

(TN-0607.0101)

责任编辑: 杨 凯 崔炳哲

责任制作: 魏 谨

封面设计: 朱 平

建议放架类别: 电子电路

科学出版社 东方科龙

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

E-mail:bjb_cbz@okbook.com.cn

ISBN 7-03-014689-1



9 787030 146892 >

ISBN 7-03-014689-1

定 价: 30.00 元

全 容 内

图解电路设计与制作系列

数字电路设计与制作

〔日〕 汤山俊夫 著

彭 军 译

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是“图解电路设计与制作系列”之一,内容分为基础篇和制作篇两部分。基础篇介绍制作数字电路所涉及的基本知识、基本方法和制作技巧;制作篇中介绍大量实用的数字电路的设计与制作,例如电子节拍器、电子计数器、万步计、速度计、秒表、电子存钱箱、断线传感器、信息灯、水位传感器、频率计数等。

本书着眼于提高学习者的数字电路实验技能,具有很强的实用性。

本书可作为电子、电气、信息科学、仪器仪表等相关专业技术人员及本科生的参考用书,亦可作为相关专业中等专科学生的数字电路实验或者自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路设计与制作/(日)汤山俊夫著;彭军译.--北京:科学出版社,2005
(图解电路设计与制作系列)

ISBN 7-03-014689-1

I. 数… II. ①汤…②彭… III. 数字电路-电路设计-图解 IV. TN 79-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 001160 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:朱 平

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>

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005 年 4 月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—4 000 字数: 311 000

定 价: 30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

数字电路
设计
PDG

前言

近年来,由于半导体技术的迅速发展,各种非常便利的电子设备得到普遍推广应用。个人计算机的体积直到十多年前还有桌面那样大,然而现在已经缩小到能够放在手掌上。这是因为采用了高度集成化的超大规模集成电路(VLSI)。

对于希望自制电子设备,或者需要设计功能复杂的电子电路的人们来说,要求他从一开始就能熟练掌握这些知识与技能是非常困难的。特别是对于进入一个崭新领域的人来说是需要勇气的。因此,在最初的学习阶段需要从最简单的电子电路开始进行训练。如果在身旁有志同道合者能够一起探讨就好了,不过现实中往往不是这样的。有些人是依靠杂志上刊登的新产品介绍或硬件说明书进行自学的。但是一般的产品介绍是以具有一定基础知识的人为对象的,对于初学者来说所介绍的内容是往往难以理解的。

现在计算机应用技术在不断发展,已经渗透到各个技术领域。例如,已经能够利用计算机技术自动进行电子电路的设计。然而目前这些技术首先考虑的是更有系统地避免失败,保证工作的效率。它并不能给你提供你所希望的某种规格的系统。人们之所以孜孜不倦地学习是因为对它感兴趣。如果因制作的电路由于某些原因工作不正常而灰心,就不会有进步。工作的挑战之一就是会经历多次失败。学习电子电路也是这样,如果不理解失败的原因,那就多看参考书。它往往可以帮助你解决困难。不同的读者对于参考书有不同的需求,没有一本可以解决一切问题的万能之书。

本书的内容不同于一般的教科书。它分为两部分:第一部分基础篇,是针对初步掌握数字 IC 的读者在实验中将会遇到的各种基本问题。例如,使用数字 IC 进行电路设计时应该做哪些准备工作?在将要进行的实验中,应该给数字电路加多大的电压?会有多大的电流流过?对于 IC 的速度或其他特性有什么要求?实验中应该注意哪些问题?等等各种疑难点。在基础篇中将尽量简明易懂地解答这些问题。

第二部分制作篇,内容不拘泥于系统的理论问题,而是通过设计和组装实际的数字电路学习数字 IC 的功能和数字电路的结构。通过这些制作,使读者能够及早熟悉数字电路以及这里使用的各种部件、工具的应用技巧。

对于初学者和业余爱好者来说,没有什么比圆满完成某项实验更具有乐趣和成就感了。懂得了数字电路的奥妙,就会产生无穷兴趣。我们期待着本书成为你成功的开端。

著 者



目 录

基础篇

第 1 章 数字电路制作的基础知识	3
1.1 数字 IC 的代名词	3
1.1.1 74 系列的种类与特征	3
1.1.2 74 系列的电特性	4
1.1.3 74 系列数字 IC 的型号	5
1.2 数字 IC 的规则	6
1.2.1 数字 IC 的功能	6
1.2.2 逻辑电平	7
1.2.3 V_{IH} 与 V_{IL}	7
1.2.4 V_{OH} 与 V_{OL}	7
1.2.5 数字 IC 的管脚配置	8
1.2.6 数字 IC 的结构	9
1.3 数字电路图的识别方法	9
1.3.1 逻辑符合的意义	9
1.3.2 数字 IC 的配置方法	11
1.3.3 电源旁路电容器的作用	11
1.4 TTL 与 CMOS	12
1.4.1 电路结构上的不同	12
1.4.2 逻辑 IC 的输入输出特性	14
1.4.3 门延迟与消耗电流	14
1.4.4 门延迟与电源电压	15
1.4.5 门延迟与负载电容	16
1.4.6 门延迟与环境温度	16
1.4.7 消耗电流与工作频率	16
1.4.8 电流消耗与负载电容	16
1.5 门 IC 的作用	16
1.5.1 门 IC	16

数字电路制作基础篇
PDG

1.5.2	门的动作	17
1.5.3	作为逻辑器件的动作	18
1.5.4	把逻辑器件作为门工作	18
1.5.5	NAND 门与 NOR 门	19
1.6	模拟 IC 与数字 IC	20
1.6.1	模拟与数字的不同	20
1.6.2	模拟 IC 与数字 IC	21
1.6.3	通用 IC 与专用 IC	22
第 2 章	数字电路中使用部件的选择方法	23
2.1	经常使用的各种结构部件	23
2.1.1	实验用印制电路板	23
2.1.2	IC 插座的使用方法	24
2.1.3	螺钉与螺帽	25
2.1.4	布线的线材	26
2.1.5	组装用机壳	26
2.2	各种经常使用的电子部件	28
2.2.1	晶体管	28
2.2.2	电阻器	29
2.2.3	电阻值(色标)的读法	31
2.2.4	电容器	32
2.2.5	电容器容量值的读法	34
2.2.6	LED	34
2.2.7	小型可变电阻器	36
2.2.8	开 关	37
2.2.9	石英振子	37
2.2.10	陶瓷振子	38
2.2.11	压电蜂鸣器	38
2.2.12	小型扬声器	39
第 3 章	选择测试仪器和制作工具的方法	41
3.1	焊接必需的工具	41
3.1.1	烙 铁	41
3.1.2	焊 锡	42
3.1.3	镊 子	43

3.2	加工部件和线材时使用的工具	44
3.2.1	剪钳和尖嘴钳	44
3.2.2	弯曲元器件的引线时使用的特殊尖嘴钳	45
3.2.3	剥皮钳	45
3.3	安装和加工时使用的工具	46
3.3.1	螺丝起子	46
3.3.2	钻	47
3.4	方便实验和测定的工具	48
3.4.1	带鳄鱼夹的引线	48
3.4.2	有测试扣的引线	48
3.4.3	模拟式万用表和数字式万用表	50
第4章	数字电路的制作方法 with 技巧	52
4.1	加工、组装基板和机壳的方法	52
4.1.1	通用基板的剪切	52
4.1.2	剪切丙烯酸板	53
4.1.3	自制 IC 插座的方法	54
4.1.4	印制文字的方法	55
4.2	实装部件和导线的技巧	56
4.2.1	部件插在 DIP 插座上的方法	56
4.2.2	把各种元器件合理地安装在基板上	57
4.2.3	利用序号标记防止布线错误	58
4.2.4	拆卸 IC 或部件的方法	59
4.2.5	捆扎导线的方法	60
4.2.6	使用面包板	61
4.3	部件的保存方法	62
4.3.1	饭盒型	62
4.3.2	抽屉型	62
4.4	电路图的画法	63
4.4.1	门 IC 的表示方法	63
4.4.2	触发器	63
4.4.3	计数器和移位寄存器(MSI)	64
4.4.4	V_{DD} 和 GND 的画法	65
4.4.5	特别信号的画法	65
4.4.6	清晰地画电路图	66



制作篇

第 1 章 数字 IC 的基本功能	71
1.1 用数字 IC 判定电压	71
1.1.1 数字 IC 的基本功能	71
1.1.2 装配前的焊接练习	73
1.1.3 电压判定器的电路及装配	74
1.1.4 利用可变电阻器改变输入电压	76
1.1.5 电压判定器电路动作的确认	77
1.2 利用 NAND 门和 NOR 门判定电压	77
1.2.1 利用 NAND 门的电压判定器的实验	77
1.2.2 利用 NOR 门的电压判定器的实验	79
1.3 应用电压判定器的光传感器电路	80
1.3.1 光传感器电路	80
1.3.2 使用 CdS 的光传感器	81
1.3.3 确认 CdS 的工作	82
1.3.4 光传感器电路的制作与实验	82
1.4 数字 IC 电路用电源电路的制作	84
1.4.1 各种 CMOS 逻辑 IC 电路用电源	84
1.4.2 用 AC 适配器制作实验用电源	85
1.4.3 好电源与差电源	86
 第 2 章 LED 闪光电路、扬声器电路的制作	 87
2.1 微型圣诞树的制作	87
2.1.1 圣诞树的结构	87
2.1.2 使 LED 闪光的实验	88
2.1.3 制作不同颜色 LED 交替闪光的电路	89
2.1.4 在圣诞树上的应用	91
2.2 断线传感器电路的制作	92
2.2.1 断线传感器的电路结构	92
2.2.2 断线传感器的工作	93
2.2.3 节能改良型断线传感器	93
2.2.4 用作导通传感器或触摸传感器	94
2.3 水传感器电路的制作	96
2.3.1 水传感器的电路与结构	96

2.3.2	传感器部分的结构与制作方法	98
2.4	制作完成后进行检查的要点	100
2.4.1	接电源前检查的要点	100
2.4.2	接上电源后检查的要点	100
2.4.3	工作不正常时的检查方法	101
第3章	接口电路的实验与制作	103
3.1	自行车用方向指示灯的制作	103
3.1.1	自行车用方向指示灯与高辉度 LED	103
3.1.2	自行车用方向指示灯电路的制作	104
3.2	声控开关的制作	107
3.2.1	声控开关的电路与动作	107
3.2.2	电容型传声器的结构	108
3.2.3	声控开关的结构及应用	109
第4章	电子节拍器的制作	111
4.1	电子节拍器的设计	111
4.1.1	节拍器使人们感受音乐节奏	111
4.1.2	节拍器的电子化	112
4.1.3	设计规格	112
4.2	依据规格设计电路	113
4.2.1	电子节拍器的电路设计	113
4.2.2	确定振荡器的振荡频率	114
4.2.3	电子节拍器的结构	114
4.2.4	利用冲息多谐振荡器	115
4.2.5	把框图具体化为电路图	116
4.2.6	制作以及电路动作的确认	118
4.3	利用开关获取数据的方法	120
4.3.1	开关与数字电路	120
4.3.2	机械式开关是噪声源	120
4.3.3	用 RC 消除噪声	121
4.3.4	具有滞后作用的门的制作方法	122
4.3.5	用 R-S 锁存器防止产生噪声	123

第 5 章 电骰子的制作	124
5.1 电骰子的动作	124
5.1.1 骰子的作用	124
5.1.2 重新评价骰子的功能	125
5.1.3 由功能决定结构	125
5.2 骰子表示部分的实验	126
5.3 根据功能框图设计电路	129
5.3.1 根据基本规格设计框图	129
5.3.2 设计电路	131
5.3.3 振荡电路	131
5.3.4 六进制计数器	131
5.3.5 译码器的设计	132
5.3.6 译码器的输入、输出	133
5.3.7 使用卡诺图简化逻辑	134
5.3.8 LED 的驱动	136
5.3.9 时钟控制电路	136
5.3.10 电骰子的电路图以及制作	137
5.4 利用卡诺图简化逻辑的方法	139
5.4.1 把布尔代数变换为逻辑	139
5.4.2 逻辑的简化	140
5.4.3 实际使用 IC 的电路	141
第 6 章 电子旋转圆盘的制作	143
6.1 旋转圆盘游戏的玩法	143
6.1.1 旋转圆盘的玩法	143
6.1.2 把旋转圆盘置换为电子电路	145
6.2 根据旋转圆盘的框图设计电路	146
6.2.1 建立旋转圆盘的框图	146
6.2.2 38 个数字,需要制作 38 位的移位寄存器	146
6.2.3 旋转圆盘电路的设计	147
6.2.4 制作 1 位“H”的电路	148
6.2.5 旋转圆盘的动作	150
6.3 利用环形计数器制作的旋转圆盘	150
6.4 用数字表示器制作旋转圆盘	153

6.4.1	用 7 段数字表示器制作旋转圆盘	153
6.4.2	用计数器的输出表示 0 与 00 的方法	154
6.4.3	旋转圆盘的三十六进制计数器	155
6.5	移位寄存器的应用	158
6.5.1	数据的移动	158
6.5.2	什么是移位寄存器?	158
6.5.3	移位寄存器的工作	159
6.5.4	使数据滞后一定时间的方法	159
6.5.5	保存动作	160
第 7 章	电子存钱箱的制作	162
7.1	显示存钱额的存钱箱	162
7.1.1	对不同面值的硬币分类	162
7.1.2	按照大小对硬币分类	163
7.2	电子式硬币分类器	163
7.2.1	电子式分类硬币的大小	163
7.2.2	利用光断续器	164
7.2.3	利用光断续器判别硬币大小的过程	164
7.2.4	机械式与电子式检测器的不同	165
7.3	硬币计数器的框图	166
7.3.1	表示各类硬币的枚数	166
7.3.2	表示实际金额的技巧	166
7.3.3	表示合计金额	167
7.3.4	使用光断续器的方法	168
7.4	设计计数器电路	169
7.4.1	10 日元硬币用计数器	169
7.4.2	脉冲发生电路	171
7.4.3	脉冲发生的原理	172
7.4.4	用预置计数器产生门脉冲	173
7.4.5	程序化的脉冲发生器	173
7.4.6	对输入信号有限制	174
7.4.7	译码器部分的简单制作	175
7.4.8	总电路图	176
7.4.9	制作要点	176
7.5	译码器电路的设计方法	176

7.5.1	代码变换	176
7.5.2	译码器电路的设计	177
7.5.3	AND-OR 门的代用	179
7.5.4	简单的译码器电路	179
第 8 章	电子计数器、万步计、人数计的制作	182
8.1	电子计数器的制作	182
8.1.1	计数的动作	182
8.1.2	利用计数器 IC 74HC160	183
8.1.3	7 段译码器/驱动器 TC5002BP/ TC5022BP	183
8.1.4	电路图与实际制作	184
8.1.5	计数·零·消除功能	185
8.1.6	调整和使用方法	186
8.2	电子万步计的制作	186
8.2.1	万步计的工作	187
8.2.2	检测步数的装置	187
8.2.3	关闭显示的方法	188
8.2.4	制作与调试	189
8.3	人数计的制作	190
8.3.1	光开关的动作	190
8.3.2	光开关的应用	190
8.3.3	电路设计的要点	190
8.3.4	制作时注意之点	191
8.3.5	光电计数器的使用方法	193
第 9 章	秒表的制作	194
9.1	钟表的工作	194
9.1.1	振荡器+计数器=秒表	195
9.1.2	制作准确的标定时间	196
9.1.3	利用计数器获得基准脉冲	196
9.1.4	利用 R-S 锁存器	198
9.1.5	AND 门和 NAND 门	198
9.2	秒表的制作与调整	198
9.2.1	电路工作的确认	198

9.2.2	改变最大计数	200
9.2.3	利用专用计数器 IC	200
9.3	使用 BCD 计数器和十进制计 数器的方法	202
9.3.1	十进制计数器与 BCD 计数器	202
9.3.2	适合分频的计数器	203
9.3.3	十进制计数器 74HC390	204
第 10 章	自行车用速度计的制作	206
10.1	速度计的原理	206
10.1.1	模拟式(指针式)速度计	206
10.1.2	非接触式速度检测器	207
10.1.3	锁存器的必要性	209
10.2	速度计的规格及电路设计	210
10.2.1	速度计的规格	210
10.2.2	电路设计	210
10.3	速度计的制作与调试	212
10.3.1	速度计的制作	212
10.3.2	准确的速度计	214
10.3.3	实际使用	214
第 11 章	信息灯的制作	216
11.1	使用多个 LED 表示文字	216
11.1.1	使用 LED 灯	216
11.1.2	LED 灯的驱动	217
11.1.3	用 7×9 点组成文字	218
11.2	改善显示效果的方法	218
11.2.1	发光顺序	218
11.2.2	流动文字式发光	220
11.2.3	依次增加式发光	222
11.2.4	熄灭→发光转换的方式	225
11.3	用一台表示器显示多种表示方式	227
11.3.1	组合各种发光方式	227
11.3.2	组 装	227
11.3.3	连接 12V 蓄电池	230

11.4	二进制数的运算	232
11.4.1	二进制数的加法运算	232
11.4.2	半加器	232
11.4.3	全加器	233
11.4.4	加法器的串行连接	234
第 12 章	频率计数器的制作	236
12.1	频率计数器电路的设计与动作	236
12.1.1	频率计数器	236
12.1.2	使用的部件	237
12.1.3	频率计数器的电路结构	239
12.2	频率计数器各方框的动作	240
12.2.1	取样时钟脉冲发生部分	240
12.2.2	计数器部分	240
12.2.3	LED 显示部分	241
12.2.4	基准信号发生部分	242
12.2.5	输入放大器的构成	243
12.2.6	频率计数器的动作	243
12.3	频率计数器性能的提高	245
12.3.1	可变的测定周期	245
12.3.2	改变最高计数频率	245



第 1 章

数字电路制作的基础知识

不论学习哪个新领域的知识,最初都有一种“由于不理解该领域中使用的各种专门术语而束手无策”的感觉。本章介绍有关数字电路的基本知识。

1.1 数字 IC 的代名词

74 系列是一种在逻辑 IC 中经常使用的电路。74 系列曾经是 TTL(晶体管-晶体管逻辑电路)的代名词。现在又生产出许多种 CMOS 型 74 系列的产品,甚至能够全部采用 CMOS 的 74 系列器件进行高速逻辑系统的设计。

1.1.1 74 系列的种类与特征

表 1.1 列出了各种 74 系列型产品。照片 1.1 是标准型 7400、LS 型 74LS00、S 型 74S00 以及本书中使用的 HC 型 74HC00 产品的外观。

74 系列主要是门 IC、触发器、移位寄存器、计数器等通用性强,但是集成度不高的产品。集成度不高的原因之一是功耗大。

最初生产的 74 系列只有标准的 TTL。每一个门的功耗约有 10mW。触发器 IC 中 1 个封装 2 输入单元功耗约为 80mW,4 位计数器 IC 的功耗也达到 160mW。因此,把这些逻辑功能集合在一个管壳中就显得很勉强。DIP(Dual In-line Package,双列直插式封装)16 管脚管壳的限度是 300mW。不过近来随着塑料材料的性能提高,已经开发出许多性能良好的管壳材料,能够承受 500~600mW 的功率。

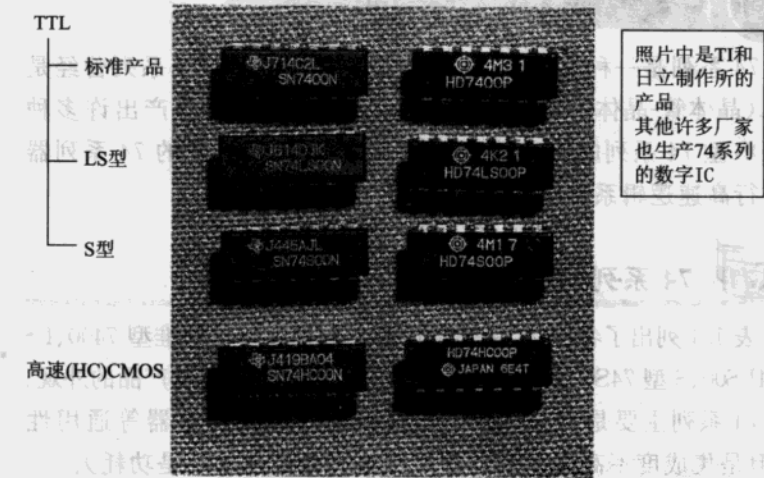
另一个理由是如果把较多的功能过分集成在一起,将降低它的通用性。

基于以上理由,并没有积极地推进高集成化工作。只是当 CMOS 型的 74 系列产品出现后,情况才发生了变化。由于 CMOS 消耗的电流非常小,所以就失去了 TTL 那样的功耗限制。因此也就出现了不是 TTL 型结构的 74 系列器件。

表 1.1 74 系列数字 IC 的种类

TTL (双极型)	74××	标准型
	74H××	高速型
	74L××	低功耗型
	74S××	肖特基型
	74LS××	低功耗肖特基型
	74AS××	改良肖特基型
	74ALS××	改良低功耗肖特基型
	74F××	快速型
CMOS	74HC××	高速 CMOS 型

“××”一般表示 2~3 位数字,分别表示功能。CMOS 逻辑 IC 中也有 4 位数字的。



照片 1.1 74 系列的数字 IC(2 输入 NAND 门,4 路输入)
(日本德州仪器,日立制作所)

1.1.2 74 系列的电特性

74 系列产品为什么如此有名,以至于成为逻辑 IC 的标准系列?有以下理由。

首先最初开发时汇集了各种必要的逻辑 IC,而且具有工作速度快、在外加电压变动等情况下能够稳定地工作等优点。而且随

着技术的不断进步,还开发出更高速度的低功耗型 IC 产品。

另外重要的一点是关于 74×× 的 ×× 名称,在开发新型产品时,对于同样功能的产品也能够采用相同的数字。表 1.2 中列出 74 系列逻辑族的电特性。可以看出这些族之间 ×× 数字部分具有完全兼容的功能(有互换性)。就是说只要电特性满足,各种型号的器件就能够混在一起使用。

表 1.2 各种 74 系列的族的电源电压和输入输出特性

种 类	指 标 ^①	工作电源电 压(V_{CC})		“H”电平输入 电压(V_{IN})	“L”电平输入 电压(V_{IL})	“H”电平输出电压		“L”电平输出电压		工作温度 范围
						(V_{OH})	测定条件 (I_{OH})	(V_{OL})	测定条件 (I_{OL})	
TTL ^② (双极)	74××	4.75~5.25V		2.0V	0.8V	2.4V	-400 μ A	0.4V	16mA	0~70℃
	74H××	4.75~5.25V		2.0V	0.8V	2.4V	-500 μ A	0.4V	20mA	
	74S××	4.75~5.25V		2.0V	0.8V	2.7V	-1mA	0.5V	20mA	
	74LS××	4.75~5.25V		2.0V	0.8V	2.7V	-400 μ A	0.4V	4mA	
								0.5V	8mA	
	74ALS××	4.5~5.5V		2.0V	0.8V	V_{CC} -2.0V	-0.4mA	0.4V	4mA	
								0.5V	8mA	
	74AS××	4.5~5.5V		2.0V	0.8V	V_{CC} -2.0V	-2.0mA	0.5V	20mA	
	74F××	4.75~5.25V		2.0V	0.8V	2.7V	-1.0mA	0.5V	20mA	
CMOS	74HC××	2.0~ 6.0V	2.0V	1.5V	0.5V	1.9V	-20 μ A	0.1V	20 μ A	-40~85℃
			4.5V	3.15V	1.35V	4.4V	-20 μ A	0.1V	20 μ A	
						4.13V	-4mA	0.35V	4mA	
			6.0V	4.2V	1.8V	5.9V	-20 μ A	0.1V	20 μ A	
						5.63V	-5.2mA	0.33V	5.2mA	

① 74L 型现在几乎不再生产,所以省略。

② 不同厂家的测定条件可能有所不同。



1.1.3 74 系列数字 IC 的型号

逻辑 IC 的型号中即使有一个字不同,它的功能就会完全不同。与晶体管或二极管之类的器件几乎一样,如果处理的电压或电流有差异,那么功能就有根本的不同。因此使用逻辑 IC 时必须确认器件的型号,不能随意使用不同的型号。

例如,74HC00 与 74HC01 就具有完全不同的功能。但是在表示制造厂家的符号或者制造批次等方面不同则没有什么问题。

图 1.1 是识别 74 系列逻辑 IC 型号的方法。

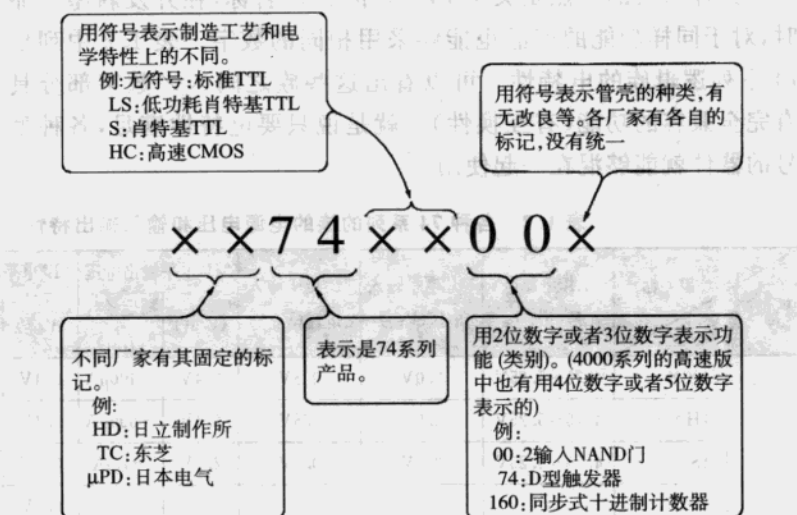


图 1.1 74 系列逻辑 IC 型号的含义

1.2 数字 IC 的规则

1.2.1 数字 IC 的功能

数字 IC 可以定义为用电信号进行逻辑的运算(图 1.2)。简单地说, 就是利用逻辑处理的“真”与“伪”变换为电压的“高”与“低”的运算。这里所说电压的“高”与“低”并不是简单地指电压为几伏。数字 IC 中进行逻辑运算时必须以一定的规则为基础。这种规则主要就是电源电压和输入输出的逻辑电平。

	AND 功能	OR 功能
逻辑	$1 \cdot 1 = 1$	$1 + 0 = 1$
数字 IC		

图 1.2 逻辑与数字 IC

1.2.2 逻辑电平

逻辑代数中通常用“1”和“0”所构成的二进制数字来处理“真”与“伪”。这里使用的数字 IC 是为了处理“ON”、“OFF”这两种状态。把“真”处理为“1”，把“伪”处理为“0”。用电压表示时这个“1”和“0”有两种方法。它们分别称为正逻辑和负逻辑。所谓正逻辑就是用“1”作为高电压，用“0”作为低电压的方法。负逻辑则相反，电压高时为“0”，电压低则为“1”。

在这里讨论正逻辑的情况。例如当有 1V 和 3V 两个电压时，当然 1V 是“0”，3V 是“1”。但是如果还有 3V 和 5V 两个电压，这时哪个是“1”哪个是“0”？因为正逻辑是电压低的为“0”，那么 3V 就应该为“0”，5V 为“1”。而存在 1V 和 3V 两个电压时却是 3V 为“1”。这时 3V 电压究竟是“0”还是“1”就搞不清楚了。因此在实际使用数字 IC 时，把高电压叫做“H”电平(V_{IH})，把低电压叫做“L”电平(V_{IL})，对于具体的逻辑族(74 系列或 4000 系列等)由规定的电压决定其“H”、“L”电平。

本书中使用的数字 IC 几乎都是用正逻辑表现的。

1.2.3 V_{IH} 与 V_{IL}

数字 IC 中经常使用的电源电压是 5V。CMOS 的 IC 可以在较宽的电源电压范围工作，能够与 TTL 混合使用。所以几乎所有的数字系统都设计为 5V。这种情况下输入电压电平是这样确定的：TTL IC 中 V_{IH} 在 2.0V 以上， V_{IL} 在 0.8V 以下；CMOS IC 中 V_{IH} 在 3.5V 以上， V_{IL} 在 1.5V 以下。

V_{IH} 和 V_{IL} 是对输入电平的规定。使用数字 IC 时通常会连接多个，所以对于输出电平也需要作出规定。输出“H”电平的电压记作 V_{OH} ，输出“L”电平的电压记作 V_{OL} 。

1.2.4 V_{OH} 与 V_{OL}

使用 2 级以上的数字 IC 时连接的方法非常重要。本级输出“H”电平的电压 V_{OH} 必须成为与次级 IC 所要求的“H”电平输入电压 V_{IH} 相同的高电压。数字 IC 是有确定动作的器件(只有 ON、OFF 两种状态，没有别的中间状态。二进制数只是由“1”和“0”来表现的，没有 1.5，所以输入输出的连接电平也必须留有余量。

TTL 与 CMOS 的余量有一定的差别。TTL IC 的余量规定为 0.4V , CMOS IC 是 1.45V 。因此, TTL 的 V_{OH} 是 $2.0\text{V} + 0.4\text{V} = 2.4\text{V}$, V_{IL} 是 $0.8\text{V} - 0.4\text{V} = 0.4\text{V}$ 。

V_{IH} 与 V_{OH} , V_{IL} 与 V_{OL} 因逻辑族不同而不同。图 1.3 是 TTL 与 CMOS 的情况(电源电压为 5V)。

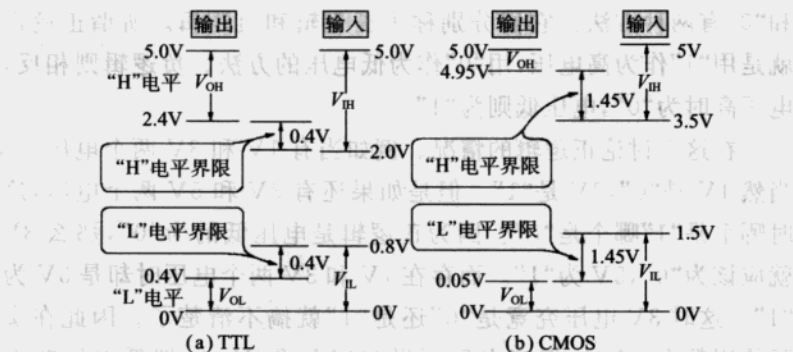


图 1.3 TTL 与 CMOS 的数字信号电平

1.2.5 数字 IC 的管脚配置

数字 IC 的管脚编号如图 1.4 所示。标记是缺口或者圆点,位于左侧或左下方。从正上方看时,左下方是 1 号管脚。逆时针旋转号码增加。

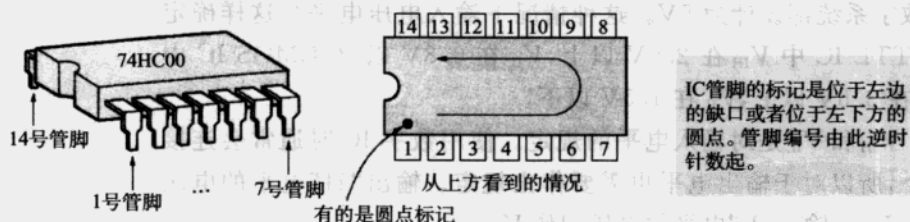


图 1.4 74HC00 的外形

图 1.5 是 74HC00 的管脚编号及内部接线图。大部分数字 IC 中最大的管脚编号是电源, 它的 $1/2$ 管脚编号是 GND(地)。7473、7476 等一部分 IC 的电源管脚位置有所不同。

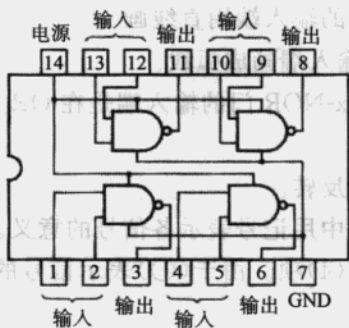
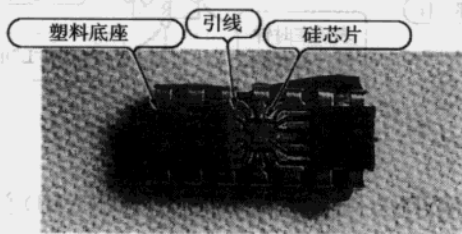


图 1.5 74HC00 的内部框图

1.2.6 数字 IC 的结构

数字 IC 如照片 1.2 所示,它由产生功能的硅芯片、取出信号的引线以及支撑它们的塑料管壳构成。尽管数字 IC 器件的外形相同,但是功能却各不相同,这是因为它们内部的硅芯片不相同。IC 的功能愈复杂,它内部硅芯片的尺寸也就愈大。



照片 1.2 数字 IC 的结构

1.3 数字电路图的识别方法

1.3.1 逻辑符合的意义

数字电路中使用的门电路或触发器都有确定的符号。这种符号是以美国的 MIL 标准为基础的,不过要准确地画出符号的大小和形状也比较费事。在自己画电路图或者理解电路图时记住下面要点是很有帮助的(图 1.6)。

- (1) AND 门和 NAND 门的输入端用直线画。
 - (2) OR 门和 NOR 门的输入端画成弧线。
 - (3) Ex-OR(异或)门和 Ex-NOR 门的输入端是在 OR 门的输入端再画一根弧线。
 - (4) 小圆圈(○)表示信号反转。
 - (5) 触发器等四方形符号中用记号表示各信号的意义。
- 这里特别需要注意的是第(4)项。由于(○)表示信号的反转, 所以与反相器相同。

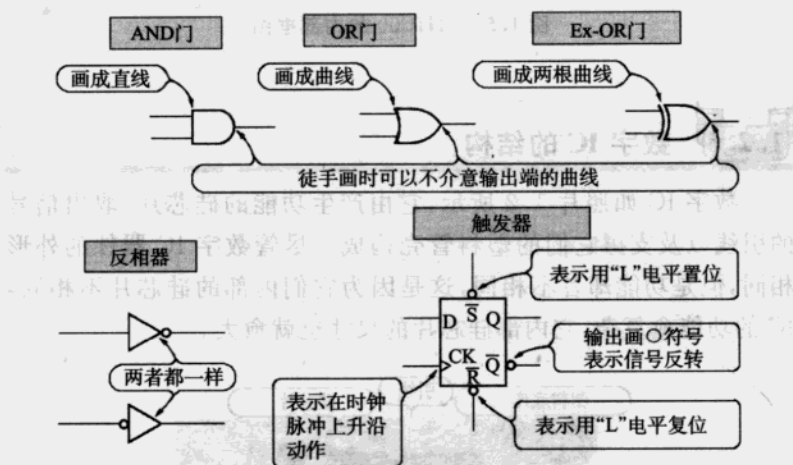


图 1.6 基本的逻辑符号

我们以 NAND 为例作以简单的讨论。NAND 门可以看成是 NOT+AND 门。对于 NOT+AND 来说, 输入端不反转而输出信号是反转的。所以 NAND 门的符号就是在 AND 门的输出端加小圆圈(○)。

所以可以用 AND 门的符号代替 NAND 门, 在它的输出线上追加反相器符号, 用两个符号表示, 在逻辑上当然是相同的。

经常可以看到在输入端画有圆圈的电路, 这也可以用同样的方法理解。它表示首先反转输入信号, 然后加到门上。但是在这种场合, 并不存在反相器+门这两个器件, 但终归从逻辑上这样分析就比较容易理解。

如图 1.7 所示, 在 OR 门的输入端加上圆圈就与 NAND 门是相同的。

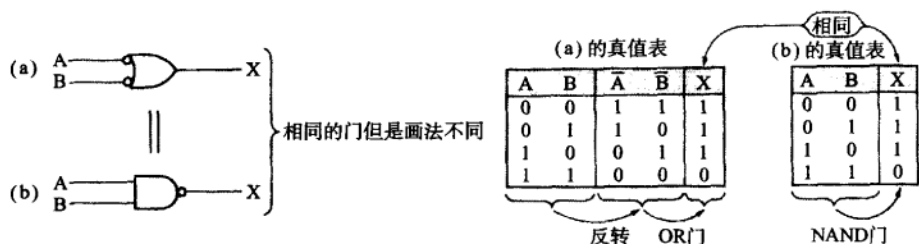


图 1.7 逻辑符号画法的不同与真值表



数字 IC 的配置方法

数字 IC 的外部形状几乎都相同。管脚数目也是统一的，74 系列中有 14 个管脚、16 管脚和 20 管脚等。这里介绍在使用这些数字 IC 时管脚的配置。

一般是沿着信号的流向配置的，确定配置时要求尽量不发生信号线的折返。不过在实际安装时，由于数字 IC 的管壳是细长形的，它的配置自然会受到限制，实际上有纵向排列和横向排列的形式(图 1.8)。

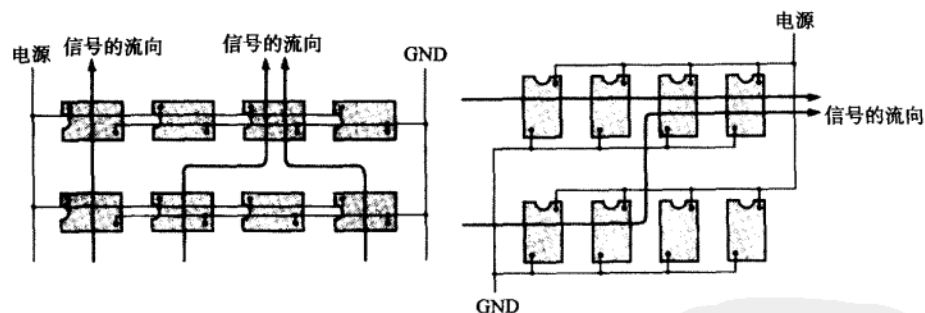


图 1.8 数字 IC 的配置方法

对于像计数器 IC 之类有多个相同的 IC 排列时还应注意管脚的配置。例如串级连接的场合，把第 2 级的输入配置在第 1 级的近处就能够流畅地布线。

如果布线不发生缠绕，就会给后面进行检验带来方便，也不容易发生错误。



电源旁路电容器的作用

数字电路中，电源电路的布线部分通常都省略不画，所以电路

图中通常也不画出电源旁路电容器。

数字 IC 在切换信号时(从“0”到“1”,或者从“1”到“0”)会有大电流流过,这个电流叫做开关电流。瞬间的开关电流往往会很大。

数字电路的电源可以采用电源装置或者电池。这些电源与 IC 之间必须保持一定的距离。这样即使电流流动很快也是有限值。

因此,当信号变化时由电源提供的电流会产生时间上的滞后。这种时间上的滞后就会使加在 IC 上的电压在此期间下降。

为了补充这一期间的电流,就要在尽量靠近 IC 的地方连接电容器。电容器具有储存电荷的功能,它能够给 IC 提供所需要补充的电流。这就是旁路电容器的作用(图 1.9)。

对于整个电路需要接入 $10\sim 100\mu\text{F}$ 的电解电容器。对各个 IC,在近处使用约 $0.1\mu\text{F}$ 的叠层陶瓷电容器就可以了。大体上 3~5 个逻辑 IC 需要接 1 个电容器。对于电流大的 IC,有时 1 个 IC 接 1 个电容器。

如果忘记接旁路电容器,往往会产生误动作从而导致出现故障。所以即使电路图上没有画出旁路电容器也一定要连接上。

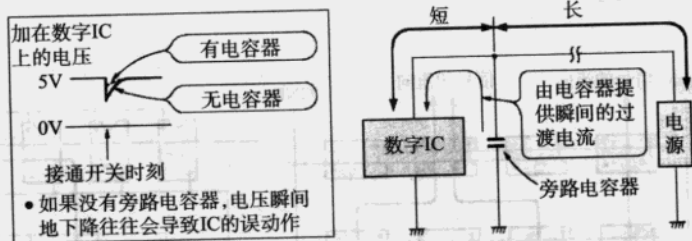


图 1.9 电源用旁路电容器的作用

1.4

TTL 与 CMOS

1.4.1

电路结构上的不同

TTL(Transistor Transistor Logic,晶体管-晶体管逻辑电路)是使用双极晶体管的逻辑器件。与它相对应,CMOS(Complementary-Metal Oxide Semiconductor,互补型金属氧化物半导体)是应用 MOS 晶体管的逻辑器件(照片 1.3)。虽然使用的器件不相同,但是逻辑动作是相同的。因此仅从功能上看,不论使用哪种

IC(TTL 或 CMOS)都能够获得相同的结果。



照片 1.3 各种 CMOS 数字 IC

(尽管外形相同,由于型号不同,动作的功能就会完全不同)

但是,即使同样的门电路其结构还是不同的。图 1.10 是 2 输入 NAND 门的内部电路。TTL 使用了晶体管、二极管、电阻等多个元器件,而 CMOS 电路则比较流畅。特别是如果只看逻辑部分的话,区别是很明显的。这两种电路的差异主要是由器件特性引起的。就是说,在双极晶体管中进行 ON/OFF 这样的开关动作时必须要有基极电流,而 CMOS 中相应的电流几乎等于零,或者说只加电压就能够进行 ON/OFF 这样的开关动作。

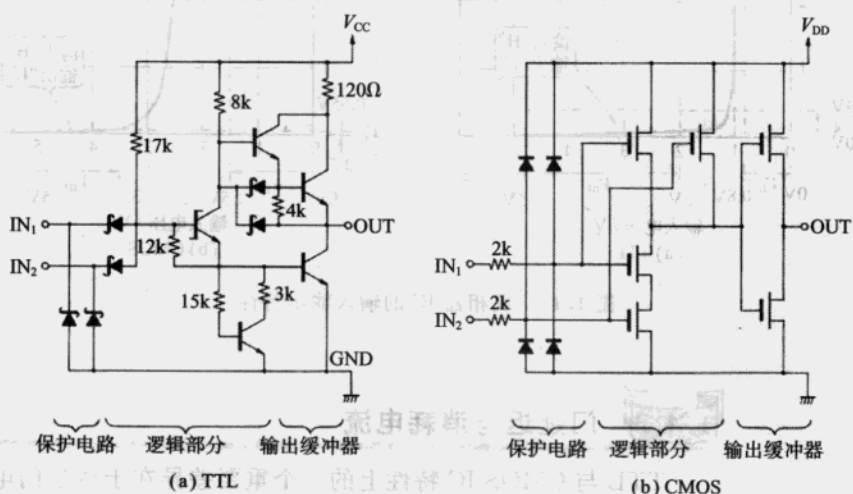


图 1.10 2 输入 NAND 门的内部电路

(电路图中的电阻值因厂家不同而有差别)

数字电路是使用“1”和“0”这两个数构建系统的,所以希望能够简单地实现 ON/OFF 这两种状态。从这个意义上可以说 CMOS 逻辑 IC 比 TTL 逻辑 IC 更有利。



逻辑 IC 的输入输出特性

分析 CMOS 逻辑 IC 与 TTL 逻辑 IC 的输入输出特性,就可以清楚地看出前者的优点。图 1.11 是反相器(反转)逻辑的输入输出特性。

从图中可以看出,在 CMOS 电路的场合“H”电平与“L”电平的电压范围相对于电源电压(5V)差不多是均等的,而 TTL 中偏于电压低的一方。这表明 TTL 电路比较容易受电源电压变动的影响,而且相对于噪声的工作余量也小。

这并不是说 CMOS IC 的所有特性都好。TTL IC 也具有工作速度快、能够驱动大电流等优点。

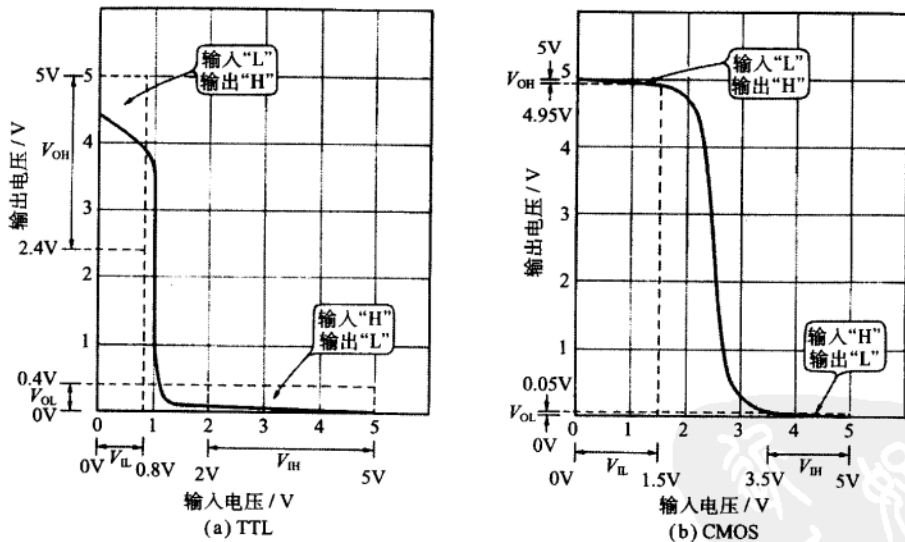


图 1.11 反相器 IC 的输入输出特性



门延迟与消耗电流

TTL 与 CMOS IC 特性上的一个重要差异在于通过门电路时产生的脉冲信号的延迟(门延迟)和电流消耗。门延迟的多少没有大的差别,但是因电源电压和环境温度的影响造成特性的变化却

颇不相同。图 1.12 是 TTL 的特性,图 1.13 是 CMOS 的特性。

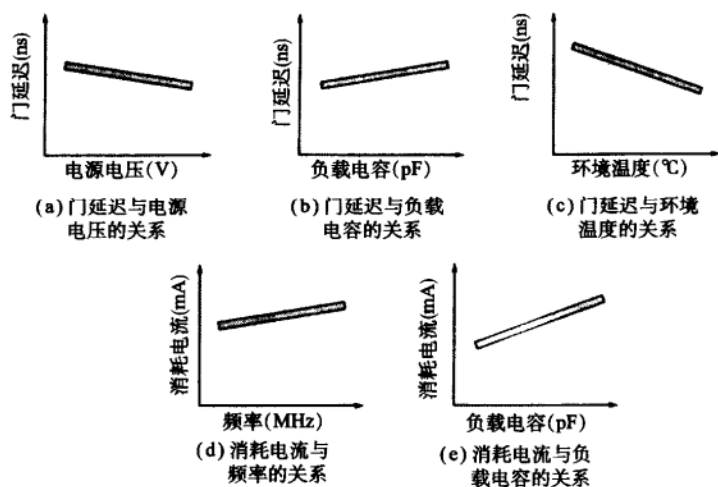


图 1.12 TTL 的特性

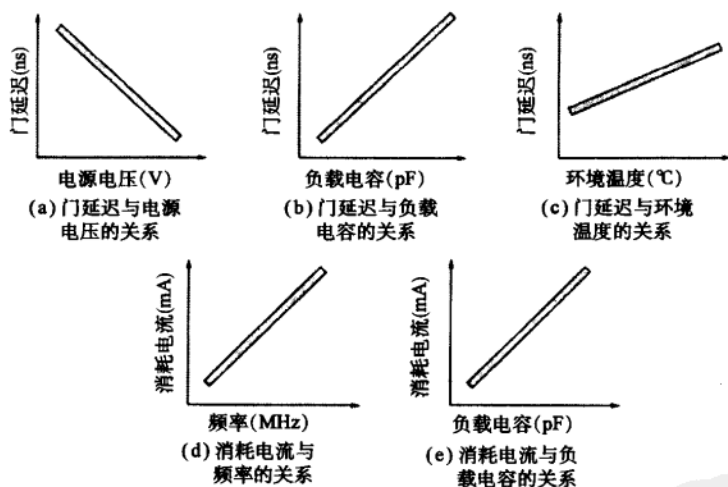


图 1.13 CMOS 的特性

门延迟与电源电压

当电源电压升高时,CMOS 门与 TTL 门的 ON/OFF 速度都变快,但是变化的比率却不同。如果考虑工作电压的范围,由于 CMOS 的绝对值变化大,所以必须引起注意。CMOS 中 $V_{DD}=2V$ 时与 $V_{DD}=6V$ 时相比较,门的速度变化 4 倍以上,但是 TTL 在

$V_{DD} = 5V \pm 0.25V$ 范围,几乎不发生变化。

1.4.5 门延迟与负载电容

关于连接在 IC 输出端的负载电容(配置电容和次级 IC 的输入电容),CMOS 和 TTL 都存在电容愈大速度愈慢的问题。但是两者的变化量有较大差异,特别是 CMOS 对负载电容的依赖关系较大。

1.4.6 门延迟与环境温度

人们往往不太关心 IC 管壳的环境温度问题。实际上 IC 的芯片对于温度是很敏感的。而且 TTL 与 CMOS 随温度的变化倾向是完全相反的。

当环境温度上升时 CMOS 的速度下降;相反,对于 TTL 来说,当环境温度上升时速度增加。CMOS 受温度的影响比较大,而 TTL 没有那么严重。

1.4.7 消耗电流与工作频率

功耗在电路设计中是一个很重要的问题。CMOS 中负载电容的充放电占据了功耗的大部分。而在 TTL 中,由于 IC 本身电路结构的原因,充放电以外的电流颇大。因此 CMOS 中电流随工作频率成比例地增加,而 TTL 中变化的比率小。

1.4.8 电流消耗与负载电容

当负载电容增大时,TTL 和 CMOS 的电流消耗都增加。与工作频率的依赖关系相同,在 CMOS 中,这种变化与负载电容成比例。

1.5 门 IC 的作用

1.5.1 门 IC

把 AND 或 OR 之类的逻辑器件叫做 Gate IC。所谓 Gate 就

是门的意思,顾名思义,它能够对信号进行控制。因此它可以像门 IC 的真值表所示的那样进行逻辑运算。

这里对它的开、关动作作以论述。

1.5.2 门的动作

对于一个门器件来说可以控制信号,不过并不能进行复杂的动作。当门被打开或者关闭时,人们或者能够自由地出入,或者不能够进入门内。门 IC 也具有同样的功能。就是说,如图 1.14(a)所示,当门关闭时数据就不能够通过,相反如图 1.14(b)那样,当门打开时数据就可以通过它。但是不允许自由地穿过又返回。通过门 IC 的数据是单向的,就是说从输入端输入的数据流向输出端。而且当门关闭时,输入的数据就中止在入口处。中止在入口处的数据没有去处,就停留在那里。

门关闭时进入输入端的数据并没有被存储。因此在打开门的瞬间进入的数据就继续流向输出端。

图 1.15 是作为门使用的逻辑器件。

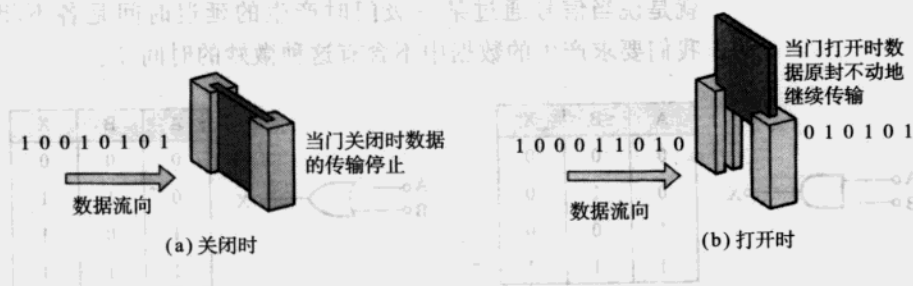
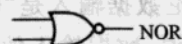


图 1.14 门关闭时的情况



进入AND或OR的数据以原来的极性输出。但是进入NAND或NOR的数据是反转输出的

图 1.15 门打开时的情况



作为逻辑器件的动作

门 IC 本来就是作为逻辑器件而制作的。门 IC 的逻辑动作作用真值表表示其功能。真值表表示各种输入组合(“0”与“1”的组合)状态下的输出值。

如果输入数有两个,那么“0”与“1”的组合有 4 种。这时真值表就是把这 4 种输入状态以及它的输出状态整理在一起的形成的表。

图 1.16(a)和图 1.16(b)分别是 AND 和 OR 的真值表。逻辑动作没有时间的概念。如果输入状态发生变化,那么输出的状态也立即变化。数字在门 IC 的部分没有等待或者加速。

输入的变化→输出的变化,这是门 IC 动作的特征。但是门 IC 也有使数据延迟的作用。在理想情况下希望数据的时间延迟为 0,但是实际上由于构成门 IC 的晶体管的开关时间和布线电容的影响存在着延迟,这就是门延迟时间。它是电路设计中一个非常麻烦的问题。

就是说当信号通过某一级门时产生的延迟时间是各不相同的。我们要求产生的数据中不含有这种微妙的时间差。

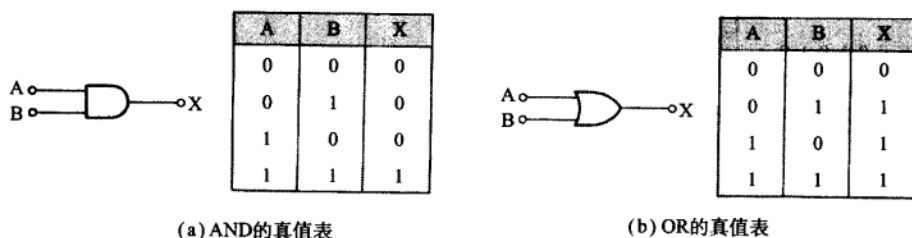


图 1.16 作为门使用的逻辑器件



把逻辑器件作为门工作

怎样把一个 AND 门作为门进行实际工作呢? 图 1.17(a)是把 AND 门作为门工作的原理图。把门与数据分别作为输入,所看到的动作与真值表相同。

当门的输入为“0”时,不论数据输入是“0”还是“1”,输出原封不动地为 0,没有变化。就是说,数据输入的变化没有体现在输出上。但是当门输入为“1”时,与数据输入的“0”和“1”相对应,输出

也变化为“0”和“1”。也就是说数据输入的变化原封不动地表现在输出端。

在2输入的 AND 门中,当1个输入为0时,另一个输入的变化不体现在输出(仍然为“0”);当1个输入为“1”时,另一个输入的变化则原封不动地体现在输出端。

图 1.17(b)是用 OR 门作为门时的情况。图 1.17(a)与图 1.17(b)相比较的结果如图 1.17(c)所示,可以看出控制门开关的信号(B)是相反的。

A	B	X
门	数据	输出
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

因为门关闭所以输出仍然是“0”

数据原封不动地出现

 | A | B | X | |---|----|----| | 门 | 数据 | 输出 | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 1 | | 1 | 0 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 数据原封不动地出现 因为门关闭所以输出仍然是“1” | | | AND 门 | OR 门 | |--------|-------|------| | 打开门的信号 | 1 | 0 | | 关闭门的信号 | 0 | 1 | OR门的打开和关闭与AND门相反 |

(a) AND门作为门使用时的情况

(b) OR门作为门使用时的情况

(c) AND门与OR门的控制信号的不同

图 1.17 门(AND与OR)的真值表

1.5.5

NAND 门与 NOR 门

NAND 门相当于 AND+反相器,NOR 门相当于 OR+反相器。所以如图 1.18(a)、(b)所示,它们与 AND 和 OR 一样也可以作为门使用,只是各自的输出是反转的。所以作为控制信号,AND 与 NAND、OR 与 NOR 是相同的。只是输出的极性是反转的。就是说如图 1.19 所示,NAND 门或 NOR 门是把输入的信号反转输出的门。

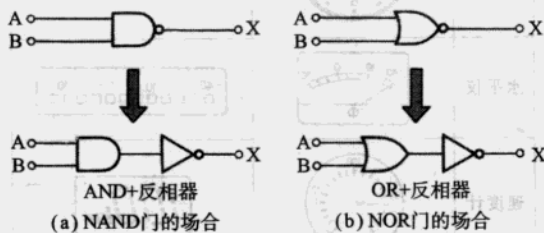


图 1.18 OR 的真值表

	AND	NAND	OR	NOR
打开门的信号	1	1	0	0
数据的极性	原封不动	反转	原封不动	反转

图 1.19 NAND 与 NOR 的门动作

1.6 模拟 IC 与数字 IC

1.6.1 模拟与数字的不同

模拟(analogous)这个词本来是“类似”或“相似”的意思。相对应地,digital 具有“手指的”或“指状的”意义。

在计算数目的机器,也就是在计算机领域里,这两个词的差异非常明显。与算盘(数字)相对应的是计算尺(模拟),与电子计算机(数字)相对应的是模拟计算机(以及用可变电阻器或 OP 放大器、计数器等进行计算的各种设备),它们的用途各不相同,但是目的是相同的,都是进行计算。

图 1.20 是对模拟式和数字式所做的比较。手表、水平仪、速度计,这些都是我们身边常见的东西,很容易进行比较。最近的发展趋势是与模拟式相比数字式愈来愈多起来了。最重要的原因就是数字式所依赖的半导体技术的迅速发展,可以容易地制作出各种复杂的逻辑系统。

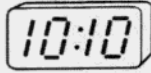
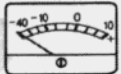
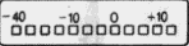
	模拟式	数字式
钟表		
水平仪		
速度计		

图 1.20 模拟式与数字式的不同

还有一个重要的原因就是模拟式大部分是机械式的,使用的部件大多是齿轮、发条之类,在可靠性、精度、寿命等方面存在问题。而数字式系统是由 ON 与 OFF 这种单纯的动作组合构成的,而且使用半导体材料没有机械性磨耗,所以可靠性和寿命得到大幅度的改善。

1.6.2

模拟 IC 与数字 IC

模拟 IC 的典型产品是 OP 放大器(运算放大器)。OP 放大器可以说是理想放大器的代名词。它也能够通过改变外加部件使输出的极性变化,或者改变放大倍数。

典型的数字 IC 可以说就是 74 系列的逻辑 IC。它把一些门电路或触发器之类基本的逻辑器件组合在一个管壳内。图 1.21 对 OP 放大器与逻辑 IC 做了简单的比较。

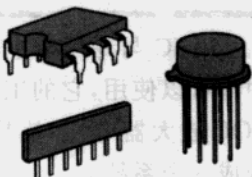
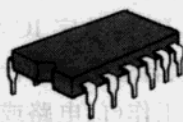
	OP 放大器(典型的模拟 IC)	逻辑 IC(典型的数字 IC)
外形	 DIP 或金属封装等,有各种管壳	 DIP 型,几乎都是 14、16 或 20 条管脚
使用电压	在 $\pm 5 \sim \pm 15\text{V}$, $+10 \sim +30\text{V}$, $+5\text{V}$ 等很宽的电压范围内使用	TTL 场合的标准电压是 $+5\text{V}$ CMOS 逻辑中是 $+2 \sim +6\text{V}$
制造技术	几乎都是双极晶体管。只有少部分是 MOS 晶体管。	有双极晶体管(TTL)和 MOS 晶体管(CMOS),最近 CMOS 型逐渐多起来
内部电路	放大电路 	门电路 

图 1.21 OP 放大器与逻辑 IC

模拟 IC 是在 IC 芯片的内部加入了“可变电阻器”处理连续的信号,而数字 IC 可以看成是在 IC 芯片的内部设有“按钮开关”群,通过按钮决定它的工作。

如果严密地解释的话,数字 IC 的内部也是进行模拟工作的。因为当输入连续变化的信号时输出也呈现出连续的变化。

如果能够处理连续变化的信号,也就没有必要特意区别逻辑 IC 和模拟 IC 了。实际上存在有各种规则。就像在前面所介绍的

那样,作为逻辑电路,这些规则是按照能否方便地处理输入信号或输出信号的电平所决定的。就是说对于所说的“0”或者“1”这样的数字信号,需要预先确定从几伏到几伏是“1”,从几伏到几伏是“0”。然后在信号被输入时,由 IC 自身解释与输入电压相对应的是“输入是‘1’”或者“输入是‘0’”,并且进行运算,再与预先确定的规则相对应,输出结果。

表 1.3 列举出典型的模拟 IC 和数字 IC。

表 1.3 模拟 IC 和数字 IC

模拟 IC	通用	OP 放大器, A-D 转换器, D-A 转换器
	专用	TV 用, VTR 用, 图像处理用等
数字 IC	通用	逻辑 IC(74 系列, 4000 系列), 存储器, 通用微机
	专用	钟表用, 台式计算机用, ASIC(面向特定用途设计的)

1.6.3 通用 IC 与专用 IC

模拟 IC 与数字 IC 各自都有通用 IC 与专用 IC(表 1.4)。所谓通用,顾名思义就是什么系统中都可以使用,它的工作几乎都是最基本的工作(门电路或触发器, OP 放大器等)。就是说,把一些一般的通用 IC 进行组合就能够构成一个系统。

相对地专用 IC 多包含有某系统的大部分功能,几乎不能用于其他用途。例如,TV 用的图像信号处理电路几乎集中在一个 IC 中,两三个这种 IC 就能够构成 TV。但是如果制作计算机,内部电路当然就不能使用这些 TV 用的 IC。

这种限定用途的 IC 叫做专用 IC。但是像微机 IC 或存储器 IC 等它的功能是确定的。为了把它们与别的 IC 或不同的程序组合构成各种系统,就需要接入通用 IC。

表 1.4 通用 IC 与专用 IC

通用 IC	是由半导体厂家独自设计、制作并出售的产品。一般容易买到,不限定使用用途
专用 IC	由整机厂家或者半导体厂家设计,半导体厂家制作,有限定的用途。所以一般不容易买得到,应用电路大多有确定的外接部件等

第 2 章

数字电路中使用部件的选择方法

进行数字电路实验时,除数字 IC 以外还需要一些必要的部件。有些部件并没有包含在数字电路的电路图中。本章对这些部件作简要的说明。

2.1 经常使用的各种结构部件

2.1.1

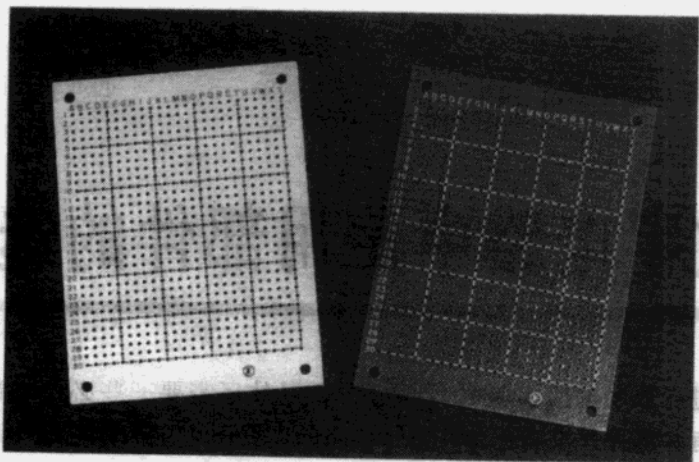
实验用印制电路板

想进行小型实验或组装简单的电路时,可以利用上面钻有间隔为 2.54mm 小孔的通用基板。数字 IC 电路的通用基板上,这些小孔应该是孤立的,并且能够进行焊接。

照片 2.1 中的通用基板(“通用基板”的含义是没有特定的用途,可以用于制作任何电路)大小为 95mm×72mm,适合于制作大约 10 个数字 IC(14 根引线或者 16 根引线的电路块)的电路。左面基板的材料是纸环氧,右面基板的材料是玻璃环氧。玻璃环氧基板具有耐热和强度高的优点,但是价格稍高。在一般的实验中采用纸环氧基板就足够了。

使用通用基板时应该注意不要用烙铁尖使劲擦图形。特别是如果用力摁焊接后的部件有可能毁坏焊接处的图形。同时也会影响通用基板上局部铜箔的强度。不过如果不是多次返工焊接的话是没有关系的。

如果估计有可能多次返工,那么可以利用通孔基板。如图 2.1 所示,这种基板上的孔像气眼一样。但是它比一般的通用基板价格高 3~5 倍。



照片 2.1 实验用通用基板

(有间隔为 2.54mm 的小孔。左边:纸环氧基板,右边:玻璃环氧基板)

基板的正面和反面都有图形,孔内有金属连接。铜箔不易剥落

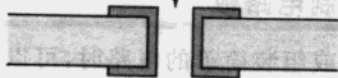
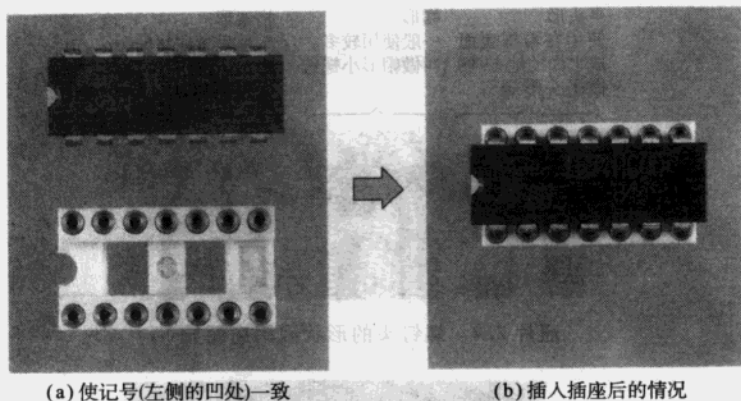


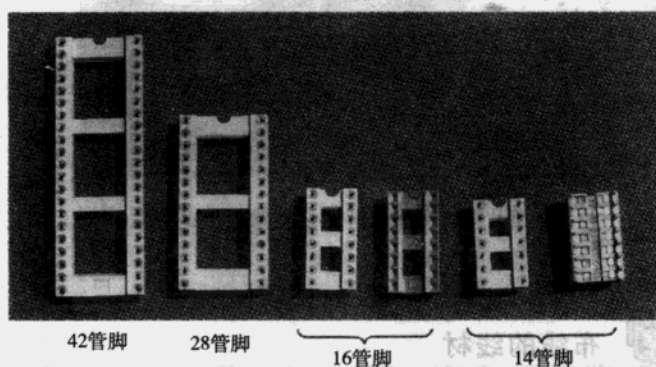
图 2.1 通孔基板的截面图

2.1.2 IC 插座的使用方法

DIP(双列直插式封装)型 IC 插座通常一侧有半圆缺口(有些插座上的缺口不是半圆形而是四方形或者印有标记)。这个缺口标志着插入 IC 的方向。IC 上也有同样的缺口或者记号,使用时必须方向一致。必须注意的是,如果插入 IC 时方向错了 180° ,就会损坏 IC。照片 2.2 表示 IC 与 DIP 插座的正确方向,照片 2.3 是不同管脚数的 DIP 插座。



照片 2.2 数字 IC 与 DIP 插座



照片 2.3 各种管脚数的 DIP 插座

2.1.3

螺钉与螺帽

把基板安装在机壳上或者组装主体时需要使用螺钉和螺帽固定。有各种各样的螺钉和螺帽,选择什么样的螺钉和螺帽呢?

