
Circuits lineals

Primer treball entregable



Primavera de 2015

Índex

1	Introducció	1
2	Elements utilitzats	1
2.1	Acceleròmetre	1
2.2	Amplificadors operacionals	2
2.3	Arduino (convertidor analògic/digital)	3
2.4	Altres components	3
3	Enunciat	4
3.1	Objectiu del treball	4
3.2	Criteris de disseny	4
3.3	Passos a seguir	4
4	Presentació del treball	6
	Glossari	6

1 Introducció

Els sistemes de seguretat instal·lats en un automòbil són essencials per tal d'evitar accidents, o de mitigar-ne els seus efectes una vegada ja s'han produït. Un dels sistemes de seguretat passiva més coneguts és l'*airbag*, que s'activa quan els sensors de l'automòbil detecten una **acceleració** (desacceleració o frenada en aquest cas) de valor superior a un cert llindar preestablert.

Per mesurar acceleracions s'utilitzen **acceleròmetres**. En aquest treball aprendrem a utilitzar aquests tipus de sensors i a adaptar la seva sortida per tal que pugui ser utilitzada satisfactòriament per altres sistemes.

A continuació es farà una breu descripció dels elements essencials que han d'intervenir en el disseny que es proposa. Llegeix-ho atentament. Totes les paraules ressaltades en colors són enllaços clicables que condueixen a les figures i taules que referencien, a entrades del glossari o a pàgines web externes.

2 Elements utilitzats

2.1 Acceleròmetre

Com el seu nom indica, un **acceleròmetre** és un dispositiu capaç de mesurar acceleracions, i donar-nos el resultat en forma d'una magnitud elèctrica (generalment una tensió) proporcional a l'acceleració mesurada. En aquest treball utilitzarem un **ADXL193**, les característiques més rellevants del qual són:

- Un sol eix de mesura.
- Alimentació unipolar (V_{DD}) de 3,6 V a 6 V (típicament +5 V).
- Interval de mesura: ± 250 g.
- Tensió de sortida: Proporcional a l'acceleració, de 0 a $+V_{DD}$, amb $V_{DD}/2$ corresponent a 0 g. El gràfic de la **figura 1(a)** ho mostra de forma més clara.
- Resistència de sortida (Thévenin) nul·la.

- Corrent de sortida inferior a $100\ \mu\text{A}$.

La **figura 1(b)** mostra els diferents terminals de l'acceleròmetre, i la **taula 1** en descriu la seva funció:

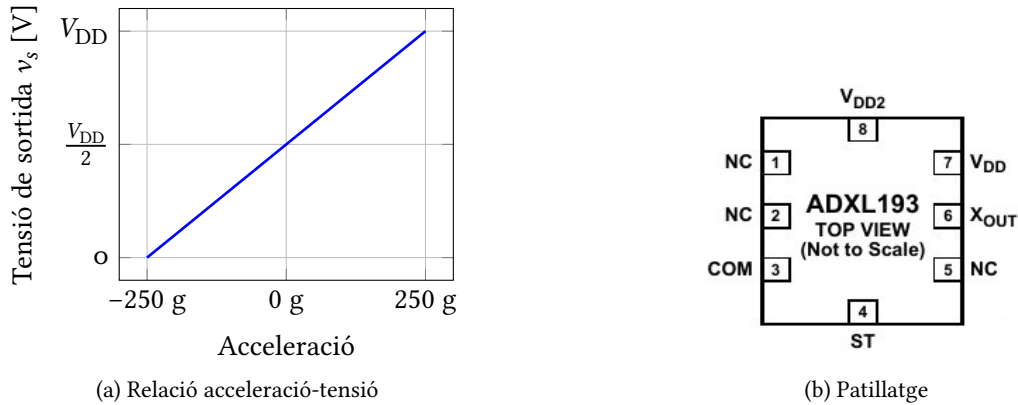


Figura 1: Característica entrada/sortida i patillatge de l'acceleròmetre ADXL193

Núm. pin	Mnemònic	Descripció
1	NC	No connectar-lo
2	NC	No connectar-lo
3	COM	Comú (Massa o 0 V)
4	ST	«Self-Test» (no l'utilitzarem, connecteu-lo a massa)
5	NC	No connectar-lo
6	X _{out}	Tensió de sortida (l'anomenarem v_s)
7	V _{DD}	Connectat a +5 V
8	V _{DD2}	Connectat a +5 V

Taula 1: Descripció funcional dels terminals de l'acceleròmetre ADXL193

Tot i que no és necessari per fer el treball, si algú desitja conèixer més detalls de l'acceleròmetre pot consultar el [full de característiques \(datasheet\) de l'ADXL193](#)

2.2 Amplificadors operacionals

En el cas que en el vostre disseny necessiteu utilitzar algun amplificador operacional, utilitzareu l'AD8541, que presenta els següents avantatges respecte el $\mu\text{A}741$:

- Adaptat a alimentacions unipolars (no simètriques) com les que utilitzarem en aquest treball, que seran de 0 V i +5 V.
- Presenta una sortida i unes entrades *rail-to-rail* (vegeu glossari).

