

PRAKTISKIE RISINĀJUMI VIDES INŽENIERZINĀTNĒS

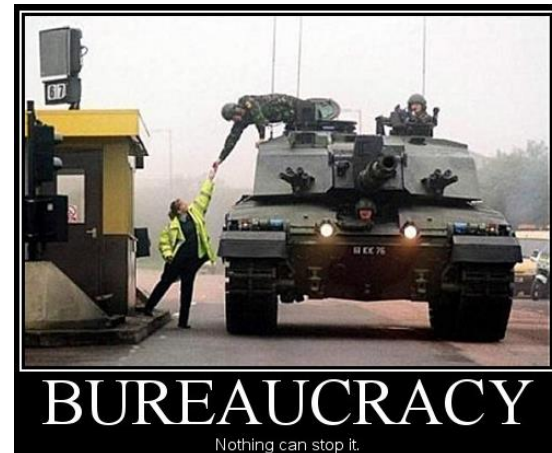
Ivars Javaitis



**IZGLĪTĪBAS MODUĻA
"KLIMATA PĀRMAIŅAS"
IZVEIDE LIEPĀJAS UNIVERSITĀTĒ**

Kursa plāns pa nodarbībām (kopā 16 nodarbības)

- 1 – Ievads (1)
- 2 – Temperatūra un tās mērījumi (2)
- 3 – Fizika (2)
- 4 – Spiediens un tā mērījumi (1)
- 5 – Līmenis un tā mērījumi (1)
- 6 – Plūsma un tās mērījumi (1)
- 7 – Datu reģistratori u.c. (0.5)
- 8 – Praktiskie darbi (0.5)
- 9 – Ķīmiskie sensori (3)
- 10 – Praktiskie darbi (3)
- 11 – Tests (1)

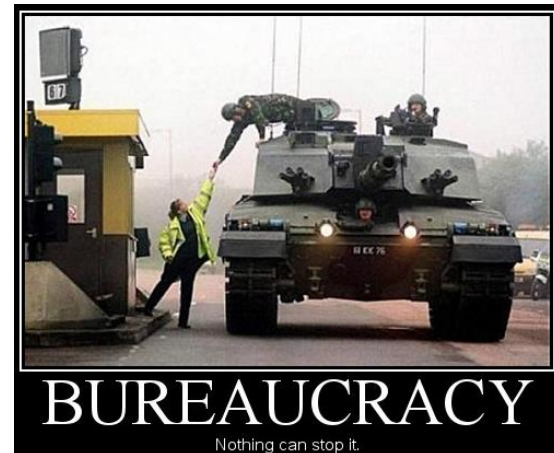


Kursa plāns pa tēmām

- 1 – Temperatūras mērījumi
- 2 – Spiediena mērījumi
- 3 – Līmeņa mērījumi
- 4 – Dažādi vārsti un to pielietojumi
- 5 – Plūsmas mērītāji
- 6 – Datu reģistrētāji
- 7 – Ūdens un gāzu analizatori

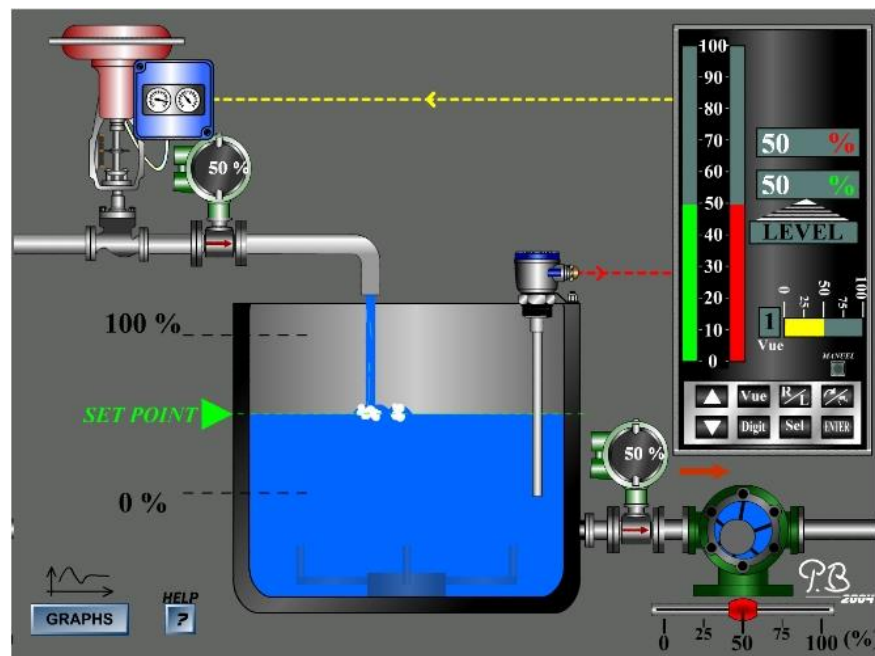
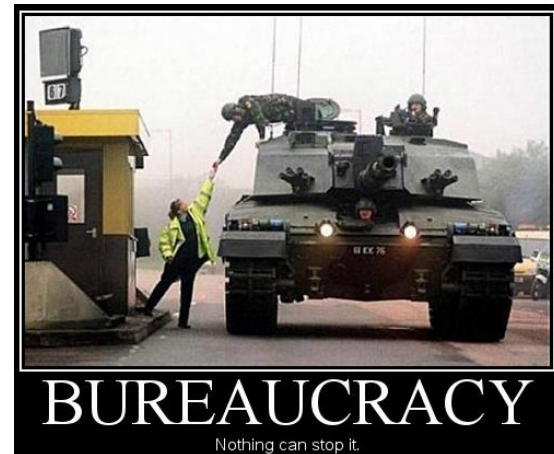
- 8 – Praktiskie darbi

- 9 – Seminārs
- 10 – Tests



Prezentācija seminārā

Pasniedzēja sagatavots problēmas apraksts, kuram jā sagatavo risinājuma piedāvājums izmantojot dažādus inženiertehniskos risinājumus. Jā sagatavo tehniskais piedāvājums ar komponentu uzskaitījumu un piedāvātā risinājuma finanšu piedāvājums.



Izmantojamie informācijas avoti

FESTO

SIA «Interautomatika» katalogs;



LĀSMA
AUTOMATICALLY YOURS

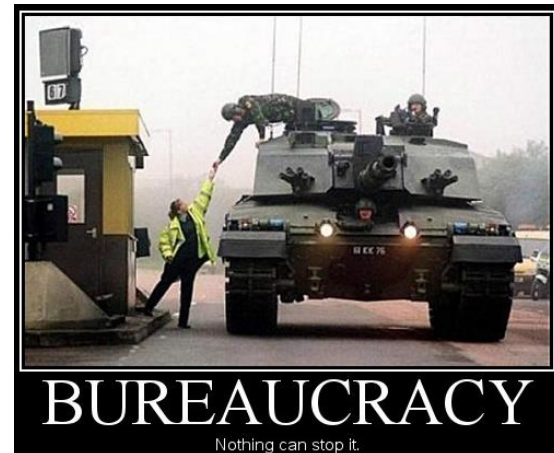
Dažādu uzņēmumu, kas piedāvā dažādus sensorus un inženierrisinājumus materiāli un interneta vietnes;

Interneta resursi

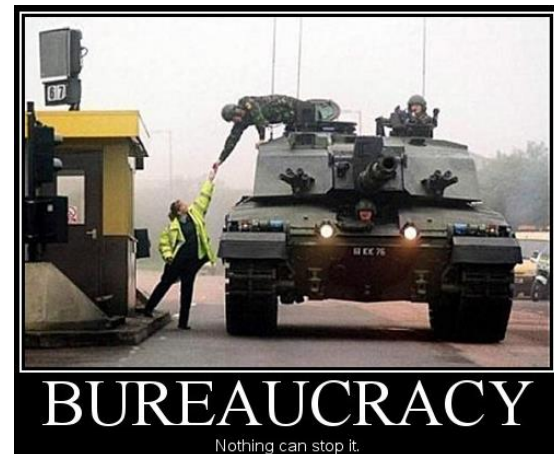
 **inter**automatika

WILL
Sensors

 **Parker**



Prasības KRP iegūšanai



Sekmīga dalība seminārā, sekmīgi nokārtota ieskaite.

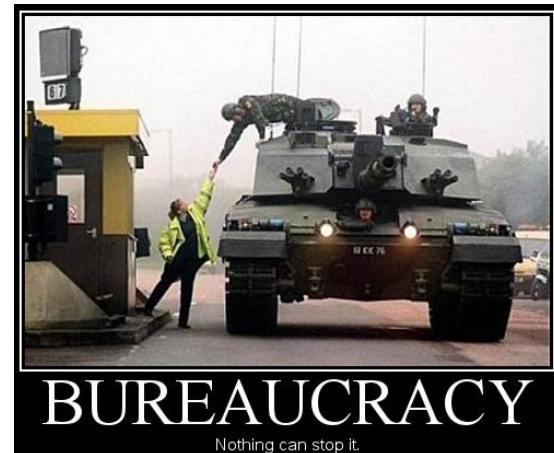
Kursa atzīmi veido:

20% kursa nodarbību apmeklējums;

60% prezentācija seminārā;

20% ieskaite kursa beigās.

Rezultātā:



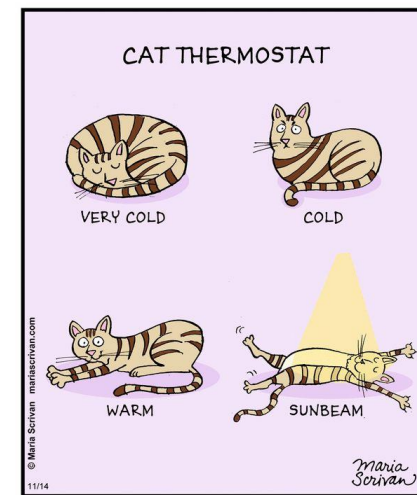
Zināsiet kādu veidu sensori un automatizācijas elementi tiek izmantoti dažādās sistēmās.

Pratīsiet izvēlēties piemērotākos risinājumus.

Būsiet kompetenti dažādu inženiertehnisko risinājumu izvēlē atkarībā no attiecīgās sistēmas parametriem un pielietojuma veida.

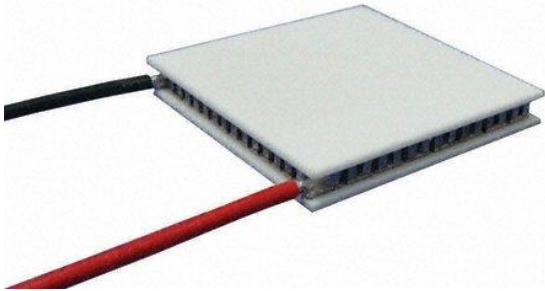
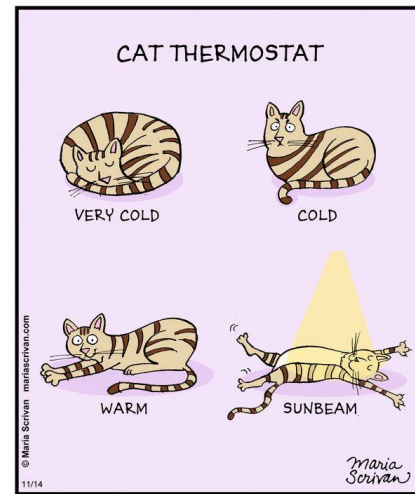
Temperatūra un tās mērījumi

Kādus temperatūras mērīšanas
paņēmienu (sensoru veidus)
variet nosaukt ?





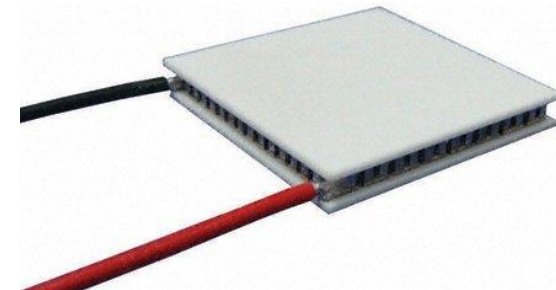
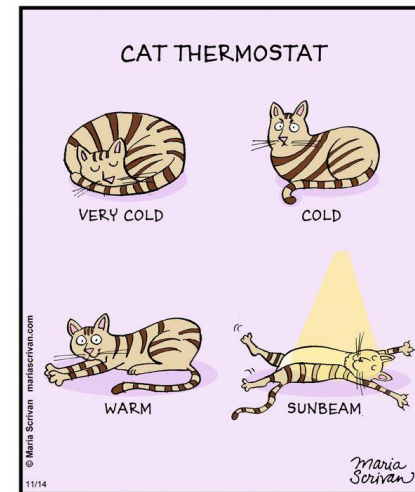
Temperatūra un tās mērījumi



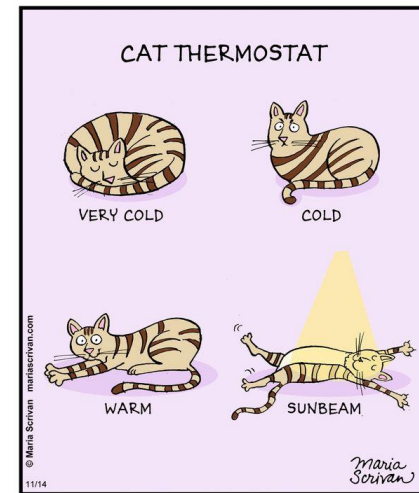


Temperatūra un tās mērījumi

1. Termorezistīvie sensori
2. Termoelektriskie sensori
3. P/N pārejas temperatūras sensori
4. Optiskie un akustiskie temperatūras sensori
5. Termo-mehāniskie sensori un aktuatori



Nedaudz vēstures..



Nedaudz vēstures..

Temperatūru skalas:

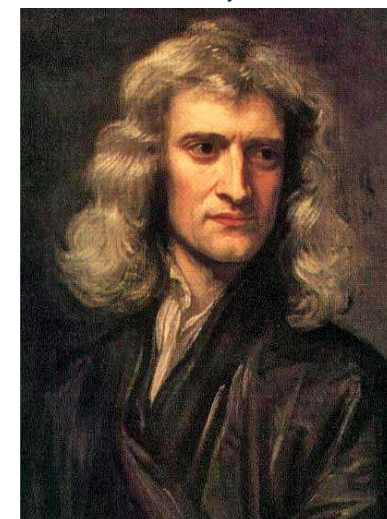
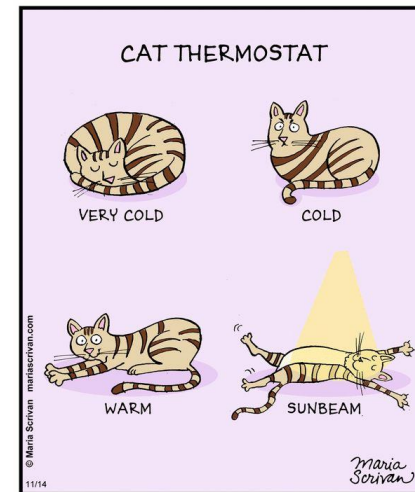
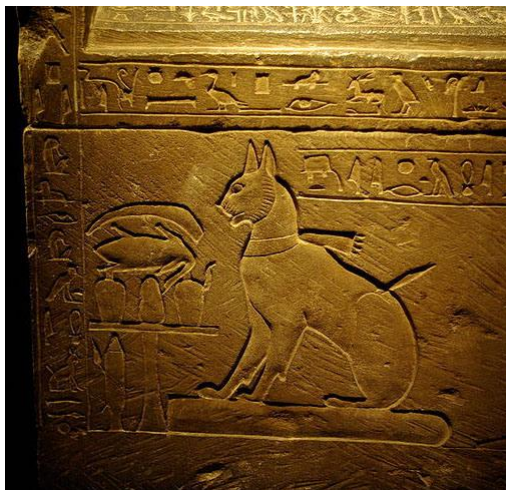
Kopš laika sākuma kājas salst 😊

Apmēram pirms 4000 gadu pirmie pieradinātie kaķi Ēģiptē

Ap 1600 gadu parādās pirmie termometri (ūdens, dzīvsudraba)

Ap 1650 gadu Boila (Robert Boyle) temperatūras skala

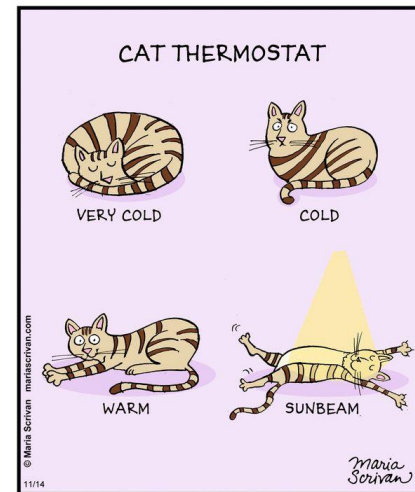
Ap 1700 gadu tiek parādās pirmās «standarta» temperatūras skalas,
bet tās neieviešas plašā pielietojumā (piem. Ņūtona)



Nedaudz vēstures..

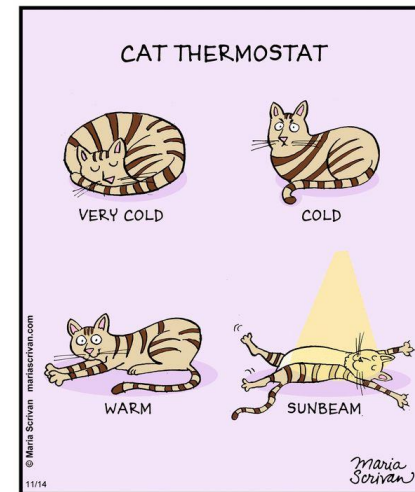
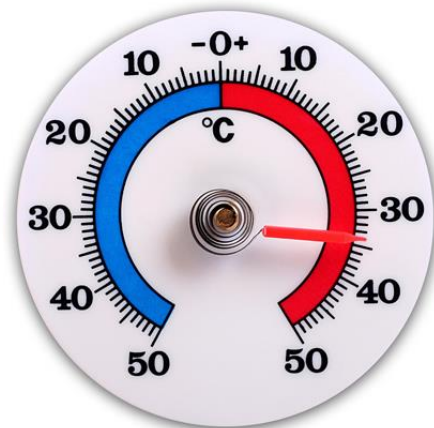
Temperatūru skalas:

1708 gadā parādās **fārenheita** (Daniel Gabriel Fahrenheit)
temperatūras skala (180 iedaļas, 32 grādos sasalst ūdens,
212 grādos ūdens vārās)



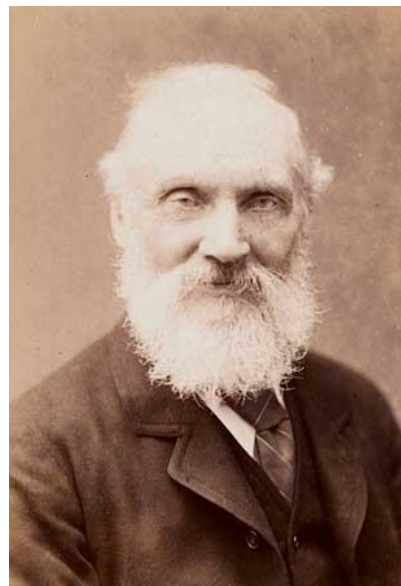
Nedaudz vēstures..

Temperatūru skalas:

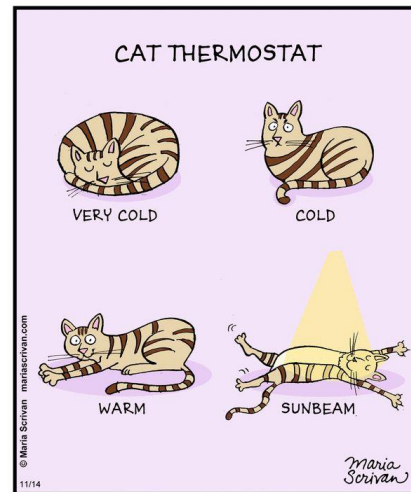


1742 gadā parādās **celsija** (Anders Celsius) **temperatūras skala** (100 iedaļas, 0 grādos sasalst ūdens, 100 grādos ūdens vārās)

1848 gadā Kelvins (William Thomson, 1st Baron Kelvin, jeb Lord Kelvin) ievieš savu temperatūras skalu (0 – absolūtā nulle, 273.16 – ūdens trīskāršais punkts)



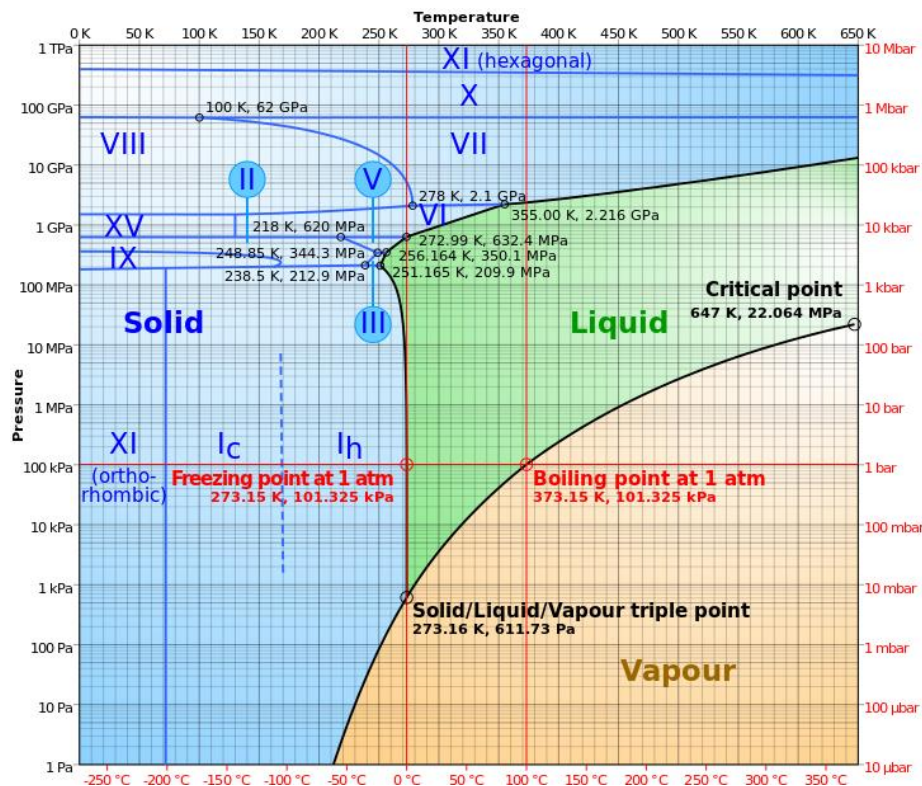
Nedaudz vēstures..



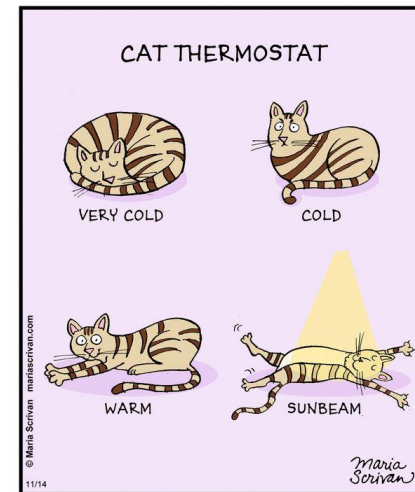
Ūdens trīskāršais punkts:

Ūdens atrodas tvaika, ūdens un ledus veidā vienlaicīgi - 273.16 K (0.01 C) un 0.6117 kPa (0.006037 atm).

Trīskāršo punktu izmanto termometru kalibrācijai.



Nedaudz vēstures..



Temperatūru skalas:

1927 gadā tiek ieviesta starptautiskā temperatūras skala. Skalu uztur termometrijas konsultatīvā komiteja, kas ir Svaru un mēru starptautiskās komitejas (International Bureau for Weights and Measures) sastāvā.



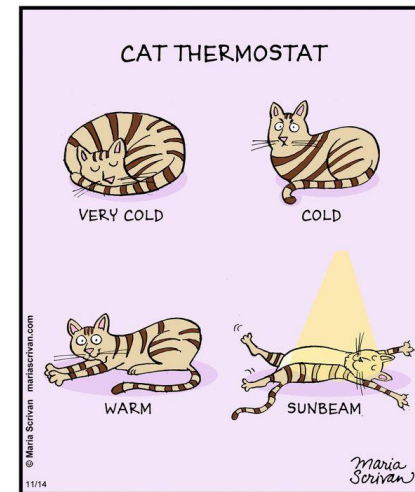
Nedaudz vēstures..

Pirmie sensori:

1821. gadā Thomas Johann Seebeck atklāj *Seebeck* efektu

Seebeck efekts ir parādība, kad temperatūru starpība starp diviem atšķirīgiem elektriskiem vadītājiem vai pusvadītājiem rada spriegumu starpību starp abiem vadītājiem vai pusvadītājiem

1826. gadā Antoine Cesar Becquerel izgatavo pirmo termopāri.



