

IU

21 世纪大学新型参考教材系列

电子电路 A

〔日〕藤原 修 编著

Inter
University



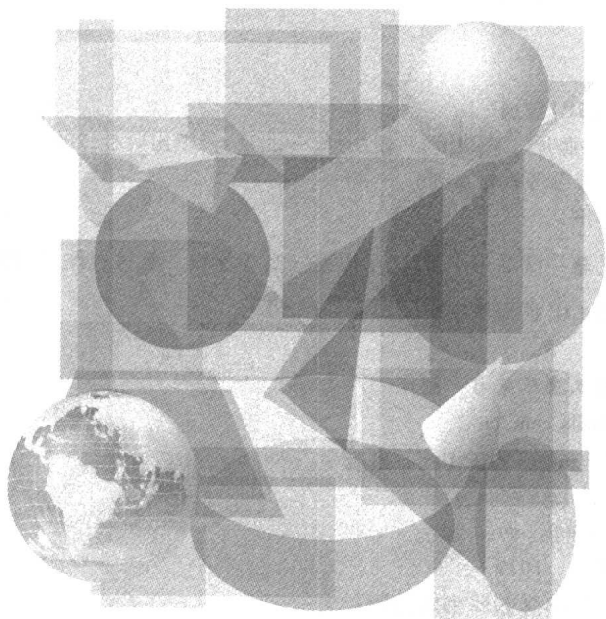
科学出版社

OHM 社

21 世纪大学新型参考教材系列

电子电路 A

〔日〕藤原 修 编著
吕砚山 译



科学出版社 OHM 社

2002. 北京

图字:01-2002-0288 号

Original Japanese edition

Interuniversity Denshi Kairo A

Edited by Osamu Fujiwara

Copyright © 1996 by Osamu Fujiwara

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press

Copyright © 2002

All rights reserved

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

インターユニバーシティ

電子回路A

藤原 修 オーム社 1996

图书在版编目(CIP)数据

电子电路 A/(日)藤原 修编著;吕砚山译. —北京:科学出版社,2002
(21 世纪大学新型参考教材系列)

ISBN 7-03-010040-9

I. 电… II. ①藤…②吕… III. 电子电路 - 高等学校 - 教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005250 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002 年 5 月第 一 版 开本: A5(890 × 1240)

2002 年 5 月第一次印刷 印张: 6 1/4

印数: 1—5 000 字数: 187 000

定 价: 24.00 元(全二册)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

电子电路是利用各种电子器件组成的电路;电子电路学是系统地阐述处理电信号的电路构成、分析及设计的一门学问。电子电路和电工电路、电磁学一样,都是担负 21 世纪重任的电工电子相关专业学生必修的重要的基础课程。

电子电路按其工作信号形态的不同,可分为模拟电路与数字电路。在《电子电路 A》中侧重介绍前者,而后者将在《电子电路 B》一书中阐述。

本书的特点如下:电子电路的基本工作是模拟信号的放大、振荡、调制和解调。本书以讲解这些内容为主,对信号处理中必不可少的电路,也尽可能用较少的公式阐明其工作原理与分析方法。此外,为学习电子电路作准备,在前几章中还要介绍便于分析电路的公式,以及分析电子电路所需要的近似计算方法等,以有助于对后续章节中有关内容的理解。

本书的另一个特点是增设了等效电路和运算放大器的内容。对电子电路来说,很重要的一点是,可以不考虑电路本身如何而只关心其输入输出端的电压、电流,并以等效电路的作用来近似。运算放大器已制成集成电路形式,使用它即使不了解其本身结构如何,也能方便地构成各种信号处理电路。本书中将对这种运算放大器特有的分析方法给以透彻的说明,并介绍其实际的使用方法。

本书作为大学教科书,按照一个学期 2 学分的教学需要而编写,但对自学的读者也作了便于理解的说明。在各章开头均有引导性的简介,以此可抓住内容重点。“篇外话”作为各章内容的补充说明也为本书增色。当然,不学这些“篇外话”对理解本书内容也无妨碍。

