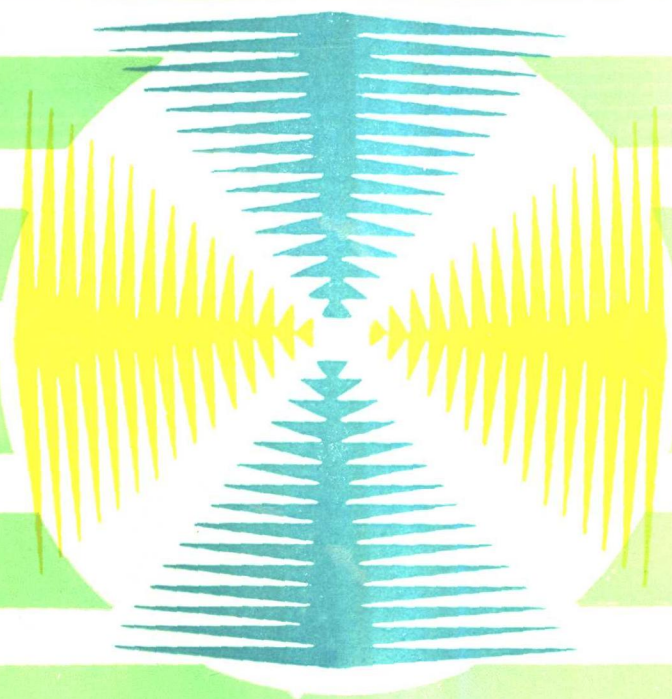


电子技术基础教程

董振君 姚 唐 黄美绮 李世平 编



武汉大学出版社

电子技术基础教程

董振君 姚 唐 编
黄美绮 李世平

武汉大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础教程 / 董振君, 姚唐编. — 武汉: 武汉大学出版社, 1996. 8

ISBN 7-307-02133-1

I. 电…

II. ①董… ②姚…

III. 电子技术—基础—教材

IV. TN01

武汉大学出版社出版

(430072 武昌 珞珈山)

武汉华运印刷厂印刷

新华书店湖北发行所发行

1996年8月第1版 1996年8月第1次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.625

字数: 221千字 印数: 1—2000

ISBN 7-307-02133-1/TN·4 定价: 9.50元

内 容 说 明

《电子技术基础教程》(下简称教程)是在编者多年讲授《电子技术》课程所用讲稿的基础上,经整理、修改和补充后编写而成的。本教程在内容选择方面,与同类教材相比,内容精简了不少。这主要出于以下几个方面的考虑。

一、本教程的教学对象是计算机系一年级学生,不同于理科的电子系、无线电系的学生,也不同于工科的电子工程系、自动控制系的学生。对传统的电子技术基础教材中,那些适合理科学生而偏重于理论推导和理论分析的部分,以及适合工科学生的工艺设计和工程设计部分,作了适当的删简。在内容安排上,我们尽量做到:必需的基础知识不漏,基本概念、基本原理、基本方法讲透,但避免繁杂,不冗长,精而易懂,使教师易教,学生易学。

二、在方法上,对那些只起辅助作用的图解方法,我们统一用计算的方法予以代替,这样既适合学计算机的学生用计算机求解问题的特点,也节省了篇幅,因为有时理解一个图形的意思比理解一个数学公式更花时间。

三、对各章节,我们着重讨论最基本的原理及基本的方法和典型电路。对各类电路和器件,着重讨论它们的工作原理和宏观功能,对其微观的结构只作简要的介绍,因为在实际应用中,单独的电路几乎不多见,而是常用集成功能块。在一个实际的系统内,也是各功能块之间在宏观功能上的相互联系。强调功能块的作用及其相互间在宏观功能上的配合,更有利于在系统这一层次上培养学生的实际工作能力。

根据以上三方面的考虑,所选择的内容,基本上能满足各后续课程对电子技术基础知识的要求。同时也为学生将来在电子技术领域作进一步学习和研究打下必要的基础。按照以上的考虑,我们选择的内容包括三大部分:

1. 电工基础知识。这是针对大学一年级学生安排的内容,为后面各章节打下基础,作为第一章。

2. 模拟电子技术基础。其中包括半导体基础知识、交流放大电路、直流放大电路、集成运算放大电路、振荡电路、反馈电路和直流稳压电源。

3. 数字电子技术基础。其中包括逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、模/数转换电路、数/模转换电路等。

本教程的教学学时约为 140 学时,其中包括 30 学时的实验课。“数字电子技术基础”部分约需 30 学时。若一个学期只安排 72 学时,则这部分内容只能安排到下一个学期讲授。数字电路的 3 章内容约需讲授 36 学时。

本教程从开始拟定大纲到全稿完成,一直得到计算机系主管教学的系主任何炎祥教授的热情支持,得到计算机应用教研室主任及其他同志的热情支持和帮助,编者在此诚表感谢。参加教程编写工作的有董振君、姚唐、黄美绮和李世平四位同志。由于我们水平有限,书中的缺点和谬误之处诚盼指正。

编者 1994 年 7 月

目 录

第1章 电路基础知识	(1)
1.1 直流电路	(1)
1.1.1 电路和电路图	(1)
1.1.2 电路的分析计算及克希荷夫定律	(2)
1.1.3 支路电流法	(5)
1.1.4 叠加原理	(7)
1.2 交流电路	(8)
1.2.1 交流电的基本概念	(9)
1.2.2 交流电的有效值	(12)
1.2.3 正弦量的复数表示	(14)
1.2.4 单一参数的交流电路	(14)
1.2.5 RCL 串联及并联交流电路	(19)
小结	(24)
练习	(24)
第2章 双极型晶体管	(26)
2.1 PN 结	(26)
2.1.1 半导体的物理特性	(26)
2.1.2 本征半导体的导电特性	(27)
2.1.3 N 型和 P 型半导体	(28)
2.1.4 PN 结	(30)
2.2 晶体二极管	(32)

2.2.1	整流二极管	(32)
2.2.2	稳压二极管	(34)
2.3	晶体三极管	(38)
2.3.1	三极管的结构	(38)
2.3.2	三极管的工作原理	(38)
2.3.3	三极管的特性曲线	(41)
2.3.4	三极管的主要参数	(42)
小结		(44)
练习		(44)
第3章	基本放大电路	(48)
3.1	放大电路的工作原理	(48)
3.1.1	共发射极放大电路的组成	(49)
3.1.2	放大电路的工作原理	(50)
3.2	放大电路的定量计算	(51)
3.2.1	静态工作点计算	(52)
3.2.2	微变等效电路计算方法	(52)
3.2.3	放大器的输入电阻和输出电阻	(55)
3.3	静态工作点稳定电路	(56)
3.3.1	温度对静态工作点的影响	(57)
3.3.2	静态工作点稳定电路	(57)
3.4	放大器的三种接法及其特点	(59)
3.4.1	共集电极电路的结构及静态工作点	(60)
3.4.2	共集电极电路动态分析	(61)
3.5	阻容耦合多级放大电路	(63)
3.5.1	多级放大器的组成及耦合方式	(63)
3.5.2	多级放大器的动态分析	(64)
3.6	放大器的频率特性	(65)
3.6.1	RC 电路的频率响应	(66)
3.6.2	放大器的频率响应	(68)
3.7	场效应管及其放大电路	(69)
3.7.1	结型场效应管的结构和工作原理	(69)

