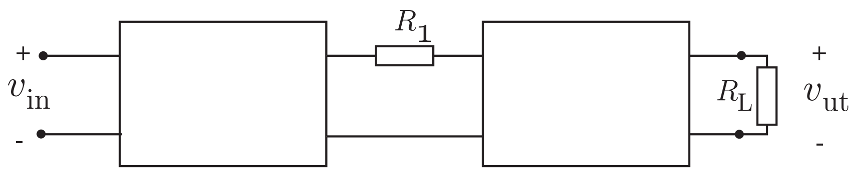
Tentamen i Elektronik för E (del 2), ESS010, 18 december 2012

Tillåtna hjälpmedel: Formelsamling i kretsteori.

1



Två identiska spänningsförstärkare kaskadkopplas för att förstärka en spänning v_{in}, enligt figuren. Den ena förstärkaren är placerad nära spänningskällan medan den andra är placerad nära lasten R_{L}. Avståndet mellan förstärkarna är såpass stort att man måste ta hänsyn till ledningarnas resistans R_1. De båda förstärkarna har råförstärkningen A_{v0}, inresistans R_{i} och utresistans R_{o}.

a) Bestäm förstärkningen $A_{\text{v}} = \dfrac{v_{\text{ut}}}{v_{\text{in}}}$.

b) Antag att vi byter de båda förstärkarna mot ideala spänningsförstärkare med samma råförstärkning A_{v0} som de ursprungliga förstärkarna. Vad blir då förstärkningen A_{v}?

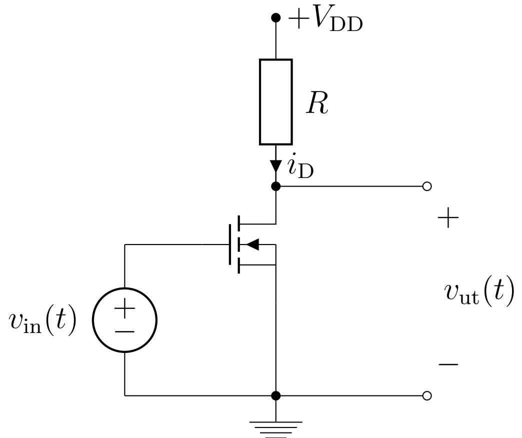
2

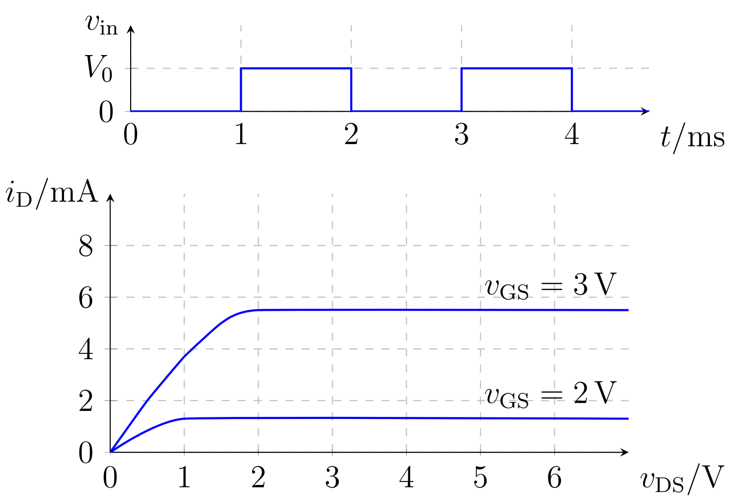
I nedanstående krets ges insignalen $v_{\text{in}}(t)$ och transistorns karakteristik i graferna. Det gäller att $V_{\text{DD}} = 6\,\text{V}$ och $R = 1\,\text{k}\Omega$. Rita av karakteristiken i din lösning och bestäm $v_{\text{ut}}(t)$ med hjälp av en grafisk metod i följande två fall:

a) $V_0 = 2\,\text{V}$.

b) $V_0 = 3\,\text{V}$.

