

Termisztor és termoelem jelleggörbéjének felvétele

Hőmérőként használható bármely fizikai jelenség, pl. keresztjeffektus (ismert pontosságú)

- Gáz hőmérő: térfogati hőtágulási együttható
- Folyadék hőmérő: vonalmenti (lineáris) hőtágulási együttható
- Bimetál: szilárd anyagok (fémek) vonalmenti hőtágulási együtthatója
- Osszugarzást mérő pirométer
- Színüket változtató festékek
- Hőmérsékletre lágyuló műanyagok, szilikátok és persze villamos hőmérők

Ellenálláshőmérő

Angol elnevezésük Resistance Temperature Detector, RTD: A fémek elektromos ellenállása növekszik, ha a hőmérsékletük nő. Ha T_0 hőmérsékleten az ellenállás R_0 , akkor T hőmérsékleten az ellenállás

$$R = R_0 \left[1 + \alpha_1 (T - T_0) + \alpha_2 (T - T_0)^2 + \alpha_3 (T - T_0)^3 + \dots + \alpha_n (T - T_0)^n \right]$$

ahol $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_n$ az ellenállás hőmérsékleti tényezői. Ha ismert hőmérsékleteken megmérjük az ellenállás értékét, akkor a kapott értékpárookra illesztett görbéből meghatározhatóak a hőmérsékleti tényezők.

A gyakorlatban elterjedt a **Pt100** ellenálláshőmérő, amely platina huzalból áll, és amelynek ellenállása 0°C -on $R_0 = 100$ ohm. Viszonylag kis hőmérsékleti tartományban ennek az ellenállás hőmérőnek az ellenállása a következő kifejezéssel írható le

$$R = R_0 (1 + \alpha t_{\circ\text{C}})$$

Ha a 0°C -ot használjuk kezdőpontnak, akkor az abszolút hőmérséklet helyett a celziusz fokban mér hőmérséklet írható. Az iparban használatos még a nikkell ellenállás-hőmérő is. Ennek karakterisztikája erősebben eltér a lineáristól, ezért figyelembe szokás venni a másodfokú tagot is.

Külföldön réz és nikkell ellenálláshőmérőket is használnak; a platinát Pt200, Pt500, Pt1000 formában is ismerik. A hőmérsékleti érzékenységét az Egyesült Államokban $0,003916 \Omega/\text{K}$, Európában IEC és DIN szerint $0,00385 \Omega/\text{K}$ értékkel számítják.

Termisztorok

A termisztor félvezető anyagból készül. Ellenállása rohamosan csökken a hőmérséklet emelkedésével, ugyanis a hőmérséklet növekedésével a vegyértéksávból egyre több elektron kerül a vezetési sávba. A hőmérséklet-függés általános jele PTK, vagy NTK. Tanszékünkön **csak** NTK (Negative Temperature Coefficient, negatív hőmérsékleti együtthatójú) termisztorok vannak. A termisztor ellenállása bizonyos hőmérsékleti tartományban a hőmérséklet függvényében:

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta H}{R_m T}} = R_0 e^{\frac{B}{T}}$$

Itt ΔH az elektronok kicserélődési entalpiája (elvileg J/mol lenne, de gyakran elemi egységre adják meg, ilyenkor J/db a mértékegysége).

R_m az általános gázállandó, vagy a k_B Boltzmann-állandó; a ΔH mértékegységétől függően E kettőt helyettesíti a termisztor energiaállandója, B

R_0 értékét vagy a szobahőmérsékletre, vagy 0°C -ra definiálják.

A fenti összefüggés logaritmusát véve:

$$\ln R = \ln R_0 + B \frac{1}{T}$$

Ha különböző hőmérsékleten mérjük a termisztor ellenállását, és az összetartozó $\ln R_i$ és $1/T_i$ értékpárokat ábrázoljuk, akkor egyenest kell kapnunk. A mért pontokra illesztett egyenes meredeksége megadja B állandó értékét, az egyenes konstans tagjából pedig az R_0 értéke számítható.

A termisztor érzékenységet, azaz mekkora ellenállás különbség tartozik egy °C-os (egy kelvines) hőmérsékletváltozáshoz, az $R(T)$ görbe T szerinti differenciálhányadosa adja meg:

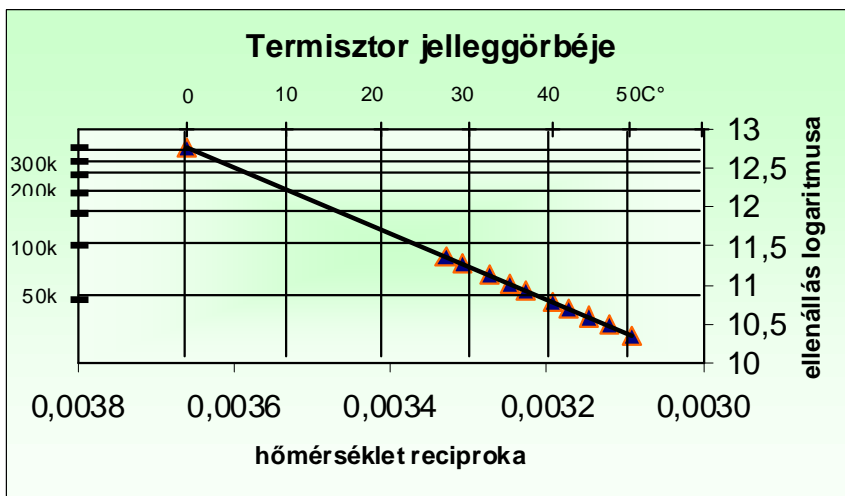
$$\frac{dR}{dT} = R_0 e^{\frac{R}{T}} \left(-B \frac{1}{T^2} \right)$$

A termisztorok bizonyos hőmérsékleti tartományban metrológiai érzékenysége nagyobb, mint az ellenállás hőmérőké, azaz egy °C hőmérséklet-változás hatására nagyobb ellenállás változást adnak a termisztorok, mint az ellenállás-hőmérők.

Termisztor ellenállás–hőmérséklet-függésének felvétele

A termisztor ellenállását digitális mérőműszerrel mérjük. A különböző hőmérsékleteket termosztát segítségével állítjuk be. Szobahőmérsékletről indulva a hőmérsékletet kb. 60 °C-ig növeljük 5 °C-onként. A termisztor a termosztát vízfürdőjébe helyezve minden egyes beállított hőmérsékleten megmérjük a termisztor R_i ellenállását. A mérési adatokat táblázatba foglaljuk.

A °C-ban mért hőmérsékleteket átszámítjuk K-be. Kiszámítjuk az $1/T$ értékeket. A megmért ellenállásokat átszámítjuk ohm-ba.



Ábrázoljuk az $\ln R_i$ értékeket (függőleges tengely) az $1/T_i$ függvényében (vízszintes tengely). A kapott pontokra regressziós egyenest illesztünk. Legalább hat tizedesjegyre kell számolni az egyes értékekkel, mivel az $1/T$ értékek 10^{-3} nagyságrendűek, az $\ln R$ értékek pedig 10-es nagyságrendűek. A regressziós egyenes meredeksége megadja a B állandót, a konstans tagból pedig az R_0 értéke számítható.

A számításnál ügyelni kell a reciprok érték függvény helyes használatára. Vegyük fel példaképpen a regressziós egyenes adatait (egy tavaly mért termisztor alapján). A meredekség azonos az energiaállandóval, $B=4298$ K. A tengelymetszet **nem** a nullához tartozik, hanem **a végtelen hőmérsékletre számított ellenállás logaritmus**a. Esetünkben $-2,97$. Írjuk be a függvénybe a nulla celziusz fok értékét kelvinben, mert így kapjuk az R_0 értékét.

Vonatkoztatási hőmérsékletként más adat is megadható, például a szobahőmérséklet. A fenti egyenletben a víz fagyáspontját használtuk vonatkoztatási adatként. Ez a termisztorok esetén általánosan elfogadott érték.

Minden egyes T értékhez kiszámítjuk a $-B \frac{1}{T^2}$ (érzékenység) értéket is. Ügyeljünk ezek mértékegységére!

Steinhart–Hart-egyenlet

A Steinhart–Hart-egyenlet számítása nem kötelező. A gyakorlatvezető egyetértésével szorgalmi feladatként elvégezhető.

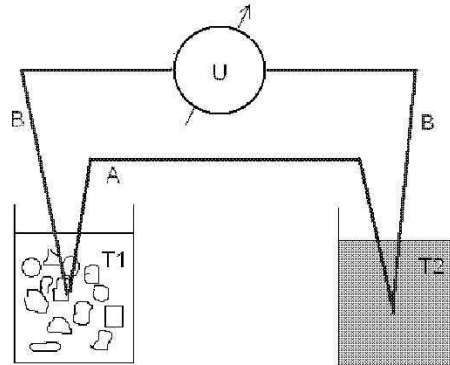
$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c(\ln R)^3 \quad (\text{a hőmérsékletet kelvinben, az ellenállást ohmban mérjük})$$

A három konstans kiszámítása legalább három adat ismeretét feltételezi.

Feszültségmérésen alapuló módszerek

Termoelemek

A termoelemek (angolul Thermocouple) azon a kísérleti tapasztalaton alapulnak, hogy ha két fém szorosan érintkezik egymással, azaz a két elektron felhő érintkezik egymással (10^{-10} m), akkor az egyik fémből elektronok mennek át a másik fémbé, és így az érintkezés helyén potenciálkülönbség jön létre. Ez az ún. érintkezési feszültség függ a hőmérséklettől. Ezt a jelenséget felfedezőjéről SEEBECK-hatásnak nevezzük.



