

# 第 3 章

## 模拟电子技术

---

### 3.1 模拟电子技术课程简介

“模拟电子技术”是电子、电气、信息、集成电路等专业本科生在电子技术方面入门性质的专业基础课程,具有鲜明的自身体系和很强的实践性,一般在大学二年级上学期进行讲授。本门课程基于半导体材料与器件来讲述模拟电路的基本原理及其应用,具有知识点分散、分析方法多样、应用性强的特点,课程体系前后联系虽紧密但延伸性较强,对于初学者来说,具有一定的难度。这要求教师在授课过程中从基础出发,认真梳理课程知识的主线,在讲清基本元器件理论的前提下进行基本电路的讲授,进而拓展到应用电路的分析与设计。

学习本课程,不仅能使学生掌握常用电子元器件、基本模拟电路的原理及分析方法,对一定复杂程度的电路进行性能分析及参数计算,而且可以在基本电路的基础上进行比较复杂电路的分析设计、仿真模拟及真实实现,为深入学习电子技术及其在专业中的应用打下基础。同时,培养学生的科学态度、辩证思维、工程意识、创新能力、自主学习能力及正确的人生观与价值观。

模拟电子技术课程主要包括半导体器件基础、晶体管放大电路、场效应管放大电路、复合管与多级放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、集成运算放大电路及其应用、波形发生电路、功率放大电路及直流稳压电源等内容,各部分具体涵盖的内容如图 3-1-1 所示。

针对本课程的一些重要知识点,设计理论与实验课的教学思政案例,涵盖的知识点有:半导体基础知识、晶体三极管的电流放大原理、放大电路静态工作点的稳定问题、晶体管单管放大电路的 3 种基本接法、反馈的基本概念及判断方法、集成运算放大器、比例运算电路、直流稳压电源、常用仪器的使用与共射极单管放大电路性能指标测试、输出可调的直流稳压电源实验、集成运算放大电路的分析与设计。

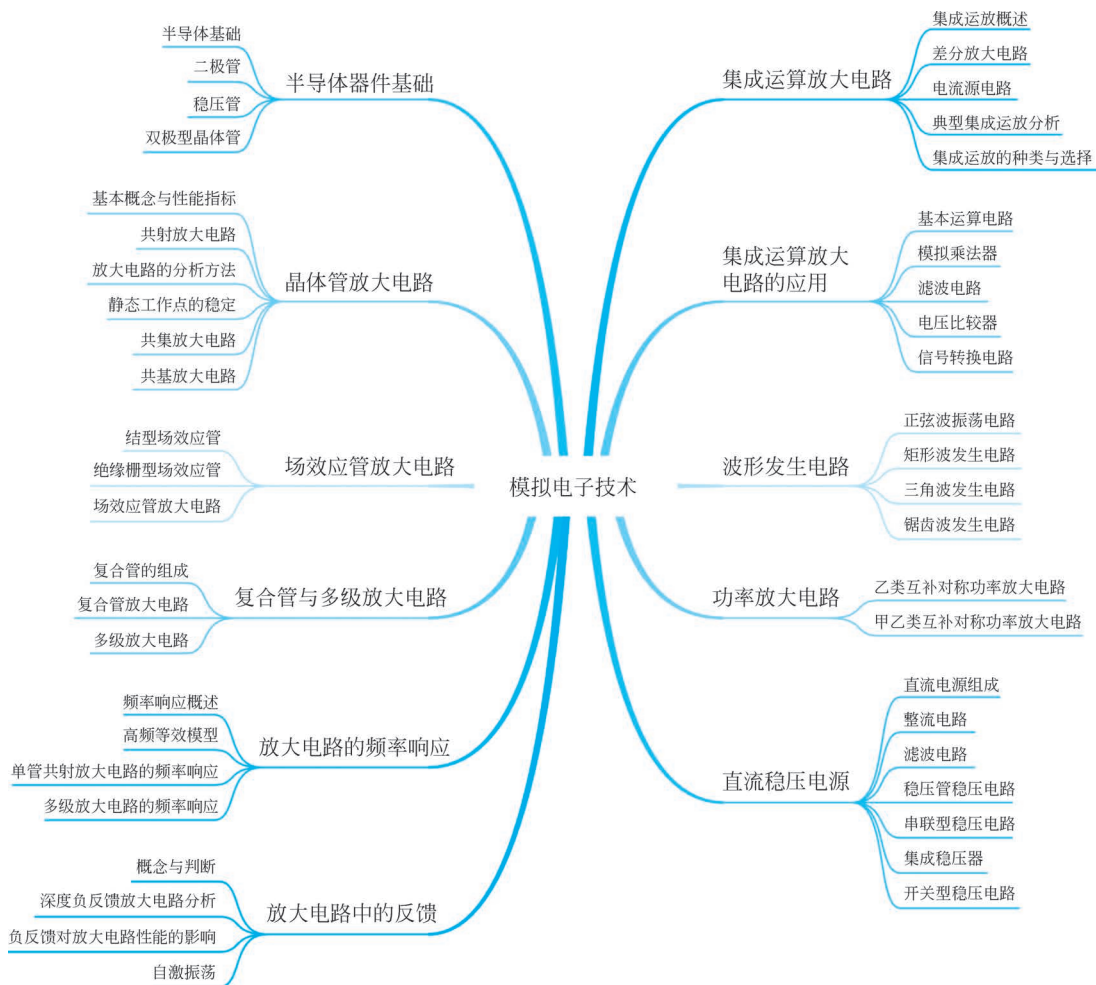


图 3-1-1 模拟电子技术的知识图谱

## 3.2 半导体基础知识<sup>①</sup>

### 3.2.1 案例简介与教学目标

本部分内容处于整门课程的开始部分,主要介绍了半导体、本征半导体、杂质半导体、PN 结。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 了解半导体、本征半导体的概念和特点。
- (2) 掌握杂质半导体的概念和特点。

<sup>①</sup> 完成人: 北京电子科技学院, 丁丁、赵成。

(3) 掌握 PN 结的形成及其单向导电性。

## 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生对模拟电子技术的基本概念和理论的理解与掌握。
- (2) 培养学生的分析问题能力和思维判断能力。
- (3) 培养学生将理论知识应用于实际工程的能力。

## 3. 价值塑造层面

- (1) 拥护中国共产党的领导,坚定四个自信。
- (2) 加强爱国主义教育,培养学生家国情怀。
- (3) 激发学生学习先进技术、报效祖国的热情。

# 3.2.2 案例教学设计

## 1. 教学方法

本部分内容从半导体的概念开始,逐层递进,重点讲述本征半导体、杂质半导体(包括 N、P 型半导体),最后导入 PN 结的内容。重点讲解杂质半导体、PN 结的结构,使学生在物理材料层面,对模拟电路中常用器件二极管、三极管有基本认识。在讲解半导体材料、杂质半导体、PN 结内容中融入思政元素。

## 2. 详细教案

### 教学内容

#### 1) 半导体材料

- (1) 物质的分类(按导电性)。
  - ① 导体(导电性能好): 低价元素(如 Cu、Al 等)。
  - ② 绝缘体(导电性能极差): 高价元素(如惰性气体)或高分子物质(如橡胶)。
  - ③ 半导体(导电性能介于导体和绝缘体之间): 四价元素(如 Si、Ge 等)。

#### (2) 本征半导体。

① 定义: 纯净的、晶体结构完整的半导体,其结构如图 3-2-1 所示。

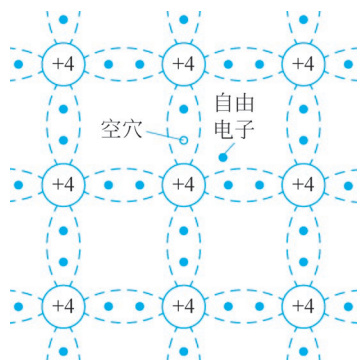


图 3-2-1 本征半导体的结构

### 思政元素融入点

从半导体材料引出国内外关键半导体材料生产现状。

### 融入方式

举例: 为反制国外对我国半导体技术封锁,我国对半导体关键材料镓、锗进行出口管制,镓和锗是半导体产业中不可或缺的元素,广泛应用于高端芯片、光电器件、太阳能电池等领域。我国是全球最大的镓和锗生产国和消费国;我国用于生产芯片的高纯硅以前几乎完全依赖进口,大规模工业化提纯技术掌握在国外企业手里,现在这种局面得到了改善,我国的电子级多晶硅开始实现量产,以后能够支撑起“中国芯”的腾飞。

② 本征激发：半导体在热激发下产生自由电子和空穴对。

③ 复合：自由电子与空穴相碰，同时消失。

④ 温度影响：一定温度下，自由电子与空穴对的浓度一定。温度升高，热运动加剧，挣脱共价键的电子增多，自由电子与空穴对的浓度加大。

### 思政元素融入点

从半导体掺杂工艺引出国内外芯片制造设备现状。

### 融入方式

举例：光刻设备属于高精端产品，长期依赖进口。为限制我国半导体技术的发展，美、日、荷签订三方协议，封锁核心半导体设备材料对我国市场的供应。为保证国家安全，光刻设备的自主可控需求日益突出，促使我国加快光刻机国产化进程。目前，上海微电子可生产 90nm 及以上制程的光刻机，28nm 的 DUV 光刻机已在研发和调试中，国产光刻机未来具有较大发展空间。

通过上述介绍，使学生了解国内外集成电路发展现状，培养爱国情怀，激发学习先进技术、报效祖国的热情。

### 2) 杂质半导体

在本征半导体中，掺入一定量的杂质元素，就形成杂质半导体。

#### (1) N 型半导体。

① 定义：在本征半导体 Si 中，掺入五价杂质（磷、砷等，见图 3-2-2），称之为 N 型（电子型）半导体。

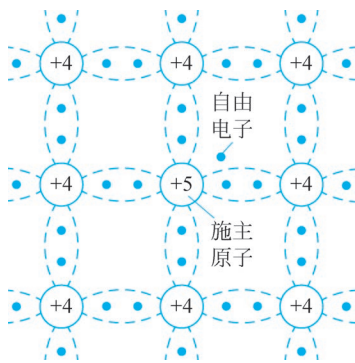


图 3-2-2 N 型半导体

② 施主原子：由于五价原子贡献出一个自由电子，因此称之为施主原子。施主原子因失去一个电子而成为正离子。

③ 导电性：N 型半导体主要靠自由电子导电，掺入杂质越多，自由电子浓度越高，导电性越强。

#### (2) P 型半导体。

① 定义：在本征半导体 Si 中，掺入三价杂质（如硼、镓等，见图 3-2-3），称之为 P 型（空穴型）半导体。

② 受主原子：三价原子留下的空位容易吸收电子，使杂质原子成为负离子。杂质原子因此被称为受主原子。

③ 导电性：P 型半导体主要靠空穴导电，掺入杂质越多，空穴浓度越高，导电性越强。

#### (3) 导电性可控。

杂质半导体主要靠多数载流子（多子）导电。掺入杂质越多，多子浓度越高，导电性越强，实现导电性可控。

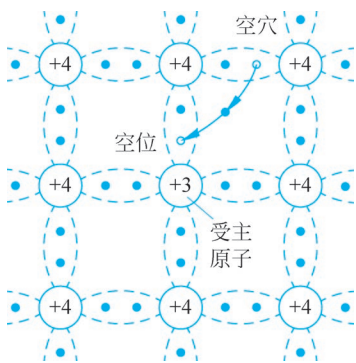


图 3-2-3 P 型半导体

### 3) PN 结

在一块本征半导体上,通过不同的掺杂工艺,其形成相邻的 P 型和 N 型半导体区,在接触区的界面处会形成 PN 结。

#### (1) PN 结的形成。

① 扩散运动:浓度差引起的多数载流子扩散运动(见图 3-2-4)。

扩散运动使靠近接触面 P 区的空穴浓度降低、N 区的自由电子浓度降低,产生内电场。

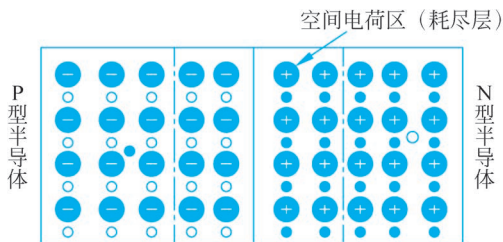


图 3-2-4 载流子扩散运动

内电场阻止空穴从 P 区向 N 区、自由电子从 N 区向 P 区运动,从而阻止扩散运动的进行。

② 漂移运动:内电场作用下少数载流子的定向运动(见图 3-2-5)。

参与扩散运动和漂移运动的载流子数目相同。

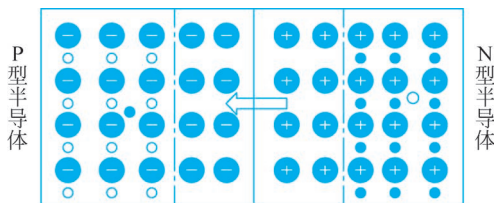


图 3-2-5 漂移运动

③ 总结:浓度差→扩散运动→形成耗尽层(空间电荷区)→产生内电场→阻碍多子扩散,有助于少子漂移→动态平衡→形成 PN 结。

#### (2) PN 结的单向导电性。

① 正向导通:PN 结正向偏置→空间电荷区变窄→正向电阻很小(理想时为 0)→正向电流较大→PN 结导通(见图 3-2-6)。

② 反向截止:PN 结反向偏置→空间电荷区变宽→反

### 思政元素融入点

从 PN 结的形成引出团结协作、融入集体的重要性。

### 融入方式

举例:单独的 P 型或者 N 型半导体的实际用处不大,但是二者结合在一起,就能形成具有单向导电性这一重要功能的 PN 结构。没有完美的个人,只有完美的集体。团队精神是大局意识、协作精神和奉献精神的集中体现。

团结协作并不是要求个人牺牲自我,而是像 PN 结中的 P 型半导体和 N 型半导体一样,挥洒个性、表现特长,产生真正的内心动力,保证团队共同完成任务目标。

### 思政元素融入点

从 PN 结的单向导电性引出抓住主要矛盾。

### 融入方式

举例:PN 结的单向导电性并不是绝对的反向截止,会有漏电流的存在。从整体上看,漏电流很小,不会改变 PN 结的单向导电性。因此,在理论分析和实际应用中,可以忽略漏电流的影响。

无论是日常的学习、工作,还是在党和国家的伟大事业中,能不能沿着正确方向前进,取决于能否准确认识和把握主要矛盾、确定中心任务。

习近平总书记指出:“面对复杂形势、复杂矛盾、繁重任务,没有主次,不加区别,眉毛胡子一把抓,是做不好工作的。”全力找出、紧紧抓住、优先解决主要矛盾和矛盾的主要方面,是推动事物发展的关键。

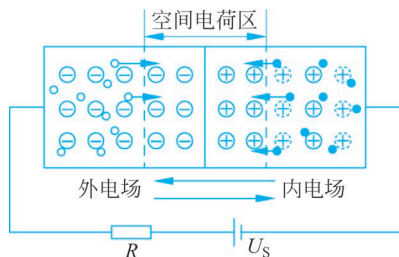


图 3-2-6 单向导电性

向电阻很大(理想时为 $\infty$ )→反向电流(反向饱和电流)极小(理想时为0)→PN 结截止。

③ 单向导电性：PN 结正向偏置时导通，反向偏置时截止。

### 3.2.3 教学效果及反思

通过本次教学，学生可以学习到模拟电子技术中核心器件三极管的构成材料，掌握掺入不同杂质构成的 N 型和 P 型半导体，以及这两种半导体的特性；掌握 PN 的结构及特性；培养学生分析问题能力和思维判断能力，培养学生将理论知识应用于实际工程的能力；在教学过程中引入思政元素，让学生意识到我国在半导体技术发展方面与国外的差距，尤其是在中美对抗的背景下，半导体技术被美日欧“卡脖子”的情况下，更需加强爱国主义教育，培养学生家国情怀，激发学生学习先进技术、报效祖国的热情；让学生认识到团结协作，抓住主要矛盾的重要性，在未来学习和工作中，更好地融入集体、融入祖国建设中。

## 3.3 晶体三极管的电流放大原理<sup>①</sup>

### 3.3.1 案例简介与教学目标

晶体三极管是构成电子电路的关键元件之一，它可以用来放大电信号、作为电子开关、存储信息等。本部分内容处于整门课程的入门阶段，主要介绍晶体三极管的结构、电流放大原理、特性曲线、主要参数等。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 掌握晶体管放大条件、电流分配关系、工作状态的判断。
- (2) 理解晶体管共射输入、输出特性及主要参数。
- (3) 了解晶体管的分类、结构、内部载流子的传输过程。

#### 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生发现问题的能力和批判性思维。
- (2) 培养学生分析和判断电子电路的能力。
- (3) 培养学生将理论知识应用于实际工程的能力。

① 完成人：华北电力大学，文亚凤；同济大学，张文豪、易延、汪洁、刘芳。

### 3. 价值塑造层面

- (1) 培养学生创新意识和创新精神,树立正确的人生观和价值观。
- (2) 培养学生科学、辩证的思维方式和观念。
- (3) 培养学生建立系统观念和工程观念。

## 3.3.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本部分内容按照视频引入、知识分析、状态判别和问题总结 4 部分逐渐加深学生的理解,按照认知的层次由低到高进行教学设计。运用“循序渐进”原则,采用“启发探究法”“类比推理法”,由直观到抽象、由内因到外因逐层展开内容,再由理论到实践加强认知。各个环节着重分析内因和外因对事物发展和变化的影响,同时以工作状态和人生定位相映射逐层递进,融入思政元素。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

#### 1) 导入——晶体管发展历程

(1) 查阅资料:了解晶体管历史事件和关键人物,图 3-3-1 展示了世界上第一只晶体管。

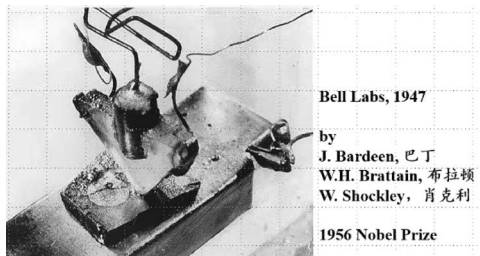


图 3-3-1 第一只晶体管

(2) 观看视频:“晶体管——塑造世界的伟大发明”。

#### 2) 晶体管的内部结构

- (1) 类型: NPN 型晶体管和 PNP 型晶体管。
- (2) 结构: 通过不同的掺杂方式,在一个硅片上制造出 3 个掺杂区域,形成两个 PN 结。NPN 型晶体管结构与符号如图 3-3-2 所示。

#### (3) 结构特点。

NPN 型晶体管的剖面结构如图 3-3-3 所示,其有如下特点:

- ① 发射区的掺杂浓度很高;

#### 思政元素融入点

讲述晶体管发展历程,激发学生积极探索、科技报国的家国情怀和使命担当,敢于迎接挑战,为发展我国的“卡脖子”技术贡献力量;教育学生要有团队协作精神、使命意识、创新意识和创新精神。

#### 融入方式

课前查阅资料,了解“三剑客”发明第一只晶体管的故事,3 位科学家在物理理论、器件、实验方面各有所长,团结协作,最终成功发明了晶体管。

课堂观看视频,导入我国科学家在长达半个多世纪的艰辛探索中,一路披荆斩棘,打造出了中国人自己的芯片——“龙芯”,强调“自主研发”重要性。

#### 思政元素融入点

从晶体管的内部结构出发,理解内因是决定事物发展的根本原因。

#### 融入方式

NPN 型晶体管由于发射区掺杂浓度高,基区很薄,集电区面积很大,这样的结构特点决定了晶体管具备放大的内部条件。

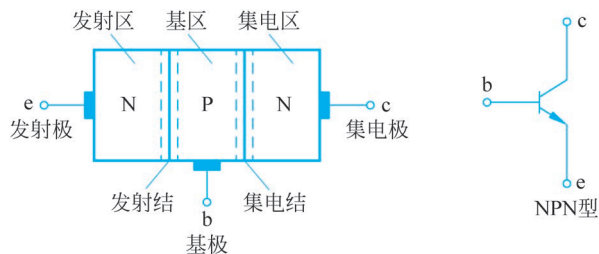


图 3-3-2 NPN 型晶体管结构与符号

- ② 基区很薄且掺杂浓度很低；
- ③ 集电区的面积大于发射区的面积。

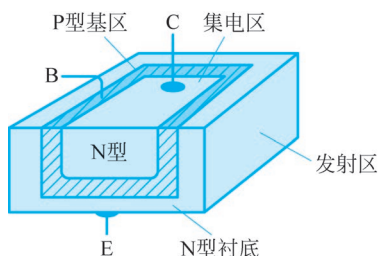


图 3-3-3 NPN 型晶体管剖面图

### 思政元素融入点

从晶体管外加的偏置电压出发，理解外因是事物发展的必要条件。

### 融入方式

根据辩证唯物主义“认识从实践开始”的观点，给出一组实验数据，带领学生一起分析归纳得出结论：什么是晶体管的电流分配和电流放大作用。

然后，引导学生思考晶体管要具有电流分配和电流放大作用必须具备的内因和满足的外因，培养学生辩证的科学观。

最后，理论联系实际，用万用表判断与检测晶体管。

### 3) 晶体管电流放大的外部条件

(1) 认识晶体管电路中的电流关系。

NPN 型晶体管构成的基本放大电路中的电流如图 3-3-4 所示，其中的电流关系为

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C \gg I_B$$

$$I_C \approx I_E$$

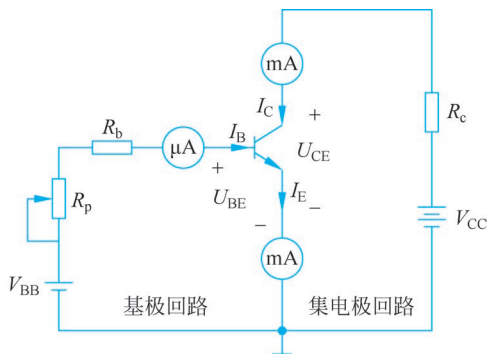


图 3-3-4 基本晶体管放大电路

(2) 晶体管放大的外部条件。

发射结正偏,集电结反偏。

$V_{BB}$ : 保证发射结正向偏置。

$V_{CC}$ : 保证集电结反向偏置。

(3) 互动讨论: 晶体管的管型、管脚的判断与检测。

① 由外形判断 3 个管脚。

② 用万用表判断与检测。

③ 已知 3 个管脚电位,如何判断?

