

Portorán

Elektronika 2.

1. NZH, A csoport

2017. október 10.

Név, Neptun-kód	Terem, Szék	Felügyelő aláírása

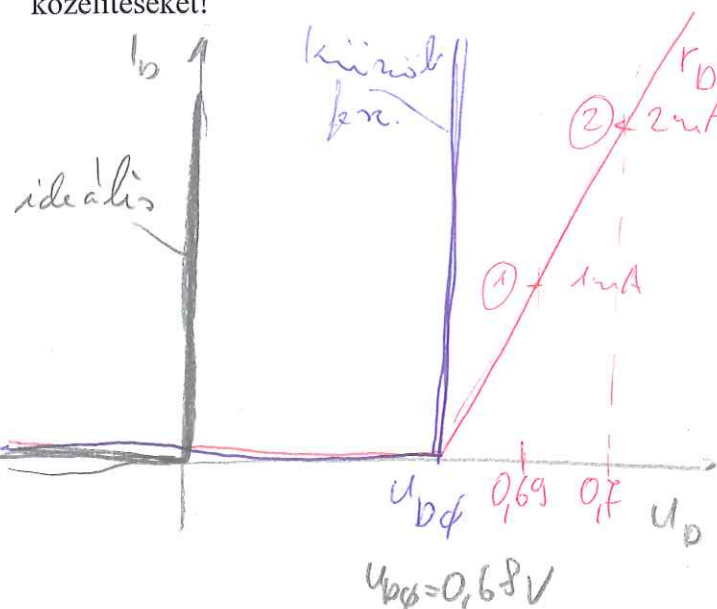
---	1.	2.	3.	4.	5.	iMSc	Σ	éremjegy
Max. pont	4	5	5	5	5	5	24	---
Elért pont								
Javító							---	---

A feladatok megoldásához papír, írószerszám, számológép használata megengedett, egyéb segédeszköz használata tiltott. A megoldásra fordítható idő: 90 perc. Az osztályozás a következő ponthatárok szerint történik:

0-9 pont	elégtelen (1)
10-12 pont	elégséges (2)
13-15 pont	közepes (3)
16-19 pont	jó (4)
20-24 pont	jeles (5)

Kérjük, hogy a megoldást arra a lapra írja, amelyen maga a feladat is szerepel. Ha a megoldásra szánt hely nem elegendő, akkor az adott lap másik oldala is használható, de ebben az esetben kérjük, hogy a feladat megoldásánál jelezze, hogy a másik oldalon is van feladat.

1. Milyen dióda karakterisztika közelítéseket alkalmazunk a töréspontos karakterisztikák megvalósításakor? Egy diódáról tudjuk, hogy vezető irányban 1mA hatására 0,69V, 2mA hatására pedig 0,7V feszültség esik rajta. Rajzolja fel számszerűen is helyesen a tanult dióda karakterisztika közelítéseket!



$$r_D = \frac{U_{b2} - U_{b1}}{I_{b2} - I_{b1}} = \frac{0,7 - 0,69}{2\text{mA} - 1\text{mA}} = 10\Omega$$

$$U_{b0} + r_D \cdot I_{b1} = U_{b1}$$

$$U_{b0} = U_{b1} - r_D \cdot I_{b1} = 0,69 - 10 \cdot 1\text{mA} = 0,68\text{V}$$

