

# Pràctica 5. Condicionament de senyals

## Condicionament de la sortida analògica d'un sensor de temperatura

Jordi Bonet i Dalmau

Rosa Giralt Mas

Maig de 2026

**ATENCIÓ:** Els paràgrafs com aquest indiquen treball que heu de fer com a estudi previ individual. Podeu comentar-lo amb companys, però tothom ha d'entendre completament el previ.

No es poden utilitzar eines d'IA per resoldre els exercicis. Només es permet el seu ús per fer consultes concretes, càlculs puntuals o per contrastar resultats.

En aquests casos, cal adjuntar la captura de pantalla corresponent.

És obligatori que el desenvolupament dels exercicis inclogui:

- Els circuits dibuixats a cada pas, mostrant clarament les transformacions realitzades, si s'escau.
- La indicació explícita de les polaritats de les tensions i els sentits dels corrents.
- Una resolució ordenada i justificada, de manera que es pugui seguir el raonament.

Recordeu que, per poder accedir al laboratori i realitzar la pràctica, és imprescindible haver lliurat l'informe previ a Atenea abans de la sessió. A l'inici de la pràctica **es demanarà una justificació oral del previ**, que es tindrà en compte per a la seva avaluació.

Finalment, recordeu portar el material de pràctiques i assegurar-vos que es troba en bon estat.

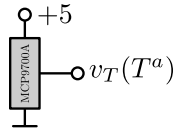
En aquesta sessió treballarem amb un sensor de temperatura que transforma variacions de temperatura en variacions analògiques de tensió. Aquestes variacions de tensió habitualment són tan petites que si s'usen directament apareixen problemes de resolució i soroll. Per això, el senyal provinent del sensor de temperatura es condiona per tal d'evitar aquests problemes. El condicionament de senyals consisteix bàsicament, però no únicament, en amplificar el senyal.

## 1 El sensor de temperatura

Per a la realització d'un sensor de temperatura s'usen dispositius com resistències o condensadors que variïn les seves característiques amb la temperatura. Aquestes variacions es poden

usar per a variar una tensió (o un corrent). Per exemple, fent un divisor de tensió amb una resistència *normal* i una resistència que augmenti el seu valor amb la temperatura, la tensió d'aquesta darrera resistència augmentarà quan augmenti la temperatura. El coneixement de la variació de la resistència amb la temperatura i del circuit que s'ha construït per a variar la tensió (en l'exemple anterior un divisor de tensió) permet recuperar la temperatura a partir de la tensió.

En aquesta pràctica usarem un sensor de temperatura integrat, que directament ens proporciona una tensió variable amb la temperatura ( $T^a$ ): el MCP9700A. Aquest integrat l'alimentarem a +5V tal i com s'indica a la figura:



El seu *datasheet* ens diu que la tensió  $v_T$  que proporciona val 0.5V a 0°C i que varia 10mV/°C. Observeu que la següent equació concentra tota aquesta informació:

$$v_T(T^a) = 0.5 + T^a * 10^{-2}. \quad (1)$$

A més, el rang de temperatures que pot mesurar va de -40°C a +125°C.

*Previ 1.* Amb la informació anterior, calculeu el valor de  $v_T$  a 25°C. Quin és el rang de valors que pren  $v_T$  si la temperatura es mou entre la mínima i la màxima que pot mesurar.

*Tasca 1.* Inserir l'integrat MCP9700A a la protoboard, alimenteu-lo a +5V i mesureu la tensió  $v_T$ . A quina temperatura es troba el sensor? Comproveu que en escalfar el sensor, per exemple bufant o amb els dits, la tensió augmenta. Fins a quina temperatura aconseguiu escalfar el sensor?

