



電子

2022基礎實驗技術訓練

雷射光電支援中心
陳蔚然





電子（儀器設備運作與訊號處理）

● 電子元件

- 被動元件：電阻、電容、電感、變壓器
- 主動元件：真空管、電晶體、運算放大器

● 電子工具

- 烙鐵、麵包板、洞洞板、電源供應器、高壓電源、示波器、多功能數位電表

● 電子電路

- 類比電路：電源電路、放大電路、振盪電路、調變電路、解調電路、濾波器、微分電路、積分電路
- 數位電路：邏輯閘、TTL與其他電路的銜接
- 訊號傳輸：同軸電纜、雙絞線電纜、接地與輸入及輸出阻抗，寄生電容電感、負載與失真

● 電路模擬

- 軟體：CircuitLab.....

● 製作（說明、演示）

- 麵包板接線，電路板銲接，電路分析檢測





電子元件

- 被動元件
 - 電阻、電容、電感、變壓器
- 主動元件
 - 真空管、電晶體、運算放大器



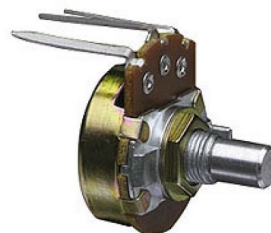
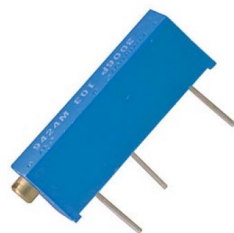
常見電阻種類

- 碳膜電阻
 - 一般用
- 金屬膜電阻
 - 低噪音，高精密度
- 繞線電阻
 - 大電流用，高精密度，寄生電感大
- 水泥電阻
 - 大電流用，無寄生電感
- 可變電阻



10圈可變電阻

3/4圈可變電阻



電阻色碼表

碳膜電阻

金屬膜電阻



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	Black	1	Brown	2	Red	3	Orange	4	Yellow
5	Green	6	Blue	7	Purple	8	Grey	9	White
±5%	Gold	±10%	Silver						

Color Codes

Brown	±1%	Red	±2%	Gold	±5%	Silver	±10%*
-------	-----	-----	-----	------	-----	--------	-------

EXAMPLE: 27K

0	0	×1
1	1	×10
2	2	×100
3	3	×1000
4	4	×10000
5	5	×100000
6	6	×1000000
7	7	÷10 Gold
8	8	÷100 Silver
9	9	

4 Band Resistors

Brown	±1%	Red	±2%	Gold	±5%*	Silver	±10%*
-------	-----	-----	-----	------	------	--------	-------

EXAMPLE: 15K

0	0	0	×1
1	1	1	×10
2	2	2	×100
3	3	3	×1000
4	4	4	×10000
5	5	5	÷10 Gold
6	6	6	÷100 Silver
7	7	7	
8	8	8	
9	9	9	

5 Band Resistors



電容種類

- 電解電容
 - 低頻用，容量大，有極性，漏電大
- 鈹質電容
 - 漏電小的電解電容
- 塑料電容 (polypropylene, polyester)
 - 振盪器，濾波器用，溫度係數小
- 陶瓷電容
 - 高頻用，溫度係數大
- 雲母電容
 - 高頻用，溫度係數小





各式電容

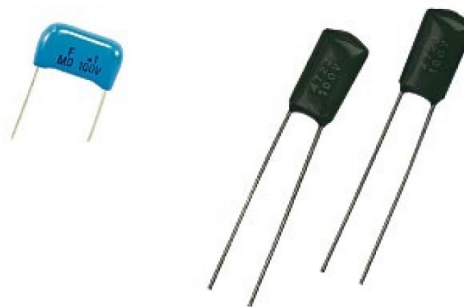
電解電容



鉭質電容



polyester電容



polypropylene電容



Ceramic Capacitor



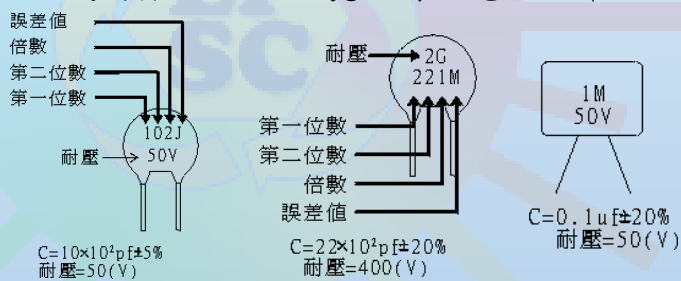


電容標示

a. 直接標示法: 較大體積電容器用之. 如電解質電容器, 長腳表示正極(+)



b. 代碼標示法: 如陶瓷及薄膜電容器常用之

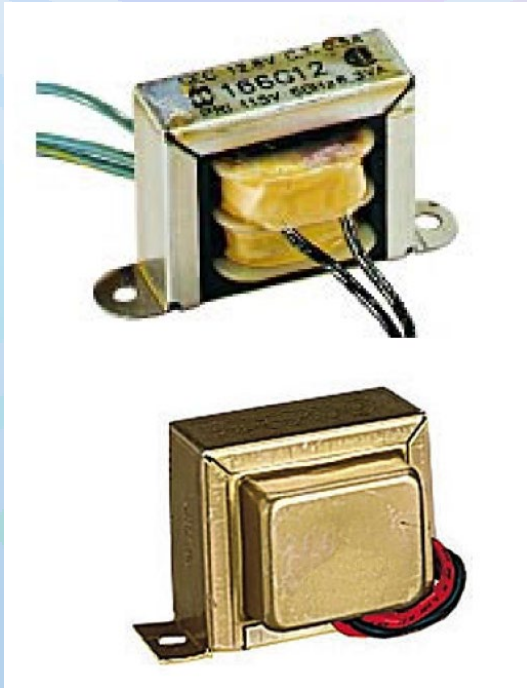


c. 色碼標示法: 較小體積電容器常用之.





變壓器與電感





電感標示

a. 直標法

將電感器的電感值 (Inductance) 直接用數字和文字符號標注在電感器外壁上，電感量單位後面用一個英文字母表示其允許誤差。

例如：820 μ HK 表示標稱電感值 820 μ H，允許誤差為 $\pm 10\%$ 。

b. 文字符號法

將電感器的電感值用文字和符號標注在電感器外壁上，基本標注單位是微亨 (μ H)，

例如：822 表示電感量為 $82 \times 100 \mu\text{H} = 8200 \mu\text{H}$ 。

例如：820 表示電感量為 $82 \times 1 \mu\text{H} = 82 \mu\text{H}$ 。

例如：8R2 表示其電感量為 $8.2 \mu\text{H}$ 。

例如：82 表示其容量為 $82 \mu\text{H}$ 。

c. 色標法

將電感器的電感值用色環標示，一般電感值會用四個色環標示，單位用電感值為 μH 。





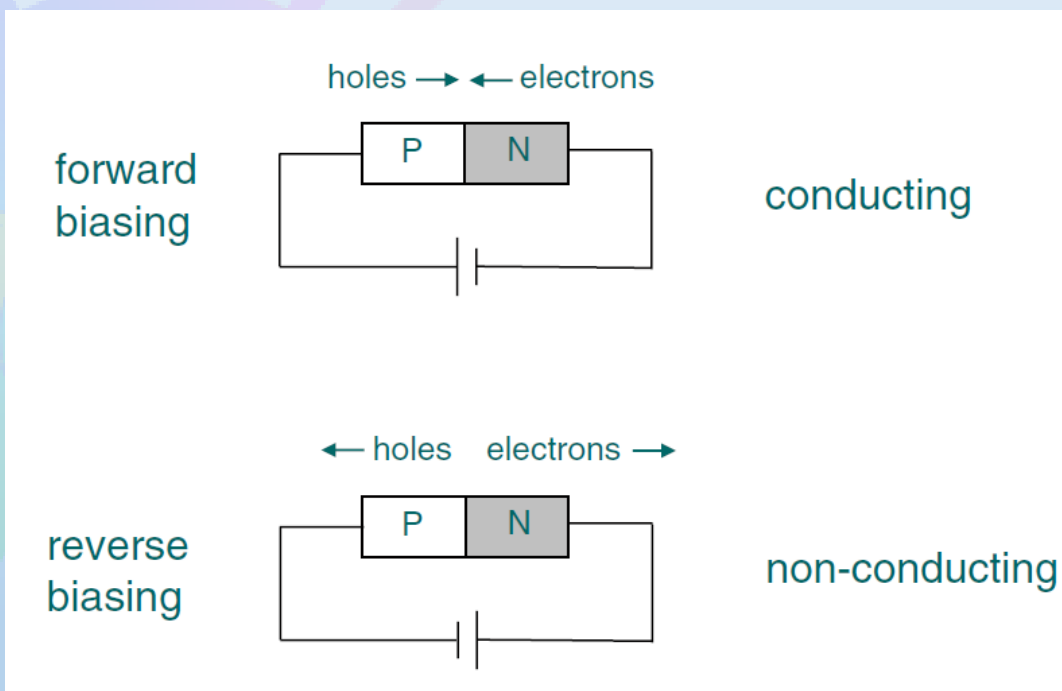
半導體

- P-type
 - Si, Ge doped with B, Al, Ga, In
 - Current formed by moving holes
- N-type
 - Si, Ge doped with P, As, Sb
 - Current formed by moving electrons





二極體工作原理





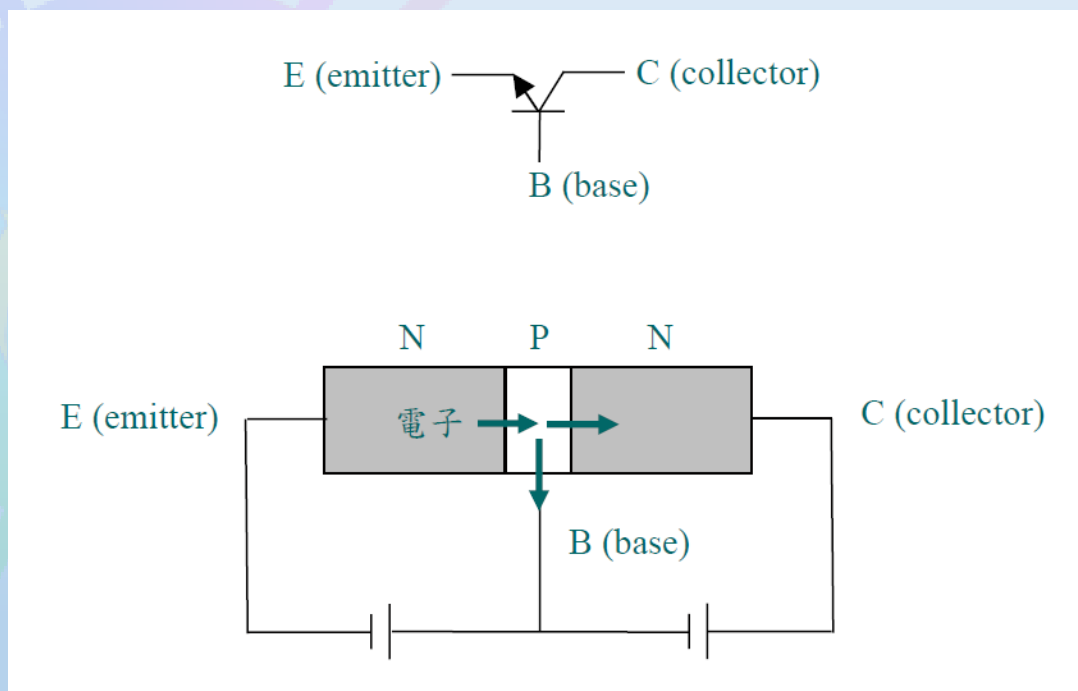
二極體種類

- pn接面二極體
- 齊納(Zener)二極體又稱為崩潰二極體，使用於電壓調節器
- 蕭基二極體 (Schottky) 金屬與半導體接面的兩種型式
 - 1.歐姆式 (Ohmic) 金屬與半導體間的接觸電位不因偏壓有所改變
 - 2.整流式 (Rectifying) pn接面之接觸電位會隨偏壓而改變，蕭基二極體屬整流式接觸
 - 蕭基二極體切換速率高
- 透納二極體 (Tunnel diode) 的雜質原子濃度極高，具有一段負電阻區域，由於負電阻特性甚適合作高頻振盪電路元件
- 發光二極體 (LED)
- 光二極體 (Photodiode) 高感光元件逆偏操作



