

DCLK-1000数字电路实验套件 实验指导书

Rev 1.0

华清科仪（北京）科技有限公司
 **Huatsing Instruments**

目 录

DCLK-1000 数字电路实验套件介绍	- 1 -
实验 1 熟悉 DCLK-1000 套件的使用	- 4 -
实验 2 译码电路分析与设计	- 7 -
实验 3 BCD 七段显示译码器的使用	- 10 -
实验 4 优先编码器电路分析	- 12 -
实验 5 D 触发器的研究	- 15 -
实验 6 JK 触发器的研究	- 17 -
实验 7 计数器应用	- 20 -
附录 A 部分思考题参考答案	- 24 -
附录 B 常用芯片分类与特性	- 25 -
附录 C HA-MB02 面包板电路原理图	- 27 -

DCLK-1000 数字电路实验套件介绍

感谢使用华清科仪与清华大学联系推出的 DCLK-1000 数字电路实验套件，该套件可与 HPI-1000 口袋仪器无缝连接配合使用，能够完成众多数字电路实验项目，还可与 HA-EDA01/EDA01X 系列 FPGA 模块配合使用，完成可编程逻辑器件实验。

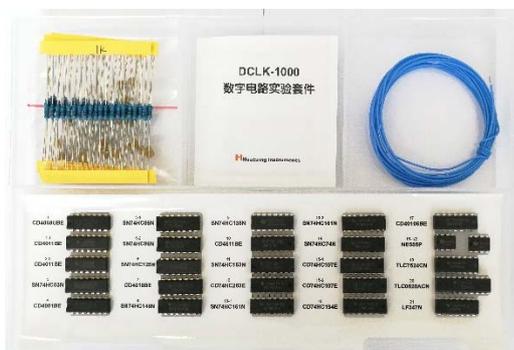


DCLK-1000 数字电路实验套件

套件内各种器件与工具介绍

1. 器件区

打开套件的塑料盒，第一层托盘为器件区：主要存放电阻、电容、芯片及短接线。



器件托盘

其中无源器件配备有：

- 电阻 (Ω , 5%精度): 1K, 3K, 10K, 20K, 910K
- 独石电容 (20%精度): 6.8nF (682), 10nF (103), 33nF (333), 1 μ F (105)
- 短接线: 0.3 规格单股线, 4 米左右, 用于面包板上电路搭建

芯片库一共有 21 种，26 颗芯片，以 TI 公司 CD4000 系列与 74HC 系列芯片为主。

芯片库规格明细

序号	器 件	厂家型号	规格	数量
1	六路反向器	TI, CD4069	DIP-14	1
2	四路 2 输入与非门	TI, CD4011	DIP-14	2
3	0D 输出四路 2 输入与非门	TI, 74HC03	DIP-14	1
4	四路 2 输入或非门	TI, CD4001	DIP-14	1
5	四路异或门	TI, 74HC86	DIP-14	2
6	四路三态门	TI, 74HC125	DIP-14	1
7	四路双向开关	TI, CD4016	DIP-14	1
8	8-3 优先编码器	TI, 74HC148	DIP-16	1
9	3-8 译码器	TI, 74HC138	DIP-16	1
10	BCD-7 段显示译码器	TI, CD4511B	DIP-14	1
11	两路 4-1 数据选择器	TI, 74HC153	DIP-16	1
12	4 位二进制全加器	TI, 74HC283	DIP-16	1
13	4 位同步二进制计数器	TI, 74HC161	DIP-16	2
14	双路 D 触发器	TI, 74HC74	DIP-14	1
15	双路 J-K 触发器	TI, 74HC107	DIP-14	2
16	4 位双向移位寄存器	TI, 74HC194	DIP-16	1
17	六路施密特触发器	TI, CD40106	DIP-14	1
18	单精度定时器	TI, NE555P	DIP-8	2
19	并行 DAC	TI, TLC7524CN	DIP-16	1
20	并行 ADC	TI, TLC0820ACN	DIP-20	1
21	四路通用运放	TI, LF347	DIP-14	1

芯片库中的芯片价值较高，在使用过程中注意保护，不要丢失损坏。为了防止芯片管脚损伤，请在实验套件中 HA-MB02 面包上完成电路搭建，**芯片在插接的时候注意每个管脚尖端都已经插入面包板的孔洞后再用力按压芯片，从面包板上拔除芯片时请使用套件中配备的专用螺丝刀（一字端）小心的将芯片翘起，避免管脚弯曲折断。**芯片用完后请放回器件库指定位置。

2. 配套工具

拿掉第一层器件托盘，可以看到 DCLK-1000 套件中配备的实验工具。

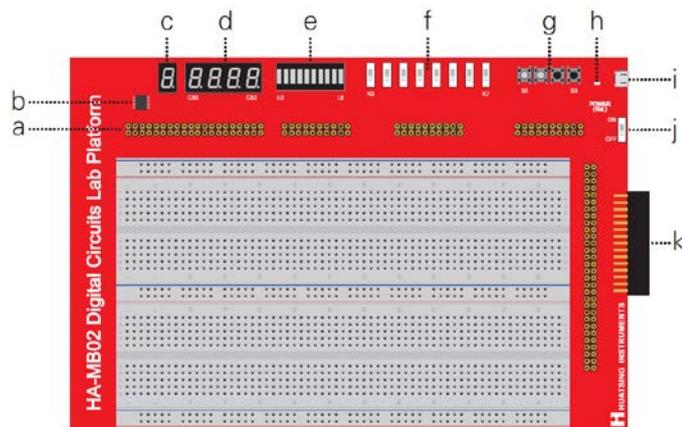


配套工具

- 万用表：UT120C 型 3 3/4 位数字万用表，可以测量交/直流电压、交/直流电流、电阻、电容、频率、占空比、二极管通断，**使用前请仔细阅读万用表使用手册。**
- 螺丝刀：一字/十字可换，顶端带磁铁，从面包板上拔除芯片时请使用一字端。
- 剥线钳：用于切断短接线，并剥除线皮。
- micro-USB 供电线：用于 HA-MB02 实验面包板供电，**注意：该线只能用于供电，不具数据通信功能。**

3. HA-MB02 面包板

塑料盒最底层为实验用的 HA-MB02 实验面包板。



HA-MB02 实验面包板

HA-MB02 实验面包板部件描述

序号	名称	描述
a	连接端子	数码管、拨动开关、按键、HPI-1000 口袋仪器.....输入/输出接口，同一信号接口提供 2 个插针孔（内/外两侧的插针孔是连通的）
b	TI CD4511 芯片	单位数码管显示译码芯片，芯片输入端为下面连接端子 ABCD 四位，电源、地、片选信号已连接
c	单位数码管	单位数码管，已连接译码芯片（见 b）
d	四位数码管	CS0~CS3，无译码芯片，共阴型
e	十位 LED 灯条	L0~L9，共阴型
f	拨动开关	K0~K7，拨上接高电平，拨下接地，带缓冲电阻
g	单稳态开关	S0,S1（白色）静态接高电平，按下接地，带缓冲电阻；S2,S3（黑色）静态接地，按下接高电平，带缓冲电阻；
h	电源指示灯	外部电源供电指示灯
i	外部电源接口	请使用配套 micro-USB 线连接电脑 USB 口或+5V 电源
j	外部电源开关	配有自恢复保险
k	HPI 专用接口	用于连接 HPI-1000 口袋仪器， 注意方向，插拔时切勿把口袋仪器的插针碰弯折断