## 2 Conversió sense condicionament del senyal: baixa resolució

Imagineu que voleu monitoritzar la temperatura d'una aula. Per a això usareu el sensor de temperatura MCP9700A. Us caldrà un conversor analògic-digital (AD) com a primer pas abans d'emmagatzemar la tensió analògica proporcionada per aquest sensor. Aquestes dades les podeu recollir i tractar (ho podríeu fer en una pràctica de Tecnologia de Programació) i podríeu fer un estudi estadístic (ho podríeu fer a Estadística). Amb això podríeu relacionar l'evolució de la temperatura de l'aula amb l'hora del dia, l'ocupació de l'aula i fins i tot la temperatura exterior (mesurada amb un altre sensor). Fruit d'aquest estudi estadístic es podrien proposar solucions per tal de millorar la climatització de l'aula.

*Previ 2.* Per començar, suposem que connectem directament  $v_T$ , amb el rang de valors calculats al *Previ 1*, a l'entrada del conversor AD. Si treballem amb un conversor AD de 8 bits amb un rang de 0 a 5 V, quina és la resolució de temperatura que es pot mesurar? Us pot ser útil buscar el significat de resolució i diferenciar-lo del significat de precisió.

Resolució del previ 2: D'una banda, un conversor de 8 bits amb un rang de 0 a 5V té una resolució =  $5V/2^8 = 5V/256 \simeq 20mV$ . Això vol dir que d'un valor

codificat al següent hi ha  $20mV$ . D'altra banda, la sensibilitat del nostre sensor és  $(v_2 - v_1)/(T_2 - T_1) = (1.75V - 0.1V)/(125^\circ + 40^\circ) = 10mV/^\circ C$  (busquem la relació entre el rang de tensions i el rang de temperatures). Si la resolució del convertidor AD és de  $20mV$  i el nostre sensor té una sensibilitat de  $10mV/^\circ C$ , buscaríem la relació entre les dues dades i aleshores trobaríem que la resolució en temperatura és de  $2^\circ C$ . Això vol dir que entre un valor codificat i el següent hi ha un salt de  $2^\circ C$ .

Ja que ens proposem una resolució de com a mínim  $0.5^\circ C$ , el disseny basat en la connexió directa del sensor al convertidor AD es desestima.

### 3 Condicionament del senyal. Ús de tot el rang de temperatures: resolució millorada

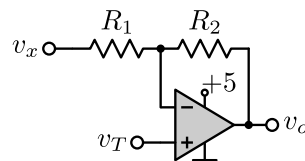
En el *Previ 1* heu calculat el rang de valors de  $v_T$ , el qual és inferior al rang de valors del convertidor AD que va de 0 a 5V. La manera de millorar la resolució és aprofitar tot el rang de valors del convertidor AD.

Observeu que la manera de transformar una tensió  $v_T$  de 0.1 a 1.75V a una altra tensió  $v_o$  de 0 a 5V consisteix en fer les operacions de resta i multiplicació (o multiplicació i resta) tal i com es mostra a continuació:

$$v_o = (v_T - 0.1)(5/1.65) = (5/1.65)v_T - (0.5/1.65) = 3.0\hat{3}v_T - 0.3\hat{0}. \quad (2)$$

Veiem que primer restem 0.1 a  $v_T$ , de manera que aconseguiríem convertir l'extrem baix del rang de tensió a 0V. Després hem de multiplicar per una constant que faci que quan  $v_T$  valgui l'extrem alt del rang, s'obtingui 5V.

*Previ 3.* Utilitzeu el següent circuit per tal d'implementar l'*equació 2*: si  $v_T$  pren valors en el rang de 0.1 a 1.75V la sortida  $v_o$  prendrà valors en el rang de 0 a 5V. En concret, doneu els valors d' $R_1$ ,  $R_2$  i  $v_x$ , per tal que això sigui així. Considereu que l'AO utilitzat és *rail to rail IO*. Quin és el valor de  $v_o$  si connectem a  $v_T$  el sensor de temperatura a  $25^\circ C$ ?



*Previ 4.* Si connectem ara la  $v_o$  del circuit anterior, que compleix l'*equació 2*, a l'entrada del convertidor AD, quina és la resolució de temperatura que es pot mesurar?

