开关。当正弦波的弧形下降并到达零电平（在变为负之前）时，这就称为如图 5 中所示的零交叉。切换的发生位置离正弦波的零交叉时限越远，由电容器切换导致的瞬变的幅度就越大。通过监控正弦波以确保电容器切换发生在离正弦波的零交叉时限尽可能近的位置，零交叉开关解决了此问题。

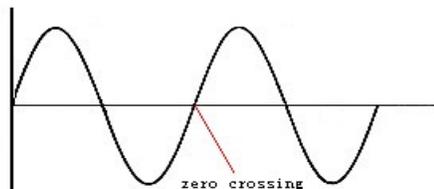


图 5
零交叉

当然，使用 UPS 和 SPD 系统也可以非常有效地降低暂态振荡可能造成的危害，特别在常见的数据处理设备（比如网络中的计算机）之间。不过，SPD 和 UPS 设备有时无法防止系统间发生的暂态振荡，而零交叉开关和/或扼流器类型的设备则可以在专门的设备（如生产车间机械设备及控制系统）上防止这类问题。

2. 中断

中断（图 6）的定义是供电电压或负载电流的完全丢失。视其持续时间而定，中断可分为瞬时中断、短暂中断、暂时中断或持续中断几类。各种中断类型的持续时间范围如下所示：

瞬时	0.5 到 30 个周期
短暂	30 个周期到 2 秒
暂时	2 秒到 2 分钟
持续	2 分钟以上

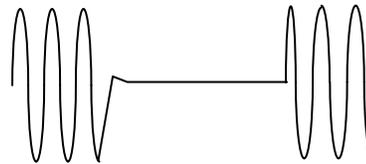


图 6
短暂中断

中断的原因可能有很多，但通常是某种类型的电力供应网损坏造成的，比如闪电、动物、树木、车辆事故、有害天气（强风、线路上积雪或结冰太厚等）造成的损坏、设备故障或者基础电路断路器跳闸。尽管市电基础结构在设计上可以自动校正许多此类问题，但它并不可靠。

举例来说，在商业用电系统中可能会导致中断的许多常见设备之一是市电保护装置，比如电路自动重合闸。自动重合闸决定了大多数中断的时间长度，具体情况取决于故障的性质。自动重合闸是电力公司使用的设备，用于感应由于市电基础结构中的短路引起的电流升高，并在发生这种情况时关闭电源。自动重合闸会在一个设定的时间后给线路重新通电，并尝试烧毁造成短路的物体（此物体通常是树枝或陷在线路和地面之间的小动物）。

如果您曾经遇到过房屋中的所有电器（所有电灯和电子设备）都一下熄灭，而在几分钟之后当您拿出蜡烛时又都恢复正常，那么您就可能体验过“中断”。当然，您的家中停电甚至停一晚上都可能只不过是方便，但对于企业则还可能造成巨大的损失。

中断（不管是瞬时中断、短暂中断、暂时中断还是持续中断）可能会对家庭用户直至工业用户造成损坏、伤害和停机的后果。如果由于设备掉电而导致信息损坏，家庭或小型企业计算机用户将可能会丢失重要的数据。而可能更加不好的一点是：工业客户由于中断将可能会遭受损失。许多生产过程都依赖于某些机械元件持续不断的运转。如果这些元件由于中断而突然停止，将可能会造成设备损坏、产品毁坏，并且还会带来与停机、清理和重新开机相关的花费。举例来说，如果一家生产纱线的工业客户遇到了短暂中断，则可能会导致抽纱过程“停止”，从而造成极大的浪费并引起停机。必须按特定的速度和密度抽纱才能确保最终产品的质量和类型达到预计要求。必须将不合格的纱线从纺纱机中清理出来并且必须重新拉直丝条。正如您能想像到的，这样将花费很多的精力，并且会造成长时间的停机。同时，由于毁坏了一定数量的纱线，因此还造成了浪费。

