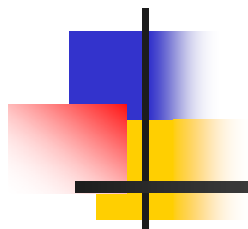


基于项目研究的

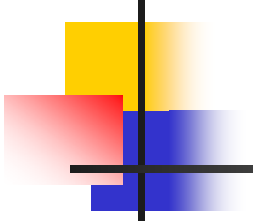
电工电子实验教学改革



东南大学电工电子实验中心

胡仁杰 2012.4.14

hurenjie@seu.edu.cn 13805172201



实验教学定位

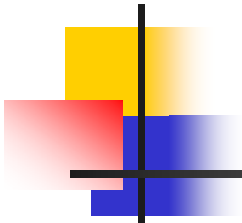
- ❖ 理论教学、实验教学、科学研究是高校人才培养三要素
- ❖ 实验教学是体现理论教学成效、实现教学向科学研究的过渡渠道
- ❖ 实验是对理论知识的应用、深化与拓展
- ❖ 实验教学是理论知识和工程实践、间接经验与直接经验、抽象思维和形象思维、知识学习与实践训练相结合的过程



教学指导思想

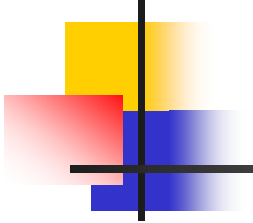
实验教学不应仅停留在学生机械地接受和掌握实验的基础知识、基本方法和基本技能，而是通过实验项目载体，以实验的任务和要求为目标，让学生运用已经掌握的理论知识，分析地理解和运用实验方法。

更高的要求，要让学生通过对实验任务和分析，认识当前自身知识、方法、能力的不足，必须在拓展知识、探索方法、自主创新的基础上才能够完成任务，从而在实践中培养科学素养，养成科学思维和创新意识。



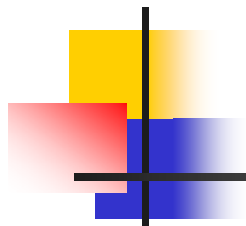
教学要求

- ❖ 以实验项目为载体，任务要求为驱动，引导学生研究探索、分析思考、拓展知识、发现问题、探寻方法
- ❖ 实验中通过项目需求分析、知识学习补充、理论推导计算、实现方法选择、电路设计仿真、实验步骤设计、参数测试方案、实验总结分析等环节，培养科学研究基本素质和工程实践综合能力



教学要求

- ❖ 促进学以致用、需以致学、研究创新
- ❖ 全面培养学生自主学习、科学研究、规划管理、工程实践、团队合作、交流沟通等综合能力和素质



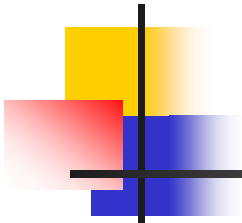
教学指导

❖ 精心安排实验内容、渐次提高实验要求

- 先期以多种简单问题的提出，作为综合、复杂任务的铺垫
- 在问题的发现 and 解决过程中引导学会学习、学会思考、学会动手。

❖ 灵活把握“自主”与“引导”的度

- 过早、过多的“引导”，将妨碍学生的创新思维、研究分析
- 过度强调“自主”，若学生陷入不能自拔的困境，可能打击自信心和积极性。
- 在学生感觉山重水复疑无路的时候，帮助学生分析问题所在，指出柳暗花明的又一村。



项目构思

- ❖ 在项目构思中，尽可能选择实现方法具有多样性，或实验结果随外部条件变化具有不确定性的内容，来展示科学研究的研究和探索性；
- ❖ 在内容选择上，侧重于学生在学习、生活和工程中可能遇到的问题和现象，促进学习与实践的结合
- ❖ 在实验项目配置上，分层次递进，从知识方法应用、综合设计到科学研究，深化实验项目要求的层次性和强调项目的工程背景。

教学计划

实验案例

❖ 基础性实验

◆ 电子元件参数的测试

- 设计电路分别测量电阻、电容、电感的参数。在实验中体会实际元件与理想模型之差别，激励源类型及频率选择的重要性
- 给出标准电阻，通过测量分析判定电压表、电流表内阻的大致范围
- 设计电路测量稳压二极管的V-I特性，研究二极管正向导通电压随温度变化的规律
- 设计实验电路测定实际电感器与电容器物理模型中各项参数（电感器的内阻、电解电容的漏电电阻）

实验案例

❖ 基础性实验

◆ 双端口网络结构与参数的判别

- 测量“T”网络中各元件参数。
- 给出解决问题的思路，提出实验方案；在尽量提供多种方案并加以分析论证的基础上，选择最优方法实施。
- 制定实验计划，明确各步骤中施加激励的方式、激励类型和状态，电路的连接方式，需要测量的参数等等；
- 根据实验信号的波形、参数，判定元件性质、计算元件参数；

实验案例

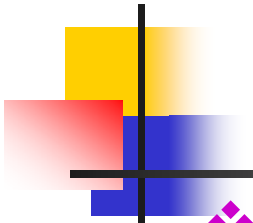


❖ 基础性实验

◆ 直流稳压电源的实现与测试

- 设计并实现电压在 $3.3\text{V} \sim 15\text{V}$ ，输出电流 1A 的直流稳压电源（线性电源）
- 测量各种电压源特性参数（开关电源、线性电源及太阳能电池板）
（包括：电压幅值准确性、稳定性，电压纹波，负载调整率，内阻）

实验案例



❖ 综合性实验

◆ 可变量程的可逆计数器的设计

- 计数器的几种基本结构与实现方法
- 初始值设置
- 计数值的显示
- 计数值输出的占空比调整

◆ 步进电机控制器设计

- 步进电机运行与控制原理
- 环形脉冲分配器设计
- 驱动的概念及其实现
- 步进电机转速的测量
- 步进电机的细分及其实现

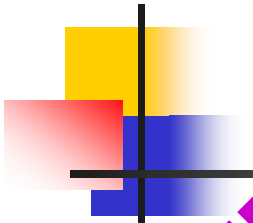
实验案例



❖ 综合性实验

◆ 步进电机控制器设计

- 步进电机运行与控制原理
- 环形脉冲分配器设计
- 驱动的概念及其实现
- 步进电机转速的测量
- 步进电机的细分及其实现



❖ 综合性实验

◆ 自动增益控制放大器

- 程控增益放大器
- 自动增益控制放大器

◆ 音频放大器的设计

- 音频信号拾取
- 前置信号放大
- 中间放大与混频
- 功率输出级

实验案例

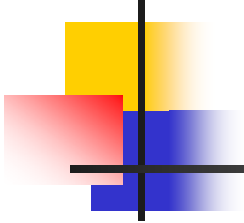


❖ 综合性实验

◆ 温度的测量与控制

- 温度传感器的选择
- 温度信号获取与放大器设计
- 温度值的显示。利用数字电压表显示温度，或自行设计ADC (ICL7107)
- 温度标定的（精度与线性度）
- 温度控制电路设计
- 温度的设定
- 设计反馈控制电路实现定点温度控制
- 标定调整系统参数

