

Tentamen läsåret 24/25
Elektriska Kretsar och System ESS117
Elektriska Nät och System ESS116

Examinator: Jan V. Grahn

Tisdag 7 januari 2025 kl 08:30-12:30

Salstentamen

Tentamen omfattar sex beräkningsuppgifter. Fullständiga beräkningar måste redovisas. Korrekt och välmotiverad lösning med svar ger maximalt 3 poäng (p).

Ange uppgiftsnummer och personlig kod överst på varje papper,

Skriv endast på ena sidan av papperet. Blanda aldrig olika uppgifter på samma ark.

Rättning sker med röd penna, dvs rött är ej tillåten färg i lösningar.

Tillåtna hjälpmedel som får medtas till tentamen:

- Physics Handbook
- Extra formelsamling Elektriska kretsar och system ESS117
- Chalmersgodkänd räknare
- Beta Mathematics Handbook

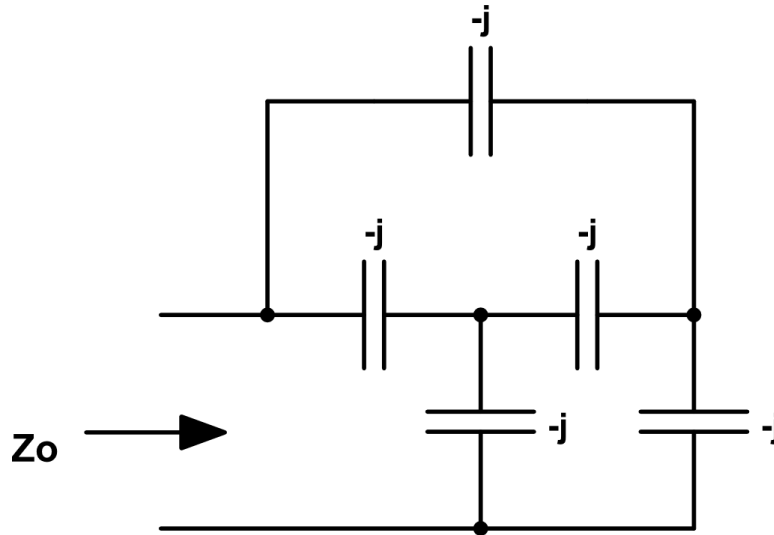
För godkänt krävs 8 p.

Betygsgränser: Minst 8 p ger betyg 3, minst 12 p betyg 4 och minst 15 p betyg 5. Poäng inkluderar eventuell bonus från duggan innevarande läsår.

Förfrågningar: Examinator Jan Grahn, Mikroteknologi och Nanovetenskap, Chalmers tekniska högskola. Mobil 0730-34 62 99/e-post jan.grahn@chalmers.se

Tentamen och lösningsförslag anslås dagen efter tentamenstillfälle på Canvas tentamensmodul. Resultat meddelas i Ladok senast tre veckor efter tentamenstillfälle. Vill du se din rättade tenta, kontakta gruadmin.mc2@chalmers.se från din chalmers-student epost-adress.

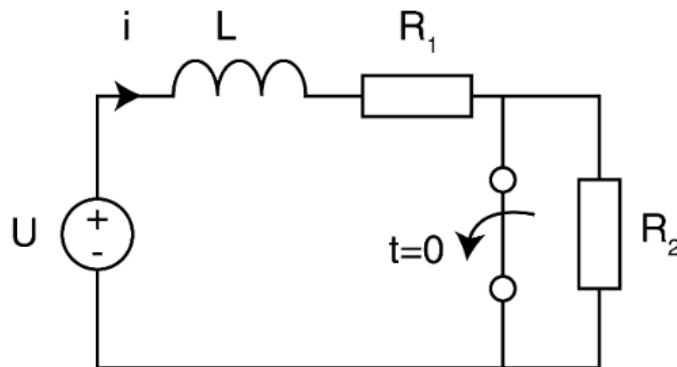
Lycka till!

Uppgift 1.Beräkna Z_o .**Uppgift 2.**

Kretsen nedan har varit sluten tillräckligt länge för att uppnå *steady state* (dvs stabilt tillstånd i tid).

Vid $t = 0$ öppnas brytaren. Beräkna strömmen $i(t)$ då $t > 0$?

