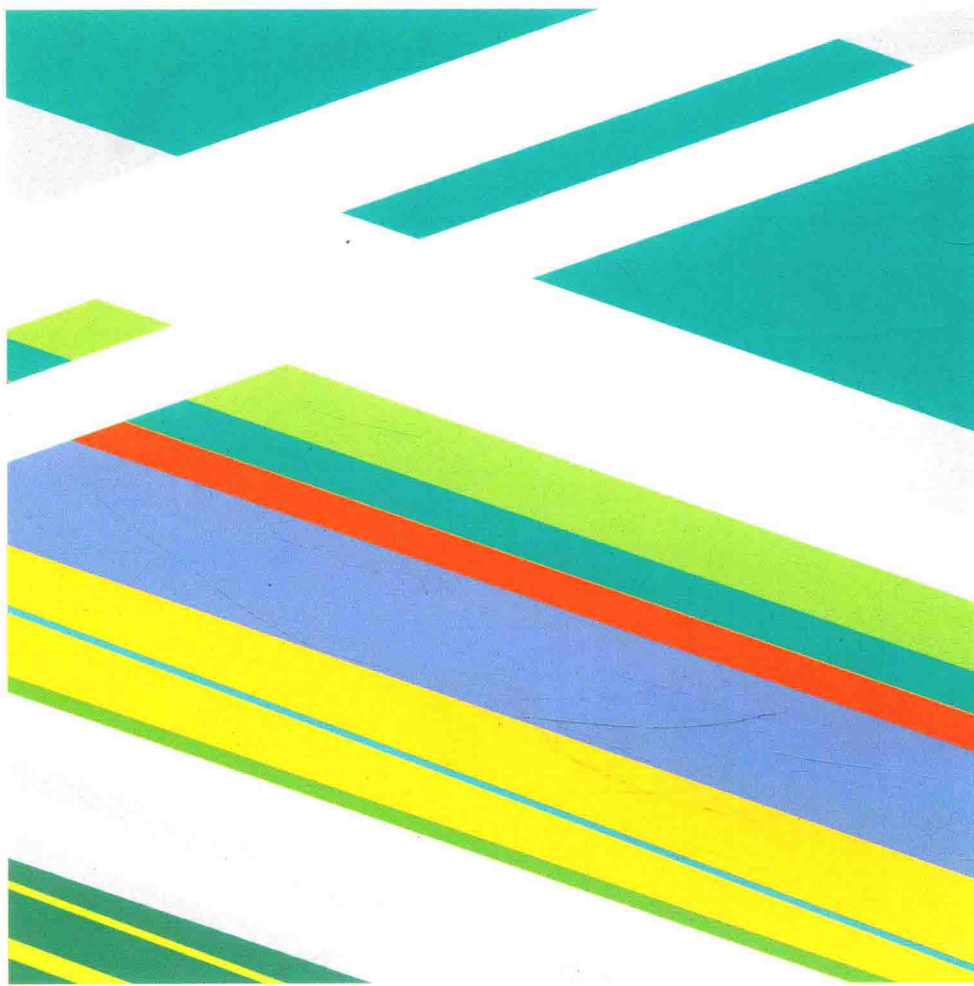




数模电路应用基础(中)

主 编 董 昕
副主编 杜 娥
钟淑蓉
王莉君

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数模电路应用基础

(中)

主 编 董 昕

副主编 杜 娥 钟淑蓉 王莉君

内 容 简 介

《数模电路应用基础》基于 CDIO 工程教育模式编写, 主要解决我国工科教育实践中重理论轻实践的问题。

全书共 7 章, 第 1 章描述了放大电路基础, 第 2 章分析放大电路中的反馈, 第 3 章介绍了集成运算电路, 第 4 章描述了逻辑代数基础, 第 5 章分析和设计了组合逻辑电路, 第 6 章分析和设计了时序逻辑电路, 第 7 章介绍了数模混合电路。

本书具体内容有: 放大电路基本分析、放大电路中的反馈类型、集成运放构成及特点、集成运放基本应用、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、模/数和数/模转换电路、555 定时器电路等, 并配合正文有丰富的习题以供练习巩固。

本书可作为高等学校电信、通信、计算机、测控等电类专业电路理论课程教材, 也可供有关科技人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数模电路应用基础. 中/董昕主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2690 - 5

I. ①数… II. ①董… III. ①数字电路 - 高等学校 - 教材②模拟电路 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN711.5②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 175230 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12

字 数 / 283 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 张 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

为解决现行工科教育中工程教育和工程实践相脱节的问题,电子科技大学成都学院自2013年开始推行基于构思、设计、实施、运行(CDIO)的工程教育模式的教学改革。目前,我院CDIO理念的教学改革已经经历了四个阶段。第一阶段,制定了全新的人才培养方案,为推进教改指明了方向。第二阶段,根据专业和工程实践能力的需要,确定每个专业的公共基础课的侧重和特色。第三阶段,开设了专业导论课,帮助高校学生形成较系统的专业认识。第四阶段,为专业基础课教学改革阶段,本书是该阶段的改革成果之一。

《数模电路应用基础》一书是基于CDIO工程教育理念,依据教育部高等院校电子电气基础课程教学指导委员会2011年制定的《电子电气基础课程教学基本要求》,将《电路分析基础》《数字逻辑设计及应用》《模拟电子电路基础》专业基础课程内容进行融合,减少过高过深的内容及一些繁杂的运算,突出该课程的基本概念、基本技能和实际工程能力。

