

电源线和数据信号电涌防护的协调配合

Michael J.Coyle

美国 MCG 电子公司 Deer Park, New York



前言

保证敏感计算机系统高质量电源的基本要求是电涌防护应设计正确并协调配合，以消除雷电击中电源线所导致的设备损坏。交流电源线上的电涌防护装置（SPD）的容量、位置和安装都合适才能实现最好的保护。但是，即使交流电涌防护装置安装得合理，也可能对 I/O 通讯接口带来不利的影响。

大量的实例分析已经确证连接于交流电源线和通讯线上的未加保护的敏感电子设备会受到交流电源线上的雷电和开关投切的瞬态过电压导致的破坏。精密的电子设备无不依赖于高密度的半导体元件。当今更高密度的微处理器设计要求更细的线路和更紧密的空间，并且他们工作的电压也更低，更敏感。

但是，大自然并没有因此而减少其闪电的频繁程度和强度。很显然，有必要将这些百万焦耳的能量源（雷电）分流掉，以保护那些对百万分之一焦耳的能量都很敏感的集成电路。

使用电涌防护器（电源线的和数据线的）的努力并非完全有效，

不治本的方案，更根本的原因是没有整体化看待这个问题。本文运用了一个简化的但却高度实用的瞬态过电压环境模型，该模型将自然环境（译注：指大气过电压。）和典型电气系统简化为等效电路。这一方法确定出了电气分配系统中的关键点，并指出了如何对电源线和 I/O 通讯接口进行有效的保护。这里给出的系统透视图也提出了如何运用现在可应用的电涌防护器达到最大的保护效果。

自然和系统的等效电路

将自然环境和相关的设备系统简化为等效的电路可得到一个简化的瞬态过电压环境模型。等效电路可显示由瞬态过电压产生的电流当到达建筑电源入口时是如何传导至系统内的各不同点的。弄清了瞬态电流的流向就可以找出经济可靠的保护方法。

如图 1 所示，雷击一般会进入电源线并产生沿电源线向两端传播形成瞬态的电涌电流，直到到达配电变压器的一次绕组。这一电流中的一部分会由配电变压器的 MOV 避雷器泄放入地。其余部分将继续，进入电气设施，然后通过建筑的接地系统返回云层下的大地。

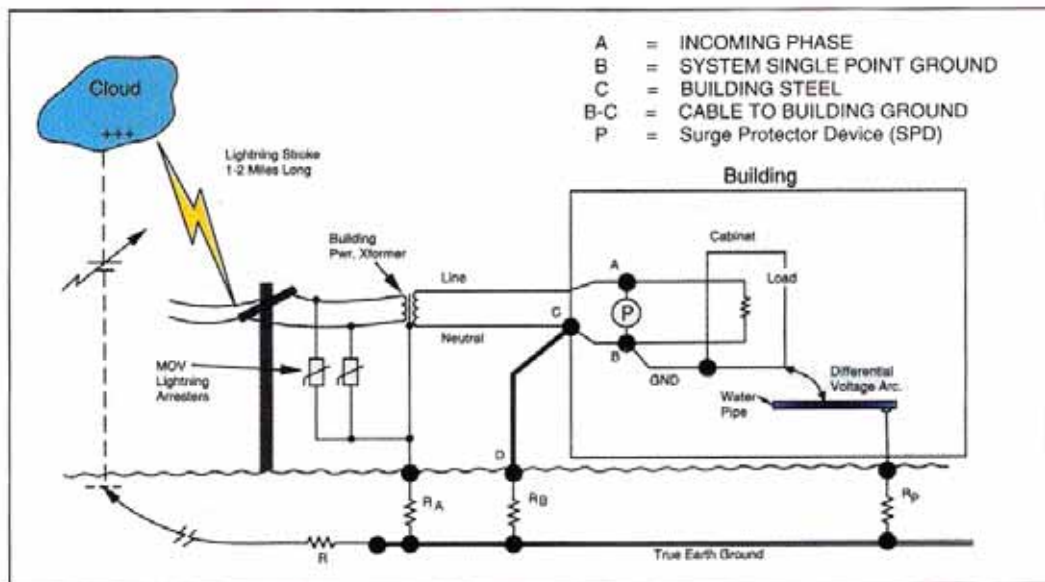


Figure 1. Lightning Stroke to an Electrical Power System.