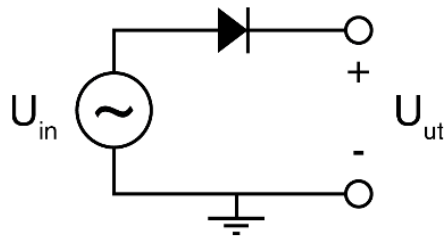
$R_1 = 25 \, \Omega$, $R_2 = 100 \, \Omega$, $L = 10 \, H$, $U = 125 \, V$.



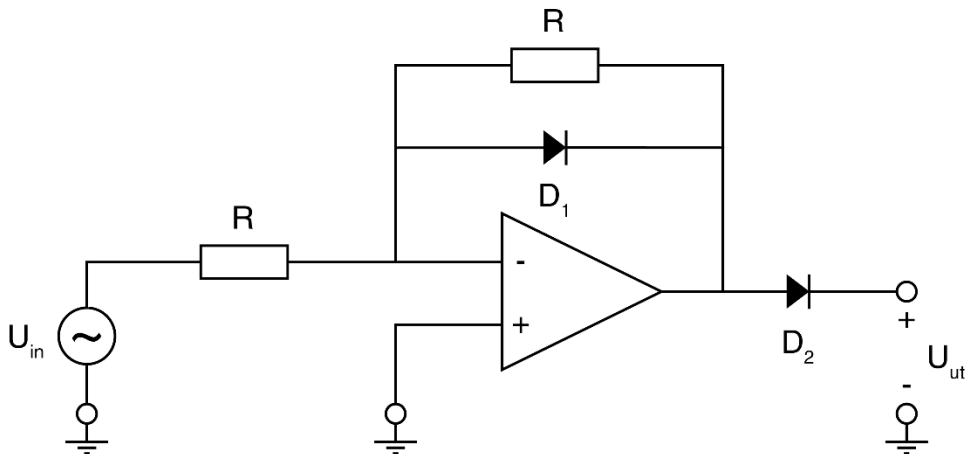
Uppgift 3.

Om man vill halvvågslikrikta en växelströmskälla så är den enklaste lösningen att använda diodkretsen nedan.

- Plotta U_{ut} om $U_{in} = 10\sin(60t) \text{ V}$. Dioden är ideal med $V_T = 0.7 \text{ V}$.
- Vad är det för problem med denna likriktningskrets? (tips: vad händer om växelströmmen har låg amplitud?)



- För att lösa problemet med kretsen ovan så kan man använda en så kallad precisionlikriktare enligt kretsen nedan. Plotta U_{ut} om $U_{in} = 0.5\sin(60t) \text{ V}$. Dioderna är ideala med $V_T = 0.7 \text{ V}$ och op-ampen är ideal.

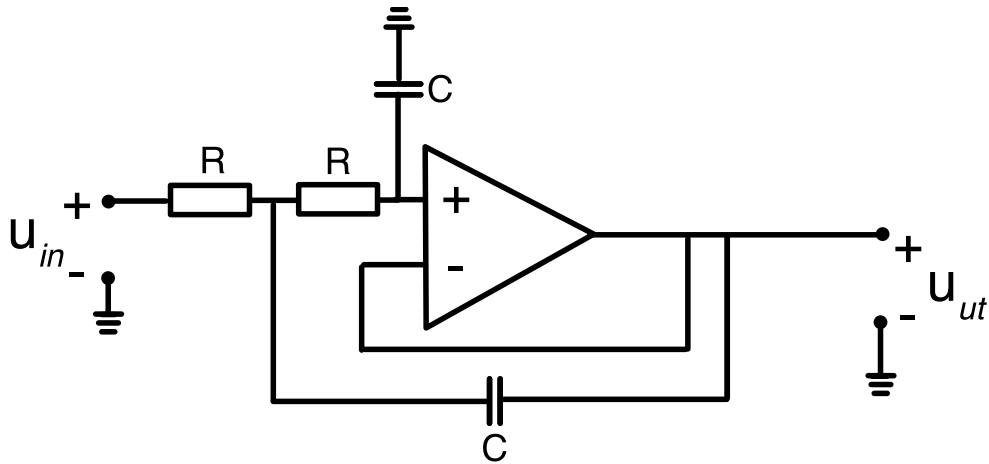


Uppgift 4.

Ett aktivt filter är uppbyggt enligt schemat nedan. Beräkna överföringsfunktionen u_{ut}/u_{in} samt bestäm vilken typ av filter det är. Beräkna gränsfrekvensen.

Antag ideal operationsförstärkare.

