

接地不当引起电磁干扰的一个案例

上海埃德电磁技术有限公司 柳光福 (上海市 200237)

摘要： 本文记述了一起因接地不当引起电磁干扰(EMI)实例，介绍了排除这次EMI的详细情况，分析了引起EMI的原因。吸取这次发生EMI的教训，改进试验室的接地设计。

关键词： 电磁干扰(EMI)，接地，接地桩，地环路

一 前言

提起接地，每个从事电子电路和系统设计的工程技术人员（含弱电和强电）都很熟悉。因为每个电路，每个设备，每个分系统和系统的设计都要碰到这个问题，都要处理好这个问题。因此，在电子电路设计的教科书，电磁兼容性(EMC)原理和设计手册中，都较详细地对接地进行了论述。例如，单点接地、多点接地、浮地和混合接地。读这些书的时候，给我的印象是叙述清楚，归纳明哲。但是，要用它们来指导实践，解决碰到的实际问题，又觉得似懂非懂，很难下手。

另一方面，有的设计手册又把接地分得很细，以至要求工程技术人员区分出安全地、防雷地、结构地、系统地、电源地、信号地、噪音地等。为了区分出这些不同的接地，可能有这样的情况，某一点既可看作电源地，又可看作信号地，还可视为安全地。在这种情况下，应该接哪个地呢？还是这几个地都要接？我曾参观过一个电子分系统，它的确实实施了上述的7种接地，当我随即地断开分系统的某一种接地，假如信号地被断开，可该系统仍能正常运行。既然如此，这样所设置的信号地不就是多余的了么？

假如有八个工程师分别设计同一块印刷电路板或同一台设备的接地，可能会有6种、7种，甚至8种接地的方案，这是很自然的事。因为接地这是一个说起来简单，做起来有多种不同选择，争论起来又没完没了的难题。在某种特定的场合，不管是用单点接地还是多点接地，其实际效果是相同的。即电路的功能运转正常，又能抑制EMI信号。但是，在另一种场合，就其达到的效果而论，可能会出现单点接地优于多点接地，或者反过来，可能是多点接地优于单点接地。人们自然要问，哪一种才是较好的接地呢？很难回答这个问题。在工程中的接地，要根据系统的要求，周密考虑，具体问题具体分析，无论实施哪一种接地(包括安全接地和防雷电接地)，都要达到系统功能运转正常和有效控制EMI信号的目的。我们要理论联系实际，不断总结经验，就会有所进步。下面是我经历的一次由于接地不当而产生严重EMI的例子，通过调查分析，最后消除了EMI的影响，这次实践加深了我对接地的认识。关于这个由浅入深、由表入里的认识过程，记述在下面。

二 EMI现象

我们的一个系统实验室设在临街六层大楼的二楼。因需要，曾从美国一家公司进口了超级微机(下称微机)，这台机器安装在二楼系统实验室的西侧。为了微机的安全和运行可靠，对原实验室的供电进行了改造。具体的改造内容包括，其一，加装一台380V / 50Hz隔离变压器，打算用它达到控制雷电及瞬变干扰对计算机正常运行的影响；其二，供电走线和接地是按照TN-C-S的要求布置，为此，专门在大楼的北面设置了接地桩，规定该接地桩的地电阻必需小于2欧姆。实际使用证明，该微机运行正常，性能稳定可靠，从未发生过电磁干扰的征兆和事故。

因工作安排，要在这个系统实验室进行电子系统仿真实验。仿真过程中，要求微机与来自实验室供电的电子系统的信号进行交联，按编制的模型作出实时反应，以验证系统软件和硬件的性能。

在微机与电子系统的信号接口连接之前，不管是微机，还是电子系统都能可靠稳定地运行。可是，一旦二者的信号接口连上，谁也没有预料到的奇怪现象发生了，不是微机死机，就是电子系统故障，二者之间，就是无法实现信号交联。一旦断开它们之间的所有信号交连电路，让两者独自分开运行，又一切正常。由于以前从未发生过这样的情况，所有参加这项实验的工程技术人员都为之惊讶。

三 调查研究

为了排除故障，进行了广泛的讨论，最后大家一致认为，此事的发生肯定有电磁干扰在其间作怪。为了找到电磁干扰的根源，我们进行了认真、反复的实验，对这件事的认识，也一步一步地深入。

