

Tentamen ESS116
Elektriska Nät och System F2

Examinator: Jan V. Grahm

Fredag 20 augusti 2021 kl 1400-1800

On-line tentamen enligt Chalmers beslut vt 2021

Alla hjälpmedel är tillåtna (alla böcker, gamla tentor, dokument på nätet) MEN
INTE KOMMUNIKATION MED ANDRA (kurskamrater, mail, digitala forum...)
Du ska lösa tentamen självständigt.

Fullständiga beräkningar och lösningar måste redovisas. Korrekt och välmotiverad lösning med svar ger full poäng. Skriv tydligt.

Ange namn och personnummer överst på varje sida.

Inlämnas i Canvas senast 1830 som ett samlat inskannat PDF dokument namngivet efternamn_förnamn_ESS116tenta_2021.08.20.

Tentamen omfattar sex beräkningsuppgifter. En korrekt och välmotiverad lösning ger maximalt 3 poäng (p). För godkänt krävs 8 p.

Betygsgränser: Minst 8 p ger betyg 3, minst 12 p betyg 4 och minst 15 p betyg 5.

Resultat meddelas via kursens hemsida i Canvas.

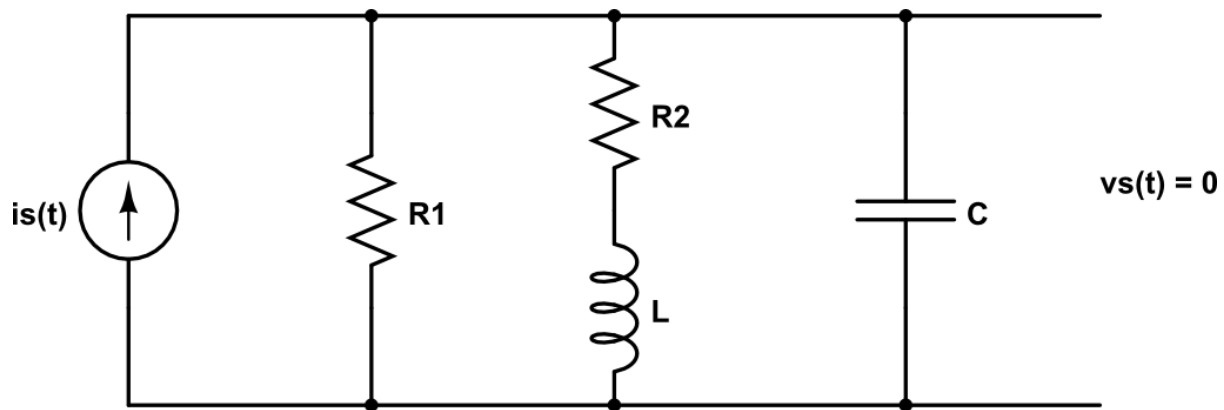
Förfrågningar: Jan Grahm via Zoom eller mobil 0730-34 62 99/e-post
jan.grahm@chalmers.se .

Lycka till!

1. Beräkna $v_s(t)$ då stationärt tillstånd råder.

$$R_1 = 10 \, \Omega, R_2 = 6 \, \Omega, L = 80 \, \mu\text{H}, C = 2 \, \mu\text{F}$$

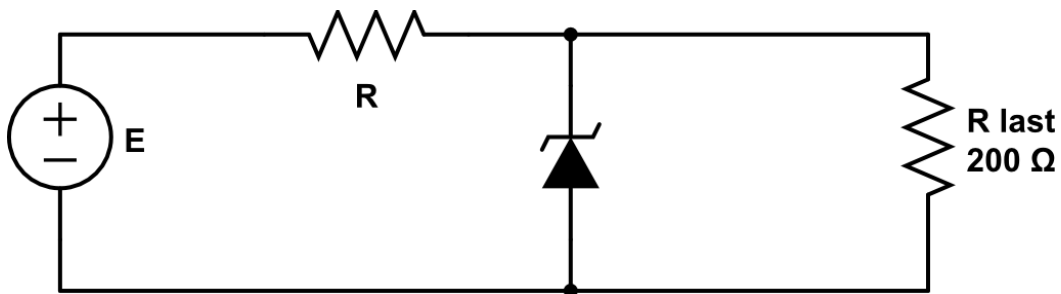
$$i_s(t) = 10 \cos(\omega t) \, \text{A}, \quad \omega = 10^5 \, \text{rad/s}.$$



