

4. Laboratóriumi gyakorlat

A HŐELEM

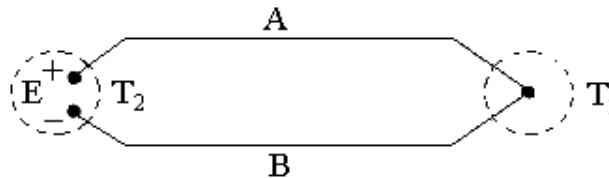
1. A gyakorlat célja:

A hőelemek és mérőáramkörei működésének és használatának tanulmányozása. Az $U=f(T)$ karakterisztika felrajzolása.

2. Elméleti bevezető

2.1. Hőelemek

A hőelem aktív hőmérsékletszenzor, vagyis ún. hőelektromotoros feszültséget hoz létre, nincs szüksége külső tápfeszültségre. Működése a közvetlen hőelektromos hatáson, *Seebeck effektuson* (észt fizikus Thomas Seebeck fedezte fel 1822-ben) alapszik. Ez a jelenség abban áll, hogy két különböző vezetőből álló áramkörben hőelektromotoros feszültség jelenik meg, ha a vezetők illesztései különböző hőmérsékleten vannak. A hőelem elvi rajzát az 1. ábra mutatja.



1. Ábra A hőelem elvi rajza.

A megjelenő feszültség függ az illesztési pontok hőmérséklet különbségétől és a következő egyenlet írja le:

$$E = a(T_1 - T_2) + b(T_1 - T_2)^2 + c(T_1 - T_2)^3 + \dots$$

ahol a , b , c anyagállandók, T_1 , T_2 az illesztési pontok hőmérsékletei, melyeket meleg illetve hideg forrásoknak is nevezünk.

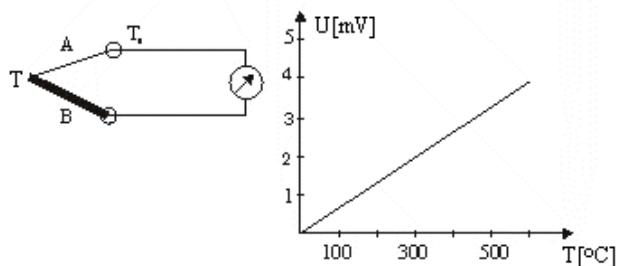
A jelenség fizikai magyarázata az, hogy a hőmérséklet növekedésével különbözőképpen nő a két anyagban a töltéshordozók mozgékonyága. Ez maga után vonja a töltéshordozók vándorlását melegebb részekről hidegebb részek felé.

A jelenség fordítottja a *Peltier effektus*, amely szerint, ha egy hőelemen áram folyik át, hűtőhatás következik be a melegebb illesztéstől a hidegebb felé.

A hőelemek használata és gyártása néhány törvényen alapszik:

1. *Homogén áramkör törvénye*: homogén (azonos természetű vezetőkből álló) áramkörben nem jelenik meg elektromotoros feszültség ha az áramkör két pontja között hőmérsékletkülönbség van. Ez a törvény biztosítja a bekötővezetékek használatát, meghosszabítását.
2. *Izoterm (állandó hőmérsékletű) áramkörben* nem keletkezik elektromotoros feszültség, ilyen esetben az áramkört nem befolyásolja az őt felépítő vezetők természete. Ez a jelenség biztosítja a különböző anyagú vezetők egymáshoz csatolását a mérőáramkörben azzal a feltétellel, hogy az alkotóelemek azonos hőmérsékleten legyenek.
3. *Egymás utáni fémek törvénye*: A és B vezetőkből felépített hőelem által generált elektromotoros feszültség egyenlő az A és C , illetve C és B vezetőkből alkotott hőelemek által generált elektromotoros potenciálkülönbséggel, azzal a feltétellel, hogy az illesztések hőmérsékletei egyenlők legyenek. Erre a törvényre alapszik a hőelemek etalonálása.
4. A T_2-T_1 hőmérsékletkülönbségből adódó hőelektromotoros feszültség egyenlő a T_2-T_3 illetve a T_3-T_1 hőmérsékletkülönbségekből adódó termoelektromotoros feszültségek összegével. Ez a jelenség biztosítja a korrekciók elvégzését a referencia-hőmérsékletek változtatásánál. $T_2-T_1 = (T_2-T_3) + (T_3-T_1)$.

