HOLLYSYS

# DCS硬件系统

## ——原理、指标、试验和应用

史洪源

## 课程目标

本课程结束后，应达到下列目标：

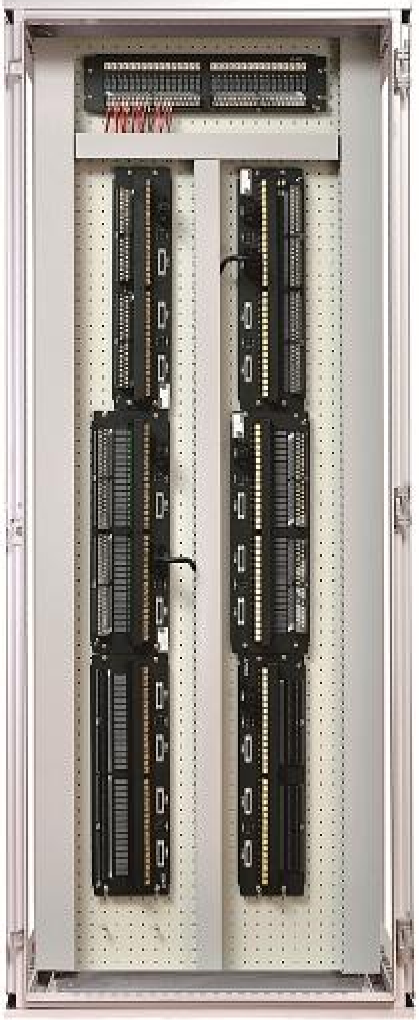
- 基本了解DCS硬件系统的组成和原理
- 熟悉DCS硬件系统各主要模块的技术指标
- 了解DCS硬件指标的试验和测试方法
- 初步了解DCS硬件系统的工程应用设计
- 初步了解DCS硬件系统的可靠性和完全性

减小或消除DCS用户和制造商之间的信息不对称性

2

# 快速接线模块：控制柜装配的全新概念

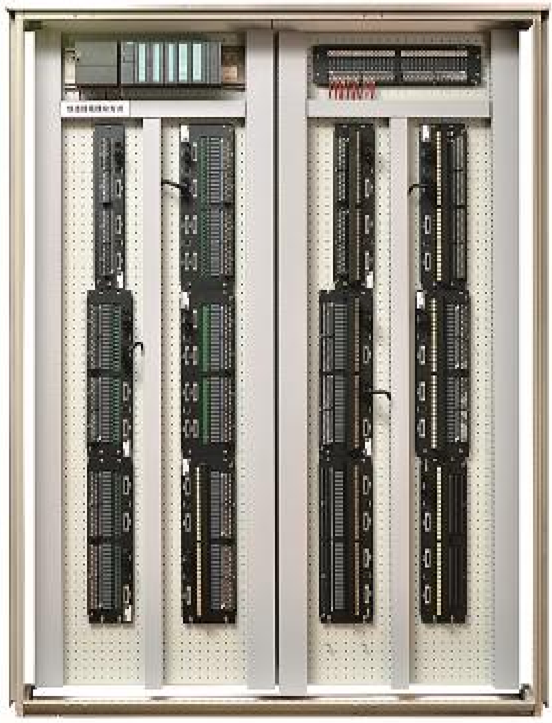
常规接线模式



快速接线模式

## 全球独家推出 全覆盖型省配线解决方案

接线端子柜 继电器柜



隔离器柜 安全栅柜

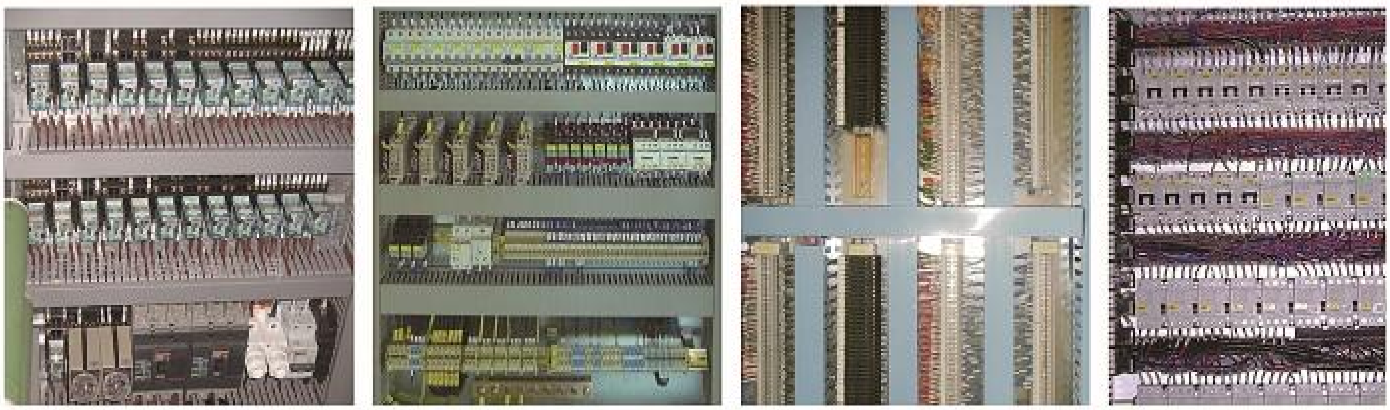
# 快速接线模块：控制柜装配的全新概念

## 传统接线模式

密密麻麻的电器元件：接线端子、保险、继电器、电源开关

塞满线槽的的配线：元件之间大量的连接导线，离开图纸无从下手

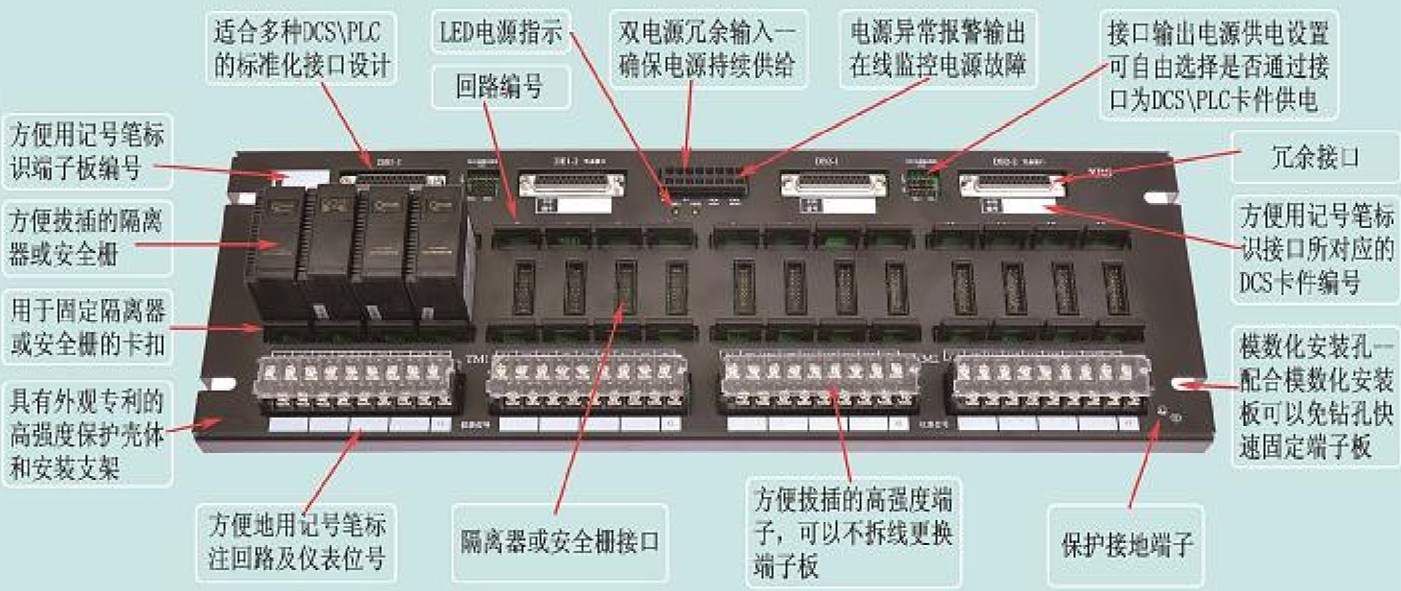
繁琐的工序：设计选型、配件采购、打孔、元件固定、配线、测试、整理



传统接线方式占空间大，导线多而杂乱，连接费时费力，出错不容易检修

适应现代工业的集成化模块产品

## 快速接线模式

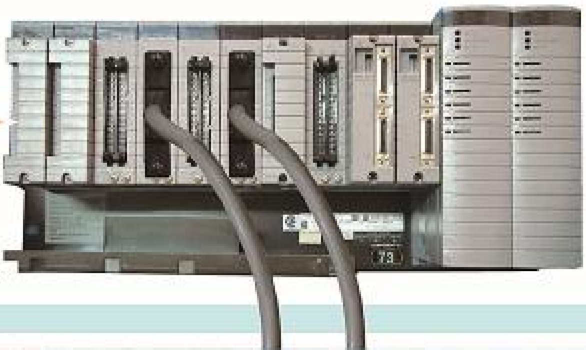



**领先的技术 贴心的设计**

# 快速接线模块：控制柜装配的全新概念

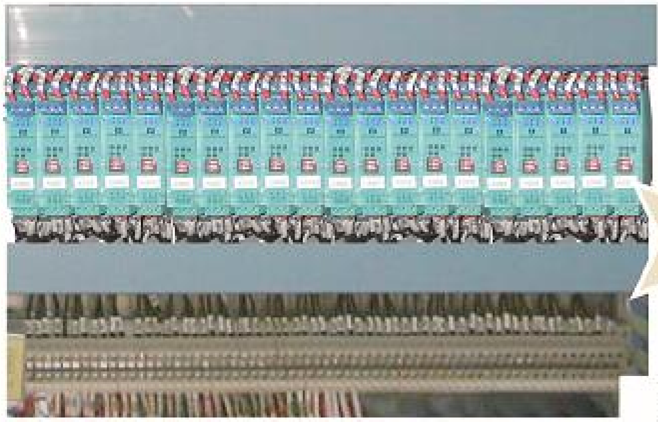
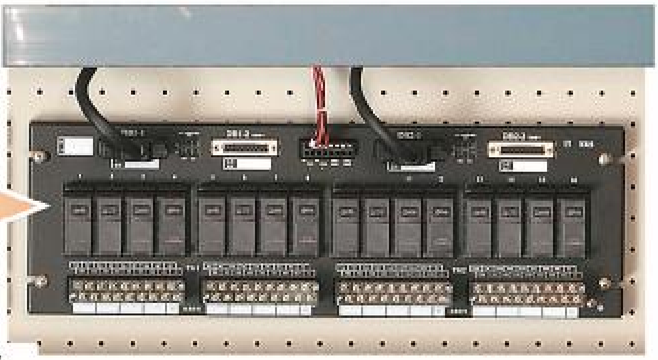
## 传统接线模式

## 快速接线模式

控制组件


继电器隔离

隔离器
安全栅


非隔离

- 一页简单表格替代配线蓝图
- 改变用途只需改动设置，为设计变更提供最大便利
- 让普工具备专业配线技工的装配水平
- 免拆线测试信号电流和故障指示功能轻松解决日常维护难题
- 丢掉米尺、电钻、打号机、压线钳、万用表和各式配件，一把螺丝刀搞定控制柜装配

# 快速接线模块：控制柜装配的全新概念

## 专利产品

多： 功能多、用途广　　快： 设计快、施工快

好： 美观好用、可靠　　省： 省人工、省材料

- 全系列模块化结构：将控制柜内接线附件设计成模块化结构的系列产品，包括信号输入输出、电源分配等，采用标准的安装尺寸，元器件透明化布置，指示一目了然，既美观又快捷。
- 功能全面：兼有信号隔离和驱动、本安保护、回路供电、卡件供电、信号指示、报警指示、回路保护、电源保护、信号转接等多项功能，全面提升配线质量。
- 简化设计和布线：采用板上跳线的型式解决了外部设备与系统卡件接线的差异化和复杂化问题。信号传输和供电巧妙有机的融合在一起，同一个卡件可以接驳不同类型的仪表和信号，只需改变板上跳线，减少了线路节点。盘内施工图纸简化为简单表格，降低了复杂线路对图纸的依赖性，彻底简化了施工图纸设计和盘内布线过程。
- 省略端子排：外部接线端配备的拔插式接线端子块可方便端子维修，更换端子板可不拆除接线。弹簧端子则具有接线快捷、压接可靠、故障率低的特点。1~2.5mm$^2$导线可直接接驳端子板，不必再专门配备接线端子排。内部接线端采用专用接口，使用特制电缆与PLC或DCS快速插接。
- 全方位保护、不拆线停表、省略配电开关，避免误操作：各信号回路均配备了拔插方便的保险以提供全方位的安全保障，用户不必再为外部设备单独配备配电开关和保险端子。特别解决了DCS及PLC系统外围仪表停表的问题，检修、拆除外部设备只要拔下保险而不必拆线，既快捷高效又安全可靠防止错接。电源回路采用过压、过流、反接保护措施，确保系统设备安全运行。
- LED指示、不拆线测电流，方便维护维修：电源回路和信号回路均配备全方位的LED信号指示及保险熔断报警，配合巧妙的不拆线测量信号电流技术，测量信号电流只要将电流表表笔插入测试孔即可，整个测量过程设备不断电、不影响正常测控过程，为维护工作提供了极大方便。
- 快速装配：使用本公司设计的带标准模数孔的专用安装背板，可以抛开钻孔工具，只需一把螺丝刀就能完成柜内电气元件的安装。

## 广泛兼容

兼容国内外主流品牌DCS\PLC控制系统

## 全面覆盖

涵盖非隔离、继电器隔离、隔离器、本安防爆四大类信号传输方式


快速接线模块方式
端子柜
继电器柜
滨州新大新

## 课程建议

多看书
多记录
多建议
多怀疑

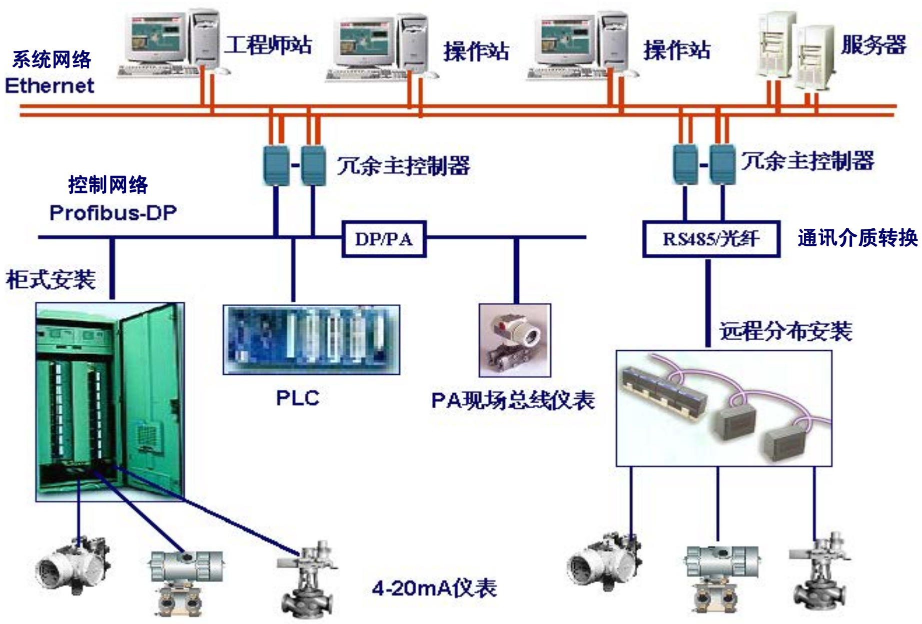
课上交流清楚，课后一身轻松。



## 内容提纲

- DCS硬件组成
- 主控制器
- AI设备
- AO设备
- DI设备
- SOE设备
- DO设备
- PI设备
- 电源设备
- 控制网络设备
- 系统网络设备
- 组态与人机接口
- DCS硬件可靠性与安全性

## 典型DCS系统的硬件体系结构




5

## DCS硬件体系发展趋势

- 逻辑分布:即传统DCS中"D"的含义Distributed.
- 地域分散:现场总线分布式I/O构成的DCS的"D"的还应增加一层含义Decentralized.
- 满足现状：4-20mA模拟仪表仍占主流
- 连通未来：现场总线智能仪表开始缓慢增长
- 开放性：主控制器可以挂接其它开放的I/O系统，I/O模块也可以挂接到其它开放的主控制器上。开放性是制造商对用户的责任，它将在未来节省用户大量的后续投资。

***Distributed & Decentralized***

6

## 过程控制器的发展趋势：独立于I/O存在

- 物理结构：可独立安装
- 上行网络：以太网一统天下
- 下行网络：支持多种主流的现场总线
- 控制软件：向上独立于HMI，向下独立于I/O采集
- 通讯协议：可同时支持多种通讯链路
- 混合应用：兼顾流程工业和离散制造业特点
- HMI接口：可支持其它商用的HMI软件
- 编程语言：IEC61131-3标准
- 操作系统：微内核实时操作系统

***随着用户对DCS的深入了解，***
***单纯以主频来评价控制器的时代过去了。***

7

## 过程控制I/O的发展趋势：2S

- 智能化（Smarter）：不仅是加单片机
  - 支持现场总线，可节省电缆。
  - 支持开放协议，易于集成。
  - 支持软件设定，免跳线，避免更换模块时误操作。
  - 自诊断，便于维护。
- 小型化（Smaller）：不仅是减小尺寸
  - 抛弃专用机笼，适合现场安装。
  - 一般采用导轨安装方式
  - 模块化、全封闭、小尺寸结构
  - 热插拔，且插拔方便
  - 低功耗
  - 集成更多的功能

***Smarter & Smaller***

8

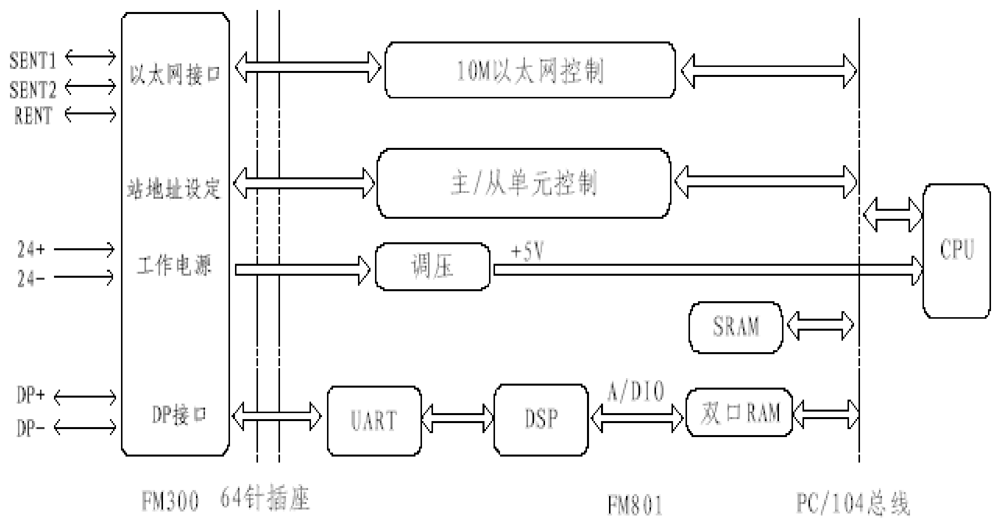
## 操作层设备：紧跟主流商用机

- 商用机的可靠性已经满足大多数场合的需要
- 工控机的采购量在缩小
- 专用计算机已经没有市场
- 甚至操作层计算机可由用户自行选购

***鉴于上述原因，对操作层设备不再介绍。***
***我们需要关注的重点是：***
***I/O和控制器***

9

## 主控制器（Main Control Unit）



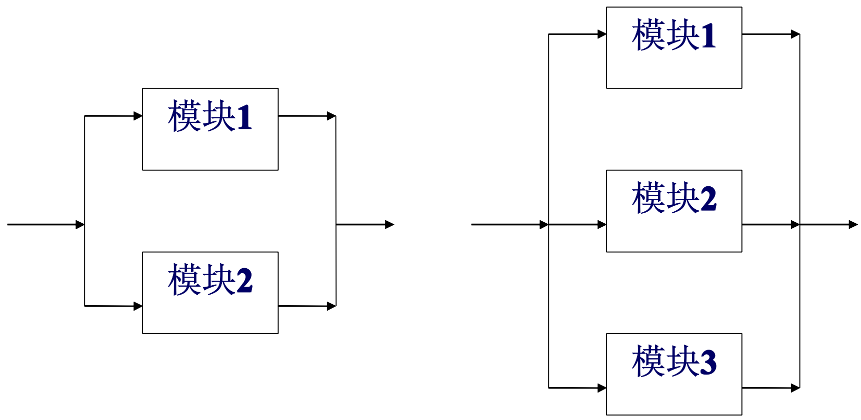

10

## MCU各部件的功能

- CPU
- 系统网络接口
- 控制网络接口
- 固态盘
- SRAM
- 电池
- 冗余控制电路
- 电源电路



## 冗余分类：DMR与TMR




双模冗余
**DMR－Dual Module Redundancy**

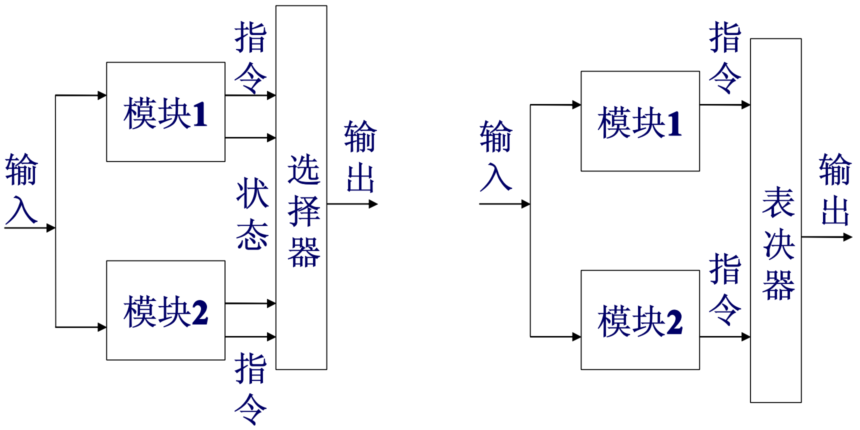
三模冗余
**TMR－Triple Module Redundancy**

## 冗余分类：同构冗余与异构冗余

- 用不同的物理实现原理来构建冗余个体。
- 目的：防止共因故障。

13

## 冗余分类：备用式冗余与表决式冗余




备用式冗余
**Backup Redundancy**

表决式冗余
**Voting Redundancy**

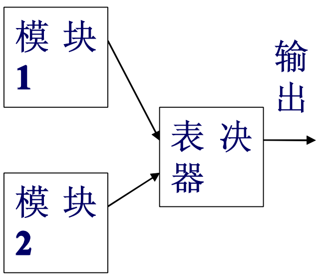
14

## 备用式冗余的三种方式

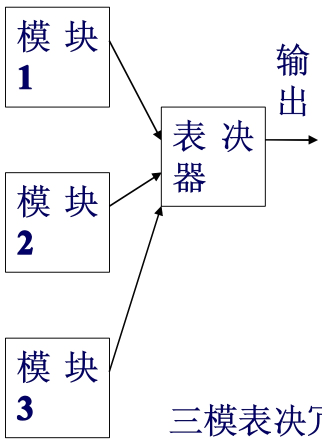
- 冷备用（Cold Backup）
- 温备用（Warm Backup）
- 热备用（Hot Backup）



## 双模和三模表决冗余(DMR&TMR)

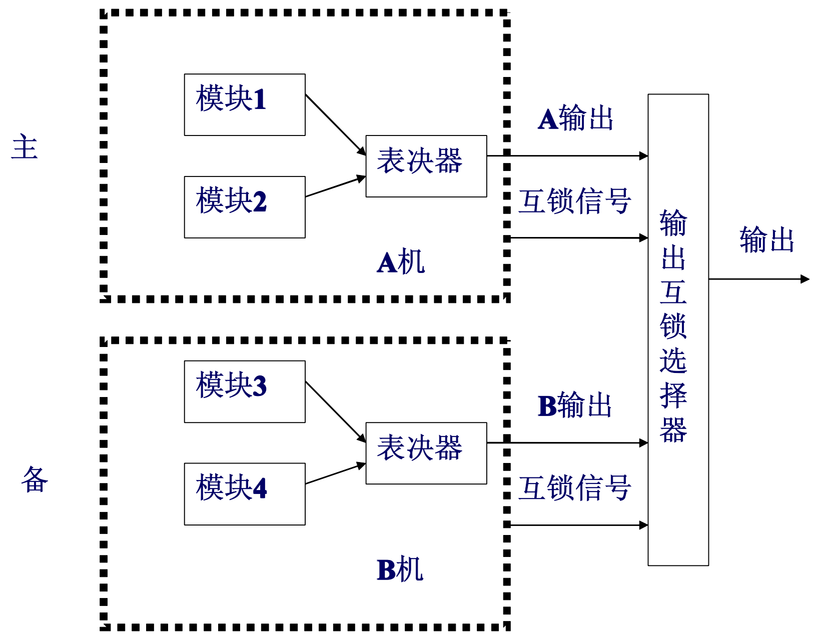



双模表决冗余
（2取2系统）
（2 out of 2）
（2oo2）




三模表决冗余
（3取2系统）
（2 out of 3）
（2oo3）

## 主备双模表决冗余系统




17

## 备用式冗余系统的关键性能：无扰切换

- 什么是无扰切换？
- 理论上如何保证无扰切换：时间相关量处理
- 数据周期拷贝法
- 运算周期同步法

18

## 表决冗余的关键：故障安全

- 什么是故障安全（Fail－safe）？
- 如何实现故障安全
  - 冗余：硬件冗余、软件冗余、信息冗余、时间冗余。
  - 表决
  - 同步
  - 重构
  - 诊断
  - 避错
  - 检错
  - 纠错
  - 重试
  - 重启