全书共七个章节,主要内容有:放大电路基础、放大电路中的反馈、集成运算电路、逻辑代数基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路和数模混合电路。其中,第1~3章为模拟电子电路基础部分。首先介绍双极型三极管组成的基本放大电路的工作原理、三种组态(CE、CB、CC)放大电路的基本特性;然后论述反馈的基本概念、各种反馈的判定及反馈对电路的作用;最后讨论了差分电路、电流源电路以及集成运放的几种基本组态。第4~6章为数字逻辑设计及应用部分。介绍数制与编码、逻辑代数基础,数字系统中组合逻辑电路与时序逻辑电路的分析与设计方法。第7章为数模混合电路,重点介绍了数/模与模/数转换和555定时器。

本书简明扼要、偏重实践。每个章节内容分为:本章介绍、本章学习目标、章节内容、实用实例、小结、习题。在课堂教学中,以“干什么”“怎么用”为线索,使讲解由浅入深,并结合实例分析和实践环节,便于学生理论联系实际,使学生掌握电路分析的基本方法,具备电路的设计与应用能力。本书一共七个章节,其中第1章和第5章由钟耀霞执笔,第2、3章由钟淑蓉执笔,第4、6、7章由杜娥执笔。全部编写工作都是在王莉君组织与董昕教授亲自指导下完成。

各兄弟高校提出了不少宝贵意见,谨致以衷心的感谢。在教材的试用过程中,我校教师和学生提出了宝贵的意见和建议,编者深表谢意。

本书可供普通高等院校、成人高等教育的通信、电子信息、计算机、自动化等专业作为基础课教材和教学参考书使用,也可供相关工程技术人员作为自学使用。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,请读者提出宝贵意见,以便今后改进。

编 者

目 录

第1章 放大电路基础	1
1.1 共发射极放大电路	1
1.1.1 电路的组成	1
1.1.2 共射极放大电路的直流通路和交流通路	2
1.1.3 共射极放大电路的两种工作状态	3
1.1.4 图解分析法	4
1.1.5 静态工作点对输出波形失真的影响	7
1.1.6 微变等效电路法	8
1.1.7 放大器的偏置电路与静态工作点稳定	11
1.2 共集电极电路的组成及分析	13
1.3 共基极电路的组成及分析	15
1.3.1 静态分析	15
1.3.2 动态分析	16
1.3.3 共基极放大电路的特点及应用	17
1.3.4 3种基本放大电路的比较	17
本章小结	21
习题	21
第2章 放大电路中的反馈	24
2.1 反馈的概念	24
2.2 电路中反馈的形式	25
2.3 负反馈放大电路的组态	28
2.4 负反馈放大电路的4种组态	30
2.5 反馈对电路的作用	33
2.6 深度负反馈的简单计算	37
2.7 反馈的应用实例	38
本章小结	39
习题	39
第3章 集成运算电路	42
3.1 集成运算放大器简介	42
3.2 集成运放的组成及特点	43
3.3 差动放大电路	43
3.4 电流源电路	50
3.5 集成运算放大电路	53

3.6 运算电路在实际工程中的应用	60
本章小结	61
习题	61
第4章 逻辑代数基础	65
4.1 数制与BCD	65
4.1.1 概述	65
4.1.2 几种常用的数制	66
4.1.3 任意进制转换成十进制	67
4.1.4 十进制转换成任意进制	67
4.1.5 二进制和八进制、十六进制之间的相互转换	68
4.1.6 BCD码	69
4.1.7 格雷码	71
4.2 逻辑代数的基本运算	71
4.2.1 与运算	71
4.2.2 或运算	72
4.2.3 非运算	73
4.3 逻辑代数中的公式和定律	74
4.3.1 基本定律	74
4.3.2 基本公式	75
4.3.3 逻辑代数的基本规则	76
4.4 逻辑函数式的表示方法	77
4.5 逻辑函数式的化简	78
4.5.1 逻辑函数式的基本形式	78
4.5.2 逻辑函数式的标准形式	78
4.5.3 逻辑函数代数法化简	80
4.5.4 逻辑函数卡诺图法化简	82
4.5.5 包含无关项逻辑函数的卡诺图法化简	86
本章小结	87
习题	87
第5章 组合逻辑电路	90
5.1 概述	90
5.2 组合逻辑电路的分析和设计方法	91
5.3 常用的组合逻辑电路	94
5.3.1 编码器	94
5.3.2 译码器	97
5.3.3 数据选择器	100
5.3.4 加法器	103
5.4 组合逻辑中的竞争-冒险现象	106

5.4.1 竞争 - 冒险现象及其成因	106
5.4.2 消除竞争 - 冒险现象的方法	107
本章小结	109
习题	109
第 6 章 时序逻辑电路	111
6.1 时序逻辑电路概述	111
6.2 触发器	112
6.2.1 基本 RS 触发器	113
6.2.2 同步 RS 触发器	115
6.2.3 主从触发器	117
6.2.4 边沿触发器	119
6.2.5 触发器的功能及其描述	120
6.3 时序逻辑电路的分析	123
6.4 时序逻辑电路设计	126
6.5 常用时序逻辑电路	132
6.5.1 寄存器	133
6.5.2 计数器	141
本章小结	152
习题	153
第 7 章 数模混合电路	159
7.1 555 定时器	159
7.1.1 555 定时器概述	159
7.1.2 555 定时器的应用	161
7.2 模/数与数/模转换	165
7.2.1 模/数转换器	165
7.2.2 数/模转换器	170
本章小结	176
习题	176
参考文献	177

