

项目 1 直流稳压电源的设计

与测试

知识目标

- 了解二极管的结构、主要参数。
- 掌握二极管的伏安特性。
- 掌握整流电路的类型、特点和工作原理。
- 掌握滤波电路的类型、特点和工作原理。
- 掌握稳压电路的类型、特点和工作原理。

技能目标

- 掌握二极管的主要性能参数并对二极管进行识别和质量鉴定。
- 会对整流电路、滤波电路、稳压电路进行组装和测试。

项目背景

在日常生活、生产及科研实验中，有很多场合需要直流电源供电，而电网提供的一般是交流电源。大多数需要用直流电源的场所都采用各种半导体直流稳压电源，将电网提供的交流电压转换为直流电压。

一个性能良好的单相小功率直流稳压电源通常由四部分组成：电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路，有时还需要添加保护电路。直流稳压电源的基本组成如图 1-1 所示。

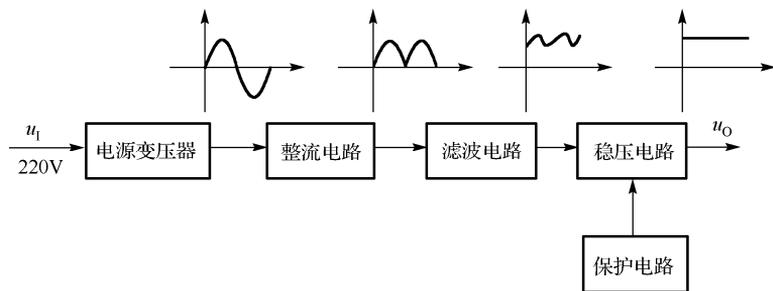


图 1-1 直流稳压电源的基本组成

电源变压器：将电网电压转换为所需要的电压。

整流电路：将交流电转换为脉动直流电。

滤波电路：将脉动直流电中的交流成分滤除，输出比较平滑的脉动直流成分。

稳压电路：进一步稳定整流后的脉动直流电压。

任务 1.1 二极管的识别与检测

任务分析

用半导体制成的器件统称为半导体器件，如半导体二极管、半导体三极管、场效应管和集成电路。半导体器件具有耗电少、体积小、寿命长、重量轻等优点，因此在电子技术中得到广泛应用。本任务通过二极管的识别和检测，学习二极管的基本知识。

知识链接

1.1.1 半导体基本知识

半导体的基本知识是理解半导体器件的特性与工作原理的必要基础。半导体是指导电性能介于导体和绝缘体之间的一种物质，如硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。半导体具有以下物理特性。

热敏特性：半导体的电阻率随温度变化而显著变化。利用这一特性制成的热敏元件，常用于检测温度的变化。这一特性也影响了半导体器件的温度稳定性。

光敏特性：当某些半导体材料受到光照时，电阻率迅速下降，导电能力显著增强。利用这一特性可制成各种光敏器件，如光敏二极管、光电管等。

掺杂特性：在纯净的半导体材料中加入某种微量的杂质元素后，其导电能力增大几万倍甚至几百万倍。这是半导体最突出的特性。

1. 本征半导体

本征半导体是化学成分纯净、物理结构完整的半导体晶体。半导体原子核最外层的价电子都是四个，称为四价元素，它们排列成非常整齐的晶格结构。在本征半导体的晶格结构中，每个原子均与其四个相邻原子的价电子两两组成电子对，构成共价键结构，结构示意图如图 1-2(a)所示。半导体在物理结构上有多晶体和单晶体两种形态，制造半导体器件必须使用单晶体，即整块半导体材料是由一个晶体组成的。最常用的半导体为硅和锗。

在绝对零度且没有其他外部能量作用时，由于共价键的束缚，价电子不能自由移动，半导体中就没有可移动的载流子，导电能力如同绝缘体。

当受光照或温度上升时，共价键中的价电子热运动加剧，一些价电子会挣脱原子核的束缚游离到空间中成为自由电子，这种现象称为本征激发，如图 1-2(b)所示。价电子脱离共价键束缚形成自由电子的同时，在相应的共价键中留下一个不能移动的空位置，称为空穴。受光照或温度上升影响，其他邻近的价电子很容易填补这个空穴，这种现象称为复合。



参与复合的价电子又会留下一个新的空穴，而这个新的空穴仍会被邻近共价键中跳出来的价电子填补上，这种空穴运动相当于正电荷在运动。

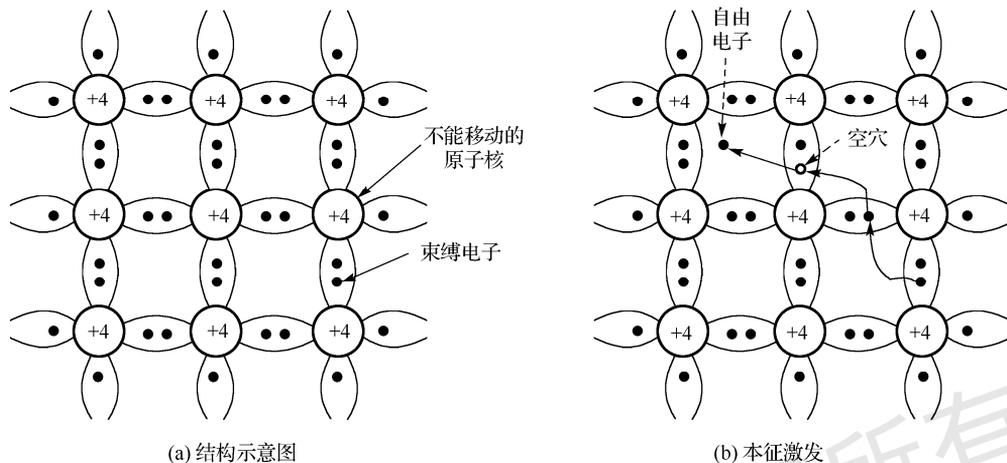


图 1-2 本征半导体

可见，半导体由于本征激发而产生自由电子载流子，由复合运动产生空穴载流子，因此，半导体中同时参与导电的通常有两种载流子，且两种载流子总是电量相等、符号相反的，电流的方向规定为空穴载流子的运动方向，即自由电子运动的反方向。这是半导体导电的最大特点，也是半导体和金属在导电机制上的本质差别。

载流子浓度决定半导体的导电能力。载流子浓度越高，半导体的导电能力越强。常温情况下，半导体的导电能力较弱。

2. 杂质半导体

本征半导体虽然有自由电子和空穴两种载流子，但由于数量极少，因此导电能力仍然很低。如果在其中掺入某种元素的微量杂质，掺杂后的杂质半导体的导电性将会大大增强。在本征半导体中掺入某些微量杂质元素后的半导体称为杂质半导体。

1) N(negative)型半导体

在纯净的半导体中掺入少量五价杂质元素，如磷、砷等，可以使半导体中自由电子的数量大大增加。这种半导体称为 N 型半导体或电子型半导体。在 N 型半导体中，多子(多数载流子)是自由电子，少子(少数载流子)是空穴，N 型半导体结构示意图如图 1-3(a) 所示。

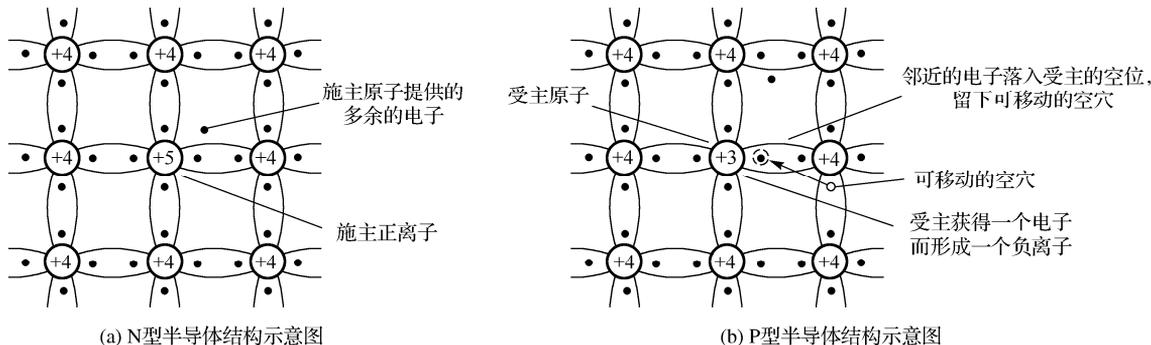


图 1-3 杂质半导体结构示意图

2) P(positive)型半导体

掺入三价元素的杂质半导体，由于空穴载流子的数量远大于自由电子载流子的数量，因此称为空穴型半导体，也叫P型半导体。在P型半导体中，多子是空穴，少子是自由电子，P型半导体结构示意图如图1-3(b)所示。

