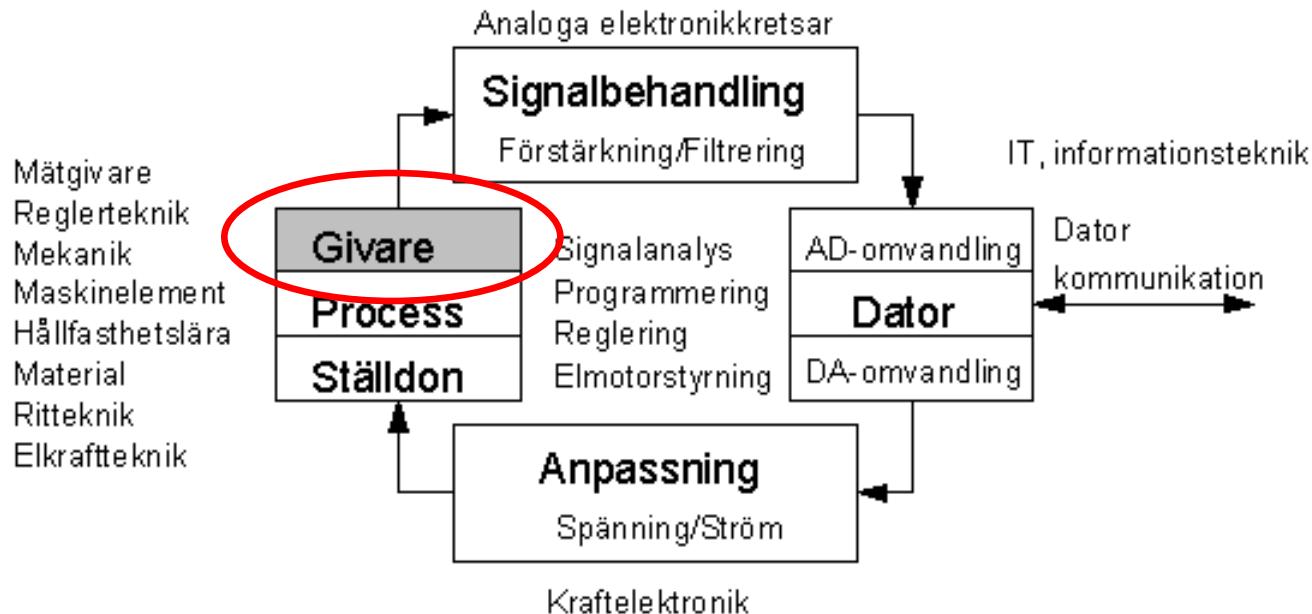
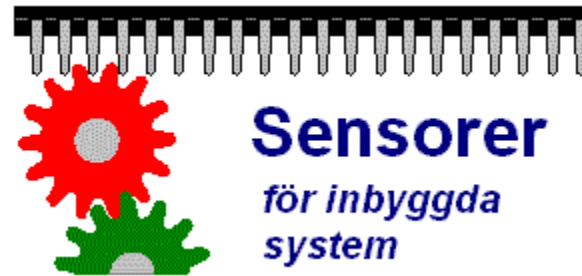


Sensorer för inbyggda system



Att konstruera ett inbyggt system spänner över många skolämnen. **Givarna** är **nyckelkomponenter**, men riskerar trots det att hamna ”mellan stolarna” och ämnesgränserna!

Givarelement i inbyggda system

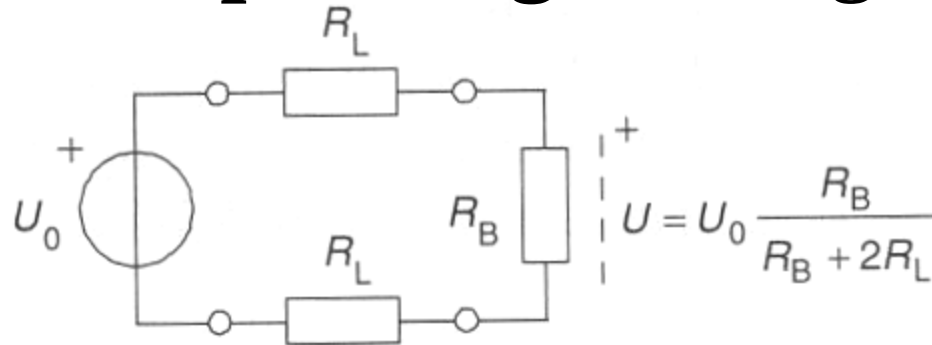
Hur hittar man mätgivare med rätt prestanda och till rätt pris?

Processorn i ett inbyggt system har en avsevärd beräkningskraft – detta kan utnyttjas till att kompensera de brister som finns hos enklare givarelement.

Vet man vad givarna innehåller och hur de fungerar – då kan man börja se givare överallt!

Resultatet kan mycket väl bli okonventionella givarlösningar. (Givar-branschen är mycket konservativ, mycket återstår att uppfinna! ...)

Ström eller spänning som signalbärare?

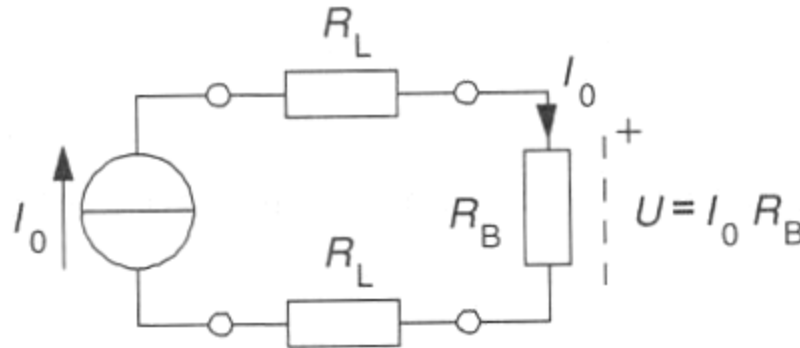


Det naturliga är att använda ”**spänning**” som signalbärare. En nackdel är då att mätvärdet U_0 spänningsdelas mellan ledningsresistanserna R_L och belastningsresistansen R_B .

$$U \neq U_0$$

Försöker man undvika detta genom att låta R_B ha ett högt värde blir signalöverföringen känslig för störningar!

Ström eller spänning som signalbärare?

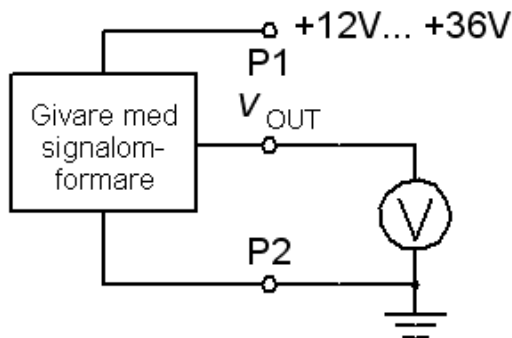


Det är därför vanligt att givare med inbyggd elektronik i stället använder **strömvärden** som signalbärare.

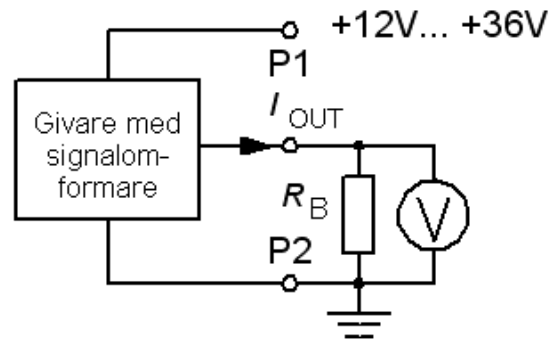
Om givarelektroniken agerar strömgenerator och ”tvingar” en ström I_0 proportionell mot mätvärdet genom kretsen, spelar ledningsresistanserna R_L ingen roll. När strömmen passerar R_B , får man mätvärdet som $U = I_0 \cdot R_B$.

Signalalternativ

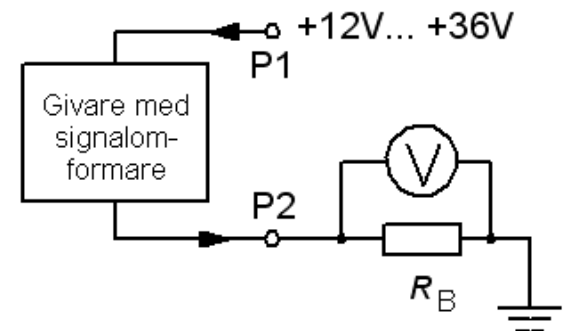
3-tråds 0...10 V
spänningsutgång



3-tråds 0... 20 mA
strömslinga

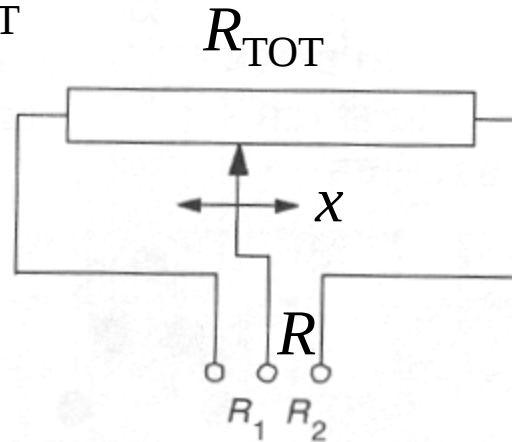
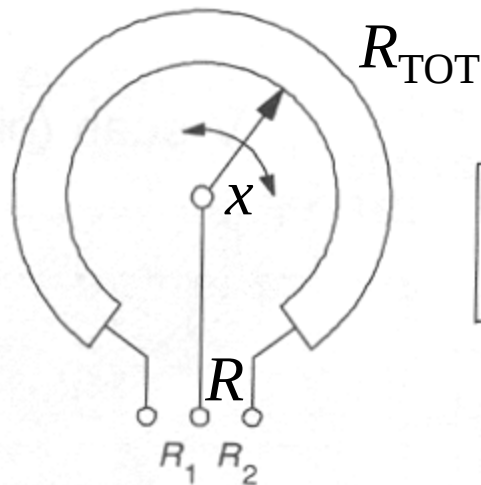


2-tråds 4... 20 mA
strömslinga



Vid tvåtråds 4-20 mA strömslinga används givaren som en passiv strömförbrukare. En grundström 4 mA försörjer elektroniken och betyder mätvärdet 0, "strömförbrukning" därutöver är proportionell mot mätvärdet.

Resistiva givare Vrid/Skjut-motstånd



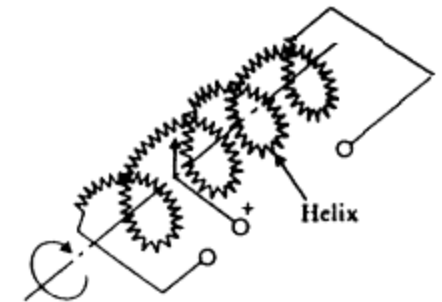
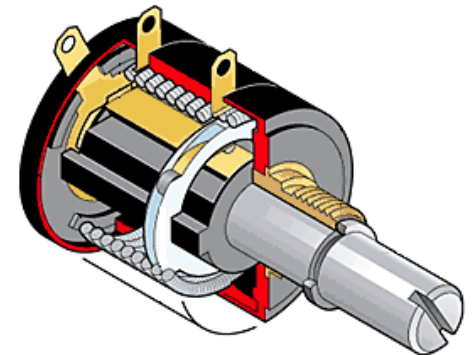
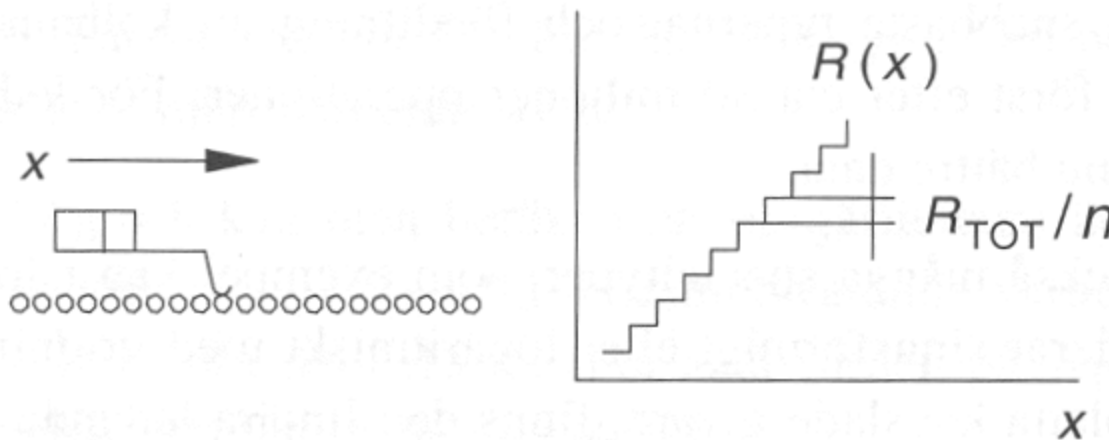
$$R = R_{TOT} \cdot x$$

x relativ förflyttning/vridning $0 < x < 1$

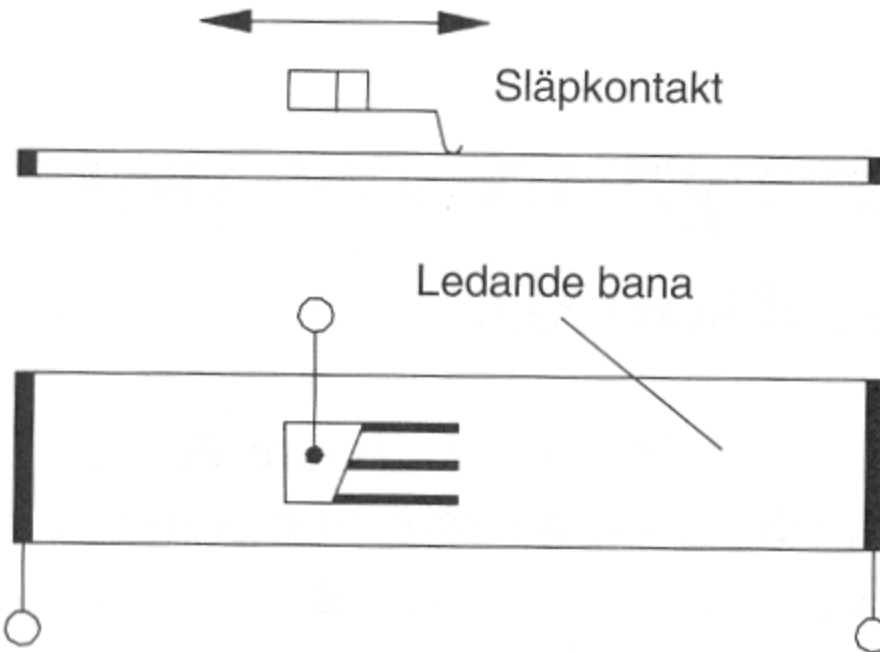


Trådlindad. Upplösning

Trådlindade skjut/vrid-motstånd. Upplösningen blir lika med ett trådvarv.



Plastbana



En "spegelblank" plastbana ger en nära oändlig upplösning!

Varför tre olika långa släpkontakter?

Vid snabba förflyttningar kan släpkontakterna "hoppa" (pga resonanser). Med tre olika längder släpper dom inte samtidigt från underlaget.

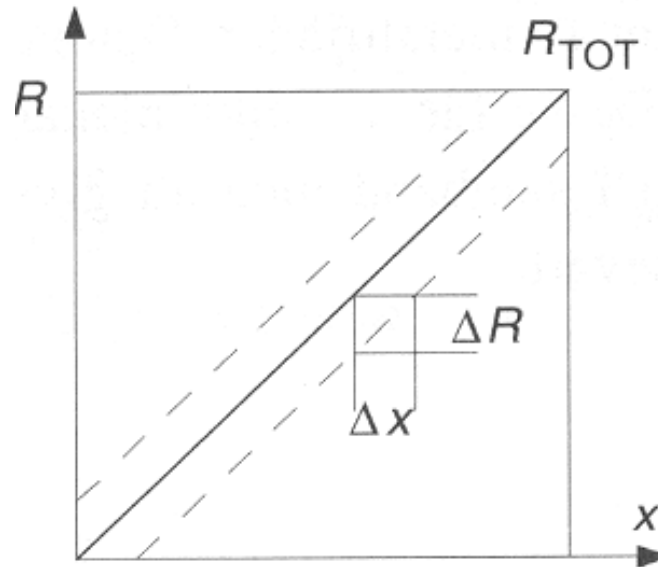
Utföranden



Inkapslad, men det finns också *lösa* givarelement för inbyggnad ...



Linjäritetsavvikelse



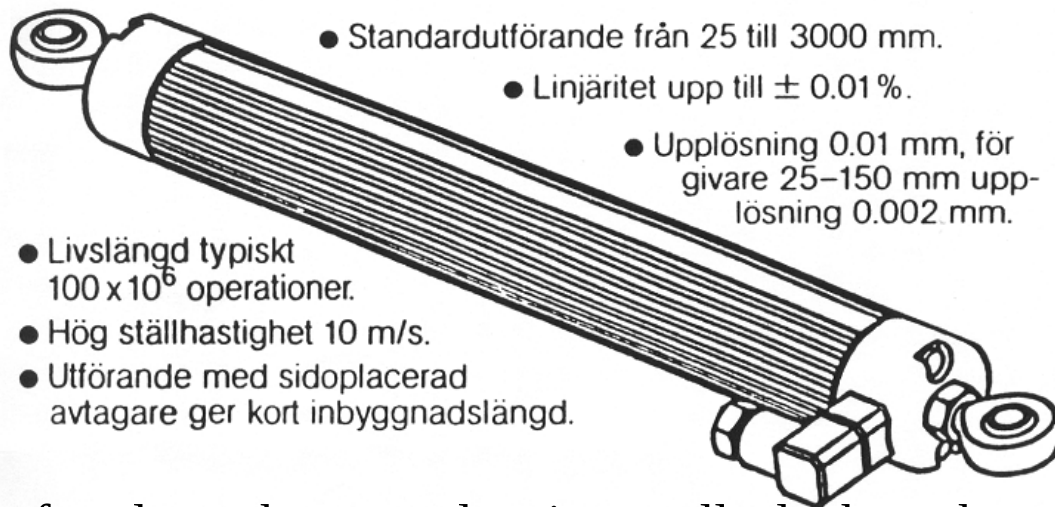
Så här definieras linjäritetsavvikelse för givare (linjäritet).

$$\frac{\Delta x}{x_{TOT}} [\%] \quad \frac{\Delta R}{R_{TOT}} [\%]$$

Mycket hög upplösning!

Position.

**Analoga linjära förflyttnings-
givare med bana av ledande plast**

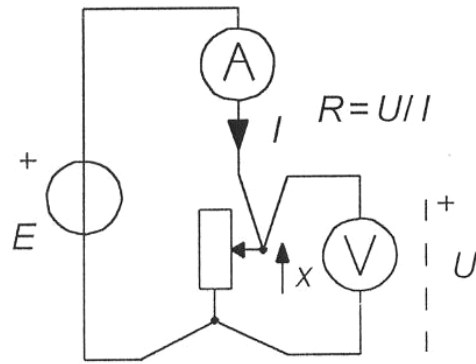


- Standardutförande från 25 till 3000 mm.
- Linjäritet upp till $\pm 0.01\%$.
- Upplösning 0.01 mm, för givare 25–150 mm upplösning 0.002 mm.
- Livslängd typiskt 100×10^6 operationer.
- Hög ställhastighet 10 m/s.
- Utförande med sidoplacerad avtagare ger kort inbyggnadslängd.

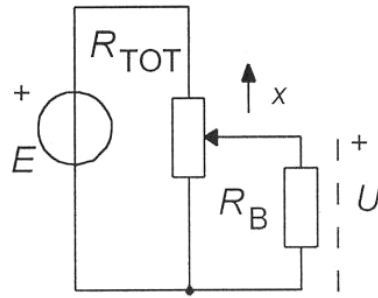
Är man ute efter denna höga upplösning, ställs det höga krav på alla steg i den efterföljande mätkjedjan!

William Sandqvist william@kth.se

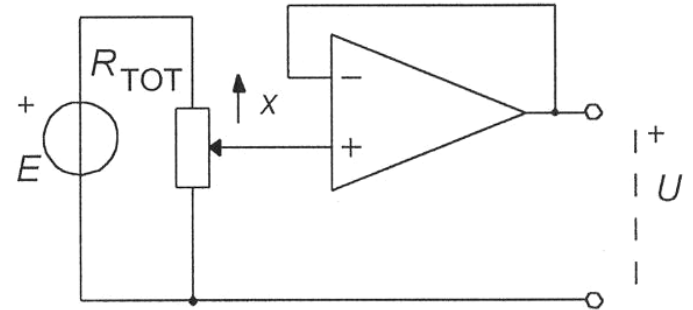
Resistans eller spännings -mätning



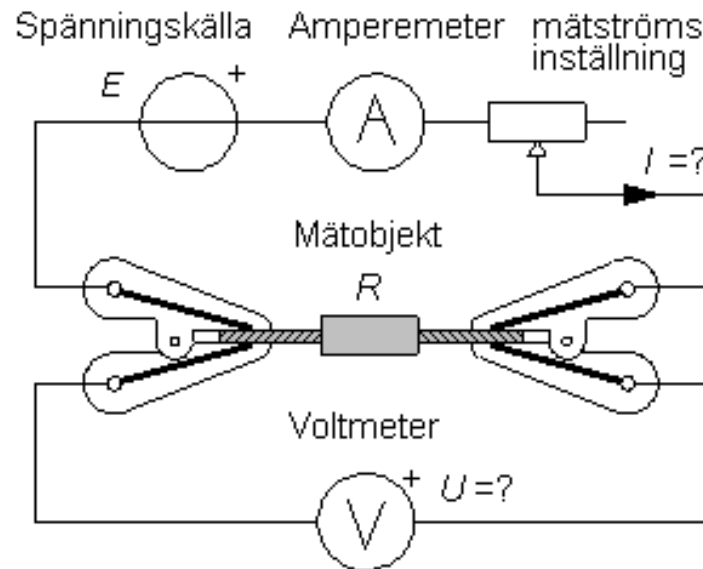
Resistansmätning



Spänningsdelare



Resistansmätning, Fyrtråds-mätning



Kelvin-
klämmor



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

Med "Kelvin-klämma" mäter man resistansen med fyra trådar, och undviker extra spänningsfall från ledningen som strömförsörjer resistorn.

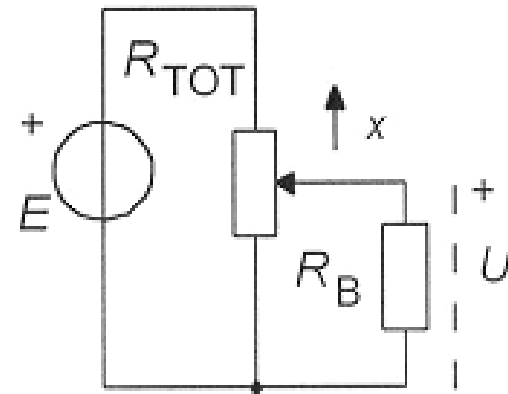
Potentiometer, spänningsdelare

Obelastad:

$$R_B \gg R_{TOT} \Rightarrow U = E \cdot x$$

Belastad:

$$U = E \cdot x \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{R_{TOT}}{R_B} (x - x^2)} \right)$$



Olinjär korrektionsfaktor!

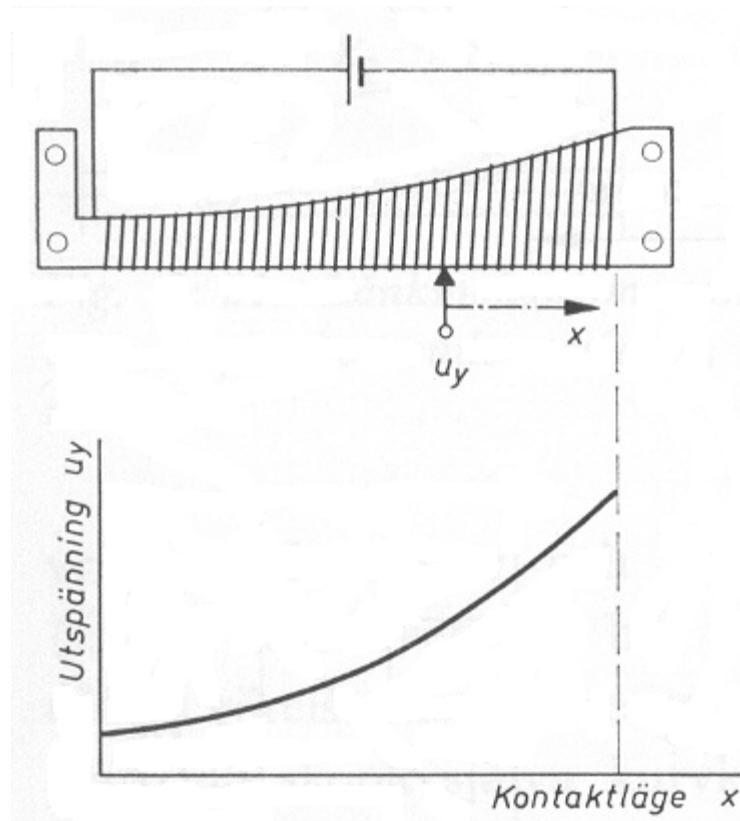
$$R_{TOT} / R_B = 1 \Rightarrow 12\%$$

$$R_{TOT} / R_B = 0,1 \Rightarrow 1,5\%$$

$$R_{TOT} / R_B = 0,01 \Rightarrow 0,15\%$$

$$\approx 15 \cdot R_{TOT} / R_B [\%]$$

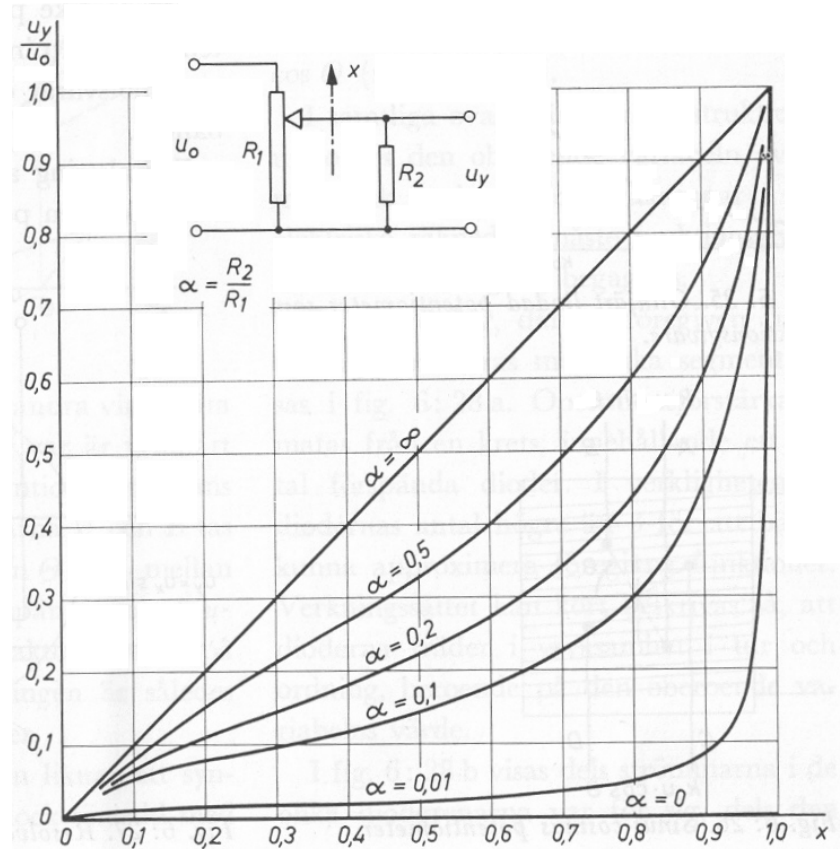
Medvetet olinjär potentiometer



(tex. logaritmiskt förhållande, dB dämpning)

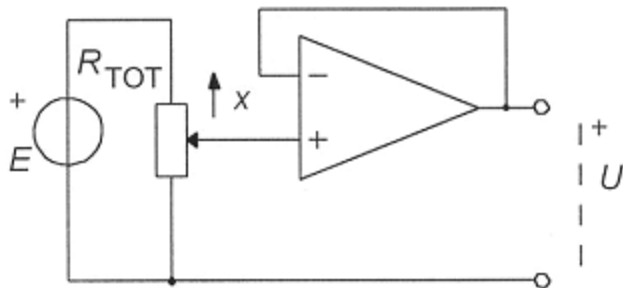
Belastad potentiometer ?

Skulle man råka önska något av de olinjära samband som finns i figuren, så kostar det tydligen bara en extra resistor R_2 !

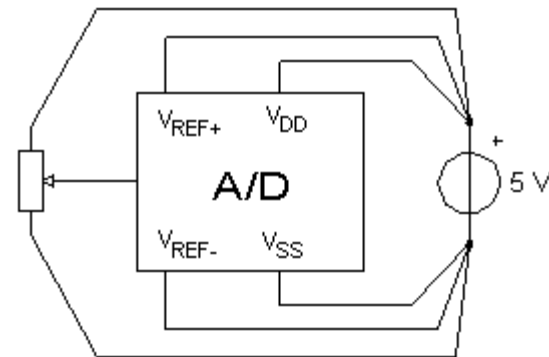


Att behålla linjäriteten ...

Vad behöver man göra för att kunna utnyttja givarens höga linjäritet?



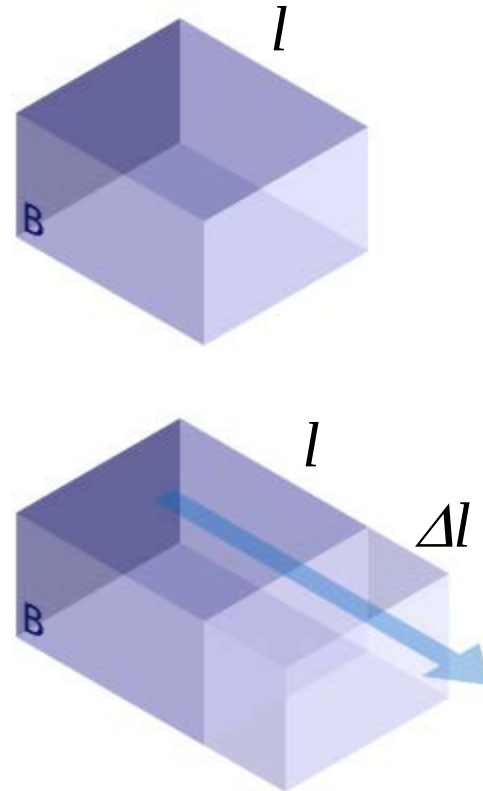
Buffertförstärkare



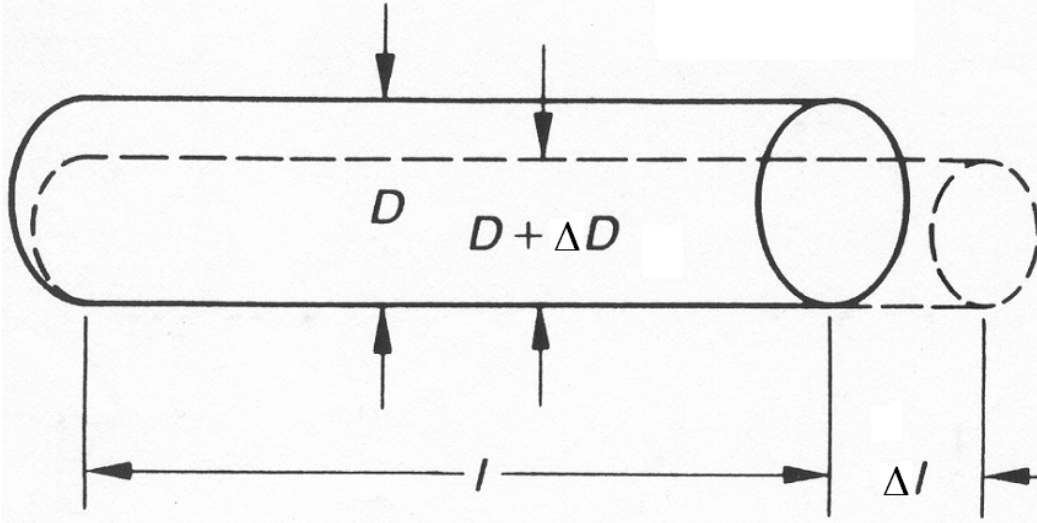
Ratiometrisk inkoppling

Hur mäter man töjning?

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$



Vad är en töjningsgivare?



$$R = \rho \frac{l \cdot 4}{D^2 \cdot \pi} \quad r = \frac{\Delta R}{R_0} \quad R = R_0(1 + r)$$

r relativ resistansändring. ε töjning. k givarfaktorn.

$$k = \frac{r}{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

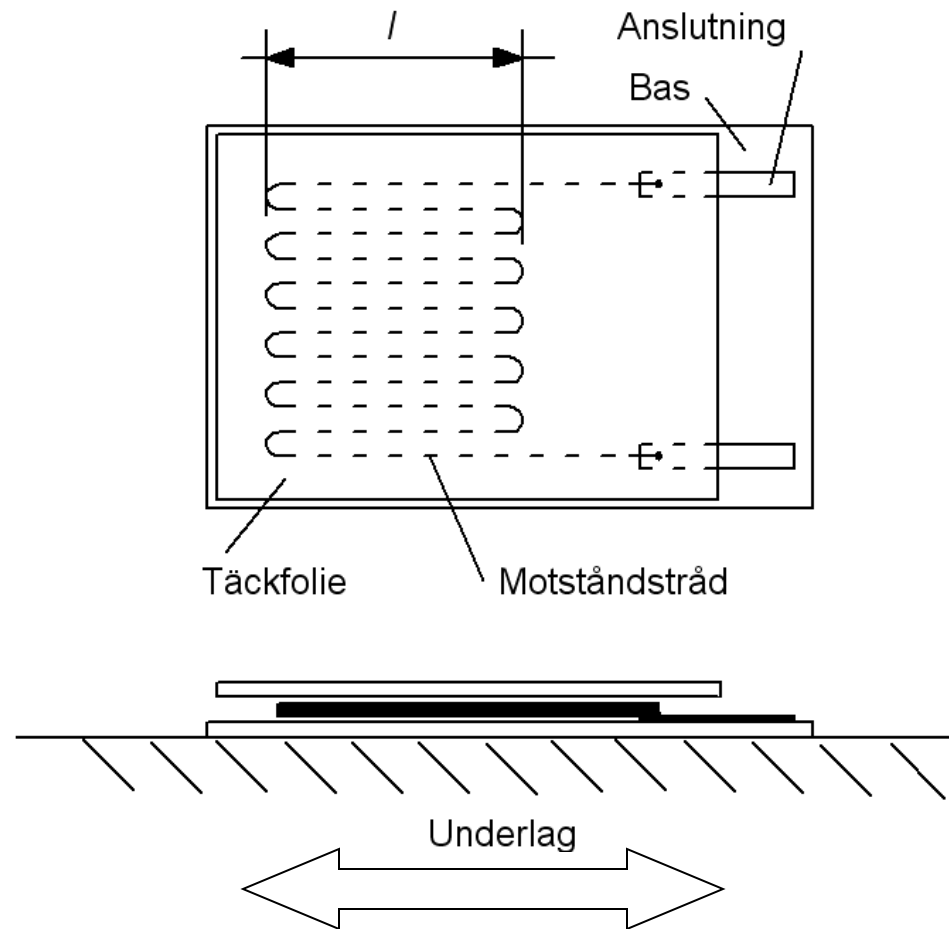
$k \approx 2$ för metalliska givare.



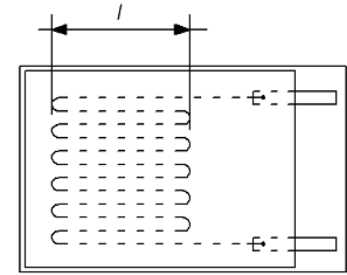
Jämför med en trädgårdsslang

Dra i slangen så den blir ”lång och trång” då ökar motståndet!

Trådtöjningsgivare



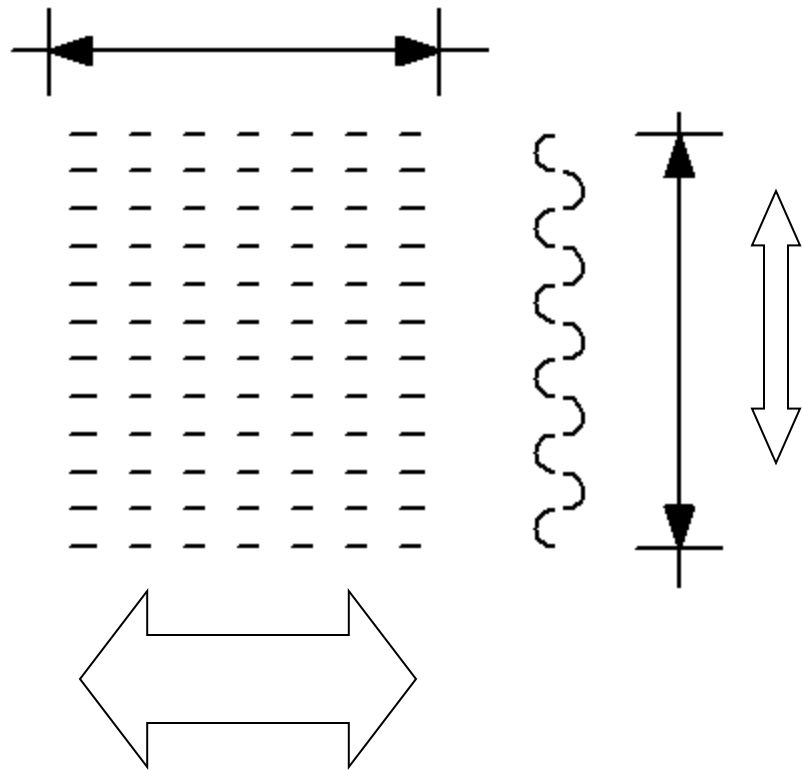
Tvärkänslighet?



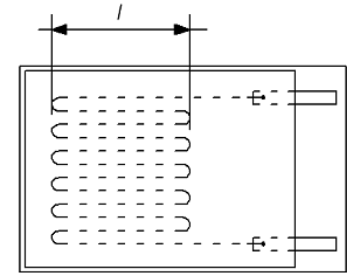
Trådöglorna ger givaren
en *inte önskad* **tvär-
känslighet** i *fel* töjnings-
riktning.

12 ledare i töjningsrikt-
ningen, och 1 ledare
vinkelrätt däremot.

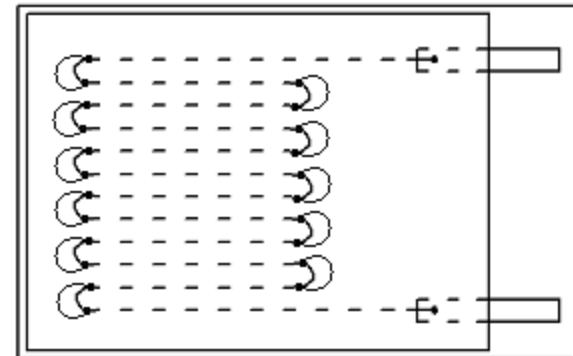
1:12 = 8 % tvärkänslighet!



Tvärkänslighet?

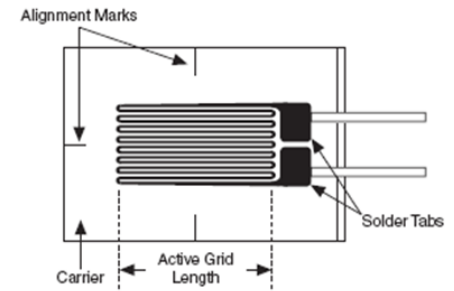
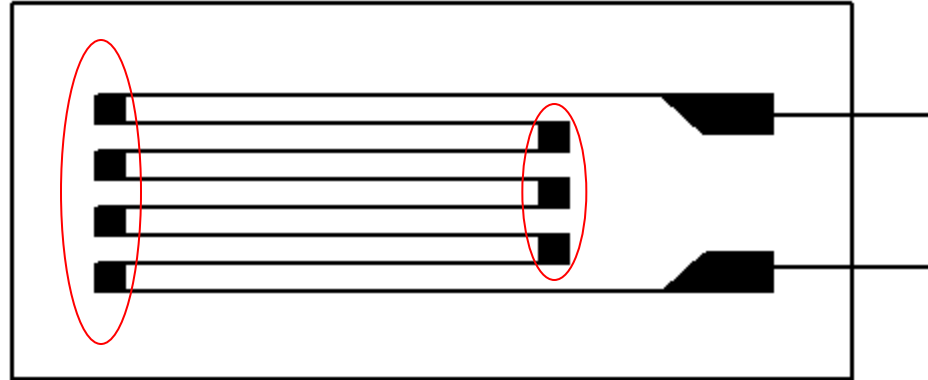


En lösning på tvärkänslighetsproblemet skulle kunna vara att "kortsluta" kortsidornas trådböjar med pålödda byglar som är *fria* från underlaget.



