

邮 电 高 等 函 授 教 材

脉冲数字电路与数字逻辑

上 册

张 毅 主 编

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书是在邮电高等函授试用教材《脉冲电路》和《数字电路与逻辑设计》的基础上,总结提高,并结合近年来国内外脉冲数字技术的发展情况编写而成的,分上、下两册出版。上册内容包括:晶体管开关特性,双极型集成逻辑门,MOS集成逻辑门,集成器件组成的脉冲单元电路,分立元件组成的脉冲单元电路;下册内容包括:数制和编码,逻辑代数,组合逻辑电路,集成触发器,时序逻辑电路,大规模集成电路,数模和模数转换。

本书深入浅出地阐述了脉冲数字技术中的基本概念、基本理论、基本分析和设计方法,较详细地介绍了目前数字系统中常用的中、大规模集成部件的工作原理和应用。每章编有“自学指导”,书中并插入了许多例题,理论与实际结合较好,文字通顺易懂,适于自学。

本书是邮电高等函授电信工程专业共用的技术基础课教材,也可供同类院校相关专业的师生和在职工程技术人员作为参考用书。

邮电高等函授教材

脉冲数字电路与数字逻辑

上 册

张 毅 主编

3567/20

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷

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 1986年12月第一版
印张:10 16/32 页数:168 1986年12月北京第一次印刷
字数:278千字 印数:1—9,000册

统一书号:15045·总3315—教744

定价:2.00元

前 言

邮电高等函授脉冲数字电路课程原来使用的教材，是1982年经人民邮电出版社出版的《脉冲电路》和《数字电路与逻辑设计》。该教材经过几年来的试用，得到了全国各地邮电函授师生的良好评价。考虑到近年来脉冲数字技术有了很大的发展，邮电高函《脉冲数字电路教学大纲》也已作了修订，为了适应客观形势发展的需要，我们根据教学大纲的要求，结合几年来教学实践的经验，在保有原教材优点的前提下，编写了此书，并定名为《脉冲数字电路与数字逻辑》。

本书是遵循“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的原则编写的。它与原教材相比，主要有以下几个方面的改进：

1. 为了打好基础，进一步加强了基础理论。例如，加强了对集成逻辑门和集成触发器外特性的讨论；将“数制与编码”单独列为一章，作了较为系统的讲述；在逻辑代数中，增加了有关最大项的内容和适于计算机化简逻辑函数的列表法；在组合电路和时序电路部分，加强了组合逻辑和时序逻辑分析的内容。

2. 在保证打好基础的前提下，精选了内容。例如，取消了与先行课程内容重复的“R—C电路”一节；适当压缩了对集成逻辑门和集成触发器内部电路的分析；大大削减了分立元件脉冲电路和小规模集成电路，并删去了异步时序电路设计的内容，从而使总的内容篇幅达到少而精的目的。

3. 为了适应脉冲数字技术发展的情况，增加了不少必要的新内容。例如，扩充了集成运算放大器、集成逻辑门组成的脉冲电路内容，并把它单独列为一章，作为脉冲电路内容的重点；在数字电路部分，扩充并突出了中规模集成电路，较为系统地介绍了大规模集成电路，而且介绍了这些电路的若干应用。书中所介绍的各种中、大

规模集成功能部件，都是目前数字系统，特别是微型计算机中常用的部件，是学习微型计算机的基础。

4. 为了便于函授生和其它读者进行自学，本书除在讲述上由浅入深，对重要内容阐述较详细外，并在每章的开头编有“自学指导”，而且书中编入了许多例题。此外，本书在体系上，改以数字电路与逻辑为主体，而将脉冲电路从属于数字系统，但将脉冲部分独立编章，这样既有利于教学，又有利于当课程变动时，教材可以灵活使用。

本书的绪论和第六、七、八章由张毅编写，第一、九、十、十一章由赵六骏编写，第二、三、十二章由许洁英编写，第四、五章由张训垣编写，张毅担任主编。全书由张毅审阅修改后，经邮电部函授教材编委会脉冲数字电路教材编审组审阅并讨论通过。

