

中天传播

世纪英才

高等职业教育 **课改** 系列规划教材

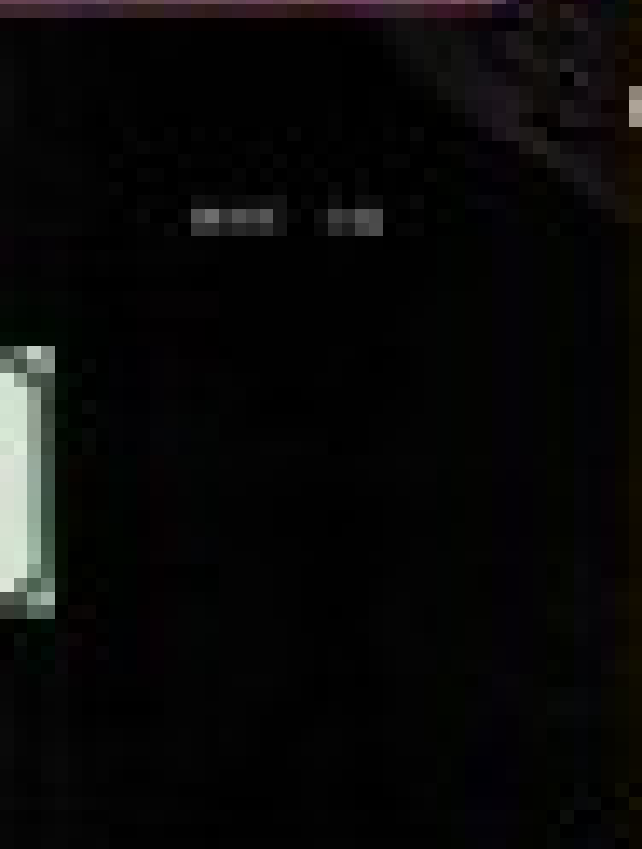
(电子信息类)

电子电路分析与实践

樊利军 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



世纪英才高等职业教育课改系列规划教材（电子信息类）

电子电路分析与实践

樊利军 主 编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电子电路分析与实践 / 樊利军主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2010.6

(世纪英才高等职业教育课改系列规划教材. 电子信息类)

ISBN 978-7-115-22570-2

I. ①电… II. ①樊… III. ①电子电路—电路分析—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第046331号

内 容 提 要

本书从电子工程师岗位的要求出发,以音频功率放大器电路的组装与调试、数字钟电路的分析与测试、简易数字温度计电路的分析与调试、调幅收音机的组装与调试4个实际应用项目为载体,按照项目描述、任务学习引导、工作页、基础知识练习页、项目评价的次序,完整地介绍了实际电子电路分析、调试和组装的基本方法以及评价方法。在每一个教学项目实施时,又根据需要分成若干个任务,设计了一系列与教学实施相配套的过程质量控制表,具有工作过程结构完整、工作要素全面、包含工作过程知识等特点,可按照资讯、计划、决策、实施、检查、评价6步法进行教学实施。

本书可作为高职高专院校通信技术、电子信息技术、电子测量技术与仪器、电气自动化技术专业的教材,也可作为有关专业师生和工程技术人员的参考用书。

世纪英才高等职业教育课改系列规划教材(电子信息类)

电子电路分析与实践

◆ 主 编 樊利军

责任编辑 丁金炎

执行编辑 郑奎国

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 11.75

字数: 271千字

2010年6月第1版

印数: 1-3500册

2010年6月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22570-2

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

本书是北京工业职业技术学院国家示范性高职院校建设项目成果之一,是由多年从事电子技术课程教学改革和实践的老师与合作企业的工程技术人员一起编写的,是结合高职高专的办学定位、岗位需求、生源的具体水平等情况,专门为高职高专电子信息类专业编写的电子技术基础教材。本书在内容选取上完全按照工作过程系统化的要求,主要是面向电子产品的开发设计岗位、装配调试岗位和技术服务岗位所从事的电子元器件的识别和检测、电子电路的分析和调试、电子电路的装配和测试、电子仪器仪表的使用等典型工作任务,结合认知规律及学生职业生涯发展规律,融入电子设计初级工程师资格要求,进行综合分析并归纳并总结出来的学习知识与工作任务。

