

第5章 计算机控制系统的抗干扰和可靠性技术

- 干扰源与干扰耦合方式
- 空间抗干扰的措施
- 过程通道的抗干扰措施
- 长线传输的抗干扰措施
- 系统供电与接地的抗干扰措施
- 采用监控定时器**Watchdog**的抗干扰措施
- 软件抗干扰措施
- 印刷电路板的抗干扰设计原则
- 提高计算机控制系统的可靠性措施



什么是干扰？

干扰是指有用信号以外的噪声或造成计算机设备不能正常工作的破坏因素。



抗干扰的方法

- 硬件措施：效率高，但会增加系统的投资和设备的负担。
- 软件措施：以**CPU**的开销为代价，会影响到系统的工作效率和实时性。
- 软硬结合：最佳方式。



5.1 干扰源与干扰耦合方式

5.1.1 干扰来源

5.1.2 干扰信号的耦合方式



5.1.1 干扰来源

干扰信号产生于干扰源。依据干扰的来源不同，工业控制计算机系统的干扰可以分为三类：

- 电源干扰
- 空间干扰
- 设备干扰



1. 电源干扰

电源干扰是指来自供电电源的干扰。

- 浪涌
- 尖峰
- 噪声
- 断电等。



(1) 浪涌

挂在同一供电电网上的大功率设备，特别是感性负载设备，如大功率电动机等，它们的起动或停止会造成电网电压的大幅度涨落，从而形成浪涌。



(2) 尖峰

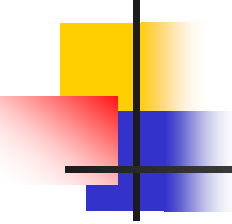
挂在同一供电电网上的大功率开关的通断，电焊机的使用，特别是挂有使用大功率晶闸管元件的设备，往往使电网上出现尖峰脉冲。

持续时间很短，但峰值可达2000V，有时甚至更高。



(3) 噪声

供电电网和系统供电引接线，对于噪声而言有**天线效应**，所接收到的噪声会随供电电源侵入系统。



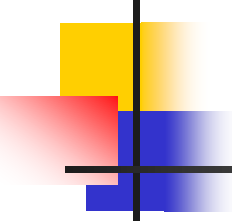
(4) 断电

断电也是一种干扰，特别是电网调度高压切换中的瞬间断电，对工业控制计算机系统的干扰后果可能是很严重的。



2. 空间干扰

- 电场
- 磁场
- 电磁辐射



(1) 静电和电场的干扰

系统的部分设备产生静电，或部分设备在某个电场之中受其影响构成干扰。



(2) 磁场干扰

如果系统的部分设备与某些能够产生磁场的电气设备相距过近，从而受其影响构成磁场干扰。磁场干扰的机理是电磁感应。



(3) 电磁辐射干扰

电磁辐射干扰有：广播电台或通信发射台发出的电磁波；周围的电气设备如发射机、中频炉、晶闸管逆变电源、变频调速装置等发出的干扰。

自然界和气象条件也形成干扰，如太阳辐射电磁波、空中雷电造成的过电压或过电流所形成的干扰等。



3. 设备干扰

设备干扰是指设备内部或设备之间产生的干扰。例如：

- 当有的电气设备漏电、接地系统不完善，或测量部件绝缘不好，均会使通道中串入共模电压或差模电压；
- 各个通道的若干线路同用一根电缆或绑扎在一起，各路之间可能通过电磁感应而产生相互干扰，特别是交流**220V**电源线，极易在低于**15V**的测量通道中构成共模干扰或差模干扰。



三种干扰的严重程度

- 最严重——交流电源的干扰；
- 其次——设备干扰，特别是来自通道的干扰；
- 程度最低——空间的辐射干扰，采取适当的屏蔽措施就可以获得比较满意的效果。



5.1.2 干扰信号的耦合方式

- 静电耦合方式
- 电磁耦合方式
- 共阻抗耦合方式
- 电磁场辐射耦合方式



1. 静电耦合方式

当两根导线平行的放置至一定距离时，该两根导线之间的电容就构成了它们相互间的电容性耦合。

作用机理：一根导线在另一根导线的静电电场中时，必然受到该电场的影响。通过分布电容产生了附加的噪声电压。



2. 电磁耦合方式

在载流电路周围空间中会产生磁场，在其周围的闭合电路将受交变磁场的影响而产生感应电动势并形成感应电流。

大功率设备、强电流导线周围空间都会产生磁场，交变磁场会在信号回路内产生叠加噪声电压。

- 在设备内部，线圈或变压器的漏磁就是一个很大的干扰源；
- 在设备外部，当两根导线在较长的距离内敷设或架设时，将会产生电磁耦合干扰。



3. 共阻抗耦合方式

当两个电路的电流流经一个公共阻抗时，一个电路在该阻抗上所产生的电压降会影响到另一个电路，该种耦合方式称作共阻抗耦合。

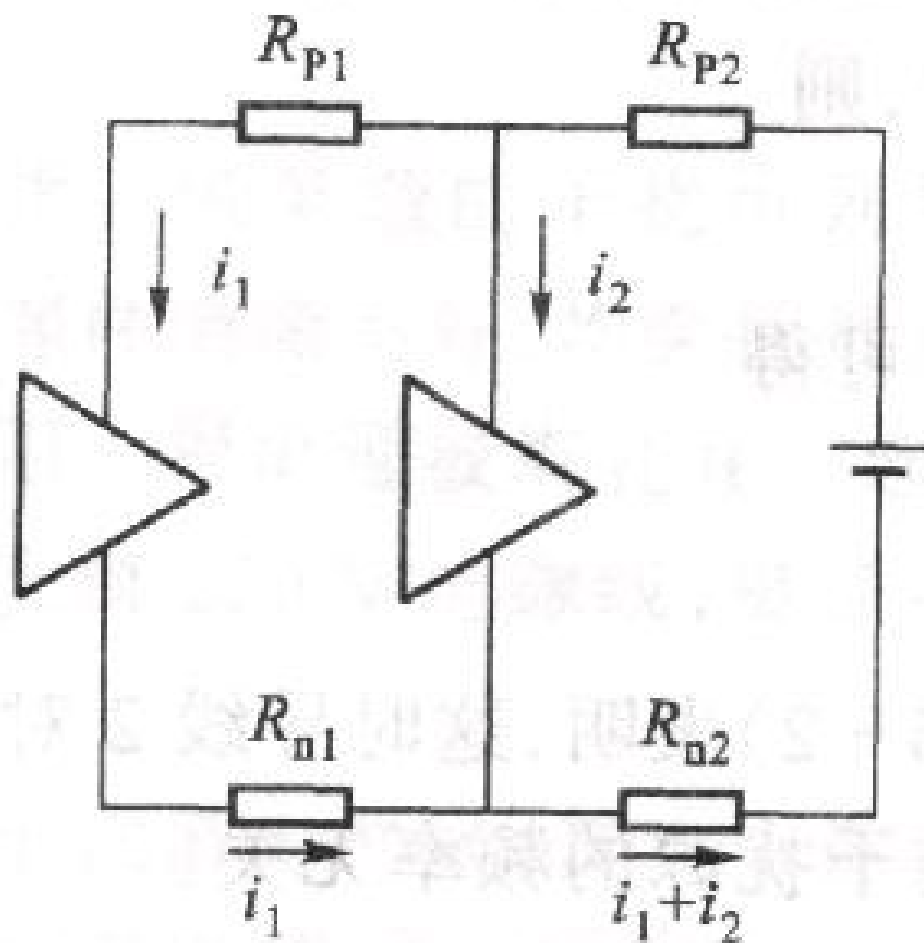
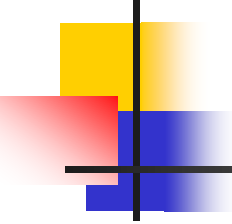


图 5.3 公共阻抗耦合的原理图



公共阻抗通常分为公共地和公共电阻两种。

公共电阻是公共电源的内阻、控制设备工作线路与连线的阻抗。

公共阻抗的数值与感应电压的频率有关：

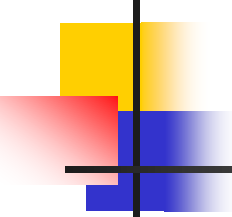
- 在低频时基本上等于连接导线的电阻和电源滤波器输出电容的容抗；
- 在高频时基本上等于连接导线的感抗和电源滤波器输出电容的容抗。



4. 电磁场辐射耦合方式

当高频电流流过导体时，在该导体周围产生电力线和磁感应线，它们随着导体各个部分瞬时的电荷变化而变化，从而形成一种在空间传播的电磁波，处于电磁波中的导体，将因受到电磁波的作用而感应出相应频率的电动势。

电磁场辐射干扰是一种无规则的干扰，它极易通过电源而耦合到系统中来。另外，过长的信号输入线和输出线以及控制线具有天线效应，它们既能接收干扰波，又能辐射干扰波。



干扰形成后，若不能有效克服，测控系统将无法正常工作。因此，设计的系统抗干扰能力的强弱是系统能否有效、可靠工作的关键。



5.2 空间抗干扰的措施

5.2.1 空间感应与屏蔽

5.2.2 空间感应的抗干扰措施



5.2.1 空间感应与屏蔽

空间感应包括静电场、高频电磁场以及磁场引起的干扰，对于这类干扰主要采用隔离、良好的屏蔽和正确的接地方法等加以解决。

屏蔽主要用来解决电磁干扰，它将电力线或磁感应线的影响限定在某个范围之内或阻止它们进入某个范围。其目的是隔断场的耦合、抑制场的干扰。

- 静电屏蔽
- 电磁屏蔽
- 磁屏蔽



电场屏蔽

电场屏蔽主要解决由于分布电容耦合引入的电场干扰问题。

因此屏蔽体应对干扰呈低阻抗，屏蔽层应放在干扰源和敏感电路之间，而且必须将屏蔽体接地。

屏蔽体一般用良导体如铜和铝构成，还要注意屏蔽的连续性。



电磁屏蔽

电磁屏蔽**主要克服高频电磁场干扰**。它利用良好导体在电磁场内产生涡流效应来削弱电磁场的干扰。若将屏蔽接地，则可同时起到电场屏蔽作用。



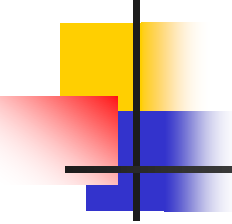
磁屏蔽

磁屏蔽主要用来防止低频磁通的干扰。它是利用高导磁率材料，如坡莫合金、铁氧体等将敏感电路包围，使干扰磁场短路。



5.2.2 空间感应的抗干扰措施

- ① 空间隔离：使敏感设备或信号线远离干扰源（如大型动力设备及大变压器等）。
- ② 屏蔽：对敏感电路加屏蔽盒或对信号加屏蔽层。屏蔽层不能随意接地，必要时屏蔽层外还要有绝缘层。
- ③ 高电平线和低电平线不要走同一电缆，也不要走同一插件。不得已时可以将高电平线和低电平线分立两边，中间留备用线或地线。

- 
-
- ④ 模拟信号线与数字信号线不要走同一根电缆。
 - ⑤ 信号线与电源线要分开，并尽量避免平行敷设。
 - ⑥ 注意屏蔽的连续性。即不要使屏蔽体中间断开或使屏蔽体与被屏蔽体过早分离。



⑦ 采用双绞线(或带屏蔽的双线)或同轴电缆，可以大大减小电磁干扰。

有条件的地方，还可以采用性能更优越的光导纤维。在易燃易爆、腐蚀性、传输距离长、电磁干扰特别严重的场合可考虑使用光纤作为传感或传输介质。



5.3 过程通道的抗干扰措施

干扰往往沿着过程通道进入计算机，其**主要原因**是**过程通道与计算机之间存在公共地线**。

最容易受影响的是**A/D**和各种输入装置。所以要求这些设备有很强的抗干扰能力，而且要设法削弱来自公共地线的干扰，以提高过程通道的抗干扰性能。

干扰的作用方式，一般可**分为串模干扰和共模干扰**。

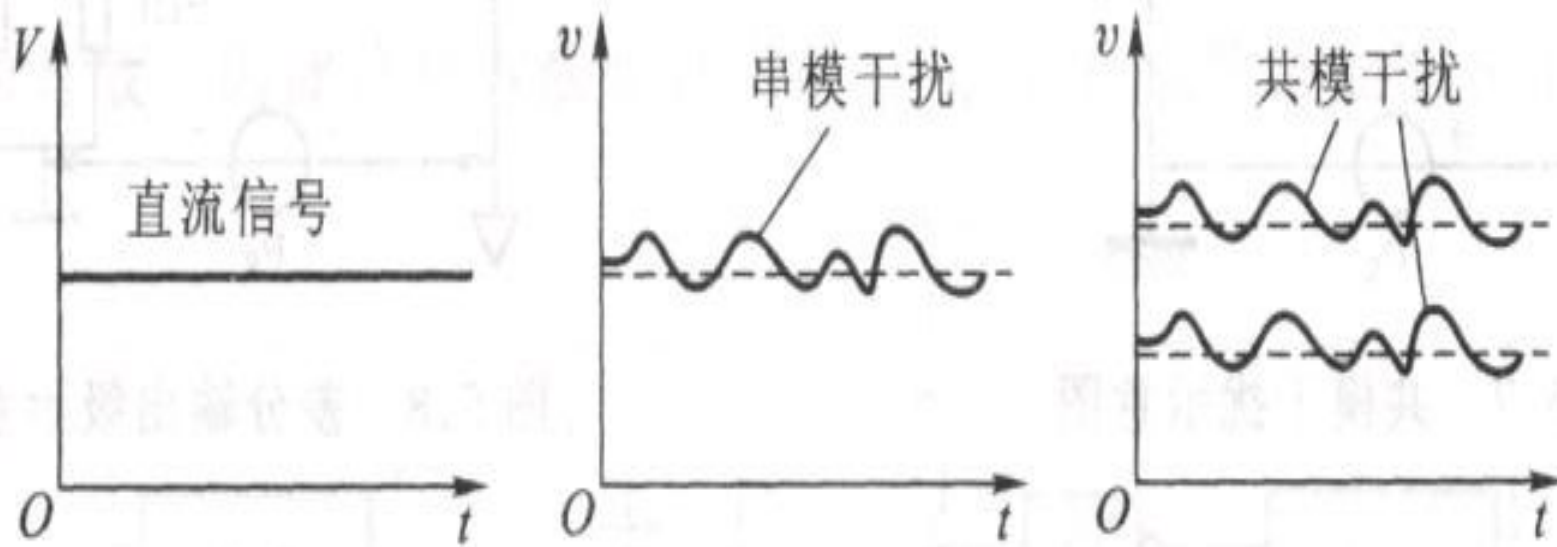


图 5.4 干扰信号形式



1. 串模干扰及其抑制

叠加在被测信号上的干扰信号称为串模干扰，用 V_g 表示。(也称之为正态干扰、常态干扰、横向干扰等)

