

电磁兼容中的接地技术

摘要：讨论了电磁兼容中的接地技术，包括接地的种类和目的、接地方式、屏蔽地、设备地、系统地，其目的在于安全运行和提高电力电子设备的电磁兼容能力。

关键词：接地技术；电磁兼容；干扰

1 引言

接地技术最早是应用在强电系统（电力系统、输变电设备、电气设备）中，为了设备和人身安全，将接地线直接接在大地上。由于大地的电容非常大，一般情况下可以将大地的电位视为零电位。后来，接地技术延伸应用到弱电系统中。对于电力电子设备将接地线直接接在大地上或者接在一个作为参考电位的导体上，当电流通过该参考电位时，不应产生电压降。然而由于不合理的接地，反而会引入了电磁干扰，比如共地线干扰、地环路干扰等，从而导致电力电子设备工作不正常。可见，接地技术是电力电子设备电磁兼容技术的重要内容之一，有必要对接地技术进行详细探讨。

2 接地的种类和目的

电力电子设备一般是为以下几种目的而接地：

2.1 安全接地

安全接地即将机壳接大地。一是防止机壳上积累电荷，产生静电放电而危及设备和人身安全；二是当设备的绝缘损坏而使机壳带电时，促使电源的保护动作而切断电源，以便保护工作人员的安全。

2.2 防雷接地

当电力电子设备遇雷击时，不论是直接雷击还是感应雷击，电力电子设备都将受到极大伤害。为防止雷击而设置避雷针，以防雷击时危及设备和人身安全。

上述两种接地主要为安全考虑，均要直接接在大地上。

2.3 工作接地

工作接地是为电路正常工作而提供的一个基准电位。该基准电位可以设为电路系统中的某一点、某一段或某一块等。当该基准电位不与大地连接时，视为相对的零电位。这种相对的零电位会随着外界电磁场的变化而变化，从而导致电路系统工作的不稳定。当该基准电位与大地连接时，基准电位视为大地的零电位，而不会随着外界电磁场的变化而变化。但是不正确的工作接地反而会增加干扰。比如共地线干扰、地环路干扰等。

为防止各种电路在工作中产生互相干扰，使之能相互兼容地工作。根据电路的性质，将工作接地分为不同的种类，比如直流地、交流地、数字地、模拟地、信号地、功率地、电源地等。上述不同的接地应当分别设置。

2.3.1 信号地

信号地是各种物理量的传感器和信号源零电位的公共基准地线。由于信号一般都较弱，易受干扰，因此对信号地的要求较高。

2.3.2 模拟地

模拟地是模拟电路零电位的公共基准地线。由于模拟电路既承担小信号的放大，又承担大信号的功率放大；既有低频的放大，又有高频放大；因此模拟电路既易接受干扰，又可能产生干扰。所以对模拟地的接地点选择和接地线的敷设更要充分考虑。

2.3.3 数字地

数字地是数字电路零电位的公共基准地线。由于数字电路工作在脉冲状态，特别是脉冲的前后沿较陡或频率较高时，易对模拟电路产生干扰。所以对数字地的接地点选择和接地线的敷设也要充分考虑。

2.3.4 电源地

电源地是电源零电位的公共基准地线。由于电源往往同时供电给系统中的各个单元，而各个单元要求的供电性质和参数可能有很大差别，因此既要保证电源稳定可靠的工作，又要保证其它单元稳定可靠的工作。

2.3.5 功率地

功率地是负载电路或功率驱动电路的零电位的公共基准地线。由于负载电路或功率驱动电路的电流较强、电压较高，所以功率地线上的干扰较大。因此功率地必须与其它弱电地分别设置，以保证整个系统稳定可靠的工作。

2.4 屏蔽接地

屏蔽与接地应当配合使用，才能起到屏蔽的效果。

比如静电屏蔽。当用完整的金属屏蔽体将带正电导体包围起来，在屏蔽体的内侧将感应出与带电导体等量的负电荷，外侧出现与带电导体等量的正电荷，因此外侧仍有电场存在。如果将金属屏蔽体接地，外侧的正电荷将流入大地，外侧将不会有电场存在，即带正电导体的电场被屏蔽在金属屏蔽体内。

再比如交变电场屏蔽。为降低交变电场对敏感电路的耦合干扰电压，可以在干扰源和敏感电路之间设置导电性好的金属屏蔽体，并将金属屏蔽体接地。只要设法使金属屏蔽体良好接地，就能使交变电场对敏感电路的耦合干扰电压变得很小。

上述两种接地主要为电磁兼容性考虑。

3 接地方式

工作接地按工作频率而采用以下几种接地方式：

3.1 单点接地

工作频率低（ $<1\text{MHz}$ ）的采用单点接地式（即把整个电路系统中的一个结构点看作接地参考点，所有对地连接都接到这一点上，并设置一个安全接地螺栓），以防两点接地产生共地阻抗的电路性耦合。多个电路的单点接地方式又分为串联和并联两种，由于串联接地产生共地阻抗的电路性耦合，所以低频电路最好采用并联的单点接地式。

