

# Gailu eta zirkuitu elektronikoak

2016-2020ko  
azterketen bilduma

Lourdes Pérez Manzano  
Susana Uriarte del Río  
Rubén Gutiérrez Serrano  
Rosa Lago Aurrekoetxea  
M.<sup>a</sup> José Sáenz Novales

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

*CIP. Unibertsitateko Biblioteka*

**Gailu** eta zirkuitu elektronikoak [Recurso electrónico]: 2016/2020ko azterketen bilduma (enuntziatuak eta soluzioak) / Lourdes Pérez Manzano ... [et al.]. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, [2021]. – 1 recurso en línea : PDF (175 p.)

Modo de acceso: World Wide Web.

ISBN: 978-84-1319-289-5.

1. Circuitos electrónicos – Exámenes, preguntas, etc. 2. Componentes electrónicos – Exámenes, preguntas, etc.  
I. Pérez Manzano, Lourdes, coaut.

(0.034)621.38.049(076.3)

UPV/EHUko Euskara Zerbitzuak sustatua eta zuzendua, Euskarazko ikasmaterialgintza sustatzeko deialdiren bitartez.

© Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

ISBN: 978-84-1319-289-5

# Aurkibidea

<b>Enuntziatuak</b> .....	5
2019/2020 .....	6
2020ko uztaila .....	6
2020ko ekaina .....	12
2018/2019 .....	19
2019ko ekaina .....	19
2019ko maiatza .....	22
2017/2018 .....	26
2018ko uztaila .....	26
2018ko maiatza .....	29
2016/2017 .....	32
2017ko ekaina .....	32
2017ko maiatza .....	37
2015/2016 .....	42
2016ko ekaina .....	42
2016ko maiatza .....	45
<b>Soluzioak</b> .....	49
2020ko uztaila .....	50
Teoria .....	50
PN juntura - Zirkuitu diododuna .....	53
Drain komuneko anplifikadorea .....	56
Igorle komuneko anplifikadorea .....	59
2020ko ekaina .....	63
Teoria - Zirkuitu diododunak .....	63
Kolektore komuneko anplifikadorea .....	67
Ate komuneko anplifikadorea .....	72

2019ko ekaina . . . . .	75
PN juntura - Zirkuitu diododuna . . . . .	75
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	78
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	85
2019ko maiatza . . . . .	88
Diodoa - PN juntura . . . . .	88
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	92
Ate komuneko anplifikadorea . . . . .	96
2018ko uztaila . . . . .	101
Diododun eta transistoredun zirkuitua . . . . .	101
Igorle komuneko anplifikadorea (bi transistore) . . . . .	105
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	111
2018ko maiatza . . . . .	114
PN juntura - Zirkuitu diododuna . . . . .	114
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	117
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	121
2017ko ekaina . . . . .	126
Teoria . . . . .	126
Zirkuitu diododuna . . . . .	128
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	130
Drain komuneko anplifikadorea . . . . .	134
2017ko maiatza . . . . .	138
Teoria . . . . .	138
Zirkuitu diododuna . . . . .	140
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	143
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	148
2016ko ekaina . . . . .	152
PN juntura - Zirkuitu diododuna . . . . .	152
Kolektore komuneko anplifikadorea . . . . .	156
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	159
2016ko maiatza . . . . .	162
PN juntura - Zirkuitu diododuna . . . . .	162
Transistore bipolarra . . . . .	166
Igorle komuneko anplifikadorea . . . . .	167
Iturri komuneko anplifikadorea . . . . .	172

---

# **Enuntziatuak**

2019/2020

## 2020ko uztaila

### A Atala

1. Seinale txikian lan egiten duen FET bat(ek):

- a. Portaera lineala du denboraren arabera magnitudeekiko.
- b. Draina eta iturri terminalen arteko konduktantzia batez eta korrante-sorgailu batez ordeztu daiteke.
- c. Beste bi erantzunak zuzenak dira.

2. JFET bat ia baliokidea da funtzionamenduan:

- a. MOSFET batena, urritzekoa edo ugaltzekoa.
- b. Ez da MOSFETen baliokidea, atearen eta kanalaren arteko isolamendua desberdina baita.
- c. Urritze MOSFET batena.

