

Kurs: <b>FYS3230</b> Sensorer og måleteknikk	Gruppe:	Gruppe-dag:
Oppgave: <b>LABORATORIEØVELSE NR 3</b>		
Omhandler:  <b>Studere en fasefølsom forsterker</b>  Revidert , 5. okt. 2010 Lindem		
Utført dato:	Utført av: Navn: email:  Navn: email:	
Godkjent:dato:	Godkjent av:	
Kommentar fra veileder:		

## Fasefølsom Forsterker

Støy vil alltid begrense nøyaktigheten i målinger av svake signaler. Ofte benyttes avstemte forsterkere slik at deler av støyspekteret kan filtreres bort, men det er i praksis store begrensninger i hva man kan oppnå med båndfiltre.

Når støyen blir like stor - eller overstiger målesignalet, er den "fasefølsomme deteksjon" en meget viktig metode for å grave fram signalet fra støyen.

Faselåste forsterkere ( Lock-In Amplifiers, LIA) kan lages på flere måter, - men prinsippet er det samme som vist i Fig. 3.1:

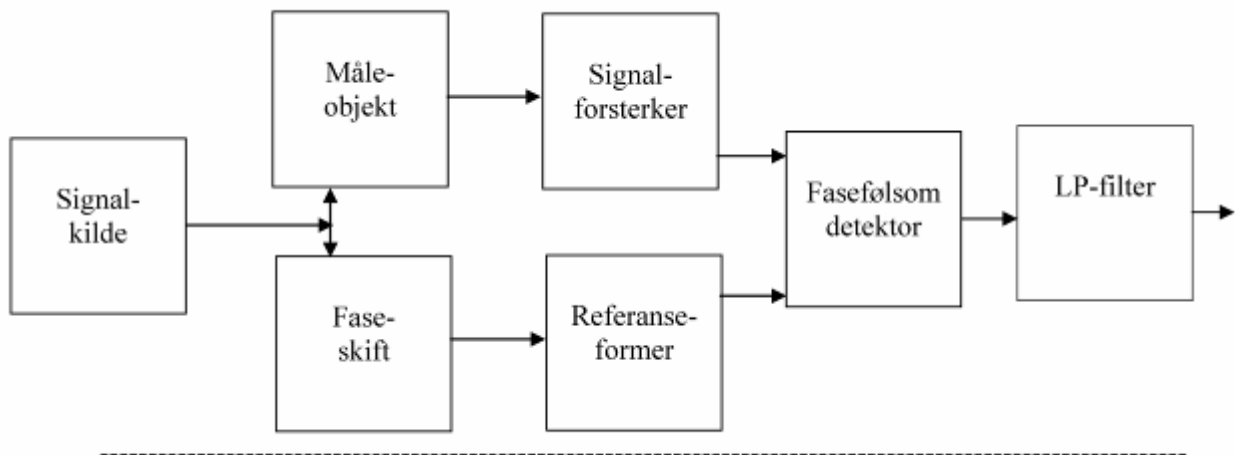


Fig 3.1

Et signal sendes inn på måleobjektet, og responsen derfra sendes inn på forsterkerens *signalkanal*. Samtidig tas signalet inn på forsterkerens *referansekana*l. Målesignalet blir forsterket i signalforsterkeren som kan være smalbåndet for å redusere risikoen for at den skal bli overstyrt av uønskede signaler.

I referansekanaalen bestemmes fasen mellom de to signalene som sendes inn på detektoren. Videre endres referansesignalet til en ønsket form, enten en ren harmonisk bølge, eller - som i denne oppgaven - firkantpulser (som består av grunnfrekvensen og alle odde harmoniske):

$$v_r = \frac{4}{\pi} \sum_n \frac{1}{n} \sin(n\omega_r t) \quad n=1,3,5,\dots$$

Den fasefølsomme detektoren er den sentrale enheten. Her foretas en fasefølsom likeretting. Virkemåten er i prinsippet en multiplikasjon mellom signalet og firkantpulsen (som regnes å ha amplitude 1), og resultatet er sendt gjennom et lavpass-filter. Vi antar at signalet har en ren sinusform (= er harmonisk), med frekvens  $\omega_s$  og firkantpulsen har en grunnfrekvens  $\omega_r$ . Målesignalets amplitude inn på detektoren kalles S. Videre kaller vi fasevinkelen mellom de to signalene for  $\varphi$ . Signalet ut fra detektoren er da gitt ved:

$$v = \frac{4}{\pi} \sum_n \frac{S}{n} \sin(\omega_s t) \sin(n\omega_r t + \varphi) \quad , \text{ eller}$$

$$(1) \quad v = \frac{4}{\pi} \sum \frac{S}{n} [\cos((\omega_s - n\omega_r)t - \varphi) - \cos((\omega_s + n\omega_r)t + \varphi)]$$