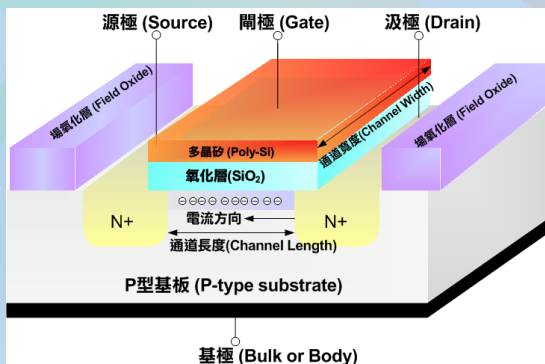
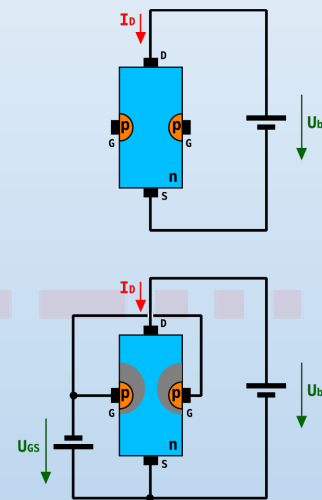


電晶體工作原理



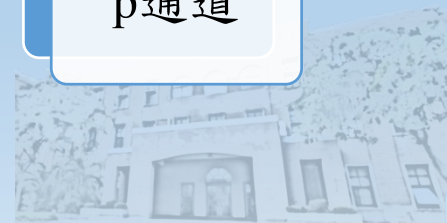
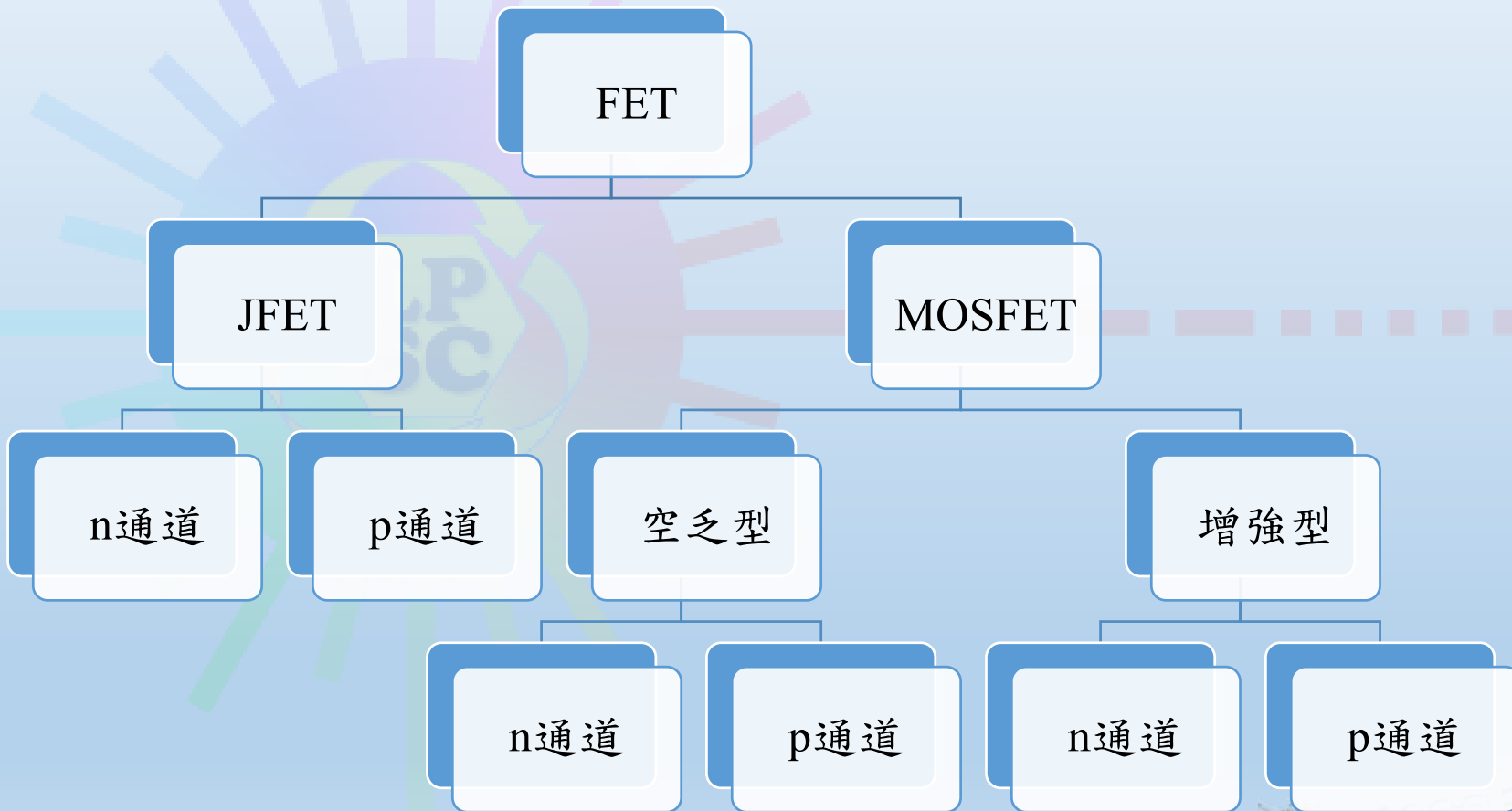
電晶體種類

- 雙極電晶體BJT
- J-FET (Junction Field Effect Transistor)
- MOS-FET (Metal-Oxide-Semiconductor)



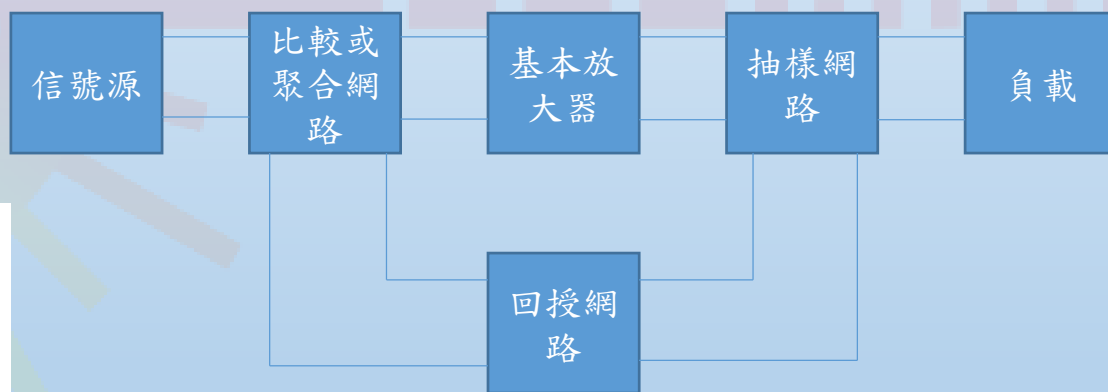
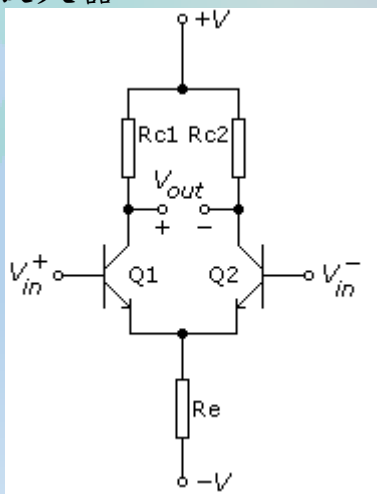


FET的分類



放大器

- 放大器分類
 - 電壓放大器(voltage amplifier)
 - 電流放大器 (current amplifier)
 - 轉移電導放大器 (transconductance amplifier) 電壓至電流
 - 轉移電阻放大器 (transresistance amplifier) 電流至電壓
- 回授放大器
- 運算放大器(OP amp)
 - 差動放大器





電子工具

- 剪線鉗 Wire striper
- 焊錫 solder
- 烙鐵 soldering iron
- 吸錫槍 desoldering tool
- 麵包板、洞洞板
- 電源供應器、高壓電源
- 多功能數位電錶 multimeter
- 示波器 oscilloscope





剪線鉗、烙鐵與吸錫器

Wire Stripper



Soldering Iron

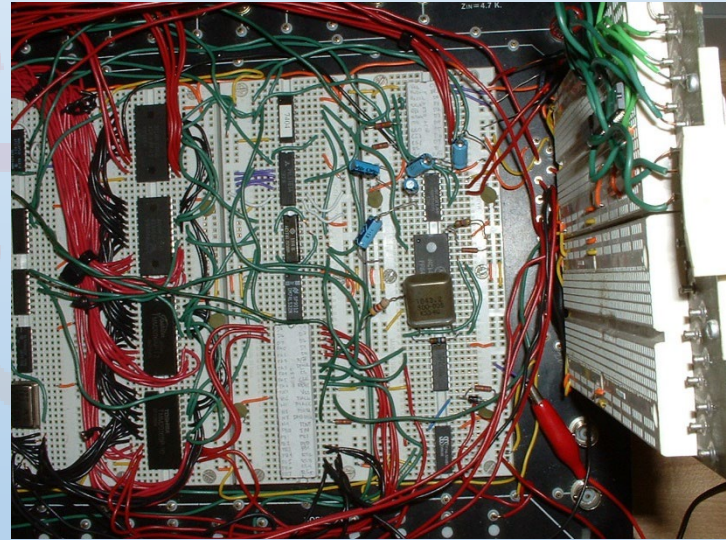
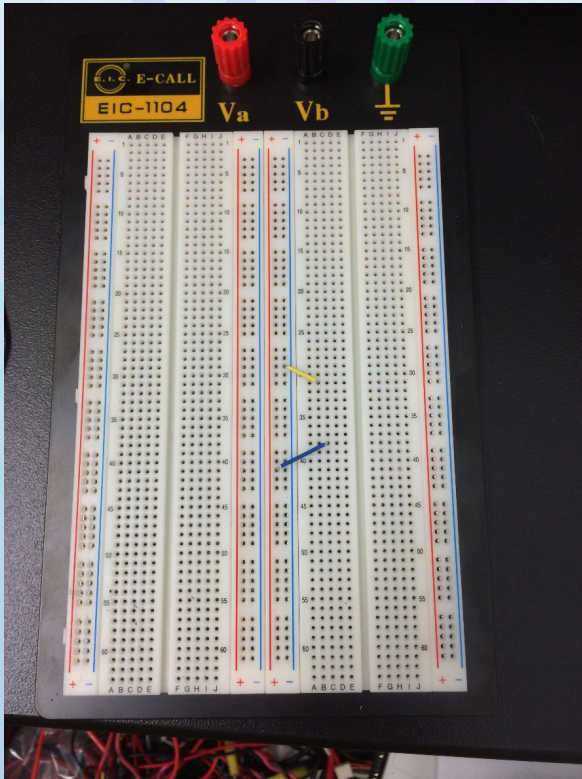


