**第一讲 现代仪器概念**

一 仪器科学与技术

一级学科：0804 仪器科学与技术

二级学科：080401 精密仪器及机械   
 080402 测试计量技术及仪器

本科专业：080401测控技术与仪器

二 关键技术--传感技术，系统集成技术，智能控制技术

三 专业历史：一级学科：仪器科学与技术 0804我国仪器科学与技术一级学科之下唯一一个本科专业：

自主命名：电子信息技术及仪器 080402 ，080402S，080420

原因:内涵的变化：机械 电子 信息 生物

电子技术与信息技术已成为当今仪器科学与技术的核心，学生在有限的学习时间阶段可以学到的知识量，学生今后发展所需要的知识基础，社会需求？时尚潮流？全国仅有两所高校设立电子信息技术及仪器专业（杭电），2011年教育部不再授权和管辖自主命名的专业，回归测控。

1. 专业特色：

培养目标：（汪乐宇）

信息获取与处理的综合研究能力

软件与硬件的协同设计能力

电子信息与仪器系统的集成创新能力

人才特点：

知识面宽的复合型人才，光、机、电、算一体化。

知识结构新，具备可持续发展能力的人才 ，各种高新技术的“集成”。

适应型强，转型快，符合市场经济需要的人才

1. 仪器在国民经济中的作用

仪器仪表是：工业生产的“倍增器”，科学研究的“先行官”，军事上的“战斗力”，国民活动中的“物化法官”

**第二讲 现代仪器设计的一般方法**

一 仪器的组成：一台典型仪器主要由传感器、信号处理电路和执行机构三部分组成。

二 仪器设计基本原则：

1. 从整体到局部(自上向下)的设计原则--把复杂的、难处理的问题，分为若干个较简单的、容易处理的问题，然后逐个加以解决。
2. 软件、硬件协调原则：
3. 较高的性价比原则--为了获得较高的性价比，设计仪器时不应盲目追求复杂、高级的方案。在满足性能指标的前提下，应尽可能采用简单成熟的方案。
4. 开放式与组合化设计原则；
5. 可靠性最高原则--可靠性指标除了可用完成规定功能的概率表示外，还可用平均无故障时间、故障率、失效率或平均寿命来表示。
6. 硬件方面：应合理地选择元器件，为了提高仪器的可靠性，还可采用“冗余结构”的方式，即在设计时安排双重结构的硬件电路。
7. 软件方面：采用模块化设计方法，易于编程和调试，可减少故障和提高软件的可靠性。同时，对软件进行全面测试也是检验错误、排除故障的重要手段。

测量原理优化的原则--常用的测量原理有：

1)平均读数与误差分离原理

2)比较测量原理

3)补偿原理

4) 细分原理

电源合理配置原则

三 仪器设计的一般步骤

四 仪器的硬件设计

硬件设计的要求：

1）达到或超过技术指标：定性的功能与定量的性能指标。

2）尽可能提高性价比：应该在满足性能指标的前提下，追求最小成本。

3）适应环境，安全可靠：系统所用器件质量的优劣和结构工艺 是影响可靠性的重要因素，故应合理地选择元器件和采用极限情况下试验的方法。

4）便于操作和维护。

电路设计准则：总线化准则（首选原则），模块化准则，可靠性准则（按最坏工作情况来选择元器件，合理的结构设计、抗干扰措施、冗余设计和采用故障诊断技术，可有效提高系统可靠性。），硬件软化准则

五 仪器的软件设计

1. 软件的设计方法

自顶向下的设计方法

模块化的设计法

结构化的设计法

1. 软件调试的方法：
2. 黑盒测试：功能测试法也称为“黑盒测试”，并不关心程序的内部逻辑结构，而只检查软件是否符合它预定的功能要求。因此，用这种方法设计测试用例时，是完全根据软件的功能来设计的。
3. 白盒测试：程序逻辑结构测试法也称“白盒测试”，是根据程序的内部结构来设计测试用例。用这种方法来发现程序中可能存在的所有错误，至少必须使程序中每种可能的路径都被执行一次。

第三讲 传感器与信号调理技术

一 检测技术

1. 检测的定义--确定被测对象的属性和量值为目的的全部操作
2. 检测系统的构成—信号检出，信号转换，处理显示，其他环节
3. 检测方法及分类：
4. 直接测量与间接测量

直接测量：直接将被测量与标准量进行比较。

包括绝对测量（采用仪器、设备、手段测量被测量，直接得到测量值）和相对测量（将被测量直接与基准量比较，并放大微差，得到偏差值）。

间接测量：测量与被测量有一定函数关系的参量，被测量由计算获得

1. 开环测量与闭环测量
2. 偏差法--利用测量仪表的指针相对于刻度的偏差位移直接表示测量的数值（天平）

零位法--利用指零机构的作用，使用被测量和已知标准量两者达到平衡，根据指零机构示值为零来确定被测量等于标准量值

微差法--偏差法（测量被测量余数）和零位法（被测量大值与标准量大体平衡）的结合

二 传感器技术

1. 传感器概念：传感器是一种把特定的被测信息量按照一定规律转换成为可用信号输出的器件或装置。
2. 传感器分类：（命名依据—效应在前，用途紧接着传感器三个字，如电感式位移传感器）
3. 按照对电源的需要：无源传感器如热敏电阻，有源传感器如热电偶
4. 按照输出信号方式：模拟传感器如电位器，数字传感器如编码器
5. 按照工作方式：偏转传感器如偏转加速度计，零示传感器如伺服加速度计
6. 按照用途：位移传感器，力传感器，速度传感器，温度传感器
7. 按照转换原理：电阻式，电容式，电感式，热电式，光电式，压电式，磁电式
8. 几种常用传感器
9. 热电阻与热电偶
10. 电感传感器
11. 应变式传感器：是测量物体受力变形产生的应变的一种传感器。一般用电阻应变片作为敏感元件。一种将应变转化为电阻变化的传感器。

