

第二节 抗干扰的措施

实际工作中发现测量信号存在干扰时,首先必须尽力寻找干扰的来源、性质和进入信号通道的途径。抗干扰技术是检测技术中一项重要的内容,它直接影响测量工作的质量和测量结果的可靠性。因此,测量中必须对各种干扰给予充分的注意,必须削弱和防止干扰的影响,如消除或抑制干扰源、破坏干扰途径以及削弱被干扰对象对干扰的敏感性等。然后针对它的特点,采取适当措施来防止干扰,并采取有关的技术措施,把干扰对测量的影响降到最低或容许的限度,使仪器设备能稳定可靠地工作,从而提高测量的精确度。

本节讨论常用的几种抗干扰技术。

一、屏蔽

利用铜或铝等金属材料制成容器,将需要防护的部分包起来。或者利用导磁性良好的铁磁材料制成的容器将需要防护的部分包起来,此种防止静电或电磁的相互感应所采用的技术措施称为屏蔽。屏蔽的目的就是隔断磁场或电场的耦合通道。

(一) 静电屏蔽

在静电场作用下,导体内部无电力线,即各点电位相等。静电屏蔽就是利用了与大地相连接的导电性良好的金属容器,使其内部的电力线不向外传,同时外部的电场也不影响其内部。

使用静电屏蔽技术时,应注意屏蔽体必须接地,否则虽然导体内无电力线,但导体外仍有电力线,导体仍受到影响,起不到静电屏蔽的作用。

(二) 电磁屏蔽

1. 消除或削弱干扰源的影响

若明确干扰源来自何方,可以使测量系统远离这个设备,或者使干扰源暂停运转。虽然这是一个消极的办法,但是在很多情况下,这是一个简单易行的措施。

2. 采用适当的屏蔽

电磁屏蔽是采用导电良好的金属材料做成屏蔽层,把设备和连接导线包围起来,并使它与地线或信号零线连接。利用高频干扰电磁场在屏蔽金属内产生的涡流,再利用涡流磁场抵消高频干扰磁场的影响,从而达到抗高频电磁场干扰的效果,以隔离电磁干扰进入测量系统。

电磁屏蔽依靠涡流产生作用,因此必须用良导体如铜、铝等制作屏蔽层。考虑到高频趋肤效应,高频涡流仅在屏蔽层表面一层,因此屏蔽层的厚度只需考虑机械强度。

屏蔽层不仅可以用于测量系统,使它少受空间电磁波的干扰;也可以用于干扰源,使它减少向空间发射电磁波的能量。

测量系统采用屏蔽时要注意两点:一是屏蔽层必须和信号零线相接,以免无意地给测量

线路增加反馈回路，影响测量系统工作；二是必须保证干扰电流不能流经信号线。因此，不能把信号线的屏蔽层兼作信号零线。

将电磁屏蔽妥善接地后，其具有电场屏蔽和磁场屏蔽两种功能。

（三）低频磁屏蔽

电磁屏蔽对低频磁场干扰的屏蔽效果是很差的，因此在低频磁场干扰时，要采用高磁导率材料作屏蔽层，以便将干扰限制在磁阻很小的磁屏蔽体的内部，起到抗干扰的作用。

为有效地屏蔽低频磁场，屏蔽材料要选用坡莫合金之类对低频磁通有高磁导率的材料，同时要有一定厚度，以减少磁阻。

（四）驱动屏蔽

驱动屏蔽就是用被屏蔽导体的电位，通过 1：1 电压跟随器来驱动屏蔽层导体的电位，其原理如图 6-2 所示。具有较高交变电位 U_n 干扰源的导体 A 与屏蔽层 D 间有寄生电容 C_{s1} ，而 D 与被防护导体 B 之间有寄生电容 C_{s2} ， Z_i 为导体 B 对地阻抗。为了消除 C_{s1} 、 C_{s2} 的影响，图中采用了由运算放大器构成的 1：1 电压跟随器 R。设电压跟随器在理想状态下工作，导体 B 与屏蔽层 D 间绝缘电阻为无穷大，并且等电位。因此在导体 B 外，屏蔽层 D 内空间无电场，各点电位相等，寄生电容 C_{s2} 不起作用，故交变电压 U_n 干扰源 A 不会对 B 产生干扰。

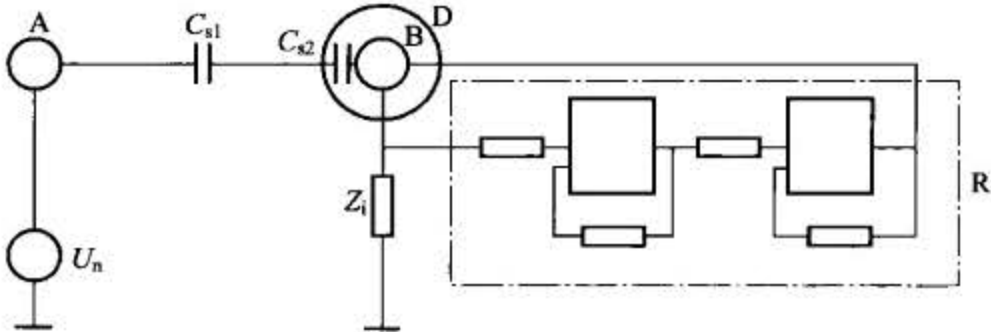


图 6-2 驱动屏蔽

必须注意，驱动屏蔽中所应用的 1：1 电压跟随器，不仅要求其输出电压与输入电压的幅值相同，而且要求两者相位一致。实际上，这些要求只能在一定程度上得到满足。

（五）屏蔽线与屏蔽罩

对于微弱信号测量电路，特别是测量电路输入端引线较长时，为了防止感应干扰信号，应采用屏蔽线和屏蔽罩。对于大信号的非线性电路，为了防止谐波干扰其他电路，也应采用屏蔽罩。图 6-3 所示为测量电路输入端引线未采用屏蔽线的情况，干扰电压 U_F 在输入端引线上产生干扰电流 I_F ，与信号电流 I_i 一起进入测量电路，使得测量电路输出信号 U_o 中混进了干扰信号。