图 1 雷电对电源系统的闪击

图 2 显示的是这一自然环境和电源系统的等效电路。图中显示出瞬态电流 I 包含两个部分，IA 和 IB。进入建筑的 IB 是唯一要考虑的电流。

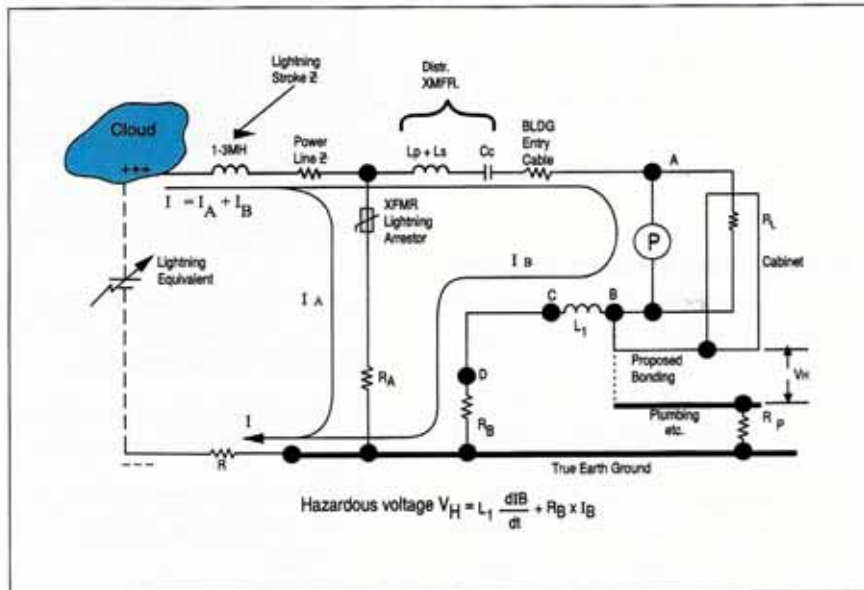


Figure 2. AC Power System Equivalent Circuit.

图 2 电源系统的等效电路

人身防护

人员的安全是首要的和最基本的。图 2 显示出电流 IB 通过 L1 和地电阻 RB 产生一危险的电压 VH。L1 是从系统接地母体到建筑物接地点间(接地极)导线的电抗。如果下水系统用的是塑料管，那么相当于存在两个不同触点的接地，这样危险电压就会出现在设备外壳和水冷器之间。

电源线上电涌电流保护装置(SPD)的存在实际上可能会增加人员的危险，因为它提供了一个更好的瞬态电流向地的途径。现在更大的 IB 将在 L1 和 RB 上产生更大的电压。

危险电压可这样估计，假设瞬态电流为 10,000A(8/20ms)，较低的对地电阻 1 欧姆和较低的地线电感 0.1 微亨。

$$V_{\text{危险}} = V_{L1} + V_{RB} = L_1 \cdot \frac{dI_B}{dt} + I_B \cdot R_B = 0.1 \text{mh} \cdot 10,000\text{A}/8\text{ms} + 10,000\text{A} \cdot 1$$

$$= 125\text{V} + 10,000\text{V} = 10,125 \text{ 伏}$$

确实很危险。

MCG 电涌防护器

两个简单的建议可以有效地消除雷击对人员安全的危害：

将下水管道与建筑的接地在图 2 中的 B 点连接。

避免使用塑料下水道。

交流电源线的考虑

当配电变压器的 MOV 避雷器将电涌电流 I_A 向地分流的同时，连于电源上的系统设备将承受瞬态电涌电流 I_B 。一个位于建筑主配电盘处的大小合适的电涌防护器 P 将立即将瞬态电流 I_B 通过 L1 分流向地。这可将出现在负载上的瞬态电压限制在安全的水平。

