

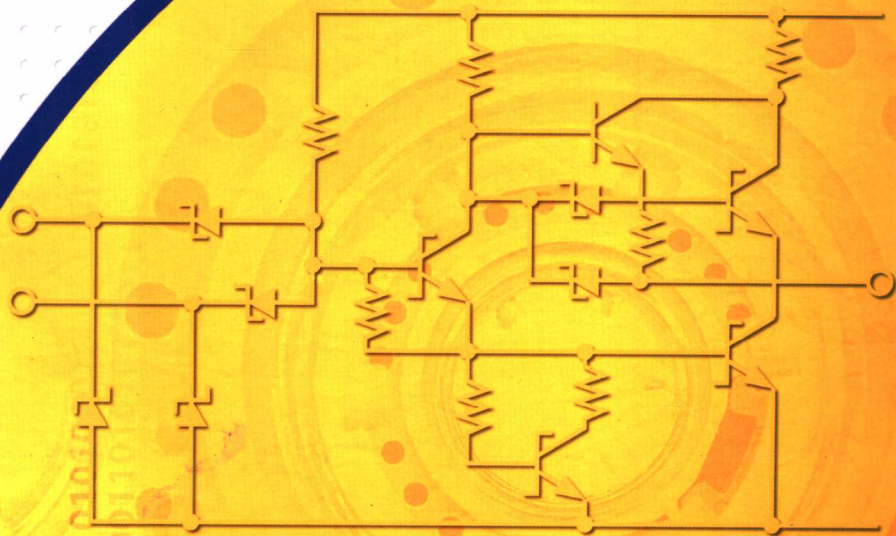
图解实用电子技术丛书

数字电路设计

〔日〕汤山俊夫 著

关 静 胡圣尧 译

万国庆 校



科学出版社

www.sciencep.com

图解实用电子技术丛书

数字电路设计

〔日〕 汤山俊夫 著

关 静 胡圣尧 译

万国庆 校

科学出版社

北 京

图字: 01-2005-6526 号

内 容 简 介

本书是“图解实用电子技术丛书”之一。本书从数字电路与模拟电路的区别入手,介绍数字电路和数字 IC,基本元件 AND、OR、NOT 的动作,触发器,计数器,定时器与时钟电路的制作,移位寄存器,高性能组合电路,基本接口,绝缘接口,由 HDL 组成的数字电路设计等。

本书图表丰富,将作者多年的工作经验与具体设计实例最大程度地整合在一起,直接带给读者最实用的电路设计技巧。

本书可供从事数字电路开发与设计的技术人员参考,也可作为电子、自动化等相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路设计/(日)汤山俊夫著;关静等译;万国庆校. —北京:科学出版社,2006

(图解实用电子技术丛书)

ISBN 7-03-017494-1

I. 数… II. ①汤…②关…③万… III. 数字电路-电路设计-图解
IV. TN79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 069774 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 8 月第一次印刷 印张: 16 1/4

印数: 1—4 000 字数: 238 000

定 价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前言

本书的前身——《数字 IC 电路的设计》于 1986 年 1 月出版发行,当时作为定制 LSI 的门阵列才刚刚出现,因此逻辑系统的主流大部分是组合个别的数字 IC。当然,对应于各种用途的专用 LSI 也有出售,但使自己的原始电路集成在单个硅片上还只是个梦想。

其后,门阵列飞跃扩展门电路数目,到目前为止,用一个 LSI 能实现大部分的功能。还有,最近像 FPGA 那样的程序通过使用数字 LSI,也能够轻松地实现原始电路。虽然逻辑系统的设计方法发生了这么大的变化,但构成逻辑系统的门电路、触发器等的基本动作并没有改变,数字电路的基本原理仍然和以往相同。因此,本书为读者添加了数字 IC 的特征和作为当前设计手段的 HDL 设计,大幅度地修订了前著。

即使将数百万门数字电路集成在一个 LSI 上,取出其中某个门电路,其基本动作也不会变化。可以说理解门电路的基本动作是设计大规模逻辑系统的第一步。如果能观测数百万门电路的 LSI 中的信号、确认其动作固然好,但这是非常困难的。因此本书通过解说基于大规模逻辑系统的设计方法之一的 HDL (Hardware Description Language) 的设计实例,使读者能够体验到数字电路的设计。有关 HDL 的书籍很多,本书可作为理解那些书籍的辅助教材,介绍了多个逻辑系统的设计实例。

