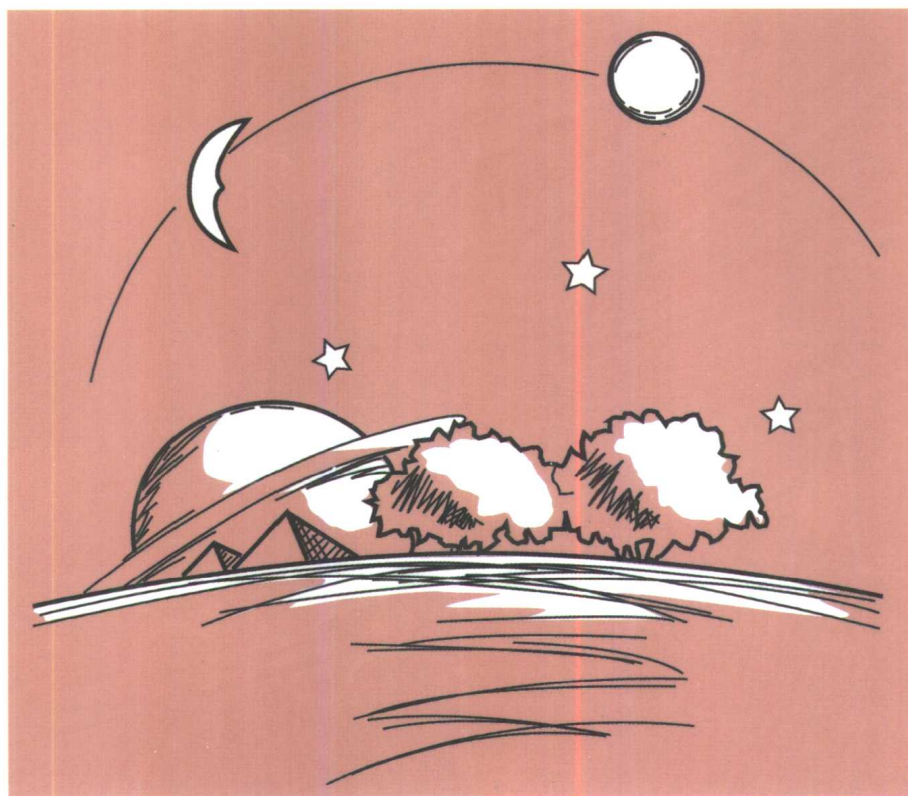


图解电子电路习题集系列 2

模拟电路 I

习题集

〔日〕 高木宣昭 竹内 守 佐野敏一 著



科学出版社 OHM社

图解电子电路习题集系列②

模拟电路 I

习题集

〔日〕高木宣昭 竹内 守 佐野敏一 著
吕砚山 译



科学出版社 OHM 社

图字:01-2000-3221 号

Original Japanese edition

Etoki Denshi Kairo Enshuu Shirizu ② Anarogu Kairo no Kiso Enshuu (I)

by Nobuaki Takagi, Mamoru Takeuchi and Toshikazu Sano

Copyright © 1991 by Nobuaki Takagi, Mamoru Takeuchi and Toshikazu Sano

Published by Ohmsha, Ltd.

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

Copyright © 2000

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

絵とき電子回路演習シリーズ②

アナログ回路の基礎演習 (I)

高木宣昭 竹内 守 佐野敏一 オーム社 1991

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电路 I 习题集 / (日) 高木宣昭等著 ; 吕砚山译 .

- 北京 : 科学出版社 , 2001. 1

(图解电子电路习题集系列 ②)

ISBN 7-03-008944-8

I. 模… II. ①高…②吕… III. 模拟电路-习题 IV. TN710-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 75201 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

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

2001 年 1 月第 一 版 开本: 890 × 1240 A5

2001 年 1 月第一次印刷 印张: 8 3/4

印数: 1—5 000

字数: 226 000

定 价: 17.50 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换 (新欣))