在各章章末都安排了练习题,并在书末给出了简要解答。通过这些练习题,会加深读者的理解。对于希望用尽短的时间复习电子电路知识的读

者或是时间较少的自学者来说,最初对章末的练习题,可以只阅读尚未解答的练习题的内容说明。这样做就会了解具备哪些知识和分析方法才能解答这类习题。如果本书能被用作大学教科书,或是被迫切需要掌握电子电路技术的技术人员选为自学用参考书,作者将深感荣幸。

本书参考了许多老前辈的著作。作者向这些前辈们表示深深的谢意。最后,向促成本书出版的“21 世纪大学新型参考教材系列”编辑委员会主任家田正之先生、编委大熊繁先生,以及在本书出版中给予帮助的欧姆社出版部的各位先生表示衷心的感谢。

藤原 修

目 录

1 关于电子电路 A 的概述

1.1 电子电路	2
1.2 电压源与电流源	2
1.3 接地的作用	4
1.4 电路分析	5
1.5 无量纲化与近似计算方法	8
练习题	11

2 信号与器件

2.1 线性与非线性电路的区别	14
2.2 模拟与数字波形的区别	16
2.3 二极管及其作用	17
2.4 晶体管及其作用	20
2.5 场效应管及其作用	23
练习题	25

3 电路的作用

3.1 电压、电流的放大	30
3.2 用作图法求放大倍数	31
3.3 各种形式的放大电路	34
3.4 放大电路的输入输出电阻	39
3.5 偏置电路的设置	41
练习题	44

4 等效电路的分析方法

4.1 等效电路的引入	48
-------------------	----

4.2	h 参数	50
4.3	y 参数	54
4.4	使用场效应管的电路	55
	练 习 题	61
5 小信号放大		
5.1	偏置电路的作用	64
5.2	放大电路特性的表示	66
5.3	放大电路的频率特性	69
5.4	RC 耦合多级放大电路	72
	练 习 题	76
6 功率放大		
6.1	功率放大	78
6.2	电阻负载的甲类功率放大	78
6.3	电感负载的甲类功率放大	81
6.4	乙类推挽功率放大	83
	练 习 题	86
7 负反馈放大电路		
7.1	负反馈	88
7.2	使增益稳定	89
7.3	改善增益的频率特性	89
7.4	改善输入输出阻抗的方法	91
	练 习 题	93
8 振荡电路		
8.1	振荡电路的工作原理	96
8.2	LC 振荡电路	97
8.3	RC 振荡电路	101
8.4	采用晶体的振荡电路	104
	练 习 题	106

9 AM 电路

9.1 AM(调幅)	108
9.2 AM 波的形成	111
9.3 AM 波的解调	114
练习题	116

10 FM 电路

10.1 FM(调频)	118
10.2 FM 波的形成	121
10.3 FM 波的解调	122
练习题	127

11 运算放大器

11.1 运算放大器	130
11.2 运算放大器的作用	131
11.3 带有负反馈的运算放大器	134
11.4 运算放大器的放大功能	136
11.5 运算放大器的运算功能	139
练习题	143

12 运算放大器的使用

12.1 运算放大器的性能	146
12.2 运算放大器的等效电路	149
12.3 高增益放大器	151
12.4 非线性运算器	152
12.5 信号处理器	157
练习题	162

练习题解答	165
-------	-----

译者跋	185
-----	-----

篇外话

匹配条件	10
级数展开与渐近展开	10
锗晶体管与硅晶体管	23
电压放大倍数的分贝表示	36
晶体管的直流等效电路	55
放大倍数与增益	69
晶体管的极限参数	78
负反馈的优点	89
采用 PLL 的振荡电路	105
贝塞耳函数	120
信号的数字化	125
脉冲编码调制 PCM	126
调零端子	132
放大倍数与输出饱和的关系	133
通用运算放大器的电气特性	149
滞回电路	162