3. Seinale txikiko erregimena:

- a. Erregimen dinamikoaren kasu berezi bat da, non, polarizatuta egoteaz gain, gailu elektronikoen denboraren arabera tentsioak edo korranteak jasatenbaituzte, baina polarizazio-balioak baino askoz txikiagoak.
- b. Gailuek portaera lineala dute.
- c. Beste bi erantzunak zuzenak dira.

4. BJTren konfigurazioaren arabera:

- a.  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroen balioak beti berdinak dira, BJTren konfigurazioa alde batera utzita.
- b. Balio desberdinak lortzen dira  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroetarako.
- c.  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroen balioak aldatzen dira, BJTak portaera ideala duen ala ez.

**5.**  $p$  pasabideko ugaltze MOSFET batean, draineiko korronea egon dadin:

- a.  $V_G > V_T$
- b.  $V_G < V_T$
- c.  $V_T < V_G < 0$

**6.** Kuadripoloen teoria:

- a. BJTan bakarrik aplika daiteke, maiztasun baxuetan lan egiten badu.
- b. BJTari aplika dakioke, seinale txikian lanean ari denean.
- c. BJTan aplika daiteke, bai estatikan, bai dinamikan.

**7.** Early efektuak:

- a. Etenduran bakarrik du garrantzia, bi junturak alderantziz polarizatuta daudenean.
- b. BJT erreal baten portaera ikasgelan ikusitako idealetik desbideratzen den ideia ematen du.
- c. Basearen zabaleraren eta junturei aplikatutako tentsioen arteko mendekotasuna islatzen du.

**8.** Potentzial termodinamikoa:

- a. Oreka termodinamikoaren ondorio bat da, eta eroankortasun ezberdina duten bi material elkartzuz gero agertzen da.
- b. Orekan egon arren, korronte garbia dago potentzial termodinamikoaren ondorioz.
- c. Esperimentalki neur daiteke, egituraren bi muturren artean voltmetro bat jarritz, besterik gabe.

**9.** Transistore bipolar baterako, Ebers-Moll-en eredu(k):

- a. BJTa modu aktiboan polarizatuta badago bakarrik da baliozkoa.
- b. Gailuaren funtzionamendua deskribatzen du, bai estatikan, bai dinamikan. Azken kasu horretan, tentsioak denboraren arabera izango dira.
- c. Gailuaren funtzionamendua deskribatzen du, bere junturetako edozein polarizazio-baliotarako.

**10.** FET batean:

- a. Atearen korronea nulua da  $V_{GS} = V_{DS}$  bada soilik.
- b. Atearen korronea ia nulua da.
- c. Atearen korronea nulua da, kanala ito edo zulatu bada soilik.

11. Hauek dira FETen aplikazio ohikoenak:

- a. Erresistentzia lineala eskualde gradualean, eta tentsioak kontrolatutako iturria asetsunean.
- b. Erresistentzia ez-lineala eskualde gradualean, eta tentsioak kontrolatutako iturria asetsunean.
- c. Erresistentzia ez-lineala eskualde gradualean, eta korronteak kontrolatutako iturria asetsunean.

12. Eguzki-zelulak:

- a. Argi-erradiazioarekiko oso sentikorak diren gailuak dira, fotodiodoak bezala.
- b. pn junturan oinarrituta daudenez, zuzeneko polarizaziopean zein alderantzizkoan lan egin dezakete.
- c. pn junturan oinarritzen dira, eta argi-erradiazioa energia elektriko bihurtzen dute. Horretarako, laugarren koadrantean lan egin behar dute.

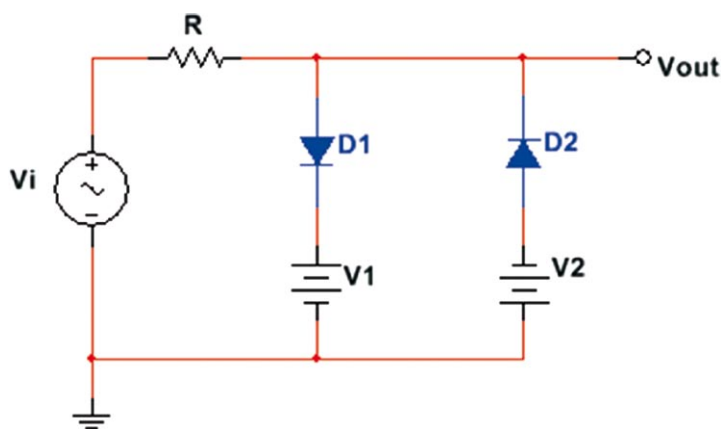
**B Atala**

1. Siliziozko erdieroaleez egindako pn juntura batean, honako datu hauek ezagutzen dira:  $N_D = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ .

- a) Kalkulatu potentzial termodinamikoa giro-tenperaturan.
- b) Potentzial termodinamikoa kalkulatzeko erabiltzen den adierazpenak balio al du juntura mota guztietarako? Arrazoiu erantzuna.
- c) Zer lotura du potentzial termodinamikoak pn juntura baten eskualde dipolarraren eremu elektrikoarekin?

2. Erakutsitako zirkuiturako, datu hauek ematen dira:

$$V_1 = 5V, \quad V_2 = 10V, \quad R = 1 \text{ k}\Omega, \quad \text{diodoak idealak}$$



1. irudia



Gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz, eta transferentzia-kurba kontuan hartuta, kalkulatu:

a)  $v_{\text{out}}$  maximoa eta  $v_{\text{out}}$  minimoa

$v_i = +15 \text{ V}$  izanda:

b)  $v_{\text{out}}, I_{D1}, V_{D1}, I_{D2}$  eta  $V_{D2}$

$v_i = +2,5 \text{ V}$  izanda:

c)  $v_{\text{out}}, I_{D1}, V_{D1}, I_{D2}$  eta  $V_{D2}$

$v_i = -15 \text{ V}$  izanda:

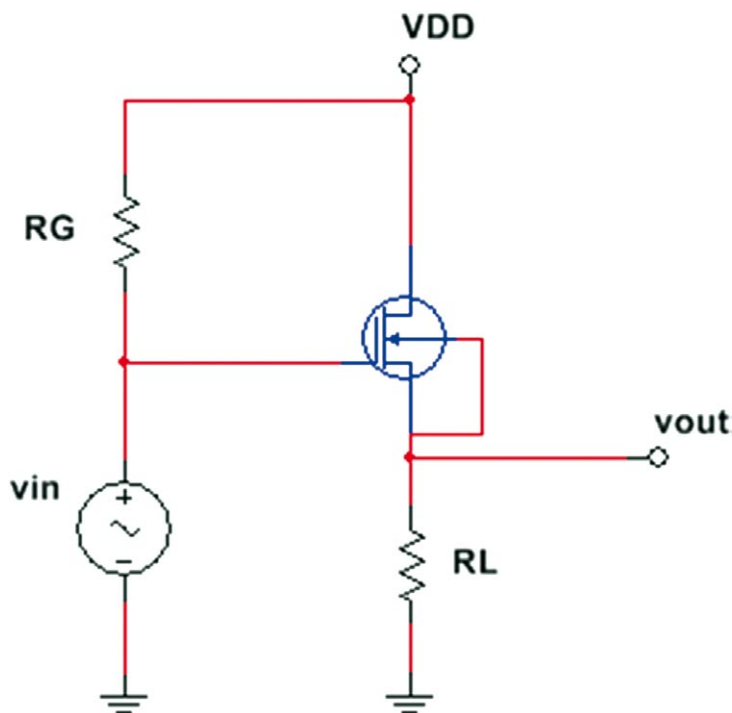
d)  $v_{\text{out}}, I_{D1}, V_{D1}, I_{D2}$  eta  $V_{D2}$

Kommutazioari buruz:

e)  $v_i$ -ren balioa,  $D_1$  kommutatzeko (V)

f)  $v_i$ -ren balioa,  $D_2$  kommutatzeko (V)

## C Atala



2. irudia

Irudiaren zirkuituan, parametro hauek dituen transistore bat erabili da:

$$|V_T| = 5 \text{ V} \quad k = 2 \text{ mA/V}^2$$

Seinale sinusoidal alterno puruaren sorgailu batek,  $v_{in}$ , transistorea kitzikatzen du.

