

EE466  
Lab 117  
Simulering på elektriska kretsar

Jonas Sjöberg  
Högskolan i Gävle,  
Elektronikingenjörsprogrammet,  
`tel12jsg@student.hig.se`

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

Lab utförd: 26 Februari 2015  
Instruktör: Efrain Zenteno

**Sammanfattning**

Syftet med laborationen är att genom använda ett simuleringsverktyg pröva några av de grundläggande sambanden och satserna i likströmsläran, samt att förstå enkla växelströmskretsar. Dessutom bör studenten efter genomförd laboration få en förståelse för hur enklare kretsar kan simuleras.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Mätning på seriekrets</b>	<b>4</b>
2.1	Mätresultat . . . . .	5
2.2	Kommentar . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Inverkan av en parallellgren på en krets</b>	<b>7</b>
3.1	Mätresultat . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Mätning på parallellkrets</b>	<b>8</b>
4.1	Mätresultat . . . . .	8
4.2	Kommentar . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Mätning av resistans</b>	<b>10</b>
5.1	Mätresultat . . . . .	10
5.1.1	A . . . . .	10
5.1.2	B . . . . .	10
5.1.3	C . . . . .	12
5.1.4	D . . . . .	12
5.1.5	E . . . . .	13
5.2	Teoretisk beräkning . . . . .	13
5.2.1	A . . . . .	13
5.2.2	B . . . . .	13
5.2.3	C . . . . .	13
5.2.4	D . . . . .	14
5.2.5	E . . . . .	14
5.3	Kommentar . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Studium av frekvensgång i en reaktiv krets</b>	<b>15</b>
6.1	Mätresultat . . . . .	15
6.1.1	Oscilloskopsvy . . . . .	15
6.1.2	AC analys . . . . .	20
6.2	Teoretisk beräkning . . . . .	22
6.3	Kommentar . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Mätning av fasförskjutning i en reaktiv krets</b>	<b>23</b>
7.1	Mätresultat . . . . .	23
7.2	Teoretisk beräkning . . . . .	23
7.3	Kommentar . . . . .	23
<b>8</b>	<b>Mätning av resonansfrekvens</b>	<b>24</b>
8.1	Mätresultat . . . . .	24
8.2	Kommentar . . . . .	25

<b>9</b>	<b>Resultat</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>Referenser</b>	<b>26</b>

## 1 Introduktion

En uppsättning vanligt förekommande kopplingar och kretsar ska simuleras i programmet Multisim av National Instruments. Multisim utgör en del av en uppsättning program för allehanda EDA, t.ex. CAD, PCB-design och simulering, under proprietär och kommersiell licens. Multisim är en variant av simuleringsprogrammet spice som utvecklades vid "Electronics Research Laboratory of the University of California, Berkeley". Spice har kommit att bli de facto standard inom industrin och många verktyg är baserade på någon version av spice.

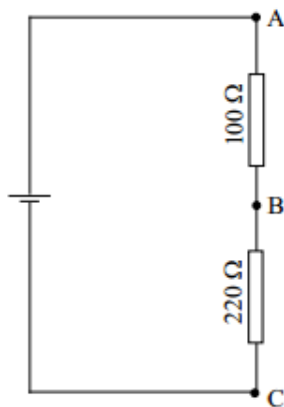
All uppkoppling görs i ett grafiskt användarinterface, delvis med hjälp av virtuella mätinstrument men framförallt med den grundläggande funktionaliteten som återfinns i mindre användarvänliga men mer kraftfulla spice-liknande program, som ngspice, LTSpice, Qucs, PSpice, etc.

Alla komponenter och signalkällor är ideala och saknar helt simulering av parasitiska egenskaper som för t.ex. en resistor kan beskrivas som en oönskad seriell induktans och parallell kapacitans.

## 2 Mätning på seriekrets

Seriekretsen enligt figur 1 kopplades upp i Multisim. 10 V valdes för spänningskällan. I en seriekrets flyter samma ström genom alla punkter. Vi ser att samtliga probar mäter att strömmen  $I = 31,3 \text{ mA}$  vilket stämmer överens med det ideala fallet;

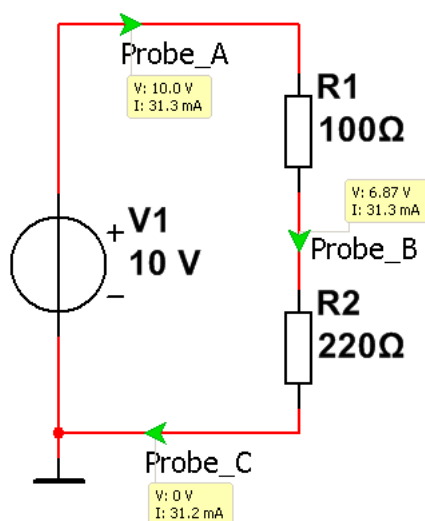
$$I = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ V}}{100 \Omega + 220 \Omega} = 31,3 \text{ mA}$$



Figur 1: Seriekrets

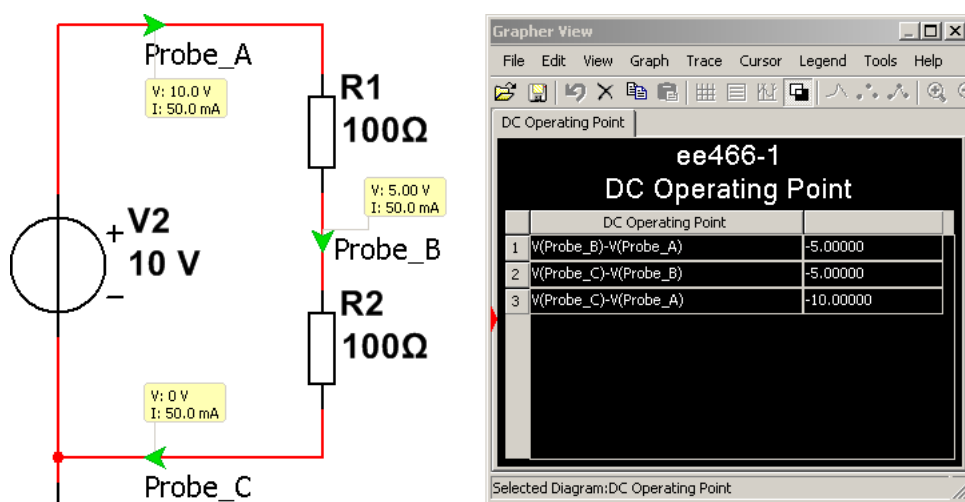
## 2.1 Mätresultat

För att mäta spänningarna vid punkt A, B samt C så placerades prober ut på de nät som söktes. Proben justeras till att visa relevanta storheter, spänning och ström. Spänningarna vid och strömmarna genom alla prober visas i realtid enligt Figur 2.



Figur 2: Seriekrets

För en relativ mätning används *DC operating point*. De sökta spänningarna beskrivs som skillnaden mellan proberna **Probe\_A**, **Probe\_B** och **Probe\_C**. Se figur 3 för resultat.



