



# 華東師範大學

EAST CHINA NORMAL UNIVERSITY

实验名称:	基于 TD4 的 4 位 CPU 制作
姓 名:	
院 系:	计算机科学与技术学院
年 级:	2021 级
实验时间	2021 年 11 月 18 日

# 目录

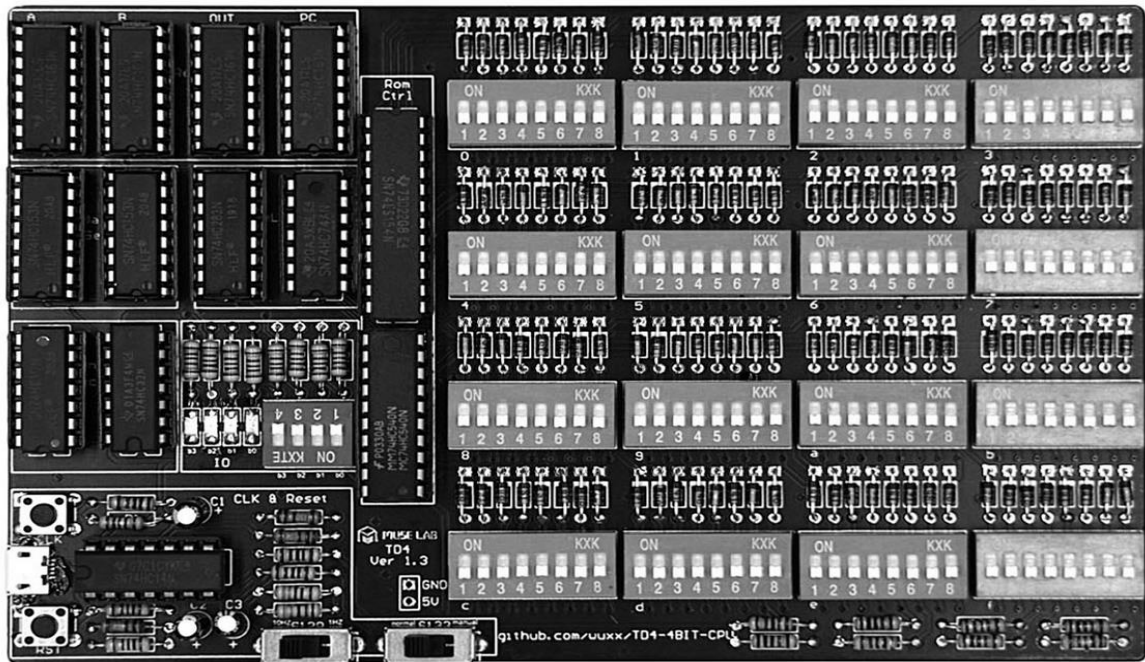
一、实验目的.....	(1)
二、实验器材.....	(2)
(一) TD4-CPU 套件.....	(2)
(二) 焊接工具 .....	(2)
三、实验原理.....	(3)
(一) 各个芯片的功能 .....	(3)
(二) 各个电路组合的功能 .....	(7)
(三) TD4-CPU 系统运作原理.....	(8)
四、实验实施与记录.....	(10)
(一) 焊接方案设计 .....	(10)
(二) 焊接实验记录 .....	(10)
(三) 运行测试程序 .....	(11)
(四) 运行自行编写的程序 .....	(11)
五、国内外行业现状分析.....	(12)
六、实验总结与改进.....	(14)
七、参考资料.....	(15)

## 一、实验目的

根据教程学习 TD4-CPU 的原理，基于 TD4 的原理理解计算机底层的硬件交互逻辑，掌握存储器与计算器的工作机制。

通过分析 TD4-CPU 电路图分层次地学习各器件与电路组合的功能，初步掌握数字电路基础知识。

根据教程完成 TD4-CPU 的焊接测试，通过实操掌握初级的电子电工技术。



## 二、实验器材

### （一）TD4-CPU 套件

### 元器件清单

元器件类型	规格	数量
二极管	1N4148	128
开关	8 脚拨码开关	16
	4 脚拨码开关	1
	4 脚按键开关	2
	5 脚拨动开关	2
Micro USB		1
LED 灯	1206 封装	4
电容	10 $\mu$ F	3
电阻	100 $\Omega$	2
	1K $\Omega$	11
	3.3 K $\Omega$	1
	10K $\Omega$	9
	33K $\Omega$	1
	100K $\Omega$	3
芯片座	14P 芯片座	4
	16P 芯片座	7
	20P 芯片座	1
	24P 芯片座	1
74 系列芯片	74HC10	1
	74HC14	1
	74HC32	1
	74HC74	1
	74HC153	2
	74HC154	1
	74HC161	4
	74HC283	1
	74HC540	1

