

應用電路介紹

目的

這個實驗讓同學熟習一些常用簡單的電子電路，包括光偵測電路，二極體的整流電路，電壓限制電路，二極體開關等

這個實驗一定要預習，雖然項目較多，但都很簡單。只要瞭解原理（都寫在步驟中，請詳讀），很快就能做完。不然-----（你可能要自己找時間補做）

儀器

信號產生器、示波器、數位電錶	紅外線 LED	一枚；	
麵包板、接線及香蕉插座零件盒各一	運算放大器 LF411, LM741	各一枚；	
有接頭之金屬盒（內有一麵包板）	光二極體 OSD15-5T	一枚；	
二極體 1N4148	4 枚；	光敏電阻	一枚；
紅光LED	二枚；	電阻 電容	若干（依實驗需要）
藍光 LED	一枚；		

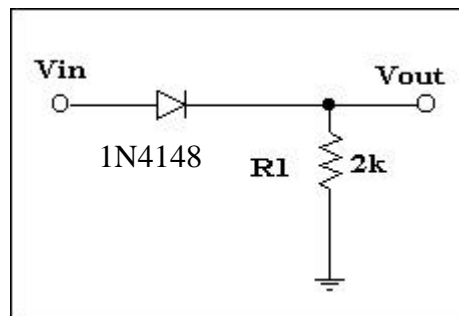
實驗步驟

< 一 > 半波整流器

由上次的實驗，二極體是一個單向導通的非線性元件。一般的矽製成的pn二極體導通時，順向偏壓約維持在0.7V。利用這些特性，我們可以簡單的設計出來一個整流器(rectifier)，只讓交流訊號中同一極性的部分通過。對弦波而言，只有半週期導通，故稱為半波(half-wave)整流器。

電路連接如右圖：

1. V_{in} 用振幅為5V之60Hz正弦波輸入，畫出你觀察到的 V_{out} ，注意峰值為多少？是否仍為5V？（注意：二極體導通時約有0.7V之電位降）
2. 將二極體方向到過來，重複上面步驟。結果有何差別？為什麼？

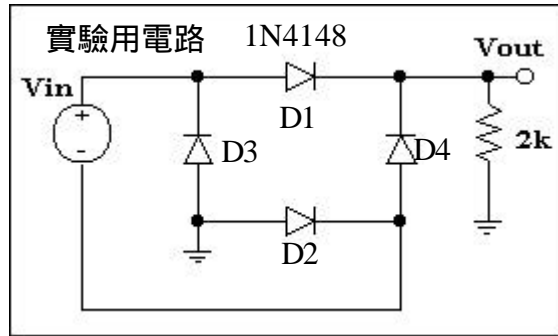


< 二 > 全波整流器

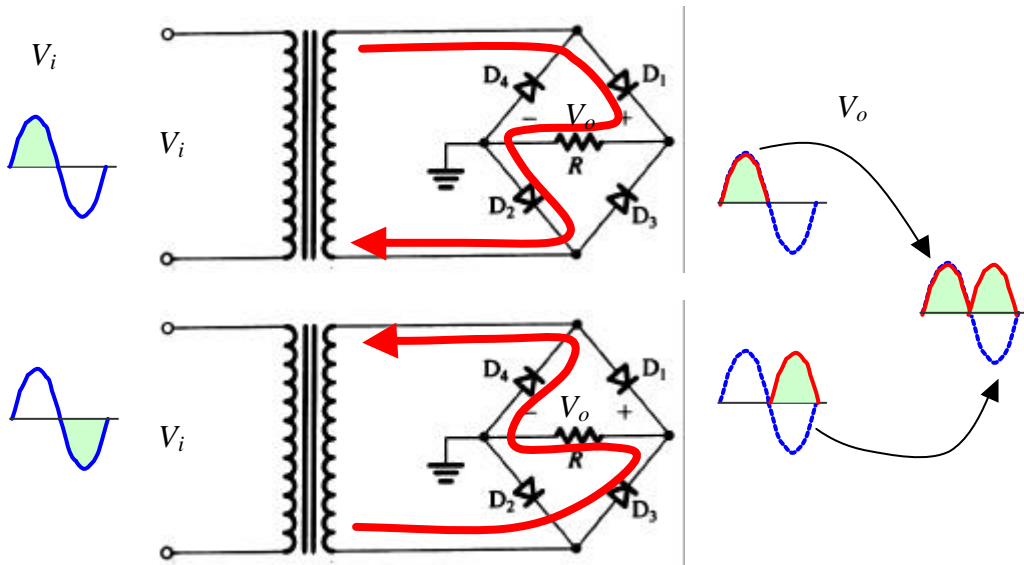
全波(full-wave)整流電路可以讓正和負半週期的弦波訊號都通過，但把其中半週期的訊號反相，結果輸出的訊號均為同一極性，即均為負或正電壓。