Malauradament, tot i que la resolució ha millorat molt respecte als  $2^\circ C$  que teníem anteriorment, la resolució encara és superior a  $0.5^\circ C$ . Així, el disseny basat en condicionar un senyal que contempla tot el rang de temperatures, de  $-40^\circ C$  a  $+125^\circ C$ , cal desestimar-lo.

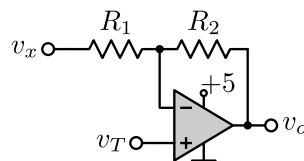
## 4 Condicionament del senyal. Ús d'un rang de temperatures restringit: resolució òptima

En el *Previ 1* heu calculat el rang de valors de  $v_T$  quan considerem tot el rang de temperatures, de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+125^\circ\text{C}$ . Com que mai arribarem a aquestes temperatures extremes si la nostra aplicació mesura la temperatura d'una aula, es proposa repetir tots el previs anteriors suposant una situació més realista que consideri un rang de temperatures de  $-10^\circ\text{C}$  a  $+50^\circ\text{C}$ , amb l'objectiu d'assolir la resolució desitjada.

*Previ 5.* Calculeu ara el nou rang de valors que pren  $v_T$  si volem mesurar un rang de temperatures més reduït, per exemple de  $-10^\circ\text{C}$  a  $+50^\circ\text{C}$ . Quin és el valor de  $v_T$  a  $25^\circ\text{C}$ ?

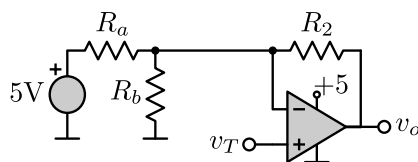
*Previ 6.* Volem continuar aprofitant tot el rang del convertidor AD. Així, per al rang de valors de tensió calculat al *Previ 5*, determineu una expressió similar a l'equació 2 per tal que  $v_o$  prengui valors de 0 a 5V.

*Previ 7.* Utilitzeu el següent circuit per tal d'implementar l'equació que heu trobat al *Previ 6*: si  $v_T$  pren valors en el rang calculat al *Previ 5*, cal que la sortida  $v_o$  prengui valors en el rang de 0 a 5V. En concret, doneu els valors d' $R_1$ ,  $R_2$  i  $v_x$ . Considereu que l'AO utilitzat és *rail to rail IO*. Quin és el valor de  $v_o$  si connectem a  $v_T$  el sensor de temperatura a  $25^\circ\text{C}$ ?



No és el primer cop que ens trobem amb la necessitat d'una tensió (en aquest cas  $v_x$ ) que no coincideix amb la d'alimentació de l'AO (en aquest cas 5V). Tal i com hem fet anteriorment per tal d'evitar l'ús d'una altra font de tensió, es proposa l'ús d'un divisor de tensió, l'equivalent Thevenin del qual ha de coincidir, en aquest cas, amb una font de tensió de valor  $v_x$  en sèrie amb  $R_1$ .

*Previ 8.* Utilitzeu el següent circuit per tal d'implementar l'equació del *Previ 6*: si  $v_T$  pren valors en el rang calculat al *Previ 5*, cal que la sortida  $v_o$  prengui valors en el rang de 0 a 5V. En concret, doneu els valors d' $R_a$ ,  $R_b$  i  $R_2$ . Considereu que l'AO utilitzat és *rail to rail IO*.



*Tasca 2.* Construïu el circuit dissenyat al *Previ 8*. Verifiqueu el seu funcionament connectant a  $v_T$  una de les fonts de tensió del laboratori. Un cop verificat el seu funcionament connecteu a  $v_T$  el sensor de temperatura. Quan val  $v_o$ ? A quina temperatura es troba el sensor?

*Previ 9.* Si ara connectem  $v_o$  del circuit anterior, que compleix l'equació del *Previ 6*, a l'entrada del conversor AD, quina és la resolució de temperatura que es pot mesurar?

Sembla que finalment hem aconseguit una resolució inferior a  $0.5^{\circ}\text{C}$ , i fins i tot inferior a  $0.25^{\circ}\text{C}$ .