

Pràctica 3. El comparador amb histèresi

Construcció d'un detector d'interrupció de llum. L'LDR

Jordi Bonet i Dalmau

Rosa Giralt Mas

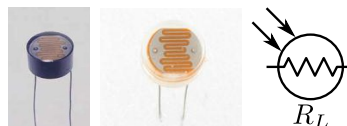
Abril de 2025

En el tema de circuits amb amplificadors operacionals (AO) hem presentat diferents tipus de comparadors, els quals incorporen AO que funcionen en zona no lineal. El comparador amb histèresi presenta una connexió entre la sortida i l'entrada de l'AO de forma que el nivell de comparació depèn de si la sortida de l'AO està saturat positivament o negativament, la qual cosa depèn dels valors passats a l'entrada del comparador.

Usarem aquesta peculiaritat per tal que la interrupció puntual d'un feix de llum activi permanentment una alarma. Per tal de detectar canvis en la il·luminació usarem un sensor anomenat LDR, el qual es comporta com una resistència de valor variable amb la il·luminació. A major il·luminació menor resistència.

1 Un nou element de circuit: l'LDR

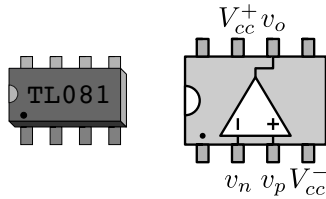
L'LDR, *Light Dependent Resistor*, és un dispositiu passiu de dos terminals que es comporta com una resistència de valor dependent de la il·luminació que rep. Quan l'LDR està il·luminat el valor d'aquesta resistència és pot considerar de 100Ω i quan està en la foscor de $10k\Omega$. A continuació teniu l'aspecte físic i la simbologia d'un LDR.



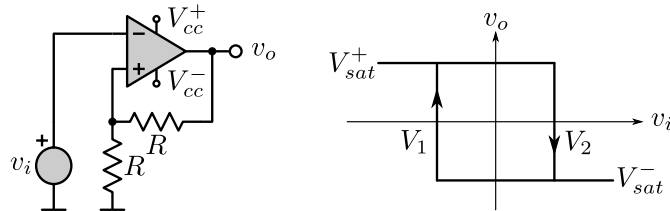
Tasca 1. Mesureu amb el multímetre el valor de la resistència del vostre LDR quan rep la il·luminació ambiental del laboratori i quan se li priva d'aquesta il·luminació, per exemple tapant-lo amb el dit.

2 El comparador amb histèresi

Per a la realització del comparador amb histèresi usarem com a AO l'integrat TL081, l'aspecte físic i el *pinout* del qual es mostren a continuació.

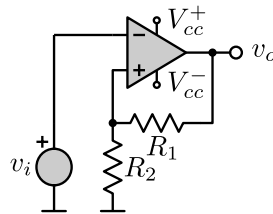


A la figura següent apareix l'esquema circuital d'un comparador amb histèresi en el qual les tensions llindar (o de canvi) són $V_1 = V_{sat}^-/2$ i $V_2 = V_{sat}^+/2$. Tot i que no és necessari per tal de realitzar la majoria de *previs*, podeu considerar $V_{sat}^+ = V_{cc}^+ = 10V$ i $V_{sat}^- = V_{cc}^- = -10V$.



En un gran nombre d'aplicacions $V_{cc}^+ = -V_{cc}^-$ i per tant $V_{sat}^+ = -V_{sat}^-$. Això fa que el cicle d'histèresi sigui simètric respecte l'origen amb $V_1 = -V_2$.

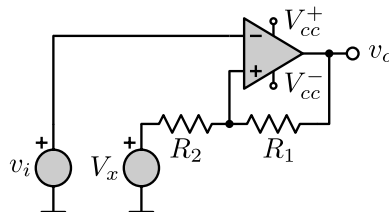
Previ 1. Calculeu R_1 i R_2 en el següent circuit per tal de tenir un comparador amb histèresi en el qual les tensions llindar del seu cicle d'histèresi (simètric) siguin $V_1 = 0.3V_{sat}^-$ i $V_2 = 0.3V_{sat}^+$.



En determinades ocasions necessitem un cicle d'histèresi asimètric, no centrat a l'origen, malgrat que $V_{cc}^+ = -V_{cc}^-$. Així doncs, aquesta asimetria s'aconsegueix connectant R_2 a una font de tensió enlloc de al node de referència.

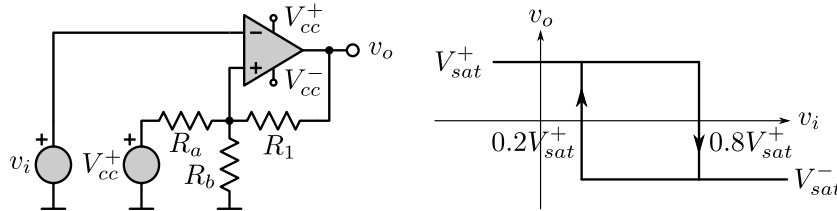
Previ 2. Calculeu R_1 , R_2 i V_x en el següent circuit per tal de tenir un comparador amb histèresi en el qual les tensions llindar del seu cicle d'histèresi (asimètric) siguin $V_1 = 0.2V_{sat}^+$ i $V_2 = 0.8V_{sat}^+$. Observeu que l'amplada del cicle d'histèresi és la mateixa que la del previ anterior. Us podeu ajudar de les següents equacions per fer el disseny:

$$v_x = \frac{v_{sat}(v_a + v_b)}{2v_{sat} - (v_b - v_a)} \quad R_1 = R_2 \left(\frac{2v_{sat}}{v_b - v_a} - 1 \right)$$



Com podíeu preveure, la font V_x la obtindrem a partir de les tensions d'alimentació V_{cc}^+ o V_{cc}^- , depenent de si V_x és positiva o negativa.

