<table>
<tr><td colspan="2">Kurs:
FYS3220
Lineær kretselektronikk</td><td>Gruppe:

Gruppe-dag:</td><td>Utført dato:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Oppgave:

LABORATORIEØVELSE A</td></tr>
<tr><td colspan="4">Omhandler:

Fourieranalyse</td></tr>
<tr><td colspan="2">Utført av
Sett inn et bilde av deg selv her

Navn:

email:</td><td colspan="2">Utført av
Sett inn et bilde av deg selv her

Navn:

email:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Godkjent dato:</td><td colspan="2">Godkjent av:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Kommentar fra veileder:</td></tr>
</table>

Innhold

1 Innlevering

For at journalen skal godkjennes må den leveres i tide og inneholde:

- Utfylt forside
- Alle spørsmål må være **overbevisende forsøkt besvart**
- Innlevering
  - **FYS3220−H17_LabA_<navn1>_<navn2>.pdf**
  - Leveres via Devilry
- Skriv gjerne kortfattet, men sørg for at det dere skriver tydelig viser
  - Hva oppgaven omhandler
  - At dere har forstått oppgaven
  - Bruk fullstendige settninger
  - Alle oppgaver skal merkes med oppgavenummer og tittel for oppgaven.

2 Innledning

Vi skal her benytte skjema og simulator verktøyet PSpice til å studere Furier og Laplace−transformasjoner. Målsettingen er å illustrere hvordan signaler kan bygges eller splittes i enkelte sinuskomponenter. Som forberedelse til labben anbefales å lese:

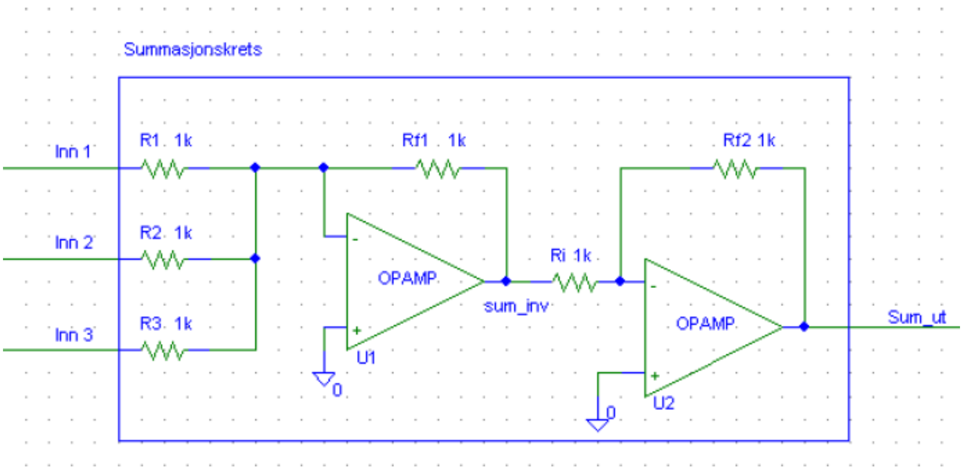
- Introduksjon til PSPICE Schematics og Probe"
- Kapittel om Fourieranalyse i FYS3220 læreboka Lineær kretselektronikk"

Begge dokumenter kan lastes ned fra kursets hjemmeside (Søk FYS3220 på UiO sine emnesider, velg dette semesteret og følg lenken: ”Løpende kursinformasjon - Klikk her”)

3 Summering av elektriske signaler

For å kunne legge sammen signaler med ulike frekvenser trenger vi først en summasjonskrets. Vi kommer tilbake til teorien for ulike regneoperasjoner på elektriske signaler i kapittelet om operasjonsforsterkere. Foreløpig tar vi teorien for gitt. En summasjonskrets består av et sett med motstander og operasjonsforsterkere. Hvis motstandene er like store vil spenningen ut blir lik summen av spenninger inn. For tre signaler har vi at

$$v_1 + v_2 + v_3 = -v_{ut} \tag{1}$$



Figur 1: Krets som summerer flere elektriske signaler

Ett eksempel på en slik krets kan sees i figur 1.

Den første operasjonsforsterkeren u1 tar seg av selve summasjonen. Fordi signalene tilføres den negative inngangen vil utgangen produser det inverse av summen. Derfor er det satt til et ekstra trinn u2 som bare har som oppgave å invertere signalet på nytt, slik at vi får en virkelig sum ut uten noen form for invertering.

3.1 Oppgave 1: Summering av signaler

- Tegn skjemaet fra Figur 1 med PSpice schematics og lagre det.
- Merk at operasjonsforsterkerne er satt opp med $\pm$ 15 volt driftsspenning og kan ikke summere spenninger ut over dette.
- Koble tre batterier av typen VDC fra PSpice biblioteket Source.slb til hver av inngangene og sett dem opp med ulike spenninger. Husk at batterienes negative terminaler må jordes med komponenten AGND fra biblioteket Port.slb.
- Lagre skjemaet. Test summasjonskretsen ved å kjøre en transientanalyse og plott inngangsspenningene og signalet Sum_ut.

