

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

数字电子技术

孙丽霞 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

数字电子技术

孙丽霞 主编



高等教育出版社

内容简介

本书是依据高职高专电子信息类专业“数字电子技术”课程教学基本要求编写的。

本书共分9章,主要内容有:数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生及整形电路、模数和数模转换电路、半导体存储器及可编程逻辑器件、数字电路的读图方法、数字电路的软件仿真等。每章编有自测题和电路应用制作小课题,便于学生学完各章后进行自我检测和实训。本书具有内容精炼、实用性强、通俗易懂、注重新技术和新器件的应用等特点。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校“数字电子技术”课程的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 孙丽霞主编. —北京:高等教育出版社,2004.5

ISBN 7-04-013775-5

I. 数... II. 孙... III. 数字电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第010474号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 李葛平 封面设计 于 涛 责任绘图 郝 林
版式设计 张 岚 责任校对 存 怜 责任印制 杨 明

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 17.25

字 数 420 000

版 次 2004年5月第1版

印 次 2004年5月第1次印刷

定 价 21.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本教材为高等职业技术教育电子信息类专业技术基础教材,是根据电子信息类专业“数字电子技术”课程基本要求编写的。

按照高等职业技术教育培养目标的要求,高职人才必须具有大学专科的理论基础,并具有较强的本专业技术应用的技能。高职教育培养的人才面向生产一线的高级技术应用人才,是连接设计者和生产者的桥梁。

本教材在编写过程中遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则,力求做到以培养电子技术能力为主线,并注意了以下问题:

1. 加强针对性 教学内容针对电子信息类专业高级技术性应用人才岗位(群)所需的知识、能力来编写,为培养熟悉常用集成逻辑器件功能的能力、数字电路的分析方法、数字电路的设计能力、数字电路的读图能力、常见电子电路的安装能力和调试能力等来编写。本课程不仅可为专业课学习打好基础,而且直接为培养职业能力服务。

2. 增强实用性 编写过程中力争使教学内容与企业社会现状基本相符,做到理论联系实际,学以致用。淡化公式推导,重在教学生学会元器件和电子电路在实际中的应用。元器件重在外特性、引脚识别、使用注意事项等。在讲清楚元器件的逻辑功能后,即引入应用实例。

3. 突出教学内容的先进性 为使教学内容适应电子技术的飞速发展,突出集成电路及其应用,对精选的集成电路重点介绍它们的电路特点和应用实例。从了解电子技术发展趋势出发,简单介绍了可编程逻辑器件。为使学生了解计算机的辅助设计,附录 I 介绍了电路仿真软件 EWB 的使用方法。

4. 每章结束前,均安排有实验与制作小课题,介绍了如何用所学的数字器件设计制作出一个实用的数字系统。

5. 为培养学生的读图能力,专门有一章介绍数字电路的读图方法,目的在于使学生掌握数字电路的读图方法,以便于对数字电路进行应用、测试、维修和改进。

6. 每章编有自我检测题,便于检测知识掌握程度。

7. 首次出现的专用术语加英语标注。

本教材教学时数为 70~80 课时,可根据专业的不同和实际情况选用。

本教材与陈梓城教授主编的《模拟电子技术》为配套教材,是在同一指导思想下用同一编写大纲统筹编写的。

本书由孙丽霞副教授任主编,陈美红副教授、涂丽琴讲师、马永军讲师参编。其中第 2 章、第 4 章由陈美红编写,第 6 章、第 7 章由涂丽琴编写,马永军编写了第 8 章,孙丽霞编写了第 1 章、第 3 章、第 5 章、第 9 章、附录 I 及附录 II,并负责全书统稿。

本书由成都航空职业技术学院唐程山副教授审阅,他对编写提纲及书稿提出了许多宝贵的

意见和建议,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,错与不妥之处在所难免,恳请读者和同行指正。

编者

2003年9月

本书常用符号表

$A, B, C, \dots$	输入逻辑符号
C, CP	进位端, 触发器时钟脉冲输入端
CR	清零端
CS	片选信号输入端
D	D 触发器输入, 数据输入
D_s	移位寄存器串行输入
D_{SR}	右移串行输入
D_{SL}	左移串行输入
FF	触发器
G	逻辑门
U_{th}	门限电平电压
I_{BS}	临界饱和输入电流
I_{CS}	集电极饱和电流
I_{IH}	输入高电平电流
I_{IL}	输入低电平电流
I_{OH}	输出高电平电流
I_{OL}	输出低电平电流
U_{IH}	输入高电平电压
U_{IL}	输入低电平电压
U_{OH}	输出高电平电压
U_{OL}	输出低电平电压
J, K	JK 触发器输入端
L, F	逻辑函数
LD	预置控制
m	最小项
Q^n	触发器输出状态
Q^{n+1}	触发器输出次态
q	占空比
R, S	RS 触发器输入端
R_D	触发器的直接置 0 端
S_D	触发器的直接置 1 端
T	T 触发器输入端
TG	传输门

