

各种电磁环境给称重设备带来的干扰 及干扰的隔离和防护

上海耀华称重系统有限公司 江瑞峰

【摘要】 在电子电路的应用过程中，或多或少的受到环境的电磁干扰，对于测控系统来说，一般表现为测量精度降低。针对这种情况我们往往采取各种手段来保证精度，但是在保证精度的同时系统也一直工作于存在各种恶劣电磁条件的环境中，造成部分设备损坏或者整个系统的损坏。本文简要概述一下几种电磁干扰的产生及进入系统的途径；几种保证精度的方法及在保证精度的情况下存在的隐患；系统工作在有隐患的情况下如何最大程度的保护整个系统的安全。

【关键词】 电磁干扰；测控精度；系统隐患和保护；模块化设计

引言

实际的电子电路设备和系统的应用中，总归是依靠模拟信号和数字信号的运算、处理和传输等手段，实现各种目的和功能。设备和系统的工作总是处在一定的电磁环境中的，不管这种环境是可以预期或者不能预期，设备和系统总是或多或少的受到一定程度的干扰，导致电路会产生不同程度的电压变化。电压变化的程度取决于电磁环境中干扰条件的强弱，以及系统对干扰防护能力的强弱。系统的抗干扰能力差往往会出现延时、畸变、衰减等等，从而导致诸如测控系统精度降低、控制系统无法正常工作等等，一些不可预见的后果。以下对几种电磁干扰情况中略提几种，并针对电磁防护阐述个人观点意见。

一、ESD 和感应雷击防护

ESD 可以解释为静电释放，同时它指的是静电产生和防护的一个学科。静电的产生可能是摩擦、极化等等，我们不做具体阐述。静电的特点是凝聚时间长、电压高，除开自然界的带电云体之类的情況外，一般静电蕴含的电量都较低，但是静电的释放往往发生在很短的时间内，产生一个很强的脉冲来干扰或者破坏系统。

在实际使用中，自然界形成的雷电是最严厉的放电情况，放电的过程是带电云体中蕴含的电量一次性释放的过程。这种带电云体体积一般都相当大，而水的电容系数为仅次于硫酸的 81，因此带电云体存储的能量是非常大的，一次雷击所释放的能量也是相当大的。当电子设备和系统直接遭到雷击时，设备的损坏几乎是不可避免的，哪怕仅仅是有一些传递到系统的感应雷击都很难避免设备损坏。

1、系统的静电防护

如图 1-1，为带有避雷地线的三相发电机输送简图。

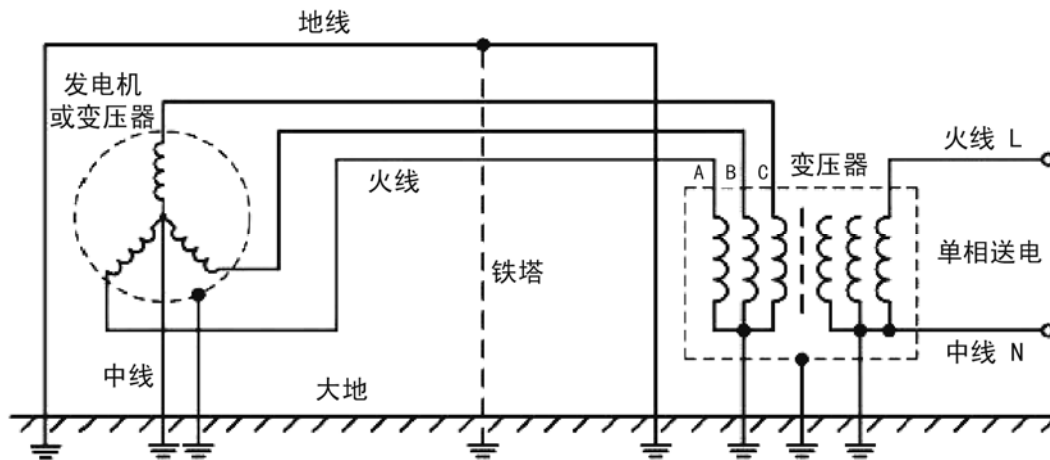


图 1-1

红线 A、B、C 表示高压输送线路，高压输送线路一般都用铁塔空架支撑，用以对几十万伏的交流电进行远距离传送，这种情况下其经常受雷击是不可避免的；为了避免雷击，一般都在高压线路的上方平行架设一条地线，这条地线一般称为避雷地线。所谓地线就是与大地相连的导线，当打雷的时候，雷电首先会打到避雷地线上，避雷地线可把雷电引入地球，避免高压输送线路被几亿伏，乃至十几亿伏的雷电把发电机或变压器的线圈与外壳击穿，以及把与线路连接的其它电器设备遭受瞬间高压冲击而损坏。

