| Kurs: FYS3220 Lineær kretselektronikk | Gruppe: Gruppe-dag: | Utført dato: |
|---|---|---|

Oppgave:

**LABORATORIEØVELSE C**

Omhandler:



| Utført av | Utført av |
|---|---|
| Sett inn et bilde av deg selv her: | Sett inn et bilde av deg selv her |
| Navn: | Navn: |
| email: | email: |
| Godkjent dato: | Godkjent av: |

Kommentar fra veileder:

# Innhold

# Om besvarelsen

**Merking av oppgaven**
Merk alle oppgaver med oppgavenummer og overskrift gitt av oppgavetittelen.

**For å få godkjent**
Alle oppgavene må være forsøkt besvart på en overbevisende måte. Man kan ikke gamble ved å levere en minimal besvart oppgave.

**Besvarelsen**

- Ikke før inn svarene direkte inn i oppgaveteksten, men lag deres egen journalbeskrivelse.
- Bruk forsiden i denne oppgaveteksten.
- Dere kan godt klippe elementer fra oppgaveteksten dere systes det er ønskelig, men altså ikke leverer denne oppgaveteksten utfylt med deres egen tekst.
- Når dere skriver en journal, må dere bruke fullstendige setninger.

**Vedlegg**
Alle figurer, tabeller og ligninger skal inn i teksten der de hører hjemme med nummer. De skal også være kommentert i teksten, slik at ingen vedlegg blir overflødige.

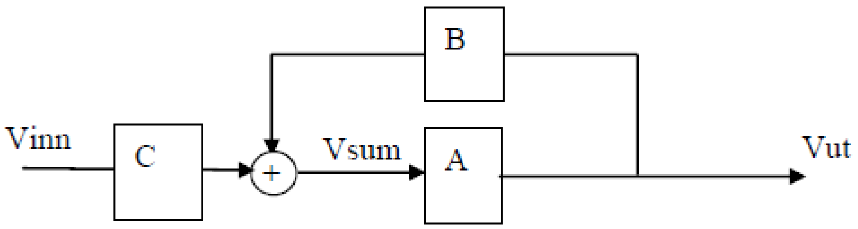
**Plotting**
Når en generer et plot i PSpice vil det om man følger standarden bli veldig mange ledelinjer på selve plottet. Dette er ikke nødvendig, og kan gjøre at man ikke så lett ser den informasjonen en gjerne vil se. Derfor vil jeg gjerne at dere følger følgende punkter for å få litt mer oversiktlige plot.

1. Trykk på F11 for å åpne plotteverktøyet.
2. Når plotteverktøyet er åpent, gå inn på *Plot* → *Axis Settings*.
3. Trykk på *X Grid*.
4. Under Grids velger du "+" på major og "*Dots*" på minor.
5. Avslutt med å trykke på knappen *Save As Default*.
6. Følg punkt 3 til 5 med *Y Grid* etterfulgt av *OK*

Når plottet er generert, kan dere enten bruke utklipsverktøyet fra Windows, eller så kan dere bruke den integrerte ploteksportøren. (Windows → Copy to clipboard).

# 1 Tilbakekobling av et 2-ordens system

Et generelt tilbakekoblet system kan skisseres som i figur 1.

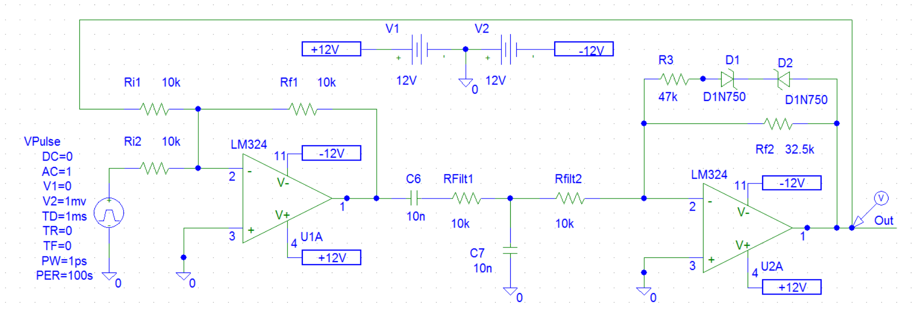



Figur 1: Blokkskjema for et generelt tilbakekoblet system

Beregner vi forholdet mellom utgangs- og inngangsspenning, kan vi vide at det generelle tilbakekoblede systemet kan beskrives som i ligning (1).

$$H(s) = \frac{V_{ut}}{V_{inn}} = \frac{A \cdot C}{1 - AB} = \frac{A \cdot C}{1 - F} \tag{1}$$

Wienbrofilteret fra Lab B(figur 2) er et slikt tilbakekoblet system og kan beskrives med (1).




Figur 2: Ikke-ideelt Wienbrofilter fra Lab B

Sammenlikner vi blokkskjemaet i Figur 1 med skjemaet Figur 2 kan vi se at blokkene B og C bare er tilkoblingsledninger med verdi 1. Blokken A derimot vil inneholde alle systemets frekvensavhengige komponenter og aktive forsterkere. Vi kan skrive systemblokkene på følgende måte.

$$A(s) = G\frac{sRC}{(sRC)^2 + s3RC + 1} \tag{2a}$$

$$B(s) = 1 \tag{2b}$$

$$C(s) = 1 \tag{2c}$$

Hvor G er forsterkningen gitt av operasjonsforsterkeren U2A. Vi kan endre G ved å endre tilbakekoblingsmotstanden $R_{f2}$. Setter vi for eksempel $R_{f2} = 20k\Omega$ for vi at $G = 2$.

$$G = \frac{R_{f2}}{R_{filt2}} = \frac{20k}{10k} = 2 \tag{3}$$

Når RC leddet holdes konstant, vil G være den eneste faktoren som påvirker polene. I det område hvor G gir komplekse poler vil vi også kunne benytte standardlikningen for resonans.

$$H(s) = G\frac{sRC}{(sRC)^2 + sRC(3-G) + 1} = G\frac{\tau s}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1} \tag{4}$$

Hvor godheten $Q = \frac{1}{2\xi}$. Dempeleddet $\xi$ er definert som $\xi = cos(\theta) = \frac{\alpha}{|z|}$ hvor $\alpha$ er realdelen, og $|z|$ er lengden på polene.

