



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Elektronikus Eszközök Tanszéke

# Elektronika alapjai

## 8. Gyakorlat

Összeállította:

Ress Sándor, Jani Lázár, Krammer Olivér, Straubinger Dániel

# 1. Feladat

- Hőmérséklet érzékelésére gyakran használt érzékelő a Pt100 ellenállás. Ez, ahogy a neve is mutatja, egy  $0^{\circ}\text{C}$  – on  $100\ \Omega$  ellenállású platinából készült ellenállás. Az ellenállás értéke  $100\ ^{\circ}\text{C}$  pedig  $138,5\ \Omega$ . (A 385 típusjelzésűnek)

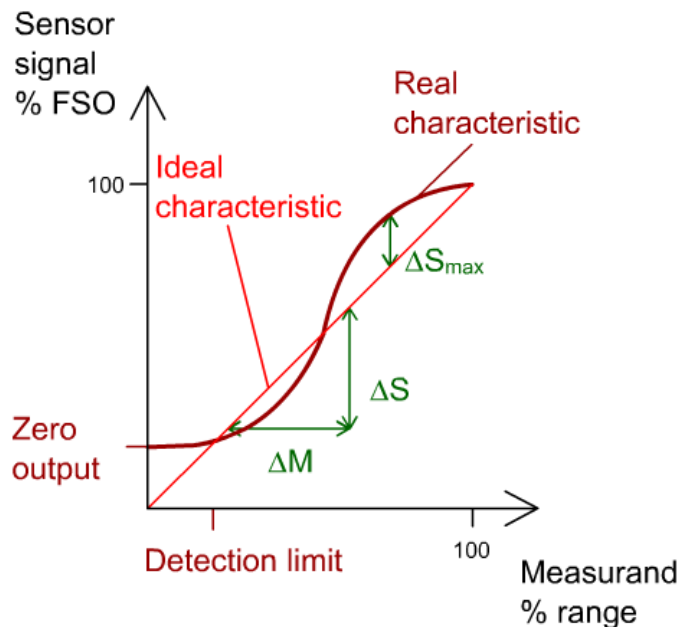


1. ábra: Pt100 szenzor önmagában ill. készre szerelve

a) Lineárisnak feltételezve a szenzor karakterisztikáját (ebben a tartományban jó közelítéssel az, a pontosabb modell a Google segítségével könnyen megtalálható), mekkora a szenzor érzékenysége és offszetje?

- „0°C – on 100Ω ellenállású platinából készült ellenállás. Az ellenállás értéke 100°C pedig 138,5Ω. (A 385 típusjelzésűnek)”

Hőmérséklet [°C]	Ellenállás [Ω]
0	100
100	138,5



- Offset = 100Ω
- Érzékenység (meredekség) =  $S_T = \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{138,5 - 100}{100 - 0} = 0,385 \frac{\Omega}{^\circ C}$
- Lineáris közelítéssel a karakterisztika:

$$R(T) = 100 + 0,385 \cdot T$$

$$\text{Ideal sensitivity} = \frac{\Delta S}{\Delta M} \quad \text{Nonlinearity} = \frac{\Delta S_{max}}{FSO}$$

Szenzor karakterisztika általánosan

b) Az ellenálláson 1mA áramot bocsátunk keresztül, és a feszültséget 250μV pontossággal tudjuk mérni. Mekkora a hőmérsékletbeli felbontásunk? (a legkisebb hőmérséklet különbség, amit mérni tudunk.)

- a) pont alapján:  $S_T = \frac{\Delta R}{\Delta T} = 0,385 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}}$
- A feladat alapján ismert az áram és a feszültségmérés bizonytalansága, ekkor:
  - $\Delta R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{250 \mu\text{V}}{1 \text{ mA}} = 250 \text{ m}\Omega$
- Ez a legkisebb ellenállásváltozás, ami mérhető. Ennek alapján a legkisebb hőmérséklet különbség:
  - $\Delta T = \frac{\Delta R}{S_T} = \frac{\Delta V}{IS_T} = 0,65 \text{ }^\circ\text{C}$

c) Feszültségmérőnk (A/D konverter, ld. majd a következő előadáson) 0 V és 3,3 V között tud mérni. Mekkora erősítés szükséges, ha  $-25\text{ °C}.. +75\text{ °C}$  tartományban szeretnénk mérni lehetőség szerint minél jobban kihasználva a feszültségmérő méréshatárát! Valósítsuk meg ezt az erősítést INA128 mérőerősítővel!