På grunn av lavpassfilteret kan vi se bort fra ledd med summen av frekvensene. Videre kan vi se bort fra alle høyere harmoniske når  $\omega_s$  og  $\omega_r$  er omtrent like store. Vi kan da skrive (1) slik:

$$(2) \quad v = 2 \frac{S}{\pi} [\cos \varphi \cos(\omega_s - \omega_r)t + \sin \varphi \sin(\omega_s - \omega_r)t]$$

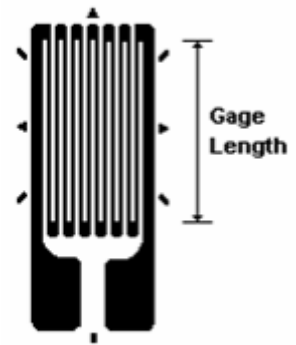
Når  $\omega_s = \omega_r$  fås

$$(3) \quad v = \frac{S}{\pi} \cos \varphi$$

Lavpass-filterets grensefrekvens vil sammen med ligning (2) bestemme den effektive båndbredde til forsterkeren.

## Utstyr og oppgave

I denne oppgaven skal vi bruke en strekkklapp og en fasefølsom likeretter til å måle deformasjon av en stålbjelke. Strekkklappen består av en tynn motstandstråd. Se bilde til høyre. Motstanden reduseres når den strekkes, - fordi tverrsnittsarealet blir mindre og lengden større, men også fordi den spesifikke resistansen endres ved mekaniske deformasjoner. Motstandsendringen i strekkklappen er gitt ved lappens forlengelse og strekkklapp-konstanten G:



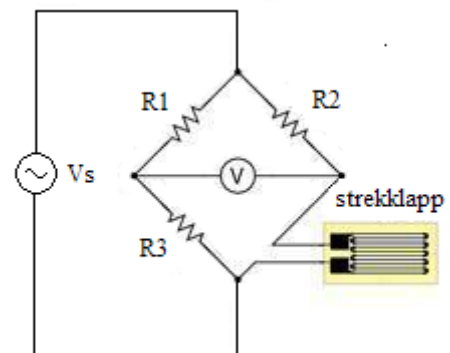
$$\frac{\Delta R}{R} = G \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

Faktoren G er omkring 2 for metaller. I praksis er den relative forlengelsen  $\Delta L/L$  meget liten. Motstandsendringen er derfor også meget liten, og målingene vil ofte være vanskelige på grunn av f.eks. elektrisk støy fra omgivelsene.

Den beste målemetoden er som regel å montere strekkklappen i en brokobling. For en bro med en strekkklapp og de tre andre motstandene lik motstanden R i strekkklappen når den ikke er belastet, er signalet  $v_i$  fra broen tilnærmet lik

$$v_i = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot v_s = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot G \cdot v_s, \text{ hvor } v_s \text{ er forsyningsspenningen til broen.}$$

For å få best mulig signal/støy forhold brukes en fasefølsom likeretter. Vi bruker et sinus-signal  $v_s$  med en fast frekvens som forsyningsspenning til broen, og dette signalet brukes som referansesignal. Signalet  $v_i$  fra strekkklappen er også sinusformet med samme frekvens og kan forsterkes i en AC-koblet forsterker før det likerettes i den fasefølsomme likeretteren.



Prinsippet for en brukbar kobling er vist i Fig. 3.2.