在杂质半导体中，多子的数量取决于杂质浓度，少子的数量取决于温度。不论是N型半导体还是P型半导体，多子和少子的移动都能形成电流。但是在一般情况下，杂质半导体中的多子的数量可达到少子数量的 10^{10} 倍甚至更多，因此起主要导电作用的是多子，而杂质半导体比本征半导体的导电能力强几十万倍。

3. 半导体PN结

杂质半导体的导电能力虽然比本征半导体高，但它们并不能称为半导体器件。在电子技术中，PN结是一切半导体器件的“元概念”和技术起始点。

1) PN结的形成

如果将N型半导体和P型半导体制作在同一块本征半导体基片上，那么在它们的交界处就会形成一个很薄的导电层，称为PN结。PN结的形成如图1-4所示。

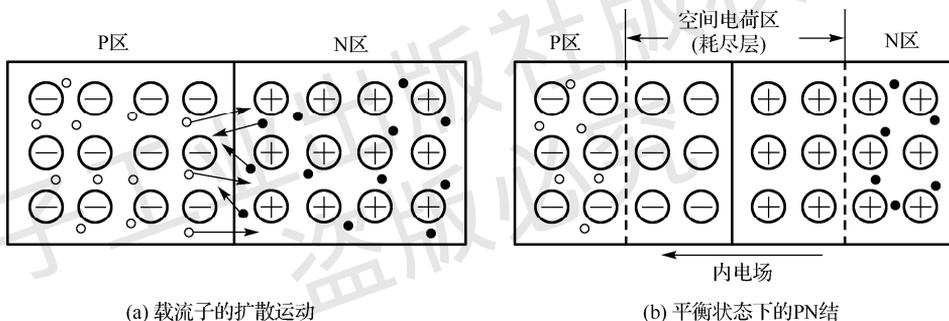


图 1-4 PN 结的形成

在PN结形成的过程中，多子的扩散运动和少子的漂移运动共存。刚开始时，一方面，多子的扩散运动占优势，扩散运动的结果使PN结加宽，内电场增强；另一方面，内电场又促进了少子的漂移运动：P区的少子自由电子向N区漂移，补充了交界面上N区失去的自由电子，同时，N区的少子空穴向P区漂移，补充了原交界面上P区失去的空穴，显然漂移运动减少了空间电荷区带电离子的数量，削弱了内电场，使PN结变窄。最后，扩散运动和漂移运动达到动态平衡，空间电荷区的宽度基本稳定，PN结形成。

2) PN结的单向导电性

在没有外电场作用时，PN结是不会导电的；在外电场的作用下，PN结表现出单向导电性。

(1) 正偏：如图1-5(a)所示，若PN结P区接电源正极，N区接电源负极，且当外加电场大于PN结内电场时，PN结处于导通状态，对外电路呈现出较小的电阻，这种状态称为正向导通，所加电压称为正偏电压。

(2) 反偏：如图1-5(b)所示，若PN结N区接电源正极，P区接电源负极，PN结电阻增大，反向电流很小，这种状态称为反向截止，所加电压称为反偏电压。

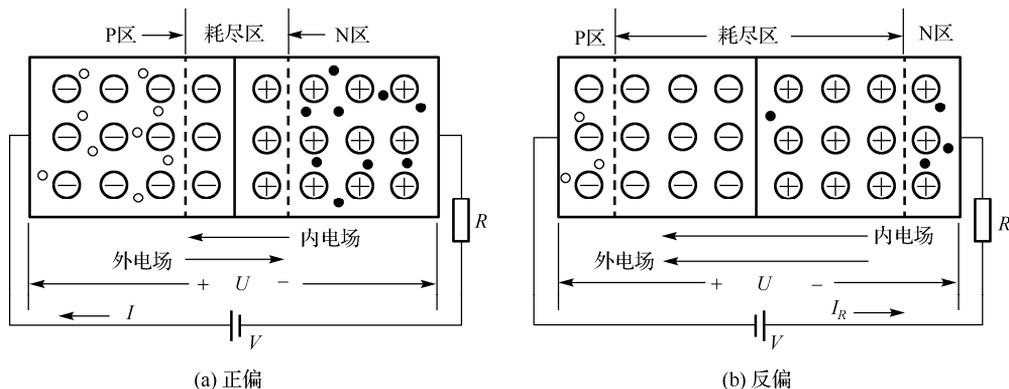


图 1-5 外加偏置电压的 PN 结

1.1.2 二极管

1. 二极管结构及电路符号

在一个 PN 结的两端加上电极引线并用外壳封装起来，就构成了半导体二极管，二极管结构示意图如图 1-6 (a) 所示，其中从 N 区引出来的是阴极，从 P 区引出来的是阳极。二极管通用电路符号如图 1-6 (b) 所示。

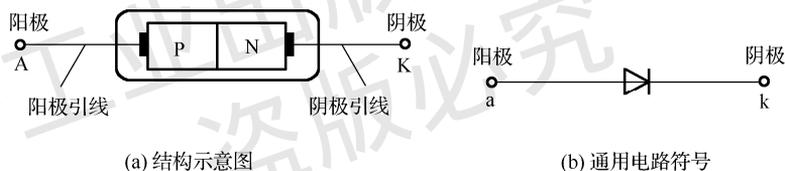


图 1-6 二极管结构示意图及其通用电路符号

2. 二极管的特性

二极管伏安特性如图 1-7 所示。

正向特性: 当正向电压小于死区电压(硅管约为 0.5V ，锗管约为 0.2V)时，二极管截止，电流几乎为零。当正向电压大于死区电压时，二极管导通，电流较大。导通后的二极管端电压变化很小，基本上是一个常量，硅管约为 0.7V ，锗管约为 0.3V 。

反向特性: 当反向电压在一定范围内时，二极管截止，电流几乎为零。当反向电压增大到反向击穿电压 U_{BR} 时，反向电流突然增大，二极管击穿，失去单向导电性。

有时为了便于分析，在一定条件下，可以把二极管的伏安特性理想化，即认为二极管的死区电压和导通电压都等于零，这样的二极管称为理想二极管。

二极管在电路中主要用于整流、限幅、钳位等。整流是指将输入的交流电压变换为单方向脉动的直流电压；限幅是指将输出电压限制在某一数值以内；钳位是指将输出电压限制在某一特定的数值上。

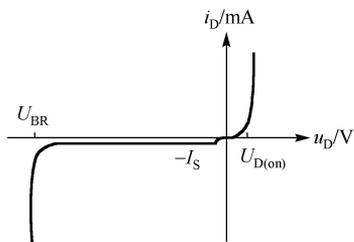


图 1-7 二极管伏安特性

1.1.3 二极管的主要参数

二极管的主要参数如下。

- (1)最大整流电流 I_{OM} ：指二极管长期使用时允许通过的最大正向平均电流。
- (2)反向工作峰值电压 U_{DRM} ：指二极管使用时允许加的最大反向电压。
- (3)反向峰值电流 I_{RM} ：指二极管加上反向峰值电压时的反向电流值。
- (4)最高工作频率 f_M ：指二极管所能承受的外施电压的最高频率。

1.1.4 特殊二极管

1. 稳压管

稳压管的反向击穿特性曲线比普通二极管陡，在正常工作时处于反向击穿区，且在外加反向电压撤除后又能恢复正常。当稳压管工作在反向击穿区时，电流虽然在很大范围内变化，但稳压管两端的电压变化很小，所以能起稳定电压的作用。如果稳压管的反向电流超过允许值，将会因过热而损坏，所以与稳压管配合的电阻要适当，才能起到稳压作用。稳压管除用于稳压外，还可用于限幅、欠压或过压保护、报警等。

2. 光电二极管

光电二极管用于将光信号转变为电信号输出，在正常工作时处于反向工作状态，没有光照射时反向电流很小，有光照射时会形成较大的光电流。

3. 发光二极管

发光二极管用于将电信号转变为光信号输出，正常工作时处于正向导通状态，当有正向电流通过时，自由电子就与空穴直接复合而发出光来。

4. 变容二极管

变容二极管是一种利用 PN 结的势垒电容与其反偏电压的依赖关系及原理制成的二极管。变容二极管是利用 PN 结之间电容可变的原理制作的，当变容二极管正常工作时，二极管反偏，改变其 PN 结上的反偏电压，即可改变 PN 结电容量。反偏电压越高，结电容越小，反偏电压与结电容之间的关系是非线性关系。变容二极管通常用于高频电路作为调谐元件或在通信等电路中作为可变电容使用。

任务实施

设备要求

- (1)各种类型、各种规格的新二极管若干。
- (2)各种类型、各种规格的已损坏的二极管若干。
- (3)万用表一只。



实施步骤

1. 二极管器件识别

二极管是各种半导体器件及其应用的基础。二极管种类很多，分类方法也很多。按实际用途可分为普通二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管、稳压二极管等；按所用材料可分为硅管和锗管等；按功能可分为开关管、整流管、稳压管、发光管和光电管等；按工作频率可分为低频管和高频管；按制作工艺可分为点触型二极管、面结型二极管、平面型二极管等。