在本书编写过程中，得到了南京邮电学院副教授龚绍胜同志的关心和帮助，在此谨致以衷心的感谢。

本书虽然在原教材的基础上作了不少改进，但由于编者水平有限，难免还存在缺点和错误，我们恳切期望读者给以批评和指正。

编者

1986年1月

目 录

绪论	1
----	---

第一章 双极型晶体管开关特性

自学指导	9
1-1 晶体二极管开关特性	9
1-1.1 二极管稳态开关特性及其等效电路	10
1-1.2 二极管瞬态开关特性	15
1-1.3 二极管开关应用举例——二极管限幅器	20
1-2 晶体三极管开关特性	25
1-2.1 三极管的稳态开关特性	25
1-2.2 三极管的瞬态开关特性	33
1-2.3 利用加速电容提高三极管的开关速度	39
1-3 三极管反相器	41
1-3.1 反相器的分析与设计	42
1-3.2 反相器的输出电压波形及其改善方法	47
小结	50
参考文献	51
思考题	52
习题	52

第二章 双极型逻辑门电路

自学指导	57
2-1 分立元件逻辑门电路	57
2-1.1 二极管与门电路	58
2-1.2 二极管或门电路	60
2-1.3 非门电路	62
2-1.4 与非门电路和或非门电路	67

2-1.5	正逻辑和负逻辑	70
2-2	集成逻辑门电路	71
2-2.1	DTL 与非门电路	72
2-2.2	TTL 与非门的典型电路	78
2-2.3	TTL 与非门的外特性和主要参数	85
2-2.4	TTL 与非门的改进电路	105
2-2.5	TTL 门的其它类型	110
2-2.6	ECL 门电路	120
小结	.....	128
参考文献	.....	129
思考题	.....	130
习题	.....	130

第三章 MOS 逻辑门电路

自学指导	.....	141
3-1	MOS 晶体管	141
3-1.1	MOS 管的结构及其工作原理	142
3-1.2	MOS 管的开关特性	143
3-1.3	输入电阻和输入电容	146
3-1.4	MOS 管的类型	147
3-2	MOS 反相器	149
3-2.1	电阻负载 MOS 反相器	150
3-2.2	有源负载 MOS 反相器	152
3-3	MOS 门电路	165
3-3.1	饱和型负载 NMOS 逻辑门	166
3-3.2	CMOS 与非门和或非门	169
3-3.3	饱和型负载 NMOS 异或门	170
3-3.4	MOS 三态门	172
3-3.5	MOS 电路的驱动器	173
3-3.6	传输门和模拟开关	176
小结	.....	179

参考文献	180
思考题	180
习题	180

第四章 集成器件组成的脉冲单元电路

自学指导	185
4-1 基础知识	186
4-1.1 脉冲信号和脉冲波形的参数	186
4-1.2 TTL与非门在脉冲电路中常用的几个参数	187
4-1.3 集成运算放大器	189
4-1.4 集成运放电压比较器	190
4-1.5 集成运放积分器	191
4-1.6 单一RC电路过渡过程的求解方法—三要素法	193
4-2 自激多谐振荡器	197
4-2.1 集成逻辑门组成的自激多谐振荡器	198
4-2.2 集成运放组成的自激多谐振荡器	213
4-3 单稳态触发器	218
4-3.1 TTL集成逻辑门组成的单稳态触发器	219
4-3.2 集成运放组成的单稳态触发器	233
4-3.3 单稳态触发器的应用	238
4-4 施密特触发器	239
4-4.1 集成逻辑门组成的施密特触发器	240
4-4.2 集成运放组成的施密特触发器	243
4-4.3 施密特触发器的应用	247
4-5 集成运放锯齿波电压发生器	248
4-5.1 锯齿波的主要参数	249
4-5.2 集成运放锯齿波电压发生器	250
小结	254
参考文献	259
思考题	259
习题	260

第五章 分立元件组成的脉冲单元电路

自学指导	267
5-1 集—基耦合单稳态触发器	268
5-1.1 电路的工作原理	268
5-1.2 主要技术指标的分析与计算	272
5-1.3 电路的改进	276
5-2 射极耦合单稳态触发器	280
5-2.1 电路的工作原理	280
5-2.2 主要技术指标的计算	282
5-3 自激多谐振荡器	283
5-3.1 电路的工作原理	284
5-3.2 主要技术指标的计算	286
5-3.3 电路的改进	291
5-4 双稳态触发器	294
5-4.1 集—基耦合双稳态触发器	295
5-4.2 射极耦合双稳态触发器	299
5-5 锯齿波电压发生器	304
5-5.1 简单锯齿波电压发生器	304
5-5.2 改善锯齿波线性的方法	309
5-5.3 恒流源锯齿波电压发生器	310
小结	318
参考文献	322
思考题	322
习题	323