4) 晶体管内部载流子的传输过程

在合适的偏置条件下,载流子在晶体管内部运动,电流如图 3-3-5 所示。

① 扩散运动: 形成发射极电流  $I_E$ 。

② 复合运动: 形成基极电流  $I_B$ 。

③ 漂移运动: 形成集电极电流  $I_C$ 。

④ 结论: 晶体管是双极型、电流控制器件。

⑤ 电流关系:  $I_E = I_C + I_B, I_C \approx \bar{\beta} I_B$ 。

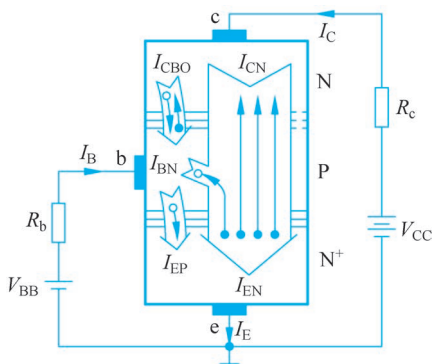


图 3-3-5 晶体管内部载流子运动与外部电流

5) 晶体管的共发射极特性曲线

(1) 晶体管输入特性曲线如图 3-3-6 所示,基极电流

满足  $i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE} = \text{常数}}$ 。

(2) 晶体管输出特性曲线如图 3-3-7 所示,集电极电

流满足  $i_C = f(u_{CE}) \Big|_{i_B = \text{常数}}$ 。

(3) 晶体管的 3 个工作区域(见图 3-3-7)。

① 放大区:  $I_C = \bar{\beta} I_B$ 。

### 思政元素融入点

从晶体管内部载流子的传输过程,明确内因是事物发展的根本,而外因是事物发展的必要条件。透过内因与外因的相互关系,引导学生辩证地看待机遇,成才的关键在于平时不断积累,提高自身综合素质,才能抓住机遇。

### 融入方式

在偏置电压的作用下,从载流子受到的电场力作用的角度出发,引导学生分析晶体管内部载流子的传输过程, $I_E$  在基极和集电极之间的分配比例以及电流放大系数  $\bar{\beta}$  主要取决于晶体管内部的结构,充分证明了内因是第一位的,外因是第二位的。

### 思政元素融入点

由二极管伏安特性曲线推理晶体管输入特性曲线,培养学生“举一反三、触类旁通”能力。

由晶体管的特性曲线引出其非线性到器件的线性化处理,培养学生“透过现象看本质”的能力,不但要知其然还要知其所以然。

### 融入方式

晶体管的特性曲线是内部载流子运动的外部表现,反映了晶体的性能,是分析放大电路的依据;从特性曲线看出晶体管是非线性器件,为简化放大电路的分析和设计,需要进行线性化处理,从而为后续获得晶体管的微变等效电路模型打下基础。

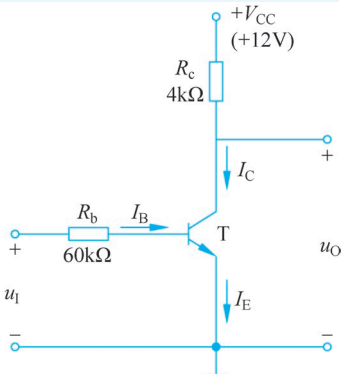


图 3-3-8 某晶体管放大电路

### 思政元素融入点

由“管为路用”——没有最好的器件,只有最合适的器件。

探讨人生的位置与价值的关系,引导学生找到适合自己的坐标,帮助学生树立正确的人生观与价值观。

### 融入方式

晶体管参数是用来表示性能和适用范围的数据,是合理选择和正确使用晶体管的依据,让学生认识到在组成晶体管放大电路时,应根据参数要求合理选择晶体管的型号,以保证晶体管安全可靠工作,让学生学会理论知识如何在实际中应用,培养学生树立工程观念。

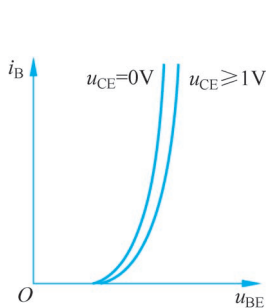


图 3-3-6 晶体管输入特性曲线

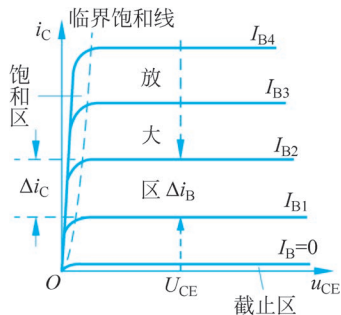


图 3-3-7 晶体管输出特性曲线

条件:发射结正偏,集电结反偏。

② 截止区:  $I_B = 0, I_C \approx 0$ 。

条件:发射结正偏不足或反偏,集电结反偏。

③ 饱和区:  $I_C < \beta I_B$ 。

条件:发射结和集电结均为正向偏置。

(4) 互动练习——晶体管工作状态的判断。

某晶体管放大电路如图 3-3-8 所示,其中  $U_{BE} = 0.7V$ ,

$\beta = 50, U_{CES} = 0.3V$ 。

① 当  $u_1 = 3V$  时,判断三极管的工作状态。

② 当  $R_b = 10k\Omega$  时,判断三极管的工作状态。

### 6) 晶体管的主要参数

(1) 直流参数:  $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}, \bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E}, I_{CBO}, I_{CEO}$ 。

(2) 交流参数:  $\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}, \alpha = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} = \frac{\beta}{1 + \beta}, f_T$ 。

(3) 极限参数:  $I_{CM}, P_{CM}, U_{(BR)CEO}$ 。

(4) 安全工作区(见图 3-3-9)。

根据  $I_{CM}, P_{CM}$  和  $U_{(BR)CEO}$  的值,可在输出特性曲线上确定 4 个区:过损耗区、过流区、过压区和安全工作区。

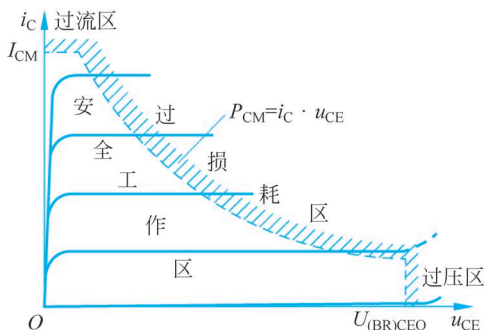


图 3-3-9 晶体管的安全工作区

### 7) 工程应用

(1) 避障小车超声测距系统(见图 3-3-10)中,晶体管构成了小信号放大电路,其工作在放大区。

(2) 测量电机转速的数字测速系统(见图 3-3-11)中,晶体管构成的门电路起开关作用,其工作在饱和区和截止区。

### 思政元素融入点

进一步探讨人生的位置与价值的关系,帮助学生树立正确的人生观与价值观。

### 融入方式

通过晶体管在实际工程中的工作状态不同其功能也不同,培养学生全面看待问题,理解价值与需求的关系,正确认识自身的价值与定位。

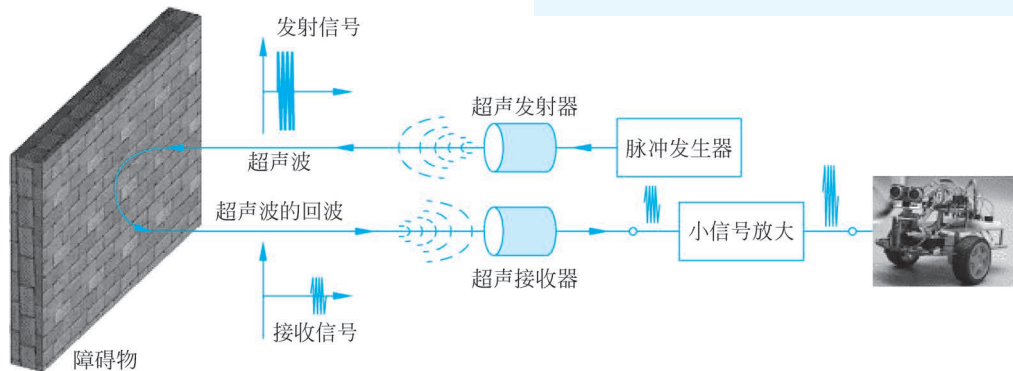


图 3-3-10 避障小车超声测距系统

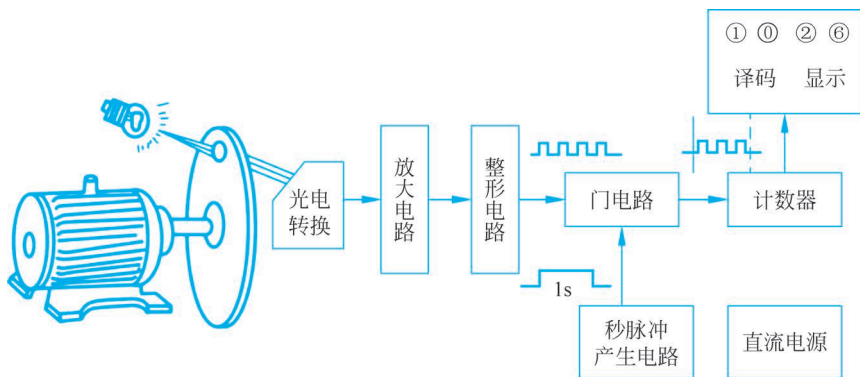


图 3-3-11 数字测速系统

## 3.3.3 教学效果及反思

本次课主要讲授晶体三极管的结构、放大原理、特性曲线和主要参数,特点是内容枯燥,知识点多、杂、难,而学生正处于课程的“入门难”阶段。为了让学生在知识、能力和素养3方面得到全面的培养,教学方法运用“循序渐进”原则,采用“启发探究法”“类比推理法”,引导学生全身心浸润课堂。

在教学过程中,通过提前查阅资料、观看视频引导学生了解国内外晶体管相关技术的发展历程,激发学生科技报国的家国情怀和使命担当,培养学生创新意识和创新精神。通

过课堂教学探究,培养学生电子电路的判断能力和分析能力,科学辩证的思维方式和观念。通过师生互动讨论、练习、聚焦工程应用,培养学生将理论知识应用于实际工程的能力。通过线上线下、第一课堂和第二课堂相结合,进一步提高学生搜集、整合、分析、运用信息的能力。在教学过程中融入思政元素,帮助学生深刻理解内因和外因之间的关系,在人生发展过程中要辩证地看待机遇,找准自身的位置,要在勤奋努力修好内功的基础上寻求发展的机会,机会是给有准备的人。整体课堂气氛活跃,学生在知识、能力和素质方面能够得到全面的培养和浸润,达成教学目标。

对于晶体管的判断与检测、工程应用部分,如果能观看视频,学生印象会更深刻。晶体管工作状态的判断可以通过课堂仿真演示在不同元件参数变化的情况下晶体管状态的变化,也可以作为课后延展作业,培养学生的实验探究能力。课堂小结也可以通过提问的方式让学生梳理和总结,调动学生学习的专注度。

## 3.4 放大电路静态工作点的稳定问题<sup>①</sup>

### 3.4.1 案例简介与教学目标

本部分内容是整门课程的前半部分,主要介绍放大电路静态工作点的重要性,探讨影响静态工作点的因素,介绍典型的静态工作点稳定电路,分析其稳定原理、估算静态工作点和动态参数,介绍稳定静态工作点的其他措施。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

(1) 明确放大电路静态工作点的重要性,理解影响静态工作点不稳定的多种因素及不稳定的原因。

(2) 掌握典型的静态工作点稳定电路的组成、稳定原理和参数选择。

(3) 掌握静态工作点稳定电路的静态工作点、动态指标的估算方法。

(4) 掌握两种稳定静态工作点的方法。

#### 2. 能力培养层面

(1) 培养学生理论联系实际的能力,能够根据实际需求设计静态工作点稳定的放大电路,并能合理选择元器件参数。

(2) 培养学生将所学知识之间建立联系,对所学知识进行思考、比较、总结和评价。

(3) 培养学生工程思维,学会从工程角度分析问题,深刻理解电路中各个元件的个体作用和协调工作的作用。

#### 3. 价值塑造层面

(1) 培养学生自主学习能力:聚焦工程实际,培养学生对比、分析和总结知识的能力。

(2) 培养学生正确的人生观:通过“不大不小”合适静态工作点的概念传达一种人生哲理——虚则欹,中则正,满则覆。强调做人要正,即思想、言行都要有正气,不卑不亢;做事

<sup>①</sup> 完成人:华北电力大学,孙淑艳;同济大学,张文豪、易延、汪洁、刘芳。

要把握好分寸,既要坚持原则,也要留有余地。

(3) 培养学生辩证思维方式:没有任何一种方法是万能的,有一利将会有一弊,引导学生不能顾此失彼,学会全面、辩证地看待事物。

(4) 提升学生理论联系实际的能力:《荀子·大略》中有句话“善学者尽其理,善行者究其难”,通过对课后作业和实验环节的探究,培养学生理论联系实际、严谨踏实、实事求是的科学作风。

## 3.4.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本部分内容从实例入手聚焦问题,采用启发式和问题式逐步展开,通过示证新知、重要概念讲解、电路结构和工作原理介绍、实例分析和仿真分析加强认知、加深理解进行教学设计,并在静态工作点稳定的概念、工作点稳定电路、工作点稳定电路的性能指标、带旁路电容的工作点稳定电路、实例分析和仿真分析部分融入思政元素。由静态工作点“合适”的概念引申到要学会正确认识自己,对自己正确定位,寻求适合自身的发展道路和方向。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

#### 1) 静态工作点稳定的概念

##### (1) 聚焦问题。

图 3-4-1 为温度检测系统。在工作过程中,放大器的输入信号来自加热炉中热敏电阻转化的电信号,不论炉温如何变化,系统中的放大器都可以不失真放大该电信号,说明该放大器有自适应能力。该放大器为什么能起到自适应的作用? 电路结构是什么样的? 与固定偏流放大电路有什么区别? 聚焦问题,引出本次课探讨的内容。

(2) 固定偏置放大电路的静态工作点问题分析及解决方案。

图 3-4-2 所示为固定偏置放大电路及其直流通路。

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b}$$

优点: 结构简单,容易调节。

问题: 受温度变化、晶体管老化、电源电压波动等影响较大,温度变化影响最严重。

#### (3) 温度对晶体管参数的影响。

① 温度变化对  $\beta$  的影响: 温度  $T$  每升高  $1^\circ\text{C}$ ,  $\beta$  要增加  $0.5\% \sim 1.0\%$ , 输出特性曲线族间距增大,如图 3-4-3 所示。

#### 思政元素融入点

通过温度检测系统的工作过程,强调该系统中静态工作点稳定放大器的重要性;探究影响静态工作点的原因,辩证分析利弊关系,以及外界环境对事物发展的影响,同时说明局部与全局的关系。培养学生思考、比较和总结的能力。通过“静态工作点稳定”的概念传达一种人生哲理——虚则歇,中则正,满则覆。

#### 融入方式

通过工程案例,采用问题启发的方式,激活之前学习的知识点,并将知识点进行关联,明确放大电路静态工作点的重要性;通过分析温度的变化对晶体管相应参数产生的影响,引起静态工作点发生变化,从而会影响放大电路的性能指标,总结归纳出“静态工作点稳定”的概念;通过“不大不小 Q 点”的概念,强调做人要正,即思想、言行都要有正气,不卑不亢;做事要把握好分寸,既要坚持原则,也要留有余地。

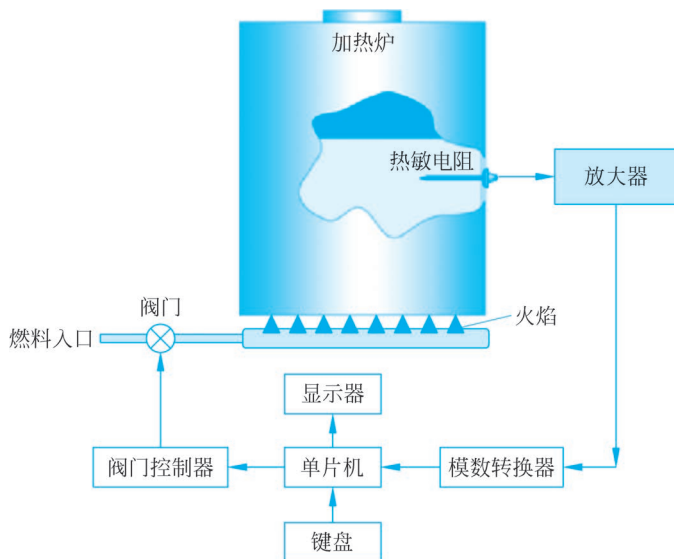


图 3-4-1 温度检测系统

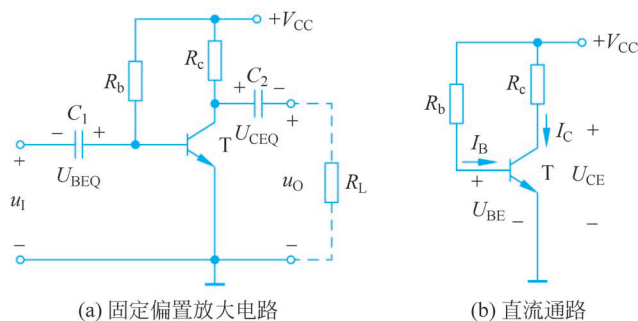
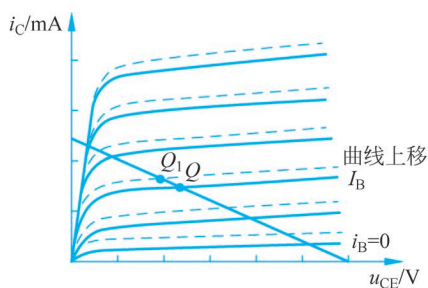


图 3-4-2 固定偏置放大电路及其直流通路

图 3-4-3 温度变化对  $\beta$  的影响(引起  $Q$  发生移动)

② 温度变化对  $I_{CBO}$  的影响：锗管的  $I_{CBO}$  受温度的影响大，硅管的  $I_{CBO}$  受温度的影响较小。温度  $T$  升高  $10^\circ\text{C}$ ， $I_{CBO}$  要增加一倍，输出特性曲线上移，如图 3-4-4 所示。

③ 温度变化对  $U_{BE}$  的影响：温度  $T$  升高产生同样的  $I_B$  所需  $U_{BE}$  的值减少，输入特性

曲线左移,如图 3-4-5 所示。

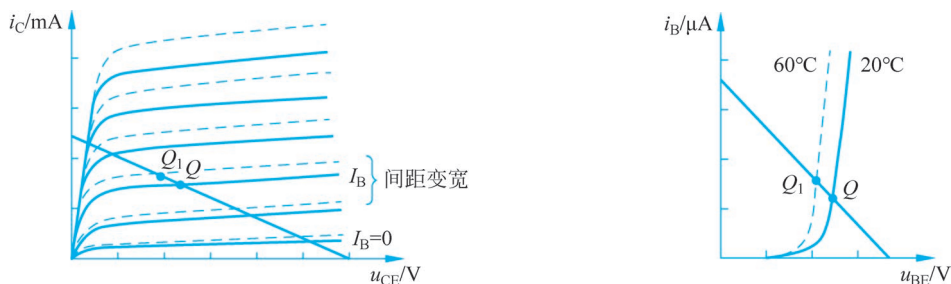
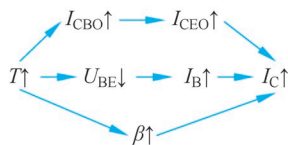


图 3-4-4 温度变化对  $I_{CBO}$  的影响(引起  $Q$  发生移动) 图 3-4-5 温度变化对  $U_{BE}$  的影响(引起  $Q$  发生移动)

综上所述。温度  $T$  升高,输出特性曲线升高,集电极电流  $I_C$  增大;反之亦然。即



如果外电路参数不变,负载线斜率不变, $Q$  点上升,可能进入饱和区;如果温度降低,则  $Q$  点下降,可能进入截止区。两种情况都会造成信号失真。

(4) 静态工作点稳定的概念。

所谓  $Q$  点稳定,是指当温度变化时,设法使放大电路的静态集电极电流  $I_{CQ}$  基本保持不变,不能太大,也不能太小。

2) 工作点稳定电路:在直流通路中分析如何稳定静态工作点

(1) 电路组成。

在固定偏流放大电路的基础上增加了基极分压电阻  $R_{b2}$  和发射极电阻  $R_e$ ,如图 3-4-6 所示。

(2) 稳定原理。

① 构建直流通路。

静态工作点稳定放大电路的直流通路如图 3-4-7 所示。

② 稳定条件。

由  $I_1 \gg I_B$ , 即  $I_1 \approx I_2$  可知

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

于是有

$$U_{BEQ} = U_{BQ} - U_{EQ} = U_{BQ} - \frac{1 + \beta}{\beta} I_{CQ} R_e$$

### 思政元素融入点

分析基极分压放大电路稳定静态工作点的原理,理解“抓主要矛盾”和“矛盾的主要方面”的重要性,引导学生不能顾此失彼,培养学生全面、辩证地看待问题。

### 融入方式

从电路结构上,采用类比的方式,说明静态工作点稳定电路与固定偏流放大电路的异同;通过对直流通路的分析,培养学生从“数学式”思维转向“工程式”思维,抓主要矛盾和矛盾的主要方面;通过“有一利将会有一弊”的辩证思维,研究静态工作点稳定放大电路的参数选择,引导学生不能顾此失彼,要纵观全局,学会将理论知识与实际应用相结合。

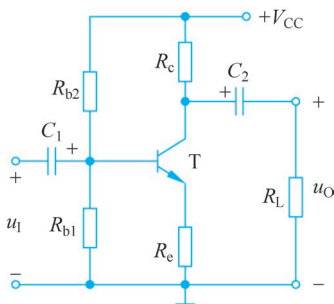


图 3-4-6 静态工作点稳定放大电路

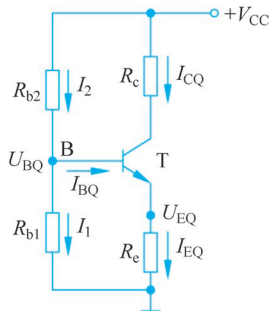


图 3-4-7 静态工作点稳定放大电路的直流通路

可知,  $R_e$  将输出回路  $I_C$  的变化转换成  $U_E$  的变化, 送回到输入回路, 调整  $U_{BE}$ , 使  $I_C$  基本不变。

### ③ 稳定过程。

$$T(^{\circ}\text{C}) \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow U_E \uparrow \rightarrow U_{BE} \downarrow (U_B \text{ 基本不变}) \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow I_C \downarrow$$

### (3) 参数选择。

问题: 从  $Q$  点稳定的角度来看, 似乎  $I_1$ 、 $U_B$  越大越好, 是不是如此?

