

Elektronika alapjai 8. gyakorlat

A gyakorlaton megoldott feladatok

1. Feladat

Hőmérséklet érzékelésére gyakran használt érzékelő a Pt100 ellenállás. Ez, ahogy a neve is mutatja, egy 0°C – on 100Ω ellenállású platinából készült ellenállás. Az ellenállás értéke 100°C pedig 138,5Ω. (A 385 típusjelzésűnek)



1. ábra: Pt100 szenzor önmagában ill. készre szerelve

- Lineárisnak feltételezve a szenzor karakterisztikáját (ebben a tartományban jó közelítéssel az, a pontosabb modell a Google segítségével könnyen megtalálható), mekkora a szenzor érzékenysége és offsetje?
- Az ellenálláson 1mA áramot bocsátunk keresztül, és a feszültséget 250μV pontossággal tudjuk mérni. Mekkora a hőmérséklet felbontásunk? (a legkisebb hőmérséklet különbség, amit mérni tudunk.)
- Feszültségmérőnk (A/D konverter, ld. majd a következő előadáson) 0V és 3,3V között tud mérni. Mekkora erősítés szükséges, ha -25°C..+75°C tartományban szeretnénk mérni lehetőség szerint minél jobban kihasználva a feszültségmérő méréshatárát! Valósítsuk meg ezt az erősítést INA128 mérőerősítővel!
- UTP kábel egy érpárjának felhasználásával kötjük be az egy méterre lévő érzékelőt. Mekkora hibát követünk el a hőmérsékletmérésben? Az UTP kábel egy érpárjának hurokellenállása 176Ω/km.
- Ha 1mA áramot bocsátunk keresztül az érzékelő ellenálláson, azon teljesítmény keletkezik. Mekkora lesz ez az „önfűtés”? Hogyan változik a teljesítmény, ha a mérőáramot felére csökkentjük?

Megoldás

- Az érzékenység közelítőleg: $S_T = \frac{\Delta R}{\Delta T} = 0,385\Omega/^\circ C$, az offset pedig a 0°C-on mért 100Ω. A szenzor karakterisztika egyenlete tehát: $R(T) = 100 + 0,385T$, ahol a hőmérsékletet Celsius fokban mérjük.
- Az Ohm törvényből adódóan, ha I áram mellett ΔV pontossággal tudunk mérni, az $\Delta R = \frac{\Delta V}{I} = 250m\Omega$ pontosságú ellenállásmérést jelent. Az érzékenységgel elosztva meghatározhatjuk a hőmérsékletbeli felbontást, $\Delta T = \frac{\Delta R}{S_T} = \frac{\Delta V}{IS_T} = 0,65^\circ C$
- A hőmérsékleti határokhoz tartozó ellenállások:

$$R_{-25^{\circ}\text{C}} = 100 - 25 \cdot 0,385 = 90,375\Omega$$

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = 100 + 75 \cdot 0,385 = 128,875\Omega$$

Az ehhez tartozó feszültségek 1mA áram esetén és kis kerekítéssel 90mV illetve 129mV. A 129mV-nak feleljen meg a kb. 3,3V, azaz $G=25,58$ erősítés szükséges. Az INA128 adatlapját megnyitva láthatjuk, hogy

INA128:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$$

2. ábra: Az INA128 erősítése az adatlap alapján

Ez alapján tehát $R_G = \frac{50k\Omega}{G-1} = 2,034k\Omega$. Az erősítés csak kisebb lehet, hogy ne fussunk ki a mérés határból, ezért válasszuk az ellenállást 2,05k Ω -nak. Ekkor az erősítés 25,39; így a +75 $^{\circ}\text{C}$ -nak 3,275V felel meg.

