



澳門城市大學  
Universidade da Cidade de Macau  
City University of Macau

# 設計計算工作室I



主講人 |

姓名 張琪

Name Zhang Qi

澳門城市大學

City University of Macau



## 考核要求

---

- 課後書面作業（30%）
- 出勤（10%）
- 書面報告（60%）
  - 書面報告應不超過十頁A4紙，參考給定的實驗報告格式和模板。
  - 單次的實驗書面報告不超過十頁，如兩次實驗合并的書面報告不應超過二十頁。





## 參考教材

---

- 周舸. 計算機導論 ( 第2版 ) . 人民郵電出版社 , 2023
- 黃仙山. 大學物理 ( 上冊 ) . 人民郵電出版社 , 2020
- 歐陽星明. 數字電路邏輯設計 ( 第3版 ) ( 微課版 ) , 2021
- 大學物理實驗虛擬仿真在綫資料
- 中國大學MOOC在綫資料
- CircuitJS1在綫電子電路模擬器
- 范澤良、吳政江、王永奇. 電子測量與儀器 , 清華大學出版社 , 2010





## 實驗目的

---

本實驗是瞭解電子示波器的基本原理和使用方法

1. 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
2. 使用 Circuitjs 創建自定義邏輯(Custom Logic)器件
3. 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：兩個非門
4. 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：或門





## 實驗原理

---

- Circuitjs在綫電子電路模擬器概述
- Circuitjs電子電路模擬器是一款 web 在綫電路模擬器，可以在瀏覽器上仿真地模擬各種 模擬 或 數字 的電路，用戶無需安裝各種軟件，生成的電路也可以保存下來，以及便捷地通過在綫方式分享給其它用戶
- This program is free software;
- <https://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>



## 實驗原理

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 創建新的空白電路
- 默認給出的示例電路只是起一個演示作用，如果你要創建自己的電路，可以點擊 菜單--電路--空白的電路 從而打開一個新的空白電路





## 實驗原理

---

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 添加組件
- 清空默認的示例電路後, 可以通過 菜單--繪製 菜單添加自己想要的組件
- 可以參考視頻 :  
<https://www.xiaogd.net/book/spcp/other/video/circuitjs-create-a-simple-circuit-video.html>



## 實驗原理

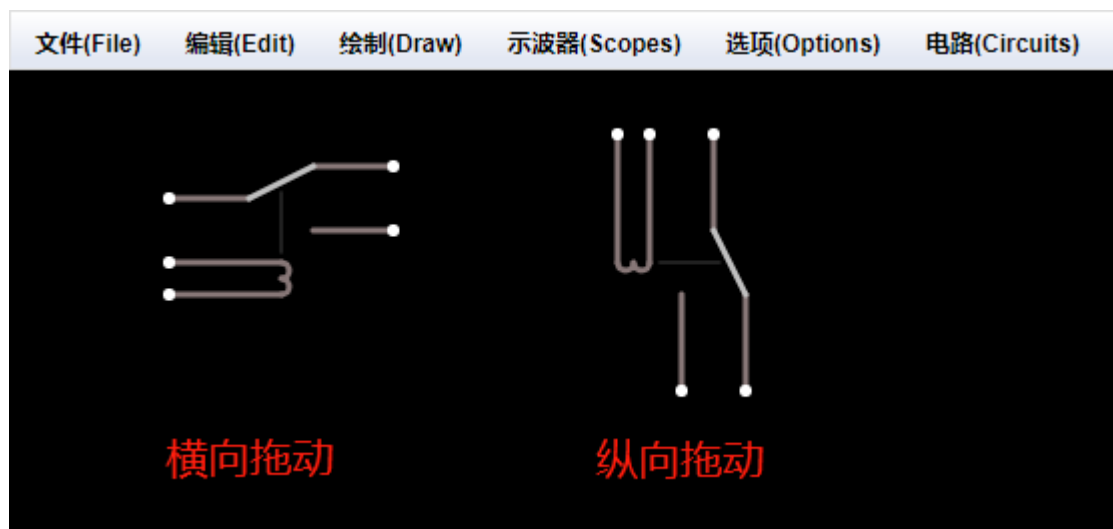
- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 添加組件
- 下面以添加一個繼電器為例，通過點擊 菜單--繪製--無源元件--添加繼電器 後便處於添加繼電器狀態，此時的鼠標光標變為十字光標 "+" 形狀：





## 實驗原理

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 添加組件
- 此時只要在空白處按住鼠標左鍵不放拖動鼠標，即可在面板上添加一個繼電器：





## 實驗原理

---

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 連續添加組件
- 選擇添加組件後，系統默認即是連續添加，因此添加一個組件後，繼續處在添加該組件狀態，用戶可以繼續拖動以添加更多的類似組件。
- 退出添加狀態
- 如不再需要繼續添加組件，可以通過按 Esc 鍵退出添加狀態。



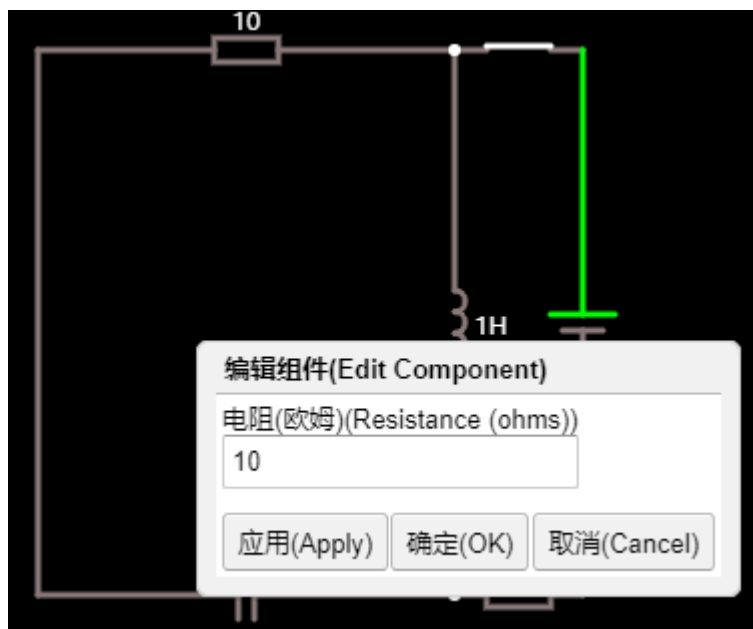
## 實驗原理

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 編輯屬性
- 在組件上單擊鼠標右鍵，在彈出的快捷菜單上選擇 編輯：



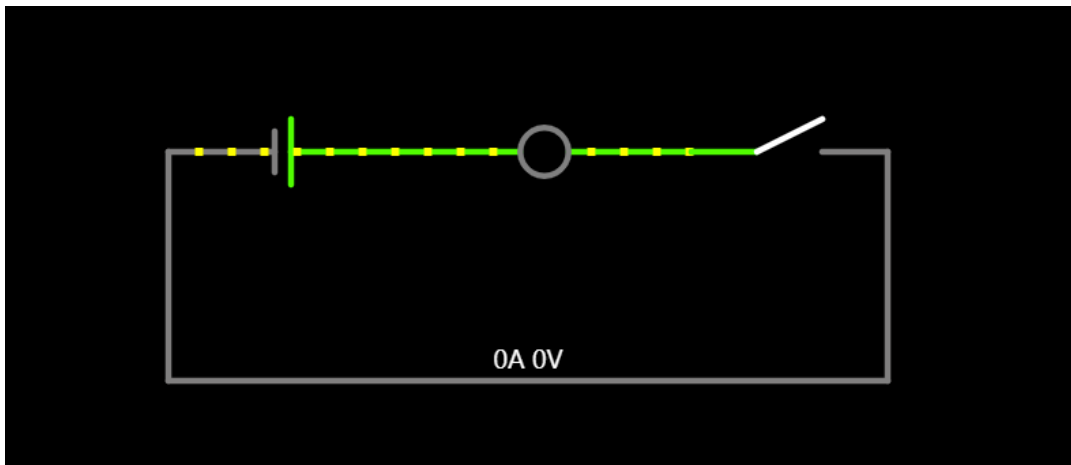
## 實驗原理

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 編輯屬性
- 在彈出的對應組件的屬性窗口上，顯示了那些可以編輯的屬性值，調整相關值，然後點擊 確定 即可改變相應屬性值：



