

Elektronika 2.

Feladatok a zaj témakörhöz

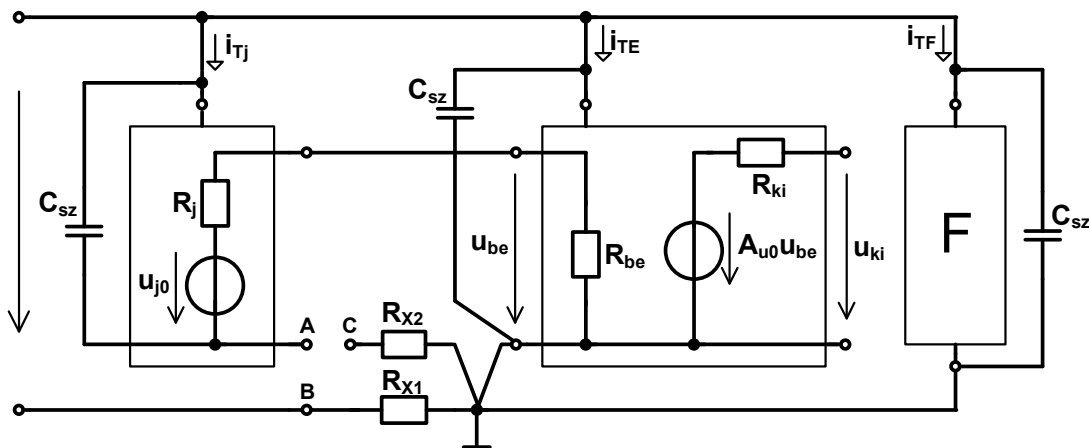
Külső zajok

1. Sorolja fel milyen jellegű külső eredetű zavarok hatnak az elektronikus áramkörök (például az erősítők) bemenetére! Szemléltesse egy-egy ábrán az egyes zavarójelek becsatolási módját is!

Galvanikusan csatolt

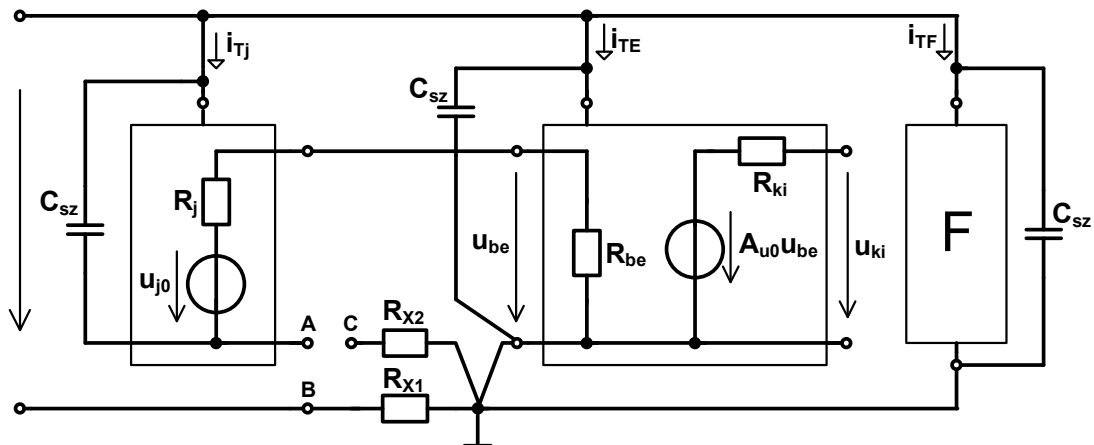
2. Az ábra szerinti kapcsolásban egy $U_T=15V$ feszültségű egyenfeszültség-forrás egy erősítőt, a bemenetére kapcsolt jelforrást és egyéb fogyasztókat (F) táplál. Az egyes eszközök tápbemenete akkora C_{sz} kondenzátorokkal van szűrve, hogy a tápforrásból gyakorlatilag a tápáramuk átlagértékét veszik fel, amelyek rendre: $I_{TJ}=10^{-2}[A]$, $I_{TE}=5 \cdot 10^{-2}[A]$, $I_{TF}=0,5A$. A jelforrás feszültségforrás jellegű, tehát $R_{be} \gg R_j$. A jelforrás A-jelű hidegpontját lehetősége van közvetlenül a táp-nullasín B-jelű pontjára csatlakoztatni, aminek a közös testpontig mérhető ellenállása $R_{X1}=2[m\Omega]$, vagy egy a közös testpontról leágazó $R_{X2}=10[m\Omega]$ ellenállású vékony vezető C-jelű pontjára.

Mekkora lesz az erősítő U_{be} bemeneti feszültségében a galvanikus zavarjel a két esetben? Ennek ismeretében melyik megoldást választaná?



3. Szemléltesse ábrán a galvanikusan becsatolt zavarás létrejöttét egy jelforrásról táplált erősítő esetében! Mi tekinthető zavaráramnak, ha mind a jelforrás kimeneti, mind az erősítő bemeneti, térben elkülönülő hidegpontja közvetlenül van lekötve a nullavezetőre, és mi akkor, ha a jelforrás hidegpontja az erősítő hidegpontjával van összekötve, és csak az erősítő bemeneti hidegpontja van közvetlenül lekötve a nullavezetőre?

4. Az ábra szerinti kapcsolásban egy $U_T=15V$ feszültségű egyenfeszültség-forrás egy erősítőt, a bemenetére kapcsolt jelforrást és egyéb fogyasztókat (F) táplál. Az egyes eszközök tápbemenete akkora C_{sz} kondenzátorokkal van szűrve, hogy a tápforrásból gyakorlatilag a tápáramuk átlagértékét veszik fel, amelyek rendre: $I_{TJ}=10^{-2}[A]$, $I_{TE}=5 \cdot 10^{-2}[A]$, $I_{TF}=0,5A$. A jelforrás R_j bemeneti ellenállása 1Ω , az erősítő R_{be} bemeneti ellenállása $1M\Omega$. Mekkora lesz az erősítő U_{be} bemeneti feszültségében a galvanikus zavarjel, ha közös jel-nulla és táp-nulla vezetékét alkalmazunk, azaz a jelforrás A-jelű hidegpontját közvetlenül a táp-nulla vezeték B-jelű pontjára csatlakoztatjuk és a közös vezeték R_{X1} ellenállása $2[m\Omega]$? Mekkora R_{X2} ellenállású jel-nulla vezeték hozzáadásával lehet ezt a zajt 1/10-ére csökkenteni?



4A. Egy autóban a külső hőmérsékletet szeretnénk mérni. A vásárolt hőmérséklet jeladó hasznos kimeneti feszültség tartománya 0...1V. A kiértékelést végző LCD-s megjelenítő bemeneti ellenállása $R_{be}=10\text{k}\Omega$. Azt tapasztaljuk, hogy a reflektor (12V, 60W) bekapcsolásakor a kijelzett hőmérséklet megváltozik. A kijelző bemenetét nagy belső impedanciájú voltmérővel ellenőrizve megállapítottuk, hogy az 0,1V-ot változik a reflektor ki/bekapcsolásakor. Mi okozhatja a gondot (számszerűen is)? Lehetőségünk van a hőmérséklet jeladót 0..20mA kimenetűre cserélni. Milyen átalakítást kell ehhez tennünk a kijelző elektronikán? Mekkora javulás várható?

4B Egy hőmérséklet távadó jeltartománya 0-20mA, kimeneti ellenállása 1M Ω . Mekkora legyen a jelfeldolgozó elektronika bemeneti ellenállása? Mekkora jel-zaj viszony várható a jelfeldolgozó elektronika bemeneténél, ha a közös jel és tápvezetéken eső feszültség a 0,1V-ot is elérheti?

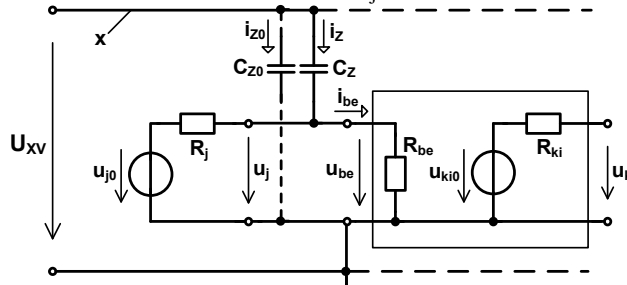
4C Egy hőmérséklet távadó jeltartománya 4-20mA, kimeneti ellenállása 1M Ω . A jelfeldolgozó elektronika bemeneti egységével a fenti áramtartományt 2-10V-os feszültségjellé alakítjuk. Ismertesse a kapcsolást! Mekkora jel-zaj viszony várható a jelfeldolgozó elektronika bemeneténél, ha a közös jel és tápvezetéken eső feszültség a 0,1V-ot is elérheti?

