Tentamen i Elektronik för E (del 2), ESS010, 11 januari 2013

Tillåtna hjälpmedel: Formelsamling i kretsteori.

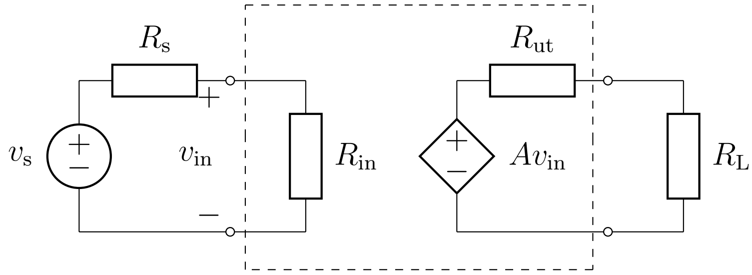
1

Du har en mikrofon som kan modelleras som en spänningskälla i serie med en resistans. Du vill driva en högtalare som kan modelleras som en resistans, och använder en förstärkare enligt kopplingen nedan.

a) Beräkna effektutvecklingen p_{L} i R_{L}.

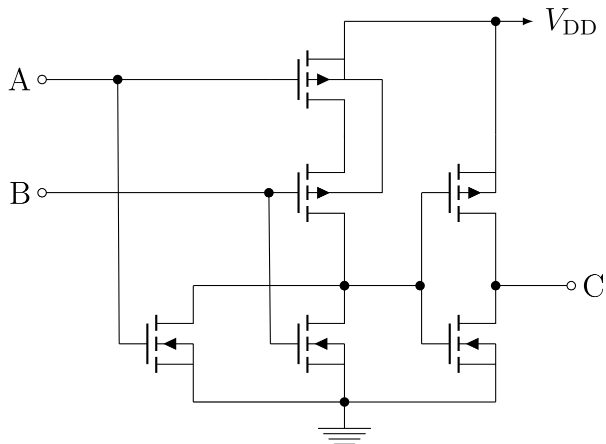
b) Hur ska R_{in} väljas för att få p_{L} oberoende av R_{s}?

c) Hur ska R_{ut} väljas för att maximera p_{L}?



2

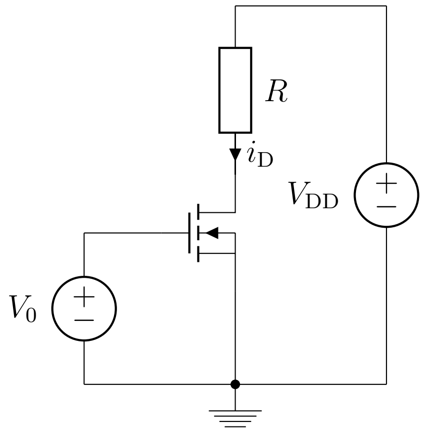
Vad är C som funktion av A och B i nedanstående krets? Svara med en sanningstabell.

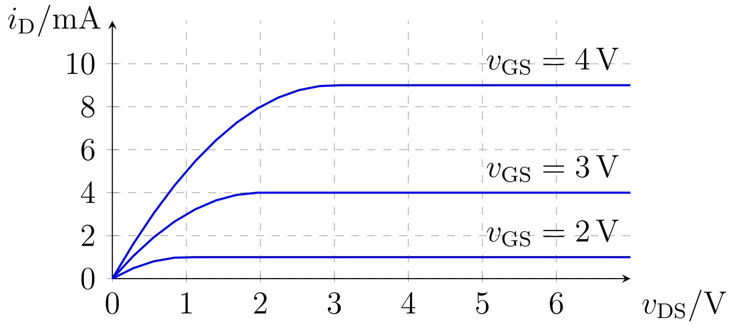


3

I kretsen nedan är $V_{\mathrm{DD}} = 5\,\mathrm{V}$ och $V_0 = 3\,\mathrm{V}$. Transistorn har tröskelspänningen $V_{\mathrm{t}} = 1\,\mathrm{V}$ och karakteristik enligt diagrammet. Rita av karakteristiken och lös problemet med en grafisk metod. Vad är i_{D}, och i vilket arbetsområde befinner sig transistorn, i följande fall?