## 實驗原理

- 1 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
- 一個簡單的電路的例子如下所示





## 實驗原理

---

- 2 使用 Circuitjs 創建自定義邏輯(Custom Logic)器件
- 首先在這裏我們將介紹一下，邏輯器件的相關知識



## 12.2 半導體器件的開關特性

---

- 數字電路中的晶體二極管、三極管和MOS管等器件一般是以開關方式運用的，工作狀態相當于相當于開關的“**接通**”與“**斷開**”
- 數字系統中的半導體器件運用在開關頻率十分高的電路中，研究其開關特性時，不僅要研究它們在導通與截止兩種狀態下的**靜止特性**，而且還要分析它們在導通和截止狀態之間的轉變過程，即**動態特性**

## 12.2 半導體器件的開關特性

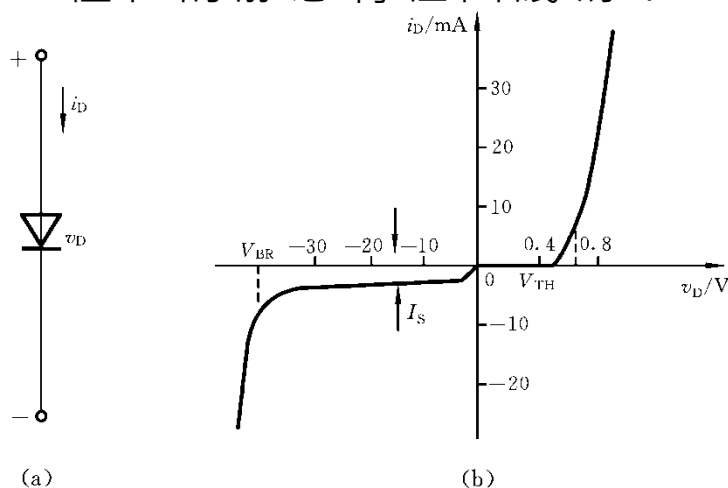
- 晶體二極管的開關特性

- 一、靜態特性



常見外形圖

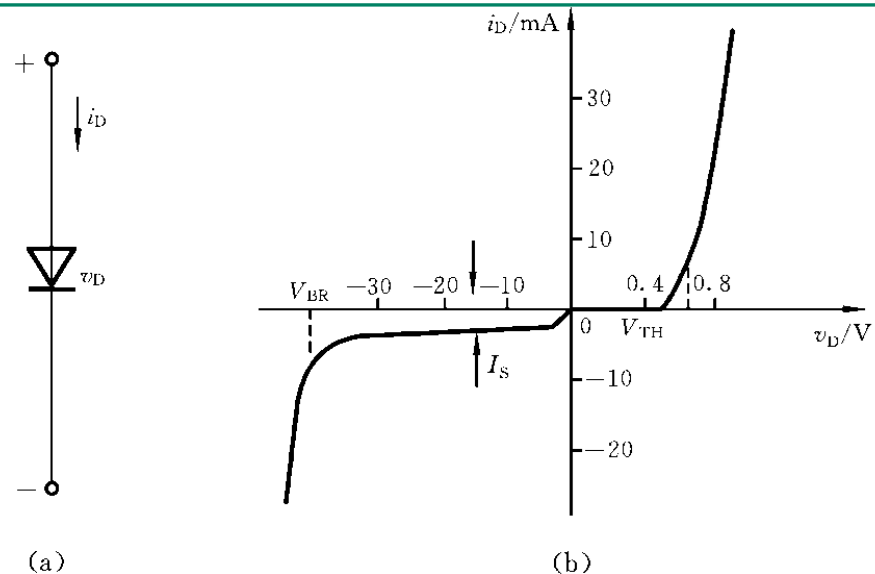
- 靜態特性是指二極管在導通和截止兩種穩定狀態下的特性。典型二極管的靜態特性曲線為：





## 12.2 半導體器件的開關特性

### ● 晶體二極管的開關特性



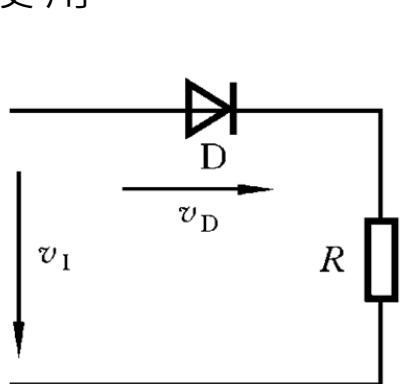
- 1. 正向特性：
- 門檻電壓 ( $V_{TH}$ )：使二極管開始導通的正向電壓，一般鍺管約0.1V，矽管約0.5V
- 正向電壓  $V_F \leq V_{TH}$ ：管子截止，電阻很大、正向電流  $I_F$  接近于0，二極管類似于開關的斷開狀態；
- 正向電壓  $V_F = V_{TH}$ ：管子開始導通，正向電流  $I_F$  開始上升；
- 正向電壓  $V_F > V_{TH}$ ：管子充分導通(導通電壓一般鍺管約0.3V，矽管約0.7V，通常稱為導通電壓)，電阻很小，正向電流  $I_F$  急劇增加，二極管類似于開關的接通狀態

## 12.2 半導體器件的開關特性

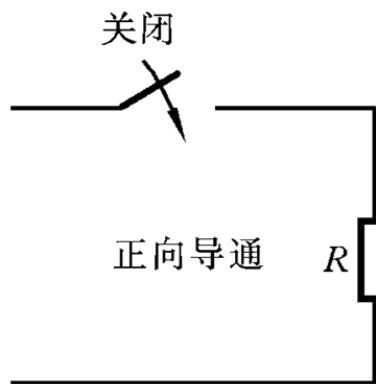
- 晶體二極管的開關特性
- 2. 反向特性
- 二極管在反向電壓  $V_R$  作用下，處於截止狀態，反向電阻很大，反向電流  $I_R$  很小（將其稱為反向飽和電流，用  $I_S$  表示，通常可忽略不計），二極管的狀態類似於開關斷開。而且反向電壓在一定範圍內變化基本不引起反向電流的變化
- 正嚮導通時可能因電流過大而導致二極管燒壞。組成實際電路時通常要串接一隻電阻  $R$ ，以限制二極管的正向電流
- 反向電壓超過某個極限值時，將使反向電流  $I_R$  突然猛增，致使二極管被擊穿（通常將該反向電壓極限值稱為反向擊穿電壓  $V_{BR}$ ），一般不允許反向電壓超過此值

## 12.2 半導體器件的開關特性

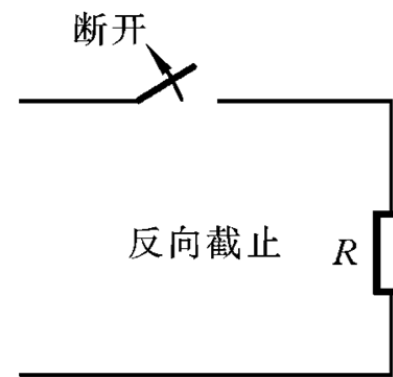
- 晶體二極管的開關特性
- 由于二極管的單向導電性，所以在數字電路中經常把它當作開關使用