应对中断的解决方法多种多样，有效性各有千秋，费用也有高有低。首先要做的第一件事就是消除或降低潜在问题发生的可能性。市电系统的良好设计和维护当然是必不可少的。工业客户的系统设计通常与市电系统一样，也具有广阔的范围和易损坏的特性，因此这一点同样也适用于工业客户的系统设计。

降低了问题发生的可能性后，就需要采用额外的设备或设计方法以使客户的设备或工艺具备承受（在电源质量扰动期间保持持续运行）能力，或者具备在不可避免的中断之后（以及中断期间）重新开始运转的能力。使用最为广泛的缓解设备是不间断电源（UPS）、电动发电机，同时还可以

采用对冗余系统和能量存储加以利用的系统设计技术。在掉电时，这些形式的替代电源将可以接管。拥有笔记本电脑的任何人都看到过这种情况的例子。将笔记本电脑插上电源后，它将从墙上插座上获得电力，同时断断续续的能量将传到笔记本电脑的内部电池中，为电池充电。拔掉笔记本电脑的电源后，电池将立即接管并向笔记本电脑继续提供电力。开关技术的最新改进已经允许在不到半个周期内利用备用的能量存储系统。

术语“持续中断”描述了这样一种情况：在商用市电系统中，自动保护设备由于故障性质的原因而无法重新供电，并且需要人工干预。用此术语描述这种情况更为准确，而不是常用的术语“断电”。术语“断电”实际上是指系统中的组件未能按预期方式工作的状态（IEEE 标准 100-1992）。

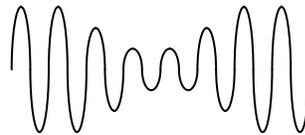
如果电力中断超过两分钟，并且您看到电力公司的卡车在不久之后出现来修复室外的市电路，那么或许可以肯定地说，您遇到了持续中断。

3. 电压突降/欠电压

电压突降（图 7）是指特定频率的 AC 电压下降持续 0.5 周期到 1 分钟时间的现象。电压突降通常是因系统故障造成的，当启动电流过高的负载开启时也常会发生。

图 7

电压突降



电压突降的常见原因包括启动大型负载（比如首次启动大型空调设备）以及远程公共设备排除故障。同样，启动工业企业生产设备内部的大型电机也可能导致电压显著降低（电压突降）。电机在启动时消耗的电流是正常运行电流的六倍还多。如果突然产生像这样大量的电力负载，将可能会使电机所在电路的其余部分的电压显著降低。可以想像一下，当您正在淋浴时，有人打开了您房屋中的所有水龙头，情况将会是怎样。水将可能变冷，并且水压会降低。当然，要解决这个问题，您可能要有另一台专用于淋浴的热水器。对于启动负载很大会消耗大量启动电流的电路而言，道理是一样的。

尽管针对较大启动负载增加专用电路可能是最有效的解决方法，但这种方法可能并不总是经济实用，特别是在整个设备各处的启动负载都很大的情况下。解决大启动负载的其他方法包括使用替代启动电源，这些电源在电机启动时不会使电气基础设施的其余部分产生负载，比如带有自耦变压器或星形-三角形配置的降压启动器就是这种电源。还可以使用固态类型的软启动器，它可以有效地缓解电机启动时的电压突降。最近，已经使用了可根据负载改变电机速度（还有其他用途）的可调速驱动器 (ASD) 来更为经济有效地控制生产过程，另一个好处是，可调速驱动器解决了大型电机启动的问题。

正如在“中断”一节中提到的，市电基础结构尝试消除远程故障的过程可能会为最终用户带来问题。如果这种问题较明显，就会被看作是中断。不过，对于消除较快或者瞬间发生的问题，问题本身也可能表现为电压突降。用于解决中断问题的同样一些方法也可以用来解决电压突降问题：UPS 设备、电动发电机以及系统设计技术。但是，电压突降所造成的损坏有时并不明显，要在一段时间后才能看到后果（设备损毁、数据损坏、工业加工过程中出错）。

某些电力公司现在向客户提供生产过程的电压突降分析服务作为一项增值服务，尽管这项服务仍然处于起步阶段。现在，可以执行电压突降分析来确定设备处于何种电压突降水平时可以运行，以及处于何种电压突降水平时无法运行。在进行研究并确定了这些弱点后，会对信息进行收集和 分析，并报告给设备生产商，以便它们能够改进其设备的承受能力。