几种常见二极管的电路符号如图 1-8 所示。



图 1-8 几种常见二极管的电路符号

2. 二极管器件检测

1) 二极管极性判别

(1) 从外观上识别：二极管的正负极一般可以从外形上识别出来，有的二极管直接标注了二极管的图形符号（箭头指向的一端为负极）；有的二极管用色环或色点来标注（有色环或色点一边为负极）；发光二极管、光电二极管可根据引脚长短判断正负极（长正短负）。

(2) 用万用表判断：二极管正向电阻小，反向电阻大。将万用表拨到电阻挡（一般用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡，因为 $R \times 1$ 挡电流太大， $R \times 10k$ 挡电压太高，易损坏管子），用表笔分别与二极管的两极相接，测出两个阻值。在所测得阻值较小的一次，与黑表笔相接一端为二极管的正极；同理，在所测得较大阻值的一次，与黑表笔相接的一端为二极管的负极。指针式万用表测量二极管示意图如图 1-9 所示。

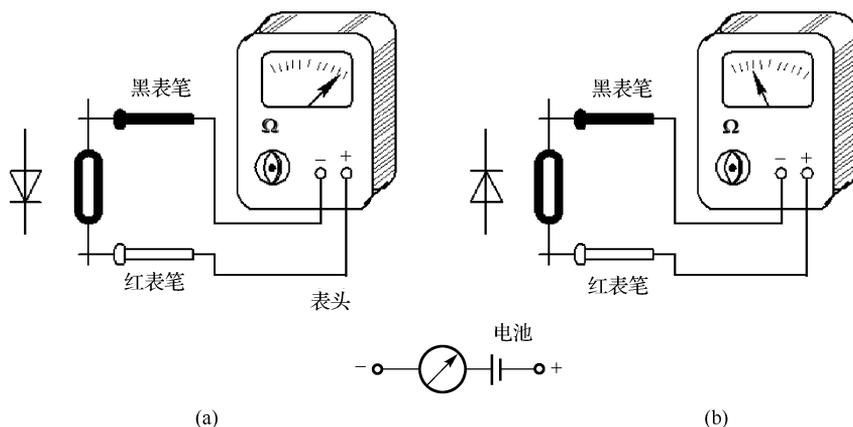


图 1-9 指针式万用表测量二极管示意图

2) 二极管质量检测

通过测量二极管的正向、反向电阻值判断二极管好坏：若正向、反向电阻值都很小或接近于零，则说明管子内部出现短路或已击穿；若正向、反向电阻值都很大或接近于无穷大，则说明管子内部已断路；若正向、反向电阻值相差不大，则说明二极管性能变坏或已失效；若反向电阻值比正向电阻值大几百倍以上，则说明二极管性能良好。

任务评价

任务 1.1 评价表如表 1-1 所示。

表 1-1 任务 1.1 评价表

任 务	内 容	分 值	考 核 要 求	得 分
二极管器件识别	1. 名称和类型 2. 电路符号 3. 主要指标	30	能识别各种二极管的名称、类型、电路符号，了解主要指标的含义	
二极管器件检测	1. 判别极性 2. 质量检测 3. 特殊二极管检测	50	能判别二极管的极性和质量	
态度	1. 积极性 2. 遵守安全操作规程 3. 纪律和卫生情况	20	积极参加训练，遵守安全操作规程，保持工位整洁，有良好的职业道德及团队精神	
合计		100		

任务 1.2 整流电路的测试

任务分析

利用二极管的单向导电特性将正负交替的正弦交流电压变为单方向的脉动电压的电路，称为整流电路。根据交流电的相数，整流电路分为单相整流电路、三相整流电路等。在小功率电路中(1kW 以下)，一般采用单相整流电路。常用的单相整流电路有单相半波、单相全波和单相桥式整流电路，其中尤以单相桥式整流电路使用最为普遍。本任务通过整流电路的设计和仿真测试，学习整流电路的分析、测试方法，以及根据需求选择适合的整流二极管。

知识链接

1.2.1 单相半波整流电路

1. 工作原理

利用二极管的单向导电性，在变压器二次电压 u_2 为正的半个周期内，二极管正偏，处于导通状态，负载 R_L 上得到半个周期的直流脉动电压和电流；而在 u_2 为负的半个周期内，二极管反偏，处于截止状态，负载中没有电流流过，负载上电压为零。由于二极管的单向



导电作用,将变压器二次侧的交流电压变换成负载 R_L 两端的单向脉动电压,达到整流目的,单相半波整流电路及波形图如图 1-10 所示。因为这种电路只在交流电压的半个周期内才有电流流过负载,所以称为单相半波整流电路。

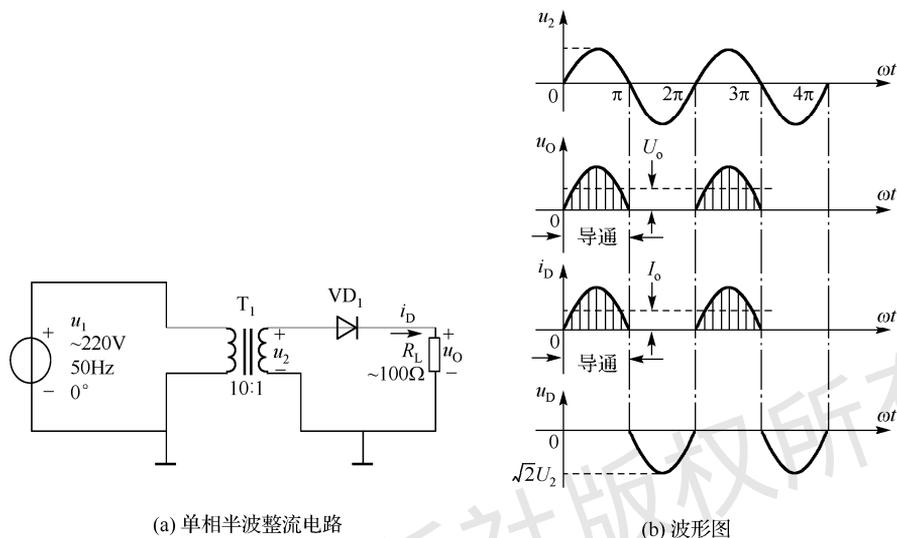


图 1-10 单相半波整流电路及波形图

2. 单相半波整流电路的指标

(1) 负载上的输出电压 U_o 。

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \sqrt{2}U_2 = 0.45U_2 \quad (1-1)$$

(2) 流过负载的平均电流 I_o 。

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1-2)$$

(3) 流过整流二极管的平均电流 I_D 。

$$I_D = I_o = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1-3)$$

(4) 整流二极管所承受的最大反向电压 U_{DRM} 。

$$U_{DRM} = U_{2M} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-4)$$

1.2.2 单相桥式整流电路

1. 工作原理

单相桥式整流电路应用最广,采用四个整流二极管组成桥式电路,单相桥式整流电路及其波形图如图 1-11 所示,常将图中的四个二极管电路称为整流桥。

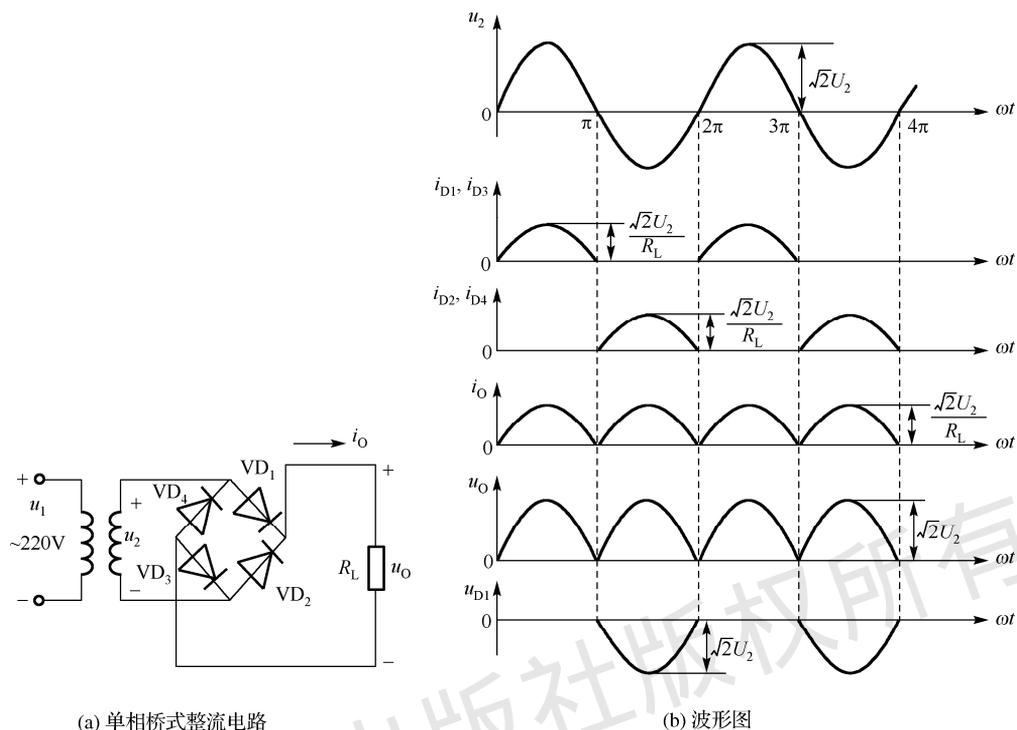


图 1-11 单相桥式整流电路及其波形图

2. 单相桥式整流电路的指标

(1) 负载上的输出电压 U_o

$$U_o = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} \sqrt{2}U_2 = 0.9U_2 \quad (1-5)$$