避雷地线之外，发电机和变压器的外壳也要接地，这种接地叫防护接地。防护地线与避雷地线两者是不同的，防护地线与避雷地线的最大区别是，防护地的地线一般没有电流通过，而避雷地的地线在打雷时有非常大的电流通过，电流可大于数十万安培。避雷地的主要作用是把雷电高压引入地球，以降低雷电高压对电子设备的冲击；而防护接地则是让设备外壳的电位与地球相同，避免设备内部电路在强电场之下感应带电产生位移电流，以及人体触摸电子设备外壳时不会触电。因此，两者要做完全分开的两个不同的接地端。

虽然避雷地线和电子线路中的地线都要接地，但是两者一定分开两个完全不同的接地端。

(1) 汽车衡的避雷地线架设

相对于高压输电线路，虽然一般汽车衡受到雷击的可能性要小很多，但是汽车衡作为安装在室外的金属设备，还是有一定概率受到感应雷击或者雷击的，特别是在一些雷电高发的地区的雷雨季节，避雷地线的架设还是能起到一定作用的。

如图 1-2，要求现场电源已经有良好接地桩，将秤台良好接到此地线上。在离开原来接地桩一定距离再打一个接地桩作为避雷地，在需要防护的秤台上空单独架设避雷地线。

(2) 感应雷击防护

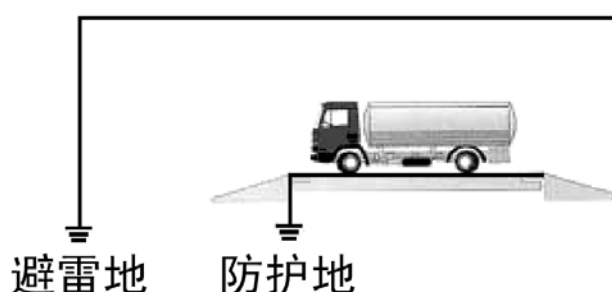


图 1-2

与高压输电线路不同的是，汽车衡是安装在地表的设备，高度十分有限，如果是地下衡，衡器的高度都不会超过地表，所以受到直接雷击的可能性很小，但是受到周边感应雷击的可能性就要大很多。这个时候，衡器上方的避雷地线并不能起到很好的防护作用，因为感应雷击可能来自各个方向。

假设，整个汽车衡安装在一个金属壳体内部，这个金属壳体具备通过一个无限大电流的能力且良好连接在避雷地上，汽车衡的防护地和避雷地通过有一定距离的大地连接在一起，那么整个系统应该具有良好的抗雷击能力。

实际上我们做不到这样的一个防护结构，我们退而求其次，在可能受到感应雷击的几个方向，有针对性的架设几条避雷地线。期望架设好的这几条避雷地线就可以将这几个方向的感应雷击直接导入大地，从而达到理想的效果。

2、称重显示器的接地

汽车衡作为一种测控系统，称重显示器是信号的处理和控制设备，对于信号线上窜入的静电会有一些反应，强度比较低的会引起称量不准，达到一定强度是更会损坏整个仪表，因此信号的传输一般都选用屏蔽线。当显示器直接受到静电干扰时，同样的也会带来不好的影响。某些情况下，我们也会选择将显示器内部地线直接接到信号的屏蔽和地线上。对于静电干扰来说，这种处理方法是很有效果的，因为静电都是在地线和屏蔽上流过，不会进入模拟电路和数字电路。但是显示器一般设计为弱电下工作，就算静电仅仅在地线和屏蔽上流过，强度达到一定程度时，比如达到雷击的强度，能量会直接通过电弧的形式进入模拟电路和数字电路，依然不可避免的会损坏显示器。因此当雷雨天气的时候要断开显示器所有的信号线，不管安装在室内还是室外，雷击的能量都会通过连接线损坏仪表。

3、避雷地线和防护地线直接连接带来的问题

如果没有避雷地线，雷击和感应雷击一般通过金属秤台进入防护地线，再窜入系统造成设备损坏。避雷地线的目的是在雷击和感应雷击进入防护地线之前将能量通过避雷地线直接导入大地。避雷地线在保护系统的同时，避雷地线受到雷击的可能性也会大很多，这时候避雷地线和防护地线的

