

# 教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称           电力电子技术          

专业班级           电气自动化技术 241、3+241          

总学时数           54 学时          

任课教师           翁一航

## 课程基本信息

课程名称	电力电子技术			
课程性质	专业核心课	学分	3.0	
学时	总学时：54 学时      其中：课堂讲授 36 学时；      实验 18 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	翁一航	
授课专业、班级	电气自动化技术 241、3+241 班	开课学期	第三学期	
成绩评定	平时成绩占 <u>40</u> %；期末成绩占 <u>60</u> %	考核方式	考试	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	电力电子技术项目化教程	贾晨曦、王崇林	机械工业出版社	2020.06
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	<p>电力电子技术在电气自动化技术专业人才培养方案中属于专业核心课程之一。该课程主要讲授各种电力电子器件、驱动和保护电路，AC/DC、DC/AC、DC/DC、AC/AC 变换电路，PWM 技术、软开关技术、谐波抑制、功率因数补偿技术以及电力电子装置等专业知识。通过学习电力电子技术，学生能够掌握电力电子技术的基础理论和应用技能，为后续的电气设备制造、自动化控制系统运行维护和技术改造工作打下坚实的基础。</p>			
本课程教学目标	<p>通过学习本课程旨在使学生全面掌握该领域的基础理论与实践技能。知识目标上，学生需理解电力电子技术的定义、发展历程、应用领域及其重要地位，深入学习常见电力电子器件的工作原理、特性参数与应用场景，并系统掌握各类电力电子电路的分析方法与设计技巧，同时了解其在多个领域的应用及发展前沿。在能力目标方面，学生应具备电力电子电路的分析与设计能力，熟练进行系统搭建与调试，并能运用所学知识解决实际问题，具备工程实践与创新思维。素质目标则包括提高分析与解决问题的能力，培养团队协作精神，增强工程实践能力与职业素养，以及激发创新意识，为未来在电力电子领域的研究与开发工作奠定基础。</p>			

<p><b>素质（思政）内容与要求</b></p>	<p>将思政元素融入《电力电子技术》课程，旨在培养学生的爱国情怀、科学精神、辩证思维以及社会责任感。</p> <p>一、结合我国电力电子技术的发展历程，讲述其在国家能源战略、工业自动化、新能源发电等领域的贡献，激发学生的爱国情怀。</p> <p>二、鼓励学生探索新技术，培养创新意识。例如，通过介绍一些成功的电力电子技术应用案例，让学生了解到持续学习和技术革新对于个人和社会的重要性。</p> <p>三、讲解我国相关领域科学家和技术人员为国家科技进步做出的贡献，鼓励学生为国家的发展贡献力量。</p> <p>四、强调电力电子技术在实现碳达峰、碳中和目标中的关键作用，培养学生的社会责任感和使命感，引导他们关注国家能源转型和可持续发展。</p>
<p><b>学生用主要参考资料</b></p>	<p>《电力电子技术项目化教程》</p>

## 概述

### 一、教学目标

#### 1. 知识目标

- 理解电力电子技术的定义、发展历程及核心分支。
- 掌握电力电子技术的主要电路类型（整流、逆变、斩波、交流调压）及其控制技术（相位控制、PWM）。
- 熟悉电力电子技术在工业、交通、新能源等领域的典型应用。

#### 2. 技能目标

- 能够区分电力电子技术的不同变换类型及应用场景。

### 二、教学方法与手段

1. **讲授法**：结合 PPT 讲解电力电子技术的定义、分类及发展脉络。
2. **案例分析法**：通过工业变频器、新能源并网等案例解析技术应用。
3. **互动讨论**：分组讨论“电力电子技术如何助力碳中和”，鼓励创新观点。
4. **思维导图**：引导学生绘制电力电子技术知识框架，强化逻辑思维。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 结合变频调速、新能源并网等应用，强调技术对节能减排的贡献。
2. 分析电力电子技术在高铁、航天等国家重大工程中的作用，培养使命感。
3. 通过高压直流输电、柔性交流输电、光伏/风电并网技术减少化石能源依赖等案例，激发学生技术创新的热情。

### 四、教学重点与难点

1. **重点：**电力电子技术的定义与核心分支（器件制造技术、变流技术）；四种电能变换类型（AC-DC、DC-AC、DC-DC、AC-AC）的基本原理和应用场景。
2. **难点：**电力电子技术的应用

### 五、教学内容与时间分配

#### 1. 课程导入（10 分钟）

- **问题引导：**

“为什么电动汽车充电桩能将交流电转换为直流电？手机充电器如何实现高效降压？”

- **视频展示：**播放高铁变频驱动系统、太阳能逆变器工作视频，引出电力电子技术的核心作用。
- **目标明确：**本节课将系统学习电力电子技术的定义、分类及广泛的应用场景。

#### 2. 具体教学内容（30 分钟）

##### (1) 电力电子技术的定义与发展（10 分钟）

- **定义解析**

**电力电子技术：**利用半导体器件对电能进行变换与控制的技术，涵盖电压、电流、频率、波形变换。

**技术范畴：**功率范围从毫瓦级到吉瓦级，核心分支为器件制造技术与变流技术。

- **发展历程**

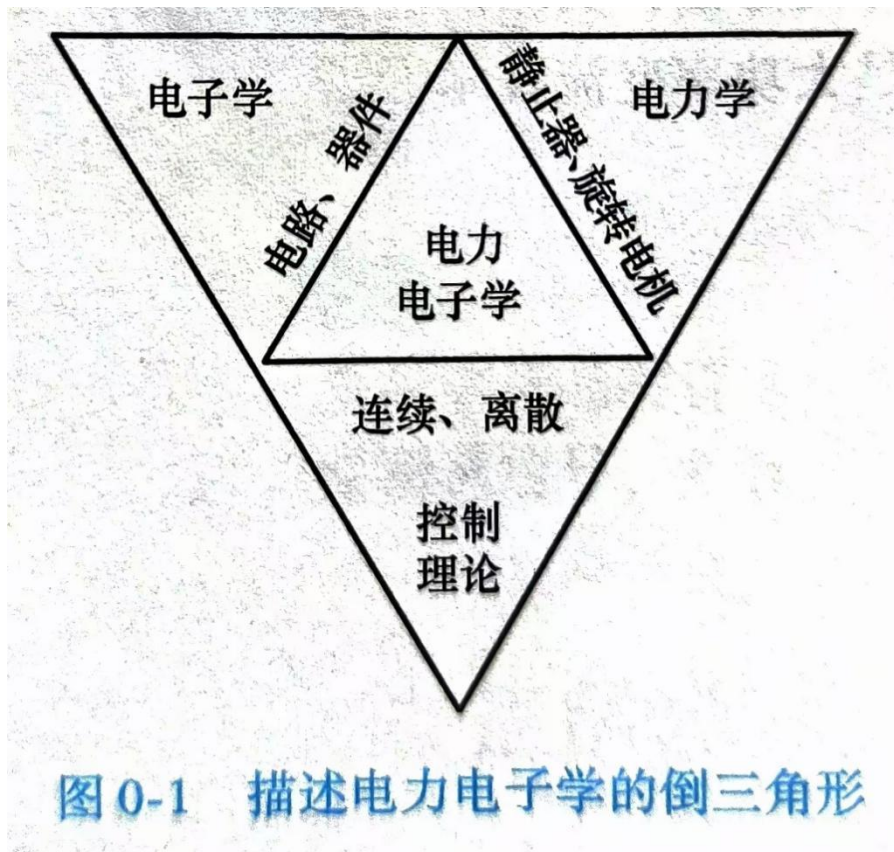
**整流器时代：**以晶闸管为核心，实现交流变直流。

**逆变器时代：**IGBT 等器件推动直流变交流的广泛应用。

**变频器时代：**高频化、智能化技术成为主流（如 SiC 器件）。

- **学科交叉**

与电气工程、控制理论的关联（W.E.Newell 倒三角模型（图 0-1））。



## (2) 电力电子技术的电路类型 (10 分钟)

- AC-DC 变换 (整流)

**不可控整流：**二极管桥式电路，应用于充电器、电源适配器。

**可控整流：**晶闸管相控整流，用于电镀电源、直流电机驱动。

- DC-AC 变换 (逆变)

**电压型逆变器：**新能源发电并网 (太阳能逆变器)。

**电流型逆变器：**变频空调、电动汽车驱动。

- DC-DC 变换 (斩波)

**Buck 电路：**降压变换 (手机充电器)。

**Boost 电路：**升压变换 (LED 驱动电源)。

- AC-AC 变换

**交流调压：**通过晶闸管控制电压幅值 (调光台灯)。

**交-交变频：**大功率电机调速 (轧钢机、矿井提升机)。

## (3) 电力电子技术的应用 (10 分钟)

1. **工业领域：**变频调速 (风机、泵类节能改造)；中频感应加热 (金属熔炼、淬火)。
2. **交通运输：**高铁牵引变流器、电动汽车电驱系统；船舶电力推进中的逆变技术。
3. **新能源系统：**光伏逆变器、风电变流器；储能系统 (电池充放电管理)。
4. **家用电器：**变频空调、电磁炉谐振电路；LED 驱动电源的 DC-DC 变换。

5. **电力系统**：高压直流输电（HVDC）、静止无功补偿（SVG）。

### 3. 课程总结（5 分钟）

#### ● 知识回顾：

1. 电力电子技术是实现电能高效变换的核心技术，涵盖四大电路类型与两类控制方法。
2. 从工业变频到新能源并网，技术应用推动社会可持续发展。

#### ● 思政升华：

“电力电子技术不仅是工具，更是实现绿色发展的钥匙。希望同学们在未来的学习和工作中，以技术创新为己任，为国家能源战略贡献力量。”

## 项目 1 人体接近开关电路的设计与调试

### 一、教学目标

1. 掌握电力二极管、单结晶体管、普通晶闸管及 GTO 晶闸管的结构、导通与关断条件。
2. 理解 PN 结的形成及单向导电性原理。
3. 熟悉四种触发电路（单结晶体管、正弦波同步、锯齿波同步、TCA785 集成）的工作原理及调试方法。
4. 掌握人体接近开关电路的设计原理及晶闸管在其中的应用。
5. 能独立调试触发电路并观察波形变化。

### 二、教学方法与手段

#### 1. 教学方法

- 理论知识点讲解（器件结构、触发电路原理）。
- 以“人体接近开关电路设计”为主线，分任务完成知识学习与技能训练。
- 通过实训平台操作，验证器件特性及触发电路功能。
- 结合拓展应用（彩灯控制器、延时照明灯），深化知识应用。

#### 2. 教学手段

- 多媒体课件（PPT 展示器件结构图、电路原理图）。
- 实物演示（电力电子器件、触发电路模块）。
- 实验实训平台（HKDD-1-V 型电力电子技术实训台）。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调实验操作讲解中高压电源的安全使用规范（如断电操作、防触电措施）。
2. 通过案例分析（如器件损坏导致电路故障），引导学生重视细节。
3. 实验中明确分工（如调试、记录、分析），培养协作精神。
4. 鼓励学生改进触发电路参数或设计新型应用电路（如智能家居控制）。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**电力电子器件的导通与关断条件。四种触发电路的调试步骤及波形分析。人体接近开关电路的设计与调试方法。
2. **难点：**PN结的形成及电场作用机制。触发电路的移相控制原理（如锯齿波斜率调节）。晶闸管在动态负载下的特性测试。