Figur 3: Simuleringsresultat för seriekrets

## 2.2 Kommentar

Spänningsdelningslagen ger:

$$U_{AB} = U \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{AB} = 10 \times \frac{100}{100 + 220}$$

$$U_{AB} = 3.125$$

$$U_{BC} = U \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_{BC} = 10 \times \frac{220}{100 + 220}$$

$$U_{BC} = 6.875$$

Kirchhoff's 2:a lag:

Summan av samtliga emk:s som ingår i en sluten krets är lika med summan av potentialfallen, eller

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n = 0$$

där  $u_k$  betecknar en potentialändring.

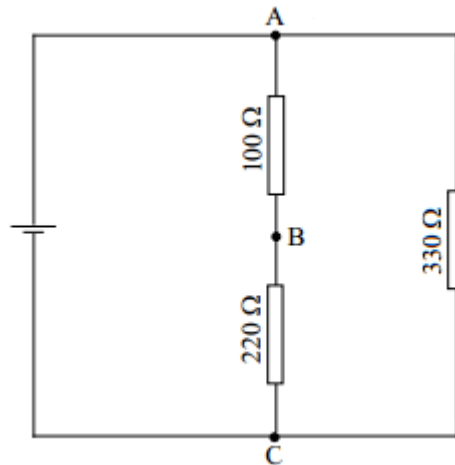
Enligt Kirchhoff's lag:

$$U - U_{AB} - U_{BC} = 0$$

$$10 - 3.125 - 6.875 = 0, \text{ vilket stämmer.}$$

### 3 Inverkan av en parallellgren på en krets

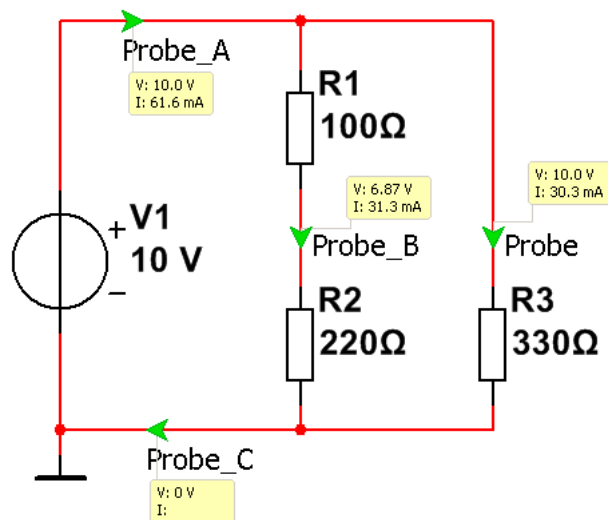
Ytterligare en resistor på  $330\ \Omega$  kopplades parallellt till kretsen från figur 1, se figur 4.



Figur 4: Parallellgren på föregående krets.

#### 3.1 Mätresultat

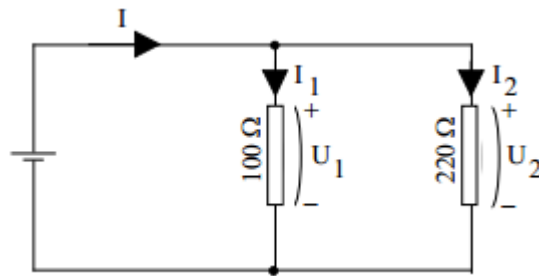
Mätresultatet utläses vid proberna i Figur 5.



Figur 5: Simuleringsresultat för seriekrets med parallellgren.

## 4 Mätning på parallellkrets

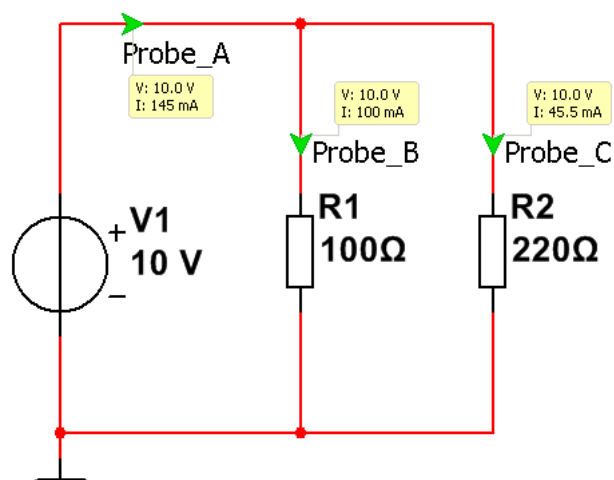
Två resistorer kopplades enligt figur 6. Sedan valdes en lämplig spänning för spänningskällan.



Figur 6: Parallellgren på föregående krets.

### 4.1 Mätresultat

Mätresultat utläses direkt ur Figur 7.



Figur 7: Simuleringsresultat för parallellkrets.

### 4.2 Kommentar

Kirchhoff's 1:a lag:

Summan av alla elektriska strömmar som flyter till en nod är lika med summan av alla strömmar som flyter från noden, eller



$$i_1 + i_2 \dots + i_n = 0$$

där  $i_k$  betecknar en nodström.

Detta ger att

$$I = I_1 + I_2 = 0.1 + 0.0455 = 0.1455\text{A}$$

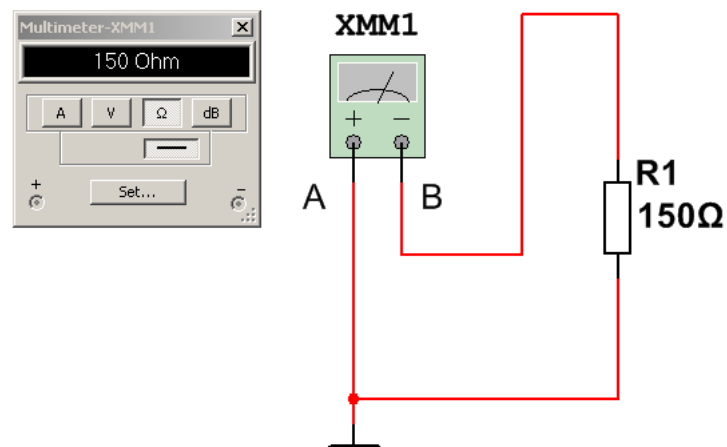
Det är möjligt att Probe\_A inte angett fullständig noggrannhet och därav missat en sista decimal. Detta kan förklara varför  $I$  inte är detsamma i figur 7.

## 5 Mätning av resistans

Kretsarna funna i figur 8 kopplades upp.

