

电子技术应用

唐灵飞 主编



郑州大学出版社
• 郑州 •

电子技术应用

唐灵飞 主编



郑州大学出版社
• 郑州 •

图书在版编目(CIP)数据

电子技术应用 / 唐灵飞主编. — 郑州: 郑州大学出版社, 2014. 7

“国家中等职业教育改革发展示范学校”项目建设校本系列教材

ISBN 978 - 7 - 5645 - 1468 - 6

I. ①电… II. ①唐… III. ①电子技术 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 113188 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人: 王 锋

全国新华书店经销

河南省诚和印刷有限公司印制

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 15.5

字数: 367 千字

版次: 2014 年 7 月第 1 版

邮政编码: 450052

发行电话: 0371 - 66966070

印次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5645 - 1468 - 6 定价: 24.60 元

本书如有印装质量问题, 由本社负责调换

作者名单

主 编 唐灵飞

副主编 张战杰

编 委 (按姓氏笔画排序)

李雪林 唐灵飞 张战杰 翟君军

前 言

为了更好地满足企业对技能人才的实际需求,根据企业要求,依据部颁相关教材的大纲内容,结合我校实际情况,编写了这本《电子技术应用》教材。该教材编写工作坚持了以下几个原则:

第一,在教材编写过程中以掌握基本概念、注重技能培养和提高素质为指导思想,全面贯彻“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”的一体化原则。对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整,坚持以基本技能为本的教学理念,强调实际操作技能的培养。

第二,本书共分9个课题,包括以一体化教学方式实现理论知识与技能训练相结合,以任务驱动法的编写方式安排教学内容,使教材内容更加符合学生的认知规律,易于激发学生的学习兴趣。

第三,根据科学技术发展,尽可能多地在教材中充实新知识、新技术等方面的内容,力求使教材具有更鲜明的时代特征。

第四,努力贯彻国家关于职业资格证书制度要求,力求使教材内容符合有关国家职业标准(中级)的知识和技能要求。

第五,教材编写模式上力求突出一体化模块特点,每个一体化模块都有其明确的教学目的,并针对各自教学目的要求展开相关知识的介绍及技能训练,并给出了每个模块的任务评分表,以供教学参考。同时,还针对每个模块设置了相应的巩固与提高练习,以便学生切实掌握相关知识与技能。

第六,在内容和编排方式上,力求图文并茂,尽可能使用图片或表格形式将各个知识点生动地展示出来,从而提高教材的可读性和亲和力。

本书共9个课题,包括两大部分内容,课题一至课题六属模拟电子技术部分,课题七至课题九属数字电子技术部分。具体章节的编写情况为:唐灵飞编写了课题一、课题二、课题三、课题四,翟君军编写了课题五,张战杰编写了课题六、课题七、课题八,李雪林编写了课题九。

由于编写水平有限,书中难免有疏漏、错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2013年12月

目 录

课题一 基本放大电路	1
任务一 固定偏置放大电路	2
任务二 分压偏置放大电路	14
课题二 OTL 功率放大电路	26
任务一 射极输出器	26
任务二 带负反馈的放大电路	31
任务三 OTL 功率放大电路	36
课题三 串联稳压电源	47
任务一 单相半波整流电路	47
任务二 单相桥式整流电路	56
任务三 单相桥式整流滤波电路	60
任务四 串联型稳压电源	63
课题四 运算放大器	74
任务一 差动放大电路	74
任务二 比例运算放大器	81
任务三 加法运算器	87
任务四 比较器	91
课题五 正弦波振荡电路	103
任务一 LC 振荡电路	103
任务二 RC 振荡电路	107
任务三 石英晶体振荡器电路	110
任务四 无线话筒电路	113
课题六 晶闸管电路	121
任务一 单结晶体管触发电路	121

