



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

**GAILU ETA ZIRKUITU
ELEKTRONIKOAK.
2011/2015-eko AZTERKETEN BILDUMA
(ENUNTZIATUAK ETA SOLUZIOAK)**

Recart Barañano, Federico
Pérez Manzano, Lourdes
Uriarte del Río, Susana
Gutiérrez Serrano, Rubén

**EUSKARAREN ARLOKO ERREKTOREORDETZAREN
SARE ARGITALPENA**

ISBN: 978-84-9082-372-9

Liburu honek UPV/EHuko Euskararen Arloko Errektoreordetzaren dirulaguntza
jaso du



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

**GAILU ETA
ZIRKUITU
ELEKTRONIKOAK**

**2011/2015-eko AZTERKETEN BILDUMA
..... (ENUNTZIATUAK
ETA SOLUZIOAK)**

Federico Recart Barañano
Lourdes Pérez Manzano
Susana Uriarte del Río
Rubén Gutiérrez Serrano

ISBN: 978-84-9082-372-9

Aurkibidea

ENUNTZIATUAK.....	2
2014/2015	4
2015eko ekaina.....	4
2015eko maiatza	7
2013/2014	12
2014ko ekaina	12
2014ko maiatza	17
2012/2013	21
2013ko uztaila	21
2013ko maiatza	26
2011/2012	30
2012ko uztaila	30
2012ko maiatza	35
2010/2011	41
2011ko ekaina	41
2011ko maiatza	45

SOLUZIOAK.....	50
2015eko ekaina.....	52
ZIRKUITU DIODODUNA.....	52
BASE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	57
ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	63
2015eko maiatza.....	67
PN JUNTURA – DIODOA.....	67
IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	71
ATE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	76
2014ko ekaina.....	80
DIODOA – PN JUNTURA.....	80
BJT TRANSISTOREAREN LAN-PUNTUA.....	84
BASE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	86
ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	91
2014ko maiatza.....	95
PN JUNTURA - DIODOA.....	95
ZIRKUITU DIODODUNA.....	98
IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	103
ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	108
2013ko uztaila.....	113
ZIRKUITU DIODODUNA.....	113
KORRONTE-ISPILUA.....	116
IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	119
ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	125
2013ko maiatza.....	128
PN JUNTURA – DIODOA.....	128
IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	132
ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA.....	137

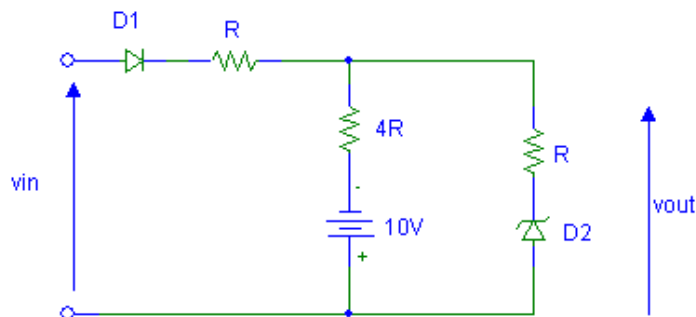
2012ko uztaila.....	141
ZIRKUITU DIODODUNAK – PN JUNTURA	141
BASE KOMUNNEKO ANPLIFIKADOREA.....	145
INBERTITZAILE DIGITALA.....	151
2012ko maiatza	154
PN JUNTURA	154
IGORLE KOMUNNEKO ANPLIFIKADOREA	159
ITURRI KOMUNNEKO ANPLIFIKADOREA	163
2011ko ekaina.....	169
PN JUNTURA – ZIRKUITU DIODODUNAK	169
ZIRKUITU TRANSISTOREDUNAK	172
BASE KOMUNNEKO ANPLIFIKADOREA.....	174
2011ko maiatza	179
PN JUNTURA	179
ZIRKUITU DIODODUNAK	181
IGORLE KOMUNNEKO ANPLIFIKADOREA	185
ZIRKUITU TRANSISTOREDUNA ETA DIODODUNA.....	189

ENUNTZIATUAK

2015eko ekaina

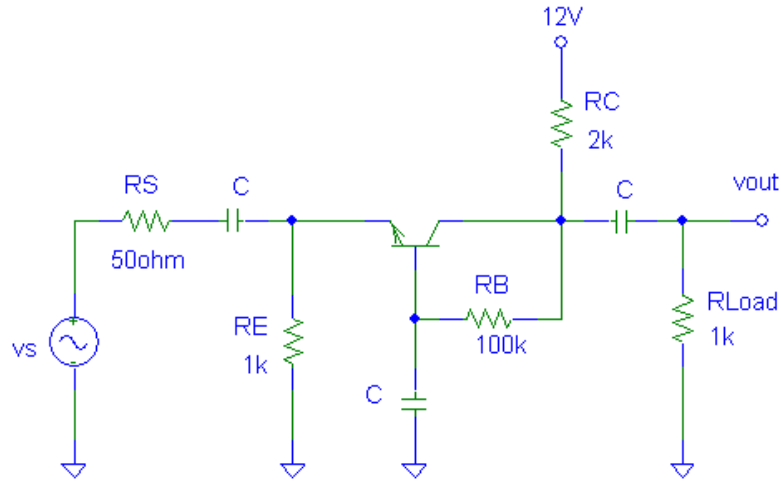
1. Kalkulatu eta marraztu 1. irudiko zirkuituaren transferentzia-kurba, eta marraztu, grafiko berean nolakoak izango diren v_{in} sarrerako seinalearen eta v_{out} irteerako seinalearen formak baldin eta sarrera seinale hiruki alferno purua bada eta haren anplitudea $V_p = 10\text{ V}$ bada. Grafikoan, adierazi balio esanguratsuenak.

Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa, balio absolutuan: $|V_Z| = 4\text{ V}$. Gainerako ezaugarriei dagokienez, bi diodoak idealtzat jo daitezke.



1. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitu diododuna.

2. Beheko irudiko transistoreari buruz, bi datu dakizkigu: haren base-igorle junturako eroapeneko tentsioa $0,7\text{ volt}$ ingurukoa da, eta, igorle komuneko egituran, haren seinale handiko korrante-irabazia 100 da.



2. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- Zer egitura ari gara erabiltzen 2. irudiko anplifikadorean?
- Marraztu polarizazio-zirkuitua eta karga-zuzen estatikoa, eta kalkulatu transistorearen lan-puntua.
- Zirkuitua egonkorra al da β -ren aldaketan aurrean?
- Transistorearen oinarrizko ajetasun-korronteak $I_{ES} = 1 \text{ fA}$ eta $I_{CS} = 5 \text{ fA}$ badira, zenbat da, zehatz-mehatz, V_{BE} ? [Gogoratu: $1 \text{ fA} = 10^{-15} \text{ A}$]
- Zenbatekoa da, funtzio-sorgailuaren barneko erresistentzia aintzat hartu gabe, zirkuituko tentsio-irabazia?
- Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- Zer efektu du R_S erresistentziak tentsio-irabazian?
- Kalkulatu tarte dinamikoa eta marraztu irteerako seinalearen forma, kitzikapenak bi balio hauek hartzen dituenean: a) $v_s(t) = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$; eta b) $v_s(t) = 500 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$. Zer lan-eskualdek mugatzen du irteerako tarte dinamikoa?

3. Hirugarren irudiko zirkuituan agertzen den FETak honako parametro hauek ditu:

$$|V_T| = 4 \text{ V} \quad |I_{DSS}| = 16 \text{ mA}$$

Badakizkigu, gainera, erresistentzia hauen balioak:

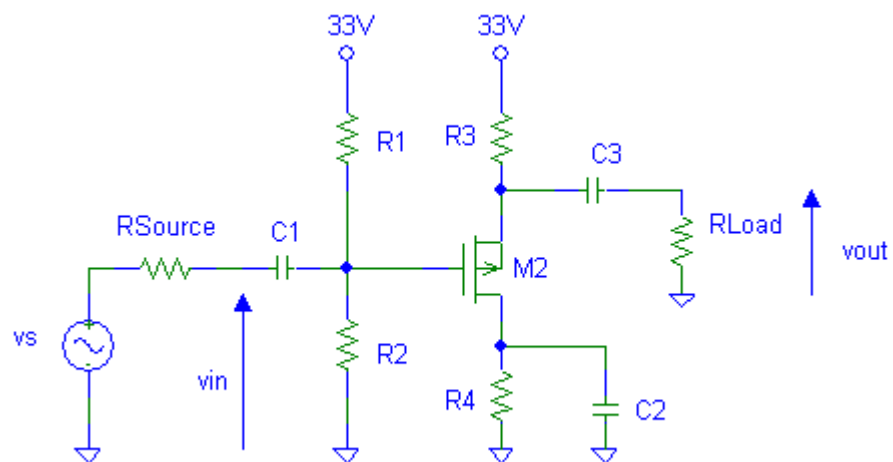
$$R_1 = 1,7 \text{ M}\Omega \quad R_2 = 1,6 \text{ M}\Omega \quad R_3 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_{\text{source}} = 25 \text{ k}\Omega \quad R_{\text{LOAD}} = 2 \text{ k}\Omega$$

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Zer FET mota dugu? Marraztu haren asetasuneko transferentzia-kurba, I_{DSS} eta V_T agerian utzita.
- b) Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua.

Seinale txikiko zirkuituari dagokionez:

- c) Esan zer anplifikatze-egitura dugun.
- d) Kalkulatu tentsio-irabazia, eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- e) Zirkuitu bera erabil al genezake p pasabideko JFET bat polarizatzeko ($|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ parametro berekin)?



3. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

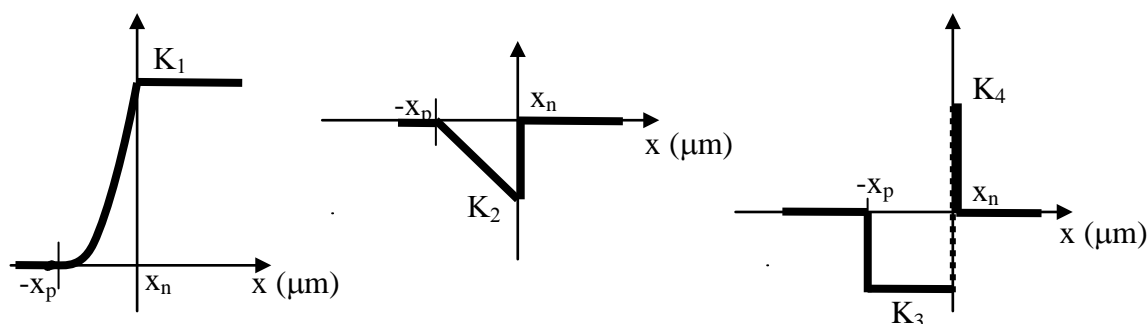
2015eko maiatza

1. Juntura latz laua duen siliziozko diodo baten zenbait ezaugarri elektriko analizatu nahi ditugu. Badakizkigu haren parametro fisiko batzuk eta geometria.

Datuak:

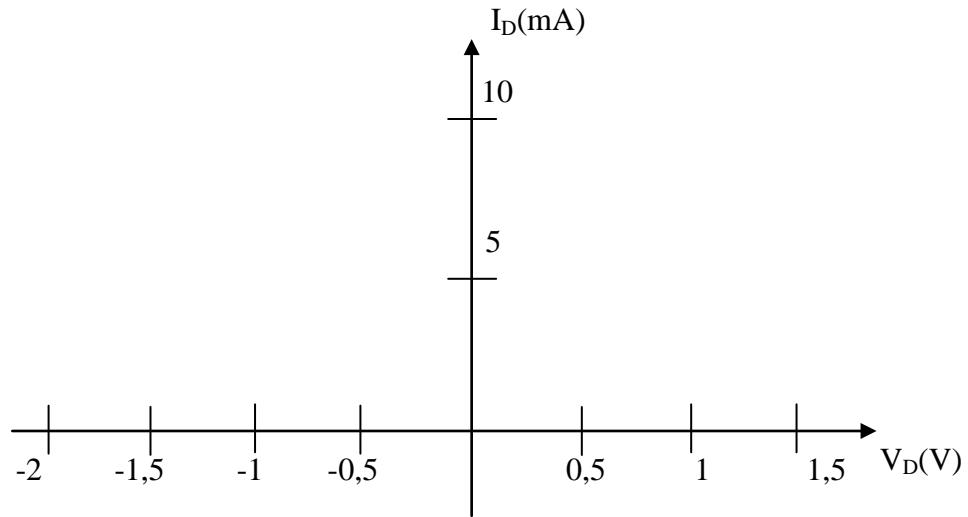
$n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$	$N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	$A = 0,01 \text{ cm}^2$
$V_T = 25 \text{ mV}$	$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$\epsilon_{\text{rSi}} = 11,8$	$\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$

- a) Kalkulatu potentzial termodinamikoa, eta eskualde hustuaren orekako zabalera eta junturako kapazitatea.
- b) Esan zer magnitude irudikatu diren 1. Irudian, eta eman edo kalkulatu balio esanguratsuak: K_1 , K_2 , K_3 eta K_4 .



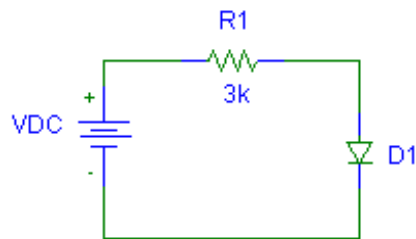
1.irudia

- c) Dakigunez, diodoaren asetasun-korrontea $I_{\text{sat}} = 1 \text{ pA}$ da. Marraztu diodoaren I-V ezaugarri-kurba eta balioetsi zenbatekoa den haren atariko tentsioa mA batzuen inguruko tartean.



2.irudia

Orain, elikatze-iturri bat eta $3\text{ k}\Omega$ -eko erresistentzia bat erabiliz, zirkuitu simple bat eraikiko dugu (ikus 3. irudia):



3.irudia

d1) Kalkulatu, zehatz-mehatz, diodoa zeharkatzen duen korronea eta haren terminalen artean erortzen den tentsioa, zirkuituan aplikatzen den V_{DC} tentsioak hiru balio hauek hartzen baditu:

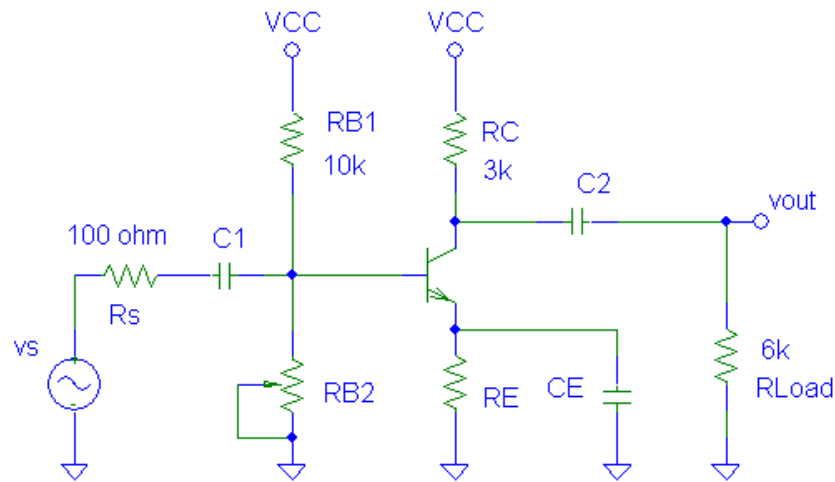
$$V_{DC} = 1V$$

$$V_{DC} = 10V$$

$$V_{DC} = -5V$$

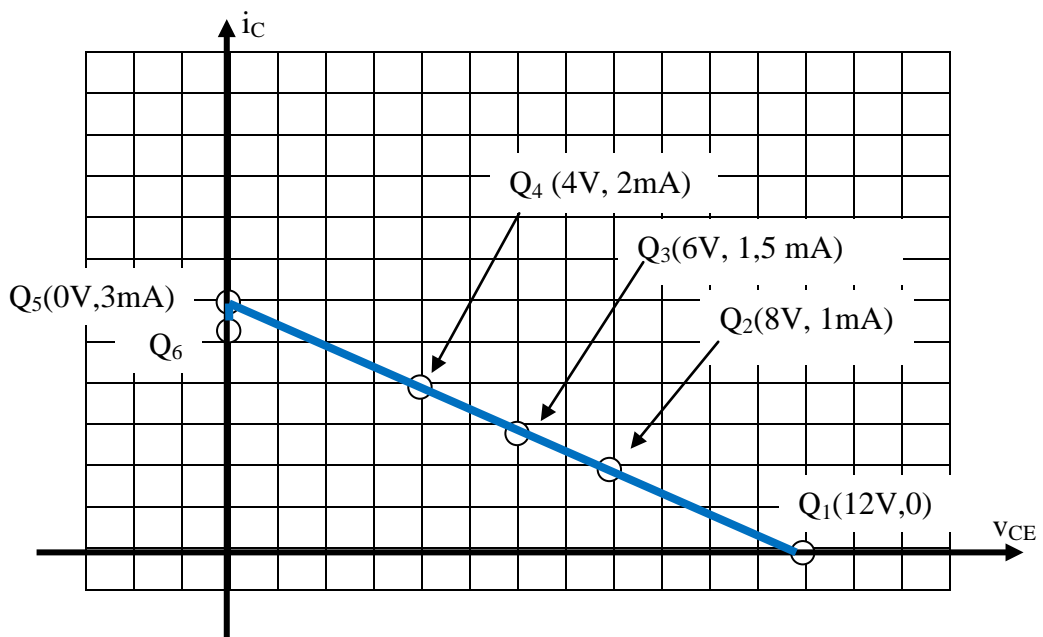
d2) Esan zein den seinale handiko eredurik egokiena aurreko ataleko tentsioetarako.

2. Irudian agertzen den zirkuitu aplikatzailearen zenbait kontu analizatu nahi ditugu; betiere, behe-maiztasuneko kitzikapenak aplikatuz. Transistoreari dagokionez, badakigu $\beta = 200$ eta $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ direla ($V_{CEsat} = 0 \text{ V}$ dela joko dugu). Gainera, badakigu erabilitako potentziometroaren balio maximoa ere: $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$.



4.irudia

V_{CC} elikatze-tentsio ezezagun bat finkatu dugu; potentziometroaren posizioa aldatuz joan gara (zerotik balio maximoa), eta, ondorioz, Q puntuak beheko irudiko ibilbidea egin du:



5.irudia

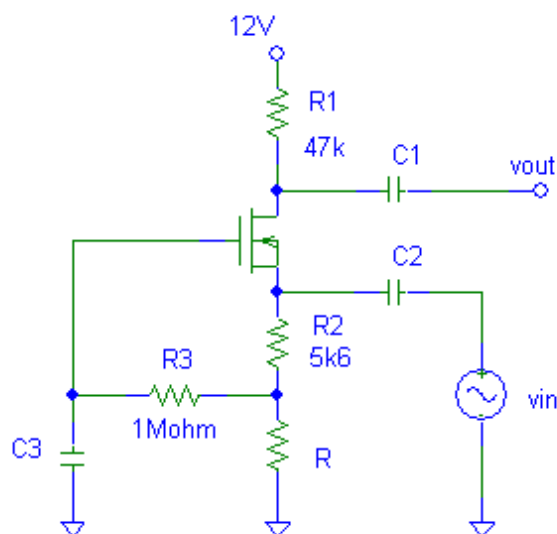
Erantzun honako galdera hauei:

- a) Zenbatekoa da V_{CC} elikatze-tentsioa?
- b) Zenbatekoa da R_E erresistentzia?
- c) Zergatik Q_6 ez dago karga-zuzen estatikoan, beste polarizazio-puntuekin lerrotatuta? Zein da zehatz-mehatz haren posizioa (I_C , V_{CE}) eta zenbatekoa da dagokion I_B baseko korronea?
- d) Marraztu seinale txikiko zirkuitua, kalkulatu karga-zuzen dinamikoa eta marraztu zuzen hori Q_2 , Q_3 eta Q_4 puntuetarako.
- e) Tarte dinamikoa optimizatu nahi badugu, zein polarizazio-puntu aukeratuko zenuke? Kalkulatu horretarako behar den potentziometroaren posizioa (hau da, R_{B2} erresistentziaren balioa).
- f) Demagun transistoreak e) ataleko puntuan lan egiten duela. Hala bada, kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak eta tentsio-irabazia, eta marraztu nolako izango den irteerako seinalea, baldin eta sarrerako seinaleak honako bi balio hauek hartzen baditu: $v_s = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ eta $v_s = 100 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$.

3. 6. irudiko FETak honako parametro hauek ditu:

$$|V_T| = 1 \text{ V}$$

$$|I_{DSS}| = 1 \text{ mA}$$



6.irudia

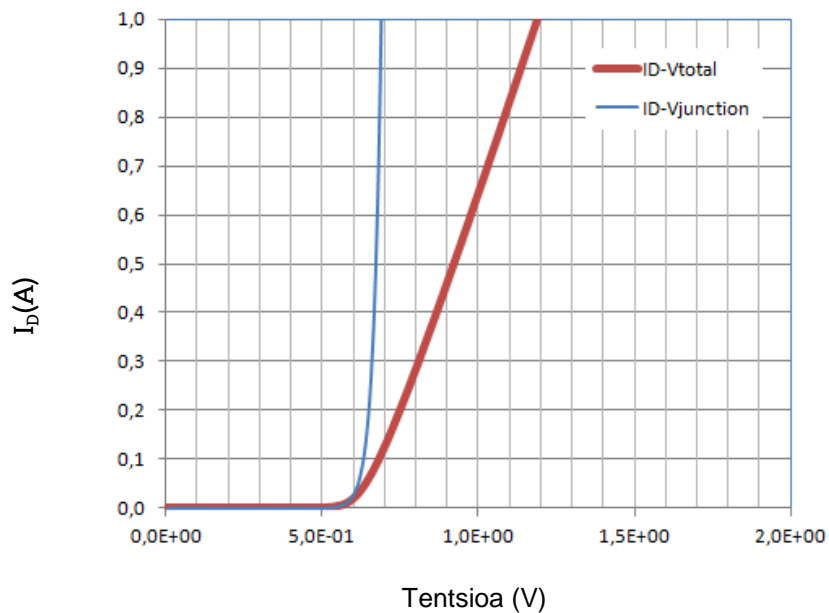
- a) Zer transistore mota da? Marraztu haren aresetarako ezaugarri-kurba eta adierazi I_{DSS} eta V_T .
- b) Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua (asetasuna onartuz).
- c) Kalkulatu R erresistentziaren balio-tartea lan-puntua aresetanean egon dadin.
- d) $R = 3,3 \text{ k}\Omega$ kasurako, kalkulatu lan-puntua osatzeko falta diren balioak.

Seinale txikiko zirkuituaren analisiari dagokionez (eta $R = 3,3 \text{ k}\Omega$ erabiliz):

- e) Kalkulatu tentsio-irabazia, eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- f) Zer eragin du R erresistentziaren balioak aurreko ataleko emaitzetan?
- g) Zirkuitu bera erabil al liteke p pasabideko JFET bat polarizatzeko, $|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ aldatu gabe?

2014ko ekaina

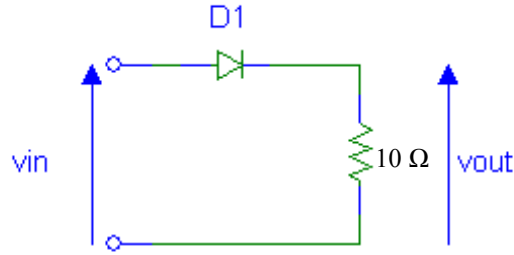
1. Beheko irudian, diodo baten I-V ezaugarria (marra lodia) eta diodoa zeharkatzen duen korrontearen eta haren junturako tentsioaren arteko erlazioa (marra fina) agertzen dira.



1.irudia

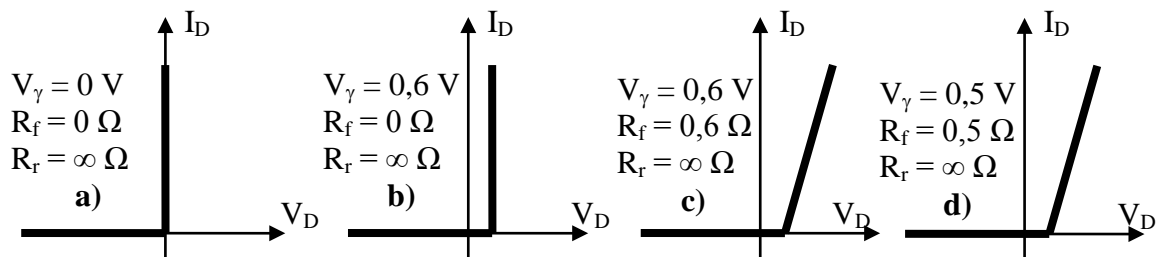
- a) Kalkulatu diodoaren asetasun-korrontea eta serieko erresistentzia.

Diodoa 2. irudiko zirkuituan erabiliko dugu, eta 50 Hz-eko maiztasuneko eta 15 V-eko anplitudeko seinale sinusoidala aplikatuko dugu.



2.irudia

- b) Azaldu 3. irudiko seinale handiko eredu linealen ezaugarri nagusiak eta aukeratu zein den aproposena gure diodoaren portaera modelatzeko.



3.irudia. Analizatu nahi ditugun eredu linealak.

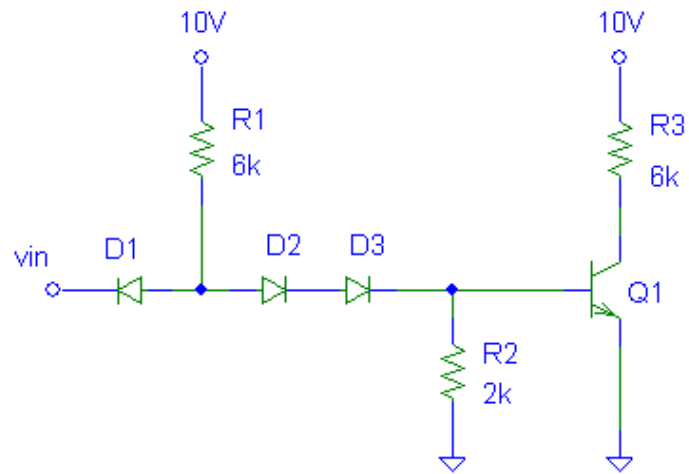
- c) Aurreko ataleko eredu erabiliz, marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba eta irteerako seinalearen forma.
- d) Dakigunez, oreka termodinamikoan, diodoaren junturako kapazitatea 1 nF da, eta potentzial termodinamikoa, berriz, 1 V. Hori jakinda, kalkulatu junturako kapazitatea sarrerako seinaleak bere balio minimoa hartzen duenean, zikloerdi negatiboaren balio absolutu maximoan (juntura latz laua dela onartuko dugu).

2. Kalkulatu 4. irudiko BJT transistorearen lan-puntua bi kasu hauetarako:

- a) $v_{in} = 10 \text{ V}$
 b) $v_{in} = 0,2 \text{ V}$

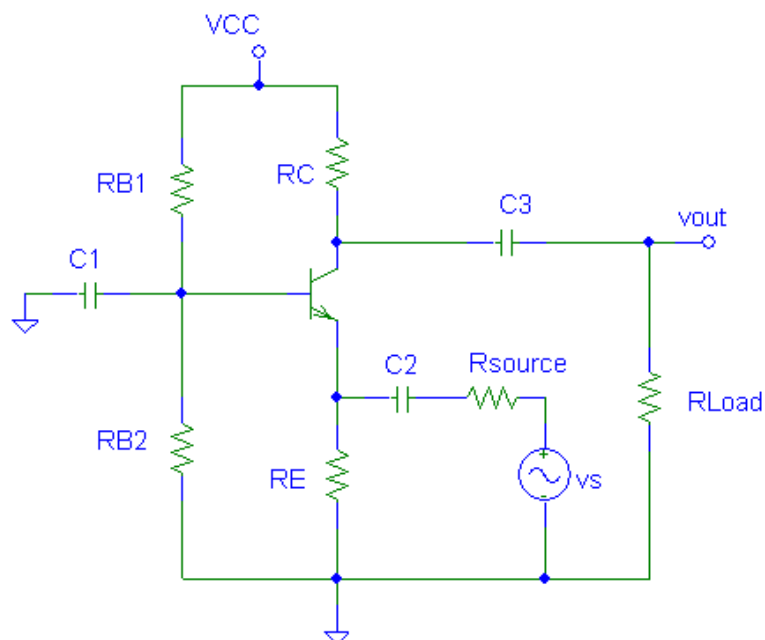
Datuak: Diodoak idealtzat joko ditugu.

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}, \beta = 20 \text{ eta } V_{CE,sat} = 0,2 \text{ V}.$$



4.irudia. Transistore bat eta hiru diodo dituen zirkuitua.

3. Beheko irudiko zirkuituan erabili den BJT transistorearen igorle komuneko korrante-irabazia (seinale handietarako) $\beta_F = 200$ da; eta $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$.



5.irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

$$V_{CC} = 15\text{V}, R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega, R_{B2} = 5 \text{ k}\Omega, R_C = 3 \text{ k}\Omega, R_E = 2 \text{ k}\Omega, R_{source} = 0$$

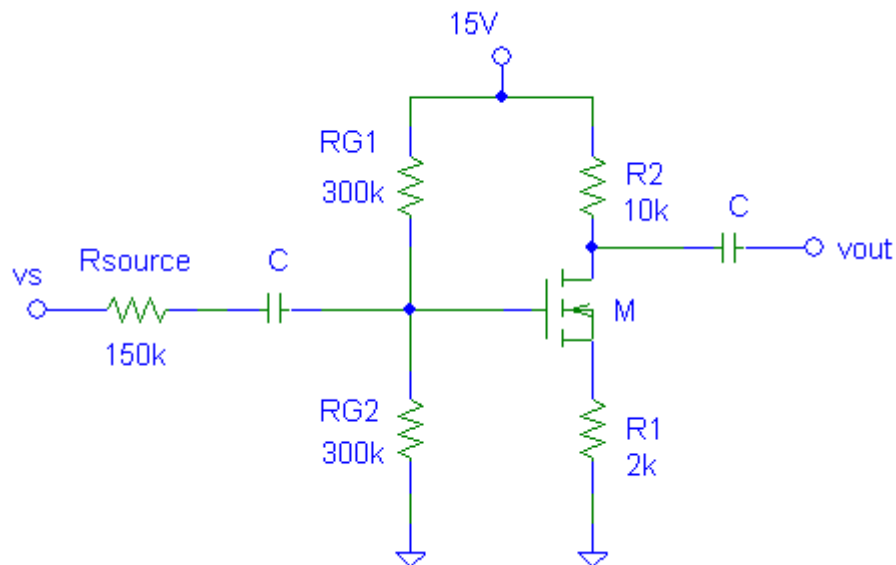
Erantzun honako galdera hauei:

- a) Lortu lan-puntua. Egonkorra al da? Arrazoitu erantzuna.
- b) Aurreko ataletik abiatuz, kalkulatu zehatz-mehatz zenbatekoa izango den V_{BE} base-igorle tentsioaren balioak baldin eta $I_{ES}=1 \text{ fA} = 10^{-3} \text{ pA}$ eta $I_{CS} = 5 \text{ fA} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ pA}$ bada.
- c) Kalkulatu tentsio-irabazia R_L kargaren arabera.
- d) Zenbatekoa izan behar du R_{Lload} erresistentziak, tarte dinamikorik zabalena lortzeko?
- e) Marraztu, grafiko bakarra erabiliz, sarrerako tentsioa eta v_{ce} kolektore-igorle tentsioaren alternoko osagaia baldin eta $R_L=3 \text{ k}\Omega$ bada, bi kasu hauetarako:

e1) $v_s(t) = 20 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$

e2) $v_s(t) = 30 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$

4. 6. irudiko zirkuituko FET transistorearen atariko tentsioa $V_T = 4 \text{ V}$ da. Gainera, beheko zirkuituan, drainekeo zirkuitua neurtu dugu, $I_D = 1 \text{ mA}$.



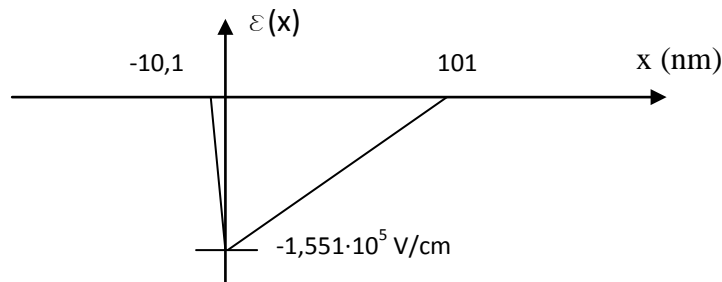
6.irudia. Zirkuitu amplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Kalkulatu zirkuituko tentsio guztiak (hau da, kalkulatu lan-puntua) eta I_{DSS} parametroaren balioa.
- b) Kalkulatu tentsio-irabazia (bai tentsio-sorgailua baztertuz, bai hura kontuan hartuz), eta sarrerako eta irteerako inpedantziak. Arazorik ikusten al diozu lortu duzun sarrerako inpedantziari?
- c) Kalkulatu irteerako tarte dinamikoa: irteeran distortsiorik gabe lor daitekeen tentsio maximoa. Zenbatekoa da tentsio hori lortzeko aplikatu beharreko v_s balioa?
- d) Zirkuituaren zenbait ezaugarri hobetu nahi ditugu: sarrerako inpedantzia $1\text{ M}\Omega$ eta tarte dinamikoa maximoa izatea nahi dugu. Horretarako, zenbateko erresistentziak ipini behar ditugu ateko tentsio-banatzailan (zatigailuan)?
- e) Zirkuitu bera erabiliz, n pasabideko JFET bat polarizatzen ahal da? Arrazoitu erantzuna.

2014ko maiatza

1. $A = 0,01 \text{ cm}^2$ -ko azalera duen siliziozko ($n_i^2 = 10^{20} \text{ cm}^{-6}$, $\epsilon_{\text{Si}} = 1,044 \text{ pF/cm}$) diodo baten junturako eremu elektrikoa beheko irudikoa da:

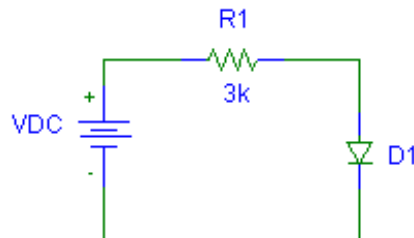


1. irudia. Junturako eremu elektrikoa.

Erantzun honako galdera hauei:

- Identifikatu eskualde hustuaren zabalera eta kalkulatu potentzial termodinamikoa.
- $V_T = 25 \text{ mV}$ hartuz, kalkulatu diodoaren dopaketak.
- Kalkulatu diodoaren orekako junturako kapazitatea.

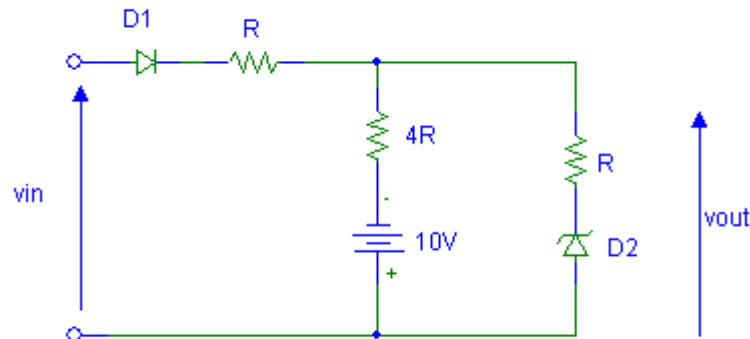
Diodo hori beheko irudiko zirkuituan erabili dugu, eta, $V_{\text{DC}} = 15 \text{ V}$ -eko tentsioa aplikatuta, neurtu den korrontearen intentsitatea $4,83 \text{ mA}$ izan da. (Diodoaren portaerak perfektuki jarraitzen dio Shockleyren ekuazioari).



2. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitua.

- Kalkulatu diodoan erortzen den tentsioa eta haren asetasun-korrontea.

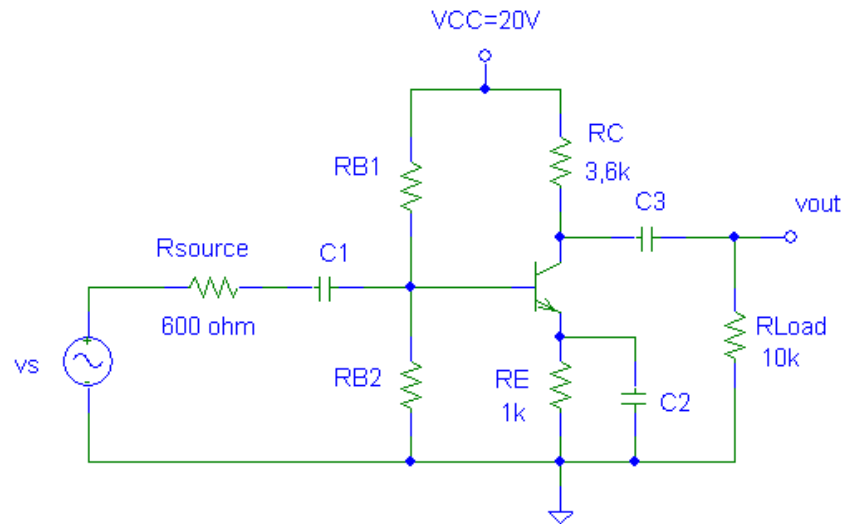
2. Kalkulatu 3. irudiko zirkuituaren transferentziaren kurba eta marraztu nolakoak izango diren v_{out} irteerako seinalearen forma baldin eta sarrera $v_{in} = 20 V_p$ -eko seinale hiruki alternoa bada.



3. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu diododuna.

Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa $V_Z = 4 V$ da. Gainerako ezaugarriei dagokienez, diodoak idealtzat jo daitezke.

3. 4. irudiko muntaketan, ezaugarri hauek lortu nahi ditugu, besteak beste: tentsio-irabazi osoa, moduluan, 152; irteerako eta sarrerako seinaleen arteko desfasea, 180° ; eta sarrerako inpedantzia, 580Ω . Dakigunez, erabilitako BJTaren beta honako hau da: 100. Eta haren base-igorle tentsioa $V_{BE} = 0,6 V$ da, baldin eta transistorea aktiboan badago. Erantzun honako galdera hauei:
- Kalkulatu lan-puntua.
 - Kalkulatu basko tentsio-banantzailea osatzen duten erresistentzien balioak.
 - Polarizazio-zirkuitua egonkorra al da?
 - Marratzu kolektore-igorle tentsio osoa, $v_{CE}(t)$, $v_s(t)$ sarrerako seinalearen balio hauetarako:
 - $v_s(t) = 15 mV_p \cdot \sin(\omega t)$
 - $v_s(t) = 45 mV_p \cdot \sin(\omega t)$
 - $v_s(t) = 60 mV_p \cdot \sin(\omega t)$



4. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

4. Badugu FET transistore bat, honako parametro karakteristiko hauek dituen:

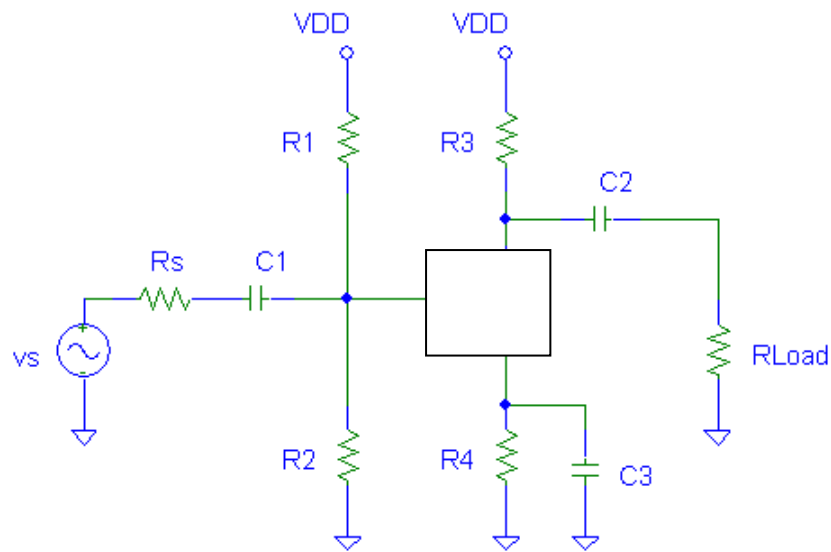
$$V_T = -1\text{V} \text{ eta } I_{DSS} = 12 \text{ mA.}$$

a) Esan zer gailu mota izan daitekeen, eta marraztu (aukera guztietarako) I_D - V_{GS} transistore(ar)en asetuneko ezaugarria (transferentziaren kurba) eta dago(z)kien zirkuitu-ikurrak.

Sentsore batek ematen duen seinale ahul bat amplifikatzeko erabili nahi dugu gailua; sentsoreak irteerako (Thévenin) inpedantzia altua du ($100 \text{ k}\Omega$), eta, zirkuitu irekian, 10 mVp -eko anplitudea ematen du.

Anplifikatu ondoren, $100 \text{ k}\Omega$ -eko Thévenin inpedantzia baliokidea duen karga batera eramango dugu seinalea.

Zirkuitu amplifikatzailea 5. irudikoa da. Zirkuituko elikatze-tentsioaren eta erresistentzien balioak honako hauek dira: $V_{DD} = 33 \text{ V}$, $R_1 = \infty$, $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ eta $R_4 = 167 \Omega$.



5. irudia. Laugarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

Transistorea JFET bat dela onartuz, analizatu honako kontu hauek:

- b) Lan-puntua.
- c) Tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

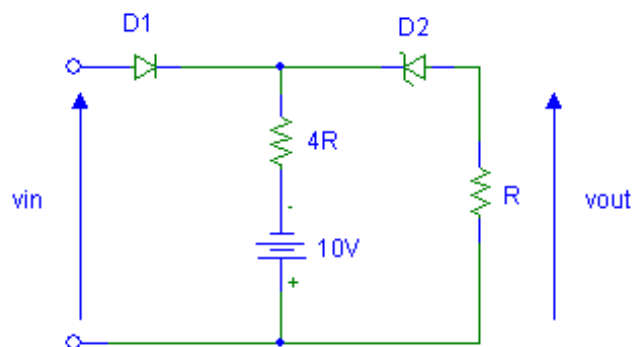
Iturri komuneko zirkuituen tentsio-irabazia transkonduktantziarekiko proportzionala da, eta, beraz, baita polarizazio-puntuaren araberakoa ere.

- d) Azaldu nola aldatuko den polarizazio-puntua, R_1 inpedantzia altua baina finitua bada. Horretarako, lagungarria izan daiteke I_D - V_{GS} transferentzia-kurba karakteristikoa erabiltzea. Zenbatekoa da R_1 minimoa, JFETa egokiro polarizatzeko? Balio horretarako, kalkulatu tentsio-irabazia, eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

2013ko uztaila

1. Kalkulatu 1. irudiko zirkuituaren transferentzia-kurba. Halaber, marraztu nolakoa izango den v_{out} irteerako seinalearen forma baldin eta sarrerako seinalea honako hau bada: $v_{in} = 20 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$.

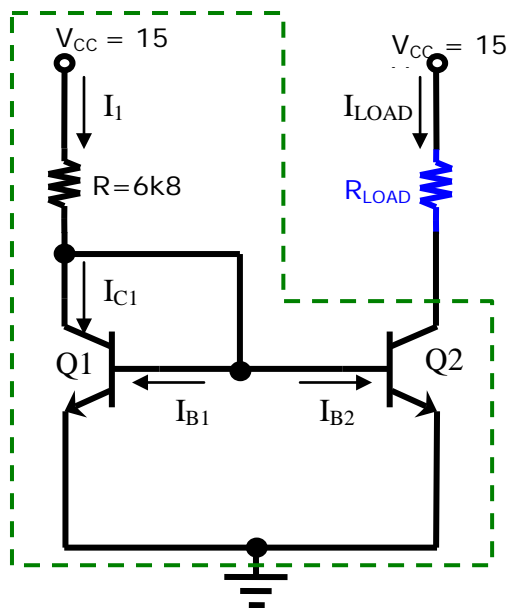
Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa: $V_Z = 4 \text{ V}$. Gainerako ezaugarriei dagokienez, diodak idealtzat jo daitezke.



1. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitu diododuna.

2. Beheko irudian, korrante-ispilu baten eskema agertzen da. Laborategian egin dugu muntaketa, txip berean integraturiko bi transistore berdin-berdin erabiliz, eta zenbait datu neurtu ditugu:

$$V_{BE1} = V_{BE2} = 0,603 \text{ V} \quad V_{CE2} = 5,05 \text{ V} \quad I_{B1} = I_{B2} = 10,5 \text{ mA}$$



2. irudia. Korrante-ispilua erabiliz muntaturiko korrante-iturria.

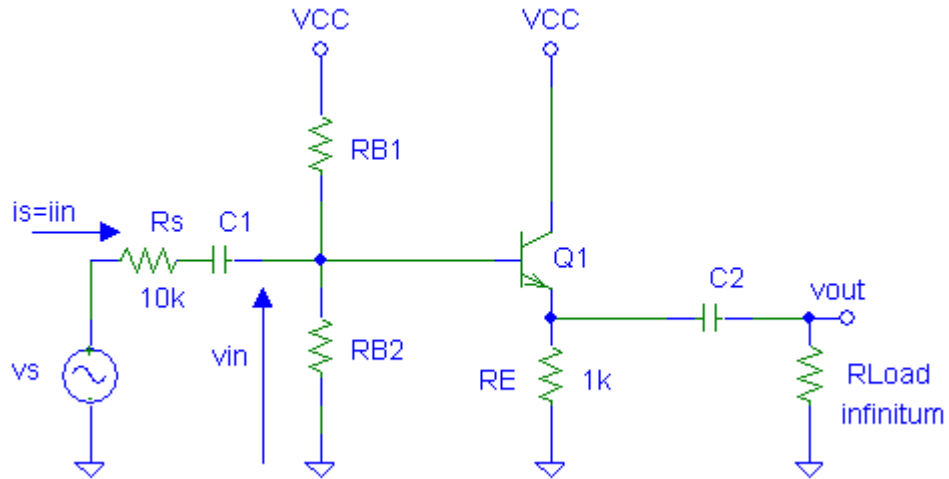
Gainera, beste bi datu hauek ere badakizkigu: $I_{C0} = 0,2 \text{ pA}$ eta $V_T = 25 \text{ mV}$.

- Zenbatekoa da I_1 ? Eta I_{C1} ?
- Zer eskualdetan ari dira lan egiten transistoreak? Zenbatekoa da haien β ?
- Zenbatekoa da, **gutxi gorabehera**, I_{LOAD} ? Eta R_{LOAD} ? Zenbatekoa da R_{LOAD} erresistentziaren balio maximoa, $I_{LOAD} \sim I_1$ bete behar bada?
- Zenbatekoa da transistoreen asetasun-korrantea (I_s)?
- Azaldu zer gertatuko litzatekeen berdin-berdinak ez diren (edo temperatura ezberdinean dauden) bi transistore erabiliz gero.

- Badakizkigu irudiko zirkuituan erabili den BJTaren igorle komuneko egiturako h parametroak, espero diren korrante eta tentsioetarako eta erabiliko den alternoko maiztasunean (onartuko dugu lan-maiztasuna baxua izango dela):

$$h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega \quad h_{fe} = 250 \quad h_{re} \sim 0 \quad h_{oe} \sim 0 \quad \Omega^{-1}$$

Gainera, haren eroapeneko tentsioa ere badakigu: $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$.



3. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- Marratzu seinale txikiko zirkuitua.
- Frogatu zirkuituaren sarrerako inpedantzia honako hau dela:

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in}}{i_s} = (R_{B1} // R_{B2}) // \left[h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{LOAD}) \right]$$

- Frogatu zirkuituaren irteerako inpedantzia honako hau dela:

$$Z_{out} = R_E // \left(\frac{h_{ie} + (R_{B1} // R_{B2} // R_S)}{h_{fe} + 1} \right)$$

- Frogatu zirkuitu honetako tentsio-irabazia honela kalkula daitekeela:

$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = A_{vi} \cdot \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_S}$$

$$A_{vi} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})}{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie}}$$

- Frogatu karga-zuzen dinamikoaren malda (i_c - v_{CE} planoan) $m_{KZD} \sim -1/R_E$ dela (gutxi gorabehera).

Orain, $V_{CC} = 15 \text{ V}$ eta $R_{B1} = 50 \text{ k}\Omega$ finkatukoditugu.

- Kalkulatu polarizazioa eta kokatu (marratuz) Q puntua karga-zuzen estatikoan, hiru R_{B2} hauetarako: 0, 10 k Ω y 75 k Ω . Analizatu lortutako emaitzak.

g) R_{B2} horietarako, kalkulatu A_v , Z_{in} , Z_{out} eta tarte dinamikoa, eta marraztu karga-zuzen dinamikoak.

	I_C (mA)	V_{CE} (V)	Langunea	Z_{in} (k)	Z_{out} (l)	A_{vs}	Tarte dinamikoa
$R_{B2} = 0$							
$R_{B2} = 10$ k Ω							
$R_{B2} = 75$ k Ω							

h) Hiru R_{B2} horietarako emaitzak ikusita, zein R_{B2} erabiliko zenuke?

4. 4. irudiko zirkuituan erabili den FETaren parametro nagusiak honako hauek dira:

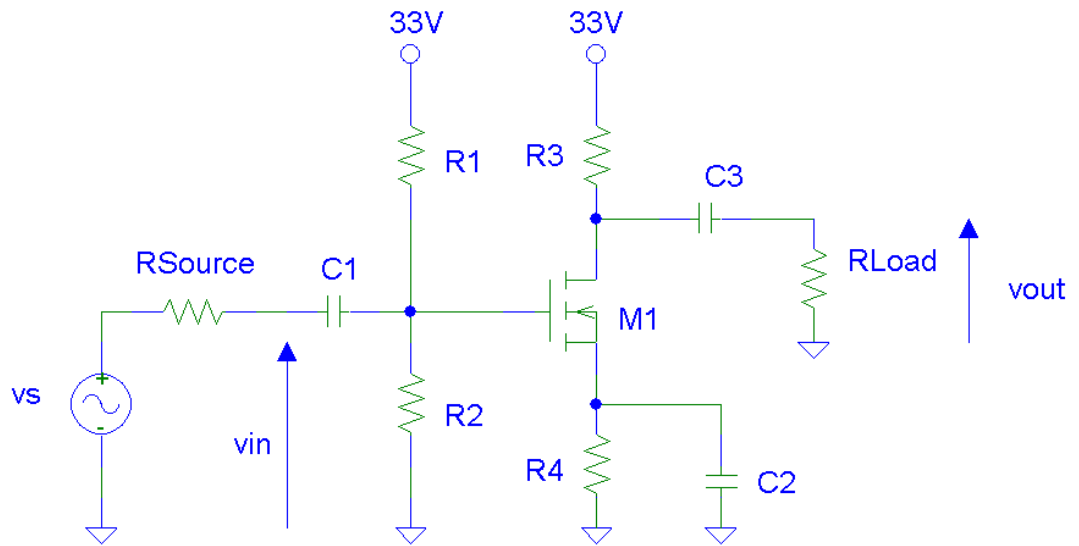
$$|V_T| = 4 \text{ V}$$

$$|I_{DSS}| = 16 \text{ mA}$$

- Zer FET mota da? Marraztu haren asetasuneko ezaugarri-kurba eta adierazi, bertan, I_{DSS} eta V_T .
- Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua.

Seinale txikiko zirkuituari dagokionez:

- Identifikatu egitura.
- Kalkulatu tentsio-irabazia, eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- Zirkuitu honetan, erabil al daiteke $|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ berberak dituen n pasabideko JFET bat?



4.irudia. Laugarren ariketako anplifikadorea.

Datuak: $R_1 = 1,7 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 1,6 \text{ M}\Omega$, $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_{\text{source}} = 25 \text{ k}\Omega$
 $R_{\text{LOAD}} = 2 \text{ k}\Omega$

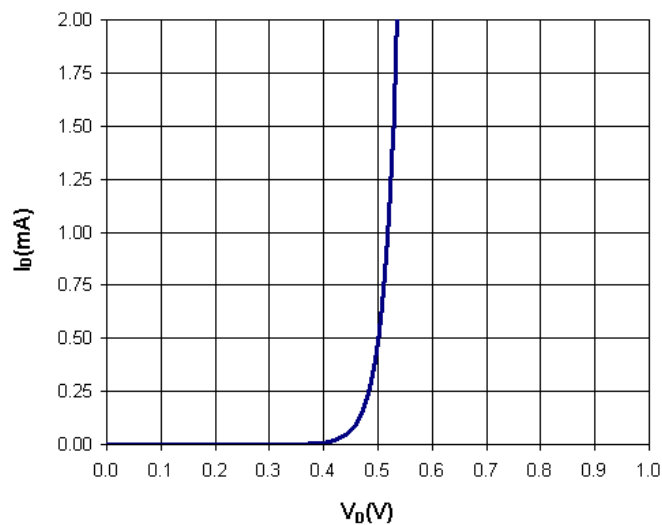
2013ko maiatza

1. Juntura latz laua duen siliziozko ($n_i=10^{10} \text{ cm}^{-3}$) diodo bati buruz, ezaugarri hauek dakizkigu:

$$N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad \phi_T = 0,921 \quad A = 1 \text{ mm}^2 \quad (V_T = 25\text{mV} \quad \epsilon_{\text{Si}} = 1,044 \text{ pF/cm})$$

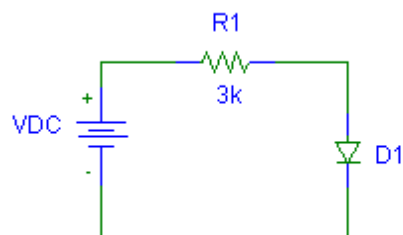
- Kalkulatu anodoko dopaketa.
- Kalkulatu orekako eskualde hustuaren zabalera eta junturako kapazitatea.
- Kalkulatu orekako eremu elektrikoaren balio maximoa.

Diodoaren serieko erresistentzia ez da aintzat hartzeko modukoa, eta, hortaz, diodoaren portaerak perfektuki jarraitzen dio beheko irudiko Shockleyren ekuazioari.



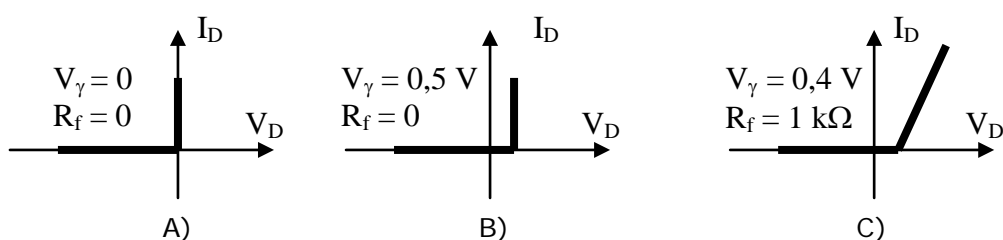
1. irudia. Lehenengo ariketako diodoaren $I-V$ kurba.

- Kalkulatu diodoaren asetasun-korrontea.
- Diodoa beheko zirkuituan erabiltzen badugu, $V_{\text{DC}} = 2 \text{ V}$ aplikatuz gero, zenbateko korrontea izango dugu? Zenbatekoa izango da diodoan agertuko den tentsioa? Eta $V_{\text{DC}} = 10 \text{ V}$ aplikatzen badugu?



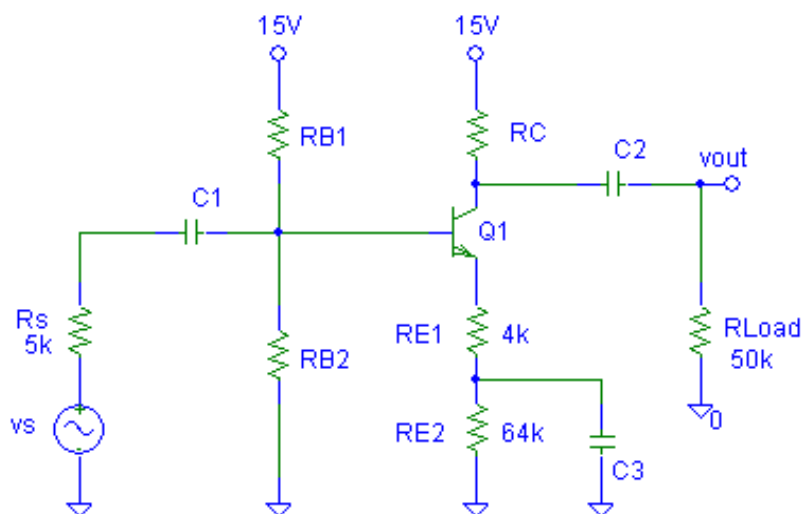
2. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitua.

f) Zure ustez, beheko modeloak ikusita, zein da egokiena diodoaren funtzionamendua modelatzeko?



3. irudia. Ebaluatu nahi ditugun hurbilketak.

2. Beheko irudiko zirkuituan erabili den BJT transistorearen $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ eta haren igorle komuneko korrante-irabazia $\beta = 100$. Zirkuituari dagokionez, $I_C = 0,118 \text{ mA}$, $Z_{out} = 39 \text{ k}\Omega$ eta $Z_{in} = 26,09 \text{ k}\Omega$ izatea nahi dugu.



4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

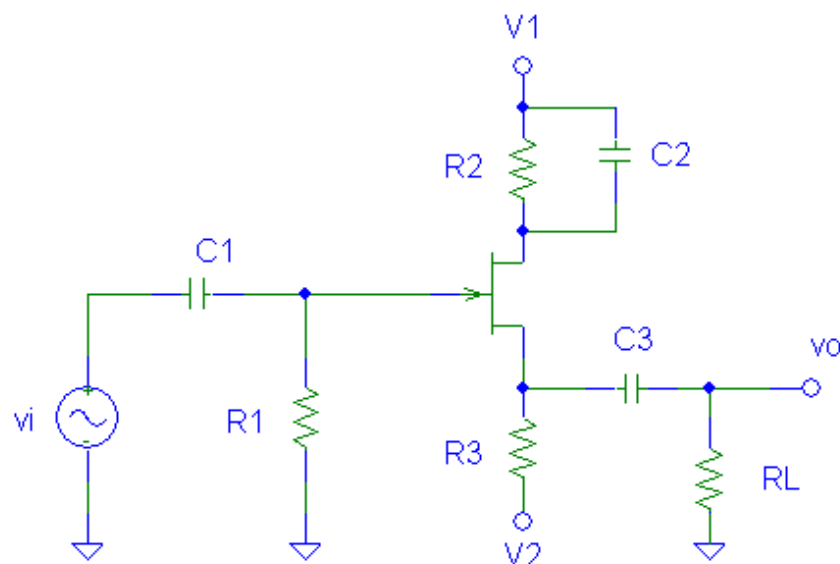
Erantzun honako galdera hauei:

- a) Kalkulatu R_C kolektoreko erresistentzia eta baseko tentsio-banatzaila osatzen duten R_{B1} eta R_{B2} erresistentziak.
- b) Lan-puntua egonkorra al da? Arrazoiu erantzuna.
- c) Kalkulatu tentsio-irabazia eta korrante-irabazia. Magnitude hauek beta parametroaren arabera al dira?
- d) Marraztu, grafiko bakarra erabiliz, v_s (sarrerako seinalea) eta v_{ce} (kolektore-igorle tentsioaren osagai alternoa) bi kasu hauetan:
 - d1) $v_s(t) = 300 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$
 - d2) $v_s(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$Arrazoiu lortutako emaitzak.

Demagun, orain, igorleko erresistentzia osoa ($R_E = R_{E1} + R_{E2}$) deskoplatzen dugula.

- e) Nola aldatuko da Q puntua? Egonkorra izaten jarraituko al du?
- f) Zer gertatuko da A_v tentsio-irabaziarekin? Eta tarte dinamikoarekin?

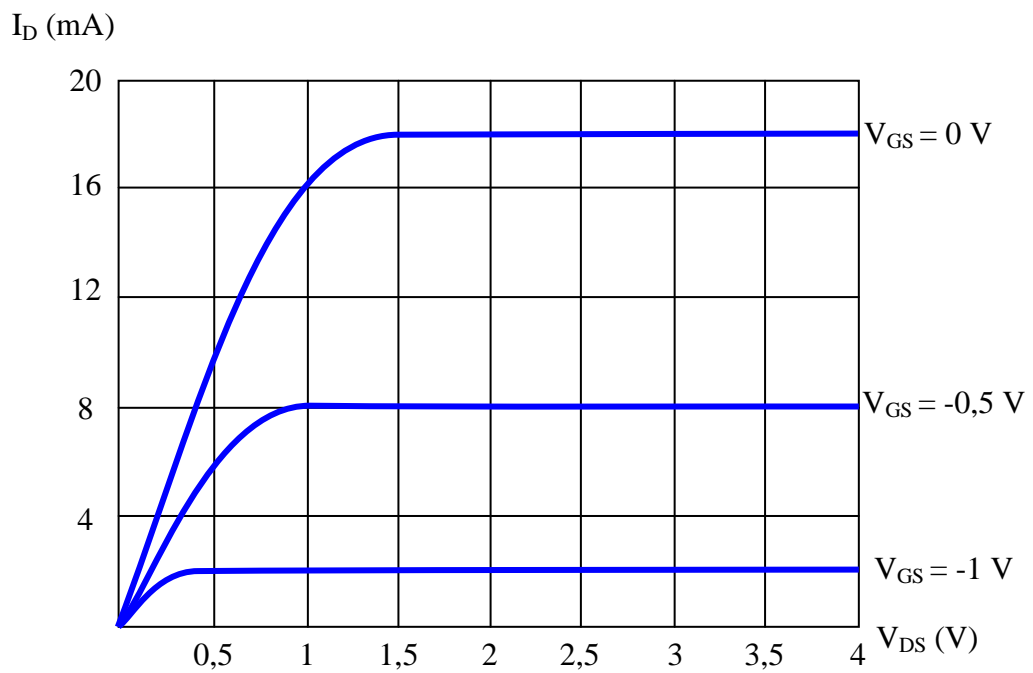
3. Beheko irudiko anplifikadorea analizatu nahi dugu. 6. irudian agertzen da anplifikadorean erabilitako gailuaren irteerako ezaugarria.



5. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

Datuak: $V_1 = 2 \text{ V}$ $V_2 = -2 \text{ V}$ $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 100 \Omega$ $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_L = 100 \Omega$

- Esan zer gailu mota den eta identifikatu haren terminalak zirkuituan.
- Lortu, arrazoituz, transistorearen parametro karakteristikoak: V_T eta I_{DSS} .
- Lortu eta marraztu karga-zuzen estatikoa (6. irudian bertan).
- Kalkulatu lan-puntua.
- Marraztu seinale txikiko zirkuitua.
- Kalkulatu tentsio-irabazia.
- Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.



6. irudia. Hirugarren ariketan erabiltzen den FETaren irteerako ezaugarria.

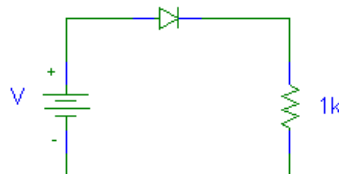
2012ko uztaila

1. Siliziozko diodo baten ezaugarri nagusiak honako hauek dira:

Sekzioa:	$A = 0,01 \text{ cm}^2$
Anodoko dopaketa:	$N_A = 1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
Katodoko dopaketa:	$N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
Beste datu batzuk:	$V_T = 25 \text{ mV}$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,
	$\epsilon_{rSi} = 11,8$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$ $n_{iSi} = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

a) Kalkulatu juntura horretako potentzial termodinamikoa, eta, orekan, hustutako eskualdearen zabalera eta junturako kapazitatea.

Diodo hori erabiliz, 1. irudiko zirkuitua muntatu dugu.

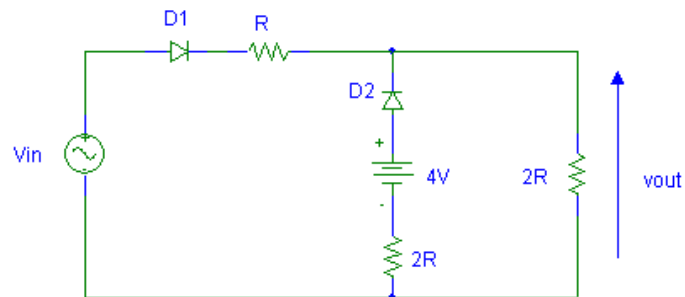


1. irudia. Lehenengo ariketako b) eta c) ataletako zirkuitua.

- b) Diodoaren asetasun-korrontea $I_{\text{sat}} = 10 \text{ pA}$ bada, kalkulatu **zehatz-mehatz** 1. irudiko zirkuituko diodoan agertuko diren korronteak eta tentsioak sarrerako bi tentsio hauetarako: $V = 5 \text{ V}$ eta $V = -4 \text{ V}$. Zenbat da, gutxi gorabehera, diodoaren atariko tentsioa 5 mA inguruko korronteetarako?
- c) Sarrerako tentsioa -4 V denean, zenbat da juntura nagertzen den potentzial elektrikoa? Eta 1, eskualde dipolarraren oraingo zabalera? Eskualde dipolarra oso asimetrikoa da. Zergatik? Batez ere, norantz hedatuko da?

Diodo hori erabiliz, orain, 2. irudiko zirkuitua muntatu da.

- d) Diodoaren atariko tentsioa arbuiauz, lortu 2. irudiko zirkuituari dagokion transferentzia-kurba.

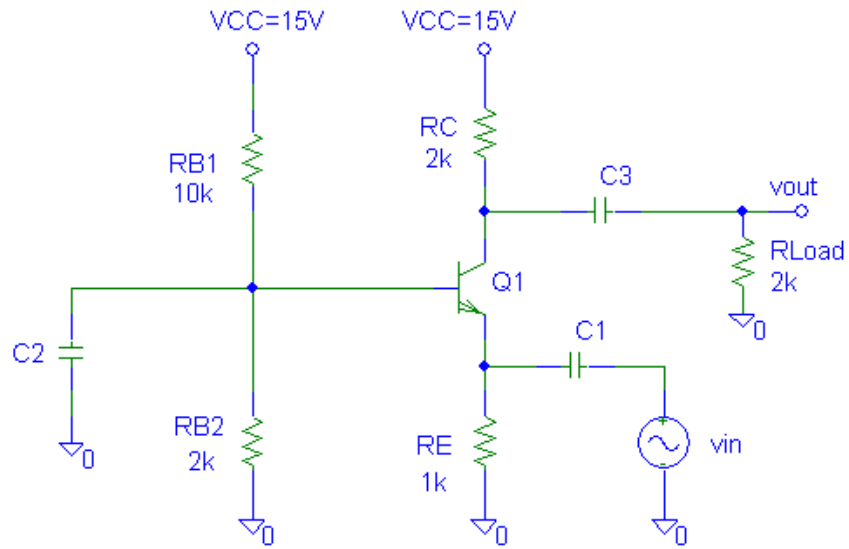


2. irudia. Aurreko diodoa erabiliz muntatu den zirkuitua.

3. 3. irudiko transistore bipolarrari dagokionez, $V_{BE} = 0,5 \text{ V}$ eta $\beta = 180$.
- Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua.
 - Transistorea edo tenperatura aldatzen direnean, lan-puntu hori asko aldatuko da ala egonkortzat jo daiteke? Zergatik?
 - Kalkulatu zirkuituko tentsio-irabazia, eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.
 - Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalearen forma baldin eta sarreran aplikatzen dugun seinalea $v_{in} = 20 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ bada ($f = 200 \text{ Hz}$).

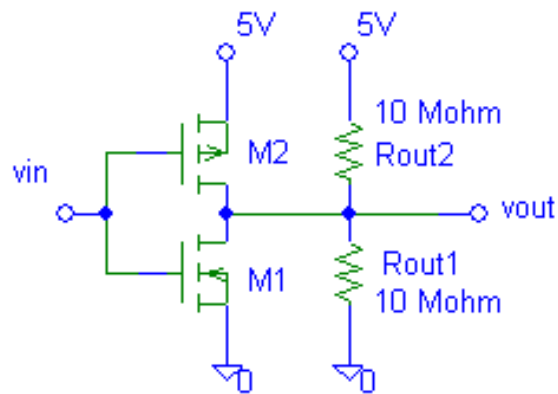
R_{B2} aldatuz gero, transistorearen lan-puntua karga-zuzen estatikoan zehar mugitu eta, orobat, **guztiz** aldatuko dugu seinale txikiko erantzuna.

- Nola aldatzen da irabazia R_{B2} aldatzen dugunean? Tentsio-irabazia bikoiztu nahi badugu, zenbat izan behar du R_{B2} erresistentziak? Nolako eragina izango du aldaketa horrek tarte dinamikoan? Eta nola aldatuko liriteke sarrerako eta irteerako inpedantziak? [Atal honetan, onartu egonkortasunerako baldintza betetzen dela]
- Tarte dinamiko simetrikoa lortu nahi badugu, zenbat izan behar du R_{B2} erresistentziak?

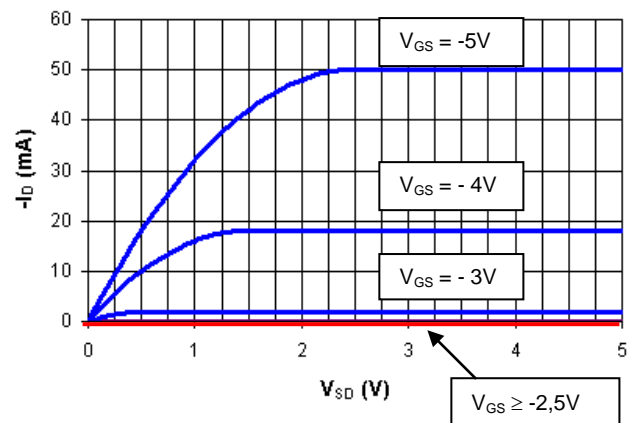
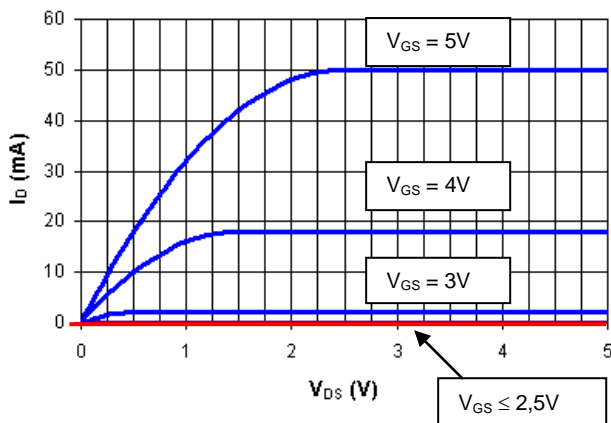


3. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

4. 4. irudiko zirkuitua muntatu nahi dugu, MOS transistoreak erabiliz. Transistoreen ezaugarri-kurbak 5.a. eta 5.b. irudietan agertzen dira.



4. irudia. CMOS teknologia erabiliz eraikitako inbertitzaile digitala.



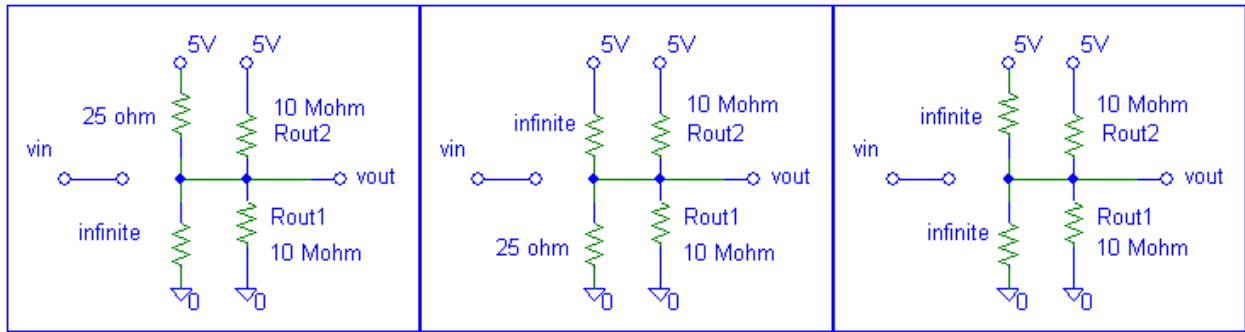
5. irudia. M1 (ezker.) eta M2 (eskuin.) transistoreen ezaugarri-kurbak.

- Esan zer transistore mota diren M1 eta M2, identifikatu haien terminalak eta lortu (grafikoetatik) haien parametro bereizgarriak.
- Marraztu M1 eta M2 transistoreen I_D - V_{GS} aletasuneko transferentzia-ezaugarriak.
- M1 transistoreari dagokionez, zenbat da haren pasabidearen erresistentzia $V_{GS} = 0$ denean? Eta, $V_{GS} = 5$ V kasuan, M1-ek eskualde ohmikoan (hau da, V_{DS} oso txikiekin) lan egiten badu?

4. irudiko zirkuitua inbertitzaile digital bat da. Aplikazio honetan, transistoreek etenduran ala eskualde linealean (hau da, ohmikoan) lan egingo dute (OFF ala ON, hurrenez hurren).

- Aurreko ataleko emaitzak kontuan hartuz, esan (6. irudiko zirkuituetako) zein dagokien sarrerako seinalearen honako balio hauei: $v_{in} = 0$ V, $v_{in} = 2,5$ V eta $v_{in} = 5$ V. Kasu bakoitzerako, zenbat izango da v_{out} ?

V_{in}	V_{GS1}	M1-en Egoera	V_{GS2}	M2-ren Egoera	Zirkuitua	v_{out}
0					a/b/c	
2,5					a/b/c	
5					a/b/c	



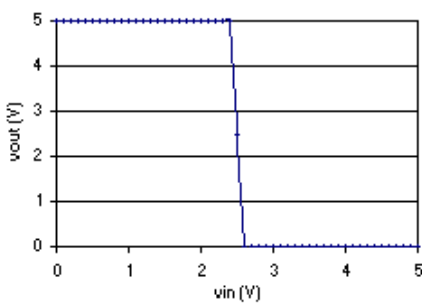
a)

b)

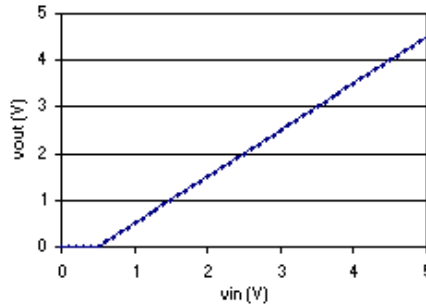
c)

6. irudia. d) ataleko seinaleei dagozkien zirkuitu baliokideak.

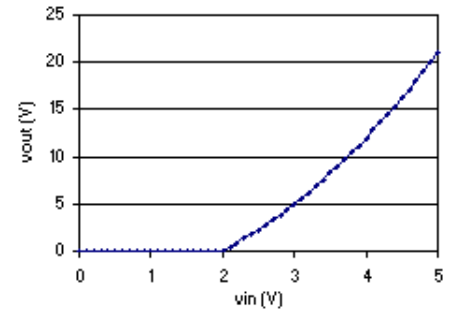
e) Nolakoak izango da, gutxi gorabehera, zirkuituaren transferentzia-kurba ($v_{out}-v_{in}$)? Azaldu zein den, zure ustez, zirkuituaren funtzioa.



a)



b)

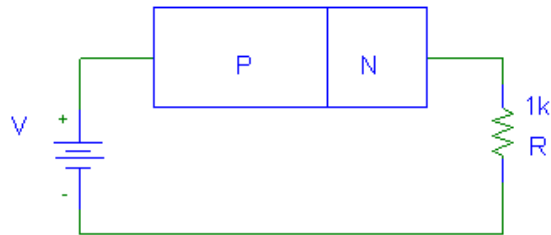


c)

7. irudia. Zirkuituaren transferentzia-kurba posibleak.

2012ko maiatza

1. Juntura latz laua duen diodo bat karakterizatzeko, honako zirkuitu hau muntatu dugu:

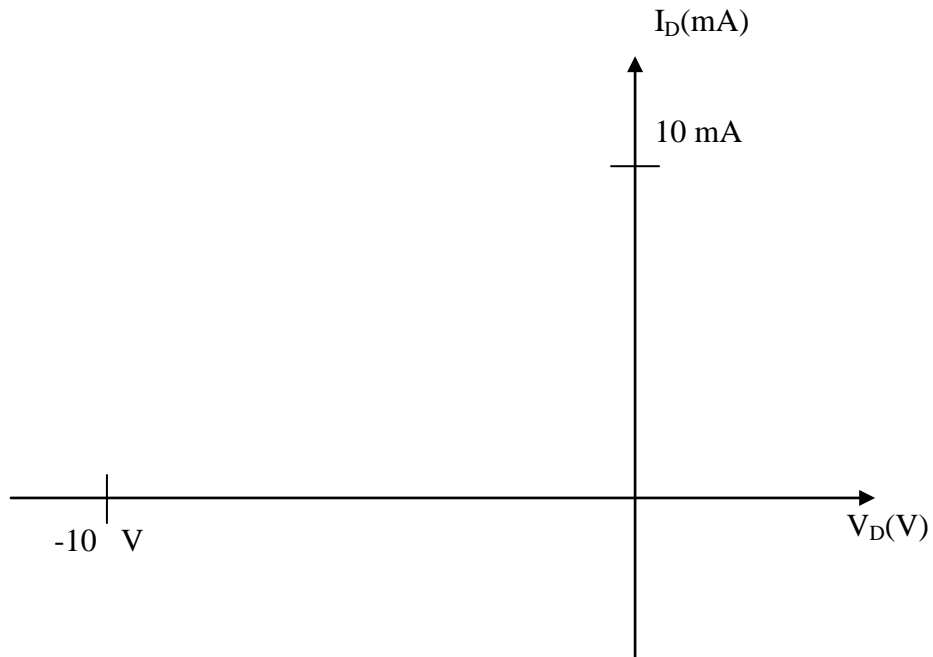


1. irudia. Lehenengo ariketako diodoaren $I-V$ kurba neurtzeko zirkuitua.

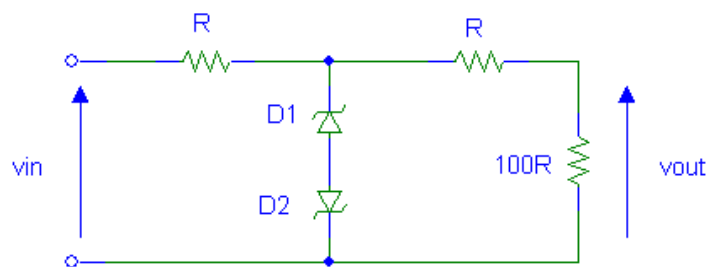
Zirkuitu hori erabiliz, honako neurketa hauek hartu dira:

V (V)	10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
V_R (V)	5	3	1	10^{-8}	0^{-8}	0	529	508	497	489	483

- a) Marraztu diodoaren $I-V$ kurba, adierazi baliorik esanguratsuenak eta erantzun galdera hauei: zer diodo mota dugu? Zenbat da haren atariko tentsioa, baldin eta korrontea miliampere batzuen ingurukoa bada? Parametro horietaz gainera, zer balio interesgarri ateratzen d(it)uzu diodoari buruz?



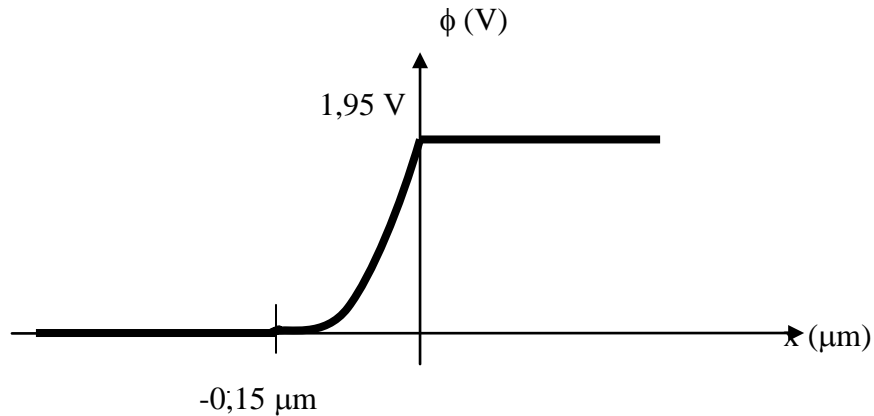
Diodo hori erabiliz, zirkuitu hau muntatu dugu:



2. irudia. Diodoaren aplikazio-zirkuitua.

- b) Lortu eta marraztu zirkuituaren transferentziaren funtzioa. Horretarako, onartu diodoen atariko tentsioa $V_{\square} = 0,5 \text{ V}$ dela, eta $|V_z| = 5\text{V}$. Zertarako balio du zirkuitu horrek?

Orobat, badakigu diodoak $0,1 \text{ cm}^2$ -ko sekzioa duela, eta, -1 V -eko tentsioa (inbertsoa) aplikatzen dugunean, junturan agertzen den potentzial elektrikoak honako bilakaera hau du espazioan:



3. irudia. Junturan agertzen den potentziala $V_{pn} = -1$ V polarizazioa aplikatzen denean (juntura metalurgikoa $x=0$ planoan dago; eskualde dipolarrak eskuineko eskualde neutrorantz duen zabalera ez da aintzat hartzeko modukoa).

Erantzun galdera hauei:

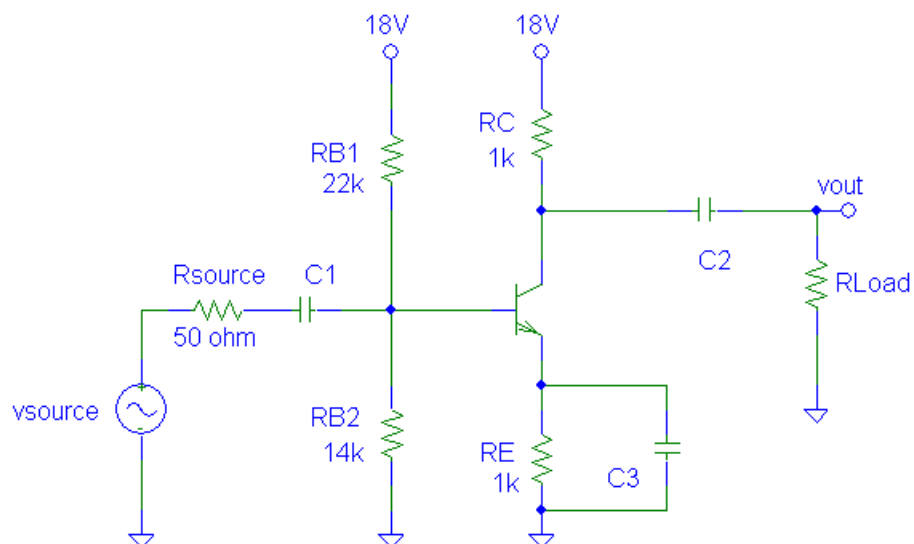
- c) Zenbat da ϕ , eskualde neutroen arteko potentzial aldea? Eta ϕ_T potentzial termodinamikoa?
- d) Aplikatzen ari garen polarizazio-tentsiorako, zenbat da l , hustutako eskualdearen zabalera? Eta junturako kapazitatea (C_j)?
- e) Zenbat dira magnitude horiek oreka termodinamikoan (l_0 eta C_{j0})?
[Aurreko atala atera ez bada, hurrengorako, hartu $\phi_T = 0,9$ V eta $l_0 = 10^{-5}$ cm]
- f) $N_D \gg N_A$ onartuz, zenbat da anodoko dopaketa? Eta katodokoa?

Datuak: $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $V_T = 25 \text{ mV}$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_{rSi} = 11,8$; $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$

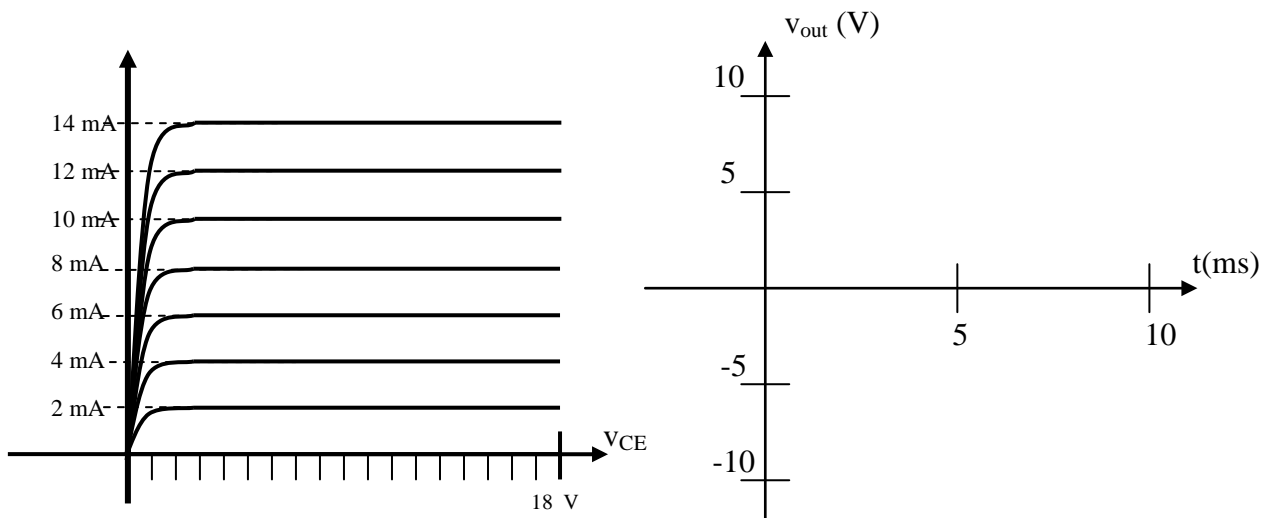
2. 4. irudiko zirkuituko transistore bipolarri dagokionez, $V_{BE} = 0,7$ V eta $\beta = 100$.

- a) Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua. Transistorea edo tenperatura aldatzen badira, lan-puntua egonkorra izango al da? Zergatik?

- b) Bigarren hurbilketan, zenbat da (zehatz-mehatz) V_{BE} , baldin eta $I_{E0} = 0,1 \text{ pA}$ eta $I_{C0} = 0,3 \text{ pA}$ badira?
- c) Marraztu, 5.a irudian, karga-zuzen estatikoa, eta adierazi Q puntua bertan.
- d) Kalkulatu, R_{load} erresistentziaren arabera, zirkuituaren tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- e) Zenbat da tentsio-irabazi maximoa dakarren R_{load} erresistentzia?
- f) Marraztu, 5. irudian, $R_{load} = 100 \text{ M}\Omega$ erresistentzia erabiliz lortzen den karga-zuzen dinamikoa. Nolakoa da tarte dinamikoa? Marraztu, orobat, zer itxura izango duen irteerako seinaleak, sarrera $v_s = 20 \text{ mV} \cdot \sin(2\omega t)$ bada ($f = 200 \text{ Hz}$). Eta, sarrerako anplitudea 30 mV bada?



3. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.



5. irudia. a) Transistorearen ezaugarri-kurbak (karga-zuzenak gainean marrazteko).

b) Irteerako seinalearen uhin-formak marrazteko ardatzak.

3. 6. irudiko zirkuitua eta hango transistorearen asetahuneko transferentziaren kurba erabiliz (I_D vs V_{GS} , ikus 7. irudia), erantzun honako galdera hauei:

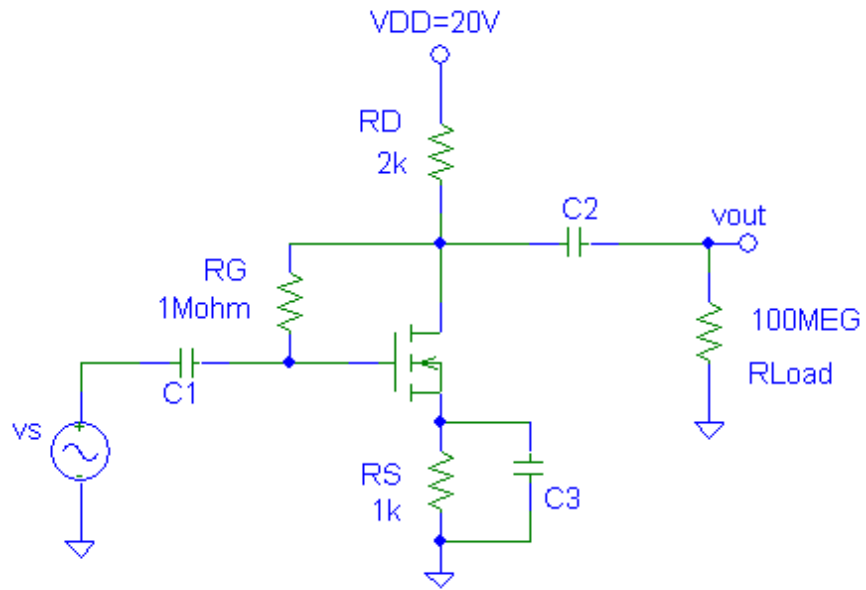
- Zer transistore mota dugu? Eman haren parametro karakteristikoak.
- Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua.
- Marraztu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkulate tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

Orain, —aldaketa nabarmena sartzeko— transistorea aldatuko dugu:

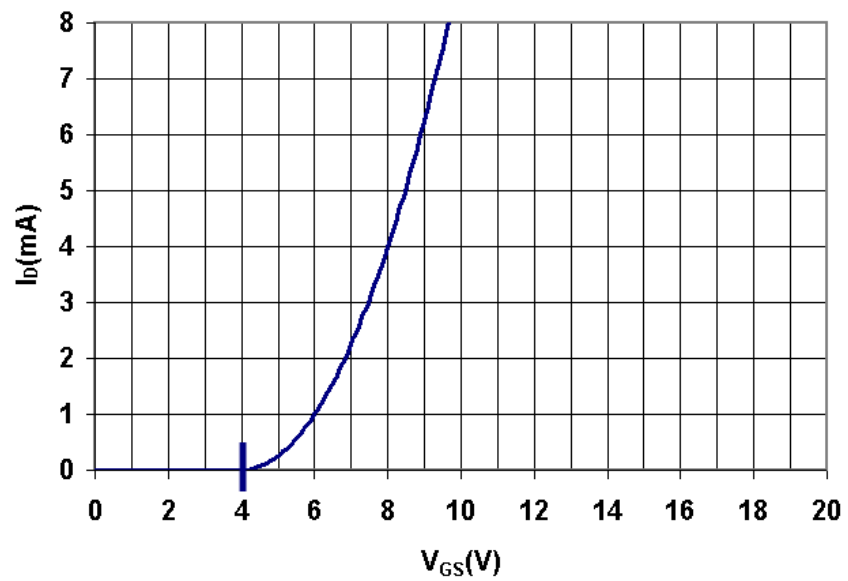
p pasabideko JFET bat erabiliko dugu, honako parametro hauek dituen:

$$|I_{DSS}| = 4 \text{ mA eta } |V_T| = 1 \text{ V.}$$

- Zer aldaketa agertzen dira polarizazio-zirkuituan? Kalkulate lan-puntua.
- Eta, seinale txikiko zirkuituari eta anplifikatzeari dagokienez, zer aldaketa nagusi daude?



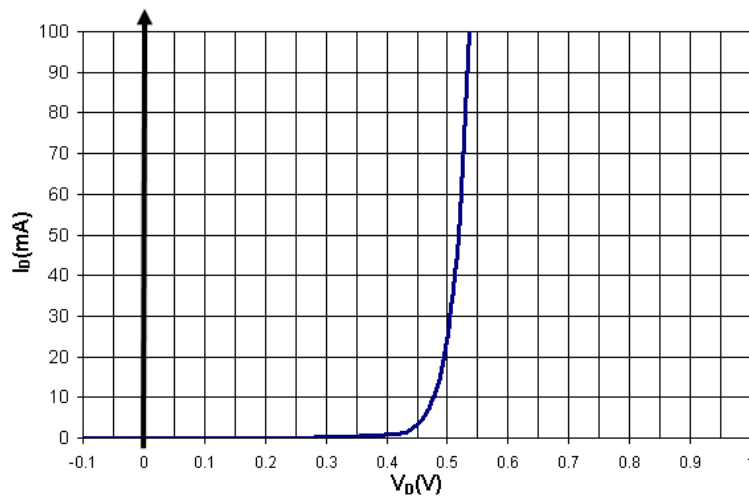
6. irudia. Hirugarren ariketako anplifikadorea.



7. irudia. Lehenengo transistorearen asetasuneko transferentziaren kurba.

2011ko ekaina

1. 1. irudiak siliziozko pn junturako diodo baten I-V kurba ematen digu.



1. irudia. Lehenengo ariketako I-V kurba.

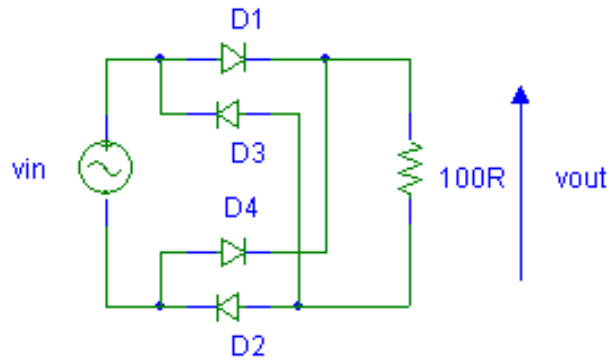
- a) Zenbat da diodo honen atariko tentsioa 25-100 mA tartean?
 b) Zenbat da, gutxi gorabehera, haren asetasun-korrontea?

Dakigunez, diodoaren sekzioa $0,1 \text{ cm}^2$ da, katodoko dopaketa $N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ eta potentzial termodinamikoa $0,806 \text{ V}$.

- c) Zenbat da anodoko dopaketa?
 d) Eta junturako orekako kapazitatea?

Datuak: $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $V_T = 25 \text{ mV}$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_{rSi} = 11,8$; $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$

Diodo hori erabiliz, 2. irudiko zirkuitua muntatu dugu.



2. irudia. Diodoaren aplikazio-zirkuitua.

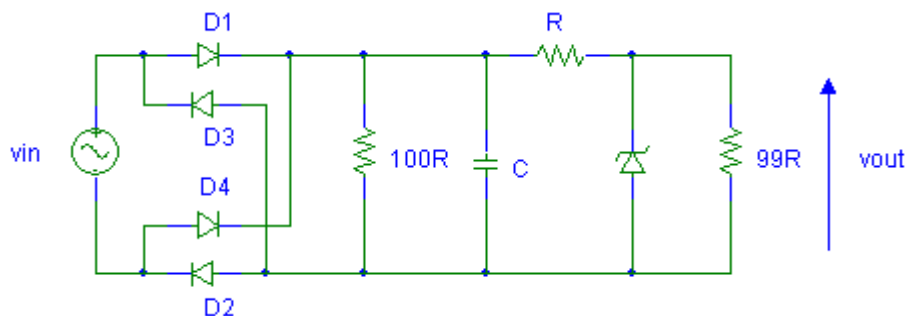
e) Zer zirkuitu mota da? Irudikatu, diodoaren atariko tentsioa kontuan hartuz, zirkuitu horren transferentziaren kurba.

f) Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalea baldin eta sarreran $v_{in} = 15 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ aplikatzen bada.

Orain, kondentsadore bat (nahiko kapazitate handia duena, $RC \gg T$ lortzeko modukoa), erresistentzia batzuk eta 10 V-eko zener bat gehituko ditugu.

g) Zenbat izango da irteerako seinalearen osagai zuzena (hots, jarraitua)? Nolakoa izango litzateke, idealki, irteerako osagai alternoa?

h) $99 \cdot R$ balioko erresistentzia kargatzen hartzen badugu, zer funtzio du zirkuitu honek?

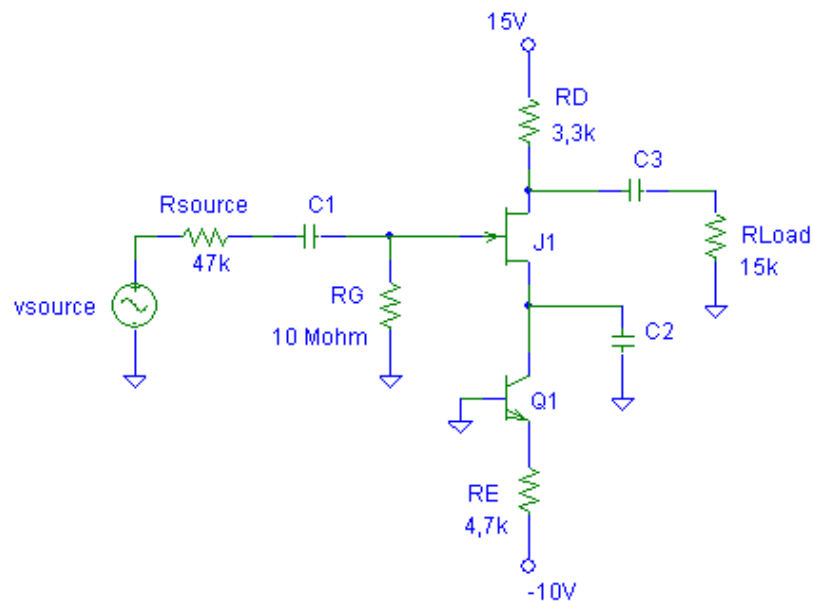


3. irudia. Diodoaren aplikazio-zirkuitua (bigarren atala).

3. 4. irudiko zirkuituan erabiltzen den transistore bipolarrari dagokionez, $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$ eta $\beta = 150$ dira. Eremu-efektukoaren ezaugarri nagusiak, berriz, honako hauek dira: $|V_T| = 4 \text{ V}$ eta $|I_{DSS}| = 8 \text{ mA}$.

a) Kalkulatu bi transistoreen polarizazio-puntuak. Draineko korronteari dagokionez, FETaren ezaugarrien araberakoa al da? Zerk finkatzen du?

b) Kalkulatu zirkuitu honetako tentsio-irabazia. Erabiltzen den sorgailuaren barneko inpedantziak ba al du eraginik? **ARRAZOITU ERANTZUN GUZTIAK.**



4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitua.

4. 5. irudiko zirkuituan erabili den transistorearen sarrerako eta irteerako ezaugarri-kurbak (I_B vs V_{BE} eta I_C vs V_{CE}) 6. irudikoak dira.

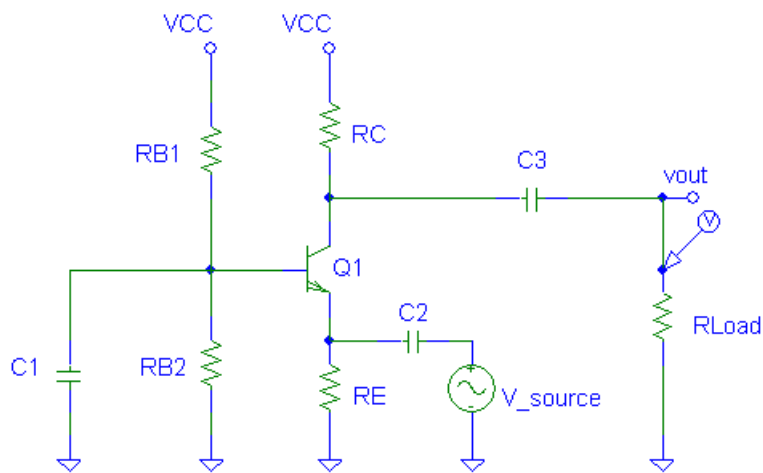
Erantzun honako galdera hauei:

a) Zenbat da transistorearen β ? Transistorea ideala izango ez balitz, zer aldaketa ikusiko genituzke kurbetan?

b) Kalkulatu, R_C -ren arabera, polarizazio-korrante eta tentsioak. Orobat, kalkulatu zein den R_C posibleen tartea transistorea aktiboan egoteko. Irudikatu R_C

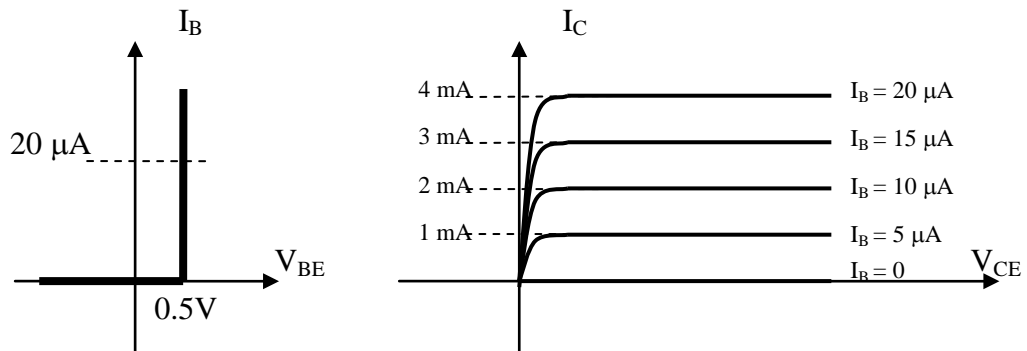
erresistentziaren muturreko balioetarako karga-zuzen estatikoak, eta adierazi Q lan-puntuak.

- c) Marraztu seinale txikiko zirkuitua eta kalkulatu tentsio-irabazia. Zenbat da irabaziaren balio maximoa? Zer R_C -rekin lortzen da?
- d) Kalkulatu, R_C -ren arabera, sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- e) Marraztu nolakoa izango den irteerako tentsioa baldin eta $R_C = 2\text{ k}\Omega$ eta $v_{\text{source}} = 40\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ badira.



5. irudia. Zirkuitu amplifikatzailea.

Datuak: $V_{CC} = 14\text{ V}$, $C_i = \infty$, $R_{B1} = 12\text{ k}\Omega$, $R_2 = 4\text{ k}\Omega$, $R_E = 2\text{ k}\Omega$, $R_{LOAD} = 1\text{ k}\Omega$



6. irudia. Transistorearen I-V kurbak.

2011ko maiatza

1. Kontaktu ohmikoak dituen diodo bati buruzko oinarritzko kontu batzuk analizatu nahi ditugu. Hona hemen haren ezaugarri batzuk:

ANODOA: $N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ $D_n = 30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ $L_n = 50 \text{ }\mu\text{m}$ $W_a = 200 \text{ }\mu\text{m}$

KATODOA: $N_D = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ $L_p = 100 \text{ }\mu\text{m}$ $W_k = 200 \text{ }\mu\text{m}$

Haren sekzioa $A = 0,125 \text{ cm}^2$ da, eta hona hemen beste datu orokor batzuk:

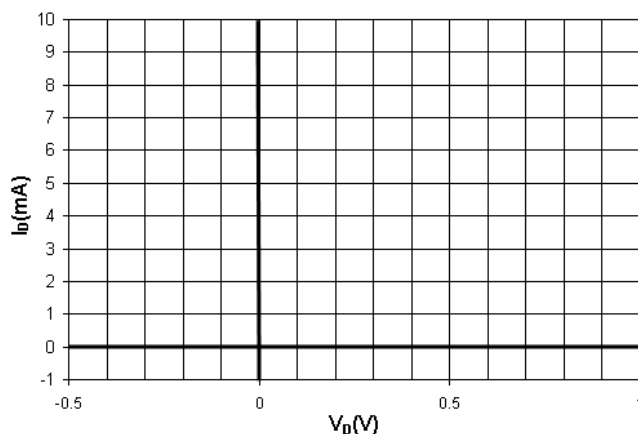
$n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; $\epsilon_{\text{rSi}} = 11,8$; $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$, $V_T = 25 \text{ mV}$.

Erantzun honako galdera hauei:

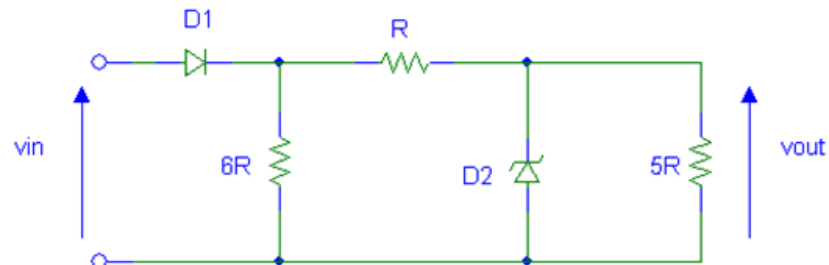
- a) Zenbat da pn juntura horretako potentzial termodinamikoa?
- b) Eta eskualde hustuaren orekako zabalera?

$I_{\text{sat}} = 1 \text{ pA}$ hartuz, kalkulatu zenbateko tentsioa aplikatu behar den beheko taulako korronteak lortzeko, eta marraztu diodoaren I-V kurba emandako eskalan. Balioetsi zenbat den diodo honen atariko tentsioa mA inguruko korronteekin lan egin behar badugu.

I_D	V_D
1 nA	
1 uA	
1 mA	
5 mA	
10 mA	
1 A	



2. Kalkulatu eta marraztu beheko zirkuituaren transferentziaren funtzioa -20 V , 20 V tartean. Horretarako, jo diodoak idealak direla eta hartu Zenerraren hausturako tentsioa $V_z = 10\text{ V}$ dela. Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalearen forma baldin eta sarrerako tentsioa $20\text{ V}\cdot\sin(\omega t)$ bada.



1. Irudia.

Zirkuitua erabiliz tentsio-iturri txiki bat egiteko, laborategiko bigarren praktikan egin zenaren antzera, nahikoa izango litzateke kondentsadore bat gehitzea. Non jarri beharko genuke? Zenbat izango litzateke irteerako tentsioaren balioa?

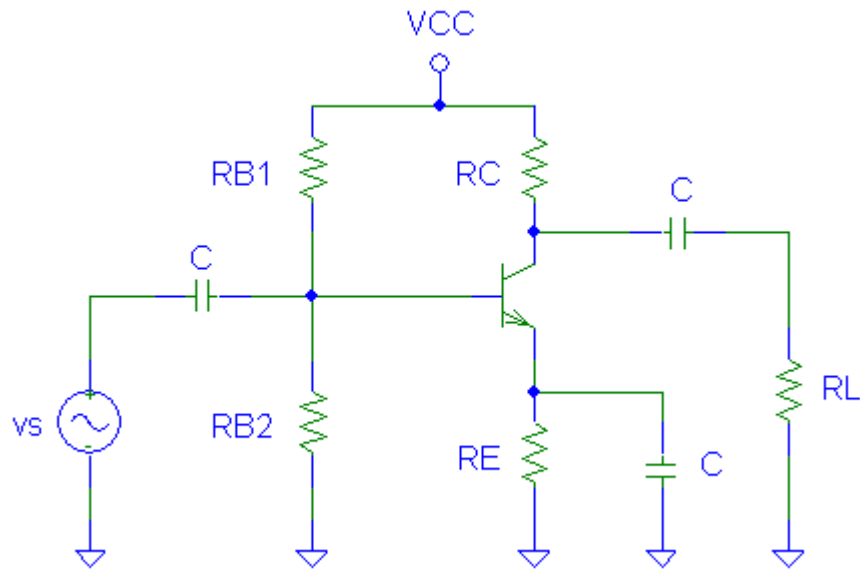
3. Beheko zirkuitu anplifikatzaileari buruzko kontu batzuk aztertu nahi ditugu. Hari buruz, intereseko datu hauek dakizkigu:

- Tentsio-irabazia: $|A_v|=50$
- Karga-zuzen estatikoa eta dinamikoa 3. irudikoak dira.
- Distortsioa simetrikoki agertzen da etenduran eta asetasunean.
- Zirkuitu-osagai batzuen balioak honako hauek dira:
-

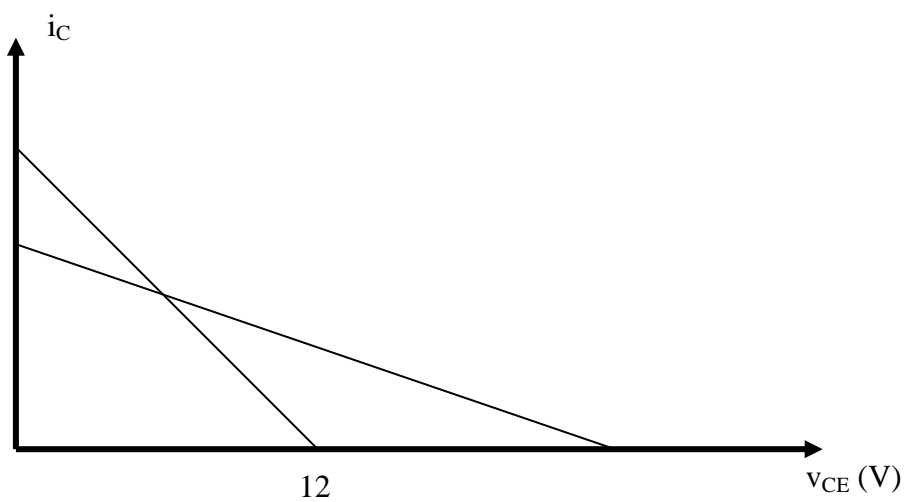
$V_{CC} = 24\text{V}$	$R_L = 1\text{ k}\Omega$	$R_{B1}/R_{B2} = 7,5\text{ k}\Omega$
$V_{BE} = 0,6\text{V}$	$h_{fe} = 150$	$h_{ie} = 1,5\text{ k}\Omega$

- Zer anplifikatze-egitura da? Zertarako jarri da kondentsadore bat R_E erresistentziarekin paraleloan?
- Zenbat da polarizazioko V_{CE} tentsioa? Irteerako seinaleak bere balio maximoa distortsiorik gabe hartzeko, zenbat izan behar du v_s sarrerak?
- Tentsio-irabazia $A_v = |50|$ izateko, zenbat izan behar du R_C -k?

- d) Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.
- e) Sarrerako sorgailuak $R_s = 1,25 \text{ k}\Omega$ -eko irteerako inpedantzia izango balu, tentsio-irabazi bera lortuko litzateke? Arrazoitu erantzuna.
- f) Zenbat da I_c kolektoreko korrontea?
- g) Kalkulatu R_E , R_{B1} eta R_{B2} erresistentziak.
- h) β -ren aldaketen aurrean polarizazio-puntua egonkor mantentzeari dagokionez, zirkuitu honek bermatzen al du egonkortasuna?



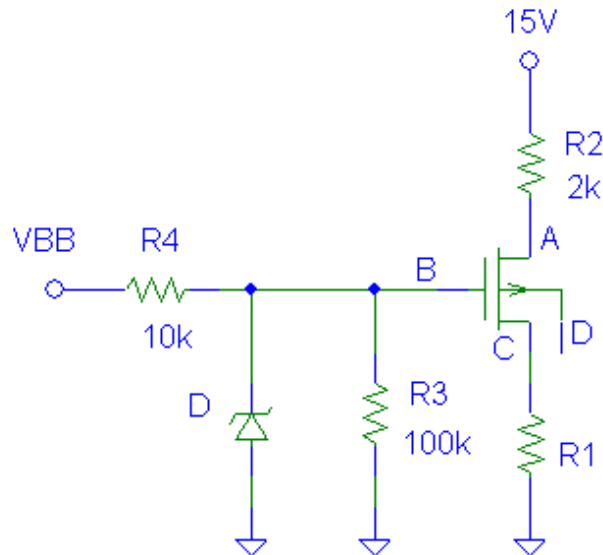
2. irudia



3. irudia

4. Beheko irudiko zirkuituari dagokionez:

- Zer FET mota dugu? Identifikatu A, B, C eta D puntuak dagozkien terminalekin (iturria, draina, atea eta oinarria). Normalean, zeinekin konektatzen dugu oinarria?
- Marraztu FETaren asetasuneko I_D - V_{GS} ezaugarria eta adierazi puntu esanguratsuak. Gailu hau gauza al da V_{GS} positibo zein negatiboekin lan egiteko? Arrazoituz erantzuna.
- Ariketan erabiltzen den zirkuitura itzuliko gara, eta onartuko dugu oinarria eta iturria konektatu direla. Zirkuitutik I_{DSS} asetasuneko korrontea lortzeko, zenbat da ateko terminalean aplikatu behar dugun tentsioa? Zenbat da egoera horri dagokion V_{BB} tentsioa? FETa asetasunean egoteko, zein dira R_1 erresistentziaren muturreko balioak?
- Zirkuitu honekin, V_{BB} doituaz, draineko korrontea nulua egin liteke? Arrazoituz erantzuna.
- Orain, draineko erresistentzia $0,1 \text{ k}\Omega$ bada, kalkulatu **zén izango den draineko korrontearen balio (absolutu) minimoa** asetasunean lan egiten
- ~~Zirkuitu~~ Zirkuitu honekin, I_{DSS} baino handiagoak diren korrontek lor daitezke? Nola?



4. irudia.

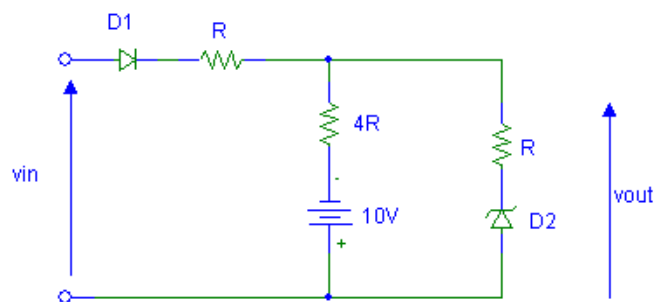
Datuak: $|I_{DSS}| = 5 \text{ mA}$ $|V_T| = 2 \text{ V}$ $V_Z = 10 \text{ V}$

SOLUZIOAK

ZIRKUITU DIODODUNA

1. Kalkulatu eta marraztu 1. irudiko zirkuituaren transferentzia-kurba, eta marraztu, grafiko berean, nolakoak izango diren v_{in} sarrerako seinalearen eta v_{out} irteerako seinalearen formak baldin eta sarrera seinale hiruki alferno purua bada, eta haren anplitudea $V_p = 10 \text{ V}$ bada. Grafikoan, adierazi balio esanguratsuenak.

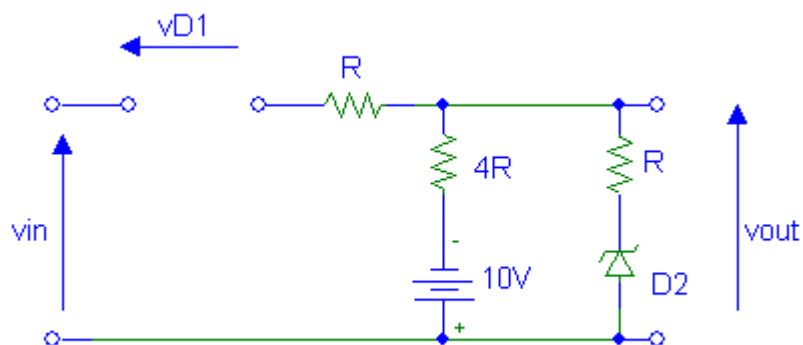
Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa, balio absolutuan: $|V_z| = 4 \text{ V}$. Gainerako ezaugarriei dagokienez, bi diodoak idealtzat jo daitezke.



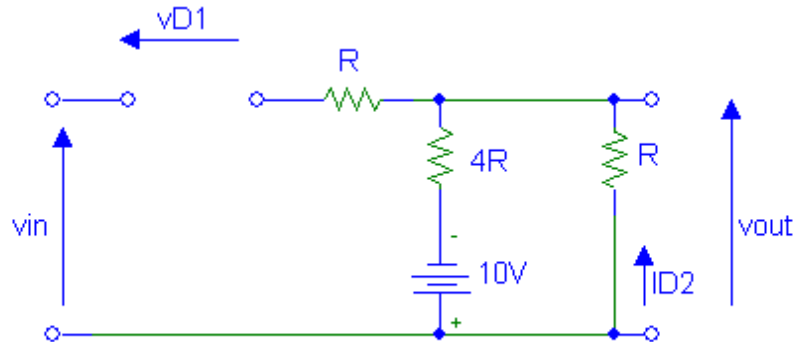
3. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitu diododuna.

- a) Demagun D1 diodoa OFF dagoela (v_{in} oso negatiboetatik V_1 bateraino gertatuko da hori; atal honetan bilatuko ditugu kasu horretarako v_{out} eta v_{in} tentsioen arteko erlazioa eta V_1 tentsio ezezagun hori).

Kasu horretan, honela geratzen da zirkuitua:



Begi-bistakoa denez, D2 zenerra ON egongo da, eta irteerako tentsioa ez da v_{in} sarrerako tentsioaren funtzioa izango. Honela geratzen zaigu zirkuitua:



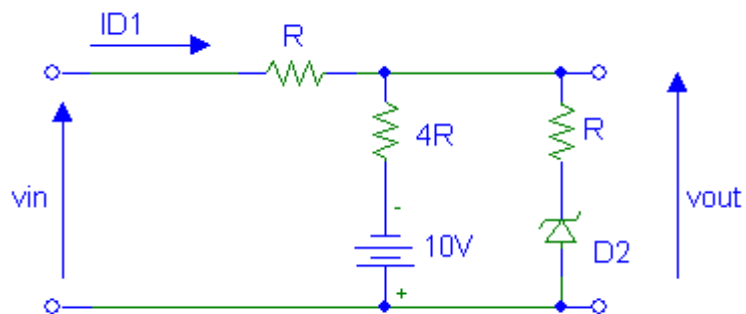
Begi-bistakoa denez, $I_{D2} = 10/5R = 2/R$, eta $v_{out} = -2V$.

Noiz betetzen da D1, OFF dagoela? $V_{D1} < 0V$.

$V_{D1} = v_{in} - v_{out} = v_{in} + 2V$; beraz, V_{D1} negatiboa izateko, $v_{in} < -2V$.

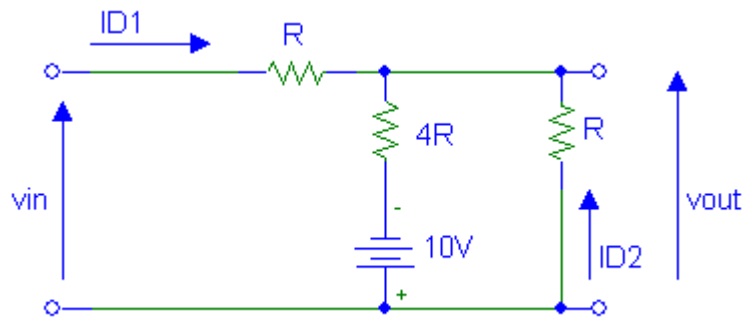
Hau da, $v_{in} < -2V$ denean, D1 OFF dago, D2 ON eta $v_{out} = -2V$.

b) Eta, beraz, aurrekotik abiatuz, $v_{in} > -2V$ denean, D1 ON egongo da.



v_{in} tentsioaren arabera, D2 zenerra egoera ezberdinetan egongo da. v_{in} baxua denean, D2 ON egon daiteke (hala dago a) kasuan, eta, beraz, seguru asko, horrela egongo da $v_{in} = -1,99$ denean). Tentsio ertainekin, OFF; eta oso altuekin, hausturan.

b1) D2 ON



$$I_{D2} = -v_{out}/R$$

$$I_{4R\text{-goitikbehera}} = (v_{out}+10)/4R$$

$$I_{D1} = (v_{out} + 10)/4R + v_{out}/R = (5 \cdot v_{out} + 10)/4R$$

$$v_{in} = v_{out} + I_{D1} \cdot R = v_{out} + (v_{out} + 10)/4 + v_{out} \rightarrow v_{out} = (4 \cdot v_{in} - 10)/9$$

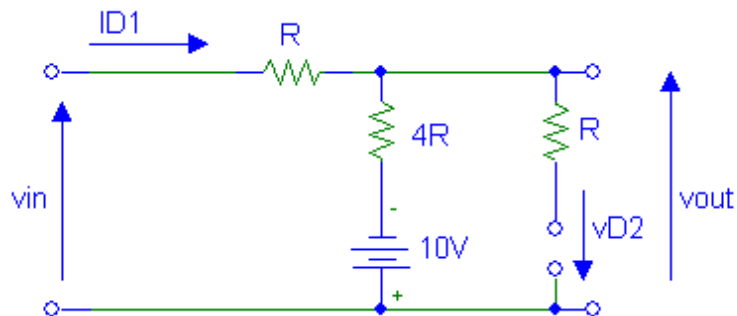
$$I_{D1} = (5 \cdot v_{out} + 10)/4R = (5 \cdot (4 \cdot v_{in} - 10)/9 + 10)/4R = ((20 \cdot v_{in} - 50) + 90)/36R = (5 \cdot v_{in} + 10)/9R$$

$$I_{D2} = -v_{out}/R = -(4 \cdot v_{in} - 10)/10$$

$$I_{D1} > 0 \text{ izateko, } 5 \cdot v_{in} + 10 > 0 \rightarrow v_{in} > -2$$

$$I_{D2} > 0 \text{ izateko, } 4 \cdot v_{in} - 10 < 0 \rightarrow v_{in} < 2,5$$

b2) D2 OFF



$$I_{D1} = (v_{in} + 10)/5R$$

$$v_{out} = -10 + 4R \cdot I_{D1} = -10 + 4 \cdot (v_{in} + 10)/5 = 4 \cdot v_{in}/5 - 2 = (4 \cdot v_{in} - 10)/5$$

$$v_{D2} = -v_{out} = (10 - 4 \cdot v_{in})/5$$

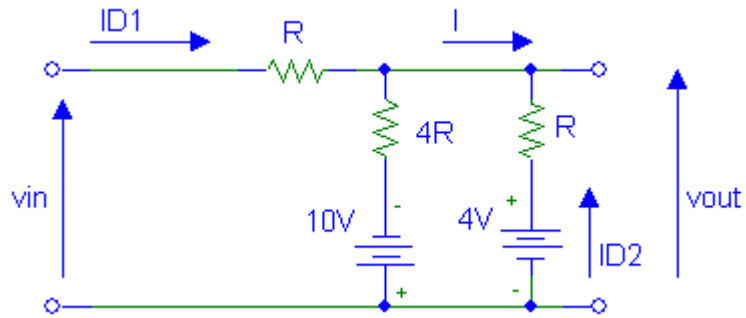
Noiz? Zer bete behar da?

$$I_{D1} > 0 \rightarrow v_{in} > -2,5 \text{ V}$$

$$\text{Eta } -4 < v_{D2} < 0 \rightarrow -4 < (10 - 4 \cdot v_{in})/5 < 0 \rightarrow 2,5 < v_{in} < 7,5$$

$$\text{Aurreko hiru baldintzak uztartuz } \rightarrow 2,5 < v_{in} < 7,5$$

b3) D2-hausturan



$$I = (v_{out}-4)/R$$

$$I_{4R\text{-goitikbehera}} = (v_{out}+10)/4R$$

$$I_{D1} = I + I_{4R\text{-goitikbehera}} = (v_{out}-4)/R + (v_{out}+10)/4R = (5 \cdot v_{out}-6)/4R$$

$$v_{in} = v_{out} + I_{D1} \cdot R = v_{out} + (5 \cdot v_{out}-6)/4 = (9 \cdot v_{out}-6)/4 \rightarrow v_{out} = (4 \cdot v_{in}+6)/5$$

Noiz? Zer bete behar da?

$$I_{D1} > 0 \rightarrow (5 \cdot v_{out}-6)/4R > 0 \rightarrow 5 \cdot v_{out}-6 > 0 \rightarrow v_{out} > 6/5; v_{in} > (9 \cdot 6/5-6)/4 = 6/20$$

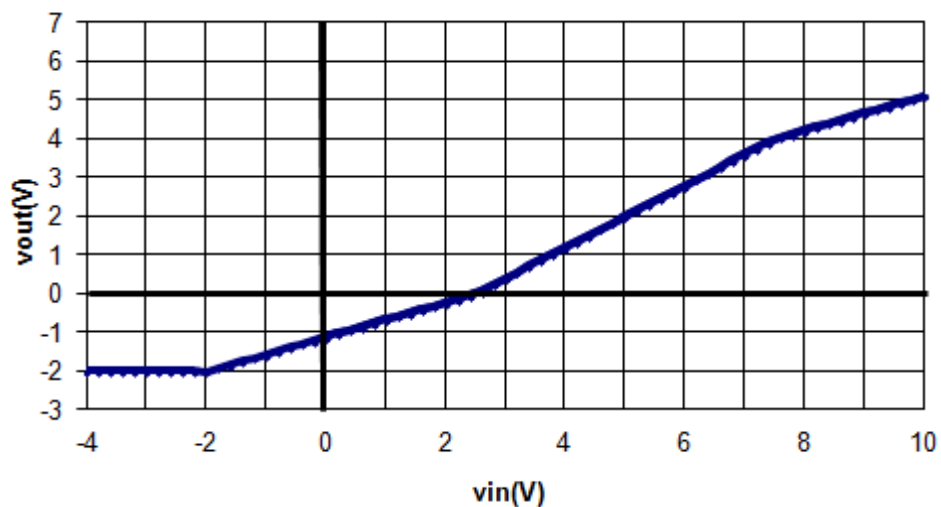
$$I > 0 \text{ (} I_{D2} < 0 \text{)} \rightarrow -v_{out} > 4 \rightarrow v_{in} < (9 \cdot 4-6)/4 = 7,5$$

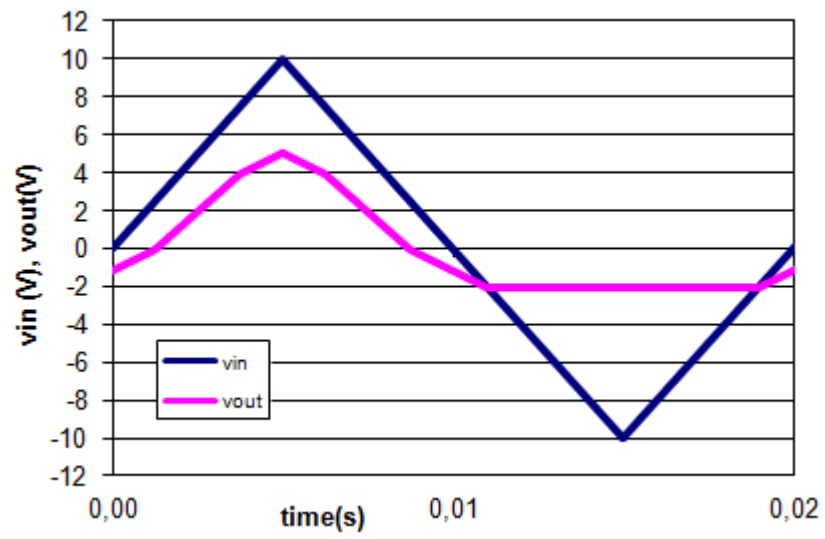
Hau da, $v_{in} > 7,5$ denean

Laburbilduz:

NOIZ	D1	D2	vout
$-\infty < v_i < -2$	OFF	ON	-2
$-2 < v_i < 2,5$	ON	ON	$(4 \cdot v_{in}-10)/9$
$2,5 < v_i < 7,5$	ON	OFF	$4 \cdot v_{in}/5-2$
$7,5 < v_i < \infty$	ON	HAUST	$(4 \cdot v_{in}+6)/9$

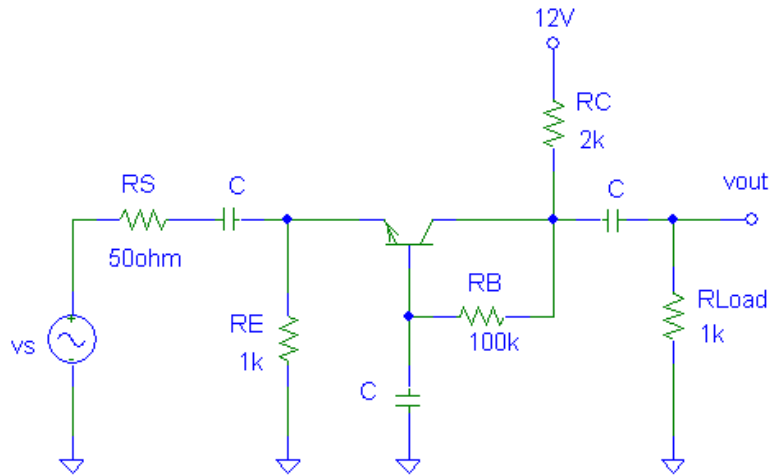
$(-10,-2) (-2,-2) (2,5,0) (7,5,4) (12,6)$





BASE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

2. Beheko irudiko transistoreari buruz, bi datu dakizkigu: haren base-igorle junturako eroapeneko tentsioa 0,7 volt ingurukoa da, eta, igorle komuneko egituran, 100 da haren seinale handiko korrante-irabazia.