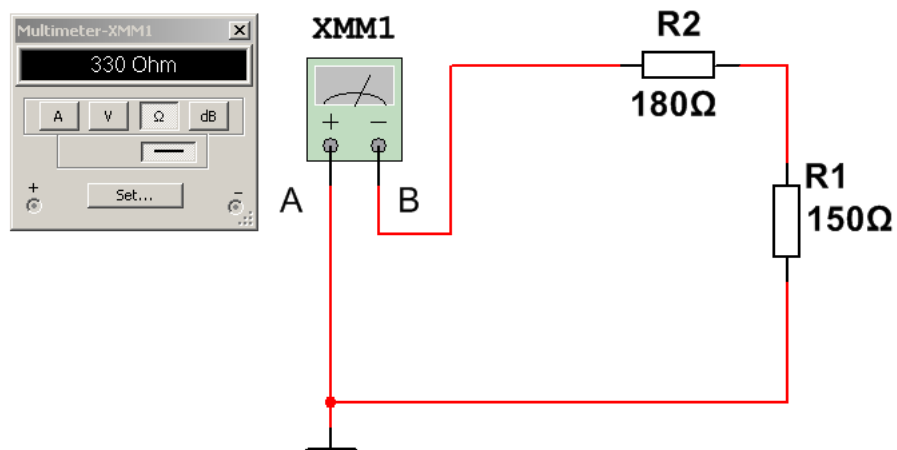
### 5.1 Mätresultat

#### 5.1.1 A

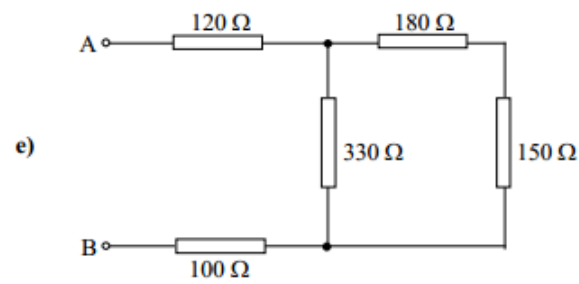
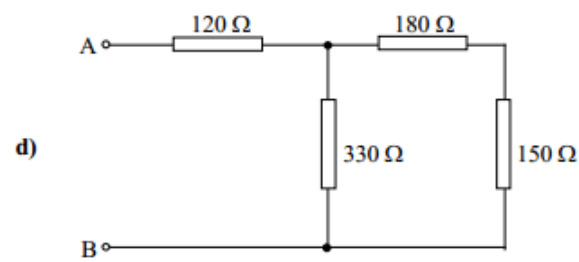
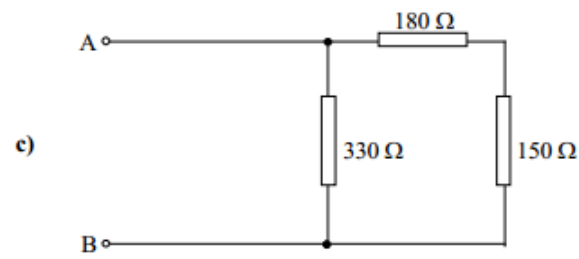
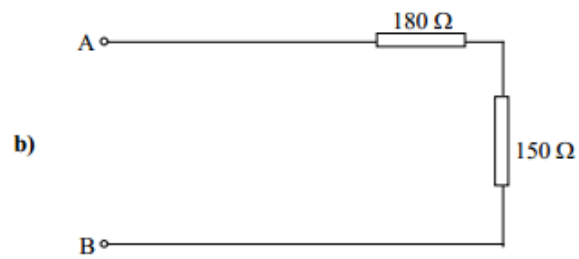
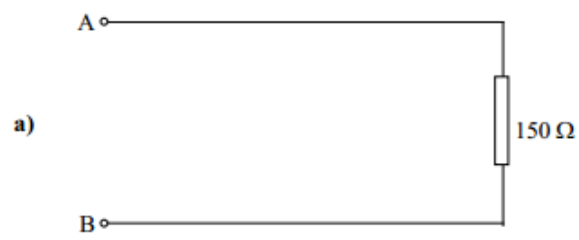


Figur 9: Mätning av resistans A

#### 5.1.2 B

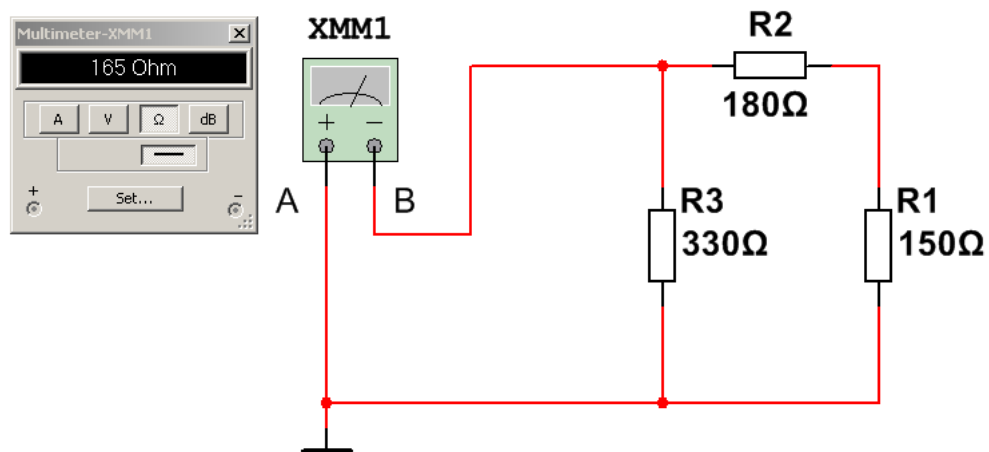


Figur 10: Mätning av resistans B



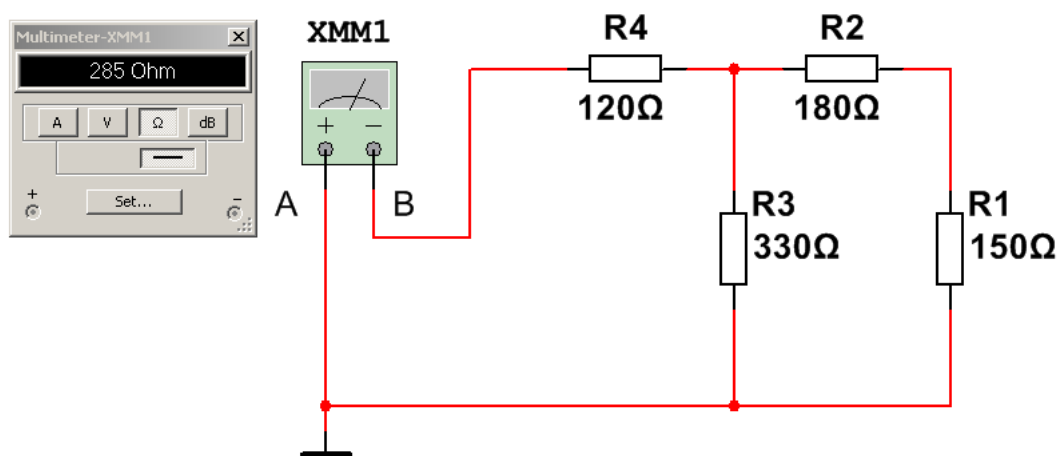
Figur 8: Resistorkretsar.