4D Egy hőmérséklet távadó jeltartománya 4-20mA, kimeneti ellenállása 1M Ω . A jelfeldolgozó elektronika bemeneti ellenállásával a fenti áramtartományt 1-5V-os feszültségjellé alakítjuk. Ismertesse a kapcsolást! Mekkora jel-zaj viszony várható a jelfeldolgozó elektronika bemeneténél, ha a közös jel és tápvezetéken eső feszültség a 0,1V-ot is elérheti?

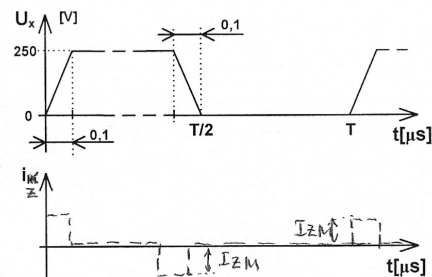
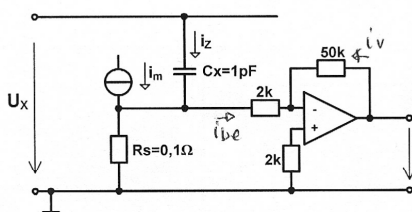
4E Egy nyomás távadó jeltartománya 0-20mA, kimeneti ellenállása 100k Ω . A jelfeldolgozó elektronika bemeneti ellenállásával a fenti áramtartományt 1V-os feszültségjellé alakítjuk. Adja meg a jelforrás Thevenin helyettesítését! Mekkora jel-zaj viszony várható a jelfeldolgozó elektronika bemeneténél, ha a közös jel és tápvezetéken eső zavarfeszültség a 0,1V-ot is elérheti?

Kapacitívan csatolt

4. Az ábra szerinti kapcsolásban az erősítő bemenetén mekkora csúcsértékű és milyen lefolyású $u_{beZ}(t)$ zavarfeszültséget okoz egy 10kV amplitúdójú, 1us alatt lineárisan felfutó és 50us időállandóval exponenciálisan lecsengő $u_{xv}(t)$ túlfeszültség-hullám? Milyen hatással van $u_{beZ}(t)$ amplitúdójára és lefolyására, ha az $u_{xv}(t)$ túlfeszültség-hullám amplitúdóját egy feszültséghatároló elemmel 1kV-ra korlátozzuk? $R_j=R_{be}=1k\Omega$, $C_{Z0}=C_Z=10pF$.



5. Az a.) ábra szerinti kapcsolás kimenetén az I_m áramforrás áramával arányos U_{ki} kimeneti feszültséget szeretnénk előállítani. Az áramérző R_s sönt és az erősítő közötti vezetékre egy b.) ábra szerinti időfüggvényű U_X zavarfeszültség a C_X kapacitáson át csatolódik. Milyen lefolyású lesz az U_{ki} az $U_X=0$ esetben illetve az U_X jelenlétekor, ha $I_m=2A$? Rajzolja fel az i_Z időfüggvényét is! Ha az invertáló bemenetre közvetlenül csatlakozó 2kΩ-os ellenállást áthelyeznénk a vezeték másik végére a sönt közelébe az milyen hatással lenne a kimeneten megjelenő zavarfeszültségre?



$$\text{Ha: } U_X = 0 \rightarrow I_Z = 0 \rightarrow U_{ki0} = -I_m \cdot R_s \cdot \frac{50}{2} = -2 \cdot 0,1 \cdot 25 \\ U_{ki0} = -5V$$

$$\text{Ha: } U_X \neq 0 \rightarrow I_Z \approx C_X \cdot \frac{dU_X}{dt} ; I_{ZM} = 10^{-12} \cdot \frac{250}{10^{-7}} [A] \\ I_{ZM} = 2,5 \mu A$$

$$U_{ki \text{ eredő}} = U_{ki0} + U_{kiZ}, \text{ ahol az alapelrendezésben: } U_{kiZ} \approx -I_Z \cdot R_s \cdot \frac{50}{2} = -I_Z \cdot 2,5 [V] \rightarrow U_{kiZM} = 6,25 [\mu V] \\ \text{a } 2k\Omega \text{ áthelyezésekor: } i_{beZ} = -i_{vZ} = i_Z \rightarrow U_{kiZ} = i_{vZ} \cdot 50 \cdot 10^3 = -50 \cdot 10^3 \cdot i_Z \rightarrow U_{kiZM} = 125 V \\ \text{a } 2k\Omega \text{ az } R_i \text{ növekedés, } R_{in} \approx 0 \text{ miatt az } i_Z \text{ megegyezik az } i_{beZ} \text{ árammal. (a valóságban } U_{kiT} \text{ korlátoz.)}$$

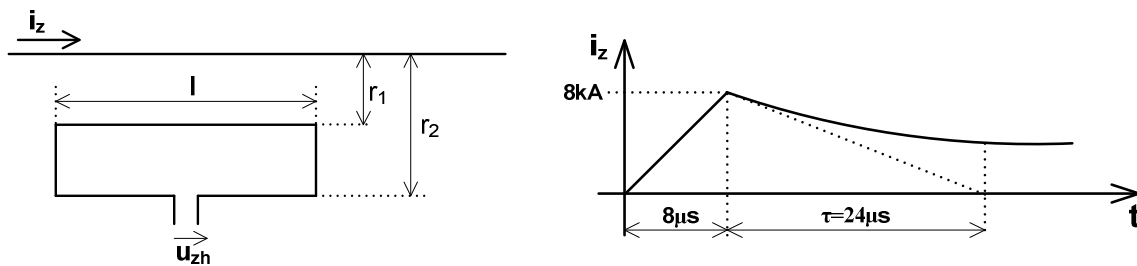
6. Erősáramú vezeték és egy jelvezeték közös kábelcsatornába helyeztek. Az erősáramú vezeték földhöz képesti feszültsége 1kHz-es 1000V (csúcstól-csúcsig) amplitúdójú négyszögjel 1us-os fel- és lefutási idővel, vezetett árama 100A középtételekre szuperponált 50A-es (csúcstól-csúcsig) 1kHz-es háromszögjel. A jelforrás kimenő ellenállása 100 Ohm, a jelforrás terhelése nagyimpedanciás, a jelforrás referencia nullája földelt. A jelforrás terhelésén 100mV-os amplitúdójú 1kHz-es frekvenciával ismétlődő pozitív, ill. negatív, tüske jellegű zavarfeszültséget mérünk. Milyen csatolás van az erősáramú- és a jelvezeték között (számszerűen is)? Hogyan védekezzünk ellene?

Induktívan csatolt

7. Erősáramú vezeték és egy jelvezeték közös kábelcsatornába helyeztek. Az erősáramú vezeték földhöz képesti feszültsége 1kHz-es 1000V (csúcstól-csúcsig) amplitúdójú négyszögjel 1us-os fel- és lefutási idővel, vezetett árama 100A középtételekre szuperponált

50A (csúcstól-csúcsig) 1kHz-es háromszögjel. A jelforrás kimenő ellenállása 100 Ohm, a jelforrás terhelése nagyimpedanciás, a jelforrás referencia nullája földelt. A jelforrás terhelésén 10mV-os amplitúdójú 1kHz-es négyszög jellegű zavarfeszültséget mérünk. Milyen csatolás van az erősáramú- és a jelvezeték között (számszerűen is)? Hogyan védekezzünk ellene?

8. Egy földelt villámáram-levezetővel ellátott tetőgerinc alatt a levezetővel közös síkban egy az ábra szerinti hurokantenna van a tetőtérben elhelyezve. Mekkora lesz egy az ábra szerinti lineáris felfutású és exponenciális lecsengésű levezetett villámáram hatására az antennahurokba átindukált zavarfeszültség lefolyása és csúcserőértéke? Az elrendezésre a csatolási tényező $M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}$.



Adatok: $l=0.5\text{m}$, $r_1=1\text{m}$, $r_2=1.1\text{m}$, $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} [\text{Vs/Am}]$.

9. Erősáramú vezeték és egy sodrott érpárral megvalósított jelvezeték közös kábelcsatornába helyeztek. Az erősáramú vezeték földhöz képesti feszültsége 1kHz-es 500V amplitúdójú négyszögjel 1μs-os fel- és lefutási idővel, vezetett árama 100A középtételekre szuperponált 50A (csúcstól-csúcsig) 1kHz-es szinuszjel. A jelforrás kimenő ellenállása 100 Ohm, a jelforrás terhelése nagyimpedanciás, a jelforrás referencia nullája földelt. Rajzolja fel a vezeték áramának és feszültségének időfüggvényét, valamint idő szerinti deriváltjaikat! A jelforrás terhelésén 100mV-os amplitúdójú 1kHz-es frekvenciával ismétlődő pozitív, ill. negatív, tüske jellegű zavarfeszültséget mérünk. Milyen csatolás van az erősáramú- és a jelvezeték között (számszerűen is)? Hogyan védekezzünk ellene?

