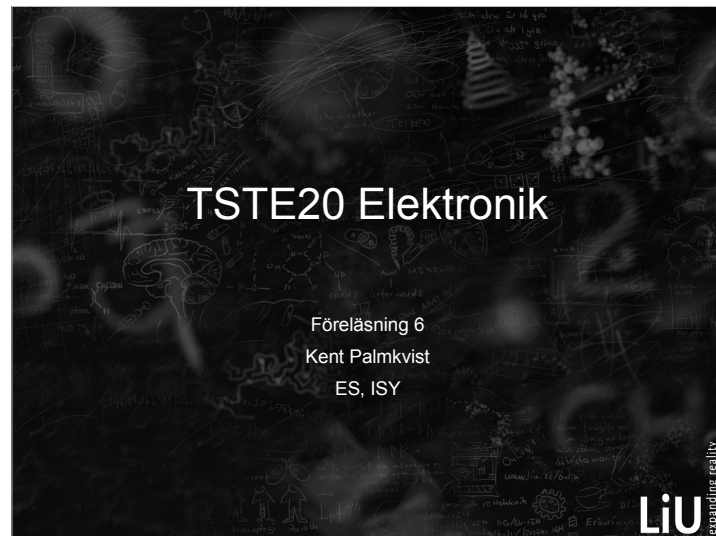




Praktisk info, forts.

- Löst uppgift
 - Fyll i ett konvolut (återanvänds tills uppgiften godkänd)
 - Konvolut hittas ovanpå den svarta brevlåda som svar lämnas i
 - Svart brevlåda placerad i samma korridor som Kents kontor
 - D-korridoren, 2:a våningen, mellan ingång 25 och 27, nära ingång 25
 - Kolla baksidan på konvolut för checklista
- Deadline Fredag 19/12 kl 15.30.
 - Alla måste vara godkända annars måste alla (nya) uppgifter göras om under 2015
 - Andra kurser under ht 2014!
Räkna inte med att ha en massa tid då!
 - Och ni har nog glömt en del så dags.....

LiU

Praktisk info

- Anmälningslistor till laboration 2, likström och upp/urladdning
 - Samma placering som förra listan (anslagstavlan utanför CYD-poolen)
 - Extra tillfälle inlagt Torsdag 6/3 17-21 TKO3
 - Sätter upp listan för extratillfället idag kl 12.30
- Inlämningsuppgift 1 likström
 - Kan hämtas hos Kent (tillsammans med uppgift 2)
- Rättade inlämningsuppgifter hämtas på Kents kontor
 - Må 11.00-11.30, 12.30-13.15
 - To 11.00-11.30, 12.30-13.15 (kan variera lite pga andra möten)

LiU

Dagens föreläsning

- Superposition
 - Princip
 - Exempel
 - Användning
- Småsignalschema
 - Princip
 - Exempel
- Växelström
 - Introduktion

LiU

Linjärt system

- Ohms lag
 $U = R I$
- KVL
 $\sum U_i = 0$
- KCL
 $\sum I_i = 0$
- Resistanser, spänningskällor och strömkällor lika stora oberoende av strömmar genom och spänningar över komponenter i kretsen.
- Dioder, transistorer är inte linjära

LiU

Med nodanalys

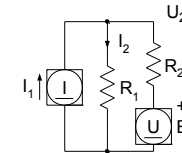
- Jorda punkt längst ned

$$\text{KCL: } I_1 - \frac{U_2}{R_1} + \frac{E - U_2}{R_2} = 0$$

$$U_2(1/R_1 + 1/R_2) = I_1 + E/R_2$$

$$U_2 = \frac{I_1 + \frac{E}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

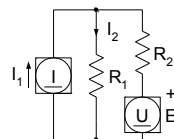
$$\text{ohm: } I_2 = \frac{U_2}{R_1} = \frac{I_1 + \frac{E}{R_2}}{R_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{10 \cdot 10^{-3} + 5/100}{400 \cdot (1/100 + 1/400)} = 12 \text{ mA}$$