本书力求做到电子技术的基础知识和实践应用相结合,通过音频功率放大器电路的组装与调试、数字钟电路的分析与测试、简易数字温度计电路的分析与调试、调幅收音机的组装与调试 4 个实际项目,按照项目描述、任务学习引导、工作页、基础知识练习页、项目评价的次序,完整地介绍了实际电子电路分析、调试和组装的基本方法以及评价方法。使学生掌握电子电路分析、调试和装配的一般方法以及使用常用电子仪器仪表的能力,以便达到举一反三的目的。在每一个教学项目实施时,又根据需要分成若干个任务,设计了一系列与教学实施相配套的过程质量控制表,具有工作过程结构完整、工作要素全面、包含工作过程知识等特点,可按照资讯、计划、决策、实施、检查、评价 6 步法进行教学实施。

本书教学学时数为 152 学时,各项目任务学时如下表所示,可供教师在教学过程中参考。

参考学时分配表

项 目	任 务 内 容	学 时
音频功率放大器的 组装与调试	任务一:前置放大电路的分析与调试	18
	任务二:负反馈放大电路的分析与调试	10
	任务三:功率放大器的分析与调试	10
	任务四:音频功率放大器的组装与调试	10
数字钟电路的分析 与测试	任务一:数字电路基本元器件功能测试	14
	任务二:译码显示电路的分析与测试	6
	任务三:计数电路的分析与测试	8
	任务四:校时电路的分析与测试	8
	任务五:振荡电路的分析与测试	8
	任务六:数字钟电路的组装与调试	4

续表

项 目	任 务 内 容	学 时
简易数字温度计电路的分析与调试	任务一：直流稳压电路的分析与调试	6
	任务二：温度测量电路的分析与调试	14
	任务三：A/D 转换和数字显示电路的组装与调试	8
调幅收音机的组装与调试	任务一：变频器电路的制作与测试	6
	任务二：调谐放大器电路的制作与测试	8
	任务三：检波器电路的制作与测试	8
	任务四：调幅收音机整机的组装与调试	6

本书由北京职业技术学院电子信息教学团队共同编写完成，其中项目一由李娜编写，项目二由刘莉宏和程一玮共同编写，项目三和附录由樊利军、程韦和张小燕共同编写，项目四由魏昊编写。王怀群副教授主审了全书，并对本书的内容提出了宝贵的意见。

在本书的编写过程中，先后得到了北京煤炭矿用机电设备技术开发公司、首钢自动化信息技术有限公司的工程技术人员和北京工业职业技术学院领导的大力支持，在此向为本书的出版作出贡献的同志们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

项目一 音频功率放大器的组装与调试	1	任务三 计数电路的分析与测试	71
任务一 前置放大电路的分析与调试	2	第一部分 任务学习引导	72
第一部分 任务学习引导	3	第二部分 工作页	82
第二部分 工作页	15	第三部分 基础知识练习页	82
第三部分 基础知识练习页	16	任务四 校时电路的分析与测试	82
任务二 负反馈放大电路的分析与调试	18	第一部分 任务学习引导	83
第一部分 任务学习引导	19	第二部分 工作页	92
第二部分 工作页	25	第三部分 基础知识练习页	93
第三部分 基础知识练习页	26	任务五 振荡电路的分析与测试	93
任务三 功率放大器的分析与调试	27	第一部分 任务学习引导	94
第一部分 任务学习引导	28	第二部分 工作页	99
第二部分 工作页	38	第三部分 基础知识练习页	100
第三部分 基础知识练习页	38	任务六 数字钟电路的组装与调试	100
任务四 音频功率放大器的组装与调试	39	第一部分 任务学习引导	101
第一部分 任务学习引导	40	第二部分 工作页	104
第二部分 工作页	43	第三部分 基础知识练习页	104
第三部分 基础知识练习页	45		
项目二 数字钟电路的分析与测试	47	项目三 简易数字温度计电路的分析与调试	106
任务一 数字电路基本元器件功能测试	48	任务一 直流稳压电路的分析与调试	107
第一部分 任务学习引导	49	第一部分 任务学习引导	107
第二部分 工作页	63	第二部分 工作页	115
第三部分 基础知识练习页	64	第三部分 基础知识练习页	116
任务二 译码显示电路的分析与测试	65	任务二 温度测量电路的分析与调试	117
第一部分 任务学习引导	66	第一部分 任务学习引导	118
第二部分 工作页	70	第二部分 工作页	131
第三部分 基础知识练习页	71	第三部分 基础知识练习页	132
		任务三 A/D 转换和数字显示电路的组装与调试	133
		第一部分 任务学习引导	134