欠电压

欠电压（图 8）是长期形成电压突降的问题造成的。曾经常用于描述此问题的术语是“电力短缺”，该术语已被术语“欠电压”所取代。“电力短缺”一词的意义不明确，因为它同时也指为了应付长期商业用电高需求量而采取局部停电对策。欠电压可能导致电机过热，也可能造成非线性负载故障，如计算机电源故障。解决电压突降的方法也适用于欠电压。但是，能够在使用电池电源之前使用逆变器调整电压的 UPS 将不需要经常更换 UPS 电池。更重要的是，如果欠电压状态持续保持，则可能是严重设备故障、配置问题或者需要解决电力供应问题的征兆。

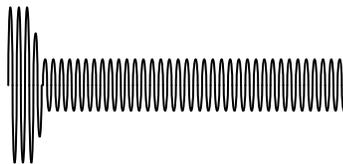


图 8

欠电压

4. 电压突升/过电压

电压突升（图 9）正好与电压突降相反，是指 AC 电压上升持续 0.5 周期到 1 分钟时间的现象。电压突升通常是因零线阻抗过高、负载（特别是大负载）急速下降，以及三相系统发生单一相位故障所致。

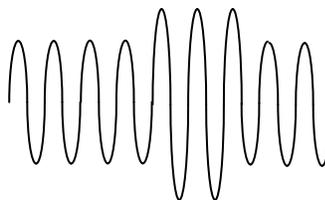


图 9

电压突升

结果可能造成数据错误、电灯闪烁、电触点剥蚀、电子产品中的半导体损坏以及绝缘体剥蚀。常用的解决方法包括使用电力线调节器、UPS 系统以及铁磁共振“控制”变压器。

与电压突降很像，在看到后果之前，电压突升可能不明显。通过使用 UPS 和/或同时对输入电力事件进行监控和记录的电力调节设备，将有助于衡量这些事件将在何时发生，以及多久发生一次。

过电压

过电压（图 10）可能是长期形成电压突升的问题造成的。可以将过电压想像为长期的电压突升。过电压通常是因电源供应变压器分接设定不正确并且负载已下降所致。这种情况常见于季节性的地区，淡季时居民的用电量会减少，但却仍然提供为用电高峰季节设定的输出电力，即使电力需求少了很多。它就像将您的拇指按在浇水软管的末端一样。尽管流出水管的水量保持不变，但因为出水口变小了，所以压力将会增大。过电压状况可能造成高耗电量，并导致下游断路器不必要地断开，以及设备过热和升压。

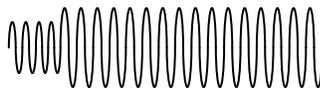


图 10

过电压

由于过电压实际上只是持续的电压突升，因此适用于电压突升的相同 UPS 或调节设备将也适用于过电压。但是，如果输入电力持续保持过电压状态，则可能也需要对进入设备的市电进行校正。过电压同样也有与电压突升相同的征兆。由于过电压可能持续时间更长，过热可能是过电压

的外部表现。由于过电压所导致的应力，对于通常会产生一定热量的设备来说，（在正常环境条件和使用情况下）其热量输出可能会突然增大。在紧密密封的数据中心环境中，这样可能会造成损害。对于 IT 企业来说，热量以及热量对当今数据中心（带有很多紧密密封的刀片式服务器类型环境）的影响是一个大问题。

5. 波形畸变

有五种主要类型的波形畸变：

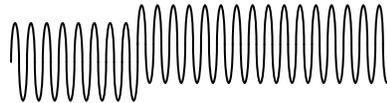
1. 直流偏移
2. 谐波
3. 间谐波
4. 陷波
5. 噪波

直流偏移

配电系统中可能会感生出直流电 (DC)，原因通常是推动现代设备发展的许多直流转交流技术内的整流器出现了故障。直流电可能会妨碍交流电系统，并且会使已按额定记录电平运行的设备中出现有害的电流。直流电的循环可能会导致变压器过热和饱和。当变压器饱和时，它不仅仅会发热，而且将无法向负载传输充足的电力，而随之产生的波形畸变可能会使电子负载设备中出现进一步的不稳定现象。直流偏移的示意图见图 11。