- Slå på visning av spenninger. (Analysis → Display results on schematics → Enable voltage display).

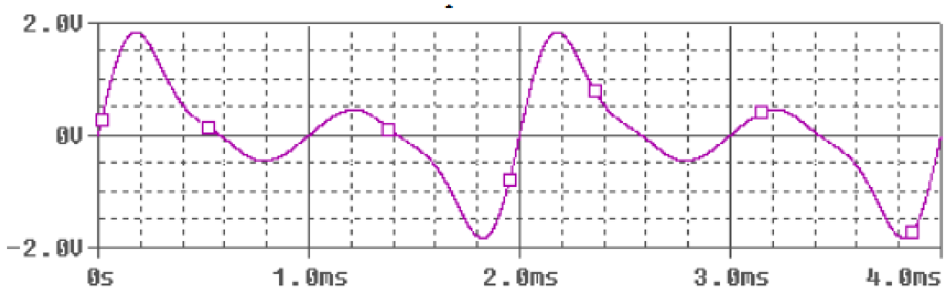
- Viser simuleringen at kretsen fungerer som en summasjonskrets i henhold til (1)?
  Hvis ikke, finn feilene og få kretsen til å summere korrekt.

- Tegn skjemaet med navn på ledninger og komponenter eller lim inn PSpice skjemaet med visning av spenninger. Kommenter figuren og resultatene.

Ikke legge ved plot av transientanalyse.

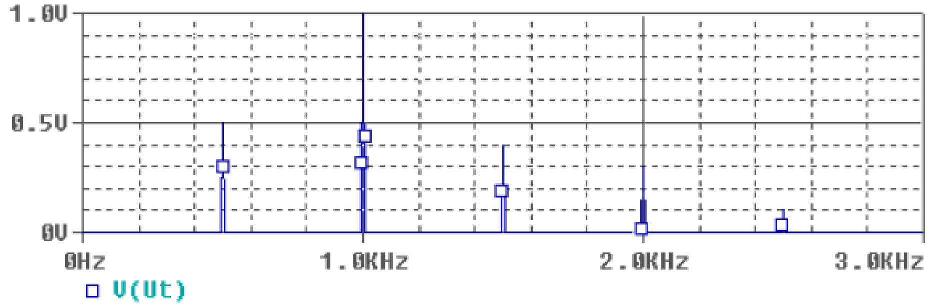
4 Fourierspekter til et fritt valgt signal

I følge Fourier's teori er det slik at alle signaler kan tilnærmes med et antall av sinus og cosinus ledd med riktig amplitude. Isteden for å beskrive et signal v(t) i tid kan det ofte være lettere å fortelle hvilke frekvenskomponenter det består av.



Figur 2: Eksempel på signal som ikke er lett å beskrive i tid med mindre man kjenne funksjonen

Ta f.eks. signalet vist i Figur 2. Vi kan beskrive det kvalitativt ved å si at signalet stiger bratt mot 2 volt ved 0.2 ms, faller på ugjevnt vis til -0.5v ved 0.8ms osv. Vi kan lage en kvantitativ beskrivelse i tid ved å sample signalet, dvs. gjøre en rekke spenning / tid målinger slik at vi ved en senere anledning kan plotte det i et regneark. Et alternativ til disse spenning / tid beskrivelsene er å utføre en Fourieranalyse og så skrive ned amplituden til hvert av de involverte sinusleddene. Kurven i dette eksempelet kan beskrives eksakt ved å notere følgende tall: Grunnfrekvens$= 500Hz, dc = 0$. $a_n = 0$ for alle n, $b_n = [0.5, 1, 0.4, 0.3, 0.1]$ hvor n er indeksen til den aktuelle faktor. Isteden for å skrive ned disse tallene kan vi fremstille dem grafisk langs en amplitude / frekvens akse.



Figur 3: Frekvensspekteret til kurven i Figur 2

For å kunne gjenskape kurven må vi vite at de noterte størrelsene skal puttes inn i en Fouriersere av typen

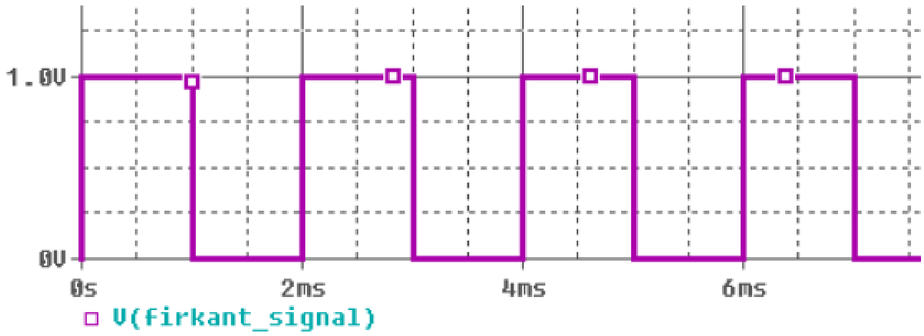
$$v(t) = dc \sum_{n=1}^{k} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t) \tag{2}$$