(2) 流过负载的平均电流 I_o

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.9U_2}{R_L} \quad (1-6)$$

(3) 流过整流二极管的平均电流 I_D

$$I_D = \frac{1}{2}I_o = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1-7)$$

(4) 整流二极管所承受的最大反向电压 U_{DRM}

$$U_{DRM} = U_{2M} = \sqrt{2}U_2 \quad (1-8)$$

任务实施

任务目标

(1) 掌握整流电路的工作原理及应用。



- (2) 熟悉单相半波整流电路、单相桥式整流电路的组成及主要参数。
- (3) 会根据实际需求选择适合的整流二极管。

设备要求

- (1) PC 一台。
- (2) Multisim 软件。

实施步骤

(1) 图 1-12 为单相半波整流电路仿真图，按图 1-12 绘制单相半波整流电路，观察电源电压和输出电压波形，并记录在表 1-2 中。

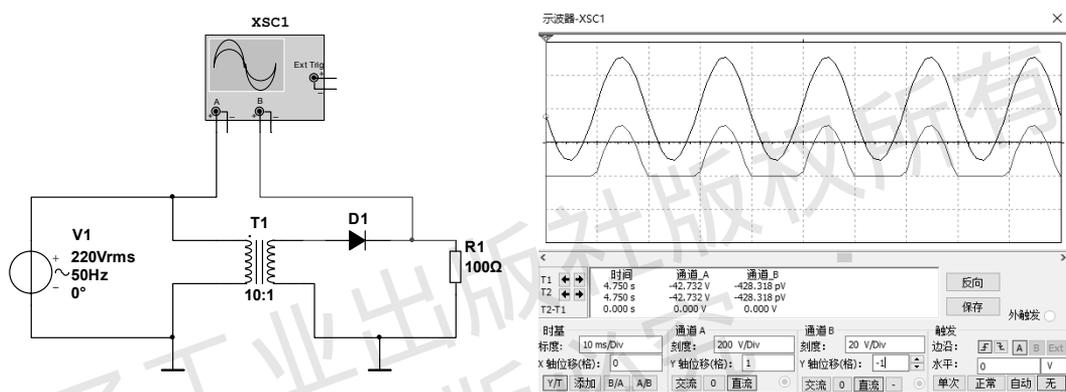


图 1-12 单相半波整流电路仿真图

(2) 图 1-13 为单相桥式整流电路仿真图，按图 1-13 绘制单相桥式整流电路，观察输出电压波形，并记录在表 1-2 中。

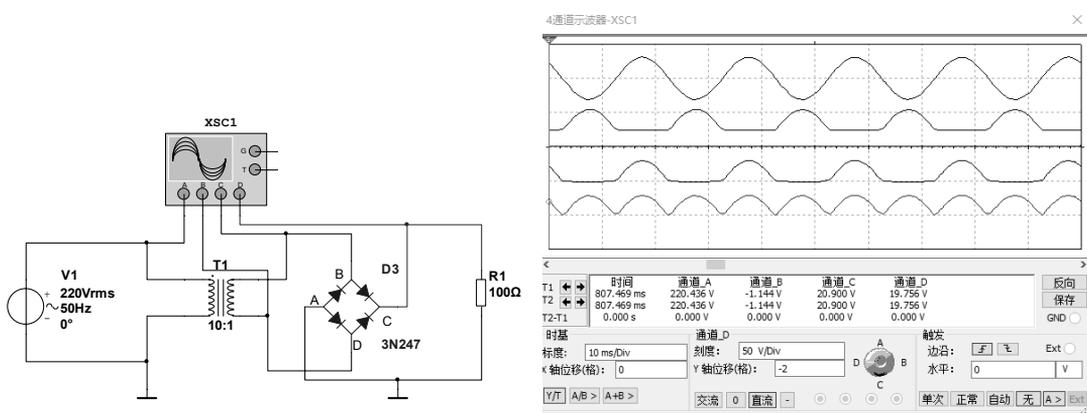


图 1-13 单相桥式整流电路仿真图

(3) 对比电源电压、单相半波整流电路输出电压波形、单相桥式整流电路输出电压波形，总结单相半波整流电路和单相桥式整流电路的特点。

- (4) 设置单相桥式整流电路四个二极管故障，观察输出波形的变化。
- (5) 完成表 1-2 中的技能拓展。

表 1-2 整流电路仿真任务单

项 目	波 形	电 压 值
输入电压 (电源电压)		输入电压是____(波形), 极性是____(单极性/双极性)
单相半波整流电路 输出电压		单相半波整流电路输出电压是____(波形), 极性是____(单极性/双极性)
单相桥式整流电路 输出电压		单相桥式整流电路输出电压是____(波形), 极性是____(单极性/双极性)
故障设置	1.当整流桥四个二极管中有一个二极管短路时, 对整个电路有什么影响? 2.当整流桥四个二极管中有一个二极管断路时, 对整个电路有什么影响?	
技能拓展	有一单相桥式整流电路要求输出电压 $U_o = 110V$, $R_L = 80\Omega$, 交流电压 $380V$, 如何选用二极管?	

任务评价

任务 1.2 评价表如表 1-3 所示。

表 1-3 任务 1.2 评价表

任 务	内 容	分 值	考 核 要 求	得 分
单相半波整流 电路测试	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	30	能正确绘制电路图, 会根据测试需求设置各参数, 能正确完整记录实验数据, 会分析单相半波整流电路的工作原理	
单相桥式整流 电路测试	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	30	能正确绘制电路图, 会根据测试需求设置各参数, 能正确完整记录实验数据, 会分析单相桥式整流电路的工作原理	
技能拓展	1. 整流电路工作原理和主要参数 2. 选择整流元件	20	会分析整流电路工作原理, 会根据需求选择整流元件	
态度	1. 积极性 2. 遵守安全操作规程 3. 纪律和卫生情况	20	积极参加训练, 遵守安全操作规程, 保持工位整洁, 有良好的职业道德及团队精神	
合计		100		



任务 1.3 滤波电路的测试

任务分析

整流电路输出的是脉动直流电，脉动直流电含有较大的纹波电压，除了一些特殊场所，不能直接作为直流电源为电子产品供电，必须采取措施减小输出电压中的纹波电压，滤波电路就是常用的措施。滤波通常利用电容元件和电感元件的储能功能进行实现。常用的滤波电路有电容滤波电路、电感滤波电路、L形滤波电路和 Π 形滤波电路。

知识链接

1.3.1 电容滤波电路

电容滤波电路利用电容两端的电压不能突变的特点，使输出电压波形变得比较平滑。电容滤波电路一般是在负载电阻前面并联电容，电容滤波电路如图 1-14 所示。

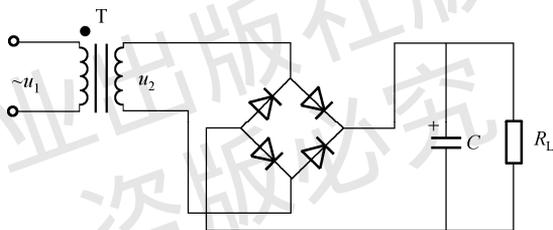


图 1-14 电容滤波电路

当空载时 ($R_L = \infty$)：设电容两端初始电压为零，接通电源后，电源电压 u_2 通过整流桥一方面向负载供电，一方面向电容充电。由于充电时间常数很小，因此电容很快充满电，其两端电压基本接近电源电压峰值 U_{2M} ，整流桥中的二极管处于截至状态。因此，滤波电路开路电压基本接近于 U_{2M} 。

