

# INF1411 Obligatorisk oppgave nr. 2

---

Fyll inn navn på alle som leverer sammen, 2 per gruppe (1 eller 3 i unntakstilfeller):

1 Vegard Steen

2 Elsie Mestl

3

Gruppenummer: 6

## Informasjon og orientering

Alle obligatoriske oppgaver ved IFI skal følge instituttets reglement for slike oppgaver. Det forutsettes at du gjør deg kjent med innholdet i reglementet og at besvarelsen er i henhold til dette. Reglementet finner du på <http://www.ifi.uio.no/studier/skjemaer/oblig-retningslinjer.pdf>

Besvarelsen leveres elektronisk i Devilry (<https://devilry.ifi.uio.no/>). Frist for innlevering kunngjøres på kursets webside.

Det lagt opp til at du skal redigere dette dokumentet i Word. Ønsker du å bruke en annen tekstbehandler står du fritt til dette, men du må da selv organisere innholdet i besvarelsen på en ryddig måte. Figurene må også være med.

## Om oppgaven

I denne oppgaven skal du lære hvordan du bruker et oscilloskop, og om responsen til RC-kretser i tidsdomenet. Oppgaven er delt i tre deler. Oppgave 1 er en primer, hvor du skal koble opp oscilloskopet for første gang og se på signaler fra funksjonsgeneratoren. I oppgave 2 studerer vi oppladningen av en kondensator i en RC forsinkelseskrets, når spenningen vi påtrykker er en step-funksjon (i form av en firkant-bølge). I oppgave 3 skal vi studere AC-oppførselen til en RC forsinkelseskrets, når vi påtrykker den en spenning som varierer som en sinus med tiden.

Lykke til!

## Oppgave 1 - Bruk oscilloskopet til å se signaler fra FGEN.

Bakgrunnsstoff for denne finner du hovedsakelig i kapittel 8 i læreboka og i veiledningen om funksjonsgenerator og oscilloskop.

Denne oppgaven er ment som en måte å raskt bli kjent med bruken av to nye instrumenter på ELVIS: oscilloskopet (SCOPE) og funksjonsgeneratoren (FGEN). Bruk gjerne ekstra tid på eksperimentere hva som skjer når du skrur på 'knottene' i instrumentpanelene til ELVIS, slik at du blir godt vant med det. Merk at du ikke skal bruke oscilloskopet til å måle spenninger over 10 Volt DC.

I laboppsettet har vi lagt opp til at to svarte COAX-kabler (med BNC-plugger i endene) skal være tilkoblet ELVIS fast. Disse skal gå fra 'CH0' til 'BNC1', og fra 'CH1' til 'BNC2'. COAX-kablene er der for at det skal være lett å ha tilgang til oscilloskopet ved å trekke ledninger fra 'BNC1+' og 'BNC1-' (som blir oscilloskopets CH0), og 'BNC2+' og 'BNC2-' (som blir oscilloskopets CH1) ut på breadboardet.