Normalt så setter vi k til å være lik ∞, men i dette eksempelet så holder det med å sette $k = 5$. Setter vi så inn faktorene i dette eksempelet inn i Eq. (2) kan vi skrive ut summen som følger:

$$\begin{aligned} v(t) = 0 + 0.5\sin(2\pi \cdot 0.5kHz) + 1.0\sin(2\pi \cdot 1kHz) \\ +0.4\sin(2\pi \cdot 1.5kHz) + 0.3\sin(2\pi \cdot 2kHz) \\ +0.1\sin(2\pi \cdot 2.5kHz) \end{aligned} \tag{3}$$

4.1 Oppgave 2: Simulering av egen blanding av frekvens komponenter

- Hent fram den lagrede summasjonskretsen og bruk den til å summere tre eller flere sinussignaler. La den ene generatoren ha en grunntone på 500Hz og la de andre ha overharmoniske frekvenser i området 2 til 6 ganger grunntonen.
- Gi generatorene amplitude mellom 0.1 og 1 volt.
- Sett opp transient analysen slik at den simulere 100ms i trinn på 1us i PSpice menyen Analyse / Setup / Transient.
- Simuler og studer den resulterende kurveformen. Trykk på Probe's FFT knapp, juster x-aksen til å vise frekvenskomponentene og studer frekvensspekteret.
- Besvarelsen skal inneholde:



Figur 4: v(t) er her ett oddesymetrisk kontinuerlig firkant signal

a) Likningen Eq. (3), men med dine egne valg av faktorer.
b) Spenning / tids plot av signalet Sum_ut
c) Lag et diagram med magitude som y akse og frekvens som x−akse ved å la Probe utføre en FFT (Se menyen Trace→FFT Fourier). Kopier inn FFT plottet i journalen. Beskriv hva plottet viser og sammenlign frekvenskomponentene i plottet med de valgte bn faktorene fra Eq. (3).

5 Fourierspekter til et firkantsignal

Vi skal studere et oddesymmetrisk firkantsignal. I følge Fourier's teori kan vi gjenskape funksjonen v(t) med følgense serie

$$v(t) = dc \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t) \tag{4}$$

eller

$$v(t) = dc \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n) \tag{5}$$

eller

$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \beta e^{jn\omega_0 t} \tag{6}$$

som er tre sider av samme sak.

Vi skal her konsentrere oss om ligning (4), hvor

$$
\begin{aligned}
dc &= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt \\
a_n &= \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(n\omega_0 t)dt \\
b_n &= \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\sin(n\omega_0 t)dt
\end{aligned}
$$

Fordi signalet er et rent oddesymetrisk signal [1], vil alle a_n komponentene 0 for alle n. dette kommer av at cosinus i integralet er likesymmetrisk funksjonen $v(t) = -v(-t)$. Siden $v(t)$ i dette eksempelet er konstant lik 1 i tiden $0...\frac{T}{2}$ og 0 i resten av perioden, kan vi finne dc og b_n slik:

$$
\begin{aligned}
dc &= \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} 1dt \\
b_n &= \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} \sin(n\omega_0 t)dt
\end{aligned}
$$

Husk at $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T}$

5.1 Oppgave 3: dc og b_n for v(t)

Beregn dc og b_n verdiene for signalet v(t) for fyll ut tabell 1.

Oppgaven skal inneholde

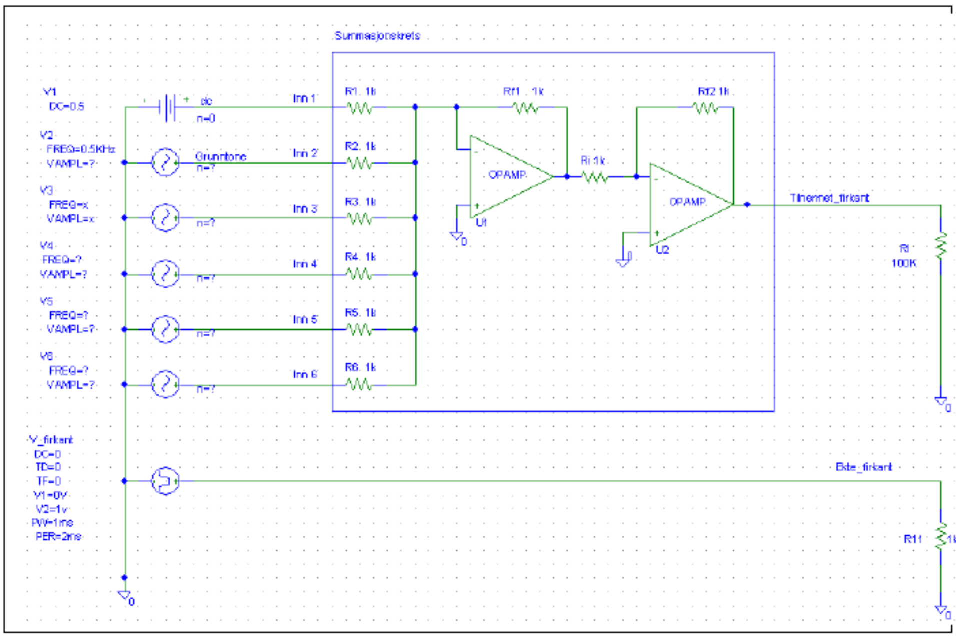
- Beregningene fra oppgave 3 **pent** ført.
- Tabell 1 pent utfylt [2]