为防止工频和其它杂散电流在信号地线上产生干扰，信号地线应与功率地线和机壳地线相绝缘。且只在功率地、机壳地和接往大地的接地线的安全接地螺栓上相连（浮地式除外）。

地线的长度与截面的关系为：

$$S > 0.83L \quad (1)$$

式中： L ——地线的长度， m ；

S ——地线的截面， mm^2 。

3.2 多点接地

工作频率高（ $>30\text{MHz}$ ）的采用多点接地式（即在该电路系统中，用一块接地平板代替电路中每部分各自的地回路）。因为接地引线的感抗与频率和长度成正比，工作频率高时将增加共地阻抗，从而将增大共地阻抗产生的电磁干扰，所以要求地线的长度尽量短。采用多点接地时，尽量找最接近的低阻值接地面接地。

3.3 混合接地

工作频率介于 $1\sim 30\text{MHz}$ 的电路采用混合接地式。当接地线的长度小于工作信号波长的 $1/20$ 时，采用单点接地式，否则采用多点接地式。

3.4 浮地

浮地式即该电路的地与大地无导体连接。其优点是该电路不受大地电性能的影响；其缺点是该电路易受寄生电容的影响，而使该电路的地电位变动和增加了对模拟电路的感应干扰；由于该电路的地与大地无导体连接，易产生静电积累而导致静电放电，可能造成静电击穿或强烈的干扰。因此，浮地的效果不仅取决于浮地的绝缘电阻的大小，而且取决于浮地的

寄生电容的大小和信号的频率。

4 接地电阻

4.1 对接地电阻的要求

接地电阻越小越好，因为当有电流流过接地电阻时，其上将产生电压。该电压除产生共地阻抗的电磁干扰外，还会使设备受到反击过电压的影响，并使人员受到电击伤害的威胁。因此一般要求接地电阻小于 $4\ \Omega$ ；对于移动设备，接地电阻可小于 $10\ \Omega$ 。

4.2 降低接地电阻的方法

接地电阻由接地线电阻、接触电阻和地电阻组成。为此降低接地电阻的方法有以下三种：

——降低接地线电阻，为此要选用总截面大和长度短的多股细导线。

——降低接触电阻，为此要将接地线与接地螺栓、接地极紧密又牢靠地连接并要增加接地极和土壤之间的接触面积与紧密度。

——降低地电阻，为此要增加接地极的表面积和增加土壤的导电率（如在土壤中注入盐水）。

4.3 接地电阻的计算

垂直接地极接地电阻 R 为：

$$R=0.366(\rho/L)\lg(4L/d)\ \Omega \quad (2)$$

式中： ρ ——土壤电阻率， $\Omega \cdot m$ ；

L ——接地极在地中的深度， m ；

d ——接地极的直径， m 。

例如，黄土 ρ 取 $200\ \Omega \cdot m$ ， L 为 $2m$ ， d 为 $0.05m$ ，则垂直接地极接地电阻 R 为 $80.67\ \Omega$ 。如在土壤中注入盐水，使 ρ 降为 $20\ \Omega \cdot m$ 时，则接地极接地电阻 R 为 $8.067\ \Omega$ 。

5 屏蔽地

5.1 电路的屏蔽罩接地

各种信号源和放大器等易受电磁辐射干扰的电路应设置屏蔽罩。由于信号电路与屏蔽罩之间存在寄生电容，因此要将信号电路地线末端与屏蔽罩相连，以消除寄生电容的影响，并将屏蔽罩接地，以消除共模干扰。

5.2 电缆的屏蔽层接地

5.2.1 低频电路电缆的屏蔽层接地

低频电路电缆的屏蔽层接地应采用一点接地的方式，而且屏蔽层接地点应当与电路的接地点一致。对于多层屏蔽电缆，每个屏蔽层应在一点接地，各屏蔽层应相互绝缘。

5.2.2 高频电路电缆的屏蔽层接地

高频电路电缆的屏蔽层接地应采用多点接地的方式。当电缆长度大于工作信号波长的 0.15 倍时，采用工作信号波长的 0.15 倍的间隔多点接地式。如果不能实现，则至少将屏蔽层两端接地。

5.3 系统的屏蔽体接地

当整个系统需要抵抗外界电磁干扰，或需要防止系统对外界产生电磁干扰时，应将整个系统屏蔽起来，并将屏蔽体接到系统地上。

6 设备地

一台设备要实现设计要求，往往含有多种电路，比如低电平的信号电路（如高频电路、数字电路、模拟电路等）、高电平的功率电路（如供电电路、继电器电路等）。为了安装电路板和和其它元器件、为了抵抗外界电磁干扰而需要设备具有一定机械强度和屏蔽效能的外壳。