分析:

①  $I_1$  越大,  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  必须较小, 将降低输入电阻, 增加电源损耗;

②  $U_B$  增大必使  $U_E$  也增大, 在  $V_{CC}$  一定时, 势必使  $U_{CE}$  减小, 从而减小放大电路输出电压的动态范围。

结论: 在估算时, 一般选取:  $I_1 = (5 \sim 10) I_B$ ,  $U_B = (5 \sim 10) U_{BE}$ ,  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  的阻值一般为几十千欧。

## 思政元素融入点

介绍直流通路的构建、微变等效电路的构建以及放大电路指标的“估算”, 培养学生推理、计算和分析问题的能力。

## 融入方式

带领学生一起分析放大电路的静态指标和动态指标, 加深理解放大电路“先静后动, 无静不动, 有静有动, 动静结合”的工作过程, 告诉学生做事要遵循原则, 同时强调团队分工协作的重要性。

## 3) 工作点稳定电路的性能指标

### (1) 静态工作点的计算。

利用分压定理、回路方程计算  $I_{CQ}$ 、 $I_{BQ}$  和  $U_{CEQ}$ 。

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e$$

$$\approx V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) \approx V_{CC} - I_{EQ}(R_c + R_e)$$

### (2) 动态指标的计算。

构建微变等效电路, 如图 3-4-8 所示, 根据定义计算  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。

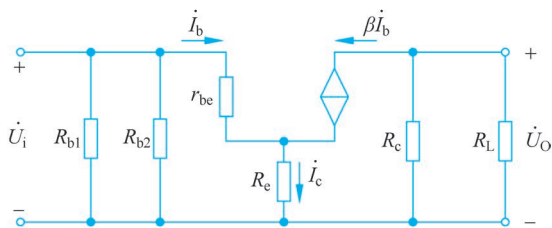


图 3-4-8 静态工作点稳定放大电路的微变等效电路

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta \dot{I}_b (R_c // R_L)}{\dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R_e} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$$

$$R_o = R_c$$

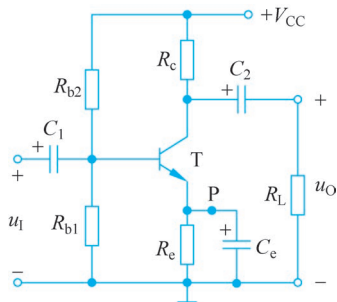
## 4) 带旁路电容的工作点稳定电路

## (1) 问题。

由上述计算的指标可知,电阻  $R_e$  的引入可以起到稳定静态工作点的作用,并提高输入电阻  $R_i$ ,但却降低了放大电路的电压放大倍数  $A_u$ ,而对于信号放大而言,我们主要关心放大倍数  $A_u$ ,采用什么办法既可以稳定  $Q$ ,又可以不降低放大倍数  $A_u$ ?

## (2) 改变电路结构。

引入发射极带旁路电容  $C_e$  的电路,如图 3-4-9 所示。

图 3-4-9 带旁路电容的  $Q$  稳定放大电路

## (3) 指标计算。

该电路的直流通路与上述电路相同(如图 3-3-7 所示),因此静态工作点不变。

该电路的微变等效电路如图 3-3-10 所示,动态指标的计算如下:

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

## 思政元素融入点

对指标结果进行分析、对比,采用逆向思维,引导学生提出问题,培养学生全面看待问题,并寻求解决问题的办法的能力。

## 融入方式

通过对指标结果的分析,引导学生理解电路元件可对电路的性能指标产生不同的影响,培养学生全面看待问题的能力,加深对“有一利将会有一弊”辩证思维的理解。

$$R_o = R_c$$

可知,该电路的电压放大倍数与固定偏流放大电路的电压放大倍数相同。

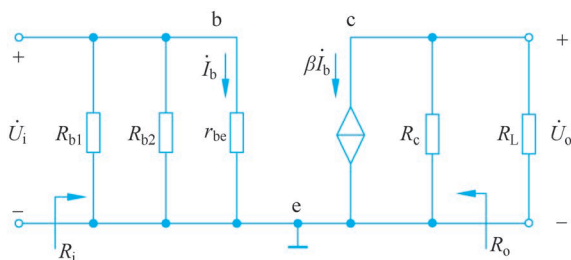


图 3-4-10 带旁路电容的  $Q$  稳定放大电路的微变等效电路

### 思政元素融入点

通过两道题目的探讨加深对课堂知识的理解,培养学生对比、分析和总结知识的能力;同时建立一个概念:明确稳定静态工作点的方法虽然有两个,但是具体的电路结构是多样的。培养学生思辨、举一反三的能力。

### 融入方式

应用课堂讲解的内容,反过来回答“温度检测系统”中提出的问题,研究两种稳定静态工作点放大电路的利和弊,加深对放大电路静态工作点重要性和稳定性的理解,引导学生正确看待问题,缺点不是永远的缺点,合理利用,变弊为利。

### 5) 实例分析

图 3-4-11 和图 3-4-12 所示的两个电路中是否采用了措施来稳定静态工作点?若采用了措施,是什么措施?试说明稳定原理。

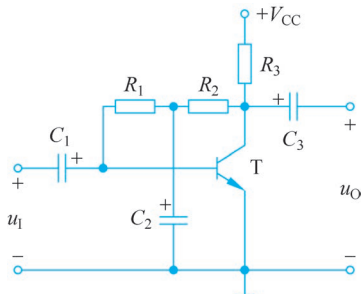


图 3-4-11 实例电路

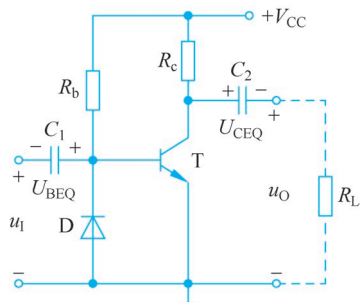


图 3-4-12 实例电路

方法一:直流负反馈,通过  $R_1$ 、 $R_2$  引入直流负反馈的方法稳定静态工作点。

方法二:温度补偿,通过二极管  $D$  的温度特性稳定静态工作点。

问题延伸:如果将图 3-4-12 中的二极管  $D$  反接在电路里,该电路是否可以稳定静态工作点?说明稳定原理。

## 6) 仿真分析

利用仿真工具构建分压偏置放大电路原理图,自行选择参数,进行理论计算,并仿真,从波形观察其静态工作点设置是否合理。

图 3-4-13 所示的电路中,电阻  $R_{b2}$  取值较小,输出波形出现了底部失真,即饱和失真,如图 3-4-14 所示。

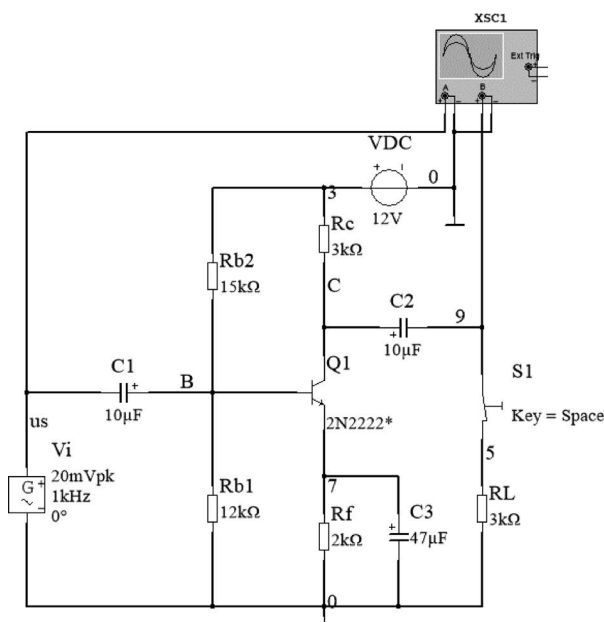


图 3-4-13  $R_{b2}$  取值较小时的放大电路

## 思政元素融入点

充分认识理论与实践之间的关系,认识到实践是检验真理的唯一标准。

## 融入方式

仿真调节参数过程中,注意到无论采用何种方法消除失真都不能顾此失彼,必须考虑对  $Q$  点的影响以及  $Q$  点变化对动态参数的影响。

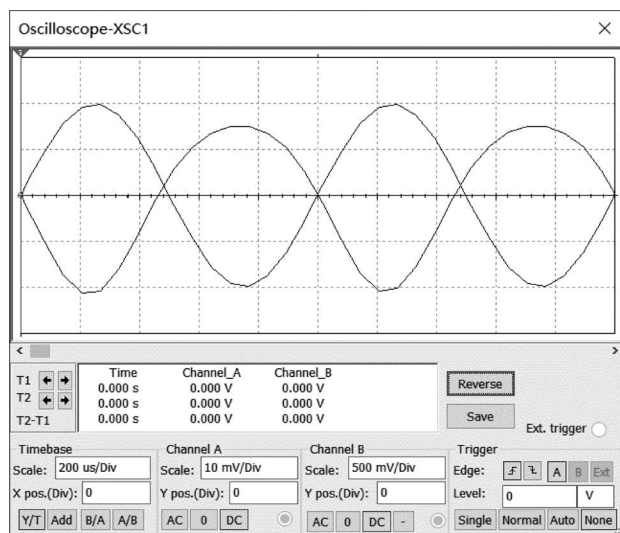


图 3-4-14 输出波形出现了饱和失真

图 3-4-15 所示的电路中,电阻  $R_{b2}$  取值较大,输出波形出现了顶部失真,即截止失真,如图 3-4-16 所示。

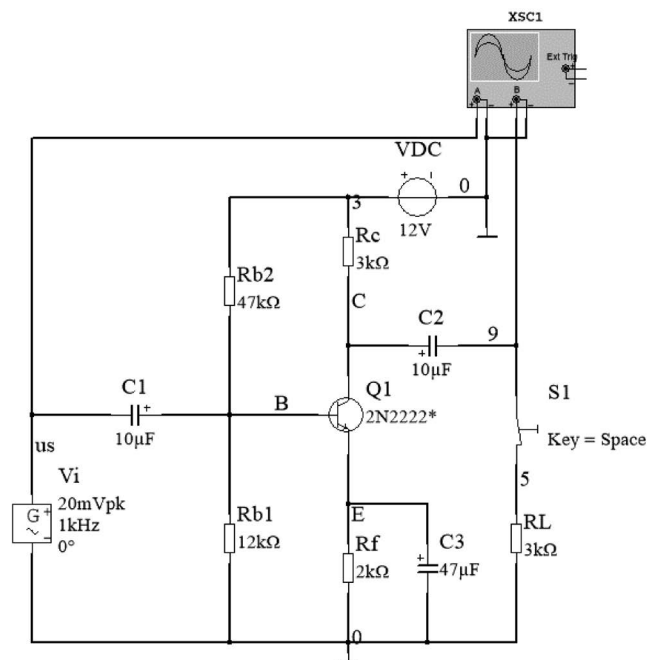


图 3-4-15  $R_{b2}$  取值较大时的放大电路

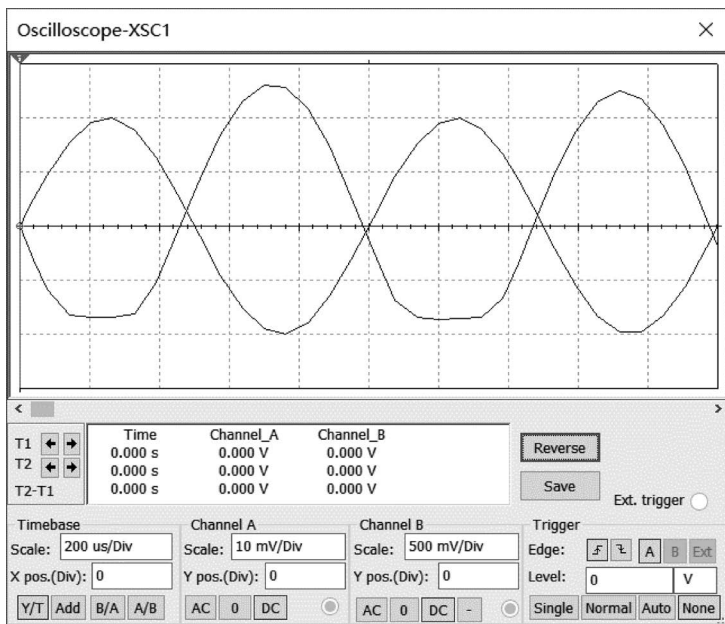


图 3-4-16 输出波形出现了截止失真

从波形可以观察到电阻参数选择不合理带来的顶部失真和底部失真,分析失真的来源,并进行调节以消除失真。

### 3.4.3 教学效果及反思

在教学过程中,通过课前自主学习,聚焦工程实际,将知识点融入具体的应用实例中,要求学生采用分析、对比的方式,找出规律,找出不同,学会归纳和总结,这一过程可以提高学生自主学习的能力,引导学生强化工程观念,并充分体现学生的主体地位。

在课堂教学过程中,通过问题启发式,由浅入深、循序渐进展开课程内容的讲解,在润物无声的思政元素助力下,引导学生为人处世要把握分寸,要正确看待问题,不能顾此失彼,要统筹考虑局部和全局,而且缺点不是永远的缺点,合理利用,可以变弊为利。通过理论分析和仿真分析,学生可以意识到,不能将电子电路中的表达式堪称单纯的数学公式,认识到电子电路是非线性电路,各种参数均与静态工作点有关,需要在科学思维的指导下深入理解各个参数之间的物理意义和相互关系。

在课后环节中,适当的作业和电路的仿真测试,可以巩固新知,提升学生理论联系实际的能力。

## 3.5 晶体管单管放大电路的3种基本接法<sup>①</sup>

### 3.5.1 案例简介与教学目标

本部分内容属于基本放大电路中的内容,针对基本共射放大电路、共集放大电路和共基放大电路的组成、静态和动态特征进行分析,并对3种接法的特征和参数进行比较。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 掌握基本共射放大电路的结构及其静态、动态参数的分析方法。
- (2) 掌握基本共集放大电路的结构及其静态、动态参数的分析方法。
- (3) 熟悉基本共基放大电路的结构及其静态、动态参数的分析方法。
- (4) 掌握3种接法的差异及其应用场景。

#### 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生分析问题的能力和创新思维能力。
- (2) 培养学生电子电路的仿真实验能力。
- (3) 培养学生将理论知识应用于实际应用的能力。

#### 3. 价值塑造层面

- (1) 使学生树立正确的人生观、价值观。
- (2) 培养学生科学、辩证的思维方式和观点。

<sup>①</sup> 完成人: 同济大学, 张文豪、易延、汪洁、刘芳、霍勇。

(3) 培养学生系统观念。

## 3.5.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本部分内容采用案例分析和方案比较的方法,针对晶体管放大电路3种不同接法的静态和动态进行分析,比较其特性并说明其应用场景,利用仿真演示加深理解,进行教学设计。在放大电路的组态、共射放大电路、共集放大电路、共基放大电路、仿真分析和拓展应用5部分融入思政元素。

#### 思政元素融入点

从晶体管放大电路的接法分析结构特点,培养学生思维及推理、举一反三的能力。

#### 融入方式

带领学生分析3种放大电路接法的特点,从而可知组态类型可以以输入、输出信号的位置为判断依据。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

##### 1) 放大电路的组态

判断方法:以输入、输出信号的位置为判断依据。

图3-5-1、图3-5-2和图3-5-3所示电路分别为基本共射放大电路、基本共集放大电路和基本共基放大电路。后续主要关注3种接法电路的动态参数的差异。

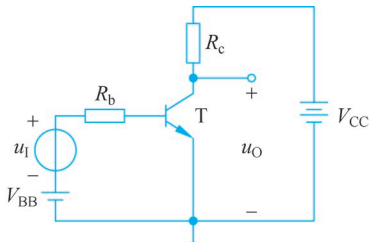


图 3-5-1 基本共射放大电路

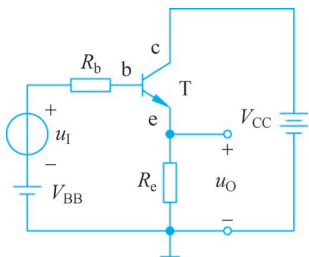


图 3-5-2 基本共集放大电路

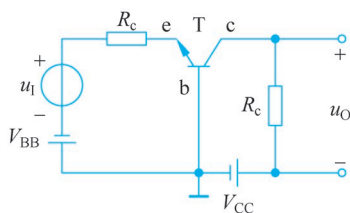


图 3-5-3 基本共基放大电路

#### 思政元素融入点

晶体管作为核心器件,采用不同外围电路的接法,可以带来的性能上的巨大差异。培养学生发现自身的特质,做好职业规划和人生规划。

##### 2) 共射放大电路

画出图3-5-1所示电路的微变等效电路,如图3-5-4所示。

其电压放大倍数、电流放大倍数、输入电阻、输出电阻分别为

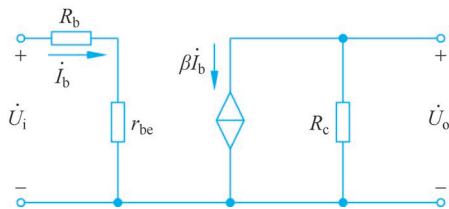


图 3-5-4 基本共射放大电路的微变等效电路

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c R_c}{\dot{I}_b (R_b + r_{be})} = -\frac{\beta R_c}{R_b + r_{be}}$$

$$\dot{A}_i = \beta$$

$$R_i \approx R_b + r_{be}$$

$$R_o \approx R_c$$

可知共射放大电路特点是：电压和电流放大倍数高，输入电阻低，输出电阻高。

### 3) 共集放大电路

画出图 3-5-2 所示电路的微变等效电路,如图 3-5-5 所示。

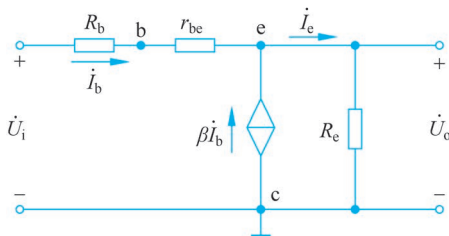


图 3-5-5 基本共集放大电路的微变等效电路

其电压放大倍数、电流放大倍数、输入电阻、输出电阻分别为

$$\dot{A}_u = \frac{(1 + \beta)R_e}{R_b + r_{be} + (1 + \beta)R_e} \approx 1$$

$$\dot{A}_i = 1 + \beta$$

$$R_i = R_b + r_{be} + (1 + \beta)R_e$$

$$R_o = R_e \parallel \frac{R_b + r_{be}}{1 + \beta}$$

可知共集放大电路特点是：没有电压放大能力，但能够放大电流，具有功率放大作用，输入电阻高，输出电阻小。

### 融入方式

共射放大电路可同时放大电流和电压，而且具有较大的放大倍数，输入、输出电阻适中，通频带相对较窄，常常被用于多级放大电路的中间级。可以引导学生开拓思路，构建其他两类放大电路，培养举一反三的思维能力。

### 思政元素融入点

同一个核心器件，不同外围电路的接法，带来了性能上的巨大差异，但电路同样具有功率放大作用，培养学生发现自身的特质，做好职业规划和人生规划。

### 融入方式

共集放大电路利用其  $R_i$  大、 $R_o$  小及  $A_u \approx 1$  的特点，可用多级放大电路的第一级，减轻信号源负担；可用多级放大电路的末级，提高带负载能力；也可放在放大电路的两级之间，作为电压放大的缓冲、隔离，和阻抗匹配。晶体管本身不变，但改变外围电路的接法，带来了性能的巨大改变，引导学生正确认识自身的多方面特质，从而在不同领域、不同赛道有效发挥自身的能力，进一步做好职业规划。