Aquest circuit és de muntatge superficial (SMD), però es disposa d'un mòdul adaptador com el que es mostra a la **figura 2** i que permet connectar-lo directament a una placa *proto-board*.

El patillatge del circuit integrat és exactament el mateix que el del $\mu\text{A}741$, tot i que també es presenta en altres configuracions. Per més detalls podeu consultar el [full de característiques \(datasheet\) de l'AD8541](#).

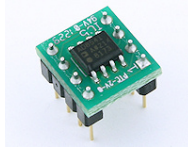


Figura 2: Mòdul amb l'amplificador operacional AD8541

2.3 Arduino (convertidor analògic/digital)

Per llegir les tensions proporcionades pel sensor i poder-les processar i mostrar, utilitzarem els **convertidors analògic/digital** d'una plataforma **Arduino UNO**. Entre altres tipus d'entrades i sortides, aquesta placa ofereix fins a 6 entrades analògiques, de les quals n'usarem una per llegir la tensió proporcionada pel nostre sensor, convenientment processada per tal d'adaptar-la als valors que requereix el **convertidor analògic/digital**.

Per poder funcionar, l'Arduino necessita una tensió de +5 V que li subministrem a través d'un connector USB o d'un alimentador extern. Aquesta tensió de +5 V està disponible en un *pin* dels connectors de l'Arduino, de manera que la podem utilitzar per alimentar el circuit d'interfície que dissenyem.

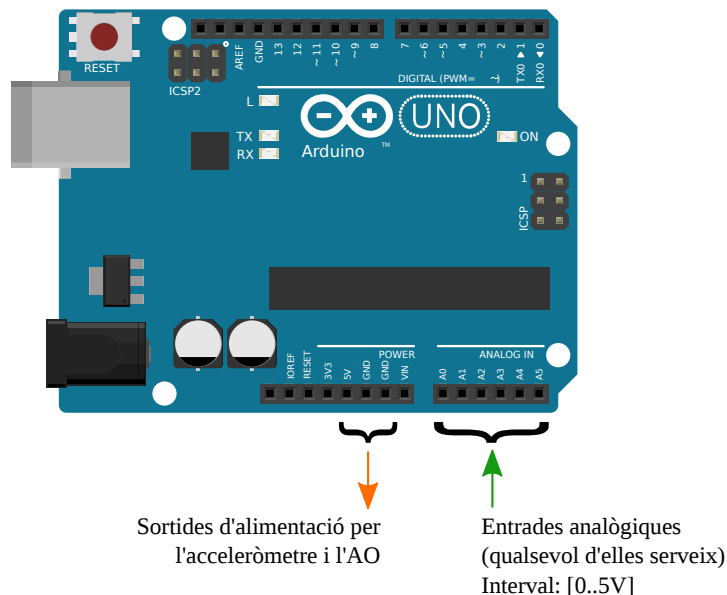


Figura 3: Placa Arduino UNO i terminals a utilitzar

La **figura 3** mostra els pins de l'Arduino que hem d'utilitzar. Les entrades analògiques de l'Arduino presenten les següents característiques elèctriques:

- Marge de tensions acceptat: 0 V a +5 V.
- Resistència equivalent d'entrada: 100 M Ω (es pot considerar infinita).

2.4 Altres components

A banda dels elements que s'acaben de descriure, en el disseny podeu utilitzar altres components habituals (resistències, etc.). En el cas de components de valors fixes, aquests hauran de pertànyer a la **sèrie E24** (marge de tolerància del 5%).

3 Enunciat

3.1 Objectiu del treball

L'objectiu concret d'aquest treball és dissenyar un circuit capaç d'adaptar la sortida de l'acceleròmetre a una de les entrades analògiques de l'Arduino UNO segons els criteris que es descriuen a continuació. Paral·lelament també es dissenyarà un subcircuit capaç de generar un senyal d'alarma quan el valor de la desacceleració mesurada superi un cert valor, i d'aquesta manera poder activar un *airbag*.

