



中央广播电视大学教材

模拟电子电路学习和实验指导

MO NI DIAN ZI
DIAN LU

沈雅芬 任为民 曹益政 编



中央广播电视大学出版社

模拟电子电路学习和实验指导

沈雅芬 任为民 曹益政 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路学习和实验指导书/沈雅芬等编. -北京:

中央广播电视大学出版社, 1994. 10

ISBN 7-304-00841-5

I. 模… II. 沈… III. 模拟电路-电视大学-教学参考资料 IV. TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 16166 号

模拟电子电路学习和实验指导

沈雅芬 任为民 曹益政 编

中央广播电视大学出版社出版

社址: 北京西城区大木仓 39 号北门 邮编: 100032

北京印刷二厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 19.75 千字 493

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数 1-14500

定价: 11.60 元

ISBN 7-304-00841-5/TN·18

目 录

模拟电子电路学习指导

第一章 放大电路的基本原理和分析方法	(1)
一、教学安排与教学要求	(1)
二、重点和难点的分析	(2)
1.1 概述	(2)
1.2 单管共射放大电路	(5)
1.4 放大电路的基本分析方法	(6)
1.5 静态工作点的稳定问题	(20)
1.6 单管放大电路的三种基本组态	(22)
1.7 场效应管放大电路	(28)
1.8 放大电路的频率响应	(32)
1.9 多级放大电路	(43)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(49)
第二章 集成放大电路基础	(54)
一、教学安排与教学要求	(54)
二、重点和难点的分析	(54)
2.1 概述	(54)
2.2 集成运放的基本组成单元	(58)
2.3 集成运放的主要技术指标和选择原则	(78)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(80)
第三章 负反馈放大电路	(82)
一、教学安排与教学要求	(82)
二、重点和难点的分析	(83)
3.1 概述	(83)
3.2 反馈的分类和负反馈的四种组态	(85)
3.3 反馈的一般表示方法	(90)
3.4 负反馈对放大电路性能的影响	(91)
3.5 负反馈放大电路的分析计算	(94)
3.6 负反馈放大电路的自激振荡及消振措施	(98)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(102)
第四章 模拟信号运算电路	(105)
一、教学安排与教学要求	(105)

二、重点和难点的分析	(105)
4.1 概述	(105)
4.2 比例电路	(108)
4.3 求和电路	(113)
4.4 积分与微分电路	(115)
4.5 对数与指数电路	(119)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(120)
第五章 信号处理电路	(123)
一、教学安排与教学要求	(123)
二、重点和难点的分析	(123)
5.1 概述	(123)
5.1 有源滤波器	(126)
5.2 电压比较器	(129)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(136)
第六章 波形发生电路	(142)
一、教学安排与教学要求	(142)
二、重点和难点的分析	(143)
6.1 概述	(143)
6.2 RC 正弦波振荡电路	(145)
6.3 LC 正弦波振荡电路	(151)
6.4 石英晶体振荡电路	(157)
6.5 非正弦波振荡电路	(158)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(163)
第七章 功率放大电路	(165)
一、教学安排与教学要求	(165)
二、重点和难点的分析	(165)
7.1 概述	(165)
7.2 互补对称功率放大电路	(168)
7.3 功率放大电路实例	(171)
7.4 集成功率放大器	(175)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(179)
第八章 数—模和模—数转换电路	(182)
一、教学安排与教学要求	(182)
二、重点和难点的分析	(182)
8.1 概述	(182)
8.2 D/A 转换器	(183)
8.3 A/D 转换器	(189)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(195)
第九章 直流电源	(199)

一、教学安排与教学要求	(199)
二、重点和难点的分析	(200)
9.1 概述	(200)
9.2 单相整流滤波电路	(200)
9.3 稳压电路	(209)
9.4 开关型稳压电路	(221)
9.5 可控整流电路	(222)
三、自我检测题和部分习题参考答案	(226)

模拟电子电路实验指导

实验一 常用电子仪器的使用	(231)
* 实验二 单管放大电路	(234)
实验三 集成运放参数的测试	(240)
* 实验四 负反馈放大电路	(244)
* 实验五 模拟信号运算电路	(249)
实验六 模拟信号处理电路	(253)
* 实验七 正弦波发生电路	(257)
实验八 非正弦波振荡器	(260)
* 实验九 直流稳压电源	(262)
* 实验十 综合性实验	(266)
实验 A 音频放大器 (功率放大器)	(266)
实验 B 半导体体温计	(269)
实验 C 参量转换电路	(271)
实验 D 设计数字电流表	(272)
附录 A 常用仪器简介	(276)
附录 B 常用元、器件简介	(287)