### （二）焊接工具

踏板式焊台

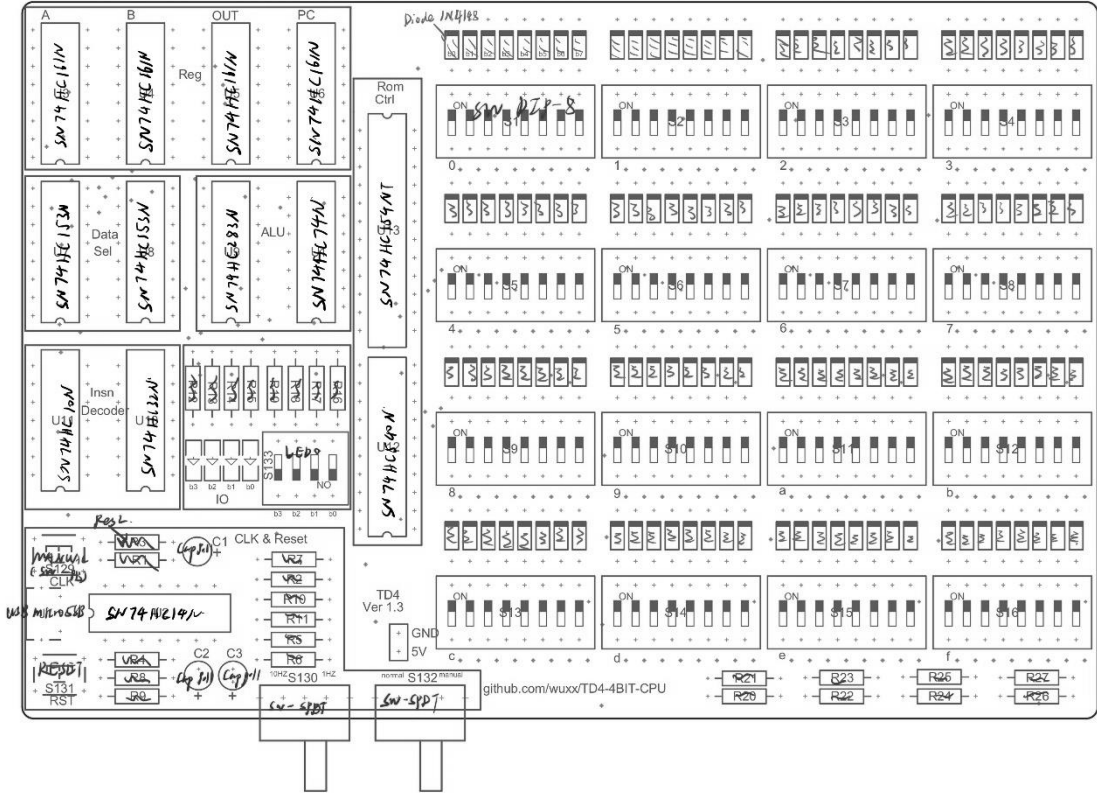
焊接耗材（焊锡）

辅助焊接工具（吸锡器，斜嘴钳，镊子等）

### 三、实验原理

#### (一) 各个芯片的功能

本实验所用的 9 种 74 系列芯片和两种拨码开关输入输出和功能如下，先单独地阐述其功能：



#### 1、SN74HC161N(可预置四位二进制异步清除计数器)

随着该芯片的引脚的高低电平的不同，芯片的模式也会发生改变。

##### (1) reset (clear)

由于异步清除，该芯片触发 **reset** 时不会受到时钟电路的影响，只要 **MR** 端出现低电平，触发器的存储数据立刻清零。

##### (2) parallel load

此时处于预置数状态，此时 **TC** 与 **Q<sub>n</sub>** 的输出取决于 **D<sub>n</sub>**。比如，当 **D<sub>1</sub>** 为高电平，则当 **CP** 上升沿到达后对应的 **FF<sub>1</sub>**（参考该芯片 Logic diagram）被置为 **1**，**Q<sub>n</sub>** 为 **1** 由于有四个这样的 **FF**，可以预置 **4** 位二进制数。

##### (3) count

当 **MR=H**，**CEP=CET=PE=h** 时，电路处于计数状态，从电路的 **0000** 状态开

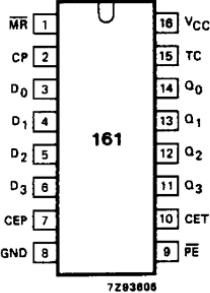


Fig.1 Pin configuration.

始连续输入 16 个计数脉冲时，电路将从 **1111** 返回 **0000** 状态，FF 的 CP 端由高电平跳至低电平。

(4) hold

当 MR=H，PE=h 时，这个时候由于 FF<sub>n</sub> 的所有输入均为 **0**，当 CP 信号到达时，它们都将保持原来的状态不变。

OPERATING MODE	INPUTS						OUTPUTS	
	$\overline{\text{MR}}$	CP	CET	CET	$\overline{\text{PE}}$	D <sub>n</sub>	Q <sub>n</sub>	TC
reset (clear)	L	X	X	X	X	X	L	L
parallel load	H	↑	X	X	l	l	L	L
	H	↑	X	X	l	h	H	(1)
count	H	↑	h	h	h	X	count	(1)
hold (do nothing)	H	X	l	X	h	X	q <sub>n</sub>	(1)
	H	X	X	l	h	X	q <sub>n</sub>	L

