

技术参数与性能指标				
一、采购内容及清单				
序号	名称	数量	单位	备注
1	电工电子实训平台	20	台	核心产品
2	数字电路实训平台	20	台	/
3	模拟电路实训平台	20	台	/
4	示波器	14	套	/
5	信号发生器	14	套	/
6	台式万用表	10	套	/
<p>电工电子实训平台：</p> <p>一、装置要求</p> <p>1、系统控制屏要求采取多屏设计，采用挂箱式结构，</p> <p>2、实验所有电源、信号源、电压源、电流源、仪器仪表、示波器等装置等采用单独盒装模块嵌入式结构。</p> <p>二、技术性能要求</p> <p>1、输入电源：三相四线(或三相五线)380V±5% 50Hz，上限电流不超过 16A；</p> <p>2、工作环境：温度-10℃~+40℃ 相对湿度<85%(25℃) 海拔<4000m；</p> <p>3、外形尺寸约：≥1400mm×750mm×1450mm（长×宽×高）（具体可根据用户需求定制）；</p> <p>4、装置容量：≥1.5kVA；</p> <p>5、满足国标的漏电保护要求；</p> <p>6、安全保护：具有过载、过流、漏电保护措施，符合国家相关标准。设有电压型漏电保护器和电流型漏电保护器；各电源输出均有监示及短路保护等功能，各测量仪表均有可靠的保护功能。</p> <p>7、环保：材料选用符合国家相关环保标准。</p> <p>★三、实验台要求</p> <p>实验台整体需采用铝型材框架结构，桌面为防火、防水、耐磨高密度板；实验装置主框架采用四根 70mm×70mm 优质弧形欧标型材（，四周采用成型“L+口”字型铝材支架固定，安装螺丝采用 M8+滑块螺母，型材立柱底部装有专用黑色高度可调节底角，可适用于不同高度的地面安装环境，桌面上方挂箱部分需设计有带门可拆卸的钣金机箱（内嵌于四周全包围的 42mm×24mm 厚 1.2mm 专用型材内,可同时放置≥7 个挂件）；需提供三维设计图及实物图。</p> <p>四、实验组件配置要求</p> <p>1、电源控制部分</p> <p>（1）需配置空气开关，独立模块化设计，设置有启动、停止、急停、钥匙开关等功能；</p> <p>（2）需配置单相固定及可调 380V 交流电源输出，三相调压器：380V 交流电源经空气开关控制后输出，面板上设有启动、停止按钮，三相调压器输出配有数显三相电压表一只，可直接数显三相输出电压；整体设计成独立模块，可以单独使用，操作面板尺寸不大于 195mm*130mm*300mm；</p> <p>★（3）需配置智能保护系统：系统内置一套“智能自动故障检测系统”，需采用高可靠 20A 电子模块，采用 6 路隔离芯片级电流快速检测集成芯片设计，32 位 CPU 快速计算与人工智能分析电路故障类型，完成切断直接短路及过流保护等快速保护，实现“0”内阻电路保护措施，需提供保护功能演示截图。</p> <p>★（4）直流稳压电源模块</p> <p>配置±5V/1A、±12V/0.5A、24V/3A 全数字化设计（可数字化设置启停），提供 2 路隔离电源 0-30V/0.2A 连续可调稳压电源，2 路通道独立 24 位 AD 采样，电压电流显示误差 3 个</p>				

字以内，电流输出采用品牌隔离模块隔离，恒流源电流保护值输出功率可 200mA-0.9A 任意设置，具有 1 键进入恒压恒流模式，调节精度 0.01V/1mA，具有 3 档速度调节，编码器设置功能，默认输出 6V(10mA)和 12V(10mA)，具有电压断电保持功能，能量吸收功能，满足实验指导书的需求，可通信设置电压电流，恒压和恒流模式，具有电压电流显示功能，具有通信接口及全网络数据监测功能，可扩展 LABVIEW 及手机 APP 软件等云端工具，**需提供实物图片。**

2、高性能数据测量仪表需求：

(1) 直流数字电压/电流表

1) 直流数字电压表：精度：不低于 0.2 级，满量程不低于 5 万字，电压：0-500V，5 档量程（500mV-5V-50V-500V-锁定），带 4-20mA 电流输出口。

2) 直流数字电流表：精度 0.2 级，电流 0-2A，全量程内阻 15mΩ，5 档量程（2mA-20mA-200mA-2A-锁定），带 4-20mA 电流输出口。

(2) 交流数字电压/电流表

1) 交流电压表：精度：不低于 0.5 级，满量程不低于 5 万字，电压：0-500V，3 档量程（10V-100V-500V），带 4-20mA 电流输出口。

2) 交流电流表：精度：不低于 0.5 级，满量程不低于 5 万字，电流：0-5A，3 档量程（100mA-1A-5A），带 4-20mA 电流输出口。

(3) 智能功率、功率因数表：由 24 位专用 DSP、16 位高精度 AD 转换器和高速 MPU 单元设计而成，通过键控、数显窗口实现人机对话功能控制模式。软件上采用 RTOS 设计思路，同时配有 PC 监控软件来加强分析能力。功率测量精度为 1.0 级，功率因数测量范围 0.05~1.0，电压电流量程为 0.5-450V 和 0.001-5A，能自动判别负载性质（感性显示“L”，容性显示“C”，纯电阻不显示），标准的工业通信协议。

(4) 以上仪表需采用工业级柜装约 48mm*96mm，带通讯接口，有专用 10mm 厚度显示面板带 4 个稳定支点，6 位数码显示，用专用插接短接连接，采用轻触开关，有多功能按键可选择。

3、实验挂件要求（所有模块面板需采用绝缘材料彩色喷涂工艺，具有 2 个专用拉手，底座机箱需采用 ABS 模具一次成型，需具有 30 度倾斜度便于桌面放置时操作）

(1) 电路基础实验箱（一）：提供能完成电流表、电压表的设计及量程扩展实验，指针式欧姆表的设计及测试实验（配指针表表头一只及相关器件），已知和未知电阻元件伏安特性的测绘实验。

(2) 电路基础实验箱（二）：提供能完成戴维南定理、诺顿定理、基尔霍夫定律、叠加原理各实验器件齐全，实验单元隔离分明，实验线路完整清晰，验证性实验与设计性实验相结合。

(3) 电路基础实验箱（三）：提供 RC 双 T 选频网络、RC 串、并联选频网络。各实验器件齐全，实验单元隔离分明，实验线路完整清晰，验证性实验与设计性实验相结合。

(4) 电路基础实验箱（四）：提供 R、L、C 串联谐振、一阶、二阶动态电路。各实验器件齐全，实验单元隔离分明，实验线路完整清晰，验证性实验与设计性实验相结合。

(5) 电路基础实验箱（五）：提供双口网路、互易定理，可通过示波器清楚的观测电路状态的轨迹。

(6) 日光灯实验组件（注：日光灯安装在实验台上，采用彩色喷涂工艺，具有 2 个专用拉手，30 度 ABS 开模带底座机箱，具有欧标平衡线路五线供电，采用 U 型端子连接及供电系统）：提供交流电容、R\L\C 元气件，能完成日光灯实验、正弦稳态交流电路相量的研究（日光灯功率因数提高实验）等，提供 6 路电流插座。

(7) 交流电路实验（五）

1) 交流负载模块（灯泡）：提供 8 只 15W 白炽灯，所有端子全部引出至面板；

2) 交流负载及电容模块（灯泡）：提供 4 只 15W 白炽灯，提供 450V 交流电容 3 组，每组

(1uF、2.2uF、4.7uF)。

★(8) 元件箱：需提供实验所需的各种元件，如电阻、电容、电感、及开关等，还提供十进制可调电阻箱，阻值为 $0 \sim 99999.9 \Omega / 2W$ ；需采用全数字化设置，6 位数码指示当前电阻值，12 个按键对应相应电阻值设置，具有标准通信接口，**需提供实物图片**。

(9) 数字、模拟电子技术实验部分

1) 模块 1 需求：需具备一组 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 电源输出，多个电位器，两路 $\pm 5V$ 的可调直流信号源，一组 $0-6-10-14V/0.5A$ 交流电源，一个扬声器，一块供用户插入元器件与连接导线的自由连接区。

2) 模块 2 需求：需具备一组放置模电实验拓展板区域，采用磁吸式结构方便更换，各模块板应满足学校实验内容需求；另外需具备一组 20P、一组 24P、一组 28P、一组 40P 的芯片座子，需有一个分立元件区，区内配有：12MHz、32768Hz 晶振，0.1uF、0.01uF 电容，按钮，音乐片、蜂鸣器、继电器。

3) 模块 3 需求：具有十六路逻辑电平输入，十六路逻辑电平输出，6 组 16P 芯片座，6 组 14P 芯片座，4 组 8P 芯片座。

4) 模块 4 需求：具备两位独立数码管，两位带译码器的数码管，一个四位十进制拨码开关，一块自由连接区，三态逻辑笔，信号发生器（2 组单次脉冲，1Hz、10Hz 固定脉冲， $1K \sim 100KHz$ 可调的基准频率区）。

5) 模拟电路扩展实验板，实验前端小板采用标准模块件，每个实验电路焊接好元器件，磁吸式固定在实验平台上。

4、核心控制器：需采用国际知名品牌 cpu，带显示屏的 CPU，工作存储器可存储不少于 1MB 代码和 5MB 数据，位指令执行时间不大于 10ns。基本功能：运动控制，闭环控制，计数与测量，跟踪等功能；配置不少于 2 种通讯方式，配置 16 路输入/16 路输出数字量模块。

