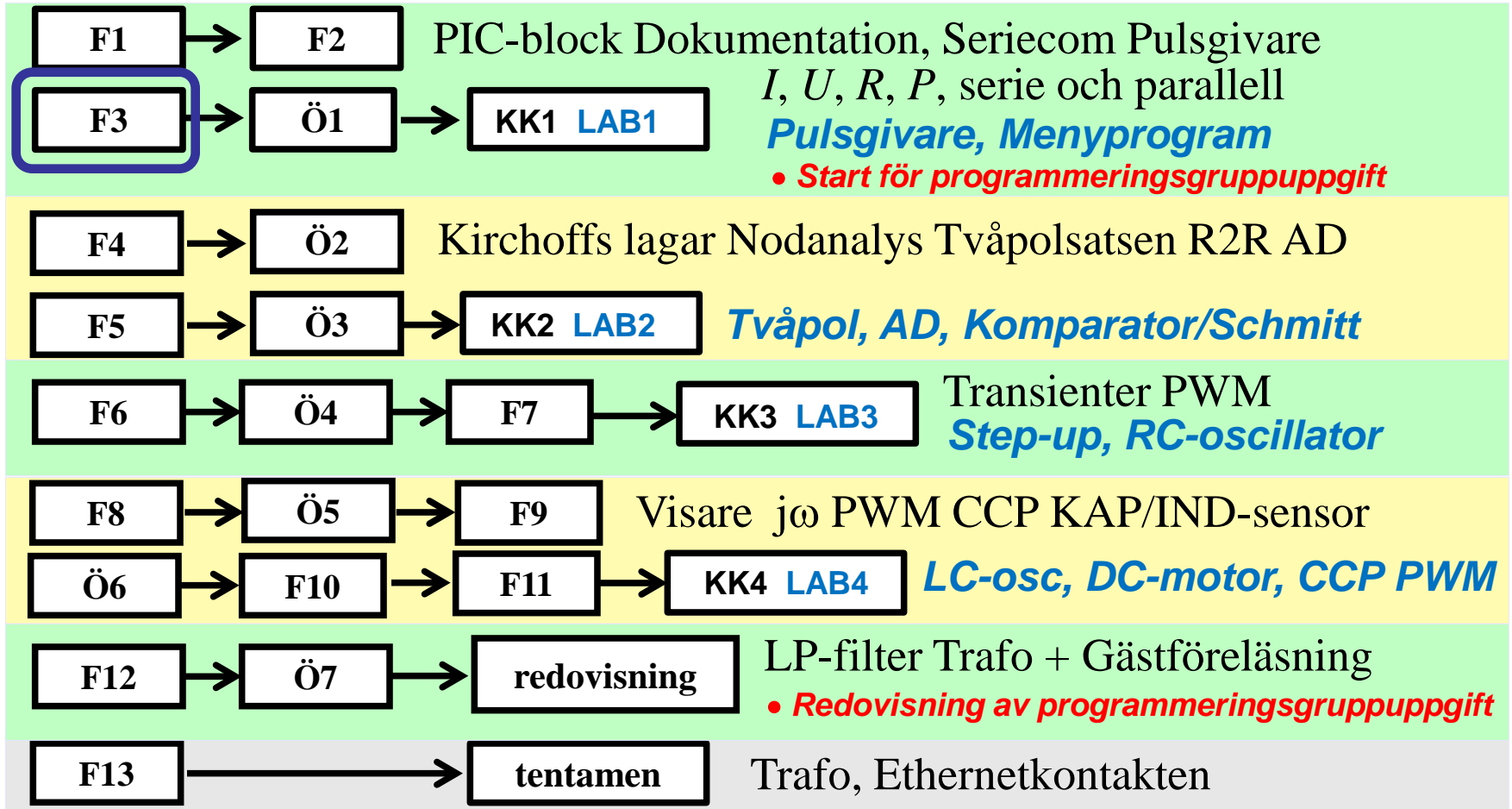


IE1206 Inbyggd Elektronik



Mendeljevs upptäckt

group 1 Period = 8 18

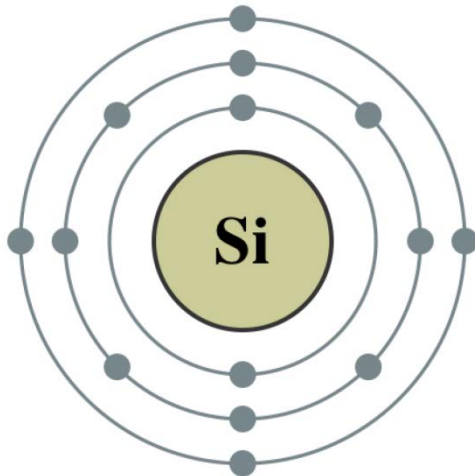
1	2	13	14	15	16	17	18
H							He
3	4	5	6	7	8	9	10
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
11	12	13	14	15	16	17	18
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26

Li	Be	B
Na	Mg	Al
K	Ca	Sc

1869 studerade den ryske kemisten Mendelejev de då kända grund-ämnena i turordning efter atomvikt. Han fann att liknande material-egenskaper i allmänhet återkom hos ämnen med avståndet *åtta* steg i atomviktslistan. Han placerade därför grundämnena i följd i en "matris" med 8 kolumner, i stället för som en enkel atomviktslista. Detta visade sig vara lyckosamt, för många grundämnen kunde man "förutsäga" deras fysikaliska och kemiska egenskaper genom att snegla på grannarnas.

Vad är elektricitet?

Vad är elektricitet?



Grundämnenas elektriska egenskaper avgörs av antalet elektroner i det yttersta skalet - **valenselektronerna!**

group	1	2	13	14	15	16	17	18
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	19	20	31	32	33	34	35	36

Period = 8

Skol-modellen av en Kiselatom.

Kisel med atomnumret 14 har 14 protoner i kärnan som binds ihop med 14 neutroner. I banor runt kärnan kretsar 14 elektroner. Det innersta skalet är fullt och har 2 elektroner, nästa skal är fullt och har 8 elektroner, det yttersta sk. valensskalet innehåller 4 elektroner (med plats för ytterligare 4).

Periodiska systemet

Periodic table

group	1	2											13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac															
			6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
			7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Legend:

- alkali metals
- alkaline earth metals
- transition metals
- other metals
- other nonmetals
- halogens
- noble gases
- lanthanides
- actinides

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

- *Elektricitet handlar om laddningar, så även grundämnenas elektriska egenskaper avgörs av valenselektronerna.*

Ledare/Isolator/Halvledare

Grundämnenas indelas i metaller och icke-metaller.

Mer än tre fjärdedelar av våra grundämnen är metaller (medan vår närmaste omvärld, vårt jordklot består till 75% av icke-metaller).

Periodic table

group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac															
6				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
7				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Metaller har bra förmåga att leda elektrisk ström, de är **ledare**. De har som mest halvfulla valensskal (1 ... 5 valenselektroner). Atomernas elektron-hölje bildar ett för metallen gemensamt "elektronmoln".

Icke-metallerna är **isolatorer**, det vill säga dåliga ledare av elektrisk ström. De har fulla, eller nästan fulla, valensskal med hårt bundna elektroner.

Ledare/Isolator/Halvledare

Även ämnen med halvfulla valensskal kan vara isolatorer. Det finns kristallinska material där valens-elektronerna binds hårt till närliggande atomer.

Kol i form av grafit är ett ledande material, medan kol i form av diamant är en isolator.

Periodic table

group	1	2											13	14	15	16	17	18	
1	H																	He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac																
6			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
7			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

I det periodiska systemet står metallerna till vänster och icke-metallerna till höger.

I området mellan metaller och icke-metaller finns halvmetallerna, som i elektriskt hänseende är **halvledare**. Dessa material har fått en stor betydelse för elektroniken.

Konst på Kista Torg



Representing silicon atom used in semiconductors.
The lamps are representing the electrones.

William Sandqvist william@kth.se

Spänning, ström och resistans



En elektrisk ström består av av laddningar i rörelse. En metalltråd innehåller fria elektroner men även om de hela tiden rör sig (p.g.a. värmerörelsen), så sker detta slumpmässigt utan att därför någon *nettoström* uppkommer.

Om man tillför laddning, elektroner, till metalltrådens ena ände så stör man jämvikten och en utjämningsström av elektroner flyter kortvarigt i tråden. Om man dessutom kan bortföra elektronerna från metalltrådens andra ände så fortsätter strömmen att flyta genom tråden.

Laddning Q [As, Coulomb C]

Storheten laddning betecknas Q . Enheten för laddning benämnes ampere-sekund [As], eller coulomb [C].

Hur tillför/bortför man elektroner?

I ett batteri sker elektrokemiska reaktioner som resulterar i ett överskott av elektroner vid den ena elektroden och ett underskott vid den andra (mer om detta senare).

Om metalltrådens ändar ansluts till ett batteris elektroder så flyter det således en elektrisk ström.

Batteriet kan ses som en "laddningspump" som pumpar elektroner genom den elektriska kretsen. Batteriet har, med ett ålderdomligt ord, en elektromotorisk kraft **emk**.

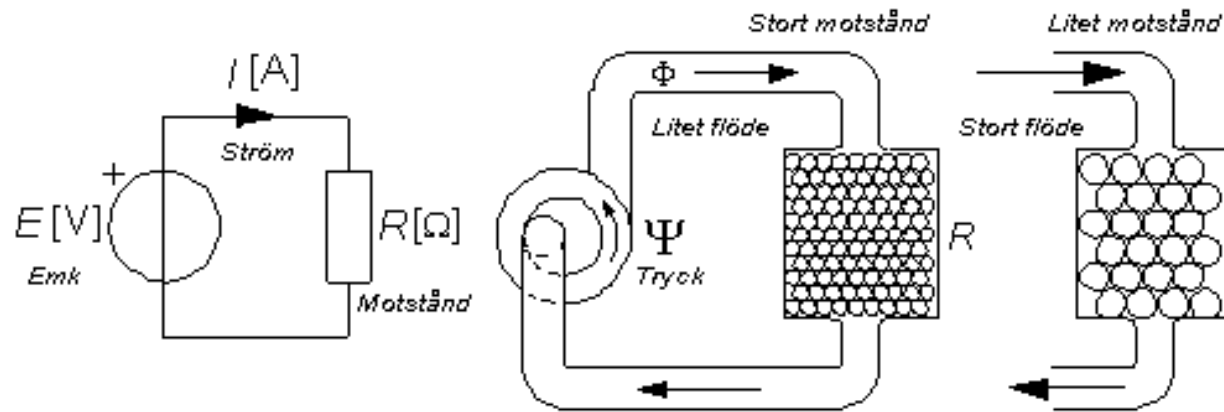
Storheten för emk betecknas med E (eller med U).

Enheten för emk är volt [V].

William Sandqvist william@kth.se

Vätskeanalogi

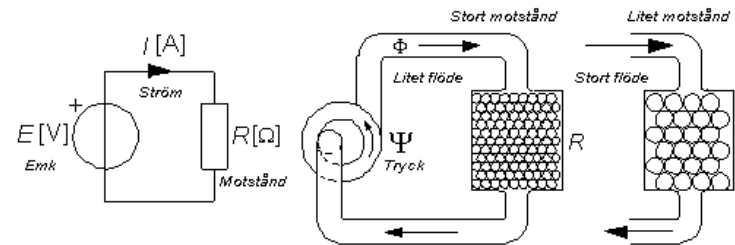
Många tycker att elektrotekniken är abstrakt. Det är därför vanligt att man jämför de abstrakta elektriska kretsarna med mer konkreta vätskeanalogier. Emken (batteriet) kan liknas vid en vattenpump. Pumpens **tryckskillnad** mellan inlopps- och utloppsrör Ψ motsvarar emkens spänning E .



Pumpen kan cirkulera vätska igenom tex. ett filter (eller en kylare). Vätskeflödet möter hinder eller motstånd längs vägen. Om filtret är fyllt med "sand" blir motståndet stort och pumpens tryck kommer bara räckta till att cirkulera ett litet vätskeflöde. Om filtret är fyllt med grus, räcker trycket till ett större flöde.

Vätskeanalogi

För den elektriska kretsen motsvaras vätske-flödet av strömmen av laddningar.



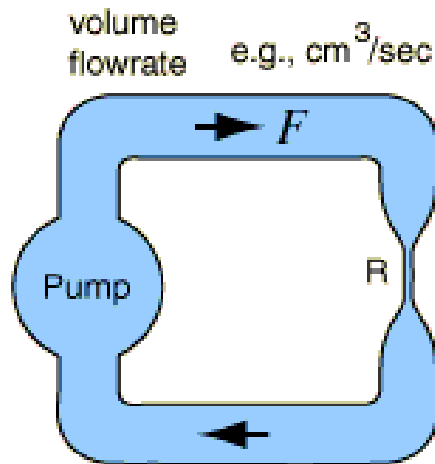
Storheten ström betecknas med I . Enheten för ström är ampere [A].