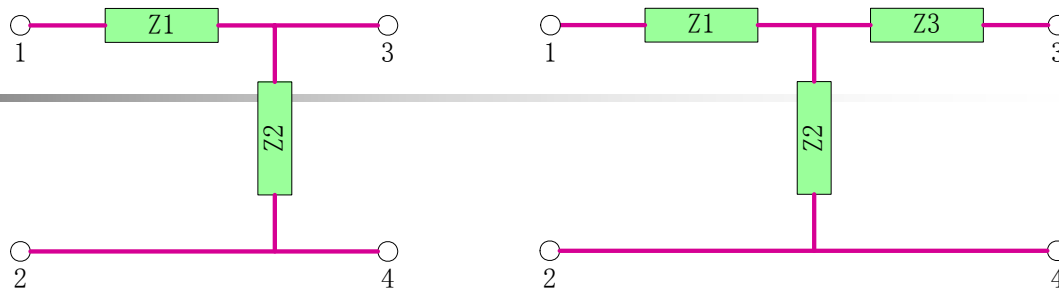
◆ 电磁式小功率继电器的特性参数测量



实验案例

- R、L、C网络频率特性测试与参数的测量
- 电磁式小功率继电器的特性参数测量
- 温度的测量与控制

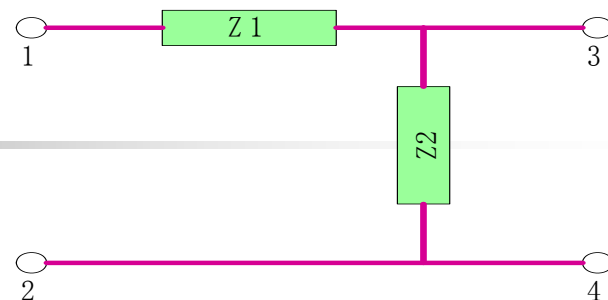
R、L、C网络频率特性测试与参数的测量



实验内容

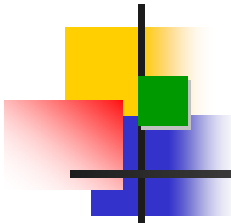
- ◆ 研究R-C R-L网络的频率特性，设计实验电路与方案，观察C、L上阶跃激励的响应
- ◆ 用多种测量方法（点频、扫频仪、软件仿真）观察、测量R-C R-L网络的幅频、相频特性，比较各方法的特点、效率、精度
- ◆ 采用测量的方法判定“T”型网络中各元件的性质，并通过测量计算元件的参数

RLC网络频率特性测试与参数的测量



实验要求

- ◆ 研究 R - C 、 R - L 网络的频率特性，设计实验电路与方案，观察 C 、 L 上阶跃激励的响应
 - 构思观察阶跃响应的方法；
 - 设计实验电路，选择元件参数；
 - 观察并记录信号波形；
 - 分析解释产生该信号波形的成因。

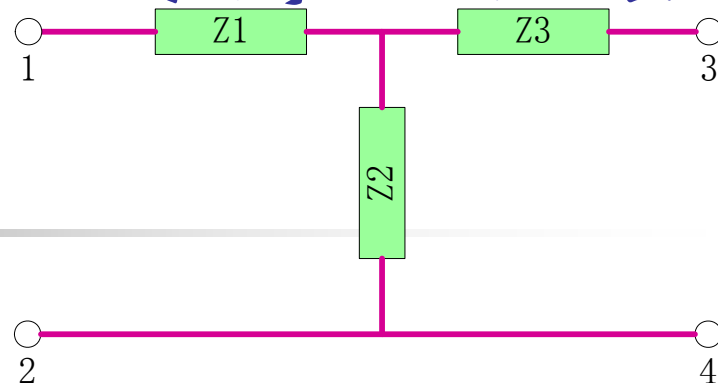


R、L、C网络频率特性测试与参数的测量 实验要求

◆ 用多种测量方法（点频、扫频仪、软件仿真）观察、测量R-C R-L网络的幅频、相频特性，比较各方法的特点

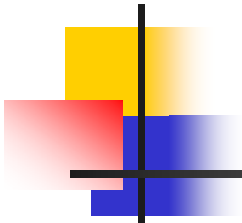
- 设计电路，根据电路参数估算幅频特性截止频率范围，合理高效选择观察点频率，测量记录数据
- 使用扫频仪测量频率特性。选择扫频范围，记录特性曲线；
- 在Multisim软件环境中构建与前面实验中相同（结构与参数）的电路，运用电路分析工具，生成幅频特性和相频特性曲线；
- 对比三种不同模式实验获得的结果，观察现象，分析原因。

R、L、C网络频率特性测试与参数的测量



实验要求

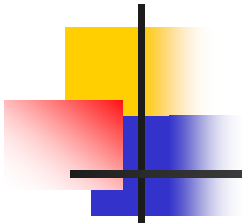
- ◆ 采用测量的方法判定“T”型网络中各元件的性质，并通过测量计算元件的参数
 - 分析“T”型电路，给出解决问题的思路，提出实验方案
 - 制定实验计划，明确各步骤中施加激励的方式、激励类型和状态，电路的连接方式，需要测量的参数等
 - 根据实验信号的波形、参数，判定元件性质、计算元件参数；
 - 分析思考其它可能的方法



R、L、C网络频率特性测试与参数的测量

■ 教学目的

- ◆ 运用欧姆定律和元件的阻抗特性解决实际问题；
- ◆ 通过选择激励源的类型、频率的高低，利用元器件的阻抗特性，简化测量过程
- ◆ 拓宽视野，体验解决问题方法的多样性
- ◆ 进一步熟悉仪器设备，深刻了解仪器输入阻抗、输出阻抗、测量精度对测量的影响
- ◆ 学习体验“分析任务-调查研究-设计电路-构建平台-实验测试-总结分析”的科学研究方法；