A hőelemek áramköri jelölése és jelleggörbéje az 2. ábrán látható. A hőelemek karakterisztikája megadható nem csak grafikus úton, hanem táblázat vagy egyenlet formájában is.



2. Ábra. A hőelemek áramköri jelölése és jelleggörbéje.

A hőelemeket alkotó vezetők a következő tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzenek: magas érzékenység, időbeli stabilitás, ellenálló képesség korózióval szemben.

A két alkotófém közti illesztés ragasztással, forrasztással, vagy hajlítással valósítható meg.

A használati hőmérséklet függ a használt vezetők típusától, például: a *Réz-Konstantán* 370°C alatt, *Cr-Ni* 850°C alatt, a *Chromel-Konstantán* 870°C alatt, a *Chromel-Alumel* 1250°C alatt, a *Platina-Rhódium*, *Tungstán-Rhódium* és a *Bór-Grafit* $2000 - 2500^\circ\text{C}$ alatt használatos.

A hőelemek fontos paramétere az érzékenység, mely anyagfüggő és nagyságrendje $0,005-0,07\text{mV}/^\circ\text{C}$ között változik és nem állandó az egész

hőmérsékleti tartományban, melyben használják. Ebből következik, hogy a karakterisztika nem lineáris csak szakaszonként.

A hőelemek védelmére védőcsövet használnak (lásd 3. ábrát), ami növeli a tehetetlenségüket, válaszidejük 30s körül van. Védelem nélkül kisebb a válaszidejük, és lehetővé teszik az egy pontban való mérést.



3. Ábra Hőelemek és hőellenállások ipari tokozása.

A hőelemeket csatlakozási szálakkal kötik be a mérőrendszerekbe, melyek hossza nem meghaladhatja meg a 2m-t, és kis keresztmetszetűnek kell, hogy legyenek a minél kisebb feszültségesés miatt. A bekötő szálak állandó hőmérsékleten kell legyenek (0°C vagy 20°C), ezek a hidegforrpontot (referencia hőmérsékletet) szolgáltatják. Sok esetben a referencia hőmérséklet nem állandó, vagy különbözik az etalonálásnál használt referencia hőmérséklettől. Ebben az esetben korekciót kell végezni. Ha a mérést mV mérővel végezzük a korekció a következő egyenlet szerint történik:

$$E(T_1T_0) = E(T_1T_k) + E(T_kT_0)$$

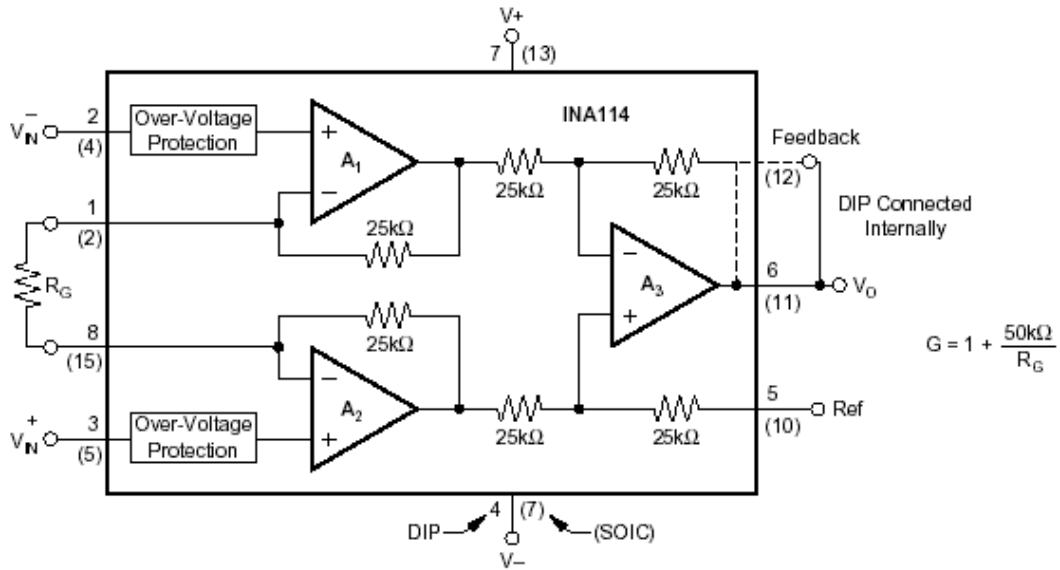
ahol $E(T_1T_0)$ az a termoelektromotoros feszültség, melyet a hőelem generál, ha a meleg forrpont T_1 hőmérsékleten, a hideg forrpont T_0 hőmérsékleten van. $E(T_1T_k)$ az a termoelektromotoros feszültség, melyet a hőelem generál, ha a meleg forrpont T_1 hőmérsékleten, a hideg forrpont pedig T_k környezeti hőmérsékleten van. $E(T_kT_0)$ az a termoelektromotoros feszültség, melyet a hőelem generál, ha a meleg forrpont T_k környezeti hőmérsékleten, a hideg forrpont pedig T_0 van.