Den ström I som Emken E förmår driva genom metalltråden är materialberoende. Material med få fria elektroner har sämre lednings-förmåga, de har högre motstånd, än de med fler. När elektronerna passerar igenom materialet "krockar" de ibland med atomkärnor, det är detta som ger upphov till motståndet i materialet.

Det elektriska motståndet, resistansen, betecknas med R . Enheten för resistans är ohm [Ω].

Water analogy to DC circuits

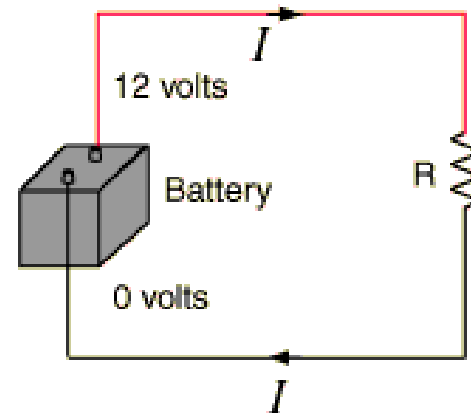
Många läroböcker använder vätskeanalogier för att förklara elektriska fenomen.



With continuous circulation around the pipe system, the volume flowrate must be the same at any cross-section of the pipe system.

Conservation of liquid

charge flowrate = current = $\frac{\text{coulombs}}{\text{second}} = \text{amperes}$



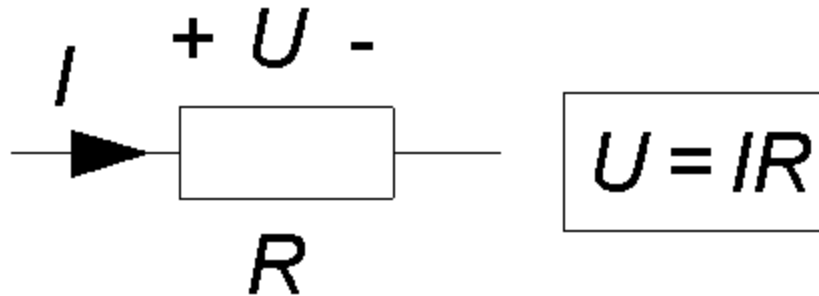
The electric current is the charge flowrate and it must be the same at any cross-section of the circuit. This is a general principle called the current law.

Conservation of charge

[hyperphysics](http://hyperphysics.com)

William Sandqvist william@kth.se

Ohm's Lag



Den tyske fysikern *Simon Ohm* uppställde år 1826 den regel som brukar kallas för **Ohms lag**. Om en ström I passerar igenom en ledare med resistansen R så faller spänningen med $U = I \times R$. Spänningsfallet blir proportionellt både mot strömmen och resistansen.

Med en vätskeanalogi kan man säga att det blir ett "tryckfall" när vätskeflödet passerar ett motstånd.

Amerikansk
symbol för resistor



Förväxla inte med
symbolen för
spole, induktans,
senare i kursen.



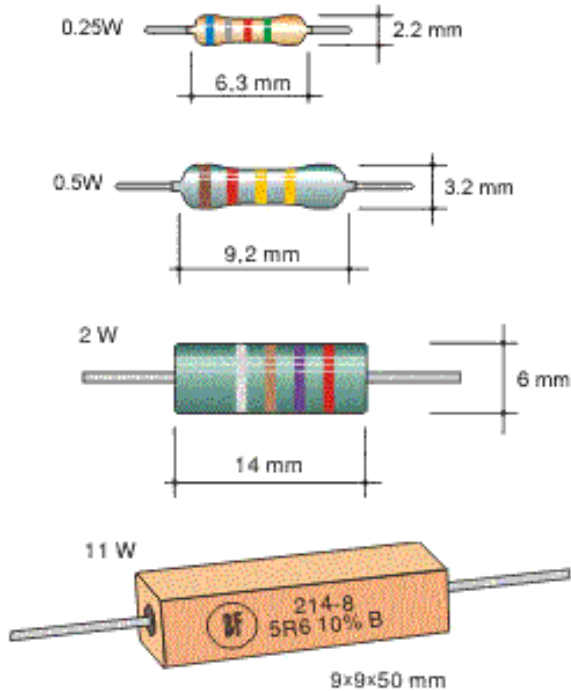
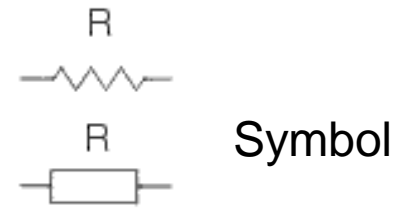
Plus och Minus

- Man brukar rita spänningsfallets plustecken där strömmen går in i resistorn.

Detta innebär att strömmens riktning är från plus till minus - men är inte detta fel? Om strömmen består av elektroner så bör ju de dras mot resistorns positivt laddade ände?

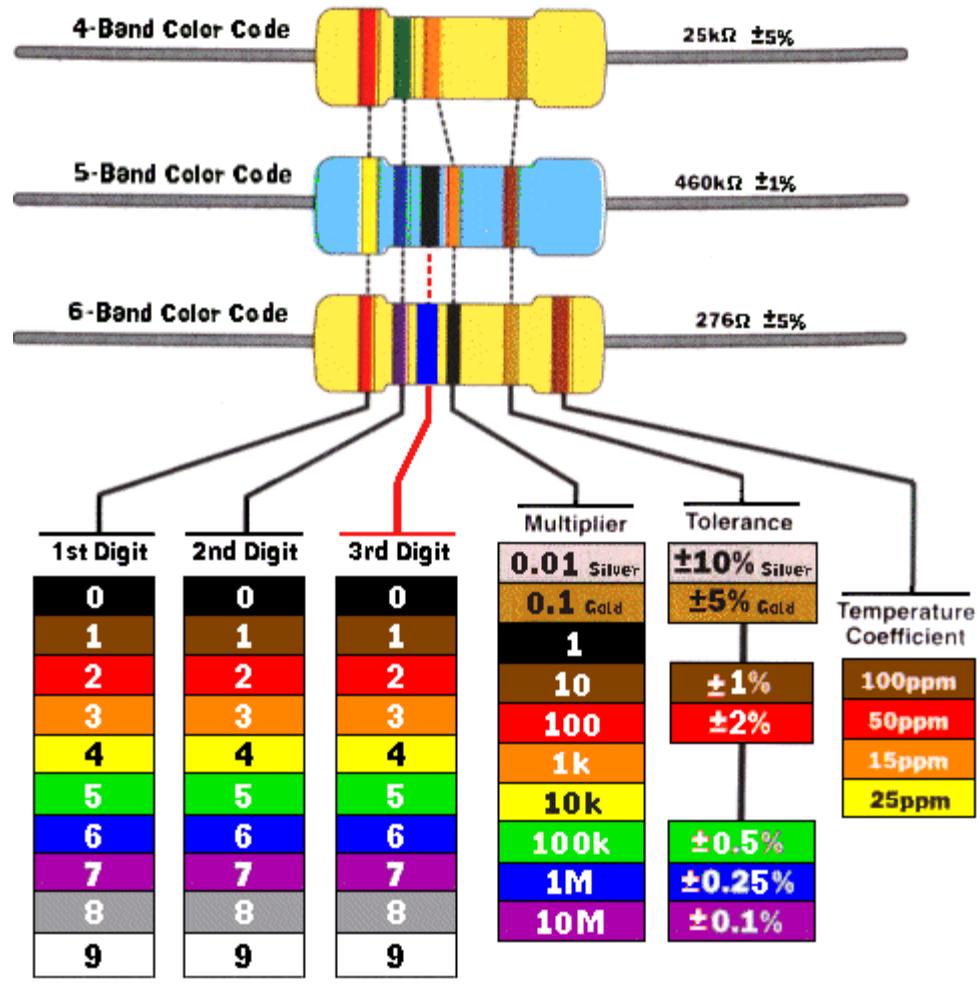
På Ohm's tid hade man ingen kännedom om elementarpartiklarna och "gissade" helt enkelt fel – det är för sent att rätta till detta nu, så alla fortsätter på samma felaktiga sätt än idag ...

Resistorer



Idag vanligast med
ytmonterade resistorer

Resistorers Färgkod

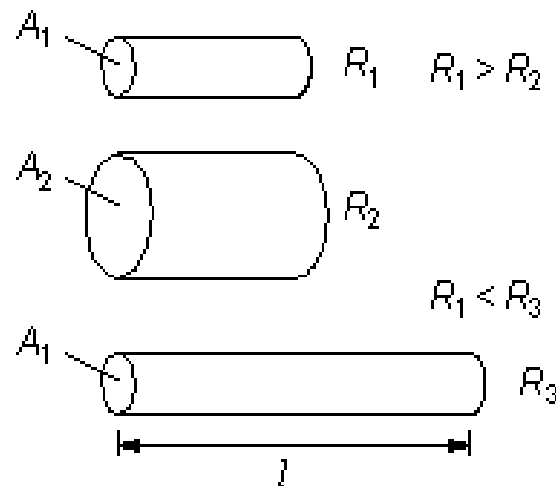


Ledningsresistans

En ledningstråds resistans beror på hur många fria ledningselektroner som finns tillgängliga för laddningstransporten, det vill säga vilket material den är tillverkad av, men även på trådens area A . Eftersom ledningselektronerna stöter på motstånd längs tråden, så beror resistansen även på hur lång den är l . Resistansen bestäms ur formeln (det kan även vara bra att känna till sambandet mellan Area och diameter):

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$



Resistivitet

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad A = \pi \frac{D^2}{4}$$

Materialkonstanten ρ i resistansformeln brukar anges i sorten **[$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]**. Detta förenklar beräkningar av kabelresistanser, eftersom det är naturligt att tala om kabellängder i **m** och tvärsnittsareor av storleksordningen **mm^2** – den som inte känner till detta kan dock bli mycket förbryllad!

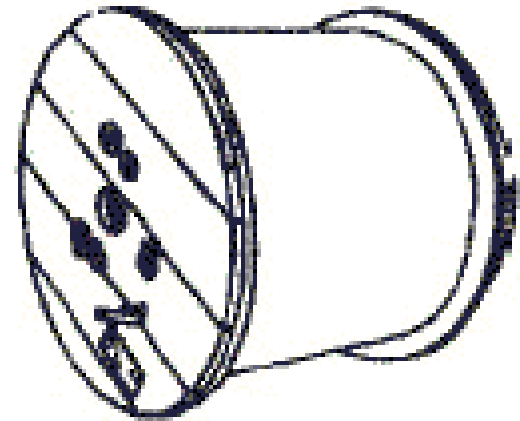
Metall	Resistivitet ρ [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]	Legering	Resistivitet ρ [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]
Aluminium	0,027	Kanthal A	1,4
Guld	0,022	Konstantan	0,5
Järn	0,11	Manganin	0,43
Koppar	0,018	Nichrom	1,1
Nickel	0,08	Nikrotal	1,09
Silver	0,016		
Wolfram	0,06		

Exempel – hur lång är kabeln?

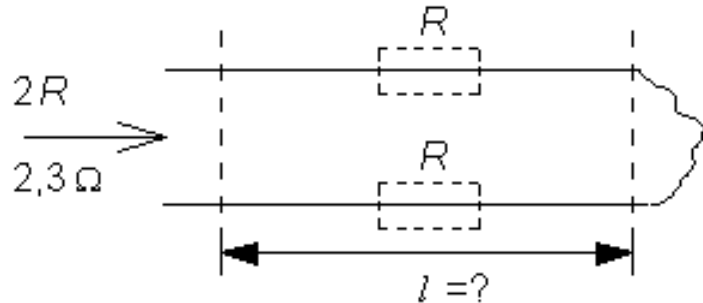
(Ex. 2.1) Exempel - hur lång är kabeln?

En elinstallationsfirma brukar ge sina praktikanter följande uppdrag - på lagret finns en stor och tung kabelrulle, hur lång är kabeln?

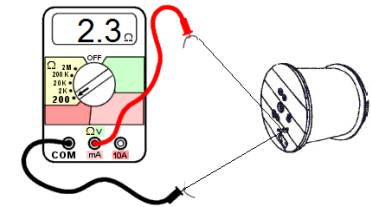
En kabel består av två ledare. En ledare och en återledare. De två ledarna i den kabelände som är inlindad längst in i rullen har avisolerats och tvinnats ihop. Den andra kabeländan är direkt åtkomlig. På kabelrullens sida står stämplat att ledarna har tvärsnittsarean $A = 2,5 \text{ mm}^2$.



Exempel – hur lång är kabeln?



En smart praktikant går och hämtar en Ω -meter och mäter resistansen mellan de två ledarna. Denna mätning ger $2R = 2,3 \Omega$. Vardera ledaren har då resistansen $R = 1,15 \Omega$.



I tabellen står resistiviteten för koppar $\rho = 0,018$ (detta är utantill-kunskap för många inom elbranschen).

