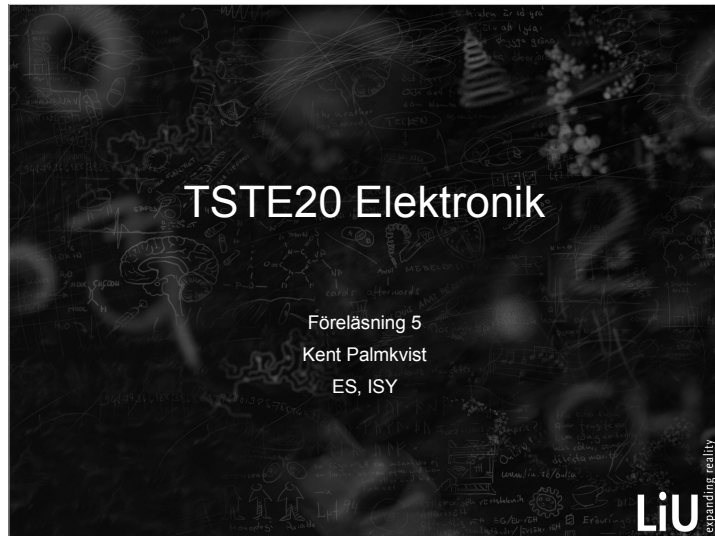




TSTE20 Elektronik

Föreläsning 5
Kent Palmkvist
ES, ISY

LiU

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.
- Deadline Fredag 19/12 kl 15.30.
 - Lite olika datum angivna tidigare...
 - 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)
- Inlämningsuppgift 1 likström
 - Kan hämtas hos lektionsassistenterna (tillsammans med uppgift 2) alternativt hos Kent.
- 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

- Kort sammanfattning så här långt
 - Tidsberoende samband, Metoder, olinjära element
- Kondensatorn
 - Komponenter
 - Upp och urladdningsförlopp
 - Användning
 - Integrerande/deriverande kretsar
- Induktans
 - Komponent
 - Magnetisering och avmagnetisering
 - Användning

LiU

Samband

- Element
 - Spänningskällor
 - Strömkällor
 - Resistanser
- Grundläggande
 - Ohms lag
 - KCL (Kirchoffs strömlag)
 - KVL (Kirchoffs spänningslag)
- Följdsatser
 - Tvåpolssatsen

LiU

Olinjära element

- Dioden
 - Framspänningsfall 0.7 V för kiseliod
- Transistorn
 - Bipolära, $U_{BE} = \pm 0.7$ V för kiseltransistorer
 - Fälteffekt (JFET, MOSFET)
- Operationsförstärkaren
 - Egentligen ett större system med många transistorer och resistanser

LiU

Metoder

- Nodanalys
 - Förenkla schema
 - Eliminera ensamma spänningskällor
 - Jorda en nod
 - Inför nodpotentialer
 - Inför referensriktningar på strömmar
 - Ställ upp en ekvation för strömmar i varje nod
 - Lös ekvationssystemet
- Strukturerad

LiU

Transistorns likströmsegenskaper i aktivt område (som förstärkare)