(a)



(b)



(c)

二極管開關電路及等效電路

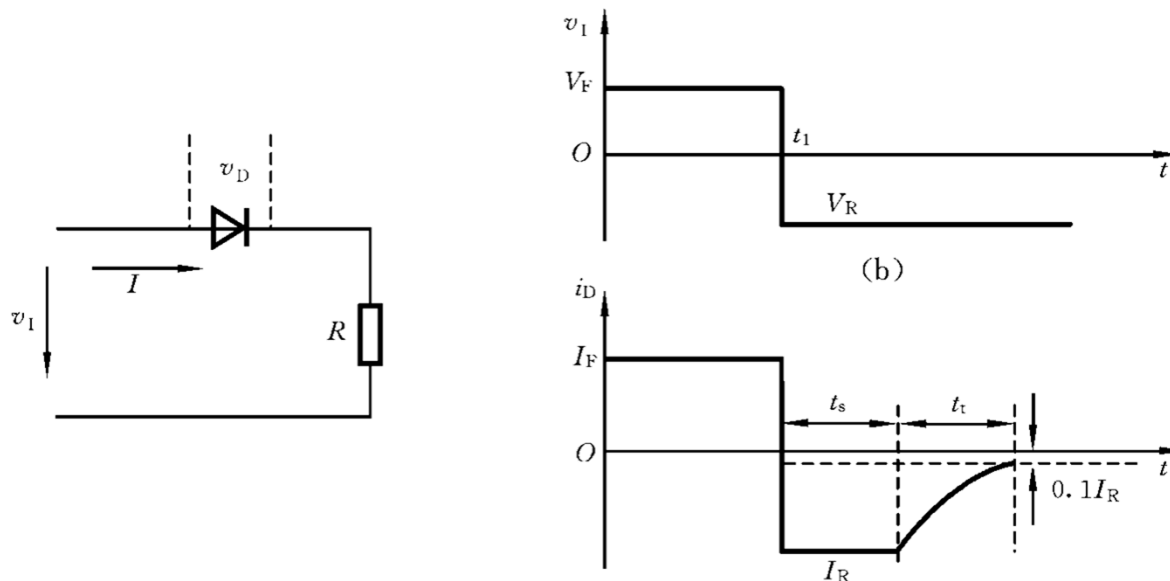
注意： 圖中忽略了二極管的正向壓降

## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體二極管的開關特性
- 二．動態特性
- 二極管的動態特性是指二極管在導通與截止兩種狀態轉換過程中的特性，它表現在完成兩種狀態之間的轉換需要一定的時間。為此，引入了反向恢復時間和開通時間的概念
- 1. 反向恢復時間
- 反向恢復時間：二極管從正嚮導通到反向截止所需要的時間稱為反向恢復時間
- 當作用在二極管兩端的電壓由正嚮導通電壓 $V_F$ 轉為反向截止電壓 $V_R$ 時，在理想情況下二極管應該立即由導通轉為截止，電路中只存在極小的反向電流

## 12.2 半導體器件的開關特性

- 實際過程如圖所示：



$t_s$  — 稱為存儲時間；

$t_t$  — 稱為渡越時間；

$t_{re} = t_s + t_t$  — 稱為反向恢復時間。

$0 \sim t_1$ 時刻：輸入正嚮導通電壓  $V_F$ ，二極管導通，電阻很小，電路中的正向電流  $I_F \approx V_F / R$

$t_1$ 時刻：輸入電壓由正向電壓  $V_F$  轉為反向電壓  $V_R$ ，首先正向電流  $I_F$  變到一個很大的反向電流  $I_R \approx V_R / R$ ，該電流維持一段時間  $t_s$  後開始逐漸下降，經過一段時間  $t_t$  後下降到一個很小的數值  $0.1I_R$  (接近反向飽和電流  $I_S$ )，二極管進入反向截止狀態

## 12.2 半導體器件的開關特性

- 產生反向恢復時間的原因

具體如下：

★ 二極管外加正向電壓  $V_F$  時，PN結兩邊的多數載流子不斷向對方區域擴散，一方面使空間電荷區變窄，另一方面使相當數量的載流子存儲在PN結的兩側

★ 當輸入電壓突然由正向電壓  $V_F$  變為反向電壓  $V_R$  時，PN 結兩邊存儲的載流子在反向電壓作用下朝各自原來的方向運動，即P 區中的電子被拉回 N區，N區中的空穴被拉回 P區，形成反向漂移電流  $I_R$   
開始時空間電荷區依然很窄，二極管電阻很小，反向電流

$$I_R \approx V_R / R。$$

經過時間  $t_s$  後，PN 結兩側存儲的載流子顯著減少，空間電荷區逐漸變寬，反向電流慢慢減小；直至經過時間  $t_t$  後， $I_R$  減小至反向飽和電流  $I_S$ ，二極管截止。該過程如下圖所示

## 12.2 半導體器件的開關特性

---

- 2. 開通時間
- 開通時間：二極管從反向截止到正嚮導通的時間稱為開通時間
- 由于PN結在正向電壓作用下空間電荷區迅速變窄，正向電阻很小，因而它在導通過程中及導通以後，正向壓降都很小，故電路中的正向電流 $I_F \approx V_F/R$ 。而且加入輸入電壓 $V_F$ 後，回路電流幾乎是立即達到 $I_F$ 的最大值
- 即：二極管的開通時間很短，對開關速度影響很小，相對反向恢復時間而言幾乎可以忽略不計

## 12.2 半導體器件的開關特性

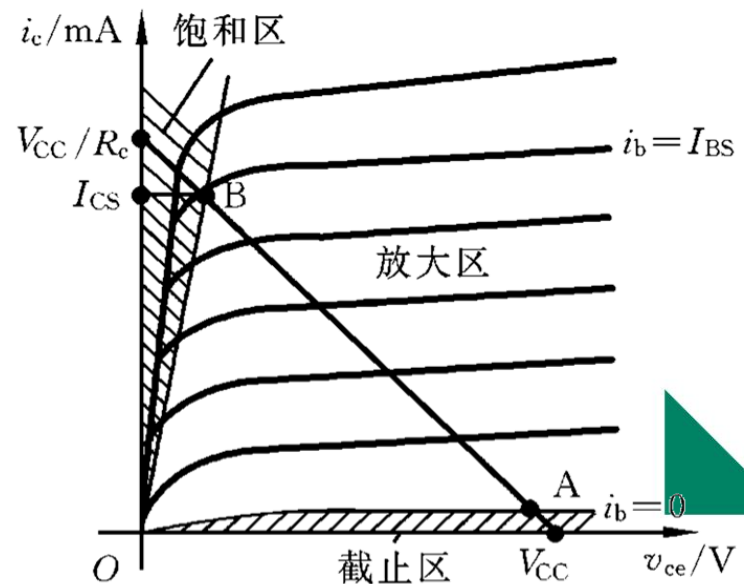
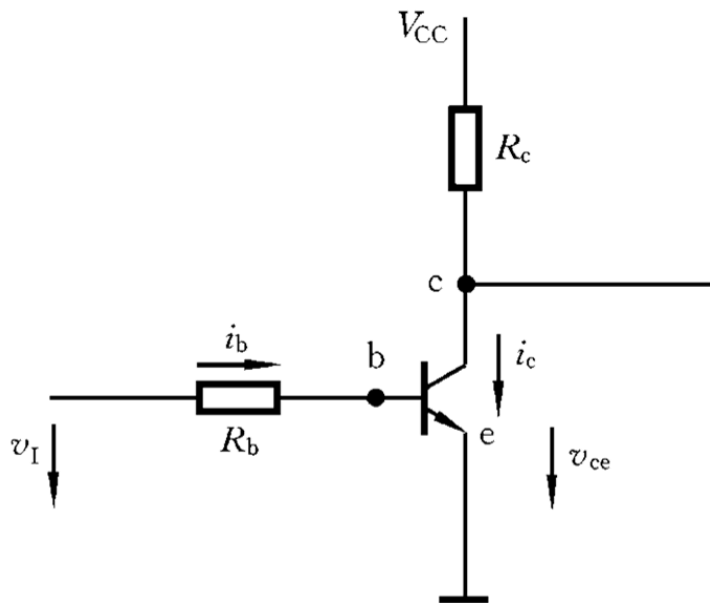
- 晶體三極管的開關特性





