



TEMPERATUR

OG

TEMPERATURMÅLING.

Rettelser, og eller tilføjelser modtages gerne.



Temperatur

Temperaturen i et stof er nok den hyppigst målte fysiske parameter i industrien.

Temperaturen kan fx give udtryk for

- procestilstand,
- procesforhold
- Tilført energimængde = penge !

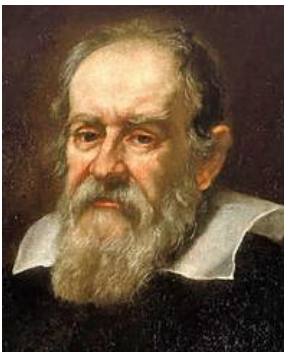
Lidt historie:

Indtil for ca. 260 år siden var temperaturmålinger meget subjektive.

For varme metaller var farven en god indikator. Det blev fx brugt ved hærkning af stål.

For lavere temperaturer var det påvirkningen på forskellige materialer, der gav en indikation af temperaturen. Fx ville en given temperatur smelte svovl, bly eller voks, eller koge vand

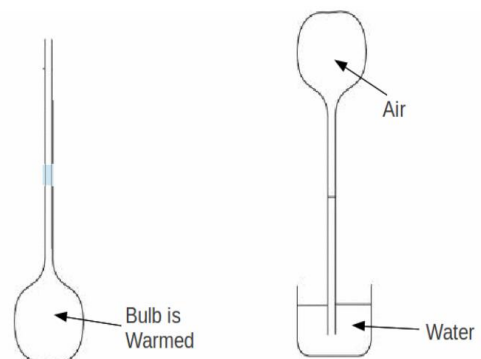
Der var altså et antal fix-punkter, men ingen skala.



Galileo Galilei opfandt den første dokumenterede termometer i ca. 1592. Det var en luft-termometer, der bestod af en glaspære med et langt rør påmonteret.

Røret blev sat ned i en væske, mens boblen blev varmet af det emne, man ville måle temperaturen på. Herved blev noget af luften i rør og boble fortrængt. Når varmen blev fjernet fra boblen, kølede den af, og dermed også luften i den. Væsken blev hermed suget et stykke op i røret. Jo højere, jo varmere havde emnet været.

En rimelig følsom metode, men dog afhængig af lufttrykket!



<https://astarmathsandphysics.com/o-level-physics-notes/168-galileo-s-thermometer.html>



I det tidligere 18-hundredetal var der opstået op til 35 forskellige temperaturskalaer. Men i 1714 opfandt Daniel Gabriel Fahrenheit både kviksølv og alkohol-termometeret.

Kviksølv fryser ved $-39^{\circ}\text{Celsius}$, og kan derfor ikke bruges til lavere temperaturer. Og alkohol fryser ved $-113^{\circ}\text{Celsius}$.

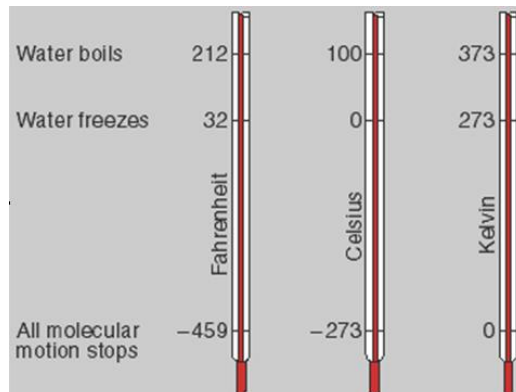
Senere i det 18'ende årh. erkendte Anders Celsius, (1701-1744) at det var smartere at bruge 100 inddelinger på hans skala, hvor vands frysepunkt blev til 100 grader, og 0 til vands kogepunkt. Dette blev senere vendt, og Celsius-skalaen var født.



Med denne skala vil det absolutte nulpunkt have temperaturen minus 273.15°C . På basis af denne temperatur er der indført en ny temperaturskala, kelvinskalaen, som bruges i fysikken. Nulpunktet for denne sættes ved det absolutte nulpunkt. Efter kelvinskalaen smelter is således ved $273,15\text{ K}$, og vand koger ved $373,15\text{ K}$.

Fahrenheit skalaen.

På illustrationen ses forskellige temperaturskalaer.



Fysisk opfattelse af temperatur:

Et stofs temperatur er et udtryk for svingninger af stoffets mindste dele, atomer og molekyler. Tager man eksempelvis et fast stof som jern, vil de enkelte jernatomer befinde sig i en fast gitterstruktur.

En høj temperatur vil således vise sig som kraftige svingninger af jernatomerne omkring ligevægtspositionerne i gitteret. Omvendt vil en lav temperatur vise sig som svagere svingninger omkring ligevægtspositionerne. Når atomerne ligger helt stille taler man om det absolutte nulpunkt for temperaturen.



Elektronernes temperatur- bevægelser svarer til $1 / 10$ af lysets hastighed c . Sammenlignes det med elektroners hastighed i en strømførende ledning, må man undres! Få mm i sekundet.

Når atomer er i bevægelse, vil de udsende stråling i form af elektromagnetiske bølger. Jo varmere, jo større udstråling. Noget af strålingen er af en frekvens, vi kan se, og derfor kalder for lys. Noget er infrarød stråling, dvs. varmestråling, osv. Den infrarøde stråling kan føles af huden, og lyset kan registreres af de antenner, eller øjne, vi er udstyret med.

Det er den stråling, man benytter i infrarøde kameraer, der fx bruges til at se utætheder i husets isolering.

Vi kan på afstand fornemme om en kogeplade er varm!



Vi kender også, at i et lokale med mange personer, vil temperaturen stige!

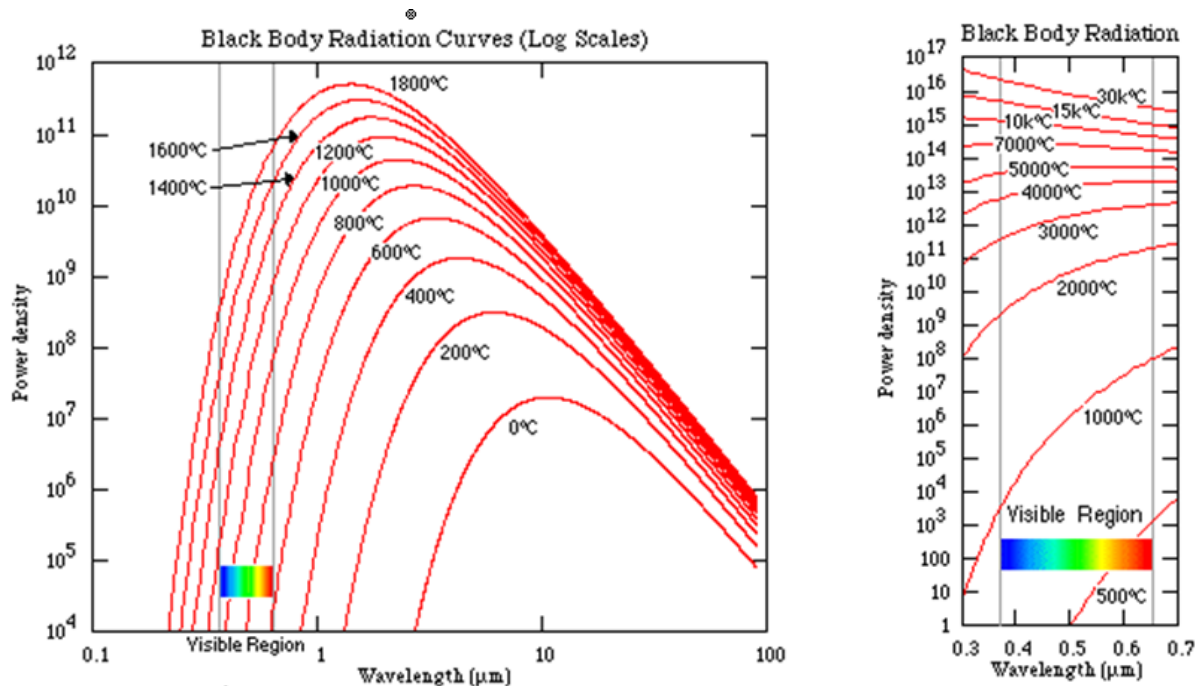
Hvor meget energi udsender et menneske? Fx et menneske på 75 kg. Hvor meget er det i forhold til en 60 Watt pære??

(Noget af varmen fra et menneske vil nok komme fra konvektion, ikke fra stråling)

Hvordan virker en bevægelsesføler, der fx bruges til at tænde lamper?

Stråling fra det absolut sorte legeme. Black Body Radiation

For at komme nærmere på forståelse af udstrålingen fra et varmt legeme, ses nu på udstrålingen fra et sort legeme. Der er vist grafer for forskellige temperaturer, og arealerne under graferne viser den udstrålede energi ved forskellige bølgelængder.



Kilde: www.capgo.com <http://www.capgo.com/Resources/Temperature/NonContact/NonContact.html#Blackbody>

Det ses, at som temperaturen stiger, vil farven på den udsendte stråling ændre sig fra først rødlig, til gulligt, til hvid, og til sidst vil strålingen også indeholde nogle blålige nuancer.

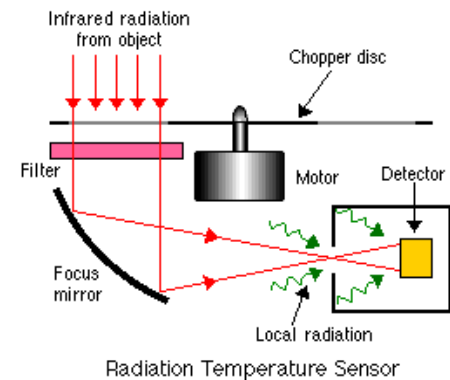
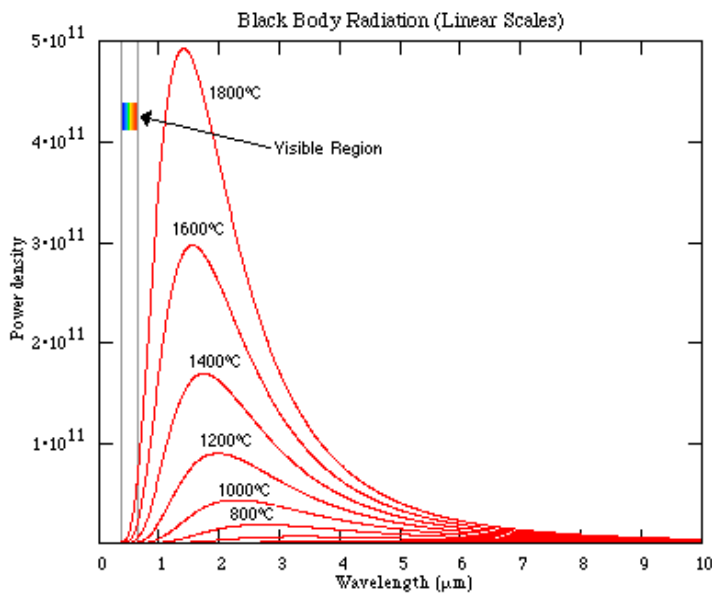
Vi kender det fra jern, der ved opvarmning først lyser rødligt, dernæst gulligt, - for senere at være næsten hvislødende.

Dette ses bedst illustreret på grafen til højre ovenfor, hvor der er zoomet ind på den synlige del af skalaen.

Farven, som vi opfatter den, afhænger af hvor stor en del af den samlede stråling der har en given bølgelængde, eller frekvens.

Er størstedelen af strålingen med en lang bølgelængde (fx fra et legeme med en temperatur på 1000 °C) vil lyset være rødligt. Hvis størstedelen derimod har en kort bølgelængde = høj frekvens, (f.eks. 30.000 °C) vil legemet i vore øjne lyse blåligt. Hvis der er en nogenlunde ligevægt vil lyset opfattes som hvidt (omkring ca. 6-7000 °C).

Ovenstående er vist med logaritmisk skala. I lineær skala ser graferne ud som følger:



En måde at måle dynamisk, i stedet for statisk.

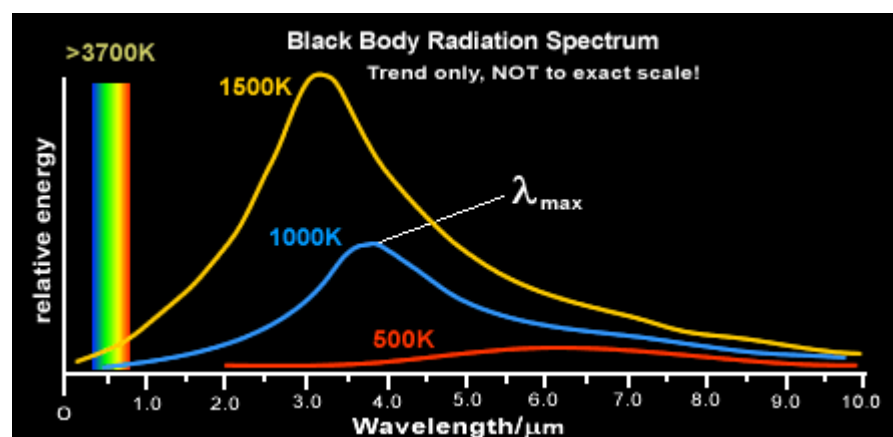
<http://www.capgo.com/Resources/Temperature/NonContact/NonContact.html#Eye>

På nettet findes et hav af javaapplets, der illustrerer forholdene: Se fx:

http://webphysics.davidson.edu/alumni/MiLee/java/bb_mjl.htm

<http://webphysics.davidson.edu/Applets/BlackBody/BlackBody.html>

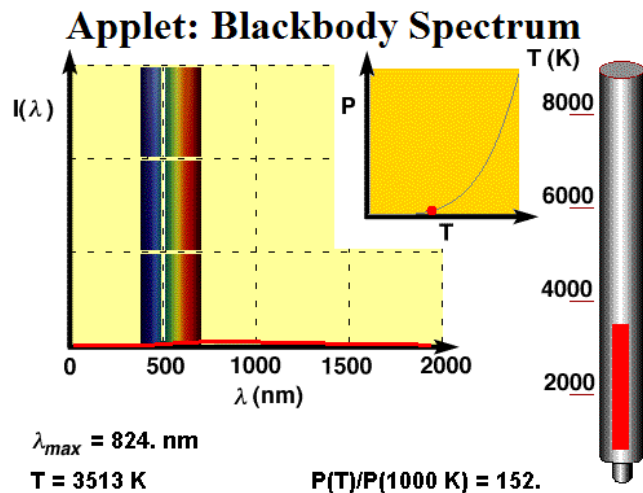
Det ses klart, at fra et "koldt" objekt kommer der ikke ret meget stråling i de frekvenser, vi kalder lys.



