

OHM

大学参考教材系列

# 电子电路

## (下)

〔日〕雨宫好文 著  
周南生 译  
张文敏 校



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

OHM 大学参考教材系列

# 电子电路

## (下)

〔日〕雨宫好文 著  
周南生 译  
张文敏 校

科学出版社  
北京

**图字:01-2003-4415 号**

Original Japanese language edition

Gendai Denshi Kairogaku〔Ⅱ〕

By Yoshifumi Amemiya

Copyright ©1980 by Yoshifumi Amemiya

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha, Ltd.

Copyright ©2003

All rights reserved

**現代**

**電子回路学〔Ⅱ〕**

**雨宮 好文 オーム社 2001**

**图书在版编目(CIP)数据**

电子电路(下)/(日)雨宮好文著;周南生译;张文敏校. —北京:

科学出版社, 2003

(OHM 大学参考教材系列)

ISBN 7-03-011652-6

I. 电… II. ①雨…②周…③张… 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(2003)第 057426 号

**责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨**

**责任印制 刘士平 封面设计 李 力**

**科学出版社 出版**

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 9 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2003 年 9 月第一次印刷 印张: 9 3/4

印数: 1—5 000

字数: 268 000

**定 价: 20.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

## 前 言

先前《电子电路(上)》已经面世,其内容包括放大电路、振荡电路、调制解调电路、电源电路等所谓的模拟电子电路。脉冲电路和数字电路部分归纳为数字电子电路,这就是本书的内容。

与《电子电路(上)》一样,本书也是作为大学课程的教材而编写的。

过去的教材大多着眼于教个别的事例,所以学生只能照搬所教过的事例,而遇到未教过的事例,多半都会束手无策。与此相反,本书作者采取的方针是教考虑问题的方法。为此采取了这样的思考路线:有某种需要,为了对此作出回答, $\times\times$ 电路是必需的,组成该电路的基本原理是如此这般,电路的实际例子是这样的。在思考方式上,“第一应该考虑什么,第二应该考虑什么”,“首先定性地考虑,估计大致的结果之后进行定量的考虑(计算)”。本书对上述的思考过程进行了说明。相信读者只要很好地掌握以上内容,就可以举一反三。

作为教材,《电子电路(上)》已获得好评而再次出版,我想其原因是写作的思路得到了各位教师和读者的认同。

在本书中,显然教考虑问题的方法这个基本思路是一致的。但是,在前半部分的脉冲电路里,前书中的“有某种需要……”的思考方式被换成“叙述基本电路,由这些基本电路组成了某种电路,而这种电路具有特别的性质,因此可以用于

如此这般的场合”。而在后半部分的数字电路里，则采用了两者混合的方式。

笔者对教育问题也有自己的看法，已有多篇文章以评论、叙说的形式发表在《电气学会杂志》上。本书与《电子电路(上)》一样，是基于笔者的教育理念而写的。如同西方谚语“A student is a lamp to be lit, and not a bottle to be filled”一样。不是将学生放入同一模子里进行教育，而是期望他们具有多种多样的能力，并有助于提高这种能力。