优化性能

电涌防护器一般都是以并联方式与被保护的设备一同使用，提供一条低阻抗的对地通路。图 3 清楚地显示出并联式防护器的有效性。等效电路说明了 SPD 的阻抗 Z_P 与整个电源系统的阻抗、电缆和分配变压器的特性的关系等。

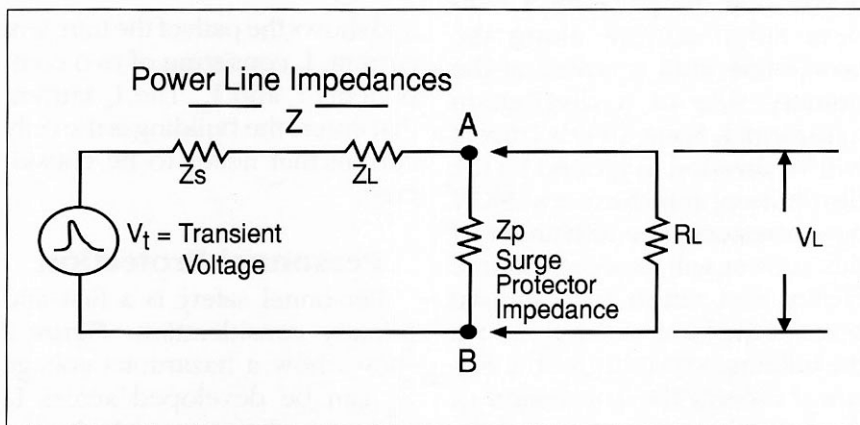


Figure 3. Optimizing Protector Performance.

图 3 优化保护器性能

瞬态电压 V_L 的值在 Z_P 减小而 Z 增加的情况下减小。 Z_P 两端的钳制电压将出现在负载两端。下面是减小 Z_P 和增大 Z 的推荐方法。

减小分流阻抗 Z_P :

从电涌防护器到配电盘的导线是有感抗的 (L_W) , 它对保护系统的钳制电压的不良影响见图 4。电缆上的电压降可以用两种方法减低。

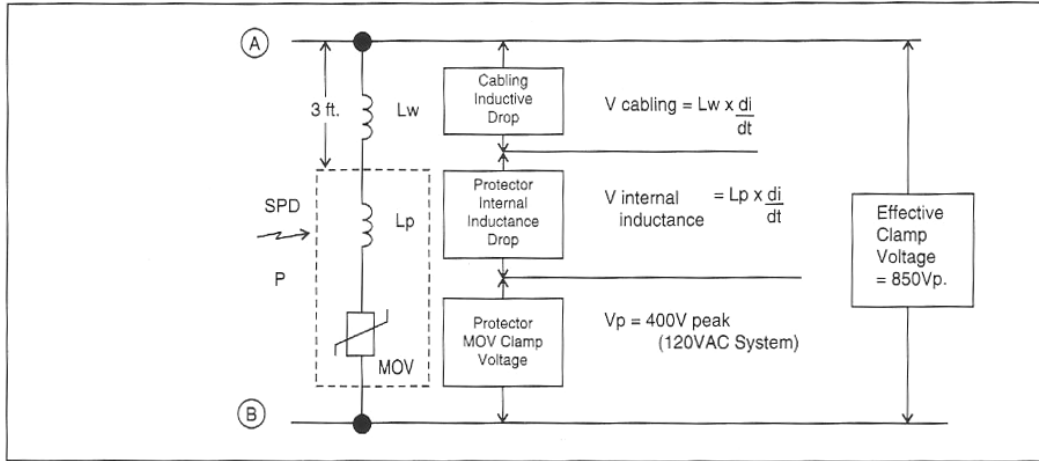


Figure 4. Minimizing Shunt Impedance by Reducing L_w and Z_p .