<http://library.thinkquest.org/C007571/english/advance/background4.htm>



Her en anden: (Java)



<http://www.lon-capa.org/~mmp/applist/blackbody/black.htm>

Den samlede mængde strålingen fra det sorte legeme kan beregnes ud fra

$$Q = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 [\text{Watt}]$$

Hvor:

A er det totale areal i m^2 af det varme legeme.

σ er en constant, Stefan-Boltzmann-konstanten $= 5.6703 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

T er den absolutte temperatur, i Kelvin.

ϵ er en emissions koefficient, der fortæller noget om, hvor god et legeme er til at udstråle energi. En værdi fra 0 til 1. Et sort legeme har værdien 1.

Af formlen ses, at temperaturen indgår i 4. potens.

Udstrålingen sker i form af elektromagnetiske bølger, mest i det infrarøde område.

Udstrålingen fra et legeme er en konsekvens af termisk bevægelse af de molekyler, legemet består af.

De forskellige frekvenser, der udstråles, dvs. emissionsspektret, er beskrevet af Max Planck.

Centerfrekvensen af det udstrålede spektrum kan findes af:

$$\lambda_{peak} [m] = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} [m]$$

Følgende formel giver resultatet i nm.



$$\lambda_{peak} [nm] = \frac{2,898 \cdot 10^6}{T} [nm]$$

Hvorfor mon udstråles et spekter, og ikke en bestemt frekvens? Er det fordi en temperatur udtrykker et gennemsnit af molekylernes bevægelse?

Her ses et billede af noget rødgloedende jern.

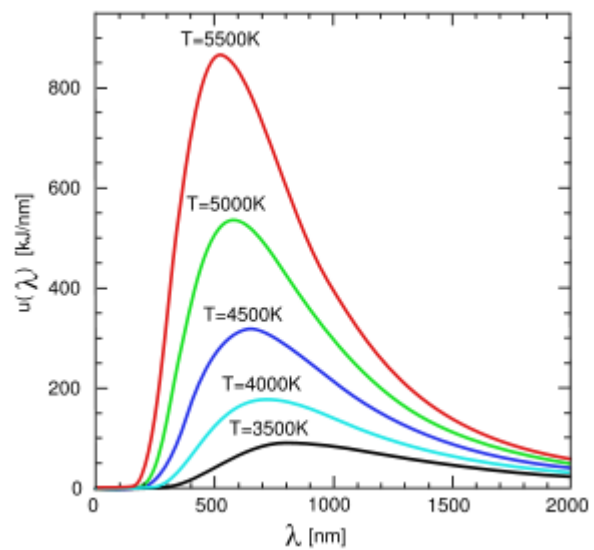
http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation



Diagrammet viser, hvordan peak bølglængden og den totale mængde udstrålet energi varierer med temperaturen.

Selvom grafen viser relative høje temperaturer, er det de samme forhold ved lavere temperaturer, faktisk for alle temperaturer ned til absolut nul.

Bemærk: En lineær skala!!



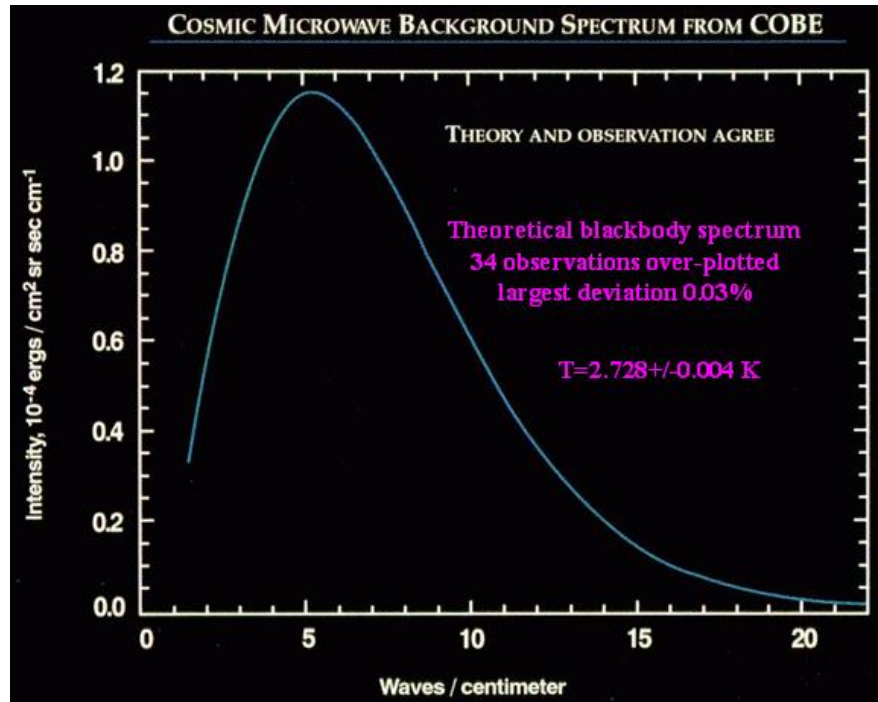
God side: <http://www.klid.dk/kde/da/docs/kdeedu/kstars/ai-blackbody.html>



Stråling fra kosmisk mikrobølge baggrundsstråling fra Big Bang.

Brint ved en temperatur på 2,725 Kelvin.

Målt af satellitten COBE, opsendt 18/11-89



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Firas_spectrum.jpg

Alle legemer udsender stråling. Jo varmere, jo mere stråling, udsendes. Det beskrives vha. Stefan Boltzmann's lov:

– dvs. også fra ca. 3Kelvin, udsendes stråling. (kosmisk baggrundsstråling!).

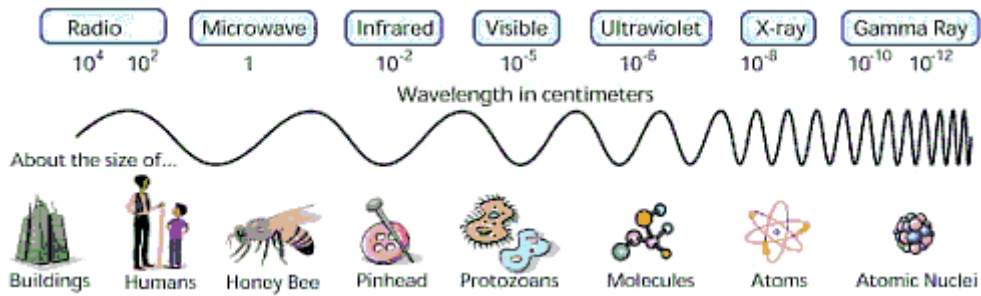
This is the **Stefan Boltzmann Law**

$$F = \sigma T^4$$

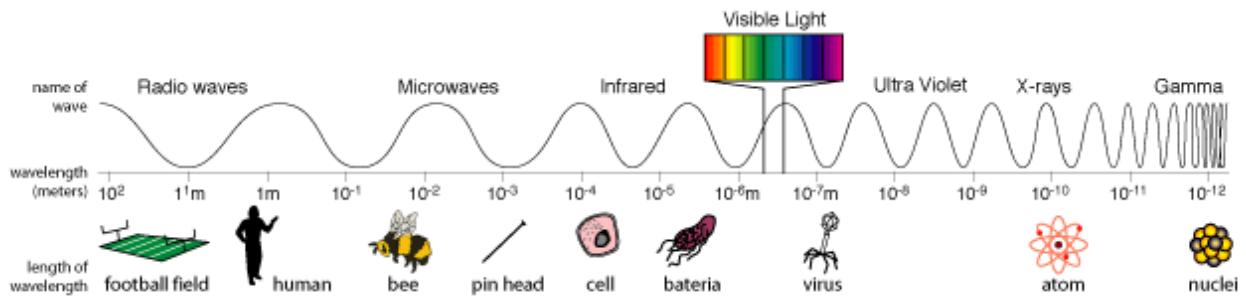
F = flux of energy (W/m²)
T = temperature (K)
 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ (a constant)

Og jo varmere, jo hurtigere svingninger, jo højere frekvens, - og dermed kortere bølgelængde

Et par grafer, der viser størrelsesordenen for de forskellige bølgelængder.

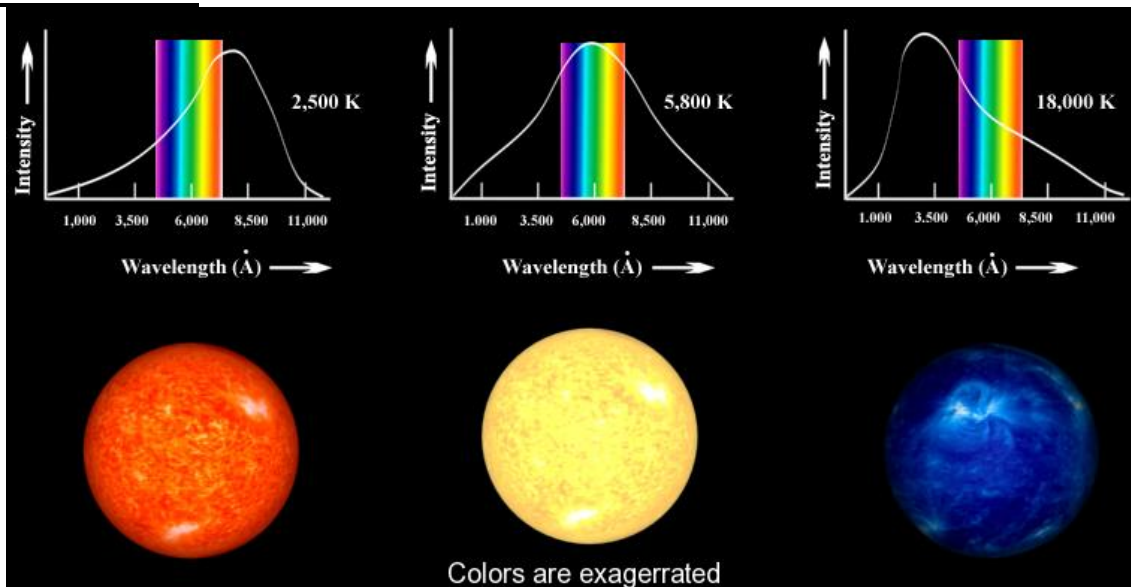


Kun en meget lille del af det samlede spektrum ligger i det område, vi kalder lys.



<http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/waves3.html>

Stjerner farver:



<http://www.klid.dk/kde/da/docs/kdeedu/kstars/ai-colorandtemp.html>

Stråling fra et Varmt legeme

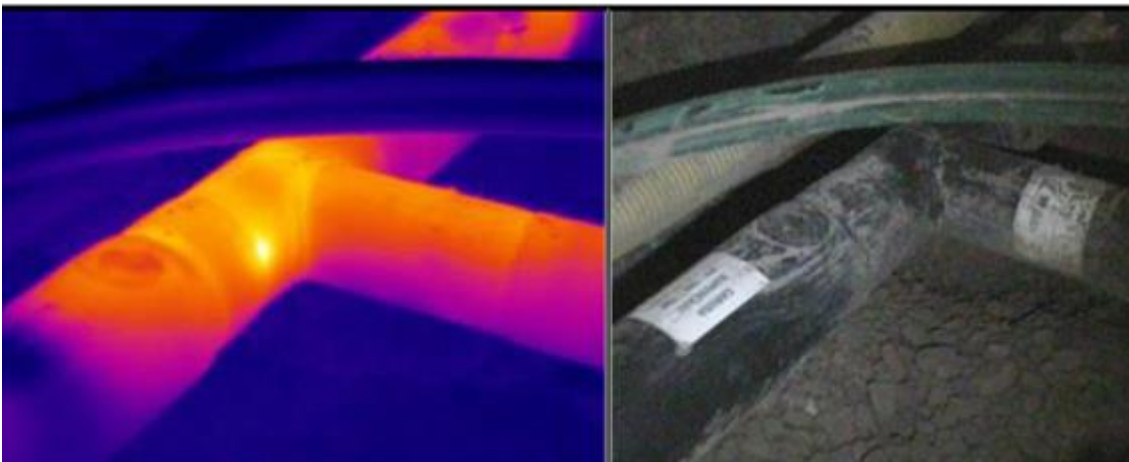


Vha. infrarøde kameraer kan man fotografere varmestrålingen fra ting i vores omgivelser. Her et par eksempler:

Flg. er målt med et Infrarødt kamera.



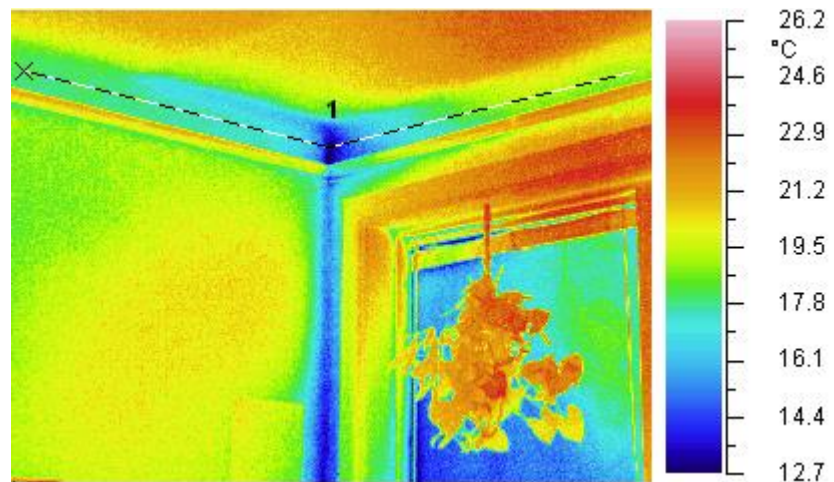
Her ses en dårlig isolering af et fjernvarmerør.