图 11

直流偏移



解决直流偏移的方法是更换导致问题的故障设备。通过使用模块化程度很高、用户可更换的设备，将可大大简化解解决故障设备所导致的直流偏移问题的过程，并且成本将比专业维修人员进行维修可能需要的成本要低。

谐波

谐波畸变（图 12）是指正弦波（其频率是基频的倍数）的破损现象。（例如，180Hz 是 60Hz 基频的第三个谐波； $3 \times 60 = 180$ ）。

谐波问题的征兆包括变压器、零线以及其他配电设备过热，还包括断路器断开以及依赖于清晰正弦波触发器（位于零交越点）的定时电路失去同步。

由于开关式电源 (SMPS) 的特性，谐波畸变在过去对于 IT 设备来说是一个很严重的问题。这些非线性负载以及许多其他电容性设计会在电压波的每个正峰和反峰处“吸吮”电力，而不是在每个全半周期消耗电流。回流由于是短期的（大约三分之一周期），因此会使用典型配电系统中三相中的每一相在零线上与 SMPS 中的所有其他回流合并。脉冲式零线电流会加在一起，而不是减除，从而会产生非常高的零线电流，理论上是最大相电流的最高 1.73 倍。过载的零线可能会导致配电的路线上出现极高的电压，从而严重损坏连接的设备。同时，这多个 SMPS 的负载会恰好绘制在每个电压半周期的峰值处，这样的负载通常已导致了变压器饱和以及随之而来的过热现象。造成此问题的其他负载包括变速电动机驱动器、放电镇流器以及大型的传统 UPS 系统。用于缓解此问题的方法包括增大零线的大小、安装 K 级变压器以及谐波滤波器。

过去十年来，IT 行业的发展引人注目，在这一趋势的驱使下，用于 IT 设备的电源设计已经通过国际标准得到了改进。在不久的过去，在设备内产生过高谐波电流的大量 IT 设备电源还会对电

气基础设施造成压力，而一个主要改进就使这一切烟消云散。许多新的 IT 设备电源设计为由功率因数经过校正、以线性非谐波负载方式运行的电源组成。这些电源不会产生多余的谐波电流。

图 12

典型的谐波波形畸变



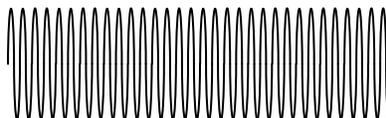
间谐波

间谐波（图 13）是一种波形畸变，它通常是由电气设备（如静止变频器、感应电动机和电弧装置）施加于供电电压上的信号所产生的。周波变换器（控制滚轧机、水泥和矿山设备中使用的大型线性电动机）会造成一些最显著的间谐波电源问题。这些设备可将供电电压转换为频率低于或高于电源频率的 AC 电压。

间谐波最明显的影响是可以看得到的显示器和白炽灯闪烁，并且可能会导致变热以及通信干扰。

图 13

间谐波波形畸变



解决间谐波的方法包括使用滤波器、UPS 系统和线路调节器。

陷波

陷波（图 14）是一种由电子设备（如变速传动装置、调光器和弧焊机）在正常运行条件下导致的周期性电压扰动。此问题可能会被描述为瞬时脉冲问题，但是，由于凹口在每半个周期上是周期性出现的，因此陷波被认为是波形畸变问题。陷波的常见后果是系统停机、数据丢失和数据传输问题。

图 14

陷波



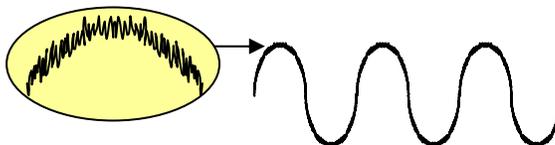
解决陷波问题的一种方法是：将负载从导致问题的设备上移走（如有可能）。如果无法移动设备的位置，那么 UPS 和滤波器也是可行的陷波问题解决方法。