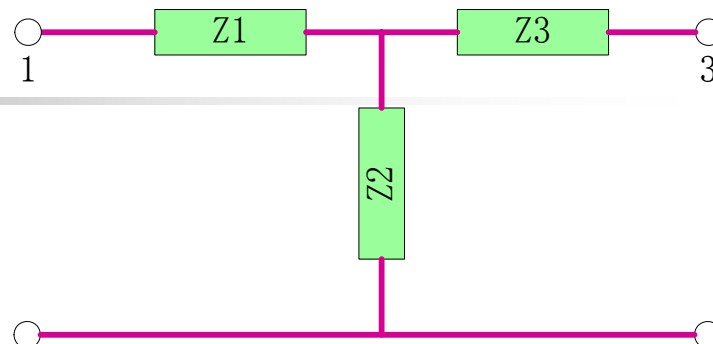


R、L、C网络频率特性测试与参数的测量

■ 实验方案

- ◆ 施加不同激励，通过阻抗随频率变化规律判定元件性质
- ◆ 运用三电压表法计算
- ◆ 观察测量电流与电压相位差
- ◆ 建立联立方程组

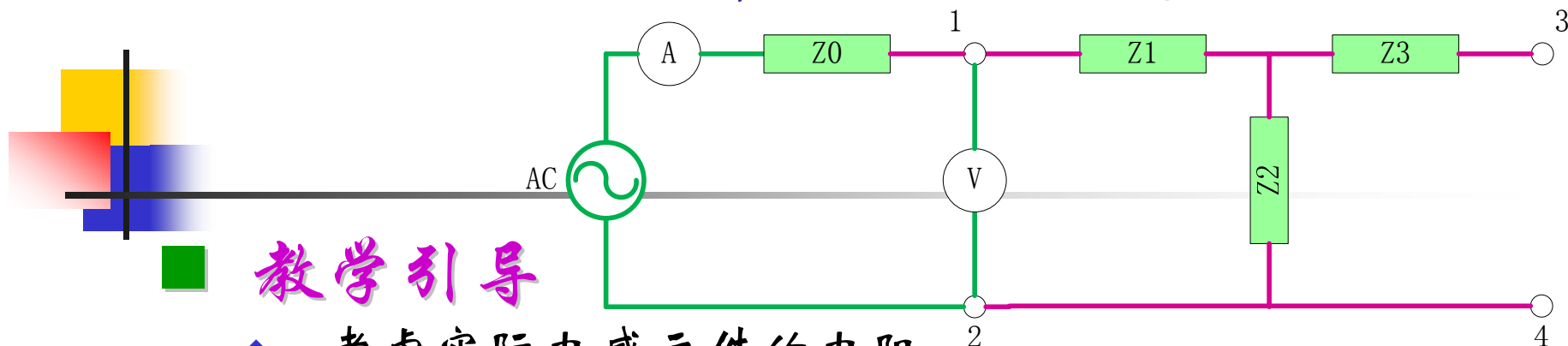
R、L、C网络频率特性测试与参数的测量



教学引导

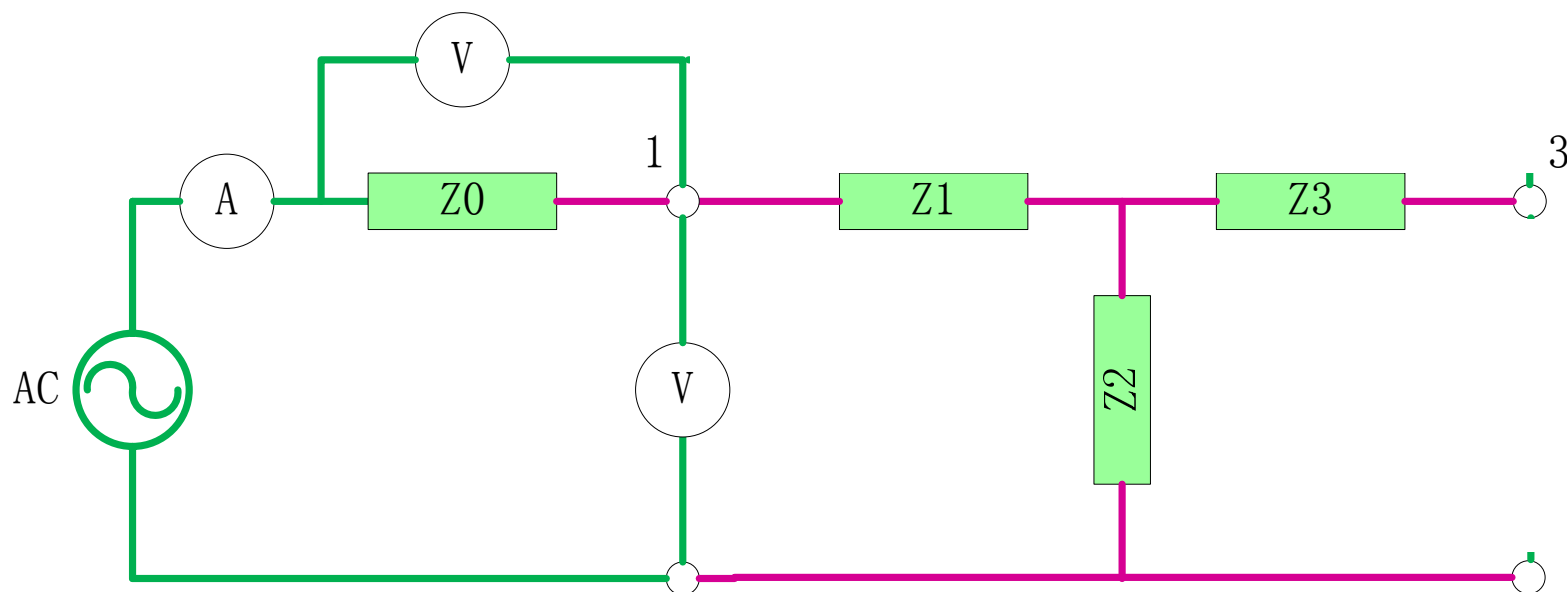
- ◆ 通过电容、电感元件中电流²、电压的建立的物理概念⁴介绍电流、电压的相位关系——相频特性
- ◆ 从感抗、容抗的公式及分压原理分析幅频特性
- ◆ 在MULTISIM软件平台上演示分析一阶网络的幅频特性、相频特性——介绍软件使用方法
- ◆ 提示利用电感、电容的频率特性，有选择地在某两个节点间施加直流或交流激励，根据电流是否为零、电流值随频率的变化规律、电流与电压间的相位差随频率的变化规律等判定元件的性质