19

## 故障安全准则（1）

（1）每个安全性相关的模块必须经过充分的分析和测试。

（2）每个安全相关功能，应该冗余运行（推荐）。

（3）如果软件的正确性不能得到证明，必须由两个以上的多样性设计版本冗余运行。

（4）在合适的时间内，应周期性进行软件数据正确性检查。

（5）每个程序模块在执行前和执行后都应检查确保前导模块和后续模块的顺序确实正确。

（6）采用双份存储、AA和55分别表示逻辑1和0等信息冗余措施，保证安全变量存储的完整性。

（7）所有安全相关的数值，不能由人工输入。

（8）通过读写测试，保证RAM的正确性。

20

## 故障安全准则（2）

（9）通过校验码测试，保证ROM的正确性。

（10） 推荐采取措施，保证CPU指令执行的完整性（针对多字节指令）。

（11） 通过比较，保证时钟和定时器的正确性。

（12） 采用校验码等措施，保证通讯链路的正确性。

（13） 保证系统中断执行过程的完整性。

（14） 在重要的校验过程中使用的定时器，

（15） 必须采用WDT防止程序进入死循环或停止运行。

（16） CPU死机不会导致危险侧输出。

21

## 故障安全准则（3）

（17） 所有关系到系统安全的变量应在数据结构中明确其安全侧取值和危险侧取值。

（18） 在所有的条件判断语句中，应选择危险侧变量来判别。

（19） 同一工艺环节的联锁逻辑不宜分散到各站中运行。

（20） 系统检测到失效时，必须严格导向安全侧（如果停机是安全的，则必须停机）。

（21） 任何硬件故障必须立即得到反映，不能造成故障积累而发生事故。

（22）金属膜电阻不考虑阻值减小，电感不考虑消失，双IC电路不考虑同时损坏。

22

## 主控制器（MCU）的指标

- CPU及外围芯片（Pentium...，越高越好？）
- 容量
- 速度
- 负荷率
- 实时性
- 功耗

23

## DCS的系统容量

- 机柜容量
- 电源容量
- 网络容量
- 主控容量
- 计算DCS系统容量时，必须同时满足上述限制条件

24

## 主控制器容量

- 程序容量
- 网络容量



## 主控制器容量：程序容量

- 程序容量一般用控制方案页数量来大致描述，它由固态盘容量、SRAM容量和内存容量决定。

## 网络容量的基本概念：波特率

- 波特率(Baud Rate)——也称位速率，是描述通讯线路上位流（0/1流）速度的指标。
- 波特率定义：波特率等于一段连续的比特流的比特数除以该比特流的持续时间。
- 波特率的单位：bits/s(比特每秒），即 Bits per Second,缩写为bps

27

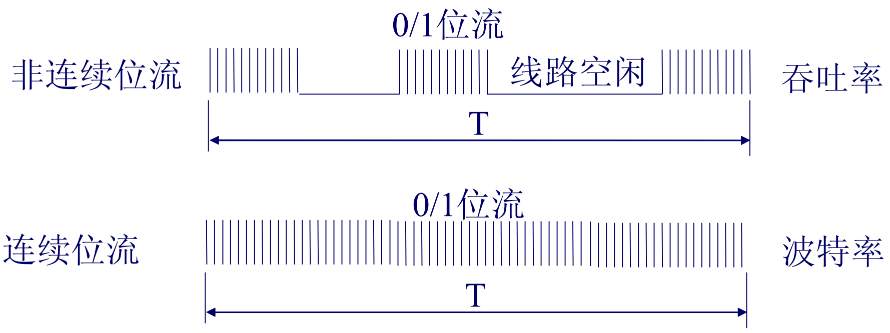
## 网络容量的基本概念：吞吐率

- 网络吞吐率用于衡量计算机能通过网络接收或发送数据信息的最快速度。
- 网络吞吐率的定义：单位时间片内计算机能接收或发送位信息的数量。
- 网络吞吐率的单位：一般也为bps

28

## 网络容量：波特率与吞吐率的关系

- 吞吐率一般小于波特率：
  - 多任务计算机一般不能处理连续位流
  - 丢包或包冲突重发降低有效速率






## 主控制器网络容量计算

- 先明确4个基本配置参数：
  - T1：设定的主控制器与IO通讯的时间（秒）
  - B1：该主控制器与IO通讯的位流量（位）
  - T2：设定的主控制器与其它站通讯的时间（秒）
  - B2：该主控制器与其它站通讯的位流量（位）
- 要求：
  - B1/T1 ＜ 控制网吞吐率*0.4 ＜ 控制网波特率*0.4
  - B2/T2 ＜ 系统网吞吐率*0.4＜ 控制网波特率*0.4

## 主控制器速度：控制周期

- 什么是控制周期？
- 单一控制周期与复合控制周期
- 控制周期根据工艺要求确定，当控制周期在200mS以下时，数字控制系统的采样延迟导致对控制品质的影响可忽略不计，即数字系统几乎可以等价于模拟系统。
- 对于大多数工艺过程，500mS或1S的控制周期就完全满足要求。
- 最短控制周期由主芯片速度、程序量和通讯量以及应用程序效率决定。

31

## 主控制器负荷率（Load Rate）

- 负荷率定义

$$负荷率=\frac{控制周期—空闲时间}{控制周期}\times 100\%$$

32

## 实时性（Real-time）：基本定义

- 实时性的概念
  - 不准确的理解：实时就是"快"。
  - 正确的理解：在预先设定的时间内完成规定的任务能力。
  - 如果在一定条件下能确保在预先设定的时间内完成规定的任务，系统就可称为确定性系统，这是确定性实时（Deterministic）。
  - 与确定性系统相对（不能确保）的是非确定性（ Non-deterministic)系统。

33

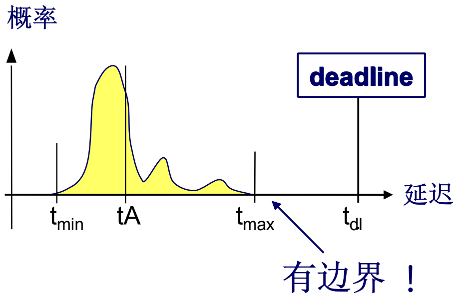
## 实时性（Real-time）：相关定义

- 硬实时（Hard real-time):确定性（Deterministic)实时的同义词。
- 软实时（Soft real-time):非确定性实时的同义词。

34

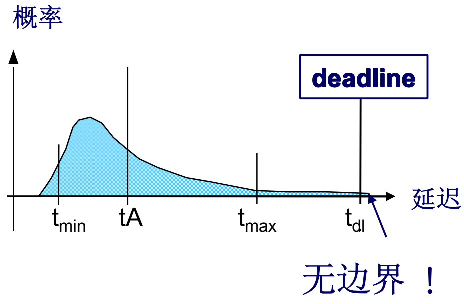
## 确定性实时和非确定性实时的对比

**确定性实时**




在正常运行条件及可恢复故障条件下，任务延迟超过最后期限（deadline)的概率为零。

**非确定实时**




在正常运行条件及可恢复故障条件下，任务延迟超过最后期限（deadline)的概率很小，但不为零。

35

## 实时性：典型任务的响应时间要求

| | |
|---|---|
| 1 μs: | 控制器执行一个加法运算的典型时间 |
| 10 μs: | 控制器执行一个PID运算的典型时间 |
| 30 μs: | 通讯信号传输9km的时间延迟（信号速度30万公里/秒） |
| 100 μs: | 多任务实时系统任务切换时间 |
| 200 μs: | 从实时数据库（内存）中访问获取一个数据对象的时间 |
| 1 ms: | 在两个任务之间通过邮箱发送消息的时间 |
| 2 ms: | 在局域网中发送一个报文的时间 |
| 10 ms: | 流程工业中的事件分辨率（但目前很多招标书都要求 2ms) |
| 50 ms: | 控制器中通讯任务的执行时间 |
| 200 ms: | 操作人员的手感（接近硬接线般的感觉） |
| 1 s: | 操作员站画面上的数据刷新速度 |
| 3 s: | 操作员站画面翻页速度 |

36

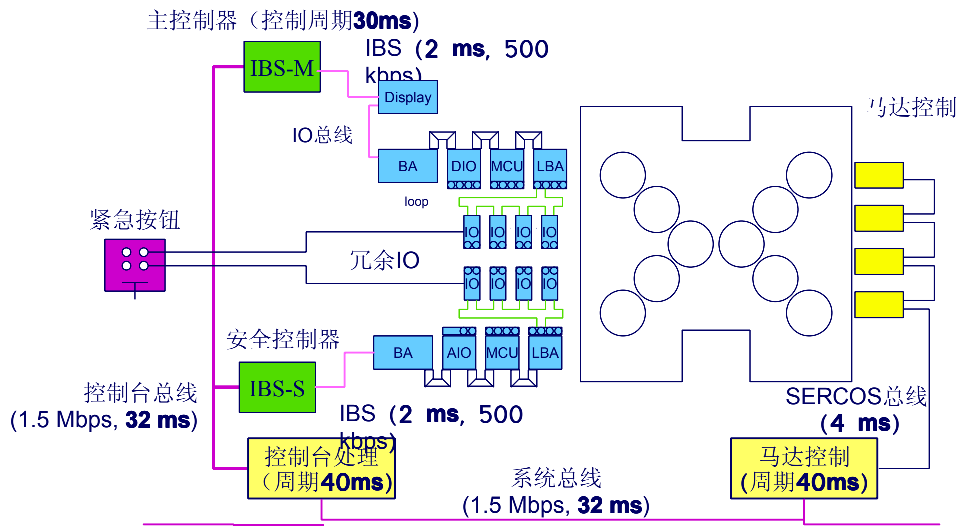
# 什么情况下需要确定性实时？

紧急停止

滚筒式印刷机：在手工清洗过程中，操作人员右手持毛巾清洗转动的滚筒，左手按下“转动”按钮，当毛巾被卡住时，左手立即送开“转动”按钮，滚筒必须在0.5s内停止转动，否则......

37

# 实时性的例子：滚筒印刷机信号延迟




从紧急按钮到马达的总延迟: 2 + 30 + 32 + 40 + 32 + 40 + 4 = 180 ms !

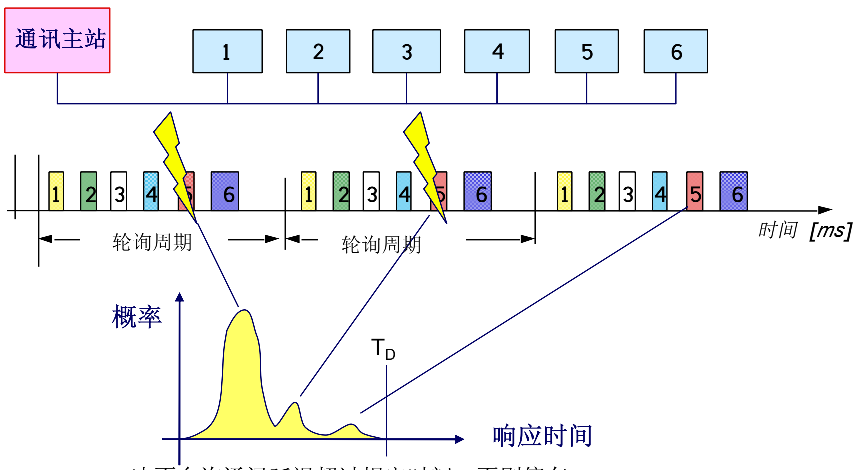
38

# 实时性：信号延迟的后果

- 很多安全系统按反逻辑优先运行：即优先要求条件不成立时系统倒向安全状态。比如前面的印刷机就是按钮"按下"转动，而不会设计成弹起按钮转动。
- 马达控制要求对"紧急按钮未按下"这一状态最迟3 x 180 = 540 ms刷新一次检测，其中360ms作为连续两次通讯失败的保留时间，第三次通讯必须成功，如果第三次通讯仍不成功，系统将无条件停止马达。
- 超过规定条件的信号延迟将会导致误报警，从而使系统停运（一般来说，可接受的误报警停车每年最多1-2次）。
- 因此，控制信号的延迟将对系统的下列2个重要性能带来影响：
  - 安全性
  - 可用性

39

# 实时性：确定性与通讯延迟的关系




决不允许通讯延迟超过规定时间，否则停车。

举例： 设每轮询周期丢包的概率 = 0.001,
三次发送均失败的概率 = $10^{-9}$,
设硬件故障的概率也在$10^{-9}$量级 ，则三次发送失败就停机是合理的。

40

## 什么因素使实时性成为一个系统问题

- 一片CPU芯片同一时刻只能做一件事。
- 一条通讯线路同一时刻只能供一个设备发送信息。
- 研究实时性，就是设法保证多种任务在公共的硬件资源上得到很好的调度执行。

41

## 确定性实时的特征：周期运行

- 任务性质
  - 周期任务：确保关键的周期任务得到及时执行。
  - 异步事件：确保关键的异步事件得到及时处理。
- 虽然很多确定性系统都采用了抢占式(Preemptive)实时操作系统，但抢占式调度使用不当却是很多系统无法实现确定性的原因之一。
- 周期循环执行是实现确定性实时的有效方法。
- 但周期调度的方法对硬件系统的速度要求较高。

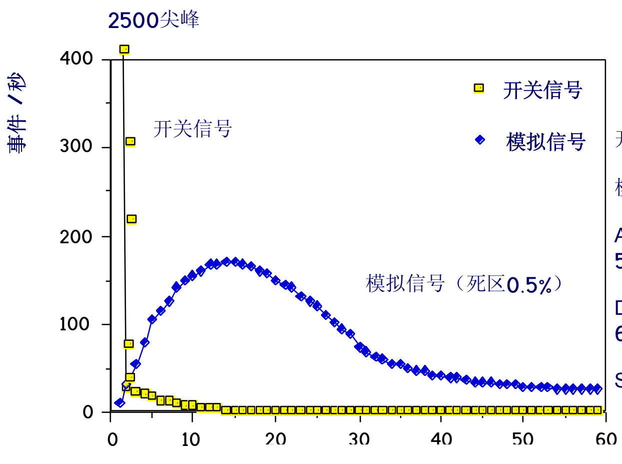
42

## 非确定性实时的特征：事件驱动

- 系统响应时间非确定的原因
  - 外部异步事件中断系统任务
  - 访问计算机公共资源：CPU，内存，网络
  - 使用了时间不确定的设备：如硬盘访问
  - 任务属于抢占式操作系统中的低优先级任务
  - 使用了时间不够确定的通讯网络：如以太网
  - 使用了队列
- 事件驱动的任务调度是非确定性实时的主要途径。
- 事件驱动的调度方法可以有效降低系统对硬件速度的要求。

43

## 实时性：事件驱动型系统雪崩分析




现场设备电源失电后的情况

开关量事件：状态变化（0变1，或1变0）

模拟量事件：幅度变化超过满量程的0.5%

AI：2200 @ 1s，300 @ 0.1 s = 5200 /s

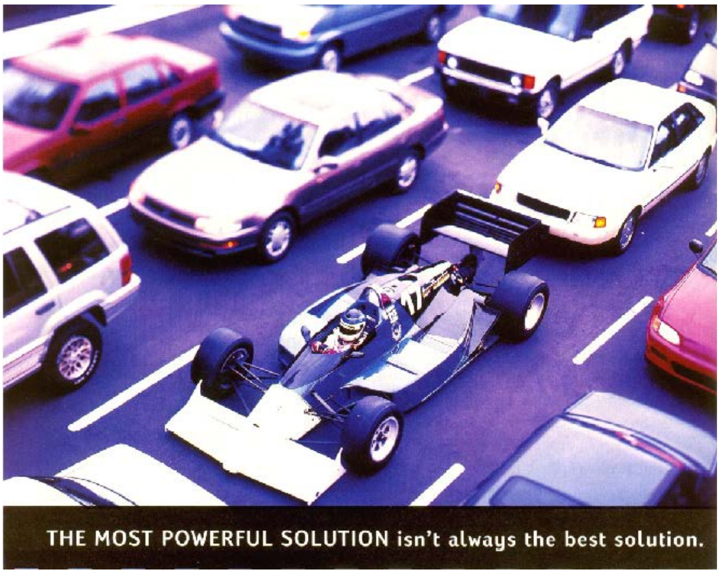
DI：3700 @ 1s，300 @ 0.1 s = 6700 /s

SOE：400 @ 0.1 s = 4000 /s

失电后的1s内，每秒约2500个开关量事件产生，但随后几乎没有开关量事件，当电源恢复，再产生一个同样的尖峰。
失电后的1s内，每秒约有200个模拟量事件，在以后的40s内每秒约40个事件。

44

## 实时性评价的要点：系统的观点




45

## 实时性：小结

- 确定性是联锁保护等关键应用的基本特性，但其它很多场合下非确定性系统也可满足需要。
- 确定性系统能确保所有关键数据在规定的时间内传送，如不能就倒向安全态。
- 确定性系统即使在系统雪崩等最差工况下也能保证系统稳定运行，硬件资源的闲置较多。
- 系统的各环节都必须是确定性的，才能得到真正的确定性系统。
- 非确定性系统在进行充分的工况分析和非确定性概率分析的基础上，也是不错的选择。

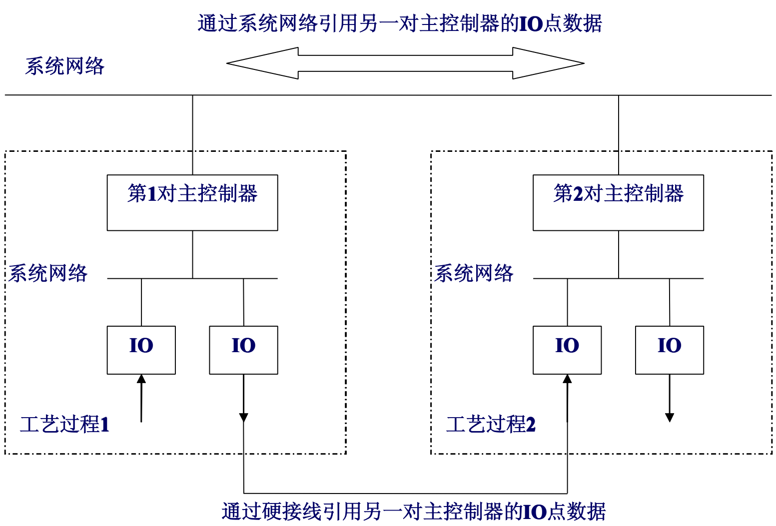
46

## 主控制器的功耗

- 对功耗的要求，应达到：无需风扇散热。



## 主控制器应用设计：工艺过程划分



## 主控制器设计：工艺划分准则

- 站间引用越少越好。
- 对于PID或联锁逻辑控制的控制算法，严禁使用软引用，引用不可避免时应使用硬接线引用。
- 对于纯粹的数据采集站（DAS），由于没有控制功能，可以使用软引用。