Den vanligaste lösningen är att använda folietöjningsgivare.

Folietöjningsgivare



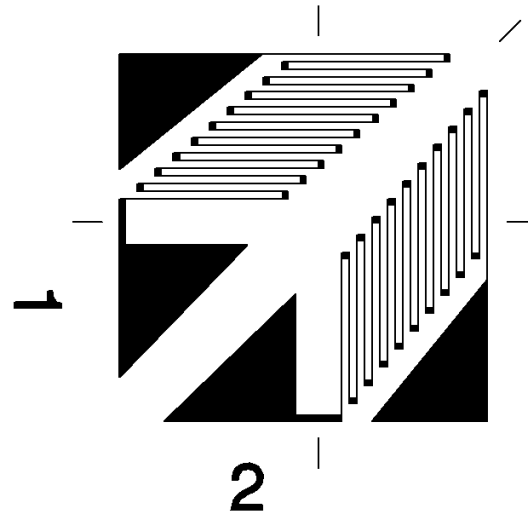
Ledarmönstret på folien har utförts med en mycket större yta i tvärriktningen. Bidragen till totalresistansen från töjning i tvärriktningen blir därför försumbart i förhållande till resistansändringen i längsriktningen.

- Som att spotta i havet!



Kombinationsgivare

Vad är det här?

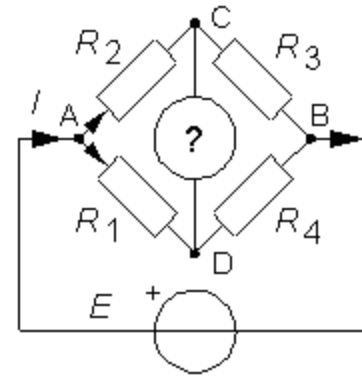
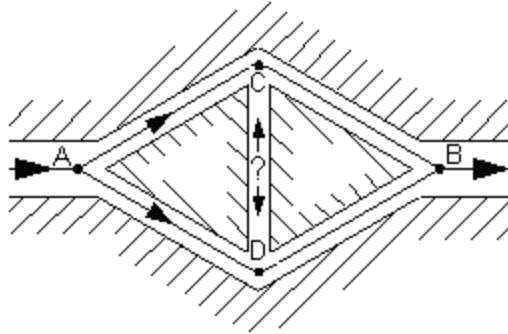


I och med att man skaffat sig kontroll över den avkända töjningsriktningen, kan man tillverka sammansatta kombinationsgivare för flera töjningsriktningar. Här är det två vinkelräta koordinatriktningar.

Hur mäter man ett litet Δr ?

$$R_X = R_0(1 + r) \quad r = \frac{\Delta r}{R_0} \quad \frac{1}{1000} \quad ?$$

Wheatstonebrygga – grenat flodsystem



Antag att
 $R_X = R_4$

Indikatorn är strömlös när $U_{R4} = U_{R3}$. Spänningsdelning ger:

$$\cancel{E} \frac{R_4}{R_1 + R_4} = \cancel{E} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Leftrightarrow \cancel{R_4 R_2} + \cancel{R_4 R_3} = R_3 R_1 + \cancel{R_3 R_4}$$

$$R_4 = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

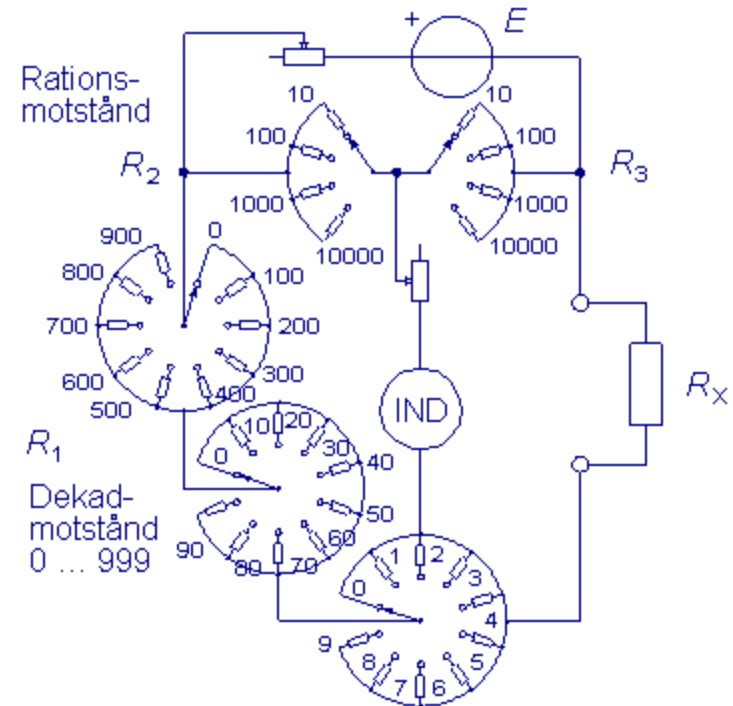
Wheatstonebryggan

Kretsschemat visar utförandet av en brygga med god noggrannhet. När bryggan är balanserad, det vill säga när indikatorn IND visar 0, gäller att:

$$R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

Med de så kallade rationsmotstånden R_3 och R_2 kan kvoten R_3/R_2 ställas in på någon av multiplikatorerna 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 1, 10, 10^2 , 10^3 .

Man väljer den multiplikator som ger flest siffror på dekadmotståndet R_1 . (R_1 är ett dekadmotstånd med vanligen 3-6 dekader).



Som Indikator används ett vridspoleinstrument utan återföringsfjäder!



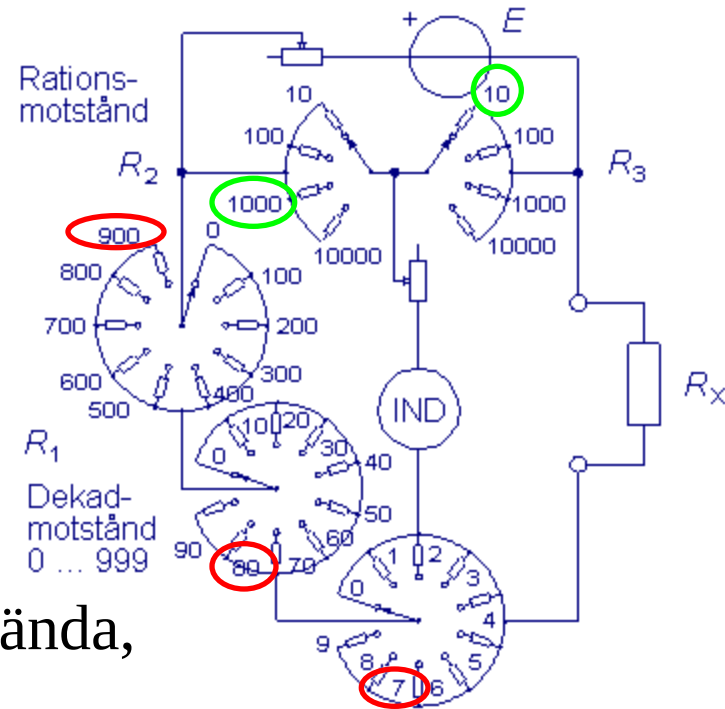
$$R_x = ?$$

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_x = \boxed{987} \frac{\boxed{10}}{\boxed{1000}} = 9,87 \, \Omega$$

Balanseringsmetoden för att bestämma R_x är enkel att använda, men långsam.

Den fungerar vid tex. temperaturmätning, men inte om man vill att följa ett dynamiskt förlopp.



Wheatstonebryggan



Obalansmetoden

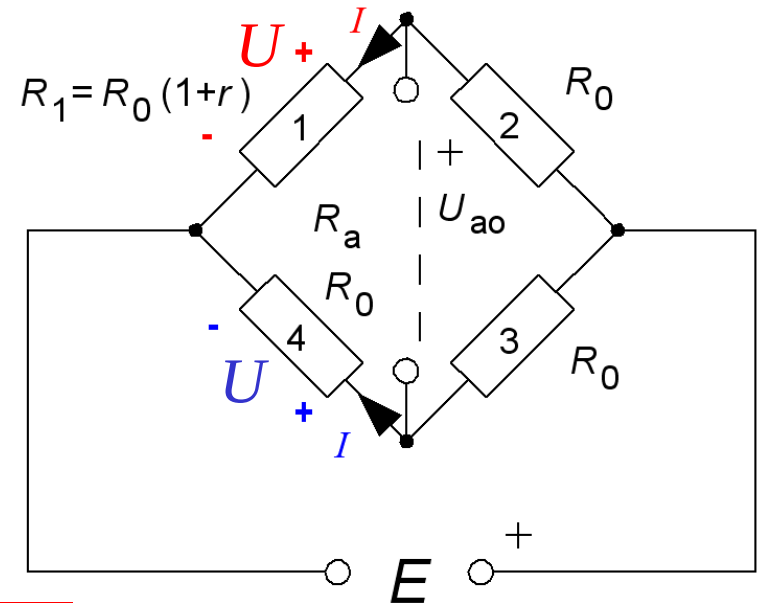
$$U = I \cdot R$$

$$I = \frac{E}{2 \cdot R_0}$$

$$U = I \cdot R_0 = \frac{E}{2 \cdot R_0} \cdot R_0 = \frac{E}{2}$$

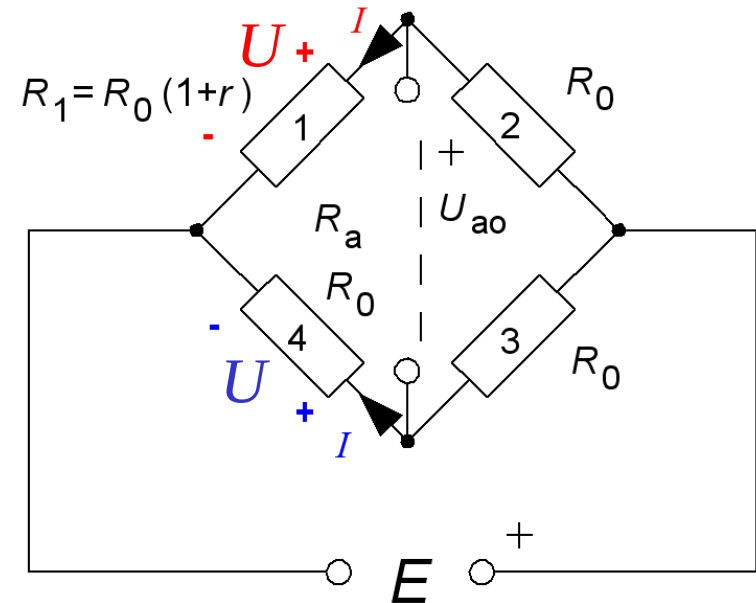
$$I = \frac{E}{R_0 + R_0(1+r)}$$

$$U = I \cdot R_0(1+r) = \frac{E \cdot R_0(1+r)}{R_0 + R_0(1+r)}$$



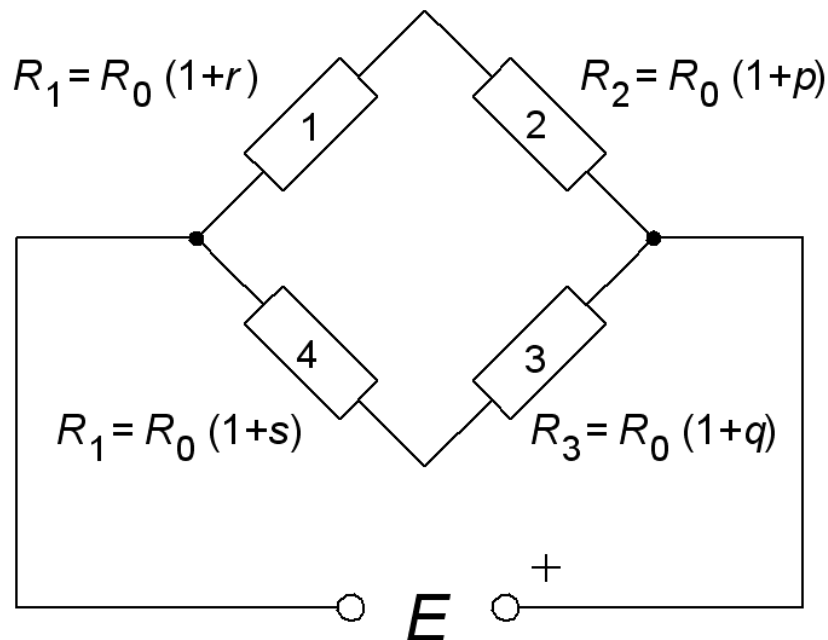
Obalansmetoden

$$\begin{aligned}
 U_{ao} &= -\boxed{U} + \boxed{U} = \\
 &= \left[-\frac{E}{2} + \frac{E \cdot R_0(1+r)}{R_0 + R_0(1+r)} \right] = \dots \\
 &= \frac{r \cdot E}{4 + 2 \cdot r}
 \end{aligned}$$



$$U_{ao} = \frac{E \cdot r}{4 + 2 \cdot r} \quad r \ll 4 \quad \Rightarrow \quad \boxed{U_{ao} \approx \frac{E \cdot r}{4}}$$

Bryggor med fler givare

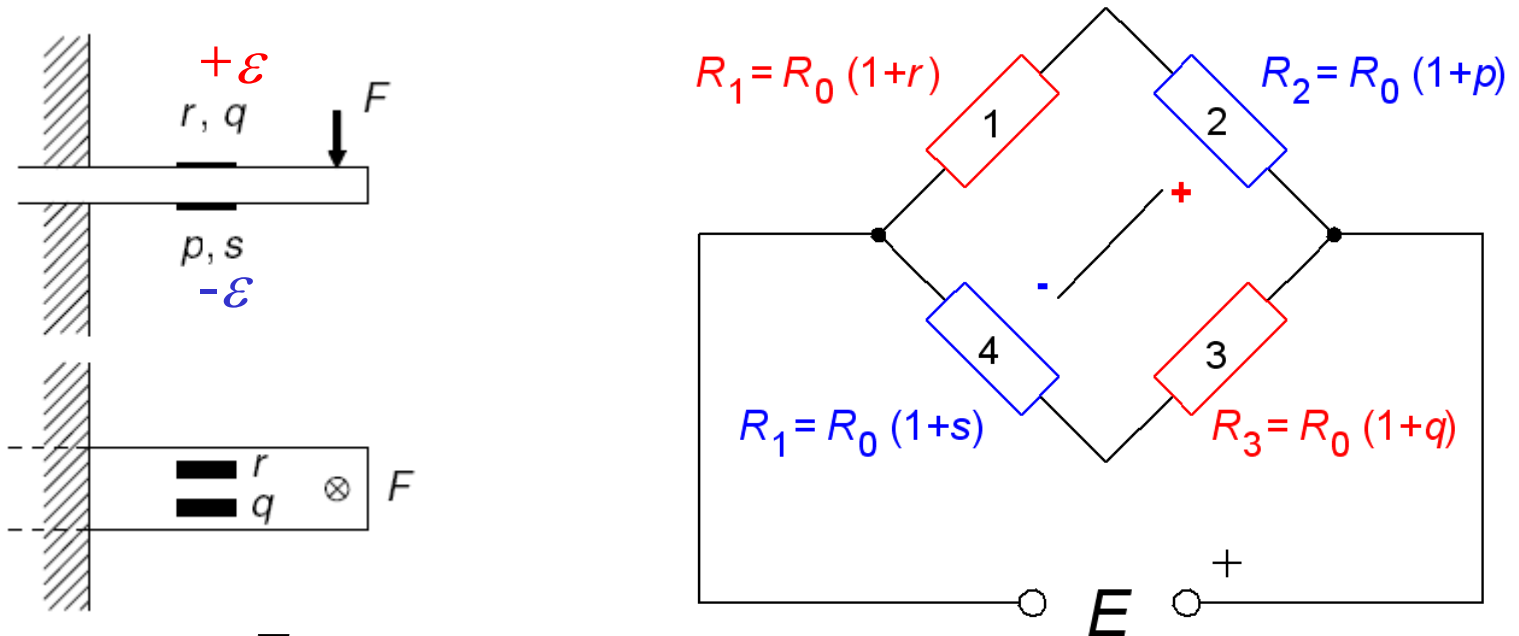


$$U_{ao} = E \frac{r + q - p - s}{4 + 2r + 2q + 2p + 2s}$$

$$U_{ao} \approx \frac{E}{4} (r + q - p - s)$$

Lastcell (Helbrygga)

$$k = \frac{r}{\varepsilon}$$



$$U_{ao} \approx \frac{E}{4} (r + q - p - s) = \{q = r, p = -r, s = -r\} =$$

$$= \frac{E}{4} (r + r - -r - -r) = E \cdot r$$

4 ggr högre känslighet!

Lastcell, temperaturberoende?

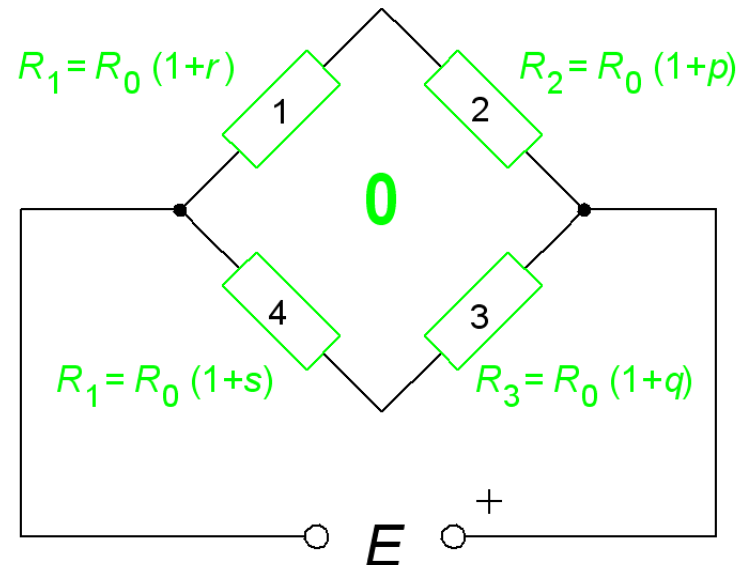
Skenbar töjning vid
temperaturförändring:

$$r_g = \frac{\varepsilon_g}{\Delta g} \quad r_g = q_g = p_g = s_g$$

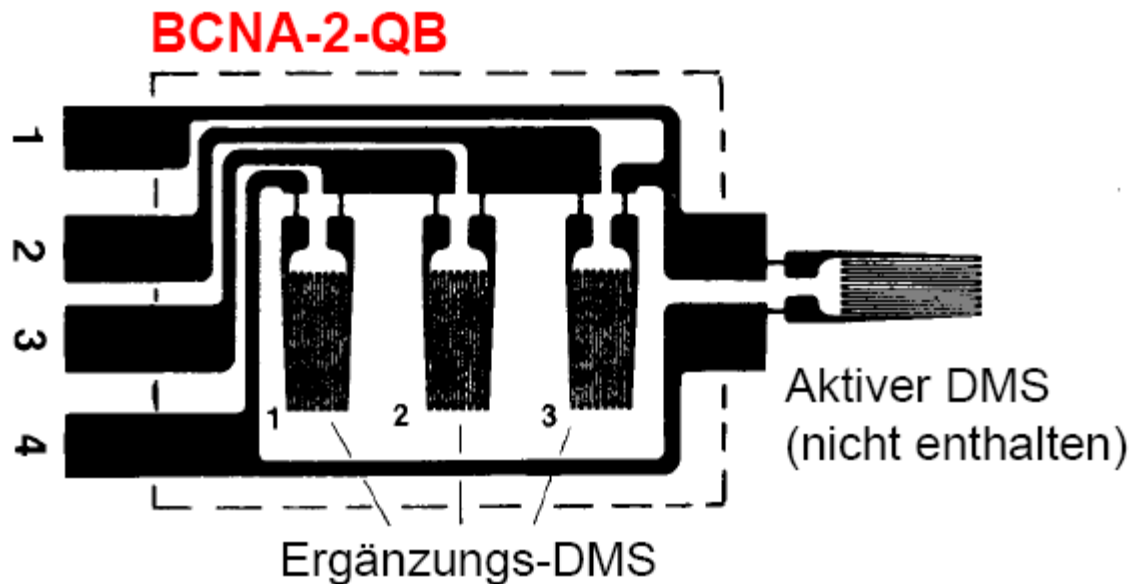
$$U_{ao}(g) \approx$$

$$\approx \frac{E}{4}(r_g + r_g - r_g - r_g) = 0$$

*Töjningsgivarnas
temperaturberoende
balanseras bort av
Whetstonebryggan!*

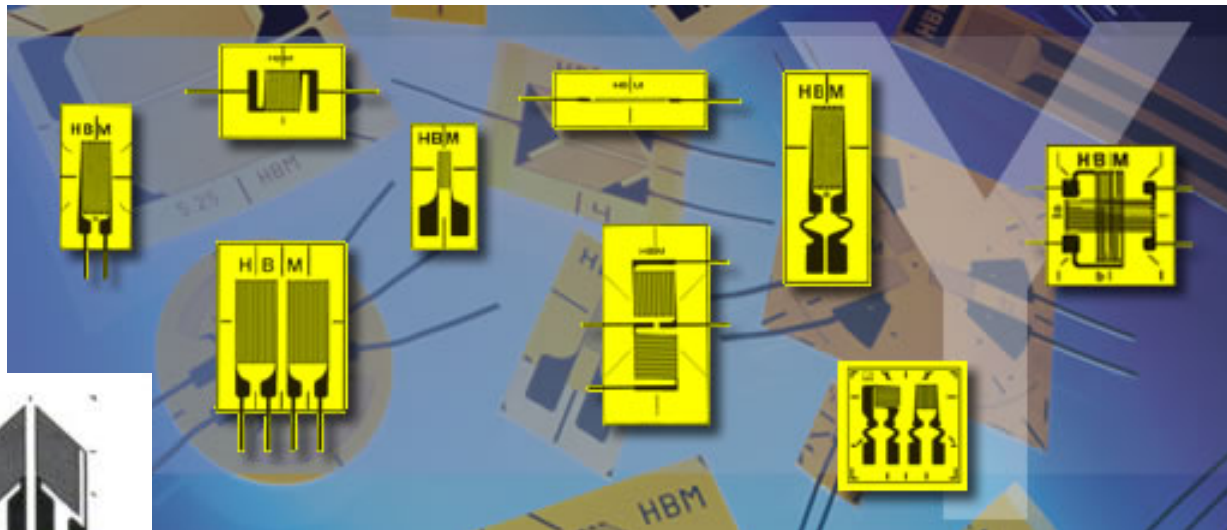
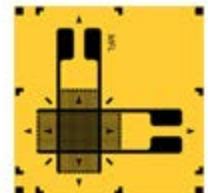
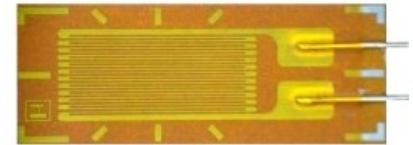
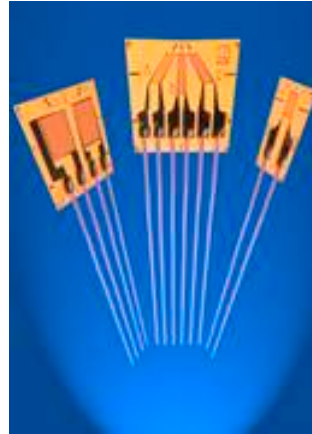


Ensam givare? Dummy-givare!

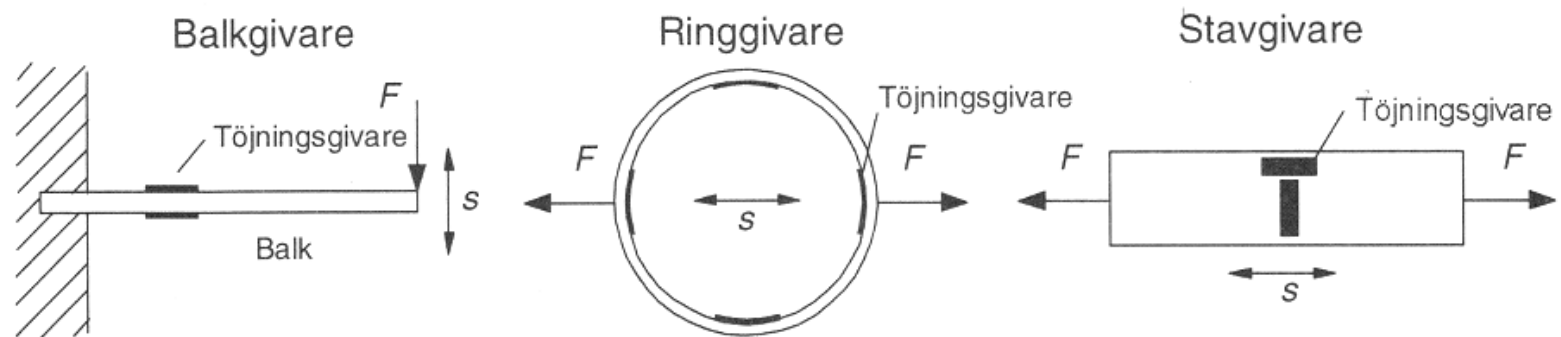


I närheten av den aktiva givaren limmas tre **"Dummy"-givare** med ett "tjockt" limskikt – för att *inte* påverkas av töjning, men fortfarande av temperaturen. Bryggan som helhet blir då temperaturkompenserad.

Töjningsgivare av olika utföranden



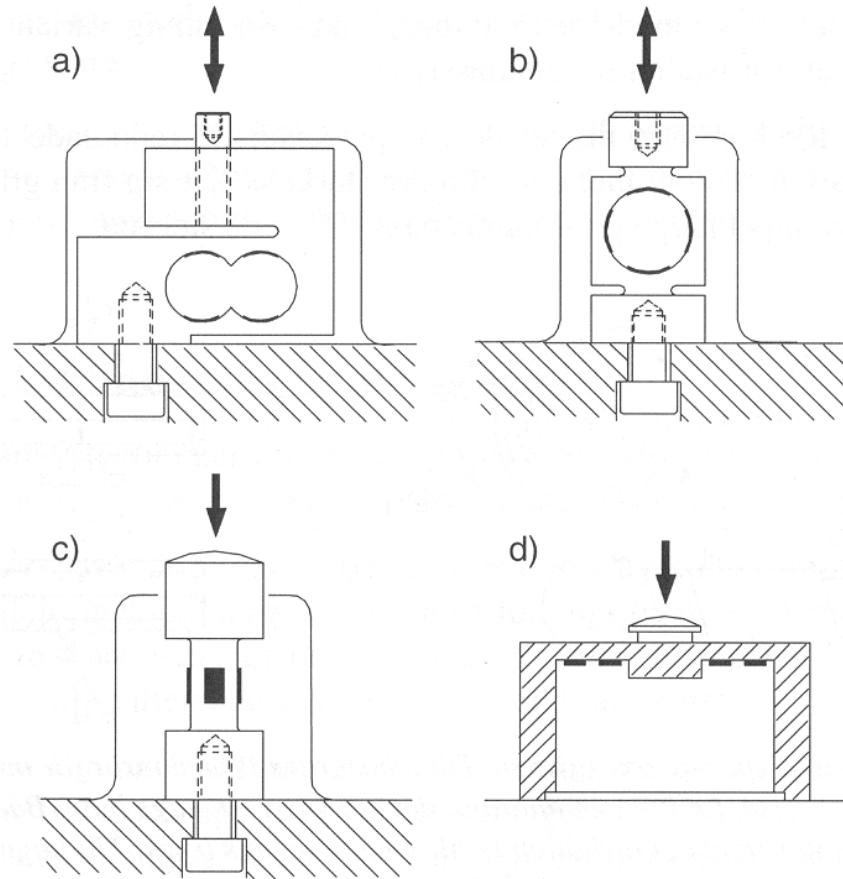
Mätning av kraft



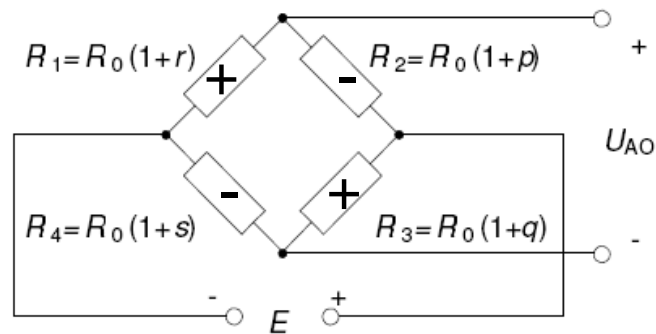
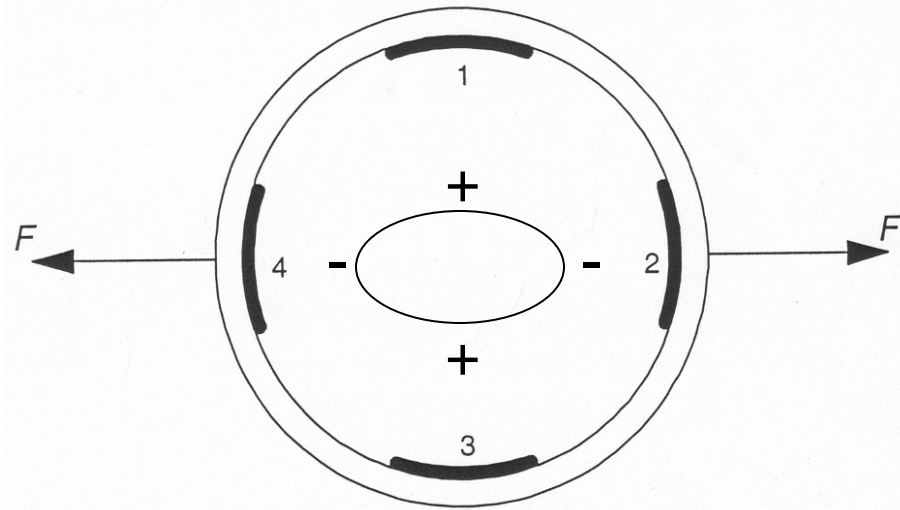
Lastceller finns i tre grundläggande utföranden, Balk, Ring och Stavgivare.

Balk Ring Stav ?

- a) Balkgivare, balken har "vikts in" för rymmas i höljet
- b) Ringgivare
- c) Stavgivare, rund topp för att kunna snedbelastas
- d) Membrangivare (vanligare för tryckgivare)

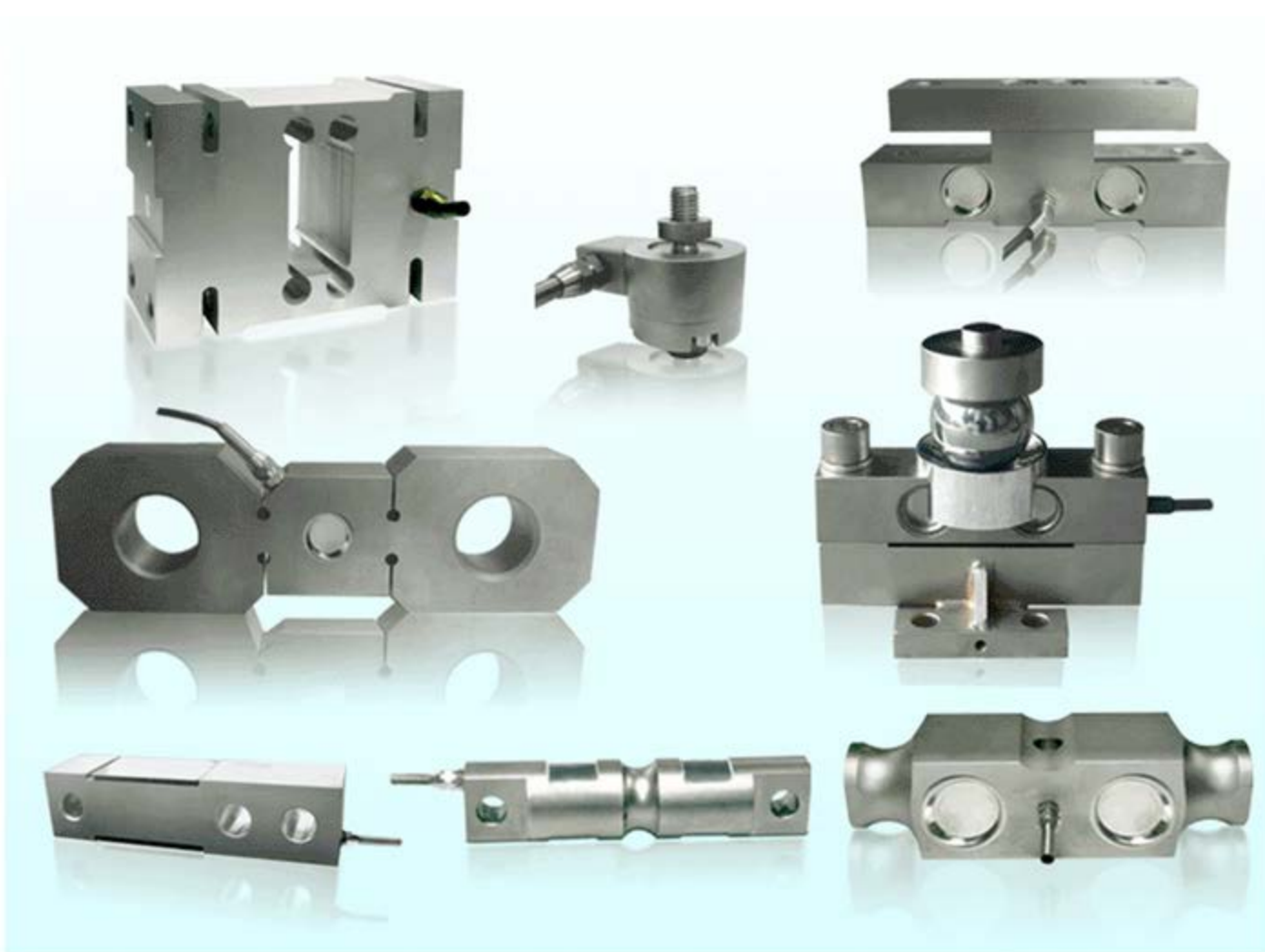


Provring

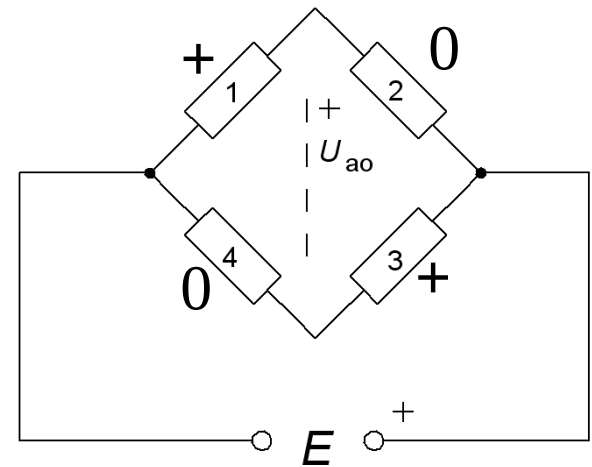
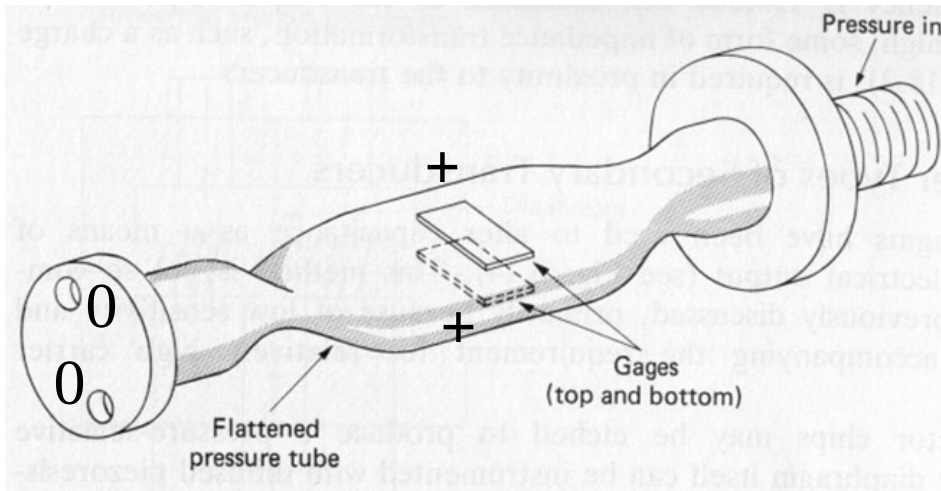