3.2 Criteris de disseny

El disseny s'efectuarà seguint els criteris i restriccions que s'especifiquen a continuació:

- **Restricció del nombre d'eixos:** Per simplificar el problema, **només tractarem les acceleracions en la direcció del desplaçament**, al qual anomenarem «eix X». Per tant, utilitzarem un acceleròmetre de només 1 eix, el qual que haurem d'orientar adequadament en la direcció desitjada.
- **Restricció del sentit:** Només estarem interessats en mesurar **desacceleracions**, que són les que es produeixen en una col·lisió frontal. Com que l'acceleròmetre és capaç de mesurar acceleracions positives i negatives segons el sentit en què es produeixen, **només utilitzarem una de les dues meitats de l'interval de mesura**. L'interval concret a utilitzar dependrà de com hàgim muntat el sensor (en el sentit de la marxa o rotat 180°). L'elecció és vostra, però el disseny que proposeu ha de ser coherent amb l'elecció feta.
- **Restricció de l'interval:** L'acceleròmetre pot arribar a mesurar acceleracions de fins a ± 250 g. Com que acceleracions d'uns 50 g poden perfectament provocar la mort, **només estarem interessats a mesurar (des)acceleracions de fins a 100 g**.
- **Tensió d'alimentació:** En el circuit a dissenyar només es podrà utilitzar la tensió d'alimentació de +5 V que proporciona l'Arduino.

3.3 Passos a seguir

A continuació es detallen els diferents passos de què ha de constar el disseny. El treball que s'entregui haurà d'abordar totes les qüestions demanades, amb el mateix ordre i numeració que s'indica.

1. El primer pas del disseny és trobar la relació existent entre la tensió que subministra l'acceleròmetre en l'interval d'interès i la corresponent tensió que volem a l'entrada analògica de l'Arduino. Per fer-ho, ompliu la **taula 2** i a continuació traceu la gràfica de la relació entre v_s i $v_{A/D}$ en un diagrama com el de la **figura 4**:

Desacceleració	Tensió del sensor (v_s)	Tensió desitjada a l'Arduino ($v_{A/D}$)
0 g		
50 g		
100 g		

Taula 2: Relació entre v_s i $v_{A/D}$

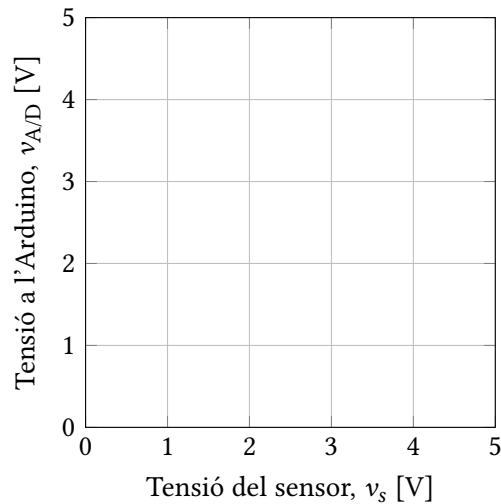


Figura 4: Diagrama per pintar la relació entre v_s i $v_{A/D}$

2. A la vista de la gràfica que heu traçat al punt anterior, determineu l'expressió matemàtica que relaciona $v_{A/D}$ amb v_s .
3. Dissenyeu un circuit que implementi la relació matemàtica trobada al punt anterior. Com tots els problemes de disseny, hi ha moltes solucions possibles, igualment vàlides, cadascuna amb els seus pros i contres. Teniu llibertat per escollir la que més us plagui, però l'heu d'especificar **completament**, és a dir, no heu de deixar inacabat cap aspecte del disseny. A l'hora de puntuar el treball es valoraran les solucions més originals, imaginatives, elegants, eficients i econòmiques.

Com ja s'ha comentat, els valors dels components a utilitzar en el disseny s'escolliran de manera que siguin múltiples ($\times 10$) o submúltiples ($\div 10$) de la **sèrie E24**. Aquesta restricció és inevitable en dissenys reals, però complica el procés d'elecció de valors. Per tal de facilitar-vos aquesta tasca us suggerim que utilitzeu l'aplicació **ElectroDroid**, disponible per Android, o alguna altra equivalent pel dispositiu que utilitzeu habitualment.