雨宫好文

## 著者简介

雨官好文

1944 年 东京工业大学电气工学科毕业

1946 年 铁道技术研究所工作

1957 年 获工学博士

1970 年 名古屋大学教授

1985 年 千叶工业大学教授

现 在 名古屋大学名誉教授

金泽工业大学教授

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 学习脉冲电路之前的预备知识 .....   | 1  |
| 1.1 何谓脉冲波 .....             | 1  |
| 1.2 何谓数字波 .....             | 3  |
| 1.3 脉冲波含有的频率成分 .....        | 4  |
| 1.4 表示脉冲形状的量 .....          | 5  |
| 练习题 .....                   | 6  |
| 第 2 章 二极管-电阻电路的响应 .....     | 9  |
| 2.1 含有二极管和直流电源的电路 .....     | 9  |
| 2.2 其他电路的例子 .....           | 12 |
| 2.3 具有多个输入端的电路 .....        | 16 |
| 练习题 .....                   | 18 |
| 第 3 章 简单 $CR$ 电路的过渡现象 ..... | 21 |
| 3.1 $CR$ 电路和阶跃电压 .....      | 21 |
| 3.2 过渡波形的图形性质 .....         | 25 |
| 3.3 稍微复杂电路的过渡现象 .....       | 26 |
| 3.4 分压器电路的情况 .....          | 29 |
| 3.5 $CR$ 电路与斜坡电压 .....      | 34 |
| 练习题 .....                   | 36 |
| 第 4 章 $CR$ 电路的脉冲响应 .....    | 39 |
| 4.1 矩形脉冲输入的响应 .....         | 39 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 4.2   | 对梯形脉冲的响应              | 43  |
| 4.3   | 其他例题的响应               | 46  |
| 4.4   | 微分电路与积分电路             | 49  |
| 4.5   | 对周期矩形脉冲输入的响应          | 55  |
|       | 练习题                   | 57  |
| <br>  |                       |     |
| 第 5 章 | 二极管- $CR$ 电路的响应 ..... | 61  |
| 5.1   | 输出端并联二极管的 $CR$ 电路     | 61  |
| 5.2   | 箝位电路的用途               | 64  |
| 5.3   | 箝位波形的做图例子             | 66  |
|       | 练习题                   | 67  |
| <br>  |                       |     |
| 第 6 章 | 晶体管的脉冲响应 .....        | 69  |
| 6.1   | 二极管的工作                | 69  |
| 6.2   | 晶体管的载流子存储作用           | 71  |
| 6.3   | 晶体管电流放大系数的频率特性        | 74  |
| 6.4   | 矩形波基极输入时集电极的输出波形      | 77  |
| 6.5   | 改善输出波形的具体方法           | 81  |
|       | 练习题                   | 86  |
| <br>  |                       |     |
| 第 7 章 | 触发器电路 .....           | 89  |
| 7.1   | 触发器的动作                | 89  |
| 7.2   | 加速电容的作用               | 96  |
| 7.3   | 触发器电路的时间分辨率           | 98  |
| 7.4   | 触发器电路的其他例子            | 101 |
| 7.5   | 触发器电路的触发              | 103 |
| 7.6   | 施密特触发器电路              | 107 |
|       | 练习题                   | 111 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>第 8 章 单稳态及自激多谐振荡器 .....</b>    | <b>115</b> |
| 8.1 集电极耦合单稳态多谐振荡器                 | 115        |
| 8.2 集电极耦合自激多谐振荡器                  | 120        |
| 8.3 由触发引起的多谐振荡器波形的同步与分频           | 121        |
| 练习题                               | 122        |
| <b>第 9 章 锯齿波发生电路 .....</b>        | <b>127</b> |
| 9.1 锯齿波的发生                        | 127        |
| 9.2 自举电路                          | 130        |
| 9.3 密勒积分电路                        | 133        |
| 练习题                               | 134        |
| <b>第 10 章 间歇振荡器 .....</b>         | <b>135</b> |
| 10.1 含有线圈的简单电路的过渡现象               | 135        |
| 10.2 单稳态间歇振荡器                     | 140        |
| 10.3 自激间歇振荡器                      | 142        |
| 10.4 间歇振荡器的同步与分频                  | 143        |
| 练习题                               | 145        |
| 脉冲电路的补充题                          | 146        |
| <b>第 11 章 学习数字电路之前的预备知识 .....</b> | <b>149</b> |
| 11.1 以数字波传送信号                     | 149        |
| 11.2 串行信号传送与并行信号传送                | 150        |
| 11.3 逻辑学与逻辑电路                     | 151        |
| 练习题                               | 158        |
| <b>第 12 章 基本门电路的工作与应用 .....</b>   | <b>159</b> |
| 12.1 基本门电路                        | 159        |

