

国家机械工业委员会统编

电子技术基础

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

电子技术基础

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

全书共分三篇十七章。第一篇为晶体管电路，第二篇为数字电路，第三篇为晶闸管技术。本书对各种电路的基本概念、基本原理和分析方法，作了深入浅出的介绍及分析，可为提高技术工人专业知识和操作技能打下基础。

本书由南通电机厂张湛武、南通市职工大学蔡日盛、高锦章编写，由南京调速电机厂徐发祥、南京市仪器仪表工业公司叶宁审稿。

电子技术基础

国家机械工业委员会统编

*

责任编辑：边 萌 版式设计：乔 玲
封面设计：林胜科 方 芬 责任校对：熊天荣

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $11 \frac{3}{8}$ · 字数 251 千字
1988 年 11 月北京第一版 · 1988 年 11 月北京第一次印刷
印数 00,001—36,500 · 定价：5.00 元

*

ISBN 7-111-01118-X/TN·24

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

IV

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了 200 多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一篇 晶体管电路

第一章 晶体管放大电路.....	1
第一节 放大器的基本概念	2
第二节 放大器参数的分析方法	6
第三节 放大器中的负反馈	16
第四节 多级放大器	19
第五节 功率放大器	21
复习题	29
第二章 晶体管正弦波振荡电路.....	34
第一节 正弦波振荡电路的基本原理	31
第二节 LC振荡器	33
第三节 RC振荡器	41
第四节 石英晶体振荡器	45
复习题	48
第三章 直流放大电路.....	49
第一节 直流放大器	49
第二节 零点漂移	52
第三节 差动式直流放大器	54
第四节 调制型直流放大器	62
复习题	69
第四章 集成运算放大电路.....	7

VI

第一节	线性集成电路简介	70
第二节	运算放大器的基本分析方法	75
第三节	运算放大器在运算电路中的应用	78
第四节	运算放大器的应用举例	88
复习题		91
第五章	晶体管直流电源电路	92
第一节	电源变压器	93
第二节	单相整流电路	94
第三节	滤波电路	101
第四节	硅稳压管及其稳压电路	10 ⁷
第五节	串联型晶体管直流稳压电路	111
复习题		115

第二篇 数 字 电 路

第六章	二极管与三极管的开关特性	117
第一节	二极管的开关特性	117
第二节	三极管的开关特性	120
复习题		127
第七章	分立元件门电路	128
第一节	基本逻辑门	128
第二节	复合门	139
复习题		141
第八章	集成门电路	143
第一节	TTL与非门	143
第二节	HTL与非门	154
第三节	MOS门电路	156
复习题		160
第九章	逻辑代数	161
第一节	逻辑代数的基本运算规则	161

第二节	逻辑函数	163
第三节	逻辑表达式的化简	171
第四节	逻辑代数应用举例	180
复习题		183
第十章	触发器	185
第一节	基本RS触发器和同步RS触发器	185
第二节	主从触发器	191
第三节	维持阻塞触发器	196
第四节	触发器的逻辑功能类型及转换	199
第五节	集成触发器的参数及测试	206
复习题		208
第十一章	基本数字部件	210
第一节	计数器	210
第二节	寄存器	231
第三节	数字显示电路	235
复习题		247
第十二章	脉冲信号的产生与整形	248
第一节	多谐振荡器	248
第二节	单稳态触发器	257
复习题		263

第三篇 晶 闸 管 技 术

第十三章	晶闸管	265
第一节	晶闸管的结构及工作原理	265
第二节	晶闸管的特性及参数	271
复习题		276
第十四章	晶闸管整流电路	277
第一节	单相可控整流电路	277
第二节	三相可控整流电路	290

Ⅷ

第三节	晶闸管的保护	298
复习题		307
第十五章	晶闸管的触发电路	309
第一节	概述	309
第二节	阻容移相桥触发电路	310
第三节	单结晶体管触发电路	314
第四节	同步信号为正弦波的触发电路	320
第五节	同步信号为锯齿波的触发电路	322
复习题		324
第十六章	晶闸管逆变电路	326
第一节	晶闸管有源逆变电路	326
第二节	晶闸管无源逆变电路	337
复习题		346
第十七章	晶闸管的应用举例	347
第一节	晶闸管温度控制电路举例	348
第二节	晶闸管直流电动机调速控制电路举例	350
第三节	晶闸管充电机控制电路举例	351
复习题		354

