

# 数据线瞬变电压的 产生与保护

## 第 85 号白皮书

版本 1

作者 Joseph Seymour

### > 摘要

数据线的电力瞬变（浪涌）现象可能会损坏企业和家庭办公环境中的计算设备。许多用户十分重视供电线路浪涌带来的风险，却忽视了数据线浪涌的危害。本白皮书将介绍瞬变电压是如何产生的、瞬变电压对用电设备具有哪些破坏性影响以及浪涌抑制设备如何保护用电设备免受浪涌的影响。

### 目录

*点击内容即可跳转至具体章节*

|            |   |
|------------|---|
| 简介         | 2 |
| 瞬变电压是如何产生的 | 2 |
| 瞬变电压的影响    | 4 |
| 瞬变电压抑制和保护  | 5 |
| 结论         | 8 |
| 资源         | 9 |

## 简介

电力干扰对用电设备和数据具有很大的威胁。我们使用不同的名称来描述电力干扰，如尖峰脉冲、浪涌和瞬变浪涌电压等。不管使用什么名称，这些干扰所造成的影响都是一样的：干扰、设备性能降低以及损坏都会造成系统停机。随着计算机网络的迅猛发展，通信线路上瞬变电压浪涌的影响也变得日益重要。通信线路无论是从地上还是地下进入建筑物，都会给家庭设备或企业设备带来较大的瞬变电压。

由各种耦合作用（通过磁场从一个系统向另一系统传输电能）产生的瞬变电压浪涌可能会对建筑物内的通信接口造成严重损坏。由于产生瞬变电压浪涌的形式很多，因此对输入线路应用单极浪涌抑止保护可能无法完全保护内部线路和设备免受瞬变电压的影响。

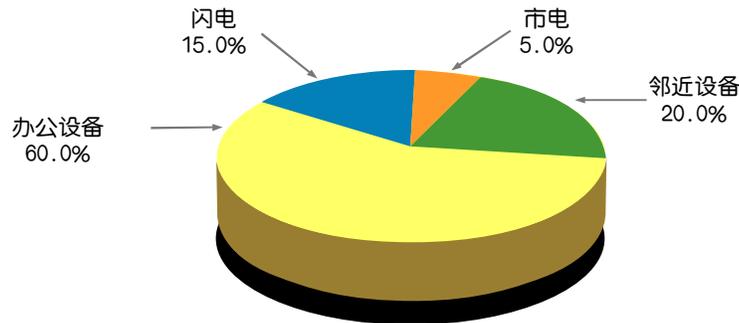
在讨论瞬变电压浪涌可能会对数据线产生的具体影响时，了解数据线的基本概念及其如何以电的形式传输数据非常重要。数据线是导电的通信电缆，上面传送有低电平电压，用于在相连的设备之间进行通信。常见的数据电缆包括同轴电缆、CAT5 以太网电缆和电话线等等。通过数据线将不同的电压电平从传输设备发送到电缆另一端的接收设备，数据就可从一台设备传送到另一台设备。接收设备会对电压电平进行处理，对其进行解释并将其转换成设备可以理解和遵循的数据。

尽管数据线的发展趋势是只传送较低的电压电平，但数据线仍然是由导电材料构成，因此也会像其他导线一样会受到瞬变电压浪涌和尖峰脉冲的影响。通常，瞬变电压浪涌是指在非常短的时间内偏离所要求的电压电平（对于计算机设备而言为信号）的现象。这种不期望发生的偏离可能会导致计算机设备无法正常运行甚至出现故障。一些使用数据线进行通信的设备只能在非常低的电压阈值下工作，如果电压电平高于额定电平，设备很容易受到损坏。而且，瞬变电压浪涌的产生来源比较复杂，这意味着任何设备配置都不能避免瞬变电压的影响。

图 1 显示了由佛罗里达电力公司完成的一项研究结果，将电源质量问题分为不同类别。该图说明闪电占电源质量问题的 15%，供电公司配电站进行电网切换所产生的瞬变电压仅占 5%，而由办公设备产生的瞬变电压占有所有电源质量问题的 60%。

