

学习模电三部曲



学习模电 Analog Circuit 三部曲

之电路分析

2

◆ 王学屯 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

学习模电三部曲

学习模电三部曲之 电路分析

王学屯 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本丛书分为:《学习模电三部曲之基础知识》、《学习模电三部曲之电路分析》、《学习模电三部曲之电路测试与组装技术》。

本书是该丛书的第2本,主要内容为:第1章直流稳压电源电路、第2章单级电压放大电路、第3章多级放大电路及负反馈电路、第4章集成运放及应用、第5章功放电路、第6章调谐放大器与正弦波振荡器。

本书起点低,由浅入深、循序渐进,内容结构安排上符合学习的认知规律。本书可作为高职高专应用电子技术、电子维修技术等专业的模拟电子技术课程教材,也可作为电子技术爱好者学习电子电路的自学教材,还可供从事电子技术专业的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

学习模电三部曲. 电路分析/王学屯编著. —北京:电子工业出版社, 2012.9
ISBN 978 - 7 - 121 - 18498 - 7

I. ①学… II. ①王… III. ①模拟电路 - 电路分析 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 215420 号

策划编辑:柴 燕(chaiy@phei.com.cn)

责任编辑:谭丽莎 文字编辑:王凌燕

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:880×1230 1/32 印张:6.875 字数:211.4 千字

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

电子技术无处不在，由于各应用领域的不同，它产生了许许多多的分支，如国防科技电子、航天科技电子、计算机、通信电子、机械电子、数码电子、家防电子……，但不管是哪一个领域的电子技术，它们都有一样的基础知识：电子元器件、模拟电路、数字电路和电路测试、组装技术等。

你想做未来的电工电子电气工程师、技术员、电子产品售后服务人员……吗？当你开始学习这本书时，说明你已经选择了电子类专业作为你的职业生涯的目标！只要你坚定了信心，并且愿意为此作出不懈的奋斗，相信你一定能在电的神奇世界里自由翱翔！祝愿大家有一个新的开始并马到成功！

模拟电路是电子技术理论和应用的技术基础课程。任何复杂或简单的电子电路及其控制系统都是由基本的电路理论作为基础的，只有熟练掌握和充分理解了基本电路的概念和原理，才能在电子工程技术领域进一步发展与前进。

纵观现在的大部分教材，遗憾的是所走的模式都是理论知识多于实训、理论脱钩于实训、实训总结不能升华为理论，最终导致学生认为理论难、用不上；实训易，但成功了也不明白道理，使学生的学习兴趣大打折扣。这样势必使毕业后的学生在短期内难以适应当前的生产工作，进入工厂再次培训。

鉴于上述原因，作者在结合当前职业教育的特点和多年的实践教学经验与现代企业的需求相结合，编写了本系列教材，以期让读者在较短时间内掌握模拟电子技术方面的基本技能，为进一步学习和从事相关行业奠定基础。

在编写中坚持如下理念：

一是“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则构建教学内容和体系，达到优化基础、淡化形式、强化应用的目的。

二是从“知识本位，能力本位”转变到“应用本位”，促进应用与创新相结合，实现技能型的人才培养模式。

为使本教材更贴近初学者实用，贴近技术教育接近市场的需求，贴近电子工业发展的迫切要求，本教材在编写上具有如下特点。

1. 内容编排合理，符合学习认知过程

在内容安排上，丛书共分三本：《学习模电三部曲之基础知识》、《学习模电三部曲之电路分析》、《学习模电三部曲之电路测试与组装技术》。内容安排上由认识、检测元器件到其工作原理，最后直至实际电路中的运用，很好地体现了学生的认知规律，循序渐进。

2. 案例分析与课程内容结合紧密，可操作性强

为了便于大家更好地理解和学习，教材中在每一章后面，安排了案例分析来对相应的内容进行训练和深化。每一个案例分析或实训项目都是经过作者反复实践后总结出的较为合理的实训内容，具有非常强的可操作性。这些实训对加强学生的实践动手能力有着极其重要的作用。

3. 案例分析内容的多样性与趣味性相结合

本教材中每一章的案例分析都基本上有两个，实训内容和形式多样性，使每个选用本书的院校在实践实训时，可根据自己院校的具体情况来选择相应的实训内容。在实训内容的表现形式上，一般有分立式、集成式两种；电路形式上有简单的和较为复杂的两种。每完成一个单元电路的制作之后，都可以见到直接的结果，趣味盎然。最后还可以把各个单元电路板连接起来，成为一个很完整的电子整机。

4. 本教材内容上的选择有“三度”