关于电子电路 A 的概述

本章中将说明什么是电子电路及电子电路的基本分析方法。作为学习电子电路的预备,还将介绍电源及接地的作用、便于分析电路的公式,以及领会电路特性概貌的方法。

1.1 电子电路

所谓电子电路就是对电信号进行所希望的处理的电路。这种电路是由电阻、电容、电感等**无源元件** (passive element) 与二极管或晶体管、集成电路 (IC; integrated circuit) 等有源器件 (active element) 构成的。电信号是由作为媒体的**电压** (voltage) 或**电流** (current) 传送的信息。那么, 利用电子电路能进行什么样的电信号处理呢? 凡是有关电信号的产生、放大、传输、整形等与波形有关的处理都可以完成。

电子电路最简单的表示如图 1.1 所示。ab 为输入端, cd 为输出端。可以不必过问电路本身为何物, 而只关注在输入输出端之间的电压或电流。这是在电子电路中经常采用的方法。图 1.1 所示电路被称作**暗箱**或**黑盒** (black box)。



图 1.1 用黑盒表示的电子电路

1.2 电压源与电流源

电源是电能的供给源, 有直流电源和交流电源, 即 **DC 电源** (direct current source) 和 **AC 电源** (alternating current source)。驱动电子电路需要直流电源。电源还可以分为**恒定电压源** (constant voltage source) 与**恒定电流源** (constant current source)。通常就简称为电压源、电流源, 其符号如图 1.2 所示。图中电压源 E 称为**电动势** (electromotive force)。理想电压源不论与何种负载相接, 其端电压不变; 理想电流源对任何负载所供电流不变。例如

图 1.3 所示,不论与电源相接的负载 R_L 如何变化,图(a)所示电压源的负载电压 V_L 均等于 E ,图(b)所示电流源的负载电流 I_L 均等于 I 。

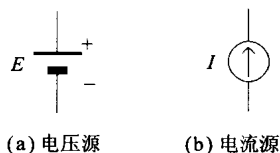


图 1.2 电源的符号

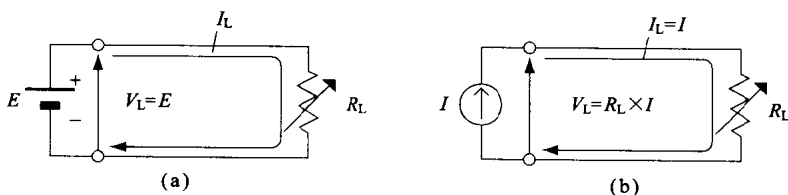


图 1.3 电源与负载相接¹⁾

因此,对电压源来说即使将负载短路($R_L \rightarrow 0$),其负载电压也为一定值,故流出的是无穷大电流。这就是说,在电压源中可以供出任何大小的电流。若令电动势为 $0V$,则电压源就相当于短路;对电流源来说,即使将负载开路($R_L \rightarrow \infty$),其负载电流也为一定值,故负载电压为无穷大。这意味着电流源两端的电压可为任意大小。若令电流值为 $0A$,则电流源就相当于开路。在实际电压源中当负载短路时,所流的电流不会超过该电源的一个固定电流值。在实际电流源中当负载开路时,其端电压为电源固有的电压值,达到饱和。实际电源的符号如图 1.4 所示。电阻 r 被称为电源内阻。在图(a)的电压源中,由于有内阻使短路电流限定于 E/r ;在图(b)的电流源中两端的开路电压限定在 $r \times I$ 。

在电子电路中以信号处理为对象的传感器输出或电路输出等信号源,其符号如图 1.5 所示。图示符号用于直流和交流的任意信号源。 Z 为内阻抗。图 1.5 也可作为交流电源的符号使用。