2. Nedanstående spänningsreferens ska ge en konstant spänning om 3.6 V över en last R_{last} om 200 Ω .
DC spänningskällan är ett batteri E som varierar mellan 4.5 och 5.5 V.

Dimensionera nätet, dvs beräkna och motivera lämpliga värden för dels motståndet R (se värden nedan), dels minimal effekt för Zenerdioden.

Följande resistanser (ur E12 serien) finns att tillgå:
10,12,15,18,22,27,33,39,47,56,68,82 Ω .



3. Ofta eftersträvar man hög inresistans R_{in} och hög förstärkning i en op.amp. koppling.

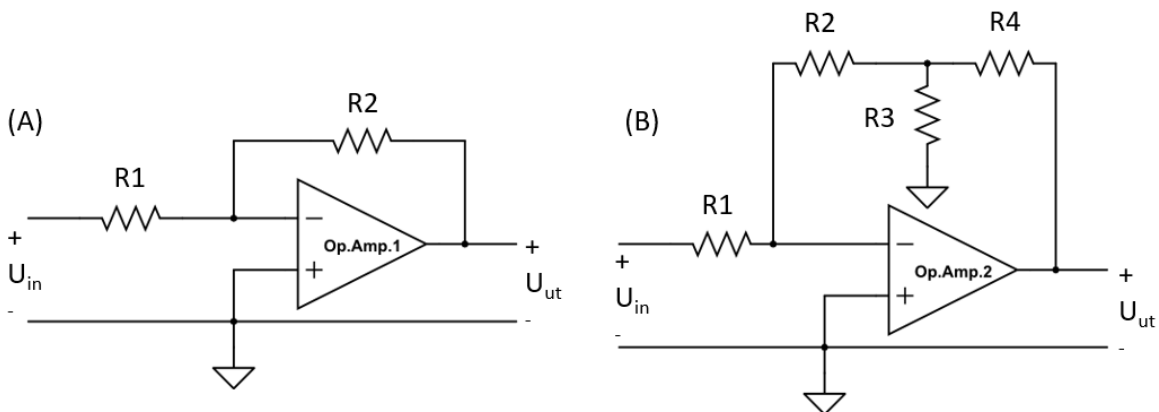
För båda förstärkarnäten (A) och (B) nedan gäller att $R_{in} = 100 \text{ k}\Omega$ och spänningsförstärkning = 40 dB.

R_{in} är i båda fallen lika med R_1 .

Beräkna R_2 för näten (A) och (B) givet att:

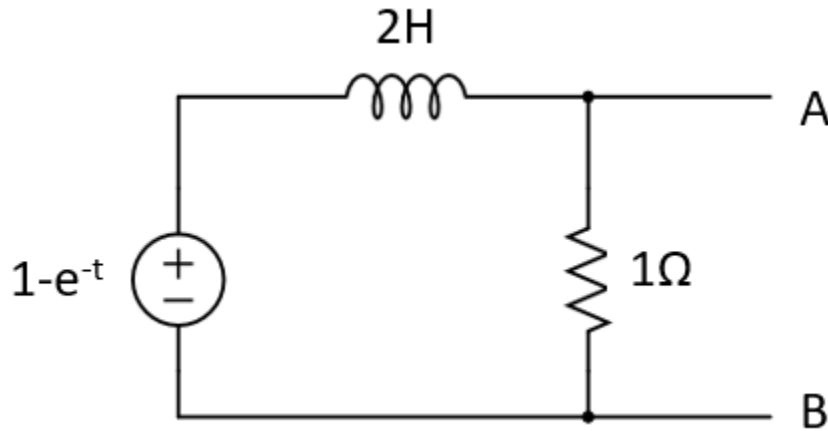
$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ($=R_{in}$), $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 100 \text{ k}\Omega$.