### 5.1.3 C



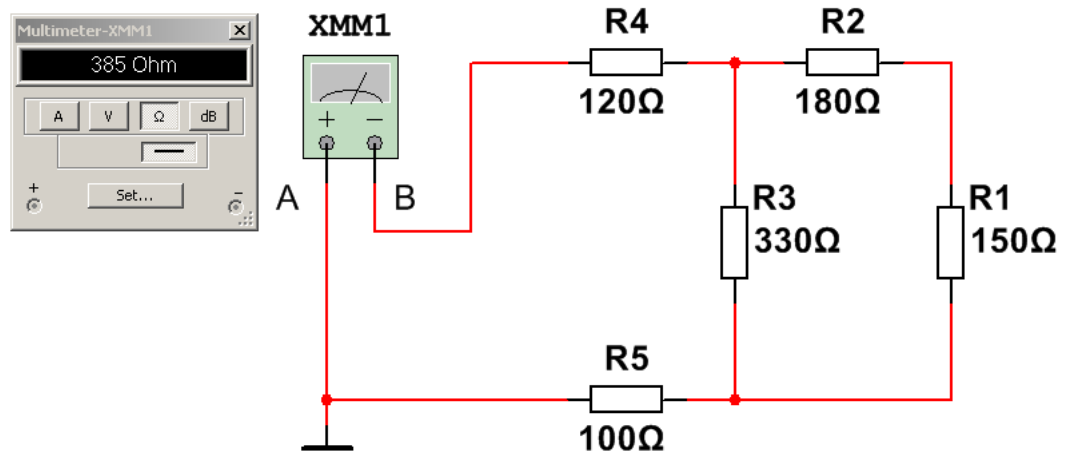
Figur 11: Mätning av resistans C

### 5.1.4 D



Figur 12: Mätning av resistans D

### 5.1.5 E



Figur 13: Mätning av resistans E

## 5.2 Teoretisk beräkning

### 5.2.1 A

Resistansen  $R_A$  i Figur 9 utgörs av ett enda motstånd och kan utläsas direkt till  $R_A = R_1 = 150\ \Omega$

### 5.2.2 B

Resistansen  $R_B$  i Figur 10 är teoretiskt;

$$\begin{aligned} R_B &= R_1 + R_2 \\ &= 150\ \Omega + 180\ \Omega \\ &= 330\ \Omega \end{aligned}$$

### 5.2.3 C

Resistansen  $R_C$  i Figur 11 är teoretiskt;

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_2}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{330\ \Omega} + \frac{1}{150\ \Omega + 180\ \Omega}} \\ &= 165\ \Omega \end{aligned}$$

### 5.2.4 D

Resistansen  $R_D$  i Figur 12 är teoretiskt;

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1+R_2}} + R_4 \\ &= \frac{1}{\frac{1}{330\Omega} + \frac{1}{150\Omega+180\Omega}} + 120\Omega \\ &= 285\Omega \end{aligned}$$

### 5.2.5 E

Resistansen  $R_E$  i Figur 13 är teoretiskt;

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1+R_2}} + R_4 + R_5 \\ &= \frac{1}{\frac{1}{330\Omega} + \frac{1}{150\Omega+180\Omega}} + 120\Omega + 100\Omega \\ &= 385\Omega \end{aligned}$$

## 5.3 Kommentar

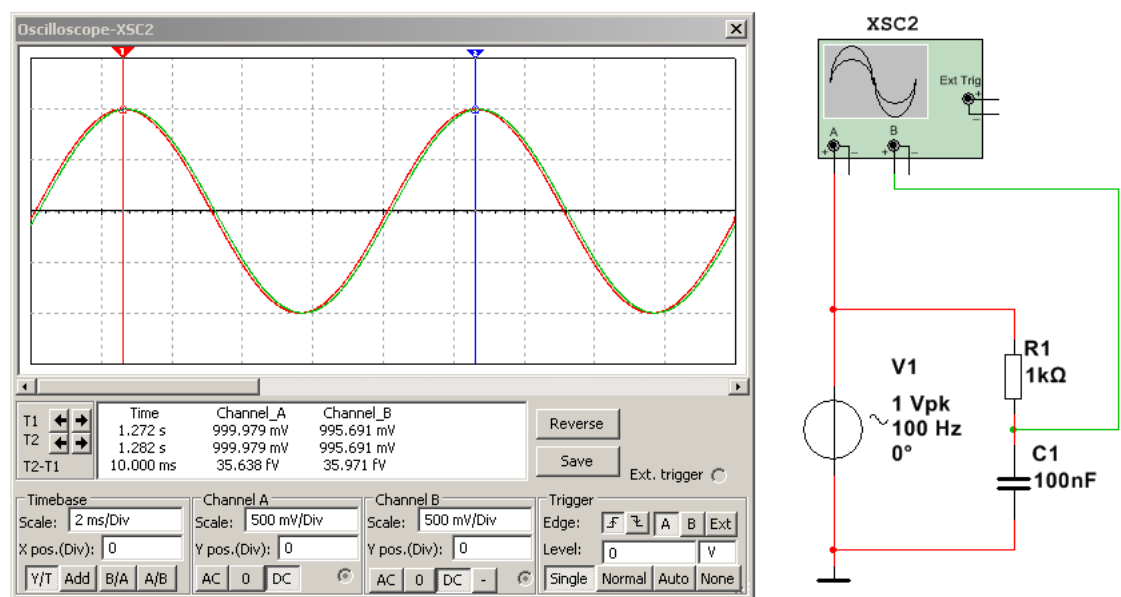
De teoretiska beräkningarna överensstämmer med simuleringen.

## 6 Studium av frekvensgång i en reaktiv krets

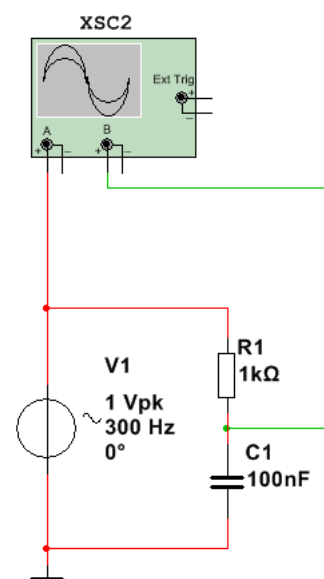
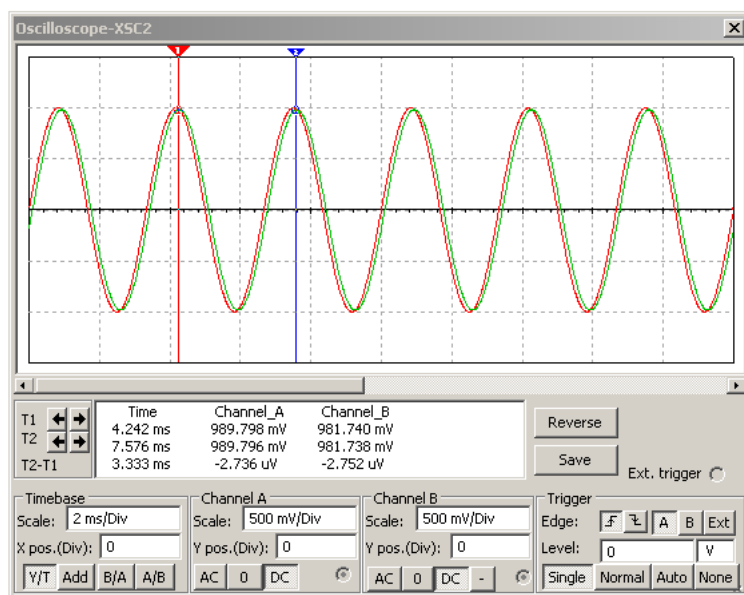
Vid mätning av frekvensgången i en reaktiv krets används kopplingen i Figur 24. Signalgeneratoren kopplas över både resistorn  $R_1$  och kondensatorn  $C_1$  och kan ses som en insignal. Den påverkade signalen ligger över  $C_1$ , högre frekvenser dämpas mer än lägre frekvenser, kopplingen utgör ett lågpasfilter.

