

EE466
Lab 119
Undersökning av RC-krets

Jonas Sjöberg
860224
Högskolan i Gävle,
Elektronikingenjörsprogrammet,
`tel12jsg@student.hig.se`
<https://github.com/jonasjberg>

Oscar Wallberg
Högskolan i Gävle,
Dataingenjörsprogrammet,
`tco13owg@student.hig.se`

Lab utförd: TODO: Labben utförd datum
Instruktör: Efrain Zenteno

Sammanfattning

Laborationsrapport för *EE466 – Elektrisk kretsteori*, Högskolan i Gävle. Syftet med laborationen är att analysera funktionen hos en RC krets. Laborationen innefattar överföringsfunktionen för en RC-krets, i både tids- och frekvensdomänen. Stegsvaret för en första ordningens krets. Bode-diagram. Begreppen brytfrekvens, frekvens- och faskaraktäristik.

Innehåll

1	Introduktion	3
2	Lågpasfilter	3
2.1	Överföringsfunktion	3
3	Uppmätning av Bode-diagram	4
3.1	Experimentuppställning	4
3.2	Beräkning	4
3.3	Mätresultat	5
3.4	Simulering	6
3.5	Kommentar	8
4	Uppmätning av stegsvaret	8
4.1	Mätresultat	8
4.2	Simulering	8
4.3	Kommentar	9
5	Inverkan av källimpedans och belastningsimpedans	9
6	Inverkan av källimpedansen	9
6.1	Mätresultat	9
7	Inverkan av belastningsimpedansen	10
7.1	Mätresultat	10
7.2	Simulering	11
7.3	Kommentar	11
8	Resultat	12
9	Referenser	12
9.1	Källkod	12
10	Appendix	13
10.1	Signalgenerator	13

1 Introduktion

I denna labb skall vi studera en passiv krets uppbyggd av ett motstånd och en kondensator. Om en sådan krets matas med en sinusformad insignal kommer den att släppa igenom vissa frekvenser medan andra frekvenser dämpas. Ett sådant frekvensberoende nät kallas därför ofta för filter. Om kretsen innehåller endast en reaktiv (dvs energilagrande) komponent (spole eller kondensator) kallar vi kretsen för ett första ordningens filter. Namnet kommer sig av att kretsen kan beskrivas med en första ordningens differentialekvation. Vi skall analysera kretsen både i frekvensplanet genom att mäta upp ett Bode-diagram och i tidsplanet genom att mäta upp kretsens stegsvar. Ett första ordningens lågpasfilter kan konstrueras enligt Figur 3.1.

2 Lågpasfilter

2.1 Överföringsfunktion

Uttryck (1) beskriver lågpasfiltrets överföringsfunktion i Bodes normalform.

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= \frac{U_{ut}}{U_{in}} \\ &= \frac{1}{j\omega C} \\ &= \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} \\ &= \frac{1}{1 + j\omega RC} \\ H(j\omega) &= \frac{1}{1 + j(\omega/\omega_1)} \end{aligned} \tag{1}$$

där $\omega_1 = \frac{1}{RC}$ är brytfrekvensen uttryckt som en vinkelfrekvens rad s^{-1} . Eftersom $\omega = 2\pi f$ kan vi också uttrycka överföringsfunktionen som:

$$\begin{aligned} H(f) &= \frac{U_{ut}}{U_{in}} \\ H(f) &= \frac{1}{1 + j2\pi RC} \\ H(f) &= \frac{1}{1 + j\left(\frac{f}{f_1}\right)} \quad \text{där } f_1 = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \end{aligned} \tag{2}$$

Den senare formen, ekv. (2) är att föredra när man plottar upp överföringsfunktionen från mätresultatet och är den form vi använder i labben.