$$U_{ao} \approx E \cdot r$$

Några exempel på utförande av lastceller



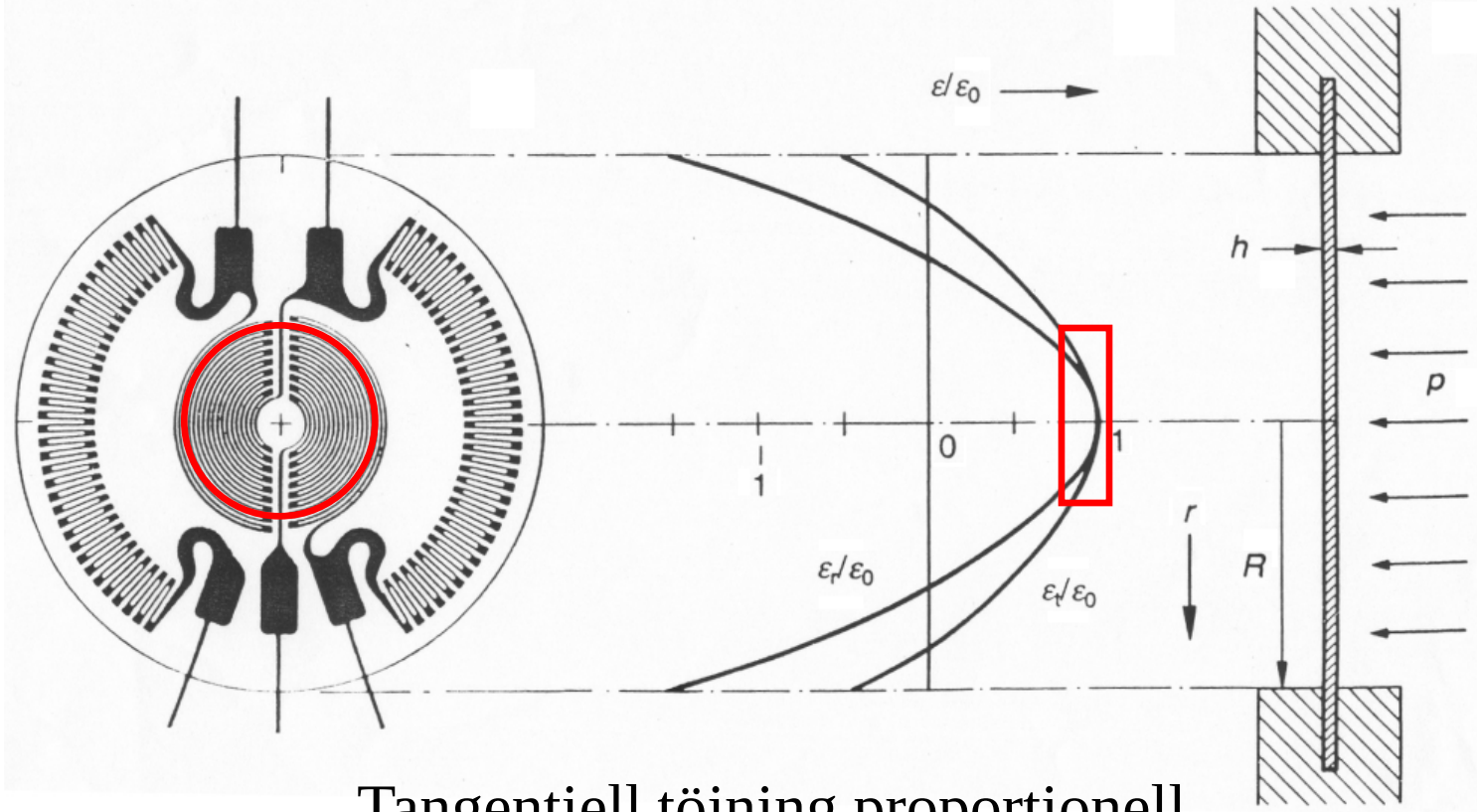
Tryckgivare – pressuretube



$$U_{ao} \approx \frac{E \cdot r}{2}$$

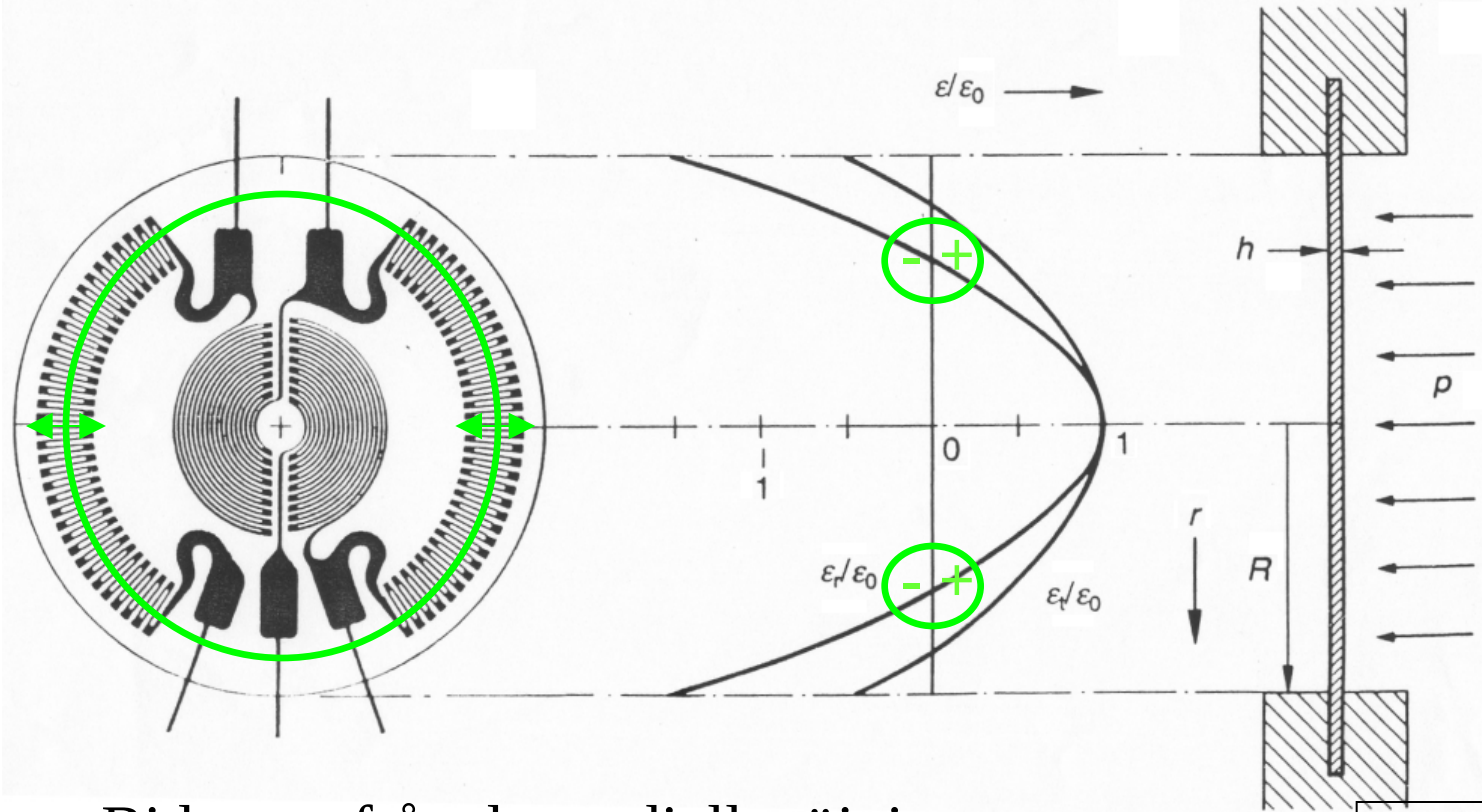
1, 3 töjningsgivare
2, 4 Dummy-givare

Tryckgivare – membran



Tangentiell töjning proportionell
mot P

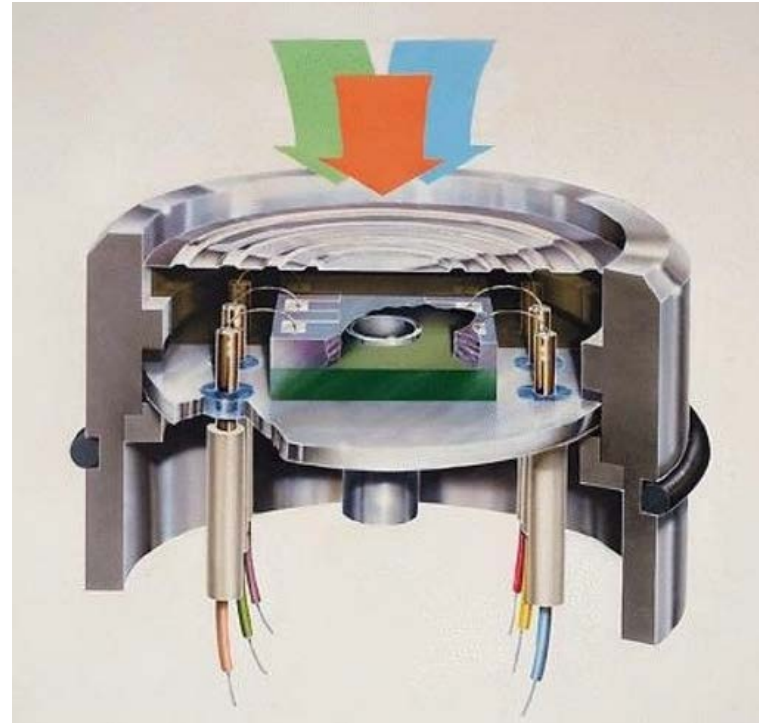
Tryckgivare – membran



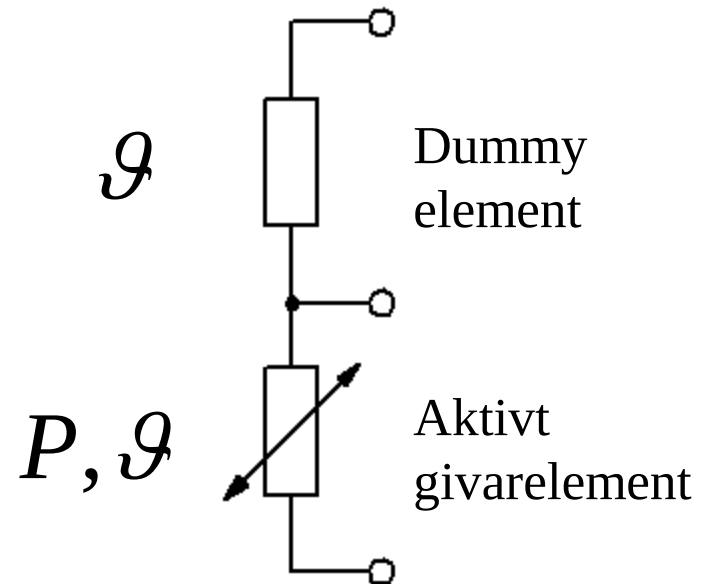
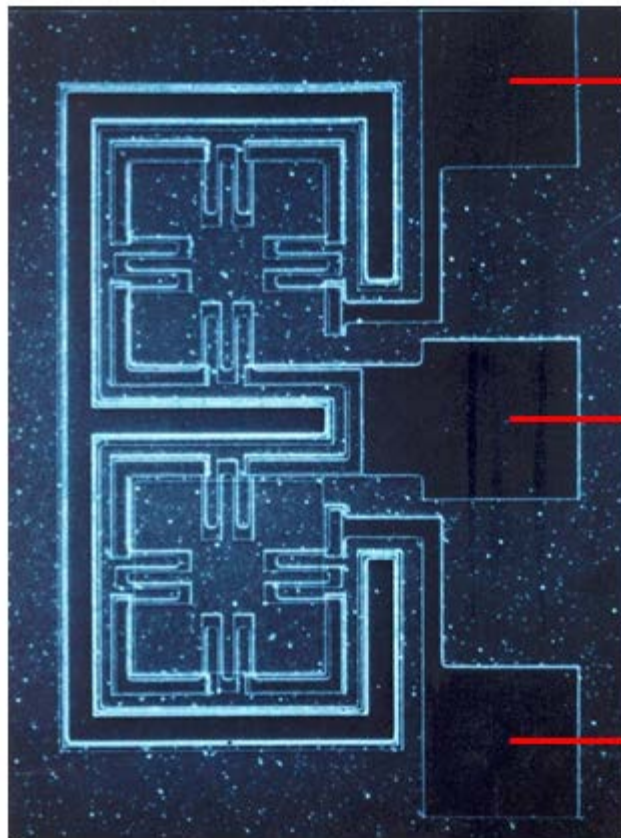
Bidragen från den radiella töjningen tar ut varandra. Dessa givarelement är Dummy-givare.

$$U_{ao} = \frac{E \cdot r}{2}$$

Tryckgivare – kisel



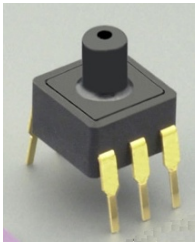
Tryckgivare – kisel (halvbrygga)



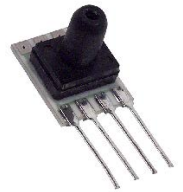
Lockets storlek:
125×125×2 μm

$$U_{ao} \approx \frac{E \cdot r}{4}$$

Tryckgivare – kisel temperaturberoendet

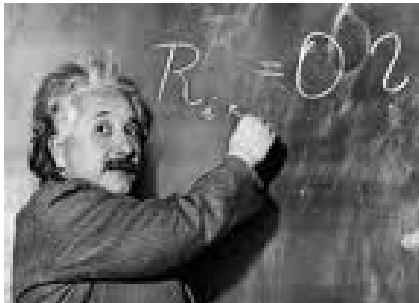


Kiselgivare med **piezoresistorer** har så starkt temperaturberoende att det är *nödvändigt* med någon form av temperaturkompensering – förutom att använda Dummy-givare och bryggkoppling!

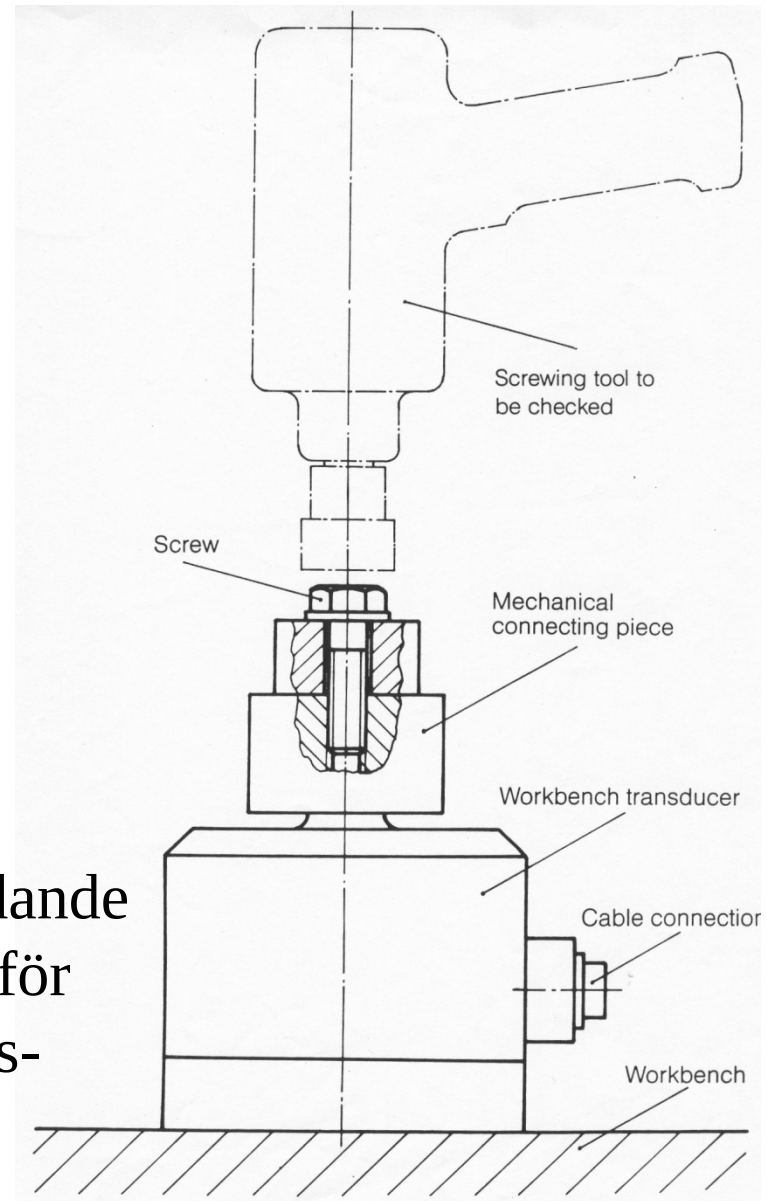


Momentmätning

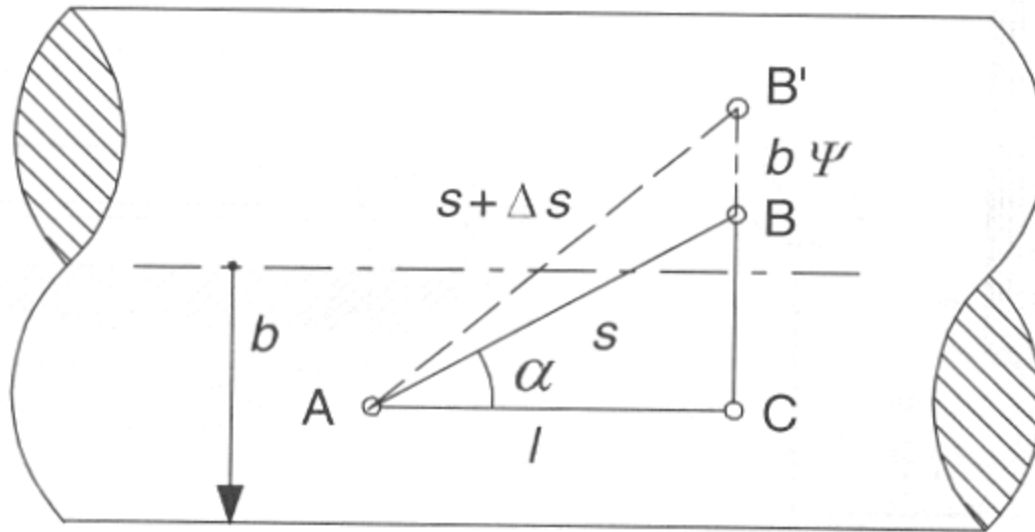
Momentmätningens relativitetsteori!



Om det är svårt att mäta det vridande momentet i skruvdragaren – varför inte mäta det *lika stora* reaktionsmomentet i arbetsbänken?



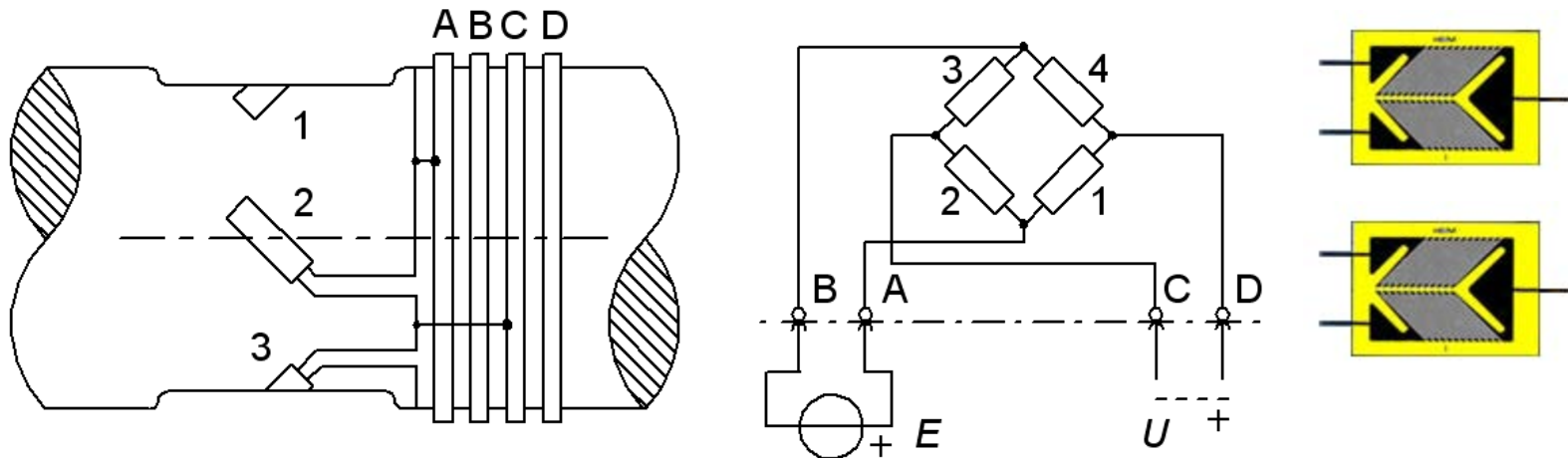
Mätning av vridmoment



En töjningsgivare monteras på axeln med vinkeln α och töjs då Δs proportionellt mot vridmomentet.

Något förslag på en lämplig vinkel α ?

Mätbrygga för vridmoment



De fyra givarna bildar en "helbrygga" på samma sätt som för lastcellen.

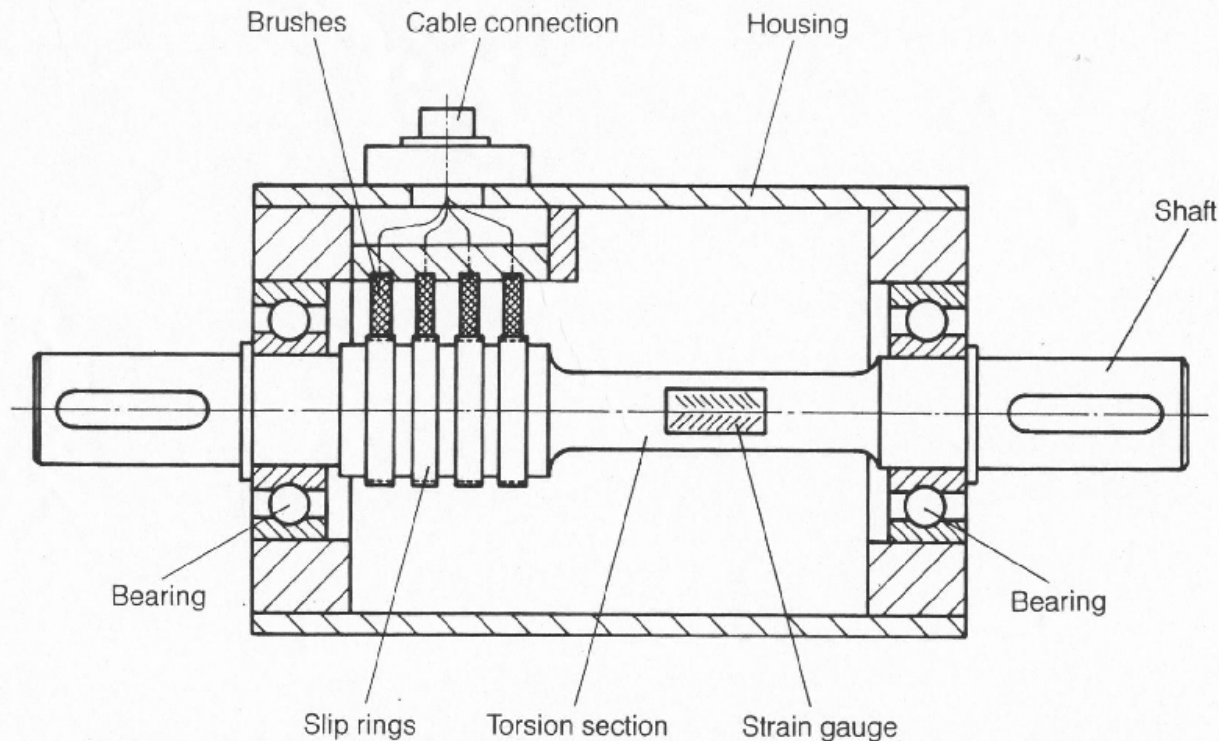
Spänningsfall över släpringsdonet balanseras bort av bryggkopplingen!

G skjuvmodul

W_p polärt vridmotstånd

$$M = \frac{2 \cdot G \cdot W_p \cdot U}{k \cdot E} \quad \alpha = 45^\circ$$

Klassiskt utförande

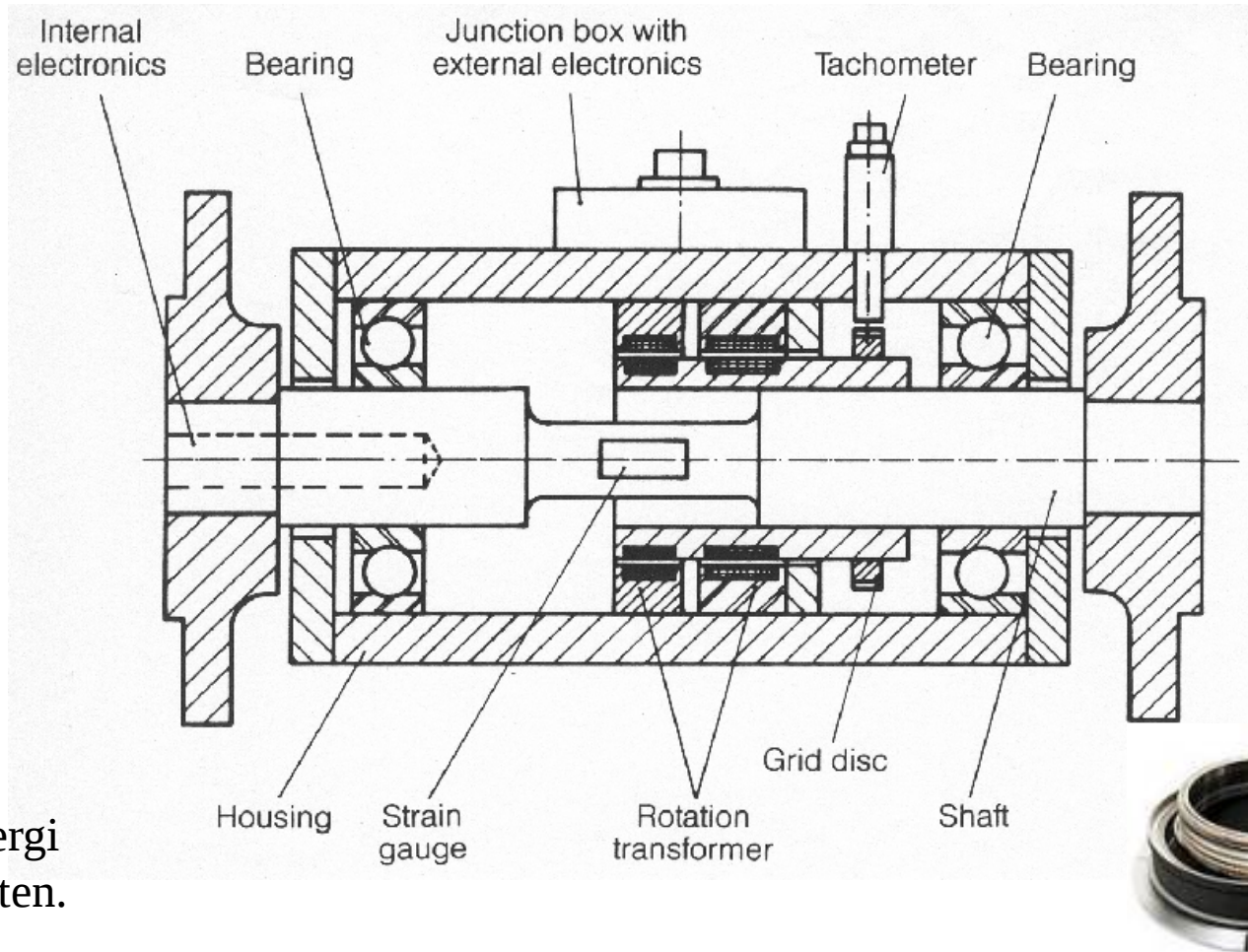


Klassiskt utförande med **släpringsdon**. Slitage av släpringarna gör att den passar som labutrustning, men inte för kontinuerlig drift.

Överföring med roterande transformator



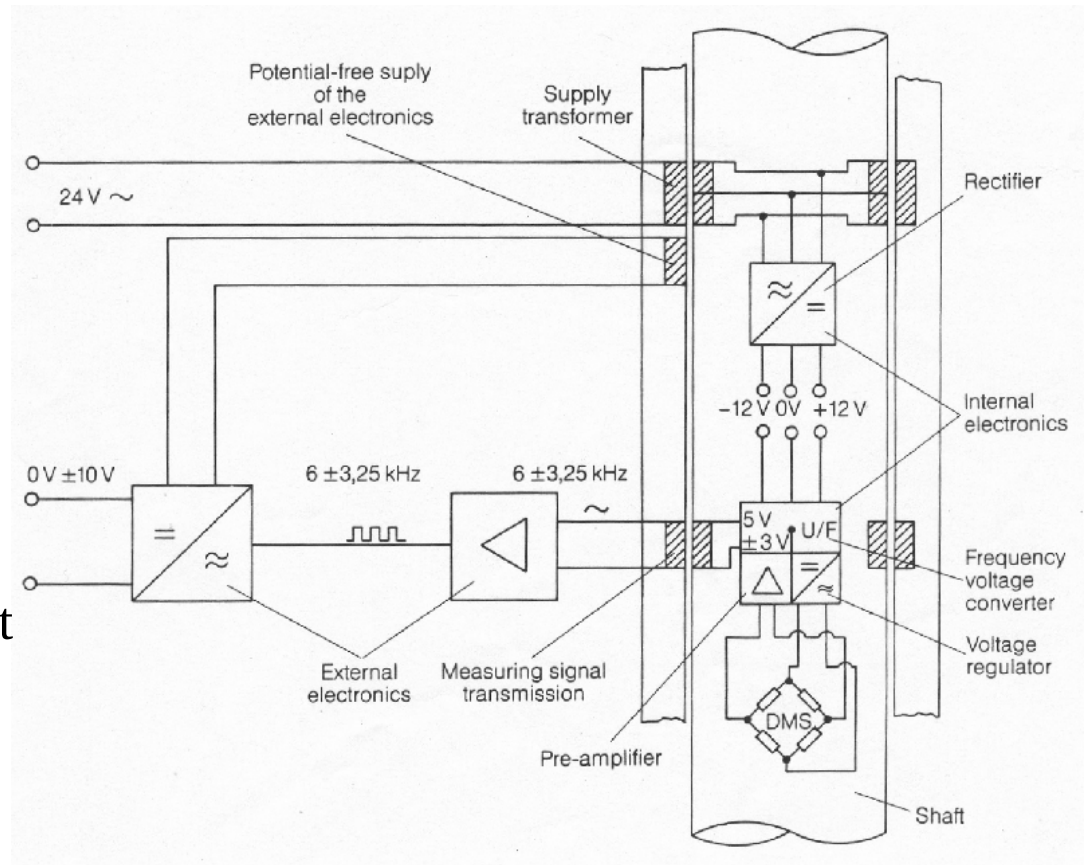
Transformator-
överföring av energi
– som eltandborsten.



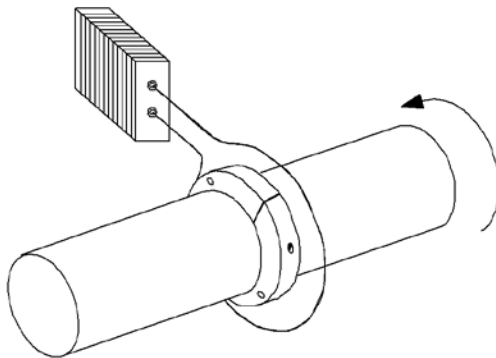
Matning och mätsignal

24V växelspanning transformeras över till den roterande axeln där den strömförsörjer elektroniken.

Mätsignalen som lämpligen är bärfrekvent (eller digital) transformeras tillbaka till statorsidan.

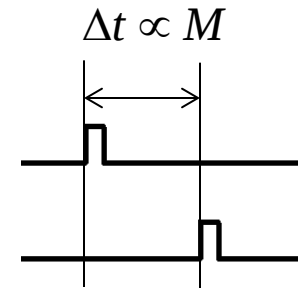
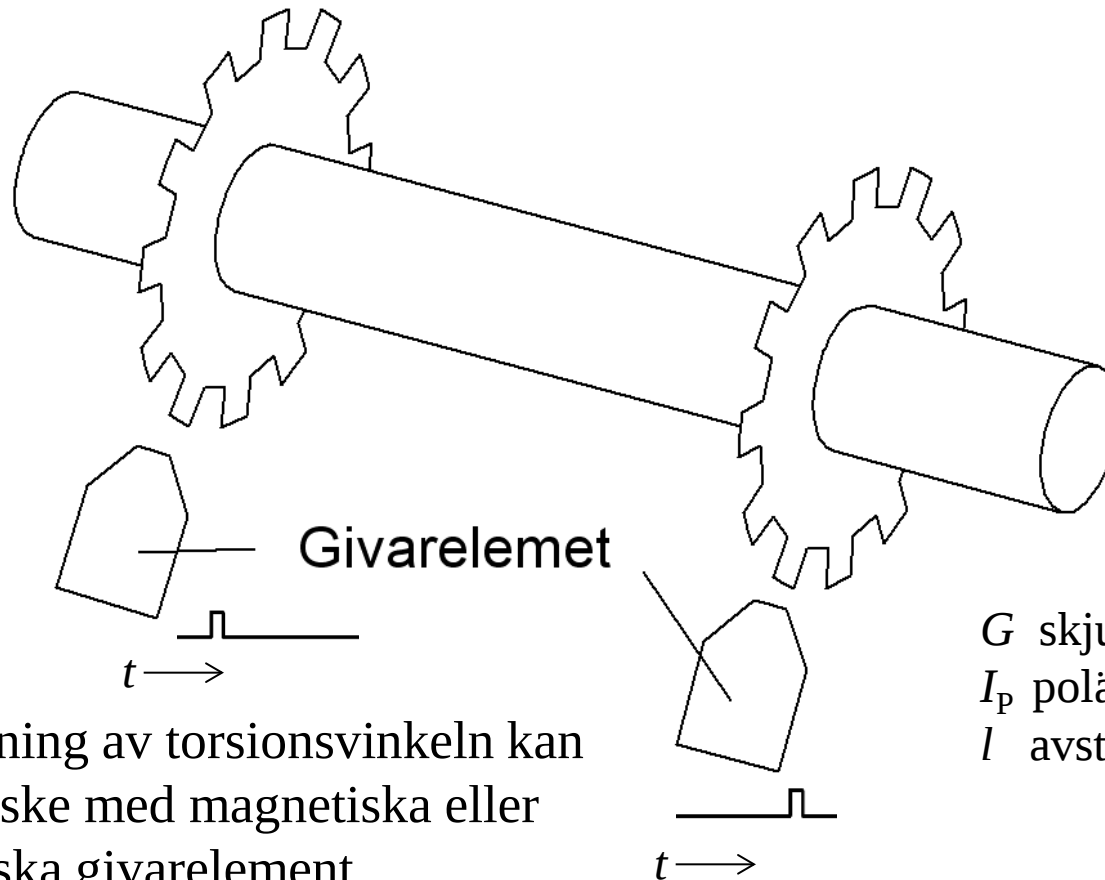


Telemetry



Telemetry. Sändare och elektronik är inbyggda i en ring bestående av två halvor som spännes fast på axeln. Slingan runt axeln innehåller en mottagarantenn och en spole för överföring av energi till sändaren.

Mätning av torsionsvinkeln Ψ

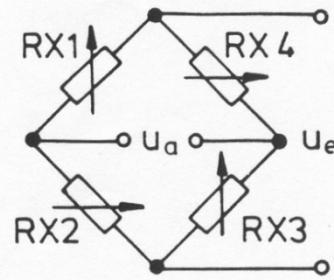
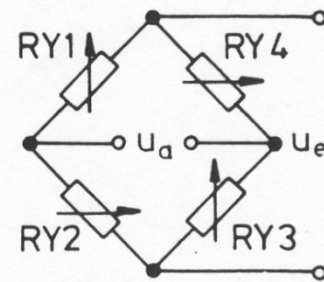
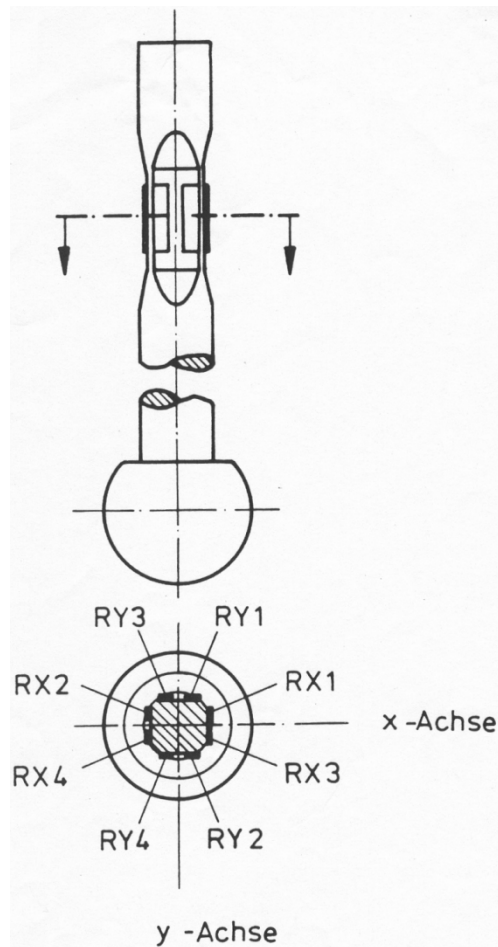


$$M = \frac{G \cdot I_p \cdot \Psi}{l}$$

G skjuvmodul
 I_p polärt yttröghetsmoment
 l avstånd mellan kugghjulen

Mätning av torsionsvinkeln kan tex. ske med magnetiska eller optiska givarelement.

Vad är det här ?



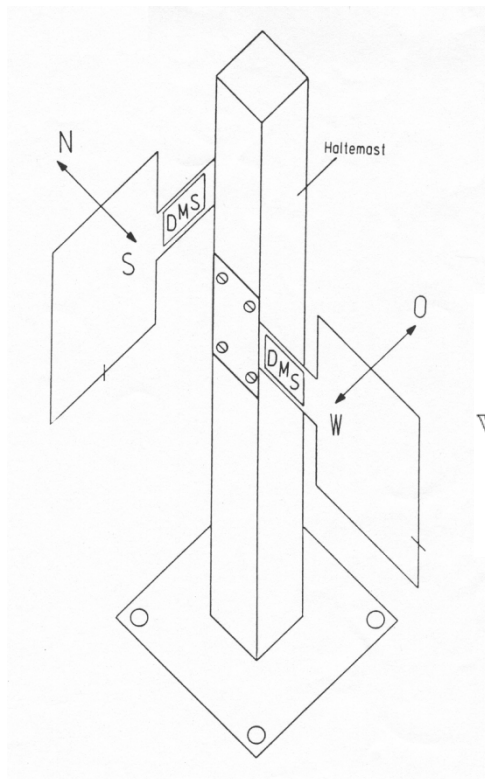
En mycket exklusiv joy-stick ...

Kanske styrspak till JAS ?



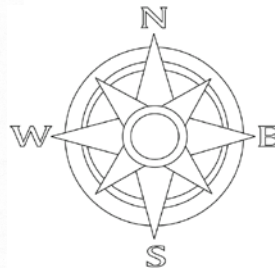
William Sandqvist william@kth.se

Vad är det här ?



DMS (Dehnungsmessstreifen)
= Töjningsgivare

Kan den ersätta detta?



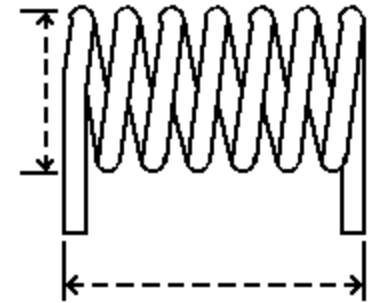
Vindriktning

Vindhastighet

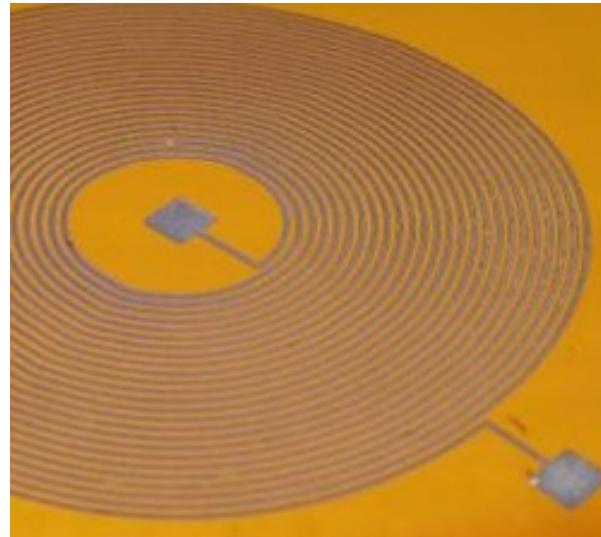
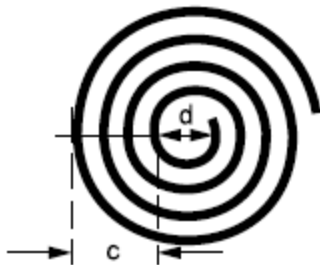


Induktiva givare

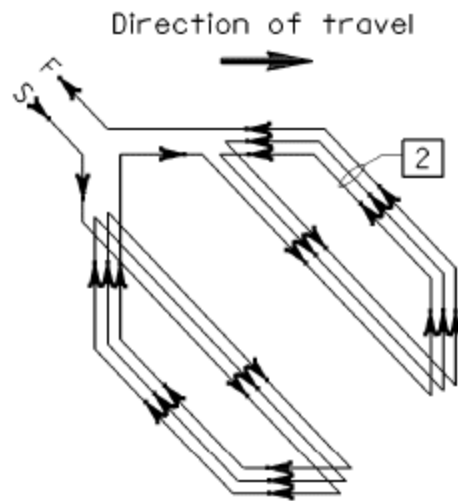
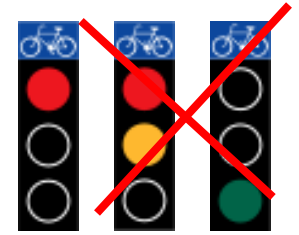
Måste man börja linda spolar?



Inte alltid, vid högre frekvenser kan man använda **tryckta spolar** ...



Cyklister som begär grönt?