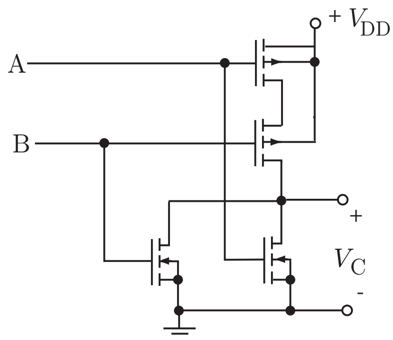
Skissa graferna för $v_{\text{ut}}(t)$. Värden behöver inte vara exakta, men metodiken måste framgå.



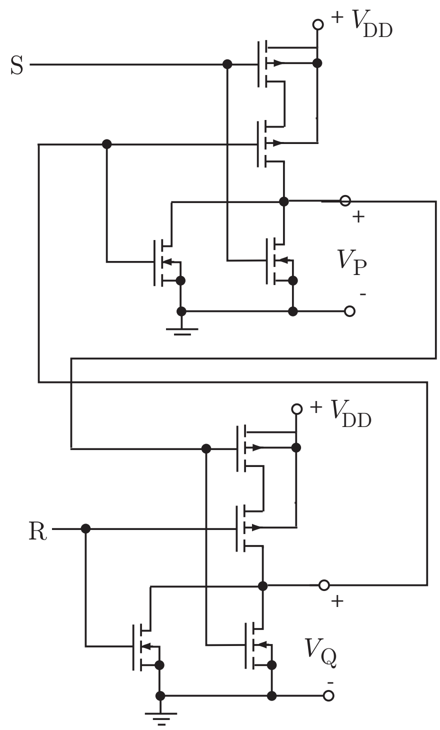


3

a) Studera först den övre kretsen. Potentialerna vid ingångarna A och B kan vara V_{DD} (logisk 1) eller 0 (logisk 0). Skriv upp sanningstabellen för den övre kretsen med A och B som logiska insignaler och C som logisk utsignal.



b) Betrakta nu den undre kretsen. Potentialerna vid ingångarna S och R kan vara V_{DD} (logisk 1) eller 0 (logisk 0). Skriv upp en sanningstabell för den undre kretsen för fallen (S,R)=(1,1), (1,0) och (0,1) med S och R som logiska insignaler och P och Q som logiska utsignaler.

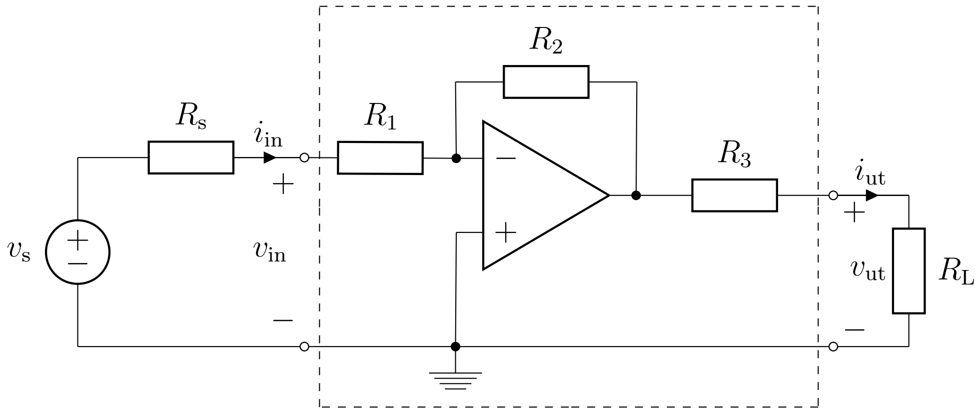


c) Den undre kretsen är ett exempel på en så kallad bistabil multivibrator. Utsignalerna då (S,R)=(0,0) beror på hur tillståndet (S,R)=(0,0) nåddes. Antag först att (S,R)=(1,0) och att man ändrar till (0,0). Vad blir då utsignalerna P och Q? Antag sedan att (S,R)=(0,1) och att man ändrar till (0,0). Vad blir då utsignalerna P och Q?