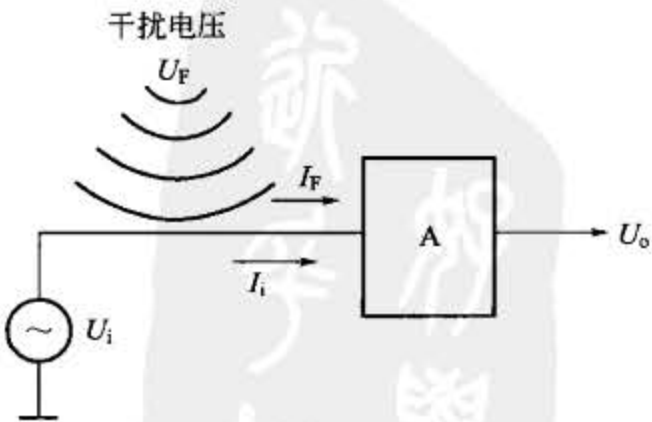


图 6-3 未采用屏蔽线

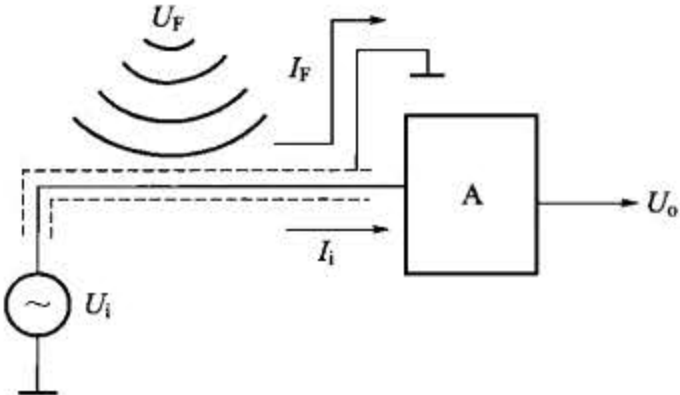


图 6-4 采用屏蔽线

1. 采用屏蔽线

测量电路输入端引线采用屏蔽线时的情况如图 6-4 所示。由于屏蔽线的外部屏蔽层接地，干扰电压 U_F 在屏蔽层产生的干扰电流 I_F 被旁路到地，不能进入测量电路，因此测量电路输出信号 U_o 中没有干扰信号。

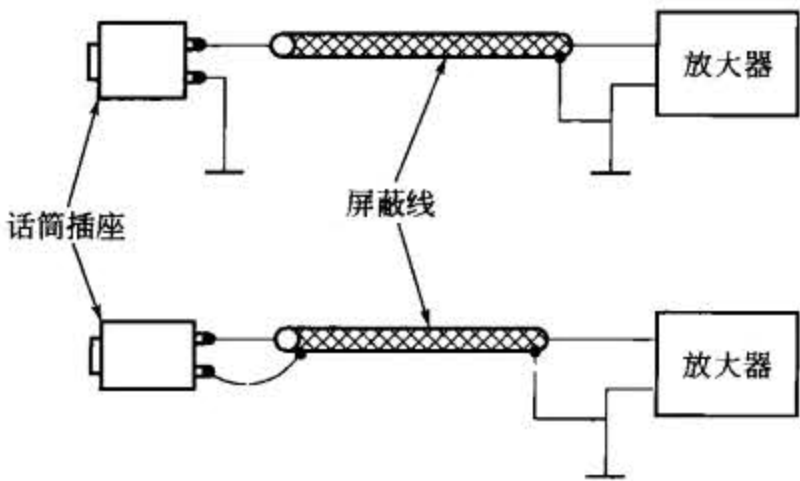


图 6-5 屏蔽层一端接地

为保证屏蔽效果，屏蔽线的屏蔽层应一端接地，如图 6-5 所示。如果屏蔽线的屏蔽层两端都接地，干扰信号将会在屏蔽层和地线之间形成环流，严重破坏其屏蔽效果。

电源线或大信号连接线常采用双绞线。双绞线也具有屏蔽功能，如图 6-6 所示，

当交流电源经双绞线传输给负载时，由于其每个双绞环节都改变了磁通方向，使得交流电流在双绞线上产生的磁通互相抵消，大大减小了对其他电路的电磁干扰。双绞线也能够抵制外界干扰。当外界干扰磁通作用于双绞线时，在每个双绞环节产生图 6-7 所示的干扰电流。由于在每根导线上各段干扰电流方向相反、大小相等，互相抵消了，干扰电流便不会到达后续电路。

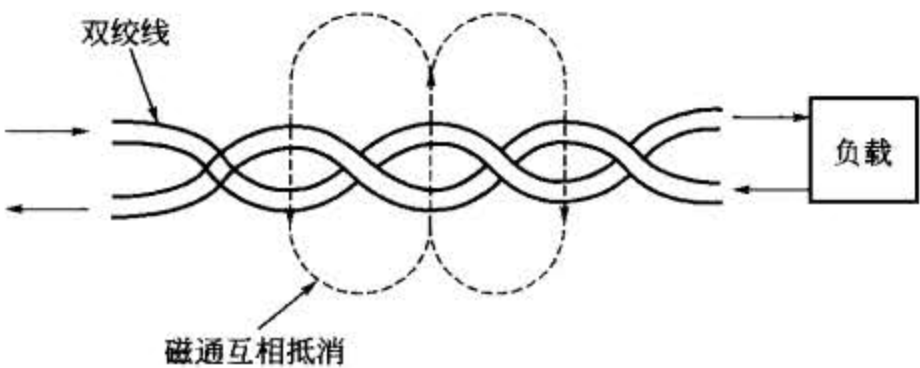


图 6-6 采用双绞线

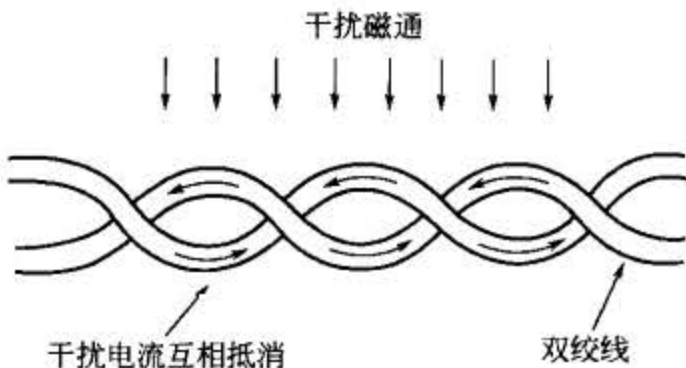


图 6-7 干扰电流互相抵消

2. 采用屏蔽罩

屏蔽罩的作用如图 6-8 所示，屏蔽罩既能阻止外界杂散信号对屏蔽罩内电路的干扰，又能防止屏蔽罩内电路对外面其他电路的干扰。

测量电路制作中，屏蔽罩一般可用薄铜皮等金属材料制成，屏蔽罩将需要屏蔽的元器件罩起来。屏蔽罩应可靠接地，如图 6-9 所示，否则将不起屏蔽作用。如果屏蔽罩内有可调元器件可在屏蔽罩的相应位置开个孔，以便调节。