Induktiv sensor
för cykel



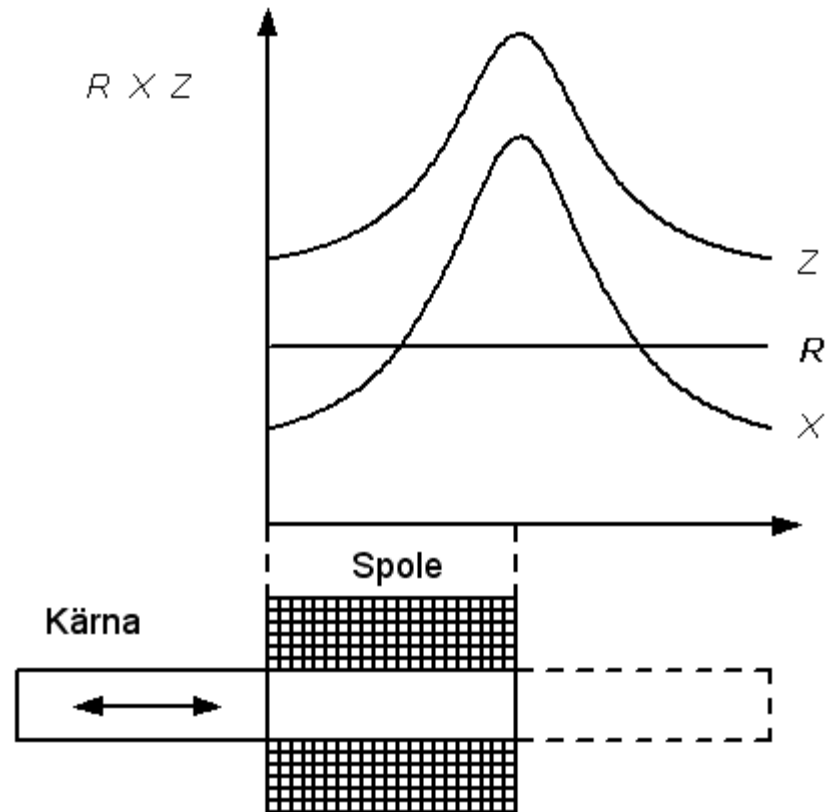
*Sorry! Sensorn
fungerar inte
för **alla** cyklar?*

Induktans med järnkärna



$$Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

• *Olinjärt!*



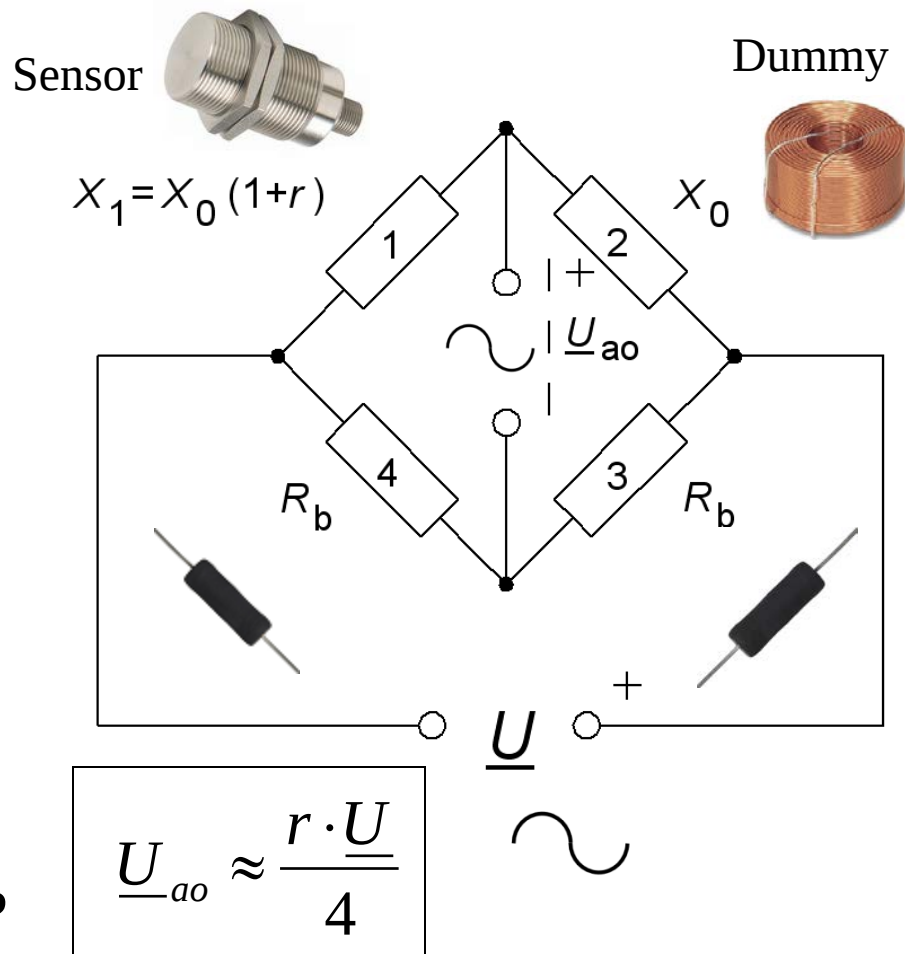
Växelsrömsbrygga ~

Induktiva givare är växelströmskomponenter.

$$\underline{U}_{ao} = \underline{U} \left[\frac{jX_0(1+r)}{jX_0(1+r) + jX_0} - \frac{R_b}{2 \cdot R_b} \right] = \frac{r\underline{U}}{4+2r}$$

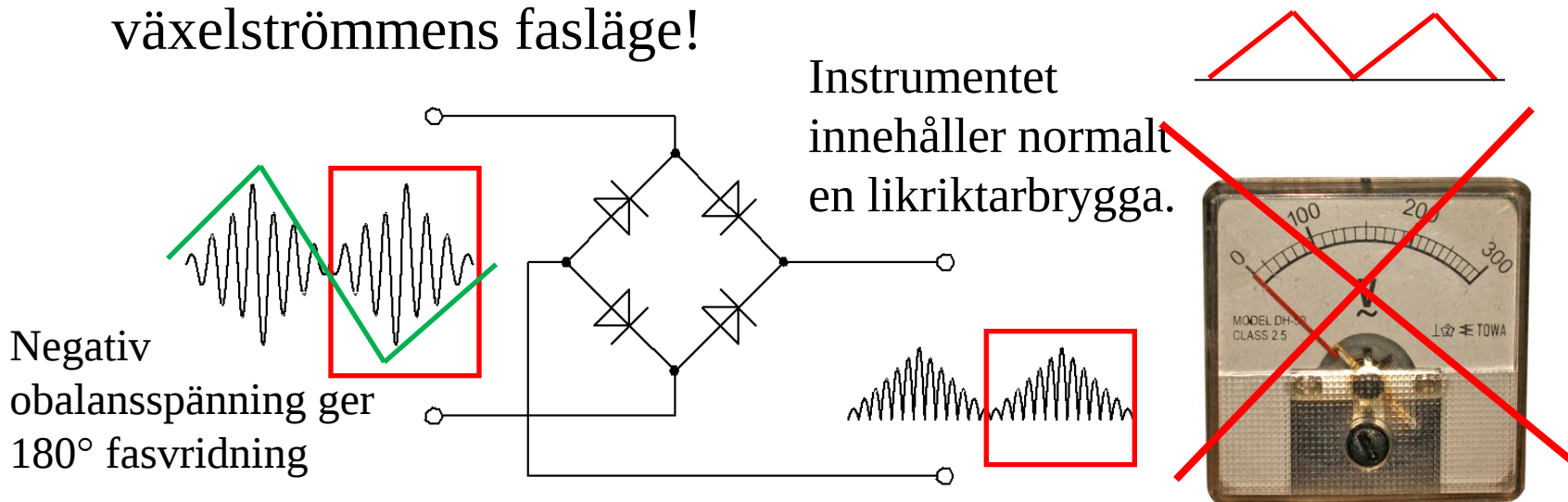
I växelströmsläran brukar man räkna komplext ($j\omega$), men för denna brygga blev resultatet helt enkelt reellt!

Verkar inte formeln bekant?



Faskänslig detektering? ~

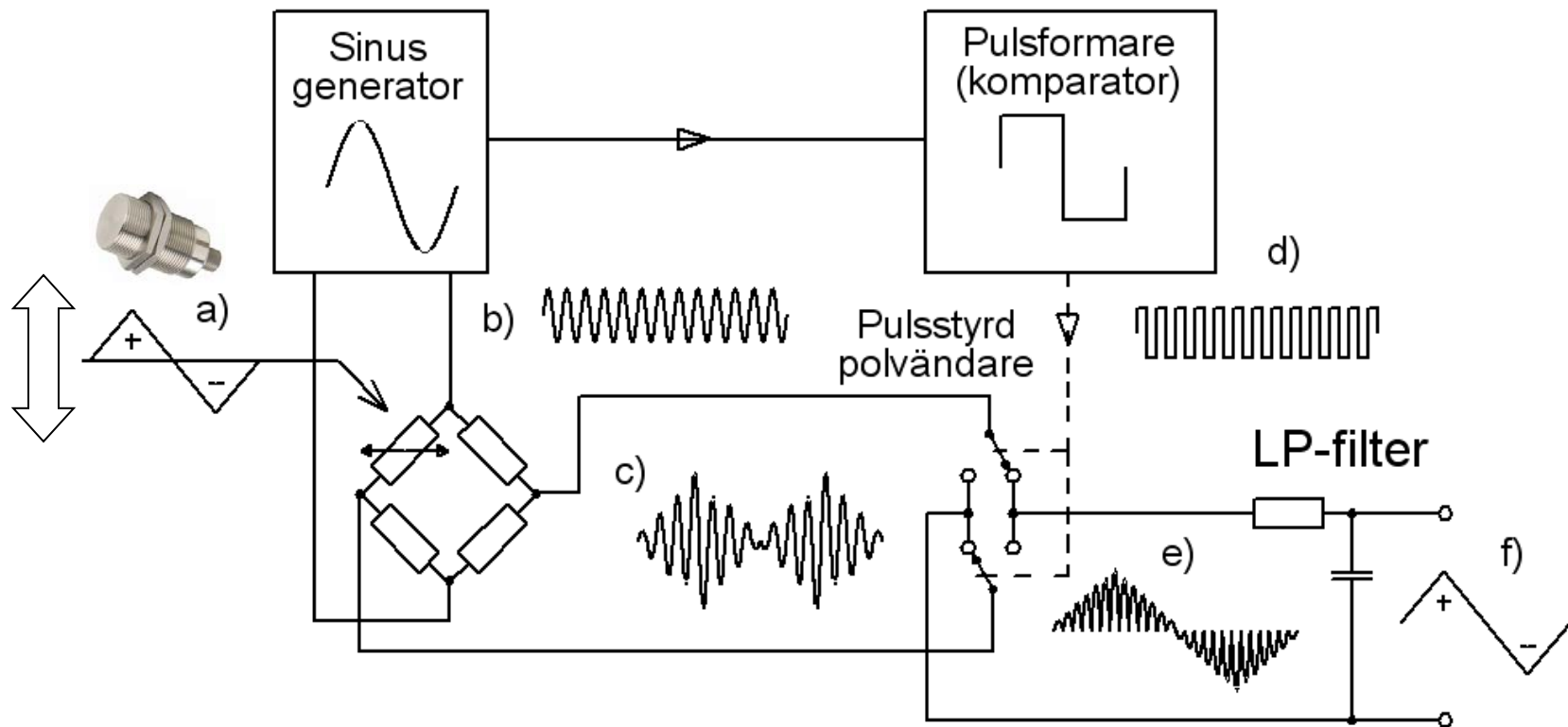
Det som betyder + eller – för en växelspanning är fasläget. Om man ”vänder” växelströmskontakten ($\pm$) så växlar fasläget 180° . Vanliga mätinstrument är *inte* känsliga för växelströmmens fasläge!



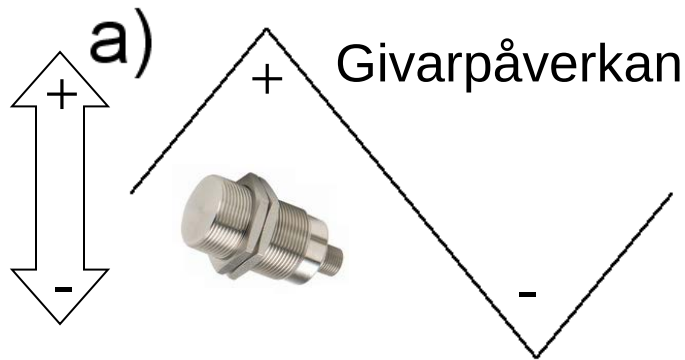
Ett vanligt växelströms instrument märker *inte* om fasläget ändras!



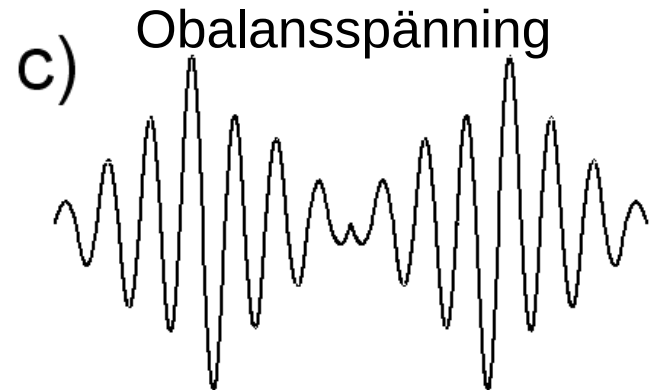
Bärfrekvenssystem ~



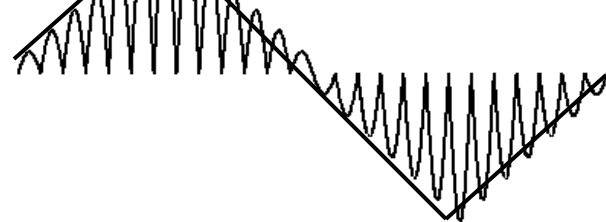
Faskänslig detektering ~



b) Matning, bärfrekvens

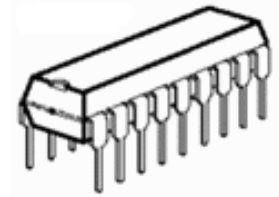


e) Faskänslig utspänning

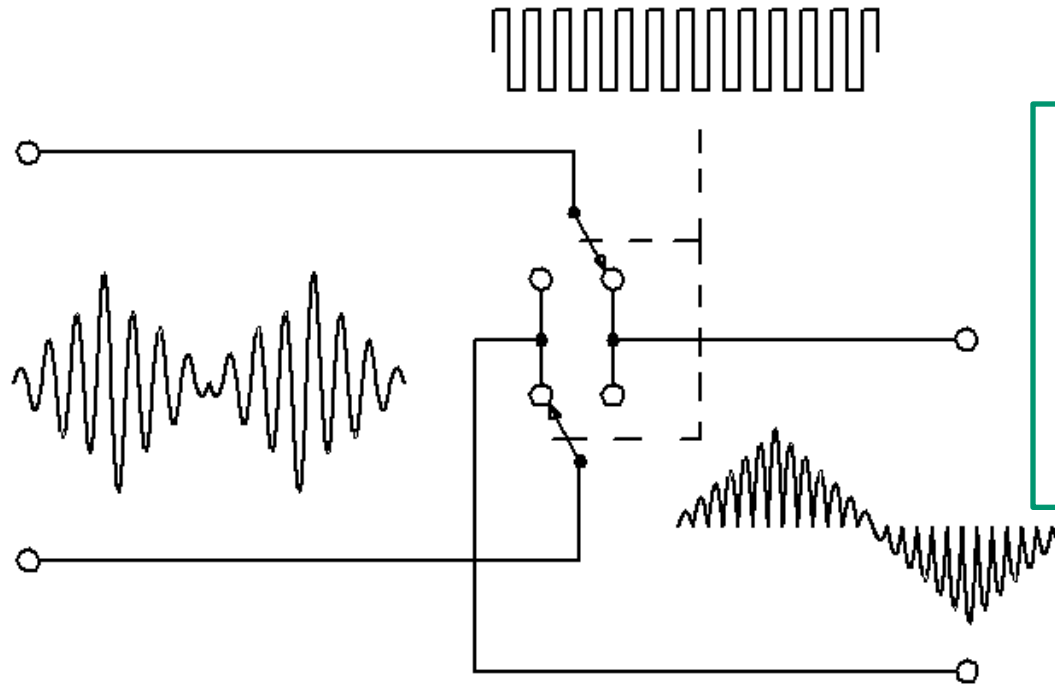


Den faskänsliga utspänningen blir en "trogen kopia" av givarpåverkan.

Synkrondektorn



LTC1043 CMOS
Switches



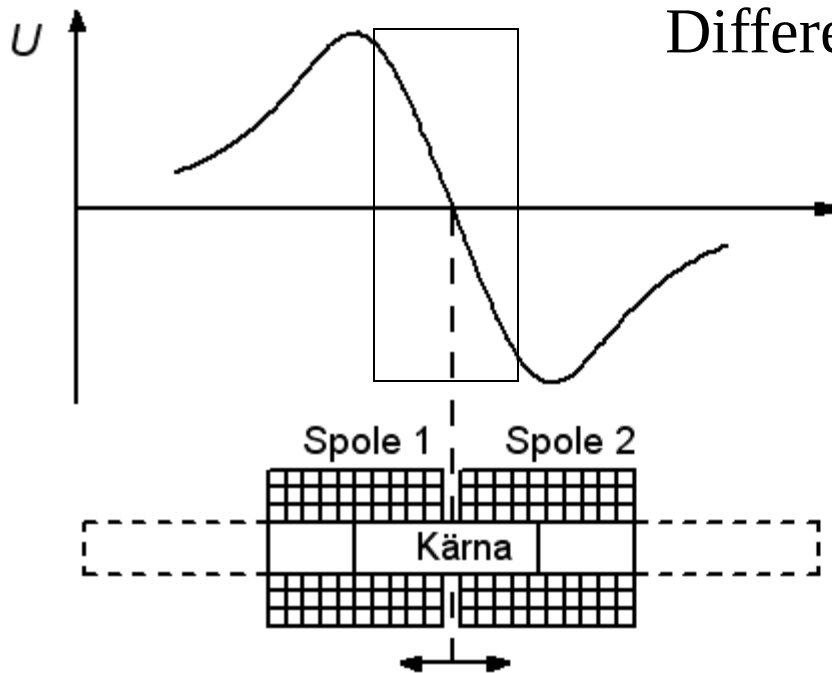
En inbyggingsprocessor kan *direkt* **multiplicera** signalen (AD-omvandlad) med bärfrekvenspulserna (från komparator ± 1).

- Likriktarbryggan "vänder" *alla* negativa halvperioder
- Synkrondektorn "vänder" *var annan* halvperiod.

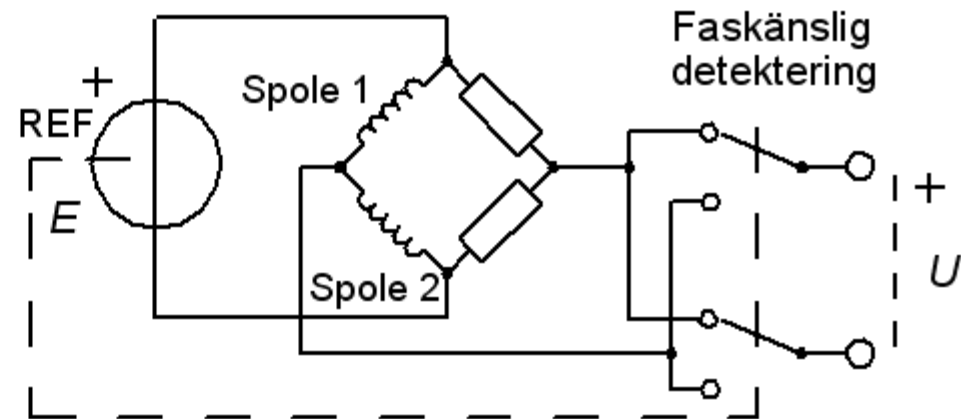
Den induktiva givaren är en stryktålig givartyp som finns i många utföranden.



Linjärisering av givaren?

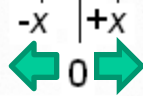
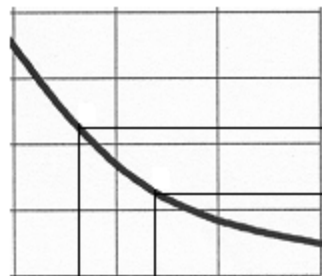


Differentialgivare!



En differentialgivare har alltid bättre linjäritet. Kring mittpunkten blir givaren åtminstone ”tekniskt linjär”.

Differentialgivare



$$y_2 = f(-x)$$
$$y_1 = f(x)$$

Två givarelement utsätts för instorheten, men med *motsatt* verkan.

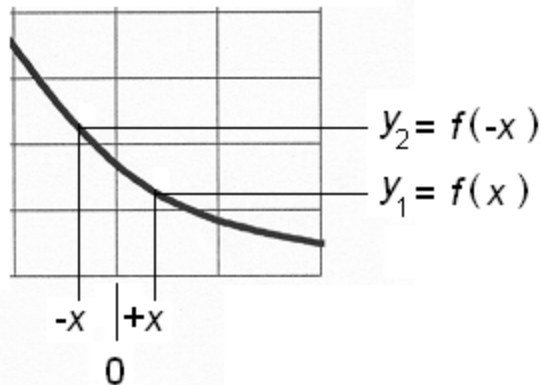
Bildar man skillnaden mellan givarsignalerna har man en **differentialgivare** (eg. differensgivare).

Differentialgivare är alltid mer linjära än ensamma givare!

Den olinjära funktionen kan representeras med sin Taylorserie:

$$y = f(x) = f(0) + x \frac{f'(0)}{1!} + x^2 \frac{f''(0)}{2!} + x^3 \frac{f'''(0)}{3!} + \dots$$

Differentialgivare



Den starkt olinjära x^2 termen släcks ut när man bildar *skillnaden* mellan funktionerna. Därför blir Differentialgivare *alltid* mer linjära än enkla givare.

$$y_1 = f(x) = \cancel{f(0)} + x \frac{f'(0)}{1!} + x^2 \frac{\cancel{f''(0)}}{2!} + x^3 \frac{f'''(0)}{3!} + \dots$$

$$y_2 = f(-x) = \cancel{f(0)} - x \frac{f'(0)}{1!} + x^2 \frac{\cancel{f''(0)}}{2!} - x^3 \frac{f'''(0)}{3!} + \dots$$

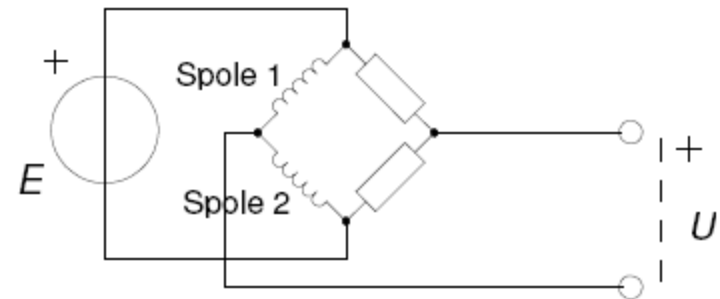
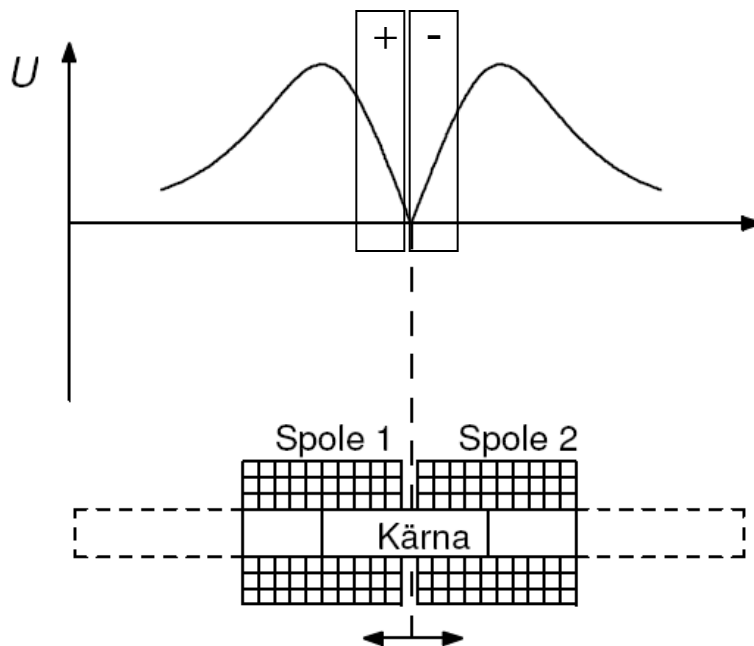
$$y_1 - y_2 = 2x \frac{f'(0)}{1!} + 2x^3 \frac{f'''(0)}{3!} + \dots$$

linjärt

kvarvarande olinjäritet

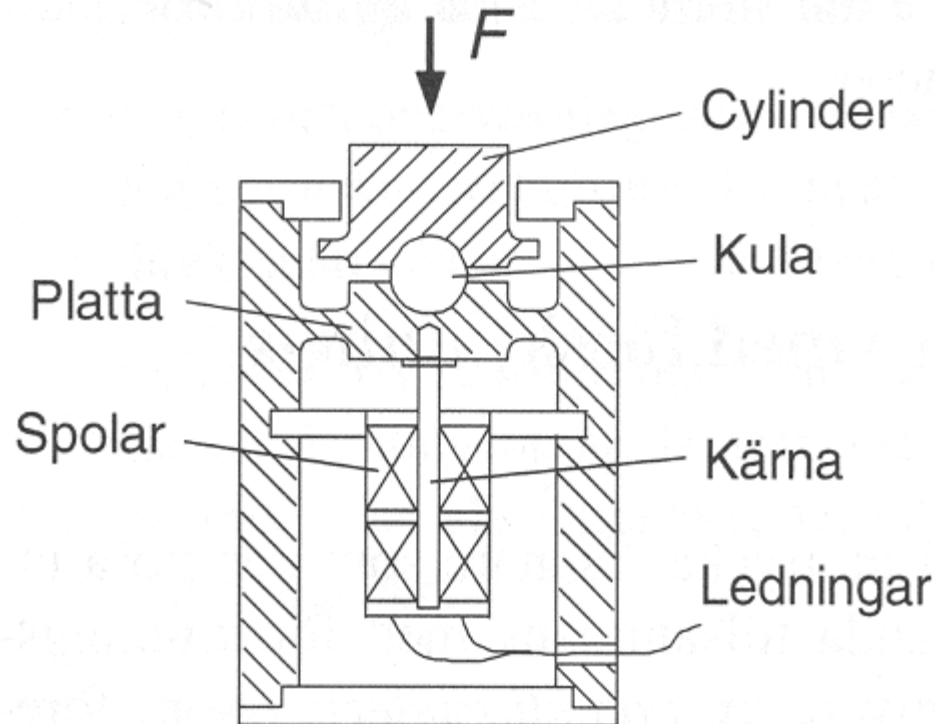
Växelspänningssvoltage?

Hur ser det ut om man bara har tillgång till en vanlig växelspänningssvoltage?



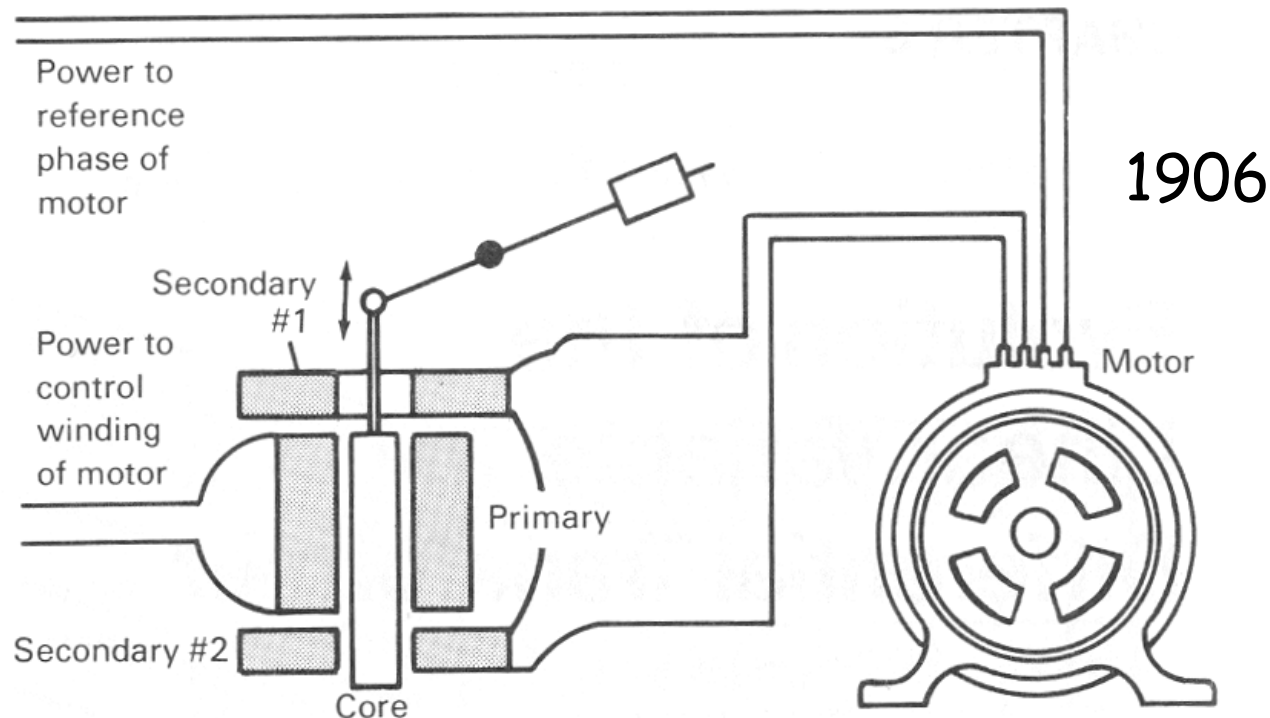
Då får man hålla reda på tecknet på något annat sätt! (tex. fasvinkel $0^\circ / 180^\circ$)

Ex. Kraftgivare med Differentialspole



Robust!

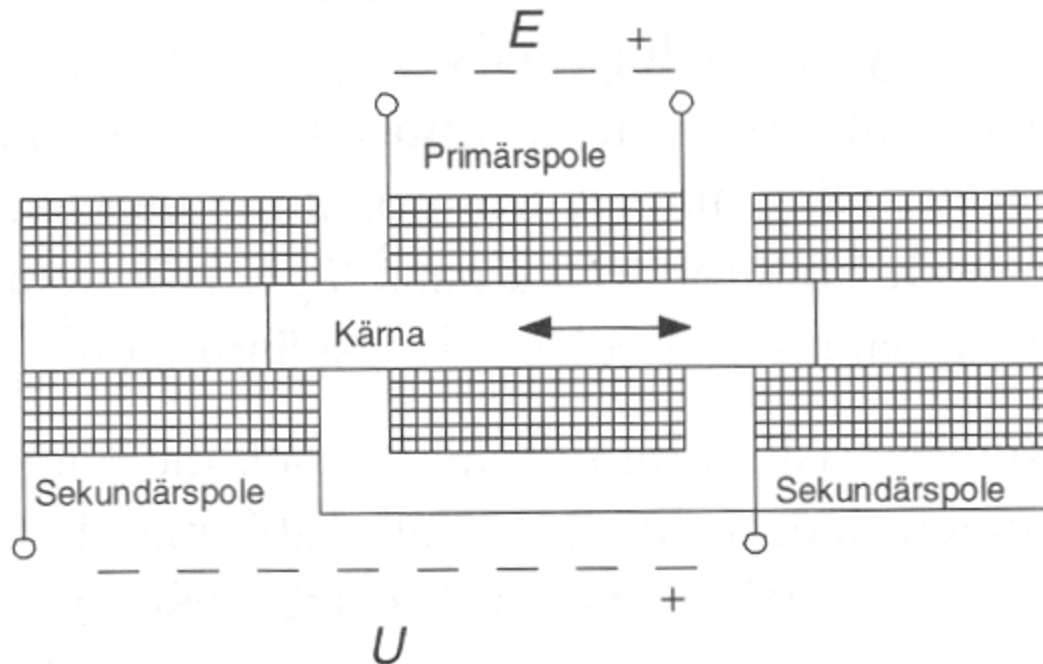
Ett dåligt ställdon kan bli en bra givare



Porter & Currier patent (simplified), the earliest variable differential transformer.

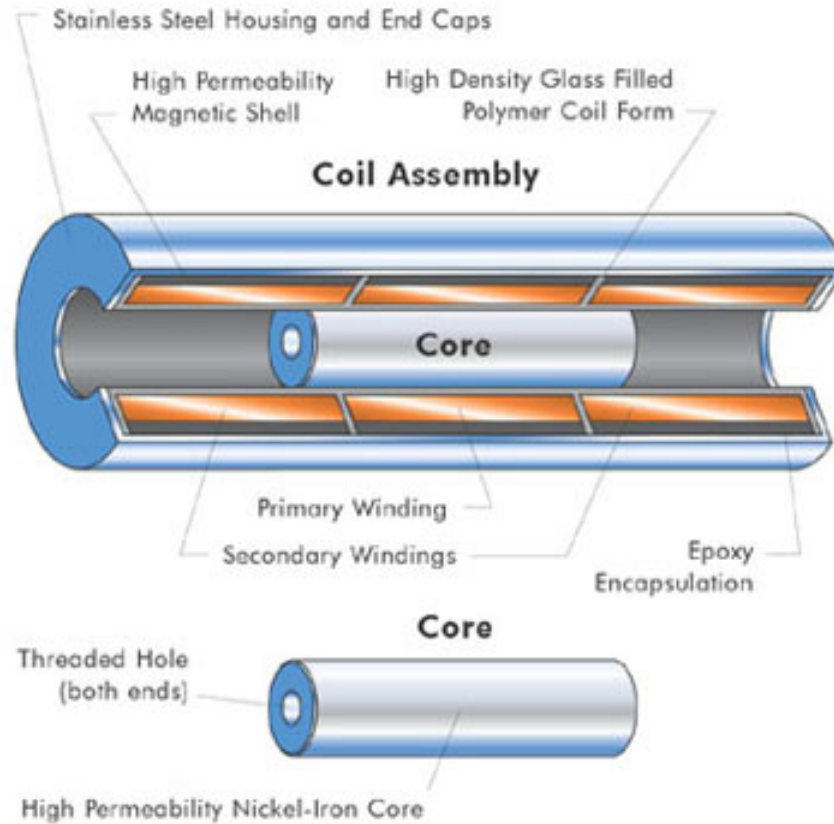
Differentialtransformatorn $\sim$

LVDT Linear Variable Differential Transformer

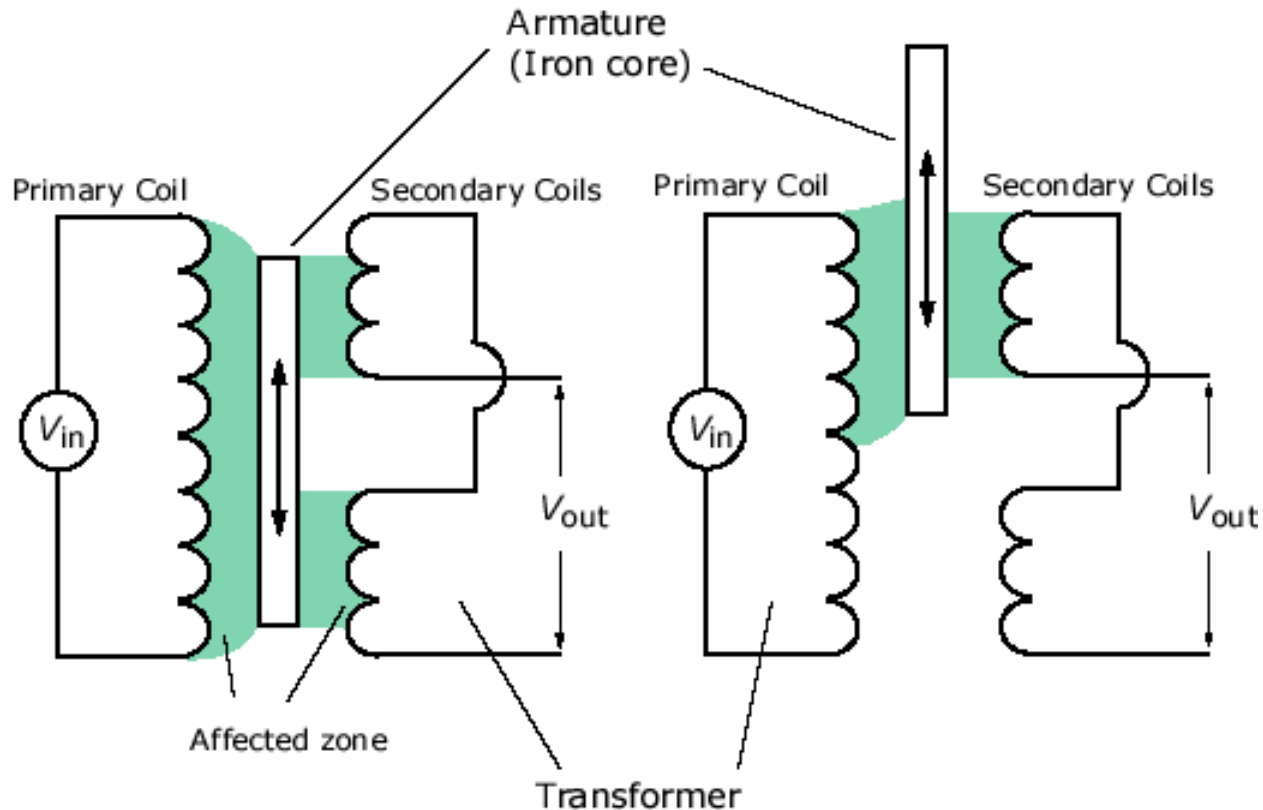


Sekundärspolarna är seriekopplade i motsatt spänningsriktning – när kärnan är i mitten blir $U = 0$.

LVDT Utförande



LVDT ersätter hela bryggan

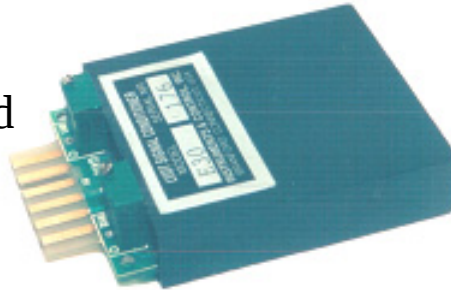


Utspänningen är relativt hög – det gör detta till en populär givare ...

LVDT Mätutrustning

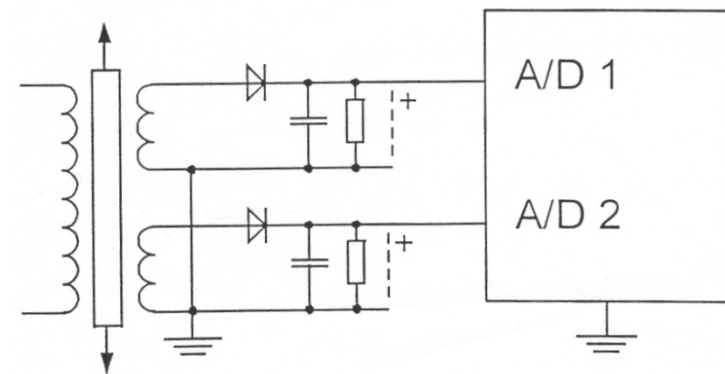
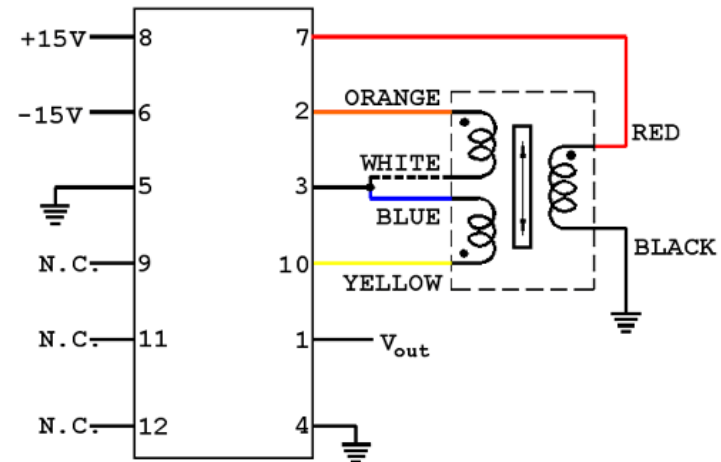


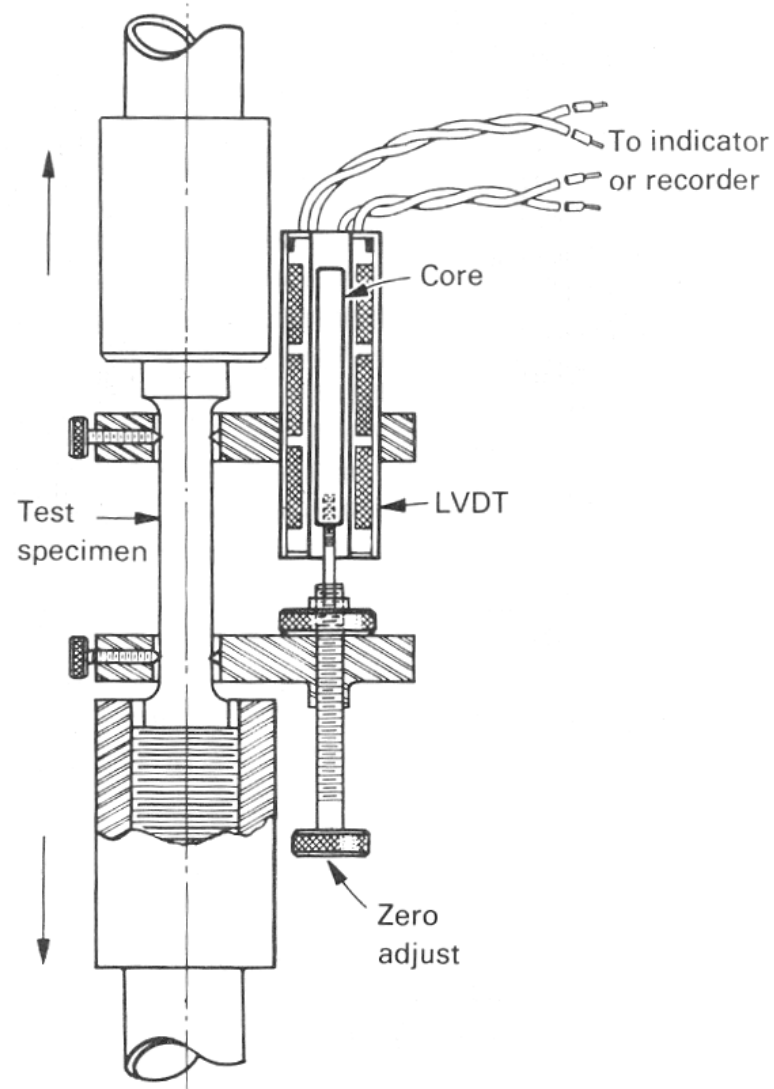
Bärfrekvens-
utrustning med
faskänslig
detektering.



