

图解PIC单片机应用技术

PIC单片机基础与传感器应用

〔日〕秦 明宏 荻山正生 木村 丰 著

卢伯英 译



科学出版社

www.sciencepress.com

图解 PIC 单片机应用技术

PIC 单片机基础与传感器应用

〔日〕秦 明宏 荻山正生 木村 丰 著
卢伯英 译

科学出版社
北 京

图字: 01-2009-3486 号

内 容 简 介

本书是“图解 PIC 单片机应用技术”丛书之一。本书共分 6 章,第 1 章主要介绍电子电路基础知识,以及 PIC 内部和外部硬件;第 2 章和第 3 章详细介绍如何用 PIC 对传感器输出等微小模拟信号的采集、加热器的大电流进行控制等;第 4~6 章介绍 ICE 的使用、PIC 电路设计实例、继电器用于 PIC 输入和输出时的技巧,以及开发与制作所必需的要素。

本书内容通俗易懂,实用性强,可供学习 PIC 单片机的有关技术人员和爱好者以及工科院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机基础与传感器应用/(日)秦明宏,荻山正生,木村丰著;卢伯英译. —北京:科学出版社,2010

(图解 PIC 单片机应用技术)

ISBN 978-7-03-026807-5

I. P… II. ①秦…②卢… III. ①单片微型计算机-图解

IV. ①TP368.1-64②TP212-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027736 号

责任编辑:张莉莉 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司制作

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

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 4 月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—4 000 字数: 280 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

PIC 单片机虽然出现于 1990 年,但是作者对此事并未留下什么印象。其后,到了 20 世纪 90 年代后半期,就连《晶体管技术》杂志也对上述技术成果进行了频繁地介绍,作者这时也因工作关系,开始涉足 PIC 单片机技术。这时互联网已经在普及中,PIC 单片机的信息通过互联网可以很容易地得到。另外,在日本秋叶原的零售商店内,也可以购买到单个的商品。这样一来,不需要花费太多的劳动,就可以掌握 PIC 单片机技术了。这种由简单的 PIC 单片机所具有的魅力,而引起的人们的高度关注,直至今日还依然存在。此外,Microchip 公司也在不断地推出新的产品,2002 年该公司推出的 8 位微型计算机,在国际上的市场占有率,可以说已经达到了世界首位。

那么所谓 PIC 的魅力是怎样形成的呢?这可以通过下面列举的特点予以说明:具有独特的内部功能和丰富的变化、容易掌握的指令体系、价格低廉、容易得到、能用低廉的造价构建开发环境、信息资料丰富等。特别是信息资料丰富这一特点,对于从事电子制作的初学者和新技术开发人员,具有很强的吸引力。首先,在学习 PIC 时,人们能够根据书籍中介绍的制作方法,实施书中提供的制作过程,从而可以依法炮制出成品。这样,理应容易地学会开发方法和编程技术,但是,如果要想通过独自的构思制作出有特色的制品,那么必然会要求具备一定的硬件知识。实际上不是确实有许多电子制作的初学者,由于受到这硬件壁垒的阻挡而止步不前吗?

本书首先在第 1 章内,用比较多的篇幅讲解了电子电路的基础知识。在这一章内,虽然是针对 PIC 的内部和外围硬件进行详细地讲解,但是这些知识也同样可以应用到一般的电子电路中。另外,文中还给出了一些没有详细解释的数学公式,如果读者感到难以理解,那么也可以跳过去不进行阅读。请读者首先要很好地理解电子电路的基本工作原理。正确地理解本章内容,对于推广 PIC 的应用范围,肯定是有益的。

其次,第 2 章及以后各章节中,介绍了应用电路和开发过程中必需的基本要素。首先,第 2 章和第 3 章介绍的是一些应用实例,其中包括传感器输出等微小模拟信号的获取,加热器的大电流控制等,以及其工作基于数字信号的所谓微型计算机,它是用 PIC 对具有相应性质的电路进行控制的。这些应用都是可以用各个领