图 1

佛罗里达电力公司从企业角度对电源质量问题的明细



## 瞬变电压是如何产生的

作为瞬变电压浪涌的一种类型，尖峰脉冲是指电压短时间过高的现象，时间通常以毫秒计。任何导电线路都很容易会发生这种不期望的电能过剩现象。瞬变电压的能量可能非常巨大，会损坏设备，或由于不正确电压电平发出错误的信号而导致设备无法正常运行。由微处理器和其他集成电路 (IC) 驱动的设备尤其容易受到瞬变电压浪涌的危害。不同来源产生的感应耦合作用通常是数据线电压瞬变的原因。

与 AC 电源瞬变电压的直接产生机理相比，人们对数据线感应耦合瞬变电压的产生机理了解相对较少。只要有电流流过导体材料，就会产生磁场。如果将第二个导体置于第一个导体产生的磁场内，只要磁场发生变化，就会在第二个导体上产生感应电流。使用磁场产生电流和感应电压（无需与其他导电材料进行实际的物理连接）是变压器的基本工作原理，例如市电线路中使用的变压器。变压器的初级线圈产生一个向外扩散的磁场，这会在次级线圈中产生感应电压。基于同样的

原理，建筑物内彼此相邻的电线之间也会由于磁场耦合产生瞬变电压，如图 2 所示。耦合可能是由于电源线引起的（这会在相邻的数据线上产生感应电压），也可能发生在数据线与数据线之间（通常称为串扰）。

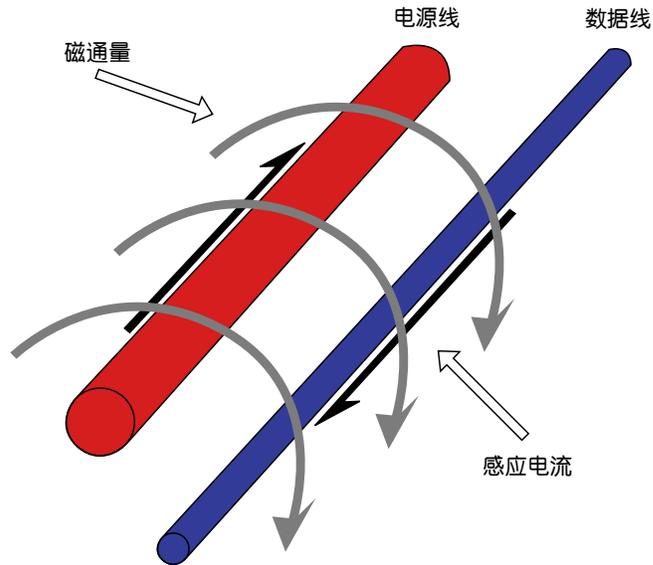


图 2  
感应耦合作用

闪电会产生非常巨大的磁场耦合作用，一次放电就可瞬间破坏多台设备。图 3 说明闪电击地的情况。闪电周围存在非常强的磁场。与导体的磁场会在相邻导体上产生感应瞬变电压一样，闪电的磁场也会在户外电线中产生感应电流，而无需直接击中电线。更重要的是，如果闪电距离工厂设施非常近的话，还会在其磁场穿过的内部数据线上产生感应瞬变电压。这种瞬变电压会干扰线路传输的数据，或很可能会损坏相连的设备。感应耦合作用也称为电磁干扰 (EMI) 或噪声干扰。

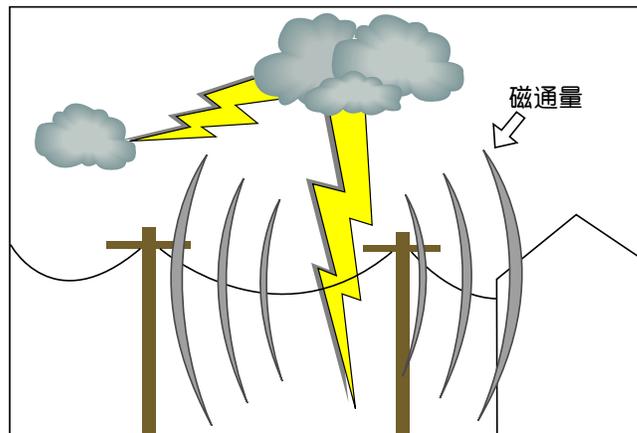


图 3  
闪电产生的磁场

尽管线路间或闪电产生的耦合作用是数据线瞬变电压是人们比较熟悉的两种产生原因，但是还有许多其他的耦合原因，会对工厂设施内的数据基础设施造成损害。在规划或检查工厂设施内部数据线的配线时，应注意以下感应耦合因素：