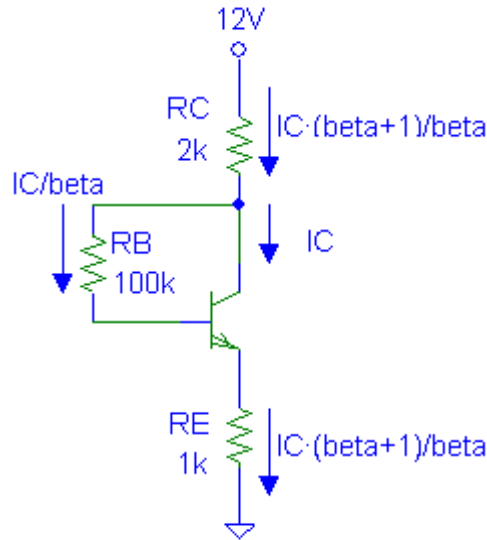
4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Zer egitura ari gara erabiltzen 2. irudiko amplifikadorean?

Base komuneko egitura bat da: seinalea igorletik sartu eta kolektoretik irteten da. [Sarrerako inpedantzia baxua eta tentsio-irabazi positibo altua lortuko dira (korrante-irabazi txikia eta irteerako inpedantzia altua (normala)]

- b) Marraztu polarizazio-zirkuitua eta karga-zuzen estatikoa, eta kalkulatu transistorearen lan-puntua.



$$12V = V_{RE} + V_{BE} + V_{RB} + V_{RC} = I_C \cdot (\beta + 1) / \beta \cdot R_E + V_{BE} + I_C / \beta \cdot R_B + I_C \cdot (\beta + 1) / \beta \cdot R_C$$

$$R_C I_C = [12 - V_{BE}] / [(\beta + 1) / \beta \cdot (R_C + R_E) + R_B / \beta] = 2,804 \text{ mA}$$

$$I_B = I_C / \beta = 28,04 \text{ uA}; \quad I_E = -I_C \cdot (\beta + 1) / \beta = -2,832 \text{ mA}$$

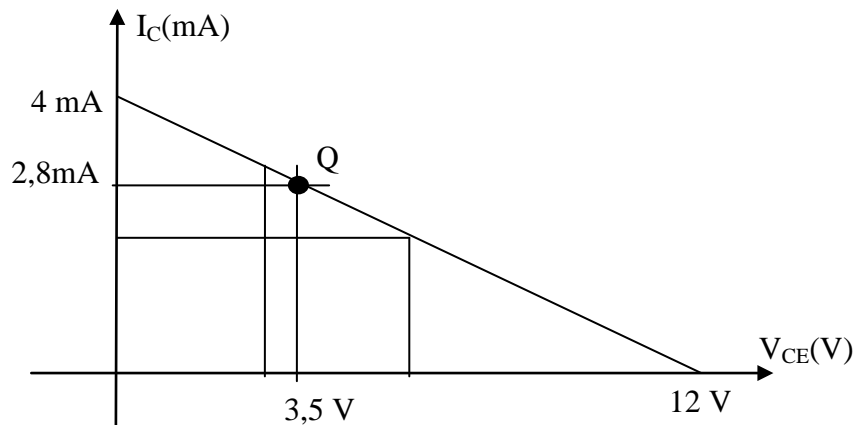
$$V_E = 2,832 \text{ V}; \quad V_B = 3,532 \text{ V}; \quad V_C = 6,336 \text{ V}; \quad V_{CE} = V_{BE} + V_{RB} = 3,504 \text{ V}$$

KZE:

$$12V = V_{RE} + V_{CE} + V_{RC} = I_C \cdot (\beta + 1) / \beta \cdot R_E + V_{CE} + I_C \cdot (\beta + 1) / \beta \cdot R_C$$

$$\beta \cdot R_C \rightarrow I_C = [12 - V_{CE}] / [(\beta + 1) / \beta \cdot (R_C + R_E)]$$

$$I_C = [12 - V_{CE}] / 3,03 \text{ k} \quad \sim [12 - V_{CE}] / 3 \text{ k}$$



c) Zirkuitu hau egonkorra al da β -ren aldaketan aurrean?

$$I_C \sim [12 - V_{BE}] / [(R_C + R_E) + R_B / \beta] = 2,804 \text{ mA}$$

$R_B / \beta = 1 \text{ k}\Omega$ eta $R_C + R_E = 3 \text{ k}\Omega$ Bi osagaiak adieragarriak dira, eta, beraz, I_C askotxo alda daiteke, beta aldatzen bada. $\beta \cdot (R_C + R_E) / R_B = 3$

$$\text{Adibidez, } \beta = 50 \rightarrow I_C = 2,24 \text{ mA, eta } V_{CE} = 2,94 \text{ V}$$

$$\beta = 200 \rightarrow I_C = 3,2 \text{ mA eta } V_{CE} = 3,9 \text{ V}$$

Beraz, ez da oso egonkorra, baina ez da asko aldatzen; ez da proportzionala, ez eta gutxiago ere. Eskema nahiko egonkorra da; mugan dago.

- d) Transistorearen oinarritzko asetasun-korronteak $I_{ES} = 1 \text{ fA}$ eta $I_{CS} = 5 \text{ fA}$ badira, zenbat da, zehatz-mehatz, V_{BE} ? [Gogoratu: $1 \text{ fA} = 10^{-15} \text{ A}$]

Aktiboan gaudenez:

$$V_{BC} < 0 \text{ denez, } I_R = -I_{CS};$$

$$V_{BE} > 0 \text{ denez, } I_F = I_{ES} \cdot (\exp(V_{BE}/V_T) - 1) \sim (V_{BE} \gg V_T) \sim I_{ES} \cdot \exp(V_{BE}/V_T):$$

$$I_E = -I_F + \alpha_R \cdot I_R = -I_{ES} \cdot \exp(V_{BE}/V_T) - \alpha_R I_{CS} \rightarrow V_{BE} = 25 \text{ mV} \cdot \ln[-I_E/I_{ES}] = 716,8 \text{ mV}$$

$$[I_C = \alpha_F I_F - I_R]$$

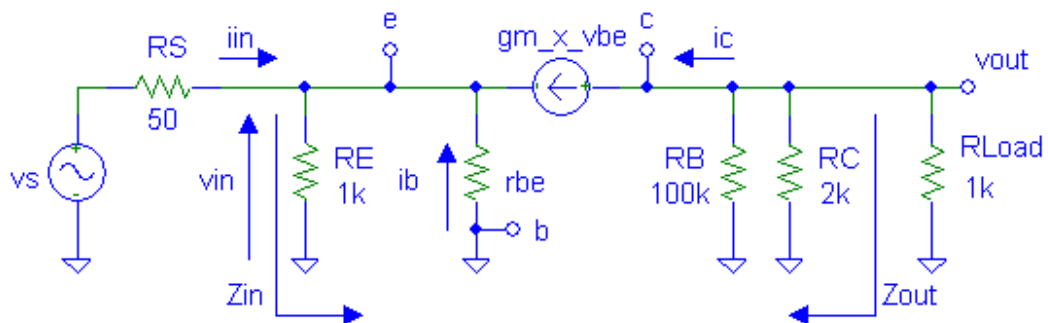
$$V_{BE} = 716,8 \text{ mV erabiliz } \rightarrow I_C = [12 - V_{BE}] / [(\beta + 1) / \beta \cdot (R_C + R_E) + R_B / \beta] = 2,7998 \text{ mA}$$

$$I_E = -2,8278 \text{ mA } \rightarrow V_{BE} = 716,76 \text{ mV}$$

$$I_C = 2,8 \text{ mA}; I_B = 28 \text{ uA}; I_E = -2,828 \text{ mA}$$

$$V_E = 2,828 \text{ V}; \quad V_B = 3,545; \quad V_C = 6,345 \text{ V}; \quad V_{CE} = 2,8 + 0,717 = 3,517 \text{ V}$$

- e) Zenbatekoa da, funtzio-sorgailuaren barneko erresistentzia aintzat hartu gabe, zirkuitu honetako tentsio-irabazia?



$$\text{Non } g_m = I_C/V_T = 112 \text{ mA/V}$$

$$r_{be} = V_T/I_B = 892 \Omega$$

$$v_{out} = -i_c \cdot (R_B // R_C // R_{Load})$$

$$i_c = g_m \cdot v_{be} = g_m \cdot (-v_{in})$$

$$v_{out}/v_{in} = A_{vi} = g_m \cdot (R_B // R_C // R_{Load}) = 112 \text{ mA/V} \cdot (1\text{k} // 2\text{k} // 100\text{k}) = 112 \text{ mA/V} \cdot 662 \Omega$$

$$= A_{vi} = 74,17$$

- f) Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$Z_{in} = v_{in}/i_{in}$$

$$I_{in} = v_{in}/1k + v_{in}/r_{be} + (-g_m \cdot (-v_{in}))$$

$$Z_{in} = 1k//r_{be}//g_m^{-1} = 1k//[r_{be}/(\beta+1)] = 8,77\Omega$$

$$Z_{out} = R_C//R_B = 1k996 \sim 2\text{ k}\Omega \text{ (kitzikapena itzaliz, } v_{be} = 0 \text{ da)}$$

g) Zer efektu du R_s erresistentziak tentsio-irabazian?

Sarrerako inpedantzia oso baxua denez, R_s -k oso eragin handia izango du:

$$A_{vs} = v_{out}/v_s = v_{out}/v_{in} \cdot (v_{in}/v_s) = A_{vi} \cdot Z_{in}/(Z_{in} + R_s) = 74,17 \cdot 8,77/(8,77 + 50) = 11,07$$

h) Kalkulatu tarte dinamikoa eta marraztu nolakoa izango den irteerako seinalearen forma kitzikapenak bi balio hauek hartzen dituenean: a) $v_s(t) = 10\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ eta b) $v_s(t) = 500\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$. Zer lan-eskualdek mugatzen du irteerako tarte dinamikoa?

Zuzenean egin daiteke, $v_{CB} > 0$ eta $i_C > 0$ baldintzekin,

$$v_{CB} = V_{CB} + v_{cb}(t) = 2,8\text{ V} + v_{cb}(t) = \text{ASE}$$

$$v_{cb}(t) = v_{out}(t)$$

$$v_{CB} = 2,8\text{ V} + v_{out}(t) = 2,8\text{ V} + 11,07 \cdot v_s(t) \quad (v_{CB} > 0 \text{ bada})$$

$$v_{CB} = 0 \rightarrow \text{ase} \rightarrow v_{out_ase} = -2,8\text{ V}; \quad v_{sase} = -253\text{ mV ASETASUNA}$$

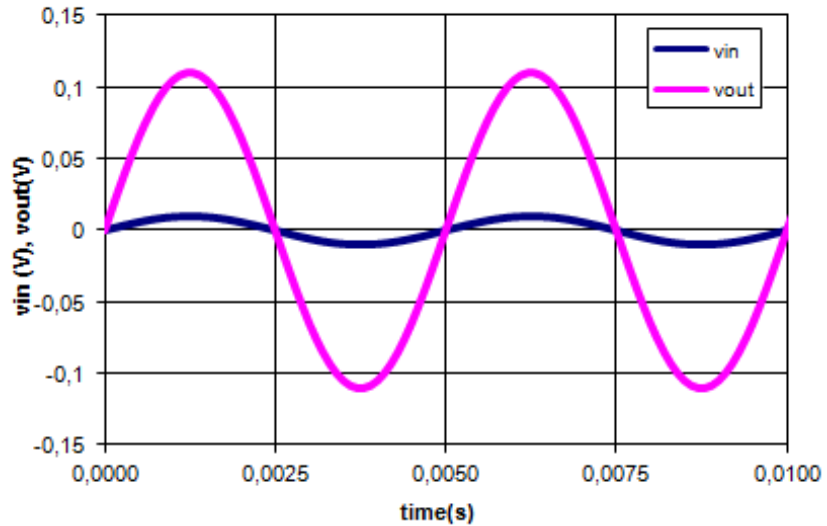
$$i_C = I_C + i_c(t) = 2,8\text{ mA} - v_{out}(t)/(R_C//R_{Load}//R_B) = \text{ETEN}$$

$$i_C = 2,8\text{ mA} - v_{out}(t)/662\Omega$$

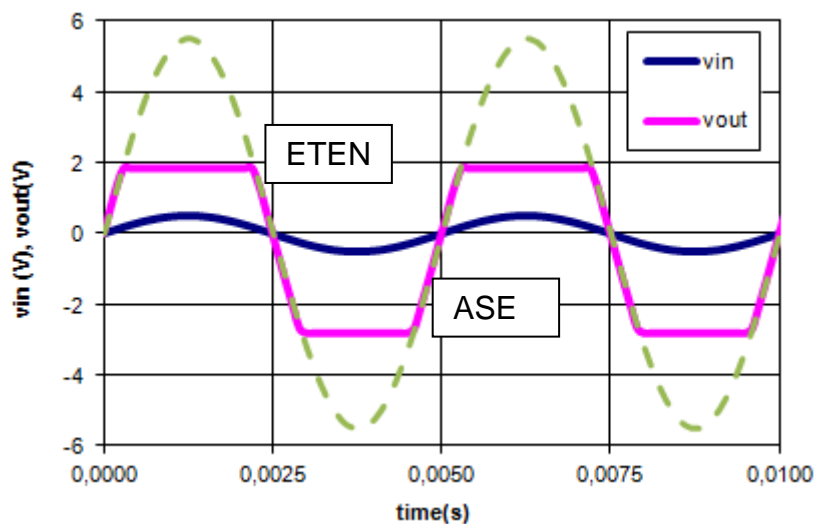
$$i_C = 2,8\text{ mA} + (11,07/662) \cdot v_s(t) \quad (i_C > 0 \text{ bada})$$

HAU DA MUGATZAILEA, $i_C = 0 \rightarrow \text{eten} \rightarrow v_{out_eten} = 1,85\text{ V}$;

$$v_{eten} = 167\text{ mV ETENDURA}$$



Lehenengo kasuan, $v_{out}(t) = 11,07 \cdot 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t) = 110,7 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$, distortsiorik gabe.



Bigarren kasuan, $v_{out}(t) = 11,07 \cdot 500 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t) = 5,53 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$, distortsionatzen da.

Edo, guretzat ohikoagoa den prozeduraz, i_c - v_{CE} erlaziora joz:

Karga-zuzen dinamikoaren malda:

$$v_{ce} = v_c - v_e = -i_c \cdot (R_C // R_{Load} // R_B) - (-i_b) \cdot r_{be} = -i_c \cdot (662 \Omega) - (-i_c / \beta) \cdot 892 \Omega$$

$$v_{ce} = -i_c \cdot (662 \Omega - 892 \Omega / \beta) \rightarrow i_c / v_{ce} = -1 / (653,1 \Omega)$$

$$m_{RZD} = -1 / (653,1 \Omega):$$

$$v_{ce \text{ ac eten}} = I_C / |m_{RZD}| = 1,83 \text{ V} \rightarrow v_{CE \text{ eten}} = 3,5 + 1,83 = 5,33 \text{ V}$$

$$i_{c \text{ ac case}} = (V_{CE} - v_{CEsat}) \cdot |m_{KZD}| = (3,5 - v_{CEsat}) / 653,1 \Omega =$$

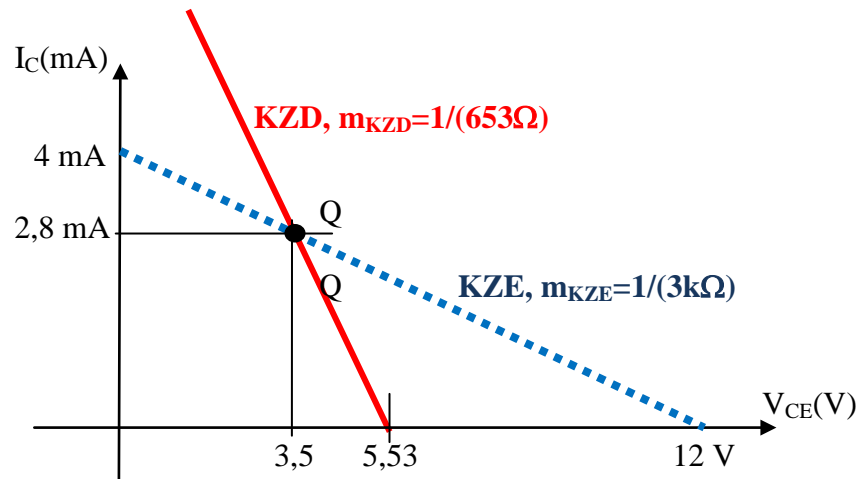
$v_{CEsat} = 0$ hartuz, $i_c = 5,36$ mA; $v_{CEsat} = 0,2$ hartuz, $5,05$ mA; $v_{CEsat} = 0,7$ hartuz, $4,3$ mA;

$v_{CEsat} = 0$ hartuz, $i_c = 8,16$ mA; $v_{CEsat} = 0,2$ hartuz, $7,85$ mA; $v_{CEsat} = 0,7$ hartuz, $7,13$ mA;

Edozein kasutan, etendurak mugatzen du tarte dinamikoa.

Gehienez, v_{ce} -ren ibilbidea $\pm 1,83$ V izango da;

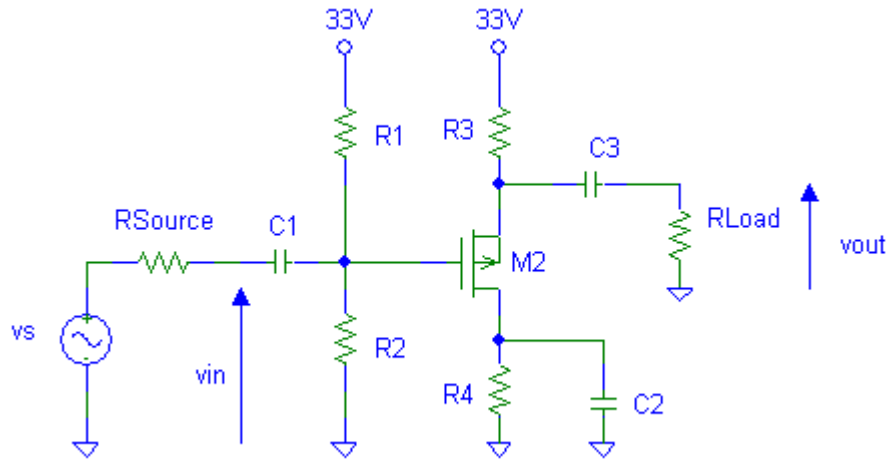
v_{out} tentsioarena, $2,8 \cdot 662 \rightarrow \pm 1,85$ V.



ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. Hirugarren irudiko zirkuituan agertzen den FETak honako parametro hauek ditu:

$$|V_T| = 4 \text{ V} \quad |I_{DSS}| = 16 \text{ mA}$$



3. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

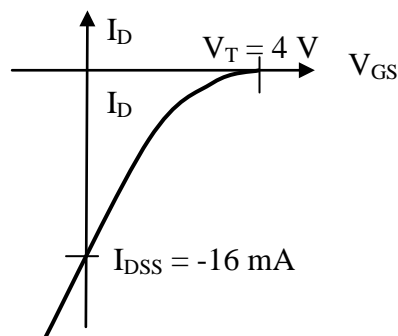
Badakizkigu, gainera, erresistentzia hauen balioak:

$$R_1 = 1,7 \text{ M}\Omega \quad R_2 = 1,6 \text{ M}\Omega \quad R_3 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_{\text{source}} = 25 \text{ k}\Omega \quad R_{\text{LOAD}} = 2 \text{ k}\Omega$$

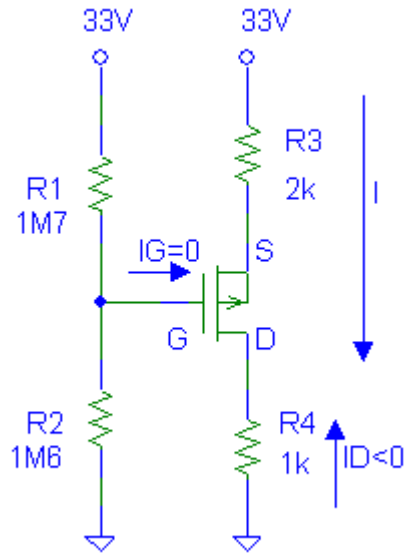
Erantzun honako galdera hauei:

- a) Zer FET mota dugu? Marraztu haren asetasuneko transferentzia-kurba, I_{DSS} eta V_T agerian utzita.

p pasabideko urritze (edo hustuketazko) MOSFETa da: $V_T = 4 \text{ V}$ eta $I_{DSS} = -16 \text{ mA}$



- b) Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua.



$$I_G = 0 \text{ denez, } V_G = 33 / (1M6 + 1M7) \cdot 1M6 = 16 \text{ V}$$

$$V_S = 33V - I \cdot R_3 = 33V - I \cdot 2k$$

$$V_{GS} = 16 - (33 - I \cdot 2k) = I \cdot 2k - 17$$

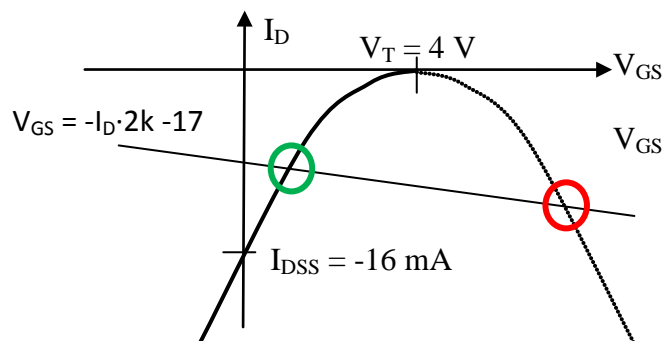
Asetasunean gaudela onartuko dugu (gero egiaztatuko dugu).

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS} / V_T)^2 = -16 \text{ mA} \cdot (1 - V_{GS} / 4)^2 \quad \rightarrow \quad I = -I_D$$

$$I = 16 \text{ mA} \cdot (1 - V_{GS} / 4)^2 = 16 \text{ mA} \cdot (1 - (I \cdot 2k - 17) / 4)^2 \rightarrow$$

$$I = 9 \text{ mA}; \quad I_D = -9 \text{ mA} \quad \text{eta } V_{GS} = 1 \text{ V} \quad (\text{hau da egokia})$$

$$I = 12,25 \text{ mA}; \quad I_D = -12,25 \text{ mA} \quad \text{eta } V_{GS} = 7,5 \text{ V} \quad (\text{honek ez digu balio})$$



$$V_S = V_G - V_{GS} = 16 - 1 = 15 \text{ V}$$

$$V_D = I \cdot R_4 = 9 \text{ V}; \quad V_{GD} = 7 \text{ V} > 4 = V_T \rightarrow \text{OK, asetasunean gaude}$$

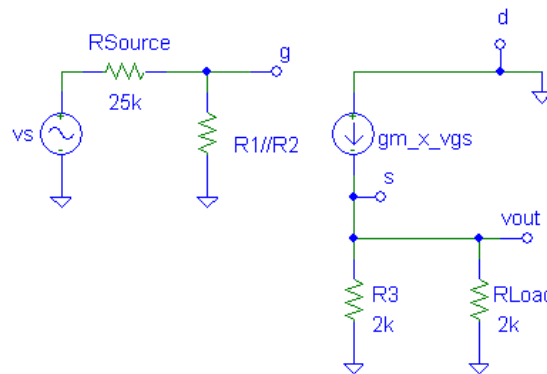
$$[\text{baita ere, honela: } V_{DS} = -6 \text{ V} < -3 \text{ V} = V_{GS} - V_T]$$

Seinale txikiko zirkuituari dagokionez:

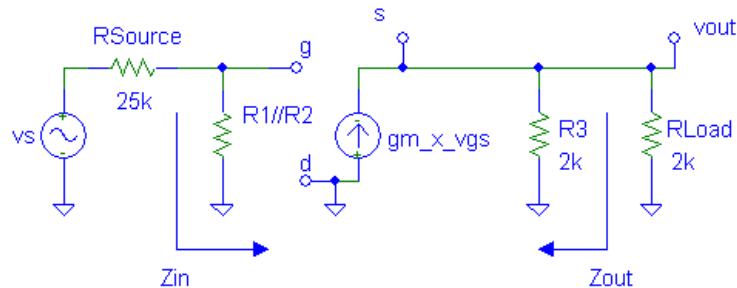
c) Esan zer anplifikatze-egitura dugun.

Drain komuneko egitura bat dugu: tentsio-irabazia < 1 eta irteerako inpedantzia baxua
(sarrerako inpedantzia altua, korrante-irabazi altua).

d) Kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.



$$g_m = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_{DSS} I_D} = 6 \text{ mA/V}$$



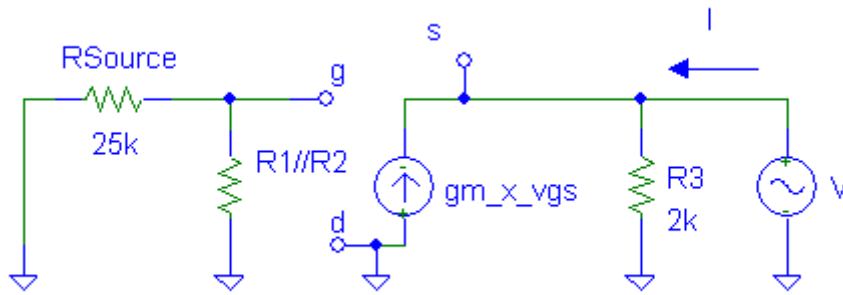
$$Z_{in} = R_1 // R_2 = 1\text{M}6 // 1\text{M}7 = 824 \text{ k}\Omega$$

$$v_g = v_{\text{sorgailu}} \cdot Z_{in} / (Z_{in} + R_{\text{Source}}) = 0,97 \cdot v_{\text{sorgailu}}$$

$$v_{out} = g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_3 // R_{Load}) = g_m (v_g - v_{out}) \cdot (R_3 // R_{Load}) \rightarrow v_{out} \cdot (1 + g_m \cdot (R_3 // R_{Load})) = g_m \cdot (R_3 // R_{Load}) \cdot v_g$$

$$v_{out} / v_g = A_{vi} = g_m \cdot (R_3 // R_{Load}) / [1 + g_m \cdot (R_3 // R_{Load})] = 6 \text{ mA/V} \cdot 1\text{k} / (1 + 6 \text{ mA/V} \cdot 1\text{k}) = 6/7 = 0,857$$

$$A_{vs} = v_{out} / v_{\text{sorgailu}} = 0,831$$



$$Z_{out} = V/I$$

$$I = V/R_3 + (-g_m \cdot v_{gs}) = V/R_3 + (-g_m \cdot (-V)) = V \cdot (1/R_3 + g_m)$$

$$Z_{out} = 1/(1/R_3 + g_m) = R_3 // g_m^{-1} = 154\Omega$$

- e) Zirkuitu bera erabil al genezake p pasabideko JFET bat polarizatzeko ($|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ parametro berekin)?

Kasu honetan, guztiz trukagarriak dira urritze MOSFETa eta JFETa: lan-puntua berdin-berdina izango bailitzateke, eta lortzen diren balioak bateragarriak baitira p pasabideko JFET batekin ($V_{GS} = 1\text{ V}$, $V_{GD} = 7\text{ V}$).

[MOSFETak V_{GS} negatiboekin ere lan egin zezakeen; JFETak ez, junturak zuzenean ipiniko bailirateke, baina kasu honetan ez dago arazorik]

PN JUNTURA - DIODOA

1. Juntura latz laua duen siliziozko diodo baten zenbait ezaugarri elektriko analizatu nahi ditugu. Badakizkigu zein diren haren parametro fisiko batzuk eta geometria.

Datuak:

$$\begin{array}{llll} n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} & N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3} & N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3} & A = 0,01 \text{ cm}^2 \\ V_T = 25 \text{ mV} & q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} & \epsilon_{rSi} = 11,8 & \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m} \end{array}$$

- a) Kalkulatu potentzial termodinamikoa eta eskualde hustuaren orekako zabalera eta junturako kapazitatea.

$$\epsilon_{Si} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{rSi} = 1,044 \cdot 10^{-12} \text{ F/cm}$$

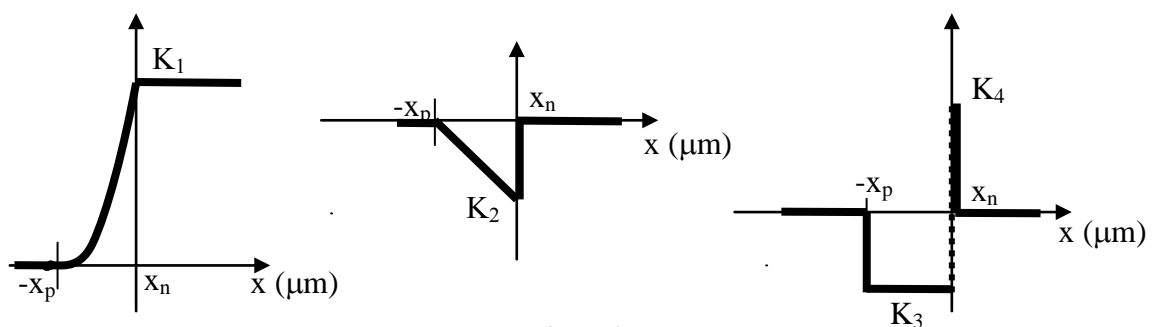
$$\phi_T = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_D \cdot N_A}{n_i^2}\right) = 921 \text{ mV}$$

$$l_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{q} \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}\right) \phi_T} = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,11 \mu\text{m}$$

$$l_0 = x_p + x_n = x_p + \frac{N_A \cdot x_p}{N_D} = x_p \cdot \left(1 + \frac{N_A}{N_D}\right) \rightarrow x_p \approx 0,11 \mu\text{m}; x_n = 1,1 \text{ nm}$$

$$C_{J0} = \frac{A \cdot \epsilon_{Si}}{l_0} = 0,949 \text{ nF}$$

- b) Esan zer magnitude irudikatu diren 1. Irudian, eta eman edo kalkulatu balio esanguratsuak: K_1, K_2, K_3 eta K_4 .



1.irudia

Ezkerrean, potentziala. $K_1 = \phi_T = 921 \text{ mV}$; $x_p \sim l_0 = 0,11 \mu\text{m}$

Erdian, eremu elektrikoa. $K_2 = |\varepsilon|_{\text{max}}$; $\phi_T = 1/2 \cdot |\varepsilon|_{\text{max}} \cdot l_0 \rightarrow K_2 = 167,4 \text{ kV/cm}$

Eskuinean, karga elektrikoaren dentsitatea.

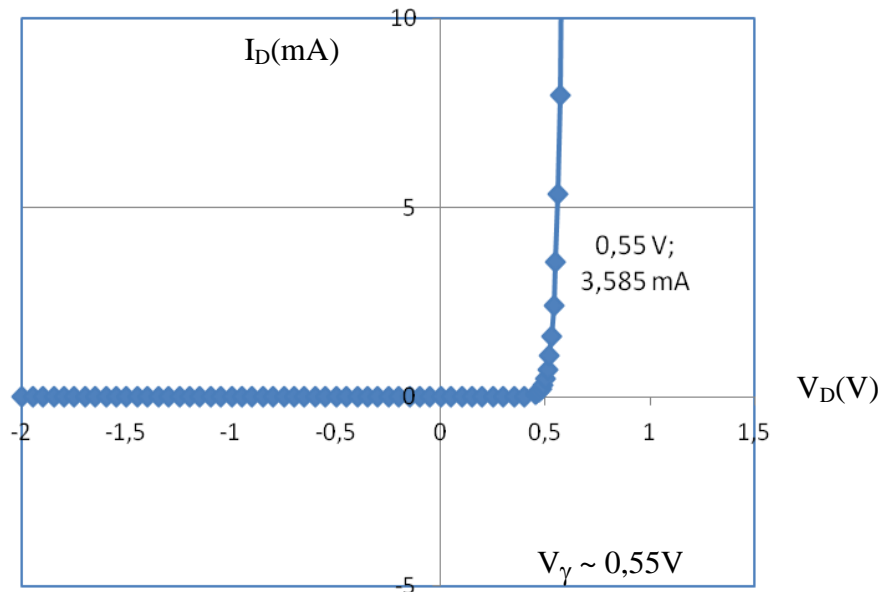
$$K_3 = -q \cdot N_A^- = -q \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} = -0,016 \text{ C/cm}^3;$$

$$K_4 = q \cdot N_D^+ = 1,6 \text{ C/cm}^3 = 1,6 \text{ C} \cdot \text{cm}^{-3}$$

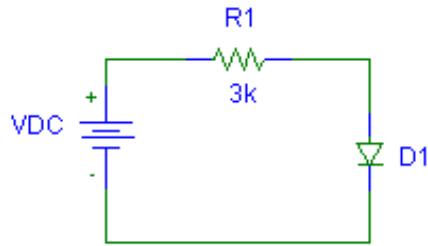
- c) Dakigunez, diodoaren asetasun-korrontea $I_{\text{sat}} = 1 \text{ pA}$ da. Marraztu diodoaren I-V ezaugarri-kurba eta balioetsi zenbatekoa den haren atariko tentsioa mA batzuen inguruko tartean.

$$I_D = I_{\text{sat}} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right] \text{ aplikatuz (serieko erresistentziarik ez dagoenez)}$$

VD(V)	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6
D(mA)	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	0	98E-6	63E-4	89E-3	0,49	3,58	26,49



Orain, elikatze-iturri bat eta $3 \text{ k}\Omega$ -eko erresistentzia bat erabiliz, zirkuitu simple bat eraikiko dugu (ikus 3. irudia):



3. irudia.

d1) Kalkulatu, zehatz-mehatz, diodoa zeharkatzen duen korronea eta haren terminalen artean erortzen den tentsioa, zirkuituan aplikatzen den V_{DC} tentsioak hiru balio hauek hartzen baditu:

$$V_{DC} = 1V$$

$$V_{DC} = 10V$$

$$V_{DC} = -5V$$

$V_{DC} = 1V \rightarrow$ diodoa zuzenean egongo da,

$$V_D = 0,55 \rightarrow I_D = 0,45/3 = 0,15 \text{ mA}$$

$$\text{Iteratuz, } V_D = V_T \cdot \ln[1 + I_D/I_{sat}] = 0,471 \text{ V} \rightarrow I_D = [1 - V_D]/R = 0,176 \text{ mA}$$

$$V_D = 0,4747 \text{ V} \rightarrow V_D = 0,4745 \text{ V} \quad \rightarrow I_D = 0,175 \text{ mA}$$

$V_{DC} = 10V \rightarrow$ diodoa zuzenean egongo da,

$$V_D = 0,55 \rightarrow I_D = 9,45/3 = 3,15 \text{ mA}$$

$$\text{Iteratuz, } V_D = V_T \cdot \ln[1 + I_D/I_{sat}] = 0,547 \text{ V} \rightarrow I_D = [10 - V_D]/R = 3,151 \text{ mA}$$

$$V_D = 0,54677 \text{ V} \rightarrow V_D = 0,54677 \text{ V} \quad \rightarrow I_D = 3,151 \text{ mA}$$

Bigarren kasu horretan, ez zen beharrezkoa asko iteratzea: aplikatzen den tentsioa atariko tentsioa baino askoz handiagoa denez,

$$V_R = 9,5 - 10V \rightarrow I_D = 3,17 - 3,33 \text{ mA.}$$

$V_{DC} = -5V \rightarrow$ diodoa alderantziz polarizatzen da, OFF, $I_D \sim 0$, aplikatzen den tentsioa diodoan erortzen da, $V_D = -5V$ (eta erresistentzian $V_R \sim 0$).

$$\text{Zehazkiago, } I_D = -I_{sat} = -1 \text{ pA}$$

d2) Esan zein den seinale handiko eredurik egokiena aurreko ataleko tentsioetarako.

Diodoa ON dagoenean, atariko tentsioa kontuan hartuz ($V = 0,55 \text{ V}$), nahiko emaitza zehatza lortzen dugu. Bigarren kasuan, eredu ideala erabiliz ($V = 0 \text{ V}$ hartuz), ez gara soluziotik asko desbideratuko.

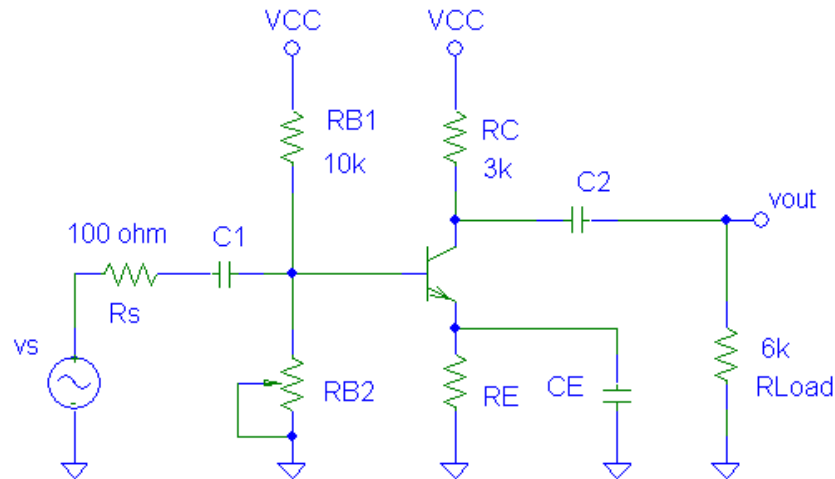
[Zehatzagoa izango litzateke, noski, I-V ezaugarrian agertzen den malda (berezkoa, ariketa honetan bezala, zein serieko erresistentziak eragindakoa) kontuan hartzen duen R_F erresistentzia erabiltzea, baina, kasu honetan, argi dago efektu hori oso txikia dela eta ez duela merezi hura bilatzea]

Diodoa OFF dagoenean, zirkuitu ireki bat da.

[Zehatzagoa izango litzateke, noski, ihes-korrontea kontuan hartzen duen eredu bat, baina ariketa honetan ez digute halakorik esaten]

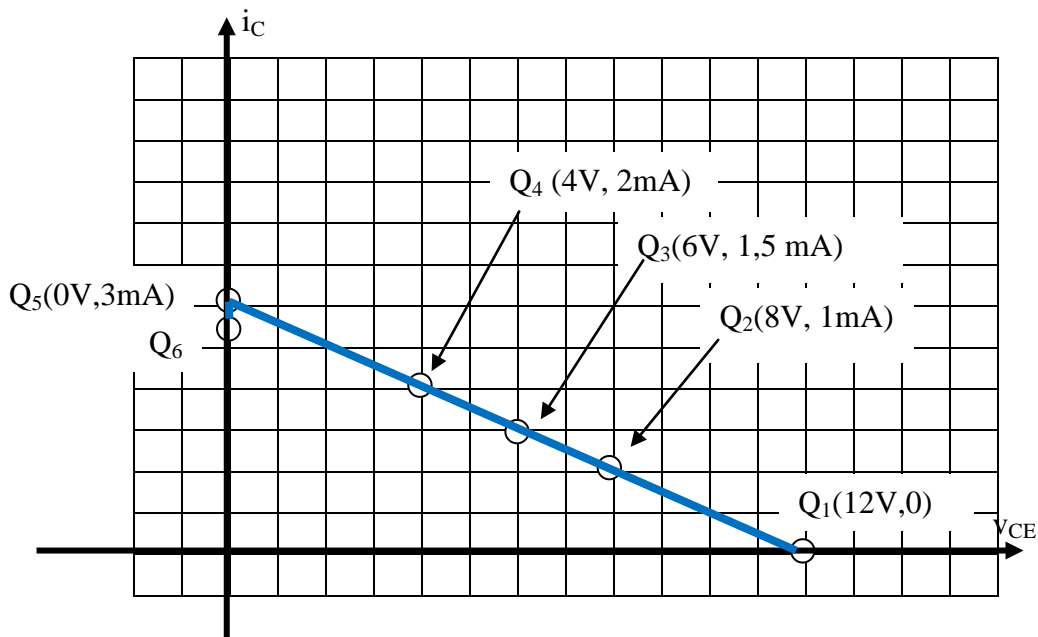
IGORLE KOMUNIKAZIOAN ANPLIFIKADOREA

2. Irudian agertzen den zirkuitu anplifikatzailearen zenbait kontu analizatu nahi ditugu; betiere, behe-maiztasuneko kitzikapenak aplikatuz. Transistoreari dagokionez, badakigu $\beta = 200$ eta $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ direla ($V_{CEsat} = 0 \text{ V}$ dela joko dugu). Gainera, badakigu erabilitako potentziometroaren balio maximoa: $R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$.

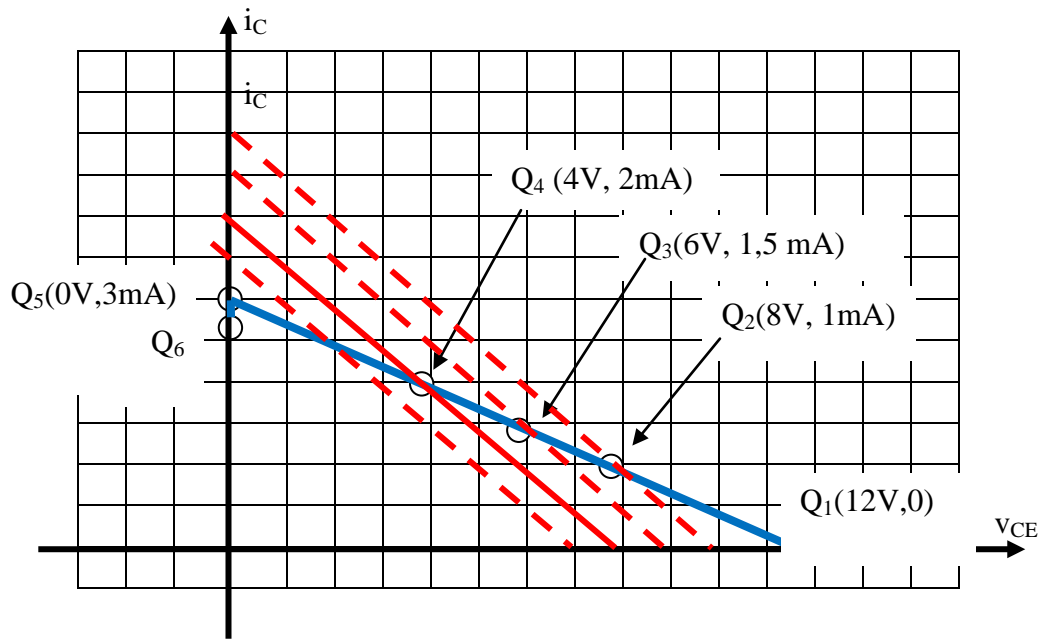


4. irudia.

V_{CC} elikatze-tentsio ezezagun bat finkatu, eta potentziometroaren posizioa aldatuz joan gara (zerotik balio maximora), eta, ondorioz, Q puntuak beheko irudiko ibilbidea egin du:



5. irudia.



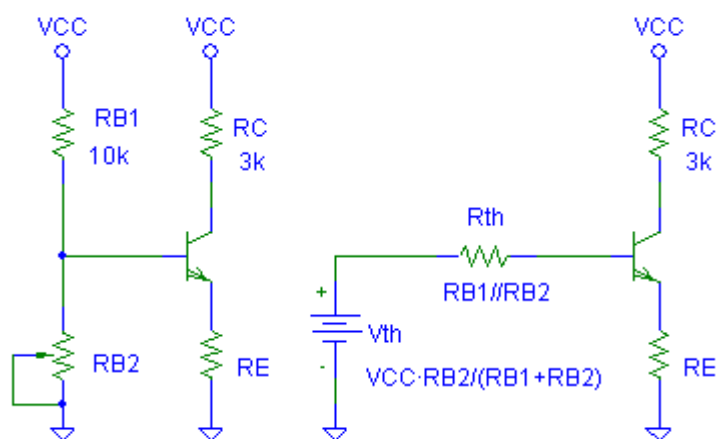
Erantzun honako galdera hauei:

a) Zenbatekoa da V_{CC} elikatze-tentsioa?

Hasi baino lehen, polarizazio-zirkuitua marraztuko dugu. Horretarako, kondentsadoreak zirkuitu irekiak direla aplikatuko dugu, eta, basean, Thevenin baliokidea planteatuko dugu:

$$V_{th} = V_{CC} / (R_{B1} + R_{B2}) \cdot R_{B2}$$

$$R_{th} = R_{B1} // R_{B2}$$



Grafikoa irudikatzen dena, nagusiki ($Q_0 \rightarrow Q_5$ tartean), karga-zuzen estatikoa da, aktiboan kalkulatzeko dena, $I_C = \beta \cdot I_B$ onartuz:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + I_C \cdot (\beta + 1) / \beta \cdot R_E + V_{CE} \rightarrow I_C = [V_{CC} - V_{CE}] / [R_C + (\beta + 1) / \beta \cdot R_E]$$

Bi puntu esanguratsuenak hauek dira:

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC} \rightarrow \text{identifikatuz} \rightarrow V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = V_{CC} / [R_C + (\beta + 1) / \beta \cdot R_E] \rightarrow \text{identifikatuz} \rightarrow 3 \text{ mA}$$

$$= 12 \text{ V} / [3 \text{ k} + 201 / 200 \cdot R_E] \rightarrow R_E = 1 \text{ k}$$

b) Zenbatekoa da R_E erresistentzia?

$$R_E = 1 \text{ k}$$

c) Zergatik ez dago Q_6 karga-zuzen estatikoan, beste polarizazio-puntuekin lerrokatuta? Zein da zehatz-mehatz haren posizioa (I_C , V_{CE}) eta zenbatekoa da dagokion I_B baseko korrontea?

$R_{B2} = 0$ denean, $V_{th} = 0$ daukagu, eta transistorea etenik dago (basea erreferentziara konektatuta dago, eta, beraz, ez dago igorle-base juntura polarizatzeko tentsiorik).

R_{B2} igotzen dugunean, V_{th} igoko da, eta, 0,7 baino handiagoa denean ($V_{BEON} = 0,7 \text{ V}$ eredia erabiliz, zeren eta zehatzak izateko $V_{th} > 0$ unetik hasten baita), korronteak agertzen dira.

$$I_B = (V_{th} - 0,7) / [R_{th} + (\beta + 1) \cdot R_E] \quad \text{eta} \quad I_C = \beta \cdot (V_{th} - 0,7) / [R_{th} + (\beta + 1) \cdot R_E]$$

$$I_C = (V_{th} - 0,7) / [R_{th} / \beta + (\beta + 1) / \beta \cdot R_E]$$

Noraino egongo gara aktiboan? $I_C = 3 \text{ mA}$ izatera iritsi arte.

Hori $I_B = I_C / \beta = 15 \mu\text{A}$ denean gertatuko da; eta $|I_E| = 3,015 \text{ mA}$.

$$V_{th} = I_B \cdot R_{th} + V_{BE} + |I_E| \cdot R_E \rightarrow$$

$$12 \cdot R_{B2} / (10 \text{ k} + R_{B2}) = (10 \text{ k} / R_{B2}) \cdot 15 \mu\text{A} + 0,7 \text{ V} + 3,015 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}$$

$$12 \cdot R_{B2} / (10 \text{ k} + R_{B2}) = (10 \text{ k} \cdot R_{B2}) / (10 \text{ k} + R_{B2}) \cdot 15 \mu\text{A} + 3,7 \text{ V} \rightarrow R_{B2} = 4 \text{ k}54$$

Hortik aurrera, $I_B > 15 \mu\text{A}$, baina I_C ezin da handiagoa izan; $I_C < \beta \cdot I_B$ izango da, eta transistorea asetasunean egongo da.

Polarizazio-puntua ebazteko, orain, $V_{CE} = 0 \text{ V}$ erabiliko dugu baldintza gisa. Eta,

$$|I_E| = I_C + I_B \text{ erabiliz,}$$

$$12 \text{ V} = I_C \cdot R_C + 0 + (I_C + I_B) \cdot R_E = I_C \cdot 4 \text{ k} + I_B \cdot 1 \text{ k}$$

$$V_{th} = I_B \cdot R_{th} + 0,7 + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

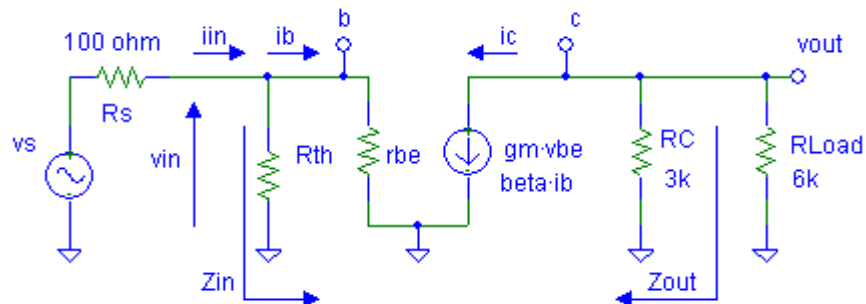
Muturreko kasuan, $R_{B2} = 10 \text{ k}$, $R_{th} = 5 \text{ k}$, $V_{th} = 6 \text{ V}$

$$6 = I_B \cdot 5k + 0,7 + (I_C + I_B) \cdot 1k \rightarrow 5,3 = I_B \cdot 6k + I_C \cdot 1k$$

$$12 V = I_C \cdot 4k + I_B \cdot 1k \text{ eta } 5,3 = I_B \cdot 6k + I_C \cdot 1k \text{ erabiliz } \rightarrow I_B = 0,4 \text{ mA}, I_C = 2,9 \text{ mA}, |I_E| = 3,3 \text{ mA}$$

$$\text{Beraz, } I_B = 0,4 \text{ mA}, I_C = 2,9 \text{ mA}, V_{CE} = 0 \text{ V}$$

- d) **Marratzu seinale txikiko zirkuitua, kalkulatu karga-zuzen dinamikoa eta marratzu zuzen hori Q_2 , Q_3 eta Q_4 puntuetarako.**



r_{be} eta g_m edozein izanda ere:

$$v_{ce} = -i_c \cdot (R_C // R_L) \rightarrow i_c / v_{ce} = -1 / (3k // 6k) = -1 / 2k \Omega$$

$$m_{KZD} = -1 / 2k \Omega$$

- e) **Tarte dinamikoa optimizatu nahi badugu, zein polarizazio-puntu aukeratuko zenuke? Kalkulatu horretarako behar den potentziometroaren posizioa (hau da, R_{B2} erresistentziaren balioa).**

Q_4 puntuan kokatu behar da, hor dugulako Q karga-zuzen dinamikoaren erdian.

$$\text{Hau da, } V_{CE} = 4 \text{ V}, I_C = 2 \text{ mA}, I_B = 10 \mu\text{A}$$

Horretarako,

$$V_{th} = I_B \cdot R_{th} + 0,7 + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

$$12 \cdot R_{B2} / (10k + R_{B2}) = 10 \mu\text{A} \cdot (10k \cdot R_{B2}) / (10k + R_{B2}) + 0,7 + 2,01 \text{ mA} \cdot 1k \rightarrow R_{B2} = 2k948 \sim 3k$$

$$[R_{th} = 2k277; V_{th} = 2,732 \text{ V}]$$

- f) Demagun transistoreak e) ataleko puntuan lan egiten duela. Hala bada, kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak eta tentsio-irabazia, eta marraztu nolakoa izango den irteerako seinalea baldin eta sarrerako seinaleak honako bi balio hauek hartzen baditu: $v_s = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ eta $v_s = 100 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$.

Kasu horretan, $r_{be} = V_T/I_B = 2\text{k}\Omega$ eta $g_m = I_C/V_T = 80 \text{ mA/V}$

$$Z_{in} = R_{th} // r_{be} = 2\text{k}\Omega // 2\text{k}\Omega = 1\text{k}\Omega;$$

$$Z_{out} = R_C = 3\text{k}\Omega$$

$$A_{vin} = v_{out}/v_{in} = -g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_L) / v_{be} = -g_m \cdot (R_C // R_L) = -80 \text{ mA/V} \cdot 2\text{k}\Omega = -160$$

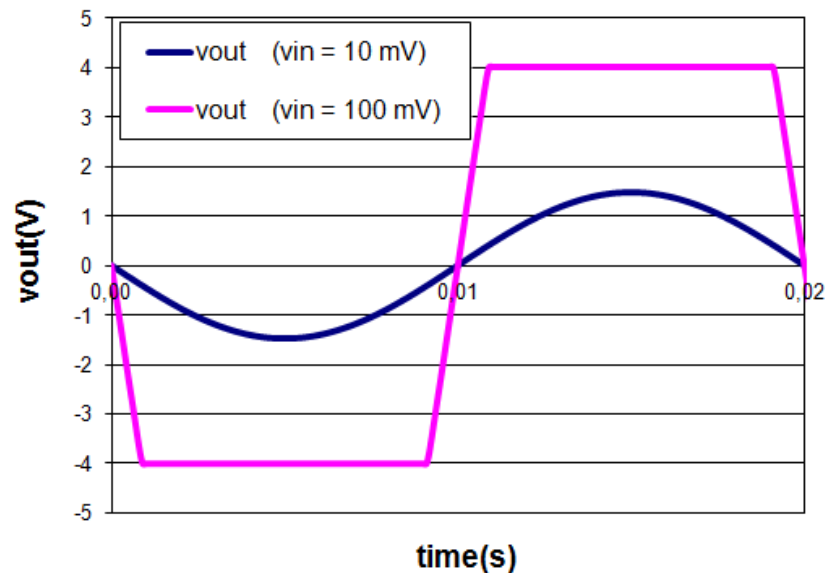
$$A_{vs} = v_{out}/v_s = v_{out}/v_{in} \cdot v_{in}/v_s = A_{vin} \cdot Z_{in} / (Z_{in} + R_s) = -160 \cdot 1\text{k}\Omega / (1\text{k}\Omega + 100\Omega) = -147,6$$

$v_s = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ bada, $v_{out} = -1,476 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$, ez da distortsionatzen $v_s = 100$

$\text{mV} \cdot \sin(\omega t)$ bada, $v_{out} = -14,76 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$, eta distortsionatzen da

- etenduran $i_c = -I_C$ denean $\rightarrow v_{out} = v_{ce_eten} = I_C / |m_{KZD}| = 2\text{mA} \cdot 2\text{k}\Omega = 4\text{V}$
- asetasunean $v_{CE} = 0 \rightarrow v_{ceac_ase} = -V_{CE} = -4 \text{ V}$ denean

[simetrikoki, noski, horretarako aukeratu baitugu Q4 puntua]

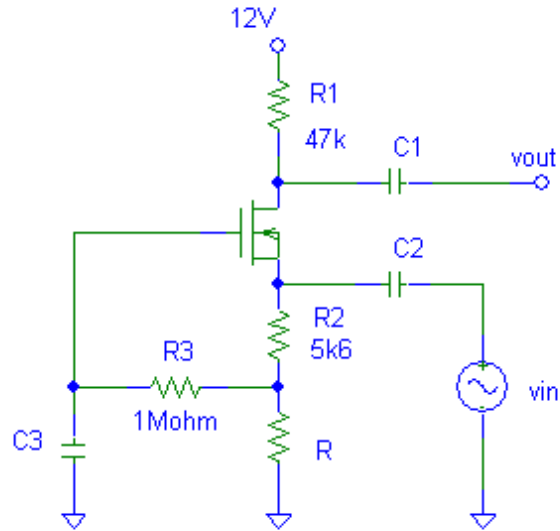


ATE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. 6. irudiko FETak honako parametro hauek ditu:

$$|V_T| = 1 \text{ V}$$

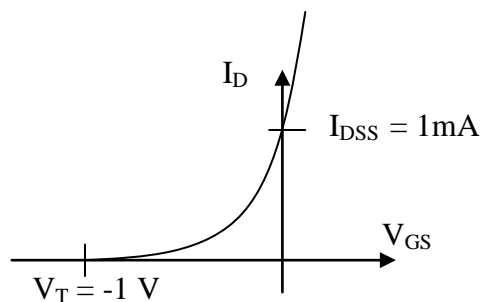
$$|I_{DSS}| = 1 \text{ mA}$$



6. irudia.

a) Zer transistore mota da? Marraztu haren asetasuneko ezaugarri-kurba eta adierazi I_{DSS} eta V_T .

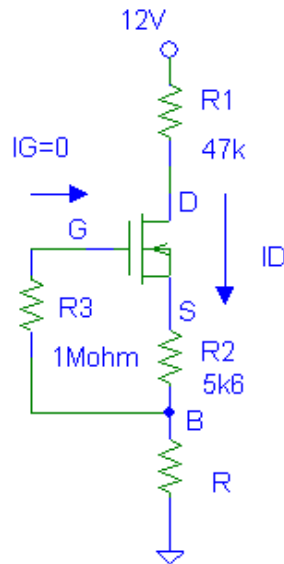
N pasabideko urritze-MOSFET bat da eta $I_{DSS} > 0$ eta $V_{GSoff} = V_T < 0$. Haren asetasuneko I-V kurba (transferentziaren kurba) honako hau da:



(n pasabideko JFET baten antzeko transferentziaren kurba du, baina $V_{GS} > 0$ izatea onartzen du)

b) Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua (asetasuna onartuz).