Her et eksempel på kuldebroer i isoleringen i et hus.

Kilde:

www.tryel.dk/Bygninger.htm



Hvordan virker bevægelsesfølerne:



Selv mennesker udsender IR-stråler. Det er IR-stråling, der registreres af rumfølerne i et alarmanlæg, eller de apparater, der tænder lys, når nogen går forbi. De kaldes PIR- følere. (Passiv Infrared Receiver) De er indrettet med nogle linser foran, som gør, at det bliver muligt at registrere bevægelser på tværs af følerne.

Et menneske udsender en energi i form af usynlig varmestråling svarende til ca. 1 Watt / Kg. Dvs. et menneske varmer ca. lige så meget som en 60 – 75 Watt pære.

A human body at a temperature of 310 K (37 grader C) radiates infrared energy with a peak wavelength of close to 10 μm .

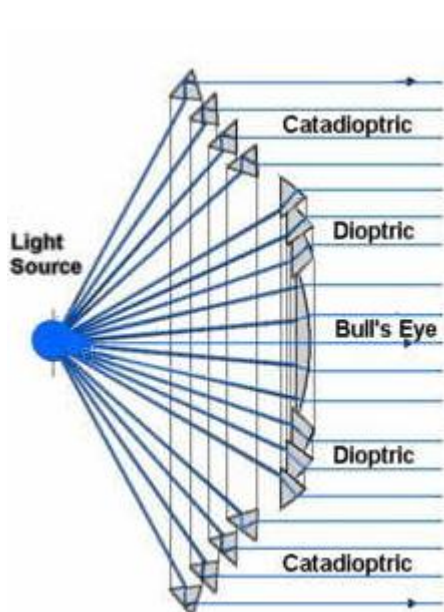
(http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/infrared_kird9001e03.pdf)

Fresnel linse

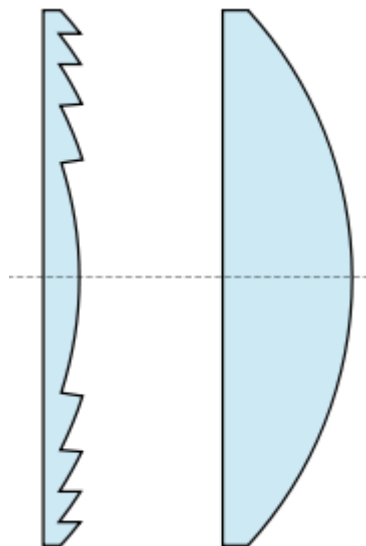
Tidligere blev lyset i fyrtårne lavet med en olie-, eller gasflamme, og var ikke så kraftig, som moderne elektrisk lys. Derfor blev lyset samlet og udsendt i en bestemt retning af en linse.

En normal glas-linse var alt for tung, og uhåndterlig. Dette førte til opfindelsen af Fresnell-linsen.

På de næste billeder er vist nogle skitser, der forklarer hvordan den virker.



Lys fra et fyrtårn!

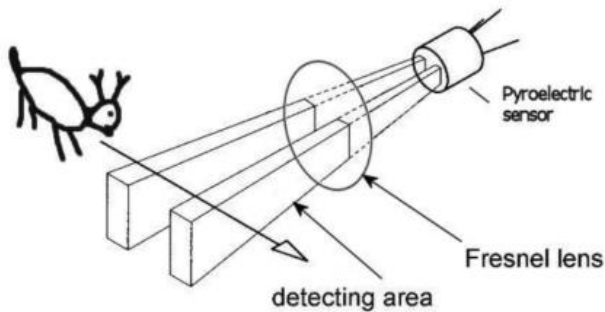


I en Fresnel-linse er der fjernet meget glas uden at linsevirkningen er ødelagt.



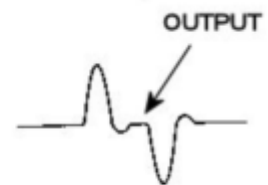
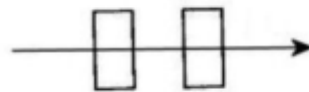
I mange bevægelsesdetektorer bruges teknikken fra fresnell-linser: Ideen er, at man opnår nogle zoner, hvor mere af strålingen fra et menneske fokuseres ind på selve bevægelsesdetektorens føler end fra andre zoner.

Princippet er illustreret på denne skitse



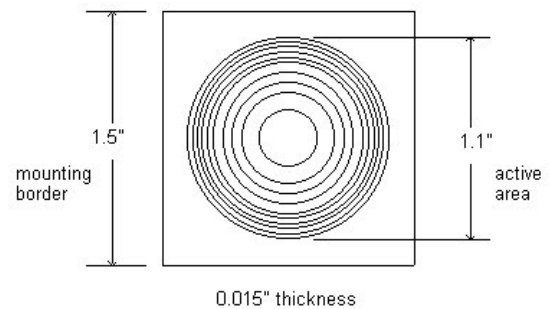
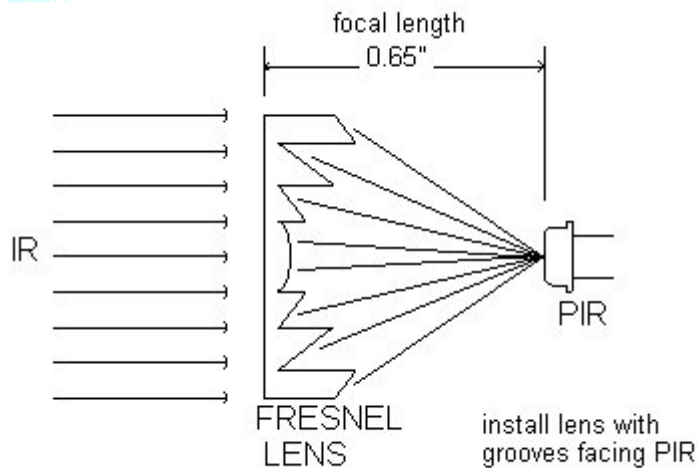
Når et "varmt" objekt bevæger sig mellem zonerne vil elektronikken give et output. Spændingen er afhængig af mængden af modtaget stråling.

infrared source movement



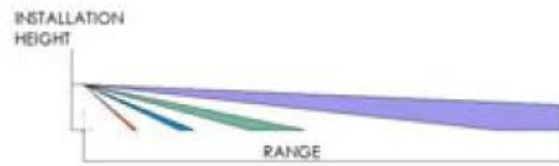
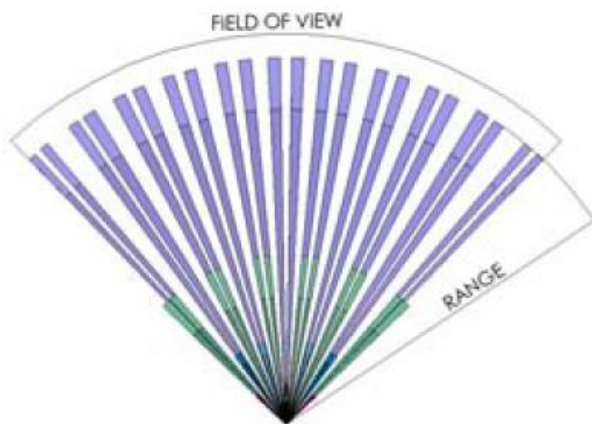
Outputsignalet er vist for en enkelt zone.

BRUNNEN



Her er flere illustrationer af princippet.

<http://www.gloab.com/pirparts/infrared.html>



Indstrålingsfelterne set fra siden:

Til venstre: Indstrålings-felterne set oppefra



En bevægelsesføler til Arduino-kit.
Linserne kan skimtes

http://www.futurlec.com/PIR_Sensors.shtml

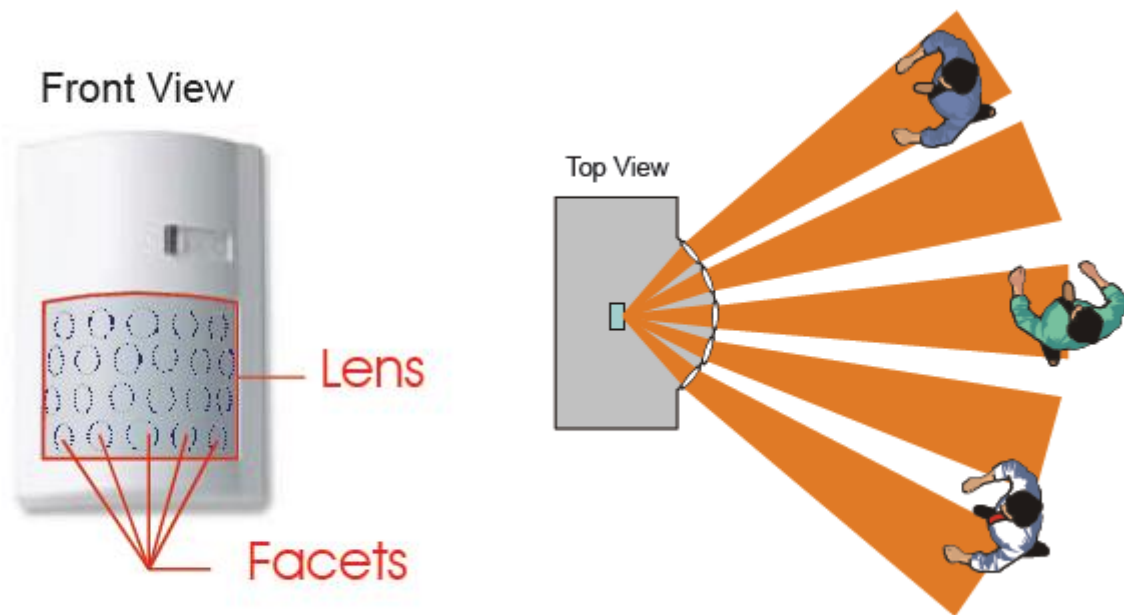
Bevægelsesføler til at tænde lys indendørs.



Selve PIR-føleren, som den ser ud!



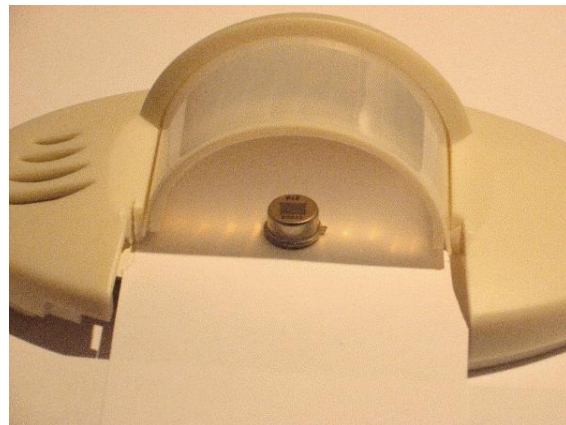
Virksomheden fra en fresnel-linse kan også opnås med en form for Facet- linse.



<http://www.alarmsbc.com/pdf/basic%20security%20101.pdf>

Bevægelsesfølere til tyverialarmer.

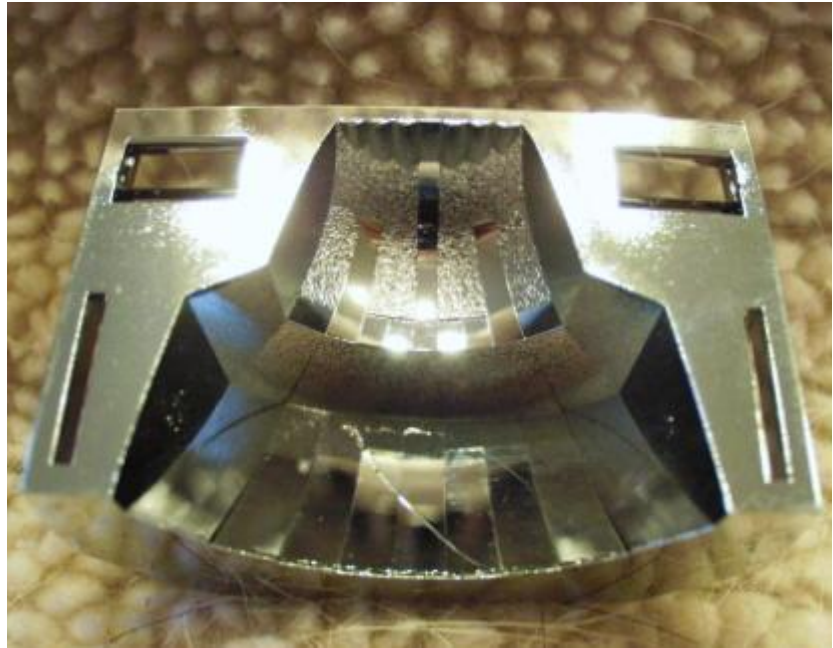
På nettet findes en animation af princippet:



http://en.wikipedia.org/wiki/Image:FacetLensOfMotionDetector_animation2.gif



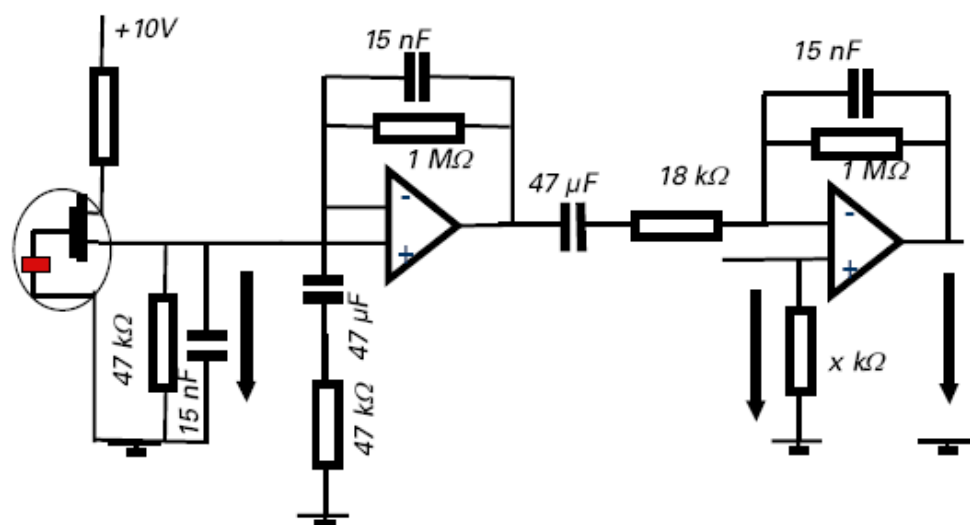
En anden måde at lave ”zoner” er med en ”hakket” spejl, der reflekterer IR-strålingen fra et menneske ind i PIR-detektoren mere eller mindre godt fra forskellige vinkler.