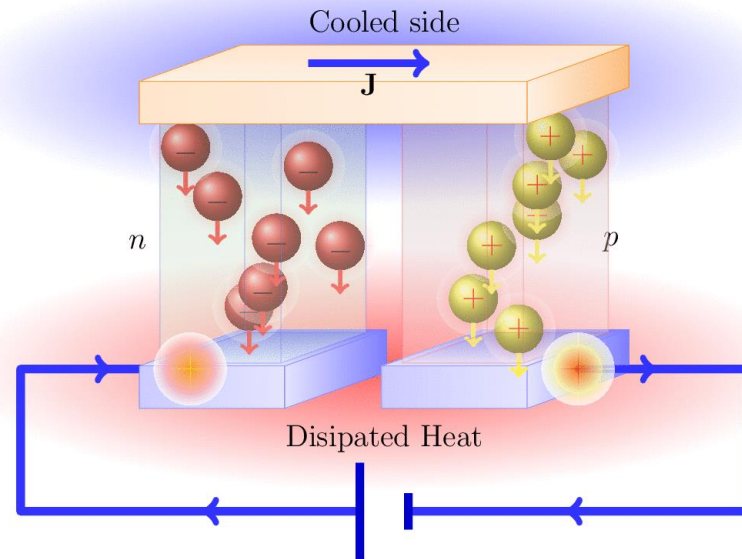
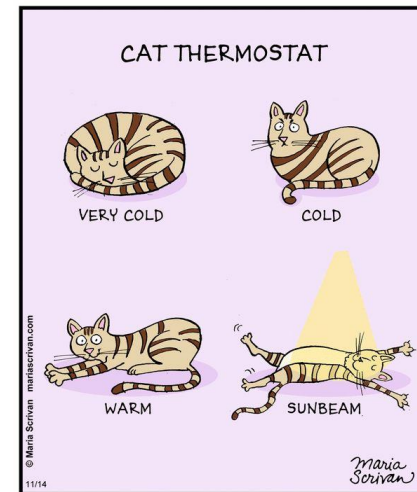
Nedaudz vēstures..

Pirmie sensori:

1834. gadā tiek atklāts Peltjē efekts
(Charles Athanase Peltier).

1860. gadā tiek izgatavots pirmais peltjē
elements.

Peltjē elementu var izmantot sildīšanai
un/vai dzesēšanai.



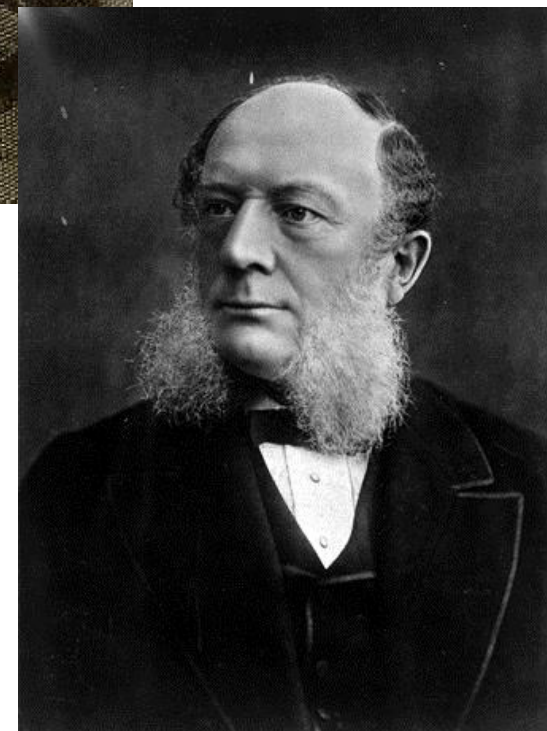
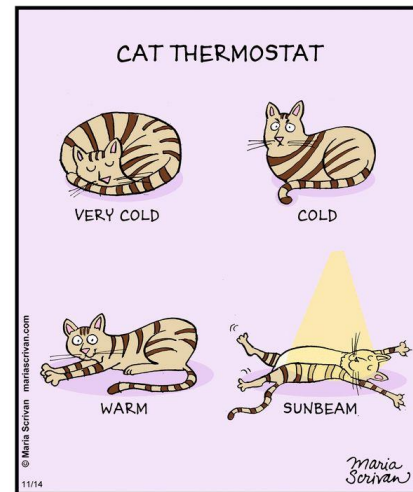
Nedaudz vēstures..

Pirmie sensori:

1821. gadā tiek atklāta elektrovadītspējas atkarība no temperatūras (Sir Humphrey Davey)

1771.gadā Sīmens (Carl Wilhelm Siemens) izgatavo pirmo rezistīvo sensoru, kurā tiek izmantots platīns

SIEMENS



Temperatūras sensori

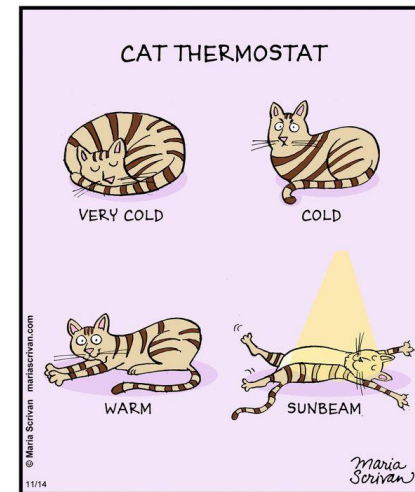
Temperatūras sensori ir salīdzinoši vienkārši:

Termopāris – jebkuri divi atšķirīgi materiāli sametināti kopā un pieslēgti pie mikrovoltmetra.

Peltjē šūna – jebkurš termopāris pieslēgts līdzstrāvas barošanas avotam.

Rezistīvais sensors – garš vadītāja gabals pieslēgts ommetram.

Atsevišķi sensori var tikt izmantoti kā aktuatori.
Jaunākie sensori ir pusvadītāju sensori.



Temperatūras sensoru tipi

Termoelektriskie sensori:

Termopāri un *thermopile* (termopāru virkne)

Peltjē šūnas

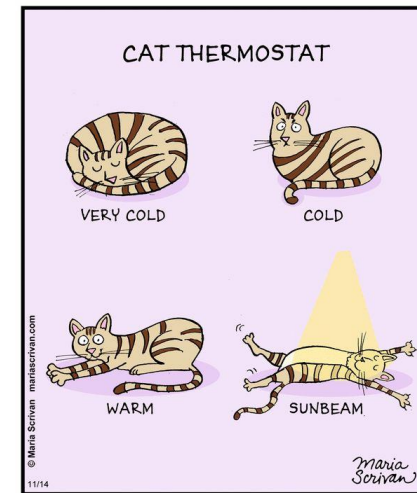
Termorezistīvie sensori:

Vadītāju sensori un aktuatori (RTD – Resistance Temperature Detector)

Pusvadītāju sensori – termistori, diodes

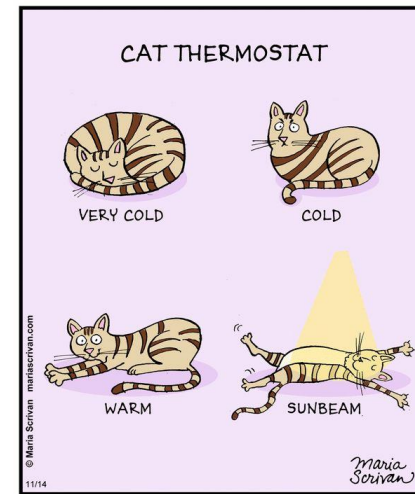
Pusvadītāju pārejas sensori

Citi: balstīti uz sekundāriem efektiem – skaņas ātrums, gaismas parādības.
Netiešā mērīšana (IR – Infra Red sensori), metālu izplešanās – bimetalī.



Termorezistīvie sensori

Divi galvenie tipi:



Rezistīvie temperatūras sensori - RTD (Resistive Temperature Detector):

Metāla drāts

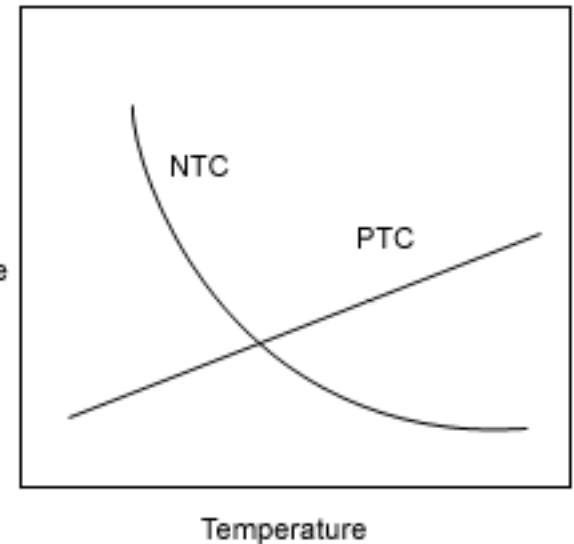
Plānā kārtiņa

Silīcijā bāzēti sensori

Termistori: Termiskie rezistori (Thermal Resistor):

NTC (Negatīvs temperatūras koeficients)

PTC (Pozitīvs temperatūras koeficients)

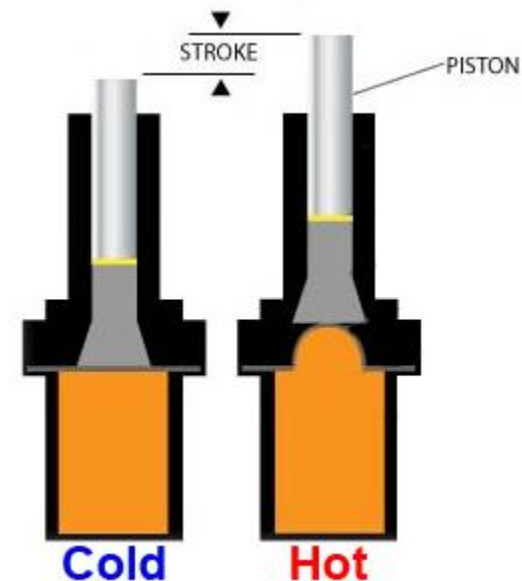
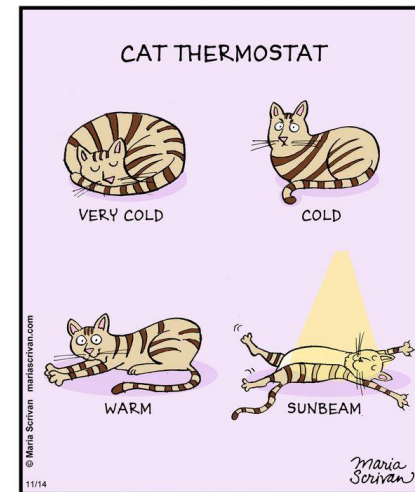
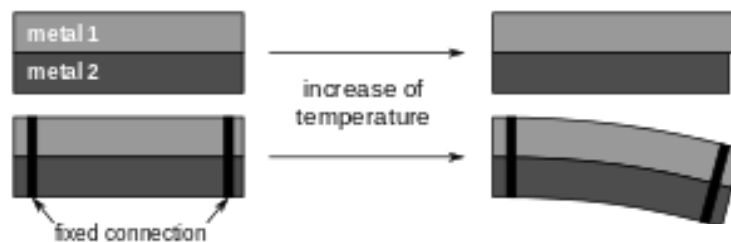


Temperatūras aktuatori

Bimetālu aktuatori

Izplešanās aktuatori

Vienā instrumentā apvienots sensors ar aktuatoru

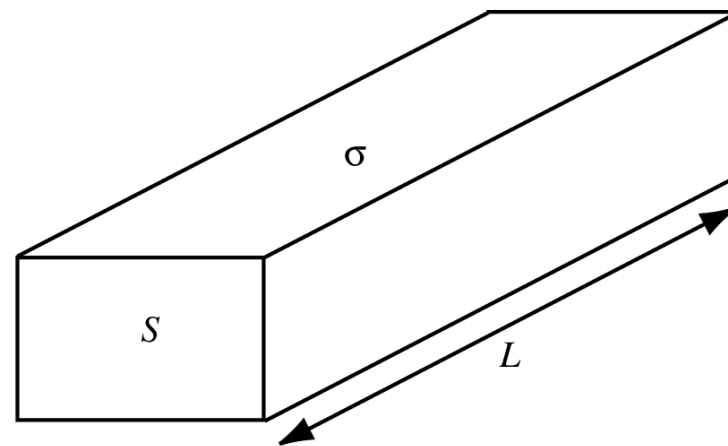
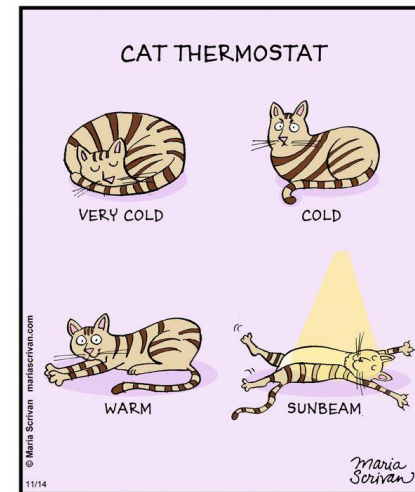


Termoresistīvais efekts

Elektrovadītspēja ir atkarīga no temperatūras

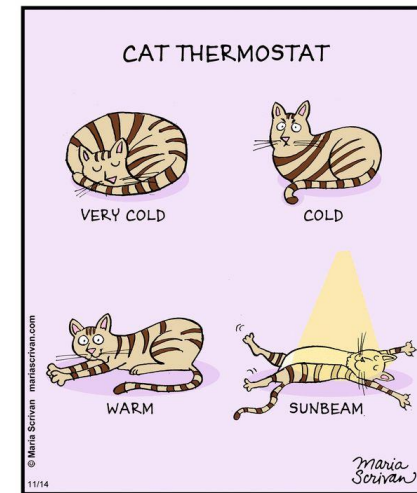
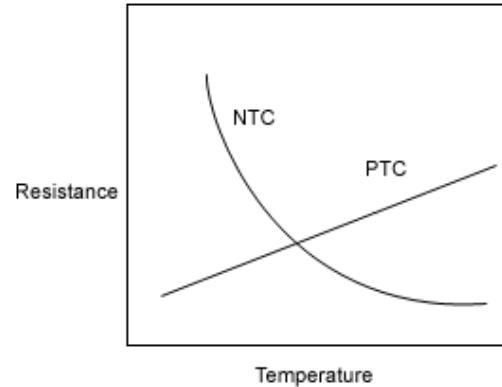
Sensoram var izmantot vadītājus un pusvadītājus

Pretestība tiek mērīta. Jāievēro, ka visiem pārējiem parametriem ir jāpaliek nemainīgiem



$$R = \frac{L}{\sigma S}$$

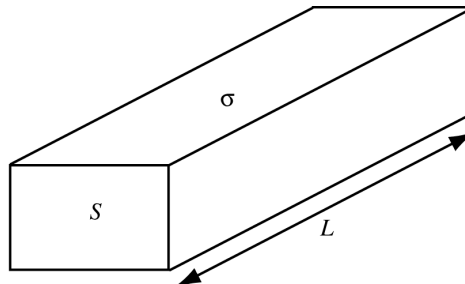
Termorezistīvais efekts



Pretestība tiek mērīta noteiktam vada garumam L

Pretestība tiek mērīta kā funkcija no temperatūras

α – temperatūras koeficients pretestībai (TCR) [C^{-1}]



$$R = \frac{L}{\sigma S}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 + \alpha[T - T_0]}$$

$$R(T) = \frac{L}{\sigma_0 S} (1 + \alpha[T - T_0])$$

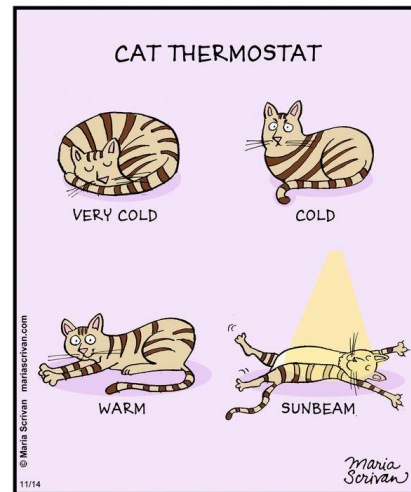
Termorezistīvais efekts

T – temperatūra [$^{\circ}\text{C}$]

σ – vadītāja elektrovadītspēja pie noteiktas atskaites temperatūras T_0

T_0 parasti ir dots pie 20°C grādiem, bet var būt arī norādīta cita temperatūra

α – temperatūras koeficients pretestībai (TCR) [C^{-1}] dots pie T_0



$$R = \frac{L}{\sigma S}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 + \alpha[T - T_0]}$$

$$R(T) = \frac{L}{\sigma_0 S} (1 + \alpha[T - T_0])$$

Uzdevums

Varam $\sigma_0 = 5.9 \times 10^7 \text{ S/m}$, $\alpha = 0.0039 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ pie $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Vada šķērsriezuma laukums S ir 0.1 mm^2 ,
garums $L = 1 \text{ m}$.

Kāda būs nomērītā pretestība pie 0°C , kāda pie 120°C ?

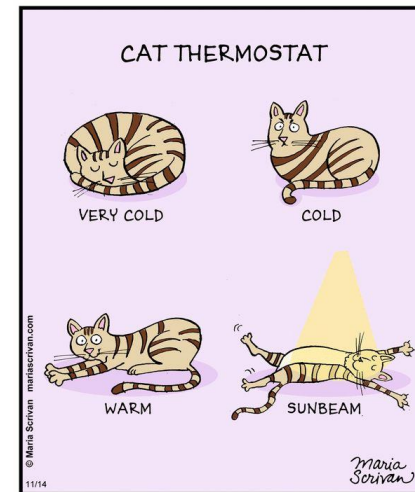
Par cik mainās pretestība uz vienu grādu ?
Kāda ir jutība uz garuma un šķērsriezuma
laukuma izmaiņām ?



Termorezistīvais efekts

Secinājumi no uzdevuma:

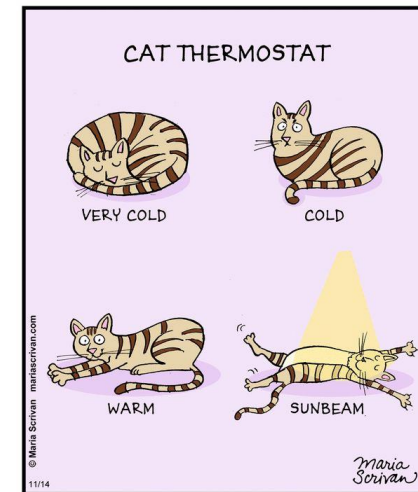
- 1 - Pretestības izmaiņas ir nomērāms lielums
- 2 – Sākotnējai (materiāla) pretestībai jābūt lielai –
vadam jābūt garam vai šauram vai abiem
- 3 – Var izmantot arī citus materiālus



Materiālu elektrovadītspēja un TCR

Material	Conductivity σ [S/m]	Temperature Coefficient of Resistance (TCR) $^{\circ}\text{C}^{-1}$
Copper (Cu)	$5.7\text{-}5.9 \times 10^7$	0.0039
Carbon (C)	3.0×10^5	-0.0005
Constantan (60%Cu,40%Ni)	2.0×10^6	0.00001
Chromium (Cr)	5.6×10^6	0.0059
Germanium (Ge)	2.2	-0.05
Gold (Au)	4.1×10^7	0.0034
Iron (Fe)	1.0×10^7	0.0065
Mercury (Hg)	1.0×10^6	0.00089
Nichrome (NiCr)	1.0×10^6	0.0004
Nickel (Ni)	1.15×10^7	0.0069
Platinum (Pt)	9.4×10^6	0.01042
Silicon (Si) (pure)	4.35×10^{-6}	-0.07
Silver (Ag)	6.1×10^7	0.0016
Titanium (Ti)	1.8×10^6	0.042
Tungsten (W)	1.8×10^7	0.0056
Zinc (Zn)	1.76×10^7	0.0059
Aluminum (Al)	3.6×10^7	0.0043

Note: Instead of conductivity σ [S/m], some sources list resistivity ρ , measured in ohm.meter $\rho = 1/\sigma$ [Ωm]. $1\text{S/m}=1/\Omega\text{m}$



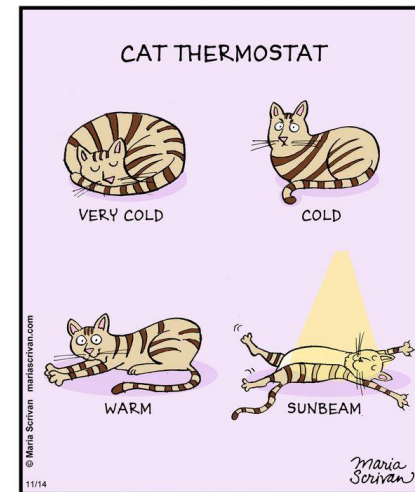
Vērā ņemamas lietas

Nospriegojums vai deformācijas vadā ietekme tā pretestību

Nospriegojot vadītāju mainās tā garums un šķērsriezuma laukums. Iespaidis uz pretestību ir tāds pats kā temperatūras izmaiņām.

Palielinot nospriegojumu uz vadītāju palielina tā pretestību.

Pretestībai jābūt relatīvi lielai – 25Ω vai vairāk.



RTD sensora konstrukcija



Spole ar vadu (noteikts vada garums)

Līdzīgs kā sildīšanas elements

Vienveidīgs vads

Ķīmiski un dimensionāli stabils mēramajā diapazonā

Izgatavots no tieva ($<0.1\text{mm}$) vada augstākai pretestībai

Spole ar vadu ar stikla (pyrex) vai līdzīgu balsta

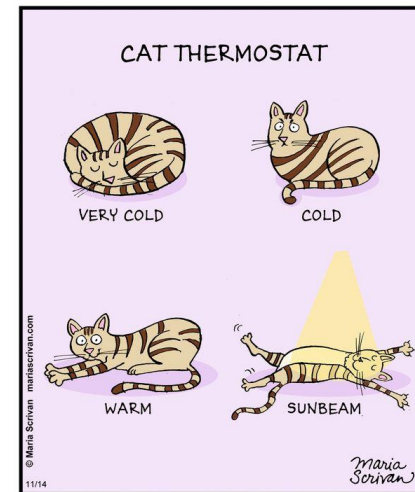
Līdzīgi kā sildelements matu fēnā

Palīdz samazināt spriegojumu un pieļauj termisko izplešanos

Mazākiem sensoriem var nebūt iekšējā atbalsta

Stikla vai keramikas apvalkā ietverti sensori

Garums no dažiem centimetriem līdz aptuveni 50cm



RTD sensoru materiāli

Platīns

Ķīmiski stabils pie augstām temperatūrām

Nepakļaujas oksidācijai

Platīnu ar augstu tīrības pakāpi var izgatavot smalku vadu formā

Nepakļaujas korozijai

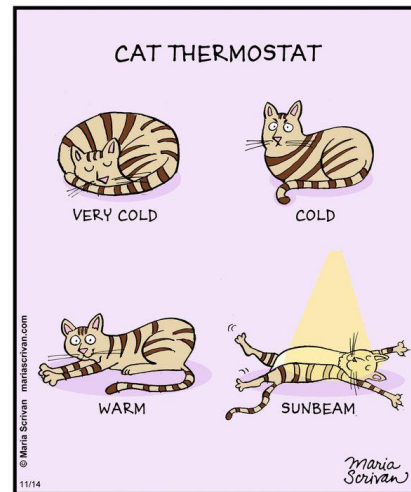
Izturīgs pret skarbu apkārtējo vidi

Var izmantot temperatūras mērījumiem diapazonā no -250 līdz +800 °C

Ļoti jutīgs uz spriegojumu

Jutīgs uz ķīmisko piesārņojumu

Nepieciešams ļoti garš vads (augsta elektrovadītspēja)



RTD sensoru materiāli

Niķelis un varš

Nav tik dārgs

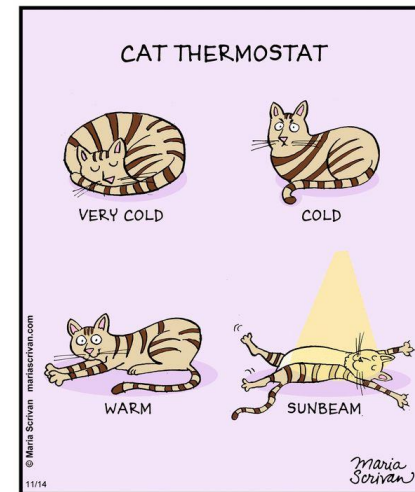
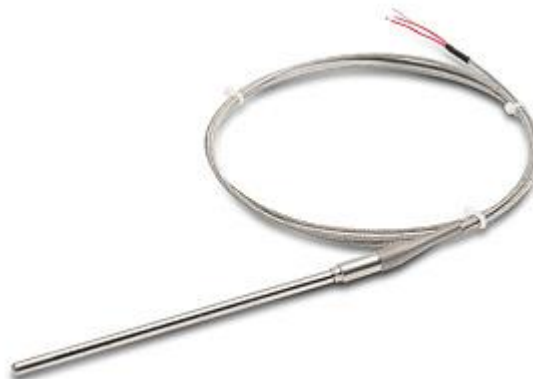
Samazināts temperatūras mērījumu diapazons (vara sensors derīgs līdz ap 300 °C)

Ar augstu tīrības pakāpi var izgatavot smalku vadu formā

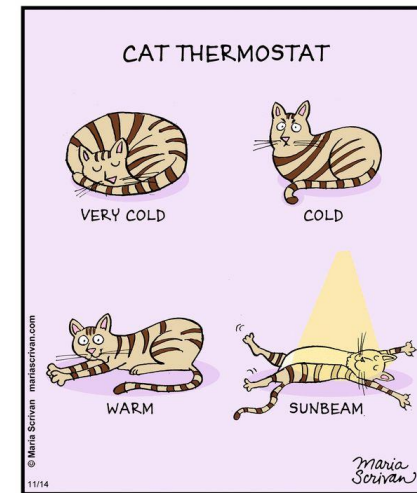
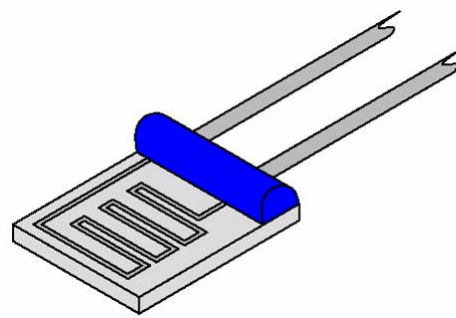
Nepieciešams garš vadu garums (augsta elektrovadītspēja)

Varš nav izmantojams korozīvās vidēs (ja vien tas nav atbilstoši aizsargāts)

Pie augstām temperatūrām iztvaikošana palielina pretestību



Plāno kārtiņu RTD

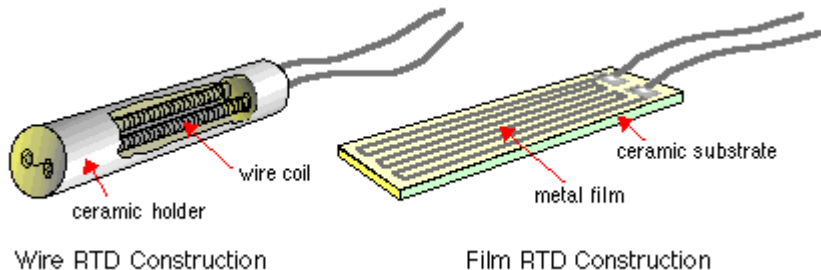


Plāno kārtiņu sensori: tiek izgatavoti uzputinot plānu kārtiņu piemērota materiāla (platīns vai tā sakausējums) uz termāli stabilas nevadošas keramiskas plāksnītes līkloču formā.