五、套结构手枪插实训连接线

要求根据不同实训项目的特点，配备两种不同规格的实训连接线，强弱电均采用高可靠护套结构手枪插连接线（不存在任何触电的可能），里面采用无氧铜抽丝而成头发丝般细的多股线，达到超软目的，外包丁晴聚氯乙烯绝缘层，插头采用实芯铜质件外套镀银铜弹片，两种导线都只能配合相应内孔的插座，不能混插。

六、配套教学资源及仿真软件要求

★1、电能质量分析仪（整批配置 1 套）：量化了传统的有功功率和无功功率测量，可测量系统的交流输出功率和直流输入功率，每次测量可保存数据、随时读取，屏幕上可显示多个数值；需直显功率以及功率因数等数据，电压电流量程最低需为 1-500V 和 0-5A，频率范围 45.00Hz 至 55.00Hz 需符合工业标准，独立封装尺寸不小于 $120 \times 300 \times 260$ ，需满足用户需求，**需提供型号及实物图片**。

2、创新型电工电子移动展示平台（实验室整批配置一套）：实验平台需采用优质 PVC 乳白色工程塑料一次成型，需采用工业标准电源线 220V 直接供电，默认上电自启动；同时需额外预留 24V 供电接口以作备用，平台需具有以太网、485、USB 等多种通讯接口，2 种电源供电接口及通讯接口位置均布置在实验箱侧面。

(1) 实验箱正面需提供以下配套接口：

1) 实验所需直流可调电源 2 路， $0-15V/0-200mA$ 连续直流可调输出，需具有 1 键进入恒压恒流模式，调节精度 $0.01V/1mA$ ，具有 3 档速度调节，编码器设置功能，默认输出 $6V(10mA)$ 和 $12V(10mA)$ 满足实验项目的需求，可任意设置，具有短路保护且自动恢复，可一键恢复出厂设置；

2) 需提供 2 路固定 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 、 $+3.3V$ 、 $+24V$ 常用固定电源输出，电源输出需采用不同接口形式，满足面包板及常用实验小板两种实验形式；

3) 需提供 2 路 8 位逻辑电平输出及对应逻辑电平指示，需采用不同接口形式，满足面包板及常用实验小板两种实验形式；

4) 需提供虚拟示波器接口以及虚拟信号源接口, 便于后期拓展;

★(2) 为了便于管理, 平台尺寸需不大于长 350x 宽 260x 高 60mm, 可以同时放下 4 种实验模块, 学生在进行不同实验时取对应的实验模块放入即可进行相关实验, 需采用磁吸式结构, 便于更换实验小板, 可完成电工电子相关实验演示; 为了便于后期拓展, 平台需考虑设备兼容性, 后期根据教学需求开展单片机、自动控制、计算机控制、虚拟仪器等实验时均配置实验小板学生即可在此平台上完成相关实验内容搭建; **需提供实物图片。**

3、数字化教材: 需提供与教学实训相配套的数字化教学资源, 提供数字化教材: 采用公有云平台的管理形式(二维码扫描); 支持 PC\手机\网页版显示, 可嵌入学校校园网, 实现共享; 可随时查看操作手册、操作视频等。

4、电工电子技术仿真教学软件(整批配置 1 点位): 需完成电子技术线上实验, 需包含数字电路、模拟电路、电路原理部分:

4.1、虚拟仿真软件与实验室场景 1:1 仿真, 本项目中实验设备数字电路实验箱、模拟电路实验箱、电路原理实验箱需与市面上硬件教学设备 1:1 仿真, 实验流程 1:1 仿真, 需采用 3D 仿真模式进行实验;

4.2、软件前端界面需由 HTML 语言开发实现, 用于界面交互以及实验效果展示。后端程序需由 ThinkPHP 框架开发完成, 存储用户的基本数据信息, 对用户提交的实验数据进行分析统计。实验内容需由 unity3D 引擎开发, 开发语言为 c#, 开发完成后输出 WebGL 格式; 分为后台管理(教师端)及实验选择、操作(学生端)。

★4.3、服务端以流的方式将系统部署到客户端, 实现与系统无关性, 多个系统只需要一次部署就完成, 支持国产操作系统部署。**需提供功能界面截图;**

4.3、虚拟仿真软件通过对教学实验设备实物进行等比例建模和渲染搭建成虚拟的实验室场景, 虚拟的实验设备可以让用户脱离实物进行实验方法和操作技能的学习, 避免线路故障、硬件损坏等突发情况的发生。

4.4、软件为在线虚拟仿真软件, 通过浏览器直接打开网页, 不接受单机版软件, 解决用户因没有相关实验器材而不能练习操作的问题。用户可以方便快捷的学习有关专业的实验内容。软件中的每个实验包括实验目的、实验原理、元器件、电路搭建、实验报告、实验成绩六个模块。

4.5、软件中涉及到实验数据添加随机小数, 并根据相关数学公式计算所得, 需保证实验数据的灵活性, 同时, 学生也可以经过软件的模拟学习后, 后期在硬件实验台上进行数据的实测试验。

4.6、学生仿真接线时可以通过工具栏按钮修改导线的颜色。对已经接好的线段进行修改删除操作。

4.7、线上模拟电路实验箱: 需采用 3D 建模, 使用感与硬件设备一致, 需包含以下部分:

(1) 电源部分需求: 需具备电源开关功能, 需提供固定 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 直流电源输出接口, $\pm 1.5V$ - $12V$ 直流可调电源输出接口; 需提供交流低压电源 $14V$ 、 $16V$ 、 $18V$ 、 $7.5V$ 输出接口;

(2) 仪表部分需求: 需提供 0 - $500V$ 的数字直流电压表, 分四档, 分别是 $500mV$ 档、 $5V$ 档、 $50V$ 、 $500V$ 档; $2A$ 数字直流电流表, 分四档, 分别是 $2mA$ 档、 $20mA$ 档、 $200mA$ 、 $2000mA$ 档。

(3) 仿真实验模块需求: 需提供分立元件设计区: 二极管、稳压管、发光二极管、可控硅、单结晶体管、三端稳压管、电位器、三极管、喇叭、电位器、IC 插座、开关、电阻、电容和电感: 设计有桥堆 2W10 1 个、二极管 1N4007 4 个/IN4148 2 个、稳压管 2DW231/2CW53/DC6.2V 各 1 个、发光二极管 1 个、可控硅 2P4M/BCR 各 1 个、单结晶体管 BT33 1 个、三端稳压管 7812/7912 各 1 个, $1W$ 电位器 $1K$ 1 个、三极管 33DG6B/3DG12/3CG12/2SJ11/3DJ6F/9014/9012 各 1 个、 8Ω 喇叭 1 个、 $0.5W$ 电位器 $10K$ / $100K$ / $680K$ 各 1 个、IC40/IC16/IC14 插座各 1 个、IC8 2 个、 1×2 开关 1 个, 各种固定值的电阻、电容和电感。

(4) 自主扩展需求: 需提供二极管 1N4007 4 个/IN4148 2 个、稳压管 2DW231/2CW53/DC6.2V

各 1 个、发光二极管 1 个、可控硅 2P4M/BCR 各 1 个、单结晶体管 BT33 1 个、三端稳压管 7812/7912 各 1 个，三极管 33DG6B/3DG12/3CG12/2SJ11/3DJ6F/9014/9012 各 1 个、8 欧姆喇叭 1 个、1W 电位器 1K/10K/100K/1M 各 1 个、IC40/IC16/IC14 插座各 1 个、IC8 2 个、1×2 开关 1 个，各种固定值的电阻、电容和电感 60 多个，另设计有阻容件自由接插区。

(5) 直流信号源需求：需提供双路 $-0.5V \sim +0.5V$ 连续可调。

(6) 模拟电路仿真实验内容需求：单管交流放大电路实验，射级跟随电路实验，两级交流放大电路实验，负反馈放大电路实验，比例放大运算电路实验，加减法运算电路实验，积分与微分电路实验，低通、高通、带通、带阻有源滤波器实验，RC 正弦波振荡电路实验，LC 振荡电路实验，集成电路 RC 正弦波振荡电路实验，整流滤波与并联稳压电路实验，OTL 功率放大器实验，集成稳压电路实验。

4.8、线上电路原理实验箱：需采用 3D 建模，使用感与硬件设备一致，需包含以下部分：

(1) 电源部分需求：需具备电源开关功能，需提供固定 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 直流电源输出接口，0-30V/0-200mA 双路可调直流电源输出接口。

(2) 仪表部分需求：需提供 4 位数电压电流双显示（输入 0.-30.00V，0-199.9mA 低电流显示 19.00mA）。

(3) 可调电阻需求：提供实验所需的各种元件，如电阻、电容、电感及开关等，阻值为 $0 \sim 99999.9 \Omega / 2W$ ，6 位数指示当前电阻值，12 个按键对应相应电阻值设置。

(3) 仿真实验模块需求：需绘制标准线路板，基尔霍夫定理/叠加原理实验、电压源与电流源的等效变换实验、受控源 VCVS 和 VCCS 实验、RLC 串并联、戴维南及诺顿定理实验、二端口网络及诺顿定理、一阶二阶动态电路实验、RC 选频网络实验等，以满足实验需求为准。

(4) 自主扩展需求：需提供开放式接口，拨码开关 1 个，8P 芯片座 1 个，14P 芯片座 1 个，复位按钮 1 个， $30 \Omega / 51 \Omega / 120 \Omega / 510 \Omega / 100 \Omega / 1K \Omega / 2K \Omega / 3K / 10k \Omega / 20k \Omega$ 电阻各 1 只，2200PF/0.01UF/0.1UF/0.22UF/1UF/15UF 电容各 1 只，1N4007 二极管 2 只，1N4148 二极管 2 只，2AP9 和 2CW51 各 1 只，6 个测量点等基本元器件供学生进行电路搭建。