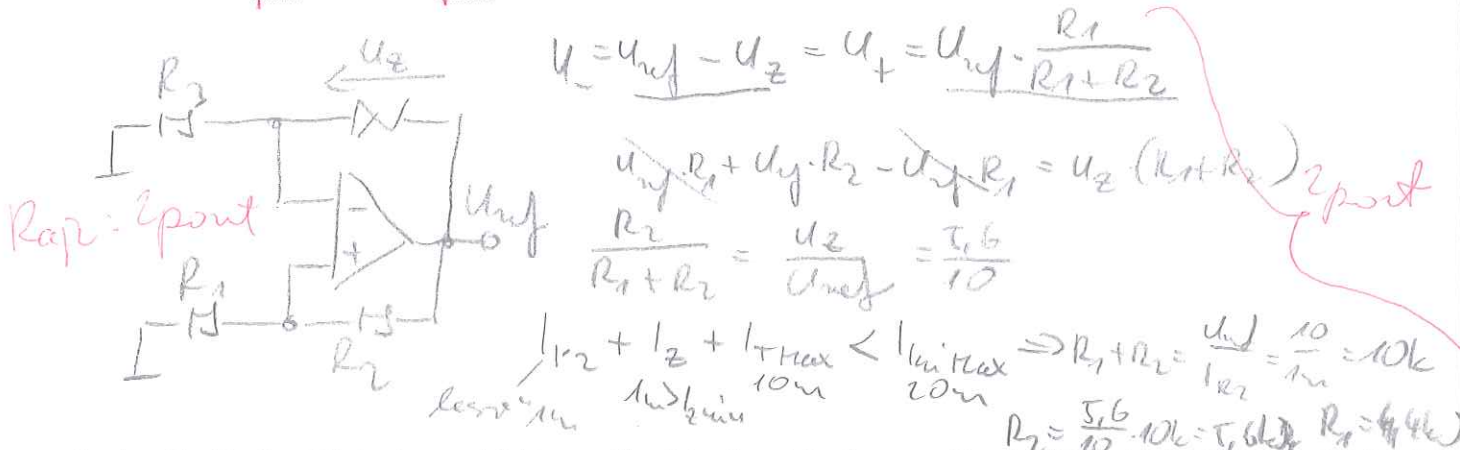
Rajz: 3 pont

Számítás: 1 pont

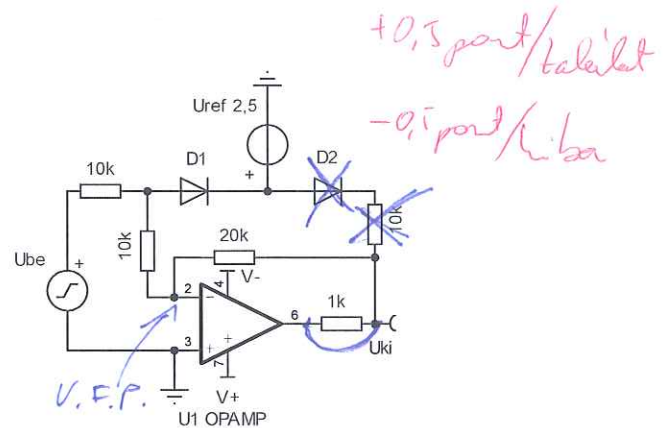
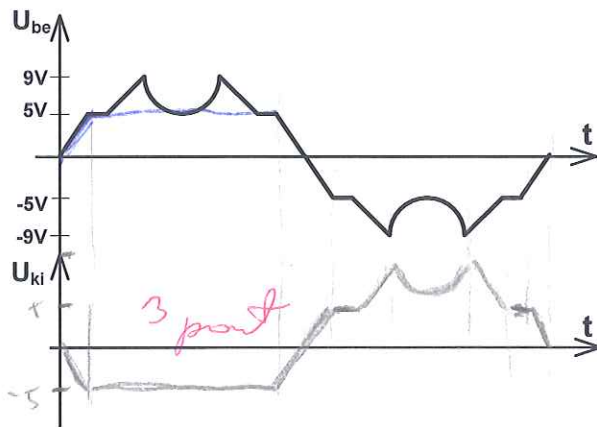
1 pont $R_3 = \frac{U_{ref} - U_Z}{I_Z} = \frac{10 - 5,6}{1mA} = 4,4k\Omega$
 legyen $I_Z = 1mA, I_{ref} P_Z = 0,0056W$

2. Egy 10V-os referencia feszültség létrehozására rendelkezésre állnak a következő alkatrészek: 5,6V-os Zener dióda, amelyre $P_{dMax}=0,2W, r_Z=50\Omega, I_{Zmin}=0,1mA$, műveleti erősítő, amelyre $I_{kiMax}=20mA, R_{ki}=100\Omega, A_{ud}=100V/mV, k_{SVR}=86dB$, tetszőleges értékű és terhelhetőségű ellenállások.

Tervezze meg és méretezze a kapcsolást az alábbiak figyelembevételével: az adott tápfeszültség tartomány (14-18V) mellett a műveleti erősítő által kiadható feszültség maximuma legalább 12V, a terhelő áram $I_{kiMin}=1mA$ és $I_{kiMax}=10mA$ között változhat!



3. Az $U_{bc}(t)$ feszültséget az alábbi nemlineáris áramkör bemenetére kötjük. A diódák vezetőirányú feszültségesése elhanyagolható. Mely elemek **nem** befolyásolják közvetlenül a kimenő feszültséget? Rajzolja fel a kimeneti feszültség időfüggvényét számszerűen is helyesen!