Kabelns längd l kan beräknas:

$$l = (R \times A) / \rho = 1,15 \times 2,5 / 0,018 = 159,7 \text{ m}$$

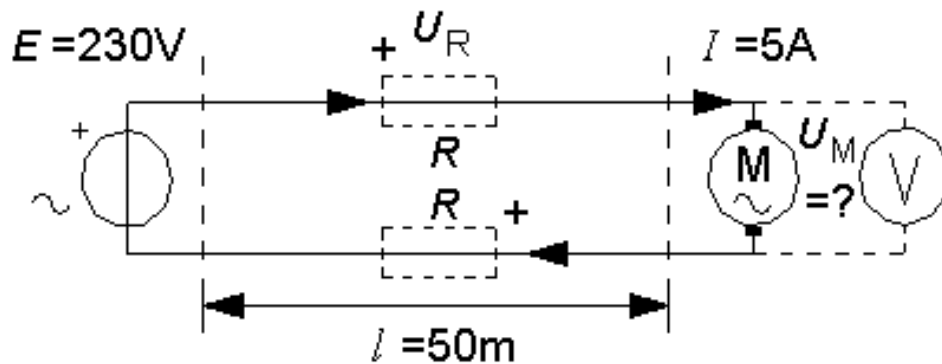


Det hade varit arbetsamt att mäta upp den längden med måttband!

William Sandqvist william@kth.se

Exempel – Spänningsfall i kabel

Man använder en bormaskin långt bort från ett vägguttag med spänningen $E = 230 \text{ V}$. Bormaskinen drar strömmen $I = 5 \text{ A}$ och är ansluten med en 50 m skarvsladd vars ledare har tvärsnittsarean $A = 1,5 \text{ mm}^2$. Hur hög blir spänningen U_M vid bormaskinen?



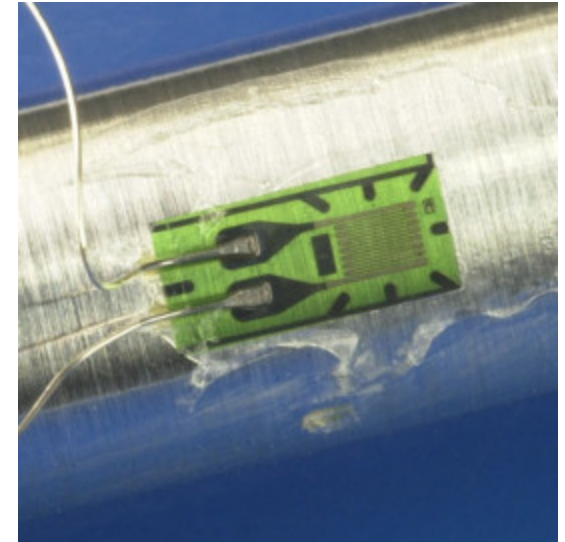
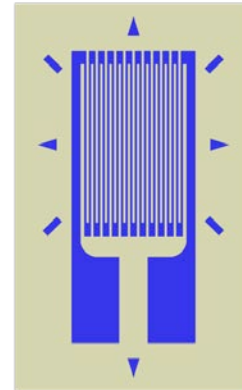
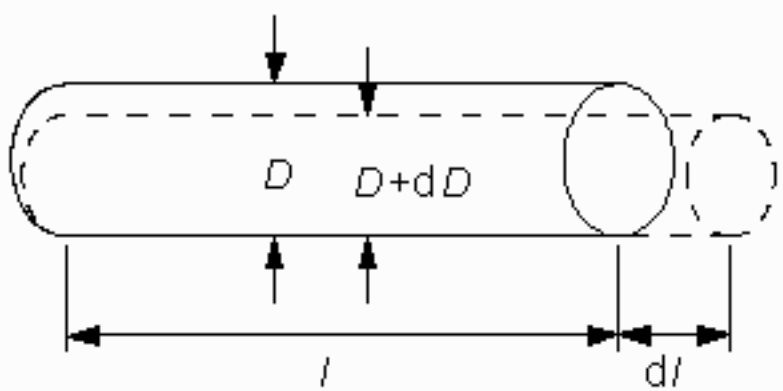
$$R = (\rho \cdot l) / A = 0,018 \times 50 / 1,5 = 0,6 \Omega.$$

Enligt Ohms lag ger strömmen upphov till ett spänningsfall i till-ledaren $U_R = I \times R = 5 \times 0,6 = 3 \text{ V}$, och ett lika stort spänningsfall i åter-ledaren.

$$\text{Vi får: } E - I \times R - U_M - I \times R = 0. \quad U_M = 230 - 2 \times 3 = 224 \text{ V.}$$

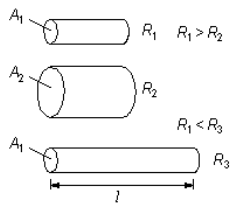
William Sandqvist william@kth.se

Exempel - trådtöjningsgivare



Töjningsmätning. En tråd är limmad på ett underlag som utsätts för krafter och därför töjs. Tråden töjs då med, och blir ”längre” och ”trängre” varvid resistansen ökar. ΔR blir proportionell mot töjningen ε .

De påkänningar som byggnadskonstruktioner och maskinkonstruktioner utsätts för kan mätas med hjälp av trådtöjningsgivare.



$$R = \rho \frac{l \cdot 4}{D^2 \cdot \pi} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \Rightarrow \quad \Delta R \approx k \cdot \Delta l$$

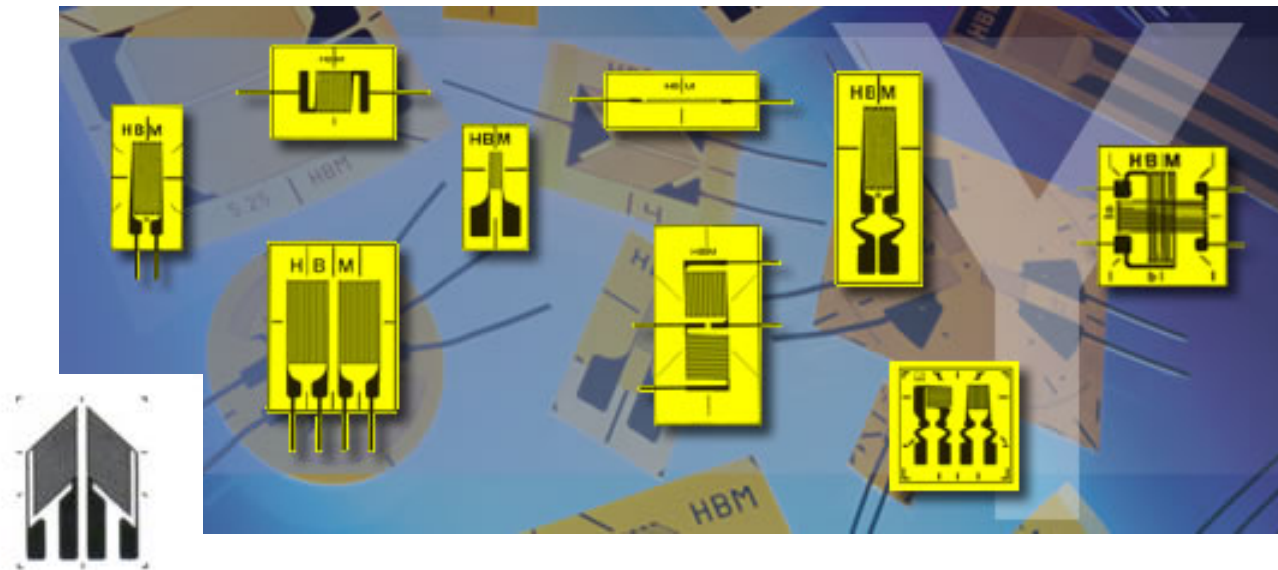
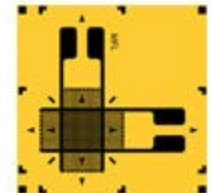
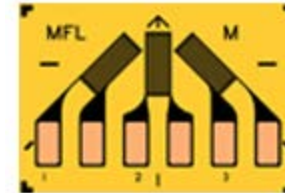
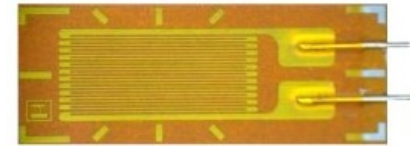
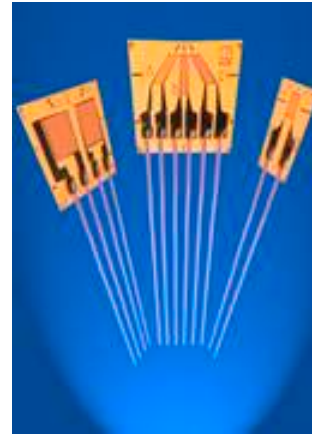
Exempel - trådtöjningsgivare

Slussen i Stockholm är skadad – trådtöjningsgivare används för att larma om sättningarna skulle bli för stora.



En mikroprocessor ingår naturligtvis också.

Töjningsgivare av olika utföranden



William Sandqvist william@kth.se

Resistansens temperaturberoende

Om man värmer en metalltråd ökar resistansen. Detta beror på att atomernas värmerörelse ökar, och då är det fler elektroner som "krockar" med atomkärnor under färden längs tråden. Temperatureffekten är betydande. Resistansen kan fördubblas innan man når metallens smältpunkt!

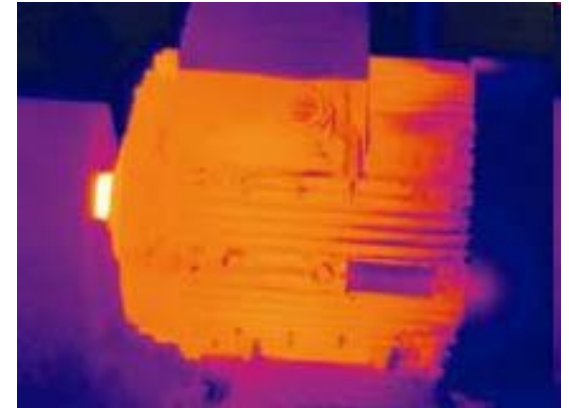
Metall	temp.koeff. α	Metall	temp.koeff. α	Legering	temp.koeff. α
Aluminium	$4,3 \cdot 10^{-3}$	Nickel	$6,7 \cdot 10^{-3}$	Kanthal A	$49 \cdot 10^{-6}$
Guld	$4 \cdot 10^{-3}$	Koppar	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Konstantan	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$
Platina	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Wolfram	$4,5 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$

För en resistor som har resistansen R_1 vid temperaturen t_1 , och resistansen R_2 vid temperaturen t_2 gäller följande linjära samband:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad R_2 = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Ex. – Vilken temperatur har motorlindningen?

Om man belastar en elmotor för hårt, kan effektförlusten bli så hög och de elektriska lindningarna bli så uppvärmda, att isoleringsmaterialet riskerar att smälta. Motorlindningen kortsluts i så fall och motorn blir obrukbar.



IR-bild (värmebild) av en hårt belastad elmotor.

Antag att man har en elmotor med en lindning som är isolerad med ett material som tål temperaturen **110°C**. Man är osäker på om man riskerar att överbelasta motorn, så man planerar att mäta temperaturen i lindningen.

Hur placerar man en termometer inuti lindningen?

Temperaturmätning i motorlindning

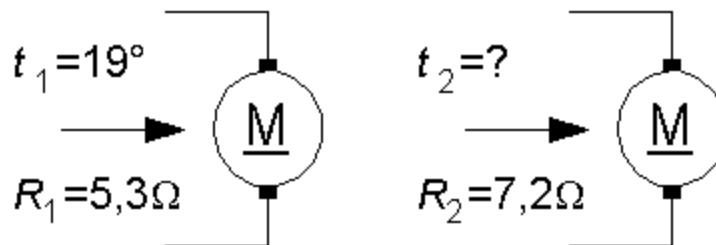
Tips! Lindningen av koppartråd kan vara sin egen termometer!

När motorn vilat mäter man rumstemperaturen till 19° . Motorn har då denna temperatur, $t_1 = 19$.

Man mäter då resistansen i motorlindningen $R_1 = 5,3 \Omega$.

Motorn körs därefter under hård belastning. Man stannar motorn och mäter lindningsresistansen igen $R_2 = 7,2 \Omega$.

Är motortemperaturen nu så hög att man är nära överbelastning? $t_2 = ?$



Lindningen är av koppartråd som har temperaturkoefficienten $\alpha = 3,9 \times 10^{-3}$.

$$\Delta t = (R_2 - R_1) / (R_1 \times \alpha) = (7,2 - 5,3) / (5,3 \times 3,9 \times 10^{-3}) = 91,9^\circ\text{C}.$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t = 19 + 91,9 = 110,9^\circ\text{C} \quad \text{Oj! Oj!}$$

William Sandqvist william@kth.se

Temperatur

Temperaturen påverkar så gott som *alla* fysikaliska fenomen – även när man inte i första hand är intresserad av att mäta temperaturen, måste man ofta ändå mäta den för att kunna korrigera för dess inverkan på andra storheter!



