

邮电中等函授教材

脉冲 数字电路

董献忱 赵裕臣 编著

赵六骏 审

人民邮电出版社



邮 电 中 等 函 授 教 材

脉 冲 数 字 电 路



内 容 提 要

本书介绍了脉冲数字电路的基本知识、基本工作原理和基本分析方法。全书理论联系实际，由浅入深，通俗易懂，便于自学。每章末均有小结、思考题和习题，书末附有实验指导。

全书共十章，包括：脉冲数字电路的基础知识、晶体管的开关特性及其应用、逻辑代数、逻辑门电路、脉冲单元电路、集成电路触发器、时序逻辑电路、组合逻辑电路、大规模集成电路和数模转换。

本书主要作为邮电中等函授教材，也可供邮电中等专业学校师生和电子技术人员学习参考。

邮电中等函授教材

脉冲数字电路

董献忱 赵裕臣 编著

赵六骏 审

责任编辑：刘建章

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

中国铁道出版社印刷厂印刷

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 1989年6月 第一版

印张：17 8/32 页数：276 1989年6月 北京第1次印刷

字数：454千字 印数：1—6000册

ISBN7-115-03956-9/TN. 226

定价：2.90元

前 言

本书是供邮电中等函授通信各专业用的技术基础课教材，它是根据 1986 年 11 月新制定的教学大纲和在 1983 年由人民邮电出版社出版的《脉冲与数字电路》一书的基础上增删、修改而成的。

全书主要讲述脉冲数字电路的基本物理概念、典型的电路组成、基本工作原理和简单的计算方法。在实践方面，以实用电路作单元电路进行分析并介绍应用实例，书末附有实验指导。

在编写过程中，考虑到近年来脉冲技术有了很大的发展，以及为了适应邮电事业发展的需要，我们大大地压缩了 RC 电路、限幅电路、箝位电路和分立元件触发电路以及小规模集成电路等内容；同时增加和突出了集成逻辑门组成的脉冲电路、中规模集成电路、大规模集成电路以及它们的应用等内容。本书教学内容，可根据教学时数的要求而予以灵活地调整。在本书章、节中，凡有*号的可作一般要求或不作任何要求。

为了便于函授生自学，对章、节的安排，我们采取由易到难，由简到繁，基本上符合循序渐进的认识规律；对重点内容，力求深入浅出，通俗易懂，基本上可达到“无师自通”的学习效果；在叙述方法上，理论联系实际，着重讲透物理概念，尽量避免涉及太繁太深的数学推导；为了帮助学生掌握物理概念和加强基本训练，在每章末均有小结、思考题和习题，书末附有实验指导。

本书第一、二、三、四、五、九章由董献忱同志编写，第六、七、八、十章和实验由赵裕臣同志编写，全书由董献忱同志统编。

本书承赵六骏同志审阅。在编写过程中还得到冯周楠、马尚群等同志的热情指导和帮助，在此谨致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，错误之处在所难免，希望读者批评指正。

作者 1988. 8. 25

目 录

第一章 脉冲数字电路的基础知识

第一节 脉冲波形及其参数 (1)

一、什么是脉冲 (1)

二、脉冲波形的参数 (3)

三、脉冲电路与数字电路 (5)

第二节 RC 电路 (6)

一、RC 电路的充、放电过程 (6)

二、微分电路 (10)

三、积分电路 (14)

四、脉冲分压器 (16)

第三节 数制 (20)

一、十进制数 (20)

二、二进制数 (22)

三、二进制数的运算 (25)

四、二进制数与十进制数的相互转换 (29)

五、八进制数和十六进制数 (32)

六、二—十进制码 (36)

本章小结 (40)

思考题 (42)

习题 (43)

附录 1-1 RC 电路的充放电公式 (47)

第二章 晶体管的开关特性及其应用

第一节 晶体二极管的开关特性 (49)

一、二极管稳态开关特性及其等效电路 (50)

二、二极管瞬态开关特性 (55)

第二节 二极管开关应用—限幅电路和箝位电路 (60)