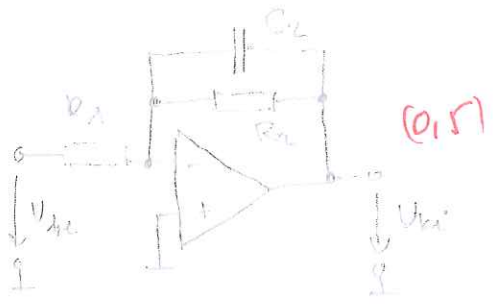
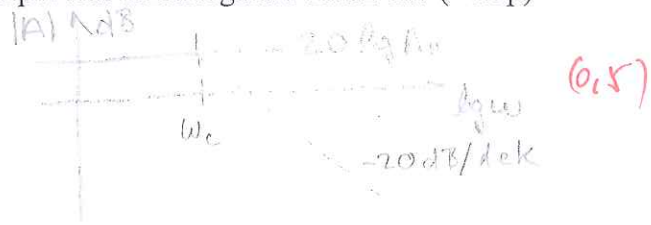
$U_+ \cdot \frac{10k}{10k + 10k} = U_{ref}$

$U_+ = 2U_{ref} = 5V$ 0,5 pont

A kimeneti $U_{bc} > 5V$ feletti részeit levágja, egyébként 1:1 jel fordító!

Írja fel az elsőfokú alul áteresztő szűrő alaptag átviteli függvényét és rajzolja fel a közelítő amplitúdó Boode diagramját. Rajzolja fel az elsőfokú alul áteresztő szűrő alaptagot megvalósító műveleti erősítő alapkapcsolást. Határozza meg általánosan a kapcsolás átviteli függvényét. Határozza meg az elemek értékét úgy, hogy az egyenfeszültségű átvitel 5, a törésponti frekvencia pedig $f_c = 1\text{kHz}$ legyen. A bemenő jel a $0 \dots 1\text{V}$ tartományban változik. A bemenő jel maximális terhelhetősége: $100\mu\text{A}$. Milyen frekvencián lesz a kimenő jel a bemenő jel 1%-a? Mennyi az átvitel pontos értéke az f_c frekvencián? Mennyi a kapcsolás fázisforgatása 2kHz -en? (+0.5p)

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_c}} \quad (0,5)$$



$$\frac{U_{ki}}{R_1} + \frac{U_{ki}}{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}} = 0$$

$$\frac{U_{ki}}{R_1} = -U_{ki} \cdot \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}}{R_2 + \frac{1}{sC_2}}$$

$$R_1 = \frac{U_{kiH}}{I_{kiH}} = \frac{1}{10^{-4}} = 10\text{ k} \quad (0,5)$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + sC_2 R_2} \quad (0,5)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 5 \rightarrow R_2 = 5 \cdot 10\text{ k} = 50\text{ k} \quad (0,5)$$

$$\omega_c = \frac{1}{C_2 \cdot R_2} \rightarrow C_2 = \frac{1}{2\pi f_c \cdot R_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^4} = 0,032 \cdot 10^{-6} = 3,2\text{ nF} \quad (0,5)$$

$$0,01 = \frac{5}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

szagy

$$-40 \approx 20 \log 5 - 20 \log \frac{f}{f_c}$$

$$-54 = -20 \log \frac{f}{f_c}$$

$$2,7 = \log \frac{f}{f_c}$$

$$\left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \approx 500^2$$

$$f = f_c \cdot 501 \approx 500\text{ kHz}$$

$$f = 500 \cdot f_c = 500\text{ kHz} \quad (1)$$

$$A_{f_c} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3,54 \quad (0,5)$$

$$-\arctan \frac{\omega}{\omega_c} = -\arctan \frac{\omega}{\omega_c} = -\arctan 2 = -63,4^\circ$$

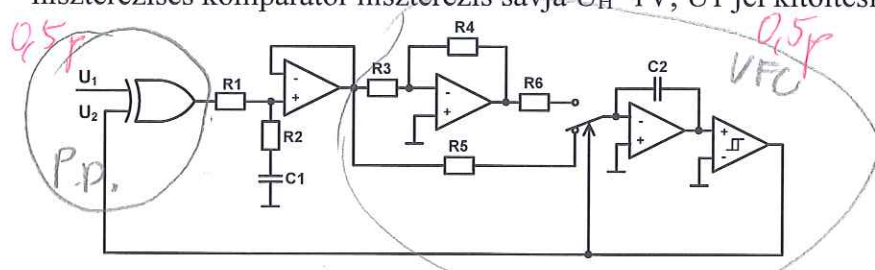
erősítő = $\pm 180^\circ$
eredő = $-243,4^\circ$

(+0,5)

4. Írja fel az elsőfokú alul áteresztő szűrő alaptag átviteli függvényét és rajzolja fel a közelítő amplitúdó Bode diagramját. Rajzolja fel az elsőfokú alul áteresztő szűrő alaptagot megvalósító műveleti erősítő alkapcsolást. Határozza meg általánosan a kapcsolás átviteli függvényét. Határozza meg az elemek értékét úgy, hogy az egyenfeszültségű átvitel abszolút értéke 5, a törésponti frekvencia pedig $f_c = 1\text{kHz}$ legyen. A bemenő jel a $0 \dots 1\text{V}$ tartományban változik. A bemenő jel maximális terhelhetősége: $100\mu\text{A}$. Milyen frekvencián lesz a kimenő jel a bemenő jel 1%-a? Mennyi az átvitel pontos értéke az f_c frekvencián? Mennyi a kapcsolás fázisforgatása 2kHz -en?