Motivera varför förstärkarnätet (B), trots fler resistanser, är att föredra framför (A)!



4. Uttrycka kretsen nedan i s-domän (Laplace-transform) och härled dess Thévenin ekvivalent.

Koppla därefter en induktans L om 2H mellan A och B och beräkna uttrycket $v_L(t)$ för spänningsfallet över L . Induktanserna har ingen begynnelseenergi.



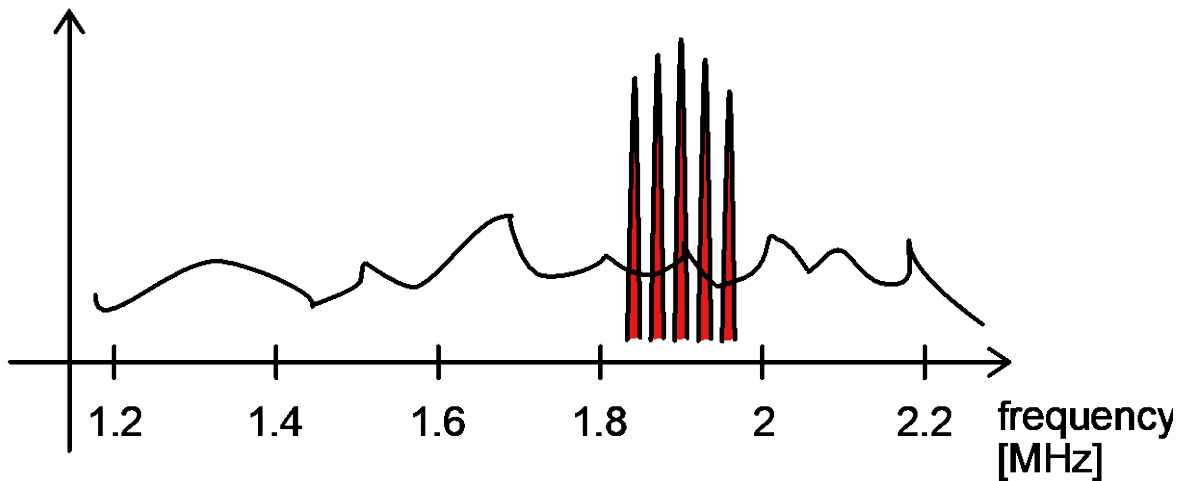
Laplace-transformtabell

Signal or Function	$f(t)$	$F(s)$
Impulse	$\delta(t)$	1
Step	$u(t) = 1, t \geq 0$	$\frac{1}{s}$
Ramp	$r(t) = t, t \geq 0$	$\frac{1}{s^2}$
Exponential	e^{-at}	$\frac{1}{s + a}$
Sine	$\sin(\beta t)$	$\frac{\beta}{s^2 + \beta^2}$
Cosine	$\cos(\beta t)$	$\frac{s}{s^2 + \beta^2}$
Damped Sine	$e^{-at} \sin(\beta t)$	$\frac{\beta}{(s + a)^2 + \beta^2}$
Damped Cosine	$e^{-at} \cos(\beta t)$	$\frac{s + a}{(s + a)^2 + \beta^2}$
	$\frac{1}{\alpha^2} (1 - e^{-at} - at e^{-at})$	$\frac{1}{s(s + \alpha)^2}$
	$\frac{1}{\alpha^2} (\alpha t - 1 + e^{-at})$	$\frac{1}{s^2(s + \alpha)}$

5. En hemmagjord radio har en väldigt bredbandig signalförstärkare. Detta gör att även en stor andel oönskade frekvenser förstärks vilket genererar mycket brus i själva utsignalen (ljudsignalen).

Designa en enkel krets som kan kopplas in på ingången till förstärkaren som reducerar bruset, dvs "väljer ut" att endast förstärka signalfrekvenser som ritats i rött i figuren nedan. Y-axeln (signalamplitud) är i log-skala.