(ITS-90)

Internationella
temperaturskalan ITS-90

17 fixtemperaturer för
övergångar mellan
fast/flytande/gas-form.

(*Övergångarna kräver att
man tillför/bortför stora
mängder energi – temperatur-
en blir konstant så länge som
tillståndsovergången pågår*).

Number	Temperature		Substance ^a	State ^b
	T ₉₀ /K	t ₉₀ /°C		
1	3 to 5	-270.15 to -268.15	He	V
2	13.8033	-259.3467	e-H ₂	T
3	~17	~-256.15	e-H ₂ (or He)	V (or G)
4	~20.3	~-252.85	e-H ₂ (or He)	V (or G)
5	24.5561	-248.5939	Ne	T
6	54.3584	-218.7916	O ₂	T
7	83.8058	-189.3442	Ar	T
8	234.3156	-38.8344	Hg	T
9	273.16	0.01	H ₂ O	T
10	302.9146	29.7646	Ga	M
11	429.7485	156.5985	In	F
12	505.078	231.928	Sn	F
13	692.677	419.527	Zn	F
14	933.473	660.323	Al	F
15	1234.93	961.78	Ag	F
16	1337.33	1064.18	Au	F
17	1357.77	1084.62	Cu	F

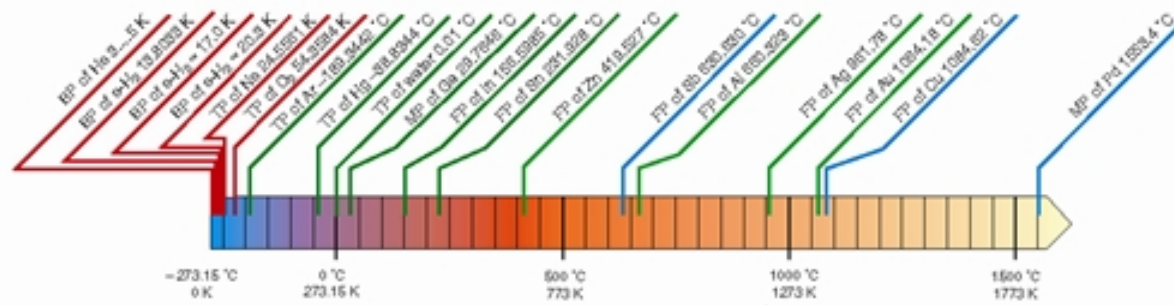
• Vattens trippelpunkt 0,01 °C

Temperaturer mellan fixpunkterna

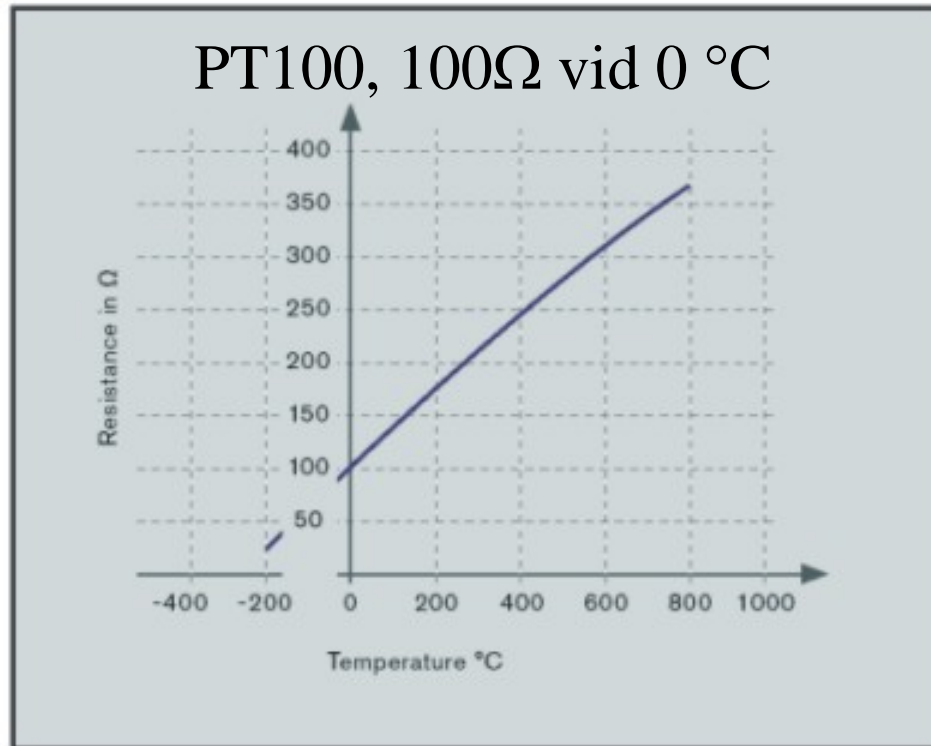
Mellan fixpunkterna använder man vid auktoriserade mätplatser **resistanstermometer** (eller vid mycket höga temperaturer pyrometer).

I allmänhet köper man temperaturgivare med data specificerade enligt internationella normer – och kan oftast undvika att använda temperaturnormaler.

ITS-90 International Temperature Scale of 1990



Resistanstermometrar



Resistiva
temperaturgivare.
Platina, Nickel
(Koppar – USA)

$$R = R_0 (1 + a \cdot \vartheta + b \cdot \vartheta^2)$$

Linjär approximation:

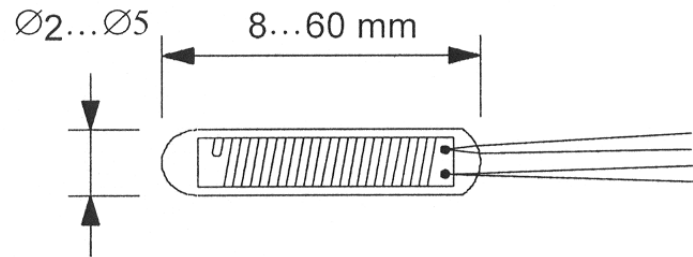
$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

$$R_0 = 100 \Omega$$

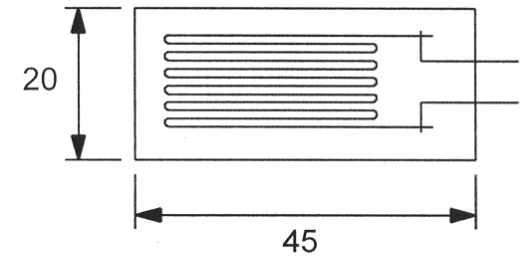
Materialkonstanter för resistiva givarelement

Material	a [$1/^\circ\text{C}$]	b [$(1/^\circ\text{C})^2$]	α [$1/^\circ\text{C}$] (0...100 °C)
Pt (0...600 °C)	$+3,911 \cdot 10^{-3}$	$-0,588 \cdot 10^{-6}$	$+3,850 \cdot 10^{-3}$
Ni (0...200 °C)	$+5,43 \cdot 10^{-3}$	$+7,85 \cdot 10^{-6}$	$+6,17 \cdot 10^{-3}$

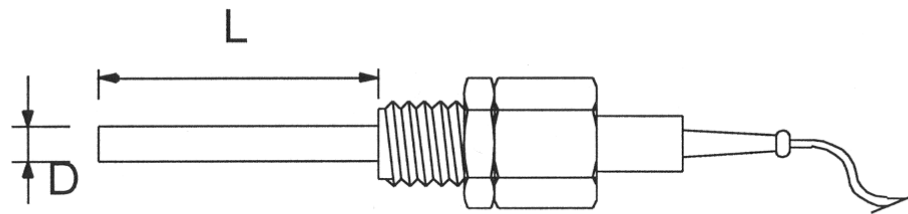
Temperaturgivare – mätmotstånd



Mätmotstånd i hårdglas. Motståndet är försett med fyra anslutningstrådar.

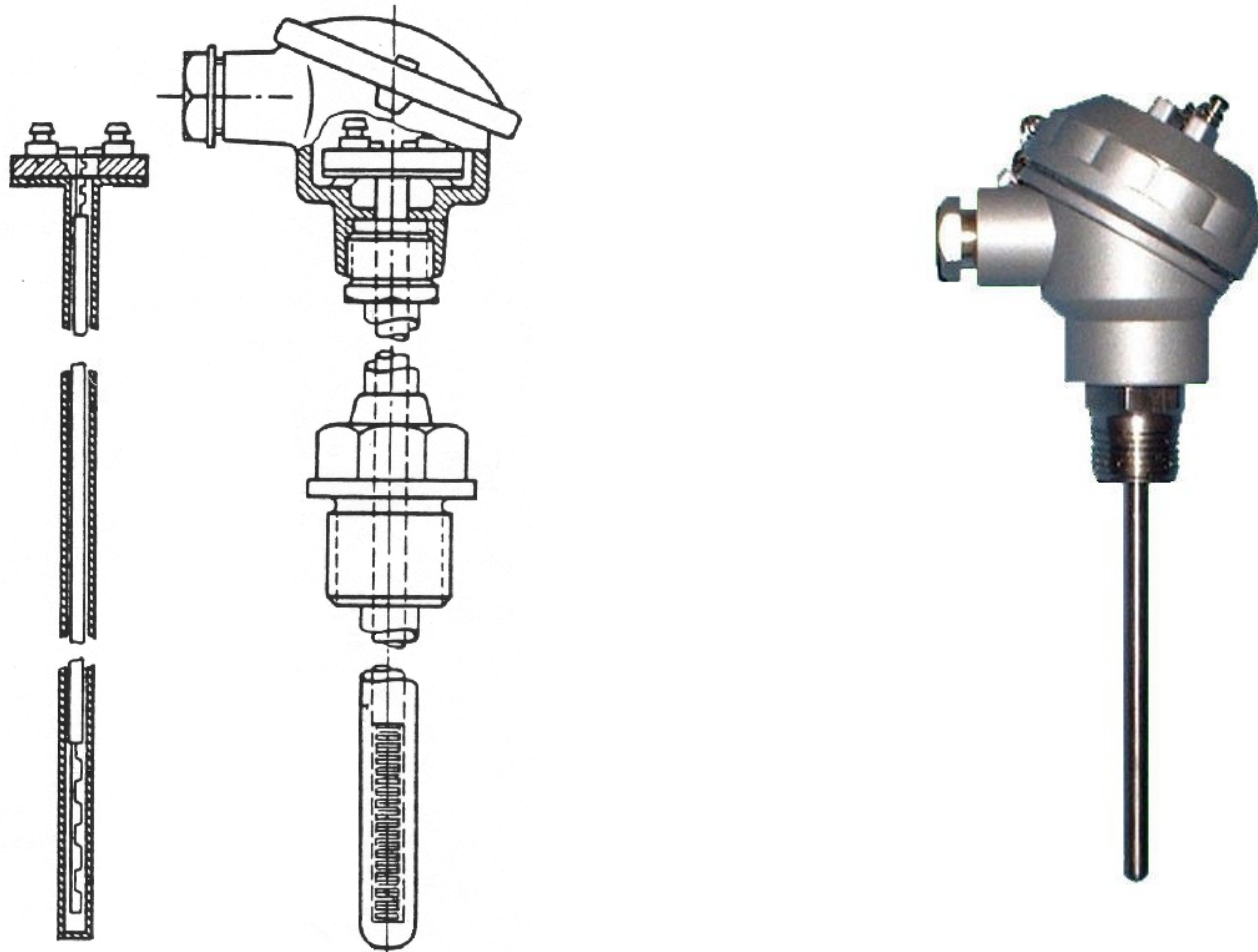


Ytttemperaturgivare bestående av nickelsinga på underlag av glasfolie eller glimmer

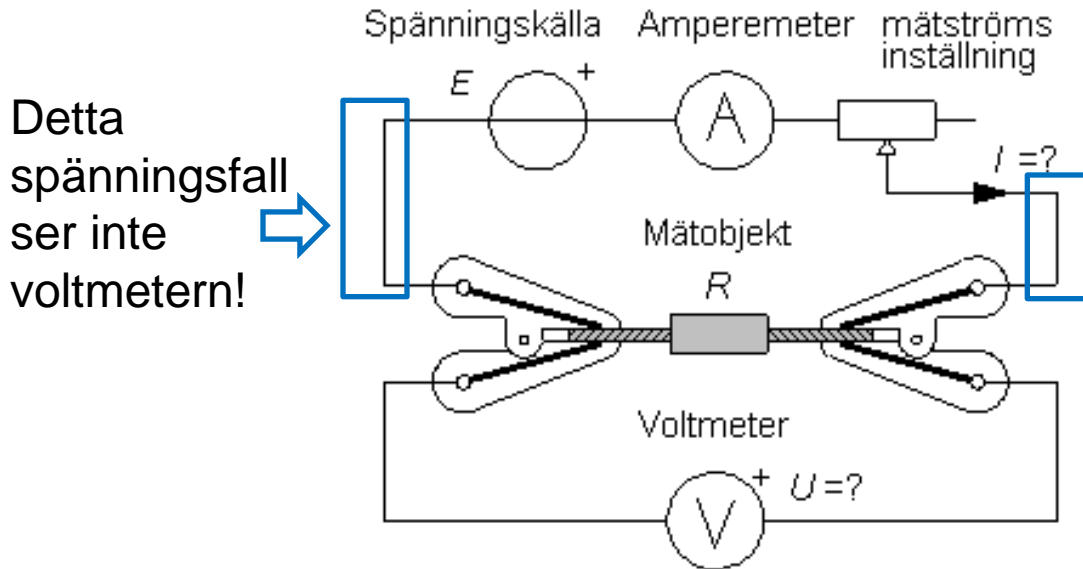


Insticksgivare för mätning av temperatur i rörledningar, cisterner etc.
(Principskiss.)