第一篇 晶体管电路

第一章 晶体管放大电路

晶体管放大电路是放大电路的一种，其特点是电路中的放大器件为晶体管。

晶体管是一种半导体器件。在纯净的半导体（本征半导体）中掺入不同的微量“杂质”，就形成N型和P型杂质半导体，它们的导电能力远远超过了本征半导体，但还不具有单向导电性能和放大作用。

如果在同一半导体的两端分别掺入不同的“杂质”，各自形成P型半导体和N型半导体，则在P型和N型半导体的交界处形成PN结。只有当P端接电源正极，N端接电源负极时（称为正偏，反之为负偏）才能导电，这种特性称为PN结的单向导电性。晶体二极管就是根据上述原理制成的。如果在同一半导体中间部分掺入一种“杂质”，而在两端分别掺入另一种相同的“杂质”，则会形成P-N-P或N-P-N两种类型的半导体。但不管哪一种类型，只要是P型与N型半导体的交界处，都会形成PN结，因此，这种半导体有两个PN结并且都具有单向导电性。晶体三极管就是根据这一原理制成的，只要通过一定的连接线路，它就具有放大作用。

通常称晶体二极管为二极管，称晶体三极管为晶体管。

图1-1为二极管和晶体管的外形及符号。符号中的箭头

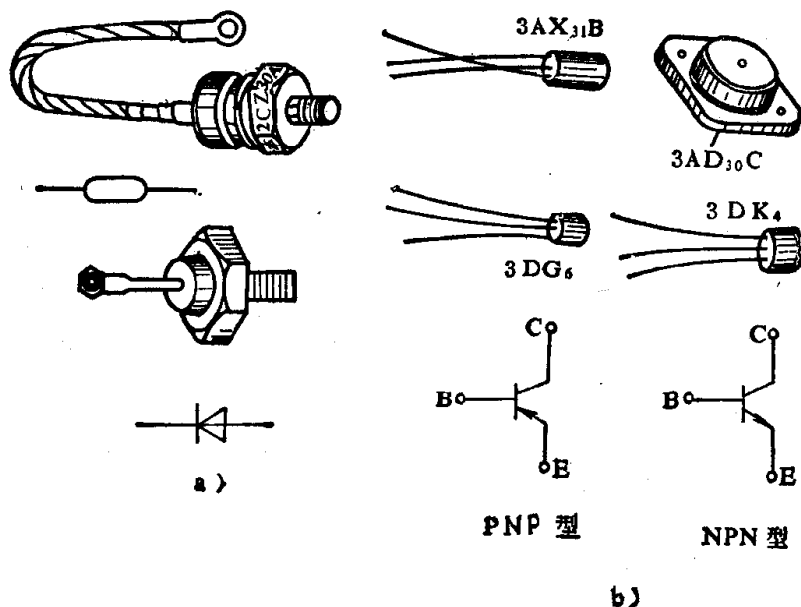


图1-1 二极管和晶体管

a) 二极管的外形和符号 b) 晶体管的外形和符号

表示电流的方向。二极管具有一个 PN 结；晶体管具有两个 PN 结，相当于两只接成相向或相背的二极管。具有两个相向 PN 结的晶体管，称为 PNP 型晶体管，而对于具有两个相背 PN 结的晶体管，则称为 NPN 型晶体管。晶体管的三个极（管脚），即基极、发射极和集电极，分别用大写字母 B、E 和 C 表示。

第一节 放大器的基本概念

放大作用是晶体管的基本用途之一。在实际工作中，往往需要将微弱的电信号加以放大，以推动负载进行工作。放大器可以达到这一目的。为了很好地完成放大任务，根据实际需要，要求放大器具有足够的放大倍数、合适的通频带，