### 思政元素融入点

同一个核心器件,不同外围电路的接法,带来了性能上的巨大差异,但电路同样具有功率放大能力,培养学生发现自身的特质,做好职业规划和人生规划。

### 融入方式

共基放大电路只能放大电压信号,不能放大电流信号,可以作为电流放大的缓冲、隔离,和阻抗匹配。另外,在后续的频率响应学习中可知共基放大电路是3种接法中高频特性最好的电路,常作为高频、宽频带放大电路。由此可以看出,3种不同接法的放大电路都能够起到功率放大作用,可以根据实际需求应用到合适的场合。

### 4) 共基放大电路

画出图 3-5-3 所示电路的微变等效电路,如图 3-5-6 所示。

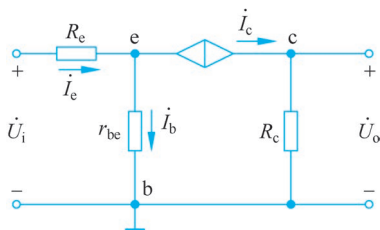


图 3-5-6 基本共基放大电路的微变等效电路

其电压放大倍数、电流放大倍数、输入电阻、输出电阻分别为

$$\dot{A}_u = \frac{\beta R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$$\dot{A}_i \approx \frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_e} = \alpha$$

$$R_i = R_e + \frac{r_{be}}{(1 + \beta)}$$

$$R_o = R_c$$

可知共基放大电路特点是:能够放大电压,无法放大电流,具有功率放大作用,输入电阻较小,输出电阻大。

### 思政元素融入点

通过仿真分析放大电路不同接法对电路性能的影响,了解仿真技术,培养学生全面看待问题的观点和仿真能力。

### 融入方式

仿真演示放大电路不同接法对性能参数的影响,让学生不仅从原理角度学会分析电路,还能够搭建模型,从波形直观地看到系统参数的变化。

### 5) 仿真分析

#### (1) 分压式阻容耦合共射放大电路。

Multisim 中的共射放大电路如图 3-5-7 所示。输入信号峰值为 10mV,频率为 1kHz,空载和带负载时的输入电压与输出电压波形分别如图 3-5-8 和图 3-5-9 所示。对比空载和负载条件下的电压放大倍数。

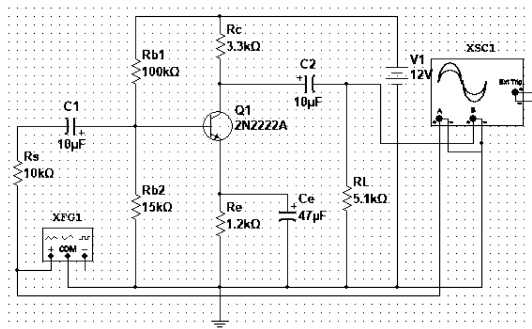


图 3-5-7 Multisim 中的共射放大电路

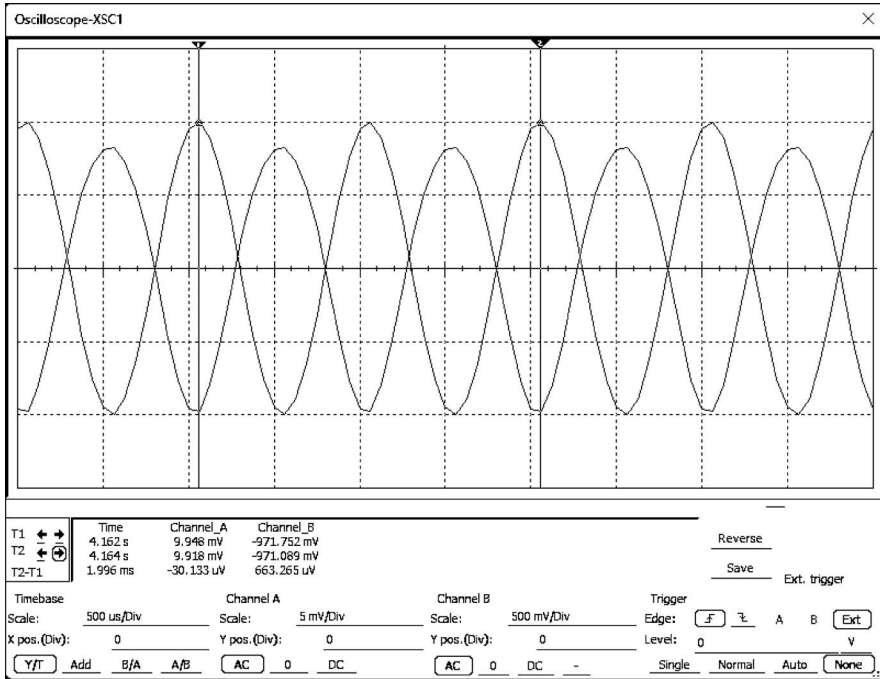


图 3-5-8 空载时的输入电压与输出电压波形

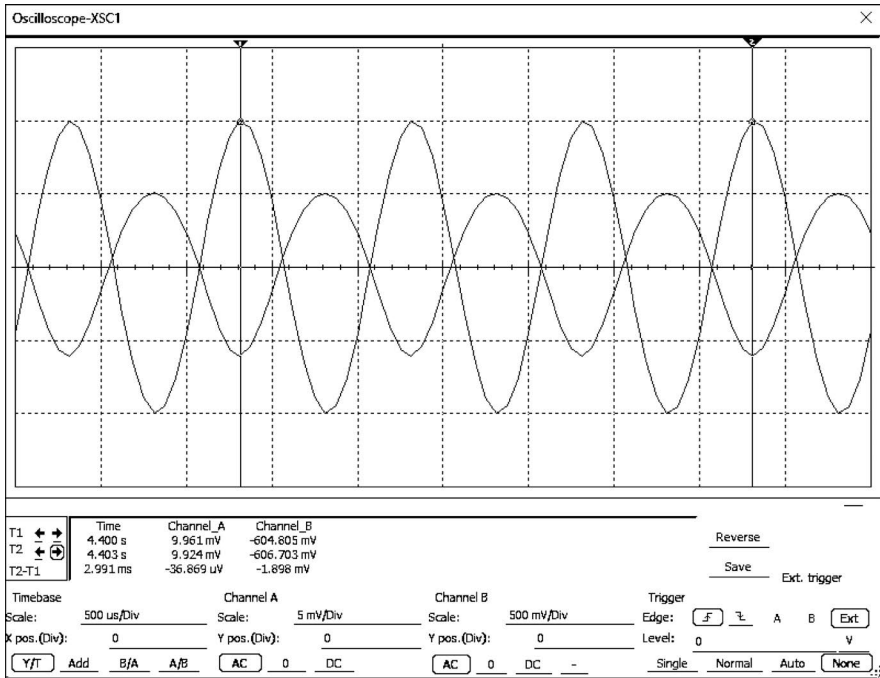


图 3-5-9 带负载时的输入电压与输出电压波形

输入电压为 10mV, 输出电压与输入电压反相, 空载时输出电压幅值约为 970mV, 带负载时约为 600mV, 带上负载会使得  $A_u$  从 97 下降到 60。

(2) 分压式阻容耦合共集放大电路。

Multisim 中的分压式阻容耦合共集放大电路如图 3-5-10 所示。

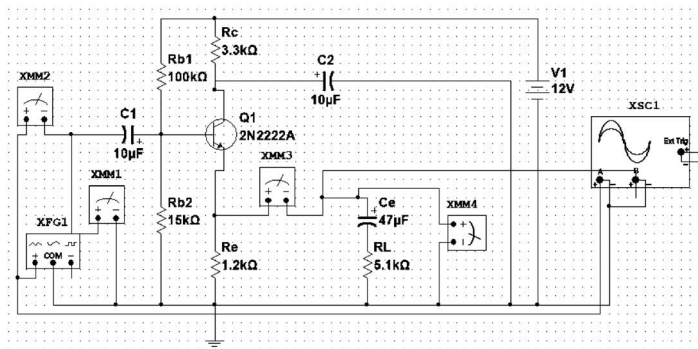


图 3-5-10 Multisim 中的分压式阻容耦合共集放大电路

输入电压峰值约为 10mV, 测试结果如图 3-5-11 所示。可知: 输出电压与输入电压同相, 幅值约为 9.6mV,  $A_u \approx 1$ 。输入电流约为 570nA, 输出电流约为 1.34μA, 可见具有功率放大能力。

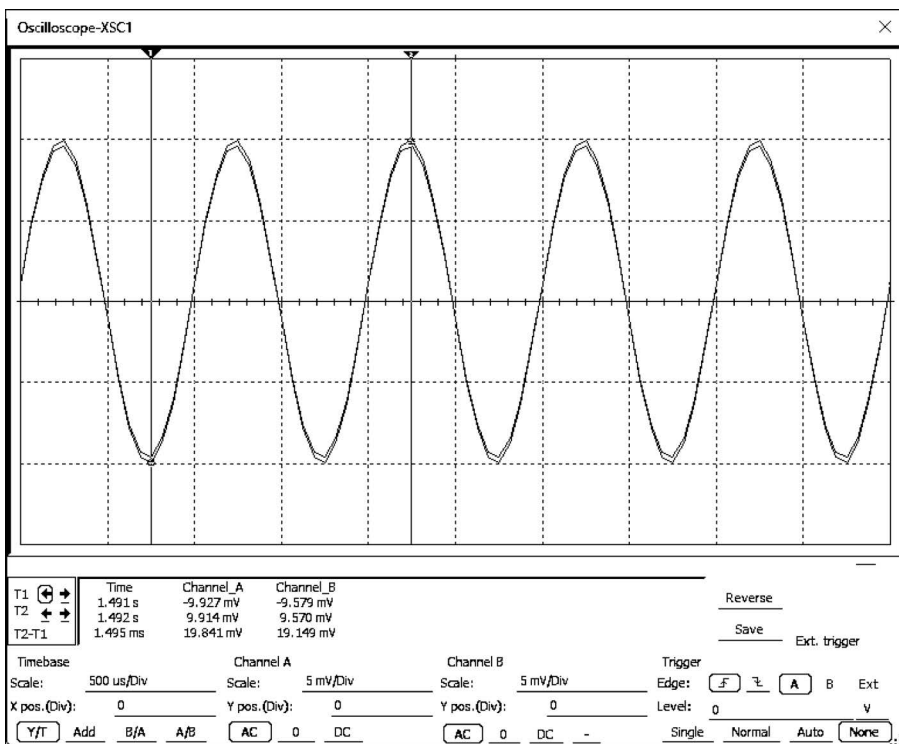


图 3-5-11 分压式阻容耦合共集放大电路的输入电压与输出电压波形图

(3) 分压式阻容耦合共基放大电路。

Multisim 中的分压式阻容耦合共基放大电路如图 3-5-12 所示。

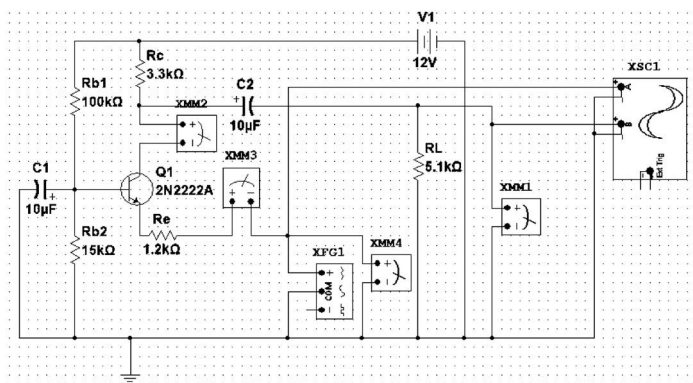


图 3-5-12 Multisim 中的分压式阻容耦合共基放大电路

输入电压峰值为 10mV, 测试结果如图 3-5-13 所示。可知: 输出电压与输入电压同相, 幅值约为 16mV, 可以放大电压, 输入电流为  $5.724\mu\text{A}$ , 输出电流为  $5.698\mu\text{A}$ ,  $A_i \approx 1$ , 不具备电流放大能力, 总体上具备功率放大能力。

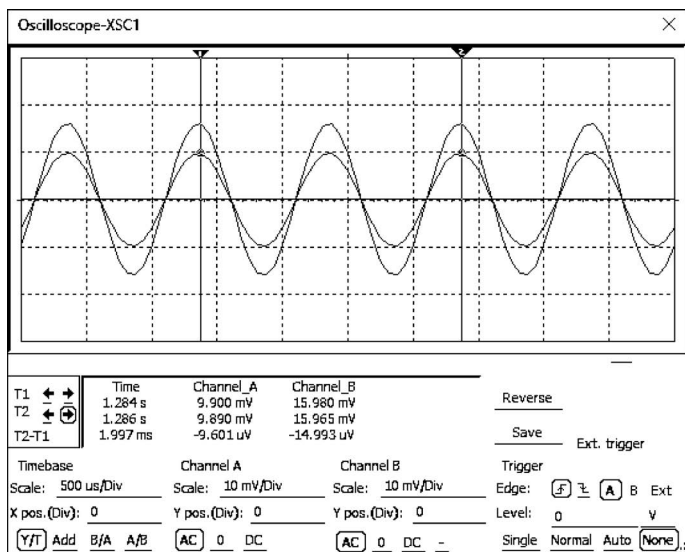


图 3-5-13 分压式阻容耦合共基放大电路的输入电压与输出电压波形图

#### 6) 拓展应用

采用组合接法获得多方面的优良性能:

(1) 共集-共基形式: 输入电阻高、电压放大倍数较大、频带宽。

(2) 共集-共射形式: 输入电阻高、电压放大倍数较大。

#### 思政元素融入点

根据工程实际中的各种需求, 可以进一步拓展实现组合接法, 由此培养学生的工程思维、科学思维和全面判断事物的系统能力。

### 融入方式

在掌握基本接法及其性能的基础上,进一步根据实际需求,利用组合接法实现其拓展应用,引导学生灵活运用专业基础知识,根据工程实际问题,实现设计上的创新,并能够从全局角度判别电路的性能。

(3) 共射-共基形式:放大倍数较大、输出电阻小、频带宽(如图 3-5-14 所示)。

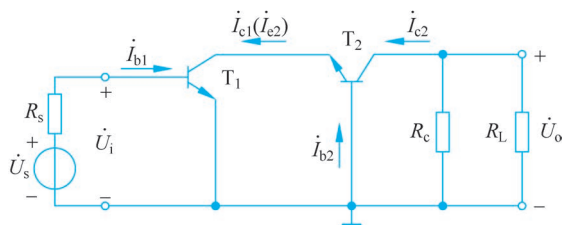


图 3-5-14 共射-共基放大电路

## 3.5.3 教学效果及反思

本次教学对 3 种接法的放大电路的特性进行了分析对比,从原理分析和仿真展示两方面,帮助学生掌握不同接法放大电路的特性及其可能的应用场景。另外,从其性能方面的差异性,可以引申出做人的道理。

思政素养方面,学生可以从两方面得到收获:一方面,事物具有多面性,人也一样,在不同的环境和条件下可以体现出不同的外在表现;另一方面,人无完人,金无足赤,任何人都有自己的优点,也有自己的缺点。一定要善于扬长避短,通过发挥自己的长处,在自己的特长方面有所建树,脚踏实地朝着人生的最高目标迈进,走好自己的人生之路。

对于拓展应用部分,学生可以综合利用所学的知识进行组合电路分析,从而有效提升学生解决复杂问题的能力,既能做到以变化应对变化,又能以不变应万变。

## 3.6 反馈的基本概念及判断方法<sup>①</sup>

### 3.6.1 案例简介与教学目标

本部分内容是整门课程的中间部分,为“模拟电子技术”课程的重要内容,主要介绍反馈的基本概念、反馈的判断方法、反馈的性质等。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 了解反馈的基本概念。
- (2) 掌握反馈的判断方法和性质。
- (3) 了解反馈在实际工程应用中的成功案例和失败案例。

#### 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生分析问题和思维判断能力。
- (2) 培养学生工程思维、技术素养和探究能力。

<sup>①</sup> 完成人:河北工业大学,孙英、郭彦杰。

### 3. 价值塑造层面

- (1) 培养学生科学、辩证的思维方式。
- (2) 引导学生不断自省、不断自我完善,提升个人素养。
- (3) 引导学生树立科技强国的家国情怀和履行使命的责任担当。

## 3.6.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本部分内容按照反馈的由来、概念引入、知识构建逐层展开,从重要概念讲解、举例加深理解、实际应用加强认知等方面进行教学设计,并在反馈的基本概念、反馈的判断和工程应用等部分融入思政元素。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

#### 1) 反馈的基本概念

介绍反馈研究先驱与控制论创始人诺伯特·维纳(Norbert Wiener),引出反馈:1945年,控制论的创始人诺伯特·维纳把反馈概念推广到一切控制系统。1948年,维纳在其奠基性著作《控制论》中指出,一个自动控制系统必须根据周围环境的变化自行调整自己的运动。

巴甫洛夫条件反射学说证明了生命体中存在信息和反馈问题。

#### 2) 反馈的判断

##### (1) 正负反馈。

正负反馈的概念,正负反馈示例。

正反馈示例:利用话筒讲话时,可能会出现尖锐的声音,如果不做处理,会越来越大。

负反馈示例:生活中的各种电源,多数通过负反馈维持输出电压或输出电流的稳定。

正负反馈的特点:反馈使放大电路形成闭环系统,负反馈增强系统稳定性,正反馈增强系统输出。

##### (2) 有无反馈的判断。

分析放大电路中是否在输出回路与输入回路之间有连接通路,并判断该通路对放大电路的净输入是否有影响,来判断有无反馈。

#### 思政元素融入点

教育学生学习科学家的创新精神,适应大学的学习节奏和生活环境,积极进取,提升自己。

#### 融入方式

维纳在《控制论》中指出,一个自动控制系统必须根据周围环境的变化自行调整自己的运动。巴甫洛夫条件反射学说证明生命体中存在信息和反馈问题,如大家熟知的变色龙,可以随着周围的环境,而改变身体皮肤的颜色。由此教育学生在大学中要适应大学的学习节奏和生活环境,提升自己。

#### 思政元素融入点

培养学生理论联系实际的能力。听取同学或老师对自己的评价或者建议等反馈信息,不断调整自己,提高自己的综合能力和个人素养。

#### 融入方式

通过正负反馈的特点,引申到每个人的生活和学习,可以根据外界反馈(如来自同学或老师的建议),实时调整自己的生活和 Learning,不断提高自己的素养和能力。

#### 思政元素融入点

培养学生从根本上理解问题,并解决问题的能力。

### 融入方式

带领学生分析实际生活中的案例,培养学生将理论知识应用到解决实际问题中的能力。

为切断了反馈通路。由此加深学生对有无反馈相关概念的理解。

### 思政元素融入点

培养学生综合运用本门课程,以及多门相关课程知识的能力,加强对课程体系及其连续性的认识;引申说明要用联系的方法看问题。

### 融入方式

带领学生回顾电路课程知识和频率响应等章节内容,以便更好地理解本门课程各章节,以及多门相关课程之间的相关性。引导学生从一个知识点的掌握,到整个课程的理解,再到看问题的哲学方法。

### 思政元素融入点

培养学生推理、举一反三的能力,以及从基本原理出发,分析问题本质的能力。

### 融入方式

带领学生结合已学知识,更好地理解新的学习方法。

### 思政元素融入点

引导学生了解我国科技发展,为我国航天事业取得的成绩感到自豪,同时要认识到我们肩负的历史使命,认识到我们要肩负起科技强国的责任,树立履行使命的责任担当。

### 融入方式

通过成功案例——神舟天宫对接和失败案例——西昌卫星发射,从控制的角度,引出“负反馈放大电路”的重要性。

三级在滑行过程中的姿态没有控制好,火箭当时本来处于负滚动,应该给它一个正滚动的指令,让火箭通过负反馈保持稳定的姿态运行,结果实际操作错误,再次点火后,没有进入预定的椭圆轨道。通过该事件,说明负反馈的重要性。

结合正反馈示例进一步说明:如果需要停止尖锐的声音,需要将系统从有反馈的状态改变为无反馈的状态。具体做法:可用手将话筒捂住或者拿远。从原理的角度,则可理解

### (3) 直流与交流反馈的判断。

通过分析反馈环路内是直流分量流通还是交流分量流通,判断是直流反馈、交流反馈,还是交直流反馈均有。

结合具体电路,讲解直流反馈与交流反馈的判断方法。可以结合电路理论知识,融入交直流阻抗和复阻抗的计算和分析方法。既帮助学生理解本部分知识点,也能够与频率响应章节部分知识相互呼应,更可以为后续运算放大电路和有源滤波章节中相关知识的应用打下基础。

### (4) 反馈极性的判断。

应用瞬时极性法判断引入正反馈还是负反馈。结合集成运放与基本放大电路的工作原理,讲解两种电路的反馈输入和输出极性判断的原理。

### 3) 工程应用

#### (1) 成功案例——神舟天宫对接。

2016年10月19日3时31分,神舟十一号载人飞船与天宫二号空间实验室成功实现自动交会对接。6时32分,两名航天员进入天宫二号空间实验室,并按计划开展空间科学实验。

#### (2) 失败案例——西昌卫星发射。

2017年6月19日0时11分,在西昌卫星发射中心,长征三号乙运载火箭发射中星9A广播电视直播卫星。但在发射过程中,卫星未能进入预定轨道,如图3-6-1所示。分析原因:长征三号乙运载火箭在第二次启动后,火箭第



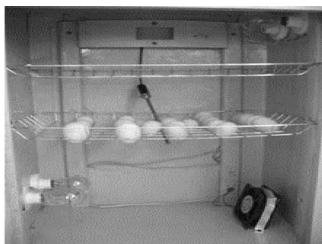
图 3-6-1 发射失败

(3) 日常生活熟悉的案例。

通过小鸡孵化(图 3-6-2 为母鸡抱蛋和人工孵化)这种日常生活熟悉的案例,激发学生兴趣,更好地理解反馈、反馈的重要性及反馈的应用,理解我们所学的知识无处不用。



(a) 母鸡抱蛋



(b) 人工孵化

图 3-6-2 小鸡孵化

### 3.6.3 教学效果及反思

本次教学,可以让学生学到反馈的相关知识,了解理论知识在实际工程中的应用,培养学生分析问题的能力和科学的思维方式。在教学过程中融入思政元素,让学生知道在专业知识和理论中蕴含着哲学思想、辩证法和方法论。因此,本次课能让学生在知识、能力和素质方面得到全面的培养和提升。