LiU

Exempel

- Sökt: I_2
- Givet:
 - $R_1 = 400$
 - $R_2 = 100$
 - $I_1 = 10 \text{ mA}$
 - $E = 5 \text{ V}$



LiU

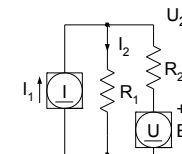
Närmare analys

- Omskrivning av uttrycket

$$I_2 = \frac{U_2}{R_1} = \frac{I_1 + \frac{E}{R_2}}{R_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$$

$$= \frac{I_1 R_2}{R_1 R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} + \frac{E}{R_1 R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} =$$

$$= \frac{I_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \begin{array}{l} \text{Strömdelningsformel} \\ + \text{spänning över seriekopplade motstånd} \end{array}$$



LiU

Superposition

- Kräver linjärt system
- En ström eller spänning i en krets kan beräknas som summan av bidragen från varje enskild spännings och strömkälla i kretsen.
- Beräkna varje delbidrag genom att nollställa alla andra källor
 - Strömkällor nollställs till avbrott (tas bort)
 - Spänningskällor nollställs till kortslutning

LiU

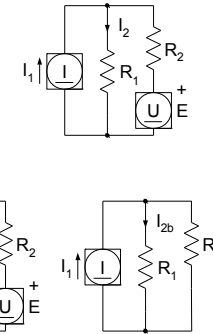
Exempel på superposition

$$I_{2a} = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad I_{2b} = I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I_{2a} + I_{2b} = \frac{E}{R_1 + R_2} + I_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} =$$

$$= \frac{5}{400 + 100} + 10 \cdot 10^{-3} \frac{100}{400 + 100} =$$

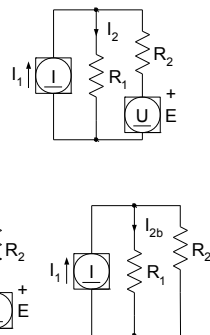
$$= 12 \text{ mA}$$



LiU

Exempel på superposition

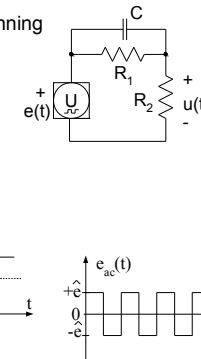
- Sökt: I_2
 - Givet:
 - $R_1 = 400$
 - $R_2 = 100$
 - $I_1 = 10 \text{ mA}$
 - $E = 5 \text{ V}$
 - Superposition
 - Två versioner av kretsen en med spänningskälla, en med strömkälla (nollställ andra källor)
- $$I_2 = I_{2a} + I_{2b}$$



LiU

Nytt exempel: källa med flera delspänningar

- Källa med både likspänning och växelspanning
 - Fyrkantsvåg med likströmsoffset
 - $R_1 = R_2$
 - Antag C väldigt stor
- Använd superposition
 - $e(t) = E + e_{ac}(t)$ samt $u(t) = U + u_{ac}(t)$
 - Ren likströmskälla
 - Ren växelströmskälla

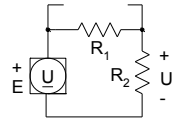


LiU

Superposition: DC-komponent E

- DC-källans analys
 - C kan tas bort (likströmsmässigt avbrott) eftersom spänningsderivatan måste vara 0 då allt är DC (inga tidsvarianta signaler)
- $u(t)$ har en likströmskomponent som är

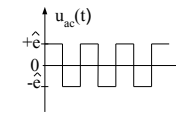
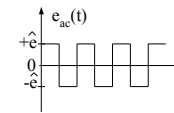
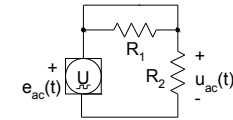
$$U = E R_2 / (R_1 + R_2)$$
 (spänningsdelning)



LiU

Superposition: AC-komponent $e_{ac}(t)$

- R_1 kortsluts av C
- $u_{ac}(t) = e_{ac}(t)$

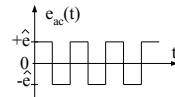
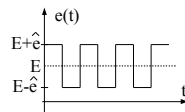
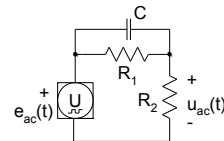