Sensora darbību raksturo tie paši vienādojumi, taču iespējams izgatavot augstākas pretestības sensorus.

Sensori ir mazi un relatīvi lēti.

Plaši tiek izmantoti jaunākajos sensoros īpaši kad nepieciešama augsta precizitāte un jāizmanto platīna sensori.



RTD sensoru parametri

Temperatūras diapazons: no $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $700\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pretestība: parasti $100\ \Omega$ (var būt vairāk)

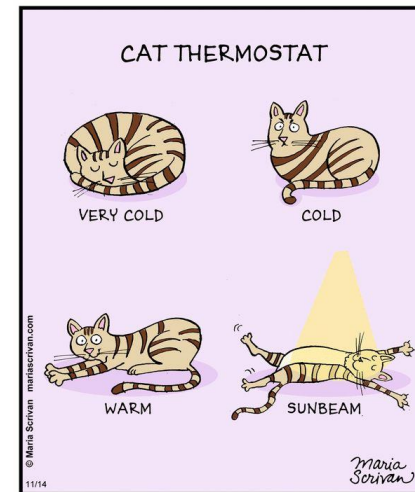
Izmēri: no dažiem mm līdz dažiem cm

Korpusi: stikla, keramikas

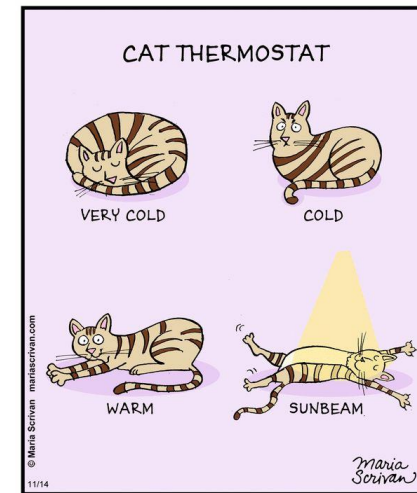
Plaši pieejami pie izplatītājiem

Precizitāte no $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$

Kalibrācija: parasti veikta pie ražotāja un nav papildus nepieciešama



RTD sensoru iekšējā silšana



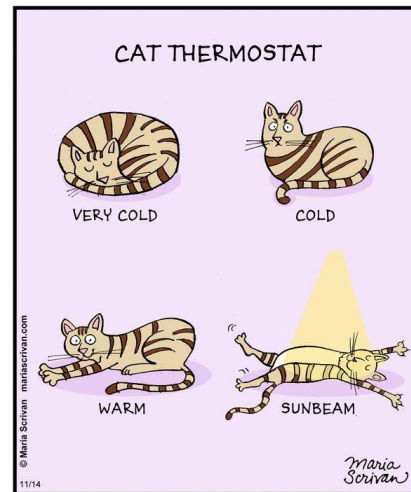
RTD sensori ir pakļauti mērījumu kļūdai – palielinoties tajos temperatūrai, kas rodas strāvai, kura tiek izmantota lai mērītu pretestību, plūstot caur sensoru.

Izkliedētā jauda: $P_d = I^2 R$, I – plūstošā strāva, R – sensora pretestība

Iekšējā silšana ir atkarīga no izmēra un apkārtējās vides

Temperatūras pieaugums uz jaudas vienību ($^{\circ}\text{C}/\text{mW}$) vai jauda, kas nepieciešama, lai paaugstinātu temperatūru par vienu grādu ($^{\circ}\text{C}/\text{mW}$).

RTD sensoru iekšējā silšana



Kļūda, kas rodas no iekšējās silšanas ir no $0.01^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ līdz $10^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ (no $100\text{mW}/^{\circ}\text{C}$ līdz $0.1\text{mW}/^{\circ}\text{C}$)

Apkārtējā vide: ūdenī kļūdas lielums ir mazāks (otrādi, ja mēra $\text{mW}/^{\circ}\text{C}$)

Iekšējā silšana ir atkarīga no izmēra – zemāka lieliem sensoriem, lielāka maziem elementiem

Svarīgi izmantot cik mazu strāvu cik vien iespējams

Reakcijas laiks RTD sensoriem

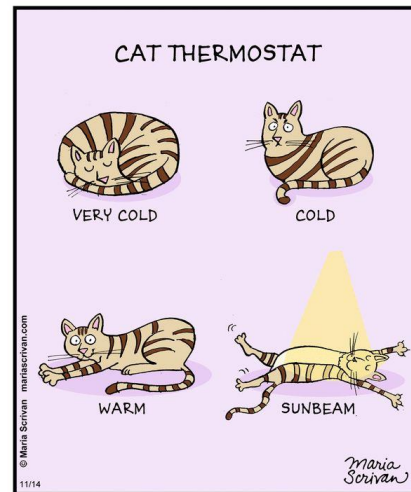
Vienmēr tiek norādīts sensoru datu lapās

Atkarīgs no atrašanās gaisā vai ūdenī, kustībā vai stacionāri

RTD sensori ir ar lēnu reakcijas laiku

Vada RTD sensori ir lēnāki

Parasti no 0.5 sekundēm ūdenī līdz 100 sekundēm plūstošā gaisā



Platinum Temperature Sensor

Tronics
INC. Advanced Film Devices

RTD Series

- High accuracy platinum based sensor
- High resolution, no drift and non-hysteresis
- Complete air/automotive placement equipment
- Wide temperature range / dry, wet, freeze limit
- Superior mount package available with 0.1% and 0.2% tolerance

Electrical Data

Self Heating	F1208	F0808	F0608
	0.14%/1000	0.13%/1000	0.14%/1000
Analysis Resistance	1000, 1.250	1000	1000
Resistance Tolerances	±0.2%, ±0.1%, ±0.1%, ±0%		
Operating Temperature Range	-100°C to +300°C		
Temperature Coefficient	±0.001%/°C		
Insulation Resistance	1000M/100V at 0°C		
Recommended Maximum Current	100mA		
Long Term Stability (1000 Hours @ 125°C)	±0.05%		
Termination	5000 SMD/PC 100% Sn		

The platinum sensor is a precision thin film platinum RTD in a surface mount package designed for high precision sensing, low hysteresis, low drift and complete air/automotive placement in any application where critical accuracy, stability & reliability is required.

Performance Data

Setting Response Time						
	F1208		F0808		F0608	
Regulatory Control (0.5)	0.5s	0.5s	0.5s	0.5s	0.5s	0.5s
AT @ 100%	1.5s	1s	1.5s	1s	1.5s	1.5s

January 2016
© 2016 Tronics, Inc. All rights reserved. No part of this document may be reproduced without written permission from Tronics, Inc.
4001 Industrial Blvd. Dallas, TX 75241-1101, USA
Phone: 972.382.1111 Fax: 972.382.1111 Email: sales@tronics.com

Tronics, Inc.

Silīcija pretestības sensori

Elektrovadītspēja pusvadītājos

Valences elektroni – elektroni no atomiem, kas atrodas tuvāk virsmai
(lielākā daļa brīvo elektronu tīros pusvadītājos)

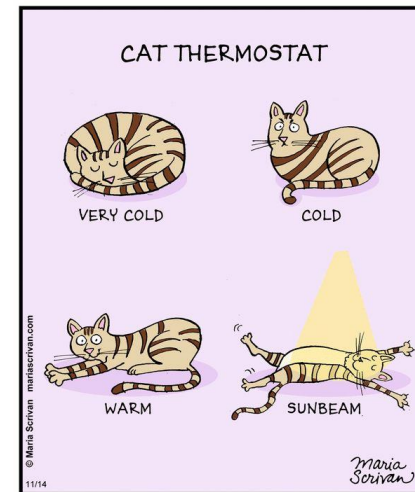
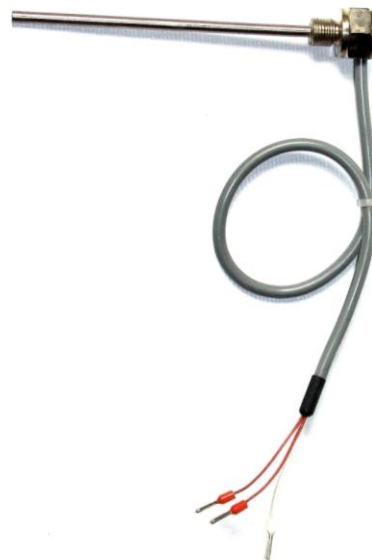
Elektroni tiek atbrīvoti pievadot siltumu

Kad tie ir atbrīvoti, tie kļūst par brīviem elektroniem un materiāls kļūst vadošs. Atbrīvojoties elektronam rodas lādētu daļiņu pāris – elektrons un pozitīvi lācēts «caurums»

Pusvadītājiem elektrovadītspēja ir atkarīga no temperatūras

Elektrovadītspēja pieaug līdz ar temperatūru.

Pusvadītāju sensori ir ar relatīvi mazu temperatūras diapazonu



Silīcija pretestības sensori

Izgatavoti no tīra silīcija

Sensors ir NTC tipa – negatīvs temperatūras koeficients

Pretestība samazinās kopā ar temperatūru

Pretestība tīram silīcijam ir ļoti augsta

Nepieciešams izmantot piemaisījumus lai palielinātu lādiņu neseju blīvumu

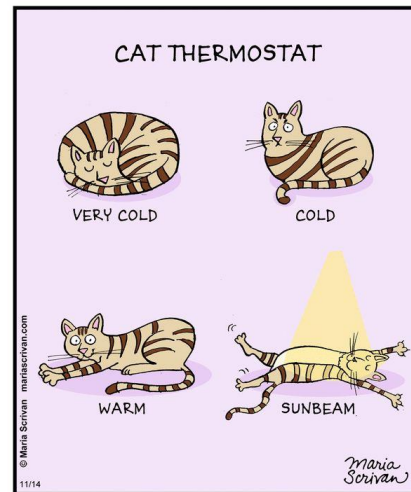
N tipa silīcija – pievienots arsēns (As) vai Antimonijs (Sb)

Izmaiņas:

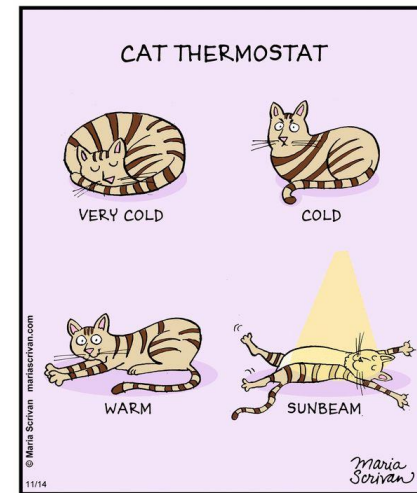
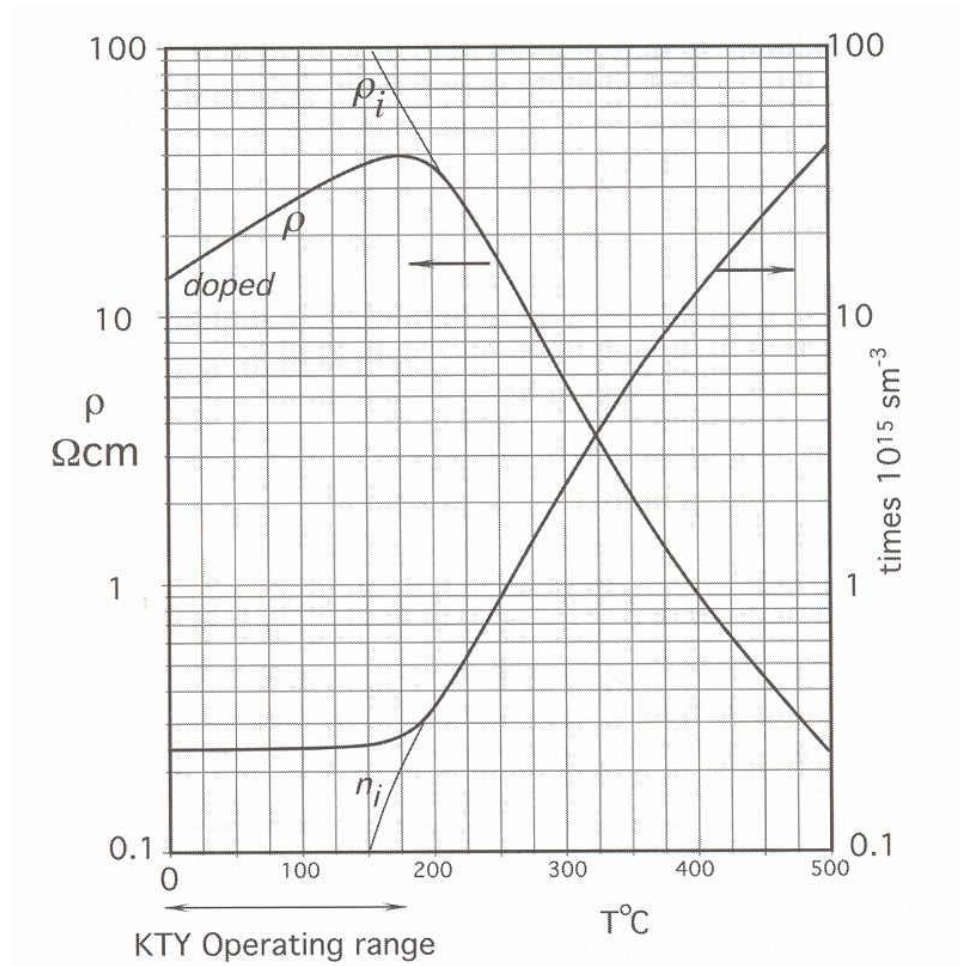
Pretestība palielinās līdz zināmai temperatūrai (PTC)

Pēc dotās temperatūras sasniegšanas pretestība samazinās (NTC)

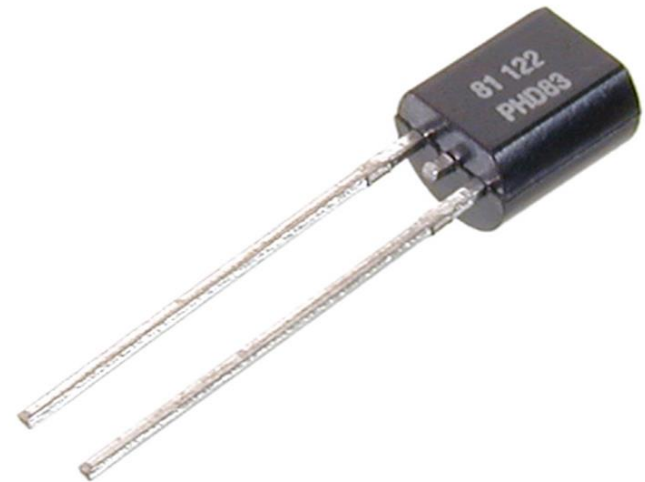
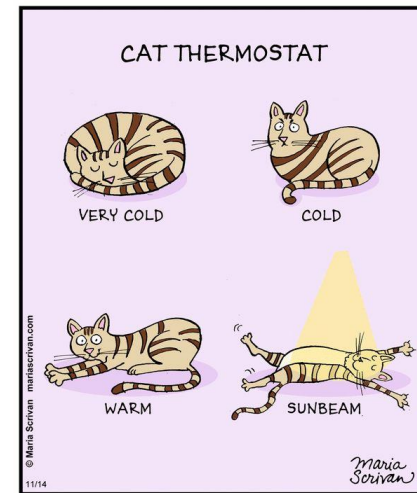
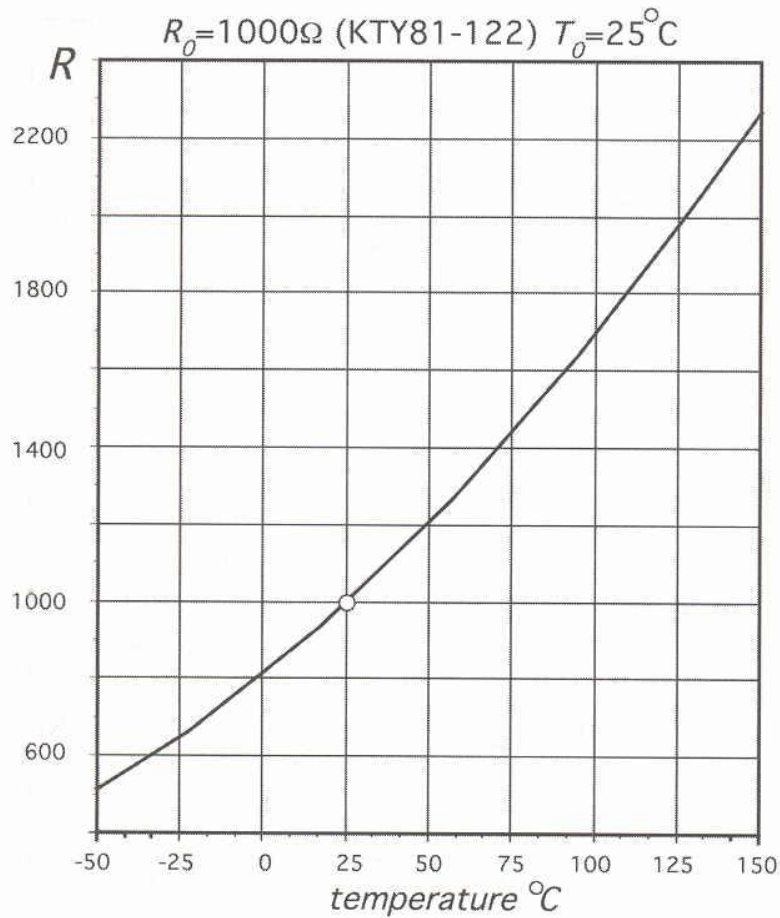
PTC līdz ap 200 °C



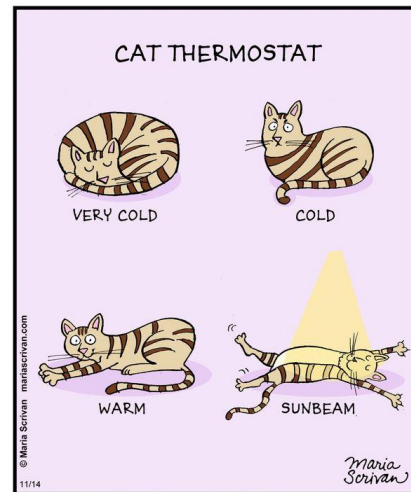
Silīcija pretestības sensoru pretestība



Silīcija pretestības sensoru pretestība



Silīcija pretestības sensori



Silīcija sensori ir nedaudz nelineāri un to jutība ir robežās $0.5 - 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Maksimālais temperatūras diapazons ir no $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz $+150 \text{ }^\circ\text{C}$

Parasti sensoru diapazons ir no $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ vai no $0 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz $+80 \text{ }^\circ\text{C}$

Pretestība parasti $1\text{k}\Omega$ pie $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Sensors var tikt kalibrēts jebkuram temperatūras diapazonam.

Sensors parasti ir maza čipa formā ar diviem elektrodziem un pārklāts ar aizsargslāni – plastmasu, metālu u.c.