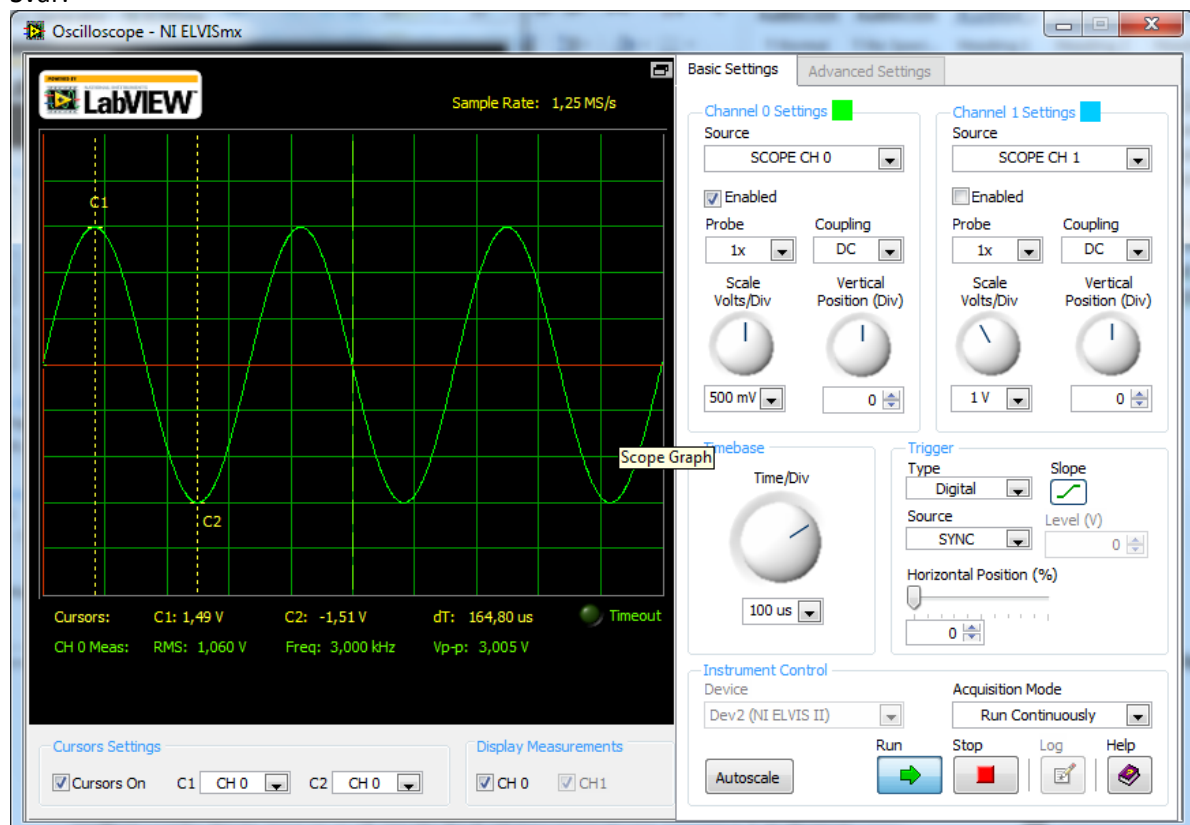
- Sjekk først at de to svarte COAX-kablene er tilkoblet riktig, som beskrevet over.
- Bruk en ledning til å lage kobling mellom 'BNC1-' og Jord. (Typisk farge på ledninger tilkoblet jord: Svart eller Blå.)
- Bruk en ledning til å lage kobling mellom 'BNC1+' og 'FGEN'.
- Åpne FGEN-instrumentet og start en sinus på 1kHz, Amplitude=3 Volt, Offset=1.5 Volt. Velg 'Signal route' til 'Prototyping board'. Klikk 'RUN'.
- Åpne SCOPE-instrumentet. Sjekk for 'Channel 0' at signalkilden (*source*) er satt til 'SCOPE CH 0', og at kanalen er merket som *Enabled* like under. Velg *Trigger type: DIGITAL*, og pass på at source der er satt til SYNC. Klikk RUN-knappen, og bruk deretter knappen Autoscale for å automatisk skalere og sentrere signalet fra kilden. Du bør nå se signalet du satte opp.
- Det er anbefalt at du bruker en del tid på å eksperimentere med oscilloskopet og funksjonsgeneratoren sammen, slik at du ser hvordan de forskjellige knappene virker. Se gjerne i veiledningen for en nærmere forklaring.

### Oppgave:

- Sett i FGEN opp en sinus-bølge med en frekvens på 500x Hz, der x er antall bokstaver i det første av fornavnene på side 1. Amplituden skal være 3 Volt og Offset = 0 Volt.
- Juster på visningen i oscilloskopet slik at du ser mellom 3 og 5 perioder av signalet, og signalet går over ca 80% av y-aksen.
- Sett opp begge cursorene slik at de hver for seg måler toppputslaget til bølgen, en halv tidsperiode ( $T/2$ ) fra hverandre. Legg merke til målingene som blir vist under bølgeformen i oscilloskopet, og at dT viser avstanden mellom cursorene på tidsaksen. (Tips: Etter at du har enablet begge cursorene i oscilloskopet må du klikke og dra de gule cursorene ut fra venstre side i oscilloskop-vinduet.)
- Ta nå et bilde av oscilloskop-vinduet ved hjelp av tastekombinasjonen **Ctrl+Alt+Print Screen**. Bildet kan nå limes inn i et annet Windows-program med **Ctrl-V**. (F.eks. Word eller Paint)
- Lim bildet inn i rapporten på neste side. (Om du leverer besvarelse med felter fylt inn for hånd legger du ved en utskrift av skjermbildet bakerst i rapporten på eget ark. Merk arket med Oppgave 1 + navnet til person nr.1 som leverer.)