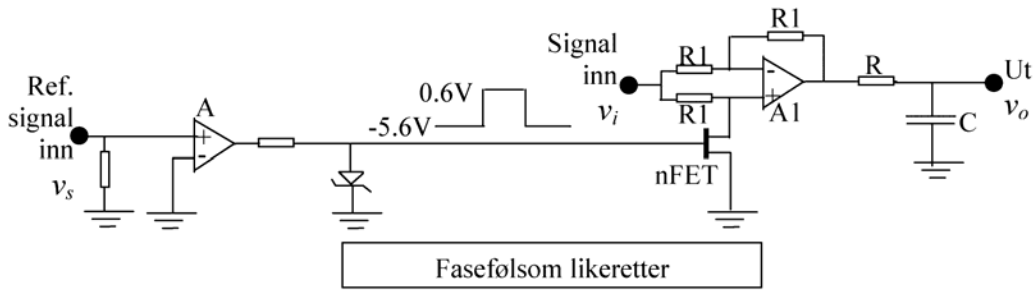
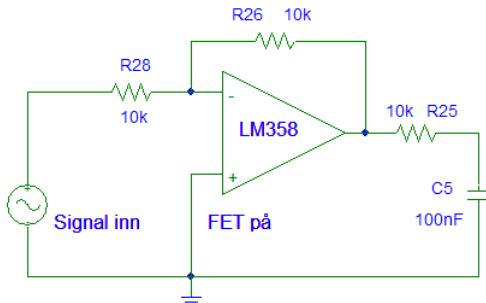
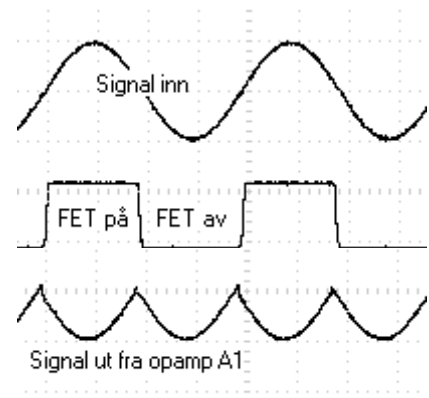


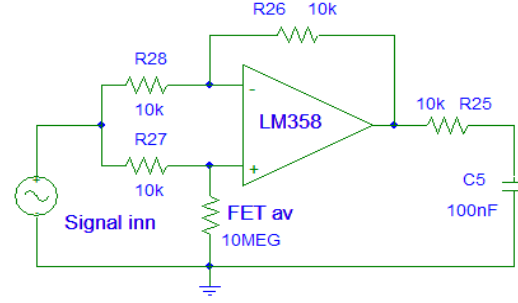
Fig. 3.2

Referansesignalet  $v_s$  (som har samme frekvens som målesignalet  $v_i$ ) omformes ved hjelp av komparatoren A til firkantpulser. Disse gjør at FET-transistoren veksler mellom å lede og å være sperret.

Ved hjelp av op.amp A1 vil signalet  $v_i$  bli invertert når FET leder, og gå uforandret igjennom når FET er sperret  
 Positiv halvperiode blir invertert ( FET på)  
 Negativ halvperiode går uforandret igjennom ( FET av)  
 ( $v_o = 2v_i - v_i$  Superposisjonsprinsippet diff.forst.)



**FET på** Forsterkning  $A = -1$



**FET av** Forsterkning  $A = 1$

Signalet  $v_o$  vil avhenge av taseforskjellen mellom målesignalet og referansesignalet, og være maksimalt når faseforskjellen er null eller 180 grader. (Se Fig. 3.3)

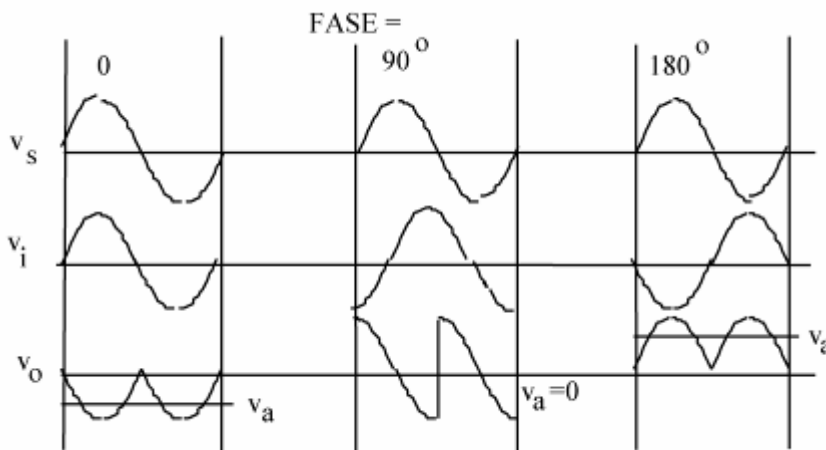


Fig. 3.3

Utgangsspenningen etter filteret blir

$$v_a = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} v_i \sin(2\pi ft + \varphi) dt = \frac{2v_i}{2\pi f T} [\cos \varphi - \cos(\pi + \varphi)] = \frac{2v_i}{\pi} \cos \varphi$$

