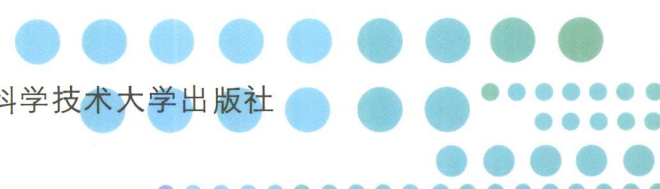


线性电子线路实验

Xianxing Dianzi Xianlu Shiyan

王吉英 吴善珍 周 燊 编



中国科学技术大学出版社

线性电子线路实验

Xianxing Dianzi Xianlu Shiyan

王吉英 吴善珍 周 燮 编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是为适应电子科学技术的发展和 21 世纪高等教育培养高素质人才的需要,根据多年来课程改革的经验编写的。

本书为中国科学技术大学电子及信息科学与技术专业以及相关专业本科生必修的电子技术基础课程的实验课教材。全书共分 4 个部分,第一部分为基础实验篇,第二部分为设计型实验篇,第三部分为现代电子电路篇,第四部分介绍常用电子仪器使用方法、电子元件基础知识以及本书所用集成电路的管脚图和性能参数。

本书可作为高等院校电子信息科学、通信工程、电子工程、自动化各专业“线性电子线路实验”、“模拟电子线路实验”课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

线性电子线路实验/王吉英,吴善珍,周燧编. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-312-02492-4

I. 线… II. 王… III. 线性电路—实验 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123838 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥学苑印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 11.25
字数 218 千
版次 2009 年 7 月第 1 版
印次 2009 年 7 月第 1 次印刷
定价 19.00 元

前 言

为适应电子科学技术的发展和 21 世纪高等教育培养高素质人才的需要,我们在原教材的基础上,总结多年来课程改革的经验,对教材内容作了很大的修改和优化.本教材强调实验课程的层次性和实践性,在教学内容上分为基础实验、验证型实验、研究型实验、设计型实验、综合型实验 5 个层次.在实验手段方面,引入了现代电子电路实验中常用的 Multisim 9 电子设计自动化技术和 Protel 99 SE 印刷电路板设计等内容,使学生可以直接在计算机上进行仿真实验,完成整个印刷电路板设计制作.

全书共分 4 个部分:

第一部分为基础实验篇,共有 12 个实验,涉及基础型实验、验证型实验和研究型实验.实验内容由浅入深,每个实验都给出了目的、原理和思考题,便于学生阅读.

第二部分为设计型实验篇,共有 9 个实验,涉及设计型实验、综合型实验.实验大都给出了设计任务与要求、电路原理、实验调试和思考题.这样可以给学生足够的发挥空间,进一步提高他们对电子电路设计的兴趣.

第三部分为现代电子电路篇,主要介绍了 Multisim 9 电子设计自动化技术和 Protel 99 SE 印刷电路板的制作软件工具.

第四部分介绍常用电子仪器使用方法、电子元件基础知识和本书所用集成电路的管脚图和性能等参数.

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,欢迎读者批评指正.

编 者

2009 年 3 月

目 录

第一篇 基础实验篇	(1)
实验一 二极管的基本应用	(1)
实验二 晶体管共射极单管放大器	(8)
实验三 射极跟随器	(16)
实验四 场效应管放大器	(20)
实验五 差动放大器	(26)
实验六 集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路	(31)
实验七 集成运算放大器的基本应用——波形发生器	(38)
实验八 负反馈放大器	(43)
实验九 直流稳压电源——晶体管稳压电源	(47)
实验十 精密整流电路	(52)
实验十一 功率放大器	(56)
实验十二 有源 RC 滤波器	(61)
第二篇 设计型实验篇	(66)
实验十三 基本单管放大电路的设计	(66)
实验十四 运算电路设计	(70)
实验十五 积分运算电路设计	(72)
实验十六 差分放大电路设计	(75)
实验十七 函数信号发生器设计(1)——方波-三角波-正弦波函数发生器	(80)
实验十八 函数信号发生器设计(2)——单片集成函数发生器	(84)
实验十九 RC 正弦波振荡器设计	(87)
实验二十 简易电容测量仪的设计	(91)
实验二十一 过压、欠压报警电路设计	(95)

第三篇 现代电子电路篇	(99)
第一节 Multisim 9 应用基础	(99)
第二节 Protel 99 SE 印刷电路板的制作	(122)
附录一 常用电子仪器使用说明	(149)
附录二 电子元件基础知识	(162)
附录三 本书所用集成电路的管脚图 and 性能参数	(169)
参考文献	(171)

第一篇 基础实验篇

实验一 二极管的基本应用

一、实验目的

- (1) 了解二极管的单向导电性.
- (2) 掌握二极管在整流滤波电路、限幅电路、钳位电路、门电路中的应用.
- (3) 了解稳压二极管的反向击穿特性,学会用小信号线性模型法分析稳压二极管电路.