- For samme bølgeform som fremtrer på skjermbildet av oscilloskopet, bruk nå cursorer og/eller kalkulator til å måle og/eller beregne følgende kvantiteter:  
(Forklar/vis hvordan du gjør målingene og beregningene.)
  1. Periodetiden  $T$
  2. Frekvensen basert på målingen av  $T$
  3. Peak-to-peak spenningen.
  4. Stigetid ( $t_{rise}$ ).
  5. Tiden det tar fra spenningen krysser 0 Volt til sinusen er ved  $60^\circ$ .
  6. Spenningen når sinusbølgen er ved  $\pi/4$  radianer.
  7. Vinkelen på sinusbølgen når spenningen er ved 0.5 Volt og på vei oppover.

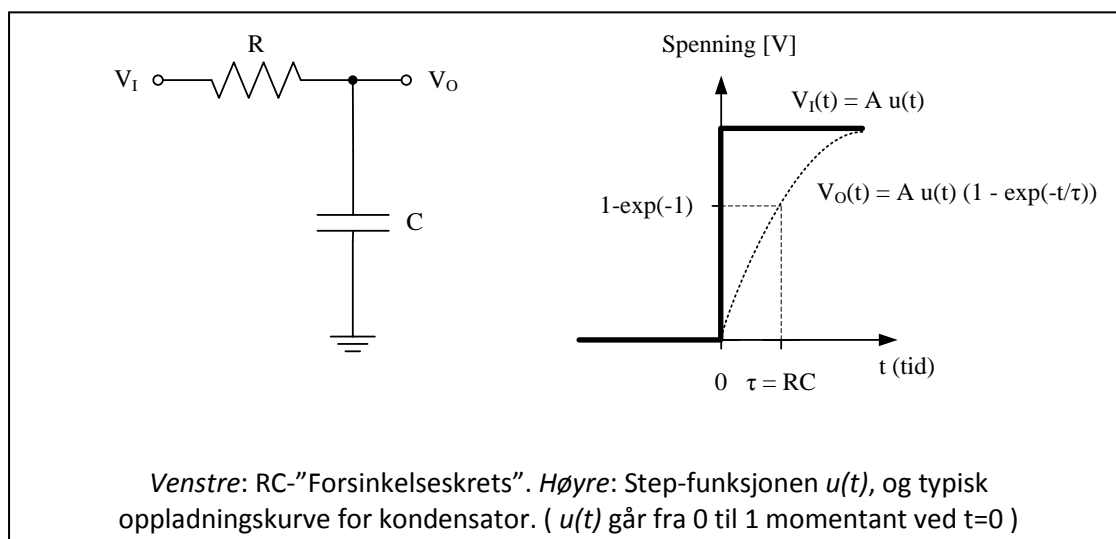
Svar:



1.  $T = 2 \cdot 164,80 \mu s = 329,6 \mu s$  (Ser perioden fra bølge topp til bølgetopp, avstanden fra c1 til c2 er  $\frac{1}{2}$  periode)
2.  $329,6 \mu s = 1/f \Rightarrow f = 3034 \text{ Hz}$
3.  $C1 - C2 = 3V$
4.  $T_{rise} = T_{90\%} - T_{10\%} = T(-1,5 + 3 \cdot 0,9) - T(-1,5 + 3 \cdot 0,1) = T(-1,5 + 2,7) - T(-1,5 + 0,3) = 98,4 \mu s$   
(brukte cursorer til å finne dette (satt c1 = -1,2V og c2 = 1,2V) fordi 0-punktet er på -1,5V)
5.  $\sin(60) \cdot 1,5V = 1,3V$  (bruker 1,5 og ikke 3 fordi balansepunktet til sinuskurven er  $y = 0$ )  
plassere c1 = 0V og c2 = 1,3V ser på oscilloskopet at  $dt = 56 \mu s$ .
6.  $U = \sin(\pi/4) \cdot 1,5V = 1,06V$
7.  $\sin(\alpha) = 0,5V/1,5V \Rightarrow \alpha = \sin^{-1}(0,5/1,5) \Rightarrow \alpha = 19,47 \text{ grader}$

## Oppgave 2 – Oppladning av kondensator

Bakgrunnsstoff til denne oppgaven finner du hovedsaklig i kap. 9-5 og kap. 15 i læreboka.