一是以“必需”为原则解决教学内容的“广度”问题，具体体现在——基础知识；二是以“够用”为原则解决教学内容的“深度”问题，具体体现在——电路分析；三是处理好“理论与应用”之间的关系，解决教材内容的“难度”问题，具体体现在——电路测试与组装技术。力求教材内容适合目前的教学实际水平，使教材内容覆盖课程的基本要求。

【本书章节简介】

章节名称	内容简介
第1章 直流稳压 电源电路	电源电路是任何电子产品的能源供给, 直流稳压电源作为直流能量的提供者, 在各种电子设备中, 有着极其重要的地位, 它的性能良好与否直接影响整个电子产品的精度、稳定性和可靠性。将交流电转变为稳定直流电的电子装备(或设备)称为直流稳压电源。本章主要介绍了识读直流稳压电源方框图及各单元电路、三端稳压集成电路、开关型稳压电源。有两个案例分析: 集成电路稳压电源的制作、串联型稳压电源的制作
第2章 单级电压 放大电路	在实际的电子设备中, 电压放大电路应用较多, 有单级放大和多级放大电路等, 单级电压放大电路是最基本的电路基础, 本章从三极管基本电路入手, 着重介绍单级低频电压放大电路的组成和基本工作原理。有三个案例分析: 单管放大电路的调试、单发光二极管指示电路的制作及光电隔离式扬声器保护电路的制作
第3章 多级放大电路及 负反馈电路	在实际的电子设备中, 电压放大电路应用较多, 有单级放大和多级放大电路等, 特别是多级放大电路可以满足电子设备对电路的放大倍数、输入电阻及输出电阻等要求。负反馈在电子线路中的应用较为广泛, 特别是在放大电路中引入负反馈可大大改善放大器的性能, 因此, 本章着重介绍多级放大电路及负反馈电路。有三个案例分析: 多级负反馈放大电路性能的测试、分立式前置多级放大器的制作及多级发光二极管指示电路的制作
第4章 集成运放及 应用	运算放大器简称集成运放, 是目前应用最为广泛的集成放大器, 由于其价格低廉, 现已作为一种通用的高性能放大器件来使用, 在各种放大器、比较器及信号运算电路中得到了广泛的应用。有两个案例分析: 集成电路前置放大器的制作、集成式电平指示电路的制作
第5章 功放电路	功率放大(简称功放)电路是以功率放大为主要目的, 是模拟电子技术的经典电路, 所有音频设备无一例外地都设置有功放电路。功放电路不但能驱动扬声器发声, 还能驱动继电器、伺服电机、记录仪表、输出功率较大的单元电路(如电视机的行、场扫描电路)等。在各种电子设备中, 功放有着极其重要的地位, 因此, 本章主要介绍功放电路的分类、工作原理及实用电路等。有两个案例分析: 分立式功放机的制作、集成式功放机的制作
第6章 调谐放大器与 正弦波振荡器	各种视听设备中, 常常要用到选频放大, 即放大器能从含有多种频率的信号群中, 有选择地选出某个频率的信号而加以放大, 对其他频率的信号不予放大。振荡器是一种用来产生交流信号的电路, 实际上是一种能量的转换装置, 它不需外加信号, 就能自动地将直流电能转换成具有一定频率、幅度和一定波形的交流信号, 如正弦波、方波、三角波和锯齿波等。本章主要介绍调谐放大器和正弦波振荡器。有两个案例分析: 电感三点式振荡器的调试; 石英晶体的命名、参数及检测

本书由王学屯编著，参加编写的还有高选梅、王翌敏、赵伟、孙文波、王米米、刘军朝、王琼琼、宋妍玲、耿世昌等。本书在编写过程中，还参考了其他相关大量的书目及资料，在此一并表示最诚挚的感谢！

由于编者水平有限，且时间仓促，书中难免出现谬误之处，恳请各位不吝赐教，以便使之日臻完善，在此表示感谢。

作 者
2012. 5. 1

目 录

第 1 章 直流稳压电源电路	1
1.1 识读直流稳压电源方框图及各单元电路	3
1.1.1 降压电路	4
1.1.2 整流电路	4
1.1.3 滤波电路	9
1.1.4 稳压电路	12
1.2 三端稳压集成电路	15
1.2.1 集成电路概述	15
1.2.2 三端固定稳压集成电路	15
1.2.3 三端可调稳压集成电路	19
1.3 开关型稳压电源	20
1.3.1 开关型稳压电源的优点	20
1.3.2 开关型稳压电源的基本工作原理	21
1.3.3 开关型稳压电源的类型	22
1.3.4 减少开关电源干扰的方法	24
1.3.5 A3 开关电源电路原理分析	25
1.4 案例分析	33
1.4.1 集成电路稳压电源的制作	33
1.4.2 串联型稳压电源的制作	35
自学成果测试 1	38
第 2 章 单级电压放大电路	42
2.1 三极管基本放大电路	43
2.1.1 3 种电路组态	43
2.1.2 基本放大电路的组成	43
2.1.3 放大器的静态工作点及放大原理	44