一般情况下，被测信号的变化比较缓慢，而串模干扰信号的主要成分是50Hz的工频和特殊的高次谐波，且通过电磁耦合和漏电等传输形式叠加到信号或引线上形成干扰。

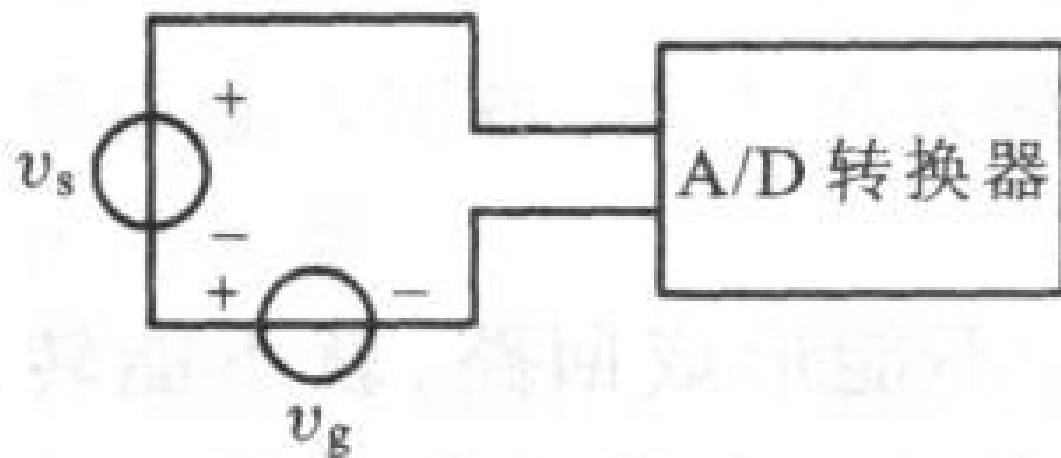
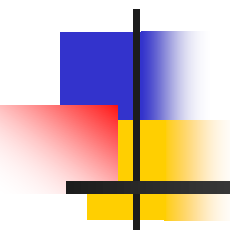


图 5.5 串模干扰示意图



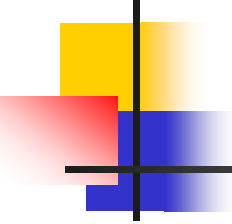
减少串模干扰的措施



(1) 采用输入滤波器

加入滤波器就是使有用信号频率能有效通过，而抑制噪声频率的通过。根据信号的频谱特性，可将滤波器设计为低通、高通、带通和带阻4种。根据滤波器的结构可分为无源滤波和有源滤波器两类。

如果串模干扰频率比被测信号频率高，则采用输入低通滤波器来抑制高频串模干扰；如果串模干扰频率比被测信号频率低，则采用高通滤波器来抑制低频串模干扰；如果串模干扰频率落在被测信号频谱的两侧，应采用带通滤波器。



一般情况下，串模干扰比被测信号变化快，故常用二阶阻容低通滤波网络作为模/数转换器的输入滤波器。

图5.6为常用的二级阻容滤波器网络，它可以使50Hz的干扰信号衰减到1/600左右，时间常数小于200ms。但当被测信号变化较快时，需要改变网络参数。

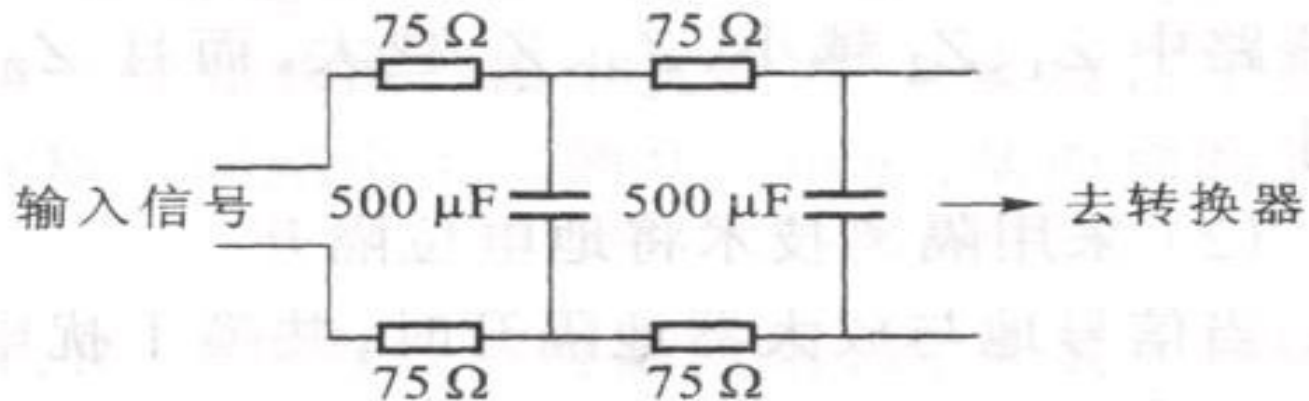


图 5.6 二级阻容滤波器网络



(2)进行电磁屏蔽和良好的接地

如果串模干扰也是缓慢变化的，即串模干扰和被测信号的频率相当，用上述滤波的办法就很难消除，只能从根本上切断引起干扰的干扰源。

例如选择带屏蔽层的双绞线或同轴电缆连接一次仪表(如压力变送器、热电偶)和转换设备，并配以良好的接地措施来解决。

采用双绞线作为信号引线的目的是减少电磁干扰。双绞线能使各个小环路的感应电势相互抵消。一般双绞线的节距越小抗干扰能力越强。



(3) 使用双积分式A/D转换器

当尖峰型串模干扰为主要干扰时，使用双积分式A/D转换器，或在软件上采用判断滤波的方法加以消除。

双积分式A/D 转换器对输入信号的平均值而不是瞬时值进行转换，所以对尖峰干扰具有抑制能力。如果取积分周期等于主要串模干扰的周期或为主要串模干扰周期的整数倍，则通过积分比较变换后，对串模干扰有更好的抑制效果。



(4) 电流传送

当传感器信号距离主机较远时很容易引入干扰。如果在传感器出口处将被测信号由电压转换为电流，以电流形式传送信号，将大大提高信噪比，从而提高传输过程中的抗干扰能力。

此外，当串模干扰主要来自电磁感应时，信号应尽可能早地前置放大，提高信噪比。

也可考虑利用逻辑器件的特性来抑制串模干扰。



2. 共模干扰及其抑制

共模干扰产生的主要原因是不同“地”之间存在共模电压以及模拟信号系统对地存在漏阻抗。共模干扰通过过程通道串入主机。

越大的系统实际形成的接地点越多，由于各接地点的电位不同，地回路会产生电流。地回路电流迭加在信号中，使信号失去了真实性和稳定性。

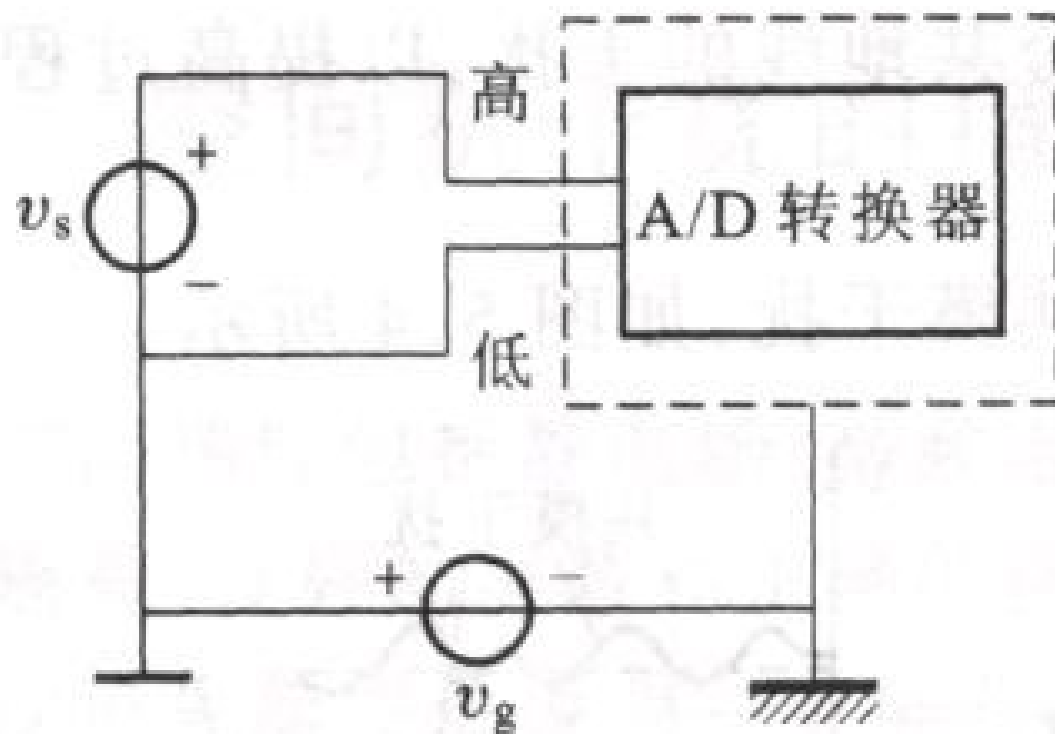


图 5.7 共模干扰示意图



抑制共模干扰的措施

主要方法是设法消除不同接地点之间的电位差。主要措施有以下三种。



(1) 采用差分放大器做信号前置放大

由于共模干扰电压只有转变成串模干扰才能对系统产生影响，因此要抑制它，就要尽量做到线路平衡。采用差分放大器可以有效抑制共模干扰，如图5. 8所示。

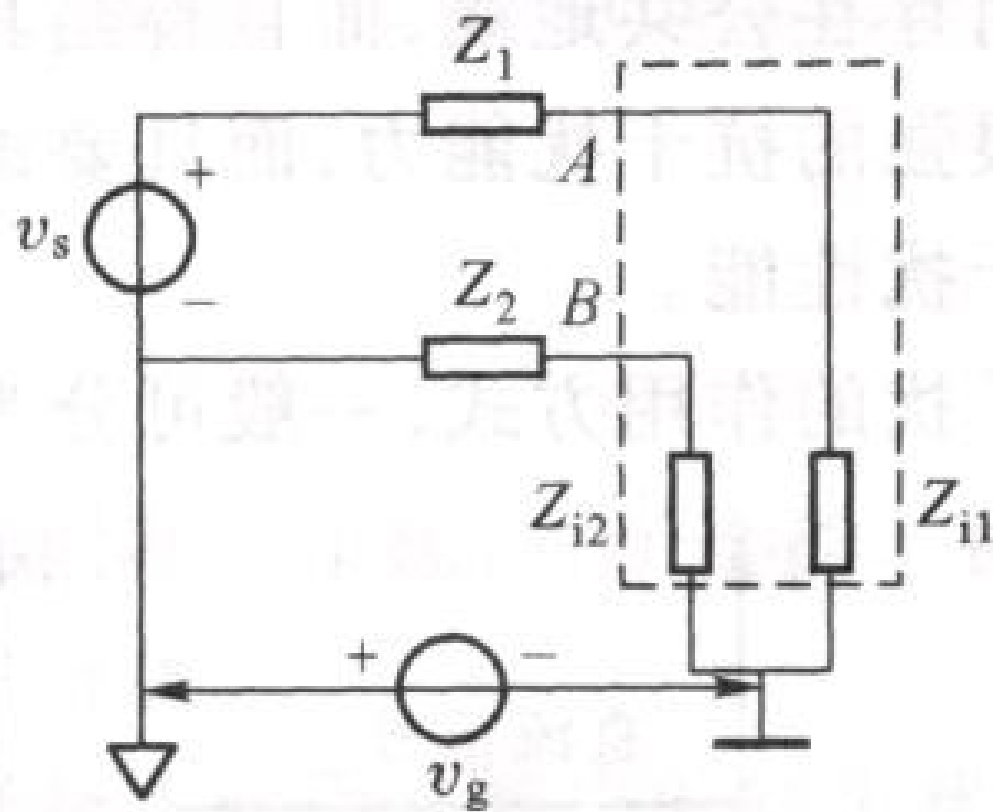


图 5.8 差分输出级示意图

图中 Z_1 、 Z_2 为信号源内阻和引线电阻， Z_{i1} 、 Z_{i2} 为输入电路的输入阻抗。共模干扰电压 v_g 在放大器输入端A、B产生的串模干扰为

$$v_e = v_g \left(\frac{Z_{i1}}{Z_1 + Z_{i1}} - \frac{Z_{i2}}{Z_2 + Z_{i2}} \right)$$

若线路中 Z_1 、 Z_2 越小， Z_{i1} 、 Z_{i2} 越大，而且 Z_{i1} 与 Z_{i2} 越接近，共模干扰的影响就越小。

这种仪表放大器具有共模抑制能力强、输入阻抗高、漂移低等优点，是一种专门用来分离共模干扰与有用信号的器件。



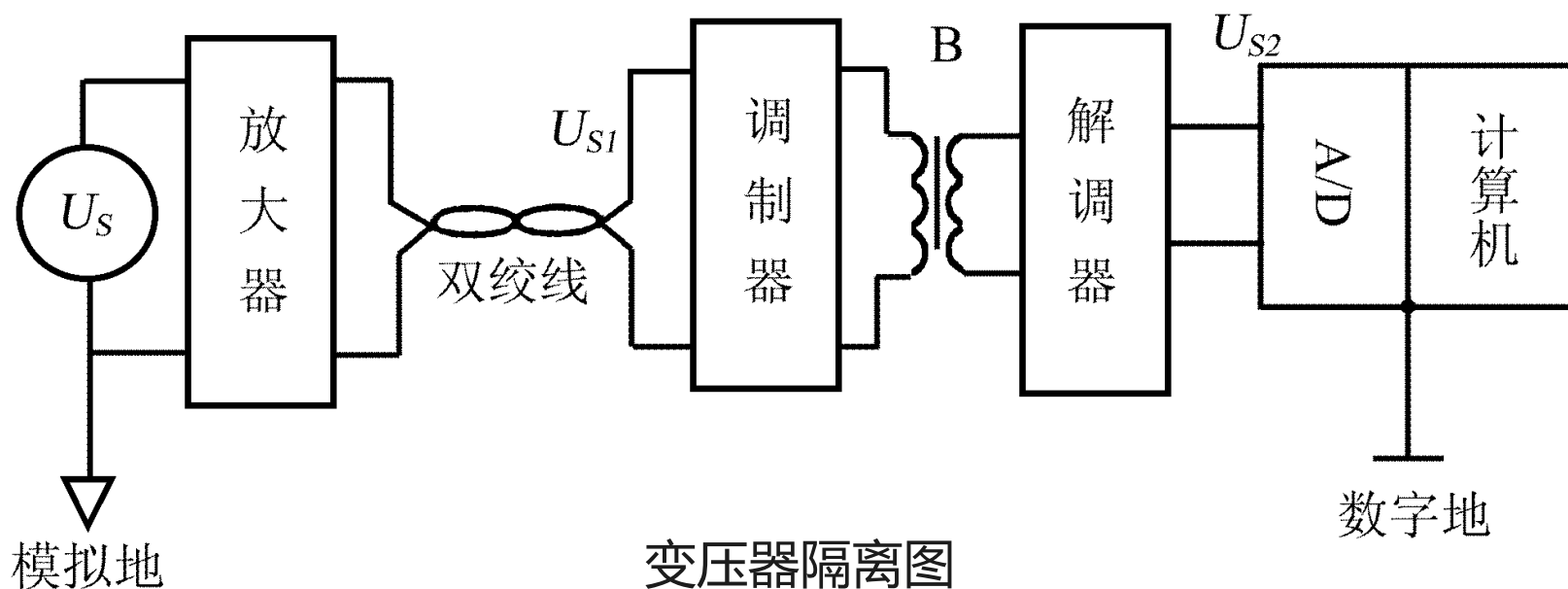
(2)采用隔离技术将地电位隔开

当信号地与放大器地隔开时，共模干扰电压 V_g 不能形成回路，就不能转成串模干扰。常用的隔离方法有：

- 变压器耦合
- 光电耦合

① 变压器耦合

一般是利用变压器把模拟信号电路与数字信号电路隔离开来，也就是把模拟地与数字地断开，以使共模干扰电压不成回路，从而抑制了共模干扰，一般形式见下图。隔离前和隔离后应分别采用两组互相独立的电源，切断两部分的地线联系。