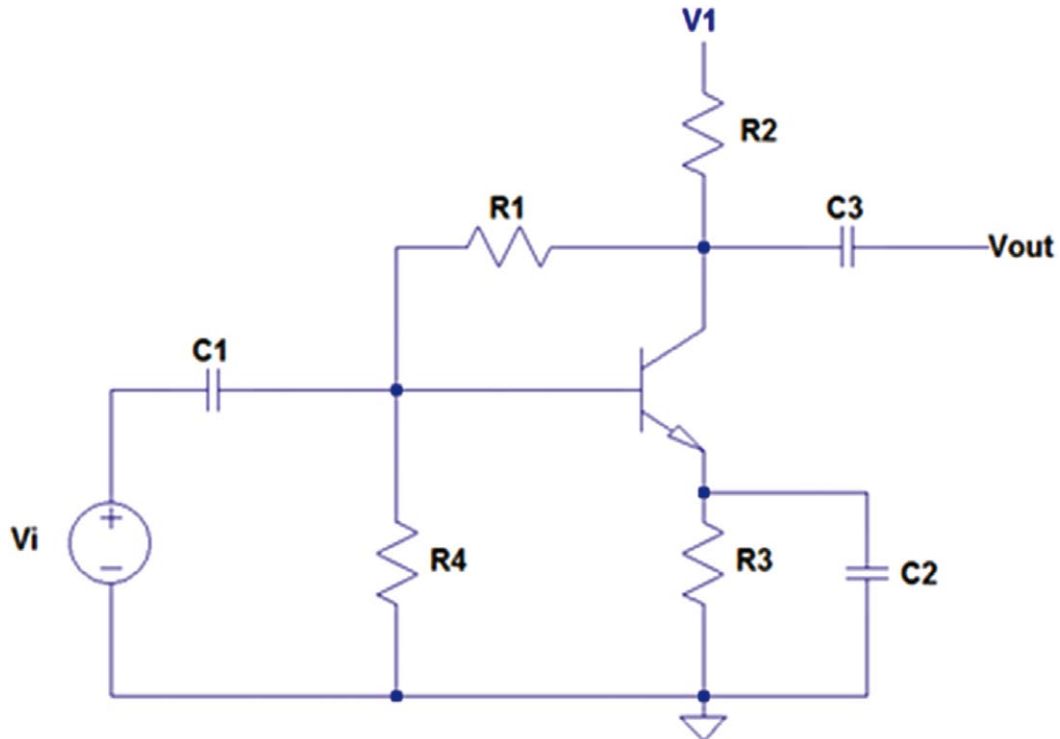
Zirkuituaren beste balio batzuk honako hauek dira:

$$R_G = 10 \text{ k}\Omega \quad V_{DD} = 10 \text{ V}$$

- Zer transistore mota da? Marraztu transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Transistorearen funtzionamenduak, asetasunean,  $I_D = k (V_{GS} - V_T)^2$  ekuazioa jarraitzen badu, zenbat balio du asetasun-korronteak ( $I_{DSS}$ )?
- Kalkula ezazu  $R_L$ -ren balioa, transistorea asetasunean polarizatuta egonda, bere drainaren korrontea 2 mA-koa izan dadin. Egiaztatu funtzionamendu-egoera hori.
- Kalkulatu  $g_m$  parametroaren balioa.
- Marraztu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazia.

**D Atala**

Irudiaren zirkuitua kontuan hartuta,



3. irudia

DATUAK:  $I_{CB0} = 1,21 \cdot 10^{-14} \text{ A}$      $I_{EB0} = 4,03 \cdot 10^{-15} \text{ A}$      $\alpha_R = 0,3311$      $V_T = 25 \text{ mV}$

$V_1 = 12 \text{ V}$ ,     $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ ,     $R_3 = 200 \Omega$ ,     $R_4 = 22 \text{ k}\Omega$ .

$I_E = -2 \text{ mA}$  bada, kalkulatu:

- $V_{BE}$  tentsioaren balioa.
- $V_{CE}$  tentsioaren balioa.
- $R_1$  erresistentziaren balioa.
- Kalkulatu eta marraztu (paperean) karga zuzen estatikoa, balio esanguratsuenak adieraziz. Egin itzazu egokitzat jotzen dituzun hurbilketak.
- Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazia.
- Marraztu, grafiko berean, sarrerako eta irteerako tentsioak, balio esanguratsuenak adieraziz, honako bi kasu hauetarako:
  - $v_i(t) = 10 \text{ mV}_p$
  - $v_i(t) = 30 \text{ mV}_p$

## 2020ko ekaina

### A Atala

1. BJT baten ezaugarri-kurbak(ek):

- a. Gailu idealaren funtzionamendua soilik deskribatzen dute.
- b. «Ebers-Moll»en ereduaren adierazpen grafikoa dira.
- c. Soilik erabil daitezke BJTak igorle komuneko konfigurazioan lan egiten duenean.