A termoelem két fémhuzalból készült hőmérő eszköz. Az A és B fémhuzalt összeforrasztjuk az 1 és 2 pontban. Az egyik érintkezési pontot T_1 hőmérsékletű helyre, a másik érintkezési pontot T_2 hőmérsékletű helyre tesszük. A feszültségmérő a két pont közötti hőmérsékletkülönbségtől függő feszültségértéket, mutat:

$$U = \alpha_1(T_2 - T_1) + \alpha_2(T_2 - T_1)^2 + \dots + \alpha_n(T_2 - T_1)^n$$

Az $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ az ún. SEEBECK-együtthatók. Ha nagy a hőmérsékletkülönbség, akkor az U a hőmérsékletkülönbség magasabb hatványaitól is függ. Amennyiben a T_1 az olvadó jég és víz keveréke, akkor a $T_2 - T_1$ hőmérsékletkülönbség éppen a T_2 hőmérséklet Celsius fokban mért hőmérséklete, t . Ekkor a mért feszültség

$$U = \alpha_1 t + \alpha_2 t^2$$

Ha hitelesítéssel meghatározzuk az α_1, α_2 SEEBECK-együtthatókat, akkor a mért feszültség értékéből megkapjuk a t értékét. A termoelem előnye, hogy kis méretű (egy forrasztási pont), hőkapacitása kicsi, így gyorsan felveszi a mérni kívánt közeg hőmérsékletét. Hátránya, hogy a mért feszültség kicsi; 1°C hőmérsékletkülönbségnél mindössze kb. $40\text{--}50 \mu\text{V}$; ezért érzékeny feszültségmérő szükséges.

Termoelem hőmérséklet—feszültség jelleggörbéjének felvétele

Vonatkoztatási hőmérsékletnek olvadó jég és víz keverékét vesszük (0°C). A termoelem egyik érintkezési pontját ebbe helyezzük bele. A másik érintkezési pontot egy termosztát vízfürdőjébe helyezzük, amelynek hőmérsékletét pontosan be tudjuk állítani. Ez lesz a t értéke. A termofeszültséget mérjük voltmérővel.

Ne állítsunk olyan hőmérsékletet, amely 5-nek egészszámu többszöröse, mert a statisztikai kiértékelésnél nemkívánatos effektust okoz (a folytonos értékészletet diszkrét értékekké konvertálja). Javasoljuk pl. a 23°C, 29°C, 32°C, stb. értékeket

Az összetartozó $U_i—t_i$ értékeket ábrázoljuk, vízszintes tengelyen a hőmérsékletet, a függőlegesen a termofeszültséget. Ha nem túl nagy a hőmérsékletkülönbség a két érintkezési pont között, akkor elegendő az

$$U = \alpha_1 t$$

összefüggés alapján egyenest illeszteni a mért pontokra. A mért pontokra kapott regressziós egyenes meredeksége megadja az α_1 értékét.

A mérési gyakorlatokon általában T típusú réz–konstantán hőelemeket használunk. Ennél szobahőmérsékleten a termofeszültség kb. 1 mV lehet. Érzékenysége kb. 43 $\mu\text{V/K}$. A típus betűjelét az ITS-90 (International Temperature Scale 1990), illetve az IEC 584-1

(International Electrotechnical Commission) szerint adjuk meg. Az angol szóhasználat:

TEP = Thermo Electric Power = SEEBECK-állandó

EMF = ElectroMotive Force = termofeszültség (hibás fordítása: elektromotoros erő).

Hőelemes mérés

A mérés megkezdése előtt készítsük el a táblázatot, amelybe be lehet írni a leolvasott értékeket. Nulla Celsius fokhoz nem mért, hanem számított eredményt írunk be. Erre a célra hagyjuk üresen az első sort. Ez növeli az eredmények áttekinthetőségét. A termofeszültség értéke a réz-konstantán hőelem esetén várhatóan a millivolt nagyságrendjébe esik. Például:

| hőmérséklet | | termofeszültség |
|-------------|--------|-----------------|
| °C | K | mV |
| 0 | 273,15 | |
| 23,2 | 296,35 | 0,93 |
| ... | ... | ... |
| 64,5 | 337,65 | 2,65 |

A termosztát hőmérsékletét kb. 5 fokként emeljük minden leolvasásnál. A lépésköz *ne legyen pontosan 5 fok*, mert téves eredményt kapunk a hőelem érzékenységre (a mérőműszer várhatóan nem teszi lehetővé a század millivoltok leolvasását). Nyolc-kilenc mérési adat 20 és 60 fok között már elfogadható eredményt nyújt.