若被测信号是直流信号，采用变压器隔离时，就必须采用调制解调技术。由变压器构成的隔离放大器如图5.9所示。

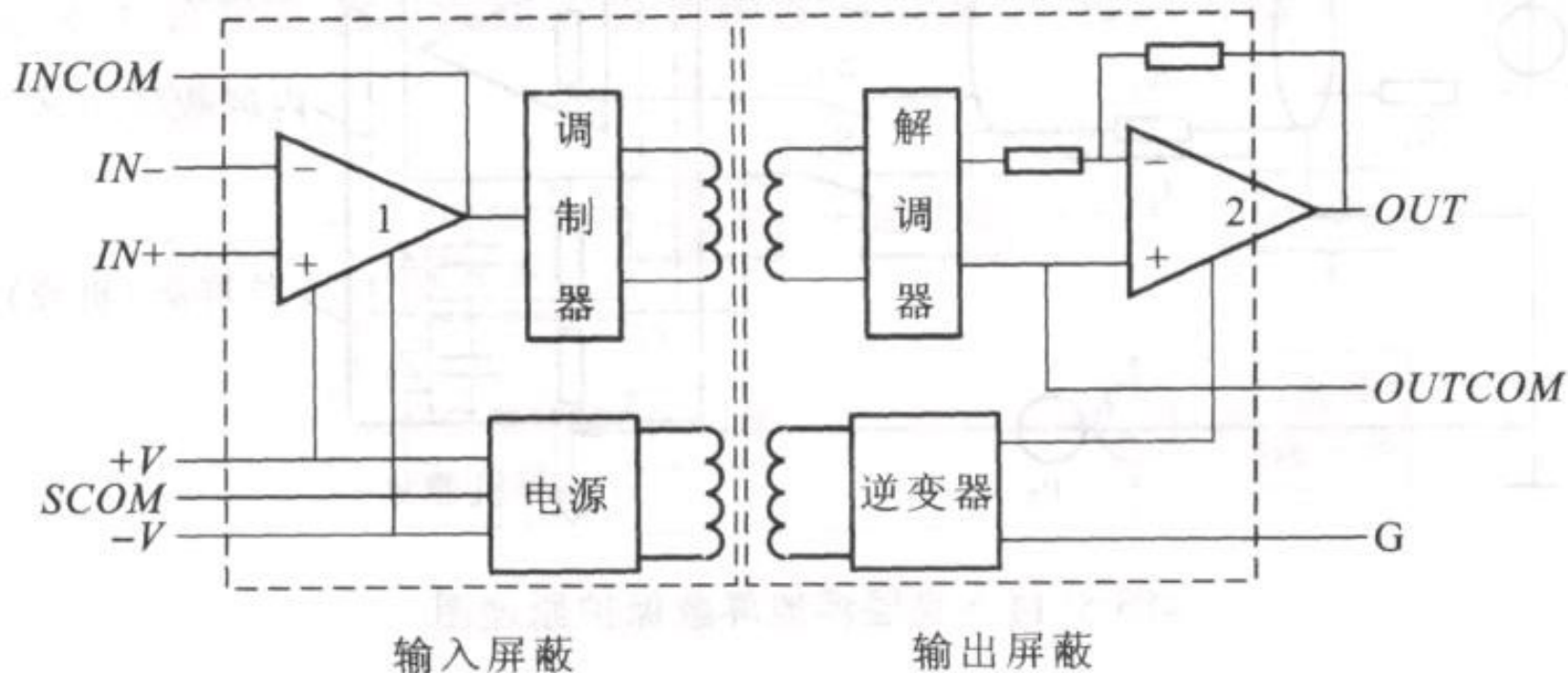
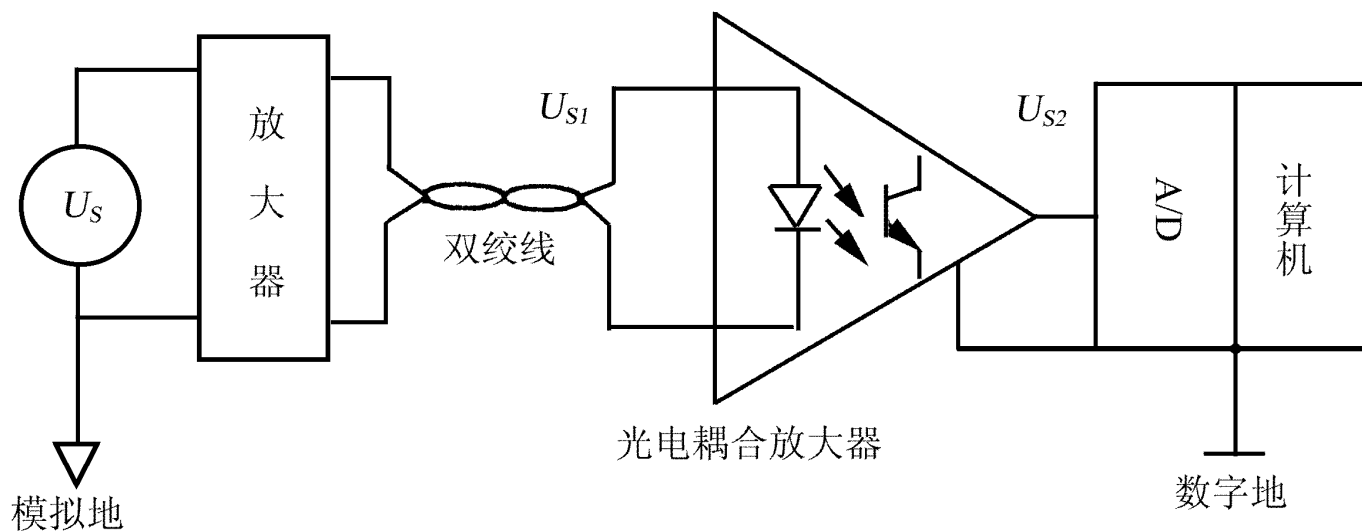


图 5.9 隔离放大器

② 光电耦合

最简单的隔离方法是选用光电耦合器。光电耦合器的输入输出具有较高的绝缘电阻。光电隔离是利用光电耦合器完成信号的传送，实现输入地与输出地的隔离，如下图所示。注意，光电隔离前后两部分电路应分别采用两组独立的电源。



如果将光电耦合器与压频(V/F)变换器、频压(F/V)变换器组合起来，形成组合式模拟隔离器，不仅隔离方便，信号抗干扰性强，而且对模拟信号的远距离传送尤为有效。因此这种方法受到广泛重视，其构成原理如图5.10所示。

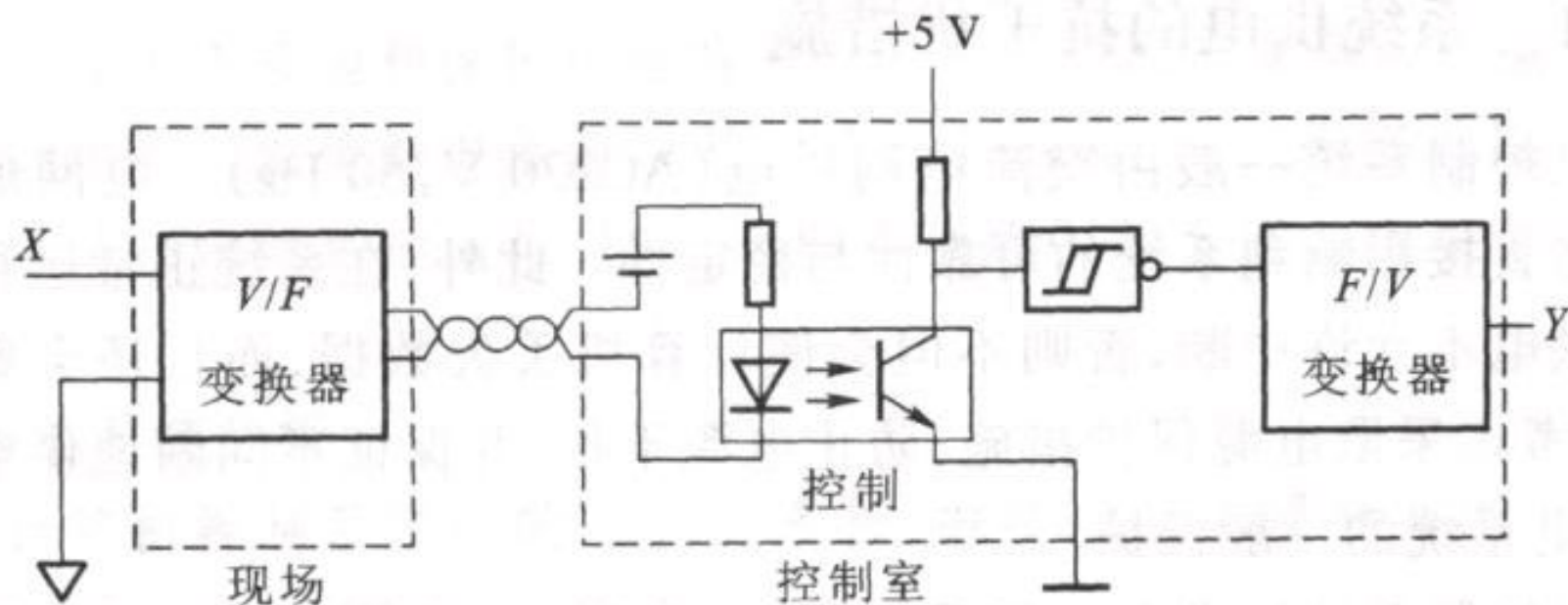
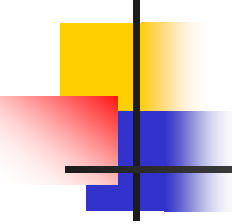


图 5.10 脉冲光电耦合



根据所用的器件及电路不同，通过光电耦合器既可以实现模拟信号的隔离，也可实现数字信号的隔离。

选用光电耦合器实现模拟信号的隔离时，要特别注意隔离前后信号线性度的变化。

光电耦合器的线性范围有限，线性度一般为**0.1%** 量级，一定程度上限制了它在模拟信号隔离方面的应用。

光电耦合器可方便的用于数字信号的隔离。隔离电压一般为**1500VDC (1分钟)**以上。



(3) 利用浮地屏蔽

所谓浮地，就是利用屏蔽方法使信号的“模拟地”浮空，从而达到抑制共模干扰的目的。

采用双层屏蔽三线采样(S1、S2、S3)浮地隔离放大器来抑制共模干扰电压。如图5.11所示。

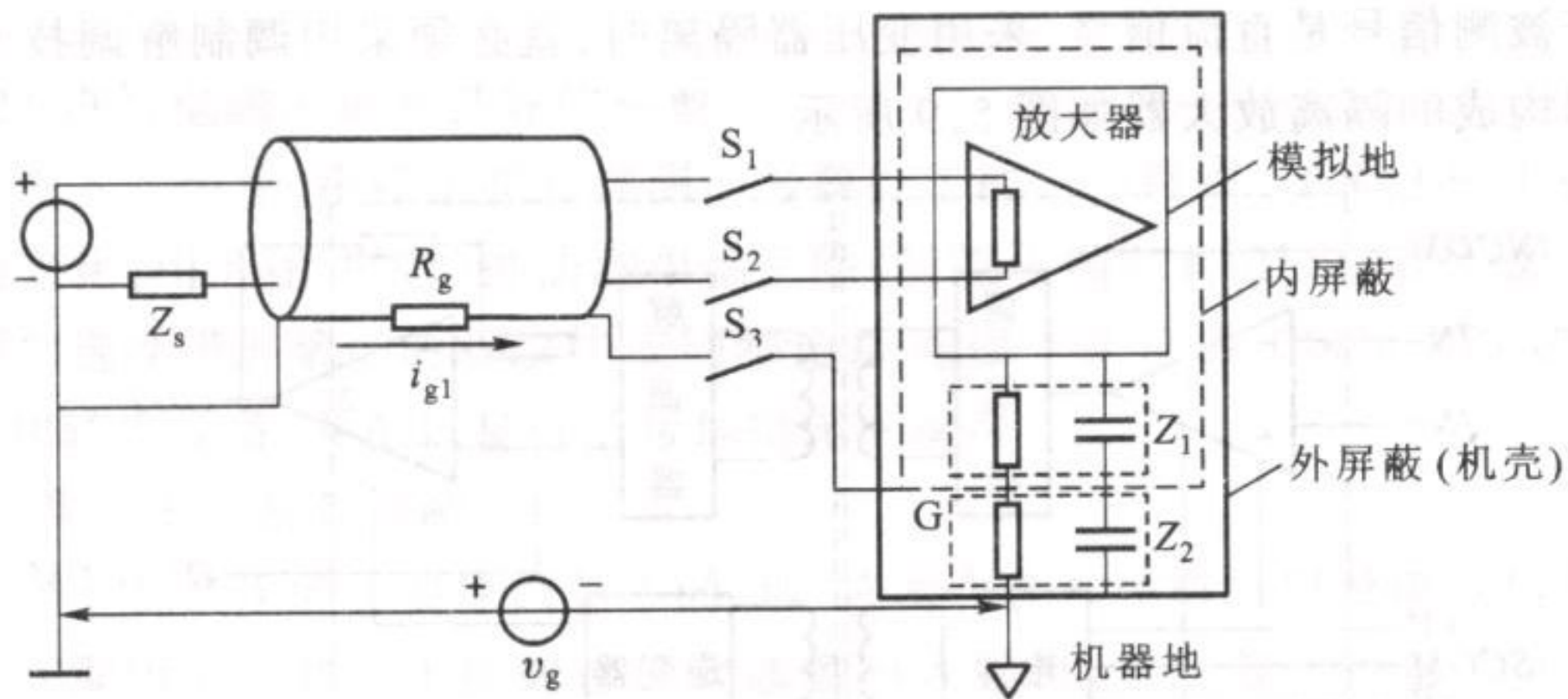
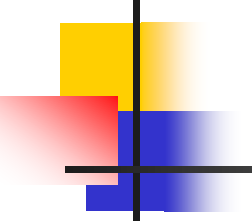


图 5.11 双层浮地屏蔽保护原理图



这种方式之所以具有较高的抗共模干扰能力，其实质在于提高了共模输入阻抗，减少了共模电压在输入回路中引起的共模电流，从而抑制共模干扰的来源。

在图5.11中， Z_s 为信号源内阻， R_g 为信号线的屏蔽电阻， Z_1 为放大器输入级对内屏蔽层的漏阻抗， Z_2 为内屏蔽层与外屏蔽层之间的漏阻抗。

屏蔽线 R_g 和 Z_2 为共模电流 i_{g1} 提供了通路，但这一电流不会产生串模干扰。共模电压 V_g 中只有在屏蔽线 Z_2 上的压降(只占 V_g 的一小部分)会在模拟量输入回路中产生共模干扰电流。这数值很小，因而对共模干扰的抑制很起作用。