Polarizazio-zirkuitua honela geratzen da:



[Kontuan hartu $I_G = 0$ dela eta, beraz, $V_G = V_B = I_D \cdot R$]

$$12 = I_D \cdot R_1 + V_{DS} + I_D \cdot R_2 + I_D \cdot R$$

$$V_{GS} = -I_D \cdot R_2 = -I_D \cdot 5k6$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS}/V_T)^2 \rightarrow I_D = 1 \text{ mA} \cdot [1 - (-I_D \cdot 5k6)/(-1V)]^2 \rightarrow$$

$$I_{D1} = 0,1174 \text{ mA} \quad I_{D2} = 0,2716 \text{ mA}$$

$$V_{GS1} = -0,657 \text{ V} \quad V_{GS2} = -1,521 \text{ V}$$

Puntu zuzena lehenengoa da $V_{GS} = -0,657 \text{ V}$ eta $I_{D1} = 0,1174 \text{ mA}$

(-1,52 V, 0,27 mA parabolaren ezkerreko aldean geratzen da)

$$V_D = 12 - I_D \cdot R_1 = 6,48 \text{ V},$$

Baina beste balioak R erresistentziaren arabera dira!

c) Kalkulatu zein izango den R erresistentziaren balio-tartea lan-puntua asetasunean egon dadin.

$$V_{GD} = V_G - V_D = I_D \cdot R - V_D \rightarrow V_{GD} = 0,1174 \text{ mA} \cdot R - 6,48 \text{ V}$$

Asetasunean egoteko, pasabideak itota egon behar du: $V_{GD} < -1$.

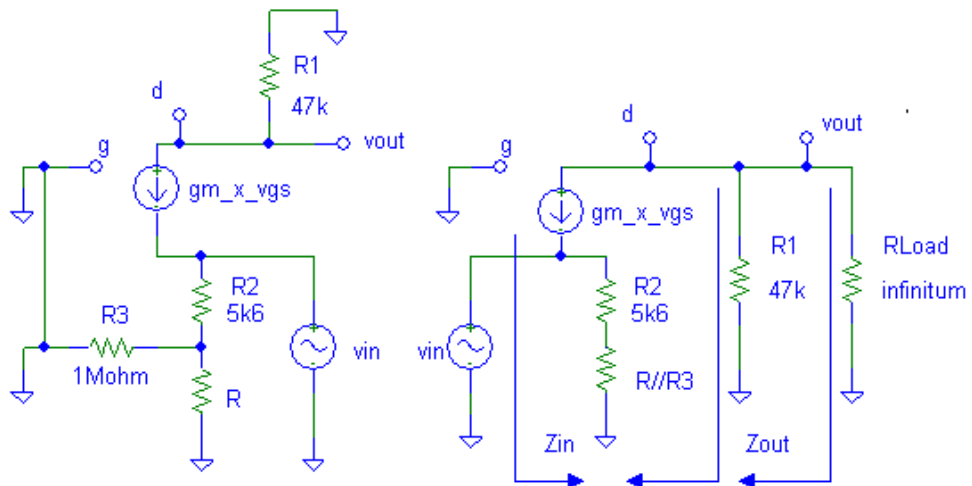
$$\text{Eta, horretarako, } V_{GD} = 0,1174 \text{ mA} \cdot R - 6,48 \text{ V} < -1 \rightarrow R < 5,48 \text{ V} / 0,1174 \text{ mA} = 47 \text{ k}\Omega$$

d) $R = 3,3 \text{ k}\Omega$ kasurako, kalkulatu lan-puntua osatzeko falta diren balioak.

$$R = 3\text{k}3 \rightarrow V_G = I_D \cdot R = 0,387 \text{ V}, V_S = V_G - V_{GS} = 1,044 \text{ V}, V_D = 6,48 \text{ V}, V_{DS} = 5,44 \text{ V}$$

Seinale txikiko zirkuituaren analisiari dagokionez (eta $R = 3,3 \text{ k}\Omega$ erabiliz):

e) Kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.



$$g_m = 2/|V_T| \cdot (I_D \cdot I_{DSS})^{1/2} \rightarrow g_m = 2/1 \cdot (0,1174 \cdot 1)^{1/2} = 0,685 \text{ mA/V}$$

$$A_v = v_{out}/v_{in} = -g_m \cdot v_{gs} \cdot R_1 / (-v_{gs}) = g_m \cdot R_1 = 32,2$$

$$Z_{out} = R_1 = 47 \text{ k}\Omega \text{ karga gisa } R_1 \text{ hartzen bada, } Z_{out} = \text{infinitu}$$

$$i_{in} = i_1 + i_2 = v_{in} / (R_2 + R // R_3) + g_m \cdot v_{in} \rightarrow Z_{in} = v_{in} / i_{in} = 1 / [g_m + (R_2 + R // R_3)^{-1}] =$$

$$1\text{k}25 \text{ [} R = 0 \text{ bada, } Z_{in} = 1\text{k}16 \quad R = 47\text{k} \text{ bada, } Z_{in} = 1\text{k}42 \text{]}$$

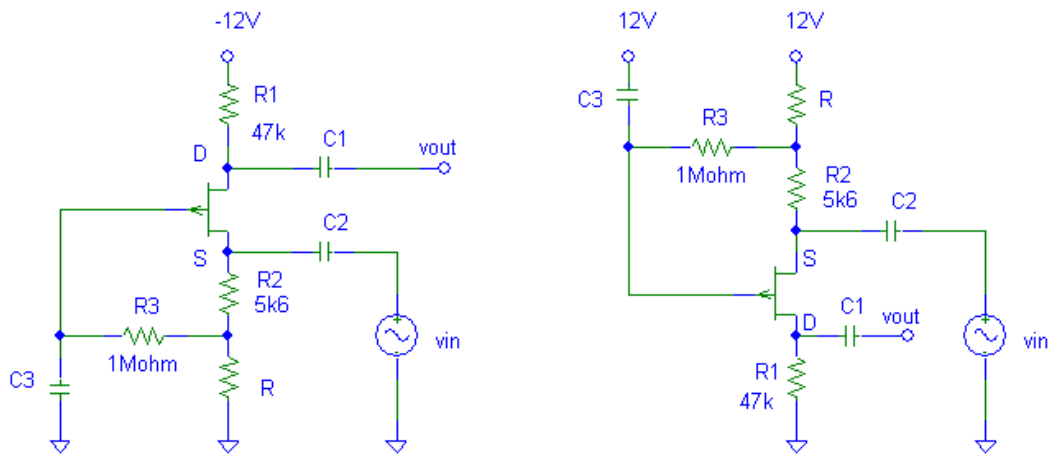
f) Zer eragin du R erresistentziaren balioak aurreko ataleko emaitzetan?

Ez du eraginik A_v eta Z_{out} parametroetan. Sarrerako inpedantzian bakarrik eragiten du (eta, noski, tarte dinamikoan), e) atalean erakutsi den moduan.

g) Zirkuitu berau erabil al liteke $|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ aldatu gabe p pasabideko JFET bat polarizatzeko?

N pasabideko JFET bat ($I_{DSS} = 1 \text{ mA}$, $V_T = -1\text{V}$) arazorik gabe erabil daiteke (ariketa honetan, $V_{GS} < 0$ delako).

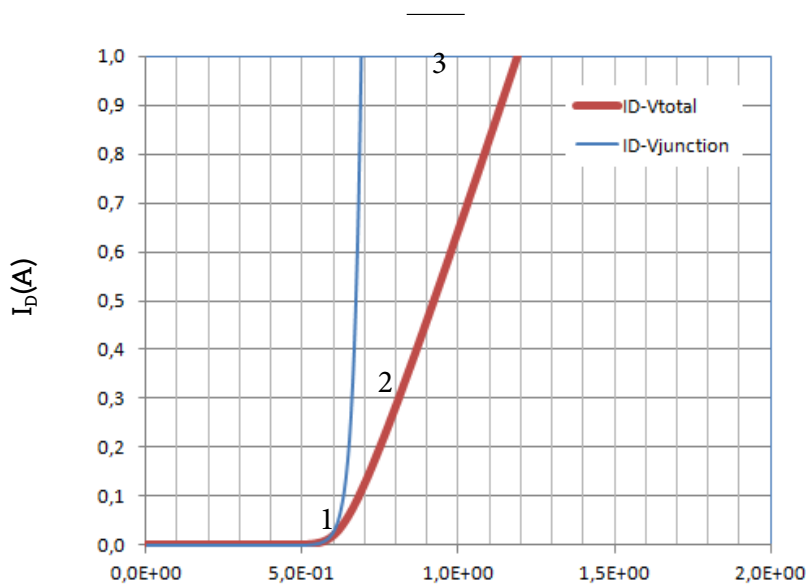
P pasabideko JFET bat ($I_{DSS} = -1 \text{ mA}$, $V_T = +1\text{V}$) ezin da erabili zirkuitua aldatu gabe. P pasabideko JFET bat erabiltzeko, elikatze-tentsioa alda dezakegu, -12 V aplikatuz (edo zirkuitua alderantziz eraikiz).



Orduan, ariketa analogoa dugu: $I_D = -0,1174 \text{ mA}$, $V_{GS} = 0,65 \text{ V}$ (eta abar).

DIODOA – PN JUNTURA

1. Beheko irudian, diodo baten I-V ezaugarria (marra lodia) eta diodoa zeharkatzen duen korrontearen eta haren junturako tentsioaren arteko erlazioa agertzen dira (marra fina).



1.irudia

- a) Kalkulatu diodoaren asetasun-korrontea eta serieko erresistentzia.

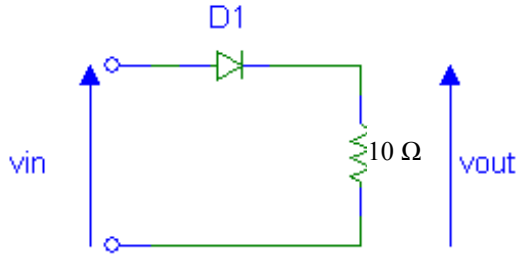
(3) puntua hartuko dugu. (2) ere har daiteke.

$$I_D = 1A \rightarrow V_J = 0,7 V, V_D = 1,2 V$$

$$I_D = I_{sat} \cdot \left(e^{\frac{V_{Juntura}}{V_T}} - 1 \right) \rightarrow I_{sat} = \frac{I_D}{e^{\frac{V_{Juntura}}{V_T}} - 1} = 0,691pA \text{ (g.g.g., } 1pA)$$

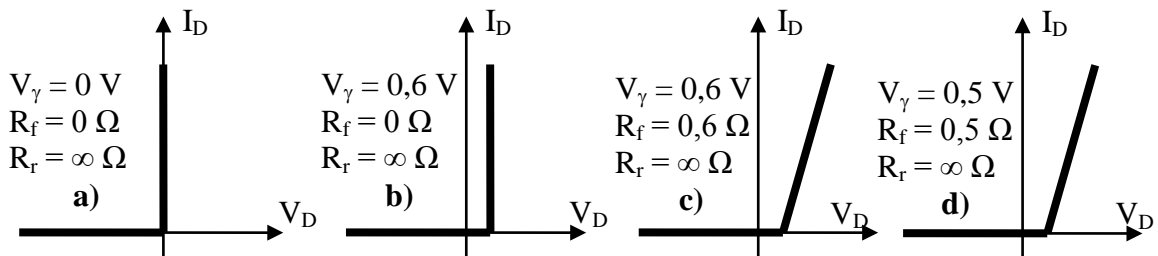
$$V_{diodo} = V_{Juntura} + I_D \cdot R_{Serie} \rightarrow R_{Serie} = \frac{V_{diodo} - V_{Juntura}}{I_D} = 0,5$$

Diodoa 2. irudiko zirkuituan erabili, eta 50 Hz-eko maiztasuna eta 15 V-eko anplitudea dituen seinale sinusoidala aplikatuko dugu.



2. irudia

b) Azaldu 3. irudiko seinale handiko eredu linealen ezaugarri nagusiak eta aukeratu zein den aproposena gure diodoren portaera modelatzeko.



3. irudia. Analizatu nahi ditugun eredu linealak.

Lehenengoa (a) guztiz ideala da, eta, bereziki, (oso) tentsio altuak daudenean erabiliko dugu.

Bigarrenean (b), lehenengoa baino zehaztasun hobea dugu, eta oso erabilgarria izango da korrante txikiak ditugunean, tentsioa hobeto kalkulatzeko.

Hirugarrenean (c) eta laugarrenean (d), korrante handien efektua islatu nahi dugu, baina zein da gure diodoari dagokiona?

Argi eta garbi ikusten da atariko tentsioa $V_{\square} = 0,6 \text{ V}$ dela korrante hauetarako.

Eta, diodoa ON dagoenean, R_{forward} eredu ko erresistentziak dakarren tentsioa gehitu behar diogu atariko tentsioari.

$$V_{\text{diodo}} = V_{\gamma} + I_D \cdot R_{\text{forward}} \rightarrow R_f = \frac{V_{\text{diodo}} - V_{\gamma}}{I_D}$$

Gainera, $I_D = 1 \text{ A}$ denean $V_D = 1,2 \text{ V}$ da (3 puntua). Hortaz, c) ereduak dagokio gure diodoari (batzuetan, a) eta b) ere erabilgarriak izango dira, noski).

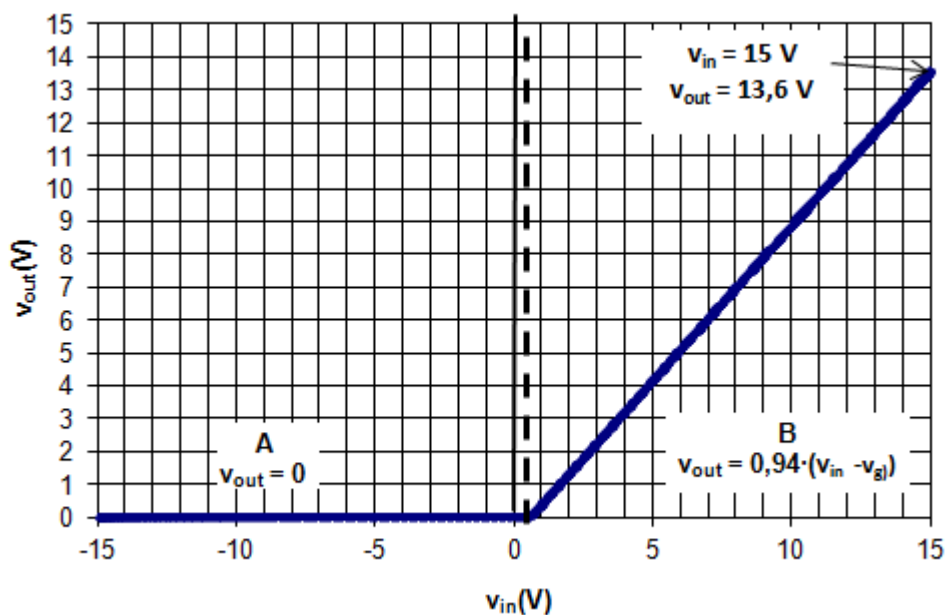
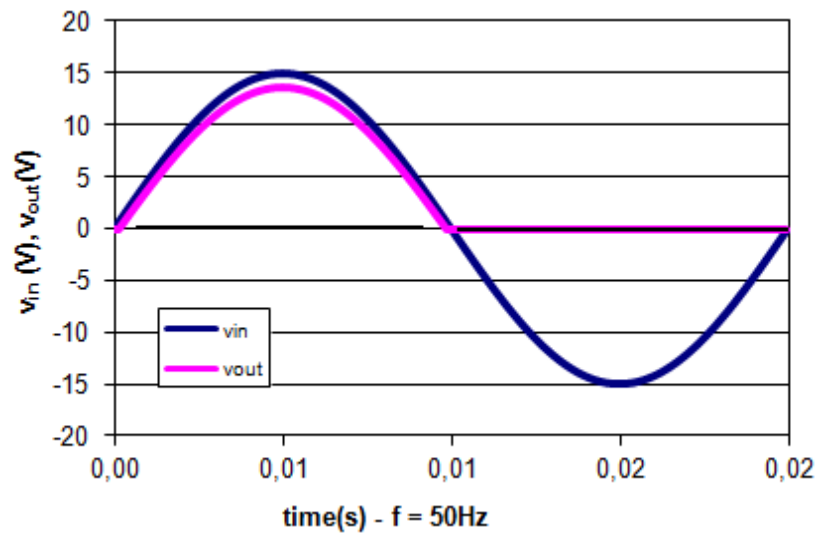
Hots, R_f diodoaren R_s baino pixka bat handiagoa da: berez, malda txiki bat ere badu Shockleyren kurbak.

c) Aurreko ataleko eredia erabiliz, marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba eta irteerako seinalearen forma.

Zirkuitu honen analisia ia berehalakoa da:

Kasua	Diodoa	Tentsio-tartea	I_D	V_D	v_{out}
A	OFF	$v_{in} < V_{\square}$	0	v_{in}	0
B	ON	$v_{in} > V_{\square}$	$\frac{v_{in} - V_r}{10 + R_f}$	$V_r + R_f \cdot \frac{v_{in} - V_r}{10 + R_f}$	$10 \cdot \frac{v_{in} - V_r}{10 + R_f}$

Beraz, transferentziaren kurba eta irteerako tentsioa honela geratzen dira:



d) Dakigunez, oreka termodinamikoan, 1nF da diodo honen junturako kapazitatea, eta potentzial termodinamikoa, 1 V. Hori jakinda, kalkulatu zenbatekoa den junturako kapazitatea sarrerako seinaleak bere balio minimoa hartzen duenean, zikloerdi negatiboaren balio absolutu maximoan (onartuko dugu juntura latz laua dela).

Hau, da, zenbatekoa da C_J , $V = -15$ V denean?

$$C_J = \frac{A \cdot \text{permit}}{l} = \frac{A \cdot \text{permit}}{\sqrt{\frac{2 \cdot \text{permit}}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_A}\right) \cdot \Phi}} = \frac{K}{\sqrt{\Phi}}$$

$$C_{J0} = \frac{K}{\sqrt{\Phi_T}} \rightarrow C_J = C_{J0} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T}{\Phi_T - V}} = C_{J0} \cdot \sqrt{\frac{1V}{1V - (-15V)}} = \frac{C_{J0}}{4} = 0,25nF$$

BJT TRANSISTOREAREN LAN-PUNTUA

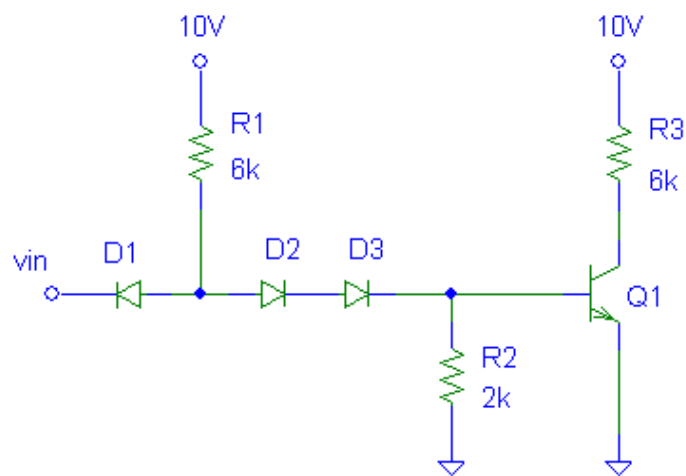
2. Kalkulatu 4. irudiko BJT transistorearen lan-puntua bi kasu hauetarako:

c) $v_{in} = 10 \text{ V}$

d) $v_{in} = 0,2 \text{ V}$

Datuak: Diodoak idealtzat joko ditugu.

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}, \beta = 20 \text{ eta } V_{CE,sat} = 0,2 \text{ V}.$$



4. irudia. Transistore bat eta hiru diodo dituen zirkuitua.

--- $v_{in} = 10 \text{ V}$ kasuan ---

Argi dagoenez, lehenengo kasuan, D1 OFF egongo da, eta D2 eta D3, berriz, ON.

Beraz, $V_{BB} = 10\text{V} \cdot R_2 / (R_2 + R_1) = 2,5 \text{ V}$; eta $R_{BB} = R_1 // R_2 = 1\text{k}\Omega$.

Argi dago zuzenean polarizatuko dela igorle-base juntura; transistorea aktiboan ala asetasunean egongo da.

Hori bai, edozein kasutan, $I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_{BB} = 1,8\text{V} / 1\text{k}\Omega = 1,5 \text{ mA}$,

Lehenengo hipotesian, onartuko dugu transistorea aktiboan dagoela. Orduan,

$I_C = \beta \cdot I_B = 30 \text{ mA}$. Eta irteten zaigun kolektore-igorle tentsioa: $V_{CE} = 10 - 180 = -170\text{V}$.

Ezinezkoa da; $I_C = 30 \text{ mA}$ gehiegizkoa da, eta R_C erresistentzian 180 V agertzea ekarriko luke. Transistorea ez dago aktiboan; ase da.

Ase bada, $I_C = (10 - 0,2) / 6\text{k} = 1,633 \text{ mA}$; $I_B = 1,5 \text{ mA}$ eta igorletik bi horien batura ($3,133 \text{ mA}$) irteten den $I_E = -3,133 \text{ mA}$.

Tentsioei dagokienez, $V_E = 0$; $V_B = 0,7 \text{ V}$, $V_C = 0,2 \text{ V}$.

--- $v_{in} = 0,2 \text{ V kasuan}$ ---

Argi dagoenez, bigarren kasuan, D1 ON egongo da, D2 eta D3 (idealak direnez) ere ON egongo dira, eta $V_{BE} = 0,2 \text{ V}$ izango da; beraz, BJTa praktikoki etenik egongo da, korronterik gabe.

$$I_{R1} = (10-0,2)/6 = 1,633 \text{ mA}; I_{R2} = 0,2 \text{ V} / 2\text{k} = 0,1 \text{ mA};$$

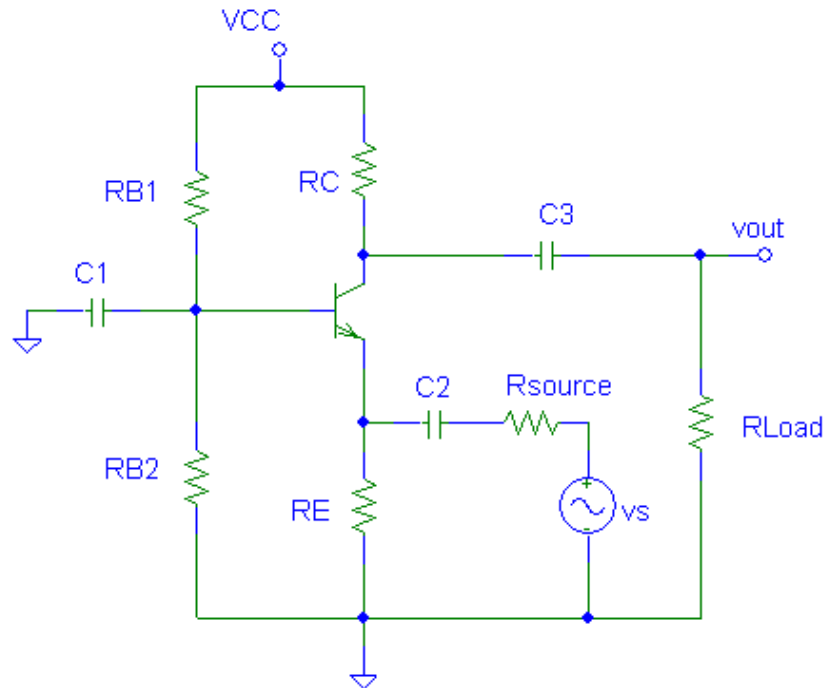
$$I_{D1} = I_{R1} - I_{R2} = 1,533 \text{ mA}; I_{D2} = I_{D3} = I_{R2} = 0,1 \text{ mA}$$

$$V_B = 0,2 \text{ V}; V_E = 0 \text{ V}; V_C = 10\text{V} \quad (I_E = I_B = I_C = 0)$$

[Zehazkiago, BJTa teknikoki aktiboan egongo da, baina, $V_{BE} < 0,7$ denez, praktikoki etenik dago]

BASE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. Beheko irudiko zirkuituan erabili den BJT transistorearen igorle komuneko korrante-irabazia (seinale handietarako) $\beta_f = 200$ da, eta $V_{BE} = 0,7$ V.



5. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

$$V_{CC} = 15V, R_{B1} = 10 k\Omega, R_{B2} = 5 k\Omega, R_C = 3 k\Omega, R_E = 2 k\Omega, R_{source} = 0$$

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Lortu lan-puntua. Egonkorra al da? Arrazoitu erantzuna.

Aktiboan dagoela onartuko dugu:

$$V_{BB} = 15 / (10k + 5k) \cdot 5k = 5V; R_{BB} = (5k // 10k) =$$

$$3k333 \quad I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / (R_{BB} + (\beta + 1) \cdot R_E) = 10,609 \mu A$$

$$I_C = 2,121711 \text{ mA};$$

$$I_E = -(I_B + I_C) = -2,13232 \text{ mA}$$

$$V_E = 2k \cdot 2,1323 \text{ mA} = 4,2646 \text{ V};$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 4,9646 \text{ V};$$

$$V_C = 15V - 3k \cdot I_C = 15 - 6,3651 = 8,6349 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 4,37 \text{ V, eta, beraz, aktiboan dago}$$

$\beta R_E \gg R_{BB}$, ($200 \cdot 2k \gg 3k333$). Beraz, egonkorra da.

- b) Aurreko ataletik abiatuz, kalkulatu zehatz-mehatz V_{BE} base-igorle tentsioa, baldin eta $I_{ES} = 1 \text{ fA} = 10^{-3} \text{ pA}$ eta $I_{CS} = 5 \text{ fA} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ pA}$.**

AUKERA BAT (ASETASUNEAN ERE BALIO DIGUNA):

$$I_E = -\alpha_R \cdot I_C - I_{E0} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1]$$

Zenbait datu falta zaizkigu: $\alpha_R = \alpha_F \cdot I_{ES} / I_{CS} = [\beta / (\beta + 1)] \cdot 1/5 = 0,995 \cdot 0,2 = 0,199$

$$I_{E0} = +(1 - \alpha_R \cdot \alpha_F) \cdot I_{ES} = 0,8 \text{ fA}$$

Beraz, $-2,13232 \text{ mA} = -0,199 \cdot 2,12171 \text{ mA} - 0,8 \text{ fA} \cdot [\exp(V_{BE}/0,025 \text{ V}) - 1]$

$$V_{BE} = 710 \text{ mV}$$

BESTE AUKERA BAT (AKTIBOAN):

$$I_E = -I_{ES} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1] + \alpha_R \cdot I_{CS} \cdot [\exp(V_{BC}/V_T) - 1] = -I_{ES} \cdot [\exp(V_{BE}/V_T) - 1] - \alpha_R \cdot I_{CS}$$

$$V_{BE} = V_T \cdot \ln[(-I_E - \alpha_R \cdot I_{CS}) / I_{ES} + 1] = 710 \text{ mV}$$

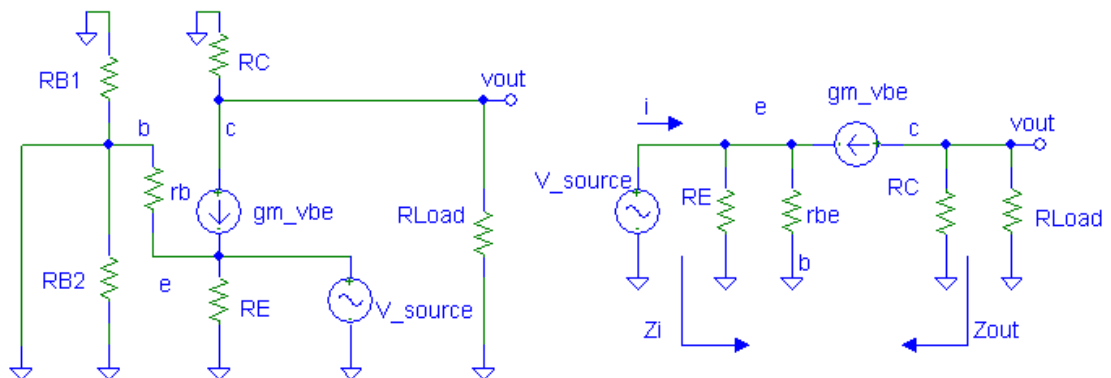
[Itera genezake, V_{BE} zehatzago hau erabiliz, I_B zehatzagoa kalkulatzeko, eta I_C eta I_E , eta V_{BE} , eta... baina ez du merezi, ia-ia 0,7 V delako]

- c) Kalkulatu tentsio-irabazia R_L kargaren arabera.**

Seinale txikiko zirkuitutik abiatuko gara, non:

$$g_m = I_C / V_T = 2,1217 \text{ mA} / 25 \text{ mV} = 84,868 \text{ mA/V}$$

$$V r_{be} = V_T / I_B = 25 \text{ mV} / 10,609 \mu\text{A} = 2k356$$



Hortik:

$$v_b = 0; v_e = v_{in}; v_{be} = -v_{in};$$

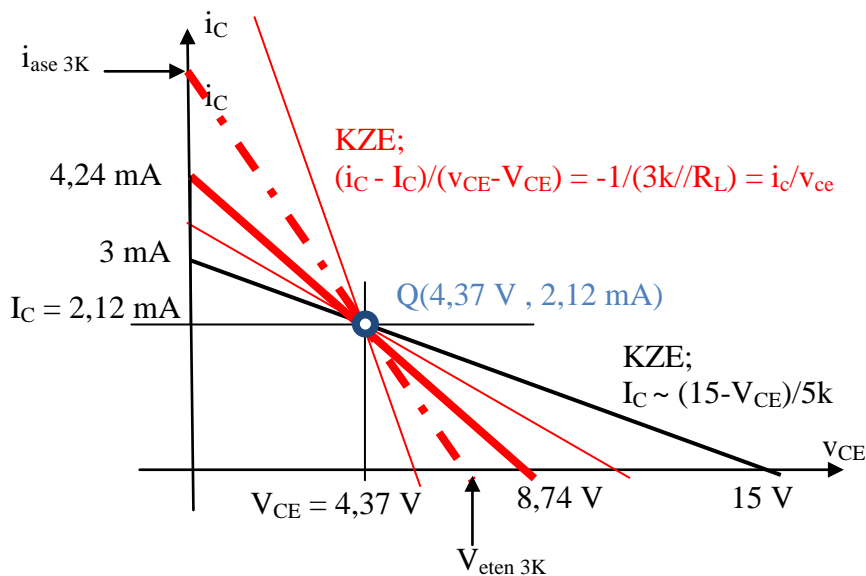
$$v_{out} = -i_c \cdot (R_L // R_C) = -g_m \cdot v_{be} \cdot (R_L // R_C) = g_m \cdot v_{in} \cdot (R_L // R_C)$$

$$A_v = g_m \cdot (R_L // R_C) = 84,868 \text{ mA/V} \cdot (R_L // 3k);$$

$$[R_L = 3k \text{ bada, } A_v = 127,3]$$

d) Zenbatekoa izan behar du R_{Load} erresistentziak, tarte dinamikorik zabalena lortzeko?

Tarte dinamiko maximoa 4,37 V izango da, horixe baita asetasunerantz daukagun aldea. R_L handiekin, hori lortuko dugu, ezkerralderantz zabalagoa baita. R_L txikiekin, etendurarantz dagoen aldea txikiagoa ere izan liteke. Tarte dinamiko maximoa bilatuko dugu.



$$m_{KZD} = i_c / v_{ce} = -1 / (R_L // R_C)$$

Aukera asko daude, R_L erresistentziaren arabera malda aldatzen delako.

Malda eta tarte dinamikoa R_L erresistentziaren arabera aldatzen dira. Tarte dinamiko simetrikoa lortzeko, Q karga-zuzen dinamikoaren erdian kokatu behar da (lerro gorri lodiz adierazi dugun kasua). Horretarako:

$$|m_{KZD}^{-1}| = 2 \cdot V_{CE} / (2 \cdot I_C) = V_{CE} / I_C \rightarrow 2k05 = 3k // R_L \rightarrow R_L = 6k57$$

Beraz, $R_L = 6k57$ tarte dinamiko simetrikoa dugu, maximoarekin bat datorrena.

$R_L > 6k57$ bada, tarte dinamikoa 4,37 V da, eta asetasunak mugatzen du. $R_L < 6k57$ denean, tarte dinamikoa murriztagoa da, eta etendurak mugatzen du.

e) **Marraztu, grafiko bakarra erabiliz, nolakoak izango diren sarrerako tentsioa eta v_{ce} kolektore-igorle tentsioaren alternoko osagaia baldin eta $R_L=3\text{ k}\Omega$ bada, bi kasu hauetarako:**

$$\mathbf{e1) } v_s(t) = 20\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\mathbf{e2) } v_s(t) = 30\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$$

$$R_L = 3\text{ k}\Omega \text{ bada, } m_{RZD} = -1/1k5$$

$$\text{Hortaz, } v_{ceeten} = 1k5 \cdot I_C = 3,18\text{ V} \rightarrow v_{CEeten} = 4,37\text{V} + 3,18 = 7,55\text{ V}$$

$$\text{Eta, } i_{cease} = V_{CE}/1k5 = 4,37\text{V} / 1k5 = 2,913\text{ mA} \rightarrow i_{case} = 2,12+2,91 = 5,03\text{ mA}$$

Beraz, $3,18 < 4,37$ denez, etenduratik dago hurbilago.

$$v_{ce} = v_{out} - v_{in} = 127,3 \cdot v_{in} - v_{in} = 126,3 \cdot v_{in}$$

Etenduran sartzen da $v_{ce}=3,18\text{ V}$ denean, $v_{in} = +25,18\text{ mV}$ denean.

Asetzen da $v_{ce}=-4,37\text{ V}$ denean, $v_{in} = -34,6\text{ mV}$ denean.

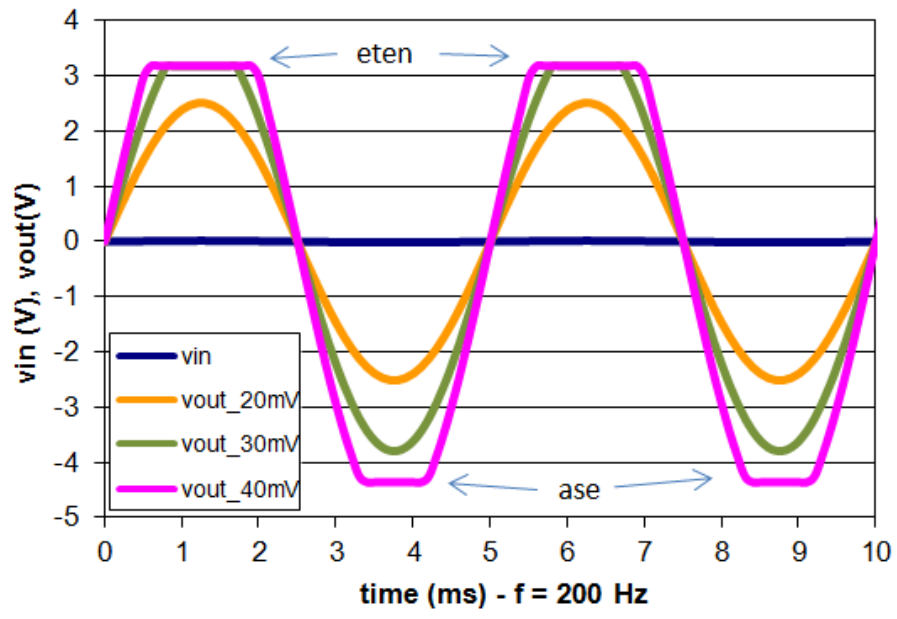
Hau da,

e1) atalean ez dago distortsiorik, eta $v_{ce} = 20 \cdot 126,3\text{ mV} \cdot \sin(\omega t) = 2,53\text{ V} \cdot \sin(\omega t)$.

e2) atalean, $v_{ce} = 30 \cdot 126,3\text{ mV} \cdot \sin(\omega t) = 3,8\text{ V} \cdot \sin(\omega t)$, baina distortsioa agertzen da zikloerdi positiboan, $+3,18\text{ V}$ -eko balioetan mugatzen baita.

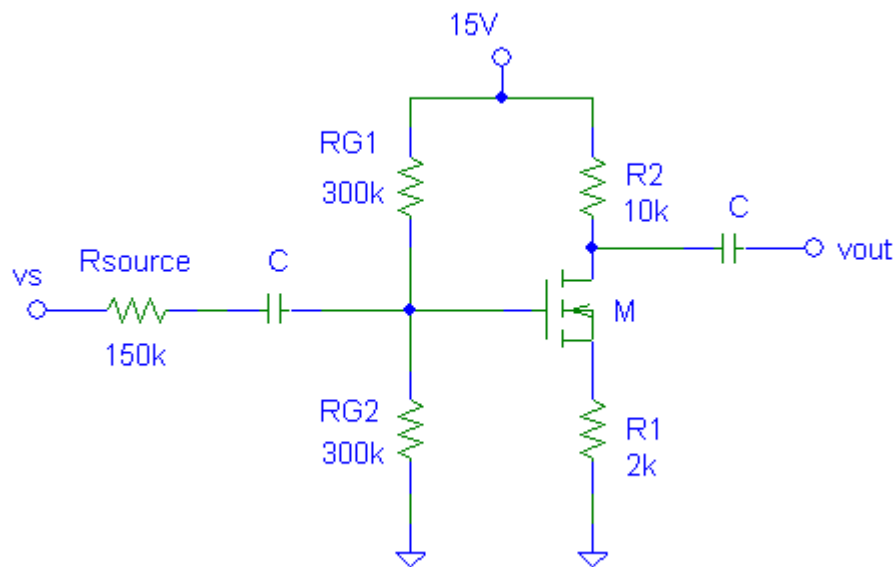
e3) 40 mV -eko anplitudea aplikatuz, $5\text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ izango litzateke v_{ce} (eta v_{out} oso antzekoa), eta $+3,18\text{ V}$ eta $-4,37\text{ V}$ balioetan mugatuko litzateke.

Irudia egiteko, $f = 200\text{ Hz}$ hartuko dugu...



ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

4. 6. irudiko zirkuituko FET transistorearen atariko tentsioa $V_T = 4 \text{ V}$ da. Gainera, beheko zirkuituan, draineke zirkuitua neurtu dugu: $I_D = 1 \text{ mA}$.



6. irudia. Zirkuitu anplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Kalkulatu zirkuituko tentsio guztiak (hau da, kalkulatu lan-puntua) eta I_{DSS} parametroaren balioa.

$$I_G = 0 \rightarrow V_G = 15\text{V}/2 = 7,5 \text{ V}$$

$$I_D = 1 \text{ mA} \rightarrow V_S = 2 \text{ V}; V_D = 15 \text{ V} - 1\text{mA} \cdot 10\text{k} = 5 \text{ V};$$

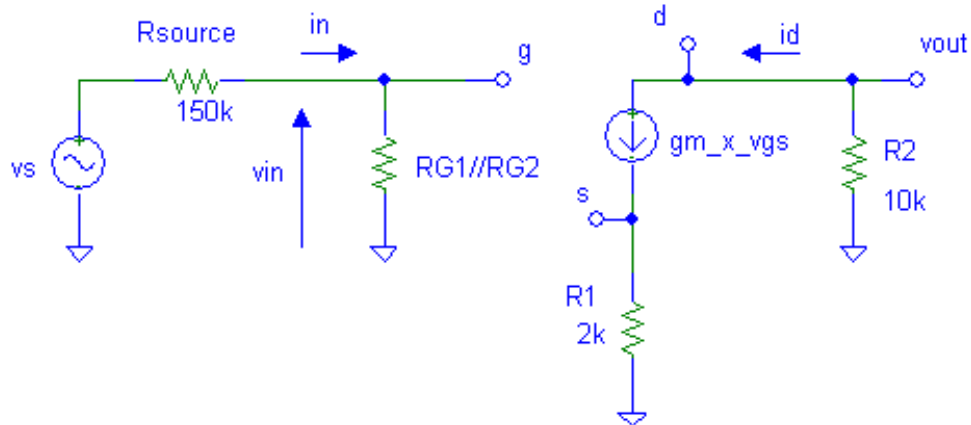
$$V_{GS} = 5,5 \text{ V}; V_{GD} = 2,5 \text{ V};$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS}/V_T)^2 \rightarrow 1\text{mA} = I_{DSS} \cdot (1 - 5,5/4)^2 \rightarrow I_{DSS} = 7,111 \text{ mA}$$

- b) Kalkulatu tentsio-irabazia (bai tentsio-sorgailua baztertuz, bai hura kontuan hartuz) eta sarrerako eta irteerako inpedantziak. Arazorik ikusten al diozu lortu duzun sarrerako inpedantziari?

Seinale txikiko zirkuitua behekoa da, non $g_m = 2/|V_T| \cdot (I_D \cdot I_{DSS})^{1/2} = 1,333 \text{ mA/V}$

eta, begi-bistakoa denez, $Z_{in} = R_{G1} // R_{G2} = 150 \text{ k}\Omega$



$$v_{gs} = v_g - v_s = v_{in} - g_m \cdot v_{gs} \cdot R_1 \rightarrow v_{gs} = v_{in} / (1 + g_m \cdot R_1)$$

$$v_{out} = -g_m \cdot v_{gs} \cdot R_2 = -g_m \cdot R_2 \cdot v_{in} / (1 + g_m \cdot R_1)$$

$$v_{out} / v_{in} = A_{vin} = -g_m \cdot R_2 / (1 + g_m \cdot R_1) = -13,33 / (1 + 2,666) = -3,636$$

$$v_{in} = v_s \cdot Z_{in} / (Z_{in} + R_s) = 1/2 \cdot v_s \rightarrow A_{vs} = -3,636 / 2 = -1,818$$

c) **Kalkulatu irteerako tarte dinamikoa: irteeran distortsiorik gabe lor daitekeen tentsio maximoa. Zenbatekoa da tentsio hori lortzeko aplikatu beharreko v_s balioa?**

MOSFETak distortsiorik gabe anplifikatu du, asetasunetik irten arte. Irteera hori bi kasutan gertatuko da:

- 1) $i_D < 0$ bihurtzen denean (eten egingo litzateke);
- 2) edo $v_{GD} > V_T$ bihurtzen denean (eskualde gradualean sartuko litzateke).

Aurreko formulak onartuz (seinale txikiko emaitzak erabiliz):

$$1) i_D = 0 \text{ V} \rightarrow i_d = -I_D = -1 \text{ mA} \rightarrow g_m \cdot v_{gs} = -1 \text{ mA} \rightarrow v_{gs} = -0,75 \text{ V} \rightarrow$$

$$v_{in} = -2,75 \text{ V}; v_s = -5,5, v_{out} = 10 \text{ V (noski, } i_D = 0 \text{ bada, } v_{out} = 10 \text{ V)}$$

$$2) v_{GD} = V_T = 4 \text{ V} \rightarrow V_{GD} + v_{gd} = V_T \rightarrow (V_{GD} = 2,5 \text{ V}; v_{gd} = v_{in} - v_{out})$$

$$2,5 \text{ V} + (v_{in} - v_{out}) = 4 \text{ V} = 2,5 \text{ V} + (v_{in} - (-3,636 \cdot v_{in})) \rightarrow v_{in} = 0,687 \text{ V}$$

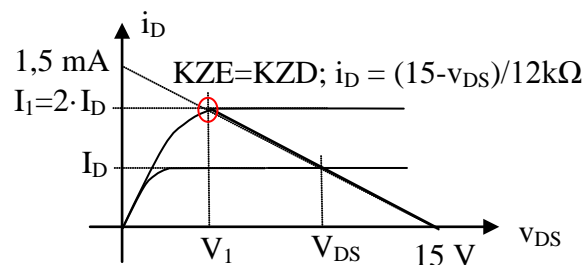
$$v_s = 1,375 \text{ V}, v_{out} = -2,5 \text{ V}$$

Distortsioa eskualde gradualean sartzean agertzen da lehenago; $v_s = 1,375$ Veko anplitudearekin, hain zuzen ere.

- d) Zirkuituaren zenbait ezaugarri hobetu nahi ditugu: sarrerako inpedantzia $1\text{ M}\Omega$ eta tarte dinamikoa maximoa izatea nahi dugu. Horretarako, zenbateko erresistentziak ipini behar ditugu ateko tentsio-banatzailan (zatigailuan)?

$Z_{in} = 1\text{ M}\Omega$ izateko, $R_{G1} // R_{G2} = 1\text{ M}\Omega$ aukeratu behar dugu.

Tarte dinamikoa optimizatzeko, asetasunerantz eta eskualde gradualerantz ditugun ibilbideak berdinduko ditugu. Kasu honetan, KZD eta KZE bat datoz:



(V_1, I_1) mugan dagoen puntua da; PUNTUA TOPATU BEHAR DA.

Eta (V_{DS}, I_D) , lan-puntua, baliagarria den tartearen erdian kokatu behar da.

Horretarako, ez dugu gainezarmena (seinale txikiko osagaia+polarizazioa) aplikatuko:ekuazio kuadratikorekin lan egingo dugu.

$$V_1 = 15 - 12k \cdot I_1$$

$$I_1 = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS1} / V_T)^2;$$

$$V_1 = V_{GS1} - V_T$$

$$V_{GS1} - V_T = 15 - 2k \cdot I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS1} / V_T)^2 \rightarrow V_{GS1} = 7,584\text{ V (eta } -0,7\text{V)}$$

$$I_1 = I_{DSS} \cdot (1 - V_{GS1} / V_T)^2 = 1,2\text{ mA}$$

$$V_1 = 0,55\text{ V}$$

$$\text{Eta, beraz, } V_{DS} = 7,77\text{ V; } I_D = 0,6\text{ mA; } V_{GS} = 5,16\text{ V}$$

$$V_S = 0,6\text{ mA} \cdot 2k = 1,2\text{ V; } V_G = 6,36\text{ V;}$$

$$V_G = 15 / (R_{G1} + R_{G2}) \cdot R_{G2} = 15 \cdot (R_{G1} // R_{G2}) / R_{G1} \rightarrow R_{G1} = 15 / V_G \cdot (R_{G1} // R_{G2}) = 2\text{M}36; R_{G2} = 1\text{M}74$$

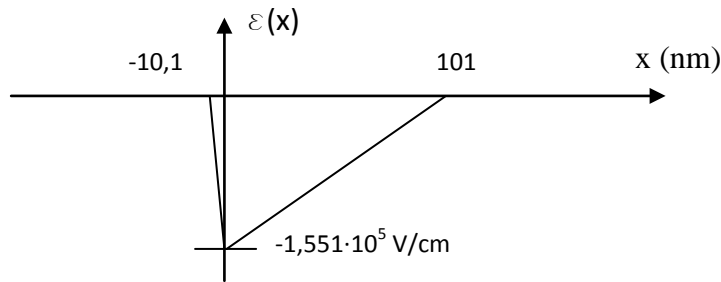
- e) Zirkuitu bera erabiliz, n pasabideko JFET bat polariza daiteke? Arrazoitu erantzuna.

Ezin da halakorik egin lehengo zirkuitua edo oraingo hau erabiliz, zeren eta, $V_G=7,5\text{ V}$ (edo $6,36$) denez eta n pasabideko JFET batek V_{GS} negatiboa behar duenez, $V_S > 7,5\text{ V}$ (edo $6,36$) beharko baikenuke, eta, $V_{R2} = 5 \cdot V_S$ denez, V_{R2} altuegia izango litzateke.

Baina V_G baxu bat ($0, 0,5, 1$) ipiniz (hau da, $R_{G2} \ll R_{G1}$), bai, posible da ondo polarizatzea JFET bat. $V_T < 0$ izango luke, noski. Polarizazio-zirkuitu topologia hau oso orokorra da.

PN JUNTURA - DIODOA

1. $A = 0,01 \text{ cm}^2$ -ko azalera duen siliziozko ($n_i^2 = 10^{20} \text{ cm}^{-6}$, $e_{\text{Si}} = 1,044 \text{ pF/cm}$) diodo baten junturako eremu elektrikoa beheko irudikoa da:

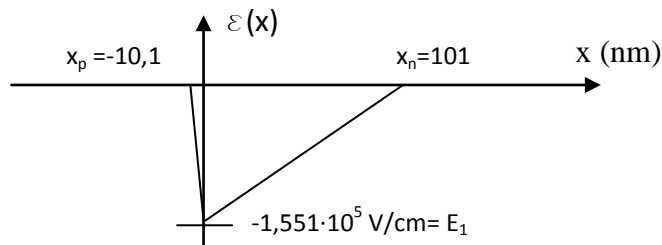


1. irudia. Junturako eremu elektrikoa.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Identifikatu eskualde hustuaren zabalera eta kalkulatu potentzial termodinamikoa.

Eremua negatiboa da: beraz, ezkerreko eskualdean N_A^- eta eskuinekoan N_D^+ ezpurutasunak ditugu. Hau da, ezkerrean p eskualdea eta eskuinean n eskualdea ditugu. Beraz, honela osa dezakegu irudia:



Berehalakoa da eskualde hustuaren zabalera identifikatzea:

$$l_0 = 10,1 + 101 = 111,1 \text{ nm} = 0,1111 \text{ um} = 0,1111 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} l_0 \cdot |E_1| = 0,5 \cdot 0,1111 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot 1,551 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 0,8615805 \text{ V} = 0,8616 \text{ V}$$

b) $V_T = 25 \text{ mV}$ hartuz, kalkulatu diodoaren dopaketak.

Hiru erlazio ditugu / aukera bat baino gehiago dugu b) atala egiteko.

$x_p = x_n/10$ denez (1), $N_A = 10 \cdot N_D$ ($N_A \gg N_D$ ere egin daiteke)

$$\Phi_T = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right) \quad (2a)$$

$$\Rightarrow 0,8616V = 25mV \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right) = 0,025V \cdot \ln\left(\frac{N_A^2}{10^{20}}\right) \quad (2b)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \text{permsi}}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) \Phi_T} = \sqrt{\frac{2 \cdot \text{permsi}}{q} \left(\frac{1}{10 \cdot N_D} + \frac{1}{N_D}\right) \Phi_T} \quad (3a)$$

$$[\text{Hurbilketa erabiliz, } I_0 \sim \sqrt{\frac{2 \cdot \text{permsi}}{q} \left(\frac{1}{N_D}\right) \Phi_T}] \quad (3b)$$

Adibidez,

3a ekuaziotik,

$$\frac{q \cdot I_0^2}{2 \cdot \Phi_T \cdot \text{permsi}} = \frac{11}{10 \cdot N_D} \rightarrow N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \quad (3a)$$

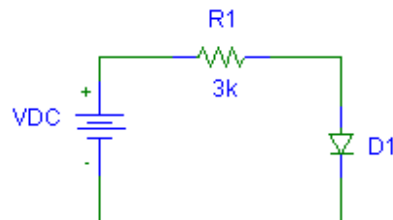
Eta 2a ekuaziotik $\rightarrow N_A = 9,25E17 \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

[badaude beste aukera batzuk ere]

c) Kalkulatu diodoaren orekako junturako kapazitatea.

$$C_{j0} = A \cdot v_{si} / I_0 = 0,94 \text{ nF}$$

Diodo hori beheko irudiko zirkuituan erabili dugu, eta, $V_{DC} = 15 \text{ V}$ -eko tentsioa aplikatuta, $4,83 \text{ mA}$ -ko intentsitatea neurtu da korrontean. (Diodoaren portaerak perfektuki jarraitzen dio Shockleyren ekuazioari).



2. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitua.

d) Kalkulatu diodoan erortzen den tentsioa eta haren asetasun-korrontea.

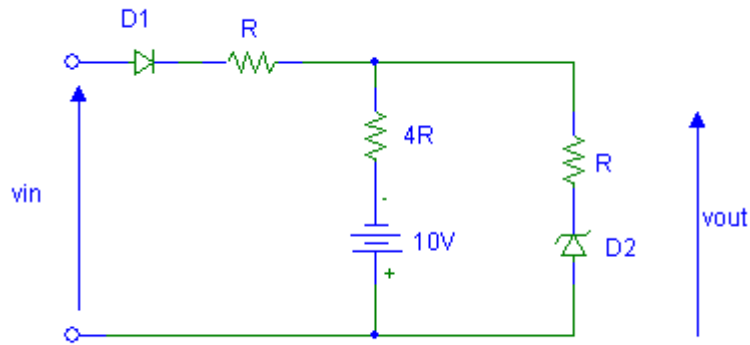
Zirkuituaren analitik:

$$V_{DC} = I_D \cdot R_1 + V_D \rightarrow V_D = V_{DC} - I_D \cdot R_1 = 0,51 \text{ V}$$

$$I_D = I_{SAT} \cdot [\exp(V_D/V_T) - 1] \rightarrow I_{sat} = 6,673 \cdot 10^{-12} \text{ A} = 6,67 \text{ pA}$$

ZIRKUITU DIODODUNA

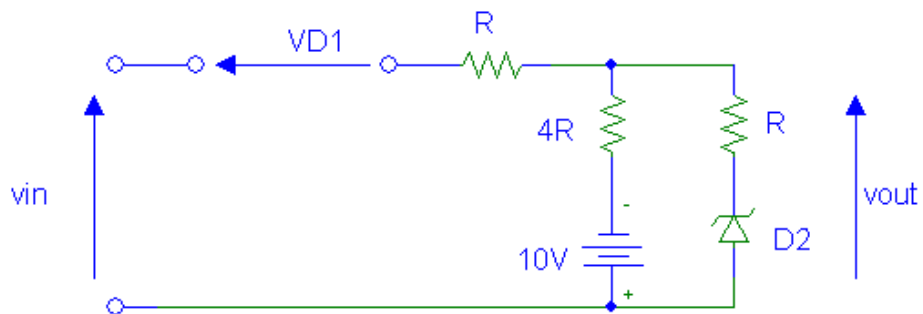
2. Kalkulatu 3. irudiko zirkuituaren transferentziaren kurba eta marraztu nolakoa izango den v_{out} irteerako seinalearen forma baldin eta sarrera $v_{in} = 20 V_p$ -eko seinale hiruki alternoa bada.



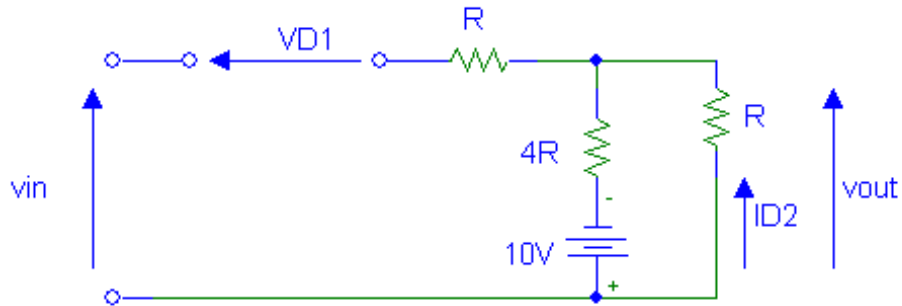
3. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu diododuna.

Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa $V_z = 4 V$ da. Gainerako ezaugarriei dagokienez, diodoak idealtzat jo daitezke.

- a) D1 OFF badago, honela geratzen da zirkuitua:



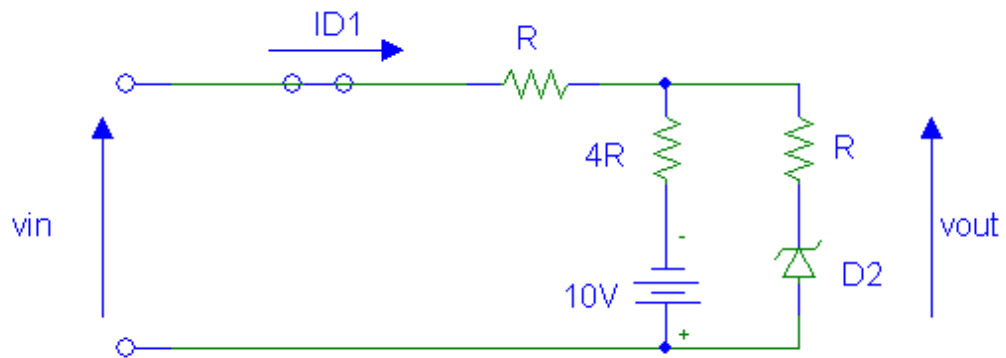
Eta D2 diodoa (begi-bistakoa denez) ON egongo da. Orduan, honela geratzen da zirkuitua:



Eta $I_{D2} = 10/5R > 0$ eta $v_{out} = -2V$, $v_{D1} = v_{in} - (-2) = v_{in} + 2$.

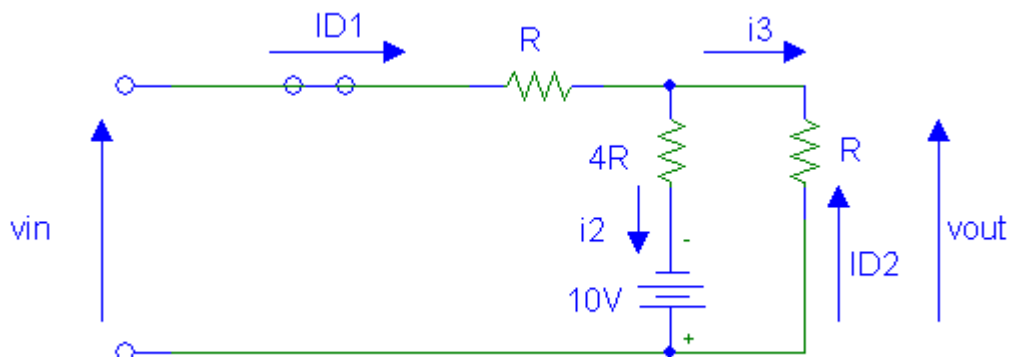
Hau honela izango da baldin eta $v_{D1} < 0 \rightarrow v_{in} < -2V$ bada.

b) Hortaz, $v_{in} > -2$ bada, D1 ON egongo da, eta honela geratuko da zirkuitua:



Hemen, hiru kasu egon daitezke D2 diodoari dagokionez. D2 ON, OFF eta HAUSTURAN EGON DAITEKE.

b1) Hasieran ($v_{in} = -2.01$ denean), D2 ON egongo da (aurreko egoeratik dator).