第二部分 工作页	145	任务三 检波器电路的制作与 测试	157
第三部分 基础知识练习页	146	第一部分 任务学习引导	157
项目四 调幅收音机的组装与调试	147	第二部分 工作页	160
任务一 变频器电路的制作与 测试	148	第三部分 基础知识练习页	160
第一部分 任务学习引导	149	任务四 调幅收音机整机的组装 与调试	160
第二部分 工作页	153	第一部分 任务学习引导	161
第三部分 基础知识练习页	153	第二部分 工作页	168
任务二 调谐放大器电路的制作 与测试	153	第三部分 基础知识练习页	168
第一部分 任务学习引导	154	附录1 常用电子仪器的使用	170
第二部分 工作页	156	附录2 电子元器件的测量方法	176
第三部分 基础知识练习页	156	附录3 手工焊接技术	178
		参考文献	181

项目一 音频功率放大器的组装与调试

音频功率放大器是一种用来放大音频信号、获得较高音量的装置。通常需要放大的音频信号很弱，其电压值一般在几毫伏以下，通过前置放大电路对其进行放大，输出足够强的电压信号，然后送入功率放大器进行放大，使信号电压与电流同时满足驱动扬声器所需的大小。

本项目以音频功率放大器为载体，学习音频功率放大器的方案设计、各种功能电路（分立前置放大电路、负反馈放大电路、功率放大电路）的设计和制作，然后对音频功率放大器的整机电路进行组装与调试。



问题引导

- (1) 生活中哪些场合用到音频功率放大器？
- (2) 常用的音频功率放大器的种类有哪些？
- (3) 音频功率放大器的组成部分有哪些？
- (4) 音频功率放大器各部分功能电路的作用是什么？
- (5) 功放产品的生产流程。
- (6) 功放产品的性能指标。



项目描述

本项目要求学生在收集音频功率放大器相关资料的基础上，设计一款音频功率放大器，掌握音频功率放大器各部分电路的设计方案和制作过程，并结合自己的学习能力，选择信号滤波等扩展功能。详细内容见下表。

学习目标	知识目标： (1) 音频功率放大器电路的组成和工作原理； (2) 音频功率放大器各个组成部分的设计和分析以及制作过程； (3) 放大电路的基本知识； (4) 放大电路静态工作点的计算方法和动态性能指标的计算方法； (5) 负反馈的基本知识和类型； (6) 功率放大器的基本知识、组成和类型； 能力目标： (1) 能根据工程要求选用合适的模拟元器件，按照任务的要求设计电路； (2) 熟练运用模拟电路主要专业知识，分析和测试基本放大电路、负反馈放大电路、滤波电路、功率放大电路等； (3) 能列出元器件清单，询价，购买元器件，焊制电路，并能正确地使用仪表检测涉及的元器件和电路； (4) 能对电路的状态、电路的故障及提高电路的性能做出定性或定量的分析及具体的调试； (5) 能编写文档，记录制作过程和测试结果，并能制作 PPT 汇报工作成果
------	--

续表

项目任务	任务一：前置放大电路的分析与调试； 任务二：负反馈放大电路的分析与调试； 任务三：功率放大器的分析与调试； 任务四：音频功率放大器的组装与调试
建议学时	48

任务一 前置放大电路的分析与调试

前置放大电路的分析与调试的任务单如下表所示。

项目名称	音频功率放大器的组装与调试			学时	48
任务名称	前置放大电路的分析与调试			学时	18
班 级		小组编号		成员名单	
任务描述	各小组按照要求设计和分析一个分压偏置式的共发射极放大电路，并进行静态工作点 (U_{BE}, U_{CE}, I_B, I_C, I_E) 和动态性能指标 (A_u, R_i, R_o) 的测试。要求静态工作点合适，输出波形不失真。去掉电容 C_E，再测试一遍静态工作点和动态性能指标，比较两次测得的数据。说明分压式偏置电路静态工作点的稳定原理。反复调整 R_W 及信号源的输出幅度，使放大电路输出的电压不失真幅值最大，再测试静态工作点和动态性能指标，并说明 R_W 的作用				
工作内容	- 三极管的识别与测试； - 电阻、电容的测试及判别； - 分压偏置式共发射极放大电路的装接； - 放大电路静态工作点的测试与调整； - 放大电路性能指标测试； - 测试数据记录整理和分析				
注意事项	- 电解电容的极性不能接错，以免造成电容器的损坏； - 电路装接好之后才可以接通电源； - 进行性能指标测试时，一定要注意测试条件； - 静态工作点调整合适之后再行性能指标的测试				
提交成果和文件等	- 学习过程记录表单； - 工作过程计划表单； - 任务实施过程记录表； - 任务评价表单				
完成时间及签名	责任教师：				