5.4 长线传输抗干扰措施

在计算机控制系统中，由于数字信号的频率很高，很多情况下传输线要按长线对待。例如，对于**10ns**级的电路，几米长的连线应作为长线来考虑，而对于**ns**级的电路，**1**米长的连线就要当作长线处理。



1. 长线传输的干扰

信号在长线中传输时会遇到三个问题：一是长线传输**易受到外界干扰**；二是具有**信号延时**；三是高速度变化的信号在长线中传输时，还会出现**波反射现象**。

当信号在长线中传输时，由于传输线的分布电容和分布电感的影响，信号会在传输线内部产生向前进的电压波和电流波，称为入射波；另外，如果传输线的终端阻抗与传输线的波阻抗不匹配，那么当入射波到达终端时，便会引起反射；同样，反射波到达传输线始端时，如果始端阻抗不匹配，还会引起新的反射。

这种信号的多次反射现象，使信号波形失真和畸变，并且引起干扰脉冲。



2. 长线抗干扰措施

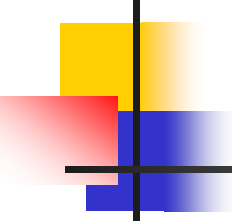
采用终端阻抗匹配或始端阻抗匹配，
可以消除长线传输中的波反射或者把它
抑制到最低限度。



5.5 系统供电与接地的抗干扰措施

5.5.1 系统供电的抗干扰措施

5.5.2 系统接地的抗干扰措施



5.5.1 系统供电的抗干扰措施

计算机控制系统一般由交流电网供电(AC 220V, 50Hz)。电网的干扰、频率的波动将直接影响到系统的可靠性与稳定性。

此外，在系统正常运行过程中，计算机的供电不允许中断，否则不但会使计算机丢失数据，而且还会影响生产。

因此，必须考虑采取电源保护措施，防止电源干扰，并保证不间断地供电。

1. 系统供电的一般保护

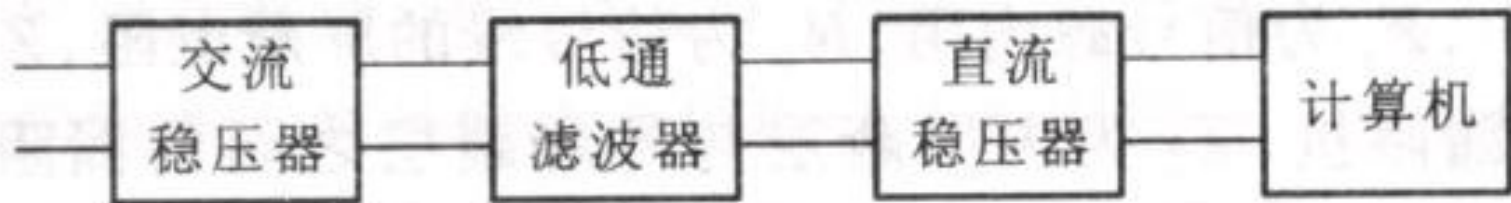
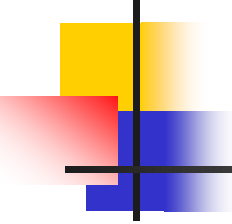
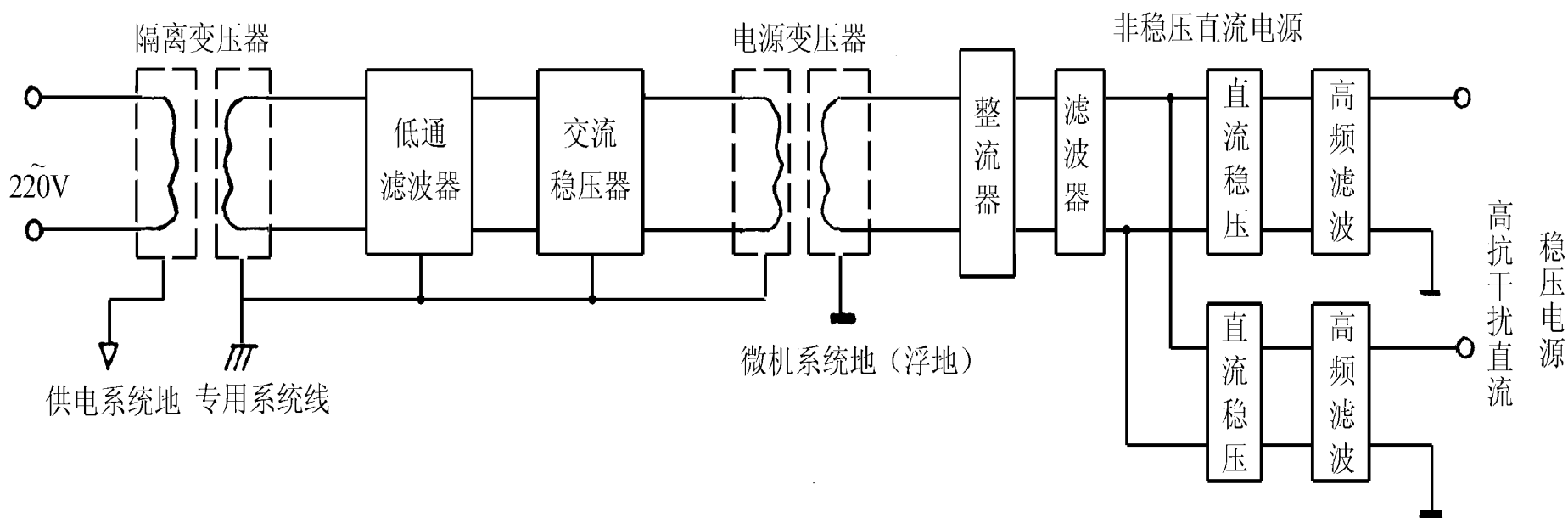


图 5.12 一般计算机控制系统供电结构



开关电源用调节脉冲宽度的办法调整直流电压，调整管以开关方式工作，功耗低。这种电源用体积很小的高频变压器代替了一般线性稳压电源中的体积庞大的工频变压器，对电网电压的波动适应性强，抗干扰性能好。

更一般地，计算机测控系统常用的直流稳压电源如下图所示。该电源采用了双隔离、双滤波和双稳压措施，具有较强的抗干扰能力，可用于一般工业控制场合。



抗干扰直流稳压电源示意图



(1) 隔离变压器

隔离变压器的作用有两个：一是防止浪涌电压和尖峰电压直接窜入而损坏系统；二是利用其屏蔽层阻止高频干扰信号窜入。



(2) 低通滤波器

各种干扰信号一般都有很强的高频分量，低通滤波器是有效的抗干扰器件，它允许工频**50Hz**电源通过，而滤掉高次谐波，从而改善供电质量。



(3) 交流稳压器

交流稳压器的作用是保证供电的稳定性，防止电源电压波动对系统的影响。

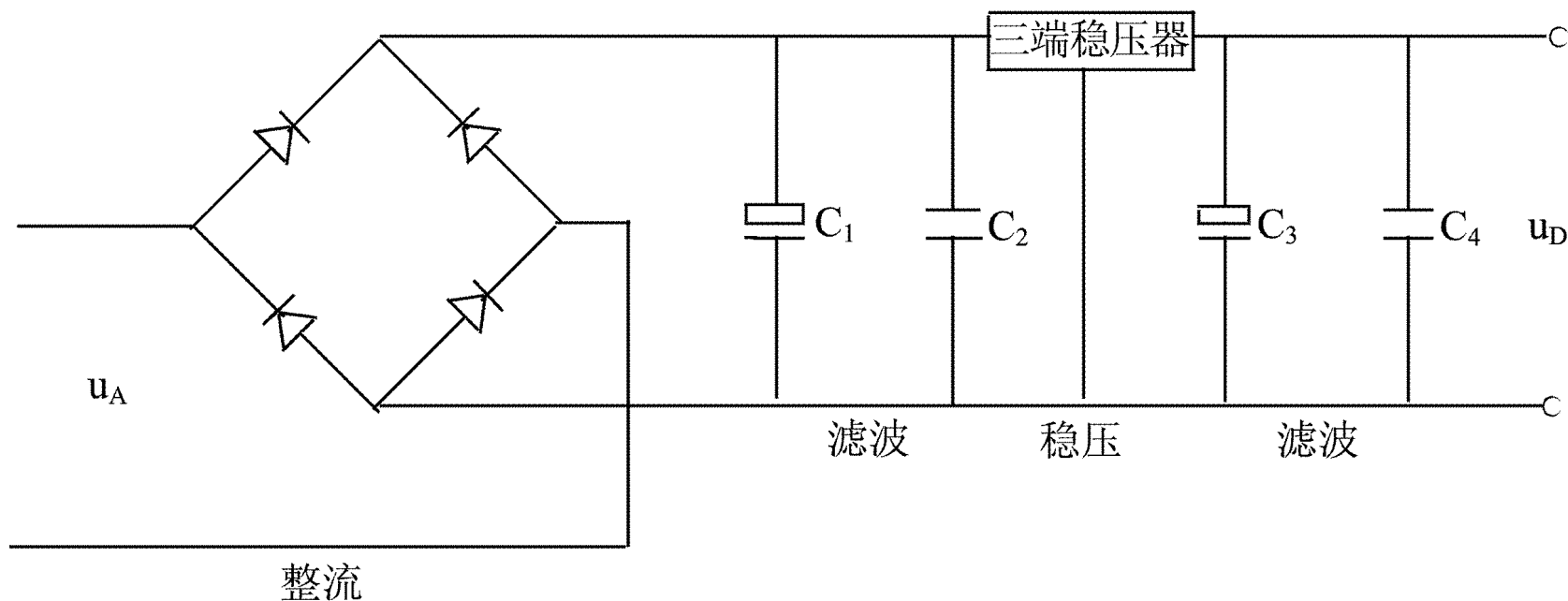


(4) 电源变压器

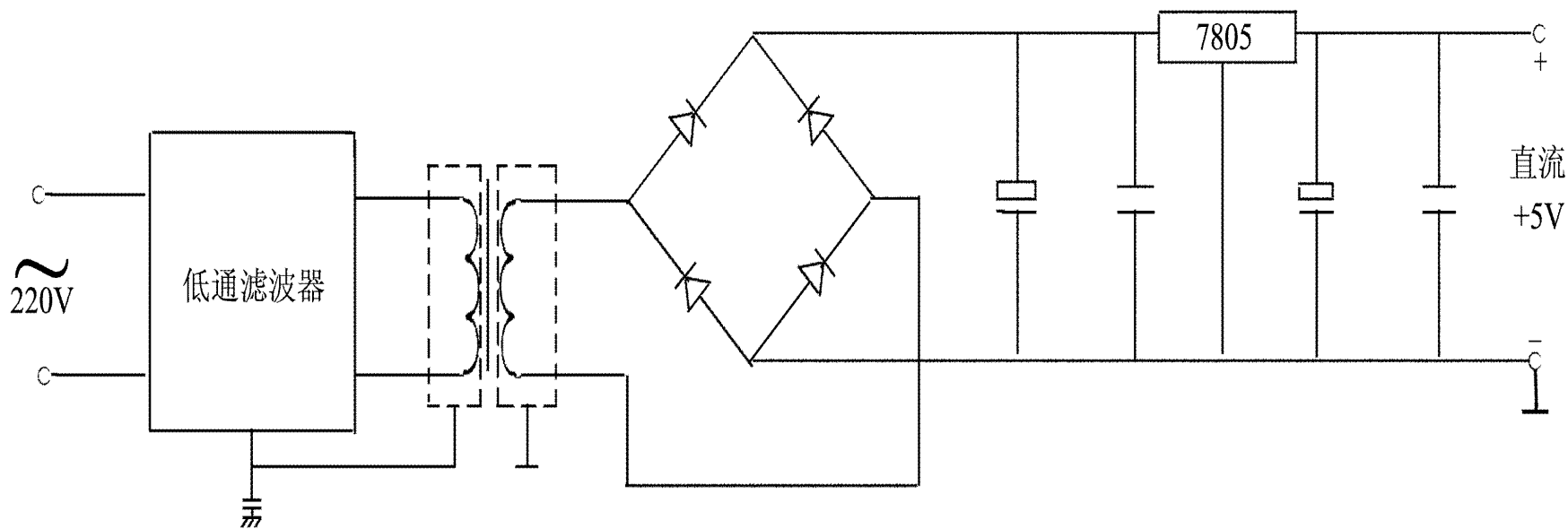
电源变压器是为直流稳压电源提供必要的电压而设置的。为了增加系统的抗干扰能力，电源变压器做成双屏蔽形式。

(5) 直流稳压系统

直流稳压系统包括整流器、滤波器、直流稳压器和高频滤波器等几部分，常用的直流稳压电路如下图所示。



简易直流稳压电源结构



简易直流稳压电源示意图

2. 电源异常的保护

由于计算机控制系统的供电不允许中断，所以一般采用不间断电源**UPS**，其原理如图5.13所示。

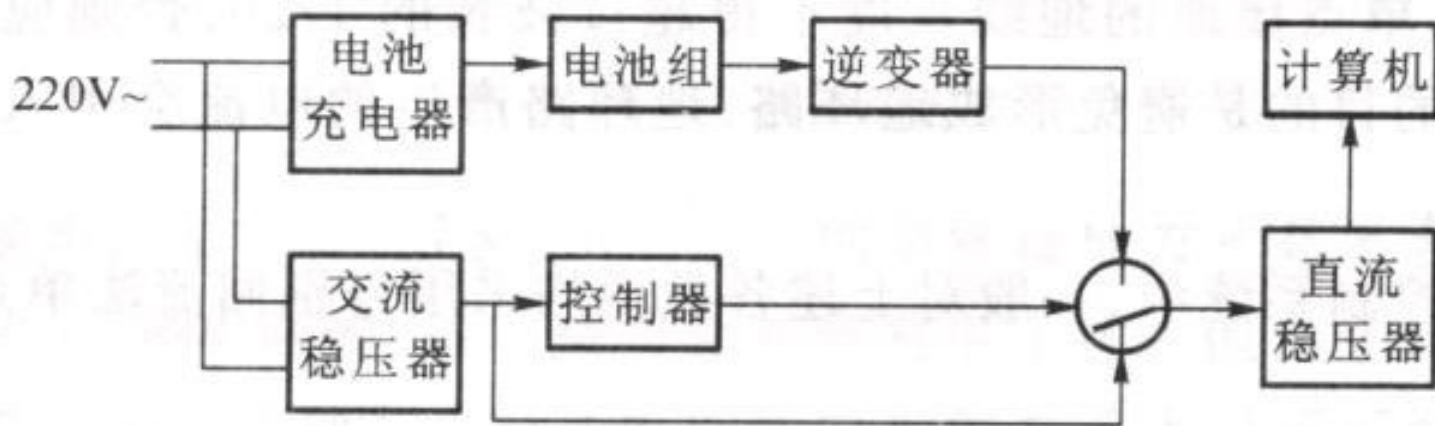
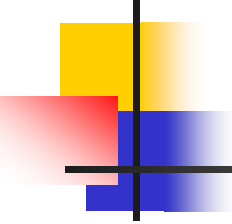


图 5.13 具有不间断电源的供电结构



正常情况下由交流电网供电，同时给电池组充电。如果交流电供电中断，电池组经逆变器输出交流代替外界交流供电，这是一种无触点的不间断的切换。**UPS**是用电池组作为后备电源。如果外界交流电中断时间长，就需要大容量的蓄电池组。