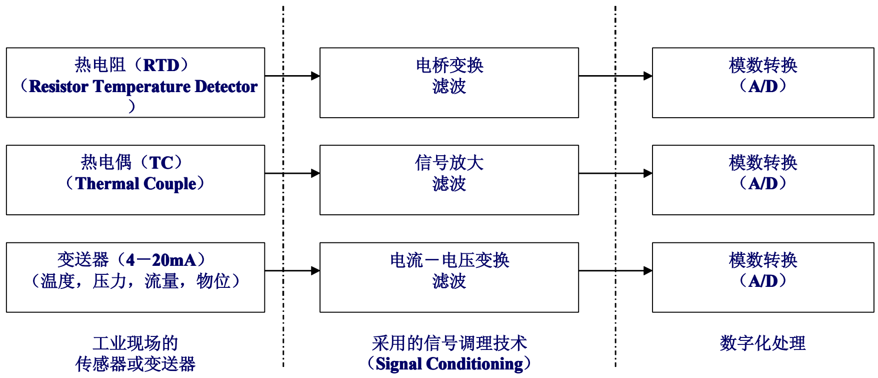
49

## 主控制器应用设计：控制周期设定

- 200ms：数字系统与模拟系统动态特性基本没有区别。
- 负荷率<40％

50

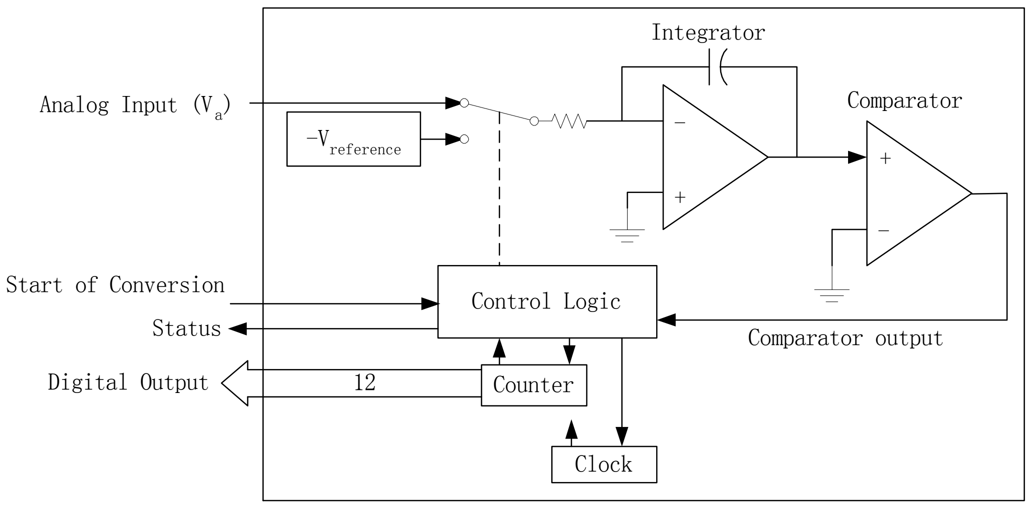
# AI信号的输入处理过程



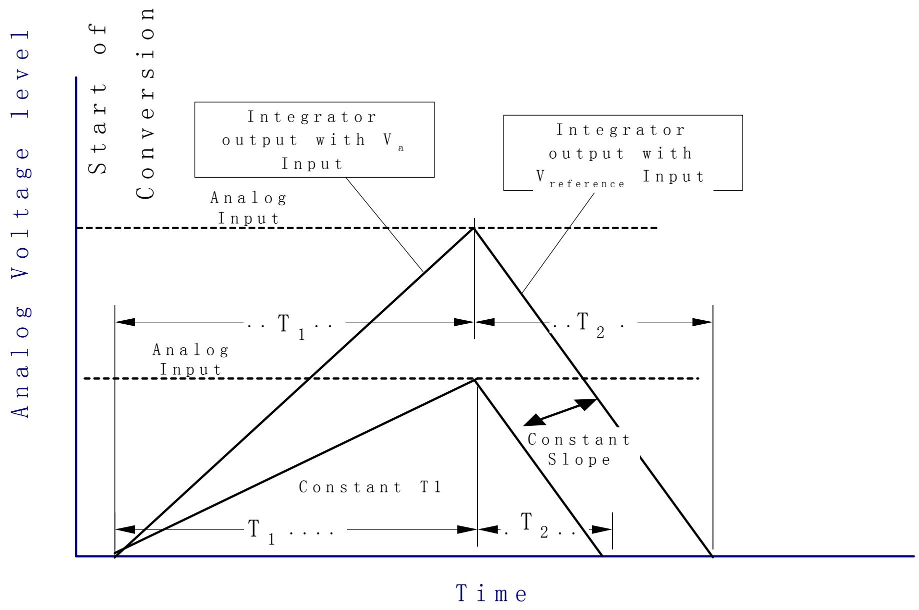

Analog Input-AI



# 双积分型A/D转换器

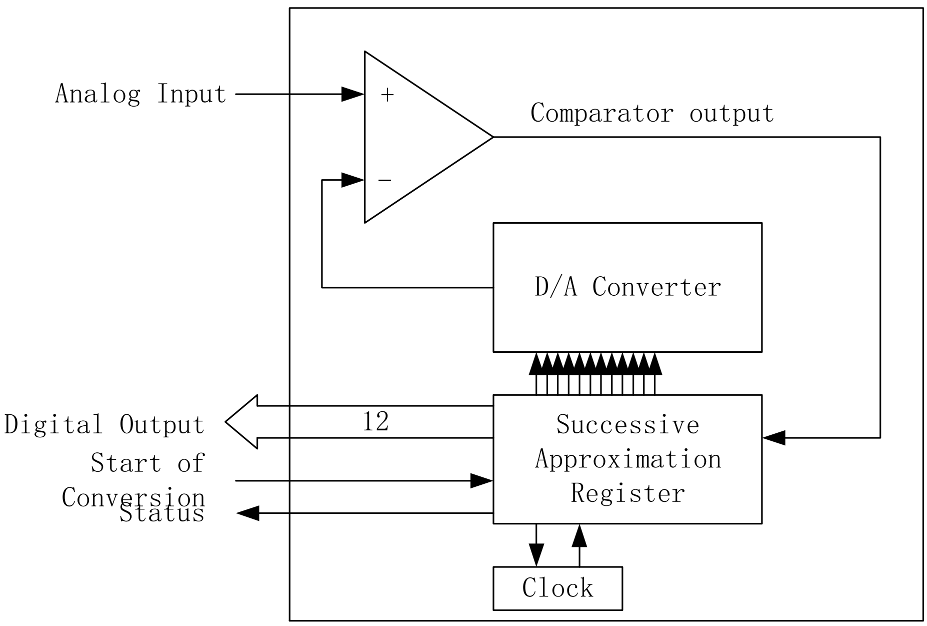


# 双积分型A/D转换器波形

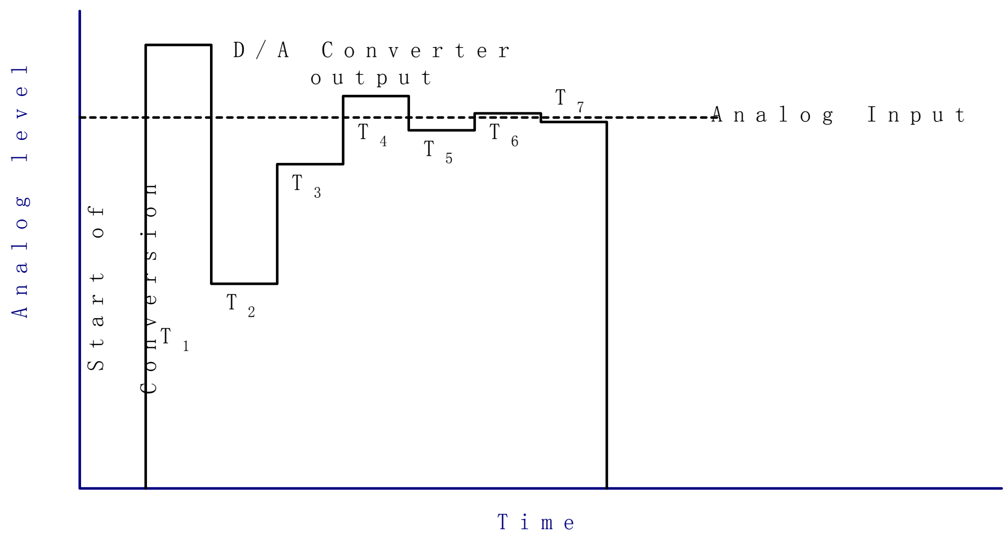





# 逐次比较型A/D转换器

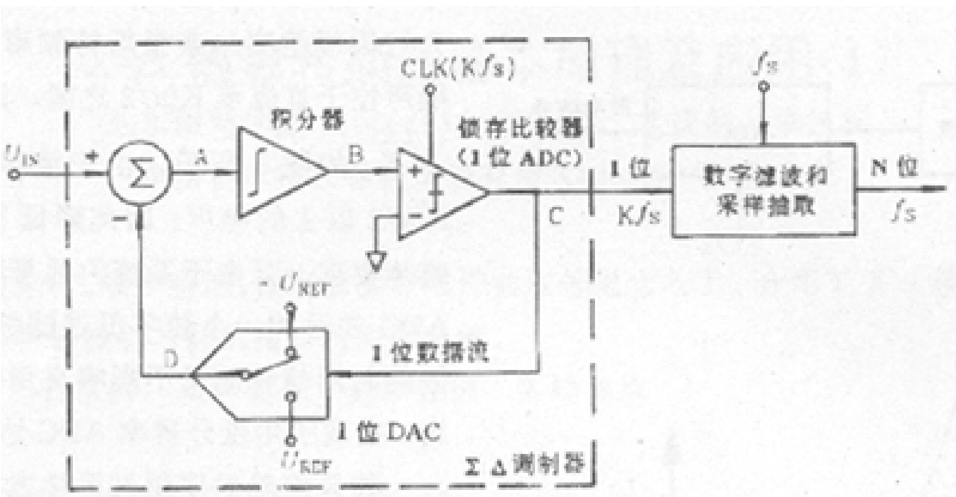


# 逐次比较型A/D转换逼近过程



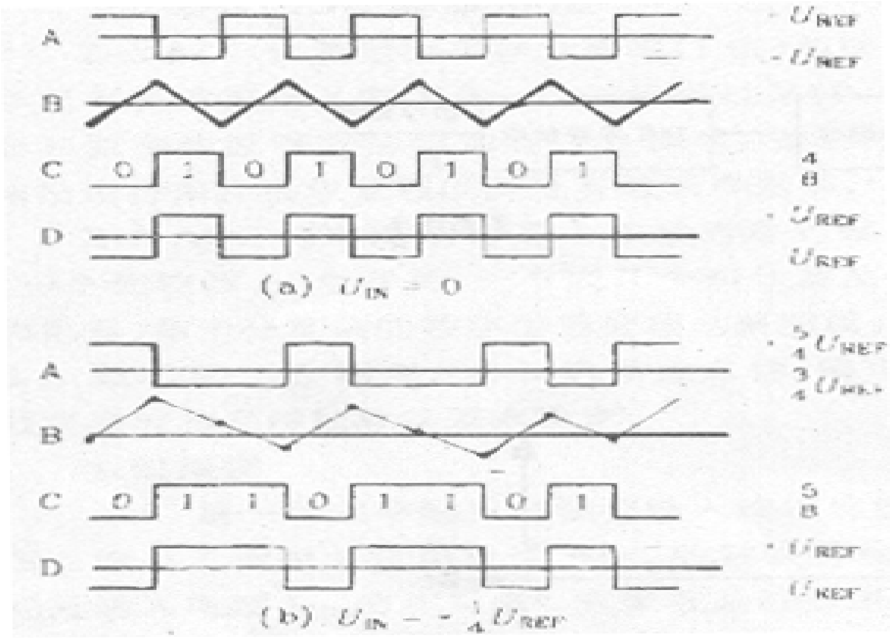

55

# Sigma-Delta型A/D转换器




56

## Sigma-Delta型A/D转换原理




57

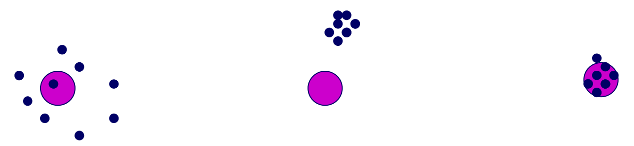
## AI的几种输入型式

- 单端输入(Single Ended Input)
  - 共地型单端输入
  - 共参考点单端输入
- 差分输入(Differential Input)
  - 非通道隔离型差分输入
  - 通道间隔离型差分输入

58

# 精度

- 精密度（Precision）：表示测量结果的随机（偶然）误差的大小
- 正确度(Correctness)：表示测量结果的系统误差大小
- 准确度(Accuracy)：是系统误差和随机误差的综合表示测量结果阈真值的一致程度,也称精确度或精度。



图(a)：正确度较高、精密度较差

图(b)：精密度较高、正确度较差

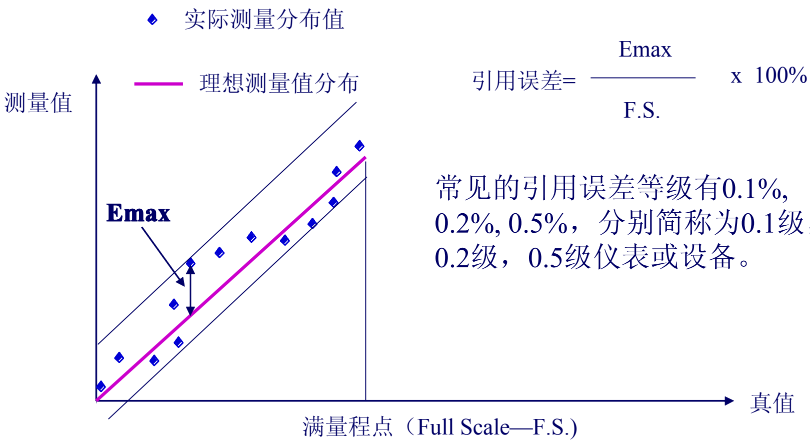
图(c)：精确度(准确度)较高，即精密度和正确度都较高。

59

# 引用误差

- 定义：满量程内的最大绝对误差除以满量程。

GB/T 13283-91 工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级




$$引用误差=\frac{Emax}{F.S.}\times 100\%$$

常见的引用误差等级有0.1%, 0.2%, 0.5%，分别简称为0.1级，0.2级，0.5级仪表或设备。

60

## 精度是仪表多因素的综合体现

- 温度漂移
- 时间漂移
- 抗干扰能力
- 分辨率
- 灵敏度
- 稳定时间（响应时间）
- 带宽

61

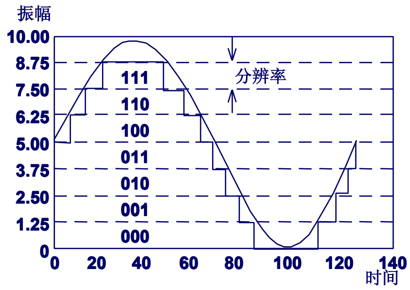
## 分辨率

- 分辨率（Resolution）:测量装置能感知和区分的最小变化量，通常以A/D转换器的位数和量程表示，比如用12位量程为0-5V的A/D，其分辨率为：5V/4096=1.22mV

62

## 分辨率

- 采样数据最低位所代表的模拟量的值
- Nbit: 8bit / 12bit / 16bit
- 电压表示：输入范围/$2^n$
- 举例：假如10V的输入信号用12位数据来表示，则最小可分辨的电压为$10/2^{12}$=0.224mV

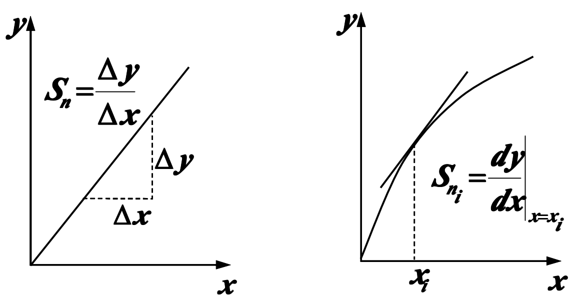





## 灵敏度（Sensitivity）

灵敏度 $S_n$（或 $K$）
$S_n$ 的定义是输出增量与输入增量的比值。即

$$S_n=\frac{\Delta y}{\Delta x}$$




① 纯线性传感器灵敏度为常数。
② 非线性传感器灵敏度$S_n$与$x$有关。

有的厂家将灵敏度定义为测量死区，比如测量装置只有信号大于15mV才能测量时，称其灵敏度为15mV。

## 稳定度

- 稳定度（Stability）:分为短时间稳定度（Short-time Stability)和长时间稳定度（Long-time Stability）。
- 短时间稳定度：对于同一被测量值，测量值的波动范围（即最大值减最小值）与量程之比。通常以百分比表示。
- 长时间稳定度：对于同一被测量值，相隔较长时间（比如说1年）用同一测量装置进行测量，其误差漂移量与时间之比。通常单位为ppm/年。

65

## 温度漂移

- 温漂量纲：ppm/°C,即百万分之一每摄氏度
- 温度变化可能导致的误差增大=温度变化量*温漂指标。
- 例：在环境温度25°C条件下标称引用误差为0.1%的仪表，如果其温漂指标为100ppm/°C,则当环境温度变化到35°C时，其引用误差将可能达到:

$$0.1\% + (35-25)*100*10-6 = 0.2\%$$

66

## 输入阻抗

- AI输入电路的输入端等效阻抗。
- 过低的输入阻抗将导致输入电压信号在信号源端的压降增大到不可忽略。
- 一般要求100KΩ以上.

67

## IEC61131-2对AI输入阻抗的要求

| Signal range | Input impedance limits | Notes |
|---|---|---|
| −10 V, +10 V | ≥ 10 kΩ | |
| 0 V, +10 V | ≥ 10 kΩ | |
| 1 V, +5 V | ≥ 5 kΩ | |
| 4 mA, 20 mA | ≤ 300 Ω | |
| 0 mA, 20 mA | ≤ 300 Ω | 1 |

NOTE

1 Not recommended for future designs.

68

## AI的隔离:为何需要隔离

- 现场设备电气烧毁时不殃及DCS设备；
- 现场设备对DCS系统之间存在高压时不损坏DCS设备；

(1)
- 限制DCS局部故障或损坏的扩散化；
- 切断现场设备接地点对DCS系统接地点间因地电位差形成的地环电流，该地环电流导致AI设备输入端存在高共模电压，影响测量精度。

69

## AI隔离的程度

- 路间隔离：每个信号通道之间电气隔离，并都控制网络隔离。
- 模块与模块间隔离：AI模块之间隔离，并都控制网络隔离，但同一模块内的各通道之间不隔离。
- 一列模块与另一列模块隔离：比方说这5个模块与那5个模块之间隔离，且所有模块都与控制网络隔离，但同一列的5个模块之间不隔离。
- 站与站之间隔离：两个主控制站（一般装在不同的机柜中）之间隔离，但站内设备之间不隔离。
- 现场输入与DCS系统隔离：所有现场设备之间不隔离，但都与控制网络隔离。

70

## 哪些信号需要隔离

- 四线制4－20mA变送器：由于变送器自身有电源，并且可能在现场端接地，所以需要路间隔离。
- 0－5V/0-10V信号：信号源自身提供电源，在现场端也可能接地或与别的系统连接，需要路间隔离。
- 现场接地型热电偶：热端与外壳接触，而外壳又接地，这种热电偶很少，需要路间隔离。
- 非接地型热电偶：在热偶中占绝对多数，不需要路间隔离。
- 热电阻：不需要路间隔离。
- 两线制4－20mA变送器：其电源为DCS系统提供，所以变送器内部电路不接地，不需要路间隔离。
- 交流采样信号：必须用互感器（电流互感器CT和电压互感器PT）在前端隔离.

71

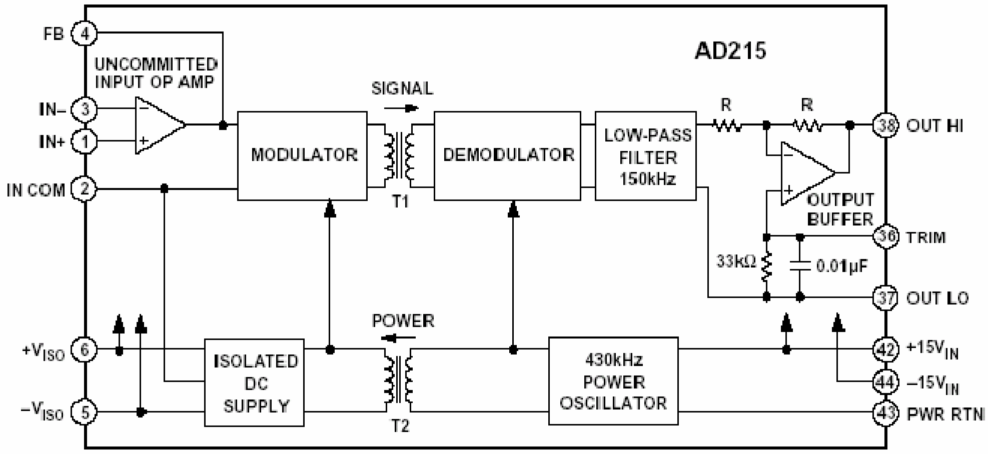
## AI的隔离技术

- 隔离放大器隔离(在信号调理阶段隔离,传统的模拟仪表常用的方法)
  - 变压器隔离型放大器
  - 电容隔离型放大器(飞越电容或集成型放大器)
  - 线性光耦隔离型放大器
- 数字光耦隔离(转化为数字量后隔离,数字式智能仪表常用的方法)
- 隔离电压：一般以交流有效值表示，如500Vrms.
- 过低的隔离电压将导致高压击穿。

72

# 变压器隔离型放大器

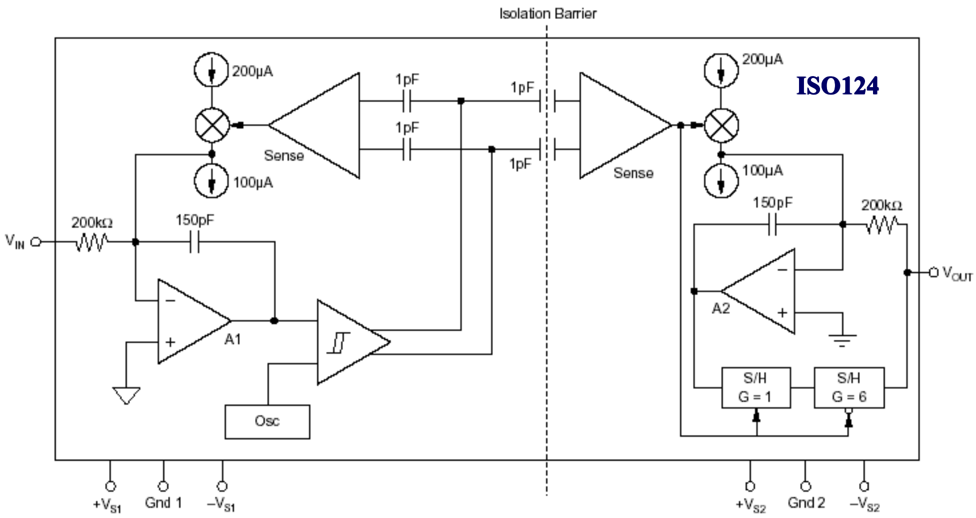
## Transformer isolation





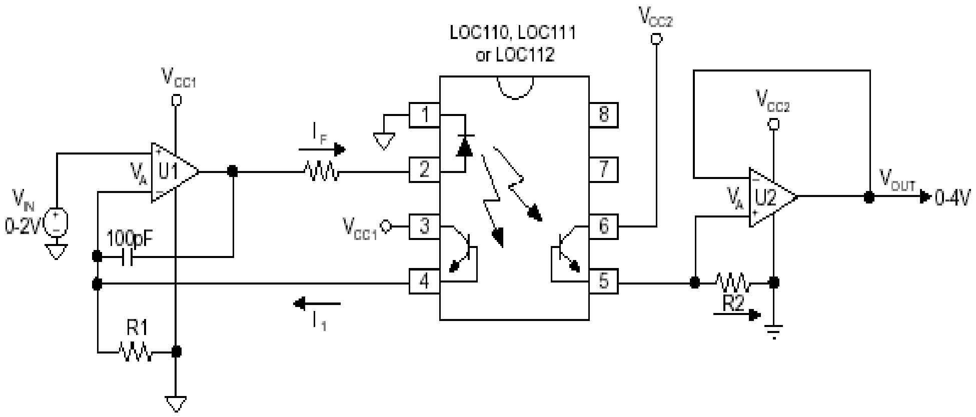

# 电容隔离型放大器

## Capacitor Isolation



# 线性光偶隔离型放大器

## Linear Optocoupler Isolation




**Vout=(R2/R1)*Vin**

75

# 三种模拟信号隔离放大器比较

| 性价典型值 | 变压器隔离型放大器 | 电容隔离型放大器 | 线性光偶隔离型放大器 |
|---|---|---|---|
| 线性度 | 0.005% | 0.01% | 0.1% |
| 信号带宽 | 120kHz | 50kHz | 50kHz |
| 隔离电压 | 1500Vrms | 1500Vrms | 1500Vrms |
| 体积 | 笨重 | 小 | 小 |
| 价格 | 最贵（40$） | <10$ | <5$ |

76

## AI隔离技术:在数字部分隔离

- 每路设置独立的A/D
- 在A/D后将数字量采用光偶隔离.

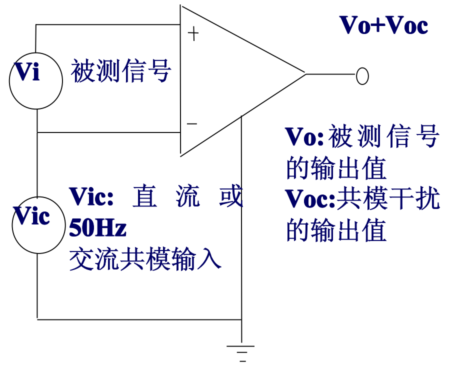
77

## 共模和差模干扰

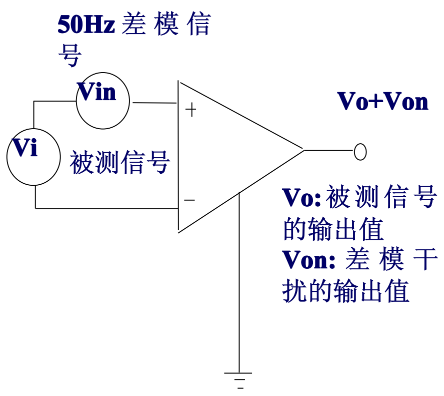
- 在工业应用中，共模电压是个经常存在的威胁。通常需要测量含有大的共模成份的微弱差模信号。这些远距离信号和内部固有的50Hz/60Hz的电网干扰往往对测量造成相当的困难。
- 直流共模信号的进入也会形成干扰。
- 电网工频信号以差模形式叠加到输入信号，也会形成干扰。

78

## 共模和差模干扰信号




共模干扰




差模干扰
(串模干扰)

79

## 抑制比的含义

- "一群坏人堵在大门口，有多少会混进去？"
- 1000个坏人堵在大门口，有1个人混进去，则抑制比=1000：1，用分贝表示就是20log1000=60dB（也就是说有千分之一混进去）；如果1000个坏人中有10人混进去，抑制比=1000：10，用分贝表示就是20log（1000/10）=40dB（也就是说有百分之一混进去）。
- 共模抑制比或差模抑制比的含义与上述比喻类似，只是"坏人"的定义不一样而已。

80

## 共模抑制比CMRR

- 共模抑制比（Common Mode Rejection Ratio）：用于衡量信号放大处理环节衰减共模信号的能力。
- 理想放大器：差模信号放大，共模输入信号的输出为零。
- 实际放大器：共模输入信号的输出不为零，等效为有一定的差模输入信号，二者之比即为CMRR.
- 实际计算时注意正弦信号峰峰值、峰值、有效值间关系 $2\sqrt{2}:\sqrt{2}:1$

$$CMRR = 20\log\frac{Vic}{(Voc/Kd)} = 20\log\frac{Kd}{Kc} = 20\log\frac{Kd \bullet Vic}{Voc} = 20\log\frac{2\sqrt{2}Kd \bullet Vicrms}{Vocpp}$$

**Kd:** 差模放大倍数，即通道增益。
**Kc:** 共模放大倍数
**Vic:** 共模输入峰值，设**Vic**为**50Hz**正弦信号
**Voc:** 共模输出峰值
**Voc/Kd:** 共模输入**Vic**等效的差模输入，所以**CMRR**值表征了共模“抑制”能力。
**Vicrms:** **Vic**的有效值
**Vocpp:** **Voc**的峰峰值

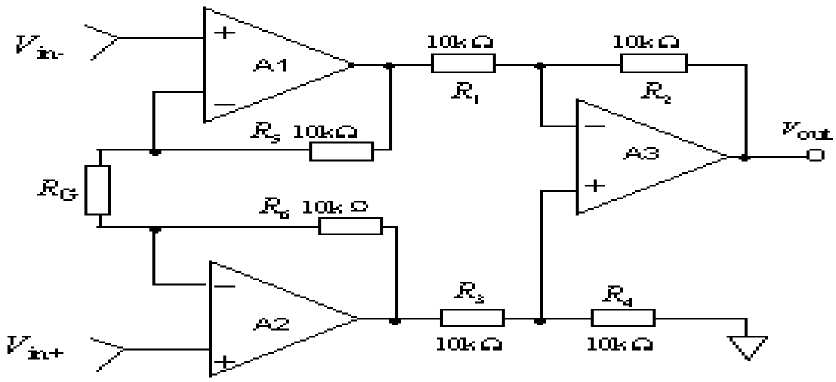


## 提高CMRR的有效方法

- 采用仪表放大器(Instrumentation Amplifier)
- 理想仪表放大器的CMRR=无穷大.