选择螺钉时必须确认以下各项:

- (1) 标称直径(2mm, 2.6mm, 3mm, 4mm 等)
- (2) 长度(8mm, 10mm, 15mm, 20mm, 50mm 等)
- (3) 正螺丝还是反螺丝
- (4) 螺钉头的形状(平头形, 帽形, 桁架形(照片 2.4))

另外,为了固定基板经常使用照片 2.5 所示的平垫圈。这样会使基板受力均匀,不会破裂。为了防止螺丝松懈,有时也使用弹簧垫圈。

一般使用直径 3mm 的螺钉。



照片 2.4 螺钉头的形状因用途而异



照片 2.5 把螺钉固定在基板上的方法

2.1.4 布线的线材

电子电路中的布线材料不算是很重要的材料。这也许是因为线材不具有复杂的功能吧。但是在初学电子电路组装的人们中经常有人因为不知道应该使用什么样的线材而感到困惑。

如照片 2.6 所示,线材有单线线材和绞线线材。单线,顾名思义是由一根导线构成的;而绞线是由多根细导线扎成一股线的。

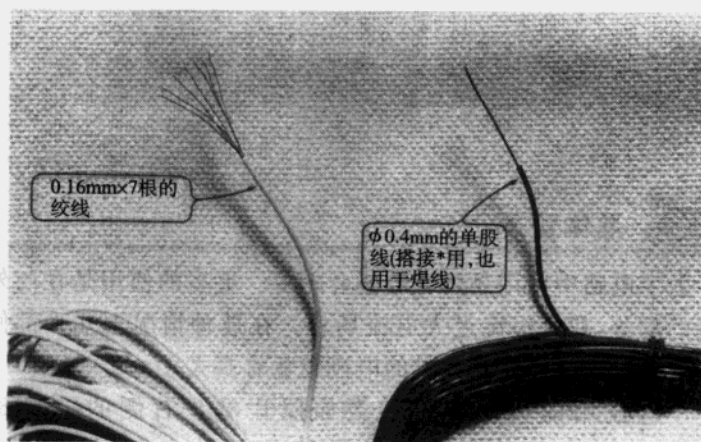
单线由于是由一根导线构成的,所以在同一地方多次弯曲时容易折断。因此当从基板向外引出连线时多使用绞线;相反,基板内的布线多使用容易弯曲成形的单线。

焊接时需要注意的是在焊接后不要移动线材。还应注意,焊接后的线材容易在焊接点的根处损坏。

2.1.5 组装用机壳

除了只是做实验的情况外,当一个电路完成后最好装入机壳。这不仅是因为美观,而且使用方便,提高可靠性。比起布线搭拉在

基板上的情况,装在一个机壳内不容易发生因连错线、布线短路等损坏元器件的现象。

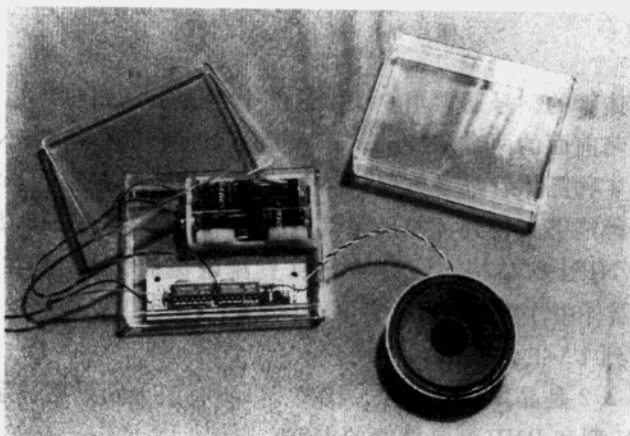


照片 2.6 布线使用的线材

(* 搭接是一种使用特殊工具把线材剥皮,盘绕线材布线的方法)

机壳有多种形状。机壳材料可以分为塑料系和金属系。如果有变压器之类重的部件,适合于采用金属制机壳。其他场合可根据价格、大小以及美观喜好等决定。

塑料制机壳也有各种形式,有像盒式录音带壳那样结构简单的形式,当然还有可以用螺丝固定起来的正规机壳。如果不在意美观性,那么具有价格优势的塑料机壳就可以了。但是它的加工性例如打孔等性能比较差,所以要根据用途选择合适的机壳。照片 2.7 就是一例塑料制机壳。



照片 2.7 塑料制机壳的使用例

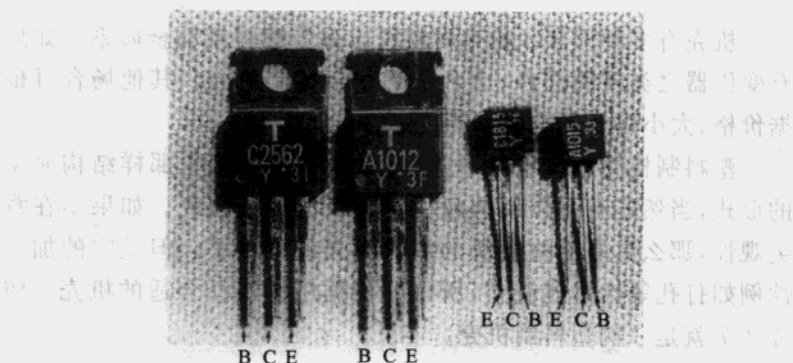
金属制机壳价格高,不过大型设备几乎都使用金属机壳,它结实而且美观。长期使用的设备还是使用金属制机壳好。

2.2 各种经常使用的电子部件

2.2.1 晶体管

数字电路中使用晶体管的场合不多。更多的使用是在与外部连接的部分,在希望流过大电流场合。在那种情况下几乎都使用晶体管。这时必须注意流过的电流究竟有多大。

小电流用的典型器件种类如照片 2.8 右侧的 2SC1815、2SA1015,大功率用典型的晶体管如照片左侧的 2SC2562、2SA1012。



照片 2.8 常用的晶体管例

晶体管的型号通常用 6 个字或 7 个字表示。如照片 2.8 所示通常省略前面的两个字“2S”。2SA 是 PNP 型,2SC 是 NPN 型。

这 4 种晶体管都是典型的晶体管。在几乎所有的电子零部件商店中都能够买得到。如果想使用代用品,首先需要确认是 PNP 型还是 NPN 型结构。然后从 h_{FE} (直流电流放大系数) 在 150~200 的器件中注意选择 I_C (集电极电流) 应达到 100mA,最大电流能够达到 1A 的器件。

图 2.2 是晶体管的符号。图 2.3(a)和(b)分别是用数字 IC 驱动 NPN 型和 PNP 型晶体管的电路。

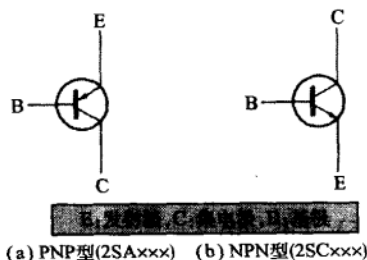


图 2.2 晶体管的符号

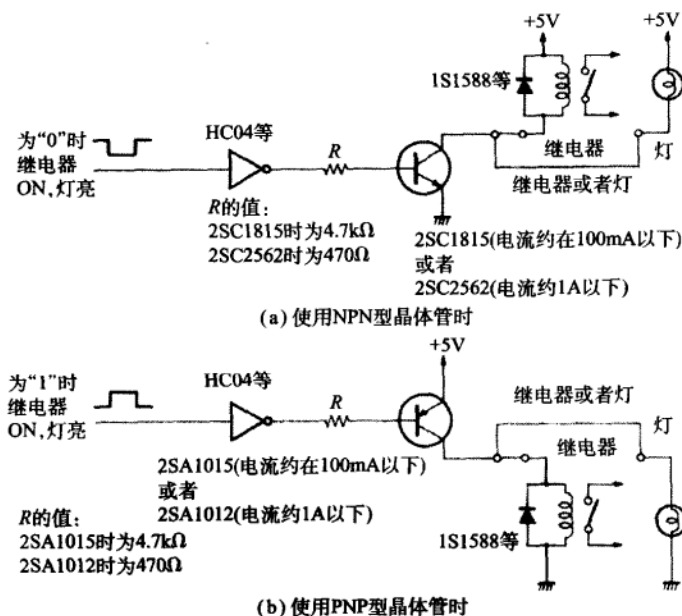


图 2.3 驱动大电流器件的电路



电阻器

电阻器按照材料的不同分为碳素电阻器、金属膜电阻器、绕线电阻器等。数字电路中使用碳素(碳膜)电阻(照片 2.9)就可以了。碳素电阻价格便宜,也容易买到。

电阻的一个额定值是最大功耗。它表示允许多大的电流流过该电阻。功率用电压 $\times$ 电流表示。当加在电阻器上的电压为 E 、电阻值为 R 时,流过的电流为 $(E \div R)$ 。因此,最大功耗相同的电阻中能够流过的电流值是可以改变的(图 2.4)。

数字电路中使用的电阻通常是 $1/8 \text{ W}$ ($=125\text{mW}$) 以下的小电阻。例如把 5V 电源接到 $1\text{k}\Omega$ 电阻上,这时流过的电流为

$$5\text{V} \div 1\text{k}\Omega = 5\text{ mA}$$

功耗为

$$5\text{V} \times 5\text{mA} = 25\text{ mW}$$

所以,对于 $1/8\text{ W}$ ($=125\text{mW}$) 的电阻来说还有 100mW 的余量。
反过来在 5V 电压下最小能够使用几欧的电阻? 首先求电流,为

$$125\text{mW} \div 5\text{V} = 25\text{ mA}$$

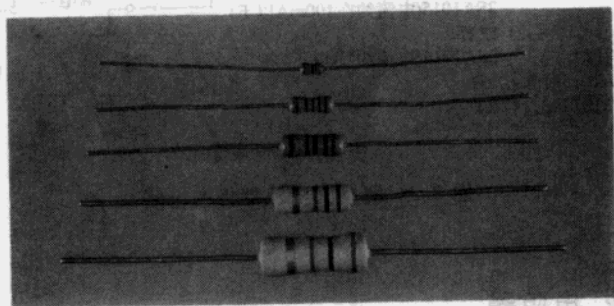
所以,流过这么大电流的电阻值为

$$5\text{V} \div 25\text{mA} = 200\ \Omega$$

就是说,在电源电压为 5V 的电路中,要使用电阻值在 $200\ \Omega$ 以下的电阻时就必须选择额定功率大于 $1/8\text{ W}$ 的电阻。

对于经常使用的电阻一次如果购买 100 支以上就会便宜些。
 $1/8\text{ W}$ 的碳素电阻一支约 $5\sim 10$ 日元。如果一次购买 100 支以上的话,一支 $1\sim 2$ 日元就可以买得到。

备齐电阻的窍门是多注意 $1\text{k}\Omega$ 档和 $10\text{k}\Omega$ 档的种类。没有必要在 $100\ \Omega$ 档和 $100\text{k}\Omega$ 档的种类上多花工夫。例如, $100\text{k}\Omega$ 档电阻中有 $100\text{k}\Omega$, $200\text{k}\Omega$, $470\text{k}\Omega$, $680\text{k}\Omega$ 这 4 种阻值就足够了。购买电阻时应以 100 支为单位购买 E12 系列(参考下节)的商品。



照片 2.9 各种瓦数的碳素电阻

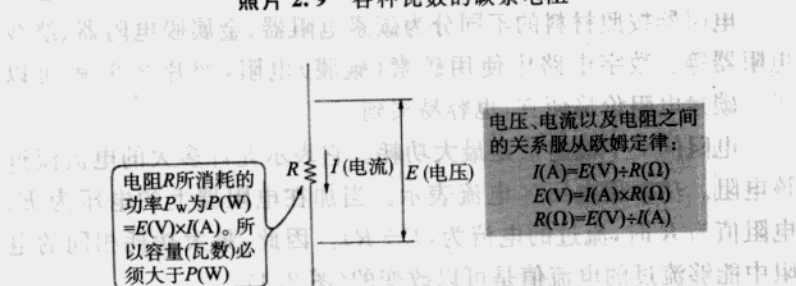


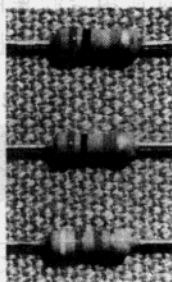
图 2.4 流过电阻的电流与消耗功率

2.2.3 电阻值(色标)的读法

电阻值大多都用色标来表示。所谓色标就是使数字与颜色一一对应地表示元件的数值等要素(照片 2.10)。

另外也可以用于把布线编号颜色与色标一一对应,以区别数据线顺序的场合。

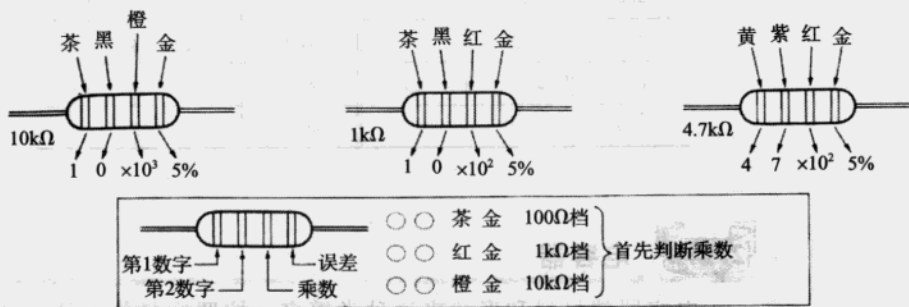
对于初学者来说识别色标比较困难,经常有人提出“为什么不用数值来直接表示的”问题。电阻是一种细长形的元件,没有正面与背面之分,所以当把电阻安装焊接在基板上以后往往看不见它的数值表示,或者难以确认电阻值究竟是几欧。但是色标是以细长的带状环绕元件,所以不论怎样安装都能够确认它的颜色。表 2.1 表示各种颜色与数字的对应关系。图 2.5 是色标的读法。



照片 2.10 电阻的色标

表 2.1 电阻值的色标

颜色	黑色	茶色	红色	橙色	黄色	绿色	蓝色	紫色	灰色	白色
数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9



不论电阻也好电容器也好,并不要求必须凑齐所有能够组合起来的数值。实用上所要求准备好的标准数值仅限于表 2.2。也就是说颜色的组合并不是无限的,所以只要记住了色标的话使用起来就会带来意想不到的方便。

识别色标的方法首先是找到表示误差的颜色(金色 5%, 银色

10%，另外还有红色 2%，茶色 1%)。它一定标记在元件的一端。其次是乘数的颜色，表示究竟是 100Ω 档(100~999Ω)还是 1kΩ 档(1~9kΩ)。通常有 6 种颜色：黑色(10Ω 档)，茶色(100Ω 档)，红色(1kΩ 档)，橙色(10kΩ 档)，黄色(100kΩ 档)，绿色(1MΩ 档)。除此之外的两条颜色是表示数字的色标，但是应该从另一端起识别数字。

理解了乘数的颜色后，就可以从 E24 系列或者 E12 系列中识别色标所组合起来的数字。如果出现与组合的数字不一致，那么应该从另一端读色标，或者是色标的读法有错误。

表 2.2 标准的电阻值(E24 系列,E12 系列)

电阻值 (1×10 ⁿ Ω)	E24 系列	E12 系列	电阻值 (1×10 ⁿ Ω)	E24 系列	E12 系列
1.0	○	○	3.3	○	○
1.1	○		3.6	○	
1.2	○	○	3.9	○	○
1.3	○		4.3	○	
1.5	○	○	4.7	○	○
1.6	○		5.1	○	
1.8	○	○	5.6	○	○
2.0	○		6.2	○	
2.2	○	○	6.8	○	○
2.4	○		7.5	○	
2.7	○	○	8.2	○	○
3.0	○		9.1	○	

2.2.4

电 容 器

电容器就材料和形状来说种类繁多。按照容量值大体上如表 2.3 那样区分。

模拟电路中由于所使用电容器的材料不同往往会影响电路的性能。在数字电路中几乎不会发生这种情况。因此并不需要备齐各种各样的电容器，只要常用的 2~3 种就可以了。

数字电路中最多使用哪种电容器呢？近来经常使用的是叠层陶瓷电容器(照片 2.11)。这种电容器的特点是体积小，而且制作出元件的数值范围分布很宽。因此如果使用叠层陶瓷电容器，就

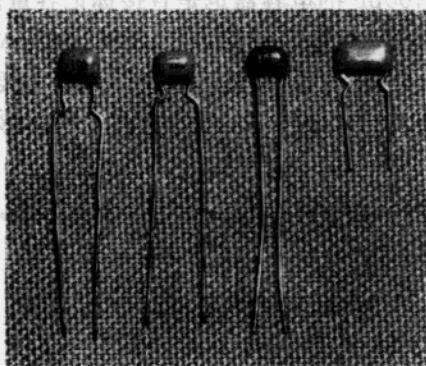
没有必要再使用其他种类的电容器。

表 2.3 电容器的种类和容量值的范围

电容器的种类(材料)	容量值*
叠层陶瓷电容器	10pF~0.1 μ F
钽电解电容器	0.1~10 μ F
铝电解电容器	1~1000 μ F
薄膜电容器	1000pF~0.1 μ F
陶瓷电容器	1pF~0.1 μ F

* 容量值是大体上的范围。

钽电解电容器和铝电解电容器都具有极性,所以不能使用于电容器上所加电压不稳定的场合(例如 RC 振荡电路等)



照片 2.11 叠层陶瓷电容器例

(经常使用于数字电路中)

但是,这类电容器中没有电源电路中使用的大容量电容器。电源电路中应该使用钽电解电容器,当然价格高了些。在本书的实验中对于容量在数十 μ F 以上的可以使用铝电解电容器。

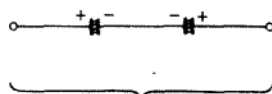
综上所述归纳如下:

(1) 0.1 μ F 以下使用叠层陶瓷电容器。

(2) 0.1 μ F~10 μ F 使用钽电解电容器。

(3) 10 μ F 以上使用铝电解电容器。

还必须注意钽电解电容器和铝电解电容器都具有极性。如果希望使用无极性的大容量电容器时,可以如图 2.6 所示将相同极性连接起来使用。



作为一个电容器使用,但是容量变为1/2。

图 2.6 有极性电容器的无极性使用法

2.2.5

电容器容量值的读法

电容器的种类有各种各样,它的容量值标记方法也很多。不过基本上与电阻相同,是数值 $\times$ 乘数。

容量比较小的($0.1\mu\text{F}$ 以下)是数值 $\times$ 乘数,但是容量比较大的(钽电解电容器、铝电解电容器等)通常就直接标记容量值,如 $10\mu\text{F}$ 等。不足 100pF 的电容器也是直接标记容量值。

图 2.7 是数值 $\times$ 乘数的读法,照片 2.12(a)~(c)是各种电容器容量值的读法举例。之所以有这些不同之处主要是由于元件的大小。小的元件上不可能直接标记容量值,只能够用 3 位数字表示容量值。

根据元件的大小大体上可以推定出它的容量,所以购买元件时注意判断不要买错。

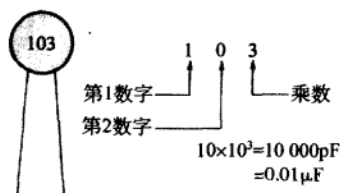


图 2.7 电容器容量值的读法

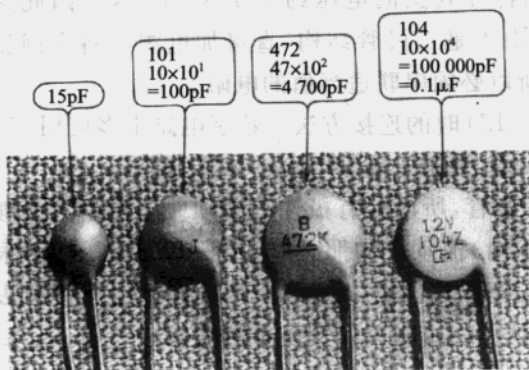
2.2.6

LED

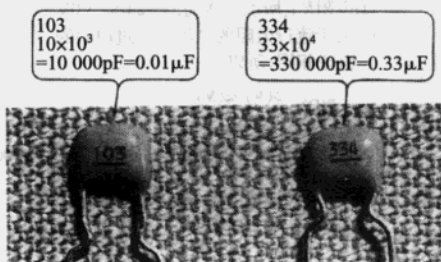
过去指示器的主流是电灯泡,现在几乎都采用 LED(发光二极管)。LED 只需要很少的电流就能够发光,不易损坏,容易处理。还由于能够产生出红、绿、黄等装饰色,所以 LED 用作指示器是很方便的。

照片 2.13 是各种 LED。左上方的 2 个是大圆形的,里边有 6

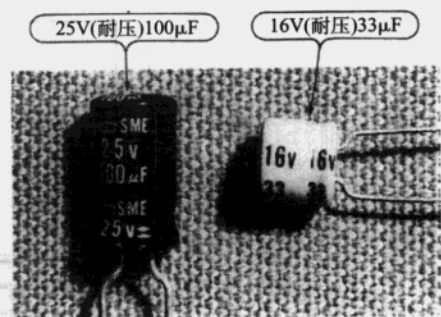
个普通 LED 发光管。下面 3 个(稍大一些)同样也各装入了 2 个发光管。其他是小型的。右上方的金属管壳中装有 2 个发光管,并且带有能够直接安装在基板上的螺丝。



(a) 陶瓷电容器

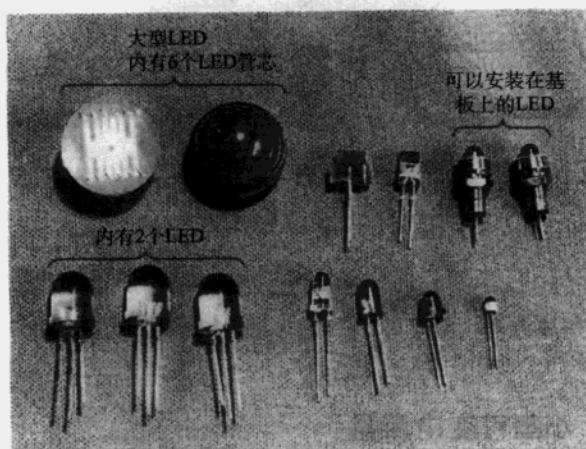


(b) 叠层陶瓷电容器



(c) 电解电容器

照片 2.12 电容器容量值的表示法举例



照片 2.13 不同种类的 LED

LED 的型号按照体积大小、发光颜色、使用电流、亮度等可以分为许多种类,但是发光原理是相同的。都是流过电流发出光,所以如果只是作为灯泡用的话使用哪一种都没有关系。

LED 按照物理特性其正向电压约为 $1.8 \sim 2.0\text{V}$ 。因此用一节电池不能发光。由于是二极管结构,直接加电源时将会因流过太电流损坏器件,所以必须串联适当值的电阻。

图 2.8 是使用 LED 时的连接方法。数字电路中多使用 5V 的电压,考虑到发光亮度,通常选用 $200 \sim 500\Omega$ 的电阻。

LED 是一种二极管,所以具有极性。必须使电流沿着能够流动的方向(所谓的正向)流动。如照片 2.14 所示,LED 的两根管脚长度是不同的,长管脚是阳极(+极)。但是有时用剪钳剪去部分管脚时就难以辨认了。这时只好交换 2 根管脚进行辨认。LED 反向连接时灯泡不发光,也不会损坏。

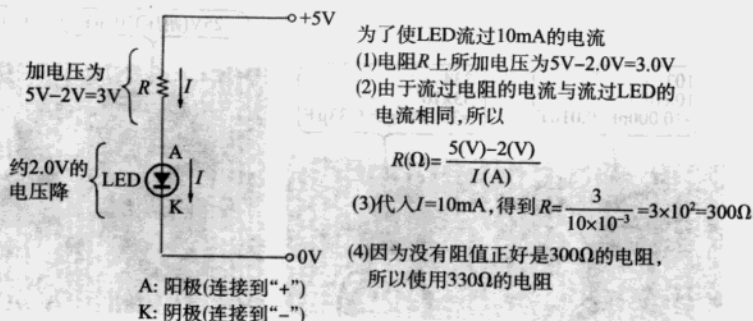
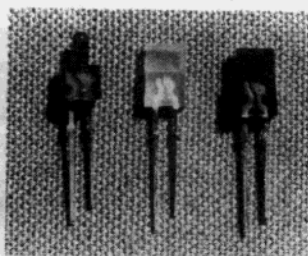


图 2.8 使用 LED(发光二极管)的方法



长 A K 短

照片 2.14 LED 的极性(长的管脚(左)为阳极(+极))

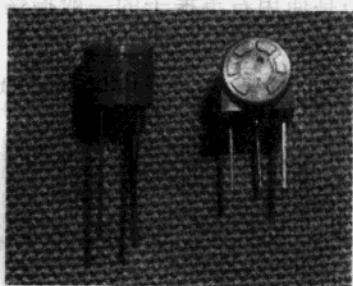
2.2.7

小型可变电阻器

数字电路中几乎不使用可变电阻器,不过在改变冲息多谐振

荡器的时常数时往往使用半固定的可变电阻器。

这种场合应该尽量使用小型的电阻器。照片 2.15 中分别有立式和卧式两种小型可变电阻器,引线管脚的间隔是 2.54mm。与数字 IC 管脚的间隔相同,恰好能够插入通用基板的小孔。



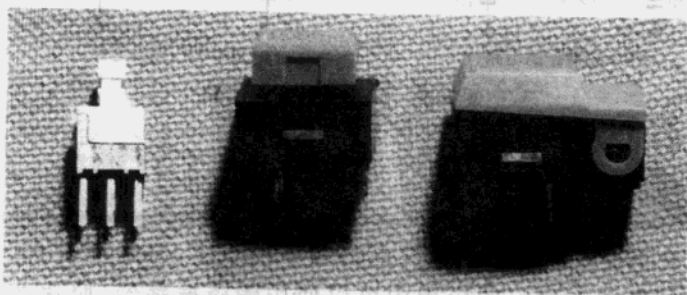
照片 2.15 基板上安装使用的小型可变电阻器例

2.2.8 开 关

不限于数字电路,在电子电路中也会使用一些开关。数字电路中开关是为了输入“0”和“1”信号用的,并不流过大的电流。应该尽量选择小型且不产生振动的开关。

照片 2.16 是基板上安装用的开关(按钮开关)例。这是一种用力轻、有“咔哒”声的开关。

基板上安装用的开关应该选择引线管脚间隔为 2.54mm 的,便于插入通用基板的小孔。



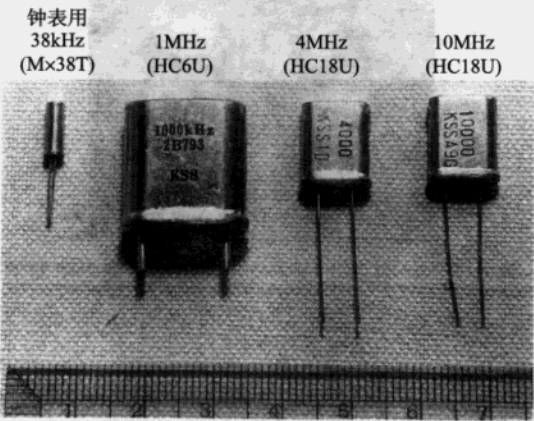
照片 2.16 基板上安装用的开关例(按钮开关)

2.2.9 石英振子

石英振子可以很方便地获得稳定的振荡,因而经常使用它(照片 2.17)。石英振子,顾名思义就是利用很薄的石英片的振动。

选择石英振子时只需指定振子的振荡频率就可以了。按照频率大体上就可以确定振子的形状。最近也有把石英振子与振荡电路组合在一个管壳内新的产品问世。价格稍高些,不过使用起来很方便。它不需要外加部件,可以很轻松地插在基板上。

图 2.9(a)、(b)是使用石英振子的一般振荡电路。



照片 2.17 石英振子的例子(()内是封装的种类)

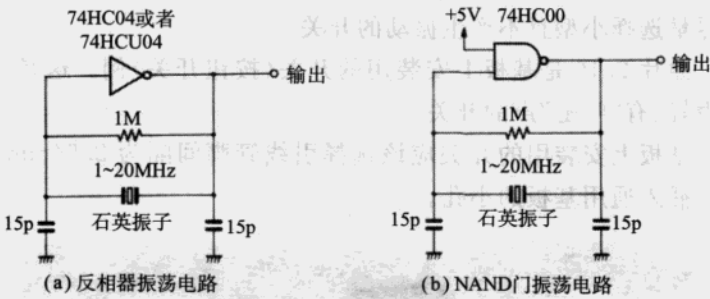


图 2.9 石英振子振荡电路

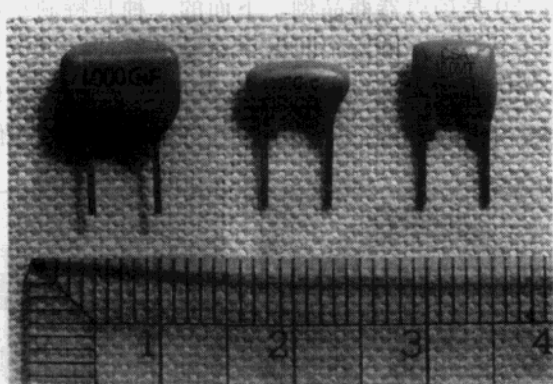
2.2.10 陶瓷振子

在不需要石英振子那样高的频率精确度,但是使用 RC 振荡器又显得很很不稳定的应用中可以使用陶瓷振荡器(照片 2.18)。它的振荡原理与石英振子相同,不过由于材料是陶瓷,所以价格便宜。另外形状也比石英振子更小些。

2.2.11 压电蜂鸣器

在数字电路应用中当希望能够容易地发出声响时使用陶瓷振

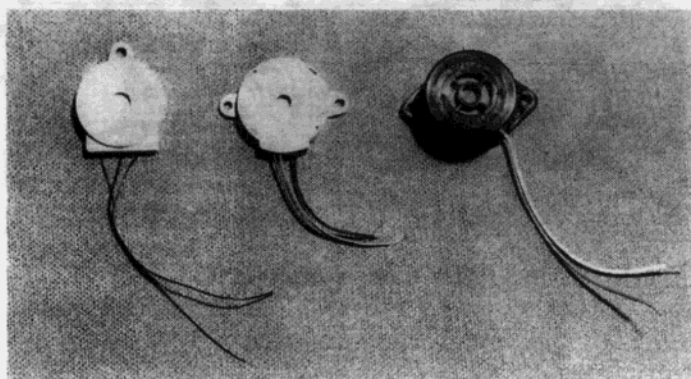
子是很方便的(照片 2.19)。它通常称为压电蜂鸣器。共振点大多在 4kHz 附近。如果希望发出各种音程,就要使用扬声器。



照片 2.18 陶瓷振子例

外壳内只有振动板

内藏振荡电路型



照片 2.19 压电蜂鸣器例

选择压电蜂鸣器时不能只选择振动板还应该带有塑料壳。因为振动板非常薄,安装时很费事。

压电蜂鸣器用 74HC04 等制作 RC 振荡电路(约 4kHz),可以用它的输出直接激励。

有的压电蜂鸣器中内藏有振荡电路。加上 3~12V 的电压就可以发出声音。

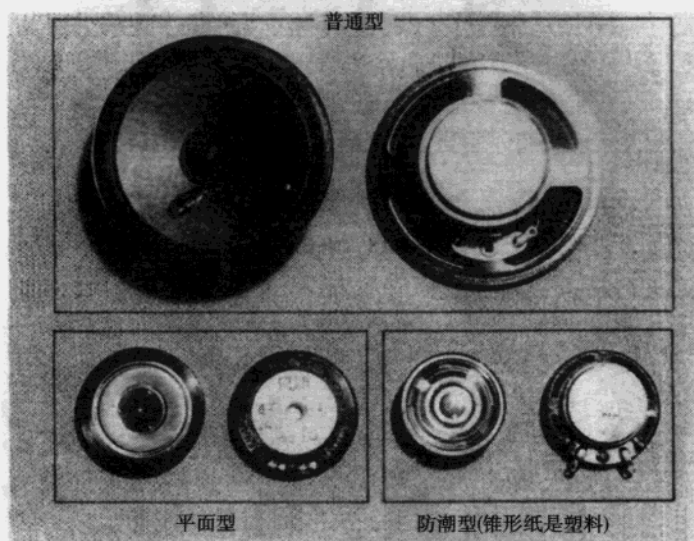
2.2.12 小型扬声器

很早就利用扬声器作为发声部件。扬声器的原理是给线圈通电流时产生磁场与线圈周围永磁铁间的相斥作用产生振动。在数

字电路中扬声器多用于替代蜂鸣器。小型的扬声器的质量并不怎么拘泥于音质,更希望体积小些。

照片 2.20 是扬声器商品例。下面的 4 种是特制小型扬声器。直径约 2.5~3cm。左侧两个叫做平面扬声器,厚度仅 4mm。

当用门 IC 直接驱动扬声器时,线圈的阻抗愈大(32Ω 等)发出的声音愈大。有的扬声器有“+”和“-”的标记,“-”一侧连接地。



照片 2.20 小型扬声器例

第 3 章

选择测试仪器和制作工具的方法

进行电子电路实验时除需要各种部件外,还必须有各种制作工具。典型的工具就是烙铁。当然,仅有烙铁是不能圆满地完成实验的。这里介绍为顺利完成实验所必备的工具和测试仪器。

3.1 焊接必需的工具



3.1.1 烙 铁

烙铁是电子电路实验中必不可少的工具。烙铁是用电热丝对烙铁头加热,使焊锡熔化的工具。

选择烙铁时要注意烙铁的瓦数(电热丝容量)和烙铁头的形状。瓦数愈大烙铁头的温度就愈高,这样的适合于对金属板之类的加工,但是不适合布线的焊接。

数字 IC 实验适合使用 20~30W 的烙铁。烙铁头应该尽量细些。烙铁应该确保在 AC100V¹⁾ 下完全绝缘,并且能够进行理想的温度调节。

使用烙铁时必须注意绝对不能敲打烙铁头。初学者往往用敲打的方法抖落焊接后残留在烙铁头上的焊锡,这将会损伤烙铁头和电热丝。

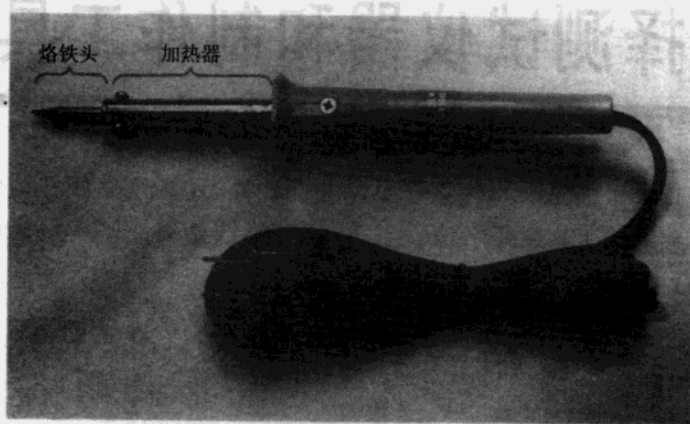
最好用浸水的海绵擦去烙铁头上残余的焊锡。一次就擦干净。电器商店里可以买到成套的烙铁头清洁剂和烙铁架。

1) 日本相当一部分地区使用 100~120V 交流电。——译者注

照片 3.1 中的 100V、30W 烙铁大约 1000 日元可以买得到。

正确使用条件下的烙铁寿命可以很长。顺便指出,作者使用烙铁已经有 25 年的历史,只用了两个烙铁,第一个使用 10 年后换用第二个,也用了 15 年。这两个烙铁至今仍然可以使用。

照片 3.1 的烙铁是作者本人的备用烙铁,目前尚未使用过。

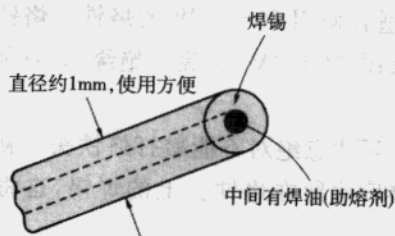


照片 3.1 烙铁(100V、30W 的烙铁)

3.1.2 焊 锡

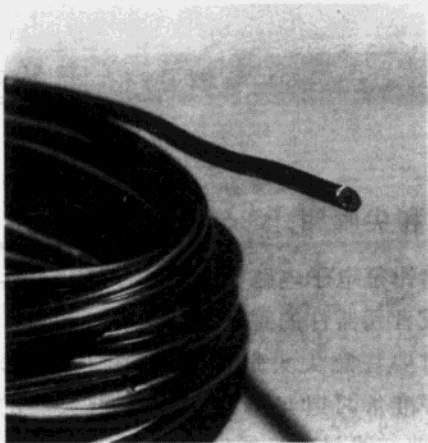
姑且不论焊锡属于工具还是部件,反正在介绍烙铁的同时还是需要了解它的选择方法吧。

焊锡因用途不同有各种各样。数字电路中处理的是小型部件,可以选用细的焊锡丝。直径 1mm 左右的丝状焊锡使用起来很方便。图 3.1 是丝状焊锡的结构示意图,照片 3.2 是它的外观。



焊锡被烙铁熔化后,里面的焊油就流出来。焊油有利于焊锡的流动。其成分约含60%的锡

图 3.1 有焊油的焊锡的结构

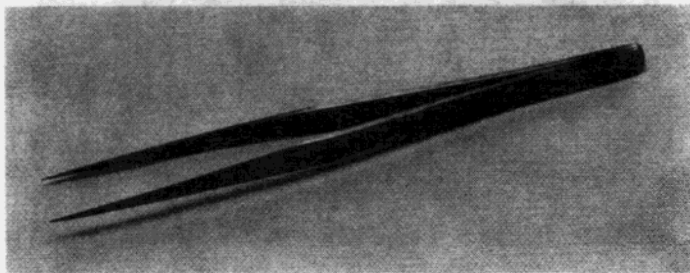


照片 3.2 内有焊油的焊锡(1mm, 中央孔中有焊油)

可以选购长度约 1m 或 2m 的袋装焊锡丝。如果需要量较大, 可以购买重量为 500g 或者 1kg 的绕在卷线架上的焊锡。如果经常进行电子电路的实验, 可以购买 1kg 的卷状焊锡。

3.1.3 镊子

工具中经常与烙铁配合使用的还有镊子。镊子用于夹紧部件或布线的线材, 检查焊接后的布线等(照片 3.3)。



照片 3.3 镊子

选择镊子时要注意尖头是否紧紧贴合, 还要注意轻微用力能否夹紧物体。长年使用的镊子尖会渐渐变得弯曲, 所以应该注意保管和使用, 保持镊子尖平直。不要把镊子尖塞进基板上的小孔里, 也不要过分地给镊子尖加力。

3.2 加工部件和线材时使用的工具

3.2.1

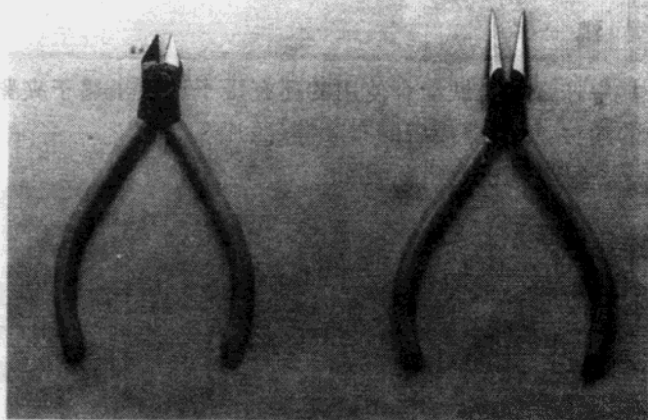
剪钳和尖嘴钳

剪钳和尖嘴钳是电子电路实验工作中不可缺少的工具。剪钳用来剪断线材或者元器件的管脚。

选择剪钳时要注意尖头是否贴和,用力时钳刃不能有偏移。有条件的话最好准备两把剪钳,一把用于剪大些的物件或粗的导线,另一把用于剪细线材或元器件的管脚。

剪粗的导线时应该使用容易加力的剪钳。

照片 3.4 中的剪钳可以用来剪元器件的管脚。刃的部分约 1cm 长,是一种小型剪钳。操作时可以在手中完全地开合,使用很方便。



照片 3.4 剪钳(左)和尖嘴钳(右)

尖嘴钳用于摁住物件以便夹住或者弯曲它。

条件允许的话也应该准备两把尖嘴钳。大型尖嘴钳的尖头不是平滑的,有锯齿状刻纹防止物件滑动;小型尖嘴钳夹物件的地方是平滑贴合的。照片 3.4 是小型的尖嘴钳。用于弯曲电阻等元器件的管脚,或者焊接时夹住部件。

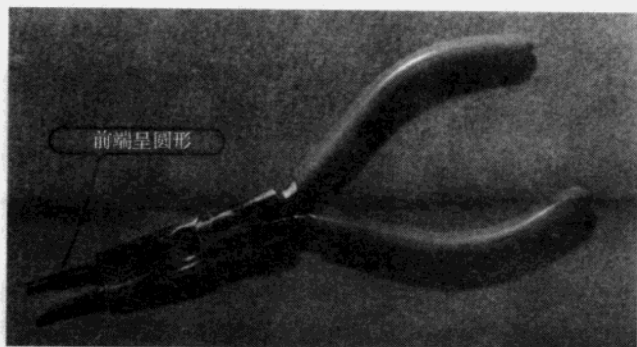
像照片 3.4 那样的剪钳或尖嘴钳大约 1000~1500 日元就可以买得到。小型的则稍微贵些。

3.2.2

弯曲元器件的引线时使用的特殊尖嘴钳

弯曲元器件的引线时希望尖嘴钳的端头能够尽量贴合,否则会使元器件或者引线产生损伤。在一般的应用中多少有点损伤不会造成大的影响,但是在对可靠性要求高的场合,损伤处或者容易生锈,或者降低了机械强度,这是我们不希望的。

因此,如照片 3.5 所示将端头变圆。使用这种尖嘴钳,不容易产生损伤。



照片 3.5 圆端头的尖嘴钳(弯曲元器件的引线时不容易产生损伤)

3.2.3

剥皮钳

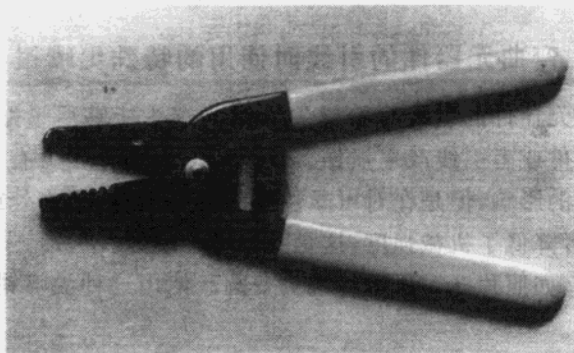
焊接电路的信号线或者电源线时必须用剥皮钳。

布线的线材一般由中间的导线以及乙烯基表皮两部分构成。由于这样的结构,当线材间交叠在一起时不会短路。但是在焊接时必须除去这部分的表皮。当线材很细时,清除表皮的工作相当麻烦。

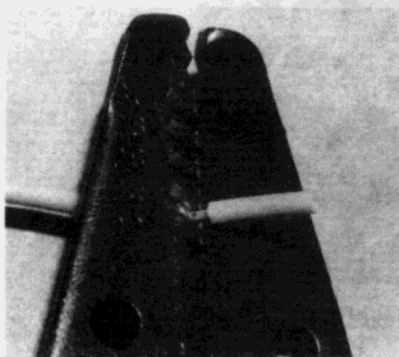
所以要使用剥皮钳。剥皮钳的结构好像一把小型剪刀。它的钳刃上有一列圆孔。依靠这些圆孔保留住了剥去表皮后剩下的导线部分。当把线材放入圆孔中夹住时正好切去了表皮部分。这样就能够剥去要焊接部分的表皮。

照片 3.6 是剥皮钳的形状。照片 3.7(a)是在使用剥皮钳剥去表皮,照片 3.7(b)是剥去表皮过程中的导线。

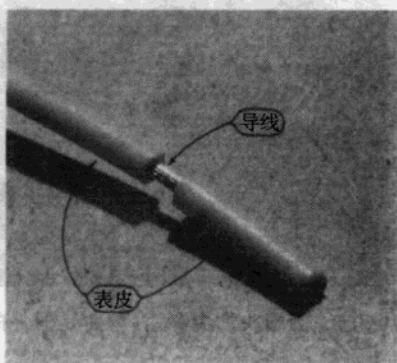
使用剥皮钳时必须注意选择圆孔的大小应该与所使用线材的粗细相同。如果圆孔大就剥不掉表皮,相反当圆孔过小时就会损伤甚至剪断导线。必须选择正好一致的孔。剥皮钳的价格大约是 2000~2500 日元。



照片 3.6 剥皮钳



(a) 选择与芯线径一致的孔剪去外层的塑料表皮



(b) 可以不损伤芯线地剥掉表皮

照片 3.7 剥皮钳的使用方法

3.3

安装和加工时使用的工具

3.3.1

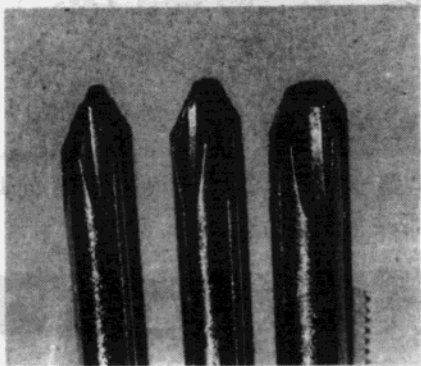
螺丝起子

螺丝起子是用来拧紧螺丝的。数字电路实验中很少使用它。只是把完成的电路板装入机壳时使用它。虽然使用很少但也不是不需要,它仍然是必须具备有的工具。

可以准备一把 3mm 的+(正)螺丝起子。3mm 的+(+)螺丝起子有许多种。如照片 3.8 所示端头的形状各不相同。如果螺丝起子端头与螺丝头部不贴合,就会弄坏螺丝头部的槽,无法继续拧动螺丝。

用螺丝起子拧螺丝时应轻轻左右旋转,螺丝启动的方向应该

与螺丝起子用力的方向一致。如果螺丝不易启动就说明螺丝起子太细,不能用这种螺丝起子拧螺丝。



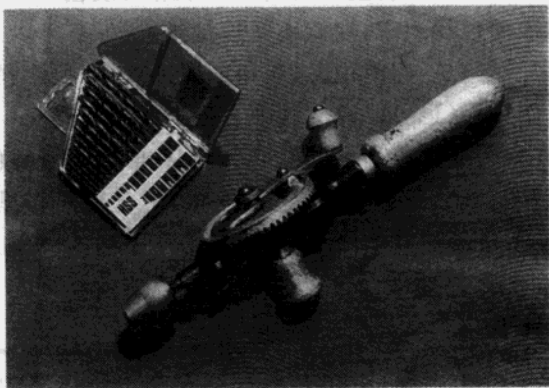
照片 3.8 端头形状不同的 3 种(+)螺丝起子头(根据螺丝的大小选用)

3.3.2 钻

进行数字电路实验时如果使用通用基板,就几乎没有必要用钻打孔。配置稍大些的部件或者安装到机壳中时,有时需要用钻打孔。它不很昂贵,条件允许的话准备一个还是很方便的。

钻有手动式和电动式两种。大型电动式钻附有钻台,价格比较贵。如果使用频度不高就没有必要购买。

照片 3.9 是手摇钻和钻头。钻头的粗细有许多种,基板上用的有 0.8mm, 1.0mm, 1.2mm 等,打螺丝孔用的有 2.6mm, 3.0mm, 3.2mm, 4.0mm 等。备有各种尺寸的钻头当然很好,但至少应该备有 1.0mm 和 3.0mm 的钻头。

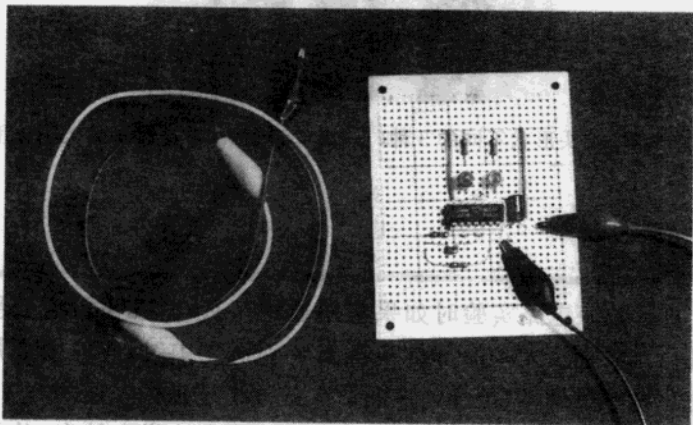


照片 3.9 手摇钻和钻头

3.4 方便实验和测定的工具

3.4.1 带鳄鱼夹的引线

进行电子电路实验时,备有几根带有鳄鱼夹的引线(照片 3.10)会给实验带来很大的方便。



照片 3.10 使用鳄鱼夹引线进行实验

鳄鱼夹引线也有多种多样。数字 IC 实验中应尽量选用小型的(约 1.5~2.0cm)鳄鱼夹。引线应该使用绞线。长度约 20~30cm,如果再有几根 50cm 的就更方便。

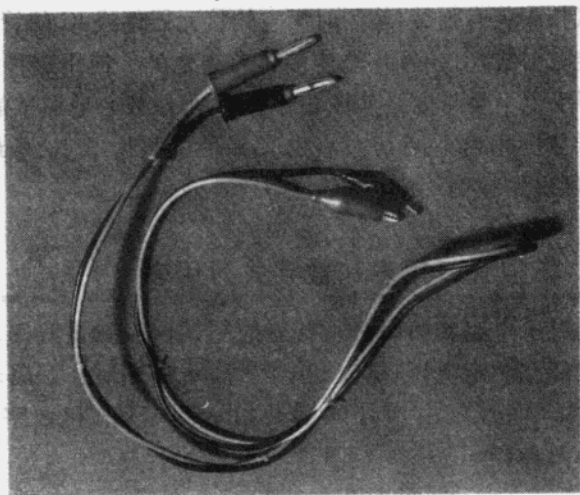
照片 3.11 是电源用线,一端接鳄鱼夹,另一端接香蕉插头。将香蕉插头插入电源装置。另外,电源用软线由红(+端)和黑(-,接地端)两色线组成,注意不要连接错。

当两根线拧在一起使用时,应该如照片 3.12 所示稍微错开一点位置,以防短路(也可以改变其中一根引线的长度)。

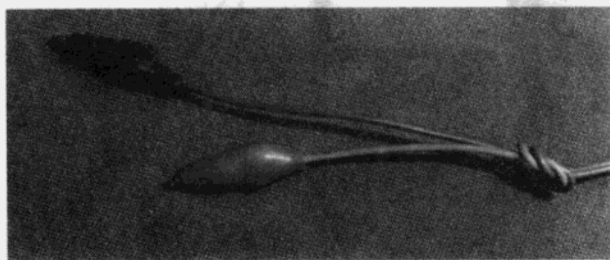
鳄鱼夹和引线有各种不同颜色。可以准备多种颜色(如果可能的话,最好能够准备 10 种颜色的软线)。电器商店里有鳄鱼夹引线出售。不过制作并不困难,应该自己动手制作一些。

3.4.2 有测试扣的引线

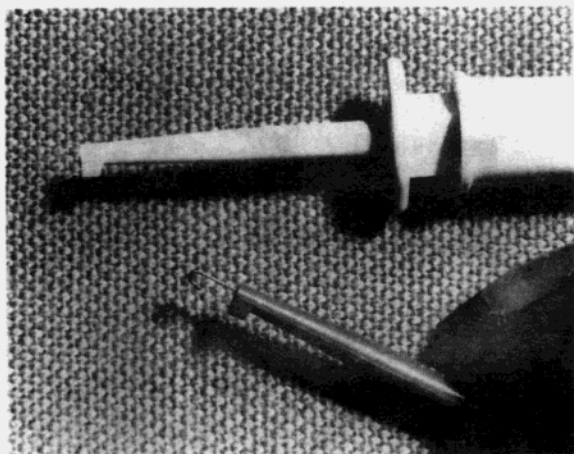
在确认已完成电路的工作时,往往希望测试电路中某一处的信号。这时使用照片 3.13 所示的测试扣是很方便的。



照片 3.11 两端分别是香蕉插头和鳄鱼夹的引线



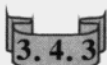
照片 3.12 把鳄鱼夹端头错开一点以防短路



照片 3.13 测试扣

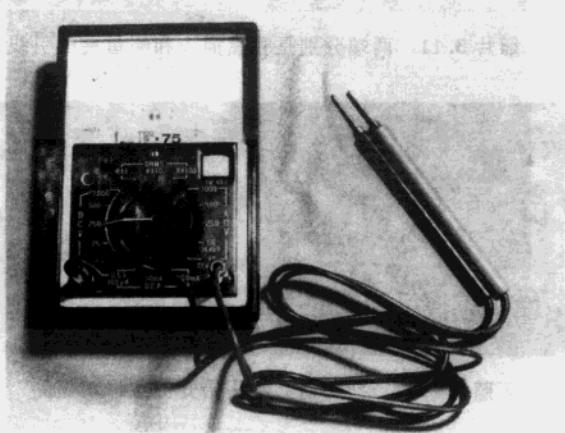
测试扣中装有弹簧,使用时用它钩接元器件或 IC 的管脚。测试扣上连接有引线,引线另一端连接鳄鱼夹之类。使用这种测试扣时即使松开手也不会与电路其他部分短路,可以放心地测试信号。

测试扣因用途不同其大小也有多种。照片 3.13 是最小的一种,前端可以钩接约 1mm 的部件。

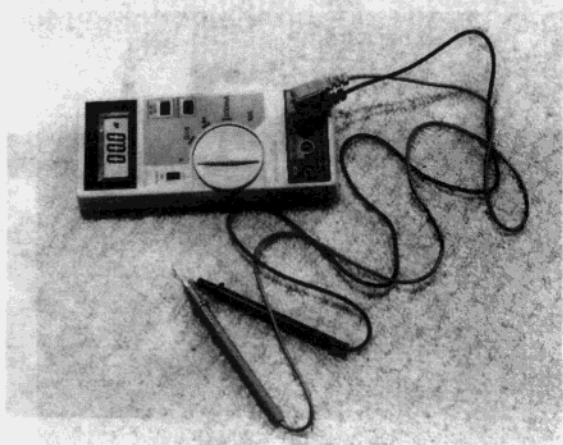


3.4.3 模拟式万用表和数字式万用表

进行电子电路实验时必须备有的测试仪器就是万用表。一台万用表就能够测定电压、电流和电阻等,非常方便。万用表有模拟式(照片 3.14(a))(由指针的摆动指示测定值)和数字式(照片 3.14(b))两种。



(a) 模拟式(指针式)



(b) 数字式

照片 3.14 万用表

不久以前数字式万用表的价格还比较高,不过现在已经便宜了,即使个人使用也有多种数字式万用表可供选购。

模拟式(指针式)的价格约 3000~4000 日元,很便宜。数字式的价格如果降到 5000~6000 日元就能够普及。随着数字式万用表的逐渐普及,模拟式也几乎不再制作高档仪表了。性能方面,普及型的数字式万用表就足够了。

规格方面,AC、DC 的测定电压最大约 500~1000V,电流最大约 10A,电阻最大约 10~20M Ω ,而且还有自动量程和手动量程切换。附有蜂鸣器,能够进行导通测试。

一般的电器商店里都可以买到万用表,也可以到测试仪器专卖店选购。专卖店里有多种高档万用表。约 5000~6000 日元的万用表在专卖店里购买时还可以降价。

万用表中附有测定电流时的限流保险丝。一般使用小型的保险丝。确认其大小后可以购买 3 个备用。1 个约 20~30 日元。用 200mA 等电流档测定电流时,有时不注意就会烧坏保险丝。



第 4 章

数字电路的制作方法技巧

本章介绍进行电子电路实验过程中一些简便的方法与技巧。这些与学习数字电路没有直接的关系,不过对于实际组装电路来说却很有用处,仅供初学者参考。

4.1 加工、组装基板和机壳的方法

4.1.1 通用基板的剪切

通用基板上间隔 2.54mm 的小孔,这对于数字电路的实验是非常方便的。但是由于使用 IC 的数量多少不同,因此所需要基板面积的大小也不相同。这里介绍剪切通用基板的简单方法。

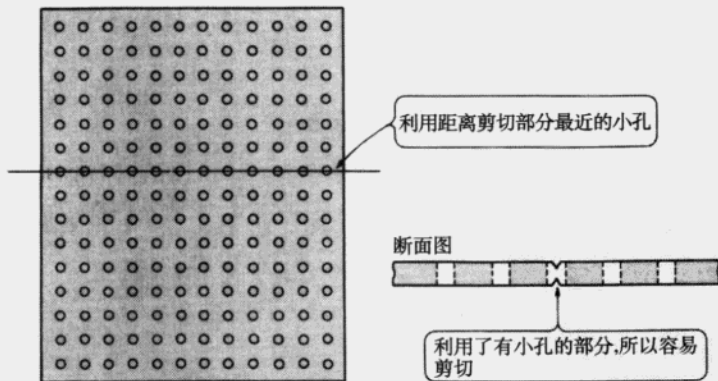
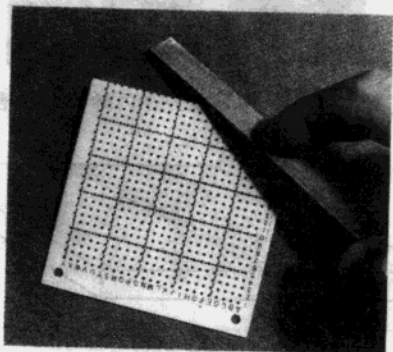


图 4.1 通用基板的剪切方法

由于通用基板上已经有许多小孔,所以可以利用这些小孔进行剪切。就是说如果剪切线通过有小孔的地方,就更容易进行

剪切(图 4.1)。可以利用钢锯锯切,不过利用锉刀或者划线刀刻直线(参看下一节)可以更快些。首先用锉刀或者划线刀将要切断部分的正反两面都刻出槽,当槽深达到厚度约 $1/3$ 时就可以把它折断。折断部分残留的锯齿状可以如照片 4.1 所示那样用锉刀处理平整。

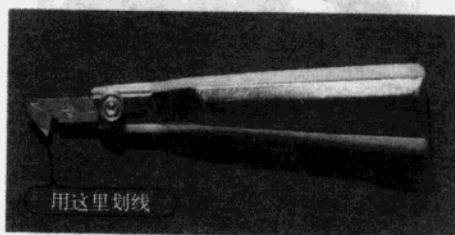


照片 4.1 用锉刀把剪切的基板锉平整

4.1.2

剪切丙烯酸板

如果没有大小合适的机壳,可以用丙烯酸板自制机壳。这时可以方便地利用照片 4.2 所示的划线专用刀。

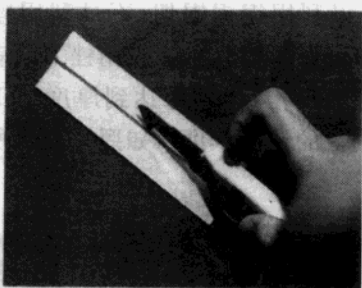


照片 4.2 划线刀

在丙烯酸板正反两面都划线(照片 4.3),然后利用桌子边缘就可以很齐整地折断它(图 4.2)。这种方法比使用钢丝锯更快更平整,不妨自己试试。也可以用照片 4.2 中的划线刀划断印制电路板。

划线刀、刮刀等工具都可以在模具之类的商店中买到。价格约 400~500 日元。

切下的丙烯酸板可以用丙烯酸专用黏结剂黏结。照片 4.4 是用于加工丙烯酸板或者印制电路板时的划线刀、锉刀、切割垫等工具。



照片 4.3 用划线刀在丙烯酸板上刻槽

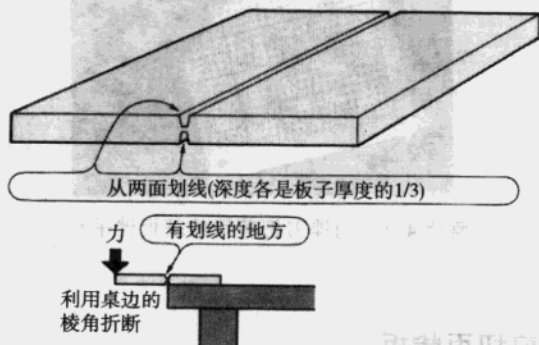
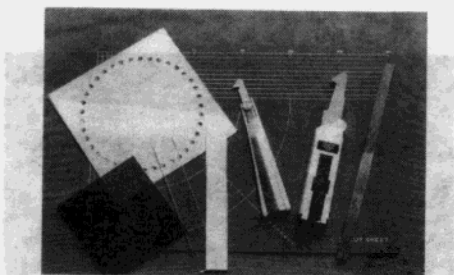


图 4.2 剪切丙烯酸板的方法



照片 4.4 加工丙烯酸板或者印制电路板时使用的工具

4.1.3

自制 IC 插座的方法

这里介绍当手头插座上的插孔数目与所使用的 IC 管脚数目不一致时,利用现有插座代用的方法。

如果没有 20 管脚(DIP 型)的插座,可以如图 4.3 所示用两个 16 管脚的插座代替。其中一个插座按正常方法使用,另一个只截

取4个管脚使用。用锉刀把切断面锉平整,这时甚至可以不用黏结剂黏结,直接焊接在基板上就可以插上IC使用。

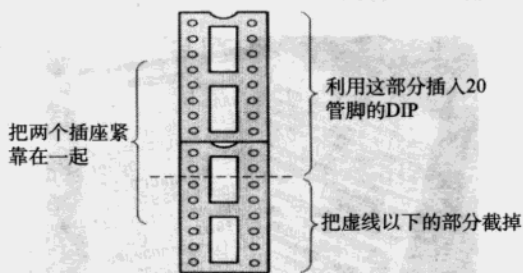


图 4.3 用两个 16 管脚的插座做成 20 管脚的插座

制作宽幅插座的方法。如果需要宽幅插座可以把现有的窄幅IC插座从正中间沿纵向切开,然后如图 4.4 那样将切开的插座按所使用IC的宽度焊接在基板上。用同样的方法也可以把宽幅插座改造变窄。

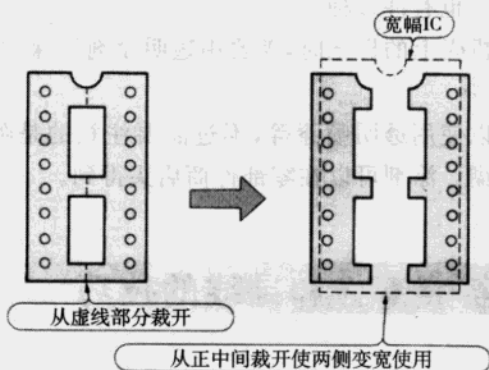


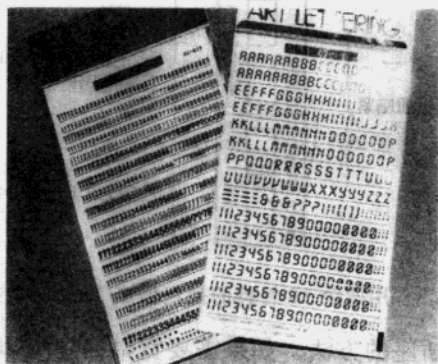
图 4.4 把标准插座改造成宽幅插座

对于管脚呈圆形的插座,经过这样的改造后很好使用。也可以一个管脚一个管脚地切开零散地使用。

4.1.4 印制文字的方法

有转写文字、数字以及记号的印制文字方法。文具之类的商店里有许多采用这种方法的商品。近来又出现彩色印制的商品(照片 4.5)。在实验用基板或者机壳上利用印制文字方法可以制作非常醒目的文字标记。

例如,把“地”或者“+5V”的字样用印制文字的方法制作在基板上。如果有连接外部的信号也应该尽量标记出信号名称。这些都可以利用印制文字的方法。



照片 4.5 市售的印制文字商品

(有多种字体、大小及颜色)

文具店里出售的商品可以用作盒式录音带之类的标签,字体和文字的大小也有许多种。

当用作机壳上的标记时,需要用透明涂剂作保护膜,否则容易被擦掉。

涂剂可以使用透明喷漆等,不过需要注意的是喷漆过多会使文字变得模糊。涂剂可以在零部件商店买得到。

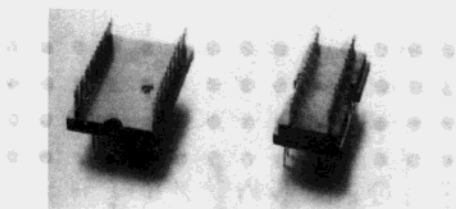
4.2 实装部件和导线的技巧

4.2.1 部件插在 DIP 插座上的方法

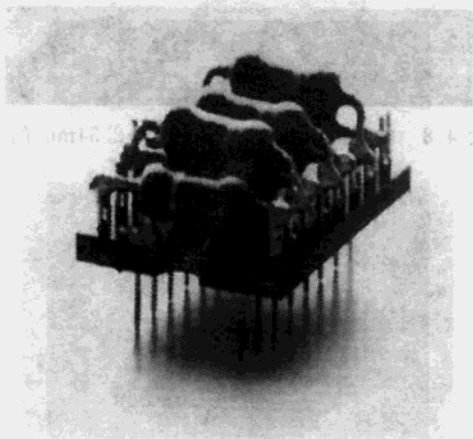
在大量使用 DIP 型 IC 的印制电路基板上焊接电容器或电阻器是件非常麻烦的事情。或者是部件受到空间位置的限制,或者是造成基板杂乱无章。另外,在使用电阻器和电容器(RC)组成延迟电路等场合,还应该注意是否能够方便地取换元件。

这时可以方便地利用能够插在 IC 插座上的接头,把元器件接在接头上。如照片 4.6 所示这种接头原封不动地插在 DIP 插座上,接头的大小有许多种以适合不同元器件的尺寸。元器件焊接在接头上,再把这个接头插入 IC 插座。插座介入电路的布线。如果希望取换元器件,只需更换接头上的元器件就可以了,不需要修

正印制电路板上的布线(照片 4.7)。



照片 4.6 插在 IC 插座上的接头
(这两种都能够插在 16 管脚的 DIP 插座上)



照片 4.7 实装有元器件例
(当改变参数确认电路的工作时,需要能够方便地取换各种元器件)

也有不采用接头而原封不动地利用 IC 插座的方法。即把元器件的引线直接插入 IC 插座的插孔内。有时会因元器件的引线太粗而插不进孔内,那么只需稍微把引线刮细些就可以了。

4.2.2 把各种元器件合理地安装在基板上

数字 IC 的管壳有标准的尺寸,其中 DIP 型的引线间距一般是 2.54mm(100mil)(有一些是 1.27mm 或者非标准的,不过 74 系列的 DIP 通常都是 2.54mm)。所以实验用基板大量采用孔间距为 2.54mm 的通用基板。但是电容器和电阻有许多种类,所以会出现与数字 IC 的管壳不一致的情况。但是往往必须使用电容器或者电阻。因此需要对元器件的引线进行加工使得引线间距的尺寸是 2.54mm 间隔的整数倍(照片 4.8)。

