

半导体脉冲与开关电路

[美] S.S.巴塞 著

罗耀光 李战勇 王小春 编译

陈小敬 审校



人民邮电出版社

半导体脉冲与开关电路

[美] S. S. 巴塞 著

罗耀光 李战勇 王小春 编译

陈小敏 审校

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书主要讲述脉冲与开关电路，其内容包括：基本的电路定律和定理；常见波形；线性波形形成电路；二极管的开关特性；晶体管开关；双稳态多谐振荡器；单稳和无稳多谐振荡器；扫描发生器；其它脉冲电路；脉冲延迟电路；数字逻辑与集成电路；集成逻辑功能器件等十二章。每章附有思考题、习题和实验，并有小结及习题答案。是一本内容比较全面的基础教材。

全书理论联系实际。在叙述上具有由浅入深，通俗易懂的特点。它可作为大专院校的教材，也适合工程技术人员自学和参考。

半导体脉冲与开关电路

[美] S. S. 巴塞 著

罗耀光 李战勇 王小春 编译

陈小敏 审校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河南邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1985年6月第一版

印张：16 页数：256 1985年6月河南第一次印刷

字数：421千字 印数：1—14,500册

统一书号：15045·总2993-无6319

定价：3.10元

前 言

本书是以[美]S·S巴塞编写的半导体脉冲与开关电路(Semiconductor pulse and switching circuits)为基础,并结合国内情况加以删改与补充而编译成的。原版书以简洁易懂的文字叙述和大量的实例,阐明了脉冲与开关电路的主要内容和最新的成就。全书共十二章(另编写一章),主要包括:基本的电路定律和定理;常见波形;二极管和晶体管开关特性;线性波形形成电路;双稳、单稳、无稳多谐振荡器;扫描发生器;其它脉冲电路;脉冲延迟电路;数字逻辑与集成电路;集成逻辑功能器件等。

原版书的特点是:从物理概念到设计计算,都采取了由易到难,由简到繁的方法,尽量避免繁重和高深的数学推导,而着重说明其物理含义。就全书而言,通俗易懂,由浅入深,达到了适当的深度与广度,并有一定的时代特色。书中每章都附有例题、小结、思考题、习题和实验,并有习题答案,以便学生学习,也可供教师在各个教学环节中参考。

但是原书中除印刷错误外,各章前后内容重复较多,每章都有一些繁琐的部分,并且缺少一部分重要内容。

经编译后保留了原有的优点,改正了印刷错误,精简掉重复和繁琐的部分,增加了“集成注入逻辑”和“集成逻辑功能器件”的内容,并使全书结构较紧密完整。

本书内容是计算机、电子工程及其它工程的基础课。了解与掌握这些基础理论、知识和技能,可为后继课打下比较广泛的而牢固的基础,以适应发展新技术的需要。

本书第一、二、三、四、五章由王小春同志译,经孙惠华同志编译修改定稿,第六、七章由李战勇同志编译,第八、九、十、

十一、十二章由罗耀光同志编译，全书由罗耀光同志统编，由陈小敬同志审校。

由于作者水平有限，疏漏之处，敬希读者批评指正。

编译者 1984. 2

目 录

| | |
|----------------|----|
| 第一章 基本的电路定律和定理 | 1 |
| 第一节 电位差和电流 | 1 |
| 第二节 电阻 | 2 |
| 第三节 电功率 | 4 |
| 第四节 电容 | 5 |
| 第五节 容抗 | 7 |
| 第六节 电感 | 9 |
| 第七节 感抗 | 10 |
| 第八节 基尔霍夫定律 | 12 |
| 第九节 串联与并联电路 | 14 |
| 第十节 迭加定理 | 18 |
| 第十一节 代文宁定理 | 21 |
| 小结 | 24 |
| 思考题 | 26 |
| 习题 | 27 |
| 实验 | 28 |
| 第二章 常见波形 | 34 |
| 第一节 函数 | 34 |
| 一 阶跃函数 | 34 |
| 二 斜坡函数 | 35 |
| 三 指数函数 | 36 |
| 第二节 波形 | 36 |
| 一 周期波形 | 36 |
| 二 正弦波 | 40 |