Vi skal undersøke med oscilloskopet hva som skjer i kretsen i figuren over når du raskt forandrer inngangsspenningen ( $V_I$ ) fra 0 Volt til 5 Volt. Dette kan skje for eksempel hvis du slår på en bryter. Som en forklaring på hvordan kretsen da virker, kan vi se at motstanden  $R$  begrenser strømmen som kan gå fra  $V_I$  til  $V_O$ . Strømmen gjennom  $R$  vil da legge til eller ta bort ladning fra kondensatoren  $C$ . Når vi får en forandring i ladningen lagret over kondensatoren får vi også en forandring i spenningen. Dette medfører at forskjellen i spenning mellom  $V_I$  og  $V_O$  blir mindre, noe som resulterer i mindre strøm gjennom  $R$ . Prosessen går tregere og tregere, og fortsetter til vi knapt kan se noen forskjell mellom  $V_I$  og  $V_O$ . Forutsatt at  $V_I$  og  $V_O$  var 0 Volt før inngangsspenningen  $V_I$  forandret seg, kan tidsoppførselen til signalet  $V_O$  beskrives som:

$$V_O(t) = V_S \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

hvor  $V_S$  er størrelsen på spenningen man bytter til på inngangen. Tidskonstanten  $\tau$  (uttales tau) måles i sekunder og er for kretsen gitt ved  $\tau = RC$ .

I stedet for å slå av og på en bryter skal vi i denne oppgave bruke en firkantbølge fra funksjonsgeneratoren til å lage en rask forandring på inngangen.

- Anta at vi har en firkantbølge, hvor en oppadgående flanke opptrer ved tiden  $t = 0$ , at  $V_O(t = 0) = 0$  Volt og at  $V_S = 5$  Volt. Bruk formelen over til å finne spenningen  $V_O(t = \tau)$ .

$$V_O(t = \tau) = 5 \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}} \right) = 5(1 - e^{-1}) = 3,16V$$

- Finn en motstand på rundt 10 kΩ, og en kondensator på 0.1 uF.  
Oppgi målt verdi for motstanden, og beregnet verdi for tidskonstanten  $\tau = RC$ .

$$R \text{ (målt)} = 9,87\text{k}\Omega$$

$$C = 0.1\mu\text{F}$$

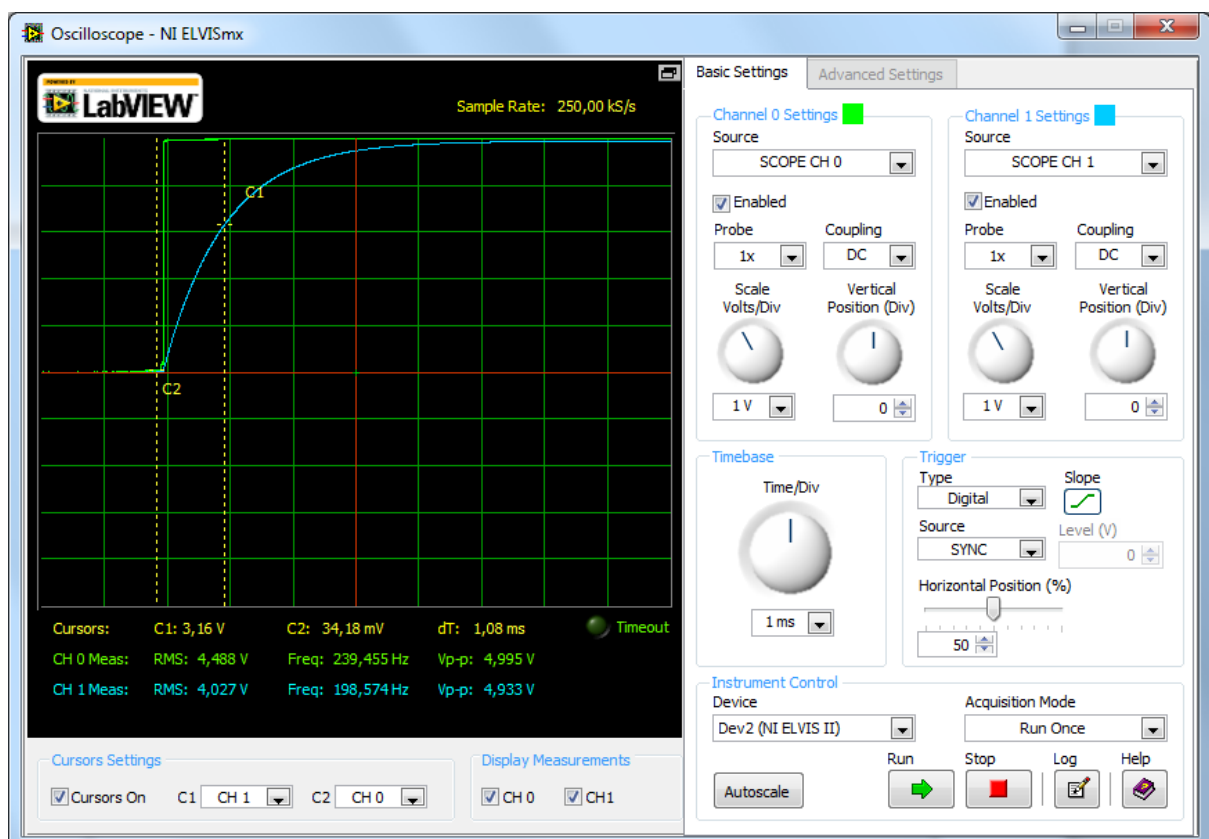
$$\tau \text{ (beregnet)} = 9,87\text{k}\Omega * 0,1\mu\text{s} = 1,0\text{ms}$$