第 1 章

放大电路基础

本章介绍



本章将讨论放大电路的作用。放大电路的实质，就是用较小的能量去控制较大的能量，或者说用一个能量较小的输入信号对直流电源的能量进行控制和转换，使之变成较大的交流电能输出，以便驱动负载工作。放大电路的输出可以是电压，也可以是电流，还可以是功率。因此，基本放大电路主要有电压放大电路、电流放大电路、功率放大电路等。本章将介绍一些常用的基本放大电路。

本章学习目标



- (1) 掌握概念和定义：放大、静态工作点、饱和失真与截止失真、直流通路和交流通路、放大倍数、输入电阻和输出电阻、静态工作点的稳定。
- (2) 掌握组成放大电路的原则和各种基本放大电路的工作原理及特点，能够根据需求选择电路的类型。
- (3) 掌握放大电路的分析方法，能够正确估算基本放大电路的静态工作点和动态参数，正确分析电路的输出波形和产生截止失真、饱和失真的原因。

1.1 共发射极放大电路

放大器的任务就是对输入的信号进行放大，要放大的信号通常是由传感器提取的随时间变化的某个物理量的微弱电信号，利用放大器可以将这些微弱的电信号放大到足够的强度，以完成特定的工作。

1.1.1 电路的组成

放大电路可由正弦波信号源 u_s 、晶体三极管 VT、输出负载 R_L 及电源偏置电路 (V_{BB} 、 R_b 、 V_{CC} 、 R_c) 组成，如图 1-1 所示。由于电路的输入端口和输出端口共有 4 个头，而三极管只有 3 个电极，因此必然有一个电极共用，因而就有共发射极（简称共射极）、共基极、共集电极 3 种组态的放大电路。如图 1-1 所示为最基本的共射极放大电路。

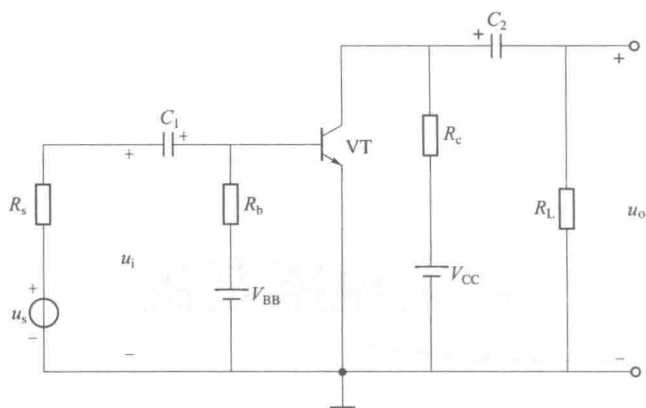


图 1-1 共射极放大电路

下面分析基本放大电路中各元件的作用：

- (1) 图中晶体三极管采用 NPN 型硅管，具有电流放大作用，使 $I_C = \beta I_B$ 。
- (2) 图中 R_b 为基极电阻，又称为偏流电阻，它和电源 V_{BB} 共同作用，提供给基极一个合适的基极直流 I_B ，使晶体管能工作在特性曲线的线性部分。
- (3) 图中 R_c 为集电极负载电阻。当晶体管的集电极电流受基极电流控制而发生变化时，流过负载电阻的电流会在集电极电阻 R_c 上产生电压变化，从而引起 u_{CE} 的变化，这个变化的电压就是输出电压 u_o ，假设 $R_c = 0$ ，则 $u_{CE} = V_{CC}$ ，当 i_C 变化时， u_{CE} 无法变化，因而就没有交流电压传送给负载 R_L 。
- (4) 图中 C_1 、 C_2 为耦合电容，起到一个“隔直通交”的作用，它把信号源与放大电路之间、放大电路与负载之间的直流隔开。在图 1-1 所示电路中， C_1 左边和 C_2 右边只有交流而无直流，中间部分为交直流共存。耦合电容一般多采用电解电容器。在使用时，应注意它的极性与加在它两端的工作电压极性相一致，正极接高电位，负极接低电位。

1.1.2 共射极放大电路的直流通路和交流通路

从基本共射极放大电路工作原理的分析可知，为使电路正常放大，直流量与交流量必须共存于放大电路中，前者是直流电源作用的结果，后者是输入电压作用的结果；而且，由于电容、电感的电抗元件的存在，使直流量和交流量所流经的通路不同。因此，为了研究问题方便，将放大电路分为直流通路与交流通路。

直流通路是直流电源作用所形成的电源通路。在直流通路中，电容对直流量而成的电抗为无穷大，因此相当于开路，电感线圈因电阻非常小可忽略不计，因此相当于短路，信号源电压为零，但保留内阻，直流通路用于分析放大电路的静态工作点。交流通路是交流信号作用所形成的电流通路。在交流通路中，大容量电容对交流信号而成的容抗可忽略不计，因此相当于短路；直流电源为恒压源，因内阻为零也相当于短路。交流通路用于分析放大电路的动态参数。

根据上述原则，图 1-1 所示电路的直流通路和交流通路分别如图 1-2 (a)、(b) 所示，将图 1-1 所示电路中的两个电容断开，便得到它的直流通路，在其交流通路中的直流电源相当于短路，故集电极电阻并联在三极管的 c-e 之间 ($V_{BB} = V_{CC}$)。