图 4 通过减小 L_w 和 Z_p 来减小分流阻抗

连接到 SPD 的一般电缆的长度是关键，一定要减至最小。

A. 可使用短的直接导线 - #10-12AWG 是可接受的。

B. 将导线全部绞捻在一起并用胶带缠好。

Micro-Z 电缆连接是一个达到低导线电压降的更好方法。通过对布线方法的小心控制，Micro-Z 电缆连接将导线电压降减低到只有一般导线的 30%。该技术使用交错排列的相线和中性线 (3 条中性线)。相线和中性线都围绕一条位于核心的地线。图 5 显示了 Micro-Z 比一般导线的优越处。

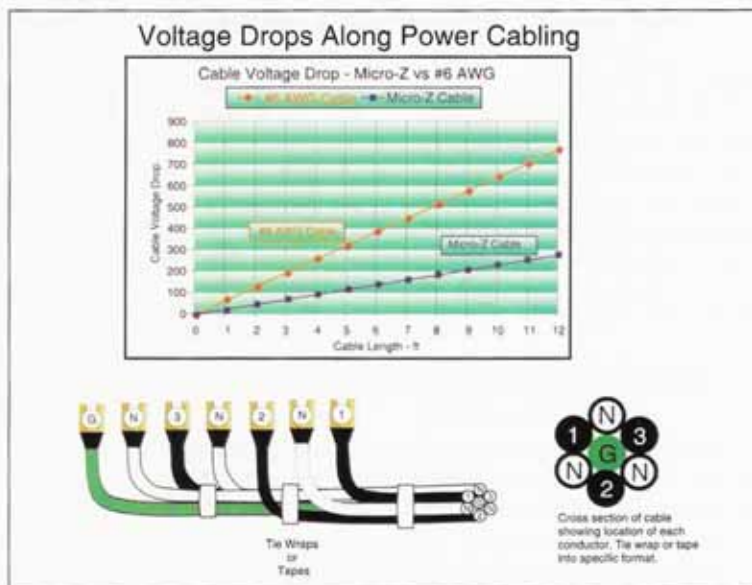


Figure 5. Voltage Drops Along Power Cabling.

图 5 沿电线的电压降

防护器的外壳大小是重要的。从市场上可买到的分流型电涌防护器应具有低的内电感。这很容易确定 - 电涌防护器的外壳越大，其固有的内部导线的电感也就越大。小 SPD 的电感小，是值得推荐的。

增大串连阻抗，Z：

电涌防护器应位于配电变压器的二次侧的建筑物入口处，这样就利用了变压器的漏感电抗和进线的导线阻抗。因使用充分的绝缘和一次侧的避雷器，变压器一次绕组可承受足够大的瞬态过电压。

将其它 SPD 安装于线路下侧接近敏感负载的地方，可很好地利用建筑物内长导线的固有电感。因此，从价格和性能的角度看，这些 SPD 是非常有效的。

电源线保护的建议

位于电源线进入建筑物处的大容量 SPD，可保护连接于建筑物电源系统的设备不受通过电源进入建筑物的外部电涌的影响。

因为建筑内电线的固有阻抗，所以位于线路下侧敏感设备处的 SPD 可以小很多。位于下侧的 SPD 可提供中性线和地线间的钳制电压保护，它还可以提供自同一配电箱配电的不同设备室之间的横向保护。

通讯线保护

图 6 显示当总瞬态电流 I_B 通过电涌防护器 P 和地电阻 R_B 时，它会将设施及其内部的设备的电位提高到几千伏。地电位的这一变化导致一个二次雷电电流 I_C ，它可导致在其通路上远端和近端的调制解调器、数据输入输出口和电话设备的损坏。正是这一源于电源线的二次瞬态电流 I_C ，导致了绝大多数的通讯 I/O 口的故障。

图 6 由于雷电电流 I_B 使地电位偏移

几乎所有的通讯设备故障都是 I/O 口的故障。如果数据线防护器(DLP)的位置正确和安装得当，它们可提供很好的 I/O 口的保护，其可靠性很高。图 7 是一个理想的 I/O 口线路。I/O 口晶体管 Q1 的保护可通过使用大电流的雪崩二极管 Z1 分流 I_C 和限制 V_{Q1} 至安全水平来实现。如果 V_{Q1} 小于晶体管 Q1 的 V_{CE} ，那么输出晶体管可受到保护。