TSL	三态门
t	时间
t_{on}	开通时间
t_{off}	关断时间
t_w	脉冲宽度
t_{re}	恢复时间
$U_{GS(th)N}$	N 沟道增强型场效应管开启电压
$U_{GS(th)P}$	P 沟道增强型场效应管开启电压
U_{ON}	开门电平
U_{OFF}	关门电平
V_{CC}	(TTL) 三极管集电极电源电压
V_{EE}	(TTL) 三极管射极电源电压
V_{DD}	(CMOS) 场效应管漏极电源电压
V_{GG}	(CMOS) 场效应管栅极电源电压
V_{REF}	参考电压
$\times$	任意态, 无关项
$\uparrow$	从低电平到高电平的跳变
$\downarrow$	从高电平到低电平的跳变
⎓	高电平脉冲
⏏	低电平脉冲

目 录

第 1 章 数字电路基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号与模拟信号	1
1.1.2 数字电路的特点与应用	1
1.1.3 常见的脉冲波形及参数	2
1.1.4 数字电路的分类	3
1.1.5 数字电路的学习方法	3
1.2 常用的数制与码制	4
1.2.1 数制	4
1.2.2 几种数制之间的转换	5
1.2.3 码制	7
1.3 逻辑代数的基本概念	9
1.3.1 逻辑函数和逻辑变量	9
1.3.2 3 种基本逻辑运算	9
1.3.3 常用的复合逻辑函数	11
1.3.4 逻辑函数的表示方法及相互转换	13
1.3.5 逻辑代数的基本公式和定律	15
1.4 逻辑函数的化简	19
1.4.1 逻辑函数表达式的类型和最简式的含义	19
1.4.2 逻辑函数的公式化简法	19
1.4.3 逻辑函数的卡诺图化简法	21
本章小结	29
自我检测题	29
思考题与习题	30
第 2 章 逻辑门电路	33
2.1 二极管、三极管和 MOS 管的开关特性	33
2.1.1 二极管的开关特性	34
2.1.2 三极管的开关特性	34
2.1.3 MOS 管的开关特性	35

2.2 分立元件门电路	36
2.3 TTL 集成逻辑门	39
2.3.1 TTL 反相器电路组成及工作原理	39
2.3.2 TTL 反相器的外特性及主要参数	40
2.3.3 其他类型的 TTL 门电路	42
2.3.4 TTL 集成逻辑门电路产品系列及使用中的几个实际问题	46
2.4 CMOS 集成逻辑门	48
2.4.1 CMOS 反相器	48
2.4.2 其他类型的 CMOS 门电路	48
2.4.3 CMOS 集成逻辑门电路产品系列及使用中的几个实际问题	51
2.5 TTL 电路和 CMOS 电路的接口	52
2.6 实验与制作——简易抢答器	54
本章小结	56
自我检测题	56
思考题与习题	57
第 3 章 组合逻辑电路	59
3.1 组合逻辑电路的分析与设计	59
3.1.1 组合逻辑电路的分析	59
3.1.2 组合逻辑电路的设计	61
3.2 加法器和数值比较器	63
3.2.1 加法器	63
3.2.2 数值比较器	66
3.3 编码器和译码器	68
3.3.1 编码器	69
3.3.2 译码器	73
3.4 数据选择器和数据分配器	84
3.4.1 数据选择器	84
3.4.2 数据分配器	88
3.5 实验与制作——四状态逻辑测试笔	89
本章小结	91
自我检测题	91
思考题与习题	92
第 4 章 触发器	95
4.1 基本 RS 触发器	95
4.1.1 电路组成及工作原理	95