$R=75\ \Omega$, $C=50\ \text{nF}$



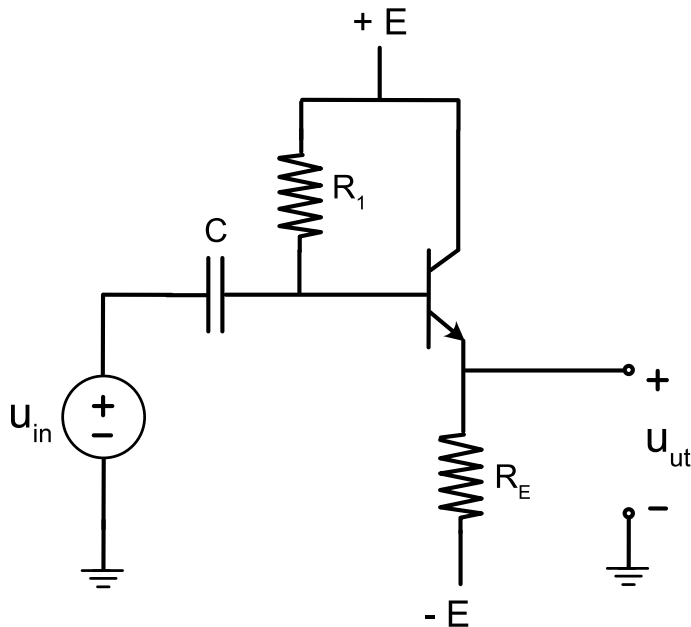
Uppgift 5.

Kretsen nedan är en så kallad emitterföljare och används då man vill matcha impedanser där den resulterande förstärkningen ej är viktig. Den ingående kapacitansen antas vara stor.

$$E = 10 \text{ V}, R_1 = 130 \text{ k}\Omega, \beta_{DC} = \beta_{AC} = 150, U_{BE} \approx 0.7 \text{ V}, r_b \approx 0, r_0 \approx \infty$$

- Bestäm värdet på R_E så att u_{ut} är noll när u_{in} är konstant (dvs DC-spänning).
- Vad blir småsignalförstärkningen u_{ut}/u_{in} för arbetspunkten i a).

Tips (ur formelsamling): $g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T}$, $g_m r_\pi = \beta_{ac}$



Uppgift 6.

NMOSFET i förstärkarsteget nedan har följande data:

Tröskelspänning = 2 V

$\lambda = 0$

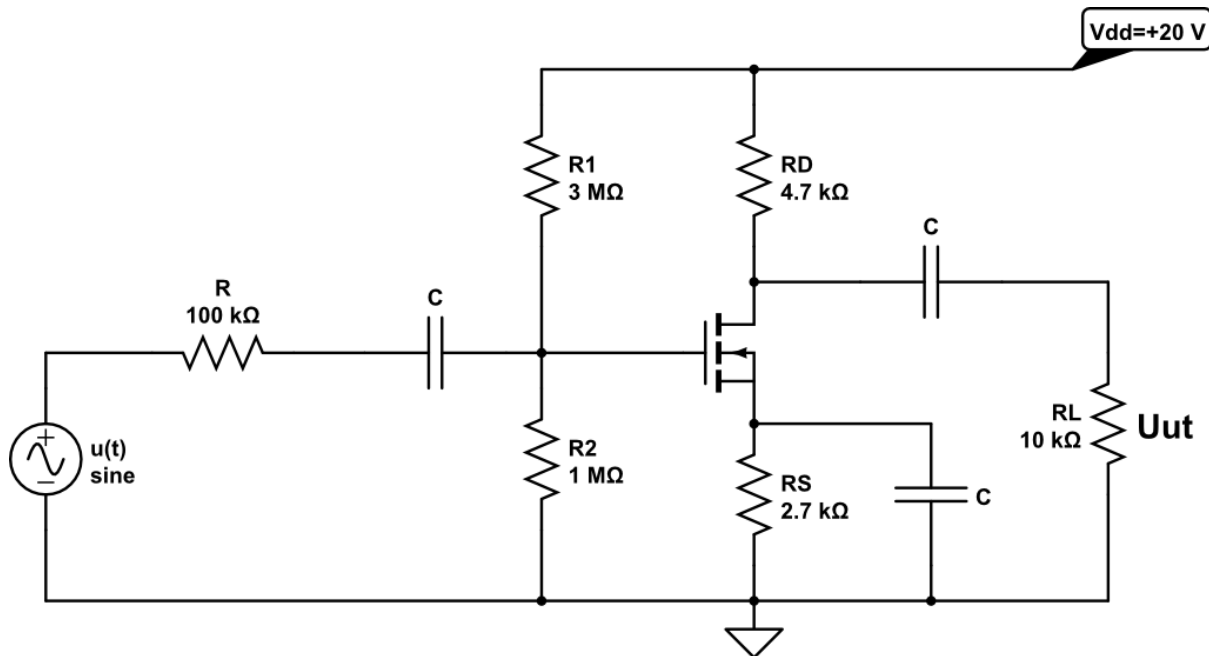
$L = 10 \mu\text{m}$

$W = 400 \mu\text{m}$

$\mu_n C_{ox} = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2$

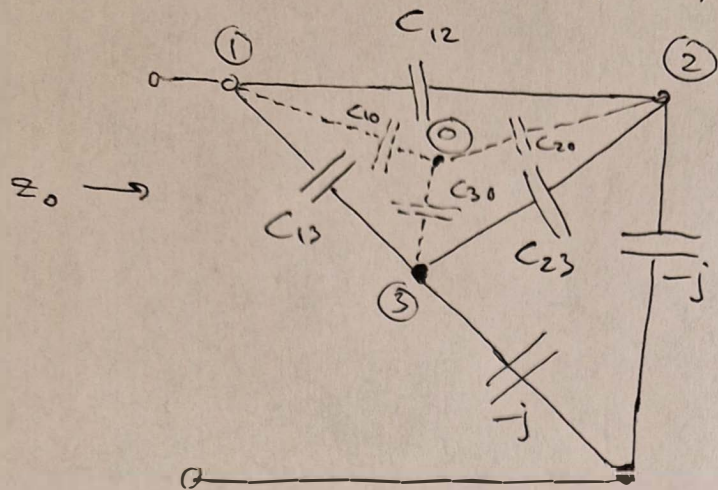
För inkopplingen nedan gäller att transistorns viloström är 0.784 mA när NMOSFET arbetar i mättnadsområdet.

Beräkna utspänningen U_{ut} om inspänningen $u(t) = 50\sin(\omega t)$ mV.
Kapacitanserna är stora.



①

Numrera noder ①, ②, ③. Rita om nätet:



För transformation

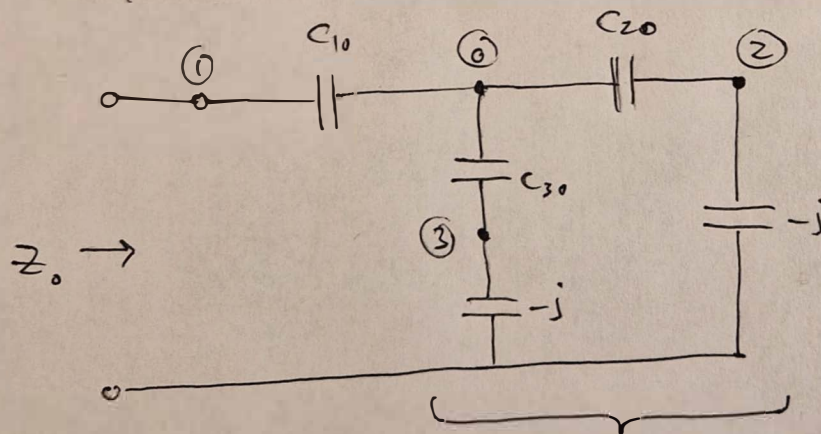
$\Delta \rightarrow Y$.

Ny nod ④

Ph. Handbook $\Rightarrow$

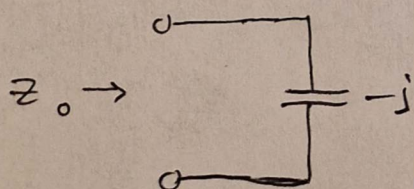
$$\begin{cases} C_{10} = \frac{C_{12}C_{13}}{C_{12}+C_{13}+C_{23}} = \frac{(-j) \cdot (-j)}{-j-j-j} = -\frac{j}{3} \\ C_{20} = -\frac{j}{3} \\ C_{30} = -\frac{j}{3} \end{cases}$$

Nytt nät:



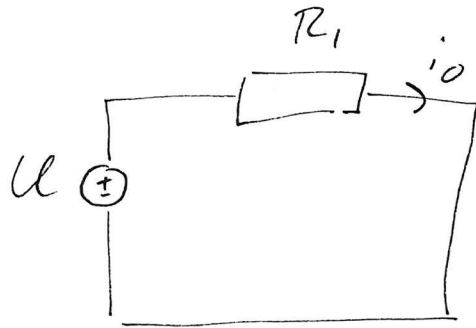
$$= \left(-\frac{j}{3} - j \right) \parallel \left(-\frac{j}{3} - j \right) = -\frac{4}{3}j \parallel -\frac{4}{3}j = -\frac{2}{3}j$$

dvs



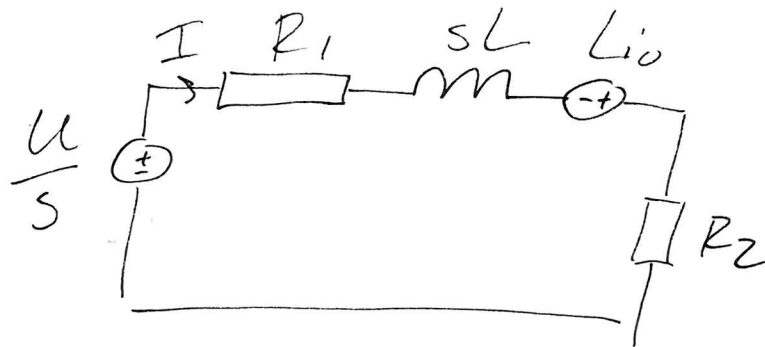
□

2. $t < 0$



$$i_o = \frac{U}{R_1} = \frac{125}{25} = 5A$$

$t \geq 0$ & Laplace



$$\Rightarrow \text{KVL: } \frac{U}{s} - R_1 I - sL(I + Li_o) - R_2 I = 0$$

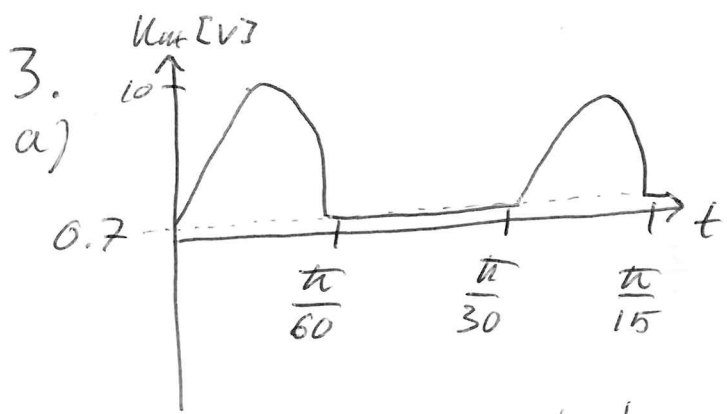
$$\Rightarrow I = \frac{\frac{U}{s} + Li_o}{R_1 + R_2 + sL}$$

$$\Rightarrow \text{partial fraction: } I = \frac{125}{s(125 + s10)} + \frac{50}{125 + s10}$$

$$\Rightarrow \text{PAU: } I = \frac{1}{s} - \frac{10}{125 + s10} + \frac{50}{125 + s10}$$

$$\Rightarrow I = \frac{1}{s} + \frac{40}{125 + s10}$$

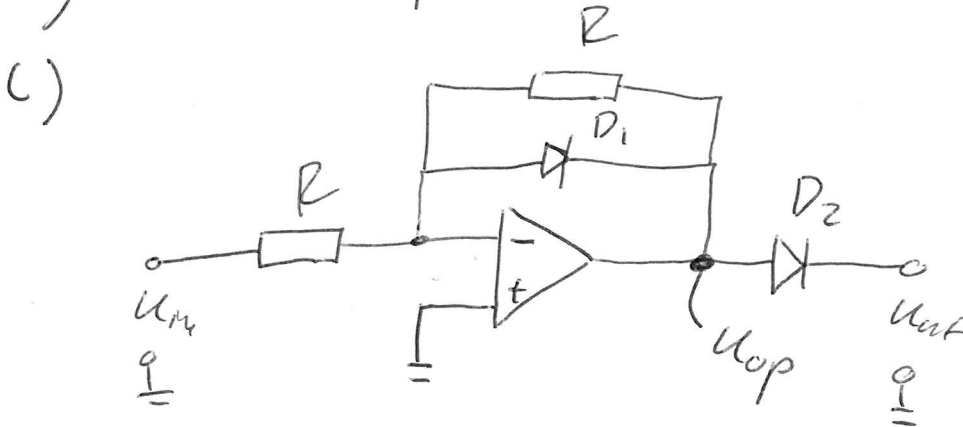
$$\Rightarrow i(t) = \mathcal{L}^{-1}[I] = 1 + 4e^{-12.5t} A !$$



Halvrätslikviktning

Men $U_{ut} = 0$ då $U_m < 0.7V$!