### 6.1 Mätresultat

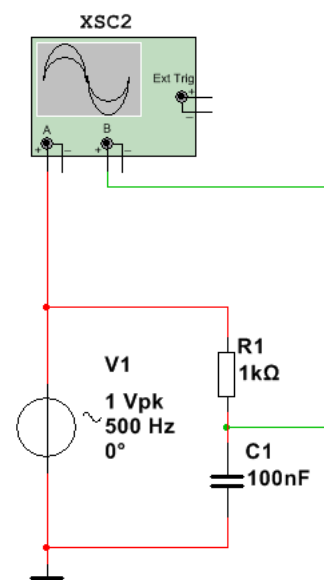
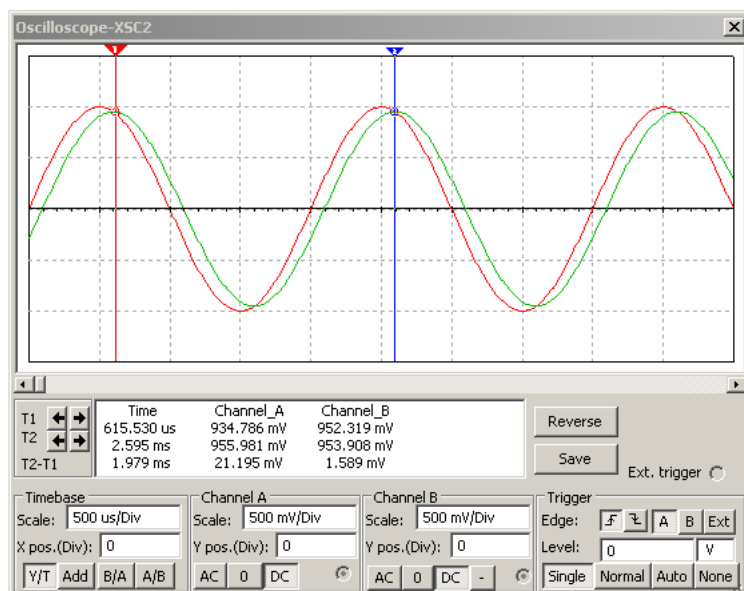
#### 6.1.1 Oscilloskopsvy



Figur 14: Signalfrekvens 100Hz

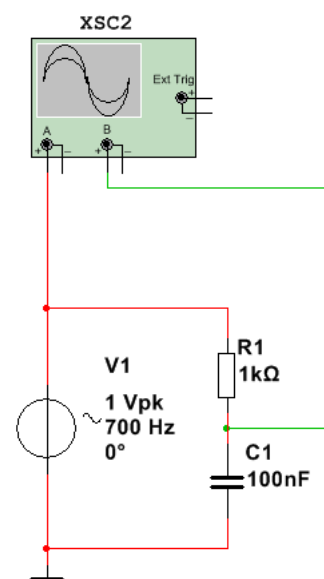
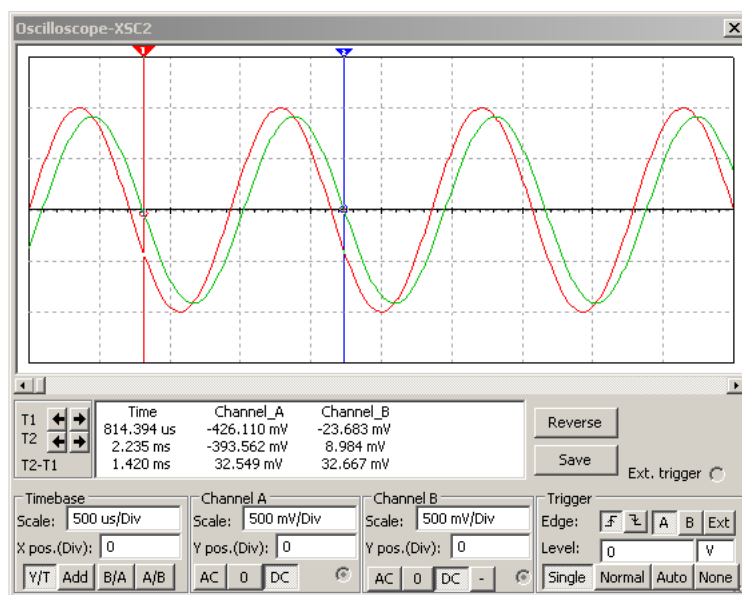


Figur 15: Signalfrekvens 300Hz

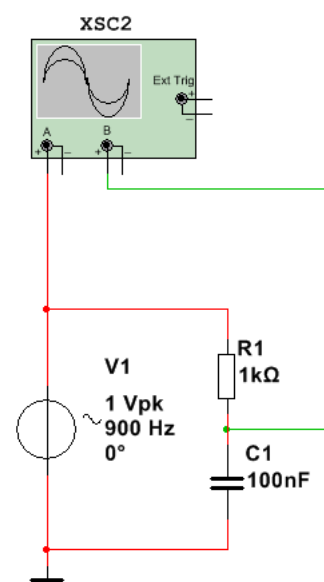
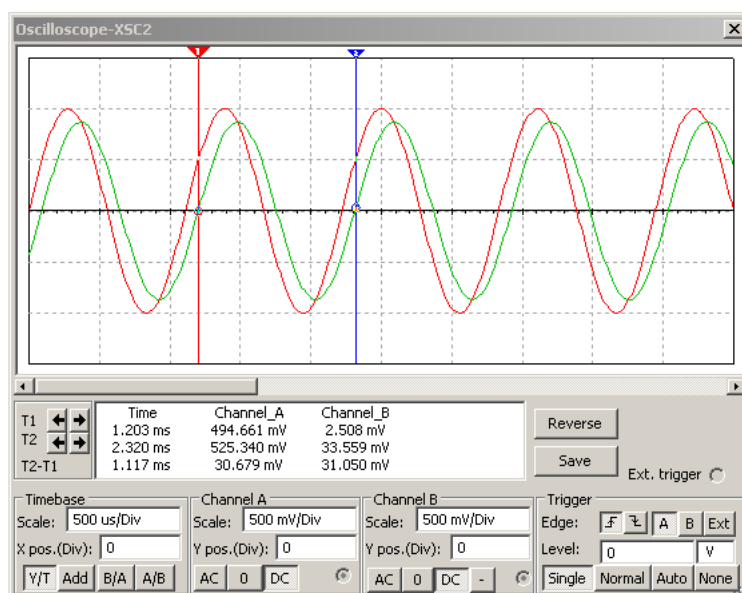