在工程应用部分,利用反馈应用的成功案例和失败案例,令学生印象深刻。反馈的引入部分讲到“巴甫洛夫条件反射学说证明了生命体中存在信息和反馈问题”,结尾处以大家日常生活熟悉的案例——小鸡孵化为例,可以做到首尾呼应,激发学生学习的兴趣。

## 3.7 集成运算放大器<sup>①</sup>

### 3.7.1 案例简介与教学目标

本部分内容处于“模拟电子技术”课程的后半部分。集成运算放大器是放大倍数很大、

#### 思政元素融入点

通过反馈在实际工程中的应用,说明反馈的重要作用,进一步引申说明小错误可能引发大问题。

为了避免小错误导致大问题,我们必须对每一个细节都不能忽略,对每一个存疑的数据都要追根问底。培养学生严谨负责的科学态度,辩证分析与解决问题的科学思维方式,以及持之以恒的科学精神。

#### 融入方式

从全新的角度向学生剖析“负反馈”的本质及内在联系。以分析、研究、解决问题为中心,强化学生的工程思维,激发学生兴趣,引出放大电路中引入负反馈的必要性。

<sup>①</sup> 完成人: 华北电力大学,刘向军。

输入电阻很高、输出电阻很低的多级直接耦合放大电路,简称集成运放。集成运放的类型很多,内部电路不同,但是其结构基本相同。集成运放最初在模拟计算机中作运算时使用,因此而得名,目前广泛应用于工业自动控制、信号处理等领域。为了能够正确地使用集成运放,本部分内容主要介绍其组成、原理、特性曲线和参数。本部分的教学目标如下。

### 1. 知识传授层面

- (1) 了解集成电路的特点和分类。
- (2) 掌握集成运放的基本组成和每部分单元电路的作用。
- (3) 掌握集成运放的外特性:传输特性曲线。
- (4) 了解集成运放的参数。

### 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生化整为零、统观整体的分析能力。
- (2) 培养学生近似估算的工程能力。
- (3) 培养学生将理论知识应用于实际工程中的实践能力。

### 3. 价值塑造层面

- (1) 培养学生使命感、责任感和家国情怀。
- (2) 培养学生工程意识和辩证思维。
- (3) 培养学生严谨的科学作风,不但要知其然还要知其所以然。

## 3.7.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

通过集成电路的发明引入教学内容,从集成运放的结构、原理、特性曲线和参数4个维度进行讲解。通过单元电路分析加深理解分立元件构成的单元电路性能,体会模电课程所学即所用的特点,通过实际应用案例加强知识的理解,在引入,集成电路的分类,特点、外形及符号,结构和组成,传输特性曲线和参数,工程应用等部分融入思政元素。

#### 思政元素融入点

通过集成电路的发展史培养学生科学精神、创新意识,并以此为基础引申半导体芯片技术是我国当今需要攻关的技术之一,有意识灌输青年学生的使命担当、家国情怀,激发学生社会责任感,增强学生爱国热情,坚定攻坚克难、奋勇创新的信念。

#### 融入方式

通过短视频“集成电路的发明”了解集成电路的发展史。1958年,德州仪器(简称TI)的一名新雇员 Jack

### 2. 详细教案

#### 教学内容

- 1) 引入:图 3-7-1 所示为第一块集成电路。

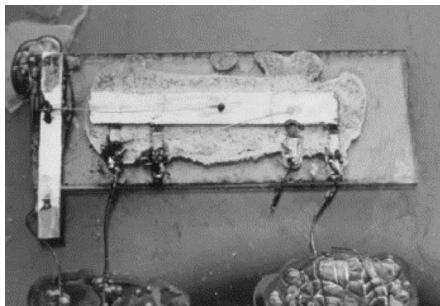


图 3-7-1 第一块集成电路

问题：集成运放与分立元件放大电路有何不同？

2) 集成电路的分类

(1) 集成电路：模拟集成电路和数字集成电路。

(2) 模拟集成电路：集成运放、集成功率放大器、集成稳压器等。

(3) 集成运放：放大倍数很高的多级直接耦合放大电路。按制作工艺分为 BJT、CMOS、BiFET。

(4) 简易集成运放电路如图 3-7-2 所示，可以识别元件作用、计算电压放大倍数。

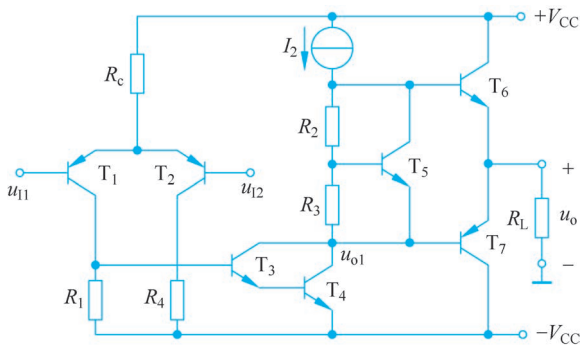


图 3-7-2 简易集成运放电路

3) 特点、外形及符号

集成运放的外形及符号如图 3-7-3 所示，其主要特点如下。

(1) 对称性好，便于构成差分放大电路。

(2) 在芯片上常用晶体管或 MOS 管构成的电流源代替大电阻；通常采用直接耦合方式。

(3) 高输入电阻、高精度和低噪声等。

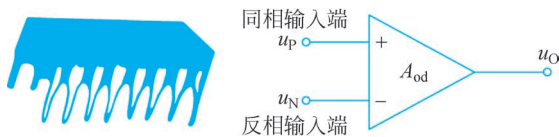


图 3-7-3 集成运放的外形及符号

4) 结构和组成

集成运放的结构框图如图 3-7-4 所示，包括以下几部分。

(1) 输入级：前置级，多采用差分放大电路。要求  $R_i$  大， $A_d$  大， $A_c$  小，输入端耐压高。

Kilby 在实验室里提出问题、付诸行动、实验验证，于 1958 年 9 月 12 日发明了现代电子工业的第一块用单一材料制成的集成电路。凭借其在发明集成电路方面所取得的成就，Kilby 于 2000 年获诺贝尔物理学奖。集成电路始于美国，但现在对中国的制裁来自美国。梳理华为事件时间线，强调华为应对美国断供的坚强回应是研制出自主知识产权的超导量子芯片，鼓励学生认真学习，为实现中国梦而接力奋斗。

### 思政元素融入点

通过简易集成运放的分析计算，培养学生工程意识、系统观念、复杂电路的计算能力。

### 融入方式

介绍简易集成运放的基本分析计算方法。

### 思政元素融入点

通过集成运放使用时的注意事项，培养学生严谨认真的态度；通过雨课堂给出的问题，引导学生培养迁移思维的能力。

### 融入方式

由集成运放的外形引出集成运放使用时的注意事项和电源的接法。通过介绍其特点，给出集成运放的符号。

### 思政元素融入点

通过集成运放的结构框图的分析，传递给学生优势互补，团结合作的观点。引导学生树立正确的价值观和人生观。

通过内部电路的具体分析,引申说明复杂电路的分析方法:整体-局部-整体。强调个人和集体、小我和大我的大局观。

通过复杂电路的分析培养学生“要知其然还要知其所以然”的勇于探索精神。

利用所学知识分析复杂电路的细节问题,引导学生培养迁移思维能力。

### 融入方式

通过简易集成运放引出集成运放的结构由4部分组成,并给出每一部分的电路特点,引导学生根据之前所学知识选择符合要求的电路,培养学生“会选择”的能力。

集成运放种类很多,以BJT构成的F007为例,讲解集成运放内部电路的工作原理,培养学生“会识别”和“会计算”的能力。

通过各部分电路的分析,完成分立元件构成的电路到集成电路的转化,通过 $D_1$ 和 $D_2$ 管的工作过程体会实际应用中保护电路的作用。

(2) 中间级:主放大级,多采用共射放大电路。要求有足够的放大能力。

(3) 输出级:功率级,多采用准互补输出级。要求 $R_o$ 小,最大不失真输出电压尽可能大。

(4) 偏置电路:电流源电路,为各级放大电路设置合适的静态工作点。

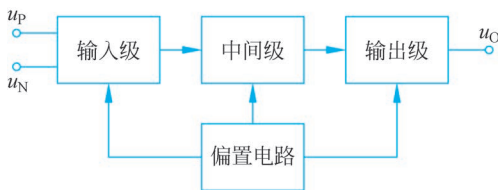


图 3-7-4 集成运放的结构框图

图 3-7-5 给出了 F007 集成运放的内部电路,其各部分对应的功能如下。

(1) 差分输入级:  $T_1 \sim T_7$ 。

(2) 中间放大级:  $T_{16} \sim T_{17}$ 。

(3) 功率输出级:  $T_{14}$ 、 $T_{15}$ 、 $T_{18}$ 、 $T_{19}$ 。

(4) 电流源偏置电路:  $T_8 \sim T_{13}$ 。

问题:同相输入端为什么与输出的瞬时相位关系是同相。

问题:  $T_{15}$  的作用是什么?

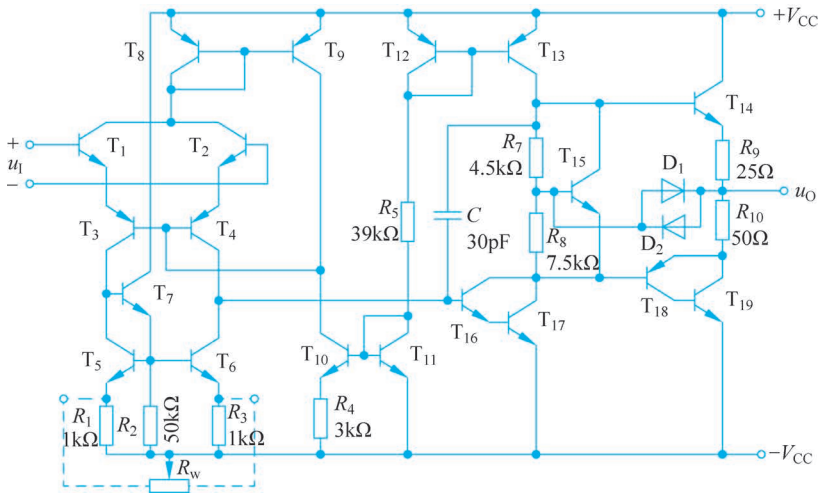


图 3-7-5 F007 集成运放的内部电路

## 5) 传输特性曲线和参数

## (1) 集成运放的工作特点。

集成运放的传输特性曲线如图 3-7-6 所示,根据输入输出信号的特点可分为线性区和非线性区。

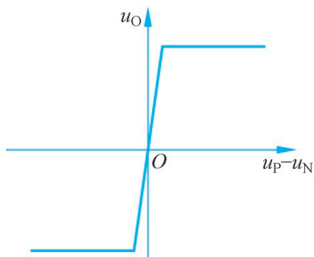


图 3-7-6 传输特性曲线

线性区： $u_O = A_{od}(u_p - u_N)$ ,  $A_{od}$  为开环差模电压放大倍数,其数值一般高达几十万,所以集成运放工作在线性区时的最大输入电压  $|u_p - u_N|$  的数值仅为几十至一百多微伏。

问题：集成运放如何才能工作在线性区？

非线性区： $|u_p - u_N|$  的数值大于某值时,集成运放的输出为某个恒定值,即  $+U_{OM}$  或者  $-U_{OM}$ 。

问题：集成运放如何才能工作在非线性区？

## (2) 主要参数。

主要参数见表 3-7-1。

表 3-7-1 主要参数表

参数含义	参数表示
开环差模增益	$A_{od}$
差模输入电阻	$r_{id}$
共模抑制比	$K_{CMR}$
输入失调电压	$U_{IO}$
温漂	$dU_{IO}/dT(^{\circ}C)$
输入失调电流	$I_{IO}$
最大共模输入电压	$U_{Icmax}$
最大差模输入电压	$U_{Idmax}$
带宽	$f_H$
转换速率	SR

## (3) 理想运放。

理想运放的技术指标取值如下：

开环差模电压增益  $A_{od} = \infty$ , 差模输入电阻  $r_{id} = \infty$ , 输出电阻  $R_o = 0$ , 共模抑制比  $K_{CMR} = \infty$ , 开环带宽  $BW = \infty$ , 失调、漂移和内部噪声为零。

## 思政元素融入点

通过传输特性曲线,培养学生全面看待问题的观点。

## 融入方式

集成运放的传输特性曲线代表了其外特性,让学生进一步理解差模信号放大倍数的概念和特点,以及运放的线性和非线性特点。

## 思政元素融入点

通过介绍集成运放的参数,引导学生具体问题具体分析的观念,没有最好只有最合适的器件。建立正确的价值观和人生观。

## 融入方式

通过运放参数的含义,理解实际运放的参数是误差的主要来源,性能和应用场合不同,运放可分为通用型和专用型。通用型运放的各项指标比较均衡,用于一般工程的要求;特殊要求,需要选用相应的专业运放。

## 思政元素融入点

通过理想运放的引出,培养学生工程思维,体会哲学思想“抓住主要矛盾,忽略次要矛盾”。

### 融入方式

实际运放的技术指标与理想运放比较接近,因此,用理想运放代替实际运放进行分析计算所产生的误差并不大,在工程计算中是允许的,由此带来了分析的大大简化。

### 思政元素融入点

通过集成运放在实际工程中的应用说明集成运放的工作特性,进一步引申说明看事情要具体问题具体分析,根据需求选择相应的电路。要有科学辩证的观点,理解内因和外因的辩证关系,引出人生启示,决定人生的关键在于内因,要不断深化自身的内在能力,学会利用和调节外部环境,实现自身理想,充分发挥自身价值。

### 融入方式

以两个工程案例为例,说明集成运放在实际工程中的线性应用和非线性应用。

线性应用:立体声音响放大器,利用集成运放实现小信号放大。

非线性应用:报警电路,利用运放非线性区的输出只有两种值,对应报警和不报警两种状态。

线性应用和非线性应用都需要相应的外围电路满足条件,才能达到设计的目标。运放内部电路的性能指标是内因,外围电路属于外因,两者都具备才能达到电路的效果。

问题:电路分析中把实际运放看成理想运放的意义?

### 6) 工程应用

#### (1) 立体声音响放大器。

如图 3-7-7 所示,放大器由前置放大器、功率放大器、电源、立体声插头、扬声器等构成。声音信号从 MP3 播放器(或手机)输出,通过立体声插头的连接,首先进入前置放大器进行电压放大,然后再进入功率放大器进行功率放大后进入扬声器还原出声音。其中前置放大器由集成运放构成,利用的是集成运放的线性特点。

#### (2) 温度报警电路。

温度报警电路如图 3-7-8 所示,当被测温度达到测量上限值时,可通过 LED 或蜂鸣器实现声(光)报警。其中比较放大电路部分由集成运放构成,利用的是集成运放的非线性特点。

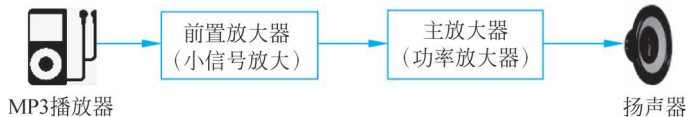


图 3-7-7 立体声音响放大器

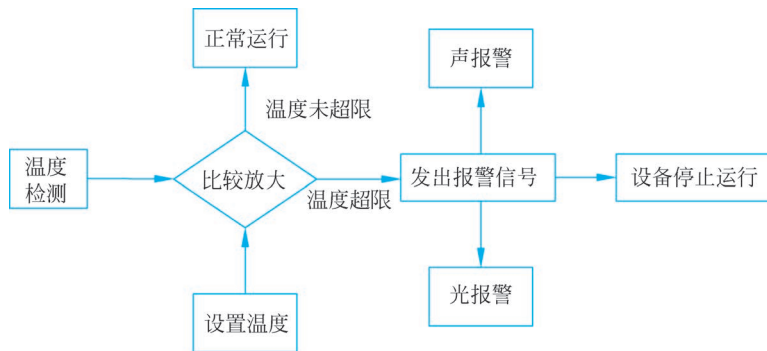


图 3-7-8 温度报警电路

### 3.7.3 教学效果及反思

集成运放的内部电路很复杂,学生对其工作原理的理解有难度,但是典型的 F007 的内部电路是由模电课程前半部分的各单元电路构成,相当于一个综合提高电路。虽然枯燥难懂,但是将课程思政贯穿课堂全过程,体现了“授人以鱼,不如授人以渔”的教学理念,将思政元素润物无声地融入课堂教学中,以一种无形的力量提升学生的精气神,并使学生能体会到克服困难后的成就感。

本次教学,不仅让学生学到集成运放的相关知识,还培养了学生分析复杂问题的能力和迁移思维,传递了科学的思维方法。在教学过程中融入思政元素,让学生知道在专业知识中蕴含着哲学思想、辩证法和方法论。利用国产芯片在封锁中求发展的素材,增强学生的民族自豪感、创新意识和使命担当。因此,本次课实现了课堂上教师和学生知识、情感和价值方面的共鸣,达到了本次课的教学目标。

对于工程应用部分,如果能利用仿真软件把实现的结果展示给学生看,印象会更深刻,教学效果会更好。

## 3.8 比例运算电路<sup>①</sup>

### 3.8.1 案例简介与教学目标

本部分内容处于整门课程的后半部分,主要介绍集成运放工作在线性区的特点、集成运放电路分析的基本出发点、比例运算电路的工作原理、分析计算方法、比例运算电路的仿真模拟等。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 掌握“虚短”“虚断”“虚地”的概念。
- (2) 掌握集成运放电路的组成原理及分析方法。
- (3) 掌握同相、反相比例运算电路的分析方法。
- (4) 了解比例运算电路的仿真模拟方法。

#### 2. 能力培养层面

- (1) 培养学生辩证分析能力。
- (2) 培养学生仿真实验能力。

#### 3. 价值塑造层面

- (1) 培养学生科学思维。
- (2) 培养学生辩证的处理问题能力。

<sup>①</sup> 完成人:烟台大学,孙元平、王中训。

## 3.8.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本部分内容按照实例引入、知识逐层展开、重要概念讲解、仿真演示加深理解、实际应用加强认知进行教学设计,并在理想集成运放工作在线性区、研究的问题及要求、反相输入的比例运算电路、T形反馈网络反相比例运算电路、同相输入的比例运算电路、电压跟随器及比例运算电路的仿真等部分融入思政元素。

#### 思政元素融入点

集成运放的差模电压放大倍数:集成运放差模输入电压  $u_{id} = u_P - u_N$  仅在  $\mu\text{V}$  量级,输出电压最大值为十几到几十伏,  $A_{od}$  约为  $10^5$  的量级。因此可认为理想集成运放的  $A_{od} = \infty, u_{id} = 0$

#### 融入方式

对集成运放的差模输入与输出电压的大小比较,引导学生进行大小之辩。进而引申出在分析处理电路时,应该抓住问题的主要因素,合理地对次要因素进行忽略。

#### 思政元素融入点

由前面章节中对电路的分析主要集中在求解电压放大倍数,引申到运算电路研究问题的变化。

#### 融入方式

通过“万变不离其宗”向学生表明,运算关系式是放大倍数的另外一种表现形式,且其结果随着电路的变化呈现多样性的变化。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

1) 理想集成运放工作在线性区

电路的一般接法如图 3-8-1 所示,电路有如下特点。

(1) 差模电压放大倍数  $A_{od} = \infty$ 。

$$u_N = u_P \cdots \cdots \text{虚短}$$

(2) 差模输入电阻:  $r_{id} = \infty$ 。

$$i_N = i_P = 0 \cdots \cdots \text{虚断}$$

(3) 电路特征: 引入电压负反馈。

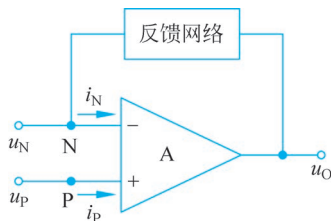


图 3-8-1 电路的一般接法

2) 研究的问题及要求

(1) 运算电路: 输出电压是输入电压某种运算的结果。包括加、减、乘、除、乘方、开方、积分、微分、对数、指数等。

(2) 描述方法:  $u_O = f(u_1)$ 。

(3) 分析方法: “虚短”“虚断”。

(4) 基本要求: 识别电路,求解运算关系式。

3) 反相输入的比例运算电路

电路如图 3-8-2 所示,当集成运放为理想运放时,各参数取值如下。

(1) 虚短:  $u_N = u_P = 0 \cdots \cdots$  虚地。

(2) 虚断:  $i_N = i_P = 0$ 。

(3) 节点 N 处的电流:  $i_F = i_R = \frac{u_1}{R}$ 。

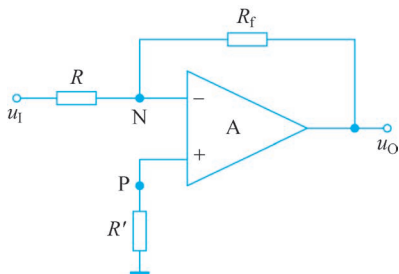


图 3-8-2 反相输入的比例运算电路

(4) 运算关系:  $u_O = -i_F R_f = -\frac{R_f}{R} \cdot u_I$ 。

讨论:

- ① 电路引入的负反馈的组态;
- ② 电路的输入电阻  $R_i$ ;
- ③  $R'$  的数值;
- ④ 若  $R_i = 100\text{k}\Omega$ , 比例系数为  $-100$ , 则  $R$  和  $R_f$  的取值;
- ⑤ 讨论  $R_f$  的取值过大对输出信号的影响。

4) T 型反馈网络反比例运算电路

(1) 如图 3-8-3 所示, 可利用  $R_4$  中有较大电流来获得较大数值的比例系数。

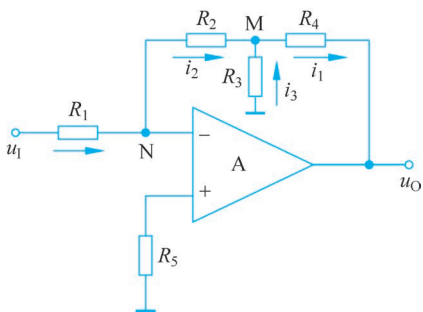


图 3-8-3 T 型反馈网络反比例运算电路

(2) 若  $R_i = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = R_4 = 100\text{k}\Omega$ , 比例系数为  $-100$ , 计算  $R_1$ 、 $R_3$  的取值。

5) 同相输入的比例运算电路

电路如图 3-8-4 所示, 当集成运放为理想运放时, 各参数取值如下。

- (1) 虚断:  $i_N = i_P = 0 \Rightarrow u_P = u_I$ 。
- (2) 虚短:  $u_N = u_P = u_I$ 。

### 思政元素融入点

从“虚断”的定义可知  $i_P = 0$ , 从而得出  $u_P = 0$ ; 进而利用“虚短”得出虚地的概念, 引导学生加深对“虚短”这一概念的理解。

### 融入方式

通过逐步深入地讲解运算关系式的求解过程, 向学生宣讲基础的重要性, 让学生明白: 再高大的建筑物, 基础不牢固也只能是空中楼阁。

### 思政元素融入点

从电路中的大反馈电阻  $R_f$  会带来大的噪声, 引出实用电路中需要综合考虑各元器件参数的选取。

### 融入方式

“牵一发而动全身”, 生活中的事情应该从全局出发而进行综合考量, 在电路设计中也是如此。

### 思政元素融入点

与反相输入的比例运算电路对比, 确定节点电流法在求解运算关系上的应用。

### 融入方式

通过比例运算电路让学生明白“节点电流法”在分析运算电路中的基础作用, 再次强调基础的重要性。

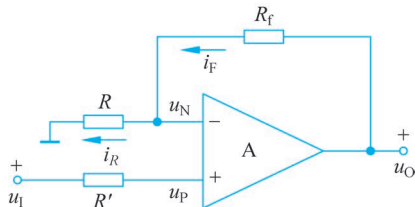


图 3-8-4 同相输入的比例运算电路

(3) 节点 N 处的电流:  $i_F = i_R = \frac{u_1}{R}$ 。

(4) 运算关系:

$$u_O = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot u_N = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot u_1$$

讨论:

- ① 电路引入的负反馈的组态;
- ② 电路的输入电阻  $R_i$ ;
- ③  $R'$  的数值;
- ④ 共模抑制比  $K_{CMR}$  的影响。

#### 思政元素融入点

从同相输入的比例运算电路引出其特例——电压跟随器的电路。

#### 融入方式

这里的例子是从共性问题向个性问题的转换,引导学生在关注普遍现象的同时,对其中具有代表性作用的个性电路进行关注。

#### 6) 电压跟随器

两种电压跟随器的电路如图 3-8-5 所示,当集成运放为理想运放时,分析电路的反馈系数  $F$ ; 输入电阻  $R_i$  与输出电阻  $R_o$ ; 电路的共模输入信号  $u_{ic}$ 。

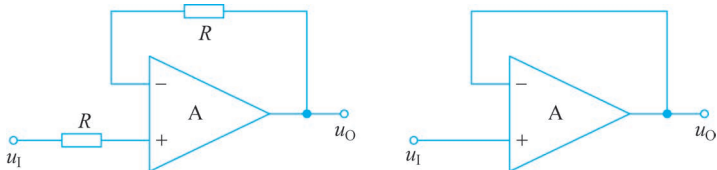


图 3-8-5 两种电压跟随器的电路

#### 思政元素融入点

通过对两种电路的模拟仿真,培养学生在电路设计中多方位考量电路参数的能力,并可以通过仿真提升电路设计能力。

#### 融入方式

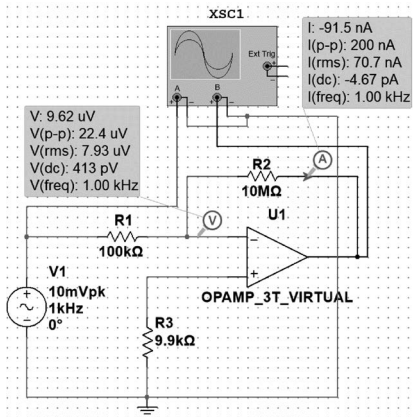
不同的电路参数选择可以实现同样的输出效果,且降低电路元件的选择难度,这是对电路合理性要求的

#### 7) 比例运算电路的仿真

(1) Multisim 中反相输入的比例运算电路如图 3-8-6 所示,其模拟输入、输出电压结果如图 3-8-7 所示。可以得出如下结论:

- ① 输入、输出电压信号反相;
- ②  $u_O = 10u_1$ 。

(2) Multisim 中 T 型反馈网络反相输入的比例运算电路如图 3-8-8 所示,其模拟输入、输出电压结果如图 3-8-9 所示。可以得出如下结论:



直观体现。条条大路通罗马，在电路设计中应该全面考量设计所需达到的最终目标，再进行元器件参数的选择。

图 3-8-6 Multisim 中反相输入的比例运算电路

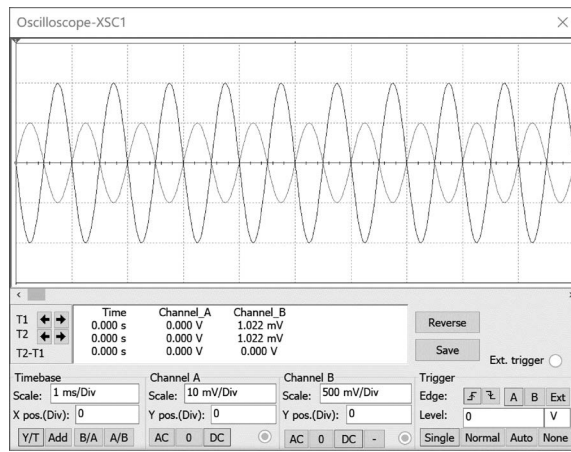


图 3-8-7 图 3-8-6 的模拟结果

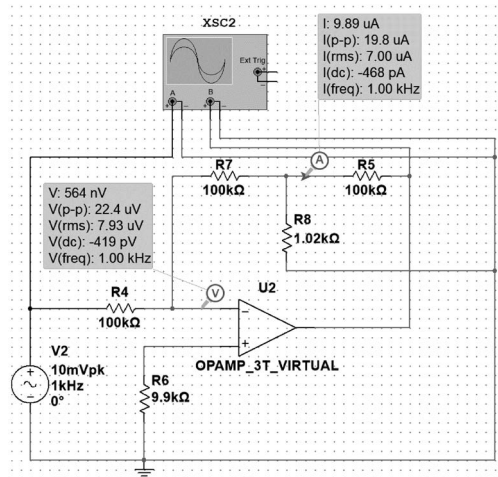


图 3-8-8 Multisim 中 T 型反馈网络反相输入的比例运算电路

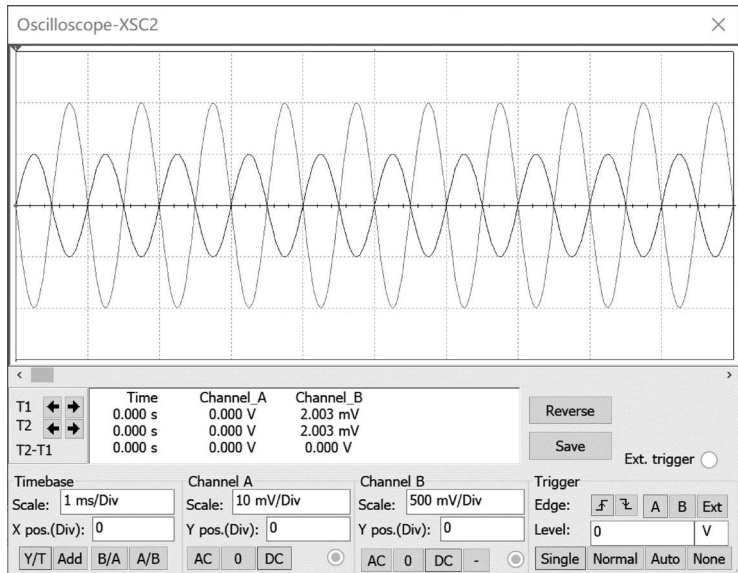


图 3-8-9 图 3-8-8 的模拟结果

- ① 输入、输出电压信号反相；
- ②  $u_o = 10u_i$ ；
- ③ 所有电阻均小于  $100\text{k}\Omega$ 。

(3) 在相同输入信号的条件下,两个电路的模拟结果如图 3-8-10 所示。可以看出,其输出电压相位相同,大小相等。

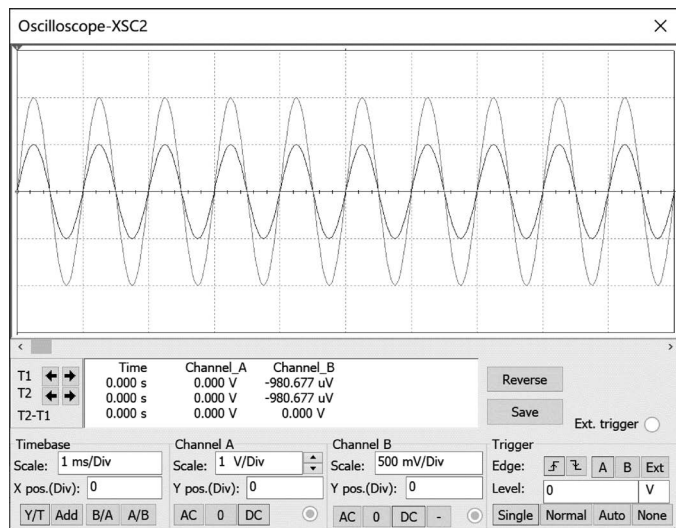


图 3-8-10 相同输入信号下两个电路的模拟结果

### 3.8.3 教学效果及反思

本次教学,可以让学生掌握处理集成运放问题的基本方法,培养学生科学的思维方式和辩证分析问题的能力。在教学过程中引入思政元素,可以让学生明白,电路中的专业知识实际上是哲学思维的具现,借助辩证的思维进行学习,实际上是哲学上的深度提升。

## 3.9 直流稳压电源<sup>①</sup>

### 3.9.1 案例简介及教学目标

直流稳压电源的组成由多种功能电路组成,综合性比较强;整流电路是对半导体二极管的实际应用电路研究,涉及工程知识较多。本案例的教学内容为直流稳压电源的组成及单向半波整流电路,是“模拟电子技术”课程后半部分的教学内容,主要介绍直流电源的组成及各部分的功能、单向半波整流电路的工作原理及参数计算等。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

- (1) 掌握直流稳压电源的组成及各部分的作用。
- (2) 掌握单向半波整流电路的工作原理、参数计算。

#### 2. 能力培养层面

- (1) 分析和设计整流电路及选择相关元件的能力。
- (2) 考虑工程实际问题及环境、报价等各种非技术要素的能力。
- (3) 培养学生将理论知识应用于实际工程的能力。

#### 3. 价值塑造层面

- (1) 培养学生的科学思维、辩证思维方式。
- (2) 培养学生严谨的科学精神,正确的人生观、价值观和爱国主义精神。
- (3) 提高学生善于学习、终身学习的人文素养。
- (4) 增强学生不断探究、勇于创新、精益求精的工匠精神。

### 3.9.2 案例教学设计

#### 1. 教学方法

上课前一天通知学生第二天上课时携带手机等电子产品或设备的充电器,在教学过程中采用案例教学、理论联系实际、师生互动等方式潜移默化地实现思政育德目标。

授课初始以实例任务(充电器)为驱动,首先引起学生的关注和学习兴趣;随后教师仔细分析电路功能,理论联系实际,将各种相关实际问题展示给学生,让学生学习知识的同时了解与之相关的各种非技术要素,同时将思政教育融入其中;适时引入师生互动,提高学生

<sup>①</sup> 完成人:扬州大学,王莉。

学习能动性,增强师生情感,进而提高教学质量;授课中结合先修课程“高等数学”及后续“模拟电子课程设计”课程等告知学生知识的衔接与应用,引导学生学以致用。

### 思政元素融入点

案例教学使学生明白学以致用,进而培养学生不断探究、勇于创新的工匠精神。

### 融入方式

让学生拿出常用的手机充电器并查看上面的说明,请3~5个学生读出上面的内容和数据,进而引出本次课的主要内容,将理论知识与实际应用相结合。

### 思政元素融入点

(1) 让学生养成对待实验环境和设备的谨慎心态,培养学生严谨的科学精神和爱护公共财物的良好品质。

(2) 师生互动环节培养学生热爱学习并自觉主动学习的良好习惯和对学校及国家的归属感。

(3) 由知识到实际,增强学生的时代责任感、历史使命感、爱国主义思想,培养学生正确的价值观和人生观。

### 融入方式

(1) 强调直流稳压电源输入端的交流电源电压高,对人体安全存在危险性,教导学生要在用电或做实验时要小心谨慎,同时要有保护电子元器件的意识。

(2) 讲解整流、滤波功能电路时,引导学生回忆以前学过的二极管、滤波电路等知识,并请学生回答问题,适时给学生一定的引导,回答正确及时表扬,提高学生的课堂主人翁意识和学习动力,师生互动同时能增进师生感情。

(3) 通过举例的方式,将知识、实例、思政教育串联起来。比如负载变化输出电压不变(知识),实例为教师手中的华为充电器可以用在华为不同手机型号,然后引申为直流稳压电源的输出电压用在各种电子电路、电子产品、电子仪器中,教育学生努力学习、勇攀高峰、为国争光。

对稳压电源总结,“任凭风吹雨打,我自岿然不动”,希望学生在面对困难时做到迎难而上、初心不改。

### 思政元素融入点

培养学生科学辩证的思维方式与严谨的科学态度。

## 2. 详细教案

### 教学内容

#### 1) 内容导入

直流稳压电源实例:手机充电器,将交流电变成电子产品适用的直流电。

#### 2) 直流电源的组成及各部分的作用

##### (1) 直流电源作用。

直流电源是能量转换电路,将220V(或380V)/50Hz的交流电转换为直流电。

##### (2) 直流电源各部分的作用。

① 变压器:将220V/50Hz的交流电,降压变换到直流电源所需的次级低电压。

② 整流电路:将交流正弦电压转换成单一方向的脉动直流电压,主要应用二极管的单向导电特性,分为全波整流和半波整流两种。

③ 滤波电路:滤掉脉动直流电压中的交流分量,保留直流分量,使输出直流电压平滑;主要采用电抗元件如电容、电感。

④ 稳压电路:使输出电压稳定,主要满足负载变化输出电压基本不变和电网电压变化输出电压基本不变。

##### (3) 总结。

在分析直流稳压电源电路时要特别考虑的两个问题:允许电网电压波动 $\pm 10\%$ ;负载有一定的变化范围。

#### 3) 单相半波整流电路的工作原理

电路如图3-9-1所示。为分析问题简单起见,设二极管为理想二极管,变压器内阻为0。

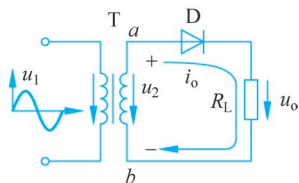


图 3-9-1 单相半波整流电路

电路分析如下。

$u_2 > 0$  时: 二极管导通, 忽略二极管正向压降,  
 $u_o = u_2$ 。

$u_2 < 0$  时: 二极管截止,  $u_o = 0$ 。

4) 单相半波整流电路电压波形

输入、输出波形及二极管的电压波形如图 3-9-2 所示。

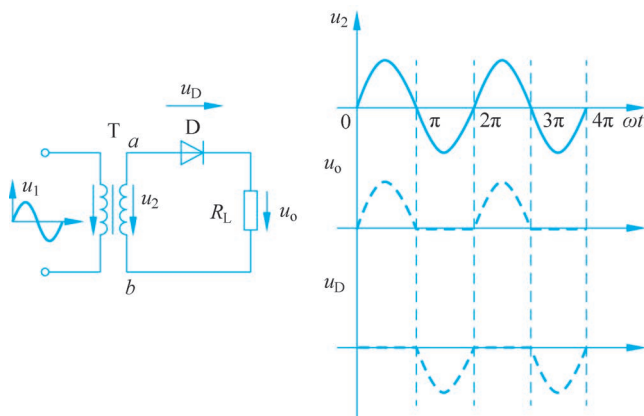


图 3-9-2 单相半波整流电路及其输入、输出波形及二极管的电压波形

5) 单相半波整流电路计算

如图 3-9-3 所示, 已知变压器副边电压有效值为  $U_2$ , 输出电压平均值  $U_{O(AV)}$  和输出电流平均值  $I_{L(AV)}$  的估算如下:

$$\begin{aligned} U_{O(AV)} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \approx 0.45 U_2 \\ I_{L(AV)} &= \frac{U_{O(AV)}}{R_L} \approx \frac{0.45 U_2}{R_L} \end{aligned}$$

### 融入方式

在半波整流电路工作原理分析中, 用二极管伏安特性图展示工程应用中近似处理方式, 引入唯物辩证法中的抓住事物的主要矛盾或矛盾的主要方面, 同时注明结果不是一成不变的, 随着环境或者需求等应用场合要随机应变, 教导学生具体问题具体分析, 同时要注重过程, 不能只看结果。

### 思政元素融入点

通过波形图的详细解析, 培养学生全面看待问题的科学思维和勤于思考、精益求精的工匠精神。

### 融入方式

在半波整流电路波形分析中, 教导学生思考问题要全面, 除了研究输出波形外, 还要关注二极管上的波形, 同时挖掘波形隐含的信息, 如告诉学生不仅关注二极管正向导通反向截止的特性, 还要考虑反向电压过高时二极管有被击穿后果, 教育学生不要只关注表面, 要多加思考, 会有更多收获。

### 思政元素融入点

告知学生知识的衔接与应用, 提高学生善于学习、终身学习的人文素养。

### 融入方式

在半波整流电路输出电压平均值计算讲解前, 先提出问题让同学们思考, 再告知学生这是高等数学知识在电子电路中的实际应用, 然后展示计算过程和结果, 讲解中让学生明白要灵活运用所学知识解决相关问题。

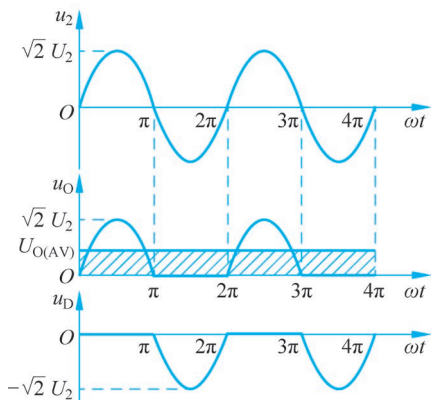


图 3-9-3 单相半波整流电路的波形图及输出电压平均值的估算

#### 思政元素融入点

非技术因素的考虑帮助培养学生的大局观意识。

#### 融入方式

在二极管选择依据讲解中,强调工程应用看需求,由需求定参数,进而选择合适的器件,同时强调除了依据参数外,还要考虑环境等非技术因素的影响。

#### 思政元素融入点

教师提出后继问题,培养学生的创新能力和科学钻研精神。

#### 融入方式

下课之前引导学生对整流电路进行总结,然后提出高阶问题,让学生思考解决。

#### 6) 单相半波整流电路二极管的选择

结合图 3-9-3,二极管正向电流  $I_{D(AV)}$  和反向最大电压  $U_{Rmax}$  如下所示。

$$I_{D(AV)} = I_{L(AV)} \approx \frac{0.45U_2}{R_L}$$

$$U_{Rmax} = \sqrt{2}U_2$$

考虑到电网电压波动范围为  $\pm 10\%$ ,二极管的极限参数应满足:

$$\begin{cases} I_F > 1.1 \times \frac{0.45U_2}{R_L} \\ U_R > 1.1\sqrt{2}U_2 \end{cases}$$

#### 7) 课堂总结

(1) 半波整流电路的工作原理、波形、计算及整流二极管的选择。

(2) 采用一个二极管可以组成半波整流电路,那么用几个二极管如何连接可以实现全波整流呢?