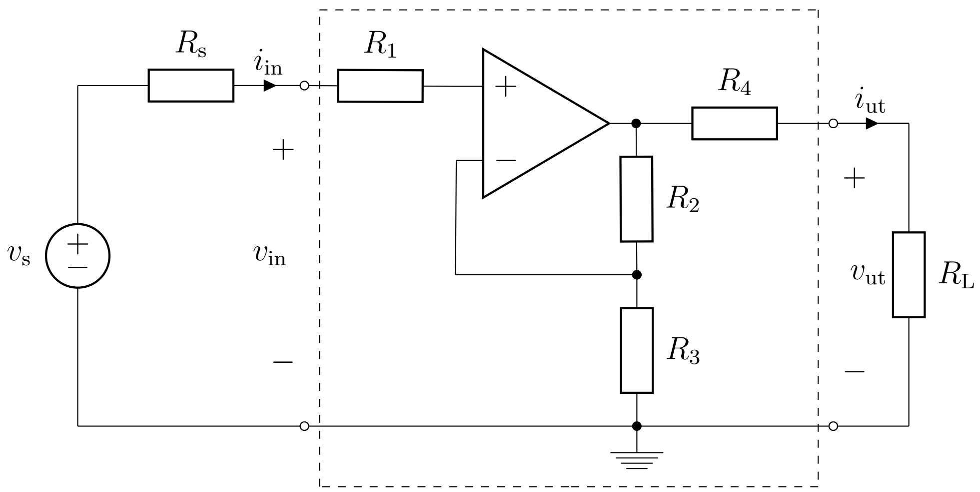
4

Ersätt kretsen inom det streckade området med en linjär förstärkarmodell (dvs ingång i form av en resistans och utgång i form av en Thèvenin-ekvivalent med styrd spänningskälla), och beräkna dess ingångsresistans R_{in}, råförstärkning A och utgångsresistans R_{ut}. OP-förstärkarna kan anses ideala.

a)

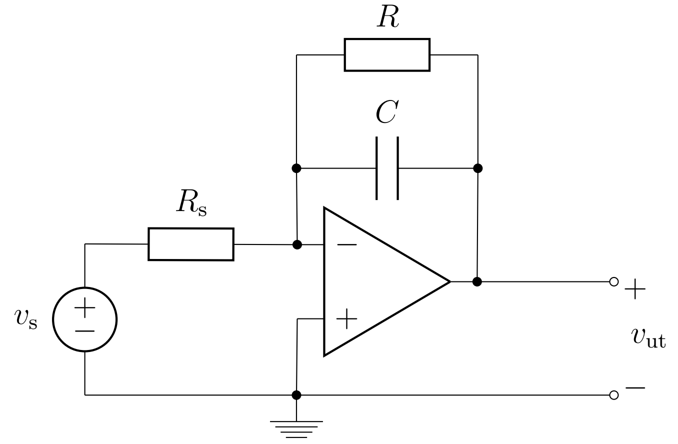


b)



5

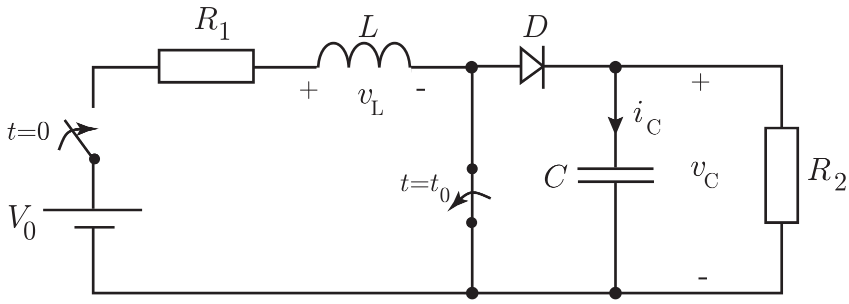
Det går att konstruera en integrerande förstärkoppling genom att återkoppla en OP med en kondensator. Om vi tar hänsyn till att kondensatorn har en liten läckström, kan en kretsmodell se ut enligt nedan (där OP:n är ideal):



där resistansen R modellerar att lite ström kan läcka mellan kondensatorplattorna. Beräkna $v_{ut}(t)$ då

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

6



Kondensatorn C är oladdad för $t < 0$. Den vänstra kontakten sluts vid tiden $t = 0$ och hålls sedan sluten. Den högra kontakten öppnas vid en senare tidpunkt t_0 och hålls sedan öppen. Dioden D har ett framspänningsfall av 0.6 V. Det gäller att $V_0 = 3\,\mathrm{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $L = 10\,\mathrm{mH}$, $R_2 = 10\,\mathrm{k\Omega}$ och $C = 10\,\mu\mathrm{F}$.