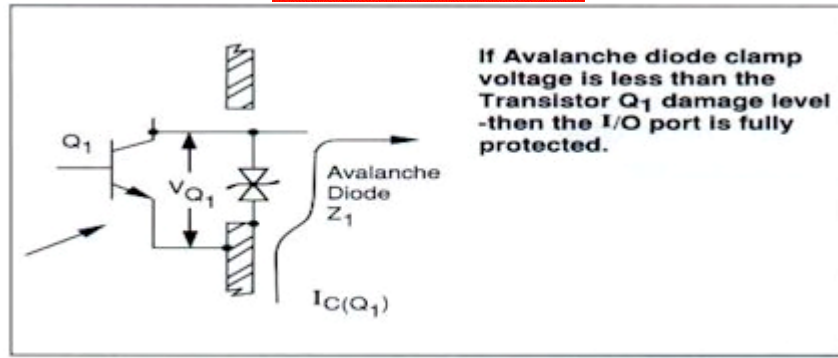


Figure 7. Ideal Protection of I/O port.

图 7 I/O 口的理想保护

在易受雷击、工作要求严格的场合，当设计大电流防护电路时，应以气体放电管 - 电阻 - 雪崩二极管电路来代替雪崩二极管（图 10）。

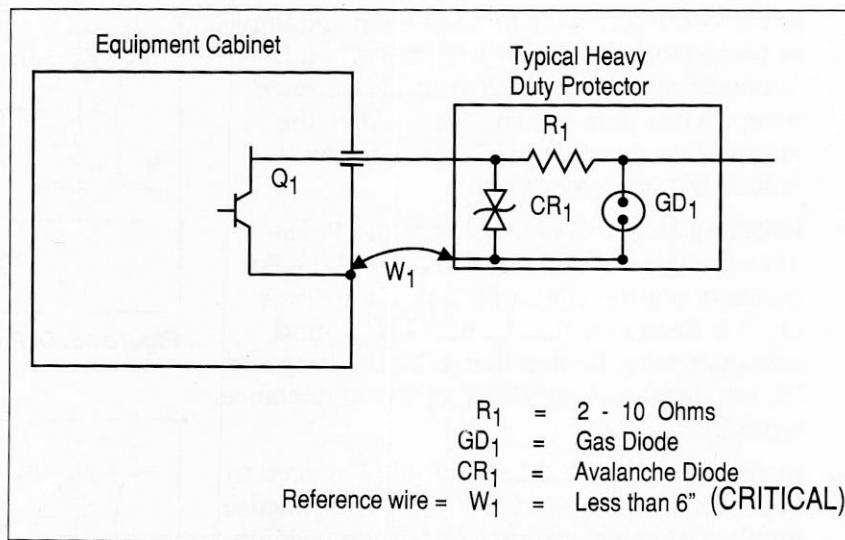


Figure 10. Recommended Communication Protector Installation.

图 10 通讯防护器安装位置建议

应重视参考地电位的布线

图 8 的模型所示为一个长达 91 厘米的参考地电位线。计算表明了晶体管 Q1 两端出现了 110V 的电压降，这导致了它的故障。这是由于过长的导线所造成的。

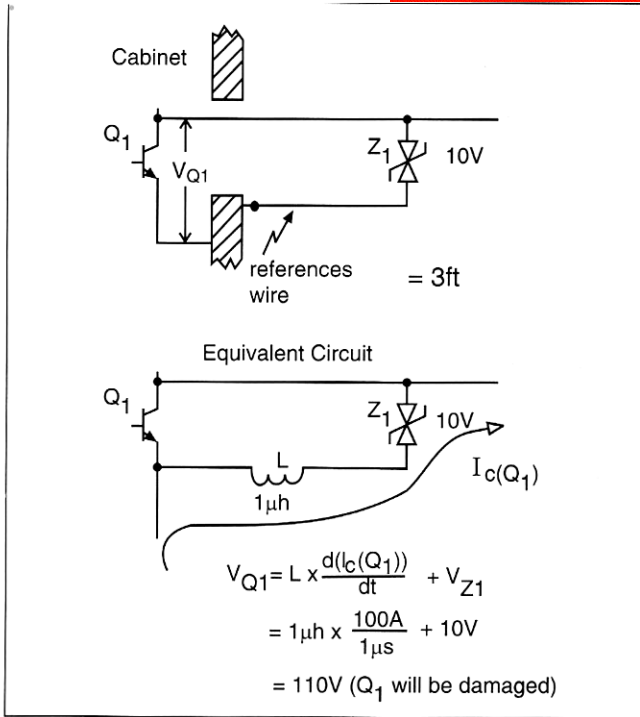


Figure 8. Protector + Long Leads = Bad Protection.