实验 1 熟悉 DCLK-1000 套件的使用

实验目的

熟悉 DCLK-1000 数字电路实验套件的使用，避免人为损坏。

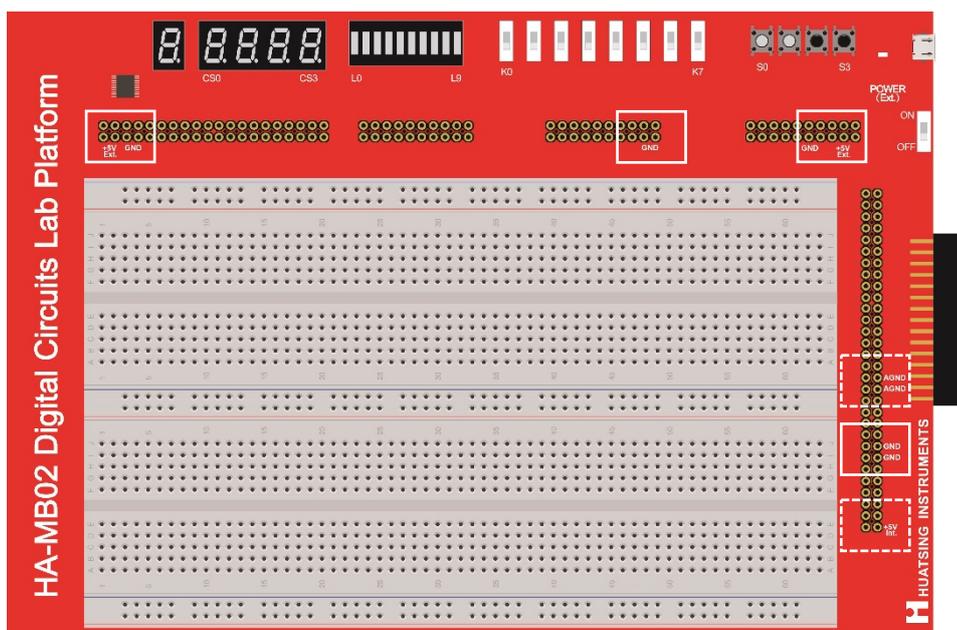
实验器材

1. DCLK-1000 数字电路实验套件
2. HPI-1000 口袋仪器
3. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

HA-MB02 面包板的使用

DCLK-1000 套件中最主要的组成部分就是 HA-MB02 面包板，虽然之前已经简要介绍过面包板上各个部件名称与作用，但是深入掌握其中一些模块组件特性与电路连接细节可以提高后续实验的成功率，更重要的是避免人为误操作造成的设备损坏。

1. 熟悉 HA-MB02 面包板的电气连接



HA-MB02 面包板电源与地资源

HA-MB02 面包板上的全部电源与地连接端子一共有 6 处，在上图中用白色实线框与虚线框标出，这 6 处的电源与地分别都是连通的吗？在不插电的情况下，请大家用 DCLK-1000 套件中配备的万用表通断档测量一下。测量结果应该是 4 处实线框中的 +5V Ext. 是连通的，GND 也是连通的；但是 +5V Ext. 与虚线框中的 +5V Int. 不连通，GND 与虚线框中的 AGND 不连通。

- **+5V Ext.:** 外部供电电源，由面包板右上角 J1 USB 端口供电，受电源开关控制，做实验时给芯片供电，面包板周边器件供电也应该使用这个电源。这个电源有红色 LED 指示灯及自恢复保险 F1，在实验过程中如果发现电源开关处于 ON 的位置，但是电源指示灯 LED 不亮，说明面包板上存在短路，请立即关闭电源并检查电路连接。

- **+5V Int.:** HPI 接口上的+5V Int.电源来自 HPI-1000 口袋仪器+5V 输出，当口袋仪器没有连接时，这个端口没有电，即使连接了口袋仪器，也不能以这个端口作为 HA-MB02 面包板的电源，因为 HPI-1000 口袋仪的+5V 输出驱动能力有限，过载有可能损坏口袋仪器。
- **GND:** HA-MB02 面包板的 GND 端子与 HPI 口袋仪器专用接口的 GND 端子是连通的，这个端子对应 HPI-1000 口袋仪器数字地（DG），也连接到外部电源的 GND 端。
- **AGND:** HA-MB02 面包板的 GND 端子与 HPI 口袋仪器专用接口的 AGND 端子是不连通的。AGND 端子对应 HPI-1000 口袋仪器模拟地（AG），不与数字地（DG）及电源地（GND）连通是为了隔离数字部分与模拟部分的干扰。但是当我们把 HPI-1000 口袋仪器插入面包板的 HPI 接口后（不接电），我们再用万用表进行通断测量，会发现 GND 与 AGND 又变成连通的了，这说明在 HPI-1000 口袋仪器内部数字地 DGND 与 AGND 是“连通”的，但是这个“连通”不是简单的物理连接，而是在连通线路中串入了可以滤除高频干扰的磁珠。做实验时如果用到 HPI-1000 口袋仪器的示波器、信号源等模拟仪器时，应该连接相应的 AGND 以减少干扰。

2. 熟悉 HA-MB02 面包板的周边实验器件

● 单稳态开关（S0~S3）

将 HA-MB02 面包板接入+5V 电源，打开电源开关，用万用表电压档测量单稳态开关的稳态电压与按下时暂态电压。我们会发现：S0、S1 开关（白色）稳态时是高，暂态时为低；S2、S3 开关（黑色）稳态时为低，暂态时为高；



● 十位 LED 灯条与数码管

把 HA-MB02 面包板接上+5V 电源，打开开关。用 DCLK-1000 套件中配备的剥线钳剪一段短接线，将短接线的一头插入+5V 端子，另外一头插入十位 LED 灯条 L0~L9 位中的任意一位，这时对应的灯条应该点亮，说明 LED 灯条是共阴型的，想要点亮灯条，应该在相应的位上加载高电平信号。



LED 灯条是共阴型的，想要点亮灯条，应该在相应的位上加载高电平信号。

四位连在一起的数码管 CS0~CS3 是四位 8 段共阴型的数码管：7 个笔画段 a~g，1 个小数点段 dp，对应关系见板子左侧的丝印图。这 8 个段的输入端是四个数码管共用的，具有要点亮哪个数码管，需要通过 CS0~CS3 这 4 个片选端来选择，注意：字段信号是高有效，但是片选信号 CS 是低有效。所以我们将+5V 电压加载到 a 端子，再把 CS0 端子接到 GND，就能看到 CS0 数码管的 a 笔画段（顶端那一横）点亮。

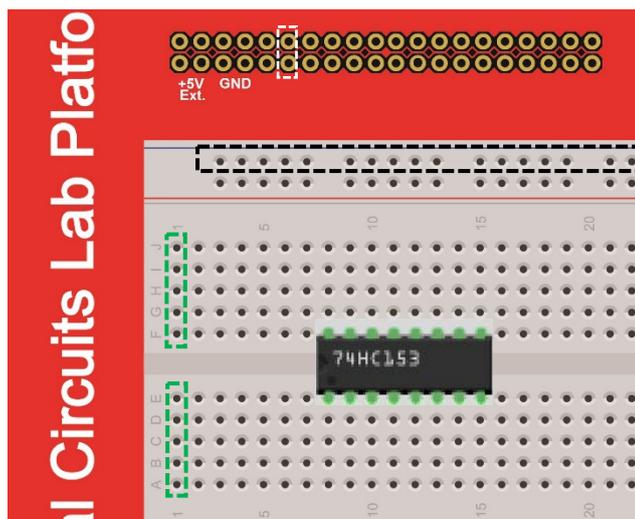
最左边那个独立的单位数码管本身已经接好了面包板上的 CD4511 译码芯片，只要给输入端子 A（低位）~D（高位）加载高低电平，就能把译码数字显示出来，当 A~D 没有接入信号（悬空）时，显示的数字不定。有关 CD4511 芯片的使用可以参考实验 [BCD 七段译码电器的使用](#)。