Eftersom utspänningen är hög
behöver man inte alltid utnyttja
faskänslig detektering.

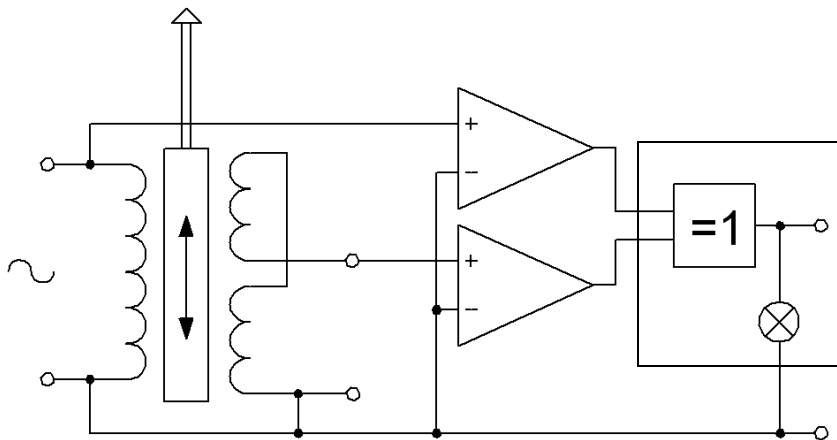
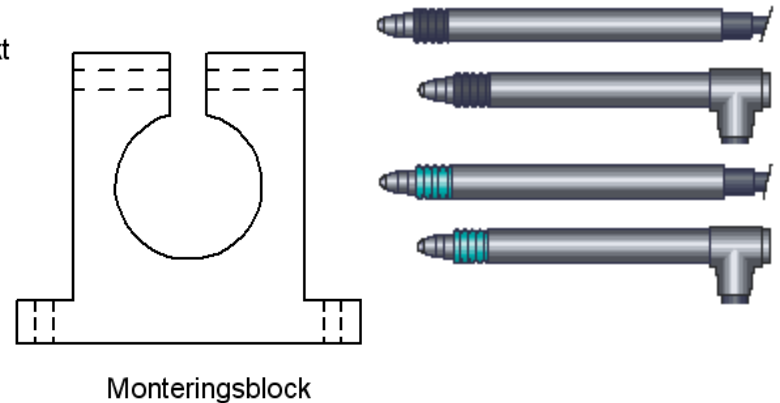
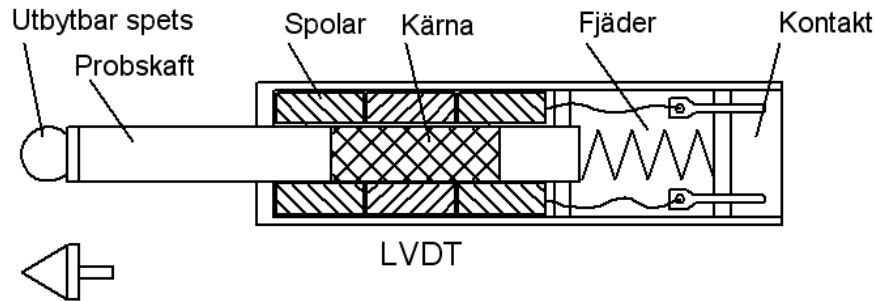
En inbyggd processor kan
AD-omvandla likriktade ut-
spänningar.
(Eller så AD-omvandlar den
växelspänningarna direkt).





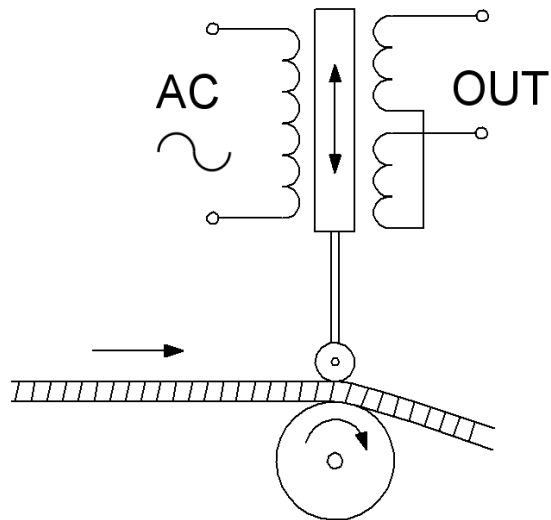
?

LVDT probe



Utsignalens fas ändras 180° precis när kärnan passerar mitt-punkten.

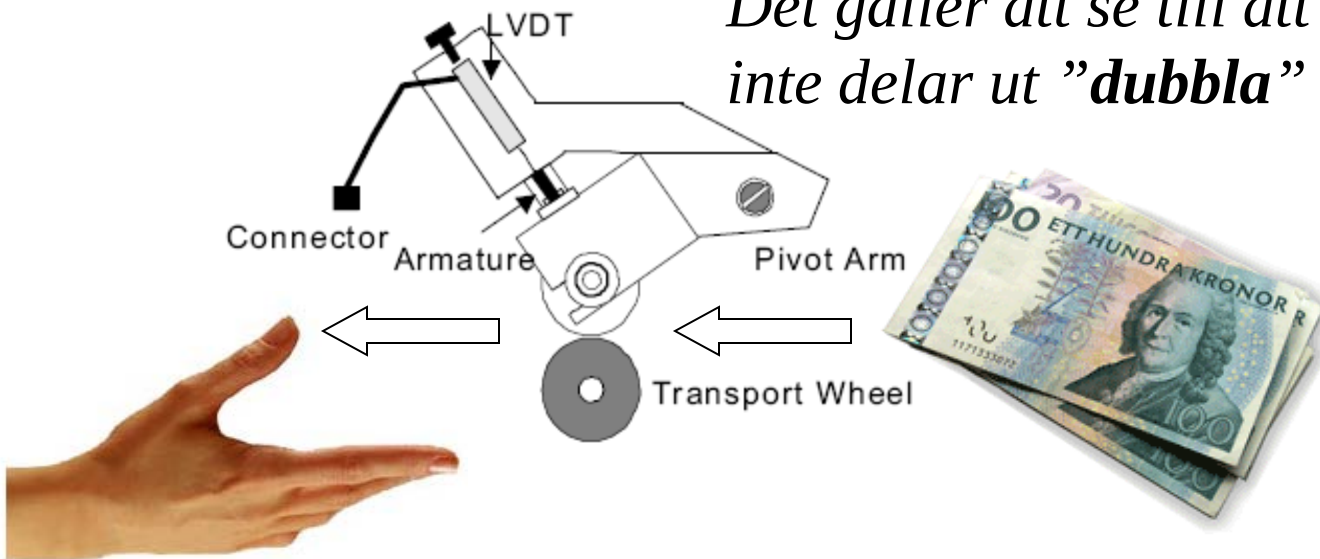
En XOR-grind kan **indikera** denna förändring.



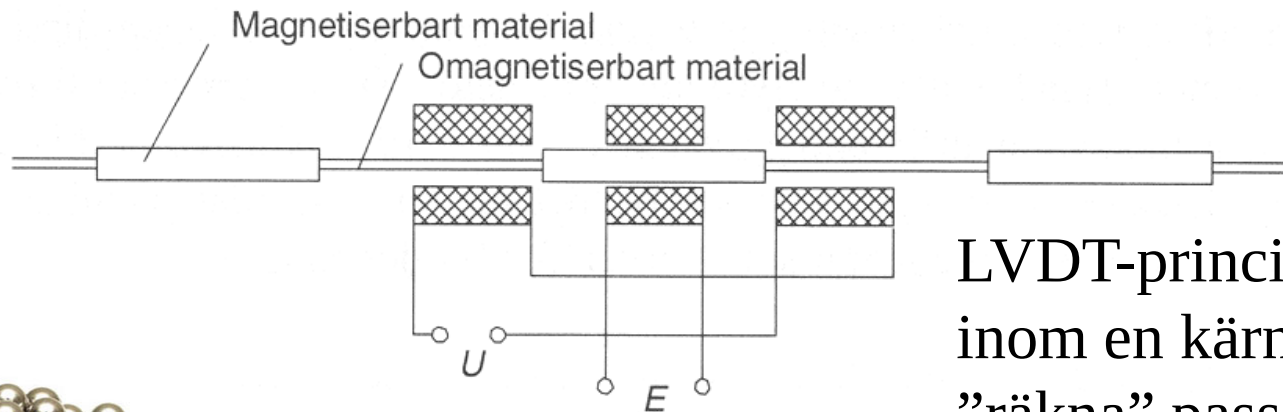
En LVDT probe kan hålla ordningen på att tjockleken är den rätta.

Användningsområde?

Det gäller att se till att bankomaten inte delar ut "dubbla" sedlar ...



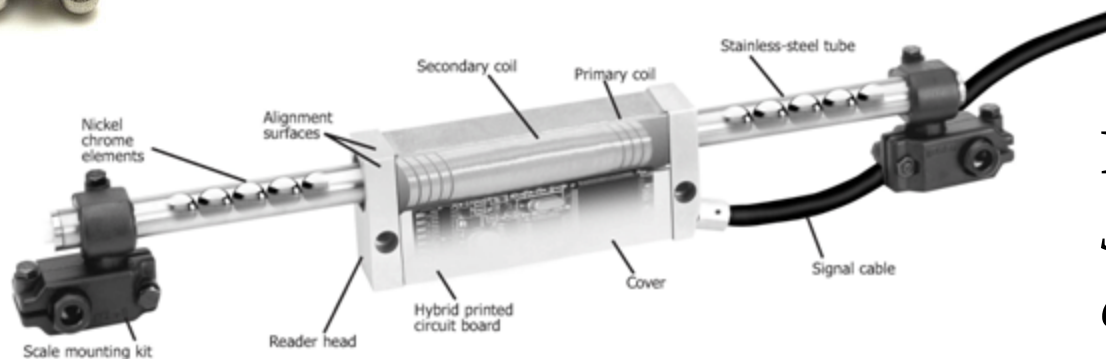
Periodisk differentialtransformator



LVDT-principen
inom en kärna, och
”räkna” passerade
kärnor.

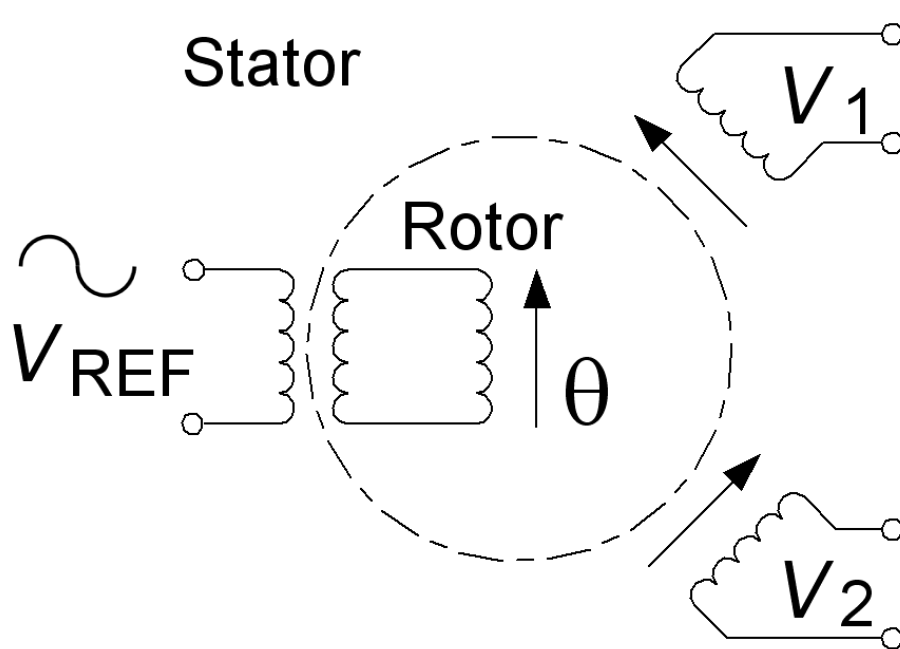


En liknande givare?



Renywell
*Spherical
encoder*

Resolvern



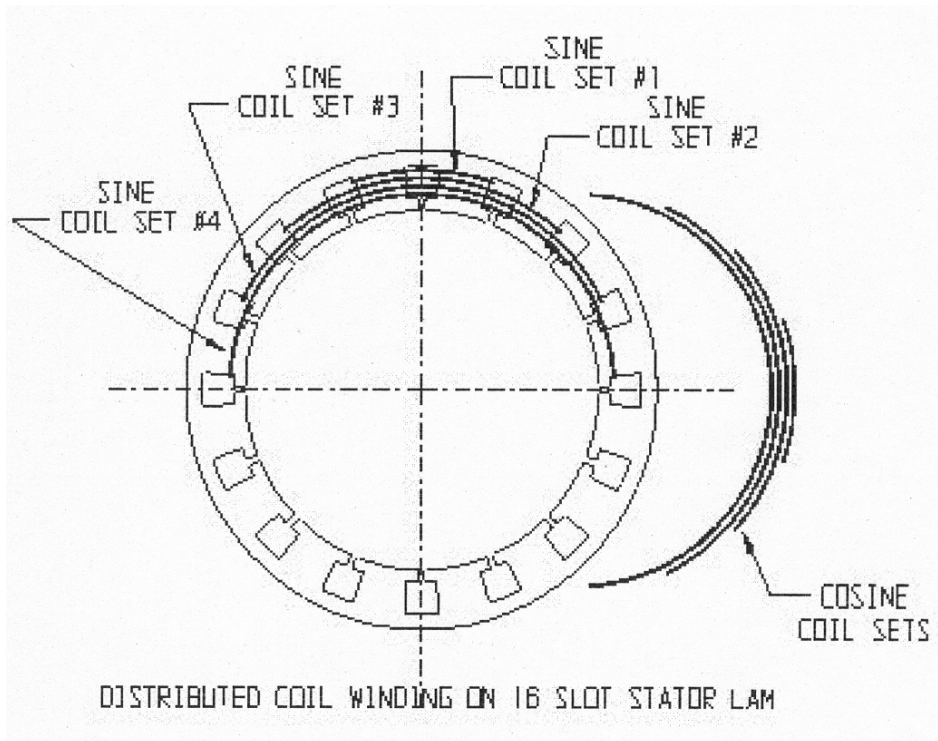
$$V_1 = V_{REF} \sin(\omega t) \sin(\theta)$$



$$V_2 = V_{REF} \sin(\omega t) \cos(\theta)$$

Resolvern är en roterande transformator med tre lindningar på statorn V_{REF} V_1 och V_2 och tre lindningar i rotorn. Spänningen V_{REF} transformeras via rotorn tillbaka till statornlindningarna och blir då sin/cos i förhållande till rotorns vridningsvinkel θ .

Resolverlindningar



Sinus och cosinus format flöde runt periferin får man genom att linda spolarna på speciellt sätt.

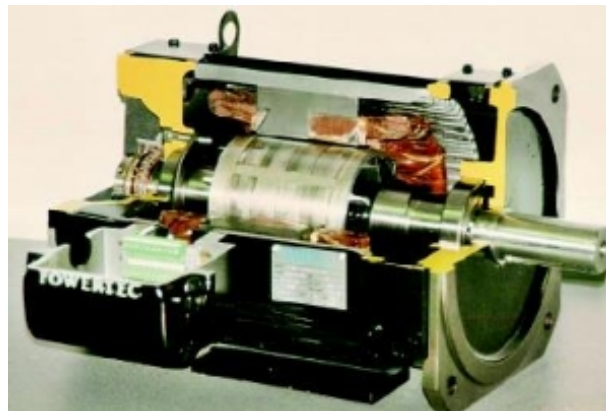
De består vardera av tre spol-set som lindas 90° i förhållande till varandra.

En automatisk maskin gör lindningsjobbet.

Servomotorer

Resolvern är ofta inbyggd i elektriska servomotorer för att se till att spänningen kopplas in till lindningarna vid rätt vinkellägen.

Eftersom resolvern är uppbyggd som en ”motor” kan den utföras i form av några *extralindningar*, vilket då blir en mycket ekonomisk lösning.



60°

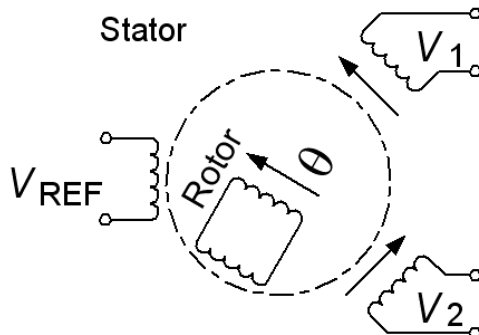
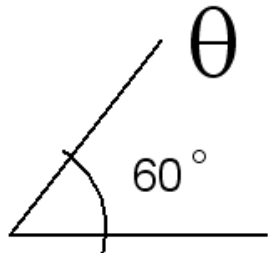
Resolver



$$\sin(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos(60^\circ) = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}$$

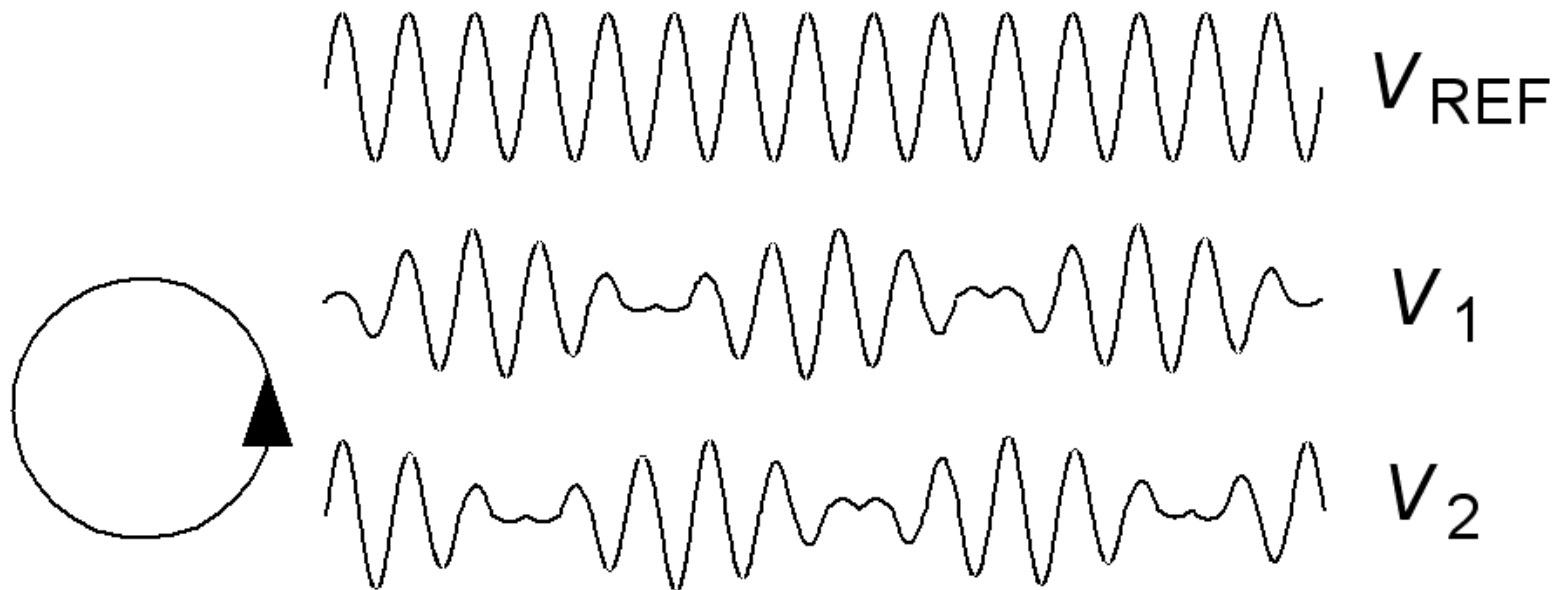
$$\frac{1}{2}$$



$$V_1 = V_{REF} \sin(\omega t) \boxed{\sin(\theta)}$$

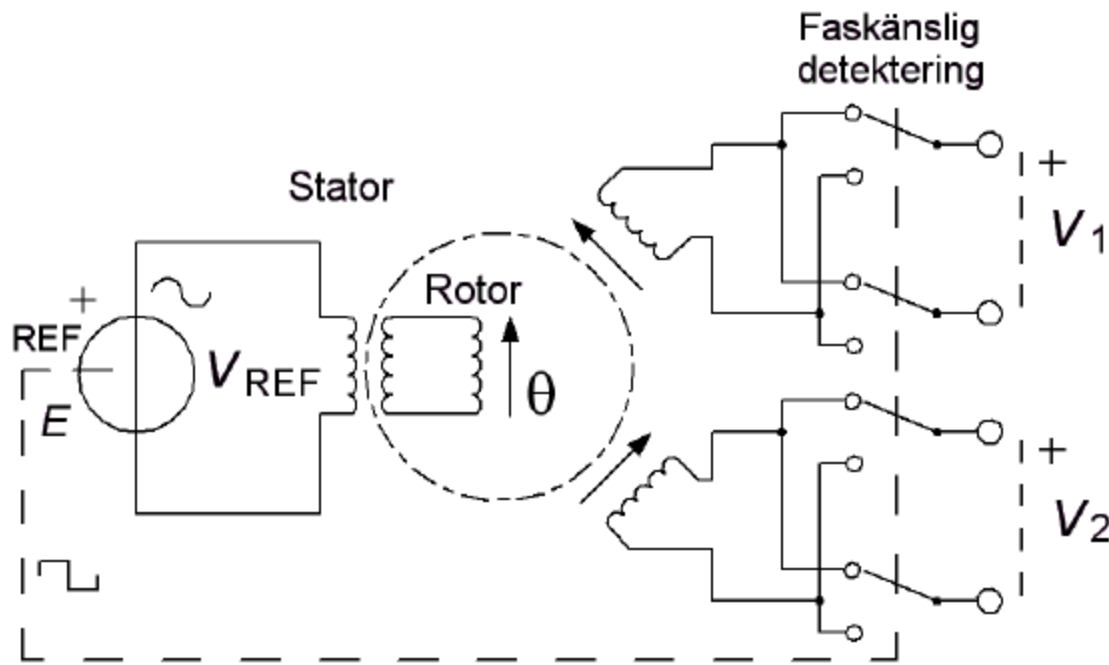
$$V_2 = V_{REF} \sin(\omega t) \boxed{\cos(\theta)}$$

Resolvern



När resolveraxeln roterar så moduleras V_1 med sinus av rotationsfrekvensen, och V_2 med cosinus av rotationsfrekvensen.

Faskänslig detektering

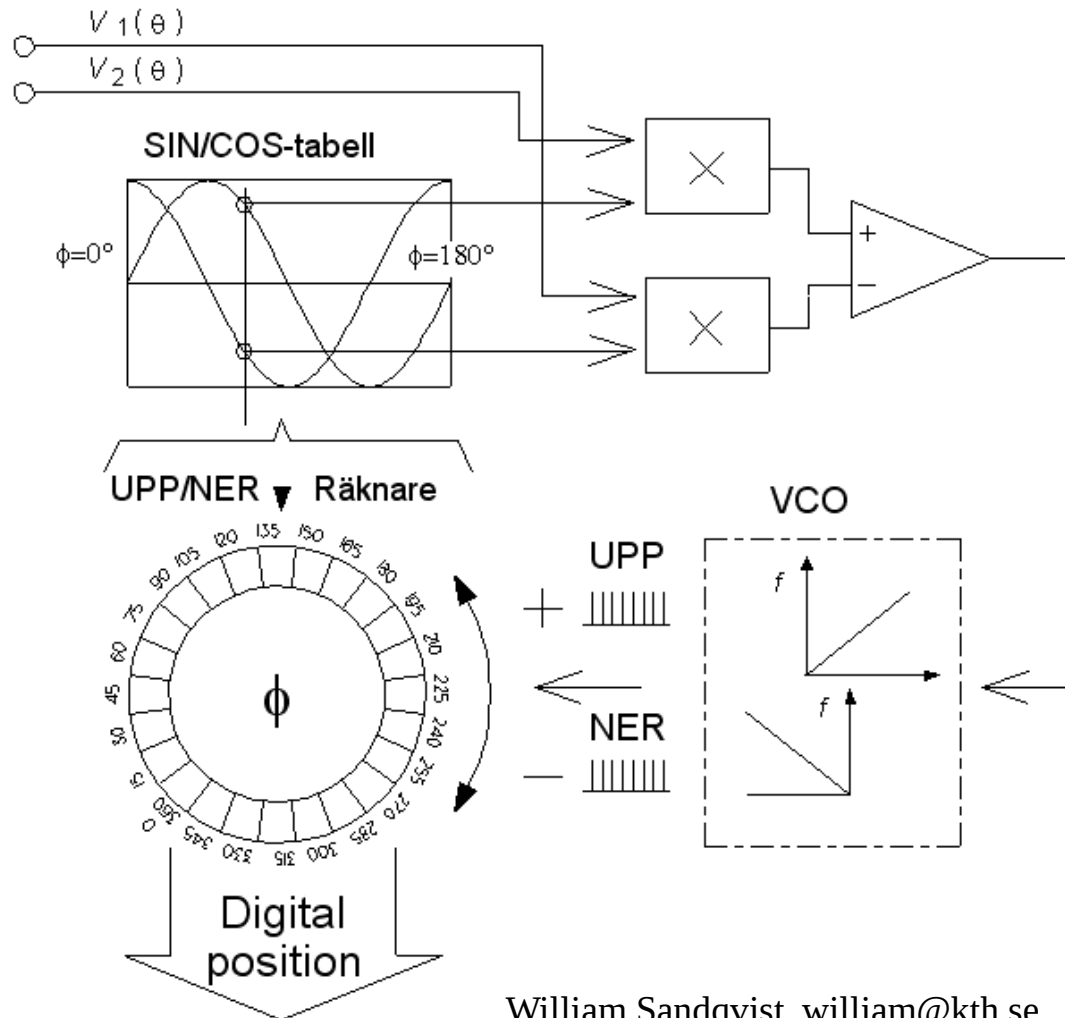


Principbild.

$$V_1 = V_{REF} \sin(\theta)$$

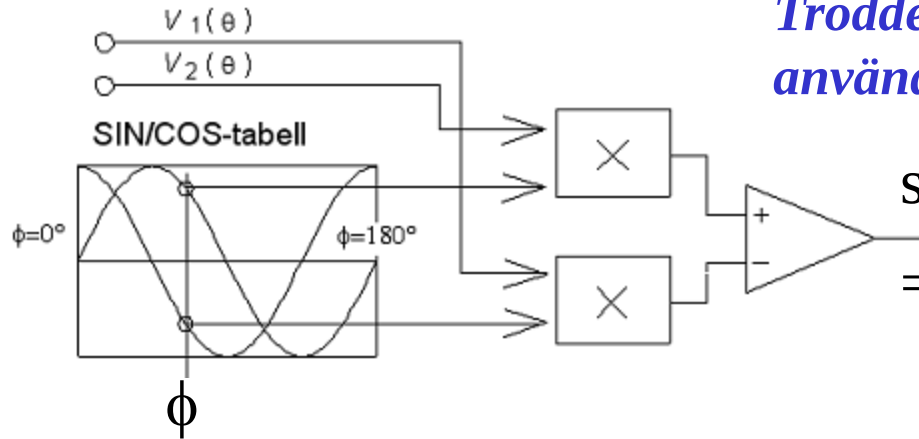
$$V_2 = V_{REF} \cos(\theta)$$

Resolver – digitalomvandling



RD-omvandlaren ”tror” att vinkeln är ϕ och ”slår upp” $\cos\phi$ och $\sin\phi$ i en tabell. Resolvers verkliga vinkel är θ och en **felsignal** bildas som vrider upp/ner-räknaren mot rätt värde.

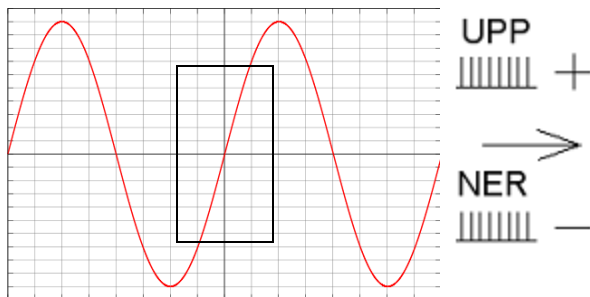
Felsignalen



Trodde Du någonsin att Du skulle få användning för denna Gymnasieformel?

$$\sin(\phi) \cdot \cos(\theta) - \sin(\theta) \cdot \cos(\phi) = \sin(\phi - \theta)$$

$\sin(\phi - \theta)$

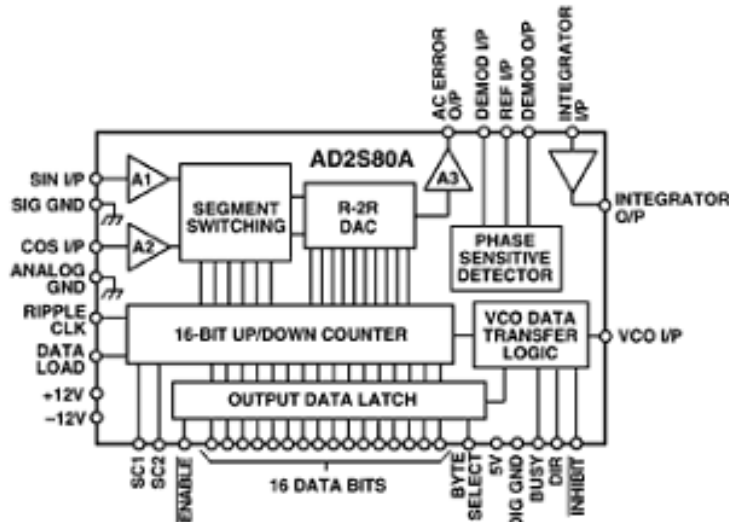


$$\Rightarrow \phi = \theta$$

Felsignalen $\sin(\phi - \theta)$ bildas ur spänningarna $V_1(\theta)$ och $V_2(\theta)$ från resolvern.

Felsignalen styr så att efter ett tag är $\phi = \theta$.

RD-omvandlare



Pris 1000:-

Vanligare än att köpa en RD-omvandlare, är låta inbygggnadsprocessorn AD-omvandla V_1 och V_2 signalerna, och genomföra beräkningsalgoritmen med programvaran.

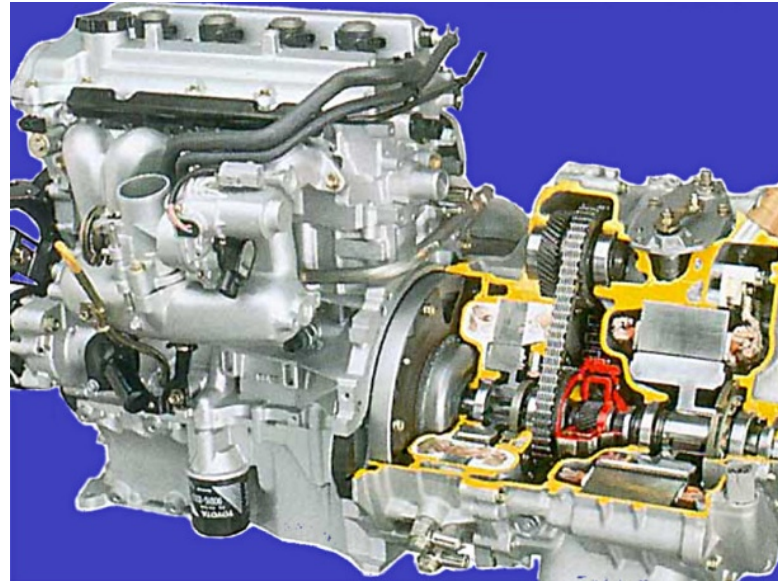


Vad finns i en hybridbil?



Hybridbilen har bensinmotor med en ”dynator”, = elmotor/generator

Den av förbänningsmotorn eller elmotorn (500V) som som *för tillfället* passar bäst är det som driver fordonet!



Vid alla inbromsningar lagras energi i batteriet. Detta blir bränslesnålt.

Variabel reluktans resolver

Mindre känt är att:

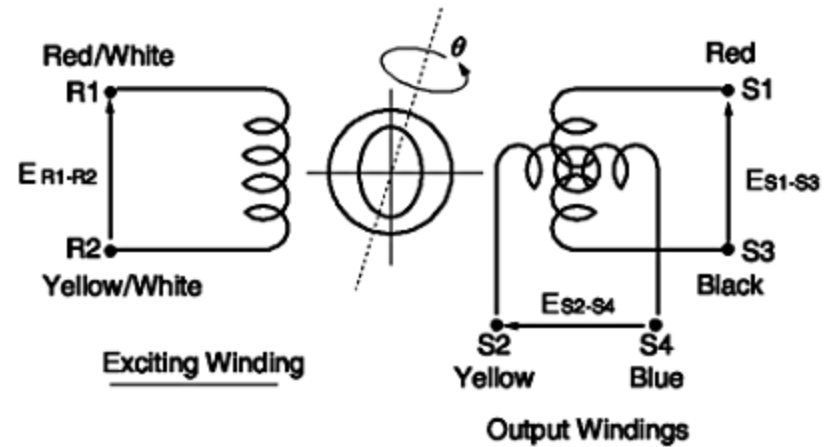
Variabel reluktans resolvern
är vinkelgivaren som
möjliggjorde Toyota Prius!

Den vinkelgivaren måste sitta
på sämsta möjliga ställe – mitt
mellan förbränningsmotor och
elmotor. Stryktåligheten är ett
måste!



En roterande transformator ...

VR-resolvern består av plåtar och koppartråd – dvs en mycket robust vinkelgivare som passar att sitta inuti en ”het” förbränningsmotor.



Rotorn (av plåt) är slipad så att den transformerar över en växelspännings värde till de två lindningarna som *sinus* respektive *cosinus* av vridningsvinkeln θ .

Variabel reluktansresolvér.

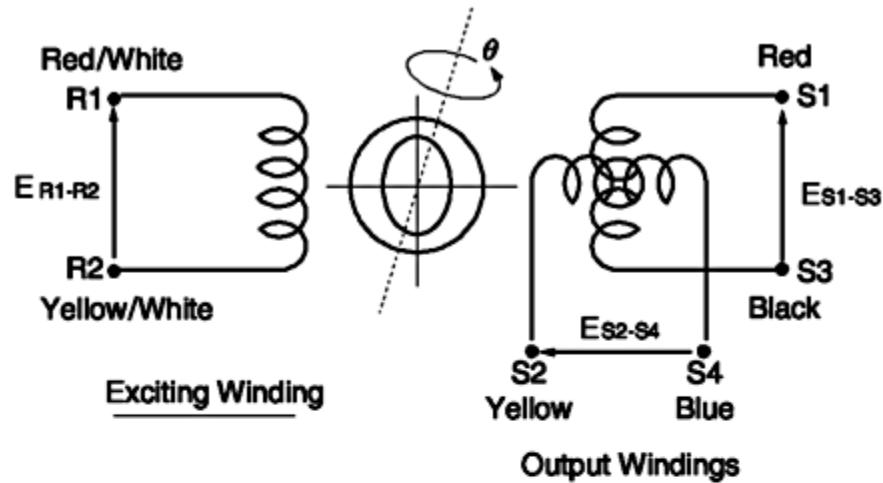
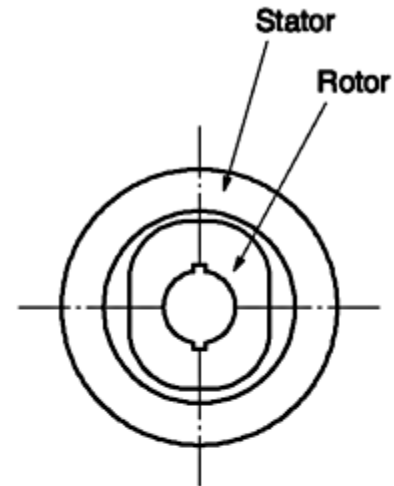


Fig. 1 Wiring Diagram



(a) 2 X 2-polig rotor

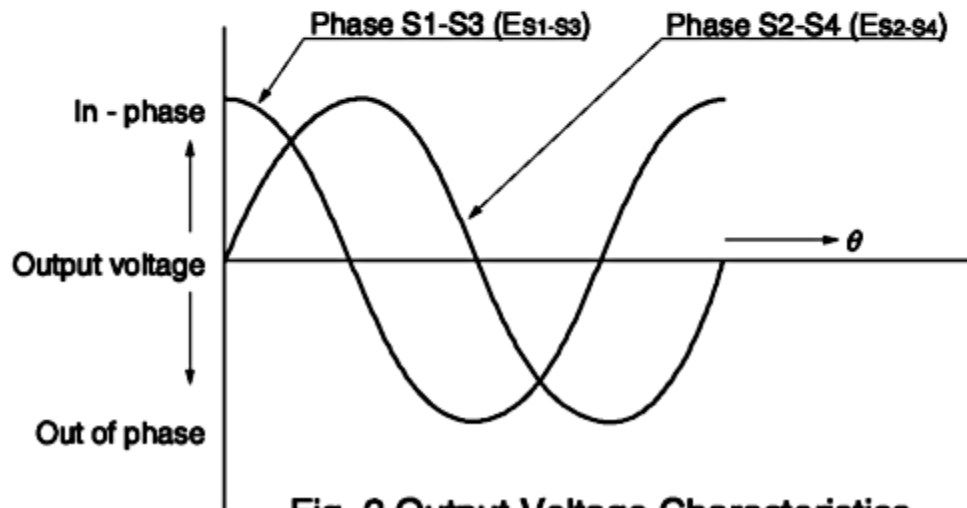
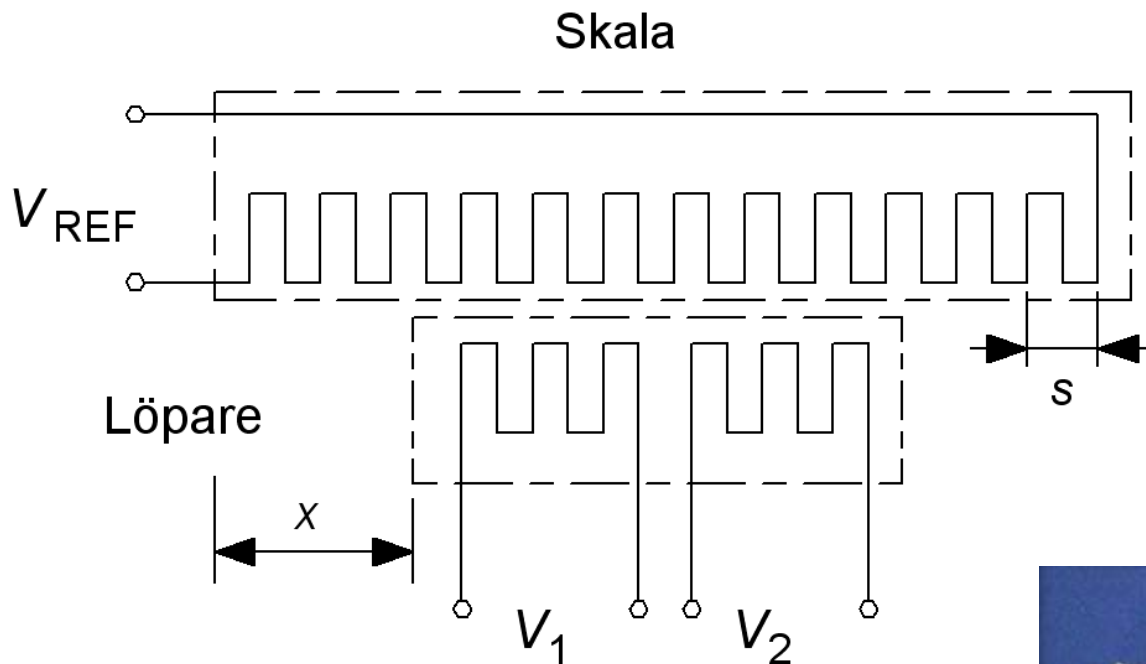


Fig. 2 Output Voltage Characteristics



4 X
4-polig
rotor

Induktosyn



$$V_1 = V_{REF} \sin(\omega t) \sin\left(\frac{2\pi x}{s}\right)$$

$$V_2 = V_{REF} \sin(\omega t) \cos\left(\frac{2\pi x}{s}\right)$$

Inom perioden s använder man RD-omvandlare, däremellan måste man hålla reda på varje passerad period med någon annan metod.