一、限幅电路 (60)

| | |
|-----------------------------|-------|
| 二、箝位电路 | (71) |
| 第三节 晶体三极管的开关特性 | (75) |
| 一、三极管的稳态开关特性 | (76) |
| 二、三极管的瞬态开关特性 | (83) |
| 三、利用加速电容提高三极管的开关速度 | (86) |
| 第四节 三极管反相器 | (89) |
| 一、电路组成及其元件作用 | (90) |
| 二、反相器的工作原理 | (90) |
| 三、反相器的输出电压波形及其改善方法 | (94) |
| 本章小结 | (97) |
| 思考题 | (99) |
| 习题 | (99) |
| 第三章 逻辑代数 | |
| 第一节 基本概念 | (109) |
| 一、逻辑变量 | (109) |
| 二、基本逻辑运算 | (110) |
| 三、逻辑函数及其描述方法 | (113) |
| 第二节 逻辑代数的基本公式 | (117) |
| 一、基本定律 | (117) |
| 二、三个重要规则 | (122) |
| 三、几个常用公式 | (125) |
| 第三节 逻辑函数的化简 | (127) |
| 一、代数法 | (127) |
| 二、卡诺图法 | (130) |
| 本章小结 | (153) |
| 思考题 | (154) |
| 习题 | (155) |
| 第四章 逻辑门电路 | |
| 第一节 分立元件逻辑门电路 | (159) |
| 一、二极管“与”门电路 | (159) |
| 二、二极管“或”门电路 | (162) |

| | |
|--|-------|
| 三、三极管“非”门电路 | (164) |
| 四、“与非”门和“或非”门电路 | (170) |
| 第二节 正逻辑和负逻辑 | (173) |
| 第三节 集成逻辑门电路 | (175) |
| 一、数字集成电路概述 | (175) |
| 二、DTL“与非”门电路 | (176) |
| 三、TTL“与非”门电路 | (181) |
| 四、TTL“与非”门的改进电路 | (198) |
| 五、低功耗肖特基TTL“与非”门电路 | (205) |
| 六、TTL门的其它类型 | (206) |
| 第四节 MOS集成电路 | (214) |
| 一、NMOS反相器(“非”门电路) | (216) |
| 二、CMOS反相器 | (225) |
| 三、NMOS逻辑门电路 | (228) |
| 四、CMOS逻辑门电路 | (231) |
| 五、CMOS传输门 | (234) |
| 第五节 集成逻辑门的应用 | (236) |
| 一、多谐振荡器 | (236) |
| 二、单稳态触发器 | (241) |
| 三、施密特双稳态触发器 | (244) |
| 本章小结 | (245) |
| 思考题 | (247) |
| 习题 | (249) |
| 附录4-1 TTL标准门主要静态参数、产品规格、 典型值和测试条件 | (260) |
| 附录4-2 半导体集成电路型号的命名方法 | (263) |
| 第五章 脉冲单元电路 | |
| 第一节 集—基耦合双稳态触发器 | (266) |
| 一、电路组成 | (266) |
| 二、工作原理 | (268) |
| 三、工作条件 | (269) |

| | |
|-----------------------------|-------|
| 四、触发方式 | (273) |
| 五、应用举例 | (284) |
| 第二节 单稳态触发器 | (286) |
| 一、电路组成 | (287) |
| 二、工作原理 | (287) |
| 三、技术指标的分析和计算 | (291) |
| 四、单稳态触发器的应用 | (295) |
| 五、单稳电路的参数选择与调试 | (297) |
| 第三节 射极耦合双稳态电路 | (299) |
| 一、电路组成 | (299) |
| 二、工作原理 | (300) |
| 三、回差分析 | (302) |
| 四、射极耦合双稳态电路的应用 | (304) |
| 第四节 多谐振荡电路 | (307) |
| 一、电路组成 | (307) |
| 二、工作原理 | (308) |
| 三、技术指标的分析和计算 | (311) |
| 第五节 锯齿波形成电路 | (315) |
| 一、基本锯齿波形成电路 | (317) |
| 二、恒流源锯齿波形成电路 | (318) |
| 三、电容负反馈锯齿波形成电路 | (321) |
| 本章小结 | (324) |
| 思考题 | (327) |
| 习题 | (328) |
| 第六章 集成电路触发器 | |
| 第一节 基本RS触发器 | (333) |
| 一、RS触发器的组成 | (333) |
| 二、逻辑功能分析 | (335) |
| 三、应用 | (337) |
| 第二节 钟控触发器的基本类型 | (338) |
| 一、钟控RS触发器 | (338) |