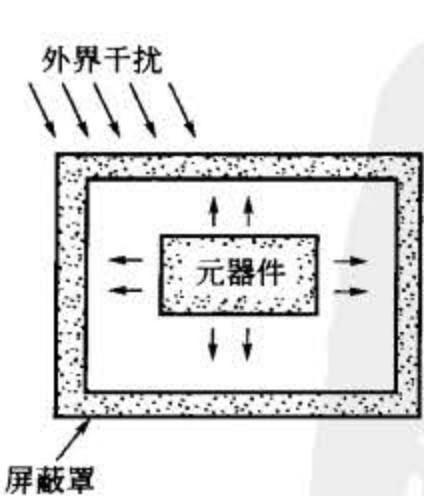


图 6-8 采用屏蔽罩

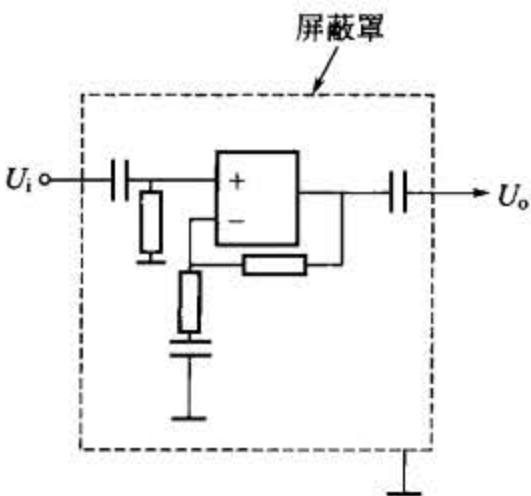


图 6-9 屏蔽罩可靠接地

制作和安装屏蔽罩时应注意,罩内、罩外的元器件均不得与屏蔽罩相碰触,以免造成短路。如果屏蔽罩内外空间较小,应在罩内、罩外放置绝缘纸,以保证安全。

二、杂散电磁场干扰及其抑制

测量电路周围存在杂散电磁场时,测量电路的输入电路或某些敏感器件处于这种变动的电场和磁场中,就会感应出干扰电压。对于一个放大倍数比较高的放大器来说,只要第一级引入一点微弱的干扰电压,经过多级放大,放大器的输出端就有一个较大的干扰电压。

图 6-10 所示为一个由静电感应造成干扰的原理图。

干扰源和测量电路的输入回路之间,存在着杂散电容 C , 构成了干扰电流的回路。此干扰电流在测量电路的输入电阻 R_i 上产生干扰电压。测量电路输入电阻越大,或杂散电容 C 越大,干扰电压也就越大。

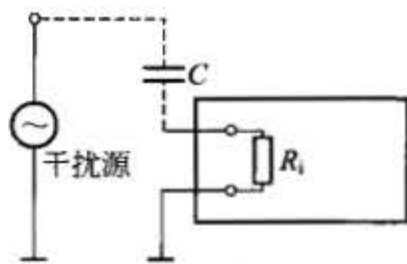


图 6-10 由静电感应造成的干扰

测量电路中的磁性敏感元件,对杂散磁场的干扰是很敏感的。当干扰磁场足够强时,在输入端产生的干扰电压将妨碍测量电路的正常工作。

对于杂散电磁场的干扰,可采用下列措施。

1. 合理布局

从测量电路的结构布线来说,电源变压器要尽量远离测量电路第一级的输入电路,特别是有些仪器中装有漏散磁场很强的铁磁稳压器,更应远离测量电路。在安装变压器时要选择它们的安装位置,使之不易对测量电路产生严重干扰。对有输入变压器的放大器,应特别注意输入变压器的线圈需和干扰磁场垂直,以减小感应的干扰电压。

测量电路的布线要合理,测量电路的输入线与输出线及交流电源线要分开走线,不要平行走线。输入走线越长,越易接受干扰。

2. 屏蔽

为了减小外界的干扰,可采用屏蔽措施。如静电屏蔽和磁屏蔽两种。屏蔽结构可以将干扰源或受干扰元件用屏蔽罩屏蔽起来,特别是多级测量电路的第一级更为重要。或第一级的输入线采用具有金属套的屏蔽线,屏蔽线的外套要接地。

在抗干扰要求较高时,可把测量电路的前级或整个测量电路都屏蔽起来。静电屏蔽采用电导率较高的材料,如铜、铝或铁等导电性能良好的金属。磁屏蔽用具有高磁导率的磁性材料,如坡莫合金或铁等。此外,屏蔽罩的不同形状其影响也不同,圆柱形屏蔽罩效果最好。

静电屏蔽的原理是在屏蔽罩接地后干扰电流经屏蔽罩外层短路入地。因此,屏蔽罩的妥善接地是十分重要的,否则不但不能减小干扰,反而会使干扰增大。

磁屏蔽的原理是利用高磁导率做成的磁屏蔽罩,其磁阻小于屏蔽罩与输入变压器间空气隙的磁阻,干扰磁场的大部分磁力线由屏蔽罩通过而不穿过空气隙进入输入变压器的铁芯,即使有小部分杂散磁场的磁力线进入铁芯,屏蔽罩中涡流产生的磁场也能将它抑制掉一部分。

由此可见,屏蔽罩如由既是高磁导率又是高电导率的材料做成时,效果最好。

三、电网高频干扰及其抑制

任何测量电路都需要直流电源,而直流电源一般是由电网来的交流电压经变压器变压,再经整流、滤波、稳压等电路产生的直流电压提供。当交流电网的负载突变时(如电动机的启动和制动),在负载突变处交流电源线与地之间将产生高频干扰电压,这个电压引起的高

频电流经过直流稳压电源、测量电路等与地之间的分布电容，经地线再回到电网。这个高频电流不仅沿导线流动，而且凡是有电容的地方都有它的良好通路，其中变压器的分布电容引起的干扰电压最大，从而影响测量电路的正常工作，尤其是高灵敏度的测量电路，因此必须采取措施加以抑制。

① 由于变压器初级和次级绕组间的分布电容较大，电网上交流电源的高频噪声就会通过它耦合到直流电源一侧，进入测量电路内部造成干扰。稳压电源中电源变压器一次侧、二次侧之间加屏蔽层，减少初级和次级绕组间的分布电容，同时屏蔽层要很好接地，如图 6-11(a) 所示。此时高频电流由变压器一次侧通过屏蔽层流入地线而不经后面的电路。加屏蔽层的方法是，在初级绕组绕完之后加一层铜箔，并在铜箔处焊一接地线。但为了防止铜箔成为短路环，必须在交接处垫上绝缘层，如图 6-11(b) 所示。



图 6-11 变压器初、次级的屏蔽

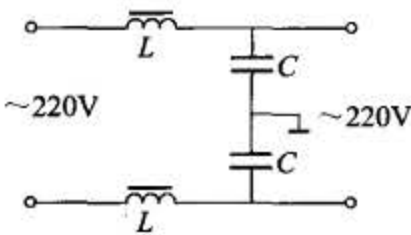


图 6-12 交流电源进线处加滤波器

② 在稳压电源交流进线处加入由电感、电容组成的电源滤波器，如图 6-12 所示。此滤波器的作用是滤去高频干扰，一般 L 为几十毫亨， C 为几千微法。目前在市场上可购买到体积小、价格合理的低通滤波器。

③ 稳压电源的输入、输出端和运放的电源引脚上加接电解电容和独石电容 ($0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$) 进行滤波。

④ 抑制交流干扰的另一个措施是采用“浮地”，即交流地线和直流地线分开，而且只有交流地线接大地，这样可以避免交流干扰由公共地线窜入，而影响电路正常工作。

综上所述，测量电路的直流电源是用 50Hz 的交流电经整流、滤波后得到的，如滤波不良，直流电源输出电压就会有 50Hz 或 100Hz 的交流电压使测量电路的输出电压发生波动，特别是对测量电路的第一级影响很大，此时应采取措施加以解决，一般是加大电容或在稳压电路中加以解决。

