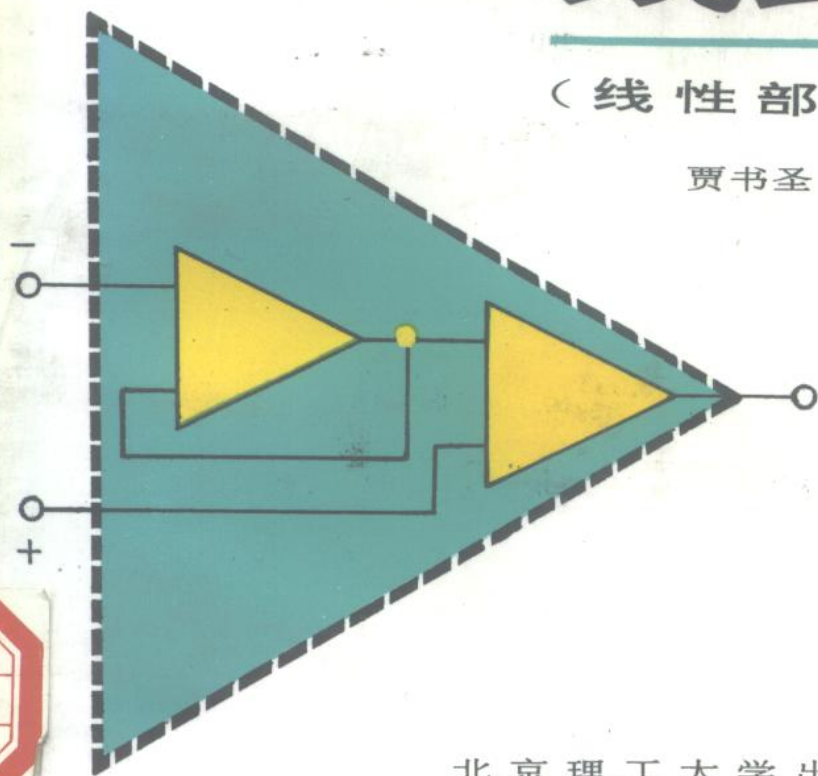


# 模拟 电子 线路

(线性部分)

贾书圣 主编



北京理工大学出版社

198805

# 模拟电子线路

(线性部分)

贾书圣 主编

北京理工大学出版社

2009/5/29  
内 容 简 介

本书是模拟电子线路的线性部分,包括器件与模型、放大器基础、放大电路的频率响应,反馈放大器、功率放大器、集成运放及应用和选频与滤波电路。注意到知识的渐进性和层次,正文之前附加一章基本知识的复习,书中引入较多例题,各章之后附有大量习题,书末附有部分习题答案。本书可供电子技术专业本科和专科使用,讲解通俗、有利于自学,是北京市高等教育自学考试指定教科书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子线路:线性部分/贾书圣主编.-北京:北京理工大学出版社,1996

北京市高等教育自学考试指定教材

ISBN 7-81045-125-1

I. 模… I. 贾… III. ①模拟电路-高等教育-自学考试-教材  
②线性电路-高等教育-自学考试-教材 W. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第05454号

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

(邮政编码100081)

各地新华书店经售

北京房山先锋印刷厂印刷

\*

850×1168毫米 32开本 18.625印张 520千字

1996年5月第一版 1996年5月第一次印刷

印数:1—6000册 定价:24.00元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 前 言

这是一本适用面比较宽的高等学校教学用书。既可作为大专水平的高等教育自学考试无线电技术专业的自学教材，也可作为理科电子学与信息系统专业和工科电子工程专业本科的教科书，还可作为其他有关专业的教学参考书和工程技术人员的自学读物。