Så er der bare tilbage at bygge noget elektronik, der kan se på det elektriske signal, der kommer fra føleren.

Elektronikken skal differentiere signalet, og hvis signalets ændring i positiv eller negativ retning overskrider en værdi, aktiveres udgangen!

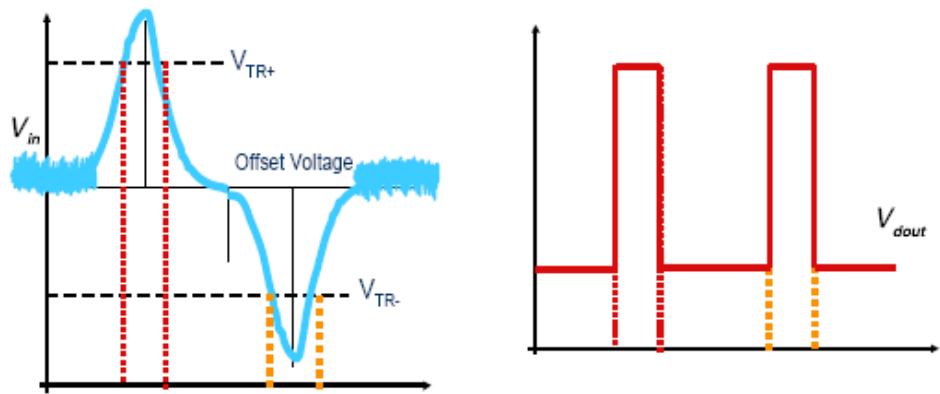
Dette vises herunder:



the complete amplifier circuit

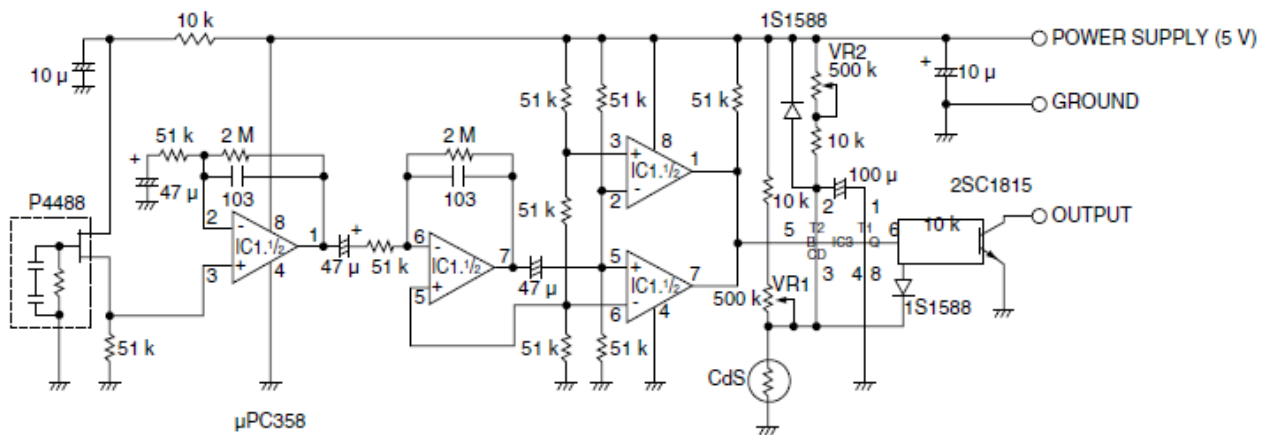


Elektronikken vil omforme varierende strålingsmængde til en proportional varierende spænding. Og videre omforme spændingen til et On-Off signal.



1, 2

Et eksempel på et komplet diagram er vist følgende:



http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/infrared_kird9001e03.pdf

¹ Se også <http://www.glolab.com/pirparts/infrared.html>

² Se også <http://www.educyclopedia.be/electronics/sensors/infrared.htm>



Ved valg af måle-metode for temperaturmåling må man overveje:

- Inden for hvilket temperaturområde, skal der måles. Dvs. en skala på 0 – 2000 grader, 0 – 100, eller fx 800 til 900 ? Der skal vælges den bedste tilpasning, der giver største ”signal” ved ønsket område!
- Skal der måles negative temperaturer?
- Hvilken nøjagtighed behøves? 78 grader +- ? fx ved spritdestillation,
- Linearitet
- Mekanisk udformning?
- Hastigheden på temperaturændringer? Dødtid?

Øvelse:

Lav graf der viser, en NTC-modstands temperaturafhængighed. $R_{NTC} = f(\text{temp})$

Lav graf, der viser udgangsspændingen for en LM35 som funktion af temperaturen.

$$U_{Out} = f(\text{temp})$$

Transducer:

Som temperaturmålere bruges en transducer.

” En transducer er en enhed, der omformer en fysisk størrelse til en anden fysisk størrelse! ”

Der findes mange forskellige typer af transducere:

- Mekaniske, længdeudvidelse, evt. bimetal, kviksølv etc. (termometre)
Jernbaneskiner udvides i varme! Kan sagtens bruges som temperatur-måler.
- Modstandsgivere. ($R = f(\text{temp})$)
- Termoelement ($U = f(\text{temp})$)



- Halvledere, der giver spænding, ($U = f(\text{temp})$)
- IC-løsninger (Giver frekvens, spænding eller strøm eller Digital output)
- IR målere, Pyrometer (Måler på IR-stråling)

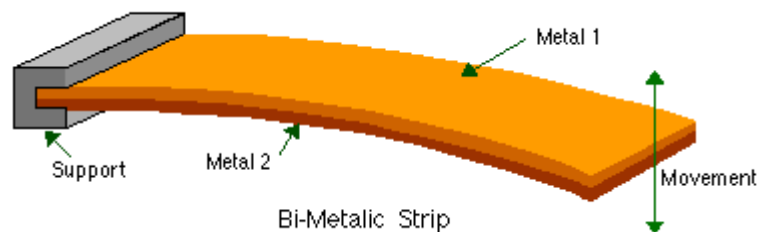
Mekaniske følere: Masseudvidelse, længdeudvidelse:

Bimetal

En bimetal-temperatur sensor er en mekanisk sensor. Den konverterer en temperatur til en mekanisk udbøjning. Udbøjningen kan kobles til en switch, for herved at skabe en simpel ON/OFF funktion, til en indikator-viser, mm.

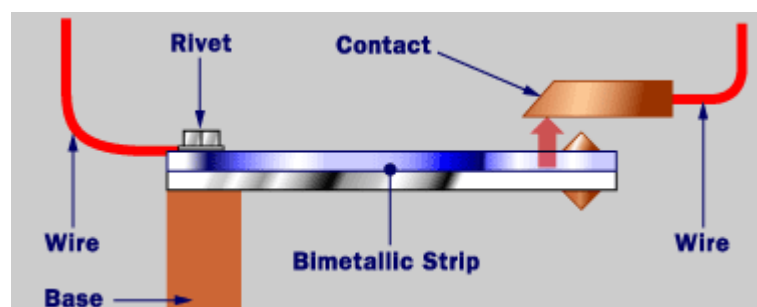
Langt de fleste applikationer hvor bi-metal bruges, er som termostat-switch til temperatur eller energi-kontrol.

Et bimetal er konstrueret af to forskellige metaller, der er sat sammen. Typisk ved en loddeproces, men kan også være boltet sammen, eller fx klæbet.



Et bimetal virker ved at udnytte to metalleres forskellige udvidelseskoefficienter. Bimetal-strippen kan rulles op i en spiral for at lave den mere kompakt og følsom.

En temperaturændring vil så bevirke, at spiralen rulles mere eller mindre sammen.



<http://home.howstuffworks.com/therm2.htm>

Bimetallets dimensioner kan varieres, så der fx opnås en ret stor kraft

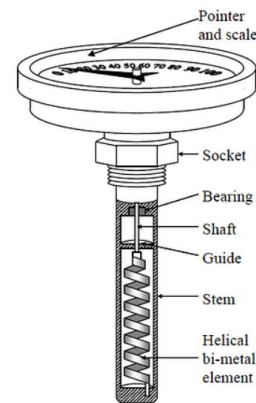
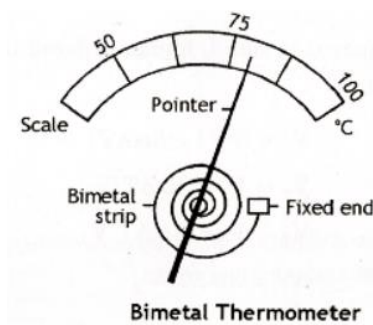
<http://sections.asme.org/milwaukee/history/44->



tempcontrols.html



<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>

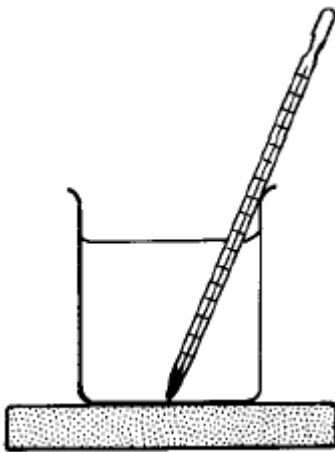


Kviksølv-termometer

Til at måle temperatur kan man bruge det velkendte kviksølvtermometer. Målingen bygger på at metaller udvider sig med stigende temperatur, beskrevet ved

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta t$$

hvor Δl er tilvæksten i længde, og l_0 er "startlængden" af en metalstang som undergår en temperaturtilvækst på Δt . Konstanten α kaldes længdeudvidelseskoefficienten, og er eksempelvis for kviksølv; $0,6 \cdot 10^{-4} [m]$ pr grad C. For jern er den: $12 E-6 [m]$ pr grad C.



Kilde: <http://www.rundetaarn.dk/dansk/observatorium/term.htm>

Jerns udvidelseskoefficient er $11,80 \text{ E-6} \text{ [m/m}^*\text{K]}$, også opgivet til $12,3 \text{ E-6} \text{ [m/m}^*\text{K]}$
Søg fx : [Coefficients of Linear Expansion](#)

Det betyder, at 1 meter jern vil udvide sig ca. 12 micrometer pr grad C det varmes op.

Kilde: <http://www.formel.dk/kemi/periodiske/periodiskedata2.htm>

Jerns varmeudvidelse kendes fra jernbaneskinners solkurver.



Tidligere lavede man et mellemrum mellem hver 12 meter skilleelement, som kunne optage varmeudvidelsen, men det bevirkede også, at man kunne høre hver skinnesamling som et bump. I dag er skinnerne svejsede sammen!!

Så hvordan udvidelserne håndteres er et spørgsmål !!

Modstands-transducere.

I elektronikkens verden bruges også det fysiske fænomen, at en fysisk størrelse er temperaturafhængig. I første omgang ses på et materiales modstand:

Måles et materiales modstand, fx et stykke tråd, fås den samlede modstand som:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} [\Omega] = \left[\frac{\Omega \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^2} \right]$$

(Rho gange længden, divideret med trådens tværsnitsareal.)

Rho er materialeafhængig, er materialets restivitet, eller dets specifikke modstand.

For 100 m kobbertråd med et tværsnitsareal på 0,1 mm² findes:

Rho for kobber er 0,017 E-6 [ohm * m]

$$R = \frac{0,017 \cdot 10^{-6} [\Omega \text{m}] \cdot 100 [\text{m}]}{0,1 \cdot 10^{-6} [\text{m}^2]} = 17 [\Omega]$$

Modstandsafhængighed af temperatur (RTDér)



Langt de fleste metaller har det således, at deres modstand vokser med voksende temperatur. Dvs. man ved en modstandsmåling kan foretage en temperaturmåling. Dvs. vi har en Resistance Temperature Detector – også kaldet en RTD'er.

De fysiske principper som giver denne opførsel forklares på følgende måde:

En øget temperatur af en leder gør, at metallens atomer i gitteret svinger kraftigere. En fri ledningselektron som er på vej gennem metallet oplever altså, at dens vej bliver spærret af svingende gitteratomer. Graden af "forhindring" bliver større og større efterhånden som temperaturen stiger.

Men dette er ikke et helt korrekt billede af situationen. Forskellige stoffer ved overgangen mellem metallerne og ikke-metallerne i det periodiske system (halvledere), mellem den stiplede og fuldt optrukne linje i det periodiske system herunder, udviser den modsatte opførsel. Deres modstand falder med voksende temperatur.

Grunden til dette skal søges i at halvledere ikke har et konstant antal frie elektroner som kan lede strømmen. Med voksende temperatur frigives der et stigende antal elektroner som kan deltage i strømmen. Dette øgede antal ledningselektroner "vinder over" den stigende modstand fra de svingende gitteratomer – derfor falder modstanden.

Grundstoffernes periodesystem

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

Det periodiske system, med metallerne til venstre for den fuldt optrukne linje, ikke-metallerne til højre for den stiplede linje, og halvlederne imellem. Herunder et farvelagt periodisk system.

For de fleste metaller ses, at man over et ikke alt for stort temperaturområde kan tilnærme modstandens afhængighed af temperaturen med rette linjer. Generelt beskrives sammenhængen på følgende måde

$$R = R_0(1 + \alpha(t - t_0))$$



hvor R_0 er modstanden ved temperaturen t_0 , R er modstanden ved temperaturen t og α er temperatur-koefficienten for materialet.

Traditionelt angives α enten med reference til $t_0 = 0$ grader C eller $t_0 = 20$ grader C.