第四讲 信号调理技术

一 运算电路

1. 线性运算电路：反相比例电路，同相比例电路，加减运算电路，仪表放大器，程控增益放大器
2. 指数对数运算电路：对数电路（反馈元件二极管），指数电路（输入三极管）
3. 微分与积分电路：微分电路（输入有电容），积分电路（反馈有电容）
4. 绝对值，峰值，有效值运算电路

二 信号分离

三 调制与解调

1. 调制：为了提高仪器选择信号、排除干扰的能力，常常采用信号调制的方法；信号调制的方式可以分为调幅、调频。
2. 调幅--调幅就是用调制信号x去控制高频载波信号的幅值。常用的是线性调幅，即让调幅信号的幅值按调制信号x的线性函数变化。
3. 调频--调频就是用调制信号x去控制高频载波信号的频率。常用的是线性调频，即让调频信号的频率按调制信号x的线性函数变化。
4. 解调：从经放大后的高频已调波中恢复出调制信号的过程称为解调。

四 模拟信号数字化

1. 电压--频率转换：电压－频率转换将模拟输入电压转换成与之成正比的振荡频率。可提高信号传输的抗干扰能力，还可节省系统接口资源。
2. 采样与量化
3. 双积分式A/D转换
4. 逐次逼近式A/D转换：一种采用对分搜索原理来实现A/D转换的方法。
5. 增量调制型(Σ-Δ型)A/D转换：也称为过采样式A/D转换器。是一种以极低分辨率（通常1位）和极高的采样速度将模拟信号转换为数字信号的A/D转换器。利用过采样和数字滤波技术，降低数据输出率，从而提高分辨率（一般在16位以上）。

特点：模拟器件数字化，性能稳定；速度快，分辨率高；不需要采样保持器；不需要抗混叠滤波器；内部数字滤波；存在数据刷新周期，不适合多路切换。

1. 流水线式A/D转换器：流水线（Pipe Line）式A/D转换器是一种对于几Msps到100Msps的8位高速和16位低速模数转换器（ADC），流水线已经成为最流行的模数转换器结构，它可以涵盖很广的应用范围，包括CCD成像、超声成像、数字接收、基站、数字视频（如HDTV）、xDSL、线缆调制解调器以及快速以太网。

五 模拟信号的重构

1. 模拟信号的重构
2. D/A转换器：有并行和串行两种，在工业控制中，主要使用并行D/A转换器。D/A转换器的原理可以归纳为“按权展开，然后相加”。因此，D/A转换器内部必须要有一个解码网络，以实现按权值分别进行D/A转换。解码网络通常有两种：二进制加权电阻网络和T型电阻网络。

T型电阻网络四位D/A转换器的工作原理（电阻链，电流细分）

六 细分电路

1. 信号细分电路又称插补器，是采用电路手段对周期性的测量信号进行插值提高仪器分辨力的一种方法。

由于位移传感器一般允许在正、反两个方向移动，故在进行计数和细分电路的设计时往往要综合考虑辨向的问题。

1. 直传式细分电路

电阻链分相细分，门电路细分（相位相差90度的两个正弦信号），计算机量化细分

1. 平衡补偿式细分电路：频率跟踪细分——锁相倍频细分

第五讲 数字信号处理技术

一 数字信号处理的概念

1. 信号的概念：信号是一种物理体现。在信号处理领域中，信号被定义为一个随机变化的物理量。
2. 信号的分类：

连续信号和离散信号：连续信号指随时间信号而连续变化的信号。离散信号：只有在离散的时间点有确定的值。它通常都是通过对连续信号采样而得到的

模拟信号和数字信号：模拟信号：指幅度连续的信号，通常指时间和幅度上都是连续的信号。数字信号：时间和幅度上都是离散的信号。

确定性信号和随机信号：确定性信号：它的每一个值可以用有限个参量来唯一地加以描述。随机信号：不能用有限的参量加以描述。也无法对它的未来值确定地预测。它只能通过统计学的方法来描述（例如：概率密度函数来描述）。

1. 数字信号处理的概念和种类：数字信号处理就是用数值计算方法对数字序列进行各种处理，把信号变换成符合需要的某种形式。

凡是利用数字计算机或专用数字硬件、对数字信号所进行的一切变换或按预定规则所进行的一切加工处理运算。

种类：滤波，变换，压缩，估计，识别

1. 数字信号处理系统的组成

二 常用数字信号处理的方法

1. 离散傅立叶变换（DFT）

2. 快速傅立叶变换（FFT）：FFT并不是一种新的变换形式 ，它只是DFT的一种快速算法。并且根据对序列分解与选取方 法的不同而产生了FFT的多种算法 。FFT在离散傅里叶反变换 、线性卷积和线性相关等方面也有重要应用