和利时 HollySys

## 仪表放大器的差模放大倍数和共模抑制比




$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-})\left(1 + \frac{R_5 R_6}{R_G}\right)$$

$$CMRR(dB) = 20\log\left(\frac{Gain}{\frac{R_2+R_1}{R_1}\cdot\frac{R_4}{R_3+R_4}-\frac{R_2}{R_1}}\right) \quad (8)$$

83

和利时 HollySys

## CMRR的物理含义

- CMRR衡量了系统对共模信号转换为等效差模信号的衰减程度：

$$Vd = \frac{Vc}{10^{(CMRR/20)}}$$

Vd:等效差模输入信号
Vc:输入共模信号

- 假如CMRR=120dB，共模信号为5V，则其相当于引入了5/10（120/20）=5/1000000=5uV的差模干扰输入信号。

84

## CMRR的测试

- 《JB/T 9270－1999：工业控制微型计算机系统过程输入输出通道模板试验检查方法》
- 直流共模施加AI设备最高可允许的直流共模电压，而被测差模信号施加半满量程值.
- 交流共模输入CMRR测量，仅对隔离型AI设备有意义，在现场地与系统地之间施加频率为50Hz，有效值为标称隔离耐压值（比如500Vrms）的正弦共模信号，而差模信号为AI半满量程值，测量AI设备的输出波动的峰峰值，然后按前面的CMRR定义公式计算出CMRR.

85

## 差模抑制比NMRR

- 实际上，在电子学的教科书中是没有差模抑制比（Normal Mode Rejection Ratio）这一提法的，因为对于一般仪表系统，50Hz的差模信号不能被定性为干扰信号。
- 但在实际应用中，我们往往需要将串联叠加到输入端的电网工频信号（50Hz或60Hz）定义为干扰信号。
- 仿照CMRR的定义和物理意义，工业测量领域定义了NMRR，用于衡量系统对50Hz/60Hz差模信号的抑制能力。

$$NMRR = 20\log\frac{Vi}{(Vo/Kd)} = 20\log\frac{Kd}{Kn} = 20\log\frac{Kd \bullet Vi}{Vo} = 20\log\frac{2\sqrt{2}Kd \bullet Virms}{Vopp}$$

**Kd:** 直流差模放大倍数，即通道增益。
**Kn:** **50Hz**差模信号放大倍数
**Vi:** **50Hz**差模输入峰值
**Vo:** 输出波动交流峰值
**Vo/Kd:** **50Hz**输入**Vi**等效的有效差模输入，**NMRR**值表征了差模“抑制”能力。
**Virms:** **Vi**的有效值
**Vopp:** **Vo**的峰峰值

86

## NMRR的物理意义

- NMRR衡量了系统对50Hz输入差模干扰信号转的衰减程度：

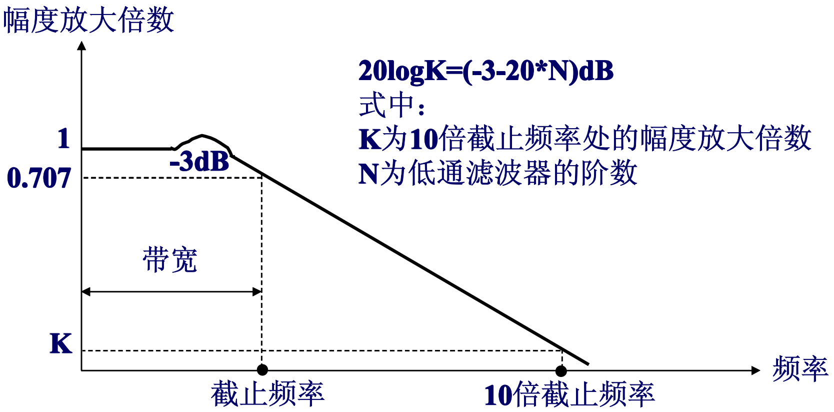
$$Vd = \frac{Vn}{10^{(NMRR/20)}}$$

Vd:衰减后进入系统的差模信号
Vn:输入的50Hz差模信号

- 假如NMRR=60dB，50Hz差模信号峰值为5V，  则 $5/10^{(60/20)}=5/1000=5mV$的差模干扰进入了系统。
- 没有滤波器的测量系统，NMRR为零。
- 1阶滤波约贡献20dB NMRR，60dB需要3阶以上滤波。

87

## 提高NMRR的方法:滤波




**20logK=(-3-20*N)dB**
式中：
**K**为**10**倍截止频率处的幅度放大倍数
**N**为低通滤波器的阶数

88

## 滤波器阶数与NMRR关系

- 没有滤波器的测量系统，NMRR为零.
- 配备1阶低通滤波器的AI设备，NMRR最多可以做到20dB.
- 配备2阶低通滤波器后最多可以做到40dB.
- 要想将NMRR做到60dB，需要3阶以上的滤波器.
- 如果要想有效滤除50Hz信号，即使设计了3阶低通滤波器，其截止频率（－3dB点）也必须在5Hz以内，才能保证在50Hz（5Hz的10倍频）处衰减达到60dB。
- 所以，在DCS系统中，AI的采样率不需要做得很高，10Hz以上就可以了.
- 更高要求的滤波器是梳状滤波器，专门滤50Hz的倍频.

89

## NMRR的测量

- 《JB/T 9270－1999：工业控制微型计算机系统过程输入输出通道模板试验检查方法》
- 用信号发生器产生50Hz的差模正弦信号，通过1：1变压器耦合叠加到被测量的信号中或直接叠加（只要信号发生器的输出可以与被测信号串联），被测差模信号为量程的一半。通过测量输出的波动峰峰值，然后计算出NMRR。

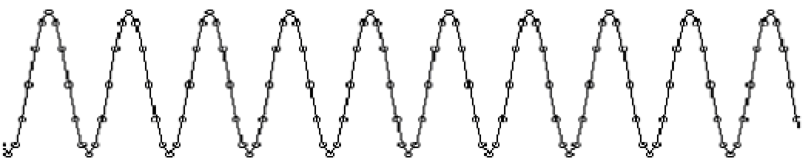
90

# 采样率

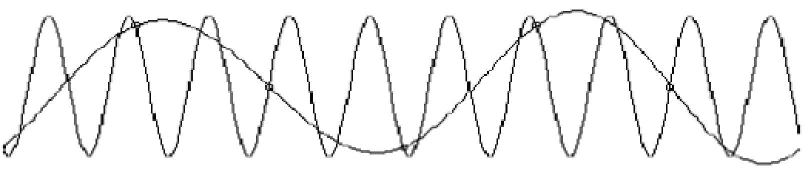
- 采样率（Sampling Rate）:测量设备每秒钟对输入信号的采集次数，单位为 次/秒(SPS:Samples Per Second)。

91

# 过低的采样率将导致信号失真



足够的采样率下的采样结果



过低采样率下的采样结果

92

# 采样定理

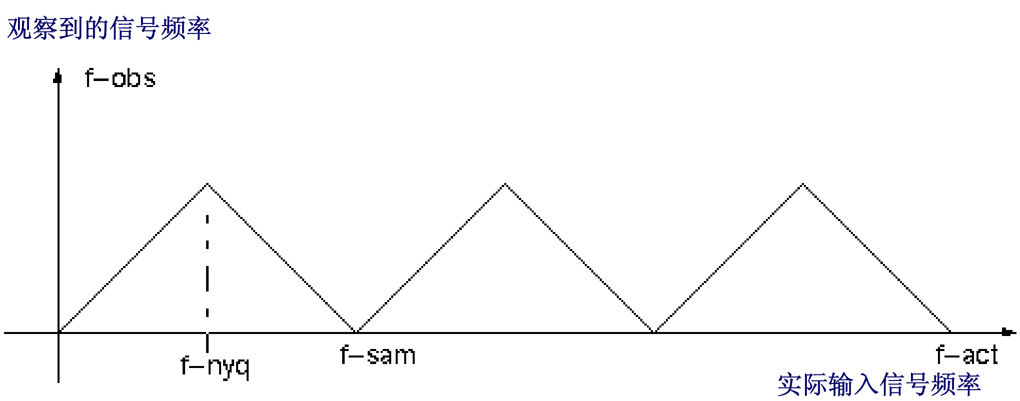
- 能够正确显示信号而不发生畸变的最大频率叫做Nyquist频率，它是采样频率的一半：

Fnyq=Fsam/2

- 信号中所包含的频率高于Nyquist频率的成分，将在直流和Nyquist频率之间发生畸变，称为混叠（Aliasing）

93

# 采样率过低将导致频率混叠




Fact = INT* Fnyq + REM （Fact为实际频率，INT为整数，REM为余数）

B = INT mod 2 （即当INT为奇数时B＝1，当INT为偶数时B＝0）

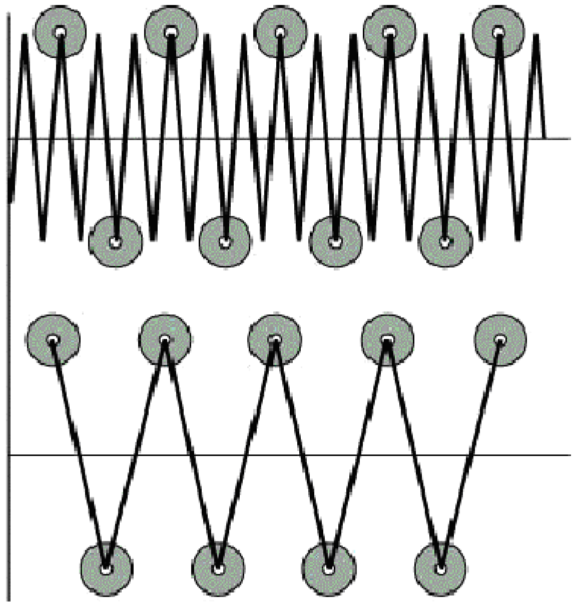
Falias = REM + B * (Fnyq – 2 * REM)

94

## 频率混叠的一个例子

$f_{in}$ = 1 kHz
sampled at 667 Hz

$f_{alias}$ = 1 kHz – 667 Hz
= 333 Hz



95

## 频率混叠的对策:抗混滤波

- 在A/D前加入低通滤波器，将信号中高于Nyquist频率的信号成分滤去,称为抗混叠滤波器

96

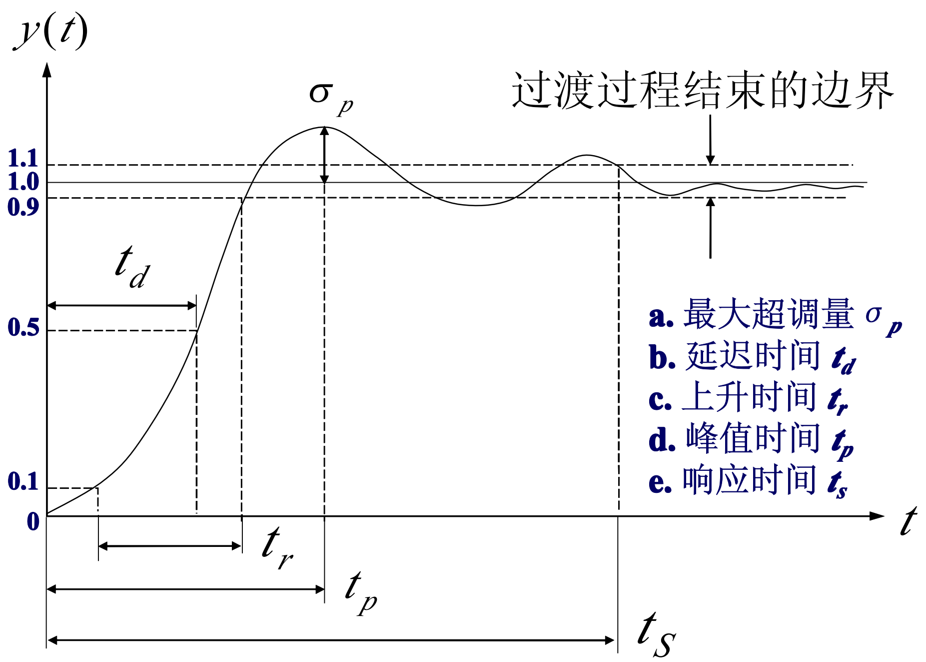
## 信号带宽

- 测量设备允许通过并能不失真测量的信号频率范围。
- 一般情况下是低通滤波器的截止频率。
- 为有效过滤50Hz工频干扰，工业控制领域的一般带宽在5Hz以下。
- 注意:模拟系统的带宽W(Hz)于数字通讯系统的带宽C(bps)是两个不同的概念,香农信道容量定理描述了二者之间的关系(S/N为信噪比):

$$C = W\log_2(1+\frac{S}{N})$$

97

## 阶跃响应




98

## 阶跃响应时间

- 阶跃响应时间（Step Response Time）:由于其输入发生阶跃变化，使输出由起始值稳定进入目标值的某一规定误差范围(DCS系统通常为+/-10%)所需的时间。

99

## DCS AI阶跃响应时间要求

- 4－20mA等高电平信号的阶跃响应时间一般要求在1秒以内。
- 热电偶和热电阻等低电平信号的阶跃响应时间一般要求在3秒以内。

100

## IEC61131-2要求制造商提供的AI指标(1)

| 3.4.1.2.1 Static characteristics | Units and examples |
|---|---|
| 1) Input impedance in signal range | Ω |
| 2) Analog input error [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |
| 3) Maximum error over full temperature range | ± % of full scale |
| 4) [illegible] | [illegible] |
| 5) Data format returned to the application program | Binary, BCD, etc. |
| 6) [illegible] | [illegible] |
| 7) Maximum permanent allowed overload (no damage) | V, mA |
| 8) [illegible] | [illegible] |
| 9) [illegible] | [illegible] |
| 10) Common mode characteristic (d.c., 50 Hz, 60 Hz) if applicable | CMRR dB, CMV V |
| 11) [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |
| 3.4.1.2.2 [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |



## IEC61131-2要求制造商提供的AI指标(2)

| 3.4.1.2.3 General characteristics | Units and examples |
|---|---|
| 1) Conversion method | Dual slope, S.A., etc. |
| 2) Operating modes | Trig, self-scan, etc. |
| 3) Type of protection | RC, opto-isolator, MOVs, etc. |
| 4) Isolation potentials under normal service conditions between channel and a) bus, b) other channels, c) power supply(ies) interface(s) | V |
| 5) External power supply data, if required | Technical data |
| 6) Common points between channels if any | |
| 7) Type, length of cable, installation rules recommended to provide noise immunity | Twisted pair, 50 m max. |
| 8) Calibration or verification to maintain rated accuracy | Month, years |
| 9) Terminal arrangements | |
| 10) Typical example(s) of external connections | |
| 11) Effect of incorrect input terminal connection | |

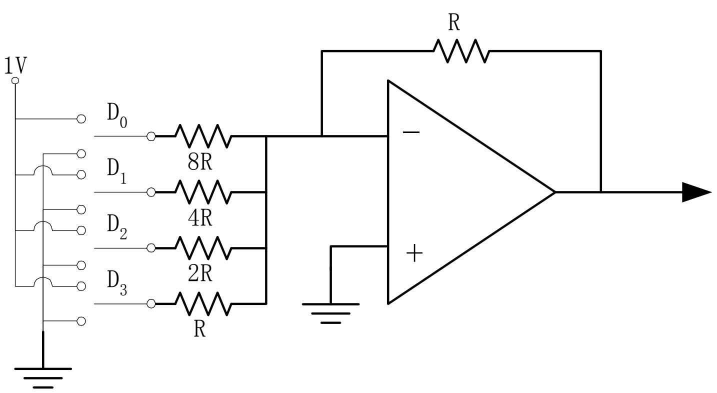
| 3.4.1.2.4 Miscellaneous characteristics | Units and examples |
|---|---|
| 1) Monotonicity with no missing codes | Yes, no |
| 2) Crosstalk between channels at d.c., 50 Hz and 60 Hz | dB |
| 3) Non-linearity | % of full scale |
| 4) Repeatability at fixed temperature after specified stabilization time | % of full scale |
| 5) Life time of electromagnetic relay multiplexors, if applicable | Number of cycles, of hours |

## AI的工程应用

- 四线制4－20mA，两线制4－20mA，0－5V/0-10V，RTD，TC等不同类型的AI信号分布在不同的AI模块上。
- TC信号需要设置冷端补偿（Cold Junction Compensation）测温元件，测温元件应靠近TC接入端子。
- 两线制AI设备应设置现场短路保护措施，避免烧毁其内部采样电阻。
- 在某些关键回路上，AI设备应该冗余配置。

103

## 模拟量输出设备（AO：Analog Output）




104

## AO设备的技术指标

- 精度、分辨率、稳定度、温漂（参见AI）
- 带负载能力：在确保最大能输出20mA的条件下，AO的最大电阻负载。对于以24VDC为驱动电源的AO，其理论最大负载24/0.02=1200欧姆。
- 一般要求AO的带负载能力达到750Ω（一般的负载电阻为250Ω）。
- 建立时间：DA转换从数字指令下发到AO输出值达到预计的精度范围的响应时间。

105

## IEC61131-2对AO负载阻抗的要求

| Signal range | Load impedance limits | Notes |
|---|---|---|
| -10 V +10 V | ≥ 1 000 Ω | 1 |
| 0 V +10 V | ≥ 1 000 Ω | 1 |
| +1 V +5 V | ≥ 500 Ω | 1 |
| 4 mA, 20 mA | ≤ 600 Ω | 2 |
| 0 mA, 20 mA | ≤ 600 Ω | 2, 3 |

NOTES

1 Voltage analog outputs shall withstand any overload down to short circuit.

2 Current analog outputs shall withstand any overload up to open circuit.

3 Not recommended for future designs.

106

## AO带负载能力的测量

- 先将AO的输出值设置到20mA对应的数字量，然后将输出接到可调电阻器上，并串联电流表，不断增加电阻值，当电流开始随电阻的增大逐渐小于20mA时，该负载电阻即为AO的带负载能力。

107

## AO的隔离要求

- 与AI设备不同的是，对于AO电路来说，因为执行器结构上的先天便利，使得现场执行机构的主体电路与AO设备是电气隔离的。这是因为无论是电-气阀门定位器，还是电动执行器，其控制信号（4-20mA电流）一般都是由电感线圈接收的。
- 基于上述因素，AO系统地和现场仪表地之间是隔离的，不可能形成地环电流，所以AO设备并不需要采取措施去切断DCS系统地和现场仪表地之间的地环电流。
- 当然，出于其它安全因素的考虑，比如说防止局部故障扩大化，也可以考虑将AO设计成路间隔离的，这时候相当于每个AO通道的输出级与执行器的输入级构成了一个个独立浮空的电路。

108

## IEC61131-2要求制造商提供的AO指标(1)

| 3.4.2.2.1 Static characteristics | Units and examples |
| --- | --- |
| 1) Output impedance in signal range | Ω |
| 2) Analog output error | |
| – maximum error at 25 °C | ± % of full scale |
| – temperature coefficient | ± % of full scale/K |
| 3) Maximum error over full temperature range | ± % of full scale |
| 4) Digital resolution | Number of bits |
| 5) Data format in application program | Binary, BCD, etc. |
| 6) Value of LSB (least significant bit) | mV, mA |

| 3.4.2.2.2 Dynamic characteristics | Units and examples |
| --- | --- |
| 1) Total output system transfer time (TAQD + TAQT) | ms |
| 2) Settling time for full range change | ms |
| 3) Overshoot | % of full scale |
| 4) Maximum temporary deviation during electrical noise tests and test conditions | ± % of full scale |

109

## IEC61131-2要求制造商提供的AO指标(2)

| 3.4.2.2.3 General characteristics | Units and examples |
| --- | --- |
| 1) Type of protection | Opto-isolators, etc. |
| 2) Isolation potentials under normal service conditions between channel and a) bus, b) other channels, c) power supply(ies) interface(s) | V |
| 3) External power supply data if required | Technical data |
| 4) For current outputs with external supply, the maximum and minimum voltage drop across the output terminals in the full output range | V |
| 5) Type, length of cable, installation rules recommended to provide noise immunity | Twisted pair, 50 m max. |
| 6) Calibration or verification to maintain rated accuracy | Months, years |
| 7) Terminal arrangements | |
| 8) Common points between channels if any | |
| 9) Allowed type(s) of loads | Floating, grounded |
| 10) Maximum capacitive load (for voltage outputs) | pF |
| 11) Maximum inductive load (for current outputs) | mH |
| 12) Typical example(s) of external connections | |
| 13) Output response at power up and power down | |
| 14) Effect of incorrect output terminal connection | |

110

## IEC61131-2要求制造商提供的AO指标(3)

| 3.4.2.2.4 Miscellaneous characteristics | Units and examples |
|---|---|
| 1) Monotonicity | Yes, no |
| 2) Crosstalk between channels at d.c., 50 Hz and 60 Hz | dB |
| 3) Non-linearity | % of full scale |
| 4) Repeatability at fixed temperature after specified stabilization time | % of full scale |
| 5) Output ripple | % of full scale |

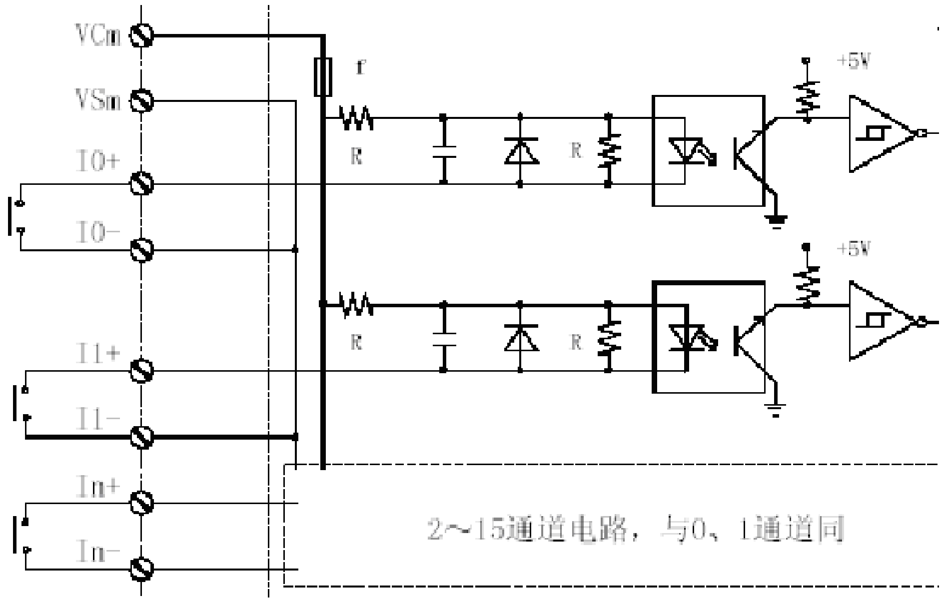
111

## AO的工程应用

- 驱动负载不要高于AO设备的带负载能力。
- 关键控制回路应考虑选择冗余AO。

112

## 开关量输入（DI：Digital Input）




113

## DI的触点型式

- 机械开关（干接点）
- 电子开关
- 电平接点

114

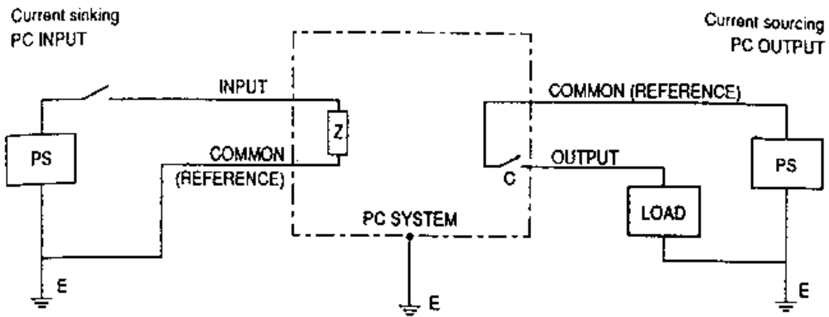
## DI的查询电压

- 24VDC
- 48VDC
- 220VAC
- 220VDC



## DI的电路结构型式

- 共地（Sinking）：电流从开关流出，进入DI板后返回到地（对DI设备来说是Sourcing）。
- 共源（Sourcing）：电流从DI板流出，经开关触点流到地（对DI设备来说是Sinking）。



# DI的阈值电平

- 逻辑1（State 1）：表示接点闭合的状态。
- 逻辑0（State 0）：表示接点断开的状态。
- 模糊区（Transition Area）：无法确定其逻辑值的过渡区。