3.7.2	结型场效应管的特性曲线	(71)
3.7.3	结型场效应管的主要参数	(73)
3.7.4	绝缘栅场效应管	(75)
3.7.5	场效应管放大电路	(78)
小结		(80)
练习		(83)
第4章	负反馈放大电路	(87)
4.1	反馈的基本概念	(87)
4.1.1	什么叫反馈	(87)
4.1.2	反馈放大器的分类	(88)
4.1.3	交流反馈和直流反馈	(91)
4.2	负反馈放大器的基本关系式	(92)
4.2.1	负反馈放大器的方块图	(92)
4.2.2	负反馈放大器的基本关系式	(93)
4.3	负反馈对放大器性能的影响	(94)
4.3.1	负反馈对放大倍数的影响	(94)
4.3.2	负反馈对输入电阻和输出电阻的影响	(95)
4.3.3	负反馈对放大器其它性能的影响	(96)
小结		(100)
练习		(102)
第5章	波形发生电路	(104)
5.1	振荡的基本概念及振荡条件	(104)
5.1.1	振荡的平衡稳定及平衡条件	(104)
5.1.2	振荡的起振与稳定	(105)
5.2	RC 正弦波振荡器	(105)
5.2.1	RC 串并联电路的选频特性	(106)
5.2.2	RC 串并联式振荡电路	(107)
5.3	LC 正弦波振荡器	(108)
5.3.1	LC 谐振电路的特点	(109)
5.3.2	变压器反馈式振荡器	(110)
5.3.3	电感反馈式振荡器	(111)

5.3.4	电容反馈式振荡器	(112)
5.3.5	石英晶体振荡器	(113)
5.3.6	压控振荡器	(115)
小结		(118)
练习		(119)
第6章	直接耦合放大器及集成运算放大器	(121)
6.1	直接耦合放大器的主要特点和差动放大电路	(121)
6.1.1	直接耦合放大器的主要特点	(121)
6.1.2	基本差动放大电路	(122)
6.1.3	具有射极公共电阻的差动放大电路—长尾电路	(125)
6.1.4	具有恒流源的差动放大电路	(127)
6.2	差动放大电路的几种接法和共模抑制比	(128)
6.2.1	差动放大电路的几种接法	(129)
6.2.2	差动放大电路的共模抑制比	(132)
6.3	集成电路中的放大级和输出级	(132)
6.3.1	复合管结构	(132)
6.3.2	集成电路的输出电路	(134)
6.4	运算放大器及其应用	(135)
6.4.1	基本运算放大器	(136)
6.4.2	运算放大器在信号运算方面的应用	(138)
6.4.3	电压比较器	(142)
6.4.4	运算放大器在波形产生方面的应用	(145)
小结		(149)
练习		(150)
第7章	直流稳压电源	(153)
7.1	单相桥式整流和电容滤波电路	(153)
7.1.1	单相桥式整流电路	(153)
7.1.2	电容滤波电路	(155)
7.2	稳压电路	(157)
7.2.1	串联型晶体管稳压电路	(157)
7.2.2	集成电路稳压器	(159)

7.2.3 串联开关调整稳压电路·····	(160)
7.3 可控硅整流器·····	(162)
7.3.1 可控硅的工作原理·····	(162)
7.3.2 可控硅的伏安特性和主要参数·····	(163)
7.3.3 单相半波可控整流电路·····	(165)
7.3.4 单相桥式可控整流电路·····	(166)
7.3.5 可控硅触发电路·····	(167)
小结·····	(171)
练习·····	(171)
第8章 数字逻辑门与组合逻辑电路·····	(174)
8.1 数字电路的特点·····	(174)
8.1.1 脉冲信号·····	(174)
8.1.2 晶体管的开关作用·····	(176)
8.1.3 数字电路的特点·····	(179)
8.2 逻辑门电路·····	(179)
8.2.1 逻辑关系·····	(179)
8.2.2 逻辑门电路·····	(180)
8.3 TTL“与非”门电路·····	(186)
8.3.1 TTL“与非”门的结构和工作原理·····	(186)
8.3.2 TTL“与非”门的主要参数·····	(188)
8.3.3 三态门电路·····	(191)
8.4 MOS门电路·····	(193)
8.4.1 NMOS逻辑门电路·····	(193)
8.4.2 CMOS逻辑门电路·····	(196)
8.5 组合逻辑电路·····	(200)
8.5.1 组合逻辑电路的分析和设计方法·····	(200)
8.5.2 加法器·····	(205)
8.5.3 编码器·····	(210)
8.5.4 译码器和数字显示·····	(213)
小结·····	(217)
练习·····	(217)