任务二 单相可控整流电路	127
任务三 单相半控桥式整流电路	132
任务四 晶闸管调光电路	136
课题七 逻辑门电路	143
任务一 与逻辑门电路	143
任务二 或逻辑门电路	147
任务三 与非逻辑门电路	151
任务四 声、光双控延时节能灯电路	158
课题八 组合逻辑电路	169
任务一 组合逻辑电路分析与设计	169
任务二 编码器	187
任务三 译码器	192
任务四 十进制编码译码显示电路	197
课题九 时序逻辑电路	208
任务一 触发器	208
任务二 计数器	218
任务三 寄存器	222
任务四 六十进制加法计数器电路	227
参考文献	237

课题一 基本放大电路

课题目标

1. 掌握放大电路的组成、三极管的电流放大作用、放大电路静态工作点设置的重要性和温度对三极管特性的影响。

2. 掌握固定偏置放大电路、分压式放大电路静态工作点和电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的计算。

通过制作一块分压式偏置放大电路的电路板,让同学们了解放大电路的组成、三极管的电流放大作用、放大电路静态工作点设置的重要性和温度对三极管特性的影响,同时掌握静态工作点和电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的计算。

课题分析

利用电子器件把微弱的电信号(如电压、电流或功率)增强到所需值的电路称为放大电路(图1-1),习惯上称为放大器。常见的放大电路有分压偏置放大电路和射极输出器等。一般要求放大器具有足够的放大倍数和一定的通频带,还要求非线性失真要小且工作稳定。

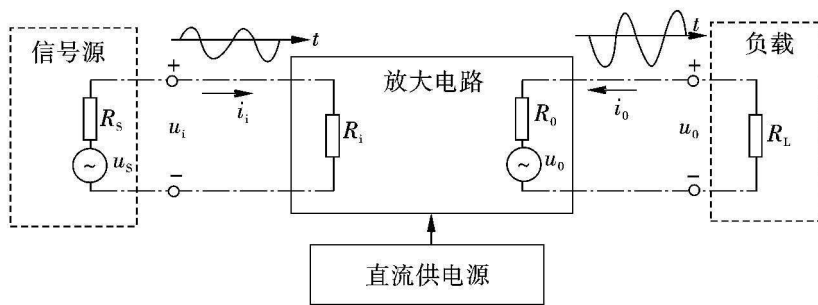


图 1-1 放大电路

电路图中的负载电阻 R_L ,并不一定是一个实际的电阻器,它可能是某种用电设备,如仪表、扬声器、显示器、继电器或下一级放大电路等。信号源也可能是一级放大电路,其中 u_s 为信号源电压, R_s 为信号源内阻。

放大电路的种类繁多,可按照不同的方法进行分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 放大电路的分类

分类方法	种类	应用
按信号的大小分	小信号放大器	位于多级放大电路的前级,专门用于小信号的放大
	大信号放大器	位于多级放大电路的后级,如功率放大器,专门用于大信号的放大
按所放大的信号频率分	直流放大器	专门用于放大直流信号和变化缓慢的信号,集成电路采用的就是直流放大器
	低频放大器	专门用于低频信号的放大
	高频放大器	专门用于高频信号的放大
按三极管的连接方式分	共射极放大器	最常用的放大器,具有电压和电流放大能力,是唯一能够同时放大电流和电压的放大器
	共集电极放大器	常用放大器,只有电流放大能力,没有电压放大能力,又称为射极输出器或射极跟随器
	共基极放大器	用于高频放大电路中,只有电压放大能力,没有电流放大能力。很少用
按元件集约程度来分	分立元件放大器	是由单个分立的元器件组成的电子线路
	集成放大器	将电子元器件和连线按照电子线路的连接方法,集中制作在一小块晶片上的电子器件