凡是利用付里叶变换来进行分析、综合、变换…的地方，都可以利用FFT算法来减少其计算量。

FFT主要应用在（1）快速卷积（2）快速相关（3）频谱分析

3. 数字滤波器（FIR滤波器、IIR滤波器）

a. 数字滤波器分类： 滤波器的种类很多，分类方法也不同。

从功能上分；低通、高通、带通、带阻。

从实现方法上分: FIR、IIR

从设计方法上来分：Chebyshev(切比雪夫）,Butterworth（巴特沃斯）

从处理信号分：经典滤波器、现代滤波器

1. FIR-- 是有限冲激响应（Finite Impulse Response）

IIR是无限冲激响应（ Infinite Impulse Response）

输出序列多项式

二者原理图比较

各自的优缺点：FIR稳定，但是达到同样效果所需要的阶数大；IIR不稳定，计算精度高时才可以使用，否则会发生震荡，阶数较小，计算量小

1. 现代智能信号处理方法介绍（不做要求）

第六讲 仪器精度理论与自检技术

一 仪器精度理论

1. 误差的概念
2. 定义：测量结果与其真值的差异。
3. 真值的定义：被测量的客观真实值。

理论真值：理论上存在、计算推导出来。如：三角形内角和180°

约定真值：国际上公认的最高基准值。如基准米定义：1983年10月在巴黎召开的第十七届国际计量大会上又通过了米的新定义：“米是1／299792458秒的时间间隔内光在真空中行程的长度”。

相对真值：利用高一等级精度的仪器或装置的测量结果作为近似真值。标准仪器的测量标准差< 1/3 测量系统标准差→ 检定

1. 误差的分类：（误差产生的原因不做要求）
2. 随机误差：

一般特性：绝对值相等的正负误差出现的次数相等，绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多，当测量次数足够多时，偶然误差算术平均值趋于0，随机误差绝对值不会超过一定程度

测量的极限误差：在一般测量中，一般认为绝对值大于3σ的误差是不可能出现的，通常把这个误差称为单次测量的极限误差

随机误差的合成：合成公式需要关注，为什么不把误差直接想加而用此公式？标准差—离散度

1. 系统误差

一般特性：不变的系统误差，线性变化的系统误差，周期性变化的系统误差，复杂规律变化的系统误差

粗大误差：3σ准则是最常用也是最简单的判别粗大误差的准则。如果在测量列中，发现有大于3σ的残余误差测量值，则可认为它含有粗大误差。粗大误差应该直接剔除。

1. 精度理论
2. 精度的含义：精度（不确定度）是误差的反义词，精度的高低是用误差来衡量的。通常把精度区分为

准确度：它反映了系统误差的大小；

精密度：它反映了随机误差的大小；

精确度：它反映了系统误差和随机误差两者的综合

1. 精度分类
2. 线性度：检测系统输入输出曲线与理想直线的偏离程度。亦称非线性误差( non-linearity )
3. 回程误差：检测系统在正行程和反行程的输入输出曲线不重合的程度， 亦称空程误差、滞后 ( hysteresis )
4. 分辨力：能够检测出的被测量的最小变化量，表征测量系统的分辨能力 ( resolution )

分辨力 --- 是绝对数值。如 0.01mm，0.1g，10ms，……

分辨率 --- 是相对数值。能检测的最小被测量的变换量相对于 满量程的百分数，如： 0.1%, 0.02%。

3、阀值 --- 系统能够感知的最小输入量值。在系统输入零点附近的分辨力。

f. 重复性：同一条件下，对同一被测量，同一方向，多次重复测量，差异程度。重复性是检测系统最基本的技术指标，是其他各项指标的前提和保证。重复性误差是随机误差。

g. 灵敏度：测量系统在稳态下输出量的增量与输入量的增量之比。线性检测系统：灵敏度为常数；非线性检测系统：灵敏度为变数。

4. 仪器设计基本原则——阿贝原则

要使量仪给出准确的测量结果，必须将被测件布置在基准元件沿运动方向的延长线上

二 数据处理的一般方法

1. 最小二乘法

为了确定*t*个不可直接测量的未知量*X*1，*X*2，…，*X*t的估计值*x*1，*x*2，…，*xt*，可对与该*t*个未知量有函数关系的直接测量量*Y*进行*n*次测量，得测量数据*l*1，*l*2，…，*ln*，其关系如下：



若n=t，则可由前面的式子直接求得未知量。由于测量数据不可避免地包含着测量误差，所以求得的结果也必定包含一定的误差。为提高精度，应适当增加测量次数n，以便利用抵偿性减小随机误差的影响。但此时由于方程个数>未知数个数，不能从方程中直接得到结果。最小二乘法原理指出，最可信赖值应在使残余误差平方和最小的条件下求得。





三 仪器自检技术

1. 仪器的自动校准
2. 概念：为了保证仪器在预定精度下正常工作，仪器必须定期进行校准；智能仪器可以自动对所得测试结果与已知标准进行比较，验证测量仪器是否工作在规定的指标范围内。如果仪器的测量值超过了所公布的不确定性，那么就要调整仪器以使之符合已公布的规范。
3. 仪器的内部校准：内部自动校准技术利用仪器内部的校准源将各功能、各量程按工作条件调整到最佳状态。包括输入偏置电流自动校准，零点漂移自动校准，增益自动校准
4. 仪器的外部校准：外部自动校准技术要采用高精度的外部标准。在进行外部校准期间，校准常数要参照外部标准来调整。
5. 智能仪器的自检
6. 自检类型：

1）开机自检：当仪器接通电源或复位后，仪器进行一次自检，在以后的测控过程中不再进行，开机自检的项目一般有面板显示装置自检、RAM和ROM自检、输入/输出通道自检、总线自检，以及键盘自检等。

2）周期性自检：大多数智能仪器在运行过程中，要不断地、周期性地插入自检操作，这种自检是在测量工作的间歇期间完成的，不干扰正常的测控任务。

3）键控自检：有些仪器是在面板上设置一个自检按键，由操作者控制来启动自检程序。这种自检模式简单方便，可以在测控过程中寻找一个适当的时机 进行自检，而又不干扰正常测控工作的进行。

b. 自检内容:

1）RAM的自检：读/写正确性自检。

2）ROM的自检：采用校验方法。

3）键盘与显示器的自检

4）输入通道的自检： 变送器部分的自检和 ADC部分的自检

5）输出通道的自检：采用输出参数回读判断法

6）总线的自检

3. 智能仪器的故障检测与诊断（不做要求）

第七讲 仪器总线技术

一 仪器总线概述

1. 仪器总线概念:

仪器总线的定义,用于仪器内部模块与模块之间或者仪器与仪器之间互联的一组信号线。大多数总线的拓扑结构是总线树型或者菊花链型。

1. 仪器总线性能评价指标:

带宽:度量的是总线传送数据的速率，常用单位为MB/s（每秒钟兆字节）。总线带宽越高，在给定时间内传送的数据就越多。

时延:是数据通过总线传输导致的延迟。一般指硬件和电缆引起的电信号传输滞后。

1. 仪器总线发展历程:GPIB(IEE488)—VXI—PXI—LXI

二 常规仪器总线

1. GPIB仪器总线:General Purpose Interface Bus，是世界上第一种专为仪器控制应用而设计的总线标准
2. GPIB的特点

1）GPIB是一种8位并行通信总线﹐传输速率可达1Mbyte/s。

2） GPIB总线提供的一个控制器在20米的排线长度内最多可连接14个仪器。若使用GPIB扩增器与延长器还可以突破这两个限制。

3）GPIB排线与连接器是一种多方面适用并符合工业标准的产品﹐可在任何环境内使用。

1. 为什么GPIB是专门为仪器设计的总线？

带宽较高（和当时的串行总线比较）;时延低（比现在的高速串行USB、LAN都好）;有专为仪器控制所设计的接口信号和接插件，具有突出的坚固性和可靠性;具有GPIB总线接口的仪器种类最多，达到1000多种

1. GPIB总线的不足

GPIB总线网络速度难以提高，逐渐成为瓶颈

GPIB总线没有同步时钟传送

GPIB总线接口成本较高

GPIB总线的组网受到带宽和节点限制，扩展能力不足。

适合于仪器与仪器之间的连接，控制命令简单，不适合于模块与模块之间连接。

1. VXI仪器总线: VEM bus eXtensions for Instruments一种高速计算机总线VME (Versa Module Eurocard)在仪器领域的扩展。
2. VXI仪器总线的特点

VXI卡箱具有稳定的电源、强有力的冷却能力

严格的RFI/EMI（射频干扰/电磁干扰）屏蔽

结构紧凑、数据吞吐能力强40MB/s(最新的3.0版规范总线带宽提高到160MB/s)

定时和同步精确

VXI卡箱最多可扩展到13个槽位

适于组建大、中规模系统及对速度、精度要求较高的场合

1. VXI仪器总线的不足

组建VXI总线必须要求有专用机箱、零槽管理器及嵌入式控制器，造价高昂 ；

40MB/s的带宽对于现今的高速测量装置还是有些不足 ，最新规范有所突破。

结构复杂，开发难度偏大。

1. PXI仪器总线
2. PXI仪器总线的历史

PXI硬件标准V1.0版于1997年8月作为开放版本发布；

2000年7月，PXI系统联盟发布V2.0版；

2003年2月，PXI系统联盟发布V2.1版；

几经修改完善后，PXI系统联盟于2004年9月发布了V2.2版本，也是目前业界所支持的最新版本。

1. PXI总线的特点

八个扩展槽(一个系统槽和七个仪器模块槽)。通过利用PCI-PCI桥技术最多能扩展到256个

兼容PCI总线特点􀀹

管脚排列的兼容性􀀹

3U板卡的互换性好􀀹

10MHz高精度参考时钟􀀹

具有PCI触发和星型触发方式

13bit 局部总线

1. LXI仪器总线: （LAN eXtensions for Instrumentation ）

Agilent公司和VXI科技公司共同合作，于2004年9月14日在美国加州提出一种新型仪器接口规范，全称为LAN-based eXtensions for Instrumentation(局域网的仪器扩展)，简称LXI。它基于著名的工业标准以太网（Ethernet）技术，扩展了仪器需要的语言、命令、协议等内容，构成了一种适用于自动测试系统的新一代模块化仪器平台标准。

1. 为什么推出LXI？

以太网技术带宽提高潜力大，但是存在固有的时延缺陷，需要改进；

以太网的设计并非专门针对仪器通讯，因此其技术不能完全适应仪器通讯的可靠性要求；

采用网络技术实现不同类型仪器互访和互换，还需要解决协议问题。

1. LXI总线的特点

开放式工业标准,向后兼容性,成本低廉,互操作性,新技术方便引入

1. 以太网（Ethernet）/LAN

千兆以太网或1000BaseT最大带宽是125 MB/s。

以太网应用广泛，接口方便、价格便宜；

可使用路由器、交换机和中继器，对线缆长度几乎没有限制，还可以使用无线局域网技术。不受地理限制，可以实现远程测量应用。

1. 以太网作为仪器总线的缺点

带宽共享，通讯性能会随着网络内的仪器设备数量增加而下降。

该总线采用基于消息的通信方式，通信包中的头信息明显地增加了数据传输的开销。因此以太网的时延在所有的总线技术中是最差的。

1. LXI仪器的同步分为三个等级

等级A：触发总线硬件触发机制；IEEE1588精确时间协议同步；基于消息的同步方式。

等级B：IEEE1588精确时间协议同步；基于消息的同步方式。

等级C：基于消息的同步方式。

三 计算机扩展仪器总线：现代虚拟仪器主要采用计算机实现仪器的测量与控制功能，这样，计算机的总线就是仪器进行数据交换的总线。

1. ISA&PCI总线

ISA和PCI总线均是计算机内部总线: PCI总线是32/64位总线，主频有33MHz和66MHz两种，目前还在计算机内广泛应用。ISA总线是8/16位并口线，带宽为8MB/S，由于速度较低而逐渐被淘汰。