二、实验原理

晶体二极管广泛应用于各种电子设备中,它是由 PN 结构成的电子器件. 晶体二极管主要特性是单向导电性. 当外加正向电压,即将直流电源的正端和负端分别接晶体二极管的正极和负极时,晶体二极管导通,流过管子的电流很大. 当外加反向电压,即将直流电源反接,晶体二极管截止,流过管子的电流很小. 这种允许一个方向电流顺利通过的特性称为单向导电性. 除了单向导电性,PN 结还有其他特性,利用 PN 结各种特性,可以制造出各种具有特殊功能的二极管. 例如稳压二极管、变容二极管、隧道二极管. 本实验主要研究普通二极管和稳压二极管.

普通二极管具有单向导电性,是整流、检波、限幅、钳位等应用中的主要器件. 图1-1-1为普通二极管的符号和二极管伏安特性.

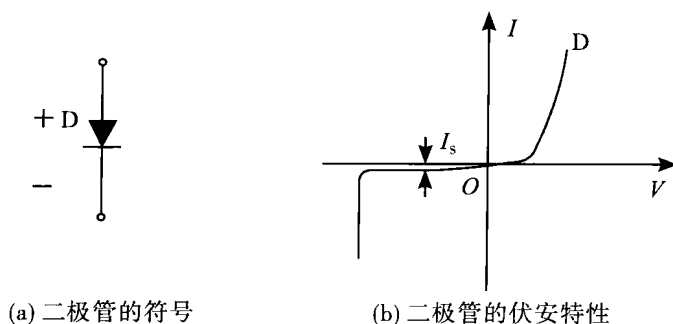


图 1-1-1 二极管的符号及伏安特性

1. 整流滤波电路

图 1-1-2 为最简单的整流电路,称为半波整流电路. 图中 D 是二极管, R_L 是负载电阻. 若输入交流电为 $V_i(t) = V_p \sin \omega t$, 当正半周时, 二极管导通; 负半周时, 二极管截止. 因此, 输出为半周的正弦脉冲电压, 其平均值为

$$\bar{V}_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{\pi} V_p \approx 0.318 V_p$$

V_p 为输入电压的峰值或最大值, 整流后的输出电压 V_o 中含有直流成分和交流成分, 其直流成分就是输出电压的平均值.

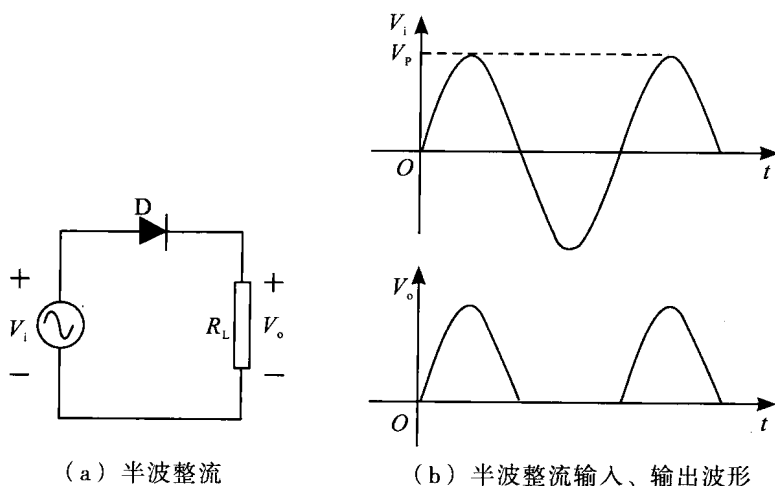


图 1-1-2 半波整流电路

加上滤波电容后, 输出反映平均分量的直流电压 V_o . 叠加因未滤净的残留交流成分, 其中残留交流成分的有效值称为纹波电压 $\tilde{V}_o$.