[1] $v(t) = -v(-t)$ om vi ser bort i fra dc-nivået

[2] Kolonnen for b_n målt fylles ut i neste oppgave

	n	a_n	b_n beregnet	b_n målt	frekvens (f)	vinkel frekvens (ω)
DC verdi	0	0				
Grunntone	1	0				
2-Harmoniske		0				
3-Harmoniske		0				
4-Harmoniske		0				
5-Harmoniske		0				
6-Harmoniske		0				
7-Harmoniske		0				
8-Harmoniske		0				
9-Harmoniske		0				
10-Harmoniske		0				

Tabell 1: Teoretiske, beregnede og målte komponenter for oddesymmetrisk firkant signal.



Figur 5: Skjema forgenerering av ekte og tilnærmet firkantsignal. NB! Parametrene for V_Firkant skal være DC=TD=TR=TF=V1= 0, V2= 1, PW= $1ms$, PER= $2mS$. TR mangler i lista på skjemaet, men må være med.

5.2 Oppgave 4: Studie av Fourierspekteret til en firkant serie.

- Tegn skjemaet som vist i Figur 5 i PSpice Schematics.
- Gi sinusgeneratorene tilfeldige frekvenser og spenninger inntil vide-

re. Firkantpulsgeneratoren heter VPulse og finnes i biblioteket Source.slb.

- I Figur 5 er denne kalt V_firkant. Denne komponenten kan settes opp til å lage en rekke ulike pulsformer. Sett den opp med verdier som vist i Figur 5.
- Sett transientanalysen (Schematics:Analyse / Setup / Transient) til å beregne 100ms med trinn på 1us.
- Simuler kretsen (Schematics:Analyse / Simulate F11) og studer signalet Ekte_Firkant i Probe.exe.
- Trykk på Probe's FFT knapp for å Fouriertransformere signalet. Zoom kraftig inn på en og en av de første komponentene (Ctrl+A) og trekk en firkant rundt toppen av en og en av frekvenskomponentene inntil de fremstår som en trekanter og ikke som tynne vertikale linjer.
- Bruk så Probes cursorverktøy til å finne amplitudeverdi og frekvens. Gjenta dette for alle de laveste frekvenskomponentene for signalet "Ekte_firkant".

Besvarelsen må inneholde:

- De målte b_n verdiene for ekte firkantgenerator inn i Tabell 1. Sammenlikn disse målte bn verdiene med de verdiene som ble beregnet i oppgave 3, og kommenter eventuelle likheter og ulikheter.
- Tegn opp et aksesystem for magnitude[3] / frekvens. Merk aksene med navn og verdier. Plot de målte b_n faktorene for Ekte_firkant fra Tabell 1 inn i aksesystemet.

6 Rekonstruksjon av et firkantsignal

Vi skal nå benytte b_n komponeneten fra tabell 1 til å gjenskape ett firkantsignal.

6.1 Oppgave 5: Rekonstruksjon av et firkantsignal

- Bruk skjemaet som vist i Figur 5 og gi batteriets dc attributt og sinusgeneratorenes amplitude og frekvens attributter de verdier som ble notert i Tabell 1.

[3] For hver frekvenskomponent kan vi ha bidrag fra amplituden til både et sinus og fra et cosinus ledd a_n og b_n. Magnituden er da gitt som $M_n = \left(a_n^2 + b_n^2\right)^{0.5}$. I dette tilfelle er alle $a_n = 0$ slik at magnitude, amplitude til sinus leddet og b_n blir like.

- Sett opp transientanalysen (Schematics:Analyse / Setup / Transient) til å beregne 100ms med trinn på 1us. Be om å få se 2 perioder av det tilnærmede og det ekte firkantsignalet med Probe.exe
- Legg ved utskrift fra Probe og beskriv likheter og forskjeller mellom ekte og tilnærmet signal.

7 Fouriertransformasjon av et firkantsignal når periodetiden går mot uendelig

Vi kan øke periodetiden for firkantsignalet. Dette gjør noe med fourierspekteret i forhold til spekteret som fremkom i *Oppgave 4: Studie av Fourierspekteret til en firkant serie*. Her skal vi finne ut hva som skjer og hvorfor.