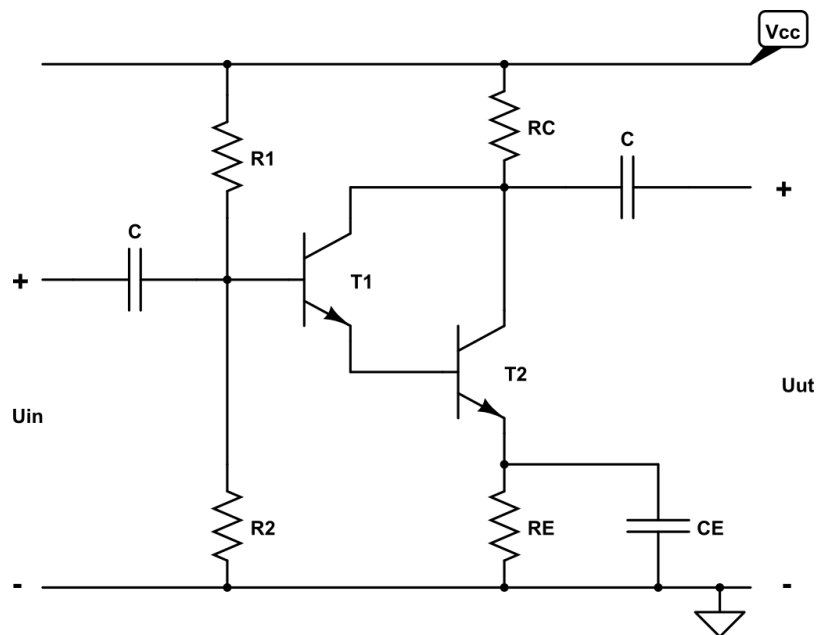
Rita ett kretsschema och specificera samtliga ingående element.

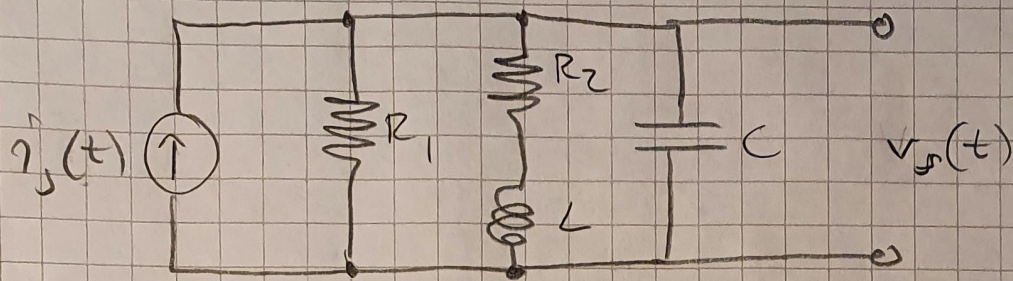


6. Härled ett uttryck för förstärkarstegets spänningsförstärkning i nätet nedan uttryckt i transkonduktansen för en av transistorerna. Använd småsignalmodellering.

Transistorerna T1 och T2 antas ha samma ac förstärkning h_{fe} men olika dynamisk resistans r_{π} . Antag att utresistanser för T1 och T2 är mycket stora.

Tips: Det kan visas att för denna typ av koppling är $h_{fe} = r_{\pi 1} / r_{\pi 2}$ där $r_{\pi x}$ är dynamisk resistans för transistor x .