2. 钳位电路

在电子线路中,有时需要把某一周期的波峰或波谷对齐放在某一恒定参考电平上,然后再进行处理或比较. 这种电路就叫钳位电路,如图 1-1-3(a)所示.

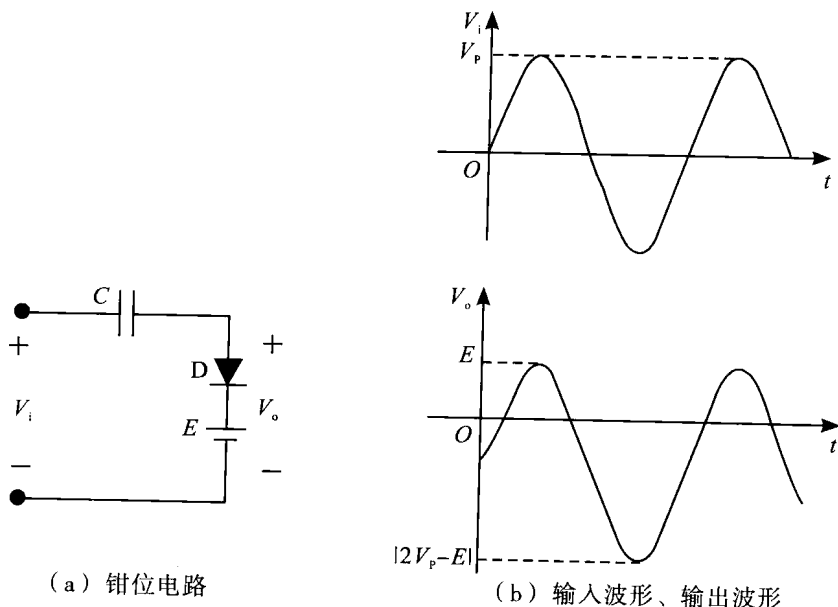


图 1-1-3 钳位电路的输入、输出波形

图 1-1-3(b)是输入、输出波形图. 当 V_i 上升到 E 时,二极管 D 导通, V_o 就不可能再上升,被钳位在这一电平上. V_i 继续上升,多余的电压被充到电容 C 上,由于二极管正向导通电阻很小,充电很快,电容电压可充到 $V_p - E$. 当 V_i 电压从峰值下降时,二极管截止,输出电压 V_o 为电容上电压和 V_i 的代数和. 整个波形被压下 $V_p - E$ 伏,顶端被钳制在 E 上(此处分析把二极管当作理想二极管).

3. 限幅电路

限幅电路,又称削波电路,是用来限制输出信号电压范围的电路,仅有上门限

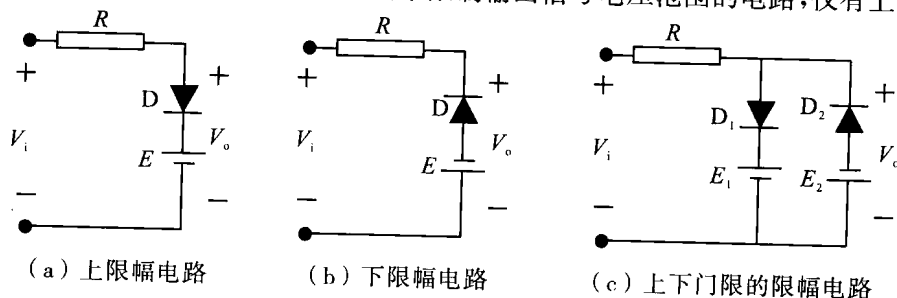


图 1-1-4 限幅电路

的称为上限幅电路,仅有下门限的称为下限幅电路.图 1-1-4(c)为双向限幅电路,它是具有上下门限的限幅电路.

4. 逻辑门电路

二极管的导通与截止,可以作为开关,应用在脉冲数字电路的门电路中.图 1-1-5为二极管与门电路和二极管或门电路.表 1-1-1 是它们的逻辑关系电平表.