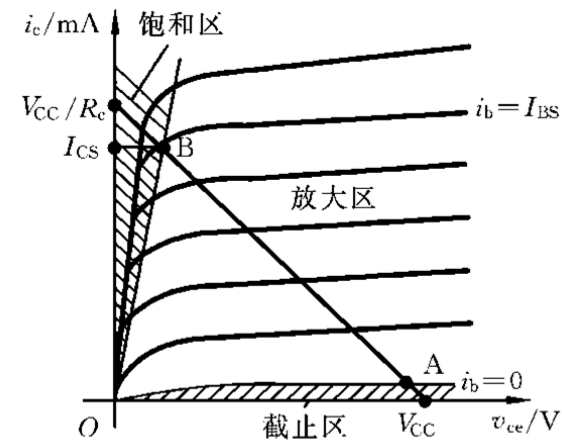
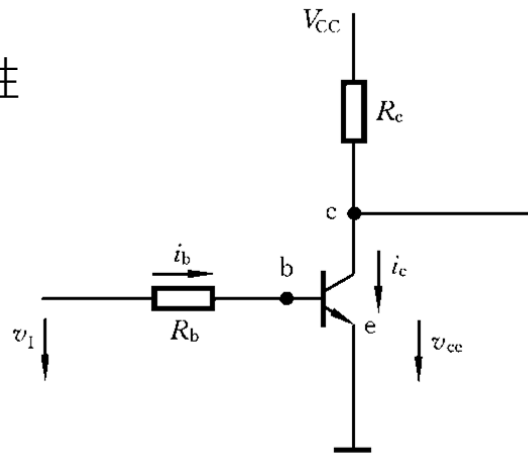
## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體三極管的開關特性
- 一、靜態特性
- 晶體三極管由集電結和發射結兩個PN結構成。三極管有截止、放大、飽和3種工作狀態
- 一個用NPN型共發射極晶體三極管組成的簡單電路及其輸出特性曲綫如下圖所示



## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體三極管的開關特性
- 電路工作特點



### 1. 截止狀態

$v_i \leq 0$ ，兩個PN結均為反偏， $i_B \approx 0, i_C \approx 0, v_{CE} \approx V_{CC}$ 。三極管呈現高阻抗，類似于開關斷開

### 2. 放大狀態

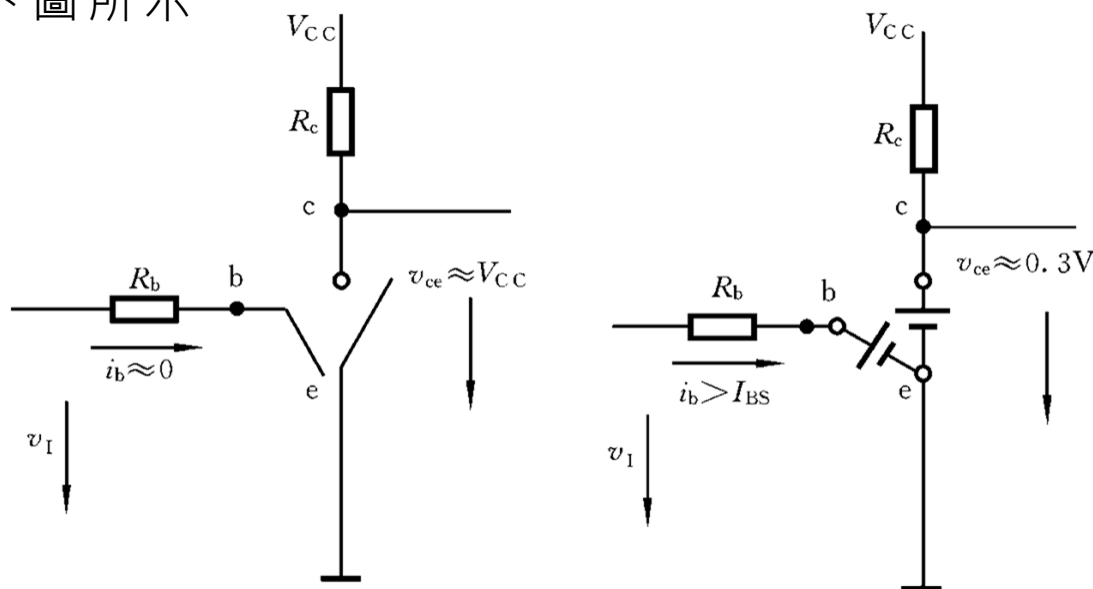
$v_i > V_{TH}$ ，發射結正偏，集電結反偏， $i_C = \beta i_B$

### 3. 飽和狀態

$v_i > V_{TH}$ ，并達到一定值，兩個PN結均為正偏， $i_B \geq I_{BS}$  (基極臨界飽和電流)  $\approx V_{CC}/\beta R_c$ ，此時 $i_C = I_{CS}$  (集電極飽和電流)  $\approx V_{CC}/R_c$ 。三極管呈現低阻抗，類似于開關接通

## 12.2 半導體器件的開關特性

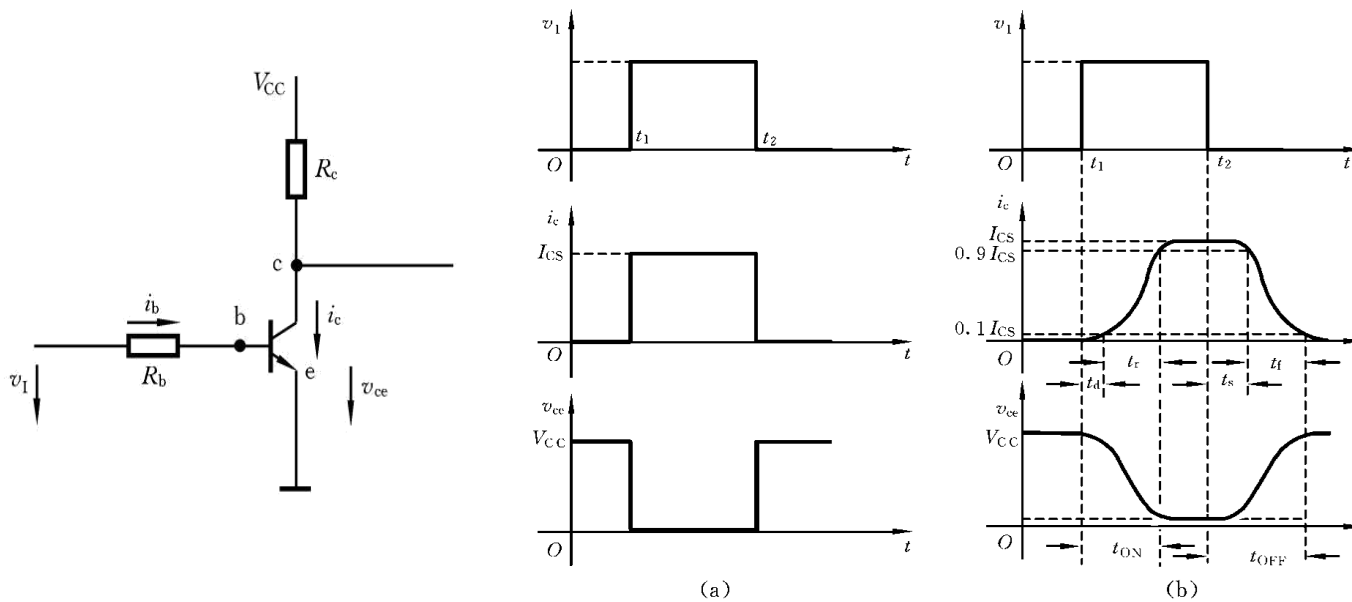
- 晶體三極管的開關特性
- 在數字邏輯電路中，三極管相當於一個由基極信號控制的無觸點開關，其作用對應於觸點開關的“閉合”與“斷開”
- 上述共發射極晶體三極管電路在三極管截止與飽和狀態下的等效電路如下圖所示