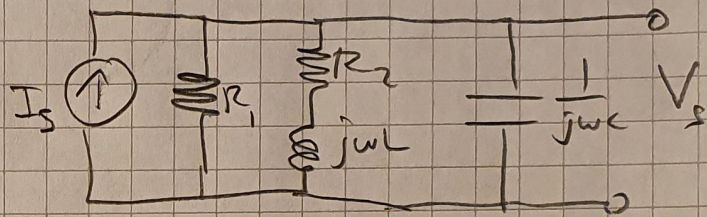
Seh $v_s(t)$ da stationäres Mittelwert nehmen werden,

$$R_1 = 10 \Omega, R_2 = 6 \Omega, L = 80 \mu\text{H}, C = 2 \mu\text{F}$$

$$i_s(t) = 10 \cos(\omega t) \text{ A}, \quad \omega = 10^5 \text{ rad/s}$$

Lösung:

$j\omega$ -transformieren:
 $\omega = 10^5 \text{ rad/s}$



$$I_s = 10 \angle 0^\circ, R_1 = 10 \Omega, R_2 = 6 \Omega, j\omega L = 8j, \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{0.2j}$$

Parallelschaltung: Zähne und admittanzen:

$$I_s = (Y_1 + Y_2 + Y_3) V_s$$

$$\text{d.h. } Y_1 = \frac{1}{R_1} = 0.1 \Omega, Y_2 = \frac{1}{R_2 + j\omega L} = \frac{1}{6 + 8j}, Y_3 = \frac{1}{\frac{1}{j\omega C}} = 0.2j$$

$$\text{D.h. } Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0.16 + 0.12j$$

$$V_s = \frac{1}{Y_1 + Y_2 + Y_3} I_s = \frac{1}{0.16 + 0.12j} I_s = (4 - 3j) I_s$$

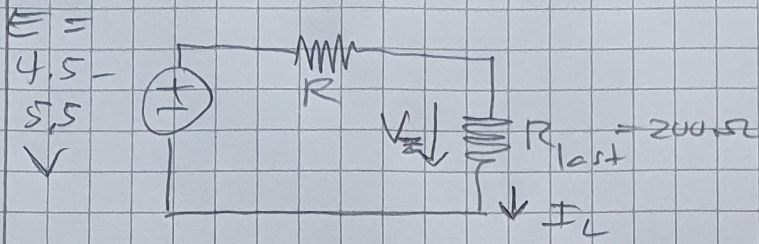
$$(4 - 3j) \rightarrow 5 \angle -36.9^\circ$$

$$V_s = 5 \angle -36.9^\circ \cdot 10 \angle 0^\circ = 50 \angle -36.9^\circ \rightarrow$$

$$v_s(t) = 50 (\omega t - 36.9^\circ) \quad \forall \text{ d.h. } \omega = 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

2.) Zenerdioden måste ha genomsläpp $= 3.6 \text{ V}$

Värdet på R ska såhär då dioden spärrar:



Spänningssreferens $\Rightarrow$

$V_z = 3.6 \text{ V}$ över $R_{\text{last}} \Rightarrow$

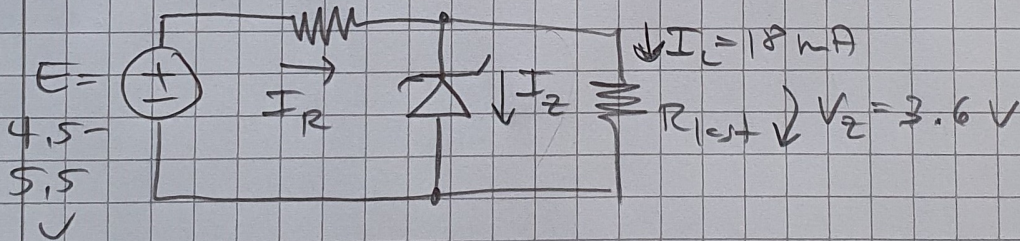
$$I_L = \frac{V_z}{R_{\text{last}}} = 18 \text{ mA}$$

Spänningsfall över R måste vara $< E - V_z \Rightarrow$

$I_L R < E - 3.6 \text{ V}$. Välj minsta $E = 4.5 \text{ V} \Rightarrow$

$$R < \frac{4.5 - 3.6 \text{ V}}{18 \text{ mA}} < 50 \Omega. \text{ Välj } R = 47 \Omega$$