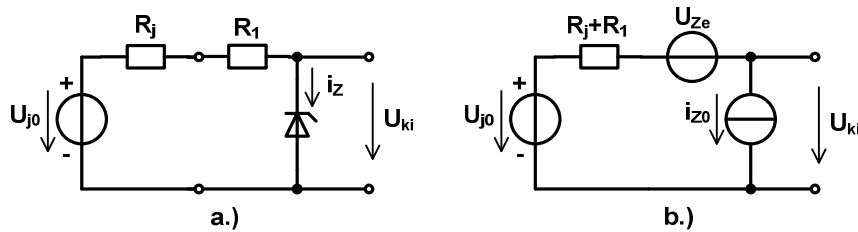
10. Erősáramú vezeték és jelvezeték közös kábelcsatornába helyeztek. Az erősáramú vezeték földhöz képesti feszültsége 50Hz-es 230V effektív értékű szinusz, vezetett árama nulla középtételekű 50A-es (csúcstól-csúcsig) 50Hz-es háromszög jel. A jelforrás kimenő ellenállása 100 Ohm, a jelforrás terhelése nagyimpedanciás, a jelforrás referencia nullája földelt. Rajzolja fel a vezeték áramának és feszültségének időfüggvényét, valamint idő szerinti deriváltjaikat! A jelforrás terhelésén 100mV-os amplitúdójú 50Hz-es négyszögjel jellegű zavarfeszültséget mérünk. Milyen csatolás van az erősáramú- és a jelvezeték között (számszerűen is)? Hogyan védekezzünk ellene?

Belső zajok

1. Rajzolja fel egy valóságos dióda keskenysávú zaj-helyettesítő képét! Számítsa ki a helyettesítő kép egyes elemeinek nagyságát $T=300\text{K}$ hőmérsékleten, ha a külső kristályrészecskék eredő soros ellenállása $r_s=1 \text{ Ohm}$, a munkaponti diódaáram 10mA, a maradékáram pedig 10μA nagyságú ($q=1.6 \cdot 10^{-19} [\text{As}]$, $k=1.38 \cdot 10^{-23} [\text{Ws/K}]$)!

2. Az a.) ábrán látható kapcsolásban R_j , R_1 és a stabilizátordióda zajos eszközök. Határozza meg a b.) ábrán látható zajmentes U_{j0} , i_{z0} , R_j , R_1 elemeket kiegészítő eredő U_{ze} zajfeszültség nagyságát, ha $R_1+R_j=900\text{Ohm}$, $U_{j0}=24\text{V}$, a lavinatartományban működő $U_{zn}=15\text{V}$ névleges

feszültségű stabilizátordióda maradékárama 5V zárófeszültségen (a letörés előtt) $0,5\mu\text{A}$.
Egyéb adatok: $T=300\text{K}$, $k=1,38 \cdot 10^{-23}\text{Ws/K}$ és $q=1,6 \cdot 10^{-19}\text{As}$.



2. Példa (megoldás)

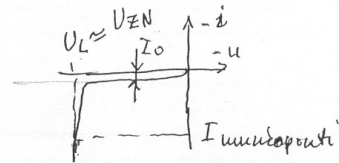
A sorbakapcsolt $(R_j + R_1)$ ellenállások zaj teljesítménysűrűsége:

$$S_{uR} = U_{ZR}^2 = 4kT \cdot (R_j + R_1) = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 900 [\text{V}^2/\text{Hz}] = 1,49 \cdot 10^{-17} [\text{V}^2/\text{Hz}]$$

A lavalindióda zaj a letörési tartományban:

$$I_{ZD}^2 = 2q \cdot M^2 \cdot I_0$$

$$\text{ahol: } M = \frac{I_{\text{működési}}}{I_0}$$



$$\text{és: } I_{\text{működési}} \approx \frac{U_{j0} - U_{ZN}}{R_j + R_1} = \frac{24,0 - 15}{900} [\text{A}] = 10^{-2} [\text{A}]$$

így:

$$M = \frac{10^{-2}}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^4 \quad \text{és a zajáram teljesítménysűrűsége:}$$

$$S_{iD} = I_{ZD}^2 = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (2 \cdot 10^4)^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} [\text{A}^2/\text{Hz}] =$$

$$= 2 \cdot 1,6 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-17} [\text{A}^2/\text{Hz}] = 6,4 \cdot 10^{-17} [\text{A}^2/\text{Hz}]$$

A helyettesítő kapcsolásban az eredő zajfeszültség teljesítménysűrűsége:

$$S_{ve} = U_{Ze}^2 = U_{ZR}^2 + I_{ZD}^2 \cdot (R_1 + R_j)^2 =$$

$$= 1,49 \cdot 10^{-17} + 6,4 \cdot 10^{-17} \cdot 900^2 = 1,49 \cdot 10^{-17} + 5,184 \cdot 10^{-11} \approx$$

$$\approx 5,184 \cdot 10^{-11} [\text{V}^2/\text{Hz}]$$

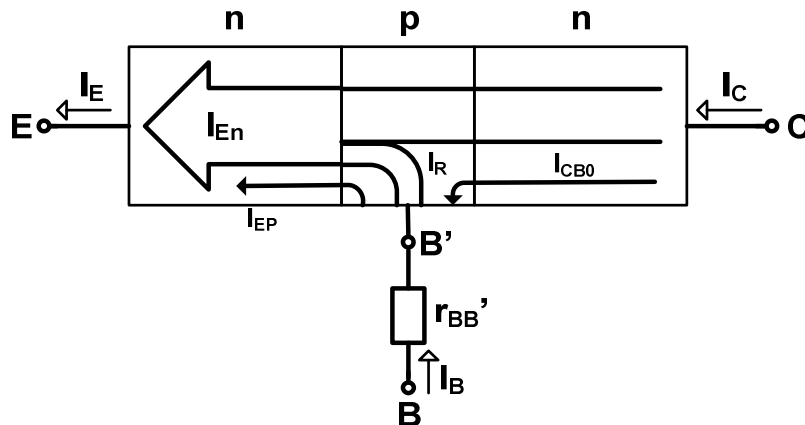
A zvesett eredő zajfeszültség pedig:

$$\underline{U_{Ze}} = \sqrt{5,184 \cdot 10^{-11}} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}] = 7,2 \cdot 10^{-6} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$$

A lavalinj relatív nagyság értéke miatt az eredő zajfeszültséget láthatóan a stabilizátordióda szabja meg.

A valóságban ennél mindig kisebb a zaj, hiszen a stabilizátordióda differenciális ellenállása terhelés nélkül is $\frac{r_D}{r_D + r_j + r_i}$ arányban osztja a zajfeszültséget. Pl. egy ZPD15 típusú dióda r_D differenciális ellenállása a 10mA-es munkapontban 10 Ohm körül van.

3. (2011-ben nem ment) Az ábra szerinti tranzisztorelrendezés emitter- és kollektor kristályrészek ellenállását elhanyagoltuk. Nyilazza be, hogy a tranzisztorban hol, milyen jellegű zaj keletkezik! A bázisrétegben fellépő zajforrásoknak írja fel az egyenleteit is!



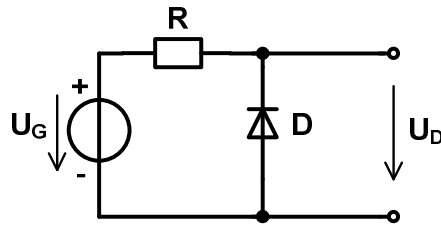
4. Egy zajjal bíró erősítő egy $R_{be}=10^4\Omega$ bemeneti ellenállású, az $f_a=10^3\text{Hz}$ és $f_f=10^5\text{Hz}$ frekvenciatartományban $A_u=100$ -as erősítésű, ezen kívüli frekvenciákon közel nulla erősítésű zajmentes erősítővel és a bemeneti kapcsaira sorosan kapcsolódó $U_z^2=10^{-19}[\text{V}^2/\text{Hz}]$ teljesítménysűrűségű, valamint párhuzamosan kapcsolódó $I_z^2=10^{-21}[\text{A}^2/\text{Hz}]$ teljesítménysűrűségű független zajforrásokkal helyettesíthető. Az erősítő bemenetét egy u_{j0} üresjárási jelfeszültségű és $R_j=10^3\Omega$ belső ellenállású ugyancsak zajos jelforrás táplálja.

Határozza meg az erősítő átviteli sáv szélességére jutó eredő soros Thevenin-helyettesítő szélessávú zajfeszültségét (U_{ZeRMS}), és a kimeneti kapcsokon megjelenő szélessávú zajfeszültséget ($U_{kiZ RMS}$)!

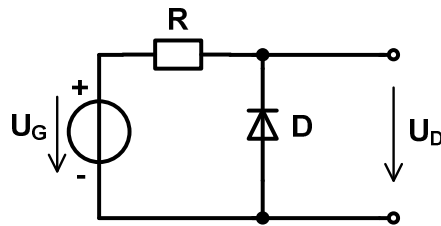
Fizikai állandók: $T=300[\text{°K}]$, $q=1,6 \cdot 10^{-19}[\text{As}]$, $k=1,38 \cdot 10^{-23}[\text{Ws/°K}]$.