這裡我們要做的是所謂的橋式整流器(Bridge rectifier)，由4個二極體構成，最常用在直流電源供應器的設計中。

在正半週時 D_1 和 D_3 導通， D_2 和 D_4 不導通，在負半週時則相反，不管在正或負半週，通過負載電阻的電流方向均相同，因此輸出電壓保持相同的符號。



下面的圖比較容易瞭解，輸入部分用的是變壓器，保證 V_{in} 兩端為浮接(floating)，即不接地。在本實驗中，我們並不使用變壓器，但要注意把訊號產生器的電源接地線浮接（即用一個3對2的電源轉接頭在電源線上）。

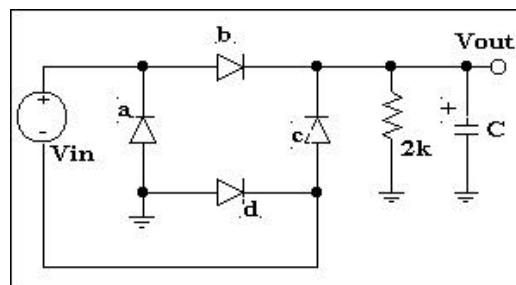


1. 仔細接好電路，特別注意二極體的極性（即方向性），我們這裡還不希望有太多的surprise！

2. V_{in} 輸入振幅為10V之60Hz弦波信號（DC offset調為零），畫出 V_{in} 和 V_{out} 。

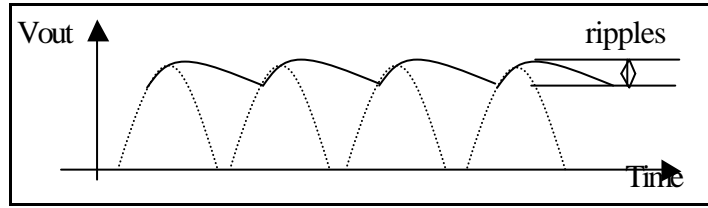
Wait！這裡請注意一下！此電路的輸入，不管正或負端均為float（即均不和地GND相接），因此你絕對不可以用示波器同時觀察 V_{in} 和 V_{out} 的波形。你必須在 V_{in} 尚未接入電路前先檢查其大小，然後（確定探針的GND沒接在任一輸入端）再觀察 V_{out} 。

3. 輸出接一濾波電容C到地。接線如右圖：此即形成一個常用的所謂未經穩壓（unregulated）直流電源供應器的靈魂部分。



(a) V_{in} 仍用振幅10V、60Hz之弦波輸

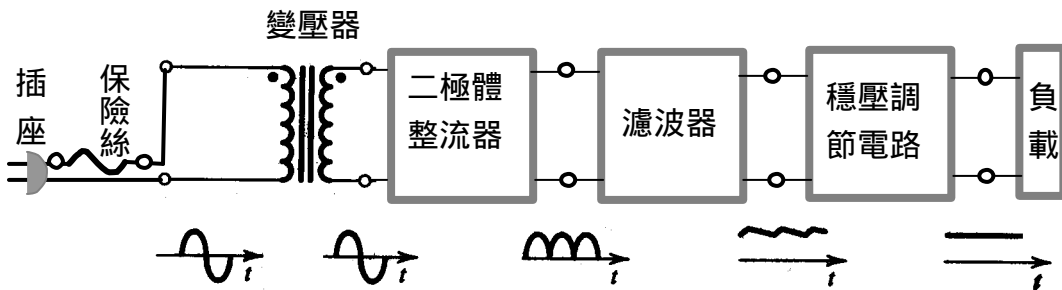
入, C用 $22\mu\text{F}$ (注意電解質電容的極性), 畫出 V_{out} 。並注意輸出電壓的不平整 (即漣波, ripples) 情形, 記錄其漣波大小。