Termistori

Termistors: **Thermal resistor**

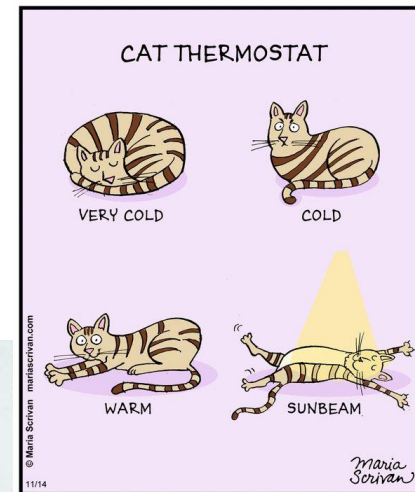
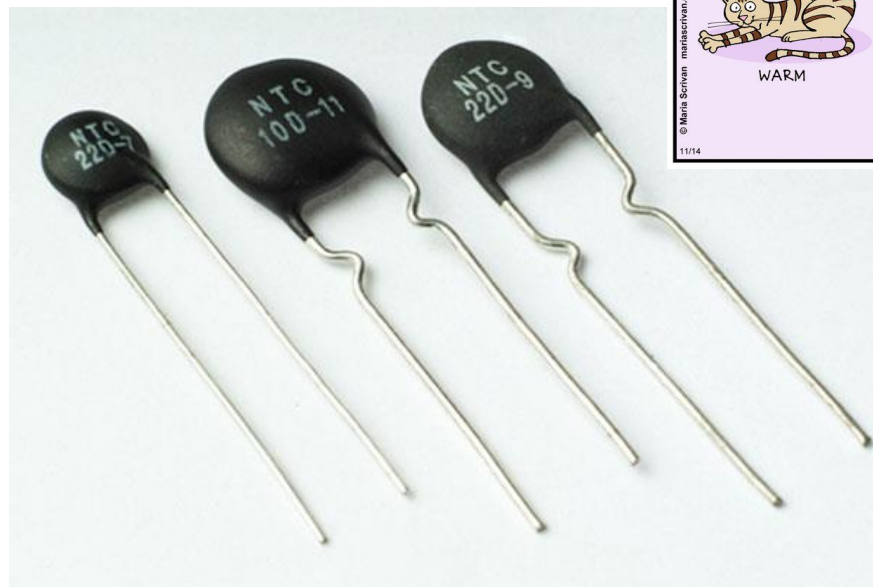
Parādījās ap 1960. gadu

Darbojas izmantojot oksīdus pusvadītājos:

Liels temperatūras koeficients

NTC

Augsta pretestība (parasti)



Termistori

Pretestības aprēķina formula:

α [Ω] un β [$^{\circ}\text{K}$] ir konstantes

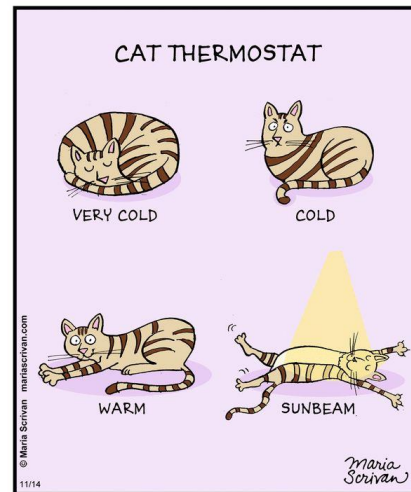
$R(T)$ sensora pretestība

T – temperatūra $^{\circ}\text{K}$

Formula ir nelineāra, bet:

tikai nedaudz nelineāra (β ir ļoti mazs)

var izmantot pietuvinātu aprēķina formulu



$$R(T) = \alpha e^{\beta/T}$$

9. Find the length of the graph of the following.

$$(b) \vec{R}(t) = \left\langle 2t, t^2, \frac{2}{3}t^3 \right\rangle, t \in [0, 1]$$

YOU LOOK LIKE

MY NEXT MISTAKE

$$\begin{aligned} \text{Basic Formula} & \dots\dots\dots 1. & R_2 &= R_1 \times e^{\left(\frac{\beta}{t_2} - \frac{\beta}{t_1}\right)} \\ \text{Divide Both Sides By } R_1 & \dots\dots\dots 2. & \frac{R_2}{R_1} &= \frac{R_1 \times e^{\left(\frac{\beta}{t_2} - \frac{\beta}{t_1}\right)}}{R_1} \\ \text{Expression Becomes} & \dots\dots\dots 3. & \frac{R_2}{R_1} &= e^{\left(\frac{\beta}{t_2} - \frac{\beta}{t_1}\right)} \\ \text{If } 100 = 10^2 \rightarrow \text{Log}_{10}(100) = 2 & \dots\dots\dots 4. & \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) &= \left(\frac{\beta}{t_2} - \frac{\beta}{t_1}\right) \\ \text{Lowest Common Denominator : } t_2 \times t_1 & \dots\dots 5. & \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) &= \left(\frac{\beta \times t_1}{t_2 \times t_1} - \frac{\beta \times t_2}{t_2 \times t_1}\right) \\ \text{Which Simplifies To :} & \dots\dots\dots 6. & \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) &= \left(\frac{\beta t_1 - \beta t_2}{t_2 \times t_1}\right) \\ \text{Extract The Common Factor : } \beta & \dots\dots\dots 7. & \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) &= \beta \left(\frac{t_1 - t_2}{t_2 \times t_1}\right) = \beta \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 \times t_1} \\ \text{Any Number Multiplied by Its Reciprocal} = 1 & \dots\dots 8. & \frac{t_1 - t_2}{t_2 \times t_1} \times \frac{t_2 \times t_1}{t_1 - t_2} &= 1 \\ \text{So Multiply Both Sides By : } \frac{t_2 \times t_1}{t_1 - t_2} & \dots\dots 9. & \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times \frac{t_2 \times t_1}{t_1 - t_2} &= \beta \times \frac{t_1 - t_2}{t_2 \times t_1} \times \frac{t_2 \times t_1}{t_1 - t_2} \\ \text{Expression Becomes :} & \dots\dots\dots 10. & \beta &= \text{Ln}\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{t_2 \times t_1}{t_1 - t_2}\right) \end{aligned}$$

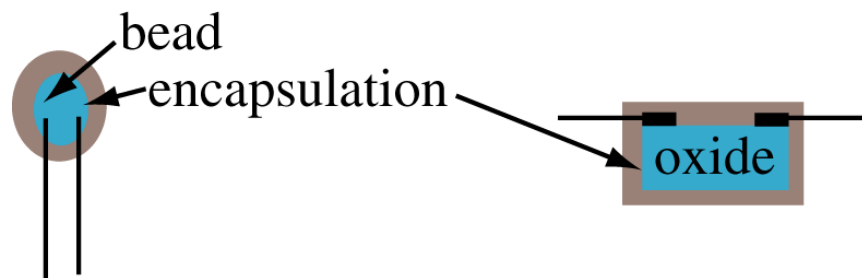
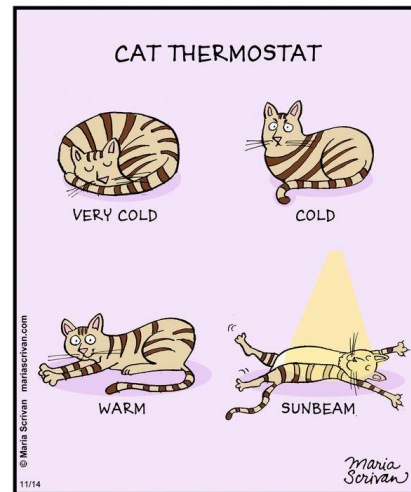
Termistori

Termistoru veidi:

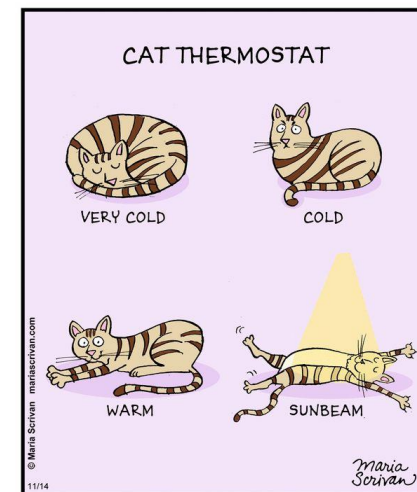
Lodītes formas

Čipi

Uzklātas kārtiņas uz substrātiem



Epoksīdā ietverti termistori



Termistoru parametri

Lielākā daļa ir NTC, bet ir arī PTC tipu termistori

PTC ir izgatavoti no speciāliem materiāliem:

Reti sastopami

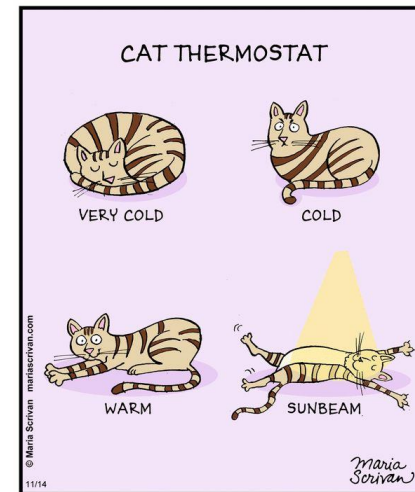
Izmantojami, kad iespējamās lielas temperatūras svārstības

Iekšējās silšanas problēmas līdzīgi kā RTD sensoriem, bet:

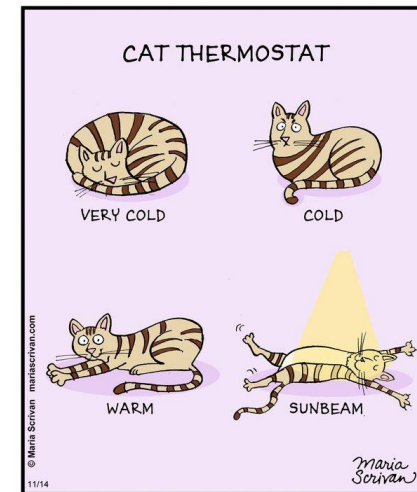
Parasti kļūdas ir mazākas jo pretestība ir augstāka

Ļoti mazas strāvas (R ir liels)

Tipiskās vērtības $0.01^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ ūdenī un $1^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ gaisā



Termistoru parametri



Pieejams plašs pretestību diapazons līdz pat pāris MΩ

Var izmantot iekšējās sildīšanas režīmā

Lai paaugstinātu iekšējo temperatūru līdz dotam līmenim

Lai to izmantotu kā references temperatūru mērījumiem

Atkārtojamība un precizitāte:

Labiem termistoriem 0.1% vai 0.25°C

Temperatūras diapazons:

No - 50 °C līdz aptuveni 600 °C

Termistoru parametri

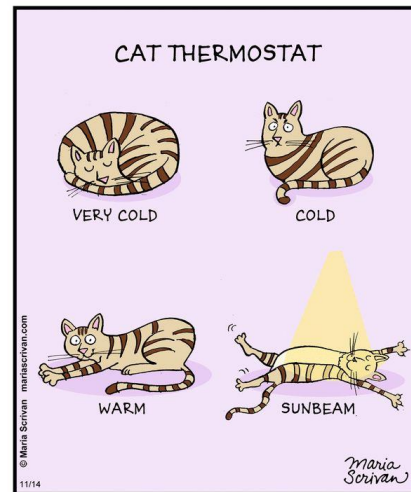
Linearitāte

Lineārs mazam mērījumu diapazonam

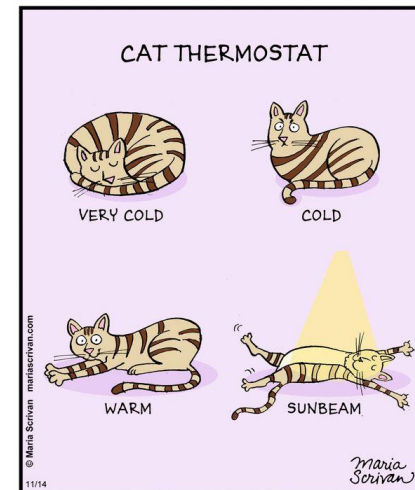
Nedaudz lineārs plašākam temperatūru diapazonam

Pieejami dažādiem diapazoniem, dažādu izmēru, veidu un formu

Daži lētāki termistori ir ar sliktu atkārtotamību, tādēļ tie ir jākalibrē pirms lietošanas



Termoelektriskie sensori



Vieni no vecākajiem temperatūras sensoriem (jau 150 gadi)

Faktiski visbiežāk izmantotie sensori

Pasīvie sensori: tie paši ģenerē spriegumu

Spriegums tiek mērīts tieši

Ļoti mazi spriegumi – grūti mērīt

Bieži signāls pirms mērīšanas ir jāpastirpina

Mērījumus var ietekmēt troksnis



Termoelektriskie sensori

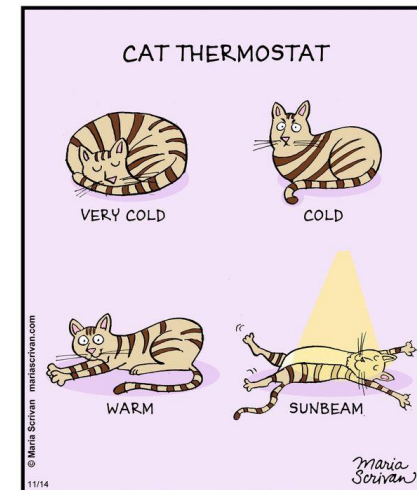
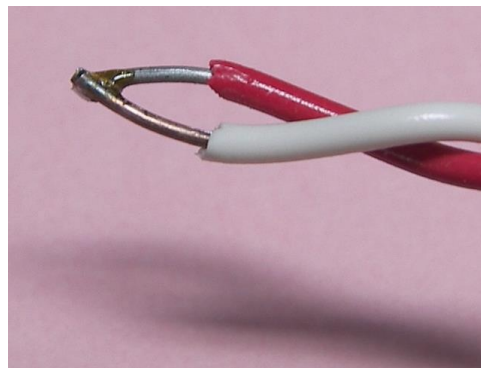
Sensori ir vienkārši, izturīgi un lēti

Sensorus var izmantot faktiski jebkuras temperatūras mērīšanai – sākot no tuvu absolūtajai nullei līdz pat 2700 °C

Neviens cits sensoru tips nepiedāvā tik plašu mērījumu diapazonu

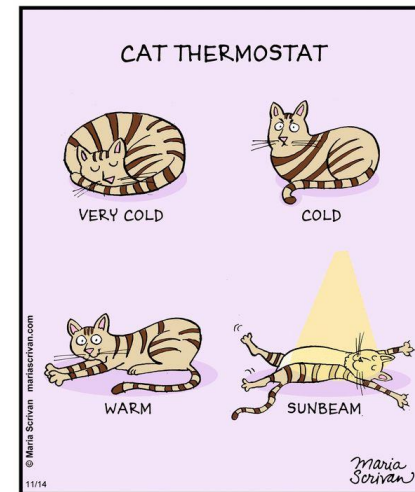
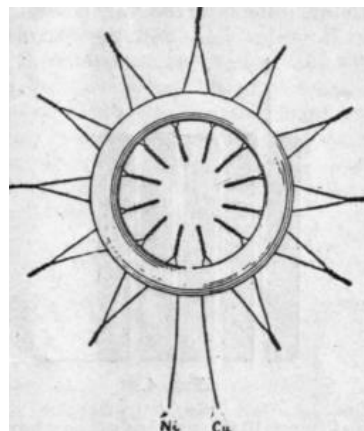
Sensoru var izgatavot jebkurš ar nelielām tehniskām iemaņām

Sensoru iespējams izgatavot uz vietas, kur to nepieciešams lietot



Termoelektriskie sensori

Termoelektriskais sensors – termopāris



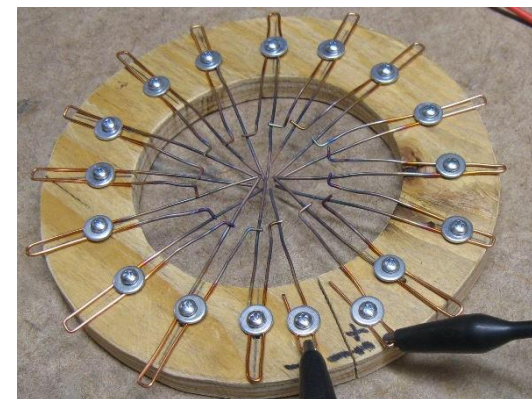
Iespējamās dažādas variācijas izmantojamajiem materiāliem:

Metālu termopāris

Thermopile – virknē saslēgti termopāri

Pusvadītāju termopāri uz *thermopile*

Peltjē šūnas – speciāli pusvadītāju slēgumi, kas tiek izmantoti kā aktuatori (lai sildītu vai dzesētu)



Termoelektriskais efekts

Seebeck efekts (1821)

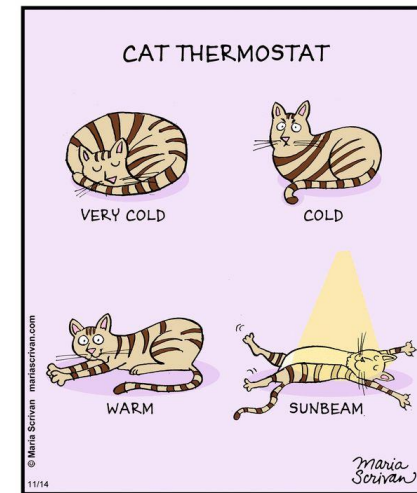
Seebeck efekts faktiski ir divu citu efektu summa:

Peltjē efekts

Tomsona efekts

Tomsona efekts (1892)

Vads caur kuru plūst strāva, ja to nevienmērīgi sildīs dažādās vada daļās, absorbēs vai emitēs siltumu atkarībā no strāvas plūšanas virziena (no siltās daļas uz auksto vai no aukstās uz silto)



Termoelektriskais efekts

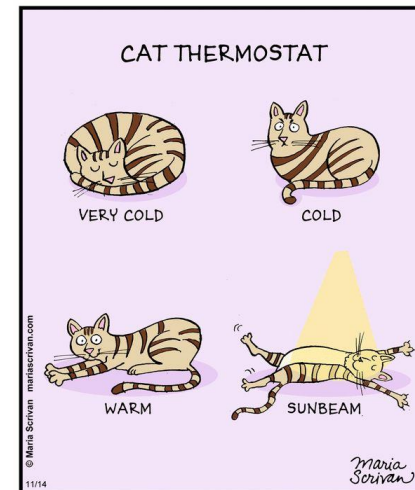
Peltjē efekts (1834): siltums tiek ģenerēts vai absorbēts divu dažādu materiālu savienojumā, ja eksistē elektromagnētiskais spēks - EMS, kas darbojas pāri savienojumam, dēļ strāvas, kuru ģenerē minētais elektromagnētiskais spēks.

Mākslīgi radīts EMS pievadot strāvu no ārpusē
EMS, kuru ģenerē pati pāreja

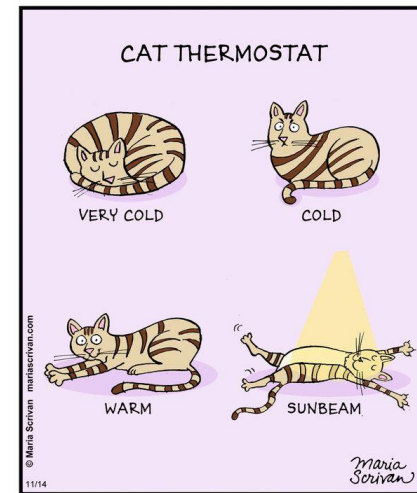
Strāvai jāplūst pāri savienojumam

Efektu var izmantot sildīšanai un dzesēšanai

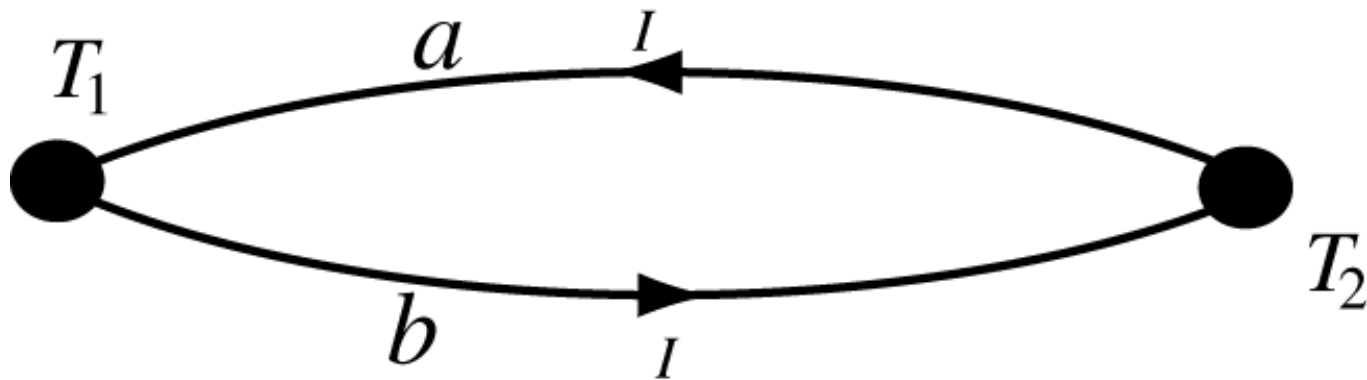
Peltjē efektu izmanto termoelektrisko ģeneratoru izveidē



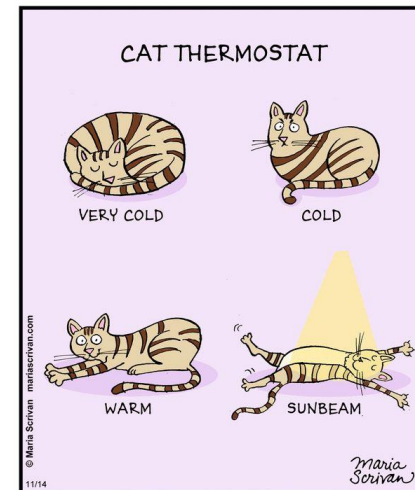
Termoelektriskais (Seebeck) efekts



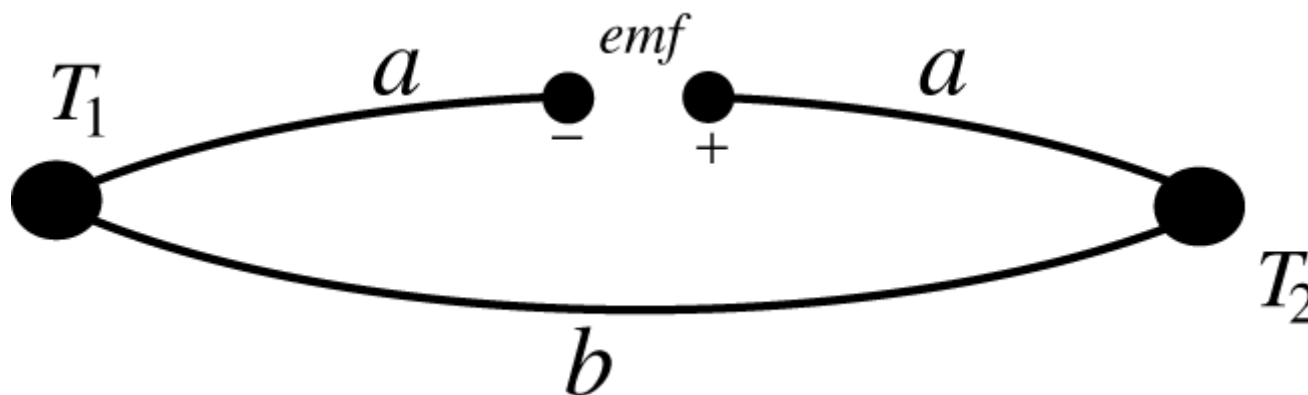
Ja abi divu vadītāju gali ir savienoti un to galos (savienojumos) pastāv temperatūru starpība, termoelektriskā strāva plūdis pa noslēgto virkni (ģenerācijas režīms)



Termoelektriskais (Seebeck) efekts



Ja virkne ir atvērta, elektromagnētiskais spēks (EMS) radīsies starp virknes atvērtajiem galiem (mērīšanas režīms). Minētais EMS tiek mērīts izmantojot termopāra sensorus.



Termopāra darbības analīze

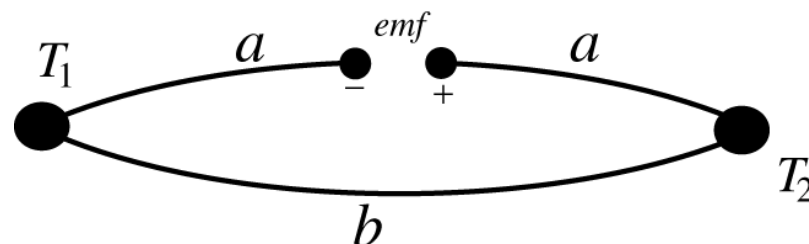
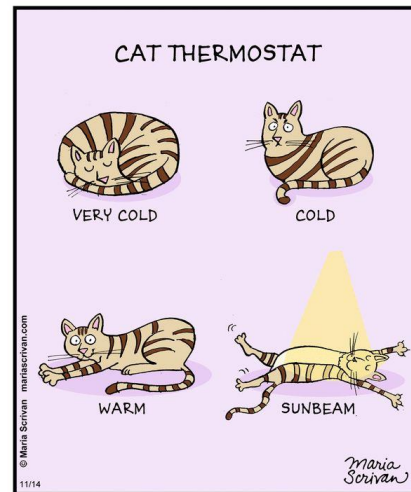
Vadītāji a un b ir homogēni

Savienojumi atrodas attiecīgi
temperatūrās T_1 un T_2

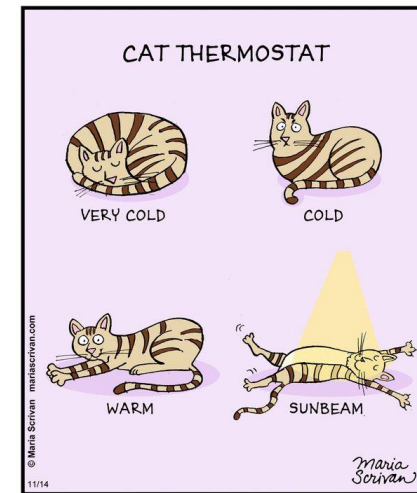
Savienojumos 1 un 2 EMS tiek
aprēķinats pēc formulām:

$$emf_A = \alpha_A(T_2 - T_1) \quad emf_B = \alpha_B(T_2 - T_1)$$

Kopējais EMS: $emf_T = emf_A - emf_B = (\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1) = \alpha_{AB}(T_2 - T_1)$



Termopāra darbības analīze



α_A un α_B ir absolūtie Seebeck koeficienti [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$] un ir specifiski materiāliem A un B

$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B$ ir relatīvais Seebeck koeficients materiālu kombinācijai A un B un to nosaka $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Parasti izmanto relatīvo Seebeck koeficientu

Absolūtie Seebeck koeficienti

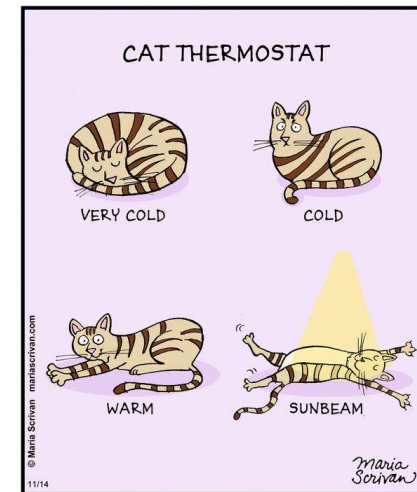


Table 3.3. Absolute Seebeck coefficients for selected elements (Thermoelectric series)

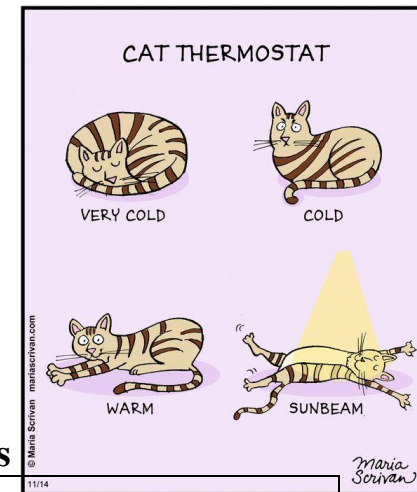
Material	α [$\mu\text{V}/^\circ\text{K}$]
p-Silicon	100 - 1000
Antimony (Sb)	32
Iron (Fe)	13.4
Gold (Au)	0.1
Copper (Cu)	0
Silver (Ag)	-0.2
Aluminum (Al)	-3.2
Platinum (Pt)	-5.9
Cobalt (Co)	-20.1
Nickel (Ni)	-20.4
Bismuth (Sb)	-72.8
n-Silicon	-100 to -1000

Termopāri – standarta tipi

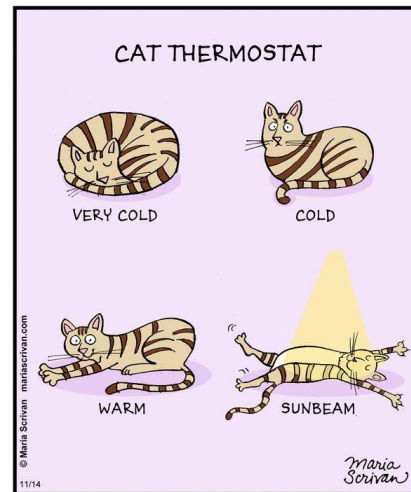
Table 3.4. Thermocouples (standard types and others) and some of their properties

Materials	Sensitivity [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$] at 25°C .	Standard Type designation	Temperature range [$^\circ\text{C}$]	Notes
Copper/Constantan	40.9	T	-270 to 600	Cu/60%Cu40%Ni
Iron/Constantan	51.7	J	-270 to 1000	Fe/60%Cu40%Ni
Chromel/Alumel	40.6	K	-270 to 1300	90%Ni10%Cr/55%Cu45%Ni
Chromel/Constantan	60.9	E	-200 to 1000	90%Ni10%Cr/60%Cu40%Ni
Platinum(10%)/Rhodium-Platinum	6.0	S	0 to 1450	Pt/90%Pt10%Rh
Platinum(13%)/Rhodium-Platinum	6.0	R	0 to 1600	Pt/87%Pt13%Rh
Silver/Paladium	10		200 to 600	
Constantan/Tungsten	42.1		0 to 800	
Silicon/Aluminum	446		-40 to 150	
Carbon/Silicon Carbide	170		0 to 2000	

Note: sensitivity is the relative Seebeck coefficient.