5. Egy zajjal bíró aszimmetrikus erősítő egy zajmentes erősítővel és a bemenetére redukált $U_{ZRMS}=10^{-12}\text{V}$ -os zajfeszültségforrással valamint $I_{ZRMS}=0,5 \cdot 10^{-15}\text{A}$ -es zajáramforrással modellezhető. Mekkora lesz az $R_{be}=1\text{ kOhm}$ bemeneti ellenállású zajmentes erősítő bemenetére jutó eredő zajfeszültség, ha a tápláló zajos jelforrás kimeneti ellenállása $R_j=100\text{ Ohm}$? ($T=300\text{K}$, $k=1,38 \cdot 10^{-23} [\text{Ws/K}]$, $\Delta f=10^5\text{ Hz}$)

6. Az ábra szerinti elrendezésben egy $U_G=10\text{V}$ feszültségű zajmentes feszültségforrásra egy zajos ellenállás és dióda kapcsolódik sorosan. Mekkora lesz a dióda kapcsain megjelenő zajfeszültség teljesítménysűrűsége (a keskenysávú négyzetes zajfeszültség), ha $R=10^4[\Omega]$, a 100V-os letörési feszültségű dióda maradékárama $I_0=10^{-6}[\text{A}]$, a hőmérséklet $T=300[\text{°K}]$, $q=1,6 \cdot 10^{-19}[\text{As}]$, $k=1,38 \cdot 10^{-23}[\text{Ws/K}]$?



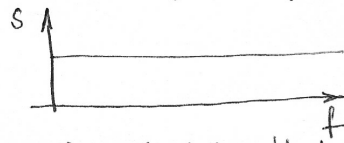
6.b Az ábra szerinti elrendezésben egy zajmentes feszültségforrásra egy zajos ellenállás és egy 100V-os letörési feszültségű dióda kapcsolódik sorosan. Milyen típusú zajok keletkeznek U_G értékétől függően? Milyen arányban változik meg a diódán mérhető zajfeszültség effektív értéke, ha a diódával párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral a zaj felső határfrekvenciáját 1MHz-ről 10kHz-re csökkentjük?



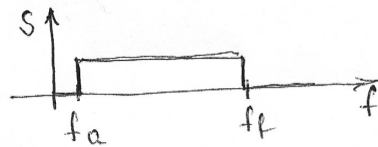
7. Egy zajos erősítőt egy termikus zajjal bíró jelforrás vezérel. A jelforrásra: $U_{j0RMS}=1\text{mV}$, $R_j=1\text{k}\Omega$, az erősítőre, a $1\text{kHz} \leq f \leq 1\text{MHz}$ tartományban $A_u=1000$ egyébként nulla, $R_{be}=1\text{k}\Omega$, a bemenetre redukált zajgenerátorokra pedig: $U_Z=10^{-17}\text{V}$, $I_Z=10^{-20}\text{A}$. Határozza meg 300K környezeti hőmérsékleten az eredő bemeneti soros zajforrás U_{ze} feszültségét, és azt, hogy mekkora feszültség jut ebből a zajmentes erősítő rész bementére! Számítsa ki a kimeneti jel-zaj viszonyt valamint a zajtényezőt! ($k=1.38 \cdot 10^{-23}\text{Ws/K}$ és $q=1.6 \cdot 10^{-19}\text{As}$)

8. Definiálja vagy szemléltesse ábrán, hogy mit nevezünk fehér zajnak, és mit sávhatárolt fehér zajnak! Sorolja fel, mely zajfajták mutatnak viszonylag széles frekvenciatartományban fehérzaj jelleget! Írja fel sávhatárolt fehér zaj esetére a teljesítménysűrűség és az egységnyi ellenállásra jutó zajteljesítmény közötti összefüggést a sávhatárok ismeretében!

A fehér zaj teljesítménysűrűsége a teljes frekvenciatartományban állandó.



A sávhatárolt fehér zaj teljesítménysűrűsége egy meghatározott $\Delta f = f_f - f_a$ sávhatáron belül nullától eltérő konstans, egyébként nulla nagyságú.



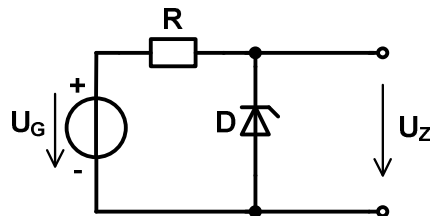
sávhatárolt fehér zajra:

$$P_R|_{R=1\Omega} = S \cdot \Delta f = S \cdot (f_f - f_a)$$

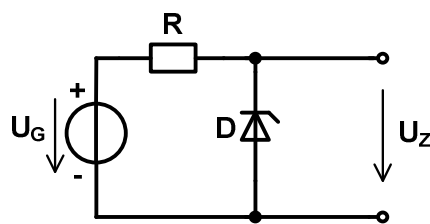
Fehér zaj jellegűek:

- termikus zaj (Johnson zaj)
- sörté zaj
- lavina zaj
- árameloszlási zaj

9. Az ábra szerinti elrendezésben egy $U_G=20V$ feszültségű zajmentes feszültségforrásra egy zajos ellenállás és zenerdióda kapcsolódik sorosan. Mekkora lesz a zenerdióda kapcsain megjelenő zajfeszültség teljesítménysűrűsége (a keskenysávú négyzetes zajfeszültség), ha $R=100[\Omega]$, a 10V-os letörési feszültségű dióda munkaponti árama $I_Z=M \cdot I_0=(U_G-U_Z)/R=1[mA]$, a hőmérséklet $T=300[K]$, $q=1,6 \cdot 10^{-19}[As]$ és $k=1,38 \cdot 10^{-23}[Ws/K]$?



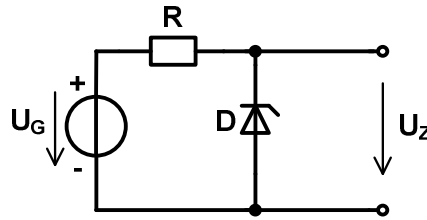
10. Az ábra szerinti elrendezésben egy $U_G=20V$ feszültségű zajmentes feszültségforrásra egy zajos ellenállás és zenerdióda kapcsolódik sorosan. Milyen típusú zajok keletkeznek? Mekkora lesz az összevont zajfeszültség teljesítménysűrűsége (a keskenysávú négyzetes zajfeszültség), ha $R=100[\Omega]$, a 10V-os letörési feszültségű dióda munkaponti árama $I_Z=M \cdot I_0=(U_G-U_Z)/R=1[mA]$, a hőmérséklet $T=300[K]$, $q=1,6 \cdot 10^{-19}[As]$ és $k=1,38 \cdot 10^{-23}[Ws/K]$?



11. Az ábra szerinti
os
zajmentes
 $R=10k\Omega$ -os
zajos
zenerdióda kapcsolódik sorosan. Milyen típusú zajok keletkeznek? Az ellenállással sorba

elrendezésben egy $U_G=20V$ -
feszültségforrásra egy
ellenállás és egy 10V-os

kapcsolt összevont helyettesítő keskenysávú zajfeszültség $1\mu V / \sqrt{Hz}$. Mekkora lesz az $U_{Z_{RMS}}$ szélessávú zajfeszültség a stabilizátor kimenetén, ha a diódával párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral a zaj frekvenciáját 1kHz-re korlátoztuk és az adott munkapontban a dióda differenciális ellenállása $100\ \Omega$?



12. Egy fotódiódára $10k\Omega$ -os ellenálláson keresztül $10V$ -os tápfeszültséget kapcsolunk. Az adott megvilágítás hatására a diódára jutó feszültség $5V$ -ra csökken. Mekkora lesz a dióda zajfeszültségének effektív értéke, ha a zaj sáv szélességét egy alul-áteresztő szűrő segítségével $10kHz$ -re csökkentettük?

12.a Fotódiódával audio jelet választunk le. A diódára $100k\Omega$ -os ellenálláson keresztül $10V$ -os tápfeszültséget kapcsolunk. Az adott megvilágítás hatására a diódára jutó feszültség $5V$ körüli munkapontra áll be, a rászuperponált audio jel effektív értéke $100mV$. Mekkora lesz a diódán a jel/zaj viszony, ha a zaj sáv szélességét egy alul-áteresztő szűrő segítségével $16kHz$ -re csökkentettük? ($q=1,6 \cdot 10^{-19}[As]$, $k=1,38 \cdot 10^{-23}[Ws/K]$)

12. b Fotódiódával audio jelet választunk le. A diódára $100k\Omega$ -os ellenálláson keresztül $10V$ -os tápfeszültséget kapcsolunk. Az adott megvilágítás hatására a diódára jutó feszültség $5V$ körüli munkapontra áll be. Rajzolja fel a kapcsolást! Milyen és mekkora keskenysávú zajösszetevők lépnek fel a kapcsolás kimenetén? Mekkora lesz a zaj effektív értéke, ha a zaj sáv szélességét egy alul-áteresztő szűrő segítségével $16kHz$ -re csökkentettük?