2.2 放大电路的分析方法	46
2.2.1 主要性能指标	46
2.2.2 估算分析法	48
2.2.3 微变等效电路分析法	51
2.2.4 放大电路的信号失真	53
2.3 静态工作点稳定的放大电路	54
2.3.1 分压式放大电路的基本组成	54
2.3.2 电路特点和工作原理	55
2.4 共集电极放大电路和共基极放大电路	58
2.4.1 共集电极放大电路	58
2.4.2 共基极放大电路	60
2.4.3 放大电路3种组态的比较	61
2.5 案例分析	62
2.5.1 单管放大电路的调试	62
2.5.2 单发光二极管指示电路的制作	65
2.5.3 光电隔离式扬声器保护电路的制作	67
2.6 光电隔离式扬声器保护电路制作的实施	68
自学成果测试2	70
第3章 多级放大电路及负反馈电路	77
3.1 多级放大电路	79
3.1.1 多级放大电路的作用及组成	79
3.1.2 多级放大电路的耦合方式	79
3.1.3 多级放大电路的性能指标估算	82
3.2 负反馈电路	83
3.2.1 反馈的基本概念	83
3.2.2 反馈的基本类型	85
3.2.3 负反馈放大电路分析——4种反馈阻态	90
3.2.4 负反馈对放大电路性能的影响	96
3.3 案例分析	99
3.3.1 多级负反馈放大电路性能的测试	99
3.3.2 分立式前置多级放大器的制作	102

3.3.3 多级发光二极管指示电路的制作	106
自学成果测试 3	110
第 4 章 集成运放及应用	116
4.1 集成运算放大器简介	117
4.2 集成运放的电路构成	117
4.3 差分放大电路	118
4.3.1 零点漂移现象	118
4.3.2 差分放大电路	119
4.4 集成运放的种类及主要参数	123
4.5 集成运放的应用	125
4.5.1 集成运放的线性应用	125
4.5.2 集成运放的非线性应用	131
4.6 案例分析	137
4.6.1 集成电路前置放大器的制作	137
4.6.2 集成式电平指示电路的制作	143
自学成果测试 4	147
第 5 章 功放电路	149
5.1 功放电路概述	151
5.1.1 功放电路的特点	151
5.1.2 功率放大器的分类	152
5.2 OCL 功放电路	154
5.2.1 乙类双电源互补对称功放电路 (OCL)	154
5.2.2 甲乙类互补对称功率放大电路 (OCL)	156
5.3 OTL 功放电路	157
5.3.1 OTL 乙类互补对称电路	157
5.3.2 OTL 甲乙类互补对称电路	157
5.3.3 复合管	158
5.3.4 典型电路分析	159
5.4 集成功放及应用	161
5.5 案例分析	163
5.5.1 分立式功放机的制作	163

5.5.2 集成式功放机的制作	168
自学成果测试 5	172
第6章 调谐放大器与正弦波振荡器	176
6.1 谐振电路	178
6.1.1 串联谐振电路	178
6.1.2 并联谐振电路	181
6.2 调谐放大器的工作原理	182
6.3 正弦波振荡器	183
6.3.1 自激振荡原理	183
6.3.2 几种振荡器的电路	184
6.4 案例分析	193
6.4.1 电感三点式振荡器的调试	193
6.4.2 石英晶体振荡器的命名、参数及检测	195
自学成果测试 6	199
测试题答案	201
参考文献	209

第1章

直流稳压电源电路

电源电路是任何电子产品的能源供给，直流稳压电源作为直流能量的提供者，在各种电子设备中，有着极其重要的地位，它的性能良好与否直接影响整个电子产品的精度、稳定性和可靠性。

一切电子电路都离不开电源，而直流稳压电源在电子电路中占有相当大的比重。将交流电转变为稳定直流电的电子装备（或设备）称为直流稳压电源。

【本章知识点】

- 识读直流稳压电源方框图及各单元电路
- 降压电路、整流电路、滤波电路、稳压电路
- 集成电路概述
- 三端固定稳压集成电路
- 三端可调稳压集成电路
- 开关型稳压电源的优点
- 开关型稳压电源的基本工作原理
- 开关型稳压电源的类型及抗干扰的方法
- A3 开关电源电路原理分析
- 集成电路稳压电源工作原理与制作的实施
- 串联型稳压电源工作原理与制作的实施