Effekt P_z för zenerdioden får vi ut utefter:



$$\text{KCL} \Rightarrow I_z = I_R - I_L$$

I_R för då E är max, dvs $5.5 \text{ V} \Rightarrow$

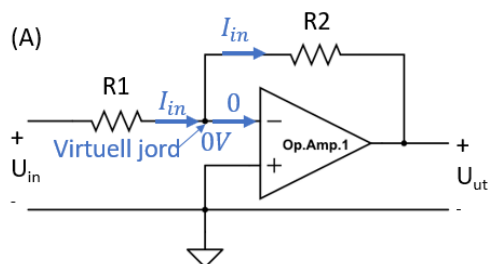
$$I_R = \frac{5.5 - 3.6}{47 \Omega} = 40.4 \text{ mA}$$

$$\text{Effekt } P_z = V_z (I_R - I_L) = \underline{\underline{81 \text{ mW}}}$$

Zenerdioden måste tolerera minst 81 mW effekt.

Uppgift 3

Spänningsförstärkningen på 40 dB motsvarar 100ggr förstärkning $\rightarrow A_v = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = 100$.



Samma ström går genom R1 och R2:

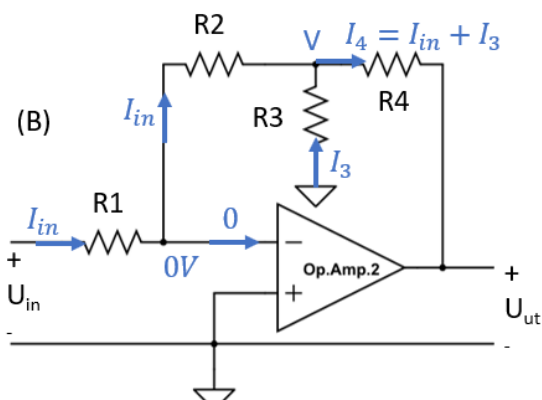
$$\frac{U_{in} - 0}{R1} = \frac{0 - U_{ut}}{R2}$$

$$\rightarrow A_v = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = -\frac{R2}{R1},$$

där minustecknet anger att förstärkaren är inverterande.

För att hitta värdet på R2 räkna:

$$R2 = R1 \cdot |A_v| = 10000 \text{ k}\Omega = 10 \text{ M}\Omega.$$



$$\frac{U_{in} - 0}{R1} = \frac{0 - V}{R2} \rightarrow V = -\frac{R2}{R1} U_{in}$$

$$U_{ut} = V + I_4 R4 = V + \left(\frac{V - 0}{R2} + \frac{V - 0}{R3} \right) R4 = V \left(1 + \frac{R4}{R2} + \frac{R4}{R3} \right) = -\frac{R2}{R1} U_{in} \left(1 + \frac{R4}{R2} + \frac{R4}{R3} \right)$$

$$\rightarrow |A_v| = \left| \frac{U_{ut}}{U_{in}} \right| = \frac{R2}{R1} \left(1 + \frac{R4}{R2} + \frac{R4}{R3} \right)$$

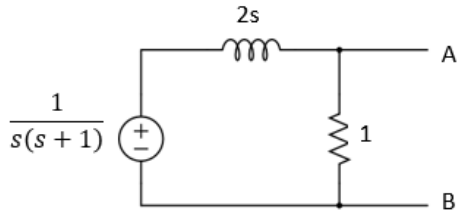
$$\rightarrow R2 = \frac{A_v - \frac{R4}{R1}}{\frac{1}{R1} + \frac{R4}{R1R3}} = \frac{100 - \frac{100}{100}}{\frac{1}{100} + \frac{100}{100 \times 1}} = \frac{99}{1.01} \approx 98 \text{ k}\Omega$$

Värdet på R2 är mycket mindre i (B) än i (A). Om förstärkningen ska vara hög kan värdet på R2 i förstärkarkoppling (A) bli orimligt högt. Därför använder man (B) med R3 och R4 för att minska kraven på R2 och fortfarande få samma höga förstärkning.