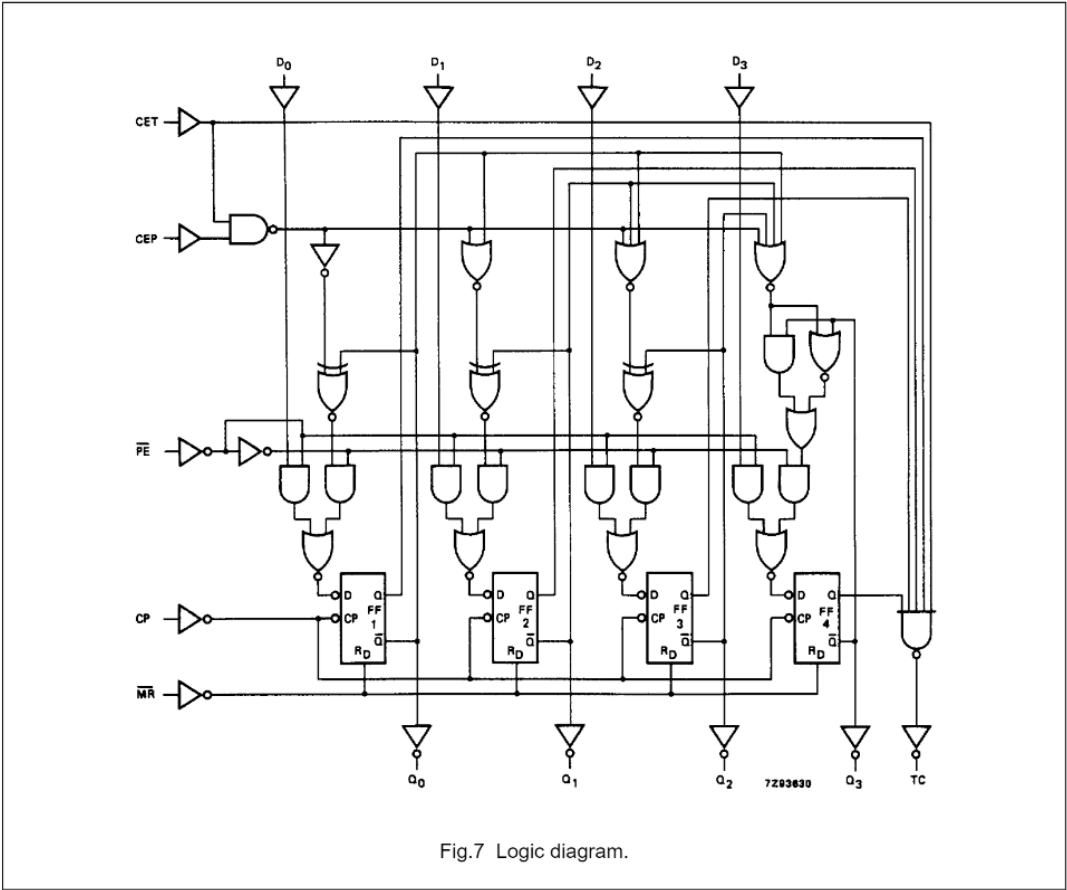
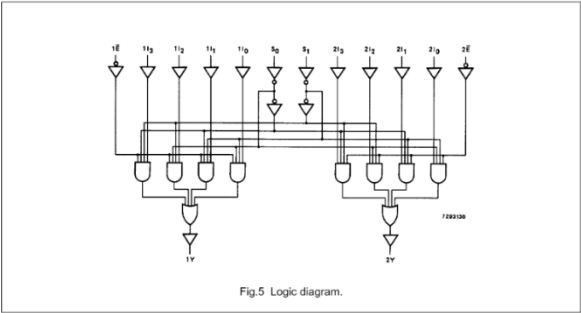


Fig.7 Logic diagram.

## 2、SN74HC153N(双 4 选 1 数据选择器)

由两个 4 选 1 数据选择器组成，两个数据选择器有公共的地址输入端，而数

据输入端和输出端是相互独立的。通过给定不同的地址代码（即  $S_0$  和  $S_1$  的状态），可以从 4 个选择数种选出需要的那一个，并且输送至输出端 1Y 和 2Y。图中还有 1E 和 2E 为附加控制端。



当  $S_0=0$  时， $1i_0$  与  $1i_2$  所接路导通，  
 当  $S_0=1$  时， $1i_1$  和  $1i_3$  所接路导通。  
 $S_1=0$  时， $1i_0$  与  $1i_1$  所接路导通，当  $S_1=1$  时， $1i_2$  与  $1i_3$  所接路线导通