3. 熟悉 HA-MB02 面包板的用户实验区

面包板用户实验区域由 2 个中心块和 3 个边条组成，其中红色、蓝色线条内的边条区域每一行的孔是连通的，（图片中黑色虚线框内的孔都是连通的）；中心块的每一列的 5 个孔是连通的（图片中绿色虚线框内的 5 个孔都是连通的）；芯片应该像图片中那样插接在中心块沟槽的两侧。

面包板周边的连接端子区域内侧和外侧的两个端子也是连通的（白色虚线框所示）。

需要特别注意的是：**1.芯片在插拔过程中要特别小心不要把管脚弄弯折断，在拔除芯片时可以借助实验套件中配备的一字螺丝刀；2.在面包板和端子上连接导线时也要特别小心不要把线头折断在孔洞内，尤其禁止把面包板或端子上连接的多根导线一下子用力同时拔掉，这样极易造成线头折断在孔内或是孔内簧片损坏。**



实验 2 译码电路分析与设计

实验目的

- 1 熟悉译码器的结构和功能测试方法
- 2 掌握译码器的逻辑功能及其应用

实验器材

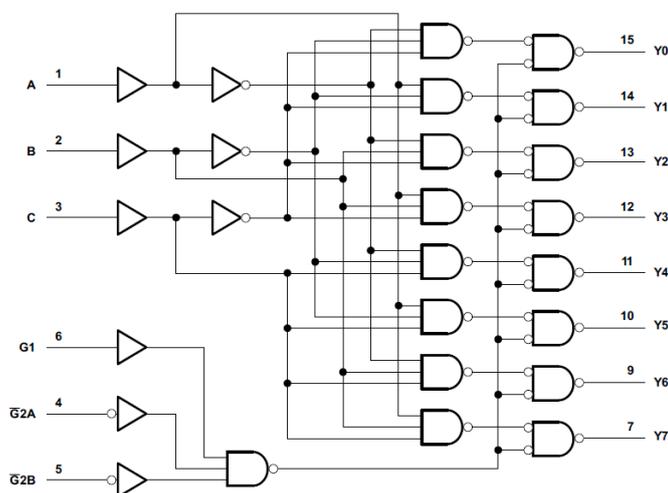
1. HA-MB02 数字电路实验面包板
2. 器件：
 - a) 74HC138 3-8 译码器芯片（芯片库 9#芯片）
 - b) CD4069 反相器芯片（芯片库 1#芯片）
3. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

实验要求

在 HA-MB02 面包板上搭建一个电路，将 K0~K1 拨动开关作为输入端（K0 低位，K1 高位），十位 LED 灯条中的 L0~L3 作为输出端。当 K1 与 K0 输入为 00、01、10、11 四种状态时，点亮 L0~L3 相应的位。

电路分析

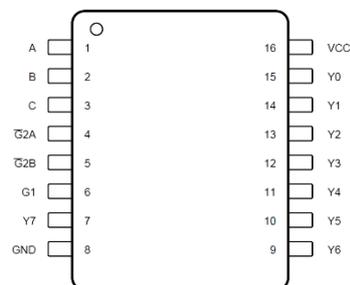
这个电路主要使用了一片 74HC138 3-8 译码器，下图是该芯片的功能框图、引脚定义与逻辑真值表。



74HC138 芯片功能框图

74HC138 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	A	I	输入端(最低位)
2	B	I	输入端
3	C	I	输入端(最高位)
4	/G2A	I	置低使能输入端A
5	/G2B	I	置低使能输入端B
6	G1	I	置高使能芯片
7	Y7	O	输出端(最高位)
8	GND	—	地
9	Y6	O	输出端
10	Y5	O	输出端
11	Y4	O	输出端
12	Y3	O	输出端
13	Y2	O	输出端
14	Y1	O	输出端
15	Y0	O	输出端(最低位)
16	VCC	—	电源 (+5V)



74HC138芯片逻辑真值表

输入						输出							
使能端			输入端										
G1	/G2A	/G2B	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

从芯片的功能框图及逻辑真值表可以看出该芯片是一颗低输出有效的芯片，HA-MB02 面包板上的十位 LED 灯条是共阴的，因此在 74HC138 芯片之后还要接一片 CD4069 反相器才可以实现电路功能。CD4069 芯片功能比较简单，该芯片的数据手册请从 huatsing.com 网站上自行下载，那里面有芯片管脚定义等详细信息，这里不再赘述。

分析与思考

1. 74HC138 芯片的第 3 脚（输入端 C）可以悬空吗？

实验要求实现一个 2-4 译码电路，74HC138 芯片只用到输入端 A 与 B，那么输入端 C 可以悬空吗？为什么？参考答案见[附录 A 一部分思考题参考答案](#)。

2. 如何利用现有的器件实现 3-8 译码器？

如果要求实现一个 3-8 译码器，74HC138 本身就是 3-8 译码器芯片，译码这块没有问题，但是 CD4069 是一个六路反相器，并且实验套件芯片库里只提供了一片 CD4069，那么多出来的 2 路输出信号如何进项取反操作？能不能借用一片 CD4011 与非门芯片（芯片库 2# 芯片）来实现呢？

实验3 BCD 七段显示译码器的使用

实验目的

掌握 CD4511 译码器芯片的使用方法，为后面的综合实验打下基础。

实验器材

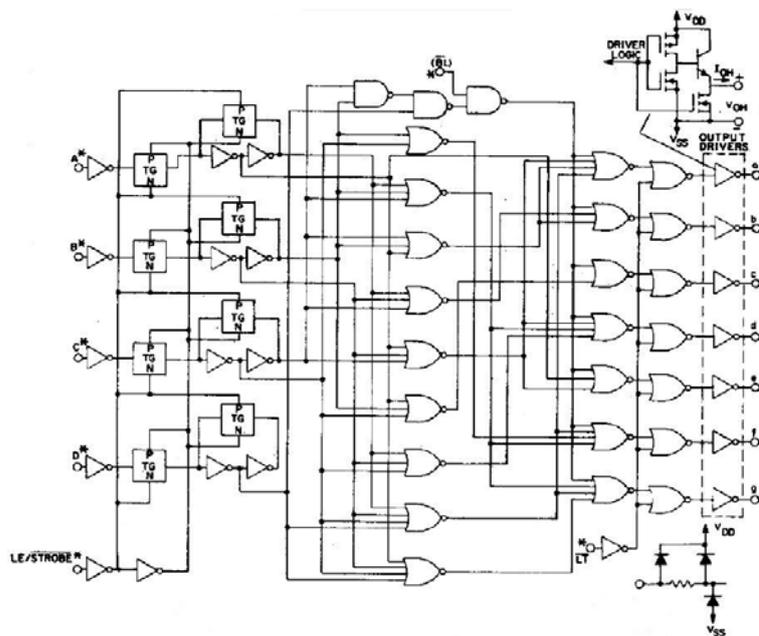
1. HA-MB02 数字电路实验面包板
2. 器件：
 - a) CD4511 BCD 七段显示译码芯片（芯片库 10#芯片）
 - b) 板载 CD4511 芯片 已经焊接在面包板上（见 [HA-MB02 面包板介绍](#)）
3. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

实验要求

在 HA-MB02 面包板上搭建一个电路，将 K0~K3 拨动开关作为输入端（K0 低位，K3 高位），当输入二进制数 0000~1001 时，在面包板的单位数码管（自带板载 CD4511 显示译码芯片）及四位数码管（无显示译码芯片）CS0 位上显示十进制数字 0~9。**注意：四位数码管的片选信号 CSx 是低有效。**