- Koble opp RC-kretsen med FGEN koblet til  $V_i$  og oscilloskopkanalene til  $V_i$  og  $V_o$ .
- Start en firkantbølge på funksjonsgeneratoren og still inn bølgen ved hjelp av amplitude og offset slik at den har et utslag fra 0 Volt til 5 Volt. Bruk en frekvens på rundt 2 Hz.
- Still inn oscilloskopet slik at du ser minst en oppadgående flanke for  $V_i$  og  $V_o$  samtidig, og slik at utgangen går helt fra 0 Volt til 5 Volt i en relativt slak bue.
- Bruk en av cursorene på oscilloskopet til å finne spenningen  $V_o(t=\tau)$ , mens du lar den andre cursoren stå ved tidspunktet flanken starter på. Nå kan du langs tidsaksen måle tidskonstanten på utgangssignalet etter en oppadgående flanke. Oppgi den målte tidskonstanten og beregn en målt verdi for C på bakgrunn av de målte verdiene for R og  $\tau$  :

$$\tau \text{ (målt)} = 1,08\text{ms}$$

$$C \text{ (målt)} = \tau/R = 1,08\text{ms}/9,87\text{k}\Omega = 0,11\mu\text{F}$$

- Ta også et bilde av oscilloskop-vinduet, mens cursorene markerer hvordan du måler tidskonstanten. Lim bildet inn i rapporten under, eller som vedlegg på eget ark (bakerst, merket 'oppladning av kondensator')



- Svar på spørsmål 1 og 2 vha målinger med oscilloskopet, og 3-5 vha teori:  
(Se læreboka kap. 8-8 for definisjon av stige og falltid (10%-90%))
  1. Hva er stigetiden til  $V_O$  ( $t_{rise}$ ) ?
  2. Hva er falltiden til  $V_O$  ( $t_{fall}$ ) ved nedadgående flanke ? Er  $t_{rise} = t_{fall}$  ? Kommenter.
  3. Når en RC-krets hhv. opplades eller utlades, hva er utspenningen i % av  $V_S$  etter  $t=\tau$
  4. Hvis  $C=1\mu F$  og spenningen over C er 5 Volt, hvor mye ladning er det lagret over C?
  5. Gitt ladningen fra spm. 4. : I hvor lang tid kan du trekke en konstant strøm på 10  $\mu A$  før spenningen over C er 0 Volt?

Svar:

1.  $V_O: t_{rise} = V_O(t_{90\%} - t_{10\%}) = t(5 * 0,9) - t(5 * 0,1) = 2,2ms$
2.  $V_O: t_{fall} = T_{10\%} - T_{90\%} = T(0,5) - T(4,5) = 2,2ms$  (Ja, fordi i denne kretsen lades kapasitoren like fort opp som den lades ut)
3.  $100 * (V_O(t = \tau) / V_S) = 100 * (V_S (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) / (V_S)) = 100(1 - e^{-1}) = 63,2\%$
4.  $Q = C * V = 1 * 10^{-6} F * 5V = 5 * 10^{-6} C$
5.  $Q/t = I \Rightarrow t = Q/I = (5\mu F / 10\mu A) = 0,5s$

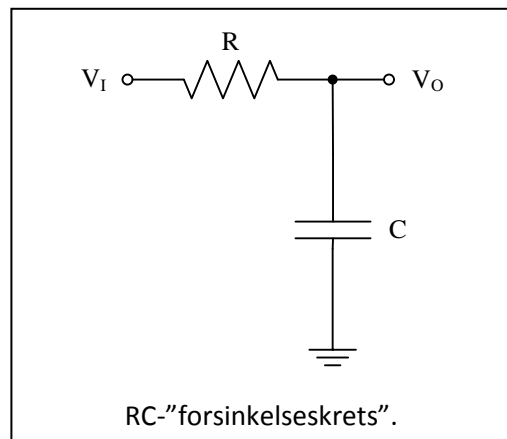
### Oppgave 3 – Sinusrespons til RC forsinkelseskrets

Bakgrunnsstoff til denne oppgaven finner du hovedsakelig i kap. 9-6, og kap. 10 i læreboka.