【学习目标】

- 了解直流稳压电路的作用及组成方框图
- 了解小功率整流滤波电路的组成

- 对整流电路可以进行简单的工程计算
- 熟悉电容滤波电路的基本形式
- 了解集成电路
- 了解三端集成稳压器的类型、型号命名方法
- 了解开关型稳压电源的类型
- 掌握单相半波、单相全波和单相桥式整流电路的工作原理
- 掌握直流稳压、集成稳压电路的工作原理
- 掌握三端稳压集成电路的应用
- 了解开关型稳压电源的工作原理
- 掌握集成电路稳压电源的制作
- 掌握串联型稳压电源的制作



1.1 识读直流稳压电源方框图及各单元电路

许多电子产品从外部来看,都是由 220V 的市电网供电的,但在它们的内部,大部分都需要将交流电转换成不同规格的低压直流电,这其中就必须使用直流稳压电源。分立式直流稳压电源的方框图如图 1.1 所示。

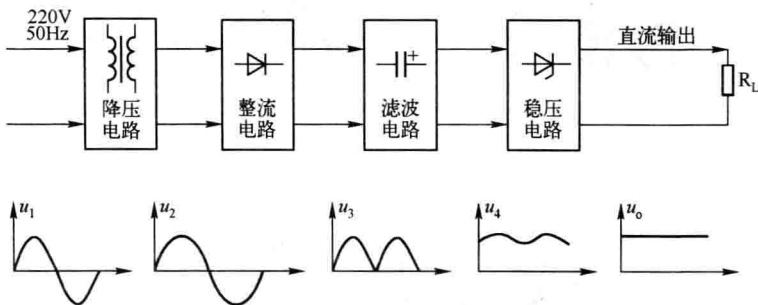


图 1.1 分立式直流稳压电源方框图

分立式直流稳压电源一般由降压、整流、滤波及稳压等几大单元电路组成,各方框图的主要作用如下。

降压电路: 一般用变压器将市电 220V 交流电压变换为整流电路所要求的交流低压,同时保证直流电源与市电电源有良好的隔离。

整流电路: 对交流电压进行整形,即把交流电压变换为单向脉动的直流电压。整流电路一般由整流二极管或整流桥来担任。

滤波电路: 将整流后单向脉动电压中的交流成分进行滤除,使之成为平滑的直流电压。滤波电路一般由电容器或三极管组成的电子滤波器来完成。

稳压电路: 为了消除因电网电压波动而造成滤波后的电压不稳或因负载改变而引起滤波后的电压不稳,在滤波后再加一级稳压电路,以获得稳定的直流输出电压。稳压电路一般用稳压二极管及其外围电路等组成。