近十余年来，高等教育自学考试发展很快，很多青年通过刻苦自学和严格考核走上了自学成才之路。自考毕业生受到了社会的重视和肯定。随着我国经济技术的蓬勃发展，参加自考的人数和开考的专业逐年增加。北京市自1991年开设无线电技术专业自学考试以来，报考人数直线上升。1995年考试计划作了部分调整，本专业规定为大专层次，这样原指定的教材不但数量上不能满足需要，内容也需调整。目前国内又没有符合自考要求的教科书。经自考委和主考学校协商决定，责成课程考试委员会贾书圣任主编，组织人力，尽快编写出符合本专业考试要求的自学教材。考虑到一本教材应有较宽的适用面，也有利于自学者扩充知识，要求这本书不但可以作为大专水平的自学教材，也可作为同类专业大学本科的教科书。这样当然增加了编写的难度。我们认为，就这门课程而言，在知识的广度方面，专科和本科的区别并不大，只是在知识的深度方面、分析的理论程度方面是有层次之分的。为此，我们采用两种字号印刷，共同的内容用五号字排印，本科要求、专科不要求的内容，则用小五号字排印，这样可以方便读者有选择地学习。

在本书的编写过程中，参照了国家教委工科电子工程和自动

化等专业教学指导委员会和理科电子学与信息系统专业教学指导委员会对电子线路课程的基本要求,参阅了美国、日本 90 年代最新教材。力求做到:选材先进,编排合理,分析详尽,深入浅出。在内容方面,加强了场效应管的内容,改变了国内现行教材中重 BJT 轻 FET 的偏向,以适应大规模和超大规模线性集成电路迅速发展的需要。大功率 DMOS 管内容的选入,在国内教材中尚属首次。器件的大信号模型和各类放大器的大信号特性也得到一定的加强,以期与机辅分析接轨。在分析方法方面,紧紧与先修课“电路分析基础”衔接,比如反馈放大器的分析,应用替代定理和戴维南-诺顿定理,既简单,物理概念又清楚。在联系实际方面,为了帮助读者加强解题能力的训练,书中编入了大量的例题,习题中也收入了大量扩充知识的题目。为了减少自学者的困难,除叙述和作图的题目外,书末给出了几乎全部的习题答案。在文字叙述方面,尽量选用读者易懂的口语叙述,以利于自学者学习。

本书由贾书圣主编,贾向雷负责编写第三章和第四章,陈敏负责编写第五章和第六章,贾书圣负责编写第一章、第二章、第七章和第八章,并负责全书的文字加工和最后定稿。从动笔到交稿,只用了不到四个月的时间。由于时间仓促,编者水平有限,不当之处,在所难免。愿望使用这本教材的老师和同学提出宝贵意见。

在这本书成书的过程中,北京市高等教育自考委员会的负责同志,北京师范大学无线电电子学系的负责同志,以及北京理工大学出版社的领导和编辑同志给予了有益的指导、鼓励和帮助,大大缩短了这本书的出版周期。在此,谨向这些同志表示衷心的感谢。池旭同志利用业余和春节放假期间,为本书绘制了插图,对他的辛勤劳动表示深深的谢意。

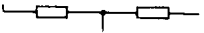
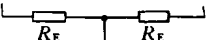
**编 者**

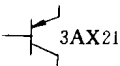
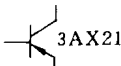
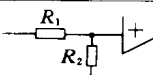
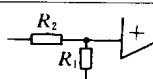
1996 年 3 月