Desoldering tool





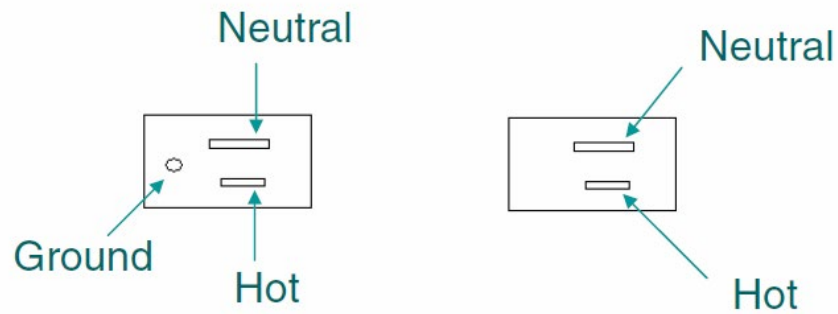
麵包板





插座與驗電起子

Electric Outlets

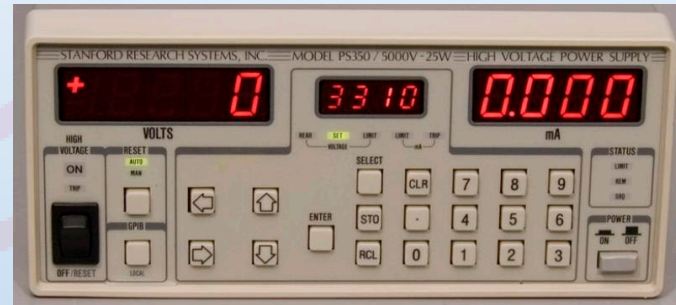


Screw drive with
neon lamp



電源供應器

- 直流電源供應器
- 高壓電源供應器
- 可程式化電源供應器



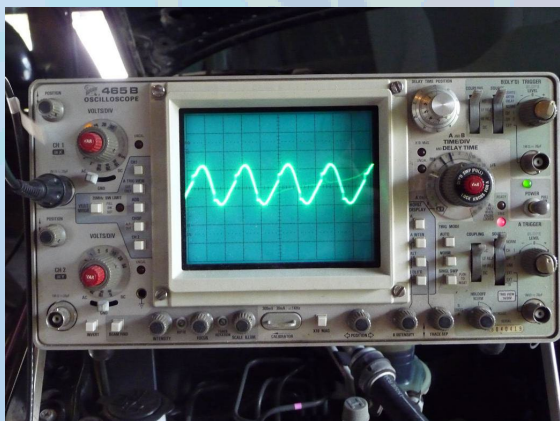
多功能數位電表

- 傳統三用電表



示波器

- 原理
- 規格
- 使用注意事項





示波器

- 示波器的功能只有一個，就是用來觀察電壓在時間軸上的變化。
- **Volt/Div 單位電壓**
示波器螢幕上每一格的垂直距離所代表的電壓
- **TimeBase 時基**
示波器螢幕上每一格的水平距離所代表的時間
- **Trigger condition 觸發條件**
設定波形要在甚麼時機點開始畫，這個時機點就是觸發條件滿足的時候。





基礎電路

- 類比電路
 - 電源電路、放大電路、振盪電路、調變電路、解調電路、濾波器、微分電路、積分電路
- 數位電路
 - 邏輯閘、單晶片、FPGA、CPU
- 訊號傳輸
 - 同軸電纜、雙絞線電纜、接地與輸入輸出阻抗、寄生電容電感、負載與失真



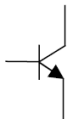


元件符號

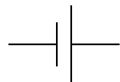
resistor



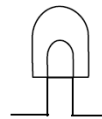
transistor



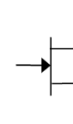
voltage source



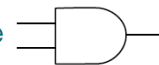
lamp



field-effect transistor



AND gate



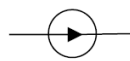
capacitor



diode



current source



quartz crystal



Zener diode



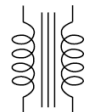
OR gate



inductor



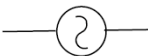
transformer



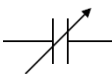
variable resistor



AC power



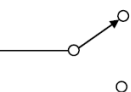
variable capacitor



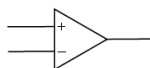
NAND gate



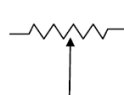
switch



operational amplifier



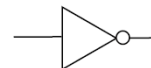
variable resistor



fuse



inverting amplifier



NOR gate





基本電路

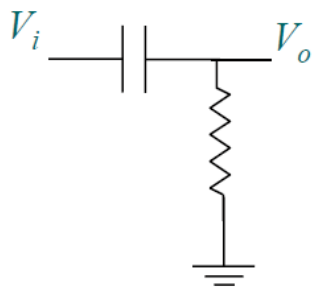
- 電源電路
- 放大電路
- 振盪電路
- 調變電路
- 解調電路
- 濾波電路
- 邏輯電路





被動濾波

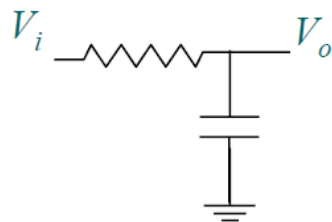
high-pass



$$V_o = V_i \left(\frac{i\omega RC}{i\omega RC + 1} \right)$$

if $Z_c \gg R \rightarrow V_o \approx i\omega RC V_i$

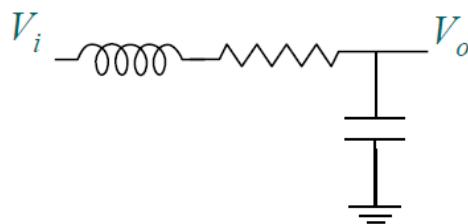
low-pass



$$V_o = \frac{V_i}{i\omega RC + 1}$$

if $R \gg Z_c \rightarrow V_o \approx \frac{V_i}{i\omega RC}$

band-pass



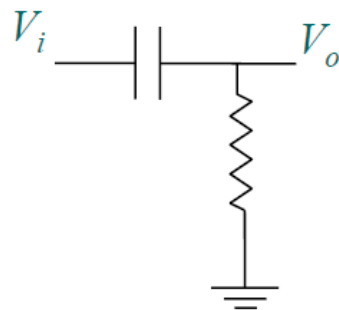
$$V_o = \frac{V_i}{1 - \omega^2 LC + i\omega RC}$$

resonance: $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$



微分與積分電路

high-pass

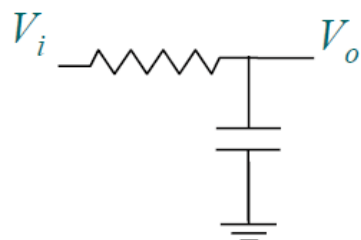


$$\text{if } Z_c \gg R \rightarrow V_o(\omega) \approx i\omega RC V_i(\omega)$$

$$V_o(t) = \int V_o(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$= RC \frac{d}{dt} \int V_i(\omega) e^{i\omega t} d\omega = RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

low-pass



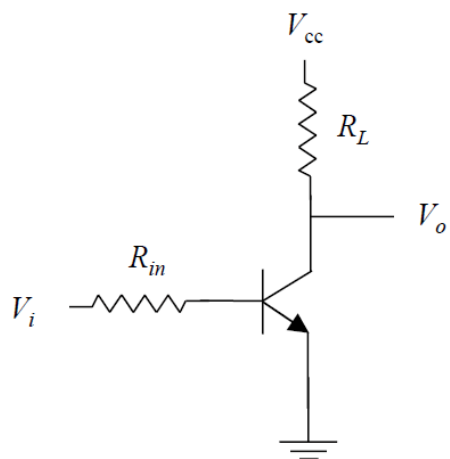
$$\text{if } R \gg Z_c \rightarrow V_o(\omega) \approx \frac{V_i(\omega)}{i\omega RC}$$

$$V_o(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t V_i(s) ds + V_o(0)$$





射極接地放大器



$$\frac{V_i - 0.7}{R_{in}} \beta = \frac{V_{cc} - V_o}{R_L}$$

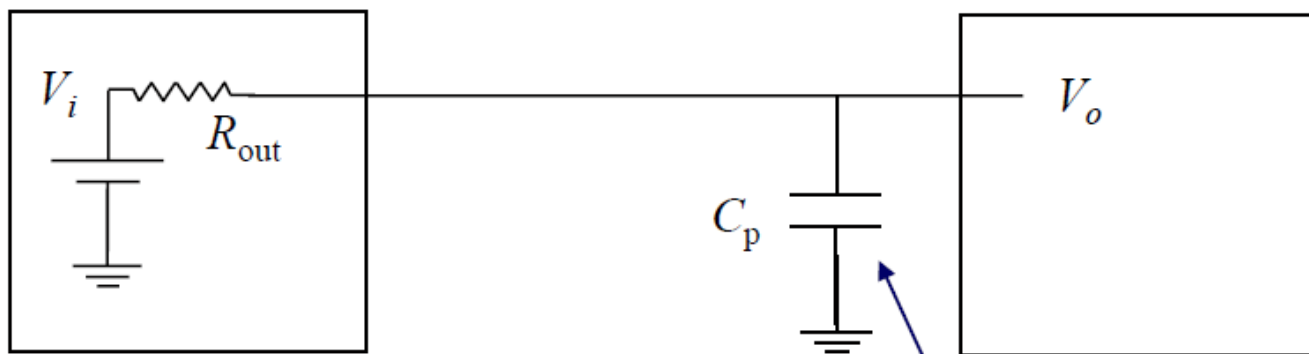
共射極放大器是三個基本單級BJT放大器結構的其中一種，通常被使用於功率放大器。在這個電路中，基極作為輸入端，集極作為輸出端，射極為共用端（它可能接地，或是接到電源）。