为了确保供电安全，可以采用交流发电机或第二路交流供电线路。一般采用连续备用供电系统，由柴油发电机供电，在两种供电系统转换期间，由电池完成平稳过渡，以避免电源更换对系统的冲击。



3. 计算机系统的掉电保护

对于允许暂时停运的计算机系统，希望在电源掉电的瞬间，系统能自动保护**RAM**中的有用信息和系统的运行状态，以便当电源恢复时，能自动从掉电前的工作状态恢复。

掉电保护工作包括电源监控和**RAM**的掉电保护两个任务。



(1) 电源监控电路

电源监控电路用来监测电源电压的掉电，以便使**CPU**能够在电源下降到所设定的门限值之前完成必要的**数据转移**和**保护工作**，并同时**监控电源何时恢复正常**。

电源监控电路有很多种类和规格，如美国**MAXM**公司生产的**μP**监控电路具有下列功能：**(1)**上电复位；**(2)**监控电压变化，可从**1.6V**到**5V**；**(3)**看门狗**Watchdog**功能；**(4)**片使能；**(5)**备份电池切换开关等等。精度有**±1.5%**和小于**±2.5%**各档。复位方式有**高有效**和**低有效**两种。



(2) 掉电保护

RAM一旦停电，其内部的信息将全部丢失，因而影响系统的正常工作。为此，在计算机控制系统中，经常使用镍电池，对**RAM**数据进行掉电保护。有不少**CMOS**型**RAM**芯片在设计时就已考虑并赋予它具有微功耗保护数据的功能，如**6116**，**6264**，**62256**等芯片，当它们的片选端为高电平时，即进入微功耗状态，这时只需**2V**的电源电压，**5~40 μ A**的电流就可保持数据不变。



5.5.2 系统接地的抗干扰措施

计算机系统接地的目的有两个：一是抑制干扰，使计算机稳定地工作；二是保护计算机、电器设备和操作人员的安全。

但不恰当的接地不但不能抑制干扰，反而会造成极其严重的干扰，因此，**正确的接地对计算机控制系统极为重要**。

通常接地可分为工作接地和保护接地两大类。保护接地主要是为了避免操作人员因绝缘层的损坏而发生触电危险以及保证设备的安全；工作接地则主要是为了保证控制系统稳定可靠地运行，防止地形成环路引起干扰。本小节主要介绍工作接地。



1. 接地系统分析

由于计算机控制系统中的“地”有多种，故接地线主要分为以下几类：

- 模拟地
- 数字地
- 安全地
- 系统地
- 交流地



模拟地

模拟地是系统中的传感器、变送器、放大器、**A / D**和**D / A**转换器中模拟电路的零电位。由于模拟信号往往有精度要求，有时信号比较小且直接与生产现场相连接，所以必须认真地对待。



数字地

数字地，也叫逻辑地，是计算机中各种数字电路的零电位，为避免对模拟信号造成数字脉冲的干扰，数字地应与模拟地分开。



安全地

安全地又称为保护地或机壳地，其目的是让设备机壳(包括机架、外壳、屏蔽罩等)与大地等电位，避免因机壳带电而影响人身及设备安全。



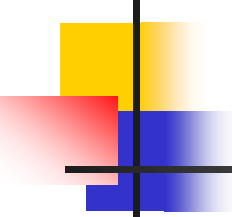
系统地

系统地是上述几类地的最终回流点，直接与大地相连。由于地球是体积非常大的导体，其静电容量也非常大，电位比较恒定，所以人们将它的电位作为基准电位，即零电位。



交流地

交流地是计算机交流供电电源地，即动力线地，其地电位很不稳定。在交流地上任意两点之间往往很容易就有几伏至几十伏的电位差存在，还容易带来各种干扰。因此，交流电绝对不允许与上述几类地相连，并且交流电源变压器的绝缘性能要好，以绝对避免漏电现象。



由上可见，正确的接地十分重要。

根据接地理论，**低频电路(频率小于1MHz)**其布线和元器件间的电感影响较小，地线阻抗不大，而接地电路形成的环流有较大的干扰作用，因而**应采用一点接地**，防止地环流的产生。

高频电路(频率大于10MHz)其布线与元器件间的电感使得地线阻抗变得很大。为了降低地线阻抗，应采用**就近多点接地**。

介于低频与高频之间时，当地线长度不超过信号波长的 $1/20$ 时，可以采用一点接地，否则就要多点接地。

单点接地的目的是避免形成地环路，地环路产生的电流会引入到信号回路内线形成干扰。

在计算机控制系统中，一般对上述各类地均采用分别回流法单点接地，如图5.14所示。

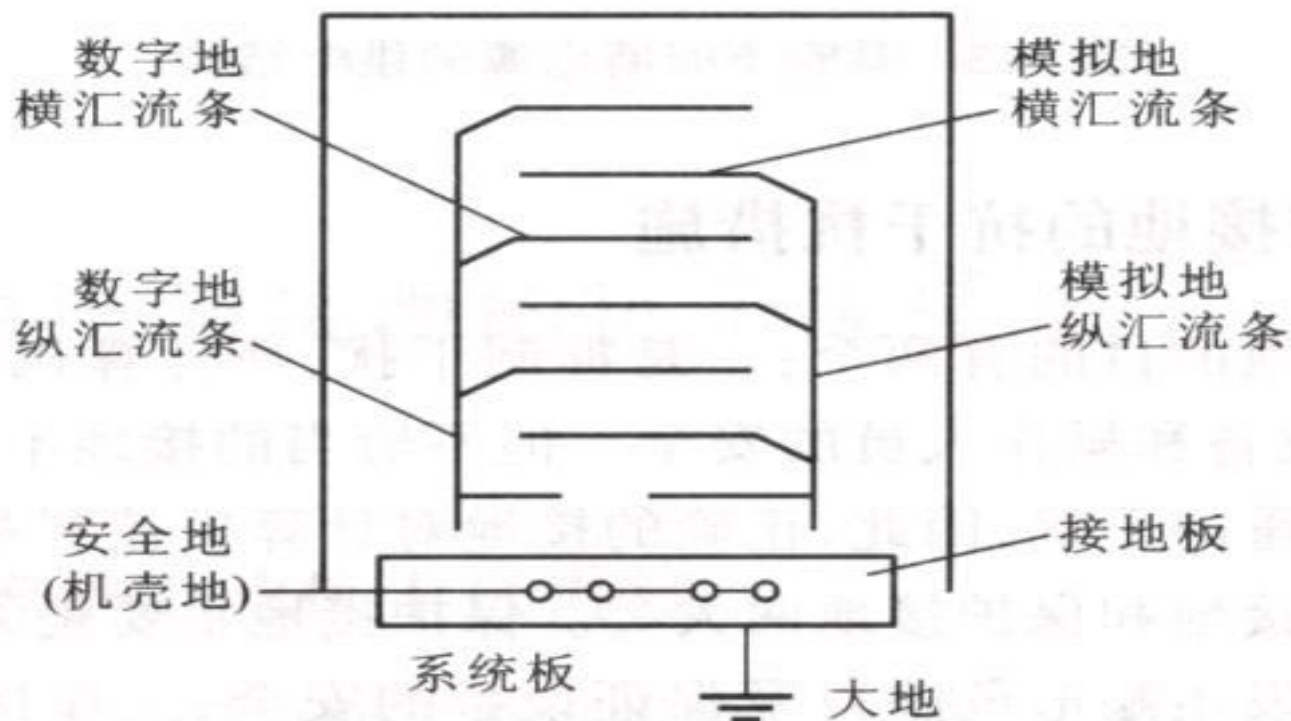
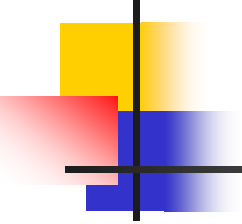


图 5.14 分别回流法接地示例



回流线往往采用由多层铜导体构成的汇流条而不是一般的地线，这种汇流条的截面呈矩形，各层之间有绝缘层，可以减少自感。

在要求较高的系统中，分别采用横向及纵向汇流条，机柜内各层机架间分别设置汇流条，以最大限度地减少公共阻抗的影响。

在空间上将数字地汇流条与模拟地汇流条间隔开来，以避免通过汇流条间电容产生耦合。

安全地(机壳地)始终是与信号地(数字地、模拟地)分离的。这些地只在最后汇聚一点，并常常通过铜接地板交汇，然后用线径不小于 300mm^2 的多股铜软线焊接在接地极上后深埋于地下。



2. 低频接地技术

实际的计算机控制系统中信号频率大部分都在1MHz以下，在此只讨论低频接地而不涉及高频问题。

(1) 一点接地方式

信号地线的接地方式应采用一点接地。常用的有串联接地(或称共同接地)和并联接地(或称分别接地)两种接法。

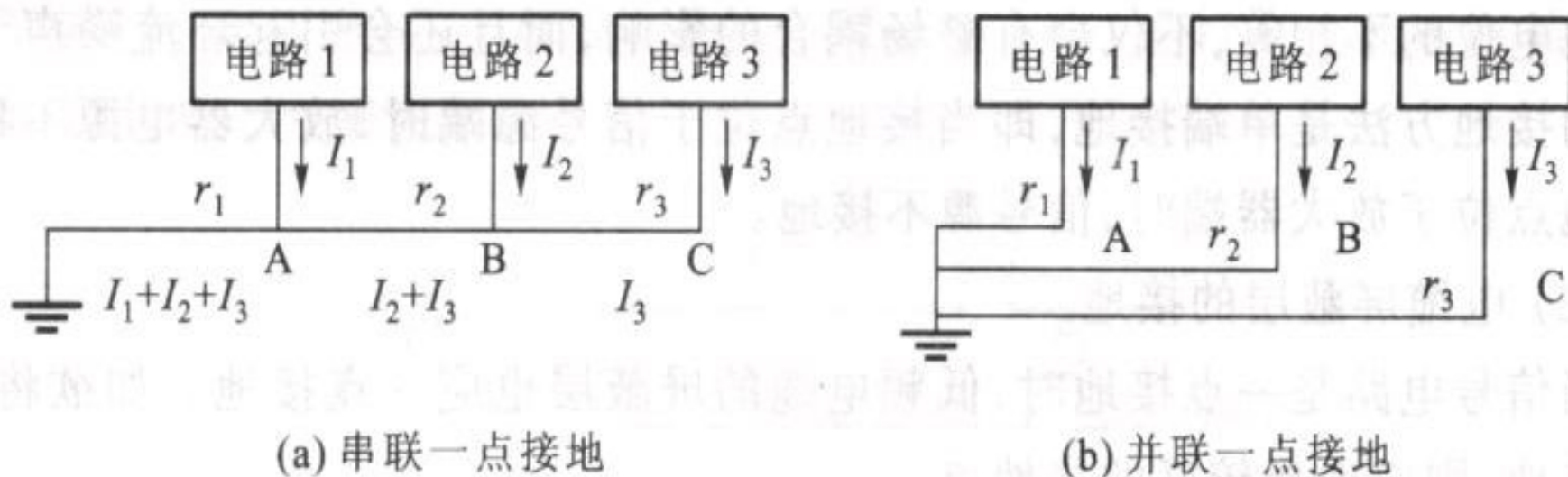
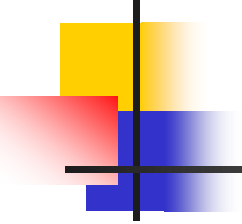
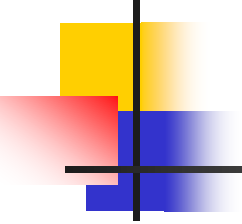


图 5.15 一点接地方式



并联接地方式在低频时最适用。其缺点是需要连很多根地线，且用起来比较麻烦。



从防止噪声的角度看，图5.15(a)所示的串联接地方式是不合理的，因为地电阻 r_1 、 r_2 和 r_3 是串联的，各电路间相互会发生干扰。但由于比较简单，采用此方式的仍然较多。

这种方式当各电路的电平相差不大时还可勉强使用，但当各电路的电平相差很大时就不能再使用，因为高电平将会产生很大的地电流并干扰到低电平电路中去。

采用这种接地方式还应注意将低电平的电
路放在距接地点最近的地方，如图5.15(a)中最接近地电位的A点上。



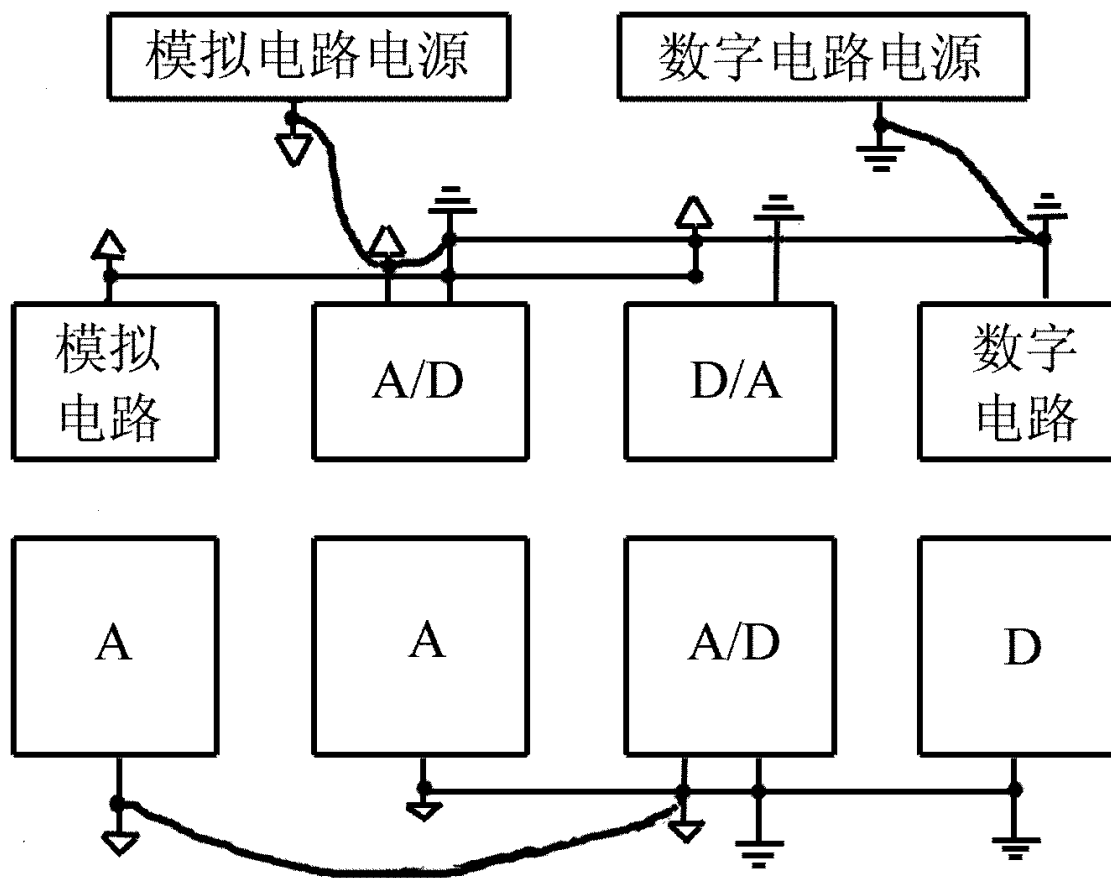
(2) 模拟地和数字地的连接

数字地主要是指TTL或CMOS芯片、I/O接口芯片、CPU芯片等数字逻辑电路的地端，以及A/D、D/A转换器的数字地。

模拟地主要是指放大器、采样/保持器和A/D、D/A中模拟信号的接地端。

在控制系统中，数字地和模拟地必须分别接地，然后仅在一点处把两种地连接起来。其连接线路如下图所示。

模拟地与数字地的连接示意图





(3) 实用的低频接地

为兼顾噪声标准和简单易行，一般在低频时采用串联一点接地的综合接法，即分组接法，将低电平电路经一组共同的地线接地，高电平电路经另一组共同地线接地，也就是说在同一组中的电路功率、噪声电平均相差不大。