(5) 电路原理仿真实验需求：基尔霍夫定律的验证，叠加原理的验证，电压源与电流源的等效变换，戴维南定理和诺顿定理的验证，最大功率传输条件的测定，受控源的实验研究，典型电信号的观察与测量，RC 一阶电路的相应测试，二阶动态电路响应的研究，RC 电路的动态过程，RC 选频网络特性测试，RLC 串联谐振电路的研究，RLC 串联与并联谐振。

4.9、线上数字电路实验箱：需采用 3D 建模，使用感与硬件设备一致，需包含以下部分：

(1) 电源部分需求：需具备电源开关功能，需提供固定 5V、 $\pm 12V$ 直流电源输出接口。

(2) 仿真实验模块需求：需具备 12 位逻辑电平输出、12 位逻辑电平指示、6 位 BCD 译码驱动数码管 2 组、2 位七段 LED 数码管 3 组；提供 14-40PIN 的 DIP 封装高品质零拔力的锁紧插座至少各 1 个，总数 16 个；提供电位器 2 组、电子音响元件 1 组、逻辑笔单元 1 组。

(3) 信号源需求：

1) 单脉冲电路：提供 2 组单脉冲电路，每组采用消抖动的 R-S 电路，产生正、负脉冲各一个。

2) 脉冲源：1HZ、10HZ、100HZ、1KHZ、10KHZ、100KHZ、1MHZ 固定连续脉冲。

3) 可调连续脉冲：1KHz—100KHz。

(4) 数字电路仿真实验需求：TTL 集成逻辑门的逻辑功能测试，组合逻辑电路的设计与测试，译码器及其应用，数据选择器及其应用，触发器及其应用，集成逻辑电路的连接和驱动，其他数电类实验。

5、设备运维系统：为了方便后期产品维护及报修处理及时，投标人需提供相关后台管理软件，老师可在设备出现故障时进行一键报修直接反馈至设备制造商，需可实时关注设备维修安排进度等功能。

★6、模拟逻辑芯片教学资源包（整批配置 1 套）：要求采用 EP4CE15F17C8 设计，配有 14

位、125MSPS, 双通道 DA 芯片+4 个 145M 带宽输入放大器设计, 具有 5 种芯片同时输出功能, 模拟实验用的 50 多种功能芯片 (通过手机或者触摸屏选择), 可自由定义这 5 种芯片是 14 脚或者 16 脚的功能, 同时有 4 只数码管, 按键选择设置芯片功能, 具有 2 路 DA 高速电路, 可以设计 2 通道任意波形发生。**需提供具有 5 种芯片同时输出功能, 模拟实验用的 50 多种功能芯片功能实物照片或功能截图;**

7、设备检修仪 (整批配置 1 套)

(1) 单路输出高精度 $\pm 5V, \pm 12V$ 稳压电压, 单路输出 +24V 稳压电压;

(2) 双路输出 $0 \sim 30V/0 \sim 0.9A$ 高精度恒流、恒压电源, 电流分辨率: $1mA$, 电压分辨率: $0.01V$

(3) 直流数字电压表: 精度: 0.2 级, 电压: $0 \sim 500V$;

(4) 直流数字电流表: 精度: 0.2 级, 电流 $0 \sim 2A$, 全量程内阻 $15m\Omega$;

(5) 输出电压电流调节旋钮可三档位调节, 分别为 $\times 0.1 \times 1, \times 10$, 可满足快速、高精度调节;

(6) 输出电压电流切换可通过触摸屏手动切换, 切换迅速便捷;

(7) 双调节模式, 可于触摸屏手动输入需要输出电压值, 也可调节调节旋钮调节。

(8) 电路内部设有短路保护, 短路时可保护设备;

(9) 具有通信接口及全网络数据监测功能, 可扩展 LABVIEW 及手机 APP 软件等云端工具;

(10) 仪器外形尺寸需求: $\geq 312*262*150mm$, 使用外接 220VAC 供电。

(11) 机箱正面触液晶摸屏: 屏幕尺寸: ≥ 5 寸, 屏幕分辨率: $\geq 800*480$, 可手动调节输出电压/电流。切换输出模式, 可实现双路电压输出, 双路电流输出, 单路电压加单路电流输出。屏幕上端具有电压表、电流表显示模块, 可清晰直观地显示所测电压与电流。

8、电工线上教学资源软件 (整批配置 1 账号教师演示用):

★仿真软件需具备三维虚拟实验室环境, 可以自由漫游观察; 本次建设的仿真软件教学库需具备专业相关的电机及电气技术、可编程控制器系统、液压传动与 PLC 控制、机电一体化模型、电力系统自动化、工业自动化过程控制等教学课程实验拓展; 仿真软件需具有网络端免费访问, 在有网络的教室等环境均可登录即可选择相应设备进行实验, 可通过电脑及平板等登录学习, 实现流畅操作, 为了方便随时随地线上学习, 不接受单机版仿真软件。**需提供各个课程实验仿真功能界面截图;**

(1) 仿真软件至少需具备以下功能: 实验说明: 通过仿真软件介绍仿真实验的组成模块, 操作方法, 以及计分规则; 实验目的: 通过简单的测试, 让学生明白本次仿真实验的目的; 实验原理: 根据对实验的了解, 让学生选择出正确的实验原理图; 设备选择: 学生通过学习, 可以从众多实验设备中选出本次实验所需要的设备; 实验连线: 需根据试验原理图练习线路连接, 可对导线进行换色、删除、清空操作; 设备仿真: 根据实验指导书来操作相应的按钮, 显示数据和动作, 达到仿真学习的目的; 实验报告: 把试验仿真中得到的试验数据填入对应的表格中, 并生成试验记录; 实验成绩: 试验全部完成之后可以查看各个模块试验得分; 软件需具备学籍注册功能。

(2) 三维仿真实训内容需求

1) 电机及电气拓展学习: ①、单相变压器空载、负载、短路实验; ②、三相变压器空载、负载、短路实验; ③、直流他励电动机回馈制动、反接制动、能耗制动实验; ④、直流并励电动机机械特性、调速、能耗制动实验; ⑤、他励直流发电机空载特性、外特性、调整特性实验; ⑥、并励发电机自励、外特性实验; ⑦、三相鼠笼异步电动机空载、短路、负载、能耗制动、空载损耗实验。

2) 液压拓展学习: ①、单级调压回路三维仿真; ②、减压回路三维仿真; ③、调速阀短接速度换接回路三维仿真;

3) 电气控制学习: ①、三相鼠笼异步电动机能耗制动三维仿真; ②、三相鼠笼异步电动机正反转控制三维仿真; ③、三相鼠笼异步电动机自锁控制三维仿真; ④、三相鼠笼异步电

动机点动控制三维仿真；

4) 工业自动化可编程控制学习：①、四层电梯的三维模型仿真；②、机械手的三维模型仿真；③、材料分拣的三维模型仿真；④、变频器的三维模型仿真；⑤、自动化生产线的仿真。

5) 电力系统自动化及继电保护学习：①、三相一次自动重合闸装置实验；②、综合继电器保护实验；③、负序电压继电器特性实验；④、时间继电器特性实验；⑤、电压继电器并联特性实验；⑥、电压继电器串联特性实验；⑦、电流继电器并联特性实验；⑧、电流继电器串联特性实验。

6) 工业自动化过程控制学习：①、单容水箱液位定值控制实验；②、单容水箱液位数学模型的测试实验；③、锅炉内胆静态水温定值控制实验；④、下水箱液位定值控制实验。

7) 电机及电气技术仿真软件：(1) 配备鼠笼式三相异步电动机拆装检修与调试示范教学视频，教学视频包括：①异步电动机概述与基本结构、②异步电动机铭牌认识、③异步电动机的拆卸、④异步电动机的组装、⑤异步电动机工作原理与绕组的基本型式、⑥异步电动机的故障与运行维护；(2) 配备三相绕线式异步电动机拆卸与组装示范教学视频，教学视频包括：①概述、②绕线式异步电动机的基本性能与用途、③绕线式异步电动机的铭牌意义、④绕线式电动机的起动与调速、⑤绕线式异步电动机的使用与维护、⑥绕线式异步电动机的拆卸与组装；⑦提供电动机控制：反接制动、机械制动、能耗制动、行程控制、等 15 仿真训练；⑧提供电力拖动：Y/△启动自动控制、双重联锁正反转控制、双速异步电动机的控制等仿真训练；⑨机床电路：普通车床、平面钻床、万能铣床等仿真训练。

★9、电工线上仿真教学软件（整批配置 1 套）：通过对教学仪器实物进行等比例建模和渲染搭建成虚拟的实验室场景，虚拟的实验台可以让学生脱离实物进行实验方法和操作技能的学习，避免了线路故障、硬件损坏等突发情况的发生；平台包括但不限于电工电子实训装置，需采用系统，账号密码登录，在有网络的地方通过账号密码登录即可选择相应设备进行实训，提供教学仿真演示及教学质量管理等功能。**需提供电工教学仪器实物进行等比例建模和渲染搭建成虚拟的实验室场景功能截图；**

★(1) 基础实验功能模块需求：实训台仿真需每个实验都包括实验目的、原理图、元器件、电路搭建、实验报告、分数、帮助等不少于七个模块，**需提供功能界面截图；**

1) 实验目的、原理图是对使用者掌握实验基本理论知识的熟练度进行考核；

2) 元器件页面：使用者对实验中用到的元器件进行选择，可以旋转 3D 模型，从多角度更直观的认识模型；

3) 电路搭建界面使用者可以根据原理图进行实验接线，并仿真实验结果，填写至实验报告中；

4) 每个实验内容拆分为多个小的任务。使用者按照原理图进行实验接线；

5) 结合仿真实验操作时填写的实验数据，自动生成实验报告；

6) 提交成绩至服务器后在分数界面自动计算实验得分；

(2) 面包板仿真：需提供基于 NI、迪芝伦、硬木课堂等平台的设备仿真（满足其一即可），每个实验都包括实验目的、原理图、元器件、电路搭建、WaveForm、实验报告、分数、帮助八个模块；