## 五、教学内容与时间分配

### 1. 导入（10分钟）

#### ● 案例引入：

展示楼梯自动照明系统的视频，提出问题：“人体接近时灯自动点亮，离开后关闭，如何实现这一功能？”引导学生思考核心器件（晶闸管）的作用，引出任务主题。

### 2. 具体教学内容（250分钟）

#### 任务 1.1 认识电力二极管、单结晶体管、普通晶闸管及 GTO 晶闸管（45分钟）

##### (1) 理论讲解

#### ● PN结的形成与特性（结合图 1-2~1-4）：

P型与N型半导体的掺杂原理。

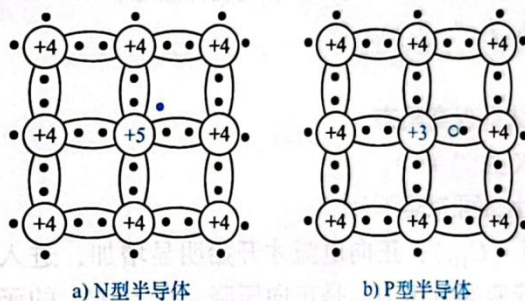


图 1-2 杂质半导体的结构

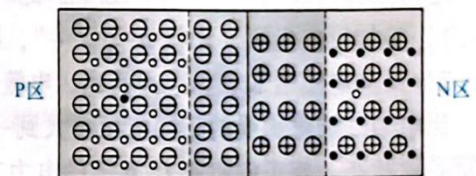


图 1-3 PN结的结构

扩散与漂移运动的平衡过程，空间电荷区的形成。

正向偏置与反向偏置下的导电特性。

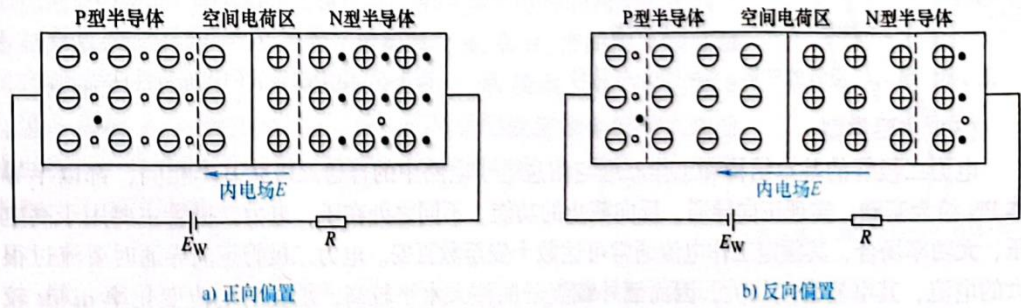


图 1-4 PN 结的单向导电性

● **电力二极管** (图 1-5) :

结构 (螺栓型、平板型)、伏安特性曲线、反向恢复时间。

类型对比: 普通二极管、快恢复二极管、肖特基二极管。

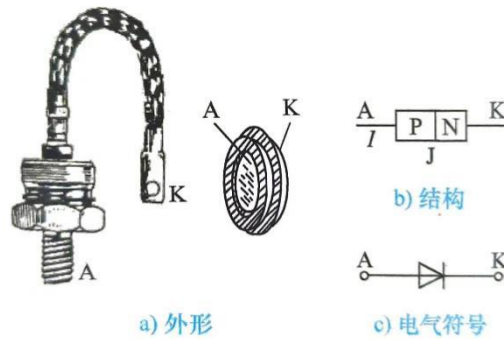


图 1-5 电力二极管的外形、结构和电气符号

● **单结晶体管** (图 1-9) :

双基极结构, 等效电阻模型。

导通条件 (发射极电压  $\geq$  峰值电压 ( $U_p$ ))。

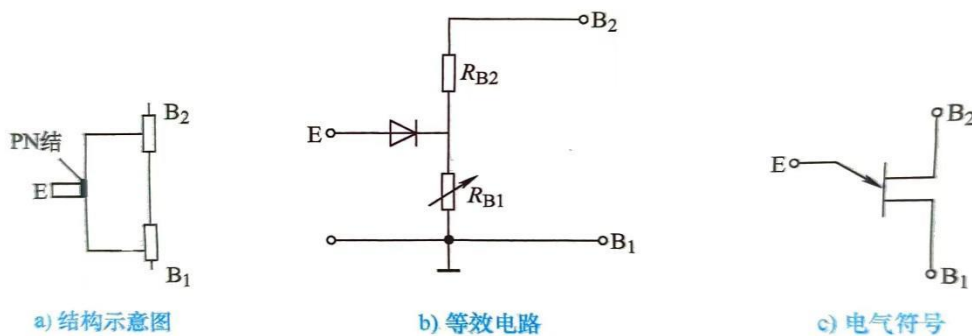


图 1-9 单结晶体管的外形、结构和电气符号

● **普通晶闸管与 GTO 晶闸管** (结合图 1-11) :

四层三端结构, 导通条件 (阳极正压+门极触发信号)。

GTO 晶闸管的多元集成结构及门极关断原理。

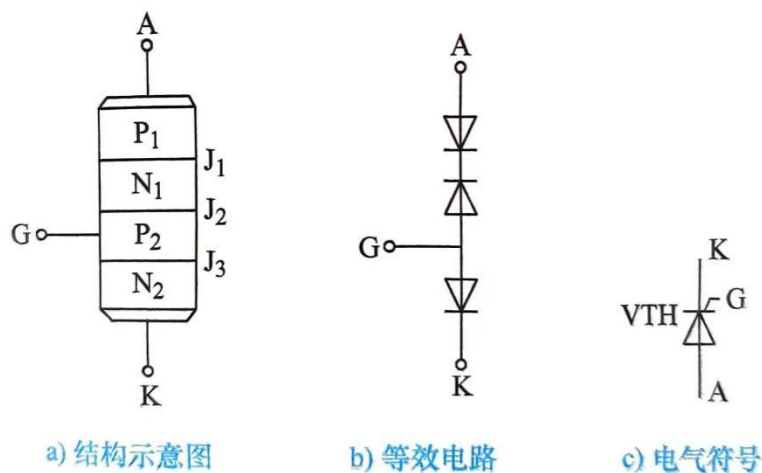


图 1-11 晶闸管内部结构、等效电路及电气符号

## (2) 实验操作讲解

- **电力二极管测试:**

万用表法判别极性（正向电阻小，反向电阻大）。

质量检测（正反向电阻是否异常）。

- **单结晶体管测试:**

发射极判别（黑表笔接 E，红表笔测两基极电阻）。

- **晶闸管与 GTO 测试:**

引脚极性识别（螺栓式、平板式、塑封式）。

触发性能验证（短接门极观察导通状态）。

## (3) 总结

- 归纳器件特性表格（导通条件、符号、应用场景）。

## 任务 1.2 普通晶闸管与 GTO 晶闸管的性能测试 (35 分钟)

### (1) 理论铺垫

- 伏安特性曲线分析（正向转折电压 $(U_{BO})$ 、维持电流 $(I_H)$ ）。
- GTO 与普通晶闸管的关断差异（门极负脉冲触发）。

### (2) 实验操作讲解

- **普通晶闸管测试:**

搭建测试电路，调节给定电压 $(U_G)$ ，记录 $(I_D)$ 与 $(U_V)$ 。

绘制伏安特性曲线，分析导通压降变化。

- **GTO 晶闸管测试:**

重复上述步骤，对比关断特性（门极负信号作用）。

### (3) 总结

- 对比两种晶闸管的控制方式及适用场景。

## 任务 1.3 四种触发电路的调试 (90 分钟)

### (1) 理论讲解

- **单晶体管触发电路** (图 1-19) : 同步电压削波、RC 充放电形成锯齿波。

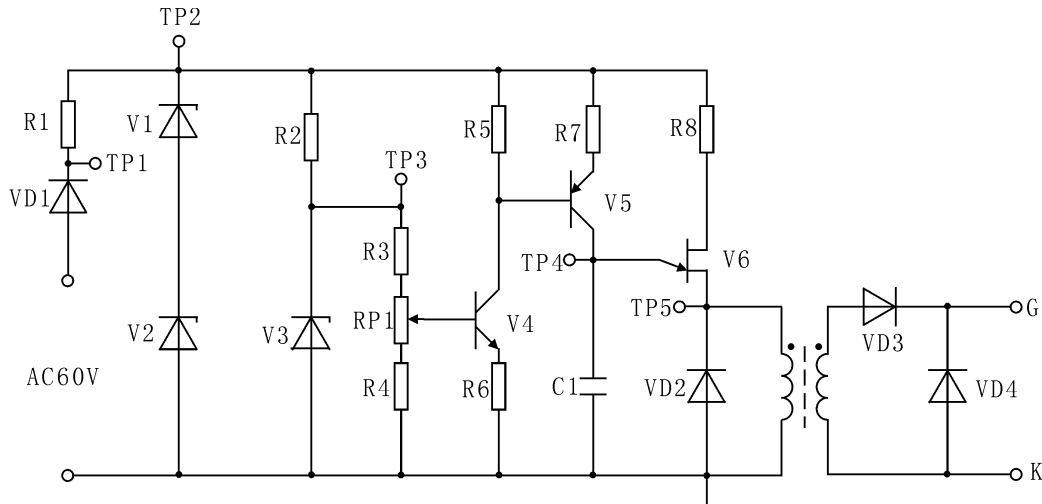


图1-19 单晶体管触发电路原理图

#### 工作原理:

由同步变压器副边输出的交流同步电压, 经 VD1 半波整流, 再由稳压管 V1、V2 进行削波, 从而得到梯形波电压, 其过零点与电源电压的过零点同步, 梯形波通过 R7 及等效可变电阻 V5 向电容 C1 充电, 当充电电压达到单晶体管的峰值电压  $U_P$  时, 单晶体管 V6 导通, 电容通过脉冲变压器原边放电。

脉冲变压器副边输出脉冲。同时由于放电时间常数很小, C1 两端的电压很快下降到单晶体管的谷点电压  $U_V$ , 使 V6 关断, C1 再次充电, 周而复始, 在电容 C1 两端呈现锯齿波形, 在脉冲变压器副边输出尖脉冲。在一个梯形波周期内, V6 可能导通、关断多次, 但对晶闸管的触发只有第一个输出脉冲起作用。电容 C1 的充电时间常数由等效电阻等决定, 调节 RP1 改变 C1 的充电的时间, 控制第一个尖脉冲的出现时刻, 实现脉冲的移相控制。单晶体管触发电路的各点波形如图 1-23 所示。