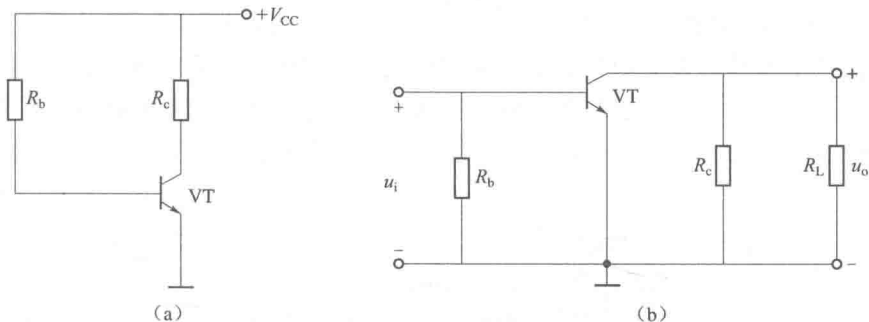


图 1-2 电容耦合共射极放大电路的直流通路和交流通路
(a) 直流通路; (b) 交流通路

1.1.3 共射极放大电路的两种工作状态

1. 静态工作情况分析

在图 1-3 所示电路中, 当 $u_i = 0$ 时, 共射极放大电路中没有交流成分, 称为静态工作状态, 这时耦合电容 C_1 、 C_2 视为开路, 直流通路如图 1-4 (a) 所示。其中基极电流 I_B , 集电极电流 I_C 及集电极、发射极间电压 U_{CE} 只有直流成分, 无交流输出, 用 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 表示。它们在三极管特性曲线上所确定的点称为静态工作点, 用 Q 表示, 如图 1-4 (b) 所示。

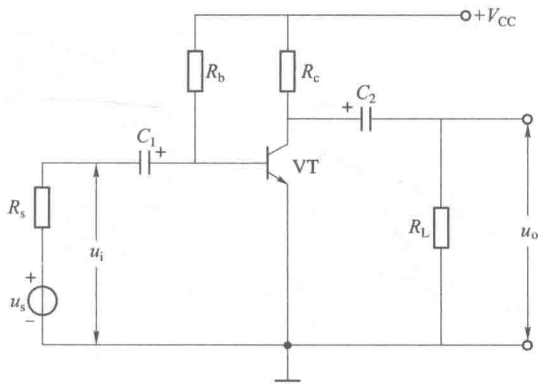


图 1-3 共射极放大电路的习惯画法

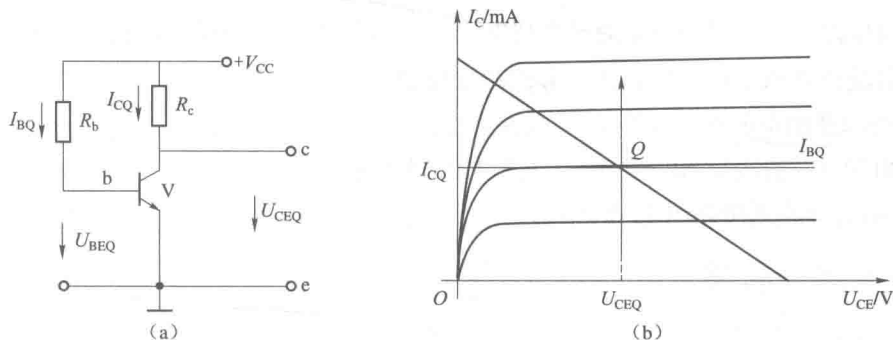


图 1-4 静态工作情况

2. 动态工作情况分析

输入端加上正弦交流信号电压 u_i 时, 共射极放大电路的工作状态为动态。这时电路中既有直流成分, 亦有交流成分, 各极的电流和电压都是在静态值的基础上再叠加交流分量。如图 1-5 所示。