绪 论

脉冲数字电路课程是由脉冲电路、数字电路及数字逻辑等内容组成的。所以，我们把为本课程而编写的这套教材，定名为《脉冲数字电路与数字逻辑》。

为了使读者对本课程的性质、地位以及教材各部分内容之间的相互联系有所了解，在讲述该课程内容之前，有必要先对以下一些基本概念和其它一些情况作扼要的说明和介绍。

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流或电压信号。例如，通过电话筒模拟话音变化的电流信号，通过温度表模拟温度变化的电压信号。模拟信号是连续变化的，其变化过程中的任何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何一个值。

先行课程《低频电子电路》中所讲的那些电路，如整流器、放大器、运算放大器等，处理的都是模拟信号，因而它们都是模拟电路。

所谓数字信号，是指那些不连续的、离散的信号。这类信号的变化，总是发生在一系列离散的瞬间。它们数值的增减变化，都是以数字形式表示的。例如，通过开关或键盘输入的用“1”和“0”组成的数据，就是典型的数字信号。由于数字信号不是连续变化的，所以它只能按有限多个阶梯或增量来取值，即只能按一个单位一个单位地增加或减少。

本课程将要讨论的各种逻辑电路，处理的就是数字信号，所以它们都是数字电路。

2. 脉冲电路与数字电路

读者可能要问，脉冲电路与数字电路并列为一门课程，是不是脉冲电路也是属于数字电路的范畴？要回答这个问题，就需要了解，什么是脉冲信号，什么是脉冲电路，脉冲电路与数字电路在本质上有什么区别。

就电信号来说，所谓脉冲信号，就是指在短暂时间内作用于电路的电压或电流信号。常见的脉冲波形有尖脉冲、矩形脉冲、方波、阶梯波和锯齿波等。

所谓脉冲电路，就是产生或变换脉冲波形的电路。这种电路对脉冲波形有严格的要求，不仅是考虑脉冲的有无，而且要考虑脉冲的幅度、宽度以及整个波形（特别是上升、下降沿）的变化情况。所以对脉冲波形的分析，是研究脉冲电路的主要内容。波形分析的常用的方法是采用微分方程和拉氏变换一类的暂态分析方法（分析 $R-C$ 电路暂态过程的三要素法公式也是用这种方法推导出来的）。因此，脉冲电路应是属于模拟电路的范畴。

数字电路在“1”和“0”两种状态之间连续地快速转换时，输出信号的波形也是一系列的矩形脉冲。从这一点来看，数字电路也是一种脉冲电路。由于这个原因，多年来一直就把脉冲电路和数字电路合在一起，作为一门课程。然而，必须明确，数字电路和脉冲电路是有本质区别的。数字电路的工作信号只有两个取值（或两种状态），即逻辑1和逻辑0，而且这两个值都不具有绝对值的意义。譬如逻辑1代表高电平，可以是 4 ± 1 伏，逻辑0代表低电平，可以是 0.2 ± 0.2 伏。在逻辑1和逻辑0之间不允许再有其它的取值。这与脉冲电路对整个波形都有严格要求是显然不同的。此外，随着集成电路的出现和发展，数字系统中的基本单元电路（如逻辑门、触发器）和其它功能电路（如加法器、译码器、寄存器、计数器、存

储器等), 都已被集成化而成为数字器件了。因此, 对诸如电信工程、自动控制、计算机、工程经济管理等专业来说, **数字电路课程的重点**, 不是研究电路, 而是研究**数字逻辑**, 即研究各数字单元、数字部件之间的逻辑关系, 更具体地说, 就是研究数字系统的逻辑分析和逻辑设计。研究数字逻辑的方法, 是以逻辑代数(见第七章)为工具, 按**组合和时序**两类不同的逻辑, 本书的第八章和第十章将分别介绍这两类逻辑分析和逻辑设计的方法。

由此可知, 脉冲电路和数字电路, 无论是在性质上, 或是在研究的重点和方法上, 都是根本不同的。从学科体系来看, 数字电路已经成为一门独立的学科, 它和脉冲电路应当分属于两门不同的课程。但由于历史的原因和现行教学计划的规定。本教材仍然把它们合编在一起, 不过是以数字电路与逻辑为主体来编写的。

3. 脉冲数字技术的发展和应用

自六十年代初期以来, 电子技术取得了惊人的进展, 尤其是数字技术。

在五十年代, 电子电路尚处于分立元件电路的时代, 到1960年, 就开始跨入集成化电路的新时代了。特别是1960年以后, 在不到二十年的时间里, 电子技术又出现了几次飞跃, 不断地由一个高峰推向另一个新的高峰。其发展进程, 按每个集成片上元件数目增加的情况, 大致可划分如下:

1960年—小规模集成 (SSI) 电路, 每片包含 10—100 个元件;

1966年—中规模集成 (MSI) 电路, 每片包含 100—1,000 个元件;