噪波

噪波（图 15）是叠加在电源系统电压或电流波形上的多余电压或电流。噪波可能是由电力电子设备、控制电路、弧焊机、开关式电源、无线电发射机等所产生的。接地不良的位置会使系统更容易受到噪波的影响。噪波可导致诸如数据错误、设备失效、长期组件故障、硬盘故障和视频显示失真等技术设备问题。

图 15

噪波



有多种不同的噪波控制方法，有时必须要结合使用多种不同的方法才能达到所需的效果。下面是其中一些方法：

- 通过 UPS 隔离负载
- 安装接地的屏蔽绝缘变压器
- 移动负载的位置，使其远离干扰源
- 安装噪波滤波器
- 电缆屏蔽

噪波最常见的后果之一是数据损坏。EMI（电磁干扰）和 RFI（射频干扰）可能会在传输数据的系统上产生电感，如图 16 中所示。由于数据是以数字格式（由电压或无电压代表的 1 和 0）传播的，因此，超出数据操作级别的过高电压可能会导致出现不适当的数据或出现相反数据。当网络布线穿越装有荧光灯的吊顶时，就会出现由电感所导致噪波的典型例子。荧光灯会产生明显的 EMI，如果离网络布线的距离过近，将可能会导致数据出错。当网络布线位置离高负载输电线路的距离过近时，通常也会发生这种情况。在装有活地板的数据中心内，电线线路通常与网络布线并排放在一起，因此会增加出现噪波的几率。

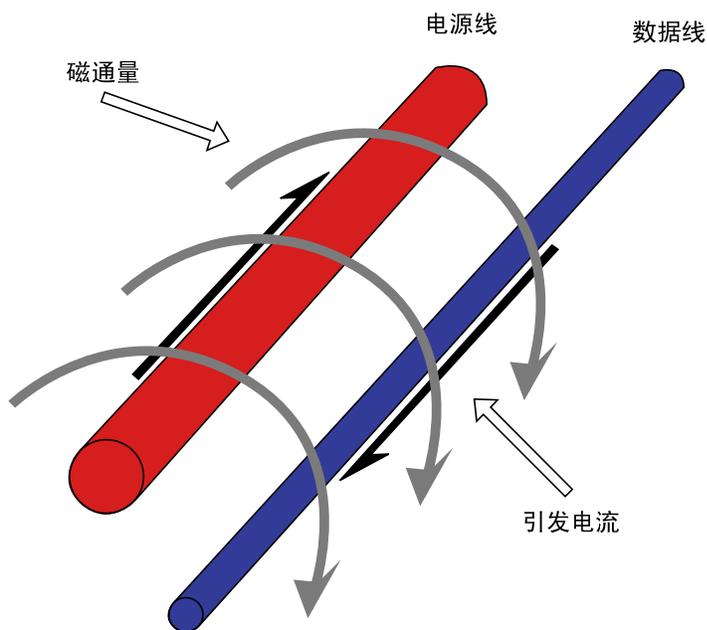


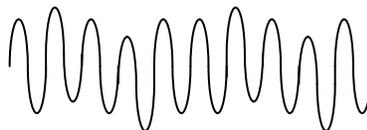
图 16
电磁感应

解决这种特定问题的方法包括将数据传输设备和/或布线转移到远离 EMI/RFI 源的位置，或者为数据设备和/或它们的布线加上额外的屏蔽以减轻或抵消 EMI/RFI 的影响。

6. 电压波动

由于电压波动与其它波形畸变有着根本的不同，因此电压波动将放在它们自己的类别中。电压波动（图 17）是指电压波形有系统地变动，或是一连串小幅度的电压随机变动，即变动范围不超过低频率（通常在 25 Hz 以下）额定值的 95% 到 105%。