Reaktans kan forklares som *opposisjonen* en kondensator har mot strømmer som varierer som en sinusbølge. Reaktansen til en kondensator måles i Ohm og er gitt ved:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Vi kan se at reaktansen varierer med frekvensen ( $f$ ) til sinusen vi påtrykker. For  $f = 0$  får vi uendelig reaktans, og det går ingen strøm gjennom kapasitansen. Øker vi frekvensen så slipper vi strøm i økende grad igjennom.



#### 3.1 Variasjoner i reaktans og impedans.

Vi skal fortsette å se på RC-forsinkelseskretsen, men nå hvordan kretsen oppfører seg når vi setter en kontinuerlig sinusbølge på inngangen  $V_I$ . Først skal vi finne komponentene vi skal bruke. Hensikten med verdiene for R og C som vi velger under er å få  $X_C = R$  ved  $f = 1 \text{ kHz}$ . Når  $X_C = R$  skal kretsen vise noen spesielle egenskaper.

- Finn først en motstand R i nærheten av 1.6 kOhm, deretter en kondensator med verdi  $C = 100 \text{ nF}$ .

$$R = 1,76k \text{ Ohm}$$

$$C = 0,1\mu F$$

- Bruk multimeteret til å måle R og C, og oppgi resultatet til høyre. (Tips: For å måle C må du sette kondensatoren mellom 'DUT+' og 'DUT-' på venstre side av breadboardet.)
- For tabellen under: Basert på de målte verdiene, beregn først reaktansen til kondensatoren og deretter den totale impedansen Z (Se boka s. 446) for alle frekvensene.

f [kHz]	Beregnet	Beregnet
	$X_C [\Omega]$	$Z [\Omega]$
0.1	15,9k $\Omega$	16,0k $\Omega$
0.316	5,0k $\Omega$	5,3k $\Omega$
1	1,6k $\Omega$	2,4k $\Omega$
3.16	504 $\Omega$	1,8k $\Omega$
10	159 $\Omega$	1,8k $\Omega$

- Hva skjer med impedansen Z når  $X_C$  er mye mindre ( $\ll$ ) , mye større ( $\gg$ ) eller nesten lik ( $\approx$ ) motstanden R? Kommenter.

Svar:

Når  $X_C \ll R$  så vil den totale impedansen (Z) hovedsakelig være avhengig av R  
 Når  $X_C \gg R$  så vil den totale impedansen (Z) hovedsakelig være avhengig av  $X_C$   
 Når  $X_C \approx R$  så vil den totale impedansen (Z) være ca.  $2 \cdot R$  eller  $2 \cdot X_C$

### 3.2 Faseforskyving mellom kondensatorens strøm og spenning

Læreboka forteller oss (s. 421) at "Fasen til strømmen i en kondensator er alltid  $90^\circ$  foran fasen til spenningen over kondensatoren.". Vi ønsker å undersøke om dette er tilfelle, men dessverre kan ikke oscilloskopet på ELVIS måle strøm direkte. Vi må derfor gå en liten omvei og se på en RC-seriekrets.

Les først gjennom følgende påstander:

- 1) Etter Kirchoffs strømlov må strømmen gjennom motstanden ( $I_R$ ) og kondensatoren ( $I_C$ ) være den samme i en RC-seriekrets.
- 2) Spenningen over en motstand ( $V_R$ ) er alltid i fase med strømmen gjennom motstanden ( $I_R$ ).
- 3) Fasen til strømmen i en kondensator er  $90^\circ$  foran fasen til spenningen over en kondensator.
- 4) I en RC-seriekrets, på bakgrunn av 1) 2) og 3), må fasen til  $V_R$  alltid være  $90^\circ$  foran spenningen over kondensatoren ( $V_C$ ).

Vi skal godta påstand 1 og 2 i denne laben. Anta først at påstand 3 er sann og forsøk å følge resonnement som leder frem til påstand 4, for vi skal nå undersøke påstand 4 med oscilloskopet.