因此通过这个器件，可以将输入的 4 个数据按照输入的地址选择一个唯一的数。

### 3、SN74HC283N(4 位二进制全加器)

其输入输出如下图。n=1, 2, 3, 4

其功能就是完成 4 位二进制数之间的加法。

需要指出的是：简单来看，可以认为是由 4 个全加器组成，但是单纯的串行进位加法器运算速度慢。因为在最不利的情况下，需要经过 4 个全加器的传输延迟时间（也就是输入加数到输出状态稳定建立的时间）才能得到稳定结果。根据参考文件的 **System Diagram** 可以明白该芯片并不是这样做的。由于第 i 位是否进位（即是否有进位输入信号）可以被前面的位所确定，在这里，芯片通过逻辑电路事先就得出了每一位全加器的进位输入信号，从而提高了运算速度。

Inputs			Outputs	
$B_n$	$A_n$	$C_{n-1}$	$\Sigma_n$	$C_n$
L	L	L	L	L
L	L	H	H	L
L	H	L	H	L
L	H	H	L	H
H	L	L	H	L
H	L	H	L	H
H	H	L	L	H
H	H	H	H	H

### 4、SN74HC74N(带置位复位正触发双 D 触发器)

当加法器完成运算后，需要将是否溢出保存下来以作为某些指令的判断依据，也就需要使用拥有记忆功能的器件。因此，这个芯片最主要的功能就是存储加法器计算后溢出（进位）的结果。

Table 1 See note 1

INPUT				OUTPUT	
SD	RD	CP	D	Q	$\bar{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H	H

在 Table 1 中，介绍了这个芯片“置位”与“复位”的输入与输出。当  $SD=L$ ,  $RD=H$  时，实现了置位功能；而当  $SD=H$ ,  $RD=L$  时，实现了复位功能。当  $SD=RD=L$

时，定义了输出的电平为 H。

**Table 2** See note 1

INPUT				OUTPUT	
SD	RD	CP	D	Q <sub>n+1</sub>	$\bar{Q}_{n+1}$
H	H	↑	L	L	H
H	H	↑	H	H	L

在 Table 2 中，介绍了这个芯片存储数值的方式。当 SD=RD=H 时，CP 上升沿达到后，Q<sub>n+1</sub> (state after the next LOW-to-HIGH CP transition) 将会被设置为 D 的值，从而保存下来。

## 5、SN74HC10N(3 输入端 3 与非门)与 SN74HC32N(2 输入端四或门)

这两个器件相互配合，将对应的指令进行翻译成相应的电信号。

INPUTS			OUTPUT
nA	nB	nC	nY
L	L	L	H
L	L	H	H
L	H	L	H
L	H	H	H
H	L	L	H
H	L	H	H
H	H	L	H
H	H	H	L

INPUTS		OUTPUT
nA	nB	nY
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

SN74HC10N

SN74HC32N

## 6、SN74HC540N(八位三态反向输入总线缓冲器)

主要功能是使得输入反向与增强信号，并且驱动后面的电路。

INPUTS			OUTPUT
$\overline{OE}_1$	$\overline{OE}_2$	A <sub>n</sub>	$\bar{Y}_n$
L	L	L	H
L	L	H	L
X	H	X	Z
H	X	X	Z

在该电路中，OE<sub>1</sub> 与 OE<sub>2</sub> 均接地（1 引脚和 19 引脚），因此不考虑最后两种输入。当 A<sub>n</sub>=H 时，Y<sub>n</sub>=L；当 A<sub>n</sub>=L 时，Y<sub>n</sub>=H；

## 7、SN74HC154NT(4 线—16 线译码器)



该器件最主要的功能是将输入的四位二进制数翻译成对应的高、低电平信号。输入与输出如表所示。由于 E0 和 E1 均接地，因此不考虑前三行的输入与输出。

INPUT						OUTPUT																
E0	E1	A0	A1	A2	A3	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y6	Y7	Y8	Y2	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	
H	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
H	L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
L	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		H	H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
	L	L	L	H	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		H	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
		H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	
	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	
		H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	
		L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	
		H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	
	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
		H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
		L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L

### 8、SN74HC14N(六反相施密特触发器)

在需要同步时序的电路中，作为时钟信号的矩形脉冲矩阵控制和协调着整个系统的工作。

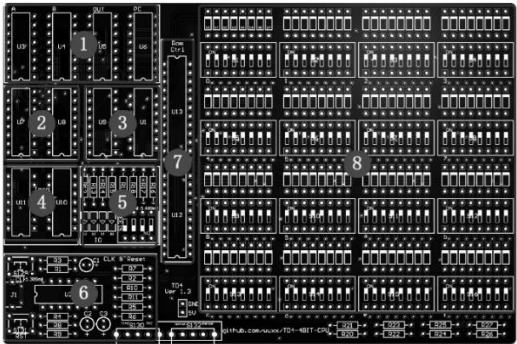
FUNCTION TABLE

INPUT	OUTPUT
nA	nY
L	H
H	L

当输入信号从低电平上升过程中，低于  $V_{T^+}$  部分的被设置为高电平，高于  $V_{T^+}$  部分的被设置为低电平；当输入信号从高电平下降过程中，高于  $V_{T^-}$  部分的被设置为低电平，低于  $V_{T^-}$  部分的被设置为高电平。这样就可以达到滤波的作用。