Illesszünk lineáris regressziót a mérési eredményekre! Ennek két változata van.

1. A fizikai alapok értelmében nulla a termofeszültség, ha a referencia hőelem olvadó jégben van, és a mérést végző hőelem hőmérséklete szintén nulla °C. Ehhez a számítást úgy kell elvégezni, hogy a regressziós egyenes konstansa nulla, az ábrája pedig az origónál metszi a függőleges tengelyt..

2. Méréstechnikai szempontból el kell fogadnunk azt, hogy minden mérést terhel valamekkora hiba; az előzőleg leírt feltétel nem teljesül. Ezt a jelenséget nullponthibának nevezzük. Ekkor nem kényszerítjük rá a regresszióra, hogy konstansa nulla legyen.

A gyakorlatvezető ismerteti a hallgatókkal, hogy melyik megoldást kell választaniuk. Ha a gyakorlatvezető nem javasol erre megoldást, akkor a hallgatónak kell döntenie: melyik megoldást választja, és ezt indokolnia is kell.

Réz-konstantán hőelemnél az alábbihoz hasonló eredményt kapunk:

$$U_{mV} = 0,0418 \frac{mV}{K} K - 0,0376 mV, \text{ más formában jelölve: } \frac{U}{mV} = \frac{0,0418}{\frac{mV}{K}} K - \frac{0,0376}{mV}$$

(A Kelvinben mért hőmérsékletkülönbség egyenlő a Celsius fokban mért hőmérsékletkülönbséggel)

Ebben a példaképpen szerepeltetett egyenletben tehát a termoelem érzékenysége $41,8 \mu V/K$ volt, a nullponthiba pedig $37,6 \mu V$. Az ábra megrajzolásához két pontot kell kiszámítanunk (két pontra illeszthető egyenes). Az egyik legyen a nulla $^{\circ}C$, a másik legyen valahol a mérések tartományának végén, például $55^{\circ}C$ -nál:

$$U = 0,0418 \frac{mV}{K} \cdot 0 K - 0,0376 mV = -0,0376 mV$$

$$U = 0,0418 \frac{mV}{K} \cdot 55 K - 0,0376 mV = 2,299 mV - 0,0376 mV = 2,261 mV$$

Az összefüggés ábrázolásához a vízszintes tengelyen válasszunk például $-10^{\circ}C$ és $+70^{\circ}C$ között akkora hosszúságot, mint a papír szélessége. Ebbe a $0^{\circ}C$ és a $64,5^{\circ}C$ bizonyosan belefér. A függőleges tengelyre férjenek rá a termofeszültségek $-0,5 mV$ és $3,0 mV$ között; ebbe a mért értékek jól láthatóan beleférnek (nyolc osztásjel; az első a $-0,5$, az utolsó a $3,0 mV$).

Az eredményeket ellenőriznünk kell a tanszék által kiadott táblázat adataival. Ezek természetesen nem egyeznek pontosan, de a durva számítási hibák hamar észrevehetőek.

Szorgalmi feladat

Kétféle összehasonlításra van lehetőségünk: eredményeinket vagy a közelítő függvény, vagy a nemzetközileg elfogadott adatokkal vetjük össze. Például, a hallgatói mérésből származó közelítő függvénnyel számítva célszerű az eredmények táblázatát a következőképpen elkészíteni.

| hőmérséklet | | termofeszültség | | |
|-------------|--------|-----------------|-----------|---------|
| $^{\circ}C$ | K | mV | | |
| | | mért | számított | eltérés |
| 0,0 | 273,15 | | -0,04 | |
| 23,2 | 296,35 | 0,91 | 0,93 | -0,02 |
| 28,9 | 302,05 | 1,14 | 1,17 | 0,03 |
| 34,8 | 307,95 | 1,44 | 1,42 | -0,02 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| 64,5 | 337,65 | 2,64 | 2,65 | 0,01 |

Az eltérések jelzik a mérés jóságát (a precizitás értékét), ezek szórásából számítjuk a mérési bizonytalanság értékét.

Amennyiben a mérési eredményeinket az ITS-90 szerinti táblázatnak a T típusú hőelem szerint illesztjük, akkor nem a precizitás, hanem a pontosság értékét kapjuk. Adatok:

<http://instrumentation-central.com/TechNotes/TypeTTableC.pdf>

http://srdata.nist.gov/its90/download/type_t.tab

Feladatok

1. A kiadott termisztor hitelesítése; B , R_0 , és $-B \frac{1}{T^2}$ értékek meghatározása, az ábra elkészítése.
2. A kiadott termoelem hitelesítése, α_1 érték meghatározása. Az említett módon ábra elkészítése.