- 垂在电力线路上的数据线
- 邻近避雷导地体的数据线（导地体是建筑物内用于将闪电释放出的电流从建筑物传导到地面的线路或结构）
- 靠近建筑钢材（尤其是在避雷导地体附近）的数据线

- 紧邻荧光灯（会发射 EMI）的数据线

以上是数据线产生感应耦合的一些主要原因，但对于任何具体的工厂设施来说，都很可能还有许多其他因素。

## 瞬变电压的影响

当今工厂设施或一些家庭中的很多用电设备都采用了集成电路和微处理器技术。因为集成电路和微处理器具有一些相同的特性，所以此类设备对瞬变电压浪涌尤为敏感。基于微处理器和由微处理器控制的设备比比皆是。此类用电设备包括计算机及其外设、计算机和数据网络（如 LAN）、电讯设备、医疗诊断设备、CNC 生产机械、无线电设备、电视、卫星电视设备、电子收款机、复印机、传真机等。很多此类设备通常会连有特定形式的数据线以便通信。

基于 IC（集成电路）的机器对瞬变电压敏感性的决定因素有三个：

1. IC 与电路板线路之间的间隙
2. 适用的工作电压限制范围
3. 使用脉冲周期同步特定操作（如在计算机中）。

### IC 与电路板线路之间的间隙

对基于 IC 的设备来说，影响其对瞬变电压的敏感性的第一个常见因素就是集成电路元件与电路板线路之间的间隙极小。在很多情况下，这种间隙比头发丝都要细得多。电流通过导线或线路通过电路板。这些线路（包括 IC 的内部和外部线路以及电路板本身上的线路）有特定的热胀冷缩范围。电流流过电路板元件时会由于发热而引起膨胀，电流中断后则会引起收缩。如果这些线路产生瞬变电压，就可能会引起线路过热，造成电路板结构出现细微裂纹，从而导致正常情况下相互绝缘的线路导电。这会引起内部短路，可能使设备无法工作。在有些情况下，这些细微裂纹不会立即造成损坏，但是由于元件的经常膨胀和收缩裂纹会慢慢扩大，或产生更多的裂纹，随时间推移会逐渐导致设备出现故障直至无法工作。

### 适用的工作电压限制范围

影响 IC 敏感性的第二个因素是 IC 设备运行的工作电压越来越低。随着计算机元件尺寸的减小和效率的提高，为了节省电能，运行这些元件所需的工作电压越来越低。一些内部计算机设备常用的 5VDC 工作电压已经降低到 3.3VDC，并且可能还会继续降低。这意味着基于 IC 的系统可以承受的电压范围也同时降低了。如果基于 3.3 VDC 的系统的电压电平由于瞬变电压而增加到 5VDC，就很容易造成损坏。

### 使用脉冲周期

对基于 IC 的设备来说，影响其灵敏性的第三个因素是使用脉冲周期来同步内部元件操作。大多数计算机操作都通过脉冲周期进行同步，脉冲周期是由特定频率的电压脉冲决定的。有时，EMI 可以在特定频率上接近计算机的脉冲周期，这会导致计算机将这些假的脉冲周期解释为命令。这些假命令会导致很多逻辑错误，表现为键盘锁定、程序崩溃或系统锁定等。换个角度来说，EMI 可能会导致计算机错过某些有效的命令，这也会造成类似的问题。