### (二) 各个电路组合的功能

- 1 寄存器A,B,OUT,PC
- 2 数据选择
- 3 ALU
- 4 指令译码
- 5 IO
- 6 时钟&复位
- 7 存储控制器
- 8 ROM



## 1、寄存器 A, B, OUT, PC

这部分是作为数据的暂时存储的地方。其中寄存器 A, B 主要存储要参与运算的数据, 芯片处于 **parallel load** 模式; OUT 主要存储要输出的数据, 芯片处于 **parallel load** 模式; PC 主要用于程序计数, 处于 **count** 模式, 当然也可以让它处于 **parallel load** 模式 (一些跳转指令会这样做)。

## 2、数据选择

这部分是选择寄存器 A, 寄存器 B 和 INPUT (拨码开关 (红)) 的某一个数据进入 ALU 逻辑单元。本来该部分可以选择四个数据来源, 但只有三个在实际使用, 另外一个数据来源接地。

## 3、ALU

这部分主要进行输入数据的各种运算, 按照不同指令进行不同的运算, 最后将运算得结果返回到相应的寄存器中, 并将是否溢出的结果存储在该单元对应芯片内。

## 4、指令译码

这部分按照指令集将指令翻译成相应的电信号。这里的电路有一定的真值关系, 以此输出不同的电信号, 控制读取数据位置、控制存储数据的寄存器与进行何种运算。

## 5、IO

这部分, 用户可以输入数据 (通过拨码开关 (红)) 和观测输出数据 (通过灯光)

## 6、时钟&复位

通过振荡电路或者手动开关, 可以周期性地产生上升沿的信号 (这个电路中所有芯片接受的输入都是上升沿的), 控制整个电路的时钟。而复位则是通过电信号输入来让芯片复位, 由于所有芯片的复位都是异步清除的, 只要选择复位, 复位操作立刻进行, 而不受时钟影响。

## 7、存储控制器

接收到来自程序计数器的不同输入信号后, 通过译码器转化为对应的电信号, 使得对应的某个 ROM 的电路导通, 并接受 ROM 传入的指令。

## 8、ROM

主要用于存储指令, 可以最多存储 16 条指令。由于电路设计这是只读的。

### (三) TD4-CPU 系统运作原理

断电时, 用户可以通过拨码开关将汇编代码对应的机器码写入 ROM 中。之后, 通过 USB 接口对整个 CPU 进行供电, 这个时候时钟被激活, 在六反相施密特触发器下滤波形成良好的方波波形。

PC 在每次上升沿时自行加一，输出的 4 位数值在 4 线——16 线译码器的帮助下让某一蓝色拨码开关导通并传出电信号，经过八位三态反向输入总线缓冲器加强信号后，A7-A4 部分的电信号经过译码器的两个芯片与双 4 选 1 数据选择器决定操控寄存器的对象，并将相应寄存器中的数值传入算术逻辑单元的全加器中；A3-A0 部分电信号进入算术逻辑单元的全加器中。

在全加器中，对两个数进行操作后，将是否溢出的情况存入带置位复位正触发双 D 触发器中，以作为跳转语句的判断。此后，根据之前译码器决定操作的寄存器，将加法结果传入相应的寄存器中。

如果遇到跳转语句，那么将会判断带置位复位正触发双 D 触发器中的数值是否为 1。如果为 1，那么发生溢出，不跳转；反之，将 PC 设置为 parallel load 模式，并对其赋值以跳转。

如果遇到输出语句，那么结果将会从输入或是寄存器中，经过逻辑运算单元到 OUT 寄存器中并将会把数据传给 IO 模块。用户可以通过 IO 模块输入数据进行逻辑运算，也可以观察到相应的数据输出。

## 四、实验实施与记录

### （一）焊接方案设计

在焊接前，用 A4 纸标注各种元器件名称和个数，并将对应元器件放在相应位置。先焊接尺寸小、低的元器件，再焊接尺寸大、高的元器件。

1、焊接发光 LED，二极管 1N4148，直插电阻，USB 接口。

焊接 LED 时，注意发光的 LED 灯绿色部分为负极，如果焊接正确那么在焊接过程中 LED 灯就会发亮。焊接时不要将锡全部溶解到焊接处，有可能发生溢漏。

焊接二极管时要注意方向，黑色条纹是二极管的负极，对应 PCD 板上的白色条纹。焊接完并且修剪完引脚后，可以用锡丝再焊接一次，保证稳固。

接下来焊接电阻，先将电阻插入到对应位置中。之后，将电路板反向（可以垫一张纸在电路板下方），用镊子挑动引脚来调整位置，锡丝斜放，来使得锡可以充分融化和附着。完成焊接后，剪断多余的引脚。电阻焊接时，可以分批次焊接（按照不同阻值，不同位置）