NAND 门电路的作用是无无论集成多少个都不会改变的,而且设计大规模逻辑系统时应注意的事情也不依赖于电路规模。门电路必然存在延迟时间,如果集成度变化(晶体管的微细化),其延迟时间的绝对值也会随之变化,如果延时时间为“0”,设计固然很好,但由于存在此延迟时间,必然会有时引起误动作、不出现目标性能等。只有充分理解单个数字 IC 的动作波形,才能够设计出稳定动作的逻辑系统。理解逻辑动作的验证和延迟时间的验证是设计稳定的数字电路的要点。

进一步地,大规模逻辑系统的关键是同步电路设计,通过分别考虑门电路的延迟时间和逻辑动作,能够设计出很大的系统。最

近的逻辑系统的设计以使用计算机仿真为主流,在使用 HDL 的设计中计算机是不可缺少的。计算机能够为我们准确地计算出逻辑动作和延迟时间,且通过确认其结果能够判断出是否实现了必要的功能。阅读本书时只有关注逻辑=“1”和“0”的组合、延迟时间=通过了几段门电路这些要点,才能够充分地理解使用数字电路的逻辑系统的设计内涵。

希望本书能够对读者进行逻辑系统的设计有所帮助。

著 者



目 录

第 1 章 数字电路和模拟电路	1
1.1 世界上电信号是否是模拟信号	1
1.2 变化电压	3
1.3 在数字电路中处理模拟信号	4
1.4 数字电路的优点	7
1.5 数字系统的优点	10
第 2 章 数字电路和数字 IC	13
2.1 数字电路	13
2.1.1 表示灯亮、灭的方法	13
2.1.2 区别“H”电平和“L”电平的电路	14
2.2 实际 IC 的逻辑电平	15
2.2.1 电源用 5V 启动	16
【专栏】 TTL 和 CMOS	16
2.2.2 研究数字 IC 的“H”电平和“L”电平	18
【专栏】 数字 IC 的型号	20
2.2.3 IC 的“H”电平和“L”电平的规格	21
【专栏】 逻辑系列的种类	22
2.2.4 5V 电源发生变动的情况下	23
2.3 输入信号和输出信号的时间关系	24
2.3.1 输出信号一定比输入信号滞后	24
2.3.2 IC 滞后时间的表示方法	24
2.3.3 实际 IC 的滞后时间	25
2.4 将 IC 相连接时的问题	26
2.4.1 可连接的负载的数量——输出负载数	26
2.4.2 TTL 情况下由输入输出电流值决定	26

2.4.3	系列不同时要注意	28
2.4.4	CMOS 情况下滞后时间增加	28
2.4.5	连接 TTL 和 CMOS 时的注意点	29
【专栏】	旁路电容的作用	30
第 3 章	基本元件 AND、OR、NOT 的动作	33
3.1	三种基本逻辑门 AND、OR、NOT	33
3.1.1	逻辑与门(AND)	33
3.1.2	逻辑或门(OR)	34
3.1.3	逻辑非门(NOT)	34
3.1.4	AND、OR、NOT 的组合电路举例	35
3.1.5	掌握门电路的图形	36
【专栏】	逻辑电路图形符号	37
3.2	将期望的功能置换为门电路	39
3.2.1	与非门 NAND、或非门 NOR 的作用	39
3.2.2	o 符号的使用方法和逻辑的置换	40
3.2.3	组合电路练习	42
3.2.4	异或门 EXOR	43
【专栏】	IEC/JIS 规定的逻辑电路图的表示	45
第 4 章	触发器	49
4.1	保持数字信号的基本技术	49
4.1.1	在信号上加锁——锁存器	49
4.1.2	RS 锁存器	50
4.1.3	决定最初状态的初始化	51
4.1.4	实际的 RS 锁存器	52
【专栏】	关于时序图	54
4.1.5	专用的 RS 锁存器	55
4.1.6	数据的锁存	56
4.1.7	实际的 D 锁存器	58
4.2	与时钟同步的信号保持方法	59
4.2.1	同步 RS 触发器	60

4.2.2	边沿触发的触发器	61
4.2.3	实际的同步式触发器	61
4.2.4	最常使用的 JK 触发器	64
4.3	触发器的正常利用法	66
4.3.1	建立时间和保持时间	66
4.3.2	实际的设计	68
4.3.3	最高重复频率	69
4.3.4	与时钟同步的边沿检测	71
4.3.5	与输入信号同步的边沿检测	72
4.3.6	2 相信号发生电路	74
第 5 章	计数器	75
5.1	数的计数法	75
5.1.1	二进制数和十进制数	75
5.1.2	BCD 码和十六进制数	77
5.2	计数器的构成和基本动作	78
5.2.1	计数器的基本电路	79
5.2.2	加计数器和减计数器	80
5.2.3	非同步计数器	82
5.2.4	同步计数器	83
5.3	计数器 IC 的利用方法	85
5.3.1	非同步计数器 7493 的使用方法	86
5.3.2	同步计数器 74161/163 使用方法	89
5.3.3	加/减计数器 74193	94
5.4	4000/4500 CMOS 系列特有的计数器 IC	98
5.4.1	多段二进制计数器 4020/4040/4024	98
5.4.2	振荡电路内藏 24 段计数器 4521	102
5.4.3	约翰逊计数器 4017/4022	104
第 6 章	制作定时电路	109
6.1	制作定时的基本技术	109
6.1.1	延迟数字信号——延迟电路	109