## 1.a Utled $H(s)$ for et tilbakekoblet system

### Oppgave 1.a-1

La H(s) være overføringsfunksjonen til vårt filter med tilbakekobling. Sett inn blokkene for A, B og C i utrykket for det generelle tilbakekoblede systemet (1) og vis med algebra at dette kan forenkles til (5).

$$H(s) = G\frac{sRC}{(sRC)^2 + sRC(3-G) + 1} \tag{5}$$

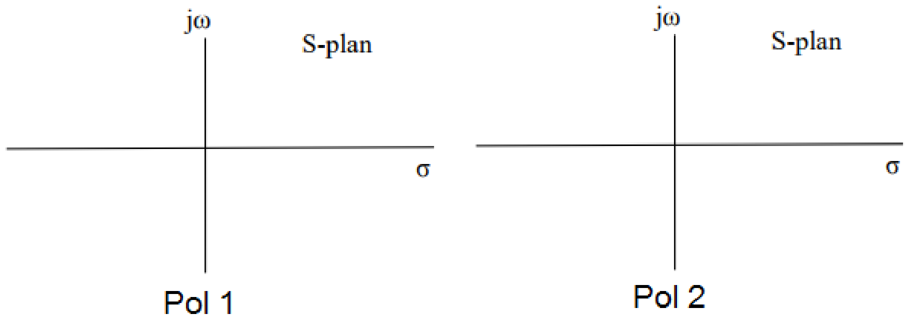
## 1.b Studer polplassering til wienbro-filteret ved økende G

### Oppgave 1.b-1

- La Rfilt1 = Rfilt2 = 10k og Cfilt1= Cfilt2 = 10nF i Figur 2.
- La G øke fra 0 til 7 i trinn på 0.25.
- Bruk et regneark som f.eks Excel til å beregne polenes real og imaginær del i s-planet, samt $\omega_0$, og Q der disse er aktuelle.
- Lag plot med Re(pol 1) som x-akse og Im(pol 1) som y akse. Gjør det samme for pol 2. Dette gir plot i s-planet som viser hvordan polene beveger seg når G vokser. Sett tabell 1 og plot inn i journalen.
- Fyll også ut kolonnen "stabilitet" med stabil, marginal, ustabil, og kolonnen "oscillasjon" med nei , dempet, konstant, voksende.
- Plasser også alle polene og nullpunktene inn i figur 3.

| G | $\omega_0$ | Q | Re(pol1) | Im(pol1) | Re(pol2) | Im(pol2) | Stablitiet | Oscillasjon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | | | | | | | |
| 0.25 | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | |
| 0.75 | | | | | | | | |
| osv. | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |

Tabell 1: Beregning av polplasseringer

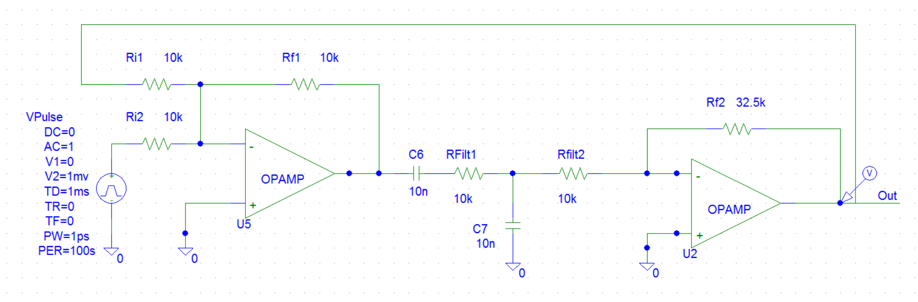



Figur 3: S-plan med poler og 0-punkt for $H(s)$ når G vokser fra 0 til 7.

## 1.c Stabilitet og oscillasjon

I beregningene av polvandring for Wienbrofilteret (Figur 2) i forrige oppgave regnet vi operasjonsforsterkerene som ideelle og vi så bort fra effekten av diodene. Når vi skal simulere en krets så må den kretsen vi simulerer gjenspeile den kretsen vi har beregnet om vi skal kunne sammenlikne resultatene. Vi ønsker dette når vi enten vil kontrollere om vi har regnet riktig eller om simulatoren fungerer som den skal.

Vi setter derfor inn ideelle opamper og fjerne diodene i Figur 2. Med ideelle opamper må vi også sette på en kort puls på inngangen for å sparke i gang eventuelle oscillasjoner. Dette trenger vi ofte ikke for ustabile systemer når vi benytter ikke-ideelle kretser. Dette kommer av at de ikke-ideelle kretsene ofte fluktuerer litt når strømmen settes på slik at systemet bringes ut av balanse uten ekstra hjelp.




Figur 4: Ideelt Wienbrofilter med tilbakekobling. $R_{f2}$ skal reguleres slik at G blir som beskrevet i oppgaven.

### Oppgave 1.c-1

- Tegn eget eller modifiser vedlagt skjema med navn "Figur 4 Ideelt_Wienbrofilter.sch" (Figur 4) og utfør en transientanalyse (tidsanlyse) for G=0.5, G=2.9, G=3 og G=3.1. Studer Vut.