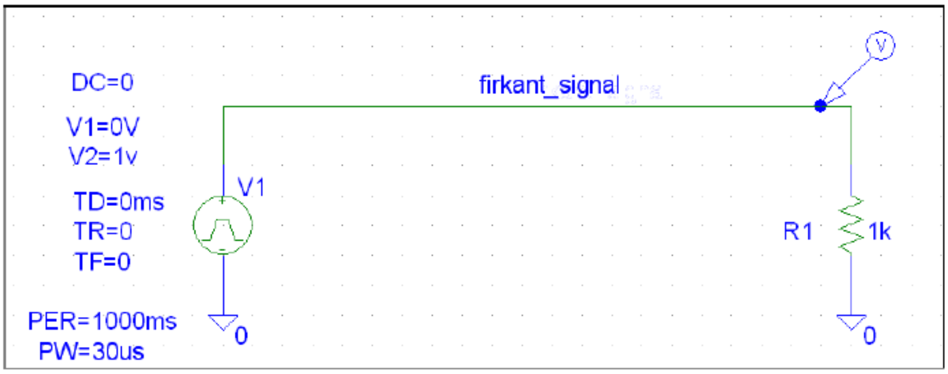
7.1 Oppgave 6: Studie av spekteret til et firkantsignal når periodetiden øker.

- Last inn eller tegn på nytt skjemaet som er vist i Figur 5. Det er kun den delen av skjemaet som omhandler pulsgeneratoren som trengs. Resten kan utelates for å spare simuleringstid.
- La pulse bredden være $1ms$ og endre periodetiden til firkantgeneratoren fra PER= $2ms$ til $5ms$, $10ms$, $20ms$ og $1000ms$.
- Simuler kretsen i $100ms$ med oppløsning på $1\mu s$ og studer tids og frekvensspekteret for signalet Ekte_Firkant med de ulike periodetidene nevnt over. Grunnen til at vi bare simulerer $100ms$ er at vi da slipper å vente i lange tider på at simuleringene skal bli ferdige. Med dette valget vil vi ikke se mer enn en puls når periodetiden overstiger simuleringstiden. Dere som er tålmodige kan selvfølgelig sette simuleringstiden lengre om dere ønsker å se mer av forløpet.
- Plot tre frekvensspektre for hhv. periodetid $5ms$, $20ms$ og $1000ms$. Skriv klare kommentarer om hva hvert av plottene viser.
- Skriv et kort avsnitt om hva som skjer med frekvensspekteret når periodetiden øker uten at pulsbredden PW=$1ms$ endres.

8 Fouriertransformasjon av et firkantsignal når pulsbredden går mot null

Vi kan redusere pulsbredden for en firkantpuls. Dette gjør noe med fourierspekteret i forhold til spekteret som fremkom når periodetiden ble satt til $1000ms$ i Oppgave 6. Her skal vi finne ut hva som skjer med spekteret når pulsbredden avtar.

8.1 Oppgave 7: Studer spekteret til en firkantpuls med avtagende pulsbredde



Figur 6: Skjema til bruk for studie av firkantpuls for ulike verdier av PW.

- Bruk samme skjema som i forrige oppgave.
- Sett periodetiden til firkantgeneratoren til PER= $1000ms$.
- Simuler kretsen i $100ms$ med oppløsning (Step ceiling) på $1\mu s$ og studer tids og frekvensspekteret for signalet Ekte_Firkant for ulike pulsbredder gitt i teksten under.
- Plot frekvenspektrene for hver av pulsbreddene i tabell 2. Det må som alltid tydelig fremgå hva hvert plot viser.
  1. Simuler for pulsbredder (PW) lik $1ms$, $1\mu s$, og $1ns$. Finn båndbredde fra simuleringene og fyll ut Tabell 2 over sammenhørende puls bredde og frekvensspekterets båndbredde. [4]
  2. Plot resultatene fra Tabell 2 i et xy-plot som visst i Figur 7.
  3. Plot frekvensspektrene for en puls på $3\mu s$ og en for $10\mu s$
  4. Skriv et kort om hva som skjer med frekvensspekteret når pulsbredden avtar. Ut i fra det dere har observert, hva vil dere anta skjer om pulsbredden går mot 0?