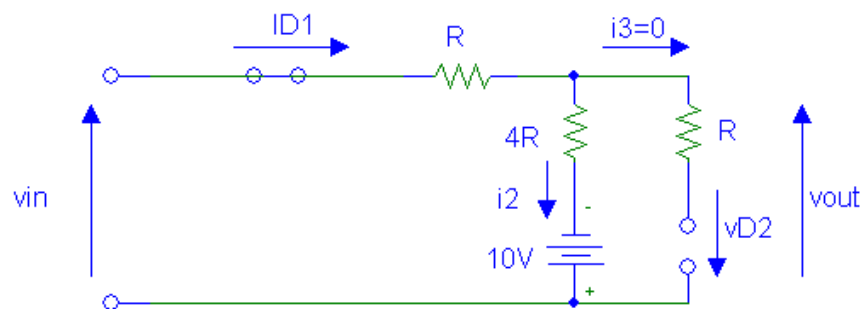
$$I_{D1} = i_2 + i_3 \rightarrow \frac{v_{in} - v_{out}}{R} = \frac{v_{out} - (-10)}{4R} + \frac{v_{out}}{R}$$

$$v_{in} - v_{out} = \frac{v_{out} + 10}{4} + v_{out} \rightarrow 4v_{in} - 4v_{out} = v_{out} + 10 + 4v_{out} \rightarrow v_{out} = \frac{4v_{in} - 10}{9}$$

$$I_{D2} > 0 \rightarrow v_{out} < 0 \rightarrow v_{in} < 2,5$$

$$[\text{eta } I_{D1} > 0 \rightarrow v_{in} > v_{out} \rightarrow v_{in} > (4 \cdot v_{in} - 10) / 9 \rightarrow 5 \cdot v_{in} > -10 \rightarrow v_{in} > -2V, \text{ bagenekienez}]$$

b2) Gero ($v_{in} = 2,51$ denean, adibidez), OFF egongo da (kasu hau errazagoa da A baino, eta lehenago analiza genezake). Orduan, honelakoa da zirkuitua:



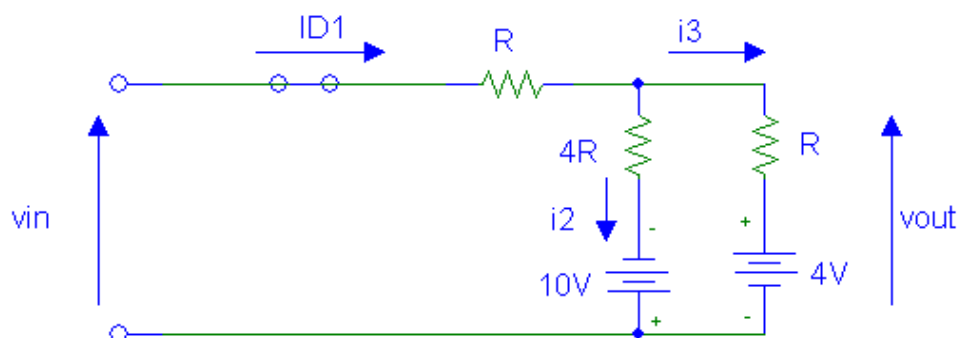
$$\text{Eta } I_{D1} = i_2 \text{ denez, } I_{D1} = i_2 = (v_{in} + 10) / 5R \rightarrow v_{out} = -10 + 4R \cdot (v_{in} + 10) / 5R = (4 \cdot v_{in} - 10) / 5$$

Noiz arte / noiz?

$$D2 \text{ hausturan sartu arte: } v_{out} < 4 \text{ bada } \rightarrow (4 \cdot v_{in} - 10) / 5R < 4 \rightarrow 4 \cdot v_{in} - 10 < 20 \rightarrow v_{in} < 7,5V$$

$$[\text{Edo, } I_{D1} > 0 \text{ eta } -4 < V_{D2} < 0 \rightarrow (v_{in} + 10) / 5 > 0 \text{ (} v_{in} > -10 \text{) ETA } -4 < -(4 \cdot v_{in} - 10) / 5 < 0 \rightarrow 4 > (4 \cdot v_{in} - 10) / 5 > 0 \rightarrow 7,5 > v_{in} > 2,5]$$

b3) Hortik aurrera ($v_{in} > 7,5$ V denean), D2 HAUSTURAN egongo da. Honelakoa da zirkuitua:



Eta, korrronteak analizatzen baditugu:

$$I_{D1} = i_2 + i_3 \rightarrow \frac{v_{in} - v_{out}}{R} = \frac{v_{out} - (-10)}{4R} + \frac{v_{out} - 4}{R}$$

$$4 \cdot (v_{in} - v_{out}) = v_{out} + 4 \cdot v_{out} - 16 \rightarrow 4v_{in} = 9 \cdot v_{out} - 6 \rightarrow v_{out} = \frac{4v_{in} + 6}{9}$$

[Hori ez dugu zertan frogatu, baina honela egingo genuke, nahi izanez gero edo hemendik hasiko bagina:

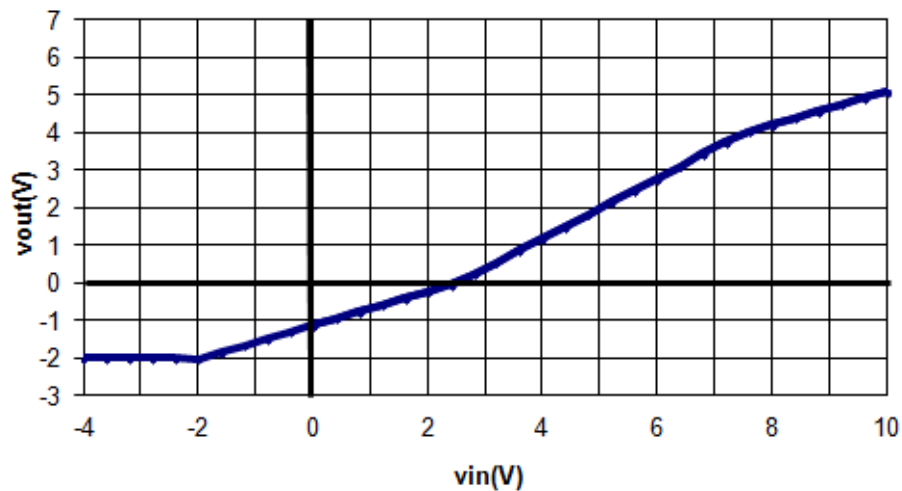
$I_{D1} > 0$ ETA $i_3 > 0 \rightarrow v_{in} > v_{out}$ ETA $v_{out} > 4 \rightarrow v_{in} > (4 \cdot v_{in} + 6)/9$ ETA $(4 \cdot v_{in} + 6)/9 > 4 \rightarrow 5 \cdot v_{in} > 6$ ETA $4 \cdot v_{in} > 30 \rightarrow v_{in} > 7,5$

LABURBILDUZ:

NOIZ	D1	D2	vout
$-\infty < v_i < -2$	OFF	ON	-2
$-2 < v_i < 2,5$	ON	ON	$(4 \cdot v_{in} - 10)/9$
$2,5 < v_i < 7,5$	ON	OFF	$4 \cdot v_{in}/5 - 2$
$7,5 < v_i < \infty$	ON	HAUST	$(4 \cdot v_{in} + 6)/9$

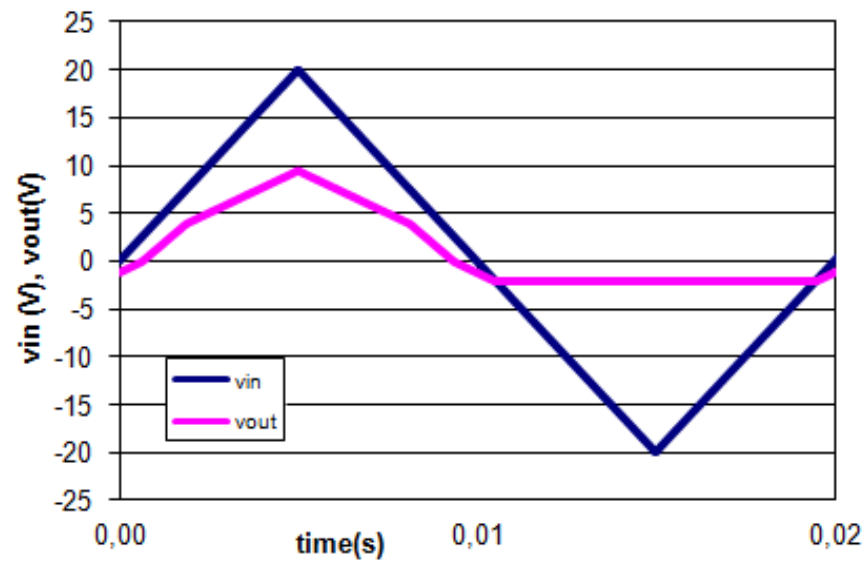
$(-10, -2)$ $(-2, -2)$ $(2,5, 0)$ $(7,5, 4)$ $(12,6)$

ETA GRAFIKOKI:



Transferentziaren kurba

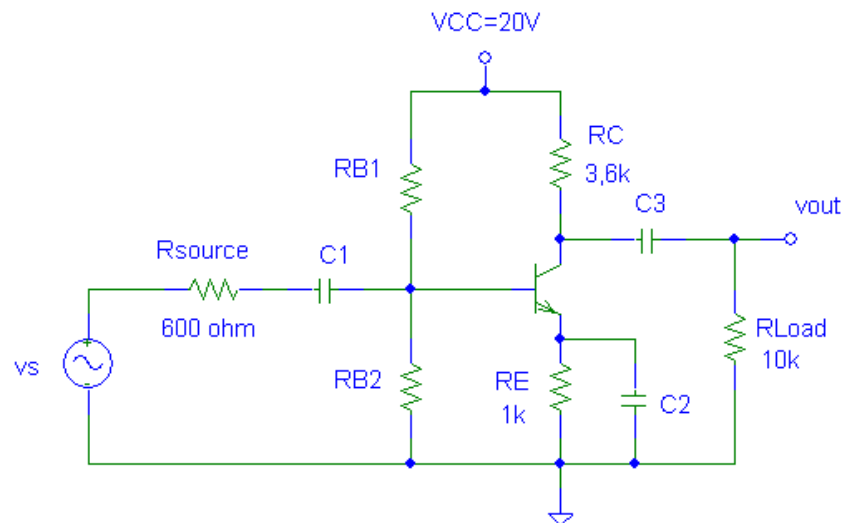
Sarrera 20 Vp-ko hirukia bada, honela geratzen da irteera:



(f=50 Hz erabili da)

IGORLE KOMUNIKO ANPLIFIKADOREA

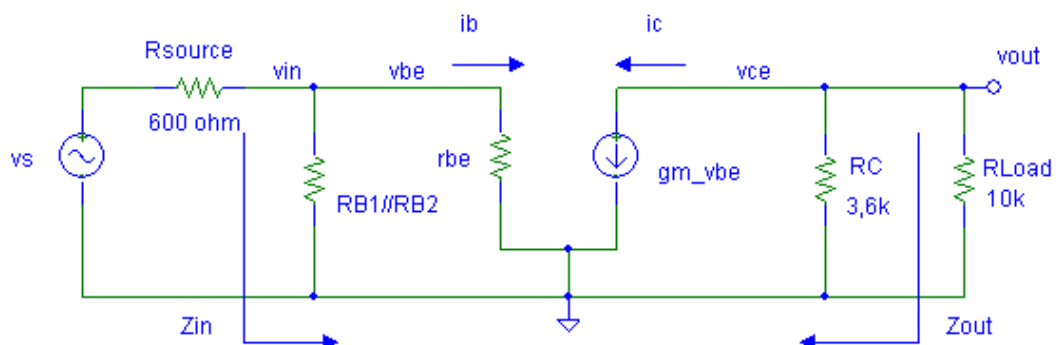
3. 4. irudiko muntaketan, ezaugarri hauek lortu nahi ditugu, besteak beste: tentsio-irabazi osoa, moduluan, 152; irteerako eta sarrerako seinaleen arteko desfasea, 180° ; eta sarrerako inpedantzia, 580Ω . Dakigunez, erabilitako BJTaren beta honako hau da: 100. Eta haren base-igorle tentsioa $V_{BE} = 0,6\text{ V}$ da, baldin eta transistorea aktiboan badago. Erantzun honako galdera hauei:



4. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

- a) **Kalkulatu lan-puntua.**

Seinale txikiko zirkuitutik abiatuko gara:



Zirkuitu honetan:

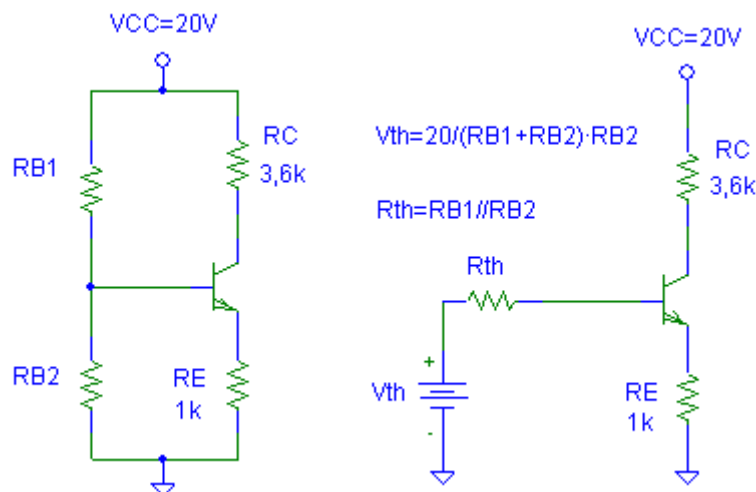
$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cdot \frac{v_{in}}{v_s} = \frac{-g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_L)}{v_{be}} \cdot \frac{v_{in}}{v_{in} + \frac{v_{in}}{Z_{in}} R_S} = -152$$

Beraz:

$$g_m \cdot (R_C // R_L) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_S}{Z_{in}}} = +152 \rightarrow g_m = \frac{152}{R_C // R_L} \left(1 + \frac{R_S}{Z_{in}}\right) = \frac{152}{2k647} \left(1 + \frac{600}{580}\right) = 116,82mA/V$$

Beraz, $I_C/V_T = g_m$ denez, $I_C = g_m \cdot V_T = 2,9206 \text{ mA}$; $I_B = I_C/\beta = 29,206 \text{ A}$
 $V_{CE} = 20 - I_C \cdot R_C - I_C \cdot [(\beta + 1)/\beta] \cdot R_E = 6,536 \text{ V} > 0$ OK, aktiboan dago.

b) **Kalkulatu baseko tentsio-banatzaila osatzen duten erresistentzien balioak.**



Bi kontu ditugu hemen:

1) $Z_{in} = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \rightarrow (r_{be} = V_T/I_B = 856 \Omega \text{ denez}) \rightarrow 580 \Omega = R_{B1} // R_{B2} // 856 \Omega$

Eta, beraz, $R_{th} = R_{B1} // R_{B2} = 1k799 = 1k8$

2) $V_{th} = |I_E| \cdot R_E + V_{BE} + I_B \cdot (R_{B1} // R_{B2}) = 3,602V$

$$V_{th} = V_{CC} / (R_{B1} + R_{B2}) \cdot R_{B2} = V_{CC} \cdot (R_{B1} \cdot R_{B2}) / (R_{B1} + R_{B2})$$

$$V_{CC} \cdot (R_{B1} // R_{B2}) / R_{B1} \rightarrow 3k6 = 20 \cdot 1k8 / R_{B1}$$

$$R_{B1} = 9k99 = 10k$$

$$R_{B1} // R_{B2} = 1k8 \rightarrow R_{B2} = 2k19 \sim 2k2$$

c) **Polarizazio-zirkuitu hau egonkorra al da?**

BAI, zeren eta $(\pm 1) \cdot R_E = 101k \gg R_{th} = (R_{B1} // R_{B2}) = 1k8$.

d) Marraztu kolektore-igorle tentsio osoa, $v_{CE}(t)$, $v_s(t)$ sarrerako seinalearen balio hauetarako:

iv. $v_s(t) = 15 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t)$

v. $v_s(t) = 45 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t)$

vi. $v_s(t) = 60 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t)$

Distortsiorik ez balego:

i. $v_s(t) = 15 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t) \rightarrow v_{ce}(t) = v_{out}(t) = -2,28 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}$

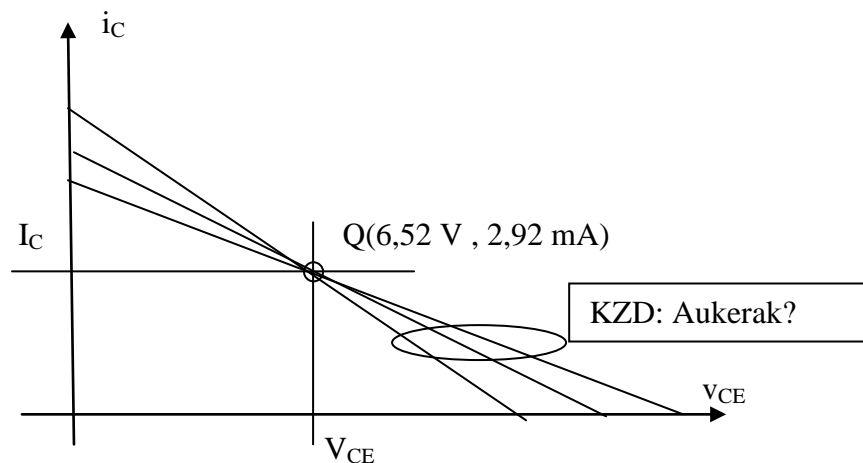
ii. $v_s(t) = 45 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t) \rightarrow v_{out}(t) = -6,84 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}$

iii. $v_s(t) = 60 \text{ mV}_p \cdot \sin(\omega t) \rightarrow v_{out}(t) = -9,12 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}$

Eta $v_{CE} = 6,52 \text{ V} + v_{out}(t)$ izango litzateke. Baina v_{out} distortsionatuko da!

Noiz agertzen da distortsioa?

Asetasunean eta etenduran sartzen garenean. Q puntuaren inguruan mugituko gara.

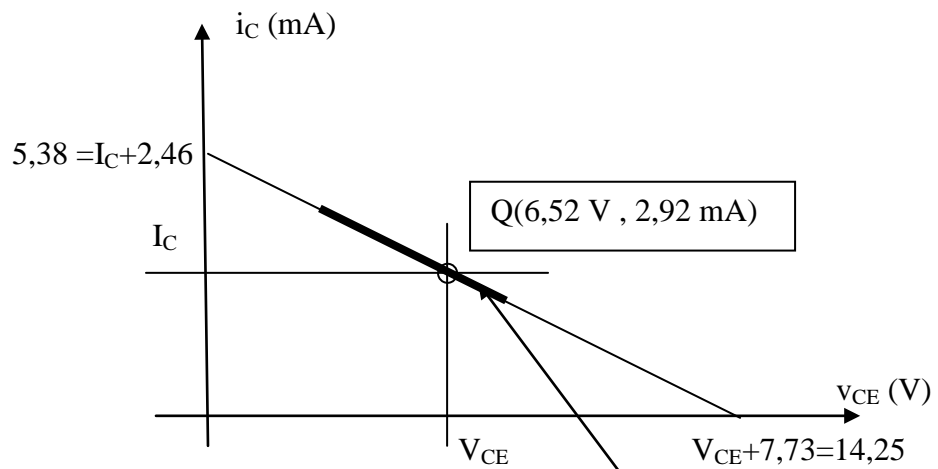


Eta KZDari jarraituz mugituko gara.

$$\frac{i_C - I_C}{v_{CE} - V_{CE}} = m_{KZD} = \frac{i_C}{v_{ce}} = \frac{i_C}{-i_C \cdot (R_C // R_L)} = \frac{-1}{(R_C // R_L)} = \frac{-1}{3k6 // 10k} = \frac{-1}{2k647}$$

$$i_{Ceten} = 0 \rightarrow v_{CEeten} = V_{CE} + I_C \cdot 2k647 = V_{CE} + I_C \cdot 2k647 = 6,52 + 7,73 = 14,25 \text{ V}$$

$$v_{CEbase}=0 \rightarrow i_{case} = I_C + V_{CE}/2k647 = 2,92+2,46=5,38 \text{ mA}$$



Asetasunean sartzen gara $v_{ce}=-6,52$ denean.

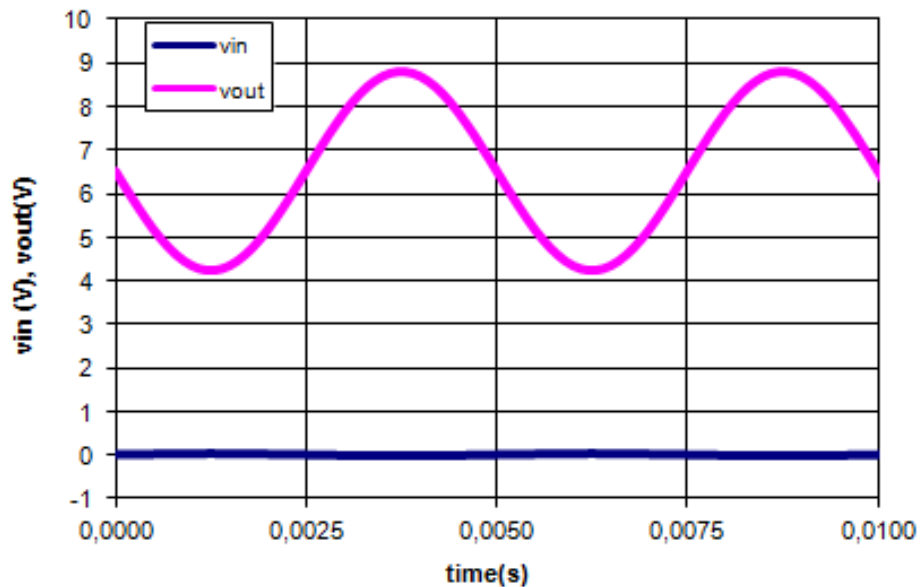
Etenduran sartzen gara $v_{ce}=+7,73$ denean.

Beraz, i) kasuan ez da distortsiorik egongo ($2,28 < 6,52$, hori da adierazi duguna);

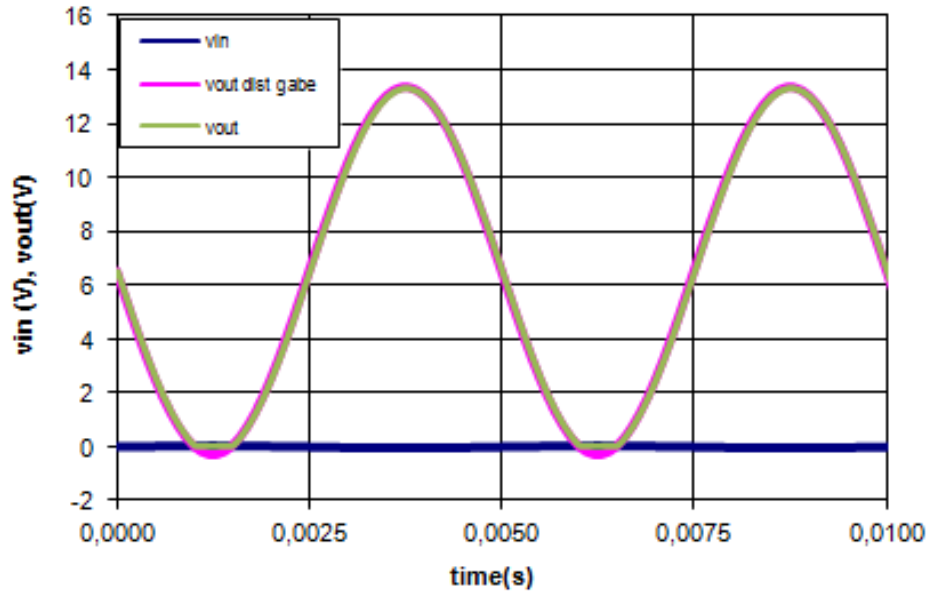
ii) kasuan, asetasunean bakarrik agertzen da distortsioa ($6,52 < 6,84 < 7,73$); eta, iii)

kasuan, bi aldeetatik ($v_p=9,12 > 7,73$).

v_{CE} (kolektore-igorle tentsio osoa adierazten badugu, honela geratzen da).

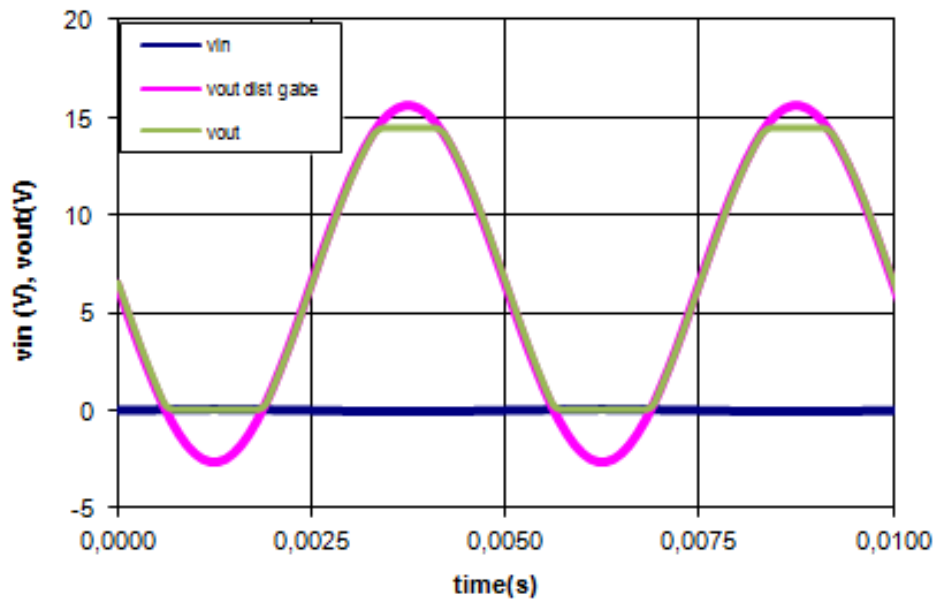


i) kasua (ez da distortsionatzen).



ii) kasua ($v_{CE}=0$ denean distortsionatzen da, asetasunean).

iii)



iv) kasua. $v_{CE}=0$ denean (asetasunean) eta $i_C=0$ (hau da, $v_{CE}=14,25$ denean) (etenduran) distortsionatzen da.

ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

4. Badugu FET transistore bat, honako parametro karakteristikoko hauek dituen: $V_T = -1V$ eta $I_{DSS} = 12\text{ mA}$.

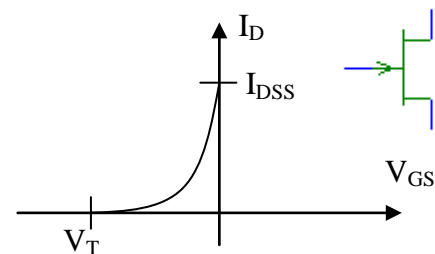
- a) Esan zer gailu mota izan daitekeen eta marraztu (aukera guztietarako) I_D - V_{GS} transistore(ar)en asetasuneko ezaugarria (transferentziaren kurba) eta dago(z)kien zirkuitu-ikurrak.

Parametroak ikusita, $I_{DSS} > 0$ denez, pasabidea n motakoa da.

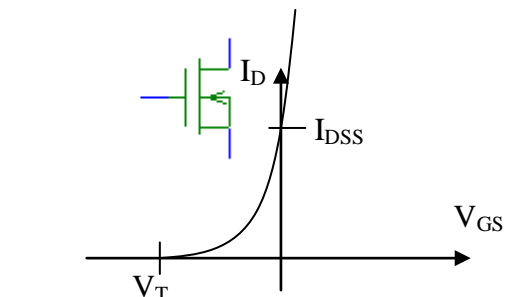
N pasabidekoetan, $V_T < 0$ bada, $V_{GS} = 0$ denean (orekan) badago pasabidea. Hortaz, JFETA edo urritze-MOSFETA izan daiteke.

n pasabideko JFETak ez du V_{GS} positiborik onartzen (atetik korronterik agertzea ez badugu nahi); MOSFETean, V_{GS} positiboak aplika daitezke, arazorik gabe.

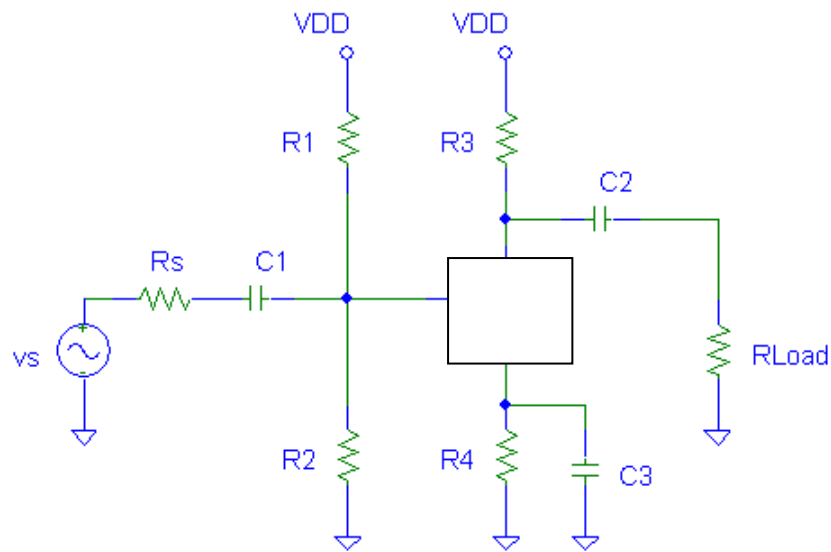
Kurbak (asetasunean) eta zirkuitu-ikurrak bi forma hauetakoak dira:



N pasabideko JFETA



N pasabideko urritze-MOSFETA



5. irudia. Laugarren ariketako zirkuitu amplifikatzailea.

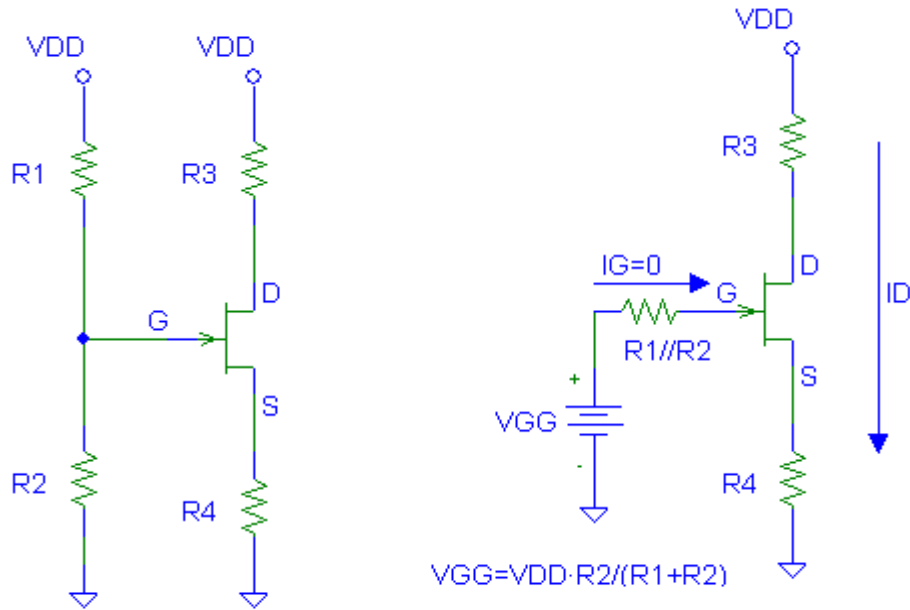
Sentsore batek ematen duen seinale ahul bat amplifikatzeko erabili nahi dugu gailua; sentsoreak irteerako (Thévenin) inpedantzia altua du ($100\text{ k}\Omega$, eta, zirkuitu irekian, 10 mVp -eko anplitudea ematen du.

Anplifikatu ondoren, $100\text{ k}\Omega$ ko Thévenin inpedantzia baliokidea duen karga batera eramango dugu seinalea.

Zirkuitu amplifikatzailea 5. irudikoa da. Zirkuituko elikatze-tentsioaren eta erresistentzien balioak honako hauek dira: $V_{DD} = 33\text{ V}$, $R_1 = \infty$, $R_2 = 1\text{ M}\Omega$, $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ eta $R_4 = 167\Omega$

Transistorea JFET bat dela onartuz, analizatu honako kontu hauek:

b) Lan-puntua.



$$V_G = 0; \quad V_S = I_D \cdot R_4; \quad V_{GS} = -I_D \cdot R_4$$

Asetasuna onartuz:

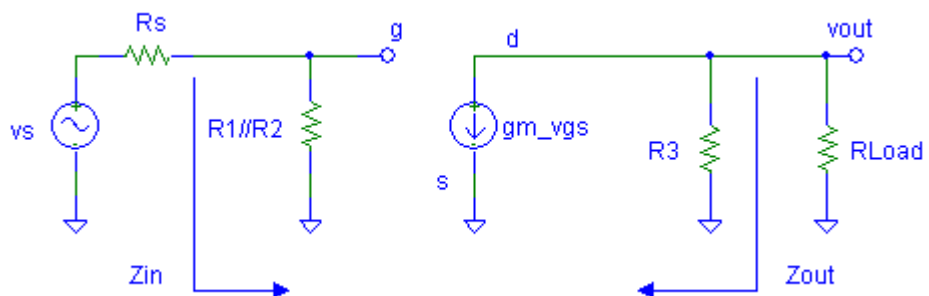
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \rightarrow -\frac{V_{GS}}{R_4} = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \rightarrow -\frac{V_{GS}}{0k167} = 12mA \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{-1}\right)^2$$

$$-V_{GS} = 2.004 \cdot (1 + V_{GS})^2 \rightarrow V_{GS} = \begin{cases} -0,5V \\ - \end{cases}$$

Balio egokia $V_{GS} = -0,5V$ izango da $\rightarrow I_D = 3mA \rightarrow V_S = 0,5V; V_D = 33 - 3 = 30V; V_{DS} = 29,5V$
 $V_{GD} = -30V < -0,5V \rightarrow OK$, asetasunean dago (pasabidea zabalik dago iturri aldean; itota, drainean).

c) Tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

Seinale txikiko zirkuitua honelakoa izango da:



$$\text{Eta } g_m = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D} = 12mA/V$$

$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cdot \frac{v_{in}}{v_s} = \frac{-g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_3 // R_L)}{v_{gs}} \cdot \frac{v_{gs}}{v_{gs} + \frac{v_{gs}}{R_2} R_S} = \frac{-g_m \cdot (R_D // R_L)}{1 + \frac{R_S}{R_2}}$$

$$A_{vs} = \frac{-g_m \cdot (R_D // R_{Load})}{1 + \frac{R_S}{R_2}} = \frac{-12mA/V \cdot (1k // 100k)}{1 + \frac{100k}{1000k}} = -10.8$$

$$Z_{in} = R_2 = 1 M\Omega \quad Z_{out} = R_3 = 1 k\Omega$$

Iturri komuneko zirkuituen tentsio-irabazia transkonduktantziarekiko proportzionala da, eta, beraz, baita polarizazio-puntuaren arabera ere.

- a) Azaldu nola aldatuko den polarizazio-puntua R_1 inpedantzia altua baina finitua bada. Horretarako, lagungarria izan daiteke I_D - V_{GS} transferentzia-kurba bereizgarria erabiltzea. Zenbatekoa da R_1 minimoa, JFETa egokiro polarizatzeko? Balio horretarako, kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$A_{vs} = \frac{-g_m \cdot (R_D // R_{Load})}{1 + \frac{R_S}{R_1 // R_2}} = \frac{-g_m \cdot 0k99}{1 + \frac{100k}{R_1 // R_2}}$$

g_m I_D -ren arabera da, eta V_{GS} -rekin igotzen da.

R_1 finitua bada, $V_G > 0$ da, eta, horren ondorioz, V_{GS} igoko da.

Noraino igo daiteke V_{GS} ? Oro har, FETetan, asetasunetik irten arte (V_{DS} jaitsiz joango baita). Baina, JFETen kasuan, $V_{GS} = 0$ tentsiora irits gintezke haietara iritsi baino lehen (ikusiko dugu), eta horixe da muga JFETetan, zeren eta (n pasabideko JFETetan) V_{GS} tentsioa ezin baita positiboa izan.

Noiz iristen gara $V_{GS} = 0$ puntura?

$$V_{GS} = 0 \text{ puntuan, } I_D = I_{DSS} = 12 \text{ mA} \rightarrow V_S = 2,004 \text{ V} \rightarrow V_G = 2 \text{ V; (eta } V_D = 33 - 12 = 21 \text{ V; } V_{GD} = -19 \text{ V} < V_T, \text{ OK)}$$

Hau da, $V_{GS} = 0$ lortzeko, $V_G = 2$ aplikatu behar da. Eta, horretarako, $20 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = V_G \rightarrow R_1 = 15 M\Omega$.

$$\text{Orduan: } g_m = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D} = 24 \text{ mA/V}$$

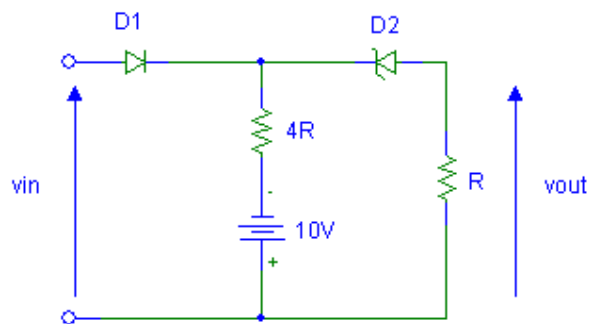
$$Z_{in} = R_1 // R_2 = 0,93939 \text{ M}\Omega, Z_{out} = R_3 = 1 \text{ k};$$

$$A_{vs} = \frac{-g_m \cdot (R_D // R_{Load})}{1 + \frac{R_s}{R_1 // R_2}} = \frac{-24 \text{ mA/V} \cdot 0,99 \text{ k}}{1 + \frac{100 \text{ k}}{939,39 \text{ k}}} = -21,47$$

ZIRKUITU DIODODUNA

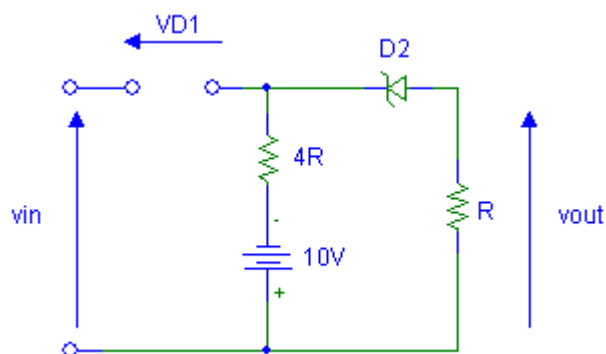
1. Kalkulatu 1. irudiko zirkuituaren transferentzia-kurba. Halaber, marraztu nolakoa izango den v_{out} irteerako seinalearen forma baldin eta sarrerako seinalea honako hau bada: $v_{in} = 20 V \cdot \sin(\omega t)$.

Datuak: Zener diodoaren haustura-tentsioa $V_z = 4 V$ da. Gainerako ezaugarriei dagokienez, diodoak idealtzat jo daitezke.

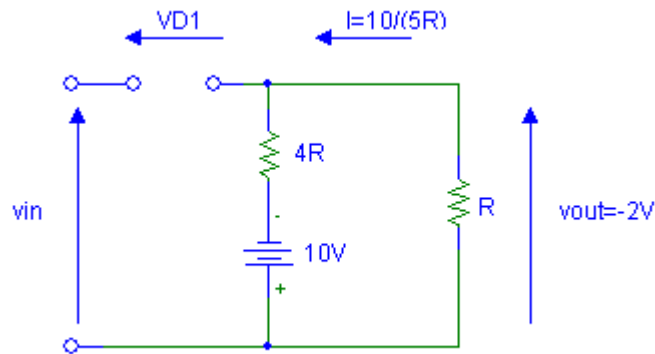


1. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitu diododuna.

- a) Demagun D1 OFF dagoela; orduan, zirkuitua honela geratzen da:

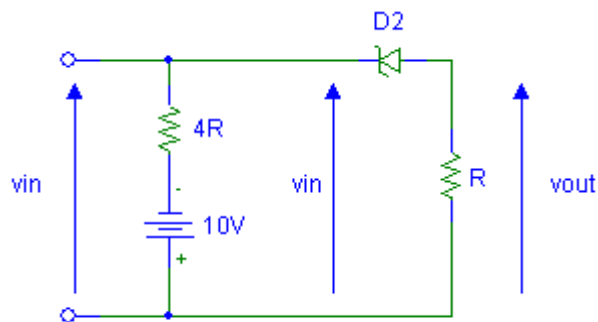


Beraz, D2 ON egongo da, $v_{out} = -2V$ izango da eta $V_{D1} = v_{in} + 2$.

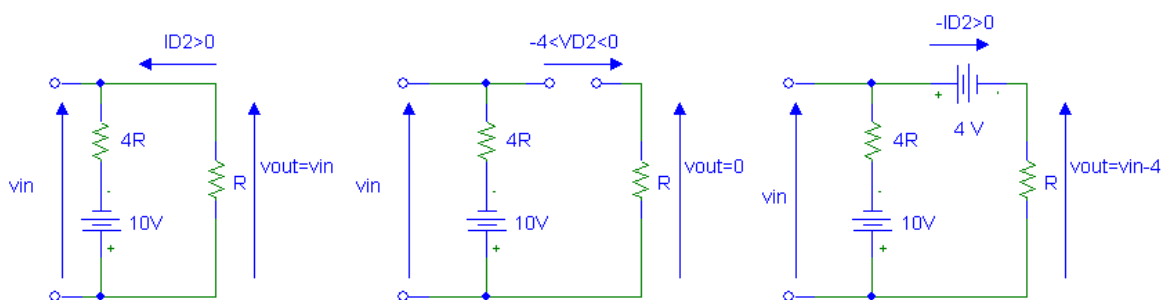


Hipotesia ondo egongo da (hau da, kasu honetan egongo gara), baldin eta $V_{D1} < 0$ bada, hau da, $v_{in} < -2$ V.

- b) Aurreko analisitik, $v_{in} > -2$ denean, D1 ON egongo da, eta zirkuitua honela geratuko da:



Eta geratzen den zirkuitu honen analisia (ia) berehalakoa da. Hiru azpikasu bereizten ditugu:



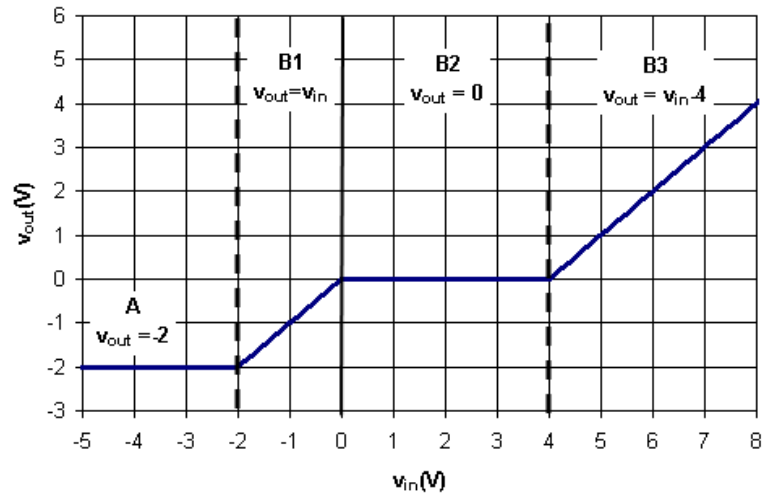
B1 – D2 ON
 $V_{out} = v_{in}$
 $I_{D2} > 0 \rightarrow v_{in} < 0$
 (eta $v_{in} > -2V$)

B2 – D2 OFF
 $V_{out} = 0$
 $-4 < V_{D2} < 0 \rightarrow 0 < v_{in} < 4$
 (eta $v_{in} > -2V$)

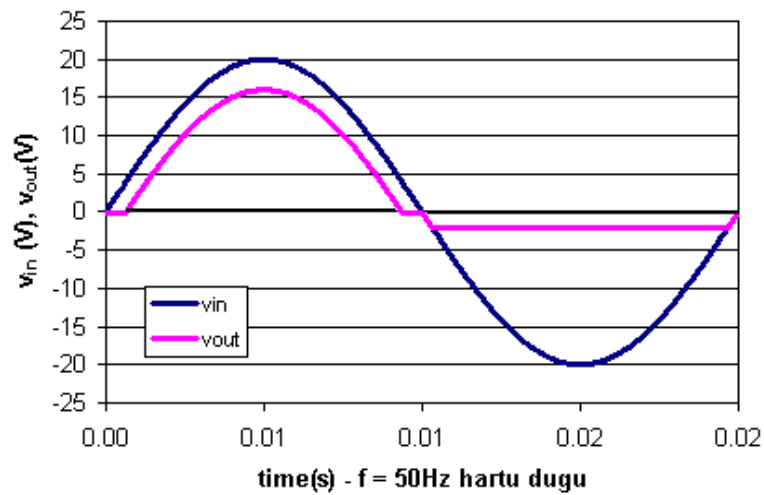
B3 – D2 HAUSTURAN
 $V_{out} = v_{in} - 4$
 $-I_{D2} > 0 \rightarrow v_{in} < 4$
 (eta $v_{in} > -2V$)

Laburbilduz:

KASUA	NOIZ	D ₁	D ₂	V _{out}
A	$-\infty < v_i < -2$	OFF	ON	-2
B1	$-2 < v_i < 0$	ON	ON	v_{in}
B2	$0 < v_i < 4$	ON	OFF	0
B3	$4 < v_i < \infty$	ON	HAUST	$v_{in} - 4$



Transferentziaren kurba

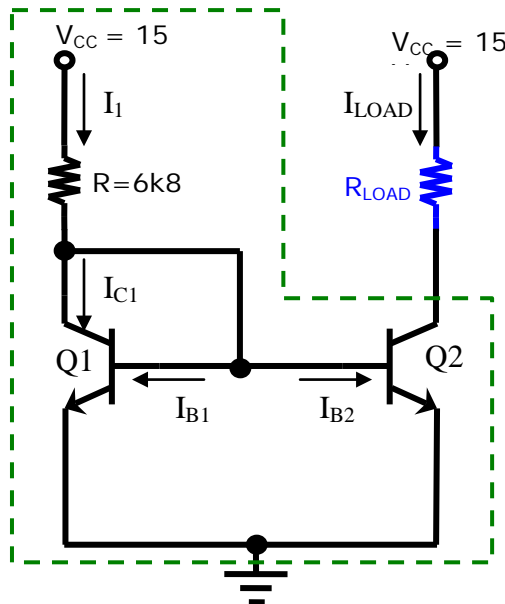


Irteerako seinalea (balio maximoa = 16 V; balio minimoa = -2 V)

KORRONTE-ISPILUA

2. Beheko irudian, korronte-ispilu baten eskema agertzen da. Muntaketa laborategian egin dugu, txip berean integraturiko bi transistore berdinekin erabiliz, eta zenbait datu neurtu ditugu:

$$V_{BE1} = V_{BE2} = 0,603 \text{ V} \quad V_{CE2} = 5,05 \text{ V} \quad I_{B1} = I_{B2} = 10,5 \mu\text{A}$$



2. irudia. Korronte-ispilua erabiliz muntatu den korronte-iturria.

Gainera, beste bi datu hauek ere badakizkigu: $I_{C0} = 0,2 \text{ pA}$ eta $V_T = 25 \text{ mV}$.

- a) Zenbatekoa da I_1 ? Eta I_{C1} ?

Zirkuituan erraz irakurtzen denez, R erresistentzian erortzen den tentsioa begi-bistakoa da:

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1} = \frac{15 - 0,603}{6k8} = 2,117 \text{ mA} \quad I_{C1} = I_1 - (I_{B1} + I_{B2}) = 2,096 \text{ mA}$$

$$I_{E1} = -(I_{C1} + I_{B1}) = -2,1065 \text{ mA}$$

- b) Zein eskualdetan lan egiten ari dira transistoreak? Zenbatekoa da haien β ?

Zehatzak izateko, Q1 aktiboaren eta asetasunaren arteko mugan dago ($V_{CB1} = 0$ delako), eta Q2 aktiboan dago.

Lehenengo transistorean, ekuazioak honela geratzen dira:

$$I_{C1} = -\alpha \cdot I_{E1} + I_{C0} \cdot (\exp(V_{CB}/V_T) - 1) = -\alpha \cdot I_{E1} \rightarrow \alpha = 0,995 \rightarrow \beta = 199,6 = I_{C1}/I_{B1}$$

c) Zenbatekoa da, gutxi gorabehera, I_{LOAD} ? Eta R_{LOAD} ? Zenbatekoa da R_{LOAD} erresistentziaren balio maximoa, $I_{LOAD} \sim I_1$ bete behar bada?

Korronte-ispilu bat da eta, beraz: $I_{LOAD} I_1 \approx = 2.117 mA$

$$[I_{LOAD} = I_{C2} = (\text{aktiboan}) = \beta \cdot I_{B2} + (\beta + 1) \cdot I_{C0} = 2,096 mA + 40 pA = 2,096 mA]$$

$$R_{LOAD} \text{ erresistentziaren kalkulua berehalakoa da: } R_{LOAD} = \frac{V_{CC} - V_{CE2}}{I_{LOAD}} = 4k7$$

Beste R_{LOAD} askorekin ere, I_{LOAD} berdina lortuko da, baldin eta Q2 modu aktibotik ateratzen ez badugu. ($R_{LOADMAX}$) $V_{CE} = 0 V$ egiten denean iritsiko da muga:

$$R_{LOADmax} = \frac{15}{I_1} = 7k08$$

d) Zenbatekoa da transistoreen asetasun-korrontea (I_S)?

[Gogoratu, $I_S = \alpha_F \cdot I_{ES} = \alpha_R \cdot I_{CS}$ da.]

Q1 transistorearen barruko korronte-osagaiak analizatuko baditugu:

$$I_{F1} = I_{F2} = I_{ES} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad I_{R1} = I_{CS} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{BC1}}{V_T}\right) - 1 \right] = 0$$

Eta, beraz, I_{C1} zuzenean V_{BE} tentsioarekin erlazionatzen da:

$$I_{C1} = \alpha_F I_F = \alpha_F I_{ES} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right] \Rightarrow \alpha_F I_{ES} = I_S = \frac{I_{C1}}{\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1} = 7.0186 \cdot 10^{-14} A$$

$$(I_S = 0,0702 pA; 70,19 fA; I_{ES} = I_S / \alpha_F = I_S / 0,995 = 70,5 fA)$$

[ariketa honetan ez ziren eskatzen, baina I_{CS} , α_R eta I_{E0} ere atera daitezke:

$$I_{C0} \cdot \alpha_R = (1 - \alpha_R \alpha_F) \cdot I_{CS} \cdot \alpha_R = (1 - \alpha_R \alpha_F) \cdot I_S$$

$$\frac{1 - \alpha_R \alpha_F}{\alpha_R} = \frac{I_{C0}}{I_S} = \frac{0,2 pA}{70,19 fA} = 2,8494$$

$$\frac{1}{\alpha_R} - \alpha_F = \frac{1}{\alpha_R} - 0,995 = 2,8494 \Rightarrow \alpha_R = \frac{1}{2,8494 + 0,995} = 0,26$$

$$I_{CS} = I_{ES} \cdot \alpha_F / \alpha_R = I_{CO} / (1 - \alpha_R \cdot \alpha_F) = 270 \text{ fA} = 0,27 \text{ pA}; I_{E0} = 0,052 \text{ pA} = 52 \text{ fA}]$$

- e) **Az aldu zer gertatuko litzatekeen berdin-berdinak ez diren (edo temperatura ezberdinean dauden) bi transistore erabiliz gero.**

I_{LOAD} korronteak ez lioke estuki jarraituko I1 korronteari, zeren eta asetasun-korronteak ezberdinak izango bailirateke eta horrek, V_{BE} berdin-berdinak aplikatzen ari garenez, (I_F eta) I_E korronte ezberdinak ekarriko bailituzke. Izan ere, I_1/I_{LOAD} erlazioa, gutxi gorabehera ($I_B \ll I_C$ onartuz), I_{ES1}/I_{ES2} erlazioak zehazten du. Adibidez, $I_{ES2} = I_{ES1}/2$ bada (Q2 10 gradu hotzago badago, adibidez), korrontea erdia izango litzateke: $I_{LOAD} = 0.5 \cdot I_1$. Aldiz, $I_{ES2} = 4 \cdot I_{ES1}$ bada (Q2 ezberdina delako, adibidez), $I_{LOAD} = 4 \cdot I_1$ espero genuke hasieran, baina, kasu honetako erresistentziekin, adibidez, ase egingo litzateke eta $I_{Load} = 15/R_{Load}$ izango litzateke.

IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

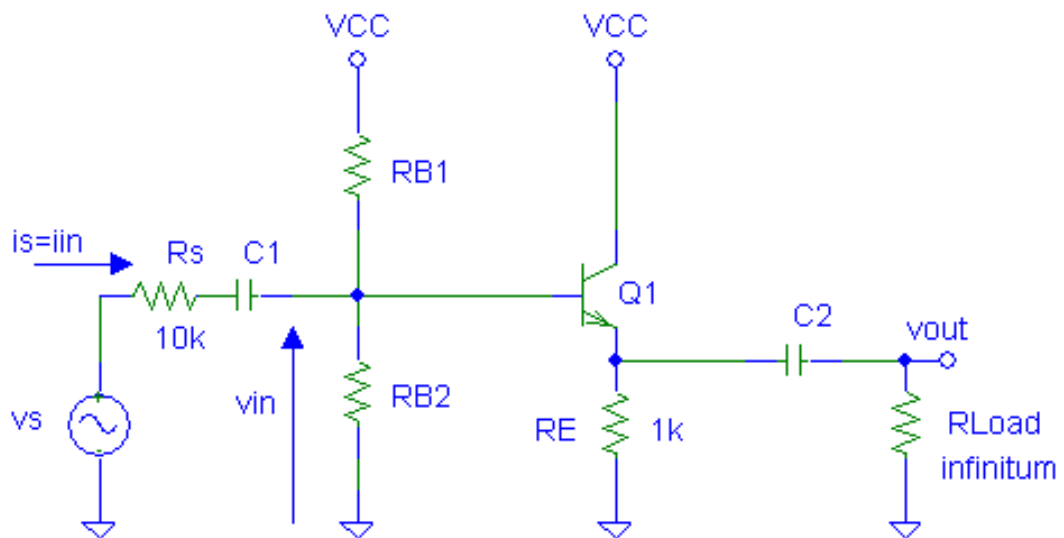
3. Badakizkigu irudiko zirkuituan erabili den BJTaren igorle komuneko egiturako h parametroak, espero diren korrante eta tentsioetarako eta erabiliko den alternoko maiztasunean (lan-maiztasuna baxua izango dela onartuko dugu):

$$h_{ie} = 1 \text{ k}$$

$$h_{fe} = 250$$

$$h_{re} \sim 0 \quad h_{oe} \sim 0$$

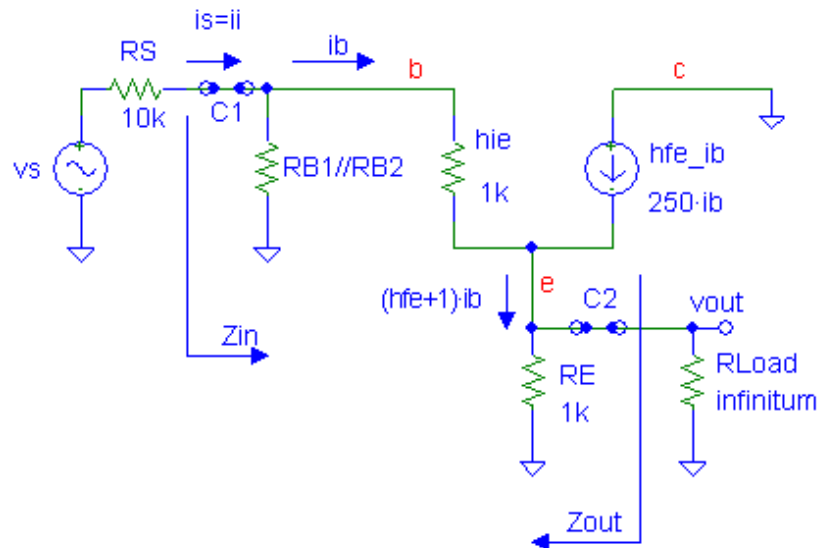
Gainera, haren eroapeneko tentsioa ere badakigu: $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$.



3. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Marraztu seinale txikiko zirkuitua.



b) Frogatu zirkuituaren sarrerako inpedantzia honako hau dela:

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in}}{i_s} = (R_{B1} // R_{B2}) // \left[h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{LOAD}) \right]$$

$$v_e = -i_e \cdot (R_E // R_{Load}) = (h_{fe} + 1) \cdot i_b \cdot (R_E // R_{Load})$$

$$v_{be} = i_b \cdot h_{ie}$$

$$v_b = v_{in} = v_e + v_{be} = i_b \cdot \left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]$$

$$i_i = i_s = i_b + i_{RB1//RB2} = i_b + \frac{v_b}{R_{B1} // R_{B2}} = i_b + \frac{i_b \cdot \left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]}{R_{B1} // R_{B2}}$$

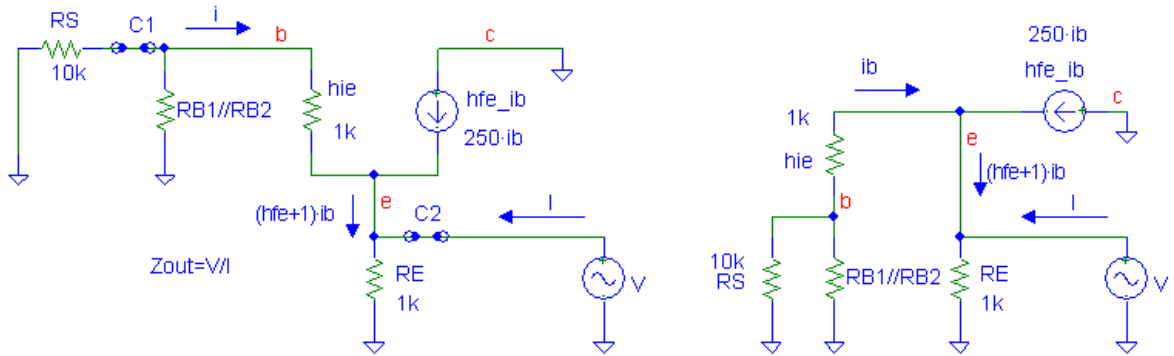
$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{i_b \cdot \left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]}{i_b + \frac{i_b \cdot \left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]}{R_{B1} // R_{B2}}}$$

$$Z_{in} = \frac{\left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]}{1 + \frac{\left[(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie} \right]}{R_{B1} // R_{B2}}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})} + \frac{1}{R_{B1} // R_{B2}}}$$

$$Z_{in} = \left[h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) \right] // (R_{B1} // R_{B2})$$

c) Frogatu zirkuituaren irteerako inpedantzia honako hau dela:

$$Z_{out} = R_E // \left(\frac{h_{ie} + (R_{B1} // R_{B2} // R_S)}{h_{fe} + 1} \right)$$



$$-i_b = \frac{V}{h_{ie} + (R_S // R_{B1} // R_{B2})}$$

$$I = \frac{V}{R_E} - (h_{fe} + 1) \cdot i_b = \frac{V}{R_E} + (h_{fe} + 1) \cdot \frac{V}{h_{ie} + (R_S // R_{B1} // R_{B2})}$$

$$Z_{out} = \frac{V}{I} = \frac{V}{\frac{V}{R_E} + \frac{V \cdot (h_{fe} + 1)}{h_{ie} + (R_S // R_{B1} // R_{B2})}} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{h_{fe} + 1}{h_{ie} + (R_S // R_{B1} // R_{B2})}}$$

$$R_E // \left(\frac{h_{ie} + (R_{B1} // R_{B2} // R_S)}{h_{fe} + 1} \right)$$

d) Frogatu zirkuitu honetako tentsio-irabazia honela kalkula daitekeela:

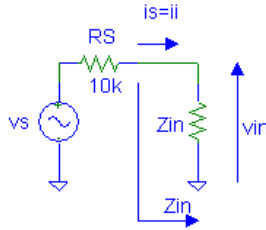
$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = A_{vi} \cdot \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_S}$$

$$A_{vi} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})}{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie}}$$

$$v_{in} = v_b = i_b \cdot [(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie}]$$

$$v_{out} = v_e = i_b \cdot (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})$$

$$A_{vi} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})}{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie}}$$



$$v_{in} = v_s \cdot \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}}$$

$$A_{vs} = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{in}}{v_s} \cdot \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} A_{vi} = \frac{Z_{in}}{R_S + Z_{in}} \cdot \frac{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load})}{(h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_{Load}) + h_{ie}}$$

e) **Frogatu karga-zuzen dinamikoaren malda (i_c - v_{CE} planoan) $m_{KZD} \sim -1/R_E$ dela (gutxi gorabehera).**

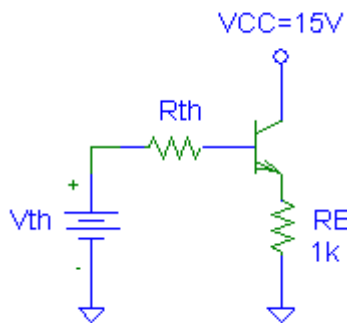
$$v_e = (h_{fe} + 1) \cdot i_b \cdot (R_E // R_{Load}) = (h_{fe} + 1) \cdot \frac{i_c}{h_{fe}} \cdot (R_E // R_{Load})$$

$$v_{ce} = v_c - v_e = 0 - v_e = -i_c \cdot \frac{h_{fe} + 1}{h_{fe}} \cdot (R_E // R_{Load})$$

$$\frac{i_c}{v_{ce}} = m_{KZD} = -\frac{1}{\frac{h_{fe} + 1}{h_{fe}} \cdot (R_E // R_{Load})} = -\frac{1}{\frac{251}{250} \cdot (R_E // \infty)} \Rightarrow m_{KZD} \approx -\frac{1}{R_E}$$

Orain, $V_{CC} = 15 \text{ V}$ eta $R_{B1} = 50 \text{ k}\Omega$ finkauko ditugu.

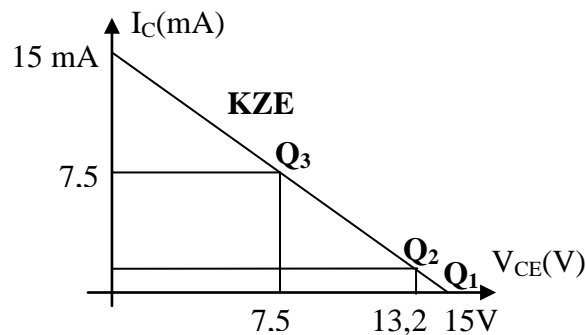
f) **Kalkulatu polarizazioa eta kokatu (marratzuz) Q puntua karga-zuzen estatikoan, hiru R_{B2} hautarako: 0, 10 k Ω eta 75 k Ω . Anlizatu lortutako emaitzak.**



R_{B2}		$V_{th} (V)$	$R_{th} (k\Omega)$	$I_B (A)$	$I_C (mA)$	$V_{CE} (V)$
		$V_{CC} \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$	$\frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$	$\frac{V_{th} - V_{BEON}}{R_{th} + (\beta + 1) \cdot R_E}$ (E _{fe} aplikatuz)	$\beta \cdot I_B$	$V_{CC} - (\beta + 1) \cdot I_B \cdot R_E$
0	Q1	0	0	-2,39 < 0 → 0 etenik	0	15V
10 kΩ	Q2	2,5	8k333	7,33	1,83	13,16
75 kΩ	Q3	9	30k	29,9	7,47	7,5

Beraz, $R_{B2}=0$ erresistentziarekin, transistorea etenik dago (gogoratu laborategiko praktiketan potentziometroaz egin genuena). Ezin du aplikatu. Zin, Zout, Av formulak ezin dira aplikatu $R_{B2}=0$ erresistentziarako.

$$15 = I_C \cdot \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot R_E + V_{CE} \Rightarrow I_C = \frac{15 - V_{CE}}{\frac{\beta + 1}{\beta} R_E} \approx \frac{15 - V_{CE}}{R_E} = \frac{15 - V_{CE}}{1k}$$



g) R_{B2} horietarako, kalkulatu A_v , Z_{in} , Z_{out} eta tarte dinamikoa, eta marraztu karga-zuzen dinamikoak.

	Langunea	$Z_{in} (k)$	$Z_{out} ()$	A_{vs}	Tarte dinamikoa
$R_{B2} = 0$	Etenduran	-	-	-	-
$R_{B2} = 10 k$	Aktiboan	8k066	21,6	0,445	1.84 Veten - 13.2 ase
$R_{B2} = 75 k$	Aktiboan	26k81	32,7	0,725	Simetrikoa (0-15)

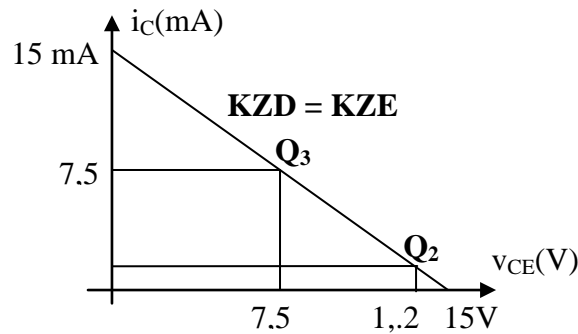
$$m_{KZD} = m_{KZE} = -1/R_E$$

Beraz, KZD eta KZE bat datoz.