Udtrykt ved resistiviteten gives helt tilsvarende $\rho = \rho_0(1 + \alpha(t - t_0))$

Da vi her kigger på voksende modstand for voksende temperatur, må det betyde at $\alpha > 0$ /grader C. Sådanne modstande kaldes også for PTCé (Positive Temperature Coefficient).

For metallet jern gives eksempelvis $\alpha = 0,0066$ /grader C. Dvs. fx en jerntråds samlede modstand ændres 0,0066 ohm pr. graders temperaturændring

Beregning af modstanden ved stigende temperatur

Modstand ved start: R måles i [Ω]

Temperaturstigning: ΔT måles i [C]

Materialekonstant (temperaturkoefficient): α måles i [pr. K = K⁻¹]. K er kelvintemperaturen.

Den nye modstand bliver: $R_T = R \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

Se: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/restmp.html>
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html#c1>

Alfa = 0,0068 pr grad C.

temperature coefficient, udtales: ('tem·prə·chər 'kō·i'fish·ənt)

Temperature coefficient of resistivity for selected materials

Conductor	α [(°C) ⁻¹]
Copper	4.29 x 10 ⁻³ 0.004041
Iron	6.41 x 10 ⁻³ 0.005671
Aluminium	0,00429 0.004308
Nickel	6.00 x 10 ⁻³
Platinum	3.93 x 10 ⁻³
Mercury	0.89 x 10 ⁻³

Hvor der er flere værdier angivet, er det pga. forskellige værdier, fundet i forskellige tabeller.

Se også: http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_12/6.html



NTC-modstand

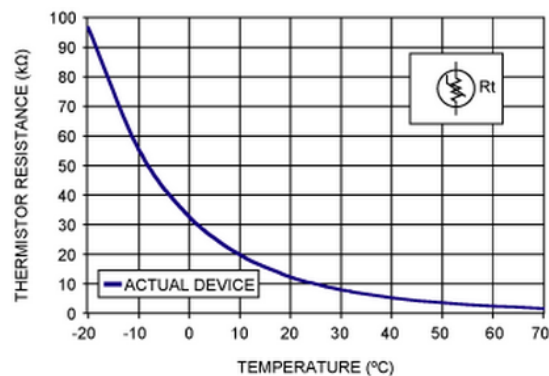
Vender vi os mod de materialer hvis modstand aftager med voksende temperatur, dvs. NTC'ere, følger at α må være negativ, men derudover sker der også det, at funktionsafhængigheden skifter fra at være lineær, til at være eksponentiel. For en NTC'er gælder

$$R = R_0 \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

hvor R_0 er modstanden ved temperaturen T_0 , R er modstanden ved temperaturen T , og β en parameter med enheden Kelvin, som afhænger af det valgte materiale. For et stykke rent germanium er grafen nogenlunde eksponentiel.

Modstanden i en NTC-modstand ser nogenlunde således ud:

NTC thermistor resistance varies extremely non-linearly with temperature. This makes it difficult to utilize the thermistor without applying it in a linearizing network. ($R_{25C} = 10k\Omega$, $\beta = 3965K$).



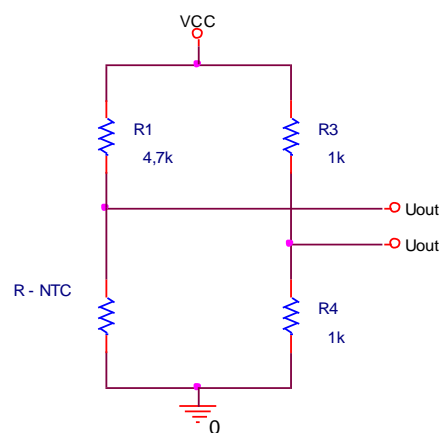
<http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/817>

En strøm sendes gennem NTC-modstanden. Strømmen må ikke være for stor, for så vil den give for stor egenopvarmning af komponenten.

Strømmen giver et spændingsfald, der kan måles med et Voltmeter. Spændingsfaldet er afhængig af modstanden, og hvis strømmen er kendt, er der proportionalitet.

Oftest bruges en NTC-modstand i Wheatstones bro, som vist her.

Her skal man være opmærksom på, at det i sig selv giver ulinearitet.





Følgende viser spændingsdelerformlen!

$$U_{\text{Out}} = U_{\text{Påtrykt}} \cdot \frac{\text{Den modstand, man vil finde spændingen over}}{\text{Summen af alle modstande}}$$

Dvs.

$$U_{\text{Out}} = U_{\text{Påtrykt}} \cdot \frac{R_{\text{NTC}}}{R_1 + R_{\text{NTC}}}$$

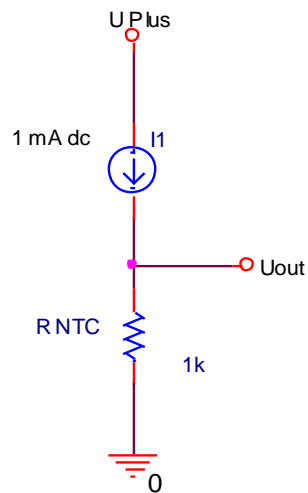
R_{NTC} optræder både i Tæller og i nævner, så der er ikke linearitet.

Sættes NTC-modstanden øverst i diagrammet, dvs. ombyttes med R_1 ser ligningen således ud :

$$U_{\text{Out}} = U_{\text{Påtrykt}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_{\text{NTC}}}$$

Der er stadig ikke linearitet.!

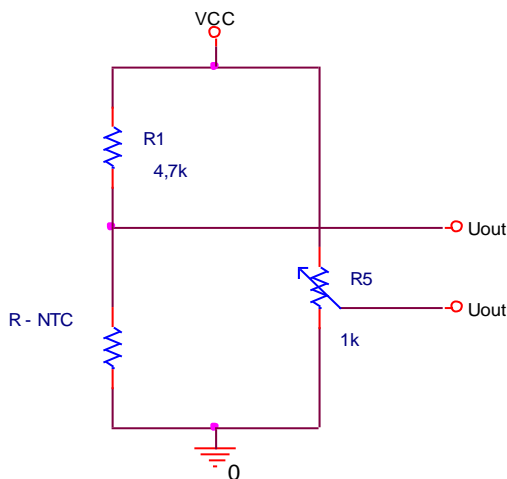
Hvis man kan sørge for, at det altid er den samme strøm, (konstant strøm) der løber ned gennem kredsen, har vi følgende kredsløb:



Dvs. der skal bygges en konstant-strømgenerator, men til gengæld får man et ”pænere” matematisk udtryk:

$$U_{\text{OUT}} = I \cdot R_{\text{NTC}}$$

Her er der linearitet. Udgangsspændingen er lineært afhængig af modstanden. At så modstanden ikke er lineært afhængig af temperaturen, er en anden sag!



Den anden gren i Wheatstones bro er her bygget med et Potentiometer, så man kan justere ved hvilken temperatur, de to udgangsspændinger er ens.

NTC og PTC-modstande kaldes også Termistorer! De har ikke så stor målenøjagtighed, og et kredsløb bygget med dem skal kalibreres!

Lidt mere om NTC-modstande

Negativ temperaturkoefficient.

Meget ulineær

En Parallelmodstand kan linearisere den en del!

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

A er en konstant i Ohm,

B er en konstant i Kelvin,

T er temperaturen i Kelvin,

R_T er NTC-modstandens modstand.

Formlen kan omformes til:

$$R_T = R_{25} \cdot e^{\left\{ B \cdot \left[\left(\frac{1}{T+273} \right) - \left(\frac{1}{298} \right) \right] \right\}}$$

R_{25} er modstandsværdien som NTC-modstanden har ved 25 grader C. Værdier fås fra 22 Ohm til 500 Kohm.

Materialekonstanten B findes i fabrikantens datablad. Typiske værdier for B eller β , som den også kaldes er fra 2500 til 5000 Kelvin.

T er den temperatur, der ønsket målt.

Ved større værdier af B vil modstandens ændring som følge af en temperaturændring være større.

Beta value (β)



A simple approximation for the relationship between the resistance and temperature for a NTC thermistor is to use an exponential approximation between the two. This approximation is based on simple curve fitting to experimental data and uses two points on a curve to determine the value of β . The equation relating resistance to temperature using β is:

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

Where:

R = thermistor resistance at temp T

A = constant of equation

β = Beta, the material constant

T = Thermistor temperature (K)

To calculate Beta for any given temperature range, the following formula applies:

$$\beta = \left(\frac{T_1 * T_2}{T_2 - T_1} \right) \ln \frac{R_1}{R_2}$$

β can be used to compare the relative steepness of NTC thermistor curves. However, as with resistance ratios, the value of β will vary depending upon the temperatures used to calculate the value, although not to the extent that resistance ratio does. For example, to calculate β for the temperature range of 0°C to 50°C for ATP curve "Z":

$$T_1 = 0^\circ\text{C} + 273.15^\circ\text{C} = 273.15\text{K}$$

$$T_2 = 50^\circ\text{C} + 273.15^\circ\text{C} = 323.15\text{K}$$

$$R_1 = 3.265$$

$$R_2 = 0.3601$$

This value of β would be referenced as $\beta_{0^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}}$. Using other temperatures to calculate β for curve "Z" would yield the following results:

$$\beta_{25^\circ\text{C}/50^\circ\text{C}} = 3936\text{K}$$

$$\beta_{25^\circ\text{C}/85^\circ\text{C}} = 3976\text{K}$$

As you can see, it is important to know what temperatures were used to calculate the value of β before it is used to compare thermistor curves. β can be used to calculate the resistance of the curve at other temperatures within the range that β was calculated once the constant A is determined. However, the accuracy of this equation is only approximately $\pm 0.5^\circ\text{C}$ over a 50°C span.

Kilde: <http://www.specsensors.com/ntc-engineering.asp>



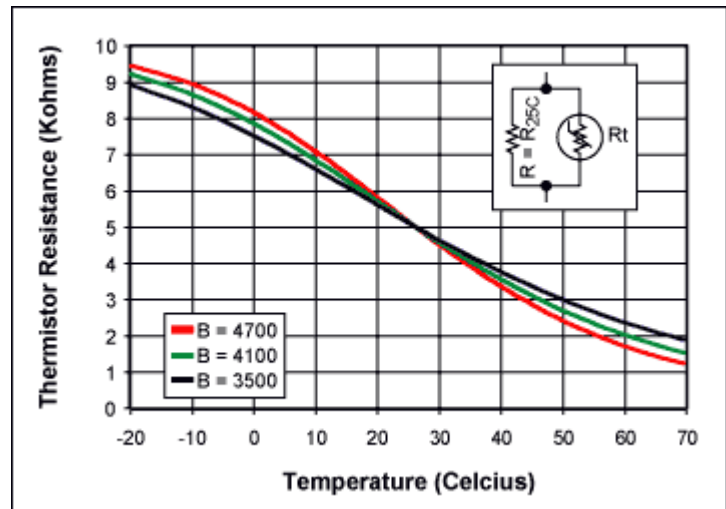
Linearisering af NTC-modstande:

Normalt bruges NTC-modstande sammen med et lineariseringskredsløb. Der er to metoder, Modstandsmode eller spændingsmode:

Modstandsmode:

I modstandsmode er en normal modstand placeret parallel med NTC-modstanden.

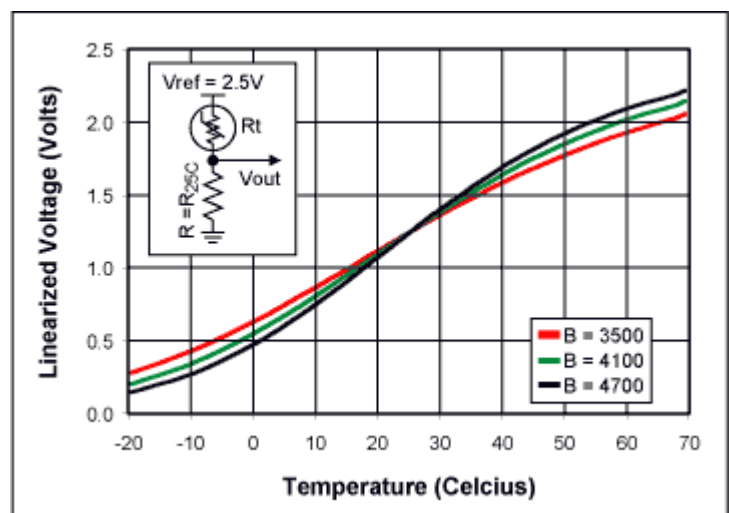
Hvis modstandens værdi vælges at være samme størrelse som NTC-modstandens ohmske værdi ved stuetemperatur, (R_{25C}), vil regionen med relativ lineær modstand være symmetrisk omkring stuetemperatur.



Spændings-mode:

I spændingsmode forbindes NTC-modstanden i serie med en normal modstand, så de udgør en spændingsdeler.

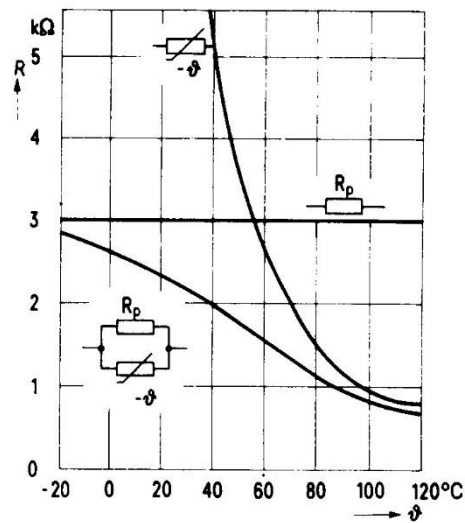
Hvis modstandens værdi vælges at være samme størrelse som NTC-modstandens ohmske værdi ved stuetemperatur, (R_{25C}), vil regionen med relativ lineær modstand være symmetrisk omkring stuetemperatur.





På skitsen her er den næsten lodrette graf gående nedad og ud mod højre modstanden i en NTC-modstand. Den er ret ulineær!

Den vandrette ved 3 Kohm er en almindelig modstand. Monteres de i parallel, fås den nederste graf. Denne er ret over et rimeligt stykke.



