

Pràctica 1. Morse

Generant i detectant senyals Morse.

Pere Palà
Rosa Giralt

Octubre de 2013

En aquesta pràctica generarem un senyal en codi Morse i estudiarem alguns dels passos necessaris per rebre i descodificar senyals en codi Morse.

ATENCIÓ: Recordeu que els paràgrafs com aquest indiquen treball que heu de fer com a estudi previ, de forma individual. Recordeu també que per poder accedir al laboratori i realitzar la pràctica és imprescindible haver lliurat l'informe previ per l'Atenea abans de fer la pràctica.

Per aquesta pràctica caldrà portar tot el material de laboratori: placa proto-board, cables (banana-banana, BNC-banana i BNC-BNC) i les eines necessàries (tallacables, pelacables, pinces, etc.). Com sempre, al laboratori us donarem els components necessaris i també tindreu a la vostra disposició cable rígid.

1 El codi Morse

El codi Morse és una forma de transmetre informació de text mitjançant un senyal que s'activa i desactiva durant períodes de temps predefinitos. Es generen seqüències de senyals curts i llargs, separades per espais, que s'anomenen *punts* i *ratlles*, respectivament. Un tret significatiu del codi Morse és la codificació que emprava. La durada de cada símbol és inversament proporcional (aproximadament) a la seva freqüència d'aparició en Anglès. Així, la lletra més freqüent en Anglès, la "E", té el codi més curt: un punt. El codi Morse va ser emprat per transmetre informació mitjançant ones de ràdio quan encara no era possible transmetre la veu. D'altra banda, el codi Morse encara és molt eficaç en enllaços de ràdio a gran distància, on els senyals arriben amb una amplitud molt baixa i contaminats amb soroll: és relativament fàcil distingir la presència o absència d'un to agut entre soroll, molt més que no pas distingir paraules completes.

El codi Morse internacional defineix cinc elements:

- El *punt*, que té una durada de una unitat de temps. Això es pot simbolitzar amb 1.
- La *ratlla*, amb una durada de tres unitats de temps. Simbòlicament, 111, és a dir, llargada triple que el punt.
- La pausa entre elements d'un caràcter (lletra o nombre), amb una unitat de durada. El símbol pot ser 0.

- La pausa entre caràcters, que dura tres unitats de temps, i que té per representació 000.
- La pausa entre paraules, de set unitats de durada, 0000000.

Previ 1. Cerqueu informació sobre el codi Morse i codifiqueu el vostre nom i 1r cognom amb aquest codi, seguint la pauta anterior. Com sempre, no es tracta de donar únicament la resposta, sinó que cal comentar-la!

2 Generació de senyals Morse

Els senyals Morse es poden generar al laboratori ajustant un generador de funcions per donar un senyal periòdic, de la freqüència que considerem més agradable a l'oïda. Mitjançant un polsador podem fer que aquest senyal arribi o no al seu destí.

El model d'aquest muntatge seria el que es representa a la figura 1. L'operador acciona el polsador o switch, la qual cosa fa que la tensió de sortida sigui una fracció de la tensió d'entrada. Si tenim en compte que $R_G = 50\Omega$ és la resistència del generador i que l'element que rep el senyal, per exemple un amplificador, sovint té resistència molt alta, aleshores gairebé no hi ha pèrdua de senyal.

Per poder experimentar de forma còmode i controlada al laboratori, seria convenient disposar d'un sistema capaç de generar el senyal Morse de forma automàtica, sense necessitat que un dels dos membres de l'equip estigui manipulant el polsador. Amb aquest objectiu hem desenvolupat un generador de senyal Morse que genera la crida SOS, cosa que fins i tot pot ser útil en alguna ocasió.

Aquest generador, representat a la figura 2 està controlat per un senyal de rellotge o clock d'aproximadament 1 kHz. Un primer comptador dóna un senyal cada 100 impulsos, el que esdevindrà la durada d'un *punt*. Un segon comptador compta el nombre de punts o espais i un bloc descodificador, que és un bloc combinacional (LUT), dóna un senyal que val 1 o 0 en funció del valor actual del comptador. De fet, és una ROM que, a cada posició emmagatzema si el senyal Morse ha de ser 1 o 0. Observareu que cada 34 polsos es repeteix el cicle.