于北京师范大学

# 《模拟电子线路(线性部分)》

## 勘 误 表

| 页               | 行                  | 字     | 误                                                                                   | 正                                                                                   |
|-----------------|--------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 27              | 倒 4                | 12    | As                                                                                  | Ga                                                                                  |
| 121             | 续表 P 沟道 K          |       | $\frac{1}{2}\mu_p C_0 \left( \frac{W}{L} \right) V_{DS}/V_{GS(off)}$                | $\frac{1}{2}\mu_p C_0 \left( \frac{W}{L} \right) I_{DSS}/V_{GS(off)}$               |
| 121             | 续表 非饱和电流           |       | $i_D = K[2(v_{DS} - v_t)v_{DS} - V_{GS}^2]$                                         | $i_D = K[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2]$                                         |
| 130             | 图 P2-11(b)上方       |       | -5V                                                                                 | 5V                                                                                  |
| 134             | 图 P2-25(b)下电阻      |       | 230kΩ                                                                               | 230Ω                                                                                |
| 134<br> <br>136 | 倒 12               |       | 题号 2-26 至 2-42                                                                      | 改为 2-27 至 2-43                                                                      |
| 135             | 倒 4                | 倒 8   | $i_D = 45\text{mA}$                                                                 | $i_D = 4.5\text{mA}$                                                                |
| 155             | 图 3-9              |       | 横轴上 $V_{BB}$ 两边与虚线的交点漏标                                                             | 左方标 $V_{BB} - V_{sm}$<br>右方标 $V_{BB} + V_{sm}$                                      |
| 161             | 图 3-15(c)右上        |       | $I_c$                                                                               | $I_c$                                                                               |
| 172             | 11                 | 倒 10  | $I_b = -I_i(1 + \beta)$                                                             | $I_b = -I_i/(1 + \beta)$                                                            |
| 233             | 图 3-78(b)第二级       |       | $V_2$                                                                               | $V_2$                                                                               |
| 246             | 图 P3-8(a) $R_B$ 数值 |       | 300kΩ<br>285kΩ                                                                      | 285kΩ                                                                               |
| 248             | 图 P3-17 中三电阻数值     |       | $R_X 100\text{M}\Omega$ $R_{G1} 1.4\text{k}\Omega$<br>$R_{G2} 0.6\text{k}\Omega$    | $R_X 100\text{k}\Omega$ $R_{G1} 1.4\text{M}\Omega$<br>$R_{G2} 0.6\text{M}\Omega$    |
| 288             | 倒 3                |       | $\frac{V_1(s) + V_2(s)}{Z}$                                                         | $\frac{V_1(s) - V_2(s)}{Z}$                                                         |
| 290             | 4                  | 1     | $V_o(s) =$                                                                          | 去掉                                                                                  |
| 296             | 11                 |       | 由式(4-173)式(4-174)                                                                   | 由式(4-73)式(4-74)                                                                     |
| 298             | 图 4-14             |       | 输出端                                                                                 | 去掉 $V_{ce}$ 并将输出端短路                                                                 |
| 309             | 倒 10, 倒 11         | // 号前 | $(R_s' + r_{b'e})$                                                                  | $(R_s + r_{bb'})$                                                                   |
| 309             | 倒 2                | 倒 7   | $R_B = 100\Omega$                                                                   | $R_B = 100\text{k}\Omega$                                                           |
| 313             | 图 4-26(a)射极电阻      |       |  |  |
| 328             | 倒 4                | 4     | $C_{b'e} = 3\text{pF}$                                                              | $C_{b'e} = 2\text{pF}$                                                              |

| 页               | 行            | 字   | 误                                                                                       | 正                                                                                          |
|-----------------|--------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 387             | 图 P5-27      |     |        |           |
| 388             | 图 P5-29左下部分  |     |        |           |
| 388             | 倒1           | 倒9  | $V_o = 13.5\text{V}$                                                                    | $V_D = 13.5\text{V}$                                                                       |
| 445             | 文5           | 倒12 | $T_8$                                                                                   | $T_5$                                                                                      |
| 472             | 倒3           |     | $V_o = \left(1 + \frac{R_+}{R'}\right) \dots$                                           | $V_o = \left(1 + \frac{R_l}{R'}\right) \dots$                                              |
| 516             | 图 P7-35同相端电阻 |     |        |           |
| 528             | 式(8-22)第一行末  |     | $j\omega C_{ic}$                                                                        | $j\omega C_{b'e}$                                                                          |
| 528             | 式(8-24c)     |     | $C_{oc} = C_{b'e}$                                                                      | $C_{oc} = C_{b'e}$                                                                         |
| 566             | 图8-40和图8-41  |     | 两图位置错                                                                                   | 应将两图交换                                                                                     |
| 578             | 题2-22        |     | $V_E = 0.33\text{V}$                                                                    | $V_E = -0.67\text{V}$                                                                      |
| 578             | 题2-27        |     | $V_B \leq 5.2V_o$                                                                       | $V_B \leq 4.85V_o$                                                                         |
| 578             | 倒2行          |     | $V_{DS} = 2\text{V}$                                                                    | $V_{DS} = 0.24\text{V}$                                                                    |
| 578<br> <br>579 | 从题2-31至2-40  |     | 序号错                                                                                     | 各序号加1,变为2-32至2-41                                                                          |
| 579             | 题3-14        |     | $R_i = 4.1\text{k}\Omega$ ,<br>$A_v = -418$ .                                           | $R_i = 4.96\text{k}\Omega$ ,<br>$A_v = -4.8$                                               |
| 579             | 题3-28        |     | (b)0.231, (c)86.6(d)                                                                    | (b)0.233, 86., (c)                                                                         |
| 581             | 题5-24        |     | $A_{vsf} = -2.87$ ,<br>$R_{if} = 251\text{k}\Omega$ ,<br>$R_{of} = 168\text{k}\Omega$ . | $A_{vsf} = -5.57$ ,<br>$R_{if} = 143.7\text{k}\Omega$ ,<br>$R_{of} = 91.8\text{k}\Omega$ . |
| 581             | 题5-26        |     | 0.096。                                                                                  | 0.098mS, 0.1mS。                                                                            |
| 582             | 题6-9         |     | (a)15.55W,<br>(b)10.56W,<br>(c)68.1%。                                                   | (a)10.56W,<br>(b)15.55W,<br>(c)67.9%。                                                      |
| 583             | 题8-9         |     | $A_{v0\Sigma} = 10^4$ ,                                                                 | $A_{v0\Sigma} = 4 \times 10^4$ ,                                                           |
| 583             | 倒5           |     | 8-24                                                                                    | 8-25                                                                                       |