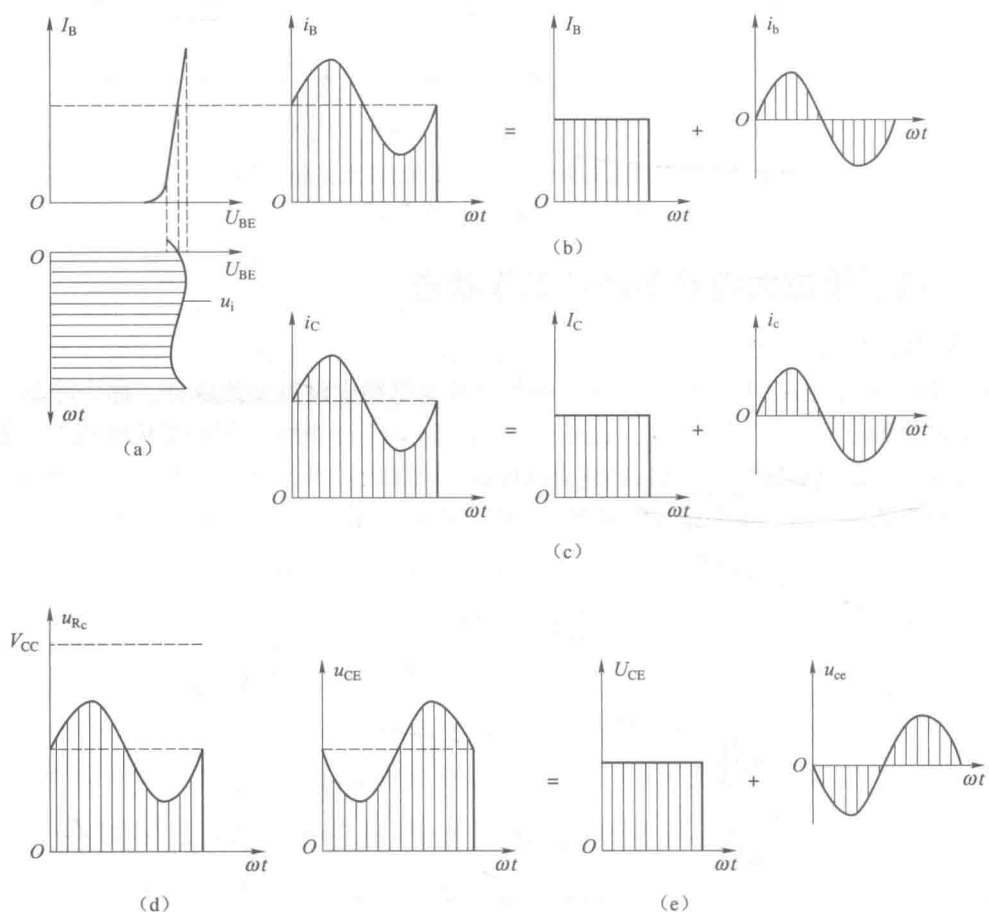


图 1-5 共射极放大电路的各极间波形

(a) I_B 的波形; (b) i_b 的波形; (c) i_c 的波形; (d) u_{Rc} 的波形; (e) u_{CE} 的波形

在分析电路时, 一般用交流通路来研究交流量及放大电路的动态性能。所谓交流通路, 就是交流电流流通的途径, 在画法上遵循两条原则:

- (1) 将原理图中的耦合电容 C_1 、 C_2 视为短路。
- (2) 电源 V_{CC} 的内阻很小, 对交流信号视为短路。

图 1-3 所示的交流通路如图 1-6 所示。

1.1.4 图解分析法

对一个放大电路的分析, 不外乎两个方面: 第一, 确定静态工作点, 求解 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 值; 第二, 计算放

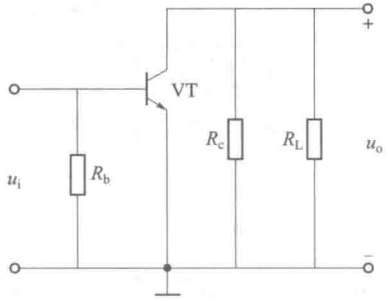


图 1-6 共射极放大电路的交流通路

大电路在有信号输入时的放大倍数以及输入阻抗、输出阻抗等。常用的分析方法有两种：图解法和微变等效电路法。图解法适用分析大信号输入情况。而微变等效电路法适合微小信号的输入情况。

图解法就是在三极管特性曲线上，用作图的方法来分析放大电路的工作情况，它能直观地反映放大电路的工作原理。

(一) 用图解法确定静态工作点

在分析静态值时，只需研究直流通路，如图 1-7 (a) 所示的共射极放大电路的直流通路如图 1-7 (b) 所示。用图解法分析电路的步骤如下。

1. 作直流负载线

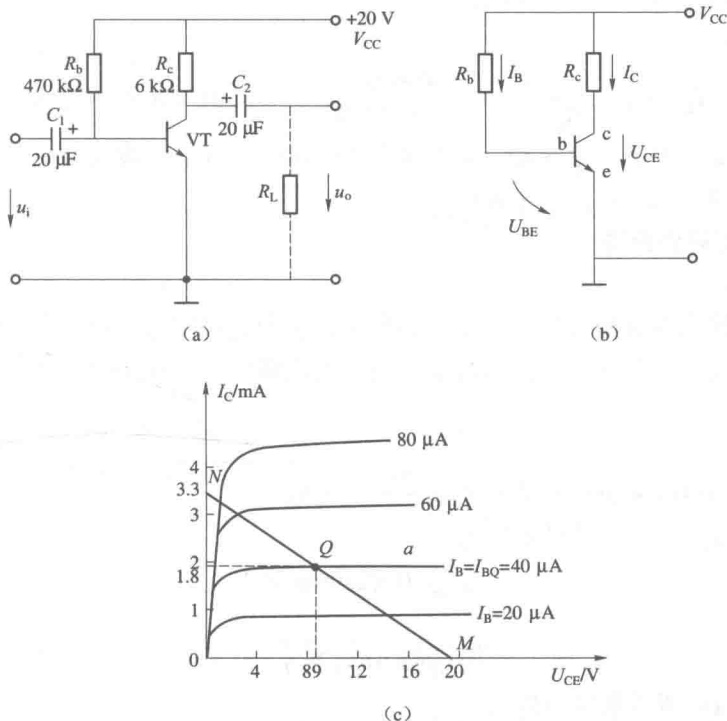


图 1-7 放大电路图解法

(a) 放大电路；(b) 直流通路；(c) 静态工作点

由图 1-7 (b) 可得

$$\left. \begin{aligned} U_{CE} &= V_{CC} - I_C R_c \\ I_C &= \frac{V_{CC} - U_{CE}}{R_c} = \frac{V_{CC}}{R_c} - \frac{U_{CE}}{R_c} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