6.1.2	制作小的延迟	110
6.1.3	由 TTL 组成的延迟电路	111
6.1.4	延迟的界限	111
6.1.5	波形延迟的缺点	112
6.1.6	整形波形	113
6.2	应用延迟电路的定时电路	116
6.2.1	附加二极管	116
6.2.2	检测信号的上升/下降的电路	117
6.3	单稳多谐振荡器	120
6.3.1	单稳多谐振荡器 74LS123	120
6.3.2	再触发功能和强制复位	122
6.3.3	延迟型的脉冲发生电路	124
6.3.4	使用 CMOS 的单稳多谐振荡器	124
6.3.5	由 CMOS 引起的单稳态的问题点	126
第 7 章 制作时钟电路		129
7.1	利用 RC 延迟的振荡电路	130
7.1.1	RC 振荡电路的原理	130
7.1.2	TTL 电路的工作和计算不一致	130
7.1.3	用 2 段 CMOS 构成的振荡电路	132
7.1.4	用 3 段 CMOS 构成的振荡电路	133
7.1.5	控制振荡电路的方法	135
7.1.6	由 LC 组成的振荡电路	136
7.1.7	利用施密特触发器的振荡电路	138
7.2	稳定度高的振荡电路	140
7.2.1	TTL 晶体振荡电路	140
7.2.2	CMOS 晶体振荡电路	142
7.2.3	陶瓷振子组成的振荡电路	142
第 8 章 移位寄存器		147
8.1	移位寄存器的基本功能	147
8.1.1	触发器的串联连接	147

8.1.2	输入数据串行移动的效果	148
8.2	计数器功能的利用方法	149
8.2.1	串行输入并行输出 8 位移位寄存器 74164	150
8.2.2	约翰逊计数器中的应用	150
8.2.3	环形计数器中的应用	151
8.3	串行传输电路中的应用	153
8.3.1	串行数据的波形检测电路	154
8.3.2	具有并行输入的通用移位寄存器 74194	156
8.3.3	并行-串行变换电路	158
8.3.4	串行-并行变换电路	159
第 9 章	高性能的组合电路	161
9.1	译码器	161
9.1.1	由组合逻辑组成的译码器	161
9.1.2	BCD——十进制译码器 7442	162
9.1.3	译码器的扩展方法	165
9.1.4	串行数据的译码器	167
9.1.5	其他的译码器 IC	167
9.2	编码器	170
9.2.1	8-3 行优先编码器	171
9.2.2	十进制-BCD 编码器	172
9.2.3	16 输入的编码器	172
9.3	数据选择器/多路转换器	174
9.3.1	8-1 行数据选择器/多路转换器 74151	174
9.3.2	并行-串行数据变换电路	174
9.3.3	一致检测电路中的应用	177
9.3.4	多通道数据传输电路	177
9.3.5	其他的选择器/多路转换器 IC	179

第 10 章 基本接口	181
10.1 和机械触点的接口	181
10.1.1 机械触点的宿命——振荡	181
10.1.2 使用 RC 延迟去除振荡	182
10.1.3 使用 RS 锁存器除去振荡	182
10.1.4 使用移位寄存器的振荡去除电路	185
10.2 整形波形的电路	187
10.2.1 波形变钝会增加误动作	188
10.2.2 阈值电压也具有磁滞的效果	188
10.2.3 施密特触发器 IC 的实验	189
10.3 晶体管的利用和电平变换	190
10.3.1 晶体管开关	190
10.3.2 加快开关速度的方法	192
10.3.3 再高速时饱和变浅	194
10.3.4 变换逻辑电平的电路	194
10.4 驱动大负载	196
10.4.1 晶体管开路集电极	196
10.4.2 要想增加电流放大倍数,连接成 达林顿管	197
10.4.3 达林顿管驱动器	198
10.4.4 驱动继电器举例	199
 第 11 章 绝缘接口	 203
11.1 使用光电耦合器	203
11.1.1 绝缘接口的理由	203
11.1.2 驱动光电耦合器	204
11.1.3 谋求响应加速的一种方法	207
11.1.4 高速型光电耦合器	208
11.1.5 低功耗型光电耦合器	211