- (b) 將C換為 $470\mu\text{F}$, 結果有何變化, 漣波現在有多大? 這樣合理嗎?
- (c) 現在將電路中標記c的二極體移去, 用來模擬此二極體被燒壞的情形, V_{out} 的波形變成怎樣? 假如將二極體c兩端短路, 結果如何? 解釋你看到的波形。(注意! 別把二極體a或d之兩端短路!)

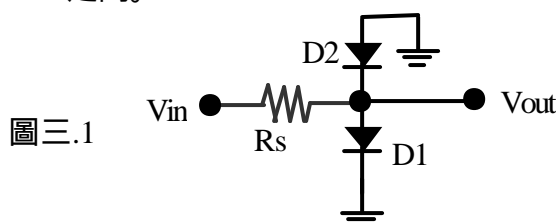
直流電源供應器介紹

不管是半波或全波整流器的輸出電壓都含有很大的波動部分, 並不適合用作一般電子電路的直流電源。一個直流電源供應器除了變壓器及整流電路外, 在後面還會接上一個由電容構成的濾波器(filter)濾掉大部分的波動。若要更精密的直流電源, 則必須再接一個穩壓調節電路(voltage regulator)。下圖是直流電源供應器的結構方塊圖及每一級的輸出波形。穩壓調節電路則有現成的IC可供使用 (例如7805, 7905, 317, 337等), 最簡單的電路則是用一個Zener二極體即可 (用他反向崩潰的部分)。



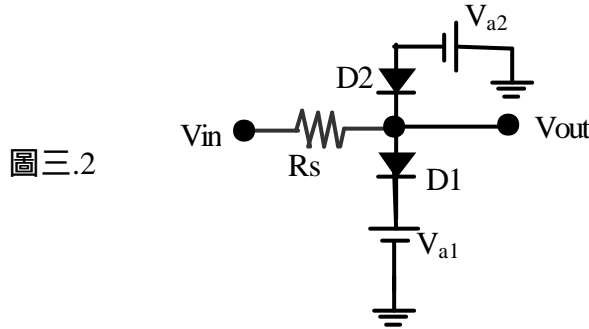
< 三 > 電壓限制電路

利用二極體單向導通的特性很容易就可以設計出電壓限制電路, 在電路保護方面用途很多。例如下面電路就是一個簡單的電路, 將輸出限制在 $+0.7\text{V}$ 和 -0.7V 之間。假如將二極體D1和D2(1N4148)以兩個二極體串聯代替, 則限制電壓就變成 $+1.4\text{V}$ 和 -1.4V 之間。



圖三.1

假如你想設定的電壓範圍是可調整或其他的值，可以在D1, D2的一端各接一直流電源當參考電壓，如下圖，很容易可以證明Vout被限制在 $V_{a1}+0.7V$ 和 $-V_{a2}-0.7V$ 之間。

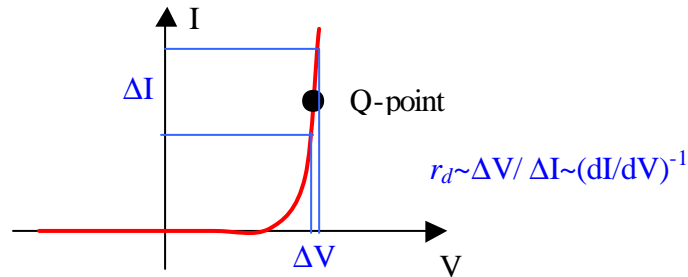


圖三.2

節省時間起見，我們只測試圖三.1的電路。Rs用約100Ω的電阻。Vin分別輸入用振幅1V及0.1V的弦波，DC offset=0，頻率100Hz左右的訊號，同時畫出Vout，Vin對時間的關係。輸出有在±0.7V範圍之外的訊號嗎？