4. Afegiu al disseny que acabeu de fer un subcircuit que presenti una sortida de 0 V sempre que la desacceleració sigui inferior a 50 g i que **commuti** la sortida a +5 V quan la desacceleració superi els 50 g. En una implementació real, la sortida d'aquest circuit podria servir per disparar un *airbag*. Per tal de visualitzar l'estat de la sortida incorporeu un LED vermell ($V_f = 1,7$ V) que s'encengui quan la tensió de sortida sigui de 5 V. En aquest estat, pel LED hauran de circular 10 mA.
5. Utilitzeu el programa «**Fritzing**» (disponible per GNU/Linux, Mac i Windows) per dibuixar un diagrama de com quedaria el circuit muntat a la protoboard. En el «Fritzing» trobareu tots els mòduls que s'utilitzen en el disseny (ADXL193, AD8541, Arduino), així com també tota mena de resistències i altres components. L'aspecte final del diagrama és bastant realístic, ja que fins i tot el codi de colors de les resistències canvia quan canviem el seu valor.

Com que la llista de components disponibles al Fritzing és molt àmplia, us suggerim fer ús de l'eina de cerca (lupa) que trobareu a la part superior dreta de la pantalla.

6. A mesura que aneu afegint components a la protoboard del Fritzing, també us apareixen a la pestanya «Esquema». Entregueu també l'esquema elèctric del circuit final, després d'haver

rotat, ordenat i refet les connexions dels diferents components per tal que el resultat sigui entenedor. Us aconsellem d'anar fent el disseny de la protoboard i de l'esquema en paral·lel, component a component, perquè si deixeu un dels dos pel final haureu de passar una bona estona endreçant el garbuix de components que s'haurà creat.

7. Com a apartat final, heu de **simular** amb el GnuCap el circuit dissenyat (sense la part d'Arduino, lògicament, ni tampoc la part del LED) i entregar una gràfica que mostri la relació entre la tensió subministrada per l'acceleròmetre i la tensió que entregueu a l'entrada analògica de l'Arduino. Per fer-ho procedireu tenint en compte el següent:
 - L'acceleròmetre el simulareu com una font de tensió independent, de valor variable en un interval relacionat amb l'interval d'acceleracions que volem mesurar.
 - Per simular l'amplificador operacional utilitzareu el macromodel contingut en el fitxer «AD8541.model» que trobareu a la pàgina web de l'assignatura, juntament amb el present enunciat.
 - En les simulacions que hem dut a terme nosaltres hem observat que el GnuCap acostuma a donar un missatge de que un node intern queda en circuit obert. Això és simplement un avís i no un error, i en aquest cas el podeu ignorar tranquil·lament.

4 Presentació del treball

El treball el realitzareu atenent-vos a les següents directrius:

- Entregareu un **únic fitxer en format PDF**. No s'acceptaran altres formats.
- En el fitxer que pugeu **NO hi fareu constar el nom**, sinó només el vostre NIF/NIE.
- Realitzareu el treball en processador de textos, tot i que si és necessari podeu incloure alguna imatge de material escrit a mà i escanejat.

Glossari

acceleració

En física, l'acceleració és una magnitud física que indica com canvia la velocitat d'un cos en relació amb el temps. És a dir, indica la rapidesa de l'augment o la disminució de la velocitat del moviment. Es tracta d'una magnitud vectorial i en unitats del SI, s'expressa en m/s^2 . Tanmateix, els valors grans d'acceleració és habitual expressar-los en múltiples de l'acceleració de la gravetat a la superfície terrestre, «g» ($1g = 9,81 m/s^2$). Així, per exemple, els astronautes del *Shuttle* experimentaven acceleracions màximes d'uns 3g ($29,4 m/s^2$) en en transkurs de les seves missions.

En llenguatge comú es parla d'*acceleració* per referir-se a un increment de la velocitat i de *desacceleració* per indicar-ne un decrement. Però en física s'anomena acceleració a qualsevol variació de la velocitat, sigui en la direcció que sigui.

Pel que fa als efectes de l'acceleració sobre el cos humà, diversos estudis han conclòs que en un impacte sobtat en zones sensibles del cos (cap, pit/estómac, esquena, costats) d'entre 50g i 75g (segons la mida i el pes del subjecte) provocarà la mort o ferides molt greus al

50% de les persones que les experimentin¹. Aquest valor d'acceleració pot semblar molt gran, però si tenim en compte que la durada promig d'un xoc (temps que triga el vehicle a aturar-se completament) és d'uns 15 ms, trobem que es poden produir desacceleracions mortals en xocs viatjant a només uns 7,5 m/s o 27 km/h.