任务一 固定偏置放大电路

任务目标

1. 三极管的基本知识和检测。
2. 掌握固定偏置放大电路的组成,了解其工作原理。
3. 掌握固定偏置放大电路的放大倍数、输入电阻和输出电阻的测量方法。

任务分析

三极管组成的固定偏置放大电路接低频信号发生器,用示波器观察电路的输出波形。

(一) 仿真实验

(1) 按照电路原理图 1-2 在 Multisim 中正确连接电路,进行仿真。

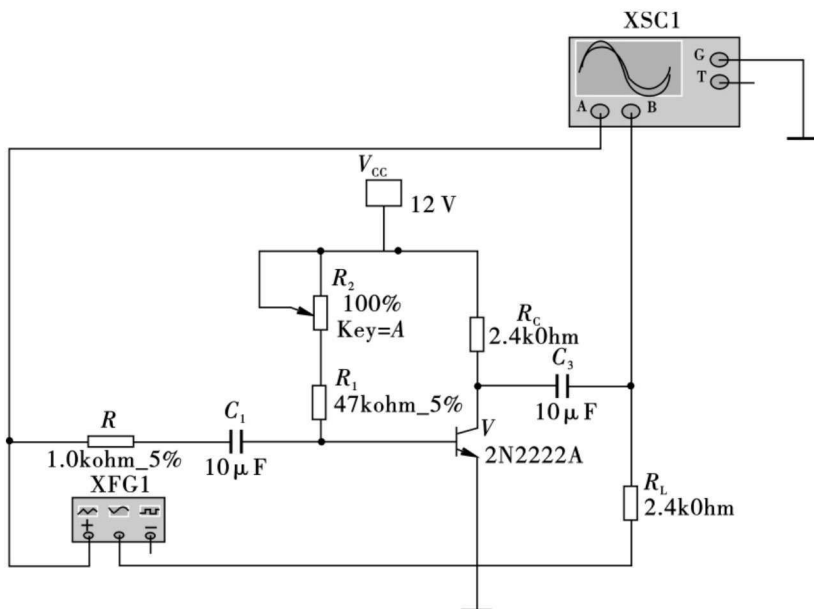


图 1-2 固定偏置放大电路

(2) 通过改变 R_2 的阻值大小,我们可以观察到放大电路的饱和失真和截止失真。

1) 当 R_2 减小到 15%, 电流增大出现饱和失真,如图 1-3 所示。

2) 当 R_2 增大到 100%, 电流减小出现截止失真,如图 1-4 所示。

为什么会出现这种情况呢?