有的元件的引线是从一端引出的,也有引线是从元件的两端引出的(照片 4.9)。所以需要根据电路板上的空间,合理选择适

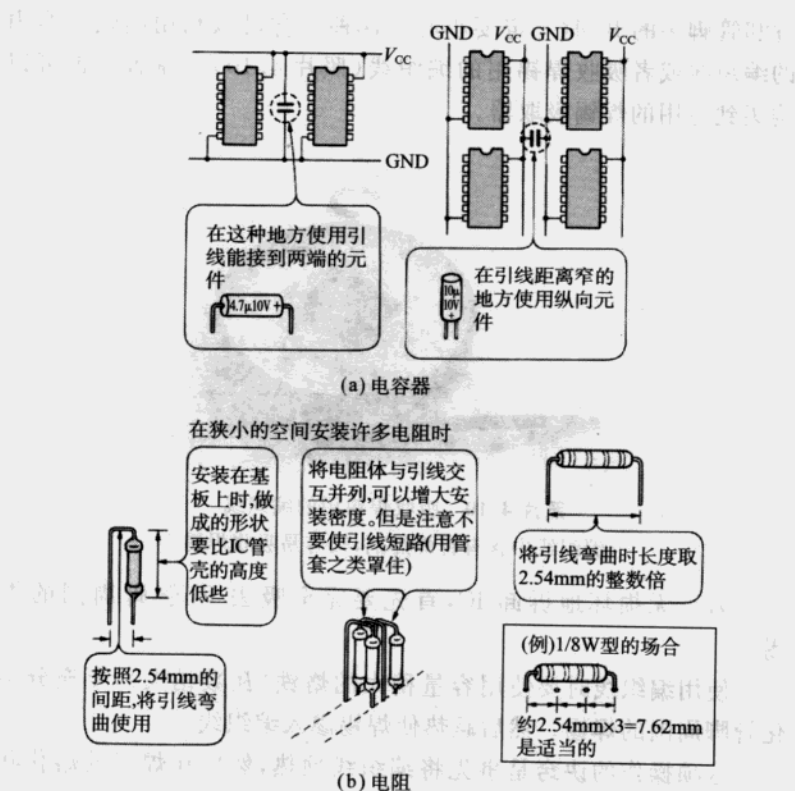


图 4.5 各种形状的电容器

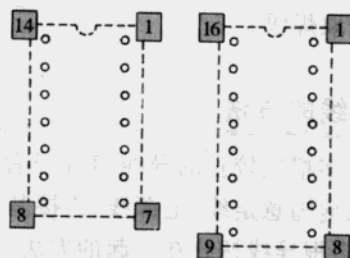
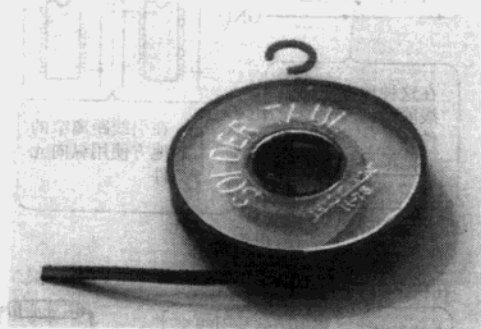


图 4.6 利用序号标记的方法(在基板的背面贴上标记,可以方便地确认管脚序号)

4.2.4 拆卸 IC 或部件的方法

当发现安装的部件有错误,或者需要更换损坏了的部件时,需要把部件从基板上拆卸下来,这也是非常麻烦的事情。如果给基板加热过分,会产生铜箔剥离的现象,所以必须细心进行。特别是

拆卸管脚多的 IC 时一定要小心。这种场合可以利用同轴电缆内的编织线或者吸收焊锡用的编织线(照片 4.10)。商店里也可以购买到专用的焊锡吸取器。



照片 4.10 吸收焊锡用的编织线
(编织线中含有钎焊焊剂,很容易吸收焊锡)

为了无损坏地拆卸 IC,首先要完全吸去 IC 管脚周围的焊锡。

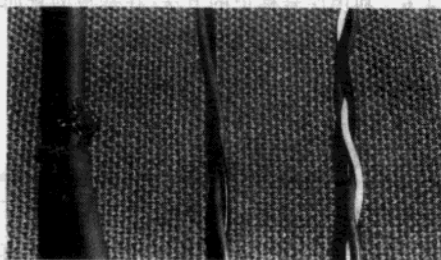
使用编织线时要使用容量稍大的烙铁(瓦数稍大),要充分熔化管脚周围的焊锡。然后趁热使焊锡渗入编织线。

这项操作的诀窍是事先将编织线预热,然后在焊锡的熔化状态完成作业。

使用专用的焊锡吸取器时,要使吸取器尽量靠近熔化的焊锡,利用空气的吸力吸取焊锡。

4.2.5 捆扎导线的方法

当基板上连接多根比较长的导线(1m 或者 1m 以上)时,不应该使它们零零散散地随意走线(电源线、连接基板与基板的信号线等)。这里介绍把多根导线捆扎在一起的方法(照片 4.11)。



照片 4.11 各种捆扎线材的方法

最简单的方法是把导线多处捆扎起来。这种方法很费功夫,不过优点是无论有多少根线材都能够这样捆扎。捆扎的间隔要视线材的粗细而定,有15~20cm就可以了。可以用细的尼龙绳(钓鱼线)或棉线捆扎。

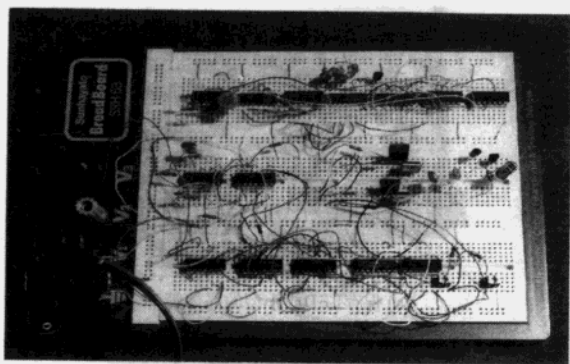
第2种是3分编织线材的方法。不管有多少根导线都把它们分为3股编织起来。这种方法不适合太粗的导线。

还有把线材捻成单股线的方法。握住几根导线的一端向一个方向拧,使它们拧成一股线,这种方法是一种费力气的作业。当线材比较细时可以使用手摇钻。把导线的一头固定起来,另一头捆扎在钻头上。然后像打孔那样转动手摇钻,导线就渐渐拧成一股了。因为导线有恢复力,所以拧时要有一定的余力。

4.2.6

使用面包板

面包板是在制作小型电路时为了便于利用个别部件确认电路的工作而使用的一种实验基板(照片4.12)。



照片 4.12 无须焊接的实验用面包板

面包板适用于使用10~15个数字IC的电路实验。也可以购买到更大的面包板,不过如果面包板过大有时会出现布线已经脱落了却没有发现,还在继续进行实验的情况。

只要把IC、电阻、电容器以及布线的线材(使用单线)插入面包板上的孔内就可以连接起来。但是它的耐热性差,所以不能使用发热部件。在使用CMOS IC时,有时IC会发生因闩锁现象发热而未被发现,或者因其他原因发热而导致无法使用。

面包板是一个直译名词,据说来源于过去人们进行实验时曾经使用了pan板(不知道是否准确)。

4.3 部件的保存方法

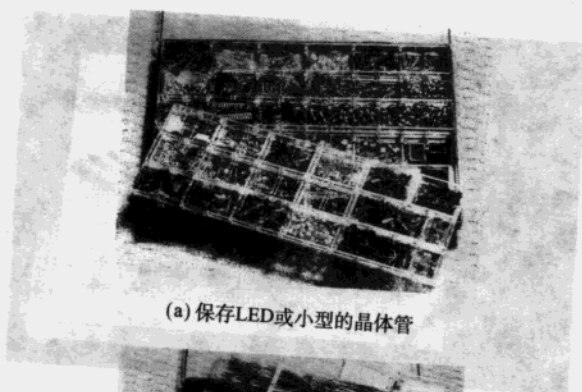
电子部件的种类繁多,很多部件的尺寸比较小,所以保存电子部件也是很麻烦的事情。这里介绍两种专门用来保存电子部件的部件箱。

4.3.1 饭盒型

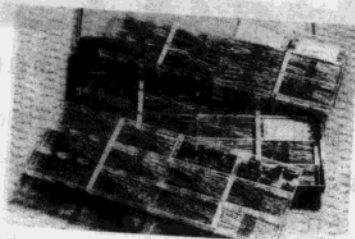
适合于保存晶体管、二极管、IC 之类比较小的器件。盖子是透明的,里面装有什么器件一目了然。可以按照器件的大小改变间壁,价格也便宜,非常好用。

但是这种器件盒过多的话,堆积起来保管,需要取出底下的器件盒时也很费事。

照片 4.13(a), (b) 分别是保存晶体管、LED 等管脚比较短的器件以及电阻、电容器等的饭盒型部件盒。



(a) 保存LED或小型的晶体管



(b) 保存电阻或电容器等引线比较长的元件

照片 4.13 用部件盒分类、保存元器件

4.3.2 抽屉型

是在金属框架里搁有许多塑料抽屉。取出部件时只要拉出各

自的抽屉就可以了,非常方便。但是从外面看不到里面所装的部件,所以需要在抽屉外面贴上标签。

在价格上也比饭盒型的高。

4.4 电路图的画法

4.4.1 门 IC 的表示方法

画门电路时多采用半圆或椭圆组合的符号,这种符号叫做 MIL 符号。原本 MIL 符号的大小和半圆是有严格规定的。现在实用电路图中所画的符号大多是近似形。这种大体上的近似是重要的,不管形状或大小有多大的差异,都必须准确地表达真正的功能。特别是在手工画电路图的场合,不能够准确地画出符号的大小。所以即使手工画出的 NAND 门,都应该确保不论谁来看也都会理解为 NAND 门。图 4.7 分别画出各种门的符号。

门 IC 通常是一个管壳中集成有多个门。但是在画电路图时并不拘泥于管壳而画出各门的符号。当需要标出各管壳的管脚号码时要求表示为“5-A 的 3 号管脚”这样的形式。“5-A”部分指该符号表示的是在同一管壳内(图 4.8)。

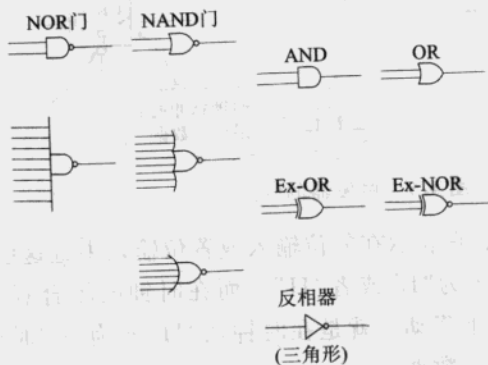


图 4.7 各种门符号的画法

4.4.2 触发器

如图 4.9 所示,触发器通常是用长方形框表示。而且要按照一定的规则表示数据输入和时钟。输入管脚(数据、时钟、复

位、置位等)上的○标记叫做“L”运行,表示“L”电平时有意义。

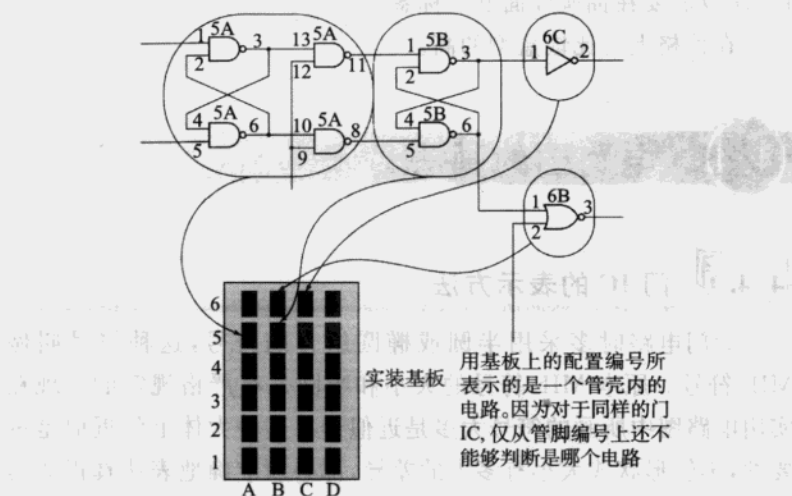


图 4.8 管壳的表示方法

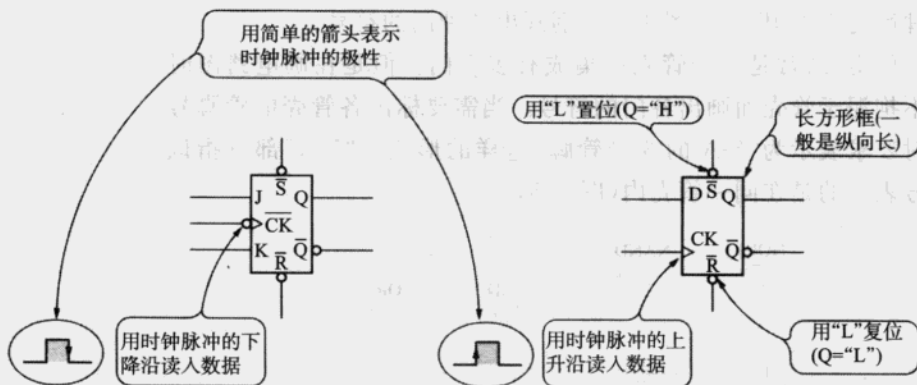


图 4.9 触发器的画法

具体来说,它表示在复位输入或置位输入中置这些输入为“L”时,设定 Q 输出为“L”或者“H”。而在时钟的场合意味着是下降的动作。所谓下降动作就是在时钟从“H”变为“L”时读入数据并向输出管脚输出数据。

4.4.3 计数器和移位寄存器(MSI)

MSI 是指集成度比较大的 IC,就是说具有某种汇集功能而没有特定的表现方法。电路图中用稍大的长方形框表示,并标出各功能符号。而且必须写出 74××× 这样的数字和字母或者只写

出×××的部分。这个×××表示该长方形图形所具有的功能，所以必须标出(图 4.10)。

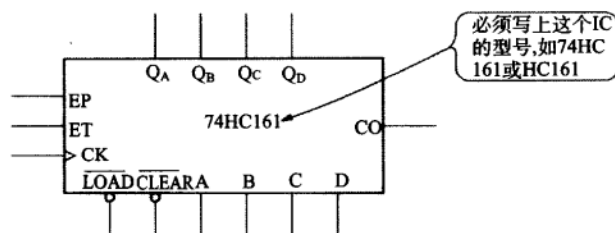
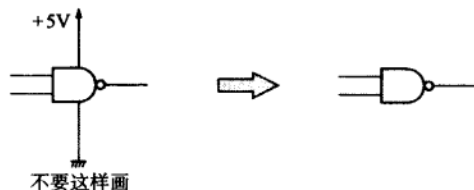


图 4.10 计数器和移位寄存器的画法



V_{DD} 和 GND 的画法

逻辑电路中通常不画出电源线(V_{DD})和 GND(地)线(图 4.11)。对于逻辑 IC，作为提供电源的部分只画出信号的布线。在固定输入为“H”电平或者“L”电平の場合，直接与电源和 GND 连接，在这种情况下表示为图 4.12 的形式。在使用特殊符号的场合，只要在画面的角上画出图例就可以了。



但是如果这个 IC 必须在别的电源下工作时往往要特别画出电源(例如电压不同等)

图 4.11 V_{DD} 和 GND 的画法

通常在电路图中也不画出电源和 GND 所连接的旁路电容，为了避免在实际焊接时忘记，同样也可以在电路图的角上标出。



特别信号的画法

时钟线和复位线等往往会在系统图的许多场所多次使用，这种信号画法也可以与 GND 或者 V_{DD} 相同(图 4.13)。例如，当有 100 处连接复位线时，如果把从一处分别向这 100 处的连线都画出来，那么对于画图 and 看图来说都是很麻烦的事情。这种情况下，

对于近处的用线连接,而远处的则可以写上 RESET 和信号名称,表示是同一布线,这样看起来就非常清晰。

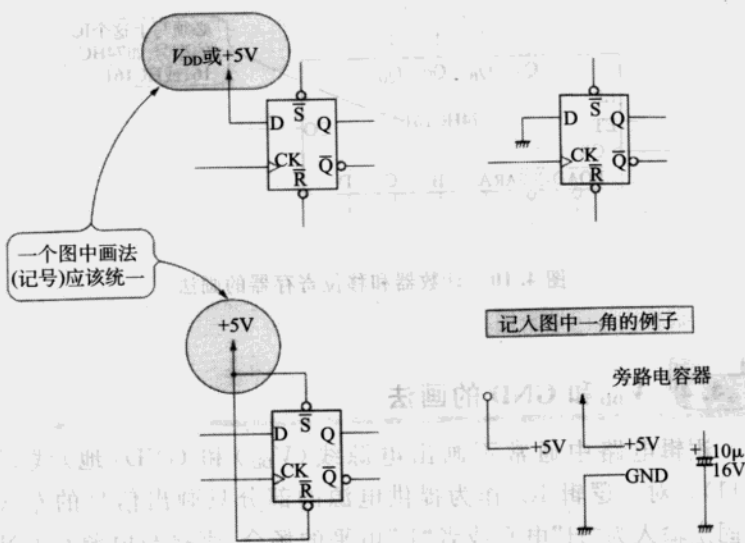


图 4.12 固定于 V_{DD} 和 GND 的输入管脚的画法

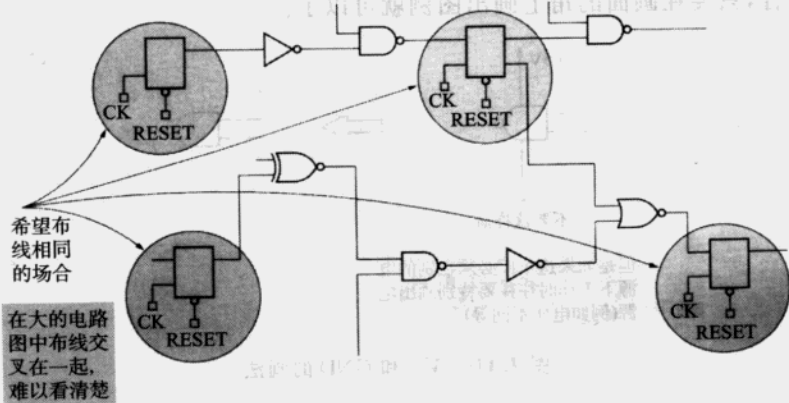


图 4.13 特别信号线的画法

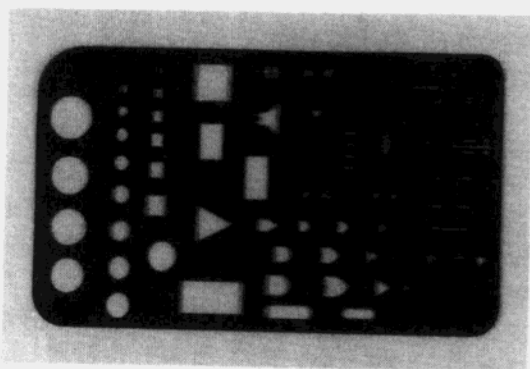
4.4.6

清晰地画电路图

为了方便而清晰地画出数字电路图中的 AND 门或 NOR 门等门电路符号,可以使用市售的标准逻辑电路符号模板。这样画出的门符号大小都相同,电路图很清晰。

也可以用照片 4.14 所示的模板画电阻、电容器、线圈、晶体管

等模拟电路的元器件符号。也有组合了各种字母和数字的模板，可以根据用途选用。



照片 4.14 逻辑模板例

(也含有模拟电路的各种元器件符号,使用起来很方便)

制作篇

设计
制作
PDG

第 1 章

数字 IC 的基本功能

数字 IC 是处理“0”和“1”这两种状态的,所以说到数字 IC 的电压判定器也许有人不怎么理解。但是就数字 IC 的内部电路来说,从模拟电路的角度看,它具有与比较器相同的功能。

我们首先确认作为比较器的功能。通常所说的比较器是指将什么与什么进行比较的电路。那么数字 IC 具有的比较能力是什么呢?

1.1 用数字 IC 判定电压

1.1.1 数字 IC 的基本功能

数字电路中是把二进制数的“1”和“0”转换为电压电平,用电压高的“H”电平和电压低的“L”电平这两种状态进行表现的。数字 IC 所具有的基本功能就是能够迅速、准确地判断这个电压是高还是低。

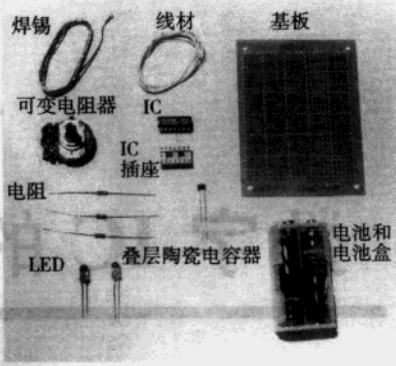
这里的重点主要不是进行理论上的分析,而是讨论如何进行实验制作。

■ 制作判定器所必需的部件

照片 1.1 是所使用的部件。有关购买这些部件的问题可参考基础篇的相关内容,也可以多请教有经验的同行。

表 1.1 是使用部件一览表。无论如何在没有备齐这些部件之前不要开始进行实验。不过没有实验用基板或者 IC 插座还是可以进行实验的。这种情况下可以直接焊接元器件的引线。

第 1 章
基本电路



照片 1.1 电压判定器所使用的部件

表 1.1 电压判定器使用部件一览表

部 件	型号・参数	瓦数・耐压等	制造厂家・材料等	数目	可否替代	说 明
IC	TC74HC04AP	—	东芝	1	不可	不限厂家, 只要与 74HC04 型号相同
红色 LED	TLR113A	—	东芝	1	可	只要是红色 LED, 不限厂家和型号, 几乎均可使用
绿色 LED	TLG113A	—	东芝	1	可	只要是绿色 LED, 不限厂家和型号, 几乎均可使用
电阻	4.7kΩ	1/8W	碳	1	不可	如果是 4.7kΩ, 不同材质也可
电阻	330Ω	1/8W	碳	2	不可	如果是 330Ω, 不同材质也可
电容器	0.1μF	25V	叠层陶瓷	1	可	不拘泥于 0.1μF。大体上在 0.01~10μF 范围内
可变电阻器	10kΩ	—	—	1	不可	10kΩ 阻值不能改变。其他形状和大小也可以
电池	3 号 (1.5V)	—	—	2	可	2 节 1 号或 2 号电池也可
电池盒	装 3 号电池 2 节	—	—	1	可	与电池尺寸相同
基板	ICB93	—	纸环氧	1	可	必须有足够的面积。如有空间, 还可进行其他实验
IC 插座	14 管脚 DIP 用	—	—	1	不可	有许多种类和颜色。只要是 14 管脚 DIP 用即可
线材	—	φ0.4mm	单股线或绞线	少量	—	为了布线方便起见, 尽量避免使用过粗的线
焊锡	—	φ1mm	内含焊油	少量	—	使用内含焊油的焊锡容易进行作业

【注】φ: 直径; 碳: 碳膜电阻。

但是这样就形成了立体布线。在立体布线的实验过程中布线之间容易发生短路现象。所以,条件允许的话还是尽量采用基板布线。

当备齐了各种部件后,请与照片 1.1 的外形作以比较。

如果形状相同就可以了。如果形状不同,无论如何还是不能令人放心的。因此应该把必须完全相同的部件与允许有些差异的部件区别开。

请参考表 1.1 部件一览表中的说明。最初仅靠个人进行判断还是有些困难的。但是如果能够清楚地知道这些部件允许有多大的差异的话,就可以独立地进行工作了。

1.1.2

装配前的焊接练习

当部件备齐之后就可以开始装配了。对于初次进行装配的人来说,首先应该从练习焊接开始。

烙铁前端的温度非常高(约 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$),所以注意不要触到手。元器件的内部也和人的手一样脆弱,它们多是半导体。对于还不能熟练、迅速进行焊接的人来说,应该先利用线材练习焊接。

使用烙铁也需要一些技巧。掌握了这些技巧就能够运用自如。表 1.2 列出的一些技巧并不是很复杂的,只要多练习就能够掌握。即使掌握得不熟练也不要灰心。结束了焊接练习后就可以进入装配工作了。

表 1.2 焊接的技巧

①	烙铁头的温度不要过高	→ 最好能够控制温度。在用浸水的海绵状物体清洁烙铁头的同时可使温度适当地下降
②	给元器件的管脚、引线、基板等预先镀上焊锡	→ 这叫做镀锡。可以迅速焊接,不损伤元器件
③	焊锡量不宜过多	→ 富士山型比馒头型好 
④	预先清洁烙铁头	→ 用含水的海绵体擦烙铁头
⑤	焊锡凝固前不要移动部件或布线	→ 吹气使之冷却,绝对不要挪动
⑥	焊熔化后烙铁头不要长时间接触元器件	→ 否则会损伤部件,或者使印制电路板的铜箔剥落

1.1.3

电压判定器的电路及装配

也许有人因准备部件、练习焊接而感到疲倦。不过下面将开始进行电路实验的最重要部分。

在预先准备好的专用印制电路板上,在确定的位置上插入元器件,并且完成焊接之后,只要不是元器件的安装错误,电路就基本上不会产生错误动作。在由自己准备元器件,自己确定元器件的安装位置,并且还是由自己进行布线的情况下,如果完成装配后马上就能够正常工作,那可是很不容易的事情。因此电路能够按照预定的要求工作是一件非常值得高兴的事情。

图 1.1 是电压判定器的电路图。这里使用了有 6 个 74HC04 反转门(反相器)的数字 IC。

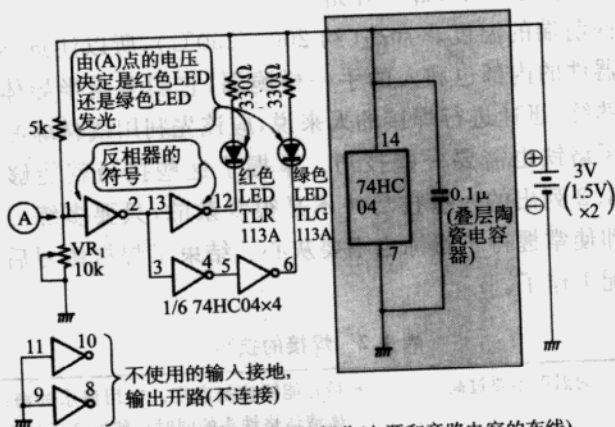


图 1.1 电压判定器的电路图

(利用可变电阻器使 LED 发光)

数字电路中,通常都省略了电源线和地线(简称为 GND)。所以对于初次看数字电路图的人来说比较难以正确地布线。

图 1.2 是电压判定器的连线图。这里将有印制标记的面朝上,从上面看到的 74HC04 的位置关系。我们首先看不使用基板进行连线的情况。照片 1.2 是完成连线后的情况。部件应该尽量与这里的配置一致。这样可以减少错误。

完成部件的配置后就可以进行布线。布线时应该把导线剪成长度适当的线段,并且预先在线段的两端镀上焊锡。这只是把焊

锡熔化在线段的两端,称为镀锡。这样就能够快速而干净地进行焊接。

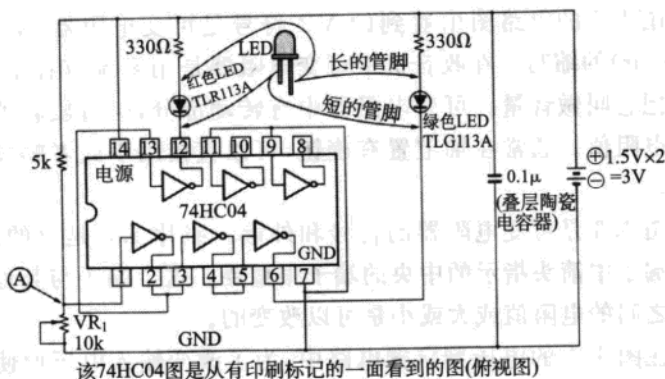
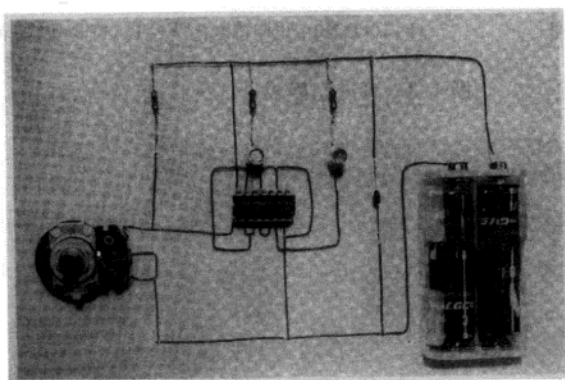


图 1.2 电压判定器的连线图

无所谓布线的顺序从哪里开始,只要确实按照连线图连接就可以。连线图上已经完成了的部分最好用有色铅笔标出以防重复或者遗漏布线。

比较大的数字电路(使用几个以上 IC)中,首先连接电源线和地线。本书中如果没有事先说明的话,默认电源线为+电位,地线为0V。

当利用被覆线布线时,最好“+”端的布线采用红色被覆线,地端的布线采用黑色被覆线,这样看来比较清晰。当然不论采用什么颜色都不会改变电路的工作状态,不过事先统一布线的颜色就不容易接反电源,损坏部件。



照片 1.2 电压判定器的布线情况(实际组装的图 1.1 的电路)

1.1.4

利用可变电阻器改变输入电压

图 1.1 的电路图中看到的 VR 符号是可变电阻器 (Variable Resistor) 的缩写。在收音机中可变电阻器是用来调节音量的, 所以也把它叫做音量。可变电阻器中有转动部分, 通过旋转的位置改变电阻值。通常在轴上置有旋钮, 可以直接用手或者螺丝起子旋转。

图 1.3 是可变电阻器的符号和外形。照片 1.3 是它的外观。三个端子中箭头指示的中央的端子很重要。这个端子与其他两个端子之间的电阻值或大或小是可以改变的。

在图 1.1 的电压判定器电路中, 为了改变输入电压而使用了这种可变电阻器。就是说当旋转可变电阻器 VR 时电路图中 (A) 点的电压可以变化。当可变电阻器 VR 的值为 0Ω 时, (A) 点的电压也为 $0V$ 。当可变电阻的值为 $10k\Omega$ 时, 电压值为

$$3V \times \frac{10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega} = 2V$$

因此可以通过旋转可变电阻器 VR 使 (A) 点的电压由 $0V$ 连续变化到 $2V$ 。

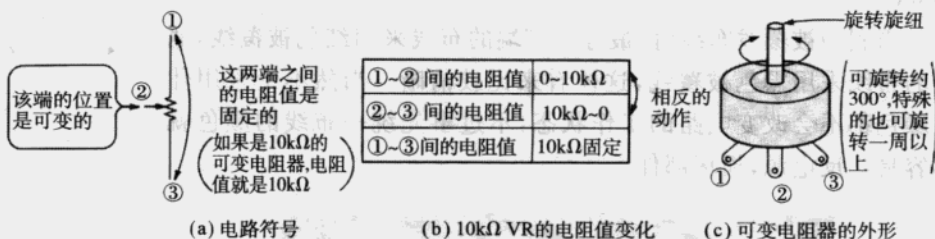


图 1.3 可变电阻器



照片 1.3 可变电阻器的外观

1.1.5 电压判定器电路动作的确认

试把(A)点的电压加到数字 IC74HC04 的 1 号管脚上,通过旋转 VR 看看怎样使红色 LED 与绿色 LED(发光二极管)发光。

当(A)点的电压低(接近 0V)时红色 LED 发光,而绿色 LED 不发光。当(A)点的电压逐渐升高到某一值时(接近 2V)红色 LED 熄灭,而绿色 LED 发光。这个变化大约发生在(A)点电压达到电源电压的 1/2,即 1.5V 时。(A)点与地之间的电阻、(A)点的电压以及 LED 发光的情况示于图 1.4 中。

VR ₁ 的值	VR ₁ 两端的电压	红色 LED	绿色 LED
0Ω~约 5kΩ	0~约 1.5V	发光	熄灭
约 5~10kΩ	约 1.5~2V	熄灭	发光

图 1.4 通过可变电阻器的位置使 LED 发光的组合

如果红色 LED 与绿色 LED 之间能够相互交替发光和熄灭,这个电压判定器就算完成了。可以通过反复旋转 VR 使 LED 发光和熄灭。

这个实验可以确认数字 IC 应用中最基本的动作。用语言来描述的话,就是不存在红色 LED 与绿色 LED 同时发光的状态,而且通过升高或降低输入电压,可以改变 LED 的发光状态。

利用这种现象可以表示二进制的“0”和“1”。“电压的高或者低表示‘1’或者‘0’”,这就是数字 IC 的基本动作。

1.2 利用 NAND 门和 NOR 门判定电压

1.2.1 利用 NAND 门的电压判定器的实验

上一节进行的实验是通过升高或降低输入电压来判断数字 IC 的基本动作“0”和“1”。在此基础上再做一个基本的门电路动作的实验。

图 1.1 的实验电路中,使用的是做反转动作的 IC(反相器) 74HC04。这次再做一个像是使用数字 IC 的实验。数字电路中经常使用 NAND 门。这个实验使用的 74HC00 是具有 2 输入端的 NAND 门。

当 NAND 门的输入都是“1”时输出为“0”。在这里利用开关来确认 NAND 门用作电压判定器的动作。图 1.5 是实验电路,图 1.6 是连线图。

74HC00 是有 4 个 2 输入端 NAND 门的数字 IC。在这里只使用其中的两个。不使用的门的输入必须连接电源或地线。考虑到布线的方便,在这个实验中连接电源线。

完成所有的布线后应该仔细检查不要发生布线错误或者遗漏。然后将开关接到电源一侧,给 NAND 门的一侧(1 号管脚)加 +3V。在这种状态下,当旋转连接在 2 号管脚上的 10kΩVR 时,发生的现象那就和前面使用 74HC04 进行实验的电路相同,LED 将发光或者熄灭。在这个电路中输出端只连接了红色的 LED。

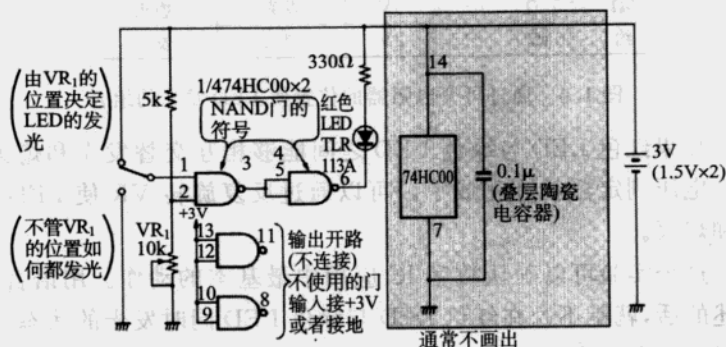


图 1.5 使用 NAND 门的电压判定器电路图

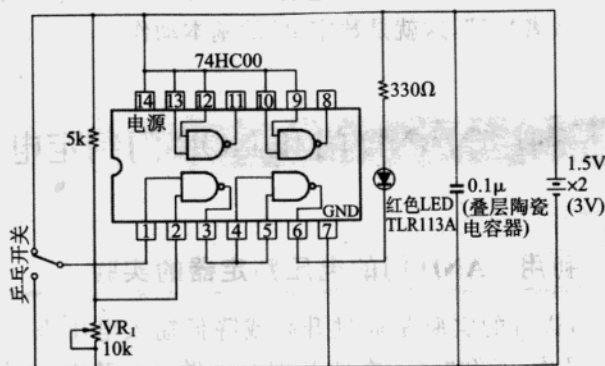


图 1.6 使用 NAND 门的电压判定器连线图

然后把开关接到地端(0V)。在这种状态旋转 VR。可以看到不管 VR 的位置如何,LED 总是亮的。这是因为 NAND 的一个输入是地电平,即为“0”,所以不论另一个输入处于什么状态,输出都应该是“1”。

之所以把第2个 NAND 的4号管脚与5号管脚连接在一起,是为了具有与反相器相同的功能。所以,如果3号管脚的输出总是“1”,那么6号管脚的输出就应该总是“0”。“0”是电位低的状态,所以电流通过 330Ω 电阻流过 LED,使它发光。

通过开关状态(置于电源一侧为“1”,置于地一侧为“0”)与 VR 的位置(约 1.5V 以上为“1”,约 1.5V 以下为“0”)的各种组合,就可以深刻理解 NAND 门的动作。

1.2.2 利用 NOR 门的电压判定器的实验

现在把 NAND 门改换为 NOR 门进行实验。

NOR 门使用的是 74HC02 型号的电路。这种 IC 中有 4 个 2 输入 NOR 门。由于是 4 个 2 输入的门,所以不能原封不动地利用 74HC00 所使用的电路进行实验。很遗憾,这是因为管脚的配置不同。而且如果使用 IC 插座进行布线的话,也需要做些修改。

像这些相似的门 IC 中,通常它们的管脚配置都是有差别的。而且如果还具有其他功能的话,管脚的配置就可能完全不同。人们往往觉得利用别的外形上几乎没有差别的数字 IC 也能够工作,实际上型号不同的 IC 基本上是不能够替代的。

NOR 门的逻辑是输入中不论哪一个(在 74HC02 这样的 2 输入场合是某一方)为“H”时其输出都是“L”,只有所有输入都为“L”时输出才是“H”。

使用 74HC02 的电压判定器的实验电路图示于图 1.7,其连线图示于图 1.8。

这是做第 3 次实验了,也许已经熟悉了焊接作业了吧。不过即使如此也需要认真地进行布线的检验。

在使用 NOR 门作成电压判定器的场合,当开关接到地一侧(0V)时它作为电压判定器工作。就是说它与 NAND 的情况正好相反。

现在是当开关接到电源一侧(3V)时 LED 完全熄灭。这是因为不论 VR 的位置如何第 2 个 NOR 门的输出(1 号管脚)总是“1”。“1”就是 3V,与电源的 3V 同电位,所以电流不能流过 LED。

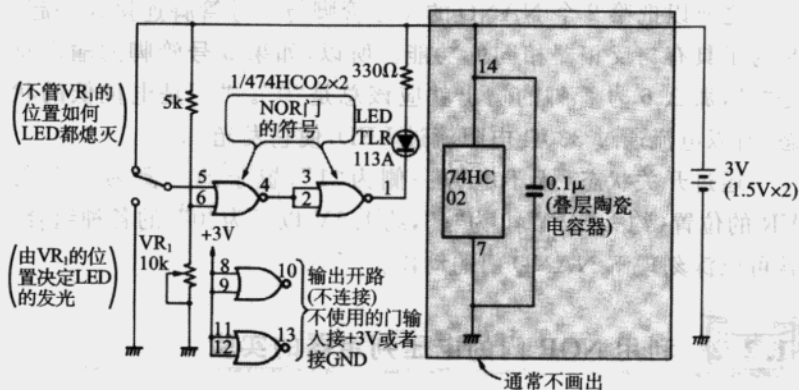


图 1.7 使用 NOR 门的电压判定器电路图

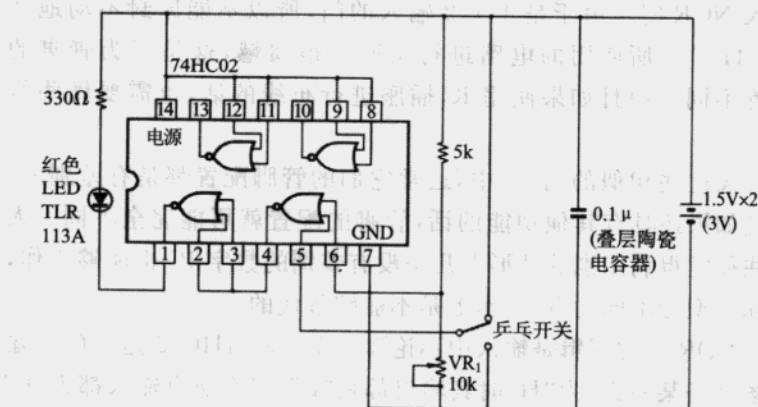


图 1.8 使用 NOR 门的电压判定器连线图

1.3 应用电压判定器的光传感器电路

通过电压判定器的实验我们可以理解“数字 IC 的动作可以检测输入电压的变化”。请不要忘记这种电压变化就是数字 IC 的基本动作。

下面利用检测输入电压的变化这一特性制作光传感器电路。

1.3.1 光传感器电路

光传感器电路可以分为两类。像照相时使用的曝光计(最近生产的照相机几乎都是内藏式的,也许不再有作为单体使用的了),这是模拟式(连续的)测量光的亮度。

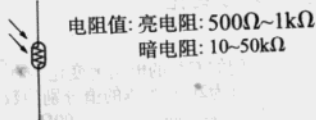
还有一类是当光线暗时自动接通电灯,光线强时自动切断电灯,只检测 ON 和 OFF 两种状态的装置。现在进行实验的是具有第二类功能的电路。

1.3.2 使用 CdS 的光传感器

光传感器中必须有感受光的亮度(强度)的传感器(检测器)。这里使用 CdS 传感器。CdS 传感器是使用硒化镉物质作为光敏电阻体。普通电阻是以碳为原料的,与 CdS 材料不同。对于普通电阻来说,当环境温度改变时它的电阻值发生变化,而 CdS 电阻体的性质是当环境光亮度改变时它的电阻值发生变化。利用这种特性就能够检测光的亮度。

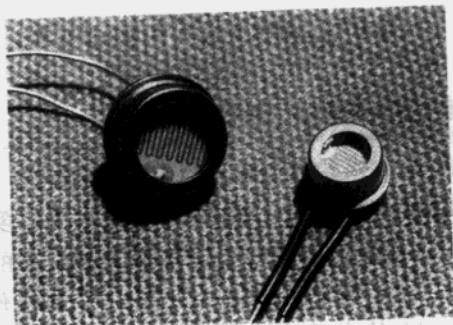
照片 1.4 是 CdS 的外观。CdS 是感光元件,它的表面开有窗口。透明窗口是用塑料或者玻璃做成的,电阻体上有蛇形的透明电极,引出两根电极引线。标记符号和使用与普通电阻类似。但是由于它的电阻值随环境亮度变化很大,所以使用方法与普通电阻并不完全相同。图 1.9 示出 CdS 的性质和功能。

材料: 硒化镉
功能: 由光的亮度改变电阻值
符号



当直射日光强时,电阻值在 100Ω 以下。由于难以遮蔽光,所以电阻值的变化量小。这种情况下可以使用能够改变光入射方向的斜光筒等。

图 1.9 CdS 的性质及功能



照片 1.4 CdS 的外观

CdS 大约 100~200 日元就可以买得到。买到 CdS 后首先用万用表测量它两端的电阻值。在同样的亮度下不同型号 CdS 的电阻值并不相同。通常大约是 $k\Omega$ 的数量级。CdS 的窗口应该透亮,它会在 $1k\Omega$ 以内影响电阻值变化。确认后再用手将窗口掩盖,这时电阻值应该变化到 $10k\Omega$ 以上。

经过以上实验就可以确认 CdS 的电阻值随光的亮度有大的变化。利用这种特性以及数字 IC 的特性就可以制作光传感器电路。



确认 CdS 的工作

在将 CdS 与数字 IC 组合之前先进行实验确认 CdS 的工作。图 1.10 是实验电路。

我们用万用表分别测定有光照以及遮蔽光照时电路中的电压 V_s 是数 V。由于实验电路的电压是 3V,所以当电压比它的 1/2,即比 1.5V 高时为高电压,低于这个值时为低电压。

如果在有光照和遮蔽光照两种状态下都在 1.5V 以下或者 1.5V 以上时,就需要改变电路中 $1k\Omega$ 的电阻值。当两方都在 1.5V 以下时减小 $1k\Omega$ 的值,两方都在 1.5V 以上时增大 $1k\Omega$ 的值。

如果不能实现 1.5V 以下和 1.5V 以上这两种状态,就无法利用数字 IC 电路检测亮度的变化。

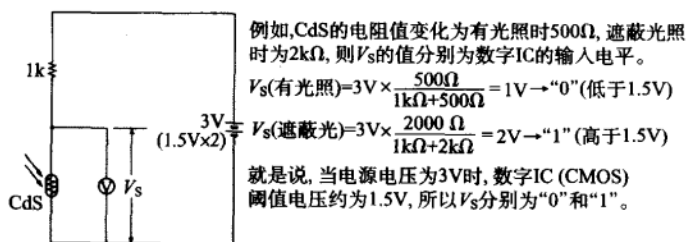


图 1.10 确认 CdS 工作的实验电路



光传感器电路的制作与实验

实际制作的光传感器电路如图 1.11 所示。这个电路中利用 $5k\Omega$ 的可变电阻器 VR 来调整亮度的检测电平。实验所使用的 CdS 不限于 P621(滨松光电), 也可以使用其他厂家的产品。

图 1.12 是它的连线图。照片 1.5 是一个制作例。是组装在基板上的。图 1.11 的电路中当日光变暗时 LED 发光。图 1.13 的电路正好相反, 是当光亮时 LED 发光。

光传感器电路中只使用了一个反相器(反转门)。所以使用的74HC04 还剩余 5 个门没有被利用。

在 CMOS 逻辑 IC 中,这些未使用的门的输入端必须接电源或者接 GND。如果忘记这一点,就会有不必要的电流流过,这是 IC 损坏的原因之一。

利用这个电路可以作为电灯的自动开关,当光线暗时打开。或者用作来客传感器(设置有人来时,光线被遮蔽)等。

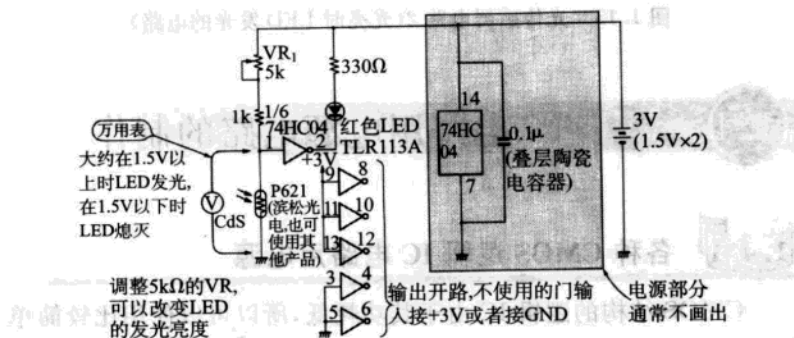
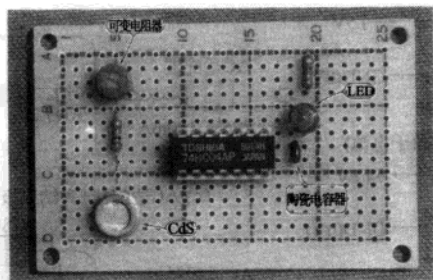


图 1.11 光传感器电路 1(光线暗时 LED 发光的电路)



照片 1.5 光传感器的制作基板

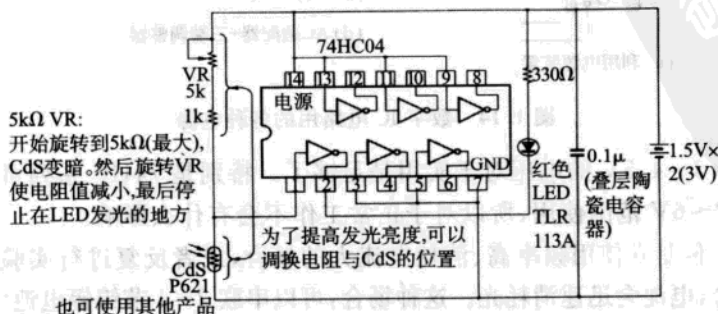


图 1.12 光传感器电路 1 的连线图

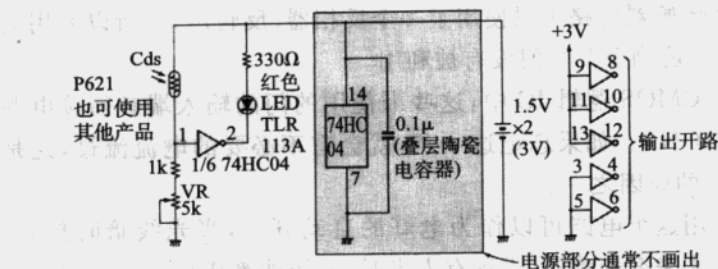


图 1.13 光传感器电路 2 (光亮时 LED 发光的电路)

1.4 数字 IC 电路用电源电路的制作

1.4.1 各种 CMOS 逻辑 IC 电路用电源

CMOS 结构的逻辑 IC 由于其功耗低,所以可以使用比较简单的电源。图 1.14(a)~(e)是数字 IC 中使用的各种电源。最简单的电源是电池。普通的锰电池每节 1.5V,可以串联 2~3 节使用。

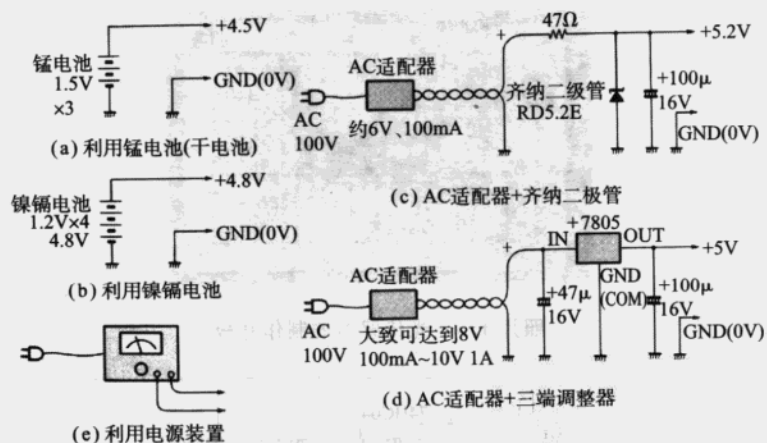


图 1.14 数字 IC 电路用的各种电源

3~4.5V 的电压对于实用是足够了。特别是 74HC 系列可以在 2~6V 范围使用,所以对于正常工作不会有什么影响。

但是在使用频率高、消耗电流大的场合,或者反复进行实验的场合,电池会迅速消耗光。这种场合,可以串联 2~4 节镍镉电池(电压 2.4~4.8V)使用。镍镉电池经充电后可以多次使用,很经济。

正式进行实验时最好使用专用的电源。将齐纳二极管或者三端调节器 IC 电路与市售的 AC 适配器组合,就可以组成简单而又稳定的电源。当然最理想的是使用市售的电源装置。



用 AC 适配器制作实验用电源

文字处理机或者组合式收录机等电器中使用的 AC 适配器可以用作数字 IC 的电源。AC 适配器通常是内藏有变压器、二极管以及电容器的电源。它的稳定性较差,负载电流的变化会引起电压的较大变化。AC 适配器由它所应用的电器来决定。如果负载电流基本上是一定值,那么即使适配器自身特性不很稳定也可以使用。

在数字 IC 电路实验中,使用 10 个 IC 的场合与只使用一个 IC 时的电路大不相同。被称为三端调整器的电源电路用 IC 能够吸收这种电流的变化。

三端调整器顾名思义有三个端子,输入、输出以及接地。接上这三根线才能工作。输出电压是已经确定的,按型号不同有 5V 用,12V 用,15V 用等(照片 1.6)。这里使用的是 5V、1A 用的调整器。

图 1.15 是制作的电源电路图。因 AC 适配器的特性不同所以有多种形式。在这个电路中使用的 AC 适配器的特性指标是输出电压范围为 8~10V,电流范围比较大,从 100mA 到 1A 左右都可以使用。这里制作的电路中使用的是额定值为 6V、1.5A 的大型电源,可以买得到,所以使用它。这个 AC 适配器在无负载情况下的输出约为 8V。

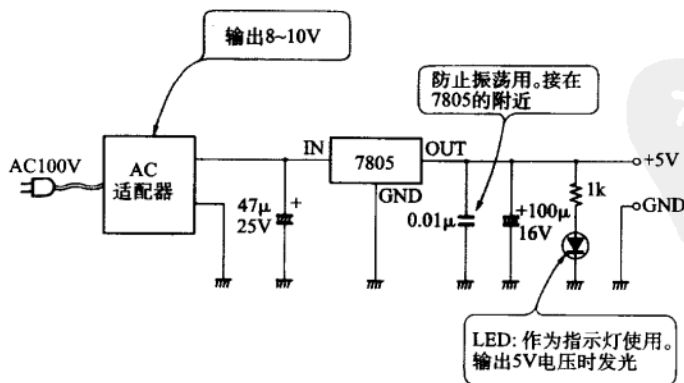


图 1.15 输出+5V 的实验用电源电路

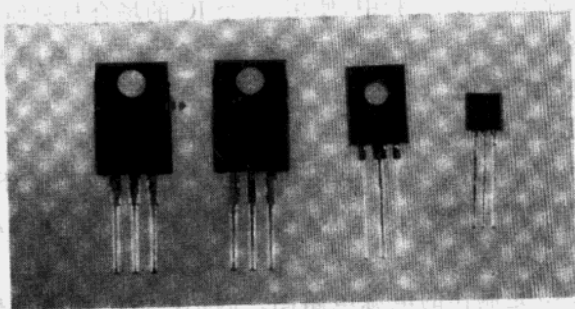
作为电源,比起电压高的电源来,电流大的性能更好些。照片 1.7 是制作实例。基板使用的是通用基板。

1.4.3

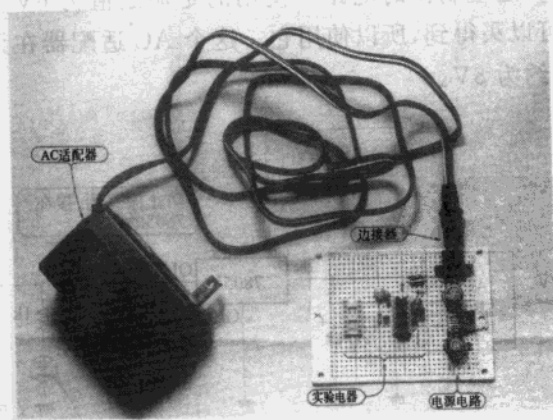
好电源与差电源

制作电源时应该注意哪些问题呢? 第一,电压波动小的电源是好电源。总希望当负载有变动时电源电压是固定的。第二,输出噪声(50Hz 或 60Hz 的脉动和使用放大器所产生的噪声)要小。如果这种噪声大,就会与信号混淆,使连接的电路发生误动作。

使用电源时还必须注意布线不能延伸的过长。布线过长会增加直流电阻和电感。也有电源特性是优良的,但是由于电路布线等原因而发生不稳定的情况。



照片 1.6 三端调整器 IC(自左向右:5V、1A 型, 5V、500mA 型, 5V、300mA 型, 5V、100mA 型)



照片 1.7 利用 AC 适配器的实验用电源
(使用三端调整器,与实验电路制作在同一基板上)

第 2 章

LED 闪光电路、扬声器
电路的制作

制作电子电路时最令人兴奋的是制作的电路自动工作的时刻。不用手触摸电路就能够按照预先的设计工作,这时制作者最具有成就感。本章内容作为进行自动工作的第一步介绍使用振荡电路的实验。振荡电路可以用作时钟,它是数字电路中的基本电路。应用这种时钟可以制作产生闪光和声音的电路。

2.1 微型圣诞树的制作

 2.1.1 圣诞树的结构

圣诞树使用的灯泡每隔一定的时间间隔发光或者熄灭。可以利用数字 IC 产生这种动作。

圣诞树闪光电路中使用了一种叫做双金属的材料。当温度变化时由于材料各自的热膨胀系数不同,双金属发生伸长或者缩短的变化。利用这种性质,可以使双金属在流过电流时发热、变形,起到开关的作用。

就是说当流过电流时,双金属材料将发热。升温到一定程度时开关将断开,电流也就中断。然后,当双金属冷却下来时开关又接通,电流再次流过。如此反复的动作,灯泡就会时而发光,时而熄灭。

在使用数字 IC 的场合,由于处理的电压和电流比较小,所以不能够原封不动地用来点亮灯泡。在这里我们采用 LED 替代电灯泡进行实验。

2.1.2 使 LED 闪光的实验

首先进行有 1 个 LED 的闪光电路实验。图 2.1 是连线图。

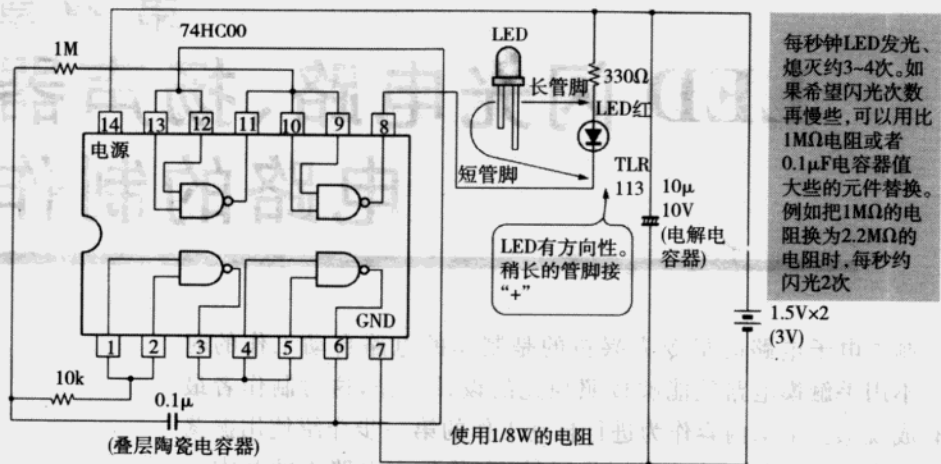


图 2.1 LED 闪光实验电路的连线图

使用的部件有 1 个 IC, 3 个电阻和 2 个电容器。电源是 2 个串联起来的 1.5V 电池, 作为 3V 使用。图 2.2 是用逻辑符号画出的电路图。这种数字 IC 电路采用了普通电路图的画法。

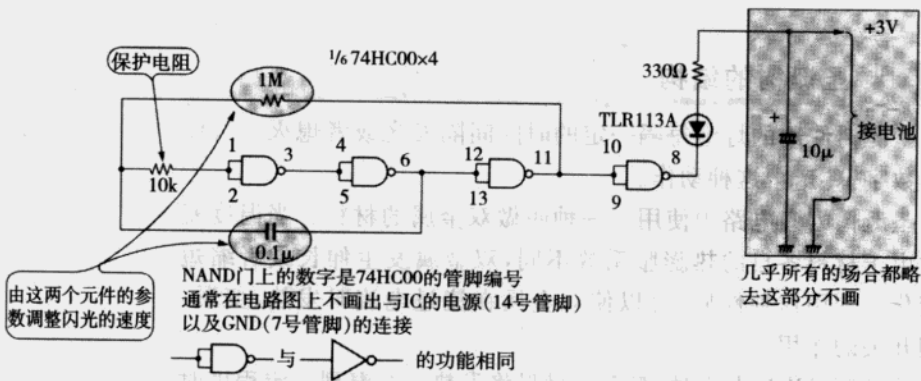
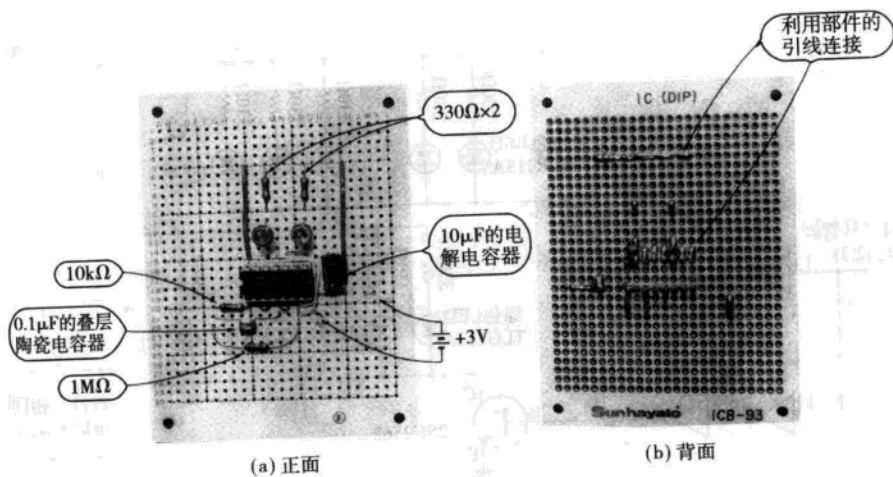


图 2.2 用逻辑符号表示 LED 闪光实验电路

请与图 2.1 的连线图作以比较, 并注意它们的不同之处。可以看出图 2.2 的电路图中省略了电源线和地线, 所以电路图显得流畅。



照片 2.1 不同 LED 交替发光电路的制作基板

2.1.4 在圣诞树上的应用

图 2.3 的电路中,分别只连接了 1 个红色 LED 和 1 个绿色 LED,所以不能应用于圣诞树。现在讨论增加 LED 数目的方法。

为了使更多的 LED 发光,必须使用能够允许大电流通过的器件。单个数字 IC 充其量只具有驱动 1 个 LED 的能力。

晶体管具有允许流过大电流的能力。依照电流的大小可以制作出各种电路。这里选择的是容易购买到的 2SC2562 晶体管。1 个这种型号的晶体管大约 50~100 日元。图 2.4 只示出 LED 的驱动电路。把这个电路与闪光的基本部分连接起来,就能够同时使多个 LED 闪光。

也可以选用其他型号的驱动用晶体管。其要求是集电极电流 I_C 在 1A 以上,直流电流放大倍数 h_{FE} 大于 100。

LED 也不必拘泥于某种型号,可以选用其他颜色。必须给 LED 串联一个调节电流大小用的电阻,连接在 +3V 与晶体管的集电极之间,就可以发光。

使用其他型号的 LED 时应该注意 LED 管脚的连线。如果把 2 根管脚连接反了就不可能发光。接反时由于电源电压只有 3V,比较低,所以不会损坏器件。只需改正方向就可以发光。如果不发光,也有一种可能是一开始连接的就是坏器件。

把电阻与 LED 串联后,再接上电池来调试发光。如果布线没有错误却不发光,就有可能是晶体管或者数字 IC 损坏了。

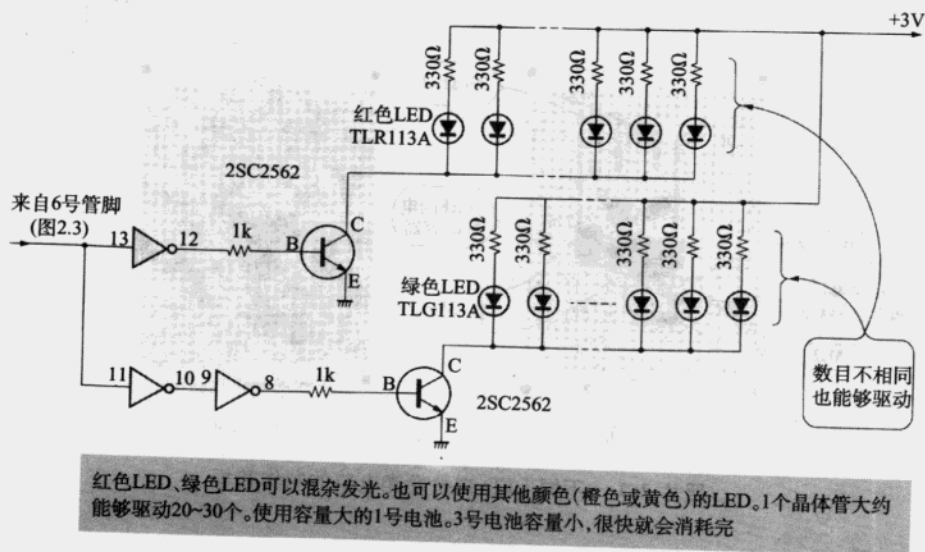


图 2.4 微型圣诞树的 LED 驱动部分

2.2 断线传感器电路的制作

2.2.1 断线传感器的电路结构

所谓断线传感器就是当电路中的某一处布线发生断线时传感器的蜂鸣器就会发声报警。图 2.5 是它的电路图。电路由三部分组成。振荡部分与前面介绍的 LED 闪光电路基本部分中所使用的电路结构相同。这种电路叫做 RC 振荡电路。

与前面闪光电路所不同的是所使用元件的参数。断线传感器中必须产生能够使蜂鸣器发出声音的振荡声。就是说必须能够产生出人耳能够听得到的音频。因此与闪光电路相比,电阻值和电容器值应该很小。

门的作用是根据传感器的电压电平决定是否把振荡部分的信号输出给扬声器驱动部分。顾名思义,它具有门的作用。

扬声器驱动部分的作用是对通过门的信号进行放大并且作为声音能够从扬声器发出。由于数字 IC 的输出只有“1”和“0”两种,所以所谓放大就是强化这两种状态。所以这种放大与普通放大器的放大有所不同。

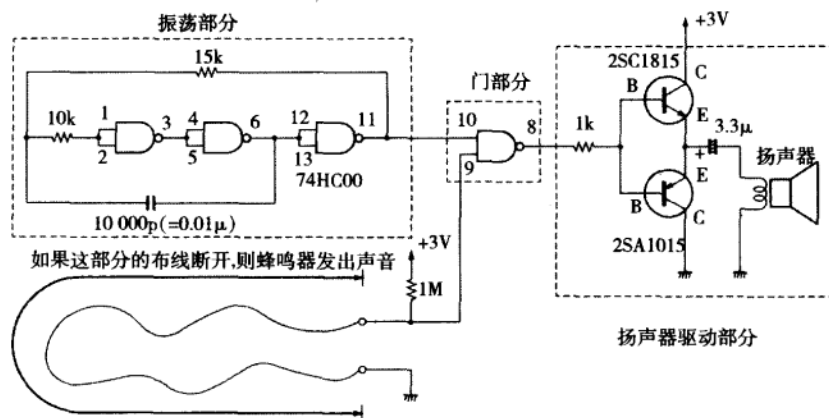


图 2.5 断线传感器的电路图

2.2.2 断线传感器的工作

断线传感器工作的要点在于门。门的一个输入是振荡部分，另一个连接着传感器。传感器通常处于地电平。除非布线断开，输入总是“0”电平。但是当布线（传感器部分）不论哪里断开时就不再接地。在这里连接到电源（+3V）上的是 $1\text{M}\Omega$ 电阻。

由于数字 IC 的输入阻抗（电阻）高（CMOS IC 的场合），+3V 的电压是通过 $1\text{M}\Omega$ 电阻加在 NAND 门的输入（9 号管脚）上的。所以，来自振荡部分的信号通过 NAND 门到达扬声器的驱动部分。

NAND 门的情况与 AND 门不同，输出正好反转。所以将蜂鸣器场合的“1”与“0”换变，使扬声器发声，这不是特殊的问题。

2.2.3 节能改良型断线传感器

图 2.5 的电路中，振荡部分一直在工作着，所以始终有电源提供的电流流过。在这里我们对门电路稍加改良，使它兼有振荡部分的功能。进行这个改良的目的是减少待机时（不发声时）的电流。

图 2.6 是改良型断线传感器的电路。它是利用振荡电路中的某个门来控制振荡部分的工作。NAND 门的 1 号管脚是它的控制输入，为“1”时振荡，为“0”时停止。图 2.5 中作为门电路使用的 8 号、9 号、10 号管脚的 NAND 门作为普通的反相器使用。其他电路的动作与图 2.5 相同。如果传感器电路布线的某一处发生断

线,那么 NAND 门和 1 号管脚变为“1”,振荡部分就开始振荡。

图 2.6 的电路中,振荡停止(待机)时的电流基本上只是 IC 的漏电流。所以图 2.6 的电路作为传感器电路非常适合于待机状态长的应用场合。照片 2.2 是它的外观。

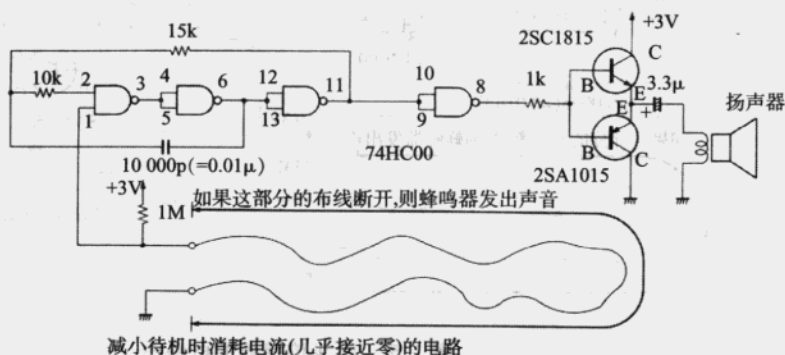
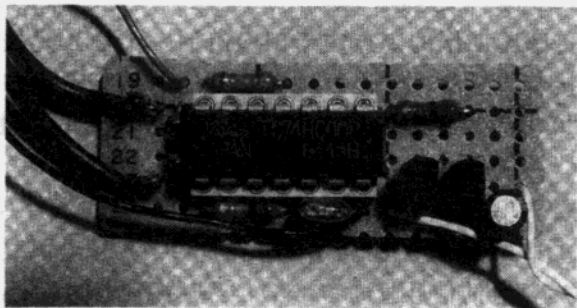