- Sett sammen RC-kretsen. Sett så opp funksjonsgeneratoren slik at inngangsbølgen er en sinus med  $V_{p-p} = 5V$  og Offset = 0 Volt. Koble FGEN inn på  $V_i$

For dette eksperimentet må vi bruke 'Analog Input'-kanalene (AI0, AI, ..., AI7) i stedet for CH0 og CH1. Grunnen er at de negative inngangene på oscilloskopet har en kobling mellom seg ved inngangen til oscilloskopet. 'Analog Input'-kanalene er bufret så de har ikke dette problemet.

- Koble opp oscilloskopkanalen AI0 så du måler  $V_R$  , og kanalen AI1 så du måler  $V_C$ . Husk å velge 'AI0' og 'AI1' som kilder på oscilloskopet.

(Tips 1: Du må koble AI0- til  $V_O$ , og AI0+ til  $V_I$ , for å måle spenningen  $V_R$ .)

(Tips 2: Du må koble AI1- til jord, og AI1+ til  $V_O$ , for å måle spenningen  $V_C$ .)

- For tabellen under: Bruk frekvensen til å beregne perioden  $T$ . Mål deretter  $\Delta t$  (se s. 468) med oscilloskopet. Beregn til slutt faseforskyvningen mellom bølgene.  
(Tips: Siden vi kun er interessert i fasen kan AC-kobling også godt brukes. Dette vil gjøre det lettere å justere 'Scale' på oscilloskopet for å se små signaler tydeligere.)
- Svar på hvilken av spenningene som er foran (*leder på*) den andre til høyre for tabellen.

$f$ [kHz]	Beregnet $T$ [ $\mu s$ ]	Målt $\Delta t$ [ $\mu s$ ]	Beregnet fra $t$ , $T$ $\theta$ [ $^\circ$ ]
0.1	10000 $\mu s$	2520 $\mu s$	90,7
0.316	3165 $\mu s$	752 $\mu s$	85,5
1	1000 $\mu s$	246 $\mu s$	88,6
3.16	316 $\mu s$	78 $\mu s$	88,9
10	100 $\mu s$	24 $\mu s$	86,4

Svar:

$V_R$  ligger foran  $V_C$  (dette er det vi har regnet med). Man kan like godt si at  $V_C$  ligger foran  $V_R$  (og forskyvningen blir negativ), men når man først har valgt en tolkning er denne unik.

- Svar på spørsmålene.
  1. I hvilken grad vil du si at påstand 4 stemmer med det du har målt?
  2. Stemte det? Forklar hvorfor påstand 3 må stemme hvis påstand 1, 2 og 4 stemmer.

Svar:

1. Med en feilmargin stemmer påstanden
2. Siden  $I_C$  og  $I_R$  er i fase med hverandre,  $I$  og  $V_R$  er i fase og  $V_C$  er  $90^\circ$  forskyvnet foran  $V_R$  må  $V_C$  være  $90^\circ$  forskyvnet foran  $I$

### 3.3 Faseforskyvning i RC-forsinkelseskrets

Vi skal nå se på faseforskyvningen mellom inngangen  $V_I$  og utgangen  $V_O$ .

- Bytt nå om på kanalen CH0 slik at du måler  $V_I$  og  $V_O$  med oscilloskopet.
- Mål som tidligere  $T$ ,  $t$  og beregnet  $\theta$  mellom  $V_I$  og  $V_O$ .
- Svar igjen på hvilken av bølgene som *leder* på den andre. (til høyre for tabellen)
- Beregn til slutt *faseforsinkelsen* som  $V_O$  ligger etter  $V_I$ , basert på formel(er) fra boka.

$f$ [kHz]	Beregnet $T$ [ms]	Målt $t$ [ms]	Beregnet fra $t$ , $T$ $\theta_{\text{målt}}$ [ $^\circ$ ]	Beregnet $\theta_{\text{beregnet}}$ [ $^\circ$ ]
0.1	10 ms	0,176 ms	6,3	6,3
0.316	3,16 ms	0,166 ms	18,9	19,4



1	1 ms	0,126 ms	45,4	42,3
3.16	0,316 ms	0,062 ms	70,6	74,0
10	0,1 ms	0,022 ms	79,2	84,8

- Forklar hvordan du beregnet  $\theta$ , og diskuter evt. forskjeller mellom målt og beregnet  $\theta$ .

Svar:  $\theta = 90^\circ - \tan^{-1}(\frac{X_C}{R})$  Vi beregner faseforskyvningen mellom  $V_{Inn}$ ,  $V_C$  ( $V_{Out}$ ).

Desto større frekvensen er desto mindre blir  $T$  altså blir  $\Delta t$  mindre, dette gjør at feilmarginene på målte avstander i oscilloskopet blir større.