|               |                            |            |
|---------------|----------------------------|------------|
| 12.2          | 基本门电路的组合电路的例子              | 161        |
| 12.3          | NOR 电路与 NAND 电路            | 166        |
| 12.4          | 门电路的符号                     | 168        |
|               | 练习题                        | 168        |
| <b>第 13 章</b> | <b>基本触发器的工作与应用</b>         | <b>171</b> |
| 13.1          | 触发器电路的记忆作用                 | 171        |
| 13.2          | 寄存器和移位寄存器                  | 174        |
| 13.3          | 触发器电路的计数作用                 | 178        |
| 13.4          | 各种计数器                      | 179        |
|               | 练习题                        | 183        |
| <b>第 14 章</b> | <b>IC 门电路</b>              | <b>187</b> |
| 14.1          | 概 述                        | 187        |
| 14.2          | 规定 IC 门电路特性的各种参数           | 187        |
| 14.3          | DCTL 与 RTL                 | 192        |
| 14.4          | DTL 与 TTL                  | 193        |
| 14.5          | ECL(Emitter Coupled Logic) | 199        |
| 14.6          | MOS 逻辑电路                   | 200        |
| 14.7          | 小结与补充                      | 202        |
|               | 练习题                        | 205        |
| <b>第 15 章</b> | <b>IC 触发器与 IC 存储器</b>      | <b>209</b> |
| 15.1          | 各种 IC 触发器                  | 209        |
| 15.2          | 主从 FF                      | 215        |
| 15.3          | IC 存储器                     | 220        |
|               | 练习题                        | 223        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第 16 章 逻辑代数与逻辑电路</b> .....    | 227 |
| 16.1 设计逻辑电路                      | 227 |
| 16.2 表示基本逻辑的式子                   | 227 |
| 16.3 逻辑代数的基本公式                   | 229 |
| 16.4 德·摩根(de Morgan)定理与相对原理      | 232 |
| 16.5 逻辑电路的解析                     | 235 |
| 16.6 逻辑公式的简化方法                   | 238 |
| 16.7 逻辑公式的加法与乘法形式                | 242 |
| 练习题                              | 246 |
| <b>第 17 章 组合逻辑电路的合成</b> .....    | 249 |
| 17.1 概 述                         | 249 |
| 17.2 使用 NAND 或 NOR 门电路           | 249 |
| 17.3 组合电路的合成                     | 251 |
| 17.4 加法电路                        | 258 |
| 17.5 编码器与译码器                     | 260 |
| 练习题                              | 264 |
| <b>第 18 章 时序逻辑电路的解析与合成</b> ..... | 267 |
| 18.1 概 述                         | 267 |
| 18.2 时序电路的解析程序                   | 267 |
| 18.3 复杂的例题                       | 271 |
| 18.4 时序电路的合成程序                   | 275 |
| 18.5 复杂的例题                       | 277 |
| 练习题                              | 282 |
| <b>第 19 章 计数器的解析与合成</b> .....    | 285 |
| 19.1 概 述                         | 285 |
| 19.2 并行计数器的解析例子                  | 286 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 19.3 串行计数器的解析例子 | 288 |
| 19.4 并行计数器的合成例子 | 291 |
| 练习题             | 292 |
| 练习题答案           | 295 |

# 第 1 章 学习脉冲电路之前的预备知识

## 1.1 何谓脉冲波

在正弦波或其失真的波中，瞬时值只在瞬间停留在零线上。然而，在图 1.1 所示的波形例子中，(a)，(b)，(d)等则以较长的时间停留在零线上。

如图 1.1 所示，在非正弦波中，将非常失真的波称为脉冲波。有如图所示的周期脉冲波，也有非周期的脉冲波，还有仅是一个孤立出现的脉冲波。

图 1.1(d)是最基本的脉冲波，称为周期矩形脉冲波。

在图 1.1(d)中， $T$  称为重复周期， $1/T$  称为重复频率， $\tau$  称为脉冲宽度， $\tau/T$  称为占空比(duty ratio)。另外，如果考虑将周期  $T$  变为非常大的极限情况，则产生孤立的脉冲波。