四、测量电路中的自激及其消除

测量电路的自激是实践中最易发生的问题，防止自激不仅是在电路上采取措施使测量电路不要产生自激，而且在结构工艺上也应予以足够的重视，下面提供几种方法可供参考。

- ① 在测量电路中采用外部相位补偿电路消除自激。
- ② 运算放大器应采用高质量的双列式插座，所有无源器件均接在插座附近，敏感器件引线应尽量短，且必须就近接地。
- ③ 正负直流电源分别接上高频旁路电容器，且应接在插座的对应插脚上，就近接地。
- ④ 印刷电路板的地线布置要注意，总的来说地线越靠近插座越便于元件引线就近接地。地线要粗一些，但不宜大面积布地线，平行、垂直走向地线的拐角处用弧形。

五、接地技术

接地是保证人身和设备安全、抗噪声干扰的一种方法。合理地选择接地方式是抑制电容性耦合、电感性耦合及电阻耦合，减小或削弱干扰的重要措施。

(一) 电测装置的地线

1. 安全接地

以安全防护为目的，将电测装置的机壳、底盘等接地，要求接地电阻在 10Ω 以下。最理想的安全接地是在操作间的地下深埋一块较大的金属板，用与金属板焊接的粗铜线接到操作间作信号地线。安全接地在正常情况下，地线电流很小。

2. 信号接地

信号接地是指电测装置和设备的零电位接地线，它本身可能并不与真正的大地相通。通常它的地线电流较小。

由于信号地必须通过导线连线，而任何导线又都具有一定的阻抗，流过各线的电流不同，因此，各个接地点的电位不完全相同。设计接地点的目的是为了尽量减少各电路电流流过公共地阻抗时产生的耦合干扰，还要避免地环路电流，从而避免环路电流与其他电路产生耦合干扰。

3. 信号源接地

传感器可看做非电量测量系统的信号源。信号源地线就是传感器本身的零电位电平基准公共线，由于传感器与其他电测装置相隔较远，因此它们在接地要求上有所不同。

4. 负载接地

负载中电流一般较前级信号电流大得多，负载地线上的电流在地线中产生的干扰作用也大。因此对负载地线与对测量仪器中的地线有不同的要求。有时二者在电气上是相互绝缘的，它们之间通过磁耦合或光耦合传输信号。

5. 单点接地

单点接地如图 6-13 所示。它是把各电路的地线接在一点上，这种方法的优点是不存在环形地回路，因而也不存在地环流，各电路的接地点只与本电路的地电流和地阻抗有关。如果各电路的电流都比较小，各地线中的电压降也较小。当两个电路相距较近时采用单点接地法，由于地线较短，它们之间电位差小，所以各段地线间相互干扰也小。

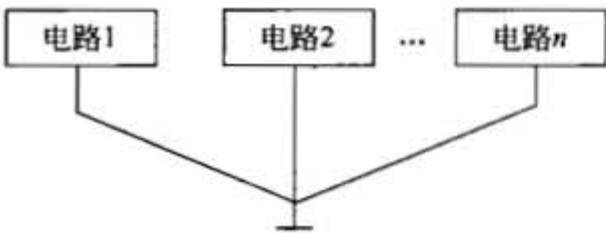


图 6-13 单点接地



图 6-14 串联接地

6. 串联接地

图 6-14 是串联接地的示意图，接地点顺序连接在一条公共用地线上。在图示电路中共用地线电流是 n 个电路电流流过地线之和。电路 1 和电路 2 之间的地线电流是电路 2、电路 3 和电路 n 地线电流的总和。因此，每个电路的地线电位都受其他电路的影响，噪声通过公共地线互相耦合。从防止干扰的角度出发，这种接法不尽合理，但因为它接法简单，在许多地方仍被采用。例如在一块印刷电路板上，各元器件或电路之间的地线一般都是串联接法，最终连到印刷电路板的地线引线端上。从防止干扰和噪声的角度来看，这种接法不合理。但因其接法简单，在许多地方仍被采用。特别是在设计印刷电路板上应用比较方便。

7. 多点接地

多点接地如图 6-15 所示。为了降低阻抗，地线一般用宽铜皮镀银作为接地母线。它是

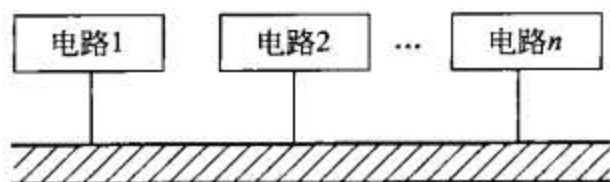


图 6-15 多点接地

把所有电路的地线都连接到离它最近的接地母线上，以便降低接地阻抗。这种接法在数字电路中是常用的。一般系统由多块印刷电路板组成，它们之间的地线通过装在机架上的宽铜皮镀银的接地母线连接在一起，再把接地母线的一端接到直流电源的地线上，构成工作接地点，这种方法适用于高频电路。

不论是用哪种方法连接地线，地线尽可能宽一些。实际上，电子设备中信号地的接法不是简单地采用某种形式，而是采用以上几种方法组成的混合形式。

8. 模拟地和数字地

在一些电子电路中，如数字仪表和自动控制设备中，同时有数字信号和模拟信号，而数字电路都工作在开关状态，电流起伏波动较大，若两种信号间的耦合还采用电耦合，则在其地线间必定会产生相互干扰，造成模数转换间的不稳定。为了消除这种干扰，最好采用两套整流电路，分别供给模拟部分和数字部分，信号间采用光耦合器进行耦合，这样即可把两套电源间的地线实现电隔离。具体电路可采用图 6-16 所示电路。

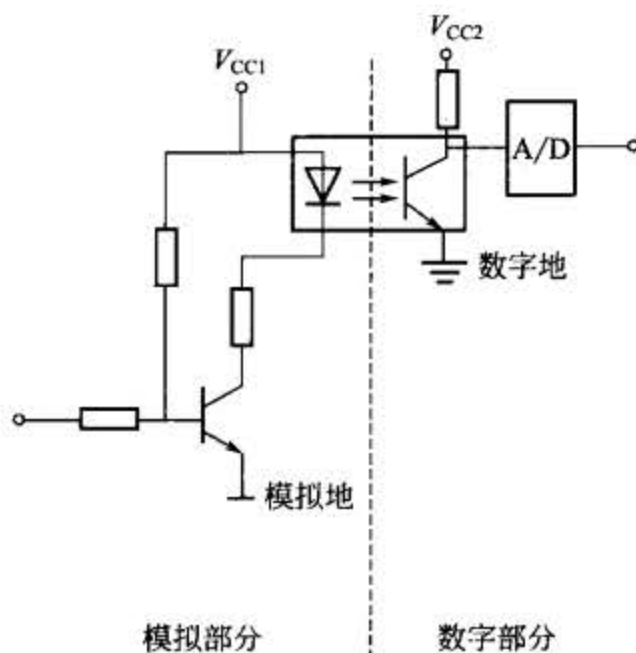


图 6-16 模拟地和数字地

9. 系统接地

一般把信号电路地、功率电路地和机械地都称为系统地。为了避免大功率电路流过地线回路的电流对小信号电路产生影响，通常功率地线和机械地线必须自成一体。接到各自的地线上，然后一起连到机壳地上，如图 6-17 所示。