| | |
|----------------------------------|--------------|
| 二、D 触发器 | (341) |
| 三、JK 触发器 | (342) |
| 四、T 和 T' 触发器 | (345) |
| 五、存在问题及解决途径 | (346) |
| 第三节 主从型 JK 触发器 | (347) |
| 一、基本电路 | (348) |
| 二、工作原理 | (349) |
| 三、集成 JK 触发器 | (353) |
| 第四节 维持阻塞 D 触发器 | (357) |
| 一、电路组成 | (357) |
| 二、工作原理 | (357) |
| 三、集成 D 型触发器 | (360) |
| 第五节 集成触发器的主要指标和功能变换 | (364) |
| 一、静态参数 | (365) |
| 二、动态参数 | (367) |
| 三、触发器逻辑功能的转换 | (368) |
| 本章小结 | (371) |
| 思考题 | (375) |
| 习题 | (376) |
| 第七章 时序逻辑电路 | |
| 第一节 寄存器 | (380) |
| 一、数码寄存器 | (380) |
| 二、移位寄存器 | (383) |
| 三、中规模集成电路寄存器简介 | (385) |
| 第二节 二进制计数器 | (387) |
| 一、计数器的基本单元电路 | (387) |
| 二、异步二进制加法计数器 | (390) |
| 三、异步四位二进制减法计数器 | (394) |
| 四、同步二进制加法计数器 | (397) |
| 第三节 十进制计数器 | (399) |
| 一、十进制计数器的基本知识 | (399) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 二、异步式二十进制计数器 | (402) |
| 三、同步式十进制计数器 | (405) |
| 四、中规模集成十进制计数器简介 | (407) |
| 本章小结 | (413) |
| 思考题 | (415) |
| 习题 | (416) |
| 第八章 组合逻辑电路 | |
| 第一节 运算电路 | (420) |
| 一、半加器 | (420) |
| 二、全加器 | (422) |
| 三、并行加法器 | (424) |
| 第二节 编码器 | (425) |
| 一、键控“8421”BCD 编码器 | (426) |
| 二、集成编码器 | (428) |
| 第三节 译码器 | (431) |
| 一、二进制译码器 | (431) |
| 二、二—十进制译码器 | (434) |
| 三、集成译码器 | (435) |
| 四、译码器作脉冲分配器 | (438) |
| 第四节 数字显示电路 | (441) |
| 一、辉光数字管及其显示电路 | (442) |
| 二、荧光数码管及其显示电路 | (445) |
| 三、集成显示译码器 | (450) |
| 本章小结 | (456) |
| 思考题 | (458) |
| 习题 | (459) |
| 第九章 大规模集成电路 | |
| 第一节 大规模集成电路概述 | (464) |
| 一、大规模集成电路的概况 | (464) |
| 二、大规模集成电路的优点 | (464) |
| 第二节 动态 MOS 移位寄存器 | (465) |

| | |
|---|-------|
| 一、动态 MOS 存储单元 (动态 MOS 反相器) | (466) |
| 二、动态 MOS 移位寄存器和顺序存取存储器 | (470) |
| 第三节 随机存取存储器 (RAM) | (472) |
| 一、随机存取存储器的基本单元电路 | (473) |
| 二、随机存取存储器的电路结构 | (475) |
| 第四节 只读存储器 (ROM) 和可编程序逻辑阵列 (PLA) | (477) |
| 一、固定只读存储器 (ROM) | (478) |
| 二、可编程和可改写只读存储器 (PROM 和 EPROM) | (480) |
| 三、ROM 的应用 | (483) |
| 四、可编程序逻辑阵列 (PLA) | (485) |
| 第五节 集成注入逻辑 (I²L) 电路 | (488) |
| 一、I ² L 基本单元的结构 | (489) |
| 二、I ² L 组成的逻辑电路 | (490) |
| 本章小结 | (494) |
| 思考题 | (495) |
| 第十章 数模转换 | |
| 第一节 D/A 转换器 | (496) |
| 一、权电阻 D/A 转换器 | (497) |
| 二、R—2R 梯形 D/A 转换器 | (500) |
| 三、电子开关 | (503) |
| 第二节 A/D 转换器 | (504) |
| 一、A/D 转换原理简介 | (504) |
| 二、比较型 A/D 转换器 | (507) |
| 三、并行 A/D 转换电路 | (508) |
| 本章小结 | (512) |
| 思考题 | (513) |
| 习题 | (513) |
| 脉冲数字电路实验 | (515) |
| 实验一 晶体管反相器 | (515) |
| 实验二 逻辑门电路 | (519) |

| | | |
|-----|---------------------|-------|
| 实验三 | 自激多谐振荡器 | (523) |
| 实验四 | 锯齿波的产生 | (527) |
| 实验五 | 集成触发器 | (530) |
| 实验六 | 二—十进制计数器 | (534) |
| 实验七 | 计数—寄存—译码—显示电路 | (538) |