寄生電容與高頻響應

$$V_o = \frac{V_i}{i\omega R_{out} C_p + 1}$$



R_{out} the smaller the better

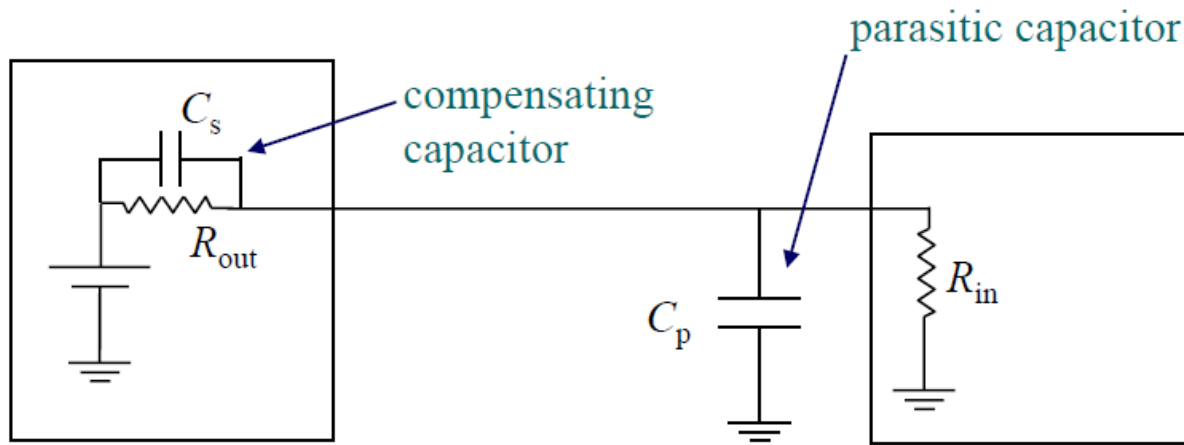
parasitic capacitance

電容不僅僅只存在於電容器內部，只要兩個不同電位的表面相互靠近時就會產生電場，即存在電容效應，其作用就相當於一個電容器。它會造成電路中電流的中斷。由於這種電容往往與電路並聯，則頻率較高時，它將起到旁路信號的作用，





高頻響應補償

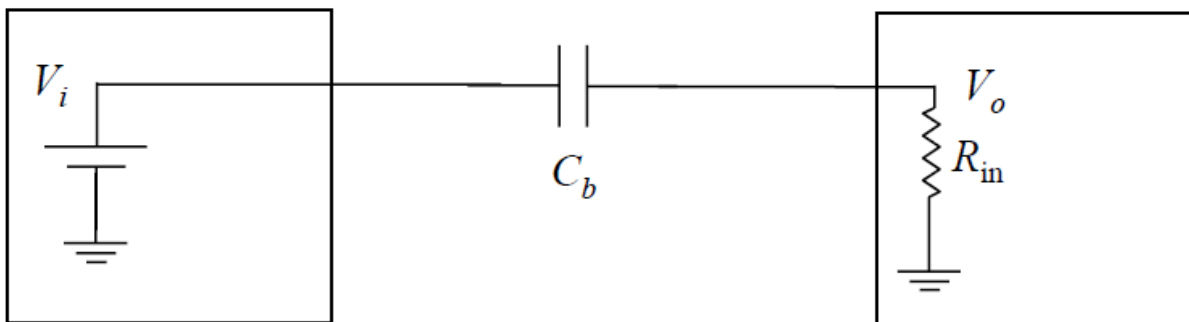


compensating condition:
$$\frac{R_{\text{out}}}{R_{\text{in}}} = \frac{C_s}{C_p}$$





直流阻隔與低頻響應



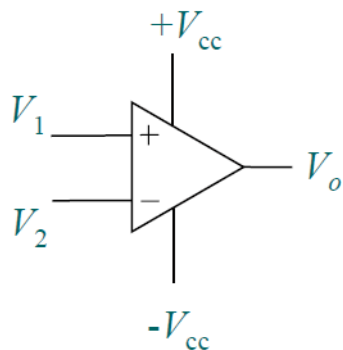
$$V_o = V_i \left(\frac{i\omega R_{in} C_b}{i\omega R_{in} C_b + 1} \right)$$

R_{in} the larger the better



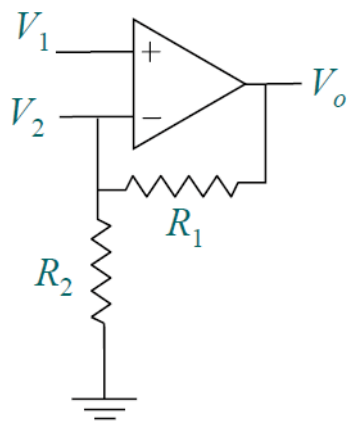


運算放大器與負回饋控制



$$V_o = A(\omega, V_o)(V_+ - V_-)$$

$$A(\omega, V_o) \gg 1$$



$$\beta \equiv \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = \beta V_o$$

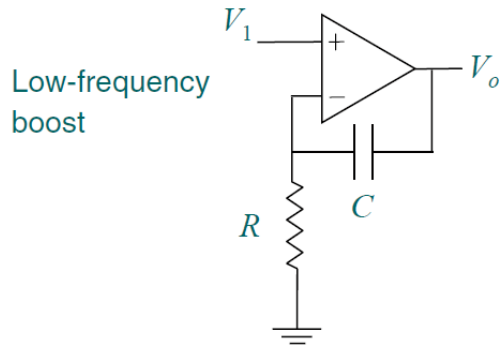
$$(V_1 - \beta V_o)A = V_o$$

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{A}{1 + \beta A} \approx \frac{1}{\beta}$$

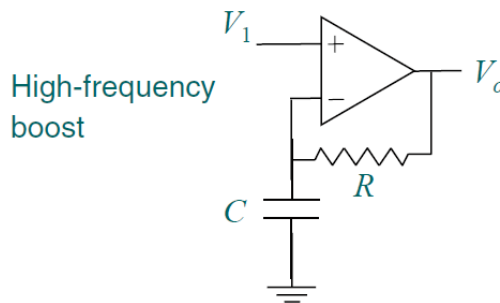




主動濾波



$$\frac{1}{\beta} = \frac{1 + i\omega RC}{i\omega RC} \approx \frac{1}{i\omega RC} \quad \text{if } Z_c \gg R$$

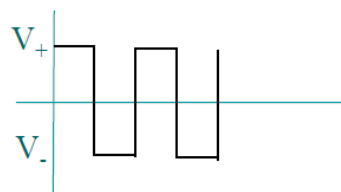
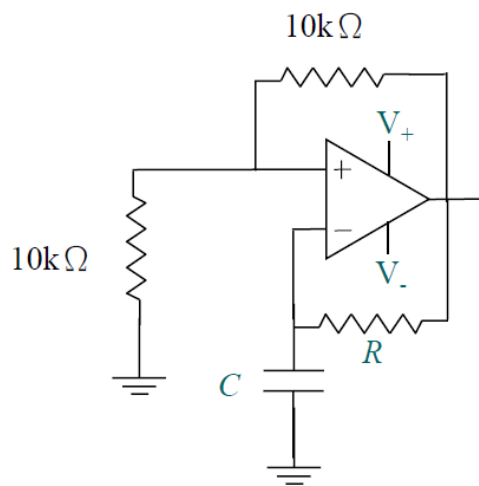


$$\frac{1}{\beta} = 1 + i\omega RC \approx i\omega RC \quad \text{if } R \gg Z_c$$





弛豫振荡器

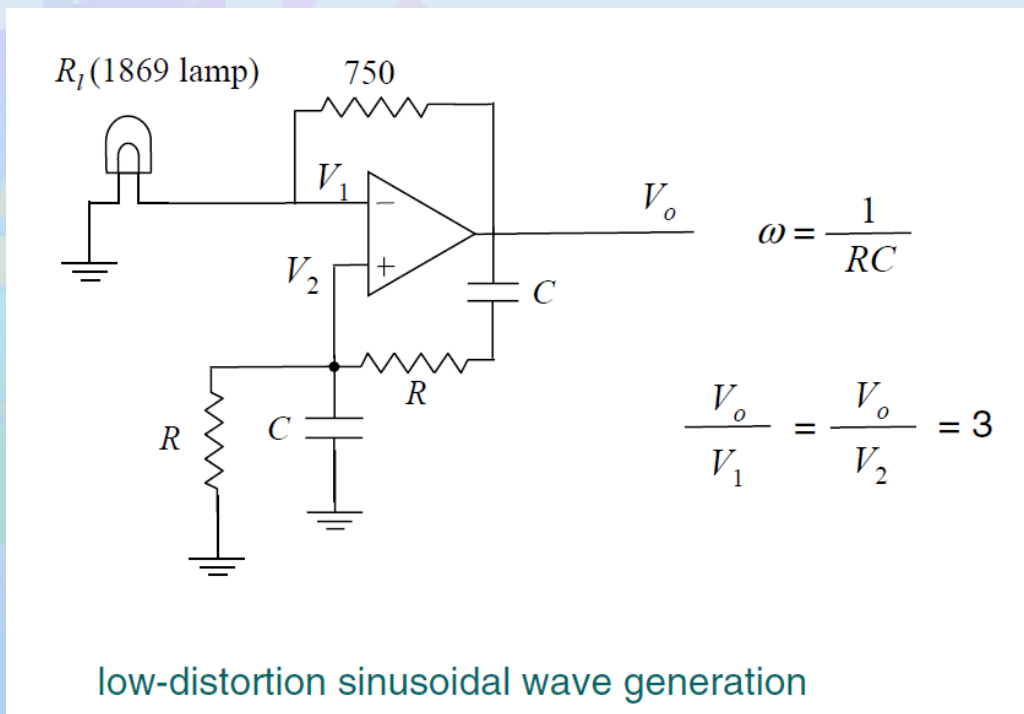


Output switches when the capacitor is charged to $V_+/2$ or discharged to $V_-/2$

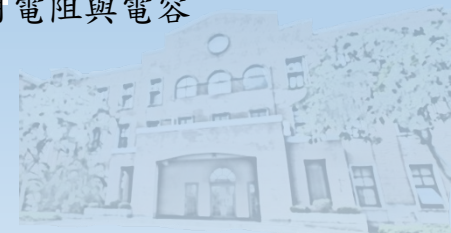




Wien-Bridge振盪器



文氏電橋（英語：Wien bridge oscillator）也稱為橋式正弦波振盪電路，是利用電阻與電容作為迴授的一種電橋型振盪器，工作頻率可達約幾MHz左右。

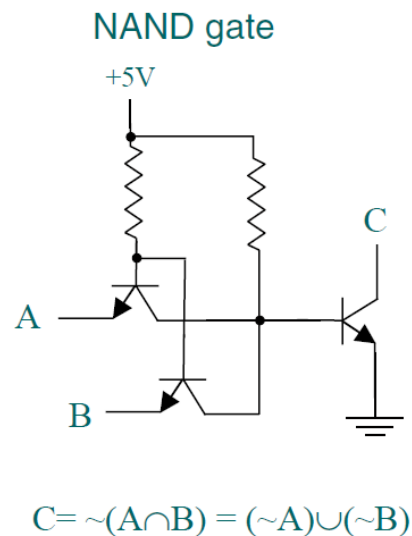
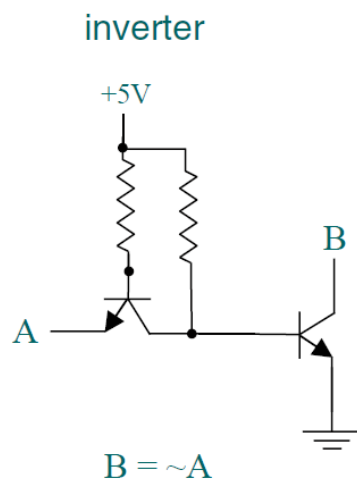