- d) Ahogy az 1. gyakorlaton láttuk, a kétvezetékes mérés esetén a vezeték ellenállása hozzáadódik a szenzor ellenállásához. A UTP esetén a hurok ellenállása azt jelenti, hogy az érpárt rövidre zárva megmérjük az ellenállást. Ebben az esetben pont ez a hozzávezetési ellenállás adódik hozzá a szenzor ellenállásához, azaz $\Delta R = 0,176\Omega$. Az érzékenységet figyelembe véve ez $\Delta T = \frac{\Delta R}{S_T} = \frac{0,176}{0,385} = 0,46^{\circ}\text{C}$, azaz kb. fél fok hibát eredményez. Ez persze szoftver úton gond nélkül kompenzálható, csak meg kell mérni pl. telepítéskor a vezeték ellenállását és ezzel korrigálni a mért értékeket. A négyvezetékes mérés esetén ilyen problémánk nem lesz.
- e) Az ellenálláson disszipált teljesítmény a mérőáram négyzetével és az ellenállással lesz arányos. 0 $^{\circ}\text{C}$ -on $P = I^2 R = 100\mu\text{W} = 0,1\text{mW}$. Ezért is – noha a mérőáram növelésével nagyobb feszültséget kapnánk – az 1mA nagyjából gyakorlati limitet jelent. Fél mA esetén az önfűtés megnehezíti a mérést, míg a mért feszültség felére esik le.

2. Feladat

A következő táblázat egy hőmérsékletmérő szenzor feszültségét tartalmazza, a hőmérséklet függvényében.

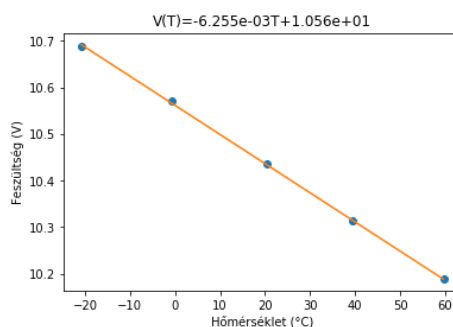
Hőmérséklet (°C)	Feszültség (V)
-20.75	10.688
-0.8	10.571
20.35	10.435
39.35	10.314
59.65	10.188

- a) Határozzuk meg lineáris közelítést alkalmazva az átviteli függvényt!
- Mekkora feszültséget mérünk 10°C-on?
 - Hány fokos a szenzor, ha a mért feszültség 10,6V?
 - Ha feszültséget 1mV pontossággal tudunk mérni, mennyire lesz pontos a mért hőmérséklet?
 - Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?
- b) Határozzuk meg másodfokú közelítést alkalmazva az átviteli függvényt!
- Mekkora feszültséget mérünk 10°C-on?
 - Hány fokos a szenzor, ha a mért feszültség 10,6V?
 - Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?

Megoldás

Illesztéssel a következő egyenlethez jutunk:

$$V(T) = 10,56 - 6,255 \cdot 10^{-3}T$$



A szenzor érzékenysége tehát $-6,255\text{mV}/^\circ\text{C}$, azaz 1°C hőmérsékletnövekedés hatására a mért feszültség kb. 6mV-al csökken. A szenzor offsetje, azaz a $T=0^\circ\text{C}$ -hoz tartozó feszültség pedig 10,56V

Mekkora feszültséget mérünk 10°C-on?

Egyszerűen behelyettesítve az átviteli függvénybe kiszámíthatjuk, hogy 10,499V a mért feszültség.

Hány fokos a szenzor, ha mért feszültség 10,6V?

Ebben az esetben az inverz karakterisztikára lesz szükségünk, de ez lineáris esetben nem túl nagy kihívás, behelyettesítve megkapjuk, hogy $-6,15^\circ\text{C}$

Ha feszültséget 1mV pontossággal tudunk mérni, mennyire lesz pontos a mért hőmérséklet?

$$\left| \frac{\Delta V}{\Delta T} \right| \approx \left| \frac{\partial V}{\partial T} \right| = 6,255 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

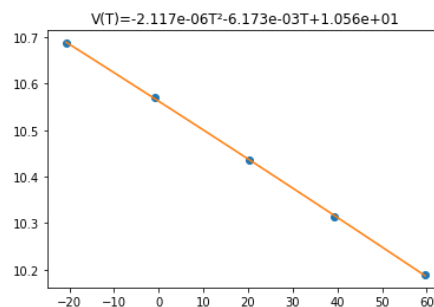
$$\text{Azaz } \Delta T = \frac{1}{6,255} = 0,16^\circ\text{C}$$

Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?