Kilde: Siemens, "Bauelemente"

Den bedste linearisering fås hvis man placerer vendetangenten i midten af det område, man måler på. Parallelmodstandens værdi findes så som

$$R_p = R_{TM} \cdot \frac{B - 2 \cdot T_M}{B + 2 \cdot T_M}$$

hvor R_{TM} er NTC-modstandens modstand ved middeltemperaturen T_M hvor man vil måle, B er NTC-ens B -værdi.

Tyskerne kalder en NTC-modstand for en "Heissleiter"

Se for yderligere : http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/817

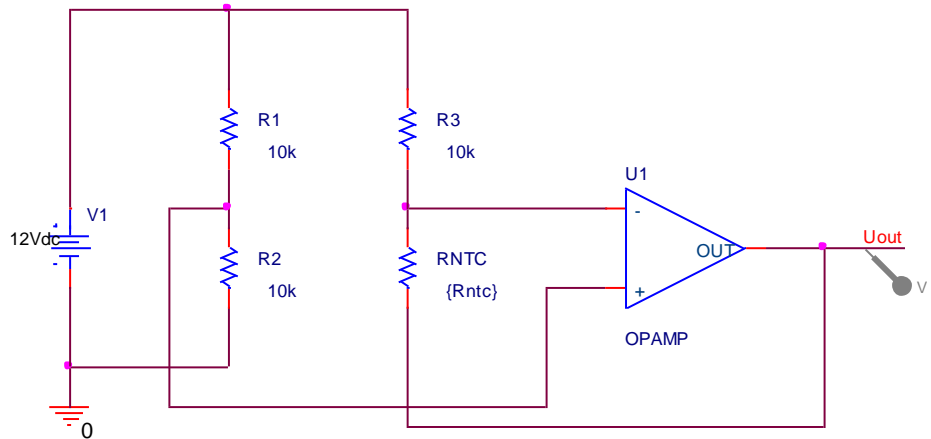
Eksempler på indpakning af NTC-modstande



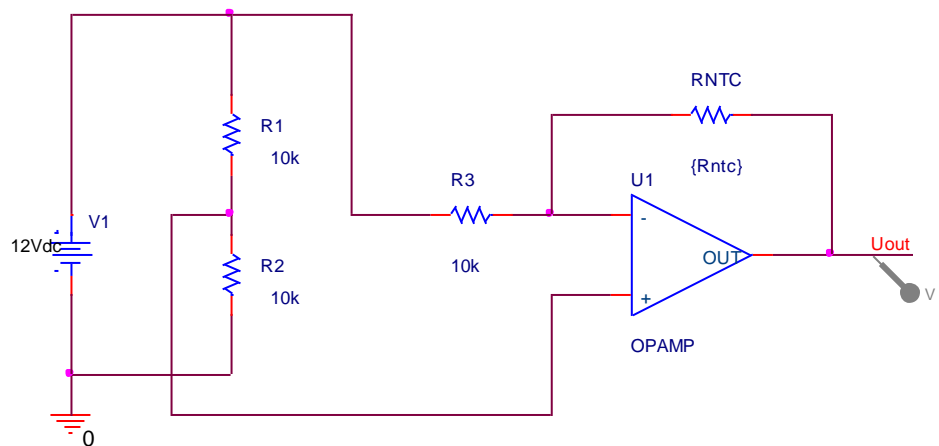
Wetstones bro med Lineær output:



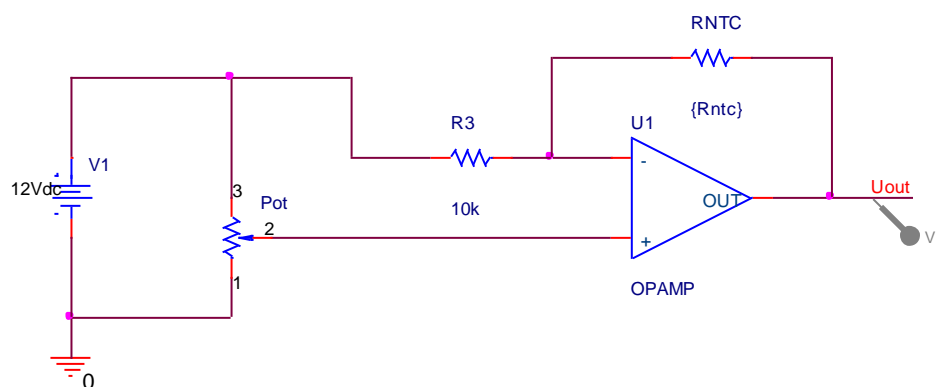
Den normale måde at lave målinger med NTC-modstande, gør output ulineær. Men vha af viste kredsløb vil U_{out} være lineær, forudsat at R_{ntc} er lineær. Og det er den jo ikke. Dog kan man lave en form for linearisering med en parallelmodstand over R_{ntc} .



Kredsløbet ovenfor er det samme som dette:



Eller lidt omformet lig med dette:



Der bør placeres en parallelmodstand over NTC-modstanden.

http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/817

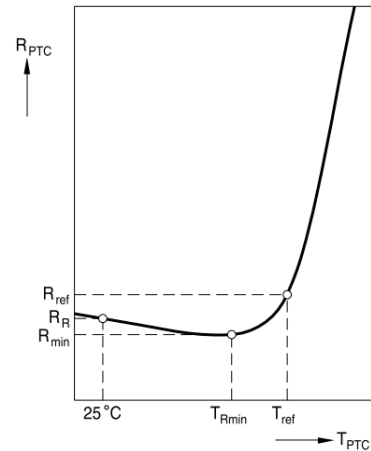
<http://www.aicl.com.tw/ntc04/application/application.htm>



PTC-modstand

Se fx <http://www.ti.com/lit/an/slyt442/slyt442.pdf>

En PTC-modstand har **Positiv** temperaturkoefficient. Bruges ikke så meget. Den er mere ulineær.



Thermistor temperatursensorer er konstrueret af sintret metal oxid i en keramisk matrix, som ændrer elektrisk modstand med temperaturen.

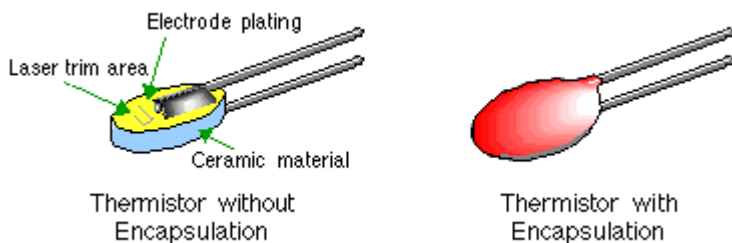
De er følsomme, men kraftigt ulineære. De er populære pga. deres følsomhed, deres modstandsdygtighed mod fysiske påvirkninger, deres troværdighed, og måden de skal bruges på.

Thermistors kan fås i en række størrelser og basis-modstande (modstand ved 25°C). Opløsningen fås helt ned til $\pm 0.05^\circ\text{C}$ selvom $\pm 1^\circ\text{C}$ er mere almindelig.



Thermistor construction

Den mest normale form af en termistor er med en dråbelignende hoved, med to ledninger monteret. Diameteren kan variere fra 0.5mm til ca 5mm . Tre YSI Inc Thermistorer



Det sintrede materiale er pakket og pacificeret i en glas- eller epoxy kapsling for at undgå at snavs ødelægger dem.



Herudover kan de være kapslet i et rustfrit rør for at beskytte dem. Varmeledende fedt bruges så for at forbedre den termiske kontakt mellem censor og rør.

Thermistor karakteristik

Følgende data er typiske karakteristikker for en populær termistor 44004 fra YSI:

Parameter	Specification
Resistance at 25°C	2252 ohms (100 to 1M available)
Measurement range	-80 to +120°C typical (250°C max.)
Interchangeability (tolerance)	±0.1 or ±0.2°C
Stability over 12 months	< 0.02°C at 25°C, < 0.25°C at 100°C
Time constant	< 1.0 seconds in oil, < 60 seconds in still air
self-heating	0.13 °C/mW in oil, 1.0 °C/mW in air
Coefficients	$a = 1.4733 \times 10^{-3}$, $b = 2.372 \times 10^{-3}$, $c = 1.074 \times 10^{-7}$
Dimensions	ellipsoid bead 2.5mm x 4mm

For at sikre reproducerbarheden, dvs. fx at to termistorer kan udskiftes med hinanden, er de laser-trimmede fra fabrikken.

Pt100, Platintråd med 100 ohm ved 0 grader C.

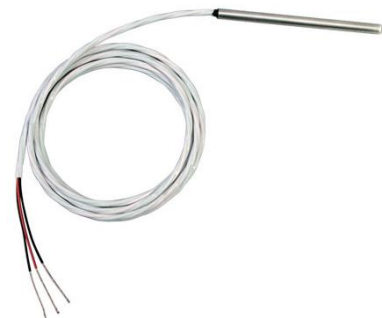
Bruges i industrien. Består af en indkapslet metaltråd, af Platin, hvis modstand varierer med temperaturen.

Indkapslingen medfører et delay, en dødtid!

Der findes også Pt10, Pt500, Pt1000

ΔR svarer til 0,4 ohm/grad C. Men er det en PTC-modstand ??,
Er den lineær ??

Der findes flere typer, til forskellige temperaturområder. Fx fra
-250 til 800 grader C



Termoelement:



Funktionen af termoelementer er baseret på Seebeck effekten. ” En temperaturdifference over en tråd bevirker bevægelse af frie elektroner”.

En termoelementet består af to stykke ledere af forskellige materialer. Hvis materialerne overalt har samme temperatur, vil de frie elektroner, ligesom gitteratomerne, svinge med samme fart. Forestiller vi os nu en situation hvor begge ender af lederen har forskellige temperaturer, f.eks. temperaturerne T_1 og T_2 ., med $T_1 > T_2$ vil der mellem enderne af lederen opstå en lille spænding.



Dette er fordi elektronerne ved den varme ende vil have mere fart på, og som følge deraf vil søge mod den kolde ende. For en given temperaturforskul, vil der indstille sig en ligevægt, men et øget antal frie elektroner ved den kolde ende i forhold til den varme ende. Man har hermed en spænding, som kan drive en strøm – helt på samme måde som man i et batteri ad kemisk vej tilvejebringer et overskud af elektroner ved minuspolen og et underskud ved pluspolen

Denne lille spænding viser sig at være proportional med temperaturforskellen alene, dvs. uafhængig af lederens form (tværsnitsareal, længde osv.). Proportionalitetskonstanten afhænger af det valgte ledermateriale, og kaldes Seebeck-koefficienten efter opdageren af effekten. Bogstavet σ (lille Sigma) anvendes ofte herfor.

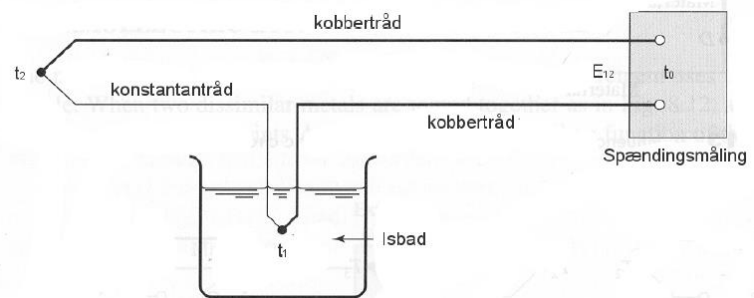
$$U = \sigma(T_2 - T_1)$$

Spændingsforskul kan man måle med et voltmeter – men sagen er ikke så enkel, idet der mellem tilledningerne fra voltmeteret og hen til enden af lederstykket også er en temperaturforskul, og det drejer sig om forskellige materialer, og dermed en tilhørende genereret spænding.

Svejses to metaller sammen, seriekobles to forskellige metalliske ledere. Og opvarmes de, opstår der en spænding, **en termospænding**, mellem dem. Denne spænding er forskellig ved forskellige temperaturer og spændingen er desuden ikke særlig stor.

Og der er problemer med at der nødvendigvis skal være flere samlinger hen til målestedet.

Ved nu at lave en termoelement som denne skitse, og holde de to sammenføjninger på forskellige temperaturer, fås et spændingsudtryk for temperatur-differencen mellem de to loddesteder.

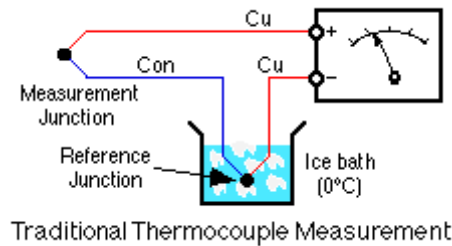




Varm loddested / Kold loddested !

Hvis det kolde loddested, dvs. der hvor de to metaller er koblet sammen med kobberledninger, på en konstant temperatur, fx 0 grader, måler man en spænding, som er et udtryk for temperaturforskellen.

Ved ens temperatur på de to samlinger, måles 0 Volt.



Holdes referencestedet på 20 grader C, og målestedet også er 20 grader, afgiver termoelementet ingen spænding, men måleapparatet skal jo kalibreres til at vise 20 grader. Kaldes kompensation for koldt loddested.

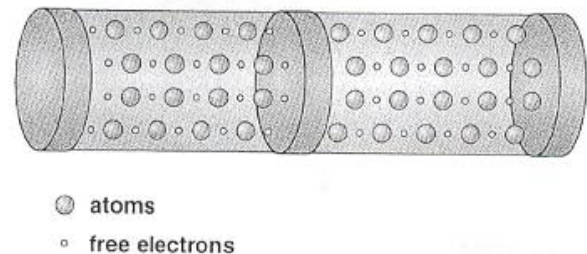
Termoelementer fås i forskellige typer:

Fx type K, der består af NiCr – Ni har en Delta U ~ 40 uV / grad C.

Type K er mest lineær, mest brugt. Afgiver en lineær spænding over et relativt stort temperaturområde. Fra -200 C til > 1500 C

Uddybning af elektronernes bevægelse i termoelementet.