# 目 录

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| <b>第一章 基本知识的复习</b> .....    | (1)  |
| <b>1.1 信号</b> .....         | (1)  |
| 1.1.1 信号 .....              | (1)  |
| 1.1.2 信号的频谱 .....           | (2)  |
| 1.1.3 模拟信号和数字信号 .....       | (4)  |
| <b>1.2 电路元件</b> .....       | (5)  |
| 1.2.1 电阻元件 .....            | (5)  |
| 1.2.2 电容元件 .....            | (6)  |
| 1.2.3 电感元件 .....            | (7)  |
| 1.2.4 互感元件 .....            | (8)  |
| <b>1.3 独立源和受控源</b> .....    | (9)  |
| 1.3.1 独立电压源和独立电流源 .....     | (9)  |
| 1.3.2 受控源 .....             | (10) |
| <b>1.4 几个重要的网络定理</b> .....  | (12) |
| 1.4.1 叠加定理 .....            | (12) |
| 1.4.2 戴维南定理和诺顿定理 .....      | (13) |
| 1.4.3 替代定理 .....            | (17) |
| 1.4.4 电源转移 .....            | (17) |
| 1.4.5 电源吸收 .....            | (19) |
| <b>第二章 半导体器件及模型</b> .....   | (24) |
| <b>2.1 半导体的基本知识</b> .....   | (24) |
| 2.1.1 本征半导体 .....           | (24) |
| 2.1.2 杂质半导体 .....           | (26) |
| 2.1.3 载流子在半导体中的宏观定向运动 ..... | (29) |



|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 2.2 PN 结 .....                     | (31)  |
| 2.2.1 PN 结的形成 .....                | (31)  |
| 2.2.2 PN 结的势垒电压和 PN 结的宽度 .....     | (32)  |
| 2.2.3 PN 结的伏-安特性 .....             | (35)  |
| 2.2.4 PN 结的击穿 .....                | (40)  |
| 2.2.5 PN 结的电容效应 .....              | (41)  |
| 2.3 半导体二极管 .....                   | (45)  |
| 2.3.1 二极管的类型与结构 .....              | (45)  |
| 2.3.2 二极管的伏-安特性 .....              | (47)  |
| 2.3.3 二极管的主要参数 .....               | (49)  |
| 2.3.4 二极管的模型 .....                 | (50)  |
| 2.3.5 二极管应用举例 .....                | (58)  |
| 2.3.6 稳压二极管 .....                  | (64)  |
| 2.4 双极型晶体管 (BJT) .....             | (66)  |
| 2.4.1 BJT 的分类和结构 .....             | (67)  |
| 2.4.2 BJT 的工作原理 .....              | (68)  |
| 2.4.3 BJT 的伏安特性 .....              | (73)  |
| 2.4.4 BJT 的模型 .....                | (80)  |
| 2.5 场效应晶体管 (FET) .....             | (98)  |
| 2.5.1 增强型 MOSFET 的结构和工作原理 .....    | (99)  |
| 2.5.2 增强型 MOSFET 的伏安特性和大信号模型 ..... | (104) |
| 2.5.3 耗尽型 MOSFET .....             | (113) |
| 2.5.4 结型场效应管 (JFET) .....          | (115) |
| 2.5.5 FET 的低频小信号模型 .....           | (123) |
| 本章小结 .....                         | (127) |
| 习题 .....                           | (128) |
| 第三章 放大电路基础 .....                   | (137) |
| 3.1 放大器的基本概念 .....                 | (138) |
| 3.1.1 放大的过程和实质 .....               | (138) |
| 3.1.2 放大器的性能指标 .....               | (141) |
| 3.1.3 放大器的分析方法 .....               | (150) |
| 3.2 单管放大电路 .....                   | (150) |