图 2.6 节能改良型断线传感器的电路图(减少待机电流的电路)



照片 2.2 节能改良型断线传感器的制作基板



2.2.4 用作导通传感器或触摸传感器

断线传感器是用于检测断线的电路。相反,导通传感器是检测布线之间是否相互接触的电路。其实只要对断线传感器稍作改变就能够形成导通传感器。

工作原理很简单。只是在布线接触时将通常处于“0”(通过电阻的地电位)的门电路的输入变为“1”(电源电平的+3V)就可以了。图 2.7 是改变的方法。使用的部件不变,只是改变了连线。

导通传感器布线是否正确很容易检验,所以制作起来很方便。但是不能够检测接入了电源的电路。流过导通检测部分的电流为 $3V \div 1M\Omega = 3\mu A$ 。

图 2.7 的导通检验电路存在一个大的问题,就是即使进行检测的电路电阻非常高也会判断为导通。例如,当希望检查 $1\text{k}\Omega$ 以下的接触电阻时,也有可能把 $1\text{M}\Omega$ 的电阻改变为 $1\text{k}\Omega$ 。但是流过检测电路的电流变成了 3mA 。

同样地也可以检查更低的接触电阻,不过由于有大电流流入被检查电路,所以检测结果并不能令人满意。图 2.7 这样的导通传感器只能看作是一种简易型传感器。要准确地进行检测还是使用万用表好。

但是像图 2.8 那样对传感器稍做加工,固定一个约 5mm 的间隔就可以作为触摸传感器使用。人手指的接触电阻约在数十 $\text{k}\Omega$ 至数百 $\text{k}\Omega$ 的范围,比 $1\text{M}\Omega$ 的值小。

所以使用人的手指时能够把足够的“1”电平(接近 $+3\text{V}$ 的值)加到门 IC 的输入端。电源电压只有 3V ,也不会发生触电的危险。由于不同人的情况差异很大,所以能否作为触摸传感器使用也未可知,不过作为实验用电路还是充分的。

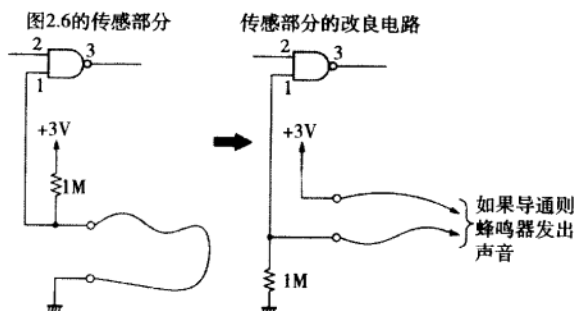


图 2.7 作为导通传感器使用所作的改变

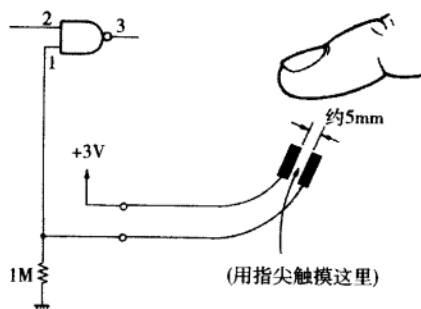


图 2.8 作为触摸传感器使用

2.3 水传感器电路的制作

水传感器是检测水的有无,并利用蜂鸣器等报警。作为应用例我们介绍降雨检测器和浴池水位检测器。

2.3.1

水传感器的电路与结构

图 2.9 是水传感器的总电路图。使用的 IC 是 74HC00(4 个 2 输入的 NAND 门)。使用两个这种 IC 产生蜂鸣声。电路结构中基本电路是前面断线传感器所使用的 RC 振荡电路,还使用了门电路、扬声器驱动电路等这些已经在前面实验中使用过的电路。

如果只是发出连续声,那么电路就与断线传感器相同。不过对于水传感器来说,应该具有报警器的功能。所以需要加上能够发出“哔! 哔! 哔!”这种间断声的电路。

这里使用了两个 RC 振荡器来完成这种功能。一个是发出“哔——”这种连续声的振荡器,另一个是发出间断声音的振荡器。

例如,如果希望每隔 0.5 秒发出“哔! 哔! 哔!”的声音,那么产生间断定时的振荡器的输出将每隔 0.5 秒发生“0”和“1”,再由 NAND 门将这两个振荡器的输出混合。当 NAND 门的一个输入端为“1”时,它具有将另一个输入反转输出的作用。所以每隔 0.5 秒重复“0”和“1”,在“1”的期间发出“哔”的声音。

水传感器只使用了两个数字 IC,所以部件的数目少。表 2.1 是使用部件一览表。需要购买部件时可以按照这张表对照购买,很方便。

水传感器的结构利用了水的电阻性。根据水的电阻与 $1\text{M}\Omega$ 电阻的分压比来决定是否发出声音。

照片 2.3 是水传感器电路的制作例。考虑到实用性,传感器组装的体积应该尽量小。组装时没有什么特别需要注意的地方。只要连线没有错误,就可以立即工作。组装完成后再接上电池。当把传感器部分直接短路时,如果发出“哔! 哔! 哔!”的声音就表明制作完成了。

在使用两个以上数字 IC 的场合,注意不要弄错是哪个 IC 的管脚。图 2.9 的电路中使用两个相同的 74HC00。所以这里的 NAND 门各有两处管脚标记是相同的。不要把 IC₁ 的 1 号管脚与

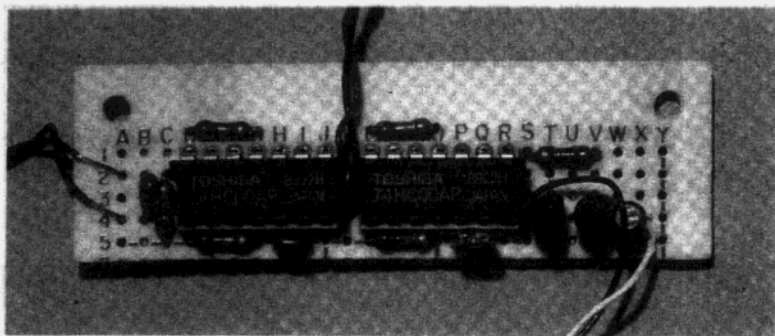
IC₂的1号管脚搞混了,因为这种错误不容易发现。这里只使用了两个IC,如果使用的IC数目多达5个,10个,甚至更多,将是很麻烦的事。

电路图中不仅要注意管脚标记,而且还要注意在基板的哪个部分配置哪个IC,对此也应该作出记号,以防发生错误。

表 2.1 水传感器中使用部件一览表

部 件	型号·参数	瓦数·耐压等	厂家·材料等	数量	说 明
IC	74HC00	—	—	2	如果是 CMOS 则不限制造厂家
晶体管	2SA1015	—	东芝	1	PNP 型
晶体管	2SC1815	—	东芝	1	NPN 型
电阻	1k Ω	1/8W	碳*	1	
电阻	10k Ω	1/8W	碳*	2	
电阻	15k Ω	1/8W	碳*	1	
电阻	1M Ω	1/8W	碳*	2	
电容器	0.1 μ F	—	叠层陶瓷	3	
电容器	10 000pF	—	叠层陶瓷	1	10 000pF=0.01 μ F
电容器	3.3 μ F	—	电解	1	
IC 插座	14 管脚 DIP 用	—	—	2	
基板	2cm $\times$ 10cm	—	—	1	本实验是把 ICB93 切开使用
电池	3 号	—	—	2	锰电池
电池盒	3 号 $\times$ 3 节用	—	—	1	
线材	0.16mm/7 的绞线或者 0.4mm 的单股线			—	绞线,基板内布线用
线材	0.16mm/12 的绞线			—	绞线,连接传感器用
小型扬声器	—	—	—	1	8~32 Ω 的阻抗,约 100mW

【注】碳:碳膜电阻。



照片 2.3 水传感器电路的制作基板

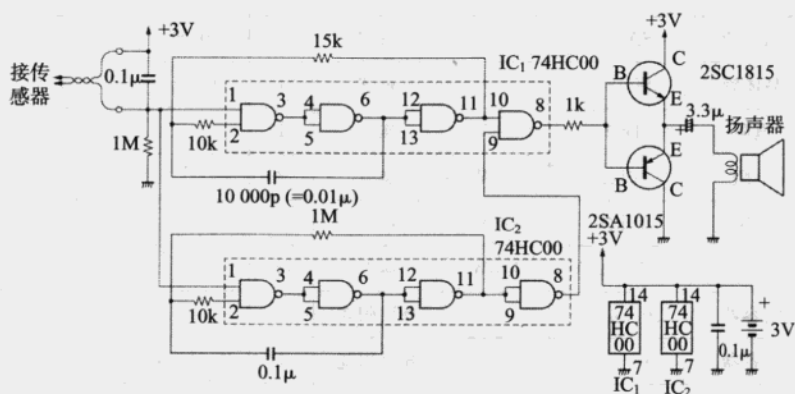


图 2.9 水传感器的电路图



2.3.2 传感器部分的结构与制作方法

在确认电路的正确动作之后,下面就开始连接传感器部分的布线。图 2.10 示出了传感器部分的制作方法。

图 2.10(a)的降雨传感器是在比较宽的基板(5cm×10cm)上刻出叉指状的电极条。这个传感器使用的基板的整个面上敷有一层铜箔。

如果难于得到这种基板,可以利用铝箔自制。需要注意引线不能短路。也可以采用把铜箔贴在基板上的方法。电极的间隙约 2~3mm。间隙太宽的话就难于对降雨进行检测。

图 2.10(b)的浴池水位检测器则更简单些。把两根引线插到欲检测的水位部分,但是注意这两根线不能接触。能够检测的水位是这两根引线的前端(除去外面的被覆)同时接触水的地方。

照片 2.4 是降雨传感器的制作例。实际上把传感器安装在阳台之类的户外就可以进行工作。这种降雨传感器的缺点是当一次降雨之后,只要传感器部分还是潮湿的,报警器就一直在响。这时必须去掉电池(也可以接上开关),断开传感器部分。

从检测第一次降雨后到再次进行检测必须等待很长时间(往往要到第二天),所以这种传感器还需要进一步改进。

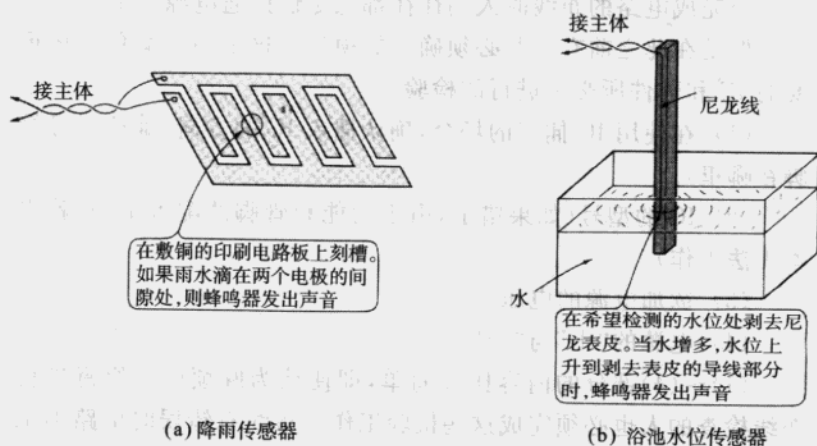
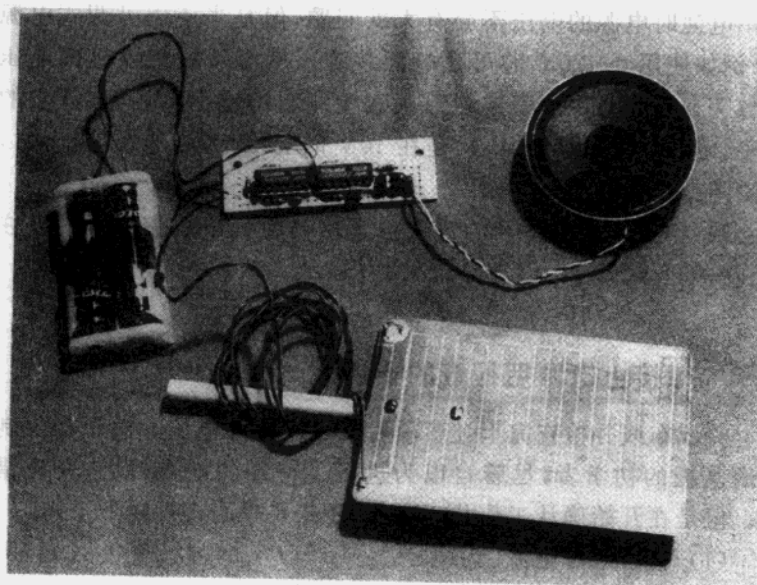


图 2.10 传感器部分的制作方法



照片 2.4 降雨传感器的制作例

(传感器部分把铜箔加工成叉指状,当雨水滴到间隙上时发出报警声音)

2.4

制作完成后进行检查的要点

2.4.1

接电源前检查的要点

当完成电路的布线时人们往往都想尽快接通电源试试。

但是在此之前有一些必须确认的项目。这是为了避免损坏重要的 IC 和部件所必须进行的检验。

(1) 在使用 IC 插座的场合,确认插入 IC 的方向(确认 1 号管脚在哪里)。

(2) IC 的型号(如果错了,由于功能和管脚的配置不同,就根本无法工作)。

(3) 欲加电源的电压。

(4) 电源的“+”与“-”。

(1)~(4)部分的内容比较简单,即使认为麻烦而不愿意进行布线检查的人也必须完成这些检验工作。布线有错误时电路不工作也就罢了,但是如果把“+”与“-”搞错了的话,IC 也就毁坏了。

(1)与(2)具有与布线检查同样的意义,而(3)与(4)却不同。使用电池时电源的电压不会有大的问题,但是当使用可调式电源时(例如使用 0~20V 的可变电源装置),就必须检查设定的电压是数 V。首先要用仪表或者万用表检测它的输出电压,确认它的功率。如果不知道它的电压是在 10V 以上,那么当加在 IC 上时,一瞬间就会烧毁 IC。

第(4)点“+”与“-”的错误也直接与重大事故相联系。往往会在一瞬间烧毁 IC,因为电流在 1A 以上。

2.4.2

接上电源后检查的要点

完成布线并检查完上述各项后就可以接入电源。对于初次制作的基板的初学者,尽管自以为进行了仔细的检查,没有发现错误。但是在开始确认工作状态之前,还是要小心进行以下工作。

(1) 检查电源电流。

(2) 摸一摸 IC 的管壳,看看是否发热。

进行(1)项工作的理由是为了确认电源与地之间是否发生短路现象。检查电流时,在使用 CMOS IC(74HC 系列)的简单电路

中,电流大体上在数 mA 范围就属于正常值。如果流过 100mA 以上的电流就说明可能在哪里出现了异常。

在使用多个 LED(发光二极管)的电路中,流过数十 mA 至 100mA 以上电流不算是异常现象。对于数字 IC 以外的部分,应该预先计算出会流过多大的电流,就能很容易地作出正常或异常的判断。

(2)项是为了防止 CMOS IC 中发生闩锁现象。当输出之间连接时,很容易发生闩锁现象。

如果发生这种现象,电源电流多出现异常,它与(1)项也有关系。发生闩锁现象时 IC 的管壳变热,在短时间内(几秒)还不至于烧毁 IC。这时应立即切断电源,检查原因。

如果在进行(1)和(2)时没有出现问题,就可以进行工作状态的检查了。

2.4.3 工作不正常时的检查方法

电路组装完成以后加上电压时如果能工作就没有多大问题了。如果没有像预期的那样工作则是一件很遗憾的事情。这时要镇静下来,检查到底是哪里出了问题,并且纠正过来。

是部件坏了吗?有没有出现异常值?连线有没有错误?要逐个地、耐心地检查、确认和排除。寻找发生问题的原因是一件既简单而又困难的事情。经历过多种故障的人往往能够比较快地发现问题。

表 2.2 列出了检查故障的顺序以及处理方法。当然不能认为它能够解决所有的问题,但是至少可以发现大部分故障。

表 2.2 检查故障的顺序

检查项目	处理方法
(1)有振荡电路(使用 RC、石英等)时,振荡波形是否如设计的那样	如果不振荡,必须首先解决这个问题
(2)确认使用的 IC 的型号	检查是否使用了型号不同的 IC
(3)确认各 IC 的电源管脚的电压是否正常	用万用表检查各 IC。当加 5V 电源电压时如果 IC 示出 4V 左右的值,说明这个 IC 的电源布线没有问题

续表 2.2

检查项目	处理方法
(4) 确认 LED 或继电器等最终输出级的动作	检查信号的顺序是从输出级向前级
(5) 用手指触摸 IC 的管脚确认是否有动作	如果状态有变化,表明输入信号线没有接上
(6) 确认各 IC 的逻辑	在未接入时钟的状态下检查各 IC 的逻辑 (例如,给 NAND 门的输入加上“0”而输出为“0”时,表明这个 IC 可能是坏的)。在使用插座的情况下,可以换一个 IC 试试

第 3 章

接口电路的实验与制作

时钟可以有多种应用。将时钟与门电路结合,可以实现功能更复杂的电路。自行车用方向指示灯就是通过摁某个开关交换闪光 LED 的电路。还有,声控开关是一种对声音做出反应,经过一定时间使电动机启动的电路。这类电路中哪个都不是单纯的数字 IC 电路,开关和晶体管等接口电路都起到重要的作用。

3.1 自行车用方向指示灯的制作

汽车在行驶中左右转弯时都要打开方向指示灯,但是自行车没有这种装置。人们骑自行车时往往是打手势。这种情况下人们是用一只手握住手把,所以非常不安全。

如果自行车也装有方向指示灯就会带来很大的方便。这里介绍制作简单的自行车用方向指示灯的方法。

3.1.1 自行车用方向指示灯与高辉度 LED

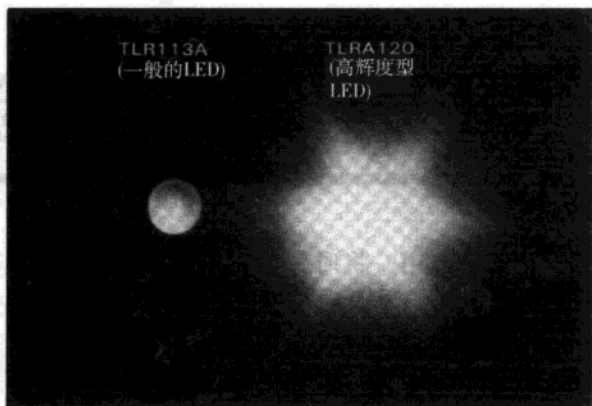
自行车用方向指示灯应该具备以下条件:

- (1) 有左转、右转两种灯泡。
- (2) 不允许左转灯与右转灯同时发光。
- (3) 发出信号时应该在一定时间间隔内反复闪光。

可以使用小电灯泡,不过电流比较大,电池会很快消耗尽。所以这里采用高辉度型的 LED。

使用的是东芝公司生产的 TLRA120 红色 LED。这种 LED 非常亮,当流过约 10mA 电流时即使在白天的室外也能够清楚地看到发光。也可以购买其他厂家生产的高辉度型产品。价格大约是普通 LED 的 10 倍,1 只约 200~250 日元。

LED 消耗功率小,寿命长,所以最近也应用到车站、机场的光电显示板或者信号机上。这种能够在室外开阔地域使用的 LED 今后将会有更广泛的应用。



照片 3.1 普通 LED 与高辉度型 LED 的亮度比较

3.1.2

自行车用方向指示灯电路的制作

图 3.1 是自行车用方向指示灯的总电路图。鉴于学习者现在对于数字 IC 已经逐渐习惯了,所以没有画出连线图。电源线和地线也省略了,但是在布线时注意不要忘记它。

使用了两个数字 IC,1 个 74HC00(4 个 2 输入 NAND 门)和 1 个 74HC02(4 个 2 输入 NOR 门)。

闪光功能已经在前面的电路中使用过了,很快就会理解使用 RC 振荡电路是能够胜任的。当然一个重要的问题是如何满足方向指示灯所要求的条件(2)。就是说,必须设计这样的电路,当同时摁左转灯闪光按钮和右转灯闪光按钮时只能有一侧闪光。这里所说的同时,是指只要在时间上有一点点的优先就能够达到目的。

关于图 3.1 的电路,只要是稍微学习过数字电路的人都看得出使用了 R-S 锁存器电路。连接在各自按钮开关上的两个 NOR 门与锁存器电路相很相似。但是这个电路并不是作为锁存器(数据的记忆)工作的。它利用了 R-S 锁存器电路的禁止事项,即用 NOR 门的门锁置两个输入为“H”。

所以这部分不是仅作为门电路工作的。只要某一个开关稍微快一点点,通过它的输出就能够禁止另一个开关的输入。

NOR 门 10 号管脚的输出用于控制 RC 振荡电路的振荡。当

这个端子为“0”时开始振荡,为“1”时停止振荡。在摁过按钮开关以后的时间里,也就是处于待机状态的时间里停止振荡,消耗的电流很少。所以图 3.1 的电路中没有设置电源开关。可以认为左转和右转按钮开关兼作电源的开关。

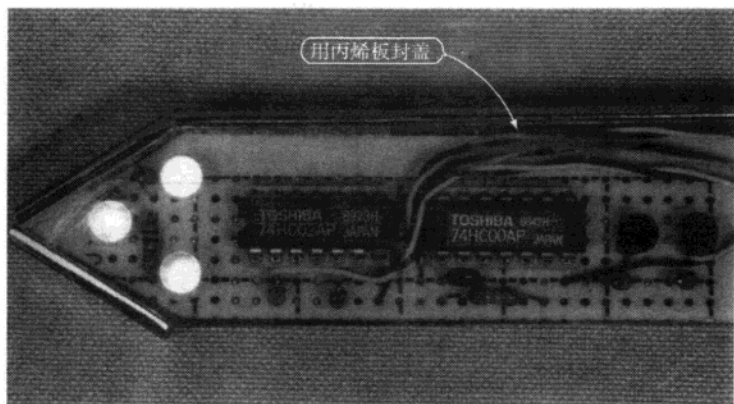
RC 振荡电路的输出通过 NAND 门进入 LED 的驱动电路。LED 的驱动使用了晶体管。这个驱动电路与前面见到的电路有一些不同之处。由于这种连接方法减小了待机电流,所以就用它承担下来。

表 3.1 是自行车用方向指示灯所使用的部件。稍微难购买到的是高辉度型 LED。不必特别拘泥于 LED 的型号名称,只要辉度高就可以使用。

表 3.1 自行车用方向指示灯使用部件一览表

部 件	型号·参数	瓦数·耐压等	厂家·材料等	数 量	说 明
IC	74HC00	—	—	1	不限制造厂家
IC	74HC02	—	—	1	不限制造厂家
晶体管	2SA1015	—	东芝	2	
LED	TLRA120	—	东芝	6	只要是高辉度型,不限厂家
电阻	100Ω	1/8W	碳*	6	
电阻	1kΩ	1/8W	碳*	2	
电阻	10kΩ	1/8W	碳*	3	
电阻	2.2MΩ	1/8W	碳*	1	
电容器	0.1μF		叠层陶瓷	2	
按钮 SW	—	—	—	2	只在按下时才接通的类型
IC 插座	14 管脚 DIP 用	—	—	2	不使用直接焊接在 IC 的类型
通用基板	5cm×10cm	—	—	1	本实验是把 ICB93 切开使用
电池	3 号	—	—	2	锰电池或者镍镉电池(1.2V×2 节)
电池盒	3 号×2 节用	—	—	1	
线材	0.16mm/7 的绞线或者 0.4mm 的单股线			约 1m	基板内布线用
线材	0.16mm/12 的绞线			约 10m	用于本体与开关间的布线
丙烯酸板	20cm×15cm ×2mm 厚	—	—	1	自己加工制作外壳

* 碳膜电阻。



照片 3.3 自行车用方向指示灯的实装例(左侧的灯亮)

3.2 声控开关的制作

探测声音并使之进行某种动作的开关叫做声控开关。这是一种探测较大的声音例如拍手的声音,并在一定时间内使电动机转动的电路。

3.2.1 声控开关的电路与动作

图 3.2 是电路图。这个电路看起来更像是模拟电路。用数字 IC 是不可能探测声音的。这里使用电容型传声器和晶体管对声音进行放大至数字 IC 所能够工作的信号电平。

放大后的声音作为数字信号进入由 NAND 门做成的 R-S 锁存器电路。R-S 锁存器的输出原封不动地进入使电动机转动的驱动电路。所以当探测到声音时就能够立即使电动机转动起来。

R-S 锁存器的输出还连接着一个延时电路。用 $1\mu\text{F}$ 的电容器和 $1\text{M}\Omega$ 的电阻构成的时常数电路对信号进行延迟。被时常数电路延迟的信号再次成为数字信号,返回到 R-S 锁存器。当信号返回后 R-S 锁存器就返回原来的状态,电动机也就停止转动。

以上是图 3.2 电路的动作。除了 R-S 锁存器之外其他都是模拟电路,所以把它作为数字 IC 的实验也许不太合适。不过这表明数字 IC 也有数字电路以外的内容,就是说也有模拟电路中能够利用的内容,所以介绍了这项实验。

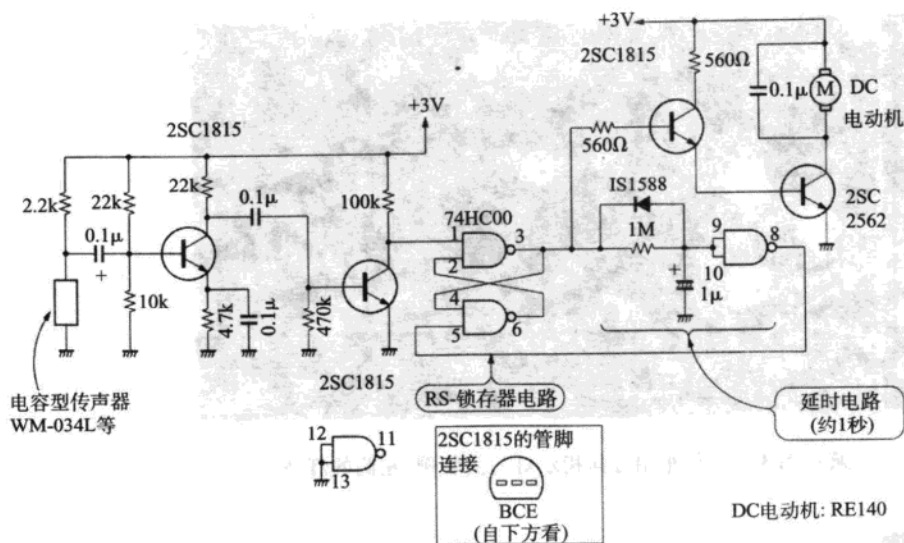
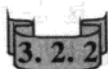


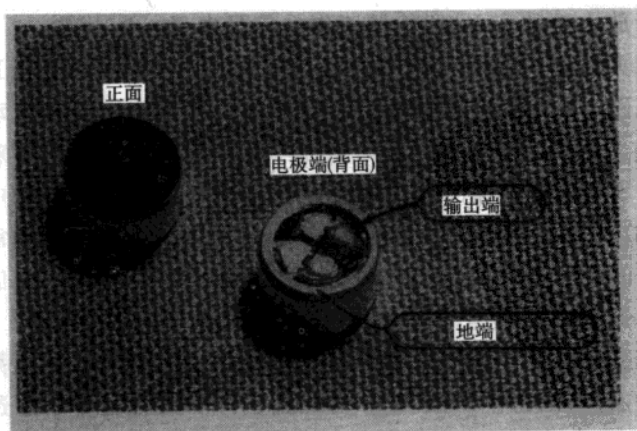
图 3.2 声控开关的电路图



3.2.2 电容型传声器的结构

照片 3.4 是一例电容型传声器。电容型传声器有二端式和三端式两种,不论哪种都可以使用。图 3.3 是二端式电容型传声器的结构。价格约 100~150 日元。

用电容型传声器探测声音稍微有些浪费。不过由于体积小、灵敏度高,所以使用起来非常方便。



照片 3.4 电容型传声器(直径约 1cm)

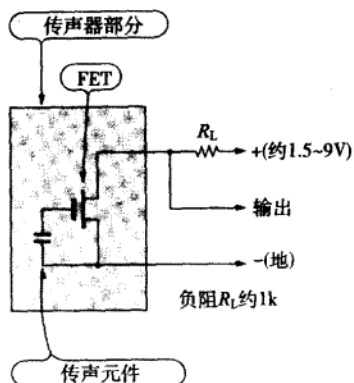


图 3.3 电容型传声器的结构

3.2.3

声控开关的结构及应用

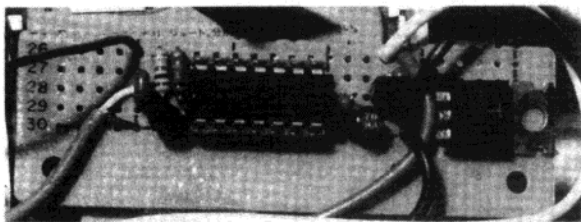
照片 3.5 是制作的声控开关基板。制作时应该注意电容型传声器与电动机驱动电路要尽量分开,而且绝对不能忘记给电动机接上 $0.1\mu\text{F}$ 的电容器。另外,电源线上也应该连接大一些的旁路电容器(地线与 $+3\text{V}$ 之间连接约 $100\mu\text{F}$ 的电解电容器)。

电动机会产生非常大的噪声,如何避免这种噪声引起的误动作是一个重要的问题。也许使用机械式继电器之类要比使用晶体管直接驱动好些。

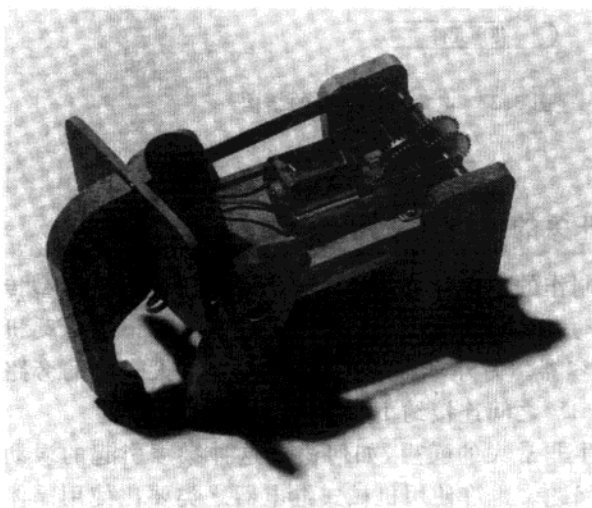
照片 3.6 是应用声控开关制作的玩具。它是一个巧妙地利用电动机和齿轮制作的能够行走的大象玩具。4 条腿可以灵活地动作,一边摇着头一边行走。由于是通过开关使它前进和后退,所以用连接声控开关的电动机驱动电路取代前进用的开关。

把声控开关与大象模型结合起来做成这种玩具,人们一拍手,它就在一定的时间内行走、停止。这种结合的应用实例很多,所以一定要接受这种挑战。

可以用从(株)田宫模型(电话:0542(86)5105)购买的相关器材组装成大象的模型。



照片 3.5 声控开关电路的制作基板



照片 3.6 大象的行走模型,探测感知到声音后电动机转动一定时间
(下面安装着照片 3.5 的基板)



第 4 章

电子节拍器的制作

娱乐场所里不时可以听到电子节拍器发出的有节奏的声音。电子节拍器具有强烈的节奏感,所以受到人们的喜爱。

利用数字 IC 可以制作电子节拍器。它会使您感受到有节奏的声音(扬声器)和闪烁的光(LED)。

4.1

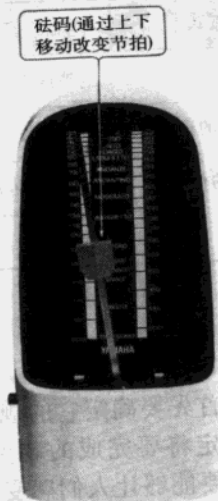
电子节拍器的设计

4.1.1

节拍器使人们感受音乐节奏

产生音乐节拍的装置叫做节拍器。

节拍器通常是弹簧式结构,可以根据音乐的速率改变砵码的位置(照片 4.1)。由砵码距支点的距离决定加快或是放慢节拍。



照片 4.1 机械式节拍器

节拍器大多是机械式结构,但是也有电子式的。这里介绍使用数字 IC 制作节拍器的方法。

对于节拍器来说,最重要的就是让人们感受到一分钟内的节拍数即速率。

4.1.2 节拍器的电子化

用数字电路实现弹簧式节拍器看起来似乎很简单,但是对于没有亲自动手设计过数字电路的初学者来说也许还不知道应该怎样入手。这是因为他们认为数字式节拍器应该等同于机械式节拍器。机械式与数字式本来就是两种不同的装置,用同一种思路考虑不同类型的装置显然是不合适的。

所以必须改变思维方法。节拍器外表的振子是摆动的。受到外形的限制,不能够摆动到端头。

应该理解使用节拍器的目的是什么(表 4.1)。目的就是要感受到一定的音乐节拍。

作为感受音乐节拍的手段,振子的作用就是让装置发出“咔哒”、“咔哒”的声音。只要能够表现出音乐的节拍,那么什么形式的装置都是可以采用的。电子式节拍器就是利用声和光的装置。只要设计出的电子电路能够按照一定的音乐节拍发出使人们感受到的声或光的效应就可以了。

表 4.1 机械式节拍器与电子式节拍器比较

	机械式	电子式
动力	弹簧	电池或者电源
感受节拍的方式	咔哒、咔哒的声音	振荡器发出的电子音乐,LED 的发光
改变节拍的方式	改变砵码的位置	调节(旋转)调节器(VR)
大小	大(重)	小(轻)

4.1.3 设计规格

设计一种电子电路时首先要确定它的规格要求。规格的确定并不是很困难的。只要设定将要完成的装置,要求它必须达到的指标就可以。节拍器首先要能够让人们感受到一分钟内有多少节拍,然后还需要确定感受节拍的手段是声还是光。

必须确定发出多少节拍。换句话说,就是在一分钟之内必须发出几次光和声。

图 4.1 是一般的节拍器能够发出的节拍数。通过每分钟的节拍数可以表达丰富的音乐旋律。本实验拟设计的电子电路的功能是能够在一分钟之内发出从 40 次到 208 次快速改变的声和光。

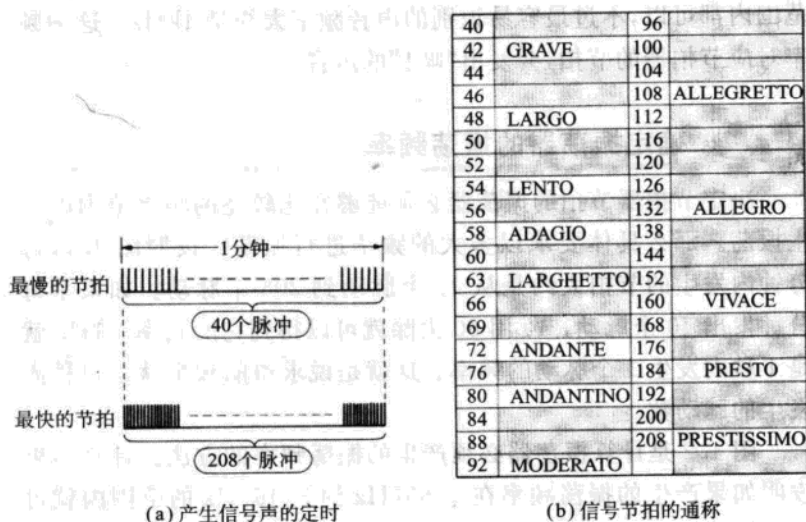


图 4.1 一般节拍器的规格

4.2 依据规格设计电路

4.2.1

电子节拍器的电路设计

决定功能的是下面的电路设计。进行电路设计时不应该唐突地画出电路图。在画出详细的电路图之前,必须考虑采用什么方法来实现所要求的功能。

发出声或光,改变它的周期,这些手段都具有各自独立的功能。需要考虑如何将这些独立的功能组合起来。

节拍更重要的功能是作出准确的定时。而且还必须能够根据需要方便地对定时作出的改变。

准确的定时需要用石英振荡器,人们的脑海里会立即浮现出这个念头。但是石英振荡器的振荡频率不能够方便地改变,所以无法采用。在这里还是采用由电阻和电容器构成的 RC 振荡器。

RC 振荡器中,只要改变电阻或电容器中的任一个,都能够很方便地改变振荡频率。节拍器中要求能够在比较宽的范围内改变振荡频率,所以使用了可变电阻器(VR:电位器)。

发出声音的方法通常是使用扬声器(SP)。人类能够听到的声音频率大致在数十赫兹到十几千赫的范围,所以只要频率在这个范围内都可以,不过最容易识别的声音频率大约是 4kHz。这种频率对应节拍器的节拍,会发出“哔!”的声音。



确定振荡器的振荡频率

决定节拍器节拍的振荡器必须能够在比较宽的频率范围内产生振荡。那么具体要求以多大的频率进行振荡?按照图 4.1,每分钟内发生的节拍大约是从 40 个脉动到 208 个脉动。如果是每分钟发出 40 个脉动,40 用 60 去除就可以得到它的频率。1Hz 就是 1 秒内发生 1 个脉动的频率。这就是说求得的频率就是每秒内发生的脉动数。

图 4.2 是计算振荡器必须产生的振荡频率的方法。计算结果表明如果产生的振荡频率在 0.667Hz 到 3.467Hz 的范围内就可以满足要求。

当每分钟40个脉冲时,频率为
 $40 \div 60 = 0.667(\text{Hz})$
 当每分钟208个脉冲时,频率为
 $208 \div 60 = 3.467(\text{Hz})$
 所以,如果能够在0.677~3.467Hz范围内
 振荡就可以满足要求。

图 4.2 时基振荡频率的计算方法



电子节拍器的结构

电子节拍器由两部分构成。一部分产生定时,另一部分产生扬声器的声音。

下面讨论如何连接这两部分的问题。产生扬声器声音所用的振荡器是原封不动地连接到扬声器上,将会不断地发声。现在着重讨论如何使用产生定时的振荡器。

图 4.3 是用 NAND 门连接两个振荡器的例子。

一般的 RC 振荡器输出的“H”部分与“L”部分差不多是 1:1

(叫做占空比是 50%)。所以在图 4.3 的电路中,只是当产生定时的振荡器输出为“H”时扬声器才会动作而发出声音。也就是说,它的动作只是在决定节拍的周期的一半时间内发出声音,在另一半时间里并不发声。

用图 4.3 的电路已经制作出电子式节拍器。但是就这样原封不动地使用的话还是有问题的。由于只是在决定节拍的周期的一半时间里发出声音,那么当周期变长时,发出的声音也就长。就是说它的动作与机械式节拍器发出的“咔哒、咔哒”的声音不相同。那么能否不发出“哔——,哔——”的声音,而发出“哔,哔”的声音?我们重新来考虑这个问题。

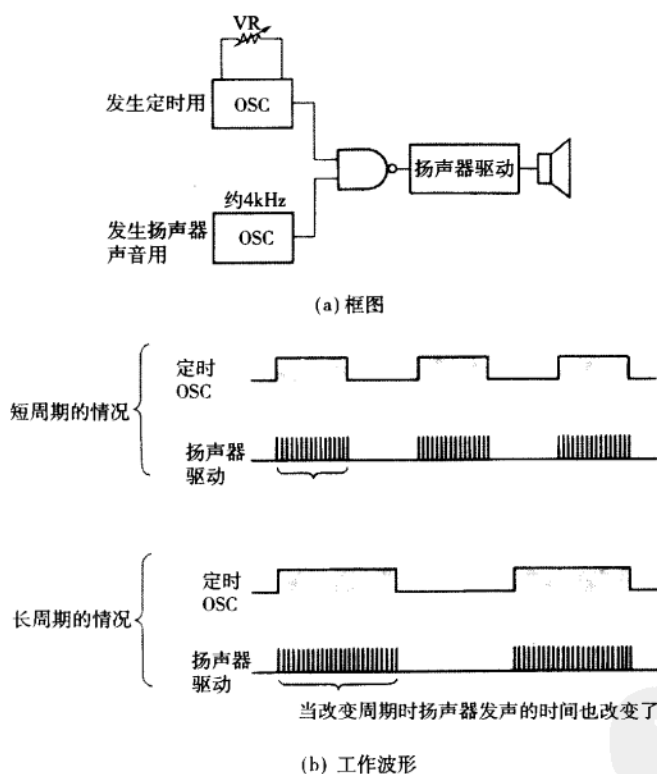


图 4.3 电子节拍器的结构例



4.2.4 利用冲息多谐振荡器

如果在周期改变时仍然能够使扬声器的发声时间一定,那么就有可能发出“哔,哔”的声音。为了实现这一点,可以采用冲息多谐振荡器。

冲息多谐振荡器在输入触发器信号时,将产生由外接电阻和电容器所确定的输出脉冲。输入触发器的信号只是脉冲波形的上升沿或者下降沿部分。所以不管脉冲的宽度宽也好窄也好,都能够获得固定宽度的脉冲输出。

采用冲息多谐振荡器使扬声器发声的时间成为固定的。图 4.4 是这种节拍器的框图。这个框图中附加了监控时基用振荡器输出脉冲的 LED₁ 和显示扬声器发声的 LED₂。图 4.5 是它的工作波形。

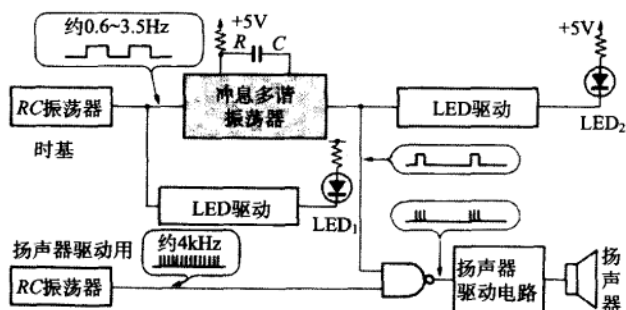


图 4.4 电子节拍器的框图

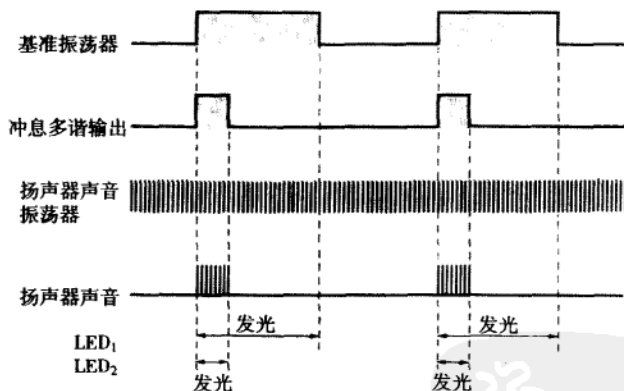


图 4.5 电子节拍器的工作波形



把框图具体化为电路图

在确认了电子节拍器的框图以及它的工作之后,下面就可以画出具体的电路图。画电路图时,要确认各方框的功能,并确定符合该功能的具体电路。

一开始就要求画总电路图是很困难的。不过当可靠地完成框图以后,画电路图的作业就不困难了。

RC 振荡器采用接续 3 级反相器的形式。冲息多谐振荡器使用 74HC123。连接的方法是使触发器输入在下降沿工作。图 4.6 的电路中,扬声器在 LED₁ 发光的瞬间发出声音。

没有使用专用的驱动 IC 来驱动 LED,而是原封不动地利用了 NAND 门。由于电流小(约 5mA),所以不需使用专用驱动电路或者晶体管,只要门 IC 就够用了。

扬声器的驱动电路使用了两个晶体管。驱动扬声器的方法有多种。如果希望发出较大的声音,可以利用晶体管电路。当然利用专门的放大用 IC 也未尝不可。

图 4.7 是扬声器的驱动电路。图(a)是现在采用的电路;图(b)是原封不动地利用门 IC 的方法,音量稍微小,音质也差些,不过是一种使用很方便的电路。

图(c)是利用驱动 IC 的方法,由于可以流过大电流,所以能够发出较大的声音。但是有直流成分流过扬声器,所以在不发声时需要将驱动的输出置于“H”(使得没有电流流过)。

照片 4.2 是各种驱动方式的工作波形。

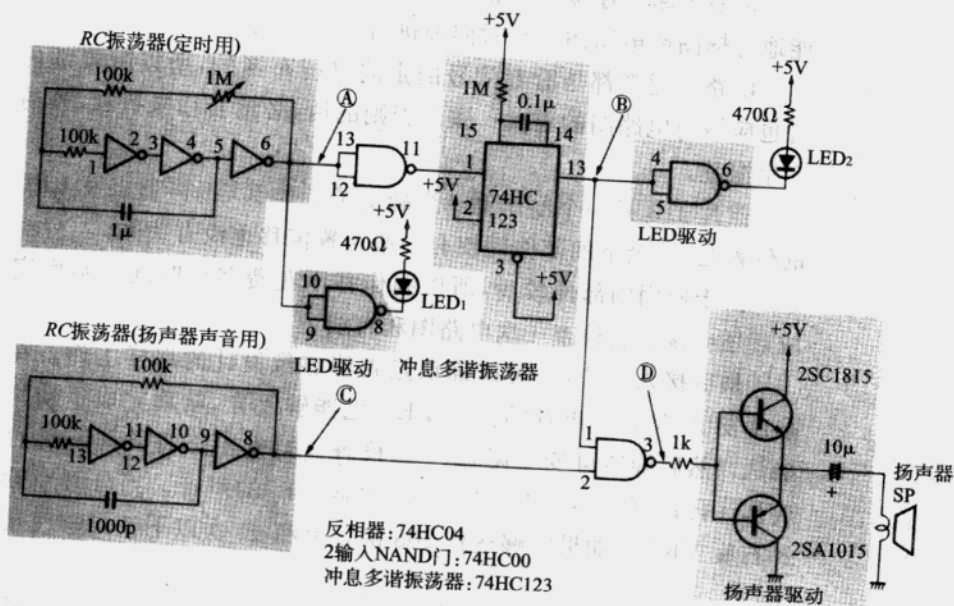


图 4.6 电子节拍器的电路图

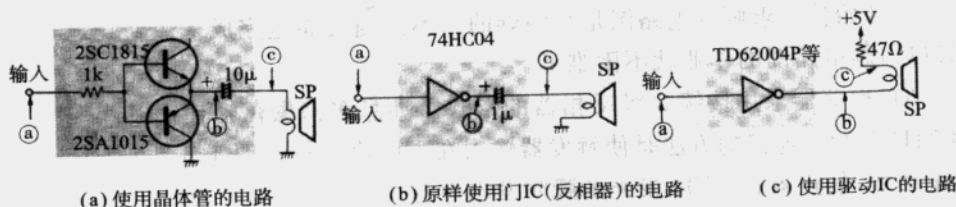
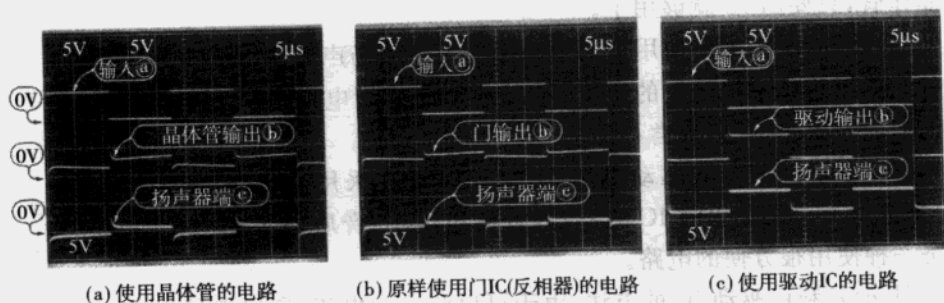
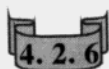


图 4.7 扬声器的驱动电路



照片 4.2 扬声器的驱动波形



4.2.6 制作以及电路动作的确认

按照电路图连接各个部件。在基板上配置部件时,应该尽可能地与框图或电路图一一对照地进行。

电路图通常都是沿着信号的走向进行布图的,所以配置部件时也应该与电路图的走向一致。否则的话,必然会往来折返,容易产生混乱。

照片 4.3 是一个制作例。当确定了 3 个 IC、扬声器以及 LED 的位置之后,余下的部件即使有一些位置偏移也没有关系。

由于使用的部件较少,所以制作并不花费多少时间。制作完成后还应该认真检查一次电路图和布线。

最后接入电源,就可以确认是否能够像设计的那样工作。在确认发出“哔,哔”声音的同时 LED 也能够发光,就算完成了动作确认。然后旋转可变电阻器 VR,检查这时发出声音的间隔是否变化。再计算 1 分钟内发出多少次“哔,哔”的声音。当分别左旋和右旋 VR 时,如果能够达到 208 次以上和 40 次以下就足够使用了。

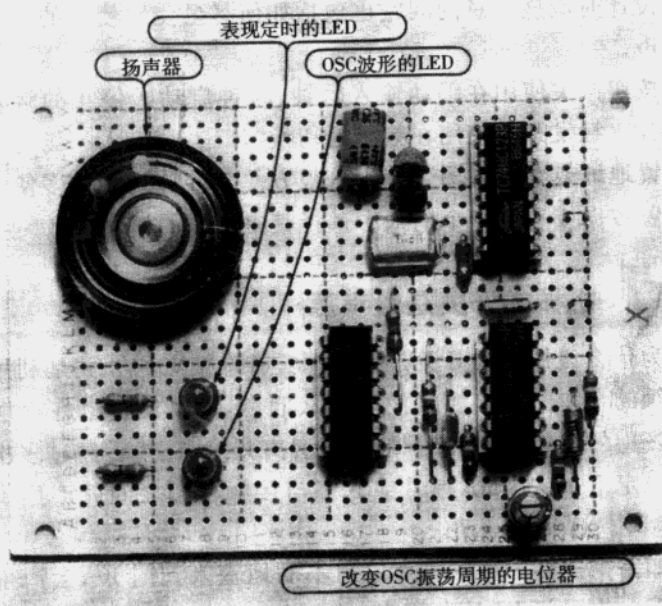
照片 4.4 示出图 4.6 中 A~D 各点的波形。可以把它与图 4.5 的工作波形作以比较。

如果既没有声音也不发光,那么就要逐个方框地追查它们的工作。可以通过 LED₁ 是否发光来确认产生定时用的振荡器的工作。如果 LED₁ 不发光,或者无控制地发着光,就应该再次确认它的接线。

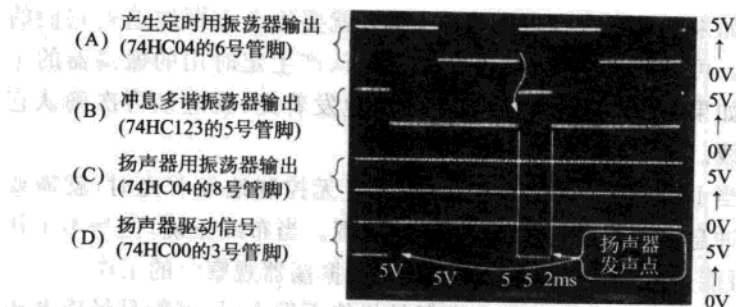
当 LED₁ 熄灭,LED₂ 不发光,或者无控制地发着光时,就需要检查冲息多谐振荡器 74HC123 的周围。当布线正确,但是不工作时,可能是 IC 出了问题。可以换一个振荡器观察它的工作。

如果 LED₁、LED₂ 都正常但是仍然不发声时,可能是扬声器声音用的振荡器工作不良,或者扬声器驱动部分有问题。把连接在 74HC00 的 3 号管脚上的 1k Ω 电阻接在 2 号管脚上,确认是否发声。如果仍然不发声,那么像图 4.7(b)那样把信号从门 IC 的输出通过电容器加到扬声器上。这时如果发声,就可能是晶体管电路内部有问题。如果还不发声,那就是振荡器不振荡,或者扬声器有问题。

就这样逐个检查各方框的工作,一定能够发现产生问题的原因。当制作的电路不工作时,用示波器检查是很方便的。例如对于振荡器,由于是原封不动地观察它的波形,所以很容易确认信号究竟达到哪里。



照片 4.3 电子节拍器的制作基板



照片 4.4 电子节拍器电路各部分的工作波形

4.3 利用开关获取数据的方法

4.3.1 开关与数字电路

制作使用数字 IC 的系统时,最困难的部分是 IC 与其他部件的连接。特别是取出数据的部分很容易发生误动作,所以设计时必须充分注意。

设计时应该注意的问题也包括如何尽量使所使用的开关不产生噪声。

按钮开关使用在手动输入时钟、时钟启动·停止的触发电路等场合。触发开关使用在频繁地切换“H”、“L”输入的场合。在手动设置地址或数据的场合使用也很方便。旋转式开关多使用在预先设置数据或者从多个输入中选择其中之一

4.3.2 机械式开关是噪声源

为什么说机械式开关是噪声源?有电接点的开关是利用弹簧力接触的。在断开接触时没有什么问题,但是反过来在接触时由于弹簧力的反作用,在接触的瞬间会离开接点,然后经过多次跳动最后稳定下来。因此,在悬空状态与接触状态之间就产生了噪声(图 4.8)。这叫做颤动。

如果把这样产生的噪声原封不动地输入到门 IC,会产生什么影响呢?由于门 IC 是由阈值电压(确定门 IC 判断是“H”还是“L”的临界电压)决定它的输出状态的,所以当噪声加在输入端时,如图 4.9 所示就会产生一些窄的脉冲。

如果这样的脉冲进入数字电路,原来摁一次开关产生一个输入脉冲的电路,现在变成摁一次就会产生几个脉冲。当然在不利用输入脉冲上升沿、下降沿的场合,即使产生噪声也不会带来什么问题。

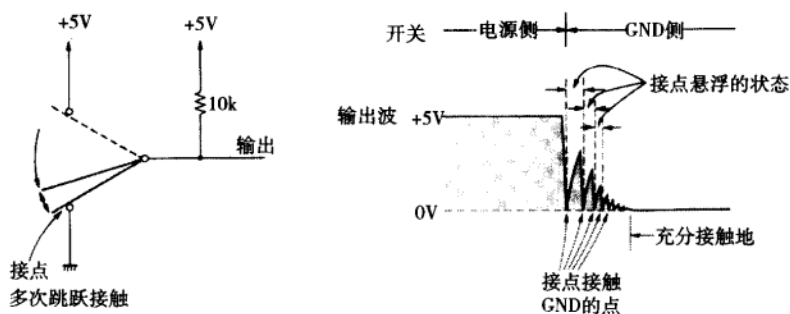


图 4.8 机械式开关的颤动产生噪声的机理

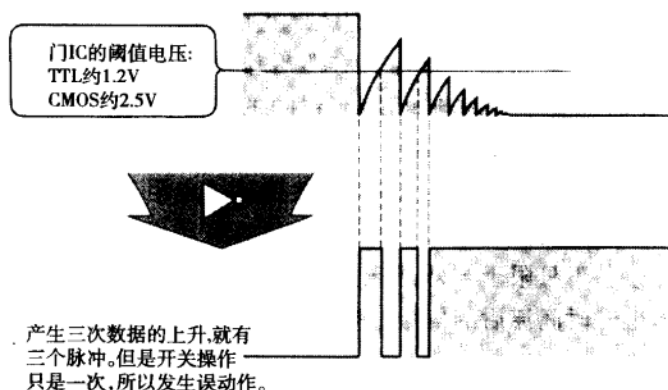


图 4.9 机械式开关噪声原封不动地进入门 IC 时的情况

4.3.3

用 RC 消除噪声

消除机械式开关噪声最简单的方法就是利用电容器和电阻对噪声波形积分。这样就会吸收因接触点跳动所产生的噪声。

图 4.10 的(a)、(b)是具体的电路。分别是摁开关变成“H”的电路和摁开关变成“L”的电路。图 4.10(b)电路的输入通过 $10\text{k}\Omega$ 的电阻接 GND,所以使用 TTL 时不能够确保“L”电平。就是说,由于都变成了与输入“H”相同的状况,所以输出原封不动地变成

“L”。这个电路是 CMOS 专用的电路。

反相器可以使用 74HC04, 不过为了工作更可靠, 推荐使用施密特触发电路型的 74HC14。

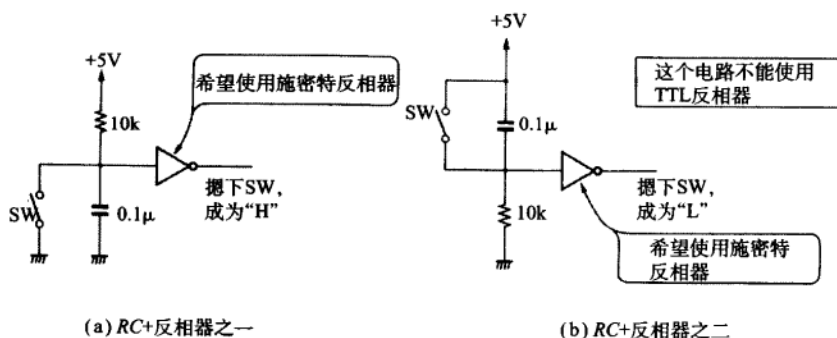


图 4.10 机械式开关的连接法



具有滞后作用的门的制作方法

如果难以弄得输入特性具有滞后作用(“L”→“H”和“H”→“L”变化时具有不同阈值电压的特性)的施密特门(74HC14 等), 也可以使一般的门 IC 具有滞后特性。图 4.11 就是这种电路。它使用两个反相器, 为了具有滞后特性连接了电阻。这个电路也适合于输入阻抗高的 CMOS IC 门。使用具有滞后特性的施密特门非常方便。不只限于与外部连接的接口电路, 对于与噪声大的系统或者上升时间滞后的信号连接也非常有效。

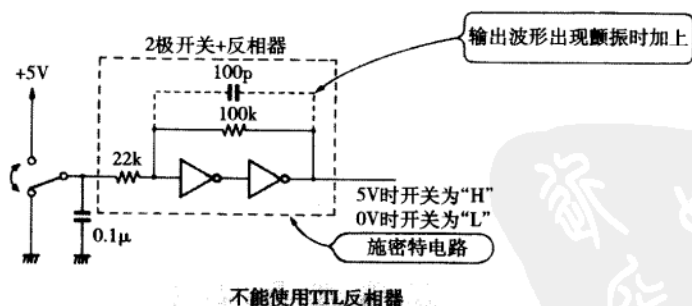


图 4.11 使反相器具有滞后特性的电路



用 R-S 锁存器防止产生噪声

以上的方法的作用是消除已产生的噪声。可以通过在开关中组合锁存器电路,起到不产生噪声的效果。

图 4.12(a)是使用两个 NAND 门的 R-S 锁存器电路。在这个使用 R-S 锁存器的电路中,利用的是开关接点颤动的最初部分取出信号,而不接受后面的噪声。

图 4.12(a)中如果置位开关变为 ON,就给上面的 NAND 门加上“L”。于是输出变为“H”,下面的 NAND 就被加上“H”。是由于另一输入的拉起,只有两个输入都变为“H”,输出才能变为“L”。所以,不论输入置位开关如何变化,输出依然都是“H”。据复位开关时同样地也是利用最初的接触使输出为“L”,以后就不再接受复位开关的颤动。

图(b)是 NOR 型的锁存器,其动作与图(a)相同。但是由于极性的原因,置位开关与复位开关是相反的。

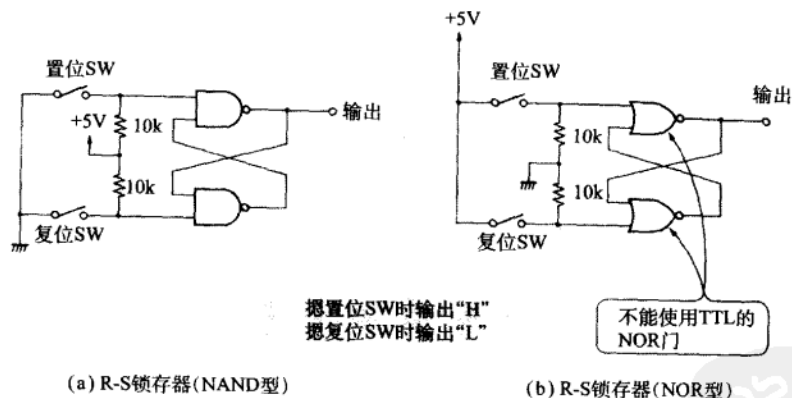


图 4.12 R-S 锁存器电路

第 5 章

电骰子的制作

骰子是博弈游戏必备的工具,用它来随机地选取 1 至 6 的数。
本章介绍电子化的骰子。

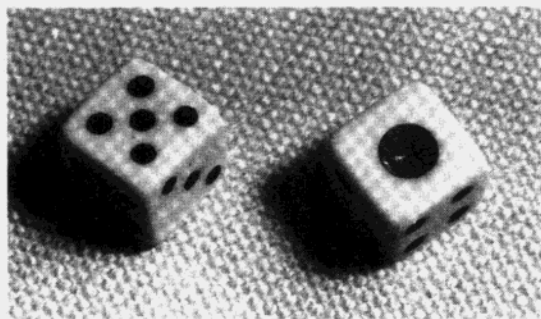
5.1 电骰子的动作

5.1.1 骰子的作用

骰子是有 6 个面的正六面体(照片 5.1)。6 个面上分别刻有 1 到 6 的数。

使用骰子时通常是把骰子摇动掷落,以上面的数作为选取的数字。就是说在掷一次骰子后,就可以从 1 到 6 中选取一个数。没有 1 与 2 之间的小数,例如 1.5 这样的数。只有 1、2、3、4、5、6 这 6 个数。这 6 个数中,每掷一次,其中某个数出现的几率是 $1/6$ 。

所谓 $1/6$ 的几率就是说这 6 个数的出现并不是按照某种顺序,而是随机的。



照片 5.1 升官图之类的游戏中使用的骰子

5.1.2

重新评价骰子的功能

如果撇开骰子形状和使用方法的约束来抽象地评价它的功能,那么骰子就是一种“从1到6的数字中,每次只随机地选择1个数字的选择装置”。

选择装置之类的说法是一种夸张的说法。如果简单地表达它的功能,那就是当摁下开关时,它能够从1到6的数字中选择1个数字。重要的是每次摁下开关时并不知道将会选择哪个数字。

5.1.3

由功能决定结构

作为电骰子在理解了它的功能之后,就可以确定它的规格,即采用什么结构的电路。确定它的规格时最重要的是确定输入和输出部分。即来自外界的信号怎样输入以及怎样表示电路的动作。

来自外界的信号,也就是摇动骰子对应的信号可以利用按钮开关。骰子的点数是从1到6的个位数。如果想原封不动地表现这6个数的话,可以采用7段的LED。

也可以利用LED灯光表示器表现骰子的点。用6个LED分别作为1到6的数字,只需要1个LED发光,同样能够获得表现点数的功能。

还可以考虑采用形状更像骰子的电骰子。图5.1表示骰子点数的形状。如果能够用LED来表示这种点数的形状,看起来就很接近真实的骰子了。

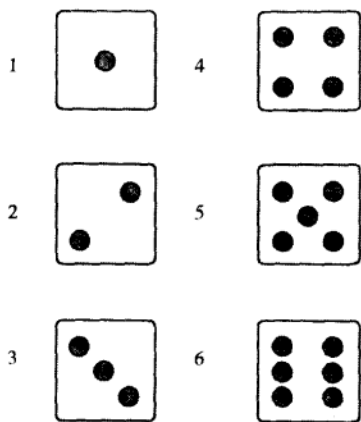


图 5.1 骰子的点数

把 7 个 LED 排列成骰子点数的形状,就可以利用 LED 的发光表示数字。图 5.2 是用 LED 的发光表示点数的例子。使发光部分 LED 的配置接近本来骰子的点数形状,让哪些 LED 发光则由电子电路来决定。

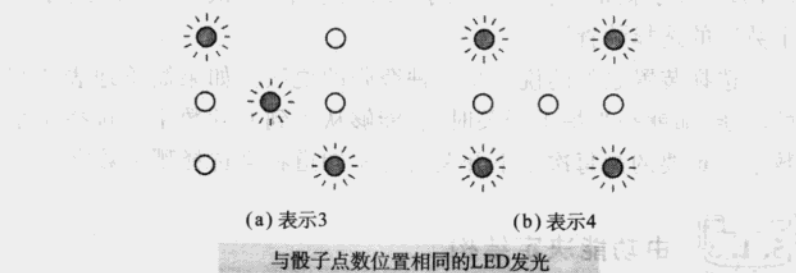


图 5.2 电骰子的 LED 发光例

5.2 骰子表示部分的实验

电骰子是利用所选取的 1 个点数来表示的。在这里省略自动选择的功能,仅就表示部分的电路进行实验。

■ 用 7 个 LED 表现骰子的点数

骰子只处理从 1 到 6 的数字。但是根据 LED 的配置和骰子点数的形状必须有 7 个 LED。通过其中某几个 LED 发光,表现骰子的点数。图 5.3 表示 LED 发光的位置。

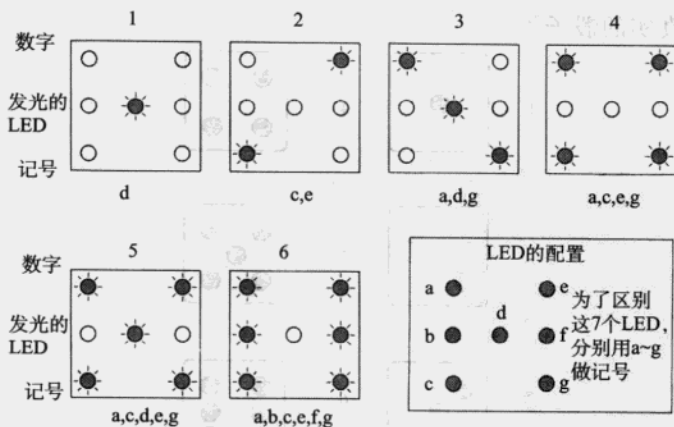


图 5.3 电骰子的 LED 发光组合

7 个 LED 的位置分别用 a~g 字母表示。7 个 LED 发光的所

有组合形式算起来是非常多的。这里仅把其中发光组合相同的LED进行分组,图5.4是分组的情况。从这个结果看出可以分成四个组。图5.4(b)表意味着表示骰子的3、4、5、6点数时a和g这两个LED必须发光。

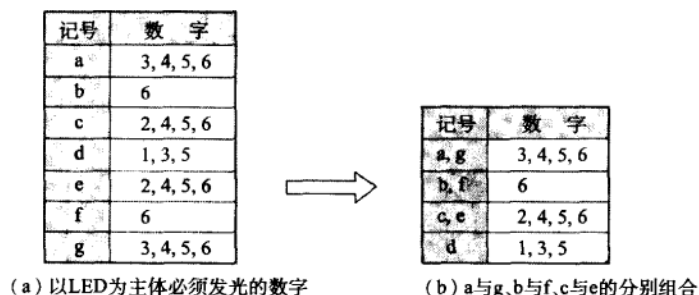


图 5.4 LED 的发光组合

从这个表可以看出这实际上需要利用数字电路中普通的“使用译码器电路……”。还有没有更容易实现的方法?