Lehenengo puntuak (Q1-ek) ez digu balio.

Bigarren puntuarekin (Q2-rekin), etendurarantz dagoen tartea mugatzen du tarte dinamikoa (etenduran sartzeko, $15-13,16 = 1,84$ V; asetzeko, 13,16 V).

Hirugarren puntua (Q3) KZDaren erdian dago, eta tarte dinamikoa simetrikoa izango da ($v_{cease} = -7,5$ V, $v_{ceeten} = 7,5$ V).



h) Hiru R_{B2} horietarako emaitzak ikusita, zein R_{B2} erabiliko zenuke?

Lehenengo erresistentziak ($R_{B2} = 0$) ez digu balio. Noski, etenduran polarizatzen du transistorea.

Bigarrenak eta hirugarrenak egokiak izan daitezke.

Hirugarrenarekin, sarrerako inpedantzia eta tentsio-irabazia handiagoak dira, eta tarte dinamikoa, berriz, simetrikoa eta oso zabala. Aukerarik onena izan daiteke, beraz.

Dena dela, bigarren erresistentziarekin, irteerako inpedantzia baxuagoa da (interesgarria, R_{load} asko jaisten badugu).

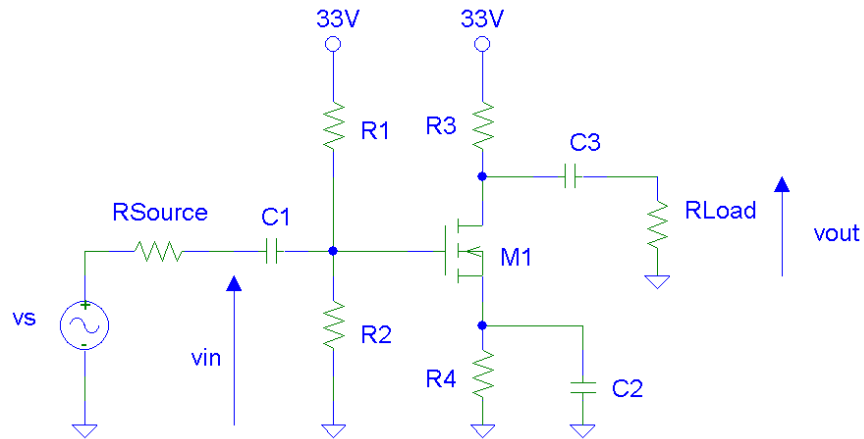
Polarizazio-puntua b i erresistentzietan da egonkorra ($\beta \cdot R_E = 250 \text{ k} \gg 8 \text{ k}, 30 \text{ k}$) (hirugarren erresistentziarekin, ez da bigarrenarekin bezain egonkorra, baino ondo dago).

ITURRI KOMUNIKAZIO ANPLIFIKADOREA

4. Irudiko zirkuituan erabili den FETaren parametro nagusiak honako hauek dira:

$$|V_T| = 4 \text{ V}$$

$$|I_{DSS}| = 16 \text{ mA}$$

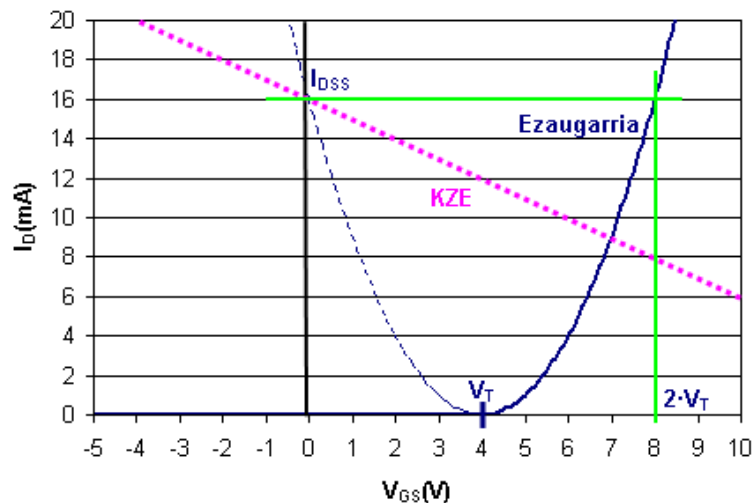


4. irudia. Laugarren ariketako anplifikadorea.

Datuak: $R_1 = 1,7 \text{ M}$, $R_2 = 1,6 \text{ M}$, $R_3 = 2 \text{ k}$, $R_4 = 1 \text{ k}$, $R_{\text{source}} = 25 \text{ k}$
 $R_{\text{LOAD}} = 2 \text{ k}$

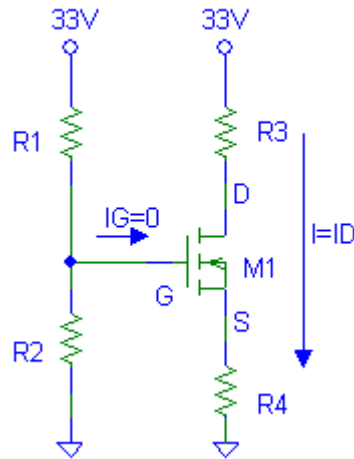
a) Zer FET mota da? Marraztu haren asetasuneko ezaugarri-kurba eta adierazi I_{DSS} eta V_T .

N PASABIDEKO ugaltze (metaketazko) MOSFETa $\rightarrow V_T = +4 \text{ V}$, $I_{DSS} = +16 \text{ mA}$



($I_D - V_{GS}$ ezaugarria asetasunean + KZE)

b) Identifikatu iturria eta draina, eta kalkulatu polarizazio-puntua.



$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = \frac{33V \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 16V$$

$$V_S = I \cdot R_4 = I_D \cdot R_4 \Rightarrow V_{GS} = 16V - I_D \cdot R_4 \Leftrightarrow I_D = \frac{16V - V_{GS}}{1k} \text{ (RZE)}$$

$$\text{Asetasunean badago, } I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$$

$$I_D = \frac{16V - V_{GS}}{R_4} = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow \frac{16V - V_{GS}}{1k} = 16mA \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{4V}\right)^2$$

$$\frac{16V - V_{GS}}{16} = \left(1 - \frac{V_{GS}}{4V}\right)^2 \Rightarrow 1 - \frac{V_{GS}}{16} = 1 + \frac{V_{GS}^2}{16} - \frac{2 \cdot V_{GS}}{4}$$

$$\frac{V_{GS}^2}{16} - \frac{8 \cdot V_{GS}}{16V} + \frac{V_{GS}}{16} = 0 \Rightarrow V_{GS} = \begin{cases} 0V & \text{XX} \\ 7V & \text{OK} \rightarrow I_D = 9mA \end{cases}$$

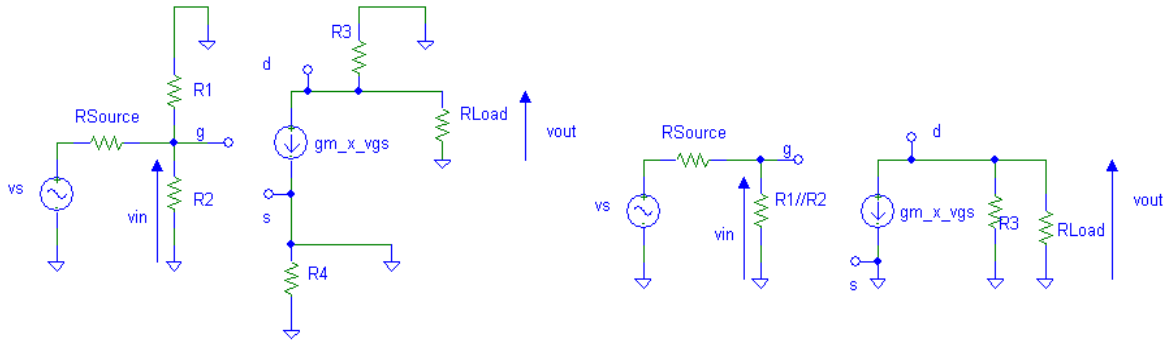
$$V_D = 33 - I_D \cdot R_3 = 33 - 18 = 15V$$

$$V_{GD} = 1V < V_T \rightarrow \text{Asetasunean dago, ok}$$

Seinale txikiko zirkuituari dagokionez:

c) Identifikatu egitura.

Iturri komuneko egitura (seinalea atetik sartu eta drainetik ateratzen da):



$$g_m = \frac{2}{4V} \cdot \sqrt{9mA \cdot 16mA} = 6mA/V$$

d) Kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$Z_{in} = R_1 // R_2 = 824k\Omega \quad Z_{out} = R_3 = 2k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = - \frac{g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_3 // R_{Load})}{\frac{v_{gs}}{R_1 // R_2} \cdot [R_1 // R_2 + R_{source}]}$$

$$A_v = -g_m \cdot (R_3 // R_{Load}) \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{source}} = -6mA/V \cdot 1k \cdot \frac{824k24}{25k + 824k24} = -6 \cdot 0.97 = -5.82$$

e) Zirkuitu honetan, erabil al daiteke $|V_T|$ eta $|I_{DSS}|$ berberak dituen n pasabideko JFET bat?

Oro har, ezetz pentsa dezakegu: JFETak orekan pasabidea duenez, ezin da ugaltze-MOSFET baten baliokidea izan. (← erantzun hori bilatzen genuen)

[Baina zenbait kasutan funtziona zezakeen... Hemen, FETa ipintzen badugu, ohi bezala ebazten saiatuz gero, asetasuna onartuz ($V_G = 16V$, eta abar), $I_D = 16mA$, $V_{GS} = 0V$, $V_S = 16V$, $V_D = 1V$ eta $\rightarrow V_{GD} = 15V > 0$ geratzen zaigu! Hori ezin da soluzioa izan!

Izan ere, kasu honetan, muntaketa eginez gero, zuzenean polarizatuko litzateke GS juntura].

PN JUNTURA – DIODOA

2. Juntura latz laua duen siliziozko ($n_i=10^{10} \text{ cm}^{-3}$) diodo bati buruz, ezaugarri hauek dakizkigu:

$$N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad \phi_T = 0,921 \quad A = 1 \text{ mm}^2 \quad (V_T = 25\text{mV} \quad \epsilon_{\text{Si}} = 1,044 \text{ pF/cm})$$

- a) Kalkulatu anodoko dopaketa.

Dakigunez, $\phi_T = V_T \cdot \ln \left[\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right] \Rightarrow N_A = \frac{n_i^2}{N_D} \cdot e^{\frac{\phi_T}{V_T}} \rightarrow N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

- b) Kalkulatu orekako eskualde hustuaren zabalera eta junturako kapazitatea.

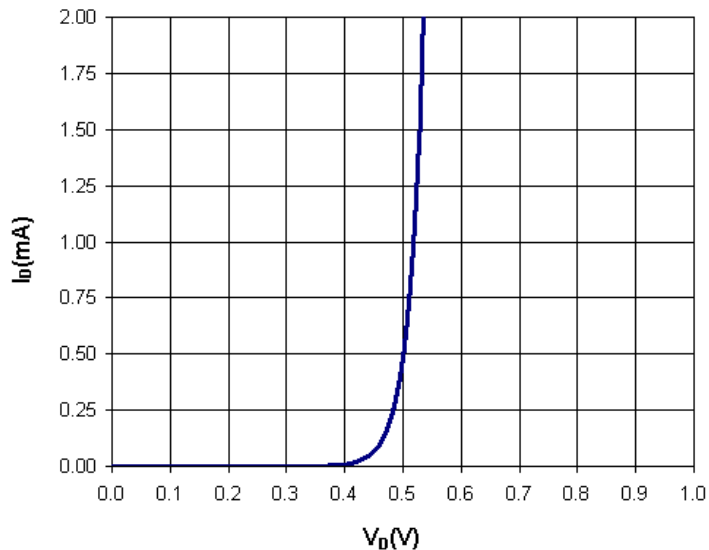
Formula aplikatuz, $l_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi_T} \rightarrow l_0 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,11 \text{ um}$

Eta $C_{j0} = A \cdot \epsilon / l_0 = 0,947 \text{ nF} (1 \text{ nF})$

- c) Kalkulatu orekako eremu elektrikoaren balio maximoa.

$$\frac{1}{2} \cdot |E_{\text{max}}| \cdot l_0 = \phi_T \implies |E_{\text{max}}| = 2 \cdot \phi_T / l_0 = 1,67 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$$

Diodoaren serieko erresistentzia ez da aintzat hartzeko modukoa, eta, hortaz, diodoaren portaerak perfektuki jarraitzen dio beheko irudiko Shockleyren ekuazioari.



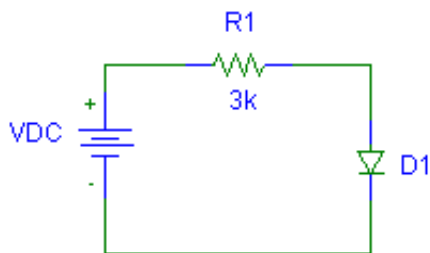
1. irudia. Lehenengo ariketako diodoaren I-V kurba.

d) Kalkulatu diodoaren asetasun-korrontea.

Grafikotik datu bat hartuz (adibidez, $I_D(0.5 \text{ V}) = 0,5 \text{ mA}$):

$$I_D = I_{sat} \cdot \left(\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right) \Rightarrow I_{sat} = \frac{I_D}{\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1} \approx \langle \exp \gg 1 \rangle \approx I_D \cdot \exp\left(-\frac{V_D}{V_T}\right) \quad I_{sat} \sim 1 \text{ pA}$$

e) Diodoa beheko zirkuituan erabiltzen badugu, $V_{DC} = 2 \text{ V}$ aplikatuz gero, zenbateko korrontea izango dugu? Zenbateko tentsioa agertuko da diodoan? Eta, $V_{DC} = 10 \text{ V}$ aplikatzen badugu?



2. irudia. Lehenengo ariketako zirkuitua.

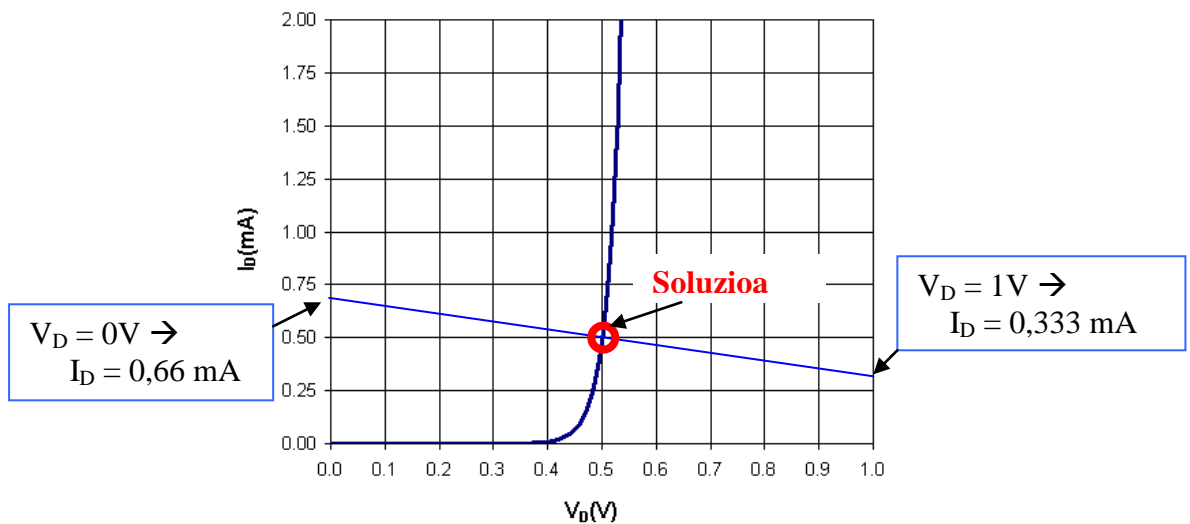
e1) $V_{DC} = 2V$

Zirkuituak ematen digun ekuazioa hau da: $I_D = \frac{V_{DC} - V_D}{3k\Omega} = \frac{2 - V_D}{3k\Omega}$ (Karga-zuzena)

Diodoaren I-V ezaugarria: $I_D = I_{sat} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right] = 10^{-12} A \cdot \left[\exp\left(\frac{V_D}{25mV_T}\right) - 1 \right]$

Grafikoki zein iteratuz egin daiteke.

Grafikoki, karga-zuzena I-V ezaugarriaren gainean marraztuz:



Iteratuz:

$$V_D = V_T \cdot \ln \left[1 + \frac{I_D}{I_{sat}} \right] \Rightarrow \left\langle I_D = \frac{V_{DC} - V_D}{R} \right\rangle \Rightarrow V_D = 25mV \cdot \ln \left[1 + \frac{(2 - V_D) / 3k\Omega}{1pA} \right]$$

$$V_D=0 \rightarrow V_D = 0,50794 V \rightarrow V_D = 0,50062 V \rightarrow V_D=0,50074 \rightarrow V_D=0,50074$$

Beraz, $V_D = 0,5 V$, eta $I_D = 0,5 mA$.

e2) $V_{DC} = 10 V$

Iteratuz, $V_D = 25mV \cdot \ln \left[1 + \frac{10 - V_D}{3k\Omega \cdot 1pA} \right]$

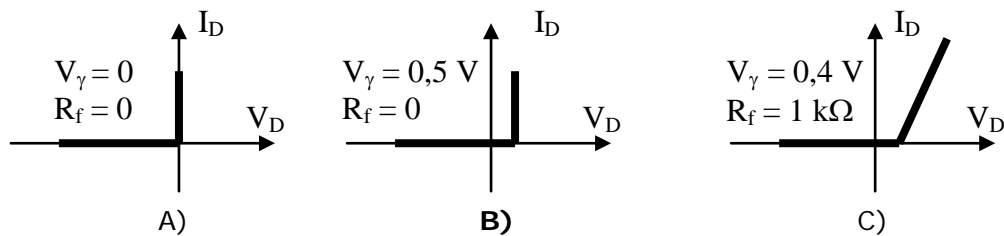
$$V_D=0 \rightarrow V_D = 0,54818 V \rightarrow V_D = 0,54677 V \rightarrow V_D=0,54677$$

Beraz, $V_D = 0,547 \text{ V}$, eta $I_D = 3,15 \text{ mA}$.

Kasu honetan, grafikoki ezin da egin, iruditik kanpo geratzen da eta. Baina gutxi gorabehera egin daiteke: $V_D = 0,5 \text{ V}$ hartuz $\rightarrow I_D = (10 - 0,5) / 3k = 3,17 \text{ mA}$.

f) Zure ustez, beheko modeloak ikusita, zein da egokiena diodoaren funtzionamendua modelatzeko?

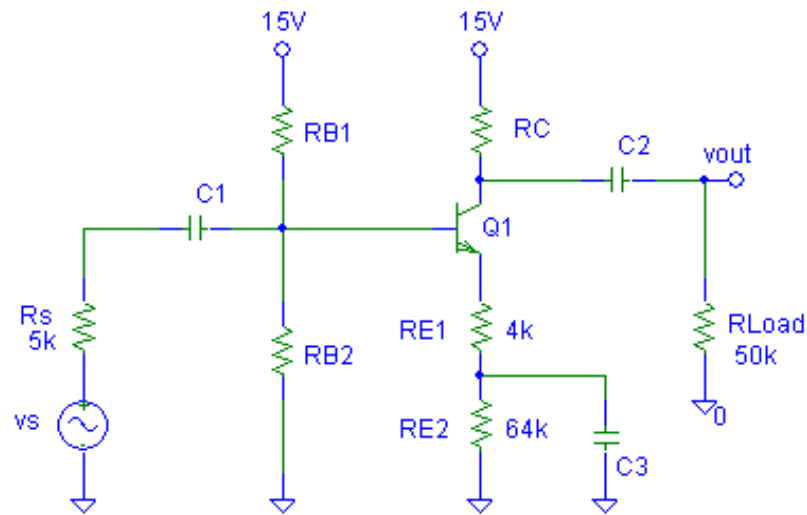
B da egokiena (A baino zehatzagoa da; eta C ez dagokio diodo honi: V_y hori baxu samarra eta R_f handiegia dira; aldiz, $V_y = 0,52 \text{ V}$ eta $R_f = 6,7$ erabiliz, oso ondo egongo litzateke, B) bezain ondo).



3. irudia. Ebaluatu nahi ditugun hurbilketak.

IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. Beheko irudiko zirkuituan erabili den BJT transistorearen $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ eta haren igorle komuneko korrante-irabazia $\beta = 100$. Zirkuituari dagokionez, $I_C = 0,118 \text{ mA}$, $Z_{out} = 39 \text{ k}\Omega$ eta $Z_{in} = 26,09 \text{ k}\Omega$ izatea nahi dugu.



4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Kalkulatu R_C kolektoreko erresistentzia eta baseko tentsio-banatzaila osatzen duten R_{B1} eta R_{B2} erresistentziak.

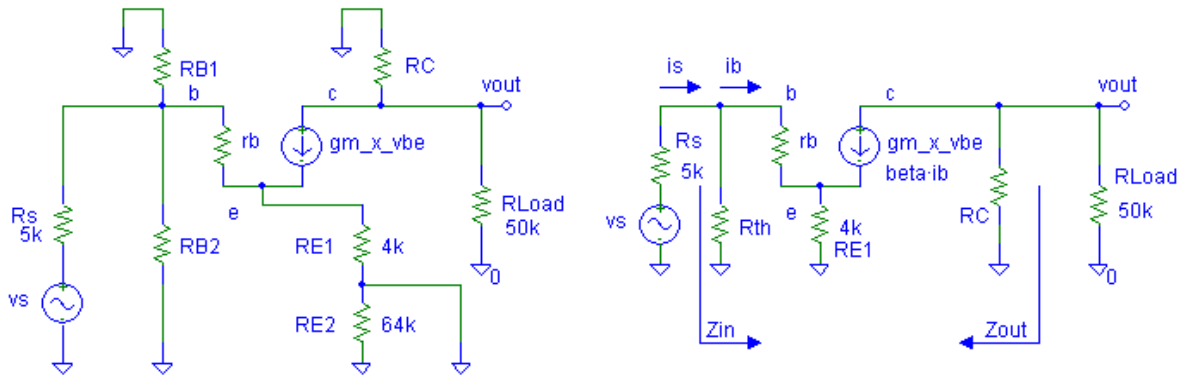
$$I_C = 0,118 \text{ mA} \rightarrow I_B = 1,18 \mu\text{A}, I_E = 0,11918 \text{ mA}$$

$$V_E = 8,10424 \text{ V}$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 8,80424 \text{ V}$$

$$r_b = V_T / I_B = 21,18 \text{ k}$$

$$g_m = I_C / V_T = 4,72 \text{ mA/V} \quad g_m \cdot v_{be} = \beta \cdot i_b$$



$$Z_{out} = R_C \rightarrow R_C = 39 \text{ k}$$

$$Z_{in} = v_b/i_s = R_{th} // [r_b + (\beta + 1) \cdot R_{E1}] = 26 \text{ k} \Omega \rightarrow R_{th} = 27 \text{ k} \Omega \quad V_{th} = V_B +$$

$$I_B \cdot R_{th} \rightarrow V_{th} = 8.84 \text{ V}$$

$$V_{th} = 15 / (R_{B1} + R_{B2}) \cdot R_{B2} = 15 \cdot R_{th} / R_{B1} \rightarrow R_{B1} = 47 \text{ k} \Omega$$

$$R_{B2} = 67 \text{ k} \Omega$$

$$V_{CE} = 15 - I_C \cdot R_C - |I_E| \cdot (R_{E1} + R_{E2}) = 2.294 \text{ V}$$

b) Lan-puntua egonkorra al da? Arrazoitu erantzuna.

Bai, zeren eta $\beta \cdot (R_{E1} + R_{E2}) \gg R_{th}$ betetzen baita.

c) Kalkulatu tentsio-irabazia eta korrante-irabazia. Magnitude horiek beta parametroaren araberakoak al dira?

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cdot \frac{v_{in}}{v_s}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = A_{vi} = \frac{-g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_L)}{\frac{v_{be}}{r_b} \cdot (r_b + (\beta + 1) R_{E1})} = \frac{-g_m \cdot r_b \cdot (R_C // R_L)}{r_b + (\beta + 1) R_{E1}} = \frac{-\beta \cdot (R_C // R_L)}{r_b + (\beta + 1) R_{E1}} = -5.395 - 5$$

$$\frac{v_{in}}{v_s} = \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} = \frac{26.09}{5 + 26.09} = 0.839$$

$$A_v = A_{vi} \cdot \frac{v_{in}}{v_s} = -5.395 \cdot 0.839 = -4.53$$

$$\frac{v_{in}}{v_s} = \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} = \frac{26.09}{5 + 26.09} = 0.839$$

$$A_i = \frac{i_{LOAD}}{i_s} = \frac{v_{out}/R_{LOAD}}{v_{in}/Z_{in}} = \frac{v_{out}}{v_{in}} \cdot \frac{Z_{in}}{R_{LOAD}} = -5.395 \cdot \frac{26k09}{50k} = -2.815$$

Betarekiko menpekotasuna:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-\beta \cdot (R_C // R_L)}{\frac{V_T}{I_C/\beta} + (\beta + 1)R_{E1}} \approx -\frac{R_C // R_L}{\frac{V_T}{I_C} + R_{E1}} \quad \beta\text{-rekiko ia independentea}$$

$$\frac{v_{in}}{v_s} = \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} = \frac{R_{th} // \left[\frac{V_T}{I_B} + (\beta + 1) \cdot R_{E1} \right]}{R_s + R_{th} // \left[\frac{V_T}{I_B} + (\beta + 1) \cdot R_{E1} \right]} \approx \frac{R_{th}}{R_s + R_{th}} \quad \beta\text{-rekiko nahiko independentea}$$

d) Marraztu, grafiko bakarra erabiliz, v_s (sarrerako seinalea) eta v_{ce} (kolektore-igorle tentsioaren osagai alternoa) bi kasu hauetan:

d1) $v_s(t) = 300 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$

d2) $v_s(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$

Arrazoitu lortutako emaitzak.

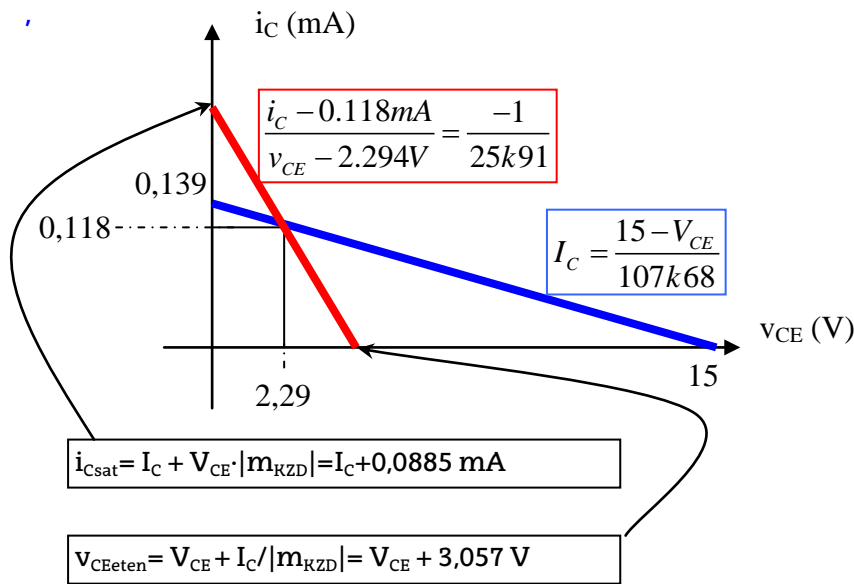
Ikus dezagun tarte dinamikoa:

$$I_C = \frac{15 - V_{CE}}{\frac{\beta + 1}{\beta}(R_{E1} + R_{E2}) + R_C} = \frac{15 - V_{CE}}{1.01 \cdot 68k + 39k} \quad \text{KZE}$$

$$I_C = 0,118 \text{ mA} \quad V_{CE} = 2, \text{ V}$$

$$m_{KZD} = -1 / (R_{E1} + (R_C // R_L)) = -1 / 25k91$$

$$\frac{i_c}{v_{ce}} = \frac{i_c - 0,118 \text{ mA}}{v_{CE} - 2,294 \text{ V}} = \frac{-1}{25k91} \quad \text{KZD}$$



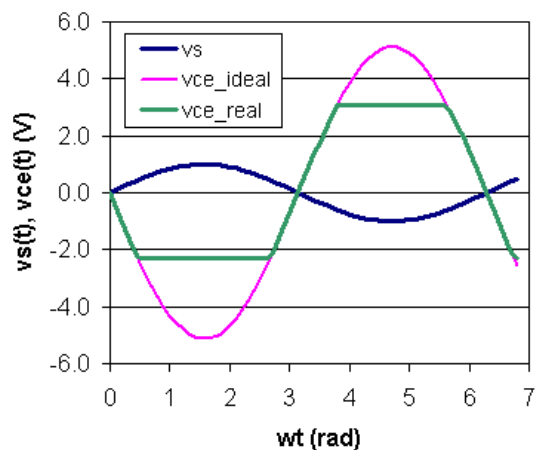
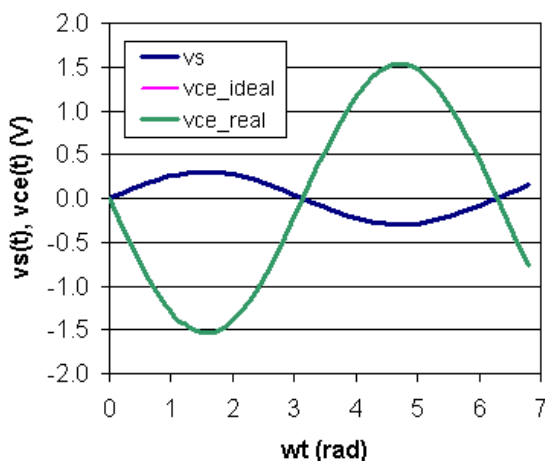
Eten baino pixka bat lehenago ase da (baina ez gehiegi, nahiko simetrikoa baita), $i_c = +0,0885 \text{ mA}$ denean.

$$v_{ce} = v_c - v_e = -i_c \cdot [R_C // R_L] - (\beta + 1) / \beta \cdot i_c \cdot R_{E1}$$

$$v_s = (Z_{in} + R_s) / Z_{in} \cdot v_{in} = (Z_{in} + R_s) / Z_{in} \cdot i_c / \beta \cdot [r_b + (\beta + 1) \cdot R_{E1}]$$

$$\frac{v_{ce}}{v_s} = \frac{-(R_C // R_L) - \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot R_{E1}}{\frac{Z_{in} + R_s}{Z_{in}} \cdot \frac{r_b + (\beta + 1) \cdot R_{E1}}{\beta}} = -\frac{21k91 + 4k04}{1.192 \cdot 4k25} = -5.122$$

Beraz, $v_s = 300 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ denean, alternoko $v_{ce} = -1,537 \cdot \sin(\omega t)$ izango da, eta (modulua beti $2,29 \text{ V}$ baino txikiagoa denez) ez da distortsionatuko. Aldiz, $v_s = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ denean, $v_{ce} = -5,122 \cdot \sin(\omega t)$ beharko luke, baina $3,057 \text{ V}$ baino handiagoa denean edo $-2,29 \text{ V}$ baino negatiboagoa denean distortsionatuko da.



Demagun, orain, igorleko erresistentzia osoa ($R_E = R_{E1} + R_{E2}$) deskoplatzen dugula.

e) Nola aldatuko da Q puntua? Egonkorra izaten jarraituko al du?

Q ez litzateke batere aldatuko, eta berdin-berdin mantenduko litzateke egonkortasuna.

f) Zer gertatuko da A_v tentsio-irabaziarekin? Eta tarte dinamikoarekin?

Aurreko formulak erabiliko ditugu, $R_{E1} = 0$ sartuz.

Tarte dinamikoa ez da asko aldatuko, zeren eta Q ez baita aldatzen eta malda gutxi aldatzen baita.

$$m_{RZD} = -1 / (0 + (R_C // R_L)) = -1 / 21k91$$

$$\frac{i_c}{v_{ce}} = \frac{i_c - 0.118mA}{v_{CE} - 2.294V} = \frac{-1}{21k91} \quad \text{KZD}$$

$$i_{Csat} = I_C + V_{CE} \cdot |m_{RZD}| = I_C + 0.105 \text{ mA}$$

$$V_{CEeten} = V_{CE} + I_C / |m_{RZD}| = V_{CE} + 2.58 \text{ V}$$

Oraindik ere, eten baino pixkatxo bat lehenago ase da, $i_c = +0.105 \text{ mA}$ denean, baina esan genezake tartea ia-ia simetrikoa dela.

Irabazia, aldiz, asko aldatuko da.

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = A_{vi} = \frac{-\beta \cdot (R_C // R_L)}{r_b + (\beta + 1) \cdot 0} = -103.4$$

Baina $Z_{in} = 12k$, eta $A_v = A_{vi} \cdot 0.706 = -73.04$ (lehen -4.32 zen $\rightarrow \times 17$)

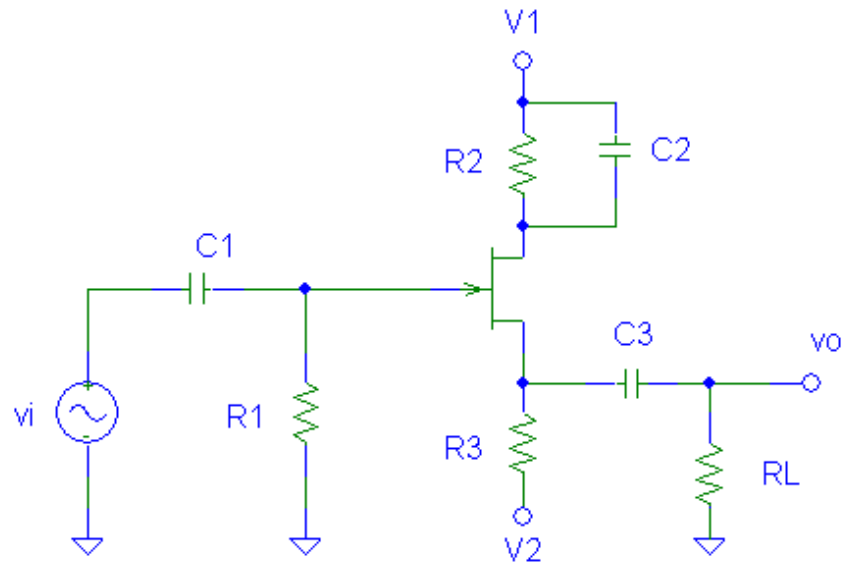
[Betarekiko menpekotasuna, orain:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-\beta \cdot (R_C // R_L)}{V_T / (I_C / \beta)} \quad \beta\text{-rekiko independentea}$$

$$\frac{v_{in}}{v_s} = \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} = \frac{R_{th} // \left[\frac{V_T}{I_C} \cdot \beta \right]}{R_s + R_{th} // \left[\frac{V_T}{I_C} \cdot \beta \right]} \quad \beta\text{-ren araberakoa da.}]$$

ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

4. Beheko irudiko anplifikadorea analizatu nahi dugu. 6. irudian agertzen da erabilitako gailuaren irteerako ezaugarria.



5. irudia. Hirugarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

Datuak: $V_1 = 2 \text{ V}$ $V_2 = -2 \text{ V}$ $R_1 = 1 \text{ k}$ $R_2 = 100 \Omega$ $R_3 = 1 \text{ k}$ $R_L = 100 \Omega$

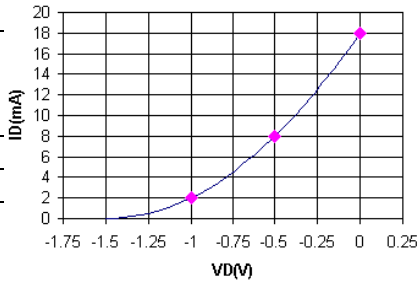
- a) Esan zer gailu mota den eta identifikatu haren terminalak zirkuituan.

n pasabideko JFETa (ikurra ikusita)

- b) Lortu, arrazoituz, transistorearen parametro karakteristikoak: V_T eta I_{DSS} .

I_D - V_{DS} ezaugarrian, $V_{DS} = 3 \text{ V}$ balioa finkatuz, asetasuneko I_D - V_{GS} ezaugarria marrazteko hiru puntu (datu-pare) ditugu:

Asetasunean	
$V_{GS}(V)$	$I_D(mA)$
0	18
-0,5	8
-1	2



Asetasunean	
$V_{GS}(V)$	$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$
0	I_{DSS}
-0.5	$I_{DSS} \cdot (1 + 0,5/V_T)^2$
-1	$I_{DSS} \cdot (1 + 0,5/V_T)^2$

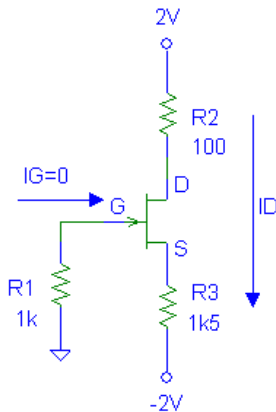
Beraz, $I_{DSS} = 18 \text{ mA}$ eta $V_T = -1,5 \text{ V}$.

c) Lortu eta marraztu karga-zuzen estatikoa (6. irudian bertan).

$$2 \text{ V} = -2 \text{ V} + I_D \cdot R_3 + V_{DS} + I_D \cdot R_2 \rightarrow I_D = (4 - V_{DS}) / (R_3 + R_2)$$

$$I_D = \frac{4 - V_{DS}}{1k6} \rightarrow m_{RZE} = -1/1k6$$

d) Kalkulatu lan-puntua.



$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$$

$$I_D = 18mA \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{-1.5}\right)^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - (-2 + I_D \cdot R_3) \rightarrow V_{GS} = 2 - I_D \cdot 1k5$$

$$I_D = 18mA \cdot \left(1 + \frac{V_{GS}}{1.5}\right)^2 = \frac{2 - V_{GS}}{1.5}$$

$$18mA \cdot \left(\frac{3 + 2V_{GS}}{3}\right)^2 = \frac{2 - V_{GS}}{1k5} \Rightarrow 2mA \cdot (3 + 2V_{GS})^2 = \frac{2 - V_{GS}}{1.5}$$

$$2mA \cdot 1k5 \cdot (9 + 4V_{GS}^2 + 12V_{GS}) = 2 - V_{GS} \Rightarrow$$

$$3 \cdot (9 + 4V_{GS}^2 + 12V_{GS}) = 2 - V_{GS}$$

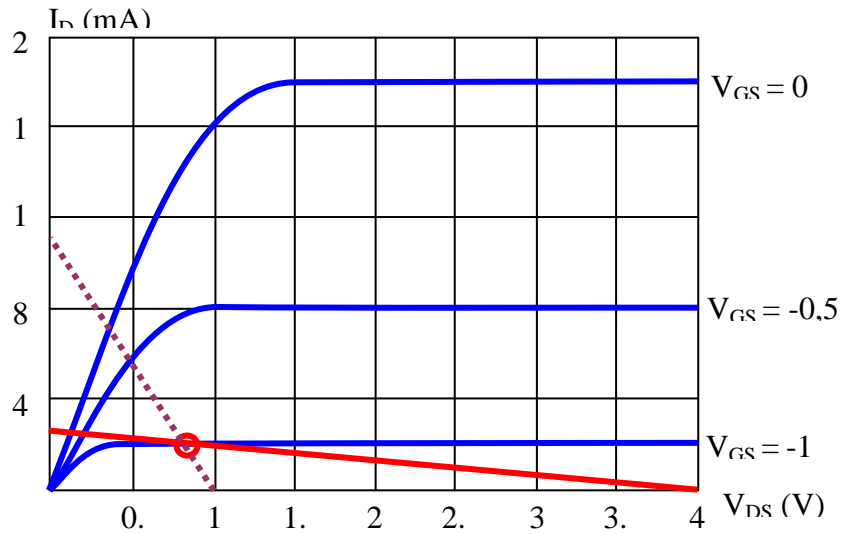
$$27 + 12V_{GS}^2 + 36V_{GS} = 2 - V_{GS} \rightarrow 12V_{GS}^2 + 37V_{GS} + 25 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{-37 \pm \sqrt{37^2 - 4 \cdot 12 \cdot 25}}{24} = \frac{-37 \pm 13}{24} = \begin{cases} -1 & \text{OK} \\ -2.08 & \text{X} \end{cases}$$

$$V_{GS} = -1 \text{ V}, I_D = 2 \text{ mA},$$

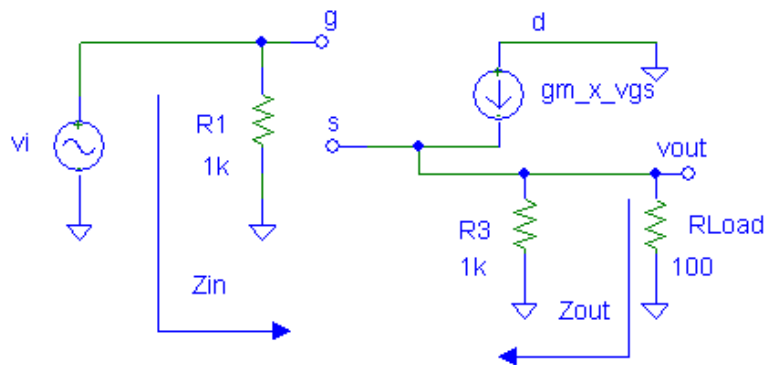
$$V_{DS} = 4 - I_D \cdot 1k6 = 0,8 \text{ V} \quad V_G = 0, V_S = 1 \text{ V}, V_D = 1,8 \text{ V}, V_{GS} = -1 \text{ V}, V_{GD} = -1,8 \text{ V}$$

$$V_{GD} < V_T, \text{ beraz asetasunean gaude, ondo (edo } V_{DS} = 0,8 > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T = 0,5)$$



6. irudia. Hirugarren ariketan erabiltzen den FETaren irteerako ezaugarria (**KZE**, **Q** eta **KZD** gehitu dira).

e) Marraztu seinale txikiko zirkuitua.

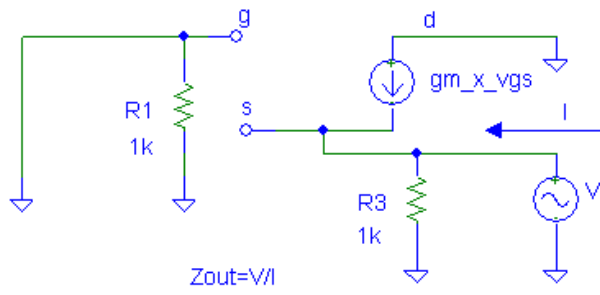


f) Kalkulatu tentsio-irabazia.

$$A_v = g_m(R_3 // R_L) / [1 + g_m \cdot (R_3 // R_L)] = 0,4285$$

g) Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$Z_{in} = R_1$$



$$v_{gs} = -V \quad I = -g_m \cdot v_{gs} + V/R_3 = g_m \cdot V + V/R_3$$

$$Z_{out} = V/I = 1/(g_m + 1/R_3) = 1k5/13 = 115\Omega \quad Z_{out} \sim g_m^{-1} = 125\Omega$$

ZIRKUITU DIODODUNAK – PN JUNTURA

1. Siliziozko diodo baten ezaugarri nagusiak honako hauek dira:

- Sekzioa: $A = 0,01 \text{ cm}^2$
- Anodoko dopaketa: $N_A = 1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
- Katodoko dopaketa: $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
- Beste datu batzuk: $V_T = 25 \text{ mV}$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,
 $\epsilon_{rSi} = 11,8$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$ $n_{iSi} = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

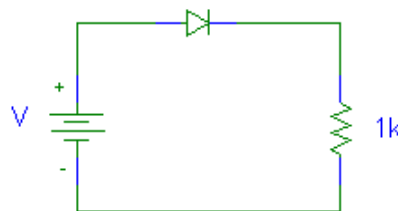
a) Kalkulatu juntura horretako potentzial termodinamikoa eta, orekan, hustutako eskualdearen zabalera eta junturako kapazitatea.

Dakigunez $\phi_T = V_T \cdot \ln \left[\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right] \rightarrow \phi_T = 1,036 \text{ V}$

$$l_0 = \sqrt{\frac{2 \epsilon}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi_T} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_{rSi} \cdot \epsilon_0}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi_T} = 3,6961 \cdot 10^{-6} \text{ cm} = 0,037 \mu\text{m};$$

eta $C_{j0} = A \cdot \epsilon / l_0 = 2,825 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 2,82 \text{ nF}$

Diodo hori erabiliz, 1. irudiko zirkuitua muntatu dugu.



1. irudia. Lehenengo ariketako b) eta c) ataletako zirkuitua.

b) Diodoaren asetasun-korrontea $I_{sat} = 10 \text{ pA}$ bada, kalkulatu zehatz-mehatz 1. irudiko zirkuituko diodoan agertuko diren korronteak eta tentsioak, sarrerako bi tentsio hauetarako: $V = 5 \text{ V}$ eta $V = -4 \text{ V}$. Zenbat da, gutxi gorabehera, diodoaren atariko tentsioa 5 mA inguruko korronteetarako?

Lehenengo kasuan, diodoa zuzenean egongo da, eta ekuazioak honako hauek izango dira:

$$5 \text{ V} = V_D + I_D \cdot 1 \text{ k} \quad \text{eta} \quad I_D = I_{\text{sat}} \cdot [\exp(V_D/V_T) - 1] = 10^{-11} \text{ A} \cdot [\exp(V_D/25 \text{ mV}) - 1]$$

$$5 \text{ V} = V_D + 10^{-8} \text{ V} \cdot [\exp(V_D/25 \text{ mV}) - 1] \rightarrow V_D = 0,025 \text{ V} \cdot \ln[1 + (5 - V_D)/1 \text{ E} - 8].$$

Haren soluzioa honako hau da: $V_D = 498.1 \text{ mV}$, $I_D = 4,502 \text{ mA}$.

(Adibidez, iteratuz kalkula dezakegu:

$$V_{D0} = 0 \rightarrow V_{D1} = 0,5007 \rightarrow V_{D2} = 0,4981 \rightarrow V_{D3} = 0,4981 \text{ V}).$$

Beraz, $V_y = 0,5 \text{ V}$

Bigarren kasuan, diodoa inbertsoan egongo da, eta korrrontea oso txikia izango da.

Beraz, ez da ia tentsiorik egongo erresistentzian, eta $V_D = -4 \text{ V}$ eta $I_D = -10 \text{ pA}$.

Eta $V_{1k} = -10 \text{ nV}$, eta $V_D = -3,99999999 \text{ V}$ (hau da, $V_D = -4 \text{ V}$) eta $I_D = -10 \text{ pA}$.

Sarrerako tentsioa -4 V denean, zenbat da junturan agertzen den potentzial elektrikoa?

Eta l, eskualde dipolarraren oraingo zabalera? Eskualde dipolarra oso

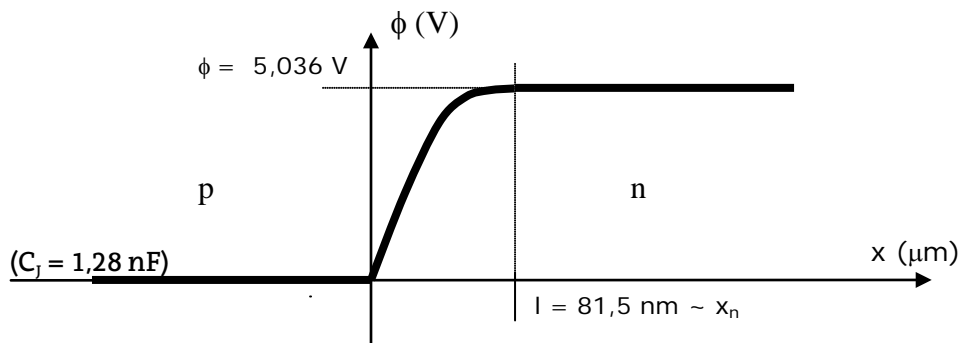
asimetrikoa da. Zergatik? Batez ere, norantz hedatuko da?

Orain, $V_D = -4 \text{ V} \rightarrow \phi = \phi_T - V_D = +5,036 \text{ V}$

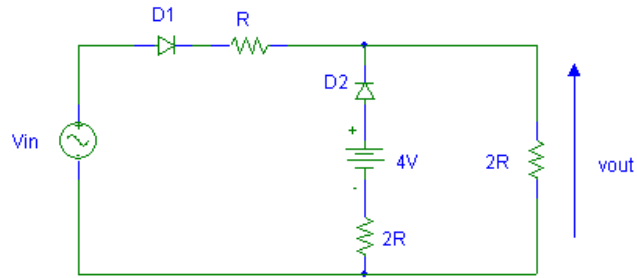
$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi} \rightarrow l = 0,0815 \text{ } \mu\text{m} \quad (\text{edo } l = l_0 \sqrt{\frac{\phi}{\phi_T}} = l_0 \sqrt{\frac{\phi_T - V}{\phi_T}} \text{ erabiliz})$$

Batez ere, dopaketa txikiena duen eskualderantz hedatuko da hustutako

eskualdea, zeren eta $x_n \cdot N_D = x_p \cdot N_A$ betetzen baita ($x_p = N_D/N_A \cdot x_n = 0,01 x_n \sim 1/100 = 0,81 \text{ nm}$).

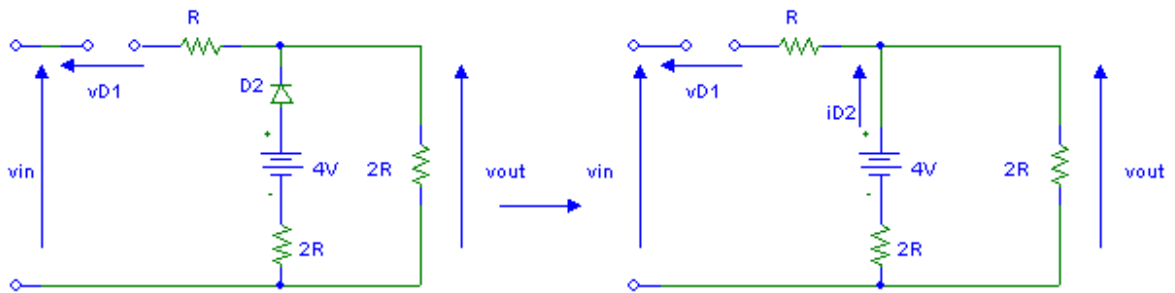


c) Diodoaren atariko tentsioa arbuiauz, lortu 2. irudiko zirkuituari dagokion transferentzia-kurba.



2. irudia. Aurreko diodoa erabiliz muntatu den zirkuitua.

d1) D1 OFF badago, argi dagoenez, eskuineko bi adarrak isolatu egiten dira, eta D2 ON dago:



Eta, zirkuitu horretan, $i_{D2} = 4/4R = 1/R \rightarrow v_{out} = 2 \text{ V}$. Eta $i_{D2} > 0$, noski.

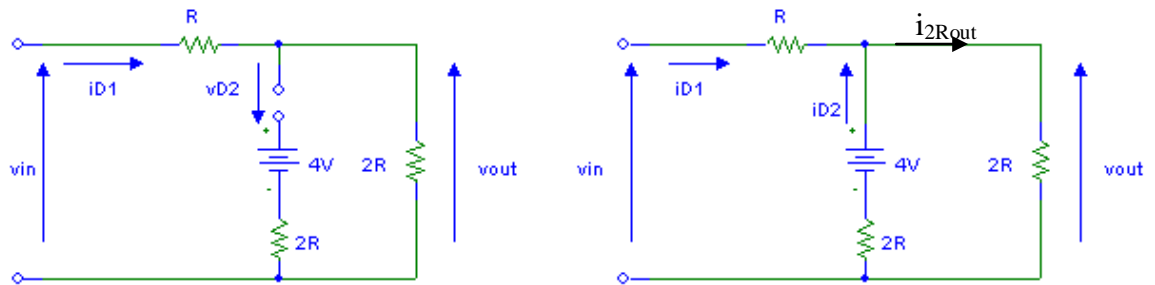
$v_{D1} = v_{in} - 2$; hipotesia ontzat emateko (D1 OFF egoteko): $v_{D1} < 0 \rightarrow v_{in} < 2 \text{ V}$.

Laburbilduz, $v_{in} < 2 \text{ V}$ bada, D1 OFF, D2 ON eta $v_{out} = 2 \text{ V}$.

d2) Aurreko arrazoiketatik, $v_{in} > 2 \rightarrow D1 \text{ ON}$ (ez dugu $i_{D1} > 0$ egiaztatu behar).

Orduan, bi kasu izan ditzakegu: D2 OFF (d2.1) edo D2 ON (d2.2) egon daiteke.

Analizatzen errazena B1 izango da.



d2.1) D2 OFF

d2.2) D2 ON

d2.1) D2 OFF

Argi ikusten denez, $v_{out} = 2/3 \cdot v_{in}$.

Eta, hipotesia ontzat emateko, $v_{D2} < 0 \rightarrow 4 - v_{out} < 0 \rightarrow 4 - 2/3 \cdot v_{in} < 0 \rightarrow v_{in} > 6 \text{ V}$

(eta $i_{D1} > 0 \rightarrow v_{in} > 0$).

Hortaz, $v_{in} > 6$ V denean, D1 ON, D2 OFF eta $v_{out} = 2/3 \cdot v_{in}$.

Eta, beraz, B2 kasuan egongo gara, baldin eta $2 < v_{in} < 6$ tartean badago.

[Jadanik arrazoitu dugunez, ez da berriro egiaztatu behar, baina egiaztatuko dugu]

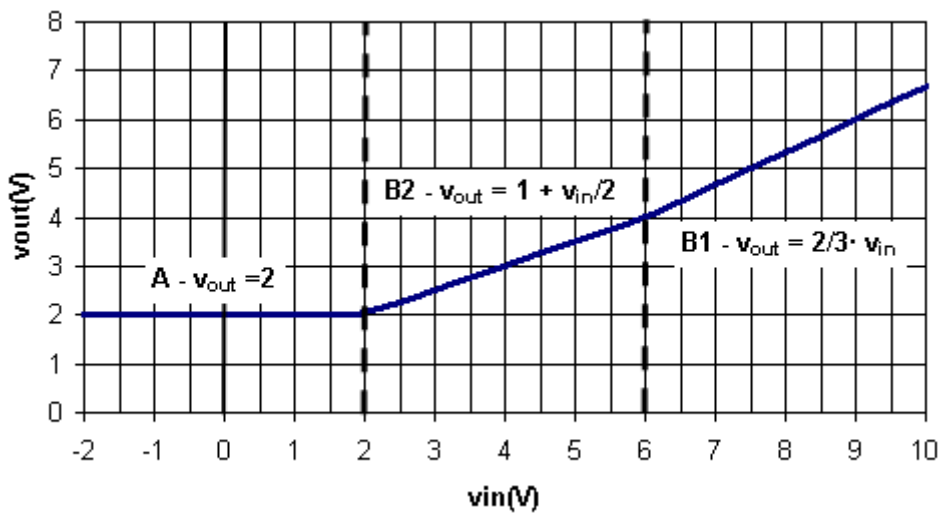
Eta, orduan, $i_{D1} = (v_{in} - v_{out})/R$; $i_{D2} = (4 - v_{out})/2R$ $i_{2Rout} = v_{out}/2R$;

$I_{2Rout} = i_{D1} + i_{D2}$ denez, $v_{out}/2R = (v_{in} - v_{out})/R + (4 - v_{out})/2R \rightarrow v_{out} = 1 + v_{in}/2$.

Laburbilduz:

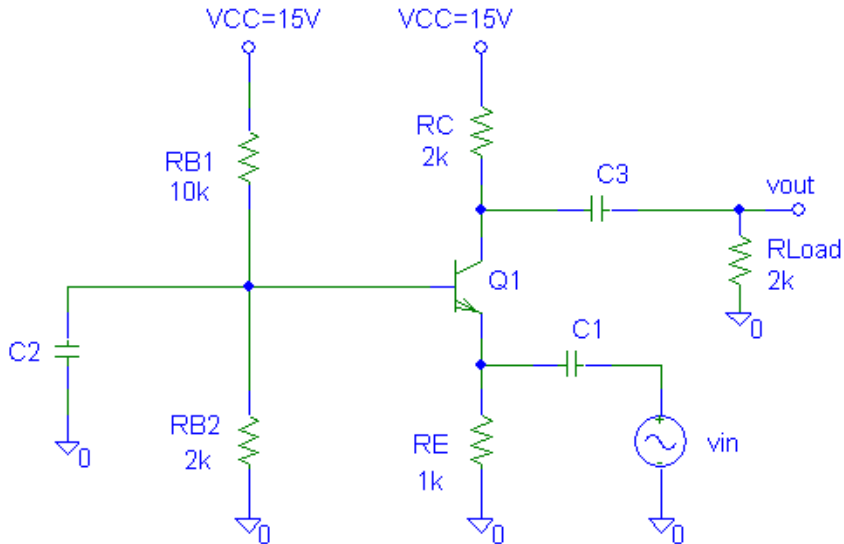
Kasua	Tartea	D1	D2	Vout(vi)
A	$v_i < 2$	OFF	ON	2
B2	$2 < v_i < 6$	ON	ON	$1 + v_{in}/2$
B1	$v_i > 6$ V	ON	OFF	$2/3 \cdot v_{in}$

Eta, grafikoki, transferentziaren kurba honela geratzen da:



BASE KOMUNIKO ANPLIFIKADOREA

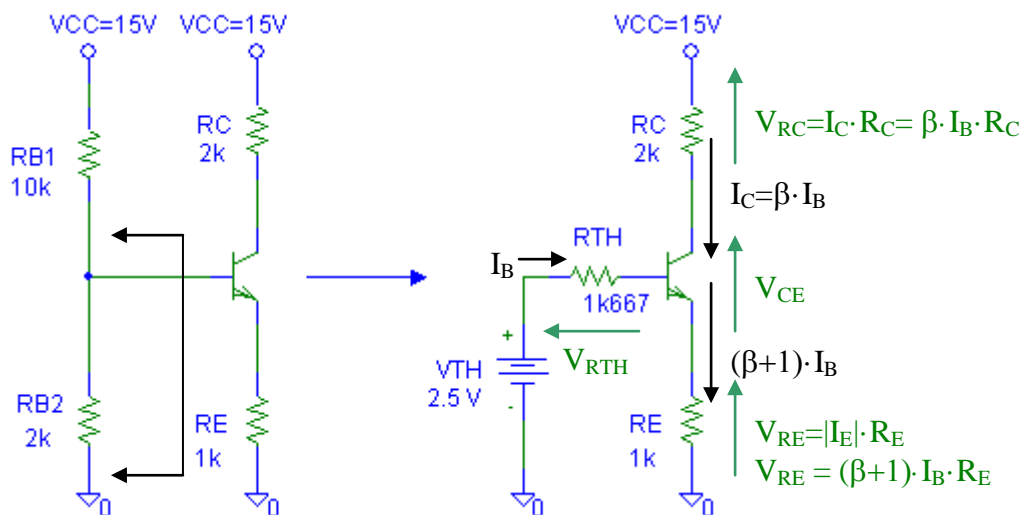
2. 3. irudiko transistore bipolarren dagokionez, $V_{BE} = 0,5 \text{ V}$ eta $\beta = 180$.



3. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

a) Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua.

Polarizazio-zirkuitua planteatu ($f = 0 \rightarrow Z_{\text{kondents}} = \infty, v_{\text{in}} = 0$), eta basetik ezkerrerantz geratzen den zirkuituaren Thevenin baliokidea kalkulatu dugu:



$$V_{TH} = 15 \text{ V} / (R_{B1} + R_{B2}) \cdot R_{B2} = 2,5 \text{ V} \quad R_{TH} = R_{B1} // R_{B2} = 1\text{k}6666$$

Ondoren, aktiboan gaudela onartuz ($I_C \sim \beta \cdot I_B$), base-igorle sareari dagokion ekuazioa planteatuko dugu:

$$V_{TH} = V_{R_{TH}} + V_{BE} + V_{R_E} \Rightarrow V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + (\beta + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{2.5V - 0.5V}{1k666 + (180 + 1) \cdot 1k} = 10.95 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 1.971 mA$$

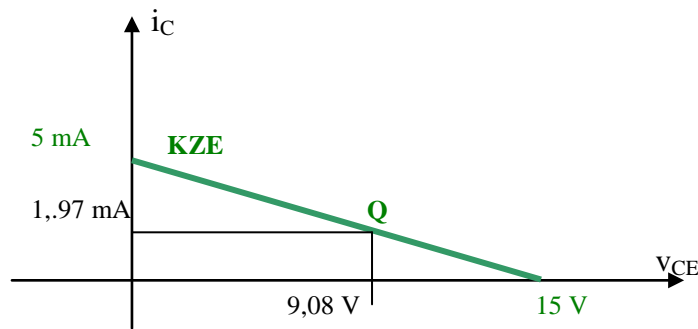
$$|I_E| = |I_B + I_C| = 1.982 mA$$

$$V_C = 15 - I_C \cdot R_C = 11.06V \quad V_E = |I_E| \cdot R_E = 1.98V \quad V_B = 2.48V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 9.08V > 0 \text{ Eta, beraz, aktiboan dago, bai.}$$

Grafikoki, KZE erabiliz:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot I_C \cdot R_E \quad I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot R_E} \Rightarrow I_C \approx \frac{15 - V_{CE}}{2k + 1k}$$



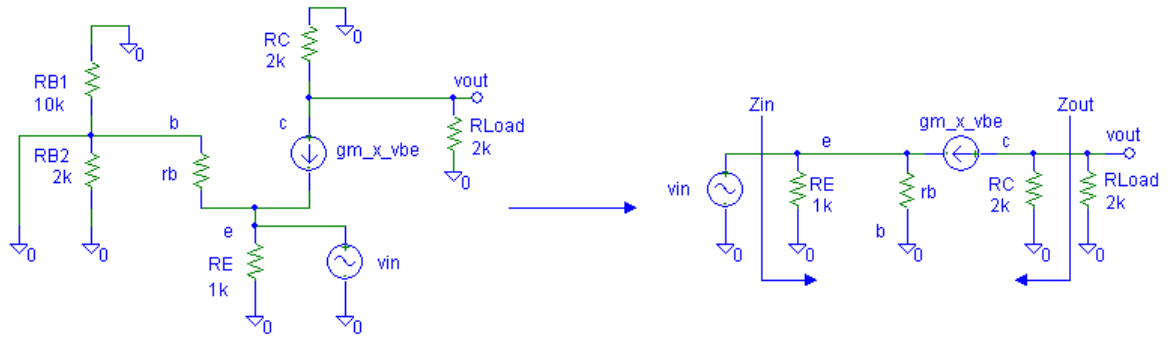
Ikusten dugunez, Q puntua etenduratik hurbilago geratzen da asetasunetik baino.