LiU

Superposition: AC-komponent $e_{ac}(t)$

- Resten av signal (AC-signal)
 - C släpper igenom växelström till viss del

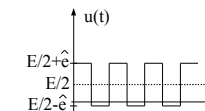
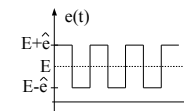
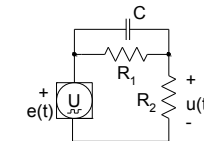
$$i(t) = C \frac{\partial u(t)}{\partial t}$$
 - Om C stor blir $u(t)$ nära noll om $i(t)$ begränsad
 - $i(t) < (E + e)/R_2$
 - C beter sig som kortslutning ($u(t) \approx 0$) för växelström om C stor nog



LiU

Superposition: Resultat

- Spänningen $u(t)$
 - $u(t) = U + u_{ac}(t) = E/2 + e_{ac}(t)$
 - Halva likströmsdelen mot $e(t)$
 - på $R_1 = R_2$
 - Samma amplitud på fyrkantsvågen (växelspänningsdelen)



LiU

Superposition: användning

- Om insignalen består av olika delar
 - Räkna på varje del för sig, lägg ihop för att få hela resultatet
- Uppdelning till likström respektive växelström
 - Kan hantera likström för sig
 - Induktanser och kapacitanser kan förenklas
 - Kräver linjärt nät
 - Om inte, måste hela signalen (inklusive differentialekvationer) användas
 - Alternativt: om nätet kan förenklas mha någon lämplig approximation

Varför uppdelning i AC och DC

- DC är konstant
 - Konstant => derivata 0
 - Derivata = 0 => komponenter med tidsberoende egenskaper kan förenklas
 - Kapacitans: strömmen 0 för DC
 - Induktans: spänningen 0 för DC
- AC är allt annat
 - Kan fourierserieuppdelas i olika frekvenskomponenter
 - Exempel 4-kantsvåg
 - Summa av många olika stora multipler av grundtonen

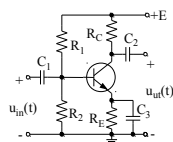
Namngivning av storheter

- Total signal i_A
 - Liten bokstav på typ, stor bokstav på index
- Likström I_A
 - Stor bokstav på typ och index
- Växelström i_a
 - Liten bokstav på typ och index
- Liten förändring I_a
 - Stor bokstav på typ, liten på index

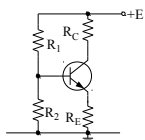
Allmänt om AC och DC scheman

- Likströmsschema (DC)
 - Nollställ AC-källor
 - Kortslut växelspänningskällor
 - Ta bort växelströmskällor (avbrott)
 - Ta bort kondensatorer (avbrott för DC)
 - Kortslut induktanser (kortslutning för DC)
- Växelströmsschema (AC)
 - Nollställ DC-källor
 - Kortslut likspänningskällor
 - Ta bort likströmskällor (avbrott)
 - Kortslut kondensatorer som är stora
 - Ta bort induktanser (avbrott för AC)

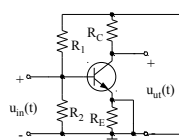
Exempel



Likströmsschema (DC)



Växelströmsschema (AC)



LiU

Linjärisering av olinjära komponenter

- Hur hantera olinjära modeller
 - Dioder, transistorer etc.
- Separera modellen i två delar
 - En för likspänning och likström
 - En för växelspanningar och växelströmmar
- Växelspänningsmodellen beskriver hur små förändringar av strömmar och spänningar påverkas av komponenten
 - Utgår från likströmsnivån (om U-I diagram används)
- Fungerar bara för små ändringar (småsignal)
 - Just större signal, just större fel

LiU

Växelströmsschema

- Beskriver vad som händer med alla varierande signaler
- För linjära element (resistanser) är likströmspunkten inte viktig
- För olinjära komponenter är det viktigt att veta likströmsvärden
 - Växelströmmar räknas med 0 i likströmspunkten
- Kan förenkla kretsen mycket tack vare många komponenter kan tas bort
 - Speciellt om L och C stora