- 晶體三極管在截止與飽和這兩種穩態下的特性稱為三極管的靜態開關特性

## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體三極管的開關特性
- 二．動態特性
- 晶體三極管在飽和與截止兩種狀態轉換過程中具有的特性稱為三極管的動態特性
- 三極管的內部也存在著電荷的建立與消失過程。兩種狀態的轉換也需要一定的時間才能完成
- 如圖所示電路的動態特性為：



## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體三極管的開關特性

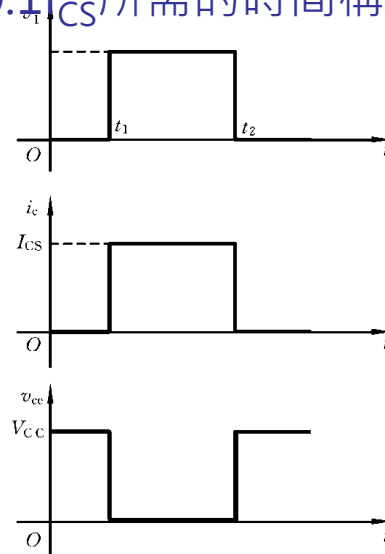
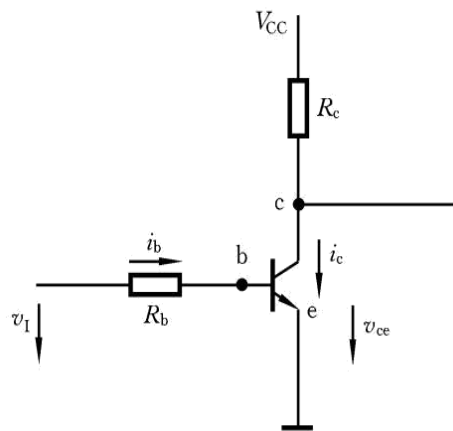
- 二．動態特性

當輸入電壓 $v_i$ 由 $-V_1$ 跳變到 $+V_2$ 時，三極管從截止到開始導通所需要的時間稱為延遲時間 $t_d$

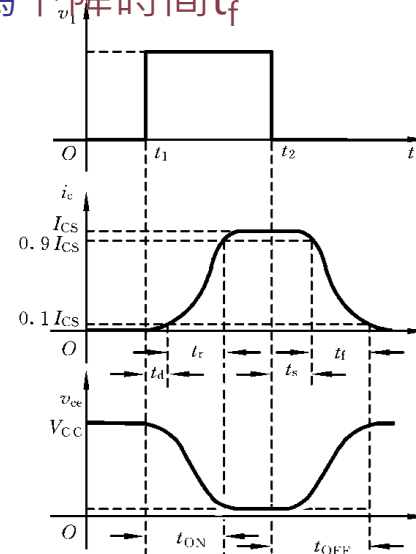
經過延遲時間 $t_d$ 後， $i_c$ 不斷增大。 $i_c$ 上升到最大值的90%所需要的時間稱為上升時間 $t_r$

當輸入電壓 $v_i$ 由 $+V_2$ 跳變到 $-V_1$ 時，集電極電流從 $I_{CS}$ 到下降至 $0.9I_{CS}$ 所需要的時間稱為存儲時間 $t_s$

集電極電流由 $0.9I_{CS}$ 降至 $0.1I_{CS}$ 所需的時間稱為下降時間 $t_f$



(a)



(b)

## 12.2 半導體器件的開關特性

- 晶體三極管的開關特性
- 二．動態特性

### 1. 開通時間（ $t_{on}$ ）

開通時間：三極管從截止狀態到飽和狀態所需要的時間

開通時間 $t_{on} =$  延遲時間 $t_d$  + 上升時間 $t_r$

### 2. 關閉時間（ $t_{off}$ ）

關閉時間：三極管從飽和狀態到截止狀態所需要的時間

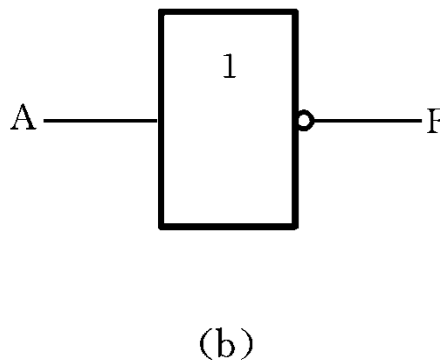
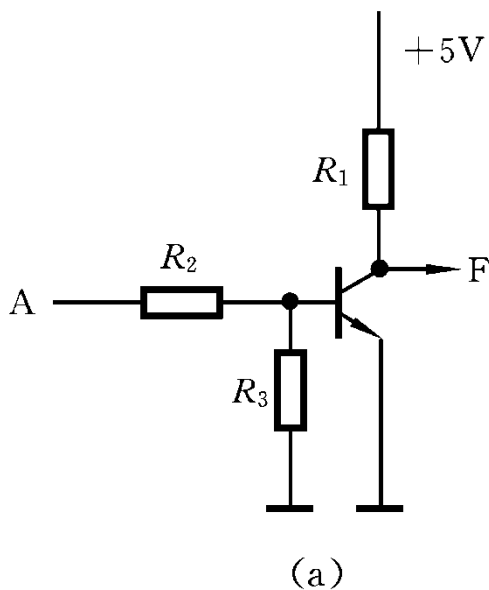
關閉時間 $t_{off} =$  存儲時間 $t_s$  + 下降時間 $t_f$

## 12.3 邏輯門電路

- 實現基本邏輯運算和常用複合邏輯運算的邏輯器件統稱為邏輯門電路，它們是組成數字系統的基本單元電路
- 以TTL集成邏輯門和CMOS集成邏輯為例進行介紹
- 要求：
- 重點掌握集成邏輯門電路的功能和外部特性，以及器件的使用方法。對其內部結構和工作原理只要求作一般瞭解