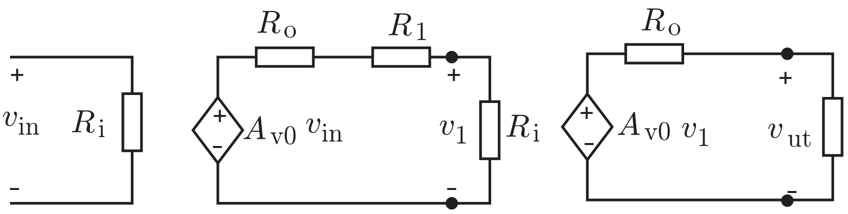
a) Bestäm $v_L(t)$ i tidsintervallet $0 < t < t_0$.

b) Bestäm $i_C(t_0^+)$ och $v_L(t_0^+)$, där t_0^+ är tiden strax efter det att den högra kontakten öppnats.

c) Bestäm $v_L(t)$ och $v_C(t)$ då $t \to \infty$.

Lösningar

1



a) Spänningsdelning ger

$$
\begin{aligned}
v_1 &= \frac{R_i}{R_o + R_1 + R_i} A_{\mathrm{vo}} v_{\mathrm{in}} \\
v_{\mathrm{ut}} &= \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{\mathrm{vo}} v_1
\end{aligned}
$$

Förstärkningen ges av

Svar: $A = \frac{v_{\mathrm{ut}}}{v_{\mathrm{in}}} = \frac{R_i R_L}{(R_i + R_o + R_1)(R_L + R_o)} A_{\mathrm{vo}}^2$

b) En ideal spänningsförstärkare har $R_i = \infty$ och $R_o = 0$. Det ger

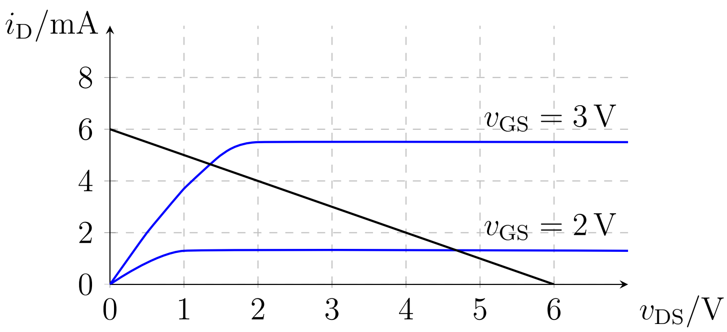
Svar: $A = A_{\mathrm{vo}}^2$

2

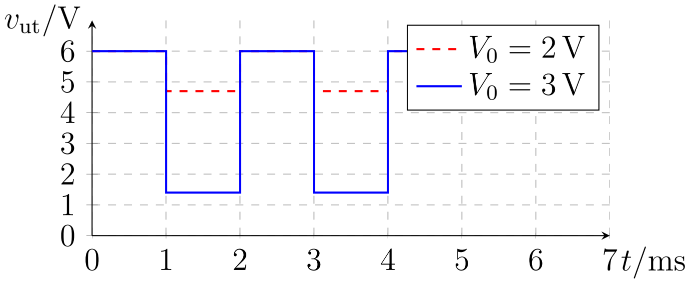
Då $v_{\mathrm{in}} = 0$ är $v_{\mathrm{GS}} = 0$, dvs den befinner sig i det strypta området där $i_{\mathrm{D}} = 0$, dvs $v_{\mathrm{ut}} = V_{\mathrm{DD}} = 6\,\mathrm{V}$ eftersom ingen ström går genom resistansen. Då $v_{\mathrm{in}} = V_0$ kommer transistorn att leda, och KVL ger