模拟电子电路学习指导

第一章 放大电路的基本原理和分析方法

一、教学安排与教学要求

(一) 教学安排

本章共 17 学时：录象 14 学时，面授 3 学时。具体安排如下：

1. 录象内容

- (1) 模拟电路的特点和三极管的放大特性；
- (2) 放大电路的组成和工作原理；
- (3) 放大电路的分析方法 (一) 交直流通路、Q 点估算；
- (4) 放大电路的分析方法 (二) 图解法；
- (5) 放大电路的分析方法 (三) 微变等效电路法；
- (6) 放大电路的分析方法 (四) 微变等效电路法；
- (7) 静态工作点稳定问题；
- (8) 单管放大电路的三种组态 (一)；
- (9) 单管放大电路的三种组态 (二)；
- (10) FET 放大电路 (一)；
- (11) FET 放大电路 (二)；
- (12) 放大电路的频率响应 (一)；
- (13) 放大电路的频率响应 (二)；
- (14) 多级放大电路。

2. 面授内容

- (1) 半导体器件的放大作用；
- (2) 放大电路的主要技术指标；
- (3) 分析方法 (图解法、微变等效电路法) 应用举例。

(二) 教学要求

1. 重点掌握的内容

- (1) 放大、静态与动态、直流通路与交流通路、静态工作点、负载线、放大倍数、输入电阻与输出电阻的概念；

- (2) 用近似算法估算单管共射放大电路的静态工作点;
- (3) 用微变等效电路法分析计算单管共射电路、分压式工作点稳定电路的电压放大倍数 A_u 和 A_{us} , 输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

2. 一般掌握的内容

- (1) 放大电路频率响应的一般概念;
- (2) 图解法确定单管共射放大电路的静态工作点, 定性分析波形失真, 观察电路参数对静态工作点的影响, 估算最大不失真输出的动态范围;
- (3) 三种不同组态(共射、共集、共基)放大电路的特点;
- (4) 多级放大电路三种耦合方式的特点, 放大倍数的计算规律。

3. 一般了解的内容

- (1) 单管共射放大电路 f_L 、 f_H 与电路参数间的定性关系, 波特图的一般知识。多级放大电路与单管放大电路频宽的定性关系;
- (2) 用估算法估算场效应管放大电路静态工作点的方法。

二、重点和难点的分析

1.1 概 述

放大电路是组成模拟电路的基本单元电路, 各种实际电路由它演变派生并进一步组合而成。许多重要概念和常用的分析方法将在本章进行介绍, 因此, 学习本章是学习本课程的基础和重点。

(一) 课程特点

1. 与“数字电子电路”课程比较

(1) 研究的主要问题

“数字电子电路”研究的主要问题是电路输入与输出间的逻辑关系; 而“模拟电子电路”研究的主要问题是如何将模拟信号不失真地进行放大或变换。

(2) 工作信号类型

“数字电子电路”的工作信号是不连续的数字信号, 它们在数值上只有“0”和“1”两种可能; 而“模拟电子电路”的工作信号在数值和时间上都是连续变化的模拟信号。

(3) 三极管的工作状态

“数字电子电路”中, 三极管一般工作在截止和饱和状态, 它被用作“开关”元件; 而在“模拟电子电路”中, 三极管一般工作在放大状态, 它被用作“放大”元件。

(4) 分析方法

分析“数字电子电路”的主要方法有逻辑代数、真值表、卡诺图等; 而分析“模拟电子电路”的主要方法有图解法、微变等效电路法等。

2. 与“电路与磁路”课程比较

(1) “电路与磁路”课程理论性较强,而“电子电路”课程既有理论又是实用性很强的技术基础课,因此更强调理论与实践的结合。它不像有些先修基础课那样强调数学计算的严密性,有时往往为了突出主要矛盾,简化实际问题。经常根据实际情况忽略次要因素,采用近似估算的方法。

(2) “电路与磁路”课程主要讨论的是线性元件及其电路,而“模拟电子电路”课程主要研究的是非线性元件及其电路。

(3) “电路与磁路”课中交直流信号往往是分开讨论的,而“模拟电子电路”中,交直流信号往往是并存的。

(4) “电路与磁路”课中对受控源的研究不很多,而“模拟电子电路”课中经常遇到受控源。

(5) “电路与磁路”课中信号一般为正向传递,不涉及输出对输入的反作用;而“模拟电子电路”中,不仅研究输入对输出的影响,而且还研究输出对输入的反作用,即“反馈”。

(二) 内容提要

本章内容较多,概括起来可以归纳为以下几个方面:

1. 共射接法的两个基本电路

单管共射放大电路和**分压式工作点稳定电路**是模拟电路中最基本的单元电路。学习这两种基本电路的分析方法是学习比较复杂的模拟电路的基础。

2. 两种基本分析方法——图解法和微变等效电路法

在“模拟电路”中,三极管是非线性元件,因此不能简单地采用“电路与磁路”课中线性电路的分析方法。**图解法**和**微变等效电路法**就是针对三极管非线性特点而采用的分析方法。

3. 单管放大电路的三种组态——共射组态、共集组态和共基组态

由于单管放大电路输入、输出端取自三极管三个不同的电极,放大电路有三种组态——**共射组态**、**共集组态**和**共基组态**。由于组态的不同,其放大电路反映出的特性是不同的。在实际中,可根据要求选择相应组态的电路。

4. 两种放大元件组成的单管放大电路——**双极型三极管放大电路**和**场效应管放大电路**

一般来说,双极型三极管是一种电流控制元件,它通过基极电流 i_B 的变化控制集电极电流 i_C 的变化。而场效应管是一种电压控制元件,它通过改变栅源间的电压 u_{GS} 来控制漏极电流 i_D 的变化;其次,双极型三极管的输入电阻 r_{be} 较小,而场效应管的输入电阻很高,栅极几乎不取电流。由于它们性能和特点的不同,可根据要求选用不同元件组成的放大电路。

5. 多级放大电路的三种耦合方式——阻容耦合、直接耦合和变压器耦合

将多级放大电路连接起来的时候,就出现了级与级之间的耦合方式问题。通过电阻和电容将两级放大电路连接起来的方式称为**阻容耦合**。由于电容的作用,使各级放大电路的静态工作点互相独立,分析估算比较方便。但它不能放大变化缓慢的信号和直流信号,也不便于集成化;将前级输出与后级输入直接相连的方式称为**直接耦合**。它能传递和放大变化缓慢的信号和直流信号,便于集成,但由于

是直接耦合，各级静态工作点互不独立，分析计算比较麻烦。另外，还存在着**电平偏移**和**零点漂移**现象；通过变压器的初级和次级把前级输出与后级输入连接起来的方式称为**变压器耦合**。它能够实现**阻抗变换**，以便在负载上得到最大的功率输出，各级静态工作点也互相独立。但由于变压器比较笨重，消耗有色金属，也不适于集成化。

6. 放大电路的频率响应

当将不同频率的信号输入放大电路时，由于晶体管极间电容和电路中电抗性元件的影响，放大电路的放大倍数要随之变化并产生一定的相位移。因此，放大电路的电压放大倍数和相位是频率的函数，称之为放大电路的**频率响应**。把放大倍数与频率的关系称之为**幅频特性**，相位与频率的关系称之为**相频特性**。

(三) 一些重要概念

本章涉及到的一些重要概念有：放大的本质、静态和动态、直流通路和交流通路、工作点、负载线、非线性失真、放大倍数、输入电阻、输出电阻、频率特性等。现简述如下：

1. 放大——**放大的实质**可以从两个方面来看：一是其能量的控制作用，即用一个能量比较小的信号去控制另一个能量，使负载上得到较大的能量；二是放大作用必须针对变化量而言，即输入信号有一个比较小的变化量，则在输出端得到一个比较大的变化量。

放大的本质是什么？

2. 静态和动态——**静态**是指当放大电路没有输入信号 ($U_i=0$) 时，仅在外电源 V_{CC} 作用下电路的工作状态。为了表示其工作状态，求出此时的 I_B 、 I_C 和 U_{CE} 值，它在特性曲线上是一个确定的点，通常叫静态工作点。**动态**是指放大电路加入交流输入信号 ($U_i \neq 0$) 时电路的工作状态。为了表征动态特性，一般引用负载线、动态范围、放大倍数、输入电阻和输出电阻等性能指标来表示。动态讨论的变化量往往是在某个特定的静态基础上变化的，因此可将它们两者的关系形象地认为是在静态工作条件下“驮”上了一个动态的工作信号。

什么叫放大电路的静态和动态？

3. 直流通路和交流通路——由于电路中存在一些非线性元件和电抗性元件，故直流信号与交流信号的通路是不同的。因此要相应地将电路区分为**直流通路**和**交流通路**两个方面。直流通路用以分析电路静态时的工作情况，交流通路用以分析电路动态时的工作情况。

什么叫放大电路的直流通路和交流通路？

4. 静态工作点——在电路参数一定的情况下，三极管总有一个确定的静态工作状态，我们用一个点来表示，叫**静态工作点**。一般用 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 的数值来描述。

什么叫放大电路的静态工作点？

5. 负载线——有**直流负载线**和**交流负载线**。前者用于确定静态工作点，后者则表示加入交流输入信号后，电路交流工作状态时的运动轨迹。

直流负载线和交流负载线有什么不同？

6. 非线性失真——放大电路的核心元件是双极型三极管或场效应管，由于它们本身是非线性元件，其输入、输出特性电压、电流间的关系都是**非线性**的，因此输出波形总会出现或多或少的失真，尤其当工作点设置不合理或输入信号幅度过大时，这种失真更为严重。