第一章 脉冲数字电路的基础知识

目的与要求

脉冲数字电路是由开关和惰性元件（电容 C 、电感 L ）组成的。为了给脉冲数字电路的学习打好基础，故在介绍具体电路之前，需要将脉冲的基本含义、种类、参数和关于脉冲数字电路的基本概念作一简单的介绍，以便有一个统一的术语和基本的概念。本章只介绍几种脉冲波形，重点是非理想矩形脉冲的特点及其参数。在介绍 RC 电路的暂态过程时，重点讨论由线性元件组成的微分和积分电路。在讨论几种不同的进位制时，其重点是二进制和它的运算，以及各种数基之间的转换等。学完本章后的要求是：

1. 掌握脉冲的含义、种类及其参数。
2. 掌握 RC 电路的暂态过程及其应用。
3. 掌握数制中“权”的概念、二进制数和它的运算以及各种数基之间的转换。

第一节 脉冲波形及其参数

一、什么是脉冲

在电学领域中，开始提到脉冲这个名词时，通常是指时间短暂和突然变化的电波形。例如，在自然界中，雷电就是一种常见的能量巨大的脉冲。在邮电部门使用的发报机，每按一次电键，就产生一个突然变化的电压或电流信号，这种具有突变特性的电压或电流，称为脉冲电压或脉冲电流，统称脉冲。发报机的示意图，如图 1-1

—1 (a) 所示。它是一个接有开关的串联电路，当开关不断地接通和断开，在电阻 R 上便可得到一连串幅度为 E 而宽度随开关时间而变化的电压波形，如图 1—1—1 (b) 所示。这种波形称为矩形脉冲。实际上，随着工程技术的发展，凡是非正弦变化的电压、电流波形都称为电脉冲，简称为脉冲。

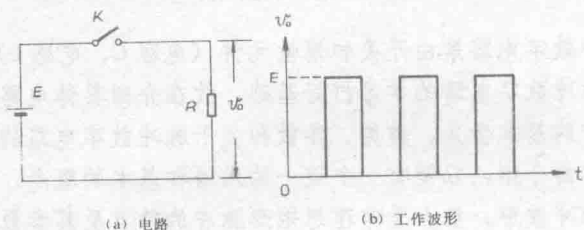


图 1—1—1 发报机示意图

脉冲的种类很多，常见的几种脉冲波形，如图 1—1—2 所示。

在产生这些脉冲的电路中，一般采用开关元件（如三极管）来改变电路的状态，使之产生瞬态过程，并利用惰性电路（如电阻、电感、电容元件构成的电路）来控制瞬态过程的快慢，使之产生各种不同的脉冲波形。由图 1—1—2 可见，这些波形粗看起来似乎各不相同，但经过分析便可发现这些波形都有一个共同的特点，这就是它们都有急剧变化的部分或陡峭的前沿与后沿。例如，矩形脉冲的电压值从零突然变到峰值，经过一段时间后，又从峰值突然下降到零；而尖脉冲的电压值从零突然变到峰值后，便以指数规律迅速下降到零值等等。正由于脉冲波形的不同，其用途也就各不一样。一般来说，矩形脉冲常作为开关控制信号，或用来产生尖脉冲；尖脉冲常作为触发信号；锯齿波常作为电视、示波器中的扫描信号；阶梯波常作为测量晶体管特性曲线的控制信号。

通常，当脉冲信号由低电位跳到高电位时，称为正跳变，其相应的波形叫做“上升沿”，而由高电位跳到低电位时，则称为负跳变，其相应的波形叫做“下降沿”。

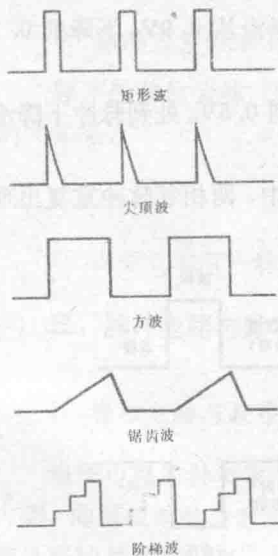


图 1-1-2 几种脉冲波形

到矩形脉冲的电位高、低时，常使用电平的说法，高低电位和高低电平是等同的，高电平就是指高电位，而低电平就是指低电位。为了使用方便，通常高电平用“1”表示，低电平用“0”表示。

二、脉冲波形的参数

任何波形都可用一些参数来描述其特征。例如，描述正弦波的特征，只需要三个参数就够了，即振幅、频率和相位。但是，脉冲波形种类繁多，因此描述脉冲波形的特征就比较复杂，对不同的波形需定义不同的参数。下面仅介绍矩形波的一些主要参数，并结合图 1-1-4 进行说明。