在一般的过程计算机控制系统中至少有三条分开的地线 (为避免噪声耦合，三种地线应分开)，如图5.16所示。

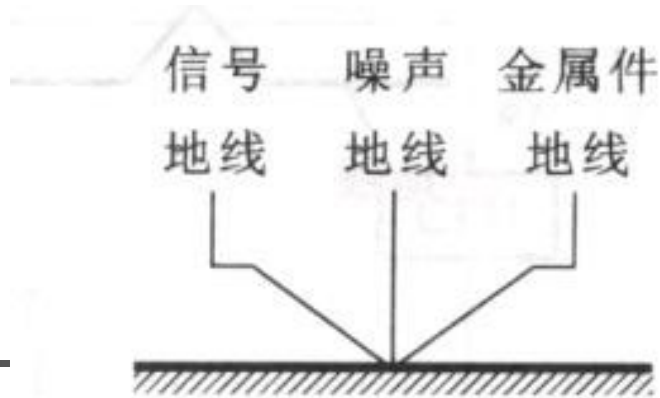


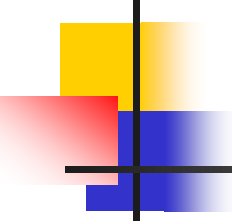
图 5.16 实用低频接地方式

一条是低电平电路地线；一条是继电器、电动机等的地线(称为“噪声”地线)；一条是设备机壳地线(称为“金属件”地线)。

若设备使用交流电源，则电源地线应和金属件地线相连。这三条地线应在一点连接接地。使用这种接地方法可解决计算机控制系统的大部分接地问题。



3. 输入通道的接地技术



(1) 电路一点地基准

实际的模拟量输入通道可以简化成由信号源、输入馈线和输入放大器三部分组成。

这部分接地常见的错误是将信号源与输入放大器分别接地形成双端接地。

正确的接地方法是单端接地。



(2) 电缆屏蔽层的接地

当信号电路是一点接地时，**低频电缆的屏蔽层也应一点接地**。如欲将屏蔽一点接地，则应选择较好的接地点。

4. 主机外壳接地



机芯浮空是为了提高计算机的抗干扰能力，将主机外壳作为屏蔽罩接地。而把机内器件架与外壳绝缘，**绝缘电阻大于 $50\text{ M}\Omega$** ，即机内信号地浮空，如图所示。

这种方法安全可靠，抗干扰能力强，但制造工艺复杂，一旦绝缘电阻降低就会引入干扰。

图 5.17 主机外壳接地,机芯浮空

5. 多机系统的接地

在计算机网络系统中，多台计算机相互通信、资源共享。如果接地不合理，将使整个网络系统无法正常工作。若几台计算机的距离比较近(如安装在同一机房内)，可采用类似图5.18所示的**多机一点接地**的方法。各机柜用绝缘板垫起来，以防多点接地。

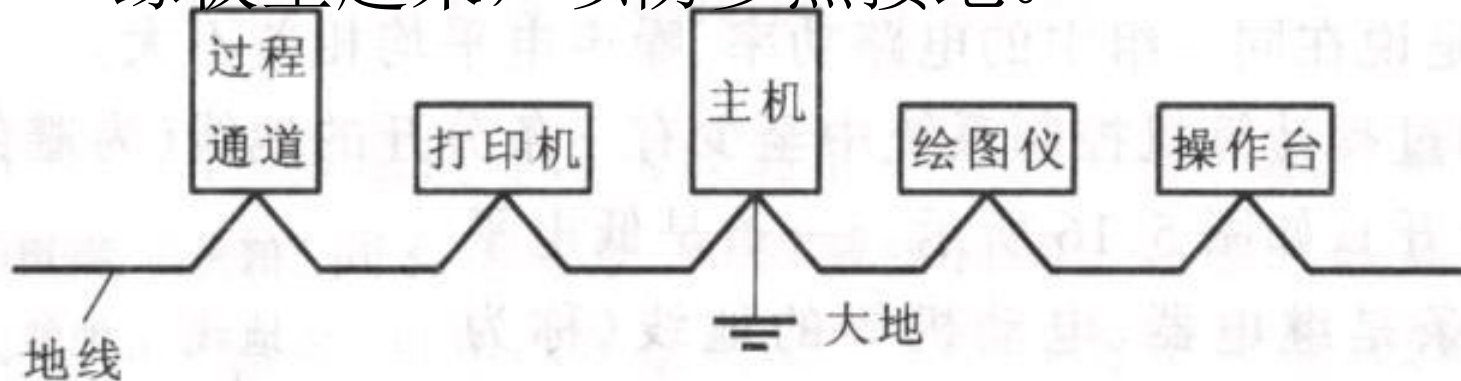


图 5.18 多机系统的接地

对于远距离的计算机网络，多台计算机之间的数据通信，通过隔离的办法把地分开。例如采用变压器隔离技术、光电隔离技术和无线电通信技术等。



光电隔离数据收发器

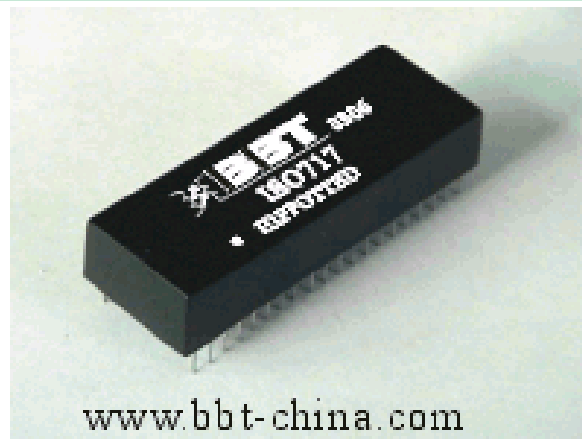
ISO717

★ 产品特点

ISO717是单+5V供电，输入/输出完全隔离的RS232+RS485数据通讯接口，内部含二路独立的RS232及一路半双工RS485数据收发器，传输速率20Kbps，隔离电压2500Vrms，应用于工控设备、仪器仪表等。

★ 电性参数 @25℃

供电电压	5V±5%
工作电流	100mA
隔离阻抗	10000MΩ
隔离电压	2500Vrms
工作温度	-10℃~85℃
存储温度	-40℃~125℃
传输速率	20Kbps



www.bbt-china.com

TTL输入下拉电流	40A
TTL输出低电平(I _{out} =3mA)	0.2~0.4V
TTL输出高电平(I _{out} =1mA)	3.5~V _{cc} -0.2V
RS232输入电平	-30V~30V
RS232输出电平	-15V~15V
RS232输入阻抗	3~7K



解决供电系统和接地的干扰，应防止地环流的产生，消除地回路电流，需要采用一点接地。

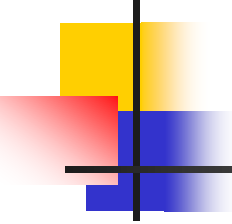
但在工程实际中，一点接地往往很难实现。例如有些仪表为了确保人身安全必须接地；有些传感器必须接地以获得准确的测量值；何况在一个大系统中，不该接地的所有地方都保证绝缘电阻**50MΩ**的起码要求也不容易满足，再加上机壳和屏蔽线等还处处存在着分布电容耦合，产生交流地回路电流。

因此采用信号隔离是一种更实际、有效的解决办法。采用各种隔离模块即是工程上的常用方法。



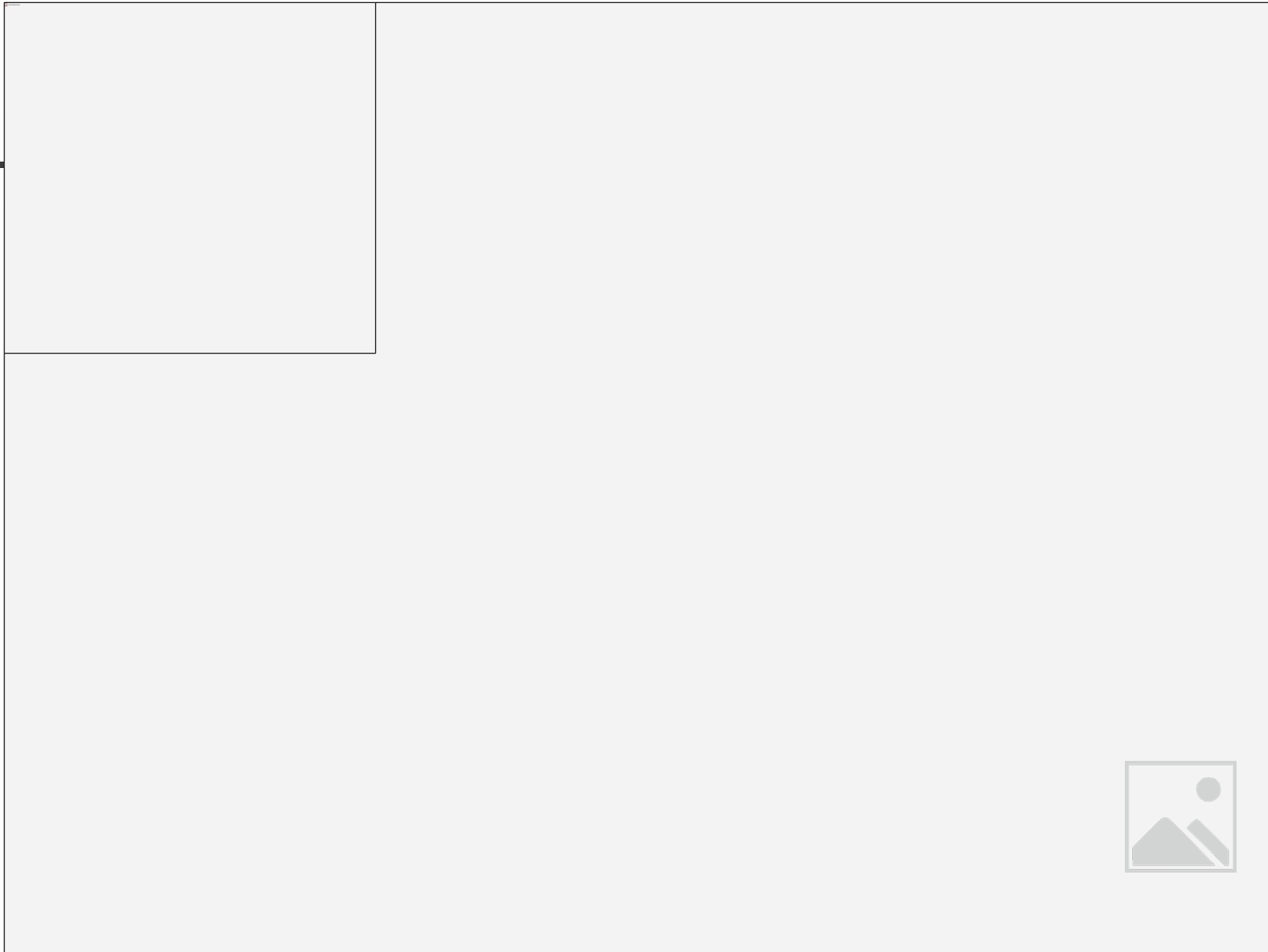
隔离模块的作用

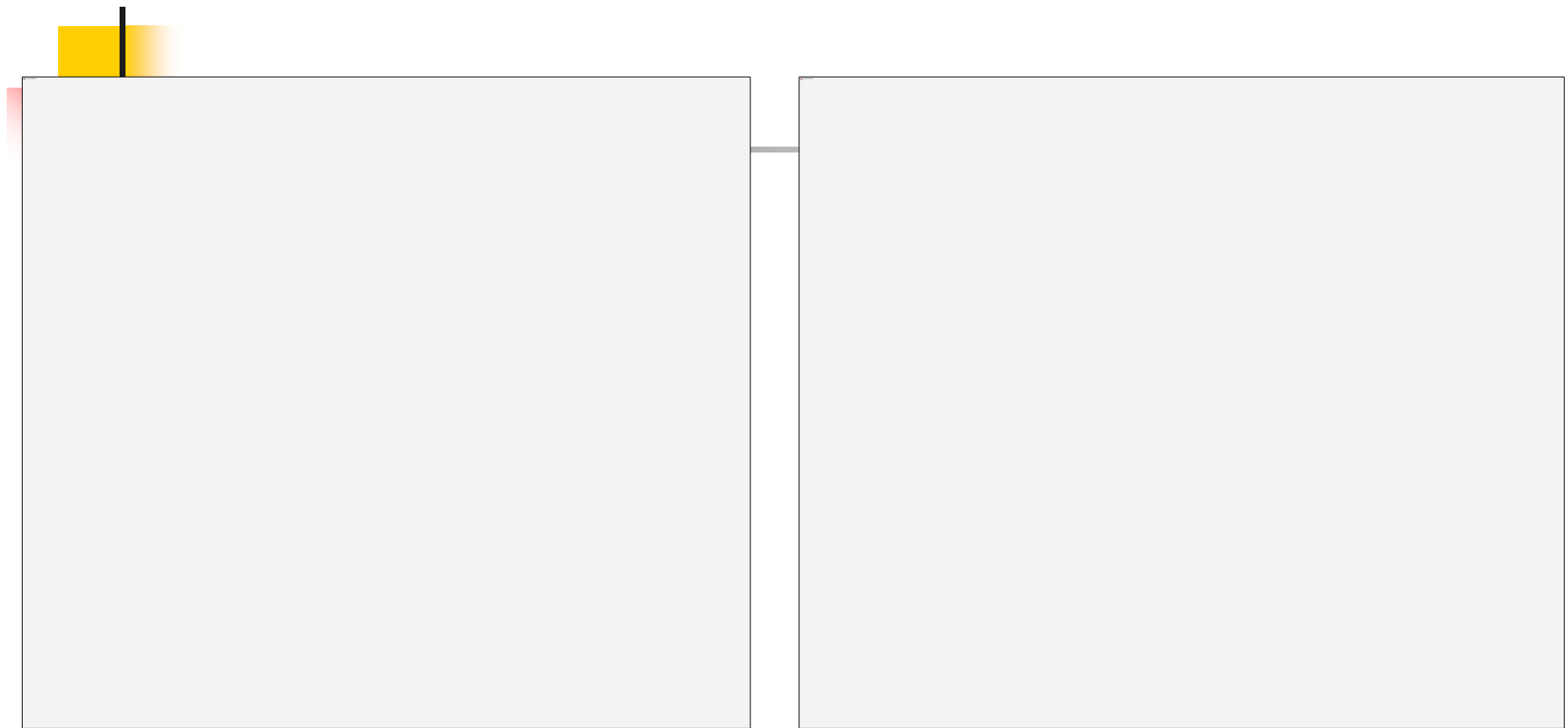
- 1.克服分散采集、信号传输距离远带来的地回路干扰、强电干扰问题。
- 2.解决多路信号进入同一计算机的数据采集板互相干扰问题。输入信号经过隔离模块后可以接成单端方式。
- 3.解决工业现场不同厂家来源，不同年代的仪器、仪表、设备、计算机之间的信号接口问题，实现模拟信号的自由连接。
- 4.解决传感器或仪表安装不当或传输线绝缘屏蔽不够使信号引入共模干扰的问题。
- 5.克服变频调速器带来的干扰。
- 6.防止带有强干扰和危险电势的信号直接进入计算机、PLC、DCS、变频调速器等测控设备造成损坏。
- 7.为电器开关柜、信号调理端子柜、仪表柜、变送器柜、PLC控制柜等提供一个体积小、安装紧凑、连线方便、整齐划一的设备安装方式。
- 8.给计算机配置功率输入输出接口能力。