5. Az ábrán látható PLL kapcsolásban karikázzal jelölje be a fázisdetektort és a VFC-t! Határozza meg a fázisdetektor és a VFC átviteli tényezőjét! Hogyan változik meg a VFC átviteli tényezője, ha a hiszterézises komparátor bemenetére egy nagyfrekvenciás 10mV amplitúdójú zavaró jel szuperonálódik? Mi lesz a VFC közelítő átviteli függvénye 25kHz bemeneti frekvenciát feltételezve?

Adatok: XOR: $U_{OH}=5\text{V}$ és $U_{OL}=0\text{V}$, $R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=1\text{k}\Omega$, $C_1=20\text{nF}$, $R_3=R_4=R_5=R_6=10\text{k}\Omega$, $C_2=2\text{nF}$, a hiszterézises komparátor hiszterézis sávja $U_H=1\text{V}$, U_1 jel kitöltési tényezője 50% .



$$K_{FD} = \frac{U_{OH} - U_{OL}}{\pi} = \frac{5 - 0}{\pi} = 1,59 \text{ [V]} \quad 1p$$

$$\frac{U_H}{T/2} = \frac{1}{C} \cdot \frac{U_c}{R}$$

$$\frac{1}{T} = \left| \frac{1}{2U_H \cdot R \cdot C} \right| \cdot K_0 \cdot U_c$$

$$K_0 = \frac{1}{2 \cdot 1 \cdot 10\text{k} \cdot 2\text{n}} = \frac{1}{40\mu} = 25\text{kHz/V} \quad 1p$$

A 10mV -os zaj a hirtelen $2 \cdot 10\text{mV}$ -tal növekszik, tehát

$$K_0 = \frac{1}{2 \cdot (1 - 0,02) \cdot 10\text{k} \cdot 2\text{n}} = 25,5 \text{ kHz/V} \quad 1p$$

$$U_c = K_0 \cdot e^{-sT_h}, \text{ ahol } T_h = T/2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{2} = 20\mu\text{s} \text{ és } K_0 = 25\text{kHz/V}. \quad 1p$$

Kiegészítő kérdés a 2. feladathoz (4 iMSc pont): Mekkora kimeneti feszültség hibát okoz a Zener dióda gyártási szórásból adódó +0,1V-os hibája? Határozza meg a létrehozott kapcsolás kimeneti ellenállását és tápfeszültség változás kimeneti feszültségre vonatkozó hatásának elnyomását!

Kiegészítő kérdés a 4. feladathoz (1 iMSc pont): Mekkora a kapcsolás fázisforgatása 2kHz-en?

Folytatások, piszkozatok:

2. Kiegészítő

$$U_{ref} = \frac{10}{5,6} \cdot U_Z, \text{ tehát } \Delta U_{ref} = \frac{10}{5,6} \cdot \Delta U_Z = 0,179V \quad 1 \text{ pont}$$

$$R_{ki} = - \frac{\partial U_{ki}}{\partial I_{ki}}$$

A műveleti erősítő R_{ki} -ja ellenállásán eső feszültséget $\frac{I_{ki} \cdot R_{ki}}{A_{ud}}$ bemeneti feszültséggel lehet komparálni,

ami U_Z megváltozásával eszmélték, tehát

$$R_{ki} = \frac{10}{5,6} \cdot \frac{R_{ki} \mu A}{A_{ud}} = \frac{10}{5,6} \cdot \frac{100}{100 \cdot 10^3} = 1,79 \mu \Omega \quad 1,5 \text{ pont}$$

$$k_{SRR} = 20 \log_{10} \frac{1}{\frac{\partial U_{i,off}}{\partial U_{táp}}} \quad \text{a műveleti erősítő bemenet}$$

offsetkénéltrége tápfeszültségtől való függésével
kapcsolva, az offsetfeszültség megváltozása

$\frac{10}{5,6}$ éves kimeneti feszültség változást okoz, tehát

$$\underline{S} = 20 \log_{10} \frac{1}{\frac{\partial U_{ref}}{\partial U_{táp}}} = k_{SRR} - 20 \log_{10} \frac{10}{5,6} = 86 - 7 = \underline{81 \text{ dB}} \quad 1,5 \text{ pont}$$

Pontok

Elektronika 2.