13. Egy zajjal bíró aszimmetrikus erősítő egy zajmentes erősítővel és a bemenetére redukált $U_{Z_{RMS}}=10^{-12}V$ -os zajfeszültségforrással valamint $I_{Z_{RMS}}=0,5 \cdot 10^{-15}A$ -es zajáramforrással modellezhető. Mekkora lesz az $R_{be}=1\ k\Omega$ m bemeneti ellenállású zajmentes erősítő bemenetére jutó eredő zajfeszültség, ha a tápláló zajos jelforrás kimeneti ellenállása $R_j=100\ \Omega$ Ohm? ($T=300K$, $k=1,38 \cdot 10^{-23}\ [Ws/K]$, $\Delta f=10^5\ Hz$)

14. Egy erősítőkapcsolás bemenetre vonatkoztatott keskenysávú zajfeszültsége $1\mu V / \sqrt{Hz}$. Az erősítő zaj keresztezési frekvenciája $100Hz$. Mekkora lesz a jel/zaj viszony (SNR , [dB]), ha az erősítő erősítése az $1kHz$ - $11kHz$ tartományban 10 , azon kívül nulla és a hasznos jel effektív értéke az erősítő bemenetén $1V$?

15. Egy erősítőkapcsolás bemenetre vonatkoztatott keskenysávú zajfeszültsége $1\mu V / \sqrt{Hz}$, a bemenetre vonatkoztatott keskenysávú zajárama az adott kapcsolásban elhanyagolható. A $100mV(RMS)$ belső feszültségű jelforrás összevont üresjárási keskenysávú zajfeszültsége $2\mu V / \sqrt{Hz}$. Mekkora lesz a jel/zaj viszony (SNR , [dB]), ha az erősítő erősítése a 0 - $10kHz$ tartományban 10 , azon kívül nulla, a jelforrás belső ellenállása 100Ω és az erősítő bemeneti ellenállása $1k\Omega$?

16. Egy erősítőkapcsolás bemenetre vonatkoztatott keskenysávú zajfeszültsége $1\mu V / \sqrt{Hz}$. Az erősítő zaj keresztelési frekvenciája 1kHz. Rajzolja fel a keskenysávú négyzetes zajfeszültség frekvenciafüggését! Milyen típusú zaj határozza meg a jel/zaj viszonyt az erősítő kimenetén, ha az erősítő erősítése az 10Hz-110Hz tartományban 10, azon kívül nulla.

Mekkora lesz a jel/zaj viszony az erősítő kimenetén (SNR, [dB]), ha a hasznos jel effektív értéke az erősítő bemenetén 1V?

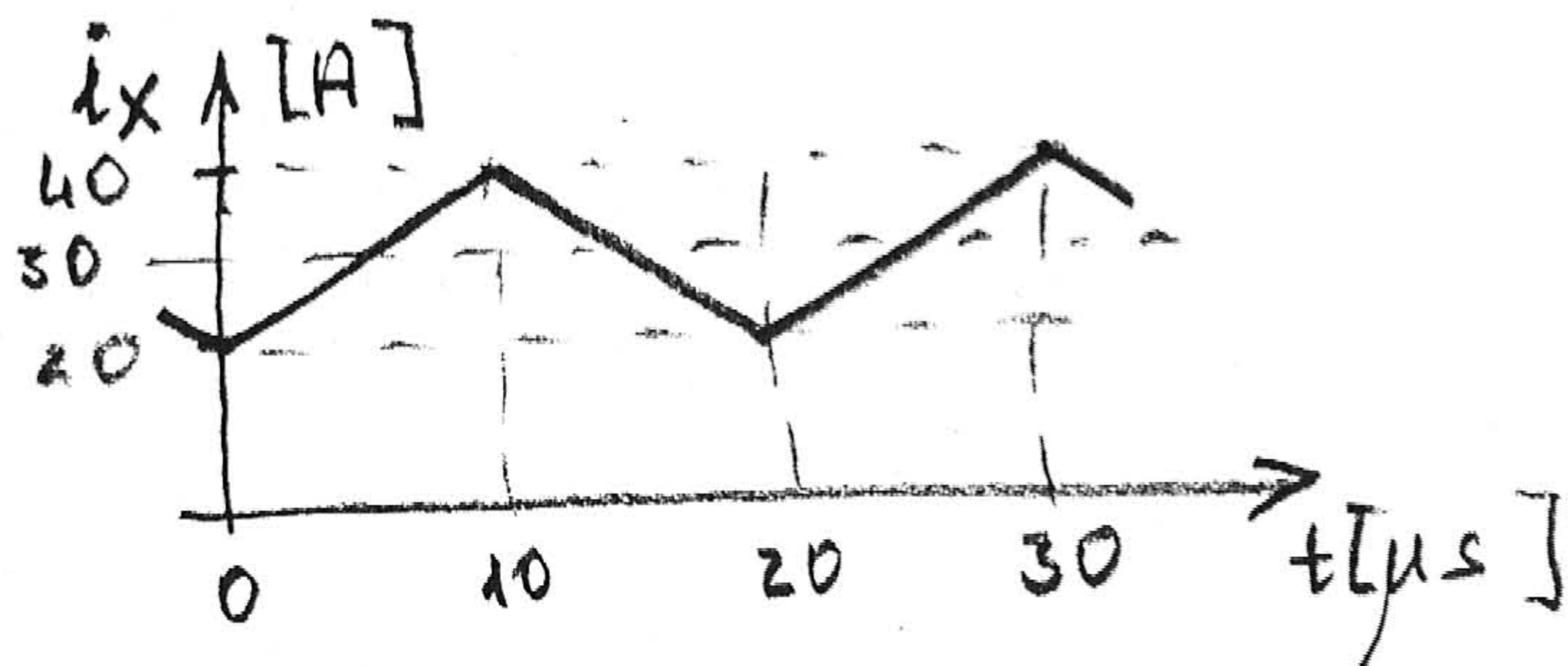
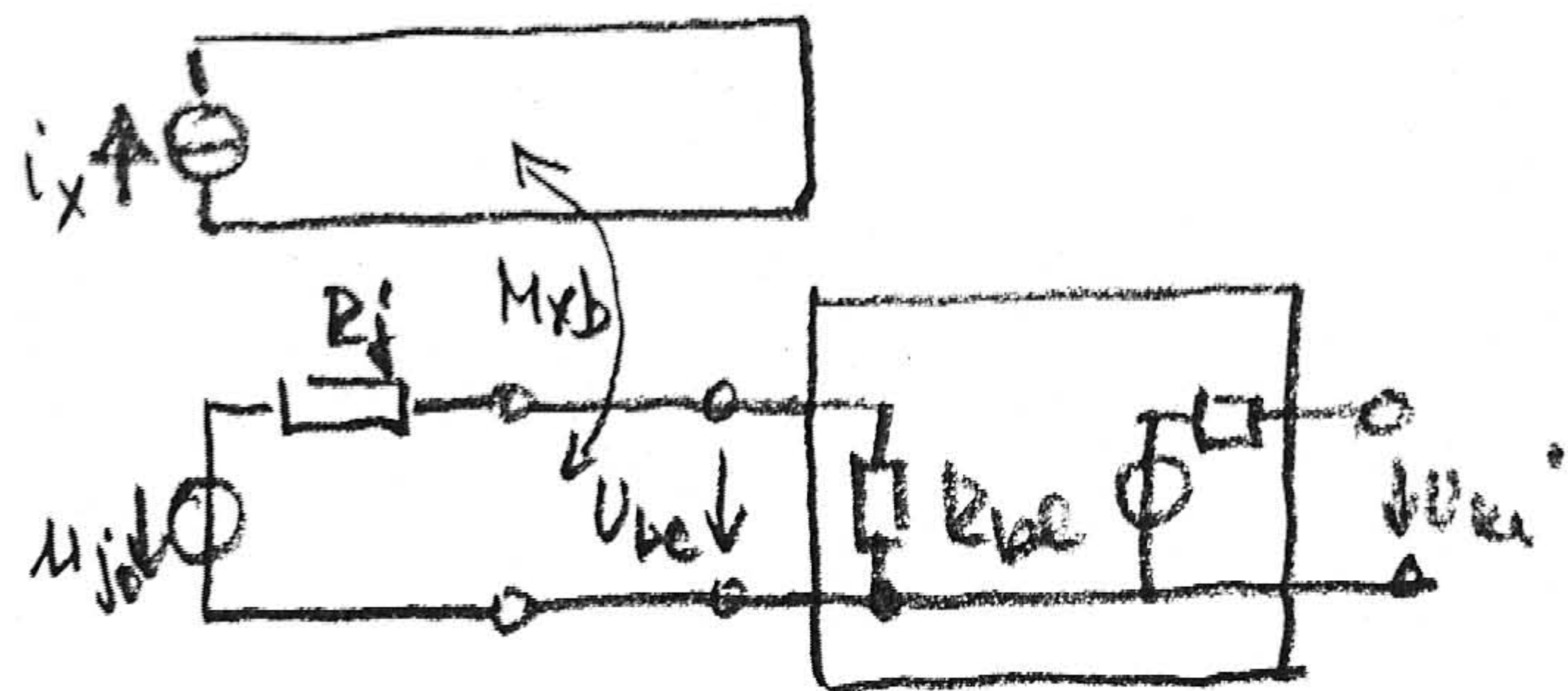
17. Egy max. 1mVrms effektív értékű audio jelforrásból származó jelet szeretnénk 100mVrms jelszintre erősíteni. Megfelel-e a célra a $0,1\mu V / \sqrt{Hz}$ keskenysávú zajfeszültségű erősítő, ha a kívánt jel/zaj viszony az erősítő kimenetén 80dB? A hasznos frekvenciatartomány 20Hz-16kHz.