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 三 | 矩形波 | 41 |
| 四 | 方波 | 42 |
| 五 | 脉冲波 | 42 |
| 六 | 锯齿波 | 49 |
| 七 | 其他常见波形 | 49 |
| 小结 | | 50 |
| 思考题 | | 51 |
| 习题 | | 51 |
| 实验 | | 53 |
| 第三章 | 线性波形形成电路 | 57 |
| 第一节 | RC 低通电路 | 57 |
| 第二节 | RC 低通电路对阶跃输入的响应 | 58 |
| 第三节 | RC 低通电路对脉冲波输入的响应 | 65 |
| 第四节 | RC 高通电路 | 69 |
| 第五节 | RC 高通电路对脉冲波输入的响应 | 70 |
| 第六节 | RL 电路对阶跃输入的响应 | 78 |
| 第七节 | RLC 电路对阶跃输入的响应 | 80 |
| 第八节 | RLC 电路的衰减特性 | 82 |
| 第九节 | 衰减器 | 87 |
| 小结 | | 90 |
| 思考题 | | 92 |
| 习题 | | 92 |
| 实验 | | 94 |
| 第四章 | 二极管的开关特性 | 101 |
| 第一节 | 实用的二极管 | 101 |
| 一 | 正向偏置的二极管 | 101 |
| 二 | 反向偏置的二极管 | 103 |
| 三 | 结电容 | 104 |
| 四 | 最大反向电压 (PIV) | 104 |

| | | |
|------------|--------------|------------|
| 五 | 二极管的额定功率 | 105 |
| 第二节 | 理想二极管 | 105 |
| 第三节 | 二极管的开关电路 | 106 |
| 第四节 | 开关二极管的瞬态特性 | 107 |
| 第五节 | 串联二极管限幅器 | 111 |
| 第六节 | 并联二极管限幅器 | 115 |
| 第七节 | 外加偏压的削波器 | 117 |
| 第八节 | 二极管双向削波器 | 120 |
| 第九节 | 微分器和削波器组合电路 | 124 |
| 第十节 | 二极管箝位器 | 126 |
| 第十一节 | 偏压箝位器 | 131 |
| 第十二节 | 二极管比较器 | 134 |
| 小结 | | 135 |
| 思考题 | | 136 |
| 习题 | | 136 |
| 实验 | | 138 |
| 第五章 | 晶体管开关 | 142 |
| 第一节 | 双极型晶体管的特性 | 142 |
| 一 | 晶体管的特性 | 144 |
| 二 | 理想晶体管 | 145 |
| 第二节 | 晶体管开关 | 145 |
| 第三节 | 实用晶体管开关的瞬态过程 | 148 |
| 第四节 | 晶体管反相器 | 152 |
| 第五节 | 场效应管特性 | 156 |
| 第六节 | MOS 场效应管开关 | 159 |
| 第七节 | MOS 场效应管反相器 | 160 |
| 第八节 | TTL 集成电路反相器 | 161 |
| 小结 | | 163 |
| 思考题 | | 165 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 习题 | 165 |
| 实验 | 166 |
| 第六章 双稳态多谐振荡器 | 172 |
| 第一节 多谐振荡器 | 172 |
| 一 正逻辑 | 173 |
| 二 负逻辑 | 173 |
| 三 多谐振荡器的类型 | 173 |
| 第二节 R-S 触发器 | 174 |
| 第三节 T 触发器 | 175 |
| 第四节 R-T-S 触发器 | 177 |
| 第五节 J-K 触发器 | 177 |
| 第六节 触发器电路 | 177 |
| 第七节 加速电容 | 181 |
| 第八节 射极耦合触发器电路 | 189 |
| 第九节 R-S 电平触发 (dc) | 193 |
| 第十节 R-S 边缘触发 (ac) | 197 |
| 第十一节 T 触发 | 200 |
| 第十二节 R-T-S 触发的射极耦合触发器 | 203 |
| 第十三节 金属氧化物半导体场效应管 | 205 |
| 第十四节 集成触发器 | 210 |
| 小结 | 213 |
| 思考题 | 215 |
| 习题 | 215 |
| 实验 | 216 |
| 第七章 单稳和无稳态多谐振荡器 | 221 |
| 第一节 单稳态多谐振荡器 | 221 |
| 一 基本特性 | 221 |
| 二 单稳态多谐振荡器的工作原理 | 223 |
| 第二节 单稳态多谐振荡器的设计 | 226 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 第三节 | 单稳态多谐振荡器电路的触发 | 234 |
| 第四节 | 无稳态多谐振荡器 | 237 |
| 一 | 基本特性 | 237 |
| 二 | 无稳态多谐振荡器的工作原理 | 238 |
| 第五节 | 无稳态多谐振荡器电路的设计 | 239 |
| 第六节 | 无稳态多谐振荡器的同步 | 244 |
| 第七节 | MOS 场效应管单稳态多谐振荡器 | 246 |
| 第八节 | MOS 场效应管无稳态多谐振荡器 | 250 |
| 第九节 | 集成单稳态多谐振荡器 | 252 |
| 小结 | | 256 |
| 思考题 | | 258 |
| 习题 | | 258 |
| 实验 | | 261 |
| 第八章 | 扫描发生器 | 266 |
| 第一节 | 电压扫描原理 | 266 |
| 第二节 | 无稳态扫描电路 | 268 |
| 第三节 | 晶体管扫描发生器 | 270 |
| 第四节 | 密勒(Miller)扫描(积分)电路 | 273 |
| 第五节 | 自举扫描电路 | 279 |
| 第六节 | “恒流”扫描发生器 | 284 |
| 第七节 | 电流扫描的产生 | 289 |
| 小结 | | 294 |
| 思考题 | | 295 |
| 习题 | | 296 |
| 实验 | | 298 |
| 第九章 | 其他脉冲电路 | 304 |
| 第一节 | 施密特触发器 | 304 |
| 一 | 施密特触发器的工作原理 | 305 |
| 二 | 施密特触发器的设计 | 306 |