1969年—大规模集成 (LSI) 电路, 每片包含 1,000—10,000 个元件;

1975年—超大规模集成 (VLSI) 电路, 每片包含 10,000 个以上的元件。

近年来, 超大规模集成电路不断取得新的进展, 每片上的元件

数目逐年增加。现在不但可以把计算机的中央处理器集成在一个硅片上(称为微处理器),而且还可以把整个计算机(包括中央处理器、存储器和输入/输出电路)都做在一个硅片上(称为单片微型计算机)。

微型计算机是数字集成技术高度发展的产物,是当代科学技术领域中最杰出的成就之一。

数字系统是按二值(1和0)的数字方式工作的,它只需要能区别信号的高电平或低电平、有脉冲或无脉冲,因而具有比模拟系统强得多的抗干扰能力,而且数字信息更便于存储、计算机处理和控制在。此外,数字设备由于都是采用集成电路,具有体积小、功耗小、可靠性高、价格低廉、使用方便等优点。因此,数字技术得到了越来越广泛的应用。现在,它不仅广泛应用于工业、农业、商业、交通、邮电、国防、科研和文教卫生,而且还广泛应用于机关以至于人们日常生活之中。许多原来习惯于使用模拟技术的场合,例如市内电话交换、微波通信等,也已开始采用数字技术来取代了。由此可见,在今日的电子技术中,数字技术处于何等重要的地位。

脉冲技术与数字技术相比,其进展要迟缓一些。但近年来,它也在向集成化方向发展。目前,用集成运算放大器、集成逻辑门构成的脉冲单元电路已相当普遍,而用分立元件构成的脉冲单元电路则在逐步淘汰中。

脉冲技术广泛应用于雷达、导航、自动控制、通信、电视、电子计算机、测量仪表等各种技术领域中,它是电子工业各专业中必须具备的一门专业基础知识。

4. 本教材的体系安排及各部分内容之间的联系与重点

本教材分上、下两册。除绪论外,共十二章。全书以数字电路与逻辑为主体。上册讲数字逻辑门电路和脉冲电路及其基础理论;下册主要讲数字逻辑,即数字电路的逻辑分析与逻辑设计。

第一章讲述的双极型晶体管开关特性,是分析脉冲电路和逻辑门电路的基础理论之一。这一章中,除二极管限幅电路只要求了解

外，其它内容均要求深刻理解，并要善于运用。

为了避免难点集中和便于讲述 MOS 电路，我们把 MOS 晶体管开关特性安排在第三章和 MOS 门电路一起讨论。

第二、三两章讨论的双极型逻辑门和 MOS 逻辑门都是构成数字电路的最基本的单元电路。这两章的重点是 TTL 门电路、饱和型有源负载 MOS 反相器及其门电路，CMOS 反相器及其门电路。对上述各种门电路（包括 MOS 反相器—非门），主要要求熟悉其外特性和逻辑功能，并理解电路的工作原理。对 HTL 和 ECL 门电路，只要求了解它们的工作原理和特点。

第四、五两章介绍集成器件构成的脉冲单元电路和分立元件构成的脉冲单元电路。在这两章中，不仅要运用 $R-C$ 电路和晶体管开关特性理论，而且要运用集成逻辑门和集成运算放大器等方面的知识。虽然 $R-C$ 电路和集成运算放大器已分别在《电路分析基础》和《低频电子电路》课程中详细讨论过，但从有利于教学出发，在第四章中仍就它们与脉冲技术密切有关的内容先作了简要的复习。这两章的重点，首先是集成逻辑门构成的各种脉冲单元电路的典型电路，其次是集成运算放大器构成的各种脉冲单元电路的典型电路和分立元件构成的单稳态电路和锯齿波电路。具体重点和要求，见该两章的“自学指导”。主要要求掌握典型电路的工作原理及其波形参数的分析。

第六章的数制和编码是学习后续各章必须具备的基础知识。特别是第八章和第十章几乎处处都要用到这些知识。这一章的内容虽然主要是根据本教材的需要编写的，没有全面地讨论数制和编码，但许多基本的内容都已涉及，因而可为学习后续计算机课程打下一定的基础。对本章的重点要求，是熟悉常用数制之间的转换方法和常用的几种编码。

第七章逻辑代数，是研究数字逻辑的数学工具。学好这一章，是学好后续各章的前提条件。其重点是：逻辑代数的基本定律、常用公式、三个规划、异或逻辑、最小项和最大项表达式、逻辑函数