第一部分 任务学习引导

许多电子设备如收音机、电视机、手机、音响等都要用到放大器。能将信号放大的电路称为放大器或放大电路 (Amplifier)，其作用是将微弱的电信号放大为功率或幅度足够大且与原来信号变化规律一致的信号，即进行不失真的放大。根据能量是守恒的原理，放大电路的实质是交流信号 (AC signal) 能量的增加，交流信号能量的增加由直流电源的能量通过放大电路转化而来的。

半导体三极管 (BJT，简称三极管) 是一种能将直流能量转化为交流能量的有源元器件，由三极管构成的基本放大电路是其他各类放大电路的基础，本任务通过对三极管的特性和基本放大原理的了解，学会各种类型三极管放大电路的分析和调试方法。

1.1.1 模拟电子电路常用电子元器件

(1) 常用的固定电阻的外形图如图 1.1.1 所示。

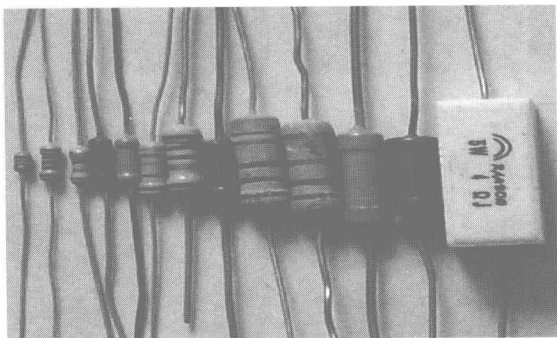


图 1.1.1 固定电阻的外形

(2) 各种电位器的外形图如图 1.1.2 所示。

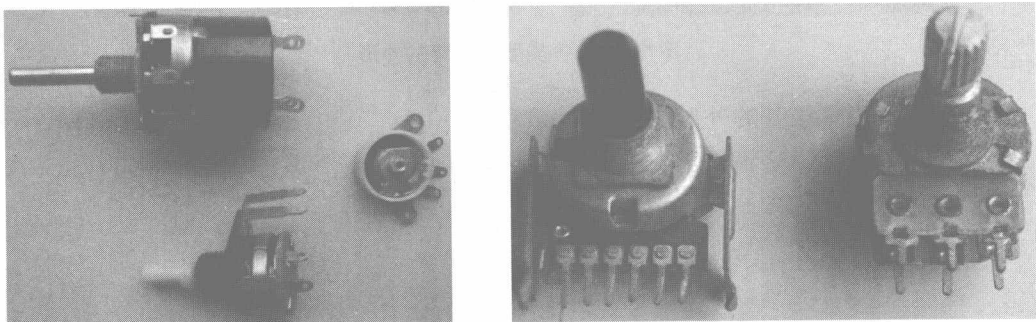


图 1.1.2 各种电位器的外形

(3) 带开关的电位器的外形图如图 1.1.3 所示，各种电容器的外形图如图 1.1.4 所示。

(4) 可变电容器的外形图如图 1.1.5 所示，各种电感器的外形图如图 1.1.6 所示。

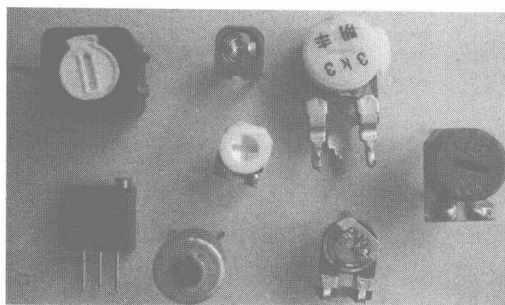


图 1.1.3 带开关的电位器的外形