例如我们分析a和g这一组LED。在这种场合,只要它们对于3、4、5、6这4个点数能够发光就可以了。所谓发光就是“有意义”的意思,就是给它们分配逻辑“1”(“H”电平)。可以看出这种场合具有与4输入OR门相同的功能。

同样地,b、f就是1输入(一般不使用“1输入”这样的说法)OR门,c、e就是4输入OR门,d就是3输入OR门。

鉴于多输入OR门的使用还不怎么普及,可以考虑用NAND门代替。为了用NAND门代替OR门,需要如图5.5那样将所有输入信号反转。这样一来,即使没有多输入OR门也能够实现同样的逻辑功能。



图 5.5 用多输入的 NAND 门实现多输入的 OR 门
(LED a、g 的场合)

用真值表进行确认,可以看出它们的逻辑功能是相同的(图 5.6)。

为了使输入反转,需要反相器。如果输入信号从一开始就是反转的,就可以省略掉反相器。

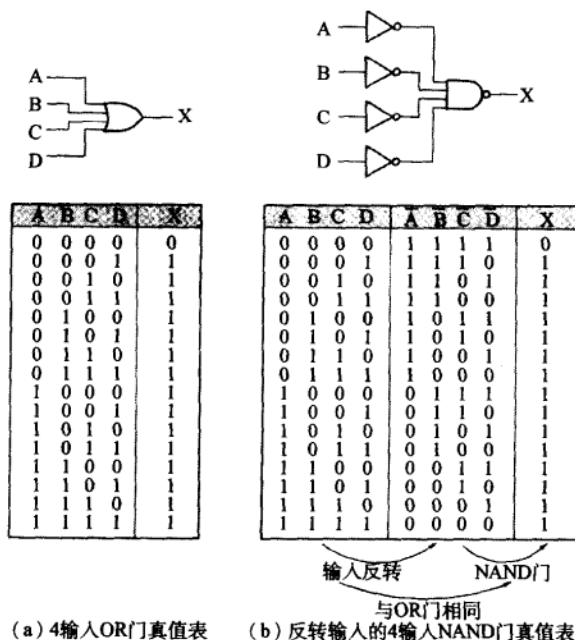


图 5.6 4 输入 OR 门与反转输入的 4 输入 NAND 门的真值表

基于以上的分析可以画出如图 5.7 所示的电路图。4 输入 NAND 门采用 74HC20, 3 输入 NAND 门采用 74HC10。

在实验中没有使用 LED 驱动。如果 NAND 门的输出为“1”, 电流就能够通过 330Ω 的电阻流到 LED 并使它发光。使用了 6 个按钮开关。当分别摁下按钮开关时 LED 就发光并且构成骰子点数的形状。应该使用一松手就 OFF 的按钮开关类型。

当同时摁下两个按钮开关时, 不应该产生正确的点数字形。

上面说过为了使用 NAND 门必须将输入信号反转。不过由于在摁开关时为地(“0”), 松开时为 +3V(通过 $47k\Omega$), 成为“1”, 所以加到 NAND 门上的实际上是与反转结果相同的信号电平。

照片 5.2(a)、(b)是制作例以及基板背面的布线情况。电源使用了两节电池(3V)。

也可以把开关部分与别的电器装置连接使用, 读者不妨试试这个有趣的实验。

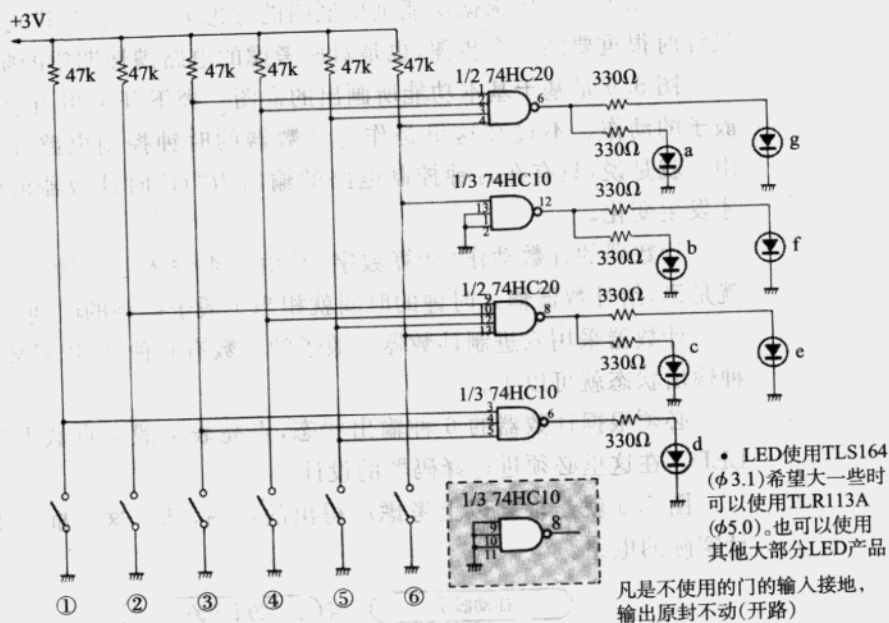
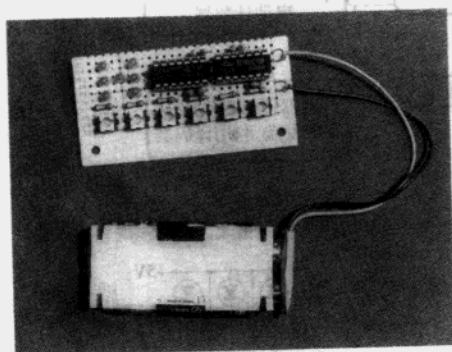
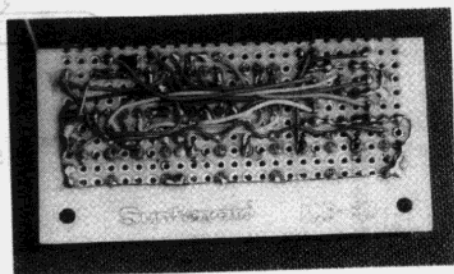


图 5.7 电骰子表示部分的实验电路



(a) 正面及电池盒



(b) 背面

照片 5.2 电骰子的制作基板例

5.3 根据功能框图设计电路

5.3.1 根据基本规格设计框图

确定了基本功能之后, 就应该考虑采用怎样的电路来实现这些功能。

图 5.8 是一例根据功能画出框图的考虑方法。这是进行电路设计时很重要的一个步骤,也是对所考虑的电路满怀期望的阶段。

图 5.9 是基于基本功能所画出的框图。摁下开关相当于摇动骰子的动作。不过在这里是作为计数器的时钟控制电路在起作用。就是说,只有在时钟控制电路的输出为“H”时计数器的输出才发生变化。

计数器的计数动作(计算数字)是由是否输入了时钟决定的。就是说,给计数器输入时钟的时间就相当于骰子摇动的时间。

计数器采用六进制计数器。骰子的点数有 6 种,所以只要有 6 种输出状态就可以了。

必须根据计数器的 6 种输出状态,点亮表示骰子点数形状的 LED。在这里必须进行译码器的设计。

图 5.9 就是根据以上考虑所得出的框图,基于这个框图来设计实际的电路。

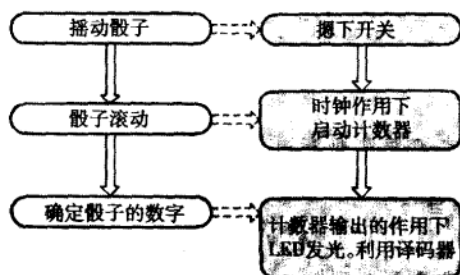


图 5.8 从基本功能到框图

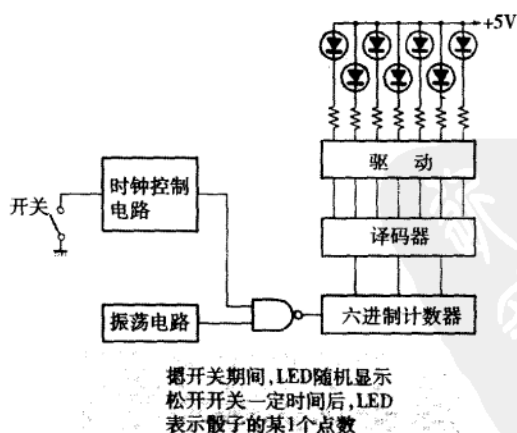


图 5.9 电骰子的框图

5.3.2

设计电路

在功能框图的基础上,开始设计各方框的内容。要求方框的内部电路必须能够保证信号在各方框间方便地交换。例如,必须事先充分确认有几根数据的信号线,“H”和“L”中哪种电平是有意义的信号。

马马虎虎地确定方框间的关系所进行的电路设计往往会使辛苦制作的电路输出数据完全相反。

5.3.3

振荡电路

产生时钟的振荡电路采用 RC 振荡电路。这种电路在稳定性方面比不上石英振荡电路。但是优点是容易通过改变电容器或者电阻值来调整振荡频率,而且价格便宜。所以选择 RC 振荡电路。

使用的元器件包括时钟缓冲器,4 个反相器,2 个电阻和 1 个电容器。

5.3.4

六进制计数器

这是电骰子的核心部分。74 系列中具有六进制功能的产品有 7492。不过这种产品比较陈旧,也没有系列化(只有 TTL 标准型)。所以这里利用触发器制作专用的计数器。

六进制计数器是 n 进制计数器中 $n=6$ 的形式。希望尽量用简单的电路制作,所以计数器采用非同步型计数器。

用非同步型计数器制作 n 进制计数器时,是把触发器并列并对它的输出解码,当为 n 的时候对整个计数器复位。

图 5.10 是非同步型六进制计数器的设计顺序以及完成的电路图。

新华书店
PDF

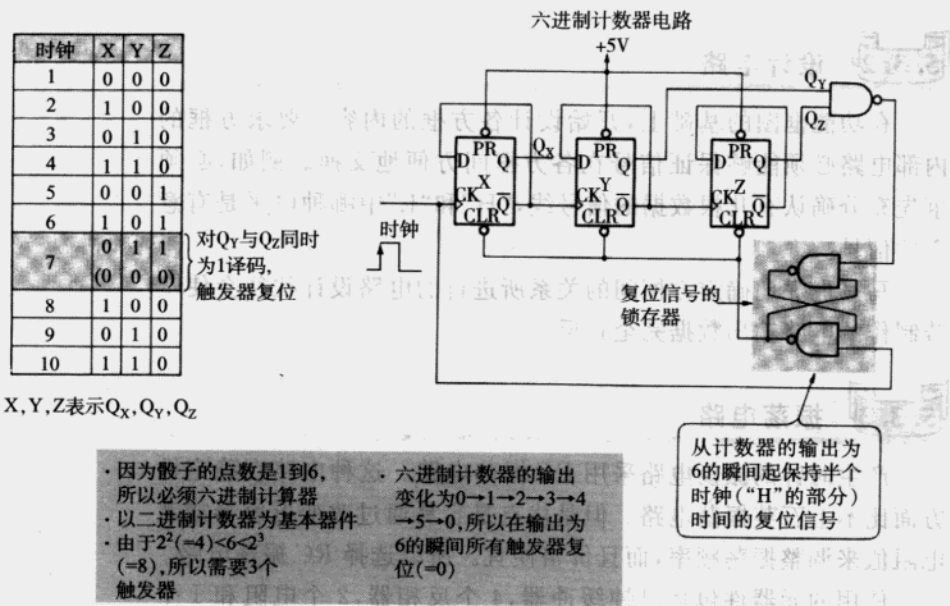


图 5.10 骰子用计数器的设计

5.3.5 译码器的设计

译码器接在计数器的输出上,产生使 LED 发光的信号,LED 发出的光点与骰子点数形状是一致的。

六进制计数器的输出从十进制的 $0(000_2)$ 到 $5(101_2)$ 共有 6 种。如果把各种输出原封不动地用 LED 表示,只能得到二进制的表示。因此使用二进制的数据时,需要确定应该使哪些 LED 发光。

例如,使用 7 段数字表示器时也需要有决定二进制数使 7 段中哪个 LED 发光的译码器,由它来确定形成可读的、最初选取的数字的形状。

欲将 LED 排列成骰子点数的形状,可以用 7 个 LED 表示从 1 到 6 的数。图 5.11 是骰子用译码器的真值表。这个真值表中,7 个排列的 LED 分别用从 a 到 g 的字母表示,它们与各计数器的输出(X, Y, Z)相对应,确定应该使哪个 LED 发光。

从计数器的输出与骰子的点数相对应的立场,就是当 $(X=0, Y=0, Z=0)$ 时为 1,当 $(X=1, Y=0, Z=0)$ 时为 2。所以计数器的二进制输出是一个一个出现的。没有什么特别的问题。作为译码器,只要确定了与输入相对应的输出的逻辑就可以了,并不需要与二进制一致。

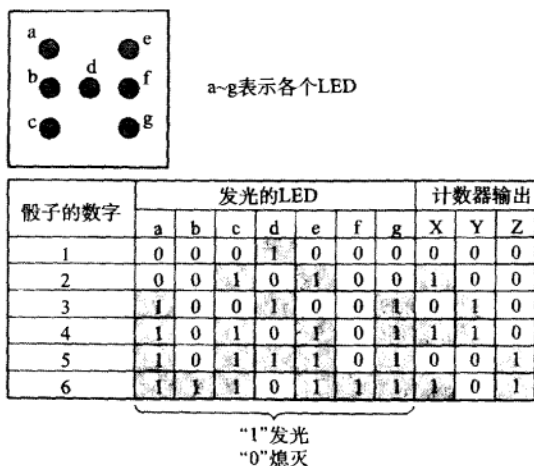


图 5.11 电骰子用译码器的设计

5.3.6

译码器的输入、输出

图 5.12 只是译码器部分的框图。输入是 X, Y, Z, 输出是 a, b, c, d, e, f, g。X, Y, Z 连接计数器的输出。所以输入的是从 0, 0, 0 到 1, 0, 1 的二进制数。

与此相对应, a, b, c, d, e, f, g 的输出服从于图 5.11 真值表的数字输出。但是, 在制作图 5.11 的真值表之前往往需要进行确认。确认的内容是 LED 驱动的极性。是用“1”使 LED 发光还是用“0”使 LED 发光。

如果有时无法确定这一点而必须设计译码器部分的逻辑, 那么就需要追加一个无效逻辑。本实验中使用的 LED 驱动是用“1”使 LED 发光, 所以可以原封不动地使用图 5.11 的真值表。

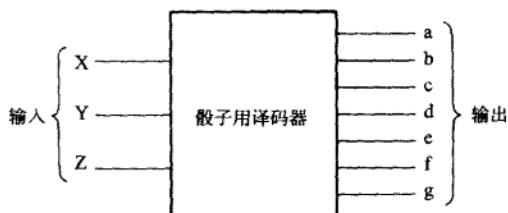


图 5.12 译码器的输入输出



使用卡诺图简化逻辑

我们以图 5.11 的真值表为基础设计译码器逻辑。

首先求 a 的 LED 发光的条件。图 5.13 表示简化逻辑的过程。根据最终得到的布尔代数的结果可以编组逻辑。不过这也许不是最简单的方法。图 5.14 是进一步简化逻辑的方法。

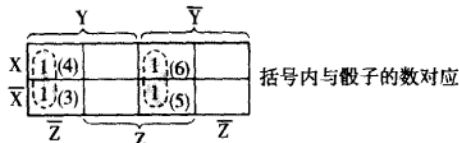
求 a 的 LED 发光的条件

用布尔代数表现与计数器输出(X, Y, Z)的

关系(例: $1 \rightarrow X, 0 \rightarrow \bar{X}$)

$$\text{骰子的数 } a = \underbrace{\bar{X} \cdot Y \cdot \bar{Z}}_3 + \underbrace{X \cdot Y \cdot \bar{Z}}_4 + \underbrace{\bar{X} \cdot \bar{Y} \cdot Z}_5 + \underbrace{X \cdot \bar{Y} \cdot Z}_6$$

使用卡诺图使 a 的发光条件简单化



括号内与骰子的数对应

按照卡诺图 a 用两个条件表示

$$a = Y \cdot \bar{Z} + \bar{Y} \cdot Z$$

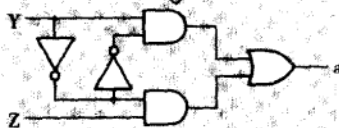


图 5.13 译码器逻辑的设计

将 X, Y, Z 三位组合, 有从 0, 0, 0 到 1, 1, 1 共 8 种结果。但是对于电骰子来说, 只使用其中的 6 种。就是说 0, 1, 1 和 1, 1, 1 这两个组合不作为译码器的输入数据。

利用这一点, 可以修改 a 的发光条件。这两组不输入的数据, 作为译码器的条件来说使用与否都无所谓。

一般来说输入条件多的话, 译码器的逻辑就会简单。作为一个极端的例子, 在所有的输入条件下输出为“1”的场合, 就可以不要逻辑。

图 5.14 简化的结果是 a 变为 Y 与 Z 的 OR 输出。这样一来, 从 a 到 g 都可以同样地进行简化, 其结果示于图 5.15。

从图 5.11 的真值表中看出 a 与 g, b 与 f, c 与 e 各自有相同的逻辑。所以, 从 a 到 g 不需要作出 7 种电路, 只用 4 种电路就可以了。

图 5.15(b)的逻辑是由 AND 或 OR 之类的逻辑构成的。实际

的逻辑 IC 中经常使用 NAND 或者 NOR。这里所有的译码器电路都是由 1 个 NAND 门(74HC00)构成的,这个例子示于图 5.15(c)。

由于 $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 能够使用触发器的 $\bar{Q}$ 输出,所以不需要追加逻辑。从图 5.9 的框图得不到这样的变换。数字电路设计中如果习惯了设计多个电路,也许可以用更少的逻辑完成这种电路,读者不妨自己试试。

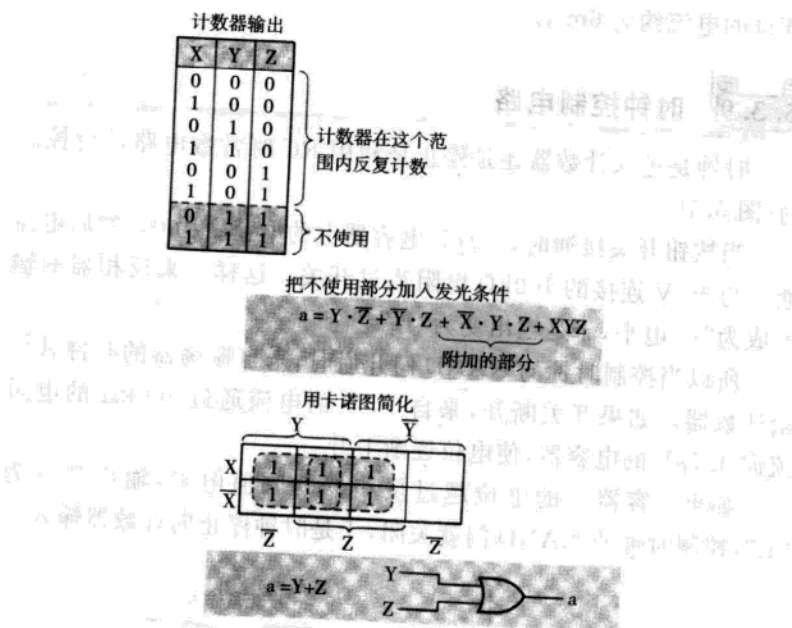


图 5.14 进一步简化的方法

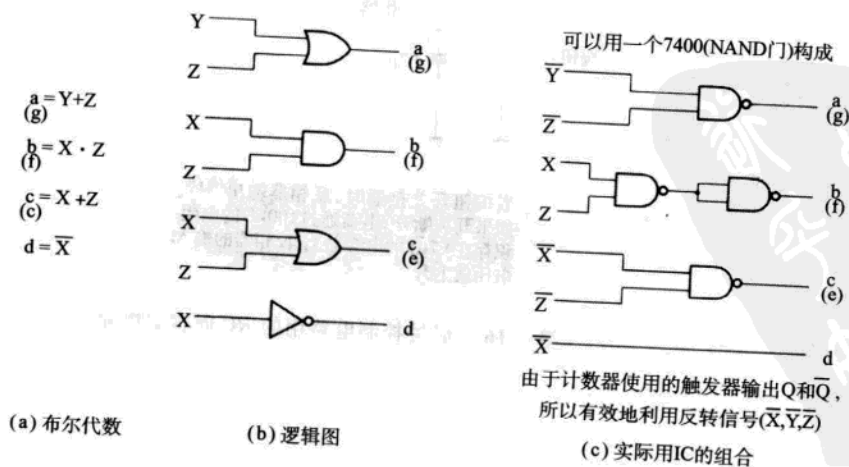
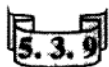


图 5.15 最简单的电骰子译码器



5.3.8 LED 的驱动

LED 的发光使用驱动 IC TD62004P 驱动。当加逻辑“H”电平时,这个 IC 的输出晶体管导通(“L”电平)。 $+5V$ 通过 LED 和电阻接到驱动 IC 上。由于使用了 470Ω 的限流电阻,所以流过 LED 的电流约为 $6mA$ 。



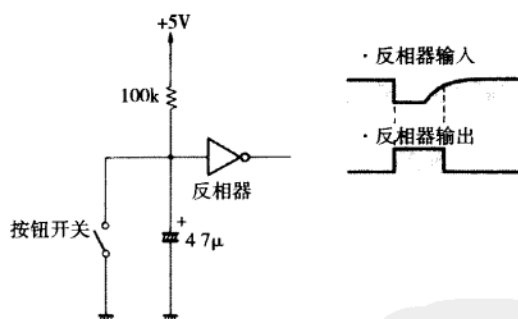
5.3.9 时钟控制电路

时钟是进入计数器还是停止是利用 RC 时常数电路进行控制的(图 5.16)。

当按钮开关接通时, $4.7\mu F$ 电容器上的电荷变为 0。然后电流通过与 $+5V$ 连接的 $100k\Omega$ 电阻流过开关。这样一来反相器的输入成为“L”电平,于是输出变为“H”。

所以当控制时钟的 NAND 门开启时,来自振荡器的时钟就供给计数器。如果开关断开,来自 $+5V$ 的电流通过 $100k\Omega$ 的电阻流向 $4.7\mu F$ 的电容器,使电位逐渐上升。

如果电容器上的电位越过反相器的阈值电平,输出就变为“L”,控制时钟的 NAND 门就关闭,于是时钟停止向计数器输入。



当按钮开关接通时,反相器输出“H”。
如果开关断开,电荷通过 $100k\Omega$ 的电阻
积存在 $4.7\mu F$ 的电容器上,反相器的输入
电压就上升

图 5.16 时钟控制电路用的 RC 时常数电路



电骰子的电路图以及制作

综合以上各方框的设计,就得到图 5.17 的电路图。电路图中关于各逻辑的 B1、A2 等记号表示它在实际制作基板上 IC 的位置。把这种记号和管脚号标记在电路图中,给布线带来很大的方便。

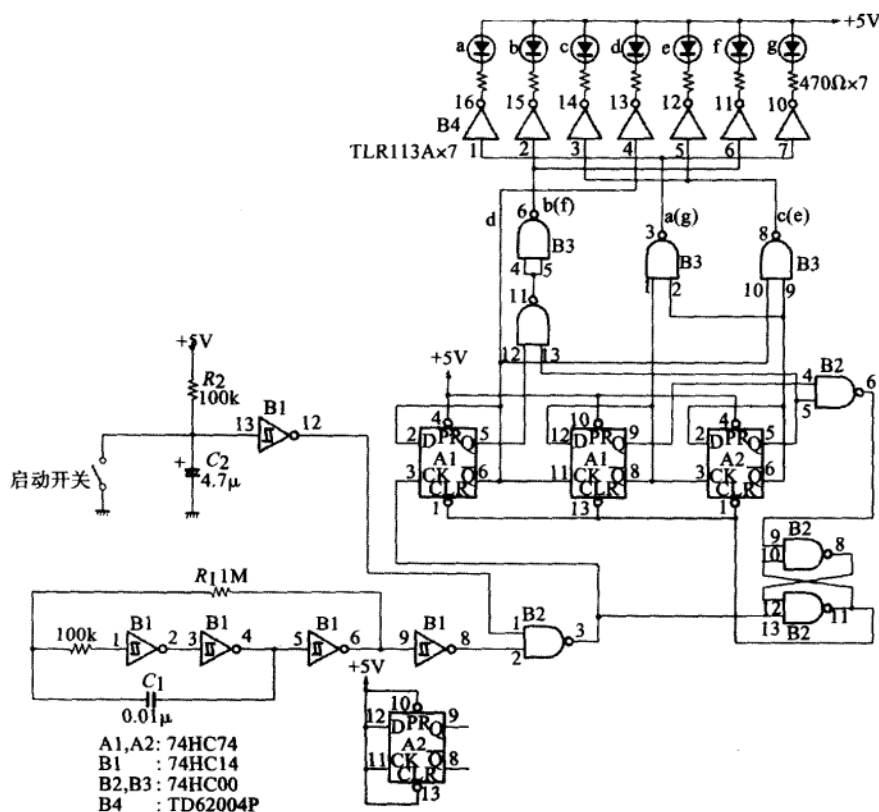


图 5.17 电骰子的电路

照片 5.3 是制作的电骰子例。整个电路只使用了 6 个 IC,所以可以方便地配置在 1 块基板上。图 5.18 是元器件配置图。

在全部元器件配置完毕,并确认布线后再接上电源。

当摁下启动开关时,7 个 LED 随机地发光或熄灭。松开开关后约经过 1~2 秒,就应该停止在某 1 个骰子点数上。如果一直停不下来,那么需要检查 B1 的 13 号和 12 号管脚。

如果 13 号管脚不是“H”,可能是连接错误或者电容器损坏。

当 LED 的发光与骰子的点数不同时,可能是译码器逻辑的连接错误或者计数器复位电路出现错误。

当 LED 的闪光过快或者过慢时,可以通过改变 RC 振荡电路 R_1 ($1\text{M}\Omega$) 或 C_1 ($0.01\mu\text{F}$) 的数值进行调节。希望改变从断开开关到 LED 停止闪光的时间时,可以通过改变连接在 B1 的 13 号管脚上的 R_2 电阻 ($100\text{k}\Omega$) 或者 C_2 电容器 ($4.7\mu\text{F}$) 来实现。这些值愈大,到停止的时间就愈长。

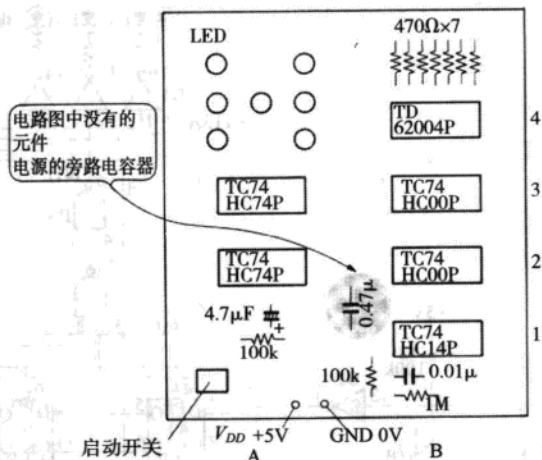
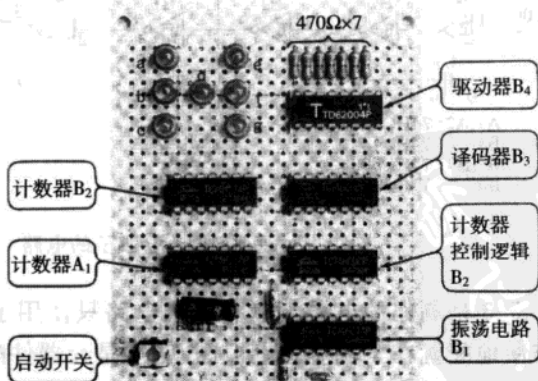


图 5.18 电骰子的元器件配置图



照片 5.3 电骰子的制作基板

5.4 利用卡诺图简化逻辑的方法

5.4.1 把布尔代数变换为逻辑

利用布尔代数可以表现复杂的逻辑。布尔代数是通过对输入的组合来表现某输出为“H”的条件。它是以 AND(·) 和 OR(+) 的组合为基础的。

图 5.19 是用布尔代数表现的逻辑以及实现该逻辑的电路图。例如,所谓 $A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$ 表示 A 与 B 是“H”,C 与 D 为“L”的时候。符号“+”表示如果它们的各个条件都成立,那么输出 X 就为“H”。图 5.19 的例子表示如果 6 个条件中的任一个成立,那么输出就是“H”。所以从逻辑上条件的抽出就连 AND 门都能够进行判断何况使用 OR 门。

$$X = \underbrace{A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}}_{(a)} + \underbrace{A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D}_{(b)} + \underbrace{A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}}_{(c)} + \underbrace{\bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}}_{(d)} + \underbrace{\bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D}_{(e)} + \underbrace{A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D}_{(f)}$$

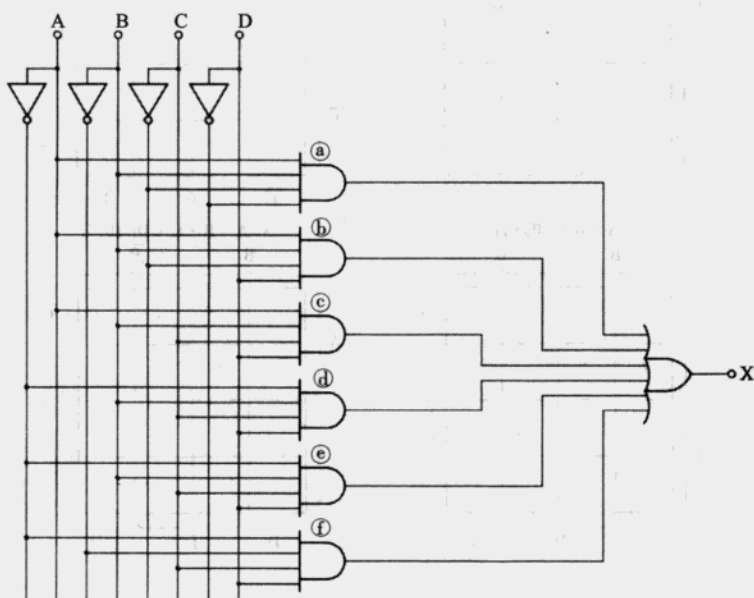


图 5.19 布尔代数逻辑的实现

输入信号是 A, B, C, D 这 4 个。为了产生 $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$ 信号而

使用 4 个反相器。例如(a)的 $A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$ 是把 A, B 的输入原封不动地输入给①的 AND 门, $\bar{C}, \bar{D}$ 是把各自的反相输出输入给①的 AND 门。于是①的 AND 门在 $A="H", B="H", C="L", D="L"$ 时, 输出就成为“H”。这样从①到⑥的 AND 门中的任一个如果都是“H”, 那么输出 X 就为“H”。



逻辑的简化

图 5.19 的电路是由 4 个反相器、6 个 4 输入 AND 门、1 个 6 输入 OR 门构成的。能不能用较少的门来实现完全相同的功能呢? 如果使用的门很多, 会给布线带来很大的麻烦, 也增加了发生错误的几率。所以希望能够用尽量少的门实现同样的功能。

逻辑的简化有许多方法。这里介绍适合于简化比较小电路的卡诺图使用方法。所谓卡诺图就是把输入条件原封不动地作为图形表现出来(图 5.20)。

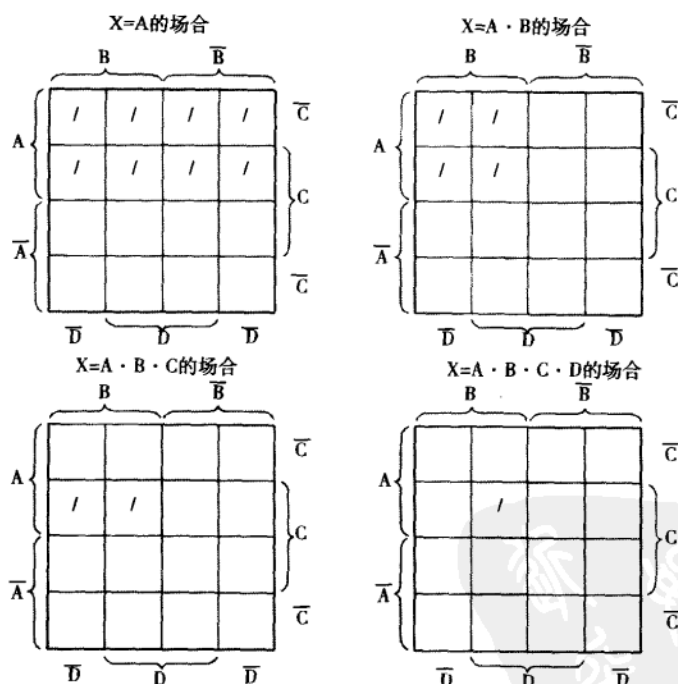


图 5.20 卡诺图的表示方法

在有 4 个输入の場合, 它的组合数是 $2^4=16$ 。在图 5.19 的例子中, 是由 6 个条件决定输出的, 所以 16 个中填满了 6 个。例如

(a)的条件是 A 与 B , 还有 $\bar{C}$ 与 $\bar{D}$, 所以就是左上角的部分。所以记入/记为这个部分。从(a)到(f)都分别做出标记, 就成为图 5.21 所示的那样。现在来考虑简化的问题。在图 5.21 中, 把 $A \cdot \bar{A}$ 重叠的部分整理在一起。(b), (c), (d), (e) 这 4 个全都包含 A 的部分和 $\bar{A}$ 的部分, 所以整理在一起。(a)和(b) (译者注: 此处原文为“(1)和(2)”, 似为印刷错误) 包含 D 和 $\bar{D}$, 所以它们也成为 1 个。(d)和(f)包含 B 和 $\bar{B}$, 所以整理为 1 个。这样的三部分全部覆盖了从(a)到(f), 所以输出信号就与图 5.19 的电路中把(a)到(f)的 AND 输出进行 OR 的结果相同。

把这三部分用布尔代数整理就是

$$X = A \cdot B \cdot \bar{C} + B \cdot D + \bar{A} \cdot C \cdot D$$

把这个布尔代数变换为逻辑, 就是两个 3 输入 AND 门和 2 输入 AND 门以及 3 输入 OR 门。由于 $\bar{B}$ 和 $\bar{D}$ 不作为输入条件, 所以输入部分的反相器只需 $\bar{A}$ 用和 $\bar{C}$ 用的两个就够了。

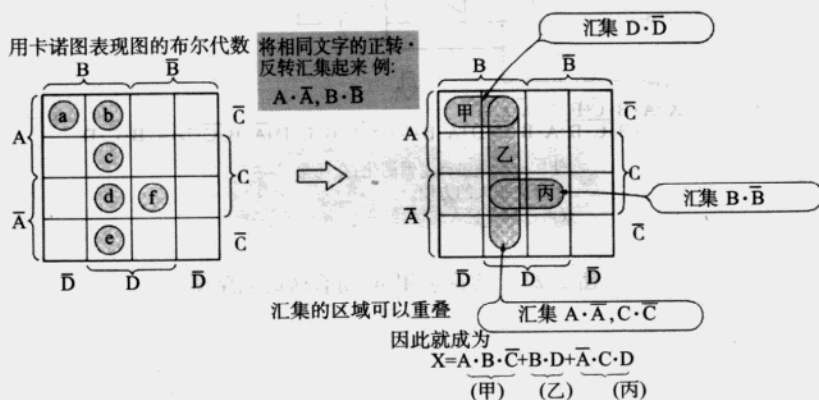


图 5.21 使用了卡诺图的逻辑简化

5.4.3

实际使用 IC 的电路

用布尔代数表现的电路是以 AND 门和 OR 门的组合为基础的。多级输入的 AND 门或 OR 门的种类不太多。所以在实际使用逻辑 IC 组合电路的场合, 是使用 NAND 门。AND-OR 组合与 NAND-NAND 是相同的。所以, 图 5.22 的逻辑与图 5.23 的逻辑是相同的。

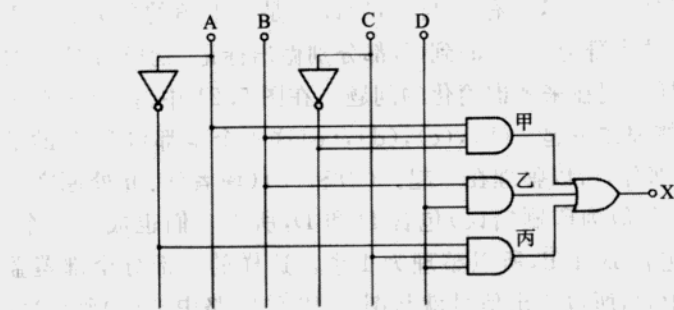
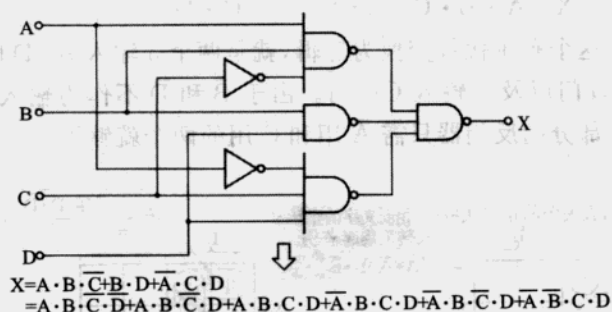


图 5.22 简化的逻辑图



使用卡诺图进行逻辑简化,在视觉上带来很大的方便。
(可以划分更大的区域)

图 5.23 实际使用 IC 组合时的电路图

第 6 章

电子旋转圆盘的制作

本章介绍在游戏中心或者拉斯维加斯游乐场所常见的赌博用旋转圆盘——用数字 IC 制作它。首先就这种看起来比较复杂的旋转圆盘,理解它的游戏方法。

6.1 旋转圆盘游戏的玩法

6.1.1 旋转圆盘的玩法

旋转圆盘是从 38 个数字中选择一个得中数字的游戏。根据不同的选择数字方法,得中的倍率也在变化。

图 6.1 是旋转圆盘的游戏盘。这种游戏的规则是在游戏盘上放置筹码,如果得中所选的数字,根据它所在的位置将返还表 6.1 所示倍率的筹码。

决定得中旋转圆盘数字的器具如照片 6.1 所示。中间刻有数字,并放置一个小球。旋转中间的数字盘后,小球最后停止处的数字就是得中的数字。现在的任务就是要把决定得中数字的部分电子化。

表 6.1 旋转圆盘的规则

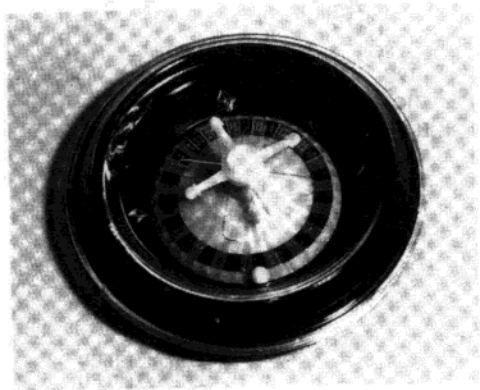
放置筹码的位置		得中的倍率
A	00 和 19~39 的 19 个数字,或者 0 和 1~18 的 19 个数字	1
B	全部黑数字或者红数字	1
C	0 和奇数,或者 00 和偶数,各 19 个数字	1
D	纵向一列 12 个数字	2
E		
F		

续表 6.1

放置筹码的位置		得中的倍率
G H I	1~12 13~24 25~36 } 各 12 个数字	2
J	横向 2 行 6 个数字	5
K	4 个数字	8
L	横向 1 行 3 个数字	11
M	2 个数字	17
N	1 个数字	35

			0	00				
00 ㉔ 19~36			1	2	3	㉔ 0 1~18		
			4	5	6			
			7	8	9			
			10	11	12			
黑 ㉕			13	14	15	㉕ 红		
			16	17	18			
			19	20	21			
			22	23	24			
00 ㉖ 偶数			25	26	27	㉖ 0 奇数		
			28	29	30			
			31	32	33			
			34	35	36			
㉗ 1 12	㉘ 13 24	㉙ 25 36	㉚ A	㉛ B	㉜ C	㉝ 1 12	㉞ 13 14	㉟ 25 36

图 6.1 旋转圆盘放置筹码的位置



照片 6.1 旋转圆盘

6.1.2 把旋转圆盘置换为电子电路

首先考虑的问题是“制作成怎样的形状?”旋转圆盘是在圆形的盘上写入数字,旋转这个数字盘。我们设想所制作的器具应该尽量与这种形状相同。从这个设想出发,将 LED 排列成圆形,并且使它们依次发光。

这就是说把 LED 当作旋转的小球。经过一段时间后,某一个数字处的 LED 发光,这个数字就是得中的数字。

如图 6.2 所示,数字有黑、红之分。数字不是按顺号而是随机分布的,所以 LED 发光的顺序也必须是一周一周地沿图 6.2 的圆旋转。

本来数字的颜色有红色和黑色。红色数字使用红色 LED,它发光就显现红颜色;但是没有黑色的 LED,所以得中黑色数字使用绿色的 LED 表示。

本来的旋转圆盘中由于球的滚动会发出声音。这种声音也是无规则的,所以不能够准确地再现。但是与 LED 发光同步地发出什么声音也是需要考虑的。

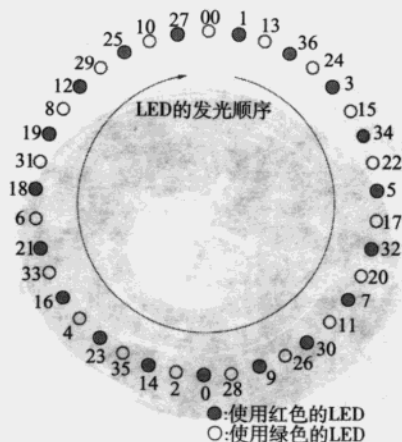


图 6.2 旋转圆盘的 LED 和数字排列

6.2 根据旋转圆盘的框图设计电路

6.2.1

建立旋转圆盘的框图

在确定基本的设计方案时首先要论证电路结构。按序号点亮圆形排列的 LED(当然在某一瞬间只能有一个 LED 发光,其余的 LED 必须熄灭)好像需要复杂的电路。但是这里只有停顿而不会超前。

按序号移动数据的现象使我们想到了移位寄存器。

移位寄存器的动作是输入的数据随着时钟顺序地移动。如果把输出与输入连在一起,数据在移位寄存器中就会一周一周地循环移动。

如果确定点亮 LED 的数据为“H”,那么在移位寄存器中只需有一位“H”的数据移动就可以了。然后在移位寄存器的输出加上 LED 的驱动,就可以使 LED 发光了。

6.2.2

38 个数字,需要制作 38 位的移位寄存器

旋转圆盘中使用的数字是 0 和 00,以及从 1 到 36 共计有 38 个。所以需要 38 个 LED,决定它闪光的移位寄存器也应该有 38 位。

从最后的输出把数据又返回到最初的输入。不过并不是单纯地连接。因为这 38 位中只能有 1 位是“H”,其他的必须为“L”。

如果简单地对移位寄存器复位,那么所有的数据都将变为“L”。所以在复位时应该使最初的寄存器置位为1。在这里只产生1位“H”的数据。

LED发光的驱动是输入“H”时发光,输入“L”时熄灭。

为了使移位寄存器中的数据移动,就需要有时钟。时钟的发生采用RC振荡电路。还需要有时钟控制电路来控制时钟的发生或者停止。设置一个启动开关使旋转圆盘旋转,还需要设置停止开关使它的动作停止。

小球滚动的声音可以利用第4章电子节拍器的电路产生。

基于以上设计思想,就得到图6.3的框图。

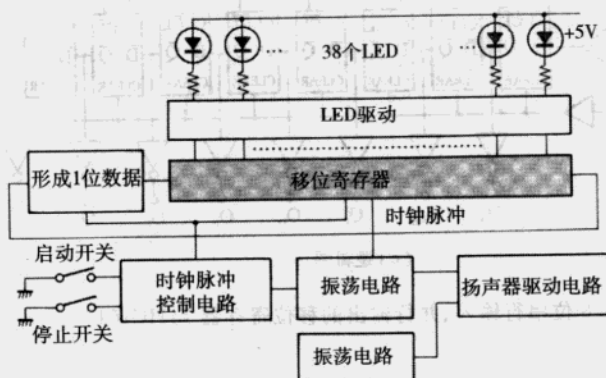


图 6.3 电子旋转圆盘电路的框图

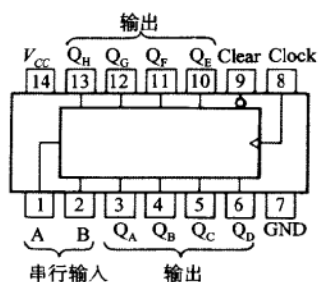
6.2.3 旋转圆盘电路的设计

38位的移位寄存器需要连接38个D触发器。不过这样做需要的布线量很大,很费功夫。应该考虑采用其他方法。

74系列中有把某些功能集成在1个管壳内的产品。作为移位寄存器使用的IC中,本实验使用了型号为74HC164的IC(图6.4)。

74HC164是串行输入、并行输出的8位移位寄存器。如果使用5个74HC164就成为 $8\text{位} \times 5\text{个} = 40\text{位}$,这样作为38位的移位寄存器是够用了。

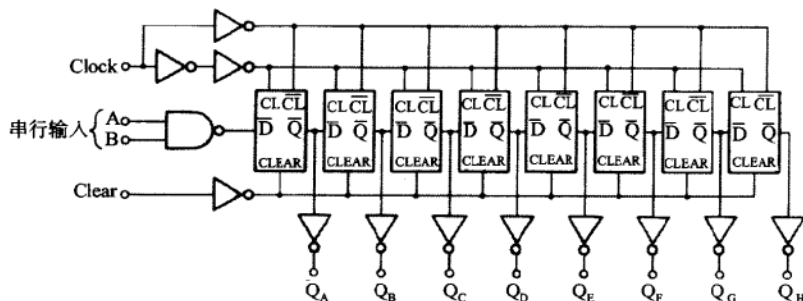
74HC164是把最后的第8位输出连接到下一级74HC164的串行输入。而且不使用最后一个74HC164的2位。复位线与时钟连接。



(a) 管脚连接图

输入			输出		
Clear	Clock	A B	Q _A Q _B ... Q _H		
L	X	X X	L L L		
H	L	X X	Q _{A0} Q _{B0} Q _{H0}		
H	↑	H H	H Q _{An} Q _{Gn}		
H	↑	L X	L Q _{An} Q _{Gn}		
H	↑	X L	L Q _{An} Q _{Gn}		

(b) 真值表



(c) 逻辑图

图 6.4^[1] 8 位串行输入、并行输出的移位寄存器 74HC164

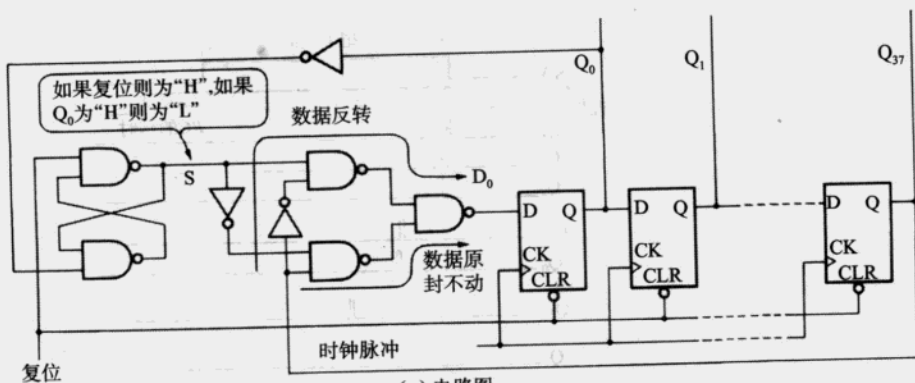
制作 1 位“H”的电路

如果从移位寄存器的最后输出把数据返回到输入,那么相同的数据就会一周一周地在移位寄存器中周转。旋转圆盘就巧妙地利用了这一点。不过最初必须只设置 1 位为“H”。这个电路使用了选数器和 RS 触发器。

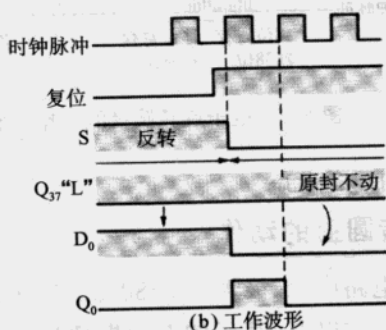
当加上复位脉冲(“L”)时,移位寄存器将全部变为“L”。如果这样原封不动地传送数据,那么将会全部变为“L”。因此在复位以后应该立即把从最后的寄存器返回的数据反转。而且当第 1 位的输出是“H”后,反转应被停止。这样一来,第 1 位的“H”就会依次在移位寄存器中移动。

图 6.5 是只有 1 位为“H”的电路。利用这个电路也可以把 2 位、3 位设为“H”。当连续 2 位设为“H”时,只要能够利用 Q1 的输出使 RS 触发器复位就可以。

把以上各方框综合起来就得到图 6.6 的总框图,图 6.7 是它的工作波形。



(a) 电路图



(b) 工作波形

图 6.5 只有 1 位为“H”的电路

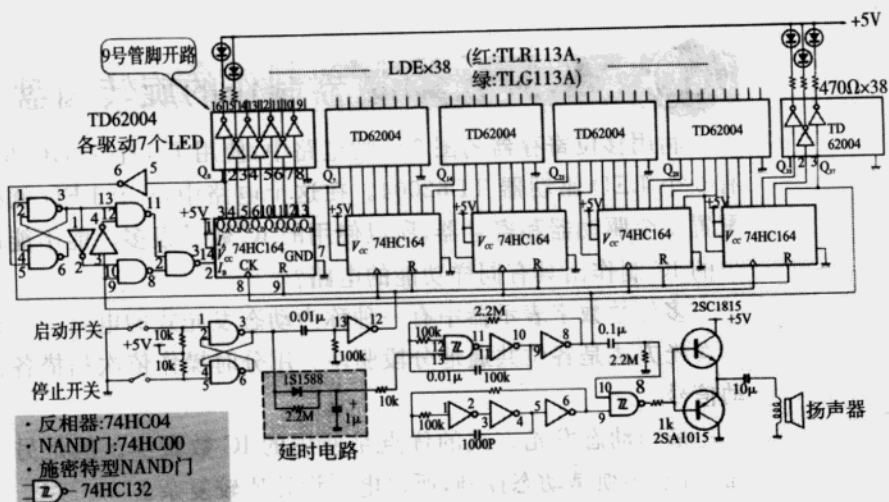


图 6.6 利用移位寄存器的电子旋转圆盘电路

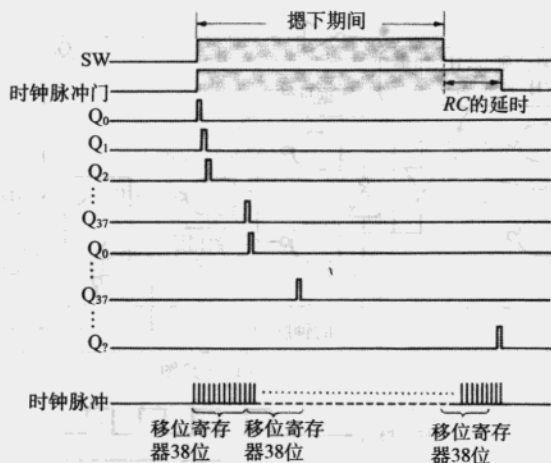


图 6.7 电子旋转圆盘的工作波形

6.2.5

旋转圆盘的动作

图 6.6 的电路中,二极管 1S1588、 $2.2\text{M}\Omega$ 的电阻以及 $1\mu\text{F}$ 的电容器构成了延时电路,其目的在于即使按下停止开关时钟也不会立即停止。如果按下停止开关后时钟立即停止,那么 LED 发光就会随意地被停止,这样就失去了游戏的偶然性。

6.3

利用环形计数器制作的旋转圆盘

利用移位寄存器的图 6.6 的电路中,使用了 5 个 74HC164,还有 6 个 LED 驱动器 TD62004。在这个电路中,1 个 LED 就必须配置 1 个驱动器和寄存器,所以使用的 IC 数目很多。能不能以更少的 IC 制作出具有同样功能的电路?

多位数数字表示器中有一种称为动态发光式的电路。这种动态发光方式是各位共通地分段驱动。用分时操作依次扫描各位驱动信号。

采用动态发光方式的优点是使用的 IC 数量少。但是另一方面,由于必须是动态控制,所以电路设计比较复杂。

但是电子旋转圆盘中只要求顺序地点亮 LED,电路并不是那么复杂,所以可以考虑采用这种方式。

■ 利用环形计数器

环形计数器可以方便地使数据一位一位地移动。环形计数器是利用移位寄存器做成的。在利用 38 位移位寄存器电路(图 6.6) 的场合也可以用环形计数的方式替代只有 1 位为“H”的电路,但是它需要 38 输入的门,所以是不现实的。在这里使用了 8 位和 5 位的环形计数器,将它们组合起来实现动态发光的方式。

图 6.8 是动态发光的顺序号。这里从 1 到 38 的数字不是旋转圆盘的数字,而是表示序号。所以分别分配 1~36 和 0,00。

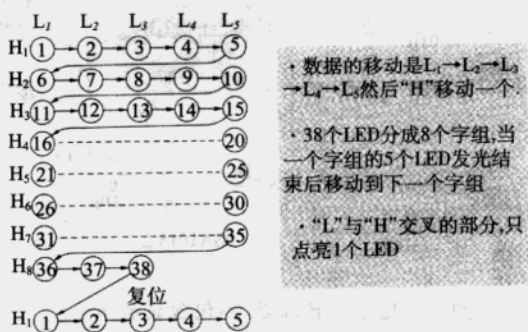


图 6.8 LED 的动态发光

图 6.9 是控制电路。这里没有特地使用专用的驱动,而是利用 74HC04。

环形计数器使用的是 74HC164 和 NOR 门。令 5 位环形计数器的输出为 $L_1 \sim L_5$, 8 位环形计数器的输出为 $H_1 \sim H_8$ 。

复位同时处理两个环形计数器。复位时 74HC164 的输出全部变为“L”。所以 NOR 门的输出为“H”。移位寄存器读入这个“H”并输入时钟后,就依次移动数据。当移动“H”数据,所有输出为“L”时,就变成与复位相同的状态,而且 NOR 门的输出也变成输出“H”的最初的状态。所以,在环形计数器中复位动作是没有必要的,而旋转圆盘中由于 LED 的数目有 38 个,所以它的复位是必要的。这就是说,由于能够构成 $5 \times 8 = 40$ 种组合,所以可以用第 39 个时钟进行复位。

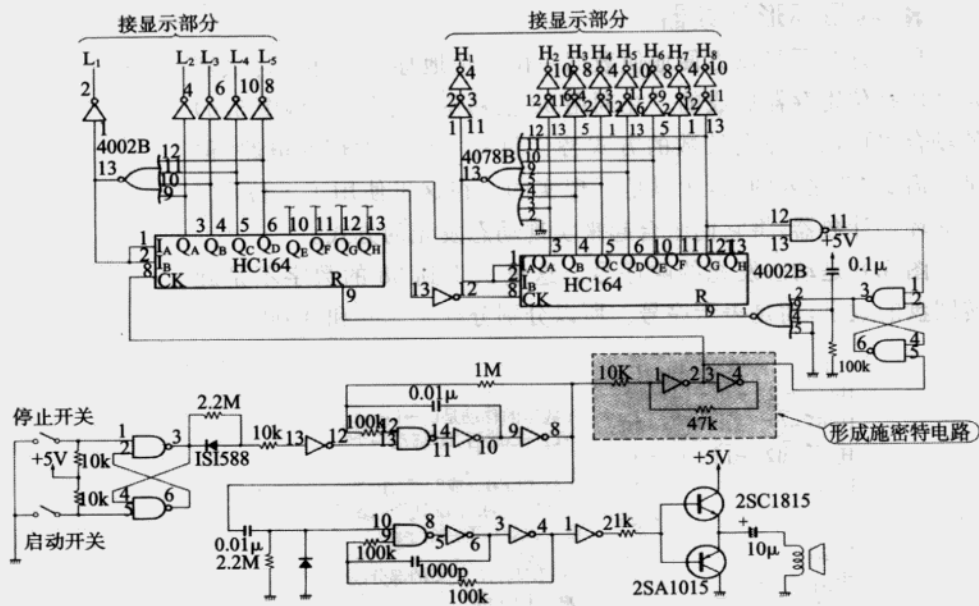


图 6.9 利用环形计数器的电子旋转圆盘(不包含显示部分)

由于 5 位环形计数器的输出完全反转,所以变成了“L”的数据移动。与此相对应,8 位环形计数器是没有反转的数据,当然移动的就是“H”数据。所以,LED 的电流是从 $H_1 \sim H_8$ 流向 $L_1 \sim L_5$ 。

图 6.10 是 LED 的连线方法。5 个 LED 为一组,共有 7 组,加上 3 个 LED 的一组共计 38 个 LED 进行连线。与图 6.6 的电路相比,LED 的连线比较复杂,所以在布线时要特别注意。如果连线发生错误,LED 发光的顺序就会错乱。

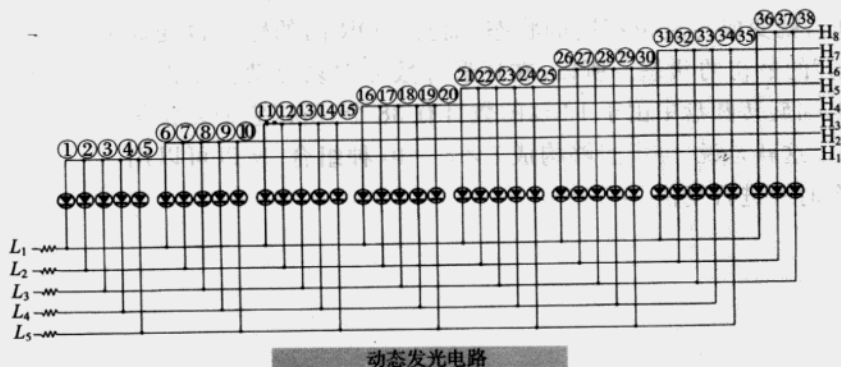
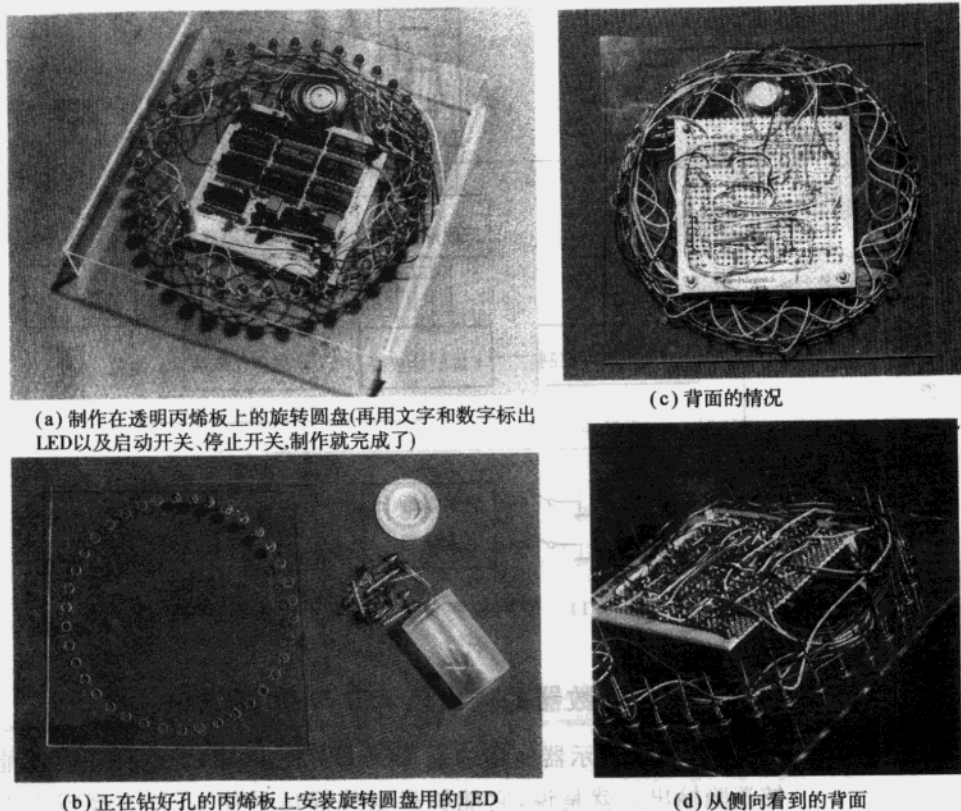


图 6.10 利用环形计数器的电子旋转圆盘的显示部分

照片 6.2(a)~(d)是制作例。



照片 6.2 使用 LED 的旋转圆盘制作例(采用环形计数器)

6.4 用数字表示器制作旋转圆盘

6.4.1 用 7 段数字表示器制作旋转圆盘

用 38 个 LED 制作旋转圆盘时使用的部件很多,制作也很费功夫。这里介绍用数字表示器制作的旋转圆盘。

从 1 到 36 的数字以及 0,00 共计有 38 种数字,只要从其中选择 1 个就可以了,可以所以利用计数器使它简化。

图 6.11 是它的框图。是由能够读到 36 个数的计数器、显示的译码器、时钟及其控制电路所构成。这个框图中稍微花费功

夫的是表示 0 与 00 的部分。我们来分析它为什么费功夫。

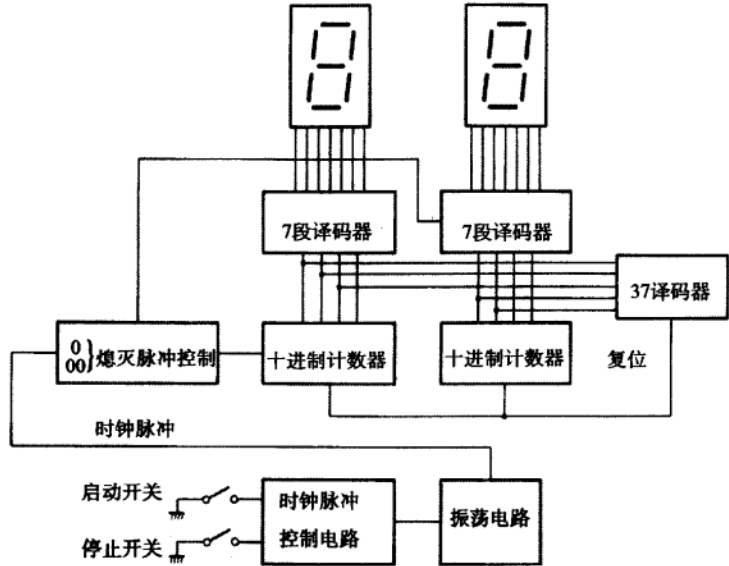


图 6.11 使用数字表示器的电子旋转圆盘的框图



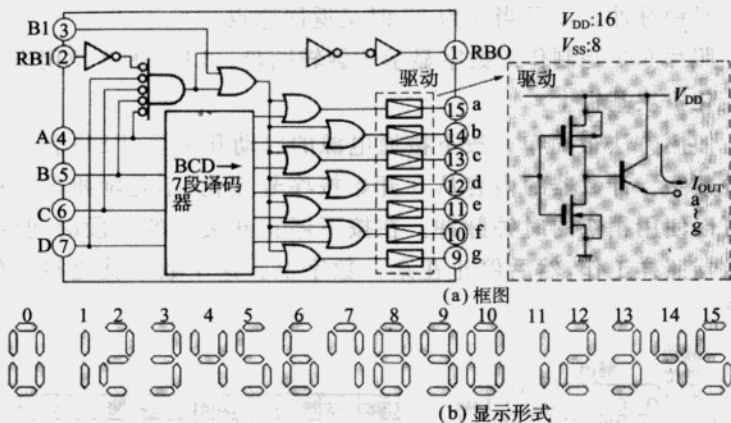
用计数器的输出表示 0 与 00 的方法

7 段数字表示器使用的是 TC5022(图 6.12)。这种译码器能够消隐输出。就是说,它能够根据外部信号使 LED 点亮或者熄灭。

从数字角度看 0 与 00 都是 0,不过在旋转圆盘中使用时却是有区别的。当按序号计数时,计数为 0, 1, 2, 3, ..., 所以不能表示, 0 二次。

在 2 位 LED 的场合,能够只用 1 位表示从 0 到 9 的数字,不需要第 2 位。在这个部分,用来控制第 2 位的 0 究竟是加上还是去掉它的控制信号叫做脉动消隐,它在计数输出为 0 时具有消除高位的 0 的功能。

这里巧妙地利用了这种输入端。就是说当计数器的输出为 0 时,最初表示为 00。然后输入时钟,置消隐信号为“H”,消除高位的位数。于是就成为只有 0 这 1 位的表示。这样原封不动地输入时钟,就可以原样地用 0→1→2→3 到 9 的 1 位显示来表示 10 以后的 2 位数。

图 6.12^[2] BCD→7 段译码器/驱动器 TC5022

6.4.3 旋转圆盘的三十六进制计数器

旋转圆盘最大的数是 36。所以需要有能够计数到 36 的计数器。这次我们使用的是 74HC160(图 6.13)。

时钟和复位是共通的,各自计数器的输出通过 7 段译码器连接到 LED。

如果使用两个 74HC160 就可以计数到 99。不过现在没有这个必要。所以在检出 37 这个输出后就使计数器复位。这里可以使用最大计数为 36 的计数器。

时钟发生器、启动开关、停止开关与前面制作的旋转圆盘相同。但是省略了发声部分的电路。

图 6.14 是数字显示的旋转圆盘的电路图,图 6.15 是工作波形。由于只是计数器,所以内容并不复杂。

这个电路的要点是巧妙地利用了消隐输入。进行这种控制的是 D 触发器。当给输入加复位时,D 触发器也同时复位。由于 Q 的输出是“L”,所以 NAND 门关闭,不给计数器提供时钟。这时两个计数器 74HC160 的内容都为 0。并且消隐控制信号从触发器的 Q 输出接续到高位 TC5022。由于复位时是“L”,所以高位的位数也表示 0。就是说应该变成 00。

当进入 1 个时钟脉冲时,触发器的 Q 输出就变为“H”。这时两个计数器的输出都原封不动地为 0。而且由于高位 TC5022 的消隐控制变为“H”,所以显示消失。就是说,只有下位的 0 发光。从下一个时钟脉冲开始,NAND 门已经打开,所以向计数器

提供时钟脉冲。而且当变为 37 时又返回原点。

照片 6.3 是制作的数字显示的旋转圆盘。LED 的 2 位用电路安装在 1 块基板上。

使用方法很简单。按下接通电源的启动开关后,LED 就显示各种数字。计数器的内容从 0 开始按序号变化,不是随机的。所以可以使用稍快的时钟脉冲。在按下停止开关后的一段时间内,计数器照样工作,然后停止在某一数字上。这个数字就是得中的数字。

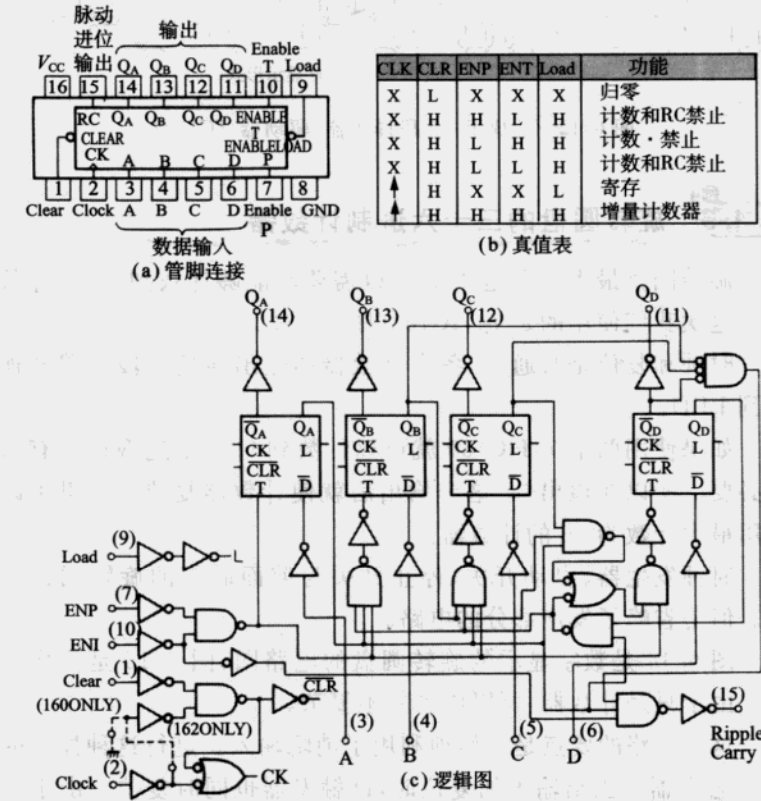


图 6.13^[1] 4 位同步式十进制计数器(附归零)74HC160

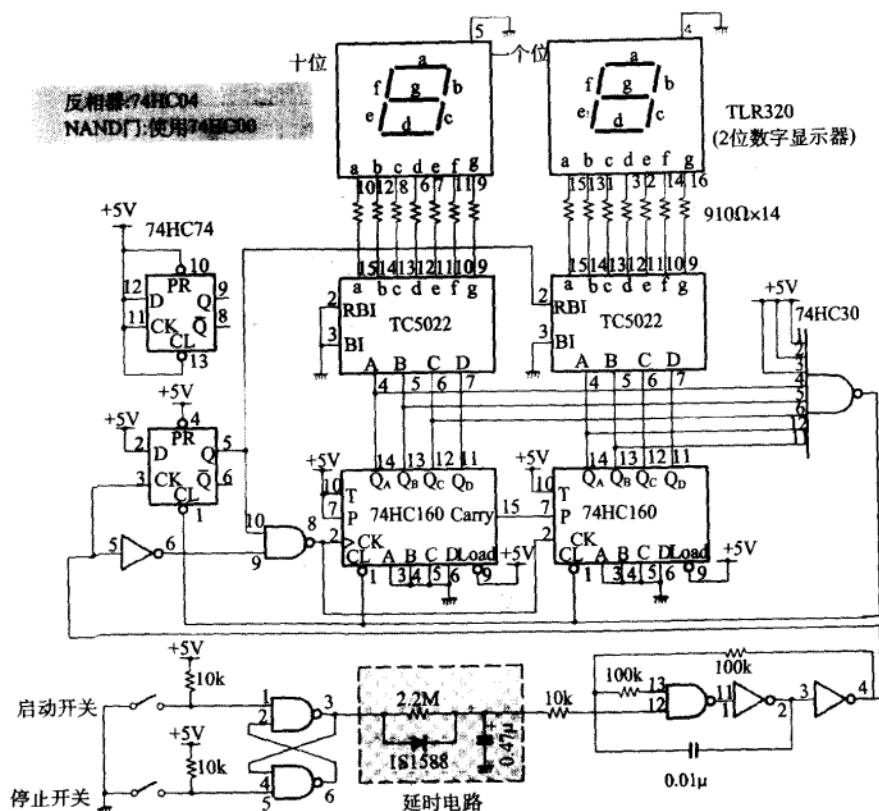


图 6.14 使用数字显示的旋转圆盘的电路

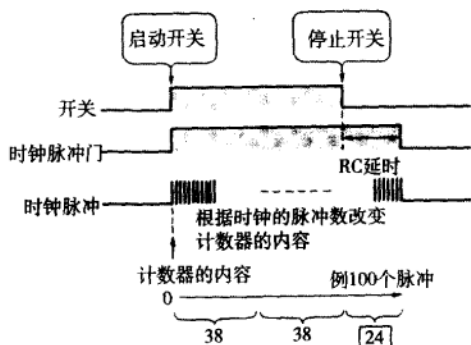
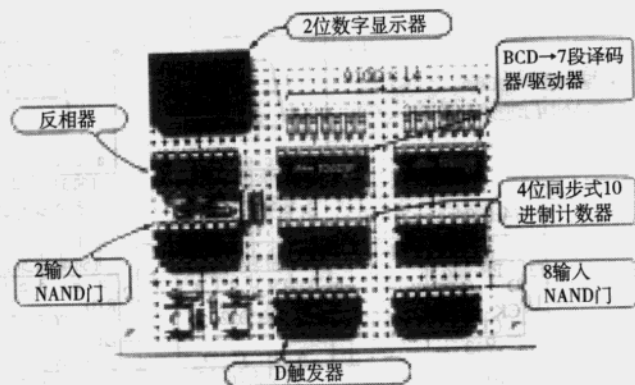


图 6.15 使用数字显示的旋转圆盘的工作波形



照片 6.3 使用数字显示器的电子旋转圆盘制作例

6.5 移位寄存器的应用

6.5.1 数据的移动

数字系统中,数据通过连线迅速地传递。为了保存数据就需要触发器之类的记忆元件。

尽管数据可以从某点传递到另一点,怎样才能够确保数据在一个确定的时间内移动呢?虽然只要连接好布线就可以使数据移动,但是它需要由元器件构成的某种电路。在这种场合使用的器件就是移位寄存器。

6.5.2 什么是移位寄存器?