R、L、C网络频率特性测试与参数的测量



教学引导

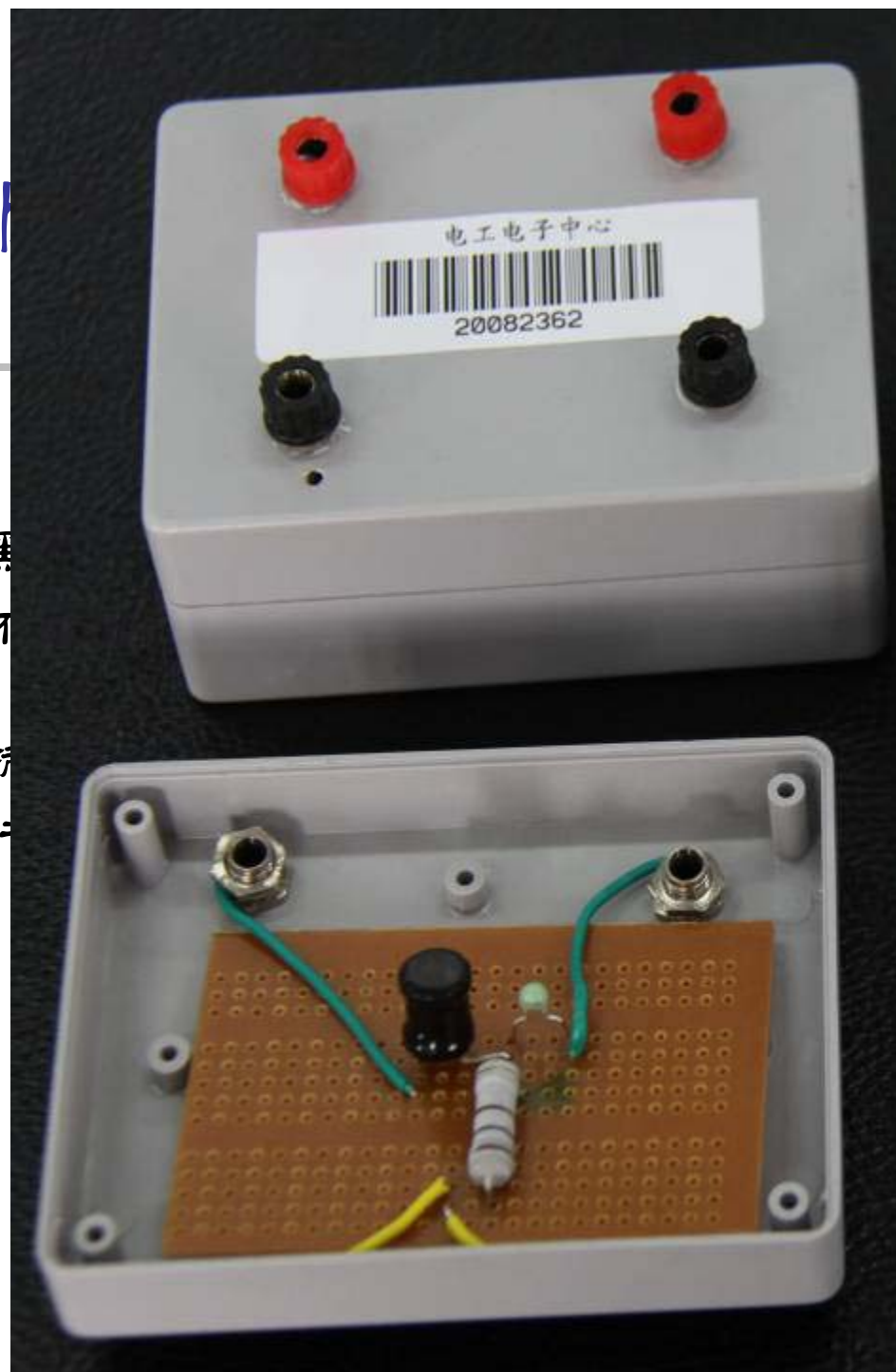
- ◆ 考虑实际电感元件的电阻
- ◆ 电流信号的获取（幅值与相位）
- ◆ 获取 Z_1 、 Z_2 上电压信号的方法
- ◆ 频率较高时从电路端口获取信号



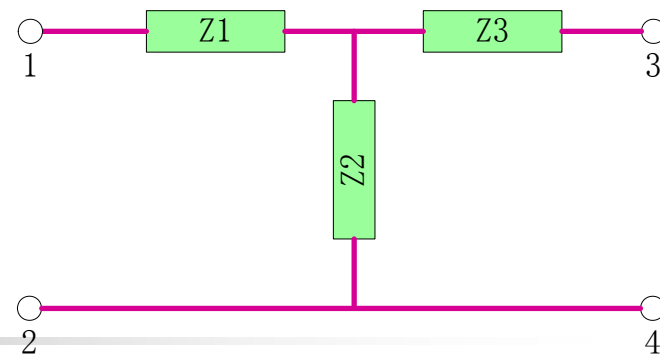
RLC网络频率特性

实验条件

- ◆ 封闭的“T”网络——黑箱
 - 制作一批电路，参数各不相同
 - 选择在1K~5MHz范围内，频率间隔过一个数量级，输入阻抗和输出阻抗不同
 - 以条形码识别，学生自行设计实验方案
- ◆ 仪器设备
 - 60MHz示波器
 - 15MHz信号源
 - 直流稳压源
 - 数字万用表
 - 交流毫伏表