当接入 R_L 时：设电源为正弦波，在接通电源后，无论是在正半周期还是在负半周期，电源电压 u_2 通过整流桥一方面向负载供电，一方面向电容充电。由于充电时间常数很小，因此电容很快充满电，其两端电压基本接近电源电压峰值 U_{2M} 。当电源电压值从峰值开始按正弦波规律变小时，由于 $u_2 < u_C$ ，整流桥四个二极管都处于截止状态，电容通过负载放电。如果电容选择适当，那么电容放电时间常数很大，放电速度很慢， u_C 下降很慢。与此同时， u_2 仍按正弦波规律变化，一旦 $u_2 > u_C$ ，电源又开始对电容进行充电（全波整流就不用考虑正负周期），电容电压很快又接近于电源电压峰值 U_{2M} 。下一时刻，电源电压又按正弦波规律变小，当 $u_2 < u_C$ 时，整流桥四个二极管都处于截止状态，电容又开始放电。这样，在 U_2 的作用下，电容不断地充电、放电，从而在负载端得到一个类似锯齿波的电压，使纹波系数大大减小。

滤波效果与电容 C 和负载 R_L 变化有关，影响如下。

负载一定时，电容 C 越大，电路放电时间常数 $R_L C$ 越大，电路放电速度越慢，负载端

电压纹波系数越小，波形越平滑，但当电容过大时，上电瞬间在电路中会产生较大的浪涌电流。为取得良好的滤波效果，一般取

$$R_L C \geq (3 \sim 5)T / 2 \quad (1-9)$$

T 为输入电压周期。

输出端电压值范围为

$$0.9U_2 < U_o < \sqrt{2}U_2 \quad (1-10)$$

当 C 一定时， R_L 越小，输出电压越小；当空载时电压最大；当满足条件(式 1-9)时，有

$$U_L \approx (1.1 \sim 1.2)U_2 \quad (1-11)$$

这种滤波电路输出电压高，但带负载能力差，一般适用于电压变化不大、负载电流小的场所。

小知识

(1) 滤波电容容量较大，一般选择电解电容，且连接到电路中时极性不能接反。

(2) 滤波电路通电瞬间会有较大的浪涌电流，在选择二极管时，其允许通过的最大平均整流应该比正常工作电流大一些，还可以在整流电路输出端串联一个限流电阻以保护二极管。

1.3.2 电感滤波电路

电感元件具有储能作用，当电感中的电流增大时，通过自感电动势阻碍电流增大，同时也将能量储存起来；当电感中的电流减小时，自感电动势阻碍电流减小，同时电感元件释放储存的能量。因此，如果电路中电流变化小，那么输出电压波纹波系数变小，输出波形变得相对平滑。电感滤波电路的实质就是通过电感元件的电流无法突变来达到滤波的效果，电感滤波电路如图 1-15 所示，电路中电感一般取值较大，为几亨以上。

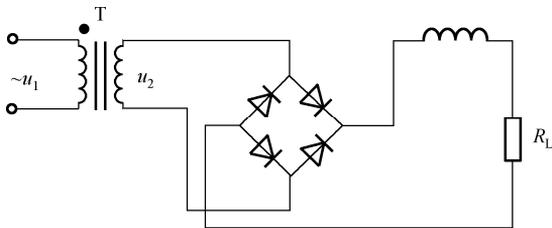


图 1-15 电感滤波电路

电感越大，滤波效果越好，当 $\omega L \gg R_L$ 时，滤波效果较好。电感滤波电路输出电压一般小于全波整流电路输出电压的平均值，如果忽略电感内阻，那么 $U_L = 0.9U_2$ 。电感滤波电路一般适用于低电压、大电流场所。

1.3.3 其他滤波电路

为进一步优化滤波效果，可在电感后面再接一个电容，构成 L 形滤波电路，L 形滤波电路如图 1-16 所示；也可在电感两端各并联一个电容构成 Π 形滤波电路， Π 形滤波电路如图 1-17 所示。

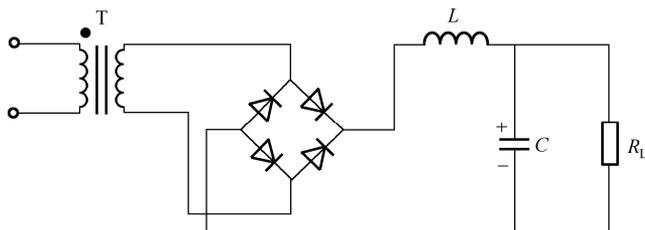
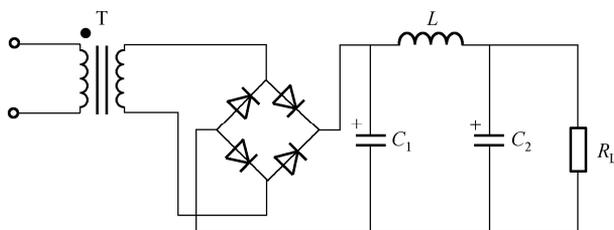


图 1-16 L 形滤波电路

图 1-17 Π 形滤波电路

任务实施

任务目标

- (1) 掌握滤波电路的工作原理及应用。
- (2) 熟悉电容滤波电路、电感滤波电路的连接方式。
- (3) 会根据实际需求选择合适的滤波电容和滤波电感。

设备要求

- (1) PC 一台。
- (2) Multisim 软件。

实施步骤

- (1) 电容滤波电路仿真测试图如图 1-18 所示，按图 1-18 绘制仿真测试电路。
- (2) 改变电容大小，观察输出电压，并记录在表 1-4 中。
- (3) 将图 1-18 中的电容去掉，在负载前串联上一个电感元件，改变电感大小，观察输出电压，并记录在表 1-4 中。

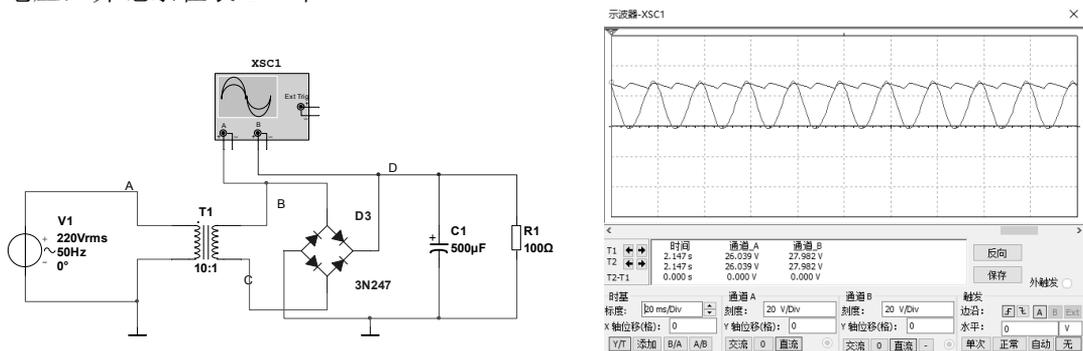


图 1-18 电容滤波电路仿真测试图

表 1-4 滤波电路仿真任务单

电容 C 变化的影响 ($R_L=100\Omega$)				
电容 C	100 μ F	500 μ F	1000 μ F	2000 μ F
波形				
直流分量/V				
交流分量/mV				
负载 R_L 变化的影响 ($C=100\mu$ F)				
负载 R_L	10 Ω	50 Ω	100 Ω	200 Ω
波形				
直流分量/V				
交流分量/mV				
电感 L 变化的影响 ($R_L=100\Omega$)				
电感 L	1H	2H	4H	8H
波形				
直流分量/V				
交流分量/mV				
结论	电容 C 越大,输出的电压交流分量____(越大/越小);负载 R_L 越大,输出的电压交流分量____(越大/越小);电感 L 越大,输出的电压交流分量____(越大/越小)			
技能拓展	单相桥式电容滤波整流,交流电源频率 $f=50\text{Hz}$,负载电阻 $R_L=50\Omega$,要求直流输出电压 $U_o=20\text{V}$,选择整流二极管及滤波电容			

任务评价

任务 1.3 评价表如表 1-5 所示。

表 1-5 任务 1.3 评价表

任 务	内 容	分 值	考 核 要 求	得 分
电容 C 变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	30	能正确绘制电路图,会根据测试需求设置各参数,能正确完整记录实验数据	
负载 R_L 变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	20	能正确绘制电路图,会根据测试需求设置各参数,能正确完整记录实验数据	
电感 L 变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	20	能正确绘制电路图,会根据测试需求设置各参数,能正确完整记录实验数据	
技能拓展	1. 滤波电路分析 2. 选择滤波元件	10	会分析滤波电路工作原理,会根据需求选择滤波元件	
态度	1. 积极性 2. 遵守安全操作规程 3. 纪律和卫生情况	20	积极参加训练,遵守安全操作规程,保持工位整洁,有良好的职业道德及团队精神	
合计		100		