1. PCI-X总线

为了提高PCI总线速度，采用了下述方法进行改进，从而形成PCI-X总线，其本质和PCI相同

扩充并行总线的数据宽度，由32位改为64位

将传输速率从66MHz，提高到533MHz

1. PCI Express总线

采用点对点通讯方式，每两个节点独占一条总线，避免了共享带宽造成速率下降。

采用LVDS物理层结构，提高了总线速率

可采用串行或并行传输方式

四 仪器常用外部总线

1. RS-232 (通讯接口)

RS-232接口是美国电子工业联盟（EIA，Electronic Industry Association ）制定的异步串行数据通信的标准(协议)，全称是： EIA- RS-232C。

其中,RS—推荐标准（Recommeded standard）, 232 — 标识号，C—1969年版本。

采用电压信号传输，逻辑1=-3V～-15V ，逻辑0=+3～＋15V。

传输距离：20m以内。

波特率：50、75、100、150、300、600、1200、2400、4800、9600、19200波特 。

常用DB-9和DB-25连接器。

目前在工业和计算机领域仍有广泛应用

1. RS-485（接口或总线）
2. RS-485的电气特性：逻辑“1”以两线间的电压差为+(2—6) V表示；逻辑“0”以两线间的电压差为-(2—6)V表示 。

采用差分总线,平衡传输

传输距离较远(1千米以上)

传输速度较低(同步2Mbit/s)

使用HDLC协议（同步）/UART协议（异步）

1. RS485总线采用线与逻辑实现多点互联传输，多为半双工通信。

RS422总线采用一点发送多点接收方式传输，通常为全双工通信。

1. USB（接口或总线）：通用串行总线USB（Universal Serial BUS）是在1994年底由COMPAQ、Hewlett Packard、Intel、Lucent、Microsoft、NEC和PHILIPS 等多家公司联合提出的。是一个外部总线标准，用于规范电脑与外部设备的连接和通讯。USB接口支持设备的即插即用和热插拔功能，可用于连接多达127种外设。
2. 2.0协议支持最高传输速率480Mb/s

总线带有电源线，最大可提供1A电流

USB的时延介于PCI与LAN中间

即插即用，适合于便携式测量、便携机或台式机的数据录入和车载数据采集的应用。

1. USB 3.0简要规范如下：提供了更高的每秒4.8Gb传输速度;对需要更大电力支持的设备提供了更好的支撑，最大化了总线的电力供应;增加了新的电源管理职能;全双工数据通信，提供了更快的传输速度;向下兼容USB 2.0设备

五 现场总线在仪器网络上的应用（不做要求）

第八讲 仪器可靠性与电磁兼容技术

一 仪器的可靠性概述

1. 可靠性的概念
2. 概念：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
3. 三要素：规定条件：包括使用时的环境条件和工作条件

规定时间：指产品规定了的任务时间

规定功能：指产品规定了的必须具备的功能及技术指标

1. 中国强制性产品认证，简称CCC认证或3C认证。

有四个版本：CCC(S)安全认证,CCC(S&E)安全与电磁兼容认证,CCC(EMC)电磁兼容认证,CCC(F)消防认证。

1. 通用可靠性参数
2. 可靠度：指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率。
3. 可用度——A(t): 在规定时间t内的任意随意时刻，产品处于可用状态的概率。
4. 故障率λ：

正规：工作到某时刻尚未发生故障的产品，在该时刻后单位时间内发生故障的概率。

通常：故障次数除以总工作时间

单位：一般为10-6/小时或10-9/小时

1. 平均故障间隔时间 MTBF

平均故障时间间隔(MTBF, Mean Time Between Fail),故障率的倒数,针对指数分布产品,针对可修产品

1. 平均首次故障时间 MTTF

任意分布的参数,一般指不可修复故障

1. 可靠性设计准则
2. 通用设计准则

元器件/零部件的选用控制

降额设计要求（电子产品的降额设计就是使元器件或设备在使用中所承受的应力（电、热、和机械应力等）低于其额定值的方法。）

热设计要求

冗余设计要求（通过重复配置某些关键设备或部件，当系统出现故障时，冗余的设备或部件介入工作，承担已损设备或部件的功能，为系统提供服务，减少宕机事件的发生。）

电磁兼容设计

1. 专用设计准则
2. 可靠性设计方法
3. 元器件/零部件选用控制: 建立元器件选用的控制机构,指定元器件控制方案,对转承制方的元器件选用进行控制,进行必要的应力筛选。是保证系统固有可靠性、减少器件规格品种、降低保障费用的有效措施。
4. 降额设计：使电子元器件的工作应力适当低于其规定的额定值。可分成三个降额等级：

Ⅰ级降额，是最大的降额，适用于设备故障将会危及安全，导致任务失败和造成严重经济损失的情况。

Ⅱ级降额。

Ⅲ级降额，是最小的降额，可靠性增长效果和所花费的代价相比是最高的。

是电子产品可靠性设计中最常用的方法。

1. 热设计：热设计的基本程序：

明确设计条件，如设备功耗、发热量、工作环境等；

决定设备的冷却方式，并检查是否满足原始条件；

分别对元件、线路、印制电路板和机箱等进行热设计；

按热设计检查表进行检查，确定是否满足设计要求。

1. 冗余设计:是指系统或设备中具有多于一种手段执行同一种规定功能的能力。其主要任务：确定冗余等级；选定冗余类型；确定冗余配置方案；确定冗余管理方案。在提供系统可靠性的同时将增加系统的复杂性、重量和体积等。
2. 可靠性实验的目的