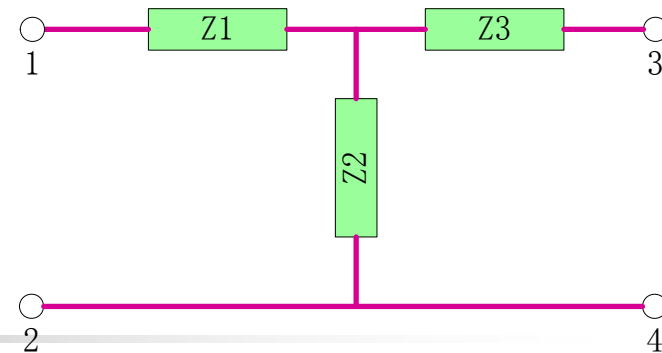
R、L、C网络频率特性 测试与参数的测量



实验方法举例

- ◆ 采用如下连接方式：3端悬空时在1-2端间施加电压激励，2-4端悬空时在1-3端间施加电压激励，1端悬空时在3-4端间施加电压激励，每次测试中均只涉及两个串联元件。
- ◆ 若支路包含电感，电感在直流激励下的阻抗近似为零，阻抗随交流激励信号的频率提高而变大，电流相位滞后于电压
- ◆ 若支路包含电容，电容在直流激励下的阻抗为无穷大，随交流激励信号的频率提高而变小，电流相位超前于电压

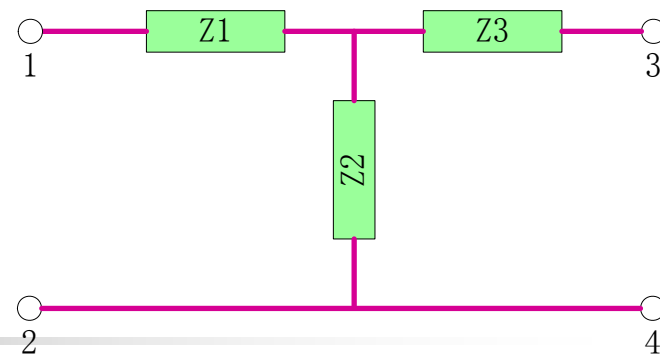
R、L、C网络频率特性 测试与参数的测量



实验方法举例

- 若阻抗与激励的频率无关，则两元件均为阻性；
- 若直流时阻抗无穷大，则至少其中一个为容性；
- 若直流时阻抗接近于零，则可能两个均为感性；
- 若交流激励信号的频率从低（0Hz）到高时，阻抗从某一个定值开始增加，电流与电压的相位差从0开始变大，则其中一个感性，另一个是阻性，频率为0时的阻抗值即为电阻值（包含电感的电阻）。

R、L、C网络频率特性 测试与参数的测量



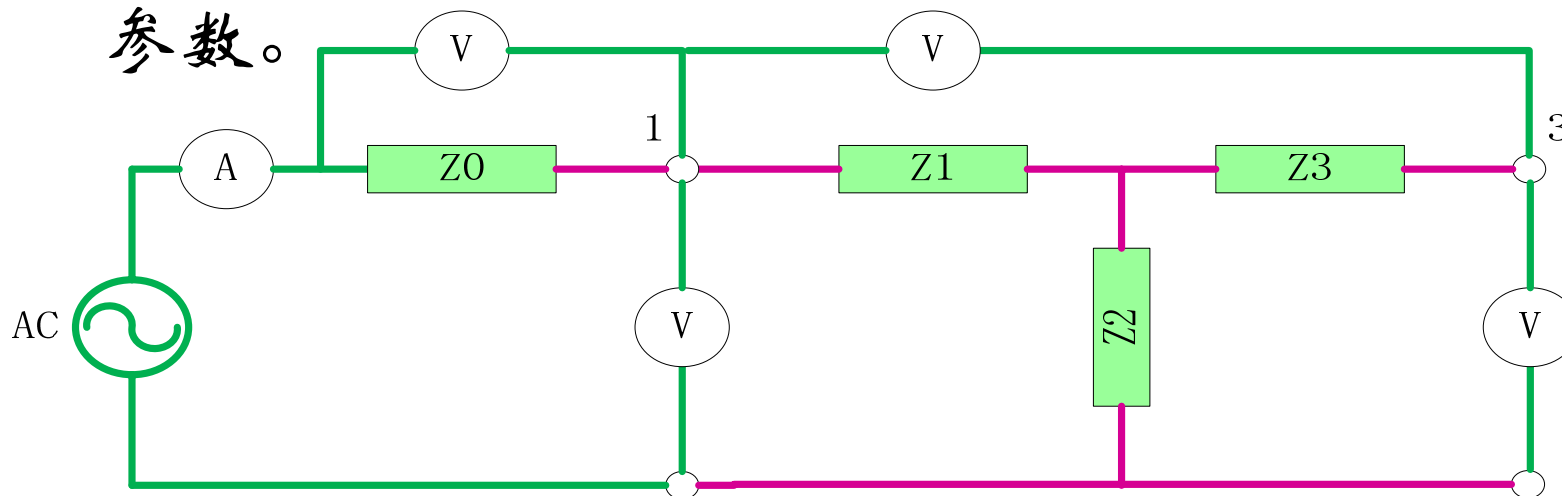
实验方法举例

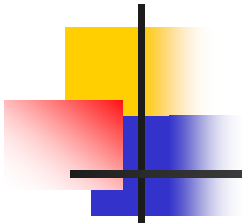
- 若交流激励信号的频率从低到高变化时，阻抗从无穷大开始趋近某一个定值，则其中一个为容性，另一个是阻性，趋近的阻抗定值即为电阻值。
- 施加交流激励并变化时，电流与电压的相位接近 90° ，则两个元件中没有阻性元件。
- 通过对有共有元件的两个支路的判断，就可以判定共有元件的性质。

R、L、C网络频率特性测试与参数的测量

实验方法举例

- ◆ 施加交流激励，测量回路端口电压，用示波器观察、测量电流电压的相位差，计算出两个元件上的电压，进而计算出各元件参数。
- ◆ 施加交流激励，通过测量回路电压和另一端口的电压，根据三电压法可得知另一元件上的电压；测量回路电流，可以计算出各元件参数。