b) Med en amplitud $< 0.7V$ så blir $U_{ut} = 0$



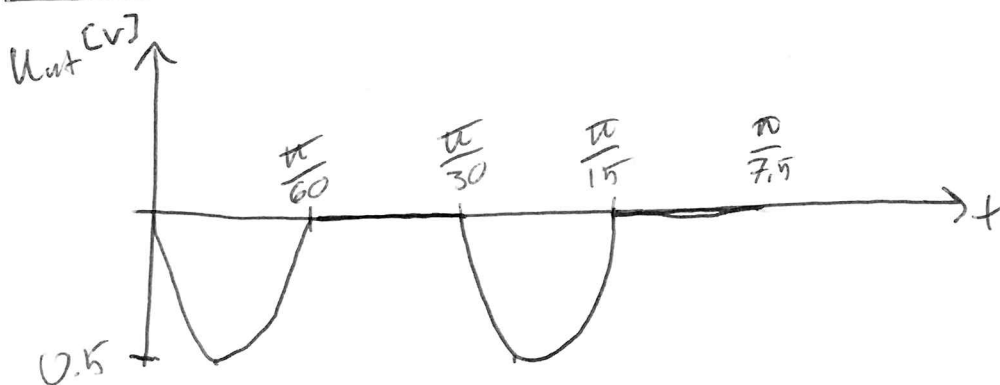
Då $U_m < 0V \Rightarrow U_{op} > 0V$. En ideal op-amp har oändligt stor open-loop gain, dvs en liten negativ insignal förstärks & inverteras till $U_{op} \Rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} D_1 \text{ backspänd} \\ D_2 \text{ framspänd} \end{array} \right.$

$\Rightarrow$ kretsen är inverterande op-amp

$$\Rightarrow H = -\frac{R}{R} = -1 \Rightarrow U_{ut} = -U_m$$

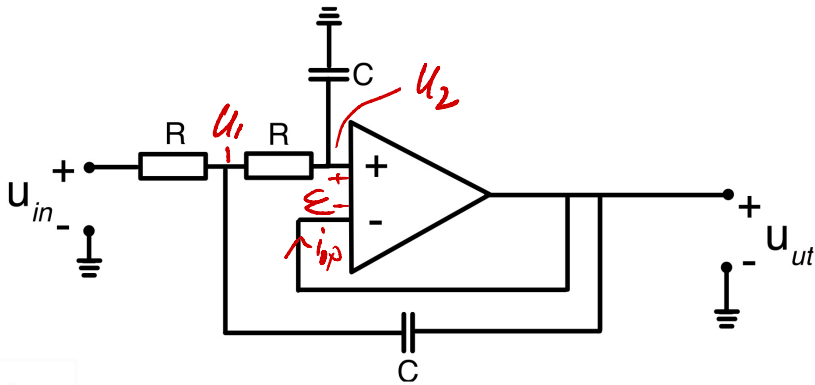
Om $U_m > 0V \Rightarrow U_{op} < 0V \Rightarrow$ omvänt läge

$\Rightarrow D_2$ backspänd $\Rightarrow U_{ut} = 0V$



$$U_{ut} = \begin{cases} -U_m & \text{då } U_m > 0 \\ 0 & \text{då } U_m < 0 \end{cases}$$

4.



Ideal op-amp
 Nej återkoppl. } $\varepsilon = 0$
 och $i_{ip} = 0$

$$\text{KCL i pkt 2} \Rightarrow \frac{u_1 - u_2}{R} = \frac{1}{sC} \quad (I)$$

$$\text{i pkt 1} \Rightarrow \frac{u_{in} - u_1}{R} + \frac{u_{ut} - u_1}{\frac{1}{sC}} + \frac{u_2 - u_1}{R} = 0 \quad (II)$$

eftersom $\varepsilon = 0 \Rightarrow u_{ut} = u_2$

(I) kan då skrivas $u_1 = (1 + sRC) u_{ut}$
 stoppar in detta i II samt multipl. R

$$u_{in} - (1 + sRC) u_{ut} + sRC(-sRC u_{ut}) - sRC u_{ut} = 0$$

$$u_{in} = (1 + 2sRC + (sRC)^2) u_{ut} \Rightarrow$$

$$u_{in} = (1 + sRC)^2 u_{out}$$

$$\Rightarrow \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{1}{(1 + sRC)^2}$$