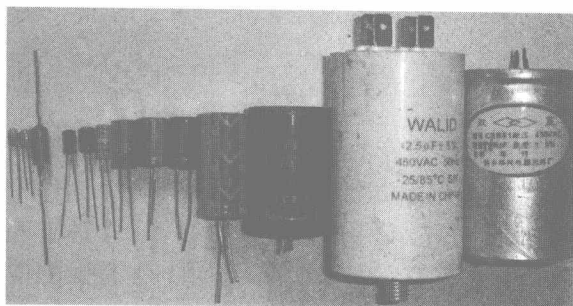


图 1.1.4 各类电容器的外形

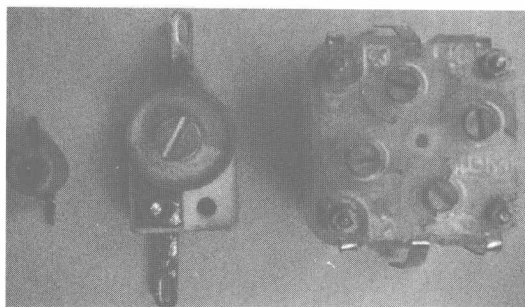


图 1.1.5 可变电容器的外形

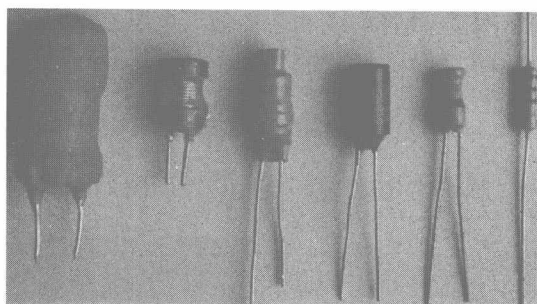


图 1.1.6 各类电感器的外形

(5) 各种类型的二极管的外形图如图 1.1.7 所示。

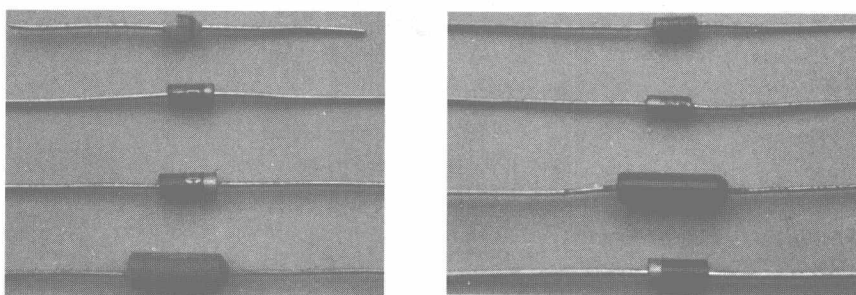


图 1.1.7 各类型二极管的外形

(6) 各种类型三极管的外形图如图 1.1.8 所示。

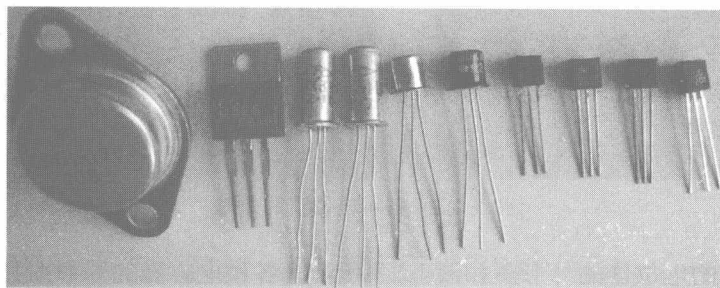


图 1.1.8 各类型三极管的外形

1.1.2 三极管的基本知识

1. 三极管的基本结构

三极管是通过一定的制作工艺，将两个 PN 结结合在一起的元器件，两个 PN 结相互作用，使三极管成为一个具有控制电流作用的半导体元器件。其结构模型及电路符号如图 1.1.9 所示。

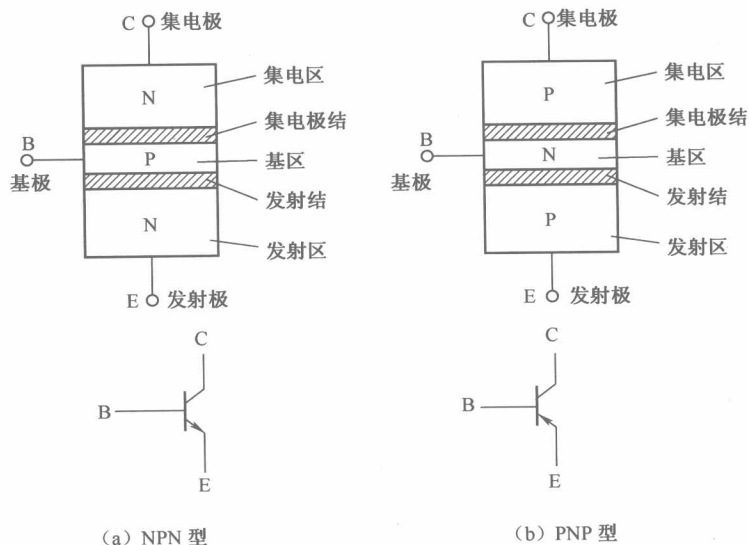


图 1.1.9 三极管的结构模型和电路符号

三极管可以用来放大微弱的信号和作为无触点开关。

从图 1.1.9 可以看出，一个三极管的基本结构包括：三个区（发射区、集电区、基区）、两个 PN 结（集电结、发射结）、三个电极（基极 B、发射极 E、集电极 C）。