  1. Viser simulatoren om kretsen er ustabil eller ikke for de fire G-ene?

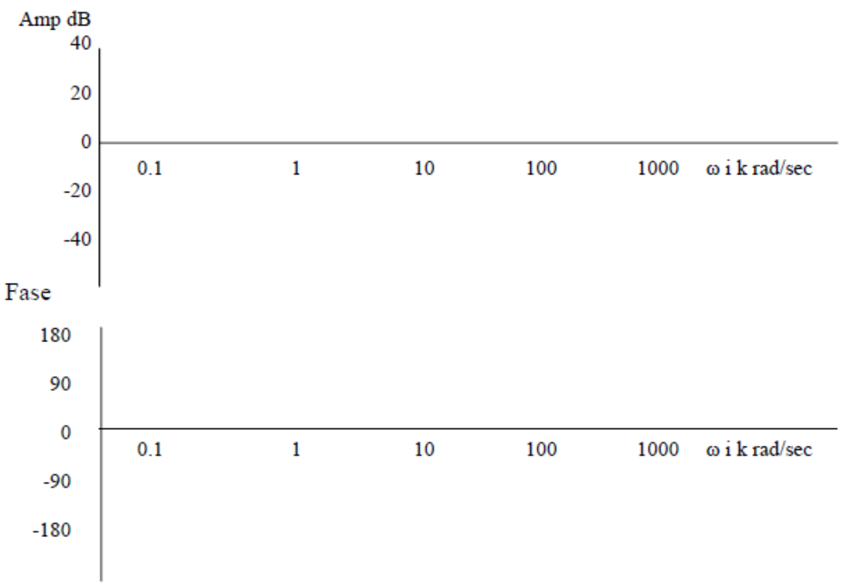
2. Er det samsvar mellom simuleringsresultatene, de beregnede pol plasseringene i forrige oppgave og teorien om polplassering og stabilitet?

**Frivillig ekstraoppgave 1**
Når vi har beregnet og simulert en ideell krets og ser at simulator og beregninger samsvarer, så kommer neste fase hvor vi simulerer med ikke-ideelle kretser og diskuterer likheter og forskjeller. I siste fase bygger vi kretsen og sammenlikner måleresultater med de ikkeideelle simuleringene. Vi skal ikke bygge kretsen, men simuler den ikke ideelle kretsen slik den er gitt i Figur 2 og sammenlik kurvene med de ideelle simuleringene. Hvis dette leveres så merk det med ekstraoppgave 1. Lever gjerne simuleringskurver med kommentarer om likheter og forskjeller.

## 1.d Bodeplot

**Oppgave 1.d-1**

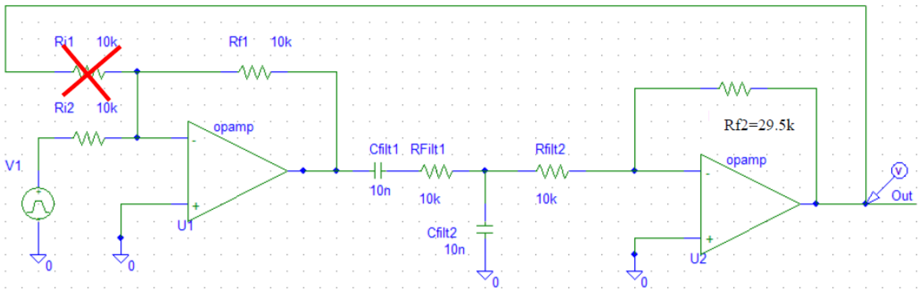
- For H(s) i (5), la G være 2.5 Beregn $\tau$, Q, og $\omega_0$.
- Bruk disse verdiene til å tegne ett asymtotisk Bodeplot for amplitude og fase.
- Tegn inn effekten av Q ved resonans.
- Bruk gjerne figur 5 som en mal for denne tegningen.




Figur 5: Bodeplot for $H(s)$ når G=2.5, Rfilt=10k og Cfilt=10nF

## 1.e Ikke tilbakekoblet system

I foregående oppgave så vi på hvordan forsterkningsfaktoren G påvirket kretsen vist i Figur 2 når denne hadde tilbakekobling. Vi skal nå studere systemet uten tilbakekobling ved å fjerne motstanden Rsum2. Dette gjør vi ved å klippe over tilbakekoblingen, og siden blokkene B=1 og C=1 sitter vi da igjen med sløyfeblokken F(s) = AB.




Figur 6: Ideelt Wienbrofilteret uten tilbakekobling. Denne lages ved å modifisere kretsen i Figur 4

Med motstanden Rsum2, og med tilbakekobling kan kretsen beskrives som H(s) i Eq. 4. Uten motstanden Rsum2 og uten tilbakekobling kan kretsen beskrives som A(s) likningen (6).

$$A(s) = G\frac{sRC}{(sRC)^2 + 3RC + 1} \tag{6a}$$

$$B = 1 \tag{6b}$$

$$C = 1 \tag{6c}$$

**Oppgave 1.e-1**

- Studer systemfunksjonene H(s) og A(s) og forklar hvordan det å ta bort tilbakekoblingen påvirker systemet.
- Svar spesielt på følgende spørsmål og begrunn svarene ut fra forskjellen i likningen.
  a) Kan systemet bli ustabilt uten tilbakekobling.
  b) Vil, og i så fall hvordan vil en endring av G nå påvirke
     1. Forsterkningen
     2. Båndbredde,
     3. Resonansfrekvens
     4. Godhet Q.
- Bruk gjerne PSpice til å kontrollere svarene.

## 2 Konturanalyse og Nyquistdiagrammer

La $H(s)$ være gitt av et tilbakekoblet system

$$H(s) = \frac{AC}{1 - AB} = \frac{AC}{1 - F} \tag{7}$$

Merk at

- Det finnes ingen ustabile systemer som ikke har tilbakekobling.
- Passive systemer kan ikke bli ustabile.
- Et ustabilt system har poler i høyre halvdel av s-planet.
- Vi kan ikke alltid klare å beregne posisjonen til alle poler i en tilbakekoblet systemfunksjon.

Når vi ikke kan bevise at et system er stabilt ved å se direkte på polenes plassering, kan vi klare oss ved å plotte tilbakekoblingsfunksjonen F(s)

1 i et Nyquistdiagram.