Uppgift 4

1. Laplacetransform av kretsen:

Spänningskälla: $L[1 - e^{-t}] = \frac{1}{s} - \frac{1}{s+1} = \frac{1}{s(s+1)}$; Induktans $\rightarrow 2s$; Resistans $\rightarrow 1$;



2. Thevenin ekvivalent:

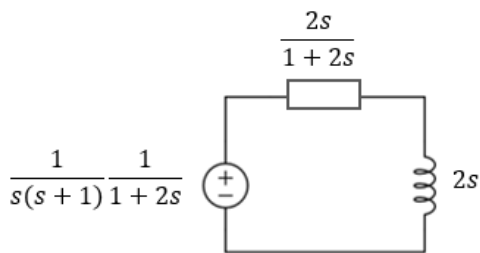
Thevenin spänningen V_{th} är öppen krets spänningen:

$$V_{th}(s) = \frac{1}{s(s+1)} \frac{1}{1+2s}$$

Thevenin impedansen är:

$$Z_{th} = 1 || 2s = \frac{2s}{1+2s}$$

➔ Thevenin ekvivalent krets med induktans $L=2H \rightarrow 2s$ mellan A och B.



3. Hitta uttrycket för $v_L(t)$:

$$v_L(s) = \frac{2s}{2s + \frac{2s}{1+2s}} V_{th}(s)$$

$$\frac{2s}{(1+2s)2s + 2s} = \frac{(1+2s)2s}{(2+2s)2s} = \frac{1+2s}{2+2s} = \frac{1}{2} \frac{1+2s}{1+s}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(1+2s)}{1+s} \frac{1}{s(s+1)(1+2s)} = \frac{1}{2} \frac{1}{s(s+1)^2}$$

Inverse Laplace transform, jämför med tabellen:

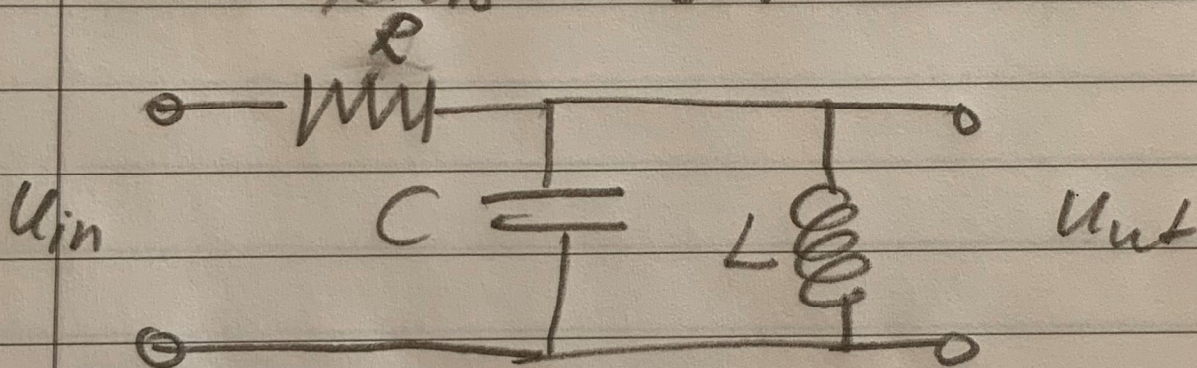
$$v_L(t) = \frac{1}{2} (1 - e^{-t} - te^{-1}).$$

Lösningssiss tal 5

Finns flera sätt att lösa

Tex bandpassfilter med center-frekvensen 1.9 MHz samt bandbredd ca 0.2 MHz

den kretsen ser ut som



centerfrekvens ges av

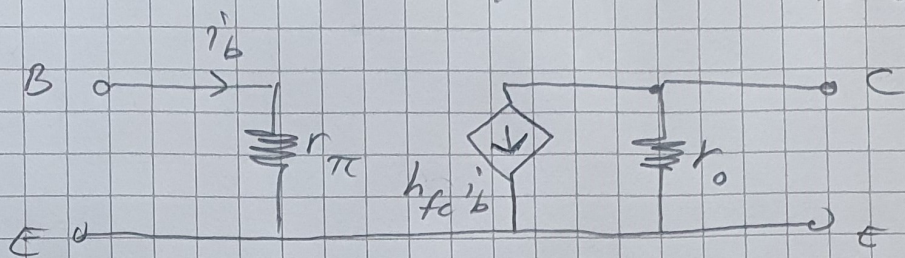
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{samt bandbredd}$$