1) 实验目的、原理图、元器件是对使用者掌握实验基本信息的熟练度进行考核；

2) 电路搭建界面使用者可以根据原理图进行实验接线，并仿真实验结果，填写至实验报告中，在分数界面自动计算实验得分；

3) WaveForm 界面实现参数测量以及波形、函数信号发生器相关参数设置；

(3) 每个实验搭配相应的操作应用视频，使用者在仿真实验时可以及时查看。

(4) 论坛部分-实验指导书专区可以上传实验指导书等说明性文档，辅助使用者完成实验，使用者也可以通过发帖的方式在论坛内进行技术交流。

(5) 成绩管理系统：

1) 使用者每次实验之后的成绩都可以提交至服务器进行存档, 在历史成绩界面可以看到每次实验的得分组成;

2) 后台管理者可以对使用者的成绩进行修改, 对使用者提交的实验报告进行批注, 可同步至前端。实验报告可以进行下载。

3) 对于班级成绩可以直接导出成绩表格, 方便查看。

★4) 支持同一个教室考场内, 可以指定一台或多台学生端分别增加多个不同的考试系统安装环境, 无需占用存储空间、无需部署发送安装考试环境并且支持随时使用与恢复, 不会影响日常教学安排。**需提供功能界面截图。**

(6) 预约管理系统

1) 对于需要考试或者成绩计入考核的课程, 需要教师在后端进行课程添加, 包括时间节点, 课程日期以及最大上课人数。

2) 使用者做完仿真实验之后, 成绩达到系统设置的分数, 可以在历史成绩界面对相应课程进行预约。

3) 可以查看并导出预约成功的学生信息。

(7) 数据分析系统

1) 实验过程中使用者的错误点被记录并上传至服务器。

2) 每个实验的错误点形成柱状图, 以年份为单位横向进行对比。供教师对使用者实验情况进行了解。可以针对近年的实验情况作出教学计划调整。

3) 教师能够查看单独学生的错误点, 也可以查看班级内某个实验的整体错误情况。

(8) 维护系统

★1) 支持空间智能调配, 可以数据复用, 可添加的多系统数量不少于 64 个及数据量不受存储空间限制。**需提供功能界面截图。**

★2) 服务端提供模版库中存放系统模版, 支持学生端系统任意的搭配增减。**需提供功能界面截图。**

10、远程在线控制虚实结合电路拓展单元(整批配置 1 套): 为方便统一管理, 实验模块需采用积木式结构, 需采用 30 度 ABS 开模带底座机箱, 彩色高分子材料面板, 尺寸需 $\geq 195\text{mm} \times 130\text{mm} \times 300\text{mm}$ (长*宽*高):

★(1) 提供的戴维南定理、诺顿定理、基尔霍夫定律、叠加原理、一阶等各实验器件齐全, 实验单元隔离分明, 实验线路完整清晰, 实验组件面板需具备可调直流电源 2 组 0-18V/0-0.2A 接入, 直流测量仪表 0-2A/0-500V 接入, 信号源 25MHz 输入接口 2 路接入, 100MHz 示波器输入接口 2 路接入, 可调电阻 1 路接入, 固定 510 Ω 电阻 3 路, 330 Ω 电阻 2 路, 10 Ω 电阻 1 路, 0.1 μF 电容 1 路, 0.01 μF 电容 1 路; 本实验需可任意连接线在线仿真公用挂件, 全部接线引出, 配置嵌入式控制器需采用大规模集成电路设计, 综合云网端及数据管理功能, 实现 3D 虚拟现实技术, 可以通过虚拟实验网络接线、网络测量、网络操作来控制实物硬件设备, 获得真实的数据报告, 支持故障设置, 接线错误纠正等, 可以实现学生网上自主学习, 实验测试、教师审批等功能; 实现所有元器件任意接线, 配合在线虚实结合平台软件。**需提供实验器件、实验组件面板、虚拟实验控制实物硬件设备获取数据、故障设置及纠错的功能界面截图。**

(2) 虚实结合模块配套仿真软件需求

以上虚实结合实验模块需配套网络版自主搭建电路仿真软件, 用户在开发平台上可自主搭建电路进行实验, 可以任意连线, 硬件实验搭建前用户可通过配套虚拟仿真软件进行实验验证后下载程序, 仿真软件需达到以下功能:

1) 需采用网络版账号密码登录, 通过浏览器进入在线虚拟仿真学习平台, 注册并登录账号; 完成相对应的在线虚拟仿真实验课程的学习, 在成绩达到规定标准(60 分)之后进行虚实结合实验的预约。

2) 需具备预约功能, 预约时需要选择时间段以及实验台, 每次预约时长不超过 2 节课时间

(90 分钟左右)，在规定时间内没有完成实验需要重新进行预约。当前时间段和实验台被占用时则不能进行预约。

★3) 进入实验软件之后需提供实验操作说明，学生详细阅读完成之后可以正式开始实验，包括实验目的，实验原理，操作仿真，实验报告和实验成绩 5 大模块。实验目的和实验原理模块加强学生对理论知识的学习；操作仿真界面学生可以进行自由元器件接线；实验报告界面填写实验所得数据；实验成绩界面显示当前实验各模块所得分数。**需提供 5 大模块功能界面截图。**

4) 仿真软件需具备清晰的操作功能界面，学生可以自行学习使用，需提供源代码可供自主调整：

- ①、导航栏：通过点击模块按钮进入不同的实验流程，从而完成整个实验内容；
- ②、工具栏：需包括实验名称，实验用时，操作说明按钮，退出按钮，学生姓名和更多设置按钮；
- ③、“远程连接”：软件需部署在网络端，通过远程服务器与硬件进行数据通讯。所有数据改动需在远程连接成功的前提下进行；
- ④、“本地连接”：软件部署在本地端，通过 485 通讯线直接与硬件进行通讯。所有数据改动需在远程连接成功的前提下进行；
- ⑤、“扫描”：点击按钮，获取硬件的初始化数据信息；
- ⑥、“下载”：点击按钮，需将实验连线信息传递给硬件，并且获取相应的实验结果。
- ⑦、“清空导线”：点击按钮需可以删除界面中所有导线。

5) 操作仿真模块：可以将实验中用到的元器件从仪器列表栏拖至网格仿真实操区域，元器件没有进行连线时需可以随意拖动，需具备以下功能模块（需可根据用户需求随时后期拓展）：

- ①、外接仪器需包括：信号源，恒压恒流源，数字示波器，交流电源等；
- ②、实验器件需包含电路分析组件，交流负载组件，日光灯组件，电力拖动组件等；
- ③、鼠标右键点击元器件时界面需显示基本属性信息，可以对元器件基本信息进行更改（如调整电阻值大小等）；
- ④、鼠标左键点击需具备连线功能，电机元器件上相关的插孔位置可以引出导线，连接到另一个插孔时结束连线，按下键盘中的 Delete 键可以终止连线；
- ⑤、鼠标点击需要删除的线段，该线段颜色可以变化便于区分，按下键盘中的 Delete 键可以删除该线段；
- ⑥、拖动元器件到“删除”按钮位置，可以删除操作区域元器件；
- ⑦、需提供标准模版：如不需要进行接线训练时，软件中可以打开提前内置好的标准接线图，学生直接进行下达指令操作，无需自己进行接线（学生可学习完之后进行自主接线连线）；
- ⑧、需具备“保存功能”：学生可以对自己的接线数据进行保存，下次使用时能够直接打开。
- ⑨、“清除功能”：对界面中的所有元器件可以进行一键删除操作；
- ⑩、“安全保护功能”仿真软件内部指令需经过严格的算法分析，防止短路烧坏元器件，学生连线不规范时需出现相应的错误提示，不得下入程序。

6) 实验报告：需把实验报告解析成电子文档格式，学生在做实验时可以直接进行查看，实验数据可以及时记录并上传至服务器，方便教师进行查看及远程批改实验成绩。

★7) 支持客户端统一部署，不依赖网络和服务端可单机自我还原，支持每次、每天、每周、每月、手动、离线等多种还原方式。**需提供功能界面截图。**

★11、电参数测量仪（整批配置 1 套）：要求采用工业级柜装，尺寸不小于 106*106mm；0~500V/5A，能测试交流电压、电流、功率、功率因素等参数，精度 0.5 级，功率因数显示精度 0.001，配彩色不小于 3.5 寸液晶屏可显示电压电流波形及矢量图（波形采用 24 位 AD

精细显示，64K 速率），红色软体设计，白色激光雕字，具有多功能按键可选择，显示电压-电流-相位关系，自动识别负载性质；带通信接口及协议，5 万次控制无误码，**需提供实物图片。**

七、电子电气设计系统（整批配置 1 套）

电子电气设计要求一站式解决方案软件的所有功能和命令专为电气工程而设计，提供至少面向图形和面向对象两种设计方式之间的切换。功能利于用户实现快速原理图设计、多种报表自动生成、工程项目管理等等。软件自动生成的设计资料可直接用于生产、装配、采购和维修。可自动生成各种报表，关联器件之间有交叉引用参考，进行端子及电缆管理，绘制机柜布局图，同时生成开孔图，直接输出到仿真运行页面。软件不仅仅是电气原理图纸的设计，它拥有完整的平台，包含原理图设计，自动生成报表，接线图，2D 机柜图设计，3D 机柜仿真，以及与其他管理平台的接口等方面。能够满足院校和企业对智能化、模块化、配置化的专业电气设计软件的需求。