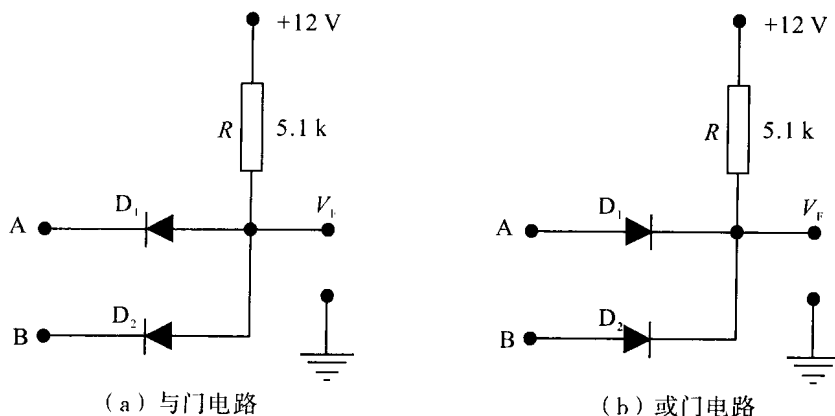


图 1-1-5 逻辑门电路

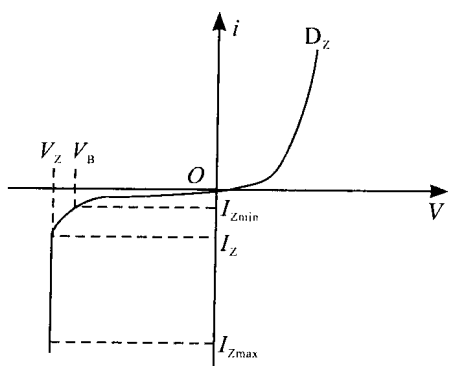
表 1-1-1 与门和或门电平表

输入		输出	
A	B	与门	或门
低	低	低	低
低	高	低	高
高	低	低	高
高	高	高	高

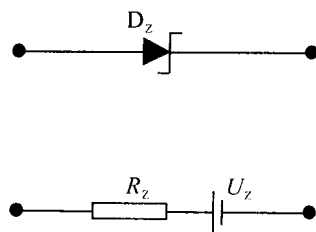
如果电路中含有多个理想二极管,可用假定状态法分析. 设含两个理想二极管的电路如图1-1-5所示,要求计算 V_F . 分析这类电路时应找出在公共输出端的各二极管中正向电压最大的一个,这个二极管优先导通. 据此作出假定,再去分析各二极管的状态是否合乎假定.

5. 稳压电路

稳压二极管的 PN 结的反向电压大到一定数值后,PN 结击穿,反向电流突然增加很多,而反向电压基本不变,从而实现稳压功能. 图 1-1-6 是稳压管伏安特性及符号和等效电路.



(a) 稳压管伏安特性



(b) 稳压管符号及其等效电路

图 1-1-6 稳压管伏安特性及其等效电路

图 1-1-7 是稳压管稳压电路, R_L 为限流电阻, 用来限制稳压管中的最大电流. 由图可见, 输入电压 $V_i(t)$ 或负载 R_L 发生变化而引起稳压管电流 I_Z 变化时, 输出电压 V_o 几乎为恒定值. 根据稳压管的特性, 在分析该电路时, 稳压管小信号模型可用稳压管稳定电压 V_Z 串联增量电阻 R_Z 来表示, 图 1-1-8 为并联稳压电路的等效电路.

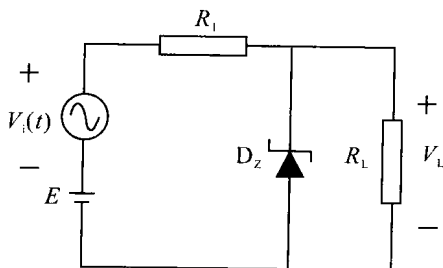


图 1-1-7 稳压管并联稳压电路

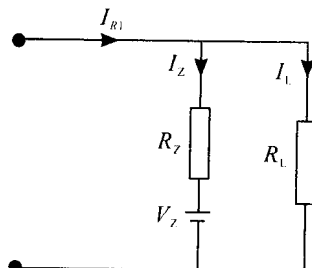


图 1-1-8 并联稳压电路等效电路

三、实验内容

1. 整流滤波电路

(1) 按图 1-1-2(a) 接线, 输入 $f=500\text{ Hz}$, $V_i=5\text{ V}$ (V_{P-P}) 的正弦信号, 用示波器观察波形 ($R_L=1\text{ k}\Omega$). 用方波器测量并画出 V_i , V_o 的波形, 用万用表直流挡测量其平均值 $\bar{V}_o$, 并和理论值比较, 分析产生误差的原因.