焊接 USB 插座，先在背面焊死固定脚，再蘸取少许阻焊剂，在正面用焊针焊接 USB 插座尾部

2、焊接 IC 插座

芯片的插座可以一个一个上，一个一个焊接。注意有一些引脚会有偏斜，可以用钳子小心地拨弄调整。

3、焊接 8 位拨码开关、4 位拨码开关

8 位拨码开关 ON 朝上，4 位拨码开关 ON 朝下，由于焊接时容易连焊和虚焊，焊接时要格外注意。

4、焊接按键开关，电解电容，拨动开关。

电容引脚很大，不能上太多的焊锡。同时要注意电容的长引脚为正极，短引脚为负极，不能反向焊接。拨动开关的五个引脚排列较为紧密，要注意不要连焊。

5、焊接过程测试

可以使用万用表对部分电路进行测试，调至欧姆档，观察是否接通。如果电路正常，那么欧姆表会正确偏转。

6、接入芯片

芯片最后插入。有可能会出现芯片引脚难以插入的情况，用虎钳调正后插入，否则引脚会折断。插入时一定要注意缺口对齐，高低电吻合，否则通电后会烧坏芯片。

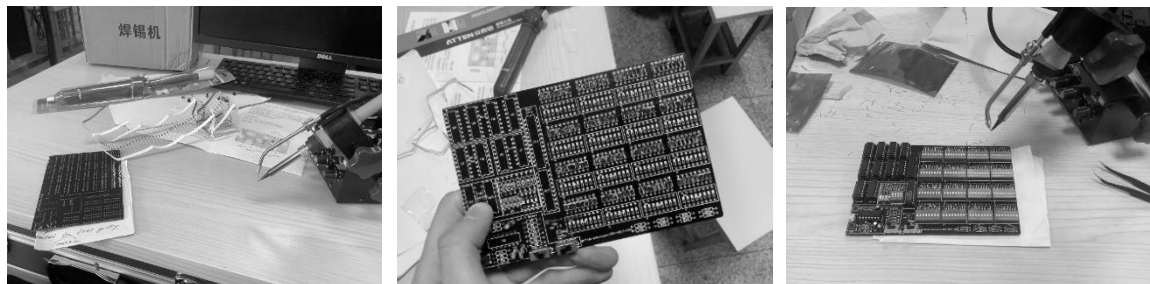
全部焊接完成后，使用斜口钳对引脚进行修剪，可能会出现剪断焊接点的情况，这时需要补充焊接。

### （二）焊接实验记录

右图为未焊接的工作台，有电路板，焊台以及还没有焊接的二极管。由于工作台大小有限，不便于摆开所有零件。因此先取出部分元件焊接。

首先焊接二极管与一些小的器件。数量比较多，焊接过程也比较枯燥。经过 4 个小时的焊接，完成了该部分焊接，也熟练了焊台的使用

第二部分是焊接拨码开关和 IC 插座。这部分焊接容易发生连焊。当遇见连焊时，用焊枪接触连焊点，融化后立刻用镊子挑开焊接处，可以破坏连焊。



总共焊接时间近 7 小时.

### （三）运行测试程序

很遗憾，由于焊接器材的限制，最后的焊接并没有成功，USB 供电接口出现了故障，同时电路中发生了难以诊断的断路，导致外部供电也无法让电路板通电。但为了熟悉使用该焊接板，借来了可以运行的成品焊接板。测试过程中发现由于电路设计，使得所有的指令顺序都是反向的，这个在编写指令时要格外注意。

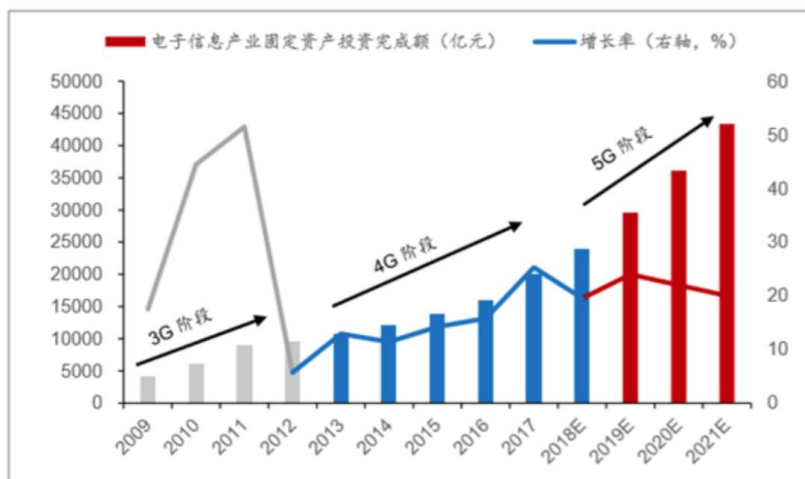
### （四）运行自行编写的程序

```
# 求输入的数模2的余数
IN A          # 0000 0100
ADD A, 0x2    # 0100 0000
JZ 0x1        # 1000 0111, 该语句的意思是“如未发生溢出则跳转到第1句”
MOV B, A      # 0000 0010
OUT B         # 0000 1001
```