任务 1.4 稳压电路的测试

任务分析

电子产品一般需要稳定的电源电压。通过整流滤波电路得到的直流电源并非理想的直流电源，它还会随电网电压的波动或负载电流的变化而变化。为获得更稳定的直流电源，在整流滤波电路之后还需要增加稳压电路，从而使输出电压更加稳定。常用的稳压电路有并联型稳压电路、串联型稳压电路和集成稳压器电路。

知识链接

1.4.1 并联型稳压电路

并联型稳压电路如图 1-19 所示，由一个稳压二极管 VD_Z 和一个限流电阻 R 组成，与负载 R_L 并联，故称为并联型稳压电路。

由电路可得

$$U_1 = U_R + U_O \quad (1-12)$$

$$I_1 = I_Z + I_O \quad (1-13)$$

稳压管稳压电路由稳压二极管 VD_Z 的电流调节作用和限流电阻 R 的电压调节作用相互配合实现稳压，稳压管的电压即电路输出电压 U_O 。稳压管稳压电路结构简单，使用方便，但是稳压范围小，一旦电网电压或负载电流变化较大时，电路将失去稳压作用；另外，电路的稳压能力由稳压管型号决定，不连续可调，稳压精度不高，输出电流不大。因此稳压管稳压电路只实用于负载电流小，负载电压不变，且对稳定度要求不高的场所。

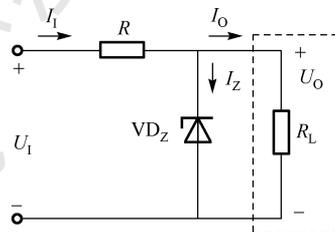


图 1-19 并联型稳压电路

小知识

限流电阻的作用：

- (1) 限制稳压管电流使其正常工作。
- (2) 通过电压调节作用配合稳压管稳定电压。

1.4.2 串联型稳压电路

稳压管电路由于输出电流小且不可调，无法满足很多场所的需求。在稳压管电路的基础上串联一个三极管电压反馈电路，可得到串联型稳压电路，这种稳压电路由可调三极管 VT 构成的主回路与负载串联，故称为串联型稳压电路，如图 1-20 所示。

串联型稳压电路一般由调整电路、取样电路、比较放大电路和基准电路等构成。其中，三极管 VT 为调整管；A 为比较放大器； U_Z 为基准电压，通过稳压管 VD 和限流电阻 R 构

成的稳压电路获得； R_1 和 R_2 构成反馈网络，其作用是对输出电压的变化量进行取样。整个电路的稳压原理是：当电网电压出现波动或负载发生变化时，输出电压 U_O 增大(或减小)，反馈网络(采样电路)将输出电压变化量取样后送至比较放大器 A 的反相输入端，与基准电压 U_Z 比较，它们的差值经放大后使调整管 VT 的基极电压和集电极电流减小(或增大)，调整管 VT 的集电极与发射极之间的电压降也随着增大(或减小)，从而稳定输出电压 U_O 。若在反馈网络中串联上一个电位器，则可实现输出电压可调。

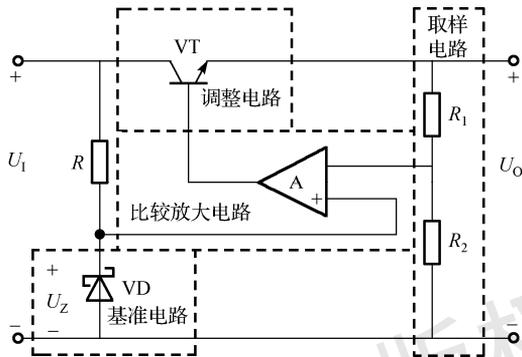


图 1-20 串联型稳压电路

小结

串联型稳压电路以稳压管电路为基础，利用三极管的电流放大作用，增大负载电流；通过引入深度电压负反馈稳定输出电压；利用反馈网络参数变化实现输出电压可调。

1.4.3 集成稳压器电路

集成稳压器是一个将稳压电路中的大部分元件或所有元件制作在一片硅片上构成的完整的稳压电路。集成稳压器种类繁多，按输出电压类型可分为固定式集成稳压器和可调式集成稳压器；按结构不同可分为串联型、并联型和开关型。集成稳压器体积小、外接元件少、性能稳定可靠、使用方便，其中三端集成稳压器使用最为广泛。

1. 固定式三端集成稳压器

常用的固定式三端集成稳压器包括 78 系列和 79 系列。78 系列输出正电压，79 系列输出负电压。它们的输出电压值有 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V 等，型号后面的两位数字表示输出电压值；输出电流有 0.1A、0.5A 等，通过 78 或 79 后面的字母区分，L 表示 0.1A，M 表示 0.5A，如 W78L09 表示输出电压值为 9V，输出电流为 0.1A。

图 1-21 为以 78 系列为核心组成的典型直流稳压电路。当正常工作时，稳压器调整管需工作在放大区，但若输入端和输出端电压差太大，则会增加稳压器功耗。为兼顾两者，当正常工作时，稳压器输入、输出电压差为 2~3V。在图 1-21 所示的电路中，VD 是保护二极管，当输入端短路时，给输出电容 C_3 一个放电回路，防止 C_3 两端的电压损坏稳压器中的调整管。电容 C_1 用于抵消电磁感应，电容 C_2 、 C_3 实现频率补偿，防止稳压管产生高频自激振荡并抑制高频干扰；同时， C_3 还可以减小输出端由输入电源带来的低频干扰。

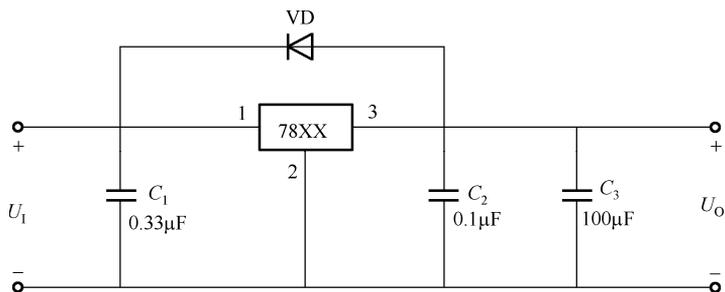


图 1-21 以 78 系列为核心组成的典型直流稳压电路

小知识

79 系列和 78 系列外形相同，但引脚排列有所不同，且不同的生产厂家生产的参数和引脚排列也有所不同，使用时需注意。

2. 可调式三端稳压器

可调式三端稳压器的输出电压可调，输出电压有正电压和负电压。LM317 是国内外使用极为广泛的一类可调式三端稳压器，它具有输出电压可调、调压范围宽（1.25~37V/DC）、稳压性能好、噪声低、纹波抑制高等优点，芯片内部有过流、过热、短路保护电路。国产主要型号有 CW317、CW337（与美国国家半导体公司的 LM317、LM337 的技术标准相近）。其中 CW317 输出电压 1.2~37V 连续可调，CW337 输出电压 -37~-1.2V 连续可调，输出电流均为 1.5A。

LM317 稳压原理如图 1-22 所示，输出端（2 脚）和调节输入端（adj）之间电压为恒定值 1.25V，输出电压 U_o 取决于 R_1 和 R_2 的比值，调节 R_2 的阻值可改变输出电压值，即

$$U_o = 1.25 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (1-14)$$

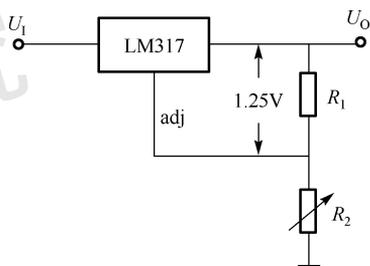


图 1-22 LM317 稳压原理

小知识

电阻 R_1 决定了 LM317 的工作电流，不可任意取值，否则可能会导致输出电压精度下降，甚至不能正常工作，一般取 240Ω，安装时应靠近芯片输出端，否则输出电流可能较大，造成输出精度下降。

任务实施

任务目标

- (1) 掌握稳压电路的工作原理及应用。
- (2) 熟悉集成稳压器的应用。
- (3) 会调试稳压电路。

设备要求

- (1) PC 一台。
- (2) Multisim 软件。

实施步骤

(1) 串联型稳压电路仿真图如图 1-23 所示，按图 1-23 绘制串联型稳压电路的仿真测试电路。

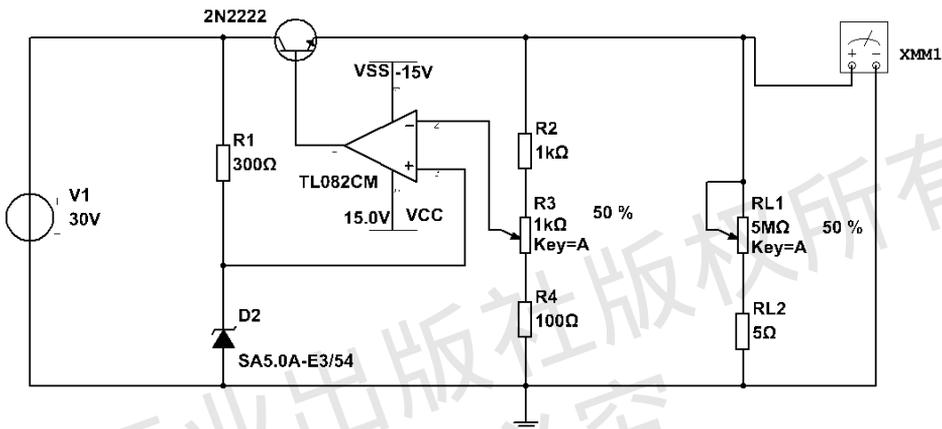


图 1-23 串联型稳压电路仿真测试图

- (2) 改变输入电压 U_1 (其他参数不变)，观察输出电压的变化并记录在表 1-6 中。
- (3) 按表 1-6 分别改变负载 R_L (其他参数不变)，观察输出电压的变化并记录在表 1-6 中。

