

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



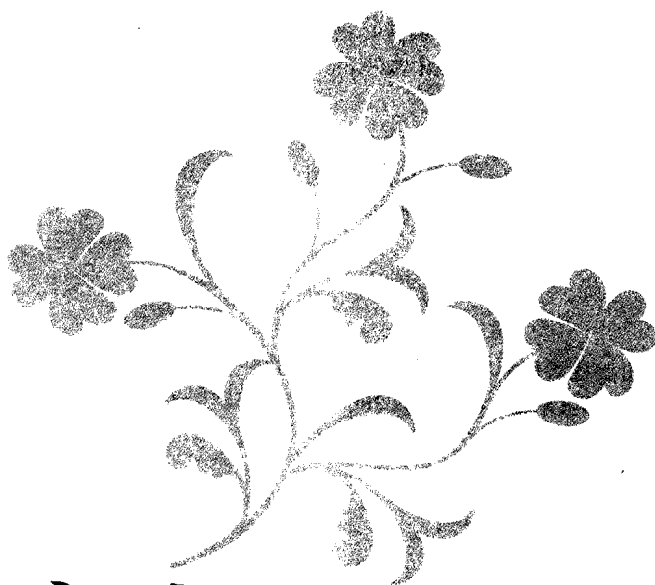
数字电子技术基础

李雪飞 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



数字电子技术基础

李雪飞 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书共分10章,首先介绍了经典的数字电子技术基础知识,然后介绍数字系统的EDA设计技术。具体的内容包括:逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数/模和模/数转换、存储器和可编程逻辑器件、VHDL语言基础、VHDL在数字单元电路设计中的应用。另外,附录部分还简要介绍了EDA工具软件MAX+plus II的使用方法。书中还有相关例题,每章后附有大量的习题以利于学生巩固所学的知识。

本书的内容简明扼要、深入浅出,注重对学生能力的培养。本书可以作为应用型普通高等学校电子、电气、自动化、计算机、通信工程、机电一体化等相关专业的本科生的教材,也可作为高等职业技术学院相关专业的教材,还可供社会上的相关专业读者阅读。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/李雪飞主编. —北京:清华大学出版社,2011.7

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-24607-7

I. ①数… II. ①李… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第012437号

责任编辑:梁颖 顾冰

责任校对:李建庄

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市深源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.75 字 数:463千字

版 次:2011年7月第1版 印 次:2011年7月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00元

产品编号:037686-01

编审委员会成员

东南大学
南京大学
南京航空航天大学
解放军理工大学

上海大学
上海交通大学

华中科技大学

华中师范大学
武汉理工大学

宁波大学
天津大学

中国科学技术大学

苏州大学
山东大学
山东科技大学
东北师范大学
沈阳工业学院
长春大学
吉林大学
湖南大学
长沙理工大学
华南理工大学

王志功	教授
王新龙	教授
王成华	教授
邓元庆	教授
刘景夏	副教授
方 勇	教授
朱 杰	教授
何 晨	教授
严国萍	教授
朱定华	教授
吴彦文	教授
刘复华	教授
李中年	教授
蒋刚毅	教授
王成山	教授
郭维廉	教授
王煦法	教授
郭从良	教授
徐佩霞	教授
赵鹤鸣	教授
刘志军	教授
郑永果	教授
朱守正	教授
张秉权	教授
张丽英	教授
林 君	教授
何怡刚	教授
曾喆昭	教授
冯久超	教授

西南交通大学

冯全源 教授

重庆工学院

金炜东 教授

重庆通信学院

余成波 教授

重庆大学

曾凡鑫 教授

重庆邮电学院

曾孝平 教授

谢显中 教授

西安电子科技大学

张德民 教授

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟 岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“质量工程”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

2005年,教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主持修订了“数字电子技术基础课程教学基本要求”,再次强调了本门课程的性质是“电子技术方面入门性质的技术基础课”,其任务在于“使学生获得数字电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,为深入学习数字电子技术及其在专业中的应用打下基础”。因此,作者编写本书的原则是注重理论联系实际,理论以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点,难度适中,利于创新。