### 3.9.3 教学效果及反思

本次课以实例任务为驱动,首先引起学生的关注和学习兴趣;随后教师仔细分析电路功能,并将各种相关实际问题展示给学生,让学生学习知识的同时了解与之相关的各种非技术要素,同时将思政教育融入其中;课堂的师生互动有助于提高学生学习主动性和增强师生情感,进而提高教学质量;授课中还结合先修课程“高等数学”及后续课程“模拟电子课程设计”等告知学生知识的衔接与应用,教导学生学以致用。

此次授课将授课内容与家国情怀、科学精神、工匠精神、正确的价值观和人生观等思政

元素相结合,从多方角度扩展课程的广度和深度,培养学生工程思维以及攀登科学高峰的责任感和使命感。通过本次课程学习,学生可进一步将知识点与工程应用相结合,提高学生自主思考及工程应用与创新能力,在教学过程中用案例教学、理论联系实际、师生互动等方式潜移默化地实现育德目标,培养学生科学精神、工匠精神、爱国精神。

## 3.10 常用仪器的使用与共射极单管放大电路性能指标测试<sup>①</sup>

### 3.10.1 案例简介与教学目标

此部分内容是模拟电子技术实验的第一个项目,需要运用口袋实验箱及其仿真软件,雨课堂、超星学习通等智慧教学工具,将共射极单管放大电路的理论知识与实践紧密结合,涉及电路性能指标与相关参数的测试原理及测量方法。本部分的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

(1) 掌握双踪示波器的基本操作方法,掌握电信号基本参数:电压有效值/峰值、频率、周期的测量方法,掌握低频信号发生器、交流毫伏表、直流稳压电源和万用表的正确使用方法。

(2) 掌握用口袋实验箱对电路的技术指标进行仿真分析的方法。

(3) 通过对分压式偏置共射极单管放大电路 PCB 的调测,掌握放大电路的静态工作点的测量和调整方法、放大倍数的测量方法、观察输入电压和输出电压之间的相位关系、观察不同静态工作点对输出波形的影响。

(4) 通过对分压式偏置共射极单管放大电路的实际安装和调测,掌握放大电路的输入电阻与输出电阻的测量方法、放大器幅频特性的测量方法,并能查找和排除电路中的常见故障。

#### 2. 能力培养层面

(1) 提升学生阅读仪器说明书的能力、仪器仪表操作能力和实验参量的观测能力。

(2) 增强学生对实际元器件识别、电路搭建、理论值计算、故障识别与排除能力。

(3) 规范实验报告的撰写,提高学生实验测试数据的分析能力,并能得出合理结论。

#### 3. 价值塑造层面

(1) 将实验电路的理论知识与实践紧密结合,践行知行统一的科学发展观。

(2) 培养学生科学的实验思维方式。

(3) 借助智慧教学工具,以多元化的学习路径,提升学生在实验中的能动性、参与度和学习兴趣,体现个体化差异,提升数字化胜任力。

(4) 根据实验内容分层次的引导,从无故障实验电路入手到自行搭建电路、排故、测试,提升学生科学的认知观,支撑认知过程。

<sup>①</sup> 完成人:江苏理工学院,高倩。

## 3.10.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

首先由常用仪器的仿真实验和实物实验,加深学生对实验仪器的认识,为进行电路实物实验打下基础。再由实验预测题引导学生一步一步熟悉实验电路和参数测试方式,熟练常用仪器的使用,熟悉无故障共射放大电路的印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)的参数测试方法,提升学生对共射放大电路参数、特性的认知,为进行自行搭建的共射放大电路参数测试做好准备,提高电路参数测试完成率。最后由预习题中增加的有关故障分析的题目,提升学生对电路故障的识别、分析、排除的思考,并将理论分析和实际电路相结合,根据推送的“故障排除情况说明”学会排除简单电路故障;同时,加深学生对放大电路参数的实验测试方法的理解。借助智慧教学工具——雨课堂与超星学习通,通过网络平台实现课程全程环节的闭环操作,更好地促进师生互动。

本实验在两次课和3个内容的预习测试、仿真实验、实际操作和实验报告4部分中融入思政元素。

#### 思政元素融入点

将难度分层,循序渐进,提升学生的参与度和学习兴趣,促进个性化发展。

培养学生的数字思维,拥有数字素养,提升数字化胜任力。

#### 融入方式

(1) 教师对实验仪器认识进行合理的引导,增加雨课堂形式的实验预测题,打破理论知识储备和电路实操之间的“壁垒”。

(2) 教师对典型模拟电路搭建进行合理引导,如实验预测题(填空题形式)中加入实际元器件的识别、电路结构的理解、理论值计算过程的翔实表述。

#### 思政元素融入点

合理使用多种智慧教学工具,促进数字化与课堂融合,找到数字化课堂的育人逻辑,做好学生学习的陪伴者和未来引路人角色。

#### 融入方式

增加学生对常用仪器使用的熟练度。学生仿照样例用口袋实验箱进行低频信号发生器、直流稳压电源、双踪示波器、万用表的仿真实验,并上传仿真实验照片到雨课堂上发布的“常用仪器的使用”预习题(主观题形式)。

### 2. 详细教案(第一次课的实验实施进程)

#### 教学内容

##### 1) 预习

(1) 预习1: 常用仪器的选用。

实验预测题(填空题形式)中加入实验仪器仪表选用、理论值计算、实验注意事项等环节,引导学生一步一步熟悉实验电路和参数测试方式,提醒实验电路共地问题、仪器仪表使用注意事项等。

学生回答雨课堂上发布的“常用仪器的使用”预习题,雨课堂系统自行批改。

(2) 预习2: 理论分析计算。

结合理论知识,根据分压式偏置共射极单管放大电路参数进行静态工作点、电压放大倍数的理论值计算。

学生回答雨课堂上发布的“共射极单管放大电路(一)”预习题,雨课堂系统自行批改。

##### 2) 仿真实验

超星学习通上发布口袋实验箱及其仿真软件的使用方法;雨课堂上发布低频信号发生器、直流稳压电源、双踪示波器、万用表的仿真实验样例。

教师通过实验QQ群与学生互动、答疑,课前手动批改预习题。

### 3) 实际操作

#### (1) 5种常用仪器的使用。

学生在实验室用低频信号发生器产生一定频率和电压大小的信号,用毫伏表测量信号电压的有效值,用示波器测量信号的峰值和信号周期,用直流稳压电源输出直流电压,用万用表测量电压、电流。

(2) 常用仪器使用与分压式偏置共射极单管放大电路的 PCB(图 3-10-1)参数测试相结合。

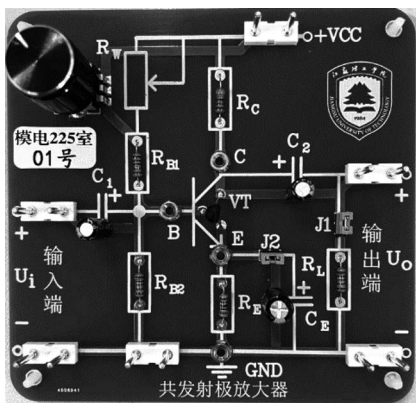


图 3-10-1 实验电路

### 4) 实验报告

对常用仪器使用的数据进行分析;画出实验电路图,并标出电压、电流参考方向,整理实验数据,比较理论值和测量值,并加以分析,给出合理的结论。

第二次课的实验实施进程与第一次课相似,只是在预习测试、仿真实验、实际操作环节中都增添了对查找、排除电路故障问题的思考,并在超星学习通上发布分压式偏置共射极单管放大电路的故障排除情况说明表格(内容包括故障现象、可能存在原因和判断选用哪种仪器测试),以提升学生对电路故障的识别、分析、排除能力,初步掌握反思的方法和技能,培养批判性思维,从而发现、分析和解决实验问题。

## 3.10.3 教学效果及反思

本次实验课程内容遵循“教为主导,学为主体”的设计原则,借助智慧教学工具,创造全

### 思政元素融入点

培养遵守实验室章程、维护卫生、规范操作的意识,养成良好的实验习惯;端正实验态度,培养实事求是、严谨认真、诚实守信的科学精神和行为习惯;公平公正的评分方式提升学生做实验的积极性和信心,对为人处世态度的养成有正面的影响。

### 融入方式

教师根据完成的实验节点进行现场评分,观察学生在项目中的表现,对学生起一定的督促作用,提高实验效率。

### 思政元素融入点

将实验电路的理论知识与实践紧密结合,践行知行统一的科学发展观。遵从认知规律,通过对无故障电路参数、特性的认知,提升和支撑学生有效的认知过程,有助于后续自行搭建电路的故障排除和其他参数测试。从实验步骤、实验表格的设计,体会方法论的概念。

### 融入方式

提高学生常用仪器使用的熟练度(特别是接地问题),并熟悉无故障电路的基本参数测试,为后续自行搭建电路的故障排除打下基础。

学生在实验室用常用仪器调整和测量分压式偏置共射极单管放大电路 PCB 的静态工作点,测量电压放大倍数,观察输入电压和输出电压之间的相位关系,观察不同静态工作点对输出波形的影响。

### 思政元素融入点

引导学生多维度探索问题,深入理解问题,培养科学的实验思维方式,提升对比、分析、归纳、总结能力,构建自己的认知,阐述自己的理解,不仅注重学习过程中的输入,更强调学习过程中的产出。

### 融入方式

根据 QQ 群中教师对每次实验数据的分析、表格结论的得出给予的合理引导,学生撰写实验报告。

新学习体验。学生通过回答雨课堂上发布的预习题(填空题形式),思考实验电路结构、元器件识别、实验仪器选用、电路理论值计算、实验注意事项等;学习口袋实验箱仿真软件的使用方法,完成仿真部分电路的搭建和参数测试,并上传到雨课堂上发布的预习题(主观题形式);在实验室通过共射极单管放大电路的 PCB,熟练使用常用仪器,熟悉无故障电路的静态工作点、电压放大波形及放大倍数,并观察输入和输出电压的相位关系;在实验室用口袋实验箱搭建共射极单管放大电路,完成各参数测试,并学习电路故障的查找和排除方法;撰写实验报告,分析数据,给出合理的结论。

通过在教学过程中融入课程思政元素,将唯物主义方法论与电学实验方法、手段相结合。构建多样化的课程学习途径,设计饱满的学习过程,激发学生的学习内动力,逐层引导。在过程中识别学习状态,评价学习过程,让学生在掌握电学基本知识的同时,学思结合、知行统一,提升数字化学习的能力,更专业,更有扩展空间,更有创造力。同时,养成严谨细致、实事求是、精益求精、刻苦钻研的科学态度和工作作风,将电学实验方法的训练和科学精神、理性思维的养成相结合,点燃求知、创新和探索热情,树立正确的价值观。

学生的电路故障排除能力有待提升,在超星学习通上除了发布故障排除情况说明表格外,再增加一些典型样例图片。可在理论课上增加共射电路中一些参数的调整与选择的说明,有助于学生理解参数取值的折中之美和工程实际中的利弊关系,在应用中加深对知识的理解,甚至重构知识本身,开阔自身的科学视野。

### 3.11 输出可调的直流稳压电源实验<sup>①</sup>

#### 3.11.1 案例简介与教学目标

本课程旨在培养学生通过动手实践,能够将直流稳压电源相关理论知识转化为实际的应用。学习本次课能够促进学生理解单向半波和桥式整流电路的基本形式和输出波形,知晓并测试两种整流电路的输入、输出电压关系;会分析、研究滤波电容大小对输出电压波形的影响;能综合运用桥式整流、滤波、三端集成稳压器、运算放大器(常简称“运放”)等器件,设计与完成实现输出可调的直流稳压电源。本次课的教学目标如下。

##### 1. 知识传授层面

- (1) 通过查阅科技文献,充分了解交流电、直流电的优缺点。
- (2) 能灵活使用数字万用表、数字示波器对整流、滤波电路进行合理的测试。
- (3) 通过实验,能用直流稳压电源基本理论知识进行电路的综合应用。

##### 2. 能力培养层面

(1) 培养学生对二极管、三端集成稳压器器件的识别,能对集成运放进行器件选型,提高学生综合设计电路的能力。

(2) 培养学生使用计算机进行电路仿真的能力,锻炼学生运用理论知识对实际电路进行分析测试的能力。

<sup>①</sup> 完成人:中国计量大学,吴霞。

(3) 提升学生电路调试、故障诊断及解决实际复杂问题的能力。

### 3. 价值塑造层面

- (1) 使学生树立正确的世界观、人生观、价值观。
- (2) 培养学生求真务实、踏实严谨的工作作风。
- (3) 培养学生的历史责任感以及科技强国的情怀。

## 3.11.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

本实验课采取线上与线下相结合的混合式实验教学方式。以学生自主学习为主,利用中国大学 MOOC 平台学习“电路与电子技术实验”在线课程,以线下实验教学为主,培养学生运用电路理论进行电路设计、仿真,实现完成相应电路设计任务指标的全过程,培养学生的实验技能与工程实践能力。同时在线课程加入学习园地-科学家小传介绍、思政案例小视频;结合线下实验课堂教学过程,在教学内容里融入思政元素。

(1) 线上预习实验与仿真。学生通过平台在线课程实验内容微课视频的学习,进行实验前的充分准备;通过平台在线实验前的自测题,检测学生实验前的预习效果与学习效率;同时课前对实验任务进行电路仿真,对电路实验结果有正确的预判。

(2) 线下课堂实验。开展基于实验项目的线下实验学习,培养学生解决复杂问题的综合应用能力。

(3) 线上讨论与课后检测。师生进行交流互动与自查。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

#### 1) 实验前线上实验的预习

学生利用课外时间,登录到中国大学 MOOC 平台,注册进入“电路与电子技术实验”课程,进行实验前的实验准备,包括预习提示、实验课件 PPT、实验视频、学习园地、思政案例学习,最后完成实验前的课前测试。

#### 2) 实验前的电路仿真

要求每位学生用 Multisim 电路仿真设计一个具有桥式整流、电容滤波环节,并用三端集成稳压器 7815、集成运放  $\mu\text{A}741$  构成输出电压可调的直流稳压电源装置,电压调节范围为 15~20V。

#### 3) 课前布置课堂讨论题

以 5~6 人为一个小组,通过查阅

#### 思政元素融入点

在实验过程中,要求学生遵守学术诚信。

#### 融入方式

在实验概论课中,对学生提出在整个实验教学过程中,需要遵守学术诚信,自主完成在线测验,保证在线实验预习成绩真实有效、不允许抄写实验数据、抄袭实验报告等。

#### 思政元素融入点

要有辩证的观点。从科学发展观的角度看待事物问题,培养学生辩证的思维。

#### 融入方式

教师课前布置讨论题,让学生查阅科技文献,充分了解交流电、直流电发展的历史,对比二者的优缺点。介绍直流电的回归事例,让学生明白一个道理:事物的发展不是绝对的,不是一成不变的。科学技术是不断发展变化的,要会用科学发展观的思想分析科学技术的发展变化。

科技文献,提交一份《交流电与直流电,到底谁更好?》的文献小报告。

### 思政元素融入点

结合本次课的实验内容,教师讲述历史上交直流大战的事例。19世纪90年代,发生了著名的交流电与直流电之战,使得两大电力巨头卷入了这场“电流大战”。

### 融入方式

通过播放视频,展示爱迪生和乔治·威斯汀豪斯及爱迪生和特斯拉之间的直流电与交流电之间的竞争。爱迪生用交流电电死了大象宣传交流电的危险。但这并没有影响到特斯拉想推广更为廉价且高效的电能梦想。交流电最终占据了主导地位。科学技术是发展变化的,如今在远距离输电过程中,人们又引入了高压直流输送技术。从这个故事引发学生开展课堂的讨论。

(1) 在交流电和直流电的纷争中,为什么爱迪生会输给特斯拉?

(2) 特斯拉为什么放弃交流电的专利?

(3) 直流电与交流电两者各有什么特点?

### 4) 线下实验课堂

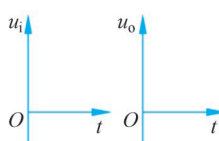
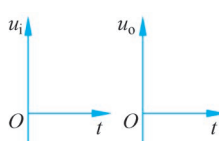
(1) 首先针对教学内容,教师介绍直流电源的发展历史、介绍历史上的交直流大战的故事。

(2) 课堂开展翻转课堂讨论。针对实验任务,教师有针对性地提出实验问题,供学生进行课堂讨论,教师进行点评提示。

(3) 根据任务指标,学生各自完成实验任务。

① 用电源变压器、整流二极管分别设计完成半波、桥式全波整流电路。用数字示波器分别观测半波、桥式全波整流电路输出接负载  $R_L = 1\text{k}\Omega$  时的输入、输出电压波形,并将波形和测量电路的输入、输出电压有效值记录于表 3-11-1 中,得出半波与桥式全波整流的输入、输出电压关系表达式。

表 3-11-1 半波、桥式全波整流电路测量数据

电路类型	测试点	测量值(V)	理论值(V)	波 形
半波整流电路	$U_i$		/	
	$U_o$			
桥式全波整流电路	$U_i$		/	
	$U_o$			

② 在上述桥式全波整流电路的基础上,分别选用

$10\mu\text{F}$ 、 $330\mu\text{F}$  电容在负载电阻  $R_L = 1\text{k}\Omega$  的情况下设计电路图,用数字示波器观测电容滤波效果,请参照表 3-11-1 自行设计表格,记录输入、输出电压有效值及绘制观测的波形图。

③ 在实验室用桥式整流、电容滤波环节、三端稳压器 7815、集成运放  $\mu\text{A}741$  构成的直流稳压电源(15~20V),其输出电压可调电路如图 3-11-1 所示,根据输出电压范围,请设计电阻  $R_1$  与  $R_2$  阻值参数,并自行设计表格,测试电路各个环节的关键点。

### 思政元素融入点

了解直流电源发展史。科学是第一生产力、科学要有创新精神。

### 5) 课后开展线上讨论

线上讨论直流电源发展史(图 3-11-2),引发学生深度思考,了解当今我国直流电源的发展技术。

教师发布线上讨论题。

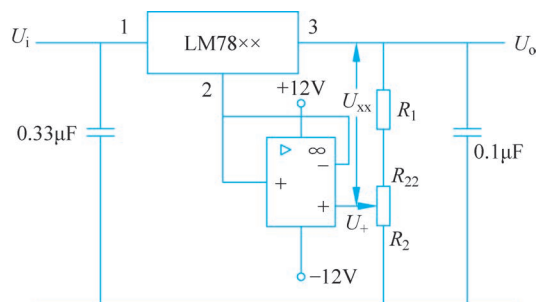


图 3-11-1 输出电压可调的直流稳压电源电路

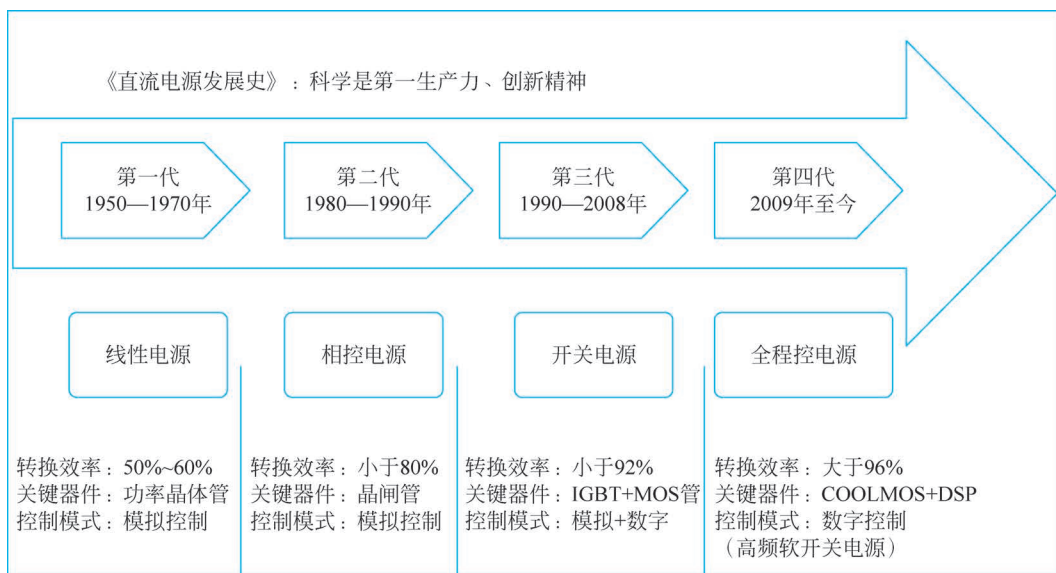


图 3-11-2 直流电源发展史

(1) 交流电与直流电哪一个更好?

(2) 为什么交流电在过去能够所向披靡? 而今随着科学技术的发展, 为什么直流电又会回归呢? 直流电为什么又会得到进一步的推广与应用呢?

#### 6) 工程应用

引入手机充电宝的案例。充电宝(图 3-11-3)的工作原理主要是能量存储、充电及供电, 它是一个存储电能的容器。其工作原理

#### 融入方式

我国“西电东送”战略大动脉竣工投产, 白鹤滩至江苏的±800kV 高压直流输电工程每年可输送清洁电能超 300 亿 kW·h; 准东—皖南的±1100kV 高压直流输电工程能同时点亮 4 亿盏 30W 的电灯。从上述事例引导学生要自强不息、勇攀科学高峰, 要有创新精神。大国必要有利器, 当代大学生要拥有建设科技强国的情怀。

#### 思政元素融入点

通过实际生活中使用的充电宝爆炸案例, 进一步说明用电安全的重要性。

### 融入方式

教师线上课堂教学中,提出问题,引发学生在线讨论。

① 充电宝的工作原理是什么?

② 如何正确合理使用充电宝,避免安全隐患。

③ 充电宝爆炸的原因是什么?