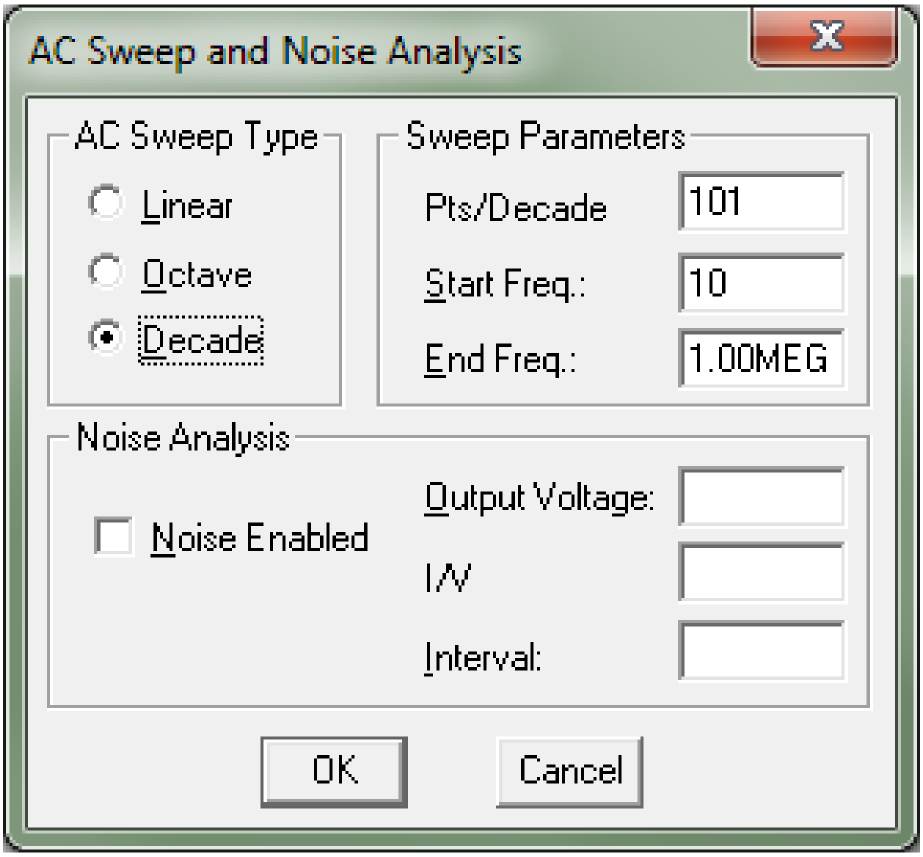
2 eller i et Bodeplot

Når s vokser fra 0 til uendelig langs $j\omega$ aksen.

Hvis et slikt plot viser at vi treffer eller innhegner punktet $(j0, 1)$ betyr det IKKE at $F(s)$ er ustabil men at den funksjonen som $F(s)$ kommer fra, nemlig $H(s)$ er ustabil.

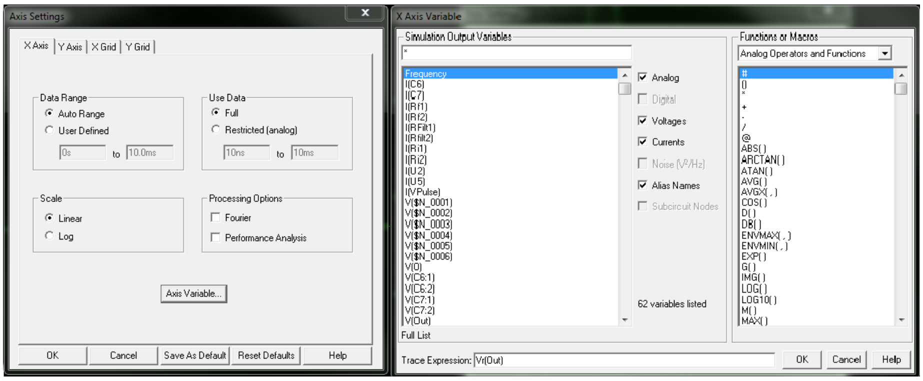
Vi kan simulere $F(s)$ og plotte imaginær delen av $F(s)$ langs y aksen og realdelen av $F(s)$ langs x-aksen for økende frekvens. Dette gir oss en kurve i et lineært eller logaritmisk Nyquistdiagram. Beskrivelsen her er gitt for lineært diagram. Hvis kurven omslutter punktet $(j0, 1)$ er det et bevis for at $H(s)$ er ustabil.

For å få fram Nyquistkurven i PSpice setter vi opp en AC analyse på følgende måte




Figur 7: PSpice sin Analysis =>Setup =>AC-sweep dialog.