▪ NPN

$$I_C = \beta I_B$$

$$U_{BE} = 0.7 \text{ V (för kisel)}$$

$$U_{CE} > U_{CEsat}$$

$$I_B, I_C, U_{CE} \text{ positiva}$$



▪ PNP

$$I_C = \beta I_B$$

$$U_{BE} = -0.7 \text{ V (för kisel)}$$

$$U_{CE} < U_{CEsat}$$

$$I_B, I_C, U_{CE} \text{ negativa}$$



▪ N-kanal FET

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$U_{DS} > U_{DSsat}$$

$$I_D, U_{DS} \text{ positiva}$$

$$U_{GS} \text{ negativ}$$



▪ P-kanal FET

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$$

$$U_{DS} < U_{DSsat}$$

$$I_D, U_{DS} \text{ negativa}$$

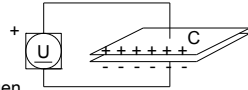
$$U_{GS} \text{ positiv}$$



LiU

Ytterligare komponenter: Kondensatorn

- Princip för komponenten kondensator
 - Laddning lagras på två ytor bygger samtidigt upp en spänning
 - Laddningsmängden bestämmer spänningen
 - $Q = CU$
- Kapacitans C
 - Bestäms av ytornas storlek, avstånd mellan dem, dielektrikum
 - $C = \epsilon \frac{A}{d}$
 - Enhet farad [F]
 - För likström är kapacitansen ett avbrott



LiU

Komponenten kondensator

- Kapacitans implementeras på olika sätt
 - Många tunna lager (t ex metallfilm på var sin sida av en plastfilm) parallellkopplade
 - Elektrolyt där oxidlager mot en metall isolerar (blir väldigt tunt lager)
 - Polariserade (kräver + på en av polerna)
- Vanliga storlekar från $10^{-12} \text{ F} = 1 \text{ pF}$ upp till enstaka Farad
 - $1 \text{ F} =$ två ytor på 1 mm avstånd (luft emellan) som är $10 \times 10 \text{ km}$
 - Vanligen $< 10 \text{ mF}$

LiU

Serie och parallellkoppling av kondensatorer

- Parallellkoppling
 - Varje kapacitans får samma spänning som övriga ($Q = CU$)
 - Total laddning blir summan av laddning i alla kapacitanser
- $$C_{tot} = \frac{Q_{tot}}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} + \dots + \frac{Q_i}{U} = C_1 + C_2 + \dots + C_i = \sum C_i$$
- Seriekoppling
 - Samma laddning i varje kapacitans (samma ström genom alla)
 - Total spänning summan av spänning över kapacitanserna

$$C_{tot} = \frac{Q}{U_{tot}} = \frac{Q}{\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \dots + \frac{Q}{C_i}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_i}} = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_i}}$$

LiU

Ändring av spänning över kapacitans

- Ändring av spänning kräver flytt av laddning
 - $U = Q/C$
 - Halvera spänning kräver att hälften av laddningen flyttas
 - En ström behövs för att ändra spänningen över kapacitansen
 - Svårt ändra spänningen över en kapacitans
 - Ström under viss tid motsvarar laddning!
 - ström = laddning per tidsenhet

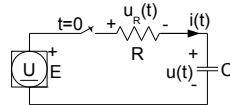
$$UC = Q \quad \int_0^T i(t) dt = Q$$

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

LiU

RC-länk uppladdning

- Tidsberoende ström och spänning
- Enkelt fall att börja med
 - $u(t) = 0$ vid $t=0$



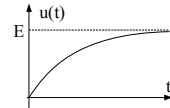
$$KVL: E - u_R(t) - u(t) = 0$$

$$E = R i(t) + u(t)$$

$$RC \frac{\partial u(t)}{\partial t} + u(t) = E$$

Differentialekvation. Lösning (om $u(0) = 0$)

$$u(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$



LiU

RC-länk urladdning

- initial spänning $u(0) = E$

KVL:

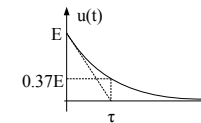
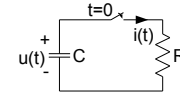
$$u(t) - i(t)R = 0$$

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

$$u(t) = E e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\tau = RC$$

- 0.37E kvar i kapacitansen vid $\tau = RC$



LiU

RC-länk uppladdning

$$u(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

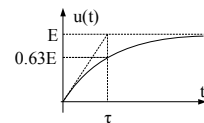
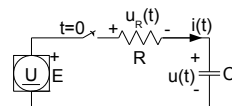
- Motivation till kurvform

- Ökande spänning över kapacitans ger minskade spänning över resistor
- Minskade resistorspänning ger minskad ström
- Minskad ström ger minskad spänningsökning över kapacitans