Amb aquesta configuració, es generen els senyals mostrats a la figura 3. El senyal PIN_4, el nom del qual indica la pota on el podrem trobar al laboratori, és el senyal en codi Morse, amb el qual podríem, per exemple, encendre un LED. D'altra banda, el senyal PIN_5 serveix per atacar directament un altaveu: es genera un senyal de freqüència igual a la del clock d'entrada durant els punts i les ratlles, durant els espais el senyal val 0.

Amb el sistema descrit, un canvi en la freqüència de clock produeix un canvi en el to generat a PIN_5, però també modifica la durada temporal dels punts i les ratlles, que recordem que duren 100 impulsos de clock.

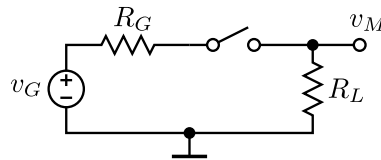


Figura 1: Generació elemental d'un senyal Morse.

Tasca 1. Al laboratori us donarem un CPLD programat adequadament. Alimenteu-lo a 3.3 V, ajustant prèviament la font d'alimentació. Limiteu la intensitat a un valor raonable que permeti que el CPLD funcioni correctament (uns 30mA o 40mA).

Us recordem que el CPLD està dins una placa de circuit imprès. A continuació us donem l'equivalència entre el numero del pin de CPLD (el que surt a l'enunciat) i el número del pin de la placa on haureu de fer les connexions.

- Alimentació: PIN 32 de la placa
- Massa: PIN 16 de la placa
- Clock: PIN 10 de la placa
- PIN 4 CPLD: PIN 6 de la placa
- PIN 5 CPLD: PIN 5 de la placa
- PIN 6 CPLD: PIN 1 de la placa
- PIN 12 CPLD: PIN 31 de la placa

Tasca 2. Amb el generador de funcions generarem el rellotge necessari. Agafeu la sortida TTL. Podeu ajustar la freqüència a un valor proper a 16 kHz.

Tasca 3. Comproveu per diferents mitjants que el generador funciona correctament. Quin missatge es transmet, realment?

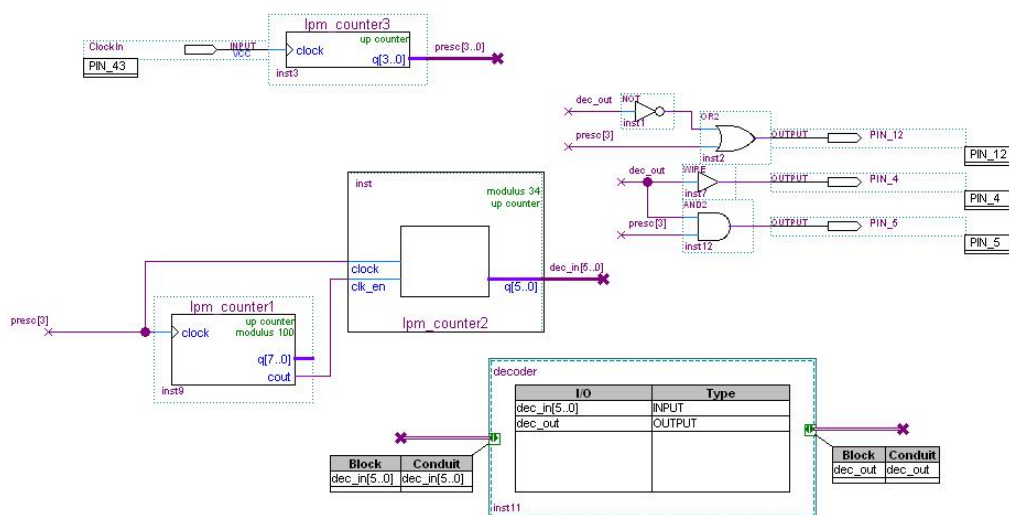


Figura 2: Diagrama de blocs del generador



Figura 3: Cronograma corresponent al senyal SOS.

3 Generació més flexible

Per poder experimentar fàcilment amb variacions sobre el senyal, una opció és fer servir un generador de funcions del laboratori i ajustar-lo per tal que doni el senyal sinusoidal de la freqüència i amplitud que desitgem (audible i de so agradable). Aleshores, mitjançant un interruptor analògic controlat pel CPLD podríem implementar el circuit de la figura 1 i tindríem el senyal que busquem.