18. Egy 1mVrms effektív értékű audio jelforrásból származó jelet szeretnénk 1Vrms jelszintre erősíteni. Legfeljebb mekkora jel/zaj viszony érhető el a $0,1\mu V / \sqrt{Hz}$ keskenysávú zajfeszültségű erősítő alkalmazásával, ha a hasznos frekvenciatartomány 40Hz-16kHz, az erősítő zajfeszültségének keresztelési frekvenciája $f_{KU}=30Hz$ és a bemenetre redukált zajáram elhanyagolható?

19. Egy audio előerősítő kimenetén legalább 60dB-es jel-zaj viszonyt kell biztosítanunk. Megfelel-e a $0,1\mu V / \sqrt{Hz}$ keskenysávú zajfeszültségű erősítő a célra, ha a zajmentesnek tekinthető 10mVrms bemeneti jelet kívánjuk 1Vrms-re erősíteni, a hasznos frekvenciatartomány 50Hz-15kHz?

Példa

Az alább szerinti kapcsolásban mekkora zavarfeszültséget okoz a négy pólus bemenetén az i_x áram, ha a kölcsönös induktivitás $M_{xb} = 0,1 \mu\text{H}$, a jelforrásra $R_j = 50 \Omega$, a bemenetre $R_{be} = 450 \Omega$?



Megoldás:

A beindukált zavarfeszültség:

$$u_z = M_{xb} \frac{di_x}{dt} \quad \text{és} \quad \frac{di_x}{dt} = \frac{40-20}{10} \left[\frac{\text{A}}{\mu\text{s}} \right] = 2 \left[\frac{\text{A}}{\mu\text{s}} \right], \quad \text{ha } 0 < t < 10 \mu\text{s}$$

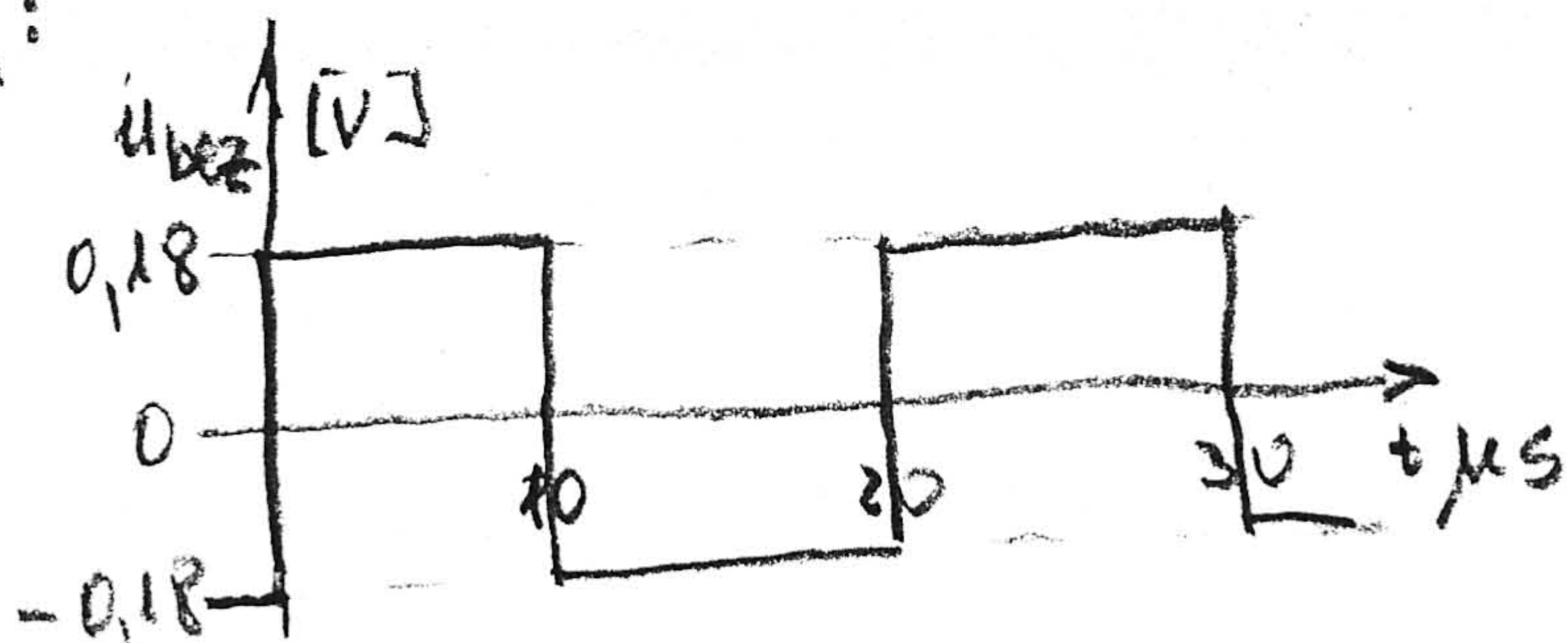
$$u_z = 0,1 \mu\text{H} \cdot 2 \left[\frac{\text{A}}{\mu\text{s}} \right] = 0,2 \text{ V}$$

$$\frac{di_x}{dt} = -2 \left[\frac{\text{A}}{\mu\text{s}} \right], \quad \text{ha } 10 < t < 20 \mu\text{s}$$

$$u_z = -0,2 \text{ V}$$

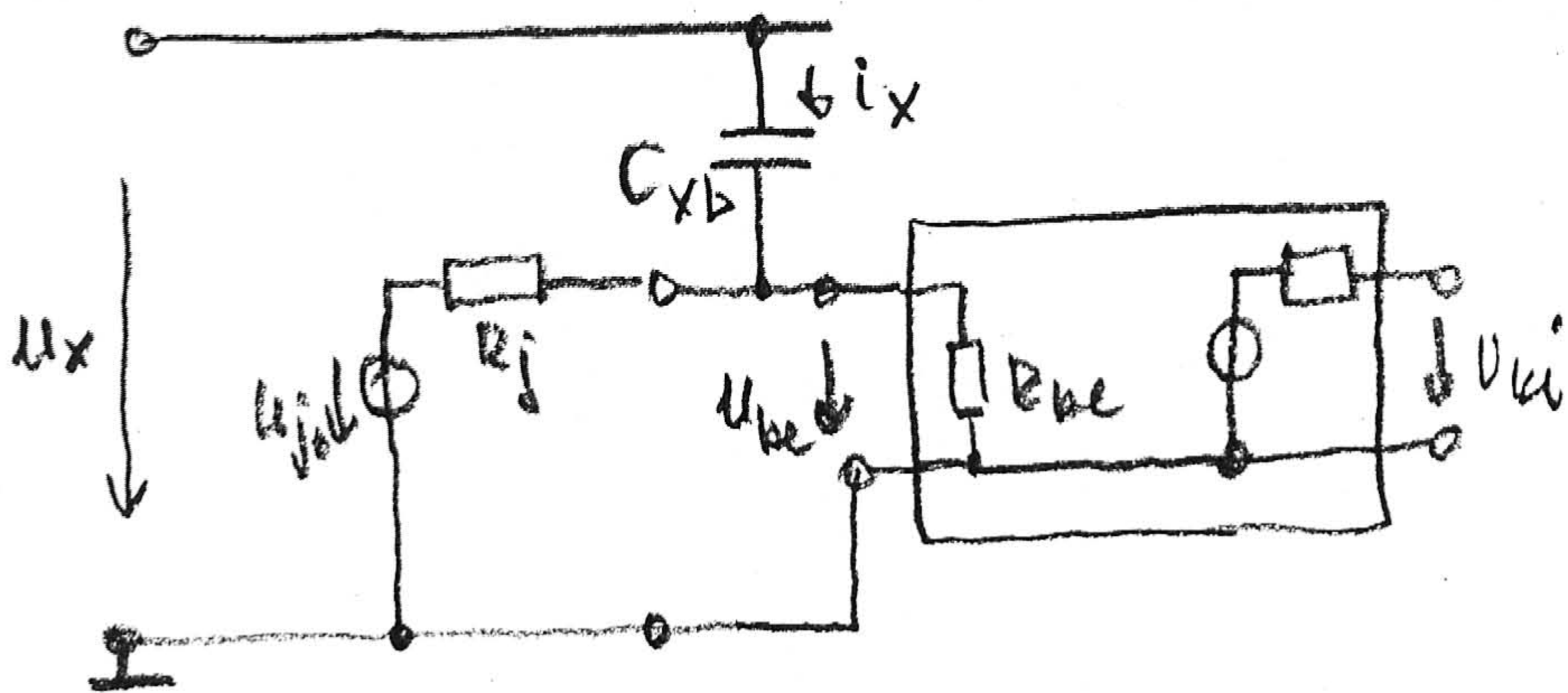
$$u_{bez} = u_z \cdot \frac{R_{be}}{R_j + R_{be}} = u_z \cdot \frac{450}{450 + 50} = 0,9 u_z = \pm 0,18 \text{ V}$$

így:



2. Feladat

Az ábra szerinti kapcsolásban mekkora zavarfeszültséget okoz a négy-pólus bemenetén az $u_x = 200 \cdot \sin(10^5 t)$ [V] időfüggvényű feszültség, ha $C_{xb} = 10$ pF, $R_j = 1000 \Omega$, $R_{be} = 1000 \Omega$?