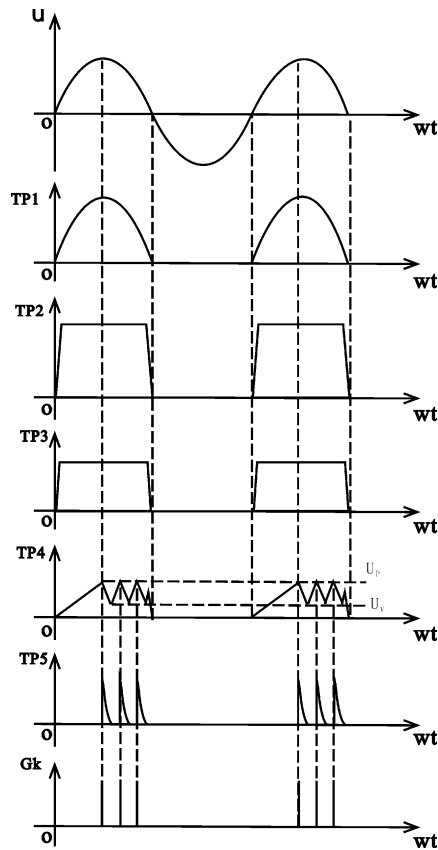


图 1-23 单结晶体管触发电路各点的电压波形

● **正弦波同步触发电路** (图 1-20) :

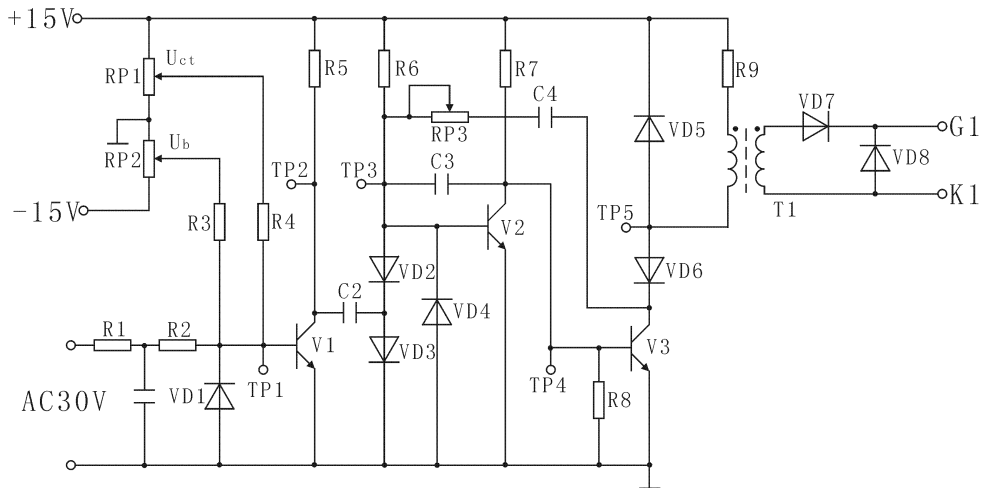


图 1-20 正弦波同步移相触发电路原理图

正弦波同步移相触发电路由同步移相、脉冲放大等环节组成。同步信号由同步变压器副边提供。三极管 V1 左边部分为同步移相环节，在 V1 的基极综合了同步信号电压  $U_T$ 、偏移电压  $U_b$  及控制电压  $U_{ct}$  (RP1 电位器调节  $U_{ct}$ ，RP2 调节  $U_b$ )。调节 RP1 及 RP2 均可改变 V1 三极管的翻转时刻，从而控制触发角的位置。脉冲形成整形环节是一分立元件的集基耦合单稳态脉冲电路，V2 的集电极耦合到 V3 的基极，V3 的集电极通过 C4、RP3 耦合到 V2 的基极。

当 V1 未导通时, R6 供给 V2 足够的基极电流使之饱和导通, V3 截止。电源电压通过 R9、T1、VD6、V2 对 C4 充电至 15V 左右, 极性为左负右正。

当 V1 导通时, V1 的集电极从高电位翻转为低电位, V2 截止, V3 导通, 脉冲变压器输出脉冲。由于设置了 C4、RP3 阻容正反馈电路, 使 V3 加速导通, 提高输出脉冲的前沿陡度。同时 V3 导通经正反馈耦合, V2 的基极保持低电压, V2 维持截止状态, 电容通过 RP3、V3 放电到零, 再反向充电, 当 V2 的基极升到 0.7V 后, V2 从截止变为导通, V3 从导通变为截止。V2 的基极电位上升 0.7V 的时间由其充放电时间常数所决定, 改变 RP3 的阻值就改变了其时间常数, 也就改变了输出脉冲的宽度。

正弦波同步移相触发电路的各点电压波形如图 1-24 所示。

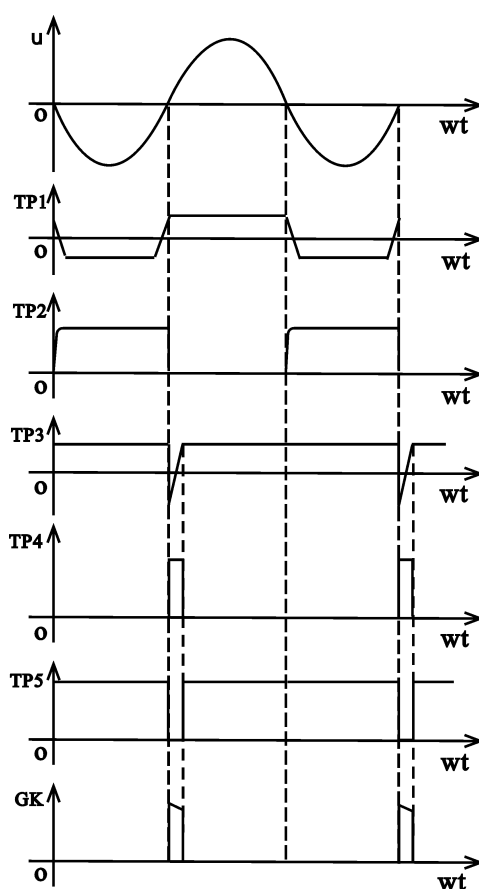


图1-24 正弦波同步移相触发电路的各点电压波形

● **锯齿波同步触发电路** (图 1-21) :

锯齿波同步移相触发电路由同步检测、锯齿波形成、移相控制、脉冲形成、脉冲放大等环节组成, 其原理图如图 1-21 所示。

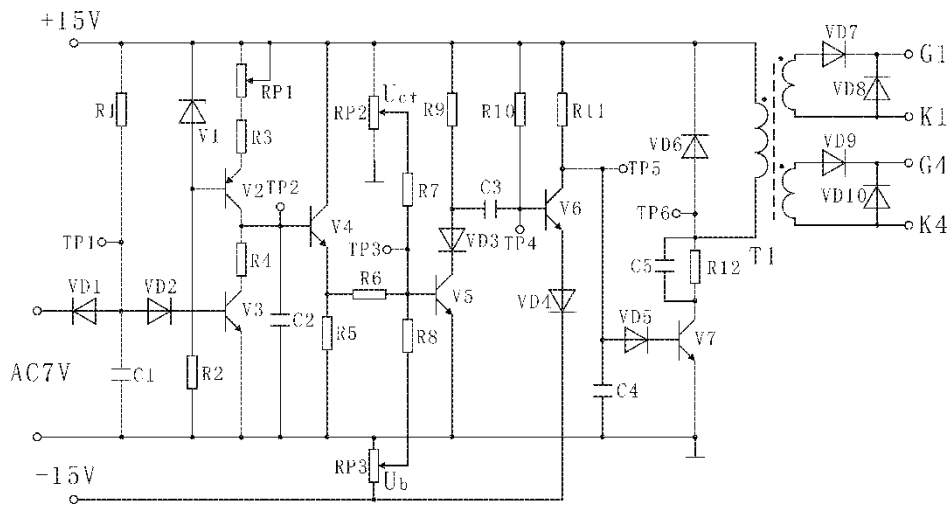


图 1-21 锯齿波同步触发电路原理图

由 VT2、VD<sub>1</sub>、VD<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>等元器件组成同步检测环节，其作用是利用同步电压 U 来控制锯齿波产生的时刻及锯齿波的宽度。由 VS、VT<sub>2</sub>等元器件组成恒流源电路，当 VT<sub>2</sub>截止时，恒流源对 C<sub>2</sub>充电形成锯齿波。当 VT<sub>2</sub>导通时，电容 C<sub>2</sub>通过 R<sub>7</sub>、VT<sub>2</sub>放电。调节电位器 R<sub>3</sub>，可以调节恒流源的电流大小，从而改变了锯齿波的斜率。控制电压 U<sub>c</sub>、偏移电压 U<sub>b</sub>和锯齿波电压在 VT<sub>2</sub>基极综合叠加，从而构成移相控制环节，R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub>分别调节控制电压 U<sub>c</sub>和偏移电压 U<sub>b</sub>的大小。VT<sub>2</sub>、VT<sub>3</sub>构成脉冲形成放大环节，C<sub>3</sub>为强触发电容改善脉冲的前沿，由脉冲变压器输出触发脉冲。

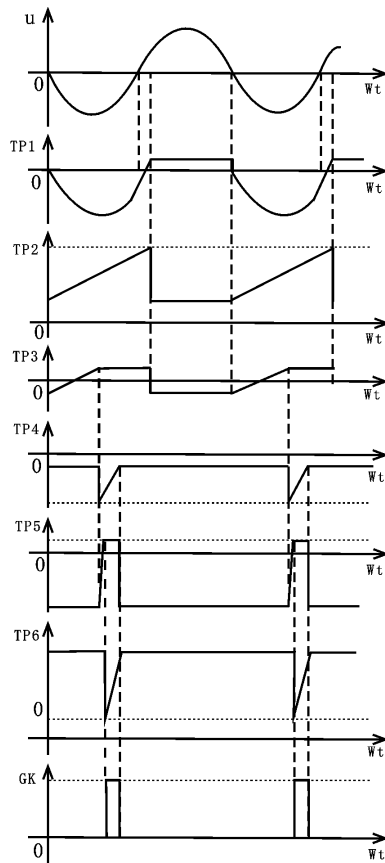


图 1-25 锯齿波同步移相触发电路的各点电压波形

- **TCA785 集成触发电路**：内部功能模块（同步检测、锯齿波生成）。

## (2) 实验操作讲解

- **单结晶体管触发电路调试**：  
观察 TP1~TP5 点波形，调节( $R_{P1}$ )验证移相范围。
- **正弦波触发电路调试**：  
调节 ( $R_{P1}$ ) 与 ( $R_{P2}$ )，分析脉冲后沿对齐原理。
- **锯齿波触发电路调试**：  
测试 TP2 点斜率变化对脉冲宽度的影响。
- **TCA785 集成触发调试**：  
观测四路脉冲相位差，验证  $30^\circ\sim 170^\circ$ 移相范围。

## (3) 总结

对比四种触发电路的优缺点（成本、精度、复杂度）。

# 任务 1.4 人体接近开关电路的设计与调试（45 分钟）

## (1) 理论设计

- **电路原理分析**（图 1-27）：  
人体感应电容 ( $C_2$ ) 分压触发氖灯，驱动晶闸管导通继电器。
- **器件选型要点**：  
晶闸管耐压 $\geq 600V$ ，继电器绝缘电阻要求。

## (2) 实验操作讲解

- **电路焊接与组装**：  
焊接瓷片电容、晶闸管、继电器，注意极性。
- **功能调试**：  
接近金属板测试继电器吸合，调节 ( $C_1$ ) 优化灵敏度。