117

# IEC61131-2关于DI阈值电平的规定

| Rated voltage $U_e$ | Rated frequency $F_n$ Hz | Type of limit | Type 1 limits (note 7) State 0 UL V | Type 1 State 0 IL mA | Type 1 Transition UT V | Type 1 Transition IT mA | Type 1 State 1 UH V | Type 1 State 1 IH mA | Type 2 limits (note 7) State 0 UL V | Type 2 State 0 IL mA | Type 2 Transition UT V | Type 2 Transition IT mA | Type 2 State 1 UH V | Type 2 State 1 IH mA | Notes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 V d.c. | — | Max. | 15/5 | 15 | 15 | 15 | 30 | 15 | 11/5 | 30 | 11 | 30 | 30 | 30 | 1, 2, 4, 5 |
| | | Min. | –3 | ND | 5 | 0,5 | 15 | 2 | –3 | ND | 5 | 2 | 11 | 6 | |
| 48 V d.c. | — | Max. | 34/10 | 15 | 34 | 15 | 60 | 15 | 30/10 | 30 | 30 | 30 | 60 | 30 | 1, 2, 4 |
| | | Min. | –6 | ND | 10 | 0,5 | 34 | 2 | –6 | ND | 10 | 2 | 30 | 6 | |
| 24 V a.c. | 50/60 | Max. | 14/5 | 15 | 14 | 15 | 27 | 15 | 10/5 | 30 | 10 | 30 | 27 | 30 | 1, 3 |
| | | Min. | 0 | 0 | 5 | 1 | 14 | 2 | 0 | 0 | 5 | 4 | 10 | 6 | |
| 48 V a.c. | 50/60 | Max. | 34/10 | 15 | 34 | 15 | 53 | 15 | 29/10 | 30 | 29 | 30 | 53 | 30 | 1, 3 |
| | | Min. | 0 | 0 | 10 | 1 | 34 | 2 | 0 | 0 | 10 | 4 | 29 | 6 | |
| 100 V a.c.<br>110 V a.c.<br>120 V a.c. | 50/60 | Max. | 79/20 | 15 | 79 | 15 | 1,1 $U_n$ | 15 | 74/20 | 30 | 74 | 30 | 1,1 $U_n$ | 30 | 1, 3, 4, 6 |
| | | Min. | 0 | 0 | 20 | 1 | 79 | 2 | 0 | 0 | 20 | 4 | 74 | 6 | |
| 200 V a.c.<br>230 V a.c.<br>240 V a.c. | 50/60 | Max. | 164/40 | 15 | 164 | 15 | 1,1 $U_n$ | 15 | 159/40 | 30 | 159 | 30 | 1,1 $U_n$ | 30 | 1, 3, 4, 6 |
| | | Min. | 0 | 0 | 40 | 2 | 164 | 3 | 0 | 0 | 40 | 5 | 159 | 7 | |

118

## DI的去抖动（De-bouncing）

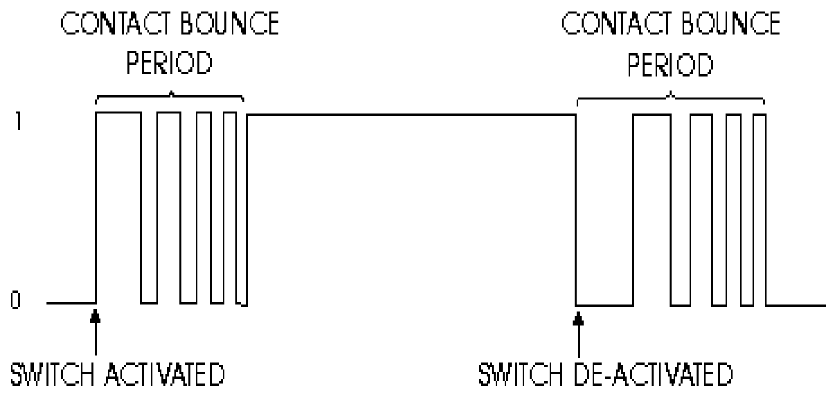



Figure 1

119

## DI的去抖动的方法

- 硬件去抖动
- 软件去抖动：去抖动时间（4—15ms）

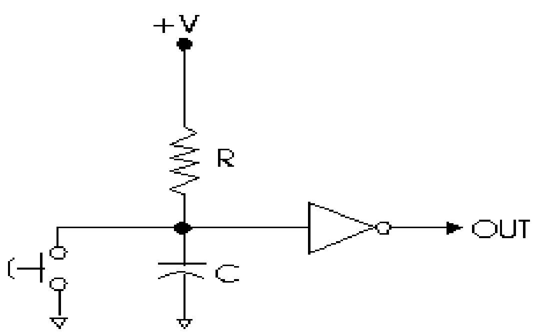



Figure 2

120

## DI的工程应用

- 查询电源分配和保险
- 正反触点安排在同一模块（最好DI上不是长时间所有触点全闭合）

121

## SOE(Sequence of Event)：带时标的DI

- SOE：DI with time-stamp，主要用于事故分析。
- SOE处理的基本原理:主控制器负责分钟以上时间，SOE模块负责分钟以下时间60000ms
- 对时的基本原理:由同一个时钟源对其操作站、主控制器和SOE模块的时间.
- GPS作为标准时钟源。

122

## SOE的对时精度要求

- 对时精度的理解：指的是相对时间精度，而非绝对时间，即SOE主要关心事件发生的先后顺序。
- 站内精度：1ms
- 站间精度：2ms

123

## SOE对时精度的测量

- SOE发生器

124

## SOE的容量

- 单通道SOE容量（在一个控制周期内模块每通道能保存多少个SOE事件）
- 模块SOE容量（在一个控制周期内能整个模块能保存多少个SOE事件）

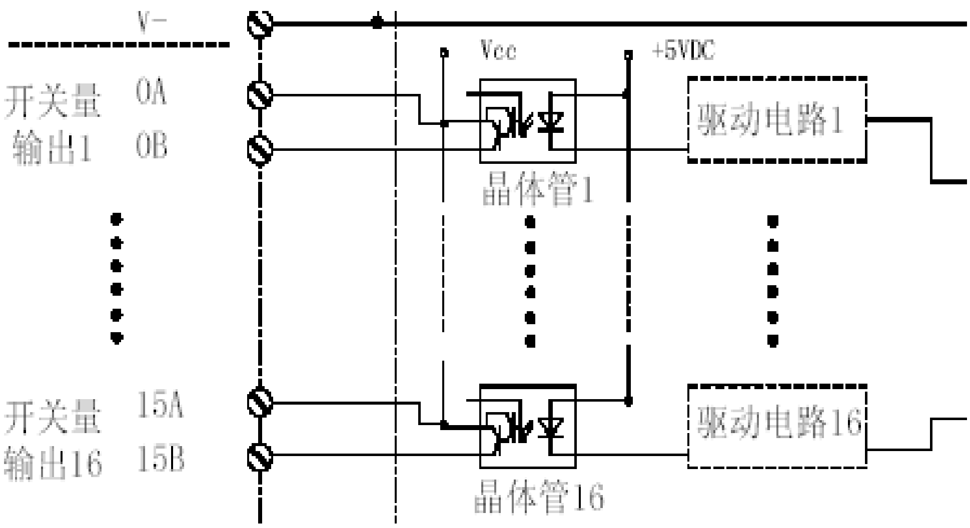
125

## SOE的工程应用

- SOE信号尽量集中在同一个站内。
- SOE站的通讯量要留有余地，在事件几种爆发时才能满足要求。

126

# 开关量输出（DO：Digital Output）




127

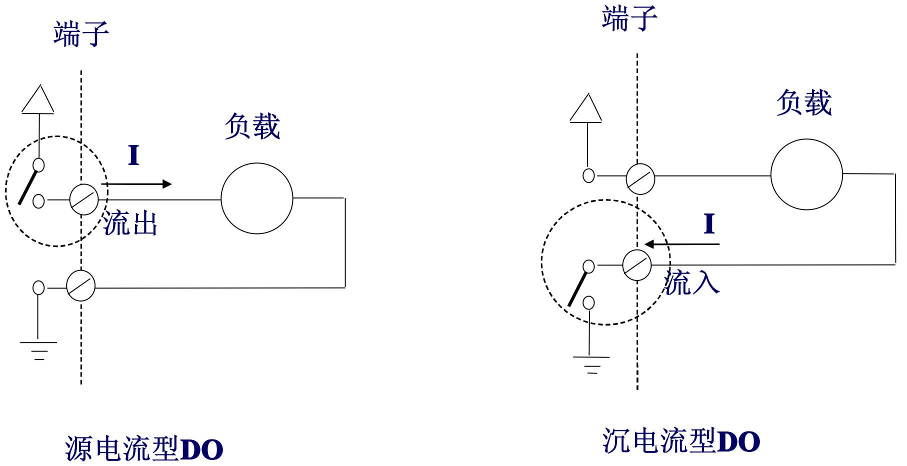
# DO：输出开关的类型

- 机械继电器（SPST，SPDT，DPST，DPDT）：Normal Opened，Normal Closed
- 固态继电器(Solid State Relay—SSR)，是Photo-Darlinton，PhotoMOS，Thyristor，TRIAC等类型开关的统称。
- 晶闸管（Thyrister，原来称为可控硅Sillicon Controlled Rectifier—SCR），适用控制直流负载。
- 双向可控硅(TRIAC：Tri-electrode AC switch)，适用于控制交流负载。

128

# DO：输出电路结构型式

- **源电流输出（Sourcing）：从开关流出电流供给负载。**
- **沉电流输出（Sinking）：从负载流出电流经开关入地。**






# DO的基本指标

- 开关寿命
- 开关容量
- 漏电流（Leakage Current）

## IEC61131-2对交流DO的指标要求

| Rated current (state 1) | $I_e$ (A) | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | Notes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Current range for state 1 (continuous at max. voltage) | Min. (mA)<br>Max. (A) | 10 [5]<br>0,28 | 20<br>0,55 | 100<br>1,1 | 100<br>2,2 | 1, 2 |
| Voltage drop (state 1)<br>– Non-protected output<br>– Protected and short-circuit proof | Max. (V)<br>Max. (V) | 3<br>5 | 3<br>5 | 3<br>5 | 3<br>5 | 1 |
| Leakage current (state 0)<br>– Solid state outputs<br>– Electromechanical outputs | Max. (mA)<br>Max. (mA) | 5 [3]<br>2,5 | 10<br>2,5 | 10<br>2,5 | 10<br>2,5 | 1<br>2, 3 |
| Repetition rate for temporary overload<br>– Solid state outputs<br>– Relay based outputs | Operating cycles/min<br>Min.<br>Min. | 60<br>6 | 30<br>6 | 30<br>6 | 30<br>6 | 4 |

NOTES

1 R.M.S. currents and voltages.

2 Figures between [ ] apply to module not equipped with RC network or equivalent surge suppressors. All other values apply to modules with suppression.

3 Leakage current for solid state outputs greater than 3 mA imply the use of additional external loads to drive type 2 inputs.

4 Typical waveform for temporary overloads ("normal conditions of use") are shown in figure 4. The test method given in IEC 947-5-1 applies to solid state outputs for "normal conditions of use" except that the repetition rate shall be as given in the table. For "abnormal conditions of use", the requirements given in IEC 947-5-1 apply.

131

## IEC61131-2对直流DO的指标要求

| Rated current (state 1) | $I_e$ (A) | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | Notes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Current range for stage 1 at maximum voltage (continuous) | Max. (A) | 0,12 | 0,3 | 0,6 | 1,2 | 2,4 | |
| Voltage drop<br>Not-protected output,<br>protected and short-circuit proof | Max. (V) | 3<br>3 | 3<br>3 | 3<br>3 | 3<br>3 | 3<br>3 | 1 |
| Leakage current (state 0) | Max. (mA) | 0,4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| Temporary overload | Max. (A) | According to manufacturer's specifications | | | | | |

NOTES

1 For 1 A and 2 A rated currents, if reverse polarity protection is provided, a 5 V drop is allowed. This makes the output incompatible with a type 1 input of the same voltage rating.

2 The resulting compatibilities between d.c. outputs and d.c. inputs, without additional external load, are as follows:

| Rated output current $I_e$ (A): | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Type 1: | yes | no | no | no | no |
| Type 2: | yes | yes | yes | yes | no |

With adequate additional external load, all d.c. outputs may become compatible with all type 1 and type 2 d.c. inputs.

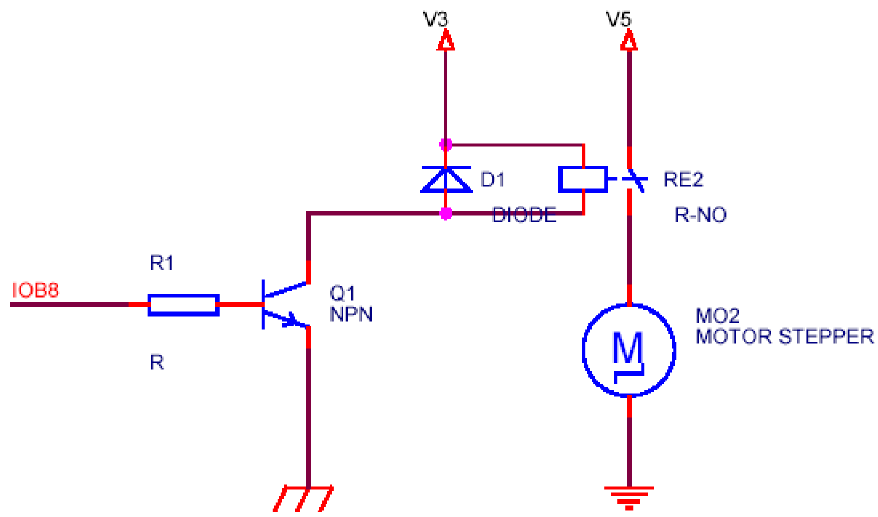
132

## DO工程应用注意事项

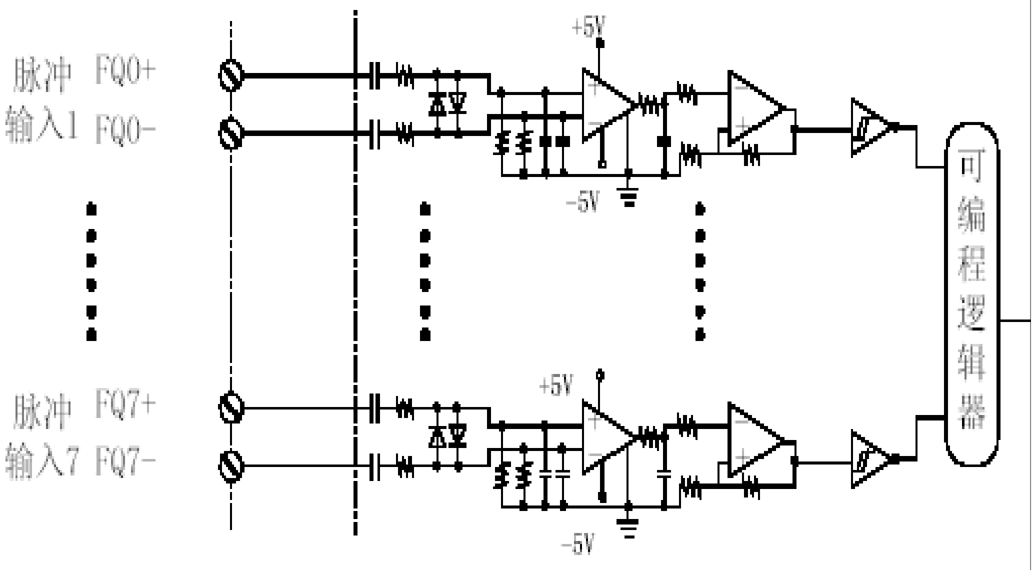
- 频繁动作的DO应选用电子开关类DO
- 有漏电流要求的场合，优先选用机械继电器。



## DO用作PWM控制



## 脉冲量输入（PI：Pulse Input）



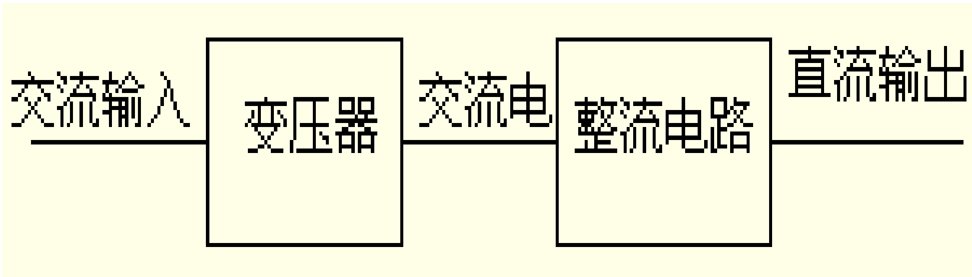

135

## PI的主要指标

- 测频精度
- 计数精度
- 输入信号要求
- 电平范围
- 脉冲宽度

136

## AC—DC电源：线性电源

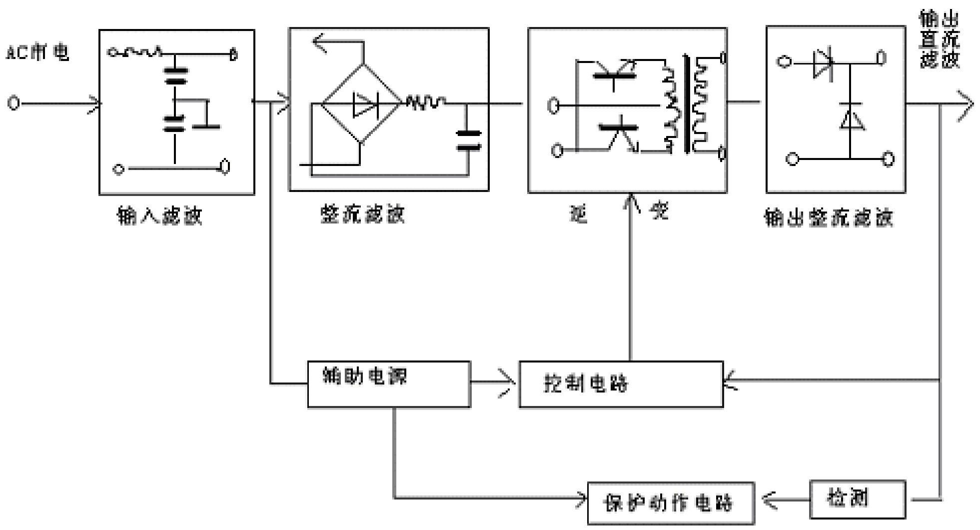





## AC—DC电源：线性电源

- 工频变压器变压
- 整流电路整流滤波
- 电压反馈调整输出电压
- 高的稳定度，波纹也很小（可以达到5mV）
- 没有开关电源具有的干扰与噪音
- 需要庞大而笨重的变压器
- 滤波电容的体积和重量大
- 电压反馈电路是工作在线性状态，调整管上有一定的电压降，在输出较大工作电流时，致使调整管的功耗太大
- 转换效率低，还要安装很大的散热片。
- 这种电源不适合计算机等设备的需要，将逐步被开关电源所取代。

## AC—DC电源：开关电源




139

## AC—DC电源：开关电源

- 开关电源的主要优点：体积小、重量轻（体积和重量只有线性电源的20～30%）、效率高（一般为60～70%，而线性电源只有30～40%）、自身抗干扰性强、输出电压范围宽、模块化。
- 开关电源的主要缺点：由于逆变电路中会产生高频电压，对周围设备有一定的干扰。需要良好的屏蔽及接地。

140

## AC—DC电源的指标：额定输出功率

- 指电源可以稳定输出的最大功率值。

141

## AC—DC电源的指标：输入电压范围

- 按IEC61131—2标准，输入电压波动允许—15％～＋10％，频率波动允许±5％。目前全球的交流电压等级有100Va. c.， 110Va. c.，120Va. c.， 200Va. c.， 220Va. c.，230Va. c.，240Va. c.， 标称频率为50Hz或60Hz，所以得出几种可能的输入电压范围：
- 万能输入范围（Universal Input）：85～264VAC@47~63Hz
- 中国输入范围：187～242VAC@47.5~52.5Hz

142

## AC—DC电源的指标：电压调整率

- 电压调整率也称为源效应(Line Regulation)

$$源效应 = \frac{U - Uo}{Uo} \times 100\%$$

式中，$U_0$——电网电压额定值，输出负载为100%时的整定值
U——电网电压在规定的范围内变化时电源输出电压变化的最大值和最小值

143

## AC—DC电源的指标：负载调整率

- 负载调整率（Load Regulation）

$$LR = \frac{U - Uo}{Uo} \times 100\%$$

式中，$U_0$——额定输入电压，输出电流为50%时的输出电压的整定值
U——负载变化时输出电压的最大值和最小值

144

## AC—DC电源的指标：纹波和噪声

- 纹波噪声也叫周期与随机偏移。
- 纹波是指在输出端子间的一种跟输入和开关转换频率同步的脉动成分。用峰——峰值表示。
- 噪声是指在输出端子间的纹波以外的一种高频尖刺成分。用峰——峰值表示。
- 纹波噪声一般限制用20Mhz带宽的示波器测量，测量时示波器的电源地线断开，并在表笔上并联0.1uF和10uF两个电容。

145

## AC—DC电源的指标：输出电压精度

- 在规定条件（负载，输入，导线长度，温度）下的输出电压相对误差。
- 有时也指考虑电压调整率、负载调整率和纹波噪声后的电压精度的综合。

$$\delta U = \frac{U - Uo}{Uo} \times 100\%$$

146

## AC—DC电源的指标：转换效率

- 交流输入电压为额定值，直流输出电压为稳压上限值，输出电流为额定值，纯阻性负载条件下测试。

$$\eta = \frac{U_0 I_0}{\mathrm{P_i}} \times 100\%$$

式中，$U_0$——输出直流电压稳定上限值
$I_0$——额定输出电流
$P_i$——交流输入有功功率

147

## AC—DC电源的指标：其它

- 过压/欠压保护
- 过流保护/短路保护
- 过热保护
- 输出报警
- 温度漂移
- 输出电压可调范围
- 输出功率温度曲线

148

## 电源冗余：均流冗余

- 所有电源平均承担负荷
- 冗余结构相当于"热"冗余
- 可以构成1:1，N:1,N:M(M<N)冗余
- 体积较小，单个电源成本较高。
- 如果不是1:1冗余结构，当系统需要双AC220V输入冗余时，需要另外配置双AC冗余装置。

149

## 电源冗余：非均流冗余

- 非均流冗余电源，工作时输出电压较高的一个承担了绝大部分（90%以上）的负荷。
- 当主电源故障时，从电源才升级为主工作。
- 冗余机理相当于"温"冗余。
- 只能作到1:1冗余，体积较大。
- 系统需要双AC输入冗余时，分别将两路AC电源接主备电源即可。

150

## DCS电源容量核算

- 降额设计：70％
- 电源容量限制是DCS系统容量核算的重要条件
- DCS电源容量计算方法：DI，DO，2线制AI，4—20mA AO需要考虑模块的自身功耗和随信号状态变化的附加功耗。
  - DI：5mA，灯
  - DO：继电器线圈电流
  - AI：2线制变送器供电
  - AO：执行器按全部20mA计

151

## 双路AC电源冗余切换装置

- 有两路从不同变电所输送过来的供电电源。这两个变电所的送配电系统，一般情况下不会同时停电或同时检修。

152

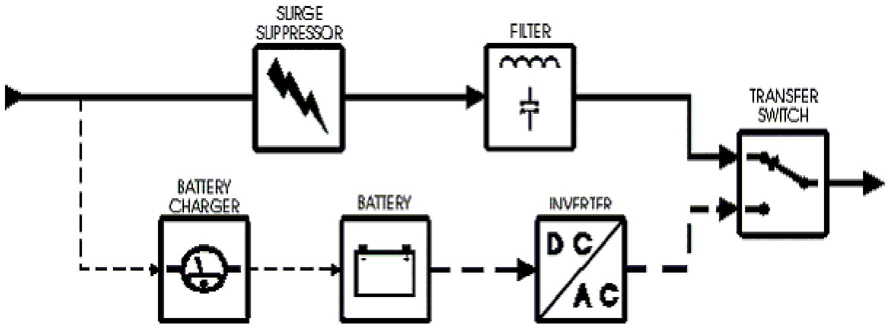
## UPS（Uninterruptible Power System）

- UPS：即不间断电源系统，是DCS系统中经常需要配备的备用交流电源，在220VAC主电源中断的情况下，可以有UPS给系统供电。
- UPS可以分为四种类型：
  - 后备式
  - 在线式
  - 在线互动式
  - Delta变换式