$$
V_{\mathrm{DD}} - R i_{\mathrm{D}} - v_{\mathrm{DS}} = 0
$$

Denna ekvation svarar mot en rät linje i diagrammet enligt



Eftersom $v_{\mathrm{in}} = v_{\mathrm{GS}}$ läser vi av $v_{\mathrm{DS}} = 4.7\,\mathrm{V}$ för $V_0 = 2\,\mathrm{V}$, och $v_{\mathrm{DS}} = 1.4\,\mathrm{V}$ för $V_0 = 3\,\mathrm{V}$. Eftersom $v_{\mathrm{ut}} = v_{\mathrm{DS}}$ ger detta utsignalerna



3

a) Kretsen är en NOR krets

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

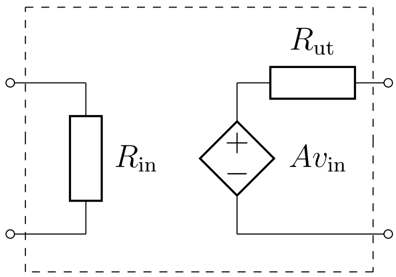
b)

S	R	P	Q
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0

c) När man går till (S,R)=(0,0) behålls värdena på P och Q. Det betyder att när (S,R)=(1,0) och går till (0,0) är (P,Q)=(0,1) och när (S,R)=(0,1) och går till (0,0) är (P,Q)=(1,0).

4

Den allmänna linjära förstärkarmodellen är



a) Negativ återkoppling ger att potentialen på den negativa ingången till OP:n är noll. Vi har då $v_{in} = R_1 i_{in}$, dvs $R_{in} = v_{in}/i_{in} = R_1$. Potentialen vid OP:ns utgång är $v = -R_2 i_{in} = -\frac{R_2}{R_1} v_{in}$. Detta svarar mot en styrd spänningskälla, dvs $A = -R_2/R_1$. Denna spänningskälla är kopplad direkt till utgången via en serieresistans R_3, dvs $R_{ut} = R_3$.

Svar: $R_{\text{in}} = R_1$, $A = -R_2/R_1$, $R_{\text{ut}} = R_3$.

b) Insignalen är direkt kopplad till OP:ns ingång, vilket medför $i_{\text{in}} = 0$, dvs $R_{\text{in}} = v_{\text{in}}/i_{\text{in}} = \infty$. Negativ återkoppling ger att potentialen på negativa ingången till OP:n är lika med v_{in}. Detta medför att strömmen genom resistanserna R_2 och R_3 (riktad nedåt) är $i = v_{\text{in}}/R_3$, vilket ger att potentialen på OP:ns utgång är $v = (R_2+R_3)i = (1+R_2/R_3)v_{\text{in}}$. Detta svarar mot en styrd spänningskälla, dvs $A = 1 + R_2/R_3$. Denna spänningskälla är kopplad direkt till utgången via en serieresistans R_4, dvs $R_{\text{ut}} = R_4$.

Svar: $R_{\text{in}} = \infty$, $A = 1 + R_2/R_3$, $R_{\text{ut}} = R_4$.

5

Börja med observationen att för $t < 0$ är $v_{\text{s}} = 0$, kapacitansen C oladdad, och $v_{\text{ut}} = -v_C = 0$.

Negativ återkoppling innebär att minus-ingången på OP:n har samma potential som plus-ingången, vilken är kopplad till jord (potential noll). KCL i noden vid minus-ingången ger då

$$\frac{0 - v_{\text{s}}(t)}{R_{\text{s}}} + \frac{0 - v_{\text{ut}}(t)}{R} + C\frac{\mathrm{d}(0 - v_{\text{ut}}(t))}{\mathrm{d}t} = 0$$

Detta ger

$$\frac{\mathrm{d}v_{\text{ut}}(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{RC}v_{\text{ut}}(t) = -\frac{v_{\text{s}}(t)}{R_{\text{s}}C}$$