## (3) 总结

- 讨论实际应用中的干扰问题（如误触发）。

## 拓展应用（35 分钟）

1. **三分频彩灯控制器**：音乐信号分频触发晶闸管，实现动态灯光效果。
2. **简易延时照明灯**：电容充电控制晶体管导通，实现关灯后延时熄灭。

## 3. 课堂总结（10 分钟）

1. 知识回顾：电力电子器件的核心特性及触发电路调试要点。
2. 能力提升：通过实验掌握器件测试与电路设计技能。

3. 思政升华：强调规范操作与创新意识在工程实践中的重要性。

## 项目 2 直流电动机调速系统的设计与调试

### 一、教学目标

1. 掌握单相半波、单相桥式、三相半波、三相桥式整流电路的工作原理及波形特点。
2. 理解直流电动机调速系统的组成及闭环控制原理。
3. 熟悉有源逆变电路的工作条件及实现方法。
4. 掌握晶闸管触发电路的调试方法及参数测量。
5. 能独立搭建并调试单相/三相整流电路，观察并分析输出电压波形。
6. 能完成直流电动机调速系统的静态与动态特性测试。

### 二、教学方法与手段

#### 1. 教学方法

- **讲授法**：理论讲解整流电路原理、闭环调速系统组成。
- **任务驱动法**：以“直流电动机调速系统设计”为主线，分任务完成电路调试。
- **实验法**：通过实训平台操作，验证电路特性及调速性能。
- **案例分析法**：结合工业应用（如变频调速、新能源发电）深化理解。

#### 2. 教学手段

- 多媒体课件（电路原理图、波形动画）。
- 电力电子技术实训台（HKDD-1-V 型）。
- 双踪示波器、万用表等测量工具。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调高压实验操作讲解规范（如断电接线、防触电措施）。
2. 通过案例（如误触发导致器件损坏）警示操作细节的重要性。
3. 实验分组分工（接线、调试、记录），培养协作精神。
4. 引导学生优化调速系统参数或设计新型控制策略。

### 四、教学重点与难点

1. **重点**：单相/三相整流电路的导通角与输出电压关系；转速单闭环与双闭环调速系统的调试方法；有源逆变电路的工作条件及波形分析。
2. **难点**：三相桥式全控整流电路的触发脉冲相位关系。闭环调速系统的动态特性（超调、振荡）分析与调节。

## 五、教学内容与时间分配

### 1. 导入 (10 分钟)

案例引入：

展示直流电动机在工业设备（如轧钢机）中的应用视频，提出问题：

- “如何实现电动机的无级平滑调速？”
- 引出晶闸管整流电路与闭环控制的重要性。

### 2. 具体教学内容 (205)

#### 任务 2.1 单相半波电路的分析与调试 (35 分钟)

##### (1) 理论讲解

- **整流电路分类** (结合图 2-7~2-12)：不可控/半控/全控整流电路的区别。  
电阻性负载与阻感性负载的电流连续性差异。
- **续流二极管的作用**：避免电感续流导致的负电压输出。
- **触发延迟角  $\alpha$  与导通角  $\theta$  的关系**：  
公式推导： $(U_d = 0.45U_2 \frac{1+\cos\alpha}{2})$ 负载)。  
波形分析： $\alpha$  对输出电压平均值的影响 (图 2-3~2-5)。

##### (2) 实验操作讲解

- **电阻性负载调试** (图 2-6)：  
调节  $\alpha=30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ ，观察  $(u_d)$  波形并记录  $(U_d)$ 。
- **关键现象**： $\alpha$  增大  $\rightarrow (U_d)$  减小，波形断续。
- **阻感性负载调试** (表 2-2~2-3)：  
对比加/不加续流二极管时的波形差异 (负电压消除)。

##### (3) 总结

- 归纳公式： $(U_d = f(\alpha))$  的数学关系。
- 强调续流二极管在感性负载中的必要性。

#### 任务 2.2 单相桥式整流电路的分析与调试 (45 分钟)

##### (1) 理论讲解

- **半控桥与全控桥的区别** (图 2-8~2-12)：  
半控桥：晶闸管+二极管组合，仅调节  $\alpha$ 。  
全控桥：全晶闸管控制，可实现有源逆变。
- **失控现象**：半控桥中晶闸管持续导通的后果及解决方法。

## (2) 实验操作讲解

- **半控桥带阻感负载** (表 2-5~2-6) :  
观察  $\alpha=60^\circ$  时移除触发脉冲的失控波形 (图 2-9)。
- **全控桥调试** (图 2-14) :  
对比  $\alpha=30^\circ$ 、 $90^\circ$  时的  $(u_d)$  波形 (正负半周均导通)。

## (3) 总结

- 总结半控桥与全控桥的适用场景 (成本 vs 功能)。

## 任务 2.3 三相整流电路的分析与调试 (45 分钟)

### (1) 理论讲解

- **三相半波电路自然换相点** (图 2-15) :

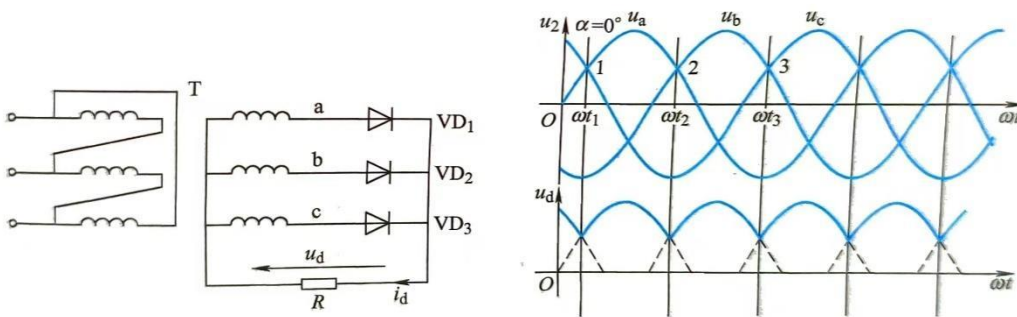


图 2-15 三相半波不可控整流电路及波形

线电压交点作为  $\alpha=0^\circ$  的基准。

- **三相桥式电路的六脉波特性** (图 2-28) :  
每  $60^\circ$  换相一次, 输出电压脉动更小。

### (2) 实验操作讲解

- **三相半波整流调试** (表 2-8~2-9) :  
对比  $\alpha=30^\circ$  (连续) 与  $\alpha=90^\circ$  (断续) 的波形差异。
- **三相桥式全控整流** (图 2-35) :  
观察双脉冲触发 (图 2-26), 验证六脉波输出。

### (3) 总结

- 三相电路优势: 输出功率大、电压脉动小。

## 任务 2.4 直流电动机调速系统的分析与调试 (45 分钟)

### (1) 理论讲解

- **V-M 系统机械特性** (图 2-36) :  
电流连续与断续对特性的影响 (硬特性 vs 软特性)。

- **双闭环调速原理** (图 2-40) :

速度环 (外环) 与电流环 (内环) 的协同作用。

### (2) 实验操作讲解

- **单闭环静态特性测试** (表 2-14~2-15) : 记录( $n = f(I_d)$ ), 分析闭环对转速波动的抑制效果。
- **双闭环动态特性观察**: 突加负载时电流与转速的响应波形 (超调与调节过程) 。

### (3) 总结

- 闭环系统优势: 抗扰性强、稳态精度高。

## 任务 2.5 直流电动机调速系统发电制动状态的实现 (35 分钟)

### (1) 理论讲解

- **有源逆变条件** (图 2-43) :
- 直流电源极性反向、 $\alpha > 90^\circ$  ( $\beta < 90^\circ$ )、足够电感量。
- **四象限运行** (图 2-42) :
- 正组整流 (I 象限) 与反组逆变 (II 象限) 的切换。

### (2) 实验操作讲解

- **三相半波有源逆变调试** (表 2-20) :
- 调节  $\beta = 45^\circ$ 、 $60^\circ$ , 观察( $u_d$ )负电压波形 (图 2-46) 。
- **三相桥式逆变波形对比** (图 2-49) :
- 验证六脉波逆变输出的连续性。

### (3) 总结

- 强调逆变角  $\beta$  的安全范围 ( $30^\circ < \beta < 90^\circ$ ) 。

## 3. 课堂总结 (10 分钟)

1. **知识回顾**: 整流-逆变转换原理、闭环调速特性。
2. **能力强化**: 实验操作讲解规范与波形分析技巧。
3. **思政升华**: 通过新能源发电案例 (光伏逆变) 强调技术创新与社会责任。

# 项目 3 开关电源的分析与调试

## 一、教学目标

1. 掌握开关电源的基本原理及主要电力电子器件 (GTR、MOSFET、IGBT) 的结构、导通/关断条件及测试方法。

2. 理解 6 种直流斩波电路 (Buck、Boost、Buck-Boost、Cuk、Sepic、Zeta) 的工作原理及调试流程。
3. 熟悉半桥型开关电源的设计与调试方法, 了解正激式与反激式变换器的区别。
4. 能够使用万用表判别 MOSFET 和 IGBT 的极性及质量。
5. 能独立完成直流斩波电路的调试, 并分析其电压-占空比关系。

## 二、教学方法与手段

### 1. 理论教学

- 多媒体课件演示 (含电路图、波形图、器件实物图)。
- 对比分析法 (如 GTR vs. IGBT、Buck 电路 vs. Boost 电路)。

### 2. 实验教学

- 实验台操作: HKDD-1-V 型电力电子技术实训台、示波器、万用表等。
- 任务驱动法: 分组完成 MOSFET/IGBT 测试、斩波电路调试等任务。

### 3. 互动教学

- 案例分析: 结合手机充电器、电动汽车电源等实际应用场景。
- 讨论与提问: 针对器件发热、占空比调节等问题进行课堂讨论。

## 三、素质 (思政) 内容与要求

1. 强调实验中的高压危险, 如 IGBT 栅极静电防护、示波器共地问题。通过安全操作规范, 培养“生命至上”的责任感。
2. 实验分组操作, 明确分工 (如数据记录、接线调试、故障排查)。通过合作完成任务, 强化“集体智慧”的重要性。
3. 在 IGBT 开路故障诊断中, 鼓励学生提出改进方案。结合“科技报国”理念, 强调技术创新的社会价值。

## 四、教学重点与难点

1. **重点:** MOSFET 与 IGBT 的导通/关断条件及测试方法。直流斩波电路的工作原理与占空比计算。半桥型开关电源的隔离变压器作用。
2. **难点:** IGBT 复合结构及其触发机制分析。闭环控制系统的调试与波形分析。反激式与正激式变换器的动态过程对比。

## 五、教学内容

### 1. 导入 (10 分钟)

- **案例引入:** 展示手机充电器实物, 提问: “为什么充电器体积小却能高效转换电压?”

