Tentamen i Elektronik för E (del 2), ESS010, 5 april 2013

Tillåtna hjälpmedel: Formelsamling i kretsteori.

1

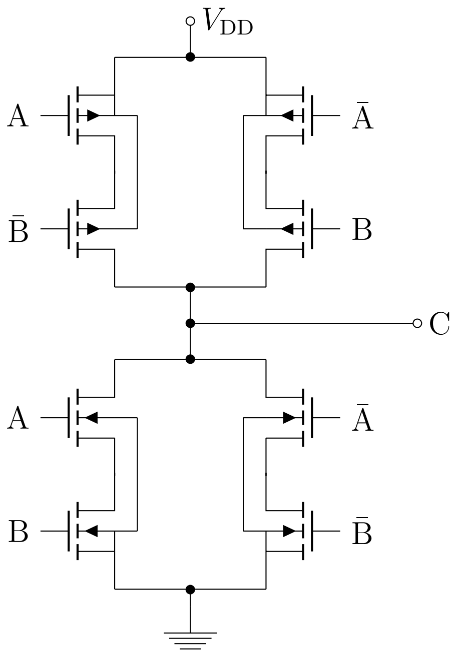
Spänningen $2\,\mathrm{mV}$ och strömmen $1\,\mu\mathrm{A}$ mäts upp på ingången till en linjär förstärkare. Tomgångsspänningen på utgången är då $4\,\mathrm{V}$. När en resistans $R_{\mathrm{L}} = 100\,\Omega$ kopplas in på utgången blir utspänningen $v_{\mathrm{ut}} = 2\,\mathrm{V}$.

a) Bestäm förstärkarens inresistans R_{in}, råförstärkning A och utresistans R_{ut}.

b) Antag förstärkaren ska förstärka en signal från en sensor med inre resistans $10\,\Omega$ till en aktor med ingångsresistans $4\,\Omega$. Hur skulle du klassificera in- respektive utsignal i detta fall, ström eller spänning?

2

Vad är C som funktion av A och B i nedanstående krets? Svara med en sanningstabell. Signalerna $\bar{\mathrm{A}}$ och $\bar{\mathrm{B}}$ betecknar inversen av A respektive B (dvs om A = 1 så är $\bar{\mathrm{A}} = 0$). Dessa signaler realiseras genom separata inverterare som inte ritats in här.

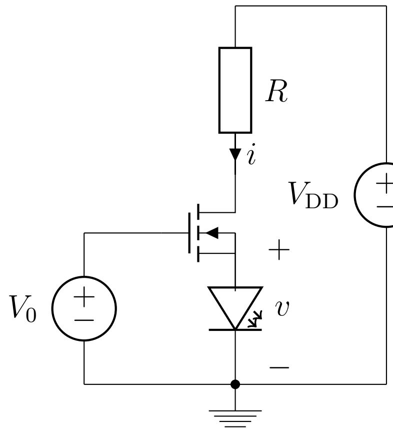


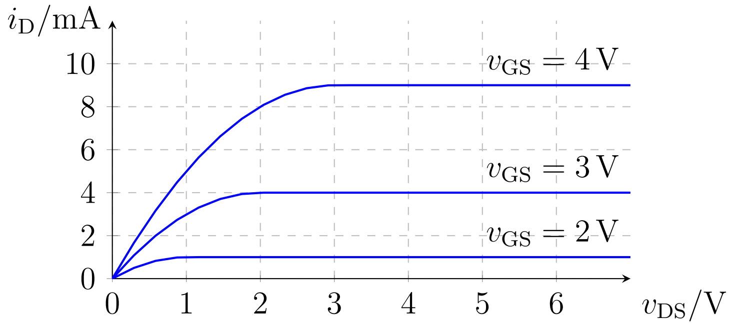
3

I kretsen nedan är $V_{\mathrm{DD}} = 10\,\mathrm{V}$ och $R = 1\,\mathrm{k}\Omega$. Transistorn har tröskelspänning $V_{\mathrm{t}} = 1\,\mathrm{V}$ och karakteristik enligt diagrammet. Lysdioden kan modelleras som ideal med framspänning $3\,\mathrm{V}$, dvs den spärrar då $v < 3\,\mathrm{V}$ och v kan inte överstiga $3\,\mathrm{V}$. Vi önskar driva lysdioden i arbetsläget $(v, i) = (3\,\mathrm{V}, 4\,\mathrm{mA})$.

a) Vilket arbetsläge $(v_{\mathrm{DS}}, i_{\mathrm{D}})$ måste transistorn försättas i för att åstadkomma detta?

