



MIKROELEKTRONIKAI ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

BMF KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet
és
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

6. ELŐADÁS HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK I. RÉSZ

2008/2009 tanév 1. félév

1

6. ELŐADÁS

1. Hőmérsékletérzékelők, általános bevezető
2. Hőtani alapok
3. Termoelemek

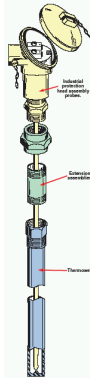
2

HŐMÉRSÉKLET MÉRÉS ÉS ÉRZÉKELÉS

A hőmérséklet az iparban a leggyakrabban mért paraméter: termoelemek az iparban...



...és a háztartásban is



3

HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELÉS: IPAR

Thermistance (RTD - resistance temperature detector): metal whose resistance depends on temperature:
⊕ very cheap, robust, high temperature range (-180°C ...600°C),
⊖ require current source, non-linear.

Thermistor (NTC - negative temperature coefficient): semiconductor whose resistance depends on temperature:
⊕ very cheap, sensible,
⊖ low temperature, imprecise, needs current source, strongly non-linear, fragile, self-heating

4

HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELÉS: IPAR

Thermo-element (*Thermoelement, thermocouple*): pair of dissimilar metals that generate a voltage proportional to the temperature difference between warm and cold junction (Seebeck effect)
⊕ high precision, high temperature, punctual measurement
⊖ low voltage, requires cold junction compensation, high amplification, linearization

5

HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELÉS: IPAR

Spectrometer:
measures infrared radiation by photo-sensitive semiconductors
⊕ highest temperature, measures surfaces, no contact
⊖ highest price

Bimetal (*Bimetal, bilame*):
mechanical (yes/no) temperature indicator using the difference in the dilatation coefficients of two metals, very cheap, widely used (toasters...)

6

A HŐMÉRSÉKLET SI MÉRTÉKEGYSÉGE

A hőmérséklet SI mértékegysége a **kelvin** (K).

Definíciója: a víz (H₂O) hármaspontja (termodinamikai) hőmérsékletének 1/273,16 –szorososa. Abszolút skála, mely a Carnot-féle körfolyamat hatásfoka, vagy az ideális gáz állapotegyenlete ($pV = RT$) szerint lehet definiálni.

A **m, kg, sec, A,** és a **cd** mellett az SI mértékrendszer hatodik alapegysége.

13

HŐMÉRSÉKLETI SKÁLÁK

Temperature Unit	K	°R	°F	°C
Zero thermal energy	0		-459.6	-273.15
Water melting point, T _m	273.15	0	32	0
Water boiling point, T _b	373.15	80	212	100

Abszolút (termodinamikai, **Kelvin**) és relatív (**Réaumur**, **Fahrenheit**, **Celsius**) skálák. A relatív skálák alappontjai a víz olvadás- és forráspontja. A víz olvadáspontja 0° (R,C), illetve 32° (F), a forráspont és az olvadáspont közötti távolságot pedig 80, 180 illetve 100 részre osztják.

14

Celsius-skála

- Bevezetője: Anders Celsius
- 0 értéke: olvadó jég hőmérséklete
- 100 értéke: forrásban lévő víz hőmérséklete
- Mértékegysége: °C fok (Celsius-fok)
- Jele: t
- Legelterjedtebb skála az európai kontinensen

Reaumure-skála

- Bevezetője: Rene Antonie Ferchault de Réaumur
- 0 pontja: a víz fagyáspontja
- Másik alappontja: víz forráspontja
- Alappont tartomány felosztása: 80 egység
- Csak történeti jelentősége van

Fahrenheit-skála

- Bevezetője: Gabriel Daniel Fahrenheit
- 1700-as évektől használják az amerikai kontinensen
- Nulla pontja: legjobban lehűlő sós oldat fagyáspontja (Így a víz fagyáspontja 32 fok)
- Másik alappontja: emberi test hőmérséklete
- Alap-pontok tartományát 96 egységre osztotta
- Mértékegysége: °F (Fahrenheit-fok)

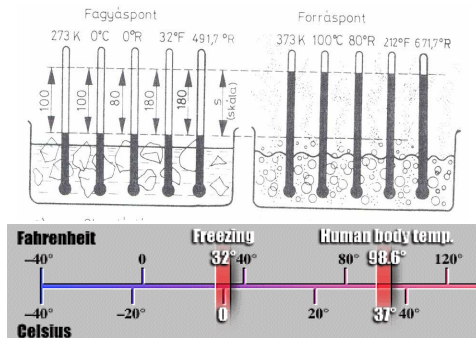
Kelvin-skála

- Bevezetője: William Thomson (majd Lord Kelvin)
- Nulla pontja: abszolút nulla fok (-273,15 C°)
- Skálája: abszolút hőmérsékleti skála
- Egysége: megegyezik a Celsius skála egy fokával
- Mértékegysége: K (kelvin)
- Jele: T