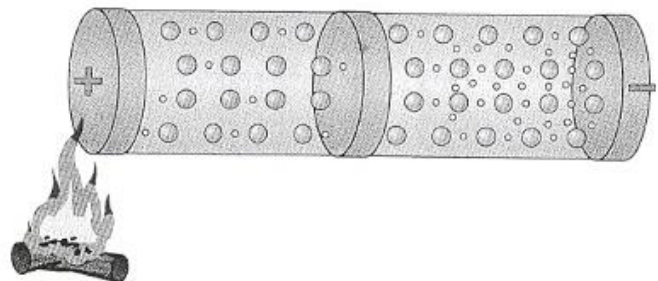
Termisk energi bevirker, at elektronerne i krystalgitteret bevæger sig hurtigere. Evt. bevæger de sig fra den varme til den kolde ende, hvor de aftager i fart, og frigiver deres bevægelsesenergi. Elektronerne koncentrerer sig ved den kolde ende, opstår der en negativ elektrode i forhold til den varme ende.



Elektronerne er ligeligt fordelt:

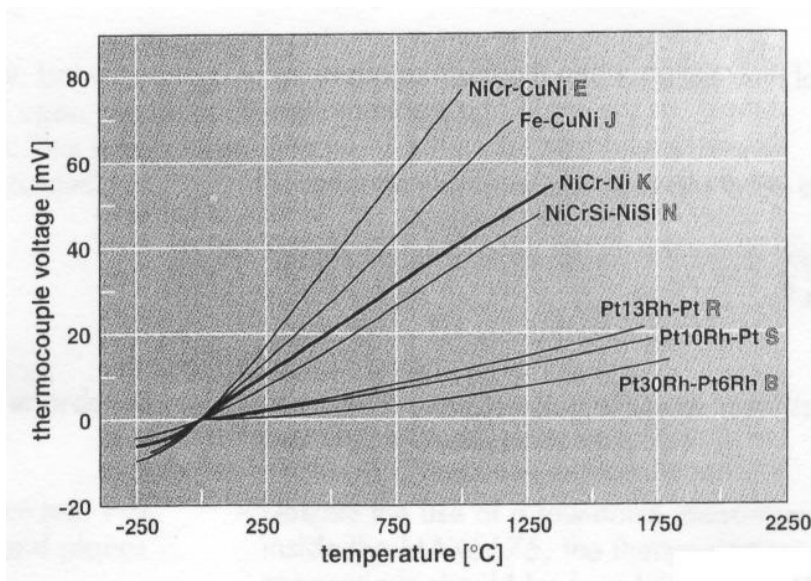
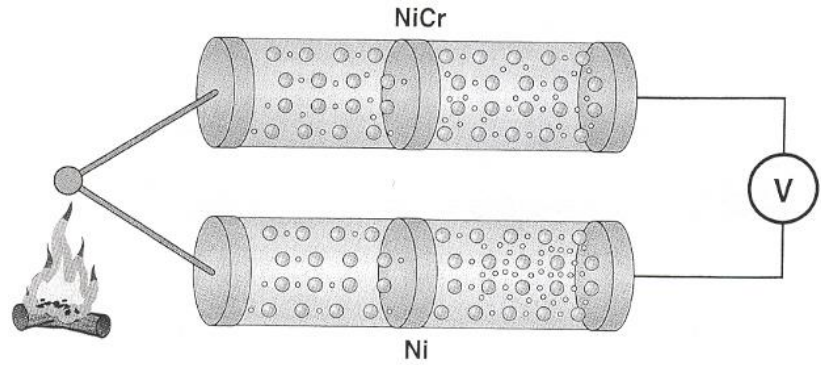
Varmes den ene ende, skubbes elektronerne mod den anden ende.

Elektronerne er koncentreret ved den kolde ende



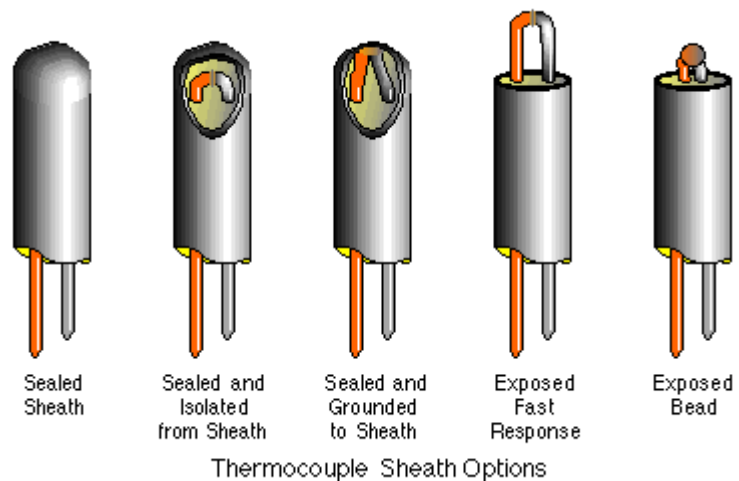


Der er forskelligt antal frie elektroner ved den kolde ende i de to forskellige metaller. Derfor forskellig spænding. De to kolde ender holdes ved kendt temperatur, fx 0 grader C.



En graf, der viser forskellige typer Termocouple-følere.

Termopar kan pakkes ind i et rør for at gøre dem robust, og for at undgå elektriske påvirkninger fra det objekt, man måler på!



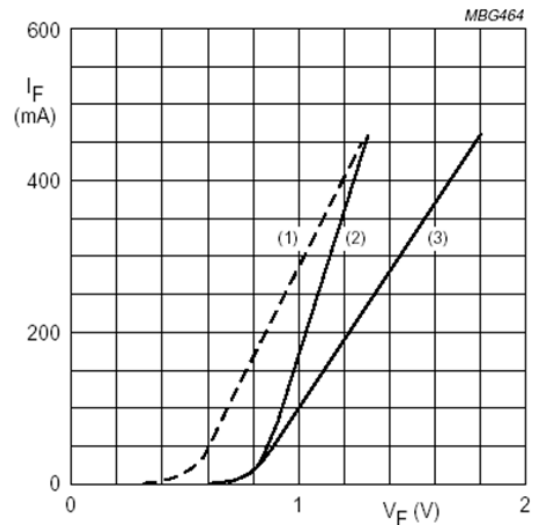
Halvlederføler



En almindelig diode består af silicium, der er en halvleder!

For at der kan gå en strøm gennem dioden, skal spændingen overstige ca. 0,65 Volt. Det er denne spænding, der er temperaturfølsom.

Temperatur-følsomheden er ca. minus 0,002 Volt /grad C



- (1) $T_J = 175\text{ °C}$; typical values.
- (2) $T_J = 25\text{ °C}$; typical values.
- (3) $T_J = 25\text{ °C}$; maximum values.

Diodekarakteristik for en 1N4148 diode

Temperatur-afhængigheden er illustreret ved følgende grafer fra forskellige datablade:

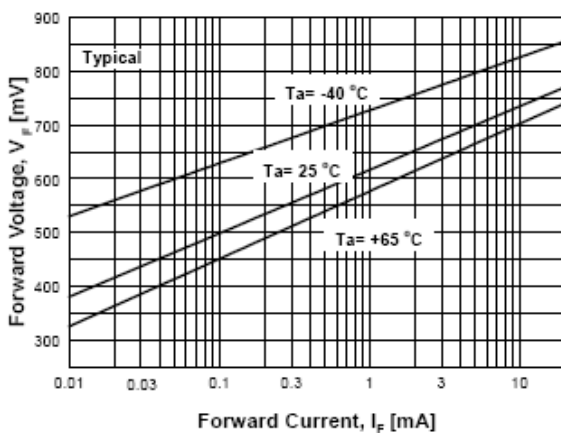


Figure 6. Forward Voltage vs Ambient Temperature
VF - 0.01 - 20 mA (-40 to +65 Deg C)

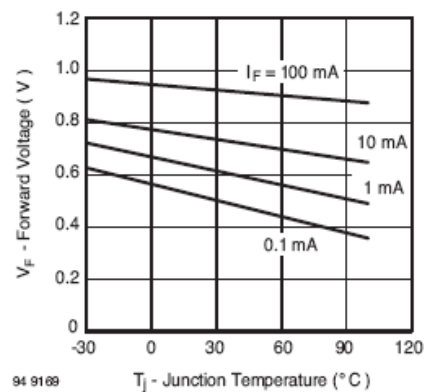
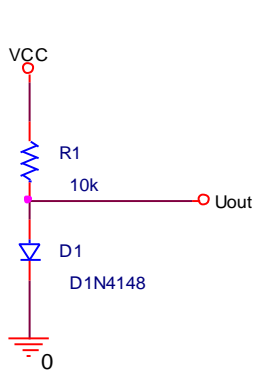


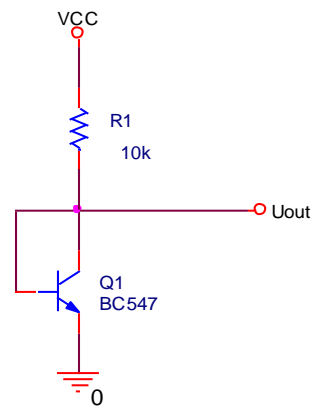
Fig. 1 Forward Voltage vs. Junction Temperature

Spændingen over en diode eller over Basis / Emitter i en transistor falder ca. 2 mV pr grader celsius dens temperatur stiger.

Et kredsløb, hvor man bruger en diode som temperaturtransducer kunne se ud som følgende:



Her er brugt en diode, en 1N4148

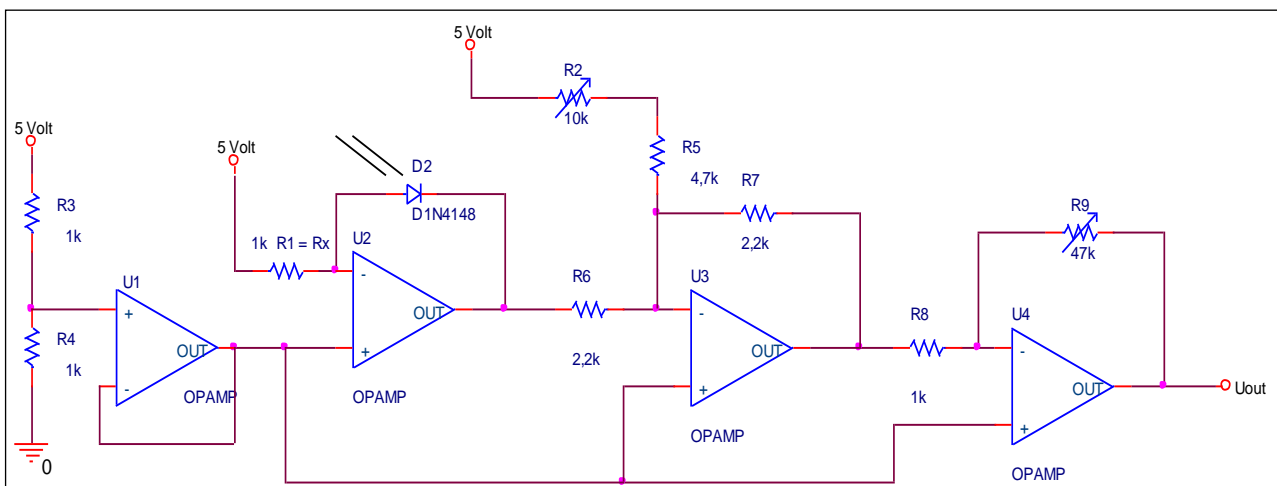


I stedet for en diode kan bruges en transistor, hvor Basis og Collector kobles sammen.

Men der vil også her opstå ulinearitet. Falder diodespændingen, vil spændingen over modstanden stige tilsvarende. Derfor stiger også strømmen, og det vil ændre diodespændingen lidt! Men dog meget lidt! Her kan det også være på sin plads at benytte en strømgenerator!

Der kan også bruges et lidt mere avanceret kredsløb. R1 sørger for en konstant strøm gennem dioden. $I = (5 - 2,5) / R1$. På udgangen af operationsforstærkeren er der 2,5 Volt minus delta U_{diode} . Dvs ca 2,5 minus 0,65 Volt. Denne spænding stiger ved stigende temperatur.

Den næste operationsforstærker flytter nulpunktet, og vender signalet. Den sidste forstærker så signalet til ønsket ændring pr grad celsius.



IC-løsninger



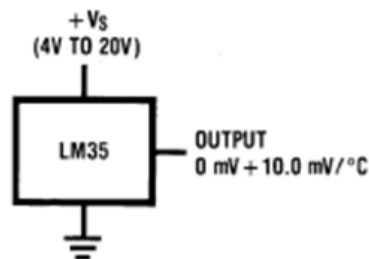
Der findes et antal IC-er, der fungerer som temperatur-transducere. De bygger – formodentlig – alle også på faldet i spændingen over en diodestrækning. IC-erne er opbygget, så der kommer et lineært signal ud. Dvs. fabrikanten nok har været nødt til at indbygge en passende forstærker i IC'en, og at kalibrere føleren.

Der findes både analoge typer, og digitale typer, der fx kan give et serielt signal til en microcontroller.

LM35

LM35 er en analog IC, der giver

$(0 \pm 10,0) \text{ mV/grad C}$



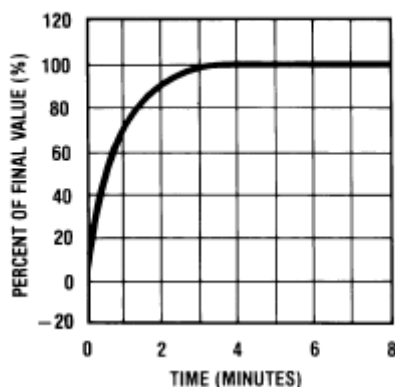
IC'en kan fx loddet på en 3-leder kabel. Loddestederne isoleres fx med krympeflex.

Output-signalet kan fx forbindes til en Opamp, der forstærker 10 gange, og så fx til en TLC 549, en analog til digital-konverter.

TLC549 er en seriel, 8 bit A/D-konverter. Signalet kan så hentes af en uC eller en PC.