什么叫非线性失真，它是怎样产生的？

7. 放大倍数、输入电阻和输出电阻——它们是反映放大电路性能优劣的重要指标。

放大倍数是衡量放大电路放大能力的指标，定义为输出信号与输入信号的变化量之比。它有**电压放大倍数**和**电流放大倍数**。电压放大倍数 A_u 为输出电压的有效值 U_o 与输入电压的有效值 U_i 之比，表示为

$$A_u = U_o / U_i \quad (1.1.1)$$

电流放大倍数 A_i 为输出电流的有效值 I_o 与输入电流的有效值 I_i 之比，可表示为

$$A_i = I_o / I_i \quad (1.1.2)$$

输入电阻 R_i 是衡量放大电路向信号源索取电流大小的指标。定义为输入电压 U_i 与输入电流 I_i 的有效值之比，可表示为

$$R_i = U_i / I_i \quad (1.1.3)$$

输出电阻 R_o 是衡量放大电路带负载能力的指标。定义为当输入端信号电压 U_s 等于零（保留信号源内阻 R_s ）、输出端开路（ $R_L = \infty$ ）时，外加输出电压 U_o 与输出电流 I_o 之比，可表示为

$$R_o = \left. \frac{U_o}{I_o} \right|_{\substack{U_s=0 \\ R_L=\infty}} \quad (1.1.4)$$

8. 频率特性——随着输入信号频率的不同，放大电路电压放大倍数的模和相角都要随之变化。把幅度随频度的变化叫**幅频特性**，相位随频率的变化叫**相频特性**，统称为放大电路的**频率特性**。

1.2 单管共射放大电路

（一）放大电路正常放大的条件

要使放大电路能够基本不失真地进行放大，必须具备以下四个条件：

1. 电路外加电压的极性必须保证三极管工作在放大状态，即发射结正向偏置，集电结反向偏置；
2. 输入回路应保证输入信号能送进电路，也就是说输入电压的变化能转换成三极管输入电流的变化；
3. 输出回路应保证三极管输出电流的变化能够转换成输出电压的变化并能够送至负载；
4. 为电路设置合适的静态工作点，以保证输出信号基本不失真。

放大电路
正常放大的
条件是什么？

（二）静态工作点的设置

图 1.2.1 (a) 为 NPN 管的输出特性， AB 为负载线。

由图可以看出：若静态工作点设置过高，如 Q_1 ，则易出现饱和失真，此时 U_{CE} 很小，输出 u_o 波形如图 (b)，出现了底部失真（NPN 型单管基本共射电路）；若静态工作点设置过低，如 Q_2 ，此时 I_B 很小，近似为零，则易出现截止失真，输出

为什么要
设置合适
的静态工
作点？

u_o 波形如图 (c)，出现了顶部失真 (NPN 型单管基本共射电路)。可见，设置一个合适的静态工作点，如图中的 Q，可使输入信号的正负半周在 Q 点附近对称变化，得到一个基本不失真的输出电压，见图 (d)。

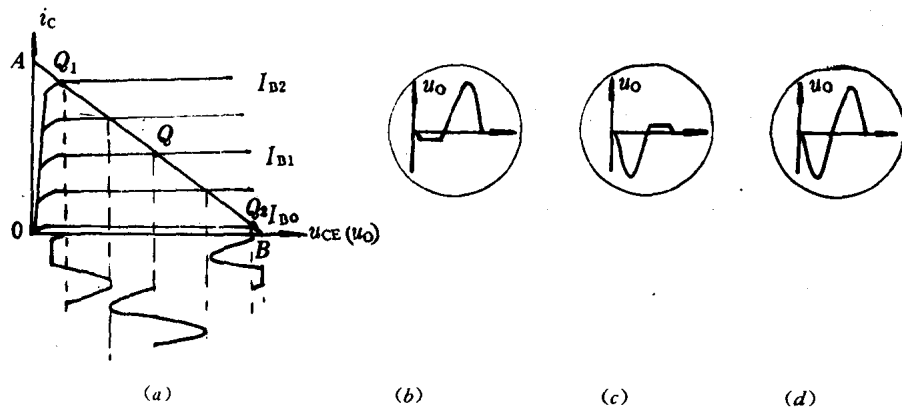


图 1.2.1 静态工作点设置与输出波形

(三) 判断电路能否正常放大的方法

判断一个放大电路 (以单管共射放大电路为例) 能否正常放大的一般步骤是：

1. 检查电路偏置

放大电路外电源的设置是否能使三极管工作在放大状态：对于 NPN 管来说， U_{BE} 应大于零， U_{BC} 应小于零。对于 PNP 管则相反。

2. 检查静态工作点的设置

输入回路中基极电阻的选择要适当。不能太大，以避免三极管工作在截止区，也不能太小，以避免三极管工作在饱和区。 R_b 的选择要保证三极管工作在放大区。

输出回路中， $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c$ ，要使三极管工作在放大状态，也应注意 R_c 值的选择。

3. 检查输入回路

输入回路应保证输入电压的变化能转换成三极管输入电流的变化。一般应避免输入信号被交流短路或开路。

4. 检查输出回路

输出回路应保证集电极电流的变化能转换成输出电压的变化并送至负载。一般应避免输出信号被交流短路或开路。

判断一个放大电路能否正常工作的一般步骤是什么？

1.4 放大电路的基本分析方法

(一) 如何找出放大电路的直流通路和交流通路

1. 电抗性元件在交直流通路中的处理方法。

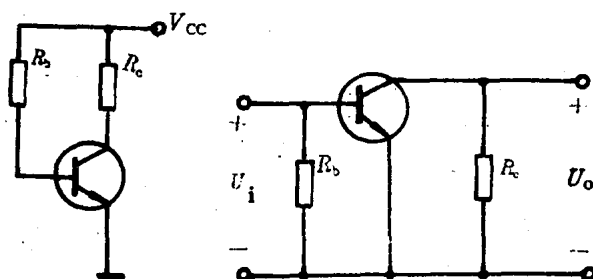
由于在放大电路中存在电抗性元件，它们对不同频率的信号呈现的电抗是不同的，因此放大电路的直流通路和交流通路是不同的。

在直流通路中：

电容 C——开路	($\because \omega \downarrow, \therefore \frac{1}{\omega C} \uparrow$)
电感 L——短路	($\because \omega \downarrow, \therefore \omega L \downarrow$)
在交流通路中	
电容 C——短路	(当 C 足够大时 $\frac{1}{\omega C}$ 足够小)
电感 L——开路	(当 L 足够大时, ωL 足够大)
理想电压源 (如 V_{CC})——短路	(无内阻, $\Delta u=0$)
理想电流源——开路	(内阻 $\infty, \Delta i=0$)

在交直流通路中, 电抗性元件的一般处理方法是怎样的? 试简述理由。

根据以上原则, 单管共射放大电路的直流通路见图 1.4.1 (a) 和 (b) 所示。



(a) 直流通路

(b) 交流通路

图 1.4.1 单管共射电路的交直流通路

在直流通路中, 电容 C_1, C_2 开路, 在交流通路中电容 C_1, C_2 短路, 电源 V_{CC} 短路。

由图(a)可得

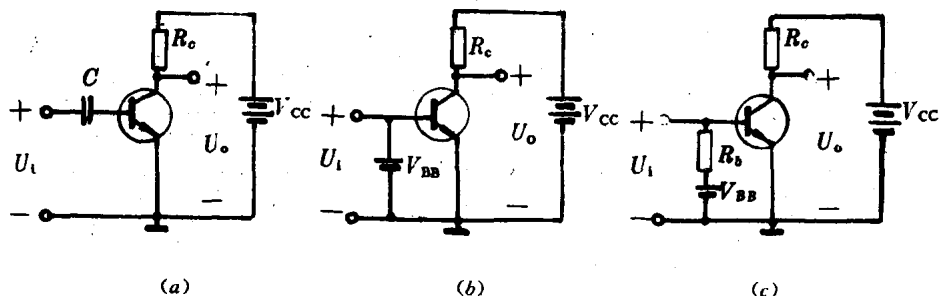
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \quad (1.4.1)$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \quad (1.4.2)$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c \quad (1.4.3)$$

【例 1.4.1】 试判断图 1.4.2 各电路能否对输入信号不失真地进行放大, 并简述理由。

解 本题练习根据放大电路的组成原则判断电路能否正常工作的方法。



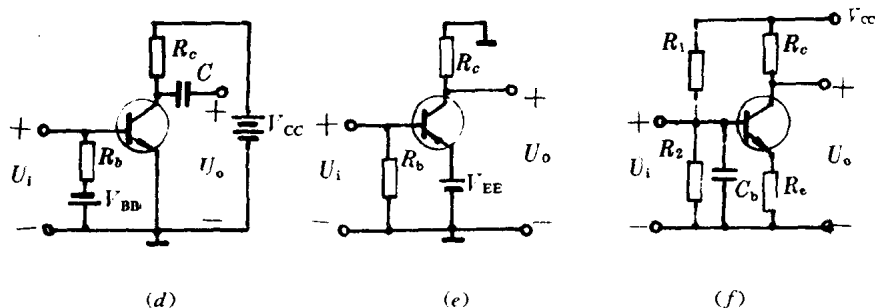


图 1.4.2 例 1.4.1 电路

图 (a) 电路无放大作用。静态基极电流 $I_{BQ}=0$ 。

图 (b) 电路无放大作用。 V_{BB} 交流通路短路，输入信号送不进去， $U_i=0$ 。

图 (c) 电路有放大作用。符合组成原则。

图 (d) 电路无放大作用。三极管发射结反向偏置， $I_{BQ}=0$ 。

图 (e) 电路有放大作用。三极管为 PNP 型，偏置符合要求，其它组成原则也符合要求。

图 (f) 电路无放大作用。 C_b 将输入交流信号短路， $U_i=0$ 。

【例 1.4.2】 (习题 1-2) 试画出图 1.4.3 各电路的直流通路和交流通路。设各电路中的电容足够大，电路中的变压器为理想变压器。

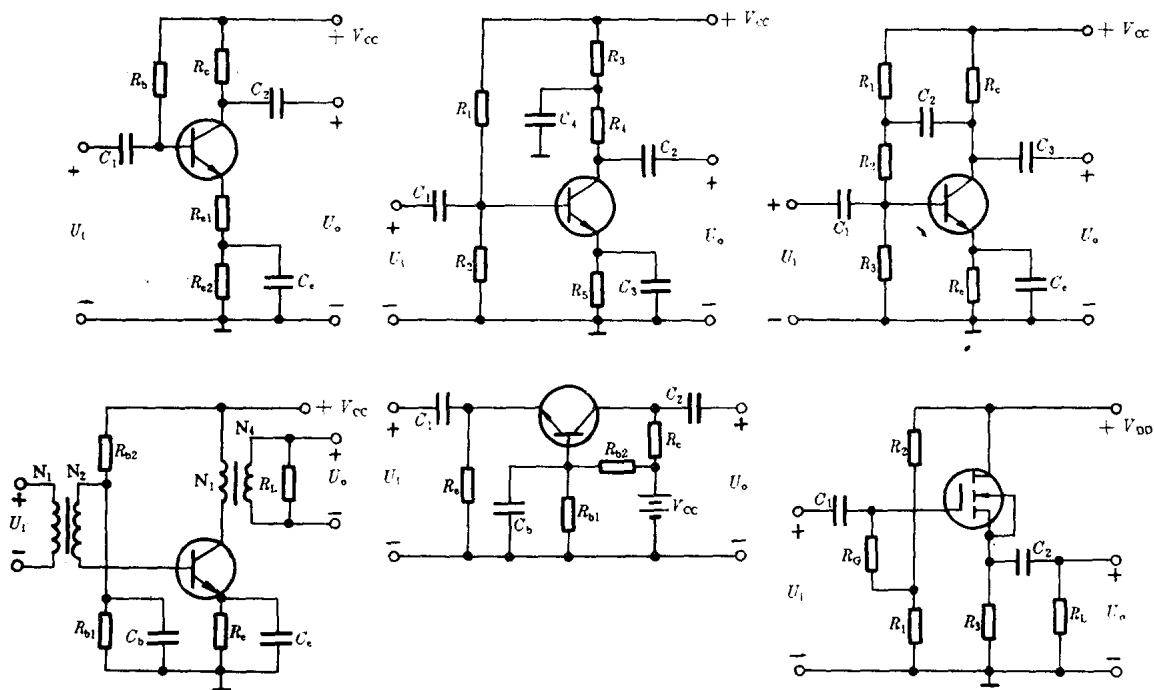


图 1.4.3 例 1.4.2 电路

解 本题练习放大电路交直流通路的画法。

已知电容足够大，在交流通路中可视为短路，直流开路；理想变压器绕组阻

抗可以忽略,集电极电阻为0,在直流通路中可视为开路,交流通路中有阻抗变换作用。另外,理想电压源可视为交流短路。根据以上原则,可画出图1.4.3各电路的直流通路和交流通路,分别见图1.4.4和图1.4.5所示。

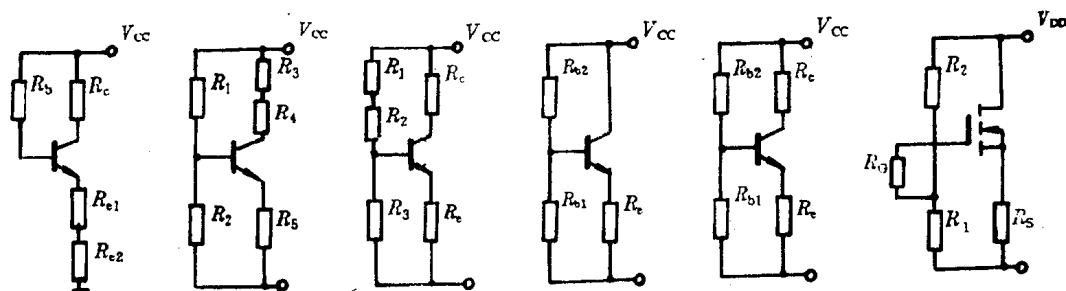


图1.4.4 图1.4.3电路的直流通路

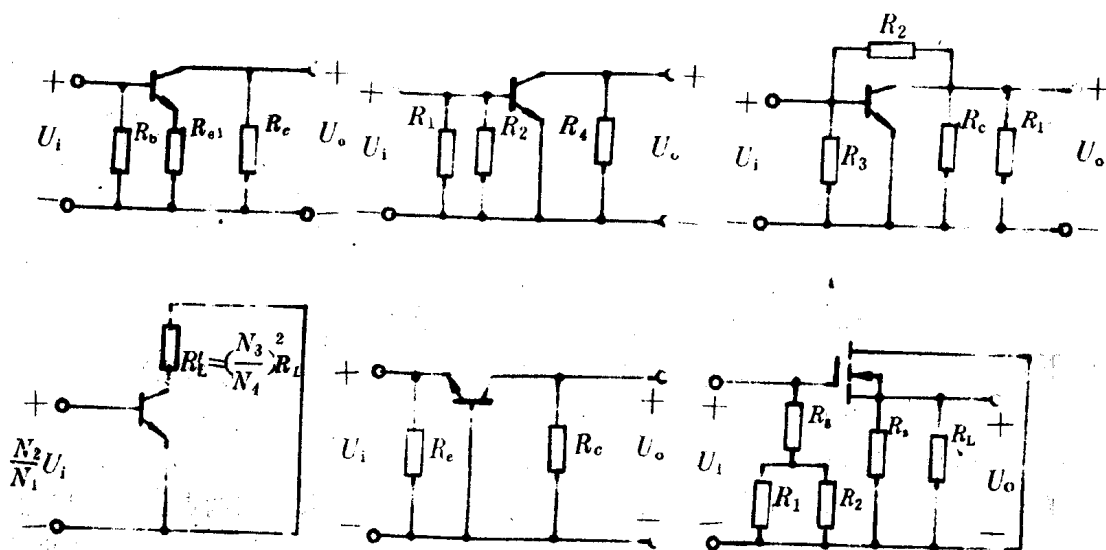


图1.4.5 图1.4.3电路的交流通路

【例1.4.3】 单管共射放大电路如图1.4.6(a)所示。已知三极管导通时 $U_{BEQ} = 0.7V$, 试用估算法计算该电路的 I_{BQ} , I_{CQ} 和 U_{CEQ} 值。若三极管发射极接有 $R_e = 0.3k\Omega$ 的电阻, 则此时的 I_{BQ} , I_{CQ} 和 U_{CEQ} 值又为多少?

解 本题练习用估算法估算静态工作点的方法。

根据式1.4.1~1.4.3可得

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_{b1}} = \frac{6.7 - 0.7}{300} = 0.02mA$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 0.02 = 2mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c = 6.7 - 2 \times 2.5 = 1.7V$$

若三极管发射极接有 $R_e = 0.3k\Omega$ 的电阻, 其电路的直流通路如图1.4.6(b)所示, 可列出电压方程为

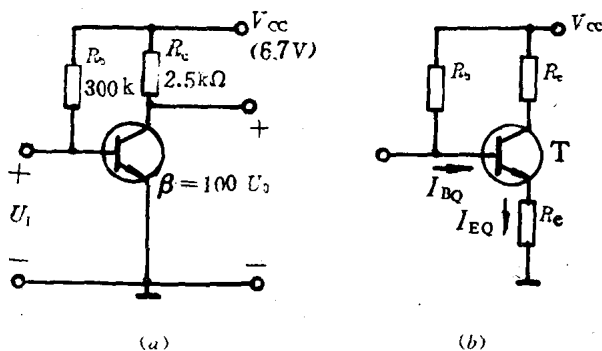


图 1.4.6 例 1.4.3 电路及其直流通路

$$V_{CC} = I_{BQ}R_b + U_{BEQ} + I_{EQ}R_e$$

可得

$$\begin{aligned} I_{BQ} &= \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e} \\ &= \frac{6.7 - 0.7}{300 + (1 + 100) \times 0.3} = 0.018 \text{ mA} \\ I_{CQ} &= \beta I_{BQ} = 100 \times 0.018 = 1.8 \text{ mA} \\ U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) = 6.7 - 1.8(2.5 + 0.3) \\ &= 1.66 \text{ V} \end{aligned}$$