4.1.2 逻辑功能的表示方法	96
4.1.3 集成 RS 触发器	97
4.2 时钟控制的 RS 触发器	98
4.2.1 电路组成及逻辑符号	98
4.2.2 逻辑功能分析	99
4.3 边沿触发器	100
4.3.1 负边沿 JK 触发器的逻辑功能	101
4.3.2 集成边沿 JK 触发器	102
4.3.3 边沿 D 触发器的逻辑功能	104
4.3.4 集成边沿 D 触发器	104
4.4 T 触发器和 T' 触发器	106
4.4.1 T 触发器	106
4.4.2 T' 触发器	106
4.4.3 不同类型的时钟触发器之间的转换	107
4.5 实验与制作——8 路智力竞赛抢答器	108
本章小结	110
自我检测题	110
思考题与习题	111
第 5 章 时序逻辑电路	114
5.1 概述	114
5.1.1 时序逻辑电路的特点	114
5.1.2 时序逻辑电路的分类	115
5.2 时序逻辑电路的分析方法	115
5.2.1 分析步骤	115
5.2.2 分析实例	116
5.3 寄存器	118
5.3.1 数据寄存器	118
5.3.2 移位寄存器	120
5.3.3 寄存器的应用实例	123
5.4 计数器	125
5.4.1 异步计数器	126
5.4.2 同步计数器	130
5.4.3 任意进制计数器	138
5.4.4 计数器应用实例	140
5.5 顺序脉冲发生器	142
5.5.1 计数型顺序脉冲发生器	142
5.5.2 移位型顺序脉冲发生器	143

5.5.3 集成顺序脉冲发生器	143
5.6 实验与制作——游戏机中的随机掷数发生器	144
本章小结	146
自我检测题	146
思考题与习题	147
第6章 脉冲波形的产生与整形电路	150
6.1 概述	150
6.2 555 定时器	150
6.2.1 概述	150
6.2.2 7555 定时器	151
6.3 单稳态触发器	152
6.3.1 单稳态触发器的工作特点	152
6.3.2 用 555 定时器构成的单稳态触发器	152
6.3.3 集成单稳态触发器	153
6.3.4 单稳态触发器应用实例	157
6.4 施密特触发器	159
6.4.1 施密特触发器的工作特点	159
6.4.2 用 555 定时器构成的施密特触发器	159
6.4.3 集成施密特触发器	160
6.4.4 施密特触发器应用实例	162
6.5 多谐振荡器	164
6.5.1 多谐振荡器的工作特点	164
6.5.2 由集成门电路构成的多谐振荡器	164
6.5.3 用 555 定时器构成的多谐振荡器	167
6.5.4 石英多谐振荡器	168
6.5.5 多谐振荡器应用实例	169
6.6 实验与制作——触摸式定时开关	170
本章小结	172
自我检测题	172
思考题与习题	172
第7章 数模与模数转换电路	174
7.1 概述	174
7.2 D/A 转换器	175
7.2.1 D/A 转换器电路组成及基本原理	175
7.2.2 D/A 转换器	176

7.2.3 集成 D/A 转换器应用实例	180
7.3 A/D 转换器	182
7.3.1 A/D 转换器的电路组成及基本原理	182
7.3.2 A/D 转换器	185
7.3.3 集成 A/D 转换器应用实例	192
7.4 实验与制作——程控电压源	194
本章小结	196
自我检测题	196
思考题与习题	196
第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑器件	198
8.1 半导体存储器	198
8.1.1 只读存储器 ROM	198
8.1.2 随机读写存储器 RAM	205
8.2 可编程逻辑器件	208
8.2.1 可编程逻辑阵列 PLA 简介	208
8.2.2 可编程阵列逻辑 PAL 简介	209
8.2.3 通用阵列逻辑 GAL 简介	209
8.2.4 现场可编程门阵列 FPGA 简介	210
8.3 实验与制作——用 EPROM 实现可编程控制灯	211
本章小结	213
自我检测题	213
思考题与习题	214
第 9 章 数字电路读图练习	215
9.1 读图的基本要求、方法和步骤	215
9.1.1 读图的基本要求和方法	215
9.1.2 读图的基本步骤	216
9.2 读图实例	217
9.2.1 2 位二进制十进制加法器电路	217
9.2.2 数字钟电路	219
本章小结	225
自我检测题	225
思考题与习题	225
附录 I 数字电路的仿真软件——EWB 的应用	228
附录 II 数字集成电路产品系列	252

附录Ⅲ 常用集成芯片引脚图	257
参考文献	261

第1章

数字电路基础知识

1.1 概述

1.1.1 数字信号与模拟信号

在电子技术中,被传递和处理的电信号分为模拟信号(Analog signal)和数字信号(Digital signal)两大类。处理前一类信号的电路称为模拟电路(Analog circuit),处理后一类信号的电路称为数字电路(Digital circuit)。

模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号,如模拟电视的图像和伴音信号,生产过程中由传感器检测的由某种物理量转化成的电信号等。