随着电子技术的不断发展,基于EDA技术和可编程逻辑器件进行数字系统的设计与开发得到广泛应用。为此,本书在介绍了经典的数字电子技术理论之后,简单介绍了可编程逻辑器件的结构与工作原理,现代流行的数字系统设计工具——硬件描述语言(VHDL语言)以及用VHDL语言设计常用数字单元电路的方法,并且在附录中简单介绍了EDA工具软件MAX+plus II的使用方法,使得本书内容全面、体系完整。学生在已经掌握了数字电子技术基础知识后,再学习用VHDL语言开发设计数字系统,这样安排体例合理,适合不同层次的学生阅读,而且也方便各个学校根据教学大纲的要求选择教学内容。

本书在每章的开始安排了教学提示和教学要求,给读者一个启示作用,并可更好地把握每章的内容。每章的后面都附有相关习题,方便学生检验对每章内容的掌握程度,具有很强的实用性。

本书由李雪飞主编且负责全书统稿。参加本书编写的还有陈锦生、李方明、张明、张欣、刁芬、于洋、任苹、孙海静、李华玲、于荣义、董燕妮和王丹萍。

在本书编写过程中,曾得到许多专家和同行的热情帮助,并参考和借鉴了许多国内外公开出版和发表的文献,在此一并表示感谢!

由于时间仓促,水平有限,书中难免存在不足或疏漏之处,恳请广大读者批评指正,以便再版时修订。

为方便选用本书作为教材的任课教师授课,编者还制作了与本书配套的电子课件。需要者可在清华大学出版社网站(www.tup.com.cn)上下载。

编 者

2011年5月

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字电路和模拟电路	1
1.1.2 数字信号与逻辑电平	1
1.1.3 脉冲波形与数字波形	2
1.2 数制和码制	3
1.2.1 数制及数制间的转换	3
1.2.2 码制	7
1.3 逻辑代数中的基本运算	9
1.3.1 逻辑与	9
1.3.2 逻辑或	9
1.3.3 逻辑非	10
1.3.4 复合逻辑	10
1.4 逻辑代数中的公式	12
1.4.1 基本公式	12
1.4.2 若干常用的公式	13
1.5 逻辑代数中的基本定理	14
1.5.1 代入定理	14
1.5.2 反演定理	14
1.5.3 对偶定理	14
1.6 逻辑函数的表示方法	15
1.6.1 逻辑函数	15
1.6.2 逻辑真值表	15
1.6.3 逻辑函数式	16
1.6.4 卡诺图	17
1.6.5 逻辑图	19
1.6.6 各种表示方法间的互相转换	19
1.7 逻辑函数的化简方法	20
1.7.1 逻辑函数的种类及最简形式	20
1.7.2 公式法化简	21
1.7.3 卡诺图法化简	23
1.7.4 具有无关项的逻辑函数及其化简	25

习题	26
第 2 章 门电路	30
2.1 概述	30
2.2 分立元器件门电路	30
2.2.1 二极管与门	30
2.2.2 二极管或门	31
2.2.3 三极管非门	32
2.3 TTL 门电路	32
2.3.1 TTL 非门的电路结构和工作原理	33
2.3.2 TTL 非门的外特性	35
2.3.3 其他类型的 TTL 门电路	38
2.3.4 TTL 系列门电路	44
2.4 CMOS 门电路	45
2.4.1 CMOS 反相器的电路结构和工作原理	45
2.4.2 其他类型的 CMOS 门电路	46
2.4.3 CMOS 传输门电路的组成和工作原理	46
2.4.4 CMOS 系列门电路的性能比较	47
2.5 集成门电路实用知识简介	49
2.5.1 多余输入端的处理方法	49
2.5.2 TTL 电路与 CMOS 电路的接口	49
习题	51
第 3 章 组合逻辑电路	57
3.1 概述	57
3.2 组合逻辑电路的分析和设计方法	57
3.2.1 组合逻辑电路的分析方法	57
3.2.2 组合逻辑电路的设计方法	58
3.3 若干常用的组合逻辑电路	60
3.3.1 编码器	60
3.3.2 译码器	65
3.3.3 数据分配器	73
3.3.4 数据选择器	75
3.3.5 加法器	80
3.3.6 数值比较器	83
3.4 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	84
3.4.1 竞争-冒险现象	84
3.4.2 竞争-冒险现象的判别方法	86
3.4.3 消除竞争-冒险现象的方法	86