Processindustri



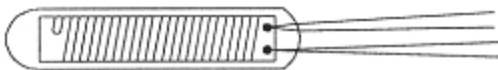
Resistansmätning, Fyrtrådsmätning



Kelvin-
klämmor



$$R = \frac{U}{I}$$



Så, det var därför mätmotståndet hade
fyra ledningar!

Resistanstermometer

Resistanstermometrar har i allmänhet resistanstråd av Platina och värdet 100Ω vid 0°C (PT-100).



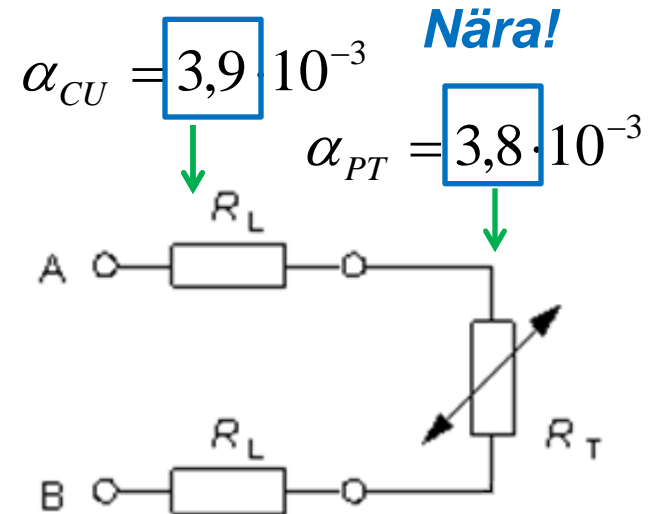
Förhållandet mellan resistans och temperatur är linjärt.

- Ett problem är att anslutningskabeln med ledare av koppar är *lika* temperaturkänslig som platinaresistorn!

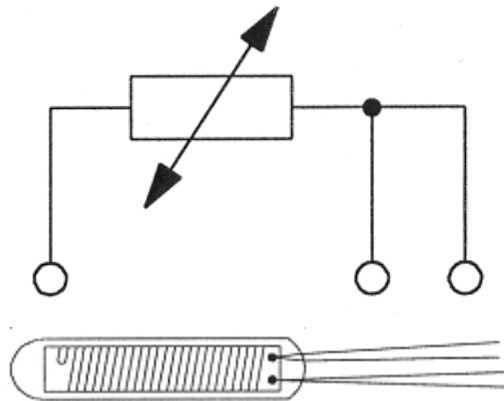
$$R_T = 100(1 + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot t) \quad [\Omega]$$

Var slutar termometern – och var börjar anslutningsledningen?

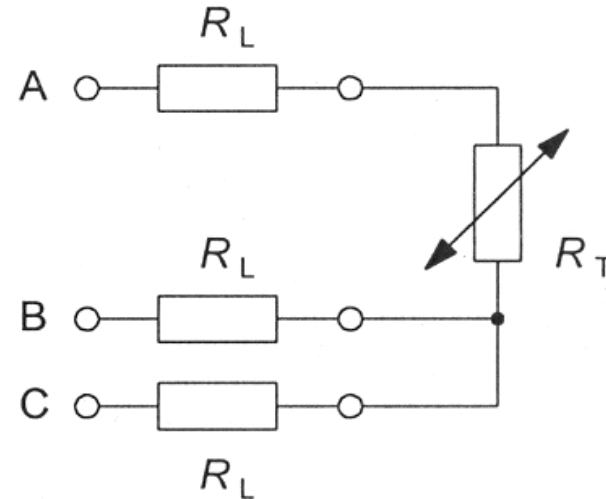
En lång ledning, som ligger i solen, adderar flera "temperaturberoende" OHM till termometerresistansen!



Tretrådsanslutning (2.4)



En av de fyra ledningarna
förblir oanvänd



Tretrådsmätning:

- Mät resistansen mellan A och B
 - Mät resistansen mellan B och C
- Beräkna den sökta resistansen som:

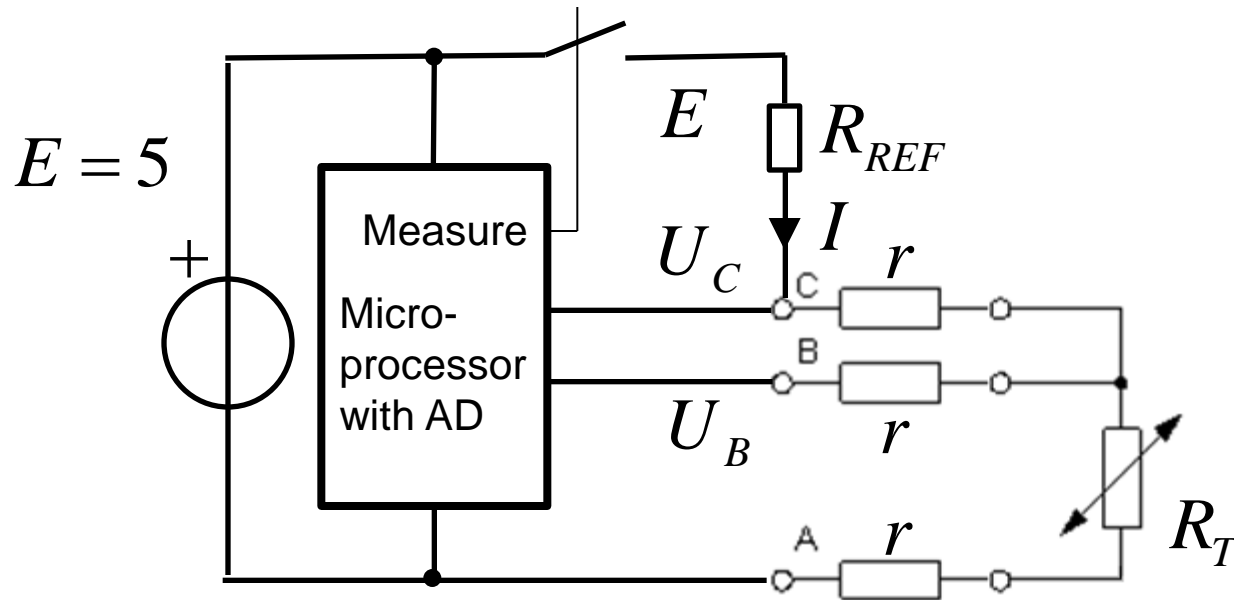
$$(R_{AB} = R_T + 2R_L)$$

$$(R_{BC} = 2R_L)$$

$$R_T = R_{AB} - R_{BC}$$

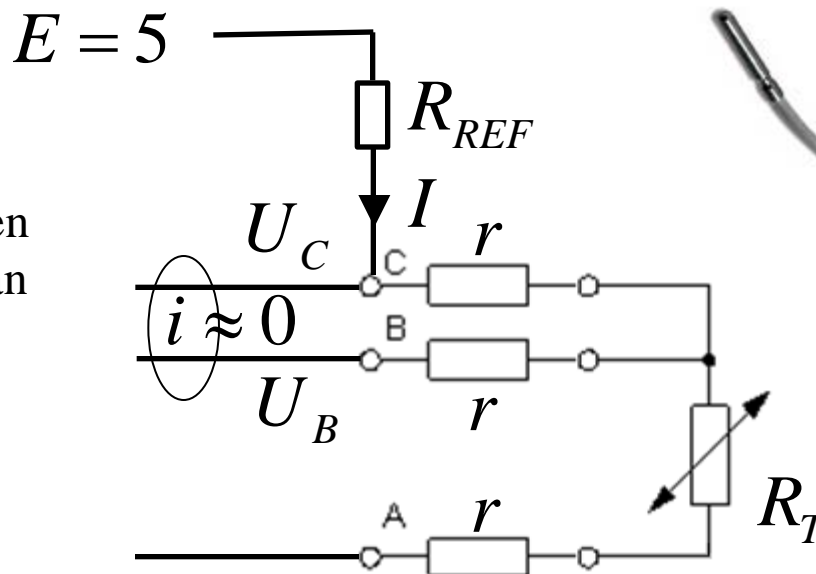
(Mät med AD-omvandlare)

- Resistanstermometern kopplas in kortvarigt inför varje mätning, för att inte värma upp termometern med mätströmmen I !



Mät med AD-omvandlare

AD-omvandlarens ingångar drar bara en försumbar ström från mätobjektet ($i \approx 0$).



- Med kursens ellära kommer Du att kunna ta fram användbara uttryck:

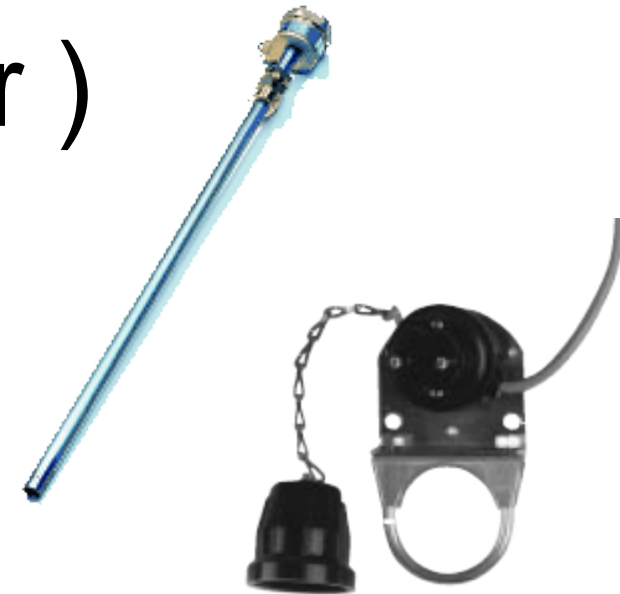
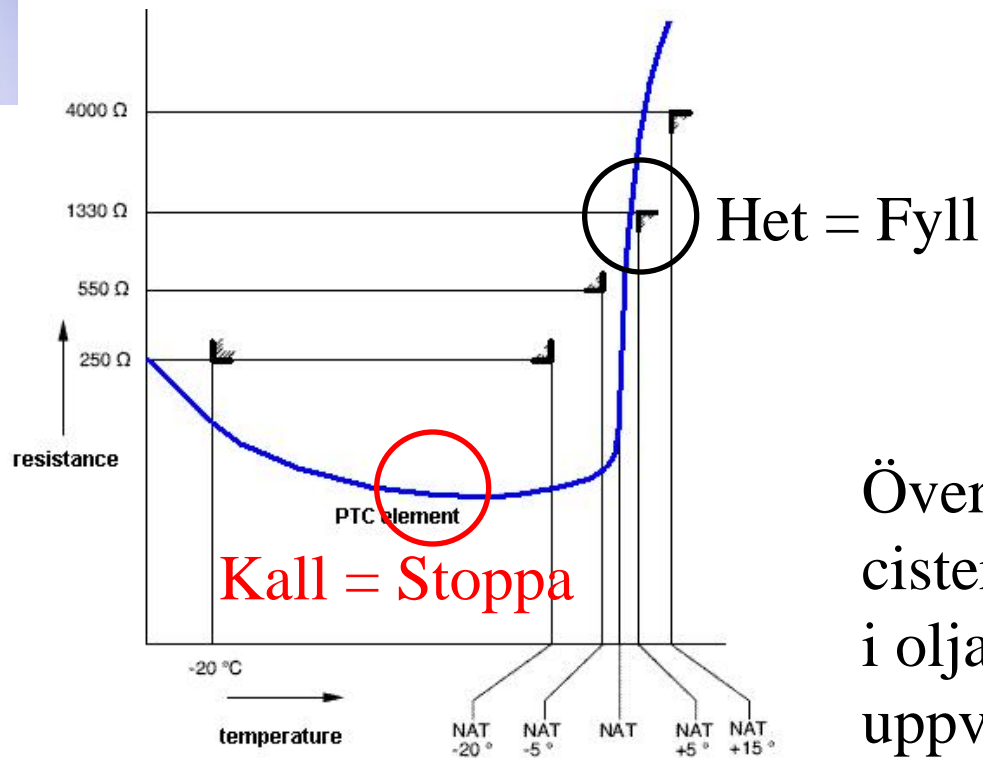
$$I = \frac{E - U_C}{R_{REF}} \quad r = \frac{U_C - U_B}{I} \quad R_T = \frac{U_C}{I} - 2r \quad \Rightarrow \quad R_T = \frac{2U_B - U_C}{E - U_C} \cdot R_{REF}$$

Sifferexempel: $E = 5V$ $R_{REF} = 100\Omega$ $U_C = 3,34V$ $U_B = 3,30V$ $R_T = 196,3\Omega$
 $r = 2,5\Omega$ $t = 250^\circ$

William Sandqvist william@kth.se



(PTC – termistorer)



Överfyllnadsskydd för oljecistern. När sensorn är nere i oljan blir den kall trots uppvärmningsströmen.