### 瞬变电压引发的常见故障

在用电设备中由瞬变电压引发的最常见的故障是干扰、损耗和破坏。

**干扰影响** — 由于感应耦合产生的瞬变电压通过数据线或电源线传入设备时，通常会引起干扰，电子元件很可能将瞬变电压处理为有效的逻辑命令。结果会导致系统锁定、运行故障、输出错误、文件丢失或损坏以及各种其他不希望看到的问题。

**性能影响** — 这与对 IC 元件的重复应力有关。IC 的构造材料可以承受一定量的重复电平浪涌，但无法长期承受。长期的性能下降将最终导致这些元件无法工作。

**破坏影响** — 这包括高电平的瞬变电压导致设备立即出现故障的所有情况。通常，这会伴随明显的物理损坏，如 PC 主板和元件烧毁和/或破损、电子元件的熔毁或其他明显迹象。

## 瞬变电压抑止和保护

瞬变电压浪涌是指所需的电压或信号发生短暂但通常幅度很大的变化。瞬变电压的变化幅度越大，用电设备受到干扰或破坏的可能性就越大。如前面所述，瞬变电压可以在任何导电材料中产生，因此它们不仅会影响与市电路连接的设备，还会影响与电话线、以太网线、同轴电缆、串行通信电缆等连接的设备。

### 浪涌保护设备

浪涌保护设备 (SPD) 可以削弱这些浪涌的幅度以保护设备免遭破坏。但是，SPD 没有必要将浪涌降低到零振幅。SPD 只是将瞬变电压降低到一个可以安全地传递到连接的电气负载的水平。这是因为在设备中电源的阈值可能发生变化，并且为保证所连接的设备能够连续运行而将电压削弱到零是不切实际的。因此，SPD 会将瞬变电压削弱到一个合理的水平，以符合保护设备的要求。一些更高端 SPD 还提供噪声过滤功能，以减少电源波形中由 EMI 引起的干扰，阻止其传递到所连接的设备。

简而言之，SPD 会阻止具有破坏性的瞬变电压浪涌电平到达所保护的设备。SPD 通过吸收过剩的电压、将其分流或者组合使用这两种手段，达到削弱浪涌电压的目的。图 4 显示了飞向靶子的箭。靶子代表 SPD，而箭代表瞬变电压尖峰脉冲。当箭击中靶子时，它会被吸收并滞留在靶子中。然而，靶子的厚度将决定箭是否可以在没有穿到另一侧时停止。同样，在这种模式下，箭将不停地损坏靶子，将来靶子可能无法很好地阻止箭。现在，假设在靶子前面有一个金属盾牌。箭发出后，它会击中盾牌，无任何损害地弹飞到靶子的旁边。这就是大多数 SPD 的基本工作原理。SPD 吸收能量（并且根据它们的质地好坏，可以防止浪涌，但仍然会受到损坏），或者将电压分流到设备接地线中。在大多数情况下，SPD 会将吸收和分流瞬变电压浪涌的设备组合使用。

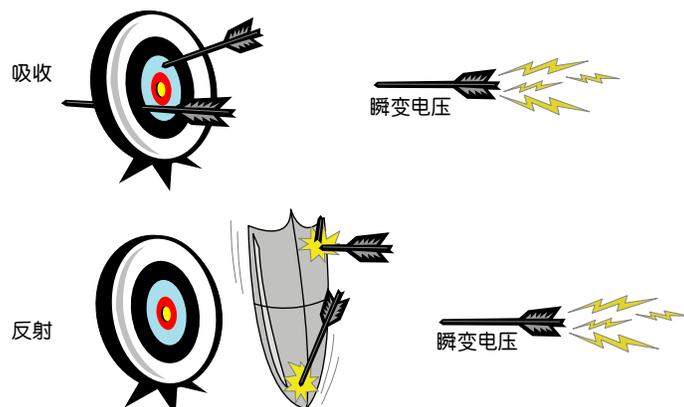


图 4

吸收和反射瞬变电压

钳位是 SPD 用于限制瞬变电压的一项功能。钳位这一过程是由 SPD 内部组件将瞬变电压降低到所保护的相连用电设备可接受的较低电压电平。在经过 SPD 的瞬变电压浪涌削弱电路后，传递到相连用电设备的能量被称为“通过电压”。同样，对于大多数 SPD 来说，此过程都不会将瞬变电压降低到零伏，或者降低到连接的负载正常工作所需要的电平以下。过分地将瞬变电压削弱到所需电平以下会导致 SPD 本身承担不必要的负担。