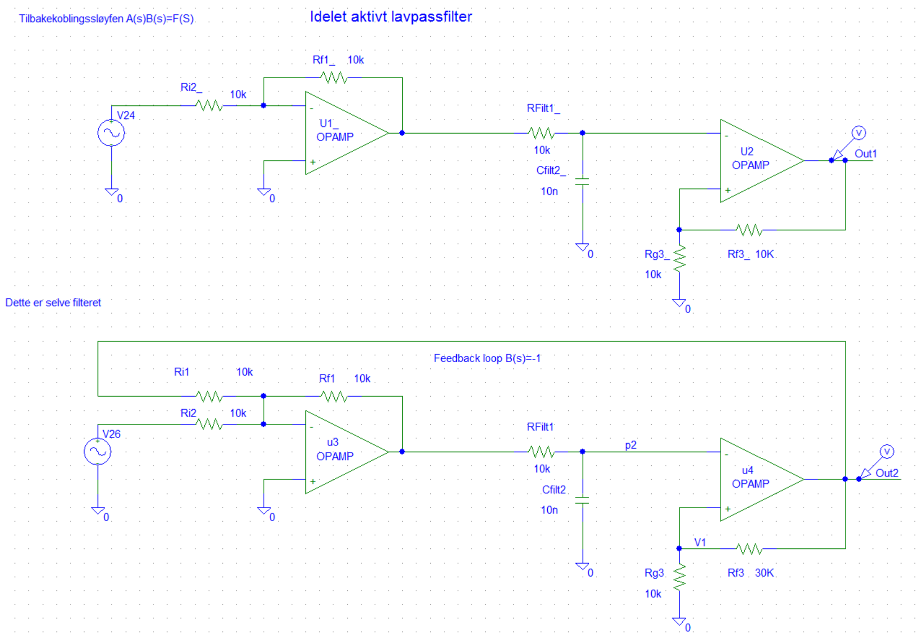
I probe.exe velger vi add trace og legger til bokstaven i for imaginær del. F.eks $Vi(out)$. Deretter setter vi x-aksen til å plotte realdelen ved å gå inn i menyen Plot / Axis setting. Dette åpner en dialog med flere sider. På siden for X-akse velger man først lineær x-akse i panelet merket Scale. Deretter trykker man på knappen merket Axis variable og skriver inn at man vil ha $Vr(out)$. På denne måten får vi x-aksen til å vise realdelen til spenningen for signalet merket ut. Dette vil plotte Nyquistdiagrammet for $s = (j\omega + \sigma)$ fra $(j0, 0)$ til $(j\infty, 0)$. Men ikke for $(j0, \infty)$ tilbake til $(j0, 0)$, Vi får derfor ikke alltid en lukket kurve, men kurven vil alltid starte og ende på realaksen og vi kan uten videre trekke den manglende kurvebiten langs realaksen.




Figur 8: Til venstre ser vi Probe.exe sin "Plot => Axis setting" dialog hvor man velger lineær Scale. Til høyre ser vi dialogen som kommer fram når man trykker Axis variable knappen. Her skriver dere Vr(ut) for å få x-aksen til å vise realdelen til signalet V(ut)

## 2.a Nyquistkurve for et aktivt lavpassfilter

Vi starter med å se på et enkelt lavpassfilter med og uten tilbakekobling, plotter Nyquistkurven og vurderer stabilitet.




Figur 9: Ideelt aktivt lavpassfilter.sch. Øverst ser vi et lavpassfilter uten tilbakekobling. Nederst ser vi et med tilbakekobling

Overføringsfunksjonen for filteret uten tilbakekobling blir som gitt i (8).

$$H_1(s) = (-1)\frac{1}{RCs+1}G = \frac{-G}{\tau_1 s+1} \tag{8}$$

hvor (-1) stammer fra den inverterende forsterkeren u1, frekvensleddet fra RC koblingen mens G kommer fra u2. Med de angitte motstandene vil G være 4. Når vi tilbakekobler kretsen ved å føre utgang inn på inngang får vi ligning (9).

$$H_2(s) = \frac{AC}{1-AB} = \frac{AC}{1-F} \tag{9}$$

hvor $A$ tilsvarer $H_1(s)$, $B$ og $C$ er begge 1.

**Oppgave 2.a-1**

Sett inn for blokkene A, B og C og vis at $H_2(s)$ blir som i (10).

$$H_2(s) = \frac{\frac{-G}{1+G}}{\frac{RC}{1+G}s+1} \tag{10}$$

**Oppgave 2.a-2**

Dette leddet likner på utrykket $\frac{K}{\tau_2 s+1}$ som vi studerte ulike varianter av i Lab B og som vi nå bør kunne skissere Bodeplotet for direkte ved å se på formelen uten å utføre ytterligere beregninger.

- Diskuter H1(s) og H2(s) og forklar hva tilbakekoblingen gjør med forsterkningen, filterets knekkfrekvens og filterets demping per dekade ovenfor knekkfrekvensen.

**Oppgave 2.a-3**

- Forklar kort hva en økning i G vil gjøre med knekkpunkt og forsterkning for $H_2$.

**Oppgave 2.a-4**

- Gjør gjerne en AC analyse og plot dB(V(ut1)) sammen med dB(V(ut2)) for de to kretsene for å verifisere svarene.
- Husk å la AC analysen være logaritmisk i menyen Analysis/Setup/AC når man skal lage Bodeplot.
- Beregn plasseringen til polen til $H_2$ i s-planet. Hva forteller dette om det tilbakekoblede filterets stabilitet?

**Oppgave 2.a-5**

**Nyquistdiagram for enkelt lavpassfilter**

Vi skal nå studere $F(s)$ Siden $F(s) = A(s)B(s)$ og siden $A(s) = H1(s)$ i (8) og $B(s) = 1$, ser vi at vi kan sette likhetstegn mellom $H_1(s) = F(s)$ og derfor simulere den øverste kretsen i Figur 9 når vi skal studere sløyfeforsterkningen. Setter $F(s) = \frac{-G}{\tau_1 s+1}$

- For F(s) i Eq. 9, sett G=4 og skill real og imaginær del. Beregn reF og imF for følgende verdier:

| $\Omega$ | ImF | ReF |
|---|---|---|
| 0 | | |
| $1/\tau_1$ | | |
| $\infty$ | | |

Tabell 2: Tabell for Oppgave 2.a-5

**Oppgave 2.a-6**

- Simuler kretsen som gir F(s) og sett Probe.exe til å tegne et Nyquistdiagram.
- Kopier diagrammet til journalen og kommenter om beregningene i tabellen over forteller det samme som Nyquistdiagrammet.

## 2.b Stabilitet for et system med mange poler

Vi skal nå studere Nyquistdiagrammet for Wienbrofilteret (figur 6) for å sjekke om vi virkelig kan benytte Nyquistdiagrammer til å vise om systemet er stabilt. Vi fjerner tilbakekoblingen ved å slette motstanden Rsum2. Siden blokkene B og C er 1 vil kretsen bli lik sløyfeforsterkningen F(s). Derved kan vi simulere kretsen med Rsum2 fjernet når vi vil studere F(s). Sett opp AC analyse beregnet på Nyquistdiagram i PSpice (Analyse/Setup) slik som beskrevet i begynnelsen av denne oppgaven.