由于式 (1-1) 是一条直线型方程，当 V_{CC} 选定后，这条直线就完全由直流负载电阻 R_c 确定，所以把这条直线叫作直流负载线。直流负载线的作法是：找出两个特殊点 $M(V_{CC}, 0)$ 和 $N(0, V_{CC}/R_c)$ ，将 M 、 N 连接起来，如图 1-7 (c) 所示。其直流负载线的斜率为

$$k = \tan \alpha = -\frac{1}{R_c} \quad (1-2)$$

2. 确定静态工作点

利用 $I_{BQ} = (V_{CC} - U_{BEQ}) / R_b$, 求得 I_{BQ} 的近似值 (对于 U_{BEQ} , 硅管一般取 0.7 V, 锗管取 0.3 V)。在输出特性曲线上, 确定 $I_B = I_{BQ}$ 的一条曲线。该曲线与直线 MN 的交点 Q 就是静态工作点。 Q 点所对应的静态值 I_{CQ} 、 I_{BQ} 和 U_{CEQ} 也就求出来了。

例 1-1 求图 1-7 (a) 所示电路的静态工作点。

解: ①作直流负载线。

当 $I_C = 0$ 时, $U_{CE} = V_{CC} = 20 \text{ V}$, 即 $M(20, 0)$;

当 $U_{CE} = 0$ 时, $I_C = \frac{V_{CC}}{R_c} = \frac{20 \text{ V}}{6 \text{ k}\Omega} = 3.3 \text{ mA}$, 即 $N(0, 3.3)$;

将 M 、 N 连接, 此即直流负载线。

②求静态偏流:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} = \frac{(20 - 0.7) \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} \approx 0.04 \text{ mA} \approx 40 \mu\text{A}$$

如图 1-7 (c) 所示, $I_{BQ} = 40 \mu\text{A}$ 的输出特性曲线与直流负载线 MN 交于 $Q(9, 1.8)$, 即静态值为 $I_{BQ} = 40 \mu\text{A}$, $I_{CQ} = 1.8 \text{ mA}$ 。

(二) 动态图解分析法

1. 空载分析

放大电路的输入端有输入信号, 输出端开路, 这种电路称为空载放大电路, 虽然电压和电流增加了交流成分, 但输出回路仍与静态的直流通路完全一样。

因为

$$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c \quad (1-3)$$

所以, 可用直流负载线来分析空载时的电压放大倍数。

设图 1-7 (a) 中输入信号电压为

$$u_i = 0.02 \sin \omega t \text{ V}$$

则

$$u_{BE} = U_{BEQ} + u_i$$

由图 1-8 (a) 所示基极电流为

$$i_B = I_{BQ} + i_b = 40 + 20 \sin \omega t \mu\text{A}。$$

根据 i_B 的变化情况, 在图 1-8 (b) 中进行分析, 可知工作点是在以 Q 为中心的 Q_1 、 Q_2 两点之间变化, u_i 的正半周在 QQ_1 段, 负半周在 QQ_2 段。因此画出 i_C 和 u_{CE} 的变化曲线如图 1-8 (b) 所示, 它们的表达式为

$$i_C = 1.8 + 0.7 \sin \omega t \text{ mA}$$

$$u_{CE} = 9 - 4.3 \sin \omega t \text{ V}$$

输出电压为

$$u_o = -4.3 \sin \omega t = 4.3 \sin(\omega t + \pi) \text{ V}$$

所以电压放大倍数为

$$A = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{om}}{U_{im}} = \frac{-4.3 \text{ V}}{0.02 \text{ V}} = -215$$

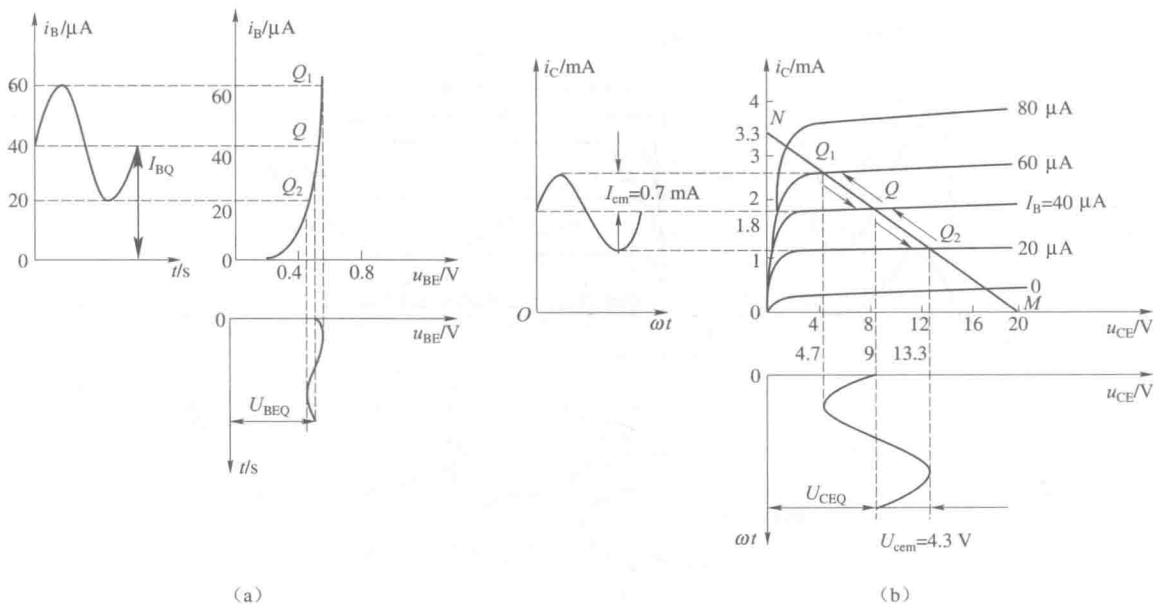


图 1-8 空载图解分析法
(a) 输入部分; (b) 输出部分

2. 带负载的动态分析

在图 1-7 (a) 所示电路中接上负载 R_L 即为交流通路。从输入端看, R_b 与发射极并联; 从集电极看, R_c 和 R_L 并联。此时的交流负载为 $R'_L = R_c // R_L$, 显然 $R'_L < R_c$, 且在交流信号过零点时, 其值在 Q 点, 所以交流负载线是一条通过 Q 点的直线, 其斜率为