第 12 章 由 HDL 组成的数字电路设计 213

- 12.1 不画电路图的设计方法 213
 - 12.1.1 电路图组成的设计和 HDL 组成的设计的区别 214
 - 12.1.2 进行 HDL 的语言设计时不能忘记的事情 215
- 12.2 HDL(Hardware Description Language) 215
- 12.3 HDL 的描述方法 216
- 12.4 D 触发器 221
- 12.5 计数器和移位寄存器 223
 - 12.5.1 同步计数器 223
 - 12.5.2 移位寄存器(74164) 225
 - 12.5.3 环形计数器 226
 - 12.5.4 不使用功能定义的情况 227
 - 12.5.5 同步复位和非同步复位 229
 - 12.5.6 十进制计数器 230
 - 12.5.7 加/减计数器(逻辑设计) 231
- 12.6 加法器的动作和设计 234
 - 12.6.1 半加器 234
 - 12.6.2 全加器 237
 - 12.6.3 设计 4 位加法器 238
- 12.7 乘法器的动作和设计 240
 - 12.7.1 4 位 $\times$ 4 位乘法器电路 241
 - 12.7.2 用 HDL 描述的乘法电路 241
 - 12.7.3 由 HDL 组成的设计是万能的吗 241

参考文献 245

第1章

数字电路和模拟电路

提到数字和模拟的概念,很多人马上就会联想到数字时钟和模拟时钟,这是一个非常直观且易理解的例子。但要想具体地说明数字和模拟的区别究竟在哪里却是非常困难的。

本章针对数字和模拟的区别,以及现在的电子设备中为什么多使用数字电路的问题,进行详细地说明。

1.1 世界上电信号是否是模拟信号

在当今社会,我们使用着各种各样的电子设备,比如音响、电视、游戏机等娱乐电器,冰箱、洗衣机等服务于日常生活的家用电器,汽车、有轨电车等运输交通工具,可以说没有电子设备就不会有现在的生活。如果仔细观察,会发现在我们生活中的方方面面,电子电路都起着主导的作用。

也就是说,要想实现既定的目标,使用电子电路是最适合的。那么,这样的电子设备和人类之间的连接采取怎样的形式实现呢?以电话为例,首先是交谈的声音经过麦克风进入电子电路中,如果通过电子电路、电线使电信号到达对方,则会变成使扬声器的振动膜振动的声音传入人耳。而在人们进行面谈的时候,声音顺着空气直接传入人耳,所以在远处的人如果不使用电话等就不能够进行交谈了(参见图 1.1)。

声音是被转换成某些电信号进入电子设备的,声音有大小、高低之分,另外根据人及发音方等的不同也会发生变化(参见图 1.2),但它不是像 1V、2V 这种阶段性的变化。像这样连续发生变化的物理量称为模拟量,由于值是连续变化的,所以对其进行处理的电子电路也必须是连续地动作。例如,向远处传送声音时,如果电线很长,途中电压会下降。为防止电压的衰减,途中最好使用可使电压恢复到原值的放大器。像这样的放大器要使用能进行



图 1.1 近处的声音可直接听见



图 1.2 音乐、声音等电压/周期都是随机波形

连续动作的电子电路,我们称此电子电路为模拟电路。由于是连续的动作,所以电子电路时时刻刻地看守输入信号,输入的信号马上被转换成所需的电压进行输出。如果是传送到远方,则会变成声音使远方的人听见。

来看其他的例子,例如温度也是连续的,阶段的表示为 20°C 、 25°C ,但并不是没有其中间的温度。光的强度也是连续的,车的速度也是连续变化的。当然,按下开关时的 ON/OFF 的变化并不是连续的,然而仔细观察其动作,指尖的力度是连续变化的。虽然开关被按下的力度被区分为比某些值大或小两种状态,但指尖的力度是连续变化的。

这样,如果我们来观察各种各样的物理现象,会发现连续变化的占大多数,所以也可以说,我们的世界是个模拟的世界(参见图 1.3)。但并不是模拟的世界就和模拟的电子电路相称,以前的

电子电路几乎都是模拟电路,可最近的电子电路几乎都变成了数字电路,这是什么原因呢?