Eftersom överföringsfunktionen är på komplex form har den både absolutbellopp och fasvinkel, ekv. (3):

$$\begin{aligned} |H(f)| &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_1}\right)^2}} \\ \text{Arg}H &= -\arctan \frac{f}{f_1} \end{aligned} \quad (3)$$

3 Uppmätning av Bode-diagram

3.1 Experimentuppställning

En så kallad experimentplatta eller "breadboard" används för att konstruera kretsen som illustreras i Figur 3.1.

För att generera en sinusformad signal används signalgeneratoren HP33120A, vars utgång kopplas genom en BNC-förgrening till oscilloskopet Agilent 54621A och genom en BNC-banankontaktadapter, med "banankablar" till breadboardplattans skruvterminaler.

Oscilloskopets första kanal visar signalen från kretsens ingång, punkten V_{out} i Figur 3.1. Samma punkt utgör signalgeneratorns utgång och vid några mätningar användes en T-koppling av BNC-kablar för att mata signalgeneratorns utgång till både experimentkopplingen och oscilloskopet. En oscilloskopprob är ansluten till oscilloskopets andra kanal. Proben kopplas till kretsens utgång, punkten V_{out} i Figur 3.1 med en oscilloskopprob. Proben ställs till att dämpa med en faktor av 10:1 och den vertikala skalan justeras en dekad nedåt, så att båda kanalerna visas med samma skalfaktor.

Impedansskillnaden mellan signalgenerator, kablage och mätutrustning antas vara hög nog för att inte ha någon avgörande inverkan på mätresultaten. Detta återkommer i Sektion 5.

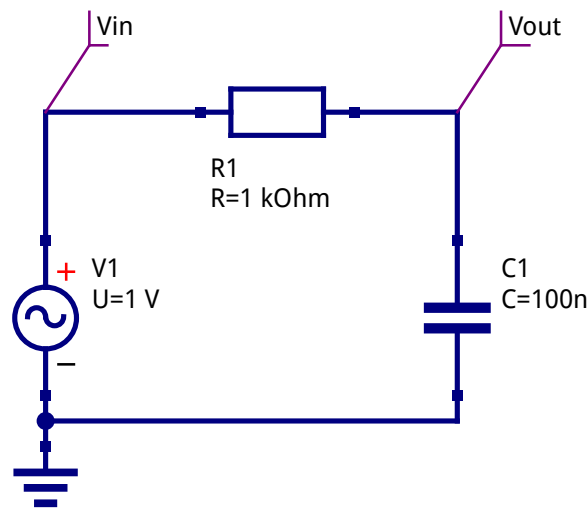
För de faktiska mätningarna användes en hemmabyggt signalgenerator (se Figur ?? i Sektion 10)

3.2 Beräkning

Brytfrekvensen f_1 definieras som den frekvens då signalen har dämpats med 3 dB och beräknas från ekv. (2) enligt:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \quad (4)$$

För kopplingen med komponentvärden enligt Figur 3.1 beräknas brytfrekvensen f_1 enligt ekv. (5):



Figur 1: Schematisk ritning av labbkoppling, första ordningens RC-filter.

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \frac{1}{2\pi \times 1 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ nF}} \text{ Hz} \\
 &= \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6}} \text{ Hz} \\
 &= \frac{10^6}{2\pi \times 10^3 \times 100} \text{ Hz} \\
 f_1 &= 1.591\,549\,431 \text{ kHz}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Vilket ger svaret i (6); signalen dämpas med 3 dB vid filtrets brytfrekvens $f_1 \approx 1.592 \text{ kHz}$, varvid den “rullas av” med 20 dB per dekad (frekvenshöjning med en faktor av 10).

$$\begin{aligned}
 f_1 &= 1.591\,549\,431 \text{ kHz} \\
 f_1 &\approx 1.592 \text{ kHz}
 \end{aligned} \tag{6}$$