（一）工程管理与文件保存：实现了工程文件的本地和云服务器双重保存，确保数据安全与便捷的团队协作。

1. 创建符号：支持用户自己绘制的图标进行保存；
2. 创建原理图：对用户的图形信息进行数据保存，支持为每个图层定义图层名称、删除操作；
3. 原理图之间的关联：用户可以根据需要设置原理图之间的连接关系；
4. 文件导出为 PDF：用户绘制的原理图可以导出为 PDF 格式；
5. 多个工程管理：对原理图、机柜图、图形列表进行树状结构的管理，不同项目的工程文件进项树状结构管理；
6. 支持将个人工程直接转化为团队工程：团队成员之间的工程可以相互查看，方便项目合作；
7. 团队成员管理：支持在公司账号下进行团队成员管理。

（二）电器库的构建与应用：提供了丰富的常用电器库以及私人电气库，方便设计师快速调用和管理电器元件。

1. 私人库：用户添加自己的图形符号至私人库，包括名字、型号、厂家、规格、价格、实物图等基本信息；
2. 公共库：对于绘图规范的和使用频率较高的符号审核后可加入公共库，并给用户相应的积分；
3. 图形列表模板自定义：用户可以自定义各种接线图等模板，方便用户快捷调用。

（三）电气图绘制功能：支持低压和高压电气图的绘制，满足不同电气设计需求，提高设计效率

1. 绘图工具：软件包括常用的绘图工具，并可以设置相关颜色填充属性，满足用户日常绘图需要；
2. 多元件符号表示单一产品：支持修改设备标识符，根据用户需求进行元器件分组；
3. 支持多股线线类型选择：对于绘制的电缆线可以设置规格、颜色、线型等信息；
4. 绘图日期等基本属性信息：可以对页面内的绘图日期；
5. 线路交叉绘制：对于有交叉的线，用户可以自行决定是否设置交叉点；
6. 网络标签连接：绘制符号时可以设置专门的导线连接点位；
7. 智能接线：元件库种拖出来的符号之间支持自动接线；
8. 线号自动生成：根据原理图中的设计，自动生成整个项目所有线号，并且有多种编号方式可以设置，可以提高设计效率；
9. 项目查找替换：可以实现整个项目中文本的查找替换，和符号中描述的查找替换；
10. 项目复制：可以实现从一个项目复制多张页面或一个功能里的所有页面到另一个项目；
11. 快捷键功能：内置有定义部分复制、剪贴、对齐等快捷键功能，提升操作流畅度；

12. 自动断线：将符号拖入原理图中电线上可实现自动断线，把符号移开电线又会自动连线；
13. 页面布局：鼠标滚轮键可以放大缩小视野。两侧工具栏可以收起展开。

（四）BOM 清单的生成与管理：自动化生成 BOM 清单，简化物料管理流程，提高项目管理的精确度和效率

1. 自动生成报表：按照设计图的顺序列出每个电气元件和设备。标明每个元件的物料编号、规格、型号和数量、备注；
2. 可关联器件之间有交叉引用表：报表为设计、采购、生产、安装和维护等不同部门提供了统一的物料和规格标准，有助于团队间的有效沟通；
3. BOM 表可以确保项目的所有电气设备和元件都有记录，根据 BOM 清单直接生成任务单。

（五）3D 在线装配：提供 3D 在线预览技术，使设计更加直观，便于客户和团队成员之间的沟通与协作

1. 平面转 3D：将电气平面图转换为三维模型，展示电气设备及其安装位置，帮助用户更加清晰地理解系统布局；
2. 绘制布局图：通过导入同等元件尺寸的 2D 图片，先进行页面布局摆放。为 3D 转换提供数据支持。

（六）仿真模拟运行：模拟电气系统的运行状态，例如负荷流、短路分析、功率损耗等，帮助设计人员识别潜在问题并优化设计。

1. 实验目的：对学生掌握实验基本理论知识的熟练度进行考核；此题为多选题，用户根据实验报告选择正确的答案即可获得相应的得分，分数提交之前可以修改自己的答案；
2. 原理图：对学生掌握实验基本原理进行考核，帮助学生进行课前预习。此题为多选题，用户可根据左右两个箭头按钮切换不同的原理图页面。选择正确的答案即可获得相应的得分，分数提交之前可以修改自己的答案；
3. 元器件页面：对原页面理图中的传递的元器件信息进行解析显示，左侧是元器件列表，点击不同的按钮可以切换对应的模型；中间部分长按鼠标右键可以旋转 3D 模型，从多角度更直观的认识模型。右侧部分是元器件的属性信息；
4. 电路搭建界面：在虚拟仿真的模式下学生按照接线图进行实验接线。不同的任务状态显示不同的底色，黄色表示进行中、蓝色表示已完成。根据任务完成情况得到不同的分数；
5. 接线完成之后点击保存按钮，正确即可打开开关按钮查看相应的仿真状态，错误需根据错误提示重新接线；
6. 实验报告：内置的实验报告中包括原理图、实验目的、表格数据等，用户根据仿真页面的实验现象将实验报告补充完整。每个实验报告根据表格数据的不同会有相应的实验得分；
7. 分数页面：系统根据内置的答案以及判分机制，在用户提交成绩时快速给出每个部分的得分以及总成绩。提交成绩之前会提示用户是否进行答案修改；
8. 帮助模块：里边包含了实验的组成模块、鼠标操作规则以及计分方式；
9. 智能 PLC 自动连线：PLC 信号可以灵活应用到控制回路当中，根据用户配置不同的连线点位信息，在仿真页面根据相关配置直接行程仿真结果。

（七）交易商城的集成服务：集成交易商城功能，实现设计到采购的一站式服务，优化供应链管理。

1. 常用元件收藏：用户能够将经常采购的元件或物品标记为收藏，以便下次快速访问和采购；
2. 多种产品类型：用户可以根据需要筛选不同的类别进行搜索和采购；
3. 库存实时同步：商城系统会实时更新库存数据，确保用户能够查看到准确的库存数量；
4. 价格方案：所有的价格方案清晰透明，根据购买数量、支付方式提供折扣或促销优惠，提升客户满意度和购买动力；
5. 物流信息查询：查询物流订单的处理状态，查看货物是否已经发货、是否在运输途中、

是否已经完成配送等。

（八）加工制作与质量保证：提供加工制作服务，确保设计转化为实际产品时的质量与精度。提供采购管理、质量管理、生产管理、售后管理的一站式解决方案。

1. 制造管理教学软件是一款基于网页端的管理系统。主要包括销售管理、仓库管理、研发管理、采购管理、质量管理，售后管理等功能。其中采购管理可以直接根据任务单生成采购合同，做到采购、生产的闭环流程。界面简单易操作，无纸化办公帮助企业建立标准的生产出库流程，减少因数据信息不对等造成的不必要损失；

2. 用户管理模块：

①登陆页面，用户访问软件地址，通过用户名密码进行登录。

②用户权限管理，可以根据用户的岗位不同，设置不同的用户权限，登录之后所能使用的功能也会随之改变。

③日志管理，用户每次操作的记录都被记录在数据库中，可以进行数据回溯。

④用户信息可以进行单个添加，或者通过 EXCEL 表格批量导入。

⑤用户的信息支持修改、删除操作；

3. 采购管理模块：

①采购需求发起：可以直接从仓库标准库中添加需要购买的元器件信息并交给采购进行购买，同时可以检测各产品的到货状态，防止多重传达出现数据错误。

②采购合同创建：根据采购订单选择生成采购合同，便于合同资料的统一管理。

③供应商信息库添加，对于不同的供应商信息进行分类管理，快速找到供应商所提供的产品。

④根据需求添加采购合同中所包含的质量标准及付款方式；

4. 仓库管理模块：

①标准库制作可以根据分类信息，用户输入产品名称、生产厂家、厂家序列号、图片、价格、库存警报值、购买渠道等相关属性信息，对仓库的元件信息进行管理。

②库存价值统计可以根据仓库分类计算出当前类别下的库存余额，精确计算各产品元件的投入信息。

③出库管理分为临时出库和任务单出库两种情况。具有查看、修改、导出清单功能。

④入库操作能够对产品进行库存数量规范管理，通过采购清单的来料点击货按钮可以自动更新入库并更新库存数量；

5. 研发管理模块：

①成品、半成品清单制作：根据平时使用频率比较频繁的元件信息，可以创建半成品、成品模版，方便在生产或者创建任务单时快速调用。

②任务单制作：可以快速统计成本信息、生产投料清单一键生成。

③生产投料：对清单中的技术文件进行保存，方便后续修改查找；

6. 质量管理模块：

①对生产中的设备进行流程跟踪，生产记录溯源，可以便捷知道具体进行到哪一个步骤，以及每个步骤的负责人。

②统计生产过程中存在的问题并进行解决，为后续产品溯源提供数据支持。

③发现问题可以直接通过手机端扫码上报信息，并直接推送给相关负责人；

7. 销售管理模块：

①合同签订之后创建生产任务单，并通知到相关流程负责人。

②管理产生任务单形成之后的相关研发资料和测试资料；

8. 售后管理模块：

①售后管理软件主要由网页端、小程序、微信公众号三部分组成。

②订单生产发货之后的安装调试管理；

③产品的售后维修管理及用户出差信息调度；

- ④其中资料管理等相关操作在网页端运行,交付和售后功能通过微信小程序和公众号实现;
- (九) AI 支持与意见采集:接入 AI 数据模型,对高并发的技术问题整理,方便用户快速找到解决方案。通过意见采集功能,收集用户反馈,持续改进产品和服务,满足客户需求。AI 查错功能:可以实现重名检查、触点溢出检查、PLC 连接检查等,减少设计出错。
- (十) 需提供该软件网站链接及测试账号及各模块的图文说明。