< 四 > 二極體開關

二極體可以用作高頻小訊號的開關，常用在微波電路。這裡主要是利用二極體在不導通時，小訊號的電阻很大，而導通後，小訊號電阻變得很小。所謂二極體的小訊號電阻是指，在固定的二極體直流電流與電壓靜態偏壓點(quiescent point, 簡稱Q-point)附近，極小的電壓變化 ΔV ，可以產生微小的電流變化 ΔI ，如下圖所示，比值 $\Delta V/\Delta I$ (或 dV/dI) 就稱做小訊號電阻 r_d 。



假設二極體的I-V特性可以用理想二極體方程式表示：

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1) , \quad (\text{式1})$$

其中 I_S 為逆向飽和電流， $V_T=k_B T/q$ (在300K時約為25.8mV)， k_B 是波茲曼常數， T 是絕對溫度， q 是基本電荷常數。當二極體處於逆向偏壓狀態， $I_D=-I_S$ ， $r_d \sim 8$ 。當二極體在順向偏壓，可證明

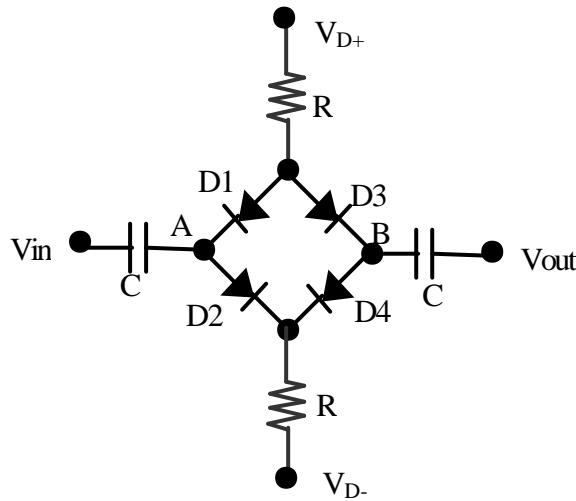
$$r_d = V_T / I_D . \quad (\text{式2})$$

順向電流愈大， r_d 愈小。在 $I_D=1\text{mA}$ 時， r_d 為25.8Ω。

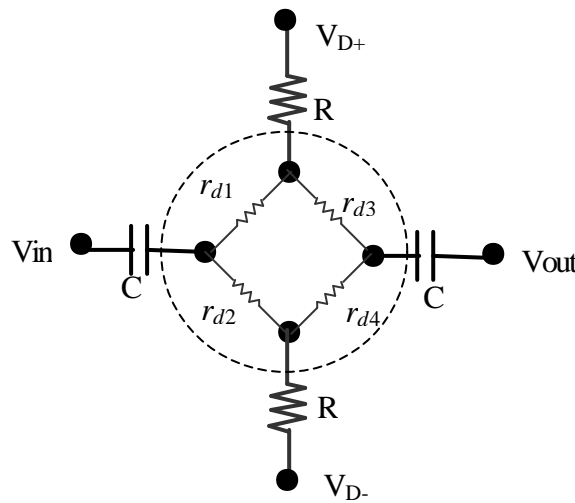
考慮下圖用4個二極體構成的二極體開關(此種電路稱為balanced diode switch)，注意他們和全波整流器的差別。輸入與輸出都是使用電容耦合，故僅適用於AC訊號。輸入和輸出導通與否是由 V_{D+} 和 V_{D-} 來控制。當 V_{D+} 和 V_{D-} 均為零時，D1 4均不導通，Vin和Vout之間不通。當適當的調整 V_{D+} 和 V_{D-} ，例如 $V_{D+}=5V$ ， $V_{D-}=-5V$ ，

使得D1~D4均導通，對AC的小訊號而言，順向偏壓的二極體相當於一個電阻 r_d ，只要電流 I_D 夠大， r_d 足夠小， V_{in} 和 V_{out} 就可導通。由導通後的等效電路可以看出，當 $r_d \ll R$ ，輸入和輸出端之間的AC阻抗大小為 $(r_d+r_d)/(r_d+r_d)=r_d$ （在高頻時，足夠大的C可視為短路），若 r_d 遠小於負載電阻， r_d 便可視為短路。