- Számítsuk ki a tartomány szélső pontjaiban az ellenállás értéket:

Szenzor karakterisztikája alapján:  $R(T) = 100 + 0,385 \cdot T$

- $R_{-25\text{ °C}} = 100 - 25 \cdot 0,385 = 90,375\ \Omega$
- $R_{75\text{ °C}} = 100 + 75 \cdot 0,385 = 128,875\ \Omega$

A b) pontban levő 1 mA mérőáram esetén a feszültségek:

- $U_{-25\text{ °C}} = 1\text{ mA} \cdot 90,375\ \Omega \cong 90\text{ mV}$
- $U_{75\text{ °C}} = 1\text{ mA} \cdot 128,875\ \Omega \cong 129\text{ mV}$

- A méréshatár felső részét szeretnénk használni, ehhez szükséges erősítés:

- $G = \frac{3,3\text{ V}}{129\text{ mV}} = 25,58$

c) Feszültségmérőnk (A/D konverter, ld. majd a következő előadáson) 0 V és 3,3 V között tud mérni. Mekkora erősítés szükséges, ha  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}.. +75\text{ }^{\circ}\text{C}$  tartományban szeretnénk mérni lehetőség szerint minél jobban kihasználva a feszültségmérő méréshatárát! Valósítsuk meg ezt az erősítést INA128 mérőerősítővel!

$$\blacksquare G = \frac{3,3\text{ V}}{129\text{ mV}} = 25,58$$

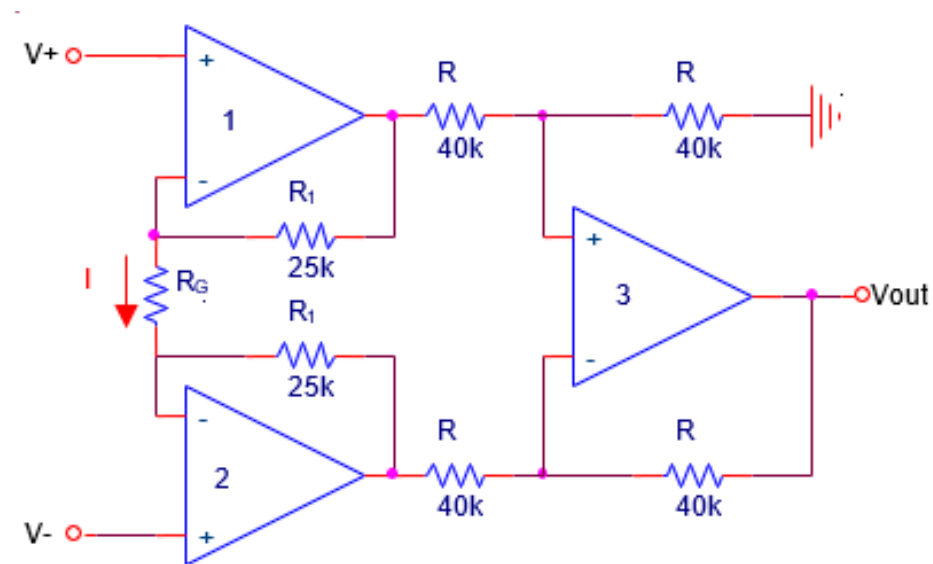
$$\blacksquare G_{INA128} = 1 + \frac{50\text{ k}\Omega}{R_G}$$

$$\blacksquare G = G_{INA128}$$

$$\rightarrow 25,58 = 1 + \frac{50\text{ k}\Omega}{R_G}$$

Ahonnán  $R_G = 2,034$ .

Mivel az A/D átalakító méréshatárán belül akarunk maradni, ennél legfeljebb kisebb erősítés jöhet szóba  
 $\rightarrow$  legyen  $R_G = 2,05\text{ k}\Omega (>2,034\text{ k}\Omega)$



INA128 mérőerősítő

d) UTP kábel egy érpárjának felhasználásával kötjük be az egy méterre lévő érzékelőt. Mekkora hibát követünk el a hőmérsékletmérésben? Az UTP kábel egy érpárjának hurokellenállása  $176\Omega/\text{km}$ .

- Az UTP kábel (hozzávezetés) ellenállása mérési hibát okoz!