如图 1.2 所示，任意的波都可以认为是无数孤立矩形脉冲 A, B, C, ... 的叠加。因此首先要学习处理孤立矩形脉冲的方法，例如将孤立矩形脉冲加到输入

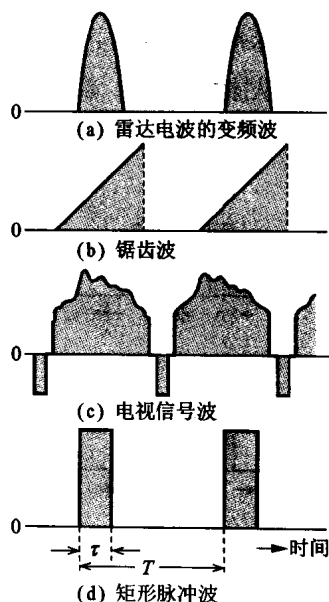


图 1.1 各种脉冲波形

端,求在输出端输出的波形,由此得到的知识成为理解脉冲电路工作的出发点。

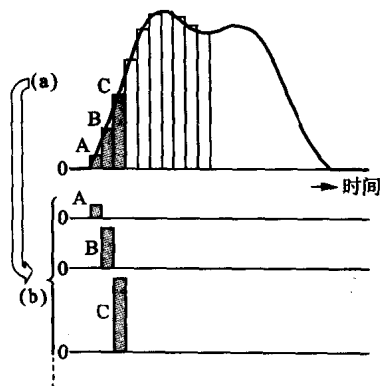


图 1.2 任意波可由孤立脉冲重叠而成

脉冲电路是应用了含有二极管或晶体管的简单的过渡现象的电路。从本书的第1章到第6章,都是按照下述的形式进行叙述的:从简单电路逐渐过渡到稍复杂电路,之后就能知道该电路的用途。在

叙述过程中,会出现各种各样的脉冲电路。从第7章到第10章,叙述了以触发器为代表的脉冲电路,以及其他有名的脉冲电路

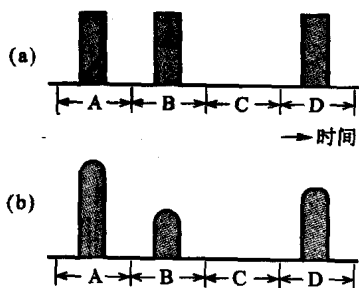


图 1.3 数字波的例子

图 1.3 所示的波形也是脉冲波的一种,也可以称为数字波。处理数字波的电路称为数字电路。第11章以后将介绍数字电路。

## 1.2 何谓数字波

### 1. 脉冲波和数字波

考虑一下图 1.3 中的(a)和(b)有何共同之处和不同之处。

两者的不同之处是(a)的脉冲高度是整齐的, (b)的脉冲高度是高低不一的。另外, (b)的脉冲顶部是圆形的。那么, 两者有何相同之处呢?

现在若把时间(横轴)分割成 A, B 等区间, 则两者都在 A, B, D 区间有脉冲, 而在 C 区间没有脉冲, 这成为相同之处。

这样, 只要着眼于某时间区间“有”或“没有”(1 或 0)脉冲, 那么“有”脉冲时的高度变化等就不成为问题了, 这时, 称此为数字波。

### 2. 使用数字波的优点

将电信号传送到远处或者电信号通过复杂电路时, 由于其他原因产生的噪声或感应, 多次通过电路, 因而会产生波形失真。如果使用数字波, 则其损害能够减少。这是因为在数字电路里, 被破坏的波形能够再次复原成原来的波形。其波形表示在图 1.4 中。