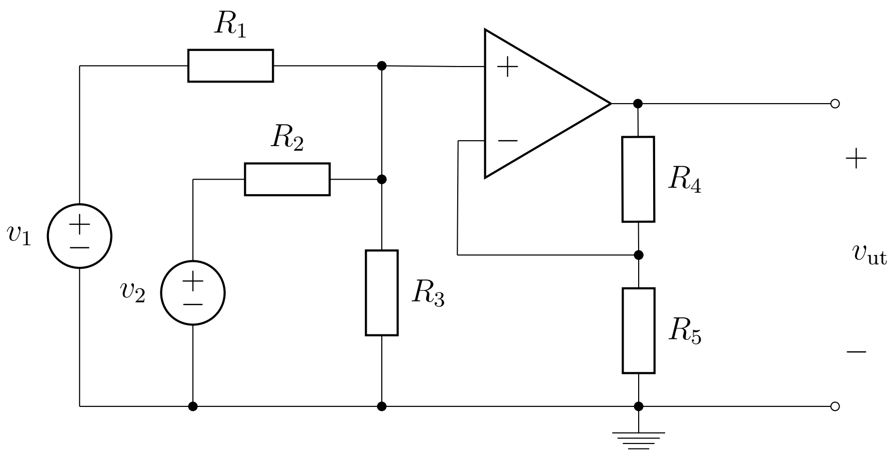
a) $R = 0.5\,\mathrm{k\Omega}$.
b) $R = 2.5\,\mathrm{k\Omega}$.





4

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

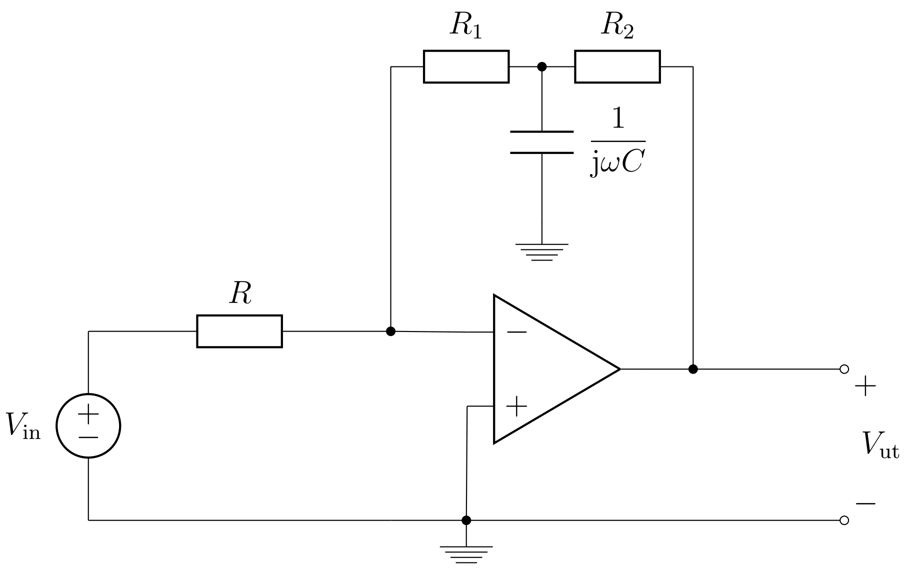


5

Det är ibland önskvärt att kunna reglera fasen i en tidsharmonisk signal. I nedanstående krets är R_1 och R_2 delar av en potentiometer med totalresistans R, dvs $R_1 = qR$ och $R_2 = (1-q)R$ där $0 < q < 1$. OP:n är ideal.

a) Beräkna V_{ut}.

b) Beräkna $\arg(V_{\mathrm{ut}}/V_{\mathrm{in}})$ som funktion av q.