En vanlig likeretter vil likerette signal og støy uansett frekvens. En fasefølsom likeretter vil likerette bare den delen av støyen som har frekvenser innen et smalt bånd omkring signalfrekvensen. Den virker som et båndfilter med senterfrekvens  $\omega_r$  og båndbredde bestemt av R og C på utgangen av likeretteren. Båndbredden til filteret (frekvensintervallet mellom -3dB punktene) er

$$2\Delta f = 1/\pi RC$$

I kretsen som blir brukt i oppgaven, er det i tillegg et 2. ordens lavpassfilter hvor båndbredden kan ytterligere reduseres, men samtidig vil responstiden øke.

Skjema for kretsene og bilder av testbordet er vist i Figur 3.4, 3.5 og 3.6. Beskrivelse av operasjonsforsterkeren LM358 finnes på <http://www.national.com/pf/LM/LM358.html>.

Kretsen tilføres +12 volt fra en liten batterieliminatør (som brukt på laboppgave 2) En liten DC/DC – omformer (Traco Power) leverer +/- 12volt til kretsene på kortet.

Se på detaljskjema side 7:

Vi har konstruert en enkel oscillator som leverer ca. 1kHz sinus. Legg merke til konstruksjonen - en liten glødelampe i tilbakekoplingen gir automatisk amplitudebegrensing av signalet. Glødtrådens motsand øker hvis signalet øker – den termiske tidskonstanten er så lang at kretsen får samme forsterkning gjennom hele signalperioden. Det medfører at signalet som leveres har meget lav forvrengning. (Lampa lyser ikke - reguleringen skjer ved relativt lave temperaturer – Husk laboppgave 1 – oppgave 2.1 – Måling av motstanden til glødefilament i en lampe)

## Oppgaver:

NB. Ikke rør multiturn pot.meter P1, P2 og P6. **Du skal bare bruke pot.meter P3, P4 og P5.**

Målebro og strekkklapp hører sammen. Se etter at begge har samme bokstav. Kort B til bro B osv. Strekkklappen skal IKKE koples til målebrua før pkt. 2b.

1. Vi begynner med en enkel gjennomgang av kretsene. Bruk CH1 på skopet - se på signalet ut fra oscillatoren – TP9. Hva er frekvensen ?

La skopet ”trigge” på dette signalet – Kople en ledning fra skopet’s EXT.TRIG til TP9. I TRIG MENUE velger du source- ext trig, mode – normal, Coupling - AC

Oscillatorsignalet er direkte koplet til faseskifter (Phase shifter) - TP4. Kople CH2 til utgangen fra faseskifter - TP8. Skru på pot.meter P5 slik at du tydelig ser fasen endres. Ta ut et skjermbilde av CH1 og CH2 - hvor fasen mellom disse er forskjøvet ca 90 grader.

Send oscillatorsignalet direkte inn på den fasefølsomme demodulatoren. Dette gjøres med en strap over pinnene på CN2 ( like ved utgangen fra Pre-amplifier).

Flytt skopet CH2 fra TP8 til TP13. Du skal nå finne oscillatorsignalet på TP13.

Flytt skopet CH2 fra TP13 til TP18. Her skal du se firkantpulser. Signalet ut fra faseskifter (Phase shifter) er kjørt igjennom en komparator – disse pulsene styrer en n-kanal FET i den fasefølsomme

likeretteren. Beskriv kort virkemåten. Flytt skopet CH2 fra TP18 til TP14. Ta ut et bilde som viser signalet i TP14 når fasesiftet er 0 grader og 90 grader. Stemmer det med fig.3.3 ?

Bruk skopet. Mål utgangssignalet fra likeretter-kortet (DC) TP15 som funksjon av fasen til referanse- signalet.

2a Skopet koples til TP6 Preamp out. Koble sammen de to inngangene på for-forsterkeren (Strap settes over pinnene på CN1) og juster vha. pot.meter P4 til minimum signal. Bestem Common Mode – forsterkningen (CM-forsterkning).

Forforsterkeren har en total forsterkning på ca. 60 dB.