典型设备的接地如图 1 所示。

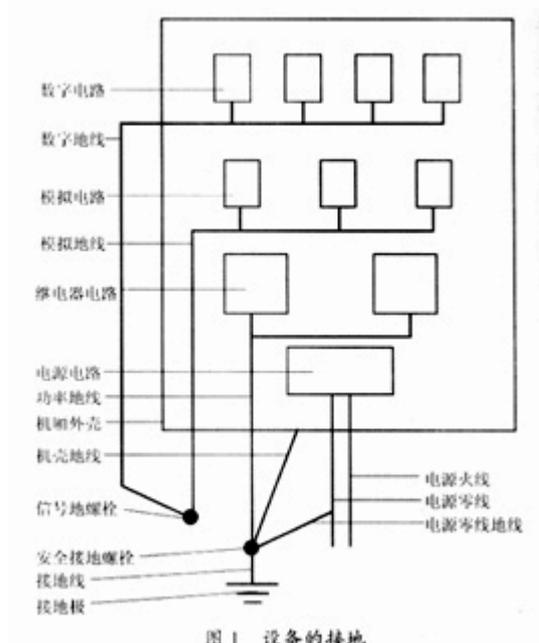


图 1 设备的接地

设备的接地应当注意以下几点：

——50Hz 电源零线应接到安全接地螺栓处，对于独立的设备，安全接地螺栓设在设备金属外壳上，并应有良好电连接；

——为防止机壳带电，危及人身安全，不许用电源零线作地线代替机壳地线；

——为防止高电压、大电流和强功率电路（如供电电路、继电器电路）对低电平电路（如高频电路、数字电路、模拟电路等）的干扰，将它们的接地分开。前者为功率地（强电地），后者为信号地（弱电地），而信号地又分为数字地和模拟地，信号地线应与功率地线和机壳地线相绝缘；

——对于信号地线可另设一信号地螺栓（和设备外壳相绝缘），该信号地螺栓与安全接地螺栓的连接有三种方法（取决于接地的效果）：一是不连接，而成为浮地式；二是直接连接，而成为单点接地式；三是通过一 $3\mu\text{F}$ 电容器连接，而成为直流浮地式，交流接地式。其它的接地最后汇聚在安全接地螺栓上（该点应位于交流电源的进线处），然后通过接地线将接地极埋在土壤中。

7 系统地

当多个设备组成一个系统时，系统的接地如图 2 所示。

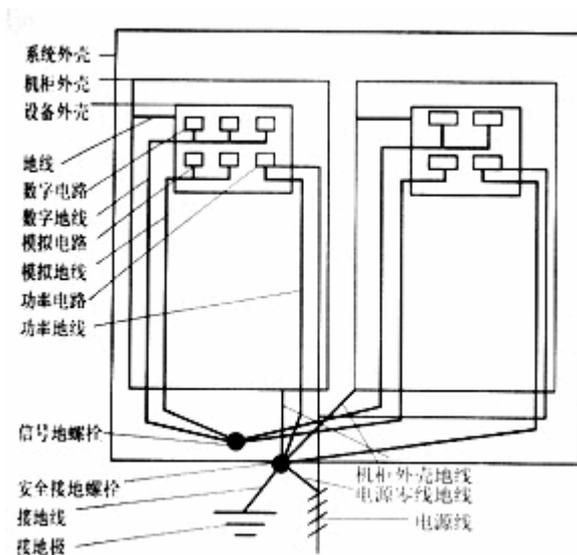


图 2 系统的接地

系统的接地应当注意以下几点：

- 参照设备的接地注意事项；
- 设备外壳用设备外壳地线和机柜外壳相连；
- 机柜外壳用机柜外壳地线和系统外壳相连；
- 对于系统，安全接地螺栓设在系统金属外壳上，并有良好电连接；
- 当系统内机柜、设备过多时，将导致数字地线、模拟地线、功率地线和机柜外壳地线过多。对此，可以考虑铺设两条互相平行并和系统外壳绝缘的半环形接地母线，一条为信号地母线，一条为屏蔽地及机柜外壳地母线；系统内各信号地就近接到信号地母线上，系统内各屏蔽地及机柜外壳地就近接到屏蔽地及机柜外壳地母线上；两条半环形接地母线的中部靠近安全接地螺栓，屏蔽地及机柜外壳地母线接到安全接地螺栓上；信号地母线接到信号地螺栓上；

——当系统用三相电源供电时，由于各负载用电量和用电的不同步性，必然导致三相不平衡，造成三相电源中心点电位偏移，为此将电源零线接到安全接地螺栓上，迫使三相电源中心点电位保持零电位，从而防止三相电源中心点电位偏移所产生的干扰；

——接地极用镀锌钢管，其外直径不小于 50mm，长度不小于 2.0m；埋设时，将接地极打入地表层一定深度、并倒入盐水，一般要求接地电阻小于 4Ω ，对于移动设备，接地电阻可小于 10Ω 。

8 结语

为了设备和人身的安全以及电力电子设备正常可靠的工作必须研究接地技术。接地可直接接在大地上或者接在一个作为参考电位的导体上。不合理的接地反而会引入电磁干扰，导致电力电子设备工作不正常。因此，接地技术是电磁兼容中的重要技术之一，应当充分重视对接地技术的研究。

参考文献

- [1]B·E·凯瑟(美).电磁兼容原理[M].北京：电子工业出版社，1985.
- [2]D·斯托尔(德).工业抗干扰的理论与实践[M].北京：国防工业出版社，1985.
- [3]蔡仁钢.电磁兼容原理设计和预测技术[M].北京：北京航空航天大学出版社，1997.