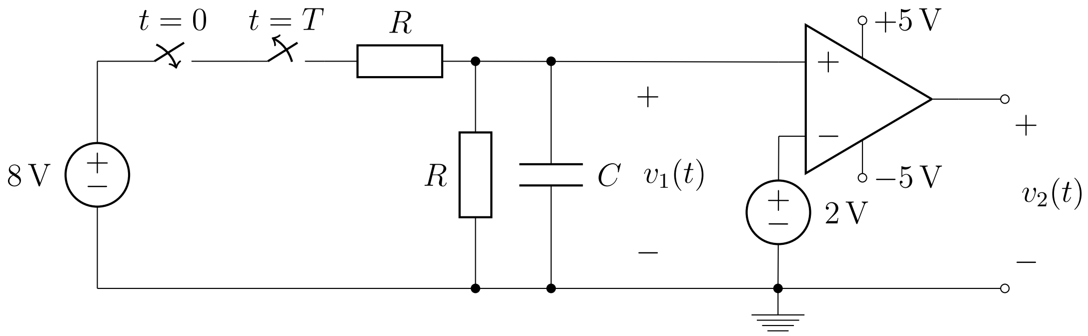
6

I nedanstående krets är den vänstra strömbrytaren öppen för $t < 0$ och sluts vid $t = 0$. Den högra strömbrytaren är sluten för $t < T$ och öppnas vid $t = T$. Anta att $T \gg RC$ (det räcker med $T \approx 5RC$). OP:ns utspänning begränsas av matningspotentialerna $\pm 5\,\mathrm{V}$.

a) Beräkna $v_1(t)$ och $v_2(t)$ för $0 < t < T$.

b) Beräkna $v_1(t)$ och $v_2(t)$ för $t > T$.

c) Skissa graferna för $v_1(t)$ och $v_2(t)$ för $-T < t < 2T$.



Lösningar

1

Spänningen över lasten är

$$v_{\mathrm{L}} = \frac{R_{\mathrm{L}}}{R_{\mathrm{L}} + R_{\mathrm{ut}}} A v_{\mathrm{in}} = \frac{R_{\mathrm{L}}}{R_{\mathrm{L}} + R_{\mathrm{ut}}} A \frac{R_{\mathrm{in}}}{R_{\mathrm{in}} + R_{\mathrm{s}}} v_{\mathrm{s}}$$

vilket ger effekten

$$p_{\mathrm{L}} = \frac{v_{\mathrm{L}}^2}{R_{\mathrm{L}}} = \frac{R_{\mathrm{L}}}{(R_{\mathrm{L}} + R_{\mathrm{ut}})^2} \left(\frac{R_{\mathrm{in}}}{R_{\mathrm{in}} + R_{\mathrm{s}}} \right)^2 A^2 v_{\mathrm{s}}^2$$

Detta blir oberoende av R_{s} då $R_{\mathrm{in}} = 0$ eller $R_{\mathrm{in}} = \infty$. Det första alternativet ger $p_{\mathrm{L}} = 0$ och förkastas därför.

För att maximera effekten med avseende på R_{ut}, noterar vi att p_{L} avtar ju större R_{ut} blir. Minsta möjliga val är $R_{\mathrm{ut}} = 0$.

Svar: a) $p_{\mathrm{L}} = \frac{R_{\mathrm{L}}}{(R_{\mathrm{L}}+R_{\mathrm{ut}})^2} \left(\frac{R_{\mathrm{in}}}{R_{\mathrm{in}}+R_{\mathrm{s}}} \right)^2 A^2 v_{\mathrm{s}}^2$. b) $R_{\mathrm{in}} = \infty$. c) $R_{\mathrm{ut}} = 0$.

2

Kretsen kan analyseras i två steg: först de fyra transistorerna till vänster, sedan de två till höger (som bara inverterar signalen). Det räcker med att en av ingångarna är hög för att utgången ska bli hög.

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

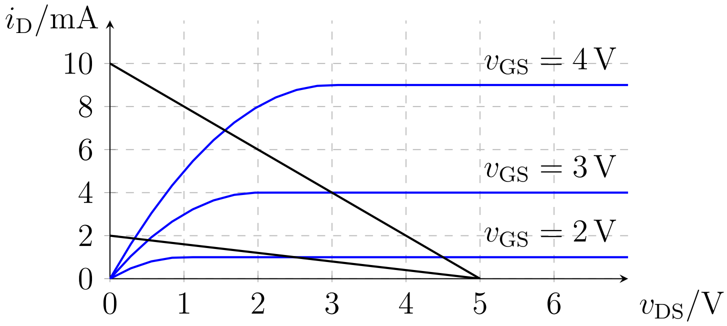
Den vänstra delen av kopplingen är en NOR-grind, och den högra en inverterare. Den sammansatta kopplingen är en OR.