发现产品在设计、元器件、零部件、原材料和工艺方面的各种缺陷；为提高产品的可靠性、任务成功性、减少维修人力和保障费用提供信息；确认是否符合可靠性定量要求；

二 电磁兼容技术概述

1. 电磁兼容的概念：电磁兼容(EMC, Electronic Magnetic Compatibility)，是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁干扰能力。包括EMI和EMS两部分：

EMI：设备本身在执行应有功能的过程中所产生不利于其它系统的电磁噪声（干扰源）；EMS：设备在执行应有功能的过程中不受周围电磁环境影响的能力。（被干扰）

1. 电磁兼容现象
2. 何时解决EMC（设计时解决成本最低，可采取措施最多，到生产使用以后解决成本加大，措施减少）

三 电磁兼容及抗干扰技术

1. EMC三要素：

干扰源:时钟电路、开关电源、高速总线、感性器件

传播路径:传播RF能量的各种媒介，例如自由空间或互连电缆

敏感设备:易接收干扰的信号或装置，如复位信号、光模块

1. EMC对策：降低干扰源，切断或削弱传播路径，提高设备的抗干扰能力

采取措施：接地，屏蔽，滤波

1. EMC与接地技术：
2. 接地（Grounding）的目的:提供公共的参考零电位;防止外界电磁场的干扰;保证安全工作（防止触电）
3. EMC与屏蔽技术：屏蔽可有效地抑制通过空间传播的电磁干扰。屏蔽的目的：限制内部的辐射电磁能越过某一区域；防止外来的辐射进入某一区域
4. EMC与滤波技术：许多设备单台做电磁兼容试验没有问题，但当两台设备连接起来以后，就不能满足要求了。这就是由于电缆起了接收和辐射天线的作用，解决这个问题最有效的方法时在电缆的端口使用滤波器。

信号滤波器和电源滤波器：

信号滤波器不能对工作信号有严重的影响。

电源滤波器要注意当负载电流较大时，电感不能发生饱和。

1. 滤波器作用
2. 干扰电流种类：从受干扰的角度看，差模干扰比共模干扰危害性更大，从干扰发射的角度看，共模干扰比差模干扰危害性更大。

第九讲 仪器电源设计

一 线性稳压电源

1. 概念：稳压电源：将不稳定的直流电压源变换成稳定或者可调的直流电压源。直流稳压电源按调整器件的工作状态可分为线性稳压电源和开关稳压电源两大类。

线性稳压电源是指调整管工作在线性状态(放大区)下的直流稳压电源。分为并联型和串联型两种。并联型线性稳压电源：是指调整管与负载呈并联状态。一般，并联线性稳压电源由降压电阻和调整管等组成。串联型线性稳压电源：是指调整管与负载呈串联状态。一般，串联线性稳压电源由调整管、参考电压等组成。

1. 集成线性稳压电源的分类
2. 三端固定输出集成稳压器
3. 三端可调输出集成稳压器
4. 低压差线性稳压电源（LDO）：

低压差线性稳压器 （ Low DropOut regulator ，LDO）所谓低压差是相对于传统的线性稳压器的调整管压降来说的。例如TPS7333为35mV左右。

二 开关稳压电源

1. 开关稳压电源的概念
2. 开关电源：开关管（在开关电源中，我们一般把调整管叫做开关管）是工作在开、关两种状态下的：开——电阻很小；关——电阻很大。
3. 特点：开关电源是一种比较新型的电源。它具有效率高，重量轻，可升、降压，输出功率大等优点。但是由于电路工作在开关状态，所以噪声比较大。
4. 开关稳压电源工作原理：通过控制开关闭合跟断开的时间，以保持输出电压不变，这就实现了稳压的目的。
5. 开关电源分类
6. 串联型开关电源
7. 并联型开关电源
8. 脉冲变压器耦合（并联）型
9. 脉宽、脉频调制式开关电源

三 仪器的电源配置

1. 配置电源考虑因素

仪器功耗，电源效率，电源品质

1. 5V低纹波电源设计举例

第十讲 仪器热设计技术

一 仪器热环境和热控制目的

热控制目的：仪器热控制的目的是要为芯片级、元件级、组件级和系统级提供良好的热环境。防止电子元器件的热失效是热设计的主要内容。热失效是指电子元器件直接由于热因素而导致完全失去其电气功能的一种失效形式。

二 仪器热设计的基本理论

热量传递的动力是温差的存在，热量总是从高温区传向低温区，且高温区发出的热量必定等于低温区吸收的热量。热量的传递有三种基本方式：传导、对流和辐射。它们可以单独出现也可以两种或三种形式同时出现。

但是对于不同的散热系统，一般只有一种或几种散热方式起主导作用：

对于自然冷却系统，一般需要同时考虑以上三种传热方式；

对于强迫对流冷却系统，只需考虑导热和对流；

对于室外设备，必须考虑日光辐射因素。

仪器的散热途径：热传导，热对流，热辐射，组合散热

1. 传导：传导指物体直接接触时，通过分子间动能传递进行能量交换的现象。
2. 对流是指流体各部分之间发生相对位移时引起的热量传递过程。对流仅发生在流体中，且必然伴随着导热现象。由流体冷热各部分的密度不同所引起的对流称为自然对流；若流体的运动由外力(泵、风机等)引起的，称为强迫对流。
3. 辐射：物体以电磁波形式传递能量的过程。辐射不需要介质，且有能量形式的转换。