- Produkten RC är en tid

$$\tau = RC \quad \left[\frac{U}{I} \cdot \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{I} = t \right]$$

- Spänningen är $E(1 - e^{-1}) = 0.63E$ vid tidpunkten τ



LiU

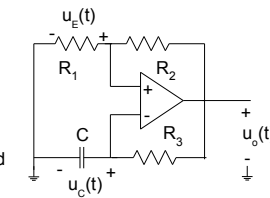
Exempel på tillämpning

- Oscillator, OP-baserad

- Operationsförstärkare fungerar som komparator precis som på 1:a laborationen
- RC länk på - ingång
- Spänningsdelare på + ingång mot jord
- Spänningsmatning +E, -E

- $u_E(t)$ är en fyrkantssvåg

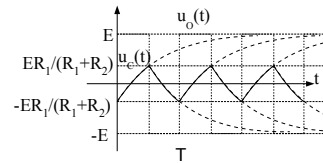
- $u_E(t) = E R_1 / (R_1 + R_2)$ när +ingång högre potential än -ingång
- $u_E(t) = -E R_1 / (R_1 + R_2)$ när +ingång lägre potential än -ingång
- Spänning $u_C(t)$ börjar laddas upp/ur mot utgångsspänningen $u_O(t)$



LiU

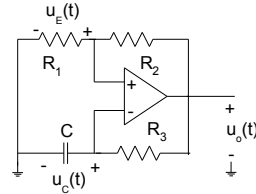
Exempel oscillator

- Periodtid för fyrkantsvågen ut bestäms av uppladdningstid för C



$$u_c(t) = E \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \left(1 - e^{-\frac{t}{R_3 C}}\right) - E \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad 0 < t < T/2$$

$$u_c(T/2) = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



LiU

Bestämning av periodtid

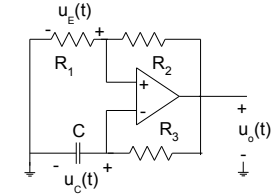
$$E \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \left(1 - e^{-\frac{T/2}{R_3 C}}\right) = 2 E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{T/2}{R_3 C}}}\right) = \frac{2 E \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{E \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)} = \frac{2 R_1}{2 R_1 + R_2}$$

$$e^{\frac{T/2}{R_3 C}} = \frac{1}{1 - \frac{2 R_1}{2 R_1 + R_2}} = \frac{2 R_1 + R_2}{R_2}$$

$$\frac{T/2}{R_3 C} = \ln\left(\frac{2 R_1 + R_2}{R_2}\right)$$

$$T = 2 R_3 C \ln\left(\frac{2 R_1 + R_2}{R_2}\right)$$

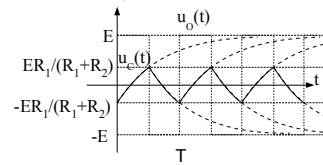


LiU

Bestämning periodtid oscillator

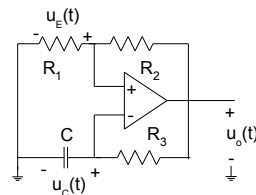
- Vid halva periodtiden

- $u_c(T/2) = u_c(T/2)$



$$u_c(T/2) = E \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \left(1 - e^{-\frac{T/2}{R_3 C}}\right) - E \frac{R_1}{R_1 + R_2} = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$E \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \left(1 - e^{-\frac{T/2}{R_3 C}}\right) = 2 E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



LiU

Bestämning av frekvens för oscillator

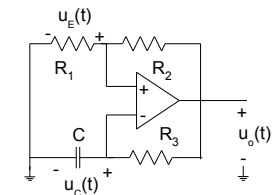
- Periodtid för fyrkantsvåg

$$T = 2 R_3 C \ln\left(\frac{2 R_1 + R_2}{R_2}\right)$$

- Lätt justera med ändrat R_3

- Dålig noggrannhet

- R och C +/- 5% => ingen exakt tid
- Fungerar bra där exakt tid inte viktig
 - Batteriladdare
 - Enklare timers