三极管制作时，通常它们的基区做得很薄，且掺杂浓度低；发射区的杂质浓度则很高；集电区的面积则比发射区做得大，这是三极管实现电流放大的内部条件。

2. 三极管的分类

(1) 按材料可分为：硅管和锗管两类。一般情况下，NPN 型多为硅管，PNP 型多为锗管。

(2) 按工作频率高低可分为：低频管（3MHz 以下）和高频管（3MHz 以上）两类。

(3) 按照功率可分为：大、中、小功率管等。

(4) 根据特殊性能要求又分为：开关管、低噪声管、高反压管等。

3. 三极管的常见外形

三极管的常见外形如图 1.1.10 所示。

4. 三极管的工作条件

三极管要实现放大作用，必须满足的条件是：

内部条件：发射区掺杂浓度最高，基区很薄且掺杂浓度低，集电结面积大。

外部条件：外加电压使发射结处于正向偏置，集电结处于反向偏置。

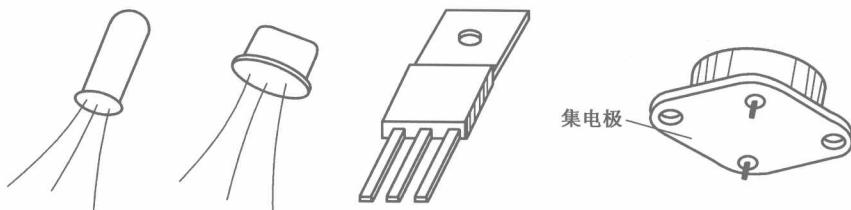


图 1.1.10 常见的三极管外形

5. 三极管的基本组态

按信号输入和输出回路公共端的不同,放大电路有 3 种不同的组态,如图 1.1.11 所示。

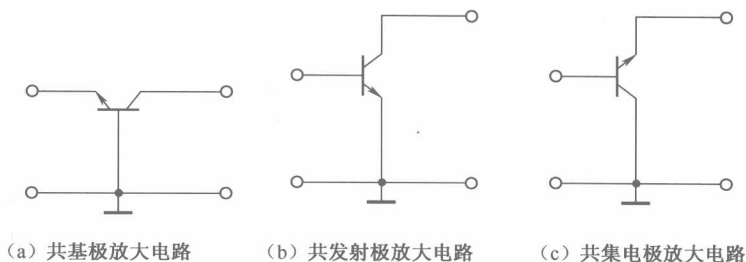


图 1.1.11 放大电路的 3 种基本组态

1.1.3 三极管的特性曲线和工作状态

输入特性曲线是指当集电极—发射极 U_{CE} 为常数时,输出电路中基极电流与基极—发射极电压 U_{BE} 之间的关系曲线,如图 1.1.12 (a) 所示。

输出特性曲线是指当基极电流 I_B 为常数时,集电极电流 I_C 与集电极—发射极电压 U_{CE} 之间的关系曲线,如图 1.1.12 (b) 所示。

根据三极管的工作状态不同,可将输出特性曲线分为三个区域。

(1) 截止区—发射结、集电结均反偏;其工作特点为: $i_B \approx 0$; $i_C \approx 0$ 。

(2) 放大区—发射结正偏、集电结反偏;其工作特点为: $i_C = \beta i_B$ 即 i_C 具有恒流特性,三极管具有线性放大作用。

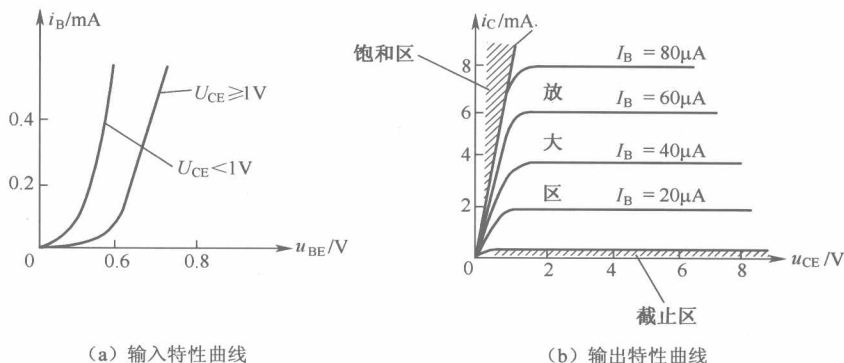


图 1.1.12 三极管的输入输出特性曲线

(3) 饱和区—发射结、集电结均正偏。其工作特点为： $u_{CE} < u_{BE}$ ， $i_C \neq \beta i_B$ ， i_C 不受 i_B 控制，随 u_{CE} 增大而迅速增大。

