

ELECTRÒNICA FÍSICA

ATENCIÓ:

- La data límit d'entrega dels informes és el **10 de gener de 2003**.
- Les gràfiques s'han de fer per ordinador o en paper mil.limetrat.

PRÀCTICA 1: L'EFECTE FOTOELÈCTRIC

Objectiu. Comprovar la interpretació quàntica de l'efecte fotoelèctric, i utilitzar-la per estimar la constant de Planck i la funció de treball d'un metall.

Fonaments. Quan un feix electromagnètic de freqüència suficientment gran incideix sobre un metall (càtode), aquest pot emetre electrons que, en ser recollits per un electrode positiu (ànode), produeixen un corrent elèctric. La raó d'aquest efecte, segons la teoria quàntica, és que els fotons del feix incident cedeixen la seva energia als electrons del metall. Els electrons utilitzen part d'aquesta energia en escapar del metall, convertint-se la resta en energia cinètica. L'energia cinètica màxima dels fotoelectrons emesos pot mesurar-se invertint la polaritat de l'ànode, i augmentant la tensió fins que cap fotoelectró pot arribar a l'ànode. La *tensió de frenada* V_f corresponent mesura l'energia cinètica màxima dels electrons, i es relaciona amb la freqüència ν del feix incident mitjançant:

$$h\nu = eV_f + \phi, \quad (1)$$

on h és la constant de Planck ($6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$), e és la càrrega de l'electró ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) i ϕ rep el nom de *funció de treball* del metall (mínima energia necessària per extreure un electró del metall).

Metodologia. Connecteu la fotocèl.lula, el voltímetre i la font de tensió contínua al muntatge disponible al laboratori. El circuit resultant s'esquematitza a la figura següent:

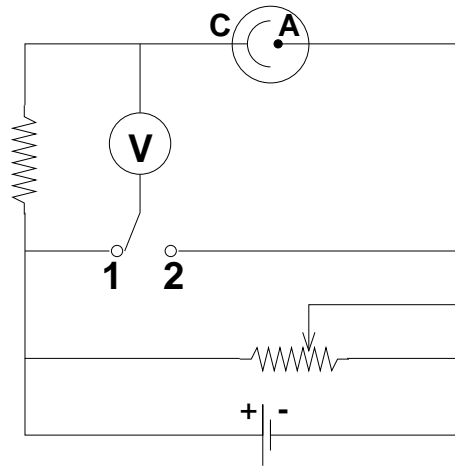


Figura 1

En relació a aquest circuit s'han de destacar dues coses:

1. La font de tensió contínua es troba disposada de forma que la diferència de potencial aplicada *frena* els fotoelectrons.
2. En la posició 1, la lectura del voltímetre és proporcional a la intensitat que travessa la resistència, i per tant s'utilitza per determinar si passa corrent pel circuit. En la posició 2, el voltímetre mesura directament la tensió de frenada.

Disposem de tres filtres per a la llum que il·lumina la fotocèl·lula: vermell (corresponent a $\lambda = 660 \text{ nm}$), verd ($\lambda = 515 \text{ nm}$) i blau ($\lambda = 460 \text{ nm}$). Col·loqueu un d'aquests filtres entre la fotocèl·lula i el llum abans d'encendre aquest (**atenció: no il·lumineu mai la cél.lula sense filtre, podrieu fer-la malbé**). A continuació, mantenint el voltímetre a la posició 1, ajusteu el potenciòmetre fins que aquell comenci a marcar zero: en aquest moment haureu aconseguit frenar els fotoelectrons. Col·loqueu llavors el voltímetre a la posició 2 i mesureu la tensió de frenada. Repetiu el procés amb els altres dos filtres.

Resultats. Feu una taula en la que constin les diferents longituds d'ona utilitzades per il·luminar la fotocèl·lula, les tensions de frenada corresponents, i la velocitat màxima dels fotoelectrons en cada cas. Representeu gràficament la tensió de frenada enfront de la freqüència de la radiació incident (recordeu que $c = \nu\lambda$, on $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ és la velocitat de la llum), i ajusteu les dades experimentals a una recta de regressió. Segons (1), l'expressió d'aquesta recta és

$$V_f = \frac{h}{e}\nu - \frac{\phi}{e}. \quad (2)$$

Comparant aquesta equació amb la regressió obtinguda experimentalment, determineu el valor de la constant de Planck h i la funció de treball ϕ del metall.

(Nota: Degut a la manca d'aïllament de l'ànode, que també es veu il·luminat per la radiació incident, i per tant també pot emetre fotoelectrons que distorsionen el fenomen — i la validesa de l'equació (1)—, el valor estimat de la constant de Planck pot diferir bastant del real. Tanmateix, l'ordre de magnitud ha de ser el correcte.)

PRÀCTICA 2: EL DIODE D'UNIÓ

Objectiu. Determinar les magnituds característiques d'un diode d'unió, i observar el funcionament d'una fotorresistència.

Fonaments. Els semiconductors són materials la resistivitat dels quals disminueix amb la temperatura. Des del punt de vista de la teoria de bandes, els semiconductors a 0 K tenen la banda de valència totalment plena i la de conducció totalment buida, separades per un *gap* d'energia prohibida de l'ordre de dècimes d'eV. Els semiconductors purs (intrínsecs) tenen igual concentració d'electrons a la banda de conducció que de forats a la banda de valència. Si dopem adequadament un semiconductor, podem aconseguir que els portadors de càrrega siguin majoritàriament electrons (semiconductors de tipus n) o forats (semiconductors de tipus p). Quan unim un semiconductor de tipus n i un de tipus p obtenim un dispositiu molt útil anomenat *diode d'unió*. Anomenant V a la diferència de potencial aplicada entre la part p i la part n del diode, la corba característica $I(V)$ de l'element té la següent forma:

$$I = I_0 (e^{V/V_0} - 1), \quad (3)$$

on I_0 rep el nom de *corrent invers de saturació del diode* i depèn, conjuntament amb V_0 , del material del qual està fet el diode. Com podem veure a partir d'aquesta expressió, els diodes, al contrari que les resistències, són dispositius *no lineals* (si doblem el voltatge, la intensitat no es duplica).

Metodologia. Connecteu el diode (que en aquest cas es tracta d'un diode Zener) a una resistència de $1\text{ k}\Omega$ i a una font de tensió contínua, tal i com es mostra a la Figura 2. La font pot subministrar una tensió entre 0 i 18 V . Variant la tensió entre aquests valors, mesureu la intensitat I que passa pel circuit en funció de la diferència de potencial V al diode (preneu una mesura de I cada 0.05 V aproximadament, prestant especial atenció als valors petits de V , que creixen molt ràpidament). **Repetiu les mesures canviant la polaritat de la font (en aquest cas preneu les mesures cada 0.5 V).**

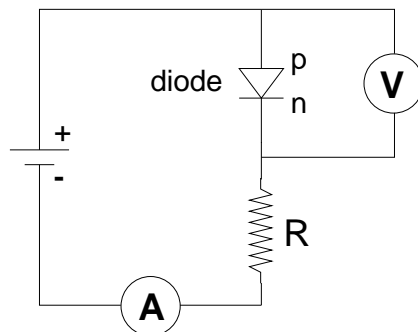


Figura 2

Resultats. Representeu gràficament la intensitat que passa pel circuit de la Figura 2 en funció de la tensió aplicada al diode, separadament pels casos de polarització directa i inversa. A continuació, nomès pel cas de polarització directa, representeu gràficament $\ln I$ enfront de V . Observareu una zona en la qual la gràfica resultant és una recta. Feu una regressió d'aquesta part de la gràfica, i utilitzeu el resultat per estimar els valors dels paràmetres I_0 i V_0 del diode. Per fer-ho utilitzeu l'expressió (3) una vegada menyspreant el terme amb 1 respecte al terme exponencial, i preneu logaritmes. Això porta a la relació

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{V}{V_0}. \quad (4)$$

Per tant el pendent de la recta de regressió és $1/V_0$, i la ordenada en l'origen és $\ln I_0$.

PRÀCTICA 3: EL DIODE COM A RECTIFICADOR

Objectiu. Comprovar la utilitat dels diodes d'unió com a rectificadors.

Fonaments. D'acord amb la característica $I(V)$ dels diodes mencionada i estudiada a la pràctica anterior, podem veure que el comportament d'un diode és molt diferent segons el sentit de la tensió aplicada. Sota *polarització directa* (part p positiva respecte la part n ; $V > 0$), el diode deixa passar el corrent. En canvi, sota *polarització inversa* (part p negativa respecte la part n ; $V < 0$), pràcticament cap corrent (nomès I_0 , que és un valor molt petit) pot travessar el diode. Per tant, els diodes es poden fer servir com *rectificadors* de corrent altern.

El rectificador més simple consisteix en connectar un diode en paral·lel amb la font de tensió alterna, tal i com es mostra a la Figura 3. En aquesta situació, la tensió de sortida és una ona sinusoidal tallada per la meitat. Per això aquest circuit rep el nom de *rectificador de mitja ona*. Si volem que el voltatge de sortida se sembli més a un voltatge continu, ho podem aconseguir connectant un condensador en paral·lel amb la resistència de càrrega (veure de nou la Figura 3). Llavors mentre el diode es troba polaritzat en inversa, el condensador es va descarregant i manté una tensió no nul·la en la resistència. Això provoca un arrissament que se superposa a la mitja ona. L'amplada d'aquest arrissament (pic a pic), ve donada per

$$V_R = \frac{V_i}{RfC}, \quad (5)$$

on V_i és la tensió eficaç subministrada per la font d'alterna, f la seva freqüència, R la resistència de càrrega i C la capacitat del condensador.

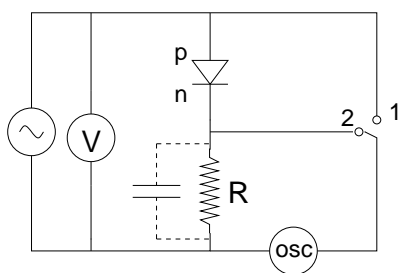


Figura 3

Metodologia. Monteu el circuit de la Figura 3, sense incloure el condensador. Fixeu la freqüència del senyal subministrat per la font a 250 Hz. D'altra banda, seleccioneu a l'oscil·loscopi una escala temporal de 2 ms/div i una escala de voltatge de 2 V/div. Connectant primer l'oscil·loscopi al punt 1, dibuixeu esquemàticament la forma de la tensió subministrada per la font d'alterna. Connecteu seguidament l'oscil·loscopi al punt 2, i dibuixeu esquemàticament també la forma de la caiguda de tensió a la resistència de càrrega. Mesureu l'amplitud del senyal en els dos casos. A continuació, connecteu la caixa de condensadors al circuit (amb $C = 16 \mu\text{F}$) i observeu com canvia el senyal de sortida. Mesureu sobre la pantalla de l'oscil·loscopi l'amplada de l'arissament V_R (pic a pic) per valors eficaços V_i creixents de la tensió subministrada per la font (que mesurareu amb el voltímetre): 1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V, i 6 V. Per fer aquestes mesures amb prou precisió, canvieu si és necessari l'escala de voltatge de l'oscil·loscopi. A continuació fixeu la tensió eficaç a $V_i = 3 \text{ V}$ i mesureu l'amplada d'arissament V_R per diferents capacitats: $6.4 \mu\text{F}$, $12.5 \mu\text{F}$, $16 \mu\text{F}$, $25 \mu\text{F}$, $50 \mu\text{F}$, i $100 \mu\text{F}$.

Resultats. Pel cas sense condensador, commenteu els valors mesurats de l'amplitud del senyal en les posicions 1 i 2 de l'oscil·loscopi (és un exactament la meitat que l'altre? per què no?). Pel cas amb condensador, representeu gràficament l'amplitud d'arissament en funció de la tensió eficaç subministrada per la font. Feu una regressió lineal dels resultats, i comproveu si es verifica l'expressió (5). Feu el mateix per una representació de l'amplitud d'arissament en funció de l'invers de la capacitat.

PRÀCTICA 4: EL TRANSISTOR D'UNIÓ BIPOLAR

Objectiu. Determinar el guany de corrent d'un transistor d'unió bipolar.

Fonaments. Els transistors d'unió bipolar estan formats per dos unions pn consecutives, essent el semiconductor comú a les dues (anomenat *base* del transistor) molt més estret que els altres dos (anomenats *emissor* i *colector*). Sota aquestes condicions, quan polaritzem la

unió emissor-base en directe i la unió base-colector en invers, es pot produir una amplificació del corrent que passa per la primera unió. Aquest és el cas corresponent a la Figura 4, en la que es representa un transistor PNP connectat en configuració d'emissor comú (E.C.). En aquesta situació, quan el corrent de base I_B és petit (de l'ordre de μA) el corrent de col·lector I_C pot arribar a ser uns tres ordres de magnitud superior (de l'ordre de mA). La relació entre ambdues quantitats és

$$I_C = \beta I_B, \quad (6)$$

on β és el *guany de corrent* del transistor.

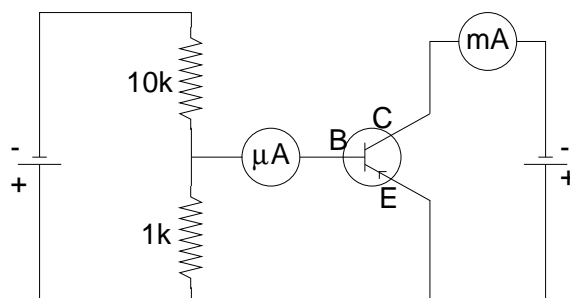


Figura 4

Metodologia. Connecteu el transistor tal i com s'indica a la Figura 4. Fixeu els nivells de corrent dels dos canals de la font d'alimentació al màxim, i els nivells de tensió a zero. A continuació enceneu la font i fixeu la caiguda de tensió entre emissor i col·lector a 2.5 V. Seguidament, augmenteu progressivament des de zero la tensió aplicada entre emissor i base de forma que la intensitat de base varii entre 0 i 100 μA , i mesureu la intensitat de col·lector en funció d'aquella (preneu mesures aproximadament cada 10 μA de la mateixa). **Repetiu el procediment fixant la tensió entre emissor i col·lector a 5 V.**

Resultats. Per cadascun dels dos valors de la tensió emissor-colector, representeu gràficament la intensitat de col·lector I_c en funció de la de base I_B . Feu regressions lineals dels resultats i, comparant els resultats amb l'expressió (6), determineu el guany de corrent del transistor. Comenteu els resultats.