基礎TTL數位電路模組

high (1): open circuit

low (0): current flow in

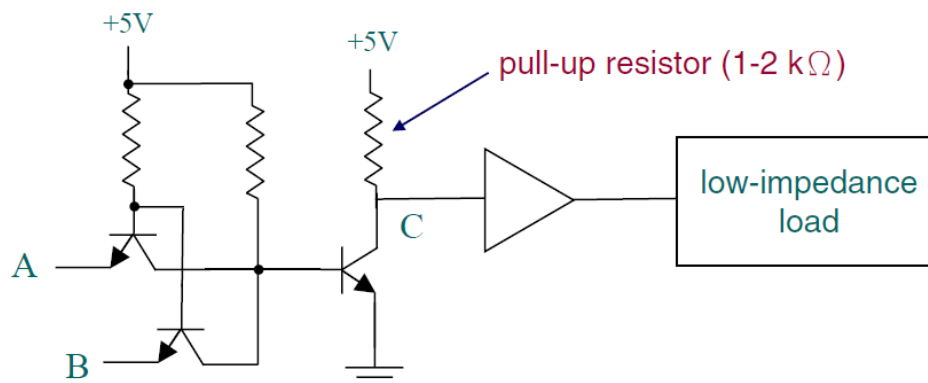


電晶體-電晶體邏輯（英語：Transistor-Transistor Logic，縮寫為TTL），是市面上較為常見且應用廣泛的一種邏輯閘數位積體電路，由電阻器和電晶體而組成。



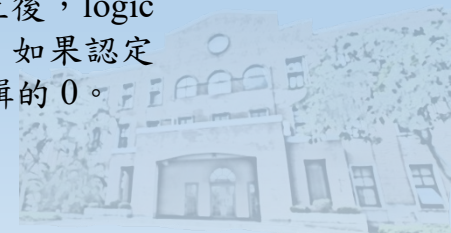
數位/類比介面

digital to analog: pull-up resistor + buffer amplifier



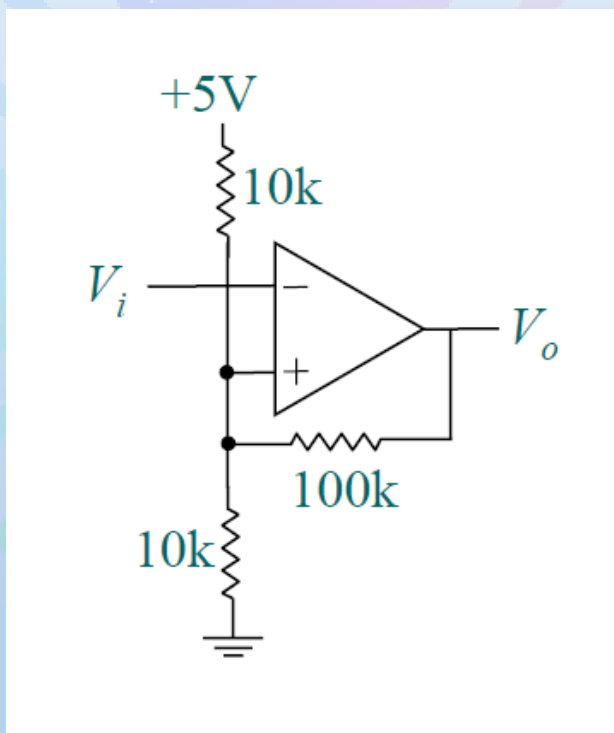
analog to digital: Schmitt trigger + one-shot

電路中希望維持一個電位基準值，好判斷某個電壓值是 0 還是 1。pull-up 跟 pull-down 電阻就是用來維持基準電位的，如果電路沒有接個東西，程式會讀到雜訊（亂數值）。switch 斷開時上半部的電路是通的，logic gate 會讀到較高的電位。switch 接上後，logic gate 的電位會變低（從電流來看是下半部電路會接通，以至於電位會改變）。如果認定 switch 接上是邏輯的 1 則 logic gate 是低電位時表示邏輯的 1，高電位表示邏輯的 0。

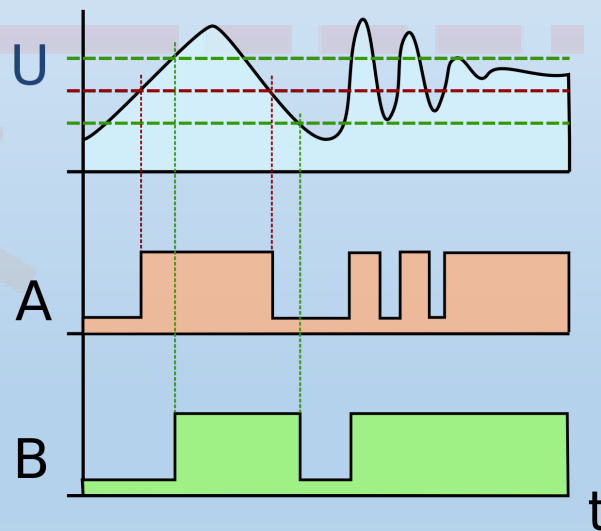




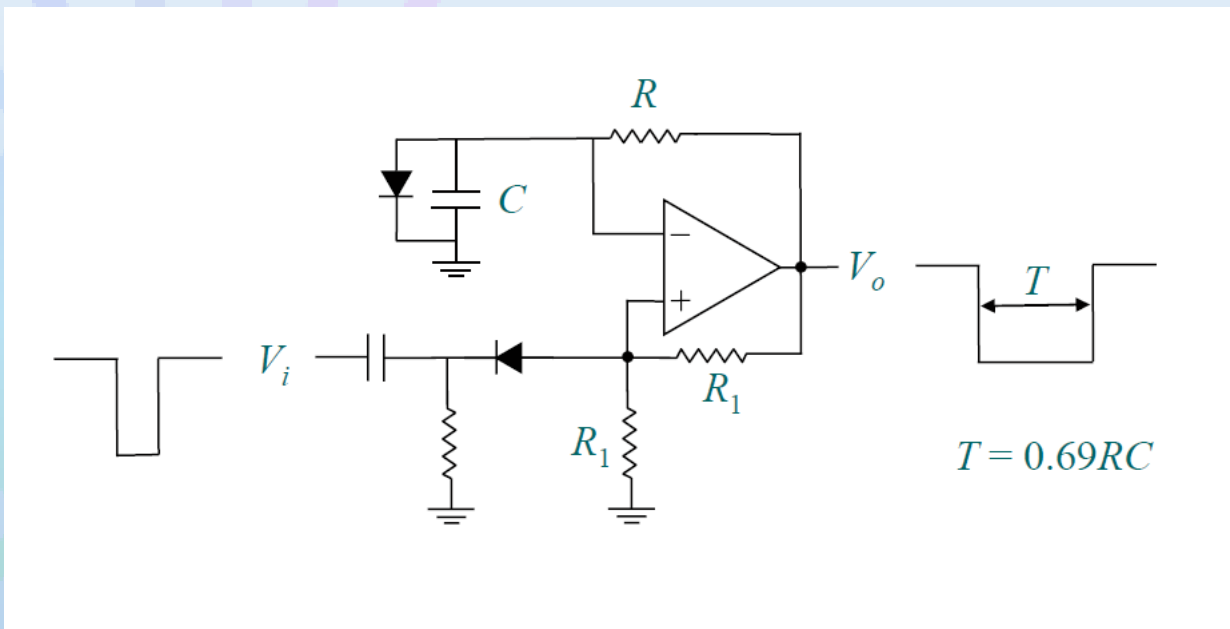
Schmitt觸發



施密特觸發器可作為波形整形電路，能將類比訊號波形整形為數位電路能夠處理的方波波形，而且由於施密特觸發器具有滯回特性，所以可用於抗干擾，其應用包括在開迴路組態中用於抗擾，以及在閉迴路正回授/負回授組態中用於實現複振器。



單擊發電路



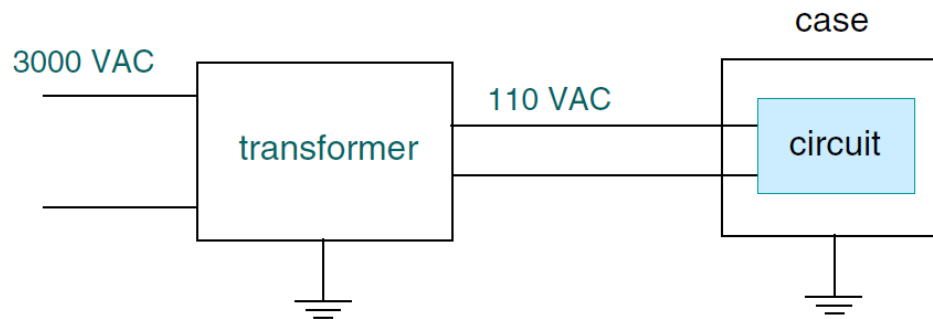
單穩態觸發器也是脈衝和數位電路中的基本觸發器之一。單穩態觸發器只有一個穩定狀態，另外還有一個暫時的穩定狀態（暫穩狀態）。在沒有外加觸發信號時，電路處於穩定狀態。在外加觸發信號的作用下，電路就從穩定狀態轉換為暫穩狀態，並且經過一定的時間後電路能夠自動的再次轉換回到穩定狀態。單穩態觸發器在一個脈衝的作用下，能夠輸出一個具有一定寬度的矩形脈衝，常用在脈衝整形、定時和延時電路中。單穩態觸發器可以由電晶體、數位電路或時基電路等構成。