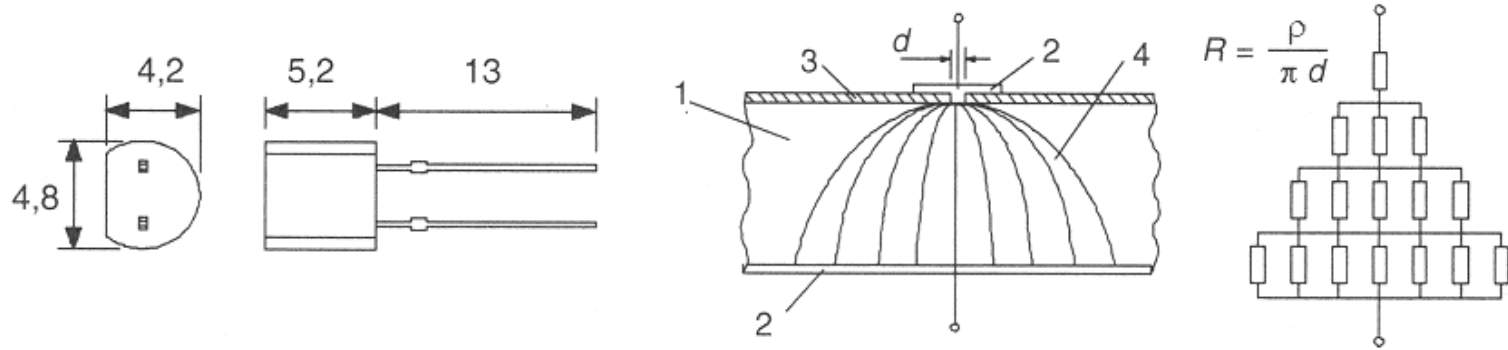
PTC termistorer är starkt *olinjära* och lämpar sig därför *inte* som temperaturgivare utan bara som ”vakter”.

Pyramider är magiska!

Si-PTC termistor



Halvledarkomponenter tillverkas av kisel, och ett lågpris-alternativ kan därför vara att göra resistanstermometrar av detta material. *Hur* tillverkar man då en resistans med snäv tolerans?



Under en rund kontakt med en diameter d bildas en pyramidformad spridningsresistans. Den resistansens värde bestäms bara av d och materialets resistivitet ρ . Båda faktorerna kan halvledartillverkarna bemästra.

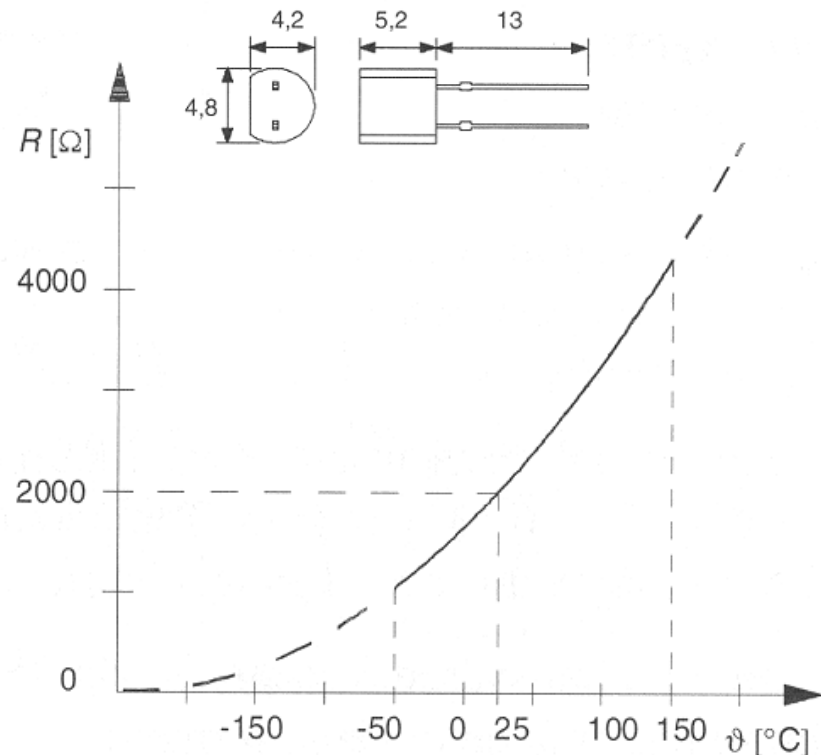
Si-PTC termistor

$$R = R_0 + k(\vartheta - \vartheta_0)^2$$

$$R_0 = 16 \Omega \quad \vartheta_0 = -241,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$k = 2,79 \cdot 10^{-2} \Omega / ^\circ\text{C}^2$$

Givaren har ett enkelt matematiskt temperatursamband. Det går därför att implementera linjärisering av mätvärdena i programvaran.



Ett vanligt värde vid 25°C är $R_{25} = 2000 \Omega$.

William Sandqvist william@kth.se

NTC Termistor



Resistorer av metalloxider är mycket temperaturkänsliga.

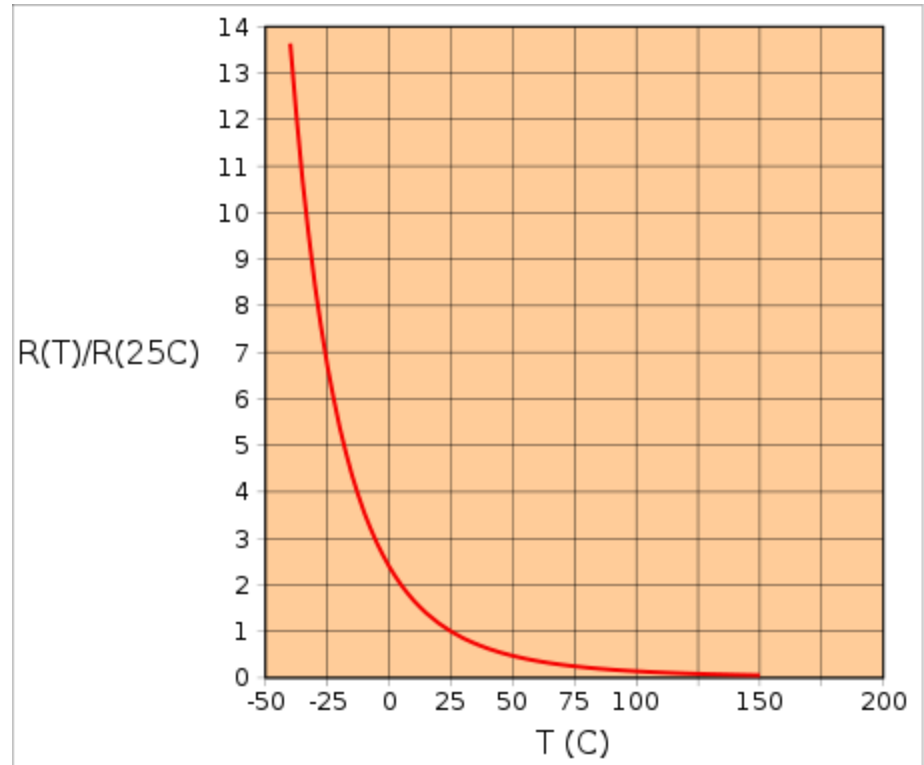
Resistansen *minskar med ökande temperatur* så temperaturkoefficienten är negativ. (**N**egativ **T**emperatur **C**oefficient)

NTC Termistor

Förutom resistanstermometrar använder man ofta NTC-termistorer vid temperaturmätning.

Sambandet mellan resistans och temperatur är **mycket olinjärt** (=exponentiellt).

Det finns dock enkla metoder att linjärisera förhållandet, och NTC-termistorer är därför mycket vanliga som temperaturgivare.





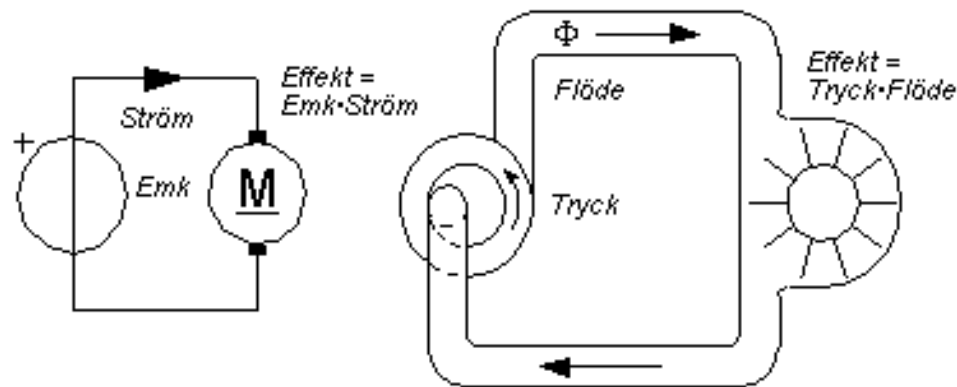
NTC-termistorer. Alla möjliga (och omöjliga) utföranden finns!

William Sandqvist william@kth.se

Elektrisk effekt

En vattenpump kan utföra arbete genom att pumpa upp vatten. Arbete är ju kraft ggr. sträcka [Nm] och effekten P är arbetsmängd per tidsenhet [Nm/s, W].

Om pumpen driver ett vattenhjul får man effekten som produkten av tryck och vätskeflöde: P [Nm/s, W] = Ψ [N/m²] \times Φ [m³/s].

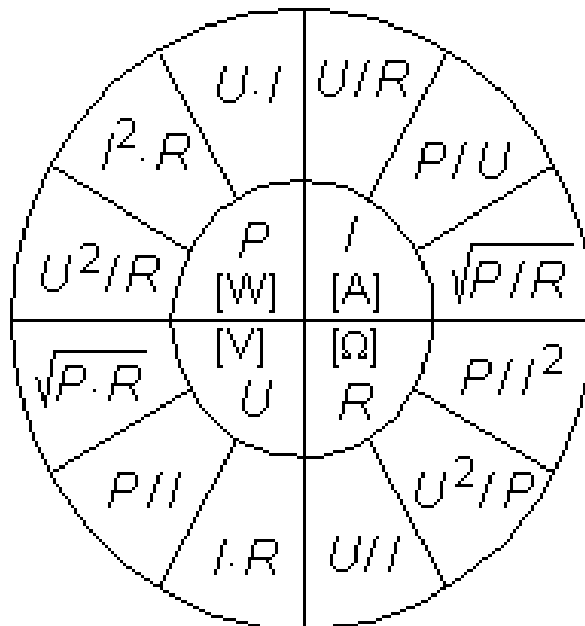


Den elektriska strömmen kan också utföra arbete. Här gäller att effekten är produkten av spänning och ström: $P = U$ [V] \times I [A]
Effekten anges i enheten watt [W].

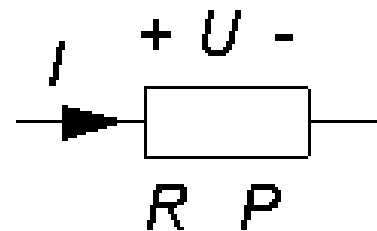
William Sandqvist william@kth.se

U, I, R, P

Uttrycket för den elektriska effekten kan kombineras med Ohms lag. Man får då en mängd användbara samband. Ofta presenteras dessa i form av en cirkel.



- 12-användbara samband!



En ström passerar igenom en resistor.

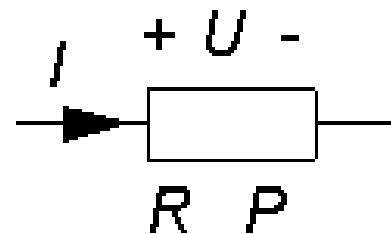
I centrum av cirkeln står $U I R$ och P .

I de tolv cirkelsektorerna står sambanden mellan storheterna.

Effekttålighet

$$P = I^2 \cdot R \quad P = \frac{U^2}{R}$$

En effektresistor med resistansvärdet **150 Ω** har effekttåligheten **3W**.