Végig ki kell számolnunk és a legnagyobbat megkeresnünk, ez 4,44mV lesz.

A mért pontok "szemre" egy egyenesre esnek, de próbáljuk meg másodfokú illesztéssel csökkenteni a hibát...

$$V(T) = 10,56 - 6,173 \cdot 10^{-3}T - 2,117 \cdot 10^{-6}T^2$$



Mekkora feszültséget mérünk 10°C-on?

Egyszerűen behelyettesítve az átviteli függvénybe kiszámíthatjuk, hogy 10,501V a mért feszültség.

Hány fokok a szenzor, ha mért feszültség 10,6V?

Ebben az esetben az inverz karakterisztikára lesz szükségünk, azaz meg kell oldanunk a másodfokú egyenletet, ebből a mért hőmérséklet -6,09°C

Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?

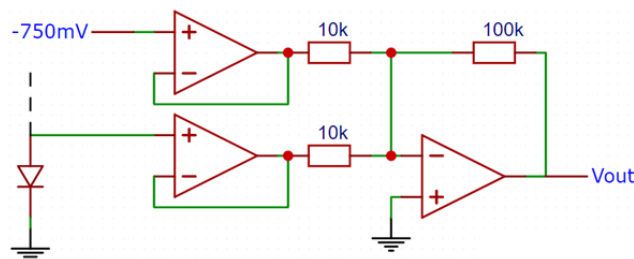
3,6mV, azaz némileg csökkent.

3. Feladat

Az állandó árammal hajtott pn átmenet (dióda) szintén gyakran használt hőmérséklet mérésére. Ennek oka az, hogy az integrált áramkörön megvalósítva lehetőséget ad az áramkör belső hőmérsékletének (junction temperature) mérésére és nyomon követésére.

Egy dióda feszültsége 1mA áram mellett 700mV 25°C-on, érzékenysége -2mV/°C.

- Milyen feszültséget mérhetünk, ha az érzékelő diódát 0°C és 100°C között szeretnénk használni?
- Hogyan változik a szenzor hőmérsékletének függvényében az alábbi erősítő kimenetének feszültsége?



- Miért van szükség a követő erősítőkre?

Megoldás

- A leírtak alapján a feszültség-hőmérséklet összefüggés:
 $V(T) = 700 - 2(T - 25) = 750 - 2T$, ahol a hőmérsékletet Celsius fokban kell helyettesíteni és a feszültséget mV-ban kapjuk. Az 0°C-nak 750mV, 100°C-nak 550mV felel meg.
- Az előző gyakorlat alapján látjuk, hogy a két bemenetet egy-egy követő erősítő, majd egy invertáló összegző erősítő követi. A szuperpozíció tétel alapján, rögtön összegezve az eredményeket:

$$V_{OUT} = -\frac{100}{10} V_{Diode} + \frac{100}{10} 0,75 = 10(0,75 - V_{Diode})$$

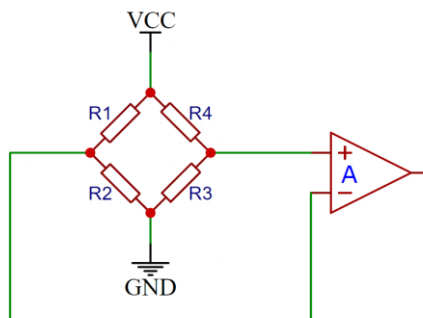
Azaz 0°C-on 0V, 100°C-on 2V feszültséget kapunk.

- Az invertáló összegző erősítő bemeneti ellenállása nem végtelen, hanem az erősítő bemenete és a műveleti erősítő invertáló bemenete közötti ellenállás, jelen esetben 10kΩ. Ha a dióda feszültsége 0,7V, akkor az erősítő felé $I = \frac{0,7}{10} = 0,07mA$ áram folyna, azaz ennyivel csökkenne a feladat szerinti 1mA áram (és vele együtt a dióda feszültsége is), ráadásul az „elfolyó” áram feszültségfüggő is lenne. A követő erősítő bemeneti ellenállása nagyon nagy, kvázi végtelen, ezáltal a dióda árama érdemben nem fog változni.