|       |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| 3.2.1 | 放大电路的构成原则        | (150) |
| 3.2.2 | CE 放大器的图解分析      | (152) |
| 3.2.3 | 单管放大器的三种基本组态     | (159) |
| 3.3   | 偏置电路             | (176) |
| 3.3.1 | 常见的分立偏置电路        | (179) |
| 3.3.2 | 常见的集成偏置电路        | (187) |
| 3.4   | 有源负载放大器          | (192) |
| 3.4.1 | 电流源的动态电阻         | (192) |
| 3.4.2 | 有源负载共发射极放大器      | (194) |
| 3.4.3 | 有源负载射极跟随器        | (197) |
| 3.5   | 差动放大器            | (200) |
| 3.5.1 | BJT 差动放大器        | (200) |
| 3.5.2 | BJT 有源负载差动放大器    | (218) |
| 3.5.3 | FET 差动放大器        | (220) |
| 3.6   | 多级放大器            | (226) |
| 3.6.1 | 多级放大器需要考虑的几个问题   | (227) |
| 3.6.2 | 多级放大器指标的计算       | (232) |
| 3.7   | 放大器的噪声           | (238) |
| 3.7.1 | 干扰的来源及其抑制方法      | (238) |
| 3.7.2 | 放大器的噪声和噪声系数      | (240) |
|       | 本章小结             | (242) |
|       | 习题               | (244) |
| 第四章   | 放大器的频率响应         | (261) |
| 4.1   | 网络函数及其零极点        | (262) |
| 4.1.1 | 正弦稳态下的网络函数及其零极点  | (262) |
| 4.1.2 | 网络函数的一般定义及其主要性质  | (265) |
| 4.1.3 | 频率响应曲线——波特图      | (269) |
| 4.1.4 | 上、下限频率的确定        | (277) |
| 4.2   | 单级放大器的频率响应       | (283) |
| 4.2.1 | CS 放大器的频率响应      | (283) |
| 4.2.2 | CE 放大器的频率响应      | (295) |
| 4.2.3 | CB (CG) 放大器的频率响应 | (305) |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 4.2.4 CC (CD) 放大器的频率响应 ..... | (308)        |
| <b>4.3 差动放大器的频率响应 .....</b>  | <b>(310)</b> |
| 4.3.1 对称输入时差放的频率响应 .....     | (310)        |
| 4.3.2 单端输入差放的频率响应 .....      | (311)        |
| 4.3.3 有射极电阻的差放的频率响应 .....    | (313)        |
| 4.3.4 单端输入单端出差放的频率响应 .....   | (315)        |
| <b>4.4 多级放大器的频率响应 .....</b>  | <b>(318)</b> |
| <b>本章小结 .....</b>            | <b>(319)</b> |
| <b>附录 .....</b>              | <b>(321)</b> |
| 一、常用函数的拉普拉斯变换 .....          | (321)        |
| 二、极点与网络时间常数的关系 .....         | (322)        |
| <b>习题 .....</b>              | <b>(325)</b> |
| <b>第五章 反馈放大器 .....</b>       | <b>(332)</b> |
| <b>5.1 基本概念 .....</b>        | <b>(332)</b> |
| 5.1.1 反馈的基本概念 .....          | (332)        |
| 5.1.2 基本反馈方程式 .....          | (335)        |
| 5.1.3 反馈放大器的分类 .....         | (338)        |
| 5.1.4 反馈组态的判别 .....          | (339)        |
| 5.1.5 各种反馈组态对负载和信号源的要求 ..... | (341)        |
| <b>5.2 负反馈的效果 .....</b>      | <b>(341)</b> |
| 5.2.1 提高了增益的稳定性 .....        | (341)        |
| 5.2.2 对非线性失真的改善 .....        | (342)        |
| 5.2.3 有利于提高信噪比 .....         | (345)        |
| 5.2.4 展宽频带 .....             | (345)        |
| 5.2.5 对输入、输出阻抗的影响 .....      | (347)        |
| <b>5.3 反馈放大器的分析方法 .....</b>  | <b>(351)</b> |
| 5.3.1 深反馈条件下的近似分析 .....      | (351)        |
| 5.3.2 方框图分析法 .....           | (353)        |
| <b>5.4 反馈放大器的稳定性 .....</b>   | <b>(366)</b> |
| 5.4.1 负反馈放大器稳定工作的条件 .....    | (366)        |
| 5.4.2 稳定性的波特图分析法 .....       | (368)        |
| 5.4.3 相位补偿 .....             | (371)        |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 本章小结 .....                    | (376) |
| 习题 .....                      | (378) |
| <b>第六章 功率放大器</b> .....        | (391) |
| 6.1 甲类功率放大器 .....             | (393) |
| 6.2 乙类互补推挽功率放大器 .....         | (396) |
| 6.2.1 工作原理和转移特性 .....         | (396) |
| 6.2.2 输出功率和效率 .....           | (398) |
| 6.2.3 器件的耗散功率 .....           | (399) |
| 6.3 甲乙类准互补推挽功率放大器 .....       | (401) |
| 6.3.1 甲乙类放大——交越失真的消除 .....    | (401) |
| 6.3.2 复合管和准互补电路 .....         | (406) |
| 6.3.3 单电源供电——OTL 电路 .....     | (408) |
| 6.4 集成功率放大器 .....             | (410) |
| 6.5 大功率晶体管和散热问题 .....         | (414) |
| 6.5.1 大功率 BJT .....           | (414) |
| 6.5.2 VMOS 和 DMOS .....       | (415) |
| 6.5.3 散热问题 .....              | (420) |
| 本章小结 .....                    | (423) |
| 习题 .....                      | (424) |
| <b>第七章 集成运算放大器及其应用</b> .....  | (430) |
| 7.1 集成运放典型电路分析 .....          | (432) |
| 7.1.1 集成运放电路的组成 .....         | (432) |
| 7.1.2 741 型运放的电路分析 .....      | (433) |
| 7.1.3 CF14573 型 CMOS 运放 ..... | (444) |
| 7.2 运算放大器的性能指标 .....          | (447) |
| 7.3 应用中的几个实际问题 .....          | (449) |
| 7.3.1 选择和熟悉组件 .....           | (449) |
| 7.3.2 参数测量与性能扩展 .....         | (451) |
| 7.3.3 保护措施 .....              | (456) |
| 7.4 集成运放的应用 .....             | (457) |
| 7.4.1 集成运放线性工作的理想模型 .....     | (457) |
| 7.4.2 运算放大器的三种基本组态 .....      | (459) |