域内的硬件予以实现的。

在第4~6章中,介绍作为强有力开发工具的ICE的应用、PIC电路的概念集、在PIC的输入输出中采用继电器情况下的专门技术等,以及开发和制作中必要的基础知识,就连超出了有趣的电子工作范围以外的实践内容,也变成了有用的内容。

现在关于PIC单片机方面的书籍已经出版了很多,而阐述电子电路基础知识方面的书籍却很难找到。如前所述,本书对电子电路的基础知识及其应用进行了详细地讲解,提供了在PIC单片机制作中欠缺的技术信息。因此,作者确信,不论是对电子制作的初学者,还是对新技术开发人员,本书将会成为他们必须随身携带的书籍。

最后,作者愿借此机会,向CQ出版社的吉田伸三先生致以深切的谢意,是他赐予了作者作为本书执笔的机会,并且在后期进行了指导。

秦 明宏

目 录

第 1 章 电子制作初学者的硬件入门

1.1 电子电路的基础知识	1
1.1.1 欧姆定律	1
1.1.2 输入电阻和输出电阻	1
1.1.3 吸收电流和源电流	3
1.1.4 门限值	4
1.1.5 磁 滞	6
1.1.6 时间常数	9
1.1.7 小 结	11
1.2 数据表表示方法	12
1.2.1 绝对最大额定值	13
1.2.2 DC 特性	14
1.2.3 AC 特性	15
1.2.4 小 结	23
1.3 电源电路	23
1.3.1 开关式电源	25
1.3.2 降压器式电源	27
1.3.3 AC 适配器电源	28
1.3.4 源于其他设备的 5V 电源	28
1.3.5 源于电压值不适宜的其他设备的 DC 电源(12V 电源等)	29
1.3.6 源于不能共同接地的其他设备的 DC 电源	30
1.3.7 利用电池直接驱动	31
1.3.8 利用高电压电池进行驱动(9V 电池等)	31
1.3.9 利用低电压电池的驱动(1.5V 电池等)	32
1.3.10 利用信号线的电源	33
1.3.11 PIC 单片机方面的思考	34
1.3.12 小 结	35

1.4	时钟电路	35
1.4.1	RC 振荡电路	36
1.4.2	陶瓷振子	36
1.4.3	石英振子	38
1.4.4	石英振子内装的振荡器	38
1.4.5	石英振子、分频器内装振荡器	39
1.4.6	振荡器配置	39
1.4.7	小结	40
1.5	复位电路	40
1.5.1	内置复位电路 1: 加电复位(POR)	41
1.5.2	内置复位电路 2: 布劳恩输出复位(BOR)	42
1.5.3	外部复位电路 1: 基于专用 IC 的复位电路	43
1.5.4	外部复位电路 2: 利用 RC 和二极管的复位电路	44
1.5.5	小结	45
1.6	输入和输出端子	46
1.6.1	框图的用法	46
1.6.2	各端口的说明	50
1.6.3	小结	55
1.7	定时器电路	57
1.7.1	计数器	58
1.7.2	TIMER ₀ 的说明	58
1.7.3	小结	59
1.8	RS-232C 接口	59
1.8.1	RS-232C 的基础	59
1.8.2	利用 PIC 的 USART 功能实现 RS-232C 接口	62
1.8.3	小结	63
1.9	A/D 转换器	64
1.9.1	A/D 转换器的基础	64
1.9.2	PIC16F87X 的 A/D 转换器	67
1.9.3	基准电压电路	68
1.9.4	输入电路	70
1.9.5	小结	72
1.10	模拟比较器	74
1.10.1	比较器的基础知识	74
1.10.2	PIC16F87XA 的比较器	76
1.10.3	小结	77