习题	87
第 4 章 触发器	91
4.1 概述	91
4.2 触发器的电路结构与动作特点	92
4.2.1 基本 RS 触发器的电路结构与动作特点	92
4.2.2 同步 RS 触发器的电路结构与动作特点	94
4.2.3 主从 RS 触发器的电路结构与动作特点	97
4.2.4 主从 JK 触发器的电路结构与动作特点	99
4.2.5 边沿触发器	102
4.3 触发器的主要参数	108
4.4 不同类型触发器之间的转换	109
4.4.1 JK 触发器转换成其他功能的触发器	110
4.4.2 D 触发器转换成其他功能的触发器	111
习题	112
第 5 章 时序逻辑电路	118
5.1 概述	118
5.1.1 时序逻辑电路的特点	118
5.1.2 时序逻辑电路的组成和功能描述	118
5.1.3 时序逻辑电路的分类	119
5.2 时序逻辑电路的分析方法	119
5.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法	119
5.2.2 异步时序逻辑电路的分析方法	123
5.3 计数器	124
5.3.1 同步计数器	124
5.3.2 异步计数器	132
5.3.3 任意进制计数器	136
5.4 寄存器和移位寄存器	141
5.4.1 寄存器	142
5.4.2 移位寄存器	143
5.5 移位寄存器型计数器	148
5.5.1 环形计数器	148
5.5.2 扭环形计数器	148
5.6 顺序脉冲发生器和序列信号发生器	150
5.6.1 顺序脉冲发生器	150
5.6.2 序列信号发生器	150
5.7 时序逻辑电路的设计方法	152
5.7.1 同步时序电路的设计方法	152

5.7.2 异步时序电路的设计方法	156
习题	159
第6章 脉冲波形的产生与整形	165
6.1 概述	165
6.2 555 定时器	165
6.2.1 555 定时器的电路结构	166
6.2.2 555 定时器的工作原理	166
6.3 施密特触发器	167
6.3.1 施密特触发器的特点	167
6.3.2 用 555 定时器构成的施密特触发器	167
6.3.3 集成施密特触发器	169
6.3.4 施密特触发器的应用	169
6.4 单稳态触发器	171
6.4.1 单稳态触发器的特点	171
6.4.2 用 555 定时器构成的单稳态触发器	171
6.4.3 集成单稳态触发器	172
6.4.4 单稳态触发器的应用	175
6.5 多谐振荡器	177
6.5.1 多谐振荡器的特点	177
6.5.2 用 555 定时器构成的多谐振荡器	177
6.5.3 石英晶体多谐振荡器	179
6.5.4 压控振荡器	180
习题	181
第7章 数/模和模/数转换	185
7.1 概述	185
7.2 数/模(D/A)转换器	186
7.2.1 D/A 转换器的主要电路形式	186
7.2.2 D/A 转换器的输出方式	189
7.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	190
7.2.4 集成 D/A 转换器	191
7.3 模/数(A/D)转换器	194
7.3.1 A/D 转换器的基本工作原理	194
7.3.2 A/D 转换器的主要电路形式	196
7.3.3 A/D 转换器的主要技术指标	203
7.3.4 集成 A/D 转换器	204
习题	206

第 8 章 存储器和可编程逻辑器件	208
8.1 概述	208
8.1.1 存储器	208
8.1.2 可编程逻辑器件	209
8.2 只读存储器的分类及工作原理	210
8.2.1 只读存储器的分类	210
8.2.2 只读存储器的电路结构及工作原理	211
8.2.3 常用的只读存储器	213
8.3 随机存储器	215
8.3.1 RAM 的电路结构及工作原理	215
8.3.2 RAM 的存储单元	217
8.3.3 常用的随机存储器	218
8.4 存储器的扩展	219
8.4.1 位扩展方式	219
8.4.2 字扩展方式	219
8.5 可编程逻辑器件	220
8.5.1 PLD 的电路表示法	220
8.5.2 低密度可编程逻辑器件	221
8.5.3 高密度可编程逻辑器件	224
8.6 可编程逻辑器件的编程	227
8.6.1 并口下载电缆 ByteBlaster 的内部电路与信号定义	228
8.6.2 编程配置方式	228
习题	231
第 9 章 VHDL 语言基础	233
9.1 概述	233
9.2 VHDL 设计实体的基本结构	234
9.2.1 库和程序包	234
9.2.2 实体	235
9.2.3 结构体	236
9.3 VHDL 语言规则	237
9.3.1 VHDL 文字规则	237
9.3.2 VHDL 数据类型	239
9.3.3 VHDL 数据对象	241
9.3.4 VHDL 运算符和操作符	242
9.4 VHDL 的顺序语句和并行语句	243
9.4.1 顺序语句	243
9.4.2 并行语句	247