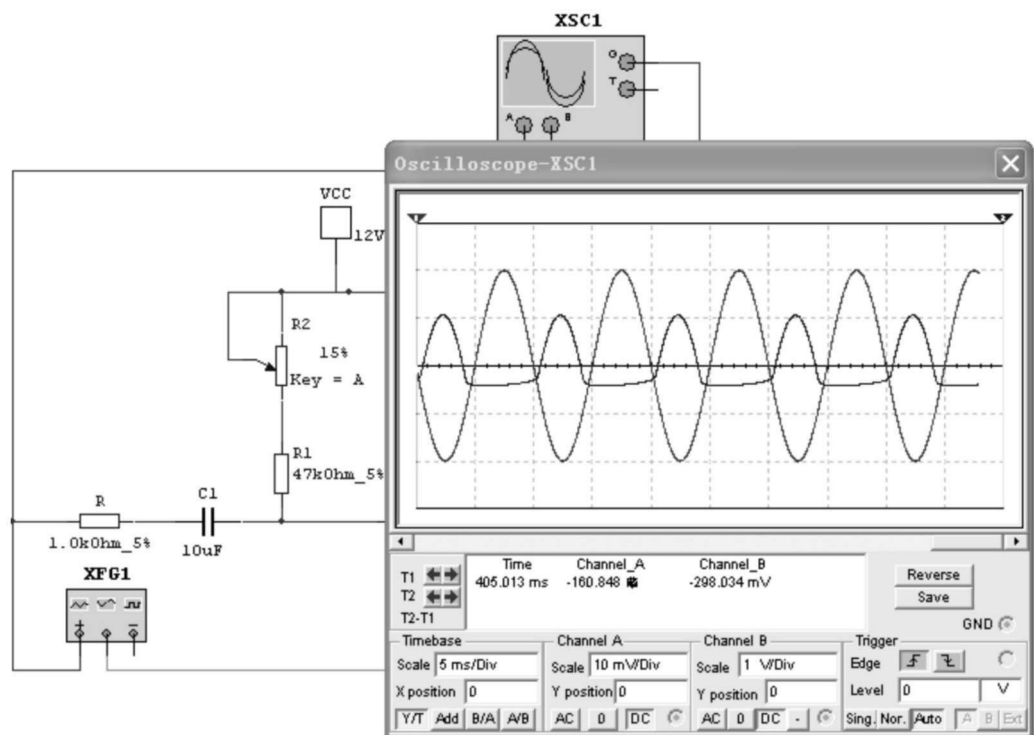


图 1-3 饱和失真波形图

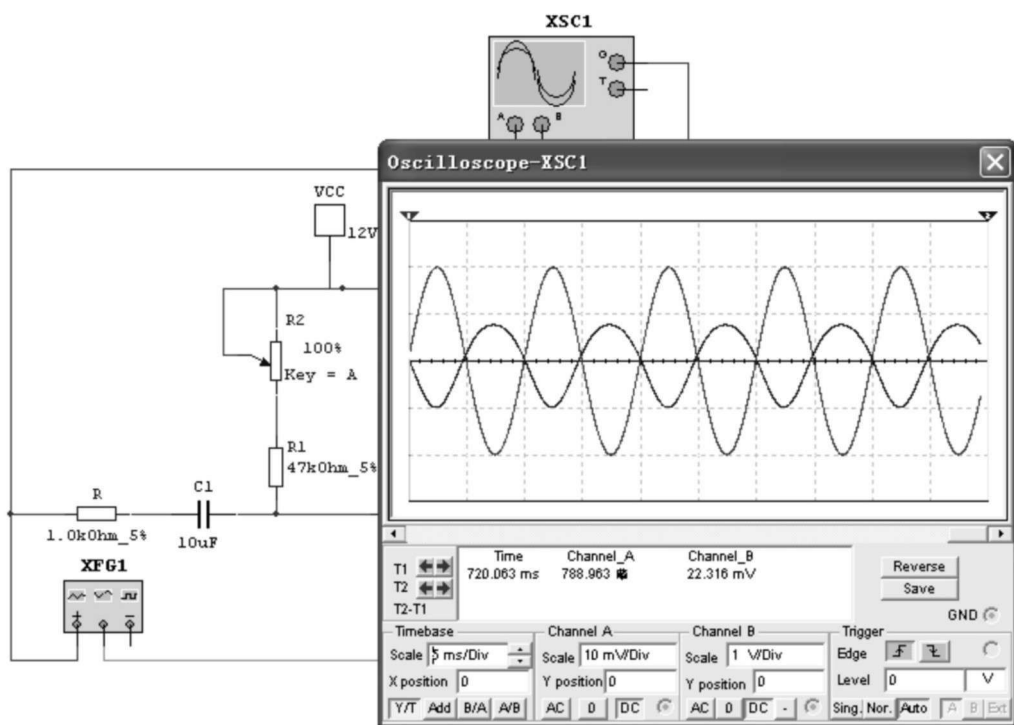


图 1-4 截止失真波形图

(二) 电路的组成和工作原理

(1) 电路组成 电路组成如表 1-2 所示。

表 1-2 固定偏置放大电路的组成

元器件	作 用
三极管 V	电流控制作用,可将微小的基极电流变化量转换成较大的集电极电流变化量
直流电源 V_{CC}	一是为电路提供能量;二是为电路提供工作电压
基极偏置电阻 R_1 和 R_2	V_{CC} 经 R_1 和 R_2 为三极管提供合适的基极电流 I_B (称为基极偏置电流)
集电极负载电阻 R_C	将集电极电流变化量转换成集电极电压的变化量
耦合电容 C_1 和 C_2	隔直流,使三极管中的直流电流与输入端之前的以及输出端之后的直流电路隔开,不受它们的影响 通交流,当 C_1 、 C_2 的电容量足够大时,他们对交流信号呈现的容抗很小,可以近似认为短路,这样就可以使交流信号顺利通过

(2) 静态工作点的设置 当固定偏置放大电路未加信号,即输入交流信号 $u_i = 0$ 时,称为静态。这时的直流电流 I_B 、 I_C 和直流电压 U_{BE} 、 U_{CE} 称为静态工作点,或者简称为 Q 点。由于 U_{BE} 基本恒定,所以在讨论静态工作点时主要是考虑 I_B 、 I_C 和 U_{CE} 三个量,并且分别用 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 表示。