Termopāri - piezīmes



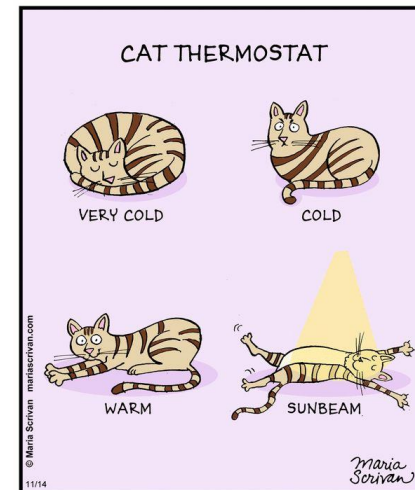
Seebeck koeficienti ir salīdzinoši mazi – no pāris mikrovoltiem līdz dažiem milivoltiem uz Celsija grādu

Izejas signālu var mērīt tieši. Izejas signāls parasti tiek pastiprināts

Ārēji inducēts EMS var radīt troksni mērījumos

Termopārus var izmantot kā termometrus, kaut arī visbiežāk signāls tiek izmantots kādu darbību veikšanai – krāsns izslēgšanai, liesmu detekcijai lai atslēgtu gāzi u.c.

Termoelektriskie likumi

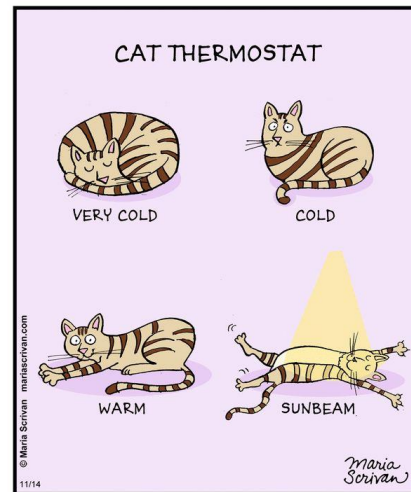


Termopāru lietošanu nosaka trīs termoelektriskie likumi:

1. likums – termoelektriskā strāva nevar rasties homogēnā virknes slēgumā tikai no karsēšanas vien

Šis likums nosaka nepieciešamību izmantot dažādu materiālu savienojumus, jo ar vienu pašu vadītāju ir nepietiekami

Termoelektriskie likumi

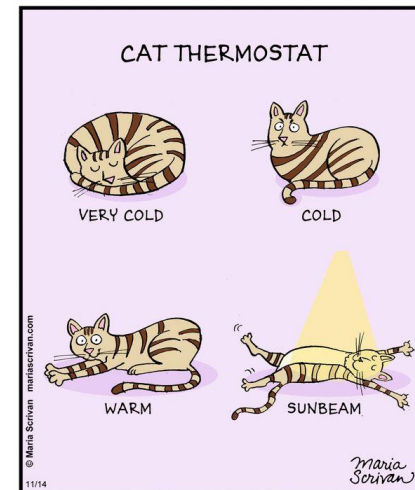


2. likums – Visu termoelektrisko spēku algebriskā summa virknē, kurā saslēgti jebkurš skaits nevienādu materiālu ir vienāda ar nulli, ja visās pārējās ir vienāda temperatūra.

Papildus materiāla posmi var tikt ieslēgti termoelektriskā virknē neietekmējot izejas signālu, ja vien savienojumi, kas tiek pievienoti virknei, ir nemainīgā temperatūrā.

Spriegumi ir saskaitāmi, tādējādi vairāk savienojumu var saslēgt virknē, lai pastiprinātu izejas signālu.

Termoelektriskie likumi

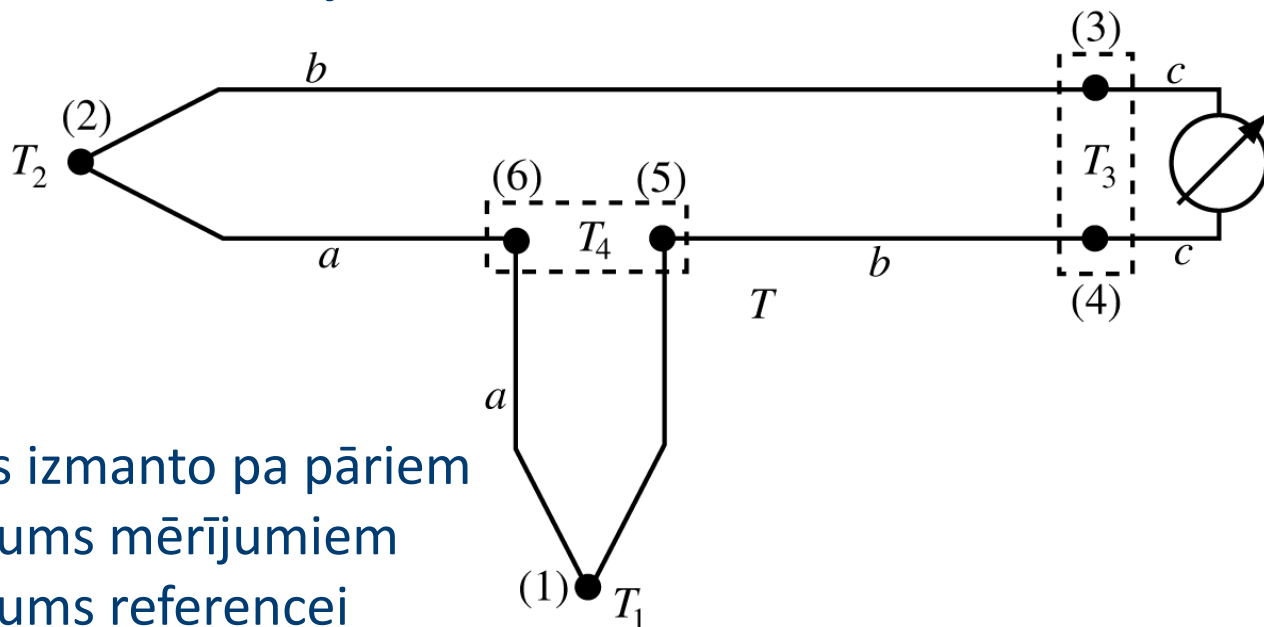
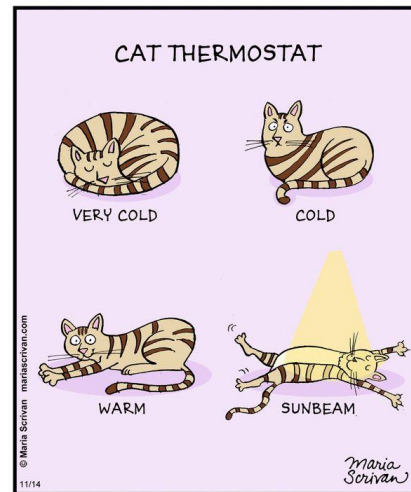


3. likums – Ja divi savienojumi ar temperatūrām T1 un T2 rada Seebeck spriegumu V2 un temperatūras T2 un T3 rada spriegumu V1, tad temperatūras T1 un T3 rada spriegumu $V3 = V1 + V2$.

Šis likums nosaka metodi termopāru kalibrācijai.

Termopāru slēgums

Pamatojoties uz termoelektriskajiem likumiem:



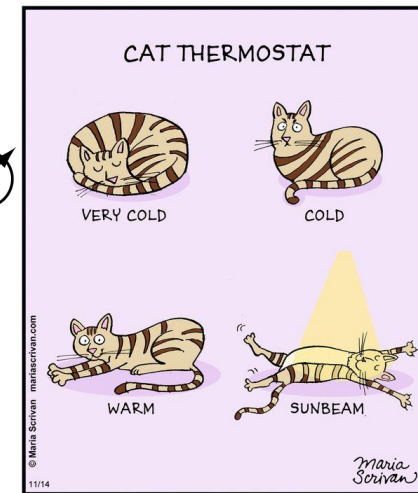
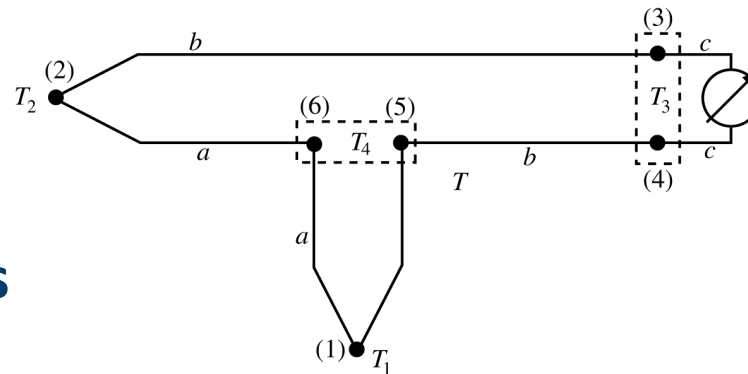
Parasti termopārus izmanto pa pāriem

Viens savienojums mērījumiem

Viens savienojums referencei

References temperatūra var būt gan augstāka, gan zemāka par mērāmo temperatūru.

Termopāru slēgums



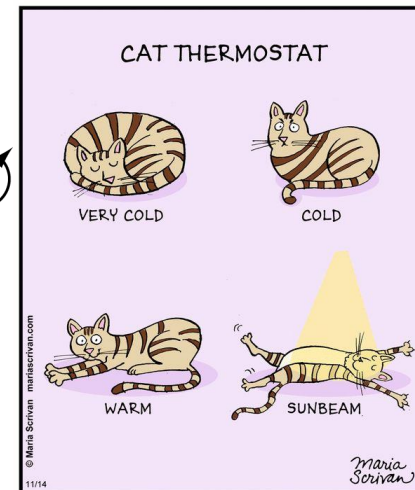
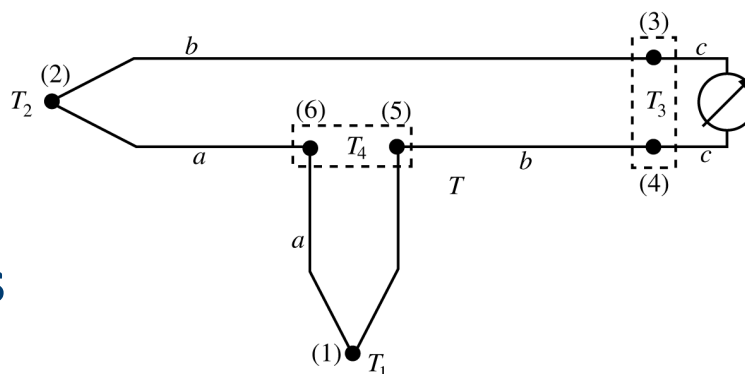
Katrs savienojums virknē starp dažādiem materiāliem pievieno papildus elektromagnētisko spēku (EMS).

Katrs savienojumu pāris kas tiek pievienots virknei un atrodas identiskā temperatūrā nemaina izejas signālu.

Pārejas 3 un 4 ir identiskas (viens starp materiāliem b un c un otrs starp c un b), tādēļ papildus EMS nerodas virknē.

Pārejas 5 un 6 arī nerada papildus signālu.

Termopāru slēgums



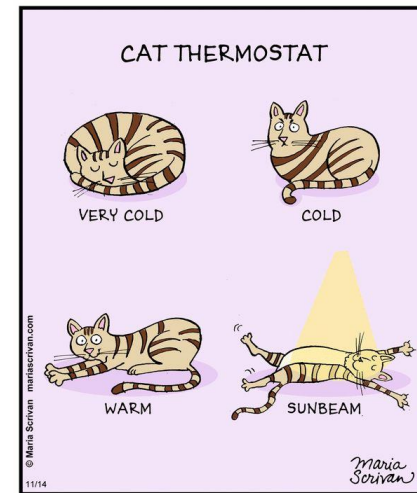
Katra posma pievienošana rada divus papildus savienojumus.

Mērījuma stratēģija:

Katrs savienojums, kas netiek izmantots mērīšanai un nav references savienojums:

- 1 – katrs savienojumu pāris starp dažādiem materiāliem tiek uzturēti vienā temperatūrā (jebkādā temperatūrā) vai;
- 2 – savienojumi jāveido starp vienāda materiāliem;
- 3 – jālieto nebojāti vadi no sensora uz references savienojumu vai uz mērinstrumentu;
- 4 – ja ir jāpagarina kāds no vadiem, jālieto tāds pats vads, lai neradītu papildus EMS.

Savienojums bez references daļas



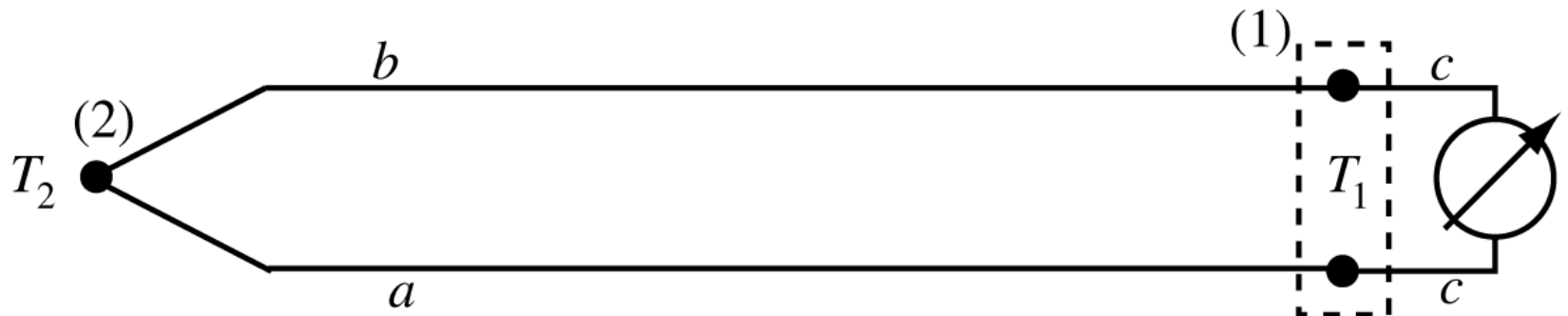
Savienojums ar voltmetru rada divas papildus pārejas.

Abas atrodas vienā temperatūrā T_1

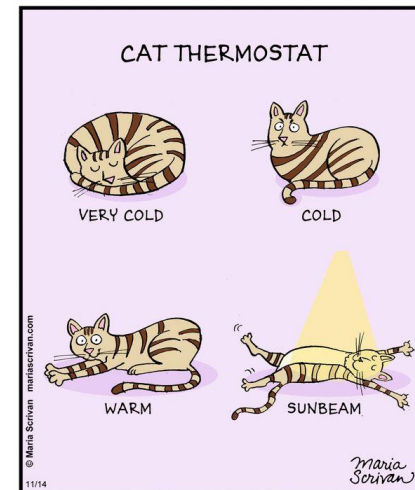
Papildus EMS dēļ šiem diviem savienojumiem ir nulle

Nomērītais EMS nak tikai no savienojuma (2)

Šī mērīšanas metode ir visbiežāk lietotā



References savienojums



References savienojums ir jātur konstantā zināmā temperatūrā:

Piemēram:

Ledus ūdens vannā (0°C)

Verdošs ūdens (100°C)

Jebkura cita temperatūra, kuru var nomērīt ar citu ne termopāra sensoru

Izejas signāls tiek kompensēts izmantojot references temperatūru izmantojot *Seebeck* koeficientus

Termopāri – praktiskas lietas

Materiālu izvēle termopāru izgatavošanai:

Materiālu ietekme:

Izejas EMS

Temperatūras diapazons

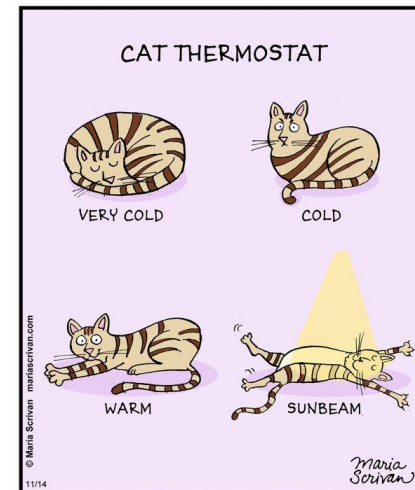
Termopāra pretestība

Materiāla izvēle tiek izdarīta izmantojot trīs tabulas:

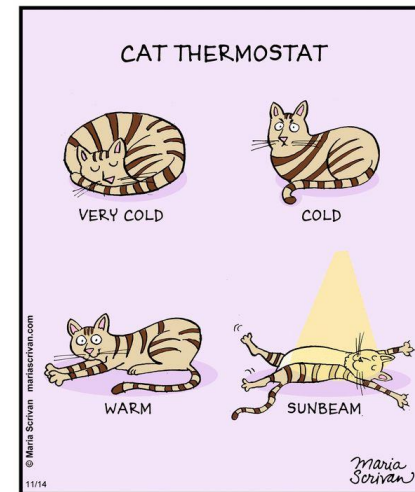
Termoelektriskā virknes tabula

Standarta materiālu Seebeck koeficienti

Termoelektriskā references tabula



Termoelektriskā virknes tabula



Katrs materiāls tabulā ir termoelektriski negatīvs attiecībā pret materiāliem norādītiem augstāk un pozitīvs attiecībā pret materiāliem norādītiem zemāk.

Jo lielāka ir atstarpe starp materiāliem tabulā, jo lielāks EMS izejas signālā tiks ģenerēts.

Tabula ir apvienota ar temperatūras diapazoniem.

Termoelektriskā virknes tabula

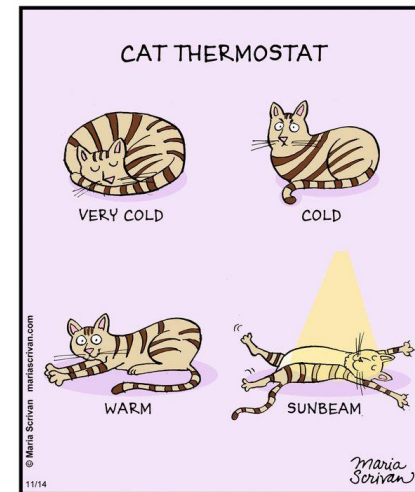
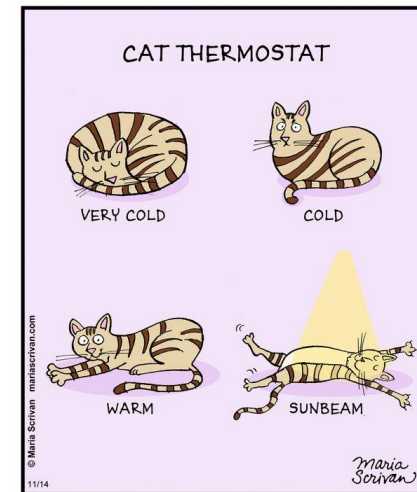


Table 3.5 The thermoelectric series: selected elements and alloys at selected temperatures

100°C	500°C	900°C
Antimony	Chromel	Chromel
Chromel	Copper	Silver
Iron	Silver	Gold
Nichrome	Gold	Iron
Copper	Iron	90%Pt-10Rh
Silver	90%Pt-10Rh	Platinum
90%Pt-10Rh	Platinum	Cobalt
Platinum	Cobalt	Alumel
Cobalt	Alumel	Nickel
Alumel	Nickel	Constantan
Nickel	Constantan	
Constantan		

Seebeck koeficientu tabula



Materiālu Seebeck koeficienti ar atsauci uz platīnu 67

Norādīti koeficienti dažādiem termopāru tipiem

Pirmais materiāls katram tipam (E, J, K, R, S un T) ir pozitīvs, otrais - negatīvs

Seebeck koeficientu tabula

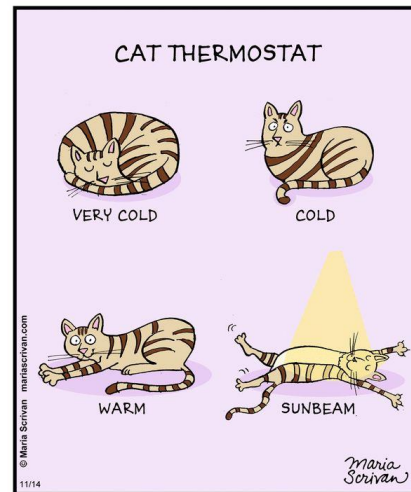
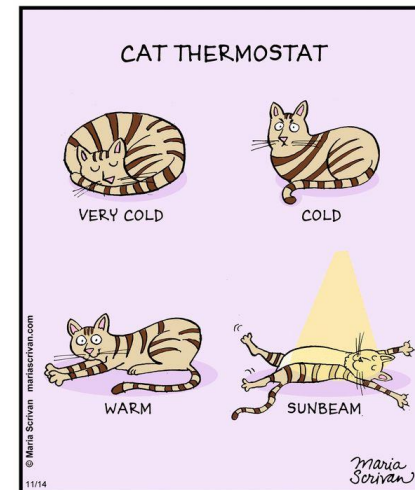


Table 3.6. Seebeck coefficients with respect to Platinum 67

Temp. [°C]	Thermoelement type ĞSeebeck coefficient [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]					
	JP	JN	TP	TN, EN	KP, EP	KN
0	17.9	32.5	5.9	32.9	25.8	13.6
100	17.2	37.2	9.4	37.4	30.1	11.2
200	14.6	40.9	11.9	41.3	32.8	7.2
300	11.7	43.7	14.3	43.8	34.1	7.3
400	9.7	45.4	16.3	45.5	34.5	7.7
500	9.6	46.4		46.6	34.3	8.3
600	11.7	46.8		46.9	33.7	8.8
700	15.4	46.9		46.8	33.0	8.8
800				46.3	32.2	8.8
900				45.3	31.4	8.5
1000				44.2	30.8	8.2

Seebeck koeficientu tabula



Seebeck EMS koeficienti tabulā ir norādīti pret platīnu 67

Piemēram: J tipa termopāram izmanto dzelzi un konstantānu – vara un niķeļa sakausējums attiecīgi 55% un 45%.

Kolonnā JP norādīts Seebeck EMS koeficients attiecībā pret platīnu

Kolonnā JN norādīti EMS koeficienti konstantānam

Saskaitot abus iegūstam attiecīgo vērtību J tipa termopārim
Tabulā 3.5. JP un JN vērtības pie 0oC grādiem tabulā 3.3.: $17.9 + 32.5 = 50.4 \mu\text{V}/\text{oC}$ dod ierakstu J kolonnā pie 0oC tabulā 3.7.