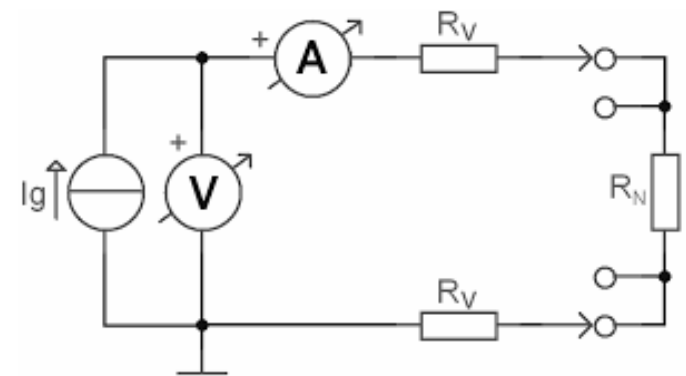
- 1 méter érpár ellenállása:

$$R = 1 \text{ m} \cdot 176 \frac{\Omega}{\text{km}} = 0,176 \Omega \rightarrow \Delta R$$

- Az okozott hiba:

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{S_T} = \frac{0,176}{0,385} = 0,46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Könnyen kompenzálható a hozzávezetés ellenállásának ismeretében



Kétvezetékes ellenállásmérés

e) Ha 1 mA áramot bocsátunk keresztül az érzékelő ellenálláson, azon teljesítmény keletkezik. Mekkora lesz ez az „önfűtés”? Hogyan változik a teljesítmény, ha a mérőáramot felére csökkentjük?

- ***Mekkora teljesítménnyel fűtünk?***

$$P = I^2 R = 1 \text{ mA} \cdot R$$

- Pl. 0 °C-on:

$$P_{0^\circ\text{C}} = I^2 R = (1 \text{ mA})^2 \cdot 100 \Omega = 0,1 \text{ mW}$$

- ***Hogyan változik a teljesítmény, ha a mérőáramot felére csökkentjük?***

- Az áram négyzetével arányos  $\rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$  része lesz az önfűtés
- Az áram csökkenésével ugyanakkor a mért feszültségünk is csökken.



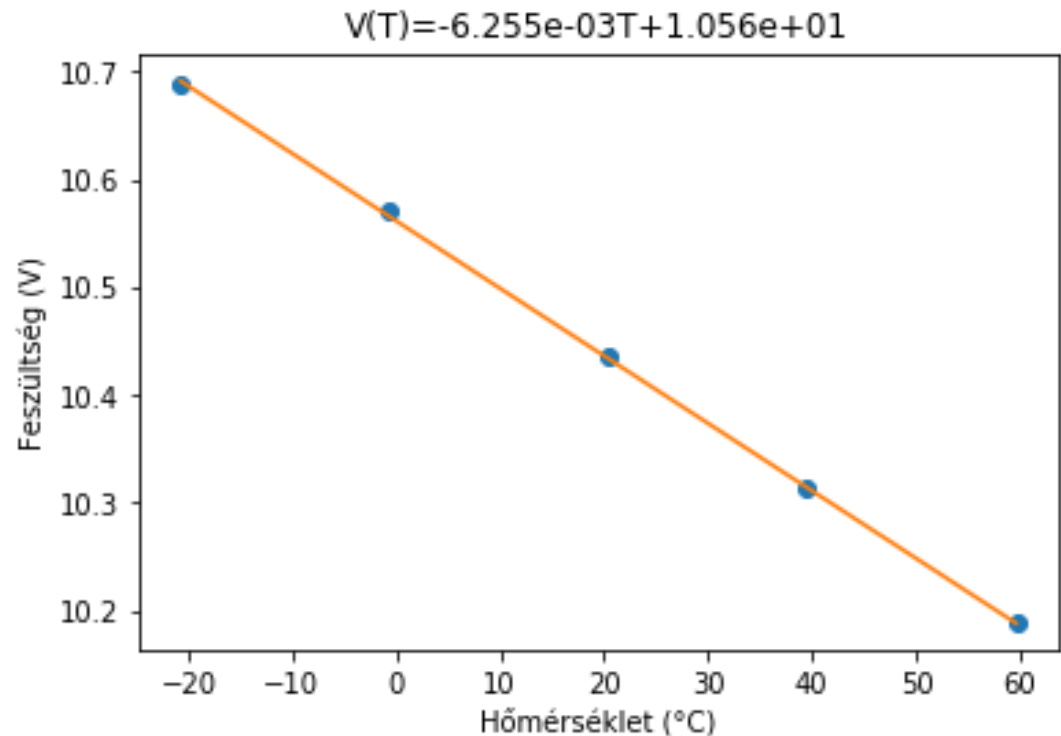
## 2. Feladat

- A következő táblázat egy hőmérsékletmérő szenzor feszültségét tartalmazza, a hőmérséklet függvényében.
- Határozzuk meg lineáris közelítést alkalmazva az átviteli függvényt!

Hőmérséklet (°C)	Feszültség (V)
-20,75	10,688
-0,8	10,571
20,35	10,435
39,35	10,314
59,65	10,188

Szenzor karakterisztika  
(lineáris közelítés):

$$V(T) = 10,56 - 6,225 \cdot 10^{-3}T$$



- **Mekkora feszültséget mérünk 10 °C-on?**

A karakterisztika egyenletét felhasználva:

$$V(10\text{ °C}) = 10,56 - 6,225 \cdot 10^{-3} \cdot 10\text{ °C} = 10,499\text{ °C}$$

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

A probléma fordított:  $10,6\text{ V} = 10,56 - 6,225 \cdot 10^{-3}T$

Egy ismeretlen, átrendezéssel:  $T = -6,43\text{ °C}$

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

Az érzékenység:  $\left| \frac{\Delta V}{\Delta T} \right| \approx \left| \frac{\partial V}{\partial T} \right| = 6,255 \frac{\text{mV}}{\text{°C}}$

Ahogy az előző feladatban is láttuk:  $\Delta T = \frac{1}{6,255} = 0,16\text{ °C}$

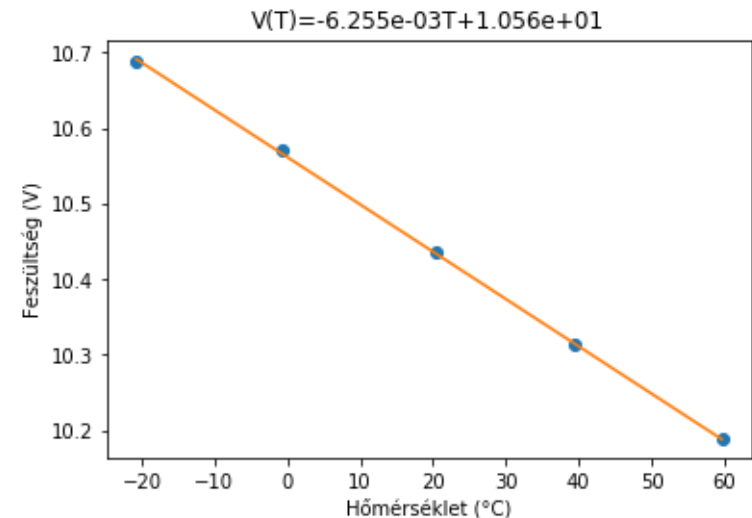
- **Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?**

Szenzor karakterisztika:  $V(T) = 10,56 - 6,225 \cdot 10^{-3}T$

## Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?

- Nincs jobb „brute-force” megoldásnál: az illesztett egyenes egyenletével ki kell számolni az egyes pontokat, aztán összehasonlítani
- Rendre:

Hőmérséklet [°C]	Feszültség [V]	Számolt feszültség [V]
-20,75	10,688	10,691
-0,8	<b>10,571</b>	<b>10,567</b>
20,35	10,435	10,435
39,35	10,314	10,315
59,65	10,188	10,188



- A legnagyobb különbség: 4,44 mV

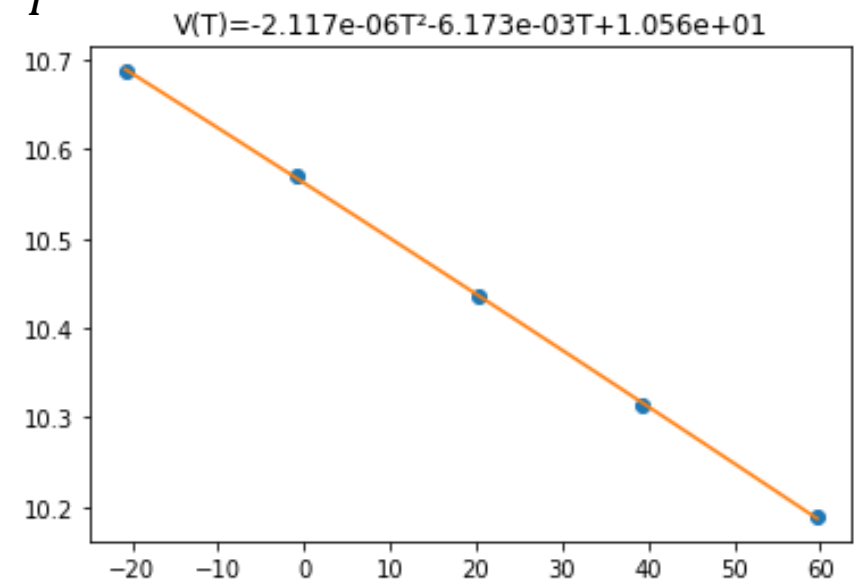
$$\text{Szenzor karakterisztika: } V(T) = 10,56 - 6,225 \cdot 10^{-3}T$$

- Határozzuk meg másodfokú közelítést alkalmazva az átviteli függvényt!

Másodfokú illesztés:

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

Hőmérséklet (°C)	Feszültség (V)
-20,75	10,688
-0,8	10,571
20,35	10,435
39,35	10,314
59,65	10,188



- ***Mekkora feszültséget mérünk 10 °C-on?***
- ***Hány fokos a szenzor, ha a mért feszültség 10,6 V?***
- ***Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?***

- Határozzuk meg másodfokú közelítést alkalmazva az átviteli függvényt!

Másodfokú illesztés:

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

- **Mekkora feszültséget mérünk 10 °C-on?**

Hasonlóan, behelyettesítéssel:  $V(10 \text{ °C}) = 10,501 \text{ V}$

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

Hasonlóan az előzőhöz, csak másodfokú egyenletet megoldva:

$$0 = 2,117 \cdot 10^{-6}T^2 + 6,173 \cdot 10^{-3}T - (10,56 - 10,6)$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Megoldás: -6,09 °C

- **Mekkora lesz az illesztett függvény maximális eltérése a mért pontoknál?**

Hasonlóan, az egyes pontoknál behelyettesítve: 3,6 mV

## 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 1 mA áram mellett 700 mV 25°C-on, érzékenysége  $-2 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$ .

- **Milyen feszültséget mérhetünk, ha az érzékelő diódát 0 °C és 100 °C között szeretnénk használni?**

Felírva a hőmérsékletfüggést:

$$V(T) = 700 - 2(T - 25) = 750 - 2T$$

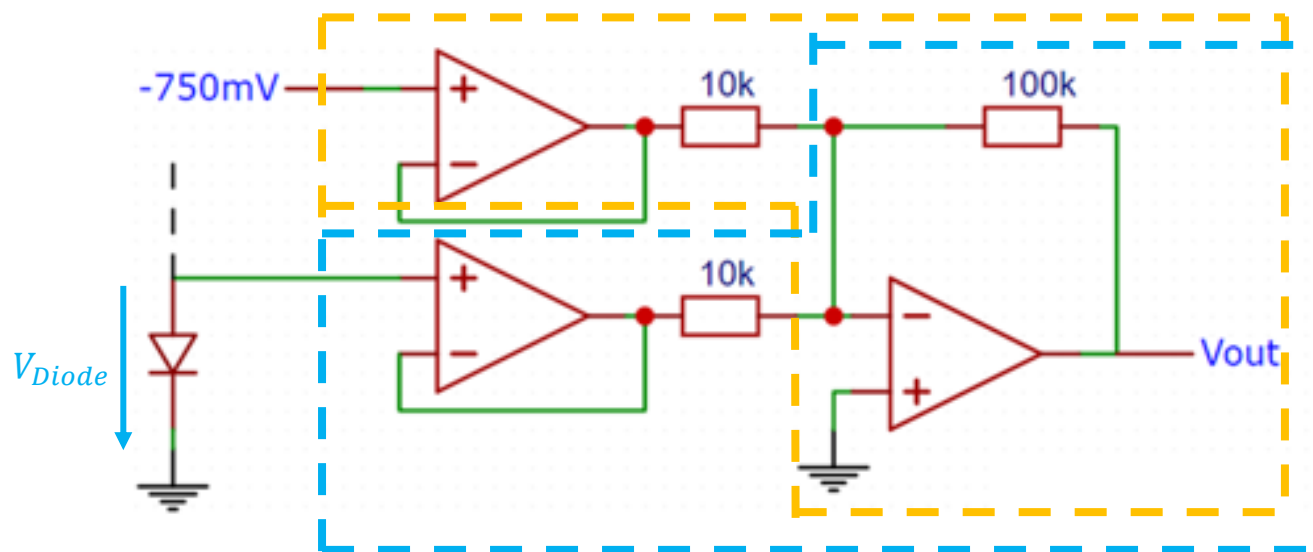
Behelyettesítve az intervallum szélein:

$$\begin{aligned} V(0 \text{ °C}) &= 750 - 2 \cdot 0 = 750 \text{ mV} \\ V(100 \text{ °C}) &= 750 - 2 \cdot 100 = 550 \text{ mV} \end{aligned}$$

- **Hogyan változik a szenzor hőmérsékletének függvényében az alábbi erősítő kimenetének feszültsége?**

$$V_{OUT} =$$

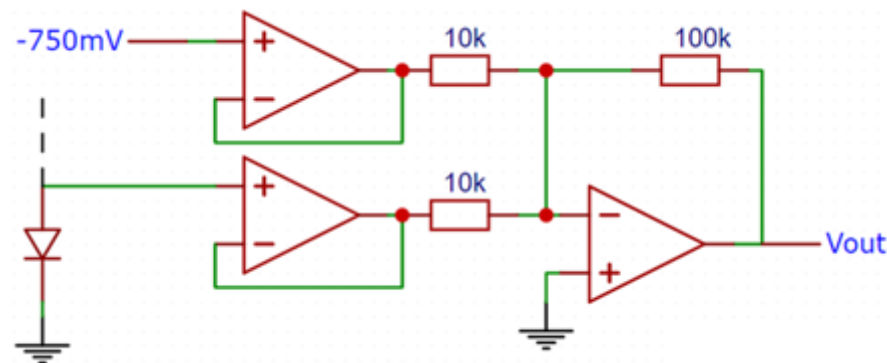
- Ismét behelyettesítve a két szélső pontba (0 °C és 100 °C):
- $V_{OUT\_0} = 10(0,75 - 0,75) = 0$
- $V_{OUT\_100} = 10(0,75 - 0,55) = 2\text{ V}$





## Miért van szükség a követő erősítőkre?

- Az invertáló összegző erősítő bemeneti ellenállása nem végtelen.
- Az erősítő bemenete és a műveleti erősítő invertáló bemenete közötti ellenállás, jelen esetben 10 k $\Omega$ .
- Ha a dióda feszültsége 0,7 V, akkor az erősítő felé  $I = \frac{0,7}{10} = 0,07$  mA áram folyna, azaz ennyivel csökkenne a feladat szerinti 1mA (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 nem fog változni.



## 4. Feladat

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

- Ha az ellenállások tökéletesen egyformák?

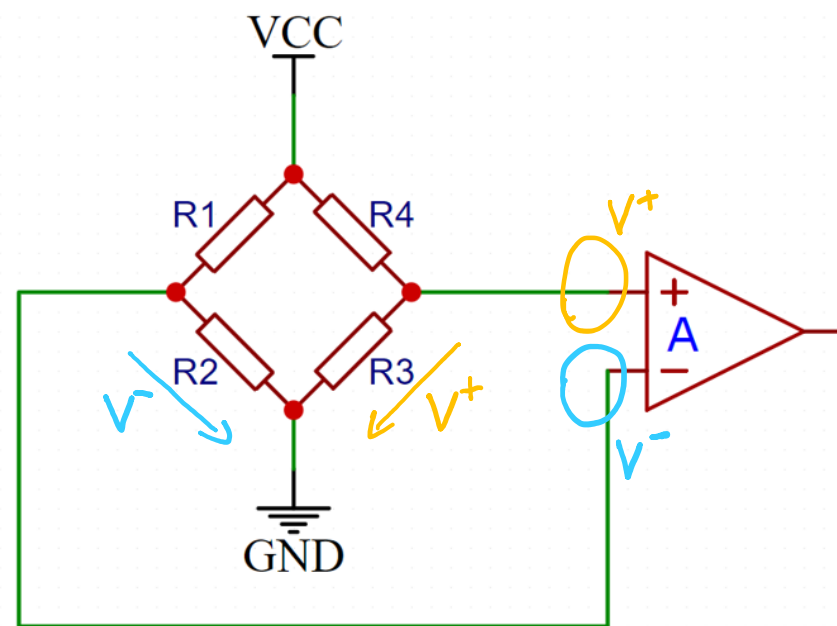
$$\Delta V =$$

- Ha  $R_1$  és  $R_3$  azonos mértékben csökken, mint ahogy  $R_2$ ,  $R_4$  nő?