3

Eftersom $v_{\mathrm{GS}} = V_0 = 3\,\mathrm{V} > V_{\mathrm{t}}$ är transistorn antingen i triodområdet eller det mättade området. KVL ger

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

För varje värde på R svarar denna ekvation mot en rät linje i diagrammet enligt



Skärningarna med grafen för $v_{\mathrm{GS}} = 3\,\mathrm{V}$ ger de sökta resultaten.

Svar:

a) Detta är den övre räta linjen, med skärningspunkt $(v_{\mathrm{DS}}, i_{\mathrm{D}}) = (3\,\mathrm{V}, 4\,\mathrm{mA})$ i det mättade området (i_{D} oberoende av v_{DS}).

b) Detta är den undre räta linjen, med skärningspunkt $(v_{\mathrm{DS}}, i_{\mathrm{D}}) \approx (0.6\,\mathrm{V}, 1.9\,\mathrm{mA})$ i triodområdet.

4

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

$$\frac{v - v_1}{R_1} + \frac{v - v_2}{R_2} + \frac{v}{R_3} = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

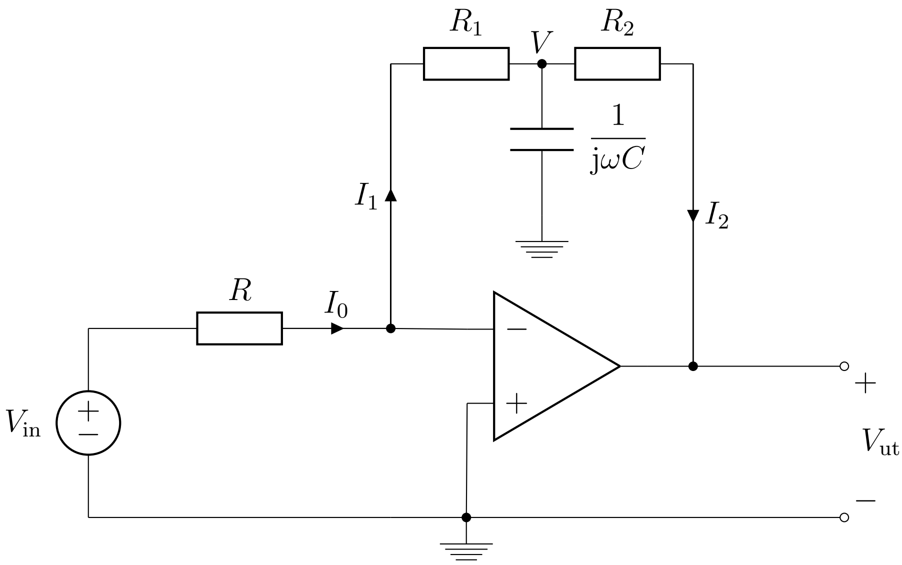
Tack vare den negativa återkopplingen har även OP:ns minusingång samma potential, vilken också ges av spänningsdelning av v_{ut} över R_4 och R_5:

$$v = \frac{R_5}{R_4 + R_5} v_{\mathrm{ut}} \quad \Rightarrow \quad v_{\mathrm{ut}} = \frac{R_4 + R_5}{R_5} \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Svar: $v_{\mathrm{ut}} = \dfrac{R_4 + R_5}{R_5} \dfrac{\dfrac{v_1}{R_1} + \dfrac{v_2}{R_2}}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3}}$

5

Introducera nodpotentialen V och strömmarna I_0, I_1 och I_2 enligt nedan.



Negativ återkoppling ger potential noll på OP:ns ingångar, vilket ger $I_0 = V_{\mathrm{in}}/R$. Ingen ström in i minusingången ger $I_1 = I_0$ och $V = 0 - R_1 I_1 = -\frac{R_1}{R} V_{\mathrm{in}}$. KCL ger

$$I_2 = I_1 - \mathrm{j}\omega C V = (1 + \mathrm{j}\omega C R_1)\frac{V_{\mathrm{in}}}{R}$$