1. NZH, B csoport
2017. október 10.

Név, Neptun-kód	Terem, Szék	Felügyelő aláírása

---	1.	2.	3.	4.	5.	iMSc	Σ	éremjegy
Max. pont	4	5	5	5	5	5	24	---
Elért pont								
Javító							---	---

A feladatok megoldásához papír, írószerszám, számológép használata megengedett, egyéb segédeszköz használata tiltott. A megoldásra fordítható idő: 90 perc. Az osztályozás a következő ponthatárok szerint történik:

0-9 pont	elégtelen (1)
10-12 pont	elégséges (2)
13-15 pont	közepes (3)
16-19 pont	jó (4)
20-24 pont	jeles (5)

Kérjük, hogy a megoldást arra a lapra írja, amelyen maga a feladat is szerepel. Ha a megoldásra szánt hely nem elegendő, akkor az adott lap másik oldala is használható, de ebben az esetben kérjük, hogy a feladat megoldásánál jelezze, hogy a másik oldalon is van feladat.

1. Sorolja fel a tanult fázis-detektorokat és változtatható frekvenciájú jelgenerátorokat! Csoportosítsa őket a jelhordozó szerinti 4 kategóriába!

Kétfázisú, elvezetett
PD: szinkronizáció + D/A
VFC: egyszerűen integrál

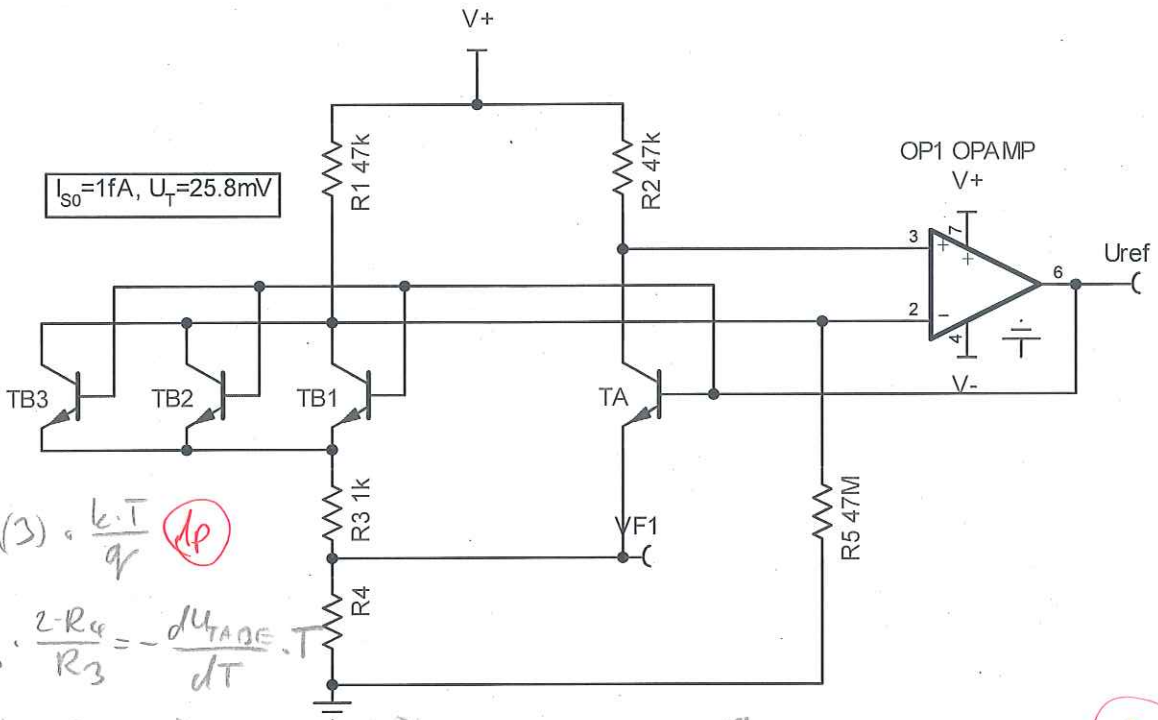
Kétfázisú, mintvevett
PD: XOR kapu
VFC: szinkronizáció integrál

Analog szinkronizáció
PD: analog szinkronizáció
VFC: L-C oszcillátor

Analog nettoros
PD: két nettoros
VFC: nettoros v. DDS

1-1 pont a teljes csoportra

2. Határozza meg az alábbi kapcsolásban R4 értékét úgy, hogy Uref jó közelítéssel hőmérséklet-független legyen! ($k=1,38e-23J/K$, $q=1,6e-19As$, a 4 tranzisztor azonos és hőmérsékletük $T=300K$, $U_{TA_BE}(300K)=0,6V$, $dU_{TA_BE}/dT=-2mV/K$) Mekkora lesz Uref közelítő értéke?