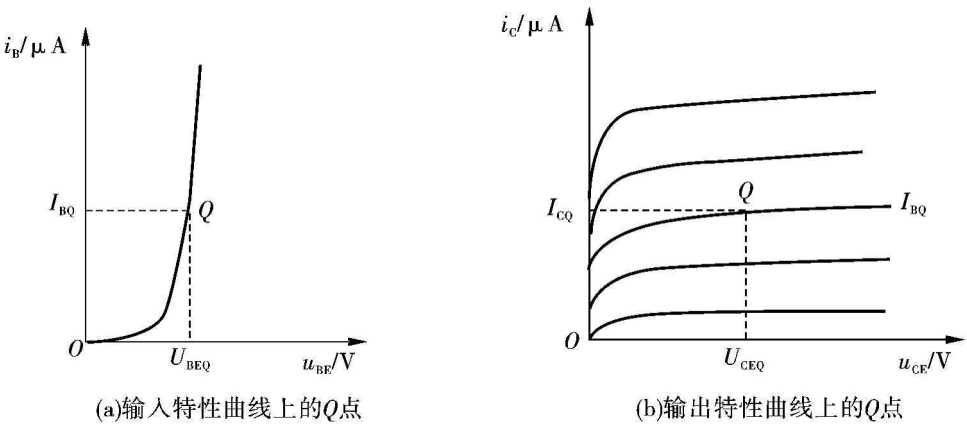


图 1-5 静态工作点

固定偏置放大电路设置了合适的静态工作点,当输入正弦信号电压 u_i 后,信号电压 u_i 与静态电压 U_{BEQ} 叠加在一起,三极管始终处于导通状态,基极总电流 $I_{BQ} + i_b$ 就始终是单极性的脉动电流,从而保证了放大器能把输入信号不失真地加以放大。

由此可见,一个放大电路必须设置静态工作点,这是放大器能不失真放大交流信号的条件。

(3) 动态工作情况 当固定偏置放大电路输入交流信号 $u_i \neq 0$ 时,称为动态。这里所加的 u_i 为低频小信号,在此段范围内电压与电流近似呈线性关系,也就是三极管工作在线性区。固定偏置放大电路中基极和发射极间的电压 u_{BE} 、集电极和发射极间的电压 u_{CE} 以及输出电压 u_o 的波形如图 1-6 所示。

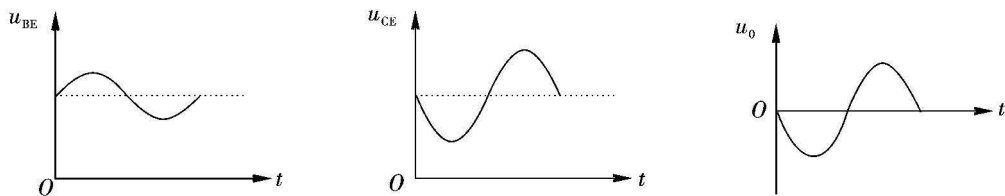


图 1-6 固定偏置放大电路电压波形图

三极管基极与发射极间电压瞬时值 $u_{BE} = U_{BEQ} + u_i$, 其中 U_{BEQ} 为直流分量(也就是静态工作点的数值), u_i 为交流分量。

基极电流瞬时值 i_B 也包括直流分量和交流分量两部分,即

$$i_B = I_{BQ} + i_b$$

这将引起集电极电流瞬时值 i_C 相应的变化,即

$$i_C = I_{CQ} + i_c$$

为了便于分析,假设固定偏置放大电路为空载,则三极管集电极与发射极间总电压

$$\begin{aligned} u_{CE} &= V_{CC} - I_c R_c \\ &= V_{CC} - (I_{CQ} + i_c) R_c \\ &= V_{CC} - I_{CQ} R_c - i_c R_c \\ &= U_{CEQ} - i_c R_c \end{aligned}$$