屏蔽與接地

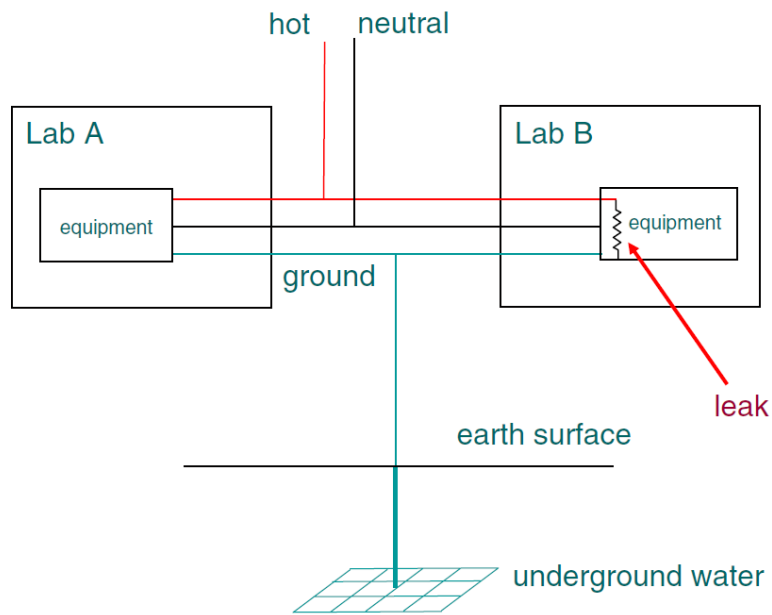
Shielding and Grounding





接地污染

Ground Contamination

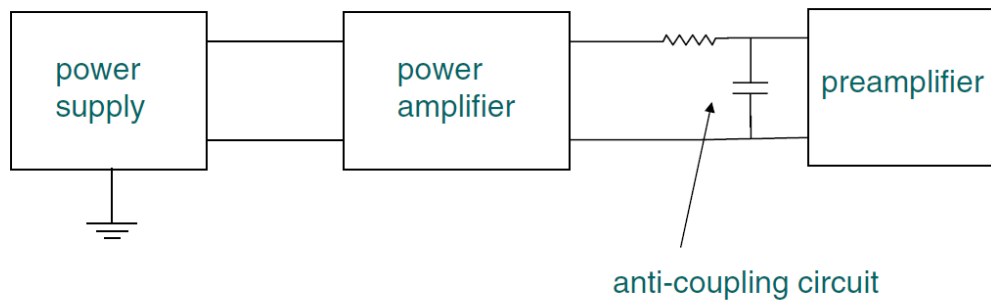




反交連(去耦合)電路

Supply and Grounding Order

Put high-power units closer to the power supply.





磁場屏蔽

Magnetic-Field Shielding

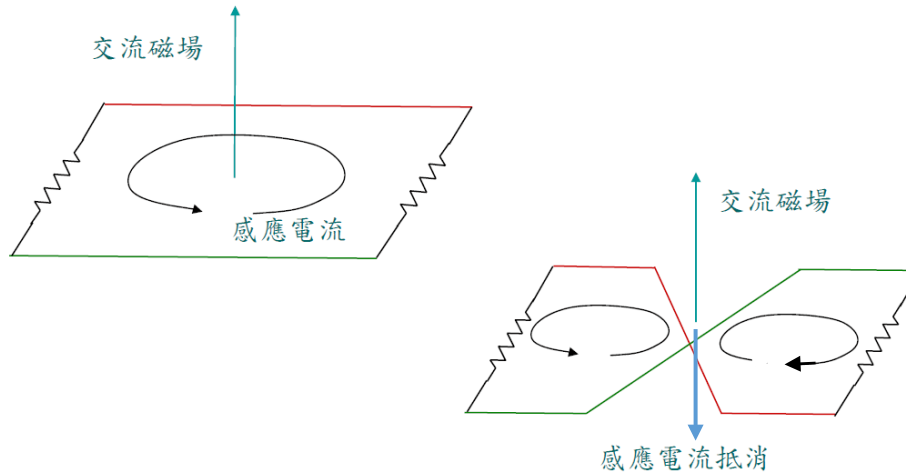
- Use twisted-pair wires to eliminate induction currents
- Use cases made of high- μ metal
- Avoid ground loop, i.e., single-point grounding





雙絞線作用

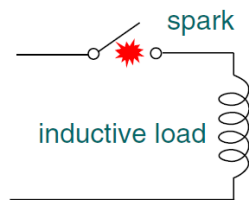
Function of Twisted-Pair Wires



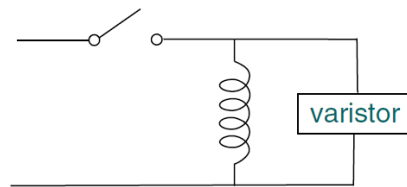
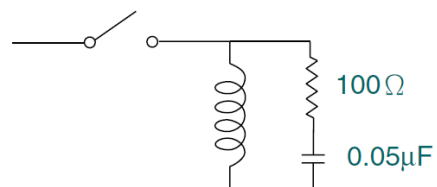


開關保護

Switch Protection



solutions



同軸電纜

RG174同軸電纜 RG58同軸電纜

適用於無線電，儀錶控制及電視等高頻傳輸設備連接配線。



- 1 中心導體-軟銅線、鍍錫軟銅線、鍍銀銅線、銅包銅線
- 2 絕緣體-充實型PE絕緣、PE條繞捲管狀絕緣、發泡PE絕緣
- 3 遮蔽層-熱熔積層鋁箔
- 4 外部導體-單層或雙層編織、軟銅線、鍍銀銅線、鍍錫軟銅線
- 5 被覆體-聚氣乙烯





接頭(一)

F接頭



BNC接頭





接頭(二)

RCA插座



RCA接頭





接頭(三)

SMA接頭





接頭(四)

杜邦接頭





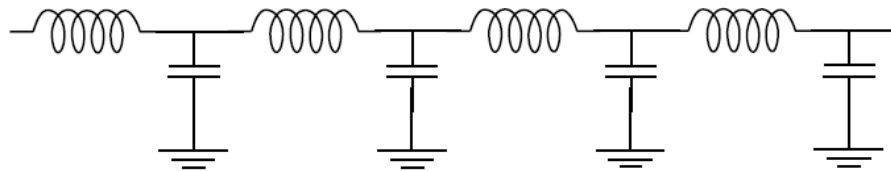
阻抗匹配

- 同軸電纜阻抗
- 電源阻抗
- 負載阻抗





同軸電纜阻抗



equivalent circuit of coaxial cables

Assuming the impedance of an infinite-long coaxial cable is Z ,
and the inductance and capacitance per unit length is L and C respectively,
then the impedance of a cable of length ϵ ($\rightarrow 0$) in series with an infinite-long cable is still Z .

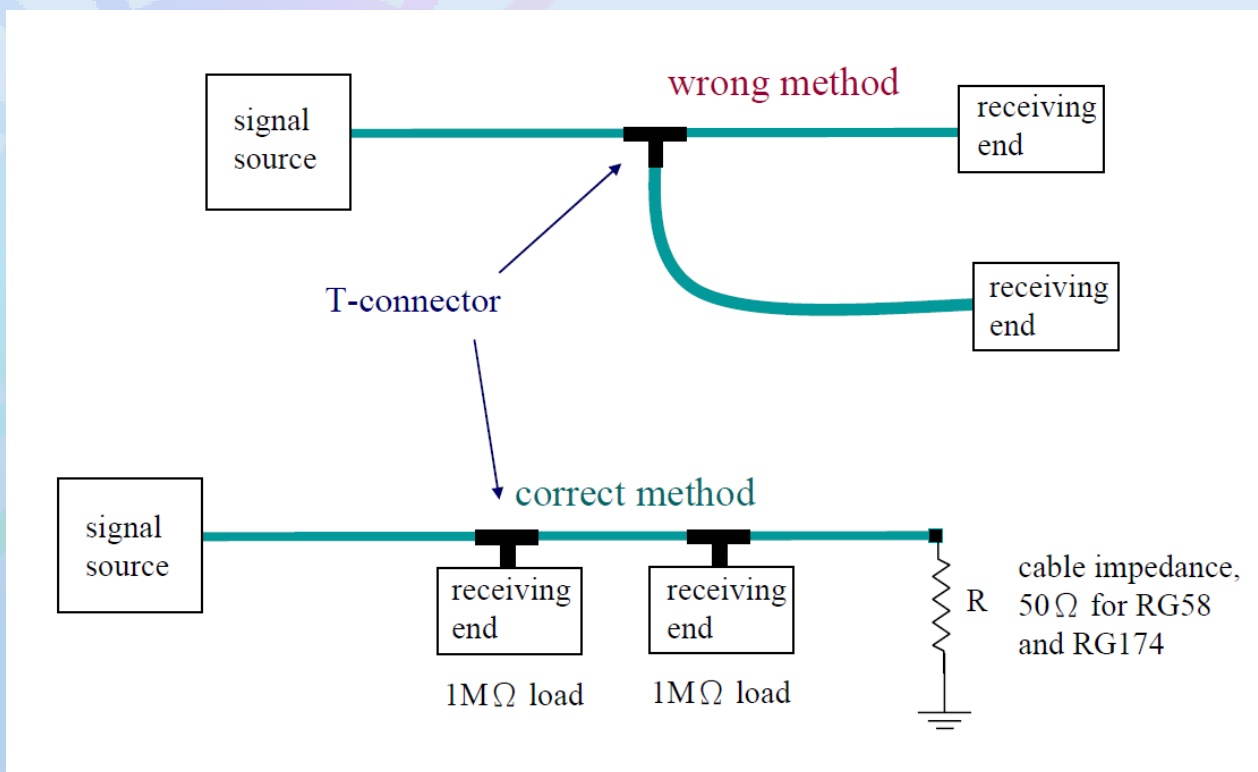
$$i\omega\epsilon L + \frac{Z}{i\omega\epsilon CZ + 1} \approx i\omega\epsilon L + Z - i\omega\epsilon CZ^2 = Z$$

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{independent of } \omega$$





如何連接同軸電纜





交流電阻抗

definition $Z = \frac{V}{I}$

inductance $V = L \frac{dI}{dt} = i\omega LI$ $Z_L = i\omega L$

capacitance $V = \frac{Q}{C}$ $\frac{dV}{dt} = i\omega V = \frac{I}{C}$ $Z_C = \frac{1}{i\omega C}$





輸出輸入阻抗

voltage source



current source





阻抗匹配



$$\text{transmitting power} = VI = \left(\frac{V Z_{in}}{Z_{out} + Z_{in}} \right) \left(\frac{V}{Z_{out} + Z_{in}} \right)$$

Maximum transmitting power occurs at $Z_{in} = Z_{out}$





電路模擬

- CircuitLab...