$$U_{R3} = \ln(3) \cdot \frac{k \cdot T}{q} \quad (1p)$$

$$U_{R4} = U_{R3} \cdot \frac{2 \cdot R4}{R3} = - \frac{dU_{TA_BE}}{dT} \cdot T$$

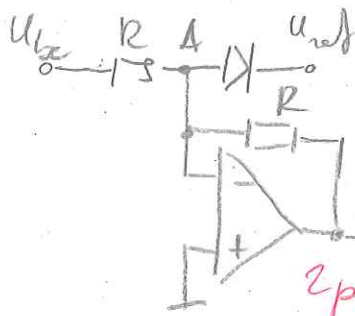
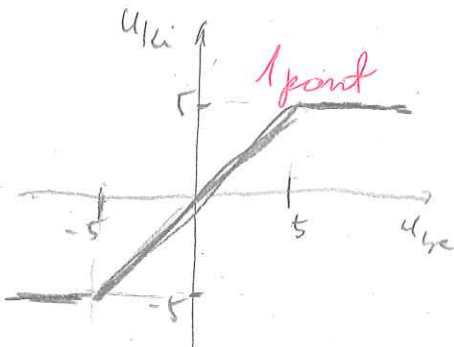
$$R4 = \frac{R3}{2} \cdot \left(- \frac{dU_{TA_BE}}{dT} \right) \cdot \frac{q}{\ln(3) \cdot k} = \frac{10^3}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{\ln(3) \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 10,5 k\Omega \quad (2p)$$

$$U_{ref} = U_{R4} + U_{TA_BE}, \quad U_{R4} = - \frac{dU_{TA_BE}}{dT} \cdot T = -2m \cdot 300 = 0,6V, \quad U_{ref} = 0,6 + 0,6 = 1,2V \quad (2p)$$

3. Valósítsa meg a következő 2 töréspontos karakterisztikát:

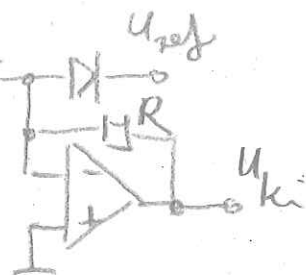
$U_{ki} = -5V$, ha $U_{be} < -5V$, $U_{ki} = +5V$, ha $U_{be} > +5V$, egyébként $U_{ki} = U_{be}$!

A kapcsolás bemeneti árama a 0/10V bemeneti jeltartományban ne haladja meg az 1mA-t, kimeneti ellenállása $< 1\Omega$ legyen! Felhasználható elemek (nem kell mindegyiket felhasználni, de egy típusból többet is lehet): felületszerelt kapacitás, ellenállás, dióda ($U_{D0} = 0,6V$, $r_{D0} = 10\Omega$), műveleti erősítő (ideálisnak tekinthető), $U_{ref} = 1,9V$ -os referenciaforrás.



$U_A \leftarrow$ referenciaforrás $U_{ref} + U_{D0} = 2,5V$
 $U_T = 2U_A \quad 0,5$

2 pont



$$\frac{U_{be,max} - U_{D0} - U_{ref}}{R} \leq I_{be,max}$$

$$R \geq \frac{10 - 0,6 - 1,9}{1m} = 7,5 k\Omega$$

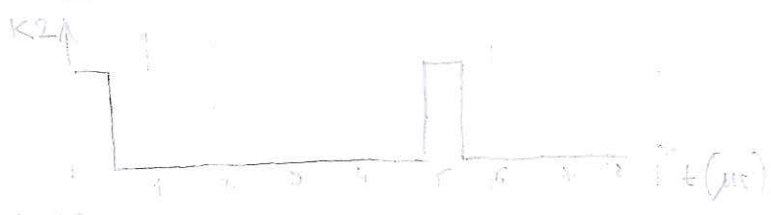
Legyen $R = 10 k\Omega$. Mivel $R \gg r_{D0}$, az ideális ellenállás.
 0,5

A képzés rajz önmagában is 5 pont.

Kapcsolt kapacitással ellenállást valósítunk meg. A kapcsolók kapcsolási frekvenciája 200kHz. A megvalósítandó ellenállás 100K. A FET kapcsolókra $R_{DSON} = 2K$. Határozza meg a szükséges kapacitás (C) értékét, a kapcsolók bekapcsolási idejét (t_{BE}). Rajzolja fel a kapcsolók vezérlésének és a kondenzátor feszültségének az időfüggvényét léptékhelyesen, ha a megvalósított ellenállás 12V és 4V egyenfeszültségek közé kapcsolódik. Határozza meg a kapcsolókon folyó áram értékét a kapcsolók bekapcsolási pillanatában. Változatlan kapacitás érték mellett mekkora frekvenciáig használható a kapcsolás? Mennyi lenne ezen a frekvencián a megvalósított ellenállás? Mennyi a kondenzátor feszültsége a kapcsolók zárása után $c \cdot R_{DSON}$ idő múlva? (+0.5p)

$$R = \frac{I}{C} = \frac{1}{f \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{f \cdot R} = \frac{1}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^5} = 0,5 \cdot 10^{-10} = \underline{50 \text{ pF}} \quad (0,5)$$

$$t_{BE} = 5 \cdot R_{DSON} \cdot C = 5 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10} = 5 \cdot 10^{-7} = \underline{0,5 \mu\text{s}} \quad (0,5)$$