图 8 防护器 + 长导线 = 低劣的防护

数据线防护器一定要紧靠着被保护的设备。它的地电位线一定要与设备的地相连。连接线长度一定要在 15 厘米之内——越短越好。这无论怎样强调都不过分。

数据线防护器的安装位置

不能正确应用数据线防护器 (DLP) , 是 I/O 口故障的主要原因。在实际应用中有几个位置可以安装数据线防护器以减少故障。

在设备处, 装用二级防护器。它们安装容易成功率高。

在建筑的入口处, 所谓的一次防护。除非满足并保持一定的设施建筑质量的要求, 否则这一保护是有问题的。

图 9a 说明了可安装数据线防护器的不同位置。根据安装位置的不同, DLP 可造成 4 种不同的故障电流通路。下面将讨论每种故障情况, 以突出其要点。

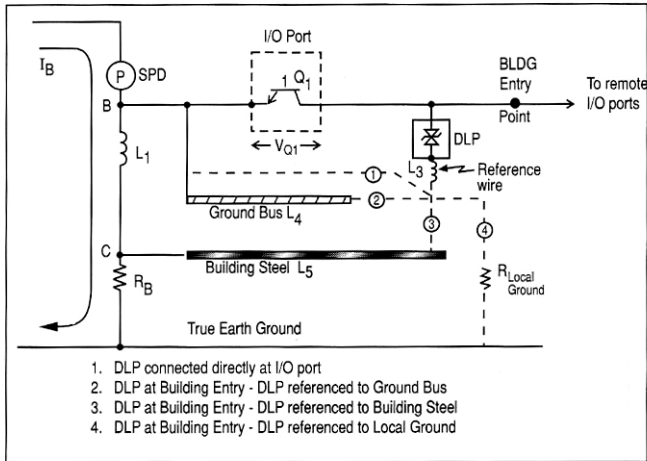


Figure 9a. Possible DLP Installation Locations.

图 9a DLP 的可能安装位置

1. 直接在设备处安装数据线防护器(图 9b)。这是要推荐的位置。为确保晶体管 Q1 得到保护，数据线防护器的连线 L3 的长度一定要在 15 厘米以内。

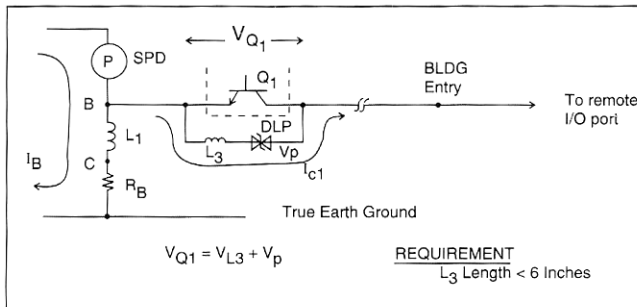


Figure 9b. DLP Connected Directly at I/O Port.

图 9b DLP 直接连在 I/O 口

2. 在建筑物入口处安装数据线防护器并接向参考地电位总线(图 9c)。为确保晶体管 Q1 得到保护，数据线防护器的连线 L3 的长度一定要在 15 厘米以内。另外，地电位总线 L4 的感抗必须非常低，一般要小于 0.1μh。

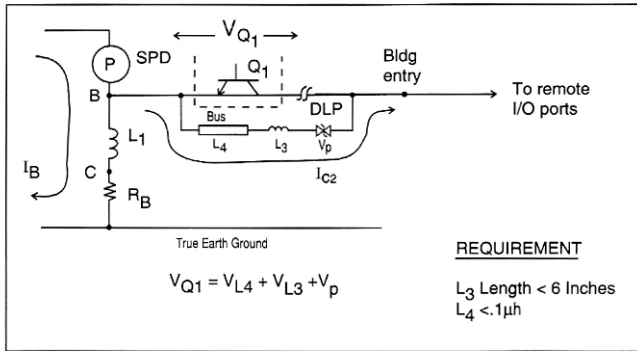


Figure 9c. DLP @ Building Entry - DLP Referenced to Bus Ground.