- A hőelemek előnyei:
- nincs offset feszültség
 - más fizikai paraméterek nem befolyásolják a mérést
 - nem szükséges előzetes polarizáció
- hátrányai:
- kis hőmérsékleten csökken az érzékenység
 - hőzajt hoz létre, ami csökkenti az érzékenységi küszöböt
 - kis hőelektromotoros feszültség
 - magas hőmérsékleten korodálódhatnak.

2.2. Mérőerősítők

A hőelemek nagyon kis (mV nagyságrendű) feszültséget szolgáltatnak a kimenetükön ezért használatukhoz nagy erősítésű, nagy bemeneti impedanciájú és nagy pontosságú mérőáramkörökre van szükség. A egyszerű műveleti erősítők sok esetben

nem felelnek meg a hőelemek által gerjesztett feszültség kieroősítésére, ha nagy pontosságra van szükség. Ezért fejlesztették ki a mérőerősítőket, amelyek tipikusan mérőáramkörökben használatosak. Ezek három integrált műveleti erősítőből álló erősítők (lásd 4. ábrát).



4. Ábra. A mérőerősítő belső felépítése.

Az erősítést az alábbi összefüggés adja meg:

$$A = \frac{U_{KI}}{U_{BE}} = 1 + \frac{50000}{R_G} \quad (1)$$

ahol R_G külső ellenállás.

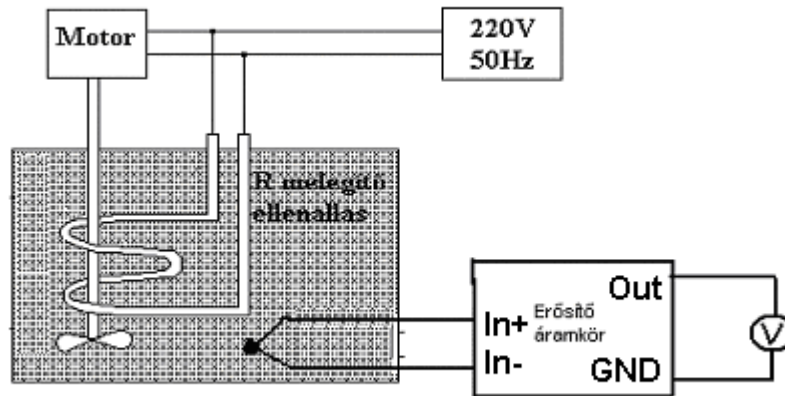
A mérőerősítők az alábbi előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek:

- differenciáltan erősítik a bemenő feszültséget
- az erősítés nem érzékeny a környezeti hőmérsékletre és zajokra
- az erősítés nagy intervallumban változtatható (1 - 10000)
- túlfeszültségvédelem van a bemeneteken
- kis offszetfeszültség a kimeneten (50 μ V maximum)

3. A mérés menete

A használt hőelem J típusú (V_{as} - Konstantán), alacsonyabb hőmérsékleti tartományban használatos.