隔离模块的种类很多，如标准信号隔离转换类、双极性电压隔离转换类、无源隔离类、隔离配电器类、小信号隔离放大转换类、高电压隔离转换类、频率电压隔离转换类、隔离变送类、开关量接口类、交流电量变送类、功率输出模块、标准分流器、电源类等。

可根据实际需要选用合适种类、参数的隔离模块。







隔离模块用于现场接线

5.6 采用监控定时器Watchdog 的抗干扰措施

监控定时器(监督定时器), 也称为看门狗定时器(Watchdog)。

使用Watchdog技术是一种防止尖峰脉冲干扰的有效方法。当侵入的尖峰脉冲干扰使程序编码的某一位(或数位)发生改变时, 程序所呈现的外在表现可能为“飞掉”、“死机”、“死循环”。此时, 利用监控定时器Watchdog技术可以帮助系统自动地恢复正常运行。

此方法是目前用于监视跟踪程序运行是否正常的有效方法之一, 并已得到广泛的应用。



5.7 软件抗干扰措施

对计算机控制系统的干扰，往往具有随机性且频谱范围很宽，因此，在采用硬件抗干扰措施的同时，还必须加入软件抗干扰措施，以确保系统的正常运行。

工业控制计算机的抗干扰性能根本在硬件结构。硬件的设计应当尽可能的完善，而软件的编制则要处处考虑到硬件可能的失效，可能受到的干扰等种种问题，在保证实时性、控制精度和控制功能的前提下，尽力提高系统的抗干扰性能。

软件抗干扰措施是硬件抗干扰措施的补充，把硬件和软件有机的结合起来，一个经得起长期现场考验的尽可能完善的工业控制系统才能实现。



5.7.1 软件出错对系统的危害



1. 数据采集不可靠

在数据采集通道，尽管已采取了一些必要的抗干扰措施，但在数据传输过程中仍然会有一些干扰侵入系统，造成采集的数据不准确形成误差。



2. 控制失灵

一般情况下，控制状态的输出是通过计算机控制系统的输出通道实现的。由于控制信号输出功率较大，不易直接受到外界干扰。但是控制状态的输出常常取决于某些条件状态的输入和条件状态的逻辑处理结果，而在这些环节中，由于干扰的侵入，可能造成条件状态偏差、失误，致使输出控制误差加大，甚至控制失灵。



3. RAM数据区发生变化

根据干扰窜入渠道、受干扰数据性质的不同，系统受损坏的状况不同，有的造成数值误差，有的使控制失灵，有的改变程序状态，有的改变某些部件(如定时器 / 计数器、串行口等)的工作状态等。



4. 程序运行失常

计算机系统引入强干扰后，程序计数器**PC**的值可能被改变，因此会破坏程序的正常运行。被干扰后的**PC**值是随机的，这将引起程序执行一系列毫无意义的指令，最终可能导致程序“死循环”。



