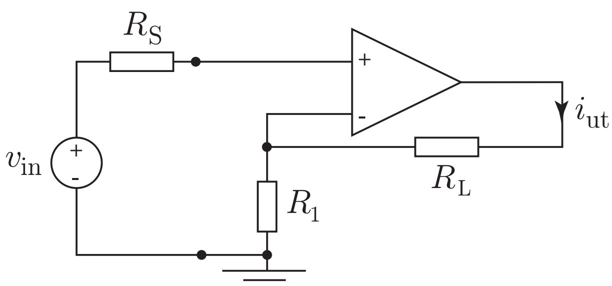
Lösningar till tentamen i Elektronik för E, ESS010, 13 december 2011

Uppgift 1

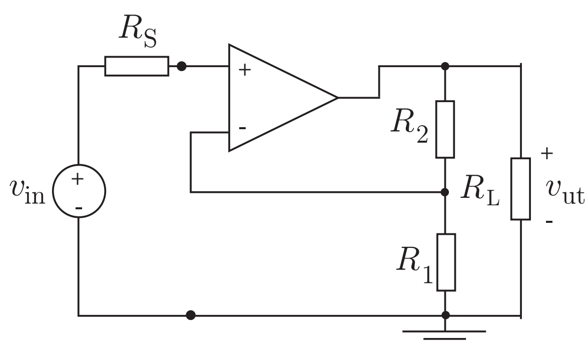
a) $R_{\mathrm{in}} = \infty$ och $R_{\mathrm{ut}} = 0$ för en ideal spänningsförstärkare.
b) $R_{\mathrm{in}} = \infty$ och $R_{\mathrm{ut}} = \infty$ för en ideal spänning-strömförstärkare.
c) $R_{\mathrm{in}} = 0$ och $R_{\mathrm{ut}} = 0$ för en ideal ström-spänningsförstärkare.
d) $R_{\mathrm{in}} = \infty$ och $|A| = \infty$ för en ideal operationsförstärkare.

Uppgift 2

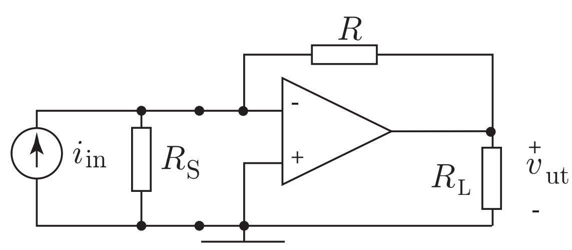
a)



b)



c)



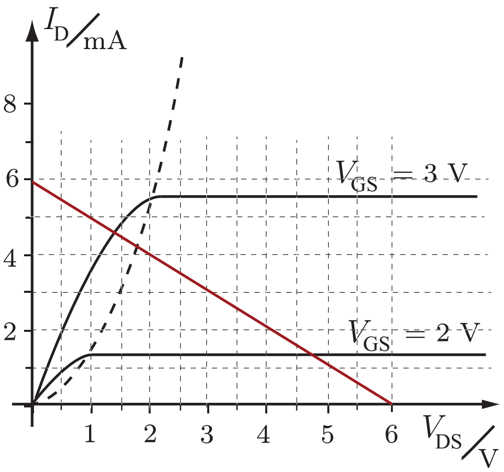
Kopplingarna ges i figuren

a) Spänning-strömförstärkare förstärkning $G = \dfrac{1}{R_1} = 0.1$ A/V. Välj $R_1 = 10\ \Omega$

b) Spänningsförstärkare med förstärkning $A = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$ =100.

c) Ström-spänningsförstärkare med förstärkning -1000 V/A, d.v.s. $R = 1$ kΩ.

Uppgift 3



a) KVL ger $V_{DD} = RI_D + V_{DS}$. Detta motsvarar en rät linje $I_D = \dfrac{V_{DD}}{R} - \dfrac{1}{R}V_{DS}$. Skärningspunkten mellan denna linje och graferna för transistorn ger $(V_{DS}, I_D) = (6\,\mathrm{V}, 0)$ då $V_{GS} = 0$ V, $(V_{DS}, I_D) \approx (4.7\,\mathrm{V}, 1.3\,\mathrm{mA})$ då $V_{GS} = 2$ V och $(V_{DS}, I_D) \approx (1.4\,\mathrm{V}, 4.6\,\mathrm{mA})$ då $V_{GS} = 3$ V.
b) Transistorn är strypt då $V_{GS} = 0$ V, mättad då $V_{GS} = 2$ V och i triodområdet då $V_{GS} = 3$ V.