¹⁾ 图中电压方向表示由低电位指向高电位,与我国规定相反。本书采用原图未予改动,请读者注意。下同。——译者注

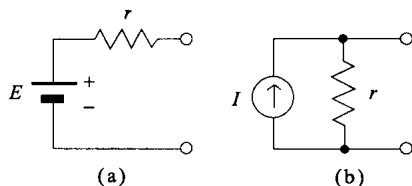


图 1.4 实际电源的符号

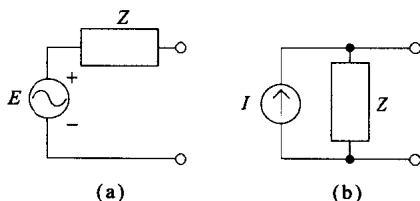


图 1.5 信号源的符号

1.3 接地的作用

接地 (earth) 就是将电子电路或装置的适当地点作为电位基准 (0V) 与大地相接, 又称作**接大地** (ground)。其符号如图 1.6 所示。有时也采用导体来代替大地。这在电子电路中是常用的方法。图 1.6(a) 表示与大地相接, 用作电力线的安全接地。图 1.6(b) 表示与导体板或导线相接, 用作电子电路中的信号接地。接地的本来目的是为保证电位的基准, 但因在电子

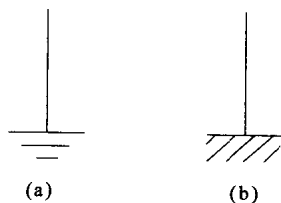


图 1.6 接地的符号

电路中地线也作为公共线使用, 常常会在电路的地线间产生一定的电压。因此电位的基准也就不能保证, 电子电路也不能正常工作。在将地线作为电位基准和公共线共用时, 毫无疑问希望采用较大面积的导体板或较粗的导线。

虽然电压应是两点间的电位差, 但在

电子电路中由于地线电位为 0V,故一般是将各部分的电位简称作电压。

1.4 电路分析

为了设计电子电路并了解其作用,必须事先考虑构成电路的无源元件或有源器件的电压或电流。本节介绍在电子电路分析中常用的有关重要公式。

1.4.1 戴维宁定理

设有一个含有电压源与电流源的电路,如图 1.7(a) 所示,下面讨论其 ab 端子的情况。若由 ab 端向电路看,阻抗为 Z_o ,此两端子间的开路电压为 E_o ,如图 1.7(b) 所示。若在 ab 两端子间接阻抗 Z_L 时,其中流动的电流 I_L 可由下式表示:

$$I_L = \frac{E_o}{Z_o + Z_L} \quad (1.1)$$

这就是戴维宁 (Thevenin) 定理。由此可知,端子间的电压 V_L 为

$$V_L = Z_L \times I_L = \frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \cdot E_o \quad (1.2)$$

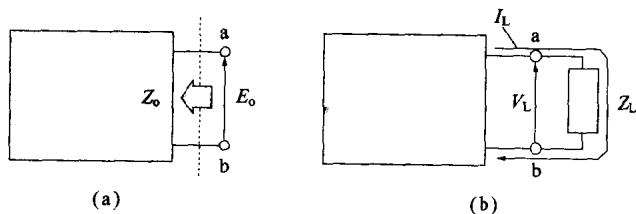


图 1.7 二端电路

采用式(1.1)就意味着由 ab 端向左看的电路,与由内阻抗 Z_o 和电动势为 E_o 的电压源所构成的电路工作情况完全相同。这种与电路本身为何物无关,电路工作情况相同的电路称为等效电路 (equivalent circuit)。图 1.8 示

意了图 1.7 所示戴维宁定理的等效电路。

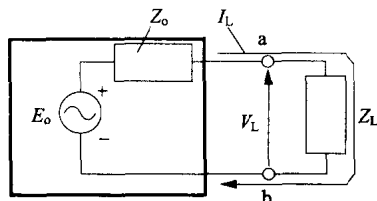


图 1.8 采用电压源电路的等效电路

下面来求图 1.8 中当 $Z_o = r$ 、 $Z_L = R$ 时, R 中所消耗的功率。设功率为 P , 由图可知

$$P = \frac{R}{(r + R)^2} \cdot E_o^2 \quad (1.3)$$

若 R 变化, 则 P 最大的条件如下所述。即当

$$R = r \quad (1.4)$$

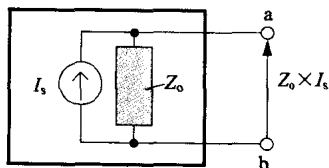
时, 得到最大功率 P_m 为

$$P_m = \frac{E_o^2}{4r} \quad (1.5)$$

这就是电路所能提供给负载电阻的最大功率。如果电路相当于电源, 则 P_m 就称为电源的有效功率或有功功率 (available power)。这种为从电路获取最大功率而选用负载电阻值与电源内阻值相等的作法, 称为匹配 (matching)。