LiU

Linjärisering av enkel diodkrets

- Exempel: Hur mycket förändras strömmen av en liten störning på spänningen
- Lysdiod i serie med en resistans, växlande inspänning med DC-offset, lysdiodens karakteristik känd (U-I diagram)
- Sökt: strömmens maximala storlek genom dioden
- Dioden kan beräknas som DC-krets
- Liten ändring av stor signal kan beskrivas som DC + ändring
- Taylorutveckling av diodkurvan
 - Ignorera alla termer förutom konstant och linjär term

LiU

Ekvivalent småsignalschema

- AC-schema med olinjära komponenter ersatta med 1:a ordningens linjära ekvivalent
- Diod som en resistor
 - Ersättningsresistans är liten (liten spänningsändring ger stor strömändring)
 - Ersättningsresistansen beror på lutningen av kurvan för likström
 - Beror på var likströmpunkten ligger
- Transistor är en mer avancerad krets
 - bas mot emitter ser ut som diod
 - Strömförstärkning av basström

LiU

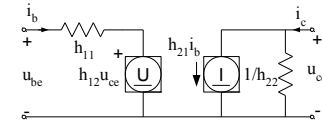
Linjärisering av bipolar transistor, forts.

- h-parametrar varierar med I_B , U_{BE} , I_C och U_{CE} !

- Dock ganska konstanta i ett stort intervall

- h-parametrar

- Varje parameter bestäms som derivatan av transistorens karakteristik i likströmpunkten

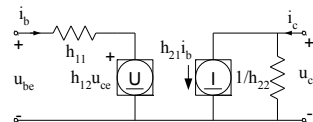


$$h_{11} = \left. \frac{\delta u_{BE}}{\delta i_B} \right|_{U_{BE}, U_{CE}, I_C} \quad h_{12} = \left. \frac{\delta u_{BE}}{\delta u_{CE}} \right|_{U_{BE}, U_{CE}, I_C} \quad h_{21} = \left. \frac{\delta i_C}{\delta i_B} \right|_{U_{BE}, U_{CE}, I_C} \quad h_{22} = \left. \frac{\delta i_C}{\delta u_{CE}} \right|_{U_{BE}, U_{CE}, I_C}$$

LiU

Linjärisering av bipolar transistor

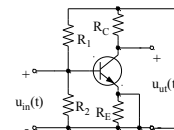
- Strömförstärkning nästan likadan, insignal ser resistans etc.
- h-parametrar
 - Baserat på förenklad modell
 - $u_{be} = h_{11} i_b + h_{12} u_{ce}$
 - $i_c = h_{21} i_b + h_{22} u_{ce}$
- Engelska termer
 - h_{11} inimpedans : h_{ie} input impedance
 - h_{12} återkopplingsfaktor : h_{re} reverse feedback
 - h_{21} strömförstärkning : h_{fe} forward current amplification
 - h_{22} utadmittans : h_{oe} output admittance



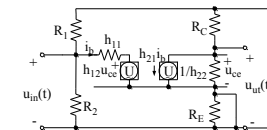
LiU

Litet exempel, fortsättning

- Först AC-schema, sedan ekvivalent småsignalschema (ESSS)
- Ersätt transistorsymbolen med ekvivalent småsignalversion av transistoren



AC



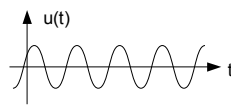
ESSS

- Från ESSS kan sedan förändringen på utgången beräknas
 - Kommer senare i kursen

LiU

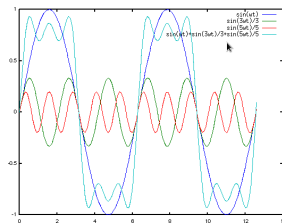
Introduktion stationär växelström

- Kontinuerligt ändrande spänningsnivåer
 - Exempel: spänning i vägguttaget
 - Sinusformad spänning med viss frekvens



- Kommer bara analysera sinusformad växelspänning

- Andra vågformer kan ses som summan av flera olika växelspänningskomponenter (fourieranalys)
- Exempel: 3 sinusvågor adderas till något liknande en fyrkantsvåg
- Varje frekvens kan hanteras separat (Superposition!)