译者序

日本高木宣昭等编写的《模拟电路(I)习题集》和柄本治利等编写的《模拟电路(II)习题集》是为电子技术的初学者或爱好者提供的一套有关模拟电子技术的例题和习题集,是与图解电子电路系列第2卷《模拟电路I》、第3卷《模拟电路II》配套的姊妹篇。后两本书在我国已有中译本发行(张建荣译,科学出版社1997年出版)。

与国内已有的若干同类书籍相比,这两本习题集的主要特点是内容丰富而又简明扼要,书中列举了模拟电路的主要问题,从各种器件、电路到实际应用,概括较为全面。在阐述方法上则是通过总结(例如每章的要点、每节的重点等)和例题,将模拟电子电路重要的基本概念、基本理论和基本方法,系统地予以总结,并将理论讲解和计算练习紧密结合,使读者能避开枯燥的叙述和繁复的推演,通过一个个具体问题饶有兴趣地学习和掌握理论知识。由此还可以说,这两本书既可与已出版的两本《模拟电路》配套使用,又完全可以自成体系,单独使用。这是本套书的又一特点。此外,书中较好地使用了启发式的叙述方法,主要体现在,对于给出的大量例题在提出问题之后,并不是直接给以解答,而是在“解答”之前,先给出一个很重要的“解法”分析或提示,使读者能进行正确的思考,掌握理论联系实际的方法,进而再去学习和解决具体问题,有助于培养举一反三的能力。书中在每章还针对读者情况给出了相当数量的认知层次合理、难度适宜的习题和思考题,在书末给出了每道题的简要解答。读者若能在理解和掌握书中理论的基础上,独立地解决这些问题,达到原作者的要求也就不在话下。

总之,这是一套由浅入深、引人入胜的好书。现在由科

学出版社安排将其译出,奉献给国内读者,相信会对大家有所帮助。

最后还要说明,本书虽经译者尽心翻译,并对个别地方作了订正,但限于水平以及时间仓促,疏漏或错误之处难免,敬请读者批评指正。

吕砚山

前 言

本书是与已出版的图解电子电路系列第2卷《模拟电路(I)》配套的习题集,它以经常使用晶体管、集成电路或准备开始学习电子电路的人们为对象,主要讨论放大电路的计算和实际应用问题。

为了能给读者带来满意的学习效果,作者在执笔时力求贯彻以下各点。

(1)做本书的练习时,虽然可参考上述已出版的《模拟电路(I)》以便于理解,但仅用本书进行练习也是能够完全理解学习内容的。

(2)提倡先认真理解各节的要点,然后再去作练习。

(3)若例题仅靠要点的提示尚不能作出解答时,还安排有解法一项,以弥补要点中说明的不足。

(4)在各章末,安排了与例题相适应的、读者能够独自解答的习题。

以上为本书的结构特点,如果本书能够作为电子电路的启蒙书或是入门书来使用,作者将感到十分荣幸。

本书在编写过程中,参考了许多老前辈的著作。值此出版之际,作者向这些前辈们以及给予了许多指导和帮助的日本欧姆社出版部各位先生表示衷心的感谢。

作 者

作者简介

高木宣昭

- 1964 年 东京工业大学工业教师培训所毕业
1989 年 横滨国立大学研究生院硕士学位课程(技术教育专业)结业
现在 东京工业大学工学院附属工业技术学校电子专业教师

竹内 守

- 1967 年 东京工业大学工业教师培训所毕业
现在 东京工业大学工学院附属工业技术学校电气专业教师

佐野敏一

- 1971 年 东京电机大学毕业
现在 东京工业大学工学院附属工业技术学校电气专业教师

译者简介

吕砚山

- 1959 年 清华大学电机系毕业
1985 年 东京理科大学电气工学科交流教授
1987 年至今 北京化工大学自动化系教授

目 录

1	放大电路基础	1
1.1	放大原理	2
1.2	基本放大电路	13
1.3	放大倍数	23
1.4	h 参数等效电路	27
1.5	基本放大电路的放大倍数和输入、输出阻抗	33
1.6	放大电路的分类	39
	习 题	43
2	偏置电路	49
2.1	偏置的必要性	50
2.2	偏置电路的种类和特点	57
2.3	稳定性	63
2.4	温度补偿电路	66
	习 题	74
3	低频小信号放大电路	77
3.1	RC 耦合放大电路的基础	78
3.2	确定最佳工作点的方法	85
3.3	频率特性与电容	90
3.4	两级 RC 耦合放大电路	98
3.5	射极跟随放大电路	104
3.6	其他小信号放大电路(1)	112
3.7	其他小信号放大电路(2)	114
	习 题	117