Previ 3. Calculeu R_a i R_b en el següent circuit per tal que l'equivalent Thevenin en terminals de R_b sigui el mateix que el format per V_x en sèrie amb R_2 de l'apartat anterior. Per tal de simplificar els càlculs, considereu $V_{sat}^+ = V_{cc}^+$. El resultat final ha de ser un circuit amb un cicla d'histèresi com el de la gràfica.



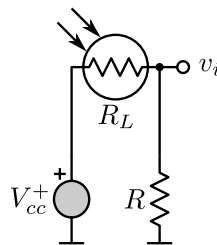
3 Utilització de l'LDR per a generar una tensió variable amb la il·luminació

Fent que l'LDR formi part d'un divisor de tensió, podem generar una tensió variable amb la il·luminació que rep l'LDR.

Previ 4. Calculeu el marge de valors que pot prendre R per tal que:

- Amb l'LDR il·luminat, $R_L = 100\Omega$, $0.2V_{sat}^+ < v_i < 0.8V_{sat}^+$.
- Amb l'LDR en la foscor, $R_L = 10k\Omega$, $v_i < 0.2V_{sat}^+$.

Per tal de simplificar els càlculs, considereu $V_{sat}^+ = V_{cc}^+$.

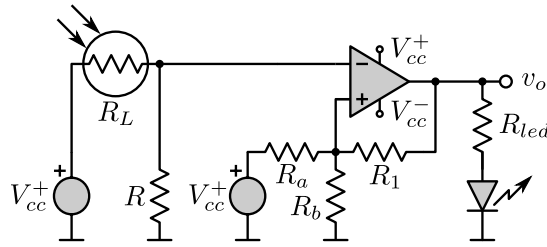


Tasca 2. A partir de les mesures d' R_L fetes a la *Tasca 1* escolliu un valor adequat d' R repetint els càlculs del *Previ 4*. Amb aquest valor d' R i $V_{cc}^+ = 10V$ munteu el circuit anterior i verifiqueu que v_i compleix les restriccions imposades. El valor a usar hauria de trobar-se al voltant d' $1k\Omega$, tot i que les variacions poden ser grans depenent del vostre LDR i de la il·luminació del vostre lloc de treball.

4 Detecció de la interrupció d'un feix de llum

Si la tensió v_i del circuit anterior la connectem a l'entrada v_n del comparador amb histèresi del *Previ 3* podrem detectar la interrupció d'un feix de llum i, a més, que el circuit *recordi* aquesta interrupció un cop finalitzada.

Tasca 3. Munteu el circuit que apareix a continuació amb $V_{cc}^+ = 10V$, $V_{cc}^- = -10V$, $R_{led} = 560\Omega$ i els valors d' R_a , R_b i R_1 calculats en el *previ* anteriors. Si no heu estat capaços de calcular aquests valors, podeu usar la següent combinació que s'acosta a alguna de les infinites que podeu calcular: $R_a = 10k\Omega$, $R_b = 22k\Omega$ i $R_1 = 15k\Omega$.



Per a comprendre el mecanisme de funcionament d'aquest circuit és útil seguir el següent procés de raonament:

- El circuit comença funcionant amb l'LDR il·luminat normalment i, per tant, amb v_i amb un valor que es troba dins el cicle d'histèresi (situació a. del *Previ 4*). Com que dins el cicle d'histèresi v_o pot prendre dos valors, forcem $v_i > 0.8V_{sat}^+$ per tal que la sortida prengui un valor d'inicialització $v_o = V_{sat}^-$. Observeu que el LED que hi ha connectat a la sortida estarà apagat.

Tasca 4. Penseu algun sistema per forçar aquesta inicialització de v_i que faci que el LED estigui apagat. A aquesta inicialització l'anomenarem *reset* del circuit.

- Després d'aquest *reset*, la sortida v_o continuarà valent V_{sat}^- fins que la il·luminació que arribi a l'LDR disminueixi prou com per fer que el valor de la seva resistència R_L augmenti fins que $v_i < 0.2V_{sat}^+$. En aquesta situació v_o només pot prendre un valor: $v_o = V_{sat}^+$. Observeu que el LED que hi ha connectat a la sortida estarà encès.
- Quan l'LDR torni a estar normalment il·luminat, v_i tornarà a trobar-se dins el cicle d'histèresi. Aquest cop, no hi ha ambigüitat ja que arribem a l'interior del cicle d'histèresi per l'esquerra, amb $v_o = V_{sat}^+$, de manera que aquest serà el valor que es mantindrà. Així, el LED continuarà encès indicant que en el passat hi ha hagut una interrupció del feix de llum. Observeu que el LED actua com a indicador d'una alarma, que podria ser activada pel pas d'un eventual intrús a través d'un corredor en el qual el feix de llum que surt d'un costat del corredor, i arriba a l'LDR de l'altre costat del corredor, ha estat interromput.
- Si volem desactivar l'alarma, per tal de detectar noves interrupcions, ens caldrà fer un *reset* com el de l'*apartat a*.

Tasca 5. Verifiqueu el funcionament del circuit. Proposeu canvis per tal de fer el circuit més robust a petites variacions en la il·luminació provocades, per exemple, pel pas d'una mosca. Podria un intrús desactivar l'alarma del vostre circuit?