## 五、国内外行业现状分析

根据公开的 2018 年与 2019 中国电子信息制造产业发展情况来看，电子信息制造产业固定资产投资保持较高增长。但在当时贸易战的环境下，我们的电子制造业达到了瓶颈，面临内忧外患的情况，亟待创新力量的加入。在这之后，虽然增速会放缓，但这种放缓换来的是向高质量技术转型的机遇。

电子信息产业固定资产投资完成额持续高增长



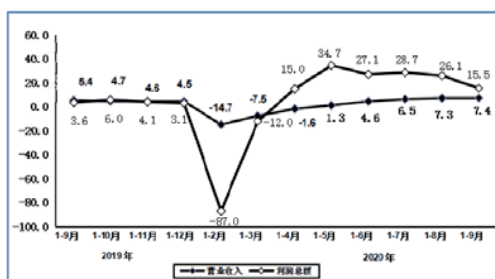
如今 2021 年，在全球经济形势不稳定的情况下，中国克服世界疫情影响，维持平稳快速增长。2020 年以来，行业增加值自 5 月转正以来一直保持稳定增长，将进一步保持对工业的增长领先优势。营业收入增长实现逆势增长，预计行业发展将维持良好势头。利润额在 2019 年较低基数上实现快速增长，行业利润总额同比增长高达 15.5%，较去年同期（3.6%）迅速提升 11.9 个百分点，利润增长将进一步推动企业经营扩张和创新加速。

### 我国电子信息制造业克服疫情影响，维持平稳快速增长

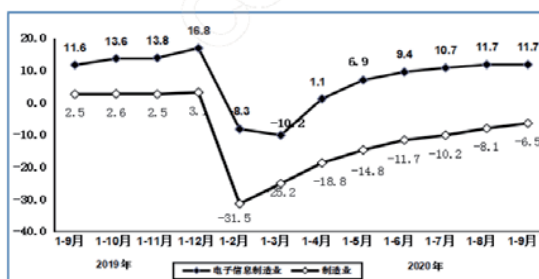
从营业收入变动情况来看，前三季度，规模以上营业收入同比增长7.4%，利润总额同比增长15.5%，增速同比提高11.9个百分点。营业收入利润率为4.7%，营业成本同比增长7.3%。

从固定资产投资增速变动情况来看，前三季度，电子信息制造业固定资产投资同比增长11.7%，增速同比加快0.1个百分点。

电子信息制造业月度营业收入、利润增速变动情况

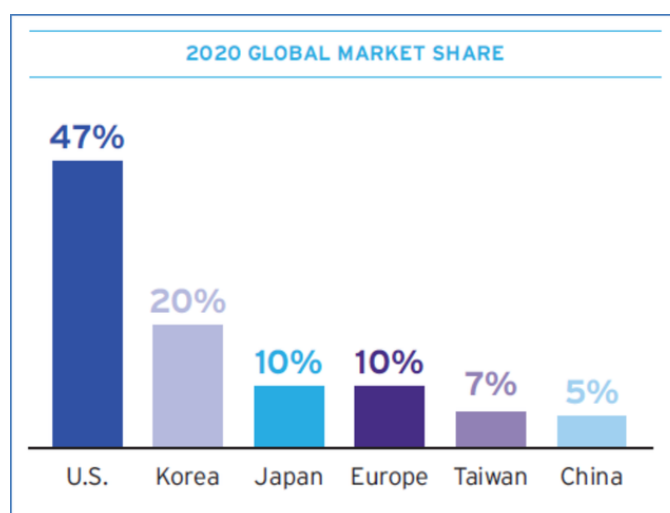


电子信息制造业月度固定资产投资增速变动情况



来源：国家统计局、工信部运行局

但尽管如此，我们距离美国的产业依旧有巨大差距。根据美国半导体行业协会（SIA）发布的《2021 年美国半导体产业状况报告》，在当前严峻的疫情态势下，美国的半导体产业依旧占据世界市场的半壁江山，并且美国半导体产业在半导体研发和芯片设计方面处于全球领先地位。在物理制造半导体之前，必须首先对其进行设计，而芯片设计人员必须使用先进的电子设计自动化（EDA）软件和可重复使用的架构构建块（核心 IP）来完成这项任务。半导体设计是知识和技术密集型产业，占整个半导体产业研发的 65%和附加值的 53%。



从数据我们不难看出，我们的电子信息产业发展瓶颈的原因：一方面是因为先前市场占有率的不足，另一方面是我们缺乏对知识和技术密集型产业链的整合与投入。之前我们依赖进口电子产品，缺乏自主创新与发展意识，以致我们不去自己投资建设电子生产产业链；如今我们高校缺乏对学生创新创造意识的培养与相应知识的传授，有些高校甚至依旧使用上个世纪的信息技术知识来教育高校学生，这些高校学生很难加入到如今亟待建设的知识和技术密集型产业中。