图 9c DLP 建筑物进口-DLP 与总线

3.在建筑物入口处安装防护器并接至建筑物钢筋(图 9d)。为确保晶体管 Q1 得到保护，数据线防护器的连线 L3 一定要在 15 厘米以内，并且建筑物钢筋 L4 的感抗必须非常低，一般要小于 0.1µh。

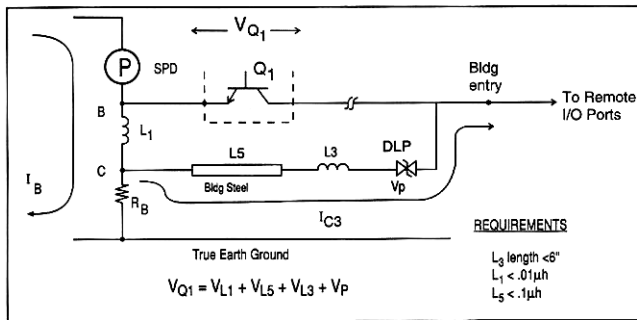


Figure 9d. DLP @ Building Entry - DLP Referenced to Building Steel.

图 9d DLP 建筑物进口-DLP 与建筑钢筋

4.安装在建筑入口处并接至就地(单独)的接地极(图 9e)。要完全避免这种接法。在数据线防护器附近使用就地的接地，会使 I/O 口处于极大的地电差变动下——在几千伏的量级上。

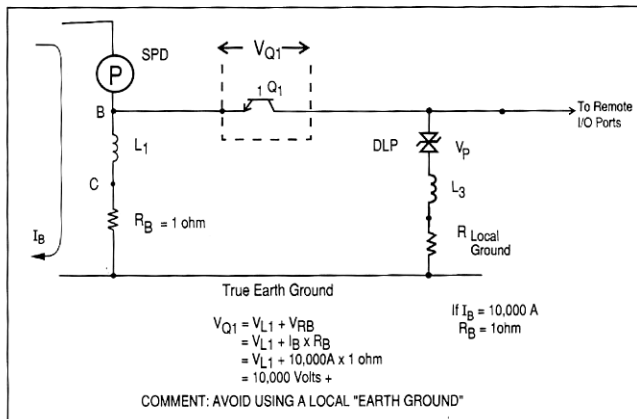


Figure 9e. DLP @ Building Entry - DLP Referenced to Local Ground.

图 9e DLP 建筑物进口-DLP 与电位差

MCG 电涌防护器

数据线防护的作用如何？

在 1985 年，MCG 对数据线防护器的故障率做了一次调查，结果为：在 130,000 个线路中有 39 个故障，就是说完好率为 99.97%；而在这 39 个中，有 30 个是雪崩二极管被击穿“短路”，并因此保护了被保护的设备，这就是说，设备保护率高达 99.993%。

对于各种实际应用来说，大小适宜、安装合理的数据线防护器，将消除 I/O 口的故障。

建议

如果对系统完整性的要求高，那么第一选择应是直接安装在设备自身处次级的数据线防护器（如气体放电管 - 电阻 - 雪崩二极管做的），并且将数据线防护器的地与机箱用 #10-12AWG 的短线（短于 15cm）。记住，地线越短，保护越好。

如果电源线和数据线在同一处进入并且它们的地又连在一起，那么位于建筑入口处的初级通讯保护器可能会有效。但它们是否可在所有的环境下提供可靠的 I/O 口保护是值得怀疑的。

总结

通过将自然环境和（电源和数据通讯）系统简化为电子线路模型使我们看到了闪电，电力分配系统和电子设备以及电涌防护装置间的关系。模型也显示出了在遭遇大的雷电电流的情况下，它们之间是如何相互作用的。从而是防护工程师能够更加自信地去纠正干扰和破坏电力和电子系统的瞬态电涌带来的问题。