| | | |
|-------------|-----------------------|------------|
| 第二节 | 集成电路(IC)施密特触发器及其应用 | 313 |
| 第三节 | 单结晶体管(UJT)特性 | 315 |
| 第四节 | UJT 张弛振荡器 | 319 |
| 第五节 | 555 计时器 | 324 |
| 第六节 | 555 计时器用作单稳态多谐振荡器(MV) | 326 |
| 第七节 | 555 计时器用作无稳态多谐振荡器 | 327 |
| 第八节 | 555 计时器用作斜坡(扫描)发生器 | 329 |
| 小结 | | 331 |
| 思考题 | | 332 |
| 习题 | | 333 |
| 实验 | | 334 |
| 第十章 | 脉冲延迟电路 | 347 |
| 第一节 | 变压器的基本特性 | 347 |
| 第二节 | 脉冲变压器 | 351 |
| 一 | 理想的脉冲变压器 | 351 |
| 二 | 实际的脉冲变压器 | 352 |
| 第三节 | 电磁型延迟线 | 357 |
| 一 | 集总参数延迟线 | 358 |
| 二 | 分布参数延迟线 | 361 |
| 第四节 | 电子型延迟线 | 366 |
| 小结 | | 371 |
| 思考题 | | 372 |
| 习题 | | 373 |
| 实验 | | 374 |
| 第十一章 | 数字逻辑与集成电路 | 378 |
| 第一节 | 两种逻辑状态 | 378 |
| 第二节 | 基本逻辑运算 | 380 |
| 一 | 非门 | 380 |
| 二 | 与门 | 381 |

