

STREKKLAPPER

Resistansen i en ledet varierer når tversnittet eller lengden til ledet forandres. Det ser vi av formelen:

$$R_0 = \sigma \cdot \frac{L}{A_c}$$

hvor σ er resistiviteten (ohm·m)

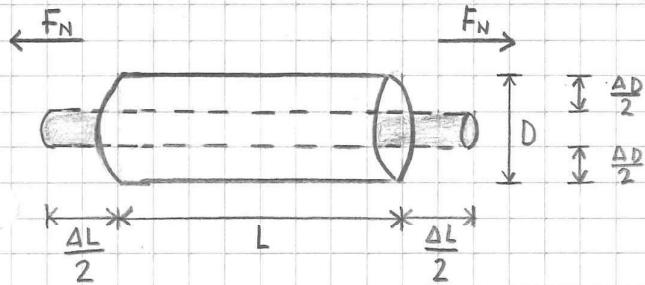
L er lengden til ledet (m)

A_c er arealet til ledetens tverrsnitt (m^2)

En såkalt strekkapp er en tynn elektrisk ledet som limes på en tynn elastisk plate, eller f. eks. en plastfolie.

Dersom vi strekker strekkappen med en kraft, F_N , vil arealet til ledet avta og lengden til ledet øke. Da øker resistansen i ledet. Endring i resistans er et mål for kraften F_N . Resistansendringen kan f. eks. måles vha. en målebro (Wheatstone bro).

Matematiske sammenhenger:



- Relativ forlengelse: $\epsilon_L = \frac{\Delta L}{L}$

- Relativ diameterendring: $\epsilon_D = \frac{\Delta D}{D}$

- Materialspenning: $\sigma_a = \frac{F_N}{A_c}$
(= strekkbelastning)

Dersom sammenhengen mellom ϵ_L og σ_a er lineær, vil ledet følge

Hook's lov:

$$\sigma_a = E_m \cdot \epsilon_L \quad \text{hvor } E_m \text{ er elastisitetsmodul (Young's modulus)}$$

Hook's lov gjelder så lenge ledet ikke utsettes for krefter som fører til varige (permanente) deformasjoner.

Strekkapper har veldig mange anvendelsesområder og de kan blant annet brukes til måling av kraft, trykk, nivå, vibrasjoner, osv.

Forholdet mellom ϵ_D og ϵ_L gir:

$$V_p = -\frac{\epsilon_D}{\epsilon_L} \quad \text{hvor } V_p \text{ kalles for Poisson's tall}$$

Poisson's tall uttrykker hvor mye lederen øker i diameter når den trykkes i lengderetning. For de fleste materialer ligger Poisson's tallet mellom 0,25 og 0,4.

Resistansen til lederen uten noen påvirkninger er gitt ved:

$$R_0 = \delta \cdot \frac{L}{A_c} \quad (\text{nominell resistans})$$

Når lederen utsettes for en kraft vil resistansen endre seg. Resistansendringen uttrykkes som:

$$\Delta R = \left(\frac{\partial R_0}{\partial L} \right) \cdot \Delta L + \left(\frac{\partial R_0}{\partial A_c} \right) \cdot \Delta A_c + \left(\frac{\partial R_0}{\partial \delta} \right) \cdot \Delta \delta$$

$$\text{hvor } \frac{\partial R_0}{\partial L} = \frac{\delta}{A_c}, \quad \frac{\partial R_0}{\partial A_c} = -\frac{\delta \cdot L}{A_c^2}, \quad \frac{\partial R_0}{\partial \delta} = \frac{L}{A_c}$$

$$\Delta R = \frac{\delta}{A_c} \cdot \Delta L - \frac{\delta \cdot L}{A_c^2} \cdot \Delta A_c + \frac{L}{A_c} \cdot \Delta \delta$$

Relativ resistansendring finnes ved å ta forholdet mellom ΔR og R_0 :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R_0} &= \frac{\delta/A_c}{\delta \cdot L/A_c} \cdot \Delta L - \frac{\delta \cdot L/A_c^2}{\delta \cdot L/A_c} \cdot \Delta A_c + \frac{L/A_c}{\delta \cdot L/A_c} \cdot \Delta \delta \\ &= \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A_c}{A_c} + \frac{\Delta \delta}{\delta} \end{aligned}$$

Relativ arealendring er forholdet mellom arealendring og nominelt areal:

$$\frac{\Delta A_c}{A_c} \quad \text{hvor } A_c = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$\Delta A_c = \left(\frac{\partial A_c}{\partial D} \right) \cdot \Delta D = \left(\frac{\pi}{2} \cdot D \right) \cdot \Delta D$$

$$\frac{\Delta A_c}{A_c} = \frac{\pi \cdot D/2}{\pi \cdot D^2/4} \cdot \Delta D = 2 \cdot \frac{\Delta D}{D}$$