表 1-6 串联型稳压电路仿真任务单

输入电压变化的影响(其他参数不变)							
输入电压 U_1 / V	30	25	20	15	10	5	1
输出电压 U_o / V							
结论							
负载 R_L 变化的影响(其他参数不变)							
负载电阻 R_L / Ω	∞	5000	1000	200	50	10	2
输出电压 U_o / V							
结论							
取样电阻 R_2 变化的影响(其他参数不变)							
取样电阻 R_2 / Ω	100%	80%	60%	40%	20%	10%	0%
输出电压 U_o / V							
结论							



任务评价

任务 1.4 评价表如表 1-7 所示。

表 1-7 任务 1.4 评价表

任 务	内 容	分 值	考 核 要 求	得 分
输入电压变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	30	能正确绘制电路图, 会根据测试需求设置各参数, 能正确完整记录实验数据	
负载 R_L 变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	20	能正确绘制电路图, 会根据测试需求设置各参数, 能正确完整记录实验数据	
取样电阻 R_2 变化的影响	1. 绘制电路图 2. 设置电路参数 3. 观察并记录实验数据	20	能正确绘制电路图, 会根据测试需求设置各参数, 能正确完整记录实验数据	
技能拓展	1. 滤波电路分析 2. 选择滤波元件	10	会分析滤波电路工作原理, 会根据需求选择滤波元件	
态度	1. 积极性 2. 遵守安全操作规程 3. 纪律和卫生情况	20	积极参加训练, 遵守安全操作规程, 保持工位整洁, 有良好的职业道德及团队精神	
合计		100		

实训 1 直流稳压电源的设计与测试

实训 1.1 设计指标

- (1) 学习小功率直流稳压电源的设计与调试方法。
- (2) 掌握小功率直流稳压电源有关参数的测试方法。
- (3) 会选择变压器、整流二极管、滤波电容及集成稳压器设计直流稳压电源。
- (4) 掌握直流稳压电路的调试及主要技术指标的测试方法。
- (5) 通过电路设计加深对该课程知识的理解及对知识的综合运用。

实训 1.2 设计任务

- (1) 输入电源: 单相(AC), 220V \pm 10%, 50Hz \pm 5%。
- (2) 输出电压: DC 3~12V, 连续可调。
- (3) 输出电流: DC 0~800mA。
- (4) 负载效应: \leq 5%。
- (5) 输出纹波噪声电压: \leq 10mV(有效值)。
- (6) 保护性能: 超出最大输出电流 20%时立即过流保护。
- (7) 适应环境: 温度为 0~40 $^{\circ}$ C, 湿度为 20%~90%RH。
- (8) PCB(印制电路板)尺寸: \leq 120mm \times 90mm。

实训 1.3 设计要求

直流稳压电源的基本要求如下。

- (1) 合理选择电源变压器。
- (2) 合理选择集成稳压器。
- (3) 完成全电路理论设计、计算机辅助分析与仿真、安装调试、绘制电路图。
- (4) 撰写设计使用说明书。
- (5) 稳压电源在输入电压为 220V/50Hz、电压变化范围为-10%~+10%条件下:

- ① 输出直流电压为 1.26~12V, 12V, 9V, 5V, -5V;
- ② 最大输出电流为 $I_{\text{omax}}=500\text{mA}$;
- ③ 纹波电压(峰-峰值) $\leq 5\text{mV}$ (最低输入电压下, 满载);
- ④ 具有过流保护及短路保护功能;

⑤ 画出总体设计框图, 以说明直流稳压电源由哪些相对独立的功能模块组成, 标出各个模块之间的联系、变化, 并以文字对原理作辅助说明。设计各个功能模块的电路图, 并加上原理说明。选择合适的元器件, 接线验证、调试各个功能模块的电路, 在接线验证时设计、选择合适的输入信号和输出方式, 在保证电路正确性的同时, 输入信号和输出方式要便于电路的测试和故障排除。在验证各个功能模块的基础上, 对整个电路的元器件和布线进行合理布局, 进行直流稳压电源整个电路的调试。

实训 1.4 硬件设计与检查

1. PCB 的制作

- (1) 准备原理图和网络表。
- (2) 规划电路板, 设置参数。
- (3) 装入网络表, 进行元件封装。
- (4) 布置元件, 进行手工调整。
- (5) 布线, 进行手工调整。
- (6) 保存 PCB 文件, 打印输出, 并检查打印出来的 PCB 图是否完好。
- (7) 用 FeCl_3 溶液进行腐蚀。

2. 硬件设计及检测

对电路进行组装: 按照自己设计的电路, 在 PCB 上焊接。焊接完毕后, 应对照电路图仔细检查, 看是否有错接、漏接、虚焊的现象。对安装完成的电路板的参数及工作状态进行测量, 以便提供调整电路的依据。经过反复的调整和测量, 使电路的性能达到要求。

- (1) 准备以下仪器仪表。
 - ① GB-9 毫伏表 1 台;
 - ② 0.5kW 调压器 1 台;
 - ③ 万用表 1 只;
 - ④ 常用调试工具 1 套;



- ⑤ 35W 电烙铁 1 把(外壳接地);
- ⑥ 300V 交流电压表 1 个;
- ⑦ 3A 交流电流表 1 个;
- ⑧ 工艺电阻: 15W、15 Ω 电阻 1 只。

(2) 外观检查。

- ① 电源调试前, 仔细检查整流滤波电容极性装配是否正确, 以免发生意外及损坏元器件。
- ② 防止输出端或负载短路, 以免损坏电源调整管或其他元器件。

(3) 电路静态检测。

- ① 整流输出端对地电阻 $\geq 10\text{k}\Omega$;
- ② 稳压输出端对地电阻约 $2\text{k}\Omega$ 。

(4) 变压器的检测。

- ① 静态直流电阻一次侧 130Ω , 二次侧 1Ω ;
- ② 加电测量一次侧 220V, 二次侧 18V;
- ③ 变压器无明显发烫、震动、鸣叫现象。

3. 焊接要求

手工焊接一般分四步进行。

(1) 准备焊接: 清洁被焊元器件处的积尘及油污, 再将被焊元器件周围的元器件左右掰一掰, 让电烙铁头可以触到被焊元器件的焊锡处, 以免烙铁头伸向焊接处时烫坏其他元器件。焊接新的元器件时, 应对元器件的引线镀锡。

(2) 加热焊接: 将沾有少许焊锡和松香的电烙铁头接触被焊元器件约几秒钟。若要拆下印刷板上的元器件, 则待烙铁头加热后, 用手或镊子轻轻拉动元器件, 看是否可以取下。

(3) 清理焊接面: 若所焊部位焊锡过多, 可将烙铁头上的焊锡甩掉(注意不要烫伤皮肤, 也不要甩到印刷电路板上), 然后用光烙铁头“沾”些焊锡出来。若焊点焊锡过少、不圆滑, 则可以用电烙铁头“沾”些焊锡对焊点进行补焊。

(4) 检查焊点: 看焊点是否圆润、光亮、牢固, 以及是否有与周围元器件连焊的现象。

注意: 安装前应检查元器件的质量, 安装时要特别注意电解电容、集成芯片等主要器件的引脚和极性不能插错。从输入级开始向后级安装。

实训 1.5 电路调试与检测

1. 电路的调试

(1) 电路调整: 将调压器调准在 220V, 接上变压器插头, 调整 W2, 直流输出电压变为 3~12V 连续可调。调整 W2, 使直流输出电压为 $9\pm 0.2\text{V}$ 。

(2) 测电源消耗和负载特性: 在调压器为 220V, 直流输出电压为 $9\pm 0.2\text{V}$ 的情况下, 接入 15Ω 假负载。此时交流电流表指示值应 $\leq 100\text{mA}$ 。当断开 10Ω 假负载(即直流输出为空载)时, 交流电流表指示值应 $\leq 10\text{mA}$ 。