## 12.3 邏輯門電路

- 簡單邏輯門電路
- 一. 非門
- 非門又稱“反相器”。晶體三極管反相器的電路圖和邏輯符號如圖 (a)和圖(b)所示



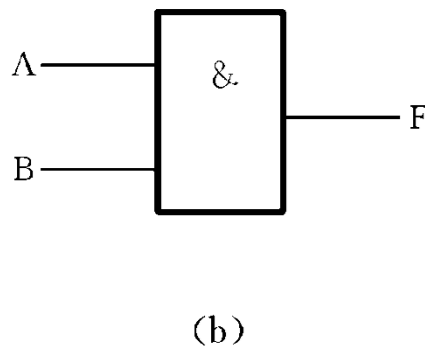
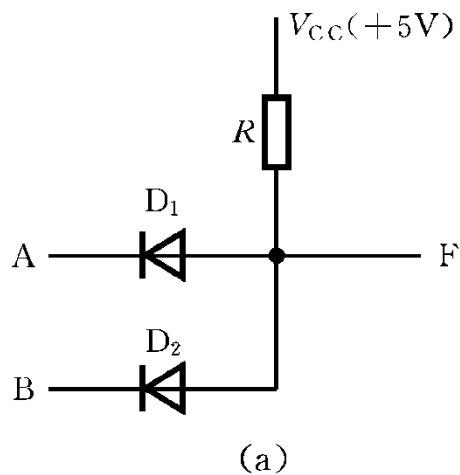
A/V	F/V
0	+5
+5	0

A	F
0	1
1	0



## 12.3 邏輯門電路

- 簡單邏輯門電路
- 二． 與門
- 一個由二極管構成的2輸入與門電路如下圖所示

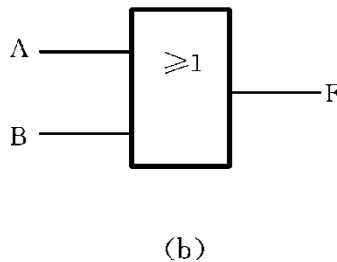
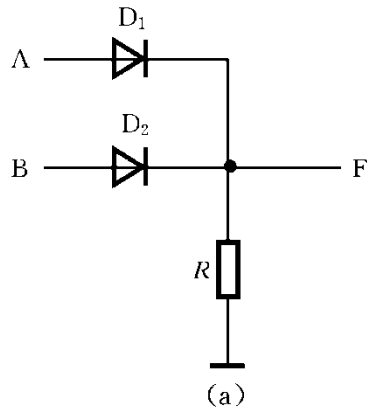


A/V	B/V	F/V
0	0	0
0	+5	0
+5	0	0
+5	+5	+5

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

## 12.3 邏輯門電路

- 簡單邏輯門電路
- 三． 或門
- 一個由二極管構成的2輸入或門電路如下圖所示

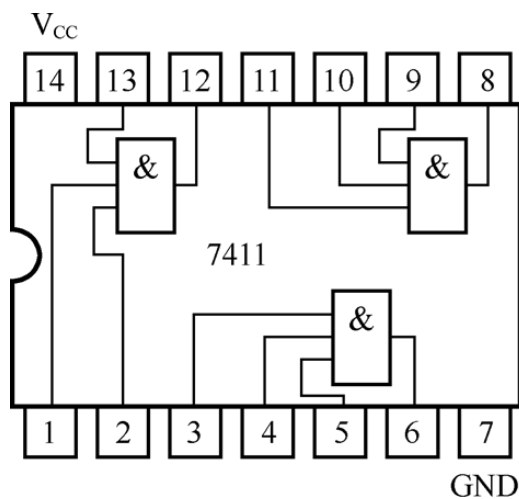


A/V	B/V	F/V
0	0	0
0	+5	+5
+5	0	+5
+5	+5	+5

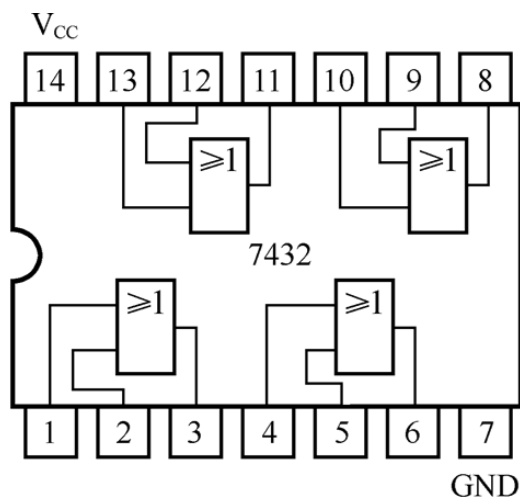
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

## 12.3 邏輯門電路

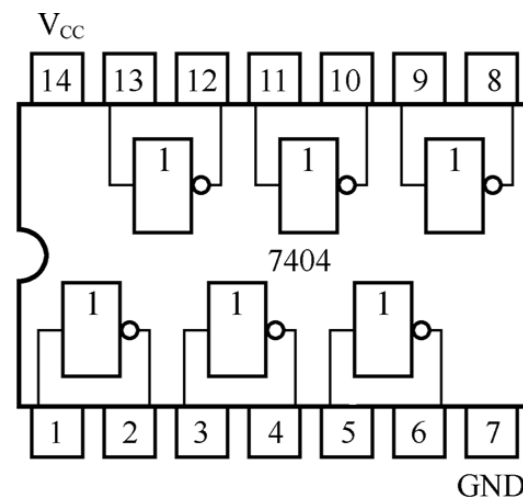
- 常用TTL集成邏輯門
- 1. 基本邏輯門
- 基本邏輯門是指實現3種基本邏輯運算的與門、或門和非門。常用的TTL與門集成電路芯片有四2輸入與門7408，三3輸入與門7411等



(a)



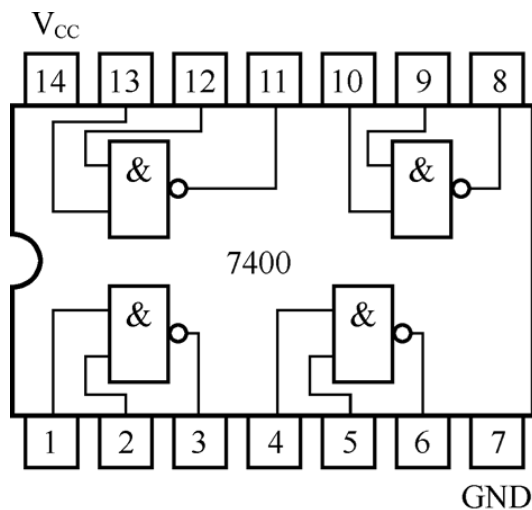
(b)



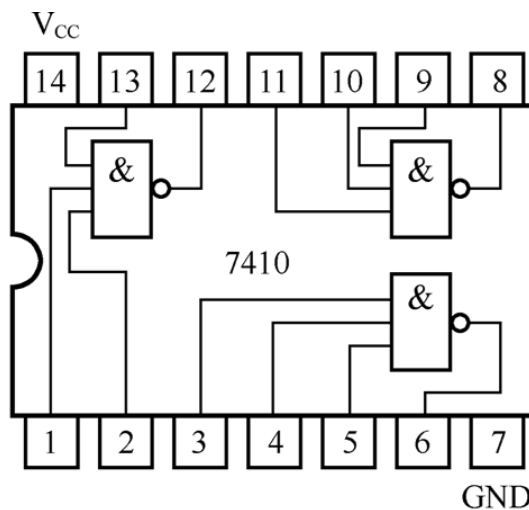
(c)