金属氧化物变阻器（MOV — 压敏电阻）是 SPD 中最常使用的一个组件。MOV 是具有特殊半导体属性的非线性电阻。在瞬变电压浪涌进入线路之前，MOV 将保持在非导电状态，允许电源正常通过。瞬变电压浪涌进入线路之后，MOV 开始导电，将过剩电压传到地。随着安培数的增加，钳位电压的值也会增加，这样保证传到设备的“通过电压”处于可接受的水平，直到瞬变电压浪涌平息为止。

MOV 通常与热敏保险丝结合使用，热敏保险丝位于电源线路和所保护的设备之间，在出现灾难性的瞬变电压浪涌时可以切断所连接设备的电源。如果瞬变电压非常大，持续时间很长，它可能会达到 MOV 的峰值工作电压，此时 MOV 会处于完全导通状态。如果出现此故障，热量可能会导致热敏保险丝（通常靠近或连接到 MOV）断开电流，从而阻止向所保护的设备进一步供电。MOV 性能十分稳定，这也是在 SPD 中采用该部件的原因。MOV 将始终允许通过相同的电压，在达到同一过剩电压水平时开始导通，这一特性将一直持续到自身的故障点。

SPD 不能解决所有的电源质量问题。它们无法解决由电力设备提供的 AC 电源中的欠压（低电压）和过压（长期过电压）问题。它们同样无法降低由非线性负载（如计算机和荧光照明设施系统中的一些发动机和开关式电源）产生的谐波问题。如果市电线路电压过低，可以使用 UPS 设备，临时使用电池供电，直到市电恢复为止。

## 接地

接地是最大的电力环境问题之一，对于 SPD 尤为如此。

地是所有电源、信号或数据网络的必要元素。所有电压和信号电平都要以地为参考。大多数 SPD 还使用设备中的接地线，以分流瞬变电压产生的过剩电压。如果没有正确接地，这些 SPD 可能无法正常工作。

工厂设施中的接地连接只能连接到电力线路配电板上的单一连接点。这种与地面单点连接的方式可以避免由于疏忽而造成多个接地点。多个接地点会造成市电电压的差异，导致不希望的电流流向低压数据线。并对数据传输造成噪音干扰，虽然不会引起太大的损害，但也可能会形成瞬变电压浪涌，严重损坏设备传输线。**图 5** 显示了一个接地回路示例。每个设备独立接地（每个电源插座都参照不同的接地点）。如果设备通过某种形式的接地（也导电）数据线连接在一起，就会出现**图 5** 中，计算机使用并行通信电缆连接到打印机。如果所使用设备接地点之间存在电势差（有电荷差异），那么电流可能会通过并行电缆从一个设备流到另一设备，以便中和电荷。这就是“接地回路”，会对设备造成严重损坏，因为设备在正常条件下只需很小的电力就可以工作。虽然这个示例只显示了一处设施，但接地回路也可以在不同设施之间形成。