4. Feladat

Mekkora a megadott kapcsolás (Wheatstone-híd) két megadott pontja között mérhető feszültség

- Ha az ellenállások tökéletesen egyformák?
- Ha R_1 és R_3 azonos mértékben csökken, mint ahogy R_2 , R_4 nő?



Megoldás

- A két pont különbsége: (egy-egy feszültségosztás után)

$$\Delta V = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{CC} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Ha az ellenállások egyformák, akkor a feszültségkülönbség 0V. Ez a kiegyenlített híd esete. Az elektronikus ellenállásmérők előtt ilyen módon (is) mértek nagy pontossággal ellenállást, az ismeretlen ellenállást, két pontos ellenállást és egy változtatható ellenállást hídba kötve.

- A feladat szövege szerint $R_1 = R_3 = R - \Delta R$; $R_2 = R_4 = R + \Delta R$

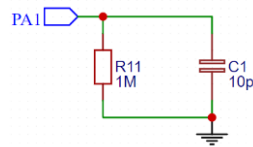
Ebben az esetben a híd feszültségkülönbsége:

$$\Delta V = \left(\frac{R - \Delta R}{2R} - \frac{R + \Delta R}{2R} \right) V_{CC} = -\frac{\Delta R}{R} V_{CC}$$

Azaz az ellenállásváltozással egyenesen arányos.

5. Feladat

A kapcsolási rajz a legegyszerűbb kapacitásváltozás mérését mutatja, egy érintésszenzor példáján.



Egy mikrokontroller kimenetére kötöttünk egy $1\text{M}\Omega$ ellenállást és a nyomtatott huzalozáson kialakított szenzort (kapacitást). A szenzor kapacitása kb. 10pF , amely érintéskor kb. 3pF -dal megnövekszik. A ciklus kezdetén a mikrokontroller lábat kimenetnek kapcsolva a kapacitást logikai egyre, azaz tápfeszültségre feltöltjük, majd digitális logikai bemenetre állítva figyeljük, hogy mikor lesz a mért érték logikai 0.



- Mekkora késleltetést mérhetünk, ha a logikai nullához tartozó komparálási feszültség a tápfeszültség 40%-a?
- Mekkora lesz a késleltetés a megérintett kapacitás esetében?

Megoldás

A kondenzátor kisütésének időfüggvénye:

$$V(t) = V_{CC} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

ahol $\tau = RC = 10\mu\text{s}$.

A feladat szövege szerint az alacsony szint komparálási feszültsége a tápfeszültség 40%-a, ennek az eléréséig tartó idő:

$$0,4V_{CC} = V_{CC} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln 0,4 = -t/\tau$$

$$t = \tau \ln 2,5 = 9,16\mu\text{s}$$

A megnövekedett kapacitás miatt az időállandó $\tau^* = RC = 13\mu\text{s}$

$$t^* = \tau^* \ln 2,5 = 11,91\mu\text{s}$$

Tehát kb. $2,75\mu\text{s}$ a különbség, ebből kell eldönteni. Zajcsökkentés, sok mérés átlagolása stb. segít.

6. Feladat

A TMP36 hőmérsékletmérő szenzor feszültsége 25°C 750mV, érzékenysége 10mV/°C. Szeretnék egy mikrokontrollertől megszakítást kérni, ha a hőmérséklet az 50°C-ot meghaladja. A tápfeszültség 3V. Adjon kapcsolási rajzot! A megszakítás alacsony aktív.

Megoldás

Komparátort kell alkalmazni úgy, hogy az 50°C-hoz tartozó feszültséggel hasonlíttjuk össze a szenzor feszültségét. Az 50°C-hoz tartozó feszültség: $750mV + (50°C - 25°C) \cdot 10mV/°C = 1V$

A 3V tápfeszültségből egy feszültségosztóval könnyen előállítható, így a kapcsolási rajz:

