



Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet

Mikro- és nanotechnika (KMENT14TNC)

Szenzorok és mikroáramkörök (KMESM11TNC)

Laboratóriumi gyakorlatok

Mérési útmutató

4. Hőmérséklet érzékelők vizsgálata

Elméleti áttekintés

A mérés során négy különböző típusú hőmérséklet-érzékelővel foglalkozunk:

Platina100 (Pt100)

Termisztor (NTK,PTK)

Tranzisztor (Si, Ge)

Peltier-elem

Az első háromnak a hőmérsékletét Peltier-elem segítségével változtathatjuk. A platina ellenállásokat használjuk referenciaként (mivel nincs ennél pontosabb mérőeszközünk), így ezeknek a hőmérséklet karakterisztikáját nem tudjuk lemérni, viszont segítségükkel a többi eszköz viselkedése tanulmányozható.

1.1 Peltier-elem

Általánosságban termoelektromos hatásnak nevezzük azon jelenségeket, amikor elektromos áram hatására hőmérséklet-különbség keletkezik, vagy fordítva. Ezen belül három jelenséget különböztetnek meg: a Seebeck-effektust, a Thomson-effektust és a Peltier-effektust.

A Seebeck-jelenségnél két különböző fémből álló hurokban áram keletkezik, ha a két találkozási pont különböző hőmérsékletű. A Thomson-jelenség arról szól, hogy ha egy vezetőben áram folyik, és a két vége között hőmérsékletkülönbség van, akkor a vezeték hőt ad le vagy vesz fel (túlmenően a szokásos, áram miatti melegedésén, vagyis a Joule-hőn). A Peltier-jelenségnél két különböző fém átmenetén ha áram folyik, az egyik végéből hőt visz át a másik végére. Jellemzően félvezetőkből készül.

Jelen mérésben egy Peltier-elemet használunk hőmérséklet-különbség elérésére. Az elemre nagyobb áramot kötve jobban fűt/hűt; a polaritást felcserélve pedig a fűtött-hűtött végei

felcserélődnek. Jelen mérésben az alsó fele egy hűtőbordára van szerelve, amit egy ventilátor hűt, míg a felső része egy kisebb méretű fémlemezhez csatlakozik. Így nem egyformán működik, ha felcseréljük a polaritásokat. Ha a tetejét hűtjük, kisebb hőmérsékletet tudunk elérni, mert ilyenkor az alsó részre jutó hő jobban elvonjuk. A Peltier-elem csak véges hőmérséklet-különbséget tud létrehozni. A hűtött fele egy bizonyos hőmérséklet alá nem tud menni, ezután idővel ez a fele is elkezd melegedni. Ilyenkor érdemes kikapcsolni és megvárni, amíg visszaáll szobahőmérsékletre. Ez az alsó hőmérséklet csökkenthető lenne, ha a hűtött felét elszigetelnénk a külső hatásoktól, az fűtött felét pedig jobban hűtenénk. Lehetséges pl. több Peltier-elem kaszkádba kötése ily módon. A hatásfok természetesen mindig 100% alatti, így a fűtött oldal jobban melegszik, mint amennyire a hűtött oldal hűl (hiszen ott az áram miatti melegedés is).

A Peltier-elem hőelemként (generátorként), vagy érzékelőként is használható: ha a két vége között hőmérséklet-különbség van, a kapcsain feszültség mérhető.

1.2 Platina100

A Platina100 egy olyan nagy tisztaságú platinából készült hőmérsékletérzékelő, aminél az ellenállás változásából határozható meg a hőmérsékletváltozás. Mindezt az alábbi képlet alapján tudjuk meghatározni.

$$T_R = \frac{-R_0A + \sqrt{R_0^2A^2 - 4R_0B(R_0 - R_T)}}{2R_0B}$$

Ahol T_R az adott hőmérséklet, amit mérni szeretnénk, R_T az adott hőmérséklet esetén mérhető ellenállás értéke, R_0 az ellenállás-hőmérő 0°C -on tapasztalható ellenállása, az A és B pedig egy-egy hőmérsékleti állandó, értékük:

$$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$$

Az R_0 általában 100 vagy 1000Ω szokott lenni, jelen mérésben a 100Ω verziót használjuk. Ez a képlet 0°C fölött érvényes és az alábbi képletből adódik, mivel minden anyagnak van olyan tulajdonsága, hogy hőmérséklet változásával bizonyos mértékben változik az ellenállása.

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2], (0^\circ\text{C} \leq T < 850^\circ\text{C})$$

A képletben szereplő másodfokú tag együtthatója (ld. feljebb) olyan kicsi érték, hogy a platina hőmérséklet-ellenállás karakterisztikája jó közelítéssel lineárisnak tekinthető; mindazonáltal a nagyobb pontosság miatt nem hanyagoljuk el ezt a tényezőt.

A platina ellenállások előnye, hogy nagyon pontos mérést tesznek lehetővé, mivel nagyon pontosan ismert a karakterisztikája. Ezért az iparban is ezeket használják referencia-mérőeszköznek. Jelen mérésben akár század fok pontossággal is tudunk mérni. Továbbá nagy hőmérséklet tartományban használhatóak, kb. $-270 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig. Hátrányuk, hogy a kis érzékenyséjük ($0,00385 \text{ } \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$, azaz $0,385\Omega/^\circ\text{C}$ a 100 ohmos változatnál) miatt nagyon pontos mérőberendezést igényelnek. Három- vagy inkább négyvezetékes ellenállás mérési módszerrel és alacsony, konstans árammal mérjük őket. A nagyobb méretű ellenállások a nagyobb hőkapacitás miatt lassabban reagálnak. (Jelen mérésben kisméretű platina ellenállások vannak, ezek relatíve gyorsan reagálnak.)

1.3 Termisztorok

A termisztorok olyan ellenállások, amelyek ellenállás értéke erősen függ a hőmérséklettől. A termisztorok nagy hőmérsékleti tényezővel rendelkeznek. Ezek lehetnek negatív és pozitív együtthatók. Az előbbieket NTK (negatív termikus koefficiensű), vagy melegen vezető termisztoroknak, az utóbbiakat PTK, vagy hidegen vezető termisztoroknak nevezik.

A termisztorok alapanyaga félvezető tulajdonságú fémoxidok (MnO, NiO). Kedvező tulajdonsággal rendelkeznek a keverék oxidok is, mint a TiO₂+MnO, vagy a Mn₂O₃+NiO+CoO keverékek).

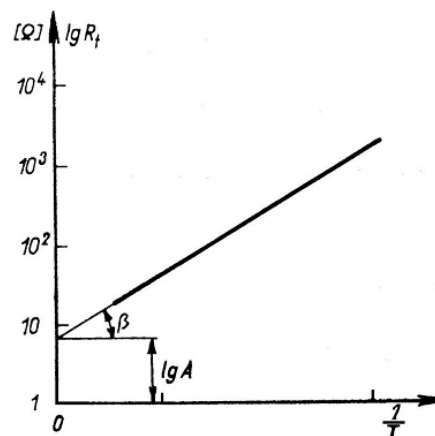
Az NTK termisztorok ellenállásának hőmérsékletfüggése az alábbi kifejezéssel adható meg:

$$R(T) = A \cdot e^{(B/T)}$$

Ahol A és B a termisztorra jellemző állandók, T az abszolút hőmérséklet Kelvinben megadva. Az ellenállás logaritmusát a következő módon fejezhetők ki a fenti képlet alapján:

$$\ln R = \ln A + B/T$$

Az ellenállás logaritmusát az abszolút hőmérséklet reciprokának a függvényében ábrázolva egyenest kapunk (1. ábra).

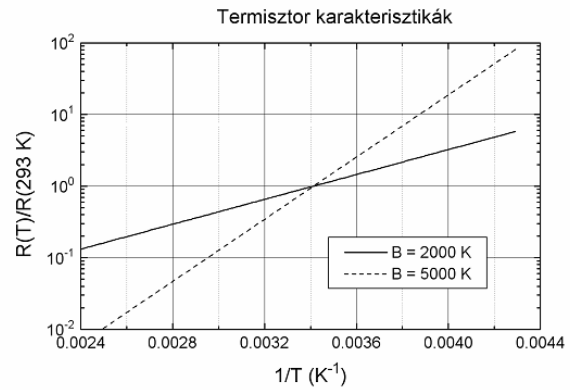
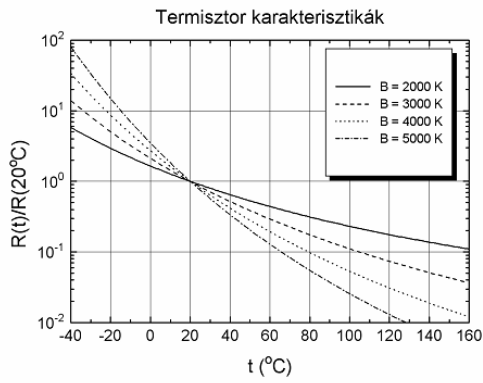


1. ábra

Ebből az összefüggésből az A és B állandók egyszerűen meghatározhatóak az ellenállás hőmérsékletfüggéséből. A megszerkesztett grafiknról olvassuk le lgA és β értékét és számoljunk az alábbi képletekkel:

$$B = \ln 10 \cdot \frac{d(\lg R_t)}{d \frac{1}{T}} = \ln 10 \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$A = 10^{\lg A}$$

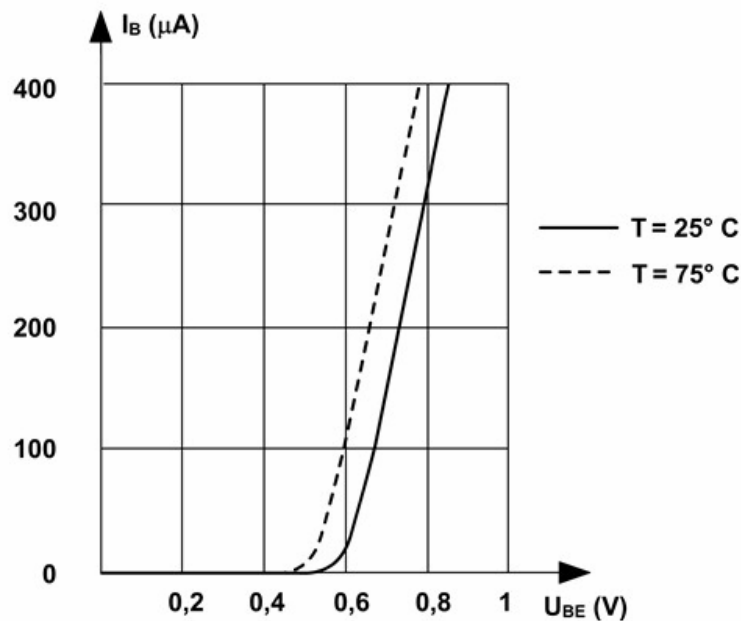


2. ábra NTK termisztor karakterisztikák

A termisztorok előnye, hogy olcsók és nagy az érzékenyséjük (jelen mérésben lévő NTK akár tízszeres ellenállástartományt is átfog a mérés során). Hátrányuk, hogy a karakterisztika (különösen az NTK-é) nemlineáris és kevésbé pontos mérést tesz lehetővé, mint a platina.

1.4 Tranzisztor

A hőmérséklet növekedése a félvezetőkből megnöveli a töltéshordozók koncentrációját. Ez történik a bipoláris tranzisztor félvezető rétegeiben is. Ennek hatására a tranzisztor karakterisztikái és jellemzői megváltoznak. A felmelegedés hatására a munkaponti áramok növekednek, és a karakterisztika eltolódik.



3. ábra Tranzisztor bemenő karakterisztika hőfokfüggése

A hőmérséklet növekedése a bázis- és emitteráram növekedéséhez és a jelleggörbe balra tolódásához vezet.

$$TK = \Delta U_{BE} / \Delta T \approx -2\text{mV}/^\circ\text{C}$$

A tranzisztort és diódát emiatt hőmérséklet-érzékelőnek is lehet használni. Ezt főleg integrált áramkörökben (pl. processzorok) használják ki, hiszen szilícium hordozóra platinát vagy termisztorot elég nehéz lenne integrálni.

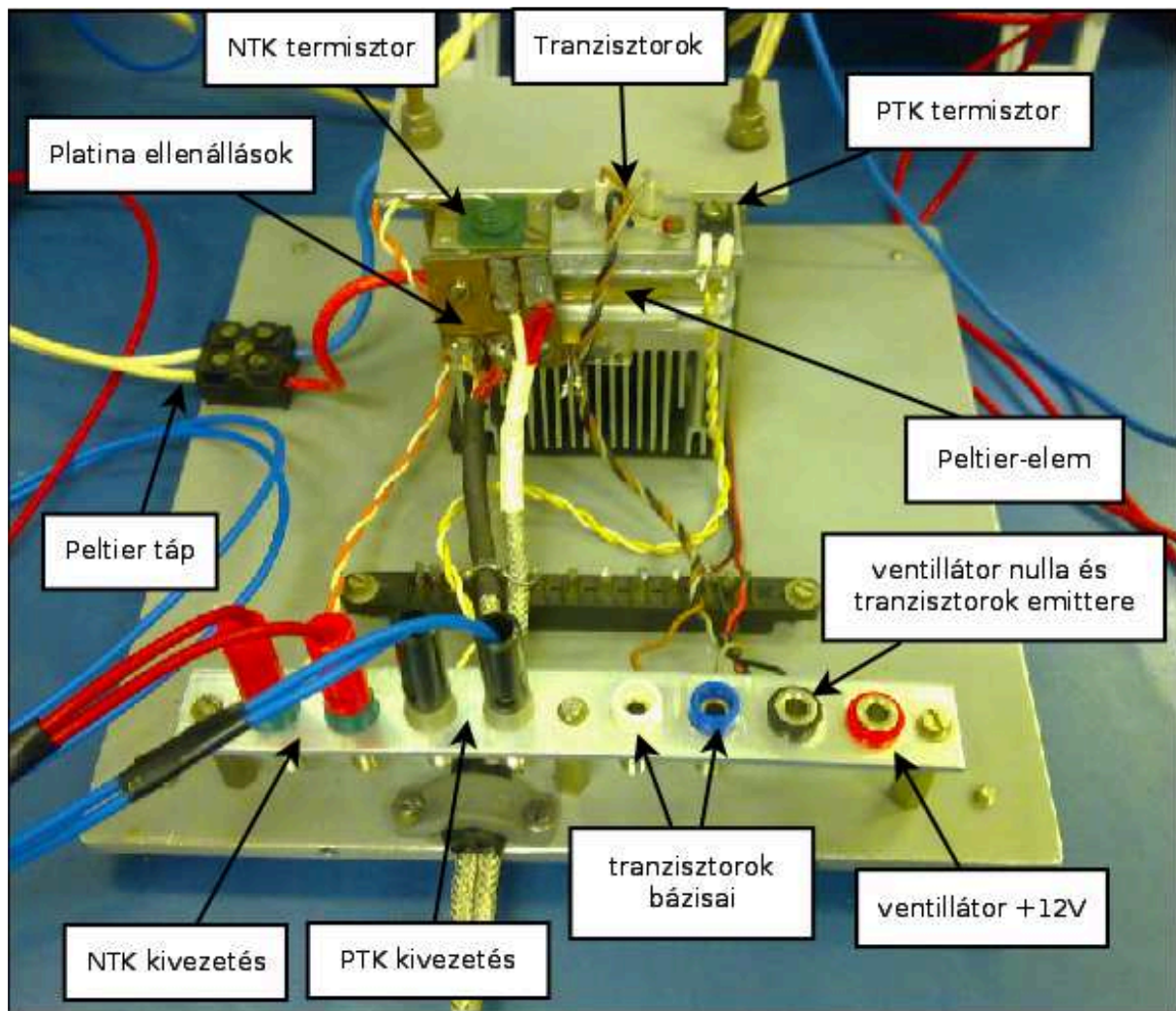
Mérési elrendezés

Szoftver

A mérés során az NI által kifejlesztett cDAQ adatgyűjtő rendszert alkalmazzuk. Ahhoz, hogy a mérést elkezdjük ezt a mérőberendezést be kell kapcsolnunk (ON állás). Ellenőrizzük minden mérés előtt, hogy a számítógéphez csatlakoztatva van az adatgyűjtő rendszer, illetve azt is, hogy a megfelelő tápellátást biztosítottuk-e számára. Ekkor a számítógép észleli a rendszert és automatikusan mérhetünk vele. A cDAQ-ot mindig azelőtt kapcsoljuk be, hogy a mérő szoftvert elindítanánk. A szoftverhez kattintsunk a termosensor.vi ikonra. A szoftver a Labview programozási környezetben készült. Amikor a Labview betöltött, a bal felső sarokban lévő fehér nyílra kattintva indíthatjuk. Ezután a programban a Mérés Start gombbal elindíthatunk egy mérést, amit a Mérés Stop gombbal zárhatunk le. Minden ilyen mérési szakaszban a program elmenti a start és a stop közötti összes mintát a két Pt100 hőmérsékletéről és a két termisztor ellenállásáról. Ezeket a megfelelő füleknél meg lehet jeleníteni, illetve a Mentés gombra kattintva csv (comma separated values) fájlba menthetjük. Ez lényegében egy szöveges fájl, amiben vesszőkkel elválasztva a számértékeket látjuk. Ezt az Excel és egyéb táblázatkezelők meg tudják nyitni. A fájlban az első oszlop a felső Pt100, a második oszlop az alsó Pt100, a harmadik oszlop az NTK, a negyedik oszlop a PTK termisztor értékeit tartalmazza.

Az adatgyűjtő állandó frekvenciával vesz mintát, így a programban ábrázolt görbéken a vízszintes tengely megfeleltethető az időnek. A mintavételi időköz is meghatározható, ha pl. 100 mintavétel időtartamát lemérjük órával.

A Pt100 érzékelők a legpontosabbak, ezeket használják referencia mérésekre, így mi is ezeknek az adatát fogjuk referenciaként használni. A program Celsius fokban írja ki a hőmérsékletet az ismertetett képletet használva.



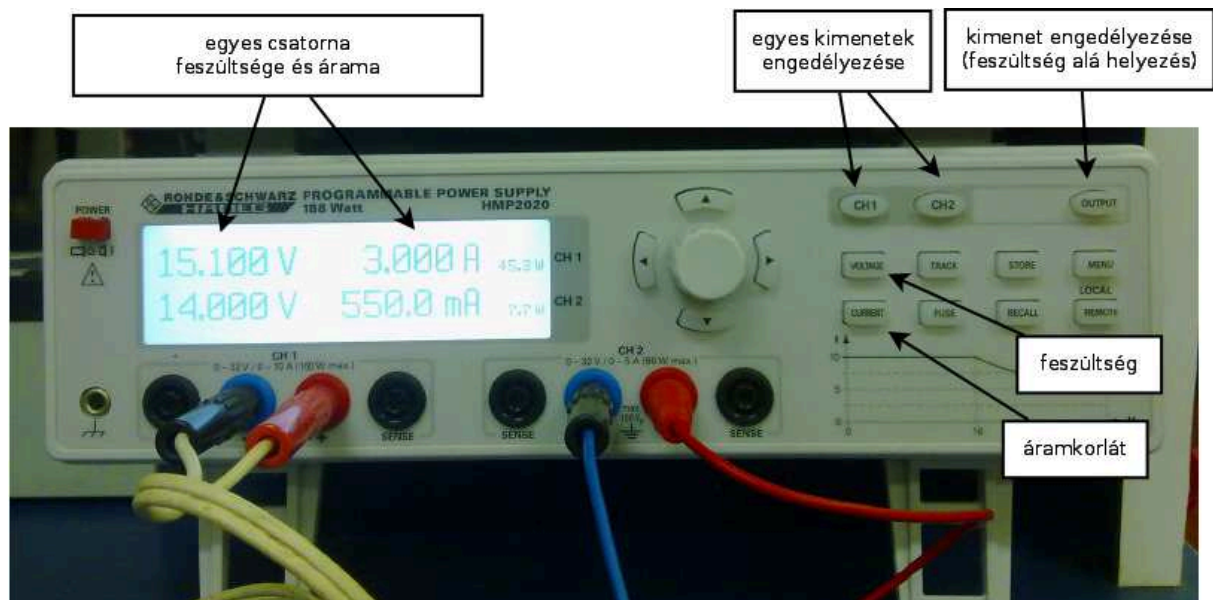
4. ábra Mérési elrendezés

Hardver

A Peltier-elem az egyik felét melegíti, a másik felét fűti. Alap bekötésnél (piros banándugó a pozitív) a felső oldalát hűti és az alsót fűti. Fordított bekötés esetén a hűtés-fűtés is megcserélődik. Az alsó oldalára egy hűtőborda és egy ventilátor van szerelve a túlmelegedés ellen. A ventilátor 12V tápfeszültségről üzemel.

Mind az alsó, mind a felső részbe be van építve egy-egy Pt100 érzékelő. A felső részbe továbbá be van építve egy NTK és egy PTK termisztor, egy Si és egy Ge tranzisztor.

A ventilátor nullapontja közösítve van a tranzisztorok emittereivel (használjuk ki a banándugót közösítési lehetőségét).



5. ábra HMP2020 tápegység

A tápegység használata

A Hameg HMP2020 kettős tápegység bal oldali kimenetét (*Ch1*) használjuk a Peltier elem ellátására, a jobboldali kimenetét (*Ch2*) a ventilátor ellátására. A Peltier-elemet árammal hajtjuk meg, ehhez 15V tápfeszültséget és áramkorlátot állítunk be (ennek értékét a mérési pontoknál megtaláljuk, illetve a mérésvezető útmutatását követhetjük). A tápegységen az egyes csatornákat külön-külön engedélyezhetjük a *Ch1* és *Ch2* gombokkal, azonban a kimeneten csak az *Output* gomb megnyomása után jelenik meg a feszültség. A gombok „bekapcsolt” állását világitással jelzi. A *Ch1-Ch2* gombok zölden világítanak, ha feszültséggenerátor, és pirosan, ha áramgenerátor üzemmódban vannak.

A feszültség beállításához nyomjuk meg a *Voltage* gombot, majd a kívánt csatorna gombját. A kijelzőn valamelyik számjegy fekete alapon fehérén fog villogni. A számjegy értékét a felle nyilakkal, vagy a potméterrel tudjuk állítani. A számjegyek között a balra-jobbra nyilakkal tudunk mozogni. Az áramkorlát beállításához a *Current* gombot kell megnyomni. A kimenetekenél a piros a pozitív, a kék a negatív kimenet. A kijelzőn leolvashatjuk az egyes csatornák teljesítményét is.

Mérési feladatok

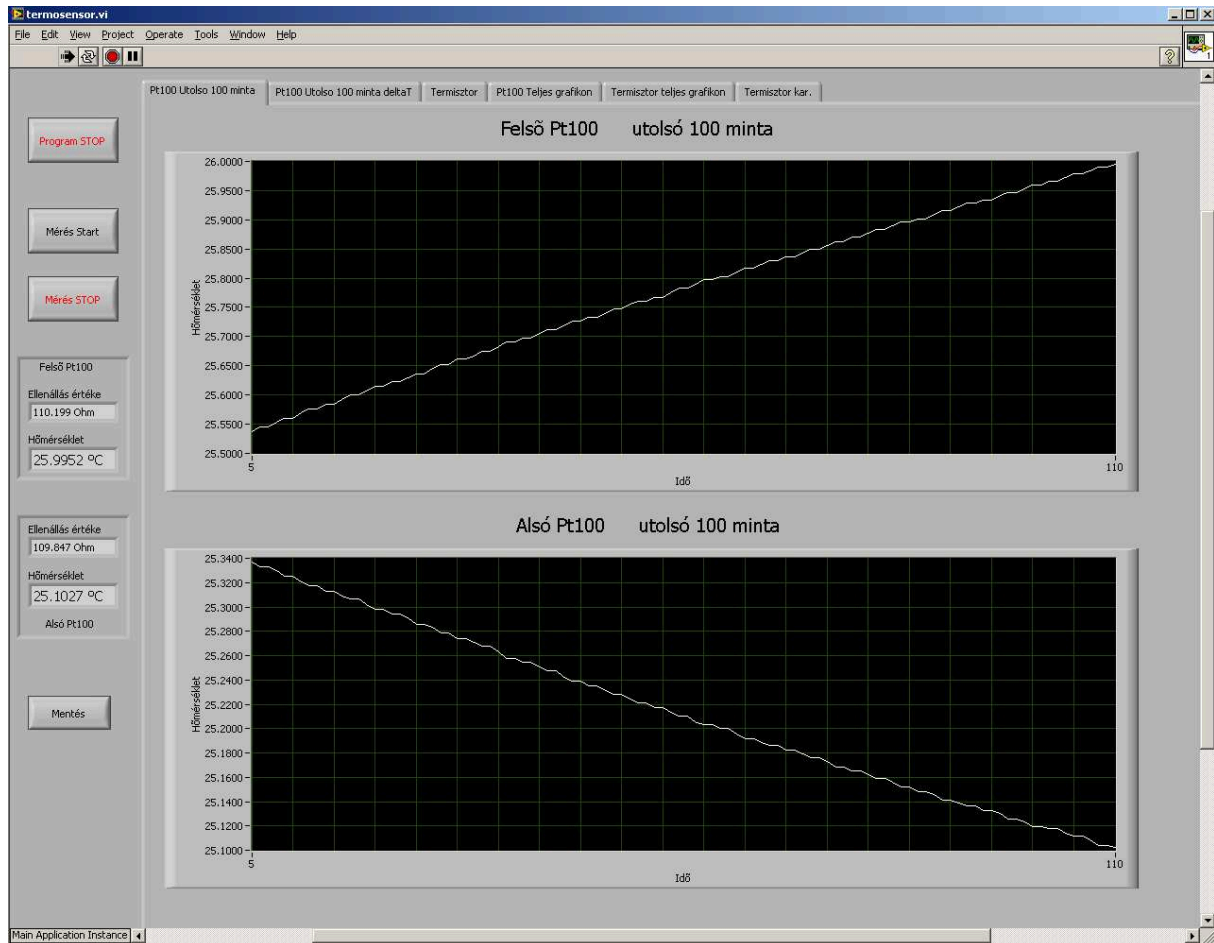
1. Peltier-elem

Szobahőmérsékleten maradva, figyeljük meg, hogy akár csak rövid időre a kezünkkel megérintve valamelyik fémlapot, a Pt100 érzékelők hőmérséklete egyértelműen változik. Az érzékelők kis méretűek, így kisebb energiaközlésre is reagálnak (kicsi a hőkapacitásuk).

Állítsunk be 15V feszültséget és ~~4A~~ **2A max** áramkorlátot a tápegységen. Kössük a piros banándugót a pozitív pólusra; így a felső rész fog hűlni. Kapcsoljuk be a ventilátort is 12V feszültségről. Vegyük fel a Peltier-elem két felének idő-hőmérséklet függvényét! A program első fülében a platina szenzorok hőmérsékletének utolsó 100 értékét látjuk grafikusán ábrázolva, továbbá baloldalt az aktuális ellenállás és hőmérséklet értékeket. Figyeljük meg a görbe nemlinearitását!

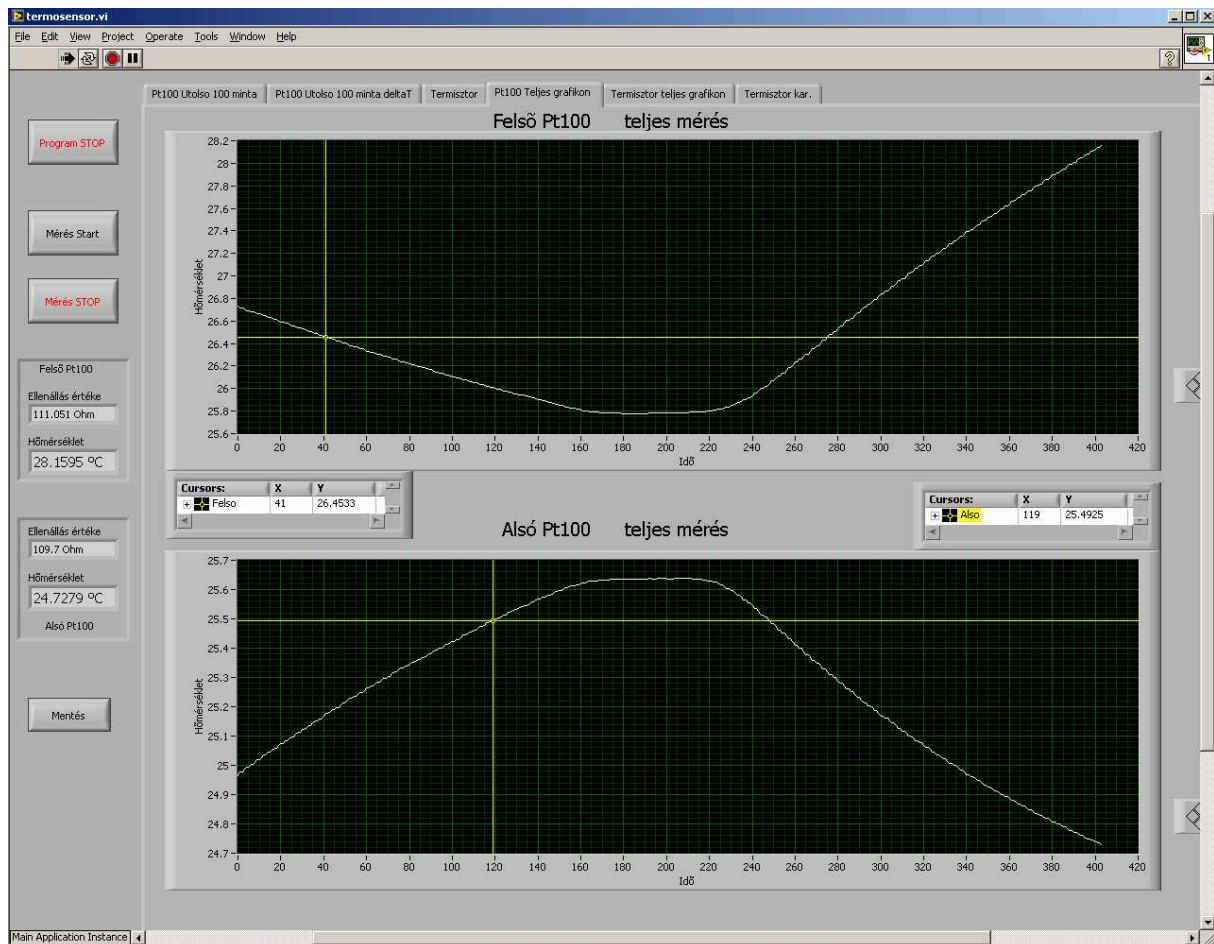
ventilátor: 100...150mA áramkorlát elég

Állapítsuk meg, hogy mekkora a legkisebb hőmérséklet, amit a felső rész el tud érni és eközben mennyi az alsó rész hőmérséklete. Figyeljük meg azt a jelenséget, amikor a felső rész is elkezd melegedni. Ezután nem sokkal kapcsoljuk ki a Peltier-elem áramát.



6. ábra Szoftver első fül: Pt100 utolsó 100 minta

Kössük át a Peltier-elem vezetékét a tápegységről a feszültségmérőre (multiméter). Mérjük a multiméteren a Peltier-elem feszültségét, a szoftverrel pedig a második fülön a hőmérséklet-különbséget a két rész között. Ilyenkor hőelemként viselkedik, azaz hőmérséklet-különbség hatására feszültséget állít elő. Jegyezzük fel az értékeket több pontban, miközben az elem visszahűl szobahőmérséklete, majd ábrázoljuk grafikonon. Számoljuk ki a hőmérséklet-feszültség arányt.



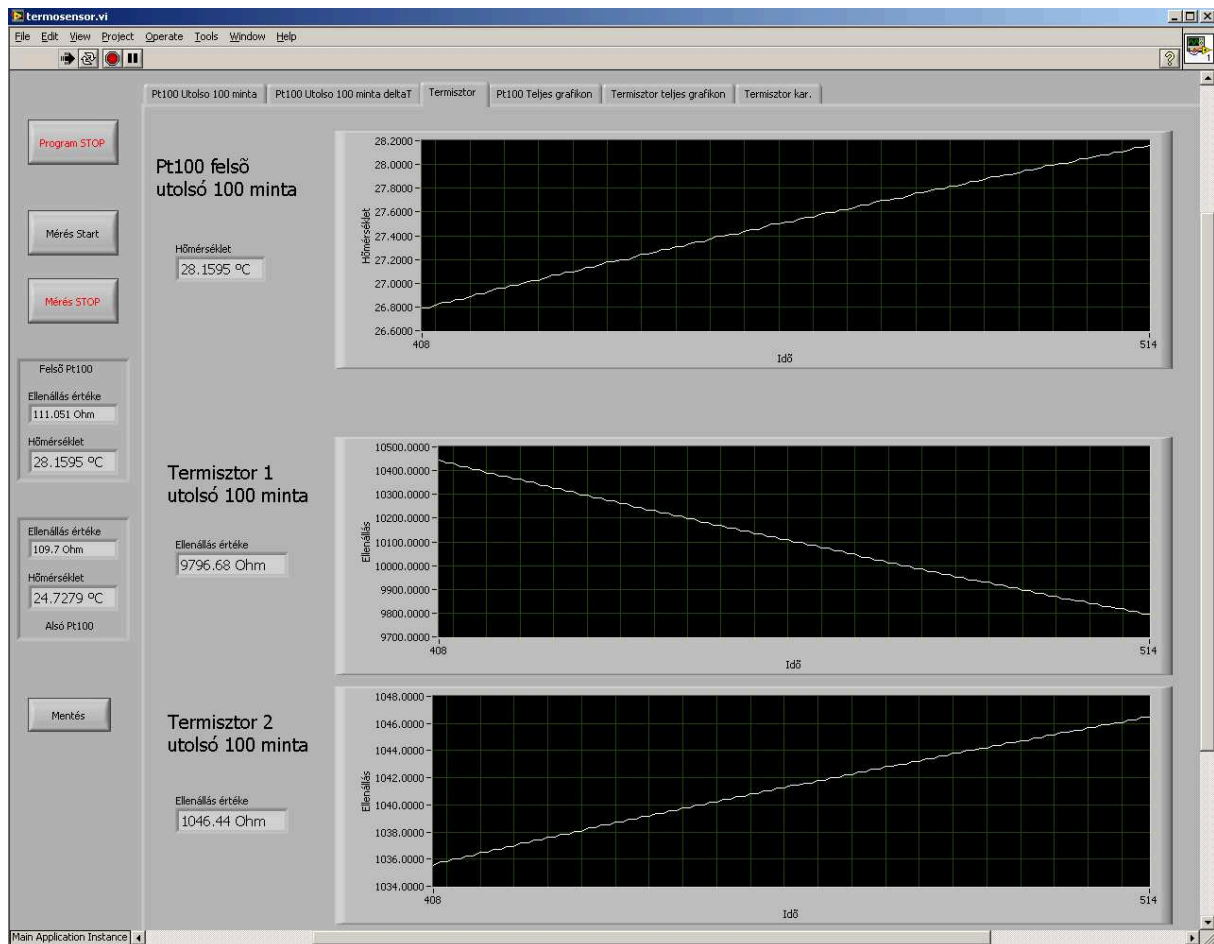
7. ábra Szoftver negyedik fül: Pt100 teljes mérési grafikon

A mérés lezárása után (a *program stop*-ot ne nyomjuk meg, a program futása során több mérési szakasz indítható) a negyedik fülre kattintva láthatjuk a teljes mérési szakasz grafikonját (ezt a mentett adatok alapján rekonstruálhatjuk Excelben). Itt mindkét grafikonon kurzorokkal mérhetünk is.

2. Termisztorok

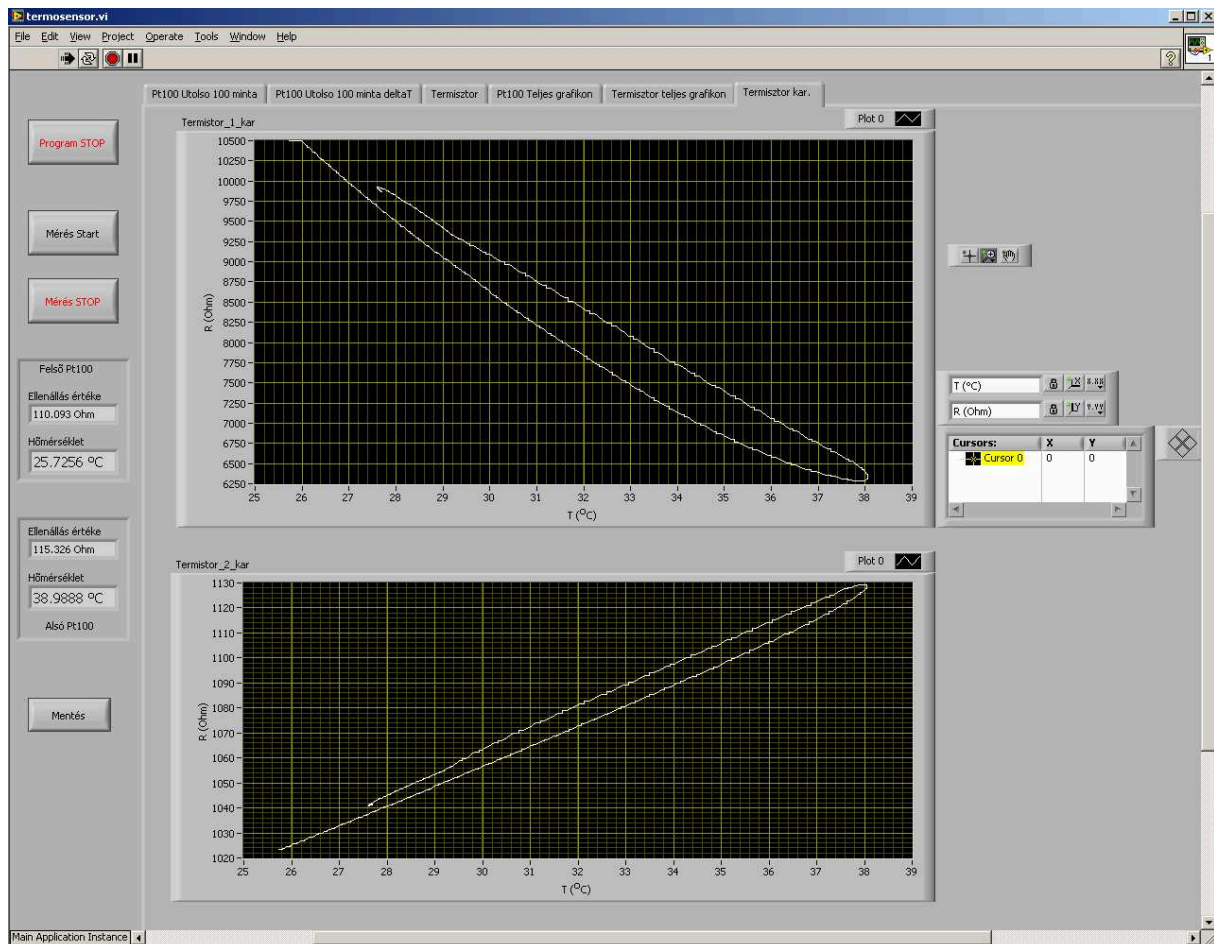
Mindkét termisztor a felső részhez van illesztve. A jelenlegi mérésnél a mérésadatgyűjtő maximum $10,5\text{k}\Omega$ ellenállást tud mérni; ez kb. az NTK termisztor ellenállása 27 fokon. Így ennek a görbéjét csak kb. 27 fok feletti hőmérsékleten tudjuk mérni. A PTK termisztor $1\text{k}\Omega$ körüli, így annak hőmérsékletét mindkét irányban változtathatjuk.

Kössük be fordítva a Peltier-elemet (piros banándugót a negatív pólusba)! Ekkor a felső rész melegedni fog. A szoftverben a harmadik (termisztor) fülnél láthatjuk az utolsó 100 mérési eredményt a hőmérsékletre és a két termisztor ellenállására. A hatodik (termisztor kar.) fülön a mérés végeztével a termisztor hőmérséklet-ellenállás karakterisztikája (vagyis annak közelítése) olvasható le.



8. ábra Szoftver harmadik fül: termisztorok utolsó 100 minta

Vegyük fel a termisztorok karakterisztikáját! Ehhez először fűtjük fel a felső részt, majd kössük be fordítva a Peltier-elemet és hűtjük vissza szobahőmérsékletre. Használjunk 4A áramot. Bizonyos hőmérséklet értékeknél (pl. 30fok, 40fok) vegyük fel manuálisan is az ellenállás értékeket mindkét irányban (fűtés-hűtés). Tapasztalunk-e eltérést? Miért?



9. ábra Szoftver hatodik fül: termisztor teljes mérés karakterisztika; hiszterézis

A görbék hiszterézisét csökkenthetjük, ha lassabban melegítjük a termisztorokat, így azoknak több ideje van felvenni a hőmérsékletet, illetve a Pt100 mért értéke is közelebb lesz a termisztor hőmérsékletéhez. Ismételjük meg az előző mérést 500mA áram mellett, mérjük le most is a hiszterézis nagyságát.

3. Tranzisztor

Állítsunk be 2...4 A Peltier áramot és kössük a piros banándugót a negatív pólusra, így a felső rész fog melegedni.

A Hameg multimétert dióda állásba kapcsolva mérhetjük a tranzisztorok bázis-emitter feszültségét. A tranzisztorok emittere közösítve van, és a ventilátor nullájával együtt van kivezetve. Az egyes bázisok külön-külön vannak kivezetve (ld. 4. ábra). Használjuk a két multimétert dióda állásban, hogy egyszerre mérhessük a két nyitófeszültséget!

Vegyük fel a hőmérséklet-nyitófeszültség függvényt mindkét tranzisztorra! A programmal mérjük a hőmérsékletet 5 fokonként. Ábrázoljuk grafikonon az eredményt (vagyis a hőmérséklet-nyitófeszültség grafikont). Számoljuk ki a $\Delta U/\Delta T$ értéket! Hasonlítsuk össze a tanultakkal! Van-e eltérés a kétféle tranzisztor hőfüggése között?

Műszerek és kellékek

Peltier-elem, 2db Pt100, PTK termisztor, NTK termisztor, Ge tranzisztor, Si tranzisztor
2 db digitális multiméter (Hameg HM8012)
1db Hameg dupla tápegység
NI cDAQ : NI 9172 alváz, NI 9217 és NI 9219 modulok
Számítógép, Labview szoftver

Ellenőrző kérdések

- Hogyan viselkedik a Peltier-elem áram hatására?
- Milyen típusai vannak a termisztoroknak és mi jellemzi a hőmérsékletfüggésüket?
- Milyen előnyei és hátrányai vannak a platina hőellenállásoknak?
- Hogyan változik a tranzisztorok karakterisztikája a hőmérséklettel?

Mérési jegyzőkönyv

A mérési jegyzőkönyvet pendrive-on vagy e-mailben kell benyújtani a mérést követő két héten belül (ha az oktató szóban másképp nem kéri).

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- 1., A mérést végzők nevét, a mérés helyét, idejét, tárgyát.
- 2., Nyilatkozatot arról, hogy a mérést a nevezett személyek saját maguk végezték és az eredményeket maguk értékelték ki.
- 3., A műszerek jegyzékét.
- 4., Az egyes mérési pontokhoz tartozó számszerű értékeket, az azokból készített grafikonokat, az utólagos számítással vagy méréssel megkapott értékeket; a mérési eredmények magyarázatát, értékelését.

KERÜLJÉK a jegyzőkönyvek másolását! Azonos vagy nagyon hasonló jegyzőkönyvek NEM FOGADHATÓAK EL!