七、要求可完成实验、实训项目

1、电工的实验、实训

- (1) 基本电工仪表的使用及测量误差的计算
- (2) 减小仪表测量误差的方法
- (3) 电位、电压的测定及电路电位图的绘制
- (4) 电路元件伏安特性的测绘
- (5) 直流电流表、电压表的内阻测定
- (6) 基尔霍夫定律的验证
- (7) 叠加定理的验证
- (8) 戴维南定理的验证
- (9) 电感、电容的认识与使用
- (10) RL、RC 串联电路电压与电流关系的测试
- (11) RC 选频网络特性测试
- (12) 一阶动态电路的测试
- (13) 双口网络、轨迹电路的测试
- (14) 日光灯电路及功率因数的提高
- (15) 三相负载的 Y 型连接及三相电路功率的测量
- (16) 三相负载的 Δ 型连接及三相电路功率的测量
- (17) 交流元件频率特性的测试
- (18) RLC 串联谐振电路
- (19) 单相铁心变压器特性的测试
- (20) 三相交流电路电压、电流的测量
- (21) 三相交流电路有功功率的测量

2、数字电子的实验、实训

- (1) TTL 逻辑门的逻辑功能与参数测试
- (2) CMOS 逻辑门的逻辑功能与参数测试
- (3) TTL 集电极开路门与三态输出门
- (4) 集成逻辑电路的连接和驱动
- (5) 组合逻辑电路实验分析
- (6) 组合逻辑电路的设计与测试
- (7) 译码器及其应用
- (8) 触发器及其应用
- (9) 计数器及其应用
- (10) 移位寄存器及其应用
- (11) 门电路产生脉冲信号
- (12) 555 时基电路及其应用
- (13) D/A 转换及应用
- (14) A/D 转换及应用
- (15) 抢答器应用装置

3、模拟电子的实验、实训

- (1) 射极跟随器

- (2) 场效应管放大电路
- (3) 单级放大电路
- (4) 两级放大电路
- (5) 负反馈放大电路
- (6) 比例运算电路
- (7) 加法运算电路
- (8) 积分运算电路
- (9) 微分运算电路
- (10) 滤波电路
- (11) RC 振荡电路
- (12) LC 振荡电路

数字电路实训平台：

一、总体要求：

1、带逻辑测试功能，零拔力紧插座，采用全工艺 PCB 板，电源保护。

二、关键要求：

1、采用“实验模块+控制部件”模式设计，“实验模块”和“控制部件”可在电气上完全分离。控制部件采用分离元件设计，完整的保护措施。

2、由 555 时基电路组成的音响输出控制电路，并带有蜂鸣器和喇叭输出设备。

3、采用高品质的拨动开关设计逻辑电平电路，可输出“0”、“1”电平，一共 12 路。

4、采用示电平高亮发光二极管及高驱动电路组成的 LED 电平显示电路，“亮”表示电平“1”，“灭”表“0”，带限流电阻，一共 12 路。

5、数字显示：

(1) 6 位 BCD 译码驱动数码管。

(2) 2 位七段 LED 数码管，各段位均具有限流保护设计。

6、信号源：

(1) 单脉冲电路：提供 2 组单脉冲电路，每组采用消抖动的 R-S 电路，产生正、负脉冲各一个。

(2) 脉冲源：1HZ、10HZ、100HZ、1KHZ、10KHZ、100KHZ、1MHZ 固定连续脉冲。

(3) 可调连续脉冲：1KHz—100KHz。

7、逻辑笔单元：测量高、低电平、高阻、脉冲，并有声光提示。

8、提供 14-40PIN 的 DIP 封装高品质零拔力的锁紧插座至少各 1 个，总数 16 个。

9、提供电位器实验部件。

10、设计有导线测试座一组。

三、基本参数要求：

(一) 工艺方面：

1、电路 PCB 板：厚度 $\geq 2\text{mm}$ ，全工艺，正面印有元器件图形符号及相应的连线，反面为印刷线路，并焊好相关的元器件等。

2、芯片插座：零拔力高品质锁紧插座。

3、圆孔插座：均采用中型镀金孔。

4、电源：电源实验箱本身具有实验所需要的全部电源资源且具有过载保护及自动恢复功能，且短路时具有短路声光报警功能，同时还应具有外接电源的接口。

5、实验连线：采用多股优质连线，提升连线抗拉性能，接触可靠。

★6、电工电子仿真软件（整批配置 1 套）：通过对教学仪器实物进行等比例建模和渲染搭建虚拟的实验室场景，虚拟的实验台可以让用户脱离实物进行实验方法和操作技能的学习，避免了线路故障、硬件损坏等突发情况的发生；平台包括但不限于电工电子实训平台，

采用云系统，账号密码登录，在有网络的地方通过账号密码登录即可选择相应设备进行实训，提供教学仿真演示及教学质量管理等功能。**需提供教学仪器实物进行等比例建模和渲染搭建虚拟的实验室场景功能截图；**

(1) 基础实验功能模块需求：实训台仿真需每个实验都包括实验目的、原理图、元器件、电路搭建、实验报告、分数、帮助等不少于七个模块；

1) 实验目的、原理图是对使用者掌握实验基本理论知识的熟练度进行考核；

2) 元器件页面：使用者对实验中用到的元器件进行选择，可以旋转 3D 模型，从多角度更直观的认识模型；

3) 电路搭建界面使用者可以根据原理图进行实验接线，并仿真实验结果，填写至实验报告中；

4) 每个实验内容拆分为多个小的任务。使用者按照原理图进行实验接线；

5) 结合仿真实验操作时填写的实验数据，自动生成实验报告；

6) 提交成绩至服务器后在分数界面自动计算实验得分；

(2) 面包板仿真：需提供基于 NI、迪芝伦、硬木课堂等平台的设备仿真（满足其一即可），每个实验都包括实验目的、原理图、元器件、电路搭建、WaveForm、实验报告、分数、帮助八个模块；

1) 实验目的、原理图、元器件是对使用者掌握实验基本信息的熟练度进行考核；

2) 电路搭建界面使用者可以根据原理图进行实验接线，并仿真实验结果，填写至实验报告中，在分数界面自动计算实验得分；

3) WaveForm 界面实现参数测量以及波形、函数信号发生器相关参数设置；

(3) 每个实验搭配相应的操作应用视频，使用者在仿真实验时可以及时查看。

(4) 论坛部分-实验指导书专区可以上传实验指导书等说明性文档，辅助使用者完成实验，使用者也可以通过发帖的方式在论坛内进行技术交流。

(5) 成绩管理系统：

1) 使用者每次实验之后的成绩都可以提交至服务器进行存档，在历史成绩界面可以看到每次实验的得分组成；

2) 后天管理者可以对使用者的成绩进行修改，对使用者提交的实验报告进行批注，可同步至前端。实验报告可以进行下载。

3) 对于班级成绩可以直接导出成绩表格，方便查看。

(6) 预约管理系统

1) 对于需要考试或者成绩计入考核的课程，需要教师在后端进行课程添加，包括时间节点，课程日期以及最大上课人数。

2) 使用者做完仿真实验之后，成绩达到系统设置的分数，可以在历史成绩界面对相应课程进行预约。

3) 可以查看并导出预约成功的学生信息。

(7) 数据分析系统

1) 实验过程中使用者的错误点被记录并上传至服务器。

2) 每个实验的错误点形成柱状图，以年份为单位横向进行对比。供教师对使用者实验情况进行了解。可以针对近年的实验情况作出教学计划调整。

3) 教师能够查看单独学生的错误点，也可以查看班级内某个实验的整体错误情况。

★7、模拟逻辑芯片教学资源包：要求采用 EP4CE15F17C8 设计，配有 14 位、125MSPS，双通道 DA 芯片+4 个 145M 带宽输入放大器设计，具有 5 种芯片同时输出功能，模拟实验用的 50 多种功能芯片（通过手机或者触摸屏选择），可自由定义这 5 种芯片是 14 脚或者 16 脚的功能，同时有 4 只数码管，按键选择设置芯片功能，具有 2 路 DA 高速电路，可以设计 2 通道任意波形发生器。**需提供具有 5 种芯片同时输出功能，模拟实验用的 50 多种功能芯片功能实物照片或功能截图；**

★8、数字电子调速资源包：1) 驱动平台：需支持仿真开发平台、提供上位机测控系统、主要硬件资源包括：①主控芯片：TMS320F28335；②A/D 和 D/A 通道：除 DSP 本身所带的 A/D 通道外，还需额外扩展 4 路以上 12 位的 D/A 转换通道，可编程生成任意波形，输出电压范围最大为 $\pm 10V$ 。③外扩 I/O：除 DSP 本身的 I/O 口外，可扩展多路光耦隔离输出口（6 路以上）、多路光耦隔离输入口（6 路以上）。④人机界面：采用 7 寸以上彩色触摸屏，显示电机实时转速、频率，当前的日期、时间等。⑤上位机软件：通过上位机可以实现启动、停止、频率调节、给定转速调节、PID 参数设定等功能；同时可实时观测电流、速度反馈等波形。⑥通信接口：具备 CAN 接口，USB 接口，10M/100M 以太网接口，方便用户扩展。⑦功率模块：采用 IPM 模块。⑧保护功能：具有过压、过流与过热保护功能，当保护发生时立刻封锁 PWM 脉冲输出。提供人机交换界面及上位机软件，实现启动、停止、频率调节、给定转速调节、PID 调节等控制；同时上位机可实时观测电流、速度反馈等波形。⑨能提供源代码供学生实验时进行程序修改调试，并提供相关的实验指导书。开放部分 PWM 接口（6 路以上）、I/O 口、CAP 口、A/D、D/A 等等外围电路接口，供不同实验扩展使用，即 DSP 板应该为开放可二次开发板。利用 DSP 仿真器将不同的控制算法下载到 DSP 芯片中，各种标准接口（SCI、JTAG 等），显示模块，捕获脉冲产生单元，光码信号处理单元，电源，电机控制单元，电机驱动芯片以等，设计功率不低于 1.5kW，支持多种电机控制，可直接驱动三相异步电动机，⑩配套视频：提供详细的教学视频，包含 CCS 软件配置、使用，投标时提供实验步骤及实验波形等。配套 DSP 实时在线仿真器，用于 DSP 程序的仿真、开发及应用程序的烧录，要求本系统可在 Windows 操作系统下进行实时控制，配置电机控制实时控制软件和 Matlab 实时控制模块库。用户可采用 Simulink 库搭建电机控制算法，在 Matlab 开发交流异步电动机 SPWM、SVPWM 以及闭环磁场定向等算法的变频调速控制程序。还可以利用 Matlab 将开发的电动机控制算法生成 C 代码文件，并创建 CCS 工程，直接移植到 DSP 硬件上实现控制功能。需提供 MATLAB 版本下的永磁同步电机 FOC 控制、异步电机 FOC 速度闭环算法实验及异步电机 DTC 闭环算法实验功能界面截图。

9、电子教学资源包

★（1）教学资源包 1：

输入直流电压 24V、电流 5A~9A，离网输出：220V $\pm 10\%$ /50Hz，并网输入：220V 市电。采用先直流变交流，然后变压器升压，再交流变直流，SPWM 正弦波逆变驱动 MOS 管，然后滤波输出，系统具有短路保护措施，在整个系统中设置有多处信号采集电路，用液晶屏显示当前的电压等参数信息。并网逆变电路采用输入信号先整形检波电路等措施，STM32 进行锁相运算，然后逆变输出并网交流电源向电网输送电源。采用 OLED 液晶显示（尺寸 45*25）数据显示，按键做交互。工业级，功率 500W，提供源代码等。需提供源代码、PCB、SCH、材料清单及设计图纸。

（2）教学资源包 2：

数字控制器采用 STM32F103 单片机设计，预留 SWD 编程调试接口供用户使用，光伏输入端可支持 18V-62V/4A 电源输入可应用于 12V 蓄电池充电控制，并有一组可控的负载输出接口，具有光伏端口电压/流检测、蓄电池电压/充电电流检测、负载放电电流检测功能，数据显示为 12864LCD 屏显示数据并预留 4 个用户按键及 1 个用户 LED 灯，设计有 RS-485 通信接口便于用户调试。离网逆变器采用 STM32F103 单片机设计，预留 SWD 编程调试接口且全低压供电、逆变输出设计，逆变输入采用 DC24V 直流电源输入，具有硬件过电流保护及防反接保护、软件过流保护功能；采用双电感加电容滤波，支持单极性双极性 SPWM 逆变滤波；预留逆变输出电压反馈端口供用户使用，并提供 4 个用户按键及 1 个用户 LED 灯，设计有 RS-485 通信接口便于用户调试。

（二）实验内容要求：

（1）晶体管开关特性、限幅器与钳位器（2）TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试（3）

CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 (4) 集成逻辑电路的连接和驱动 (5) 组合逻辑电路的设计与测试 (6) 译码器及其应用 (7) 数据选择器及其应用 (8) 触发器及其应用 (9) 计数器及其应用 (10) 位寄存器及其应用 (11) 脉冲分配器及其应用 (12) 使用门电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器 (13) 单稳态触发器与施密特触发器——脉冲延时与波形整形电路 (14) 555 时基电路及其应用 (15) D/A、A/D 转换器。

四、配置清单:

实验导线共 88 根, 电源线 1 根, 保险丝 2 只, 实验指导书电子版

模拟电路实训平台:

一、总体要求:

1、含分立元件区、扩展实验区, 含 6 个以上模块, 带测试端。

二、关键参数要求:

1、实验电路板具有两种结构方式: (1) 采用固定功能模块方式, 用于验证性实验 (2) 可以在实验平台上自行搭建实验电路, 用于开放性实验, 以加强学生动手能力、发现问题和解决问题能力的培养。不接受外扩面包板等结构方式。

2、提供 6 块固定线路独立模块。

3、提供分立元件设计区: 二极管、稳压管、发光二极管、可控硅、单结晶体管、三端稳压管、电位器、三极管、喇叭、电位器、IC 插座、开关、电阻、电容和电感: 设计有桥堆 2W10 1 个、二极管 1N4007 4 个/IN4148 2 个、稳压管 2DW231/2CW53/DC6.2V 各 1 个、发光二极管 1 个、可控硅 2P4M/BCR 各 1 个、单结晶体管 BT33 1 个、三端稳压管 7812/7912 各 1 个、1W 电位器 1K 1 个、三极管 33DG6B/3DG12/3CG12/2SJ11/3DJ6F/9014/9012 各 1 个、8 欧姆喇叭 1 个、0.5W 电位器 10K/100K/680K 各 1 个、IC40/IC16/IC14 插座各 1 个、IC8 2 个、1×2 开关 1 个, 各种固定值的电阻、电容和电感。

4、提供数字式直流电压表和数字式直流电流表各 1 个。

1) 一个 0-500V 的数字直流电压表, 分四档, 分别是 500mV 档、5V 档、50V、500V 档。

2) 一个是 2A 数字直流电流表, 分四档, 分别是 2mA 档、20mA 档、200mA、2000mA 档。

5、自由实验区和扩展实验区进行说明: 设计扩展模块电路实验区 1 个: 另设计有阻容件自由接插区。可选配固定线路实验模块, 学生可以进行创新性练习, 以提高学生的思维能力和动手能力。

1) 设计有二极管 1N4007 4 个/IN4148 2 个、稳压管 2DW231/2CW53/DC6.2V 各 1 个、发光二极管 1 个、可控硅 2P4M/BCR 各 1 个、单结晶体管 BT33 1 个、三端稳压管 7812/7912 各 1 个、三极管 33DG6B/3DG12/3CG12/2SJ11/3DJ6F/9014/9012 各 1 个、8 欧姆喇叭 1 个、1W 电位器 1K/10K/100K/1M 各 1 个、IC40/IC16/IC14 插座各 1 个、IC8 2 个、1×2 开关 1 个, 各种固定值的电阻、电容和电感 60 多个。另设计有阻容件自由接插区。

2) 带有扩展模块电路实验吸石六处, 可选配固定线路实验模块, 学生也可以连接实验箱上的器件进行创新性练习, 以提高学生的思维能力和动手能力。

三、基本参数要求:

(一) 工艺说明:

1、电路 PCB 板: 采用全工艺板, 正面印有元器件图形符号及相应的连线, 反面为印刷线路, 并焊好相关的元器件等。

2、圆孔插座: 均采用中型镀金孔。

3、直流信号源: 双路 -0.5V~+0.5V 连续可调。

4、电源说明: 实验箱本身具有实验所需要的全部电源资源且具有过载保护及自动恢复功能, 包括: DC 部分与 AC 部分。

5、实验连线: 采用多股优质连线, 提升连线抗拉性能, 接触可靠。

6、电子电路设计与仿真软件（整批配置 1 套）：设计套件需专门用于分析、设计和实时测试模拟、数字、VHDL 和混合电子电路。可以用它来分析射频、通讯和光电电路，也可来测试和调试微处理器和微控制器应用。

（1）全中文：全中文界面，提供数量不少于 1000 个电路的习题库（需提供习题库清单）。

（2）不少于 40000 个元器件于模型库，并包含行业主流制造厂商元件模型。

（3）智能连线系统，建立原理图方便快捷

（4）2D/3D 显示，界面即时切换，便于用户了解器件外观，并可在 3D 仿真界面下，对外围模组控制。（如通过指拨开关调节，可以观看 LED 顺序变化）

（5）自建模型功能，用户可自行建立模型

（6）可通过 vhd1, spice, 图形法建立宏模块完成对元件的扩充

（7）提供 20 种以上高阶分析功能，方便用户对模拟电路进行分析

（8）直流分析、交流分析、瞬态分析、正弦稳态分析、傅立叶分析、温度扫描、参数扫描、符号分析、最坏情况及蒙特卡罗统计

（9）需采用 SPICE 3F5 仿真引擎，可以接受大多数 SPICE 包装的档案格式(不管是使用自己开发的或是网络上下下载的)，并且可以新增为 TINA 的新组件

（10）提供 RF 仿真功能：真实电路仿真，对于模拟电路提供基于 SPICE 3F5 的真实电路仿真，用户可以任意修改器件的参数。器件模式与真实硬件参数相同。同时具有温度仿真功能用于模拟电路的极限条件。

（11）强大的数字仿真功能，支持单片机控制器、ARM 以及 VHDL、Verilog 的仿真。

（12）单片机元器件包括 AVR, PIC, 8051 三大群组 500 多款支持汇编语言、C 语言以及流程图编程。支持对代码的调试和寄存器查看功能。MCU 模块具备编程、下载、除错、单步、中断等功能。

（13）整批需提供软件包装盒及密钥不低于 10 个点。

★7、数字化电源教学资源包要求

需采用嵌入式芯片设计，预留 SWD 编程调试接口且全低压供电、逆变输出设计；逆变输入直流电压 DC24V，设计有硬件过电流保护及防反接保护、软件过流保护功能；通过 LCL 滤波，支持单极性双极性 SPWM 逆变滤波；预留逆变输出电压反馈端口供用户使用，并与图纸上预留 4 个用户按键及 1 个用户 LED 灯空位，设计有 RS-485 通信接口便于用户调试。需提供源代码、PCB、SCH、材料清单及设计图纸。