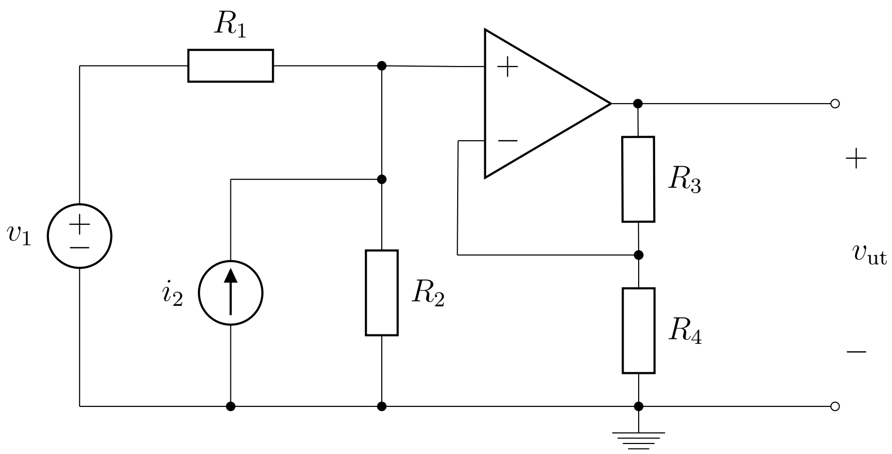
b) Vilken spänning V_0 krävs?





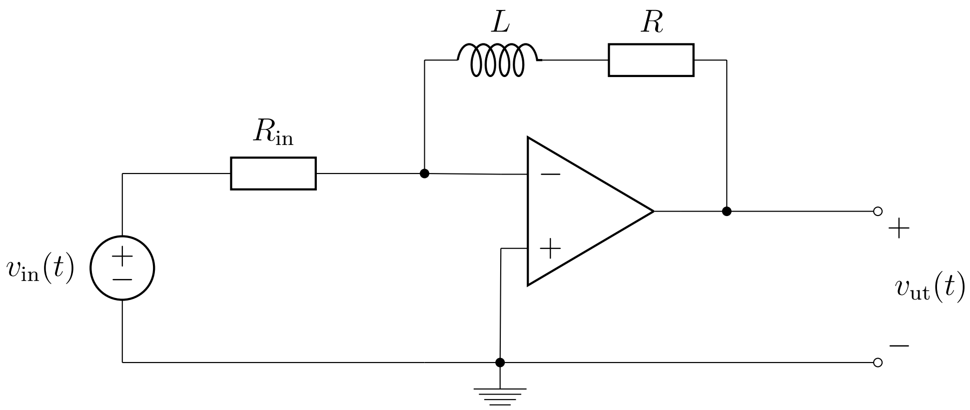
4

Beräkna v_{ut} i nedanstående krets, där OP:n är ideal.



5

För att bygga en deriverande förstärkare kan man göra återkopplingen via en induktans. Om denna har avsevärd resistans, svarar inte utsignalen precis mot tidsderivatan av insignalen.



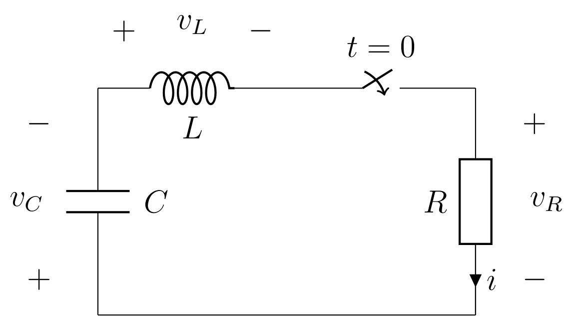
a) Beräkna den tidsberoende utsignalen $v_{\mathrm{ut}}(t)$, uttryckt i en godtycklig insignal $v_{\mathrm{in}}(t)$.
b) Beräkna $v_{\mathrm{ut}}(t)$ i det specifika fallet

$$v_{\mathrm{in}}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ V_0 \mathrm{e}^{-t/T} & t > 0 \end{cases}$$

6

Hjärtflimmer är ett livshotande tillstånd, som ofta kan hävas med en hjärtstartare (defibrillator). I denna laddas först en kondensator upp till en hög spänning, som sedan laddas ur genom människokroppen, som kan modelleras som en resistans. För att kontrollera urladdningsförloppet kopplas ofta en spole in, vars främsta inverkan är att förlänga strömpulsen som går genom hjärtat.