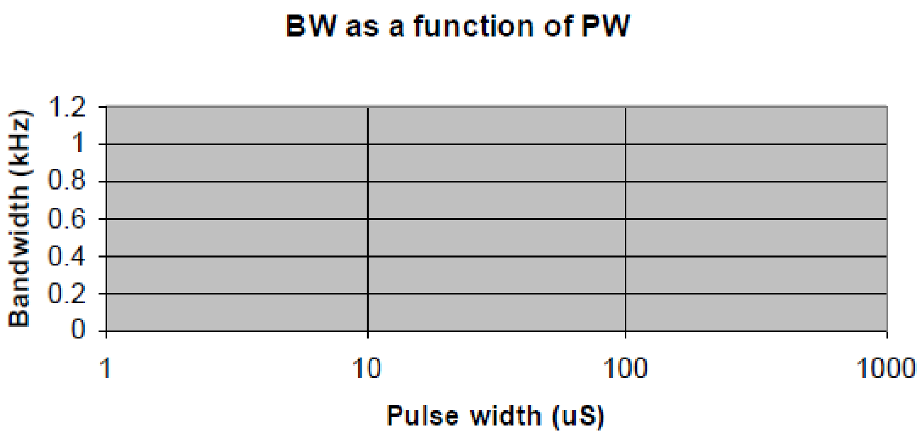
9 Fourierspekter til en sagtannpuls

Et sagtannsignal kan beskrives som en serie med skrå linjestykker av typen $v(t) = at + b$ hvor a bestemmer stigningen og b bestemmer dc nivået ved

[4]se lærebokas kapittel om Fourieranalyse, avsnitt om båndbredde

Periode	Puls Bredde	Båndbredde
1000ms	1000μs	
1000ms	100μs	
1000ms	30μs	
1000ms	10μs	
1000ms	3μs	
1000ms	1μs	

Tabell 2: Forholdet mellom pulsbredde og båndbrede med en periode på 1000ms.



Figur 7: Plot av forholdet mellom båndbredde og pulsbredde. Bruk gjerne logaritmisk y-akse også.

tiden $t = 0$. Hvis vi ønsker et signal som starter på 1 volt og faller til 0 i løpet av $2ms$, så må vi la $b = 1$ og a være -0.5v/ms.

$$v(t) = -0.5t + 1 \text{ for t } \varepsilon \text{ [0...2] ms}$$

Vi kan finne Fourierspekter komponentene dc, a_n og b_n ved å integrere

$$\begin{aligned}
dc &= \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt \\
dc &= \frac{1}{T}\int_0^T (at+1)dt \\
dc &= \frac{1}{T}\left[\int_0^T at\,dt + \int_0^T dt\right] \\
dc &= \frac{1}{T}\left[\frac{aT^2}{2} + 1\right] \\
dc &= \frac{-0.5\cdot 2}{2} \\
dc &= -0.5
\end{aligned}$$

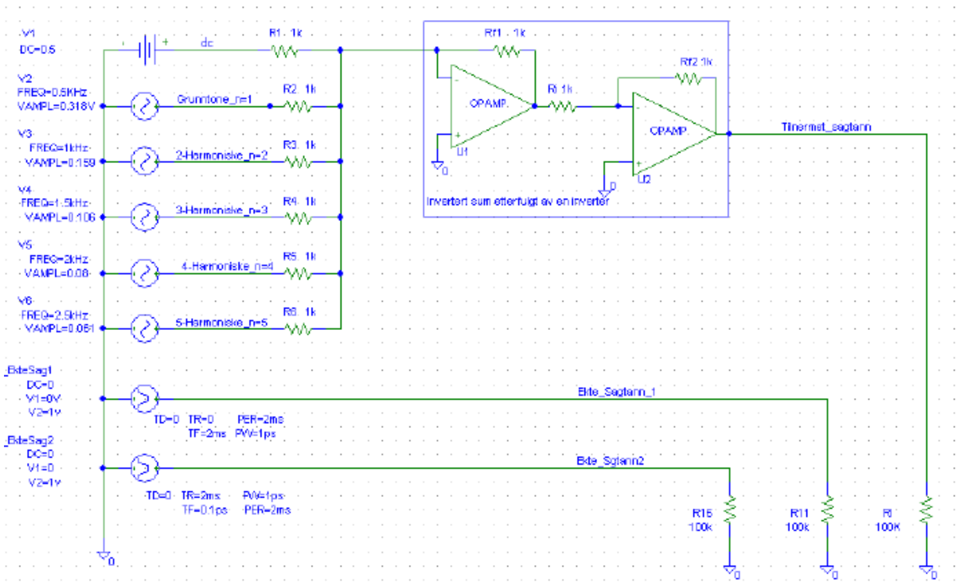
På samme måte kan vi sette $v(t)$ inn i integralene

$$\begin{aligned}
a_n &= \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(n\omega_0 t)dt \\
b_n &= \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\sin(n\omega_0 t)dt
\end{aligned}$$

for å finne a_n og b_n.
For de som måtte ønske å prøve dette vil delvis integrasjon eller oppslag i Rottman være mulige fremgangsmåter. I Rottmann kan man slå opp følgende integraler:
$\int x\cos(ux)dx$
$\int x\sin(ux)dx$
Her skal vi benytte PSpice for å finne komponentene.

9.1 Oppgave 8: Studie av frekvensspekteret til en ekte sagtann

- Tegn skjemaet i Figur 8 i PSpice Schematics.
- For sinusgeneratorenes attributt Vampl, settes foreløpig tilfeldige verdier der det står "?", mens fasen settes til 0 grader. Utfør en transientanalyse for $100ms$ med $1\mu s$ oppløsning og la Probe plotte signalet Ekte_sagtann1.