三 冷却方法的选择--根据热流密度和温升要求选择冷却方法

1. 通风冷却
2. 自然风冷设计：自然风冷(导热、自然对流和辐射换热的单独作用或两种以上换热形式的组合)的优点使可靠性高、成本低。因此，考虑冷却方法应优先考虑自然冷却。

自然风冷的缺点是散热效率低，只能用在小功率装置上。

自然风冷的传热途径是设备内部电子元器件和印制板组装件通过导热、对流和辐射传向机壳，再由机壳通过对流和辐射将热量传至周围介质(如空气)，使设备达到冷却的目的。

1. 强迫风冷设计：采用风机强迫空气以一定的速度流过散热器，使散热效率提高，但噪声大，结构较复杂。强迫风冷与液体冷却、蒸发冷却相比较，具有结构简单、费用低、维护方便等优点。适用于热流密度较大、温升要求较高的仪器中。
2. 液体冷却

与通风冷却相比，液体冷却可将导热系数提高2个数量级，适用于功率密度大的电力电子装置(如速调管、行波管、返波管、磁控管等)。但液体冷却系统较复杂，体积和重量较大，设备费用较高，维修也较困难。

水冷散热器的优点是散热效率高、噪声低，缺点是需要水处理和循环设备，且容易产生结露、漏水、电腐蚀；

油冷的优点使不易结冻，不需水处理设备，但其缺点是冷却效率较差，结构复杂，维护较难；

沸腾冷却是利用加热区蒸发放热，冷凝区蒸气凝结放热，这两种放热都具有很高的放热系数及散热能力，但系统复杂、昂贵，一般只用在特殊的地方。

1. 直接液体冷却：直接液体冷却就是冷却液体与发热的电子元器件直接接触，进行热交换。热源将热量传给冷却液体，再由冷却液体将热量传递出去。冷却液体的对流和蒸发是热源散热的主要方式。

发热的电子元器件直接浸入冷却液体(无蒸发)

元器件或组件直接浸入冷却液(有蒸发)

直接强迫液体冷却

1. 间接液体冷却：

导热模块

机箱空气-液体冷却

循环式水冷系统

1. 热电制冷与热管散热技术
2. 热电制冷(半导体制冷)是利用珀尔帖效应(Peltier Effect)达到制冷目的的。P型半导体与N型半导体之间用金属板连接，在半导体与金属板相连的上端形成珀尔帖冷效应，下端形成珀尔帖热效应。
3. 热管散热技术：热管是一种高效的传热元件，具有优异的传热特性，沿轴向的等温特性好。其传热效率比同质量的铜散热器大2～3个数量级。热管散热是一种利用相变过程中要吸收/散发热量的性质来进行冷却的技术。

第十一讲 人机工程学与仪器结构设计

一 人机工程学概述

二 仪器的人机接口

三 仪器的结构设计

1. 外观造型设计

实用、经济、美观是外观造型设计的基本原则

形态要素要合适，色彩和谐，布局符合美学原理

1. 机械结构设计

基本原则：所选取的材料应具备零件工作所需要的性能，如机械性能、热处理性能、耐腐蚀性能及其他防磁或绝缘性能；同时应尽可能降低生产成本。

Solidworks软件功能：结构设计，应力仿真

1. 隔振缓冲设计

隔振：将设备或基础与振源进行隔离，使振源传递给研究对象的振动得以减弱甚至消除。

措施：旋转部件动平衡 消除振源；结构刚性化，远离共振区；振源和基础隔离；阻尼减振技术

1. 防腐蚀设计

防腐蚀措施:选用防腐蚀材料；表面处理或涂层；灌封和密封；电化学保护；良好的保养

第十二讲 涡街流量计

一 涡街流量计工作原理

1. 流量计简介

流量是指单位时间内流经封闭管道或明渠有效截面的流体量，又称瞬时流量。当流体量以体积表示时称为体积流量，单位是m3/s；当流体量以质量表示时称为质量流量，单位是kg/s。

流过通道内流体的总量称为累计流量，常用体积累计流量m3和质量累计流量kg。

进行流量测量的仪表统称为流量计。流体是多样化的，如气体、液体、混合流体；还有流体的温度、压力、流量均有较大的差异，再者测量准确度要求也各不相同。因此，导致了流量计的多样性，流量计量也是最复杂的一种。

1. 卡曼涡街现象：卡曼涡街（卡门涡街）(Karman vortex street)

流体横向流过柱体时，在柱体背面的两侧交替产生旋涡，且在脱离后形成旋涡尾流的现象。

二 涡街信号的检测方法

1. 涡街信号的特点
2. 压电式传感器

三 信号处理及电路设计

1. 前置放大电路（电荷放大器）：具有高输入阻抗的电荷放大器
2. 滤波电路：低通滤波
3. 限幅放大电路：二极管放大电路
4. 整形电路（施密特触发器）：施密特触发器是一种能够把输入波形整形成为适合于数字电路需要的矩形脉冲的电路。
5. 涡街信号处理实例

四 气体质量流量检测

1. 一体化气体流量计

具有温度和压力补偿的气体流量计

1. 温度和压力检测电路
2. 温度测量的方法1：

热敏电阻PT100，电桥放大，A/D转换

1. 温度测量的方法2：热敏电阻PT100，三线制电桥放大

消除引线电阻影响原理：电桥

1. 温度测量的方法3：热敏电阻PT100，四线制电桥放大

消除引线电阻影响原理：电流表电压表

三线制四线制哪一个好？

1、二线制

线路电阻直接作为PT100的电阻值计算，测温结果受线路电阻的影响较大。一般用于精度要求不高且连线较短的场合。

2、三线制

三线制有一根补偿导线，其补偿的依据是假设三根导线及接触电阻相等。因此，一般要求三根线采用相同的导线，并且导线长度相等，连接时，注意接触电阻尽可能小。这种方式使用得当可以有效的抵消线路电阻的影响，应用最为广泛。