LiU

Matematisk beskrivning

- Sinusformad växelspänning med frekvens f

$$u(t) = \hat{U} \sin(\omega t + \varphi)$$

- Toppvärde $\hat{U}$ [V]
- Frekvens f [Hz]
- Periodtid T [s]

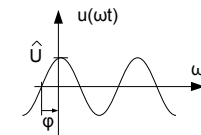
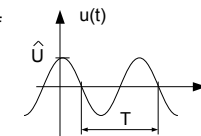
$$T = \frac{1}{f}$$

- Vinkelfrekvens ω [rad/s]

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- Fasvinkel φ [rad]

- Bilden visar positiv fasvinkel!

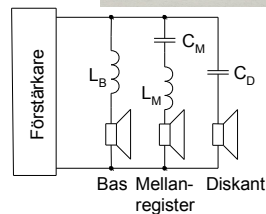


LiU

Ytterligare exempel: Delningsfilter

- Högtalare har flera högtalarelement
- Varje element hanterar var sin del av ljudet
 - Baselement: låga frekvenser
 - Mellanregisterelement: mellanhöga frekvenser
 - Diskant: höga frekvenser
- Bara en signal in: förstärkarens signal
- Enkelt exempel
 - En möjlig implementering
 - Kondensatorer och induktorer delar upp signalen i olika frekvensområden

Källa hifiklubben.se



LiU

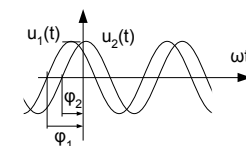
Fasskillnader mellan spänningar

- Enligt bild: $\varphi_1 > \varphi_2$

$$u_1(t) = \hat{U}_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$u_2(t) = \hat{U}_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

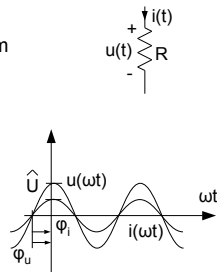
Definition:

spänning $u_1(t)$ ligger före $u_2(t)$ om $\varphi_1 > \varphi_2$ 

LiU

Resistans med växelspanning

- $u(t) = R \cdot i(t)$
- Exakt samma beteende som för likström
- $\hat{U} = R \cdot \hat{I}$
- $\phi_u = \phi_i$



LiU

Kapacitans med växelspanning

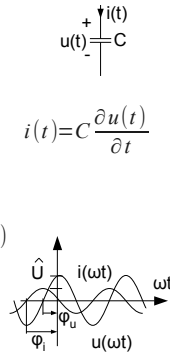
- Strömmen storlek beroende på spänningsförändring och storlek på C
- Antag $u(t)$ given, vad blir strömmen?

$$i(t) = C \frac{\partial u(t)}{\partial t}$$

$$i(t) = \hat{I} \sin(\omega t + \phi_i) = C \frac{\partial \{\hat{U} \sin(\omega t + \phi_u)\}}{\partial t} = \\ = C \hat{U} \omega \cos(\omega t + \phi_u) = \omega C \hat{U} \sin(\omega t + \phi_u + \frac{\pi}{2})$$

$$\Rightarrow \hat{I} = \omega C \hat{U} \quad \phi_i = \phi_u + \frac{\pi}{2} \Rightarrow \phi_u = \phi_i - \frac{\pi}{2}$$

- Strömmen kommer $\pi/2$ före spänningen



LiU

Induktans med växelspanning

- Spänningen beror på strömförändringen och storlek på induktans (L)
- Antag $i(t)$ känd, vad blir $u(t)$?