- Bruk teori eller målinger til å svare på hvilke(n) av disse påstandene som er riktige for en RC forsinkelseskrets:
  - Utgangspenningen er forsinket i forhold til inngangspenningen med nesten  $-90^\circ$  grader når frekvensen blir svært liten.
  - Utgangspenningen er nesten  $0^\circ$  grader etter inngangspenningen når frekvensen blir svært stor.
  - Inngangspenningen leder i forhold til utgangspenningen med nesten  $0^\circ$  grader når frekvensen blir svært liten.
  - Inngangspenningen er forsinket i forhold til utgangspenningen med nesten  $90^\circ$  grader når frekvensen blir svært stor.
  - Utgangspenningen er forsinket i forhold til inngangspenningen med nesten  $90^\circ$  grader når frekvensen blir svært liten.
  - Utgangspenningen er nesten  $-90^\circ$  grader foran inngangspenningen når frekvensen blir svært stor.

Svar:

- Feil. Målingen viser at faseforskyvningen når frekvensen er lav nærmer seg  $0$ -grader.
- Feil. Motsatt.
- Riktig. Vi ser at  $V_i$  leder  $V_o$  ut i fra målingen og at den nærmer seg  $0$  når frekvens er lav.
- Feil. Inngangspenningen leder med  $90^\circ$  når frekvensen blir stor.
- Feil. Den nærmer seg fortsatt  $0$  når  $X_c$  blir stor.
- Riktig. Når frekvensen blir stor nærmer  $\tan^{-1}(\frac{X_C}{R})$  seg  $0$  (fordi  $X_c$  går mot  $0$ ). Altså blir  $\theta$  lik  $90^\circ$

- Teoretisk sett, hva skal faseforskyvningen mellom inn- og utgang være ved  $X_C = R$  ?

Svar:  $\theta = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right) = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$

### 3.4 Variasjoner i amplitude i RC-forsinkelseskrets

- For tabellen under: Sett inn beregnet reaktans for kondensatoren (fra oppgave 3.1) og deretter den totale impedansen  $Z$  for alle frekvensene. Regn på kretsen som en spenningsdeler (boka s. 455) og beregn  $X_C/Z$ . Beregn deretter peak-to-peak spenningen for  $V_O$  for frekvensene når inngangen er en sinus med  $V_{p-p}$  på 5 Volt.
- Fortsett med RC-forsinkelseskretsen:
- Koble funksjonsgeneratoren til  $V_i$ , og oscilloskopkanalene CH0 til  $V_i$ , og CH1 til  $V_O$ .
- Bruk funksjonsgeneratoren og oscilloskopet til å måle  $V_{p-p}$  når inngangsbølgen er en sinus med  $V_{p-p} = 5V$ . Tips: Juster «Scale» for å "blåse opp signalet" i oscilloskopvinduet.

f [kHz]	Beregnet $X_C$ [k $\Omega$ ]	Beregnet $Z$ [k $\Omega$ ]	beregnet $X_C/Z$	beregnet $V_O[V_{p-p}]$	målt $V_O[V_{p-p}]$
0.1	15,9k $\Omega$	16,0k $\Omega$	0,99	4,95V	4,95V
0.316	5,0k $\Omega$	5,3k $\Omega$	0,94	4,7V	4,7V
1	1,6k $\Omega$	2,4k $\Omega$	0,625	3,13V	3,4V
3.16	504 $\Omega$	1,8k $\Omega$	0,23	1,15V	1,4V
10	159 $\Omega$	1,8k $\Omega$	0,09	0,45V	0,47V

- Hvordan stemmer målinger og beregninger overens? Kommenter.

Svar:

Det stemmer overens for lave frekvenser. Forskjellene oppstår når frekvensen øker, men dette tror vi har med at vi brukte forskjellig motstand og kapasitor i forhold til de første målingene.

- Hva kan man si om kretsens respons til forskjellige frekvenser?

Svar:

Når frekvensen i RC-kretsen øker synker utgangsspenningen. Ergo kan vi, ved Kirchoffs spenningslov, si at spenningen over  $R$  øker og går mot  $V_i$ .

- Teoretisk sett, hva skal forholdet ( $\frac{X_C}{Z}$ ) være, mellom ut- og inngang, når  $X_C = R$  ?

Svar:  $\frac{X_C}{\sqrt{2X_C^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

### Takk for innsatsen!

Om du ønsker det, mottas kommentarer til oppgaven med takk. Det kan hjelpe til med å forbedre kurset senere.