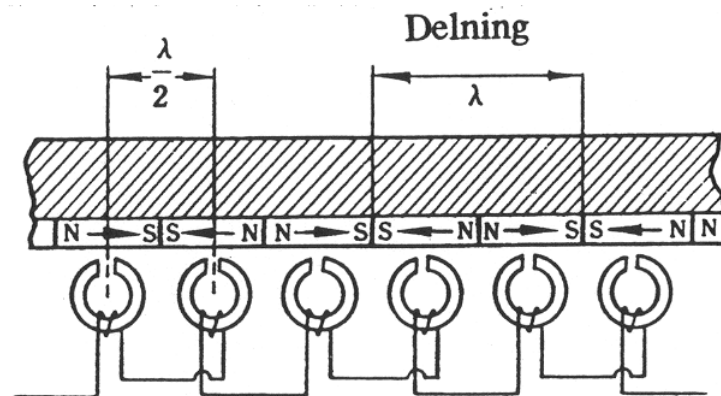




Sony Magnescale



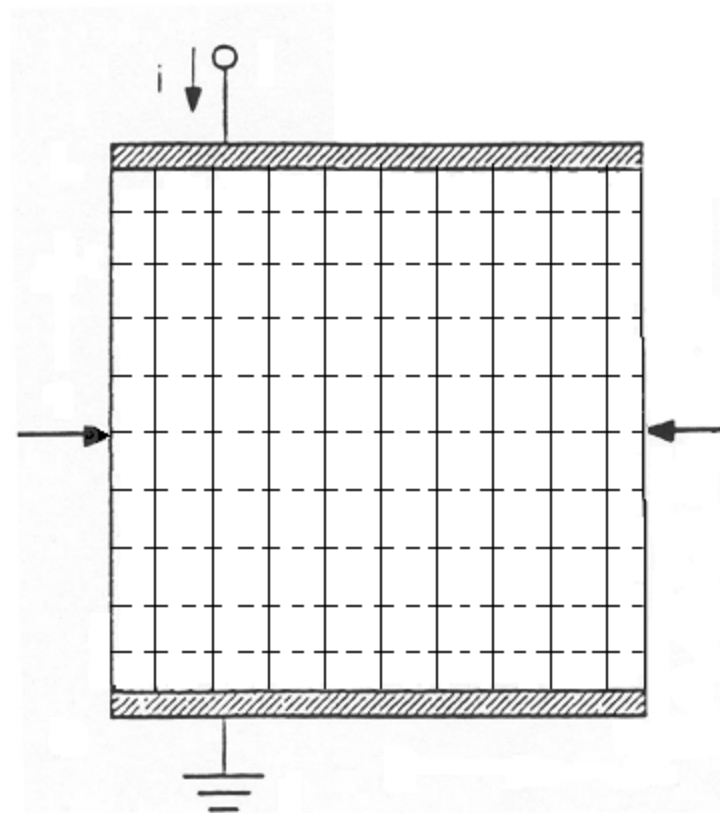
Sony har nog fortfarande några tonhuvuden på lager?



Halleffekten

En platta genomflytes av en ström mellan två av sidorna. Strömbanorna blir parallella och laddningsfördelningen i skivan homogen.

De två elektroderna (pilarna) ligger längs samma spänningslinje, och det blir ingen resulterande spänningsskillnad dem emellan.

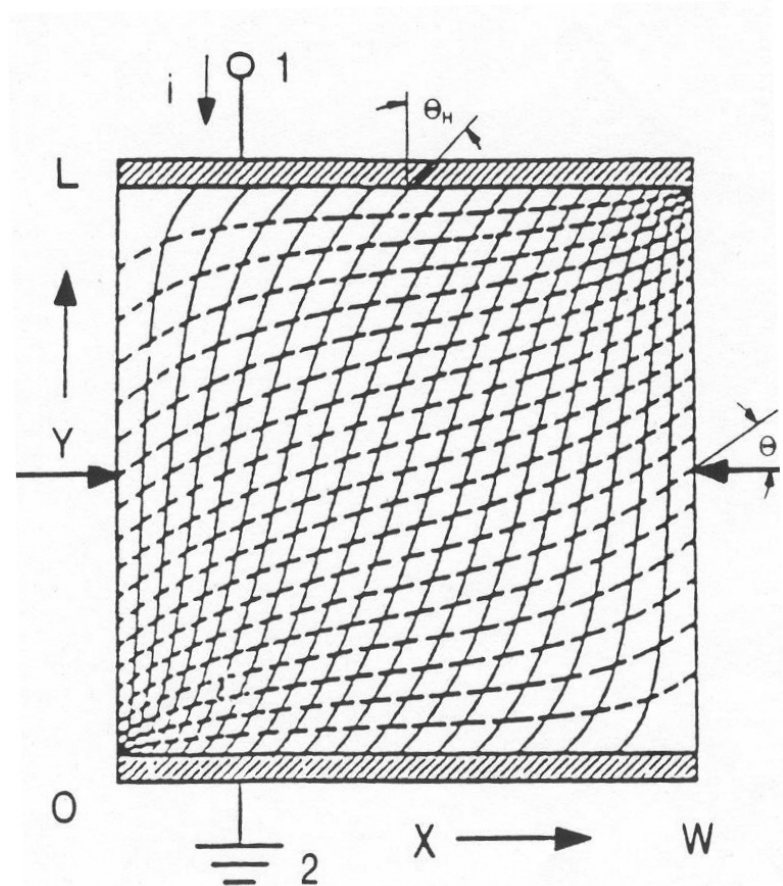


Halleffekten

Nu tvingar ett magnetfält laddningarna ”ur kurs”. Strömbanorna böjer av, och laddningsfördelningen blir ojämn.

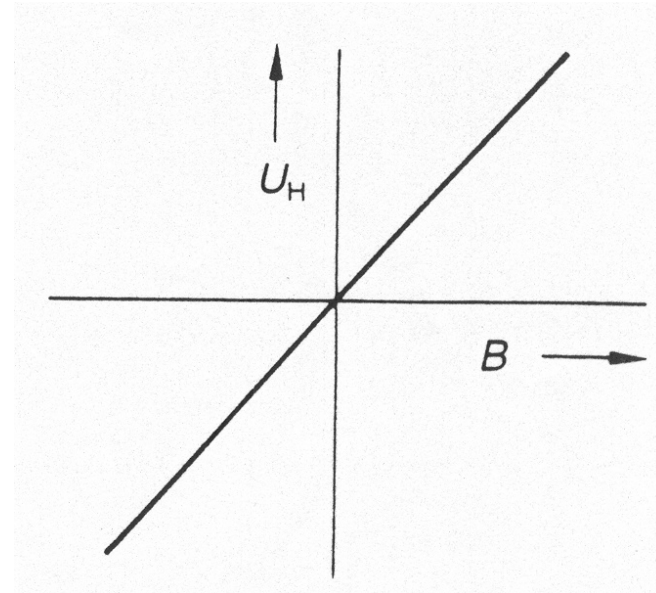
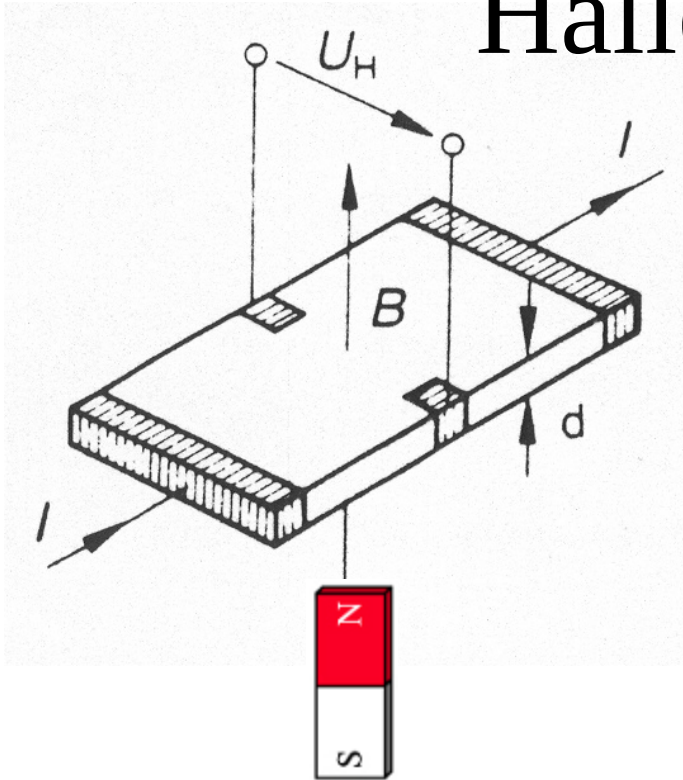


De två elektroderna (pilarna) ligger nu på olika spänningslinjer, och det uppkommer en spänningsskillnad.



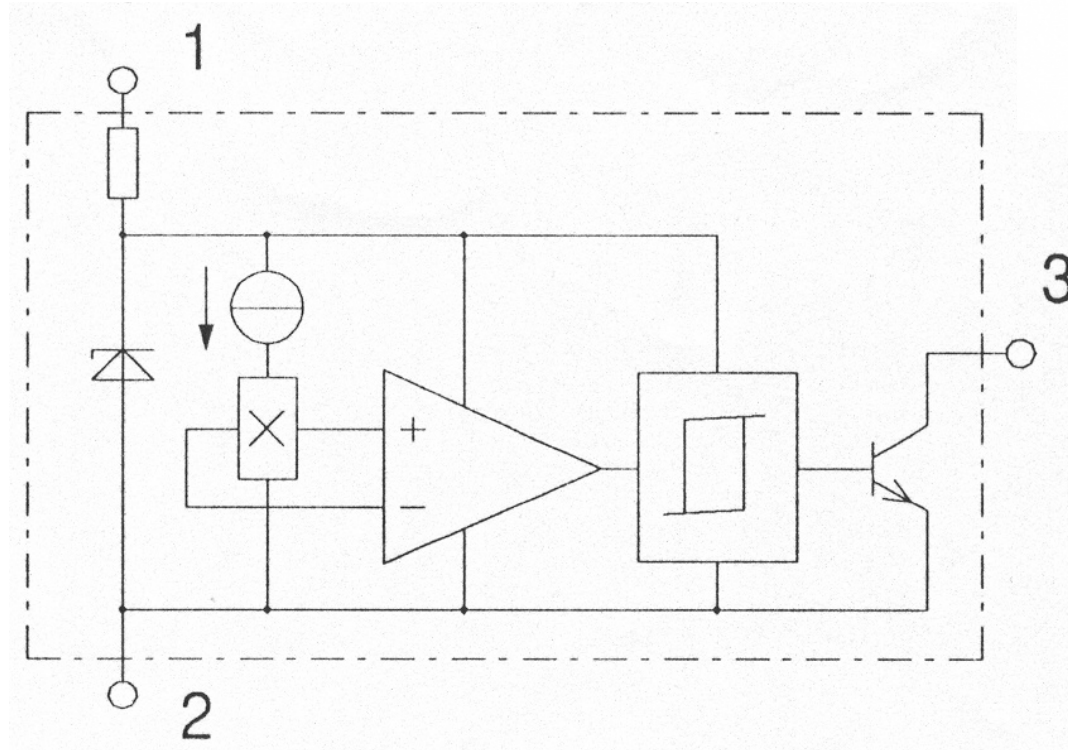
Ju starkare magnetfält, desto större spänning mellan pilarna!

Halleffekten



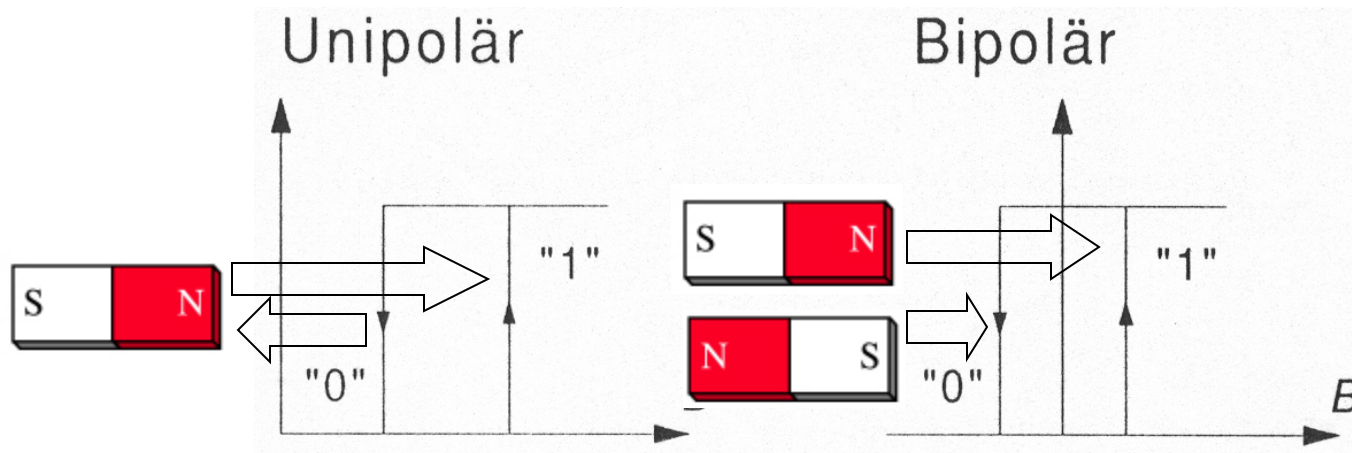
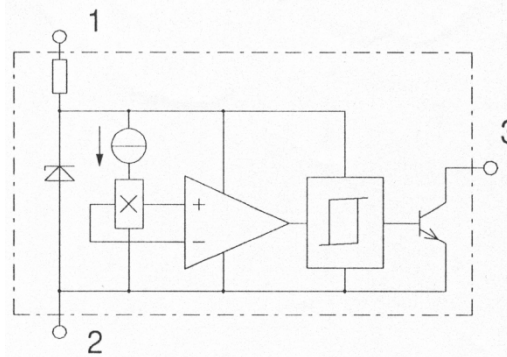
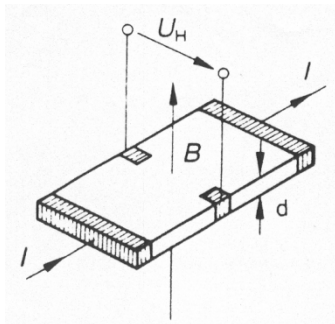
En svag Hallspänning U_H proportionell mot magnetfältets flödestäthet B , indikerar närvaron av magneten.

Hallswitch



Strömregulator, Hallelement, förstärkare, Schmitt-trigger, drivsteg.

Hallgivare Unipolär/Bipolär



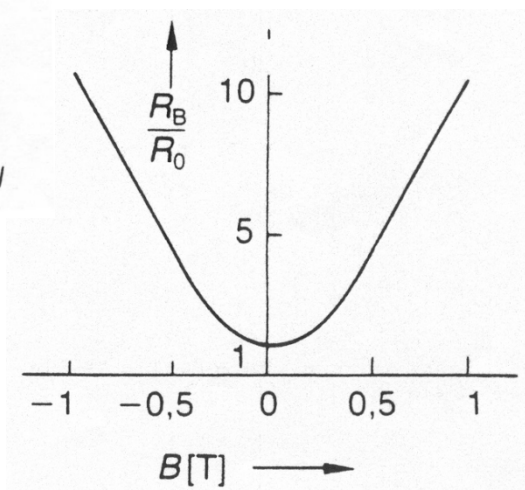
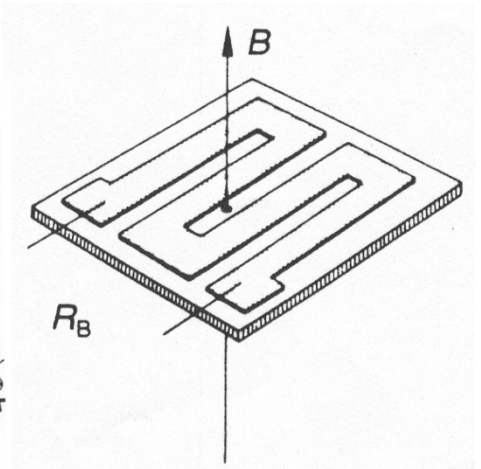
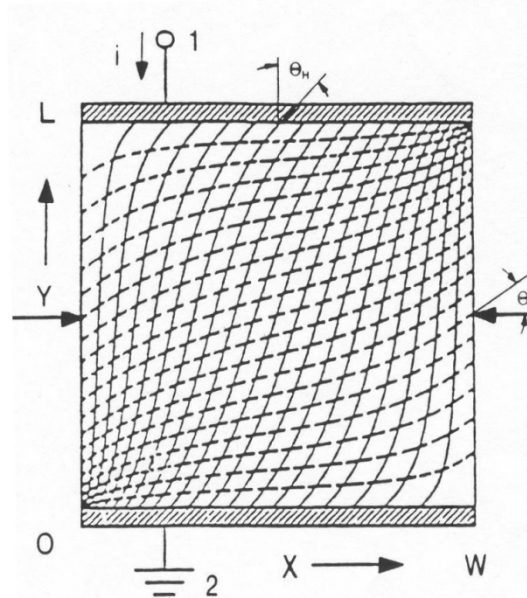
Magnetoresistiva effekten

De avböjda strömbanorna blir *längre*.

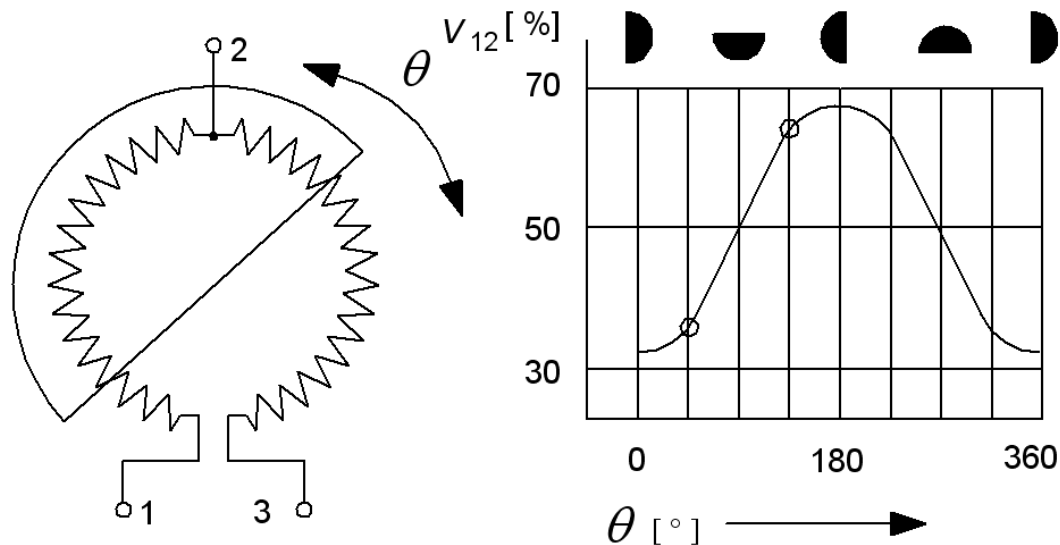
Resistansen i skivan ökar.

Denna magnetoresistiva effekt är oberoende av magnetfältets riktning.

Vänder man magneten så blir det naturligtvis en *lika stor* förlängning av strömbanorna.

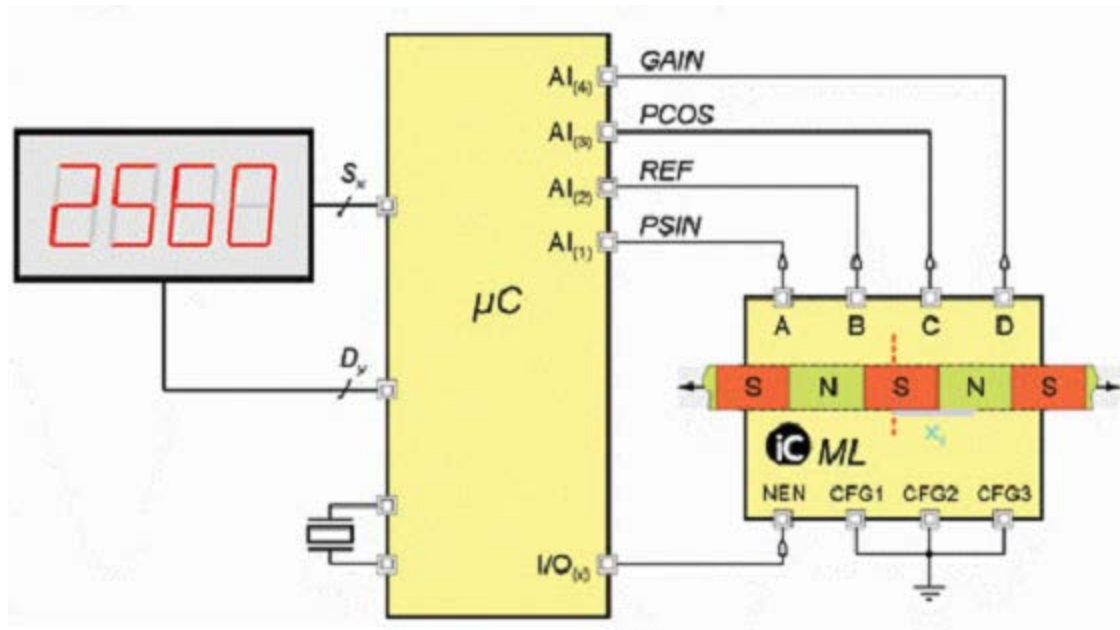
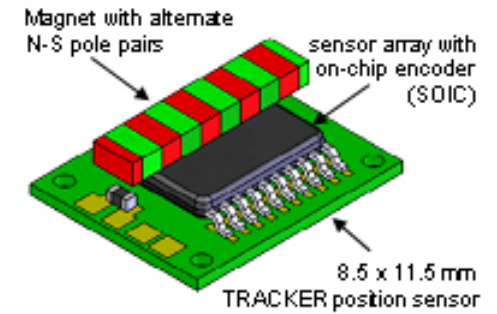


Magnetoresistiv potentiometer

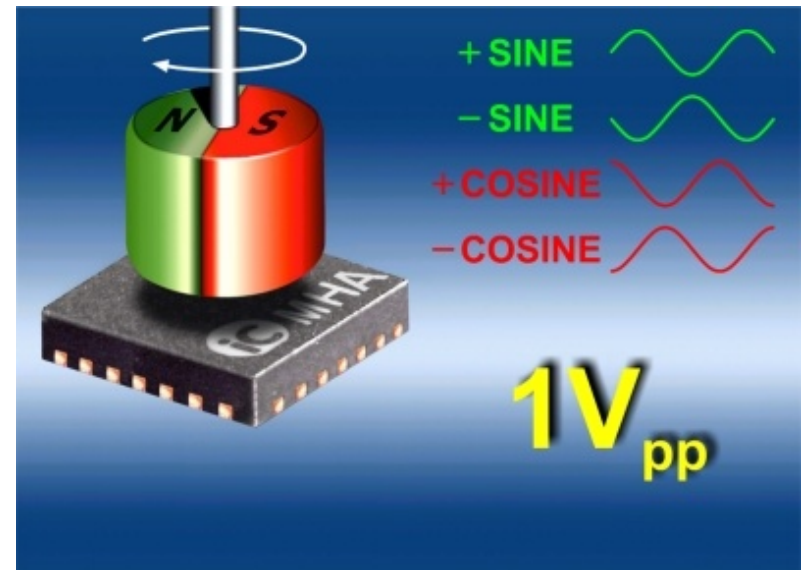
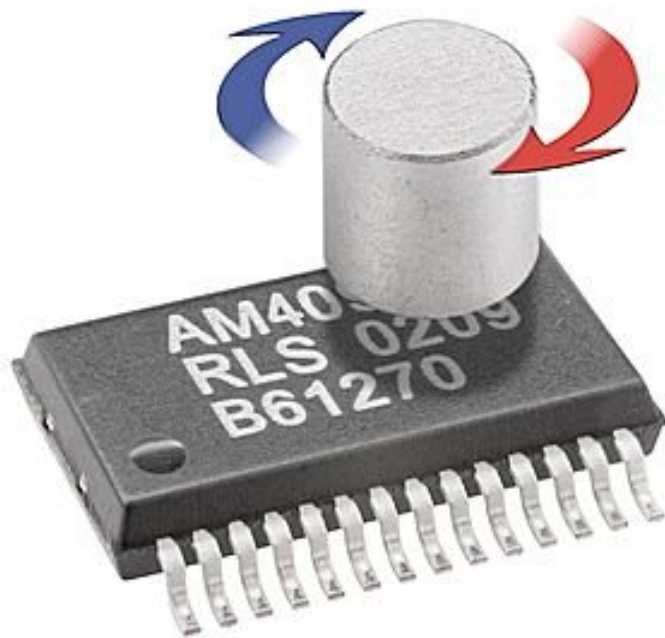


Outslitlig ...

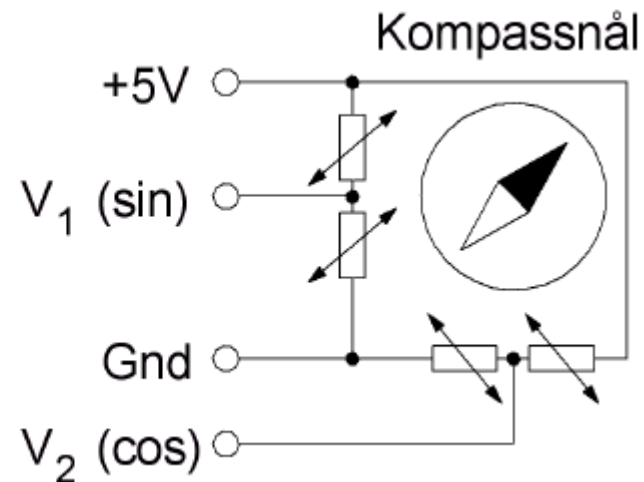
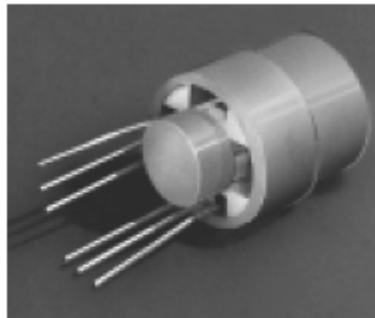
Linjära Hallsensorer



Hallsensorer Vinkel



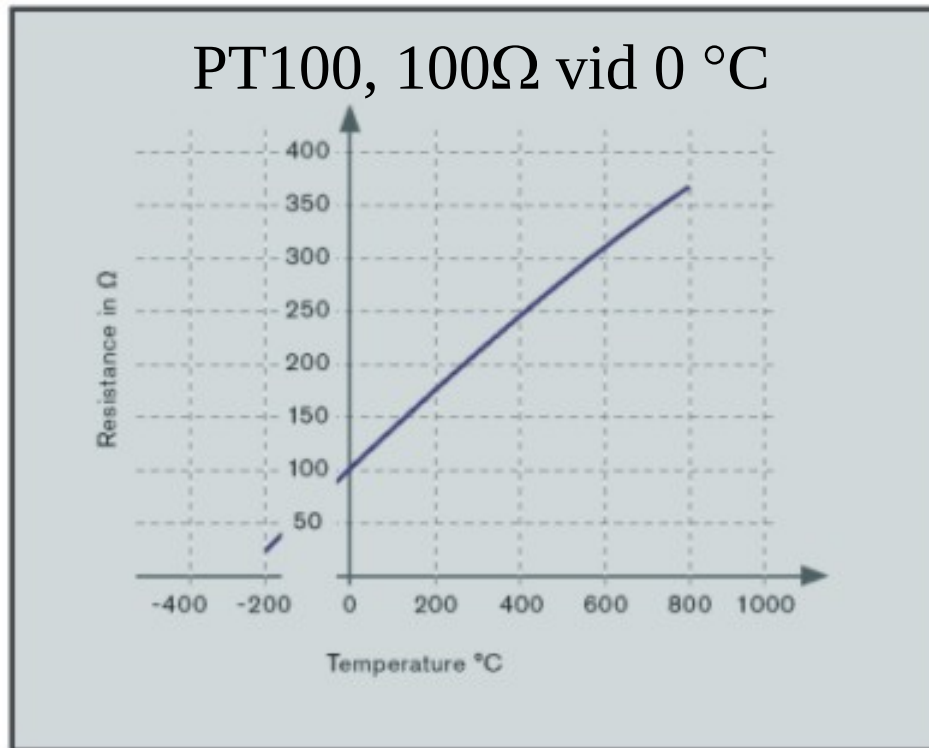
Kompass magnetoresistorer



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!

Resistanstermometrar



Resistiva
temperaturgivare.
Platina, Nickel
(Koppar – USA)

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

Linjär approximation:

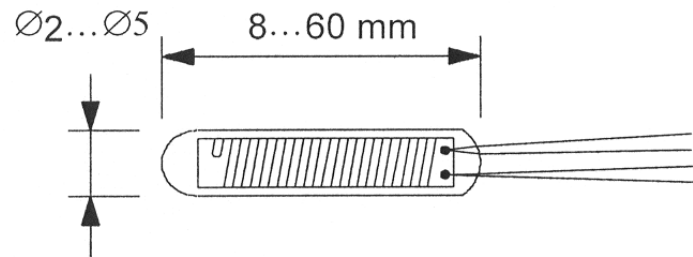
$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

$$R_0 = 100 \, \Omega$$

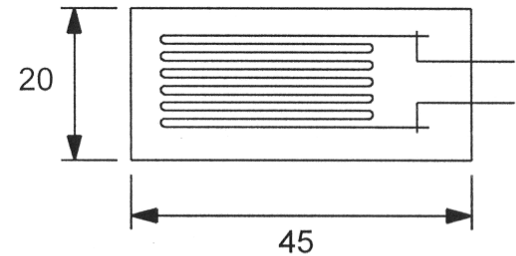
Materialkonstanter för resistiva givarelement

Material	a [/°C]	b [(/°C) ²]	α [/°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)	$+5,43 \cdot 10^{-3}$	$+7,85 \cdot 10^{-6}$	$+6,17 \cdot 10^{-3}$

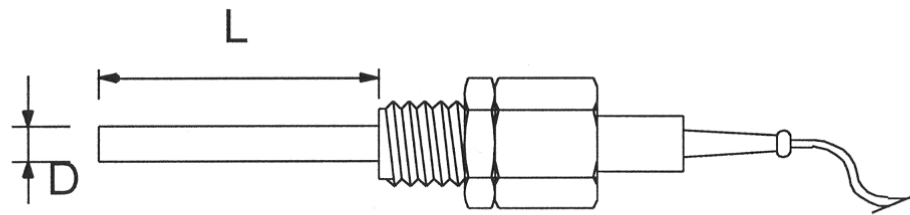
Temperaturgivare – mätmotstånd



Mätmotstånd i hårdglas. Motståndet är försett med fyra anslutningstrådar.

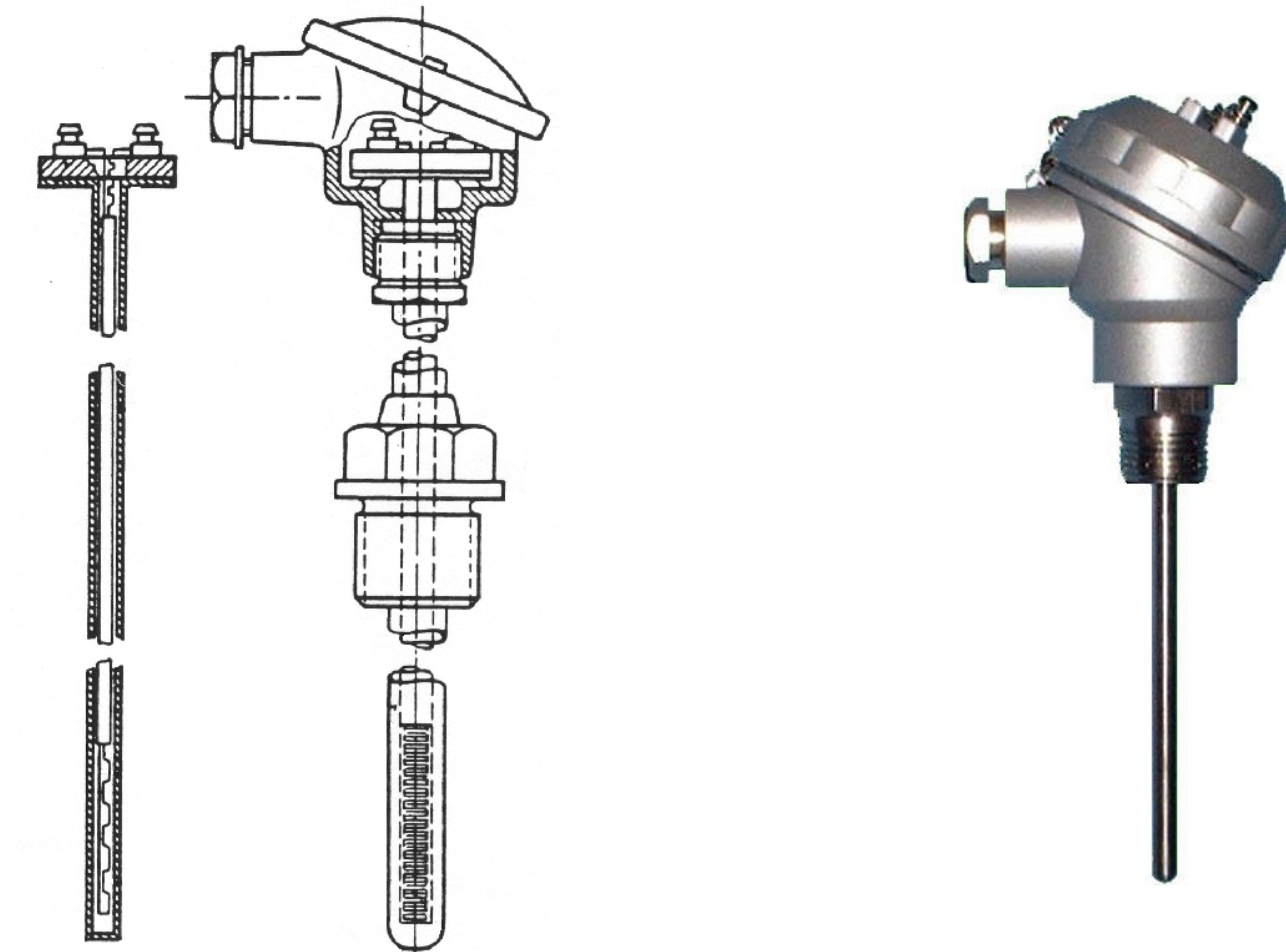


Yttemperaturgivare bestående av nickelslinga på underlag av glasfolie eller glimmer



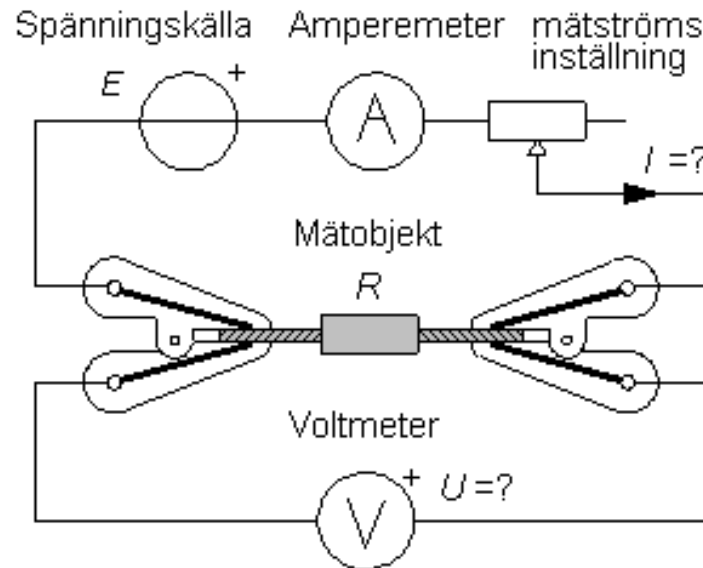
Insticksgivare för mätning av temperatur i rörledningar, cisterner etc.
(Principskiss.)

Processindustri



William Sandqvist william@kth.se

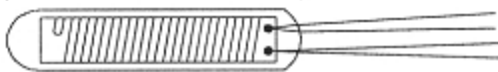
Resistansmätning, Fyrtrådsmätning



Kelvin-
klämmor

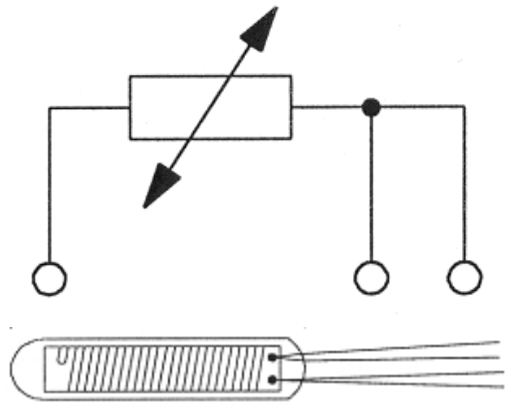


$$R = \frac{U}{I}$$

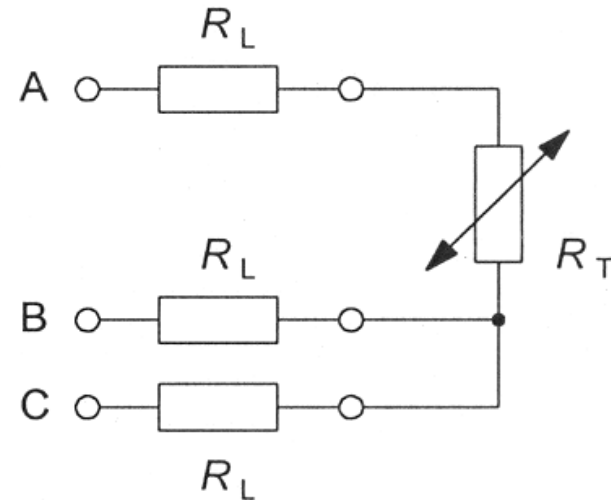


Så, det var därför mätmotståndet hade
fyra ledningar!