3.3 Mätresultat

Signalgeneratorns amplitud ställs till $1V_{pp}$. För ytterligare precision används en Fluke 8600A Multimeter för att mäta amplituden som då uttrycks i RMS. Sambandet mellan “topp-till-topp”-värdet och RMS-värdet uttrycks i ekv. (7):

$$\begin{aligned}
U_{RMS} &= \frac{V_{pp}/2}{\sqrt{2}} \\
U_{inRMS} &= \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.354 \text{ V}
\end{aligned}
\tag{7}$$

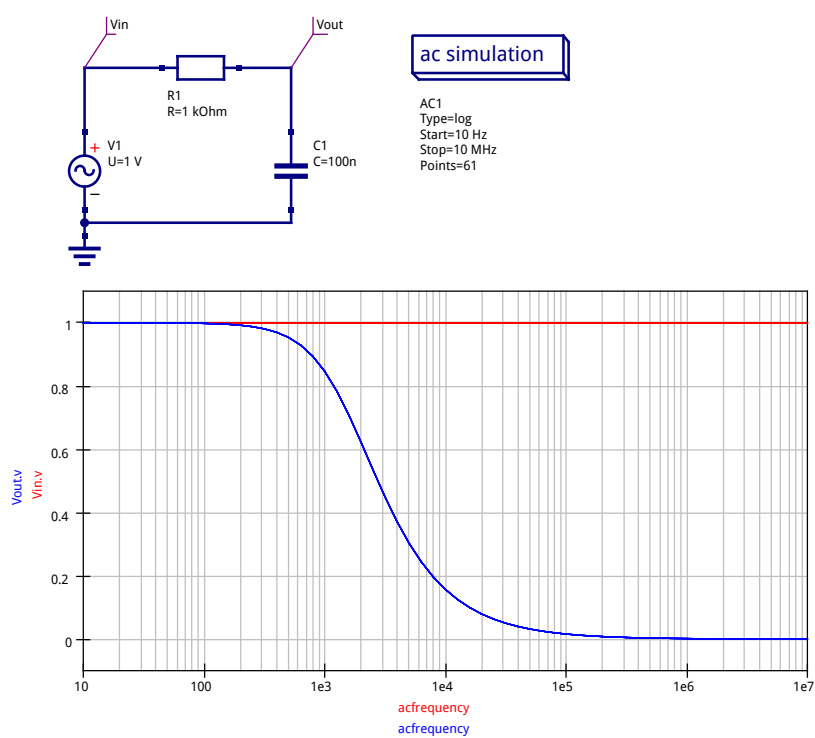
Frekvens (Hz)	U_{ut} (V)	U_{ut}/U_{in} (V)	$20 \log U_{ut}/U_{in}$ (dB)	ϕ (grader)
100	1.004	1.004	34.67 m	-3.6
200	0.998	0.998	-17.38 m	-7.2
300	0.997	0.997	-26.09 m	-10
500	0.990	0.990	-87.29 m	-17
700	0.984	0.984	-140.1 m	-23
1000	0.958	0.958	-372.7 m	-32
1200	0.952	0.952	-427.3 m	-37
1300	0.949	0.949	-454.7 m	-39
1500	0.943	0.943	-509.8 m	-43
1600	0.940	0.940	-537.4 m	-45
1700	0.938	0.938	-555.9 m	-47
1800	0.936	0.936	-574.5 m	-48
1900	0.934	0.934	-593.1 m	-50
2000	0.932	0.932	-611.7 m	-51

Tabell 1: Mätresultat för kretsen i Figur 3.1.