首先，怀疑大楼的电梯作怪。因为实验的地方靠近大楼电梯，这个电梯是老产品，它是通过继电器的接通或断开来实现控制的。我们知道，继电器的接通或断开要产生持续时间短，幅度高的脉冲干扰信号。为了找到EMI的成因，关掉电梯后进行实验，结果还是出现上述不兼容的现象。这种电梯的却是一个严重的干扰源，但是看来电梯不是本系统出现不兼容的干扰源。

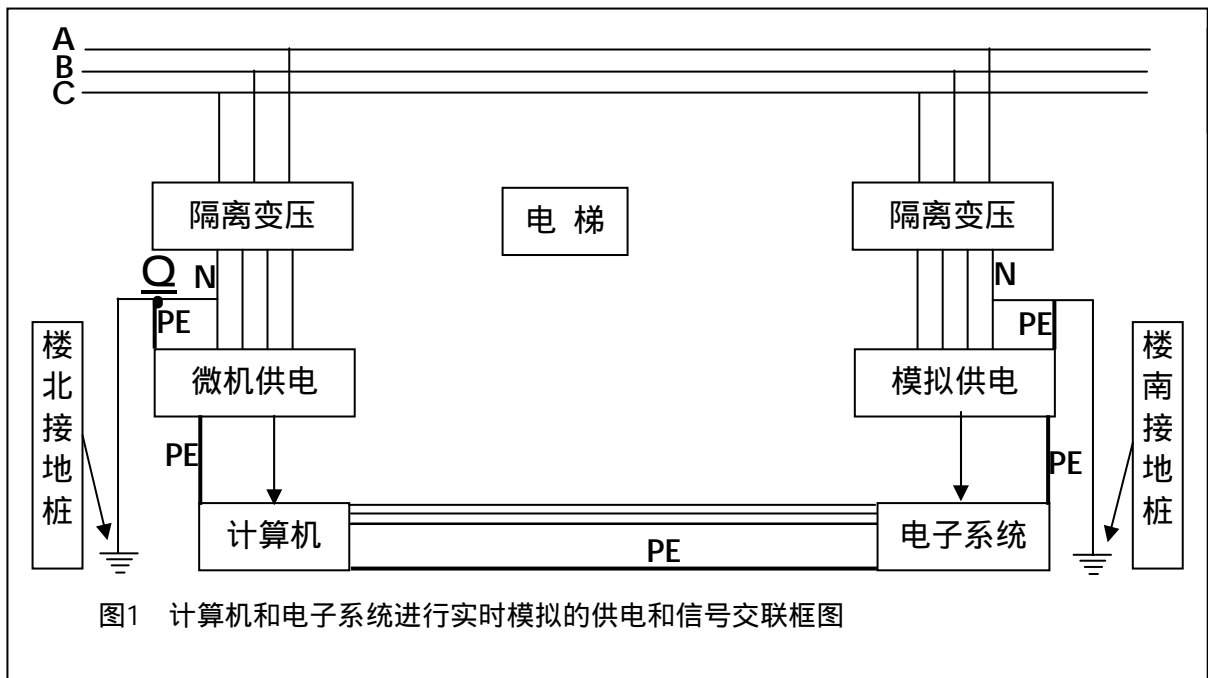
又因为实验室靠近车水马龙的道路，所以，怀疑汽车点火器产生的干扰信号会影响这个实验。我们曾在本大楼的六楼用测量接收机检测到汽车点火器产生的干扰信号，其特征与继电器的干扰信号相同。为了避开这个干扰，便改在夜深人静的时候进行实验，结果仍然出现上述现象。

在排除这些可能的外部干扰信号对电子系统实验的影响后，开始从系统内部找原因。最初，怀疑微机或电子系统的信号通过电源线时产生的传导干扰信号互相耦合，导致上述干扰的发生。为了控制可能的传导干扰信号的影响，在各自的供电线路上正确加装了性能很好的EMI滤波器，在信号线上也安装信号线EMI滤波器，还是未能解除上述不兼容现象。