★8、安全防护仿真软件视频：软件考试登录界面设置一个登录框（登录框格式为身份证+准考证登录，起记录作用，最后提交成绩时可以记录当前考生考核成绩）考试时间最大为 25 分钟，超出考试时间，自动提交试卷。安全防护 3 级 4 级做成 动画剧情，最后 2 道分析检测 4 级，整个软件应自由操作，没有逻辑顺序。防护用具，选择时，不出现正确或错误的警告提示，点击安全防护用具，用具消失，不管是否正确选择都消失，选对一个加一分，错选一个扣一分，扣分分数应为当前考试安全分上限。提交试卷后显示满分多少，得分多少。有需要监考老师评分的题目要适当的提醒老师需要给多少分。软件考试登录界面设置一个登录框（登录框格式为身份证+准考证登录，起记录作用，最后提交成绩时可以记录当前考生考核成绩）考试时间最大为 25 分钟，超出考试时间，自动提交试卷。考核学生对电类测量工具的认识、区分工具的种类，能对工具进行的日常维护保养选择，对电类测量工具的使用方法进行正确判断，能准确的对测量现象进行分析。提交试卷后显示满分多少，得分多少。有需要监考老师评分的题目要适当的提醒老师需要给多少分。需提供安全防护考试登录、考试过程、评分功能界面截图。

9、云在线 3D 实训系统需求（整批配置一套）

（1）建立三维虚拟实验室环境，用户可以自由漫游观察；本教学系统包括但不限于数模电实验，需提供电工电子实验装置、过程控制、PLC 环控系统之扶梯、PLC 环控系统之给通风、PLC 环控系统之照明、PLC 控制给排水、PLC 气动拓展学习及 PLC 液压拓展学习等设备仿真

拓展；采用阿里云系统，学生人手一个账号密码，在有网络的地方通过账号密码登录即可选择相应设备进行实训，提高学生的动手能力，做到人手 1 台设备以及教学质量管理等功能。

(2) 功能模块需求

- 1) 实验说明:需通过软件介绍仿真实验的组成模块，操作方法，以及计分规则。
- 2) 实验目的:需通过简单的测试，让学生明白本次仿真实验的目的。
- 3) 实验原理:根据对实验的了解，让学生选择出正确的实验原理图。
- 4) 设备选择:需熟悉实验中用到的设备，从众多混淆选项中选出本次实验所需要的设备。
- 5) 实验连线:需根据试验原理图练习线路连接，可对导线进行换色、删除、清空操作。
- 6) 设备仿真:需根据实验指导书来操作相应的按钮，显示数据和动作，达到仿真学习的目的。
- 7) 实验报告:需把试验仿真中得到的试验数据填入对应的表格中，并生成试验记录。
- 8) 实验成绩:试验全部完成之后可以查看各个模块试验得分，
- 9) 软件需具备学籍注册功能，方便老师管理学生学习实训情况

★(3) 教学系统需包含多门课程，各种实验内容资源，提供全方位的立体化教学教材（理实一体教材），包含微信二维码扫描预习教材，每个实验的视频及基础理论教学，远程云端教学资源库，资源含设备实训指导书；集成文档、视频等文件；教材集成课程创新设计案例不少于 3 个，包含教学设计、设计思路、教学方法、实验过程等方面。需提供不少于 3 个教材集成课程创新设计案例截图。

(二) 可完成实验内容要求：(1) 单管交流放大电路 (2) 两级交流放大电路 (3) 负反馈放大电路 (4) 射级跟随电路 (5) 直流差动放大电路 (6) 比例求和运算电路 (7) 积分与微分电 (8) 波形发生电路 (9) 有源滤波器 (10) 电压比较器 (11) 集成电路 RC 正弦波振荡电路 (12) 集成功率放大电路 (13) 整流滤波与并联稳压电路 (14) 串联稳压电路 (15) RC 正弦波振荡电路 (16) LC 振荡电路及选频放大电路 (17) 互补对称功率放大电路 (18) 波形变换电路。

四、配置清单：

实验导线 20 根，供电电源线 1 根，电流测试线 2 根，保险丝 2 个，实验指导书 1 本，提供实验指导书电子版。

示波器：

★1、100M 带宽，双通道，1G Sa/s 的实时采样率；双通道同时打开，最高可实现双通道 1G Sa/s 的实时采样率；需提供照片或截图等证明文件。

2、8 寸高清液晶屏，分辨率不小于 800*600,15*10 网格显示，波形显示细腻；；

3、存储深度（每次采集波形的记录长度）不低于 80M 点；

4、最大波形刷新率不低于 50000 次/秒；

5、不低于 1mV/div ~ 10V/div 电压档，垂直分辨率不低于 8bit；

★6、内置 VGA 或 HDMI 接口，支持外接大屏或投影显示，方便教学演示，同时有 USB Device & Host、LAN、Pass/Fail 等丰富的外部接口；需提供照片或截图等证明文件。

7、时基精度不低于 1ppm，内置 6 位 1ppm 精确度硬件频率计，频率精度精确到 0.01Hz；水平时基不小于 2ns/div ~ 1000s/div，支持 X-T、Y-T、慢扫/滚动等时基模式，X-T 和 Y-T 支持双屏显示和三屏显示两种模式，三屏显示可显示时域波形、李沙育波形以及李沙育波形的相关参数；

8、具备不少于边沿、视频、脉宽、斜率、欠幅、窗口、Timeout、第 N 边沿等触发类型，支持逻辑触发，总线触发（I2C、SPI、RS232、CAN）及解码功能；

9、标配解码功能，支持 SPI、IIC、RS232、CAN 总线触码功能；

10、配置不少于峰-峰值、平均值、均方根值、周期均方根值、游标均方根值、频率、周期、工作周期、最大值、最小值、顶端值、底端值、幅度、过冲、预冲、上升时间、下降时间、

相位、正脉冲、负脉宽、正占空比、负占空比、延迟 A→B↓、延迟 A→B↑、正脉冲个数、负脉冲个数、上升边沿个数、下降边沿个数，FRF、FFR、FRR、FFF、LRR、LRF、LFR、LFF、面积、周期面积等 38 种自动测量项；

11、具有不低于 128M 的本机闪存，可存储不低于 100 组波形，存储的波形可用做参考波形，供学生老师存档分析；支持存储/调用数据类型，不少于设置、波形、CSV 文件、位图四种类型；

12、支持加、减、乘、除、开方、积分、微分、自定义数学运算及数字滤波等运算功能；

13、配置 FFT 功能，支持分屏显示功能，支持 Hamming、Rectangle、Blackman、Kaiser、Bartlett 6 种窗口模式，支持 Vrms 与 dB 切换。

14、通道菜单支持电压/电流显示切换，电流测量范围不小于 100.0mA/V ~ 1KA/V；

信号发生器：

1、采用先进的 DDS 技术，等效双通道输出，30M 最高频率输出，500MS/s 采样率；

2、14 bits 垂直分辨率，1uHz 频率分辨率，1mVpp 幅度分辨率，最大 10M 点的任意波长度；

3、丰富的波形输出：6 种基本波形，内置 sinc、指数上升、指数下降、心电图、高斯、半正矢、洛仑兹、双音频、DC 电压共计 150 种；

4、丰富的调制功能：AM、DSB-AM、FM、PM、PWM、FSK、3FSK、4FSK、PSK、OSK、ASK、BPSK、Sweep、Burst；

5、频率特性：正弦波 1 μHz-30MHz；方波 1 μHz ~ 15MHz；脉冲波 1 μHz ~ 15MHz；锯齿波 1 μHz ~ 3MHz；噪声 30MHz (-3dB，典型值)；任意波 1 μHz ~ 15MHz；频率准确度 ±1ppm；

6、幅值特性：输出幅度 2mVpp ~ 20Vpp（高阻）；1mVpp ~ 10Vpp（50 欧）；

★7、不低于 7 英寸（600*480）高分辨率 TFT 液晶显示，可同时显示双通道参数信息和输出波形；**需提供照片或截图等证明文件。**

★8、内置 7 位高精度频率计：支持测量频率、周期、正脉冲宽度、占空比，频率范围 100mHz ~ 200MHz；**需提供照片或截图等证明文件。**

9、支持 SCPI 通信功能、labview 通信功能，并提供相对应的编程手册，方便二次开发；

10、支持与同品牌系列示波器无缝互连，可通过示波器先进的波形截取功能由信号源还原原始信号、恢复波形；

11、丰富的接口，不少于 USB Device、USB Host、LAN 口，RS232（选配），能对信号发生器进行远程控制，并支持通过波形编辑软件完成任意波形的编辑；

12、非易失存储空间 64M byte，能存储更多的波形；

NDM（台式万用表）：

1、双色防震外壳，可测直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻、电容、温度（℃）、二极管、电晶体；

★2、采用 LCD，具有背光功能，轻松应对黑暗环境；不低于 3-5/6 位数，最大读值不低于 5999，采样速率不低于 3 次/秒；**需提供实物照片**

3、持手电筒功能，轻松应对夜间测量。

4、支持真有效值显示；

5、非电阻档位输入保护电压可达 250V，有效的保证仪表寿命，具有过电流保护功能；

6、具有金属抗干扰遮罩、自动关机、短路蜂鸣、电池低压指示、双色防震外壳；

7、具有 NCV 非接触电压感应功能，将非接触电压感应区靠近导体时，仪表会根据探测到的交流电压强度，点亮指示灯和发出不同频率的蜂鸣报警声；

8、直流电压最大量程不低于 1000V，精度最高不低于 ±(0.5%+3d)；交流电压最大量程不低于 750V，精度最高不低于 ±(0.8%+2d)；

9、电流最大量程不低于 20A，电流精度不低于：±(0.8%+2d)；

10、电阻最大量程不低于 60MΩ，精度不低于：±(0.8%+2d)；

11、电容最大量程不低于 60mF，精度不低于 ±(2.5%+3dig)。