移位(移动)寄存器(记忆元件)具有通过时钟脉冲把记忆的数据依次移动的功能。而且能够通过时钟脉冲的快慢对数据移动的速度加以控制。

移位寄存器的基本电路是由 D 触发器构成的。所有的时钟输入都用 1 根共通的线连接。数据加在第 1 级触发器的 D 输入上。然后这个触发器的 Q 输出连接第 2 级的 D 输入,第 2 级的 Q 输出连接第 3 级的 D 输入,这样依次串行连接。例如,8 位移位寄存器电路就是由 8 个 D 触发器构成的。



移位寄存器的工作

移位寄存器好像在轨道上行驶的电车(图 6.16)。在车站,人们乘坐电车前进。到达目的站后下车。这样的过程与移位寄存器的工作很相似。电车的出发站相当于移位寄存器的数据输入,目的站相当于移位寄存器的输出,而途中的触发器当然就是电车了。电车通过改变流过电动机的电流大小调整电车的行驶速度。移位寄存器中则是由时钟脉冲的频率决定数据的移动速度。

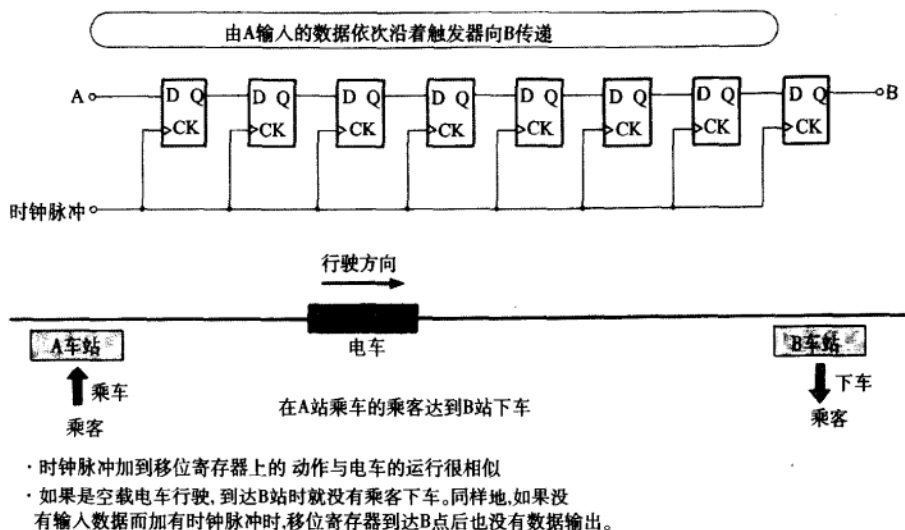


图 6.16 移位寄存器的工作



使数据滞后一定时间的方法

可以看出使用移位寄存器可以使数据滞后(由于移动而滞后)。怎样计算这个滞后时间呢?在数字系统中使用的基本时间单位是时钟脉冲。通常以 1MHz 或者 10MHz 频率工作的系统性能是不同的。使用频率高的时钟脉冲的系统工作性能更好些。就是说它能够快速地进行各种处理。

我们来分析使用 1MHz 时钟脉冲的系统中使数据产生 100ms 的滞后的情况。1MHz 时钟脉冲的周期是 $1\mu\text{s}$ 。用 1 个脉冲移动数据只需要 $1\mu\text{s}$, 所以有

$$100\text{ms} \div 1\mu\text{s} = \frac{100 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-6}} = 100\,000$$

就是说,如果有 10 万个 D 触发器,就可以使数据滞后 100ms。

但是实际上不可能使用 10 万个触发器。在这种场合只要预先递减计数时钟脉冲,产生出周期为 10ms 的时钟脉冲就可以了(图 6.17)。使用这种时钟脉冲只需要 10 个触发器就能够滞后 100 ms(10 ms×10)。

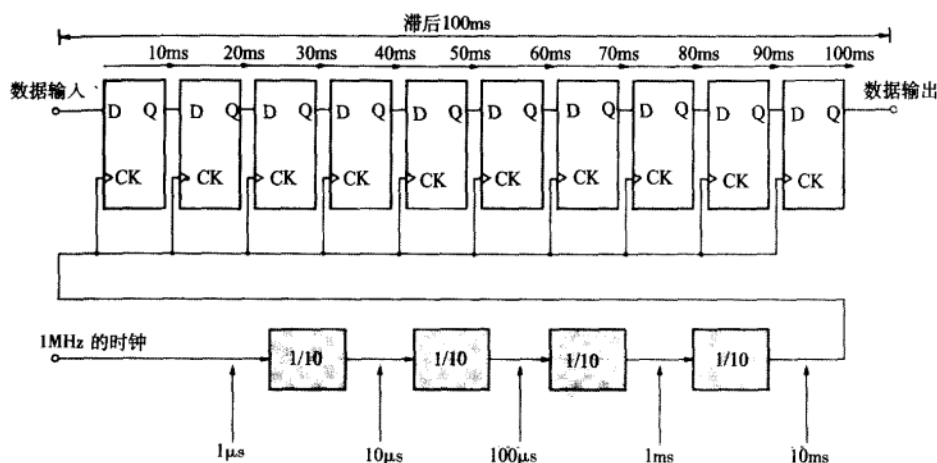


图 6.17 滞后 100ms 数据的方法



保存动作

移位寄存器不仅能够滞后数据,而且还有储存数据的作用。8 位的移位寄存器能够储存 8 位数据(记忆“0”或“1”)。

当只连接移位寄存器的输入使用时,数据并不是排水的形式。可以把数据从输出端反馈到输入端。这样一来数据就一直不断地在移位寄存器中转圈。把这样的动作叫做保存动作。

图 6.18 是使 8 位移位寄存器进行保存动作的电路。当置保存控制输入为“L”时,就作为普通的移位寄存器工作。当希望保存的 8 位数据完全进入触发器时,将保存控制输入置为“H”。于是数据从输出端返回到输入端,这时没有新的数据进入,8 位数据就一周一周不断地转移。而且还可以反复从输出取出这 8 位数据。

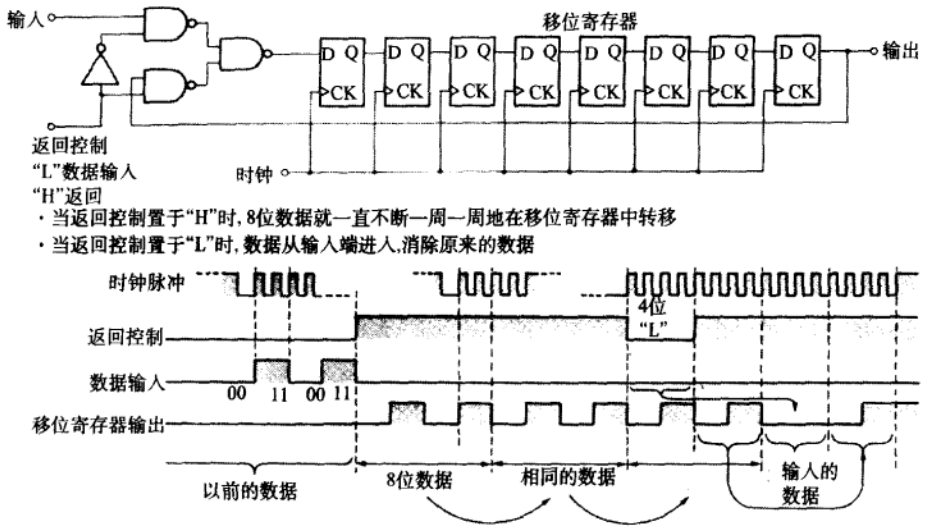


图 6.18 移位寄存器的保存动作

参考文献

- [1](株)东芝:集成电路技术资料 HS-C² MOS TC74 系列(个别规格篇)第4版,1986。
- [2](株)东芝:集成电路技术资料 C²MOS 标准系列(个别规格篇)第6版,1984年9月。

第 7 章

电子存钱箱的制作

说到电子存钱箱几乎都是以硬币为对象的。看到积存了那么多的硬币的确是一件很开心的事情。不过几百枚,甚至几千枚硬币数起来也相当费事,往往使人们失去了那份享受的心情。

有没有能够自动地判别不同面值的硬币并且自动地计算出各有多少枚的装置呢?这就是本章要制作的电子存钱箱。

7.1 显示存钱额的存钱箱

7.1.1

对不同面值的硬币分类

当人们要清点不同面值混杂在一起的堆积如山的硬币时,一般的做法是首先对硬币的面值进行分类,然后分别计算各有多少硬币。当然也有人在把硬币存入存钱箱时就是分类存入的(照片 7.1)。



照片 7.1 对硬币分类的存钱箱

对硬币分类的方法有许多,例如按照材质的不同,按照大小的不同,按照面值的不同等。

自动售货机中非常严格,对硬币要进行2次,甚至3次不同方法的鉴别。这种硬币计数器电路相当复杂,结构也很庞大。这里要制作的只是能够知道存钱箱中有多少硬币的电子电路。

7.1.2 按照大小对硬币分类

照片7.1的存钱箱是按照不同大小自动地对投入的硬币进行分类。投入硬币的地方设置一条倾斜的滑道,使硬币向下滑动。硬币将按照从小到大的次序分别落入不同的槽箱。然后再分别对分类的硬币计数并合计,就得到总的存钱额。

为了自动地对不同大小的硬币分类,如图7.1所示对照硬币的直径制作窗口,硬币自小到大分别落下。

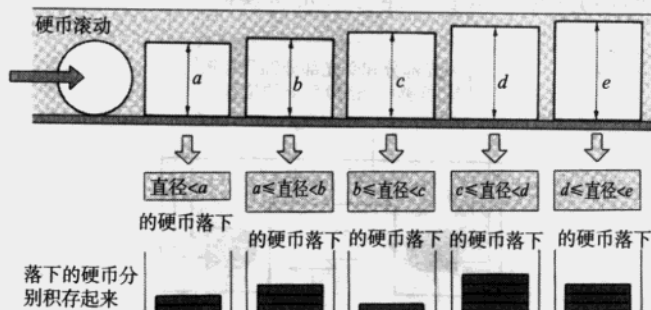


图 7.1 自动地分选硬币大小的方法

7.2 电子式硬币分类器

7.2.1 电子式分类硬币的大小

稍加思索就可以理解机械式分类不同大小的硬币的方法。那么电子式分类是如何进行的?

到现在为止所介绍的数字电路中还没有具备选择大小功能的电路。那么数字电路是否就没有办法解决这个问题?

当然,数字 IC 是无法直接对硬币的大小进行分类的。在这里我们不妨考虑能否通过别的替代方法来对硬币的大小进行分辨。

7.2.2 利用光断续器

利用光断续器不直接接触硬币就可以方便地测定它的大小，确定它的存在。

光断续器是由光电二极管和 LED 组合而成，可以利用光来检测物体的存在。LED 通常使用发出红外光的 LED。人们的肉眼直接看不到这种光。

图 7.2 是光断续器的结构。如果只是判断物体的有无，那么选择适当的光电二极管和红外 LED，把它们面对面地设置使用就可以了。但是如果希望比较准确地知道物体的位置，那么可以使用将 LED 与光电二极管一体化的光断续器。

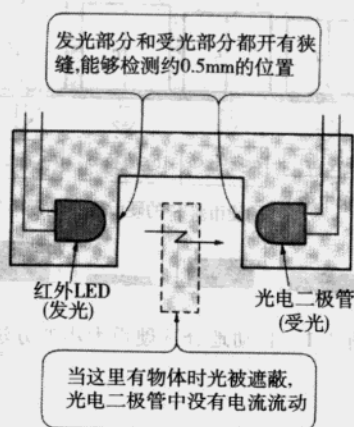


图 7.2 光断续器的结构

7.2.3 利用光断续器判别硬币大小的过程

可以像图 7.3 那样设置光断续器。光断续器本身只能知道是否有物体存在，就是说它只能感受是否有硬币遮断了光断续器的光路。要区别硬币的大小需要改变光断续器的检测位置。

产生判别大小的启动脉冲的光断续器和产生结束脉冲的光断续器的位置分别设置在能够被所有硬币遮断的地方。关于判断大小用的光断续器的位置，则要求对于 1 日元的硬币只能够遮断位置 A，而 5 日元的硬币则应该能够遮断 A、B、C 三

个位置。然后硬币落下。整个检测系统做成斜坡状,利于硬币的滚动。

A,B,C,D,E 处分别设置锁存器电路。当硬币遮断各自的光断续器时,设置锁存。当检测到结束信号后,对各个锁存器电路译码,就可以知道通过了多少硬币。并不是原封不动地利用各光断续器的输出判别硬币的种类。例如,C 光断续器的检测输出不只是检测 5 日元硬币的结果,还检测到了 100 日元以及 10 日元硬币。所以,尽管麻烦也必须对各个输出译码。

从 A 到 E 的输出不是同时进行的。为了记忆直到检测到结束信号为止的各光断续器的输出,必须设置锁存器。

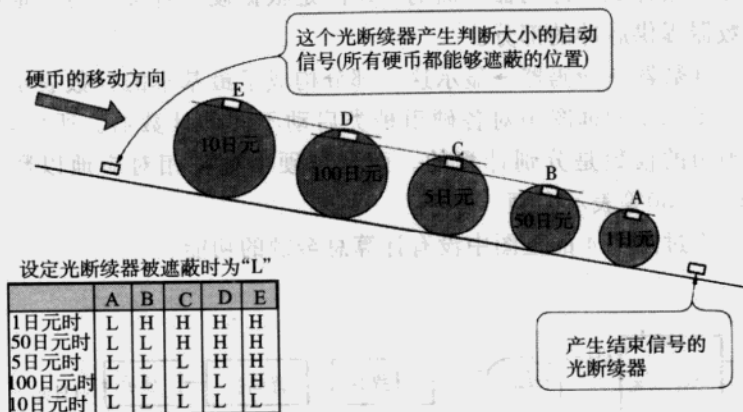


图 7.3 用光断续器判别硬币的大小

7.2.4 机械式与电子式检测器的不同

可以看出电子式可以判别硬币的大小。但是判别后却不能把不同的硬币分开。因此需要利用电磁铁在判别大小后进行分类的作业。这样一来,电子式就具备了与机械式完全相同的功能。

但是机械式是有缺点的。如果需要判别的硬币数量大,硬币下落的窗口不断被磨损,就可能发生错误的判别。当然电子式也会因为光断续器的偏离而产生误动作。但是电子式的长寿命是机械式无法相比的。所以这种非接触式判别大小的优点是非常突出的。

7.3 硬币计数器的框图

在讨论了如何能够判别硬币大小的问题之后,下面就可以确定总的框图了。

7.3.1 表示各类硬币的枚数

图 7.4 是判别了硬币的大小后分别用计数器计算各类硬币枚数的方法。图 7.4 的工作是以最初对锁存器设置的数据为基础,用译码器判别硬币的种类,根据各自的输出和结束脉冲使某个计数器开始计数。译码器后面的 OR 门是根据硬币种类相对应向计数器提供脉冲的部分。

计数器→译码器→显示这三部分构成了最基本的计数表示电路。图 7.4 的框图中对各硬币种类启动不同的计数器。所以,各种硬币的枚数是分别计算的。而且与硬币种类相对应地以数字 $\times 5$ 、 $\times 100$ 等表示金额。

不过图 7.4 的框图中没有计算总金额的功能。

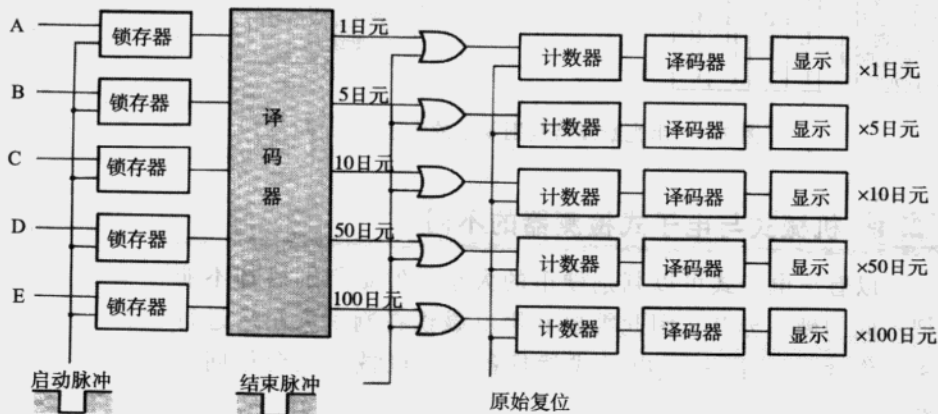


图 7.4 电子存钱箱的框图(1)

7.3.2 表示实际金额的技巧

图 7.4 的框图中,显示的结果不是实际的金额,而是数得的硬币枚数。因此还需要有一种计数器,它具有把计数器的表示数字

用金额来显示的功能。

图 7.5 是它的框图。几乎与图 7.4 完全相同。不过在计数器前面附有与硬币的种类相对应的脉冲发生器。由于这里是以 1 日元为最小单位的,所以以 1 日元为 1 个脉冲进行处理。这样一来 5 日元就是 5 个脉冲,50 日元就是 50 个脉冲。

计数器只对输入的脉冲数目计数。所以当有 5 日元硬币投入时如果给计数器输入 5 个脉冲,那么它当然表示 5。同样地,10 日元硬币进入时如果发生 10 个脉冲的时钟,那么它的表示值当然就是 10。当然投入 1 日元硬币时什么也不需改变,只需要原封不动地把 1 个脉冲的时钟加到计数器上。

这样一来,与硬币的种类相对应,即使没有 $\times 5$, $\times 50$ 之类的显示,实际上表示的仍然是金额。

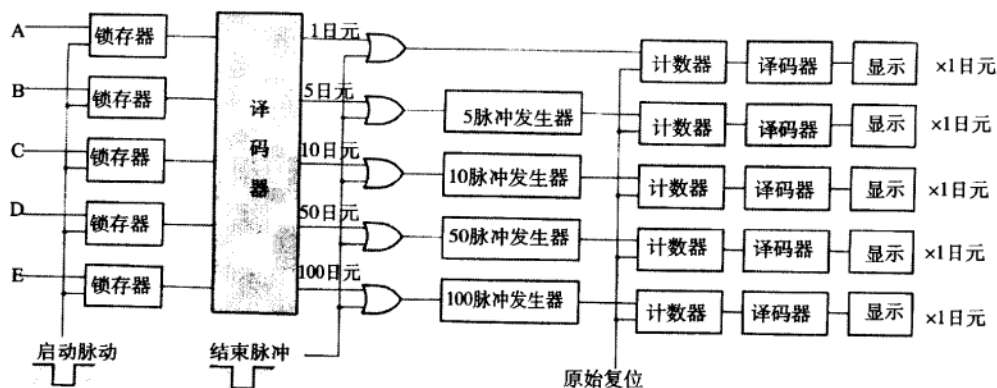


图 7.5 电子存钱箱的框图(2)



表示合计金额

如果随机地投入一些硬币后希望知道合计金额是多少,可以把图 7.5 框图中计数器的输出全部加起来进行计算。

但是把 5 个计数器的输出全部加起来计算时需要有相当多的元器件。因此,可以考虑把图 7.5 的框图稍微作些改变。当只希望知道某种硬币的枚数时不使用它,如果希望知道合计金额时可以用很方便地使用,电路规模也可以变小。

这个框图示于图 7.6。它是把图 7.5 电路中计数器以后的部分用一个计数器置换。并且使各种硬币的输出脉冲全部通过一个

OR 门,作为计数器的时钟脉冲。这样一来,不论投入哪种硬币,其时钟都是作为 1 日元=一个脉冲进入的,这时的计数器中就只保留了合计金额。

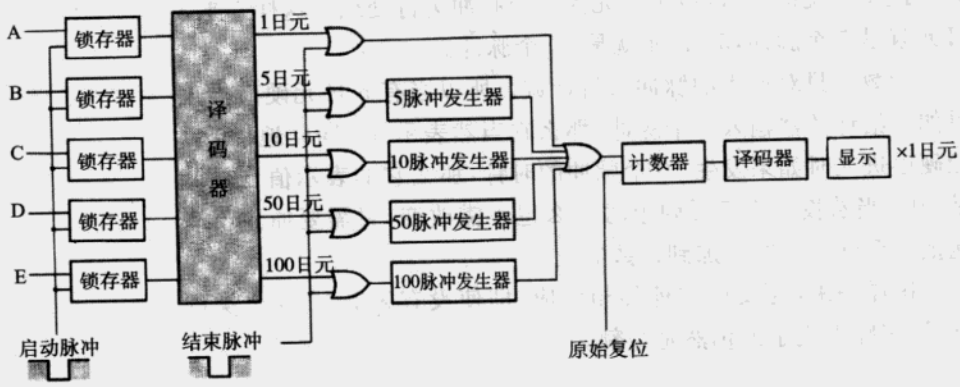


图 7.6 电子存钱箱的框图(3)

7.3.4 使用光断续器的方法

由于用途不同光断续器产品有各种形式。在这里使用的产品是 TLP806(东芝)。图 7.7 是 TLP806 的外形图以及内部连线图。

光断续器的发光部分几乎都使用 LED,不过受光部分有各种类型。光电二极管,光电晶体管,数字输出等形形色色。数字输出可以原封不动地与 IC 连接,不过它的端子数目需要增加 1~2 个。

TLP806 是光电晶体管输出形式。图 7.8 是一种简单的使用数字 IC 的方法。光电晶体管的连接法是简单地使用了型号为 74HC14 的施密特门,可以比较稳定地工作。

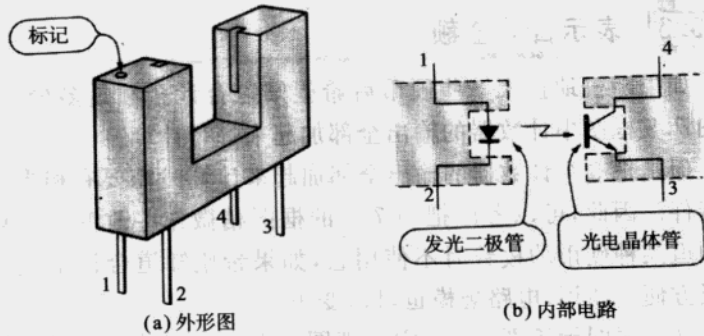


图 7.7 光断续器

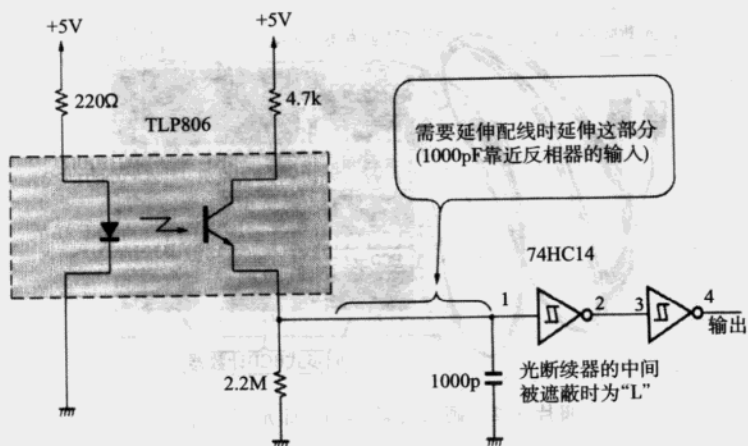


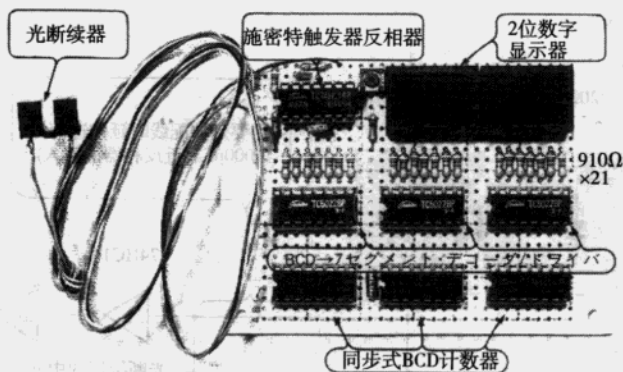
图 7.8 使用光断续器 TLP806 的方法

7.4 设计计数器电路

7.4.1 10 日元硬币用计数器

照片 7.2 是一例实际制作的 10 日元硬币计数器。特殊之处是这个 10 日元硬币计数器使用的部件正好集中制作在一块基板上。电路图示于图 7.9。计数器使用了十进制的 74HC160。LED 译码器使用 TC5022, LED 使用了 2 位入口的 TLR320。由于 TLR320 是 2 位入口, 所以使用两个的话就变成了 4 位。10 日元用计数器中的最低位经常表示 0。这样一来也就没有必要用“ $\times 10$ ”了, 因而发生 10 脉冲的电路也就没有必要了。表示 0 的部分整理为 6 段, 用一个电阻就可以。

计数器部分制作的非常简单, 不过它能够计算的 10 日元硬币数目达到 999 枚。计数部分的时钟脉冲使用了图 7.8 中 TLP806 检出部分的输出。为了在开始计数前对计数器置“0”, 附加了发生置“0”脉冲的电路。施密特反相器 74HC14 抗干扰能力强, 所以非常适合于外部连接。



照片 7.2 硬币计数器(10 日元硬币用)

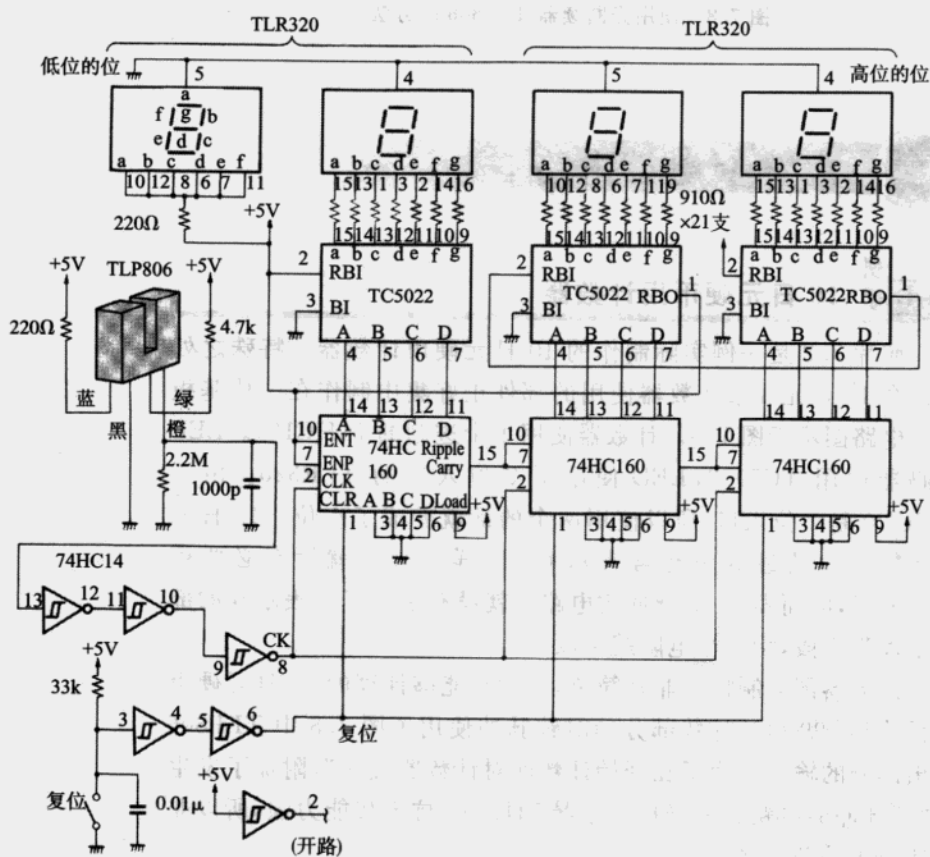


图 7.9 10 日元硬币计数器的电路



脉冲发生电路

当需要输入一个脉冲时应该考虑能够发生预先设定的脉冲(数)的电路。

例如,设一个脉冲为1日元,那么投入10日元时就应该发生10个脉冲。如果用计数器计数这个脉冲,它的表示应该为10。同样地,对于50日元的硬币应该发生50个脉冲。

这样计算与金额数对应发生的脉冲就会得到合计的金额。

需要讨论最初怎样输入的问题。由于是在硬币通过光断续器时发生脉冲的,所以可以利用这个信号。但是由于硬币的大小不同以及通过光断续器的时间有差异,这个信号的脉冲宽度会发生变化。所以制作的电路必须不受脉冲宽度的影响。为此采用只利用输入的边沿信号的方法。

作为输出必须是预先设定好的脉冲,因此就需要有时钟。时钟与从外部进入的信号在相位和频率方面没有相关性。就是说,这是只在数字电路中使用的时钟。把这种时钟特别称为系统时钟。

话说得有些离题了。不过在检出输入信号的边沿而使内部电路工作的情况下,这种系统时钟具有非常重要的作用。

就是说作为数字电路的工作,一般都是使输入信号与系统时钟同步,利用这个时钟完成各种动作的。愈是复杂的系统,对电路动作与时钟协调的要求愈高。把这样的系统称为同步系统。

既然输入信号与时钟的协调很有必要,那么怎样才能够产生出设定的脉冲呢?

图7.10是当加上输入信号,在脉冲上升沿发生5个沿钟脉冲的脉冲输出电路。

电路是由同步微分电路、预置计数器、锁存器电路以及时钟的门电路构成。



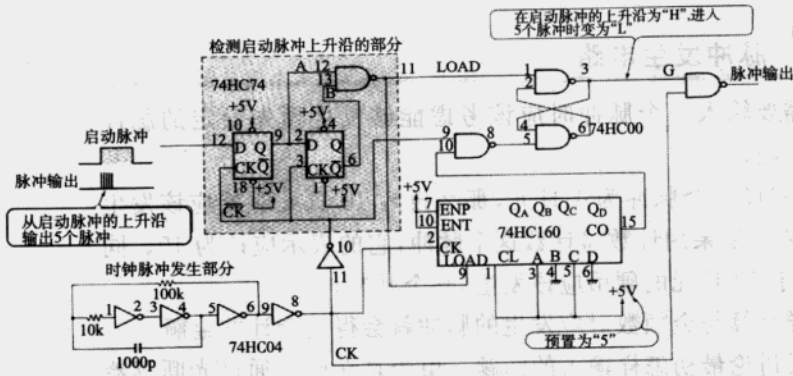


图 7.10 5 脉冲发生电路

7.4.3 脉冲发生的原理

时钟的门电路用来控制是否发生输出脉冲。而系统时钟和门控制信号输入到门电路。在门控制信号处于“H”期间输出系统时钟。而且产生这个门控制信号的是同步微分电路和锁存器电路以及预置计数器。

各电路的工作都比较简单。不过组合起来就能够产生复杂的(也是必须的)动作。

图 7.11 是 5 脉冲发生电路的工作波形。仔细观察图 7.11 的脉冲输出,可以发现确实是 5 个脉冲(上升沿和下降沿都是 5 个)。

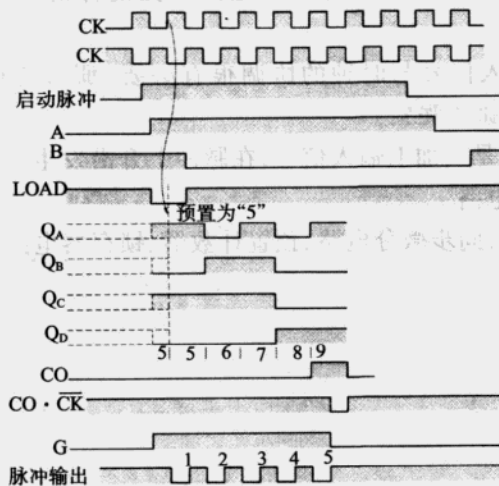


图 7.11 5 脉冲发生电路的工作波形



用预置计数器产生门脉冲

图 7.10 电路的要点是利用计数器建立脉冲宽度。74HC160 是一种能够预置的同步计数器。因此,事先预置数据,并利用计数器开始计数时(输出为“9”时)发生的进位信号,清除锁存。

图 7.10 中希望发生 5 脉冲,所以预置 5。于是每次时钟进入时输出计数为 $5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9$ 。变为“9”时发出进位输出。不过在这一时刻没有立即对锁存器复位。锁存器也与 CK 同步动作,所以进位输出也必须与 $\overline{\text{CK}}$ 的工作定时保持一致。如果原封不动地使用进位输出,那么就会减少脉冲的输出。

之所以把锁存器的工作定时与计数器的时钟区分为 $\overline{\text{CK}}$ 和 CK,是为了避免因胡须动作引起的不稳定。如果在相同的定时内发生变化,由于门的滞后将会产生胡须,就有可能发生不稳定的脉冲。



程序化的脉冲发生器

图 7.10 的电路只发出 5 种脉冲。不过在硬币计数器中要求能够产生 1, 5, 10, 50, 100 这 5 种脉冲。对于 1,只要原封不动地使用 1 个时钟就可以了,此外还需要有能够发生其他 4 种脉冲的电路。

图 7.12 就是这种电路。它的基本动作与图 7.10 相同,但是必须能够发生多达 100 种脉冲,所以使用了两个 74HC160。5 和 10 只使用第 2 级 74HC160,而且使第 2 级的 74HC160 能够预置 0 和 5。当发出 5 脉冲和 10 脉冲时,第 2 级的计数器的 P 端和 T 端可以同时作为“H”动作。这样一来,就与第 1 级 74HC160 的工作无关,当进入 5 个和 10 个时钟脉冲时第 2 级发出进位输出。

对于 50 脉冲和 100 脉冲,由第 1 级的进位输出控制第 2 级的计数器动作,所以分别在进入 $5 \times 10 = 50$ 个, $10 \times 10 = 100$ 个时钟脉冲时,第 1 级发出进位输出。

电子存钱箱
PDG

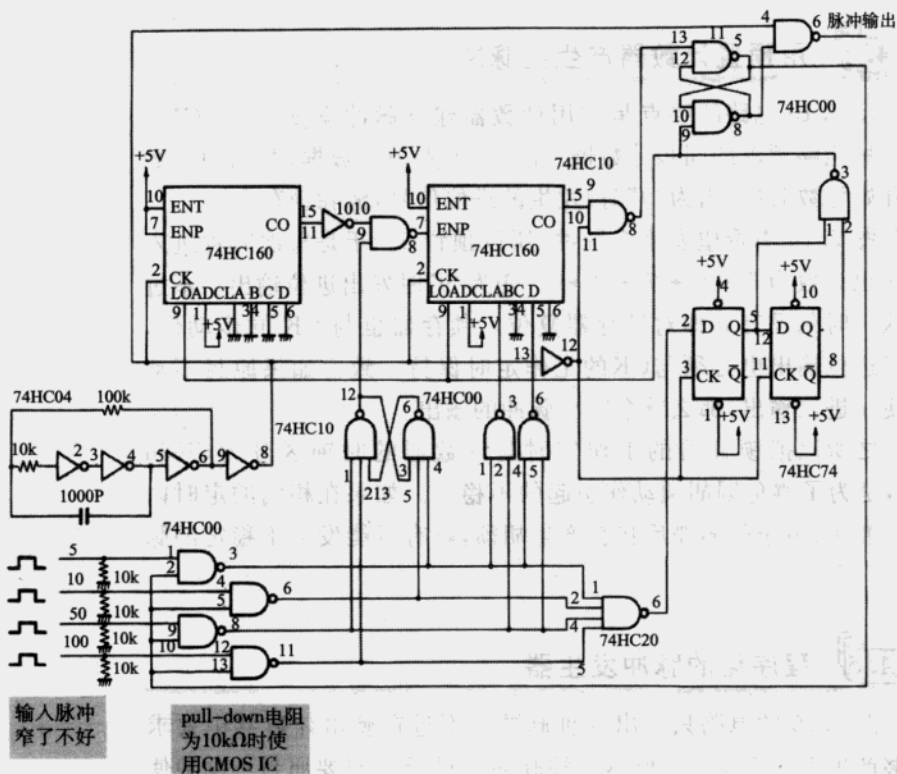


图 7.12 程序化的脉冲发生电路(5,10,50,100 脉冲)



7.4.6 对输入信号有限制

图 7.12 的电路可以稳定地工作,不过对于触发器输入信号有限制。

具体来说就是输入脉冲的宽度。最窄的脉冲宽度应该是启动计数器的 3 个时钟脉冲的宽度。而且到进入下一个输入脉冲之前,直到最大(1 个时钟脉冲 $\times$ 100)的宽度都必须禁止输入。这是因为如果在时钟脉冲全部产生结束之前输入信号的话,输出脉冲的数目都将会改变。具体来说,被输出的数目是新的输入信号进入之前发出的脉冲数+设定的脉冲数。

在用于硬币计数器的场合,由于输入信号的间隔长,所以没有什么影响。但是在其他应用场合必须注意这一点。

7.4.7

译码器部分的简单制作

作为产生程序化的脉冲发生器输入信号的电路,使用图 7.13 所示的译码器。图 7.13 中的译码器具有的功能是当硬币通过时能够根据发生的信号 A, B, C, D, E 区别硬币的种类。

如果使用多输入门将会更灵活些,不过也可以用 2 输入的门和反相器制作。这样的设计方法对于小型电路是通用的,不过电路规模增大时就有些勉强。最基本的设计方法是使用多输入的 NAND 门和反转输入的反相器。

在这里可以使用 5 输入的 NAND 门和 5 个反相器来完成。由于 74 系列中没有 5 输入的 NAND 门,所以改用 8 输入的 NAND 门(74HC30)。这样制作的译码器示于图 7.14。当手头上没有多输入门的时候,可以使用像图 7.13 那样的电路,但是它不能够应用于较大的系统或者多次变更电路的场合。

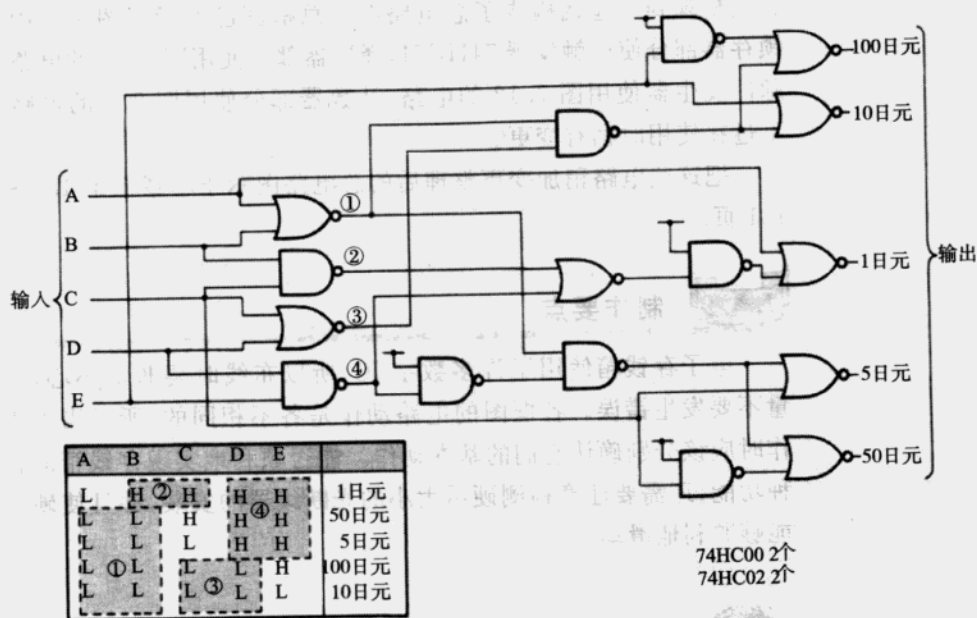


图 7.13 判断硬币的译码器

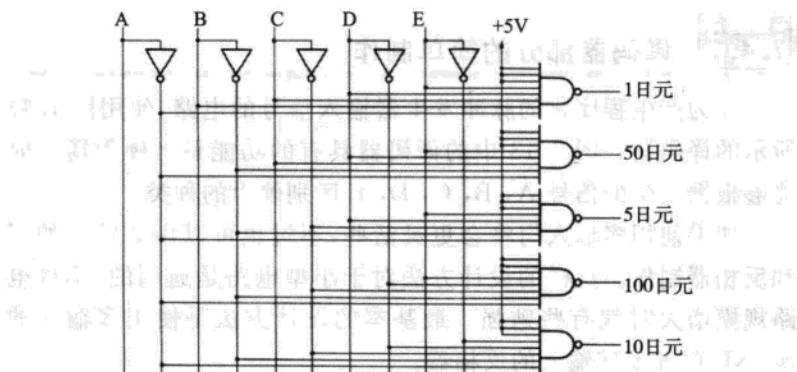


图 7.14 使用多输入 NAND 门的译码器

7.4.8 总电路图

以上按框图对于电子存钱箱各种必要的功能进行了实验。把它们整理到一起就构成了总电路图。总框图已经示于图 7.6 中。锁存器部分使用触发器 74HC74，译码器部分使用图 7.13 的电路，脉冲发生器使用图 7.12 的电路，计数器部分使用图 7.9 的电路。不过在使用时稍有变更。

把这些电路稍加变更整理后的总电路图示于本章末第 180 和 181 页。

7.4.9 制作要点

电子存钱箱使用了许多数字 IC，所以布线时要非常小心，尽量不要发生错误。各框图的电路动作是各不相同的，所以当不工作时应该分别确认它们的基本动作。能否顺利地实现存钱箱的各种功能，还需要注意检测硬币大小的光断续器的安装，并且使硬币能够顺利地滑动。

7.5 译码器电路的设计方法

7.5.1 代码变换

所谓代码就是由“1”和“0”组合成的数据列。从这个数据列中

检出某约定的组合称为译码。寻找某约定的数据的条件必须作为规则确定下来,不过实现它的手段有许多种。译码器电路是一种代码变换电路。代码变换就是按照预先确定的规则,根据输入的数据组合来确定输出的数据(图 7.15)。

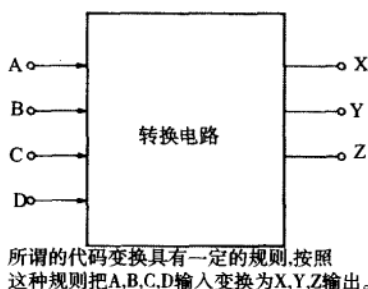


图 7.15 代码变换



译码器电路的设计

设计数据译码器电路时必须确定它的规格。图 7.16 中示出了 4 输入(A, B, C, D), 3 输出(X, Y, Z)译码器电路的变换条件。用文字描述的话比较难以理解,但是如何正确地设定这些条件却是电路设计中的重要问题。X, Y, Z 分别是输出,所以输出为“H”的条件可以利用布尔代数来表达。当以布尔代数的形式表达这些条件时,可能就很容易得到理解。

确定了译码器电路的条件后就应该进行设计实际的逻辑电路。这一步比较简单。因为只要把布尔代数的条件机械地置于逻辑中就可以。

首先对于输入的 A, B, C, D 各自作反转。这可以使用反相器。做好 A, B, C, D 和 $\bar{A}$, $\bar{B}$, $\bar{C}$, $\bar{D}$ 共 8 条信号线,然后将布尔代数原封不动地置换于门电路。

例如,由于 $A \cdot B \cdot C \cdot D$ 有 4 项,所以可以作为 4 输入的 AND 门来表现。然后从事先准备的 A, B, C, D 和 $\bar{A}$, $\bar{B}$, $\bar{C}$, $\bar{D}$ 中选取 $A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$ 就可以了。当 $A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$ 和 $\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot D$ 这 2 个条件的任一个成立时,那么输出 X 就具备输出为“H”的条件。因此,为了检出 $\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot D$ 必须具有 3 输入的 AND 门。然后将原先的 4 输入 AND 门与 3 输入 AND 门进行 OR 就可以了。这就是说,为了获得 X 的输出条件,只要各有一个 4 输入 AND 和 3 输入 AND 以及 2 输入 OR 门就可以了。

对于 Y, Z 也可以同样地求得各自的输出条件,这样就得到图 7.17 所示的电路图。就是说,如果有输入的数目的反相器和 AND-OR 门就能够实现译码器电路。

变换的条件(例)

输入 A,B,C,D(4 输入) 输出 X,Y,Z(3 输出)
当(A,C,D 为“H”,B 为“L”或者 A,B 为“L”,D 为“H”)时 X 为“H”,其他情况下为“L”
当(A,B 为“H”或者 B,C 为 “H”或者 C,D 为“H”) 时 Y 为“H”,其他情况下为“L”
当(A,B,C,D 同为“H”或者 A,B 为“H”,C,D 为“L” 或者 A,B 为“L”,C,D 为“H”)时 Z 为“H”,其他情况下为 “L”

图 7.16 变换动作的例子

如果用布尔代数表示,即

$$X = A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot D$$

$$Y = A \cdot B + B \cdot C + C \cdot D$$

$$Z = A \cdot B \cdot C \cdot D + A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$$

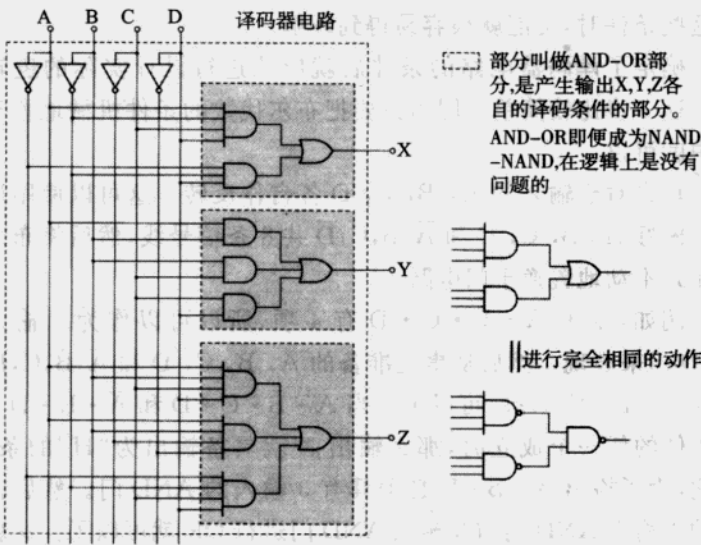


图 7.17 实际的变换电路

7.5.3

AND-OR 门的代用

74 系列中没有输入数目多的 AND 门和 OR 门所构成的门。因为这种门的基本构成是 NAND 门。但是把 2 级 NAND 门重叠使用就可以实现 AND-OR 门。所以实际的逻辑电路中经常将 2 级 NAND 门重叠使用。

7.5.4

简单的译码器电路

例如我们考虑一个检出 4 条信号线同时为“H”的电路。由于是 4 个输入,所以需要 4 个反相器。由于要检出同时为“H”时的情况,所以各自的信号线都可以取 AND。作为电路图如果给 4 输入 AND 门分别加上输入就能够满足要求。

实际的 IC 电路中,如图 7.18(a)所示,是使用 4 输入的 NAND 门 74HC20。74HC20 是 NAND,与输出 AND 比较是反转的。因此如果要原封不动地使用 74HC20,那么这个译码器电路就是一个只有在 4 个输入完全为“H”时才输出“L”的电路。图 7.18(b)是检出 A 与 D 为“L”,B 与 C 为“H”的译码器电路。使用 4 输入 NAND 门的场合与使用 4 输入 NOR 门的场合,作为译码器电路它们的动作都是相同的。另外在图 7.18(b)的电路中,译码器检出时输出为“L”,不检出时输出为“H”。

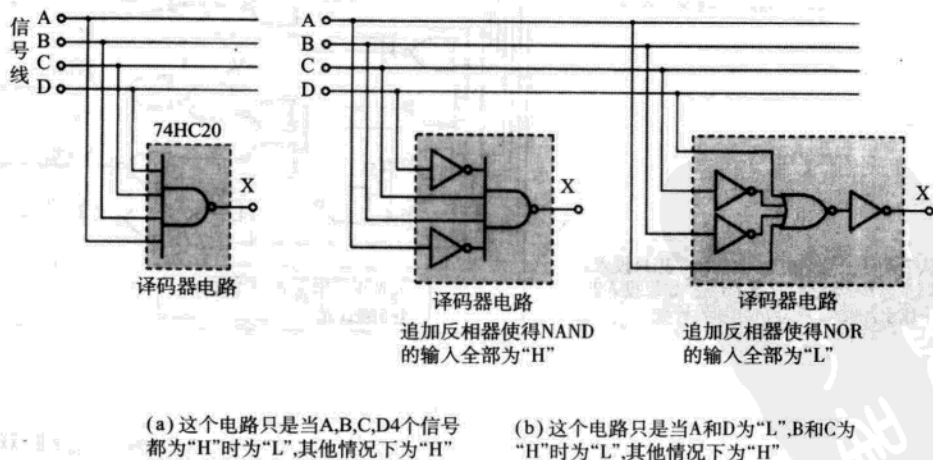


图 7.18 译码器电路例

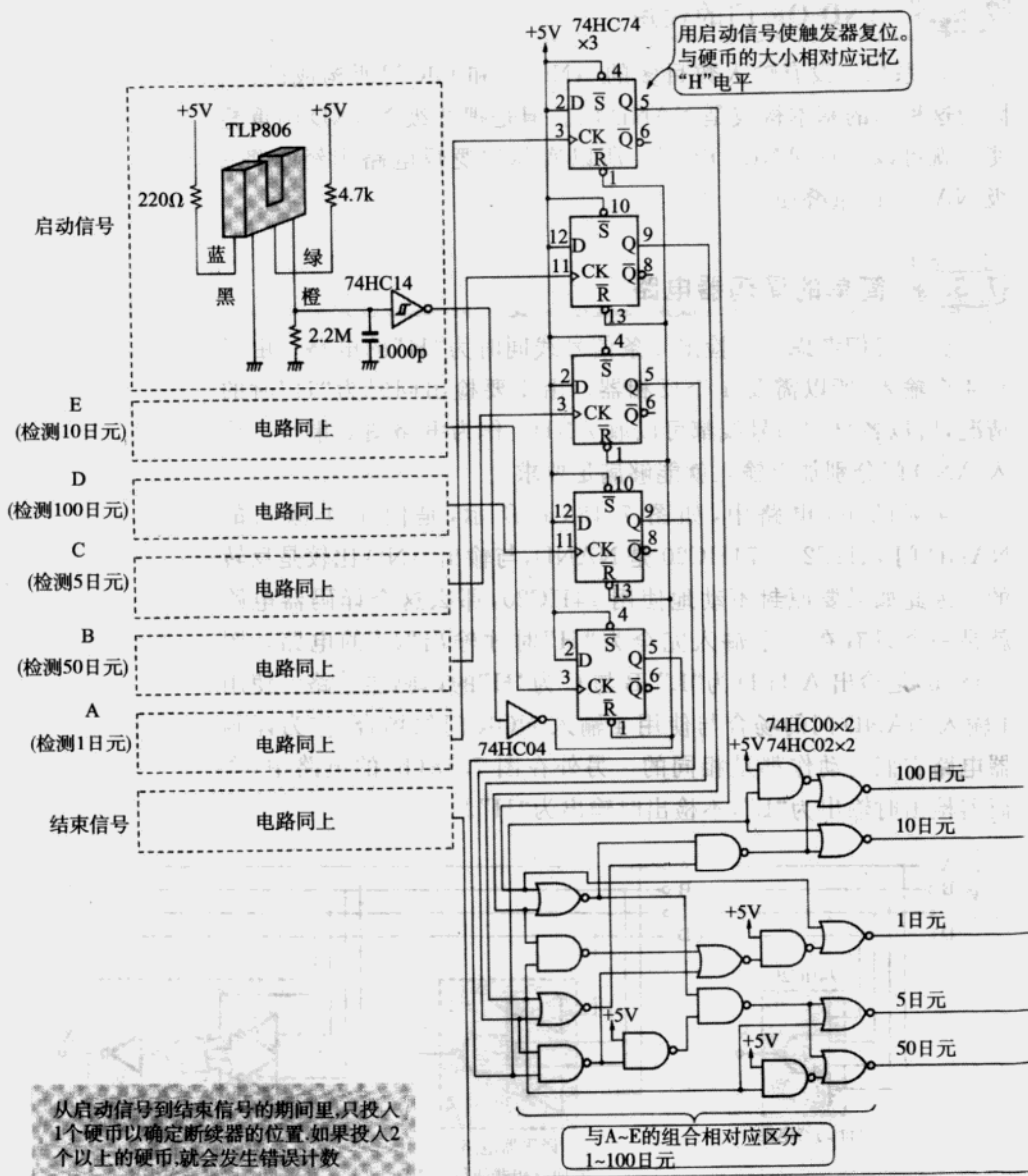
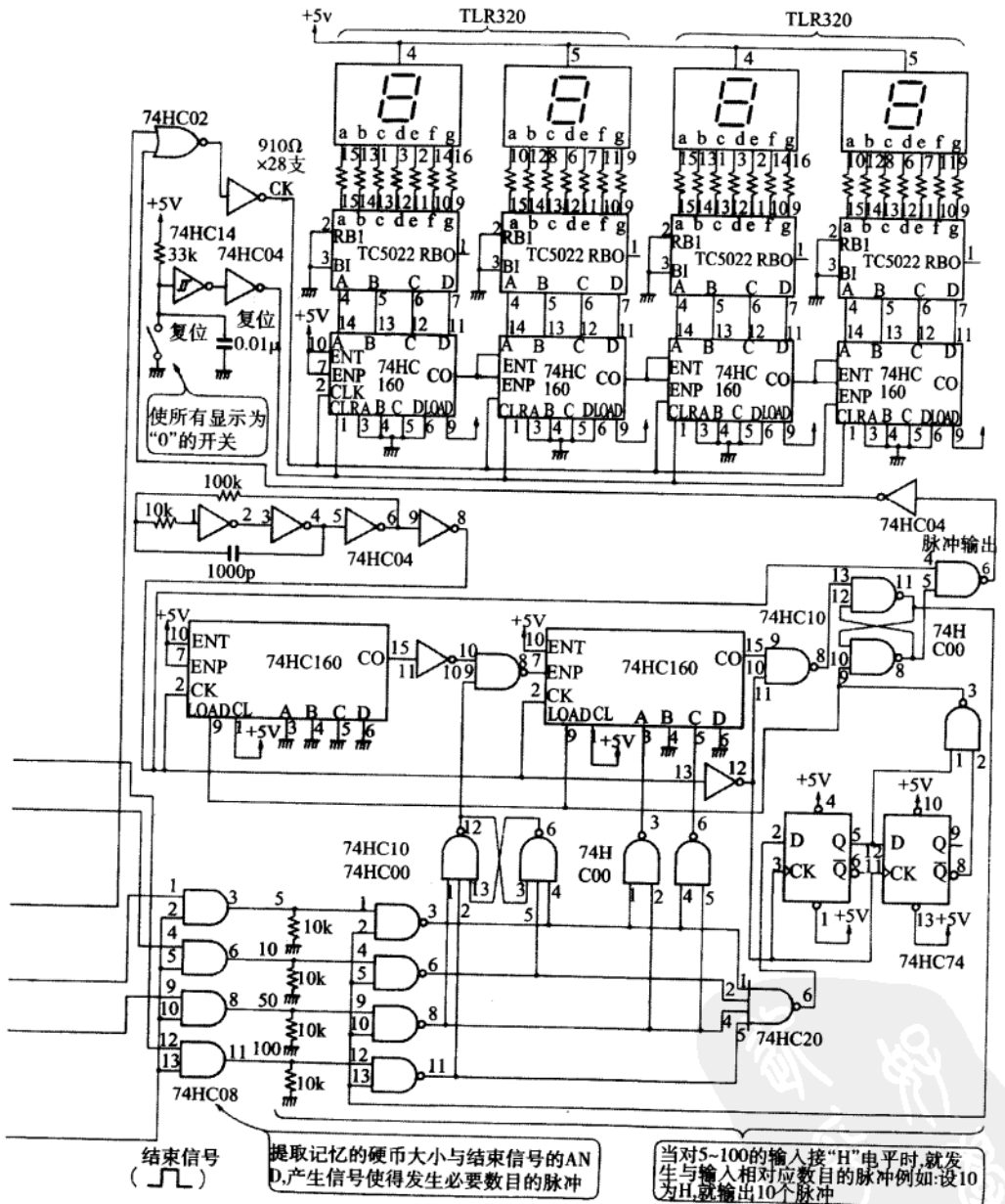


图 硬币计算器



回路

第 8 章

电子计数器、万步计、 人数计的制作

计数器具有计数的功能。不过计数的对象有各种各样,例如 1 本书、2 本书……,行走时 1 步、2 步……

也可以对时间计数。例如 1 秒、2 秒……,或者 1 小时、2 小时……

本章介绍利用计数器的各种电路实验。

8.1 电子计数器的制作

8.1.1

计数的动作

像 1, 2, 3, … 这种一个一个地增加的数字是比较简单的。但是当数字很大时,要记住这些数字就会逐渐感到不那么容易。经常可以看到在大街上为了计算所通过的车辆数目而使用照片 8.1 所示的那种计数器。照片 8.1 中的计数器在摁下按钮时就可以一个一个地增加数字,最多能够数到 9999。它的功能比较简单,使用起来也非常方便。

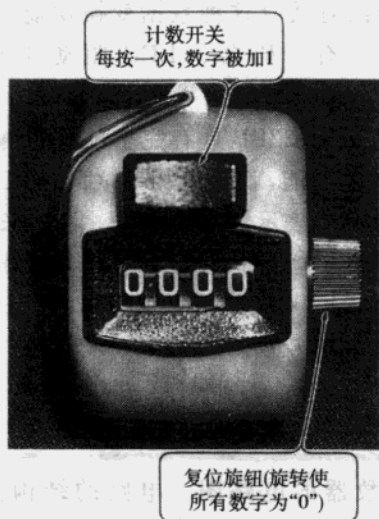
本章介绍用数字电路实现具有计数功能的各种计数器。

首先需要确定将要制作的计数器应该具有怎样的功能。

一般的计数器应该具有一个一个地增加数字的按钮和停止计数时能够复位到 0 的复位旋钮。

最大计数的位数要根据用途来确定。在这里确定计数器最大能够计数到 4 位,即计数到 9999。

确定了电路的规格后,就可以确定电路的结构以及所使用的部件。



照片 8.1 计数器

8.1.2 利用计数器 IC 74HC160

在利用触发器设计计数器的过程中可以学习数字电路,不过由于增加了所使用的 IC 数目,制作起来比较花费时间。我们希望在设计数字电路的时候能够尽量把电路制作在一个小盒子中,在这里使用计数器 IC 74HC160,它把 10 进制计数器的功能集成在一个管壳内。

74HC160 是一种 10 进制计数器 IC,就是说计数是从“0”到“9”。到了“9”的时候就产生进位信号。

利用这个进位信号,可以用两个 74HC160 做成 100 进位的计数器,用 3 个 74HC160 可以做成 1000 进位的计数器。现在要求计数到 9999,也就是 10000 进位(从 0 到 0000)的计数器,所以需要使用 4 个 74HC160。

74HC160 具有将直接设定计数器的数据预设存储的功能。不过这里的计数器不使用它。

8.1.3 7 段译码器/驱动器 TC5002BP/TC5022BP

为了能够用肉眼看得到计数器的内容,需要使用 7 段 LED 数字显示器。7 段数字显示器使用 7 个 LED,用它们的组合表示数字。所以必须把计数器的数据(二进制)变换为数字(十进制)。

74HC 系列中没有适合这种数据变换功能(译码器)的产品。在这里使用的是具有译码器 + LED 驱动功能的 TC5002BP/TC5022BP(东芝)。

TC5002BP 和 TC5022BP 具有完全的管脚兼容性(预定同一管脚型号具有相同的功能,就是说相互之间可以调换),而且特性也相同。不同之处只是表示数字的字体。具体来说就是 6 和 7 和 9。由于只是数字的字体不同,所以使用哪个型号都可以。不过一般来说使用更多的是 TC5022BP。关于 74HC160 和 TC5022BP 的内部逻辑等请参看第 6 章。



电路图与实际制作

图 8.1 是计数器的电路图。电路的结构大致可以分为 4 部分。

- (1) 计数部分
- (2) 译码器驱动部分
- (3) LED 显示部分
- (4) 输入部分

不论哪部分都采用标准的使用方法,所以没有特别难以理解的地方。使用的元器件中需要注意的是输入部分的 74HC14。电路图上表示的是反相器,所以使用 74HC04 也就可以了。不过由于是利用开关来输入信号的,所以使用了抗干扰能力强的施密特反相器。

并不是不能使用 74HC04,但是要求在这种场合使用的开关不怎么发生振动,而且开关的两端还需要接有约 $0.01\mu\text{F}$ 的电容器。

在进入实际制作之前,让我们再一次注意图 8.1 的电路图。电路图中,通常数字电路的信号走向是从左向右,自上而下。所以最左侧的计数器是个位,接着是 10 位。

数字是右边表示高位,所以如果原封不动地完成电路图,那么 LED 的位置就反了。因为电路图上左端的 LED 是个位,当把 LED 焊接到基板上时,这 1 位置与基板的最右边应该相对应。但是实际上是错误的。因此应该把图 8.1 的电路图重新画成图 8.2 那样。这样的话,照图上的位置配置元器件就不会在位数上发生错误。