1.1.1 降压电路

降压电路一般采用电源变压器来完成。按电源变压器次级绕组的不同,可分为单绕组、双绕组和多绕组等几种形式,其外形和符号如图 1.2 所示。

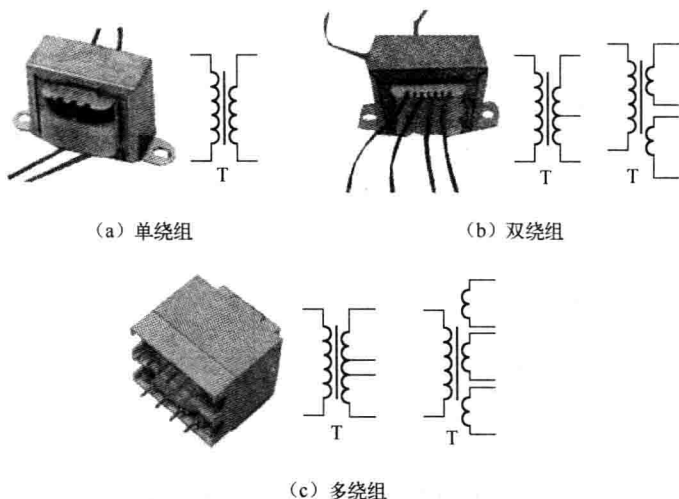


图 1.2 电源变压器的几种形式

单绕组电源变压器一般用于半波或全桥整流电路,双绕组电源变压器一般用于全波整流电路或全桥整流电路,多绕组电源变压器可灵活选择半波、全波及全桥整流电路等。

1.1.2 整流电路

整流电路常采用的电路形式有半波整流、全波整流和全桥整流,各整流电路的特点及工作原理如下。

1. 单相半波整流电路

如图 1.3 (a) 所示是单相半波整流电路原理图,电路由电源变压器 T 、整流二极管 VD 和负载电阻 R_L 组成。

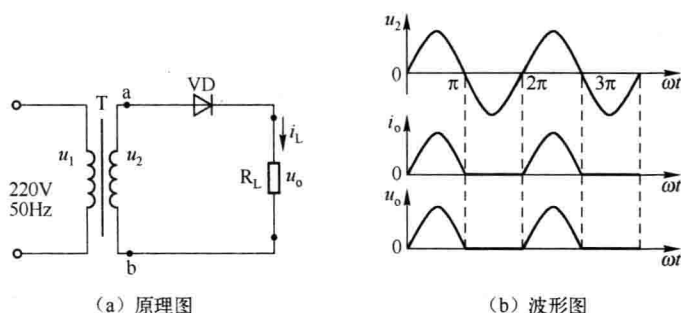


图 1.3 单相半波整流电路

1) 工作原理

设电源变压器 T 的初级接交流电 U_1 , 在次级感应出交流电压 U_2 。当 $U_2 > 0$ (正半周) 时, 二极管 VD 导通, 忽略二极管正向压降: $U_o = U_2$; 当 $U_2 < 0$ (负半周) 时, 二极管 VD 截止, 输出电流为 0, $U_o = 0$ 。其波形图如图 1.3 (b) 所示。

2) 负载和整流二极管上的电压和电流

R_L 两端的平均电压值为

$$U_o = 0.45U_2 \quad (1.1)$$

通过 R_L 两端的平均电流值为

$$I_L = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1.2)$$

由电路图 1.3 可知, 流过整流二极管的正向电流 I_V 和流过负载 R_L 的电流相等, 即

$$I_V = I_L = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L} \quad (1.3)$$

当二极管截止时, 它承受的反向峰值电压 U_{RM} 的最大值, 即

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \approx 1.414U_2 \quad (1.4)$$

选用半波整流二极管时应满足下列两个条件:

- (1) 二极管允许最大反向电压应大于承受的反向峰值电压;
- (2) 二极管允许最大整流电流应大于流过二极管的实际工作电流。

3) 电路特点

单相半波整流电路具有结构简单, 使用元件少的优点。但是也存在一些缺点: 如输出波形脉动大、直流的成分较低、变压器只有半个周期导电、利用率低; 变压器电流含有直流成分, 容易饱和。因此, 一般只在输出电流较低, 要求不太高的电路中运用。

2. 单相全波整流电路

如图 1.4 (a) 所示是单相全波整流电路原理图, 电路由电源变压器 T、整流二极管 VD_1 和 VD_2 及负载电阻 R_L 组成。

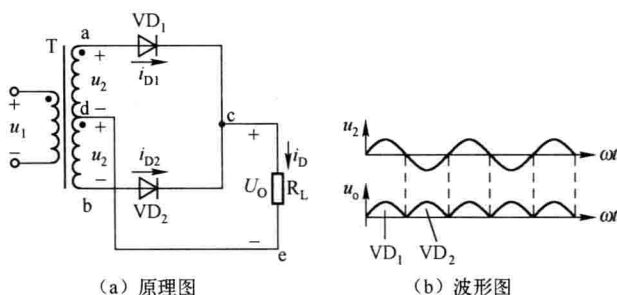


图 1.4 单相全波整流电路

1) 工作原理

设电源变压器 T 的初级接交流电 U_1 , 在次级感应出交流电压 U_2 (两组)。当 U_2 为正半周时, 二极管 VD_1 承受正向电压而导通, VD_2 承受反向电压而截止。此时电流的路径为: $a \rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow d$ 。

当 U_2 为负半周时, 二极管 VD_2 承受正向电压而导通, VD_1 承受反向电压而截止。此时电流的路径为: $b \rightarrow VD_2 \rightarrow R_L \rightarrow d$ 。其波形图如图 1.4 (b) 所示。

2) 负载和整流二极管上的电压和电流

全波整流电路能利用交流电压的正、负半周, 故负载两端的平均电压值是半波整流的二倍, 即 R_L 两端的平均电压值为

$$U_0 = 0.9 U_2 \quad (1.5)$$

通过 R_L 两端的平均电流值为

$$I_L = \frac{U_0}{R_L} = \frac{0.9 U_2}{R_L} \quad (1.6)$$