- Csökken:  $R_1 = R_3 = R - \Delta R$

- Nő:  $R_2 = R_4 = R + \Delta R$

- $\Delta V =$

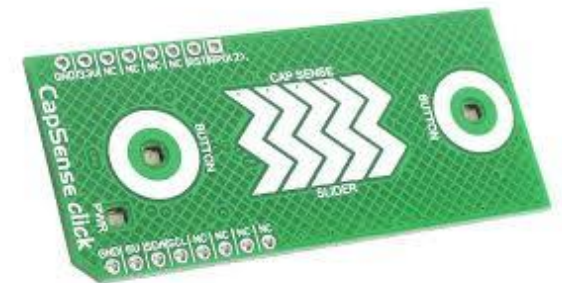
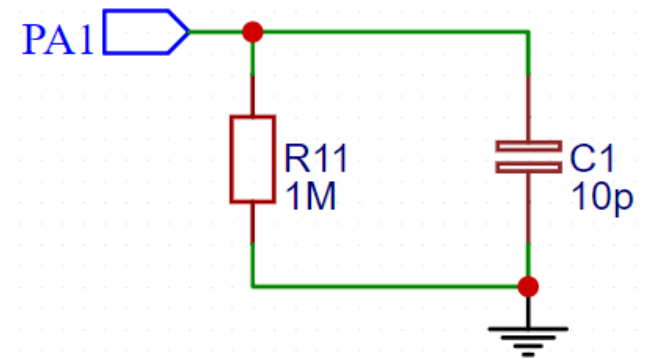


## 5. Feladat

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.  $10\text{ pF}$ , amely érintéskor kb.  $3\text{ pF}$ -al megnövekszik. A ciklus kezdetén a mikrokontroller lábat kimenetnek kapcsolva a kapacitást logikai 1-re, 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?**



## Mekkora késleltetést mérhetünk, ha a logikai nullához tartozó komparálási feszültség a tápfeszültség 40%-a?

- A kapacitás kisütésének időfüggvénye:

$$V(t) = V_{CC} e^{-\frac{t}{\tau}}, \text{ ahol } \tau = RC = 1 \text{ M}\Omega \cdot 10 \text{ pF} = 10 \text{ }\mu\text{s}$$

- A komparálási feszültség  $V_{CC}$  40 %-a:

- $0,4V_{CC} = V_{CC} e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $\ln 0,4 = -t/\tau$
- $t = \tau \ln 4 = 13,9 \text{ }\mu\text{s}$

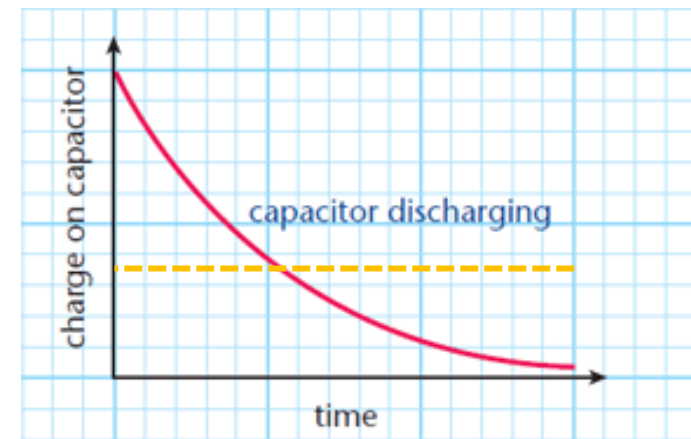
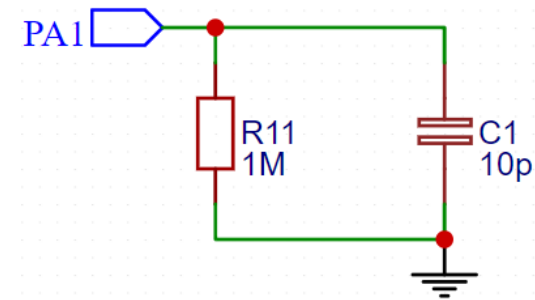
## Mekkora lesz a késleltetés a megérintett kapacitás esetében?