(二) 放大电路的两种分析方法——图解法和微变等效电路法

1. 图解法——是利用三极管的特性曲线采用作图进行求解的方法。它形象直观，多用于确定静态工作点和分析波形失真。

(1) 图解法确定静态工作点的一般步骤：

①根据输出回路 i_c 与 u_{CE} 的关系列出其线性方程 $u_{CE} = V_{CC} - i_c R_c$ ，取两点：

$$\begin{cases} u_{CE} = 0 \text{ 时, } i_c = \frac{V_{CC}}{R_c} \\ i_c = 0 \text{ 时, } u_{CE} = V_{CC} \end{cases}$$

②在三极管的输出特性上连接这两点，得到直流负载线；

③用估算法 $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b}$ 求出 I_{BQ} 值，确定一个点，称做静态工作点，用 Q 表示；

④以 Q 点作水平和垂直线相交于 i_c 和 u_{CE} 坐标。便可得到相应的 I_{CQ} 值和 U_{CEQ} 值。

(2) 用图解法求单管共射放大电路的电压放大倍数

用图解法求放大电路的电压放大倍数要通过电路的交流通路来确定。其一般步骤是：

①求电路的交流负载线。交流负载线有两个特点：第一，其斜率为 $-\frac{1}{R'_L}$ ，其中 $R'_L = R_c \parallel R_L$ ；第二，通过静态工作点 Q。具体作法是：在输出特性上作一条斜

图解法确定静态工作点的一般步骤是怎样的？

图解法求单管共射电路电压放大倍数的一般步骤是怎样的？

率为 $-\frac{1}{R_L}$ 的直线，平移此直线，使其相交于Q点，便得到了交流负载线。交流负载线才真正反映放大电路动态工作点移动的轨迹；

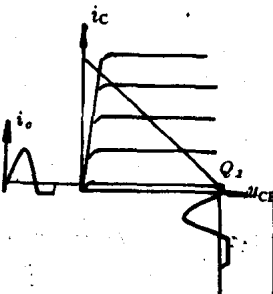
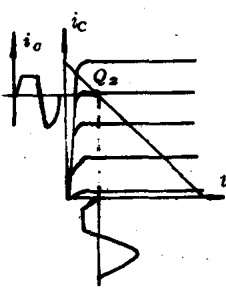
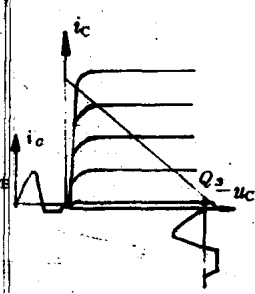
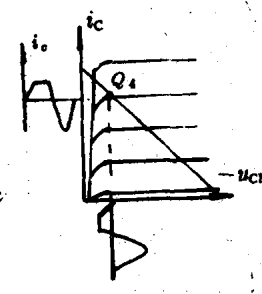
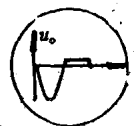
- ②在输入特性Q点附近取 Δi_B ，相应就有一个 Δu_{BE} ；
- ③在输出特性Q点附近，根据输入特性所取 Δi_B 的值可找到相应的 Δi_C 值，就有一个对应的 Δi_C 值和 Δu_{CE} 值；
- ④根据 $A_u = \frac{\Delta u_o}{\Delta u_i} = \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta u_{BE}}$ ，可求出 A_u 值。

(3) 图解法分析波形失真

图解法分析波形失真具有直观、明了的优点。现将由于静态工作点设置不合理产生的波形失真情况汇总于表 1.4.1 中。

表 1.4.1 图形法观察波形失真

试说明工
作点设置
与输出波
形间的关
系。

NPN 三极管		PNP 三极管	
			
			

本栏为 NPN 型三极管波形失真的情况。如工作点过低 (Q_1 点)，电流 i_C 的波形将发生严重的底部被切现象，输出电压 u_o (u_{CE}) 发生严重的顶部失真，见图左部分。把因工作点过低，三极管工作在截止区造成的失真叫截止失真；如工作点过高 (Q_2 点)，电流 i_C 的波形将发生严重的顶部被切现象，输出电压 u_o 将发生严重的底部失真，见图右部分。把因工作点过高三极管工作在饱和区造成的失真叫饱和失真

本栏为 PNP 型三极管波形失真的情况，由于电压极性， u_{CE} 为负值，故示波器上观察到的波形正好与 NPN 三极管的波形相位相反。

左图为工作点过低。三极管工作在截止区造成的失真叫截止失真；右图为工作点过高。三极管工作在饱和区造成的失真叫饱和失真