习题	250
第 10 章 VHDL 在数字单元电路设计中的应用	254
10.1 组合逻辑电路的设计	254
10.1.1 基本逻辑门电路的设计	254
10.1.2 优先编码器的设计	256
10.1.3 3-8 译码器的设计	257
10.1.4 显示译码器的设计	258
10.1.5 数据选择器的设计	259
10.1.6 加法器的设计	261
10.1.7 数值比较器的设计	263
10.2 时序逻辑电路的设计	263
10.2.1 触发器的设计	264
10.2.2 锁存器的设计	264
10.2.3 寄存器的设计	266
10.2.4 计数器的设计	268
10.3 存储器的设计	270
10.3.1 ROM 的设计	270
10.3.2 RAM 的设计	271
习题	272
附录 A MAX+plus II 使用简介	273
参考文献	281

第1章

逻辑代数基础

教学提示：逻辑代数是用于逻辑分析和设计的一种数学工具，主要内容是基本逻辑关系、逻辑代数的公式和定理、逻辑函数的表示方法和逻辑函数的化简。

教学要求：要求学生理解数字信号的概念，理解各种逻辑关系，掌握逻辑代数的公式、定理和逻辑函数的表示方法以及各种表示方法之间的转换，熟练掌握逻辑函数的两种化简方法，即公式法和卡诺图法。

1.1 概述

1.1.1 数字电路和模拟电路

电子电路中的信号可分为两种类型：一种是模拟信号；另一种是数字信号。

模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号。如温度传感器测量温度时输出的电流或电压信号就属于模拟信号。用来处理或产生模拟信号的电路称为模拟电路(analog circuits)，如放大器、信号发生器、滤波器、直流稳压电路等。由于模拟电路强调工程性，所以通常采用定性分析、近似计算等方法。

数字信号是指在时间上和数值上都是离散的信号。如在产品自动装箱控制系统中，一般在包装箱传送带的中间装一个光电传感器，当包装箱到位时，光电传感器就发出一个脉冲，用以对产品进行计数。显然，这个脉冲信号在时间上和数值上都是不连续的，它是一个数字信号。把工作在数字信号下的电子电路叫做数字电路(digital circuits)。数字电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系，所以主要的分析与设计工具是逻辑代数。

1.1.2 数字信号与逻辑电平

在数字电路中，一般使用二进制数 0 和 1 进行工作，反映在电路上就是高、低逻辑电平。逻辑电平(logic level)是指一个电压范围，而对于 TTL(三极管-三极管逻辑)电路和 CMOS(场效应管)逻辑电路的高电平(V_H)和低电平(V_L)的电压范围有所不同，具体范围如图 1-1 所示。从图中可以看出，它们都存在中间未定义区域(如 TTL 逻辑电路对电压为 1.5V 未作出定义)，这个未定义区是需要的，它可以明确地定义和可靠地检测高、低电平的状态。如果区分高、低电平的界限离得太近，那么噪声更容易影响运算结果，可能会破坏电路的逻辑功能，或使得电路的逻辑功能含混不清。



图 1-1 高、低电平的电压范围

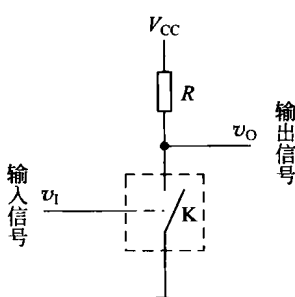


图 1-2 获得高、低电平的基本方法

在数字电路中,获得高、低电平的基本方法是通过控制半导体开关电路的开关状态来实现的,示意图如图 1-2 所示。当开关 K 断开时,输出电压 v_o 为高电平;而当开关 K 闭合时,输出便为低电平。开关 K 是用半导体二极管或三极管组成的。只要能通过输入信号 v_i 控制二极管或三极管的截止或导通状态,即可起到开关的作用。