Uttrykket for relativ arealendring settes inn i uttrykket for relativ resistansendring:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R_0} &= \underbrace{\frac{\Delta L}{L}}_{= \epsilon_L} - 2 \cdot \underbrace{\frac{\Delta D}{D}}_{= \epsilon_D} + \frac{\Delta \delta}{\delta} = \epsilon_L - 2 \cdot \epsilon_D + \frac{\Delta \delta}{\delta} = \epsilon_L - 2 \cdot \underbrace{(-V_p \cdot \epsilon_L)}_{= E_D} + \frac{\Delta \delta}{\delta} \\ &= (1 + 2 \cdot V_p) \cdot \epsilon_L + \frac{\Delta \delta}{\delta} \end{aligned}$$

Forholdet mellom relativ resistansendring og relativ forlengelse er gitt ved:

$$\frac{\Delta R/R_0}{\epsilon_L} = \frac{(1+2\cdot V_p) \cdot \epsilon_L}{\epsilon_L} + \frac{1}{\epsilon_L} \cdot \frac{\Delta \delta}{\delta}$$

$$= 1 + 2 \cdot V_p + \frac{1}{\epsilon_L} \cdot \frac{\Delta \delta}{\delta} = G_m \text{ hvor } G_m \text{ kalles gauge-faktor og angir følsomheten.}$$

Den relative resistansendringen kan da skrives som:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = G_m \cdot \epsilon_L$$

G-faktor uttrykker hvor mye $\Delta R/R_0$ i lederen endrer seg når lederen utsettes for en kraft som fører til en relativ forlengelse i lederen.

G-faktoren ligger mellom 2,0 og 2,2 for de fleste strekkklapper.

Strekkklapper finnes i fire hovedkategorier avhengig av konstruksjon og materialer de er laget av:

• Bundne (bounded) trådviklede strekkklapper:

Disse er laget av tråder med passende resistans, og trådene har en diameter på ca. 0,025 mm. Føleren er arrangert i form av et rutenett for å få en lengre tråd og dermed høyere motstand. Føleren er direkte festet til overflaten av måleobjektet, med et tynt lag klebende sement. Sementen tjener ikke bare til å overføre belastningen fra måleobjektet, men fungerer også som en isolator.

• Ikke-bundne (unbounded) trådviklede strekkklapper:

Disse bruker ett sett med motstandstråder (4 stykker). Strekkappen består av en fast og en bevegelig del. Trådene er plassert mellom de to delene på en spesiell måte. En liten bevegelse av den bevegelige delen øker resistansen i to tråder, mens resistansen i de to andre reduseres. Trådene er i utgangspunktet strukket nok slik at de aldri blir slakke og alle tråder har samme resistansverdier før bruk.

• Folie-type strekkklapper:

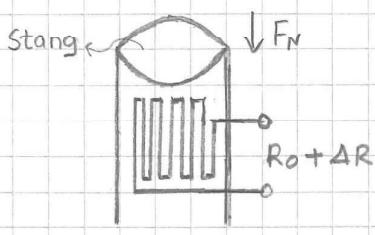
Disse består av spølerelementer dannet av tynne ark eller folier (mindre enn $5\mu\text{m}$ tykke) vha. f.eks fotoetsing. Endeviklingene er laget tykke for å redusere bidraget fra tverrtøyninger. Folie-type strekkklapper har følgende fordeler sammenliknet med trådviklede strekkklapper: bedre varmespredning pga. deres større overflate, bedre følsomhet, kan lages i mindre størrelser, masseproduksjon av identiske følere.

• Halvleder-baserte strekkklapper:

Resistiviteten til noen halvledere gjennomgår en endring når de utsettes for en mekanisk påkjenning. Dette fenomenet kalles for piezoresistivitet og dette kan brukes til å lage strekkklapper med disse materialer. I motsetning til andre strekkklapper, vil halvleder-baserte strekkklapper få størst endring i resistansen pga. resistivitetsendringer. Dvs. at resistansendringer som skyldes resistivitetsendringer er mye mer dominerende ift. resistansendringer pga. lengde- og arealendringer. Derfor har slike strekkklapper mye større følsomhet (gauge-faktor). Halvlederbaserete strekkklapper lages som regel av dopet silisium/germanium, polykrystallinsk silisium, amorft silisium osv.