图 17
电压波动



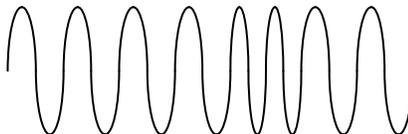
任何负载表现出的明显电流变化可能会导致电压波动。在输配电系统上，导致电压波动的最常见原因是电弧炉。此问题的征兆之一是白炽灯的不断闪烁。采用以下方法可以解决此问题：移走造成问题的负载，移动敏感设备的位置，或者安装电线调节设备或 UPS 设备。

7. 频率变化

频率变化（图 18）现象在稳定的市电系统中极为罕见，尤其是通过电力网互连的系统。在配有专用备用发电机或电源基础设施不齐全的机房，如果发电机负荷过重，就特别容易发生频率变化。IT 设备具有调整频差的能力，通常不会受到局部的发电机频率轻微变化的影响。任何依赖于一段时间内电力有规则平稳循环的电机设备或敏感设备将会受到影响。频率变化可能会导致电机以较快或较慢速度运行，以使其适应输入电力的频率。这样将会使电机的运行效率低下，并且/或者由于电机速度提高和/或增加了额外的电流消耗，将会导致电机变热和性能降低。

图 18

频率变化



为了纠正此问题，应对导致频率变化的所有电力电源及其他电源进行评估，然后修复、校正或更换。

电压不平衡

电压不平衡不是一种波形畸变。但是，由于在评估电源质量问题时必须注意电压不平衡，因此应该在本白皮书中对其加以讨论。

简而言之，电压不平衡（如其名称所示）是指供电电压不相等的情况。尽管外部的市电供电可能导致这些问题，但电压不平衡的常见根源在内部，并且是由设备负载所导致的。更具体地说，在其中一个相向单相设备供电的三相配电系统中，如果系统同时还向三相负载供电，则已经知道会发生此问题。

通常，这些不平衡表现为发热，特别是对于固态电机尤为如此。较严重的不平衡可能会导致电机部件过热，并且会导致电机控制器出现间歇性故障。

评估电压不平衡状态的一种快速方法是取三个供电电压之中最高和最低电压之间的差。此数字不应超过最低供电电压的 4%。下面是对系统中的电压不平衡进行简单评估的这种快速方法的示例。

例如：

第一个供电电压：	220 V
第二个供电电压：	225 V
第三个供电电压：	230 V
最低电压：	220 V

220V 的 4% = 8.8V

最高电压和最低电压的差：10V

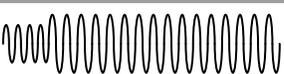
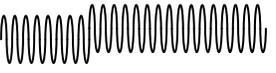
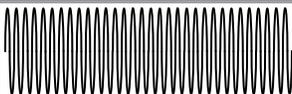
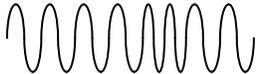
10V > 8.8V – 过于不平衡！