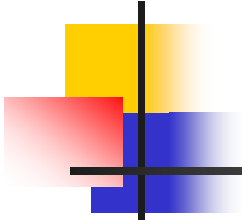


R、L、C网络频率特性测试与参数的测量



实验考核关注点

- ◆ 方法的正确性和合理性
- ◆ 实验过程中的思维与分析的正确性与全面性
- ◆ 思路的宽广性与方法的多样性
- ◆ 对误差成因分析的深度和准确性



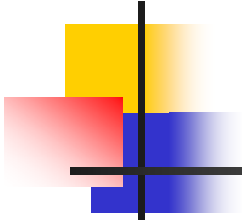
电磁式继电器的特性参数测量



实验内容

通过实验测量，测试小型电磁式继电器的主要特性参数，测量内容如下：

- ◆ （最小）吸合电压和（最大）释放电压
- ◆ 额定动作电流
- ◆ 吸合时间、释放时间
- ◆ 接触电阻



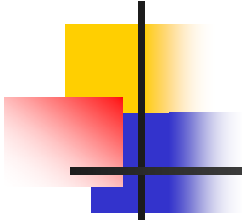
电磁式继电器的特性参数测量



实验要求

◆ 基本要求

- 学习电磁式继电器的工作原理、了解其主要特征参数的含义
- 根据各参数特点，构思实验方法和电路，并利用实验室现有仪器设备进行定性的试探性测量
- 尽可能考虑方法的多样性，分析并在实验中检验各种方法的优劣和性价比
- 设计实验电路，选择实验仪器设备
- 因参数的离散性，对某一个参数需要在同样条件下进行多次重复测量测试（对同一型号继电器，进行单件多次重复测量、多件重复测量）。

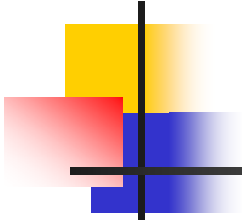


电磁式继电器的特性参数测量

实验要求

◆ 提高要求

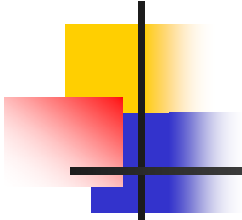
- 研究某些参数的动态特性（如吸合电流、接触电阻在动作过程中的动态变化情况），如何定性观察、定量分析这些参数？
- 继电器的线圈在关断时将产生一个反电动势，能否设计实验方法观察到这一反电动势的存在？
- 实现主要特征参数的自动连续测量与显示。



电磁式继电器的特性参数测量

■ 教学目的

- ◆ 根据工作的要求自主学习补偿知识，针对不同的对象和要求去研究和探索解决问题方法
- ◆ 将数字与模拟电路的知识运用解决工程实际问题
- ◆ 研究并认识定性观测与定量测量分析的不同需求与实现方法
- ◆ 学习处理离散型参数的方法。



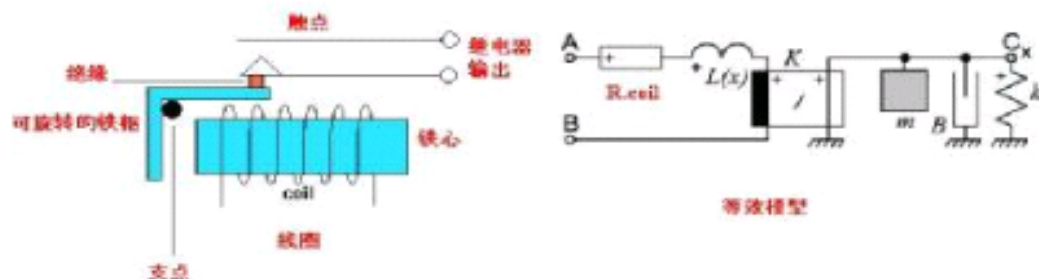
电磁式继电器的特性参数测量

■ 教学引导

- ◆ 简单介绍电磁式继电器的结构与工作机理
- ◆ 要求学生自行查找书籍、资料，深入了解继电器的特性，以及各特征参数的定义、范围、精度等

继电器的参数和性能介绍

在这里介绍一下继电器，电磁继电器由线圈绕上铁芯，形成电磁铁，当线圈导通时，电流使得铁芯暂时磁化，吸引铁枢使得触点吸合。



线圈参数

额定工作电压_Nominal Coil Voltage (Rated Coil Voltage)

是指继电器正常工作时线圈所需要的电压。根据继电器的型号不同，可以是交流电压，也可以是直流电压。

吸合电压_Pick-Up Voltage (Pull-In Voltage or Must Operate Voltage)

使继电器触点吸合的最小线圈电压（从小到大测试）。

释放电压_Drop-Out Voltage (Release or Must Release Voltage)

保证继电器触点释放的最大线圈电压（从大到小测试）。

吸合电流_Pick-Up Current

是指继电器能够产生吸合动作的最小电流。在正常使用时，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。而对于线圈所加的工作电压，一般不要超过额定工作电压的 1.5 倍，否则会产生较大的电流而把线圈烧毁。

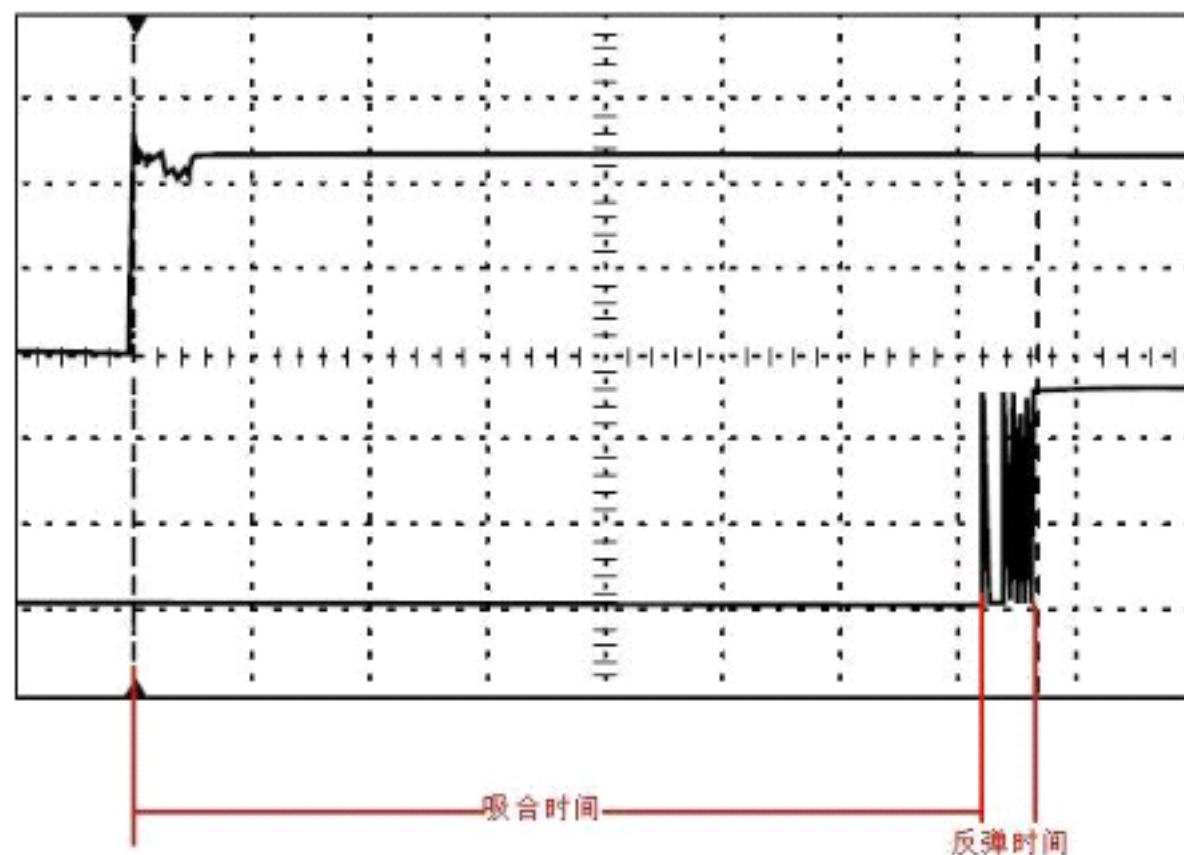
吸合时间 (Pull-In or Pick-Up Time)