3、四线制

四线制中有两根电流线，线路上有电流，有压降，另外两根为电压线，电流可以忽略不计，压降可以忽略不计，测量PT100的阻值是通过PT100两端的电压反映，由于两根电压线上无电流，无压降，因此，电路电阻不影响测量结果。对导线几乎没有要求，对接触电阻的要求也较低。四线制测量最准确，但是，导线多，成本高，一般较少使用。

第十三讲 惯性测量与导航系统

一 惯性导航系统简介

1. 惯性导航发展历程
2. 惯性导航的基本原理
3. 物体在不受外力或所受外力平衡的条件下，维持原有运动状态（静止或匀速直线运动）不变的特性。牛顿三大定律（惯性、加速度、作用力与反作用力）。惯性导航是以牛顿三大定律为基础。任何运动体的运动状态都可以用加速度（Acceleration）来表征,加速度可以由加速度计测量(accelerometer)。
4. 惯性导航：利用惯性敏感元件在飞机、舰船、火箭等载体内部测量载体相对惯性空间的线运动和角运动参数，在给定的运动初始条件下，根据牛顿运动定律，推算载体的瞬时速度和瞬时位置，以实现导航。
5. 基本原理：用三个正交加速度计感受运动

由于加速度计同时感受了重力，必须消除重力加速度的影响，方法是用三个正交的陀螺仪测定重力方向，并减掉当地的重力。

又由于陀螺仪同时感受了地球自转，必须消除地球自转影响才能得到重力方向，方法是先找到北，再用精确时钟计算地球的自转角度，修正陀螺仪输出。

陀螺仪还可以输出载体的姿态。

1. 惯性测量元件：

陀螺仪（Gyroscope、Gyro） ：测量角速度（速率陀螺）、角度（积分陀螺）

加速度计（Accelerometer） ：测量线加速度

1. 惯性导航的特点
2. 优点：

自主导航：无需外界信息，安全，可靠；

输出信息丰富：位置、线速度、角速度、线加速度、角加速度、姿态；

应用领域广泛：海、陆、空、天；

1. 缺点：

成本高：成本与精度成指数级增长；

长时精度低：因为有漂移，长时间单独使用误差大；

1. 惯性导航的分类
2. 平台式惯性导航系统：

具有物理平台，能够隔离载体角运动。

1. 捷联式惯性导航系统：

没有物理平台，只有数学平台，不能够隔离载体角运动。

二 惯性测量原理和惯性器件

1. 陀螺仪的基本原理：是一种用来感知和维持方向的装置，基于角动量不灭的理论设计出来的。陀螺仪主要是由一个位于轴心可以旋转的轮子构成。 陀螺仪一旦开始旋转，由于轮子的角动量，陀螺仪有抗拒方向改变的趋向。

定轴性：陀螺仪自转轴相对惯性空间指向不变。

1. 陀螺的类型和特点
2. 陀螺仪的发展历程
3. 加速度计的基本原理：根据牛顿第二定律，敏感载体的加速度。测量的是比力，不是运动加速度。
4. 加速度计的类型和特点

三 平台惯性导航系统

1. 平台惯性导航系统原理：一种利用质量作加速度的敏感元件，以陀螺平台为支承的完全自主式导航系统。这种新兴的导航系统是在20世纪初出现的。

基本原理：

用加速度积分得到位置。用陀螺测定重力加速度方向，去除重力加速度。用精确时钟计算地球的自转角度，消除地球自转影响。

1. 平台惯性导航系统特点：陀螺平台稳定在惯性空间，而加速度计平台则用精密的时钟机构（精确度高达几百万分之一秒的晶体振荡器）跟随地球转动，使之跟上当地的重力方向。这种系统构造复杂，体积和重量都较大。但由于加速度计的方位是受机械平台控制的，精确度较高，因而能用于船舰、潜艇、飞机和飞航式导弹等的导航。

四 捷联惯性导航系统

1. 捷联惯性导航系统原理

“捷联（Strapdown）”这一术语的英文原义就是“捆绑”的意思。因此，所谓捷联惯性系统也就是将惯性敏感元件（陀螺和加速度计）直接“捆绑”在运载体的机体上，从而完成制导和导航任务的系统。

）没有机械式陀螺稳定平台

）陀螺和三个加速度计直接固连在载体上

）对陀螺敏感的角速度积分，得到载体相对参考坐标系的角位置（方向余弦矩阵）

)加速度计提供载体沿着横滚、俯仰和偏航轴的加速度分量，在通过方向余弦矩阵变换到参考坐标系

）对变换后的加速度积分，得到南北地速分量及经纬度参数

1. 捷联惯性导航系统特点

优点：

便于安装、维修和更换；

可以直接给出舰船坐标系的所有导航参数；

易于重复布置，在惯性敏感元件级别上实现冗余技术，提高可靠性；

捷联系统去掉了常平架平台，消除了稳定平台稳定过程的各种误差同时减小系统体积。

缺点：

敏感元件直接固定在载体上，工作环境恶化，降低了系统的精度。因此，必须采取误差补偿措施，或采用新型的光学陀螺。

1. 捷联惯性导航系统的发展
2. 捷联惯性导航系统的设计
3. 捷联惯性导航系统的工作流程

四 组合导航系统