Seebeck koeficientu tabula

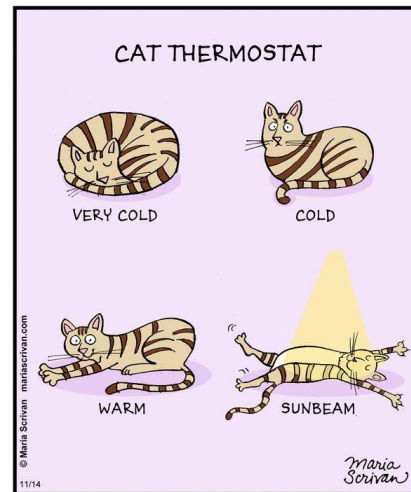
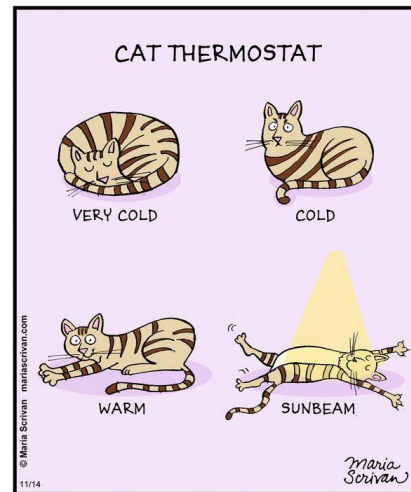


Table 3.7. Seebeck coefficients for various types of thermocouples

Temp. [°C]	Thermocouple type & Seebeck coefficient [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$]					
	E	J	K	R	S	T
-200	25.1	21.9	15.3			15.7
-100	45.2	41.1	30.5			28.4
0	58.7	50.4	39.5	5.3	5.4	38.7
100	67.5	54.3	41.4	7.5	7.3	46.8
200	74.0	55.5	40.0	8.8	8.5	53.1
300	77.9	55.4	41.4	9.7	9.1	58.1
400	80.0	55.1	42.2	10.4	9.6	61.8
500	80.9	56.0	42.6	10.9	9.9	
600	80.7	58.5	42.5	11.3	10.2	
700	79.8	62.2	41.9	11.8	10.5	
800	78.4		41.0	12.3	10.9	
900	76.7		40.0	12.8	11.2	
1000	74.9		38.9	13.2	11.5	

Termoelektriskā references tabula



Saraksts ar aprēķina funkcijām katram termopāru tipam kā n-tās pakāpes polinoms noteiktiem temperatūru diapazoniem.

Pārlicinieties par precīzu termopāru izejas signālu reprezentāciju un izmantojiet to kontrolierim, lai tas precīzi atspoguļo temperatūru nomērītu ar termopāri.

Termoelektriskā references tabula

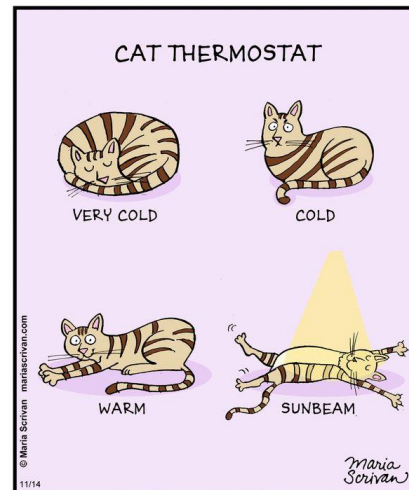
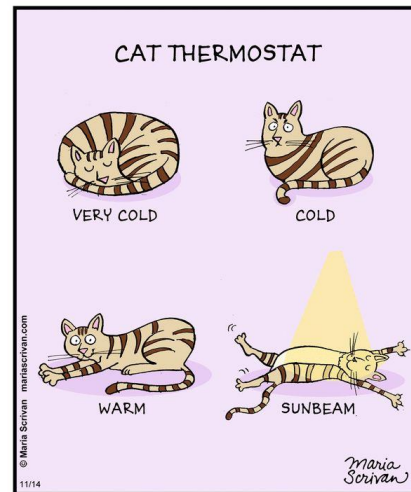


Table 3.8. Transfer function for type E thermocouples

Temperature range [°C]	Exact reference emf (voltage) E [mv]	Reference temperature T [°C]
0 to 400	$(+5.8695857799 \times 10 \times T$ $+4.3110945462 \times 10^{-2} \times T^2$ $+5.7220358202 \times 10^{-5} \times T^3$ $-5.4020668085 \times 10^{-7} \times T^4$ $+1.5425922111 \times 10^{-9} \times T^5$	Within $\pm 0.1^\circ\text{C}$ $1.7022525 \times 10 \times E$ $-2.2097240 \times 10^{-1} \times E^2$ $+5.4809314 \times 10^{-3} \times E^3$ $-5.7669892 \times 10^{-5} \times E^4$
400 to 1000	$-2.4850089136 \times 10^{-12} \times T^6$ $+2.3389721459 \times 10^{-15} \times T^7$ $-1.1946296815 \times 10^{-18} \times T^8$ $+2.5561127497 \times 10^{-22} \times T^9)$ $\times 10^{-3}$	2.9347907×10 $+1.3385134 \times 10 \times E$ $-2.66699218 \times 10^{-2} \times E^2$ $+2.3388779 \times 10^{-4} \times E^3$

Termoelektriskā references tabula



Tabulā atspoguļotas funkcijas E tipa termopāriem

Otrajā kolonnā norādīta precīza formula izejas EMS signālam (spriegums) norādīts μV izteikta kā 9-tās pakāpes polinoms

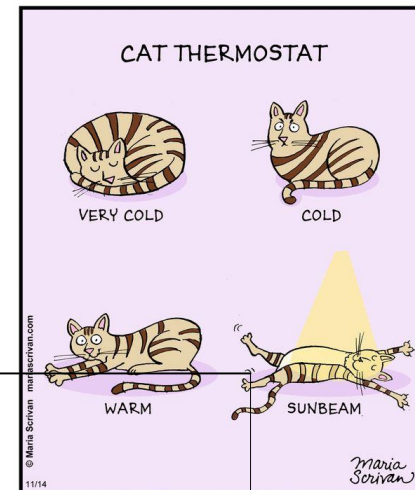
Trešajā kolonnā norādītas inversās sakarības un dod temperatūru aprēķinot to no termopāra EMS ņemot vērā specifisku precizitāti – dotajā gadījumā $\pm 0.1^\circ\text{C}$

Standarta termoparu īpašības

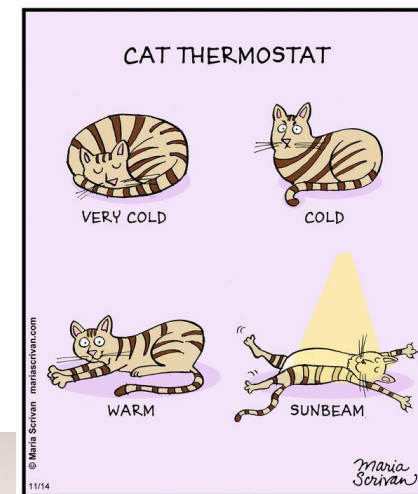
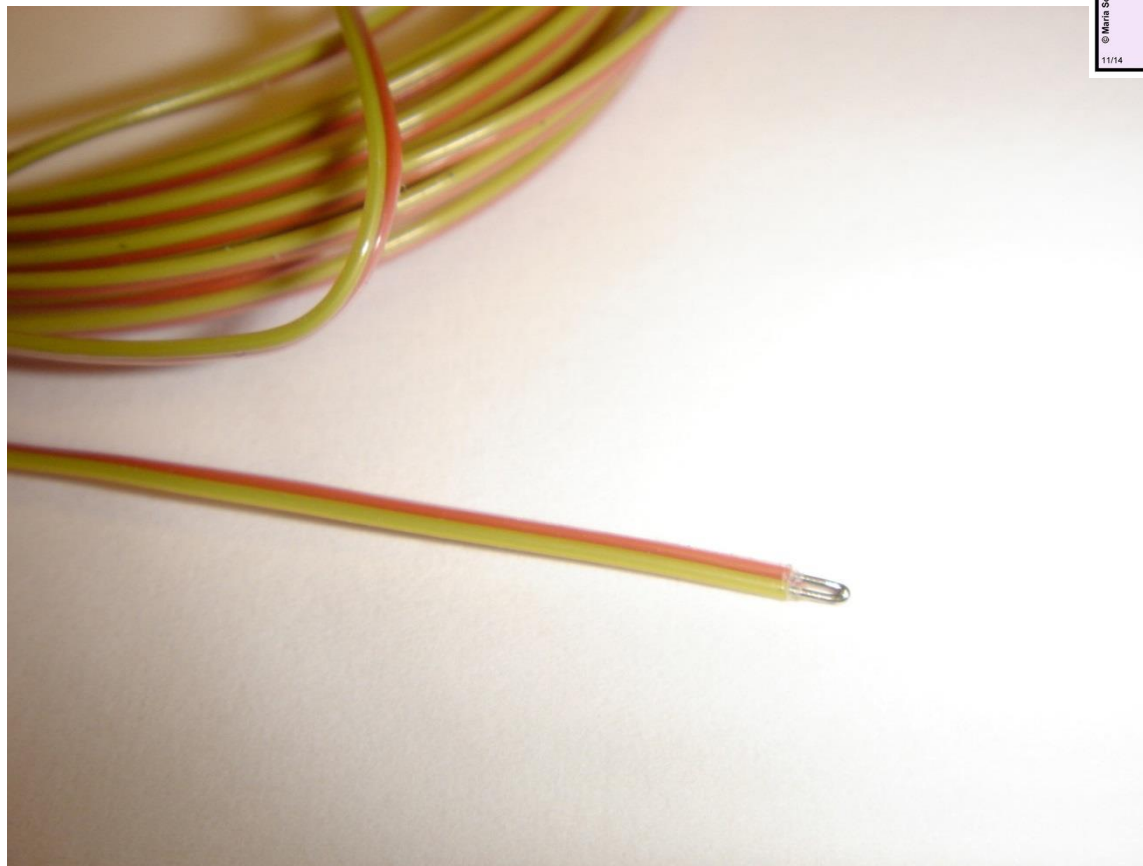
Table 3.9. Common thermocouple types and some of their properties.

Materials	Sensitivity [$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$] at 25°C .	Standard Type designation	Recommended temperature range [$^\circ\text{C}$]	Notes
Copper/Constantan	40.9	T	0 to 400 (-270 - 400)	Cu/60%Cu40%Ni
Iron/Constantan	51,7	J	0 to 760 (-210 - 1200)	Fe/60%Cu40%Ni
Chromel/Alumel	40.6	K	-200 to 1300 (-270 - 1372)	90%Ni10%Cr/55%Cu45%Ni
Chromel/Constantan	60.9	E	-200 to 900 (-270 - 1000)	90%Ni10%Cr/60%Cu40%Ni
Platinum(10%)/Rhodium-Platinum	6.0	S	0 to 1450 (-50 - 1760)	Pt/90%Pt10%Rh
Platinum(13%)/Rhodium-Platinum	6.0	R	0 to 1600 (-50 - 1760)	Pt/87%Pt13%Rh
Silver/Paladium	10		200 to 600	
Constantan/Tungsten	42.1		0 to 800	
Silicon/Aluminum	446		-40 to 150	
Carbon/Silicon Carbide	170		0 to 2000	
Platinum(30%)/Rhodium-Platinum	6.0	B	0 to 1820	Pt/70%Pt30%Rh
Nickel/Cromium-silicon alloy		N	(-270 - 1260)	

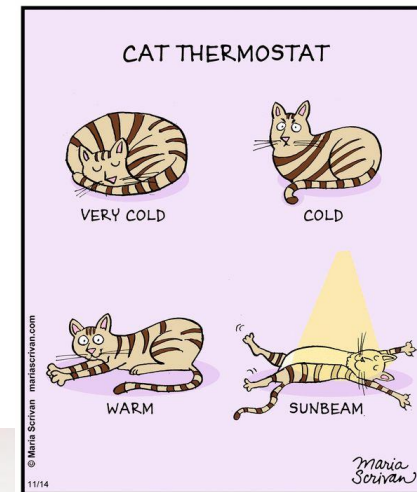
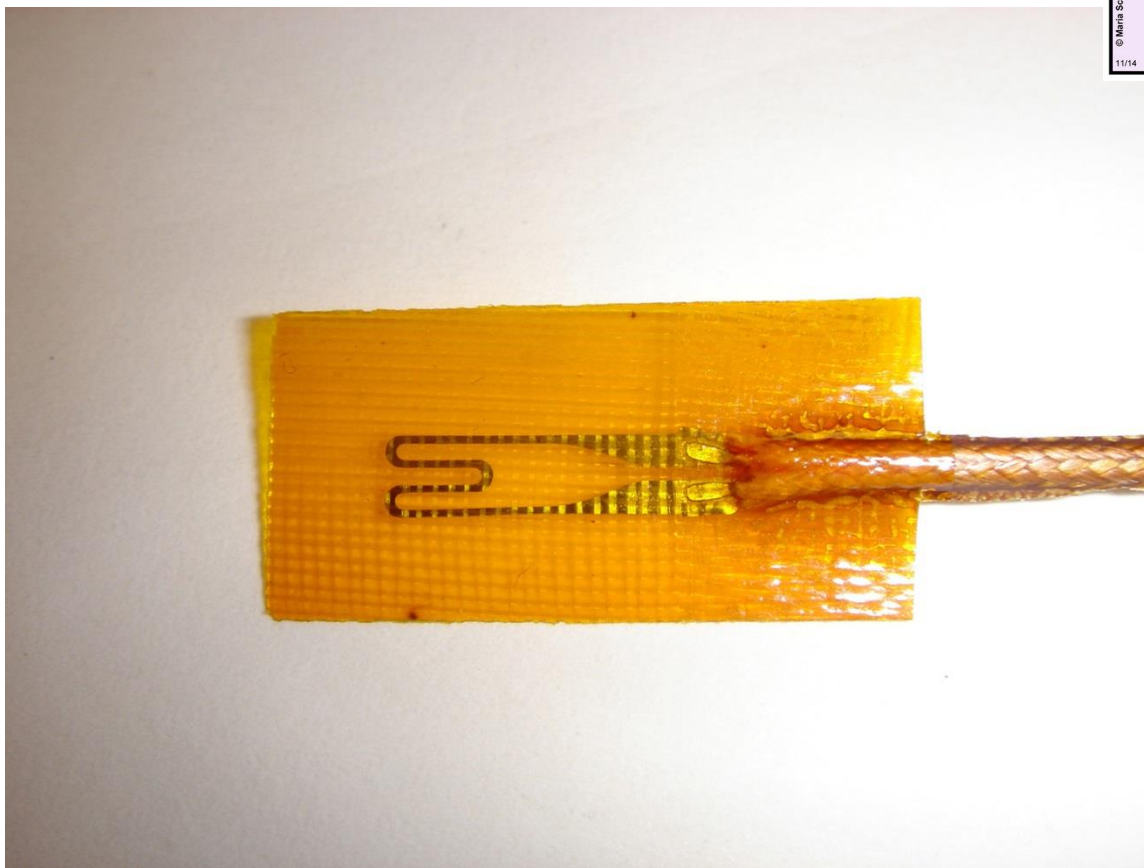
Note: the temperature ranges shown are recommended. Nominal ranges are lower and higher and shown in brackets.



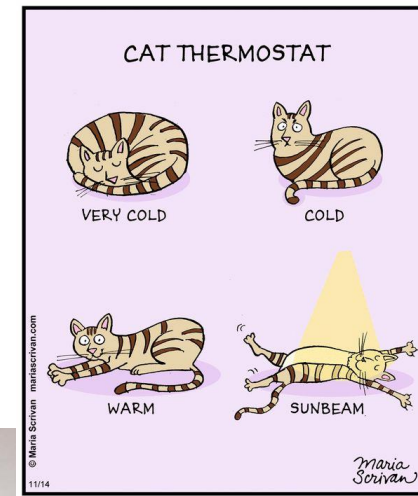
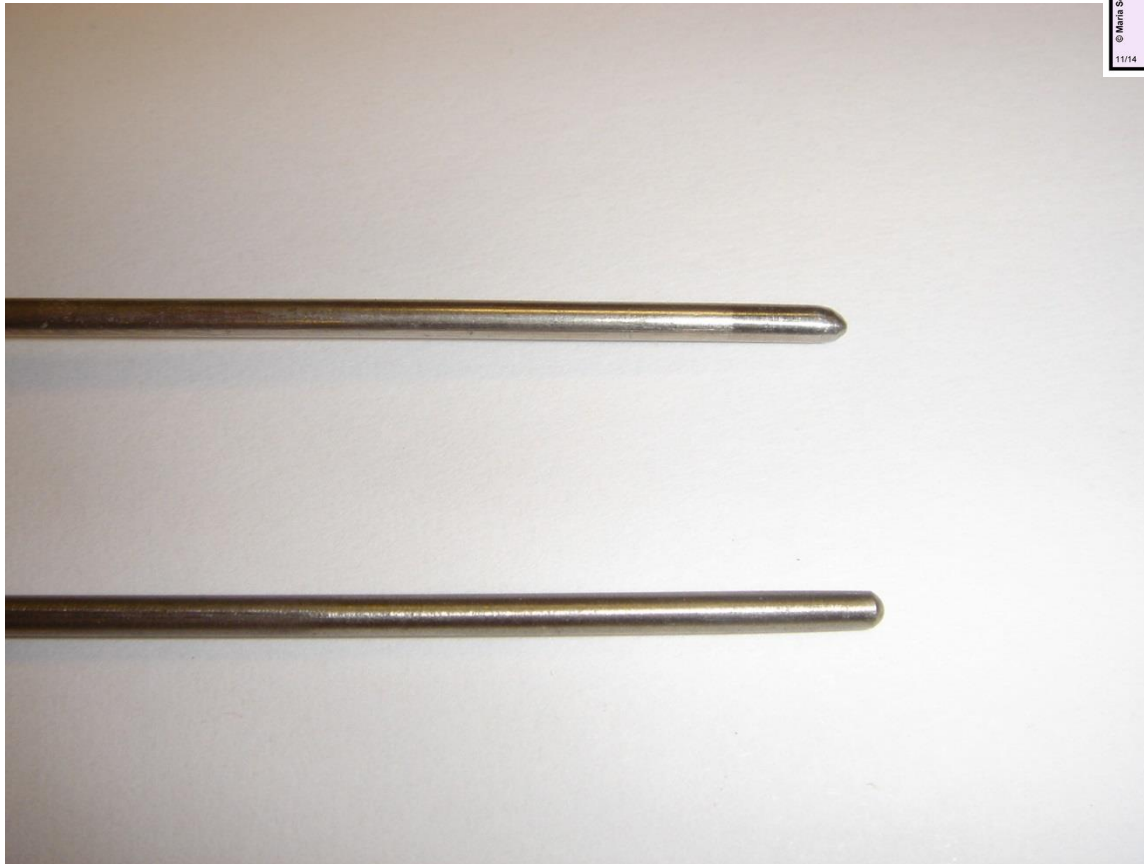
Termopāris ar atvērtu pāreju (savienojumu)



Termopāris iestrādāts mīkstā plastikāta plāksnītē paredzēts piestiprināšanai uz virsmas



Termopāris ar slēgtu pāreju (savienojumu)



Pusvadītāju termopāris

Pusvadītājiem ir augstāks Seebeck koeficients

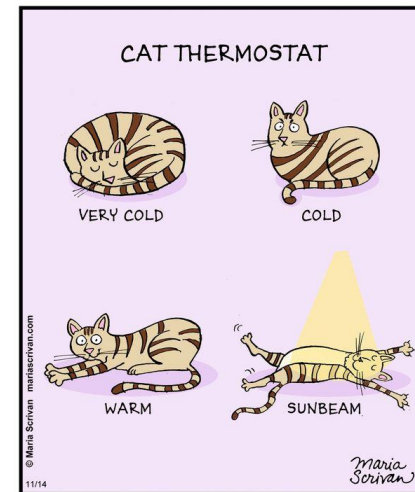
Parasti vērtības ir ap $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

Visbiežāk izmanto n vai p tipa pusvadītājus ar metālu (alumīniju)

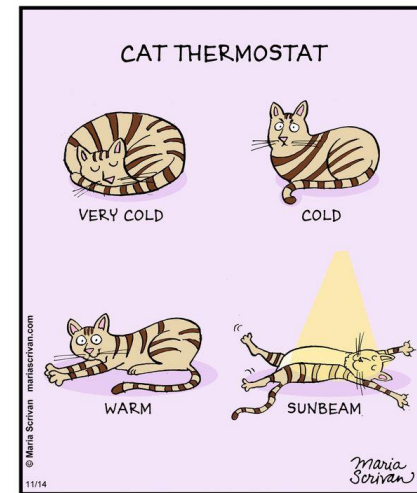
Mazāki temperatūru diapazoni (parasti no -55°C līdz ap 150°C)

Dažiem materiāliem līdz pat 225°C

Jāunakiem pusvadītāju termopāriem līdz pat 800°C



Pusvadītāju termopāra darbība

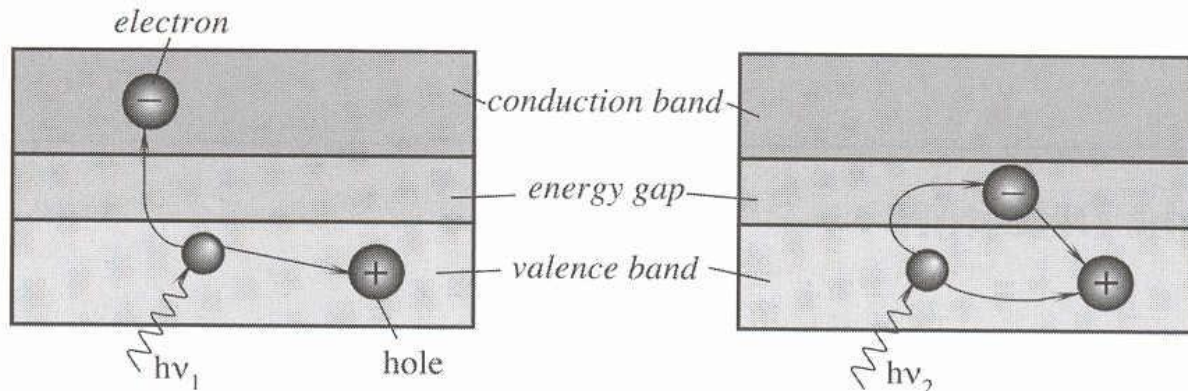


Tīrs pusvadītājs: elektroni ir ar valences vai kovalences saitēm

Daži elektroni ir pieejami elektrovadīšanai

Pievadot siltumu elektroni tiek pārceļti uz elektrovadīšanas līmeni

Lai palielinātu elektronu skaitu jāpievieno piemaisījuma materiāli



Pusvadītāju termopāra darbība

Piemaisījumi:

Pievieno piemaisījumus – dažādus materiālus

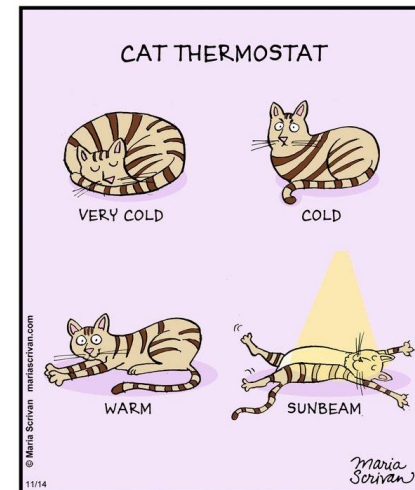
Palielina elektronu (n-tips) un caurumu (p-tips) skaitu

Palielina *Seebeck* koeficientu

Silīcijam ir 4 valences elektroni

Pievienojot vielu ar 5 elektroniem iegūst n-tipa silīciju

Pievienojot vielu ar 3 elektroniem iegūst p tipa silīciju



Pusvadītāju termopāra darbība

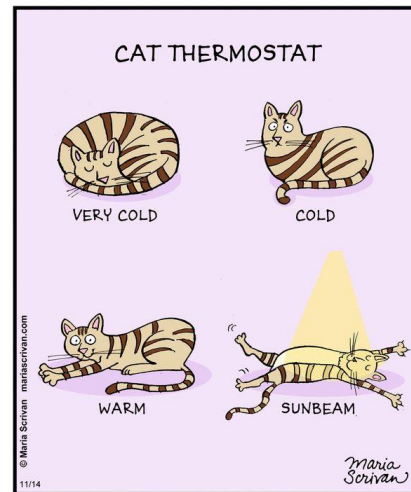
P-tipa silīcija pāreja (uz alumīniju)