## 12.3 邏輯門電路

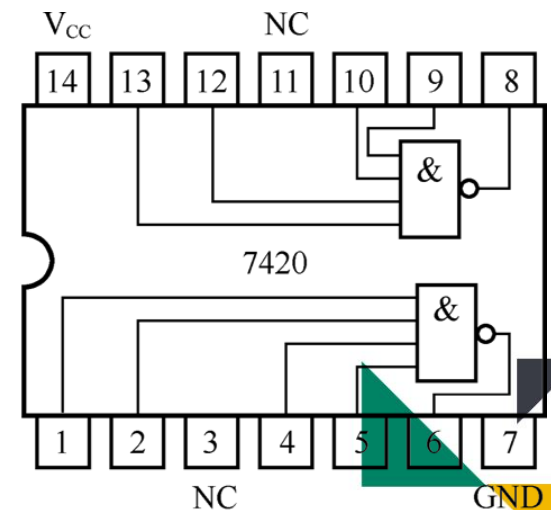
- 常用TTL集成邏輯門
- 2、複合邏輯門
- 複合邏輯門是指實現複合邏輯運算的與非門、或非門、與或非門、異或門等
- 與非門
- 常用的TTL與非門集成電路芯片有四2輸入與非門7400，三3輸入與非門7410，二4輸入與非門7420等



(a)



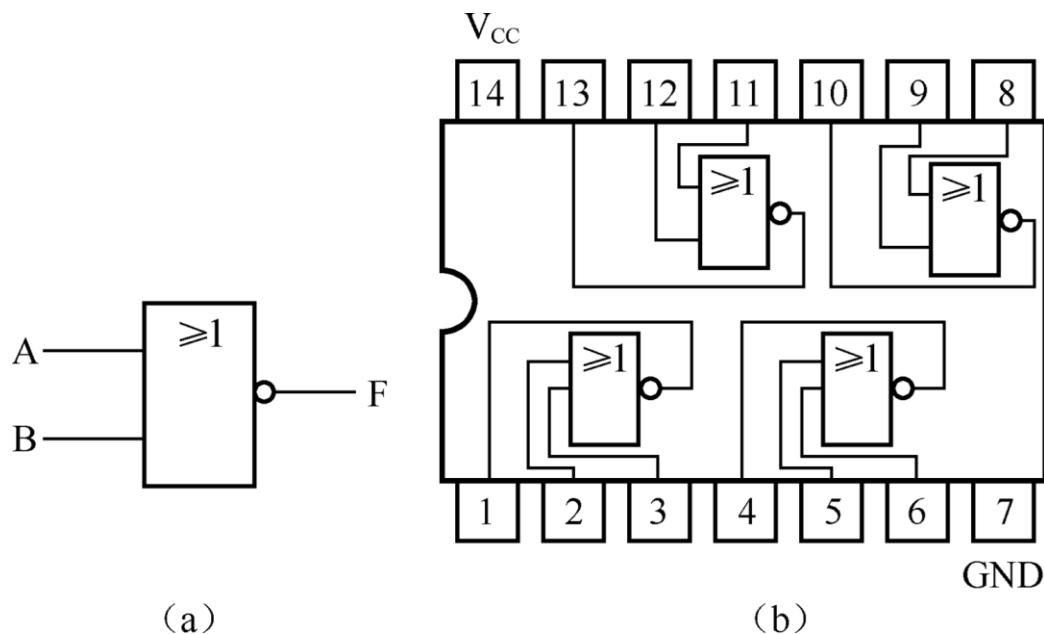
(b)



(c)

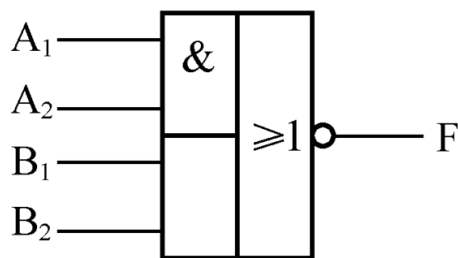
## 12.3 邏輯門電路

- 常用TTL集成邏輯門
- 2、複合邏輯門
- 或非門
- 常用的TTL或非門集成電路芯片有四2輸入或非門7402，三3輸入或非門7427等。例如：7402

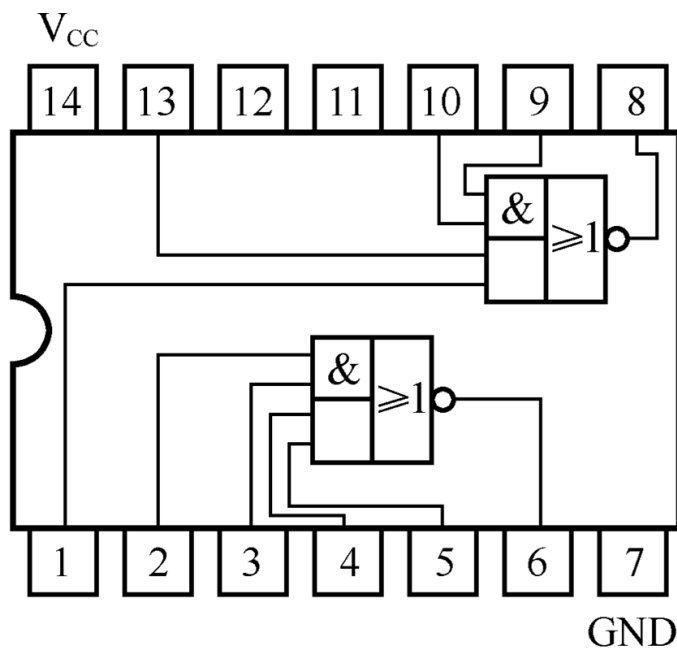


## 12.3 邏輯門電路

- 常用TTL集成邏輯門
- 2、複合邏輯門
- 與或非門
- 常用的TTL與或非門集成電路芯片有雙2-2與或非門7451、3-2-2-3與或非門7454等。例如：7451



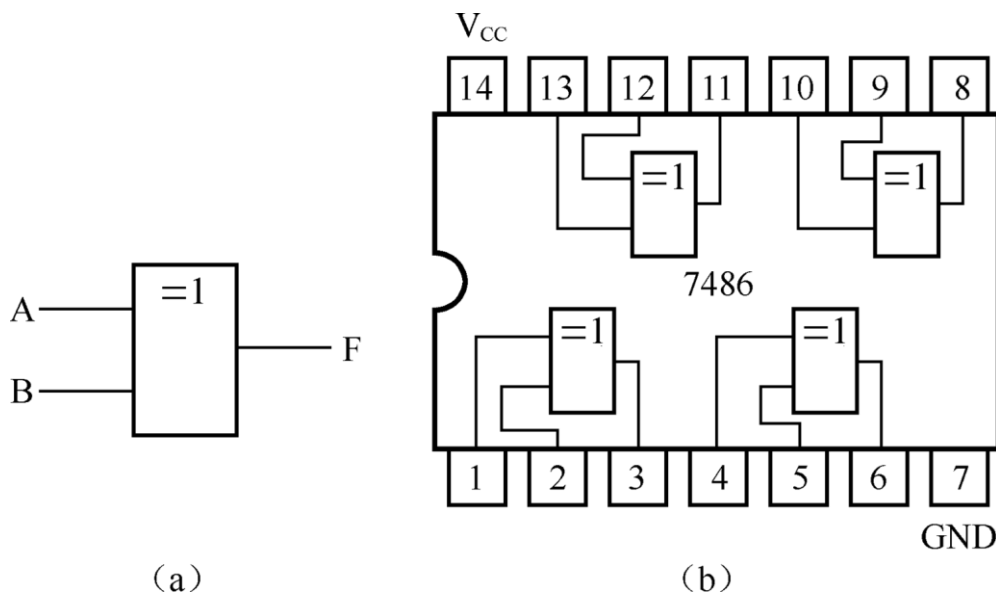
(a)



(b)