Figur 8: Skjema for studie av en sagtann puls.

- Trykk på Probes FFT knapp og studer frekvensspekteret. Bruk Probes zoom mulighet Ctrl+A gjentatte ganger og zoom kraftig inn på frekvensspekterets dc verdi og på hver av de første frekvenskomponentene.
- Bruk Probes meny Trace / cursor og finn magnituden eller høyden og frekvensen til hver av de første komponentene.
- Gjenta dette for signalet Ekte_Sagtann 2.
- Fyll Tabell 3 som vist i Tabell 1 med de frekvenser og bn verdier som ble funnet i Oppgave 8.
- Fyll også inn b_n verdiene for firkantsignalet fra Tabell 1.
- Kommenter likheter og forskjeller i frekvensspekteret for de to sagtannsignalene og mellom sagtann og firkantsignalet.

	n	b_n firkant	b_n Ekte_Sagtann1	b_n Ekte_Sagtann2	frekvens (f)
DC-verdi	0				
Grunntone	1				
2-harmoniske	2				
3-harmoniske	3				
4-harmoniske	4				
5-harmoniske	5				
6-harmoniske	6				
7-harmoniske	7				
8-harmoniske	8				

Tabell 3: Frekvenskomponenter for oddesymetrisk firkant og trekant signal

9.2 Oppgave 9: Studie av tilnærmingsfunksjon for en ekte sagtann

- Overfør nå frekvens og amplitudeverdier (b_n) for ekte sagtann1 til sinusgeneratorene i skjemaet vist i Figur 8 og simuler skjemaet på nytt.
- La Probe plotte signalet Ekte_sagtann1 sammen med signalet Tilnærmet_Sagtann1.
- Begrens plottets x−akse til å vise kun et par perioder.
- Ta utskrift, eller tegn skisse av plottet som viser Ekte og tilnærmet sagtann som funksjon av tid. La begge funksjonene vises i samme plot.

9.3 Oppgave 10: Studie av fase for sagtannsignal.

- Plot signalet Ekte_sagtann2 og Tilnærmet_sagtann i samme plot. Ekte_sagtann2 har de samme frekvens komponentene som Ekte_Sagtann1, men tidsfunksjonene er forskjellige. Grunnen til dette er fasen. Vi har fortsatt bare sinus komponenter (b_n) men noen av komponentene til Ekte_Sagtann2 har 180 graders fasevending.
- Eksperimenter med å sette attributtet Phase for noen av sinusgeneratorene i Figur 8 til 180 grader slik at Ekte_Sagtann2 og Tilnærmet_Sagtann blir mest mulig like.
- Skriv ned hvilke frekvenskomponenter som måtte fasevendes 180 grader.

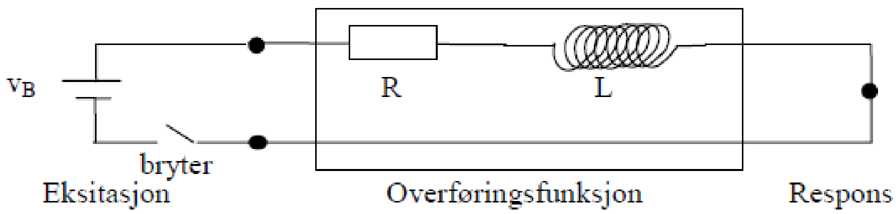
- Ta utskrift, eller tegn skisse av plottet som viser både Tilnærmet_sagtann og Ekte_Sagtann2 som funksjon av tid. La begge funksjonene vises i samme diagram.

10 Laplace transformasjon

Vi bruker Laplacetransformasjon for å forenkle beregningene av kretser som inneholder spoler og kondensatorer. Vi kan sette opp Laplacemodeller for ulike kretselementer. Et batteri med bryter representeres med en batterispenningen (Vb) ganget med funksjonen $u(t)$ i tid eller $^{Vb}/_{s}$ i Laplacedomenet. En kondensator modelleres med $\frac{1}{sC}$ mens en spole modelleres med sL.

11 Strømmen i en LR kobling

Vi skal her kople opp et batteri med bryter som mater en krets bestående av en spole og en motstand. Vi sender inn en spenning og skal studere strømmen som oppstår som funksjon av tid.



Figur 9: Strømmen i en seriekobling som består av batteri med bryter, motstand og spole. Vi antar at det ikke ligger noen restspenning over spolen når bryteren lukkes.