Alumīnijs ir uzputināts uz silīcija plāksnītes

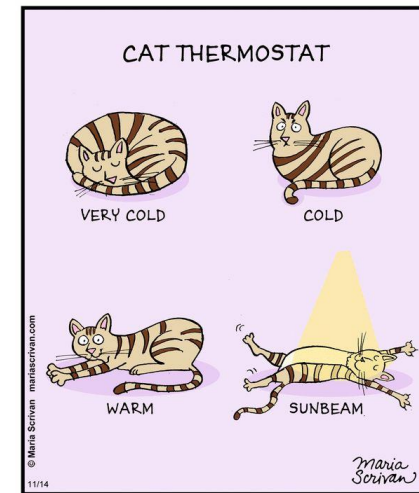
Silīcijs ir papildināts ar vielām no 3 grupas elementiem no periodiskās tabulas, piemēram, bors (B), alumīnijs (Al), gallijs (Ga), indijs (In), tantālijs (Ti)

N-tipa silīcijs pāreja (uz alumīniju)

Silīcijs ir papildināts ar vielām no 5 grupas elementiem no periodiskās tabulas, piemēram, fosfors (P), arsēnijs (As), antimonijs (Sb), bismuts (Bi)



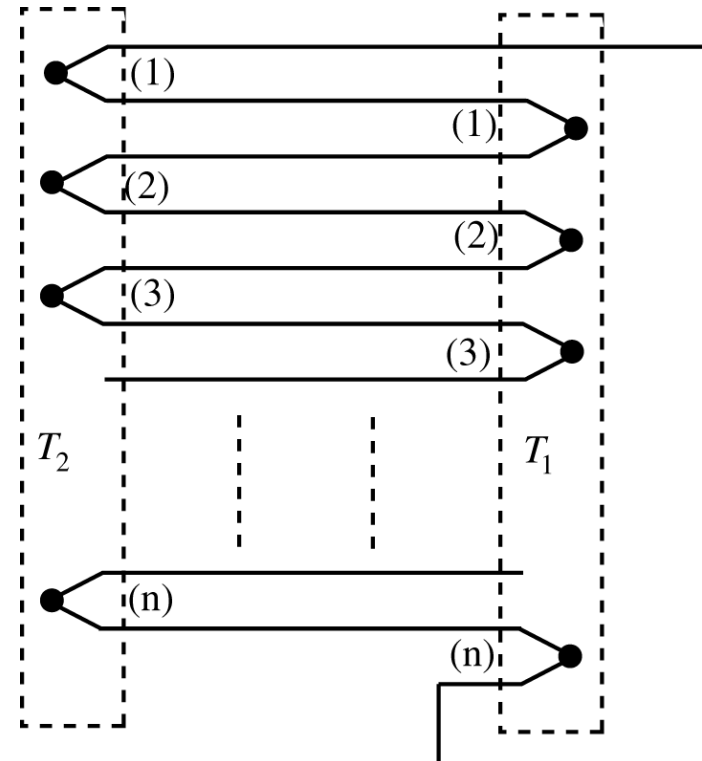
Termopiles



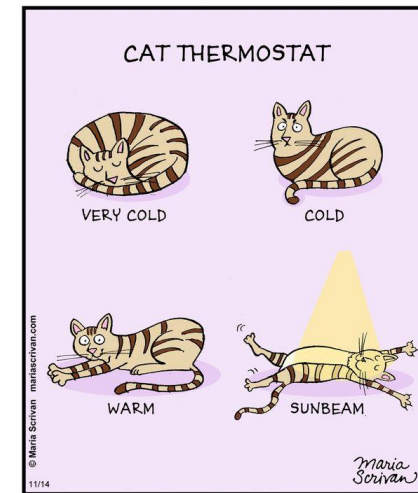
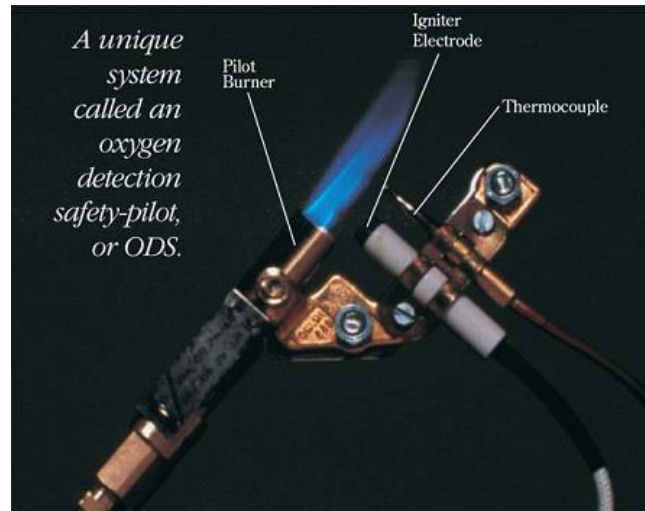
N termopāri ir saslēgti virknē

Termopari ir saslēgti termiski paralēli

Izejas signāls ir N reizes spēcīgāks nekā vienam termoparim



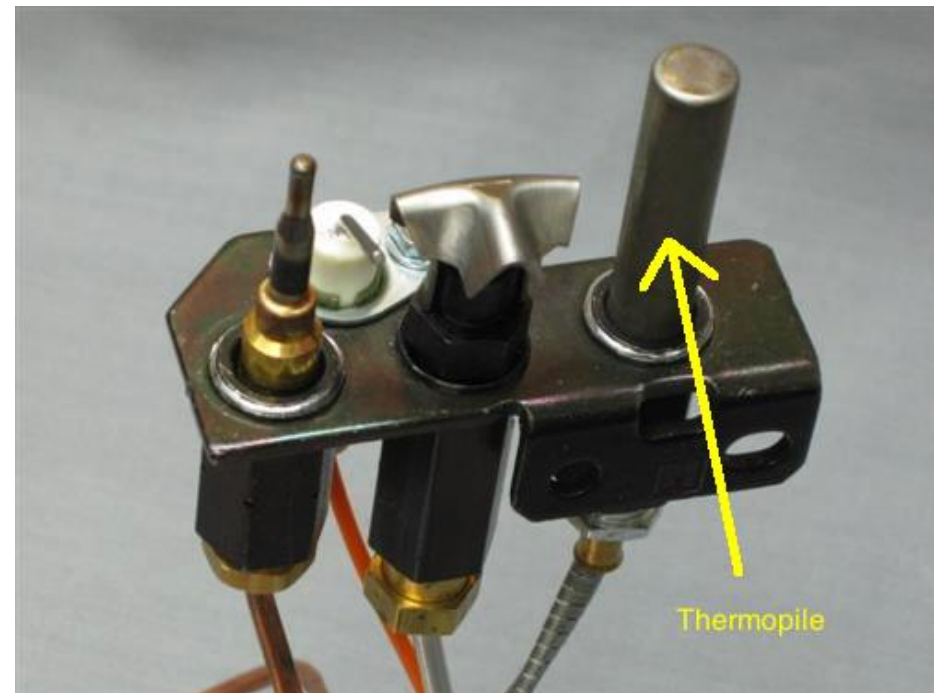
Termopiles



Izmanto lai pastiprinātu izejas signālu

Dažreiz izmanto metāla termopārus

Piemērs: liesmas detektors:
750 mV pie temperatūras starpības ap 120 °C –
apmēram 100 termopāri



Pusvadītāju termopiles

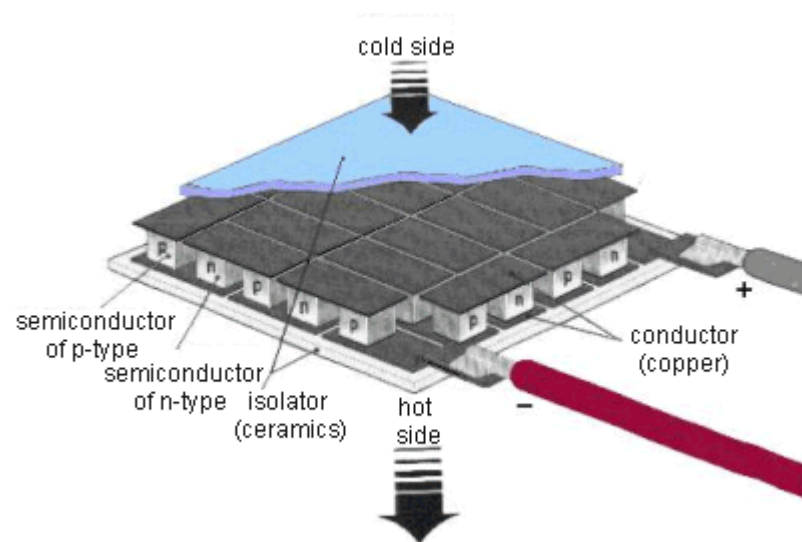
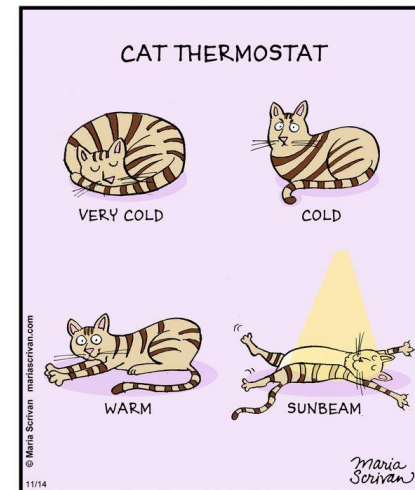
Katrs termoparis dod augstāku izejas signālu nekā metāla termoparis

Daži termopari saslēgti virknē var radīt relatīvi augstu spriegumu

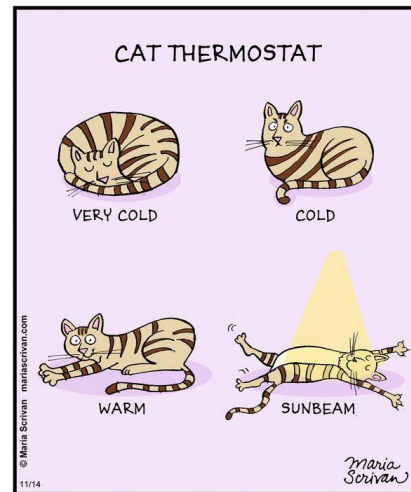
Izmanto termoelektriskajos ģeneratoros

Izejas spriegums līdz pat 15 V

Sauc arī par Peltjē šūnām



Peltjē šūna



Izgatavots no kristālveida pusvadītāju materiāliem, tādiem kā bismuta telurīds (Bi_2Te_3) (n-p pārejas)

Peltjē šūnas bieži izmanto sildīšanai un dzesēšanai

Var izmantot kā sensorus nolasot izejas spriegumu

Var arī izmantot kā strāvas ģeneratorus nelielām ierīcēm

Peltjē šūna

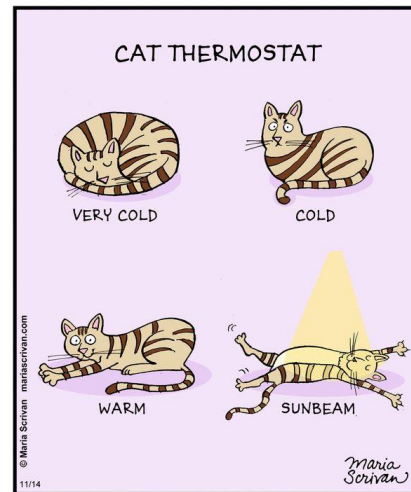
Pārejas ir ieslēgtas starp divām keramikas platēm

Standarta izmēri ir 15, 31, 63, 127 un 255 pārejas

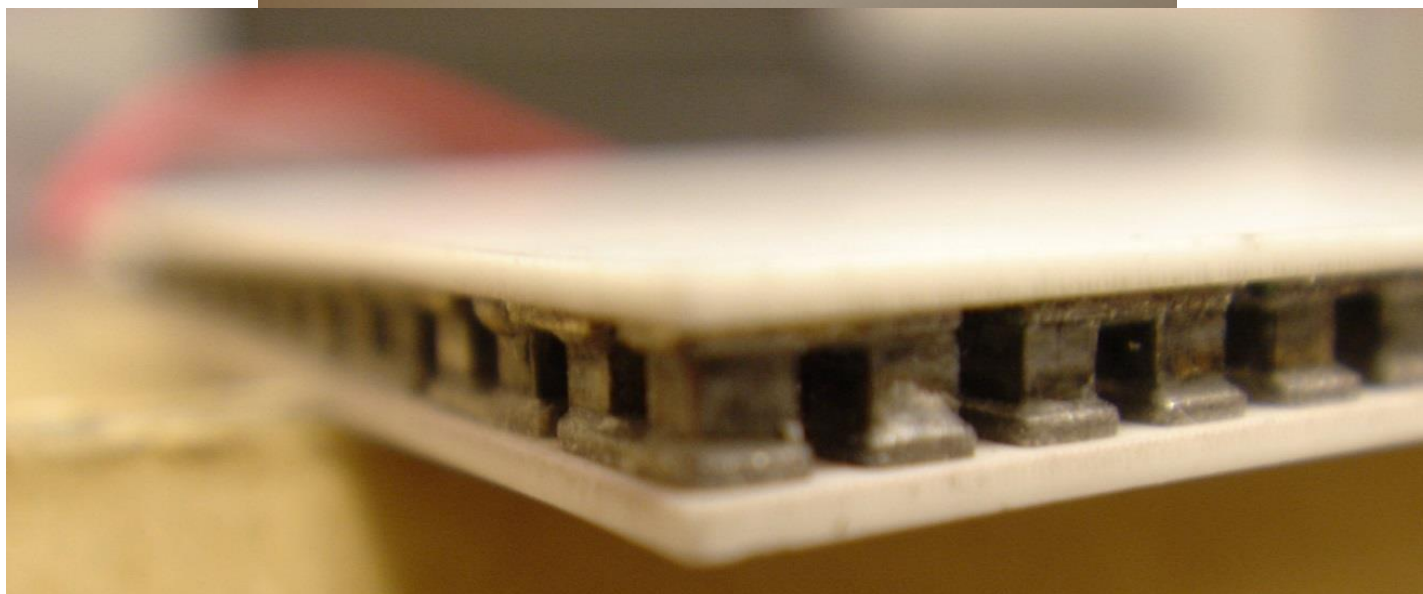
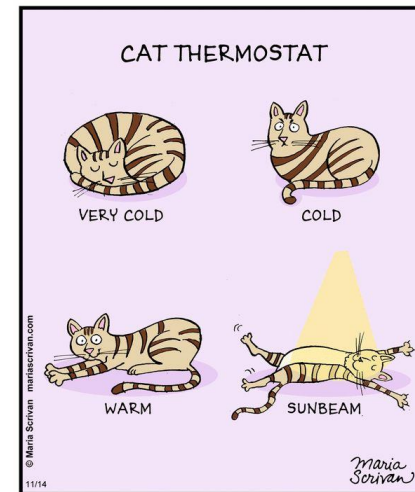
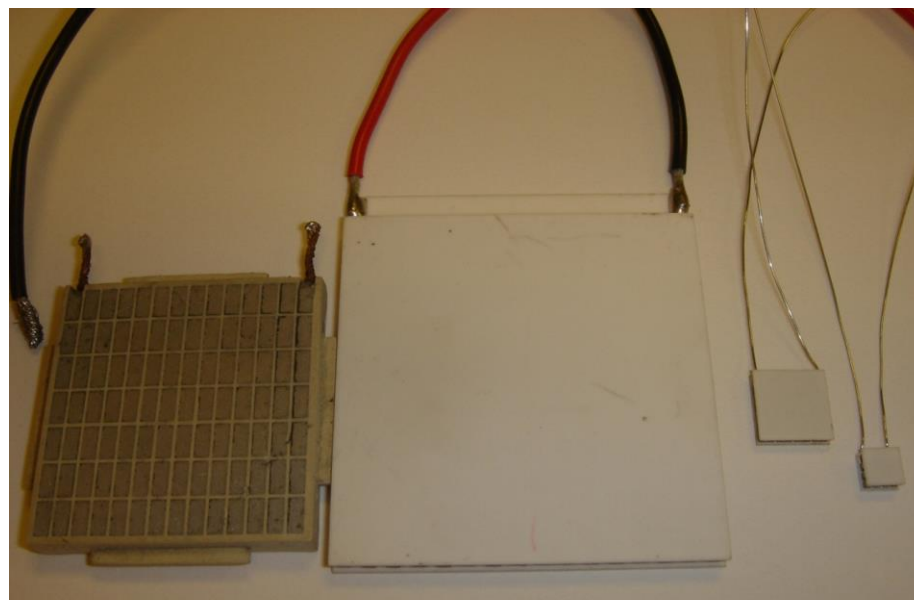
Var tikt saslēgti virknēs vai paralēli gan elektriski, gan termiski

Maksimālā temperatūras starpība starp virsmām ap 100°C

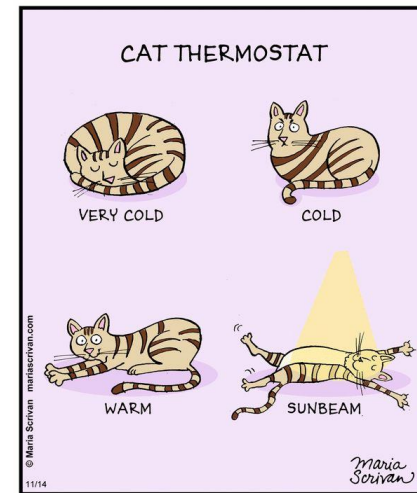
Maksimālā darbības temperatūra ap 225°C



Peltjē šūna



P-N pārejas temperatūras sensori

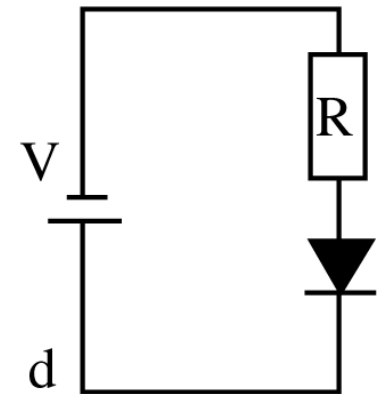
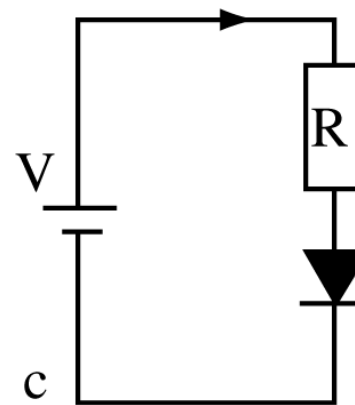
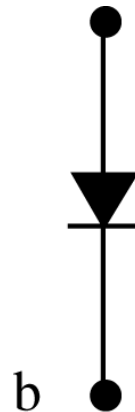
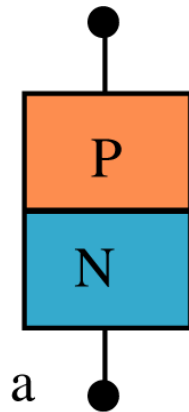


Pāreja starp p un n tipa pusvadītājiem

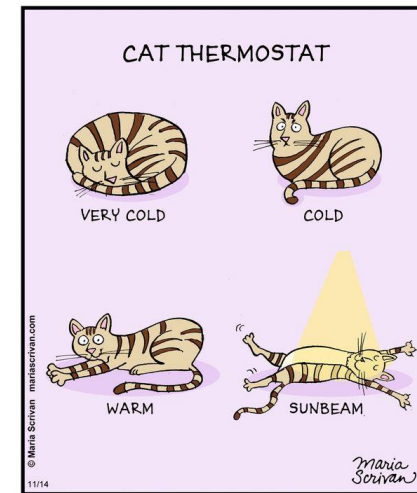
Parasti silīcijs, bet izmanto arī germāniju, gallija-arsenīdu u.c.

Sauc arī par diodi

Darbojas vienā virzienā



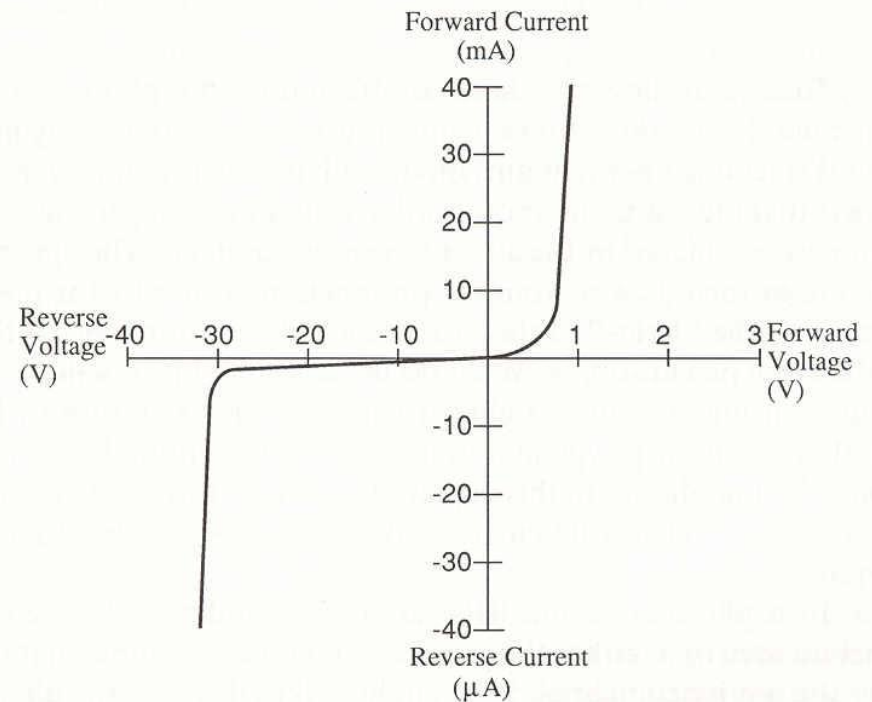
P-N pārejas temperatūras sensori



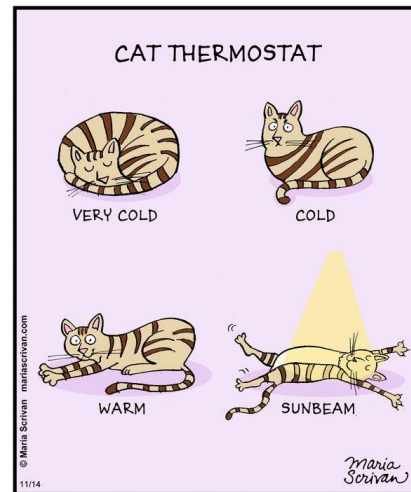
Cauri uz priekšu plūstošā strāva
ir atkarīga no temperatūras

Derēs jebkura pusvadītāju
diode

Parasti mēra spriegumu diodes
abos galos



P-N pārejas temperatūras sensori



Caur diodi uz priekšu plūstošā strāva

Spriegums diodes galos

I_0 – piesātinājuma strāva

E_g – joslas platuma enerģija

q – elektrona lādiņš

k – Bolcmaņa konstante

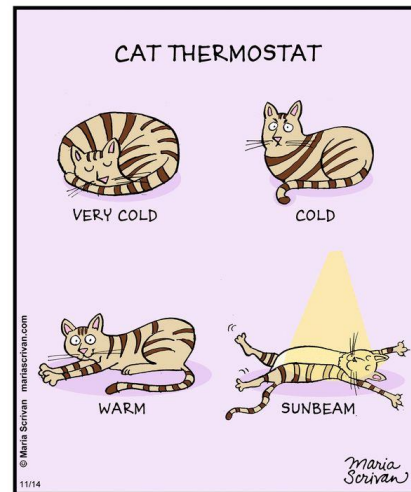
C – no temperatūras neatkarīga konstante

T – temperatūra (°K)

$$I = I_0 e^{qV/2kT}$$

$$V_f = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{C}{I}\right)$$

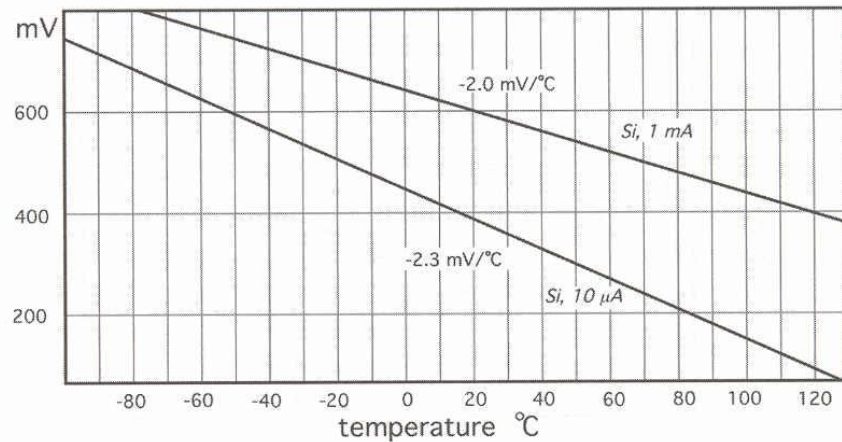
P-N pārejas temperatūras sensori



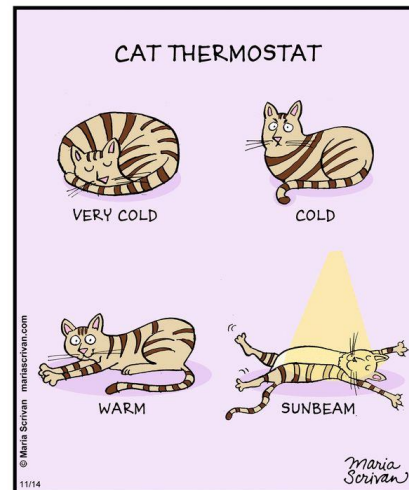
Ja C un I ir konstanti, tad V_f ir lineāri atkarīgs no temperatūras