第9章 触发器和时序逻辑电路	(220)
9.1 双稳态触发器	(220)
9.1.1 R-S 触发器	(220)
9.1.2 J-K 触发器	(224)
9.1.3 D 型触发器和 T 型触发器	(227)
9.2 计数器	(228)
9.2.1 二进制加法计数器	(228)
9.2.2 二十进制计数器	(230)
9.3 寄存器	(232)
9.3.1 数码寄存器	(232)
9.3.2 移位寄存器	(232)
9.4 单稳态触发器和多谐振荡器	(233)
9.4.1 单稳态触发器	(233)
9.4.2 多谐振荡器	(240)
9.5 施密特触发器	(243)
9.6 定时器	(248)
小结	(252)
练习	(253)
第10章 模拟量和数字量的转换	(256)
10.1 数-模转换器 DAC	(257)
10.1.1 T 形电阻网络数-模转换器	(257)
10.1.2 数-模转换器的主要技术指标	(259)
10.2 模-数转换器 ADC	(259)
10.2.1 逐次逼近型模-数转换器	(259)
10.2.2 双积分型 A/D 转换器	(261)
10.2.3 A/D 转换器的主要技术指标	(263)

第 1 章 电路基础知识

本章主要结合直流电路介绍一般电路（包括交流电路）所遵循的基本规律和最基本的电路分析计算方法。电路遵循的基本规律包含着相对独立的两个方面的内容，一是组成电路的各个元件的特性，二是整个电路中各个元件相互之间必须服从的关系。元件的电磁物理特性可由元件的端电压和流过该元件的电流的数学关系来描述，各元件间的相互关系可由克希荷夫电压定律和克希荷夫电流定律来描述，本章只介绍该定律的一般数学表达式和应用该定律分析计算电路的基本方法。

1.1 直流电路

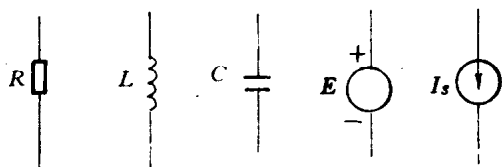
1.1.1 电路和电路图

电路指的是由一些电气设备和器件组成的，以备电流流过的通路。电路的形成和功能是多种多样的，但总的来说，它们具有下述共同点：

(1) 电路的组成一般包括电源（或信号源）、负载和联接导线三个部分。

(2) 电路的作用主要有传输和变换电能、传递和处理信号两个方面。

实际应用中的电气设备和器件各种各样，但可按其主要的物理特性分为五种，并视它们为理想化元件，即电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源，它们分别用图 1—1 中的 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 所示符号表示。



(a)电阻 (b)电感 (c)电容 (d)电压源 (e)电流源

图 1—1 理想电路元件

前三种理想电路元件中，电阻是耗能元件，它将电能变为热能和光能，电感元件以磁场形式储存能量，电容以电场形式储存能量。电阻元件遵循欧姆定律，其端电压和流过的电流是正比关系，比例常数 R (称为电阻) 就是表示这种元件物理特性的电参数。实际的各元件同理想元件有区别，例如在高频情况下，一个实际的电阻器，除具有电阻的作用外还具有电感的作用。后两种理想电路元件中，理想电压源和理想电流源分别能够提供一定的电压和电流，而无内部电能消耗。

在分析实际电路时，往往忽略次要因素，将各种实际电路近似地看作是由理想元件组成的理想化的电路，这就是实际电路的电路模型。图 1—2 所示就是由理想元件构成的电路图。电路在工作时，若电流方向不随时间变化，就称为直流电路。图 1—2 的 R 可以是一个灯泡，也可以是一个电阻器， R_0 表示实际电压源 E 的内阻，当 R_0 很小时，就视 R_0 为零， E 即是理想电压源。