Multiplikation med integrerande faktor ger

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\mathrm{e}^{t/RC}v_{\text{ut}}(t)\right) = -\frac{\mathrm{e}^{t/RC}}{R_{\text{s}}C}v_{\text{s}}(t) \quad \Rightarrow \quad v_{\text{ut}}(t) = \mathrm{e}^{-t/RC}\left(v_{\text{ut}}(0) - \frac{1}{R_{\text{s}}C}\int_0^t \mathrm{e}^{t'/RC}v_{\text{s}}(t')\,\mathrm{d}t'\right)$$

Begynnelsespänningen är $v_{\text{ut}}(0) = -v_C(0) = 0$, och med $v_{\text{s}}(t) = V_0\mathrm{e}^{-t/T}$ för $t > 0$ får vi

$$\begin{aligned} v_{\text{ut}}(t) &= -\mathrm{e}^{-t/RC}\frac{V_0}{R_{\text{s}}C}\int_0^t \mathrm{e}^{t'/RC}\mathrm{e}^{-t'/T}\,\mathrm{d}t' = -\mathrm{e}^{-t/RC}\frac{V_0}{R_{\text{s}}C}\left[\frac{\mathrm{e}^{t'(\frac{1}{RC}-\frac{1}{T})}}{\frac{1}{RC}-\frac{1}{T}}\right]_0^t \\ &= -\mathrm{e}^{-t/RC}\frac{V_0}{R_{\text{s}}C}\frac{\mathrm{e}^{t(\frac{1}{RC}-\frac{1}{T})}-1}{\frac{1}{RC}-\frac{1}{T}} = V_0\frac{\mathrm{e}^{-t/RC}-\mathrm{e}^{-t/T}}{R_{\text{s}}/R - R_{\text{S}}C/T} \end{aligned}$$

Svar: $v_{\text{ut}} = V_0\dfrac{\mathrm{e}^{-t/RC}-\mathrm{e}^{-t/T}}{R_{\text{s}}/R - R_{\text{S}}C/T}$

6

a) För $0 < t < t_0$ är kretsen en vanlig RL-krets. Strömmen växer från 0 mot V_0/R_1 som $i_L(t) = \dfrac{V_0}{R_1}(1 - e^{-t/\tau})$, där $\tau = L/R_1$. Spänningen v_L ges av

Svar: $v_L(t) = L\dfrac{di(t)}{dt} = V_0e^{-t/\tau} = 3\mathrm{e}^{-t/\tau}\,\text{V}$, där $\tau = 1\,\text{ms}$.

b) Strömmen genom spolen är kontinuerlig i tiden. Det gör att $i_L(t_0^+) = \dfrac{V_0}{R_1}\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right)$. Strömmen måste gå igenom dioden. Eftersom spänningen över kondensatorn är kontinuerlig i tiden och är noll för $t \leq t_0$ så måste gälla att $v_C(t_0^+) = 0$. Därmed går all ström genom kondensatorn och ingen ström genom R_2. Det gäller alltså att $i_C(t_0^+) = \dfrac{V_0}{R_1}\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right)$.

Spänningen $v_L(t_0^+)$ fås enklast genom Kirchhoffs spänningslag. Den ger

$$v_L(t_0^+) = V_0 - R_1 i_L(t_0^+) - V_D$$

där $V_D = 0.6$ V är spänningen över dioden. Det ger $v_L(t_0^+) = 3 - 3(1 - e^{-t_0/\tau}) - 0.6 = 3e^{-t_0/\tau} - 0.6$ V

Svar: $i_C(t_0^+) = 0.3\left(1 - e^{-t_0/\tau}\right)$ A och $v_L(t_0^+) = 3e^{-t_0/\tau} - 0.6\,\mathrm{V}$

c) Efter lång tid är kretsen en likspänningskrets. Spolen är då en kortslutning och kondensatorn ett avbrott. Det ger att det flyter en ström $I = \dfrac{V_0 - V_D}{R_1 + R_2}$ genom R_1 och R_2. Det ger

Svar: $v_L(t) = 0$ och $v_C(t) = R_2 I = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}(V_0 - V_\mathrm{D}) \approx V_0 - V_\mathrm{D} = 2.4\,\mathrm{V}$.