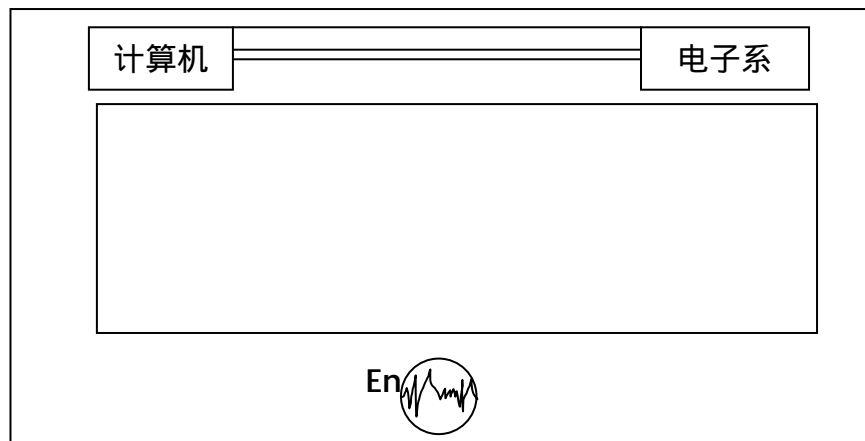
四 真正的故障原因及解决办法

面对上述情况，我们详细地调查验证了微机和模拟系统的供电。原来，在安装引进微机前，二楼实验室的供电也是通过一只380V / 50Hz的三相隔离变压器实现的，其走线和接地也是按照TN-C-S的要求设计和实施的，专门在大楼的南面设置了接地桩。这样一来，微机和电子系统进行模拟实验的供电和信号交联如图1所示。从图1总结出以下特点：

- A)** 在微机与电子系统进行模拟的实验中，实际上有二个独立的供电系统在为此实验供电，其一为微机供电系统，其二为模拟供电系统；
- B)** 上述二个独立的供电系统都采用了TN-C-S的接地方法。不同之处在于微机供电系统的接地桩位于大楼的北面，模拟供电系统的接地桩位于大楼的南面，两个接地桩的距离约为50米。
- C)** 由于模拟实验要在和电子系统之间的信号进行交联的情况下完成，二者之间必须要有信号电平的参考地，图1中用PE粗线来表示。严格地说，每一个信号的传输，必须要有回线，这回线要与PE相连，可以把信号的回线看成就是PE。实际上计算机和电子系统间有成百对信号交联线，用PE及其上面的虚点表示在图1中。
- D)** 信号交联的PE要与计算机和电子系统的PE连接。最终，PE要同时与微机供电系统和模拟供电系统的接地桩相连接。



从图1中，把PE和两个供电系统的接地桩连起来，沿着楼北接地桩，微机供电系统的TN-C-S的PE与N的连接点，微机的PE，信号回线的PE，电子系统的PE，模拟供电系统的TN-C-S的PE与N的连接点和楼南接地桩连接起来，就形成一个很大的回路，即地（线）回路，为了表示清晰，图1可以简化为图2。

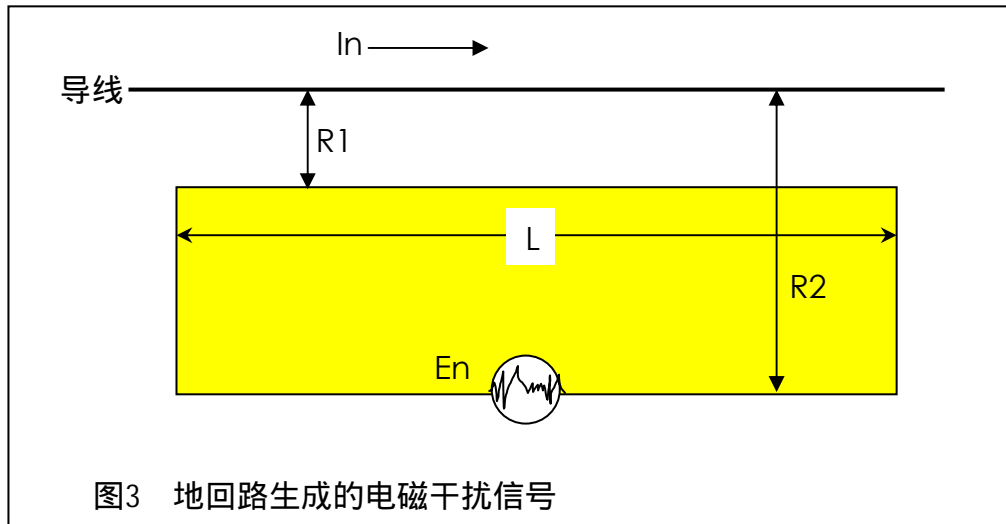


为了估算在此情况下，在回路中可能生成干扰信号的幅度，在这里引用参考文献中的、无限长载流导线在邻近回路上生成的感应电压 E_n （或称为EMI电压，单位V）的表达式（1），式（1）有关参数的说明见图3。

$$E_n = (3.19 \times 10^{-8}) f \cdot L \cdot \ln \cdot \ln (R_2/R_1) \quad (1)$$