同样, u_{CE} 也是由直流分量和交流分量两部分组成。由于耦合电容 C_2 起隔直流通交流作用,在固定偏置放大电路的输出端,直流分量 U_{CEQ} 被隔断,固定偏置放大电路只输出交流分量,即

$$u_o = -i_c R_c$$

只要 R_c 足够大,输出信号电压 u_o 的幅度就可以大于输入信号 u_i 的幅度,实现放大的功能。上式中负号表明 u_o 与 i_c 反相,由于 i_b 、 i_c 都与 U_i 同相,所以 u_o 与 u_i 是反相关系。

结论: 在固定偏置放大电路中,输出电压 u_o 与输入电压 u_i 频率相同,波形相似,幅度得到放大,而它们的相位相反。

☆提示: 电压放大作用是一种能量转换作用,即在很小的输入信号功率控制下,将电源的直流功率转变成了较大的输出信号功率。放大器的输出功率必须比输入功率大,否则不能算是放大器。

(三) 直流通路和交流通路

当放大器输入交流信号后,放大器中总是同时存在着直流分量和交流分量两种成分。由于放大器中通常都存在电抗性元件,所以直流分量和交流分量的通路是不同的。

通常把放大器中只允许直流电流流通的路径称为直流通路,把交流信号流通的路径称为交流通路。

分别画出如图 1-7 所示的直流通路和交流通路。

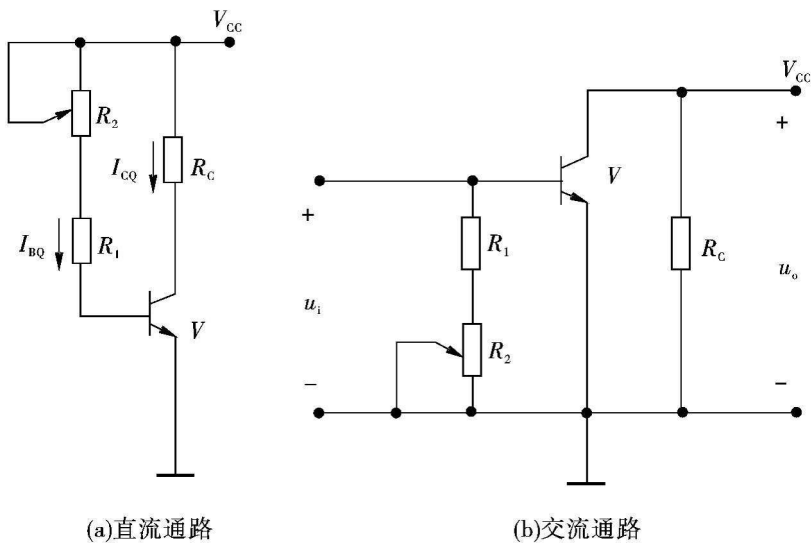


图 1-7 固定偏置放大电路的直流通路和交流通路

- (1) 直流通路的画法原则 放大器中的电容可以视为开路,电感可以视为短路。
 - (2) 交流通路的画法原则 小容抗的电容以及内阻很小的电源,忽略其交流压降,都可以视为短路。
- 求静态工作点只考虑直流分量的关系,所以按照直流通路计算($R_B = R_1 + R_2$)。

表 1-3 近似估算静态工作点

静态工作点		说明
基极偏置电流	$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B} \approx \frac{V_{CC}}{R_B}$	三极管很小(硅管为 0.7 V,锗管为 0.3 V)与 V_{CC} 相比可忽略不计
静态集电极电流	$I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$	根据三极管的电流放大原理
静态集电极电压	$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$	根据回路电压定律

例 1-1 如图 1-7(a) 所示,已知 $V_{CC} = 6\text{ V}$, $R_1 = 47\text{ k}\Omega$, $R_2 = 253\text{ k}\Omega$, $R_c = 2\text{ k}\Omega$, $\beta = 35$ 。求静态工作点。