如果用逻辑 1 表示高电平,用逻辑 0 表示低电平,则称这种赋值方式为正逻辑(positive logic);反之,若用逻辑 1 表示低电平,用逻辑 0 表示高电平,则称这种赋值方式为负逻辑(negative logic)。在本书中均采用正逻辑赋值。

1.1.3 脉冲波形与数字波形

数字波形是逻辑电平对时间的图形表示。通常,将只有两个离散值的波形称为脉冲波形,在这一点上脉冲波形与数字波形是一致的,只不过数字波形用逻辑电平表示,而脉冲波形用电压值表示而已。

理想的脉冲波形一般只要用 3 个参数便可以描述清楚,这 3 个参数是脉冲幅度 U_m 、脉冲周期 T 和脉冲宽度 t_w ,理想脉冲波形如图 1-3 所示。如果将脉冲波形中的电压值用逻辑电平表示就得到了数字波形。与脉冲波形相同,数字波形也有周期性和非周期性之分,图 1-4 表示了这两种数字波形。

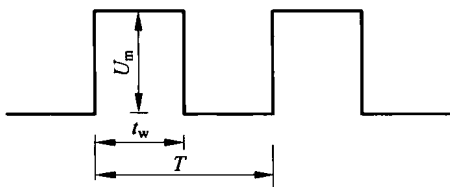


图 1-3 理想的脉冲波形



图 1-4 数字波形

前面讨论的脉冲波形是理想波形,而实际的脉冲波形的电压上升与下降都要经历一段时间,也就是说波形存在上升时间 t_r 和下降时间 t_f 。实际的脉冲波形如图 1-5 所示。

图 1-5 中所示各参数定义如下:

(1) 脉冲幅度 U_m

脉冲电压的最大变化幅度。

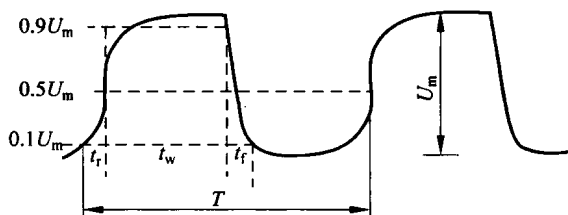


图 1-5 实际的脉冲波形

(2) 上升时间 t_r

脉冲上升沿从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需的时间。

(3) 下降时间 t_f

脉冲下降沿从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需的时间。

(4) 脉冲宽度 t_w

从脉冲上升沿到达 $0.5U_m$ 起，到脉冲下降沿到达 $0.5U_m$ 为止的一段时间。

(5) 脉冲周期 T

在周期性脉冲信号中，两个相邻脉冲的前沿之间或后沿之间的时间间隔称为脉冲周期，用 T 表示。

(6) 脉冲频率 f

在单位时间内(1秒)脉冲信号重复出现的次数，用 f 表示， $f=1/T$ 。

(7) 占空比 q

脉冲的宽度 t_w 与脉冲周期 T 的比值，即 $q=t_w/T$ 。

一般情况下波形的上升或下降时间都很小，而在数字电路中只需关注逻辑电平的高低，因此在画理想数字波形时忽略了上升和下降时间。本课程中所用的数字波形将采用理想波形。

1.2 数制和码制

1.2.1 数制及数制间的转换

1. 数制

数制是进位计数制的简称。在日常生活中，人们习惯采用十进制计数，在数字电路中经常使用二进制计数，而在计算机系统中还经常使用十六进制计数。

(1) 十进制

十进制(decimal)是用 10 个不同的数 $0, 1, 2, \dots, 9$ 来表示数的，任何一个数都可以用上述的 10 个数按照一定的规律排列起来表示，其计数规律是“逢十进一”。

任意一个十进制数 N 均可展开为

$$(N)_D = \sum k_i \times 10^i \quad (1-1)$$

其中，下角标 D 表示括号里的数 N 为十进制数，有时也用 10 表示。 k_i 是第 i 位的系数，它