製作





American Wire Gauge (AWG)

number	18	20	22	24	26	28	30	32
diameter	1.02	0.81	0.65	0.51	0.40	0.32	0.25	0.20
resistance per km	21	33	53	84	134	213	338	538





組裝用零件

- 通用電路板(測試板) test boards
- 支柱與L支架 posts and angle brackets
- 測試點 testing points
- 熱融膠 heat glue
- 接線架 wire stand
- 電源固定夾 power line clamp
- 地迴路 shielding
- 開關保護 switch protection



零組件(一)

開關



選擇開關



繼電器



保險絲



保險絲座



發光二極體



氬氣燈





零組件(二)

電晶體



二極體



散熱片



散熱膏



Integrated Circuit





零組件(三)

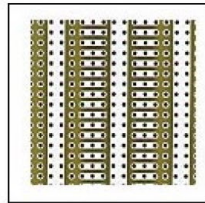
電路板支柱



L 支架



電路模板



Wire Stand



Buzzer





零組件(四)

錶頭



電池座



電源線固定夾



束線帶



熱縮套





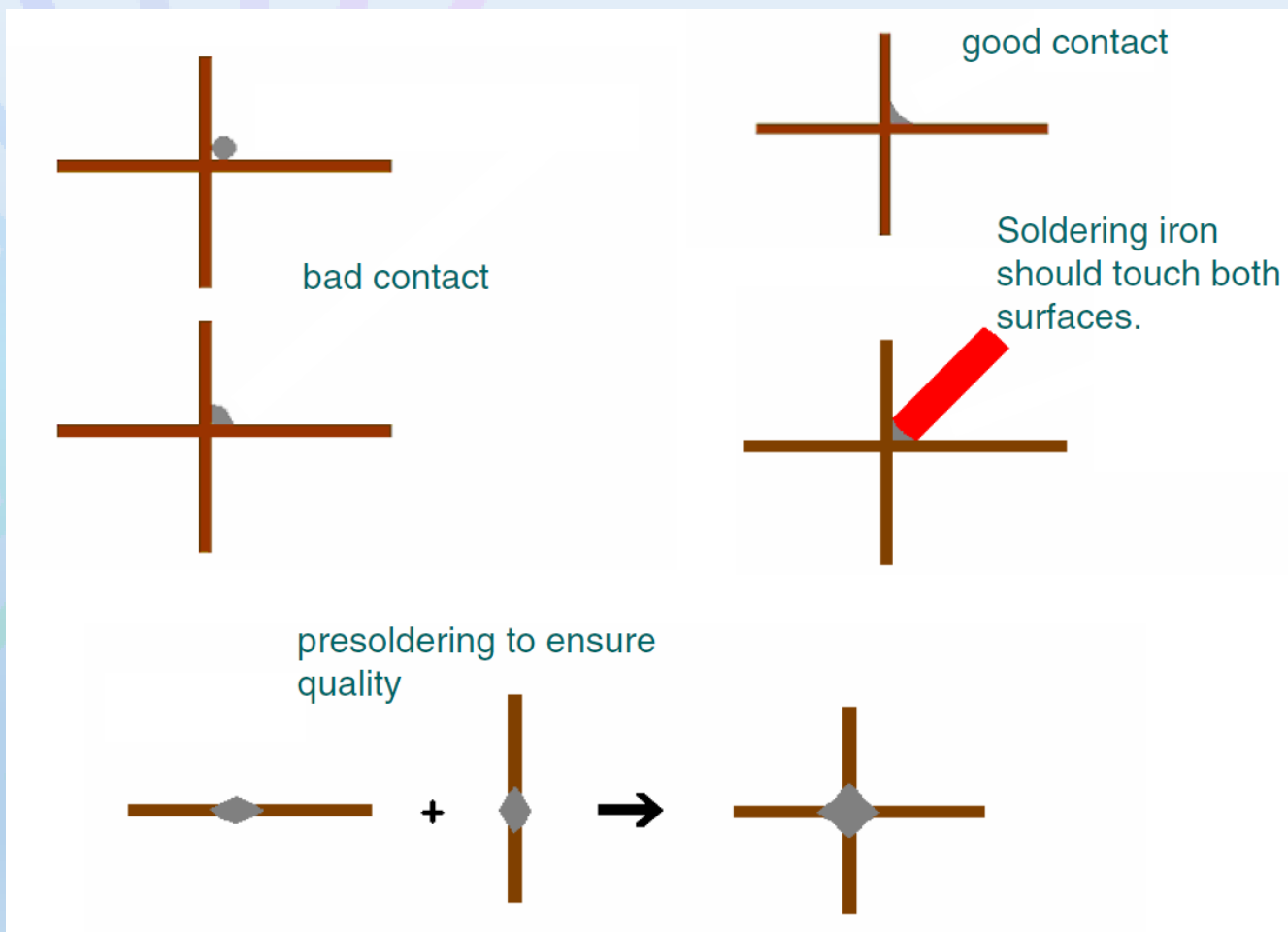
焊接技巧

- 可焊接的材料：Au, Ag, Cu, Sn
- 除去氧化層
- 焊油的功用
- 預焊
- 冷焊
- 接觸不良
- 吸錫槍





焊接技巧





焊接(welding)

1. 焊接的目的
2. 焊接工具介紹
3. 實作—焊接的技巧與注意事項

(一) 焊接的目的：是使用低熔點的金屬(焊錫)把兩件零件接駁起來的技術

- (1) 金屬的連接：把兩個原本獨立的金屬用錫固定在電路板上
- (2) 元件的連接：將元件(例電阻、電感、電容)固定在電路板上

(二) 焊接工具介紹

- (1) 溫控烙鐵機台：接上電源之後將溫度調至 320 度，便可使用焊槍
- (2) 焊槍：執行焊接操作部分，用焊槍觸碰焊錫，讓焊錫融化在焊接的地方，等待焊錫凝固，焊接工作就完成了
- (3) 烙鐵架：顧名思義，就是置放烙鐵的地方，在烙鐵的加熱過程，以及閒置的時候有個架子可以固定
- (4) 焊錫：焊錫是由錫(熔點 232 度)和鉛(327)組成的合金，由錫 63%和鉛 37%組成的合金被稱為共晶焊錫，這種焊錫的熔點是 183 度，標準焊接作業時使用的線狀焊錫被稱為松香焊錫或線狀焊錫，在焊錫中加入了助焊劑(由松香和少量活化劑組成)，焊接作業時溫度的設定非常重要
- (5) 助焊劑(焊油)：這主要是幫助焊錫能夠順利在焊點流動的耗材。焊接完成後用助焊劑來清一下烙鐵頭，再放到濕海綿擦拭一下，烙鐵頭又亮晶晶，接著繼續焊接。另外吸錫線的使用最好搭配助焊劑，這樣子好讓吸錫線吸取溶解的錫效力提昇
- (6) 焊接抽風機：
由於大多焊接工作皆在實驗裡，為了不讓有機溶劑有毒氣體侵害你的健康，進行焊接工作時一定要開啟抽風機，保護你我的肺
- (7) 吸錫線：不小心焊接錯了怎麼辦？吸錫線是用來清理焊點。吸錫線是以毛細現象的原理，把錫給帶走，可以把多出來錫給帶走，不會影響元件焊接。使用方法很簡單，將吸錫線壓在焊點上，然後烙鐵再壓上去，最後拿酒精擦一擦，就很乾淨了
- (8) 吸錫槍：是用來解焊或者處理焊點的工具。吸錫槍透過抽吸的方式把受到烙鐵加熱成液態的錫給抽出來，解焊的時候可說是必備的工具
- (9) 鑷子：鑷子在焊接過程中扮演舉足輕重的地位，焊接十分精細的元件時我們常需要使用鑷子的輔助
- (10) 放大鏡：焊接精細元件時，有了放大鏡輔助和事後檢查都能讓我們事半功倍