电路分析

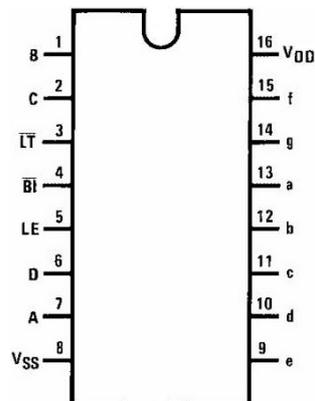
这个电路主要使用了 CD4511 BCD 七段显示译码芯片，DCLK-1000 数电实验套件器件库配备的与 HA-MB02 面包板上焊接的都是 TI 公司的 CD4511 芯片，只不过前者是双列直插封装（PDIP），后者是贴片封装（TSSOP）。下图是该芯片的功能框图、管脚定义、逻辑真值表。



CD4511 芯片功能框图

CD4511 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	B	I	输入位B
2	C	I	输入位C
3	/LT	I	测试 (置低全亮, 显示8)
4	/BL	I	灭灯 (置低全暗, 无显示)
5	/LE	I	置低使能
6	D	I	置高使能芯片
7	A	I	输入位A
8	V _{SS}	—	地
9	e	O	输出位e
10	d	O	输出位d
11	c	O	输出位c
12	b	O	输出位b
13	a	O	输出位a
14	g	O	输出位g
15	f	O	输出位f
16	V _{DD}	—	电源 (+5V)



CD4511 芯片逻辑真值表

十进制数 或功能	输 入							输 出							字形
	LE	BL	LT	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	a	b	c	d	e	f	g	
0	L	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	0
1	L	H	H	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	1
2	L	H	H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	2
3	L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	H	3
4	L	H	H	L	H	L	L	L	H	H	L	L	H	H	4
5	L	H	H	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	H	5
6	L	H	H	L	H	H	L	L	L	H	H	H	H	H	6
7	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	7
8	L	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	8
9	L	H	H	H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	9
10	L	H	H	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
11	L	H	H	H	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
12	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
13	L	H	H	H	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
14	L	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
15	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
灯测试	x	x	L	x	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	8
灭灯	x	L	H	x	x	x	x	L	L	L	L	L	L	L	熄灭
锁存	H	H	H	x	x	x	x					*			*

分析与思考

这个实验比较简单, 没有什么需要特别分析的地方。唯一一点可能有些细心的同学发现双列直插的 CD4511 芯片上印着的字是“CD4511BE”, 而面包板上贴装的芯片上印着的字是“CM511B”, 既然是同一款芯片, 为何丝印不同呢? 这是因为芯片的封装不同, 乃至包装的不同, 上面的印字有可能不一样, 具体可以从 huatsing.com 网站上下载该芯片的手册查寻。

实验 4 优先编码器电路分析

实验目的

- 1 熟悉编码器的结构和功能测试方法
- 2 掌握编码器的逻辑功能及其应用

实验器材

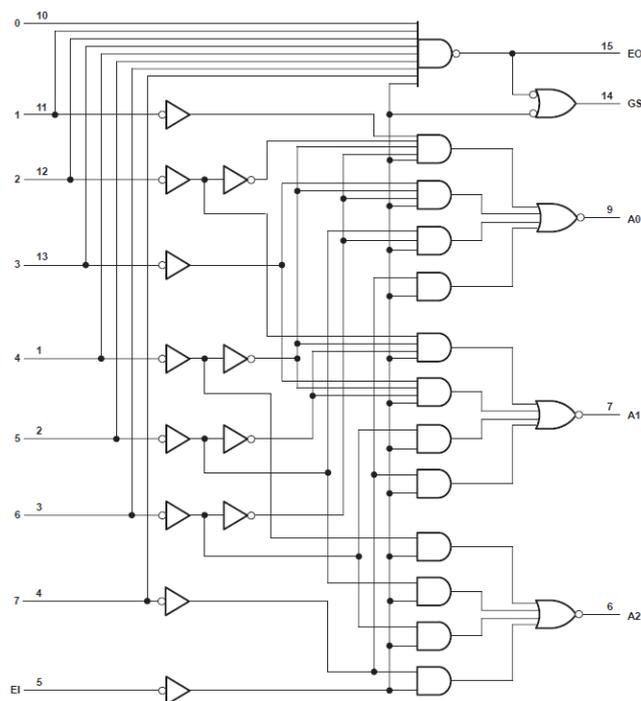
4. HA-MB02 数字电路实验面包板
5. 器件：
 - a) 74HC148 8-3 优先编码器芯片（芯片库 8#芯片）
 - b) CD4069 反相器芯片（芯片库 1#芯片）
6. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

实验要求

在 HA-MB02 面包板上搭建一个电路，将 K0~K3 拨动开关作为输入端（K0 低位，K3 高位），自带译码器的单位数码管作为输出端。当 K0~K3 拨动开关哪一位拨到低时，数码管就显示对应的开关序号（比如 K0~K3 状态为 0001 时，数码管就显示数字 3）。如果 K0~K3 四个开关全部置高时，让数码管熄灭。

电路分析

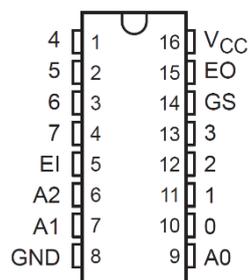
这个电路主要使用了一片 74HC148 8-3 优先编码器，下面是该芯片的功能框图、管脚定义、逻辑真值表。



74HC148 芯片功能框图

74HC148 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	4	I	输入位
2	5	I	输入位
3	6	I	输入位
4	7	I	输入位 (最高位)
5	EI	I	使能端
6	A2	O	输出位 (最高位)
7	A1	O	输出位
8	GND	—	地
9	A0	O	输出位 (最低位)
10	0	I	输入位 (最低位)
11	1	I	输入位
12	2	I	输入位
13	3	I	输入位
14	GS	O	输入检测端
15	EO	O	使能输出端
16	Vcc	—	电源 (+5V)



74HC148芯片逻辑真值表

输入									输出				
EI	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO
H	X	X	X	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	H
L	X	X	X	X	X	X	L	H	L	L	H	L	H
L	X	X	X	X	X	L	H	H	L	H	L	L	H
L	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	L	H
L	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L	H
L	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H

从芯片的功能框图及逻辑真值表可以看出该芯片无论是输入输出管脚还是功能管脚，都是低电平有效，所以厂家的芯片手册里就不给每一个管脚上都加上表示低电平有效的“/”符号了，但是大家要记住这是一颗低电平有效的芯片。

74HC148 是一款优先编码器，“优先”体现在当高的输入位有输入（低电平）时，无论低输入位是否有输入，输出结果都以最高输入位为准——优先考虑最高输入位的状态。

实验的结果显示要用到板载的 BCD 七段译码显示芯片 CD4511，这颗芯片的使用大家可以参考 [BCD 七段译码显示电路实验](#)。同时还会用到 CD4069 反相器芯片，该芯片的数据手册请从 huatsing.com 网站上自行下载，这里不再赘述。

分析与思考

1. 74HC148 芯片的第 1~4 脚（输入端 4~7）可以悬空吗？

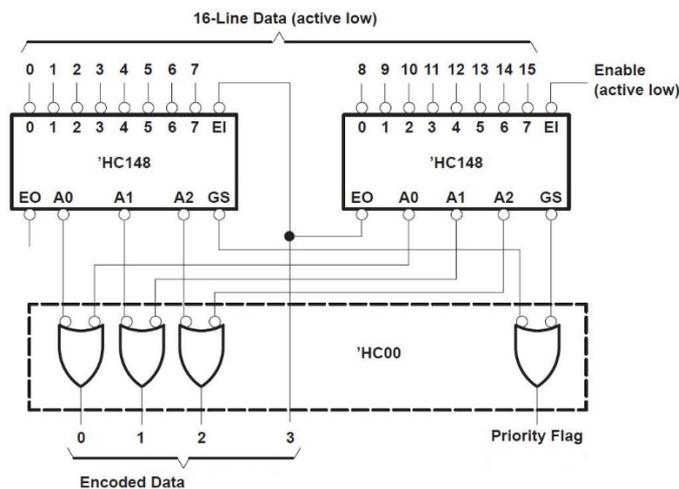
实验要求实现一个 4-2 编码电路，74HC148 芯片只用到输入端 0~3，那么输入端 4~7 可以悬空吗？为什么？参考答案见[附录 A](#)。