并要求其失真小、噪声小、效率高且能稳定地工作。

一、单管交流电压放大器

单管放大器是最简单的放大器，其原理电路如图 1-2 a 所示。图中，

V ——NPN 型晶体管，为放大元件；

R_C ——集电极电阻，可将集电极电流的变化转换为电压的变化；

R_B ——基极电阻，可为晶体管提供固定的基极电流（又称偏流）；

C_1 和 C_2 ——耦合电容，用来隔断输入端和输出端的直流，提供输入和输出交流信号的通道；

E_C 和 E_B ——集电极和基极直流电源。

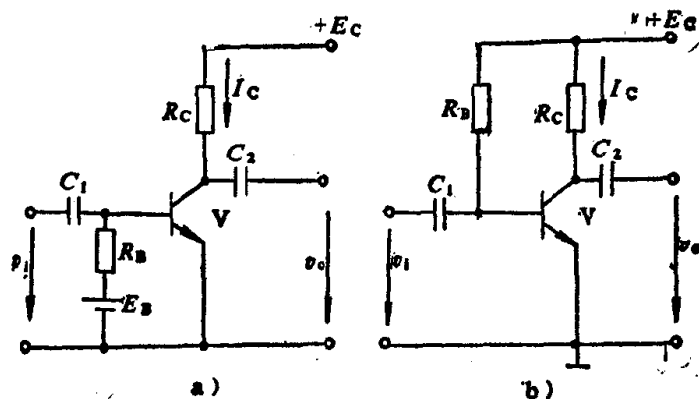


图1-2 单管交流电压放大器

这是一只交流电压放大器，由于发射极为输入信号和输出信号的公共端，故称为共发射极放大器。采用双电源电路，实用上很不方便，往往都由 E_C 单电源供电，并且，使晶体管发射结处于正偏、集电结处于反偏，如图 1-2 b 所示。

输入信号 $v_i = 0$ 时的工作状态称为静态，它由静态基极

电流 I_{BQ} 、静态集电极电流 I_{CQ} 及静态集电极电压 V_{CEQ} 表示 (其中下标 Q 表示静态量)。它们在晶体管特性曲线上所确定的一点, 称为静态工作点, 其参数可由下列关系确定:

$$I_{BQ} = \frac{E_C - V_{BE}}{R_B} \quad (1-1)$$

由于 $E_C \gg V_{BE}$ (硅管 V_{BE} 约为 0.7 V, 锗管约为 0.3 V), 所以上式可写成

$$I_{BQ} = \frac{E_C - 0.7}{R_B} \approx \frac{E_C}{R_B} \quad (1-2)$$

$$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \quad (1-3)$$

$$V_{CEQ} = E_C - I_{CQ} R_C \quad (1-4)$$

式 (1-3) 中 β 为电流放大系数, 为晶体管的重要参数之一, 通常将它简单表示成

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

二、设置静态工作点的作用

在放大器中设置静态工作点, 其目的是为了提高晶体管基极和集电极的电压及电流, 避开死区, 使它工作在特性曲线的直线部分, 能不失真地放大交流信号。

如果将图 1-2 b 中的 R_B 去掉即不设置静态工作点, 则静态基极电流 $I_B = 0$, 集电极电流 $I_C \approx 0$ 。这时, 假定输入信号 v_i 为正弦波 (如图 1-3 所示), 当 v_i 为正时, 发射结正偏, 只有正向电压大于 0.7 V (锗管为 0.3 V), 晶体管才导通, 出现 i_B ; 当 v_i 为负时, 由于发射结被反偏而截止, $i_B = 0$, 从图中看出, i_B 的波形与 v_i 的波形相差很大, 产生严重的失真, 因此, 输出电压也产生了失真。