- b) **Transistorea edo tenperatura aldatzen direnean, lan-puntu hori asko aldatuko da ala egonkortzat jo daiteke? Zergatik?**

Transistorearen β edo tenperatura aldatzen badira, Q puntua mugituko da, noski, baina nahiko egonkorra izango da, zeren eta $\beta \cdot R_E = 180k\Omega \gg R_{TH} = 1.67 k\Omega$ baita.

- c) **Kalkulatu zirkuituko tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.**

Seinale txikiko zirkuitua planteatzen dugu, $Z_c = 0$, $V_{CC} \rightarrow 0$ eta transistorearen zirkuitu baliokidea ipiniz ($r_b = V_T / I_B = 2k28$ eta $g_m = I_C / V_T = 78,8 \text{ mA/V}$).



Erraz ikusten denez:

$$v_{in} = -v_{be} \quad v_{out} = -g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_{LOAD})$$

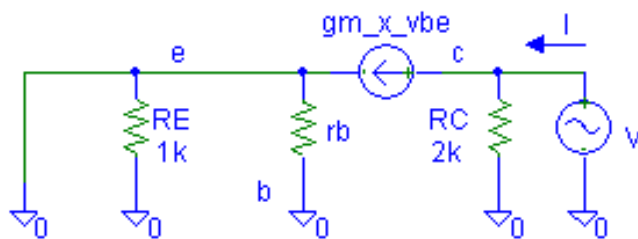
$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_{LOAD})}{-v_{be}} = g_m \cdot (R_C // R_{LOAD}) = 78.83$$

Sarrerako inpedantzia kalkulatzeko:

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{in}}{i_{R_E} + i_{r_b} - g_m v_{be}} = \frac{v_{in}}{\frac{v_{in}}{R_E} + \frac{v_{in}}{r_b} - g_m (-v_{in})} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_b} + g_m} = \frac{1}{\frac{1}{1k} + \frac{1}{2k28} + 78.8mA/V} = 12.46\Omega$$

$$\text{Izan ere: } Z_{in} \approx \frac{1}{g_m} = \frac{V_T}{I_C} = 12.68\Omega$$

[Irteerako inpedantzia, kasu honetan, nahiko erraz kalkulatu da beheko zirkuitua erabiliz: $Z_{out} = V/I = R_C$ (zeren eta orain $v_{be}=0$ baita)]



d) Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalearen forma baldin eta sarreran aplikatzen dugun seinalea $v_{in} = 20 \text{ mV} \cdot \sin(2\pi f t)$ bada ($f = 200 \text{ Hz}$).

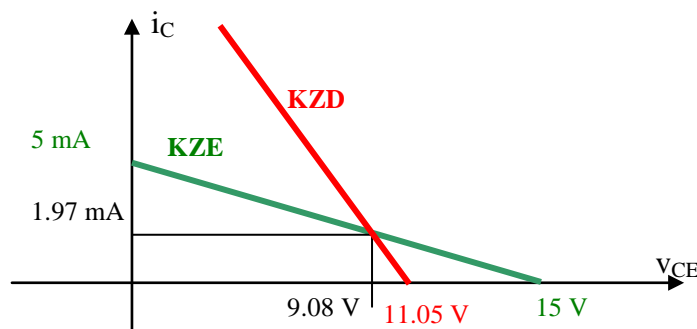
KZDa kalkulatzeko, hasteko, malda kalkulatu dugu:

$$m_{KZD} = i_c / v_{ce} = g_m \cdot v_{be} / [-g_m \cdot (R_C // R_L) \cdot v_{be} - (-v_{be})] = g_m / [-g_m \cdot 1k \cdot v_{be} + 1] \sim -1 / 1k$$

$$V_{CE_etendura} = 9,08 + 1,97mA \cdot 1k = 11,05 \text{ V}$$

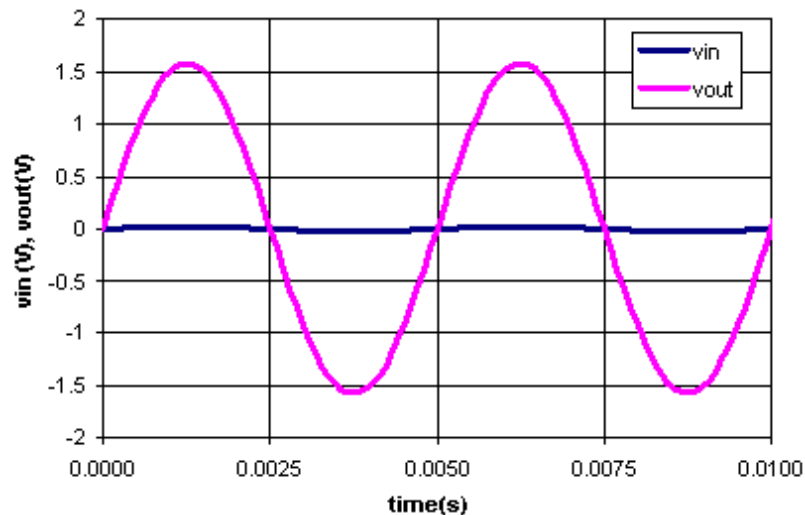
$$i_{c\text{sat}} = 1,97 + 9,08\text{V}/1\text{k} = 11,05 \text{ mA}$$

Asetasunean sartu baino lehenago, ase egingo da.



20 mV·sin(wt) aplikatuz $\rightarrow v_{\text{out}} = 1,58 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$, ez dago distortsiorik.

Sarrerarekin fasean dagoen seinale sinusoidal garbia da (78,8 aldiz handiagoa).



R_{B2} aldatuz gero, transistorearen lan-puntua karga-zuzen estatikoan zehar mugituko dugu, eta, orobat, guztiz aldatuko dugu seinale txikiko erantzuna.

- e) Nola aldatzen da irabazia R_{B2} aldatzen dugunean? Tentsio-irabazia bikoiztu nahi badugu, zenbat izan behar du R_{B2} erresistentziak? Nolako eragina izango du aldaketa horrek tarte dinamikoan? Eta nola aldatuko lirateke sarrerako eta irteerako inpedantziak? [Atal honetan, onartu egonkortasunerako baldintza betetzen dela]

Itxura batean, tentsio-irabazia ez da R_{B2} -rekin aldatzen, baina polarizazioak g_m finkatzen du, eta, beraz, R_{B2} -k tentsio-irabazia markatzen du.

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = g_m \cdot (R_C // R_{LOAD}) = \frac{I_C}{V_T} \cdot (R_C // R_{LOAD}) = \frac{\text{function}(R_{B2})}{V_T} \cdot (R_C // R_{LOAD})$$

Tentsio-irabazia kolektoreko korrontearen araberakoa da, eta R_{B2} erresistentziarekin aldatzen da hori. Izan ere, A_v bikoitza lortzeko, I_C bikoitza beharko genuke ($I_C = 3.94 \text{ mA}$), eta, horretarako behar den R_{B2} erresistentzia kalkulatzeko:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} \approx \frac{V_{TH} - V_{BE}}{(\beta + 1) \cdot R_E} \Rightarrow 21.9 \mu A = \frac{V_{TH} - 0.5}{(180 + 1) \cdot 1k}$$

$$V_{TH} = 4.463V$$

Eta, horretarako:

$$V_{TH} = 15V / (10k + R_{B2}) \cdot R_{B2} \quad R_{B2} = 4k236$$

(Hurbilketarik gabe, $R_{B2} = 4k3261$)

Irteerako inpedantzia ez da aldatuko, baina sarrerakoa bai: $Z_{inberria} = 6,28\Omega$

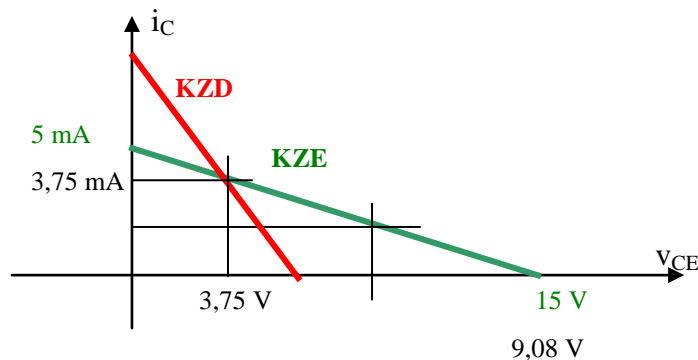
- f) **Tarte dinamiko simetrikoa lortu nahi badugu, zenbat izan behar du R_{B2} erresistentziak?**

Tarte dinamiko simetrikoa lortzeko:

$$\frac{2I_C}{2V_{CE}} = |m_{KZD}| = \frac{1}{1k\Omega} = \frac{I_C}{V_{CE}}$$

$$\frac{1}{1k} = \frac{I_C}{V_{CE}} = \frac{I_C}{15V - 2k \cdot I_C - 1k \cdot \frac{\beta + 1}{\beta} I_C} \approx \frac{I_C}{15V - 3k \cdot I_C}$$

$$15V - 3k \cdot I_C \approx I_C \cdot 1k \Rightarrow I_C = \frac{15V}{4k\Omega} = 3.75mA$$



Eta, horretarako: $3.75mA = I_C \approx \frac{V_{TH} - V_{BE}}{\beta + 1 / \beta \cdot R_E} \Rightarrow V_{TH} = 0.5 + \frac{181}{180} \cdot 3.75mA \cdot 1k = 4.271V$

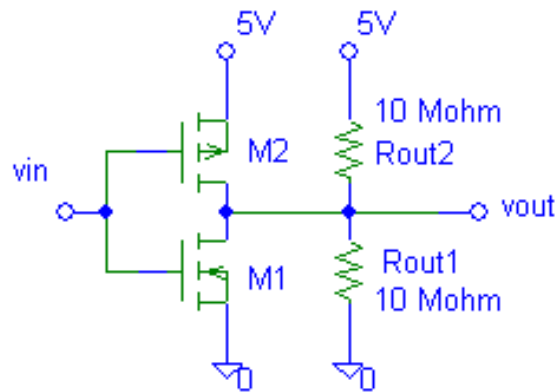
$$V_{TH} = 15V \cdot \frac{R_{B2}}{10k + R_{B2}} = \frac{15V}{\frac{10k}{R_{B2}} + 1} \Rightarrow 4.271V \approx \frac{15V}{\frac{10k}{R_{B2}} + 1} \Rightarrow R_{B2} \approx \frac{10k}{\frac{15}{4.271} - 1} = 3k98$$

(hurbilketarik gabe, $R_{B2} = 4,059 \text{ k}$)

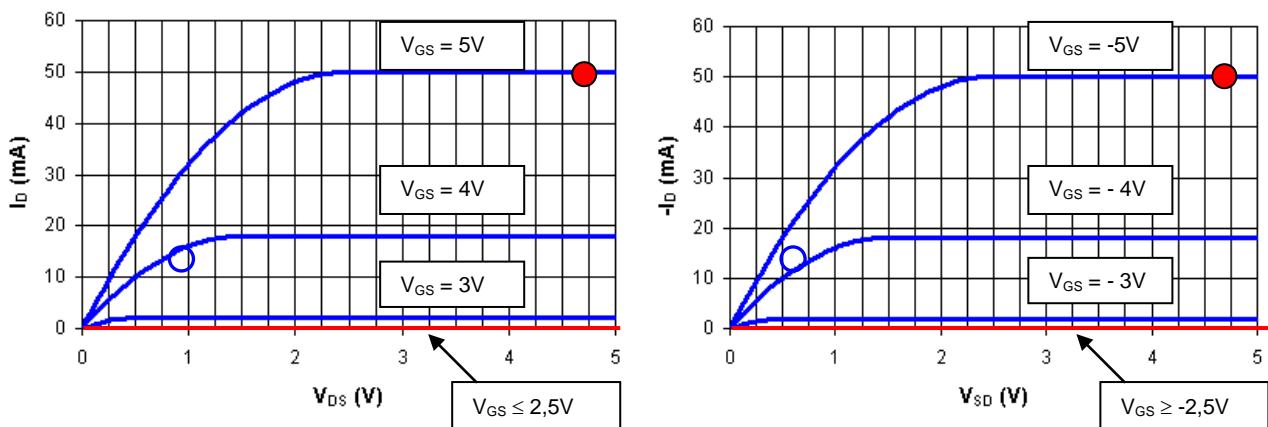
[OHARRA: Soluzio honetan, asetasuneko $v_{CE}=0$ hartu dugu, baina badaude bestelako aukerak. Izan ere, $v_{CEsat} = V_{BEQ} = 0,5 \text{ V}$ har daiteke (horixe egiten da i_C - v_{CB} kurba eta $V_{CB} = 0$ erabiltzen direnean). Edo oso ohikoa den $v_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$ ere har daiteke. Balio horiek hartuz gero, noski, emaitzak (pixka bat) aldatuko lirateke].

INBERTITZAILE DIGITALA

3. 4. irudiko zirkuitua muntatu nahi dugu, MOS transistoreak erabiliz. Transistoreen ezaugarri-kurbak 5.a. eta 5.b. irudietan agertzen dira.



4. irudia. CMOS teknologia erabiliz eraikitako inbertitzaile digitala.



5. irudia. M1 (ezker.) eta M2 (eskuin.) transistoreen ezaugarri-kurbak.

- a) Esan zer transistore motatakoak diren M1 eta M2, identifikatu haien terminalak eta lortu (grafikoetatik) haien parametro bereizgarriak.

M1: N pasabideko ugaltze (metaketazko) MOSFETa da.

Atariko tentsioa: $V_T = 2,5 \text{ V}$ (V_{GSoff}).

I_{DSS} kalkulatzeko, asetasuneko edozein puntu har dezakegu (adibidez, gorritz adierazi duguna), eta ekuazioa aplikatu:

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow 50 \text{ mA} = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{5 \text{ V}}{2,5 \text{ V}}\right)^2 \Rightarrow I_{DSS} = 50 \text{ mA}$$

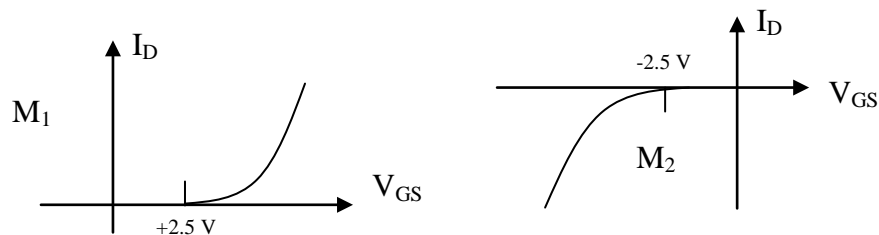
M2: P pasabideko ugaltze (metaketazko) MOSFETa da.

Atariko tentsioa $V_T = -2,5 \text{ V}$ (V_{GSoff}).

I_{DSS} kalkulatzeko, asetasuneko edozein puntu har dezakegu (adibidez, gorritz adierazi duguna), eta ekuazioa aplikatu:

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow -50\text{mA} = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{-5\text{V}}{-2.5\text{V}}\right)^2 \Rightarrow I_{DSS} = -50\text{mA}$$

b) **Marratu M1 eta M2 transistoreen I_D - V_{GS} asetasuneko transferentzia-ezaugarriak.**



c) **M1 transistoreari dagokionez, zenbat da haren pasabidearen erresistentzia, $V_{GS} = 0$ denean? Eta, $V_{GS} = 5$ V kasuan, M1ek eskualde ohmikoan (hau da, V_{DS} oso txikiekin) lan egiten badu?**

$V_{GS} = 0$ denean, ez dago pasabiderik $\rightarrow R_{pasabidea} = \infty$.

$V_{GS} = 5$ V denean, aldiz, V_{DS} tentsioarekin aldatuz joango litzateke.

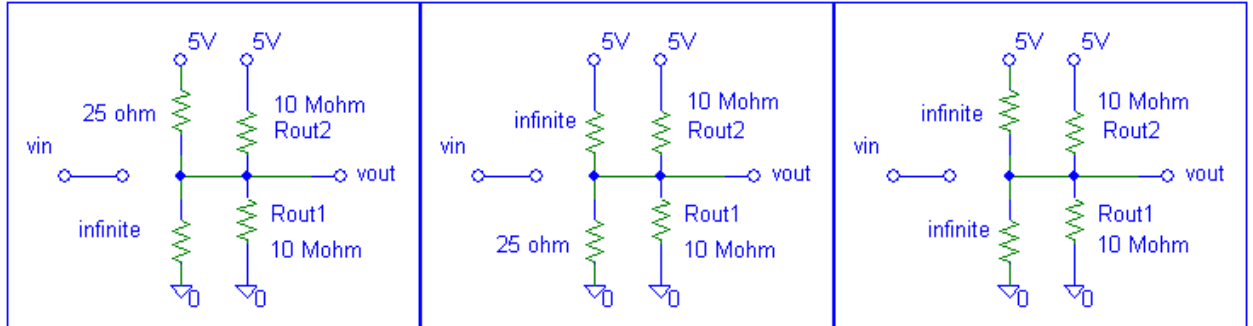
Baina, eskualde ohmikoan (V_{DS} txikiekin), ia konstantea izango da. Adibidez, biribil urdin batez adierazi den puntuan, gutxi gorabehera:

$$R_{pasabide} = V_{DS}/I_D = 0,25 \text{ V} / 10 \text{ mA} = 25 \Omega.$$

4. **irudiko zirkuitua inbertitzaile digital bat da. Aplikazio honetan, transistoreek etenduran edo eskualde linealean (hau da, ohmikoan) lan egingo dute (OFF edo ON, hurrenez hurren).**

d) **Aurreko ataleko emaitzak kontuan hartuz, esan (6. irudiko zirkuituetako) zein dagokien sarrerako seinalearen honako balio hauei: $v_{in} = 0$ V, $v_{in} = 2,5$ V eta $v_{in} = 5$ V. Kasu bakoitzerako, zenbat izango da v_{out} ?**

V_{in}	V_{GS1}	M1-en Egoera	V_{GS2}	M2-ren Egoera	Zirkuitua	v_{out}
0	0	OFF - $R=\infty$	-5	ON - 25Ω	a	5 V
2,5	2,5	OFF - $R=\infty$	-2,5	OFF - $R=\infty$	c	2,5 V
5	5	ON - 25Ω	0	OFF - $R=\infty$	b	0 V



a)

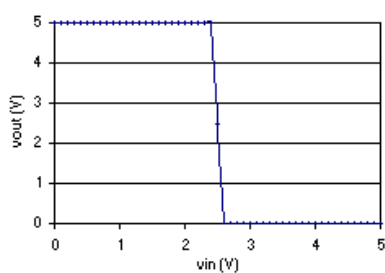
b)

c)

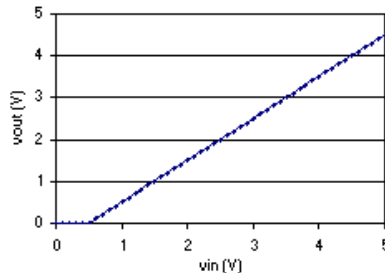
6. irudia. d) ataleko seinaleei dagozkien zirkuitu baliohideak.

e) Nolako izango da, gutxi gorabehera, zirkuituaren transferentzia-kurba ($v_{out}-v_{in}$)? Azaldu zein den, zure ustez, zirkuituaren funtzioa.

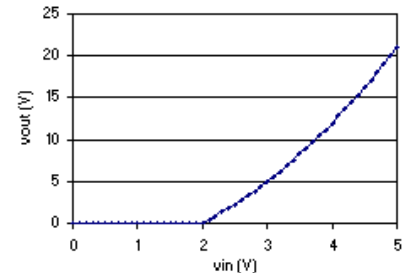
Inbertitzen du: (a) Sarreran dagoenaren kontrakoa agertzen da irteeran.



a)



b)

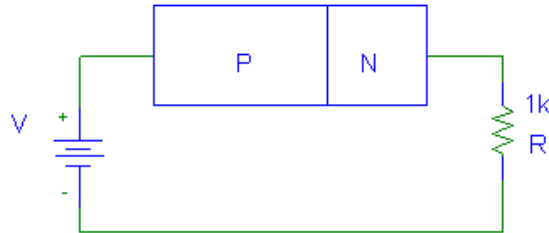


c)

7. irudia. Zirkuituaren transferentzia-kurba posibleak.

PN JUNTURA

1. Juntura latz laua duen diodo bat karakterizatzeko, honako zirkuitu hau muntatu dugu:

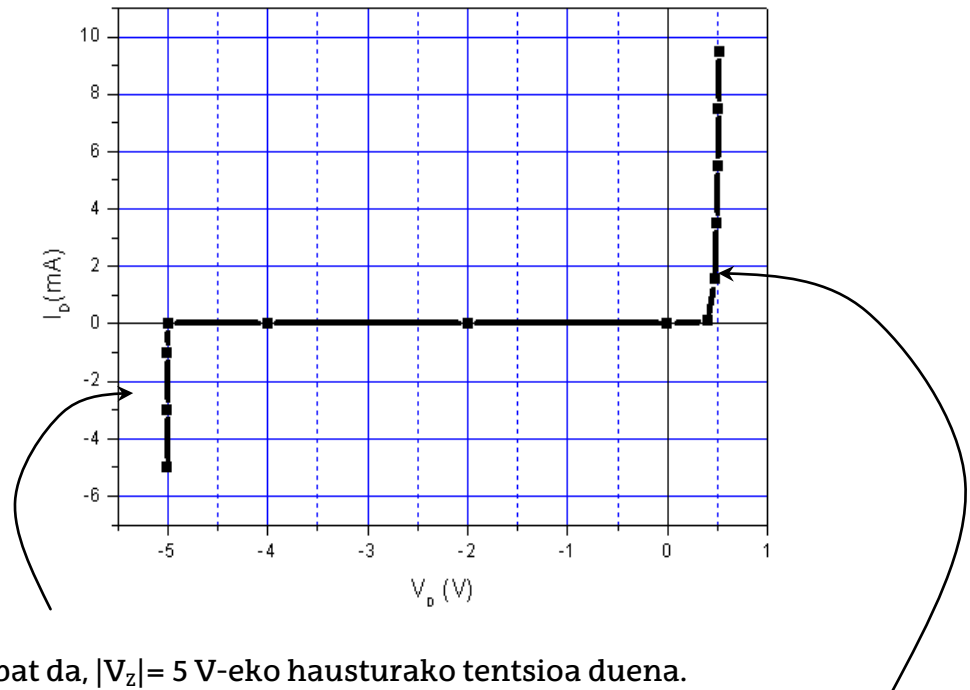


1. irudia. Lehenengo ariketako diodoaren I-V kurba neurtzeko zirkuitua.

Zirkuitu hori erabiliz, honako neurketa hauek hartu dira:

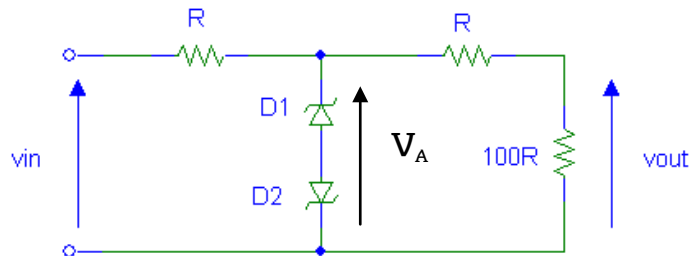
V (V)	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
V _R (V)	5	3	1	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	0	1,529	3,508	5,497	7,489	9,483
I _D =V _R /R	-5 mA	-3 mA	-1 mA	-10 pA	-10 pA	0	1,53 mA	3,51 mA	5,5 mA	7,49 mA	9,48 mA
V _D =V-V _R	-5 V	-5 V	-5	-4	-2	0	0,471	0,492	0,503	0,511	0,517

- a) Marraztu diodoaren I-V kurba, adierazi baliorik esanguratsuenak eta erantzun galdera hauei: zer diodo mota dugu? Zenbat da haren atariko tentsioa, baldin eta korrontea miliampere batzuen ingurukoa bada? Parametro horietaz gainera, zer balio interesgarri ateratzen d(it)uzu diodoariburuz?



Zener diodo bat da, $|V_z| = 5 \text{ V}$ -eko hausturako tentsioa duena. 5 mA inguruko korronteetan, atariko tentsioa $V_y = 0,5 \text{ V}$ da. Haren asetasun-korrontea $I_{\text{sat}} = 10 \text{ pA}$ da (-4V - 10 V bitarteko edozein balio erabiliz).

Diodo hori erabiliz, zirkuitu hau muntatu dugu:



2. irudia. Diodoaren aplikazio zirkuitua.

b) Lortu eta marraztu zirkuituaren transferentziaren funtzioa. Horretarako, onartu diodoen atariko tentsioa $V_y = 0,5 \text{ V}$ dela eta $|V_z| = 5\text{V}$. Zertarako balio du zirkuitu honek?

Diodoetatik ez da korronterik izango baldin eta ez badaude *D1* *Hausturan* eta *D2* *ON* ($V_A = 5,5\text{V}$) edo *D1* *On* eta *D2* *Hausturan* ($V_A = -5,5 \text{ V}$). Bestela (diodoetatik korronterik ez badago). $v_{\text{out}} = 100/102 \cdot v_{\text{in}}$ eta $v_A = 101/102 \cdot v_{\text{in}}$. Lehenengo kasuan ($V_A = 5,5\text{V}$) bagaude, $v_{\text{out}} = 5,5 \cdot 100/101 \text{ V}$ ($v_{\text{in}} > 102/101 \cdot 5,5 \text{ V}$).

Bigarren kasuan ($V_A = -5,5V$) bagaude, $v_{out} = -5,5 \cdot 100/101 V$ ($v_{in} < -102/101 \cdot 5,5 V$).

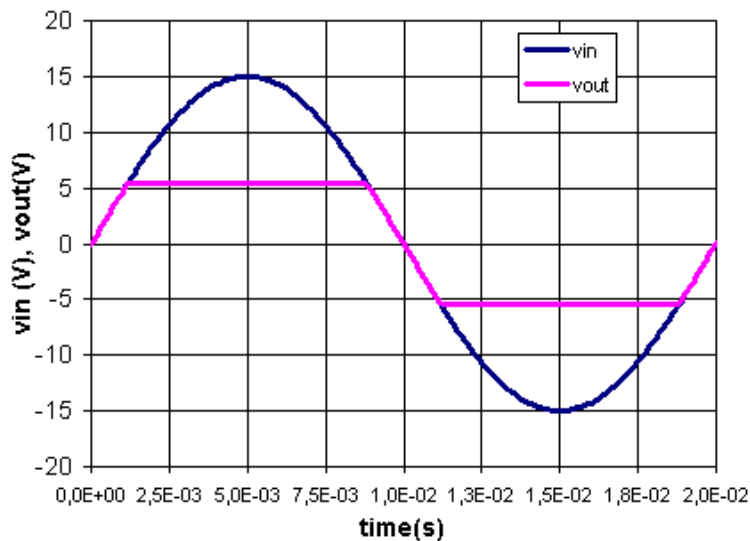
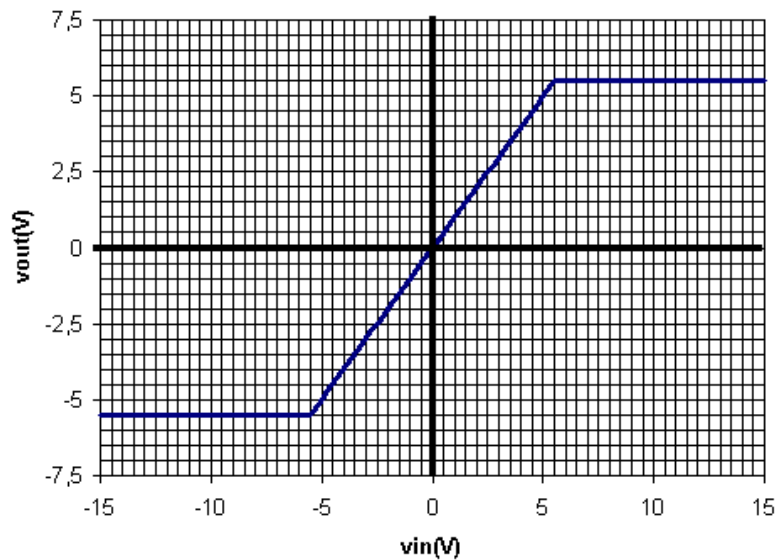
Gutxi gorabehera: zirkuituak tentsioei pasatzen uzten die $-5,5$ eta $5,5$ bitartean badaude. Hortik gorakoak badira, mugatu egiten ditu, eta irteerako seinalea beti dago $[-5,5$ eta $5,5]$ artean.

Zehatz-mehatz			
v_i	D1	D2	v_{out}
$v_i < -5,55$	ON	HAUST	$-5,44$
$-5,55 < v_i < 5,55$	Korronterik ez		$0,99 \cdot v_i$
$v_i > 5,55$	HAUST	ON	$5,44$

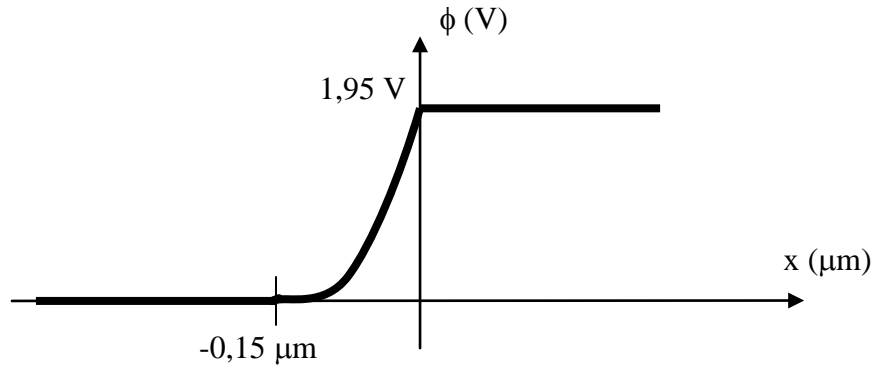
Gutxi gorabehera			
v_i	D1	D2	v_{out}
$v_i < -5,5$	ON	HAUST	$-5,5$
$-5,5 < v_i < 5,5$	Korronterik ez		v_i
$v_i > 5,5$	HAUST	ON	$5,5$

[ESKA ZITEKEEN: Marraztu nolako uhin-forma agertuko litzatekeen irteeran baldin eta sarreran $v_{in} = 15 V \cdot \sin(\omega t)$ seinalea aplikatzen bada.]

(Marrazkietan, gutxi gorabeherako soluzioa irudikatu da)



Orobat, badakigu diodoak $0,1 \text{ cm}^2$ -ko sekzioa duela, eta, -1 V -eko tentsioa (inbertsoa) aplikatzen dugunean, junturan agertzen den potentzial elektrikoak honako bilakaera hau du espazioan:



3. irudia. Junturan agertzen den potentziala $V_{pn} = -1 \text{ V}$ polarizazioa aplikatzen denean (juntura metalurgikoa $x=0$ planoan dago; eskualde dipolarrak eskuineko eskualde neutrorantz duen zabalera ez da aintzat hartzeko modukoa).

Erantzun galdera hauei:

c) Zenbat da ϕ , eskualde neutroen arteko potentzial aldea? Eta ϕ_T potentzial termodinamikoa?

Iruditik: $\phi = 1,95 \text{ V}$. Eta, dakigunez: $\phi = \phi_T - V \implies \phi_T = 0,95 \text{ V}$.

d) Aplikatzen ari garen polarizazio-tentsiorako, zenbat da l , hustutako eskualdearen zabalera? Eta junturako kapazitatea (C_J)?

Iruditik: $l = 0,15 \text{ um} (1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm})$.

Teoriatik/definiziotik: $C_J = A \cdot \epsilon / l = 6,962 \text{ nF} (7 \text{ nF})$.

e) Zenbat dira magnitude horiek oreka termodinamikoan (l_0 eta C_{J0})?

$$\text{Dakigunez: } C_J = C_{J0} \cdot \sqrt{\frac{\phi_T}{\phi}} \implies C_{J0} = C_J \cdot \sqrt{\frac{\phi}{\phi_T}} \quad l_0 = l \cdot \sqrt{\frac{\phi_T}{\phi}}$$

Eta, beraz: $l_0 = 0,1047 \text{ um}$, eta $C_{J0} = 9,97 \text{ nF} (10 \text{ nF})$.

[Aurreko atala atera ez bada, hurren gorako, hartu $\phi_T = 0,9$ eta $l_0 = 10^{-5} \text{ cm}$]

f) $N_D \gg N_A$ onartuz, zenbat da anodoko dopaketa? Eta katodokoa?

Datuak: $n_i=10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $V_T=25 \text{ mV}$, $q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_{rSi}=11,8$; $\epsilon_0=8,85 \text{ pF/m}$

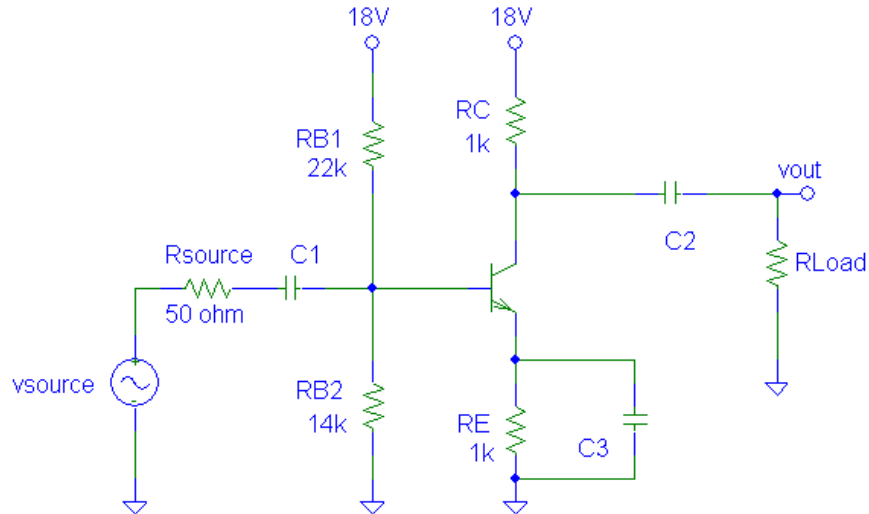
$$l_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi_T} \approx \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \cdot \frac{1}{N_A} \cdot \phi_T} \Rightarrow N_A \approx \frac{2\epsilon}{q} \cdot \frac{\phi_T}{l_0^2} \text{ (edo } N_A \approx \frac{2\epsilon}{q} \cdot \frac{\phi}{l^2} \text{)}$$

Beraz: $N_A=1,13 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

$$\text{Eta } \phi_T = V_T \cdot \ln \left[\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right] \Rightarrow N_D = \frac{n_i^2}{N_A} \cdot e^{\frac{\phi_T}{V_T}} \rightarrow N_D = 2,81 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}.$$

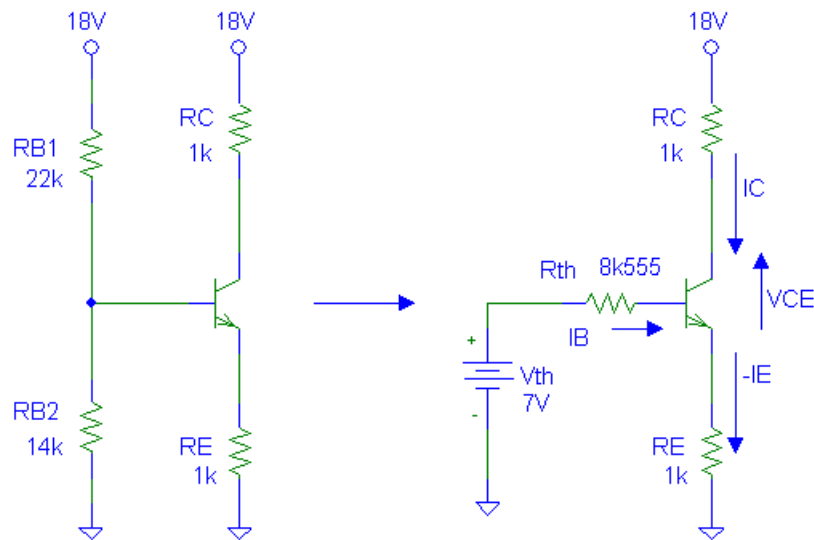
IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

2. 4. irudiko zirkuituko transistore bipolarri dagokionez, $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ eta $\beta = 200$.



4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitu anplifikatzailea.

- a) Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua. Transistorea edo temperatura aldatzen badira, lan-puntua egonkorra izango al da? Zergatik?



$$V_{TH} = 18 \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B1}} = 7V \quad R_{TH} = R_{B2} // R_{B1} = 8k555$$

Aktiboan dagoela onartuz (hipotesia eginez):

$$V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + (-I_E) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (I_C + I_B) \cdot R_E = I_B \cdot R_{TH} + (\beta I_B + (\beta + 1) \cdot I_{C0} + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + ((\beta + 1) \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{C0}) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot (R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E) + (\beta + 1) \cdot I_{C0} \cdot R_E$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE} - (\beta + 1) \cdot I_{C0} \cdot R_E}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} \approx \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E} = 30,06 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{C0} \approx \beta \cdot I_B = 6,0127 \text{ mA} \quad (-I_E = 6,0428 \text{ mA})$$

$$V_{CE} = 12 - I_C \cdot R_C - (-I_E) \cdot R_E = 5,94V \text{ (eta, beraz, aktiboan dago)}$$

Laburbilduz: $Q \rightarrow I_C = 6 \text{ mA}, V_{CE} = 6 \text{ V}; \beta \cdot R_E \gg R_{TH} \rightarrow$ egonkorra da.

b) Bigarren hurbilketan, zenbat da (zehatz-mehatz) V_{BE} , baldin eta $I_{E0} = 0,1 \text{ pA}$ eta $I_{C0} = 0,3 \text{ pA}$ badira?

$$I_E = -\alpha_R \cdot I_C - I_{E0} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \Rightarrow V_{BE} = V_T \cdot \ln\left[\frac{-I_E - \alpha_R \cdot I_C}{I_{E0}}\right]$$

$$\text{Non } \alpha_R = \alpha_F \cdot I_{E0} / I_{C0} = B_F / (B_F + 1) \cdot I_{E0} / I_{C0} = 0,3317.$$

Eta, beraz, $V_{BE} = 610,6 \text{ mV}$.

$$I_E = -\alpha_R \cdot I_C - I_{E0} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) = -\alpha_R (-\alpha_F I_E + I_{C0}) - I_{E0} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

$$I_E \cdot (1 - \alpha_R \alpha_F) = -\alpha_R I_{C0} - I_{E0} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \Rightarrow V_{BE} = V_T \cdot \ln\left[\frac{-I_E \cdot (1 - \alpha_R \alpha_F) - \alpha_R I_{C0}}{I_{E0}}\right]$$

$$V_{BE} \approx V_T \cdot \ln\left[\frac{-I_E \cdot (1 - \alpha_R \alpha_F)}{I_{E0}}\right] = 610,4 \text{ mV}$$

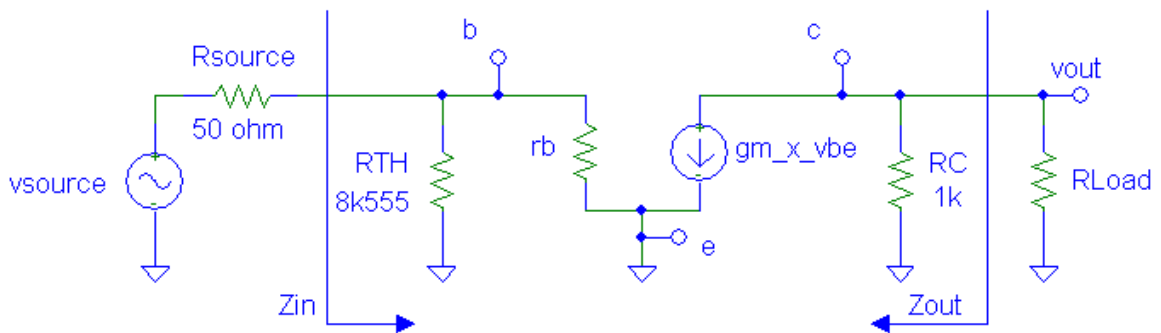
c) Marratzu, 5.a irudian, karga-zuzen estatikoa, eta adierazi Q puntua.

$$V_{CE} = 18 - I_C \cdot R_C - (-I_E) \cdot R_E \approx 12 - I_C \cdot \left[R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E\right]$$

$$\left[V_{CE} = 18 - I_C \cdot R_C - (I_C - I_{C0}) \frac{\beta + 1}{\beta} R_E\right]$$

$$I_C \approx \frac{18 - V_{CE}}{R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E} \approx \frac{18 - V_{CE}}{2k} \text{ (eta hori irudikatu da, urdinez, 5. irudian)}$$

- d) Kalkulatu, R_{load} erresistentziaren arabera, zirkuituaren tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.



Seinale txikiko zirkuituan, $r_b = V_T/I_B = 831,6\Omega$ eta $g_m = I_C/V_T = 240,5 \text{ mA/V}$.

Erraz ikusten denez,

$$Z_{in} = R_{TH} // r_b = 758\Omega \quad \text{eta} \quad Z_{out} = R_C = 1k\Omega$$

$$v_{be} = v_{source} \cdot \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_{source}} = 0,938 \cdot v_{source}$$

$$v_{out} = -g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_L) = -v_{source} \cdot g_m \cdot (R_C // R_L) \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_{source}}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{source}} = -g_m \cdot (R_C // R_L) \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_{source}} = -225,6 \cdot (R_C // R_L)$$

- e) Zenbat da tentsio-irabazi maximoa dakarren R_{load} erresistentzia?

Maximoa izango da R_L infinitua ipiniz gero: $A_{vR_{Load_infinitu}} = -225,6$.

- f) Marraztu, 5. irudian, $R_{load} = 100 \text{ M}\Omega$ erresistentzia erabiliz lortzen den karga-zuzen dinamikoa. Nolakoa da tarte dinamikoa? Marraztu, orobat, zer itxura izango duen irteerako seinaleak, sarrera $v_s = 20 \text{ mV} \cdot \sin(2\omega t)$ bada ($f = 200 \text{ Hz}$). Eta, sarrerako anplitudea 30 mV bada?

Hasteko, kzd-aren malda kalkulatu dugu:

$$m_{kzd} = \frac{i_c}{v_{ce}} = \frac{i_c}{v_c} = \frac{i_c}{-i_c \cdot (R_C // R_L)} = \frac{1}{-(1k\Omega // 100M\Omega)} = -\frac{1}{1k}$$

Eta, beraz, badakigu noiz sartuko garen etendurara eta asetasunera:

ETENDURA: $i_c = 0 \rightarrow v_{CE\text{eten}} = V_{CEQ} - I_{CQ}/m_{kzd} \sim 6\text{ V} + 6\text{ mA} \cdot 1\text{ k} = 12\text{ V}$

ASETASUNA: $v_{CE} \sim 0 \rightarrow i_{C\text{sat}} = I_{CQ} - V_{CEQ} \cdot m_{kzd} \sim 6\text{ mA} + 6\text{ V}/1\text{ k} = 12\text{ mA}$

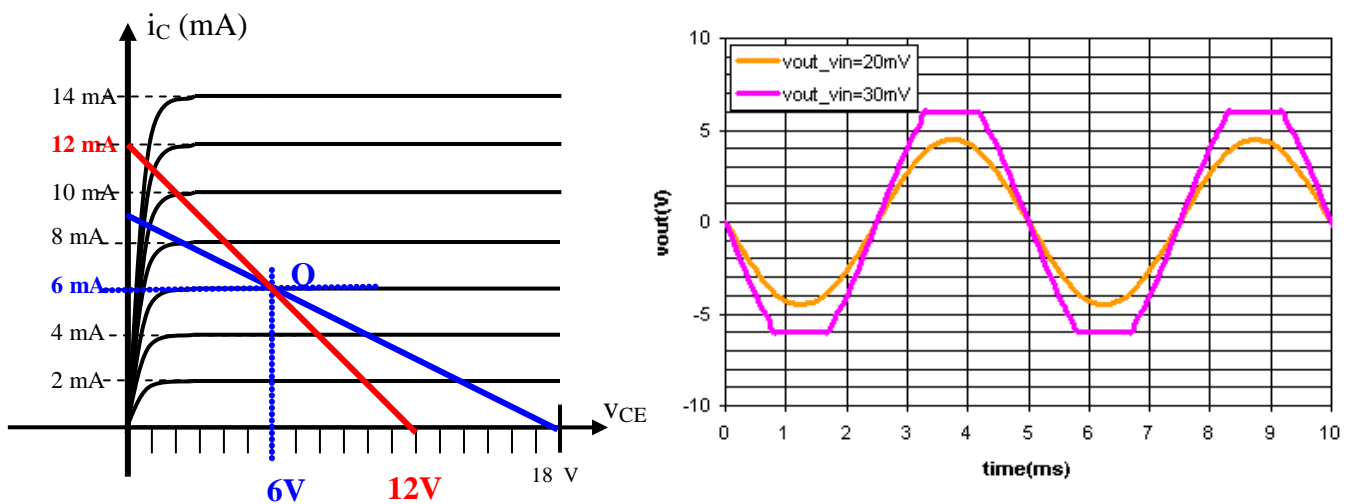
[5. irudian, karga-zuzen dinamikoa **gorriz** irudikatu da]

$$m_{kzd} = -\frac{1}{1k} = \frac{i_c - 6\text{ mA}}{v_{CE} - 6\text{ V}}$$

Beraz, tarte dinamikoa (gutxi gorabehera) simetrikoa geratzen da.

Irteerako seinaleak distortsiorik gabe har dezakeen puntako balioa 6 V da. Eta, erdiziklo negatiboan, berdin: -6 V.

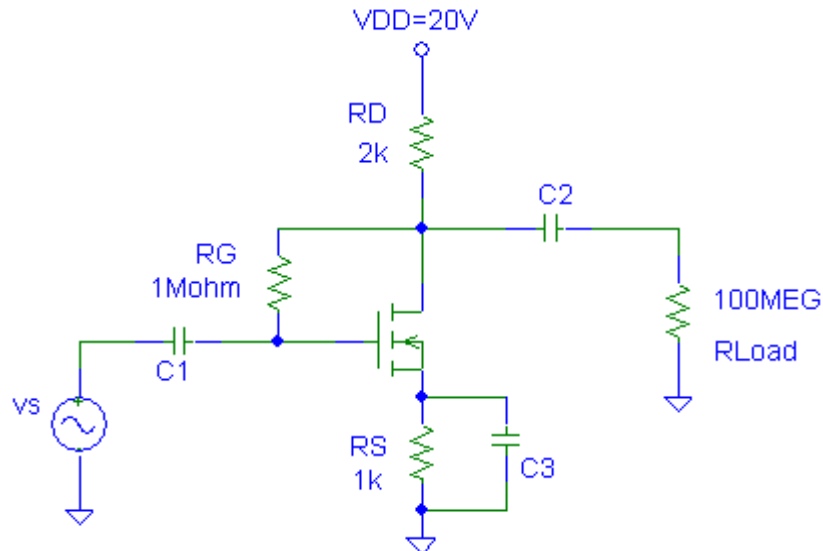
Hori dela eta, sarrerako lehenengo anplitudearekin (20 mV), ez dago distortsiorik ($v_{\text{outp}} = 4,5\text{ V}$), baina, bigarrenarekin (30 mV), bai (6,77 mV).



5. irudia. a) Transistorearen ezaugarri-kurbak (karga-zuzenak gainean marrazteko).
b) Irteerako seinalearen uhin-formak marrazteko ardatzak.

ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. 6. irudiko zirkuitua eta hango transistorearen asetarako transferentziaren kurba erabiliz (I_D vs V_{GS} , ikus 7. irudia), erantzun honako galdera hauei:



6. irudia. Hirugarren ariketako anplifikadorea.

- a) Zer transistore mota dugu? Eman haren parametro karakteristikoak.

Zirkuitu-ikurra ikusita zein asetarako I_D - V_{GS} ikusita, argi dago

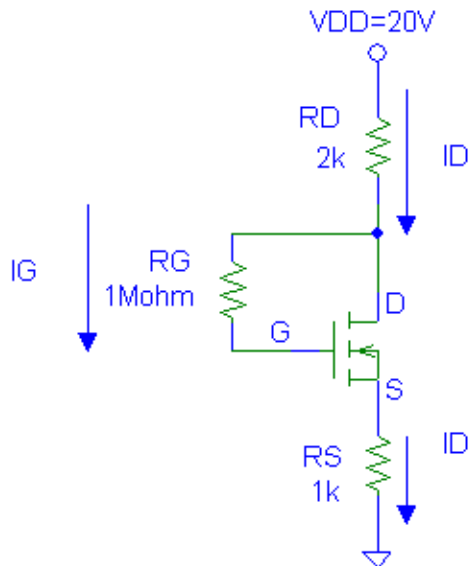
N pasabideko ugaltze (edo metaketazko) MOSFETa dela.

Ezaugarritik, $V_T = V_{GSoff} = 4V$.

Eta $I_{DSS} = I_{Dsat}(0V)$ edo $I_{Dsat}(2 \cdot V_T) = (\text{grafikotik}) = 4 \text{ mA}$.

[Bestela, edozein puntu hartuz eta $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$ erabiliz, $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$]

- b) Kalkulatu transistorearen polarizazio-puntua.



Zirkuitua analizatuz, $I_G=0$ denez,

$$V_S = I_D \cdot R_S$$

$$V_D = V_G = 20 - I_D \cdot R_D$$

$V_{GD} = 0$ V (eta, beraz, pasabidea itota dago drainaren aldean)

$$V_{GS} = 20 - I_D \cdot R_D - I_D \cdot R_S$$

Eta, beraz, $I_D = (20 - V_{GS}) / (R_D + R_S)$.

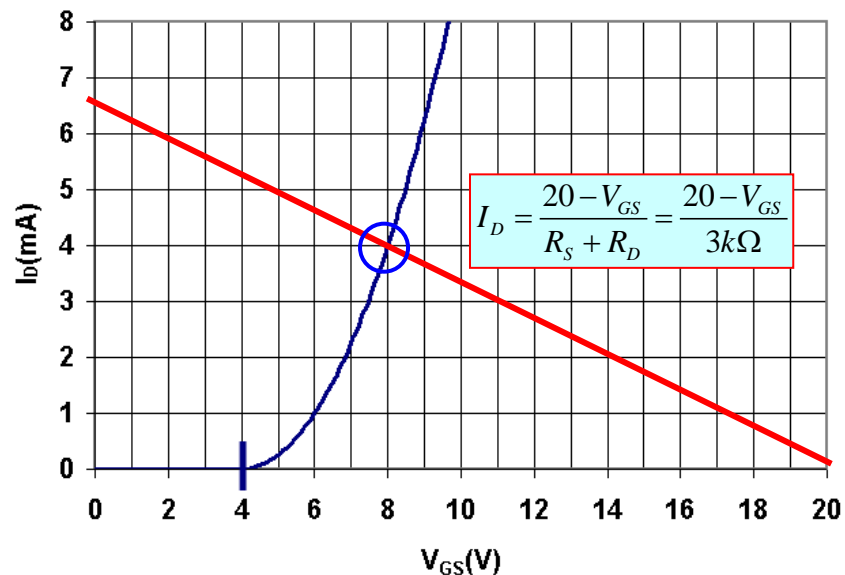
Grafikoki erraz ikusten denez:

$$V_{GS} = 8 \text{ V eta } I_D = 4 \text{ mA}$$

[Analitikoki ere egin daiteke, noski:

$$I_D = 4 \text{ mA} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{4 \text{ V}}\right)^2 = \frac{20 - V_{GS}}{3 \text{ k}} \rightarrow 12 \cdot \left(1 + \frac{V_{GS}^2}{16} - 2 \frac{V_{GS}}{4}\right) = 20 - V_{GS}$$

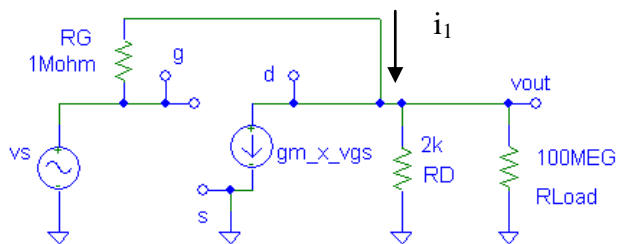
$$12 + 3 \frac{V_{GS}^2}{4} - 6V_{GS} = 20 - V_{GS} \rightarrow 3 \frac{V_{GS}^2}{4} - 5V_{GS} - 8 = 0 \Rightarrow V_{GS} = \frac{5 \pm \sqrt{25 + 24}}{3/2} = \begin{cases} 8 \text{ V (ok)} \\ -1,33 \text{ V (x)} \end{cases}$$



7. irudia. Lehenengo transistorearen asetasuneko transferentziaren kurba.

- c) Marraztu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak.

Seinale txikiko zirkuitua hau izango da:



$$\text{Non } g_m = \left| \frac{2}{V_T} \cdot \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}} \right| = \left| \frac{2}{4V} \cdot \sqrt{4mA \cdot 4mA} \right| = 2mA/V$$

Hau da, iturri komuneko egitura bat dugu (igorle komunekoaren antzekoa, beraz).

Zirkuitu honetan:

$$v_{gs} = v_s$$

$$v_{out} = (i_1 - g_m \cdot v_{gs}) \cdot (R_D // R_{load})$$

$$v_{out} = \left(\frac{v_s - v_{out}}{R_G} - g_m \cdot v_s \right) \cdot (R_D // R_{load})$$

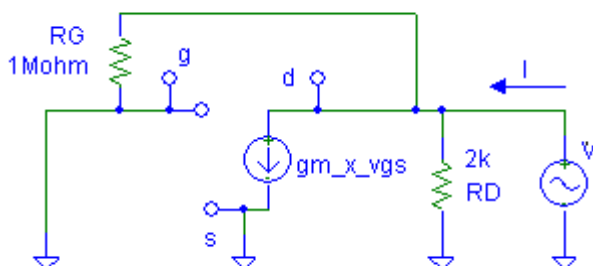
$$\frac{v_{out}}{R_D // R_{load}} = \frac{v_s}{R_G} - g_m \cdot v_s - \frac{v_{out}}{R_G}$$

$$v_{out} \left(\frac{1}{R_D // R_{load}} + \frac{1}{R_G} \right) = v_s \left(\frac{1}{R_G} - g_m \right)$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{\left(\frac{1}{R_G} - g_m \right)}{\frac{1}{R_D // R_{load}} + \frac{1}{R_G}} = \left(\frac{1}{R_G} - g_m \right) (R_D // R_{load} // R_G) \approx -g_m R_D = -4$$

$$Z_{in} = \frac{v_s}{i_1} = \frac{v_s}{\left(\frac{v_s - v_{out}}{R_G} \right) / g_m} = R_G \frac{1}{1 - \frac{v_{out}}{v_s}} = R_G \frac{1}{1 - A_v} = R_G \frac{1}{1 + g_m R_D} = \frac{1M\Omega}{1 + 4} = 200k\Omega$$

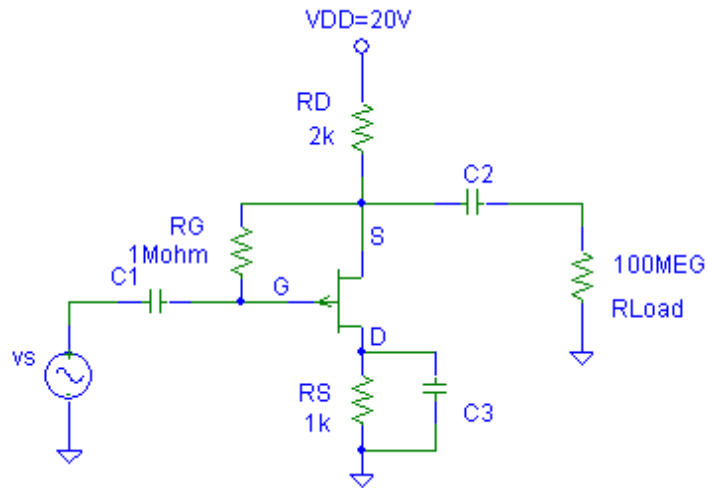
Z_{out} kalkulatzeko, honako zirkuitu hau analizatu behar dugu:



$$v_{gs}=0 \text{ denez, } i_d=0 \text{ izango da, eta } Z_{out} = V/I = R_D // R_G \sim 2k$$

Orain, —aldaketa nabarmena sartzeko— transistorea aldatuko dugu: p pasabideko JFET bat erabiliko dugu, honako parametro hauek dituen: $|I_{DSS}| = 4 \text{ mA}$ eta $|V_T| = 1 \text{ V}$.

d) Zer aldaketa agertzen dira polarizazio-zirkuituan? Kalkulatu lan-puntua.



Aldaketa nabarmena dago, bai, zeren eta, kasu honetan, draina eta iturria lekuz aldatzen baitira: draina beheko terminala izango da; iturria, goikoa.

Ebazpena, dena dela, erraz egiten da bi hipotesi onartuz:

Bi junturak alderantziz polarizatuko dira ($I_G=0$).

$$\text{Asetasunean lan egingo dugu: } I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 = -4\text{mA} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{+1\text{V}}\right)^2$$

(gero, hipotesi horiek egiaztatu beharko ditugu)

Hala gertatzen bada, $I_G=0$ denez, $V_{GS}=0 \text{ V}$ eta $I_D = -4\text{mA}$ izango da.

Eta orduan, $V_D = 4 \text{ V}$, $V_G = V_S = 20 - 8 = 12 \text{ V}$.

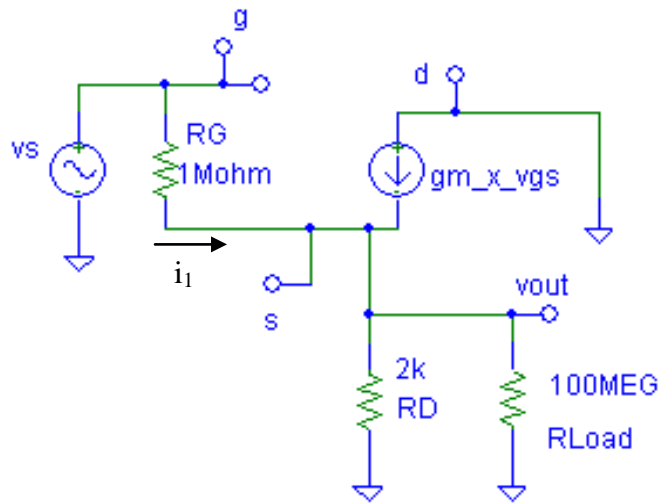
Beraz, $V_{GS}=0 \text{ V}$ (ok) eta $V_{GD} = 8 \text{ V}$.

Beraz, junturak ez daude zuzenean polarizatuta, eta pasabidea itota dago drainaren aldean: hipotesiak egiaztatu ditugu.

e) Eta, seinale txikiko zirkuituari eta anplifikatzeari dagokienez, zer aldaketa nagusi daude?

[Hau ere galdera logikoa izango zen: Zenbat da oraingo A_v ?]

Seinale txikiko zirkuitua hau izango da:



$$\text{Non } g_m = \left| \frac{2}{V_T} \cdot \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}} \right| = \left| \frac{2}{1V} \cdot \sqrt{-4mA \cdot -4mA} \right| = 8mA/V$$

Ikusten dugunez, guztiz bestelakoa izango da emaitza, zeren eta drain komuneko egitura bat baitugu (kolektore komunekoaren antzekoa, beraz).