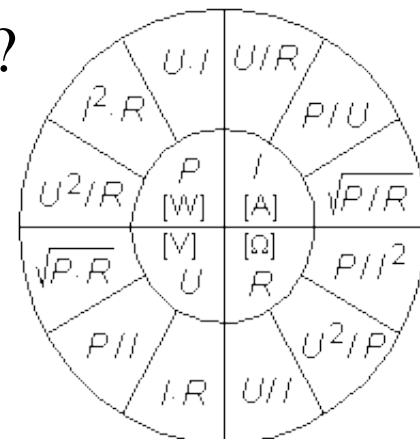


a) Hur *stor ström* kan tillåtas flyta genom resistorn?

$$P = I^2 \cdot R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{3}{150}} = 0,14 \text{ A}$$

b) Hur *hög spänning* kan man ansluta resistorn till?

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{3 \cdot 150} = 21 \text{ V}$$



William Sandqvist william@kth.se

Exempel – Effekt, kokplattan



För den som hellre byter en trasig kokplatta än hela spisen finns det lösa reservplattor att köpa. Kokplattorna innehåller två värmelindningar (= resistorer) med olika resistansvärden. Anslutning till värmelindningarna sker med tre stift. Spisens vred styr en omkopplare som kopplar in lindningarna på olika sätt, så att fyra jämnt fördelade effektlägen erhålls.

Effekt - kokplattan

$$P = \frac{U^2}{R}$$

En kokplatta med resistanserna 35Ω och 53Ω ansluts till 230 V nätet.

Beräkna effekterna P_{35} , P_{53} , P_{35+53} (seriekoppling),
 $P_{35//53}$ (parallellkoppling).

Rangordna effekterna i stigande ordning. Här är det lämpligt att använda effektformeln: $P = U^2/R$

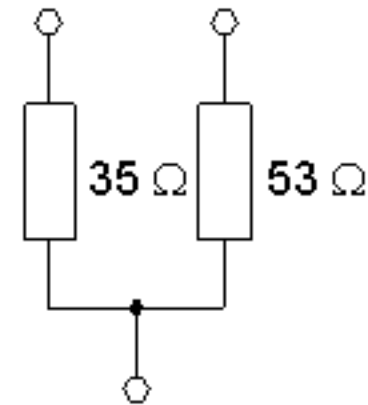
$$P_{35+53} = 230^2/(35+53) = 600 \text{ W}$$

$$P_{53} = 230^2/53 = 1000 \text{ W}$$

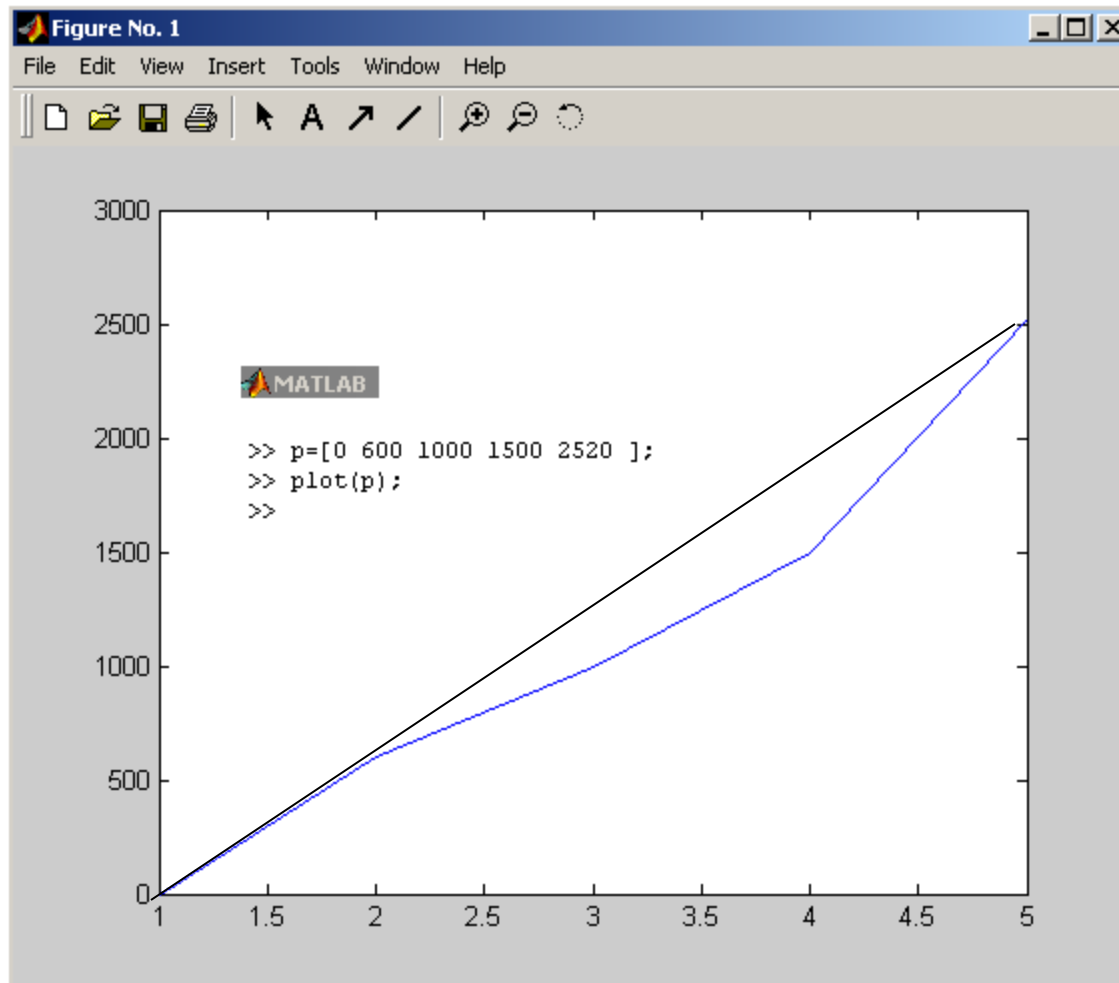
$$P_{35} = 230^2/35 = 1500 \text{ W}$$

$$35//53 = 35 \times 53 / (35 + 53) = 21$$

$$P_{35//53} = 230^2/21 = 2520 \text{ W}$$



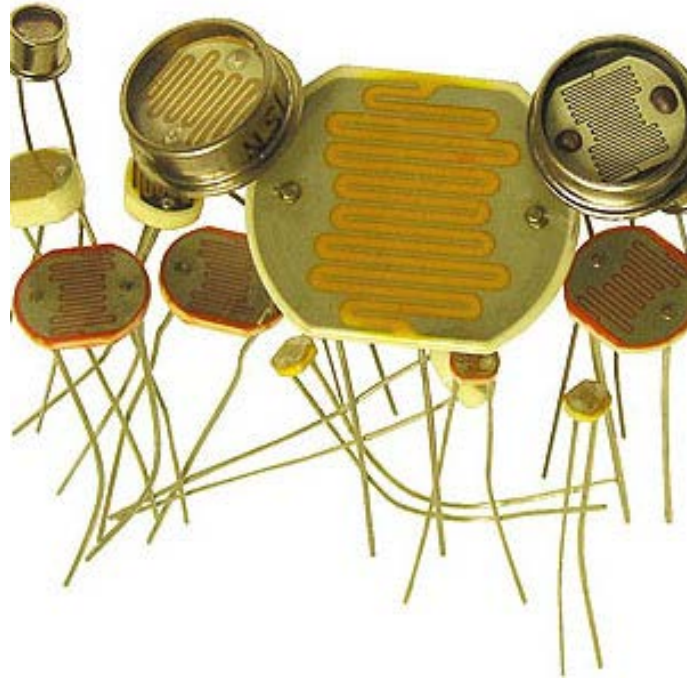
Bli dom fyra effektlägena jämnt fördelade?



Hyfsat linjärt! Det är ju inte fråga om "Rocket Science".

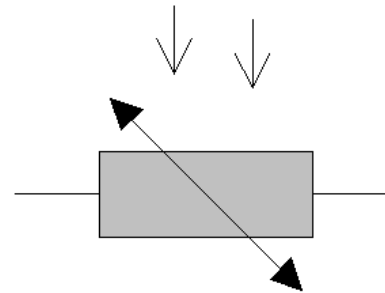
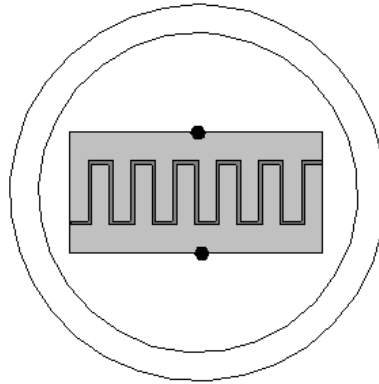
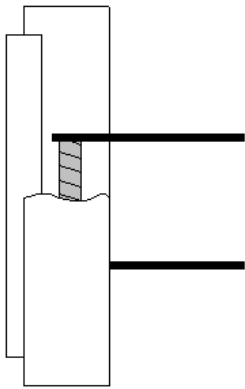
William Sandqvist william@kth.se

Ljuskänslig resistor LDR CDS



- Ljuskänslig resistor

LDR fotoresistor



Dag/Natt
gatubelysning



Flamsensor till
oljebrännaren

LDR fotoresistor



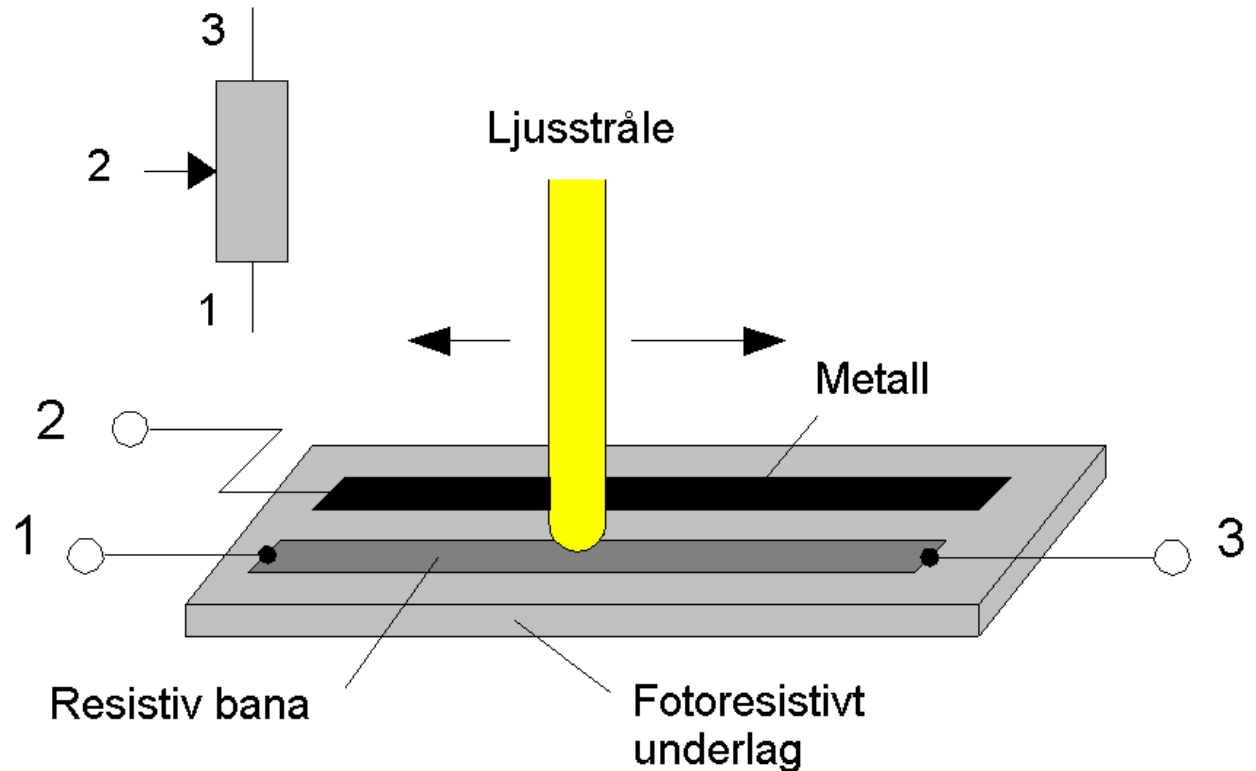
Flera nackdelar:

- Hysteres, olika till – från nivåer – ibland en fördel (gatubelysning)
- Tröghet, lång tidkonstant (sek) – gav felexponerade bilder i kameror ...
- Snabb åldring

CDS innehåller *små* mängder av miljögiftet Kadmium, men det kan förmodligen i framtiden bytas ut mot Zn?

Fotopotentiometer

CDS-materialet kan användas till en ”kontaktlös” potentiometer.