1.11	基准电压	77
1.11.1	关于一般的基准电压	77
1.11.2	PIC16F87XA 的基准电压	79
1.11.3	小 结	79
1.12	应用电路实例	80
1.12.1	D/A 转换器	80
1.12.2	USB 接口	87
1.12.3	小 结	90

第 2 章 传感器的应用(热电偶、白金测温电阻器、应变仪)

2.1	为获取自然界信息而进行的测量概况	95
2.2	各种传感器的原理与特性	97
2.2.1	热电偶(温度传感器)	97
2.2.2	白金测温电阻器(温度传感器)	99
2.2.3	应变仪(压力、载荷、加速度和位移传感器)	101
2.3	测量电路的设计和制作	104
2.3.1	方法探讨	105
2.3.2	使用部件的探讨	108
2.3.3	控制微型计算机部分	109
2.3.4	A/D 转换和电源部分	110
2.3.5	热电偶放大器	113
2.3.6	端子温度的测定	115
2.3.7	电路说明	117
2.3.8	测温电阻器放大器	118
2.3.9	应变仪放大器	121
2.4	程序设计和判定工作任务	123
2.4.1	总体流程	124
2.4.2	平均化处理部分	125
2.4.3	工作任务判定	126
2.4.4	探讨获得更高的性能	142

第 3 章 处理热敏电阻和电力的电路及程序设计

3.1	设计阶段	145
3.2	温度传感器	146
3.2.1	使用热敏电阻	146

3.2.2 温度-电压表的制作方法	146
3.3 温度的设定法	149
3.4 输出的 ON/OFF 控制	150
3.4.1 温度低时的大电流流动	150
3.4.2 在 0V 附近进行 ON/OFF 操作	152
3.5 可变输出控制	153
3.6 相位控制	155
3.7 零位伏特检测电路	157
3.8 相位控制用输出电路	158
3.9 实际电路	158
3.9.1 ON/OFF 温度控制电路	158
3.9.2 相位控制电路	173
3.10 制作上应注意的问题	200
3.11 部件的获取方法	201

第 4 章 采用 ICE 的软件开发举例

4.1 什么是 ICE	203
4.2 用 ICE 能做什么	204
4.3 ICE 的详细功能	205
4.3.1 环境方面	205
4.3.2 文件方面	206
4.3.3 表示方面	206
4.3.4 执行方面	210
4.3.5 调试方面	212
4.4 ICE 的操作	213
4.5 使用 ICE 进行开发的例子	215
4.6 ICE 的采购	216

第 5 章 PIC 应用概念集

5.1 用 1 个输入端口读取调整器位置	217
5.1.1 工作说明	217
5.1.2 程 序	218
5.2 用 2 个输出端口使 3 个 LED 点亮	222
5.2.1 工作说明	222
5.2.2 程 序	223