Figur 16: Signalfrekvens 500Hz

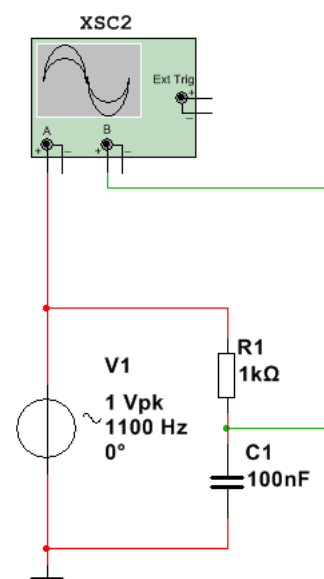
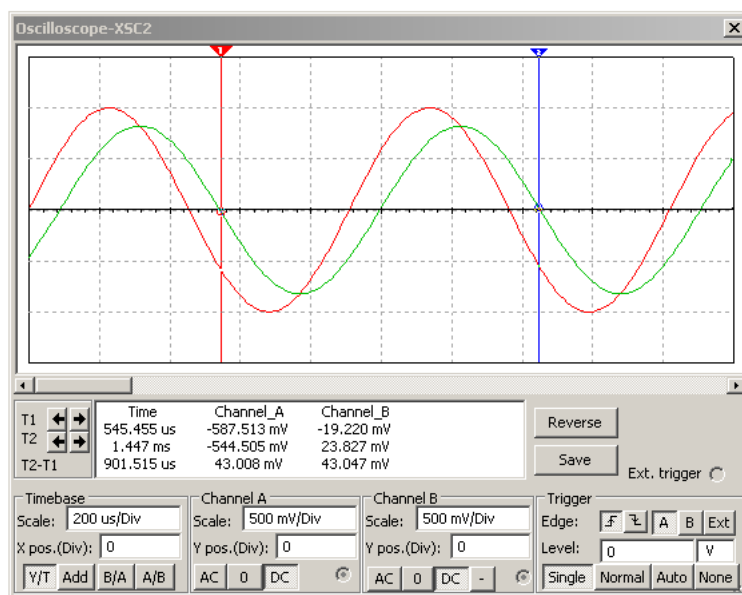




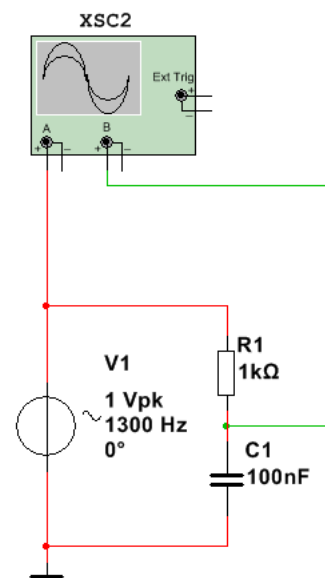
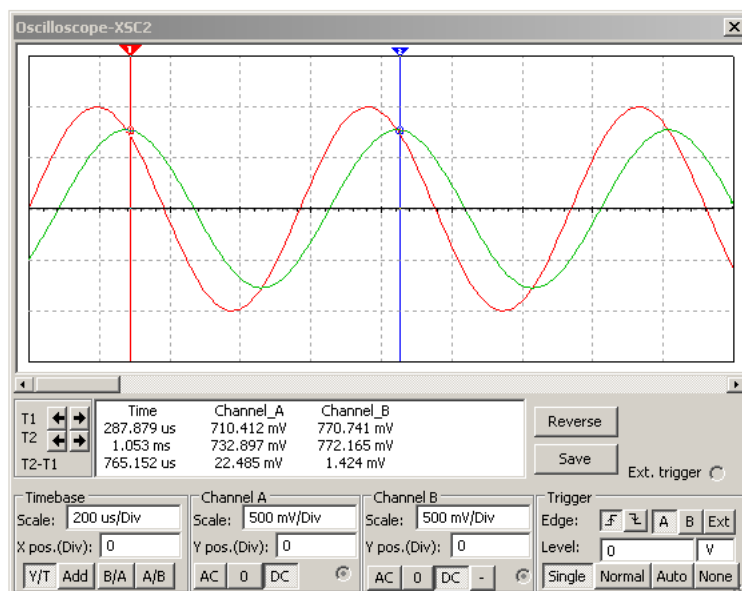
Figur 17: Signalfrekvens 700Hz



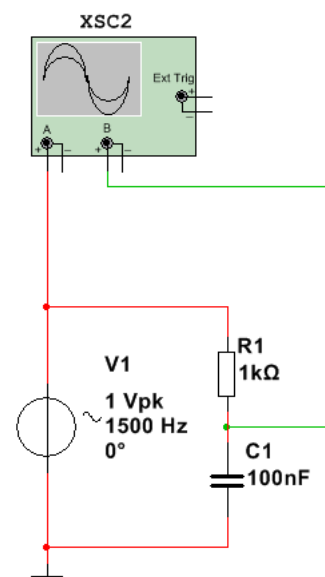
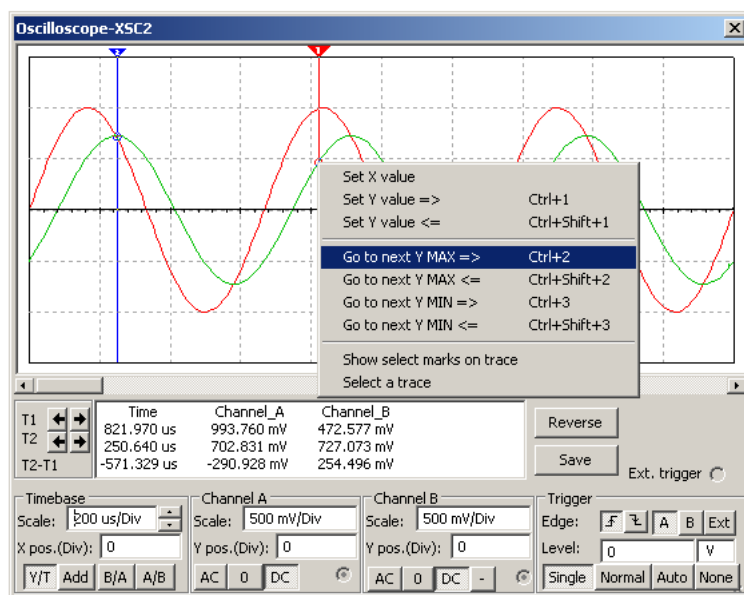
Figur 18: Signalfrekvens 900Hz



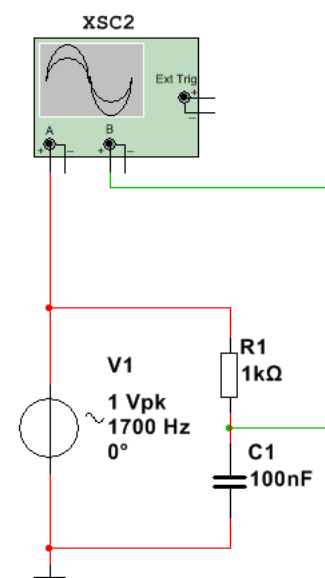
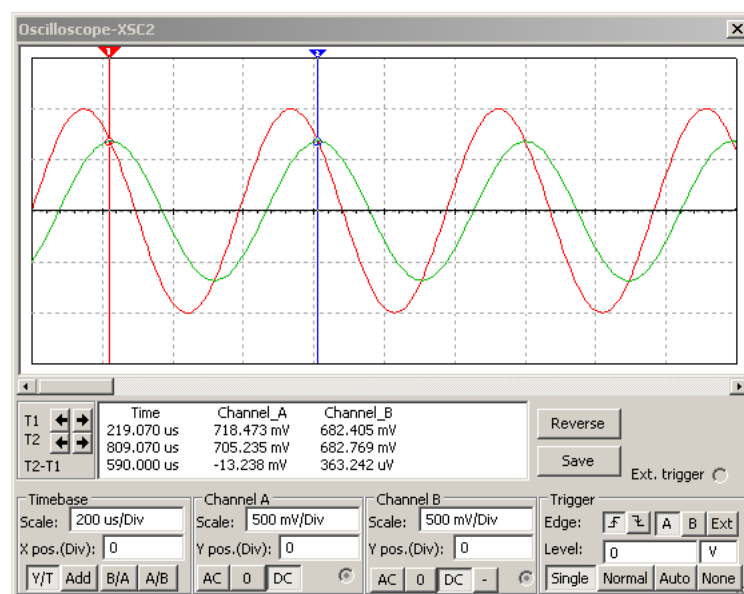
Figur 19: Signalfrekvens 1100Hz