Riktig montasje av strekkklapper:

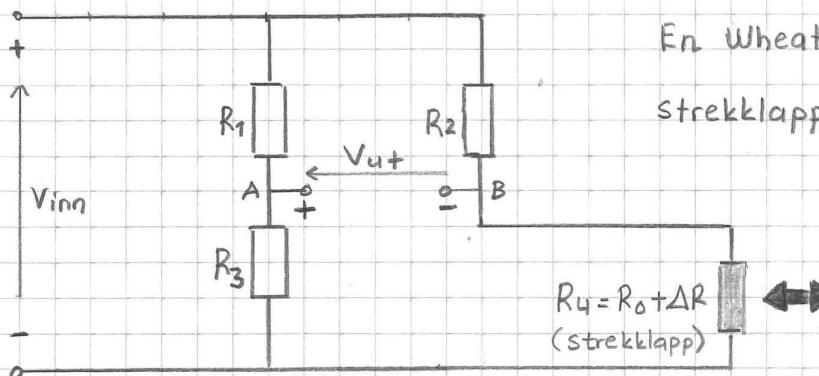
Strekkklapper må monteres slik figuren under viser for å få maksimal resistansendring i strekkappen.



NB! F_N fører til den samme relative lengdeendringen både på montasjestedet og strekkappen.

Dvs. at $E_{L,stang} = E_{L,strekklapp}$

Eksempel: Kvart-bro med en aktiv strekkapp:



En Wheatstone-bro med kun én aktiv strekkapp kalles kvart-bro.



Positiv resistansendring siden strekkappen strekkes, dvs at
 $R_4 = R_0 + \Delta R$

positiv

Utgangsspenningen, V_{ut} fra målebroen:

$$V_{ut} = V_{in} \cdot \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right)$$

Antar at $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$ slik at broen er i balanse ($V_{ut} = 0V$). Ved ingen resistansendringer i strekkappen er broen med andre ord i balanse.

V_{ut} blir:

$$V_{ut} = V_{in} \left(\frac{R_0}{R_0 + R_0} - \frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + R_0 + \Delta R} \right) = -V_{in} \cdot \left(\frac{\Delta R}{2 \cdot (2R_0 + \Delta R)} \right)$$

Hvis vi antar at $R_0 \gg \Delta R$:

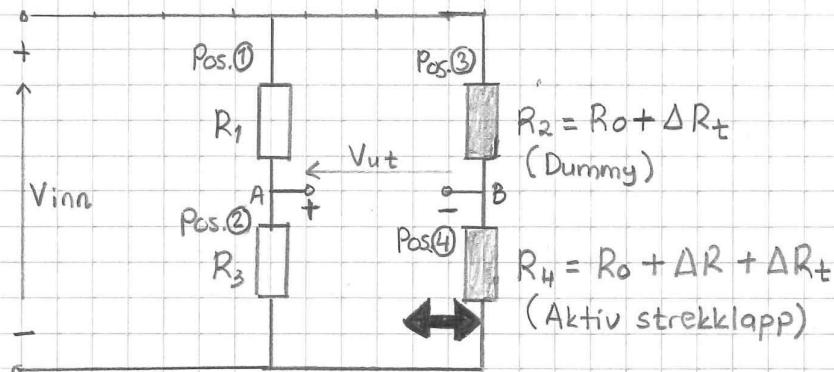
$$V_{ut} \approx -V_{in} \cdot \left(\frac{\Delta R}{4 \cdot R_0} \right) = -\underbrace{\frac{V_{in}}{4 \cdot R_0}}_{\text{forsterkning}} \cdot \Delta R$$

Hvis strekkappen monteres under bjelken, vil resistansendringen i strekkappen virke i negativ retning, dvs. $R_4 = R_0 - \Delta R$.

I praksis får vi feilkilder som påvirker målingene:

- Omgivelsestemperatur vil føre til resistansendringer i strekkappen.
Løsning: Bruke flere strekkapper i målebroen.
- Kabelen mellom målebroen og strekkappen vil ha en viss resistans avhengig av kabellengden og omgivelsestemperaturen. Løsning: Bruke 3- eller 4-lederkobling eller bruke flere strekkapper i målebroen.

Eksempel: Kvart-bro med en aktiv og en dummy strekkapp:



Dummy strekkapp brukes til temperaturkompensasjon. Den plasseres i nærheten av den aktive strekkappen slik at begge utsettes for den samme temperaturvariasjoner.

Dummy strekkapp plasseres i enten posisjon 2 eller 3 i målebroen. På den måten vil broen være i balanse ($V_{ut}=0V$) når den aktive strekkappen ikke utsettes for mekaniske påkjenninger.