(2) 按图 1-1-2(a) 接线, 在 R_L 端并联滤波电容 $C=10\text{ }\mu\text{F}$, 用示波器测量 V_i , V_o , 并用毫伏表测量纹波电压 $\tilde{V}_o$.

(3) 在 R_L 端并联滤波电容 $C=100\ \mu\text{F}$, 重复内容(2)。

2. 钳位电路

按图 1-1-9 接线, $C=0.1\ \mu\text{F}$, 直流电压源 $E=1\ \text{V}$, 输入 $f=1\ \text{kHz}$, $V_i=5\ \text{V}(V_{\text{pp}})$ 的正弦信号, 用示波器测量并画出 V_i 、 V_o 的波形, 并和理论值比较, 分析产生误差的原因。

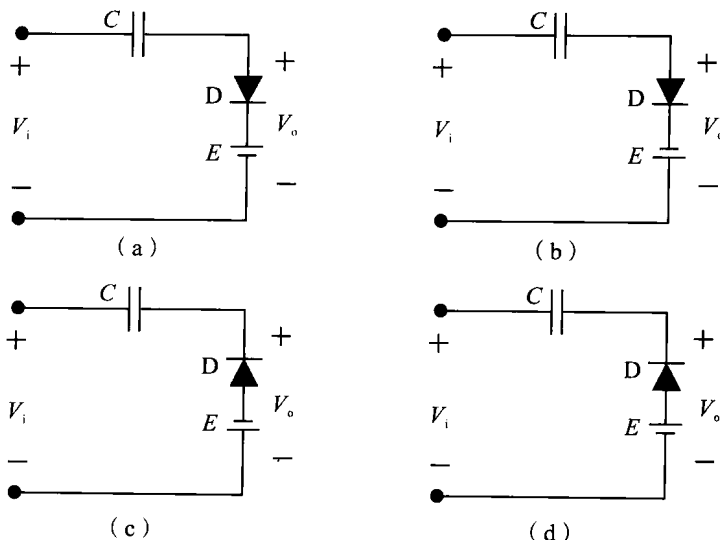


图 1-1-9 钳位电路

3. 限幅电路

按图 1-1-4 接线, $R=1\ \text{k}\Omega$, 直流电压源 $E=1\ \text{V}$, $E_1=E_2=1\ \text{V}$, 输入 $f=1\ \text{kHz}$, $V_i=5\ \text{V}(V_{\text{pp}})$ 的正弦信号。画出 V_o 的时域波形及 V_o - V_i 的转移特性曲线。

4. 逻辑门电路

(1) 按图 1-1-5(a) 接线, 输入 A, B 的电位不同(用“0”表示低电位, 如 $0\ \text{V}$, 用“1”表示高电位, 如 $5\ \text{V}$), 有 $F=A \cdot B$, 用假定状态法, 分析 D_1, D_2 的导通、截止情况, 并完成 F 的测量, 数据记录入表 1-1-2 中。

表 1-1-2

A	B	D_1	D_2	F
0	0	通	通	?
0	1	?	?	?
1	0	?	?	?
1	1	通	通	?

(2) 按图 1-1-5(b)接线,根据输入 A, B 的电位不同,有 $F=A+B$,用假定状态法,分析 D_1, D_2 的导通、截止情况,并完成 F 的测量,数据记录入表 1-1-3 中。

表 1-1-3

A	B	D_1	D_2	F
0	0	通	通	?
0	1	?	?	?
1	0	?	?	?
1	1	通	通	?

5. 稳压电路

(1) 按图 1-1-7 接线, $R_1=1\text{ k}\Omega, R_L=2\text{ k}\Omega$, 直流电源 $E=12\text{ V}, V_i(t)=0$ (短路), 即不用接上, 用万用表 DCV 挡测出 V_Z 。

(2) 加上正弦信号 $V_i(t)=0.1\times\sqrt{2}\cos(2\pi\times 100t)$ (有效值用晶体管毫伏表来测量)。用毫伏表测出 R_1 上的电压 V_{R_1} , 求出流过 R_1 的电流 I_{R_1} 。用毫伏表测出 R_L 上电压的 V_L , 求出流过 R_L 的电流 I_L 。流过稳压管的电流为 $I_Z=I_{R_1}-I_L$, 则 $R=\frac{V_L}{I_Z}$ 。作出稳压管并联稳压电路的等效电路。

四、思考题

(1) 对直流量, 二极管相当于一个电压源, 而对交流量, 二极管等效成一个小电阻, 这句话对吗? 稳压管有何特性?