(1,5)

$$f = 200 \text{ kHz} \rightarrow T = 5 \mu\text{s}$$



$$I_{kmax} = \frac{U_A - U_B}{R_{DSON}} = \frac{12 - 4}{2 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-3} = \underline{4 \text{ mA}} \quad (1)$$

$$T_{min} = 2 \cdot t_{BE} = 1 \mu\text{s} \rightarrow \frac{1}{f_{max}} = \frac{1}{10^6} = \underline{1 \text{ MHz}} \quad (1)$$

$$R^* = \frac{1}{f_{max} \cdot C} = \frac{1}{10^6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-10}} = 2 \cdot 10^4 = \underline{20 \text{ k}} \quad (0,5)$$

$$\text{K1 bekapcsolása után } U_C = 12 - 8 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 12 - 8 \left(1 - \frac{1}{e}\right) = \underline{6,96V}$$

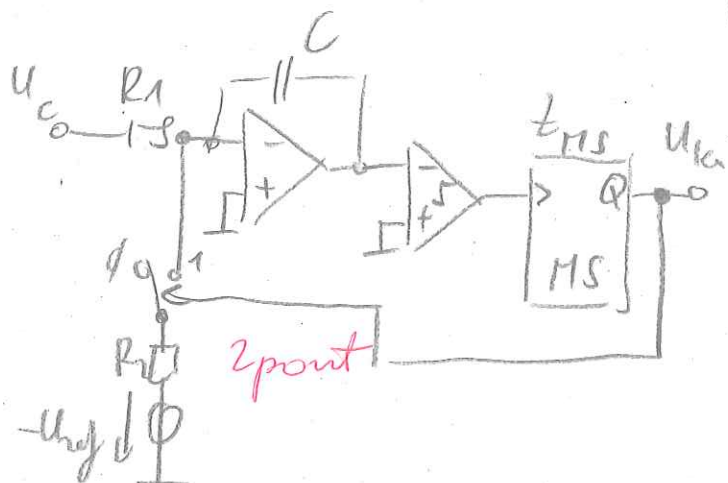
$$\text{K1 bekapcsolása után } U_C = 4 + 8 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 4 + 8 \left(1 - \frac{1}{e}\right) = \underline{9,04V}$$

(0,5)

4. Kapcsolt kapacitással ellenállást valósítunk meg. A kapcsolók kapcsolási frekvenciája 200kHz. A megvalósítandó ellenállás 100kΩ. A FET kapcsolókra $R_{DSON} = 2 \text{ k}\Omega$. Határozza meg a szükséges kapacitás (C) értékét, a kapcsolók bekapcsolási idejét (t_{BE}). Rajzolja fel a kapcsolást, a kapcsolók vezérlésének és a kondenzátor feszültségének az időfüggvényét léptékhelyesen, ha a megvalósított ellenállás 12V és 4V egyenfeszültségek közé kapcsolódik. Határozza meg a kapcsolókon folyó áram értékét a kapcsolók bekapcsolási pillanatában. Változatlan kapacitás érték mellett mekkora frekvenciáig használható a kapcsolás? Mennyi lenne ezen a frekvencián a megvalósított ellenállás?

5. Rajzolja fel az alábbi feltételeknek megfelelő VFC kapcsolási rajzát! A kimeneti jel impulzusszélessége állandó, a kapcsolás bemenő ellenállása 10kΩ, a bemeneti jeltartomány 5..10V, amelyhez 5..10kHz kimeneti frekvencia tartozik, a rendelkezésre álló referencia feszültség 1V, a kimeneti jel kitöltési tényezője a maximális frekvencián 50%, a műveleti erősítő kimeneti jeltartománya -10..10V.