通过这些线上专题讨论,提升学生用电安全意识。

是首先输入电能,找到外部电源供应预先为内置的电池充电,即先以化学能的形式预先存储起来;当需要给手机供电时,由充电宝输出端供给手机充电;由电池提供能量产生电能,用电压转换器(直流-直流转换器)转换至手机所需的电压。

然而,有少数的不法商人为了节省成本,使用质量较差的充电宝电路板,甚至电路中缺少电压调节的功能,存在爆炸风险。在实际生活中就有充电宝突然爆炸的案例(图 3-11-4)。充电宝爆炸的原因是使用了劣质的电芯和电路板,不合格的电芯和电路板都会引发爆炸。充电宝里的填充物基本分为两种,一种是 18650 锂电池的电芯,另一种是聚合物锂电池的电芯。除了电芯质量的好坏以外,接口处的电路板更是起到控制作用,能指挥正在充电的充电宝依据已经充电的电芯电量大小来决定继续送多少电,以及送电的电压是否需要调整。



图 3-11-3 充电宝



图 3-11-4 充电宝爆炸

### 3.11.3 教学效果及反思

本次实验教学,让学生用实践的方法将所学的直流稳压电源理论转换为实际的应用,培养了学生分析问题与解决问题的综合能力。

在实验课堂中,结合教学内容,引入了历史上交流电、直流电的纷争案例,生动形象地教育了大学生要守住道德底线,做事不能有违科技伦理,从而引导大学生树立正确的世界观、价值观和人生观。同时让学生充分知晓人类社会的发展并非一帆风顺,引导学生用哲学辩证的观点看待事物发展规律。随着科学技术的发展,直流电发挥其重要的作用,从而引导学生进行更深入的探讨,科技需要创新精神,科技发展不是一成不变的。为什么交流电在过去的历史长河中能够所向披靡呢?而今,又为什么直流电会得到进一步的推广与应用呢?线上讨论我国直流输电工程,对电路实验课开展课程思政更具有现实的意义,并进一步引导学生对直流电的认识与学习;实验课堂中,向学生介绍充电宝爆炸应用案例,更贴近实际生活,引起学生的学习兴趣,更加真实地展示了用电安全性的重要性。

本实验设计的直流稳压电源是对外接负载提供输出稳定的直流工作电压。电的用途非常广泛,现代生活离不开电,人们的生活因电的存在而绚丽多彩。根据不同用途、不同场合,用户所需要的电压类型及大小也不相同。现今的远距离输电,为了减少输电损耗,提高

其经济性及环保性,采用的是直流高压输送,如我国“西电东送”以 $\pm 1100\text{kV}$ 的特高压工程累计向浙江输电突破5000亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ;而日常生活中人们使用的手机,当外出及旅行手机电量不足时,利用充电宝对锂电池进行续航。一般市面上常见的充电宝输出电压在5V左右。

## 3.12 集成运算放大电路的分析与设计<sup>①</sup>

### 3.12.1 案例简介与教学目标

集成运放是一种高增益、高输入电阻、低输出电阻的直接耦合多级放大电路。在集成运放的基础上,外接不同的反馈网络,可以组成很多基本应用电路。集成运放体积小,使用方便灵活,是应用最为广泛的一类集成电路,小到身边的手机、计算机,大到医疗设备、通信卫星、航天飞机,都使用运放进行信号的放大。

在电子技术中,从基础应用电路实现的功能来看,集成运放的应用主要分为信号运算电路和信号处理电路。信号处理电路一般包括有源滤波电路、电压比较器、精密整流电路和采样-保持电路等。

由集成运放可以构成比例、加法、减法、积分、微分、对数、指数、乘法和除法等基本运算电路,那么如何实现模拟信号的数学运算?如何判断电路是否为运算电路?又怎么分析运算电路的运算关系呢?本实验将借助仪器设备从实验的角度去解答以上问题。

本实验的主要内容是掌握集成运放的使用方法,掌握比例、加法及减法运算电路的设计和测试方法。本次实验的教学目标如下。

#### 1. 知识传授层面

(1) 掌握使用集成运放构成反相输入比例运算电路,同相输入比例运算电路,反相输入求和运算电路、减法运算电路的方法。

(2) 进一步熟悉这些基本电路的输出和输入之间的关系。

#### 2. 能力培养层面

(1) 进一步熟练各种电子仪器仪表的使用。

(2) 通过直流、交流以及交直流混合信号3种不同的输入信号,进一步提高学生分析和判断电子电路的能力。

(3) 通过查找和排除电子故障,实验探索,进一步提高学生解决工程问题的实践能力。

#### 3. 价值塑造层面

(1) 厚植核心价值:通过线上教学视频介绍集成电路的发展史,激发学生科技报国的家国情怀和使命担当。

(2) 培养自主学习能力——温故而知新、有备而来:线上聚焦工程实际,培养学生搜集、整合、分析、运用知识的能力。

<sup>①</sup> 完成人:华北电力大学,赵东、柳赞。

(3) 提升实践能力——实践出真知：通过课堂实验探究，培养学生严谨踏实、实事求是的科学作风。

(4) 开拓创新精神：通过课后拓展设计，提高学生自主学习及协作学习的能力，培养学生的创新意识和创新精神。

## 3.12.2 案例教学设计

### 1. 教学方法

采用目标导向教育理念进行实验教学设计，从实际工程问题，如指尖脉搏指示器、心电信号放大器等案例出发，引入基本运算电路的概念及工程应用。

(1) 课堂实验阶段：比例、加法、减法运算电路搭建、测试，采用自主实验及现场答疑的方式，引导学生自己发现问题、解决问题。

(2) 对运算电路进行误差分析，引导学生剖析理论设计、仿真设计及实物电路之间理论与现实的差异，采用对比及质性分析的教学方法。

(3) 实验探索环节采用研讨的方式，一起探讨、完善实验方案，将电子电路的系统概念潜移默化地传授给学生。

(4) 课后延展环节：电子电路设计采用任务驱动下结合自主学习、协作学习。

本实验在线上学习、课堂教学过程、自主发挥实践、实验成绩评定及实验报告撰写与总结等部分引入思政元素。

### 思政元素融入点

教师在课前提出时政问题，由学生自主学习，了解芯片贸易战的内容，增强学生的爱国情怀和历史使命感。通过复习实验相关知识点，学生温故知新，体会理论知识是实验的基础，能够运用理论知识来对实际电路进行分析、设计。培养学生系统化分析及解决问题的能力，培养严谨的学术作风。

### 融入方式

教师通过云实验小程序发布线上学习要求，学生查找文献资料并在小组内讨论，完成预习测验。

在已知需求情况下选择电路形式，在已知功能情况下选择元器件类型，在已知指标情况下选择元器件的参数。让学生利用辅助工具完成电路设计，做到“有备而来”。

将知识点融入具体的应用实例中，提高学生的学习兴趣。

### 2. 详细教案

#### 教学内容

1) 线上学习——聚焦实际，挖掘旧知

(1) 聚焦实际问题。

如果有一种元器件，把三极管、电阻、电容等元器件集成在一起，只要供电和外接输入信号，就能获得放大的输出信号，怎样从复杂的三极管放大器设计中解脱出来？一种叫作集成运放的元器件，完美地解决了以上问题。集成运放起初主要用于数学运算如加法、减法、积分、微分等，所以它的名字包含“运算”两个字。

学生需查找文献资料并在小组内讨论：实验提供的3种运放（TL072、TL082、LM324）有什么区别？运放采用单电源供电和双电源供电时对其性能及运算电路的结构有什么影响？

(2) 学习内容。

① 复习有关集成运放的原理及运算电路的相关知识。

② 思考输入信号为直流、交流、交直流混合信号时,运算电路的设计方案是否有区别?为什么?

③ 利用 Multisim 设计  $A_u=6$  的同相比例运算电路和  $A_u=5$  的减法运算电路,采用适当的方法测量电路增益,并将其与理论值进行对比。

④ 完成线上教学平台中本次实验的预习要求。

⑤ 在虚拟实验平台搭建电路,练习实验内容。

2) 课堂教学过程:实验探究,示证新知,应用新知

(1) 创设工程背景——导入课题。

随着现代技术的发展,越来越多的设备都具备了环境信息感知功能,这些信息通过传感器转化成微弱的电信号,这些微弱的电信号要想传递给处理器进行识别判断必须经过放大器放大到一定的幅值才能被识别。

如果把运放的内容用枯燥的公式和一个个脱离工程背景的电路来介绍,就无法深入了解运放五彩缤纷的世界。因此引入一个鲜活的工程案例——心率测量,如图 3-12-1 所示。运放如何在心率测量这个实际问题中派上用场?如果问:如何知道心脏是否在跳动,大部分同学都能回答出:趴在胸口听、用手把脉、触摸颈动脉……那么心脏跳动的频率又如何由电路来测量呢?可以采用指尖脉搏测试仪来实现。

指尖脉搏测试仪如图 3-12-2 所示,其原理为在指甲的一侧放置发光二极管作为光源,在另一侧放置一个光敏电阻,当穿过指尖的光线受毛细血管的血液体积变化影响时,光敏电阻的输出信号会产生微小的变化,这时只需要经过放大器放大,就能看到指尖脉搏。

分立元件三极管、场效应管构成放大电路能够实现微小信号的放大,但其电路结构复杂,还会因环境温度、电源电压等外界因素的变化,增益、带宽发生漂移。鉴于以上因素,在工程应用中首选由集成运放构成的运算电路,来达到放大微小信号的目的。

(2) 实验教学过程——实证新知。

① 元器件介绍:介绍实验室提供的集成运放 TL082、LM324 在使用时的注意事项。

② 任务分配:按照输入信号的类别(直流信号、正弦交流信号、交直流混合信号)将同学们分为 3 组,分别进行实验电路的搭建、测试及误差分析。

### 思政元素融入点

在课堂教学中充分发挥育人的主渠道、主阵地作用,通过工程案例分析,做到价值引领、知识传授、能力培养有机统一,引导学生探索未知、追求真理的责任感,同时强化工程伦理教育。

### 融入方式

#### 抛砖引玉

会看:将知识点融入具体的应用实例中,学会从工程问题出发发现问题、分析问题和解决问题。

采用先实验后讨论的策略,让学生掌握根据设计任务进行仪器选用、电路调试、误差分析、故障诊断,旨在达到会调、会测的目的。

由于输入信号的不同,实验要用到的仪器和测试方法不同。通过研讨的方式不断深入探索运算电路的功能,引导学生在思考中完善知识体系,提升知识的应用能力,旨在让学生达到会用的目的。同时将电子电路的系统概念潜移默化地传授给学生。



图 3-12-1 指尖脉搏测试

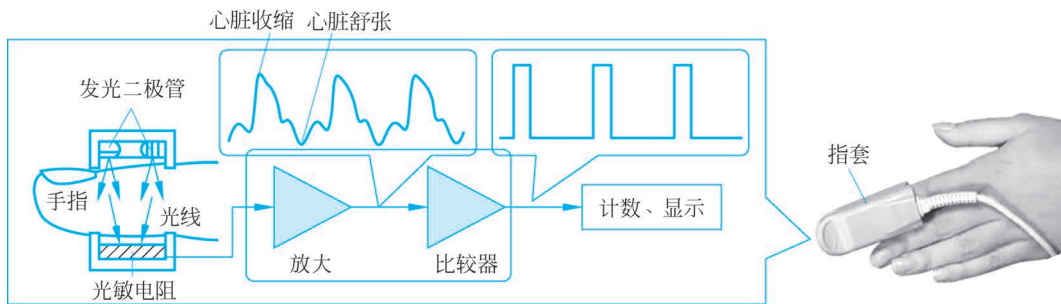


图 3-12-2 指尖脉搏测试仪

③ 实验指导：引导学生根据输入信号的不同及时调整设计方案、选用正确的仪器完成实验；对于实验过程中有问题的同学，要引导学生自己寻找解决问题的办法。

(3) 实验探索环节——应用新知。

物理实验中曾用过静电检测器，把丝绸摩擦过的玻璃棒或皮毛摩擦过的橡胶棒靠近验电器的金属球，验电器的金属箔会张开。如何利用运放设计电路实现这一功能？

让同学们结合理论所学知识以及本实验的内容，分组讨论，给出设计方案。并与同学们一起探讨参考方案(如图 3-12-3 所示)的优缺点。

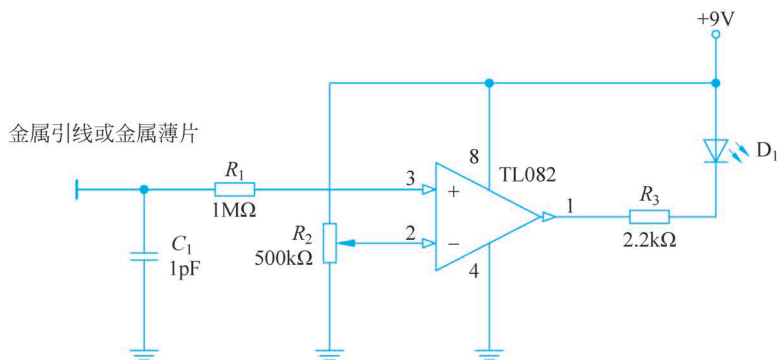


图 3-12-3 静电检测器(参考方案一)

(4) 课堂总结——落实重点。

① 不同运算电路分别具有什么特点？

② 在反相求和电路中,集成运放的反相输入端是如何形成虚地的?该电路属于何种反馈类型?

③ 输入信号对运算电路性能有什么影响?是否所有的信号都可以被线性放大?

④ 如何得到运放的电压传输特性曲线?

### 3) 自主发挥实践环节

对学有余力的学生,可为其提供口袋实验平台,如图 3-12-4 所示,增强学生的创新意识和自主研究能力。让学生尝试在课下研究完成如下任务。

(1) 利用集成运放及其他常用电子元器件设计一个变声器电路或运放混音器。

(2) 利用 Multisim 软件或虚拟实验平台线上完成设计任务,或者到实验室利用面包板完成实验电路。



图 3-12-4 口袋实验平台

### 4) 实验成绩评定

实验成绩的评定是对学生学习情况的一个评价,实践课程的特殊性要求评价标准要对学生的能力进行多方位评价。成绩评定结合每个项目完成过程中的实验操作、实验素养、实验报告、团队合作、项目创新等内容进行,从“结果视角”转向“过程视角”、从“容易测量的数据”到“不易测量的能力”再到“难以测量的素质”、从一维的考试测验转向多维的综合评价。引导学生注重平时学习过程,增强学生主体意识,培养学生脚踏实地的作风和严谨的科学态度。

课程总成绩(100分)由课堂表现能力(10分)、7个分组实验表现(35分)和1个独立考试实验表现(55分)组成。

每个实验评价包括在线学习测验(20%)、实验过程客观评价(60%)、实验过程主观评价(10%)和学生总结反馈(10%)。

### 思政元素融入点

鼓励学生积极尝试、勇于探索,增强学生的创新意识,培养学生的创新思维和创新能力。

### 融入方式

学生在自主研究的过程中培养勤奋、自觉的学习态度,以及创新能力。通过交流讨论开阔视野、拓展思路。

### 思政元素融入点

学生对实验电路进行仿真与实物测试的过程在锻炼学生对实验结果的分析能力的同时,增强学生对实验过程和团队协作的重视。在整个实验过程中严格要求,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

### 融入方式

实验过程要求学生独立规范操作,认真观察实验现象,如实记录实验数据,出现问题认真思考,努力解决,培养学生实事求是、脚踏实地、诚实守信的工作作风。

要求学生按时出勤、保持实验台和实验室整洁,爱护实验仪表和器材,实验完成后及时整理,养成良好的实验习惯,培养学生的责任心,树立责任感。

### 思政元素融入点

实验报告对实验的过程和结果进行总结分析,学生从而发现自身存在的不足,针对问题,不断学习提升,学生自我剖析,自我进步,同时养成良好的学术习惯和严谨的学术作风。

### 融入方式

要求学生独立、认真撰写实验报告,通过对实验从设计、实现到验证过程的梳理,对整个实验进行全面分析和总结。

### 5) 实验报告撰写与总结

实验报告的撰写是一项重要的基本技能训练,其不仅是对整个实验项目的总结,更重要的是它可以初步地培养和训练学生的逻辑归纳能力、综合分析能力和文字表达能力,是科学论文写作的基础。本课程要求学生独立完成一份实验报告,报告内容实事求是,分析全面具体,文字简练通顺,撰写清楚整洁。实验报告的撰写应包括以下内容。

- (1) 实验任务和要求。
- (2) 理论方案论证与设计。
  - ① 方案比较。
  - ② 参数计算。
- (3) 仿真设计与分析。

- ① 仿真电路。
- ② 仿真电路测试。
- ③ 仿真结果分析与电路调整。
- (4) 实物电路设计及测试/实景平台设计及测试。
  - ① 电路搭建。
  - ② 电路功能测试(包含测试方法及测试数据、波形)。
  - ③ 测试结果分析与电路修正。
- (5) 实验总结。
  - ① 收获与体会。
  - ② 对本课程的意见和建议。

对实验过程中的每一项测试内容都设计详细的评测表格,增加实验测试的规范性。实验报告主要内容的参考样例如图 3-12-5 所示,其他内容自己补充。

#### 实验四 集成运算放大器的线性应用

班级: 姓名: 学号: 使用设备编号:

实验内容[要求附上在线实验相关的实验界面以及仪器仪表的截屏]

实验内容 1: 利用 TL072 和电阻(或电位器)设计电路,使其满足图 1 要求。

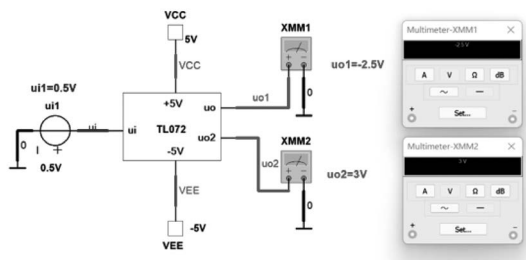


图 1 运算电路的设计 1

图 3-12-5 实验报告主要内容的参考样例

- (1) 理论设计 (在纸上完成后拍照粘贴到报告中)
- (2) 实验电路 (截图时请将设备号和姓名包含在截图界面中)
- (3) 实验结果

数据表 1 运算电路测试结果

ui1(V)	0.5Vdc	-0.5Vdc	1.0Vdc
uo1(V)			
uo2(V)			
Au1 实验计算值			
Au2 实验计算值			
Au1 理论计算值			
Au2 理论计算值			

数据表 1 中 ui1=1.0Vdc 时, 输入、输出数据: [信号源/万用表示波器的截图]  
 实验内容 2: 利用 TL072 和电阻 (或电位器) 设计电路, 使其满足图 2 要求。

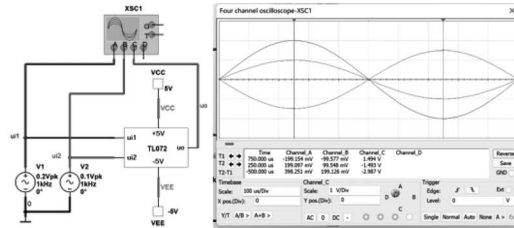


图 2 运算电路的设计 2

- (1) 理论设计 (在纸上完成后拍照粘贴到报告中)
- (2) 实验电路 (截图时请将设备号和姓名包含在截图界面中)
- (3) 实验结果

数据表 2 运算电路测试结果

ui1(V)	0.2Vpk	0.1Vpk	0.2Vpk
ui2(V)	0.1Vpk	0.1Vpk	0.4Vpk
uo(V)			
Au 实验计算值			
Au 理论计算值			

数据表 2 输入 ui1=0.2Vpk, ui2=0.4Vpk 时, 对应的输入、输出波形: [示波器的截图]

实验内容 3: 利用 TL072 和电阻 (或电位器) 设计电路, 使其满足图 3 要求。

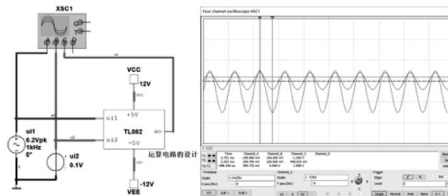


图 3 运算电路的设计 3

图 3-12-5 (续)

(1) 理论设计 (在纸上完成后拍照粘贴到报告中)

(2) 实验电路 (截图时请将设备号和姓名包含在截图界面中)

(3) 实验结果

数据表 3 运算电路测试结果

ui1(V)	0.2Vpk	0.2Vpk+0.1Vdc	0.2Vpk+0.1Vdc
ui2(V)	0.1Vdc	0.1Vdc	-0.2Vdc
uo(V)			
$A_u$ 实验计算值			
$A_u$ 理论计算值			

数据表 3 输入  $ui1=0.2Vpk$  (直流偏移 0.1Vdc),  $ui2=0.1Vdc$  时, 对应的输入、输出波形: [示波器的截图]

图 3-12-5 (续)

### 3.12.3 教学效果及反思

线上+线下及课后拓展,学生收获颇丰,除了能够掌握常用运算电路的分析、设计、测试方法和放大电路的基本测试方法外,还加深了对集成运放的理解。每个小组都提交了各自的设计作品,并能够地对本组和其他组的作品给出公正、客观的评价。

考虑到学生对知识的掌握程度不同,改变了以往所有人同一任务的做法,设计了基本、探索、自主研究 3 个难易程度不同的任务,让大部分学生能够体会实验成功的成就感,也能让能力出众的学生有更大的发挥空间。学生的兴趣浓厚,为整个学习过程奠定了基础。

在教学过程中,通过线上学习,聚焦工程实际,将知识点融入具体的应用实例中,要求学生根据需求出发,进行电路设计,这一过程引导学生强化工程观念、系统思维,并充分体现学生的主体地位。通过课堂教学过程,实验探究,进一步提升学生的实践能力和激发学生的创新意识。

实验过程为学生自己先做,发现问题时,教师引导学生解决问题;再由先解决问题的学生来介绍经验,这样学生更容易接受,知识点和技巧得到了加强;最后学生对自己的学习情况进行客观的自评。整体课堂气氛活跃,完成效果比较好。

由于课堂时间有限,所以布置进阶作业“简易变声电路设计”或“简易心率测试仪设计”,进一步提高学生文献检索、整合、分析、运用信息的能力,把第一课堂和第二课堂相结合,培养学生的创新意识和创新精神,提高学生自主学习及协作学习的能力。

## 参考文献

- [1] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [2] 李政涛. 走出数字化的“课堂之路”[J]. 上海教育, 2023(7): 48.
- [3] 吴霞,潘岚. 电路与电子技术实验教程[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [4] 杨欣,胡文锦,张延强. 实例解读模拟电子技术完全学习与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.