4	负反馈放大电路	119
4.1	负反馈放大电路的工作原理	120
4.2	负反馈放大电路的特点	126
4.3	负反馈放大电路的应用	131
4.4	双重负反馈放大电路	138
	习 题	144
5	功率放大电路	147
5.1	集电极功耗和热设计	148
5.2	甲类功率放大电路	154
5.3	推挽功率放大电路	161
	习 题	168
6	高频放大电路	171
6.1	高频放大电路的基本工作原理	172
6.2	高频特性	181
6.3	单调谐放大电路	187
	习 题	195
7	场效应管放大电路	197
7.1	场效应管的基础	198
7.2	场效应管放大电路的基本工作原理	206
7.3	偏置电路	213
7.4	场效应管放大电路的频率特性	218
	习 题	224
8	集成放大电路	227
8.1	差动放大电路的基本工作原理	228
8.2	运算放大器的工作原理	233
8.3	运算放大器的应用	240
	习 题	246
	习题解答	249

1

放大电路基础

晶体管的功能主要有开关作用和放大作用两个方面。开关作用主要用于电子计算机以及工厂的各种控制设备之中,而放大作用则在收音机、电视机等电子设备中被广泛利用。

一般所谓放大,是指把输入信号的幅度照原样地加以扩大,并在输出端输出。其实质是晶体管放大电路在起作用,为驱使晶体管工作需要外加电源,利用此电源提供的能量,将施加在输入端的输入信号变换为放大电路的输出。在本章中,将学习上述有关晶体管电压的施加方法以及放大作用等问题。

1.1 放大原理

要

点

(1) 电路的种类

晶体管有 npn 型和 pnp 型两种,带箭头的电极为发射极,此箭头方向表示电流的流动方向,各电极的电流之间具有下列关系:

$$I_E = I_B + I_C \quad (1.1)$$

为使晶体管能工作,必须在其发射极-基极之间施加正向电压 V_{BB} ,而在基极-集电极之间施加反向电压 V_{CC} ¹⁾,如图 1.1 所示。

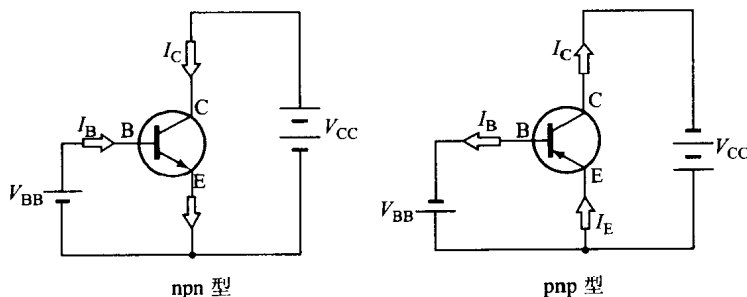


图 1.1 发射极接地电路

图 1.1 所示电路,一直被称作发射极接地电路,其发射极是公共的接地端。这种电路作为晶体管放大电路,在许多电子设备的放大器中得到应用。

此外,图 1.2 所示电路则具有共同的基极,在发射极上施加信号,而由集电极以放大形式输出,被称作基极接地电路。

1) 应在集电极-发射极间外加电压 V_{CC} ,使 $|V_{CC}| > |V_{BB}|$,故集电结承受反向电压。——译者注

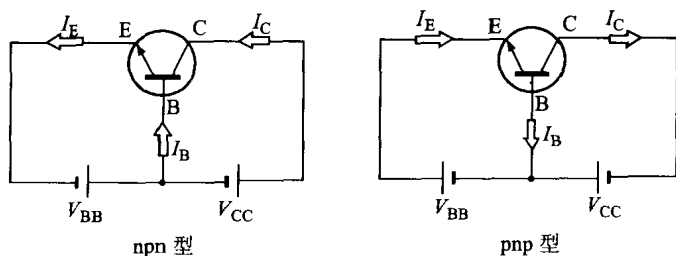


图 1.2 基极接地电路

(2) 放大系数的标准

衡量上述两种接地电路的电流放大系数的标准,是输入电流与输出电流的变化量之比。对于发射极接地电路是

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \beta (h_{fe}) \quad (1.2)$$