## 12.3 邏輯門電路

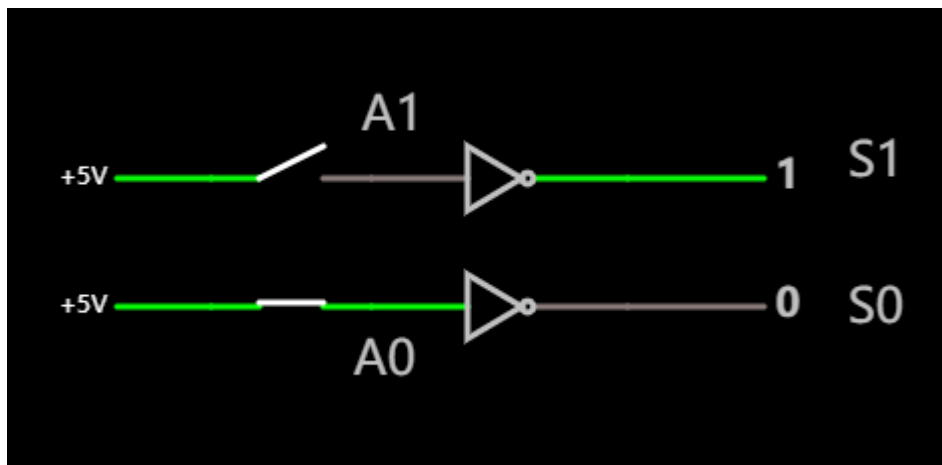
- 常用TTL集成邏輯門
- 2、複合邏輯門
- 異或門
- 異或門只有兩個輸入端，常用的TTL異或門集成電路芯片有7486等。下圖所示為異或門的邏輯符號和7486的引腳排列圖



## 實驗原理

- 3 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：或門
- 一個簡單的電路的例子如下所示
- 綠色代表1，高電平；灰色代表0，低電平；
- 可以參考如下資料：

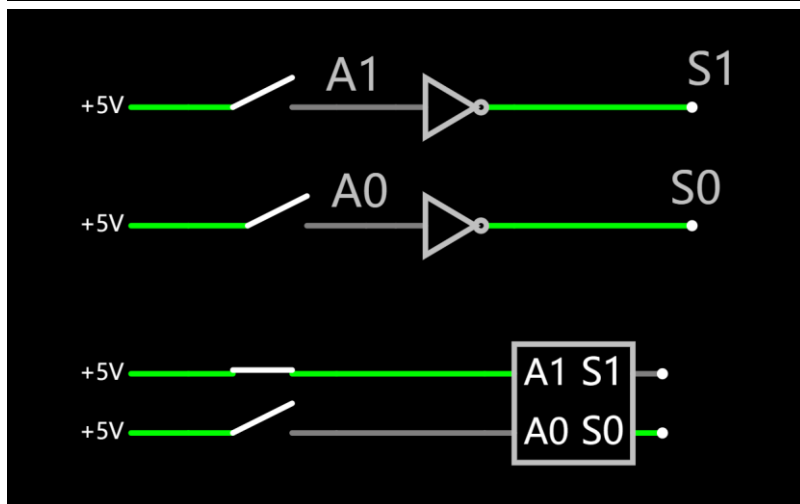
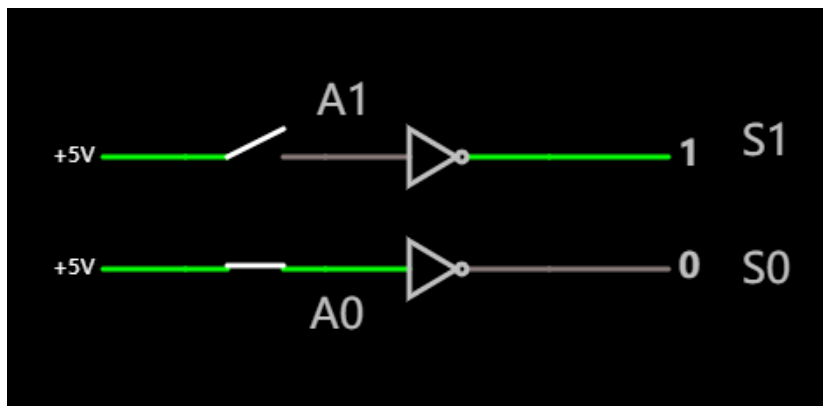
<https://www.xiaogd.net/book/spcp/other/circuitjs/circuitjs-custom-logic.html>





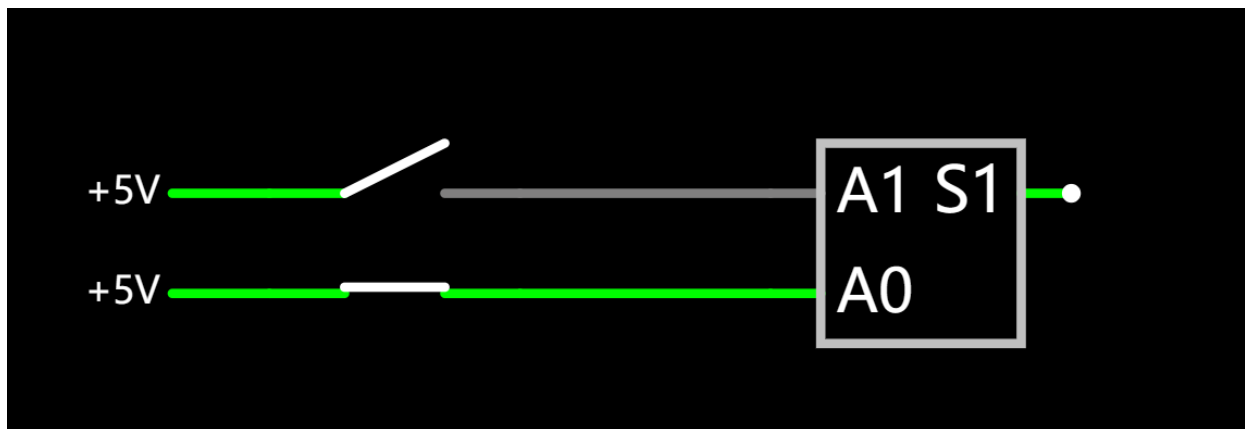
## 實驗原理

- 3 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：兩個非門
- 一個簡單的電路的例子如下所示



## 實驗原理

- 4 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：一個或門
- 可以參考如下資料：  
<https://www.xiaogd.net/book/spcp/other/circuitjs/circuitjs-custom-logic.html>
- 一個簡單的電路的例子如下所示





## 實驗內容

---

1. 使用 Circuitjs 創建一個簡單電路
  - 請參考實驗原理，創建自己的一個簡單電路（最好和實驗原理裏的不一樣）
  - 截圖自己創建的電路，并簡要說明





## 實驗內容

---

### 2. 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：兩個非門

- 請參考實驗原理，創建自己的邏輯器件：簡單的兩個非門
- 截圖自己創建的電路，并給出簡要說明





## 實驗內容

---

### 3. 使用 Circuitjs 創建邏輯器件：與門

- 請參考實驗原理，創建自己的邏輯器件：與門
- 截圖自己創建的電路，并給出簡要說明





## 思考題

---

思考題請回答如下問題

1. 請思考一下，與門在實際的生產工作生活中有什麼作用，并給出具體的解釋
2. 請思考一下，或門在實際的生產工作生活中有什麼作用，并給出具體的解釋





## 注意事項

---

- # 請完成思考題
- # 請儘快完成homework4,并在TronClass系統內按時提交作業。
- # 請儘快完成實驗13-1,并在TronClass系統內按時提交作業。
- # 請儘快完成實驗13-1,并在TronClass系統內按時提交作業。
- # 請儘快完成實驗13-1,并在TronClass系統內按時提交作業。





感謝觀賞

Thank you for listening.