Megoldás: $1/\omega C_{xb} = 1/10^5 \cdot 10^{-11}$ [Ω] = $10^6 \Omega \ll R_j \times R_{be}$, így

közelítően:

$$i_x = C_{xb} \cdot \frac{du_x}{dt} = 10^{-11} \cdot 200 \cdot 10^5 \cdot \cos(10^5 t) \text{ [A]}$$

$$i_x = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(10^5 t) \text{ [A]} = 0,2 \cdot \cos(10^5 t) \text{ [mA]}$$

és a zavarfeszültség:

$$u_{bez} = i_x \cdot \frac{R_j}{R_j + R_{be}} \cdot R_{be} = 0,2 \cdot \frac{1000 \cdot 1000}{1000 + 1000} \cdot \cos(10^5 t) \text{ [mV]}$$

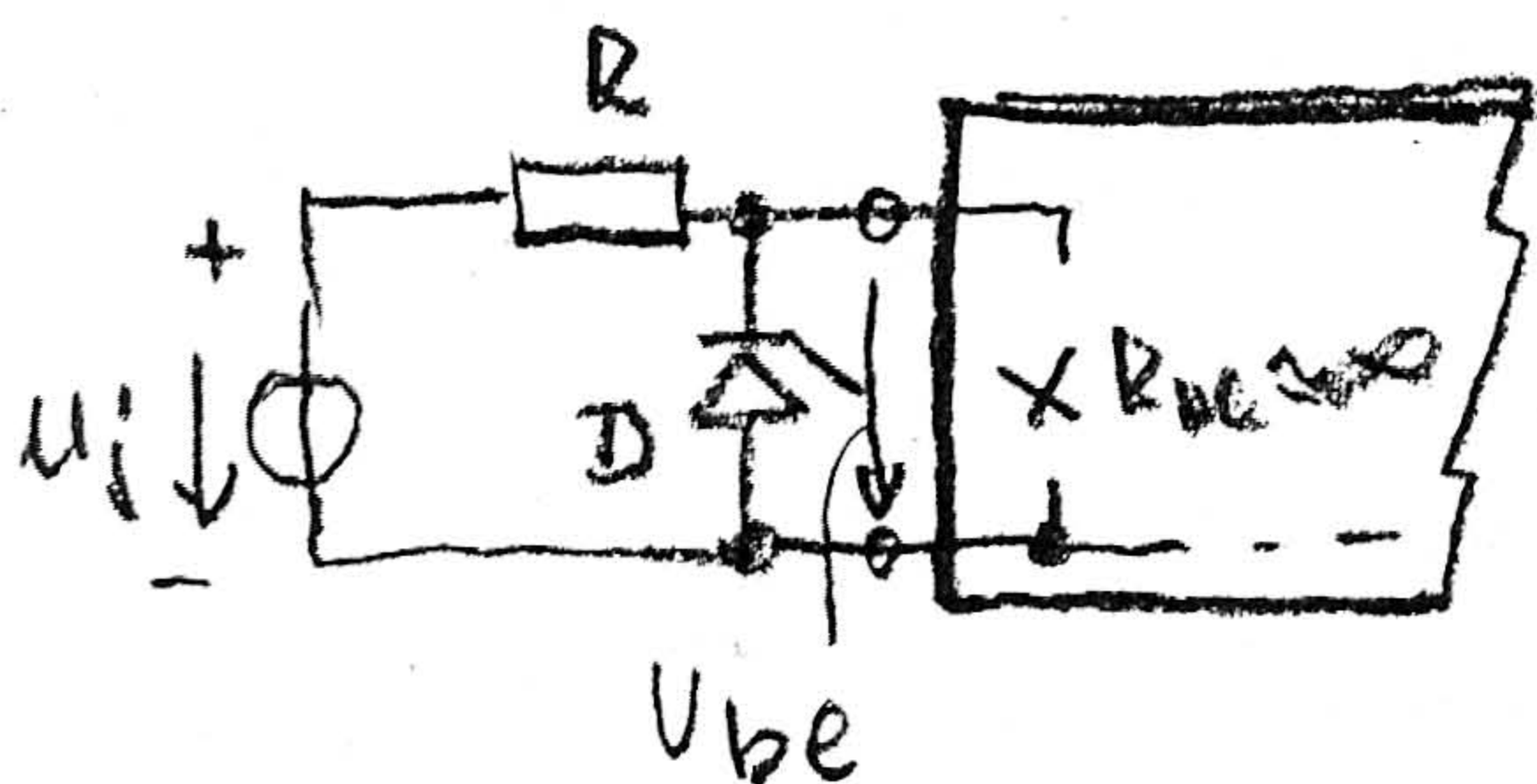
$$u_{bez} = 100 \cdot \cos(10^5 t) \text{ [mV]}$$

3. Példa

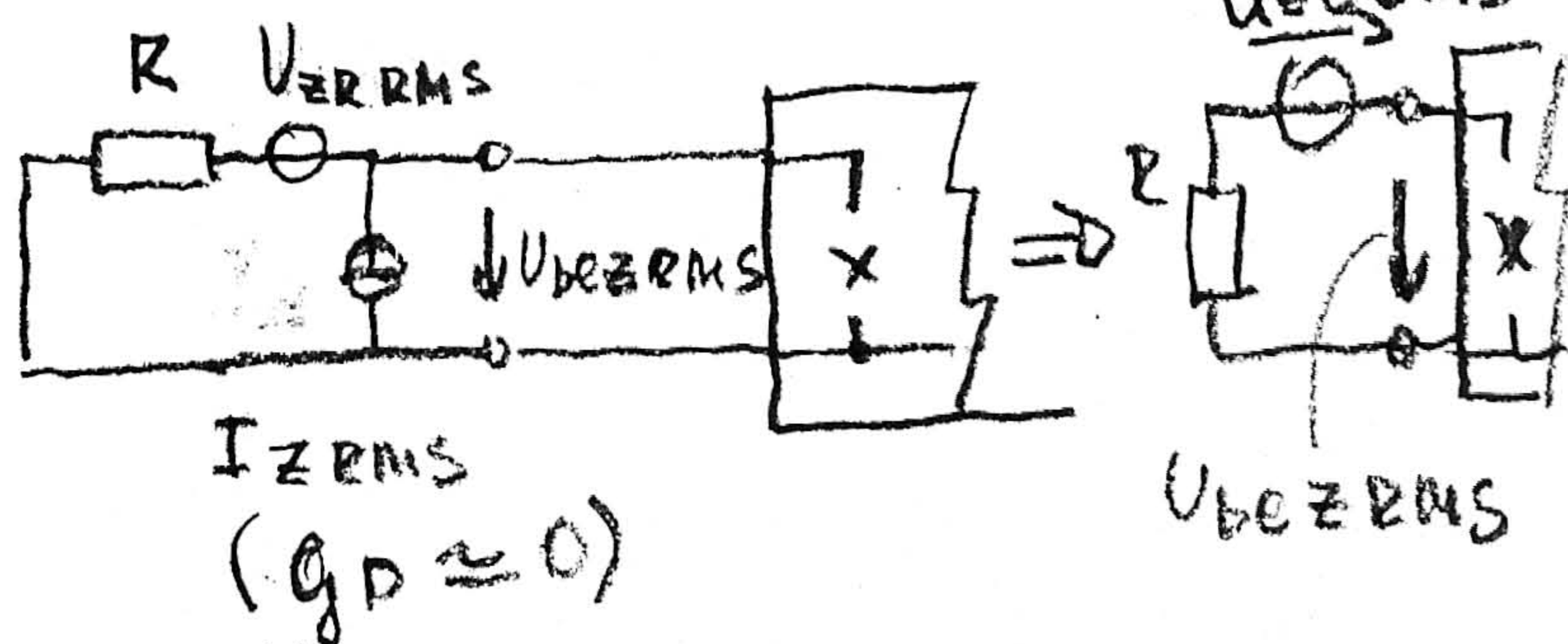
Egy $R_{be} \approx \infty$ bemeneti ellenállású, zajmentesnek tekinthető négyfólyus bemenetűre egy ugyancsak zajmentesnek tekinthető $u_j > 0$ feszültségű jelforrást kapcsolunk egy zajos, soros $R = 10\text{ k}\Omega$ ellenálláson, és egy zárdírkáiban igénybevevett ^{zajos} védő, stabilizátordiódán keresztül. Üzemi állapotban a védődióda letörési feszültsége $U_L \gg u_{j\max}$.
Mekkora a bemenetre jutó, a dióda és az ellenállás által kiváltott zajfeszültség $\Delta f = 100\text{ kHz}$ sávszélességben, ha $T = 300[\text{°K}]$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}[\text{A s}]$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}[\text{Ws/°K}]$ és a dióda zárdírkájú maradékárama a $0 \leq u_j \leq u_{j\max}$ tartományban a feszültség től függetlenül: $I_0 = 1\text{ }\mu\text{A}$, és külső kristályrészekre $r_d \approx 0$.