对基极接地电路是

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \alpha (h_{fb}) \quad (1.3)$$

分别被称为发射极接地的电流放大系数、基极接地的电流放大系数。

两者之间的关系为

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (1.4)$$

一般 β 的数值为 100 ~ 200, α 的数值为 0.95 ~ 0.995。

例 题 1)

在图 1.3 所示基极接地电路中,当基极电流变化量 ΔI_B 为 2mA 时,集电极电流变化量为 38mA,求此时的电流放大系数 $h_{fb} (= \alpha)$ 。

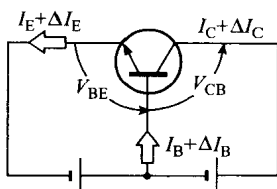


图 1.3 基极接地电路

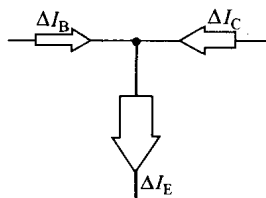


图 1.4 电流的关系

解 法

(1) 晶体管的基极、集电极、发射极的电流之间,具有下列关系:

$$I_E = I_B + I_C \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

此外,各电流的变化量之间,也存在与式①同样的关系(图 1.4):

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

(2) 基极接地电路的电流放大系数 $h_{fb} (= \alpha)$,由下式给出:

$$h_{fb} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

答 案

(1) 由式② $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$ 可知,

$$\Delta I_E = 2 \times 10^{-3} + 38 \times 10^{-3} = 40 \times 10^{-3} \text{ A} = 40 \text{ mA}$$

(2) 由式③ $h_{fb} = \Delta I_C / \Delta I_E$, 可知

$$h_{fb} = \frac{38 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-3}} = 0.95$$

通常 h_{fb} 的数值小于 1。在这种情况下,虽然 ΔI_C 小于 ΔI_E , 电流并未被放大,但仍将 h_{fb} 称作放大系数。因为这只是考虑电流的情形,如果再考虑到集电极端和发射极端的电压变化之比,就会明白是有大于 1 的放大情况发生。

例 题 2

在图 1.5 所示发射极接地电路中,若基极电流的变化量 ΔI_B 增加 3mA,集电极电流的变化量 ΔI_C 则增加 150mA。求此时的 $h_{fe} (= \beta)$ 。

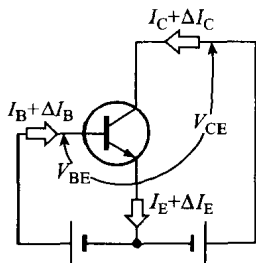


图 1.5 发射极接地电路

解 法

电流放大系数 $h_{fe} (= \beta)$,可由下式给出:

$$h_{fe} (= \beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \dots\dots\dots ①$$

答 案

由式①可求出

$$h_{fe} (= \beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{150 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-3}} = 50$$

即集电极电流的变化量 ΔI_C ,按基极电流变化量 ΔI_B 的 50 倍而变化。这意味着在基极(输入)侧的微小变化被放大到 50 倍,传送到集电极(输出)侧。上述关系可由式①表示为:

$$\Delta I_C = h_{fe} \Delta I_B = 50 \times 3 \times 10^{-3} = 150 \times 10^{-3} = 150\text{mA}$$

例 题 3

在图 1.6 所示发射极接地电路中,当 V_{BE} 从 0.1V 变化到 0.4V 时,基极电流从 0.2mA 变化到 0.8mA,集电极电流从 14mA 变化到 44mA。求此时