2. 如何区分没有开关拨下与 K0 拨下的状态？

大家可能在实验过程中遇到一个问题：当开关 K0~K3 全部置高与仅 K0 置低时，单位数码管都显示 0，如何在不增加器件的情况下实现 K0~K3 全部置高时数码管熄灭，K0 拨下时才显示 0？能不能利用芯片的 14 脚（GS）的信号？参考答案见[附录 A](#)。

3. 74HC148 芯片的多片级联扩展

74HC148 芯片是可以利用 EO 端和 GS 端实现多片级联扩展的，下图就是一种级联扩展方式。

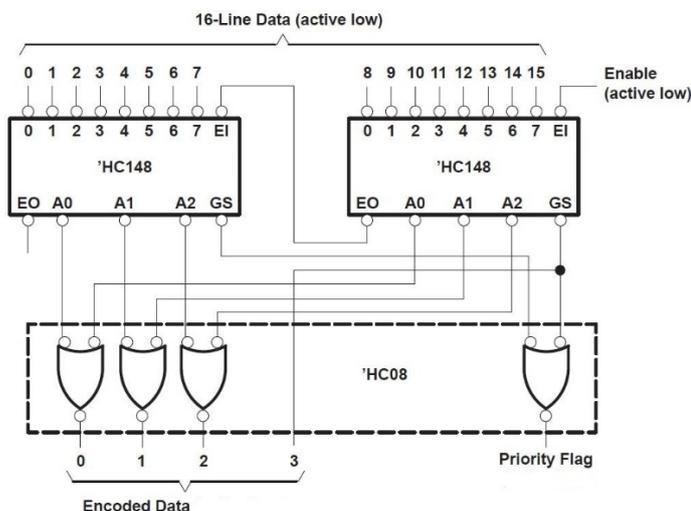


2 片 74HC148 实现 16-4 优先译码电路

请分析一下这个扩展电路中的输出结果（Encoded Data）是高电平有效还是低电平有效？Priority Flag 端的含义是什么？（不要直接翻译）？这个输出端是高电平有效还是低电平有效？参考答案见[附录 A](#)。

4. 另一种级联扩展方式

下面是另一种级联扩展方式，请问这种电路结构与上面那种电路结构在结果上有什么不同吗？参考答案见[附录 A](#)。



实验 5 D 触发器的研究

实验目的

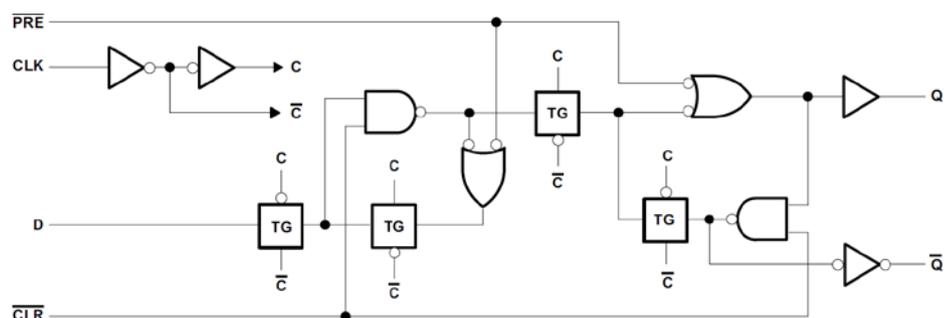
- 1 熟悉并掌握 D 触发器的构成、工作原理和功能测试方法。
- 2 熟悉并掌握借助 HPI-1000 口袋仪器分析触发器时序转换关系的方法。

实验器材

1. HA-MB02 数字电路实验面包板
2. HPI-1000 口袋仪器
3. 器件：74HC74 芯片，双路 D 触发器（芯片库 14#芯片）
4. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

电路分析

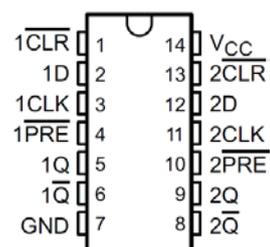
双路 D 触发器 74HC74 芯片功能框图，管脚定义及逻辑真值表见下。



74HC74 芯片功能框图

74HC74 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	/CLR	I	清零端（将1Q置低）
2	1D	I	输入端
3	1CLK	I	时钟信号输入端
4	1/PRE	I	置数端
5	1Q	O	输出端
6	1/Q	O	反相输出端
7	GND	—	地
8	2/Q	O	反相输出端
9	2Q	O	输出端
10	2/PRE	I	置数端
11	2CLK	I	时钟信号输入端
12	2D	I	输入端
13	2/CLR	I	清零端（将2Q置低）
14	VCC	—	电源（+5V）



74HC74 芯片逻辑真值表

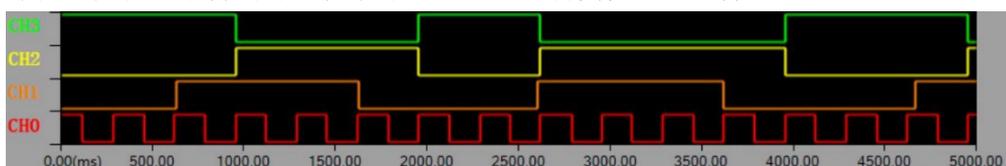
输入				输出	
/PRE	/CLR	CLK	D	Q	/Q
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H ⁽¹⁾	H ⁽¹⁾
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	/Q ₀

(1) 这是一个非稳定状态，当/PRE或/CLR信号跳转回高时，该状态也将改变。

实验内容：

- 让 HPI-1000 口袋仪器信号发生器通道 1 产生一个峰峰值 0~5V，频率 3Hz 的方波作为时钟信号（CLK），同时将 CLK 信号接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH0；
- 使用拨动开关 K0 连接到 74HC74 芯片 D 输入端，手动输入信号，同时将 K0 信号接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH1；
- 将 74HC74 芯片输出信号 Q 接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH2；
- 将 74HC74 芯片输出信号/Q 接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH3；
- 设置逻辑分析仪采样率 200Hz，采样点数 1000 点，显示点数 1000 点；

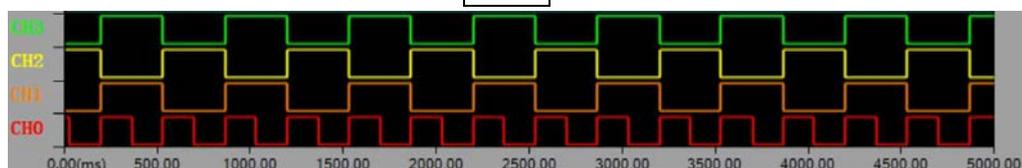
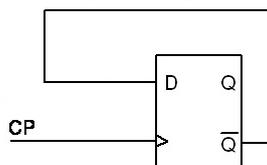
搭建好电路并按照上述步骤设置好仪器参数，看看能不能得到下面的时序波形图，分析一下得到时序波形与 74HC74 逻辑真值表是否符合。



74HC74 芯片时序波形

思考与分析：

如果按照下图连接电路，即：将 74HC74 的/Q 输出端接到 D 输入端，然后按照上面的步骤连接 HPI-1000 口袋仪器并设置仪器参数，能够得到下面的时序波形图吗？为什么？