三极管工作在放大区的工作特点是 $i_C = \beta i_B$ ，即 i_C 具有恒流特性，受 i_B 的控制，相当于一个电流控制的电流源。

1.1.4 放大电路的性能指标

1. 电压放大倍数 A_u

$A_u = \frac{u_o}{u_i}$ ， u_i 和 u_o 分别是输入和输出电压的瞬时值。

2. 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o

放大电路从输入端“看进来”可等效为一个电阻，这也就是放大器的输入电阻 R_i ；相对于后接的负载，放大电路是一个电压（或电流）信号源，从输出端“看进来”可等效为一个实际电压（或电流）源，其内阻也就是放大器的输出电阻 R_o ，如图 1.1.13 所示。

输入电阻 R_i 是衡量放大电路从其前级取电流大小的参数。输入电阻越大，从其前级取得的电流越小，对前级电压信号源的影响越小。输出电阻 R_o 表明放大电路的带负载能力， R_o 越小，放大电路带负载能力越强，反之则差。

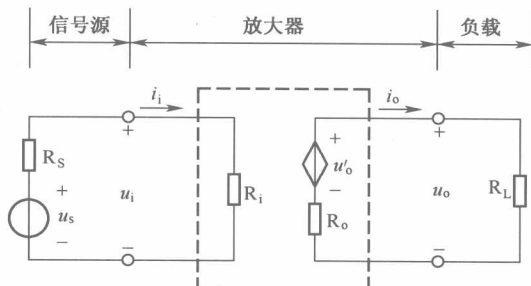


图 1.1.13 放大电路的等效电路

1.1.5 放大电路的静态工作点

工作点：共射放大器中的三极管工作时，输入回路及输出回路中的电流与电压分别决定了输入特性曲线和输出特性曲线上的一个点，这个点就称为工作点 Q ，如图 1.1.14 所示。 U_{BEQ} 与 I_{BQ} 决定了输入特性曲线上的 Q 点； I_{CQ} 与 U_{CEQ} 决定了输出特性曲线上的 Q 点。

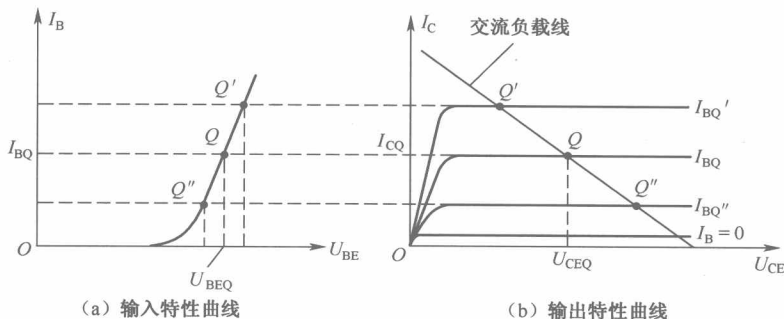


图 1.1.14 用图解法表示放大电路的静态工作点

静态工作点：放大器在没有信号输入 ($u_i=0V$) 时，三极管的工作点就称为静态工作点，用 Q 来表示。

图 1.1.15 为固定偏置电路。静态工作点的求解过程如下：

$$I_{BQ} = \frac{U_G - U_{BEQ}}{R_B}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = U_G - R_C I_{CQ}$$

注：若无特别说明，硅管（通常为 NPN 型）取 $U_{BEQ}=0.7V$ ；锗管（通常为 PNP 型）取 $U_{BEQ}=0.3V$ 。

图 1.1.16 为分压式偏置电路。静态工作点的求解过程如下（条件 $I_1 \gg I_{BQ}$ ）：

$$U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_G$$

$$I_E = \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_E}$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \approx I_E$$