| | | |
|-------------|----------------------------|------------|
| 三 | 或门 | 383 |
| 四 | 与非门和或非门 | 385 |
| 第三节 | 逻辑表达式的简化 | 386 |
| 第四节 | 用逻辑门实现逻辑表达式 | 389 |
| 第五节 | 卡诺图 | 394 |
| 第六节 | 组合开关网络的设计 | 397 |
| 第七节 | 二极管逻辑门 | 401 |
| 第八节 | 电阻—晶体管逻辑(RTL) | 404 |
| 第九节 | 二极管—晶体管逻辑(DTL) | 407 |
| 第十节 | 晶体管—晶体管逻辑(TTL) | 409 |
| 第十一节 | 发射极耦合逻辑门(ECL) | 410 |
| 第十二节 | 互补晶体管逻辑门(CTL) | 413 |
| 第十三节 | 高阈值逻辑门(HTL) | 414 |
| 第十四节 | 互补金属氧化物半导体(CMOS)逻辑门 | 415 |
| 第十五节 | 集成注入逻辑(I ² L) | 418 |
| 一 | I ² L基本单元的结构和特点 | 420 |
| 二 | I ² L电路的逻辑组合 | 421 |
| 三 | I ² L电路的优缺点 | 422 |
| 小结 | | 425 |
| 思考题 | | 426 |
| 习题 | | 427 |
| 实验 | | 429 |
| 第十二章 | 集成逻辑功能器件 | 433 |
| 第一节 | 编码器 | 433 |
| 第二节 | 译码器 | 435 |
| 一 | 集成电路与非门二进制译码器 | 436 |
| 二 | 二—十进制译码器及显示电路 | 437 |
| 第三节 | 加法器 | 447 |
| 一 | 半加器 | 447 |

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 二 | 全加器 | 448 |
| 三 | 串行进位加法器 | 450 |
| 第四节 | 寄存器和移位寄存器 | 451 |
| 一 | 寄存器 | 451 |
| 二 | 移位寄存器 | 454 |
| 第五节 | 计数器 | 457 |
| 一 | 二进制计数器 | 457 |
| 二 | 十进制计数器 | 466 |
| 小结 | | 469 |
| 思考题 | | 470 |
| 习题 | | 471 |
| 实验 | | 471 |
| 附录 | A-1—A-5 | 474 |
| | 部分习题答案 | 483 |
| | 参考资料 | 498 |

第一章 基本的电路定律和定理

内 容 提 要

本章首先复习电流、电位差等基本内容，并建立电路分析中经常用到的重要概念。然后复习欧姆定律、基尔霍夫定律、迭加定理和代文宁定理。还复习了电路元件——电阻、电容、电感的定义，容抗、感抗、阻抗的含意，对元件串、并联电路进行演算。

本章所涉及的内容，在其它各章的学习中都将用到，所以必须熟练掌握。

第一节 电位差和电流

一般情况下，电源(例如发电机、电池)都具有两个输出端。电源的基本功能就是由一个输出端产生多余电子，并连续地向另一个缺少电子的输出端供给。具有多余电子的一端称为负极，缺少电子的一端称为正极，这样在电源两端之间就有电位差，其测量单位为伏(V)。在实用上常要用较大的单位：千伏(kV)和较小的单位：毫伏(mV)、微伏(μV)，它们与伏的换算关系如下：

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, \quad 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}, \quad 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

当一个电路接通电源时，则该电路就提供了电荷流动的通道。在电路中电荷流动的速率称为电流(I)。它的单位为安(A)。在实际使用中，除安外，还常用到较小的单位：毫安(mA)和微安(μA)，它们的换算关系为：

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$$

如果每秒钟通过导体横截面的电量为 1 库，则流过导体中的电流为 1 安培(简称安)，其电流表达式为：

$$I = \frac{Q}{t} (\text{A}) \quad (1-1)$$

式中： Q 为电量，单位是库(c)

t 为时间，单位是秒(s)

电流这个名词有两个含意，它既代表一种物理现象：电荷有规则的运动，又代表一个物理量：单位时间内流过导体横截面的电量。

电流的瞬时值可以通过对式(1-1) 求导来得到，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

该式为每秒钟电荷(单位为库)流动的速率，单位为库/秒。1 安 = 1 库/秒。

式中： i 为电流的瞬时值(安)。

大家知道，在电路中的电子是从负极向正极流动的。但在实际应用中，人们往往习惯于用从正极到负极的方向来表示电流的方向。也就是说将电子流动的反方向定为电流的方向，称为电流的正方向。在所有半导体器件上所标出的箭头就是指电流的正方向。本书所使用的电流的正方向也按上述规定。

第二节 电 阻

当电压加到一个闭合电路上时，电路中就有电荷流动。所有的电路元件都对电流呈现出一定程度的阻碍作用或对流动电荷的速率(或电流)有阻力。各种物质的这种阻碍作用是各不相同的。