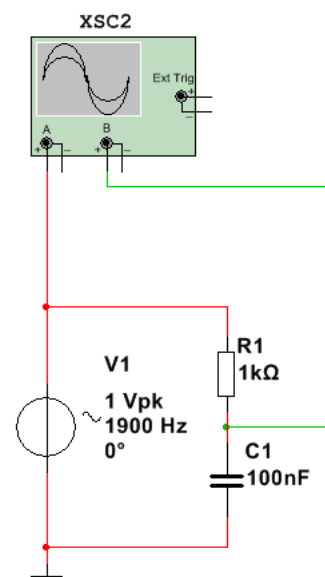
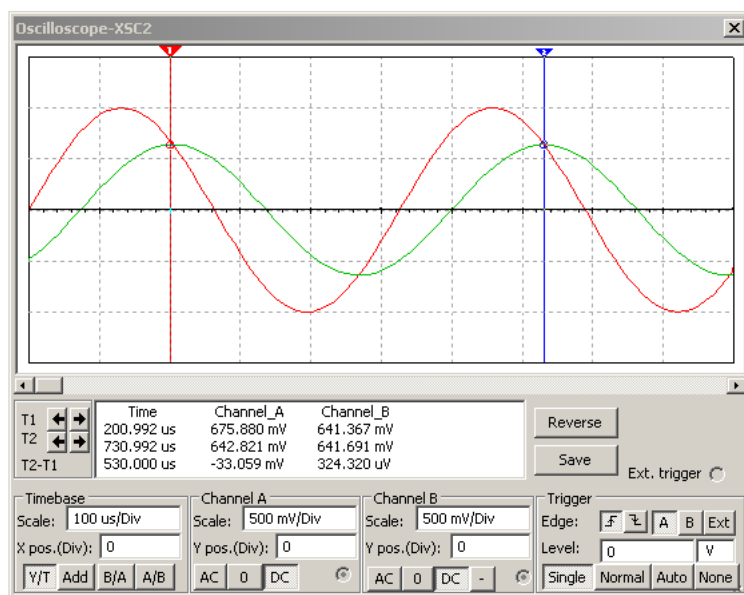
Figur 20: Signalfrekvens 1300Hz



Figur 21: Signalfrekvens 1500Hz

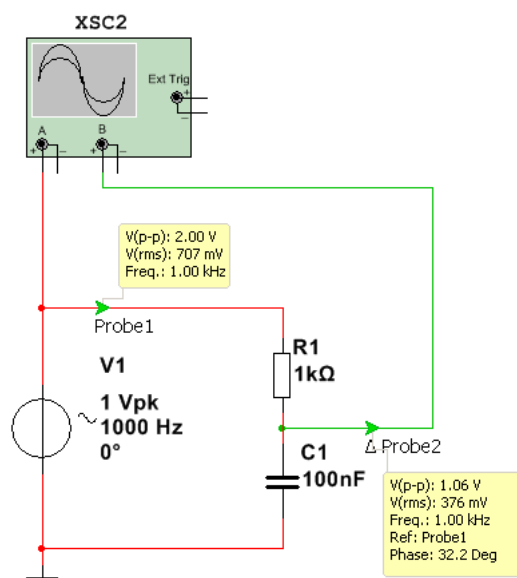


Figur 22: Signalfrekvens 1700Hz

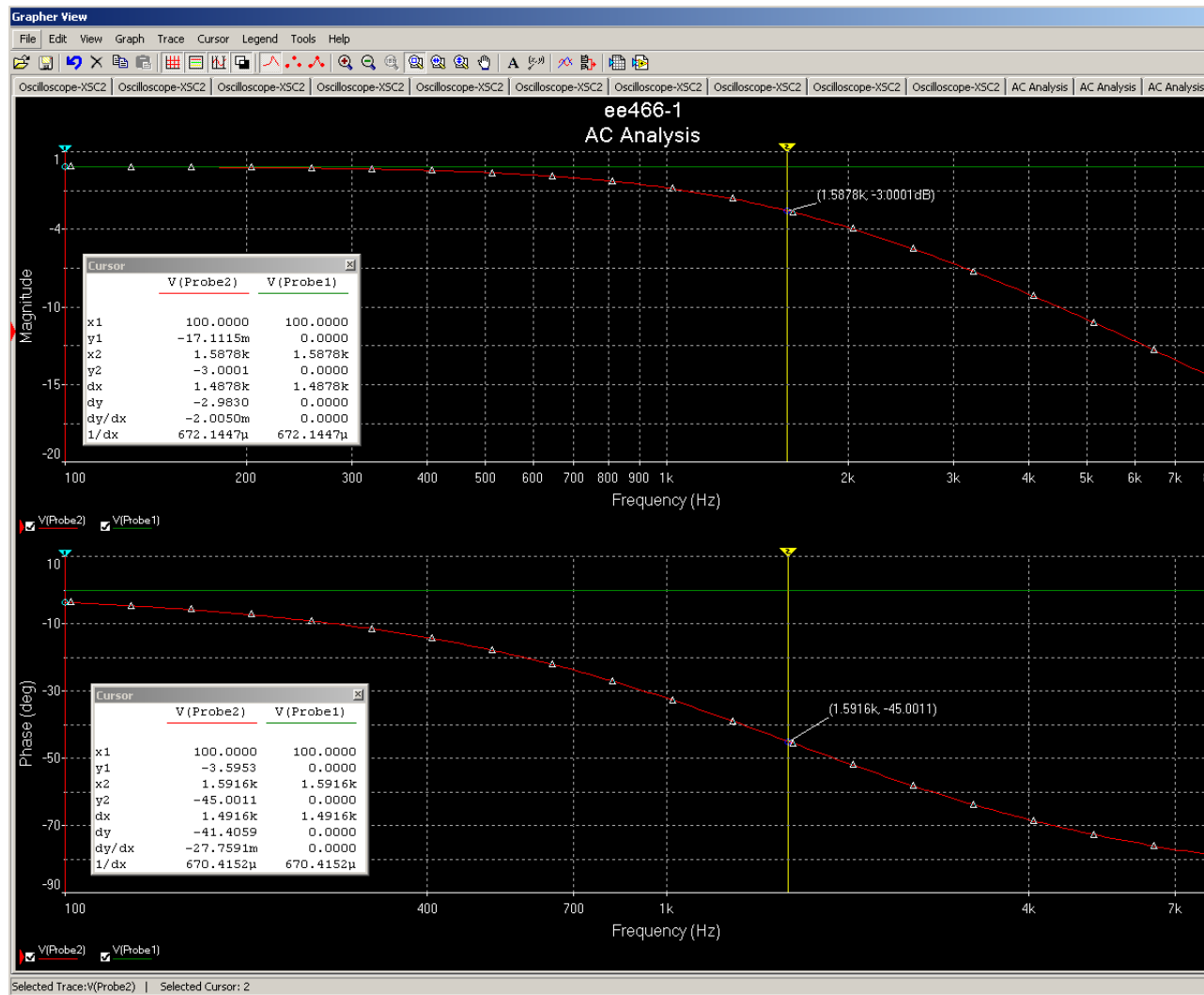


Figur 23: Signalfrekvens 1900Hz

### 6.1.2 AC analys



Figur 24: Koppling vid AC analys



Figur 25: AC analys resultat

## 6.2 Teoretisk beräkning

$$\frac{u_c}{u_{TG}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \times f \times R \times C)^2}} \quad (1)$$

## 6.3 Kommentar

## 7 Mätning av fasförskjutning i en reaktiv krets

Vi mätningen av fasförskjutning används samma simuleringskonfiguration som vid föregående mätning.