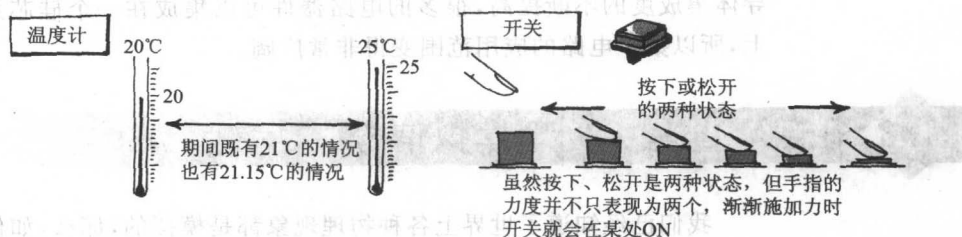


图 1.3 世界都是模拟信号(?)

(模拟信号很多,但为什么都使用数字电路呢?)

应该连续变化的声音等,为什么用只能处理不连续值的数字电路来处理呢?如果不解决这个疑问,即使学习数字电路也不能取得较大的进步。因此,首先我们从解决这个疑问开始。

1.2 变化电压

要想发出大声,施加大电压;要想发出高音,加速电压的变化等;确定了目的之后剩下的就是如何实现了。用于电子电路的晶体管,其输入的电压、电流会影响到输出的电流,利用此特性的是模拟电路(参见图 1.4)。即对于输入信号的变化可由一个器件得到,对应输入连续的变化,输出的变化也是连续的。极端地看来,变成了器件决定特性。

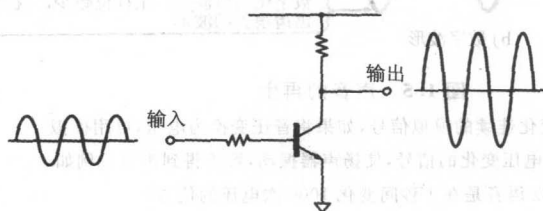


图 1.4 电压放大器(模拟电路)——波形理想的放大器

虽说由器件决定了特性,但即使大量制造半导体元件,想做出完全相同的器件也是相当困难的。因此,在模拟电路中,为使各个元件的偏差尽量减小,需要在电路上多下功夫。

与此相对,在数字电路中,根据输入的信号是“1”或“0”来确定

输出,所以不存在偏差问题。然而,判断输入的电压是“1”还是“0”也需要很多的电路器件,这会造成电路规模的变大。今天,随着半导体集成度的不断提高,很多的电路器件可以集成在一个硅芯片上,所以数字电路的应用范围变得非常广阔。

1.3 在数字电路中处理模拟信号

我们已经知道了世界上各种物理现象都是模拟的,那么,如何使用数字电路实现目的呢?模拟和数字似乎性质不合,但是不必担心。我们看一下用不连续量处理连续的物理量时,会产生怎样的问题呢?声音中声压是连续变化的信号,取某一瞬间的此信号,将其表示成一个电压。以此值为基础,尝试一下使用逻辑电路改变信号。

图 1.5 表示正弦波形。如果将连续变化的声压每隔一定的时间间隔进行采样并将其连接,则变成像图 1.5(b)所示的那样的锯齿波。通过像这样的取样模拟信号可在数字电路中处理模拟信号(严格地说是不能完全再现原始波形的,但是由于人所具有的感觉是有限度的,所以在考虑其限度后,以微小间隔取样其电压,则在数字电路中也能够处理模拟信号)。

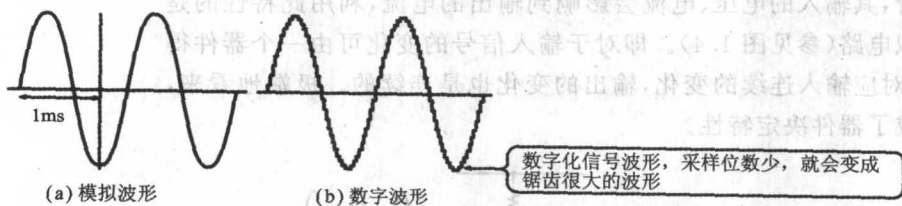


图 1.5 声音的再生

(声音是音压变化连续的模拟信号,如果将音压变换为电压,可用模拟电路放大,放大电压变化的信号,使扬声器振动,可听得到声音。例如,1kHz 语音是在 1 秒间变化 1000 次电压的信号)

想了解其详细过程的读者,请参阅有关 A/D 变换的书籍。简单地讲,就是要牢记“以所处理频率的 2 倍以上频率采样其电压,可再现原频率”这一基本的采样定理。

人耳易于听见的频率一般以 20kHz 为限,因此,CD 等音乐基本使用 40kHz 以上的频率进行采样,作为数字数据来处理音乐,