Per això ens caldria un circuit integrat del tipus 4066, que incorpora 6 interruptors analògics, però això afegiria un circuit integrat més al muntatge. Una forma alternativa d'aconseguir un senyal Morse, partint d'un senyal sinusoidal proporcionat per un generador de funcions extern és la que es representa a la figura 4, on $v_G(t) = A \cos 2\pi f_0 t$, R_G és la resistència interna del generador (50Ω) i R evita que circuli un corrent excessiu cada vegada que es tanca l'interruptor.

La gràcia d'aquesta configuració és que, per realitzar la funció de switch, podem emprar una sortida del CPLD configurada en mode tri-estat (figura 5). Recordareu que les sortides tri-estat tenen un senyal de control que permet posar la sortida en mode d'alta impedància, on el node de sortida queda aïllat.

Previ 2. Dins el CPLD es pot rutejar fins la sortida un buffer tri-estat. Quan el senyal de control és alt (1), aleshores el buffer és actiu: un 0 o 1 a l'entrada es transformen en un 0 o 1 a la sortida, respectivament. Quan el senyal de control és baix (0), la sortida està en alta impedància. A partir del senyals descrits a la figura 3, dissenyeu el senyal d'entrada i el senyal de control del buffer tri-estat.

Tasca 4. Sabent que el PIN_6 realitza la funció de switch, realitzeu el muntatge corresponent a la figura 4. El vostre generador de funcions estarà ocupat per generar el clock del CPLD. Per tant, el senyal sinusoidal $v_G(t)$ vindrà de la línia comuna que recorre tots els llocs de treball. Trieu el valor de R assenyadament. Comproveu com és la sortida visualitzant el senyal obtingut a l'oscil·loscopi i escoltant-lo amb un altaveu. Noteu la diferència quan canvieu la freqüència.

Observació: La tensió $v_G(t)$ estarà centrada al voltant de zero. Això vol dir que prendrà valors positius i negatius. Segons el fabricant del CPLD, les tensions no poden ser més negatives que -0.5 V . Això vol dir que la tècnica de la figura 4 sols es pot aplicar per senyals d'amplitud suficientment petita, com és el cas de la línia de senyal del laboratori.

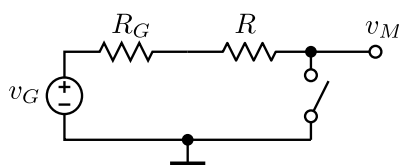


Figura 4: Generació a partir d'un senyal sinusoidal i un switch.



Figura 5: Buffer tri-estat.

4 Detecció

El senyal Morse pot ser descodificat per una persona que conegui el codi (i estigui suficientment entrenada!). Però podríem pensar en construir un detector electrònic: un circuit que, a partir del senyal captat per un micròfon, fos capaç de presentar de forma humanament llegible el missatge que s'ha transmès. Aquesta podria ser una tasca per fer amb un microcontrolador de tipus Arduino...

En aquesta pràctica farem algun dels passos necessaris per assolir aquest objectiu: l'amplificació i la detecció de l'envolupant.

El detector d'envolupant és un circuit que, a partir del senyal $s(t) = A(t) \cos 2\pi f_0 t$, amb $A(t) \geq 0$, és capaç de reconstruir $A(t)$. Això s'il·lustra a la figura 6.

Un circuit que pot aconseguir aquest objectiu es representa a la figura 7 i està format per un díode i una combinació paral·lel RC . Si considerem el díode ideal, aquest pot estar en dos estats, ON i OFF. Més precisament, ve caracteritzat per una relació constitutiva que és

$$\begin{aligned} \text{Estat ON: } & v(t) = 0 \text{ si } i(t) > 0 \\ \text{Estat OFF: } & i(t) = 0 \text{ si } v(t) < 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Aleshores, el funcionament del circuit de la figura 7 es pot comprendre amb més facilitat considerant primer el cas $R \rightarrow \infty$, és a dir, posant un circuit obert en comptes de la resistència. En aquest cas, podem seguir el raonament següent:

- Considerem que el condensador està inicialment descarregat.
- Quan V_G comença a fer-se lleugerament positiva, hem de considerar quin és l'estat del díode:
 - Si estigués en OFF, aleshores la tensió als seus terminals seria positiva, contradient la hipòtesi, que diu que $v(t) < 0$.