同时，在设计方面，除了我们自主设计的龙芯，有很多利用别人开源硬件方案的，购买别人硬件方案的，或是拿到授权自己再重新制作的，或是去破解别人硬件设计的。我们也缺少自己的 EDA 软件来对 CPU 进行设计。而且，就算“龙芯”，其指令集也是模仿已有的 CPU，在设计方面依旧离“完全自主”很遥远；

在制造方面，中国大陆的中芯国际拥有国内“晶圆代工”最先进的技术，但与台积电相比，不经技术上存在代差，市场占有率上也有很大差距。同时，芯片生产最关键的生产工具是光刻机，而光刻机的生产大厂是荷兰的 ASML，在这方面我们自主研发缺失，工艺相对落后。

我们要走出困局，首先要做的就是要把创新创造放在第一位。在国家给中国电子制造产业开绿灯的情况下，高校应当推进相关产业对应专业的授课体系改革，使得课程体系实践性强、逻辑性强、知识性强，为国家电子制造产业建设输送高知识、高技术、高本领人才。具体而言，高校学生要有机会能够走到生产第一线，教师也应当在授课中加入目前产业状况来作为书本知识的补充。同时对于不同层次的学生，高校应当制定对应的具有逻辑性的授课体系，并将实践性放在第一位，使得高校学生学习后能够对知识融会贯通，打通不同课程间的壁垒。

其次，中国可以抓住后摩尔时代的机遇。一方面是封装不同功能的芯片和元器件并以此提高芯片性能、减少芯片功耗；另一方面，考虑新型的芯片材料，比如碳基芯片，或许可以给中国带来芯片制造业上弯道超车的机会。

## 六、实验总结与改进

虽然这次焊接没有成功，但是这个过程依旧充满意义。

首先是最开始的时候对这个 TD4 的 CPU 原理的了解，这个过程查阅了大量的文献资料，阅读了相关的专业书籍。这不仅巩固了自己已学的知识，同时加深了自己对于计算机体系结构的理解，也为接下来的计算机硬件方面的学习打下了基础。

其次是在焊接过程中，锻炼了耐心与细心。比如，当焊接二极管，电阻和 LED 灯等小零件时，稍不留神就会出现“连焊”“虚焊”的情况；当焊接 USB 供电接口时，需要十分小心仔细，还必须要承受多次焊接失败的打击。另外，在焊接过程中，还需要统筹规划——先焊接什么，再焊接什么——决定了这个，在焊接时才能更加得心应手。

最后在测试环节。需要对汇编语言有一定的了解，编写测试程序的过程也加深了对高级语言具体功能在机器中实现的理解。

此次实验仍然有许多改进的地方。

实验方法上，没有一个有效的方法可以对焊接电路板进行模块化调式。欧姆表的测量是非模块化的，这导致后期难以寻找焊接错误或者失败的点位，也难以找到存在损坏的元器件。

实验器材上，由于 USB 供电接口的焊接十分精细，普通的焊枪无法胜任，需要焊针和助焊膏来辅助焊接；同时缺乏可以替代 USB 接口的电源，比如整流的直流 5V 学生电源，来作为辅助电流；没有可以修建引脚的专用的斜口钳，导致背面引脚易交错；没有可以使用的万能表来检测很和调试硬件；焊台使用不便利，焊台数量少。

实验技术上，缺乏焊接微型器件的经验，对于一些微小器件焊接不熟练，容易焊接坏。同时对与硬件的调试没有技术积累，不知道怎么像程序 debug 一样对硬件进行 debug。



## 七、参考资料

- [1] 阎石.数字电子技术基础[M].第五版.北京:高等教育出版社,2006.5
- [2] 74HC10 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15525/PHILIPS/74HC10.html>
- [3] 74HC14 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15537/PHILIPS/74HC14.html>
- [4] 74HC32 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/98369/PHILIPS/74HC32.html>
- [5] 74HC74 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15659/PHILIPS/74HC74.html>
- [6] 74HC153 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15540/PHILIPS/74HC153.html>
- [7] 74HC154 Datasheet (HTML) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15541/PHILIPS/74HC154.html>
- [8] 74HC161 Datasheet (HTML) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15545/PHILIPS/74HC161.html>
- [9] 74HC283 Datasheet (HTML) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15580/PHILIPS/74HC283.html>
- [10] 74HC540 Datasheet (HTML) - NXP Semiconductors[2021-12-26],  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15635/PHILIPS/74HC540.html>
- [11] 2018 年中国电子信息制造产业发展情况及 2019 年电子信息制造的发展机遇与挑战 [2022-1-6], <https://www.chyxx.com/industry/201903/724720.html>
- [12] 2019 年中国电子信息制造行业发展现状及 2020 年行业发展趋势与建议分析[2022-1-6], <https://www.chyxx.com/industry/202003/840442.html>
- [13] 2021 年中国电子信息制造业发展形势展望 [2021-1-6],  
[https://www.sohu.com/a/471522804\\_121118938](https://www.sohu.com/a/471522804_121118938)
- [14] 美国半导体产业发展现状及未来趋势 [2022-1-6],  
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1714008288058494572&wfr=spider&for=pc>