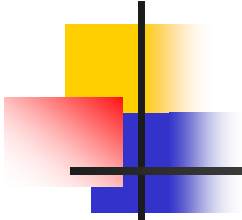
从最初线圈开始上电到触点开始闭合的时间，不包括触点反弹。

释放时间 (Drop-Out Time)

从最初的搬迁运行时间

从最初的线圈掉电到最后触点断开的的时间，不包括触点反弹。



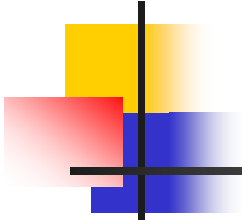


电磁式继电器的特性参数测量



教学引导

- ◆ 指导学生利用实验室仪器进行参数的测量尝试，进而了解通用仪器设备使用的局限性
- ◆ 组织学生讨论针对不同参数的测量方法，对某一参数的多种测量方法的比较与优劣分析
- ◆ 提示参数测量结果离散性，介绍离散型参数的统计与处理方法
- ◆ 引导学生构思参数自动测量并显示的方法；可以借助单片机或在FPGA中自行设计控制器

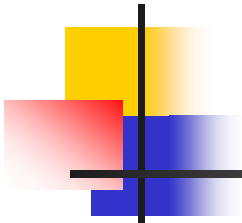


电磁式继电器的特性参数测量



主要解决问题

- ◆ 继电器线圈的控制
- ◆ 可控的线圈电压的获得
- ◆ 触点吸合与释放的测量及抖动的消除
- ◆ 电压/电流的测量
- ◆ 微小电阻的测量
- ◆ 电压/电流等模拟量的显示
- ◆ 动作时间等数字量的显示

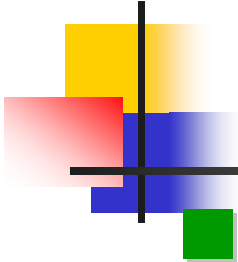


电磁式继电器的特性参数测量



实验考核关注点

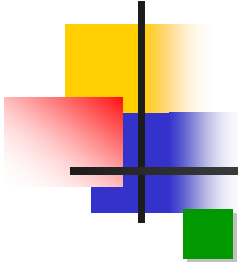
- ◆ 通过设计初案和讨论中的发言，考察学生自学状况
- ◆ 通过检查实验方法与电路设计，考察思维和知识运用能力
- ◆ 考察电路实现与调试能力
- ◆ 考察实验数据处理、分析与统计的方法与能力。
- ◆ 通过检查测量准确度，考察对精度、稳定性等工程问题的认识
- ◆ 在实验后组织学生演讲，考察总结归纳和表达能力



电磁式继电器的特性参数测量

项目意义

- ◆ 电磁式继电器是电气控制系统中常用的执行元件，但是一般在教学中不会专门讲解。
- ◆ 关于继电器的资料比较容易获得，其工作原理和参数的定义比较容易理解，知识起点低，适合自学
- ◆ 继电器参数有着不同的特征，需要运用电路基础、模拟电路、数字电路、微处理器等多门基础理论课程的知识



电磁式继电器的特性参数测量

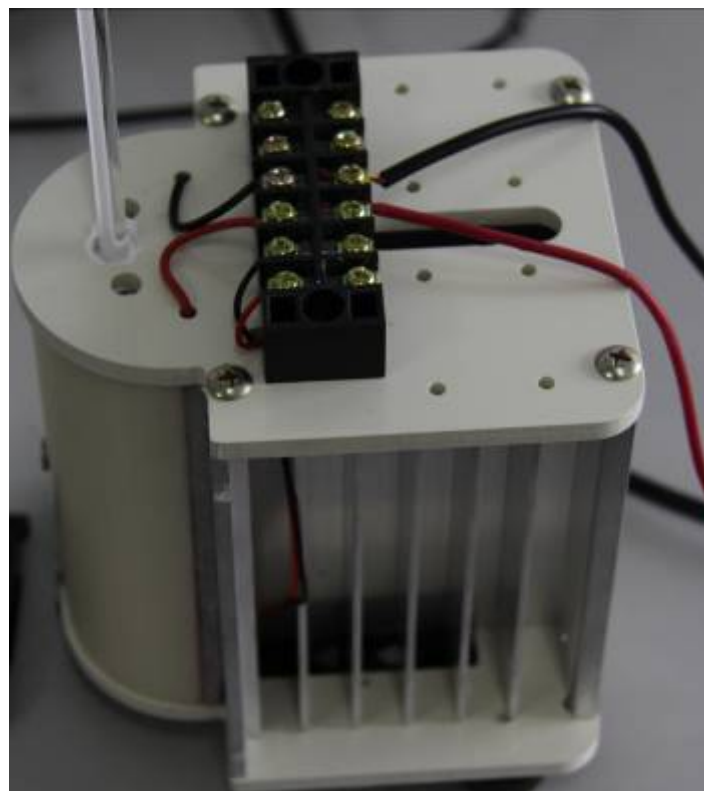
项目意义

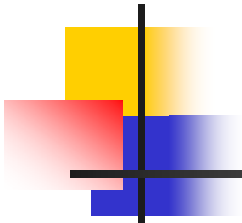
- ◆ 工程背景强，功能、指标要求明确易懂，易于进入角色开展工作；项目投入少，便于大面积推广
- ◆ 各项参数差异较大，通过实验可以学习多种典型测量与数据处理方法
- ◆ 测量指标可低可高；各项功能可以单项逐一完成，可以自动连续完成，应用单片机、嵌入式处理器或可编程技术可以成为专业测量仪器