**Oppgave 2.b-1**

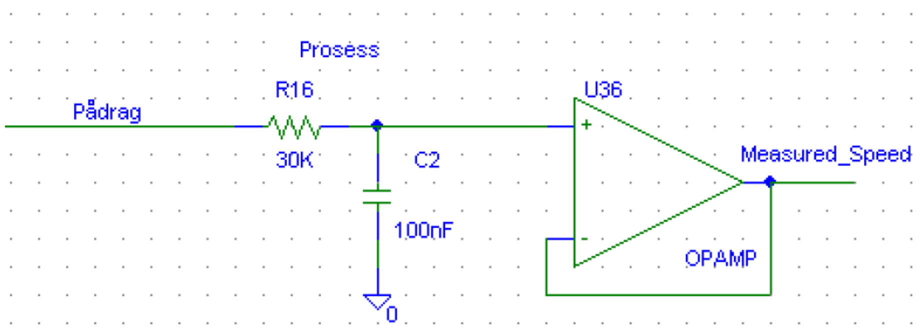
- Utfør AC-simuleringen og plot et Nyquistdiagram i Probe.exe slik det er beskrevet i begynnelsen av denne oppgaven.
- Studer diagrammet og svar på følgende spørsmål
  1. Er kretsen stabil i følge Nyquistdiagrammet og samsvarer det med hva dere nå vet om pol plasseringer fra tidligere oppgaver?
  2. Lim inn plott av Nyquistdiagrammet. Forklar hva vi mener med faregrenser og kommenter om denne kretsen her er innenfor eller utenfor disse grensen.
  3. I oppgaven for Stabilitet og oscillasjon gjorde dere en transientanalyse (tidsanalyse) av det totale systemet med G=2.9. Ser dere noen sammenheng mellom systemets oppførsel i tid og tolkningen av Nyquistkurven for dette systemets tilbakekoblingssløyfe?

# 3 PI Regulatorer

Normalt virker en gasspedal på en bil direkte på forgasseren. Jo hardere vi tråkker pedalen jo mer bensin sprøytes inn i motoren. Hvis vi skal teste hvor fort bilen kan komme fra 0 til 100 trykker vi "klampen i bånn" og noterer tiden til vi passerer 100. Hvis vi ønsker å holde denne hastigheten må vi justerer gassen opp og ned så bilen ikke fortsetter å akselerere.

Vi skal forbedre dette ved å lage en mer "intelligent" gasspedal. Den skal være slik at når sjåføren stiller inn pedalen på en hastighet så skal systemet så raskt som mulig få bilen opp i den angitte hastigheten og holde den der uten at sjåføren skal behøve å justere ytterligere på pedalen.

Vi lager en simuleringsmodell hvor mV tilsvarer bilens hastighet i km/time og hvor tidsaksens ms tilsvarer sec for bilen. Bilens treghet modulerer vi med et enkelt RC ledd etterfulgt av en impedansomformer som skal hindre at modellen belastes. På samme måte som for bilens evne til å endre hastighet vil RC leddet ha en treghet.

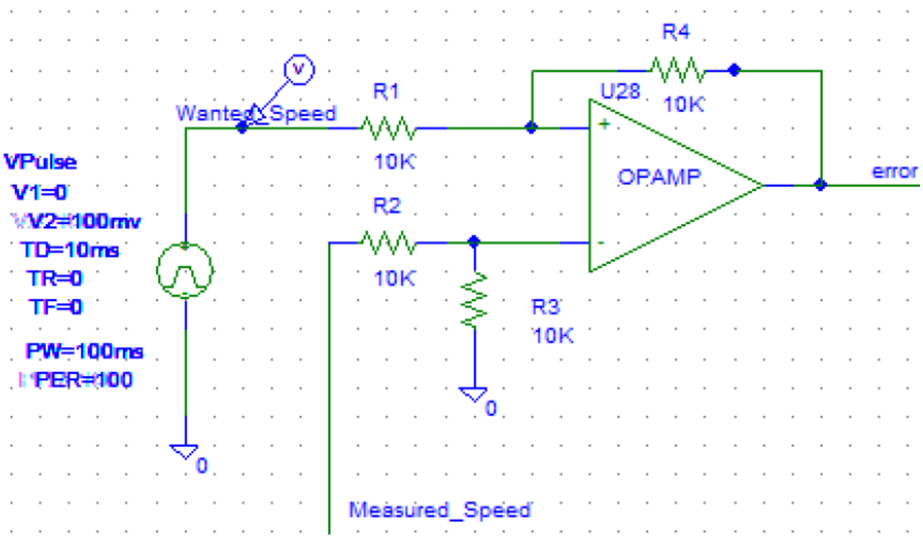



Figur 10: Enkel modell for bilens evne til å endre hastighet

Laplacemodellen for bilen blir

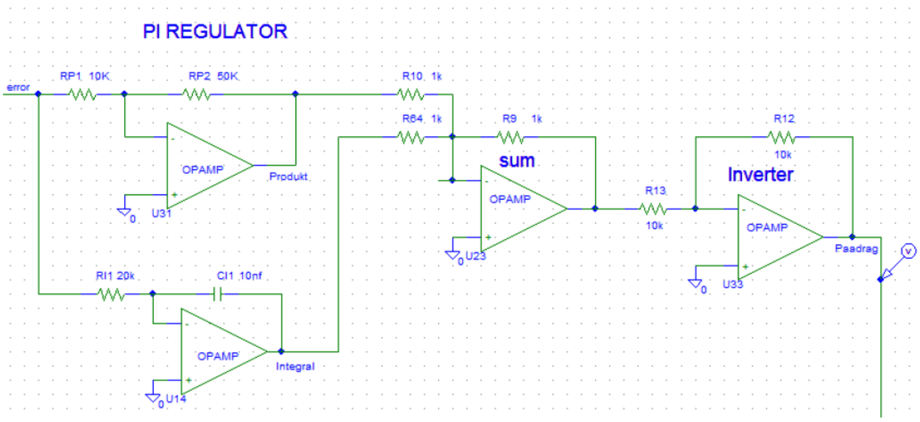
$$H(s) = \frac{1}{RCs + 1} = \frac{1}{\tau s + 1} \tag{11}$$

Vi lar gasspedalen være en enhetstrinnpuls, Vpuls, som endres fra 0 til 100mV (100km/t). Vi lager en subtraksjons krets som finner differansen mellom bilens målte hastighet og ønsket hastighet.