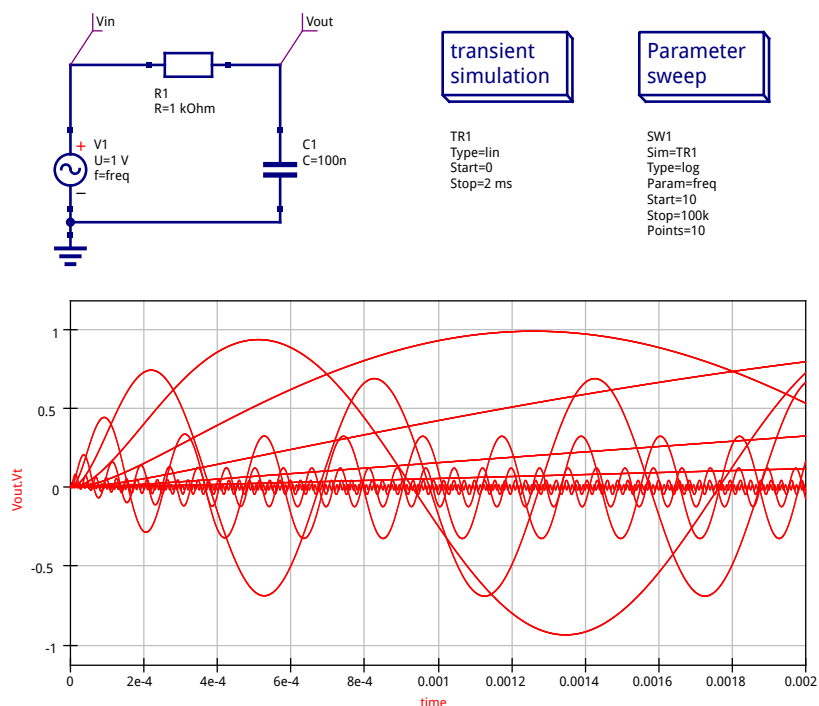
3.4 Simulering

För verifiering och visualisering av den teoretiska beräkningen körs en SPICE-simulering av kretsen i det GPL-licensierade open source programmet Qucs¹. Simuleringsuppställningen och resultatet återfinns i Figurer 3.4, Figur 3.4 och Figur 3.4.

¹<http://qucs.sourceforge.net/>



Figur 2: Simulering av kretsens frekvensåtergivning.



Figur 3: Simulering av kretsen i tidsdomänen för olika frekvenser av V_1 .

3.5 Kommentar

4 Uppmätning av stegsvaret

Stegsvaret mäts genom att kretsen matas med en fyrkantsvåg med en periodtid som är tillräckligt lång för att utsignalen (V_{out} i Figur 3.1) ska hinna uppnå sitt slutvärde för varje halvperiod.

Kretsens tidskonstant $\tau = RC$

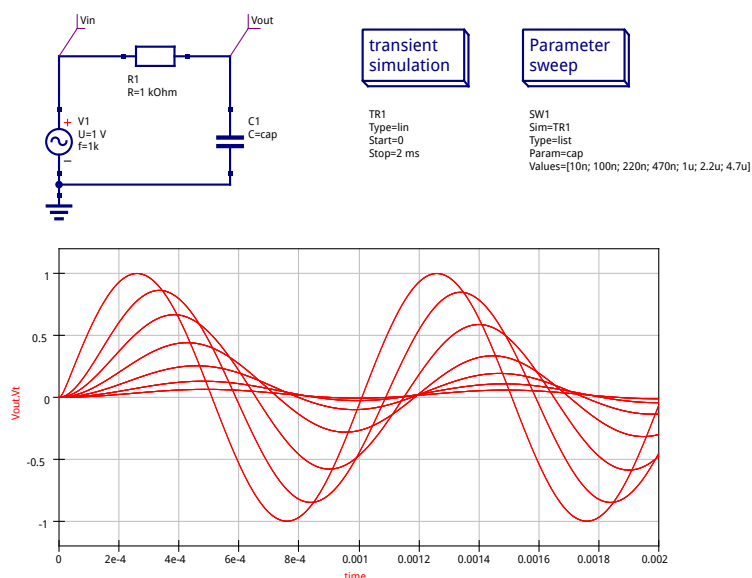
4.1 Mätresultat

$$\begin{aligned} \text{Uppmätt värde på } \tau &= 1 \\ \text{Vilket ger } f_1 &= 1\text{Hz} \end{aligned} \quad (8)$$

4.2 Simulering

Kretsen simuleras i Qucs enligt Figur 4.2 och Figur 4.2.