系统接地的另一种方法是，把信号电路地和功率地接到直流电源地线上，而机壳单独安全接地（接大地）。这种接法称系统浮地（图 6-18）。系统浮地同样能起到抑制干扰和噪声的作用。

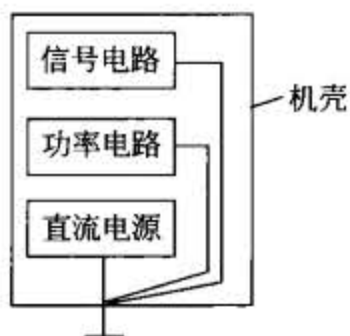


图 6-17 系统接地

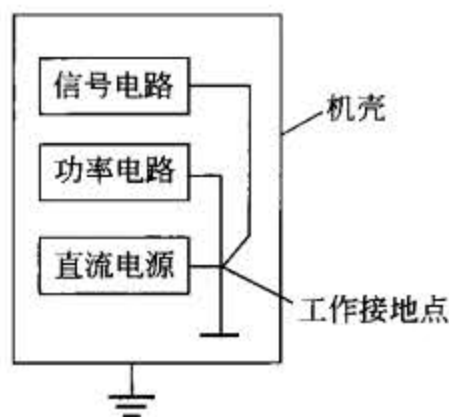


图 6-18 系统浮地

(二) 电路一点接地准则

1. 单级一点接地准则

如图 6-19(a) 所示，单级选频放大器的原理电路上有 7 个线端需要接地。如果只从原理图的要求进行接线，则这 7 个线端可以任意地接在接地母线的不同位置上。这样，不同点间的电位差就有可能成为这级电路的干扰信号，因此应按图 6-19(b) 所示的一点接地方式

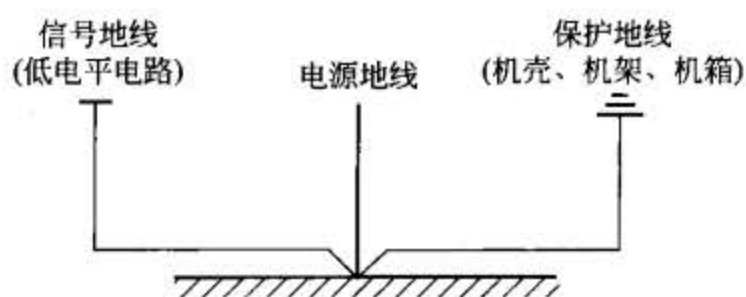


图 6-22 各种地线的分开设置

出干扰电压 $U_N \approx 82.6\text{mV}$ ，即 100mV 的地电位差几乎都加到放大器输入端上。

将上述问题改为一点接地，如图 6-22 所示，并保持信号源与地隔离，其中 Z_{sg} 为信号源对地的漏阻抗，设 $Z_{sg} = 2\text{M}\Omega$ ，其他参数不变，当 $Z_{sg} \gg R_2 + R_G$ ， $R_2 \ll R_S + R_i + R_1$ 时，放大器输入端干扰电压为

$$U_N = \frac{R_i}{R_i + R_1 + R_S} \times \frac{R_2}{Z_{sg}} \times U_G = 45.5 \text{ (nV)}$$

可见信号源接地时的干扰电压大大降低。

(三) 测量系统的接地

通常测量系统至少有三个分开的地线，即信号地线、保护地线和电源地线。

这三种地线应分开设置，并通过一点接地。图 6-22 说明了这三种地线的接地方式。若使用交流电源，电源地线和保护地线相接，干扰电流不可能在信号电路中流动，避免因公共地线各点电位不均所产生的干扰，它是消除共阻抗耦合干扰的重要方法。

六、隔离

隔离是破坏干扰途径、切断噪声耦合通道，从而达到抑制干扰目的的一种技术措施。常用的电路隔离方法有变压器隔离法和光电耦合器方法。

1. 变压器隔离

图 6-23 中的两端接地的系统，地电位差 U_N 通过地环回路对测量系统形成干扰。减小或消除类似这种干扰的一种方法是在信号传输通道中接入一个变压器，如图 6-24 所示，使信号源和放大器两个电路在电气上相互绝缘，断开地环回路，从而切断了噪声电路传输通道，有效地抑制了干扰。

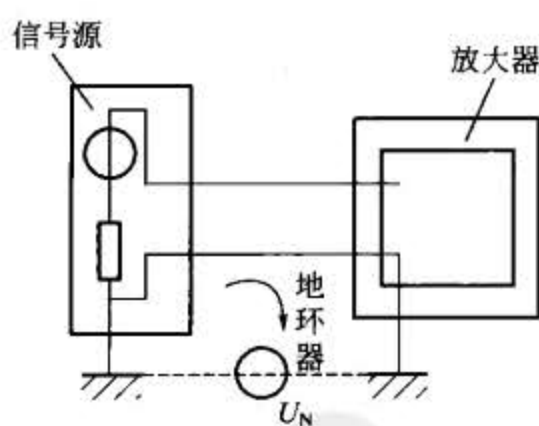


图 6-23 两点接地的地环回路

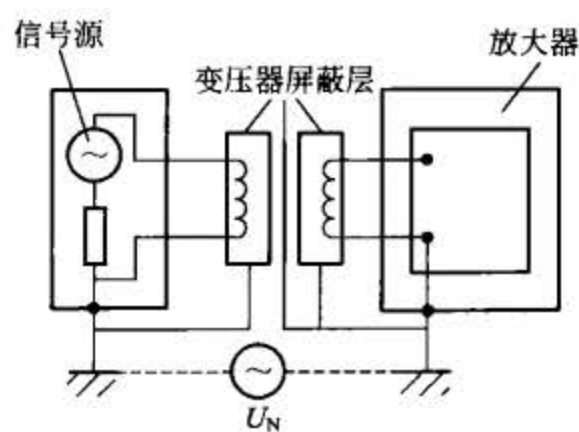


图 6-24 隔离变压器

在这种情况下，信号通过磁耦合传输，所以变压器隔离法适用于传输交变信号的电路噪声抑制。

2. 光电耦合器隔离

光电耦合隔离器如图 6-25 所示。光电耦合隔离方法是在电路上接入一个光电耦合器，即用一个光电耦合器代替图 6-24 中的变压器，用光作为信号传输的媒介，则两个电路之间既没有电耦合，也没有磁耦合，切断了电和磁的干扰通道，从而抑制了干扰。

一般的光电耦合器广泛用于数字接口电路中的噪声抑制，但是由于它非线性特性强，

所以在模拟电路中使用线性光电耦合器实现隔离。

七、滤波

采用滤波器抑制干扰是最有效的手段之一，特别是对抑制经导线耦合到电路中的干扰，它是一种广泛被采用的方法。它是根据信号及噪声频率分布范围，将相应频带的滤波器接入信号传输通道中，滤去或尽可能衰减噪声，达到提高信噪比，抑制干扰的目的。由于窜入信号通道的干扰电压与干扰信号的角频率成正比。因此，干扰信号通常以高频成分为主。而机械参数测量中，大部分被测信号的频率都比较低。因此在信号通道中可以采用低通滤波器，以便滤去干扰信号。