[Ez zen eskatzen, baina, zirkuitu honetan, honela kalkulatu litzateke tentsio-irabazia:

$$i_1 = \frac{v_{gs}}{R_G};$$

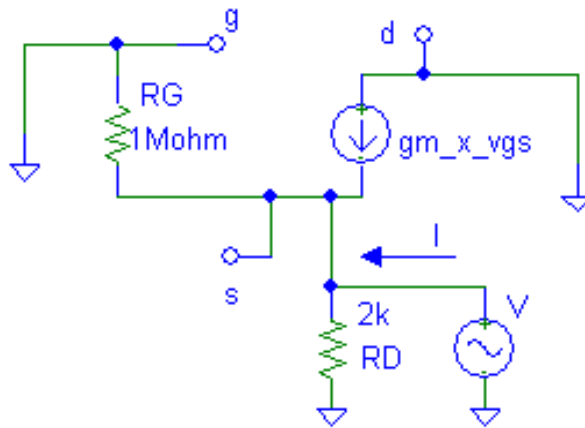
$$v_{out} = (i_1 + i_d) \cdot (R_D // R_{Load}) = \left(\frac{v_{gs}}{R_G} + g_m v_{gs} \right) \cdot (R_D // R_{Load}) = v_{gs} \cdot \left(\frac{1}{R_G} + g_m \right) \cdot (R_D // R_{Load})$$

$$v_s = v_{out} + v_{gs} = v_{gs} \cdot \left[\left(\frac{1}{R_G} + g_m \right) \cdot (R_D // R_{Load}) + 1 \right]$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{\left(\frac{1}{R_G} + g_m \right) \cdot (R_D // R_{Load})}{\left(\frac{1}{R_G} + g_m \right) \cdot (R_D // R_{Load}) + 1} \approx \frac{g_m \cdot R_D}{g_m \cdot R_D + 1} = \frac{16}{17} = 0,9411$$

$$Z_{in} = v_s / i_1 = v_{gs} \cdot (g_m \cdot R_D + 1) / (v_{gs} / R_G) = R_G \cdot (g_m \cdot R_D + 1) = 17 \text{ M}$$

Eta, irteerako inpedantzia kalkulatzeko:



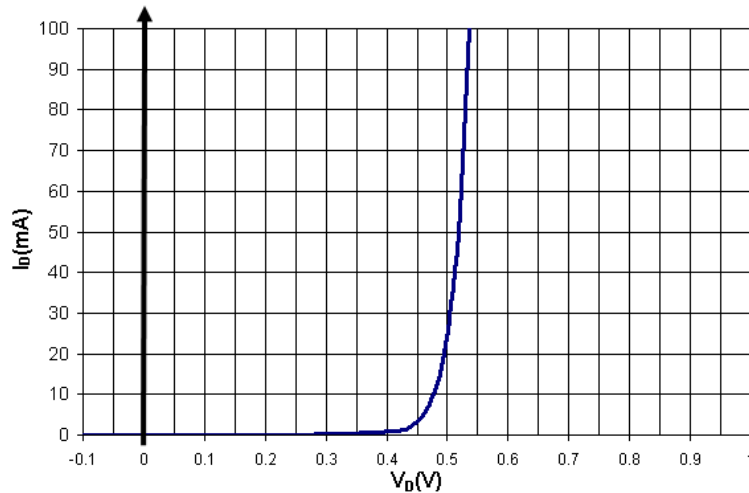
$$v_{gs} = -V;$$

$$I = -g_m \cdot v_{gs} + V/R_D + V/R_G = g_m \cdot V + V/2k + V/1M$$

$$Z_{out} = V/I = 1 / (g_m + 1/R_D + 1/R_G) = (R_G // R_D // g_m^{-1}) = 117 \Omega]$$

PN JUNTURA – ZIRKUITU DIODODUNAK

1. 1. irudiak siliziozko pn junturako diodo baten I-V kurba ematen digu.



1. irudia. Lehenengo ariketako I-V kurba.

Datuak: $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $V_T = 25 \text{ mV}$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\epsilon_{rSi} = 11,8$; $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$

a) Zenbat da diodo diodoaren atariko tentsioa 25-100 mA tartean?

Ikusten denez, 0,5-0,54 V ingurukoa da. Adibidez, 0,52 V.

b) Zenbat da, gutxi gorabehera, haren asetasun-korrontea?

Shockley aplikatzen badugu (efektu erresistiboak arbuizaten baditugu), $I = I_{\text{sat}} \cdot [\exp(V/V_T) - 1]$ da, eta $I_{\text{sat}} = I / [\exp(V/V_T) - 1]$.

Adibidez, (0,5 V, 25 mA) puntua hartuz: $5,15 \cdot 10^{-11} \text{ A} = 51,5 \text{ pA}$; (0,525 V, 70 mA) puntua hartuz, $I_{\text{sat}} = 5,31 \cdot 10^{-11} \text{ A} = 53,1 \text{ pA}$. Hortaz, esan daiteke 50 pA ingurukoa dela.

Dakigunez, diodoaren sekzioa $0,1 \text{ cm}^2$ da, katodoko dopaketa $N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ eta potentzial termodinamikoa 0,806 V.

c) Zenbat da anodoko dopaketa?

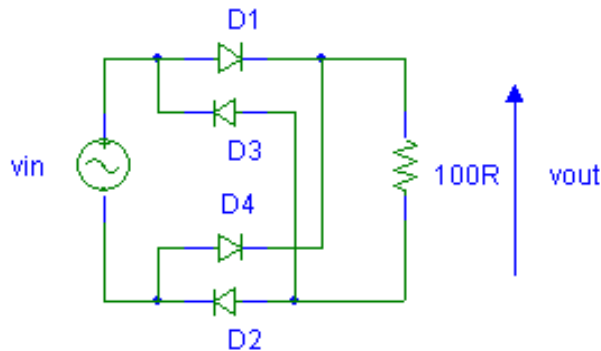
$$\phi_T = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right) \Rightarrow N_A = \frac{n_i^2}{N_D} \cdot \exp\left(\frac{\phi_T}{V_T}\right) = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

d) Eta junturako orekako kapazitatea?

$$C_{J0} = \frac{A \epsilon_{Si}}{l_0} = \frac{A \epsilon_{rSi} \cdot \epsilon_0}{\sqrt{\frac{2 \epsilon_{rSi} \cdot \epsilon_0}{q} \left(\frac{1}{N_D} + \frac{1}{N_D} \right) \cdot \phi_T}}$$

$$l_0 = 1.03E-4 \text{ cm} = 1.03 \mu\text{m} \quad C_{J0} = 1.02E-9 \text{ F} = 1 \text{ nF}$$

Diodo hori erabiliz, 2. irudiko zirkuitua muntatu dugu.

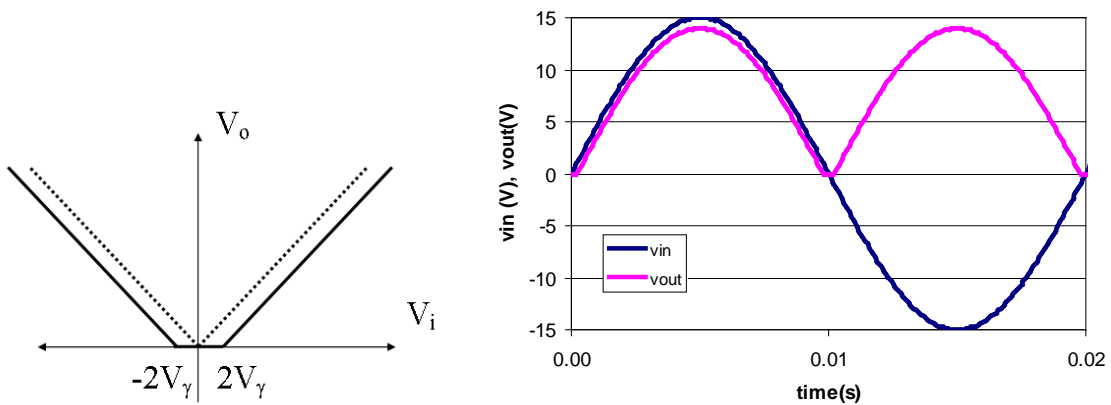


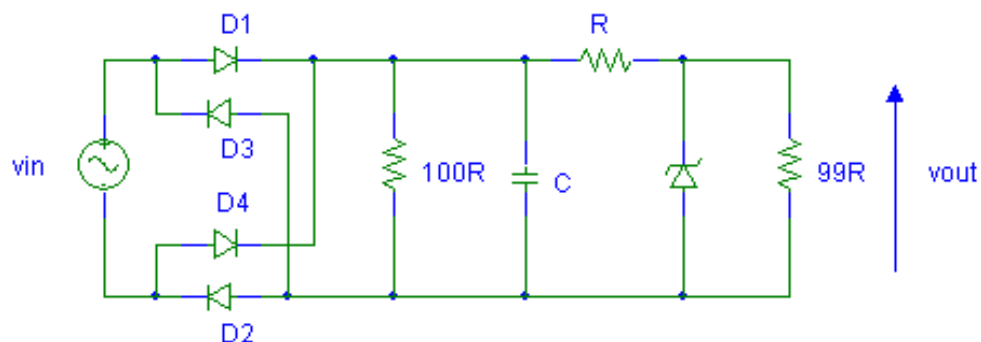
2. irudia. Diodoaren aplikazio-zirkuitua.

e) Zer zirkuitu mota da? Irudikatu, diodoaren atariko tentsioa kontuan hartuz, zirkuitu honen transferentziaren kurba.

f) Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalea baldin eta sarreran $v_{in} = 15 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ aplikatzen bada.

Uhin osoko zuzentzaile bat da (erdiziklo positiboan, D1 eta D2 diodoek eroaten dute; negatiboan, D3k eta D4k). Diodoen ukondoko tentsioa gutxi gorabehera 0.52 V dela jotzen badugu:





3. irudia. Diodoaren aplikazio-zirkuitua (bigarren atala).

Orain, kondentsadore bat (nahiko kapazitate handia duena, $RC \gg T$ lortzeko modukoa), erresistentzia batzuk eta 10 V-eko zener bat gehituko ditugu.

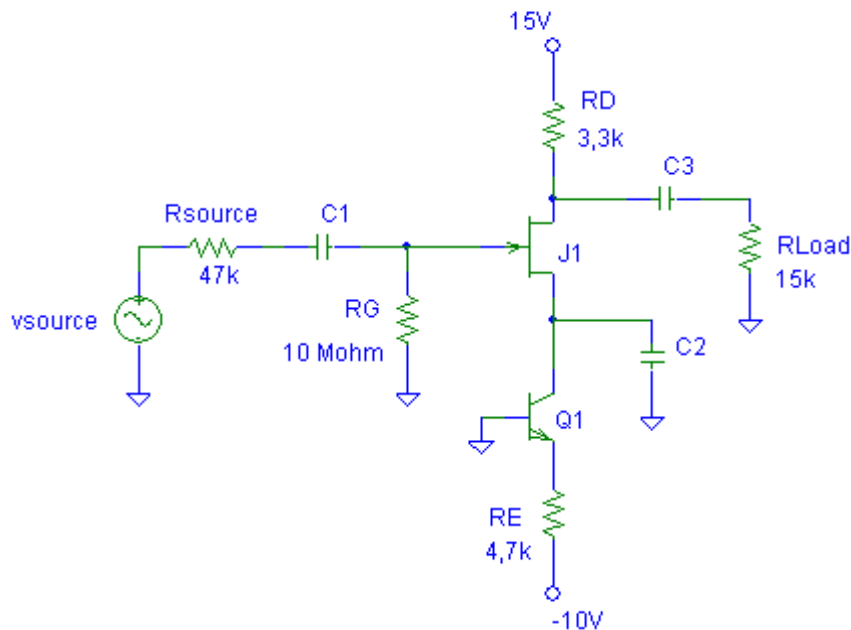
g) Zenbat izango da irteerako seinalearen osagai zuzena (hots, jarraitua)? Nolakoa izango litzateke, idealki, irteerako osagai alternoa?

Lehenengo, kondentsadorearen efektua ikusiko dugu. Tentsioa mantentzen saiatzen da, eta, sarrerako seinaleak puntako balioa (maximoa zein minimoa) hartzen duen unetik aurrera, diodoak OFF geratzen dira, eta kondentsadorea pixkanaka deskargatuko da $100\cdot R$ erresistentziaz. Seinalearen forma zerra-hortz batena izango da. Haren balio maximoak $15V - 2\cdot V_y$ izaten jarraituko du. Txikiena, aldiz, pixka bat txikiagoa izango da.

Ondoren, zenerrak mugatu, erregulatu egiten du. Irteerako tentsioa 10 V-eko seinale zuzen (purua) izango litzateke idealki (laborategiko bigarren praktikan, kizkurdura-faktore oso txiki bat neurtu genuen). Tentsio zuzeneko iturri edo sorgailu txiki bat da.

ZIRKUITU TRANSISTOREDUNAK

2. 4. irudiko zirkuituan erabiltzen den transistore bipolarrari dagokionez, $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$ eta $\beta = 150$ dira. Ereku-efektukoaren ezaugarri nagusiak, berriz, honako hauek dira: $|V_T| = 4 \text{ V}$ eta $|I_{DSS}| = 8 \text{ mA}$.



4. irudia. Bigarren ariketako zirkuitua.

- a) Kalkulatu bi transistoreen polarizazio-puntuak. Draine ko korronteari dagokionez, FETaren ezaugarrien arabera al da? Zerk finkatzen du?

Transistore bipolarra aktiboan eta JFETa asetasunean daudela jotzen badugu:

$$V_B = 0 = V_{BE} + I_{R_E} \cdot R_E + (-10) \Rightarrow I_{R_E} = \frac{10 - V_{BE}}{R_E} = 2 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_{R_E}}{\beta + 1} = 13.24 \mu\text{A} \quad I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{R_E} = 1.987 \text{ mA} \approx 2 \text{ mA}$$

Ereku-efektuko transistorea n pasabideko JFET bat da: $V_T = -4 \text{ V}$; $I_{DSS} = 8 \text{ mA}$.

$$I_D = -I_S = I_C = 1.987 \text{ mA} \approx 2 \text{ mA}$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow V_{GS} = V_T \cdot \left(1 \pm \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) = \begin{cases} -2 \text{ V (ok)} \\ -6 \text{ V (X)} \end{cases}$$

$$V_{GS} = -2 \text{ V (zehazkiago } -2,0066\text{V)}$$

$$I_G = 0 \rightarrow V_G = 0 \rightarrow V_S = V_C = 2 \text{ V}$$

$$V_D = 15 - I_D \cdot R_D = 8,4 \text{ V}$$

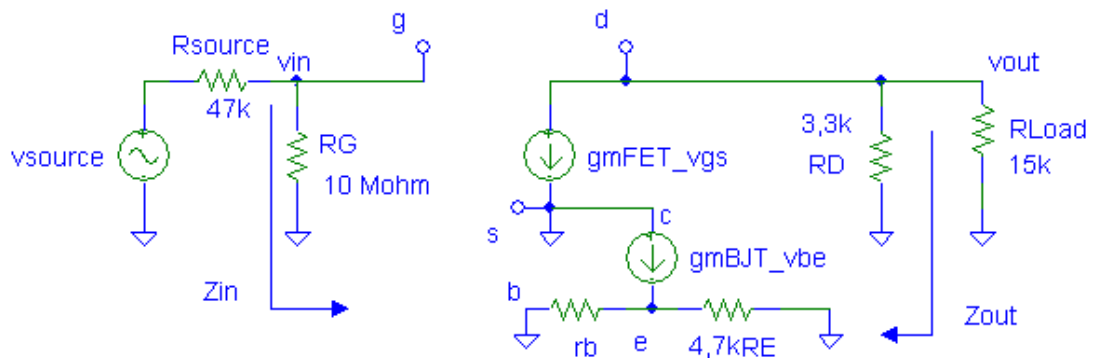
$$V_{CE} = V_C - V_E = 2 - (-0,7) = 2,7 \text{ V} > 0 \rightarrow \text{Beraz, BJTa aktiboan dago.}$$

$$V_{GD} = V_G - V_D = 0 - 8,4 \text{ V} < V_T = -2 \text{ V} \rightarrow \text{Beraz, JFETa asetsunean dago.}$$

Transistore bipolarrak finkatzen du draineko korronea (noski, JFETak 2 mA onartu behar ditu, R_G tentsio egoki batera konektatu behar da, R_D ezin da handiegia izan, eta abar).

b) Kalkulatu zirkuitu honetako tentsio-irabazia. Ba al du eraginik erabiltzen den sorgailuaren barneko inpedantziak? ARRAZOITU ERANTZUN GUZTIAK.

Seinale txikian, BJTak ez du parte hartzen (lurrera, erreferentziara konektatuta daude c eta b).



$$\text{Non } g_{mFET} = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D} = \frac{2}{4} \sqrt{8 \cdot 2} \text{ mA/V} = 2 \text{ mA/V}$$

$$Z_{in} = 10 \text{ M}\Omega \quad Z_{out} = 3.3 \text{ k}\Omega$$

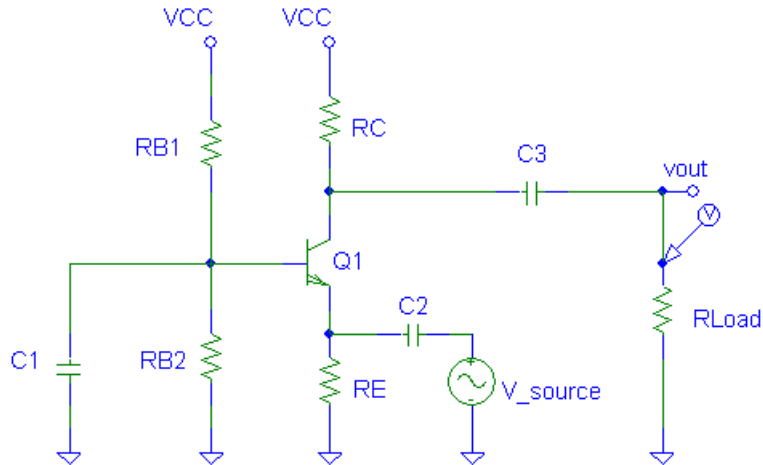
$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{source}} = \frac{-g_{mFET} \cdot (R_D // R_{Load}) \cdot v_{gs}}{v_{gs} \cdot \frac{Z_{in} + R_{source}}{Z_{in}}} = -g_{mFET} \cdot (R_D // R_{Load}) \cdot \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_{source}}$$

$$A_v = -5,38 \text{ (} R_{source} = 0 \text{ izango balitz, } -5,41)$$

Muntaketa honetan, sorgailuaren barneko inpedantziak eragin txikia du, zeren eta sarrerako inpedantzia ($Z_{in} = 10 \text{ M}\Omega$) oso handia baita.

BASE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

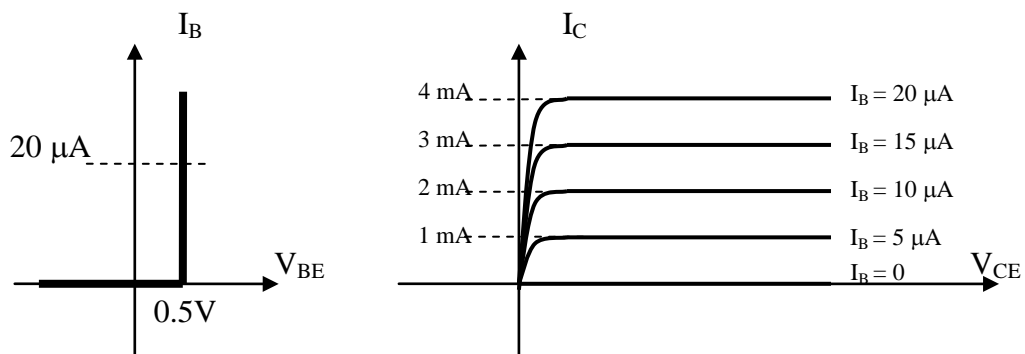
3. 5. irudiko zirkuituan erabili den transistorearen sarrerako eta irteerako ezaugarri-kurbak (I_B vs V_{BE} eta I_C vs V_{CE}) 6. irudikoak dira.



4.

5. irudia. Zirkuitu anplifikatzailea.

Datuak: $V_{CC} = 14\text{ V}$, $C_i = \text{inf.}$, $R_{B1} = 12\text{ k}$, $R_{B2} = 4\text{ k}$, $R_E = 2\text{ k}$, $R_{LOAD} = 1\text{ k}$



6. irudia. Transistorearen I-V kurbak.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) Zenbat da transistorearen β ? Transistorea ideala izango ez balitz, zer aldaketa ikusiko genituzke kurbetan?

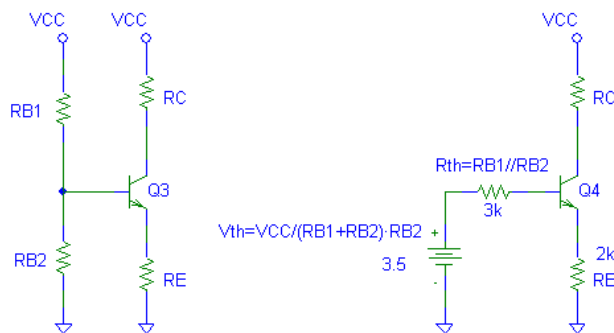
6. irudiko eskuineko aldean ikusten denez, $I_C/I_B = 200$. Hori da, beraz, β .

Transistore errealetan, hiruzpalau efektu nagusi ikusiko genituzke:

- Sarrerako I_B - V_{BE} kurba ez litzateke bakarria izango (ezberdina da modu aktiboan eta asetasunean), eta, gainera, malda finitua izango lukete.

- Irteerako kurbek malda txiki bat izango lukete tarte aktiboan (hemen, nulua da), batez ere Early efektua dela eta. Gainera, $\beta = I_C/I_B$ erlazioa ez litzateke konstantea izango kolektoreko korrante guztietarako (kurben arteko aldea ez litzateke berdina izango).

b) Kalkulatu, R_C -ren arabera, polarizazio-korrante eta tentsioak. Orobat, kalkulatu zein den R_C posibleen tarte transistorea aktiboan egoteko. Irudikatu R_C erresistentziaren muturreko balioetarako karga-zuzen estatikoak, eta adierazi Q lan-puntuak.



$$V_{th} = 14 / (12 + 4) \cdot 4 = 3.5V \quad R_{th} = 12k // 4k = 3k$$

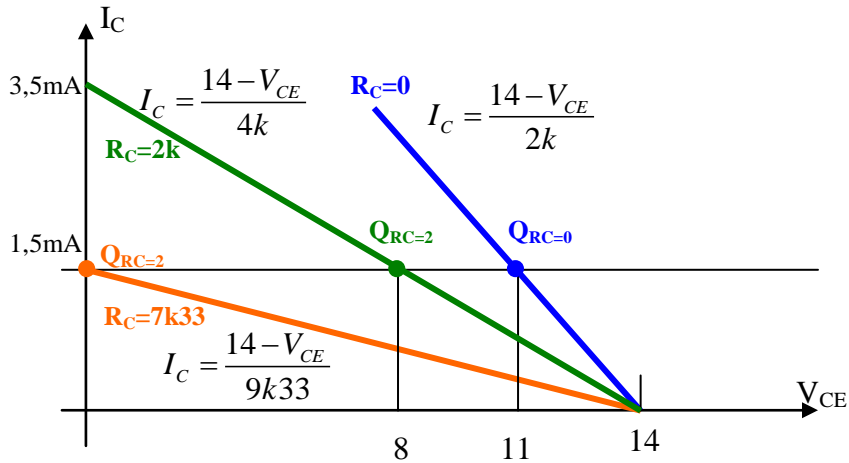
$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E} = 7.407 \mu A \quad I_C = 1.481 mA \approx 1.5 mA$$

$$I_{RE} = 1.489 \sim 1.5 mA$$

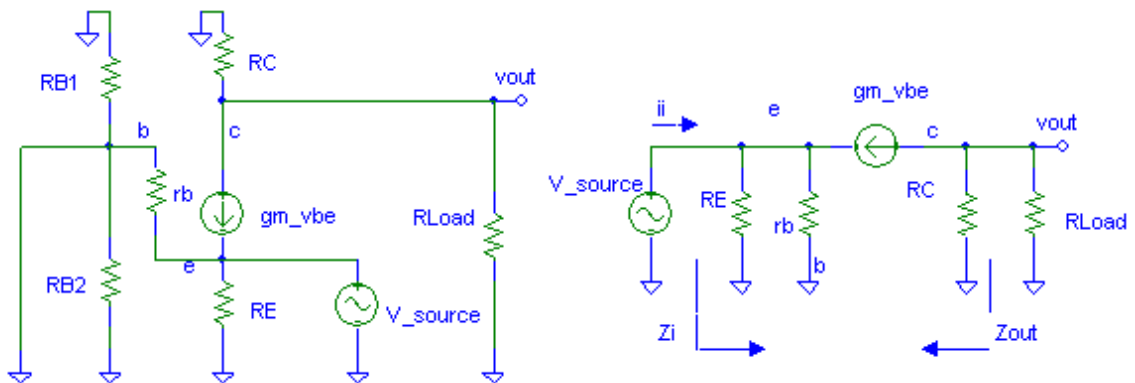
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot \left(R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E \right) \geq 0 \Rightarrow R_C \leq \frac{14 - 3}{1.5} = 7k33$$

R_C maximoa 7k33 da (zehazkiago 7k44). Minimoa 0 izango da.

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E}$$



c) Marraztu seinale txikiko zirkuitua eta kalkulatu tentsio-irabazia. Zenbat da irabaziaren balio maximoa? Zer Rc-rekin lortzen da?



$$r_b = V_T / I_B = 25\text{mV} / 7,407\text{mA} = 3\text{k}375$$

$$g_m = I_C / V_T = 59,24 \text{ mA/V} \text{ (} 60\text{mA/V)}$$

$$i_i = \frac{v_{source}}{R_E // r_b} - g_m \cdot v_{be} = \frac{v_{source}}{R_E // r_b} - g_m \cdot (-v_{source}) = v_{source} \left(\frac{1}{R_E // r_b} + g_m \right)$$

$$v_{out} = -g_m \cdot v_{be} \cdot (R_C // R_{Load}) = -g_m \cdot (-v_{source}) \cdot (R_C // R_{Load}) \Rightarrow A_v = g_m \cdot (R_C // R_{Load})$$

Tentsio-irabazi maximoa RC handienarekin lortuko da. Infinitu izango balitz

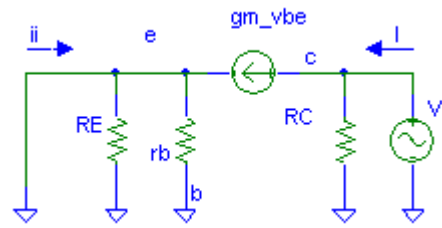
$A_v = g_m \cdot 1\text{k} = 59,24$ (~60). Baina gure R_C handiena 7k33 da, eta, horrekin, $A_v = 52,13$.

Hori bai, R_C horrekin ez dugu tarte dinamikorik, ia asetasunean gaude eta.

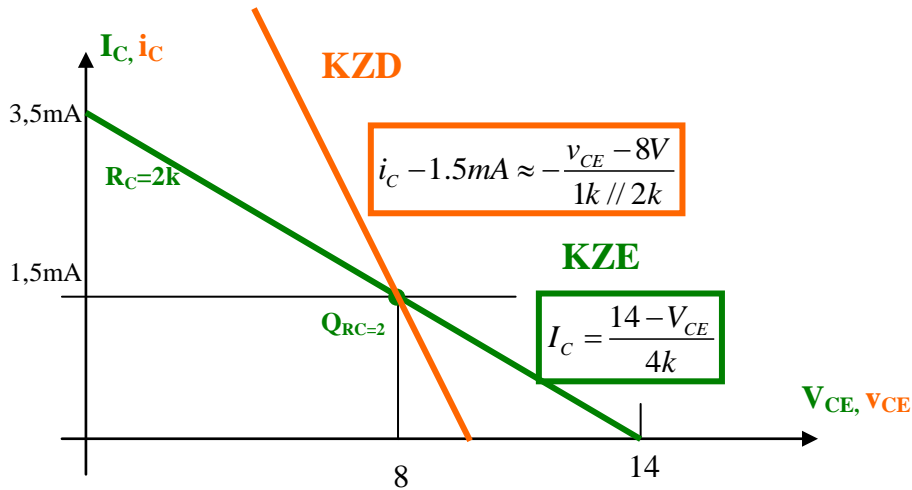
d) Kalkulatu, R_C -ren arabera, sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{v_{source}}{i_{in}} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1}{r_b} + g_m} = 16.66\Omega$$

$$Z_{out} = \frac{V}{I} = R_C \longrightarrow$$



e) Marraztu nolakoa izango den irteerako tentsioa baldin eta $R_C = 2\text{ k}\Omega$ eta $v_{source} = 40\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$ bada.



$$I_C = 1.5\text{ mA}, V_{CE} = 8\text{ V}, A_v = 39.5, m_{KZD} = i_c / v_{ce} \approx -1 / (1\text{ k} // 2\text{ k}) = -1 / (0.666\text{ k})$$

Distortsiorik ez balego,

$$v_{out} = A_v \cdot v_{source} = 39.5 \cdot 40\text{ mV} \cdot \sin(\omega t) = 1.58\text{ V} \cdot \sin(\omega t).$$

$$v_{CE} = 8 + v_{ce} = 8 + v_c - v_e = 8 + A_v \cdot v_s - v_s \approx 8 + 38.5 \cdot 40\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$$

$$i_c = 1.5\text{ mA} + i_c = 1.5\text{ mA} - g_m \cdot v_s = 1.5\text{ mA} - 0.05924 \cdot 40\text{ mA} \cdot \sin(\omega t)$$

Baina distortsioa ager daiteke:

$$v_{CE} = 0 \Rightarrow v_{s_ase} = -207.8\text{ mV} \rightarrow v_{out\ min} = -8\text{ V}$$

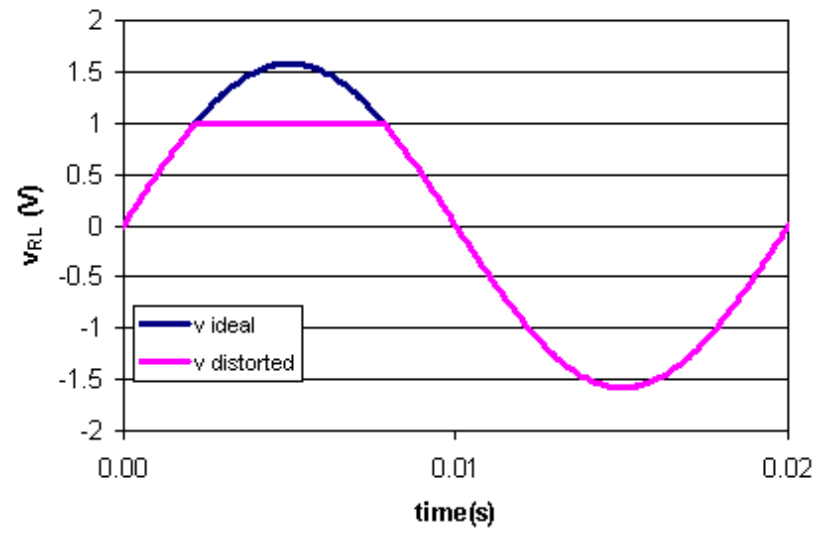
$$i_c = 0 \Rightarrow v_{s_eten} = +25\text{ mV} \rightarrow v_{out\ max} = A_v \cdot 25\text{ mV} = 0.99\text{ V}$$

Hau da, 8 V-eko tartea dago asetaserantz; etendurarantz, 1 V ($1.5\text{ mA} / m_{KZD}$).

$V_C = 11 + 1.58 \cdot \sin(\omega t)$ V (distortsiorik ez dagoen bitartean).

$V_{out} = 1,58 \cdot \sin(\omega t)$ V (distortsiorik ez dagoen bitartean).

Adibidez, $f = 50\text{Hz}$ hartuz:



PN JUNTURA

1. **Kontaktu ohmikoak dituen diodo bati buruzko oinarritzko kontu batzuk analizatu nahi ditugu. Hona hemen haren ezaugarri batzuk:**

ANODOA: $N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ $D_n = 30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ $L_n = 50 \text{ }\mu\text{m}$ $W_a = 200 \text{ }\mu\text{m}$

KATODOA: $N_D = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ $L_p = 100 \text{ }\mu\text{m}$ $W_k = 200 \text{ }\mu\text{m}$

Haren sekzioa $A = 0,125 \text{ cm}^2$ da, eta hona hemen beste datu orokor batzuk:

$n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; $\epsilon_{rsi} = 11,8$; $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$, $V_T = 25 \text{ mV}$.

Erantzun honako galdera hauei:

- a) **Zenbat da pn juntura horretako potentzial termodinamikoa?**

$$\phi_T = V_T \cdot \text{Ln} \left[\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} \right] = 0.863 \text{ V}$$

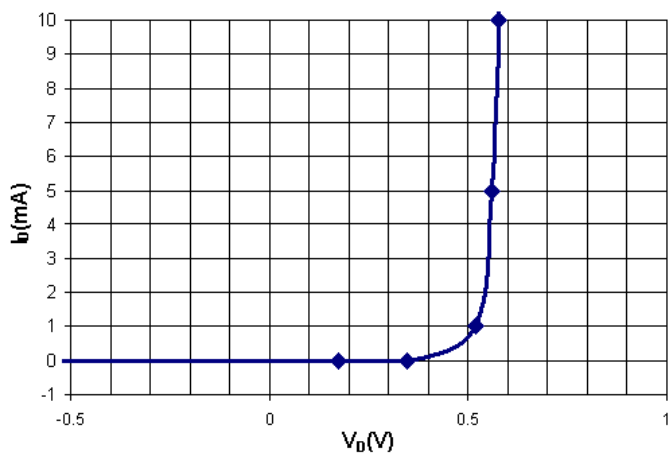
- b) **Eta eskualde hustuaren orekako zabalera?**

$$l_{equilibrium} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_T} = \langle \epsilon_s = \epsilon_{rs} \cdot \epsilon_0 \rangle = 3.36 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0.336 \text{ }\mu\text{m}$$

$I_{sat} = 1 \text{ pA}$ hartuz, kalkulatu zenbateko tentsioa aplikatu behar den beheko taulako korranteak lortzeko, eta marraztu diodoaren I-V kurba, emandako eskalan. Balioetsi zenbat den diodo honen atariko tentsioa mA inguruko korranteekin lan egin behar badugu.

$$I_D = I_{sat} \cdot \left[\exp\left(\frac{V_D}{V_T}\right) - 1 \right] \Rightarrow V_D = V_T \cdot \text{Ln} \left[\frac{I_D}{I_{sat}} + 1 \right]$$

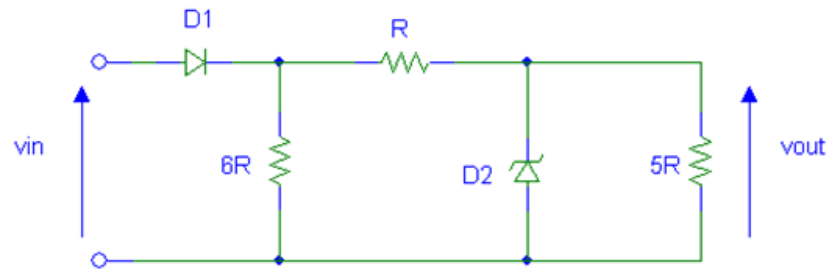
I_D	V_D
1 nA	0,173
1 μ A	0,345
1 mA	0,518
5 mA	0,558
10 mA	0,576
1 A	0,691



Atariko tentsioa (1-10 mA inguruan) 0,55 V ingurukoa izango da (0,518-0,576 artekoa).

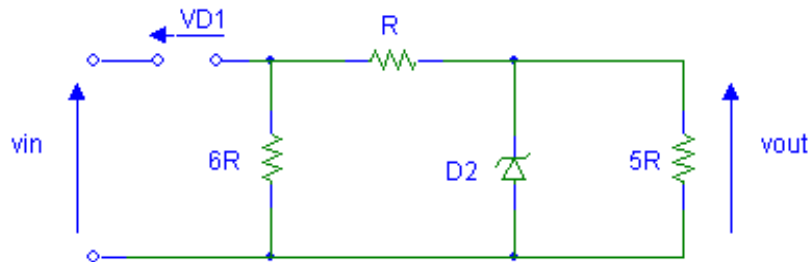
ZIRKUITU DIODODUNAK

2. Kalkulatu eta marraztu beheko zirkuituaren transferentziaren funtzioa -20 V , 20 V tartean. Horretarako, jo diodoak idealak direla eta hartu zenerraren hausturako tentsioa $V_z = 10\text{ V}$ dela. Marraztu nolakoa izango den irteerako seinalearen forma baldin eta sarrerako tentsioa $20\text{ V}\cdot\sin(\omega t)$ bada.



1. irudia.

- a) Demagun D1 OFF dagoela. Orduan, zirkuitua honela geratzen da:

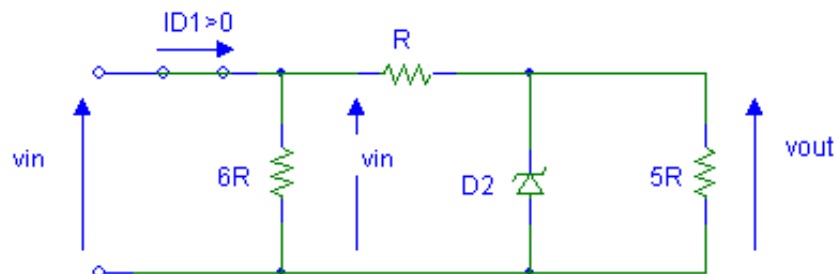


Eta, eskuineko zirkuitua isolatuta geratzen denez, berehalakoa da ebazpena: D2n, ez dago ez korronterik ez tentsiorik (orekan edo)

$$v_{\text{out}} = 0, V_{D1} = v_{\text{in}}$$

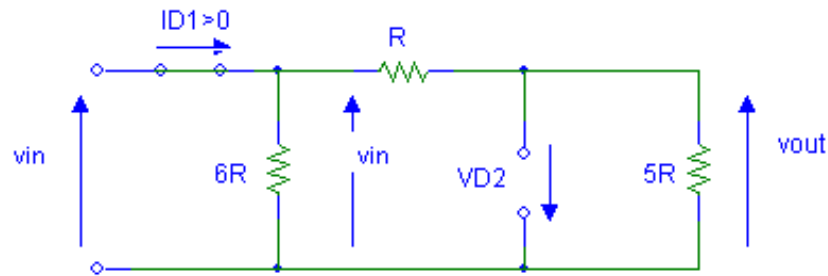
Horrelako egoeran egoteko, $V_{D1} < 0$ behar dugu $\rightarrow v_{\text{in}} < 0$.

Aurreko ataletik, $v_{\text{in}} > 0$ denean, D1 ON egongo da. Orduan, zirkuitua honela geratzen da:



Hemen ($v_{\text{in}} > 0$ denez), bi aukera ditugu: D2 OFF edo HAUSTURAN egon daiteke.

b1) D2 OFF badago, honela geratzen da zirkuitua:

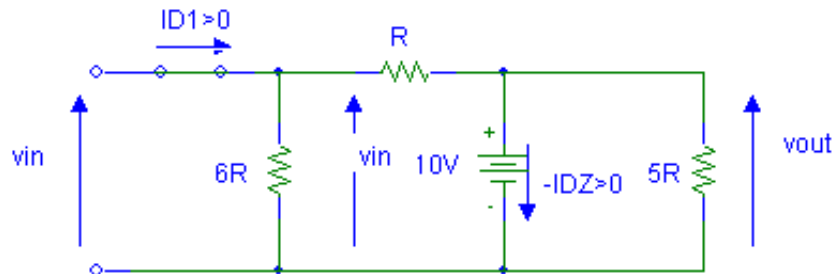


Eta, argi dagoenez, $v_{out} = 5/6 \cdot v_{in}$.

Horretarako $-10 < V_{D2} < 0$ behar dugu, eta, beraz, $0 < v_{in} < 12$ V.

[Ez da beharrezkoa $ID1 > 0$ dela egiaztatzea, lehenago aztertu baitugu beste kasua]

b2) Hortik aurrera ($v_{in} > 12$ V denean), zenerra hausturan egongo da, eta, beraz, $v_{out} = 10$ V, zeren eta honela geratzen baita zirkuitua:

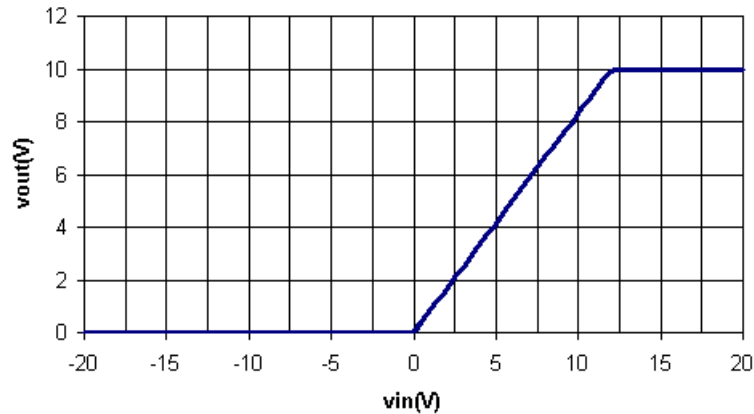


[Ez da beharrezkoa $ID1 > 0$ eta $ID2 < 0$ direla egiaztatzea dagoeneko bestelako aukerak aztertu baititugu]

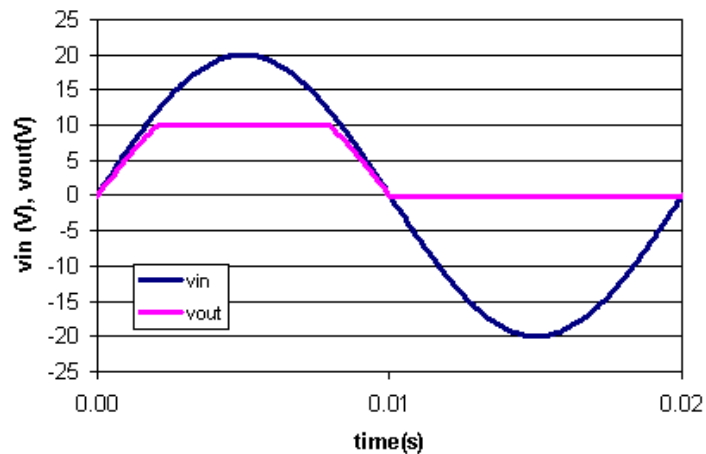
Laburbilduz:

Tartea	D1	D2	Vout(vi)
$v_i < 0$	OFF	ISOLATUTA	0
$0 < v_i < 12$ V	ON	OFF	$5/6 \cdot v_i$
$v_i > 12$ V	ON	HAUSTURAN	10 v

Eta, grafikoki, honela geratzen da transferentziaren kurba:

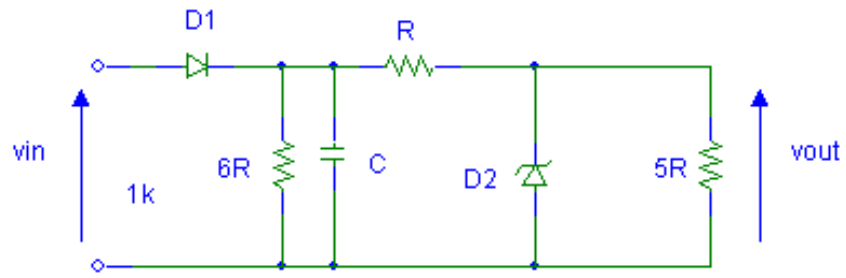


Eta, sarrera sinusoidala (eta -20,20V artekoa) bada ($f=50\text{Hz}$ hartu dugu):



Zirkuitua erabiliz tentsio-iturri txiki bat egiteko, laborategiko bigarren praktikan egin zenaren antzera, nahikoa izango litzateke kondentsadore bat gehitzea. Non jarri beharko genuke? Zenbat izango litzateke irteerako tentsioaren balioa?

Bigarren praktikan uhin osoko zuzentzailea erabiltzen bagenuen ere, hemen, uhin erdikoa dugu. Gero, $6R$ erresistentziarekin paraleloan ipiniko dugu kondentsadorea, eta, gero, zenerrak finkatuko du. Kondentsadore egokia hartuz, irteera $v_{out}=10\text{V}$ -eko tentsio zuzena —eta konstantea, C balio askotarako— izango da.



[Zuzenketan egon daitekeen kizkurdura R erresistentzian jasaten da, eta $v_{out} 10\text{ V}$ izan daiteke (zenerra idealtzat hartuz). Aldiz, C kondentsadorea $5R$ erresistentziarekin paraleloan jarriz gero, $v_{out} 10\text{V}$ -etik jaitsiko litzateke deskarga-denboran]

IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. Beheko zirkuitu anplifikatzaileari buruzko kontu batzuk aztertu nahi ditugu. Hari buruz, intereseko datu hauek dakizkigu:

- Tentsio-irabazia: $|A_v|=50$.
- Karga-zuzen estatikoa eta dinamikoa 3. irudikoak dira.
- Distortsioa simetrikoki agertzen da etenduran eta asetasunean.
- Zirkuitu-osagai batzuen balioak honako hauek dira:

$$V_{CC} = 24V$$

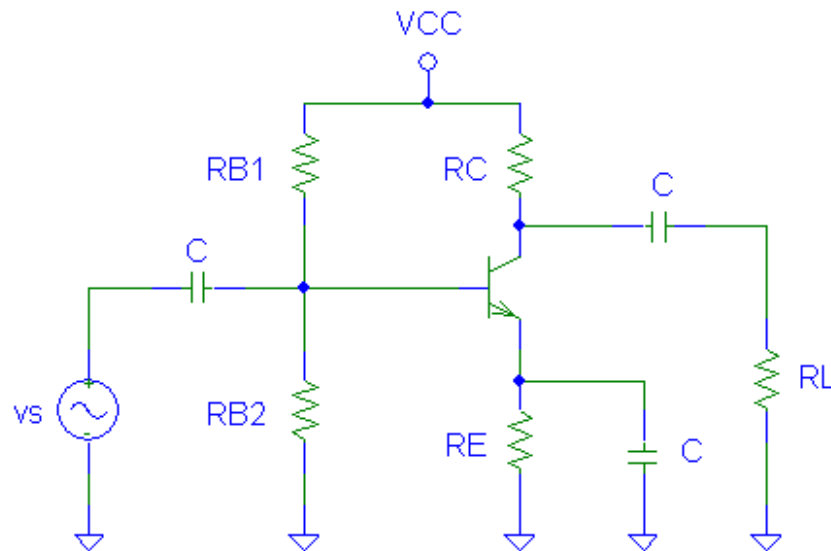
$$R_L = 1\text{ k}\Omega$$

$$R_{B1} // R_{B2} = 7,5\text{ k}\Omega$$

$$V_{BE} = 0,6V$$

$$h_{fe} = 150$$

$$h_{ie} = 1,5\text{ k}\Omega$$



4. irudia.

a) Zer anplifikatze-egitura da? Zertarako jarri da kondentsadore bat R_E erresistentziarekin paraleloan?

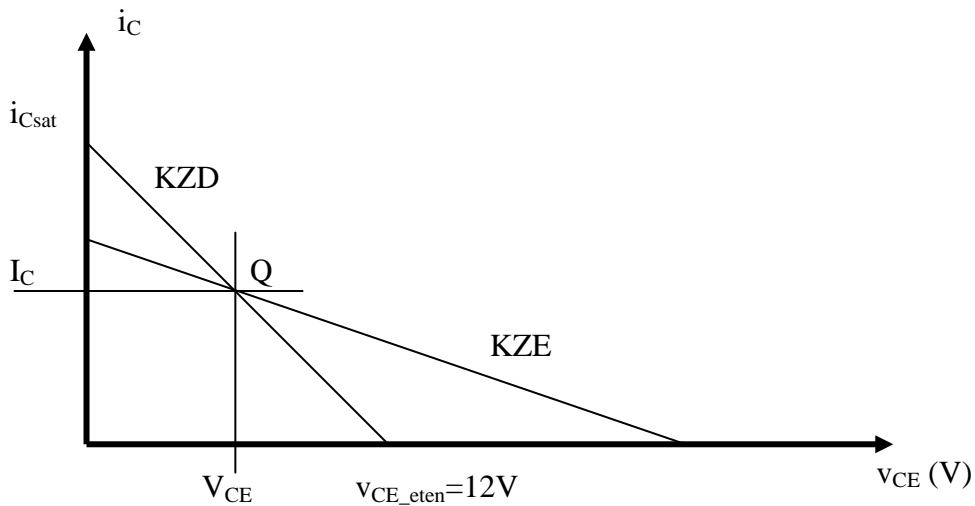
Igorle komuneko egitura bat da (egiturarik erabiliena).

Igorleko kondentsadorea jarritz, polarizazioan bakarrik agertzen da R_E , eta, beraz, polarizazioa egonkortzea lor daiteke, baina tentsio-irabazirik galdu gabe (R_E alternoko zirkuituan desagertzen da).

b) Zenbat da polarizazioko V_{CE} tentsioa? Irteerako seinaleak bere balio maximoa distortsiorik gabe hartzeko, zenbat izan behar du v_s sarrerak?

Hirugarren irudian ikusten denez (KZDari begira), transistorea $v_{CE}=12\text{ V}$ -ean sartzen da etenduran. Enuntziatuan aipatzen da distortsioa simetrikoki agertzen dela etenduran eta asetasunean, eta, beraz, Q karga-zuzen dinamikoaren erdian dago. Hortaz, $V_{CE} = v_{CE\text{eten}}/2 = 6\text{V}$.

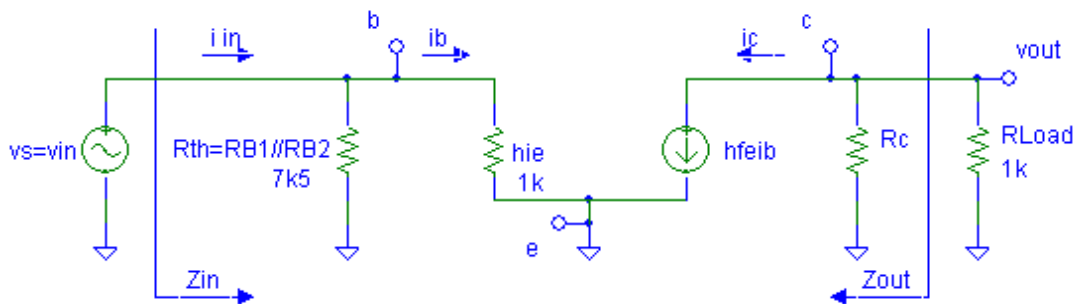
Tentsio-irabazia 50 da; $A_v = v_{ce}/v_s = v_c/v_{in}$ eta distortsioa $v_{ce} = 6\text{V}$ denean agertzen da. Hortaz, $v_{in} = 6\text{V} / 50 = 120\text{ mV}$.



3. irudia.

c) Tentsio-irabazia $A_v = |50|$ izateko, zenbat izan behar du R_C -k?

Seinale txikiko zirkuitua ipiniko dugu:



Eta erraz ikusten da:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-i_c \cdot (R_C // R_L)}{i_b \cdot h_{ie}} = \frac{-h_{fe} \cdot i_b \cdot (R_C // R_L)}{i_b \cdot h_{ie}} = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C // R_L)}{h_{ie}} = -\frac{150}{1\text{k}5} \cdot (R_C // R_L)$$

Moduluan $|A_v|=50$ badakigunez, argi ikusten da $A_v=-50$ eta $R_C/R_L= 500\Omega$
 $R_L = 1\text{ k}\Omega$ denez, berehala ateratzen dugu $R_C = 1\text{ k}\Omega$

d) Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak.

Seinale txikiko zirkuitura itzuliko gara, eta, hor, berehala ikusten dugu:

$$Z_{in} = R_{th} // h_{ie} = 1\text{k}25 \text{ eta } Z_{out} = R_C = 1\text{k} \Omega$$

e) Sarrerako sorgailuak $R_s = 1,25\text{ k}\Omega$ -eko irteerako inpedantzia izango balu, tentsio-irabazi bera lortuko litzateke? Arrazoitu erantzuna.

Sarrerako sorgailuaren irteerako inpedantzia $1\text{k}25$ bada, tentsioa txikiagoa iritsiko litzateke baseraino (anplifikadorearen sarreraraino):

$$v_i = v_s / (Z_{in} + R_{source}) \cdot Z_{in} = v_s / (1\text{k}25 + 1\text{k}25) \cdot 1\text{k}25 = v_s / 2$$

$$\text{Orduan: } v_{out} / v_{in} = 50 / 2 = 25.$$

f) Zenbat da I_C kolektoreko korronea?

Karga-zuzen dinamikora itzuliko gara, eta haren malda kalkulatu dugu:

$$m_{KZD} = \frac{i_c}{v_{ce}} = \frac{i_c}{v_c} = \frac{i_c}{-i_c \cdot (R_C // R_L)} = -\frac{1}{R_C // R_L}$$

Beste alde batetik, Q puntua KZDaren erdian dagoenez, $i_{c\text{sat}} = 2 \cdot I_C$, eta, beraz:

$$m_{KZD} = -\frac{i_{c\text{sat}}}{v_{ce\text{eten}}} = -\frac{2 \cdot I_C}{2 \cdot V_{CE}}$$

$$\text{Hortik: } \frac{I_C}{V_{CE}} = |m_{KZD}| = \frac{1}{R_C // R_L} \Rightarrow \frac{I_C}{6\text{ V}} = \frac{1}{500\ \Omega} \Rightarrow I_C = 12\text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{12\text{mA}}{150} = 80\ \mu\text{A} \quad |I_E| = (\beta + 1) \cdot I_B = 12.08\text{ mA}$$

g) Kalkulatu R_E , R_{B1} eta R_{B2} erresistentziak.

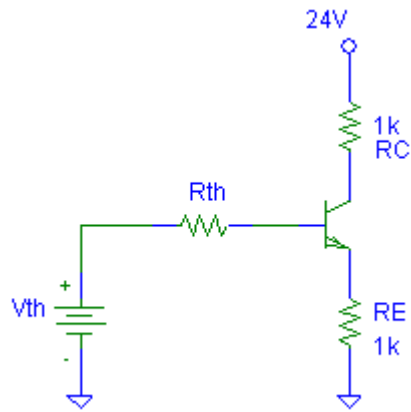
Orain karga-zuzen estatikora joko dugu:

$$24\text{ V} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + |I_E| \cdot R_E = I_C \cdot R_C + V_{CE} + V_E$$

$$V_E = 24\text{ V} - (I_C \cdot R_C + V_{CE}) = 6\text{ V}$$

$$R_E = \frac{V_E}{|I_E|} \approx 500\ \Omega$$

Polarizazioko baseko sarera joko dugu, azkenik:



$$V_{th} = V_E + V_{BE} + I_B \cdot R_{th} = 6 \text{ V} + 0.6 \text{ V} + 80 \mu\text{A} \cdot 7\text{k}5 \Rightarrow V_{th} = 7.2 \text{ V}$$

$$V_{th} = \frac{24 \text{ V}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot R_{B2} = \frac{24 \text{ V}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot R_{B2} \frac{R_{B1}}{R_{B1}} = 24 \text{ V} \frac{R_{B1} // R_{B2}}{R_{B1}} = 7.2 \text{ V} \Rightarrow R_{B1} = 25 \text{ k}\Omega$$

Eta $R_{B2} // R_{B1} = 7\text{k}5$ denez, $R_{B2} = 10\text{k}71$.

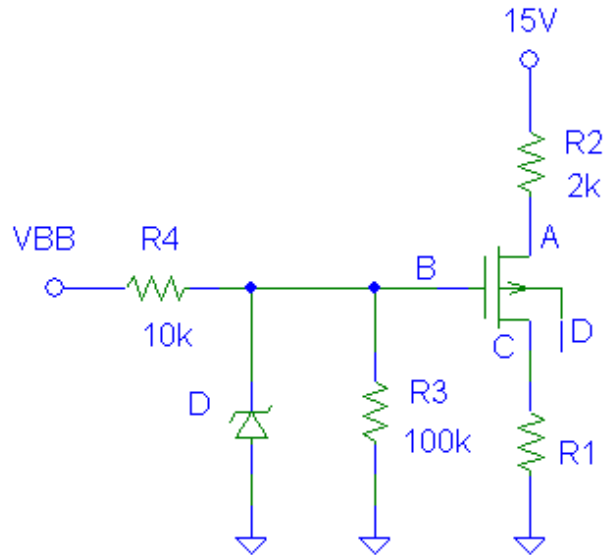
h) β -ren aldaketen aurrean, polarizazio-puntuaren egonkortasunari dagokionez, egonkortasuna bermatzen al du zirkuitu honek?

Egonkortasunaren baldintza betetzen al da? BAI:

$$(\beta + 1) \cdot R_E = 75\text{k}5 \gg R_{th} = 7.5 \text{ k}\Omega$$

ZIRKUITU TRANSISTOREDUNA ETA DIODODUNA

4 . Beheko irudiko zirkuituari dagokionez:



4. irudia.

Datuak: $|I_{DSS}| = 5 \text{ mA}$ $|V_T| = 2 \text{ V}$ $V_Z = 10 \text{ V}$

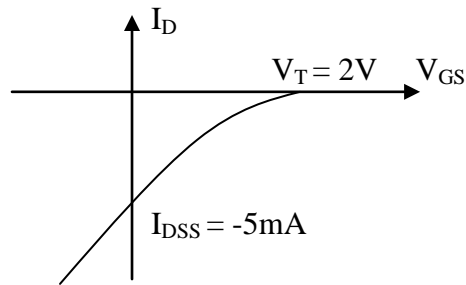
- a) Zer FET mota dugu? Identifikatu A, B, C eta D puntuak dagozkien terminalekin (iturria, draina, atea eta oinarria). Normalean, zeinekin konektatzen dugu oinarria?

Transistoreap pasabideko urritze (hustuketazko) MOSFET bat da.

Begi-bistakoa da B atea eta D oinarria direla. Iturria eta draina bereizteko, korronteari begiratu diogu: hutsuneek eroango dutenez, iturritik drainera joango da korrontea ($I_D < 0$), eta, beraz, $V_S > V_D$. Goiko terminala iturria da, eta behekoa, berriz, draina. Normalean, oinarria eta iturria zirkuitulaburtzen dira.

[Jakin oinarria lurrera konektatu ohi dela zirkuitu integratuetan]

- b) Marraztu FETaren asetasuneko I_D - V_{GS} ezaugarria eta adierazi puntu esanguratsuak. Gailu hau gauza al da V_{GS} positibo zein negatiboekin lan egiteko? Arrazoitu erantzuna.

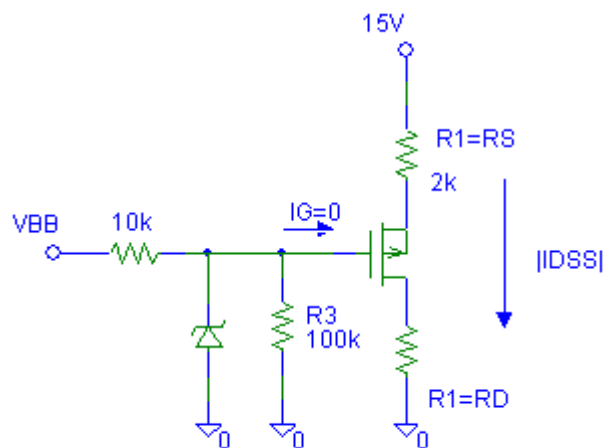


$V_T = 2 \text{ V}$ eta $I_{DSS} = -5 \text{ mA}$

Asetasunean bagaude:
$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$$

Gailuak V_{GS} negatiboak zein positiboak onartzen ditu (p pasabideko JFET batek ez du V_{GS} negatiborik onartzen).

- c) **Ariketan erabiltzen den zirkuitura itzuli, eta onartuko dugu oinarria eta iturria konektatu direla. Zirkuitutik I_{DSS} asetasuren korronea lortzeko, zenbat da ateko terminalean aplikatu behar dugun tentsioa? Zenbat da egoera horri dagokion V_{BB} tentsioa? FETa asetasuren egoteko, zein dira R_1 erresistentziaren muturreko balioak?**



Zirkuitutik I_{DSS} izateko, $V_{GS} = 0 \text{ V}$ izan behar du.

Gainera, begi-bistakoa denez, goitik behera doan korronea $|I_{DSS}| = 5 \text{ mA}$ denez, 10 V ereriko dira R_1 erresistentzian. Hortaz:

$$V_s = 15 - 10 = 5\text{V}, V_{GS}=0 \rightarrow V_G = V_s = 5 \text{ V}$$

Ateko tentsioa 5 V bada, zenerra OFF dago, R3-tik 50 uA pasatuko dira eta korrante horrek 10 k-eko erresistentzian 0,5 V eragingo ditu. Hortaz, $V_{BB}=5,5$ V.

Asetasuna egiaztatzea falta zaigu.

$$V_{GD} > V_T \quad V_{GD} = V_G - V_D = 5V - 5mA \cdot R_D > V_T = 2V \Rightarrow R_D < 600\Omega$$

Eta, ikusten dugunez, R_D -k 600 ohm edo txikiagoa izan behar du.

d) Zirkuitu honekin, V_{BB} doitu, draineko korrantea nulua egin liteke? Arrazoitu erantzuna.

I_D nulua egiteko, $V_{GS} > V_T = 2V$ behar dugu.

Baina, I_D nulua bada, $V_S = 15$ V, eta, beraz, $V_G = 17$ V beharko genuke.

Eta hori ezinezkoa da, zenerrak 10 V onartzen baititu bakarrik.

e) Orain, draineko erresistentzia 0,1k bada, kalkulatu draineko korrantearen balio (absolutu) minimoa asetasunean lan egiten badugu.

Minimoa, aurreko ataletik ondorioztatzen denez, V_G maximoak ekarriko du. Eta hori $V_G = 10$ V da (horretarako, $V_{BB} > 11$ V aplikatuko genuke).

Egoera horretan:

$$V_{GS} = 10 - V_S = 10 - (15 - |I_D| \cdot 2k) = -5 - I_D \cdot 2k \Rightarrow I_D = -\frac{V_{GS} + 5}{2k}$$

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow -\frac{V_{GS} + 5}{2k} = -5mA \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{2V}\right)^2$$

$$V_{GS} + 5 = 10 \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{2}\right)^2 = 10 \cdot \left(1 + \frac{V_{GS}^2}{4} - V_{GS}\right)$$

$$\frac{10V_{GS}^2}{4} - 11 + 5 = 0 \Rightarrow V_{GS} = \begin{cases} 3.885 \text{ V} (> V_T \rightarrow X) \\ 0.515 \text{ V} (< V_T \rightarrow OK) \end{cases}$$

Eta, hortik, $I_D = -2,757$ mA, $V_D = 0,2757$, $V_{GD} = 9,724 > V_T \rightarrow$ asetasunean (ok).

f) Zirkuitu honekin, I_{DSS} baino handiagoak diren korranteak lor daitezke? Nola?

Bai, V_{GS} negatiboak aplikatuz. Hau da, c ataleko V_{BB} baino txikiagoak aplikatuz.

[Asetasunetik ere irten gaitzke. Zirkuitu honetan $V_{BB}=0$ eginez, ez gaude asetasunean. V_{BB} minimoa asetasunean egoteko $=2,86V$, $V_G=2,6$, $V_{GS}=-0,21$ V, $V_{GD}=2V$, $I_D=-6,1$ mA]