Slutligen är

$$V_{\text{ut}} = V - R_2 I_2 = -\frac{R_1}{R} V_{\text{in}} - \frac{R_2}{R}(1 + \text{j}\omega R_1 C) V_{\text{in}} = -\left(\frac{R_1 + R_2}{R} + \text{j}\omega \frac{R_1 R_2}{R} C\right) V_{\text{in}}$$
$$= -(1 + \text{j}\omega RCq(1-q)) V_{\text{in}}$$

där vi använde $R_1 = qR$ och $R_2 = (1-q)R$. Argumentet för överföringsfunktionen är

$$\arg\left(\frac{V_{\text{ut}}}{V_{\text{in}}}\right) = \arg\big(-(1 + \text{j}\omega RCq(1-q))\big) = \pi + \arctan(\omega RCq(1-q))$$

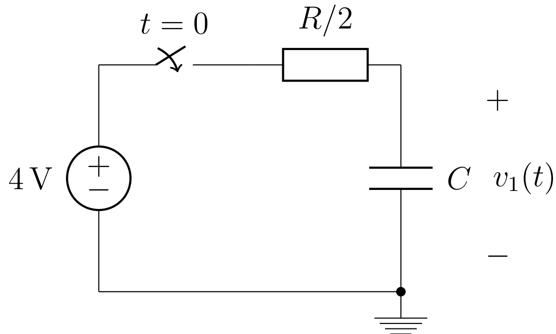
<u>Svar:</u> a) $V_{\text{ut}} = -(1 + \text{j}\omega RCq(1-q))V_{\text{in}}$. b) $\arg(V_{\text{ut}}/V_{\text{in}}) = \pi + \arctan(\omega RCq(1-q))$.

6

Operationsförstärkaren är kopplad som en komparator: då $v_1 < 2\,\text{V}$ är $v_2 = -5\,\text{V}$, och då $v_1 > 2\,\text{V}$ är $v_2 = +5\,\text{V}$. Den vänstra delen av kretsen kan analyseras oberoende av OP:n.

a) $0 < t < T$

Den vänstra delen av kretsen förenklas först genom en Théveninekvivalent för resistanserna och spänningskällan enligt nedan:



Detta svarar mot en uppladdning av en kapacitans med tidskonstant $RC/2$, dvs

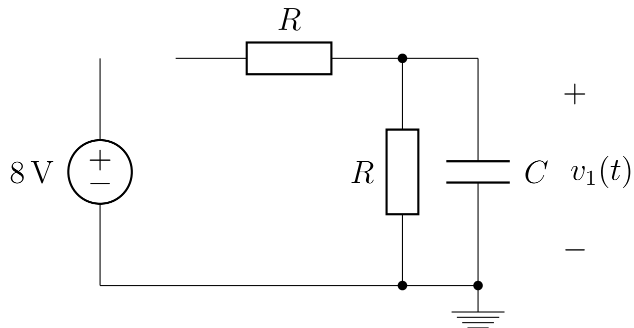
$$v_1(t) = 4\,\text{V} \cdot (1 - \text{e}^{-t/(RC/2)})$$

Detta ger att $v_1 = 2\,\text{V}$ då $t = \frac{RC}{2}\ln 2$.

<u>Svar:</u> $v_1(t) = 4\,\text{V} \cdot (1 - \text{e}^{-2t/(RC)})$ och $v_2(t) = \begin{cases} -5\,\text{V} & t < \frac{RC}{2}\ln 2 \\ +5\,\text{V} & t > \frac{RC}{2}\ln 2 \end{cases}$

b) $t > T$

Den vänstra delen av kretsen är nu



Detta svarar mot en urladdning av kapacitansen med en tidskonstant RC, med begynnelsevärdet $V_T = 4\,\mathrm{V} \cdot (1 - \mathrm{e}^{-2T/(RC)})$. Med $T \approx 5RC$ är $\mathrm{e}^{-2T/RC} \approx \mathrm{e}^{-10} \ll 1$, dvs $V_T = 4\,\mathrm{V}$.

$$v_1(t) = 4\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{-(t-T)/(RC)}$$

Detta ger att $v_1 = 2\,\mathrm{V}$ då $t - T = RC \ln 2$.

Svar: $v_1(t) = 4\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{e}^{-(t-T)/(RC)}$ och $v_2(t) = \begin{cases} +5\,\mathrm{V} & t < T + RC \ln 2 \\ -5\,\mathrm{V} & t > T + RC \ln 2 \end{cases}$

c)