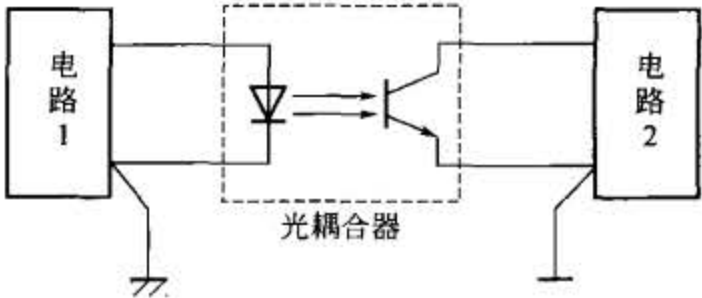


图 6-25 光电耦合隔离器

下面介绍电测装置中广泛使用的滤波器。

1. 交流电源进线的对称滤波器

为防止交流电源的噪声通过电源线进入电测仪器内，在交流电源进线间接入一个防干扰滤波器，如图 6-26 和图 6-27 所示。使交流电先通过滤波器，滤去电源中的噪声后再输入仪器中。图 6-26 所示的高频干扰电压滤波器用于抑制中、高频的噪声干扰，而图 6-30 所示的滤波电路用于抑制电源波形失真而含有较多高次谐波的干扰。

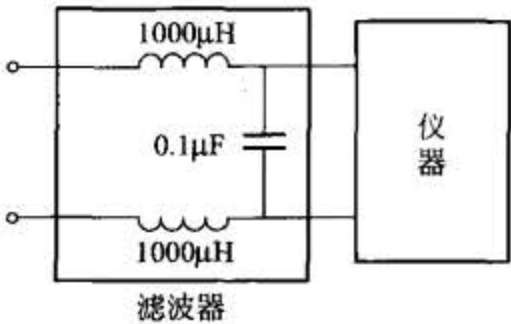


图 6-26 高频干扰电压滤波电路

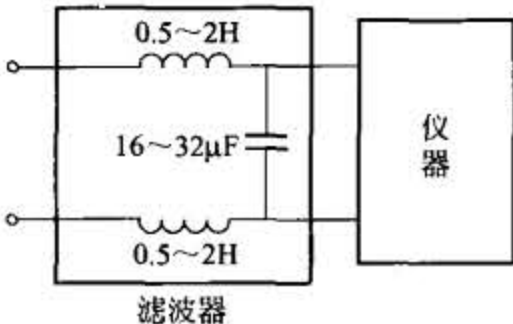


图 6-27 低频干扰电压滤波电路

2. 直流电源输出的滤波器

直流电源往往是几个电路公用的。为削弱公共电源在电路间形成的噪声耦合，对直流电源还需加装滤波器。图 6-28 所示是滤除高、低频成分的滤波器。

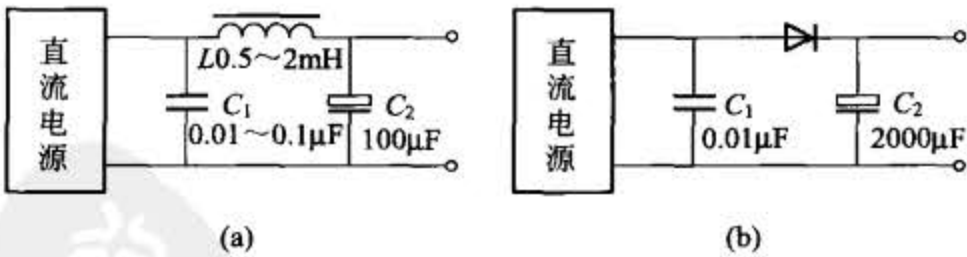


图 6-28 高、低频干扰电压滤波器

3. 去耦滤波器

当一个直流电源同时为几个电路供电时，为了避免通过电源内阻造成几个电路之间互相干扰，可在每个电路的直流电源进线与地之间加 π 型 RC 或 π 型 LC 滤波器。

对于一台多级放大器，各放大器之间会通过电源的内阻产生耦合干扰，故多级放大器各级供电电源必须加 RC 去耦滤波器。

八、平衡电路

平衡电路又称对称电路，是指双线电路中的两根导线与连接到导线的所有电路，对地或

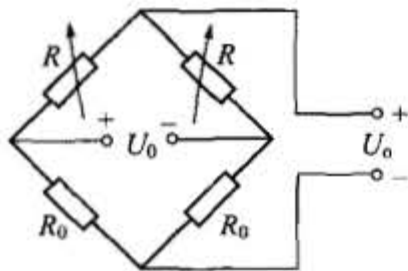


图 6-29 电桥平衡电路

对其他导线，电路结构对称，对应阻抗相等，从而使对称电路所检测到的噪声大小相等，方向相反，在负载上自行抵消。图 6-29 所示的半桥双臂接法的电桥电路就是一种平衡电路。如果完全相同的两个应变片 R_0 作为电桥相邻两个臂，其他两臂为不变等值电阻 R ，则由温度变化所引起应变片阻值各变化一个 ΔR ，两个 ΔR 所引起的输出电压的变化 ΔU 。大小相等，方向相反，自行抵消，输出不受影响。正因如此，测量中一般采用半桥双臂接法或

全桥接法。

九、器件内部噪声解决方法

一般放大电路中有集成运算放大器和电阻等，这些器件会产生噪声。通常减小这些噪声的方法如下。

1. 电阻的选择

电阻器的阻值越大，它产生的噪声越大，因此应避免使用高阻值的电阻器。

另外为了减小电阻器所产生的噪声，最好选用线绕电阻（如 RX70 系列），其次是金属膜电阻。

2. 运算放大器的选择

选用低噪声的集成运算放大器，如 ILC7650（F7650），OP07（F07），CAW5027，CAW5037（F5027、F5037）。

十、外界干扰的解决方法

（一）高频信号对运放电路的干扰及解决方法

如果周围有电台、电视设备以及空中高频辐射，它们都会对运算放大器电路产生高频干扰。

该问题的解决方法：一方面可把放大器电路放置在电磁屏蔽盒里；另一方面可在放大器输入、输出端及电源旁边接入小电容进行滤波，如图 6-30 所示。

对于高频噪声还可以采用调制-相关解调的方法来进行抑制。如图 6-31 所示。

在图 6-31 中，如果被测信号 U_s 是一个直流信号（或低频交流信号），这时 U_s 与载波信号相乘（即调制）后，其输出信号为

$$u_1(t) = U_s \cos \omega_0 t + n(t)$$

式中 $U_s \cos \omega_0 t$ ——调幅波；

$n(t)$ ——高频干扰信号。

$u_j(t) = \cos(\omega_0 t + \varphi)$ 称为参考信号，它应与载波信号频率相同，考虑到实际情况与载波信号 $\cos \omega_0 t$ 有一个相位差 φ 。