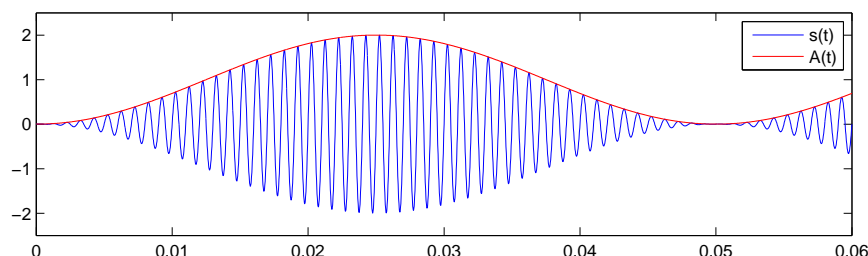


Figura 6: Un senyal i la seva envolupant.

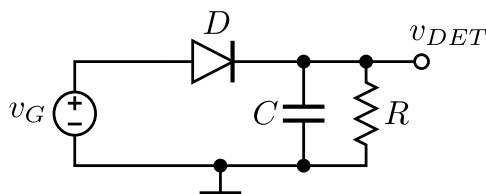


Figura 7: El detector d'envolupant.

- Si estigués en ON, aleshores no hi hauria tensió als seus terminals i el corrent seria positiu: això és raonable, ja que aquest és el corrent que li cal al condensador per carregar-se. Per tant, està en ON.
- L'estat ON es manté fins que la tensió d'entrada comença a baixar. Si es mantingués en ON, aleshores la tensió del condensador hauria de baixar, el que faria que la intensitat del díode fos $i(t) < 0$, en contradicció amb la hipòtesi de ON.
- Per tant, mentre la tensió d'entrada segueix baixant, el díode segueix en OFF i la tensió al condensador no canvia.
- El díode tornarà a l'estat ON quan la tensió d'entrada creixi per sobre de la tensió que tenia el condensador, i així successivament.

El resultat d'aquest procés es visualitza a la figura 8, on podem veure que el circuit s'acaba comportant com un detector del valor màxim del senyal.

Un valor finit de R provoca que, quan el díode està en OFF, el condensador es descarregui exponencialment cap a zero. El procés de descàrrega s'acaba quan la tensió d'entrada iguala la tensió del condensador, moment en el qual el díode commuta a ON. El resultat es pot veure a la figura 9. La constant de temps de la descàrrega, $\tau = RC$ s'ha de triar de forma raonada. Si és molt baixa, hi ha un arrissat molt elevat. Si és massa alta, perdem informació quan l'envolupant baixa més ràpid que l'exponencial.

Finalment, la figura 10 mostra com un detector d'envolupant real reconstruïria l'envolupant de forma aproximada. L'arrissament que presenta el senyal pot ser eliminat amb circuits que estudiarem més endavant.

A la pràctica, el díode no serà ideal, però el funcionament del conjunt no s'allunya gaire del previst.

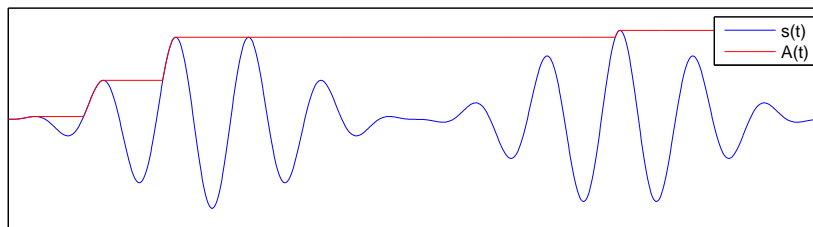


Figura 8: El circuit, funcionant com a detector de màxims.

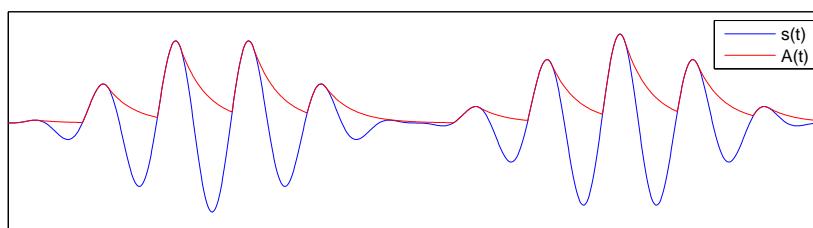


Figura 9: La resistència produeix baixades exponencials entre màxims.