153

## 后备式UPS

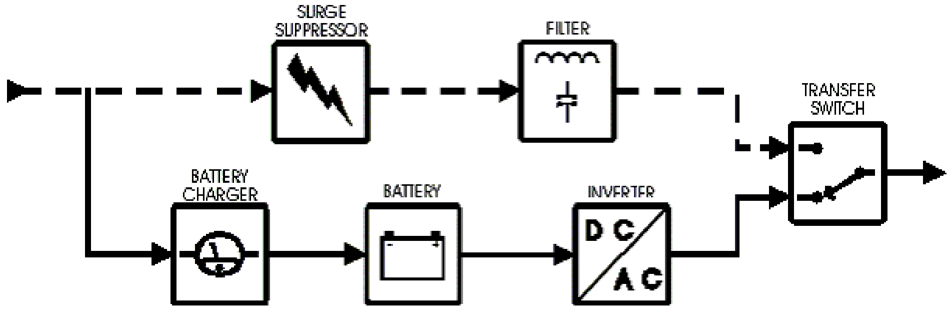
- 后备式是适于微机使用的一种最常用的类型，交流输入电源正常时，**UPS**只是将输入电源过滤后输出，同时通过充电器为电池充电；交流输入电源中断后，**UPS**切换为电池和逆变器电路供电。逆变器只有在交流输入电源中断后才开始工作，所以称之为后备式。




154

## 在线式UPS

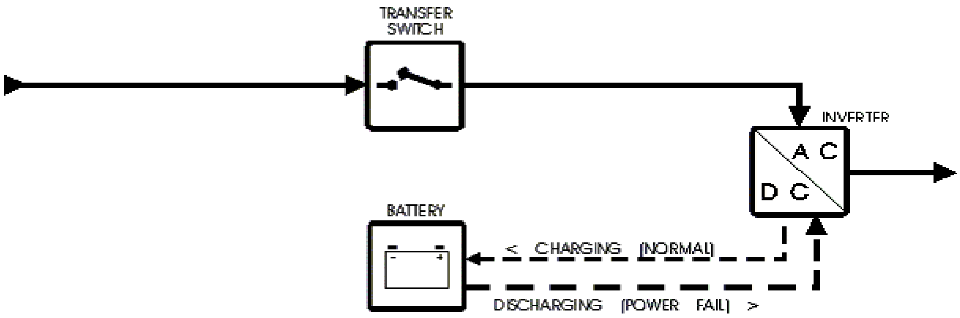
- 一般用于**10**千瓦以上的产品。除了基本供电电路为电池逆变器电路外，基本原理图与后备式相同。无论交流输入电源是否正常，均通过电池逆变器电路提供电源输出。交流输入电源中断时不需要切换，不存在转为电池供电的切换时间。但是在电池逆变器电路出现故障或者逆变器内部失灵时，都需要切换为旁路供电，这时切换时间与后备式相同。




155

## 在线互动式UPS

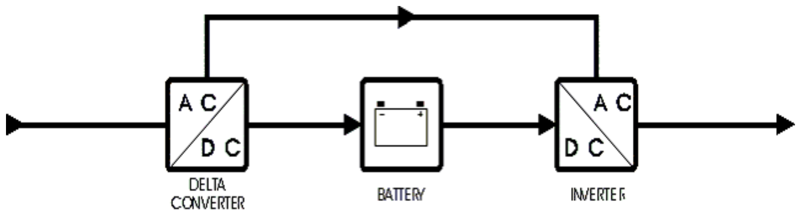
- 一般用于较小功率的产品。这种类型采用双向逆变器，而且逆变器总是和输出连着的。交流输入电源正常时，逆变器反相工作给电池充电，停电时转换开关断开，电池提供输出。同后备式相比，逆变器总是和输出相连，因而能对电源起到滤波和削波作用。逆变器还具有稳压、调压作用，否则电压过低会强迫**UPS**切换为电池供电方式。逆变器还可以保证他本身发生故障时仍能由交流输入电源直接提供输出，不仅可靠而且效率高。




156

# Delta变换式UPS

- 应该说**Delta**变换式是在线式的一种，基本电源输出由逆变器提供，但是同时**Delta**变换器也能向逆变器提供电源。在断电情况下，**Delta**变换式的工作情况和在线式是完全一样的。在正常供电情况下，由于**Delta**变换器能向逆变器提供电源，因此不需要对电池充电后再将电池输出通过逆变器变为交流输出，其工作效率要远高于普通在线式**UPS**。在输出电源质量方面，**Delta**变换式和在线式一样。




157

# 4种UPS性能比较

| 比较项 | 后备式 | 在线式 | 在线互动式 | Delta 变换式 |
|---|---|---|---|---|
| 切换时间 | 长 | 无 | 短 | 无 |
| 正常情况下逆变器状态 | 不工作 | 工作 | 热备 | 工作 |
| 功率范围(千瓦) | 0-0.5 | 5-5000 | 0.5-5 | 5-5000 |
| 效率 | 高 | 低 | 高 | 高 |
| 输出电源质量 | 一般 | 高 | 中等 | 高 |
| 成本 | 低 | 中 | 中 | 中 |

158

## 可靠性与可用性

- 可靠性（Reliabilty）:产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。主要用产品的无故障运行寿命来衡量。常用的指标是平均故障间隔时间(MTBF),单位是小时。
- 可用性（Availability）:含义为某一时刻系统无故障工作的概率——MTTF/(MTTF+MTTR)。
- MTBF值的计算方法，目前最通用的权威性标准是MIL-HDBK-217、GJB/Z299B和Bellcore，分别用于军工产品和民用产品。其中，MIL-HDBK-217是由美国国防部可靠性分析中心及Rome实验室提出并成为行业标准，专门用于军工产品MTBF值计算，GJB/Z 299B是我国军标；而Bellcore是由AT&T Bell 实验室提出并成为商用电子产品MTBF值计算的行业标准。

159

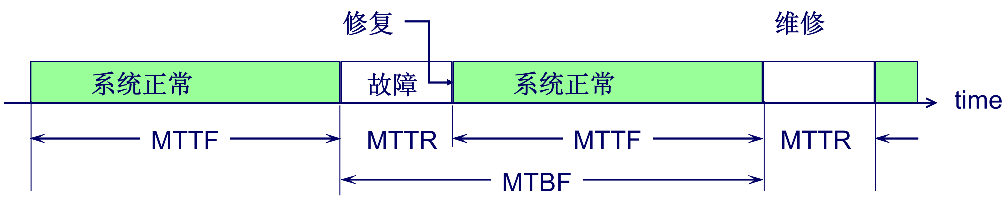
## 从可靠性到可信性(Dependability)

- 可信性作为描述可用性与其相关因素，即可靠性、可维修性和维修保障性的集合性非量化术语。
- 可信性是当代产品使用性能的主要属性，它包括可靠性，可维修性和维修保障性等质量特性。
- 1993年ISO9000.4 idt IEC300-1可信性大纲管理指南》的发布，标志着可靠性管理已发展到可信性管理
- 可信性管理就是当代的可靠性管理。

160

# MTTF, MTBF, MTTR

MTTF: Mean Time to Failure平均无故障时间
MTBF: Mean Time Between Failures平均故障间隔时间
MTTR: Mean Time to Repair平均维修时间




MTBF = MTTF + MTTR
如果 MTTR « MTTF: MTBF ≈ MTTF

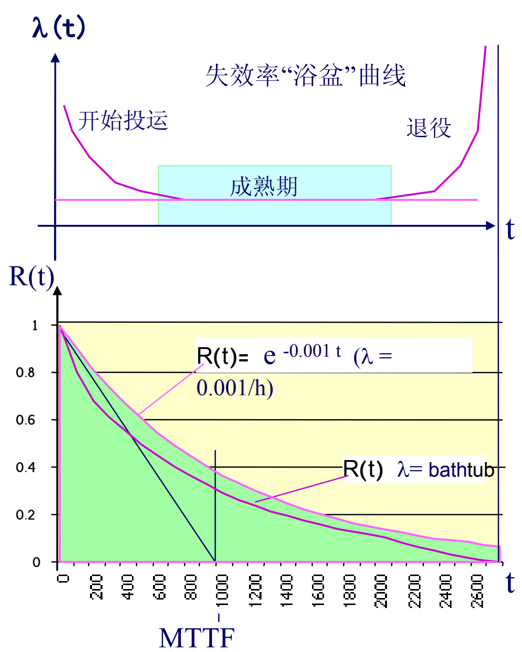
161

# 可靠度和失效率

- 可靠度R(t):0-t时刻内系统正常工作的概率。
- 失效率λ:单位时间内发生失效的概率。
- 当λ为常数时:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}\,dt = \frac{1}{\lambda}$$




162

# MTTF计算方法

1 — 2 — 3 — 4

$$R_{total} = R_1 * R_2 * .. * R_n = \prod_{I=1}^{n} (R_i)$$

$$R_{total} = e^{-\Sigma\lambda_i t}$$

$$\lambda_{total} = \Sigma\lambda i$$

$$\mathbf{MTTF=1/\lambda_{total}}$$

163

# MIL-HDBK-217F中典型器件的失效率

FIT (Failures in Time), 1 fit = $10^{-9}$ /h.

| Element | Rating | failure rate |
|---|---|---|
| resistor | 0.25 W | 0.1 fit |
| capacitor | 100 nF | 0.5 fit |
| capacitor | 100 μF | 10 fit |
| processor | 486 | 500 fit |
| RAM | 4MB | 1 fit |
| Flash | 4MB | 12 fit |
| FPGA | 80 fit | |
| PLC | compact | 6500 fit |
| digital I/O | 32 points | 2000 fit |
| analog I/O | 8 points | 1000 fit |
| battery | per element | 400 fit |
| VLSI | per package | 100 fit |

MIL HDBK-217F

164

# 安全性

- 功能安全（Functional Safety）
  - IEC61508:Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
  - 定义：系统正确地响应输入从而正确地输出控制的能力。
- 人身安全（Life Safety）
  - GB4943(idt IEC60950)：信息技术设备的安全
  - 对于DCS而言，主要指电工安全。
- 信息安全（Information Security）
  - 主要针对信息的保密和防止非法访问。



# 安全性和可靠性之间的关系

- 安全性（Safety）：系统故障情况下不对财产和生命带来危害的性能。
- 可靠性注重于考虑系统能连续正常工作的程度。
- 安全性注重于考虑系统故障的防范和处理措施，并不会为了连续工作而冒风险。
- 可靠性高并不意味着安全性肯定高。
- 安全性总是要依靠一些永恒的物理外力作为最后一道屏障，比如利用重力不会因停电而消失，往往用于紧急情况下关闭设备。
- 某些情况下，可靠性与安全性是同义词，比如飞机发动机（这些情况下，停机等于危险）。

## 功能安全(Functional Safety)

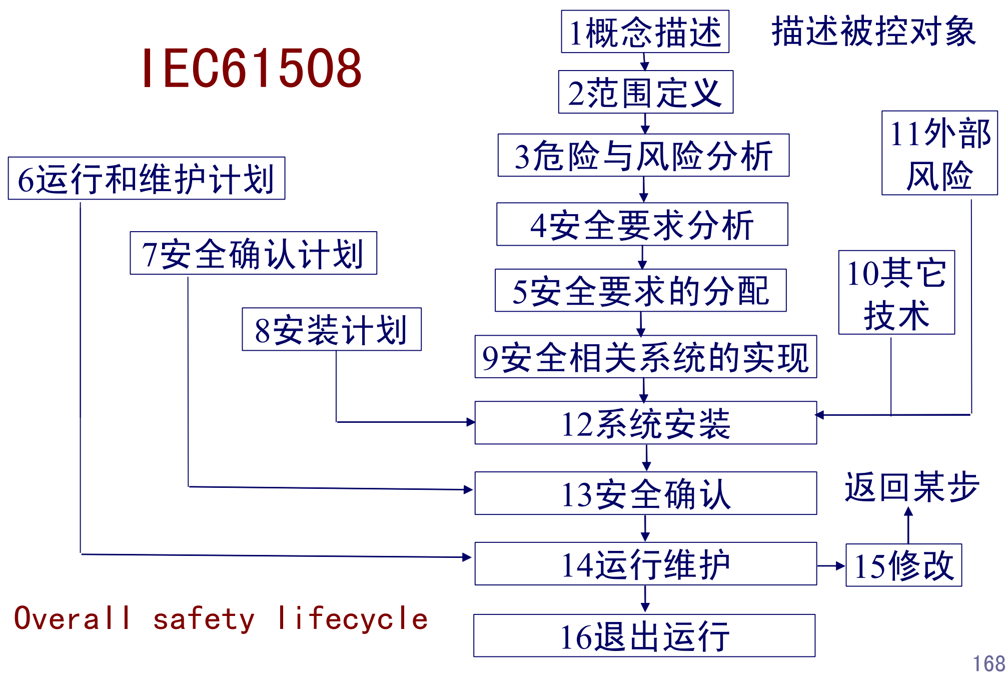
- 构成功能安全的两个必要条件
  - 危险前有信息输入
  - 系统能以非常高的概率确保正确地响应输入，避免危险的发生。

举例：电动机线圈超温保护，当采用温度探头测量温度，超温就切断电源，这属于功能安全；但如果通过改善线圈的材质获得耐高温，则不属于功能安全，而输入内在安全（Inherent Safety).所以功能安全仅仅是总体安全的一方面，总体安全一般用"故障安全"的概念。

- 安全相关系统的两个中心议题
  - 什么功能需要安全：危险分析过程（Hazard Analysis),即什么情况下会出现什么后果。
  - 该功能需要达到什么安全度（Safety Integrity)：风险评估过程（Risk Assessment),即危险的概率评估。



## 安全相关系统的安全生命周期



## IEC61508安全度等级(SIL-Safety Integrity Level)

| Safety integrity level | Low demand mode of operation (Average probability of failure to perform its design function on demand ) |
|---|---|
| 4 | $\geq 10^{-5}$ to $<10^{-4}$ |
| 3 | $\geq 10^{-4}$ to $<10^{-3}$ |
| 2 | $\geq 10^{-3}$ to $<10^{-2}$ |
| 1 | $\geq 10^{-2}$ to $<10^{-1}$ |

Low demand mode:非连续使用的系统，每年最多使用一次且y预防性检修周期在半年以内（每年检修不少于两次）。

169

## IEC61508安全度等级(SIL-Safety Integrity Level)

| Safety integrity level | High demand or continuous mode operation (Probability of a dangerous failure per hour ) |
|---|---|
| 4 | $\geq 10^{-9}$ to $<10^{-8}$ |
| 3 | $\geq 10^{-8}$ to $<10^{-7}$ |
| 2 | $\geq 10^{-7}$ to $<10^{-6}$ |
| 1 | $\geq 10^{-6}$ to $<10^{-5}$ |

High demand or continuous mode:每年使用2次以上，或者使用1次，预防性检修周期大于半年（每年检修少于两次）。

170

## 一些典型的安全相关系统的SIL等级

- Siemens:  Teleperm-XS    SIL3
- Bently Nevada: 3500汽机监测保护系统 SIL3

171

## IEC61508作为基础标准产生其它安全标准

### IEC61511

- Functional safety: Safety Instrumented Systems for the process industry sector
- 功能安全：用于过程工业（流程工业）的安全仪表构成的系统

172

# 信息安全

- 信息安全：保证信息的完整性、可用性和保密性。
- 信息安全的三个层面
  - 网络安全：防止非法进入与访问
  - 系统安全：防病毒
  - 数据安全：数据保密
- 信息安全常用技术
  - 防火墙：在内部网与外部网之间设置隔离墙
  - 虚拟专用网：使用加密路由器在公共网上建立专用网络
  - 安全服务器：设置安全服务器管理局域网。
  - 电子签证机构：提供成员身份验证和密钥管理等功能。
  - 用户身份认证：IC卡，数字签名等技术的应用。
  - 安全管理中心：为信息安全建立集中管理机构。
  - 安全操作系统：为系统中的关键服务设计专用操作系统。

173

# 人身安全及安规认证

- 产品责任法
  - 非过失责任
  - 首先举证的责任在制造商
- 企业自检
  - 产品责任全部由制造商承担
- 自愿申请第三方认证
  - 检验的完备性
  - 市场认可程度高（使用没有UL认证的产品，投保都困难）
  - 产品责任的第三方技术和法律支持
- 强制申请第三方认证
  - CE
  - CCC

174

## 安全规范

- CCC：中国安规
- CSA：加拿大安规
- K-Mark:韩国安规
- LCIE:法国安规
- KEMA:荷兰安规
- CE指令：93／68／EEC 低压电气安全
- ANSI／UL1950(IEC60950) 信息产品安全

目前我国对工业控制设备尚不要求进行3C认证。

175

## 气候影响：温度、湿度和气压

- 工作环境温度：设备能正常工作时，其外壳以外的空气温度，如果设备装于机柜内，指机柜内空气温度。
- 存储环境温度：指设备无损害保存的环境温度。
- 工作环境湿度：设备能正常工作时，其外壳以外的空气湿度，如果设备装于机柜内，指机柜内空气湿度。
- 存储环境湿度：指设备无损害保存的环境湿度。
- IEC60654-1-1993（等同GB/T17214.1-1998）工业过程测量和控制装置的工作条件 第1部分:气候条件

176

## 商业级、工业级和军用级温度

- 一般的器件温度分为商业级、工业级和军用级三种：
  - 商业级0℃~70℃
  - 工业级-40℃~85℃
  - 军用级-55℃~125℃

  （不同厂家的划分标准可能不同）。
- 作为设备，由于必须考虑外壳的存在，所以整机的工作环境温度常用的范围有0-40℃、0-55℃、0-60℃、-25℃~70℃等。
- ISA-71.01-1985 - Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Temperature and Humidity

$$T_f = \frac{9}{5} \bullet T_c + 32 \Rightarrow T_c = \frac{5}{9}(T_f - 32) \Rightarrow T_k = T_c + 273.15$$

式中Tc、Tf及Tk分别为摄氏温度、华氏温度及绝对温度的数值。

177

## 低温对设备的影响

- 低温指低于0°C的温度。
- 我国境内的最低温度为黑龙江漠河-52.3 °C
- 低温的危害：
  - 电子元器件参数变化
  - 低温冷脆
  - 低温凝固（如液晶的低温不可恢复性凝固）
- 低温严酷等级：-5°C，-15°C，-25°C，-40°C，-55°C，-65°C，-80°C。

178

## 高温对设备的影响

- 一般指高于40°C以上的温度。
- 我国境内的最高温度为吐鲁番47.6 °C
- 高温的危害：
  - 电子元器件性能破坏
  - 高温变形
  - 高温老化
- 高温严酷等级：40°C ，55°C ，60°C ，70°C ，85°C ，100°C ，125°C，150°C，200 °C 。

179

## DCS系统环境温度的要求

- 对于PLC和DCS类设备，按照IEC61131－2的要求，带外壳的设备，工作环境温度为5～40℃，无外壳的板卡类设备，其工作环境温度为5～55℃。而在IEC60654-1-1993中，进一步将工作环境进行分类：有空调场所为A级20～25℃，室内封闭场所B级5～40℃，有掩蔽（但不封闭）场所C级-25～55℃，露天场所D级－50~40℃。
- 关于工业控制系统的温度分级标准，可以参见IEC60654-1-1993（对应国标GB/T17214.1-1998：工业过程测量和控制装置的工作条件 第1部分:气候条件）或ISA-71.01-1985 - Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Temperature and Humidity

180

## 相对湿度

- 混合比：是水汽质量与同一容积中于空气质量的比值。
- 相对湿度：相对湿度是空气中实际混合比（r）与同温度下空气的饱和混和比（rs）之百分比。相对湿度的大小可以直接表示空气距饱和的程度。
- 在描述设备的相对湿度时，往往还附加一个条件——不凝结（Non-condensing），指的是不结露。因为当温度降低时，湿空气会饱和结露，所以不凝结实际上是对温度的附加要求。
- 露点温度：在空气中水汽含量和气压不变的条件下，当气温降低到使空气达到饱和时的那个温度称为露点温度，简称为露点。

181

## 湿度对设备的影响

- 相对湿度超过65%，就会在物体表面形成一层水膜，使绝缘劣化。
- 金属在高湿度下腐蚀加快。
- 相对湿度的严酷等级：10%，50%，75%，95%。
- 关于工业控制系统的湿度分级标准，可以参见IEC60654-1-1993（对应国标GB/T17214.1-1998：工业过程测量和控制装置的工作条件 第1部分:气候条件）或ISA-71.01-1985 - Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Temperature and Humidity

182

# 气压

- 一个标准大气压=气温在0 ℃及标准重力加速度（g＝9．80665米／秒2）下760毫米水银柱所具有的压强，即1 个大气压＝1．35951 ×104×9.80665×0.76 =101.325kPa。
- 海拔每升高100米，气压就下降5mmHg（0.67kPa）

183

# 气压对设备的影响

- 空气绝缘强度随气压降低而降低（1%每100米升高）。
- 散热能力随气压降低而降低（海拔每升高100米，元器件的温度上升0.2~1°C)
- 气压的严酷等级常用海拔表示，比如海拔3000米。

184

## 振动（Vibration）

- 指设备受连续交变的外力作用。
- 可导致设备紧固件松动或疲劳断裂
- 设备安装在转动机械附近，即是典型的振动环境。
- IEC60654-3-1983（等效GB/T17214.3-2000）工业过程测量和控制装置的工作条件 第3部分:机械影响
- 控制设备的振动分为低频振动（8-9Hz)和高频振动（48-62Hz)两种，严酷等级一般以加速度表示：0.1g,0.2g,0.5g,1g,2g,3g,5g.
- 振动的位移幅度一般分0.35mm---15mm等级。

185

## 冲击(Shock)

- 短时间的或一次性的施加外力。
- 跌落就是典型的冲击。
- IEC60654-3-1983（等效GB/T17214.3-2000）工业过程测量和控制装置的工作条件 第3部分:机械影响
- 冲击的严酷等级以自由跌落的高度来表示，一般分25mm,50mm,100mm,250mm,500mm,1000mm,2500mm,5000mm,10000mm.