纠正电压不平衡的方法包括重新配置负载，或者让电力公司改变输入电压（如果不平衡不是由内部负载造成的）。

表 1 汇总了所讨论的各种电源扰动，并提供了可能的解决方法以缓解这些问题可能对业务运营造成的影响。

表1

各种扰动问题及解决方法的汇总

扰动类别	波形	影响	可能的原因	可行的解决方法
1. 瞬变电压				
脉冲		数据丢失、可能造成损坏、系统停机	闪电、ESD、操作冲击、市电故障排除	TVSS, 将湿度保持在35-50%之间
暂态振荡		数据丢失、可能造成损坏	关闭电感负载/电容性负载	TVSS、UPS、感应器/扼流器、零交叉开关
2. 中断				
		数据丢失、可能造成损坏、关机	转换、市电故障、断路器跳闸、部件故障	UPS
3. 电压突降 / 欠电压				
电压突降		系统停机、数据丢失、关机	启动负载、故障	电源调节器、UPS
欠电压		系统停机、数据丢失、关机	市电故障、负载变化	电源调节器、UPS
4. 电压突升 / 过电压				
电压突升		令人讨厌的跳闸、设备损坏/寿命缩短	负载变化、市电故障	电源调节器、UPS、铁磁共振“控制”变压器
过电压		设备损坏/寿命缩短	负载变化、市电故障	电源调节器、UPS、铁磁共振“控制”变压器
5. 波形畸变				
直流偏移		变压器发热、接地故障电流、令人讨厌的跳闸	有故障的整流器、电源	查明问题并更换有故障的设备
谐波		变压器发热、系统停机	电子负载（非线性负载）	重新配线、安装k因子变压器、使用PFC电源
间谐波		电灯闪烁、发热、通信干扰	控制信号、有故障的设备、周波变换器、变频器、感应电动机、电弧装置	电源调节器、滤波器、UPS
陷波		系统停机、数据丢失	变速传动装置、弧焊机、调光器	重新配线、移动敏感负载的位置、安装滤波器、UPS
噪波		系统停机、数据丢失	发射机（无线电）、有故障的设备、无效的接地、靠近EMI/RFI源	移走发射机、重新配置接地、远离EMI/RFI源、加强屏蔽、滤波器、隔离变压器
6. 电压波动				
		系统停机、电灯闪烁	负载设备运转断断续续	重新配线、移动敏感负载的位置、电源调节器、UPS
7. 电源频率变化				
		同步设备故障，对IT设备没有影响	备用发电机控制无效	升级发电机自动调节器

结论

电子产品的广泛使用，已经唤起了人们对电源质量及其对企业使用的关键电子设备所造成影响的关注。如今，设备正越来越在很大程度上依赖于小型微处理器运行，而这些微处理器甚至对很小的电力波动都非常敏感。这些微处理器可以控制速度极快的自动化机器人装配，以及无法承受停机损失的包装生产线系统。可以采用经济的解决方法来限制或消除电源质量扰动的影响。但是，为了便于行业沟通并了解电源扰动以及如何防止电源扰动，需要采用通用的术语和定义来描述不同的现象。本白皮书尝试定义和阐释了 IEEE 标准 1159-1995 “IEEE 关于监测电源质量的操作规程建议”中概述的电源质量扰动。

不管企业规模如何，其目标都是缩短设备停机时间和降低生产费用，并因此提高利润。通过对电气环境以及设备易受电源质量扰动的程度加以了解，而后进行沟通，将有助于找到实现业务目标和梦想的更好方法。

关于作者

Joseph Seymour 是位于 West Kingston, RI 的 APC 索赔部门的首席索赔分析师。他负责对灾难性瞬变电压事件引起的损坏进行评估和检查，并根据 APC 设备保护策略裁定客户索赔问题。

Terry Horsley 是 APC 的独立电源质量顾问。他曾涉足工程管理、关键基础设备支持、培训、课程开发、技术文档编写以及在欧洲、东南亚和美国执行现场调查等各个领域，迄今已有超过二十年的经验。



 数据线瞬变电压保护
APC号白皮书 85

 浏览所有 APC 白皮书
whitepapers.apc.com

 浏览所有 APC TradeOff 工具
tools.apc.com

参考资料

- *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE Std. 1159-1995.
- Ron A. Adams, *Power Quality: A Utility Perspective*, AEE Technical Conference Paper, October, 1996.
- Wayne L. Stebbins, *Power Distortion: A User's Perspective on the Selection and Application of Mitigation Equipment and Techniques*, IEEE Textile Industry Technical Conference Paper, May, 1996.
- *IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment* (IEEE Green Book), IEEE Std. 1100-1992.
- Electric Power Research Institute / Duke Power Company, *Power Quality for Electrical Contractors* course, November, 1996.
- Square D, *Reduced Voltage Starting of Low Voltage, Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Technical Overview*, Product Data Bulletin 8600PD9201, June 1992

与我们联系

关于该白皮书内容的反馈和评论

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

如果您是我们的顾客并对数据中心项目有任何问题的话

请与您的施奈德电气旗下的 APC 销售代表联系

附录一 电源容限

因为已经确定和描述了各种各样的电源扰动，所以有必要了解现代设备所能容许的电源扰动限度。并非所有电源扰动都会对现代设备造成影响。现代设备电源在短时间内能够容许的交流电压变化和扰动有一个可接受的范围。