Hogyan változik meg a kimeneti frekvencia, ha a hiszterézises komparátor bemenetére egy 1MHz-es 10mV amplitúdójú zavaró jel szuperponálódik? Mi lesz a VFC közelítő átviteli függvénye 6kHz kimeneti frekvenciát feltételezve?



$$R_1 = R_{be} = 10 \text{ k}\Omega \quad 0,5 \text{ p}$$

$$\frac{U_{cmax}}{R_1} = \frac{U_{ref}}{R_2} \cdot d(f_{max})$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{U_{ref}}{U_{cmax}} \cdot d(f_{max}) = 10 \text{ k} \cdot \frac{1}{10} \cdot 0,5 = 500 \Omega \quad 0,5 \text{ p}$$

$$t_{MS} = d(f_{max}) \cdot \frac{1}{f_{max}} = 0,5 \cdot \frac{1}{10 \text{ k}} = 50 \mu\text{s} \quad 0,5 \text{ p}$$

$$t_{MS} \cdot \frac{dU_c}{dt} \leq U_{max} = \text{Max}$$

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C} \left(\frac{U_{ref}}{R_2} - \frac{U_{cmin}}{R_1} \right) \leq \frac{U_{max} = \text{Max}}{t_{MS}}$$

$$C \geq (2 \text{ mA} - 0,5 \text{ mA}) \cdot \frac{50 \mu\text{s}}{10 \text{ V}} = 7,5 \text{ nF}$$

$$\text{Legyen } C = 10 \text{ nF!} \quad 0,5 \text{ p}$$

A rajz a periódusidő léptékelését ábrázolja, de az átlagos f_{max} villorid. $0,5 \text{ p}$

$$W_{osc} = K_0 \cdot e^{-sT_h}, \text{ ahol } T_h = \frac{1}{6k} = 167 \mu\text{s},$$

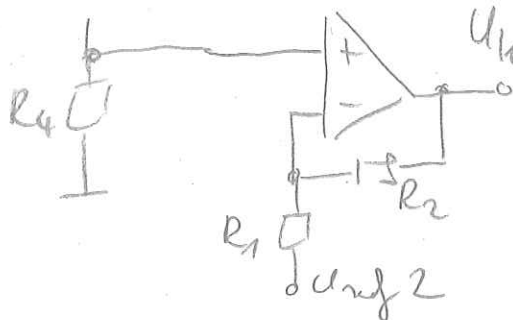
$$K_0 = \frac{R_2}{R_1 \cdot t_{MS} \cdot U_{ref}} = \frac{0,5 \text{ k}}{10 \text{ k} \cdot 50 \mu \cdot 1} = 1 \text{ k Hz/V.} \quad 0,5 \text{ p}$$

Kiegészítő kérdés a 2. feladathoz (4 iMSc pont): Egészítse ki a kapcsolást úgy, hogy egy olyan második kimenetet kapjunk, amelynek feszültsége 0C-on 1V, 100C-on 2V!
 (T(0C)=273) Felhasználható elemek: műveleti erősítő(k) és ellenállás(ok). Milyen speciális tulajdonságú műveleti erősítőre van szükség, ha
 -40C-ig akarunk hőmérsékletet mérni és nincs negatív tápfeszültség a rendszerben?

Kiegészítő kérdés a 4. feladathoz (1 iMSc pont): Mennyi a kondenzátor feszültsége a kapcsolók zárása után $C \cdot R_{DS(on)}$ idő múlva?

Folytatások, piszkozatok:

2. Kiegészítés



$$\frac{dU_{R4}}{dT} = 2 \text{ mV/K} \text{ meredekséget}$$

$$\frac{\Delta U_{ki}}{\Delta T} = \frac{2-1}{100-0} = 10 \text{ mV/K} \text{ -re kell}$$

erősíteni, tehát

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{10 \text{ mV}}{2 \text{ mV}} = 5$$

Legyen $R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 4 \text{ k}\Omega$!

U_{ref2} az offset beállításához szükséges

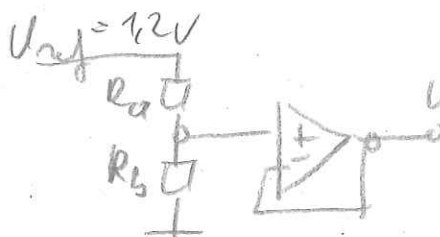
Pl. 0C-on $U_{R4} = 273 \cdot 2 \mu = 546 \text{ mV}$. Szuperpozícióval

$$U_{ki2} = U_{R4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_{ref2} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$0 = 0,546 \cdot 5 - U_{ref2} \cdot 4$$

$$U_{ref2} = \frac{5}{4} \cdot 0,546 = 0,682 \text{ V}$$

U_{ref2} egy új leghelyesebb előállításra



$$\frac{U_{ref2}}{U_{ref}} = \frac{R_b}{R_a + R_b} = \frac{0,682}{1,2} = 0,568$$

Legyen $R_a + R_b = 10 \text{ k}\Omega$, tehát

$$R_b = 5,68 \text{ k}\Omega, R_a = 10 - 5,68 = 4,32 \text{ k}\Omega$$

222 kimenetű mA kell a 0,6V kiegészítő tápfeszültség