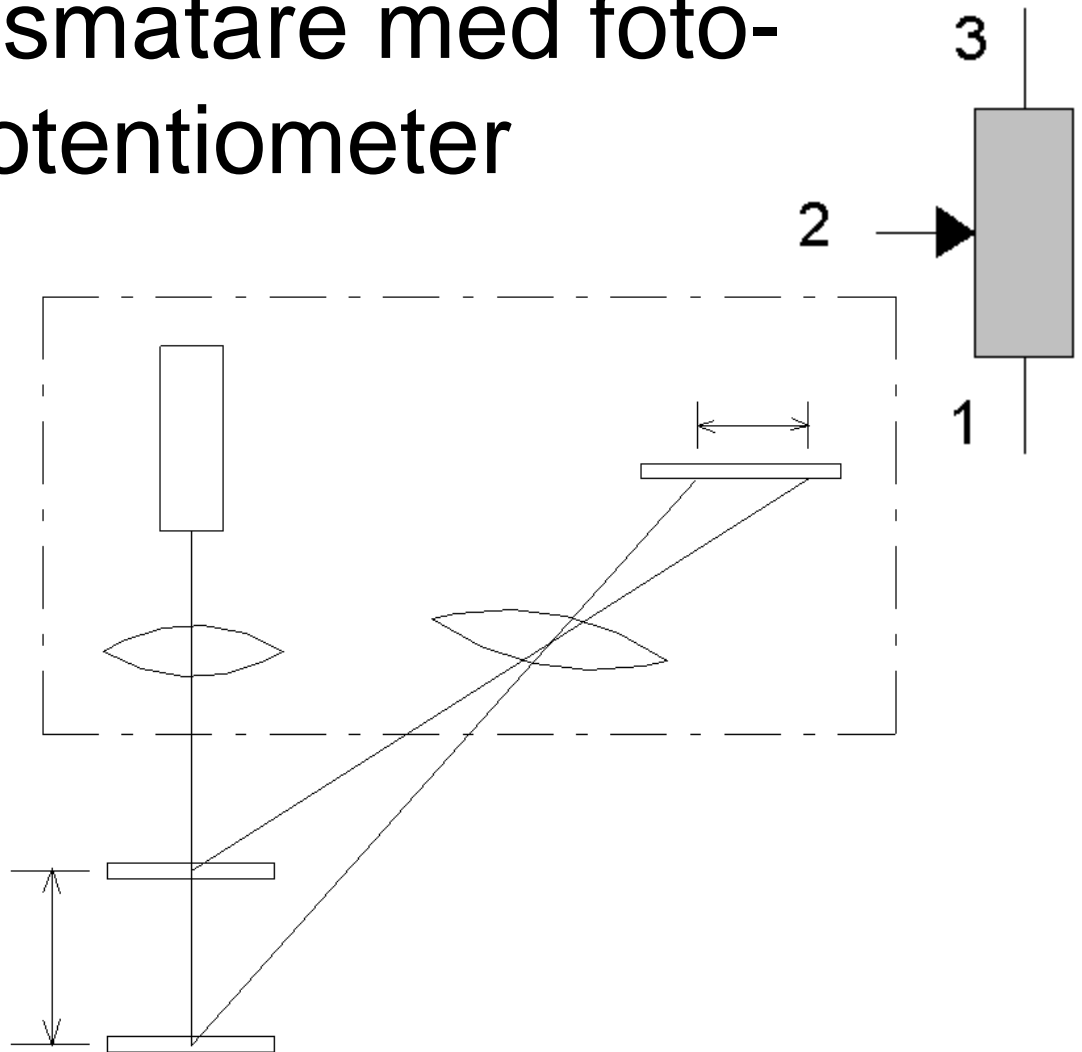


Kontaktlös potentiometer. Där ljusstrålen träffar det fotoresistiva under-laget blir resistansen liten. Där bildas det en kontaktpunkt mellan den resistiva banan (1) och metallskenan (2).

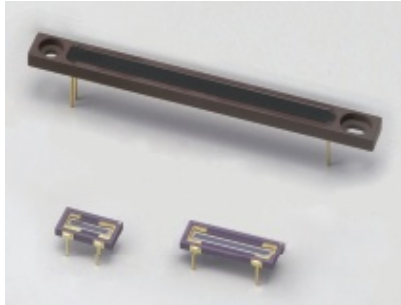
Avståndsmätare med foto- potentiometer

Beröringsfri avstånds-
mätare.

Beroende på avståndet
till mätobjektet
reflekteras ljusstrålen
till olika punkter på
foto-potentiometern.



(PSD eller CCD i stället)

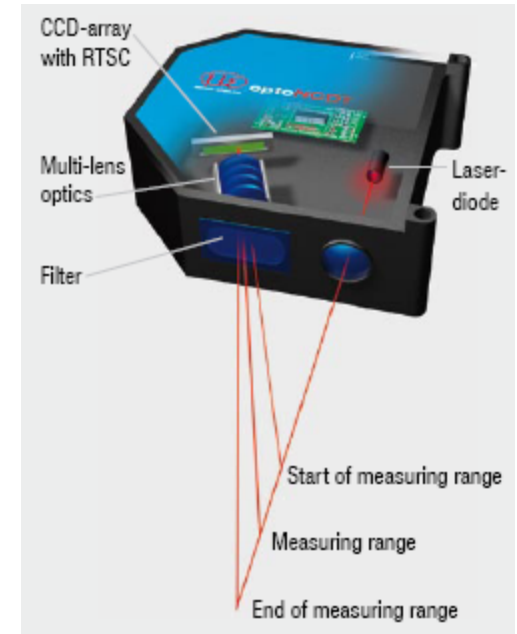
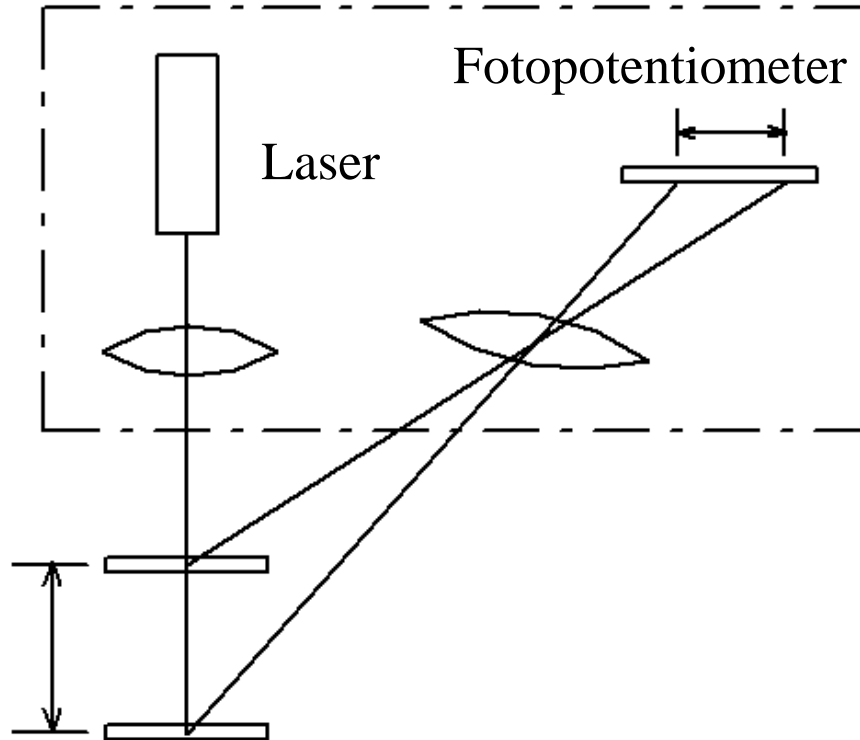


Alternativ till CDS-fotopotentiometer.
PIN-fotodiod, PSD Photo Sensitive Detection.
(med analog avläsning)



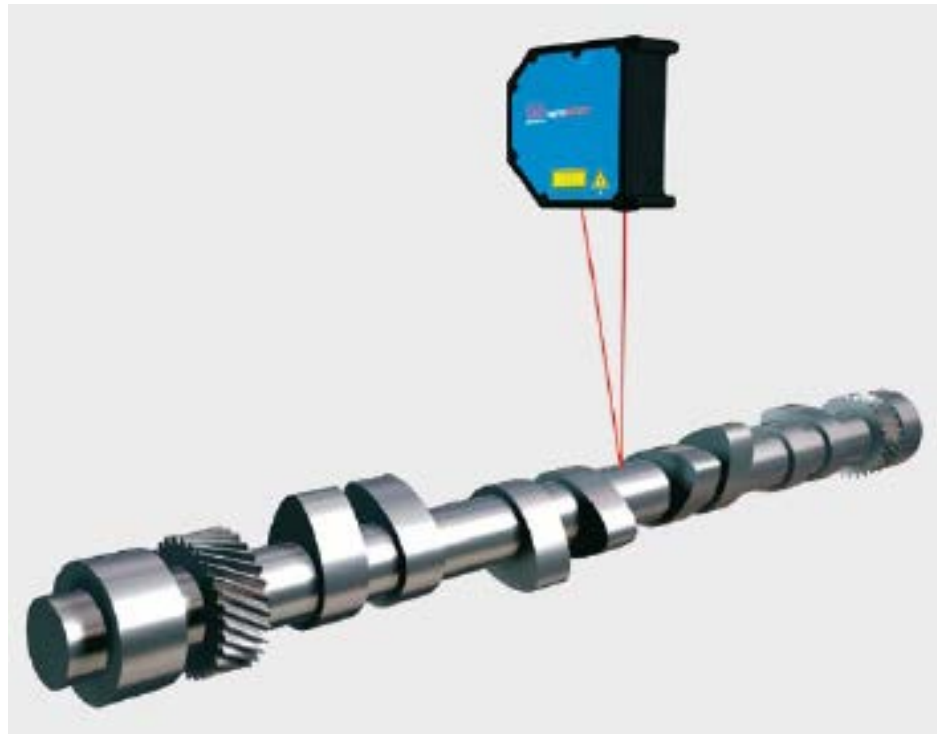
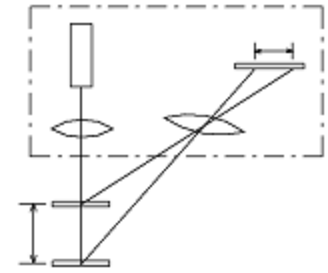
Alternativ till CDS-fotopotentiometer.
Ett vanligt CCD-element från en skanner har
1024 bildpunkter på rad. Den är också användbar
som fotopotentiometer.
(med digital avläsning)

Trianguleringsmätare

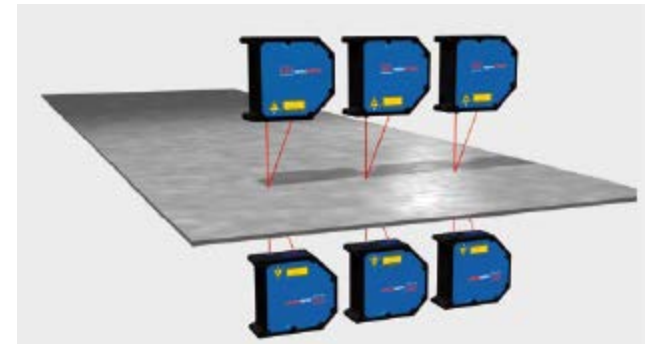
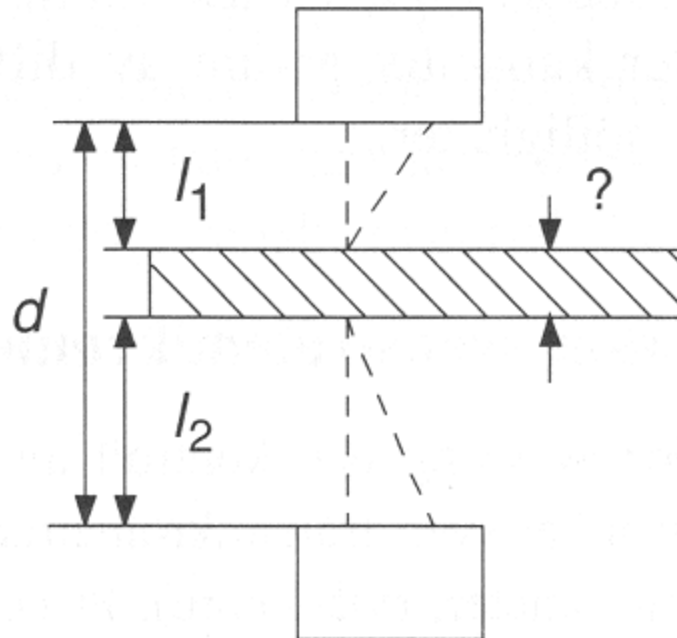
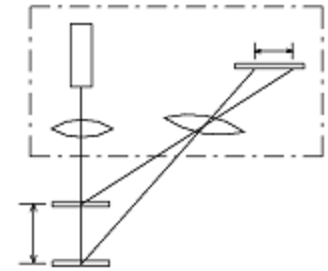


Ska inte infallande vinkel vara lika med utgående vinkel?
– Här är det fråga om laser och diffus reflektion.

Mätning



Två mätare?



Oavsett var man placerar objektet mellan de två mätarna kan tjockleken ”?” beräknas som $d - l_1 - l_2$.

William Sandqvist william@kth.se