LiU

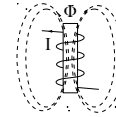
Fyrkantsvåg genom RC-länk (spänning över kapacitans)

- Tidskonstant vs periodtid
 - Lång periodtid (låg frekvens)
 - Spänningen hinner byggas upp så strömmen går till nästan 0
 - Fyrkantsvågen börjar likna sågtänder (skarp start på flank, med avrundad avslutning)
 - Kort periodtid (hög frekvens)
 - C hinner inte laddas upp eller ur så det märks, dvs spänning över R nästan konstant i varje halvperiod
 - Nästan konstant spänning => nästan konstant ström
 - Spänning över C är integral av ström
 - Kretsen visar integralen av spänningen in
 - Integrerande länk

LiU

Ytterligare komponenter: Induktor

- Princip för komponenten induktor
 - Ström genom en spole bygger upp ett magnetiskt flöde Φ .
 - Magnetflödets storlek proportionellt mot strömmen storlek



$$\Phi = L I$$

- Induktans L
 - Bestäms av antal varv, material i kärnan etc.
 - Enhet Henry [H]
- För likström är induktans en kortslutning



LiU

Fyrkantsvåg genom RC-länk (spänning över resistans)

- Tidskonstant vs periodtid
 - kort periodtid (hög frekvens)
 - Spänningen hinner ändras innan spänningen över C ökat
 - Fyrkantsvågen går igenom nästan obehindrat (lutande top och botten på kurvan)
 - lång periodtid (låg frekvens)
 - C hinner laddas upp och ur, dvs spänning över R nästan 0 i under större delen av varje halvperiod
 - Förändring av insignal ger ström från C => spänning över R bara vid förändring
 - Spänning över R är beroende av strömmen från C
 - Strömmen är derivatan av spänningen över C
 - Kretsen visar derivatan av spänningen in
 - Deriverande länk
- Kommer testas i lab 3

LiU

Ändring av ström genom induktans

- Ändring av ström kräver ändring av magnetflöde
- Induktionslagen
 - En spänning induceras för att motverka förändringen av magnetflödet i induktorn
- Inducerad spänning proportionell mot storleken på förändringen av magnetflödet, vilket även motsvarar förändring av ström



$$I L = \Phi$$

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

- En spänning behövs för att ändra ström genom induktans
 - Svårt ändra ström genom en induktans

LiU

Enkel koppling med induktor

- Antag $i(t) = 0$ vid $t=0$
- Steg på spänning vid $t=0$

$$KVL: E - u_R(t) - u(t) = 0$$

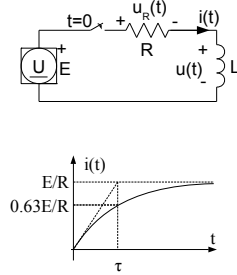
$$E = R i(t) + u(t)$$

$$L \frac{\partial i(t)}{\partial t} + R i(t) = E$$

$$\frac{L}{R} \frac{\partial i(t)}{\partial t} + i(t) = \frac{E}{R}$$

- Lösning av differentialekvation

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$



LiU

Komponenter så här långt

- Resistans

$$u(t) = R i(t)$$



- Kapacitans

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



- Induktans

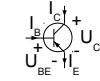
$$u(t) = L \frac{\partial i(t)}{\partial t}$$



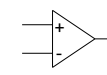
- Diod



- Transistor



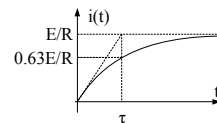
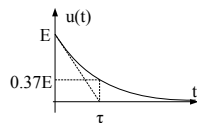
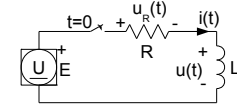
- Operationsförstärkare



LiU

Enkel koppling med induktor, forts.

- $u(t) = E - u_R(t) = E - i(t) R$



LiU