于是 $u_1(t)$ 与 $u_j(t)$ 的互相关函数为

$$Ru_1 u_j = \frac{1}{T} \int_0^T u_1 u_j(t) dt = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^T (U_s \cos \omega_0 t) [U_j \cos(\omega_0 t + \varphi)] dt + \int_0^T n(t) U_j \cos(\omega_0 t + \varphi) dt \right\}$$

因为噪声 $n(t)$ 与 u_j 互不相关，所以上式中第二项为零，则

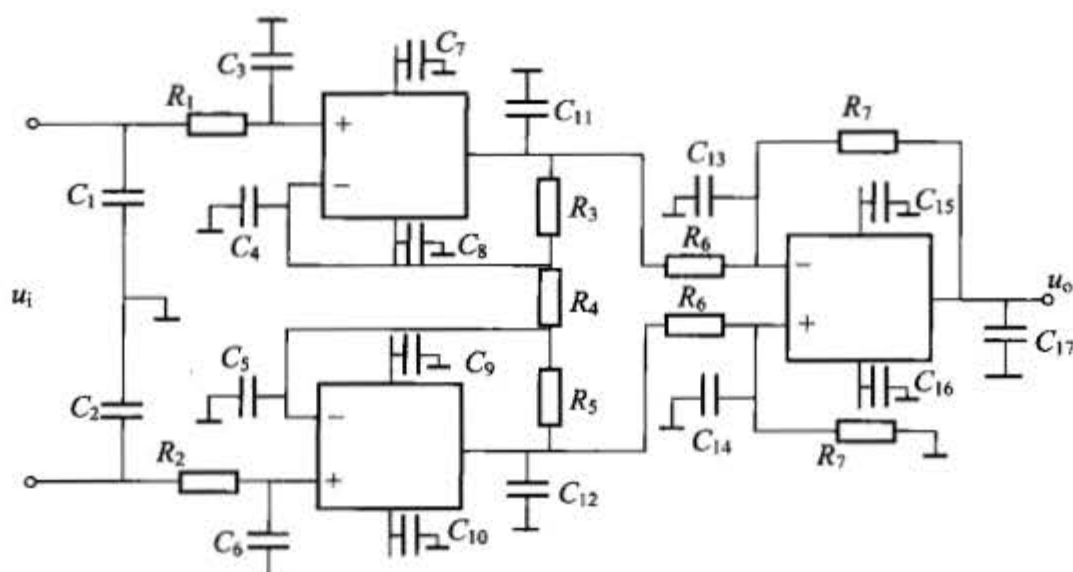


图 6-30 减小高频辐射对放大器的影响

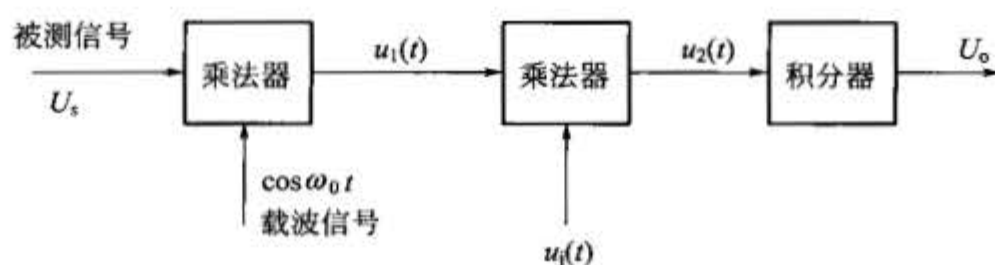


图 6-31 调制-相关解调方法抑制高频噪声

$$Ru_1 u_j = \frac{1}{T} \int_0^T (U_s \cos \omega_0 t) [U_j \cos(\omega_0 t + \varphi)] dt$$

利用三角函数将上式变为

$$Ru_1 u_j = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{1}{2} U_s U_j \cos(2\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2} U_s U_j \cos \varphi \right] dt$$

令
$$u_2(t) = \frac{1}{2} U_s U_j \cos(2\omega_0 t + \varphi) + \frac{1}{2} U_j U_s \cos \varphi$$

对 $u_2(t)$ 再进行积分平均，通常是由低通滤波器来完成的。当低通滤波器的截止频率远小于 $2\omega_0$ 时，将使 $u_2(t)$ 中频率分量 $2\omega_0$ 大大衰减，这时低通滤波器（积分器）的输出电压为

$$U_4 = \frac{1}{2} U_j U_s \cos \varphi = K U_s$$

式中 K ——常数， $K = \frac{1}{2} U_j \cos \varphi$ 。

由上式可知，积分器消除了高频辐射 $n(t)$ 对测量的影响。

（二）变压器等设备漏磁通对运放电路的影响及解决方法

由于变压器的周围存在一定的漏磁通，当运算放大器的线路接近变压器时，放大器的反馈回路中用两个电阻并联，这时在印刷电路板上已构成了闭合回路，一旦漏磁穿过，在该回路中会产生感生电流而影响放大器的工作，如图 6-32 所示。

解决此问题的方法是尽可能使放大器的印刷电路板远离变压器，并且在设计中少用电阻并联的这种形式；也可以将放大器的印刷电路板放置在磁屏蔽盒中。

（三）通过放大器输入线或电源进入的干扰对放大器的影响及解决方法

解决此问题的方法是加滤波器，可有效地削弱干扰。常用的方法如下。

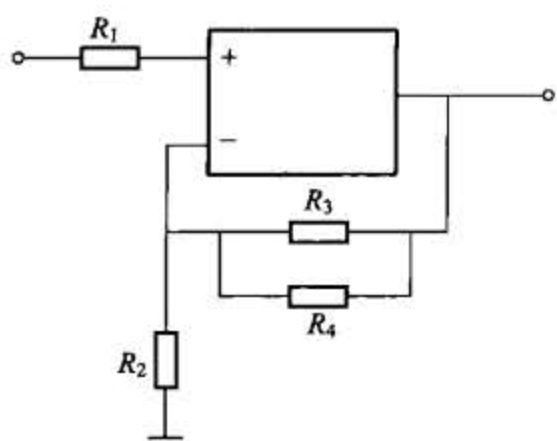


图 6-32 漏磁对运算放大器电路的影响

1. 加滤波器

如果信号的频率较低，则可以采用低通滤波器；如果信号的频率基本不变，可加带通滤波器；当信号的频率较高时，可加高通滤波器；如果干扰的频率基本不变，例如交流电源所引起的工频干扰，则可加带阻滤波器。

2. 消除高次谐波干扰

对于通过电源线进入的干扰和整流电路产生的高次谐波干扰，可采取以下措施抑制。

① 在交流电源的进线和电源变压器之间加电源滤波器，一般由电感和电容构成。

② 采用隔离变压器。

③ 稳压电路的输入、输出应加足够大的电解电容和独石电容（一般为 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$ ）滤波。

④ 每个运算放大器接电源的引脚处还需要加钽电容（一般为 $10 \sim 30 \mu\text{F}$ ）和独石电容（一般为 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$ ）滤波。