- **关联知识点：**引出开关电源的核心——高频化电能转换，以及 MOSFET/IGBT 的关键作用。
- **目标明确：**本章通过实验掌握器件特性与电路调试，为设计高效电源奠定基础。

## 2. 具体教学内容 (250 分钟)

### 任务 3.1 认识 GTR、MOSFET 与 IGBT (45 分钟)

#### 1. 理论讲解

- **GTR (图 3-3)：**结构 (NPN 型)、电流控制特性、优缺点 (驱动复杂、易二次击穿)。

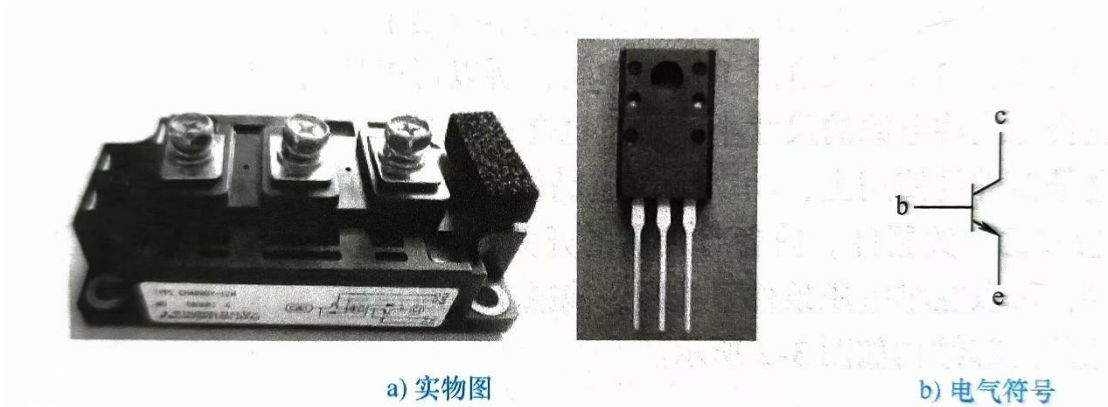


图 3-3 电力晶体管的实物图和电气符号

- **MOSFET (图 3-5)：**N 沟道增强型结构、单极型电压控制、高频优势 (开关速度达 100kHz)。



图 3-5 MOSFET 的实物图与电气符号

- **IGBT (图 3-6)：**复合结构 (MOSFET+GTR)、低导通压降、适用高压场景 (600V 以上)。

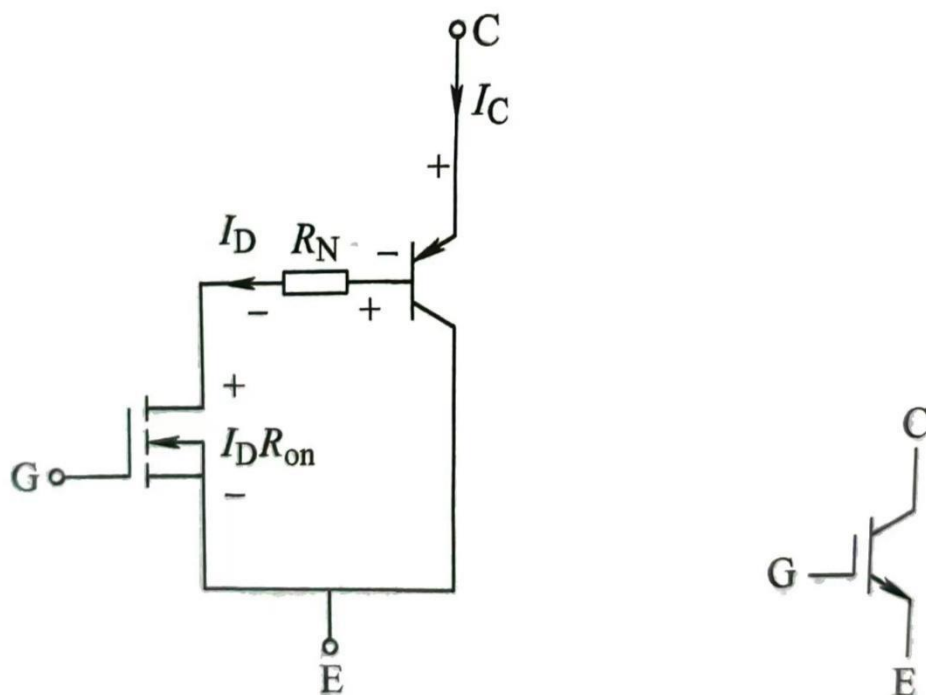


图 3-6 IGBT 的简化等效电路和电气符号

● 对比总结:

器件	驱动方式	开关速度	适用功率
GTR	电流驱动	低	中功率
MOSFET	电压驱动	高	小功率
IGBT	电压驱动	中	大功率

2. 实验操作讲解

- MOSFET 极性判别: 万用表  $R \times 1k$  档, 红表笔固定测栅极, 黑表笔测漏源极。
- IGBT 质量检测:  $R \times 10$  档触发导通, 观察指针回零情况。
- 数据记录: 填写表 3-1、表 3-2, 分析器件参数与理论值的差异。

任务 3.2 MOSFET 与 IGBT 的性能测试 (45 分钟)

1. 理论讲解

- MOSFET 触发条件:  $U_{GS} > U_T$  时导通,  $U_{DS}$  决定电流  $I_D$ 。
- IGBT 触发条件:  $U_{CE} > U_{CE(th)}$  时导通, C-E 间电流由栅压控制。

2. 实验操作讲解

- MOSFET 测试: 调节  $U_{GS}$ , 记录  $I_D$  与  $U_{DS}$  变化, 绘制转移特性曲线。

- **IGBT 测试**: 观察  $U_{CE}$  对  $I_C$  的影响, 验证饱和压降特性。
- **关键问题**: 为何 MOSFET 在未完全导通时会严重发热?

### 任务 3.3 6 种直流斩波电路的调试 (90 分钟)

#### 1. 原理讲解

- **Buck 电路**: 降压原理 ( $U_d = \alpha E$ ), 电感电流连续与断续的波形差异 (图 3-12)。

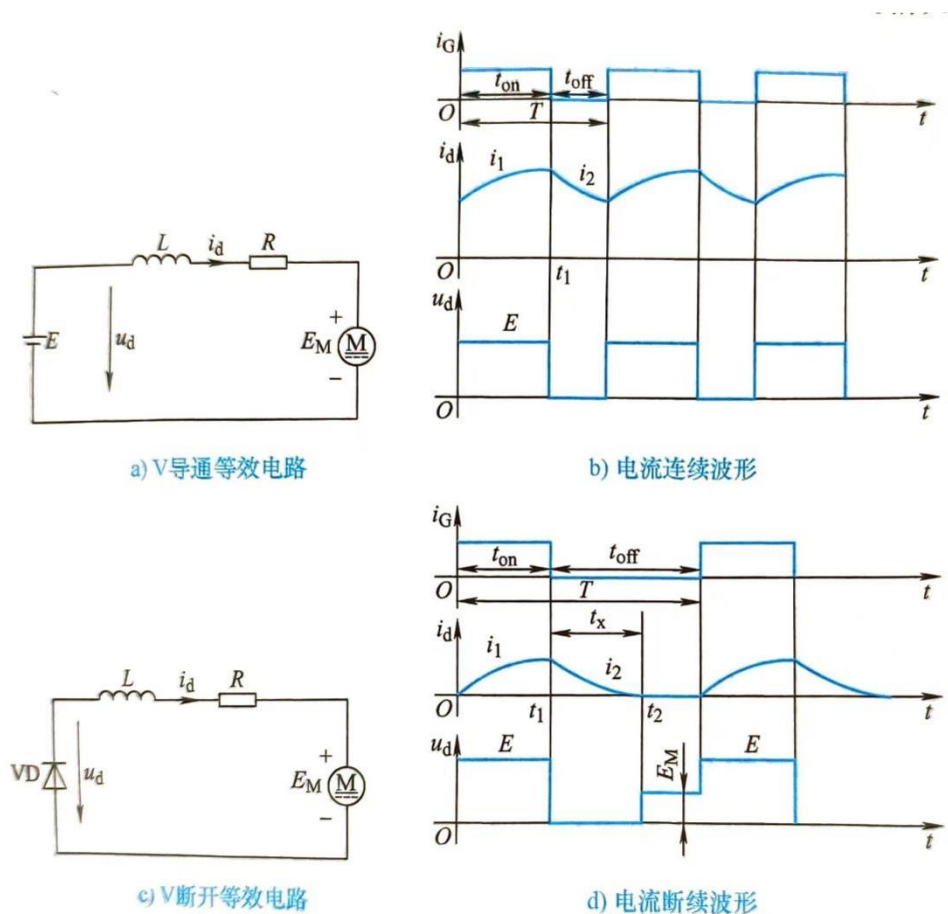


图 3-12 降压斩波电路的等效电路及相应的输出波形

- **Boost 电路**: 升压原理 ( $U_d = T/t_{off} \cdot E$ ), 电容储能与电感泵升作用。
- **Cuk 电路**: 电容传输能量, 输入/输出电流连续, 极性反向。

#### 2. 实验操作讲解

- **接线与观测**: 使用 SG3525 芯片生成 PWM 信号, 调节  $U_r$  改变占空比。
- **数据记录**: 填写表 3-3 至表 3-10, 验证  $U_d$  与  $\alpha$  的理论关系。
- **故障模拟**: 人为设置电感值过小, 观察电流断续现象并分析后果。

### 任务 3.4 半桥型开关电源的设计与调试 (45 分钟)

#### 1. 设计要点

- **隔离变压器作用**: 电气隔离、保护设备、抑制高频噪声。

- **闭环控制**：反馈信号  $U_f$  接入 SG3525，实现稳压输出。

## 2. 实验验证

- **开环测试**：调节  $U_i$  与  $\alpha$ ，记录  $U_o$  随负载变化的伏安特性（表 3-14）。
- **闭环测试**：对比开/闭环下  $U_o$  的稳定性，分析反馈调节效果。

## 拓展应用（25 分钟）

1. **IGBT 故障诊断**：讨论开路故障的危害及检测方法（电流法 vs. 电压法）。
2. **正激式 vs. 反激式**：从工作原理、结构、应用场景对比差异（表 3-24）。

## 3. 总结与作业（10 分钟）

### 1. 知识回顾

- **关键器件**：MOSFET 高频优势，IGBT 复合结构。
- **核心电路**：Buck 降压、Boost 升压、Cuk 极性反转。
- **设计要点**：隔离变压器、闭环反馈、占空比调节。

### 2. 作业布置

- **理论**：完成选择题 3-1 至 3-18，简答题 1-11。
- **实践**：设计一个 Buck-Boost 电路，计算  $\alpha=0.6$  时的  $U_d$ ，并仿真验证。

### 3. 思政升华

- 强调“安全第一”的实验态度，鼓励将知识应用于新能源领域（如光伏逆变器）。

# 项目 4 风力发电系统逆变电路的控制与调试

## 一、教学目标

1. 掌握逆变电路的基本结构、工作原理及分类（电压型、电流型）。
2. 理解风力发电系统的组成与各部件功能（风力发电机组、控制器、逆变器、蓄电池）。
3. 掌握离网逆变器与并网逆变器的区别及调试方法。
4. 熟悉蓄电池选型、风能控制器充放电特性及偏航控制系统的原理。
5. 能独立完成单相/三相逆变电路的接线与波形测试。

## 二、教学方法与手段

### 1. 理论教学

- **多媒体课件**：展示逆变电路波形图、风力发电系统结构图、PLC 控制逻辑图。
- **对比分析**：电压型与电流型逆变电路的性能差异，离网与并网逆变器的应用场景对比。

## 2. 实验教学

- **实验平台操作：**HKFL-1A 型风力发电实验实训平台、示波器、万用表、PLC 编程设备。
- **任务驱动法：**分组完成逆变器测试、蓄电池特性分析、偏航控制调试等任务。