Figur 4.2 visar det enkla fallet. En fyrkantsvåg används för att illustrera hur kretsen svarar mot plötsliga förändringar. Grafen visar spänningen vid punkten V_{out} som en funktion av tid.



Figur 4: Simulering av kretsen i tidsdomänen för olika värden av C_1 .

Figur 4.2 visar samma skeende då värdet av C_1 sätts till några av vanligt förekommande värden (standardiserade i IEC 60063:1963) genom en ”parameter sweep”.

Värden av C_1 : 10 nF, 100 nF, 220 nF, 470 nF, 1 μF , 2.2 μF och 4.7 μF .

4.3 Kommentar

5 Inverkan av källimpedans och belastningsimpedans

6 Inverkan av källimpedansen

6.1 Mätresultat

$$U_{in} = 1\text{ V}$$

Frekvens (Hz)	U_{ut} (V)	U_{ut}/U_{in} (V)	$20 \log U_{ut}/U_{in}$ (dB)
100	2.11	1.01	5
200	2.06	0.99	10
300	2	0.96	17
500	1.94	0.93	24
700	1.84	0.88	29

Frekvens (Hz)	U_{ut} (V)	U_{ut}/U_{in} (V)	$20 \log U_{ut}/U_{in}$ (dB)
1000	1.75	0.84	33
1200	1.66	0.79	37
1300	1.56	0.75	42
1500	1.49	0.71	45
1700	1.39	0.67	49
2000	1.39	0.67	49

Tabell 2: Mätresultat för kretsen i Figur 3.1.

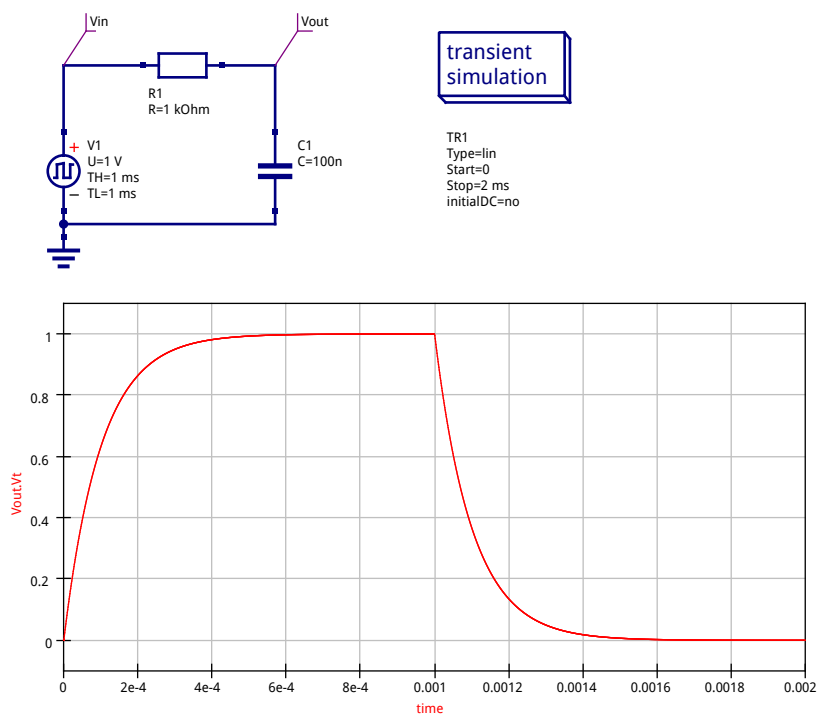
7 Inverkan av belastningsimpedansen

7.1 Mätresultat

$$U_{in} = 1V$$

Frekvens (Hz)	U_{ut} (V)	U_{ut}/U_{in} (V)	$20 \log U_{ut}/U_{in}$ (dB)
100	2.11	1.01	5
200	2.06	0.99	10
300	2	0.96	17
500	1.94	0.93	24
700	1.84	0.88	29
1000	1.75	0.84	33
1200	1.66	0.79	37
1300	1.56	0.75	42
1500	1.49	0.71	45
1700	1.39	0.67	49
2000	1.39	0.67	49

Tabell 3: Mätresultat för Inverkan av belastningsimpedansen för kretsen i Figur 3.1.