Tretrådsanslutning



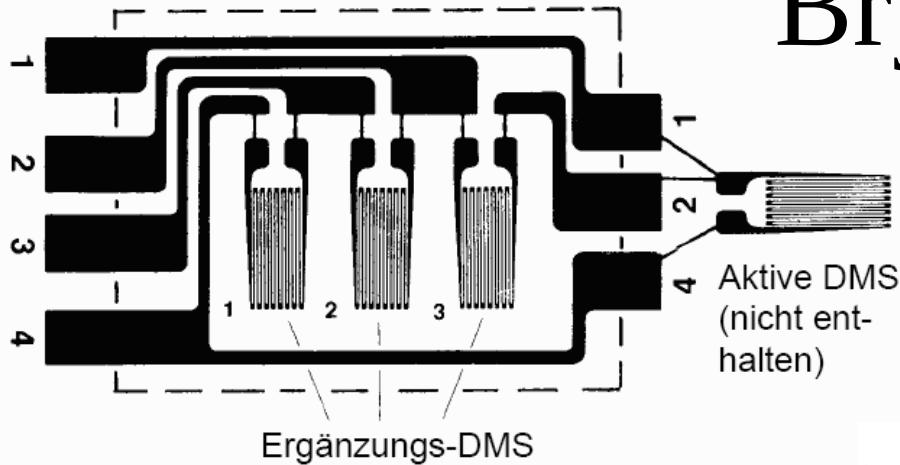
En av de fyra ledningarna
förblir oanvänd



Tretrådsmätning:

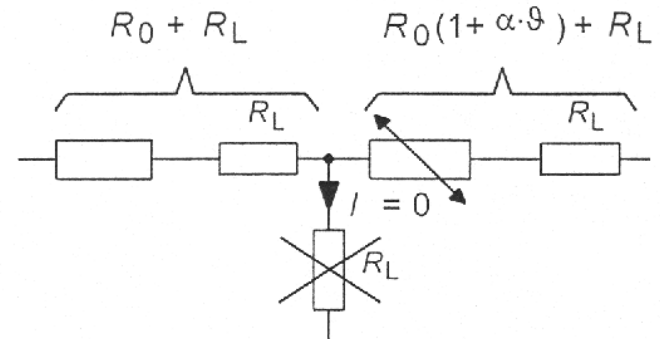
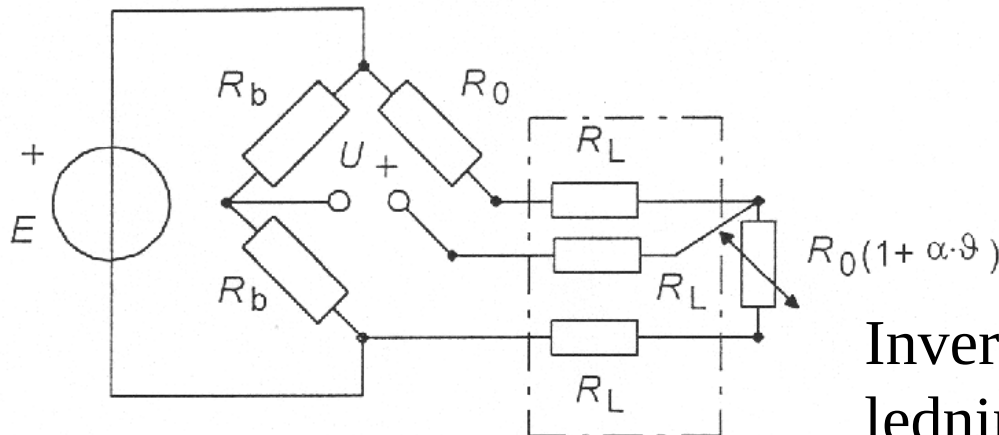
- Mät resistansen mellan A och B $(R_{AB} = R_T + 2R_L)$
 - Mät resistansen mellan B och C $(R_{BC} = 2R_L)$
- Beräkna den sökta resistansen som: $R_T = R_{AB} - R_{BC}$

BCNA-3U-QB



Bryggmätning

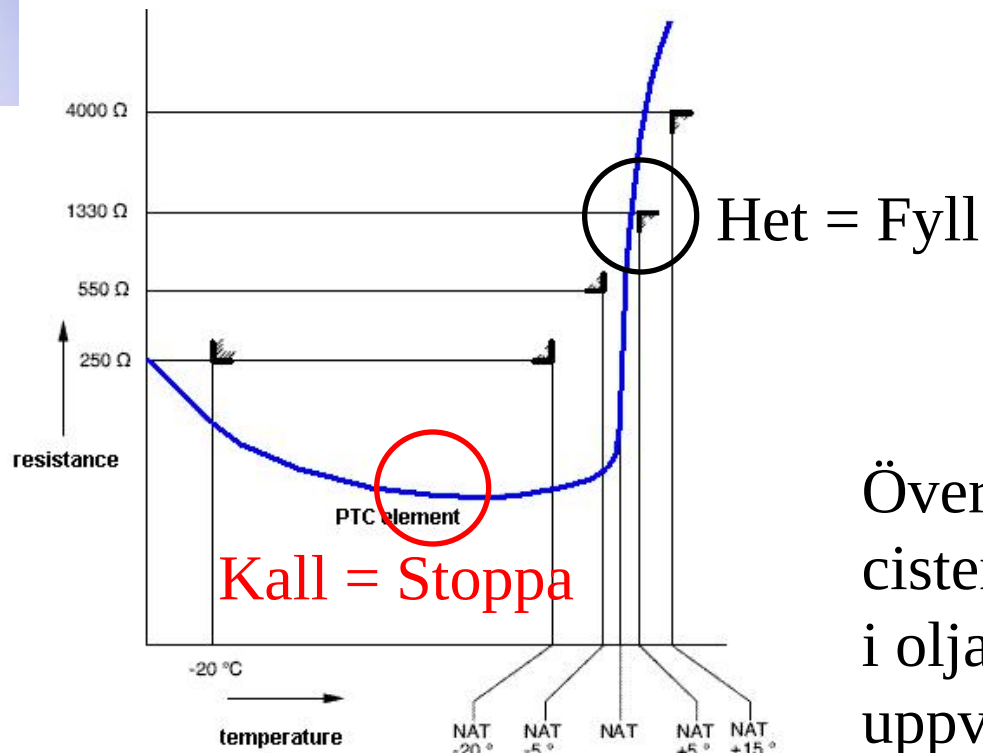
Om töjningsgivaren har långa ledningar skulle resistansens temperaturberoende i dessa kunna bli ett problem.



Inverkan från de två lika stora ledningsresistanserna balanseras bort av bryggan



(PTC – termistorer)



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

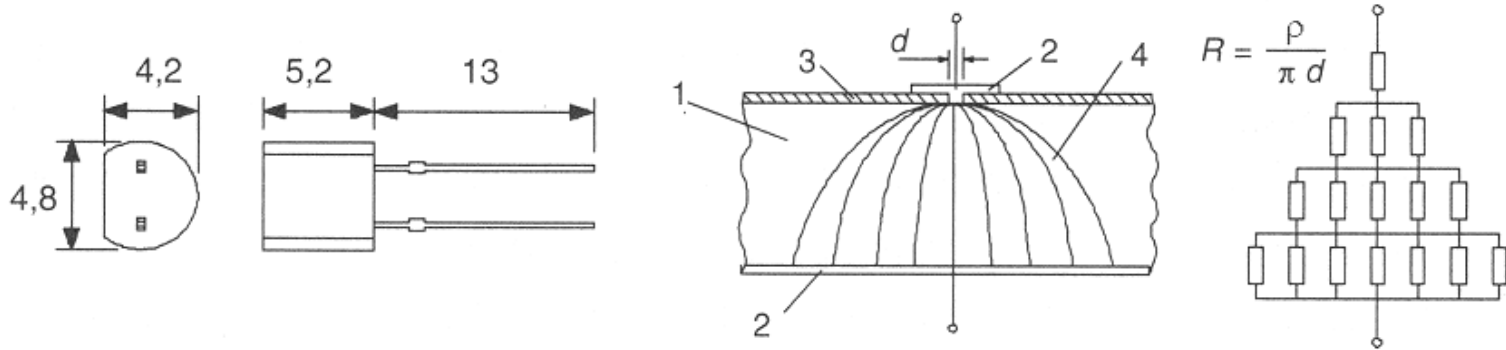
PTC termistorer är starkt *olinjära* och lämpar sig därför *inte* som temperaturgivare utan bara som ”vakter”.

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

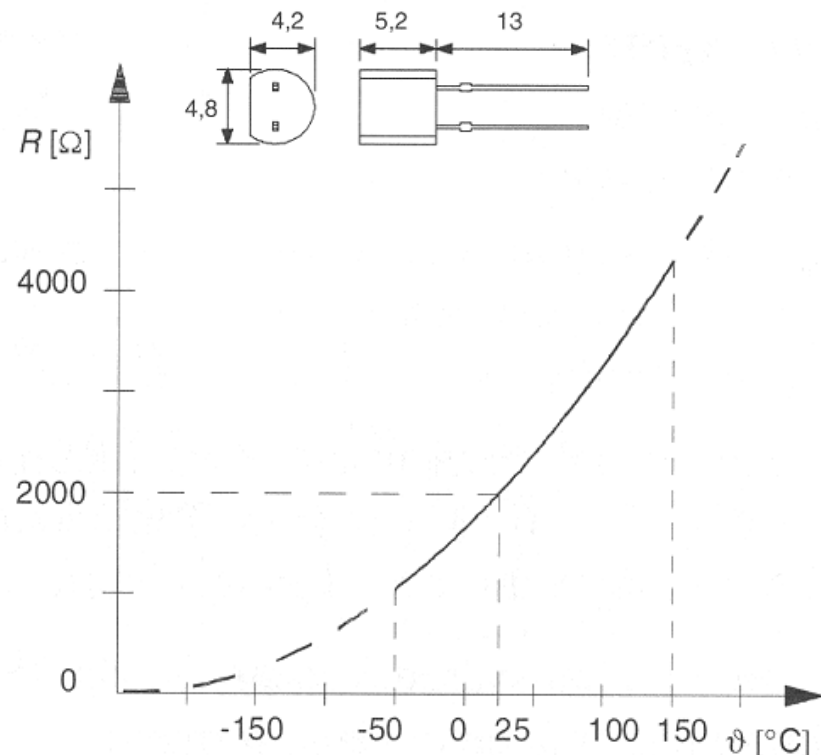
$$R = R_0 + k(\vartheta - \vartheta_0)^2$$

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

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

Givaren har ett enkelt matematiskt temperatursamband.

Det går därför att implementera linjärisering av mätvärdena i programvaran.



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

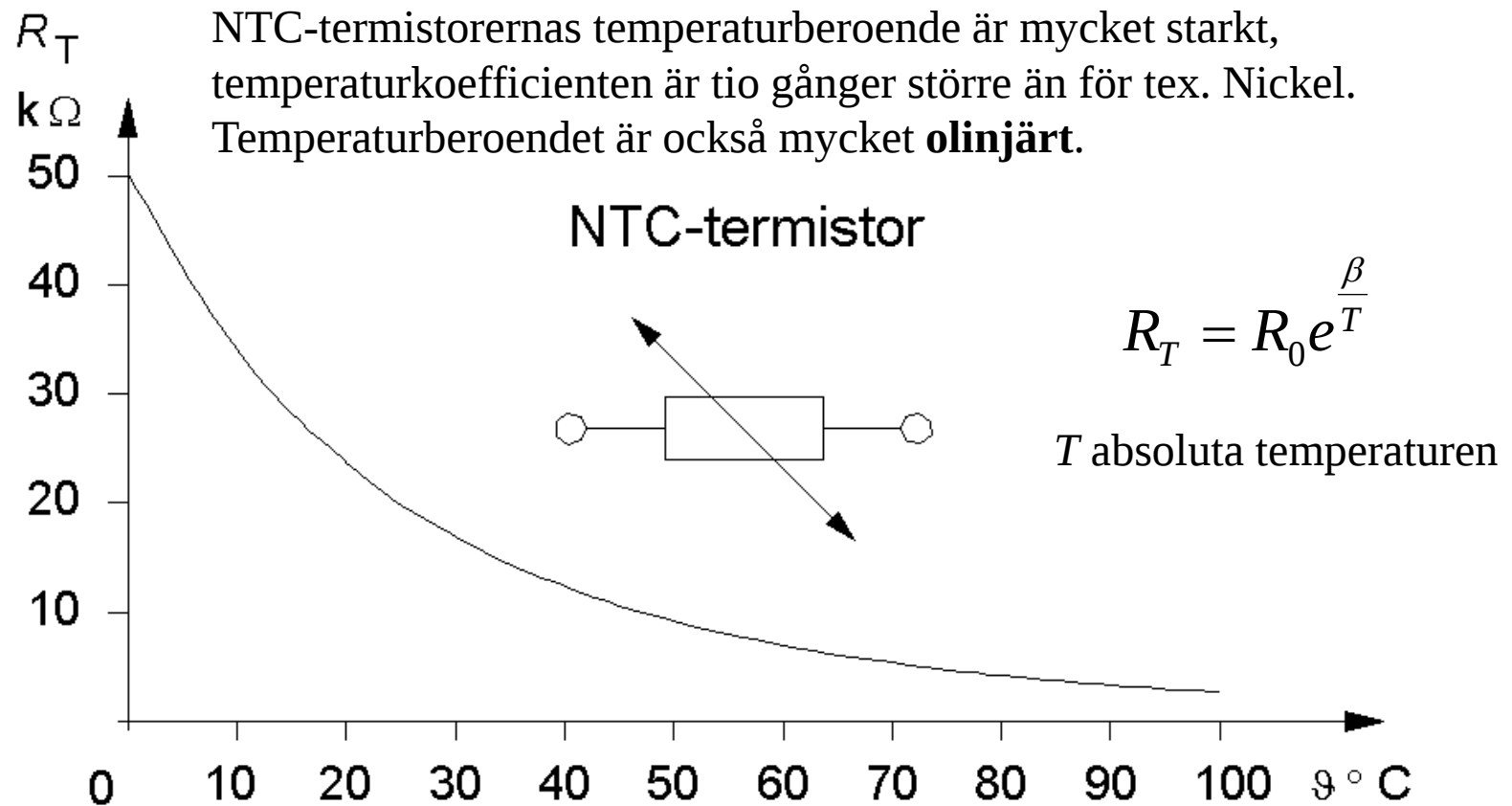
NTC Termistor



Resistorer av metalloxider är mycket temperaturkänsliga.

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

Linjärisering av NTC-termistor



Linjäriseringsexempel

Vi mäter upp resistansen vid tre ”jämnt fördelade” temperaturer, tex 0 °C, 50 °C, och 100 °C. $R_{T0} = 50281 \Omega$, $R_{T50} = 9176 \Omega$, och $R_{T100} = 2642 \Omega$.

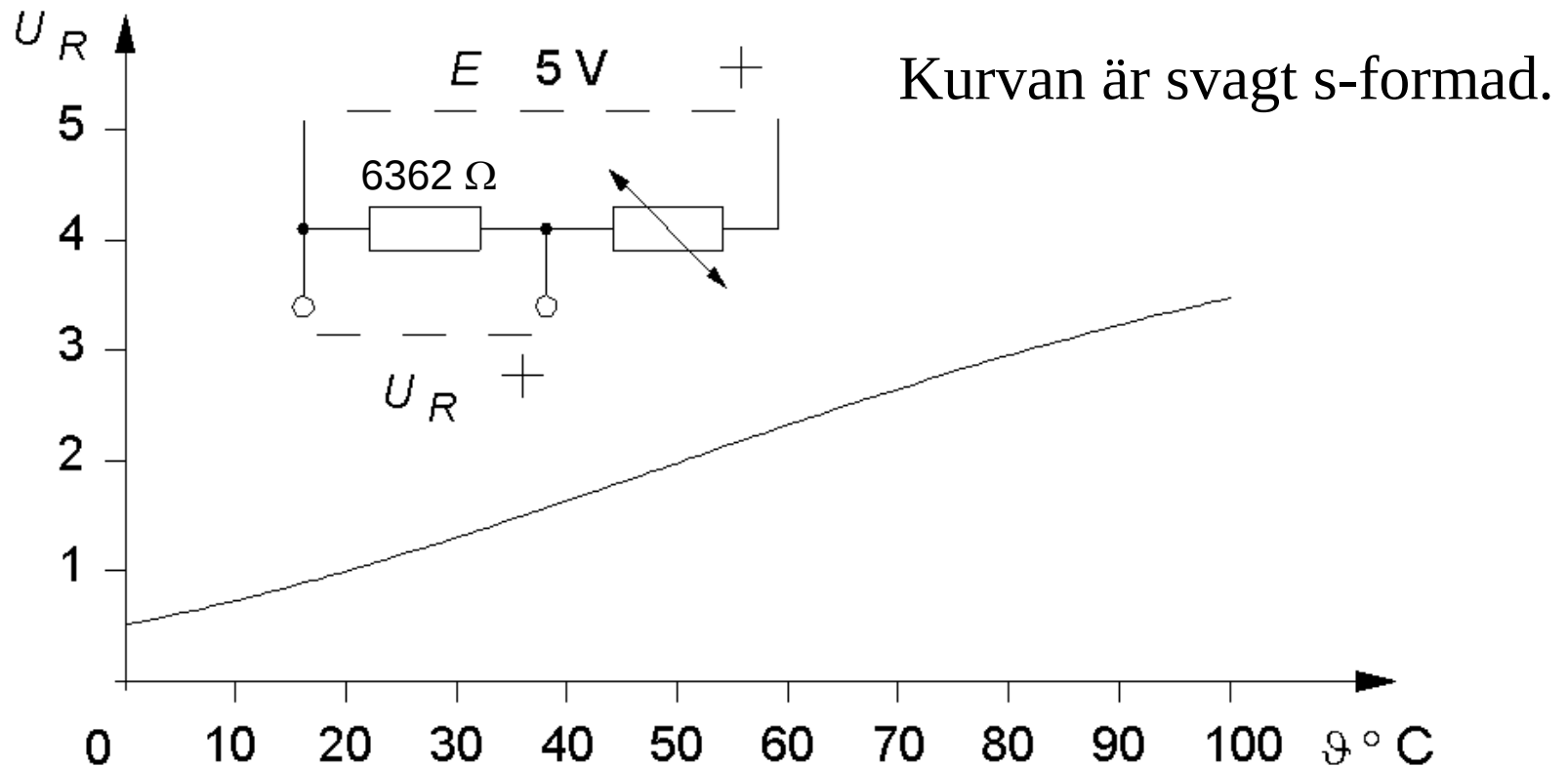
Om det råder linjäritet kommer spänningarna från spänningsdelaren U_{R0} , U_{R50} , och U_{R100} även de vara ”jämnt fördelade”. Vi ansätter:

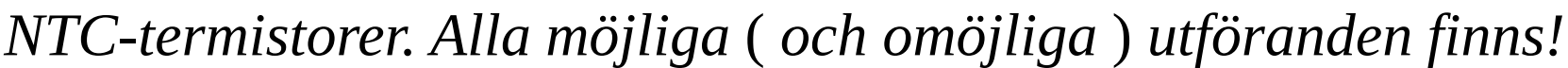
$$\cancel{E} \frac{\cancel{R}}{R_{T50} + R} - \cancel{E} \frac{\cancel{R}}{R_{T0} + R} = \cancel{E} \frac{\cancel{R}}{R_{T100} + R} - \cancel{E} \frac{\cancel{R}}{R_{T50} + R}$$

Om R löses ut:
$$R = \frac{R_{T0}R_{T50} + R_{T50}R_{T100} - 2R_{T0}R_{T100}}{R_{T0} + R_{T100} - 2R_{T50}}$$

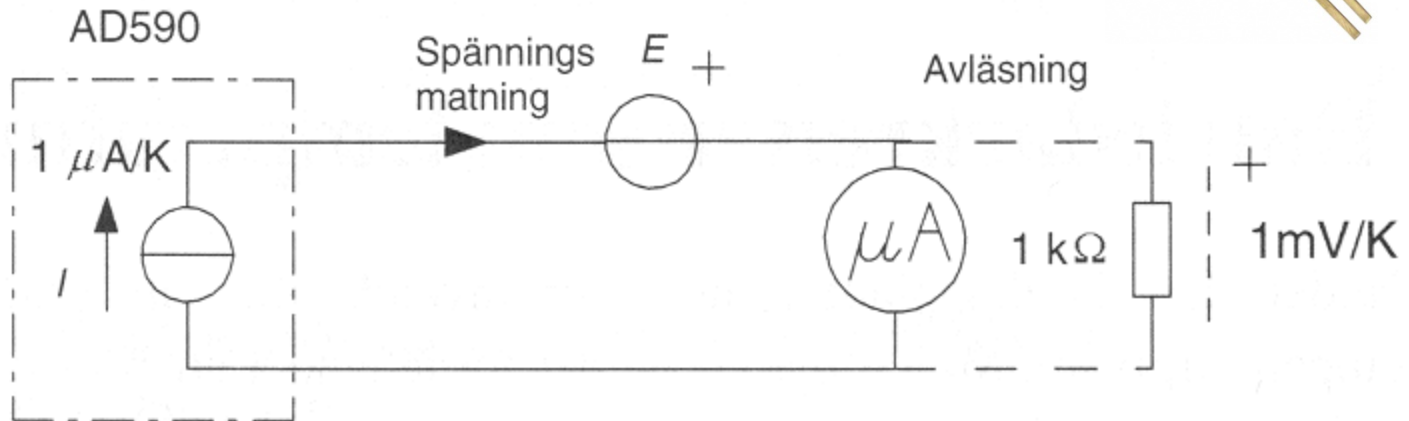
Efter insättning av våra siffervärden får vi $R = 6362 \Omega$.

Resultatet – förvånansvärt linjärt!



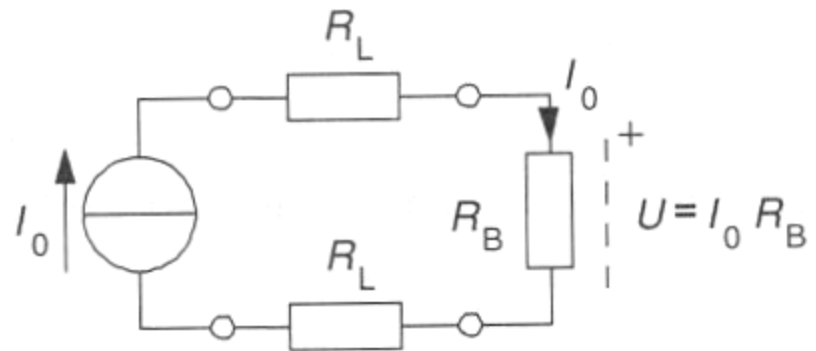


AD590



Ström som signalbärare har många fördelar.

- Ledningsresistanserna inverkar ej.
- Störsäkert.



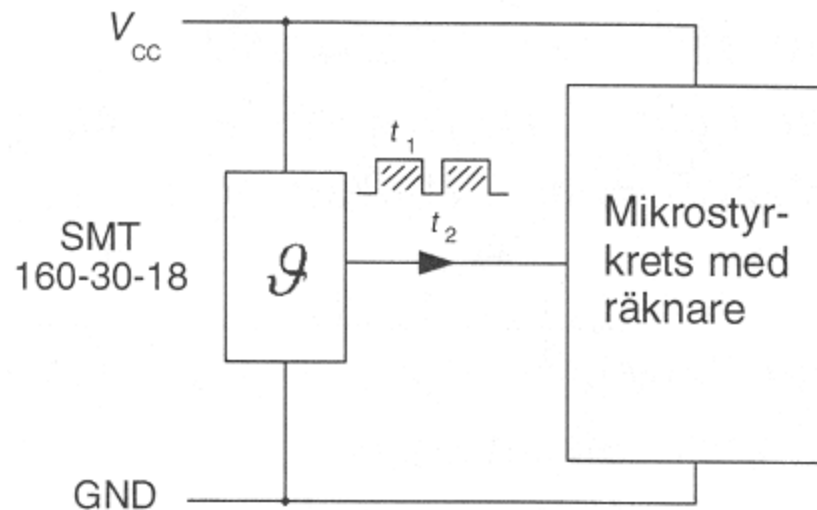
SmartTemp



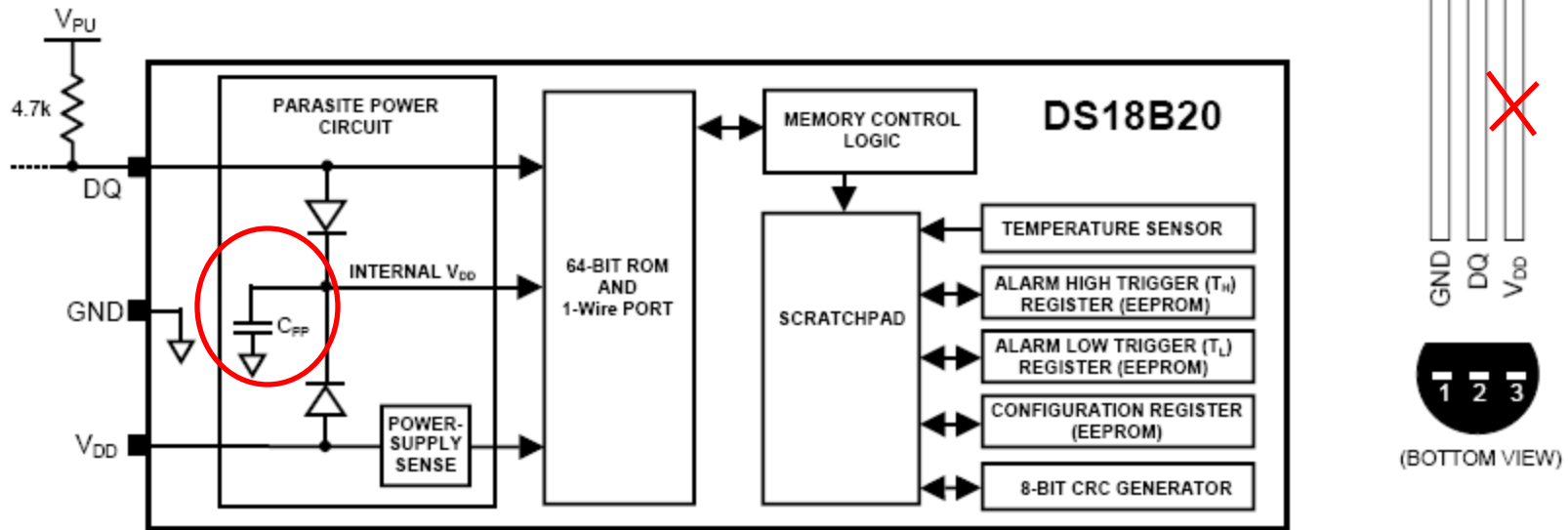
AD590 har fått många ”efterföljare”. Det är en konventionell integrerad krets, och den kan därför ganska enkelt utökas med mer elektronik.

En variant har utsignal i form av en pulsbreddsmodulerad signal. Sensorn kan då läsas av digitalt med en inbygggnadsprocessor även om den saknar AD-omvandlare.

Sensorn kan också läsas av analogt med en medelvärdesvisande voltmeter – tex. för enklare felsökning.



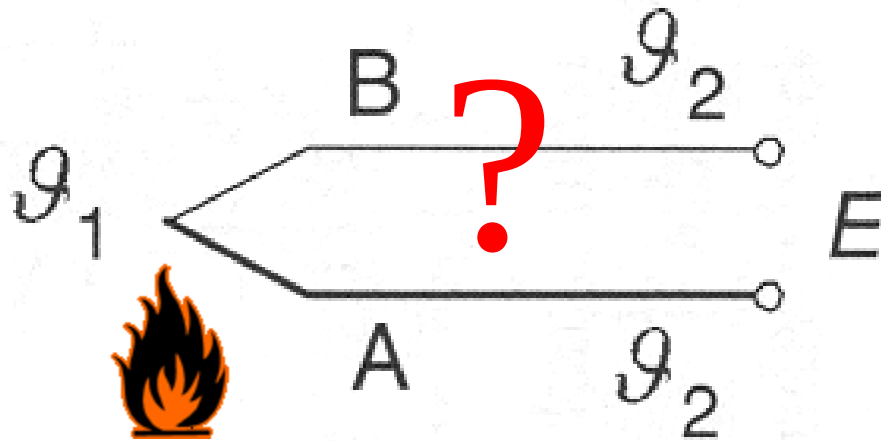
Entrådsinterface



AD590 har fått många ”efterföljare”. **Dallas** 18B20 är ett sådant exempel. Spänningsmatningen samt all kommunikation av mätvärden sker med bara en tråd!

Under kommunikationsfasen tas matningsspänningen från den inbyggda kondensatorn.

Termoelement



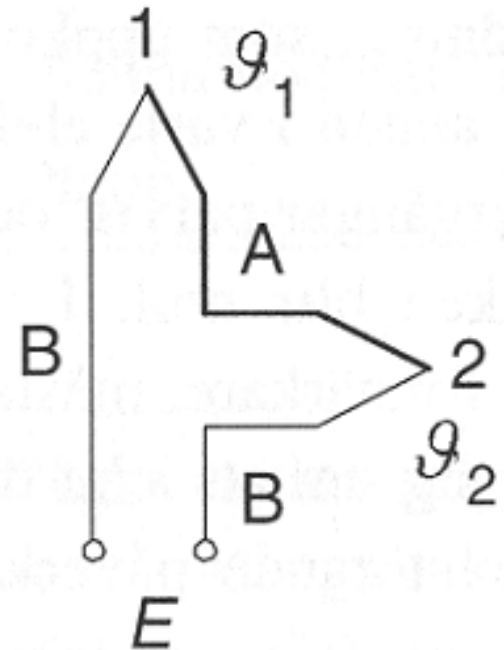
Två olika metalltrådar är sammanfogade i en punkt. Om punkten värms så frigör energin olika många elektroner från vardera metallen. En spänning E uppkommer – kan någon mäta den?

För att mäta E måste man koppla in ”något” (av metall) och då har vi direkt fått en helt *annan* krets!

Termoelement – par

Termoelement måste användas parvis, på engelska heter det **thermocouple**.

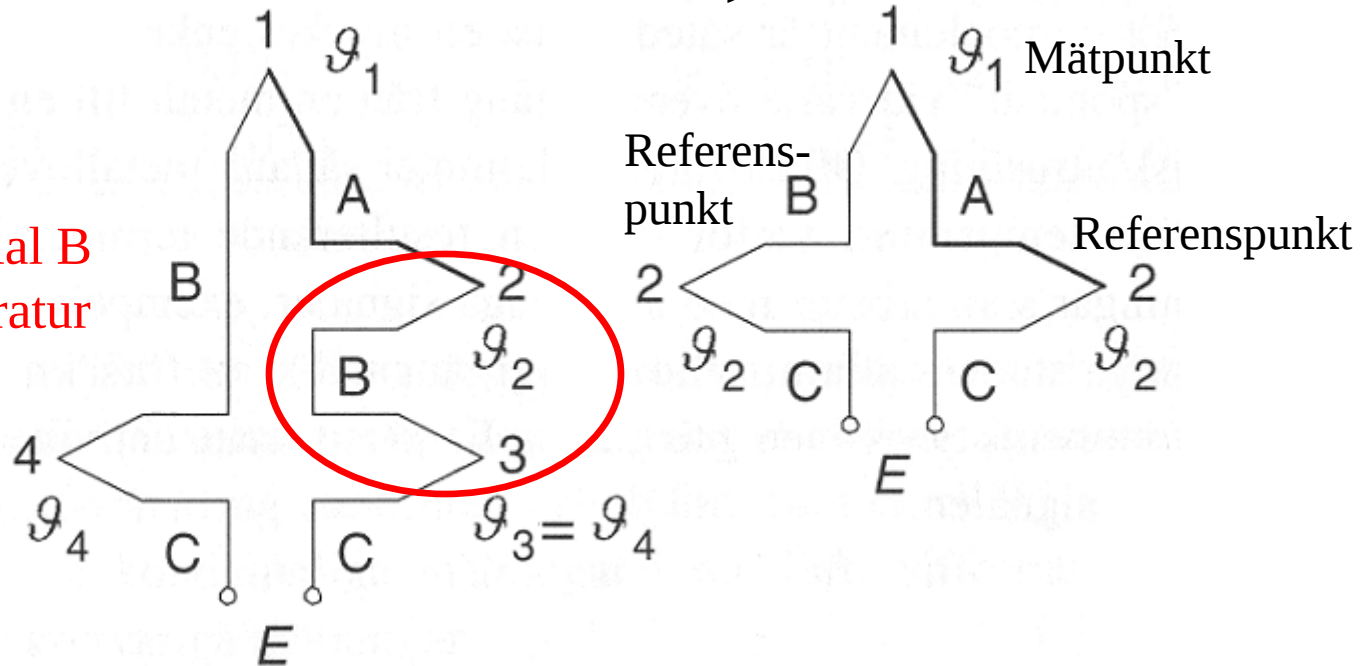
Genom att seriekoppla två termoelement med motsatt spänningsriktning, får man en spänning som är proportionell mot en temperaturskillnad. $E \propto \vartheta_1 - \vartheta_2$



Ledningarna som lämnar termoelementet är båda av samma material, B, så om även mätinstrumentet är av det materialet förblir detta en giltig krets.

Termoelement, variant

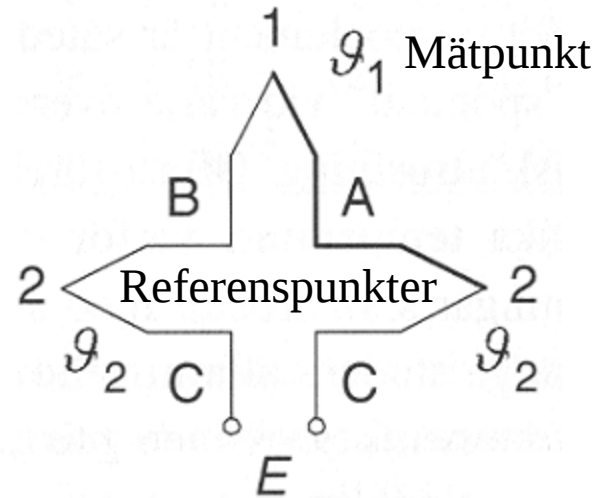
Samma material B
samma temperatur



Om vi tänker oss att punkt 2 och 3 (och 4) hålls på *samma* temperatur, ger ledningen mellan 2 och 3 *inget* bidrag. Det blir samma sak som kretsen till höger. Punkt 1 är mätpunkten och punkterna 2 referenspunkter (men de måste hållas på samma temperatur).

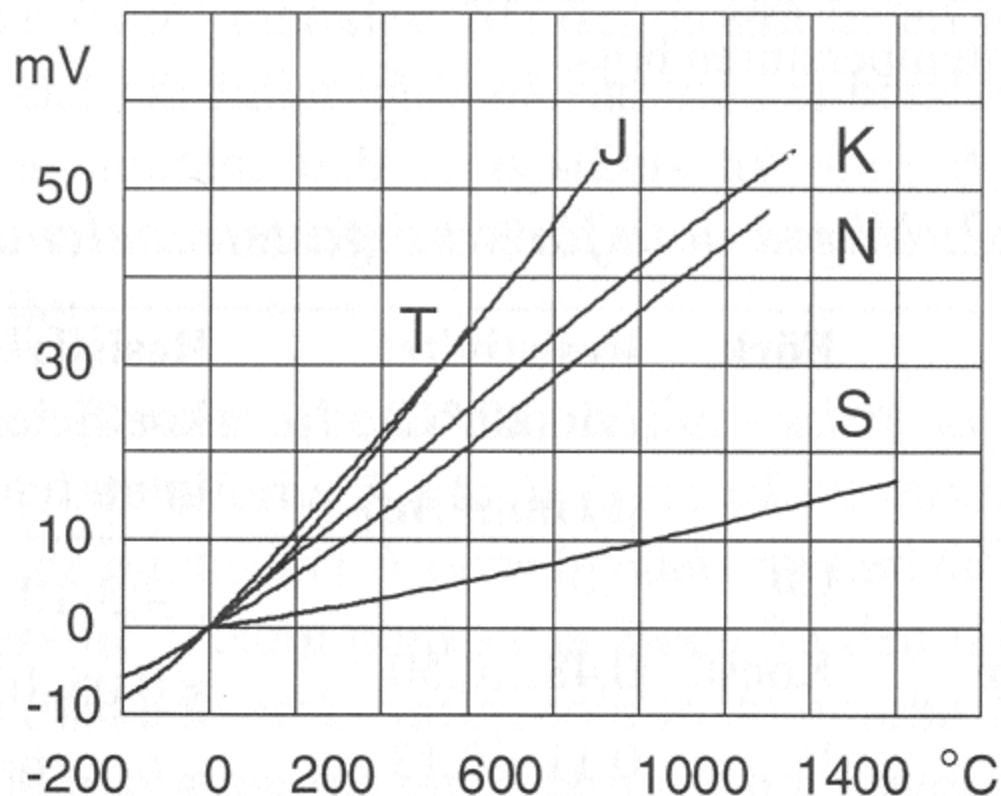
Termoelement, variant

När man använder termoelement måste man vara medveten om att det alltid gäller en differensmätning, och att referens-temperaturpunkten (punkterna) är där man byter till ledningsmaterialet C.



Alla materialförändringar som sker *tillsammans* med temperaturförändringar ger upphov till termospänning!

Termoelement kurvor



T Cu-Konst.

J Fe-Konst.

K Chromel-Alumel

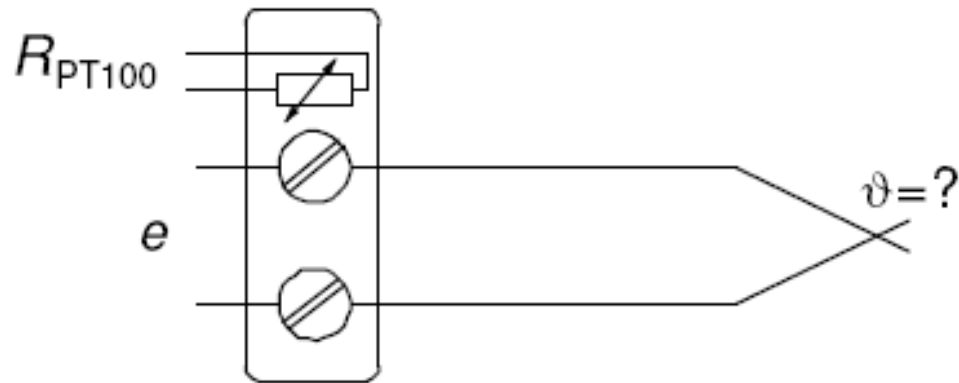
N Nicrosil-Nisil

S PtRh-Pt

Vanligast!