186

# 外壳防护等级

- 常用标准IEC529（等同采用国家标准为GB/T 4208-1993 ）:外壳防护等级。
- 其它标准有NEMA250,UL50和508， CSA C22.2 No.94-M91
- 上述标准规定了设备外壳的防护等级，包含两方面的内容：
  - 防固体异物进入
  - 防水

187

# IEC529 IP外壳防护等级

- IEC529采用 IP编码代表防护等级，在IP字母后跟两位数字，第1位表示防固体异物的能力，第2位数字表示防水能力，如IP55.

| 第1位 | 含义 | 第2位 | 含义 |
|---|---|---|---|
| 0 | 无防护 | 0 | 无防护 |
| 1 | 防50mm，手指可入。 | 1 | 防垂滴 |
| 2 | 防12mm，手指不可入。 | 2 | 防斜15°垂滴 |
| 3 | 防2.5mm，导线不可入。 | 3 | 防淋，与垂直线成60°以内淋水 |
| 4 | 防1mm，不防砂尘。 | 4 | 防溅，任何方向可溅水 |
| 5 | 防尘，尘入量不影响工作 | 5 | 防喷，任何方向可喷水 |
| 6 | 尘密，无尘进入 | 6 | 防浪，强海浪冲击 |
| —— | | 7 | 防浸，在规定压力水中 |
| —— | | 8 | 防潜，能长期潜水 |

188

# 各种外壳防护等级之间的近似对应

| NEMA | UL | CSA | 近似的 **IEC529/IP** |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | IP23 |
| 2 | 2 | 2 | IP30 |
| 3 | 3 | 3 | IP64 |
| 3R | 3R | 3R | IP32 |
| 4 | 4 | 4 | IP66 |
| 4X | 4X | 4X | IP66 |
| 6 | 6 | 6 | IP67 |
| 12 | 12 | 12 | IP55 |
| 13 | 13 | 13 | IP65 |



# 防腐蚀

- IEC60654-4-1987将腐蚀环境分为几个等级。主要根据硫化氢（H2S）、二氧化硫（SO2）、氯气（CL2）、氟化氢（HF）、氨气（NH3）、氧化氮（NOx）、臭氧（O3）和三氯乙烯，盐雾和油雾，固体腐蚀颗粒三大类腐蚀条件和其浓度进行分级如下：
- 腐蚀性气体按种类和浓度分为4级：1级为工业清洁空气，2级为中等污染，3级为严重污染，4级为特殊情况。
- 油雾按浓度分为4级：1级<5ug/kg干空气，2级<50ug/kg干空气，3级<500ug/kg干空气，4级>500ug/kg干空气。
- 盐雾按距海岸线距离分为3级：1级距海岸线0.5km以外的陆地场所，2级距海岸线0.5km以内的陆地场所，3级为海上设备。
- 固体腐蚀物未在IEC60654-4-1987标准中分级，但该标准也叙述了固体腐蚀物腐蚀程度的组成因素，主要是空气湿度、出现频率或浓度、颗粒直径、运动速度、热导率、电导率、磁导率等。
- 上述规定可以参见IEC60654-4-1987（等效JB/T9237.1-1999）工业过程测量和控制装置的工作条件 第4部分:腐蚀和浸蚀影响。
- 另外ISA-71.04-1985 - Environmental Conditions for Process Measurement and Control Systems: Airborne Contaminants也规定了腐蚀条件分级。

# 防爆：标准

- 中国：强制性标准GB3836系列
- 欧洲：EN50014系列
- IEC：IEC79系列
- 北美：国家防火协会的国家电气代码标准（NEC – National Electrical Code National Fire Protection Association）

191

# 防爆：等级划分

- 场所分类
  - I类：有甲烷等气体的煤矿井下
  - II类：各种易燃易爆气体的工业场所
  - III类：有易燃易爆粉尘的场所
- 易爆等级
  - A,B,C三级依次变得易引爆，按易爆物类型分。其中I类不在分，II类分A,B,C三级，III类分A,B两级。
- 温度分类(°C)
  - I,II类分为：T1(450),T2(300),T3(200),T4(135),T5(100),T6(85)
  - III类分为：T1-1(270),T1-2(200),T1-3(140)

192

## 防爆：类型及等级标志

- 类型
  - 隔爆型"d"，冲油型"o"，正压型"p"，增安型"e"，冲沙型"q"，特殊型"s"，本安型"i"，无火花型"n"。
- 其中增安型是在隔爆型的基础上在有采取无火花设计形成的；本安型又分为ia和ib两级，前者安全数更大。
- 举例1：dIIBT3，隔爆型仪表，可用于乙烯环境中，其表面温度不超过200°C 。
- 举例2：iaIIAT5,本安ia型，可用于乙炔、汽油环境中，温度不超过100 °C 。

193

## 电磁兼容性的定义

- EMC：Electromagnetic Compatibility
- 电磁兼容性：设备在其电磁环境中能正常工作，且不对该环境中其它设备构成不能承受的电磁骚扰的能力。
- 研究电磁兼容性，不是处于理论上的目的，而是处于实践上的需要，它是DCS系统电气抗干扰能力的综合体现。
- DCS系统的电磁兼容性是通过一些实践性很强的技术手段获得的，这些手段主要有：
  - 接地
  - 隔离
  - 屏蔽
  - 双绞
  - 吸收
  - 滤波

194

## 产品电磁兼容性的两个方面

- 骚扰（Disturbance）：专指本产品对别的产品的造成的电磁影响——“我捣乱你，祸根”。
- 干扰（Interference）：或称为抗干扰，专指本产品抵抗别的产品的电磁影响——“我抵抗你，免疫”。

195

## 电磁兼容的三个要素

- 骚扰源：危害性电磁信号的发射（Emission）者。
- 传播途径：电磁信号的传播途径。
  - 辐射（Radiated Emission）：通过空间发射。
  - 传导（Conducted Emission）：沿着导体发射。

  注意：不要将发射和辐射混淆，辐射和传导都统称为发射。
- 接收器：收到电磁信号的电路。

消除上述三要素之一，产品间电磁干扰就不存在。

196

## 电磁骚扰的种类

- 自然噪声：
  - 宇宙射线和太阳辐射（频率大于10MHz）。
  - 雷电（频率小于10MHz）。
- 人为噪声：
  - 故意行为：雷达、电子战发射装置。
  - 无意行为：电焊机、电源、继电器、静电等。

197

## 骚扰信号被接收：形成干扰

- 通过天线或等效于天线的结构接收
- 通过机箱接收
- 通过导线接收
- 对于上述三种基本的信号传播机构，可构成9种可能的耦合，其中，天线——天线，天线——导线，导线——导线，是三种最主要的耦合方式，所以电磁兼容性的研究和标准也主要是围绕这三种模式进行的。

机箱——机箱模式除低频磁场外，一般不是主要的。

198

## 电磁兼容性标准主要研究机构

- 1934：IEC成立“国际无线电干扰特别委员会”（法文缩写为CISPR），开始制定一系列的电磁兼容标准。
- 1979: IEC在TC65专业（工业过程测量和控制设备专业委员会）下成立WG4工作组，专门研究该领域的电磁兼容性问题，并于1984年提出了IEC801系列标准。
- 1990：IEC TC77(专门研究电气设备电磁兼容的委员会）认为IEC801的成果与其工作重叠，决定采纳IEC801为基础标准，改标准号为IEC61000-4系列。
- 1989：欧共体发布89/336/EEC产品指令，规定到1995年底为过渡期，之后凡未达到改指令中电磁兼容标准的产品，不得进入欧盟市场。
- FCC：美国联邦通信委员会也制定了EMC标准。

199

## 电磁兼容性标准的分类方法一

- 发射(Emission/Disturbance)标准：用于表述产品发出电磁信号骚扰别的产品的具体规定。如：
  - IEC61000-6-4:工业环境中的发射标准
- 抗扰度(Immunity)标准：用于表述产品抵抗电磁骚扰信号的具体规定。如：
  - IEC61000-6-2:工业环境中的抗扰度要求

DCS作为工业控制产品，其首要关心的是抗扰度！

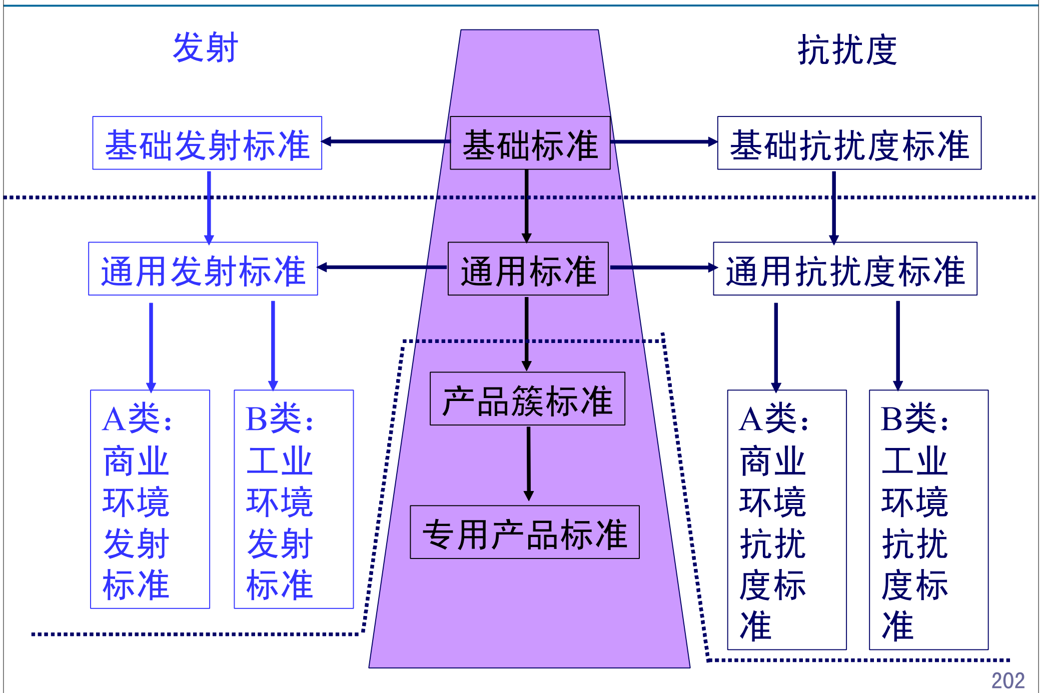
200

## EMC标准的分类方法二

- 基础标准：只阐述测量和试验方法，不规定环境，不规定何种产品应达到什么等级的要求。如IEC61000-4系列，规定了基础性抗扰度标准。
- 通用标准：对规定的某类环境中的产品提出一系列最低的电磁兼容性要求。如IEC61000-6系列，规定了住宅和工业环境的电磁兼容标准。
- 产品簇标准：在通用标准和基础标准的基础上，具体规定了某类产品的电磁兼容要求和测试方法。如： GB/T17618-1998(idt CISPR 24:1997)——《信息技术设备抗扰度限值和测量方法》。
- 专用产品标准：具体规定某一型号产品的电磁兼容要求，一般不单独编制某产品的电磁兼容标准，而只是将其电磁兼容的要求编写在该产品的通用技术条件或产品标准中，以引用其它电磁兼容标准的条款的形式表达。

201

## 国际电磁兼容性标准体系




202

## IEC61000电磁兼容标准组成

- IEC61000-1:《总论》，一般性的讨论和定义，术语。
- IEC61000-2:《环境》，环境分类及描述。
- IEC61000-3:《限值》，发射和抗扰度限值。
- IEC61000-4:《测试技术》，测量和试验技术。
- IEC61000-5:《安装于调试指南》，安装指南，调试方法与设备。
- IEC61000-6:《通用标准》，规定不同环境下的抗扰度和发射要求。

203

## 工业控制中常用的IEC61000-4系列标准

| 标准内容 | IEC61000-4标准（GB/T17626系列） | 对应原IEC801标准（GB/T13926系列） |
|---|---|---|
| 抗扰度试验综述 | IEC61000-4-1 | IEC801-1 |
| 静电放电抗扰度 | IEC61000-4-2 | IEC801-2 |
| 辐射电磁场抗扰度 | IEC61000-4-3 | IEC801-3 |
| 快速瞬变脉冲群抗扰度 | IEC61000-4-4 | IEC801-4 |
| 浪涌抗扰度 | IEC61000-4-5 | IEC801-5 |
| 射频场传导骚扰抗扰度 | IEC61000-4-6 | IEC801-6 |
| 电压瞬时跌落和中断抗扰度 | IEC61000-4-11 | |

204

## IEC61000-4-2：静电放电抗扰度试验

- 试验目的：模拟操作人员或物体在接触或靠近设备时的放电。
- 试验方法：高压电源+150pF储能电容，尖端放电。
- 试验等级：
  - 接触放电：2kV(1级），4kV,6kV,8kV.
  - 气隙放电：2kV(1级），4kV,8kV,15kV.

205

## IEC61000-4-3：辐射电磁场抗扰度试验

- 试验目的：考察设备抗移动电话、对讲机等连续波发射设备干扰的能力。
- 试验方法：电波室，频率可达150MHz-5GHz
- 试验等级（场强）：
  - 1V/m(1级):低强度电磁辐射，如1km远的电视台
  - 3V/m:中等强度的电磁辐射，如1-2m远的手持式1W步话机。
  - 10V/m:严重的电磁辐射，如与设备靠近的大功率步话机(5W以上）。

206

## IEC61000-4-4：快速瞬变脉冲群抗扰度试验

- 试验目的：考察小电感负载（如继电器）的切换及高压真空开关的切换对设备的干扰。
- 试验方法：在设备电源线和I/O线上输入脉冲宽度50ns±30%，重复频率为2.5kHz/5kHz,持续时间15ms，脉冲群周期300ms的共模脉冲电压。
- 试验等级(电源线/IO线,未注明的为5kHz)
  - 0.5kV/0.25kV(1级):计算机房
  - 1kV/0.5kV:主控室
  - 2kV/1kV:变电站
  - 4kV,2.5kHz/2kV:采用气体绝缘开关的变电站

207

## IEC61000-4-5：浪涌抗扰度试验

- 试验目的：考察us级电压电流波动对系统的影响。
  - 100/1300us电压或电流浪涌（指上升时间100us,持续时间1300us）：大容量熔断器烧毁的瞬间。
  - 1.2/50us电压8/20us电流：电网开关动作或雷击
  - 10/700us电压：Modem等通讯设备的雷击放电
- 试验方法：电压或电流跌加到电源线或IO线。
- 试验等级（电压）
  - 浪涌电压500Vp(1级):电站控制室
  - 浪涌电压1kVp:无强干扰的工厂
  - 浪涌电压2kVp:变电站
  - 浪涌电压4kVp:民用架空线环境

208

## IEC61000-4-6：射频场传导骚扰抗扰度试验

- 试验目的：考察设备对射频骚扰的抵抗能力
- 试验方法：采用电缆耦合传导输入的方式，分为连续波和脉冲波两种型式。可以等效取代辐射骚扰抗扰度试验(IEC61000-4-3)。
- 试验等级（150kHz-80MHz干扰,并用1kHz正弦波调幅后通过耦合器加入）
  - 1V(1级):低强度电磁辐射，如1km远的电视台
  - 3V:中等强度的电磁辐射，如1-2m远的1W手持式步话机。
  - 10V:严重的电磁辐射，如与设备靠近的大功率步话机(5W以上)。

209

## IEC61000-4-11：电压瞬间跌落或中断抗扰度试验

- 试验目的：考察电源电压瞬间跌落或中断的影响，如误动、数据丢失等。
  - 电压跌落：跌落大于10%以上，持续时间0.5-50个周波
  - 电压中断：电压跌落到0。
- 试验方法：电压切换装置。
- 试验等级
  - 跌落30%,持续0.5-50个周波
  - 跌落60%,持续0.5-50个周波
  - 电压中断，持续0.5-50个周波

210

## DCS的电磁兼容性的一般要求:控制柜设备

- IEC61326-1-1997（等效GB/T18268-2000）测量,控制和实验室用电气装置 电磁兼容性要求 第1部分:基本要求

211

## DCS的电磁兼容性的一般要求:信息设备

- CISPR24标准为国际无线电干扰标准化委员会制定，标准名称为《信息技术设备抗扰度限值和测量方法》GB/T17618-1998(idt CISPR 24:1997)，它的测量方法引用基础标准IEC61000-4系列（"电磁兼容试验和测量技术"即GB/T17626系列：1998）

| 项目 | 标准号 | 要求 |
|---|---|---|
| 静电放电抗扰度 | GB/T17618-1998第1条 | B级合格 |
| 连续波辐射骚扰抗扰度 | GB/T17618-1998第2条 | A级合格 |
| 电快速瞬变脉冲群抗扰度 | GB/T17618-1998第3条 | B级合格 |
| 浪涌（冲击）抗扰度 | GB/T17618-1998第4条 | B级合格 |
| 连续波传导骚扰抗扰度 | GB/T17618-1998第5条 | A级合格 |
| 电压暂降和短时中断抗扰度 | GB/T17618-1998第7条 | 暂降：B级，中断：C级合格 |

212

## CISPR24:1997(GB/T17618-1998)分级准则

- A级：产品在试验中和试验后都能正常工作，且无性能下降。
- B级：产品在试验后能正常工作，且无性能下降；产品在试验中允许性能有降低，但不允许实际工作状态或存储数据有变化。
- C级：产品在试验中或试验后有暂时的性能下降或状态变化，但可以通过控制操作来自行恢复或人工恢复（比如重新上电复位）。

213

## 电磁兼容性与抗干扰设计

- 接地
- 隔离
- 屏蔽
- 双绞
- 吸收
- 滤波

214

## 接地

- 接大地的本质：地球是一个巨大的导体和巨大的电容，可以存储海量的电荷，维持最稳定的参考点。
- 保护接地
  - 防电击接地
  - 防雷接地
  - 防静电接地
  - 防腐蚀接地
- 功能接地
  - 逻辑地
  - 屏蔽地
  - 信号地
  - 本安地

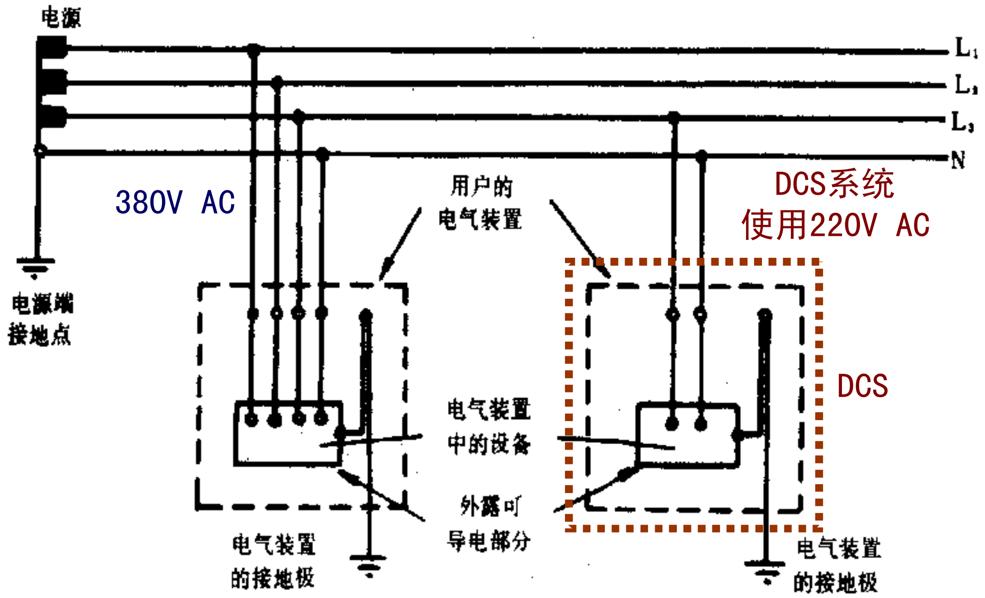
215

## 配电型式决定保护接地

- 按照GB14050，低压配电系统的接地型式有IT、TT、TN三种基本形式：在TN形式中又分有TN—C、TN—S 和TN—C—S三种派生形式。字母代号含义如下：
- 第1个字母反映电源中性点接地状态：T——表示电源端（变压器）中性点接地；I——表示电源中性点没有接地(或采用阻抗接地)。
- 第2个字母反映负载侧的接地状态：T——表示负载保护接地，但独立于电源端（变压器）接地；N——表示电气装置外壳与电源端接地点直接连接。
- 第3个字母C—表示中性导体与保护导体共用一线；第4个字母S—表示中性导体与保护导体是分开的。