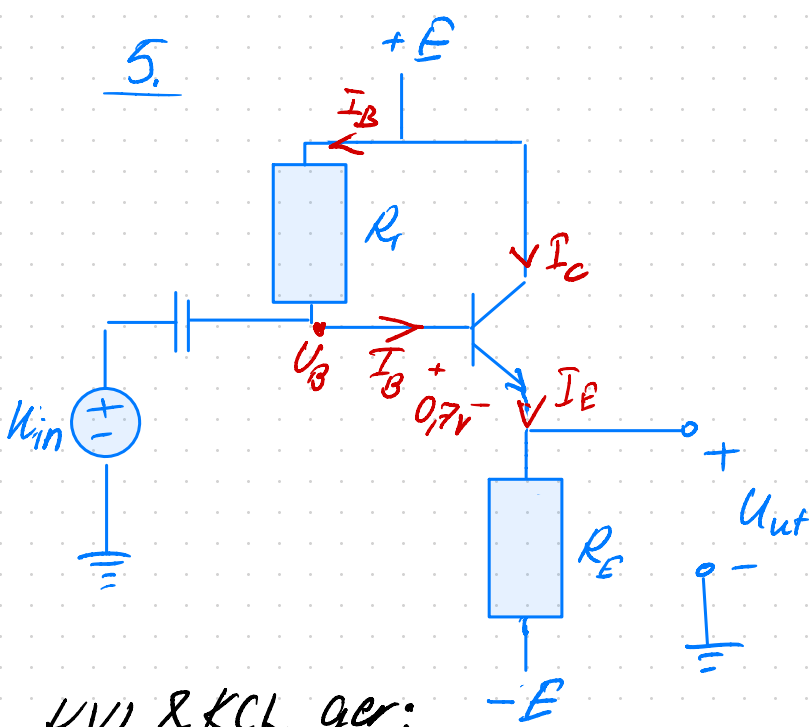
$$\left| \frac{1}{(1 + j\omega RC)^2} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{1}{1 + \omega^2 R^2 C^2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow \omega^2 R^2 C^2 = \sqrt{2} - 1 \Rightarrow \omega = \frac{\sqrt{\sqrt{2} - 1}}{RC}$$

$$\Rightarrow \omega = 1.72 \cdot 10^5 \text{ rad/s}$$

Lagpassfilter

5.

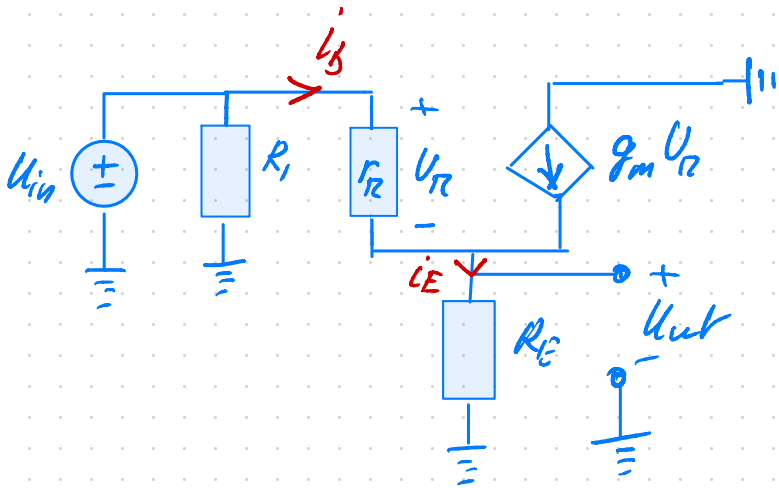


KVL & KCL ger:

$$\begin{aligned}
 \text{I)} \quad U_{\text{out}} &= -E + I_E \cdot R_E \\
 \text{II)} \quad U_{\text{out}} &= E - R_1 \cdot I_B - 0.7 \\
 \text{III)} \quad I_E &= I_C + I_B = (\beta + 1) I_B
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{a) } U_{\text{out}} = 0 \\ \text{II)} \Rightarrow I_B = \frac{E - 0.7}{R_1} = 72 \cdot 10^{-5} \text{ A} \\ \text{Satter man in III)} \\ I_E = (\beta + 1) I_B \text{ i I)} \end{array}$$

$$\Rightarrow \text{I)} \quad R_E = \frac{E}{I_E} = \frac{E}{(\beta + 1) \cdot I_B} = 930 \Omega$$