### 7.1 Mätresultat

Signalens fas utläses ur den nedre grafen i Figur 25.

### 7.2 Teoretisk beräkning

Formeln

$$\phi = -\arctan(2 \times \pi \times f \times R \times C)$$

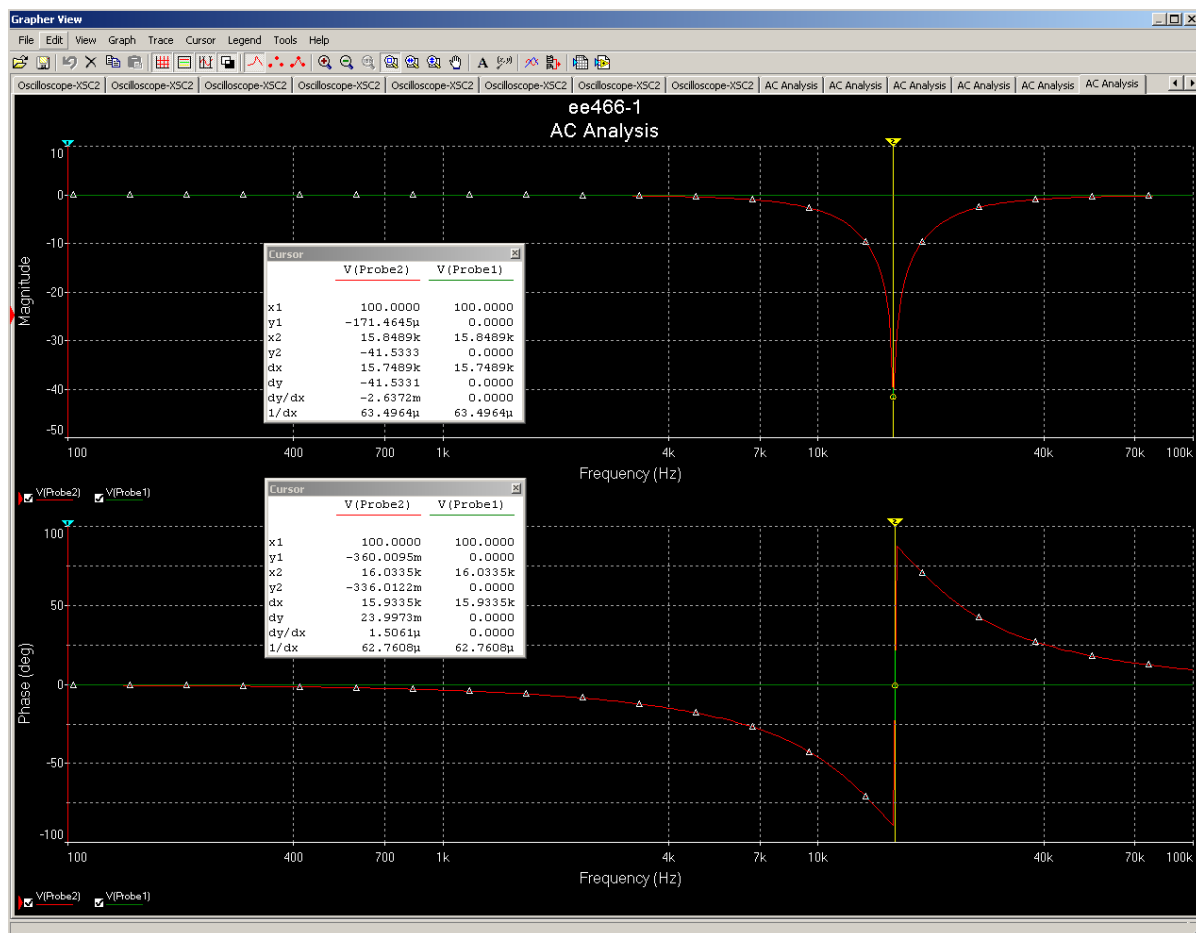
ger

$$-\arctan(2 \times \pi \times 1591.6 \times 1000 \times 100 \times 10^{-9}) = -45.00091$$

vilket stämmer enligt figur 25.

### 7.3 Kommentar

Det är tänkbart att AC-analysen beräknar resultatet med fler värdesiffror på frekvensen än vad som anges i grafen, vilket resulterar i en liten skillnad i decimalerna jämfört med den teoretiska beräkningen.



Figur 26: Resonansfrekvens AC analys resultat

## 8 Mätning av resonansfrekvens

### 8.1 Mätresultat

Simuleringsresultatet för AC-analysen visas i Figur 26. Signalkällans frekvens sveps mellan 100 Hz-100 kHz. Amplituden utläses vertikalt och har enheten dB, vilket är lämpligt för att visa små förändringar över ett stort intervall. I den övre grafen är den gula markören positionerad vid resonansfrekvensen som utläses under **Probe2**,  $F_{resonans} = 15,8489 \text{ kHz}$ . Den nedre grafen visar fasförskjutningen som vid resonansfrekvensen närmar sig noll.



## 8.2 Kommentar

## 9 Resultat

Simulering av kretsar är ett mycket användbart verktyg vid kretsdesign och produktutveckling. Multisim är ett nybörjarvänligt program som gör processen väldigt enkel med bl.a. virtuella mätinstrument och möjlighet till att manipulera resistanser och andra virtuella komponenter i realtid.

Kretssimulering kan vara lämpligt för att testa en grundidé eller topologi, men resultaten kan många gånger vara felvisande då verkliga komponenter och kretsar påverkas av saker som parasitiska effekter, kapacitiv koppling mellan parallella ledare, begränsad bandbredd hos förstärkare, etc. Därför är det ofta nödvändigt att konstruera en riktig prototyp med just de komponenter man tänkt använda för att få en bild av hur en kretsdesign faktiskt kommer att bete sig. Andra aspekter som vi totalt bortsett från är t.ex. hur experimentplattornas kapacitans kombinerat oscilloskop-probens höga impedans i sig formar ett ovälkommet lågpasfilter.

Vi känner att vi fått ett bra grepp om hur programvaran fungerar och hur simuleringen med visualiseringen av simuleringsdata hänger ihop med faktiska mätningar på verkliga kopplingar. Skillnaderna mellan idealfallet och det reella fallet har tillkännagivits.

Huruvida vi kommer att ha tillgång till Multisim i framtiden är omöjligt att veta. Säkert är dock att spice-simulering är en standard som ligger till grund för majoriteten av kretssimuleringsmjukvara och kunskap om denna är högst användbart.

## 10 Referenser

**Resistors aren't resistors** Wyatt, Kenneth. *EDN Magazine* 2013-10-29

[www.edn.com/design/components-and-packaging/4423492/Resistors-aren-t-resistors](http://www.edn.com/design/components-and-packaging/4423492/Resistors-aren-t-resistors)