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

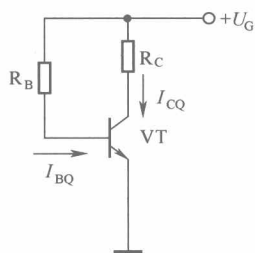


图 1.1.15 固定偏置电路

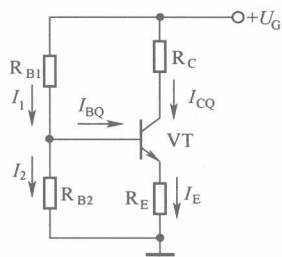


图 1.1.16 分压式偏置电路

为了保证放大电路稳定工作，必须有合适的、稳定的静态工作点。但是，温度的变化严重影响静态工作点。

对于固定偏置电路而言，静态工作点由 U_{BE} 、 β 和 I_{CEO} 决定，这三个参数随温度而变化，温度对静态工作点的影响主要体现在这一方面。

温度上升时，输出特性曲线上移，造成 Q 点上移。如图 1.1.17 所示。

固定偏置电路的 Q 点是不稳定的。为此，需要改进偏置电路，当温度升高、 I_C 增加时，能够自动减少 I_B ，从而抑制 Q 点的变化，保持 Q 点基本稳定。

常采用分压式偏置电路来稳定静态工作点。

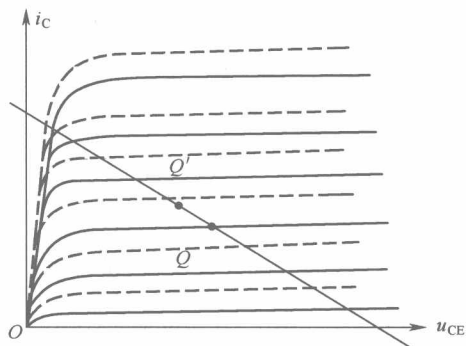


图 1.1.17 温度对静态工作点的影响

1.1.6 放大电路的静态工作点的作用

放大器在工作时,需要有一个合适的静态工作点,它不仅关系到波形失真,而且对电压增益也有重大影响,所以在设计或调试放大电路时,为获得较好的性能,必须首先设置一个合适的静态工作点,否则放大后的波形和输入信号的波形不能保持一致而产生波形失真。工作点不稳定的主要因素是更换管子或是环境温度变化引起管子参数变化,此时电路的工作点往往会移动。

1.1.7 放大电路的小信号微变等效电路分析方法

微变等效分析法:对低频小信号放大电路中的三极管可以用一个线性电路模型来等效表示,如图 1.1.18 所示。这样,整个放大电路就等效为一个线性电路,利用相应的电路分析方法就可以计算出放大器的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻,这种方法就称为微变等效分析法。

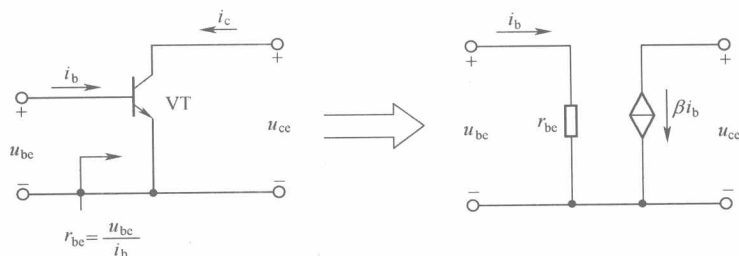


图 1.1.18 三极管的微变等效电路

1.1.8 放大电路的输出波形失真的原因和消除方法

当静态工作点 Q 点设置过高时,易产生饱和失真;当 Q 点设置过低时,易产生截止失真。对于用 NPN 型三极管构成的共射放大器,两种类型的非线性失真输出波形如图 1.1.19 所示。

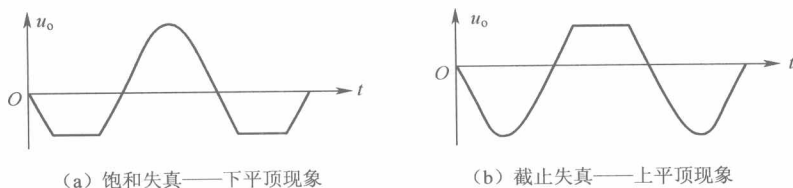


图 1.1.19 放大电路的波形失真

如果用 PNP 型三极管构成共射放大器,那么饱和失真下的输出波形呈现上平顶,截止失真呈现下平顶。

如果放大电路的静态工作点设置不合理,就需要对它进行调整。调节的方法是调节基极偏置电阻(分压式偏置电路通常调节上偏置电阻),最终实现 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 的调整。

1.1.9 共发射极和共集电极放大电路的特点

由于共发射极放大电路电压放大倍数较大,输出电压与输入电压反相,输入电阻和输