1.1.2 电路的分析计算及克希荷夫定律

实际工作中所遇到的电路往往很复杂，其电路图形如网状，因

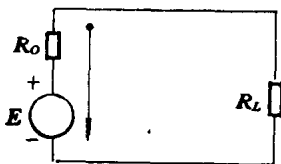


图 1—2 简单电路

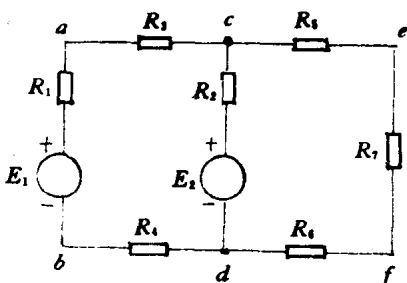


图 1—3 复杂电路

此通常又称电路为网络。

支路——电路中没有分支的一段电路。每条支路中流过同一电流。图 1—3 电路中有 $acdb$ 、 $cefd$ 和 cd 三条支路，支路可以包含电源也可不包含电源， $acdb$ 和 cd 两条支路包含有电源，称为有源支路；而支路 $cefd$ 称为无源支路。

节点——电路中三条或三条以上支路的联接点。图 1—3 电路中， c 和 d 两点是节点，而 a 、 b 、 e 、 f 都不是节点。

回路——电路中由几条支路组成的闭合路径。图 1—3 电路中有三个回路： $acdba$ 、 $acefdb$ 和 $cefdc$ 。

只有一个回路的无分支电路，或电路虽有分支，但所包含的分支元件可按串联、并联等关系进行等效变换化简为一个回路的都称为简单电路；不能化简为一个回路的有分支电路则称为复杂电路。图 1—2 是简单电路，图 1—3 是复杂电路。

对于简单电路的定量计算比较容易，但对复杂电路的定量计算就比较复杂。克希荷夫定律是分析电路和作定量计算的重要工具。

一、克希荷夫电流定律

定律内容如下：对于电路中的任一节点，在任一瞬间，流入该节点的电流等于流出该节点的电流。电流是有方向的，若视流

入节点的电流为正值，视流出的电流为负值，则克希荷夫电流定律为：流入和流出电路任一节点电流的代数和等于零，即

$$\sum I = 0 \quad (1-1)$$

这个关系式对于电流随时间变化的情况也适用，即

$$\sum i(t) = 0 \quad (1-2)$$

对于如图 1—4 所示的复杂电路，图中有 a 、 d 、 c 三个节点，应用克希荷夫电流定律，得以下电流关系式：

对节点 a : $I_1 - I_2 - I_4 + I_5 = 0$

对节点 b : $I_2 + I_3 - I_1 = 0$

对节点 c : $I_4 + I_5 - I_3 = 0$

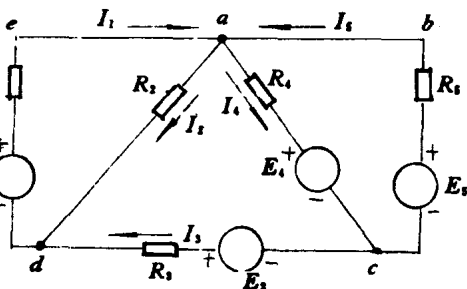


图 1—4 复杂电路的电流关系

二、克希荷夫电压

定律

定律的内容如下：

对于电路中任一回路，在任一瞬间，沿该回路的所有分支电压的代数和等于零。一般数学表达式为：

$$\sum V = 0 \quad (1-3)$$

把时间考虑进去，其表达式为：

$$\sum v(t) = 0 \quad (1-4)$$

对图 1—5 所示电路的 $acda$ 回路和 $abcda$ 回路，其电压关系为：

回路 $acda$: $V_{ac} + V_{cd} - V_{ad} = 0$

回路 $abcda$: $V_{bc} + V_{cd} - V_{ad} = 0$

其中的电压均为代数值，即它们是带正、负号的数，图中的箭头方向为参考方向，当绕行方向与箭头方向一致时，电压带正号，绕行方向与箭头方向相反时，电压带负号，例如， V_{ac} 、 V_{cd} 、 V_{bc} 带正号， V_{da} 带负号。