的电流放大系数 $h_{fe}(=\beta)$ 。

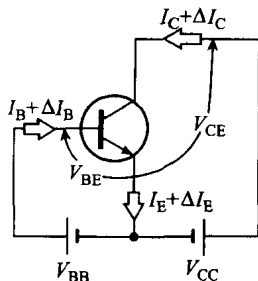


图 1.6 发射极接地电路

解 法

求出基极电流的变化量 ΔI_B 和集电极电流的变化量 ΔI_C ，然后代入式①，就能求得电流放大系数，即

$$h_{fe}(=\beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \dots\dots\dots ①$$

答 案

基极电流的变化量 ΔI_B 及集电极电流的变化量 ΔI_C ，可由此二电流在变化后的大小减去变化前的大小而得到：

$$\Delta I_B = (0.8 - 0.2) \times 10^{-3} \text{ A} = 0.6 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$\Delta I_C = (44 - 14) \times 10^{-3} \text{ A} = 30 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$\text{所以 } h_{fe}(=\beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{30 \times 10^{-3}}{0.6 \times 10^{-3}} = 50$$

即集电极电流的变化量(输出信号电流) ΔI_C ，相当于基极电流变化量(输入信号电流) ΔI_B 的 50 倍。

例 题 4)

试分析在 $h_{fe}(=\beta)$ 与 $h_{fb}(=\alpha)$ 之间存在何种关系，并将 $h_{fe}(=\beta)$ 用 $h_{fb}(=\alpha)$ 来表示，将 $h_{fb}(=\alpha)$ 用 $h_{fe}(=\beta)$ 来表示。

解 法

可利用晶体管电路中存在的下列关系来分析：

$$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$h_{fe} (= \beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$h_{fb} (= \alpha) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{3}$$

答 案

由式②可得

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{h_{fe}} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{4}$$

由式③可得

$$\Delta I_E = \frac{\Delta I_C}{h_{fb}} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{5}$$

将式④、⑤代入式① $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$ 中,则有

$$\frac{\Delta I_C}{h_{fb}} = \frac{\Delta I_C}{h_{fe}} + \Delta I_C$$

$$\text{所以} \quad \frac{1}{h_{fb}} = \frac{1}{h_{fe}} + 1$$

因此,

$$h_{fb} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{6}$$

此外,由式⑥可得

$$h_{fe} = \frac{1}{\frac{1}{h_{fb}} - 1} = \frac{h_{fb}}{1 - h_{fb}} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{7}$$

再有,将式⑥、⑦用 α, β 表示,得结果如下:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{8}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{9}$$

例 题 5]

试证明当 I_B - I_C 特性为直线时, 直流电流放大系数 h_{FE} 和小信号电流放大系数 $h_{fe} (= \beta)$ 相等。

解 法

在 I_B - I_C 特性上, 如图 1.7 所示取点 A 与点 B, 令基极电流 I_B 和集电极电流 I_C 的变化量分别为 ΔI_{B1} 、 ΔI_{B2} 和 ΔI_{C1} 、 ΔI_{C2} , 再用下式来计算即可:

$$\text{直流电流放大系数 } h_{FE} = \frac{\text{集电极直流电流 } I_C}{\text{基极直流电流 } I_B} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$\text{小信号电流放大系数 } h_{fe} (= \beta) = \frac{\text{集电极信号电流 } \Delta I_C}{\text{基极信号电流 } \Delta I_B} \quad \cdots \cdots \cdots \textcircled{2}$$

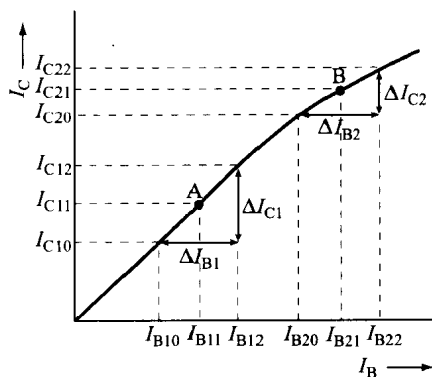


图 1.7 I_B - I_C 特性曲线

答 案

A 点(在直线段时):

$$h_{FE} = \frac{I_{C11}}{I_{B11}} = \frac{\Delta I_{C1}}{\Delta I_{B1}} = h_{fe}$$