圖四.1



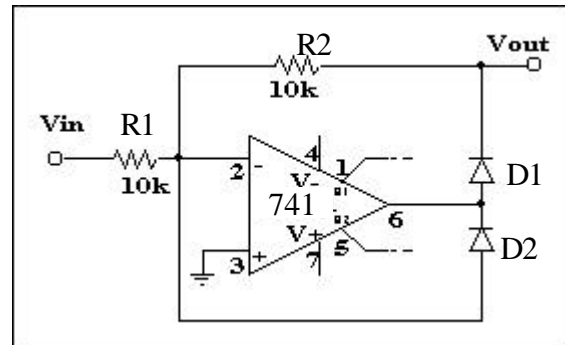
二極體導通後的小訊號等效電路



1. 利用4個1N4148接成如圖四.1的電路，R用1kΩ電阻，C用47μF電解電容並聯一100pF陶瓷電容，Vout接一1kΩ電阻負載到接地。VD+和VD-用直流電源供應器提供，先設VD+=0V，VD-=0V，Vin輸入一振幅50mV，頻率10kHz的弦波訊號，用示波器觀察輸出訊號，是不是遠較輸入訊號小。
2. 調整電源供應器（在tracking檔）使VD+=-VD-，由0V到5V每隔0.5V，記錄輸出訊號之振幅，以及R兩端之電位差VR（用電表）。畫出Vout振幅對VD+圖。每個二極體通過的電流可由VR/2R求得，由此可求得rd。畫出Vout振幅對rd圖。是不是VD±在0與±5V間切換，即可控制Vin和Vout間導通與否？

< 五 > 精密整流器

前面步驟一和二介紹的整流器，在導通時輸出都會比輸入少掉一或二個二極體的順向導通電位降(約0.7V)，當訊號很小時就無法有很好的整流效果。這裡介紹一個當輸入訊號比0.7V小也可以用的精密整流電路。注意右圖電路中的輸出訊號位置，並不是op amp的輸出。二極體都用1N4148。記得要加正負15V電源。



電路的原理很簡單，當 $V_{in} > 0$ 時， D_2 導通（故有負回授連結）， D_1 不導通， R_2 電位降為零， $V_{out} = 0$ 。當 $V_{in} < 0$ 時， D_1 導通（故有負回授連結）， D_2 不導通， $V_{out} = -(R_2/R_1)V_{in} = -V_{in}$ 。結果類似半波整流器，但導通時輸出會和輸入反相，而且不會有0.7V的電位衰減。

1. 接好如圖電路，輸入分別用振幅1V及0.1V的弦波，DC offset=0，頻率100Hz左右的訊號，同時畫出 V_{out} ， V_{in} 對時間的關係。二極體的0.7V導通時之電位降是不是不見了？
2. 將兩個二極體都反向，重複上面步驟1，結果如何？輸出波形有改變嗎？
3. 將兩個二極體換為紅光LED，輸入用振幅1V，頻率小於3Hz的訊號（便於觀察），你是不是可以看到 D_1 和 D_2 導通的情形？ V_{in} 為正的時候，哪一個LED導通？ V_{in} 為負的時候呢？記得同時用示波器觀察輸入輸出的電壓值。