图 1-4 为具有一定静态工作点时 i_B 的变化情况。因设

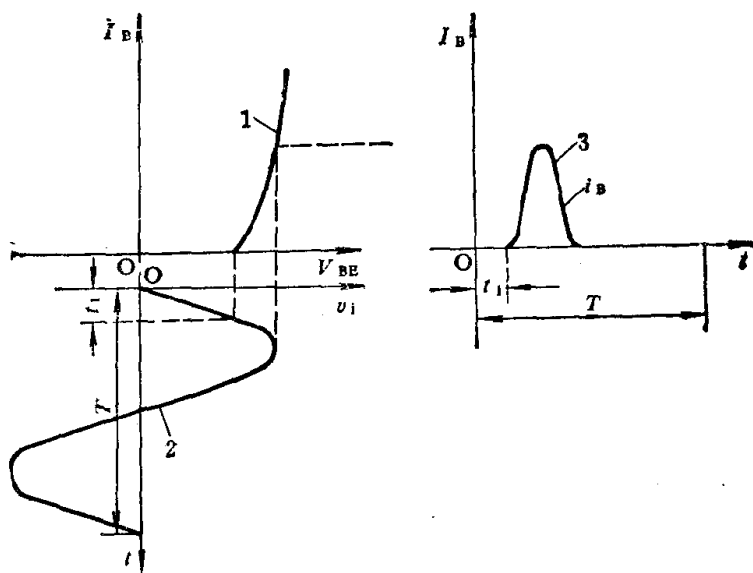


图1-3 不设置静态工作点时 i_B 的变化波形

1—晶体管的输入特性 2—输入信号 v_i 的波形 3— i_B 的波形

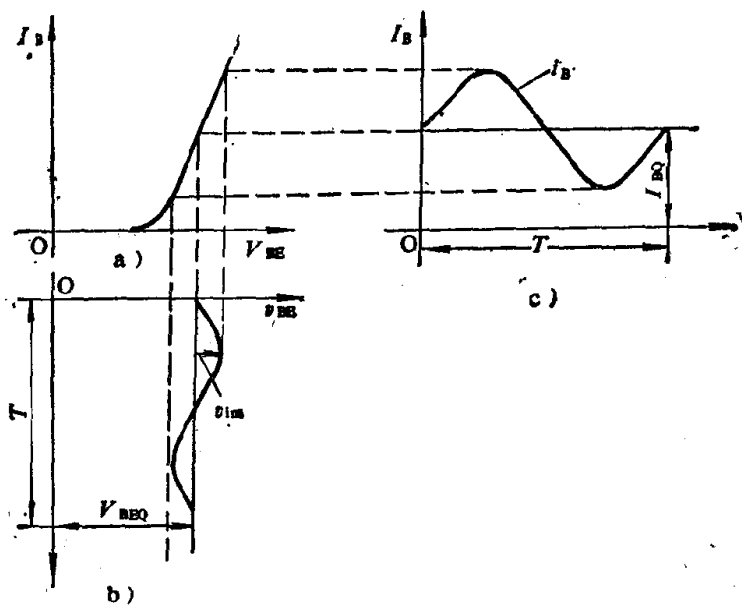


图1-4 具有适当静态工作点时 i_B 的变化波形

a) 晶体管的输入特性 b) v_i 与 V_{BEQ} 相叠加 c) i_B 的波形

置了适当的工作点, 使 v_i 在静态电压 V_{BEQ} 的基础上变化, 又因工作在输入特性曲线的直线部分, 避开了死区的影响, 因此, i_B 波形的变化和 v_i 波形的变化一致, 放大器能不失真地把输入信号加以放大。

第二节 放大器参数的分析方法

放大器的定量分析包括两方面的内容: (1) 计算静态工作点; (2) 计算放大器的放大倍数和输入电阻、输出电阻。常用分析方法有估算法和图解法两种。

一、估算法

对于结构比较复杂的电路, 当输入信号比较小时, 用图解法分析比较困难, 可采用此法进行估算。

1. 计算静态工作点 计算静态工作点时, 只需考虑电路的直流通道。图 1-5 a 为放大器电路图, 图 1-5 b 为该放大器的直流通道。由于只考虑直流通道, 所以电容 C_1 和 C_2 视作开路, 并且 V_{BE} 忽略不计。