若把上述两个回路中的电压源计算进去，则得到：

$$V_{ac} + V_{cd} - V_{ad} = (I_4 R_4 + E_4) + (-E_3 + I_3 R_3) - I_2 R_2 = 0$$

移项整理得：

$$E_3 - E_4 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4$$

对回路 $abcda$ 得到：

$$V_{bc} + V_{cd} - V_{ad} = (I_5 R_5 + E_5) + (I_3 R_3 - E_3) - I_2 R_2 = 0$$

移项整理得：

$$E_3 - E_5 = -I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_5 R_5$$

上二式说明，当电源是电压源情况下，电路中任一回路的电动势（或电压源电压）的代数和等于回路中各电阻电压降的代数和。其数学表达式为：

$$\sum E = \sum IR$$

(1-5)

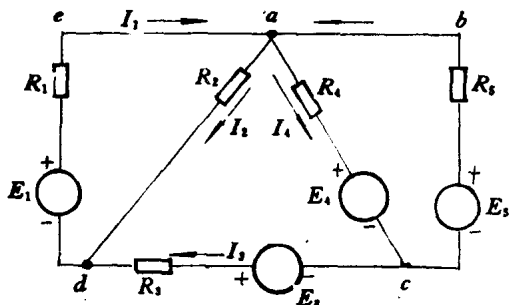


图 1-5 复杂电路及其电压关系

1.1.3 支路电流法

本节举一个例子来说明如何应用克希荷夫定律于电路的定量分析。对于一个回路的简单电路，可直接应用电路的欧姆定律求出电路的电流和各电阻上的电压降，对于复杂电路则需应用克希荷夫定律来求解，其求解步骤如下：

一、在电路中标出各支路待求电流的参考方向。参考方向可任意选定，如果和实际电流方向相反，则求得的电流为负值。

二、按克希荷夫电流定律写出各节点的电流方程。对于有 N 个节点的电路可以列出 $(N-1)$ 个独立的电流方程式。

三、按克希荷夫电压定律写出回路电压方程式。列出的方程式应是相互独立的，最简单可靠的方法是选择单孔回路（网孔中

间没有其他支路穿过的回路)列电压方程式。

四、解联立方程式。

五、检验结果是否正确。可用电压平衡关系进行校验。

〔例 1—1〕 图 1—6 电路中, 已知 $E_1=110\text{V}$, $R_1=1\Omega$, $E_2=90\text{V}$, $R_2=2\Omega$, $R_3=20\Omega$, 求各支路的电流。

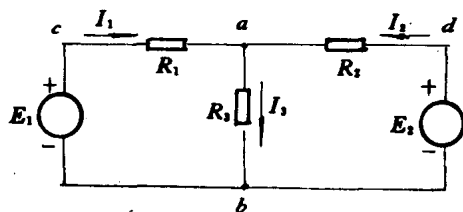


图 1—6 支路电流法举例

解: 图 1—6 电路有两个节点和两个单网孔, 在图上标上参考方向, 列出一个电流方程和两个电压方程式:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3 \\ E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 \end{cases}$$

将题设数据代入上述方程得:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 110 = I_1 + 20I_3 \\ 90 = 2I_2 + 20I_3 \end{cases}$$

解方程得:

$$I_1=10\text{A}, I_2=-5\text{A}, I_3=5\text{A}$$

用电压平衡关系检验计算结果:

对未写过电压方程式的 $adbca$ 回路, 应用克希荷夫电压定律:

$$\begin{aligned} \Sigma V &= -R_2 I_2 + E_2 - E_1 + R_1 I_1 \\ &= -2 \times (-5) + 90 - 110 + 1 \times 10 = 0 \end{aligned}$$

符合克希荷夫电压定律, 表明计算结果正确。