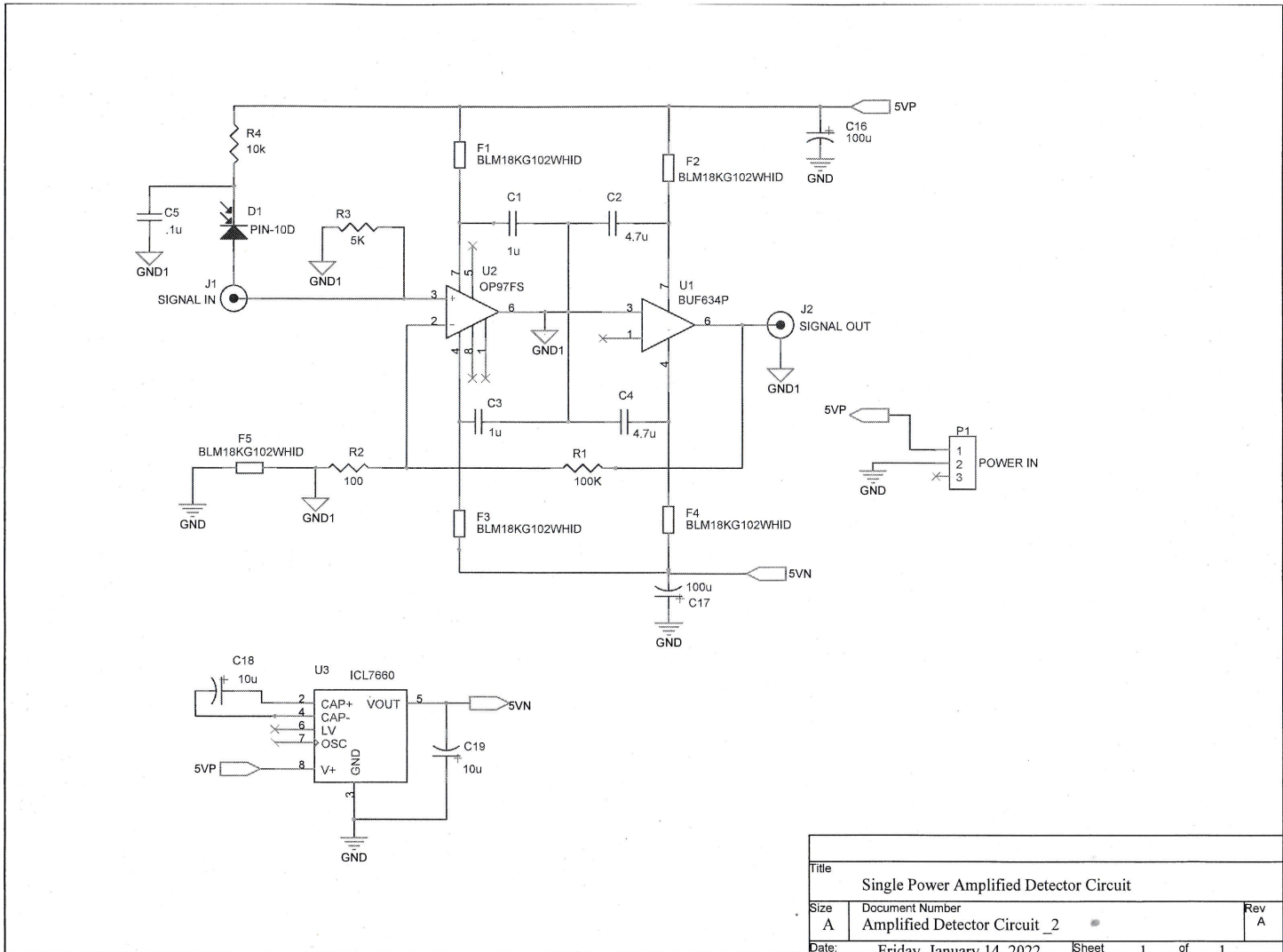
(三) 實作—焊接的技巧與注意事項

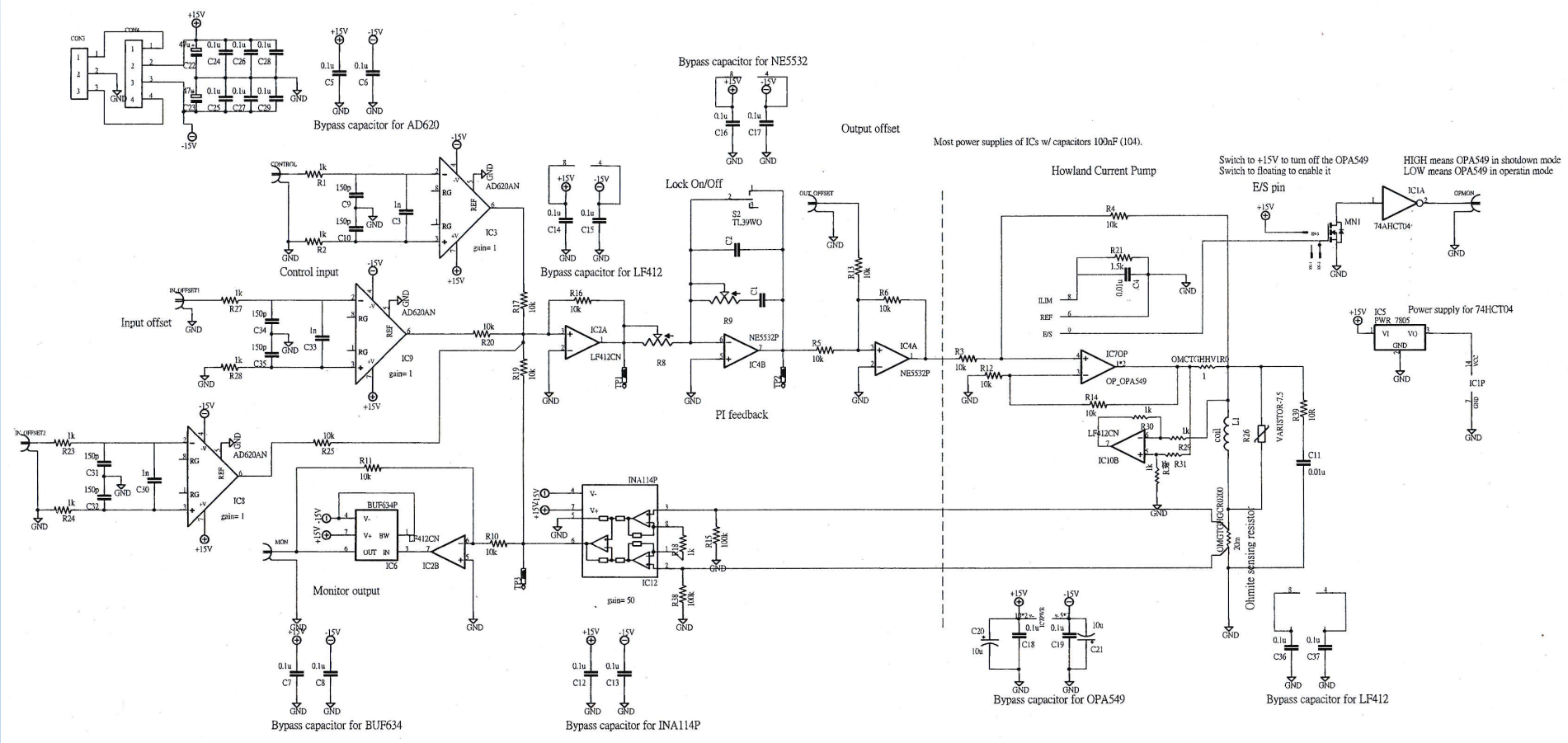
- (1) 溫度調整與烙鐵頭保護
- (2) 焊接作業
- (3) 解焊作業





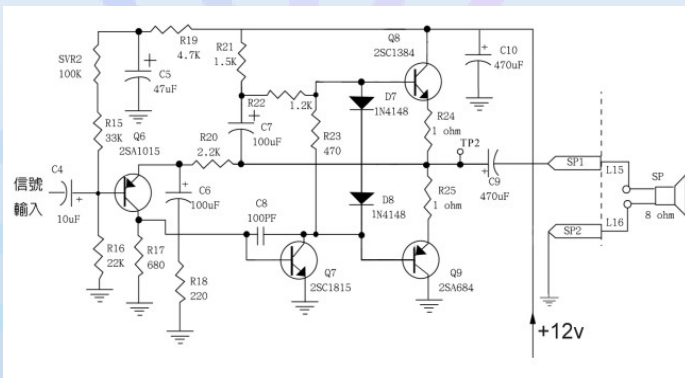
基礎電路分析與設計







功率放大器



R19、C5形成一反交連電路，以免產生正回授而引起低頻振盪，其另一作用是組成濾波電路，將電源的漣波濾除，以免產生“交流聲”，並可使Q6的基極電壓穩定。

輸入的信號經由Q6、SVR2、R15、R17、R20所組成的共射極放大電路做第一級放大，在Q6的C腳上產生一個被放大的輸入信號，此信號再經由Q7放大。

Q7 C腳上的信號，將經由不同的路徑做放大，正半週由Q8負責，而負半週則交由Q9負責。

D7、D8提供Q8、Q9二個晶體VBE的適當偏壓，使它們工作在切入點以內，以免電晶體工作於非線性區內，造成交叉失真，D7、D8並具有溫度補償效果。

R24、R25為Q8、Q9功率放大級的射極穩定電阻，其電阻值越大，負回授量也越大，則工作就越穩定，但相對的就有一部份功率被電阻消耗掉，成為電路的損失。

C9的主要作用在於隔絕直流。

本電路的正式名稱為OTL功率放大器，OTL乃“無輸出變壓器”(Output Transformer-Less)一文的縮寫。它是為了改善早期放大器需要一輸出變壓器來做阻抗匹配，所造成的頻率響應問題。

OTL電路的中點電壓(TP2)必須調為電源電壓VCC的一半，否則極易造成“振幅失真”。

一般OTL放大電路均採直接交連耦合，因此調整第一級電壓放大電路的偏壓，便能改變其中點電壓。在圖12-8中的電路，改變SVR2的電阻值，就會改變Q6的偏壓而影響IE6的大小，IE6的變動直接影響下一級的工作點偏壓，造成中點電壓的改變。

靜態電流不管過大或過小都會有失真發生，到底要多大需視功率晶體的最大集極消耗而定，一般可依表調整。

最大集極消耗	1W~3W	5W~10W	10W~30W	30W~100W
適當的靜態電流	1~3mA	3~5mA	5~10mA	10~30mA

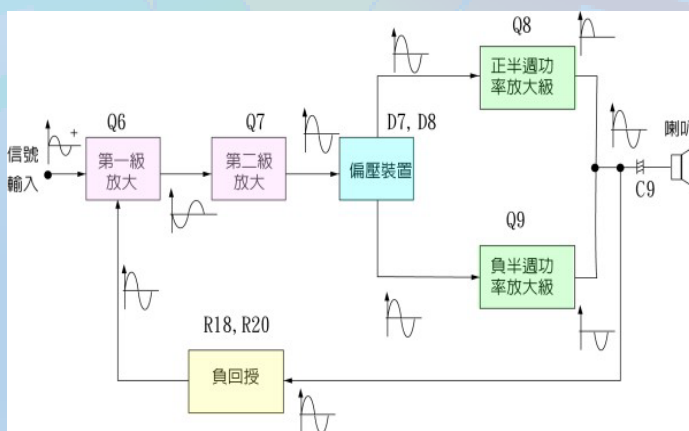
上圖的靜態電流已經設計好了，不需要您來自行調整，不過您可以測量看看它的大小。

功率放大器的輸出功率理論值為：

$$P_{O(\text{理論值})} = V_{CC}^2 / 8RL$$

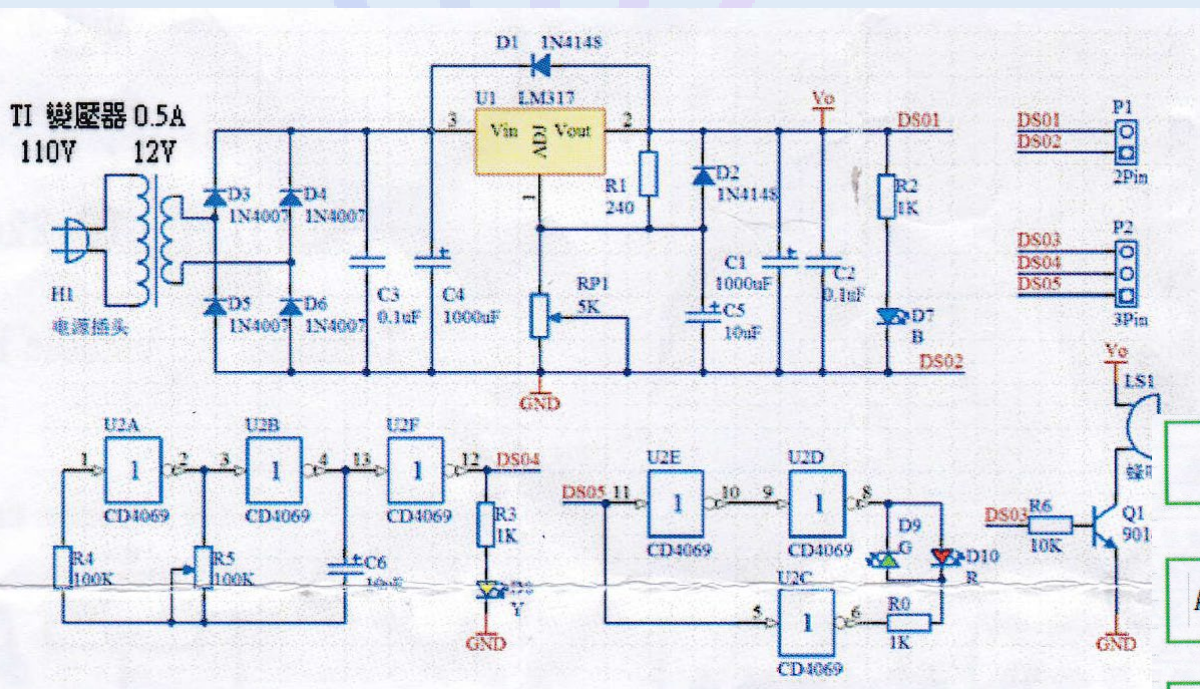
實際的最大輸出功率請參考實習步驟5測量出最大不失真波形的峰對峰值，再代入

$$P_{O(\text{max})} = V^2 / 8RL$$





可調穩壓電源供應器





如何變成高手？

- 幫別人修理電器
- 承包實驗室的電子製作
- 多看電子元件型錄
- 多研究電器(實驗室設備)電路圖
- 多逛光華商場

Digi-Key electronics <https://www.digikey.tw/>





參考資料

- 中央研究院原子與分子科學研究所暨國立中央大學物理系，強場物理與超快技術實驗室 暑期新生訓練講義。<http://hfp.phy.ncu.edu.tw/訓練/暑期新生訓練>
- Circuitlab: <https://www.circuitlab.com/>
- 電子學與電子電路 王振華 超級科技圖書
- 電子學(Art of Electronics 2nd ed.) 儒林圖書