数字信号是指在时间上和数值上都是断续变化的离散信号,如由计算机键盘输入计算机的信号,自动生产线上记录产品或零件数量的信号等。

图 1.1.1(a)、(b)所示分别为模拟电压信号和数字电压信号。

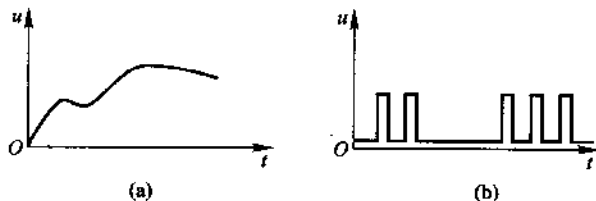


图 1.1.1 模拟电压信号和数字电压信号

(a) 模拟电压信号 (b) 数字电压信号

1.1.2 数字电路的特点与应用

数字电路中的基本工作信号一般是二进制的数字信号或两种状态的逻辑信号(Logic signal),而且两者是相通的,因为前者只有“0”、“1”两个数字符号,后者只有“0”、“1”两种可能取值。数字电路常用这种二值信息来表示脉冲的有无或电平的高低。与模拟电路相比,它具有如下特点:

(1) 数字电路在稳态时,电路中的器件(如二极管、三极管、场效应管)处于开关(导通或截止)状态,这和二进制信号的要求是相对应的,因为导通和截止两种状态的外部表现正是电流的有、无,电压的高、低。

(2) 数字电路一般由几种最基本单元电路组成,这些单元电路在工作时只要能可靠地区分开“1”和“0”两种状态即可。所以组成数字电路的单元结构比较简单,具有便于集成、工作可靠、精度高、成本低、使用方便、抗干扰能力强等优点。

(3) 数字电路的研究内容可分为两类问题,一类是对已有的电路分析其逻辑功能——逻辑分析;另一类是按其逻辑功能要求设计出满足逻辑功能的电路——逻辑设计。

(4) 由于数字电路的工作状态、研究内容与模拟电路不同,所以分析方法也不同。数字电路的分析常采用逻辑代数和卡诺图法。

(5) 数字电路不仅具有运算能力,还具有逻辑思维能力,它能对数字信号进行各种逻辑运算(逻辑推理和逻辑判断),因此也称为逻辑电路(Logic circuit)。

数字电路的产生和发展是电子技术发展的重要分支。由于数字电路具有许多特殊的优点,因而广泛应用于通信、自动控制、计算机、电子测量仪器、家用电器(如VCD、DVD、电视机)等领域。

1.1.3 常见的脉冲波形及参数

脉冲信号(Pulse signal)是指在短暂时间间隔内作用于电路的电压或电流信号。

脉冲信号有多种形式,图1.1.2画出了几种常见的脉冲波形,它可以是偶尔出现的单脉冲,也可以是周期性出现的重复脉冲序列。

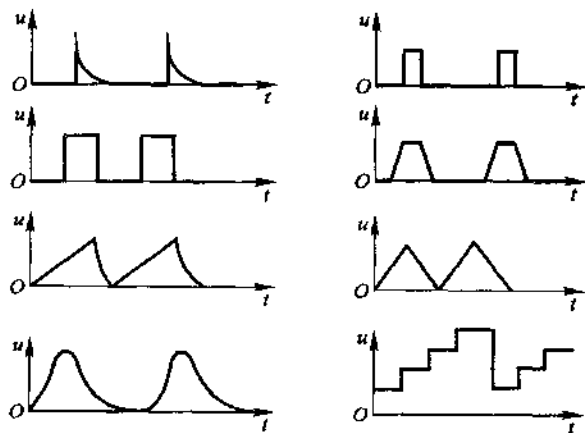


图 1.1.2 常见的脉冲波形

数字电路中的输入、输出电压值一般有两种取值:高电平或低电平,因此常使用脉冲信号中最典型的理想矩形脉冲波作为电路的工作信号,如图1.1.3(a)所示。

实际的矩形脉冲波如图1.1.3(b)所示,当它从低电平上升为高电平,或由高电平下降到低电平时,并不是理想的跳变,顶部也不平坦。为了具体说明矩形脉冲波形,常引入以下一些参数。

(1) 脉冲幅度 U_m ——指脉冲跳变的最大幅值。

(2) 前沿或上升时间 t_r ——通常指由 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需的时间。 t_r 愈短,脉冲上升