5.3 用 2 个输出端口使 8 个 LED 点亮 226

5.3.1 工作说明 226

5.3.2 程 序 227

5.4 利用调整器可以调整频率的简易锯齿波发生器 231

5.4.1 工作说明 231

5.4.2 程 序 232

5.4.3 实际测量值 236

5.5 在 5.4 节的电路中读取调整器位置 237

5.5.1 工作说明 237

5.5.2 程 序 237

5.6 利用调整器构建可调的等待时间 242

5.6.1 工作说明 242

5.6.2 程 序 242

5.7 用 2 个输入端口读取 4 接点旋转开关的状态 246

5.7.1 工作说明 246

5.7.2 程 序 247

5.8 用 1 个输出端口转换 2 色 LED 并使其点亮 250

5.8.1 工作说明 251

5.8.2 程 序 251

5.9 把端口兼用于输入和输出 255

5.9.1 工作说明 255

5.9.2 程 序 256

5.10 利用模拟比较器的 4 通道、4bit 的 A/D 转换器 260

5.10.1 工作说明 260

5.10.2 程 序 261

5.11 使模拟比较器具有磁滞 266

5.11.1 工作说明 266

5.11.2 程 序 267

5.12 把基准电压作为 4 位 D/A 转换器使用 270

5.12.1 工作说明 270

5.12.2 程 序 271

5.13 使用基准电压产生 SIN 波形 273

5.13.1 工作说明 273

5.13.2 程 序 275

第 6 章 机电一体化——安装现场

6.1	作为微型计算机输入和输出的接点	283
6.2	振荡对策:作为输入的继电器	284
6.3	驱动机械继电器:作为输出的继电器	287
6.3.1	继电器的驱动电路	287
6.3.2	电涌对策	287
6.3.3	实际电路举例	287
6.4	在工厂等场合应用时要考虑的事项	289

电子制作初学者的硬件入门

秦 明宏

PIC 单片机造价低廉,是一种利用开发环境和丰富的信息资源,容易掌握开发方法和编程技术的微型计算机,它已经成为当今的电子制作者必须掌握的项目。但是,为了能够有效地应用和独立构思,制作出独特新颖的制品,了解 PIC 单片机的内部和外围硬件是必不可缺的。本章将尽量讲解即使对于初学者来说,也是浅显易懂的内容,并且还会涉及一些细节问题。

再者,本章边参照记载于 PIC16F87X 的数据表中的内容(日文和英文),边进行必要的说明。在未提供这种数据表的地方,请通过下列 Microchip Technology 公司方面的网站获取数据信息:

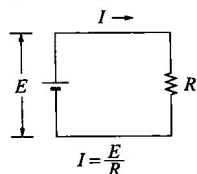
<http://www.microchip.com/>

1.1 电子电路的基础知识

1.1.1 欧姆定律

人们也许会说:“即使对一些初学者,他们也知道这个定律。”在图 1.1 中,揭示出了这个定律。

当然,在进行电子电路设计时,只有这个定律是不够的,但是,从后面的说明中可以看出,特别是在有关 DC 特性的部分中,引用了这个定律。



E : 电压 R : 电阻 I : 电流

图 1.1 欧姆定律

1.1.2 输入电阻和输出电阻

在 PIC 与其他设备之间传递信号时,首先必须考虑的是输入电阻和输出电阻。

图 1.2 中表示了输入和输出的等效电路例子。所谓等效电路,就是把一个复杂装置的内部电路,简化成一个能表示其特性的最小限度的电路。虽然输入端和输出端的特性是用 DC 和 AC 考虑的,但是 PIC 的大部分输入端和输出端的 DC 特性是可以用这个等效电路

来说明的(但是只有 RA_4 因为开路漏极,所以不是这个等效电路。关于开路漏极将在后面进行说明)。

图 1.3 是把干电池连接到 PIC 单片机输入端时的等效电路。干电池一般具有比较大的内部电阻(输出电阻)。图 1.3 中的 R_o 表示这个内部电阻。PIC 单片机一侧的 R_i 是 PIC 的输入电阻。