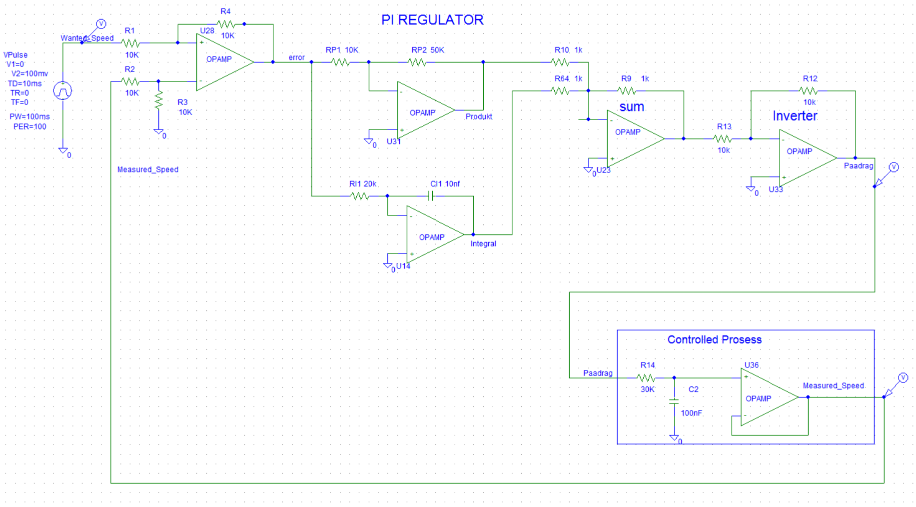



Figur 11: Feilfinnerkrets

og en PI-regulator som bruker feilen til å beregne hvor mye bensin som til en hver tid skal sprøytes inn. Utgangen på PI regulatoren kaller vi for pådraget.




Figur 12: PI regulator som finner pådraget




Figur 13: Hele modellen for en bil med PI regulering av hastigheten vil kunne se slik ut. Se PSpice skjema kalt Figur 13 – «Fartskontroll for bil.sch»

Hele modellen kan beskrives som i ligning (12).

$$M(s) = \frac{W}{s}\frac{PI(s)}{\frac{1}{H(s)} + PI(s)} = \frac{W}{s}\frac{P + \frac{1}{s}I}{\frac{1}{H(s)} + P + \frac{1}{s}I} \tag{12}$$

hvor $\frac{W}{s}$ er en trinnfunksjon fra 0 til "Wanted_speed" og $M(s)$ betegner responsen som her er kalt Measured_speed.

**Hvordan måler vi tiden det tar å nå endelig hastighet?**
Hastigheten $m(t)$, (Measured speed) målt i millivolt vil langsomt nærme seg en grense og spørsmålet er alltid når vi kan si at vi har nådd denne grensen. En vanlig tommelfingerregel er å si at vi har nådd riktig hastighet etter et gitt antall tidskonstanter. Velger vi 5 tidskonstanter så tilsvarer dette ca 99% av endelig resultat. $99\% = (1 - e^{-5}) * 100$. Ser vi at bilens hastighet etter lang tids simulering ikke endrer seg nevneverdig kan vi sette dette som endelig grense og så angi tiden bilen har brukt på å nå opp til 95% av denne hastigheten. Anta at vi ser at bilens fart målt i volt ikke kommer over 90mV. Da leser vi av tiden bilen brukte for å komme opp i 99% av denne farten. Dvs $\frac{90 \cdot 99}{100} = 89.1mV$.

## 3.a Studer PI regulert hastighetskontroll av en bil

Still inn transientanalysen (Analysis /Setup) til å simulere 50ms med 10us print. step og Step ceiling og simuler modellen.

### Oppgave 3.a-1

- Sett RI1=100MEG i Figur 13 slik at integratorleddet i praksis er koblet ut. Derved får vi en ren P-regulator. Sett RP1=10k og RP2=50k. Dette gir et produktledd P=5.

- Kjør en P-regulator simulering med P=10. Lim inn plot av Measured_Speed signalet.
- Hva er høyeste hastighet og hvor lang tid brukte bilen på å nå 99% av denne hastigheten?

**Oppgave 3.a-2**

P og I leddet:
Sett RP1=10k, RP2=50K, RI1 = 20k og CI1=10nF. Dette gir en PI regulator med P=5, men hvordan beregner vi I? Integratorens overførings funksjon kjenner vi som:

$$H_1(s) = \frac{Z_f}{Z_i} = \frac{\frac{1}{sC_{I1}}}{R_{I1}} = \frac{1}{RCs} = I \cdot s \tag{13}$$

Vi ser at I leddet er gitt ved $I = \frac{1}{RCs} = \frac{1}{20 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = \frac{10000}{2} = 5000$

**Bilens og motorens begrensning**
Pådrag $\leq$ 1volt
For en virkelig bil kan vi ikke pøse på med så mye bensin vi måtte ønske. Det er grenser for hva motor og bil tåler. Vi setter her denne begrensningen til 1volt. Dvs at pådraget ikke får lov til å overstige 1 volt noe sted.

For en bil med vanlig gasspedal vil man ofte trykke pedalen helt i bånn og så slippe opp når bilen nærmer seg 100km/t. Nå er det PI regulatoren som forsøker å gjøre dette for oss med signalet merket Paadrag. Pådraget er regulatorens måte å bruke gasspedalen på. Plott og studer dette signalet.