连接就很关键，如果两者直接连接，避雷地线引导的能量在导入大地之前会直接传入系统，反而会大大增加系统损坏的可能性。

因此避雷地线的架设必须通过一个单独的地桩，或者通过其他方式保证避雷地线引导的能量不会传入系统。

二、传导干扰

传导干扰是指干扰信号通过信号线或公共电源线进行传输，互相产生干扰。比如使用吸尘器时，收音机会出现啦啦啦啦的杂音，其原因是吸尘器的电动机产生微弱的低强度高频率电压、电流通过电源线传递入收音机，以杂音的方式放了出来。

1、共模干扰和差模干扰

类似 RS485 这种用两根通信线的电压差传输信号的方式，除了两根通信线以外，还存在着第三导体作为参照，485 的差分电压传输就是以地作为参照。导线上的干扰通过两根信号线作为往返传输的路径，这种就是差模干扰；导线上的干扰通过两根信号线作为去路，而以作为参照的地线为返回路径就是共模干扰。

2、来自于电源的传导

电源线上的传导同样可以分为两类：在火线和零线之间流动的干扰电流就是差模干扰电流，在火线、零线与地之间流动的干扰电流就是共模干扰电流。

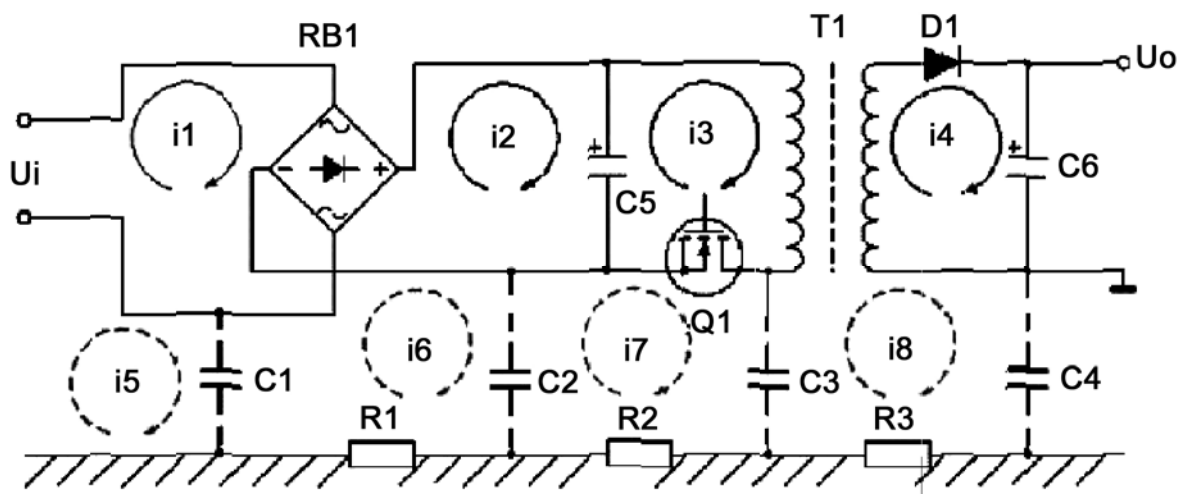


图 2-1

如图2-1，每一个回路就相当于一个感应线圈， C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 是各主要部分的对地电容或对机壳的电容， R_1 、 R_2 、 R_3 是地电阻或机壳的电阻（机壳接地）； i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 是开关电源电路中几个主要部分的回路电流。可以看出， i_1 、 i_2 、 i_3 之间具有代数和的关系，因此只要3个电流中有一个电流的高频谐波对其它电路产生干扰，那么3个电流都会对其它电路产生干扰，这种不通过地线的干扰是差模信号干扰。

i_4 通过磁感应产生，与 i_1 、 i_2 、 i_3 没有直接连接，因此 i_1 、 i_2 、 i_3 的传导不会传到 i_4 ， i_4 只有自身产生的差模信号干扰才会传入 U_0 。但它可能会产生比较严重的共模信号干扰， i_4 产生共模信号干扰的主要回路一个是通过地对地电容 C_4 。

i_5 、 i_6 、 i_7 、 i_8 ，这四个回路电流通过电磁感应产生的，且经过电容与大地相连，因此 i_5 、 i_6 、 i_7 、 i_8 这四个回路电流全部都属于共模信号干扰电流。