（1）式中，

E_n —感应电压，V；
 f —频率，Hz；
 L —与载流导线平行的回路边长，英寸；
 I_n —瞬变电流，A；
 R_1 —载流导线与邻近边长的距离，英寸；
 R_2 —载流导线与远边边长的距离，英寸；



当 $f=100\text{MHz}$ ， $L=2000$ 英寸（50.8m）， $I_n=10\mu\text{A}$ ， $R_1=0.04$ 英寸（1mm）， $R_2=200$ 英寸（5.08m）的时候， $E_n=5.43\text{V}$ ，这已经是一个足以使系统瘫痪的EMI电压。

在这里设定的参数是有根据的。例如， L 就是两个接地桩之间的距离，约为50m； R_1 是交联信号线内导体和外屏蔽层间的距离，约为1mm； R_2 主要考虑接地桩的地面高度，约为5m。引入的这些数据与实际情况是吻合的。

至于 I_n （瞬变电流），在这里可以理解为瞬变电流，上面的计算中仅设定为 $10\mu\text{A}$ 。实际上，在合上计算机（或模拟电子系统）的那一瞬间， I_n 何止 $10\mu\text{A}$ ！估计实际的大小为数安培，是 $10\mu\text{A}$ 的100倍，甚至1000倍或更大。可以预见，由此生成的EMI电压（ E_n ）的幅度是何等之大！当这个瞬变加到微机（或电子系统）上时，必定会引起误码或错码，这就是微机出现死机和电子系统故障的直接原因、真正原因。

原因找准了，排除故障就成为可能。发生本故障的根源在于，在不知情的条件下，糊里糊涂地用了二个独立的供电系统（微机供电和模拟供电系统）向电子系统模拟试验供电！由二个独立的供电系统的二个接地桩围成了一个面积近300平方米的地回路，机器（无论是微机或是电子系统）启动时的瞬变电流在如此之大的地回路中感应出幅度极大的瞬变电压，这就是发生系统故障的EMI电压。只要能消除这个回路，这个电磁干扰现象就能排除。于是，我们在微机供电系统的楼北接地桩的连接点，即图1中的Q处松开连接螺钉，就完成切断接地桩与微机供电系统的连接，上述面积近300平方米的地回路就不再存在！在完成这个排故措施后，重新开机进行模拟试验，便一切正常，困扰大家多时的电磁不兼容就被制伏了。

五 结论

上面讨论的，由于接地桩设置不当所引起严重EMI的例子是相当典型的，极少会遇到的。但是，如果在分系统、设备、以至印刷电路板等的接地和电缆走线方面的设计考虑欠佳，也有可能形成上面论及的地环路干扰。当然，由于地环路所围的面积和通过环路的磁通量不同，可能不会发生明显的EMI现象。但是，要改善系统和分系统的EMC设计，应当认真考虑接地和电缆走线，把可能由地环路引起的EMI控制到尽量低的程度，这对改善EMC的设计很有意义。

另外，上面排出故障时述及的，如电梯工作时产生的EMI，汽车点火时产生的EMI，电源线的传导干扰耦合等，的确都是EMI源，他们运行时都会产生EMI信号。但是，这些EMI信号的幅度还没有达到该破坏系统运行的程度。当然，避开电梯的运行、在没有汽车干扰的条件下进行试验和在电源线上加装EMI滤波器，这些都是控制EMI的措施，之所以没有能解除系统的不兼容。这是因为在此条件下，起决定作用的是系统开始运行瞬间，在地环路内产生幅度巨大的EMI信号。只有把地环路破坏掉，使在系统开始运行瞬间不会产生幅度巨大的EMI信号，系统才能正常运行。这也说明，在控制EMI的诸多因素中，要能找准起决定作用的因素，并实施合适的控制措施，这是有难度的。这时候，解决棘手的EMI问题，丰富的实践经验显得十分重要。只要我们多实践、不断总结实践经验，控制EMI造成麻烦的能力就能提高。

参考文献

- 陈穷，李坚，柳光福等，《电磁兼容性设计手册》，航空工业出版社，1988
- 陈穷，蒋全兴，柳光福等，《电磁兼容性工程设计手册》，国防工业出版社，1993
- GJB / Z25-91，《电子设备和设施的接地、搭接和屏蔽设计指南》
- Henry W. Ott,《Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, Second Edition》，John Wiley, 1988
- IEEE on EMC International Symposium Recording, John D. M. Osburn and Donald R. J. White,《Grounding A Recommendation for the Future》，pp. 155-160, 1987
- Henry W. Ott,《Controlling EMI by Proper Printed Wiring Board Layout》，EMC International Symposium Recording, pp.127-132, Zurich, 1985