I nedanstående krets är $v_C(t) = -V_0$ för $t < 0$, medan övriga komponenter är energitomma. Referensriktningarna för spänningarna har valts så de sammanfaller med strömriktningen för respektive komponent. Energin lagrad i en kapacitans med spänning v är $w_C = \frac{1}{2}Cv^2$, och energin lagrad i en induktans med ström i är $w_L = \frac{1}{2}Li^2$.

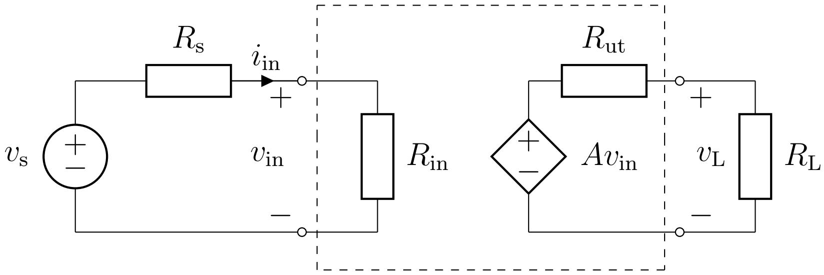


a) Vad är $v_C(0+)$, $v_L(0+)$, $v_R(0+)$?
b) Hur mycket energi är lagrad i kapacitansen C respektive induktansen L vid $t = 0$?
c) Härled en differentialekvation för $i(t)$, samt begynnelsevärden $i(0+)$ och $i'(0+)$.
d) Hur mycket energi levereras till resistansen R under tiden $0 < t < \infty$?

Lösningar

1

En linjär förstärkare kopplad till en sensor $(v_\mathrm{s}, R_\mathrm{s})$ och en aktor R_L kan modelleras enligt



a) Då $v_\mathrm{in} = 2\,\mathrm{mV}$ och $i_\mathrm{in} = 1\,\mu\mathrm{A}$ är $R_\mathrm{in} = v_\mathrm{in}/i_\mathrm{in} = 2\,\mathrm{k}\Omega$. Med tomgångsspänning på $4\,\mathrm{V}$ ($R_\mathrm{L} = \infty$) är $A = v_\mathrm{oc}/v_\mathrm{in} = 2000$. Utspänningen sjunker till hälften då resistansen $R_\mathrm{L} = 100\,\Omega$ kopplas in, vilket ger $R_\mathrm{ut} = 100\,\Omega$.

b) Eftersom ingångsresistansen $R_\mathrm{in} \gg R_\mathrm{s} = 10\,\Omega$ bestäms ingångsspänningen främst av sensorns tomgångsspänning v_s, dvs spänning är den primära insignalen. Utgångsresistansen i sin tur är $R_\mathrm{ut} \gg R_\mathrm{L} = 4\,\Omega$, vilket talar för att utgångsströmmen bestäms främst av förstärkarens kortslutningsström $Av_\mathrm{in}/R_\mathrm{ut}$, dvs ström är den primära utsignalen.

Svar: a) $R_\mathrm{in} = 2\,\mathrm{k}\Omega$, $A = 2000$, $R_\mathrm{ut} = 100\,\Omega$. b) Insignal är spänning och utsignal är ström.