Uppgift 4

a) KCL ger

$$\frac{0 - V_{\text{in}}}{R} + (0 - V_{\text{ut}})\mathrm{j}\omega C = 0$$

<u>Svar:</u> $H = \dfrac{V_{\text{ut}}}{V_{\text{in}}} = -\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega RC}$.
b) KCL ger

$$(0 - V_{\text{in}})\mathrm{j}\omega C + \frac{0 - V_{\text{ut}}}{\mathrm{j}\omega L} = 0$$

<u>Svar:</u> $H = \dfrac{V_{\text{ut}}}{V_{\text{in}}} = \omega^2 LC$.

c) Kretsen är en integrator där $v_{\text{ut}} = -\dfrac{1}{RC}\int_0^t v_{\text{in}}(t')\,\mathrm{d}t'$. Det ger

<u>Svar:</u> $v_{\text{ut}} = \dfrac{1}{\omega RC} V_0\,(\cos(\omega t) - 1)$

d) Man kan utnyttja att $i(t) = C\dfrac{dv_C(t)}{dt} = C\dfrac{dv_{\text{in}}(t)}{dt}$, där i är strömmen som går genom kondensatorn. Eftersom $i_n = 0$ går strömmen i även genom spolen. Det ger $v_{\text{ut}}(t) = -v_L(t) = - = -L\dfrac{di(t)}{dt}$. Genom att eliminera strömmen fås

<u>Svar:</u> $v_{\text{ut}}(t) = -LC\dfrac{d^2 v_{\text{in}}(t)}{dt^2} = V_0\omega^2 LC\sin(\omega t),\;$ för $t > 0$

Kommentar: Vid $t = 0$ är strömmen diskontinuerlig vilket gör att det under en mycket kort tid (idealt sett infinitesimal) blir en mycket stark (idealt sett oändlig) utspänning. För att undvika detta område är det lämpligt att begränsa tidsintervallet till $t > 0$.

Uppgift 5

a) Kretsen består av tre kaskadkopplade inverterare. Sanningstabellen ges alltså av

In	Ut
1	0
0	1

b) Detta är en ringoscillator med tre inverterare. Man kan anta att en inverterare slår om lika snabbt som en transistor. Det tar då ca 3 μs mellan varje omslag av en inverterare. Det ger en periodisk funktion med periodtiden 6 μs. Idealt sett är denna en fyrkantvåg med amplituden $V_{\mathrm{DD}} = 2$ V.
c) RC-nätet kommer att fördröja omslaget och det är denna tidsfördröjningen som bestämmer periodtiden. Anledningen är att spänningen över kondensatorn måste komma till $V_{\mathrm{to}} = V_{\mathrm{DD}}/2$ innan nästa inverterare slår om. Då kondensatorn laddas upp gäller approximativt $v_C(t) = V_{\mathrm{DD}}(1 - e^{-t/(RC)})$ och då den laddas ur gäller approximativt $v_C(t) = V_{\mathrm{DD}}e^{-t/(RC)}$, där t räknas från omslaget av inverteraren. Tidsfördröjningen vid varje omslag är därmed $\Delta t = RC\ln(2) = 10\ln(2)$ μs. Fortfarande är $v(t)$ en fyrkantpuls med amplituden V_{DD} men periodtiden har ändrats till $T = 60\ln(2)$ μs. Tidsfördröjningen i transistorerna kommer inte in eftersom tidsförloppet i RC-delen är såpass långsamt.
<u>Kommentar:</u> Uttrycken $v_C(t) = V_{\mathrm{DD}}(1 - e^{-t/(RC)})$ och $v_C(t) = V_{\mathrm{DD}}e^{-t/(RC)}$ är inte helt exakta eftersom de grundar sig på att kondensatorn är fullt urladdad innan den laddas upp, respektive uppladdad till V_{DD} innan den laddas ur. Det gör att periodtiden blir ca 10% kortare än det angivna T. I uppgiften frågas inte efter det exakta uppförandet utan det räcker att ange att periodtiden ökar.

Uppgift 6

Spänningen över kondensatorn ges av

$$v_C(t) = V_0(1 - e^{-t/\tau_c})$$

där $\tau_c = RC$. Operationsförstärkaren är en spänningsföljare vilket gör att $v_C(t)$ ligger på utgången. Använd Theveninekvivalenten för den högra delen av kretsen. Det ger $v_{\mathrm{Th}}(t) = 0.5v_C(t)$ och $R_{\mathrm{Th}} = 2R||2R = R$. Strömmen genom spolen satisfierar följande ekvation

$$v_{\mathrm{Th}}(t) = Ri(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

Metoden med integrerande faktor ger

$$
\begin{aligned}
i(t) &= e^{-t/\tau_L}\frac{1}{L}\int_0^t v_{\mathrm{Th}}(t')e^{t'/\tau_L}\,dt' = e^{-t/\tau_L}\frac{V_0}{2L}\int_0^t \left(e^{t'/\tau_L} - e^{t'(\tau_c-\tau_L)/(\tau_L\tau_c)}\right)\,dt' \\
&= \frac{V_0}{2L}\left(\tau_L(1-e^{-t/\tau_L}) - \frac{\tau_L\tau_C}{\tau_C-\tau_L}(e^{-t/\tau_C} - e^{-t/\tau_L})\right)
\end{aligned}
$$

där $\tau_L = L/R$. Eftersom $v(t)$ är lika med spänningen över induktansen fås.

<u>Svar:</u> $v(t) = L\dfrac{di(t)}{dt} = \dfrac{V_0}{2}\left(e^{-t/\tau_L} + \dfrac{1}{\tau_C-\tau_L}(\tau_L e^{-t/\tau_C} - \tau_C e^{-t/\tau_L})\right)$