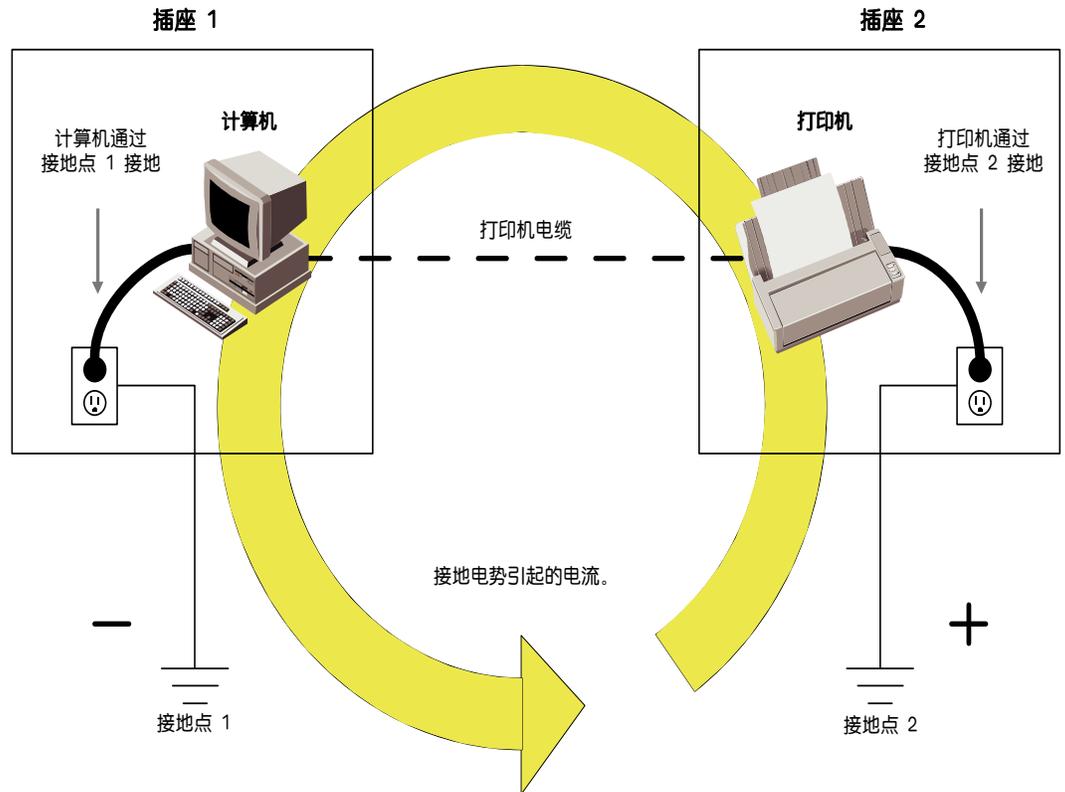


图 5  
接地回路

### 瞬变电压分层保护方法

使用 SPD 网络对瞬变电压进行分层防御是明智之举。第一层用于控制进入系统设施的高输入浪涌，如电线中的瞬变电压。这可能是由于闪电引起的。然后，使用其他层控制内部电线和数据线中的瞬变电压。因为大多数瞬变电压浪涌都在建筑物内产生，所以了解和应用 SPD 对于改进任何工厂设施中的电源质量都是非常必要的。

这种分层保护方法是防止大多数瞬变电压问题的最有效手段。这种方式对于防止电线的瞬变电压问题非常重要，对于数据线也同样重要。对于输入数据线中的高瞬变电压，大多数大型设施都具有特定形式的首层防御措施。例如，很多家庭和工厂设施都使用陶瓷气体放电管或玻璃放电管 SPD（通常由电信公司提供）来帮助将大容量浪涌降低到基本电话设备（如不需要辅助电源就可以工作的独立电话）的适宜水平。但是，这些第一层 SPD 允许通过的电压通常不能将电压削弱到安全级别，以避免损坏灵敏的用电设备，如计算机的 DSL 或拨号调制解调器（或甚至是连接到这些调制解调器的计算机）等。对于连接到同轴电缆的其他灵敏用电设备，如音频/视频设备或宽带电缆调制解调器设备等，效果也是一样。出于这个原因，应使用额外的 SPD 进一步削弱从第一层 SPD 传来的允许通过电压，保护单个设备。

## 结论

通常只有在讨论电线干扰时才会提及瞬变电压浪涌。然而，由于有很大一部分瞬变电压是在系统设施内部的数据线网络中产生的，因此有必要重视抑止数据线浪涌的需求。任何导线都是瞬变电压的潜在载体，在任何系统设施内都会存在许多可以产生感应耦合的因素。当今计算机运行所需的电力阈限越来越低，这意味着即使是非常小的电力干扰，也要加以重视，以避免数据损失和损坏。通过首先降低外部和其他来源的高浪涌，然后在传到灵敏的用电设备之前进一步在内部削弱电力，分层保护方法可以理想地抑止浪涌。数据线浪涌抑制对于保护灵敏设备免遭数据损坏非常必要，可以避免对低电压数据线造成破坏，还可以防止任何开放电路引入瞬变电压浪涌。

### 关于作者

**Joseph Seymour** 是施耐德电气信息技术事业部位于 West Kingston, RI 的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 施耐德电气设备保护策略裁定客户索赔问题。



## 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)

如果您是我们的客户并对数据中心项目有任何疑问：

请与您的 **施耐德电气** 销售代表联系