实验 6 JK 触发器的研究

实验目的

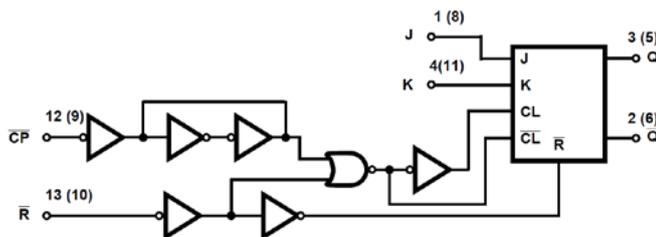
- 1 熟悉并掌握 JK 触发器的构成、工作原理和功能测试方法。
- 2 熟悉并掌握借助 HPI-1000 口袋仪器分析触发器时序转换关系的方法。

实验器材

1. HA-MB02 数字电路实验面包板
2. HPI-1000 口袋仪器
3. 器件：74HC107 芯片，双路 J-K 触发器（芯片库 15#芯片）
4. 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

电路分析

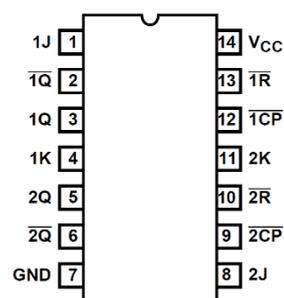
74HC107 双路 JK 触发器功能框图，管脚定义及逻辑真值表见下。



74HC107 芯片功能框图

74HC107 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	1J	I	输入端
2	/1Q	O	反相输出端
3	1Q	O	输出端
4	1K	I	输入端
5	2Q	O	输出端
6	/2Q	O	反相输出端
7	GND	—	地
8	2J	I	输入端
9	/2CP	I	时钟信号输入端
10	/2R	I	置数端
11	2K	I	输入端
12	/1CP	I	时钟信号输入端
13	/1R	I	置数端
14	Vcc	—	电源 (+5V)



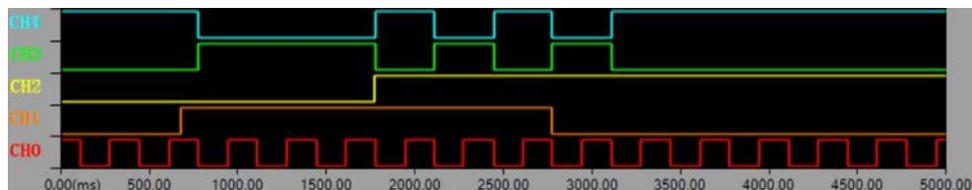
74HC107 逻辑真值表

输入				输出	
/R	/CP	J	K	Q	/Q
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	不变	
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	触发	
H	H	X	X	不变	

实验内容：

- 让 HPI-1000 口袋仪器信号发生器通道 1 产生一个峰峰值 0~5V，频率 3Hz 的方波作为时钟信号（CLK），同时将 CLK 信号接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH0；
- 使用拨动开关 K0、K1 分别连接到 74HC74 芯片 J、K 输入端，手动输入 J、K 信号，同时将 K0、K1 信号接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH1、CH2 通道；
- 将 74HC107 芯片输出信号 Q 接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH3；
- 将 74HC107 芯片输出信号/Q 接入口袋仪器逻辑分析仪通道 CH4；
- 设置逻辑分析仪采样率 200Hz，采样点数 1000 点，显示点数 1000 点；

搭建好电路并按照上述步骤设置好仪器参数，在逻辑分析仪采集数据的 5 秒钟内手动将 K1（K 输入端、CH2）、K0（J 输入端、CH1）依此置为 00、01、11、10 四种状态，看看能不能得到下面的时序波形图，分析一下得到时序波形与 74HC107 逻辑真值表是否符合。

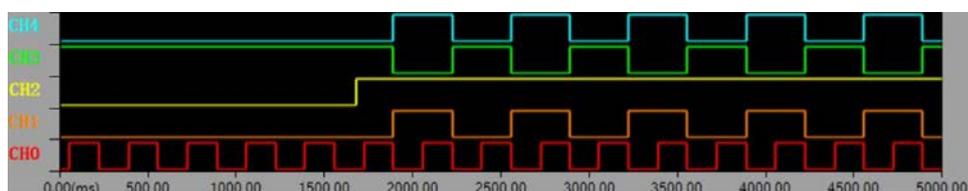
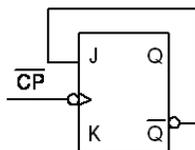


74HC107 芯片时序波形

思考与分析：

1. 实验电路的改造

如果按照下图连接电路，即：将 74HC107 的/Q 输出端接到 J 输入端，K 输入端还是通过拨动开关 K1 手动输入，然后按照上面的步骤连接 HPI-1000 口袋仪器并设置仪器参数，能够得到下面的时序波形图吗？为什么？



2. 触发器的转换

不同类型触发器是可以互相转换的，转换方法见下表。结合 [D 触发器的研究实验](#)，能否实现 D 触发器与 JK 触发器电路的相互转换？

触发器转换表

目标触发器	已有触发器				
	T 触发器	T' 触发器	D 触发器	JK 触发器	RS 触发器
D 触发器	$D=T\oplus Q^n$ $=T\overline{Q^n}+\overline{T}Q^n$	$D=\overline{Q^n}$	/	$D=J\overline{Q^n}+KQ^n$	$D=S+\overline{R}Q^n$
JK 触发器	$J=K$ $K=T$	$J=1$ $K=1$	$J=D$ $K=\overline{D}$	/	$J=S$ $K=R$
RS 触发器	$R=TQ^n$ $S=T\overline{Q^n}$	$R=Q^n$ $S=\overline{Q^n}$	$R=\overline{D}$ $S=D$	$R=KQ^n$ $S=J\overline{Q^n}$	/

实验 7 计数器应用

实验目的

- 1 掌握计数器的工作原理和逻辑功能
- 2 熟悉用中规模集成计数器实现 N 进制计数器的方法

实验器材

- 1 HA-MB02 数字电路实验面包板
- 2 HPI-1000 口袋仪器
- 3 器件：74HC161 芯片，四位同步二进制计数器（芯片库 13#芯片）
- 4 短接线、剥线钳、USB 供电线、+5V DC 电源等

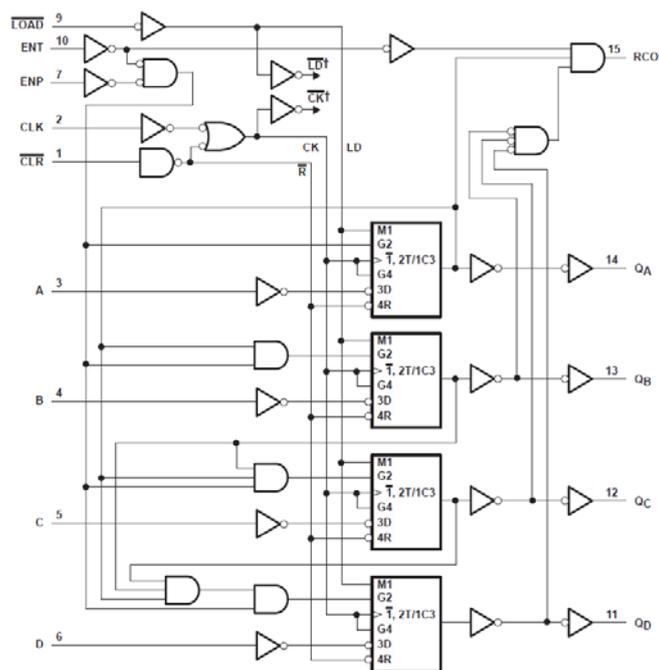
电路分析

计数器是在计算机和其他数字系统中广泛应用的时序逻辑功能部件。计数器的基本功能是统计时钟脉冲的个数，就是实现计数操作，也可用于分频、定时、产生节拍脉冲等，常见的计数器类型见下表。