(2) 说明图 1-1-7 稳压管并联稳压电路的稳压原理。

(3) 设计一个全波整流电路, 并对电路进行分析说明。

五、实验仪器

- (1) 双踪示波器。
- (2) 函数信号发生器。
- (3) 数字万用表。
- (4) 晶体管毫伏表。

实验二 晶体管共射极单管放大器

一、实验目的

- (1) 熟悉放大器静态工作点的调试方法,学会分析静态工作点对放大器性能的影响.
- (2) 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压和幅频特性的测试方法.

二、实验原理

图 1-2-1 为电阻分压式工作点稳定单管放大器. 在发射极中接有电阻 R_E , 偏置电路采用 R_{B2} 和 R_{B1} 组成的分压电路. 这种电路结构能使静态工作点有较高的温度稳定性.

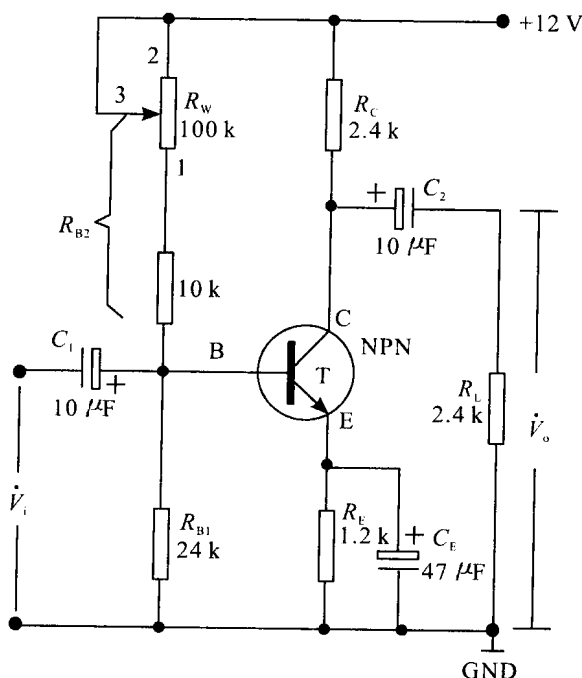


图 1-2-1 共射极单管放大电路

在图 1-2-1 电路中,流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管 T 的基极电流 I_B 。如果已知 V_{CC} (供电电源) 为 +12 V, 负载电阻为 R_L 的基极电流 I_B 一般为 5 ~ 10 倍, 则它的静态工作点可用下式估算:

$$V_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} \quad (1-2-1)$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \approx I_C \quad (1-2-2)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (1-2-3)$$

电压放大倍数

$$A_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}} \quad (1-2-4)$$

输入电阻

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \quad (1-2-5)$$

输出电阻

$$R_o \approx R_C \quad (1-2-6)$$

晶体管输入电阻

$$r_{be} = 300 \Omega + (1 + \beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_E (\text{mA})} \quad (1-2-7)$$

1. 放大器静态工作点的设置与测量

(1) 静态工作点的设置

放大器的基本任务是不失真地放大信号, 要使放大器能正常工作, 就必须设置合适的静态工作点。为了获得最大不失真输出电压, 静态工作点应该选在特性曲线上的交流负载线的中点。

静态工作点是否合适, 对放大器的性能和输出波形都有很大的影响。如工作点偏高, 放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真, 此时 V_o 的负半周将被削底, 如图 1-2-2(a) 所示。如工作点偏低则易产生截止失真, 即 V_o 的正半周被缩顶 (一般截止失真不如饱和失真明显), 如图 1-2-2(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的

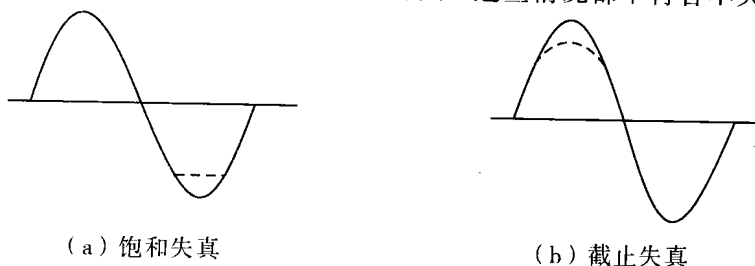


图 1-2-2 静态工作点对 V_o 波形失真的影响

要求. 所以在选定工作点以后还必须进行动态调试, 即在放大器的输入端加入一定的 V_i , 检查输出电压 V_o 的大小和波形是否满足要求. 如不满足, 则应调节静态工作点的位置.