(Diff. forsterker 20dB + non.inv. forsterker 40dB) Beregn kretsens CMRR ( Common Mode Rejection Ratio) i dB.

*Eksempel : Hvis differansesignalet forsterkes 1500 ganger – og fellessignalet CM dempes med en faktor 0.01 – da blir*

$$CMRR = \frac{A_v(\text{differential})}{A_v(\text{common mode})} = \frac{1500}{0.01} = 150000 \quad (103,5dB)$$

2b Juster referanse-fasen (P5) for maksimal DC-spenning ut på TP15.

Koble for-forsterkeren sammen med strekklopp-broen og den fasefølsomme likeretteren - slik som vist i skjema. Husk - fjern strappen over pinnene på CN1 fra oppg.2a. Flytt strappen fra CN2 over til pinnene på CN3. Balanser broen vha. P3 og kontroller at utgangen fra likeretteren varierer med kraften på bjelken i både positiv og negativ retning.

3. Undersøk ”Low-pass Filter”. Sett strappen over pinnene på CN10.

Tilfør signal (100Hz 100mV pp) fra ekstern signalgenerator på TP16. Kople bort alle filterkondensatorer (alle brytere, SW2,SW3 og SW4 i OFF). Mål filterets forsterkning for 100 Hz. Kople inn kondensatoren på 10 nF i lavpassfilteret (SW2-ON) slik at grensefrekvensen blir omlag 100 Hz. Kontroller at kretsen virker som ventet.. Sett strappen tilbake over pinnene på CN9 – dette kopler utgangen fra demodulatoren inn på filteret.

4a. Med LP-filter på laveste grensefrekvens ( SW4 on - 1  $\mu$ F – 1000nF )

- Plasser et lodd på vektarmen slik at DC ut fra lavpassfilter er ca. 5 volt.

- Les av med multimeter på målepinnen merket ”DC out”.

Bruk oscilloskopet - hvor stort er AC- signalet (1kHz referansesignal) ut fra forforsterkeren? (TP6 – Pre-amplifier) Dette signalet bør være i størrelsesorden 150 - 300mV

4b. Bruk funksjonsgeneratoren og tilfør kretsen et støysignal på TP7 (noise in)

Som støysignal bruker vi først et sinussignal med frekvens 700 Hz - deretter 1300 Hz.

Prøv med 2 forskjellige signalamplituder 100 og 1000 mV<sub>pp</sub> ut fra generatoren. (Avles disse verdiene på funksjonsgeneratorens display)

Påvirker disse støysignalene målingen på ”DC out” ?

4c. Velg en støyfrekvens på 1300Hz. Øk støyamplituden til du ser en endring på ca 10% i utgangssignalet - målt med multimeteret på utgangen - DCout.

Oscilloskopet skal fortsatt være koplet til utgangen av forforsterkeren (TP6).

Hvor stort er støysignalet ut fra forforsterkeren?

Målesignalet (referansesignalet) er nå ”druknet” i støy. Hva er forholdet signal / støy i dette målepunktet. (Bruk målingen fra 4a)

4d. Send inn et støysignal på  $1000 \text{ mV}_{pp}$  til forforsterkeren (noise in). Støyamplituden avleses på generatoren. Varier støyfrekvensen fra ca. 700 til 1300 Hz. I hvilket frekvensområde er det tydelig at støyen spiller en rolle for målingen? (se på multimeteret)

Bruk de 3 bryterne på lavfrekvensfilteret. Legg inn kondensatorene i tur og orden – først 10nF så 100nF - og til slutt 1uF. Hvor stor er båndbredden for støysignaler ( $\Delta f$ ) for hver av de tre kondensatorene.

( F.eks. Med 10nF ser du at utgangen endrer seg (er ustabil) for frekvenser i området 850Hz til 1150 Hz – det betyr: For 10nF er  $\Delta f = 300\text{Hz}$  )

5. Teoretisk oppgave:

Du henger et lodd på vektarmen slik at DC out er ca.5volt.

Hvor stor er relativ forlengelsen av strekkklappen som er limt fast på denne armen?

(strekkklapp-konstanten er påført armen – typisk  $G = 2,1 \text{ R} = 120 \pm 0,3 \Omega$ )

Data er hentet fra strekkklapp [FLA-6-11-1L fra TML](#) (Tokyo Sokki Kenkyuo Co.,Ltd.)