的化简方法和逻辑表达式的变换等。其中，特别是用卡诺图化简函数的方法，要能熟练运用。

第八章组合逻辑电路，是本教材核心内容之一。它不仅独立地构成组合逻辑系统，而且在时序逻辑系统中也往往离不开它。此外，组合逻辑电路的分析与设计虽然比时序逻辑电路的分析与设计要简单得多，但它的基本方法却也是时序逻辑电路分析和设计方法的基础。因此，对这一章必须给予足够的重视。重点是：掌握组合逻辑电路的分析与设计方法；熟悉常用的 MSI 组合部件的工作原理、逻辑功能及其应用。此外，还应了解组合逻辑电路中冒险现象产生的原因及其消除方法。

第九章讨论的触发器，是构成时序逻辑电路的基本单元。掌握这一章，是学好时序逻辑电路的一个重要关键。其重点是：基本 $R-S$ 触发器、同步 $R-S$ 触发器、维持阻塞 D 触发器和主从 $J-K$ 触发器。要求掌握触发器的逻辑功能及其描述方法；熟悉各种触发器的工作原理和脉冲工作特性。

第十章时序逻辑电路，是本教材的另一个核心内容。对本章的重点要求是：掌握时序逻辑电路的分析方法和同步时序逻辑电路的设计方法；熟悉常用的 MSI 时序逻辑部件（移位寄存器、计数器和分频器）的工作原理和逻辑功能以及对逻辑功能的波形描述方法。

第十一章讨论大规模集成电路。其中以 MOS 动态存贮单元和存贮器为重点。要求熟悉 MOS 动态存贮单元、顺序存取存贮器、只读存贮器 (ROM) 和随机存取存贮器 (RAM) 的工作原理；了解可编程序只读存贮器 (PROM)、可改写只读存贮器 (EPROM) 和可编程序逻辑阵列 (PLA) 的基本原理以及 ROM 和 PLA 的简单应用。

第十二章介绍数一模和模一数转换器的基本原理和一些基本电路。这一章不作为本课程的重点，只要求一般了解。

为了便于自学，本教材每一章的开始部分均有“自学指导”，它指

出了该章的重点，并提出了较具体的学习要求；结尾部分均有小结。此外，除第十二章外，各章均列有习题，并根据需要在大多数章节中还加有思考题。学习每一章时，应先阅读“自学指导”，了解该章的重点和学习要求，学完一章之后，还应检查是否达到了这些要求。对习题，除按教学要求必做的以外，应尽可能多做，以便加深对所学内容的理解，并提高分析和解决问题的能力。

脉冲数字电路是一门实践性很强的课程，必须加强实验环节。关于实验内容，因另编有实验指导书，所以本教材未编入。

总的来说，本课程是一门很重要的技术基础课，必须给予足够的重视。通过对本课程的学习，应掌握脉冲数字电路的基本分析方法，对较简单的脉冲、数字电路要能独立地进行分析；应掌握组合逻辑电路和同步时序逻辑电路的基本设计方法，并熟悉常用中规模电路的一般使用方法；还应具有对脉冲数字电路进行实验的技能，并具有进行简单课程设计的能力。

本教材是按两个学期的课程编写的。如果课程设置为一个学期，只要求数字电路与逻辑时，可选用其中第二、第三、第六至第十章作为教学内容。这样安排，其体系仍然是完整的。



第一章 双极型晶体管 开关特性

自学指导

脉冲数字电路中的晶体管多半作为开关使用，它在外信号的作用下导通或截止，即相当于开关接通或断开。因此学习脉冲数字电路时，必须首先研究晶体管的开关特性。晶体管开关特性是本书的基础内容之一，应该牢固掌握。

脉冲数字电路中的晶体管主要有两大类：一类是双极型的晶体二极管和三极管；另一类是单极型的金属—氧化物—场效应管。本章讨论双极型晶体管的开关特性，并举例说明它的简单应用。至于单极型晶体管的开关特性将在第三章讨论。

本章的重点是：晶体二、三极管的开关物理过程及其等效电路，以及反相器饱和、截止条件的定量分析方法。

学完本章后，要求：

1. 掌握晶体二极管、三极管的开关条件及其等效电路。
2. 熟悉晶体二极管、三极管开关的暂态过程，能以载流子浓度分布曲线，说明开关时间形成的原因，并能指出缩短开关时间的方法。
3. 了解晶体二极管限幅器的工作原理，掌握近似计算方法。
4. 掌握反相器饱和、截止条件的计算方法。
5. 了解加速电容和钳位二极管的作用。

1-1 晶体二极管开关特性

晶体二极管(以下简称二极管)具有单向导电性。正向运用时，