Figur 5: Simulering av kretsens stegsvar.

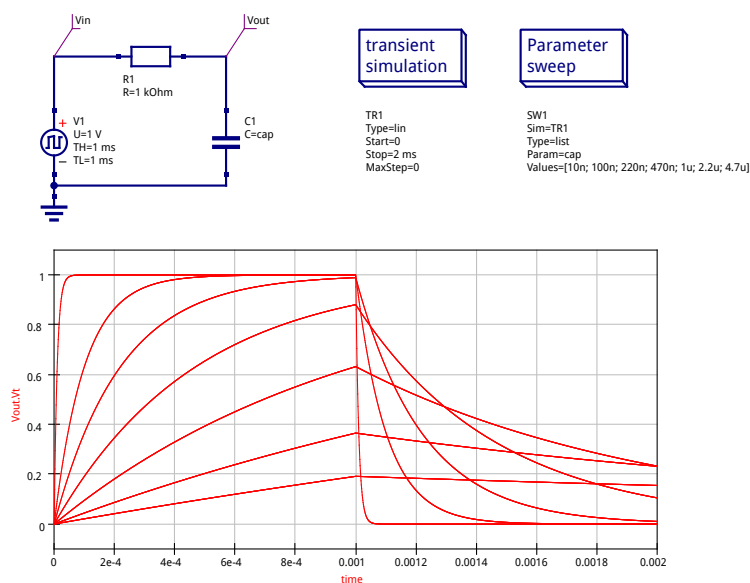
7.2 Simulering

Kretsen simuleras i **Qucs** enligt Figur 7.2 och Figur 7.2.

Källimpedansens påverkar på kretsen kan ses i Figur 7.2 som visar kretsens frekvensrespons då värdet av R_i sveps mellan 50 Ω och 10 k Ω i 20 steg om 523.684 Ω .

Påverkan från belastningsimpedansen ses i Figur 7.2 som visar kretsens frekvensrespons då värdet av R_o sveps mellan 100 Ω och 1 M Ω i 101 steg om 9.999 k Ω .

7.3 Kommentar



Figur 6: Simulering av kretsens stegsvar för olika värden av C_1 .

8 Resultat

Sammanfattningsvis kan sägas att laborationen innehåller en mängd koncept som är mycket viktiga att få en grundlig förståelse för. Vi har inte stött på några direkta problem.