- Beskriv kort utviklingen av pådraget over tid, sammenlikn dette med hvordan du forventer at en virkelig gasspedal vil måtte benyttes.
- Forsøk å forklare forskjeller og likheter mellom simulert pådrag og hvordan du selv ville brukt gasspedalen.

**Oppgave 3.a-3**

- Juster produkt, og integrasjonsledd ved å trimme P og I slik at bilen raskest mulig går fra 0 til 100km/t, men uten å gå over denne hastigheten og uten at pådraget overstiger motorens og bilens begrensninger gitt ved pådrag $\leq$ 1 volt.
- Fyll ut tabell 3.

| | |
|---|---|
| Endelig Hastighet | |
| Tid fram til 99% | |
| P | |
| I | |
| $R_{p1}$ | |
| $R_{p2}$ | |
| $R_{I1}$ | |
| $R_{I2}$ | |

Tabell 3: Tabell for oppgave Oppgave 3.a-3

**Oppgave 3.a-4**

- Forklar kort virkningen av P og I leddet på utgangssignalet (Measured_Speed)

# 4 Filtere

## 4.a Konstruksjon av et 3. ordens Butterworth filter

En måte å lage eller syntetisere et filter på er å

a) Ta en kjent filterfunksjon av en gitt orden

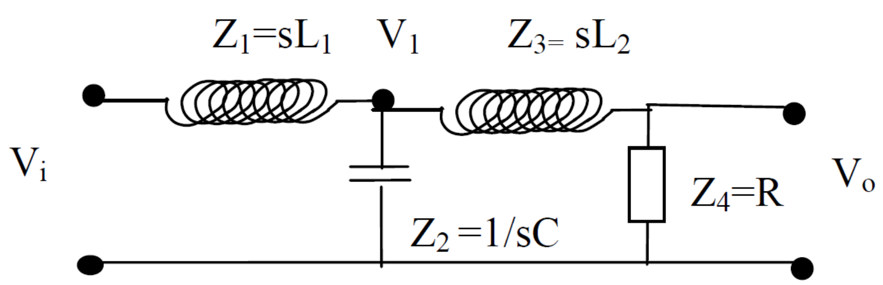
b) Finn en overføringsfunksjon for en virkelig krets som er på samme form

c) Lage en likning mellom disse to for å bestemme komponentene.

Vi ser på et Butterworth filter av 3 grad. For å oppnå tredje grad må vi ha tre reaktanser. Dette gir et polynom med $s^3$. For Butterworth filteret slår vi opp polynomet i en tabell, for eksempel i FYS3220 kompendiet, og finner

$$H_{Butt}(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \tag{14}$$

Så var det å lage seg et virkelig lavpassfilter på samme form. For å få til 3-grads funksjoner trenger vi tre reaktanser ordnet slik at de bremser høye frekvenser og slipper igjennom lave. Vi forsøker med to spoler en kondensator og en motstand og ordner dem slik at de blir stående etter hverandre i form av et LP filter med Spole og kondensator fulgt av et LP filter med spole og motstand. Figur 14 er et eksempel på dette.




Figur 14: Forslag til et 3-ordens lavpassfilter

Dette filteret har følgende overføringsfunksjon:

$$H_{Nett}(s) = \frac{1}{\frac{L_1 L_2 C}{R} s^2 + L_1 C s^2 + \frac{L_1 + L_2}{R} s + 1} \tag{15}$$

Ved å ligne $H_{Nett}$ (15) og $H_{Butt}$ (14), kan vi finne komponentverdiene som vil gi oss ett 3. ordens Butterworth lavpassfilter.

$$\frac{1}{\frac{L_1 L_2 C}{R} s^3 + L_1 C s^2 + \frac{L_1 + L_2}{R} s + 1} = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1} \tag{16}$$

Dette gir oss følgende ligningssett:

$$\frac{L_1 L_2 C}{R} = 1 \tag{17a}$$

$$L_1 C = 2 \tag{17b}$$

$$\frac{L_1 + L_2}{R} = 2 \tag{17c}$$

Som vi løser ved å sette $R = 1\Omega$. Resten av komponentverdiene blir da $L_1 = 1.5H$, $L_2 = 0.5H$, og $C = 1.33F$.

**Hvordan få PSpice's Probe til å plotte vinkelfrekvens:**
For å få PSpice's Probe til å plotte vinkelfrekvens kan man gå inn på menyen Plot=> Axis settings=>Axis Variable og multipliserer variabelen Frekvens med 2 *Pi() slik at det blir stående Frekvens *2*Pi()

**Lineært eller dB for y-aksen**
I følgende oppgaver kan det være en fordel å plotte y-aksen både med og uten dB funksjonen foran V(ut)

**Oppgave 4.a-1**

Bruk Butterworth prototypefilteret gitt i vedlagte krets kalt "Butterworthfilter.sch" til å lage et LP filter og et HP filter med termineringsmotstand på 1k Ohm og knekkfrekvens på 10k rad/sec.

- Skriv ned transformasjonslikningene
- Legg med skjema med nye komponentverdier for LP og HP filteret
- Simuler begge filtrene samtidig. Legg med simulering av Bodeplot for amplituderesponsen.
- Beskriv kort hva som kjennetegner et Butterworthfilter

## 4.b Butterworth versus Chebychev filter

Vedlagte PSpice krets med navn "Butterworth vs Chebychev.sch" inneholder ett Butterworth og et Chebychev prototype filter samt ett Chebychev filter convertert til et høypass filter.

**Oppgave 4.b-1**

Simuler de to første kretsene gitt i "Butterworth vs Chebychev.sch" og beskriv kort likheter og forskjeller i amplitude og fasebodeplottet.
Høypassfilteret er lagt med utelukkende som eksempel og trenger ikke brukes.