具体计算可应用式 (1-2)、式 (1-3)、式 (1-4), 因此,

$$I_{BQ} \approx \frac{E_C}{R_B} = \frac{15}{500} = 30 (\mu A)$$

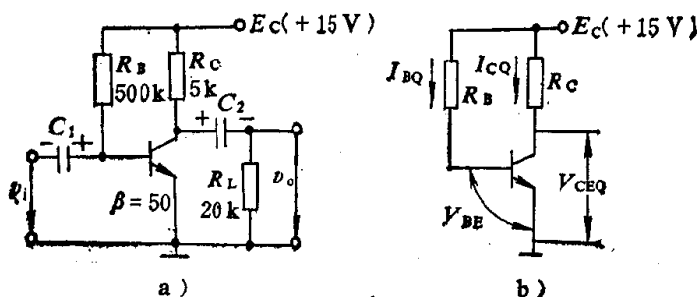


图1-5 静态工作点的估算法

a) 电路图 b) 直流通道

$$I_{CQ} \approx \beta I_B = 50 \times 30 = 1.5 \text{ (mA)}$$

$$V_{CEQ} = E_C - I_{CQ} R_C = 15 - 1.5 \times 5 = 7.5 \text{ (V)}$$

2. 估算放大倍数 它是对放大器动态工作状态的分析, 因此, 必须先作出放大器的交流通道, 如图 1-6 所示。对交流信号而言, 电容 C_1 、 C_2 和电源 E_C 可视作短路, 晶体管发射结可等效为一个电阻 r_{BE} , 称作晶体管的输入电阻, 它是一个非线性动态电阻, 其大小可用下列经验公式估算:

$$r_{BE} = 300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})} \quad (1-5)$$

式中 $I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ}$

$$= 0.03 + 1.5$$

$$= 1.53 \text{ (mA)}$$

所以, 算得

$$r_{BE} = 300 + (1 + 50) \frac{26}{1.53}$$

$$= 1167(\Omega) \approx 1.17 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

输入电阻 r_{BE} 还可以通过晶体管的输入特性曲线求得。图 1-7 为一输入特性曲线。静态工作点 Q 在小范围内的输入电阻可视为线性电阻。通过 Q 点作一切线, 即可得

$$r_{BE} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \quad (1-6)$$

因此, 电压放大倍数可如下估算:

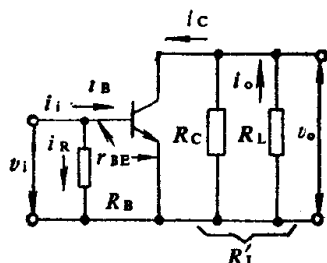


图1-6 交流通道

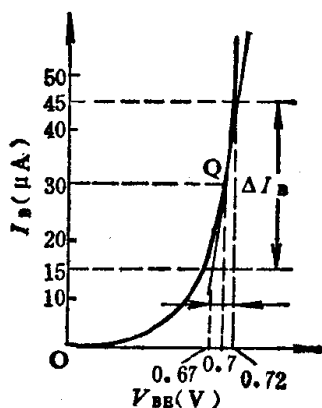


图1-7 由输入特性求输入电阻

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-i_c R'_L}{i_b r_{BE}} = \frac{-\beta i_b R'_L}{i_b r_{BE}} = -\beta \frac{R'_L}{r_{BE}} \quad (1-7)$$

其中

$$R'_L = R_C \parallel R_L \ominus = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$$

式 (1-7) 中的负号, 表示这种放大电路的输出电压和输入电压相位相反。公式表明, 增加晶体管的电流放大系数 β 与输出端总负载电阻 R'_L (对一定的负载电阻 R_L , 增加 R'_L 就是增加输出电阻 R_C), 以及减小晶体管的输入电阻 r_{BE} , 都将在一定程度上提高放大器的放大倍数。但是由于 r_{BE} 和 β 都与晶体管的静态工作电流 (如 I_{EQ}) 有关, 所以放大倍数实际上还和静态工作点的位置有密切联系。

将上面的数值 $r_{BE} = 1.17\text{k}\Omega$, $R'_L = R_C \parallel R_L = 4\text{k}\Omega$, $\beta = 50$, 代入式 (1-7), 得:

$$A_v = -\beta \frac{R'_L}{r_{BE}} = -50 \times \frac{4}{1.17} \approx -170$$

如果断开放大器的负载电阻 R_L , 则从交流通道来看, 输出端的总负载电阻 $R'_L = R_C = 5\text{k}\Omega$, 所以,

$$A_v = -\beta \frac{R'_L}{r_{BE}} = -50 \times \frac{5}{1.17} \approx 214$$

可见, 放大器带上负载后, 放大倍数会显著下降。

二、图解法

利用晶体管的输入特性和输出特性曲线, 作图来分析放大器的基本性能的方法, 称为图解法。它能比较直观、清楚地说明放大的物理过程。下面举例加以分析。

图 1-8 a 为一单管交流电压放大器, 图 1-8 b 为 3DG4

⊖ $R_C \parallel R_L$ 表示 R_C 与 R_L 并联。