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| 7.4.3 集成运放的运算误差      | (465)        |
| 7.4.4 集成运放的应用举例      | (470)        |
| 7.4.5 电压比较器          | (484)        |
| 本章小结                 | (498)        |
| 习题                   | (499)        |
| <b>第八章 选频与滤波电路</b>   | <b>(521)</b> |
| 8.1 $LC$ 调谐放大器       | (521)        |
| 8.1.1 单调谐放大器         | (521)        |
| 8.1.2 同步调谐和参差调谐      | (532)        |
| 8.1.3 双调谐放大器         | (537)        |
| 8.1.4 调谐放大器的稳定性      | (541)        |
| 8.2 宽带放大集中选择滤波的带通放大器 | (544)        |
| 8.3 无源滤波器            | (546)        |
| 8.3.1 $LC$ 滤波器       | (546)        |
| 8.3.2 晶体和陶瓷滤波器       | (547)        |
| 8.3.3 声表面波滤波器        | (548)        |
| 8.4 $RC$ 有源滤波器       | (549)        |
| 8.4.1 滤波器的类型和指标      | (550)        |
| 8.4.2 传输函数的逼近        | (552)        |
| 8.4.3 滤波电路的实现        | (555)        |
| 8.4.4 状态变量滤波器        | (562)        |
| 8.4.5 开关电容滤波器        | (564)        |
| 本章小结                 | (569)        |
| 习题                   | (570)        |
| 参考文献                 | (577)        |
| 部分习题答案               | (578)        |