Rankine-skála

- Bevezetője: William John Macquorn Rankine
- 0 pontja: abszolút nulla
- Egysége: megegyezik a Fahrenheit egységgel
- Mértékegysége: °R (rankine-fok)
- Ritkán használják

HŐMÉRSÉKLETI SKÁLÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA



20

NEMZETKÖZI HŐMÉRSÉKLETI SKÁLA

Fix pontok	hozzarendelt hőmérséklet	
	K	°C
Hidrogén hármaspontja	13,81	-259,34
Argon hármaspontja	83,8058	-189,3442
Víz hármaspontja	273,16	0,01
Víz forráspontja	373,15	100
Ón olvadáspontja	505,078	231,928
Cink dermedéspontja	692,677	419,527
Alumínium olvadáspontja	933,473	660,323
Ezüst dermedéspontja	1234,93	961,78
Arany dermedéspontja	1337,33	1064,18

Az alappontok fizikai realizációja

21

FAJHŐ ÉS HŐKAPACITÁS

A fajhő az a hőmennyiség (energia) mely ahhoz szükséges, hogy egységnyi tömegű anyag hőmérséklete egy fokkal (K vagy °C) emelkedjék.

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{dimenziója Joule/kg K}$$

A hőkapacitás a tömeg és a fajhő szorzata

$$C_{th} = c \cdot m \quad \text{dimenziója Joule/K}$$

22

HŐÁTADÁS

A hőátadás befolyásolja a hőmérsékletérzékelők működését. A hőmérsékletérzékelők általában a **saját hőmérsékletüket** mérik, és a hőátadási viszonyoktól függ, hogy ez mennyire egyezik meg a mérendő objektum hőmérsékletével, illetve mennyire tér el attól.

Hőátadás mechanizmusai:

- hővezetés;
- hőáramlás (konvekció);
- hőszugárzás.

23

HŐÁRAMLÁS (KONVEKCIÓ)

A hőáramlás a hőterjedés egyik módja:

A folyadékokban, illetve gázokban a hő (energia) az anyag részecskéinek (molekulák) elmozdulása (helyváltoztatás, áramlás) révén terjed.

Magasabb hőmérséklet - nagyobb energiájú részecskék

Alacsonyabb hőmérséklet - kisebb energiájú részecskék

24

HŐVEZETÉS

Fizikai mechanizmus:
Közvetlenül érintkező, különböző hőmérsékletű anyagrészek közötti hőcserélődés. A hő a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé áramlik.

$$\Delta Q = \kappa \Delta T A t / l$$

κ - hővezetési együttható W/m K
 ΔT - hőmérséklet-különbség
 A - áramlási keresztmetszet
 l - áramlási hossz
 t - idő

25

HŐVEZETÉS: ELEKTROMOS ANALÓGIA

Hővezetés "Ohm törvénye"

$$\Delta Q / t = \Delta P = \kappa \Delta T A / l$$

Hőtani paraméter Elektromos paraméter

Hőmérséklet (ΔT) Feszültség (U)
 Hőáram ($\Delta P = \Delta Q / t$) Áram (I)
 Hővezetőképesség (κ) Vezetőképesség (σ)

Stb.

26

HŐVEZETÉSI EGYÜTTHATÓ

Anyag	κ (W/cm K) T = 300 K
C (gyémánt)	6,6
Ag	4,18
Cu	3,85
GaN	1,3
Si	1,5
GaAs	0,46
Ge	0,6
Pb	0,38
SiO ₂	0,014

27

HŐVEZETÉS MECHANIZMUSAI

Rácsrezgések (fononok) és szabad elektronok (lyukak).

Fémek jó elektromos és hővezetők, κ és σ arányos egymással (*Wiedemann-Franz törvény*).

Egykristályok (félvezetők is) általában jó hővezetők.

Amorf, polikristályos anyagok, ötvözetek (rendezetlen szerkezetű anyagok általában) rossz hővezetők.