## 3. 互动教学

- **案例分析：**结合海上风电项目，讨论逆变器在可再生能源中的核心作用。
- **故障模拟：**人为设置蓄电池过放或逆变器短路，引导学生分析故障原因并提出解决方案。

# 三、素质（思政）内容与要求

1. 通过风力发电案例，强调可再生能源对减少碳排放、保护生态环境的贡献。结合“双碳目标”，激发学生投身新能源技术研发的责任感。
2. 实验前强调高压电危险（如逆变器输出端电压 220V），规范操作流程。通过安全规程学习，培养“生命至上、安全第一”的职业素养。
3. 实验分组完成，角色分工明确（如数据记录员、接线员、故障排查员）。鼓励在偏航控制调试中提出优化方案，体现“科技创新驱动发展”的理念。

# 四、教学重点与难点

1. **重点：**单相/三相电压型逆变电路的工作原理与波形分析；离网逆变器与并网逆变器的调试及数据对比；偏航控制系统与 PLC 编程的逻辑实现。
2. **难点：**电流型逆变电路的谐振换相过程与波形合成；蓄电池充放电特性与风能控制器的动态匹配；多电平逆变电路的谐波抑制与波形优化。

# 五、教学内容

## 1. 导入（10 分钟）

- **问题引入：**展示海上风力发电场图片，提问：“风力发电输出的电能为何需要逆变器？直接使用是否可行？”
- **案例引导：**以手机充电器为例，说明直流转交流的必要性，引出逆变器的核心作用。
- **目标明确：**本章通过理论与实践结合，掌握风力发电系统中逆变电源的控制与调试技术。

## 2. 具体教学内容（205 分钟）

### 任务 4.1 认识并网逆变器、离网逆变器的内部结构（90 分钟）

#### 1. 理论讲解

- **逆变电路基础：**  
无源逆变：直流→交流，负载直接供电（图 4-2 单相桥式电路）。  
分类：电压型（并联电容，恒压源）、电流型（串联电感，恒流源）。
- **风力发电系统组成：**  
风力发电机组：叶片→机械能→发电机→交流电（13~25V）。  
整流与逆变：整流器稳定直流电，离网/并网逆变器转换为 220V 交流。  
双向智能电表：计量发电与用电量，支持 RS-485 通信（图 4-7）。

## 2. 实验演示

- **单相桥式逆变电路实验：**  
步骤 1：按图 4-2 接线，示波器观测输出电压波形（矩形波）。  
步骤 2：接入阻感负载，对比电流波形滞后现象（图 4-4）。
- **数据记录：**填写输出电压幅值、频率及谐波成分分析表。

## 任务 4.2 离网逆变器与并网逆变器逆变状态测试（45 分钟）

### 1. 理论铺垫

- **电压型逆变电路：**
- **单相半桥：**输出幅值 ( $U_d/2$ )，需电容均衡（图 4-8）。
- **单相全桥：**输出幅值 ( $U_d$ )，适用大功率场景（图 4-11）。
- **并网逆变器技术：**MPPT（最大功率点追踪）、APL（功率自动锁定）、同步高频调制。

### 2. 实验操作讲解

- **离网逆变器测试（图 4-25）：**  
步骤 1：连接风能装置→控制器→离网逆变器→交流负载（风扇）。  
步骤 2：调节风速，记录直流电压/电流与交流电压/电流（表 4-2）。
- **并网逆变器测试（图 4-26）：**  
步骤 1：接入市电，观测逆变器与电网同步过程（0 相位检测）。  
步骤 2：模拟风向变化，对比离网/并网模式下效率差异（表 4-3）。

## 任务 4.3 蓄电池、风能控制器及直流负载测试（25 分钟）

### 1. 理论分析

- **蓄电池选型：**容量 (A·h)、内阻、充放电曲线（恒流/恒压/浮充）。
- **风能控制器保护机制：**过充保护（关闭 VT<sub>1</sub>）、过放保护（关闭 VT<sub>2</sub>）。

### 2. 实验步骤讲解

- **蓄电池充放电测试：**

步骤 1：模拟过充（设置保护电压 24.6V），观测控制器切断充电回路。

步骤 2：接入可调电源模拟蓄电池，测试过放保护响应（表 4-2）。

- **直流负载特性测试：**

步骤 1：调节风速至临界值，记录负载启动/关闭电压阈值。

步骤 2：分析蓄电池容量与负载功率的匹配关系。

## **任务 4.4 风力发电机组偏航及可变风向和可变风量控制测试（25 分钟）**

### **1. 原理讲解**

- **偏航控制：**尾舵调向（被动迎风） vs. 主动迎风（PLC 控制）。

- **侧风偏航：**大风时叶片失速保护，降低风轮转速（图 4-31）。

### **2. 实验操作讲解**

- **PLC 编程与变频器控制（图 4-32）：**

步骤 1：设置 S7-200 PLC 参数（表 4-4），实现顺/逆时针风向控制。

步骤 2：调节变频器频率（0~20Hz），观测风机转速与发电功率变化。

- **故障模拟：**人为触发限位开关，测试急停功能与系统恢复逻辑。

## **拓展应用：多重逆变与多电平技术（20 分钟）**

### **1. 多重逆变电路：**

- **串联多重：**单相二重逆变（图 4-34），3 次谐波抵消，输出近似正弦波。

- **并联多重：**三相二重逆变（图 4-35），波形合成降低 THD（图 4-36）。

### **2. 多电平逆变电路：**

- **三电平 NPC 电路：**输出五电平电压，谐波含量低（图 4-37）。

- **应用场景：**高压大功率风电变流器、光伏电站并网系统。

## **3. 总结与作业（10 分钟）**

### **1. 知识回顾**

- **核心器件：**离网逆变器（独立供电）、并网逆变器（MPPT 优化）。

- **关键技术：**电压型逆变（电容储能）、电流型逆变（电感续流）、偏航控制（PLC 逻辑）。

### **2. 作业布置**

- **理论：**完成选择题 4-1 至 4-5，简析三相电压型逆变电路的 180°导电方式。

- **实践：**设计单相三电平逆变电路，仿真输出波形并分析谐波含量。

### 3. 思政升华

- 强调“绿水青山就是金山银山”，鼓励学生将所学应用于新能源领域，推动绿色技术发展。

## 项目 5：变频器的认识与操作

### 一、教学目标

1. 掌握变频器的分类（交-交、交-直-交）、工作原理及内部结构。
2. 理解 PWM 控制技术（单极性/双极性调制、异步/同步调制）及 SPWM 波形生成方法。
3. 熟悉变频器的参数设置、快速调试及多段速控制逻辑。
4. 能独立完成变频器接线、参数设置及电动机调速操作。
5. 能调试单相 PWM 逆变电路，观测 SPWM 波形并分析谐波特性。

### 二、教学方法与手段

#### 1. 理论教学

- **多媒体课件**：展示变频器结构图、PWM 波形图、变频器参数设置流程。
- **对比分析法**：交-交 vs. 交-直-交变频器，单极性 vs. 双极性 PWM 调制。

#### 2. 实验教学

- **实训台操作**：HKDD-1-V 实训台、变频器模块、示波器、万用表。
- **任务驱动法**：分组完成 SPWM 逆变电路调试、多段速控制等任务。

#### 3. 互动教学

- **案例分析**：结合中频感应加热电源与 UPS，讨论变频器的工业应用场景。
- **故障模拟**：设置变频器过载或参数错误，引导学生分析故障原因并修复。

### 三、素质（思政）内容与要求

1. 强调高压设备操作规范（如断电检查、接地保护），避免触电风险。通过安全事故案例，强化“安全第一、预防为主”的职业素养。
2. 通过变频器节能案例（如风机、泵类应用），联系国家“双碳”目标。引导学生思考变频技术对减少工业能耗、推动可持续发展的贡献。
3. 实验分组完成，明确分工（接线、调试、记录），提升沟通效率。鼓励在参数设置中尝试优化方案，体现“科技创新驱动发展”理念。

## 四、教学重点与难点

1. **重点：**交-直-交变频电路结构与 PWM 控制原理；变频器的参数设置与多段速控制；SPWM 逆变电路的波形调试与谐波分析。
2. **难点：**异步调制与同步调制的动态切换逻辑；三相交-交变频电路的谐波抑制分析；变频器闭环控制系统的动态响应优化。

## 五、教学内容

### 1. 导入 (10 分钟)

- **问题引入：**“工厂中风机如何实现无级调速？传统阀门调节为何能耗高？”
  - **案例展示：**地铁牵引系统变频调速视频，引出变频器的核心作用。

### 2. 具体教学内容 (250 分钟)

#### 任务 5.1 认识变频器的基本工作原理与内部结构 (60 分钟)

##### 1. 理论讲解：

- 变频器分类：交-交（图 5-2）、交-直-交（图 5-7）的结构与适用场景。

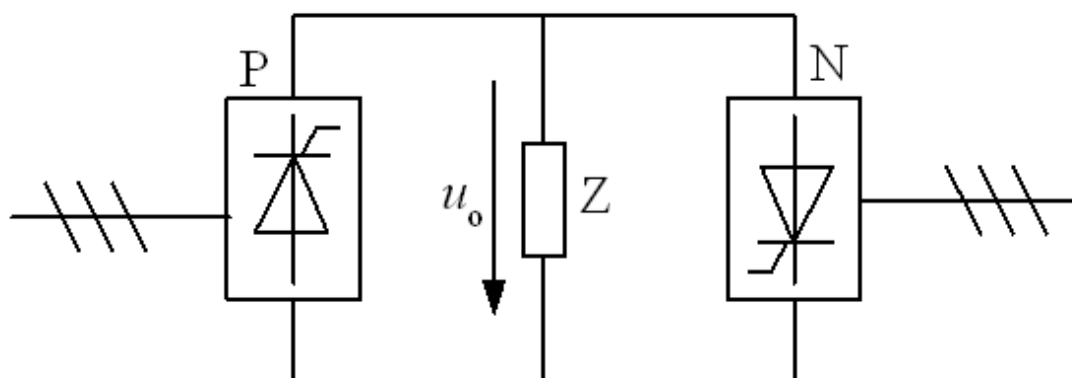


图 5-2 单向交-交变频电路原理图

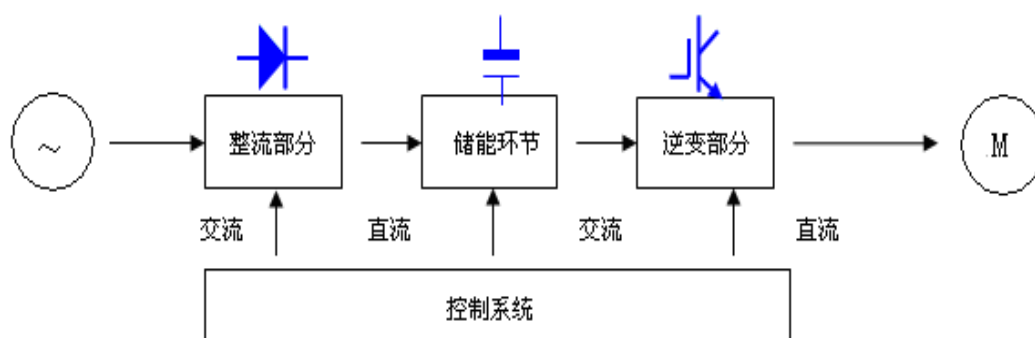


图 5-7 交-直-交变频电路结构框图

- 电压型 vs. 电流型：电容滤波（恒压源）与电感滤波（恒流源）的对比。
- 内部结构：整流桥（VD<sub>1</sub>~VD<sub>6</sub>）、滤波电容（C<sub>6</sub>）、逆变桥（V<sub>1</sub>~V<sub>6</sub>）、制动单元（图 5-12）。

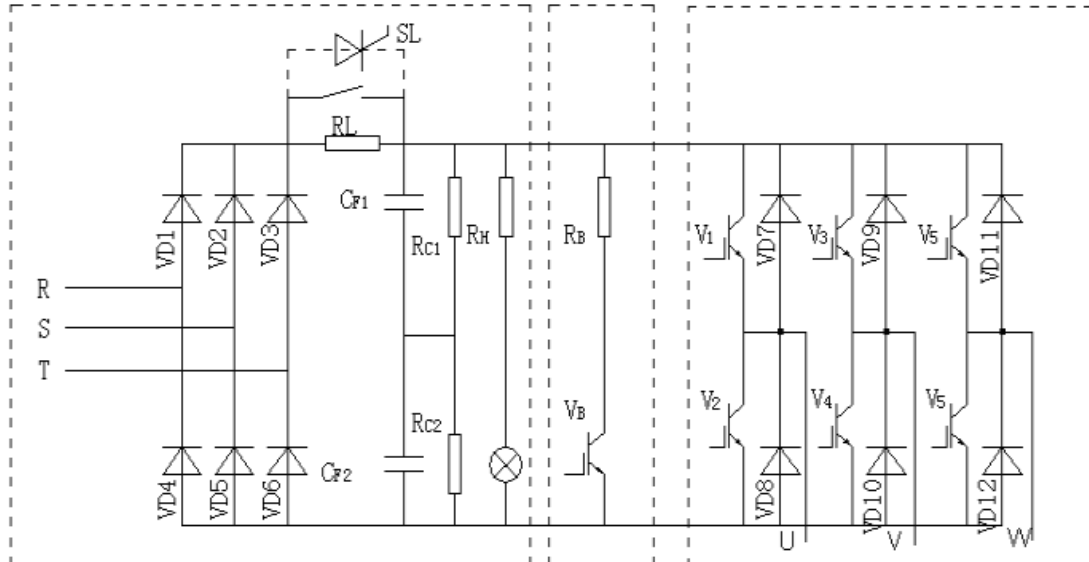


图 5-12 变频器主电路内部结构

## 2. 实验操作讲解：

- 拆解，看 ii，靠 i 变频器，观察整流模块、IGBT 逆变模块、控制板。
- 填写主电路参数表（额定电压、电流、电容容量）。

## 3. 总结：

- 变频器通过“整流-滤波-逆变”实现变频调速，电压型适用于稳定电压场景。

## 任务 5.2 正弦波脉宽调制（SPWM）逆变电路的调试（60 分钟）

### 1. 理论讲解：

- PWM 原理：面积等效原理（图 5-17），SPWM 波形合成步骤。

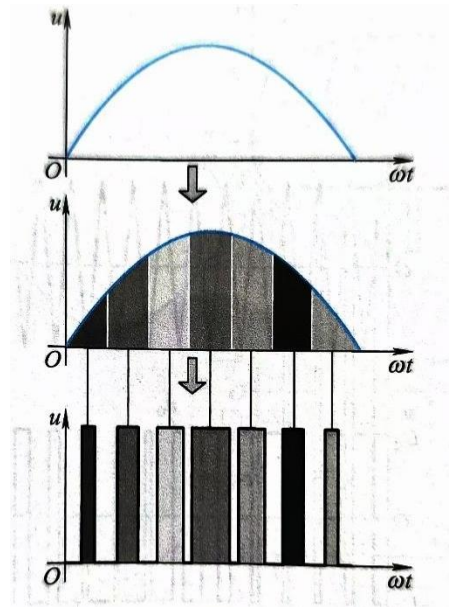


图 5-17 用一系列等幅不等宽的脉冲来代替一个正弦半波的过程

- 调制方式：单极性（半周单向，图 5-19）与双极性（全周双向，图 5-20）的区别。

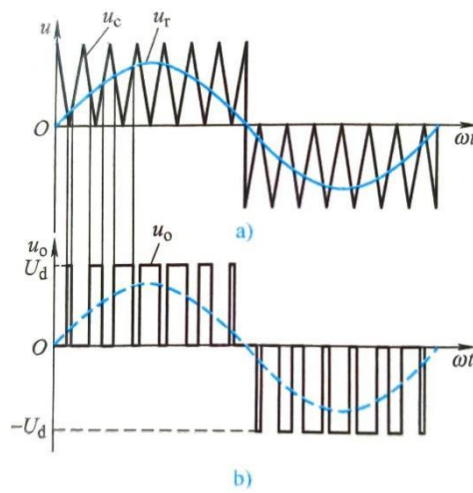


图 5-19 单极性 PWM 控制方式波形

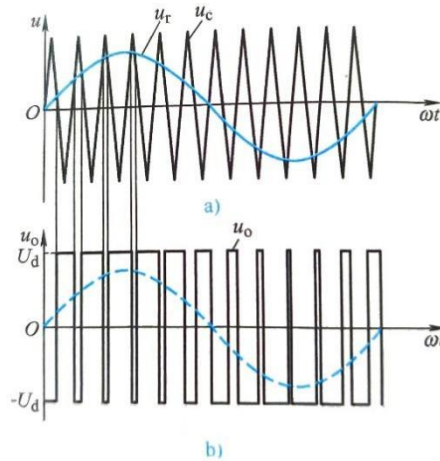


图 5-20 双极性 PWM 控制方式波形

## 2. 实验操作讲解:

- 步骤 1: 连接单相桥式逆变电路 (图 5-24), 观测三角载波 (1kHz) 与正弦调制波 (30~50Hz)。

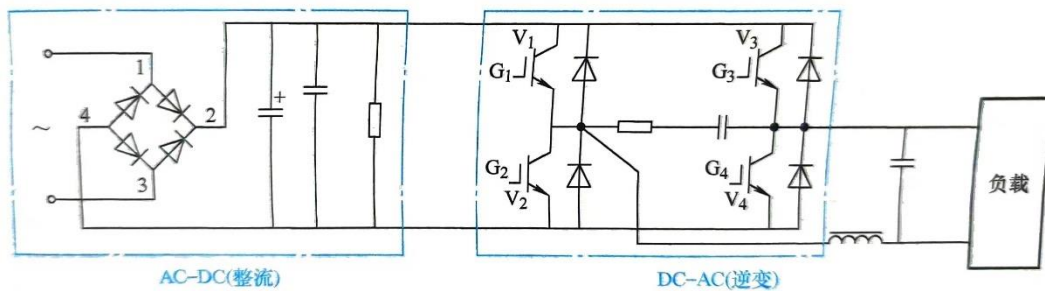


图 5-24 主电路结构原理图

- 步骤 2: 对比单极性/双极性输出波形, 记录谐波含量。
- 故障模拟: 设置载波比  $N=10$ , 观测波形失真并分析原因。

## 3. 总结:

- SPWM 通过调制波与载波比较生成等效正弦波, 双极性调制谐波更低。

## 任务 5.3 认识西门子 MM420 变频器 (20 分钟)

### 1. 理论讲解:

- BOP 面板功能: RUN (启动)、STOP (停止)、▲/▼ (频率调节)。
- 参数设置流程: P0010=1 (快速调试)、P0304 (额定电压)、P0700=1 (BOP 控制)。

### 2. 实验操作讲解:

- 快速调试: 设置电动机参数 (P0304~P0311), 完成 P3900=1 自动计算。
- 运行验证: 观测电动机频率-转速关系 (公式:  $n = 60f/p(1-s)$ )。

### 3. 总结

- MM420 通过 BOP 面板实现参数灵活配置，快速调试简化初始设置。

## 任务 5.4 变频器操作面板实现电动机点动运行、正反转及调速 (20 分钟)

### 1. 理论讲解:

- 点动控制原理：短时低速运行 (P1058/P1059 设置点动频率)。
- 正反转逻辑：P0701=1 (正转)、P0702=2 (反转)。

### 2. 实验操作讲解:

- 步骤 1：按 JOG 键实现点动，观测电动机启停响应 (表 5-4)。
- 步骤 2：通过 ▲/▼ 调节频率 (5Hz→40Hz)，记录转速变化。
- 参数修改：调整 P1058=15Hz，对比点动速度差异。

### 3. 总结:

- 点动与正反转需结合参数设置与面板操作，频率调节决定转速精度。

## 任务 5.5 外接端子实现电动机点动运行及正反转 (20 分钟)

### 1. 理论讲解:

- 端子控制逻辑：DIN1 (正转)、DIN2 (反转)、DIN3 (点动)。
- 参数设置：P0701=17 (固定频率+ON 命令)。

### 2. 实验操作讲解:

- 步骤 1：按图 5-31 接线，按钮 SB<sub>1</sub>控制正转，SB<sub>2</sub>控制反转。
- 步骤 2：设置 P1058=30Hz (正向点动)、P1059=20Hz (反向点动)，测试响应时间。
- 故障排查：模拟端子接触不良，引导学生使用万用表检测信号通路。

### 3. 总结

- 外接端子控制适用于自动化场景，参数匹配与接线可靠性是关键。

## 任务 5.6 外接端子实现电动机正反转及电位器调速 (20 分钟)

### 1. 理论讲解:

- 模拟量输入：端子 3 (AIN+) 接电位器，P1000=2 (模拟设定)。
- 参数设置：P1120=5s (斜坡上升时间)、P1121=5s (斜坡下降时间)。

### 2. 实验操作讲解:

- 步骤 1：按图 5-32 接线，旋转电位器调节频率 (0~50Hz)。
- 步骤 2：观测电动机加速/减速平滑性，记录电压-频率对应关系。
- 拓展任务：接入示波器，测量模拟信号线性度。

### 3. 总结:

- 电位器调速实现无级变速, 斜坡时间参数影响动态响应性能。

## 任务 5.7 变频器三段及多段速度选择控制 (20 分钟)

### 1. 理论讲解

- 多段速逻辑: DIN1~DIN3 组合选择 7 段频率 (表 5-10)。
- 参数设置: P1001~P1007 定义各段频率值。

### 2. 实验操作讲解

- 步骤 1: 按图 5-33 接线, 通过按钮 SB<sub>1</sub>~SB<sub>3</sub>组合选择不同速度段。
- 步骤 2: 设置 P1001=5Hz、P1002=10Hz, 测试各档位切换响应。
- 故障模拟: 设置频率超限 (如 P1007=60Hz), 观察过载保护动作。