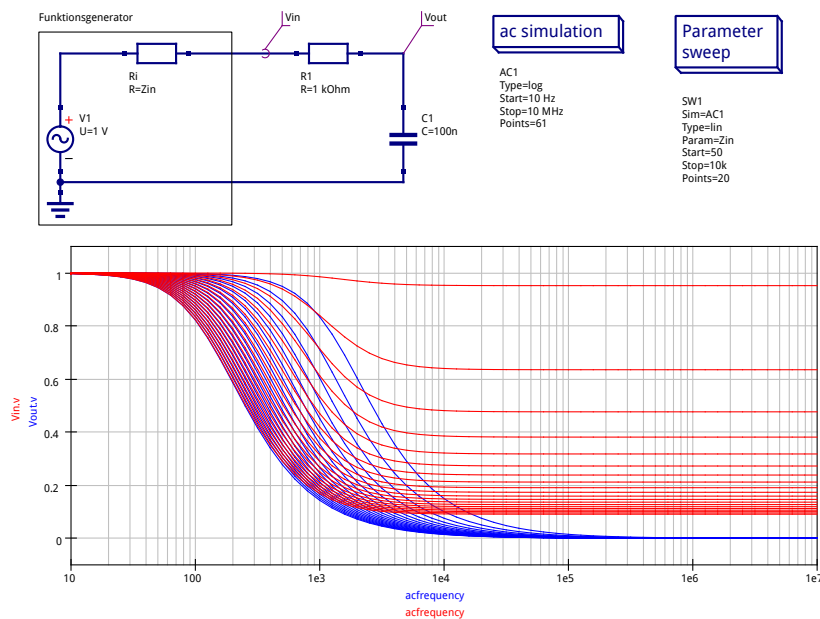
9 Referenser

9.1 Källkod

Källkod till rapporten med alla arbetsfiler till SPICE-simuleringen finns tillgängliga på <https://github.com/jonasjberg/EE466-lab04>

Hämta hem repon genom att exekvera följande från kommandoraden:

```
> $ git clone git@github.com:jonasjberg/DVG303_lab3.git
```

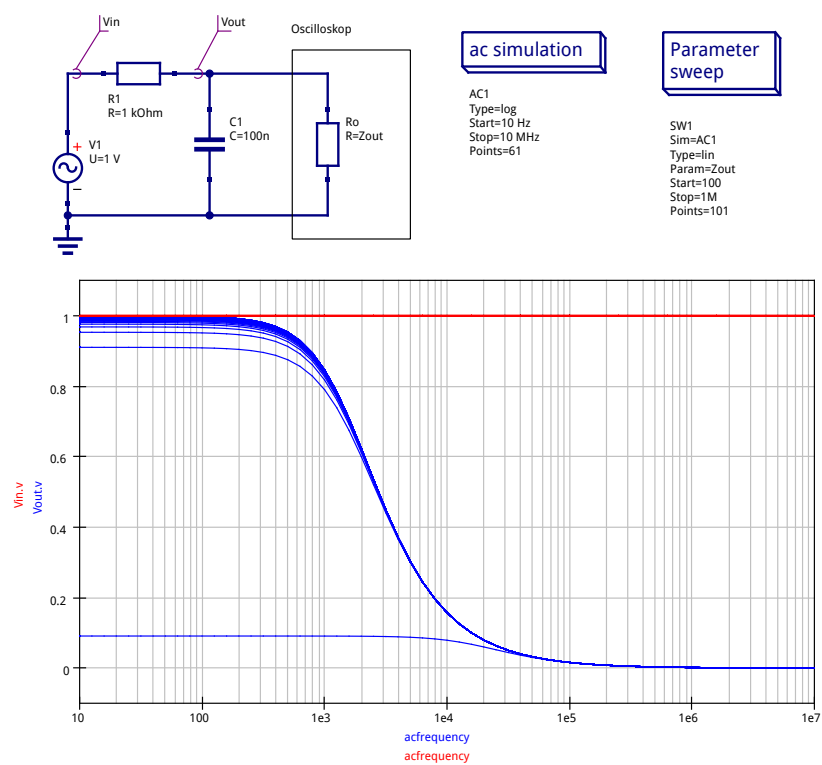


Figur 7: Simulering av kretsens frekvensrespons för olika värden av R_i .