28

HŐSUGÁRZÁS

Sugárzás(EM) elnyelés és kibocsátás (kb. 1 – 100 μm).
Stefan-Boltzmann törvény:

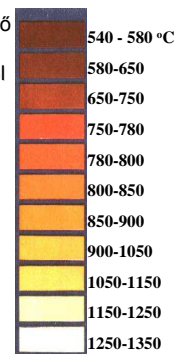
$$Q = \epsilon \sigma T^4$$

ϵ - emissziós tényező (<1)
 σ - abszolút fekete test sugárzási tényezője
 (Stefan-Boltzmann állandó, $\sigma = \pi^2 k^4 / (60h^3 c^2)$
 $= 56,7 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$)

29

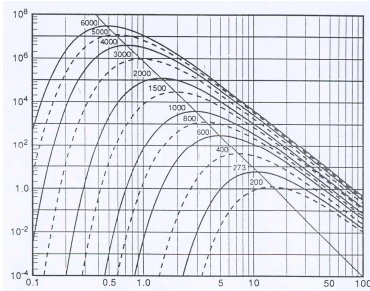
Hőmérsékleti sugárzás

- Minden anyagi test a hőmérsékletétől függő mértékben kibocsát \Rightarrow *elektromágneses sugárzást* Az anyag gerjesztett állapotából ered, az erőssége és színkép szerinti eloszlása általában jellemző a kibocsátó anyag minőségére. \rightarrow Az abszolút *fekete test* sugárzó esetén csak a hőmérséklettől függ! A hullámhossz szerinti eloszlást a Planck-törvény írja le!



28

FEKETE TEST SUGÁRZÁSA



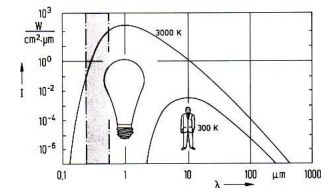
Egységnyi felületről egységnyi térszögbe egységnyi hullámhosszon ($1 \mu\text{m}$) kisugárzott teljesítmény a hullámhossz (μm) függvényében. Az egyenes a Wien-féle eltolódási törvény) ³¹

Infrared radiation

$$P_{IR} = \text{const} \cdot A \cdot \epsilon_R \cdot T^4$$

$\epsilon_R = \text{emissivity};$

$\epsilon_R = 1 : \text{black body}$



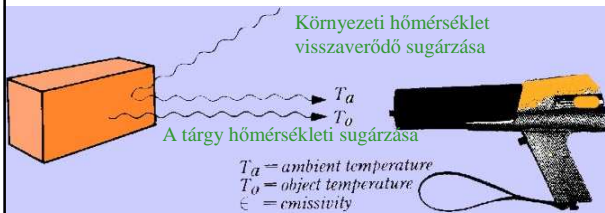
At $\lambda = 10 \mu\text{m}$ most materials show $\epsilon = 0,95 \dots 1,0$ (except metals, they reflect)

The membrane also emits IR radiation:

$$P_{IR} = \text{const} (\epsilon_{\text{object}} \cdot T_{\text{Object}}^4 - \epsilon_{\text{sensor}} \cdot T_{\text{sensor}}^4)$$

Fig. by E. Schrüfer (2.139)

Ponthőmérsékletmérés infravörös (IR) sugárzás alapján



Minden tárgy elnyel (Abszorbeál) és kibocsát (Emittál) sugárzást
A tárgy a hőmérsékletének megfelelő energia szinten bocsát ki energia sugárzást, anyagától és felületi minőségétől függő mértékben

Testhőmérséklet eloszlás mérése

A test hőmérséklet eloszlását láthatóvá tevő kamera és képernyő

Az emberi test vizsgálatánál 2-3°C-os mérettartományban 0,1°C-os pontossággal lehet hőterképet készíteni

Gyulladások, vérkeringési eltérések láthatóvá tehetőek



HŐÁTADÁS

A hővezetés, a hőáramlás és sokszor a hőszugárzás is együtt lép fel. Ez az összetett jelenség a **hőátadás**. A fenomenológikus alapegyenlet

$$\Delta Q = \alpha A \Delta T t$$

ΔQ - átadott hő (energia) Joule

α - hőátadási tényező $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

A - érintkezési felület

ΔT - hőmérsékletkülönbség

T - hőcsere ideje

Szilárdtest-folyadék, és szilárdtest-gáz határfelületén csak nyugvó közegekre érvényes. Áramló folyadék vagy gáz esetén javul a hőátadás, **lamináris** áramlásnál kisebb, **turbulens** áramlásnál nagyobb mértékben. Az áramlási sebesség növekedésével ΔQ is növekszik.

35

VÉGE

(A HATODIK ELŐADÁSNAK)

36