### 3. 总结

- 多段速控制通过数字端子灵活切换, 参数需与工艺需求严格匹配。

## 拓展应用: 中频感应加热电源与 UPS (30 分钟)

### 1. 中频感应加热电源

- 原理: 整流+逆变, 负载并联谐振 (频率 1~10kHz)。
- 应用案例: 金属熔炼节能 30%~50%, 对比传统电阻加热优势。

### 2. 恒压恒频(CVCF)电源

- 结构: 整流器+逆变器+蓄电池, 市电异常时切换供电。
- 维护要点: 避免感性负载, 定期放电延长电池寿命。

## 3. 总结与作业 (10 分钟)

### 1. 知识回顾

- 变频器通过 SPWM 实现高效调速, MM420 参数设置为核心操作技能。

### 2. 作业布置

- 理论: 完成选择题、简答题。
- 实践: 设计三相变频器控制方案, 仿真输出波形并分析 THD。

### 3. 思政升华

- 强调“技术报国”, 鼓励将变频技术应用于新能源领域 (如风电变流器)。

# 项目 6: 光控灯开关电路的设计与调试

## 一、教学目标

1. 掌握双向晶闸管的结构、导通条件及触发方式。
2. 理解单相/三相交流调压电路的工作原理及调试方法。
3. 掌握光控灯开关电路的设计原理与组装调试技巧。
4. 了解交流调功电路的特点及应用场景。
5. 能使用万用表检测双向晶闸管的极性与质量。
6. 能设计并调试双向晶闸管调光电路、单相/三相交流调压电路。

## 二、教学方法与手段

1. **讲授法**：结合 PPT 与实物展示，讲解双向晶闸管、调压电路原理。
2. **演示法**：通过示波器演示触发脉冲波形及电压调节过程。
3. **实验法**：分组完成调光电路、光控开关的组装与调试。
4. **案例分析法**：分析交流调功电路在工业电炉中的应用案例。
5. **信息化手段**：利用仿真软件（如 Multisim）模拟电路工作状态。

## 三、素质（思政）内容与要求

1. **节能环保教育**：结合光控开关的节电功能，引导学生思考绿色能源技术的社会意义。
2. **工匠精神培养**：强调焊接工艺的规范性，要求电路板焊点整洁、布局合理。
3. **安全意识强化**：实验操作讲解中需严格遵守 220V 交流电安全规范，避免触电风险。

## 四、教学重点与难点

1. **重点**：双向晶闸管的导通条件与触发方式；单相交流调压电路带阻感负载的移相范围分析；光控灯开关电路中 NE555 时基芯片的工作原理。
2. **难点**：三相交流调压电路的触发脉冲相位控制；光控开关灵敏度调节与故障排查。

## 五、教学内容

### 1. 课程导入（10 分钟）

- **问题引导**：

“为什么楼道灯能在天黑时自动亮起？其核心元件是什么？”

- **实物展示**：展示光控开关实物（图 6-1），引出双向晶闸管的作用。
- **目标明确**：本章通过设计光控灯开关，学习双向晶闸管及调压电路的应用。

### 2. 具体教学内容（250 分钟）

#### 任务 6.1：认识双向晶闸管（45 分钟）

1. **理论讲解**：

- **结构与符号**

五层半导体结构 (N-P-N-P-N) , 三电极 (T1、T2、G) 。

等效电路为两个反向并联的单向晶闸管, 电气符号解析 (图 6-2) 。



图 6-2 双向晶闸管的实物图、等效电路和电气符号

- **导通与关断条件**

**导通条件:** 主电极间电压足够, 门极触发信号极性不限。

**关断条件:** 电流 < 维持电流或主电极间电压降为零。

**伏安特性曲线:** 对称性分析 (图 6-3) 。

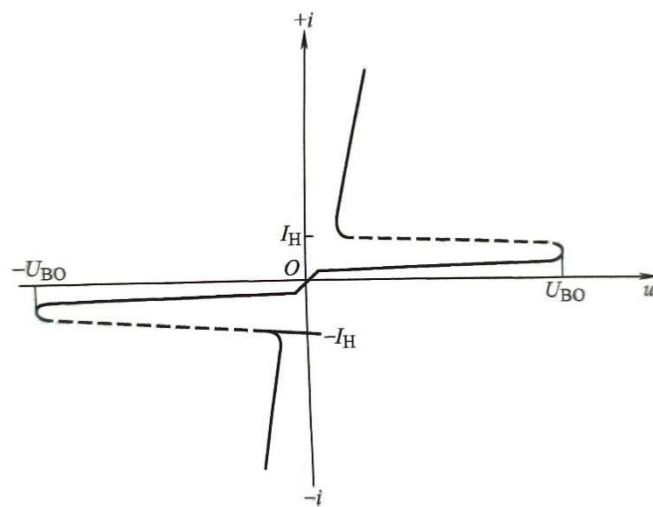


图 6-3 双向晶闸管的伏安特性曲线

- **触发方式**

四种触发方式 (I+、I-、III+、III-) , 实际应用仅用灵敏度高的两种。

2. **实验操作讲解:** 用万用表判别 T2 极与 G 极 (步骤演示) 。

## 任务 6.2: 双向晶闸管调光电路的设计与调试 (60 分钟)

1. **理论讲解:**

- **电路原理**

单结晶体管触发电路 (图 6-7) : 调节  $R_p$  改变充电时间常数, 控制导通角。

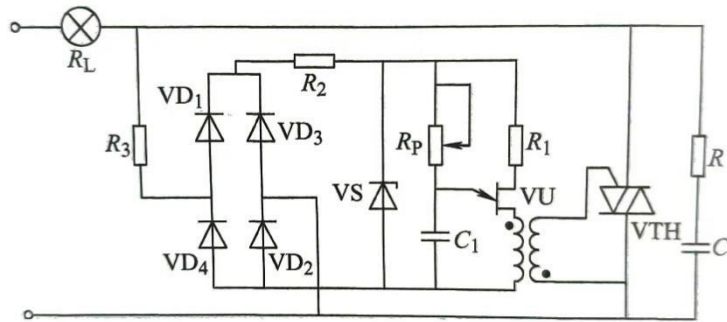


图 6-7 单结晶体管触发电路

双向二极管触发电路（图 6-8）：利用转折电压实现双向触发。

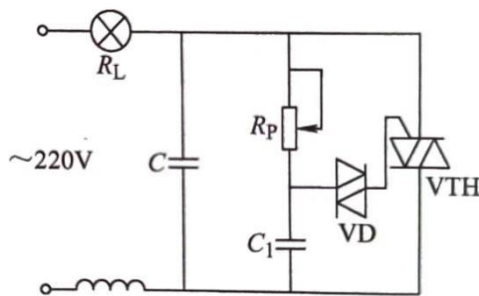


图 6-8 双向二极管触发电路

## 2. 实验操作讲解：

- **元器件检测：**用万用表测试双向晶闸管、电容、电阻参数。
  - **电路焊接：**按图 6-12 布局，强调焊点质量与布局合理性。
  - **功能调试：**开关 S 拨至不同档位，观察灯泡亮度变化（表 6-1 数据记录）。
3. **故障分析：**若灯泡不亮，检查 G 极触发信号或器件短路。

## 任务 6.3：单相交流调压电路的调试（45 分钟）

### 1. 理论讲解：

#### ● 电阻性负载

正负半周触发延迟角  $\alpha$  控制输出电压（图 6-13 波形分析）。

移相范围  $0 < \alpha < \pi$ ， $\alpha = 0$  时输出最大电压。

#### ● 阻感性负载

负载阻抗角  $\varphi$  对导通角的影响，移相范围  $\varphi \leq \alpha \leq \pi$ 。

电流滞后导致晶闸管关断延迟（图 6-14 波形对比）。

#### ● 斩控式调压

全控型器件（如 IGBT）实现高频斩波（图 6-16 等效电路）。

2. **实验操作讲解：**用示波器观察  $\alpha = 30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  时的负载电压波形。

## 任务 6.4：三相交流调压电路的调试（45 分钟）

### 1. 理论讲解：

- **星形联结电路**

三相触发脉冲相位差  $60^\circ$ ，宽脉冲或双脉冲触发。

$\alpha=0^\circ$ 时三管导通， $\alpha=30^\circ$ 时两管导通（图 6-21 波形分析）。

### 2. 实验操作讲解：

- **触发电路调试**：调节 TCA785 芯片，观察 A/B/C 三相锯齿波一致性。
- **负载测试**：记录  $\alpha=30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 时的输出电压有效值。

## 任务 6.5：光控灯开关电路的设计与调试（45 分钟）

### 1. 理论讲解：

- **电路原理**

NE555 时基芯片：输入电压分压控制输出电平。

抗干扰设计：C1 延时电路与  $R_V$  压敏电阻保护作用。

### 2. 实验操作讲解：

- **外壳加工**：改造电话插座面板，预留感光窗口。
- **灵敏度调节**：遮光测试，调节  $R_p$  使 HL 正常亮灭。
  - **故障排查**：HL 常亮检查 VTH 击穿，HL 不亮检查 R2 开路或 NE555 损坏。

## 拓展应用：交流调功电路（10 分钟）

1. **通断控制原理**：M 周期内导通 N 周期，输出波形分析（图 6-28）。
2. **应用场景**：电炉调温、避免电机冲击电流。
3. **局限性**：输出电压不连续，高次谐波问题。

## 3. 课程总结（10 分钟）

- **知识回顾**：

1. 双向晶闸管的双向导通特性与触发方式。
2. 单相/三相调压电路的移相控制与波形分析。
3. 光控开关的节能意义与 NE555 芯片的核心作用。

- **思政升华**：

“电力电子技术是实现绿色能源转型的关键，希望同学们在未来的工程实践中，秉持节能理念，创新技术应用。”

# 实验内容

## 实验 1 实验台认知与示波器基础操作

- (1)熟悉 TKDD-1 型电力电子技术及电机控制实验装置的基本结构及功能模块。
- (2)掌握示波器的基本操作方法，学习观测实验台典型信号波形（如同步信号、触发脉冲等）。
- (3)理解实验台的安全操作规范，培养规范操作的实验习惯。

## 实验 2 单结晶体管触发电路实验

- (1)熟悉单结晶体管触发电路的工作原理及电路中各元件的作用。
- (2)掌握单结晶体管触发电路的调试步骤和方法。

## 实验 3 锯齿波同步移相触发电路实验

- (1)加深理解锯齿波同步移相触发电路的工作原理及各元件的作用。
- (2)掌握锯齿波同步移相触发电路的调试方法。

## 实验 4 单相半波可控整流电路实验

- (1)掌握单结晶体管触发电路的调试步骤和方法。
- (2)掌握单相半波可控整流电路在电阻负载及电阻电感性负载时的工作。
- (3)了解续流二极管的作用。

## 实验 5 直流斩波电路的性能研究（六种典型线路）

- (1)熟悉直流斩波电路的工作原理。
- (2)熟悉各种直流斩波电路的组成及其工作特点。
- (3)了解 PWM 控制与驱动电路的原理及其常用的集成芯片。

## 实验 6 半桥型开关稳压电源的性能研究

- (1)熟悉典型开关电源主电路的结构，元器件和工作原理。
- (2)了解 PWM 控制与驱动电路的原理和常用的集成电路。
- (3)了解反馈控制对电源稳压性能的影响。

## 实验 7 BT33 单相可控调压电路

- (1)熟悉中级维修电工的基本电路
- (2)学习单结晶体管和晶闸管的简易测试方法

(3)熟悉单晶体管同步触发电路的工作原理及调试方法