物质具有的阻碍电流流动和消耗电能的特性称为电阻。通常电路中的电阻总是要消耗电能，将电能转变成热能。电阻在公式中用符号“ R ”表示。

对电流呈现较小阻力的物质，称为导体。对电流呈现很大阻力的物质，称为绝缘体。对电流呈现的阻力介于上述两者之间的物质，称为半导体。

电阻的单位为欧，通常用“ Ω ”来表示。当电阻两端的电位差为1伏，流过的电流为1安，那么，电阻为1欧。

实用上，除欧外，还常用较大的单位：千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)，它们与欧的换算关系为：

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega, \quad 1\text{M}\Omega = 10^6\Omega。$$

电阻的符号如图1-1所示。图中 I 为流过电阻的电流。 V_a 为 a 点的电位， V_b 为 b 点的电位， V_{ab} 为 a 点与 b 点间的电位差，即等于 $V_a - V_b$ 。显然 V_{ba} 表示 b 点相对于 a 点的电位差。

在图1-1中， V_a 高于 V_b 。因此，电流的正方向是从 a 到 b 。

欧姆定律是用来描述 R ， I 和 V_{ab} 三个量之间的关系，它表明流过电阻的电流与电阻两端的电位差(电压降)成正比。其电位差和电流的比例常数为电阻(R)。当电阻两端的电位差加倍时，电流也相应的增加同样的倍数。欧姆定律的数学表达式为：

$$R = \frac{V}{I} (\Omega) \quad (1-3a)$$

$$\text{或 } V = IR (\text{V}) \quad (1-3b)$$

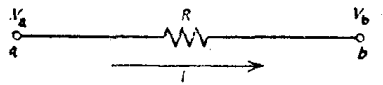


图 1-1 电阻中的电流和其两端电位差

式中： V 为电阻两端的电压，单位为伏(V)。

I 为流过电阻的电流，单位为安(A)。

R 为电阻，单位为欧(Ω)。

由式(1-3)可以看出电阻的物理意义：如果加在导体两端间的电压 V 恒定，则电阻 R 大的导体中电流必弱，而电阻 R 小的导体中的电流必强。所以电阻 R 的大小描述了导体对电流的阻力的大小，即电阻越大，表示阻力越大。同样，若保持导体中的电流 I 一定，则由式(1-3)可见，电阻 R 越大，导体两端的电压 V 越大。

例 1-1 已知5k Ω 电阻两端的电压为25V，试求流过电阻的

电流?

$$\text{【解】: } I = \frac{V}{R} = 25\text{V}/5 \times 10^3\Omega = 5\text{mA}$$

注: 欧姆定律(式(1-3))既适用于直流电路, 也适用于交流电路, 但当分析交流电路时, 不仅考虑相量的大小还必须考虑相量的方向。(详见本章第九节)

第三节 电 功 率

如前所述, 电源起了保持两个输出端间恒定电位差(也称电动势)的作用, 以供给电路恒定的电流。通过电路可以将电源提供的能量转变为其他不同形式的能量。

电功率简称功率, 它表示单位时间内电场力所作的功, 它的实用单位为瓦(W), 功率也就是作功的速率, 用每秒焦耳来计量(J/s)。1瓦功率等于每秒钟以1焦耳的速率所作的功。即

$$1\text{W} = 1\text{J/s}$$

假如电源的端电压为V(伏), 供给电路的电流为I(安), 则由电源供给电路的功率可用下式求出, 即

$$P = V \cdot I \text{ 瓦(W)} \quad (1-4a)$$

式(1-4a)不但适用于全电路, 也适用于电路中的每一个元件。例如: 当流过电阻的电流为5mA, 而其端电压为10V, 则电阻消耗的功率为50mW(即 $10 \times 5 = 50$)。在实际电路中, 上述计算的现实意义是每个元件消耗的功率应低于它最大的允许值。在本书中, 我们主要涉及到半导体器件和电阻的额定功率, 并确保在正常工作中不超过它们的额定功率。式(1-4a)和下面给出的另外两种形式都可以解决这个问题。但有功或无功功率不属于上述讨论的范围。

将欧姆定律代入式(1-4a)可以得出功率的另外两种形式, 即:

$$P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \text{ 瓦(W)} \quad (1-4)$$