Antar at $R_1 = R_3 = R_0$. Strekkappene vil få en tilleggsendring i resistansen pga. temperaturvariasjoner:

$$\left. \begin{array}{l} R_2 = R_0 + \Delta R_t \\ R_4 = R_0 + \Delta R + \Delta R_t \end{array} \right\} \text{hvor } \Delta R_t \text{ skyldes temperaturvariasjoner.}$$

Vi har:

$$\begin{aligned} V_{ut} &= V_{inn} \cdot \left(\frac{R_3}{R_1+R_3} - \frac{R_4}{R_2+R_4} \right) = V_{inn} \cdot \left(\frac{R_0}{R_0+R_0} - \frac{R_0+\Delta R+\Delta R_t}{R_0+\Delta R_t+R_0+\Delta R+\Delta R_t} \right) \\ &= -V_{inn} \cdot \left(\frac{\Delta R}{2 \cdot (2R_0 + \Delta R + 2\Delta R_t)} \right) \end{aligned}$$

Hvis vi antar at $R_0 \gg \Delta R$ og ΔR_t :

$$V_{ut} \approx -V_{inn} \cdot \frac{\Delta R}{4 \cdot R_0} = -V_{inn} \cdot \underbrace{\frac{\Delta R}{4 \cdot R_0}}_{\text{forsterkning}}$$

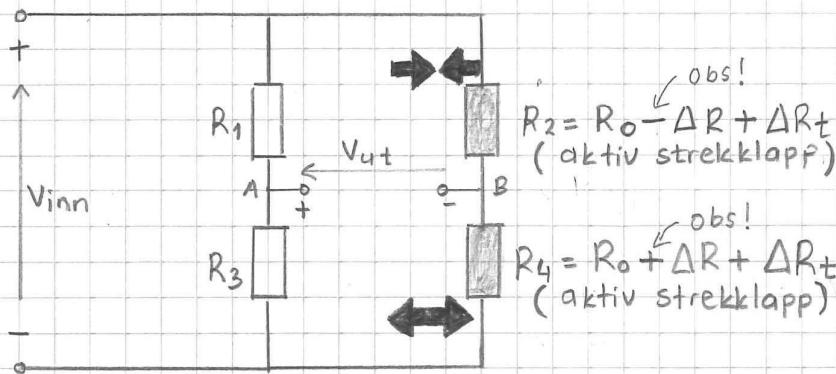
Uttrykket for utgangsspenningen viser at resistansendringer som skyldes temperaturvariasjoner blir med en god tilnærming eliminert.

Resistansendring i strekkappen som funksjon av temperaturendring:

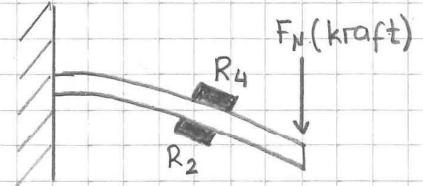
$$\frac{\Delta R_t}{\Delta T} = \alpha \cdot R_0 \quad \Delta R_t = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta T \quad \text{der } \alpha \text{ er temperaturkoeffisient.}$$

Dummy strekkapp kompenserer også for kabelresistansen mellom målebroen og den aktive strekkappen.

Eksempel: Halv-bro med to aktive strekkapper:



En Wheatstone-bro med to aktive strekkapper kalles halv-bro.



Begge strekkappene utsettes for samme kraft, men med motsatt fortegn. Dvs. at resistansendringen som skyldes kraften vil være like stor, men med motsatt fortegn.

Antar at $R_1 = R_3 = R_0$. Strekkappene vil få en resistansendring med motsatt fortegn pga. kraften (F_N) og en tilleggsendring pga. temperaturvariasjoner:

$$\left. \begin{array}{l} R_2 = R_0 - \Delta R + \Delta R_t \\ R_4 = R_0 + \Delta R + \Delta R_t \end{array} \right\} \text{hvor } \Delta R_t \text{ skyldes temperaturvariasjoner}$$

Vi har:

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{inn} \cdot \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) = V_{inn} \cdot \left(\frac{R_0}{R_0 + R_0} - \frac{R_0 + \Delta R + \Delta R_t}{R_0 - \Delta R + \Delta R_t + R_0 + \Delta R + \Delta R_t} \right) \\ &= -V_{inn} \cdot \left(\frac{\Delta R}{2 \cdot (R_0 + \Delta R_t)} \right) \end{aligned}$$

Hvis vi antar at $R_0 \gg \Delta R_{temp}$:

$$V_{out} \approx -V_{inn} \cdot \frac{\Delta R}{2 \cdot R_0} = -\underbrace{\frac{V_{inn}}{2 \cdot R_0}}_{\text{forsterkning}} \cdot \Delta R$$

Uttrykket for utgangsspenningen viser at resistansendringen som skyldes temperaturvariasjoner blir med en god tilnærming eliminert. Samtidig vil forsterkningen til målebroen være dobbel så stor sammenliknet med en kvart-bro med eller uten dummy strekkapp. En ekstra aktiv strekkapp kompenserer også for kabelresistansen mellom målebroen og strekkappene.