周期性重复出现的脉冲信号（或由若干个单一脉冲构成的脉冲信号），称为脉冲序列，如图 1-1-3 所示。

若脉冲信号出现的电位值（即图 1-1-3 (a) 的波顶电位值 3V）比脉冲出现前、后的电位值（即图 1-1-3 (a) 的波底电位值 0V）高，则称该脉冲信号为正脉冲序列。正脉冲波形的前沿，电位值由低变高为上升沿，而后沿的电位值由高变低为下降沿。

若脉冲信号出现时的电位值比脉冲出现前、后的电位低，则称为负脉冲序列，如图 1-1-3 (b) 所示。负脉冲波形的前沿，电位值由高变低为下降沿；而后沿，电位值由低变高为上升沿。

不过，这里需要指出的是：在谈

1. 脉冲幅度 V_m —脉冲电压变化的最大值。
2. 脉冲上升沿上升时间 t_r —脉冲上升沿从 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需要的时间。
3. 脉冲下降沿下降时间 t_f —脉冲下降沿从 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需要的时间。
4. 脉冲宽度 t_p —从脉冲上升沿上升到 $0.5V_m$ 处到脉冲下降沿下降到 $0.5V_m$ 处的持续时间。
5. 脉冲周期 T —在周期性脉冲序列中，两相邻脉冲重复出现所间隔的时间。

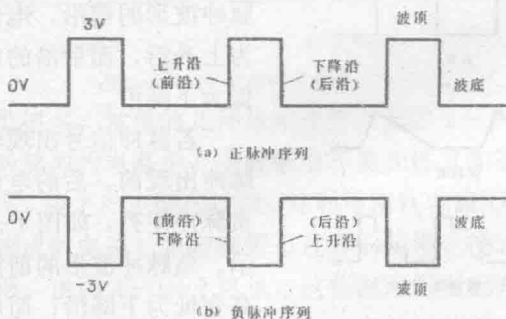


图 1-1-3 正、负脉冲序列

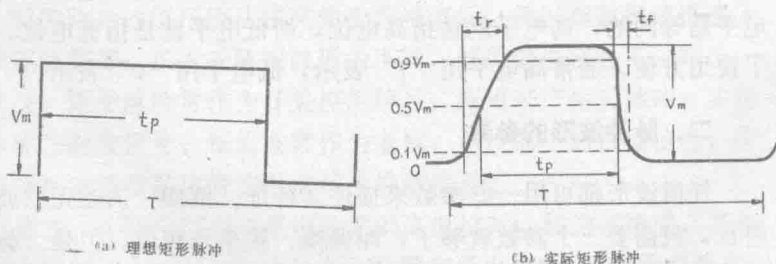


图 1-1-4 矩形波形

时间的单位常用秒 (S)、毫秒 (ms)、微秒 (μs)、纳秒 (ns) 表示。其相互关系是：

$$1\text{S} = 10^3\text{ms} \quad 1\text{ms} = 10^3\mu\text{s}$$

$$= 10^6\mu\text{s}$$

$$= 10^9\text{ns} \quad 1\mu\text{s} = 10^3\text{ns}$$

6. 脉冲重复频率 $f = \frac{1}{T}$ ，它表示每秒钟出现的脉冲个数。

频率的单位为赫 (Hz)、千赫 (KHz)、兆赫 (MHz)，它们之间的关系是：

$$1\text{MHz} = 10^3\text{kHz}$$

$$= 10^6\text{Hz}$$

7. 占空比 t_p/T —脉冲宽度与脉冲周期的比值。

三、脉冲电路与数字电路

1. 模拟电路与数字电路

电子电路的种类很多，但按其工作信号的不同，可以概括为两大类，即模拟电路与数字电路。模拟电路处理的是模拟信号；数字电路处理的是数字信号。

所谓模拟信号，是指模拟物理量的电压或电流信号。例如，通过话筒模拟话音变化的电流信号，通过热电偶模拟温度变化的电压信号。模拟信号是连续变化的，其变化过程中的任一个值都是相应物理量的一个模拟量，因而它可以取其变化过程中的任意一个值。显然，模拟信号在时间和数值上都是连续的。

所谓数字信号，通常是指二进制数字信号。它只有“1”和“0”这两个基本数字，一般用电位的高低或脉冲的有无来表示。所以数字信号是离散信号，它在时间和数值上都是离散的。

因此，数字信号与模拟信号有着本质的区别。

2. 脉冲电路和数字电路

所谓脉冲电路，就是指产生或变换脉冲波形的电路。这种电路对