5 b) använder förenklad hybrid- π modell, där också $r_b = 0, r_o = \infty$
 Småsignalschemat blir



$$i_c = g_m u_{\pi} = g_m r_{\pi} i_b$$

$$i_b \cdot r_{\pi} = u_{\pi}$$

$$u_{in} - u_{\pi} = u_{out}$$

$$u_{out} = i_e \cdot R_E = (i_b + i_c) \cdot R_E = i_b (1 + g_m r_{\pi}) R_E$$

$$\Rightarrow u_{out} = \frac{u_{in} - u_{out}}{r_{\pi}} (1 + g_m r_{\pi}) R_E$$

$$V_{ut} = \frac{(V_{in} - V_{ut})}{r_n} (1 + g_m r_n) \cdot R_E \Rightarrow V_{ut} \left(1 + \frac{1}{r_n} (1 + g_m r_n) R_E\right) = \frac{V_{in}}{r_n} (1 + g_m r_n) \cdot R_E$$

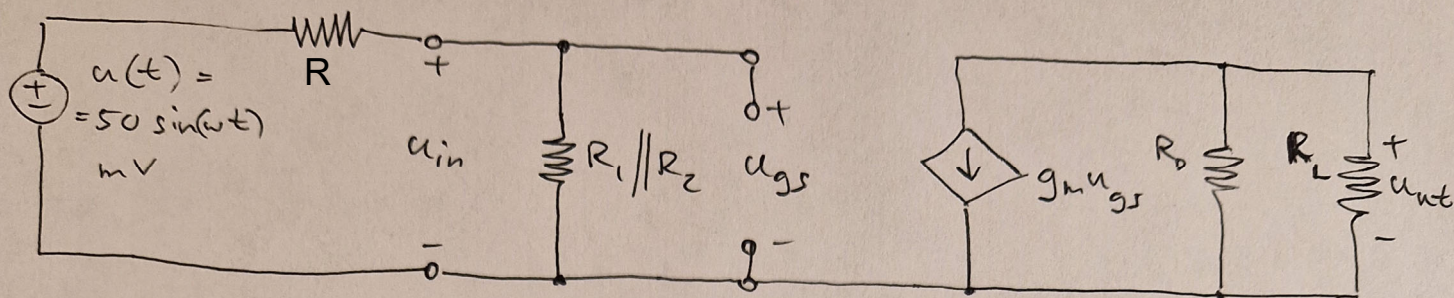
$$\frac{V_{ut}}{V_{in}} = \frac{(1 + g_m r_n) \cdot R_E}{\underbrace{r_n + (1 + g_m r_n) R_E}} = \left[r_n = \frac{\beta}{g_m} = \frac{V_T \beta}{I_{ca}} = \right. \\ \left. = 363 \Omega \right] =$$

$$= \frac{151 \cdot R_E}{363 + 151 \cdot R_E} \approx 1$$

⑥

GS steg med avkopplad source.

$\lambda = 0 \Rightarrow r_o = \infty$. Då blir ssm:



sp. delning
↓

$$\begin{cases} u_{in} = u_{gs} = \frac{R_1 // R_2}{R + R_1 // R_2} u(t) \\ u_{out} = (-g_m u_{gs}) (R_D // R_L) \end{cases}$$

dvs $u_{out} = (\text{insätt kΩ värden}) = -g_m \frac{3000 // 1000}{100 + 3000 // 1000} \cdot (4.7 // 10) u(t) =$
 $= -0.88 \cdot 3.20 \cdot g_m \cdot u(t) = -2.81 g_m u(t) = (-140.5 \sin(\omega t)) g_m$

g_m förs ur I_D i mättnedsområdet då $I_D = I_{DQ} = 0.784 \mu A$:

FS $\Rightarrow I_D = k' \frac{W}{L} \frac{1}{2} (u_{gs} - U_T)^2$ där $k' = \mu_n C_{ox} = 50 \mu A/V^2$

$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial u_{gs}} = k' \frac{W}{L} (u_{gs} - U_T)$. Eliminera $(u_{gs} - U_T) = \sqrt{\frac{2 I_D}{k' \frac{W}{L}}}$

$\Rightarrow g_m = k' \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2 I_D}{k' \frac{W}{L}}} = \sqrt{2 k' \frac{W}{L} I_D}$

Då $I_D = I_{DQ}$ förs $g_m = \sqrt{2 \cdot 50 \frac{\mu A}{V^2} \frac{400}{10} \sqrt{0.784 \mu A}} \approx 1.77 \frac{\mu A}{V}$

$\Rightarrow$ sökta $u_{out} = \left(-1.77 \frac{\mu A}{V}\right) (2.81 k\Omega) u(t) = -249 \sin(\omega t) mV$

□