解: 由图 1-7(a) 可得

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_1 + R_2} = \frac{6 - 0.7}{47 + 253} \approx 0.018\text{ mA}$$
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 35 \times 0.018 = 0.63\text{ mA}$$

$$U_{\text{CEQ}} = V_{\text{CC}} - I_{\text{CQ}}R_{\text{c}} = 6 - 0.63 \times 2 = 4.74 \text{ V}$$

(四) 输入电阻、输出电阻和电压放大倍数

放大器的输入电阻、输出电阻和电压放大倍数所反映的是交流分量的关系。所以按交流通路计算,如图 1-7(b) 所示。为了研究问题简便,当有合适静态工作点时,若输入为低频小信号,三极管基极 b 和发射极 e 间用线性电阻 r_{be} 来等效。

三极管的输入电阻为

$$r_{\text{be}} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{\text{EQ}}}$$

式中, I_{EQ} 为静态时发射极电流,单位为 mA。一般情况下, r_{be} 为 $1 \text{ k}\Omega$ 左右。

(1) 输入电阻 R_{i} 放大电路的输入电阻是指从放大器的输入端看进去的交流等效电阻。

$$R_{\text{i}} = R_{\text{B}} // r_{\text{be}}$$

其中 $//$ 表示 R_{B} 与 r_{be} 是并联关系。

因为 $R_{\text{B}} \gg r_{\text{be}}$,

所以 $R_{\text{i}} \approx r_{\text{be}}$ 。

对信号源来说,放大器是其负载,输入电阻 R_{i} 表示信号源的负载电阻,等效电路如图 1-8 所示。

一般情况下,希望放大器的输入电阻尽可能大些,这样,向信号源(或前一级电路)汲取的电流小,有利于减轻信号源的负担,使送到放大器输入端得信号电压尽可能大。从上式可以看出,共射极放大电路的输入电阻是比较小的。

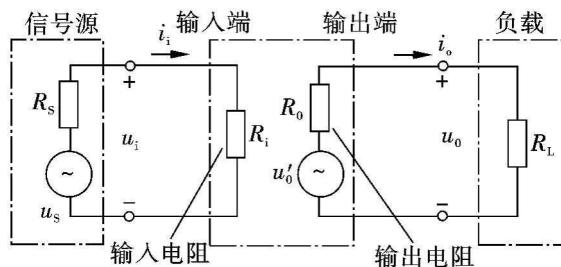


图 1-8 放大器的输入电阻和输出电阻

(2) 输出电阻 R_{o} 放大电路输出电阻是指从放大电路的输出端看进去,等于三极管集电极-发射极间等效电阻 R_{ce} 与 R_{c} 的并联值,即

$$R_{\text{o}} = R_{\text{c}} // R_{\text{ce}}$$

由于三极管在放大区反映出 R_{ce} 很大,即 $R_{\text{ce}} \gg R_{\text{c}}$,故上式可近似为

$$R_{\text{o}} \approx R_{\text{c}}$$

对负载来说,放大器是向负载提供信号的信号源,放大器的输出电阻 R_{o} 是信号源的内阻,如图 1-8 所示。当负载发生变化时,输出电压发生相应的变化,放大器的带负载能力差。因此,为了提高放大器的带载能力,应设法降低放大器的输出电阻。但从上述结果可知,共射极放大电路的输出电阻是比较大的。

(3) 电压放大倍数 A_u 放大器的电压放大倍数是指输出电压 u_o 与输入电压 u_i 的比值,即

$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

$$u_i = I_b r_{be}$$

$$u_o = -I_c R_c = -\beta I_b R_c$$

$$A_u = -\frac{\beta R_c}{r_{be}} \text{ (放大电路不带负载)}$$

当放大电路带负载时

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} \text{ (放大电路带负载)}$$

式中 $R'_L = R_c // R_L$ 为放大器的等效负载电阻。

☆提示:用近似估算法应注意,分析静态工作点(I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ})用直流通路;分析动态性能(A_u 、 R_i 、 R_o)用交流通路。

例 1-2 在共射极基本放大电路中,设 $U_{cc} = 12 \text{ V}$, $R_B = 300 \text{ k}\Omega$, $R_c = 2 \text{ k}\Omega$, $\beta = 50$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ 。试求静态工作点、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 及空载与带载两种情况下的电压放大倍数。