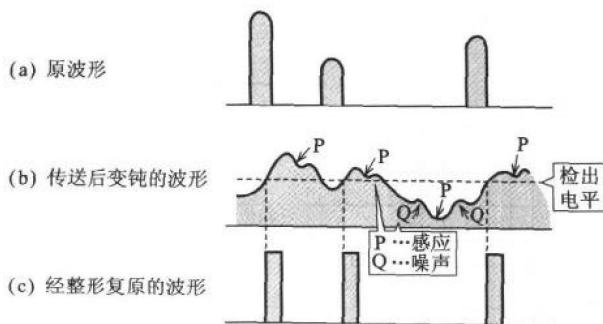


图 1.4 数字波复原的样子

## 1.3 脉冲波含有的频率成分

### 1. 频谱的例子

可以认为脉冲波是由许多正弦波相互重叠而成的。即脉冲波含有许多频率成分。

图 1.5 表示的是周期脉冲频谱的例子。它能够由傅里叶级数计算求得。由图 1.5 可知,矩形脉冲具有无数的频率成分,笼统而言是具有  $1/\tau$  的频率成分。

可以知道,不管脉冲是否是矩形,都有下列的结果:

- ① 脉冲宽度  $\tau$  越小,频率宽度越宽(在图 1.5 中  $1/\tau$  变大)。
- ② 重复周期  $T$  越大,相邻频率间隔越窄。但是频率宽度不变宽。

因此结论是:在处理宽度较窄的脉冲时,必须使用高频性能好(高频时性能不能下降)的元件(二极管、晶体管、电阻、电容、线圈、变压器等)或电路(放大电路、延迟电路等)。

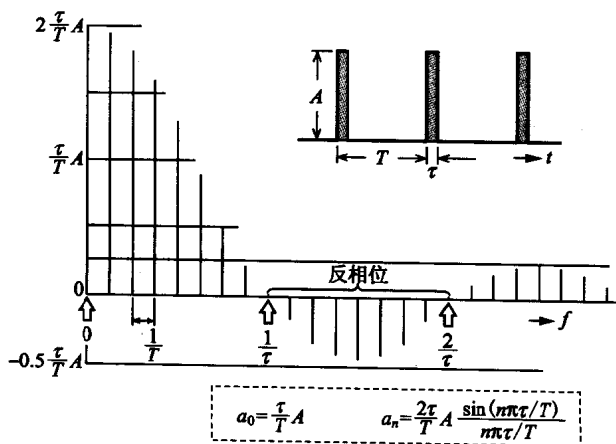


图 1.5 周期矩形脉冲的频谱

## 2. 舍弃高的频率成分

从宽度为  $\tau$  的矩形脉冲中, 舍弃  $f_c$  以上频率成分之后的波形, 可以近似地计算, 如图 1.6 所示。

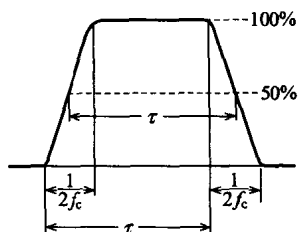


图 1.6 由矩形脉冲将  $f_c$  以上的频率成分舍弃之后的波形

# 1.4 表示脉冲形状的量

## 1. 实际的脉冲波

在图 1.1(d)所示的矩形脉冲波里, 其上升沿、下降沿都是垂直的。即由 0 开始到脉冲顶部或者低部, 都是瞬间跳跃(称这种变化为阶跃变化)的。但是实际上却得不到这样的波。

在实际中, 如果把所谓矩形脉冲的横轴放大, 则成为图 1.7(a)那样。在某些场合, 如同图 1.7(b)那样, 脉冲的后沿比前沿下降  $s$ 。还有如图(c)所示, 脉冲顶部也有波浪形的情况。在上升沿的最后处比最终值  $E$  高出  $u_1$ , 在下降沿的最后处比零线低  $u_2$ 。

表示脉冲形状的量定义为上升时间、下降时间。在图 1.7(b)的波形中, 下降时间不能明确的确定。