1.4.2 诺顿定理

设在图 1.7 (a) 所示电路中当 ab 端短路时, 其间有电流 I_s , 则此电路的



等效电路如图 1.9 所示。这就是诺顿 (Norton) 定理。再有, 图 1.8 与图 1.9 所示电路在电路等效的条件是

$$E_o = Z_o \times I_s \quad (1.6)$$

图 1.9 采用电流源电路的等效电路

1.4.3 米尔曼定理

下面求图 1.10 所示电路中由 ab 端向左所见部分的等效电路。由于这种电路在电子电路和电工电路中均频繁出现,故人们希望知道其分析方法。

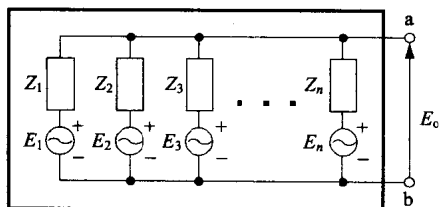


图 1.10 含多个电压源的电路

由 ab 端看,电路的阻抗 Z_o ,可用将各个电压源短路的方法求出,即

$$Z_o = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \cdots + \frac{1}{Z_n}} \quad (1.7)$$

ab 两端间的开路电压 E_o 等于多少呢?若直接来求并不简单。可以只关注 ab 端子间的短路电流。令此电流为 I_s ,则由图 1.10 可简便求得

$$I_s = \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3} + \cdots + \frac{E_n}{Z_n} \quad (1.8)$$

由于等效电路如图 1.9 所示,故 ab 端子间的开路电压 E_o 为

$$E_o = \frac{\frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3} + \cdots + \frac{E_n}{Z_n}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \cdots + \frac{1}{Z_n}} \quad (1.9)$$

式(1.9)称为米尔曼(Millman)定理。在电路分析中它是一个很方便的公式。

1.5 无量纲化与近似计算方法

电子电路分析是以带有电压或电流等有单位的物理量为对象的,而在数学中则使用无量纲数(不带单位的非物理量)。这是造成即便是简单的电路分析其计算公式也复杂的原因之一。此外,由于二极管或晶体管等有源器件在制造上的分散性或与温度的相关性会导致电特性发生变化,故严格的电路分析也没有实际意义。重要的是掌握近似方法,以便能大致把握电路的工作,了解其整体情况,之后再进行详细地分析。为此,必须使电路工作的计算表达式近似化。然而,对含有多个物理量的计算式来说,近似化并不简单。由于近似计算适用于相同物理量彼此的大小关系,故将计算式无量纲化非常重要。下面介绍为粗略掌握电路特性而利用计算式的无量纲化进行近似计算的方法。

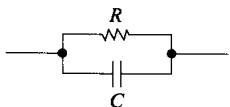


图 1.11 高频使用的电阻器的一种等效电路

图 1.11 表示高频时使用的电阻器的一种等效电路。 R 为直流电阻值, C 为分布电容。根据图示等效电路,可以计算出此电阻器的频率特性。令阻抗为 Z ,则

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} \quad (1.10)$$

由此,若在式(1.10)中代入 R 与 C 的数值,以 ω 为变量进行计算,即可得到 Z 的频率特性。若不知道 R 与 C 的数值时,情况该如何呢? 因 Z 的大小为

$$|Z| = \left| \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} \right| = \left| \frac{R}{1 + j\omega CR} \right| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (1.11)$$

故

$$\frac{|Z|}{R} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad (1.12)$$