Val a dir de passada que acceleracions molt menors (d'uns 6-9g) poden produir també la mort si es perllonguen més d'uns segons, tot i que en aquest cas la causa és la retirada de la sang i l'oxigen del cervell, cor i pulmons a causa de la gravetat.

acceleròmetre

Dispositiu per mesurar acceleracions. Pot efectuar la mesura en 1, 2 o 3 eixos i oferir la sortida en format analògic (generalment una tensió contínua proporcional a l'acceleració) o bé en format digital, si bé en aquest darrer cas cal un microcontrolador per llegir els valors.

convertidor analògic/digital

Un *convertidor analògic-digital*, sovint anomenat CAD o ADC (de l'anglès Analog-to-Digital Converter), és un dispositiu electrònic que té la capacitat de convertir un senyal analògic continu (usualment una tensió) en un número que representa l'amplitud del senyal en un cert instant de temps. L'esmentada conversió comporta fer dues menes d'aproximacions:

1. D'una banda, atès que el procés de conversió triga un cert temps T_s , el convertidor A/D només podrà oferir-nos resultats de la conversió d'unes *mostres* del senyal d'entrada preses, com a mínim, cada T_s segons. Aquesta característica rep el nom de **mostratge**. El temps T_s s'anomena **període de mostratge**, i la seva inversa, $f_s = \frac{1}{T_s}$, **freqüència de mostratge**.
2. D'altra banda, el número resultant de la conversió s'acostuma a **codificar** en binari utilitzant un cert nombre finit de *bits* (usualment de 8 a 14), fet que implica que no podem representar tots els (infinit) possibles valors que pot prendre el senyal analògic i que, en conseqüència, el número convertit serà una aproximació del valor real. Aquest fenomen es coneix com a **quantificació**.

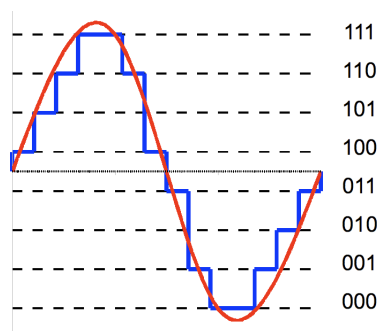


Figura 5: Processos de mostreig, quantificació i codificació en binari usant 3 bits en la conversió analògic a digital d'un senyal sinusoidal

¹<http://hypertextbook.com/facts/2004/YuriyRafailov.shtml>

eixos

Fa referència al nombre de direccions en què podem mesurar l'acceleració. Molts acceleròmetres són capaços de mesurar l'acceleració en les 3 direccions de l'espai, que anomenem arbitràriament eixos X, Y i Z. Algunes aplicacions, però, no necessiten tanta informació i així també trobem acceleròmetres de només 1 o 2 eixos.

rail-to-rail

La capacitat *rail-to-rail* d'un amplificador operacional significa que la diferència entre les tensions d'alimentació i les de saturació és molt petita ($\pm V_{\text{sat}} \approx \pm V_{\text{CC}}$). La imatge de la **figura 6** ajuda a entendre les diferències entre un amplificador operacional «normal», un del tipus *single supply* (pensat per alimentació unipolar) i un *rail-to-rail*.

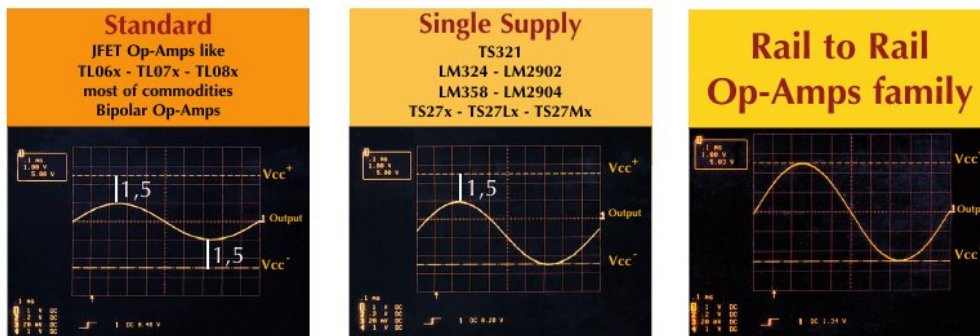


Figura 6: Excursió de la tensió de sortida en diferents tipus d'amplificadors operacionals

En les aplicacions actuals, on les tensions d'alimentació són cada vegada més baixes, els amplificadors *rail-to-rail* són cada dia més utilitzats perquè permeten aprofitar al màxim l'escàs marge de tensions disponible.