Diode ir NTC iekārta

Jutība: 1 – 10 mV/oC (atkarīgs no temperatūras)



P-N pārejas temperatūras sensori



Ir nozīme kādā virzienā caur diodi plūst strāva

Tipiski strāva 10- 100 μA (mazāka strāva – augstāka jutība)

Maksimālais diapazons (silīcijs) -50 līdz 150 $^{\circ}\text{C}$

Precizitāte : parasti +/- 0.1 $^{\circ}\text{C}$

Kļūda no iekšējas silšanas: 0.5 mW/ $^{\circ}\text{C}$

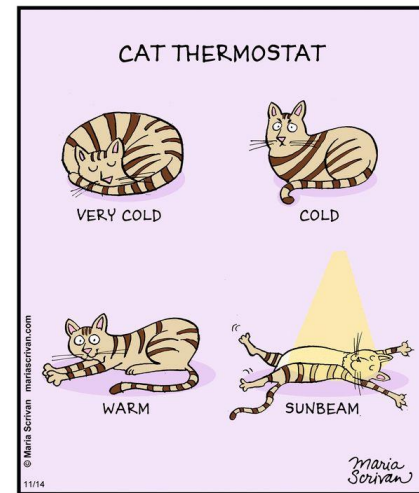
Citi temperatūras sensori

Optiskie

Akustiskie

Termomehāniskie sensori

Termomehāniskie aktuatori



Optiskie temperatūras sensori

Bezkontakta

Siltums rada optisko starojumu

Vislietderīgāk izmantot infrasarkanā starojumu

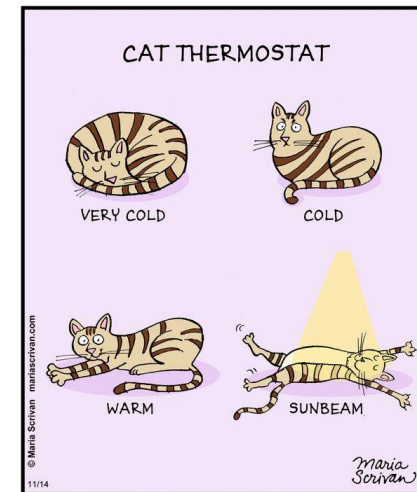
Darbojas izmantojot kvantu efektu

Citi sensori darbojas izmantojot signāla fāzu nobīdi

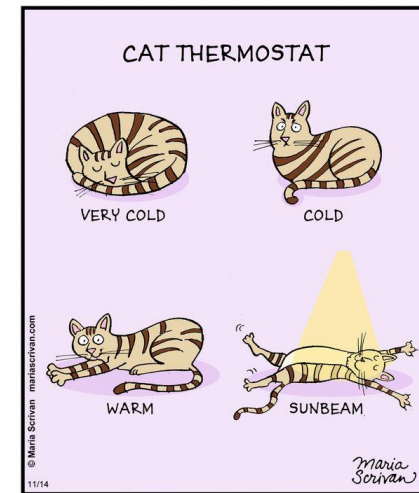
Gaisma pārvietojas caur silīcija optisko šķiedru

Atstarošanas koeficients ir atkarīgs no temperatūras

Mērot fāzu nobīdi gaismai var noteikt temperatūru



Akustiskie temperatūras sensori

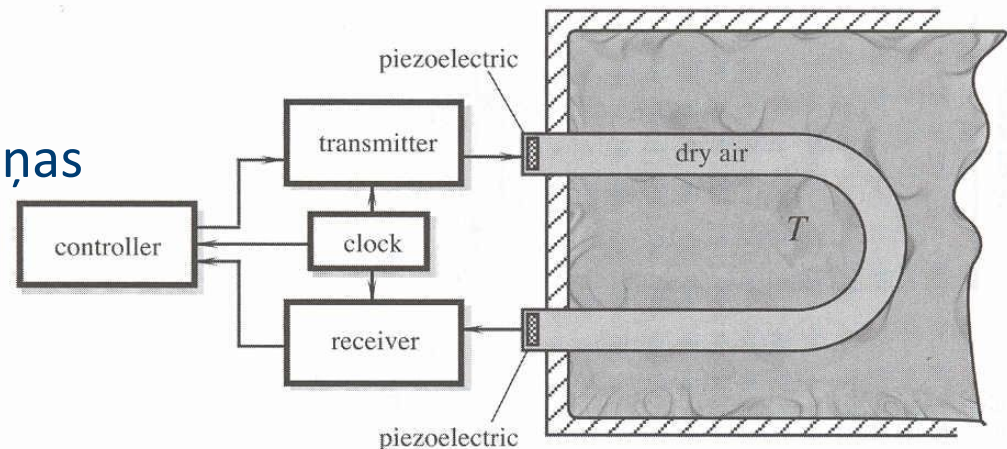


Skaņas ātrums ir atkarīgs no temperatūras

$$v_s = 331.5 \sqrt{\frac{T}{273.15}} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Mēra laiku, kāds nepieciešams skaņai iziet caur uzkarētu vidi

Lielākā daļa sensoru ir ultraskaņas sensori paredzēti specifiskiem pielietojumiem



Termomehāniskie sensori

Izmaiņas fizikālās īpašībās temperatūras iespaidā:

Garums

Tilpums

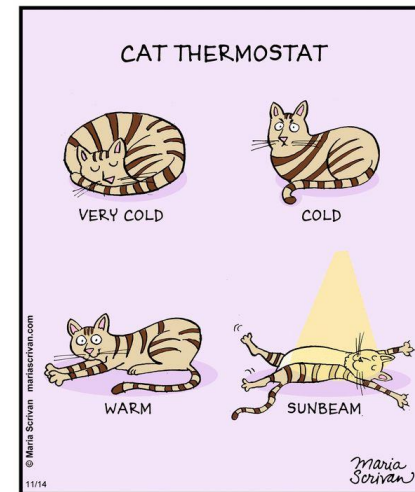
Spiediens, u.c.

Šķidrumu un gāzu izplešanās (termometri)

Elektrovadītāju izplešanās (termometri, termostati)

Daudziem sensoriem ir iestrādāta skala vai iedaļas

Daži no sensoriem kaut ko pārslēdz tiešā veidā (termostati)

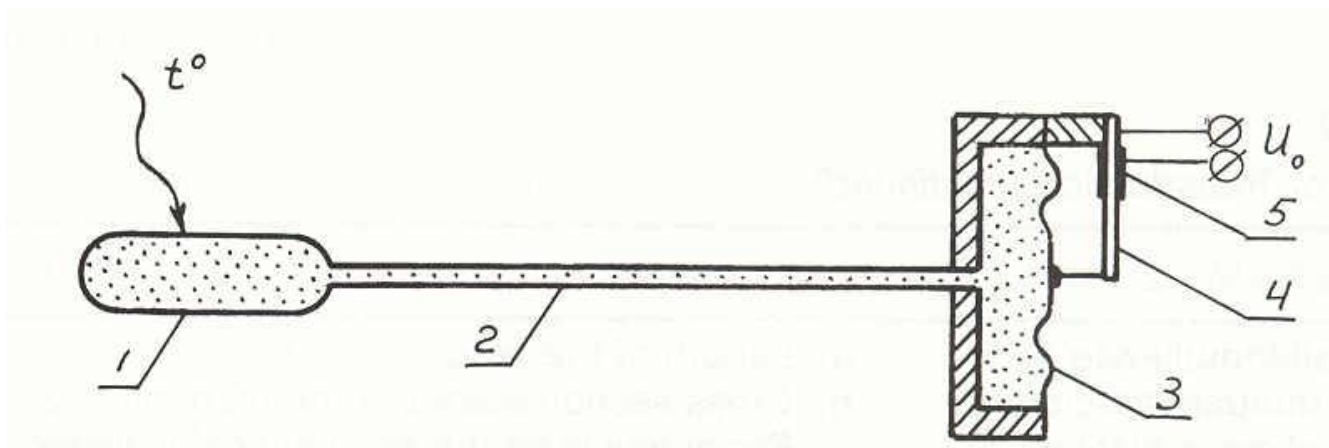
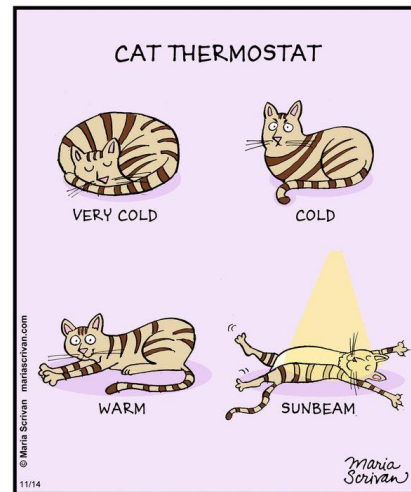


Gāzes izplešanās temperatūras sensors

Paaugstinoties temperatūrai gāze izplešas

Diafragma speiž uz «sensoru» (vārsts, potenciometrs, slēdzis)

Sensora izejas signāls ir graduēts kā temperatūra



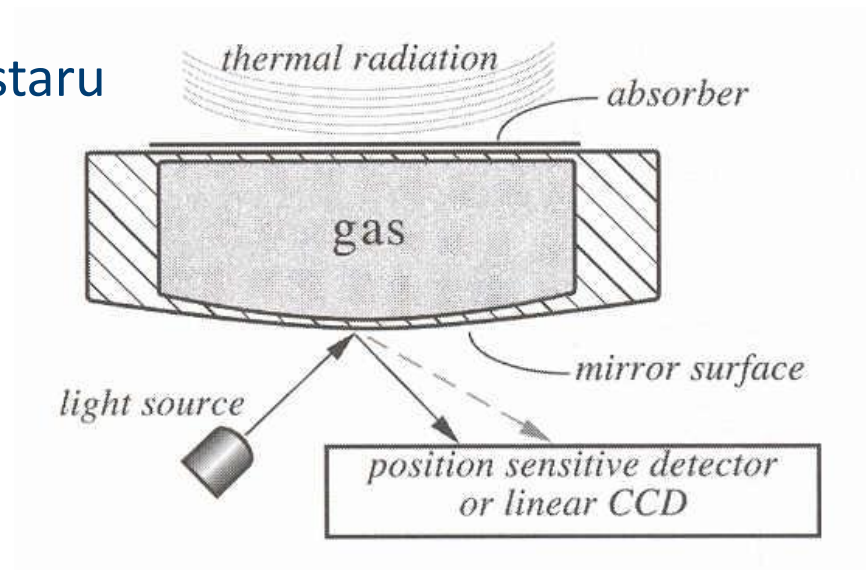
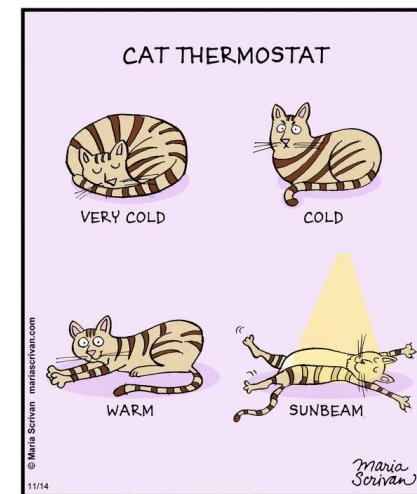
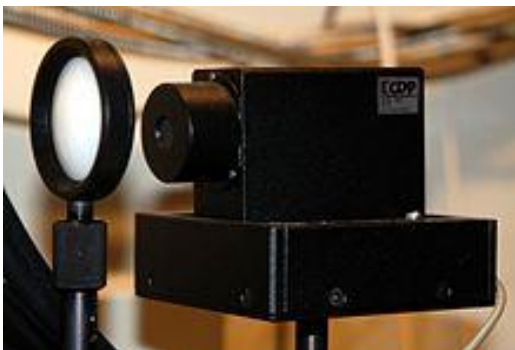
Termopneimatiskais sensors

Sauc arī par Golay šūnu

Gāze izplešas elastīgā šūnā

Kustība nobīda spoguļi un pārvieto staru

Ārkārtīgi precīzs instruments



Metālu termiskā izplešanās

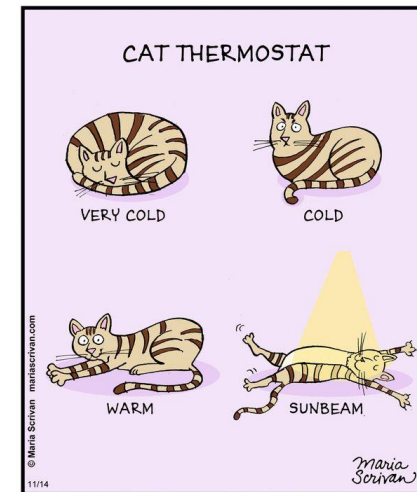
Visi metāli izplešas pieaugot temperatūrai

Citas dimensijas paliek nemainīgas – mainās garums

Katram metālam ir specifisks lineārā izplešanās koeficients α

A parasti ir dots pie T_1 , kur temperatūra dota $^{\circ}\text{C}$

$$l_2 = l_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad [\text{m}]$$



Lineārās izplešanās koeficienti

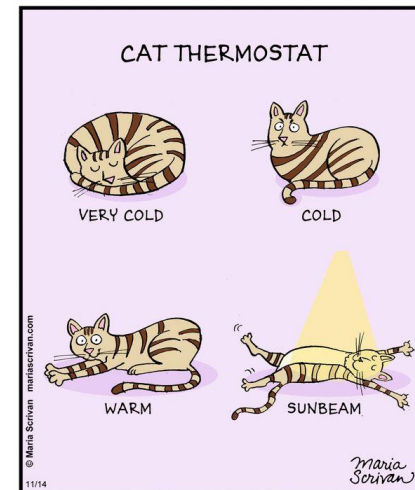
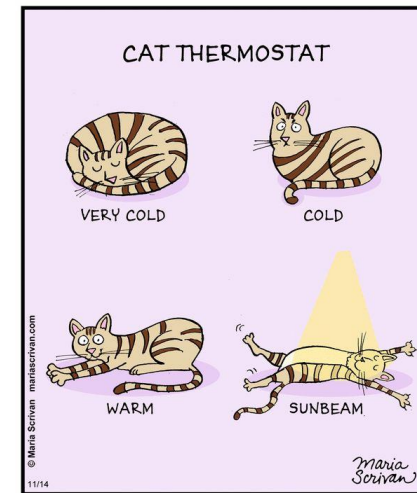


Table 3.10. Coefficients of linear expansion for some. Coefficients are given per °C.

Material	Coefficient of expansion α , $\times 10^{-6}$
Aluminum	25.0
Chromium	30.0
Copper	16.6
Gold	14.2
Iron	12.0
Nickel	11.8
Platinum	9.0
Phosphor-bronze	9.3
Silver	19.0
Titanium	6.5
Tungsten	4.5
Zink	35

Metālu termiskā izplešanās



Lineārās izplešanās koeficienti ir ļoti mazi, bet nomērāmi

Var tikt tieši izmantoti lai pagrieztu rādītāju temperatūras indikācijai

Var izmantot lai pagrieztu sviru

Vairākumā gadījumu izmanto bimetāla konstrukcijas

Var izmantot gan kā sensoru, gan kā aktuatoru

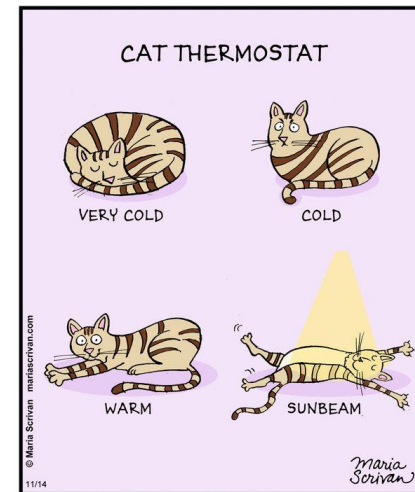
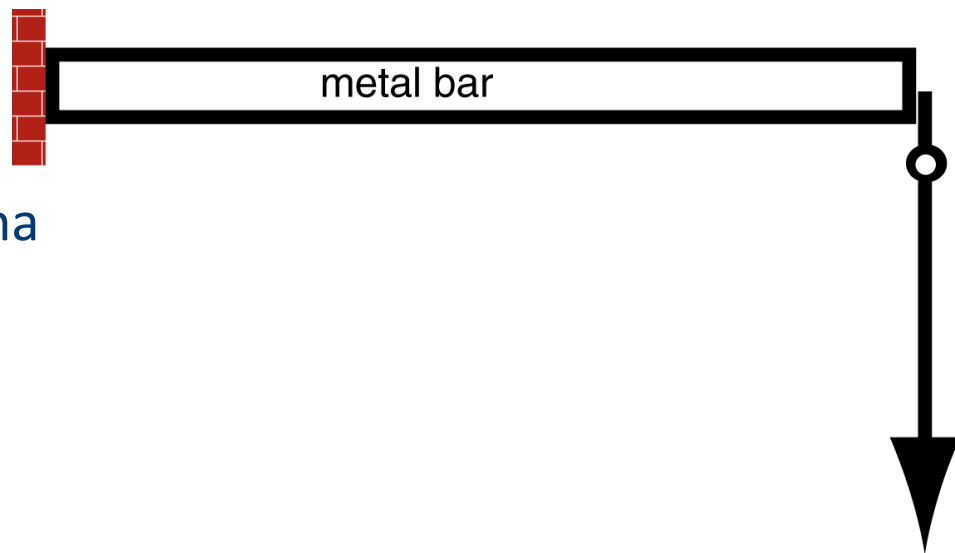
Piemērs: metālu termiskā izplešanās

Pieaugot temperatūrai metāla stienis izstiepjas

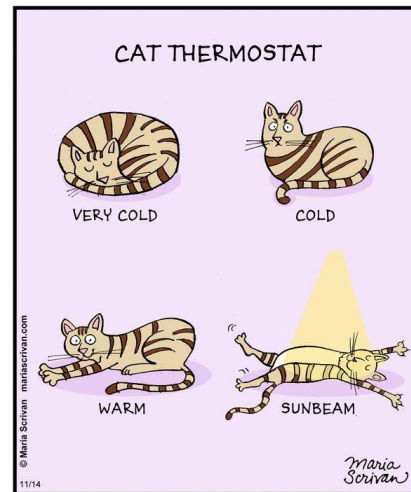
Skalas rādītājs pārvietojas pa labi pieaugot temperatūrai

Kustības diapazons ir ļoti mazs

Skala var tikt aizstāta ar spiediena sensoru vai sprieguma mērītāju



Bimetālu sensori



Divas metāla loksnes sametinātas kopā

Katrai metāla loksnei ir dažāi izplešanās koeficienti

Loksnēm izplešoties abas loksnes izliecas. Šo kustību izmanto lai:

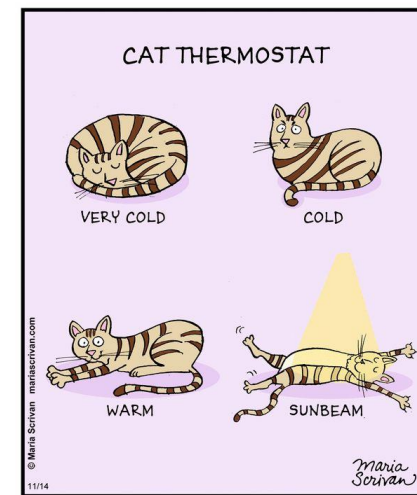
Pagrieztu skalas rādītāju

Iedarbotos uz sensoru (piem., spiediena sensoru)

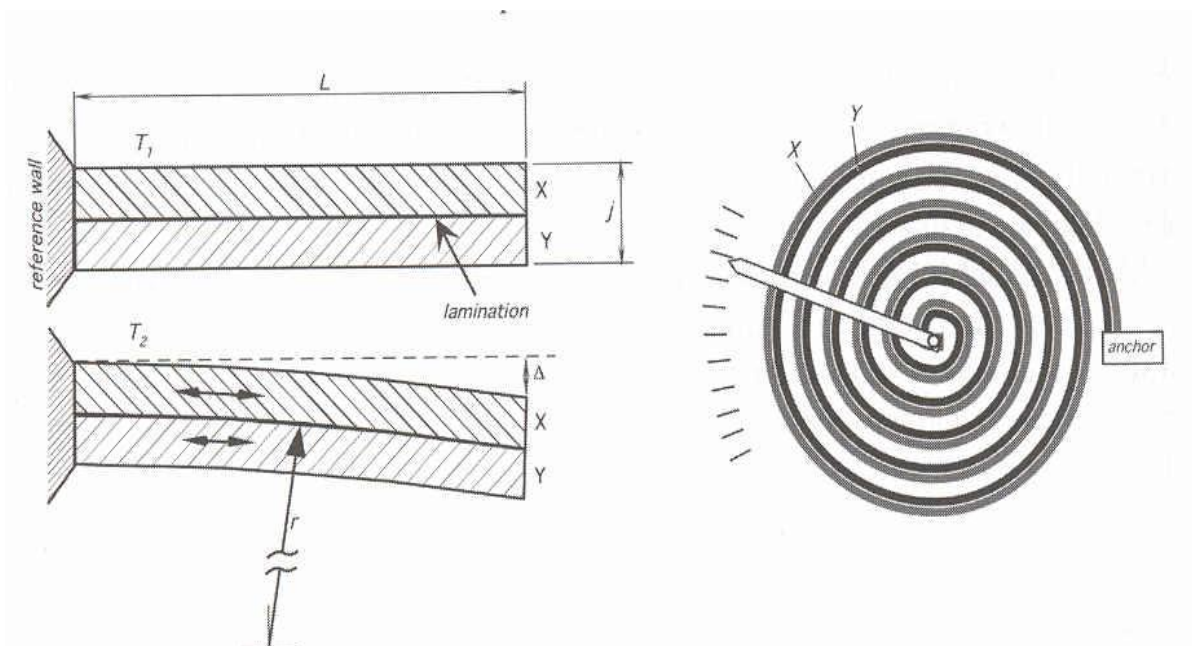
Pagrieztu potenciometru

Ieslēgtu slēdzi

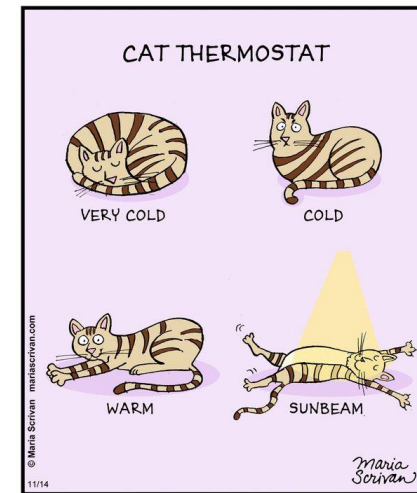
Bimetālu sensori



Lai palielinātu kustības amplitūdu, bimetāla loksne ir sagriesta spolē. Skalas rādītājs pagriežas, kad spole saraujas vai izplešas.



Bimetālu sensori



Pārvietojums bimetāla stienim:

r – izliekuma rādiuss

T_2 – mēramā temperatūra

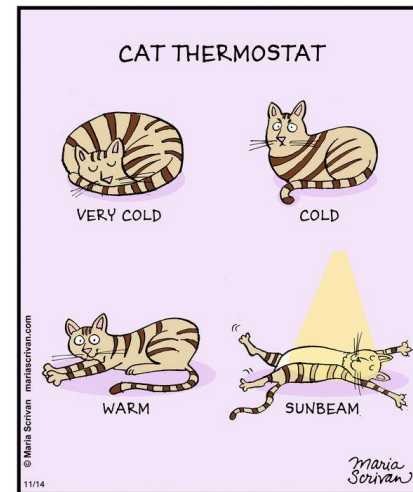
T_1 – references temperatūra
(sākotnējā pozīcija)

t – bimetāla plāksnes biezums

$$d = r \left[1 - \cos\left(\frac{180L}{\pi r}\right) \right] \quad [\text{m}]$$

$$r = \frac{2t}{3(\alpha_u - \alpha_l) T_2 - T_1}$$

Bimetālu slēdzis



Pierastākie pielietojumi: pagrieziņa gaismas auto, termostati u.c.

Pielietojums:

Kreisais gals ir nostiprināts

Labais gals pārvietojas uz leju, kad pieaug temperatūra

Atdzesēšana darbojas pretējā virzienā