Összeállítjuk az 5. ábrán látható mérőáramkört.



5. Ábra. A gyakorlat során használt mérőáramkör.

A mérőáramkör erősítését beállítjuk $A=100$ – ra

A hőelemet a környezeti hőmérsékleten levő vízbe helyezük és csatlakozóit az erősítő $In+$ és $In-$ bemeneteire kötjük. A kimeneti feszültséget az erősítő $Output$ és GND kimenetein mérjük. A vizet melegíteni kezdjük (Maximum 60 fokig!). Párhuzamosan olvassuk le a voltmérőt (V) és a referencia hőmérséklet. Kitöltjük az 1-es táblázat második sorát.

Számítások:

1. Visszaszámoljuk a hőelem által szolgáltatott feszültséget (U_T). (A mért feszültséget U_M elosztjuk az erősítéssel). Kitöltjük a táblázat harmadik sorát.

2. Megmérjük a környezeti hőmérsékletet (T_K). Kiszámoljuk az edényben levő folyadék és a mérőáramkör közti hőmérséklet különbséget. Kitöltjük a táblázat negyedik sorát.

$$\Delta T = T - T_K$$

3. A 2. táblázat katalógusból kimásolt feszültségértékeket (U_{REF}) tartalmaz az adott hőmérsékletkülönbségekre (ΔT). Ennek alapján számítsuk ki a mérésünk abszolút hibáját (a korekciót melyet el kell végezni ahhoz, hogy a szolgáltatott feszültség az abszolút hőmérsékletnek feleljen meg):

$$E_{rr} = |U_{REF} - U_T|$$

Kitöltjük a táblázat ötödik sorát. A mért és számított adatok alapján rajzoljuk fel a hőelem karakterisztikáját (korekcióval és korekció nélkül)!

1. Táblázat

<i>Hő- mérséklet</i>	T	(°C)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>Mért feszültség</i>	U_M	(mV)									
<i>Számított feszültség</i>	U_T	(μ V)									
<i>Hő mérséklet különbség</i>	ΔT	(°C)									
<i>Abszolút mérési hiba</i>	E_{rr}	(μ V)									

4. Kérdések és feladatok

1. A hőelemek által szolgáltatott feszültség mindig a hőelem illesztési pontja és a mérőáramkör közötti hőmérsékletkülönbséget méri. A gyakorlatban a mérőáramkörök változó környezeti hőmérsékleten működnek (0-30 °C) ezért a hőelemes méréseinknek akár 30 °C-os hibája is lehet. Hogyan lehetne ezt a problémát megoldani?
2. Előfordulhat, hogy amikor a hőelemet a vízbe helyezzük a csatlakozóin negatív feszültséget mérünk. Miért van ez?
3. A mérések alapján becsüljük meg, hogy mennyi az erősítő offszethibája.
4. Keressünk más típusú hőelemeket és adjuk meg a hőmérséklet intervallumot melyben használhatók!

2. Táblázat

A Vas – Konstantán hőelem által generált feszültség különböző hőmérsékleteken, ha a hideg forrpont 0°C-on van:

<i>Hőmérséklet</i>	ΔT	(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Feszültség</i>	U_{REF}	(μV)	0	50	101	151	202	253	303	354	405	456

<i>Hőmérséklet</i>	ΔT	(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Feszültség</i>	U_{REF}	(μV)	507	558	609	660	711	762	813	865	916	967

<i>Hőmérséklet</i>	ΔT	(°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
<i>Feszültség</i>	U_{REF}	(μV)	1019	1070	1122	1174	1225	1277	1329	1381	1432	1484

<i>Hőmérséklet</i>	ΔT	(°C)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
<i>Feszültség</i>	U_{REF}	(μV)	1536	1588	1640	1693	1745	1797	1849	1901	1954	2006

<i>Hőmérséklet</i>	ΔT	(°C)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
<i>Feszültség</i>	U_{REF}	(μV)	2058	2111	2163	2216	2268	2321	2374	2426	2479	2532