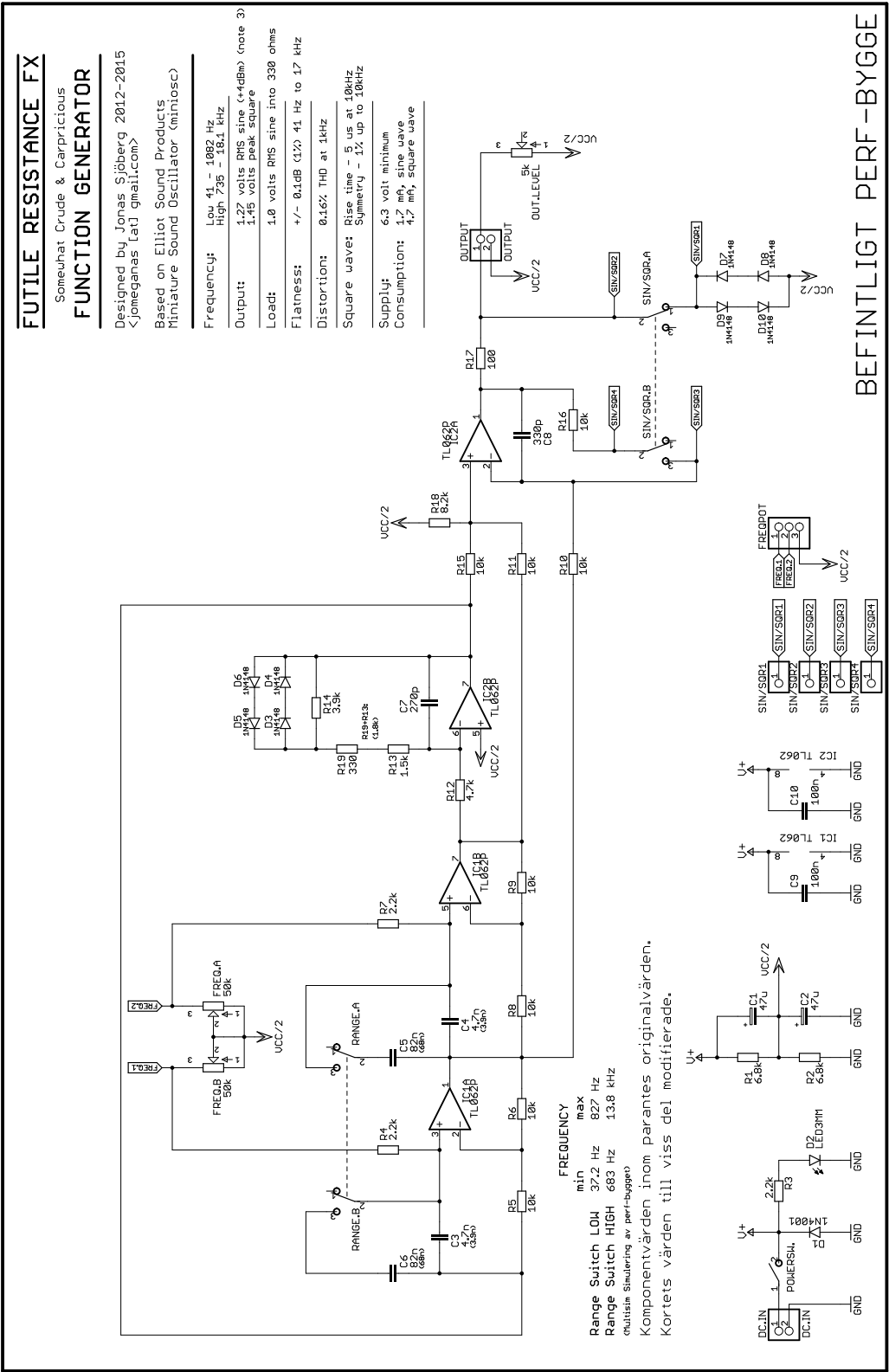
10 Appendix

10.1 Signalgenerator

De värden som presenteras i rapporten uppmättes med ett analogt 2-kanals oscilloskop Hitachi V-252 med en bandbredd på 20 MHz. Signalen genererades av en hemmabyggt egendesignad signalgenerator. Kopplingsschema till signalgeneratoren återfinns i Figur ?? . Stabiliteten och precisionen hos signalgeneratoren lämnar en del att önska, likaså är oscilloskopet inte särskilt lättanvänt. Avläsning måste ske "manuellt" genom att divisionerna på oscilloskopskärmen räknas och multipliceras med vald tidbas eller vertikal förstärkning.



Figur 8: Simulering av kretsens frekvensrespons för olika värden av R_o .



Figur 10: Kopplingsschema för signalgenerator som användes vid laborationen. Den här delen innehåller amplitudmodulering och trigger-utgången.