$$u(t) = L \frac{\partial i(t)}{\partial t}$$

$$u(t) = \hat{U} \sin(\omega t + \phi_u) = L \frac{\partial \{\hat{I} \sin(\omega t + \phi_i)\}}{\partial t} = \\ = L \hat{I} \omega \cos(\omega t + \phi_i) = \omega L \hat{I} \sin(\omega t + \phi_i + \frac{\pi}{2})$$

$$\Rightarrow \hat{U} = \omega L \hat{I} \quad \phi_u = \phi_i + \frac{\pi}{2}$$

- Spänningen kommer $\pi/2$ före strömmen



LiU

Komponentegenskaper

Resistans	Kapacitans	Induktans
$u(t) = R i(t)$	$i(t) = C \frac{\partial u(t)}{\partial t}$	$u(t) = L \frac{\partial i(t)}{\partial t}$
Likströmmässigt beteende	Likströmmässigt beteende	Likströmmässigt beteende
Resistans	avbrott	kortslutning
Växelströmmässigt beteende	Växelströmmässigt beteende	Växelströmmässigt beteende
$\hat{U} = R \hat{I}$	$\hat{U} = \frac{1}{\omega C} \hat{I}$	$\hat{U} = \omega L \hat{I}$
$\phi_u = \phi_i$	$\phi_u = \phi_i - \frac{\pi}{2}$	$\phi_u = \phi_i + \frac{\pi}{2}$

LiU

Additioner av spänningar

- För momentanvärden gäller vanliga lagar

- Ohms lag, Kirchoffs ström och spänningslagar

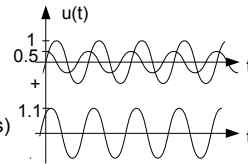
- Exempel addition av spänningar (olika fas)

$$u_1(t) = 1 \sin(\omega t)$$

$$u_2(t) = 0.5 \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) \quad // \text{ekvationerna 2.33 - 2.35 i boken} \quad // = 1.11 \sin(\omega t + 0.46)$$

- Måste ta hänsyn till fasvinkel!
- Summering av strömmar och spänningar ger sinusformade resultat med samma frekvens men annan amplitud och fas



LiU

Visardiagram som komplexa tal

- Polär form motsvarar visare (längd + vinkel)
- Beskriv varje storhet som komplext tal

$$U_1 = \hat{U}_1 e^{j\phi_{u1}} = \hat{U}_1 \cos(\phi_{u1}) + j \hat{U}_1 \sin(\phi_{u1})$$

$$U_2 = \hat{U}_2 e^{j\phi_{u2}} = \hat{U}_2 \cos(\phi_{u2}) + j \hat{U}_2 \sin(\phi_{u2})$$

- Byter komplexa enheten i till j ($j^2 = -1$)

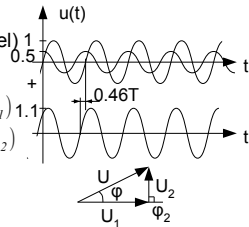
$$U = U_1 + U_2 =$$

$$= \hat{U}_1 (\cos(\phi_1) + j \sin(\phi_1)) + \hat{U}_2 (\cos(\phi_2) + j \sin(\phi_2)) =$$

$$= \hat{U}_1 \cos(\phi_1) + \hat{U}_2 \cos(\phi_2) + j(\hat{U}_1 \sin(\phi_1) + \hat{U}_2 \sin(\phi_2)) = \hat{U} e^{j\phi}$$

$$U = \sqrt{(\hat{U}_1 \cos \phi_1 + \hat{U}_2 \cos \phi_2)^2 + (\hat{U}_1 \sin \phi_1 + \hat{U}_2 \sin \phi_2)^2}$$

$$\phi = \arctan \left(\frac{\hat{U}_1 \sin \phi_1 + \hat{U}_2 \sin \phi_2}{\hat{U}_1 \cos \phi_1 + \hat{U}_2 \cos \phi_2} \right) \pm \pi \quad \leftarrow \text{OBS!!}$$



LiU

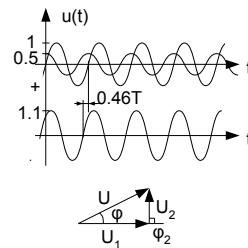
Visardiagram för beräkning

- Tag ögonblicksbild vid $t = 0$

- Rita varje storhet som visare toppvärdet som längd och med fasvinkel
- Inte $u(t)$ längre!

- Lägg ihop vektorerna grafiskt

- Resultatvektor visar summaspänningen



LiU