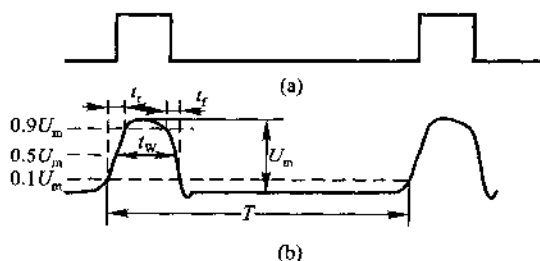


图 1.1.3 矩形脉冲参数

(a) 理想矩形波 (b) 实际矩形波

得愈快,愈接近于理想矩形波的上升跳变。

(3) 后沿或下降时间 t_f ——指从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需的时间。

(4) 脉冲宽度 t_w ——指前、后沿电压为 $0.5U_m$ 两点间的时间间隔,也称为脉冲持续时间、有效脉冲宽度等。

(5) 重复周期 T ——指相邻脉冲上相应点之间的时间间隔,其倒数为每秒脉冲数,称为脉冲的重复频率。

(6) 脉宽比 t_w/T ——指脉冲宽度与周期之比,也称为占空系数。

1.1.4 数字电路的分类

1. 数字电路按组成结构不同可分为分立组件电路(Discrete circuit)和集成电路(Integrated circuit)两大类,其中集成电路按集成度(在一块硅片上包含组件数量的多少)可分为小规模(SSI, Small Scale Integration)、中规模(MSI, Medium Scale Integration)、大规模(LSI, Large Scale Integration)和超大规模(VLSI, Very Large Scale Integration)集成电路。

2. 按电路所使用的器件不同可分为双极型电路(如 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL 等)和单极型电路(如 NMOS、PMOS、CMOS、HCMOS 等)。

3. 按电路的逻辑功能不同可分为组合逻辑电路(Combinational logic circuit)和时序逻辑电路(Sequential logic circuit)两大类。

1.1.5 数字电路的学习方法

数字电路是电子信息类专业的技术基础课,也是一门实践性较强的课程。根据课程的特点,学习中应注意以下问题:

1. 提高对本课程重要性的认识,认真学习。本课程在高级技术应用型人才培养中具有十分重要的地位和作用:① 本课程是后续专业课程学习的基础;② 本课程是为培养学生的电子技术应用能力服务的;③ 本课程所学的元器件和基本电路在工程实践中具有广泛的实用价值。

2. 数字电路所研究的主要问题是电路的输入和输出之间的逻辑关系,即电路的逻辑功能。它所使用的数学工具是逻辑代数,描述电路逻辑功能的主要方法是真值表、逻辑函数表达式、状态转换图、波形图等。必须熟练地掌握和运用这些工具及方法。

3. 重点掌握数字器件的外部逻辑功能、使用方法及其功能的扩展,对内部电路的原理分析是为了加深对外部功能的理解,学会逻辑分析和逻辑设计的基本方法。

4. 理论联系实际,重视实践教学环节。学习的目的在于应用,理论学习要为培养电子技术能力服务。本课程是实践性很强的课程,要重视实验与课程设计。

5. 注重职业道德的培养,养成良好的职业习惯。电子技术工作是严、细、实的工作,必须有良好的职业习惯。在实验实习时必须严格遵守实验规则和安全操作规程,防止损坏仪器设备和发生重大设备、人身安全事故。正确使用仪器、仪表,正确读数,养成严谨细致的工作作风。

1.2 常用的数制与码制

1.2.1 数制

1. 十进制数

十进制数 (Decimal number) 是人们在日常生活中最熟悉的一种数制,它有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码,基数 (Base) 为 10。计数规则是逢十进一或借一当十。

每一位数码根据它在数中的位置不同,代表不同的值。 n 位十进制数中,第 i 位所表示的数值就是处在第 i 位的数字乘上 10^i ——基数的 i 次幂。常把基数的 i 次幂叫做第 i 位的位权 (Weight)。例如十进制正整数 2567 中

第 3 位	第 2 位	第 1 位	第 0 位
2	5	6	7
千位	百位	十位	个位

第 0 位的位权是 10^0 , 第 1 位的位权是 10^1 , 第 2 位的位权是 10^2 , 第 3 位的位权是 10^3 。则

$$2567 = 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0$$

又如 $5230.45 = 5 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 0 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

由此可以得出十进制数的一般表达式。如果一个十进制数包含 n 位整数和 m 位小数,则

$$\begin{aligned} (N)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + \\ &\quad a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1.2.1)$$

式中的下标 10 表示 N 是十进制数,也可以用字母 D 来代替,如

$$(75)_{10} = (75)_D$$

十进制数用电路来实现是非常困难的,在数字电路中一般不直接采用十进制数。

2. 二进制数

二进制数 (Binary number) 只有 0、1 两个数码,基数为 2,计数规则是逢二进一或借一当二。其位权为 2 的整数幂,按权展开式的规律与十进制相同。如

$$(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

又如 $(1001.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

其位权展开式为

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$