Gauge length  $L = 6 \text{ mm}$   $W = 2,2 \text{ mm}$  1m påmontert koplingsledning

FLA-1-11-3LT		FLA-1 -11 Materials for S-T-C	
Length of integral leadwire (m)	Code of integral leadwire	Gauge length	11 Mild steel
			17 Stainless steel
23 Aluminium			

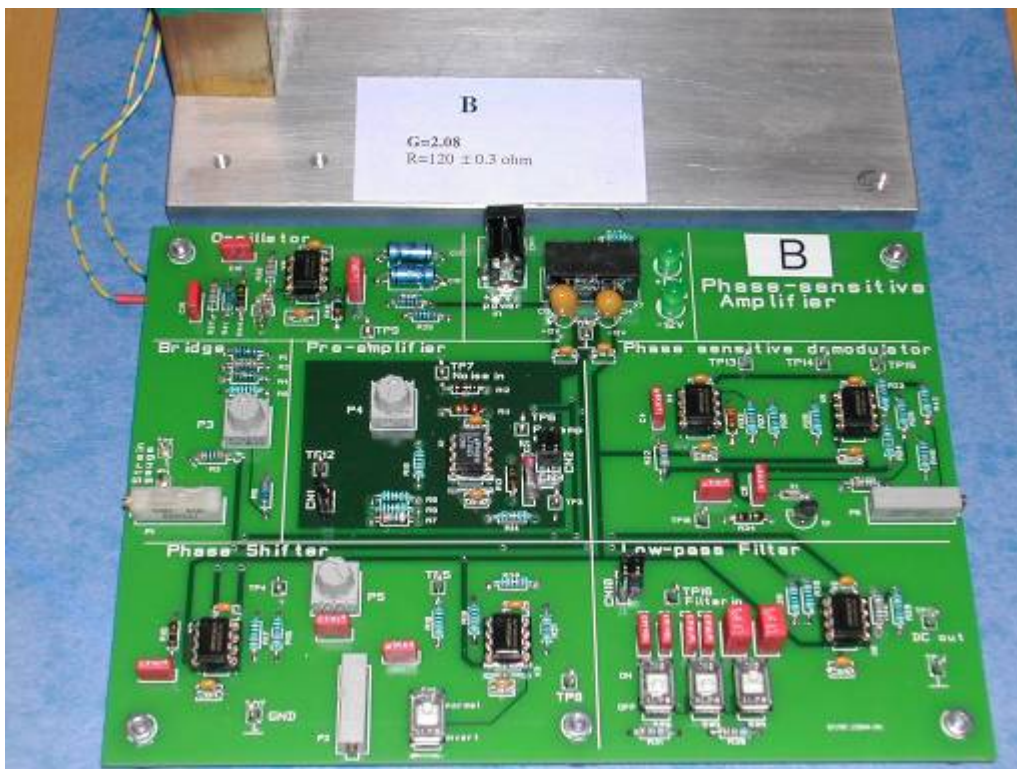


Fig. 3.5 Kretskortet inneholder alle kretselementene – Målebro (Bridge), Oscillator, Forforsterker (Pre-amplifier), Fasefølsom likeretter, faseskifter og lavpasfilter

## Fremgangsmåte for å løse den teoretiske oppgaven

Oppgitte størrelser:

$$G = 2,1$$

$$R = 120 \pm 0,3 \Omega$$

$$L = 6 \text{ mm}$$

Legg et lodd på vektarmen som gir DC out ca. 5 volt, les av output fra forforsterkeren  $v_i$ .

Oppgit forsterkning  $A_d = 60 \text{ dB} = 1000$

$$v_m = v_i / A_d$$

$$R_2 = 120 \Omega$$

Neste steg er å definere spenningen mellom  $R_1$  og  $R_3$  til  $v_a$ , og spenningen mellom  $R_2$  og strekkklapp til  $v_b$ .

Vi har da at  $v_m = v_b - v_a$ .

$$v_m = (R_s v_i) / (R_2 + R_s) - v_a$$

Løst med hensyn på  $R_s$  får vi:

$$R_s = R_2 (v_m / v_a + 1)$$

Dermed er  $\Delta R = R - R_s$

Siste steg er å beregne  $\Delta L$ :

$$\Delta R / R_s = (\Delta L / L) G$$

$$\Delta L = (L \Delta R) / (R_s G)$$

Dermed kan man alle størrelser man trenger for å regne ut relativ forlengelse  $\Delta L / L$ .