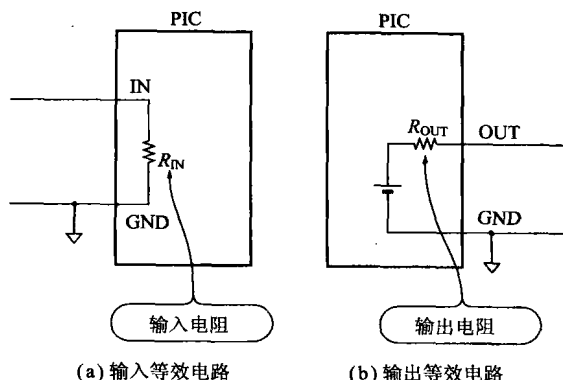


图 1.2 PIC 输入和输出的等效电路

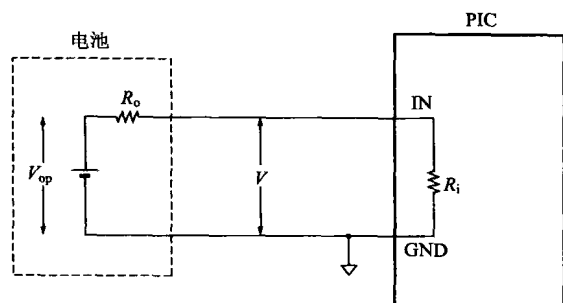


图 1.3 把电池连接到 PIC 输入端的情况

PIC 输入端上的电压 V , 因 R_o 与 R_i 之比而变得比 V_{op} 还小

这里假设干电池的开路电压 V_{op} 为 $5.0V$, 内部电阻 R_o 为 1Ω , 输入电阻为 $1k\Omega$ 。PIC 的输入端上的电压 V 为

$$V = V_{op} \times \frac{R_i}{R_o + R_i} = 5.0 \times \frac{1000}{1 + 1000} = 4.995(V)$$

可以清楚地看出, PIC 输入端上的电压比电池的电压低 $0.005V$ 。

这样装置的输入电阻和输出电阻, 就会对在装置间传递的信号电压电平产生影响。因此, 在进行电路设计时, 意识到装置的输入、输出电阻是很重要的。由上式可以看出, 对传递电压电平不发生影响的理想的输入、输出电阻, 应该是

输入电阻 $= \infty(\Omega)$

输出电阻 $= 0(\Omega)$

大多数的半导体装置接近这个理想值,因为它们具备足够高的输入电阻(数十兆欧以上)和足够低的输出电阻(几欧以下),所以即使设计时没有意识到这一点,设计出的电路工作起来也不会有什么问题的。

那么,PIC 的输入和输出电阻到底是多大呢?虽然在数据表中没有明确记载,但是如前所述,认为它具有足够高的输入电阻和足够低的输出电阻是没有问题的。但是,当把 PIC 的端口设定为 A/D 的输入,那么在进行电压的精确测量等情况下,也许会成为问题。另外,输出电阻与其前面连接的静电容量(电容器)相结合,成为引起信号变化时间延迟(时间常数)的主要原因,这点不要忘记。关于时间常数将在其他章节中予以说明。

1.1.3 吸收电流和源电流

当 PIC 的输出直接用来驱动继电器,并且使 LED 灯发光时,有必要使输出端的驱动能力适应一定的要求,表示这个驱动能力的正是吸收电流和源电流。例如,图 1.4(a)中的电路使 LED 发光时,会在 PIC 的输出端子上输出“L”电平(0V),这时一定会把电流 I_{sink} 引进 PIC 内。这个电流 I_{sink} 就是吸收电流。

另外,在图 1.4(b)的电路使 LED 发光时,会在 PIC 的输出端子上输出“H”电平(5V),因此一定会有电流 I_{source} 从 PIC 内的电源(5V)通过输出端子流向 LED。这个电流 I_{source} 就是源电流。

在图 1.5 中,浅显易懂地表示出了 PIC 的输出电路。

当把图中的 I/O 端口设定输出时,开关(SW_1 和 SW_2)不会同时置于 ON,必定只能有一方置于 ON。要想使 PIC 输出“L”电平(逻辑 0)时,应将 SW_2 置于 ON,于是电流 I_{sink} 流进 PIC 内。要想使 PIC 输