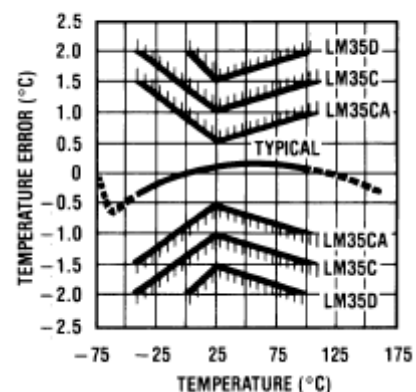
Men Arduino kan jo direkte læse et analogt signal, og omforme fx (0 til 5) Volt til en talværdi (0 til 1023)

Thermal Response
in Still Air



Grafen viser hvor hurtig, IC'en reagerer på en temperaturændring.

Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)



Grafen viser målenøjagtigheden for forskellige selekterede udgaver.



IR Pyrometer

Alle emner varmere end -273 grader C udstråler varme i form af bla. a. Infrarød lys. Strålingsmængden er stigende ved stigende temperatur.

Et pyrometer ”ser” udstrålingen og udlæser resultatet som temperatur.

Ved måling må der tages højde for materialets overfladebeskaffenhed, og dermed evne til at udstråle energi.

Forskellige overflader udstråler forskellig stråling ved samme temperatur. Blanke overflader udstråler mindre energi i det infrarøde område end matte overflader ved samme temperatur.

Emissionsfaktoren beskriver denne egenskab, og er særlig vigtig ved temperaturer over ca. 100 grader C.

Denne faktor kan indstilles på mange instrumenter. Andre er indstillet fast fra 0,9 til 1,0. Instrumentet vil vise lidt for lav temperatur ved måling på blanke overflader.

Men et pyrometer kan man fx måle temperaturen på roterende maskindele, på aggressive væsker, på strømførende strømskinner, ovne med høj temperatur etc.

Pyrometeret måler middeltemperaturen i den cirkel, hvis størrelse er indenfor vinklen i linsen.

Målbart temperatur-område er fra ca. : -30 til 3000 grader.

Bonus-Info:



Types of semiconductor sensors

A summary of available semiconductor temperatures sensors is presented below, followed by more detail on some of the more popular devices. The sensors can be grouped into five broad categories: voltage output, current output, resistance output, digital output and simple diode types.

1. Voltage Output Temperature Sensors

The following sensors provide a voltage outputs signal with relatively low output impedance. All require an excitation power source and all are essentially linear.

Sensor	Manuf.	Output	Tolerance (range)	Package	Comments
AD22100	Analog Devices	22.5mV/°C at 5V 250mV offset	±2°C & ±4°C (-50 to +150°C)	TO-92 SO-8	Output ratiometric with supply voltage - good with ratiometric ADCs
AD22103	Analog Devices	28mV/°C (at 3.3V), 250mV offset	±2.5°C (0°C to +100°C)	TO-92 SO-8	Output ratiometric with supply voltage
LM135 LM235 LM335	National Semi, Linear Tech	10mV/°K or 10mV/°C	±2.7°C to ±9°C (-55°C to 150°C -40°C to 100°C)	TO-92 TO-46	Zener like operation with scale trim pin, 400µA
LM34	National Semi	10mV/°F	±3°F & ±4°F (-20°C to 120°C)	TO-46 TO-92 SO-8	Needs a negative supply for temperatures < -5°C
LM35	National Semi	10mV/°C	±1°C & ±1.5°C (-20°C to 120°C)	TO-46 TO-92 SO-8	Needs a negative supply for temperatures < 10°C
LM45	National Semi	10mV/°C 500mV offset	±1°C & ±1.5°C (-20°C to 120°C)	TO-46 TO-9 SO-8	LM35 with 500mV output offset
LM50	National Semi	10mV/°C 500mV offset	±3°C & ±4°C (-40°C to 125°C)	TO-46 TO-92 SO-8	Low cost part, 500mV off set, easy to use



LM60	National Semi	6.25mV/°C 424mV offset	±3°C & ±4°C (-40°C to 125°C)	SOT-23	Supply voltage down to 2.7V
S-8110 S-8120	Seiko Instruments	-8.5mV/°C (note neg. TC)	±2.5°C & ±5°C (-40°C to 100°C)	SOT-23 SC-82AB	Very low 10µA operating current
TC102 TC103 TC1132 TC1133	Telcom Semi	10mV/°C	±8°C (-20°C to 125°C)	SOT-23 TO-92	
TMP35	Analog Devices	10mV/°C	±3°C ±4°C (10°C to 125°C)	TO-92 SO-8 SOT-23	Similar to LM35 plus shutdown for power saving (not in TO-92)
TMP36	Analog Devices	10mV/°C 500mV offset	±3°C ±4°C (-40°C to 125°C)	TO-92 SO-8 SOT-23	Similar to LM50 plus shutdown (not in TO-92)
TMP37	Analog Devices	20mV/°C	±3°C ±4°C (5°C to 100°C)	TO-92 SO-8 SOT-23	High sensitivity

The LM34 and LM35 parts are prone to oscillation if sensor cable capacitively loads their output. The symptom is an offset in the sensors output - something which is not always obvious. It is wise to always include the manufacturer's recommended resistor - capacitor network close to the sensor.

Opgave:

Undersøg hvordan LM35 virker, hvordan den skal forbindes, Hvilket hus fås den i, og undersøg prisen på den.

2. Current Output Temperature Sensors

The current output sensors acts as a high-impedance, constant current regulator typically passing 1 micro-amp per degree Kelvin and require a supply voltage of between 4 and 30 V.

Sensor	Manuf.	Output	Tolerance (range)	Package	Comments
AD590	Analog Devices	1µA/°K	±5.5°C & ±10°C (-55°C to +150°C)	TO-52	An old favourite, but need to watch cable leakage currents
AD592	Analog Devices	1µA/°K	±1°C & ±3.5°C (-25°C to +105°C)	TO-92	A more precise AD590



TMP17	Analog Devices	1 μ A/°K	$\pm 4^{\circ}\text{C}$ (-40°C to +105°C)	SO-8	Thermally faster AD590
LM134 LM234 LM334	National Semi	Programmable 0.1 μ A/°K to 4 μ A/°K	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ & $\pm 20^{\circ}\text{C}$ (-25°C to +100°C)	TO-46 TO-92	Not well specified, but with calibration can be effective.

3. Digital Output Temperature Sensors

The digital temperature sensor is the first sensor to integrate a sensor and an analog to digital converter (ADC) on to a single silicon chip. In general, these sensors do not lend themselves for use with standard measuring devices because of their non standard digital interfaces. Many are designed specifically for the thermal management of microprocessor chips. A selection of representative devices is presented below:

Sensor	Manuf.	Output	Tolerance (range)	Package	Comments
LM95071	National Semi	14 bit SPI	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ (-45°C to 150°C)	SOT-5	High resolution (0.03°C) 2.4-5.5V operation
LM56	National Semi	2 comparators with settable thresholds	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ & $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (-40°C to 125°C)	SOP-8 MSOP-8	Thermostat with two outputs with hysteresis
LM75	National Semi	I ² C Serial, 9 bit or 0.5°C resolution	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ (-55°C to +125°C)	SOP-8 MSOP-8	Addressable, multi drop connection. Better suited to embedded systems
TMP03 TMP04	Analog Devices	Pulse width modulation (mark-space ratio)	$\pm 4^{\circ}\text{C}$ (-25°C to 100°C)	TO-92 SO-8 TSSOP-8	Nominal 35 Hz output with 1:1 mark-space ratio at 25°C
DS1620 DS1621	National Semi	2 or 3 wire serial, 0.5°C resolution	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0°C to 70°C) $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (-55°C to 125°C)	SOP-8 DIP-8	Also has digitally programmed thermostat output. $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ resolution possible
DS1624	Dallas	2 wire serial 0.3°C resolution	$\pm 5^{\circ}\text{C}$ (-55°C to 125°C)	SOP-8 DIP-8	Addressable, multi drop connection. Also has 256 bits of EEPROM
DS1820	Dallas	1 wire serial 0.5°C resolution	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0°C to 70°C) $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (-55°C to 125°C)	Modified TO-92 SSOP-16	Good un-calibrated tolerance over 0-70°C range.
DS1821	Dallas	1 wire serial 1°C resolution	$\pm 1^{\circ}\text{C}$ (0°C to 70°C) $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (-55°C to 125°C)	Modified TO-92 TO-220 SO-8	Has a thermostat mode.



DS2435	Dallas	1 wire serial 0.5°C or 1°C resolution	±4°C (0°C to 127.5°C -40°C to 85°C)	TO-92 modified	Also builds a time / temperature histogram
TCN75	Telcom Semi	I ² C Serial, 9 bit or 0.5°C resolution	±3°C (-55°C to +125°C)	DIP-8 SOP-8 TSSOP- 8	Second source for LM75

Opgave:

Undersøg kredse LM75, DS1620 og DS1624. Undersøg: HUS, kommunikationsmåde, og pris. Hvordan skal data fra kredse behandles ??

4. Resistance Output Silicon Temperature Sensors

The temperature - versus - bulk resistance characteristics of semiconductor materials allow the manufacture of simple temperature sensors using standard silicon semiconductor fabrication equipment. This construction can be more stable than other semiconductor sensor, due to the greater tolerance to ion migration. However other characteristics (see below) require that care be taken in using these sensors.

Sensor	Manuf.	Output	Tolerance (range)	Package	Comments
KTY81 KTY82 KTY83 KTY84 KTY85	Phillips	1K or 2K at 25°C, +0.8%/°C See below	±1°C to ±12°C (-55°C to +150°C some to 300°C)	SOD-70, SOT-23 SOD-68 SOD-80	Bulk resistance of silicon. Keep excitation current >0.1mA and < 1mA
KYY10 KTY11 KTY13	Siemens	1K or 2K at 25°C, +0.8%/°C See below	±1°C & ±3.5°C (-50°C to +150°C)	TO-92 modified	Bulk resistance of silicon.



Jern		Opdager: Ukendt				Temp. [K]	Tryk [Pa]
Metal radius	126 pm	Relativ atommasse	55,845	Varmekapacitet	449 J/(kg·K)	298,15	100000
Ionradier (+2)	74 pm	Smeltepunkt	1811,15 K	Massefylde	7870 kg/m ³	298,15	-
Elektronegativitet	1,83	Kogepunkt	3134,15 K	Udvidelseskoefficient	1,180·10 ⁻⁵ /K	298,15	-
Antal isotoper	16	Kritisk temperatur	8500 K	Elektrisk resistivitet	9,710·10 ⁻⁸ Ω·m	293,15	-
Varmeledningsevne W/(m·K) ved 300 K			80,2	Smelteenthalpi (fusion)	247,3 J/g	0	101325
Første ioniseringsenergi kJ/mol			759,3	Elasticitetsmodul	193,053 GPa	0	-
				Molar volumen	7,09 cm ³	-	-
Elektronkonfiguration: [Ar]3d ⁶ 4s ²				Engelsk: Iron			

Definition på resistivitet

Hvis man måler en vis modstand R (i ohm) hen over et "prøvestykke" med længden L (målt i m) og tværsnitsarealet A , så er resistiviteten ρ for det stof stykket er lavet af, givet ved:

Den fysiske dimension for resistivitet er elektrisk modstand gange længde. I SI-enheder måles arealet A i kvadratmeter, længden L i meter og modstanden R i ohm, og følgelig er den afledte SI-enhed for resistivitet $\Omega \cdot \text{m}$ ("ohm-meter")

Typiske værdier

Typiske resistiviteter for forskellige stoffer (ved 20 °C; 10⁻⁶ Ω · m svarer til Ω·mm²/m) er listet i tabellen:

Stof	Resistivitet (Ω · m)
Sølv	0,0159 x 10 ⁻⁶
Kobber	0,017 x 10 ⁻⁶
Guld	0,0244 x 10 ⁻⁶
Aluminium	0,0282 x 10 ⁻⁶
Tungsten	0,056 x 10 ⁻⁶
Jern	0,1 x 10 ⁻⁶
Rustfri stål	0,72 x 10 ⁻⁶
Platin	0,11 x 10 ⁻⁶
Bly	0,22 x 10 ⁻⁶
Nikkelkrom (En nikkelkrom legering som anvendes i varmeelementer)	1,50 x 10 ⁻⁶
Carbon	35 x 10 ⁻⁶
Germanium	0,46
Silicium	640
Glas	10 ¹⁰ to 10 ¹⁴



Hård gummi

ca. 10^{13} **Tabel over forskellige stoffers specifikke modstand = Resistivitet [Ωm],**

Aluminium [Al]	$0,025 \cdot 10^{-6}$	Kviksølv [Hg]	$0,958 \cdot 10^{-6}$
Bly [Pb]	$0,22 \cdot 10^{-6}$	Manganin	$0,43 \cdot 10^{-6}$
Grafit [C]	$8,00 \cdot 10^{-6}$	Messing	$0,7 \cdot 10^{-6}$
Guld [Au]	$0,024 \cdot 10^{-6}$	Nikkel [Ni]	$0,78 \cdot 10^{-6}$
Jern [Fe]	$0,10 \cdot 10^{-6}$	Sølv [Ag]	$0,015 \cdot 10^{-6}$
Kobber [Cu]	$0,0175 \cdot 10^{-6}$	Stål	$0,81 \cdot 10^{-6}$
Konstantan [NiCu55]	$0,49 \cdot 10^{-6}$	Wolfram [W]	$0,054 \cdot 10^{-6}$
Kul [C]	$50,00 \cdot 10^{-6}$	Zink [Zn]	$0,058 \cdot 10^{-6}$
Glas	0,5	Platin [Pt]	$0,106 \cdot 10^{-6}$

Tabel over forskellige stoffers modstands-temperaturkoefficienter [K^{-1}]

Aluminium [Al]	0,0043	Kviksølv [Hg]	0,00099
Bly [Pb]	0,00406	Manganin	0,00001
Grafit [C]		Messing	0,0021
Guld [Au]	0,00405	Nikkel [Ni]	0,0067
Jern [Fe]	0,0066	Sølv [Ag]	0,00410
Kobber [Cu]	0,0043	Stål	0,0011
Konstantan [NiCu55]	-0,00008 til +0,00004	Wolfram [W]	0,0048
Kul [C]		Zink [Zn]	0,0037
Glas		Platin [Pt]	0,0039