Megoldás

a kapcsolás:



és a zajhelyettesítő sáve:



Mivel u_j zajmentes $U_{beZRMS} = U_{ZRMS}$.

Az eredő soros zajfeszültség négyzete:

$$U_{ZRMS}^2 = U_{ZRMS}^2 + (R \cdot I_{ZRMS})^2$$

Az ellenállás termikus zajfeszültség négyzete:

$$U_{ZRMS}^2 = 4kT R \Delta f = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^4 \cdot 10^5 = 1,656 \cdot 10^{-11} [\text{V}^2]$$

A dióda söréltzajának négyzete:

$$I_{ZRMS}^2 = 2q I_0 \Delta f = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 = 3,2 \cdot 10^{-20} [\text{A}^2]$$

Így:

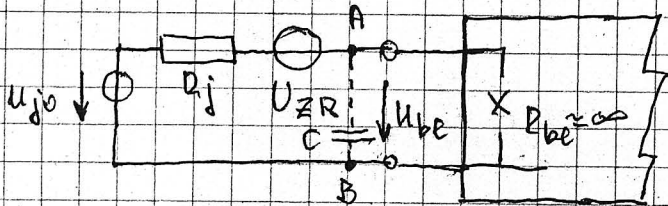
$$U_{beZRMS} = U_{ZRMS} = \sqrt{U_{ZRMS}^2 + (R \cdot I_{ZRMS})^2} = \dots \approx 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ V} = 4,4 \mu\text{V}$$

4. Példa:

Egy zajmentesnek tekinthető erősítőben $R_{be} \approx \infty$. A bemenetre egy u_{j0} ^(zajos) ijesztési feszültségű, $R_j = 10 \text{ k}\Omega$ soros belső ellenállású jelforrás kapcsolódik. Mekkora lesz a bemeneti kapcsolaton a zaj teljesítménysűrűsége (a kimenet ^(effektív) zajfeszültség négyzete)? Hogyan változik meg a zaj teljesítménysűrűsége, ha a bemeneti kapcsolatra egy $C = 0,1 \mu\text{F}$ -os szűrőkondenzátort teszünk? ($T = 300 \text{ [}^\circ\text{K]}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ [Ws/}^\circ\text{K]}$)

Megoldás:

A zajhelyettesítő ábr:



Az ellenállás termikus zajfeszültsége (kiszárván):

$$U_{ZR} = \sqrt{4kT \cdot R_j} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^4} = 1,287 \cdot 10^{-8} \text{ [V/}\sqrt{\text{Hz}}\text{]}$$

a) Ha nincs a bemeneten szűrőkondenzátor, mintahogy $R_{be} \approx \infty$:

$$U_{beZ} = U_{ZR}, \text{ tegy } S_{u|_{be}} = U_{beZ}^2 = 1,656 \cdot 10^{-16} \text{ [V}^2\text{/Hz]}$$

b) Ha van a bemeneten szűrőkondenzátor, ez elvben nem termel zajt, viszont az U_{ZR} -t nagyfrekvencián lecsatja:

$$U_{beZ} = U_{ZR} \cdot \left| \frac{1}{1 + j2\pi f R_j C} \right| = \frac{U_{ZR}}{\sqrt{1 + (2\pi f R_j C)^2}}$$

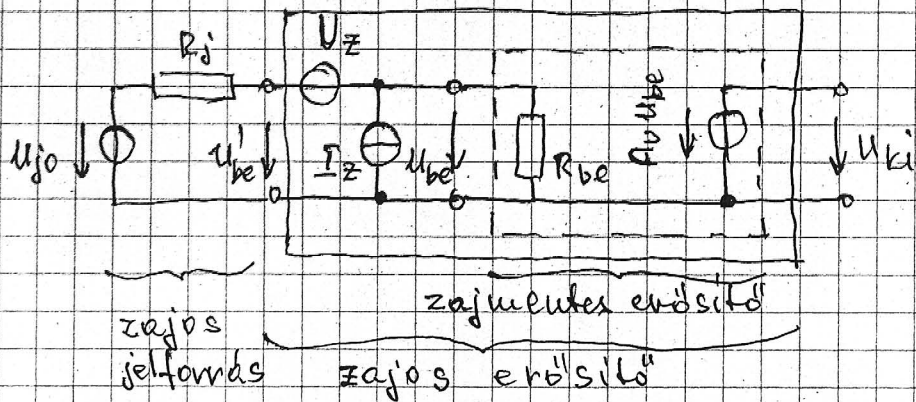
$$S_{u|_{be}} = U_{beZ}^2 = \frac{U_{ZR}^2}{1 + (2\pi f R_j C)^2} = \frac{U_{ZR}^2}{1 + (2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^{-7})^2 f^2} = \frac{U_{ZR}^2}{1 + 4\pi^2 \cdot 10^6 f^2}$$

azaz: $S_{u|_{be}} \approx U_{ZR}^2$, ha $f \ll 10^3/2\pi$

és $S_{u|_{be}} \approx U_{ZR}^2 / 4\pi^2 \cdot 10^6 f^2$, ha $f \gg 10^3/2\pi$

5. Példa:

Az ábra szerinti erősítőkapcsolásban $A_v = 100$ az $f_a = 10^3 [\text{Hz}] \leq f \leq 10,1 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ tartományban, minden más frekvencián $A_v = 0$; $R_{be} = 10^3 [\Omega]$; $U_z = 10^{-7} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$; $I_z = 10^{-9} [\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}]$. A jelforrásra $R_j = 100 [\Omega]$, $u_{j0} = 10^{-2} \cdot \sin(2\pi \cdot 10^3) \cdot t [\text{V}]$.
Mekkora az erősítő kimenetén a zajtényező és a jel-zaj viszony?



$$T = 300 [\text{°K}]$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} [\text{Ws}/\text{°K}]$$

Megoldás:

A kimeneti sáv szélesség: $\Delta f = f_f - f_o = 10^3 [\text{Hz}]$

Az erősítő eredő keskenysávú redukált soros zajfeszültsége a kapcsolásban:

$$U_{ze\text{erősítő}} = \sqrt{U_z^2 + (I_z R_j)^2} = \sqrt{10^{-14} + 10^{-18} \cdot 10^4} = \sqrt{2} \cdot 10^{-7} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$$

A jelforrás keskenysávú termikus zajfeszültsége:

$$U_{zR} = \sqrt{4kT \cdot R_j} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 100} = 1,287 \cdot 10^{-9} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$$

A teljes eredő keskenysávú soros zajfeszültség:

$$U_{ze} = \sqrt{U_{ze\text{erősítő}}^2 + U_{zR}^2} = \sqrt{2 \cdot 10^{-14} + 1,656 \cdot 10^{-18}} \approx \sqrt{2} \cdot 10^{-7} [\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$$

A kimeneti zajtényező:

$$F = 10 \lg \frac{(A_v \cdot U_{ze})^2 \cdot \Delta f}{(A_v \cdot U_{zR})^2 \cdot \Delta f} = 20 \lg \frac{U_{ze}}{U_{zR}} = 20 \lg \frac{\sqrt{2} \cdot 10^{-7}}{1,287 \cdot 10^{-9}} = \underline{\underline{40,82}}$$

A kimeneti jel-zaj viszony:

$$\begin{aligned} |Z|_{ki} &= \frac{A_v U_{j0\text{RMS}}}{A_v U_{ze\text{RMS}}} = \frac{U_{j0\text{RMS}} \cdot R_{be} / (R_j + R_{be})}{U_{ze} \cdot \Delta f \cdot R_{be} / (R_j + R_{be})} = \frac{U_{j0\text{RMS}}}{U_{ze} \cdot \Delta f} \\ &= \frac{10^{-2} / \sqrt{2}}{\sqrt{2} \cdot 10^{-7} \cdot 10^3} = \underline{\underline{50}} \end{aligned}$$