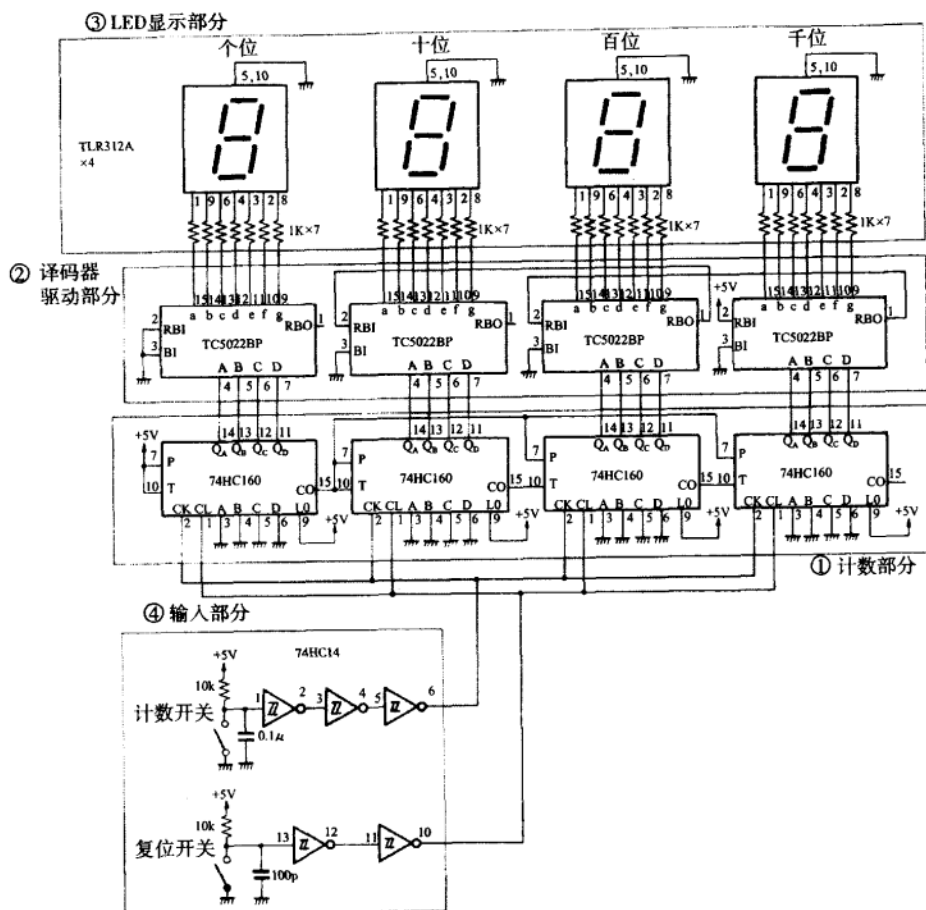


图 8.1 计数器的电路图

8.1.5

计数·零·消除功能

机械式计数器复位时表示为 0000。由于机械式计数器不消耗电流,所以可以这样表示。不过应用数字电路的计数器希望尽量减少电流消耗。因此在复位时 4 个 LED 都不发光,只用 1 个 0 表示也具有同样的效果。并且从 10 到 99 计数时只有低 2 位发光,到了 100 以上时低 3 位发光。第 4 位(左端)的 0 只是在数目达到 1000 以上时才显示。

把这种消除不必要的 0 的方法称为计数·零·消除功能。

TC5022BP 中的这种控制端是 RBI(脉动消隐输入)和 RBO(脉动消隐输出)。图 8.2 的电路中利用了这种功能。当希望 4 位的 LED 都经常发光时,就把 RBI、BI 这两个输入都接 GND。

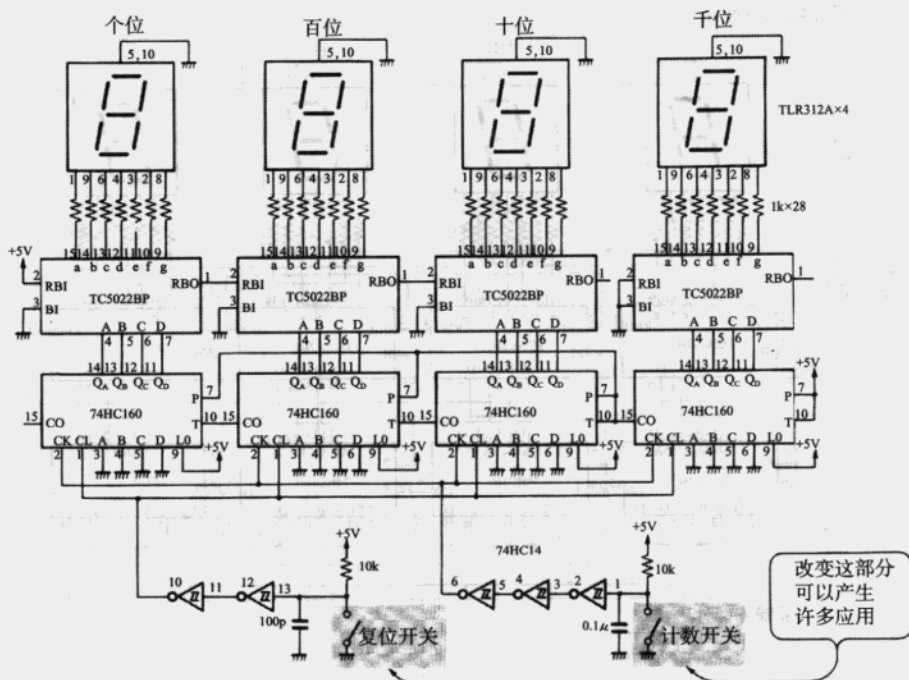


图 8.2 考虑基板上的配置后画出的电路图

8.1.6 调整和使用方法

没有特别调整的必要。组装完成并检查布线后就可以加电源试试。注意不要弄错“+”和“-”。如果 LED 不发光,可能是“+”、“-”接反了。应该立刻停止加电源。反接时会有大电流流过 IC,有损坏 IC 的危险。

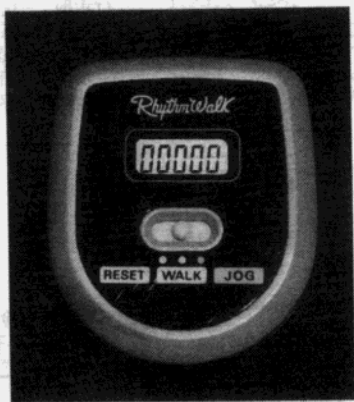
如果加上电源后 LED 正常地显示 0 就可以进行下一步。按下计数开关,确认开始 1→2→3→…地计数。如果计数到某数字时按下复位开关就变成了 0,就表明工作正常。

如果不是这个情况,就需要再一次检查布线。也有可能是 IC 损坏,换一个 IC 试试也是一种检查方法。当 LED 显示不能读数时,有可能是 TC5022BP 与 LED 之间的连线有错误,需要检查连线。

8.2 电子万步计的制作

万步计(照片 8.2)可以自动地计算行走的步数。当人们希望

知道一天里行走了多少步,或者再乘以步幅用来推算行走距离时使用它。步数是1步、2步地计算的,对于数字式计数器来说当然具备这种功能。



照片 8.2 数字式万步计商品

8.2.1 万步计的工作

为了自动地检测步数,需要把人们迈步、着地这一系列行走动作变换为电信号。一旦变换成电信号并使它成为计数器的计数输入,问题就变得很简单了。

把迈步、着地动作变换为电信号看起来似乎很困难,不过经过认真分析后发现还是可以实现。

最简单的方法是在脚掌下设置开关,每当脚着地时开关就接通。这个方法可以获得切实的动作,不过为了使用简便就需要有些看起来是小题大作的装置。

人们步行时在脚迈步、着地的同时整个身体也在上下运动。可以利用这种身体的上下运动,作为计数器的计数信号。巧妙地利用弹簧和小重锤就可以实现这一设想。

8.2.2 检测步数的装置

图 8.3 是万步计的计数信号产生部分。并不是什么材料都可以作为弹簧使用的。必须采用对人的步行这样的振动反应灵敏的柔软而且有弹性的材料。

照片 8.3 是市售万步计的步数检测部分。如果完成了步数检

测部分,下面就可以原封不动地利用计数器制作的电路(图 8.4)。

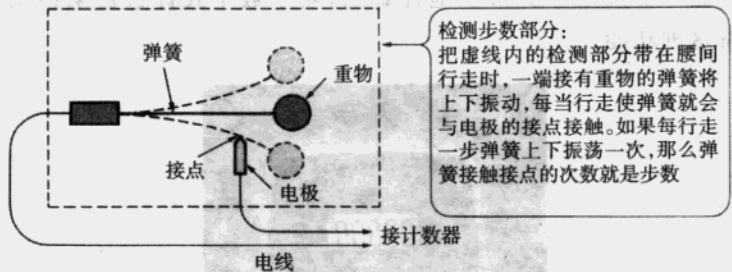


图 8.3 万步计的原理

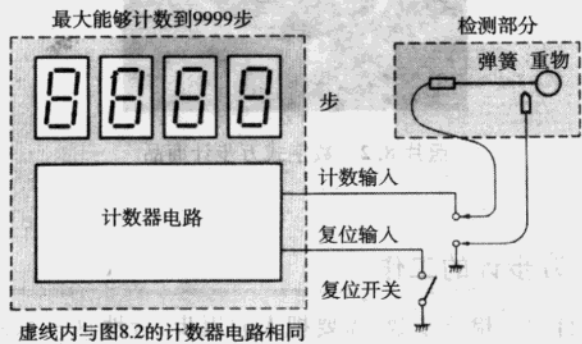
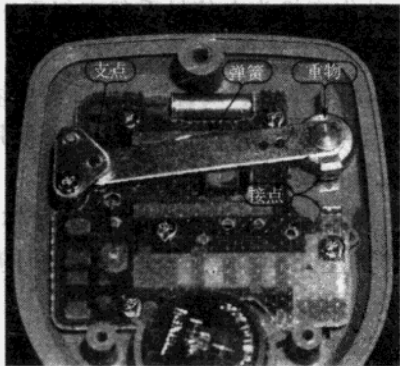


图 8.4 万步计的框图



照片 8.3 步数检测部分例

8.2.3 关闭显示的方法

万步计是随身用来计算一天中行走的步数的。所以需要始终接入电源工作。LED 比较消耗电流,使用电池时也许一天内就可

以把电池耗尽。也从来没有人是手持 AC 电源步行的。

因此需要对图 8.5 的电路做些改进。我们来分析 TC5022BP 的 BI 输入。BI 输入叫做消隐控制,它具有在加电压情况下切断流过 LED 的电流的功能。所以当希望看到计数器的显示内容时只需要接通使 LED 发光的开关就可以了。这样就可以持续不断地接通电源。CMOS IC 只在输入有变化时才有电流流动,所以只是当有计数输入时(每走一步一次)才会有电流流动。所以,如果熄灭 LED 而其他电路中只流过 IC 的漏电流(常温下小于 $1\mu\text{A}$),电池就可以使用很长时间。

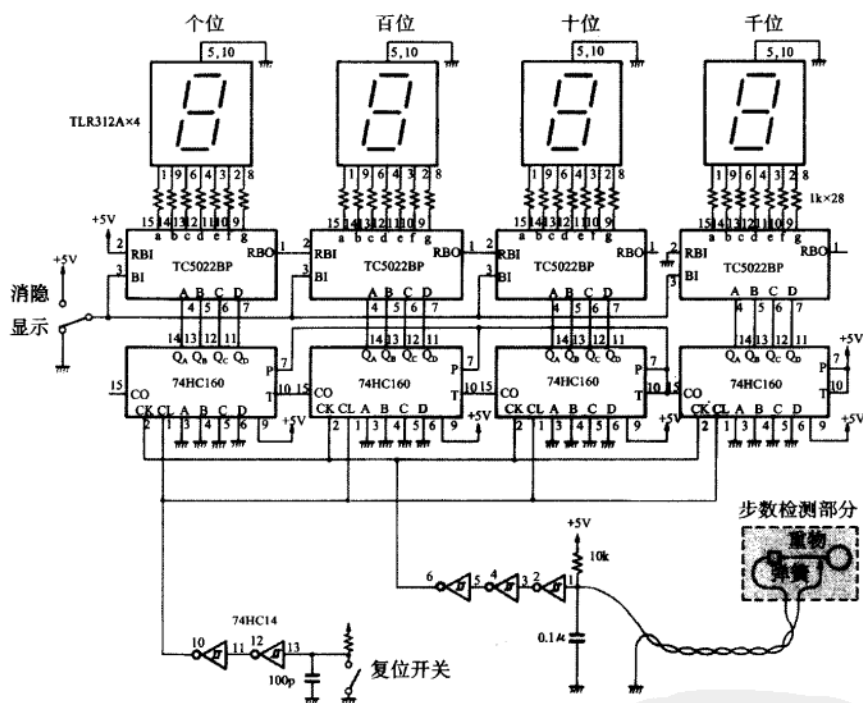


图 8.5 万步计的电路图



制作与调试

电路中的绝大部分与计数器相同。确保万步计正常工作的关键仍然在检测步数部分。

假设由于检出部分的振动等因素使得当行走 1 步时可能会出现几次计数的情况。在这种情况下,可以利用电容器和电阻构成

积分电路,加到计数器的输入端。

没有人能够在 1 秒钟内行走几十步的,所以可以把积分电路的时常数设定在数十毫米至数百毫米的范围。在需要对慢跑等较快的节拍进行计数的场合时常数可以短些,在慢步行走的场合时常数可以长些,这样就能够准确地计数。

8.3 人数计的制作

8.3.1 光开关的动作

开关的种类很多,如按钮开关、乒乓开关等。这些开关都有机械式触点。而且在接通触点时会有电流流过,从而决定是 ON 还是 OFF。

光开关是一种利用光线是否被遮蔽来决定是 ON 还是 OFF 的开关。光开关的优点是没有机械式触点,因而使用寿命很长,而且决定开关 ON/OFF 动作的空间距离也可以取得很长。就是说,能够遥控开关的 ON/OFF。

8.3.2 光开关的应用

光开关有着广泛的应用。在房屋入口设置光开关,可以计数进入或走出房屋的人数。在旋转的叶片前后设置光开关,能够对旋转的转数进行计数。还可以用来客门铃传感器等。

8.3.3 电路设计的要点

光开关使用的光源由红外 LED 或者发光二极管产生,所以要求模拟式电路。但是为了制作简单起见,在可以使用数字 IC 的地方尽量灵活使用数字 IC。

图 8.6 是光电开关的原理图(框图)。发光部分采用红外 LED。如果只是发光需要,可以采用简单的 DC 电流形式。不过为了获取尽可能大的光输出,给红外 LED 加的是脉冲电流。采用脉冲式发光,当不工作时可以减少消耗的电流,同时还能够获得用 DC 驱动所得不到的强发光输出。

受光部分使用光电二极管,它可以放大光电流,便于检测是否

有光信号。由于发出的是脉冲光,所以光电流放大部分能够采用 AC 耦合的放大器。这种放大器中使用了型号为 74HCU04 的 CMOS 反相器 IC。这种器件内部的电路是没有缓冲器的 1 级反相器(所以能够高速工作)。石英振荡电路或者放大电路中使用这种型号的反相器 IC 时非常方便。

一般的反相器 IC 中放大倍数愈高愈容易发生异常振荡,所以不能应用于这种用途。

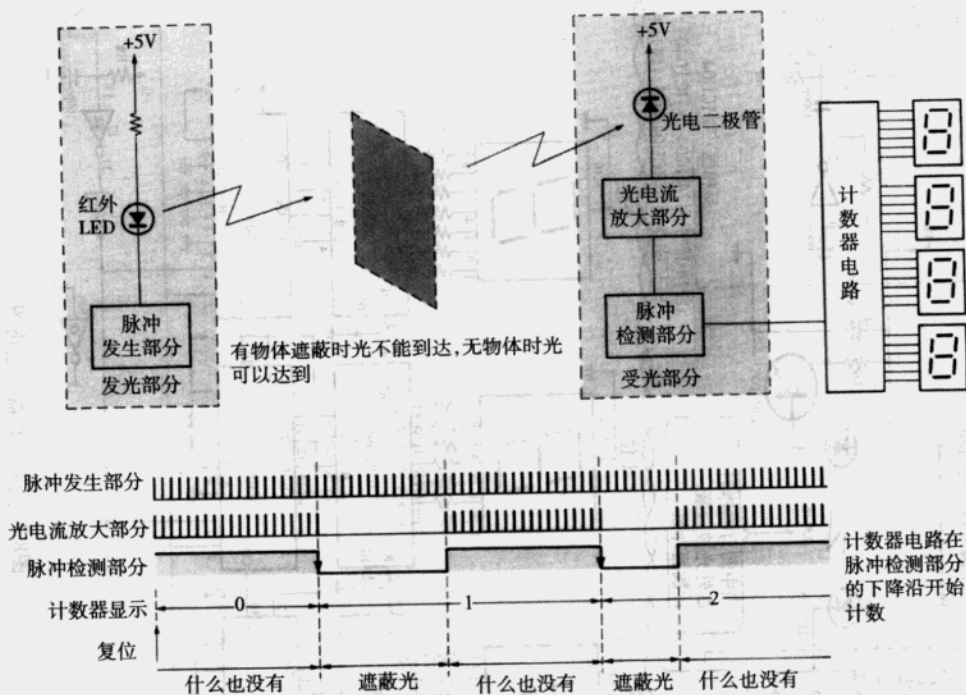


图 8.6 光电开关的原理图

8.3.4 制作时注意之点

图 8.7 是光电计数器的总电路图。电路大致分为三部分。发光部分和受光部分构成一组光开关。另外还有 4 位计数部分,它与别的计数器基本上相同,可以利用完全相同的电路。光电计数器中所有的位(包括 0)总是发光的。

发光部分使用了 1 个 74HC14(施密特反相器),用于 RC 振荡电路以及驱动 LED。如果 74HC14 不容易购买到,也可以使用 74HC04。由于红外发光二极管(TLN115)的发光波长在红外领

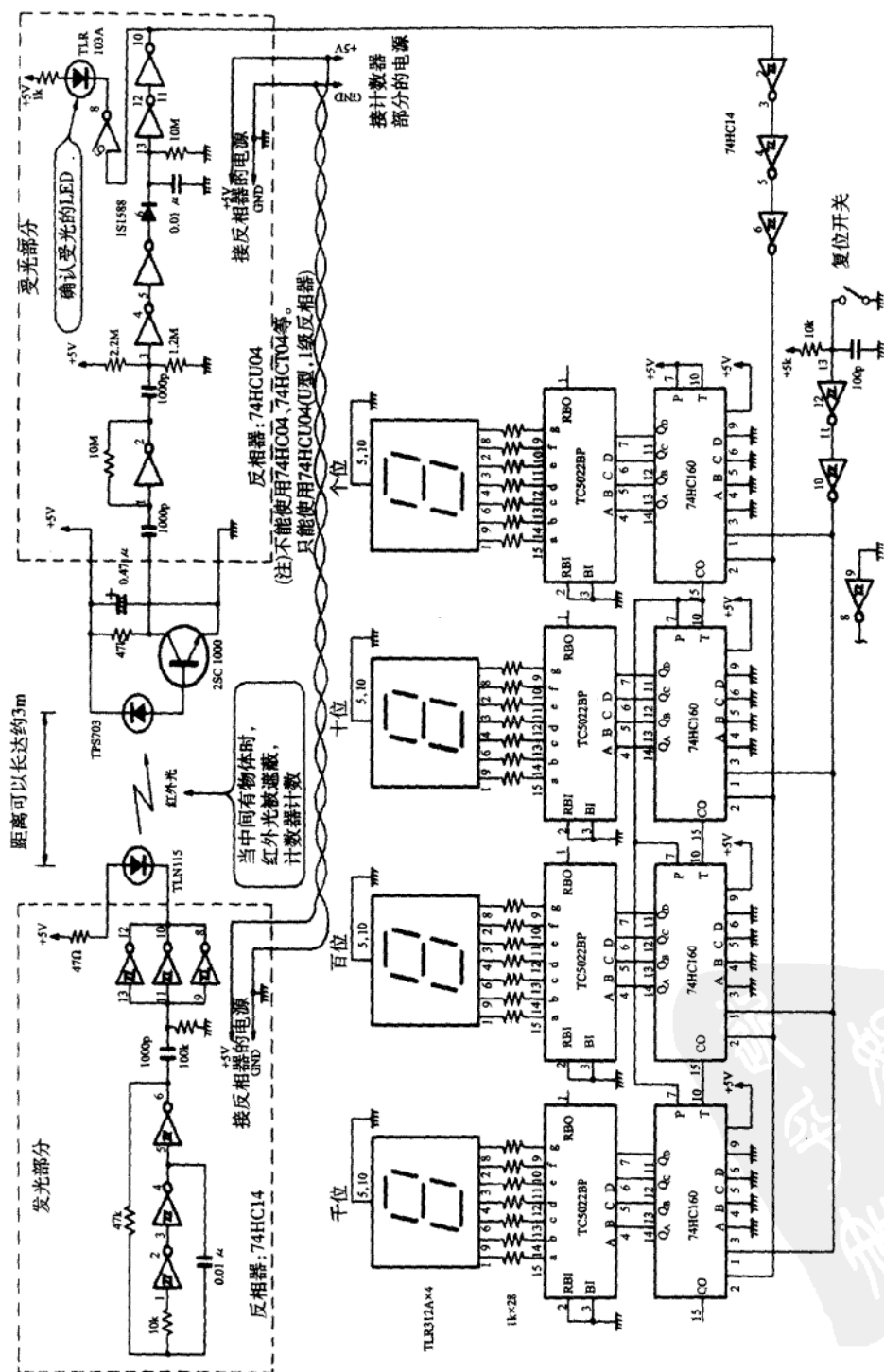
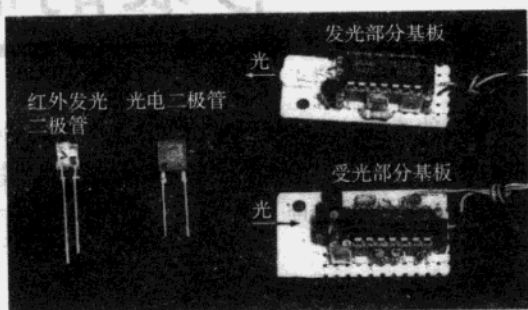


图8.7 光电计数器的电路图

域,即使流过电流用肉眼也看不到发出的光。所以只能在受光部分组装完成后才能够确认是否发光。

受光部分所处理的是微小电流,在组装时应该注意到这一点。TPS703、2SC1000 以及 $47\text{k}\Omega$ 电阻之间的位置要尽量紧凑些。照片 8.4 是所有元器件组装在一起的情况。为了遮蔽外来光,要求把做好的基板装入黑色的圆筒内。



照片 8.4 受光部分光传感器的制作例

(红外发光二极管:TLN115;光电二极管:TPS703)

8.3.5 光电计数器的使用方法

图 8.7 的电路中,发光部分与受光部分的距离可以达到大约 3m。由于需要给发光部分提供 $+5\text{V}$ 的电源,所以必须用两根软线接续 GND 和 $+5\text{V}$ 。

当无法用软线接续时,也可以用电池工作。这时需要三节 1.5V 的电池串联成 4.5V 。光线是直线行进的,所以光电二极管感光部分的光轴必须与发光二极管的光轴处在同一条直线上。可以利用确认受光的 LED 进行这项调整。当接收到红外光时 LED 就会发光。光线被遮蔽时 LED 就熄灭。

当光轴一致时,光行进在发光部分与受光部分之间。光线每被遮蔽一次,计数器就能增加 1 个数字,于是调整就算完成了。

第 9 章

秒表的制作

测定运动项目的速度时需要使用秒表。秒表与普通的钟表(包括手表)不同,它的目的是对从某一时刻到另一时刻的时间间隔进行计时。

那么秒表是基于什么原理工作呢?我们通过数字 IC 的电路来理解它。

9.1 钟表的工作

钟表能够通过准确地计数实现时间测定。就是说如果对 1 秒钟计数 60 次就是 1 分钟,那么计数 3600 次就是 1 小时。

利用数字电路可以很容易地制作计数器,所以对于制作钟表来说最大的问题是如何准确地标定时间。

作为测定时间的典型工具,在制作秒表时,我们首先应该了解钟表的结构。

照片 9.1 是市售的秒表例。



照片 9.1 市售的秒表

9.1.1

振荡器+计数器=秒表

图 9.1 是秒表的框图。秒表通常可以以 $1/10\text{s}$, 或者 $1/100\text{s}$ 为单位进行时间的测定。

计数器电路可以原封不动地利用第 8 章中所制作的计数器(4 位计数器)。它最小可以测定到 $1/100\text{s}$ 。

4 位计数器分为 $1/100\text{s}$, $1/10\text{s}$, 1s 和 10s 这 4 位, 最大的计数为 99.99s 。

作为计数器的输入, 有一种是所有的位都置 0 的复位输入, 还有一种是每次对计数器进 1 的计数输入。复位是在计数开始时使用的, 所以可以原封不动地利用计数器的复位输入。

只要输入准确的 $1/100\text{s}$ 脉冲就可以计数输入。如果原封不动的接续, 那么它就经常处于计数状态。因此还需要在 $1/100\text{s}$ 的振荡器与计数器电路之间设置 1 个 AND 门。门电路顾名思义, 具有“门”的功能。

AND 门中, 当输入一方为“H”时门打开, 为“L”时门关闭。所以当希望秒表处于计数状态时加“H”, 希望停止时加“L”就可以。在设计开关时应该满足这一点。

秒表的工作原理示于图 9.2。处于振荡器和计数器电路之间的 AND 门对于秒表的工作具有重要的意义。

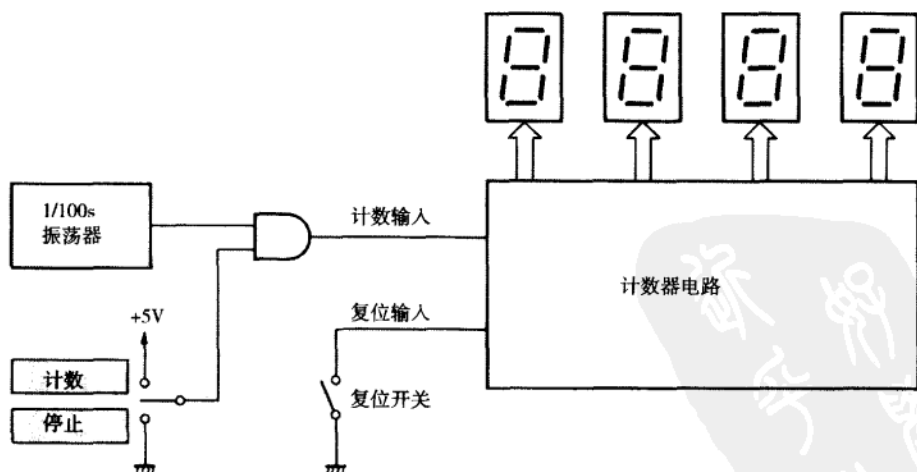


图 9.1 秒表的框图

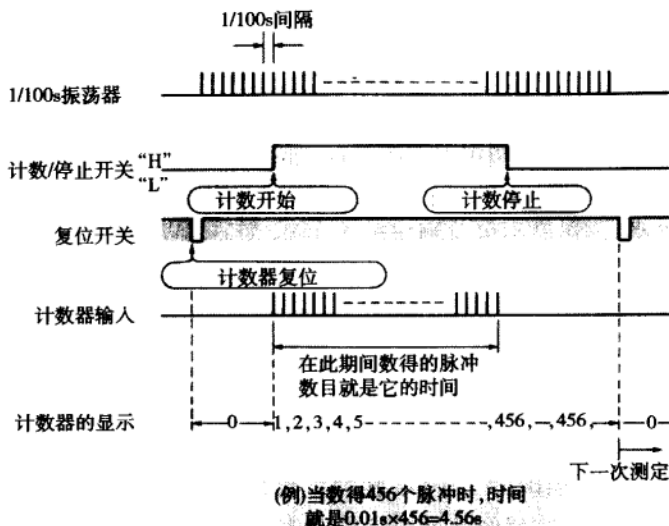


图 9.2 秒表的原理

制作准确的标定时间

不论如何,对秒表的性能要求首先应该是能够准确地测定时间。因此如何准确地产生 1/100s 的脉冲是电路设计的要点。为了获得准确而稳定的振荡,必须采用石英振荡器。利用 1/100s 即 100Hz 的石英振子制作振荡电路就可以了。不过这种振荡频率的石英振子却很难得到。

比较容易买到的石英振子的频率通常是在数百 kHz 至数 MHz 的范围。在这里使用的石英振子就是频率为 1MHz 的 HC6U 型。

为了从 1MHz 得到 100Hz 的振荡脉冲,可以进行 $1/10^4$ 即 10 000 分之一的分频。

利用计数器获得基准脉冲

这里利用了 10 进制计数器 74HC160 对 1MHz 进行分频。由于是取 1/10 000,所以可以使用 4 个计数器。用 74HC160 分频似乎有些浪费,不过人们已经习惯使用它。图 9.3 是秒表的总电路图。分频部分的 $4 \times 74HC160$ 与计数器部分的 $4 \times 74HC160$ 的接续完全相同。

不同之处在于分频部分不使用 74HC160 的各输出,只使用第

4 个的 CO 输出(15 号管脚),而且只处理 CL 输入(1 号管脚)。由于分频部分只取 1/10 000,所以没有必要进行强制复位,而是固定在“H”电平(+5V)。

9.1.4 利用 R-S 锁存器

秒表的启动/停止是通过加在 AND 门的输入上的电平检出的,这个 AND 门设置在计数输入处。也可以使用图 9.1 框图所示的乒乓开关,不过使用乒乓开关从一个接点转向另一个接点时多少会花费时间。就是说当你想停止计数时并不能立即停止计数(门未关闭)。

使用按钮式开关时可以利用 NAND 门锁存器。采用这种方式时,如果在某一时刻接通了停止开关,那么在这个瞬间 R-S 锁存器翻转,就立即关闭了计数输入的门,所以不会产生乒乓开关那样的误差。

9.1.5 AND 门和 NAND 门

框图中的计数输入门使用的是 AND 门,而图 9.3 的电路图中使用的是 NAND 门。在逻辑上 AND 门与 NAND 门是不同的,不过作为门的动作是相同的。就是说,在“H”电平下打开门的这一种功能是相同的。

使用 NAND 门时输出的逻辑是反转的,不过对于图 9.3 电路的这种使用方法完全没有问题。

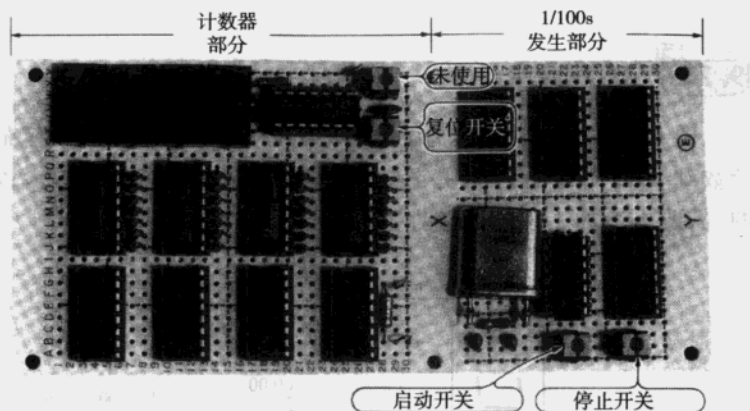
计数器电路(使用 74HC160 时)是在计数输入的“L”→“H”的变化点开始计数,所以如果使用 NAND 门,那么 1/100s 振荡器的输出就变成在“H”→“L”的变化点开始计数。

AND 门和 NAND 门中计数的标定时间有半个时钟脉冲的偏差。不过在启动和停止这两个动作都产生这种偏差,所以并不构成秒表的误差。

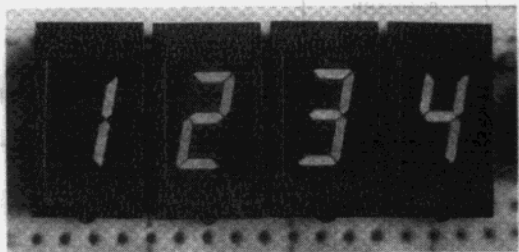
9.2 秒表的制作与调整

9.2.1 电路工作的确认

照片 9.2 是制作的基板。照片 9.3 是 LED 的显示例。



照片 9.2 制作的秒表基板



照片 9.3 秒表的显示例(显示 12.34s)

计数器电路部分与第 8 章的计数器电路几乎完全相同。

连接上的不同之处只是在 TC5022BP 的 RBI(2 号管脚)和 BI(3 号管脚)部分。在计数器中当复位计数器时高位的 3 位不显示 0,而在图 9.3 的电路中全都显示 0。

1MHz 的石英振荡电路使用了 74HC00。通常是使用反相器,不过图 9.3 的 R-S 锁存器、计数输入门以及石英振荡电路中共计有 4 个,于是使用 1 个 74HC00 就够用了。

所有部分都组装完毕后,先摁复位开关,这时应该都显示 0。然后摁下启动开关,计数器应该开始计数。再摁下停止开关时计数就应该停止。如果启动·停止动作不正常,应该检查 R-S 锁存器的连接是否正确。

当卸下 NAND 门的 10 号管脚,然后直接把 +5V 接到 10 号管脚上,计数器的数字仍然不变化时,就应该检查振荡器是否工作正常,或者分频用的 74HC160 的连线是否有错误。



改变最大计数

图 9.3 电路最大可以计数到 99.99s。图 9.4 示出了设定最大计数到 59.99s 的方法。用 4 位计数器是无法计数到 59.99s 以上的,需要再增加 1 位才能够计数到 9 分 59 秒 99。

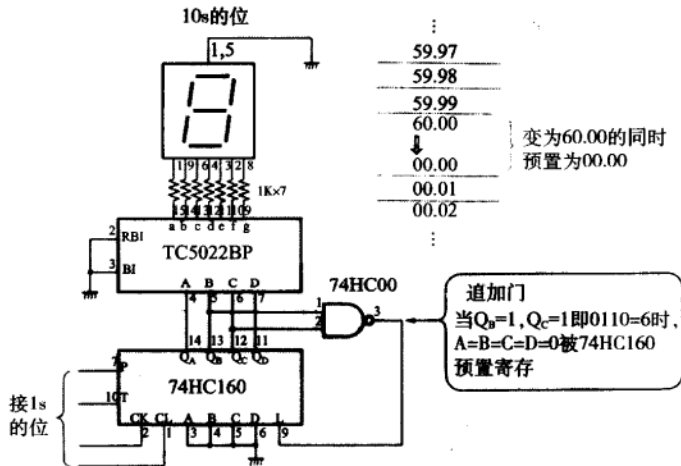


图 9.4 改变最大计数为 59.99s 的方法



利用专用计数器 IC

图 9.3 的电路中使用了 13 个 IC,配线点非常多,制作时也容易发生错误。

图 9.5 的电路是一个功能完全相同但是使用 IC 数目少的电路。

为了使计数器的功能比较集中,使用了几个专用计数器 IC。尽管叫做专用 IC,其实采用不同的使用方法还是能够用于各种不同用途的。图 9.5 中利用了 TC5052P,它是把 4 位十进制计数器集成在一个管壳中的数字 IC。输出显示是动态式的,所以只要 1 个 7 段的译码驱动就够了。与图 9.3 的电路相比较,配线数目减少了,使用的数字 IC 数目也减少到 5 个。

照片 9.4 是使用计数器 IC 制作的秒表基板。

顺便指出,图 9.6 列出了图 9.3 的电路与图 9.5 的电路所使用 IC 的价格比较。专用计数器 IC 的价格虽然高,但是由于使用的数目少,所以还是图 9.5 电路的花费少些。

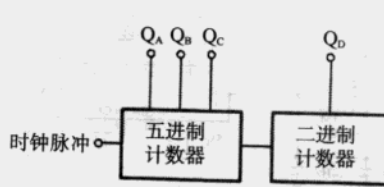
9.3 使用 BCD 计数器和十进制计数器的方法

9.3.1 十进制计数器与 BCD 计数器

十进制计数器是进入 10 个时钟脉冲就返回原状态的计数器。BCD 计数器同样也是进入 10 个时钟脉冲就返回原状态的计数器。那么是不是 BCD 计数器=十进制计数器呢? 准确地说, BCD 计数器应该是十进制计数器中的一种。把十进制计数器中其输出按照“0000”→“0001”→“0010”→……→“1000”→“1001”→“0000”这样的顺序变化的计数器称为 BCD 计数器。

例如, 在五进制计数器后面连接二进制计数器就变成了十进制计数器, 但是这并不是 BCD 计数器。相反, 在二进制计数器后面连接五进制计数器也构成了十进制计数器, 这种计数器同时也可以叫做 BCD 计数器。

图 9.7 和图 9.8 分别是五进制计数器+二进制计数器和二进制计数器+五进制计数器的输出变化。如果分别把输出变化变换为十进制数, 那么五进制+二进制是 4 后面跳为 8。与此相对应, 二进制+五进制的计数顺序是从 0 到 9, 再返回 0。



时钟	Q _A	Q _B	Q _C	Q _D	十进制表示
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	2
3	1	1	0	0	3
4	0	0	1	0	4
5	0	0	0	1	8
6	1	0	0	1	9
7	0	1	0	1	10
8	1	1	0	1	11
9	0	0	1	1	12
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	2

图 9.7 十进制计数器(不是 BCD 输出)

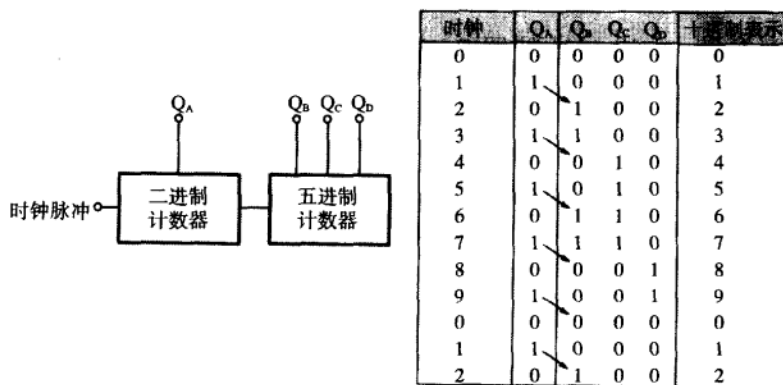


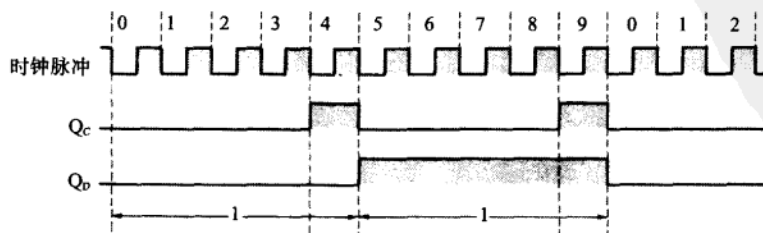
图 9.8 十进制计数器(BCD 输出)

9.3.2

适合分频的计数器

经常有希望对时钟频率进行 $1/10$ 分频的情况。这种情况下是不是可以使用 BCD 计数器？当然用 BCD 计数器也可以 $1/10$ 分频(图 9.9)。如果使用第 4 位的 Q_D 输出,就是对时钟脉冲 $1/10$ 分频。

但是 BCD 计数器 Q_D 输出的“0”与“1”之比是 4 : 1。而由五进制计数器+二进制计数器所构成的十进制计数器中, Q_D 输出的“0”与“1”之比是 1 : 1(图 9.10)。

图 9.9 BCD 计数器的 Q_D 输出图 9.10 十进制计数器(五进制+二进制)的 Q_D 输出

9.3.3

十进制计数器 74HC390

现在就用二组十进制计数器的 74HC390 IC 做一实验。74HC390 是有两个二进制计数器和两个五进制计数器的 16 管脚的 IC(图 9.11)。改变连接方式就可以构成多种计数器。图 9.12 是使用一个 74HC390 所能够构成的计数器种类。它可以构成从二进制到一百进制的 8 种使用方法,所以应用范围很宽。进行各种工作的电路示于图 9.13。

另外 74HC390 的输出变化是在时钟脉冲下降的时刻。在二进制十五进制中设置二组复位。

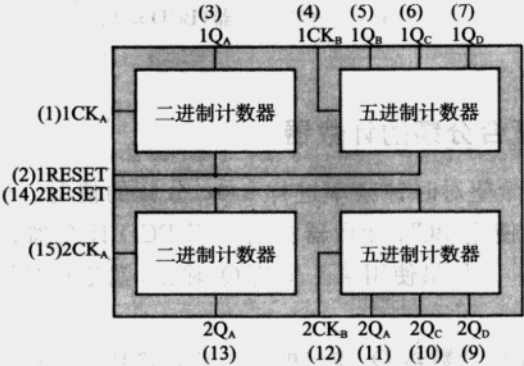


图 9.11 十进制计数器 74HC390 的框图和电路图例

n进制	组合
2	1个二进制
4	二进制+二进制
5	1个五进制
10	二进制+五进制
20	二进制+五进制+二进制
25	五进制+五进制
50	二进制+五进制+五进制
100	二进制+五进制+二进制+五进制

图 9.12 使用 74HC390 能够构成的计数器种类

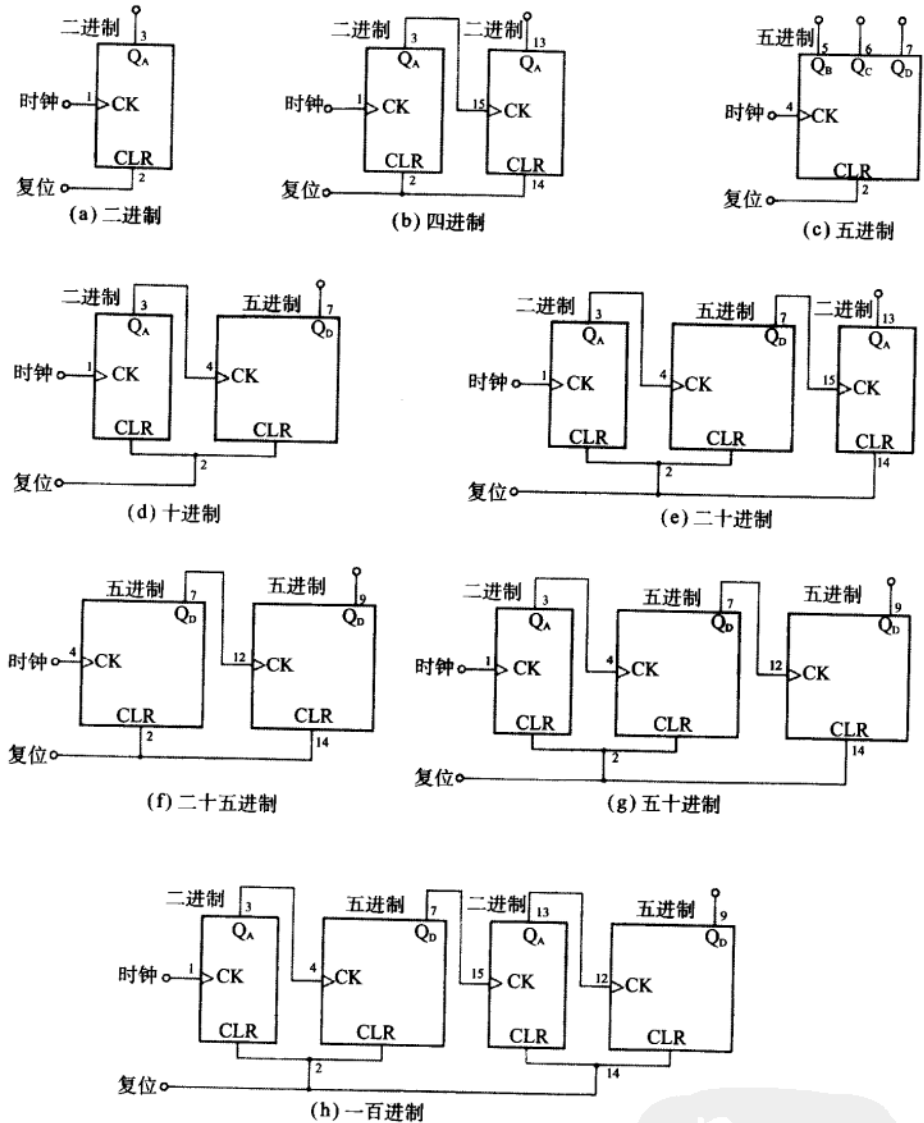


图 9.13 74HC390 计数器的连接图

第 10 章

自行车用速度计的制作

我相信阅读本书的读者中有许多是自行车爱好者。在天气晴朗的日子里悠闲地骑着自行车去郊游是多么愉快。这时也许还想知道是在以多少公里的速度行进吧！本章介绍如何制作自行车用的速度计。

10.1 速度计的原理

所谓速度(km/h)表示在 1h 内前进多少距离。

测定速度很多种方法。使用最多的方法是利用自行车轮的旋转。车轮总是与地面接触的，而且车轮的转动也总是与自行车前进的距离相对应。

假设车轮的圆周长是 1m，而且每秒钟转动一圈。那么经过 1h 后将前进 $1\text{m} \times 3600\text{s}(1\text{h}) = 3600\text{m}$ 。

就是说，车轮转动愈快，车速也就愈快。可以利用这个简单的原理制作速度计。

10.1.1 模拟式(指针式)速度计

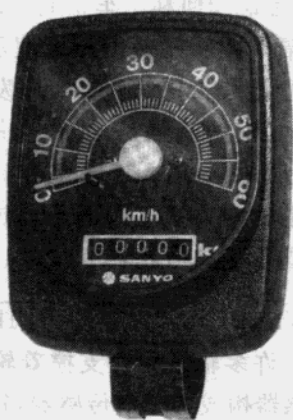
照片 10.1 是市售的速度计。它能够测定的最大速度可以达到 60 km/h。面板上的最小刻度为 1 km/h，不过实际上很难读取到这么小的速度。照片 10.1 只是仪表部分，实际上还需要有与车轮接触的橡胶滚子以及柔性旋转轴。

包括固定用配件在内大约 2000~3000 日元就可以买得到。

图 10.1 是它的工作原理。仪表的指针是线圈式弹簧，当没有受到力的作用时就指示 0 km/h。当车轮转动时仪表内的磁铁也跟着一起旋转。于是与磁铁相对的金属板也开始旋转。这个金属板的旋转力与弹簧力相平衡时指针的指示值就是这时的速度。由

于利用的是弹簧力,所以刻度指示不是等间隔的。特别是在 10 km/h 以下会产生较大的误差。

另外,如果由于某种原因与车轮接触的橡胶滚子发生滑动或者处于空转状态时,产生的误差就更大。



照片 10.1 自行车用速度计商品例

随着车轮的转动橡胶滚子也在转动。这种转动通过柔性旋转轴传递到仪表部分。仪表部分的磁铁也与柔性旋转轴一起旋转,使得金属板也在相同方向上旋转。由于弹簧力的作用,指针位置设置在 0 km/h 处。如果金属板旋转,那么当弹簧力与磁力相平衡时指针停止在某一位置上。

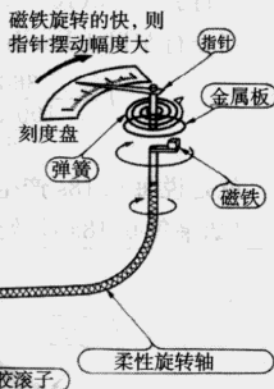


图 10.1 模拟式(指针式)速度计

10.1.2

非接触式速度检测器

车轮与橡胶滚子之间是一种机械式接触,由于摩擦会产生损

耗。而且或多或少也会造成能量消耗。

自行车的能源来自人的体力,所以应该尽量减少能量消耗。因此应该考虑采用在不与车轮接触的条件下测定其转动的方法。

我们知道车轮的轮箍是用辐条支撑的。当车轮转动时辐条也一起旋转。所以可以考虑如何利用车轮上辐条的旋转。

图 10.2 是利用辐条旋转的速度计原理示意图。为了检测辐条的旋转利用了光电计数器中使用的红外发光二极管和光传感器。假设辐条与辐条之间的间隔是 5cm,当每隔 0.18s 就有辐条在光电传感器前通过时,那么运行速度就是 1km/h。

这就是说,如果能够对 0.18s 间辐条通过光电传感器的次数进行计数的话,那么这个计数值就表示以 km/h 为单位的速

所谓时速 1 km/h 就是前进 1km 需要 1h。

自行车的车轮有许多辐条。它支撑着轮箍。车架上安装用红外二极管和光传感器构成的光电传感器,每当辐条通过传感器时会产生脉冲。如果把脉冲数换算成距离用来表示速度,就是所谓的速度计。

当行驶 1 km(100 000cm)需要 1h(3600 秒)时,

当自行车以 1 km/h 行驶时,每前进 5cm 需要的时间为

$$T = \frac{3600}{\frac{100\,000}{5}} = \frac{3600}{20\,000} = 0.18(\text{s})$$

就是说每 0.18s 产生 1 个脉冲的速度就是 1 km/h。

(如果每 0.18s 计数到 10 个脉冲,速度就是 10 km/h)

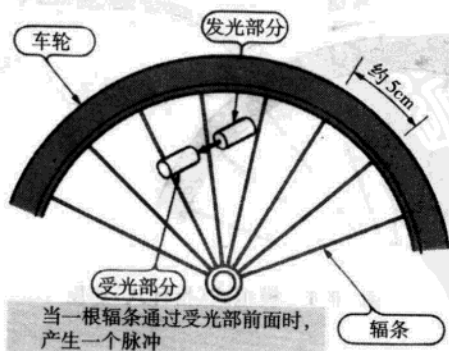


图 10.2 自行车用速度计的原理

10.1.3

锁存器的必要性

按照图 10.2 的原理,如果把计数器与基准脉冲(0.18s)发生器组合起来,就可以构成速度计。但是前面曾经制作过的计数器是直接由 7 段数字表示器表示计数的内容的。就是说,计数器变化的情况全部都被显示出来。

对于速度计来说,如果原封不动的用 0.18s 内测得的脉冲数表示速度,那么当速度为 10 km/h 时,因为 $0.18\text{s} \div 10 = 0.018\text{s}$,所以就应该在 18ms 内计数变化 1 次。 18ms 变化 1 次也就是每秒变化 55 次,这种变化速度是人的肉眼无法赶上的。

作为计数器的动作,是在 $0 \rightarrow 0.18\text{s}$ 期间计数,然后再次在下一个 $0 \rightarrow 0.18\text{s}$ 期间计数,如此重复的动作。如果能够把第 0.18s ,也就是就是一次计数结束时刻的数据锁存到另外的存储器中,在下一次计数结束之前显示这个被锁存的数据就可以了。

这就是说显示的数据是每隔 0.18s 改变一次(每秒约变化 5 次)。

图 10.3 是按照这个思路制作的速度计的框图。

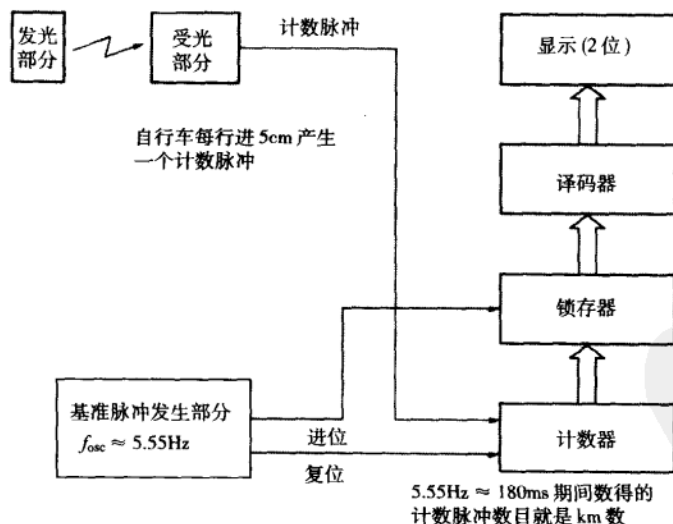


图 10.3 自行车用速度计的框图

10.2 速度计的规格及电路设计

10.2.1 速度计的规格

说规格有些夸张,不过需要确定制作的速度计应该具有怎样的性能。

自行车的速度,如果慢行的话大约是 10 km/h,稍微加快大约有 20~30 km/h。所以可以采用 10 进制 2 位计数器。这样最高的速度计数可以达到 99 km/h,最小刻度为 1 km/h。

显示大约每隔 0.18s 变化 1 次,就是说每秒钟检测速度 5 次。

10.2.2 电路设计

图 10.4 是设计的自行车用速度计的电路图。计数器部分使用 10 进制计数器 74HC160。显示部分是 2 位 7 段数字表示器 TLR320。数字的高度约 1cm,便于读取数字。记忆计数器内容的锁存器使用 4 输入的 D 触发器 74HC175。7 段译码器使用熟知的 TC5022BP。

基准脉冲发生部分采用 RC 振荡器。如果对准确性和稳定性的要求高,可以采用石英振荡器和计数器分频电路的组合电路。不过使用的 IC 数目将很多。如果再考虑到轮箍变形等因素引起的误差,那么仅仅使用准确的基准振荡器未必有实际意义,所以还是不使用它。

车轮转动的探测部分利用红外发光二极管和光传感器。与光电计数器相比,由于检测距离短,所以电路变得简单。发光部分可以原封不动地用直流驱动。检测部分的放大倍数也不必很高。

受光部分的反相器使用施密特反相器 74HC14。实验时发现使用 74HC04 时常常发生误动作。

基准脉冲发生部分产生的进位脉冲和复位脉冲的关系示于图 10.5。

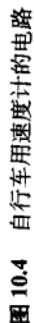


图 10.4 自行车用速度计的电路

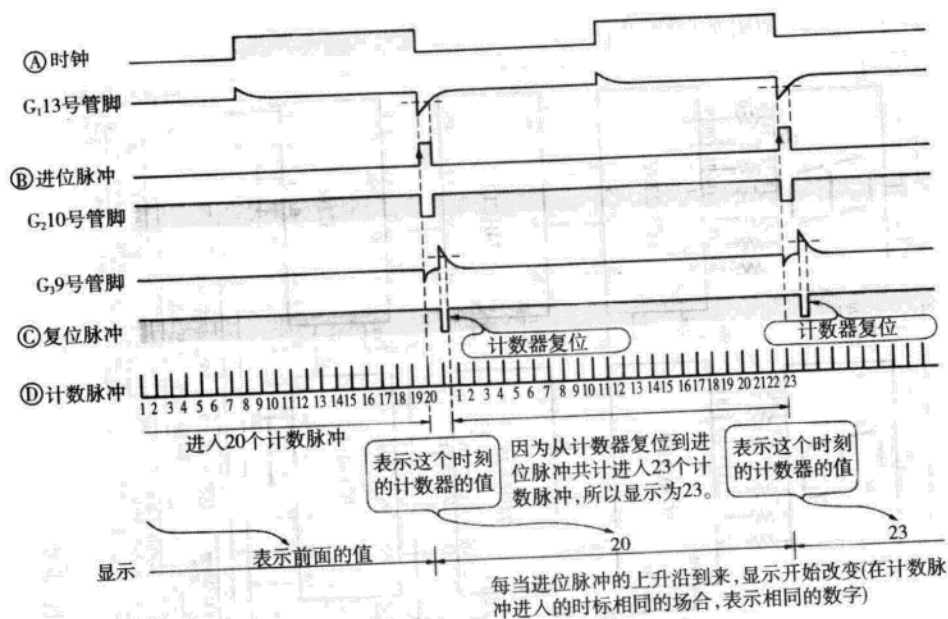


图 10.5 速度计的工作波形

10.3 速度计的制作与调试

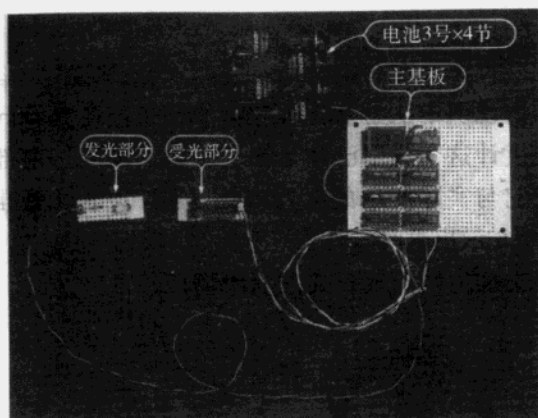
10.3.1 速度计的制作

照片 10.2 是制作的速度计。计数器本体以及发光部分、受光部分制作在各自的基板上。照片 10.3 是放大的显示部分本体基板。工作中,没有脉冲进入时的显示为 0。

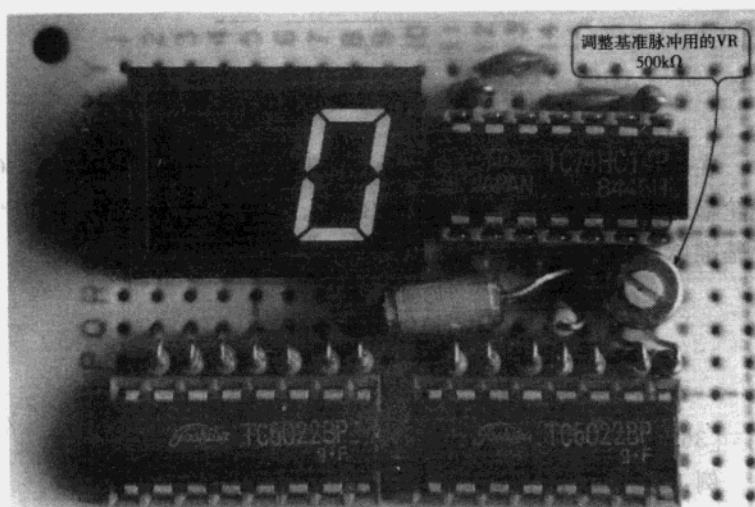
照片中 74HC14 右下方的圆形元件是调整基准脉冲频率用的可变电阻器 VR。

照片 10.4 是发光部分和受光部分的基板。把它们分别装入圆筒形外壳内,固定在自行车的前车叉上,安装时注意尽量避免来自横向的光进入。

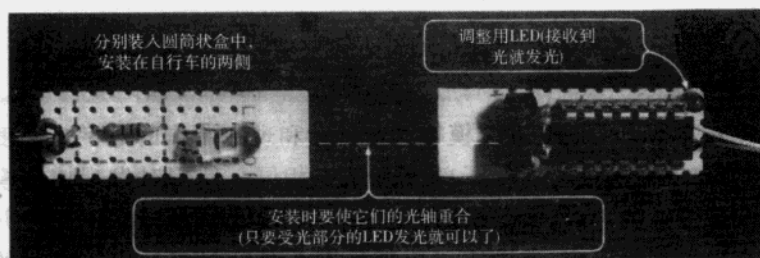
利用受光部分的调整用 LED 对光轴进行重合调整。一旦光进入受光部分,LED 就会发光。实际上在安装之前就应该像照片 10.4 那样配置在基板上,并在发光部分与受光部分之间设置遮蔽物,确认 LED 不发光(没有遮蔽物时 LED 发光)。



照片 10.2 制作的速度计



照片 10.3 速度计的显示部分



照片 10.4 发光部分与受光部分

10.3.2

准确的速度计

在前面的说明中认为自行车轮辐的辐条间距是 5cm。对于比较粗糙的速度计这个数据已经足够了。如果基准振荡部分的频率进行调整使它与实际使用的自行车相一致,就可以更准确地测定速度。图 10.6 示出这种方法。

要点是准确地测定辐条的间隔距离。

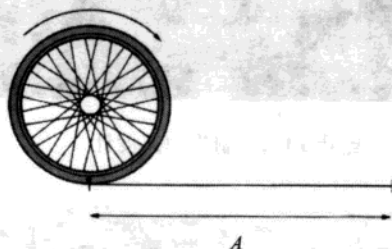


图 10.6 制作准确的速度计

在轮辐上作 1 记号使它转动,求得转动一周时的距离 A 。假设轮辐的辐条数为 B 。那么 $A \div B = C$,即辐条间的距离。所以发生基准脉冲的 f_{osc} 为

$$T = \frac{3600}{100\,000/C} = \frac{3600 \times C}{100\,000}$$

$$f_{osc} = \frac{1}{T} = \frac{100\,000}{3600 \times C} (\text{Hz})$$

$$[3600\text{s} = 1\text{h}, 100\,000\text{cm} = 1\text{km}]$$

例:以 24 英寸(1 英寸=2.54cm)自行车为例。

当 $A=188\text{cm}$, $B=36$ 根, $C=5.2\text{cm}$ 时

$$f_{osc} = \frac{100\,000}{3600 \times 5.2} = 5.34 (\text{Hz})$$

10.3.3

实际使用

在自行车上同时安装模拟式速度计和现在制作的数字式速度计,各自测定速度时所显示的速度基本相同。使用时发现使用模拟式速度计测速时,由于结构上的原因,在突然加速时它的指针并没有立即做出反应,而数字式速度计则总是即时显示出该时刻的速度。

由于不需要与轮辐接触,所以使用时非常舒适。不过这里制

作的速度计由于使用了 LED, 所以消耗电流较多。整个速度计约有 65mA 的电流流动(使用 4 节 3 号电池, 6V)。

用 3 节干电池(4.5V)时也有约 40mA 电流。

为了节约使用电池, 显示器可以改为 LCD。如何能够在保证正常工作的前提下减少流过红外 LED 的电流还需要进一步探讨。



第 11 章

信息灯的制作

近来,经常看到在后窗上安装有刹车灯或者其他信息灯行驶的汽车。灯安装在汽车后窗一定的高度上,所以能够看到前方甚至几台车的刹车,从而有效地防止追尾事故的发生。

这种灯的主流是电灯泡。不过现在由于 LED 性能的提高,已经部分地取代了电灯泡。本章将介绍使用 LED 制作信息灯。但是如果安装在汽车上,还应该注意符合交通安全标准。

11.1

使用多个 LED 表示文字

11.1.1

使用 LED 灯

不要因为 LED 的性能提高了,只使用一个 LED 就能够取代电灯泡。要取代电灯泡,必须配置多个 LED 组成同心圆。

但是,只组成圆形灯在效果上与电灯泡并没有区别。要显示文字信息还需要花费些功夫。

LED 灯的大小通常是 $\phi 3$ (直径 3mm) 或者 $\phi 5$ (直径 5mm)。 $\phi 3$ 的有些太小,所以还是采用 $\phi 5$ 的 LED,用它来组成点阵式文字。

对于英文字母,可以用 5×7 个点或者 7×9 个点组成一个字母。要显示汉字的话,至少需要 16×16 个点。如果要制作显示 4 个汉字的显示器,就需要 $16 \times 16 \times 4 = 1024$ 个 LED。

显示汉字时的驱动电路比较复杂,这里不再介绍它。现在以用英文表示“STOP”4 个字母为例介绍信息显示器。

为了在尽量远的地方看得到文字,采用 7×9 个点的方式

组成文字,并把 LED 安装在最醒目的地方显示“STOP”这 4 个字母。表示这 4 个字母需要 $7 \times 9 \times 4$ 个 LED。不过这里不再显示“STOP”以外的其他文字,所以用 84 个 LED 也就够用了。

11.1.2 LED 灯的驱动

当 LED 流过正向电流时发光。但是如果就这样原封不动地接上电池,过大的电流会烧毁器件。所以如图 11.1 所示,接入了限流电阻。

在使用蓄电池的场合,电压通常是 12V,所以可以如图 11.2 所示串联 4 个 LED 使用。

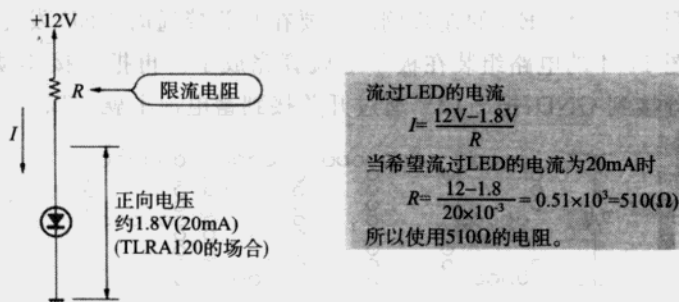


图 11.1 LED 的驱动方法

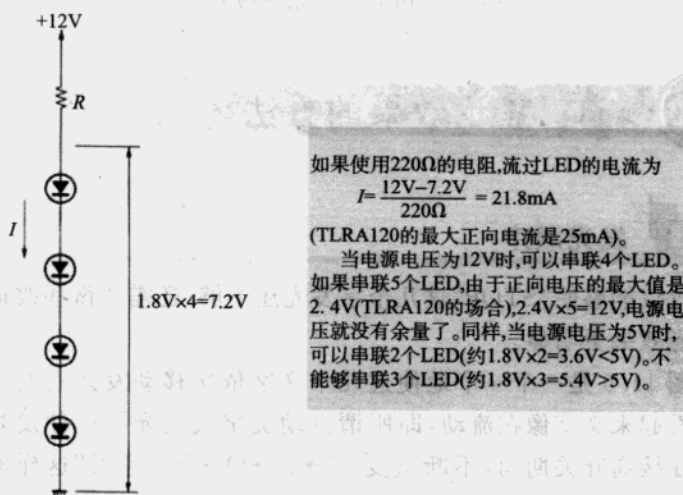


图 11.2 串联 LED

11.1.3 用 7×9 点组成文字

图 11.3 是用 7×9 点组成文字“STOP”的例子。本来是用纵向 9 个点、横向 7 个点共计 63 个点表示一个文字的,不过这里只表示 STOP 这 4 个文字,只需要在图中圆圈处配置 LED 就可以了,就是说可以只按 S, T, O, P 这 4 个字母发光的要求配置 LED。

如果每个文字使用的 LED 数目是 4 的倍数,布线就会变得容易。不过实际情况并不是这样。当 LED 的数目不是 4 的倍数时,可以改变串联电阻的数值,使流过的电流基本相同。

图 11.4 是 LED 的连线例。只要在开关接通时 LED 发光,那么把图 11.4 的电路组装在板子上就算完成了。再把连接驱动 IC 的部分接到 GND,把 +12V 通过开关接到蓄电池上就可以了。

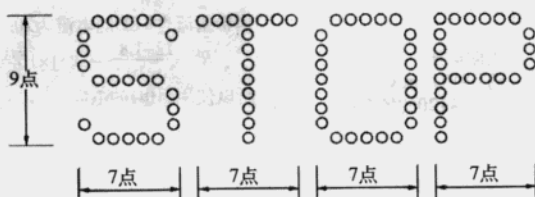


图 11.3 用 7×9 点组成的文字

11.2 改善显示效果的方法

11.2.1 发光顺序

仅仅能够使“STOP”这几个字发光还不够,还需要做些改进使得发光效果更明显。

图 11.5 是一个一个地使这几个文字依次移动发光的发光方法。看起来文字像在流动,即所谓流动文字式发光。这种发光方法是在接通开关期间,不断重复“S→T→O→P→熄灭”这样的动作。