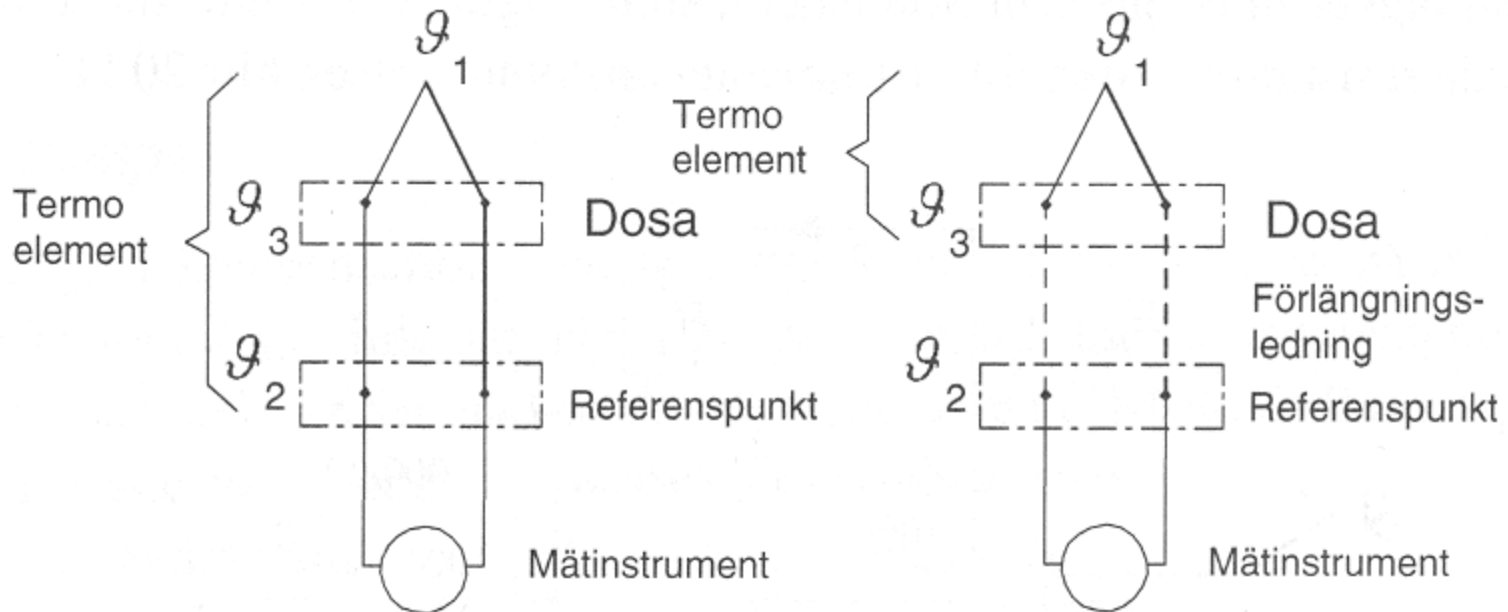
0 °C är referenstemperatur

Mätning av referenstemperaturen



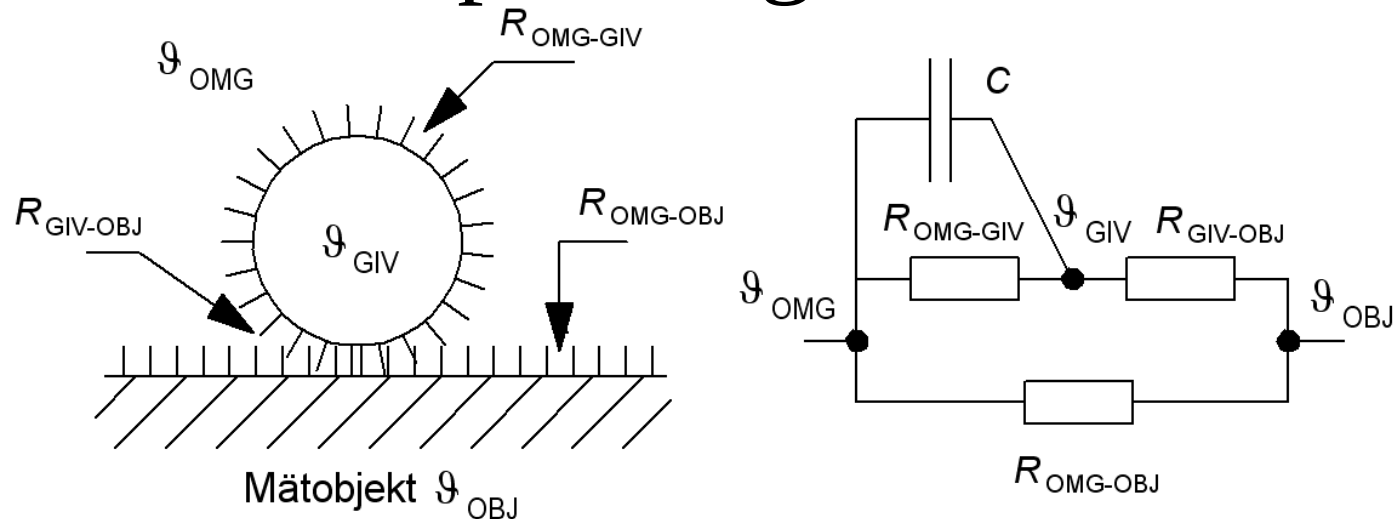
Om man förutom termospänningen även mäter referenstemperaturen med någon annan metod, tex med en resistanstermometer, kan man räkna ut temperaturen vid mätpunkten ur tabellvärdena.

Förlängningsledning



Speciellt tillsammans med termoelement av ädelmetaller behöver man *förlänga* med en ledning av andra material, som då skall ha **snarlika** elektriska egenskaper – åtminstone vid omgivningstemperaturen. *Missar man detta förlorar man kontrollen över referenstemperaturen.*

Kan en temperaturgivare visa rätt?

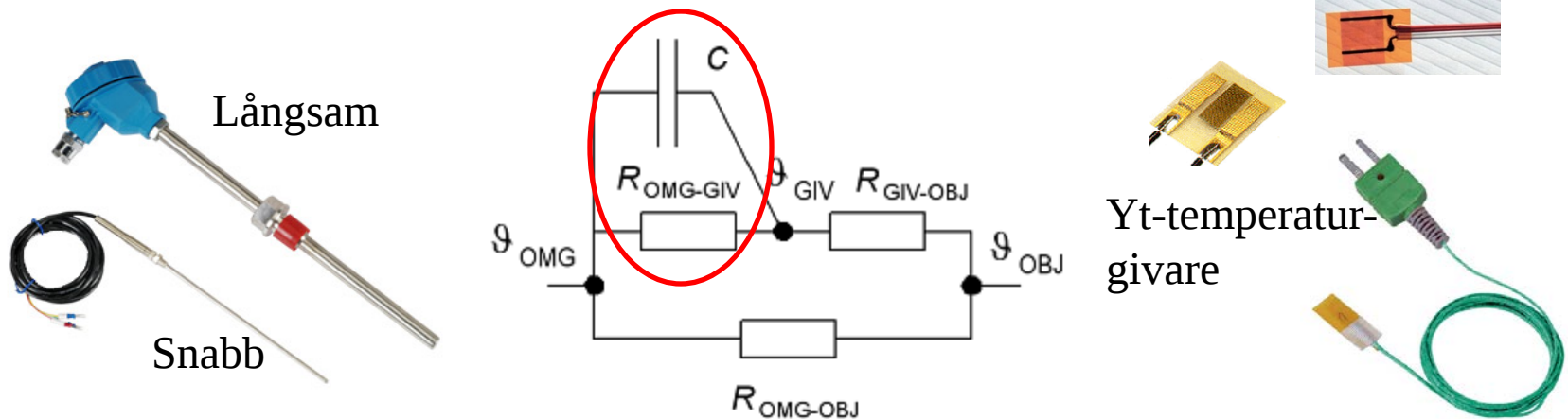


Värmen strömmar från mätobjektet till omgivningen.

- Givaren skall ha *litet* värmeledningsmotstånd till objektet.
- Givaren skall ha *stort* värmeledningsmotstånd mot omgivningen – men *inte* så att den påverkar (höjer) mätobjektets temperatur.

Jämför spänningsdelaren – Ohms lag för värmeledning.

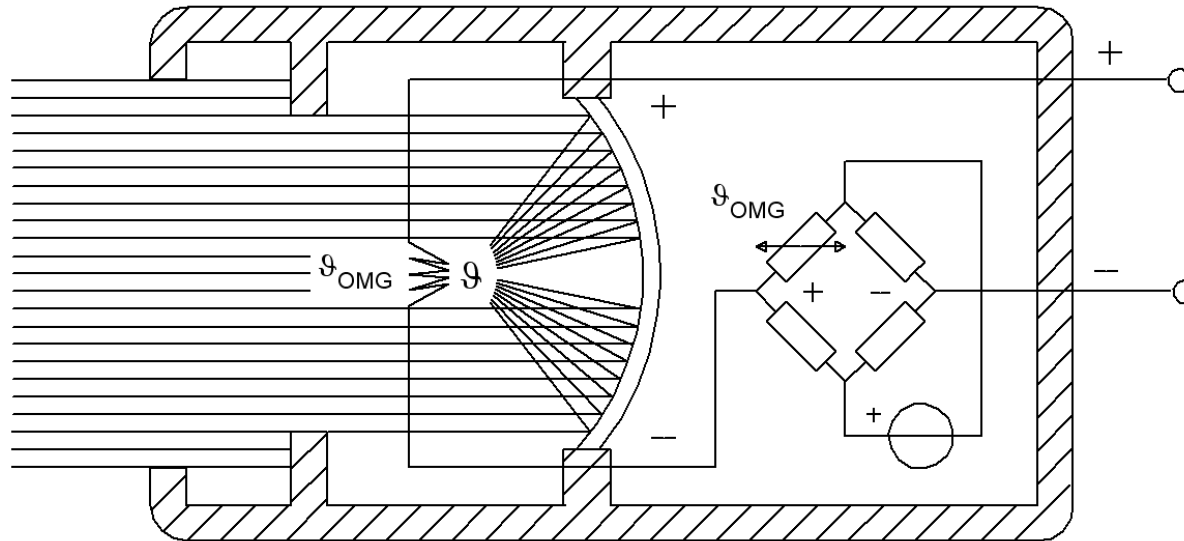
Givarens svarstid



Givarens termiska kapacitans. Tidkonstant $\tau = R_{OMG-GIV} \cdot C$.

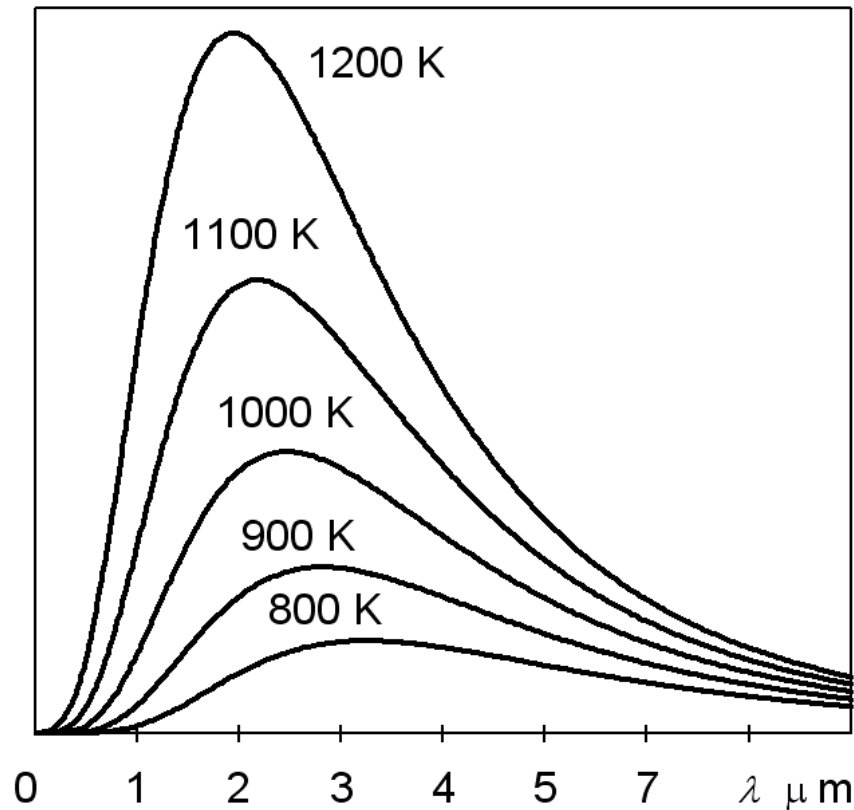
Tidkonstanten är naturligtvis 10 ...100 ggr större om givaren omges av stillastående luft än om den omges av rinnande vatten.

Strålningstermometrar



Värmestrålningen fokuseras mot en termostapel
(=seriekopplade termoelement).
En bryggkrets kompenserar omgivningstemperauren.

Plank's lag



Totalstrålningens temperaturberoende.

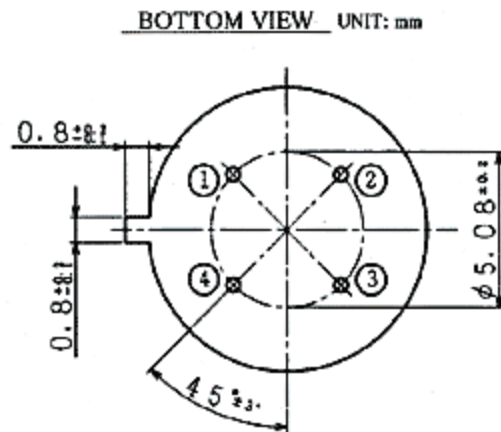
Ytan under kurvorna är proportionell mot absoluta temperaturen T^4 .

Temperaturen får man således genom att beräkna

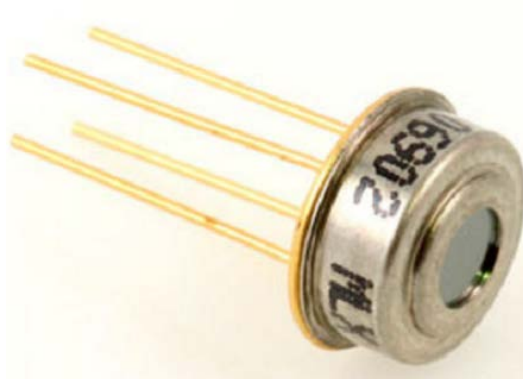
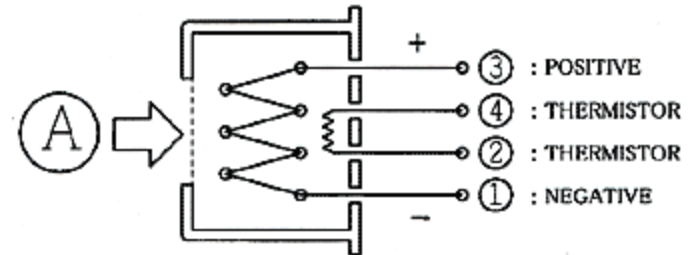
$\sqrt[4]{\quad}$ ur mätvärdet.

$T = \text{pow}(U, 0.25);$

IR-tjuvlarm



- ① : NEGATIVE
- ② : THERMISTOR
- ③ : POSITIVE
- ④ : THERMISTOR



Volymflöde eller massflöde?

- Volymflöde q_v [m³/s]
- Massflöde q_m [kg/s] $q_m = \rho \cdot q_v$
- Densitet ρ [kg/m³]

Volymflödet är enklast att mäta, men massflödet är oftast det viktigaste för olika processer.

Tanka när det är varmt eller kallt?

m, massan är konstant: $V: +1\text{‰} / ^\circ\text{C} \Leftrightarrow \rho: -1\text{‰} / ^\circ\text{C}$

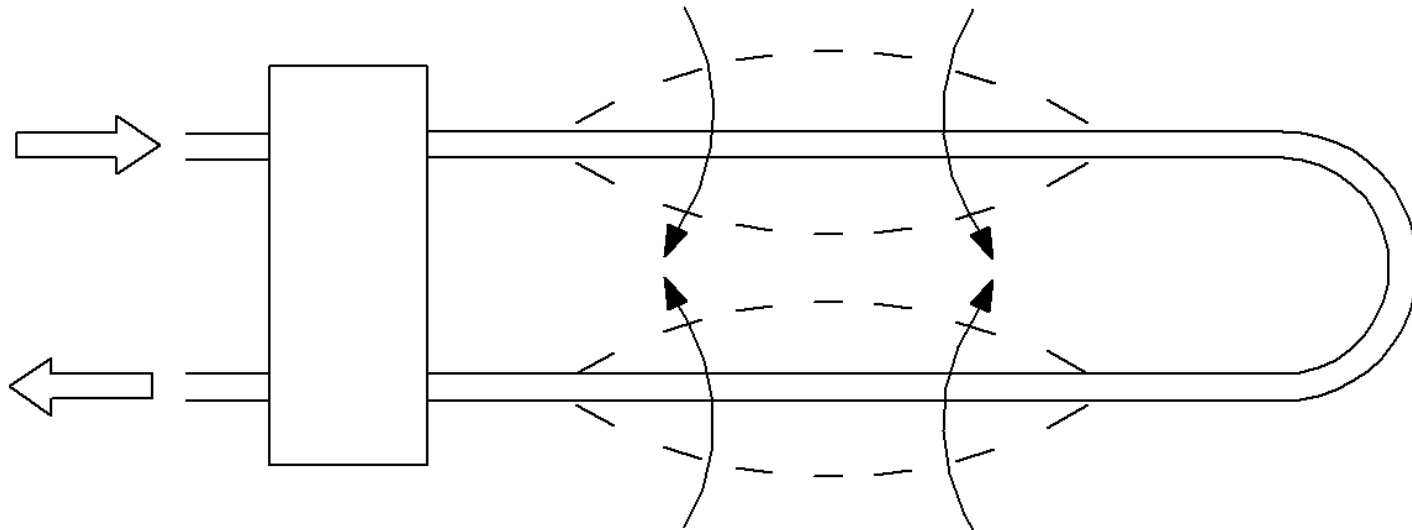
Densiteten ρ ändrar sig 1% / 10°C

50 °C temperaturskillnad mellan sommar och vinter
gör en skillnad på 2,5 liter bensin på en full tank!

Densitet $q_m = \rho \cdot q_v$

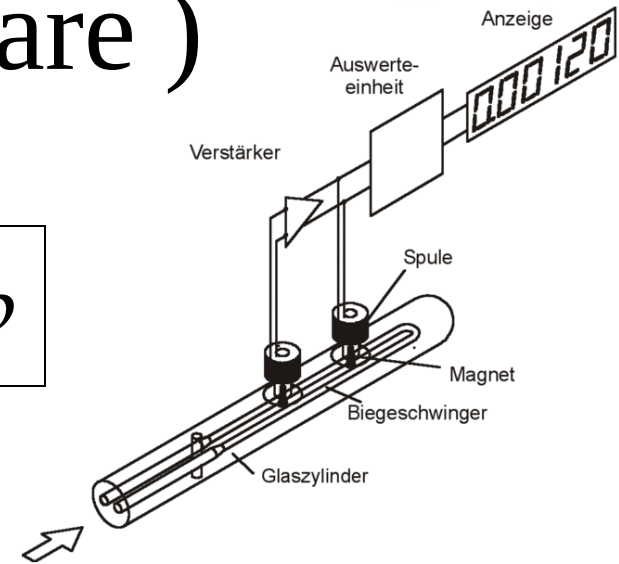
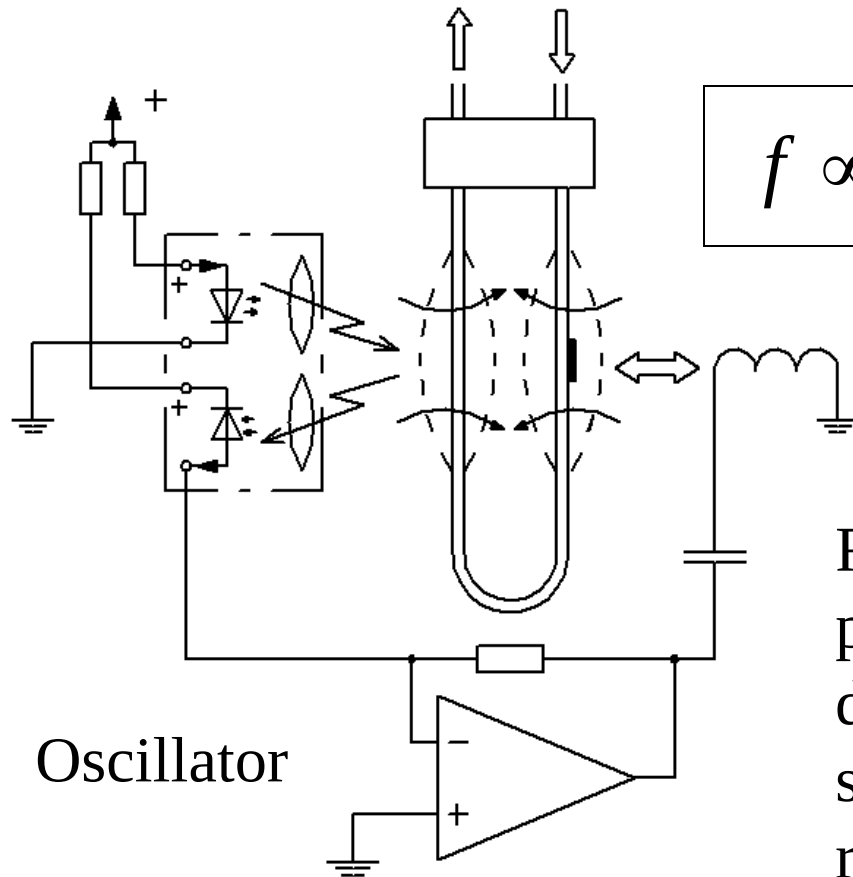


Densiteten behöver mätas om man vill kunna räkna om mellan volymflöde och massflöde.



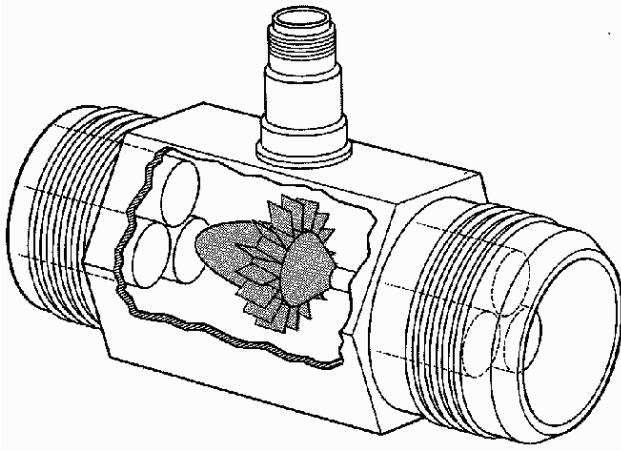
Svängningsgivare för mätning av densitet hos ett strömmande medium.

(Densitetsmätare)



Resonansfrekvensen beror på rörets dimensioner och den totala massan hos det strömmande mediet och (och rörväggen).

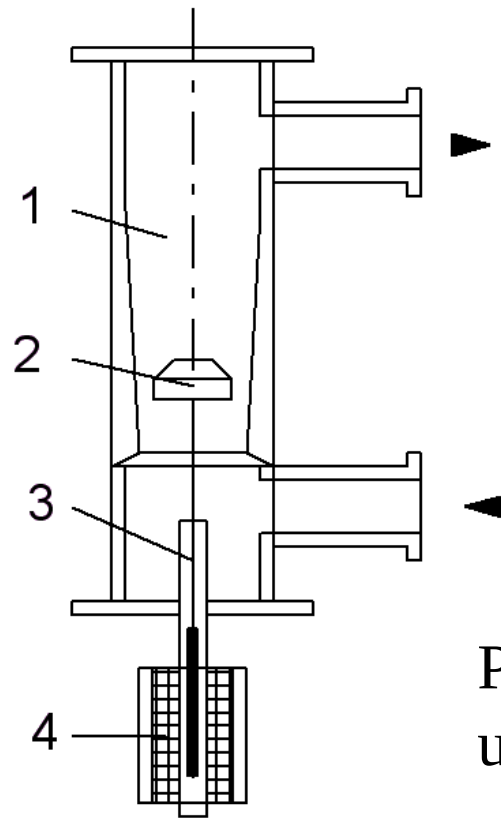
Propeller och turbin -mätare



Mäter **strömningshastighet** – mätomfång 1:30 för turbinmätare, 1:8 för propellermätare.



Svävkroppsmätare



”Rotameter”

1 koniskt rör

2 svävkropp

3 järnkärna

4 induktiv givare



På grund av det koniska röret blir
utsignalen linjärt beroende av flödet.

Mäter **strömningshastighet** – mätomfång 1:10.



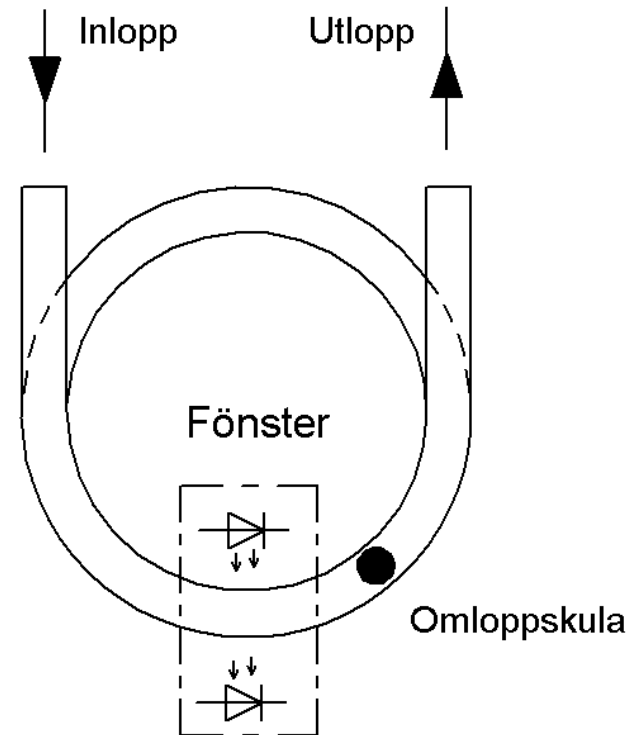
Medströmsmätare



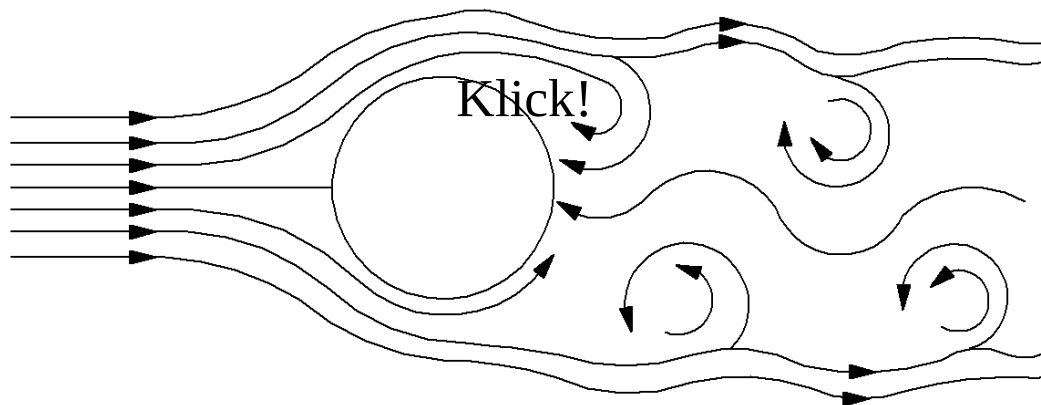
Medströmsmätare. En kula får följa med vätskeströmmen så att den får samma hastighet som vätskan.

Används som bränsleförbrukningsmätare i bilar.

Mäter **strömningshastighet**.



Vortexmätare

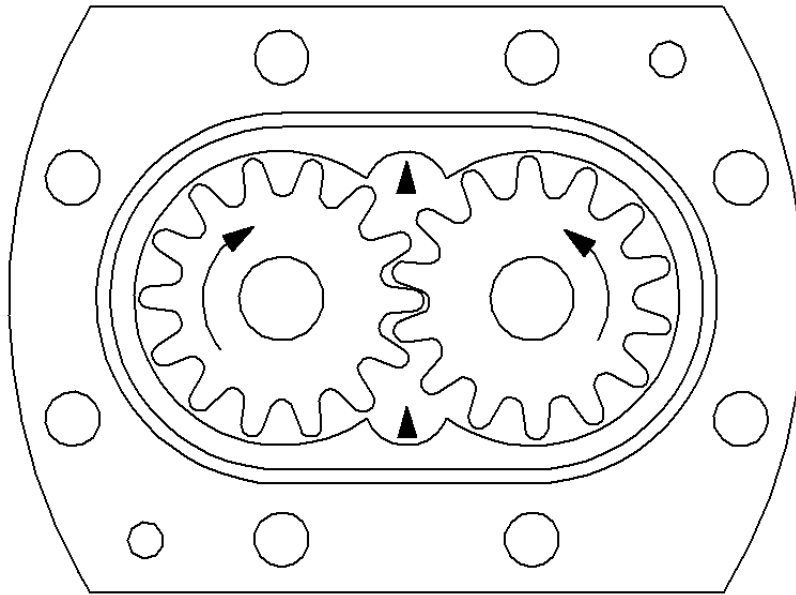


Ju högre vindhastighet desto snabbare fladdrar flaggan.

Klassiskt: Räkna antalet "klick"/tid. Numera signalbehandling.

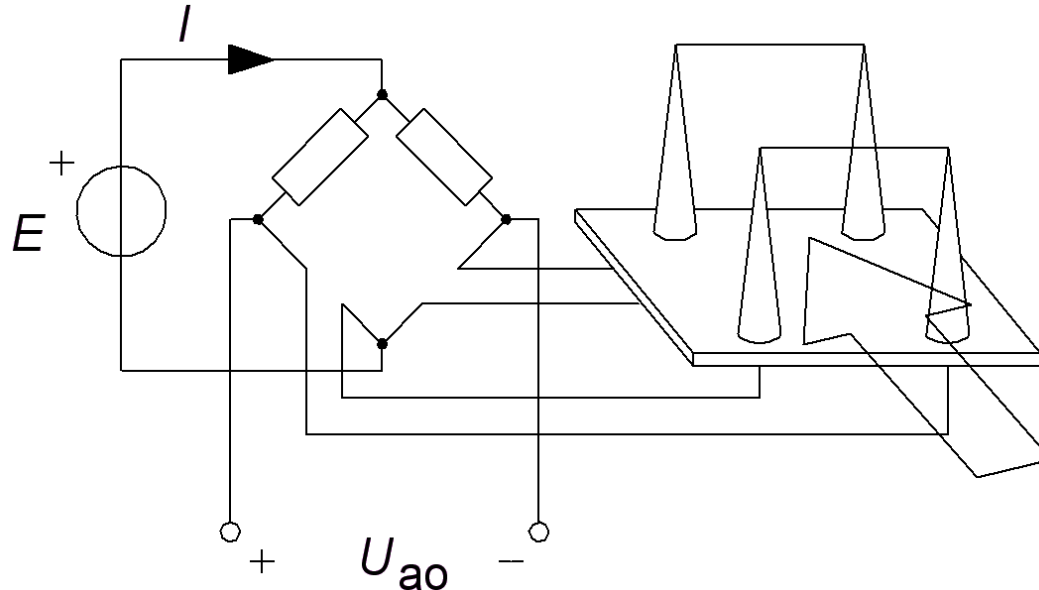
Mäter **strömningshastighet** – mätomfång 1:30.

Displacementmätare



Mäter **passerad volym** – mätomfång 1:500.

Varmtrådsanemometer

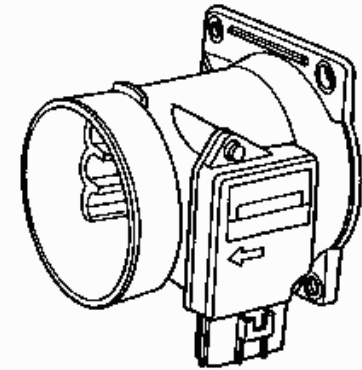


Första tråden i flödesriktningen tar med sig värme till den andra tråden som därför blir varmare! Mass-luft-flödesmätare i fordon. MAF.

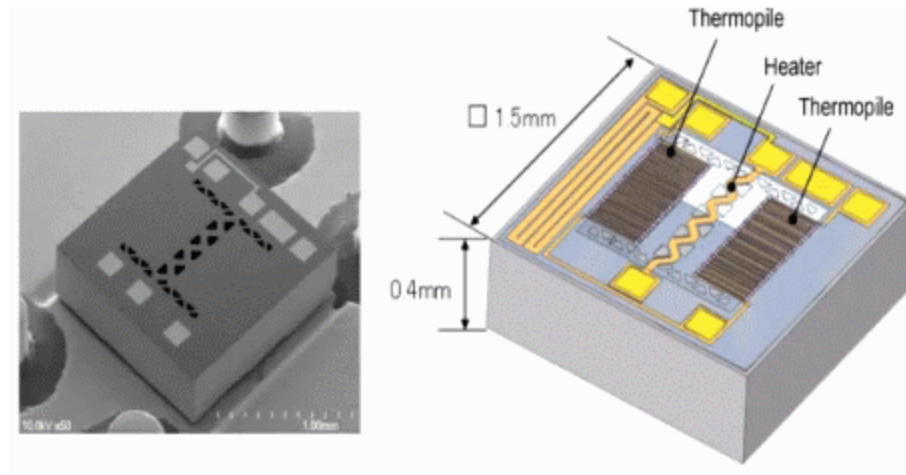
Mäter **massflödet**.

William Sandqvist william@kth.se

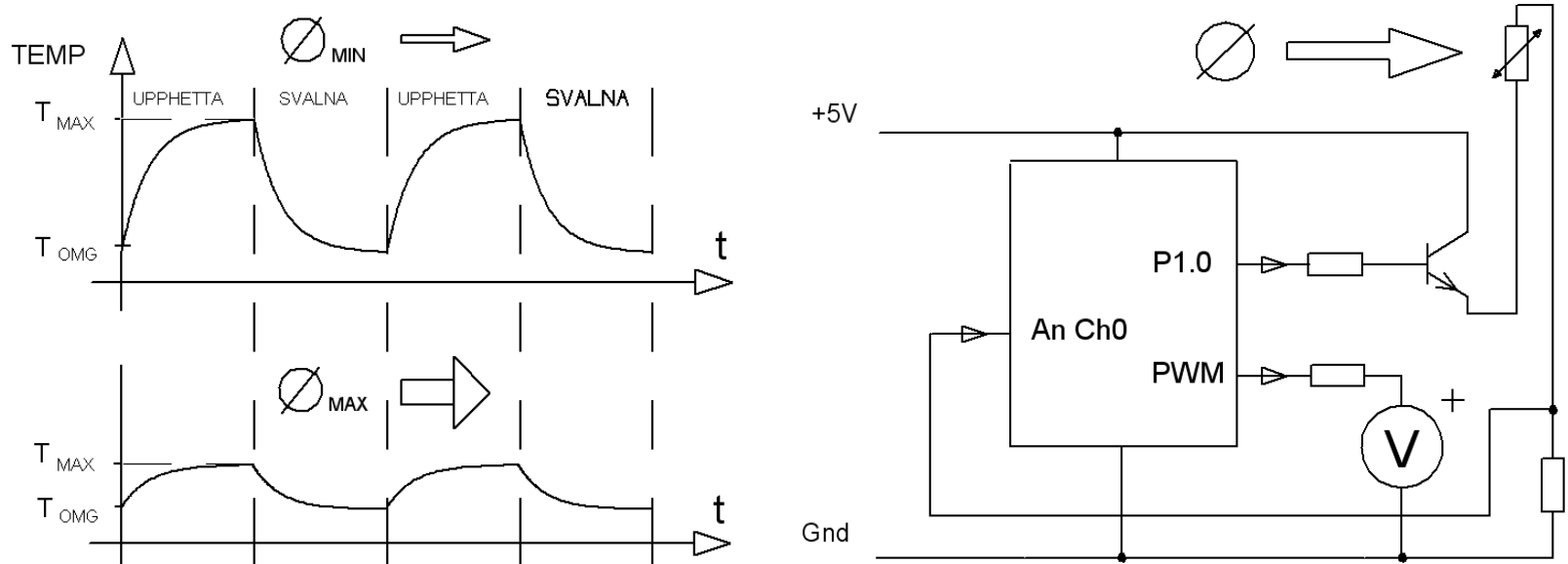
MASS AIR FLOW (MAF) SENSOR



Varmtrådsanemometer, mikromekanik

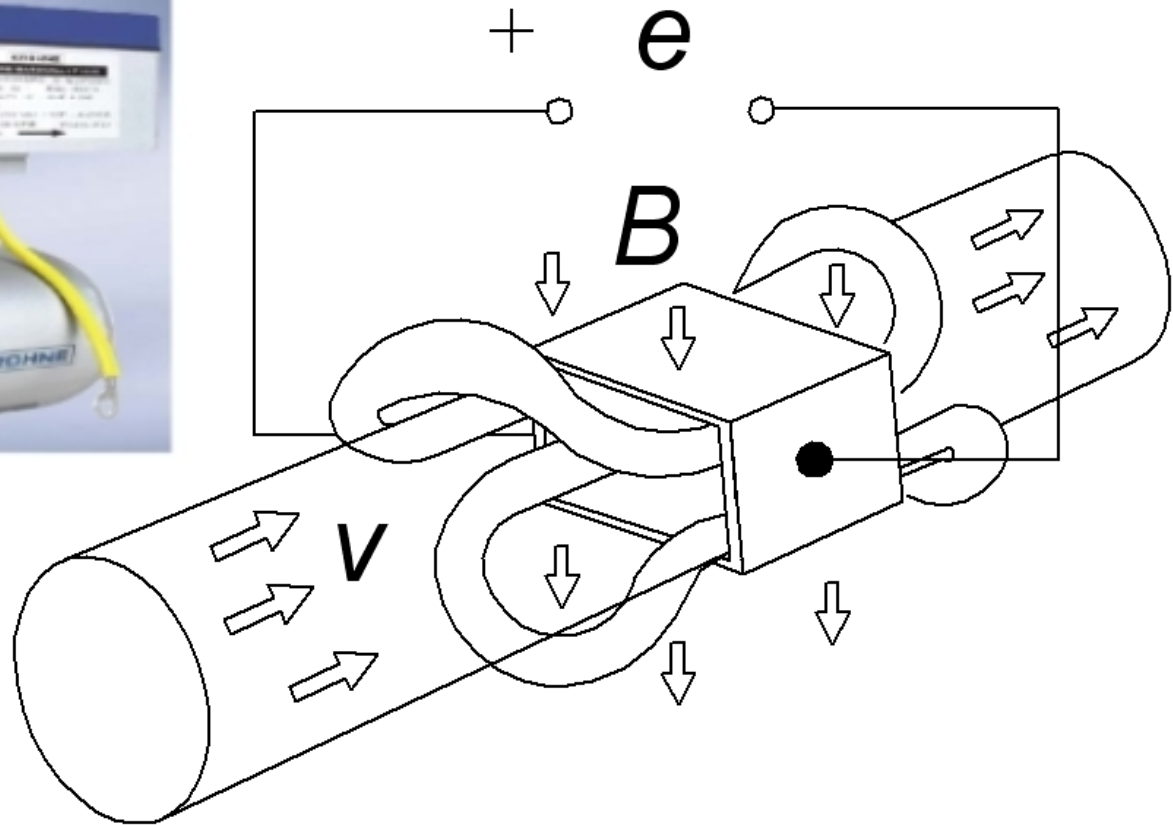


Termistor massflödesmätare



En termistor hettas omväxlande upp, och får sedan svalna. Termistorns maximala temperatur beror (omvänt) av flödet – men inte på något enkelt sätt, utan sambandet måste mätas upp och utrustningen kalibreras.

Induktiv flödesmätare



Arbetsprincipen $e = l \cdot v \cdot B$

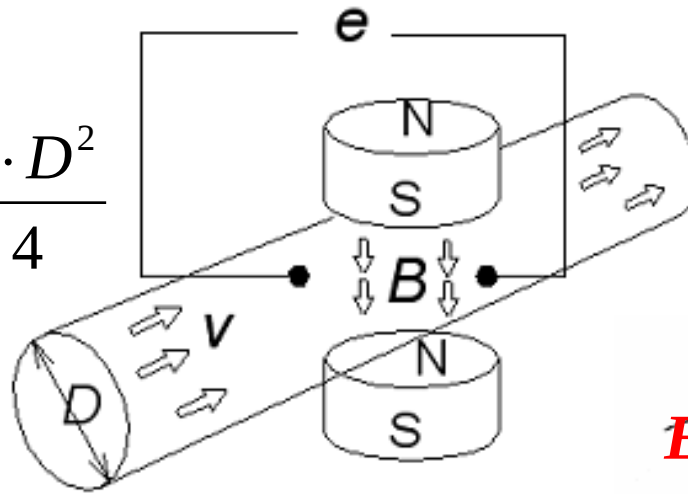
Inducerad spänning i en ledare som rör sig i ett magnetfält.

Instorhet: Volymflöde (vätska) q_v [m³/s]

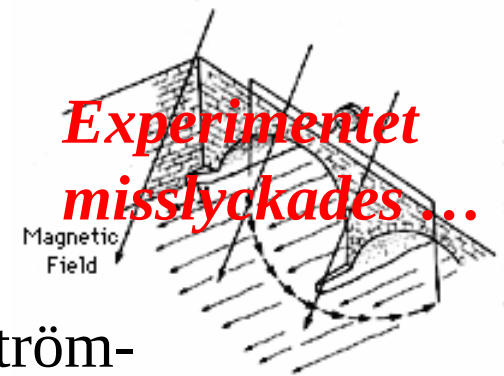
$$e = D \cdot v \cdot B$$

$$q_v = v \cdot A \quad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$q_v = \frac{e \cdot \pi \cdot D}{4 \cdot B}$$



Electromagnetic
flowmeter



Faraday *försökte* 1823 mäta upp Thomsens strömningshastighet med denna metod. B var då jordens magnetfält.

En enkel lågprisvariant?

1 st slang, 2 st magneter, 2 st elektroder