$$k' = \tan \alpha' = -\frac{1}{R'_L} \quad (1-4)$$

1.1.5 静态工作点对输出波形失真的影响

对一个放大电路而言, 要求输出波形的失真尽可能地小。但是, 如果静态值设置不当, 即静态工作点位置不合适, 将出现严重的非线性失真。如图 1-9 所示, 设正常情况下静态工作点位于 Q 点时, 可以得到失真很小的 i_c 和 u_{CE} 波形。当调节 R_b , 使静态工作点设置在 Q_1 点或 Q_2 点时, 输出波形将产生严重失真。

1. 饱和失真

当静态工作点设置在 Q_1 点, 这时虽然 i_b 正常, 但 i_c 的正半周和 u_{CE} 的负半周出现失真。这种失真由于 Q 点过高, 使其动态工作进入饱和区而引起的失真, 因而被称作饱和失真。

2. 截止失真

当静态工作点设置在 Q_2 点时, i_b 严重失真, 使 i_c 的负半周和 u_{CE} 的正半周进入截止区而造成失真, 因此称作截止失真。

饱和失真和截止失真都是由于晶体管工作在特性曲线的非线性区所引起的, 因而都称为非线性失真。适当调整电路参数使 Q 点合适, 可降低非线性失真的程度。

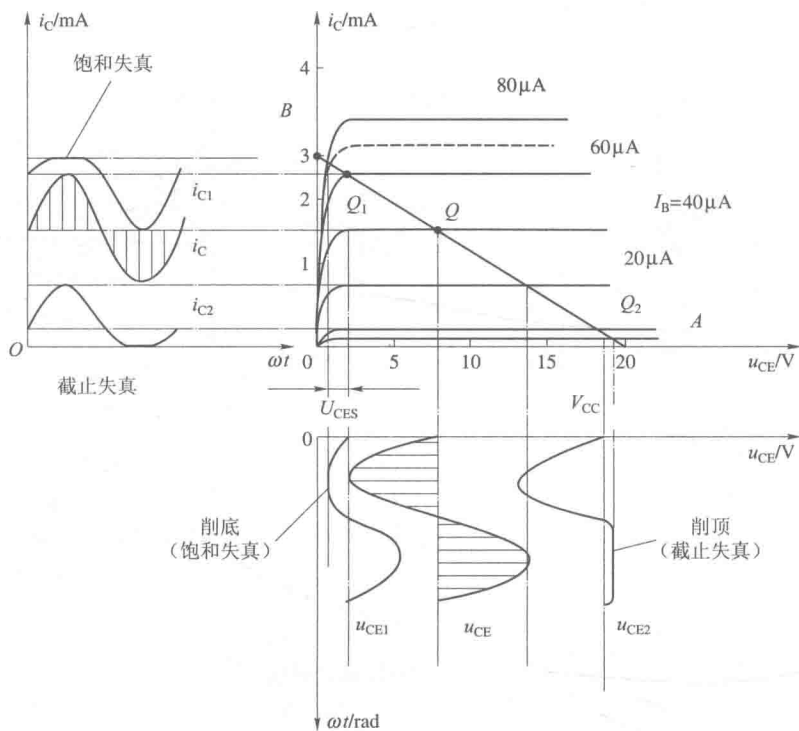


图 1-9 静态工作点对输出波形失真的影响

1.1.6 微变等效电路法

三极管各极电压和电流的变化关系，在较大范围内是非线性的。如果三极管工作在小信号情况下，信号只是在静态工作点附近小范围变化，三极管特性可看成是近似线性的，可用一个线性电路来代替，这个线性电路就称为三极管的微变等效电路。

(一) 晶体管微变等效

1. 输入端等效

图 1-10 (a) 是三极管的输入特性曲线，是非线性的。如果输入信号很小，则在静态工作点 Q 附近的工作段可近似地认为是直线。如图 1-11 (a) 所示，当 u_{CE} 为常数时，从 b、e 极看进去三极管就是一个线性电阻，为

$$r_{be} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \tag{1-5}$$

低频小功率晶体管的输入电阻常用下式计算，即

$$r_{be} = 300 + \frac{(\beta + 1) \times 26 \text{ mV}}{I_{EQ}} \tag{1-6}$$

式中， I_{EQ} 为发射极静态电流。

2. 输出端等效

图 1-10 (b) 是三极管的输出特性曲线，若动态是在小范围内，特性曲线不但互相平行、间隔均匀，且与 u_{CE} 轴线平行。当 u_{BE} 为常数时，从输出端 c、e 极看，三极管成了一