解:

$$\text{静态偏置电流 } I_{BQ} \approx \frac{U_{cc}}{R_B} = \frac{12}{300 \times 10^3} = 0.04 \text{ mA} = 40 \text{ }\mu\text{A}$$

$$\text{静态集电极电流 } I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} = 50 \times 0.04 = 2 \text{ mA}$$

$$\text{静态集电极电压 } U_{CEQ} = U_{cc} - I_{CQ} R_c = 12 - 2 \times 2 = 8 \text{ V}$$

三极管的交流输入电阻

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 300 + (1 + 50) \frac{26}{2} = 963 \text{ }\Omega \approx 0.96 \text{ k}\Omega$$

$$\text{放大器的输入电阻 } R_i \approx r_{be} = 0.96 \text{ k}\Omega$$

$$\text{放大器的输出电阻 } R_o \approx R_c = 2 \text{ k}\Omega$$

$$\text{空载时,放大器的电压放大倍数 } A_u = -\frac{\beta R_c}{r_{be}} = -\frac{50 \times 2}{0.96} \approx -104$$

$$\text{有载时,等效负载电阻 } R'_L = R_L // R_c = \frac{R_c R_L}{R_c + R_L} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\text{放大器的电压放大倍数 } A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{50 \times 1}{0.96} \approx -52$$

相关知识

(一) 半导体的基本知识

(1) 半导体的概念 物质按导电能力强弱不同可分为导体、半导体和绝缘体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。目前,制造半导体器件用得最多的是硅和锗两种材料。由于硅和锗是原子规则排列的单晶体,因此用半导体材料制成的半导体管通

常也称为晶体管。

(2) 半导体的导电特性 半导体具有不同于导体和绝缘体的导电特性,其导电特性如表 1-4 所示。

表 1-4 半导体的导电特性

半导体的导电特性	特性	应用
热敏特性	大多数半导体对温度都比较敏感,且随温度的升高导电能力增强,电阻减小	利用半导体的热敏特性可以制成各种热敏器件,如热敏电阻器
光敏特性	许多半导体在受光照射后,导电能力会增强,电阻减小	利用光敏特性可制成各种光电元件或器件,如光敏电阻、光电二极管、光电探测器等
掺杂特性	在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质元素,导电能力会增强很多,电阻急剧减小	二极管、三极管都是利用掺杂特性制成的

(3) 杂质半导体 纯净的半导体称为本征半导体,它的导电能力是很弱的,利用半导体的掺杂特性,可制成 N 型和 P 型两种杂质半导体。

(4) PN 结 把 P 型半导体和 N 型半导体用特殊的工艺使其结合在一起,就会在交界处形成一个特殊薄层,该薄层称为“PN 结”,如图 1-9 所示。PN 结是制造半导体二极管、半导体三极管、场效应管等各种半导体器件的基础。

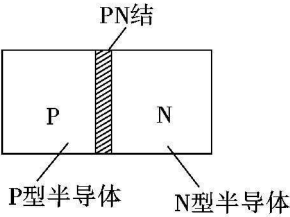


图 1-9 PN 结

(5) PN 结的单向导电性 PN 结加正向电压——正向导通。当电源正极接 P 区,负极接 N 区,此时的外加电压称为“正向电压”,或称“正向偏置”,简称“正偏”。此时 PN 结电阻很小,像导体一样很容易导电,这种现象称为“正向导通”。

PN 结加反向电压——反向截止。把电源的正负极对调,电源负极接 P 区,正极接 N 区,此时的外加电压称为“反向电压”,或称“反向偏置”,简称“反偏”。此时 PN 结电阻很大,像绝缘体一样不能导电,这种现象称为“反向截止”。

(二) 三极管的知识

(1) 结构、图形符号及其分类 三极管用符号 V(或 VT) 表示,有三个电极,分别为基极、集电极和发射极,分别用符号 B、C、E 表示,如图 1-10 所示。根据结构不同,三极管分 NPN 型和 PNP 型。