# 第一章 基本知识的复习

本书对电子线路的分析，是在假定读者已经掌握了电路基本理论的基础上进行的。事实上，有些读者可能没有系统地学过电路理论，或者虽已学过但有些遗忘，应用起来尚不够熟练。为了减少不同知识背景的读者阅读本书的困难，本章选择了一些最基本的电路知识进行复习。既然是复习，也就不能过细地讲解，有些定理也不进行证明，只要求读者作为工具掌握起来。这些知识都是本书要反复应用的。还有一些电路理论知识，不是对所有读者都要求掌握的，本章没有收入，必要时将在有关章节的附录中加以介绍。

## 1.1 信 号

### 1.1.1 信 号

信号是我们周围物质世界各种事物和活动的信息的携带者。比如气象台和广播电台在发布天气预报时，总是要介绍气温、气压、风力、湿度等等，这些气温、气压、风力、湿度等就是携带气候信息的信号。信息的传播总是通过信号的传输来实现的。

为了便于从信号当中提取信息，总要预先对信号进行处理。现在最普遍最迅速的信号处理工作都是由电子系统来实现的。为此，就要把各种信号转变成电信号（电流或电压）。这种转换装置就是通常所说的传感器。研究和介绍传感器不是本书的任务。我们所面临的问题，是由传感器转换来的电信号已经存在，它们或者是一个电压源，或者是一个电流源。

一 般 来  
说, 信号是一个时变量 (即其大小随时间而变化的量)。

图 1-1 就是某个电压信号。它所包含的信息, 反映在它的幅度随时间的变化规律中。但是, 像

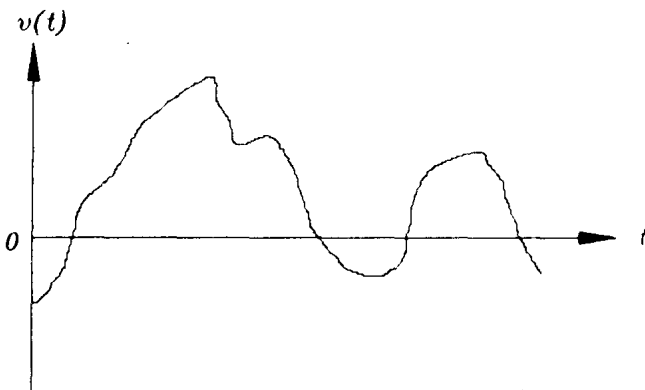


图 1-1 一个电压信号

图 1-1 这样的信号, 很难用数学来描述。这就给设计处理相应信号的电路带来困难。事实上, 我们经常遇到的信号, 比图 1-1 还要复杂得多。

虽然信号的时间特性一般不易用简单的数学表达式来描述, 但它的另外的特性如频率特性, 却给我们提供了认识它的方便之门。

### 1.1.2 信号的频谱

数学中的傅立叶级数和傅立叶变换告诉我们, 在一定条件下, 不论是时间的周期函数还是非周期函数, 都可以分解成无穷多个正弦函数的叠加。这里所说的一定条件, 对我们今后要研究的信号来说, 总是满足的。至于说无穷多的正弦函数, 这是数学上的概念。事实上, 从能量的分布来看, 主要还是集中在有限数量的不同频率的正弦分量之中。把各正弦分量的振幅沿频率轴分布情况图示出来, 便是该信号的频谱。

如果  $v(t)$  是图 1-2 所示的幅度为  $V$  的对称方波信号, 其周期为  $T$ 。那末, 根据傅立叶分析, 它可展成傅立叶级数:

$$v(t) = \frac{4V}{\pi} (\sin\omega_0 t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t + \cdots) \quad (1-1)$$

其中  $\omega_0 = 2\pi/T$ ,  
称基波角频率  
(或基角频),  
 $3\omega_0$ 、 $5\omega_0$  等分别  
称为三次、五次  
谐波角频率。从  
式 (1-1) 可见,  
虽然原则上讲,  
 $v(t)$  含有无穷多  
的谐波, 但其幅