常见计数器

类型			代表芯片	
十进制	同步	递增	异步清除	74HC160
			同步清除	74HC162
		可逆	单时钟	74HC168 74HC190
			双时钟	74HC192
	异步	二-五-十进制		74HC196 74HC90 74HC290
		双十进制		74HC90（异步）
四位二进制	同步	递增	异步清除	74HC161
			同步清除	74HC163
		可逆	单时钟	74HC169 74HC191
			双时钟	74HC193
	异步	二-八-十六进制		74HC197 74HC93 74HC293
		双四位二进制		74HC393（异步）

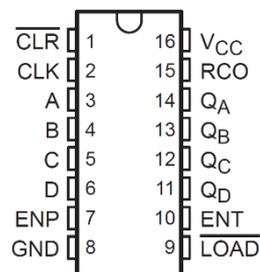
本次实验使用的的 74HC161 四位二进制同步计数器芯片。该芯片的功能框图，管脚定义和时序逻辑波形见下。

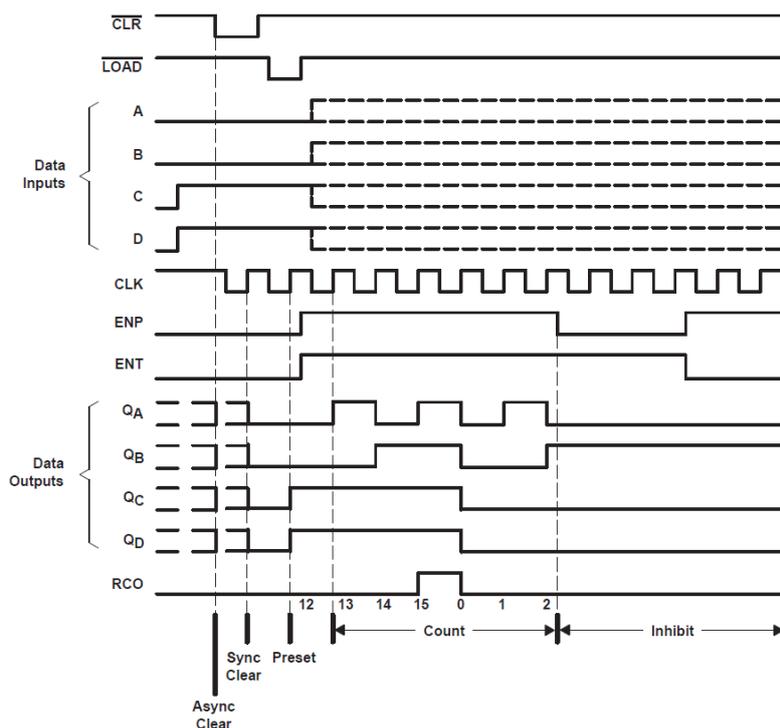


74HC161 芯片功能框图

74HC161 芯片管脚定义

序号	管脚名称	信号方向	定义
1	/CLR	I	清零端
2	CLK	I	时钟信号输入端
3	A	I	置数输入端 (最低位)
4	B	I	置数输入端
5	C	I	置数输入端
6	D	I	置数输入端 (最高位)
7	ENP	I	计数使能端
8	GND	—	地
9	/LOAD	I	置数装载端
10	ENT	I	计数/进位输出使能端
11	Qd	O	输出端最高位)
12	Qc	O	输出端
13	Qb	O	输出端
14	Qa	O	输出端 (最低位)
15	RCO	O	脉冲进位输出端
16	Vcc	—	电源 (+5V)





74HC161 芯片时序波形图（理论）

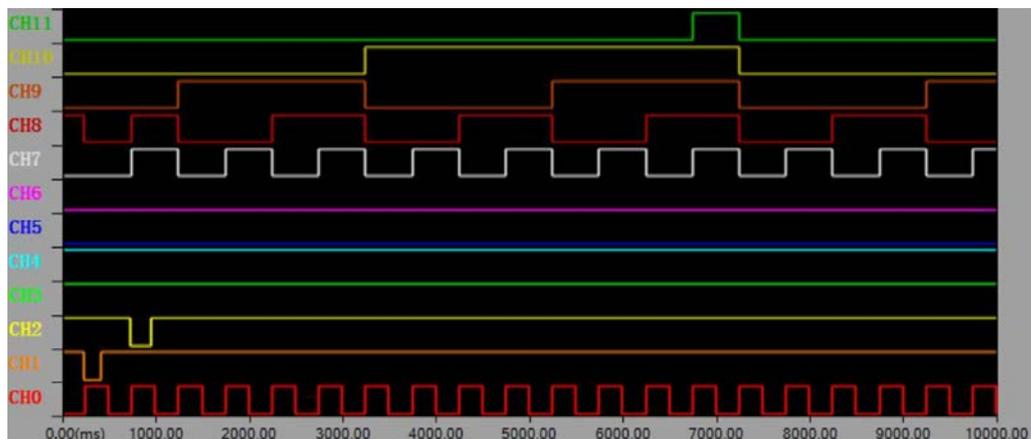
实验内容

- 让 HPI-1000 口袋仪器信号发生器通道 1 产生一个峰峰值 0~5V，频率 2Hz 的方波作为时钟信号 CLK；
- 将计数使能端 ENP、ENT 都接高电平；
- 将白色单稳态开关 S0、S1 分别接入 74HC161 的清零端/CLR 和置数装载端/LOAD；
- 将拨动开关 K0~K3 分别连接到 74HC161 芯片 A~D 置数端，预置数 3（K3~K0 = 0011）；
- 将十段 LED 灯条的 L0~L3 接入 74HC161 的输出位 Qa~Qd；
- 将十段 LED 灯条的 L9 接入 74HC161 的脉冲进位端 RCO；
- 按照下表连接口袋仪器逻辑分析仪通道，设置逻辑分析仪采样率 100Hz，采样点数 1000 点，显示点数 1000 点；

逻辑分析仪通道连接对照表

逻辑分析仪通道	信号名称	定义
CH0	CLK	时钟
CH1	/CLR	清零端
CH2	/LOAD	置数装载端
CH3	A	置数输入端（最低位）
CH4	B	置数输入端
CH5	C	置数输入端
CH6	D	置数输入端（最高位）
CH7	Qa	输出端（最低位）
CH8	Qb	输出端
CH9	Qc	输出端
CH10	Qd	输出端（最高位）
CH11	RCO	脉冲进位端

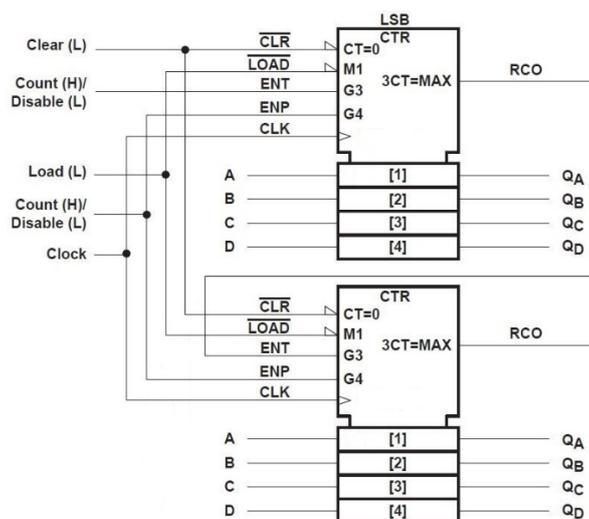
按照上面搭建好电路，连接好逻辑分析仪并设置好仪器参数后，按下逻辑分析仪开始采集按钮，然后迅速的依次按下单稳态按键 S0 和 S1，我们可以采集得到下面的时序波形图。分析一下这个波形图与上面那张芯片手册里给出的时序波形示意图是否一致。