改变电路参数 V_{CC} , R_C , R_B (R_{B1} , R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化, 如图 1-2-3 所示, 但通常多采用调节偏置电阻 R_{B2} 的方法来改变静态工作点, 减小 R_{B2} , 可使静态工作点提高.

其实工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的, 应该是就相对信号的幅度而言的, 如信号幅度很小, 工作点较高或较低也不一定会出现失真. 所以确切地说, 产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致. 如果要满足较大信号的要求, 静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点.

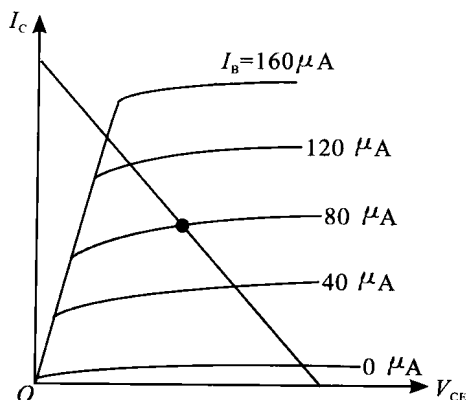


图 1-2-3 电路参数对静态工作点的影响

(2) 静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点, 应在输入信号 $V_i = 0$ 的情况下进行 (即将放大器输入端与地端短接), 然后选用数字万用表, 分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电位 V_B , V_C 和 V_E . 一般实验中, 为了避免断开集电极, 采用测量电压, 然后算出 I_C 的方法, 例如, 只要测出 V_E , 即可求出 I_C .

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

也可根据

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

由 V_C 确定 I_C , 同时也能算出

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

放大器静态工作点的调试是指对三极管集电极电流 I_C (或 V_{CE}) 调整与测试。

2. 放大器动态指标测试

放大器动态指标测试包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压(动态范围)和通频带等。

(1) 电压放大倍数 A_u 的测量

调整放大器到合适的静态工作点, 然后加入输入电压 V_i , 在输出电压 V_o 不失真的情况下, 用交流毫伏表测出 V_i 和 V_o 的有效值, 则

$$A_u = \frac{V_o}{V_i} \quad (1-2-8)$$

(2) 输入电阻 R_i 的测量

为了测量放大器的输入电阻, 按图 1-2-4 电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻 R , 在输出电压不失真的情况下, 用交流毫伏表测出 V_s 和 V_i , 则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{V_s - V_i}{R}} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R \quad (1-2-9)$$

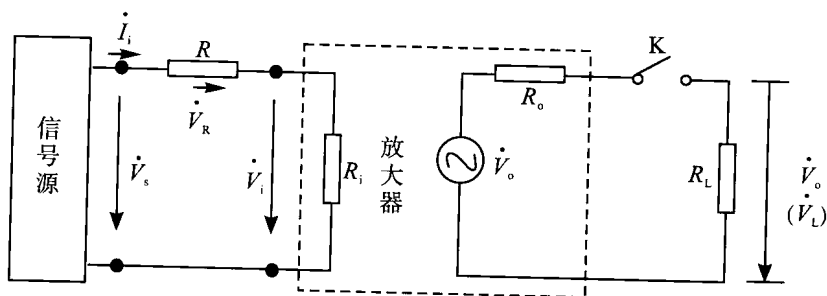


图 1-2-4 输入和输出电阻测量电路

测量时应注意:

①测量 R 两端电压 V_R 时必须分别测出 V_s 和 V_i , 然后按 $V_R = V_s - V_i$ 求出 V_R 值。

②电阻 R 的值不宜取得过大或过小, 以免产生较大的测量误差, 通常取 R 与 R_i 为同一数量级为好, 本实验可取 R 为 $1 \sim 2 \text{ k}\Omega$ 。

(3) 输出电阻 R_o 的测量

在放大器正常工作条件下, 测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 V_o 和接入负载后输出电压 V_L , 根据

$$V_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} V_o \quad (1-2-10)$$

即可求出 R_o 。