< 六 > 光偵測電路

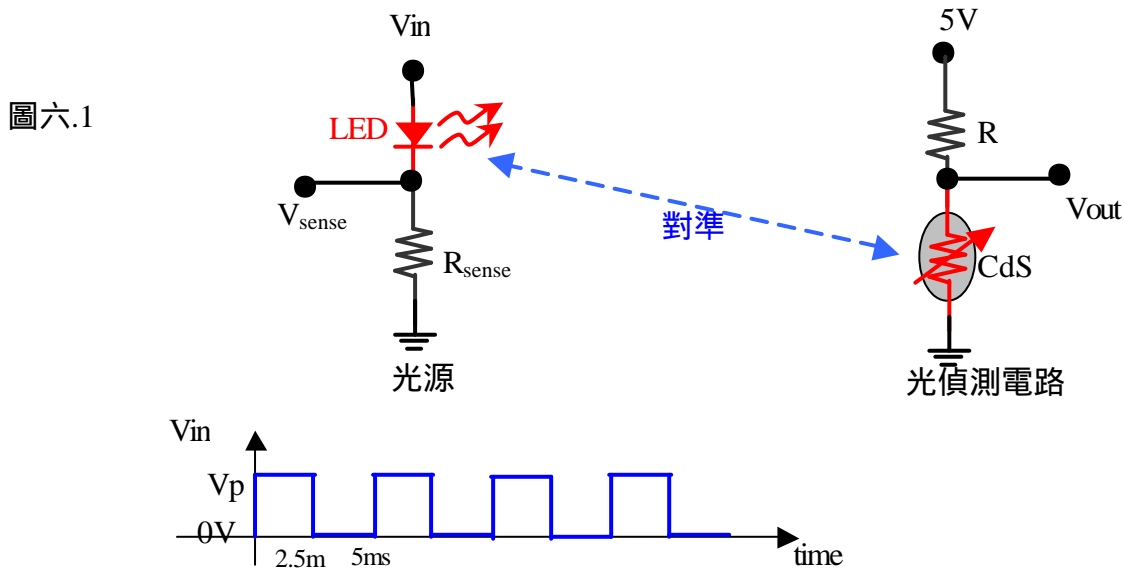
這一個實驗步驟，電路都裝置在一個特製的金屬盒內，用以阻擋外界光線，以及雜訊。金屬盒並附有兩組博士端子（可接香蕉插頭），用來接直流電源，以及4個BNC接頭（有兩個是shielding接機殼的，有兩個是shielding不接機殼的），用來接訊號。下面照片即此金屬盒之正面、反面及內部的寫真。內部有一小型麵包板。直流電源及接地請先接到麵包板兩側之插孔，再另外用線接入元件。內部接線假如有正負端的請絞在一起（如照片）。



本實驗所使用金屬盒之照片

第一部份 光敏電阻(light-sensitive resistor)

這是最簡單測試光強度的電路，用的是電子街即可購得的光敏電阻，他是用CdS(硫化鎘)做的。沒有照光時，電阻約幾百kΩ，照光時電阻減小，最小可達幾百Ω。利用電阻對照光強度的關係，我們可以設計出下面的測試電路。

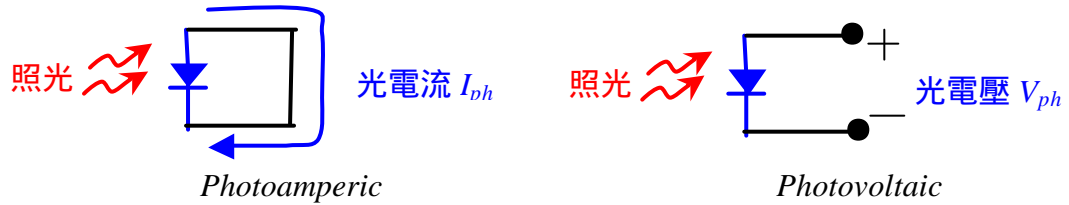


1. 在使用光敏電阻前，我們先要簡單的測試一下他的電阻對光的反應。光源就利用一個紅光LED，串聯一個精密1kΩ電阻，如圖六.1之光源部分，測量 V_{sense} （接BNC接頭）即可得知通過LED的電流。光敏電阻（接BNC接頭，shielding無接機殼的）則直接用電表的電阻檔測量電阻。LED靠近並對準光敏電阻。 V_{in} 則接直流電源供應器。將金屬盒子蓋好。調整 V_{in} ，使得通過LED的電流分別為0、0.1mA、1mA、2mA、3mA、4mA、5mA，測量光敏電阻的電阻變化，記錄對應不同電流的電阻及 V_{in} 。
2. 現在要測試我們的光偵測電路了。圖六.1之光偵測電路部分，R用470kΩ電阻（大約是光敏電阻沒照光時候的值）， V_{out} 接示波器。光源部分的 V_{in} 則改接訊號產生器，波形調成如圖六.1中所示，為-0到 V_p 間之方波，週期約為5ms。調整 V_p 使得LED導通時的電流為0.1mA，這裡要用示波器觀察 V_{sense} 的波形決定電流大小。記錄 V_{out} 的訊號，示波器用AC couple來觀察。再調整 V_p 使得LED導通時的電流為5mA，再觀察 V_{out} 。
3. 將紅光LED分別換為藍光LED和紅外線LED，重複上面1和2的實驗。比較一下，不同波段的光源，結果一不一樣。

第二部分 光二極體(photodiode)

當光的強度較小時，或實驗需要較定量的數據時，光敏電阻就不太適用。一般是使用所謂的光二極體。光二極體受到光的照射會產生光電流或光電壓，這和外接電路有關，如下圖說明，這裡要特別注意光電流的方向和光電壓的極性。使用時

也分兩種模式，一是光電流（photoamperic）模式，一是光電壓(photovoltaic)模式，前者光二極體兩個接腳保持零偏壓或逆向偏壓，後者則保持開路。前者適合亮度小的光偵測，後者僅適合較大亮度的光。光電壓效應也用在太陽電池(solar cell)，也稱為PV cell (photovoltaic cell)。



這個實驗我們主要介紹光電流的偵測電路，這個電路在下學期的光學頻譜測量用得到。另外特別注意，實驗用的光二極體很貴，小心使用，千萬不要將他從IC插座中拔出，他的接腳很脆弱。

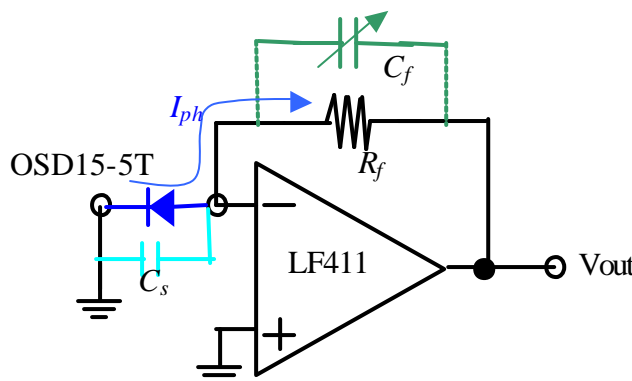
實驗中我們用的光二極體是英國Centronic的OSD15-5T silicon photodiode，面積為 15mm^2 ，藍光的響應（response）較一般的光二極體強。他響應Resp.最大的波長是在 850nm ，為紅外線，約為 0.45A/W ，即照射 1mW 的 850nm 光可得到 0.45mA 的光電流。到 460nm 波長的藍光，響應則減小到 0.2A/W 。他的響應對波長曲線可以看參考資料中光二極體的參考資料第11頁的Fig.29。另一個我們有興趣的參數叫做量子效率(quantum efficiency) h ，定義做入射一個光子可以獲得之光電子，可以由響應Resp.求得：

$$h = \frac{hf}{e} \text{ Resp.} \quad (\text{式3})$$

其中 h 是普朗克常數(Plank constant)， f 是光的頻率， e 是基本電荷。由式3可以看出，對應相同的量子效率 h ，響應Resp.和光的頻率成反比。

光電流偵測電路基本是一個利用運算放大器接成的電流電壓轉換電路，或CCVS (current-controlled voltage source)。電路如下圖六.2。先不要看電容，即考慮直流的行為。運算放大器的負端為虛擬接地，電位為0，光電流 I_{ph} 流經 R_f ，輸出電壓 $V_{out} = -R_f I_{ph}$ ，當光電流很小時需要很大的 R_f 。

圖六.2



圖六.2中光二極體旁並聯的電容 C_s 為其本身的等效並聯電容（在無偏壓時的值），在高頻時對電路有很大的影響，會造成電流放大器不穩定。一般解決的方法是在 R_f 並聯一電容 C_{f_0} 。假如實驗中假如測得op amp的輸出發生不預期的高頻振盪，你只要在 R_f 並聯一約100pF的陶瓷電容即可。

光電流偵測電路所使用的op amp要選擇輸入端漏電流（或偏壓電流）很小的，一般是用JFET input op amp。這裡你不必管這麼多，我們選用的LF411輸入的漏電流約為50pA，對比於uA741的100nA數量級。注意：LF411對靜電很敏感，很容易被靜電燒掉，拿他時請用首先碰一下儀器（例如示波器）的金屬外殼。

1. 在金屬盒中接成圖六.2的電路（記好要留位置給LED光源），op amp用LF411， R_f 先用100k Ω 。在電路的輸出再接一個用op amp uA741接成的反相電壓放大器，增益為-10，電路可以參考實驗運算放大器的使用方法(一)中步驟一的電路。最後的輸出再接到BNC接頭。接上正負電源，檢視線路是否振盪，若有振盪則依上面說明加上100pF的 C_{f_0} 。
2. LED光源的接法和上面第一部份的步驟2一樣，這裡先用紅光LED。調整 V_p 使得LED導通時的電流分別為0.1mA及1mA，觀察光偵測電路放大器的輸出訊號。
3. 圖六.2電路中的 R_f 換為1M Ω ，先檢查電路有無振盪。LED光源電路中串聯的電阻改為100k Ω ，調整 V_p 使得LED導通時的電流為1 μ A，觀察光偵測電路放大器的輸出訊號(用示波器的AC檔)。將 V_p 繼續調小，到多小的電流，光偵測電路偵測不到光訊號？
4. LED光源分別換用藍光及紅外線的LED，重複步驟3。比較一下，不同波段的光源，結果一不一樣。

預習問題(有打*的為 **BONUS**，加分題)

1. 說明步驟一之 1 中電路，當 $V_{in} > 0.7V$ 時， $V_{out} = V_{in} - 0.7V$ 。當 $V_{in} < 0.7V$ 時， $V_{out} = 0$ 。畫出 V_{out} 對 V_{in} 的關係圖。假設二極體導通後有電位降 0.7V，不考慮串聯電阻，不導通則是開路。
2. 畫出步驟一之 2 中電路 V_{out} 對 V_{in} 的關係圖。
3. 說明橋式全波整流器的工作原理，並說明整流後之輸出訊號峰值會較輸入訊號小 1.4V，即兩個二極體導通的電位降。
4. 說明小訊號電阻的意義。由式 1 證明式 2。並計算在室溫(300K)時 $I_D = 0.1mA$ ，1mA 及 10mA 的 r_{d_0} 。
5. 畫出圖三.1 電路之 V_{out} 對 V_{in} 的關係圖。
6. *若圖四.1 電路中， $V_{D+} = -V_{D-}$ ，則 A 和 C 的電位為何？假設 V_{in} 和 V_{out} 都沒有 DC 的部分，則這樣的偏壓安排有何好處？（hint:考慮電容的充放電）

7. 說明步驟五精密整流器電路的工作原理。假如 D1 和 D2 都反方向接，輸出波形有何變化？
8. 證明式 3。並計算光二極體在 850nm，Resp. 為 0.45A/W，對應的量子效率為多大？在 460nm 時 Resp. 為 0.2A/W，對應的量子效率又為多大？這題你可以參考我們使用的光二極體廠商的網頁 <http://www.centronic.co.uk>。
9. 閱讀 OSD15-5T 的基本資料，說明如何判斷他的正負極。他的逆向偏壓最大限制為多大？
10. 查閱參考資料中 LF411 的 data sheet，畫出他的接腳圖。

數據分析與思考問題(有打*的為 *BONUS*，加分題)

1. 整理每一步驟的數據結果並繪圖，並和理論值比較。回答步驟中的問題。
2. *利用一個輸出為 12Vrms 的變壓器（輸入當然是 110Vrms），橋式整流器，加上電阻電容，以及崩潰電壓為 10V 的 Zener 二極體，設計一個輸出為 10V 的直流電源供應器。他最大的輸出電流如何決定？
3. 請利用步驟三原理中所述之方法設計一個±5V 的電壓限制電路。
4. *你可不可以估計一下在步驟六第二部分所使用的光偵測電路可偵測到的最小光電流的大小。
5. 請根據步驟六第二部分的結果，以及你能夠在資料獲得的光二極體的資料，估計你所使用的 LED 的量子效率。LED 的量子效率定義為通過 LED 一個電子的電量所發射出的光子數。
6. *步驟五的精密整流器是一個半波整流器，你是不是能夠設計出一個精密的全波整流器？*hint*：利用加法器。你也可以參考一下任何電子學的書籍運算放大器的部分。