(1) 电源的传导的处理

在产品的线路设计阶段，要注意的是尽量减少每个电流回路的有效面积，这是最有效的方法，即便是工作在干扰严重的环境中，也可以让大部分影响互相抵消。

当最终产生在变压器输出端的干扰，需要通过滤波和屏蔽的方式来处理。相对来说，低频干扰对设备产生的影响是比较有限的，但在高频阶段，所带来的影响是不能忽视的。这个时候我们在变压器的输出端加上一个磁环作为低通滤波，仅通过低频干扰，将高频的传导干扰去除。

在设备的电源输入端我们会加上几个对地电容，来消除不同频率的传导干扰，大电容消除低频高能量的毛刺，小电容去除高频低能量的毛刺，这里所说的高频频率比前面所说的低通滤波去除的高频要低很多。

对于差模干扰来讲，传播的原理是通过两根相邻的导线传导，并且电流大小相等，电流方向相反，这个时候它们产生的磁力线可以互相抵消，因此很多时候差模干扰的影响要小很多。

3、来自于接口的传导

接口的传导干扰与电源类似，只是干扰的载体变成了信号线，比如前面介绍的RS485通讯方式：用两根通信线的电压差传输信号，以地作为第三导体参照物。与电源上的传导不同的是，信号线的干扰不是由电源带进来的干扰，而大多是由辐射的方式耦合进通讯的线路中，再窜入设备的。窜入设备的方式有以两根信号线作为往返传输的路径或者以两根信号线作为去路，而以作为参照的地线作为返回路径。

(1) 接口传导干扰的处理

用在防护电源带来的传导干扰的几种措施，大部分也可以用到接口带来的传导干扰的防护上。在通讯接口靠近设备的一端，加上磁环作为低通滤波，去除高频干扰。在进入仪表的时候选择合适的电容来消除相对高频的干扰。

此外，双绞线是防护信号线上传导干扰的一种重要手段，双绞线是由两条相互绝缘的导线按照一定的规格互相缠绕在一起来传输同一路信号的一种配线，每一根导线在传输中辐射的电波会被另一根线上发出的电波抵消，从而达到防护传导干扰的作用。不管是模拟信号的传输还是数字信号的传输，双绞线都有很好的效果。

接口是信号传输途径的一部分，当接口传输的是数字信号的时候，我们可以通过光电的手段来保证信号传输途径上完全的电气分离。我们知道传导的干扰一定要通过导线来传导，当信号线的电气连接完全分离是，传导干扰无法进入设备，从而达到完全去除传导干扰的目的。

三、辐射干扰

电磁辐射是一种客观存在的物理现象，当电荷、电流随时间变化时，在其周围会激发起电磁波。在电磁波向外发射的过程中，会有一部分能量随着电磁波输送过去。在实际运用中，一个电路网络必定会向外发射一定的电磁辐射，在电磁辐射发射范围内，每个闭合的电路通路都会对电磁辐射产生反应，带来电荷的流动，从而形成干扰。

辐射干扰就是指这种电路中的能量以电磁波的形式在空间传播，然后通过接收体耦合到电路中形成干扰的一种方式。辐射干扰的传播方式可以在一个电路网络内部，也可以从一个电路网络传输到另一个电路网络。

1、辐射干扰对 PCB 的影响

如图2-1，假设电路处在一个辐射电磁场中时，每一个回路都会发送感应电荷的流动，形成干扰电流。辐射的强度越大，这种电路的强度也越大；辐射的频率越高，这种感应电流就非常不稳定。一个随时在变化的很大的干扰电流对电路网络的影响非常大，尤其是作为信号采集的模拟电路，会导致采集的信号完全偏离实际值，造成系统瘫痪。如果除了信号采集系统中还有相应的控制功能，那么很可能会带来更为严重的后果。