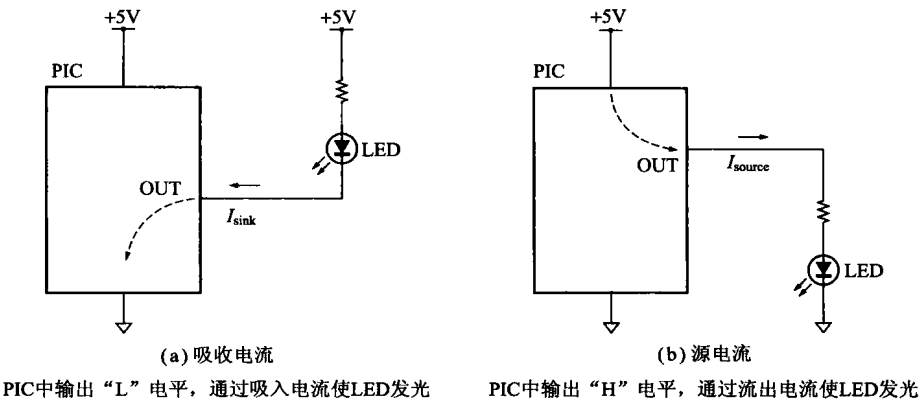


图 1.4 吸收电流和源电流

出“H”电平(逻辑 1),应将 SW_1 置于 ON,于是电流 I_{source} 从 PIC 流向外部。在这些开关中能流过的最大电流,就是吸收电流和源电流的最大值。另外,图中的开关,实际上采用的是称作 MOS FET 的晶体管。

PIC 的吸收电流和源电流(SINK · SOURCED CURRENT)的最大值,在数据表中都以 25mA 标注在各个 I/O 插头上,但是不能说连续地流经所有 I/O 插头上的电流可以是 25mA,这点必须加以注意。关于这个问题,在其他节的数据表表示方法中,进行了详细说明。

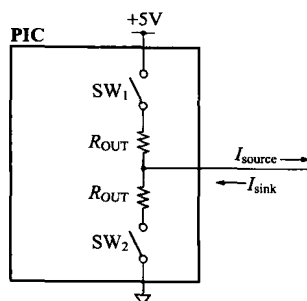


图 1.5 PIC 的输出电路

SW_1 或者 SW_2 中哪一个置于 ON 状态,就会相应地输出“H”或者“L”电平

1.1.4 门限值

在讨论 PIC 与其他数字 IC 之间信号传递的适应性时,门限值是必须考虑的一种特性。针对这个门限值,在下面的例子中,说明了高速 CMOS(74HC 序列)的 74HC04(反相器)用来有效地作为逻辑 IC 的情况。

图 1.6 是在电路中使用的 74HC04 的符号。

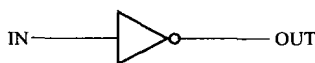


图 1.6 反相器 74HC04 的表示符号

反相器把输入电平反转后进行输出

反相器把输入电平反转后的电平用来作为输出。因为数字电路只存在“H”电平和“L”电平两种数值,所以 74HC04 是通过判断输入电压电平是“H”电平,或者是“L”电平,有区别地输出反转电平,图 1.7(a)是输入和输出波形的例子。

在这里,当输入是逐渐地完成上升过程时,那么又会是怎样的呢?当输入逐渐地开始上升时,输出不会立即发生变化,但是,当输入上升到某一电平时,输出便进行反转。当输入逐渐地下降时,如果

达到了这个某一电平值,那么输出也将进行反转。图 1.7(b)表示出了这种变化情况。

我们称这个“某一电平”为门限值(V_{TH})。

在东芝公司制作的 TC74HC04AP 的数据表中,没有标注出这个门限值,但是规定了在周围温度 $T_a=25^{\circ}\text{C}$,电源电压 $V_{CC}=4.5\text{V}$ 的条件下,输入电压为

$$V_{IH}=3.15\text{V} \quad \text{min(minimum)}$$

$$V_{IL}=1.35\text{V} \quad \text{max(maximum)}$$

这意味着,有下列结论:

如果输入电压比最低的 3.15V 还高,那么就能判定 TC74HC04AP 为“H”电平。

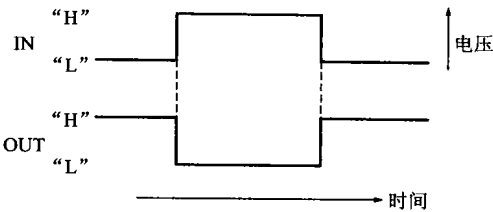
另外,

如果输入电压比最高的 1.35V 还低,那么就能判定 TC74HC04AP 为“L”电平。

显然,门限值位于上述两个电压之间。

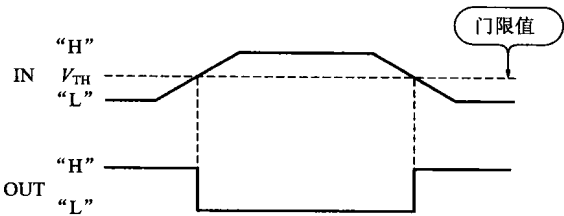
其次,试观察数据表中的输出电压项。在这里,在周围温度 $T_a=25^{\circ}\text{C}$,电源电压 $V_{CC}=4.5\text{V}$,吸入和源电流 $=20\mu\text{A}$ 的条件下,规定输出电压为

$$V_{OH}=4.4\text{V} \quad \text{min}$$



(a) 输入瞬间变化时

输入电压的反转称为输出电压



(b) 输入逐渐变化时

当输入达到某一电平时,输出发生变化。这个电平称为门限值

图 1.7 74HC04 的输入和输出的电压波形

$$V_{OL}=0.1V \quad \max$$

这意味着有下列结论存在：

TC74HC04AP 以比最低 4.4V 高的电压输出“H”电平。

另外，

TC74HC04AP 以比最高 0.1V 低的电压输出“L”电平。

图 1.8 是用 TC74HC04AP 接收 TC74HC04AP 输出时，传递各电平的情形。在这个图中，输入和输出规定值的差($V_{OH}-V_{IH}$)和($V_{IL}-V_{OL}$)成为传递信号电平的余量。对于因噪声、电源电压变动，或者接地电流等引起的突然的信号电平变化来说，这个余量意味着提供了安全度。

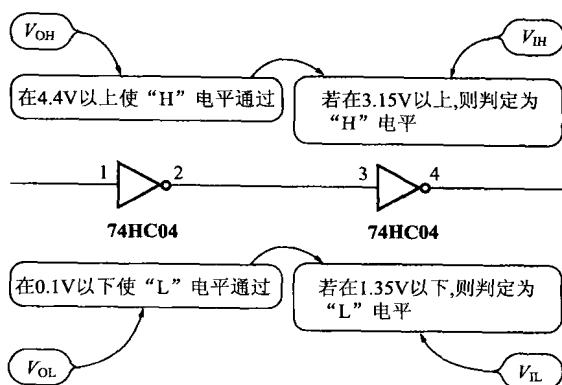


图 1.8 用 74HC04 接收 74HC04 的输出量

输入和输出规定值的差($V_{OH}-V_{IH}$)与($V_{IL}-V_{OL}$)变成了信号传递的余量

再有，在 PIC 的数据表中的 TTL 与记载的端口，考虑与 74HC04 是相当的。

PIC16F87X 的数据表中，TTL 端口的输入输出电压，规定为

(1) 在 $4.5V \leq V_{DD} \leq 5.5V$ 的条件下：

“H”电平输入电压 $V_{IH}=2.0V \quad \min$

“L”电平输入电压 $V_{IL}=0.8V \quad \max$

(2) 在吸入电流 $I_{OL}=8.5mA, V_{DD}=4.5V$ 时：

“L”电平输出电压 $V_{OL}=0.6V \quad \max$

(3) 在源电流 $I_{OH}=-3.0mA, V_{DD}=4.5V$ 时：

“H”电平输出电压 $V_{OH}=V_{DD}-0.7V \quad \min$

因此，与 TC74HC04AP 的信号传递是没有问题的。

1.1.5 磁 滞

磁滞也是在传递数字信号时必须考虑的一种特性。现在我们以