74HC161 芯片时序波形图（实际）

思考与分析

DCLK-1000 实验套件芯片库中提供了 2 片 74HC161，如何将两片 74HC161 串联起来，搭建一个五位二进制同步计数器？请参考下面的扩展电路。



多片 74HC161 扩展示意图

附录 A 部分思考题参考答案

实验 2：译码电路分析与设计

74HC138 芯片的第 3 脚（输入端 C）可以悬空吗？

答：不可以，74HC138 是 CMOS 芯片，输入管脚悬空会造成状态不确定，产生错误的结果。对于用不到的输入管脚，必须根据需要进行上拉或下拉。

实验 4：优先编码器分析

1. 74HC148 芯片的第 1~4 脚（输入端 4~7）可以悬空吗？

答：不可以，74HC148 是 CMOS 芯片，输入管脚悬空会造成状态不确定，产生错误的结果。对于用不到的输入管脚，必须根据需要进行上拉或下拉。

2. 如何区分没有开关拨下与 K0 拨下的状态？

答：研究 [74HC148 逻辑真值表](#) 第 2 行和最后一行可以发现：没有输入和只有最低位输入时输出虽然都是高，但是 GS 管脚输出状态是不一样的：没有输入时 GS 输出为高；最低位输入时 GS 输出为低。同时研究 [CD4511 BCD 译码芯片](#) 逻辑真值表可知，当输入端 DCBA 的值大于 1001b 时数码管会熄灭。因此可以将 GS 的管脚用短接线分别连接到单位数码管（带译码芯片）的 C、D 输入端，这样在没有开关拨下时数码管熄灭，K0 拨下后数码管显示 0。

3. 74HC148 芯片的多片级联扩展

答：通过逻辑分析可知输出结果（Encoded Data）是高电平有效；Priority Flag 端的意义是无论第一片 74HC148 还是扩展的次级 74HC148 上有输入（输入位置低），Priority Flag 端就输出高，只有当两片 74HC148 都没有输入信号时，Priority Flag 端才输出低。从这个意义上讲可以叫做“输入状态指示标志”，但要注意，在这个电路中，Priority Flag 端也是高电平有效，与单片 74HC148 的 GS 管脚的逻辑关系恰恰相反。

4. 另一种级联扩展方式

答：这种级联扩展方式与上面的扩展方式不同之处在于这个电路的输出结果（Encoded Data）是低电平有效；Priority Flag 端也是低电平有效，这与单片 74HC148 的 GS 管脚的逻辑关系一致。

附录 B 常用芯片分类与特性

DCLK-1000 实验套件芯片库里有 CD4000 系列的芯片，比如 CD4511；也有 74HC 系列的芯片，比如 74HC86；这些芯片表面的实际丝印可能还有前缀或后缀，比如 CD4511BE，SN74HC86N，这些前缀后缀都代表什么？CD4000 系列芯片与 74HC 系列芯片有何区别？另外，我们在实验室里可能还会找到标有 74LSxx 字样的芯片，74LS 系列的芯片可以与实验套件中的芯片混用吗？这里我们对这些问题逐一做一个简要回答。

CD4000、74HC、74LS 系列芯片特性介绍

CD4000、74HC、74LS 是做实验时最常用到的芯片，首先对他们的特性以表格形式做一个简单介绍。

CD4000、74HC、74LS 系列芯片主要特性对比

特性	CD4000 系列	74HC 系列 (CMOS)	74LS 系列 (TTL)
生产厂家	TI, 最早由 RCA 公司生产	TI, 全称是 SN74HCxx, SN 是 TI 公司 74 系列芯片的标志	TI, 全称是 SN74LSxx, SN 是 TI 公司 74 系列芯片的标志
生产年代	早	较晚	较早
制造工艺	CMOS 电路	高速 CMOS 电路 (High-speed CMOS)	低功耗肖特基 TTL 电路 (Low-power Schottky TTL)
工作电压	3~18V	2~6V	5V
输入电平 V_i	输入高电平时不应低于 0.8 倍电源电压；输入低电平时不应高于 0.2 倍电源电压	输入高电平时不应低于 0.7 倍电源电压；输入低电平时不应高于 0.3 倍电源电压	输入高电平时不应低于 2V 输入低电平时不应高于 0.8V
输出电平 V_o	高电平接近电源电压 低电平接近 0V	输出高电平接近电源电压 输出低电平接近 0V	输出高电平不低于 2.7V 输出低电平不高于 0.5V
输出电流 $I_o(\text{mA})^*$	输出高电平时 $I_o = -1$ 输出低电平时 $I_o = 1$	输出高电平时 $I_o = -4$ 输出低电平时 $I_o = 4$	输出高电平时 $I_o = -0.4$ 输出低电平时 $I_o = 8$
兼容性	可以与 74HC 系列混用 可以直接连接 74LS 系列后级芯片，负载大时需要加驱动芯片	可以与 CD4000 系列混用 可以直接连接 74LS 后级芯片，负载大时需要加驱动芯片	不可以直接连接 CD4000 系列、74HC 系列后级芯片，必须通过电路将高电平输出提高到 3.15V 以上
同系列其他产品		74HCT: 输入输出电平兼容 TTL 电路，可与 TTL 芯片混用 74AHC: Advanced High-speed CMOS 74LVC: Low-Voltage CMOS 74ALVC: Advanced Low-Voltage CMOS 74AVC: Advanced Very-low-Voltage CMOS	74: 标准型 74S: Schottky TTL 74AS: Advanced Schottky TTL 74ALS: Advanced Low-power Schottky TTL 74F: Fast TTL

* 规定流入芯片的电流（灌电流）方向为正，流出芯片的电流（拉电流）方向为负

同型号的 74HC 系列、74LS 系列芯片，逻辑功能上是一样的，但是制造工艺不同，电气特性有区别，最好不要混用。如果找不到同一系列的芯片，混用时要注意 CMOS 与 TTL 电平转换问题。

CMOS 器件的驱动能力在高电平输出时对外输出电流（拉电流）与低电平输出时对内输入电流（灌电流）能力是对称的：CD4000 系列都是 1mA 左右，74HC 系列都是 4mA 左右，这可以直接点亮 LED 灯（5V 下大约需要 0.7mA 左右电流）。TTL 电路的驱动能力是不对称的：74LS 系列芯片在输出为低时灌电流可达 8mA，但是输出为高时拉电流只有 0.4mA，直接点亮 LED 灯有困难，需要加上三极管做驱动。

74HC 与 CD4000 系列都是 CMOS 工艺芯片，这两个系列可以混用。CMOS 器件抗静电能力差，易发生栓锁问题，所以 CMOS 的输入脚不能直接电源，中间要串接一个缓冲电阻，阻值与电路工作频率有关。[HA-MB02 面包板](#)的拨动开关 K0~K7、单稳态按键 S0~S3 在电路上都已经串入了缓冲电阻，搭建电路时无需另外串接。另外做实验时要注意先放掉手上的静电，防止静电损伤芯片。

芯片前缀与后缀问题

我们看到芯片上面丝印的型号往往还带有前缀和后缀，前缀一般用于代表生产厂家，比如 SN 前缀是 TI 公司的产品系列。后缀一般是芯片封装形式不同或者是包装形式不同加以不同的尾缀区分，具体可以从 huatsing.com 网站上下载该芯片的手册查寻。

另外，除了 SN74 系列，我们还可能看到 SN54 系列的芯片，74、54 系列芯片逻辑功能完全相同，电气特性相近，主要是工作温度不同，74 系列的工作温度是 -40°C~85°C，54 系列的工作温度是 -55°C~125°C。

附录 C HA-MB02 面包板电路原理图