2

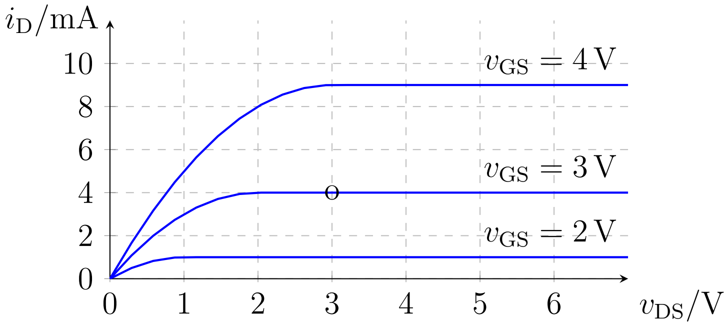
Det övre blocket leder då A och B är olika, medan det undre blocket leder då A och B är lika. Detta ger

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Detta är en XOR-grind.

3

I arbetsläget $(v, i) = (3\,\mathrm{V}, 4\,\mathrm{mA})$ är spänningen över dioden $3\,\mathrm{V}$ och spänningen över resistansen $v_R = Ri = 4\,\mathrm{V}$. Detta lämnar $v_\mathrm{DS} = v_\mathrm{DD} - v_\mathrm{R} - v = 3\,\mathrm{V}$. Arbetspunkten för transistorn är alltså $(v_\mathrm{DS}, i_\mathrm{D}) = (3\,\mathrm{V}, 4\,\mathrm{mA})$, som markerats i figuren nedan.



Slutligen är spänningen $V_0 = v_{\text{GS}} + v = 6\,\text{V}$.

4

Beteckna potentialen vid OP:ns plus-ingång med v. KVL i denna nod ger

$$\frac{v - v_1}{R_1} - i_2 + \frac{v - 0}{R_2} = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\frac{v_1}{R_1} + i_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{v_1 + R_1 i_2}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

Tack vare den negativa återkopplingen har även OP:ns minusingång samma potential, vilken också ges av spänningsdelning av v_{ut} över R_3 och R_4:

$$v = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_{\text{ut}} \quad \Rightarrow \quad v_{\text{ut}} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \frac{v_1 + R_1 i_2}{1 + \frac{R_1}{R_2}} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \frac{v_1 + R_1 i_2}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

Svar: $v_{\text{ut}} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \frac{v_1 + R_1 i_2}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$

5

a) Med negativ återkoppling är potentialerna vid OP:ns ingångar lika, dvs noll. Detta ger att strömmen som går genom induktansen och resistansen i återkopplingsgrenen är $i = v_{\text{in}}/R_{\text{in}}$, vilket ger

$$v_{\text{ut}} = 0 - L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} - Ri = -\frac{L}{R_{\text{in}}} \frac{\mathrm{d}v_{\text{in}}}{\mathrm{d}t} - \frac{R}{R_{\text{in}}} v_{\text{in}}$$

b) Med den specifika insignalen får vi

$$v_{\text{ut}}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ V_0 \left(\frac{L/T}{R_{\text{in}}} - \frac{R}{R_{\text{in}}}\right) \mathrm{e}^{-t/T} & t > 0 \end{cases}$$

6

a) En kapacitans är spänningströg och en induktans är strömtrög, vilket innebär $v_C(0+) = v_C(0-) = -V_0$, och $i(0+) = i(0-) = 0$. Detta medför $v_C(0+) = -V_0$, $v_R(0+) = Ri(0+) = 0$, och slutligen $v_L(0+) = -v_C(0+) - v_R(0+) = V_0$.

b) $w_C = \frac{1}{2} C v_C^2 = \frac{1}{2} C V_0^2$, och $w_L = \frac{1}{2} L i(0+)^2 = 0$.

c) Kirchhoffs spänningslag ger

$$v_C(t)+v_L(t)+v_R(t)=0 \quad \Rightarrow \quad 0=\frac{\mathrm{d}v_C(t)}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}v_L(t)}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}v_R(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{1}{C}i(t)+L\frac{\mathrm{d}^2i(t)}{\mathrm{d}t^2}+R\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

Detta kan skrivas om som

$$\frac{\mathrm{d}^2i(t)}{\mathrm{d}t^2}+\frac{R}{L}\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}+\frac{1}{LC}i(t)=0$$

med begynnelsevärdena $i(0+)=0$, och $i'(0+)=\frac{1}{L}v_L(0+)=\frac{V_0}{L}$.

d) Den energi som finns upplagrad i C och L vid $t=0$ kommer förbrukas i R under intervallet $0<t<\infty$, dvs $\frac{1}{2}CV_0^2$.