2、变压器产生的辐射

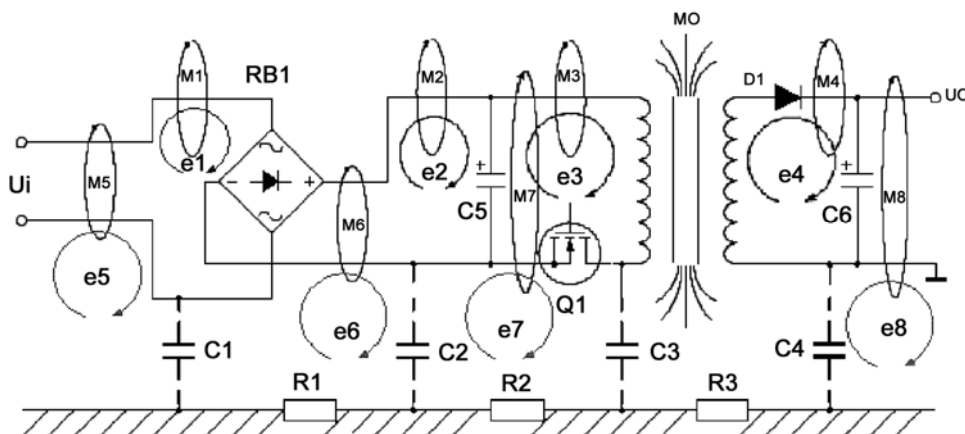


图3-1

如图3-1，变压器在电磁转换过程中，工作效率不可能100%，因此，也会有一部分能量损失，其中的一部分能量损失就是因为产生漏磁。变压器的漏磁是非常重要的干扰途径，产生的干扰是非常严重的，这些漏磁通穿过其它电路的时候，也会产生感应电动势。

变压器产生的漏磁通穿过其它电路时，在其它电路中也产生感应电动势，其中漏磁通M1、M2、M3、M4产生的感应电动势e1、e2、e3、e4属于是差模干扰信号；M5、M6、M7、M8产生的感应电动势e5、e6、e7、e8属于是共模干扰信号。

3、由天线耦合进系统的辐射干扰

辐射的干扰是一种通过耦合方式进入电路的，耦合是电磁波通过天线将能量转换为电流的过

程，辐射对PCB的影响就是电磁波将PCB上的线路做为天线耦合进电路的。虽然我们不希望辐射对系统带来影响，但是系统裸露在外的通信线是很好的接受辐射干扰的天线，不可避免的会受到辐射的影响，然后通过传导的方式进入系统。

4、辐射的防护

对于电子电路来说，减小回路面积的效果是相当好的。减小回路面积有一种简单的方法，就是在信号线边上布一条地线，这条地线应尽量靠近信号线，这样就形成了较小的回路面积。信号上产生共模干扰电流时肯定会取道这个面积最小的回路，而不是其它地线路径。如果是双层线路板，应该在线路板的反面尽可能多的布满地线。特别是紧靠近信号线的下面，布满地线以后就形成了一个比较小的回路面积，回路面积等于线路板的厚度乘以信号线的长度。

通讯线上带来的辐射干扰可以通过与防护传导干扰类似的手段来防护。比如使用双绞线，双绞线除了可以抑制自身的传导干扰向外辐射外，也能很好的抑制接收到的辐射干扰，如果使用带屏蔽的双绞线就能达到更好的效果。通讯线上的辐射干扰防护还可以通过光纤通信的方式，光纤通信可以完全杜绝辐射干扰。通讯线的辐射干扰虽然是耦合在通讯线上的，但是需要传导的方式进入设备，通讯线上的辐射干扰防护也可以通过光电隔离方式完全隔离。

上面说过，变压器的漏磁也是非常重要的一种干扰途径，针对这种干扰，可以从处理辐射干扰的角度出发，用铜箔片在变压器外围进行磁屏蔽，从而降低电路上传导干扰的强度。从原理上来说，铜箔片不是导磁材料，对漏磁通是起不到直接屏蔽作用的，但铜箔片是良导体，交变漏磁通穿过铜箔片的时候会产生涡流，涡流产生的磁场方向正好漏磁通的方向与相反，是部分漏磁通被抵消，铜箔片也可以起到磁屏蔽的作用。

四、各种抗干扰方式的问题

避雷地线的架设难度大、成本高，架设的过程也比较复杂，如果架设存在问题反而会增加受到雷击的可能性。

防护地的接地可能带来的是来自于防护地本身的干扰，比如防护地和避雷地直接连接是非常危险的，另外防护地没有良好接地的情况下，防护地很可能会有很强的干扰。

使用双绞线时，信号的传输距离、信道宽度和数据传输速度等方面均受到一定限制。使用光纤的成本非常之高，光纤的架设也是非常复杂的工程，而且光纤很容易受到破坏。

使用光电隔离的手段时，虽然可以减小干扰的影响，同时存在干扰的事实被隐藏了起来，可能造成系统的损坏，隔离的电路部分可能更容易损坏。

参考文献

1. 郑军奇. EMC(电磁兼容)设计与测试案例分析：技术、应用、标准和商业模式[M]. 电子工业出版社，2010年。