图 11.6 是一个一个地增加文字的发光方法。发光的文字在增加,即所谓依次增加式发光。采用这种方法,从开始的一个字

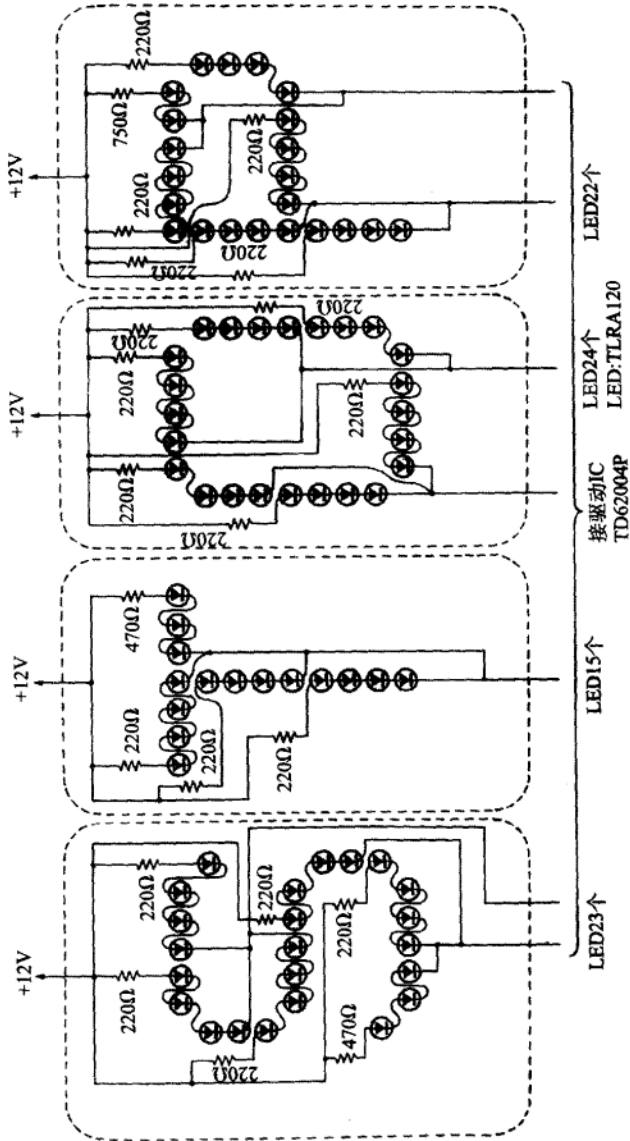


图11.4 LED的布线

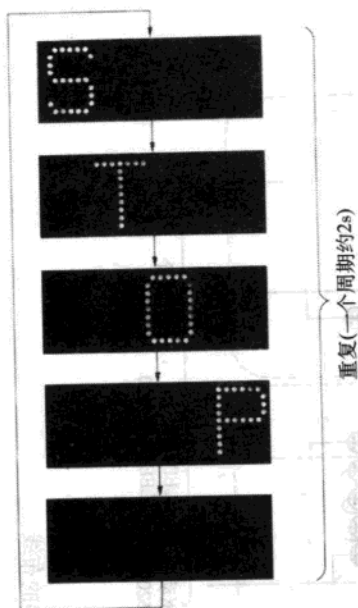


图 11.5 流动文字式的发光顺序

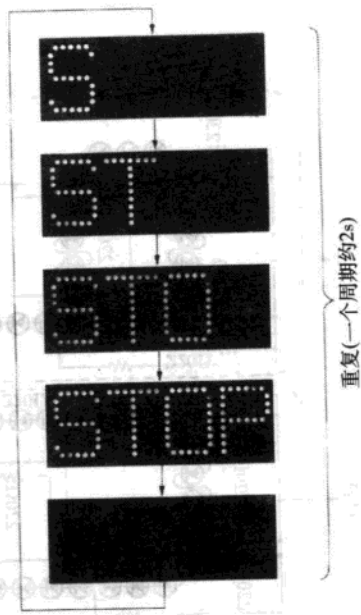


图 11.6 依次增加式的发光顺序

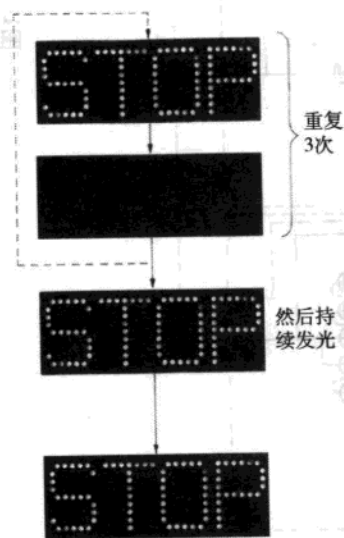


图 11.7 发光↔熄灭式的发光顺序

母发光到最后所有的字母“STOP”都发光。

与流动文字式相同,在接通开关期间不断重复发光。

图 11.7 是由熄灭转换为发光的方法。采用这种方法,所有的字母“STOP”同时发光,又同时熄灭。当接通开关时,发光↔熄灭,如此重复 3 次,然后持续发光。当然断开开关后就熄灭。然后在下一次接通开关时,又重复 3 次发光↔熄灭的动作。

11.2.2

流动文字式发光

现在讨论流动文字式的发光。可以发现这里存在着“文字流

动→数据流动→移位寄存器”这样的联系。因为发光的文字是在依次移动着,所以使用移位寄存器应该能够实现这一功能。当然还需要考虑计数器+译码器的组合。电子电路中没有绝对必须使用的某种电路。究竟使用何种具体的电路,会因设计者的知识与经验、容易购得的元器件的种类而有所不同的。所以不要拘泥于一种电路,应该进行多种尝试。

图 11.8 是一种使用移位寄存器的流动文字式发光电路。4 个字母依照 S, T, O, P 的顺序发光,所以使用了 4 位移位寄存器。发光的时候只有一个字母,所以需要 1 位(一个时钟脉冲)的数据。

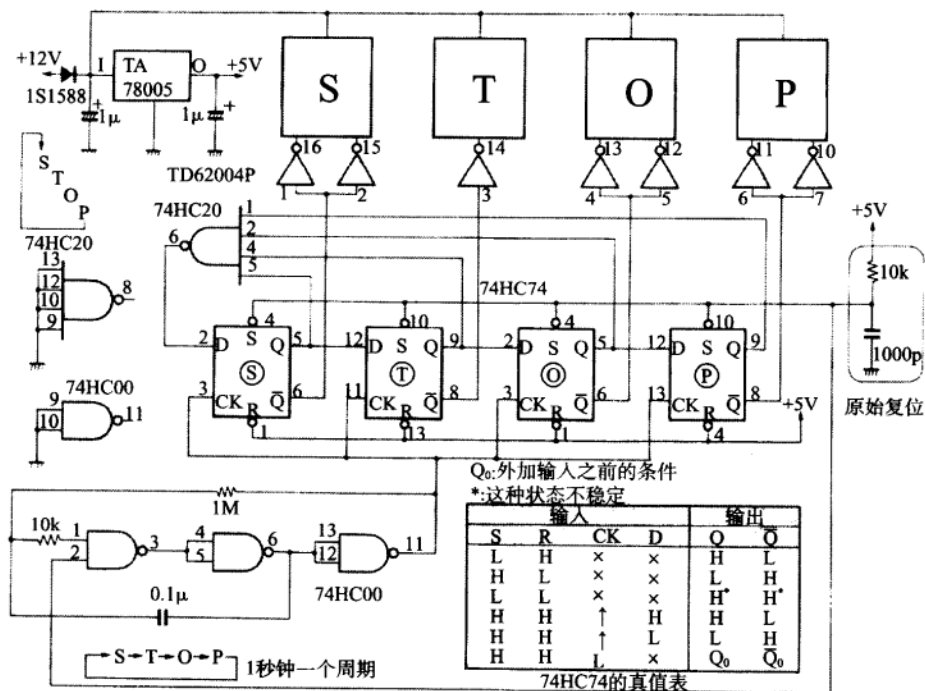


图 11.8 流动文字式的发光电路

4 输入 NAND 门 74HC20 具有这个能力。特别地把这种连线的移位寄存器叫做环形计数器。

图 11.9 是它的工作波形。当接通开关时,就加上 +12V 电压。于是三端调压器输出 5V,所有的 IC 开始工作。这时在原始复位电路的作用下,所有触发器的 Q 输出设置为“H”。

于是 4 输入 NAND 门的输出变为“L”。⑤的触发器在下一个时钟脉冲的上升沿读入“L”。当⑤的 Q 输出变为“L”时,4 输入 NAND 门的输出变为“H”。所以 74HC20 的输出只是在 1 个时钟

脉冲变为“L”。这样“L”的一个时钟脉冲的数据按顺序依次传送到⑤→①→③→④的各触发器。与Q输出为“L”，也就是 $\bar{Q}$ 输出为“H”的触发器相连接的缓冲存储器TD62004P被启动，使得LED发光。

原始复位使用了电阻与电容器。当电源电压为0V时，1000pF的电容器上没有存储电荷。所以两端的电压为0V。当加上+12V电压(通过三端调压器后变为5V)，通过100k Ω 的电阻电位慢慢上升。触发器在加上+5V的瞬间开始工作，而1000pF的电容器端电压此时还处于接近0V的值。所以，数字IC的“L”电平电位加到各触发器的置位端上，Q输出也就置位于“H”。

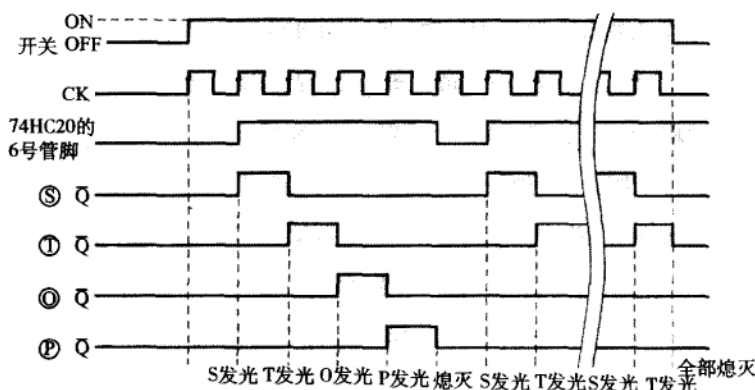


图 11.9 流动文字式的工作波形



依次增加式发光

下面讨论改变发光顺序的问题。我们讨论如何使“STOP”这几个字母一个一个地增加，最后4个字母都发光的电路。

仍然利用流动文字式中使用的环形计数器。图11.10(a)是环形计数器Q输出的变化。

在流动文字式中各自的Q输出为“H”时LED发光。在依次增加式中，字母S是在4个时钟脉冲部分发光，字母T在下面接着的3个时钟脉冲部分发光，字母O在再后面的2个时钟脉冲部分发光，字母P则是在字母O发光后的再一个时钟脉冲中发光。

按照图11.10(a)的真值表，字母S是在 Q_S 为“H”时发光，字母T是在 Q_S 与 Q_T 同时为“H”时发光，字母O是在 Q_S 、 Q_T 、 Q_O 同时为“H”时发光，而字母P则是在 Q_S 、 Q_T 、 Q_O 、 Q_P 同时为“H”时发光。

为了实现上述的顺序,可以利用译码器电路。图 11.10(b)就是一例译码器电路。

下面讨论不使用译码器电路实现依次增加式发光的方法。发光的字母是一个一个地增加的,那么如果能够用数字电路实现使紧邻的字母增加这一规则就可以了。

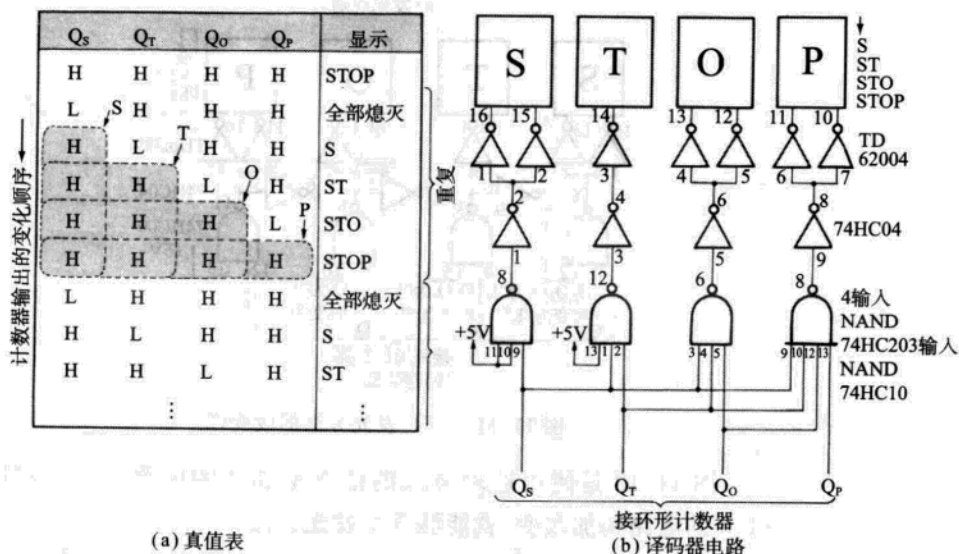


图 11.10 LED 发光方法的改变(1)

环形计数器的数据应该是依次移动的。可以以移动的数据为中心考虑 LED 的发光状态。图 11.11(a)示出了发光规则。在这种场合移动的数据为“L”。而且当 Q_s 为“L”时只有字母 S 发光。必须在时钟脉冲输入,“L”移动到 Q_T 时 S 和 T 才同时发光。从图 11.11(a)的规则可以看出,发光的 LED 是处于“L”数据的字母及其该字母之前,也就是所有左侧的字母。

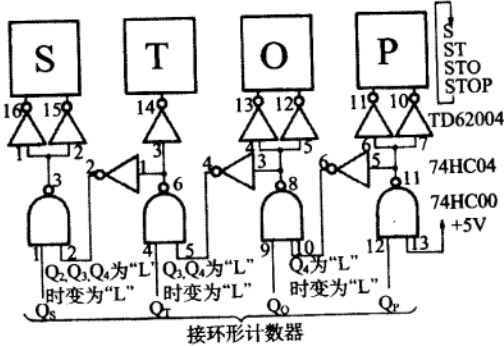
图 11.11(b)的电路可以实现上述动作。

我们分析图 11.11(b)电路的动作。例如当 Q_O 为“L”时, Q_O 进入的 2 输入 NAND 门的输出变为“H”,字母 O 发光。然后 NAND 门的输出通过反相器加到使字母 T 发光的 2 输入 NAND 门上。所以如果 Q_O 变为“L”时, Q_T 所输入的 2 输入 NAND 门的输出也变为“H”,字母 T 当然也发光。

同样地字母 S 也发光。当 Q_P 变为“L”时,通过反相器和 NAND 门加上信号,依次使 O, T, S 全部发光。正好与计数器的升位信号动作相同。

Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	显示
H	H	H	H	熄灭
Ⓛ	H	H	H	O_5 “L”时S发光
H	Ⓛ	H	H	O_7 “L”时S和T发光
H	H	Ⓛ	H	O_6 “L”时S、T、O发光
H	H	H	Ⓛ	O_5 “L”时S、T、O、P发光
H	H	H	H	熄灭

(a) 发光规则



(b) 逻辑图

图 11.11 LED 发光方法的改变(2)

图 11.12 是使用这种方法的依次增加式的电路。只是对图 11.8 的电路稍加改变,就能够改变发光方法。

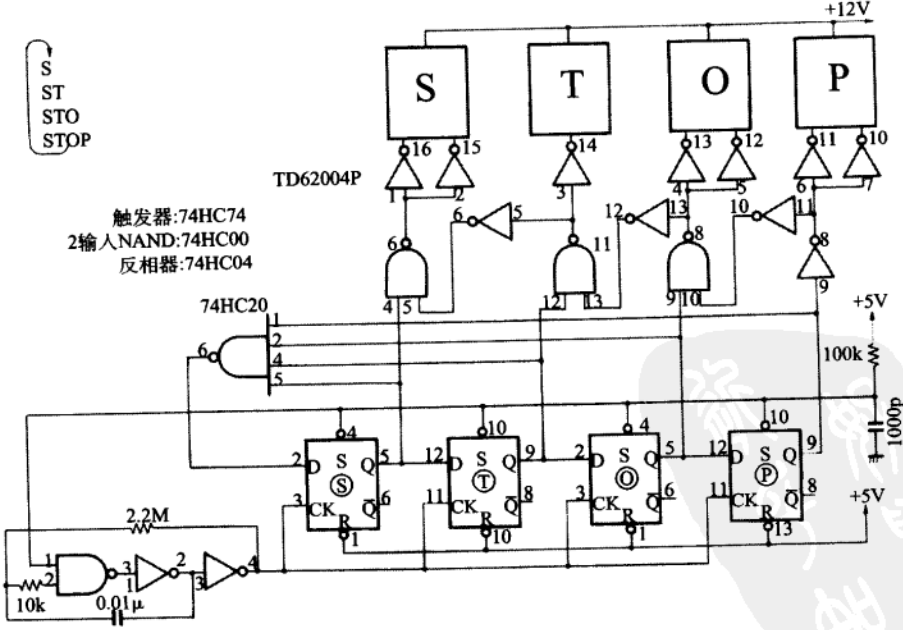


图 11.12 依次发光方式的发光电路

11.2.4 熄灭→发光转换的方式

下面讨论的电路动作能够实现当接通开关时最初闪光然后一直发光。所谓重复发光与熄灭就是数据交互重复“H”和“L”。最后是持续发光,所以应该停留在“H”。

这种情况如图 11.13 所示。如果能够产生图 11.13 那样的信号,就可以达到目的。所谓发光与熄灭重复三次就是确定地原封不动地有效利用图 11.8 或图 11.12 的环形计数器的次数。

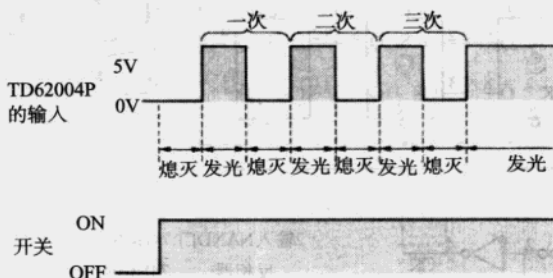
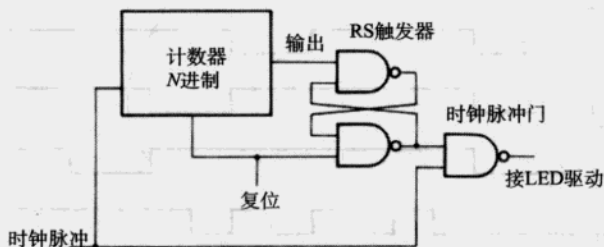


图 11.13 熄灭→发光的工作波形

基本电路由 N 进制计数器、R-S 触发器以及时钟脉冲门构成(图 11.14)。在这种场合,闪光次数为 N 次。

图 11.15 是利用 4 位环形计数器时的电路。其工作波形示于图 11.16。R-S 触发器由最初的复位信号置于“H”,当 Q_P 输出为“L”时它就变为“L”。

然后只是在 R-S 触发器的输出为“H”期间,时钟脉冲作为 LED 的驱动信号被输出。



设计为计数器输出复位时为“H”,进入 N 个时钟脉冲时变为“L”。

图 11.14 熄灭→发光电路的结构

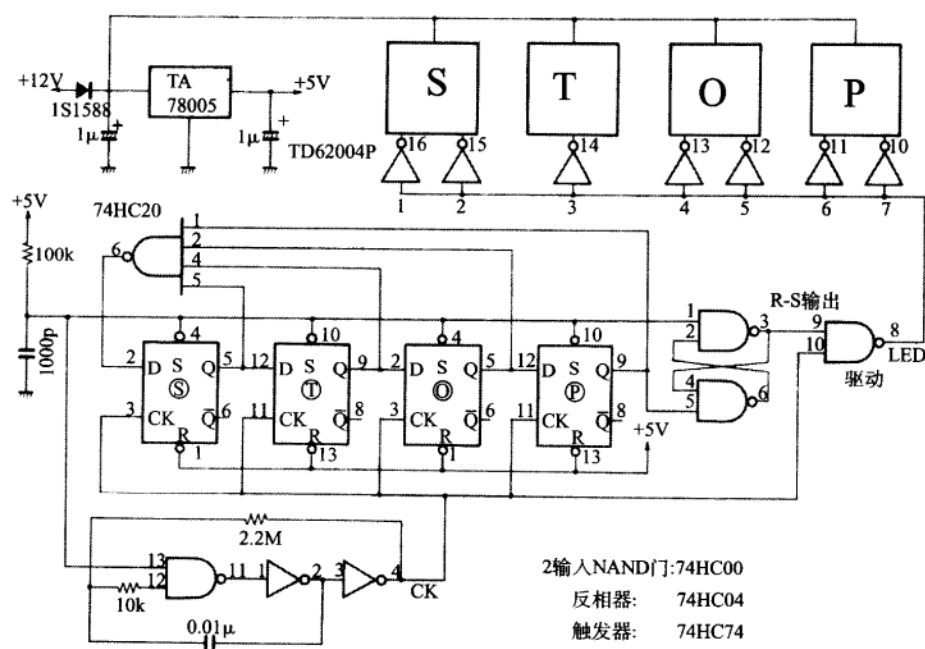


图 11.15 熄灭→发光电路

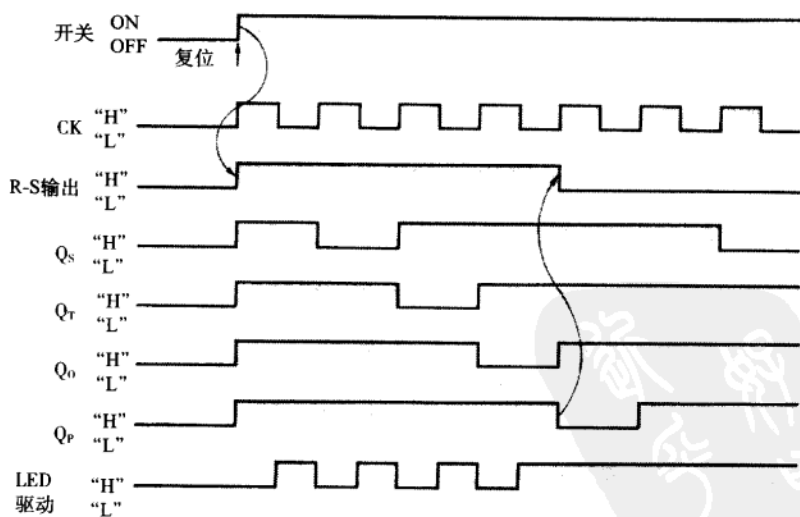


图 11.16 图 11.15 的工作波形

11.3 用一台表示器显示多种表示方式

11.3.1 组合各种发光方式

前面所讨论的三种发光方式都是以 4 位环形计数器为中心的发光方式,所以有可能把它们综合成一个电路。

图 11.17 就是这种总电路图。组成文字 STOP 的 LED 的连线方式与图 11.4 相同。

前面已经就各种发光方式的动作做了说明,在这里讨论工作模式的转换问题。

工作模式的转换是通过控制图 11.17 电路中(A)、(B)、(C)、(D)的各输入来实现的。

流动文字式要求把环形计数器的输出原封不动地一直加到 LED 的驱动上。所以置(A)为“L”。使这里信号不传递给相邻处。(B)为“L”。处于 TD62004P 之前的 NAND 门全部作为反相器动作。(C)为“H”。连接到(C)的所有 NAND 门的动作也都与反相器相同。

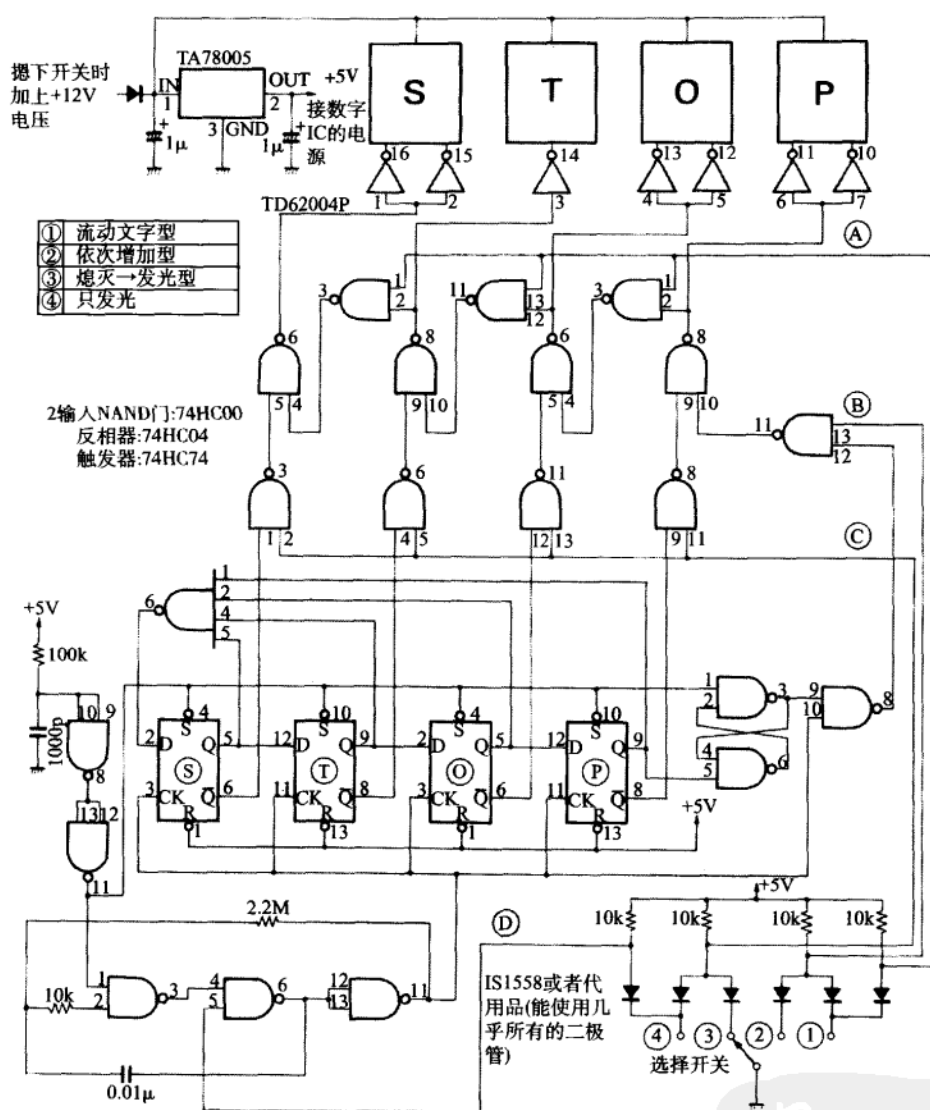
通过以上操作,环形计数器的触发器与 LED 驱动之间就串联了 2 级反相器。(D)置于“H”,发生时钟脉冲。

同样地,依次增加型和熄灭→发光型,以及只发光场合的转换电路示于图 11.18。电路是基于二极管的 AND 动作。

11.3.2 组 装

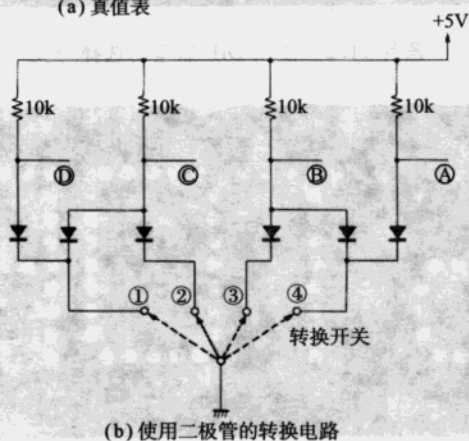
照片 11.1 是完成了基板。首先确定文字 STOP。文字的大小由 LED 的间距决定。如果间距过大,就难以辨认发光的 LED 所构成的文字。

这里制作的是在孔间距为 2.54mm 的基板上以 3 个孔为一个点。LED 的两个管脚占两个孔,中间还空着一个孔。配置好 LED 后,利用余下的空间里配置 IC。也有在另外的基板上组装数字电路然后用电缆线连接起来的方法。不过如果是安装在正面着色的丙稀板上,混装有 IC 也没有影响。



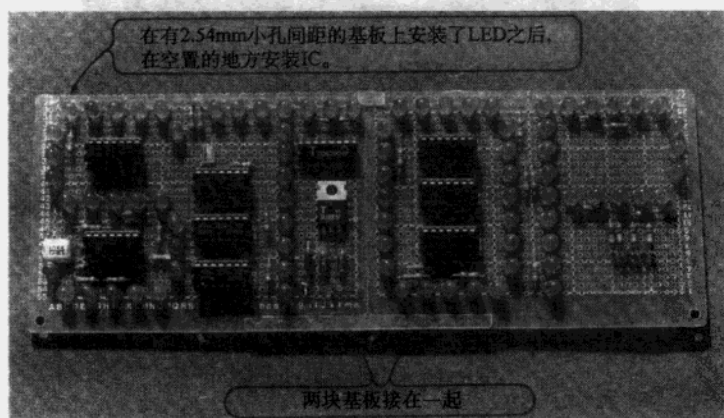
No	发光方式	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	Ⓓ
①	S→T→O→P→熄灭	L	L	H	H
②	S→ST→STO→STOP→熄灭	H	L	H	H
③	三次闪光→发光	H	H	L	H
④	一直发光	H	H	L	L

(a) 真值表

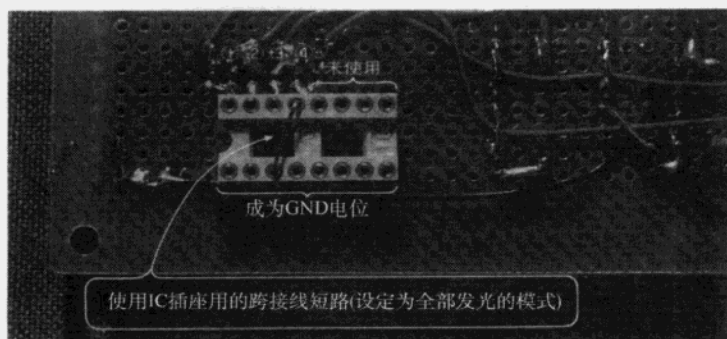


(b) 使用二极管的转换电路

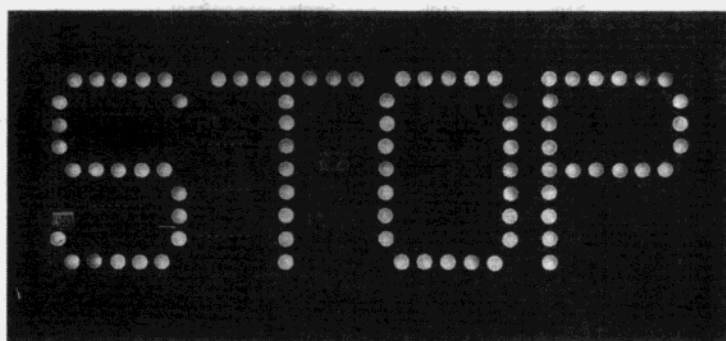
图 11.18 发光方式的转换电路



照片 11.1 安装了 LED 灯和 IC 的基板



照片 11.2 使用 DIP 插座的选择开关

照片 11.3 完成了的基板上加 $+12\text{V}$ 时 LED 的发光状态

照片 11.4 丙稀盒与基板

11.3.3

连接 12V 蓄电池

图 11.19 是实际安装时的连线图。接通开关时信息灯连

11.4 二进制数的运算

11.4.1 二进制数的加法运算

数字电路中应用二进制数。这里介绍二进制数的计算。图 11.20 是二进制的数加法运算。二进制数的 1 位加法运算有加数与被加数的 4 种组合。按照它们的组合决定结果。其结果用和与进位表示。

所谓进位,例如用十进制表示的话, $9+7=16$ 。这时产生了 10 位数,把这叫做进位。二进制中也完全相同,1 位(1bit)+1 位(bit)变成了 2 位(2bit)。

输入		结果 (和)	进位
0+0	=	0	0
0+1	=	1	0
1+0	=	1	0
1+1	=	0	1

图 11.20 二进制的加法运算

11.4.2 半加器

作为 1 位加法器一共需要 4 个端子,即加数(输入)与被加数(输入),以及作为结果的和(输出)与进位(输出)。在实际进行电路实验之前,让我们再一次确认这个功能。

图 11.21 的真值表,其结果分别用和与进位表示。对于和 S(取 SUM 的字头,叫做 S),只有输入的某一方为“1”时输出才为“1”;对于进位 C_o (取 Carry Out 字头,叫做 C_o),只有当输入都为“1”时输出才为“1”。如果分别看各自的真值表,图 11.21(a)与异或门(Ex-OR)的真值表完全相同,图 11.21(b)与与门(AND)的真值表完全相同。所以,利用这些门器件制作加法器就可以得到图 11.22 的电路。

图 11.22 电路中的输入只有两个端子,所以不能够接受来自低一位的进位信号。换句话说,只能够进行一位的加法运算。把这样的加法器叫做半加器。

输入 A B	和 S
0 0	0
0 1	1
1 0	1
1 1	0

(a)和

输入 A B	进位 C ₀
0 0	0
0 1	0
1 0	0
1 1	1

(b)进位

图 11.21 半加器的动作

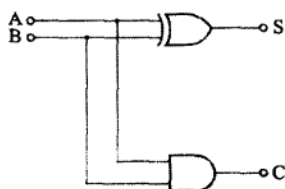


图 11.22 半加器的电路图



全加器

数字电路中只进行 1 位的计算是没有实际用途的。例如,为了处理十进制数而使用 BCD 码,它必须有 4 位。把这种不论多少位数据都能够串行地处理的加法器叫做全加器。

图 11.23 是全加器的真值表。真值表中的上半部分与半加器完全相同。进位输入为“1”时的输出则不同。与半加器相同,全加器也分为 S 输出和 C₀ 输出,这一点比较容易理解。

A	B	C ₁	S	C ₀
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

与半加器的动作相同

$C_1=0 \quad C_1=1$
 $0 \leftrightarrow 1$
 $1 \leftrightarrow 0$
 $1 \leftrightarrow 0$
 $0 \leftrightarrow 1$
 反转的关系

图 11.23 全加器的真值表

可以看出当 C₁ (进位输入) 为“0”时 S 项中的情况与半加器相同,但是当 C₁ 为“1”时则完全相反。利用这种特性可以得到图 11.24 的电路。就是说在 A、B 输入的结果(半加器)与 C₁ 输入之间再进行一次加法运算。

进位信号 C₀ 看起来比较复杂,不过仔细分析发现还是存在一定规律的。当 A、B、C₁ 中的某 2 个为“1”时, C₀ 为“1”;相反,当

A 、 B 、 C_1 中两个以上为 0 时, C_0 也为“0”。

在上述特性的基础上考虑它的电路图, 可以得到图 11.24 (b)。将图 11.24 (a) 与 (b) 合成, 就得到图 11.25 的电路。图 11.25 (a) 是原封不动地合成电路, 而图 11.25 (b) 稍微作了些逻辑变换。在性能方面图 11.25 (b) 的 C_0 输出更快些, 适合于进行更高速度的运算。

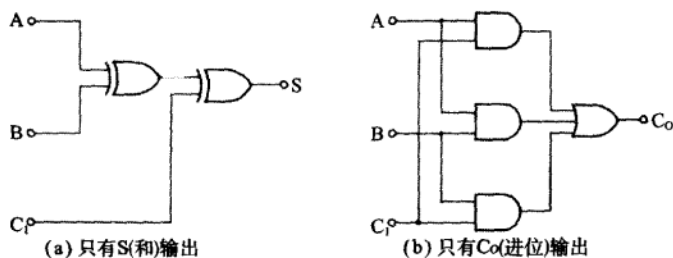


图 11.24 全加器的基本电路

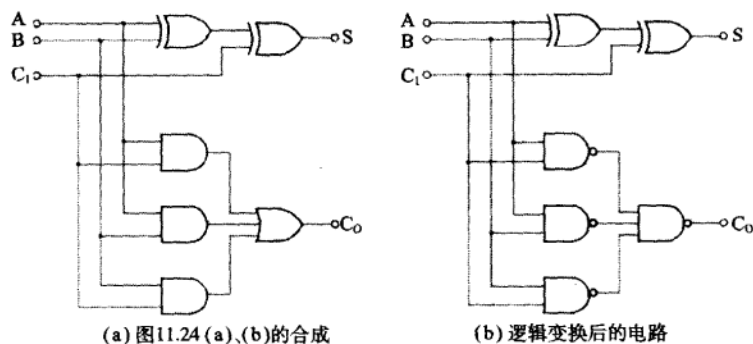


图 11.25 全加器的电路图(1 位)



加法器的串行连接

图 11.25 的全加器只能够进行 1 位加法运算。怎样进行像 4 位的 2 进制那样的加法运算呢? 只要巧妙地利用进位输出和进位输入就能够进行多位的加法运算。它的实际例子示于图 11.26。

作为全加器, 框图化的部分是图 11.25 (a) 或 (b) 中的电路。 $A_0 \sim A_3$ 和 $B_0 \sim B_3$ 是各自的输入。输出是 $S_0 \sim S_3$ 和 C_0 。 C_0 是整个 4 位的进位信号, 例如它可以成为后面一位加法器的进位输入。

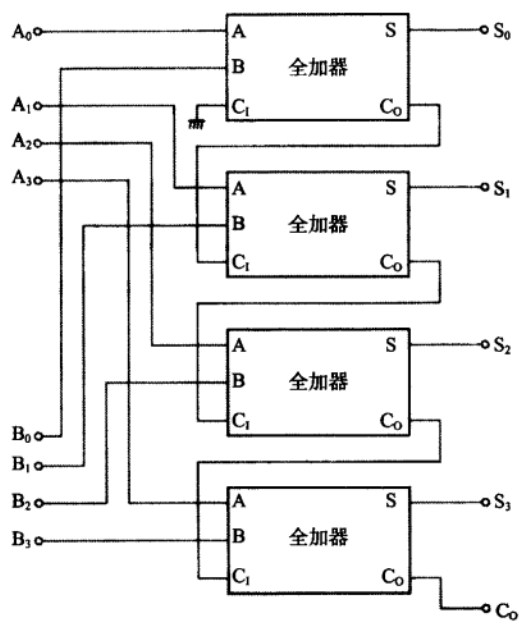


图 11.26 加法器的串行连接

第 12 章

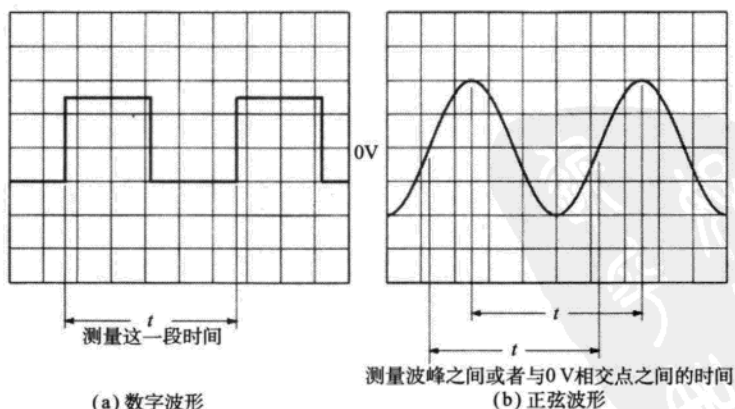
频率计数器的制作

频率计数器可以把 RC 振荡器或者石英振荡器的振荡频率用数字直读为多少千赫,是一种使用非常方便的频率测定器。用数字 IC 制作的测定器容易进行调整,很适用。

12.1 频率计数器电路的设计与动作

12.1.1 频率计数器

测定频率的一种方法是利用示波器读取波形的周期,然后求出它的倒数。这种方法是利用目测读取周期,所以误差非常大(图 12.1)。



(a) 数字波形

(b) 正弦波形

例如,如果 $t=20\text{ms}$, $1 \div (20 \times 10^{-3}) = 0.05 \times 10^3 \rightarrow 50\text{Hz}$
如果 $t=17\mu\text{s}$, $1 \div (17 \times 10^{-6}) = 0.059 \times 10^6 \rightarrow 59\text{kHz}$
如果 $t=1\mu\text{s}$, $1 \div (1 \times 10^{-6}) = 1 \times 10^6 \rightarrow 1\text{MHz}$

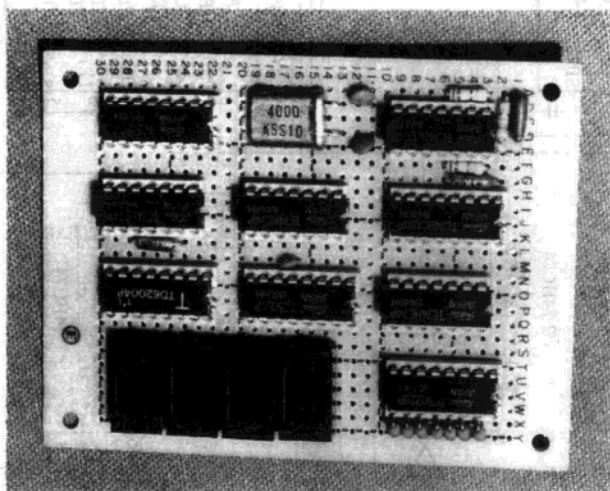
图 12.1 利用示波器求频率的方法

在使用石英振子或者陶瓷振子振荡的场合,它的频率已经是确定的,除了需要准确知道振荡频率外,通常没有进行测定的必要。但是在使用 RC 振荡电路时,由于使用的电容器和电阻的精度(通常实际值并不恰好就是标称值)的原因,实际的振荡频率并不一定就是理论计算所得出的振荡频率。所以为了得到设定的频率,通过改变元器件来调整频率时利用频率计数器进行测定就非常方便。

12.1.2 使用的部件

可以不使用特殊的部件,不过为了减少部件数目需要使用专用的计数器 IC。图 12.2 是频率计数器的总电路图,照片 12.1 是组装好的基板。专用计数器 IC 使用东芝生产的十进制 4 位计数器 TC5051P。作为专用 IC,另外还使用了 7 段译码器 TC5022BP 和驱动 IC TD62004P。其他 IC 都是 74HC 系列的产品。至于显示部分的 LED 只要是阴极公用的 7 段 LED,哪种型号都可以。这里使用的是小型化产品 TLR312(东芝),可以直接装在基板上。

利用 4MHz 的石英振子产生基准信号,当然也可以使用 1MHz 的振子。



照片 12.1 频率计数器的制作基板

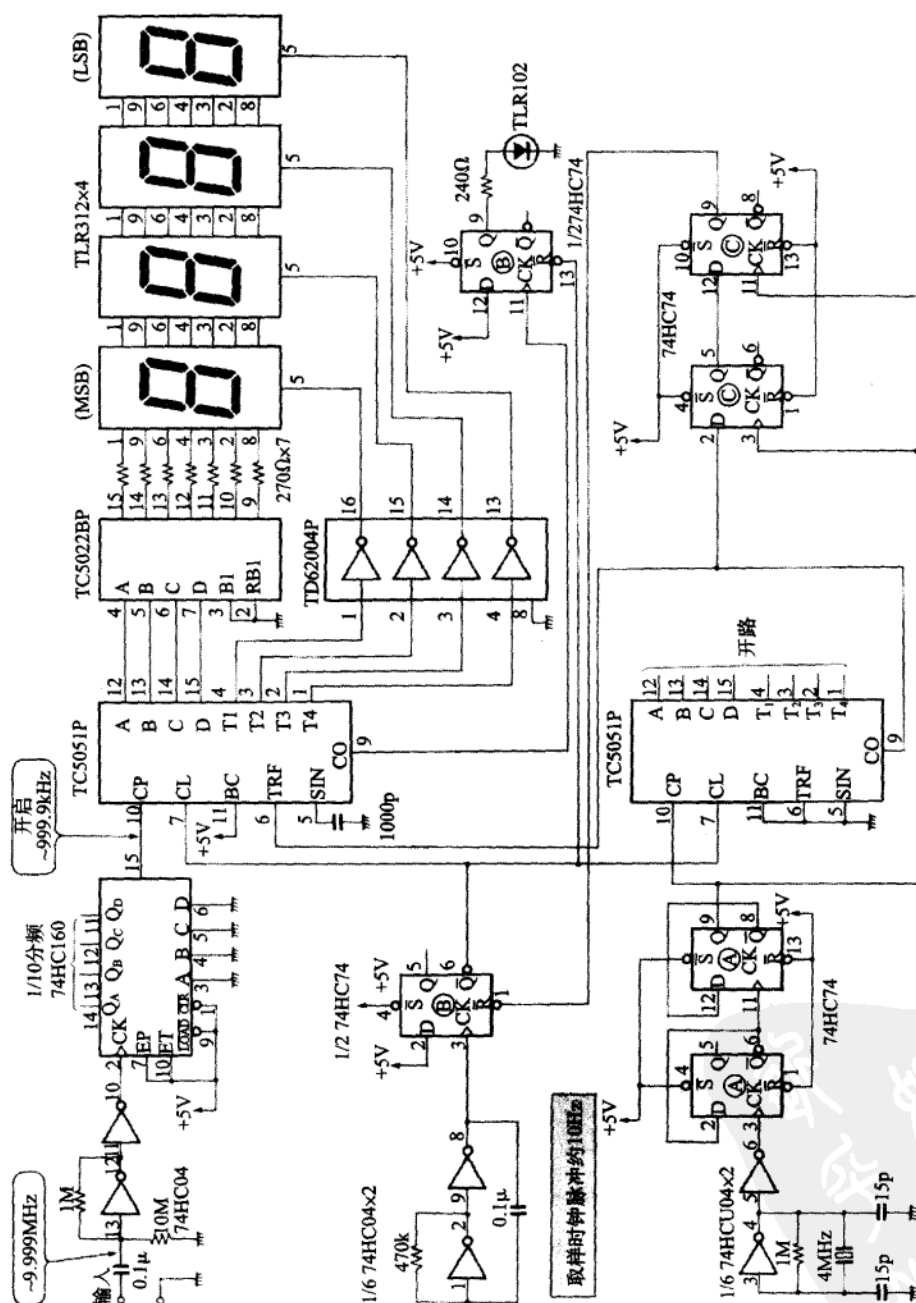


图12.2 4位频率计数器的电路(能够测定到9.999MHz)

频率计数器的电路结构

图 12.3 是频率计数器的框图。我们通过这个框图来说明频率计数器的工作原理。

频率计数器的基本工作就是能够对 1 秒钟内有多少个被测定信号的时钟脉冲进行计数。也就是说,把测定频率的基本规则原封不动地用于电路,即将 1 秒钟内进入 1 个脉冲信号的频率设定为 1Hz。所以,1MHz 的信号就是在 1 秒钟之内计数到 1 000 000 个脉冲。

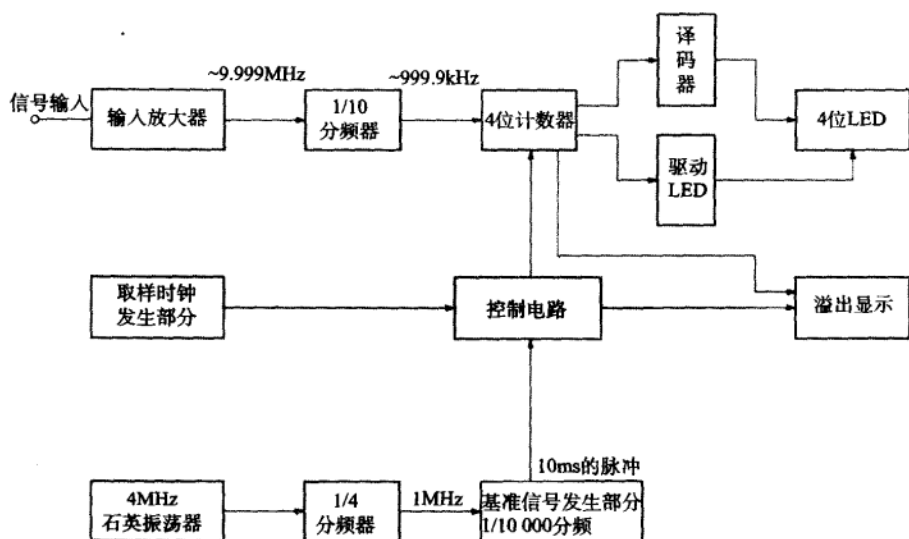


图 12.3 频率计数器的框图

经常使用的信号频率大多在数十千赫至数兆赫的范围。假设最大可以测定到 10MHz,那就要求计数器必须具有计数到 10 000 000 个脉冲的能力。另外,尽管频率的定义表明测定的频率是指 1 秒钟时间内数得的脉冲数,但是并不意味着实际构成的频率计数器一定要计数 1 秒钟。

例如,如果不是对 1 秒钟内的脉冲计数,而只对 1/10 的时间即对 0.1s 内的脉冲计数也是可以的。测定同样的频率只用 1/10 的时间,那么计数器显示的也是 1/10 的数据。这就是说,使用少 1 位的计数器也可以得到同样的结果(移动小数点的位置)。

如果只在 1/10s 的时间内进行计数,那么计数器的最小位就

表示 10Hz。

在测定数十千赫至数兆赫频率的场合很少有要求频率精确到 1Hz 的, 所以这里设计最小位值设为 1kHz 的电路。在这种情况下就可以利用 4 位计数器对频率测定到 9 999kHz, 也就是 9.999MHz。因此, 只需要有 1ms 的基准信号和能够计数到 9.999MHz 的计数器就可以了。

但是图 12.3 框图中的情况与上面所说的稍微有些不同。这是为了减少部件数目而使用了 TC5051P, 它的最大计数频率约为 1.5MHz。如果 TC5051P 能够工作到 10MHz 的话, 还有可能进一步减少部件数目, 不过没有办法。

那么使用计数器 IC 74HC160, 设定进入的频率是原来的 1/10。而且使用 10ms 的基准脉冲和 4 位计数器, 这样一来最小位能够测定到 100Hz。

溢出表示是在测定频率高于计数器最大值的场合, 表明所显示的频率数出现了错误的符号。

12.2 频率计数器各方框的动作

12.2.1

取样时钟脉冲发生部分

取样时钟脉冲发生部分具有发生约 10Hz 的时钟脉冲, 1 秒钟内进行约 10 次计数器测定的功能。在计数器的基准脉冲为 10ms 的场合, 就这样原封不动地制作频率计数器时由于 1 秒钟内要进行 100 次测定, 测定的信号在快速变化, 会导致闪烁太快而很难看清楚。为了防止这种情况出现, 所以采用取样时钟脉冲。

12.2.2

计数器部分

计数器部分使用 4 位十进制计数器 IC TC5051P。这种 IC 是 16 管脚的 DIP, 内藏有 4 个十进制计数器和 4 个锁存器, 还有能够用分时操作输出 BCD 的多路转换器和 OSC(振荡)电路。它不是 74 系列的产品, 不过用 CMOS IC 设计在 5V 电压下工作。图 12.4 是 TC5051P 的管脚连接和内部逻辑图。

由于端子数目少(16 管脚)所以不能同时取出各位的 BCD 输出, 不过它与动态发光用的 LED 等组合使用, 所以可以减少布线,

而且还可以减少所占据的空间。

动态扫描用的振荡电路只连接一个电容器进行振荡。在使用 1000pF 电容器的场合振荡频率约为 25kHz。而且各位的 BCD 输出的输出时间是 6 个时钟脉冲(240μs),消隐时间是两个时钟脉冲(80μs)。

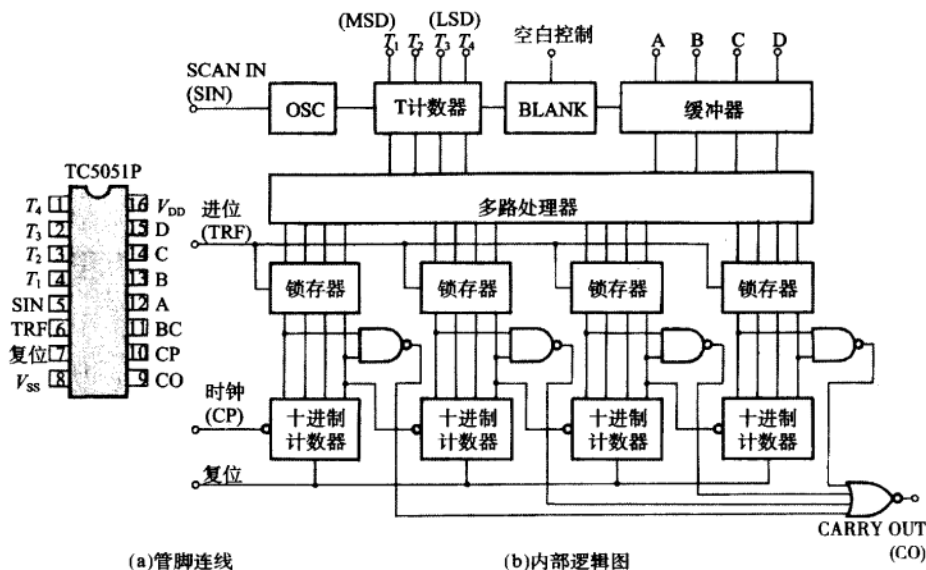


图 12.4^[1] TC5051P 的构成



LED 显示部分

计数器 TC5051P 的输出是 BCD 式,所以不能够直接驱动 7 段 LED。在这里使用的 IC 是将 7 段译码器和驱动集成在一个管壳内的 TC5022BP。图 12.5 是 TC5022BP 的管脚连接以及内部逻辑电路。

74 系列产品中也有 7 段译码器(如 7447 等),不过它的使用比较麻烦,所以还是使用 TC5022BP。

位驱动用的驱动 IC 使用了 TD62004P。这部分也可以用晶体管驱动,不过由于纳入了 16 管脚的 DIP,还内藏有基极电阻,美观而且容易制作,所以还是使用专用的驱动 IC。

另外 LED 使用了 4 个分立的 7 段显示器 TLR312,不过也可以使用动态发光专用的 TLR4145 等产品。标称 270Ω 的限流电

阻可以根据所使用的 LED 选择最合适的电阻值。大约是在 $220\sim 470\Omega$ 的范围。如果发现动态发光亮度不足,可以稍微增大电流。

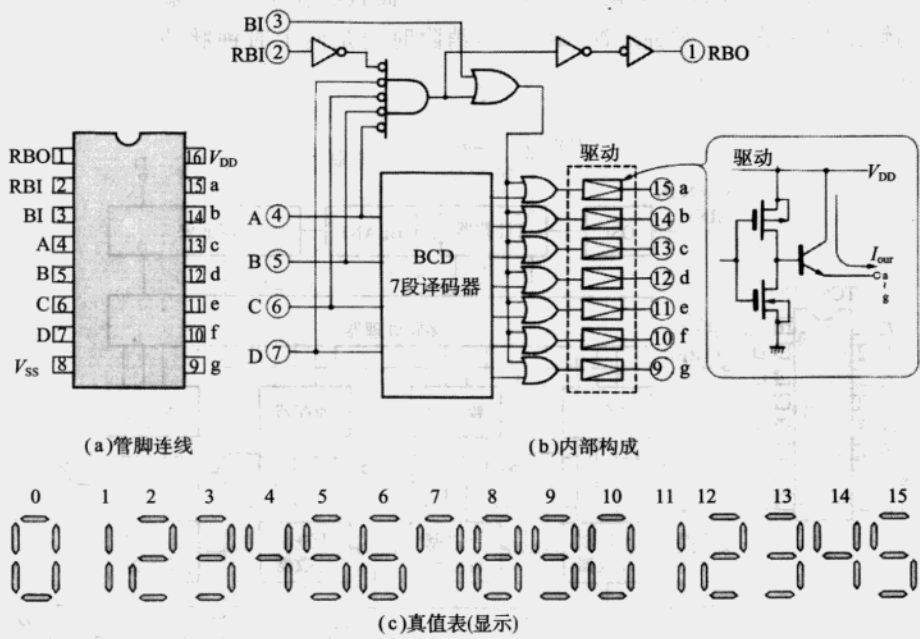


图 12.5^[1] TC5022BP 的构成

12.2.4 基准信号发生部分

这是决定频率计数器精度的非常重要的部分。因此振荡电路采用石英振子以确保稳定性和振荡频率的准确性。

作为基准信号应该准确地产生 10ms 的脉冲宽度,所以如果有 100Hz 的振子就不需要分频电路。但是要产生 100Hz 的振荡就必须采用体积大而且是特定形状的石英振子。所以在这里采用经常使用的 HC18U 型振荡频率为 4MHz 的小型石英振子。

振荡电路是使用了反相器 IC 的最基本电路。频率为 4MHz 时 1 个周期就是 $0.25\mu\text{s}$ (译者注:此处原文有错误!)。要使它成为 10ms,就只能计数到 1/40 000。

因此在基准信号发生部分也使用 TC5051P 灵巧地产生 1/40 000 的电路。TC5051P 有 4 个十进制计数器,计数器为了能够计数到(9 999),就需要 10 000 个脉冲。就是说,TC5051P 的时钟(CP)与计数器进位输出(CA)之间是 1/10 000 的关系。

由于都不使用 BCD 输出或位输出,所以置于开路。

现在使用的是 4MHz 的石英振子。如果要使用 1MHz 的石英振子,就可以只用 TC5051P 进行分频。图 12.6 是使用 1MHz 的石英振子时的接线图。

在 4MHz 的场合使用两个触发器, $1/2 \times 1/2 = 1/4$, 4MHz 被分频成 1MHz, 作为 TC5051P 的时钟脉冲。

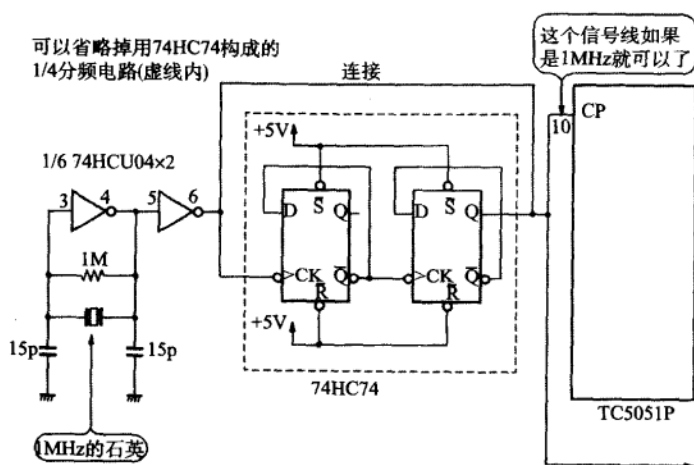


图 12.6 使用 1MHz 的石英振子时的电路

输入放大器的构成

进入频率计数器的信号不限于数字波形。因此真正的频率计数器的输入部分是由宽带放大器和比较器构成的。这里为简单起见以尽量不使用特殊部件为目标,所以利用反相器 IC 作为放大器。

给 CMOS 反相器的输入、输出分别连接适当的电阻就可以作为放大器工作。这里利用 74HCU04 作为放大器。比较器同样原封不动地使用 74HCU04 反相器。

频率计数器的动作

图 12.7 是图 12.2 电路的工作波形。

作为频率计数器实际的计数动作只是在从计数开始到计数结束的 10ms 期间。工作波形中所示余下约 100ms 中没有什么动作,只是处于等待下一次计数的状态。计数器的输出是在计数中慢慢进行,难以观察到。使用 TC5051P 时,它的内部具有锁存器,

所以可以在计数结束的同时锁存计数器的值(利用 TRF 信号)。

计数器转移(TRF)信号处于保持状态后对计数器复位,并采取准备下次测定的方式。计数器的复位是由取样脉冲解除的,所以取样脉冲就成为计数器开始计数的信号。

使用基准信号发生部分 TC5051P 的进位输出(CA)与使用 D 触发器(74HC74)和 1MHz 的时钟脉冲的时间要错开一点,以形成复位脉冲。

溢出表示利用了计数器部分 TC5051P 的进位输出,如果进位输出为“H”,锁存信号就使 LED 发光。复位脉冲到来时锁存信号被解除,所以在每次测定中可以判断是否溢出。照片 12.2 中示出了工作波形。

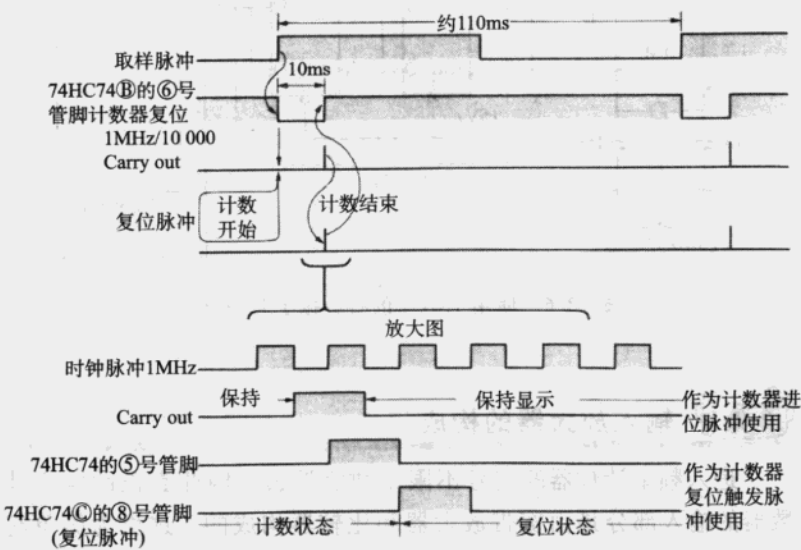
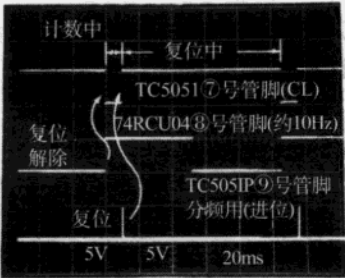


图 12.7 频率计数器的工作波形



照片 12.2 频率计数器的工作波形

12.3 频率计数器性能的提高

12.3.1 可变的测定周期

实验电路中取样脉冲是一定的,1 秒钟内大约测定 10 次。不过这个取样周期(测定周期)可以利用 VR 等改变。最简单的方法示于图 12.8。把 RC 振荡器的电阻部分分为固定电阻+可变电阻两部分。用这个图中的数值可以使 1 秒钟内的测定周期大约从 5 次变化到 100 次。另外需要注意测定周期不能够小于 10ms。因为计数器部分是对 10ms 的时间脉冲计数的,如果在计数尚未结束时就有计数启动脉冲进入,那么就不知道测定的究竟是什么了。

把 470k Ω 的固定电阻改变为 1k Ω 固定电阻+1M Ω 的 VR, 就能够在 0.2s~10ms 的范围调整取样周期。

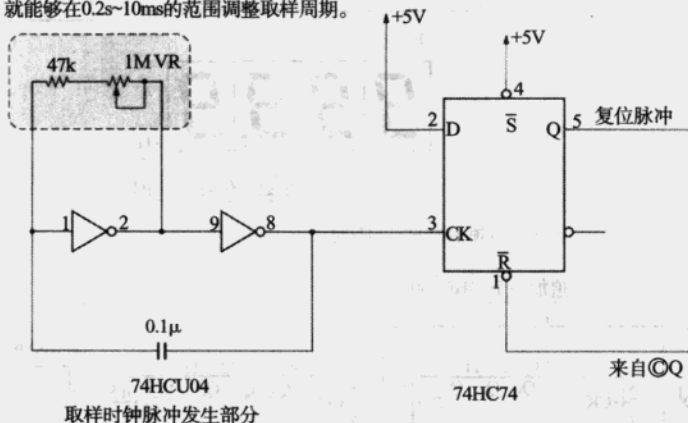


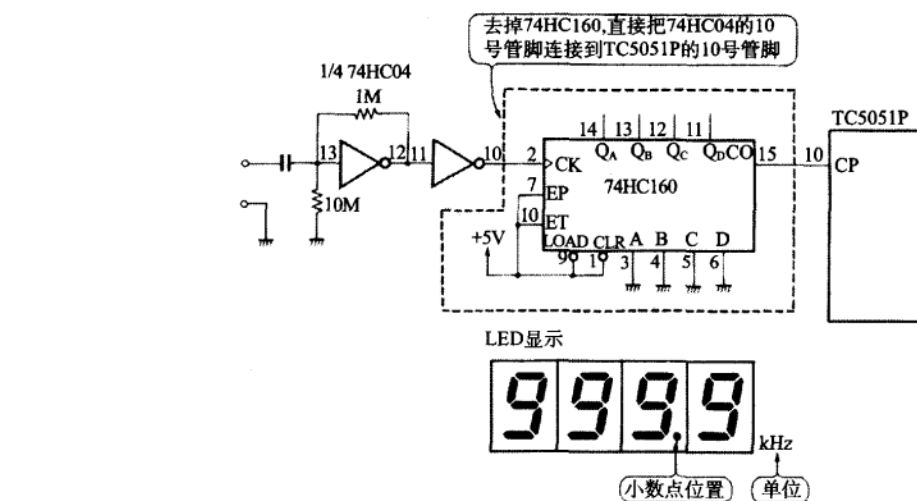
图 12.8 改变取样周期

12.3.2 改变最高计数频率

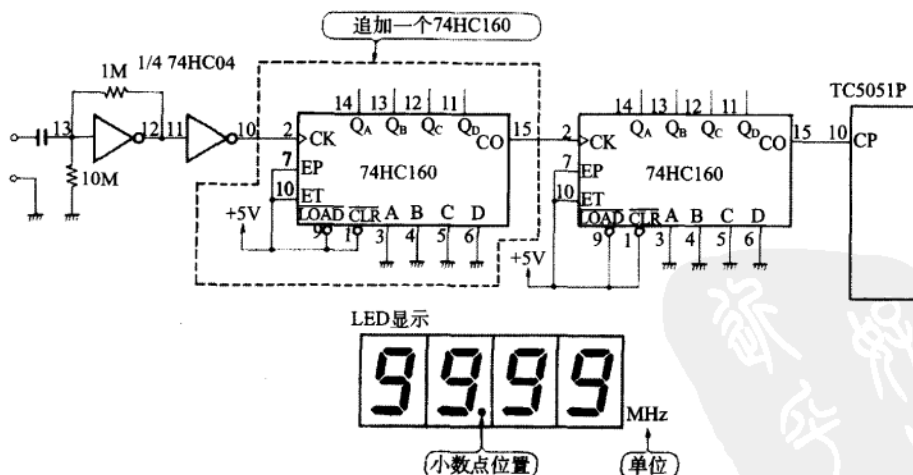
该实验电路中最高可以测定到 9.999MHz,分辨率(最小频率)是 1kHz。可以比较简单地改变最高的计数频率值。当希望降低最高计数频率或者希望提高精度时,只要去掉 1/10 分频的 74HC160 就可以了。图 12.9(a)示出这种方法。经过这样的改变,最高计数频率变为 999.9kHz,分辨率提高到 100Hz。

相反,如果希望提高最高计数频率,那么可以在 74HC160 前

面再追加一个分频器。例如图 12.9(b)就是追加 74HC160 的连线图。这种情况下,最高计数频率应该达到 99.99MHz,而分辨率则只有 10kHz。但是对于 74HC160 来说,最高计数频率只有约 30MHz,所以计数频率不可能再提高。74HC 型中也有在常温下计数频率能够达到 50MHz 的产品,不过需要用示波器确认计数器的测定值是否准确。



(a) 最高频率为999.9kHz时



注意:由于使用IC的工作速度的制约,测定被限制在约30MHz以下。高于此限度将会出现错误显示。

(b) 最高频率为99.99MHz时

图 12.9 改变最高计数频率的方法

如果非常希望能够计数到 99.99MHz, 可以使用 TTL 的 74F160 或者 74AS160。这时这些高速工作的 IC 必须追加在 74HC160 的前面。如果倒置了分频的先后, 即使使用速度再快的 IC 也是毫无意义的。当使用 74F 型或者 74AS 型器件时, 使用 74HCU04 作为输入放大器就不能满足要求, 应该使用专用的放大器。

如果只是测定数字信号, 可以把被测信号直接加在 74F160 或者 74AS160 的时钟脉冲输入上。这时不需要放大器。

参考文献

[1] 东芝: 集成电路技术资料 C²MOS[标准系列] (个别规格编) 第 6 版, 1984 年 9 月。