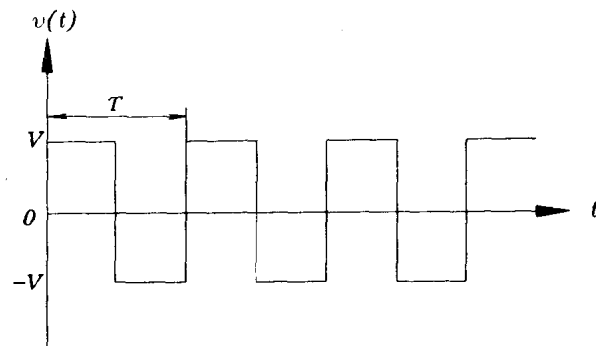


图 1-2 幅度为  $V$ , 周期为  $T$  的对称方波

度却是逐次减小的。其频谱如图 1-3 所示。由图可见, 七次以上的谐波, 其幅度已经很小, 基本上可以予以忽略。

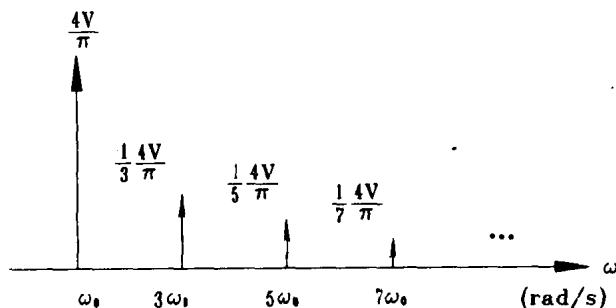


图 1-3 对称方波的频谱

对于像图 1-1 所示的那种非周期信号, 可以通过傅立叶变换得到它的频谱。与图 1-3 不同, 它不存在基频, 各分量之间的频率也不是谐频关系, 它是在频率轴上连续分布的。尽管理论上其所含频率从 0 延续到无穷大, 但是, 当频率很高时, 其幅度也小到可以忽略的程度。所以, 我们要处理的也只是一个频带。这种频谱的示意图如图 1-4 所示。



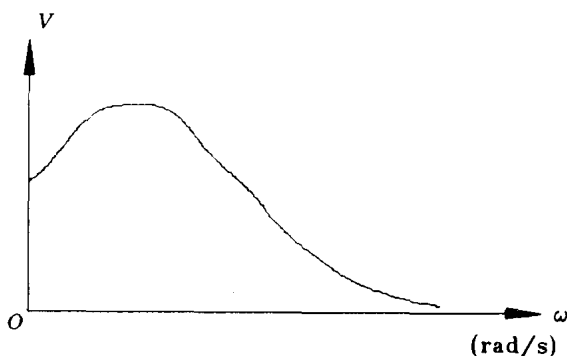


图 1-4 非周期信号频谱示意图

既然各种信号都可看成由很多正弦函数按各自一定的关系叠加而成,我们就可以根据电路对各种频率成分所表现出来的性质,来分析、选择以至设计适用于处理相应信号的电路。

### 1.1.3 模拟信号和数字信号

像图 1-1 所示的信号,其幅度可以在其变化范围内取任何值,其随时间的变化也是连续的。这样的信号便称作模拟信号。这一名称的由来是因为这种信号完全模拟了(类似于)实际存在的信号。实际上有时采集到的信号,在时间上不是连续的,比如测量温度,每隔一定时间测量一次。只要它的取值可以取任一数值,就仍属于模拟信号,或者更确切地说,叫离散的模拟信号。处理模拟信号的电子线路,便称为模拟电子线路。

如果信号不仅在时间上是离散的(不连续的),在取值上也是量子化的(即在一个范围内只取一个值),这样的信号,便是数字信号。以数字信号为对象的电子线路,称为数字电子线路。数字信号可以通过数字电子计算机快速准确地进行处理。所以,数字电路发展很快,越来越受到人们的重视。

数字技术的发展,的确取代了一些模拟电路。但是模拟电子技术仍然具有强大的生命力。因为世上大多数的信号是模拟的,有很多处理工作还要靠模拟电路来完成。就是采用数字系统来处理,