En overføringsfunksjon settes alltid opp slik at vi kan multiplisere inngangsignalet med funksjonen for å finne utgangen. Vi bruker ulike navn avhengig av om funksjonen skal overføre et signal fra

- spenning til spenning $H(s) = \frac{V_{ut}}{V_{inn}}$ Spennings funksjon
- spenning til strøm $G(s) = \frac{I_{ut}}{V_{inn}}$ Admittans funksjon
- eller strøm til spenning $Z(s) = \frac{V_{ut}}{I_{inn}}$ Impedans funksjon

Overføringsfunksjonen til denne kretsen omgjør inngangsspenningen til en utgangsstrøm og er derfor en admittans funksjon (kompleks ledeevnefunksjon). Finner vi G kan vi multiplisere spenningssignalet på inngangen og få ut en respons i form av et strømsignal. Vi har jobbet med denne kretsen på regneøvelsene og på forelesningene så dere bør kjenne til hvordan dere kommer fram til følgende utrykk for strømmen $I(s)$ og $i(t)$ [5].

$$I_{ut}(S) = V_{inn}(S) \cdot Y(S) = \frac{v_b}{L \cdot S}\left(\frac{1}{S + \frac{R}{L}}\right)$$
$$i(t) = \frac{v_b}{R} - \frac{v_b}{R}e^{-\frac{R}{L}\tau} = \frac{v_b}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}\tau}\right)$$

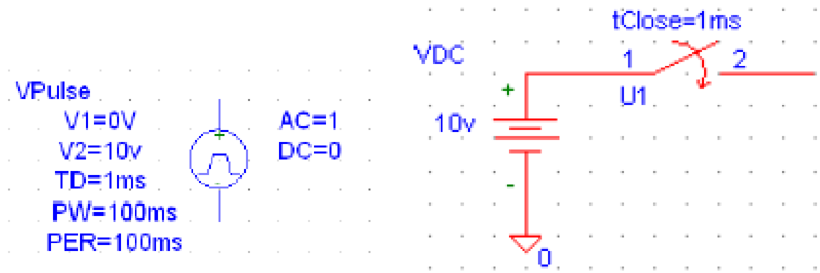
11.1 Oppgave 11: Tidskonstant

Defininsjon av tidskonstant
Dersom et system med en tidskonstant påføres en sprangendring på inngangen er tidskonstanten den tiden systemet bruker på å nå opp til 63% av den nye utgangsverdien. Hvis vi setter $i(t) = \frac{v_b}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}\tau}\right) \cong \frac{v_b}{R} \cdot 63.2121\%$ og løser for τ finner vi at dette blir $\frac{L}{R}$.

- Løs likningen for τ og vis at tidskonstanten τ virkelig kan utrykkes som $\frac{L}{R}$.
- La så L være $100mH$ og beregn R slik at tidskonstanten blir $\tau = 1ms$.

11.2 Oppgave 12: Simulering av LR krets

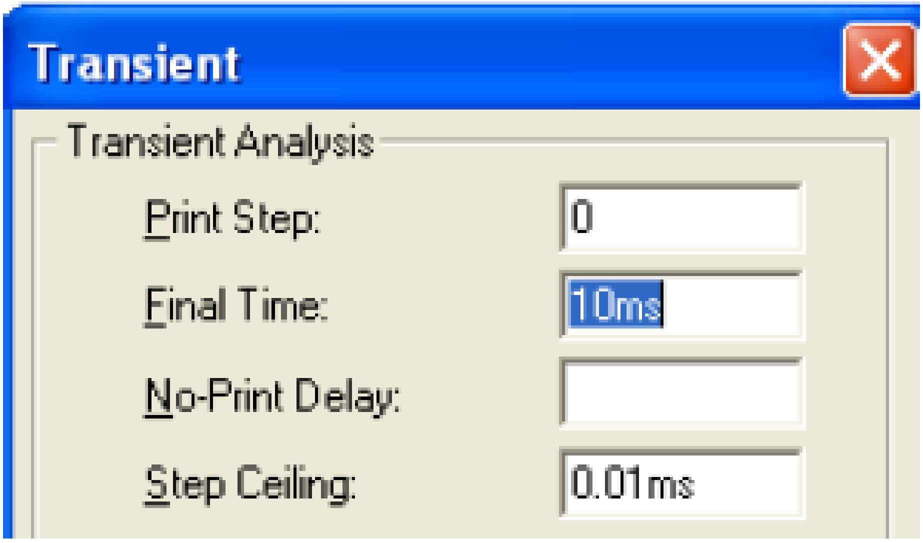
Tegn LR kretsen i PSpice og kontroller ved simulering at beregningen av R er riktig. Batteri med bryter kan tegnes med komponentene VBatt og sw_close eller med Vpulse satt opp som vist i figur 10.



Figur 10: To måter å tegne ett batteri med bryter på.

Still inn simulatoren som vist i figur 11.

[5]Hvis dere ikke føler dere trygge på dette bør dere forsøke å utlede uttrykket for dere selv



Figur 11: PSpice menyen Setup/Transient

- Lim inn utskrift av skjemaet
- plot av simuleringsresultatet hvor tidspunktene for når strømmen $i(t)$ passerer 1τ, 2τ og 3τtydelig markert.
- Gi en kort beskrivelse av kurve forløpet.