„A szenzor kapacitása kb. 10 pF, amely érintéskor kb. 3 pF-al megnövekszik.”

$$\tau = 1 \text{ M}\Omega \cdot (10 + 3) \text{ pF} = 13 \text{ }\mu\text{s}$$

$$\rightarrow \underline{t' = 18 \text{ }\mu\text{s}}$$

$$\rightarrow t' - t = 4,1 \text{ }\mu\text{s}$$



Forrás: <https://revisionscience.com/a2-level-level-revision/physics-level-revision/fields/capacitors>

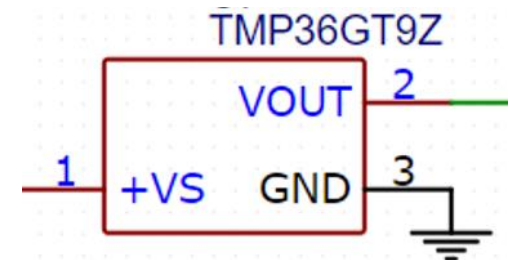
## 6. Feladat

A TMP36 hőmérsékletmérő szenzor feszültsége 25 °C 750 mV, érzékenysége  $10 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$ . Szeretnénk egy mikrokontrollertől megszakítást kérni, ha a hőmérséklet az 50 °C-ot meghaladja. A tápfeszültség 3 V.

**Adjon kapcsolási rajzot! A megszakítás alacsony aktív.**

▪ Megszakítás kell, ha  $T > 50 \text{ }^\circ\text{C}$ :

- Össze kell hasonlítanunk az aktuális szenzor kimeneti feszültségét ( $V_{\text{out}}$ ) és az 50°C-hoz tartozó feszültség szintet
- Számoljuk ki először is:
  - $V(T) = 750 \text{ mV} + 10 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot (T - 25)$
  - $V(T) = 500 \text{ mV} + 10 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot T \rightarrow V(50 \text{ }^\circ\text{C}) = 1 \text{ V}$
- Alacsony aktív megszakítás: alacsony logikai szint esetén következik be a megszakítás

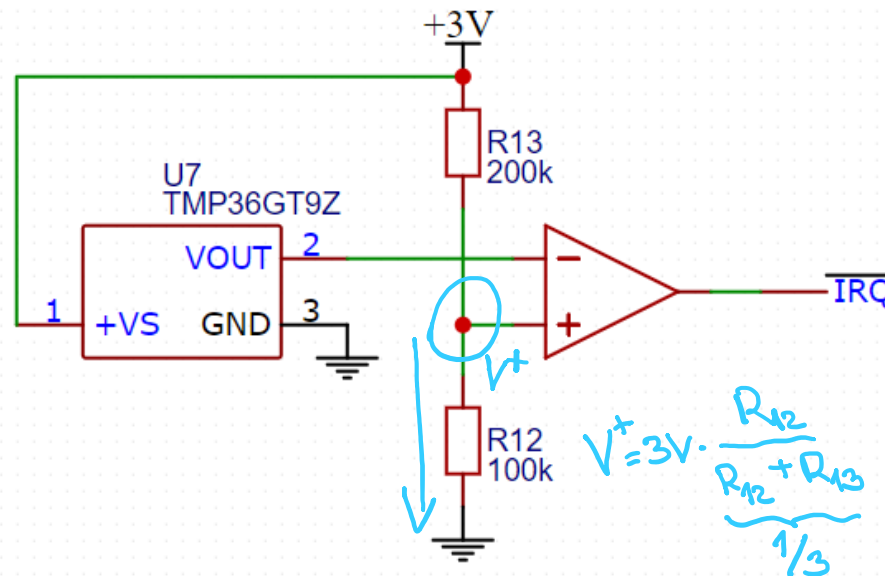


TMP36 szenzor be- és kimenetei

## 6. Feladat

**Adjon kapcsolási rajzot! A megszakítás alacsony aktív.**

- A komparálási referencia szintet előállítjuk a tápfeszültségből, feszültségosztással: 1 V előállítása ( $V(50\text{ °C})$ )
- Amint a szenzor kimenete eléri az 1 V-ot, a komparátor kimenete alacsony szintű lesz (figyeljünk, hogy a referencia a neminvertáló bemeneten van!)



Megszakítás előállítása TMP36 szenzorral