Previ 3. Sabent el tipus de senyal que haurem de detectar, doneu valors a R i C per aconseguir una detecció raonablement satisfactòria. Feu les consideracions que siguin oportunes!

Més endavant ens plantejarem rebre el senyal amb un micròfon, per la qual cosa caldrà amplificar els senyals. Per acostar-nos a aquesta situació, en aquesta part de la pràctica treballarem amb amplituds relativament baixes del senyal Morse, de l'ordre de les desenes de milivolts.

Previ 4. Dissenyeu un circuit capaç d'amplificar senyals Morse fins obtenir tensions de l'ordre dels volts. Aquest circuit anirà seguit del detector d'envolupant explicat anteriorment.

Tasca 5. Construïu l'amplificador segons el vostre estudi previ. Comproveu que funciona correctament amb un senyal sinusoidal. A continuació connecteu-lo a la sortida del circuit construït a la tasca anterior i comproveu que el circuit l'amplifica correctament.

Tasca 6. Construïu el detector d'envolupant i comproveu que sou capaços de reconstruir un senyal similar al del PIN_4. Quin és l'efecte de que el díode no sigui ideal?

5 Qüestions avançades

Si s'escolta amb detall com sona el senyal generat al PIN_5 (figura 3) a través d'uns altaveus de PC, s'observa que el so està acompanyat d'uns *clicks* que resulten lleugerament desagradables. De fet, si intentem escoltar el senyal al PIN_4, només sentim *clicks*. D'una banda, la nostra oïda no és capaç d'interpretar com a so senyals de freqüència molt baixa (com per exemple els del PIN_4). D'altra banda, l'amplificador que incorporen els altaveus tampoc no amplifica les freqüències molt baixes.

Per arreglar aquest problema, hauríem de ser capaços de generar un senyal sense components de baixes freqüències. A continuació us guiem cap a una solució.

Un dels avantatges que tenen les persones amb formació tant en l'àmbit analògic com digital és que són capaces de cercar (i trobar!) solucions mixtes.

La idea és la següent: si fóssim capaços de generar els senyals que es representen a la figura 11, ampliat a la figura 12, i obtinguéssim un senyal igual o proporcional a la seva suma analògica, obtindríem un senyal prou interessant.

Previ 5. A partir dels senyals que es representen al diagrama de la figura 2, com es genera el senyal PIN_12? Penseu altres maneres de generar-lo.

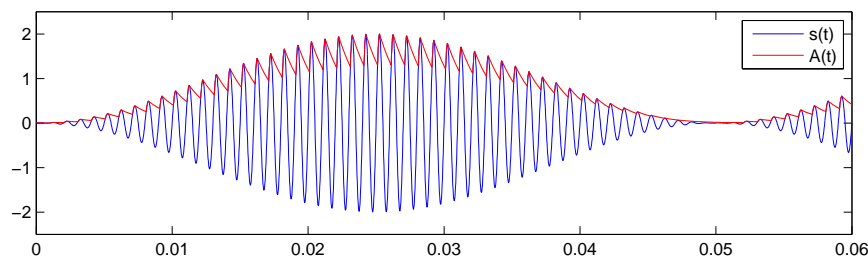


Figura 10: El senyal recuperat amb el detector d'envolupant.



Figura 11: Generació del senyal auxiliar PIN_12.

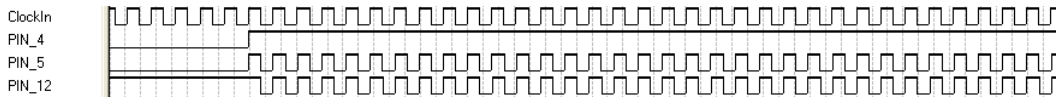


Figura 12: Detall del senyal auxiliar PIN_12.

Previ 6. Dibuixeu el circuit més senzill possible que pugui obtenir un senyal que sigui (o sigui proporcional a) la suma analògica de PIN_5 i PIN_12. Feu un croquis del senyal resultant, indicant tots els detalls que considereu oportuns.

Previ 7. Compareu el croquis obtingut amb el senyal PIN_5. Dibuixeu com canvia amb el temps el promig del valor que prenen els dos senyals en els 10 cicles de rellotge immediatament anteriors a cada instant de temps (el que s'anomena *mitja mòbil*). Comenteu el resultat!

Tasca 7. Escolteu al laboratori el senyal PIN_5. Després construïu la vostra solució, escolteu de nou i noteu la diferència.