(3) 测电压调整率: 电源输出端接上 10Ω 假负载, 调压器从 180V 调到 240V, 直流输出电压为 $12\pm 0.2\text{V}$ 。

(4)测纹波电压：毫伏表接 10Ω 负载两端，将表置 10mV 挡，检查表上纹波电压应 $\leq 5\text{mV}$ 。

2. 技术指标及要求

在本次实训中，测量了稳压电源的主要性能指标，包括稳压系数、内阻、纹波电压等。其方法如下。

测量稳压系数：在负载电流为最大时，分别测得输入交流比 220V 增大和减小 10% 的输出 U_O ，并将其中最大一个代入公式计算 S_r ，当负载不变时，有

$$S_r = \left(\frac{\Delta U_O / U_O}{\Delta U_I / U_I} \right) \times 100\%$$

测量纹波电压：叠加在输出电压上的交流分量，一般为 mV 级。可将其放大后，用示波器观察其峰-峰值 V_{PP} ，也可用交流毫伏表测量其有效值 U_O ，由于纹波电压不是正弦波，因此用有效值衡量存在一定误差。

- (1)输出电压在 12V 上下可调，当交流电压为 220V 时，输出直流电压为 $12 \pm 0.2\text{V}$ ；
- (2)纹波电压：当交流电压为 220V 时， 10Ω 假负载上的纹波电压 $\leq 5\text{mV}$ ；
- (3)交流电源消耗：满载时 $\leq 150\text{mA}$ ，空载时 $\leq 40\text{mA}$ 。

3. 技术指标测量

(1)测量稳压系数。先调节自耦变压器使输入的电压增加 10% ，即 $U_I=242\text{V}$ ，测量此时对应的输出电压 U_{O1} ；再调节自耦变压器使输入减少 10% ，即 $U_I=198\text{V}$ ，测量此时对应的输出电压 U_{O2} ，然后测量当 $U_I=220\text{V}$ 时对应的输出电压 U_O ，则稳压系数为

$$S_r = \left(\frac{\frac{\Delta U_O}{U_O}}{\frac{\Delta U_I}{U_I}} \right) \times 100\% = \frac{(U_{O1} - U_{O2})}{U_O} \times \frac{220}{(242 - 198)} \times 100\%$$

根据在实验室中测得的数据，通过计算得出稳压系数，测试结果记录表如表 1-8 所示。

表 1-8 测试结果记录表

当 $U_I=220\text{V}$ 时， $U_O=$				
输入电压		输出电压		稳压系数
U_{I1}	U_{I2}	U_{O1}	U_{O2}	

(2)纹波电压的测量。用示波器观察 U_O 的峰-峰值(此时 Y 通道输入信号采用交流耦合 AC)，测量 V_{pp} 的值(约 4mV)。

将在实验室测得的纹波电压实验数据填入表 1-9 中。



表 1-9 纹波电压实验数据记录表

输出电压/V	纹波电压/mV
12	9.2
9	3.6
5	2.7
3	0.6

(3) 调压测试。在实际电路板中, $R_1=1.5\text{k}\Omega$, $R_{p1}=10\text{k}\Omega$, 可以算得理论的调压范围为 $1.25\sim 12\text{V}$, 而实际输入 LM317 中的电压要小于 25.73V , 因此无法达到这么大的电压。 $U_{\min}=1.26\text{V}$ 与基准电压 1.25V 非常接近。

4. 误差分析

(1) 误差计算。

12V 挡的误差 $V_{12\%}=|(12.13-12.00)/12.00|=1.108\%$;

9V 挡的误差 $V_{9\%}=|(8.97-9.00)/9.00|=0.333\%$;

5V 挡的误差 $V_{5\%}=|(5.06-5.00)/5.00|=1.2\%$;

-5V 挡的误差 $V_{-5\%}=|(-4.67-(-5.00))/5.00|=6.6\%$ 。

(2) 误差原因分析。

综合分析可以知道在测试电路的过程中可能带来的误差因素有:

- ① 元件本身存在的误差;
- ② 焊接点存在的微小电阻;
- ③ 万用表本身的准确度造成的系统误差;
- ④ 测量方法造成的人为误差。

思考与练习 1

一、填空题

1. 单相桥式整流和单相半波整流电路相比, 在变压器二次电压相同的条件下, 电路的 _____ 平均值高了一倍; 若输出电流相同, 对每个整流二极管而言, 则电路的整流平均电流大了 _____, 采用 _____ 电路, 脉动系数可以下降很多。
2. 在电容滤波和电感滤波中, 滤波适用于 _____ 负载, 滤波的直流输出电压高。
3. 电容滤波的特点是电路简单, _____ 较高, _____ 较小, 但是 _____ 较差, 有 _____ 冲击。
4. 对于 LC 滤波器, _____ 越高, _____ 越大, 滤波效果越好。
5. 集成稳压器 W7812 输出的电压值为 _____ V。
6. 集成稳压器 W7912 输出的电压值为 _____ V。
7. 单相半波整流电路的缺点是只利用了 _____, 同时整流电压的脉动较大。为了克服这些缺点一般采用全波整流电路。

8. 稳压二极管需要串入_____才能进行正常工作。
9. 单相桥式整流电路中, 负载电阻为 100Ω , 输出电压平均值为 $10V$, 则流过每个整流二极管的平均电流为_____A。
10. 由理想二极管组成的单相桥式整流电路(无滤波电路), 其输出电压的平均值为 $9V$, 则输入正弦电压有效值应为_____。

二、选择题

1. 为得到单向脉动较小的电压, 在负载电流较小, 且变动不大的情况下, 可选用_____。
- A. RC Π 形滤波 B. LC Π 形滤波 C. LC 滤波 D. 不用滤波
2. 单相桥式整流电路由两个二极管组成, 变压器的二次电压为 U_2 , 所承受的最高反向电压为_____。
- A. $\sqrt{2}U_2$ B. U_2 C. $2U_2$
3. 单相半波整流电路中, 负载为 500Ω , 变压器的二次电压为 $12V$, 则负载上电压平均值和二极管所承受的最高反向电压为_____。
- A. $5.4V$ 、 $17V$ B. $5.4V$ 、 $12V$ C. $9V$ 、 $12V$ D. $9V$ 、 $17V$
4. 稳压管的稳压区工作在_____。
- A. 反向击穿区 B. 反向截止区 C. 正向导通区
5. 在单相桥式整流电路中, 负载流过电流 I_o , 则每个整流管中的电流 I_D 为_____。
- A. $I_o/2$ B. I_o C. $I_o/4$ D. U_2
6. 整流的目的是_____。
- A. 将交流变为直流 B. 将高频变为低频 C. 将正弦波变为方波
7. 直流稳压电源中滤波电路的目的是_____。
- A. 将交直流混合量中的交流成分滤掉
B. 将高频变为低频
C. 将交流变为直流
8. 在单相桥式整流电路中, 若 D_1 开路, 则输出_____。
- A. 变为半波整流波形 B. 变为全波整流波形
C. 无波形且变压器损坏 D. 波形不变
9. 稳压二极管构成的并联型稳压电路, 其正确的接法是_____。
- A. 限流电阻与稳压二极管串联后, 负载电阻再与稳压二极管并联
B. 稳压二极管与负载电阻并联
C. 稳压二极管与负载电阻串联
10. 若要测单相桥式整流电路的输入电压 U_1 及输出电压 U_o , 应采用的方法是_____。
- A. 用交流电压表测 U_1 , 用直流电压表测 U_o
B. 用交流电压表分别测 U_1 及 U_o
C. 用直流电压表测 U_1 , 用交流电压表测 U_o
D. 用直流电压表分别测 U_1 及 U_o



三、计算题

1. 有一直流电源, 其输出电压为 110V 、负载电阻为 55Ω , 采用单相桥式整流电路(不带滤波器)供电。试求变压器二次电压和输出电流的平均值, 并计算二极管的电流 I_D 和最高反向电压 U_{DRM} 。

2. 有一直流电源, 其输出电压为 110V 、负载电阻为 55Ω , 采用单相半波整流电路(不带滤波器)供电。试求变压器二次电压和输出电流的平均值, 并计算二极管的电流 I_D 和最高反向电压 U_{DRM} 。

3. 单相桥式整流电路中, 不带滤波器, 已知负载电阻 $R=360\Omega$, 负载电压 $U_o=90\text{V}$ 。试计算变压器二次电压的有效值 U_2 和输出电流的平均值, 并计算二极管的电流 I_D 和最高反向电压 U_{DRM} 。

4. 在单相桥式整流电容滤波电路中, 若发生下列情况之一时, 对电路正常工作有什么影响?

- (1) 负载开路。
- (2) 滤波电容短路。
- (3) 滤波电容断路。
- (4) 整流桥中一个二极管断路。
- (5) 整流桥中一个二极管极性接反。