216

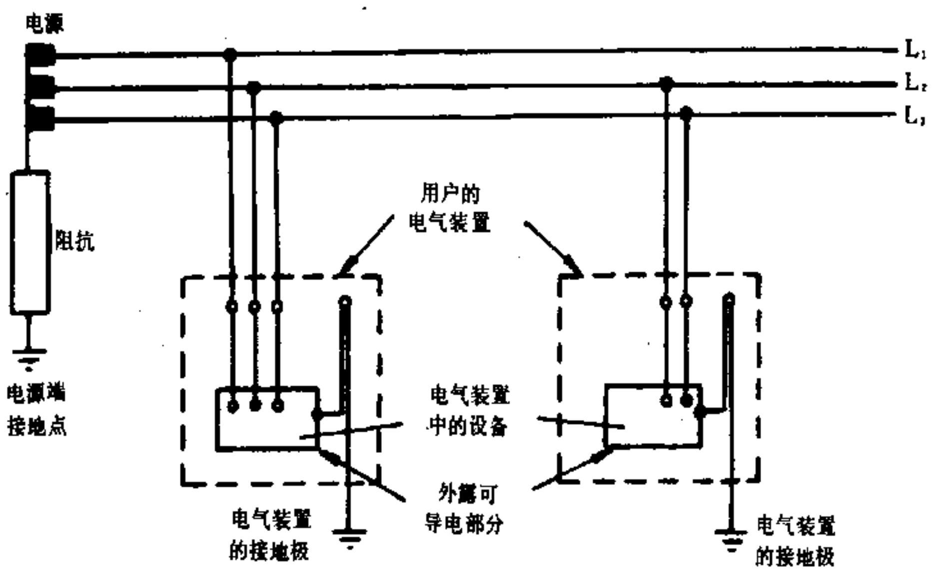
# TT型系统的保护接地




DCS系统的配电型式基本上都是TT系统

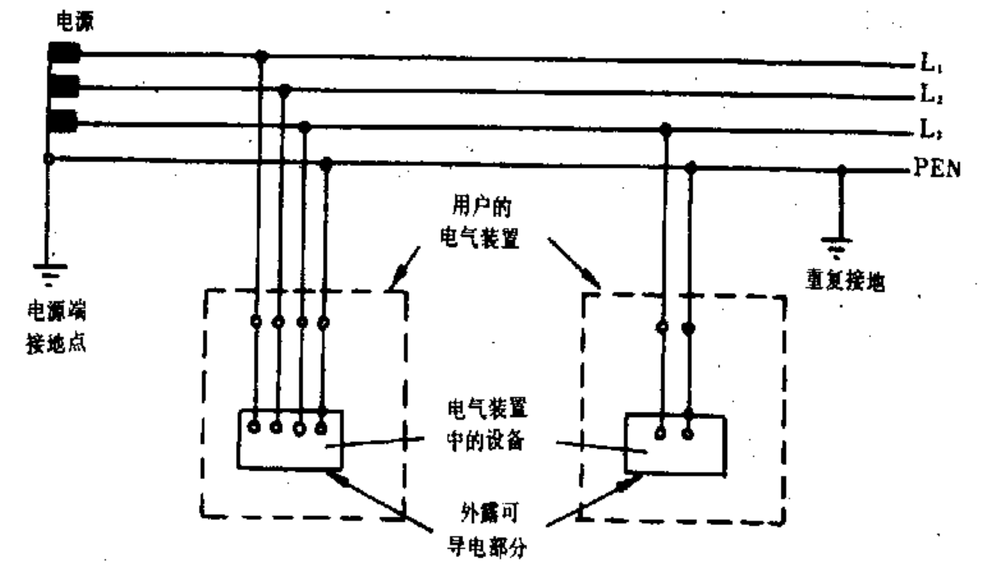
217

# IT型系统保护接地



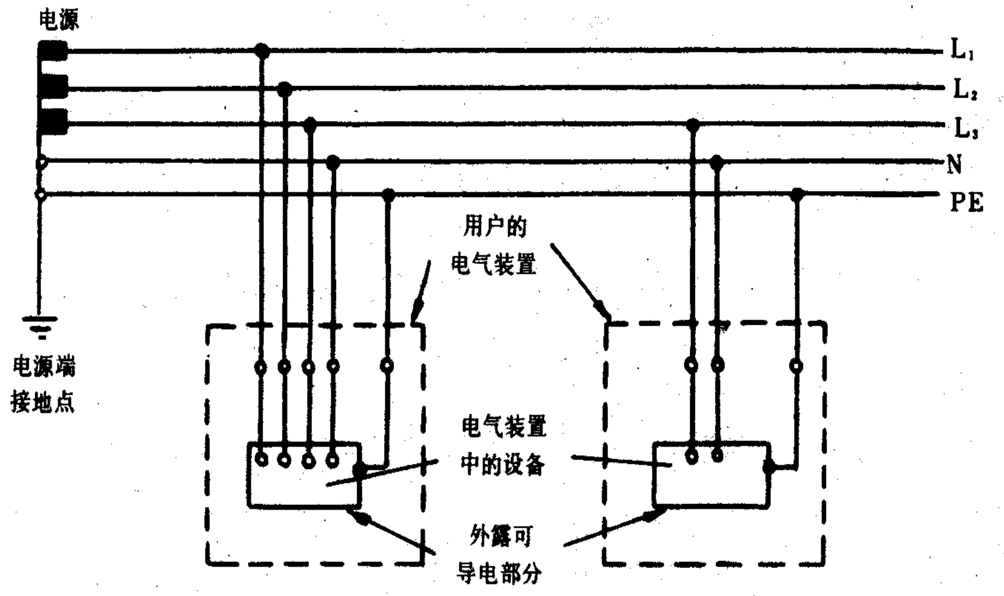

218

# TN-C型系统的保护接地



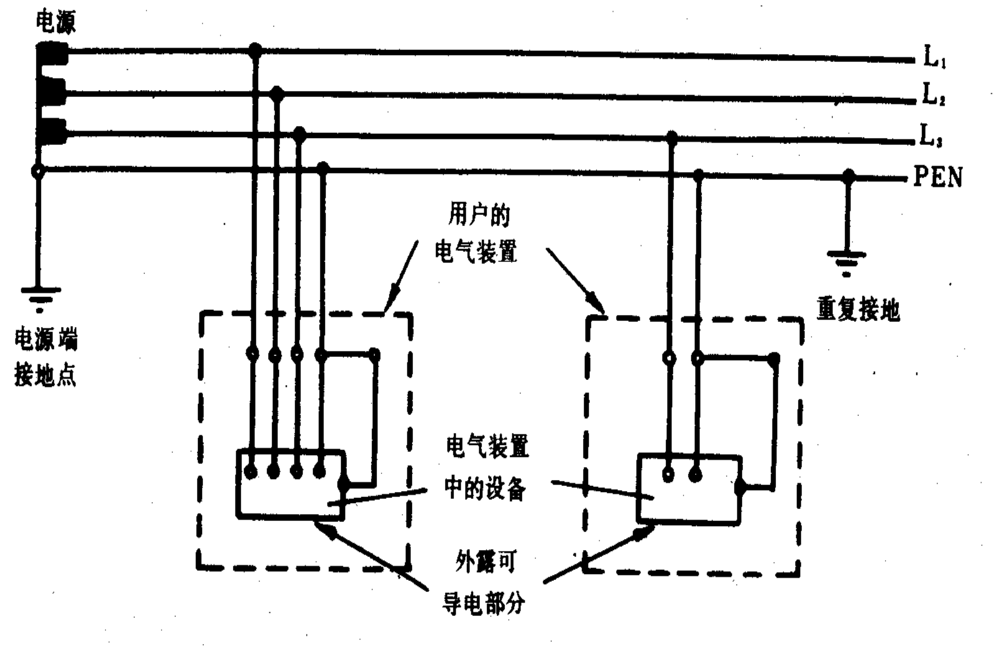

219

# TN-S型系统的保护接地



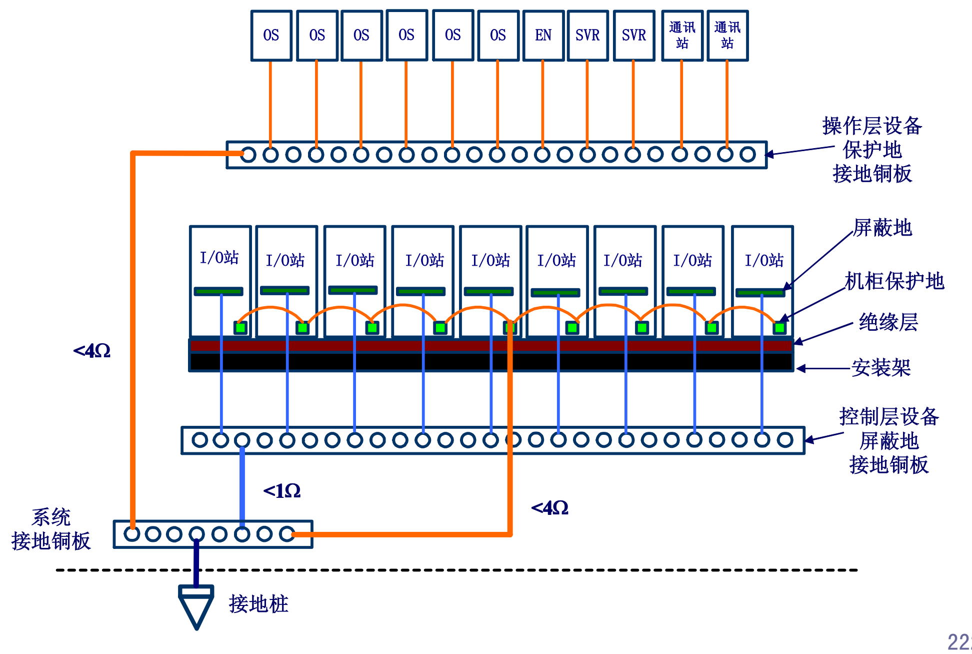

220

## TN-C-S型系统的保护接地



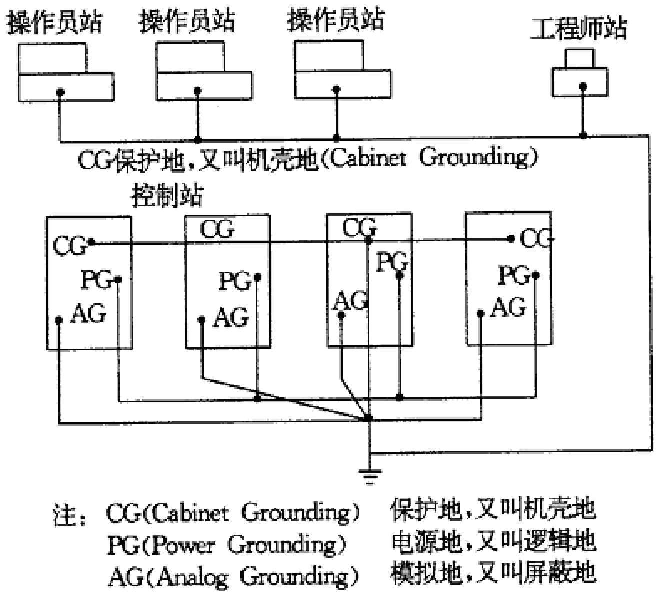

221

## DCS系统的接地示意图



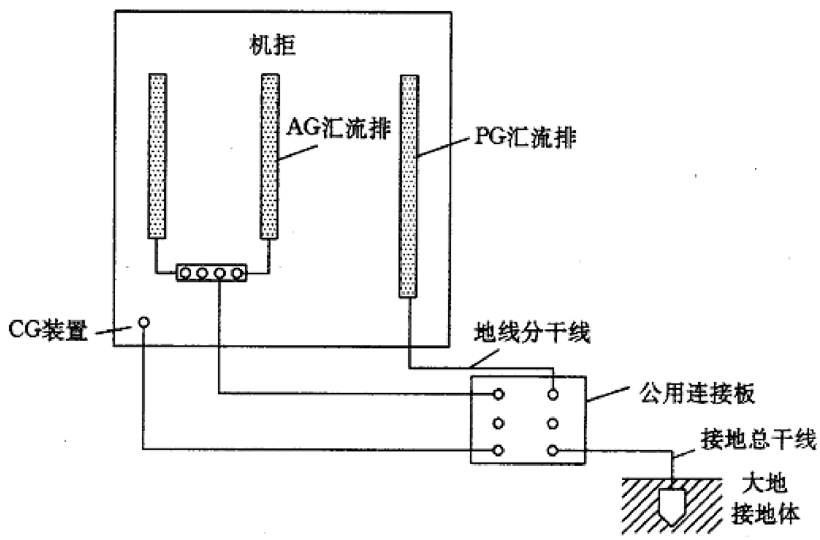

222

## DCS系统的各种接地



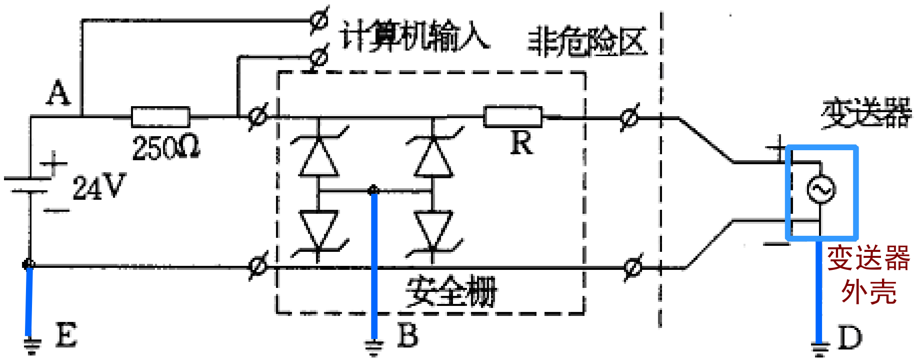

223

## DCS系统的接地施工




224

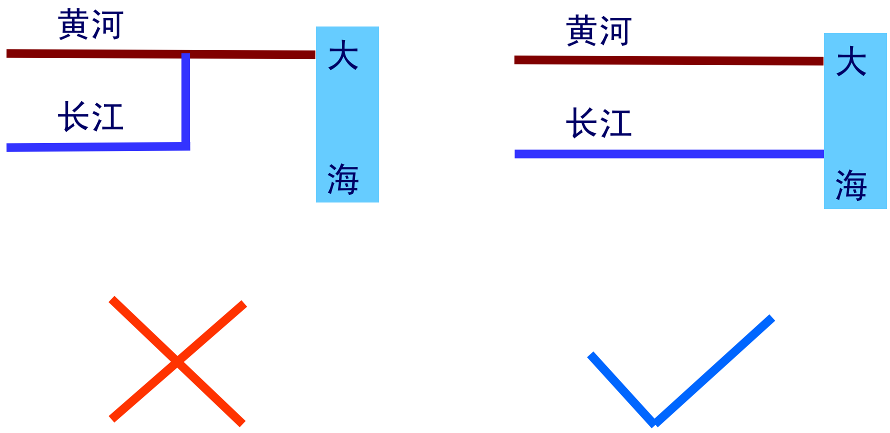
# 本安接地




B,E两点一般在DCS机柜一侧，应等电位。
D点为变送器外壳接地，必须设法使D点电位与B,E等电位，才能保证本安！

225

# DCS接地的形象比喻：百川归海

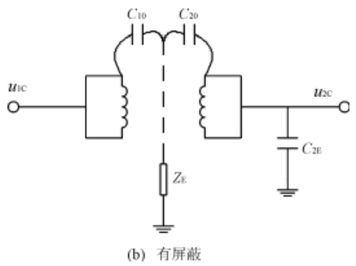



错误的接地方式：
两条河流的水位相互影响

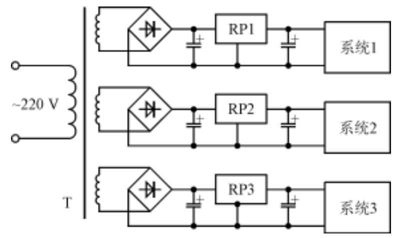
正确的接地方式：
两条河流的水位互不影响

226

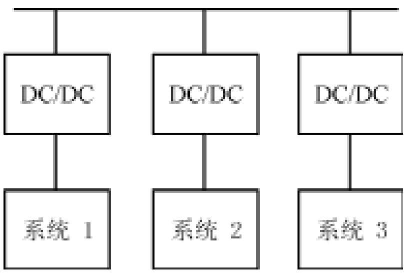
## 隔离：供电系统隔离




带屏蔽的隔离变压器




交流电源的隔离

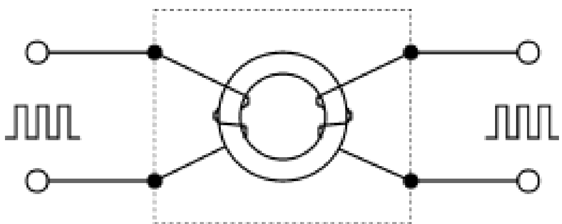



直流电源的隔离

227

## 隔离：网络隔离

- 现场总线：光电隔离
- 采用UTP的以太网：脉冲变压器隔离
- 采用光纤隔离



脉冲变压器

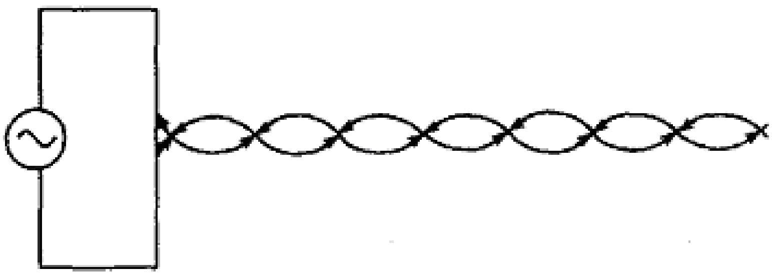
228

## 隔离：IO的隔离

- AI:隔离放大器,光电隔离
- AO：光电隔离
- DI:光电隔离
- DO：光电隔离，继电器隔离

229

## 双绞线抑制交变磁场干扰的原理



每个小绞纽环中会通过交变的磁通，而这些变化磁通会在周围的导体中产生电动势，它由电磁通感应定律决定（如图中导线中的箭头所示）。从图中可以看出，相邻绞纽环中在同一导体上产生的电动势方向相反，相互抵消，这对电磁干扰起到较好的抑制作用。单位长度内的绞数越多，抑制干扰的能力越强。

230

# 屏蔽

- 要想使屏蔽起到作用，屏蔽层必须接地。
- 屏蔽层的接地，有时采用单点接地，有时采用多点接地，在多点接地不方便时，在两端接地。
- 主要的理论依据是：屏蔽层也是一个导线，当其长度与电缆芯线传送信号的四分之一波长接近时，屏蔽层也相当于一根天线。为简便起见，在DCS系统中，对于低频的信号线，只能将屏蔽层的一端接地，否则屏蔽层两端地电位差会在屏蔽层中形成电流，产生干扰；对于信号频率较高（100kHz以上）的信号，比如Profibus－DP电缆，其屏蔽层推荐两端接地。

231

# 正确敷设电缆，可减少屏蔽电缆的使用

- 使所有的信号线很好地绝缘，使其不可能漏电，这样，防止由于接触引入的干扰；
- 正确敷设电缆的前提是对信号电缆进行正确分类，将不同种类的信号线隔离铺设（在不同一电缆槽中，或用隔板隔开）。
- 模拟量信号（特别是低电平的模人信号如热电偶信号，热电阻信号等）对高频的脉冲信号的抗干扰能力是很差的。建议用屏蔽双绞线连接，且这些信号线必须单独占用电线管或电缆槽，不可与其它信号在同一电缆管（或槽）中走线。
- 低电平的开关信号（干结点信号），数据通信线路（RS232、RS485等），对低频的脉冲信号的抗干扰能力比模拟信号要强，但建议最好采用屏蔽双绞线（至少用双绞线）连接。此类信号也要单独走线，不可和动力线和大负载信号线在一起平行走线。
- 高电平（或大电流）的开关量的输入输出以及其它继电器输入输出信号，这类信号的抗干扰能力又强于以上两种，但这些信号会干扰别的信号，因此建议用双绞线连接，也单独走电缆管或电缆槽。
- 供电线（AC 220V/380V），以及大通断能力的断路器、开关信号线等，这些线的电缆选择主要不是依抗干扰能力，而是由电流负载和耐压等级决定，建议单独走线。

232

## 通过吸收装置提高抗干扰能力

- 浪涌抑制器（TVS）
- 压敏电阻（MOV)

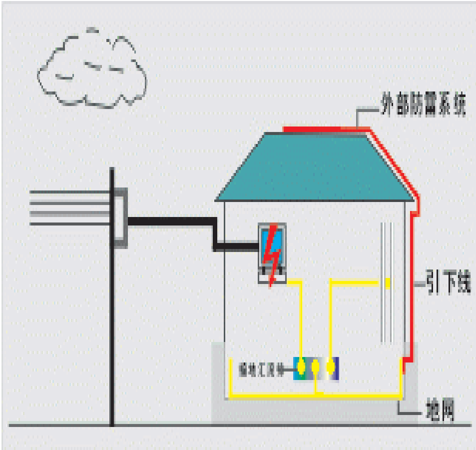
233

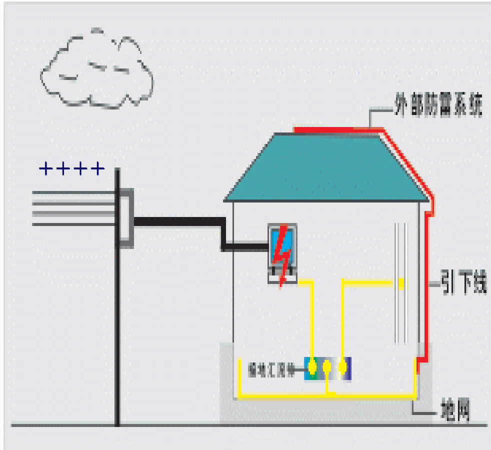
## 电源滤波提高抗干扰

- 220V AC输入EMI滤波器

234

## 防雷危害：直击雷和感应雷

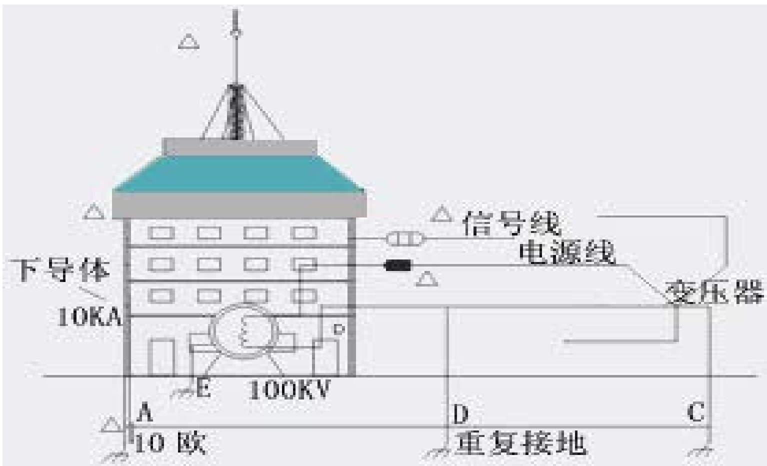



直击雷　　　　感应雷

235

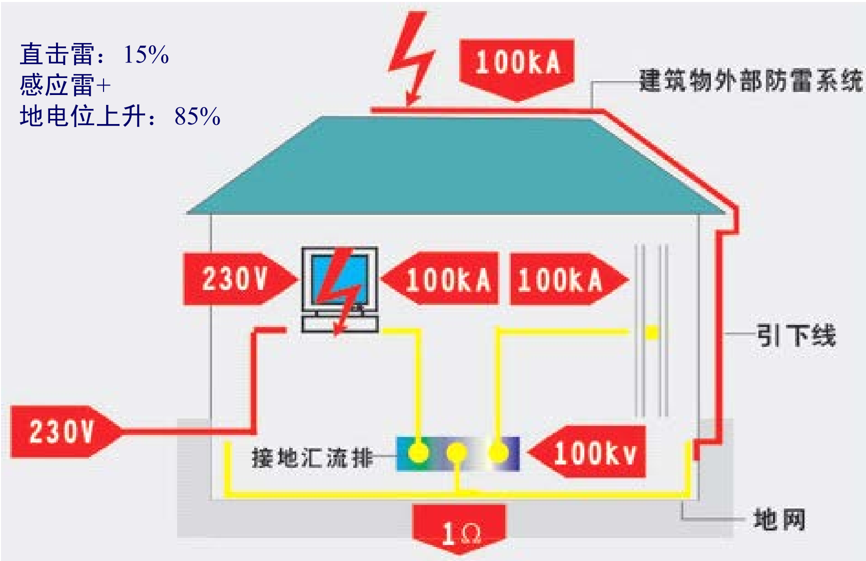
## 雷击危害：地电位提高




当10KA的雷电流通过下导体入地时，我们假设接地电阻为10欧姆，根据欧姆定律，我们可知在入地点A处电压为100KV。因A点与C、D点相连，所以这几点电压都为100KV。而E点接地，其电压值为0，设备的D点与E点间有100KV的电压差，足以将设备损坏。

236

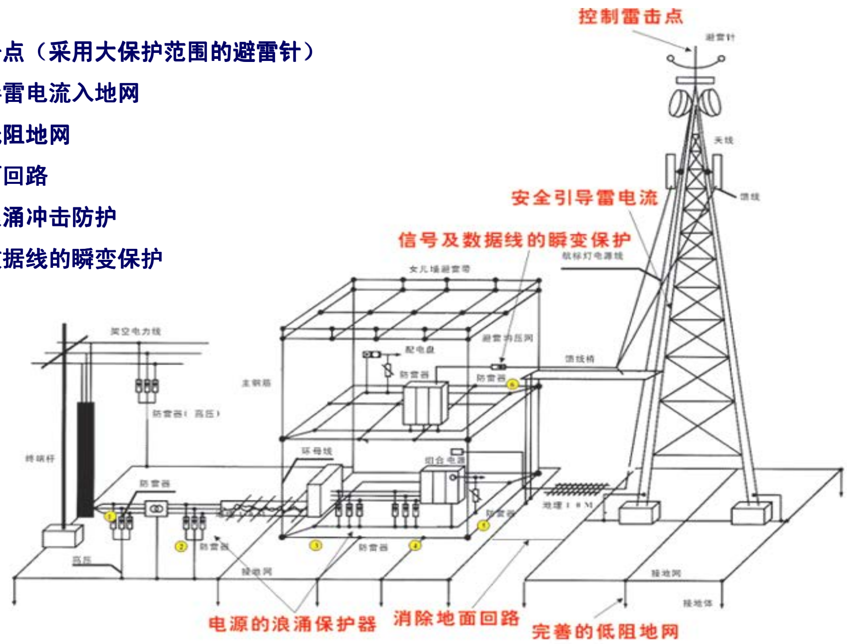
## 三种雷电危害的发生比例统计




237

## 防雷的六方面

（1）控制雷击点（采用大保护范围的避雷针）
（2）安全引导雷电流入地网
（3）完善的低阻地网
（4）消除地面回路
（5）电源的浪涌冲击防护
（6）信号及数据线的瞬变保护




238

## 防雷标准

- GB50057-94：建筑物防雷设计规范
- IEC61024系列：建筑物防雷设计规范
- GB/T3482-83：电子设备雷击试验方法
- GB/T3483-83：电子设备雷击试验导则
- GB/T9361-88：计算机场站安全要求
- GB/T7450-87：电子设备雷击保护导则
- IEC61000-4-5：浪涌抗扰度试验
- IEC61312系列：雷击电磁脉冲的防护

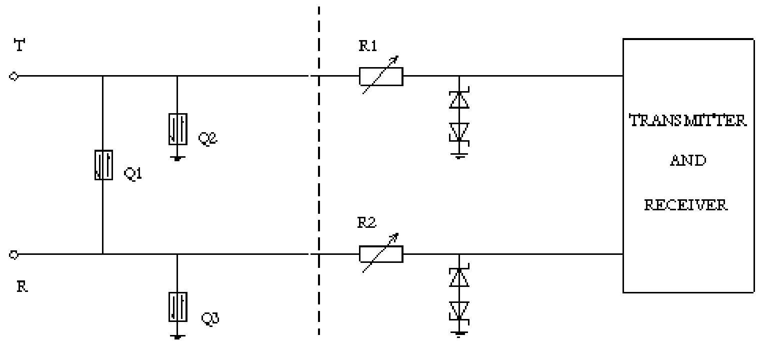
239

## 通讯线防雷：采用RJ45的以太网


240

## 通讯线防雷

- 通讯线路的雷击模拟测试，现普遍采用的是国际电联ITU-T K20（局端使用）和ITU-T K21（用户端使用）标准，测试方法为10/700uS;1KV和10/700uS;4KV，正反向各打5次。




外部采用防雷管(Q1-Q3)，内部采用TVS

241

## 信号线的防雷

①对于非架空信号线，我们可用金属电缆管或槽铺设信号线，电缆管或金属槽有很好的接地。

②对于架空信号线（一般是不允许的），在信号进入DCS之前应连接专门的防雷器。其原理与通讯线防雷相似。

242

## 电源系统的防雷

- 根据GB50057，防雷区分为几个区，按由外及内雷电能量大小分布分为LPZ0，1，2，n区。其中LPZ0区又分这A、B两区。对某一建筑而言：LPZ0A区指不在避雷保护范围以内的外部裸露区域；LPZ0B区指虽然在避雷保护范围内，但裸露在建筑外没有任何屏蔽在区域（如窗户）。这个区的电气设备最易遭受雷电波侵入，之后向内每增加一屏蔽层，划分一个区域，如LZP1、2等区。
- 对应于不同的防雷区，电源系统防雷分为多级保护：

（1）在LPZ0～LPZ1区的交界处、电源总进线处安装电源第一级防雷保护产品。

（2）在LPZ1～LPZ2区的交界处、电源分配电箱处安装电源第二级防雷保护产品。

（3）在LPZ2～LPZ3区的交界处、重要用电设备插座处安装电源第三级防雷保护产品。

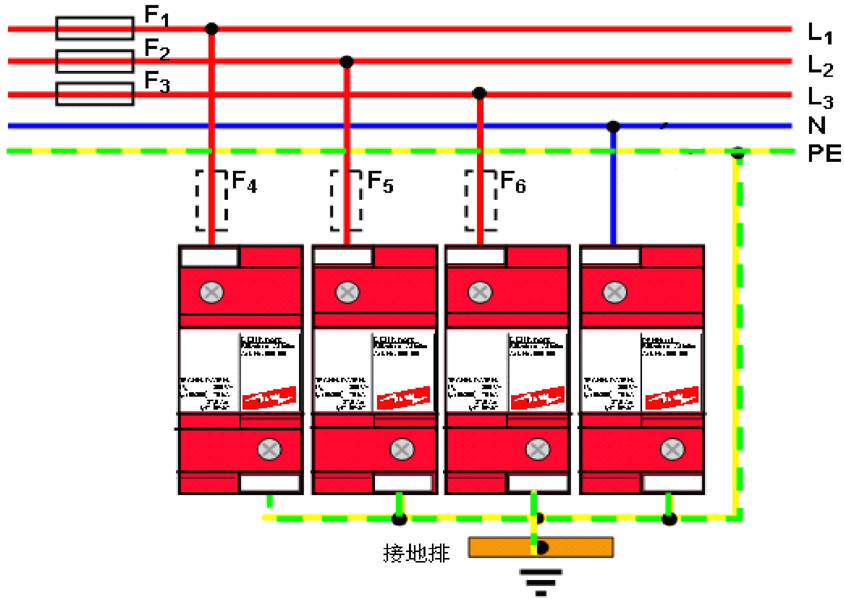
243

## 电源系统防雷器

- 第一级电源防雷：安装高能量电源防雷器，目的是吸收高能量。安装在UPS配电箱进线端。
- 第二级电源防雷：安装过电压保护器，目的是吸收第一级过后的过电压，在机房的三相电源进线端，安装过电压防雷箱。
- 第三级电源防雷：安装浪涌抑制器，目的是吸收二级保护后的微小能量。在服务器和网络交换机等重要设备的电源接入端分别安装一套插座式防雷器，作为其电源的末级保护。

244

## 电源防雷器的接线图（第1，2级）




245

## 结束语

- 通过本课程，也许不能让大家立即就深入了解DCS的全部细节，作为DCS的用户，这也是不必要的。
- 但是，大家获得了一个比较完整的DCS硬件知识框架（Framework）。这个框架是靠一套完整的国际和国家标准来支撑的。
- 最后，希望大家都已经知道了这一框架，当具体需要深入了解DCS时，大家将很方面地沿着这一框架拓宽和加深。

**谢谢各位的耐心！**

**祝各位工作取得成功！**

246