常用软件抗干扰措施

5.7.2 数据采集误差的软件对策

5.7.3 输入/输出软件抗干扰措施

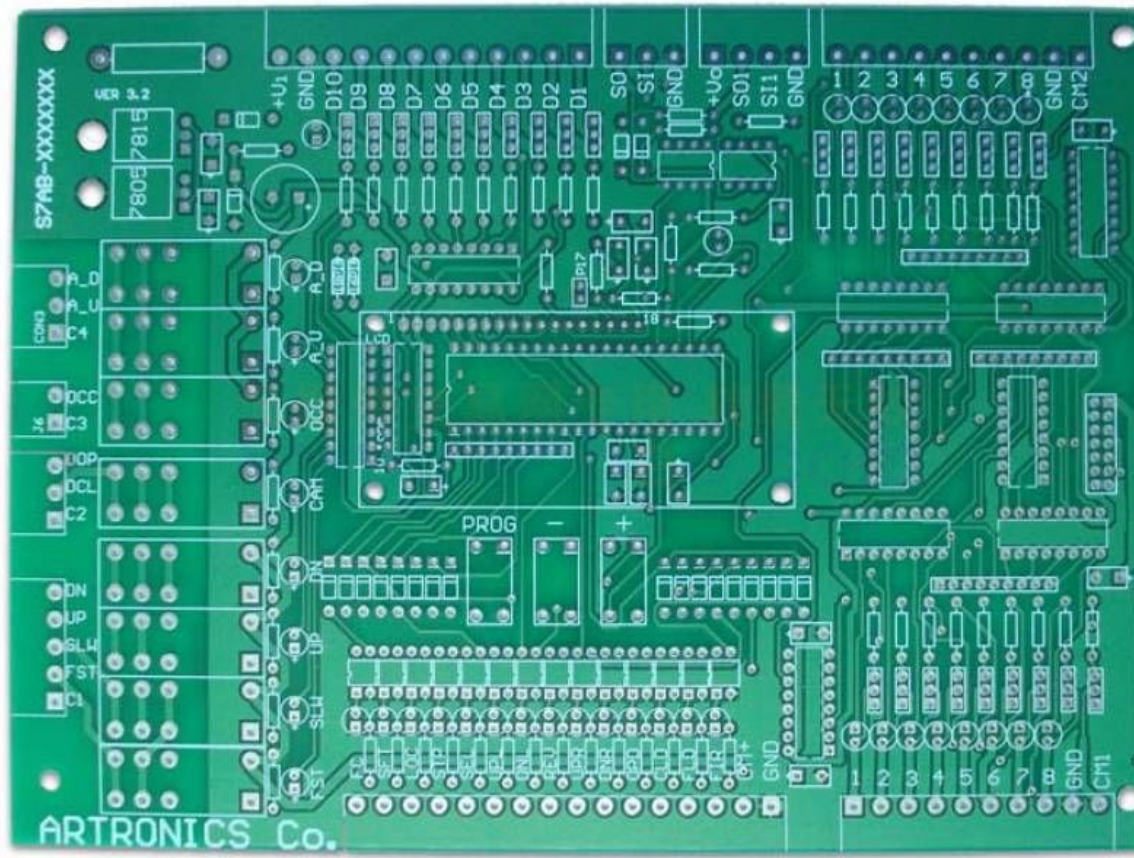
5.7.4 软件冗余技术

5.7.5 程序运行失常的软件抗干扰

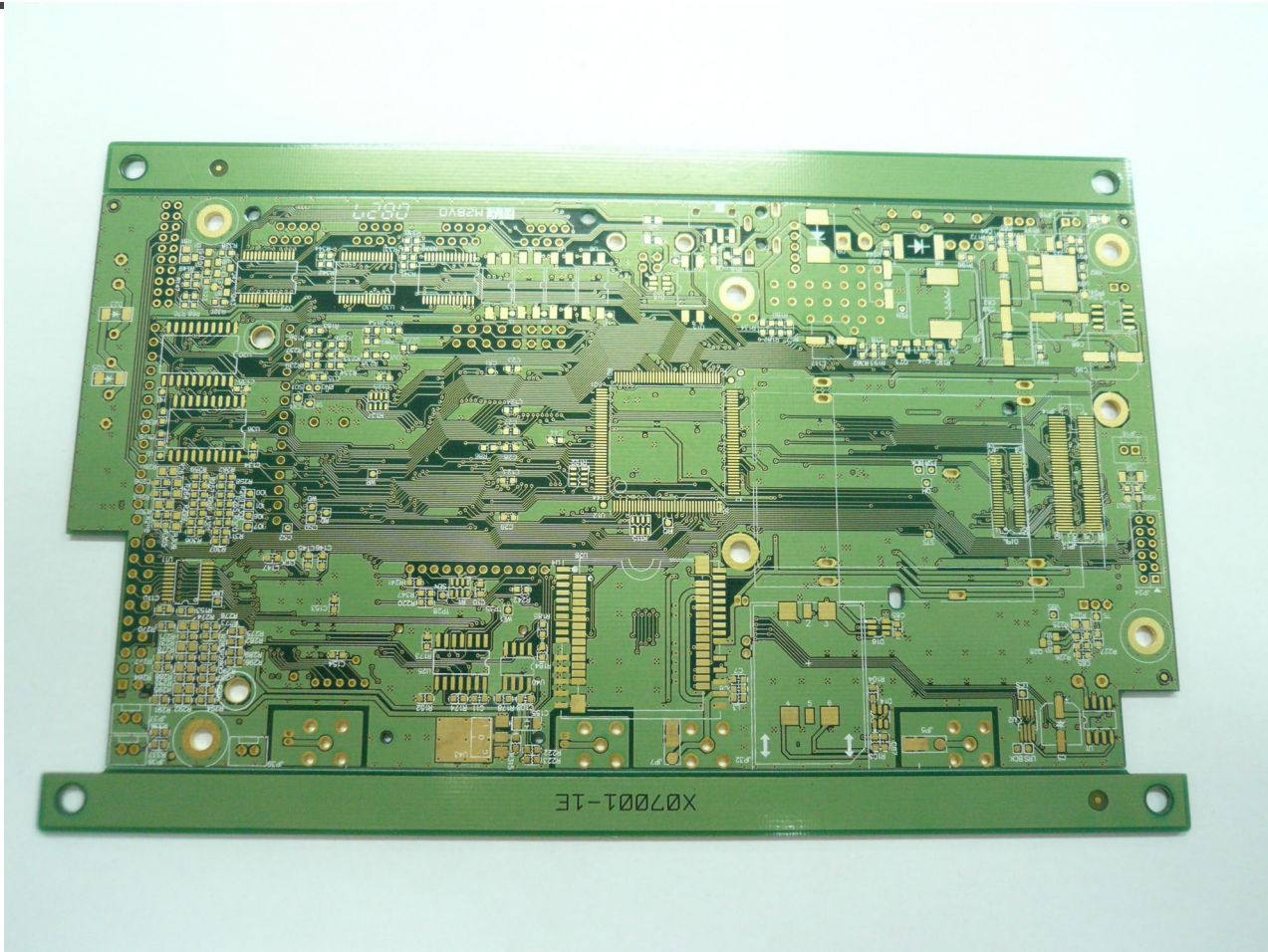
5.7.6 系统“死锁”的软件对策

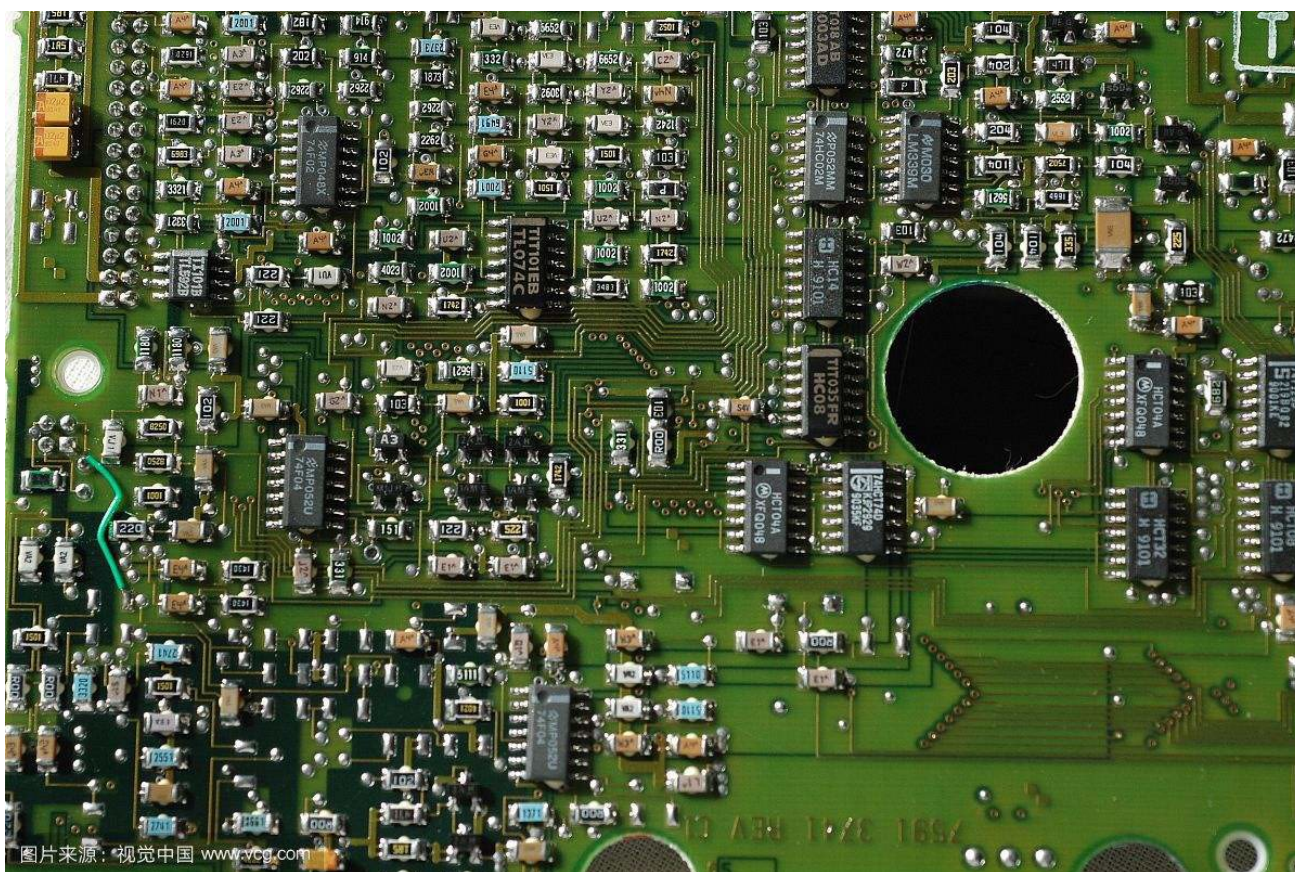
5.8 印刷电路板的抗干扰设计 原则

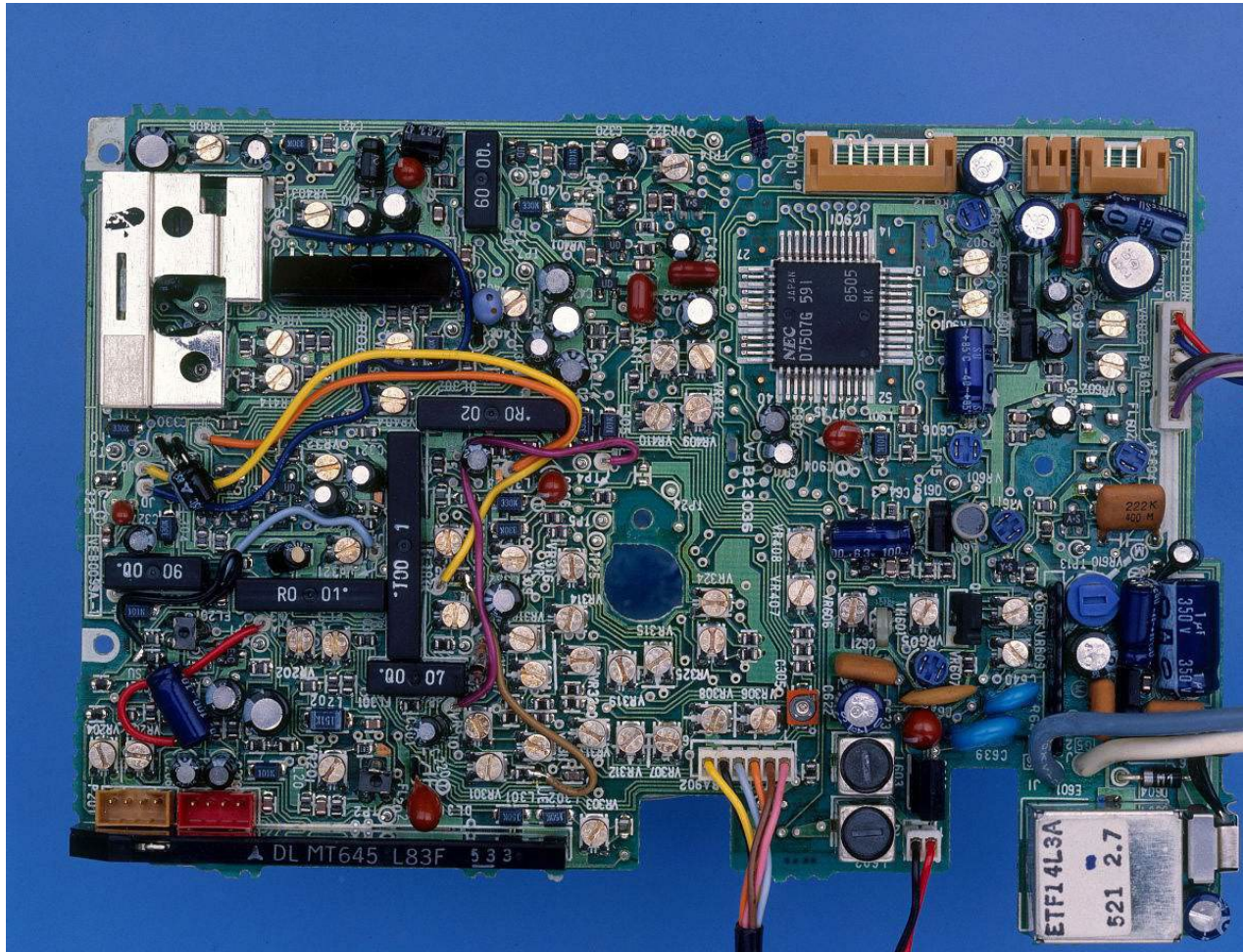
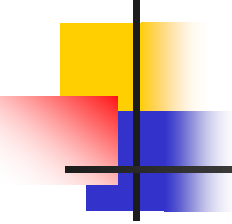


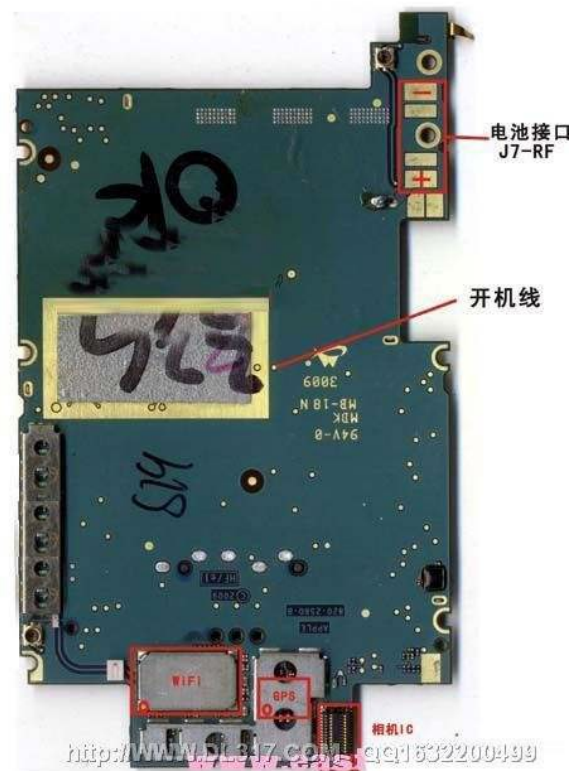
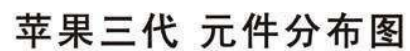


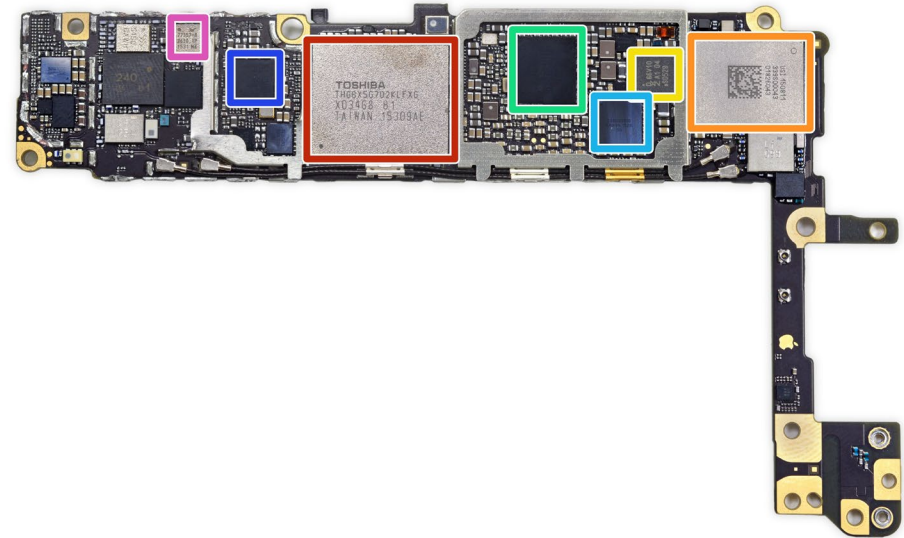














1. 电源线布置

- (1) 根据电流大小，尽量调宽导线布线。
- (2) 电源线、地线的走向应与信号的传递方向一致。
- (3) 在印制板的电源输入端应接上 $10\sim 100\mu\text{F}$ 的去耦电容。



2. 地线布置

- (1) 数字地与模拟地分开。
- (2) 接地线应尽量加粗，至少能通过3倍于印制板上的允许电流，一般应达2~3mm。
- (3) 接地线应尽量构成死循环回路，这样可以减少地线电位差。



3. 去耦电容配置

- (1) 印制板电源输入端跨接 $10\sim 100\mu\text{F}$ 的电解电容。
- (2) 每个集成芯片的Vcc和GND之间跨接一个 $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ 的陶瓷电容。如空间不允许，可为每 $4\sim 10$ 个芯片配置一个 $1\sim 10\mu\text{F}$ 的钽电容。
- (3) 对抗噪能力弱，关断电流变化大的器件，以及ROM、RAM，应在Vcc和GND间接去耦电容。
- (4) 在单片机复位端“RESET”上配以 $0.01\mu\text{F}$ 的去耦电容。
- (5) 去耦电容的引线不能太长，尤其是高频旁路电容不能带引线。



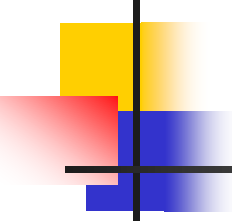
4. 器件配置

- (1) 时钟发生器、晶振和**CPU**的时钟输入端应尽量靠近且远离其它低频器件。
- (2) 小电流电路和大电流电路尽量远离逻辑电路。
- (3) 印制板在机箱中的位置和方向，应保证发热量大的器件处在上方。



5. 功率线、交流线和信号线分开走线

功率线、交流线尽量布置在和信号线不同的板上，否则应和信号线分开走线。



6. 其它原则



5.9 提高计算机控制系统的可靠性措施



5.9.1 可靠性

计算机控制系统的可靠性是一个极重要的技术性能指标。

可靠性指机器、零件或系统，在规定的工作条件下，在规定的时间内具有正常工作性能的能力。

狭义的可靠性指一次性使用的机器、零件或系统的使用寿命。计算机控制系统的可靠性是指广义的可靠性。它是可修复的机器、零件或系统，在使用中不发生故障，一旦发生故障又易修复，使之具有经常使用的性能。因此，它还包含了可维修性。



衡量可靠性的指标

- 可靠度
- MTBF
- MTTF
- 故障率



(1) 可靠度(Reliability)

指机器、零件或系统，从开始工作起，在规定的使用条件下的工作周期内，达到所规定的性能，即无故障正常状态的概率，用 $R(t)$ 表示。



(2) MTBF(Mean Time Between Failures)

平均故障时间指可以边修理边使用的机器、零件或系统，相邻故障期间的正常工作时间的平均值。



(3) MTTF(Mean Time To Failures)

到发生故障的平均时间指不能修理的机器、零件或系统至发生故障为止的工作时间的平均值，即指不可修理产品的平均寿命。



(4) 故障率(Failure Rate)

通常指瞬时故障率。它是指能工作到某个时间的机器、零件或系统，在连续单位时间内发生故障的比例，用 $\lambda(t)$ 表示。又称失效率、风险率。

$\lambda(t)$ 等于 t 以后的单位时间内失效元件数与 t 时刻仍有效的元件数之比。



5.9.2 提高可靠性的途径

计算机控制系统的可靠性是评估计算机控制系统的一个重要性能指标。在评估系统可靠性时，可以采用那些提高系统可靠性的措施来分析。除了系统制造时应该保证符合设计要求外，通常可以从可靠性设计和维修性两方面进行分析。



1. 可靠性设计的准则

可靠性设计是用于实现设计质量，即可靠性、性能、效率、安全、经济等项指标的设计。采用了可靠性设计，就能设计出在使用过程中不易发生故障、即使发生故障也易修复的产品。



通常在可靠性设计时需遵循的准则：

- ① 有效地利用以前的经验。
- ② 尽可能减少零件件数，尤其是故障率高的零件数。
- ③ 采用标准化的产品。
- ④ 检查、调试和互换容易实现。
- ⑤ 零件互换性好。
- ⑥ 可靠性特殊设计方法，例如，可靠度合理分配、冗余设计、安全装置设计、可靠性预测等。



日本横河公司对集散系统的可靠性设计提出的3个准则

(1) 系统运行不受故障影响的准则

这条准则包含两方面的内容。冗余设计可以使系统某一部件发生故障时能够自动切换。多级操作可以使系统某一部件发生故障时能够旁路或者降级使用。

(2) 系统不易发生故障的准则

这条准则是重要的可靠性设计准则。即从系统的基本部件着手，提高系统的**MTBF**。

(3) 迅速排除故障的准则

这是一条重要的维修性设计准则。它包括故障诊断、系统运行状态监视、部件更换等设计。



2. 提高计算机控制系统硬件可靠性的措施

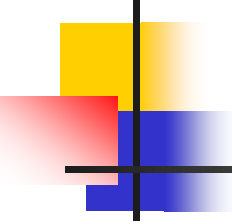


(1) 冗余结构设计

冗余结构设计可以保证系统运行时不受故障的影响。按冗余部件、装置或系统的工作状态，可分为工作冗余(热后备)和后备冗余(冷后备)两类。

按冗余度的不同，可分为双重化冗余和多重化($n:1$)冗余。

设计冗余结构的范围应与系统的可靠性要求、自动化水平以及经济性一起考虑。为了便于多级操作，实现分散控制、集中管理的目标，在计算机控制系统应用时，越是处于下层的部件、装置或系统越需要冗余，而且冗余度也越高。



计算机控制系统的供电系统、通信系统，可以组成冗余结构。此外，系统输入输出信号的插卡部件、上位机也可以组成冗余结构。

冗余设计是以投入相同的装置、部件为代价来提高系统可靠性的。在设计选型时，应该根据工艺过程特点、自动化水平、系统可靠性要求提出合理的冗余要求，要进行经济分析。

对于一个高可靠性的系统，采用冗余结构后，系统可靠性虽然提高，但相对值可能不大。而对于可靠性较低的系统，采用冗余结构，可以大大提高可靠性指标。



(2) 不易发生故障的硬件设计

为提高单机系统可靠性，常可采取如下措施。

- ① 对元部件进行严格筛选，使用可靠的单个元件，并对元件进行多道老化和严格检验，按可靠性标准检查全部元器件。
- ② 充分重视元部件安装的机械强度，以使机械运动(如振动)不会引起导线或焊接区的断裂。此外，对必要的元器件应机械加固。
- ③ 对组件采取涂漆和浇注处理可进一步提高机械紧固性。
- ④ 插座是发生故障的最常见因素，因此，应尽量少用插座，并采用大的插座。
- ⑤ 抗温升保护，多数电子器件对温度变化比较敏感，因此，设计足够的通风系统和采用温度补偿措施是有价值的。



3. 提高计算机控制系统软件可靠性的措施



(1) 分散结构设计

把整体的软件设计分散成各子系统的设计，各自独立，又共享资源。这种分散结构的软件设计既有利于设计工作的开展也有利于软件的调试。

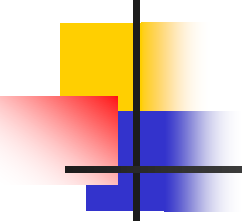
如把整体设计分为控制器模件、历史数据模件、打印模件、报警事件模件等子系统的软件设计。



(2) 容错技术

在软件设计中的容错技术是指在软件设计时，对误操作不予响应的技术。这里的不予响应是指对于操作人员的误操作，如不按设计顺序则软件不会去输出操作指令，或者输出有关提示操作出错的信息。

要防止软件出错，首先应当严格按照软件工程的要求进行软件开发，然后弄清软件失效的机理并采取相应的措施。



软件失效的机理是：由于软件错误引起软件缺陷，当软件缺陷被激发时产生软件故障，严重的导致软件失效。

因此软件容错的作用是及时发现软件故障，并采取有效的措施限制、减小乃至消除故障的影响，防止软件失效的产生。软件容错的众多研究基本上沿袭了硬件容错的思路。

目前软件容错有两种基本方法：恢复块方法和N文本方法。前者对应于硬件动态冗余，后者对应于硬件静态冗余。



实现软件容错的4个基本活动

- 故障检测
- 损坏估计
- 故障恢复
- 缺陷处理



(3) 指令冗余

参见5.7.4 软件冗余技术。



(4) 信息冗余

计算机控制系统中的信息偏差一般发生在：数据的传递；数据对存储器的读写；数据的运算等场合。

信息冗余就是利用增加信息的多余度来提高可靠性，具体做法是在数据(信息)中附加检错码或纠错码以检查数据是否发生偏差，并在有偏差时纠正偏差。常用的检错码有奇偶校验码、循环码、定比传输码等。常用的纠错码有海明码、循环码等。



(5) 标准化

采用标准化的软件可以提高软件运行的可靠性。它还与其他软件公司的软件产品移植、应用提供条件。目前，计算机控制系统在软件上大多采用著名的多用户分时操作系统，如**UNIX**、**XENIX**，采用**Windows**编辑技术软件和关系数据库，如**Informix**、**Oracle**等。