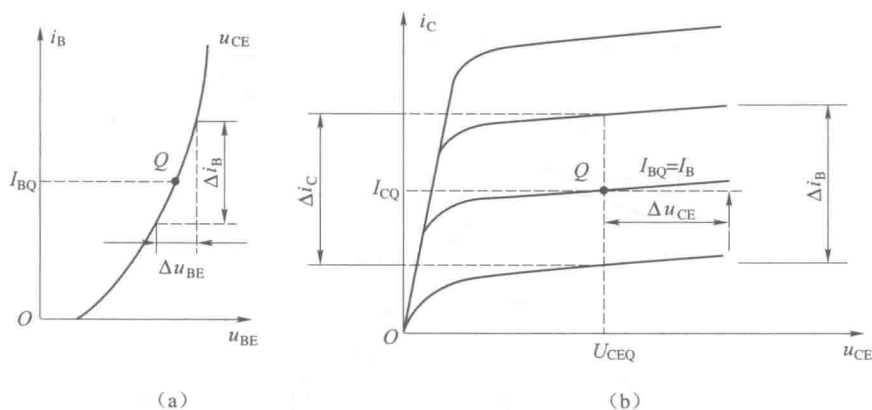


图 1-10 三极管特性曲线
(a) 输入特性曲线; (b) 输出特性曲线

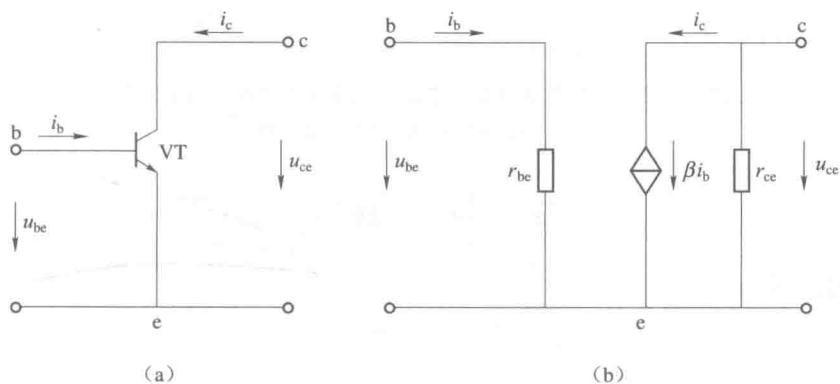


图 1-11 晶体三极管及微变等效电路
(a) 晶体三极管; (b) 晶体三极管的微变等效电路

个受控电流源，如图 1-11 (b) 所示，则有

$$\Delta i_c = \beta \Delta i_b \quad (1-7)$$

由上述方法得到的晶体管微变等效电路如图 1-11 所示。

(二) 共射极放大电路的微变等效电路

通过共射极放大电路的交流通路和三极管的微变等效，可得出共射极放大电路的微变等效电路，如图 1-12 所示。

(三) 用微变等效电路求动态指标

静态值仍由直流通路确定，而动态指标可用微变等效电路求得。

1. 电压放大倍数

设在图 1-12 (b) 中输入为正弦信号，因为

$$\begin{aligned} \dot{U}_i &= \dot{I}_b r_{be} \\ \dot{U}_o &= -\dot{I}_c R'_L = -\beta \dot{I}_b R'_L \end{aligned} \quad (1-8)$$

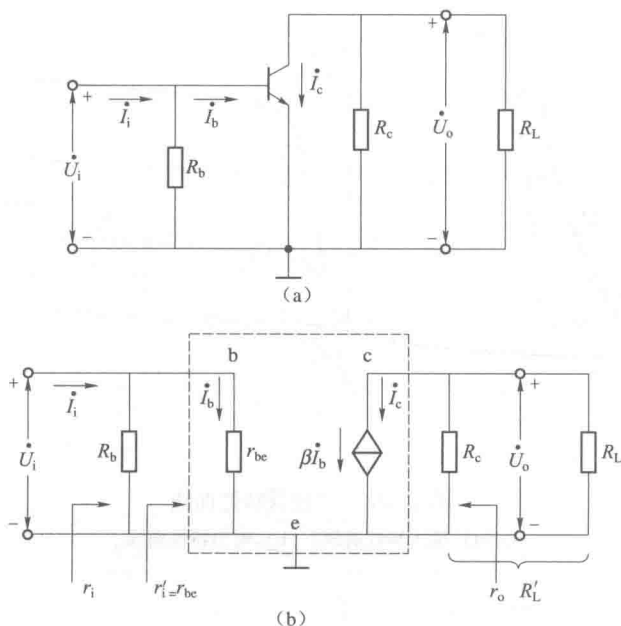


图 1-12 基本共射极放大电路的交流通路及微变等效电路
(a) 交流通路; (b) 微变等效电路

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

当负载开路时, 有

$$\dot{A}_u = \frac{-\beta R_c}{r_{be}} \quad (1-9)$$

式中, $R'_L = R_L // R_c$ 。

2. 输入电阻 r_i

r_i 是指电路的动态输入电阻, 由图 1-12 (b) 可看出

$$r_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_b // r_{be} \approx r_{be} \quad (1-10)$$

3. 输出电阻 r_o

r_o 是从输出端向放大电路内部看到的动态电阻, 因 r_{ce} 远大于 R_c , 所以有

$$r_o = r_{ce} // R_c \approx R_c \quad (1-11)$$

例 1-2 在图 1-13 (a) 所示电路中, $\beta = 50$, $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$, 试求:

- (1) 静态工作点参数 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 的值;
- (2) 计算动态指标 A_u 、 r_i 、 r_o 的值。

解: (1) 求静态工作点参数:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_b} = \frac{12 - 0.7}{280 \times 10^3} \approx 0.04 (\text{mA}) = 40 (\mu\text{A})$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 0.04 \times 10^{-3} = 2 (\text{mA})$$