（四）公共阻抗耦合对运放电路的影响及解决方法

如图 6-33 所示，由于地线上有公共阻抗，所以可以把噪声通过公共阻抗耦合到放大器电路中，这对微小电压信号的放大器来说是一个很大的噪声源。

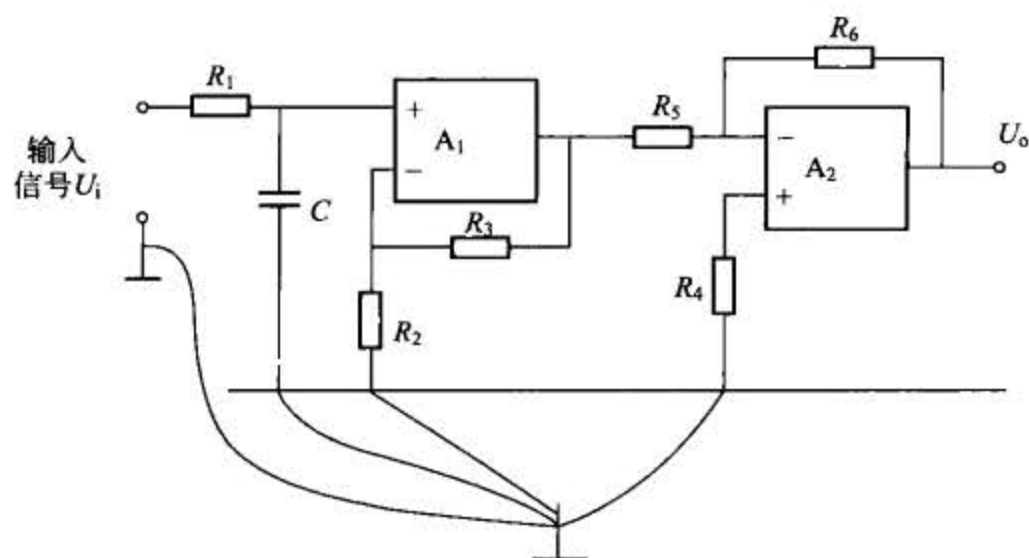


图 6-33 公共阻抗耦合对运放电路的影响

解决此问题的方法是：采用一点接地或者将地线加粗到相当大的宽度，如图 6-34 所示。

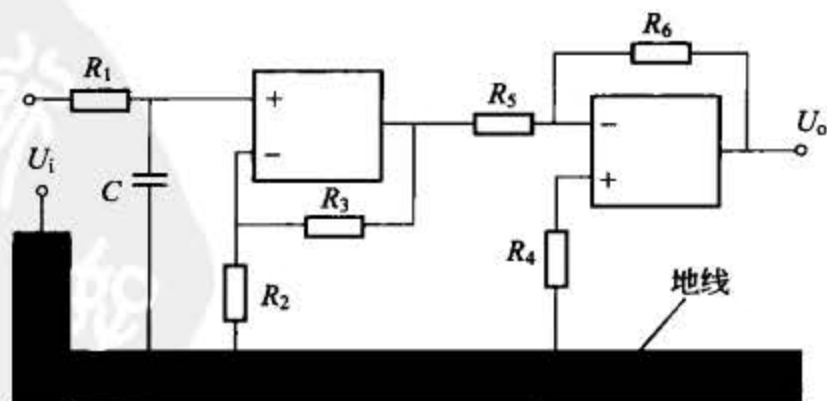


图 6-34 加粗地线减小其公共阻抗

(五) 共模噪声对放大器的干扰及解决方法

在设计运算放大器组成的放大电路时, 为了提高抗共模性能通常采用仪表放大器, 如图 6-35 所示。

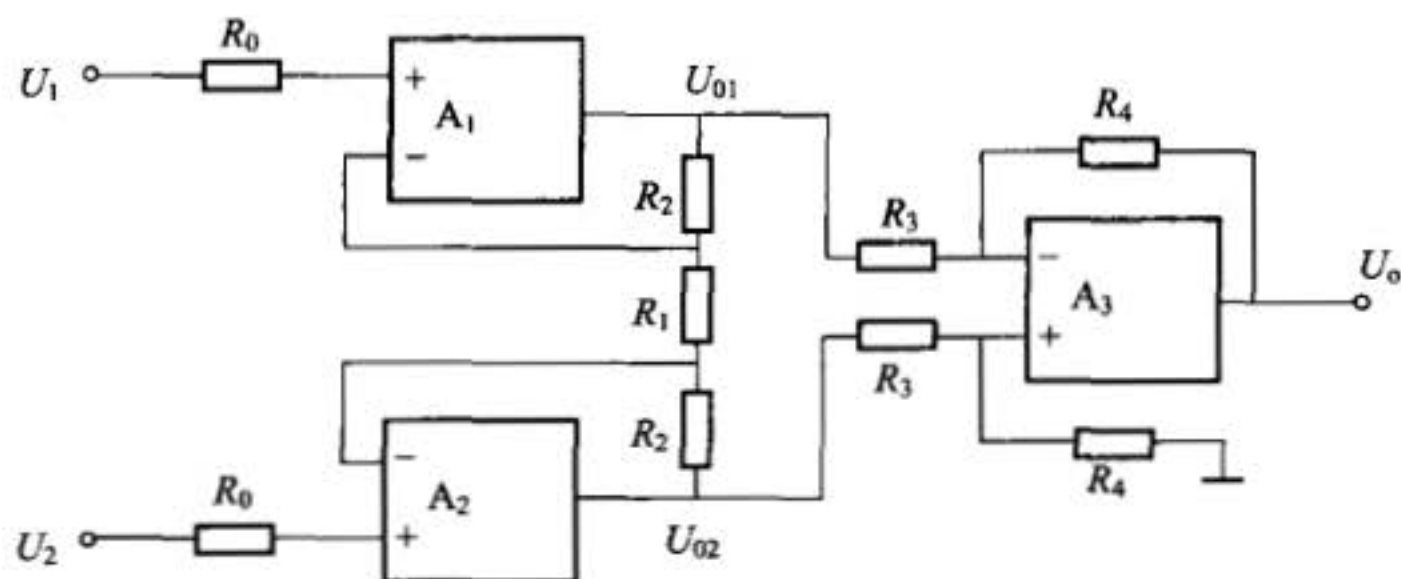


图 6-35 仪表放大器

从图 6-35 可知

$$U_{01} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1/2}\right) U_1$$

$$U_{02} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1/2}\right) U_2$$

所以

$$U_{01} - U_{02} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1/2}\right) (U_1 - U_2)$$

$$U_o = -\frac{R_4}{R_3} (U_{01} - U_{02}) = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1/2}\right) (U_1 - U_2) = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1/2}\right) (U_2 - U_1)$$

这种仪表放大器的输入阻抗可以很高, 改变 R_1 就可以改变增益。 A_3 的四个电阻应严格匹配, 以保证对共模信号有较高的抑制能力。因为 A_3 放大的是 A_1 、 A_2 输出之差, 所以如果它们的输出失调是同向的, 就可以互相抵消, 在这种情况下, 总的输出失调主要由 A_3 本身引起。因此把 A_3 的增益降低, 主要增益由 A_1 、 A_2 完成, 对降低输出温漂是有利的。而且为了降低 A_3 的失调电流引进的温漂和输出失调, R_4 可取小一些。