温度的测量与控制

实验内容

- ◆ 采用不同的方法测量温度，温度范围 $20\sim 70^{\circ}\text{C}$
- ◆ 以数字方式显示温度
- ◆ 将温度控制在指定的温度值，误差 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$

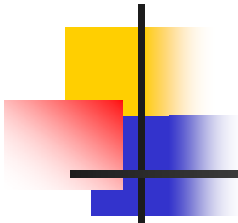




温度的测量与控制

■ 温度的测量

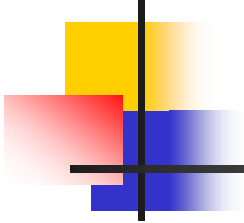
- ◆ 获取温度信号的不同方法：热敏电阻、PT100铂电阻、二极管、各种集成温度传感器
- ◆ 以PN结电压、热敏电阻阻值随温度变化的特性，采集温度信号
- ◆ 用运算放大器的算术功能，减去信号中的基分量
- ◆ 根据显示的要求设计放大器的增益



温度的测量与控制

■ 温度的显示

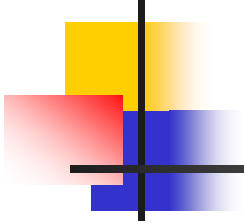
- ◆ 经A/D转换成数字量，编码转换
- ◆ 温度计的校正
- ◆ 温度误差的标定



温度的测量与控制

■ 温度的控制

- ◆ 加热与制冷方式的切换
- ◆ 温度控制的方式：
 - 控制程控电源的电压
 - 自行设计程控电压源
 - 设计电流源
 - 通断控制



温度的测量与控制

■ 温度的控制

◆ 温度的设定方式

- 数字方式
- 模拟方式

◆ 温度的控制

- 温度设定值与测量值的比较
- 通断控制
- 根据差值量控制加热/制冷速度
- 超调与响应速度的控制

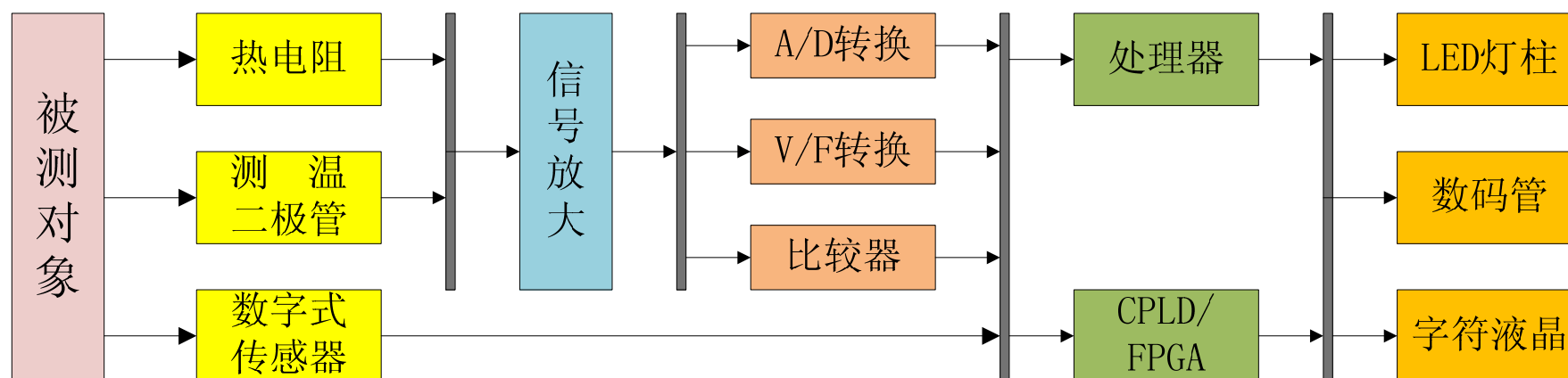
温度的测量与控制

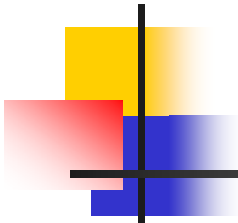
■ 研究调查，收集资料，寻找实现途径

- 选择传感器
- 信号调理
- 信号转换
- 数据显示

◆ 方案分析对比

- 先进性、合理性
- 技术状况、设备条件
- 时间、经费来源





研究性实践教学实施要点

- 重点在于教学内容、实现方法的开放
 - ◆ 给出基本、提高和创新等不同层次要求
 - ◆ 学生自行拟定实验方案、过程
 - ◆ 学生可根据需求自选实验仪器，自组实验平台
 - ◆ 所需知识来源的多样性：系统理论知识、多种方法集成、最新产品技术
 - ◆ 实验形式的多样性：设计、分析、仿真、实验



研究性实践教学实施要点

➤ 教-学模式

◆ 教学主体的转移

- 以学生自主学习、研究、实践为主

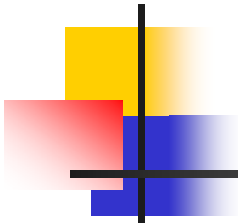
◆ 教学形式的开放：内容、时间、平台

◆ 引导“做中学、做中研”

着眼于“学、思、知、行”结合

◆ 学习形式的多元化

- 系统方法传授、信息查询、知识学习、研究探索、方案研讨、设计仿真、系统实现、调试测试、总结演讲



研究性实践教学实施要点

➤ 实践环境

满足学习、研究、设计、分析、仿真、实验、制作、焊接、测试等不同环节的软硬件需求

- ◆ 计算机、网络、软件工具、开发平台
- ◆ 获取知识、方法的多种渠道
- ◆ 不同种类、规格、指标的仪器设备
- ◆ 综合、丰富、多样，有充分选择空间的实验平台



研究性实践教学实施要点

➤ 条件保障

- ◆ 设备维护
- ◆ 元器件供给
- ◆ 仪器设备借还
- ◆ 实验室运行状况维持



研究性实践教学实施要点

➤ 师资队伍

- ◆ 教学思想转变
- ◆ 知识能力提高
- ◆ 教学水平提升
- ◆ 服务意识加强

谢谢！