大多数高科技设备都运行在由轻型容错开关式电源 (SMPS) 提供的低电压直流电上，这种电源会将额定的交流电转换为正和负直流电压。电源在敏感电子部件和交流供电电压的原始能量（带有其相关的背景噪声）之间提供了最有效的屏障。

国际标准 IEC 61000-4-11 中的规范定义了 SMPS 负载可承受电压扰动的大小和持续时间限制。同样，在整个行业中通常称为 CBEMA 曲线的应用说明（最初由计算机和行业制造商协会 (Computer and Business Manufacturer's Association) 制定）举例说明了针对单相 IT 设备电源中的最低电源扰动容限设计的性能曲线。信息技术产业协会 (ITIC, 前身是 CBEMA) 最近对原来的曲线进行了改进，如图 A1 中所示。曲线和该应用说明可从以下链接获得：

www.itic.org/technical/iticurv.pdf

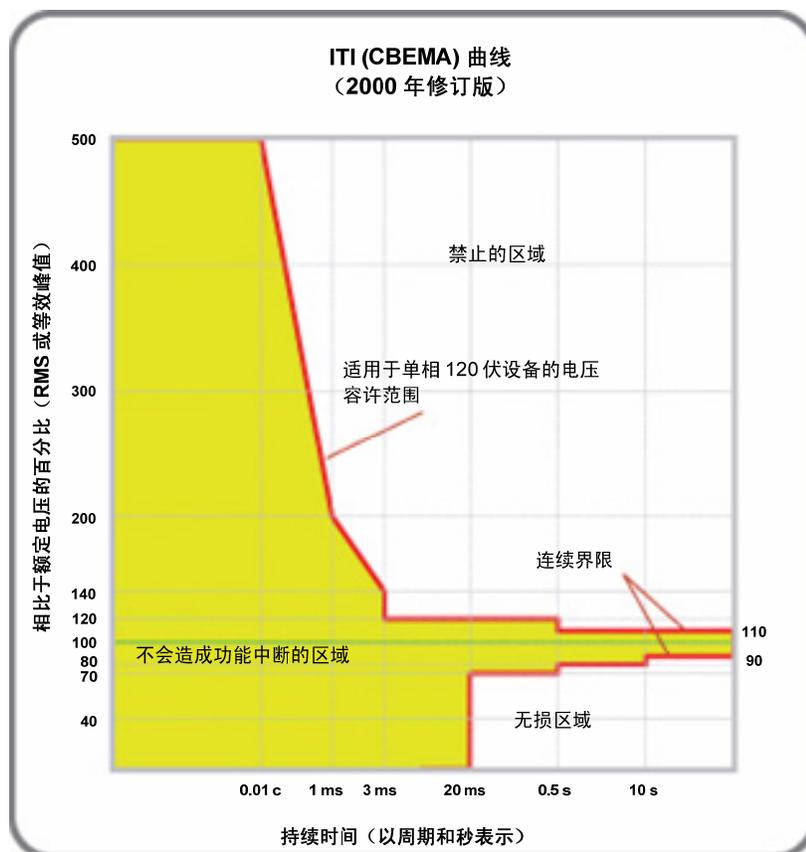


图 A1
ITIC 曲线

图 A1 显示了一个时间坐标，该坐标从子周期坐标开始，并且扩大直至直流电源供给操作的 10 秒。垂直坐标代表施加于单相 IT 设备的额定电压。此设计最常见的额定电压是用于 60 Hz 设备的 120V 交流电压以及用于 50 Hz 设备的 240V 交流电压。在零电压线后面，可以看到电源在交流供电电压降到零后将工作 20 毫秒，这意味着直流输出在交流电源掉电后将持续 1/50 秒。此曲线的另一个特征是，如果输入交流电压应降低到其额定值的 80%，则电源的直流输出将保留在电路中至少 10 秒。在 100% 线的正值一侧，电源必须容许电压升高 200%，持续时间至少 1 毫秒。在交流周波的 0.01 周期处（例如，60 Hz 系统中的 1.6 微秒，以及 50 Hz 系统中的 2.0 微秒），电源将容许电压升高 500%，而不会中断电路工作。