$$\Delta\omega = \left(\frac{Q}{\omega_0}\right)^{-1} = (RC)^{-1}$$

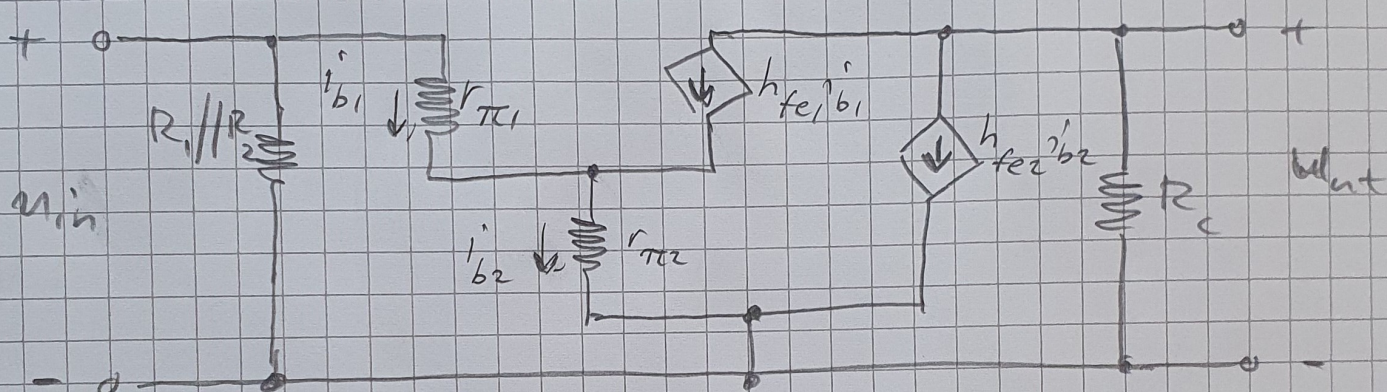
den om man väljer $R = 100 \Omega$

så blir $C = 8 \text{ nF}$ och $L = 0.88 \text{ mH}$

6. Använd SSTN för BJT: Förenklat hybrid- π uttryck i $h_{fe} i_b$:



Vi har två BJT med stora r_o ($\approx \infty$).
 $C = 0$ i SSTN. Nätet blir:



Givet att $h_{fe} = h_{fe1} = h_{fe2}$ (*)

$$KVL \Rightarrow \begin{cases} u_{in} = i_{b1} r_{\pi1} + i_{b2} r_{\pi2} \\ u_{out} = -(h_{fe1} i_{b1} + h_{fe2} i_{b2}) R_c \stackrel{(*)}{=} -h_{fe} (i_{b1} + i_{b2}) R_c \end{cases}$$

$$KCL \Rightarrow i_{b1} = -i_{b2} + h_{fe} i_{b1} \Leftrightarrow i_{b2} = i_{b1} (h_{fe} + 1)$$

Eliminera i_{b2} i KVL. Då får vi sökta $\frac{u_{out}}{u_{in}}$:

$$\frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{-h_{fe} i_{b1} (h_{fe} + 2) R_c}{i_{b1} (r_{\pi1} + r_{\pi2} (h_{fe} + 1))} = \left[h_{fe} \text{ är stor} \right] = \left[\approx 10^2 \right]$$

$$\approx \frac{-h_{fe}^2}{r_{\pi1} + r_{\pi2} h_{fe}} R_c = \left[\text{tips: } h_{fe} = \frac{r_{\pi1}}{r_{\pi2}} \right] = \frac{-h_{fe}}{2 r_{\pi2}} R_c = \frac{-g_{m2} R_c}{2}$$