2.  $n$  pasabideko urritze MOSFET batean:

- a.  $V_G = 0$  denean, pasabidea dago.
- b.  $V_G < V_T$  denean, pasabidea dago.
- c. Pasabidea dago, soilik  $V_{DS_{sat}}$  lortzen bada.

3. JFET batean:

- a. Atariko tentsioa bat dator drainekeo asetasun-tentsioarekin.
- b. Itotze-tentsioa bat dator drainekeo asetasun-tentsioarekin.
- c.  $I_{DSS}$  gailutik asetasunean ibil daitekeen drainekeo korrante maximoa da.

4.  $pn^+$  diodo asimetriko batean, eskualde dipolarra, batez ere, dopaketa . . . . . duen eskualdetik hedatzen da; kasu honetan, . . . . . da.

Oreka termodinamikoan, potentzial gehien duen eskualdea . . . . . da.

Polarizaziopean,

— korrantea garraiatzeaz arduratzen den eramailea, nagusiki, . . . . . da, . . . . . eskualde dopatuena delako.

— Gailuaren funtzionamendua nagusiki menderatzen duen eskualdea dopaketa . . . . . duena da, hau da, . . . . .

## 5. Erregimen dinamikoan:

- a. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura maiztasunaren funtzioa da, maiztasuna handitu ahala handituz.
- b. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura beti da konstante:  $\beta$ .
- c. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura bat dator erregimen estatikoko balioarekin, maiztasun baxuetan bakarrik.

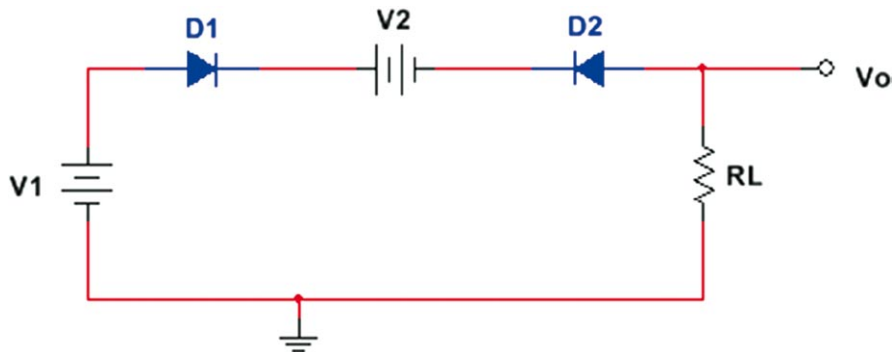
## 6. Erregimen dinamikoan:

- a. Shockley-ren ekuazioak ez du balio, gailuko karga-aldaketekin lotutako korrante-termino berriak agertzen baitira.
- b. Ezin da Shockley-ren ekuazioa erabili; soilik, gailua seinale txikiko erregimenean dagoenean.
- c. Shockley-ren ekuazioa MHz-etako maiztasunetaraino erabil daiteke.

## 7. Gune aktiboan:

- a. BJTak korronteak eta tentsioak kontrolatutako korrante-iturri bezala jokatzen du.
- b. BJTak tentsioak kontrolatutako korrante-iturri bezala jokatzen du.
- c. BJTak korronteak kontrolatutako korrante-iturri bezala jokatzen du.

8.  $V_1 = 10 \text{ V}$ ,  $V_2 = 5 \text{ V}$ ,  $I_{sat1} = 30 \mu\text{A}$ ,  $I_{sat2} = 10 \mu\text{A}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_T = 25 \text{ mV}$



1. irudia

Kalkulatu (gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz):  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$  eta  $V_0$

**9. Oreka termodinamikoan dagoen pn juntura batean:**

- a. Elektroiaren eta hutsunearen atomo eta barreiararen korranteak daude; baina, juntura orekan dagoenez, korranteen osagaiak konpentsatu egiten dira, eta korrante garbia nulua da.
- b. Ez dago atomo korrante ez barreiararen korrante, juntura orekan dagoelako.
- c. Elektroi-korrantea baino ez dago, partikula bezala existitzen diren eramaile bakarrak, eta, beraz, mugitu daitezkeenak.

**10. ZENER diodoak**

- a. Duen ukondoko tentsioa diodo artezgailuak duena baino askoz handiagoa da.
- b. Alderantzizko polarizaziopean soilik lan egin dezake.
- c. Tentsio-iturri gisa erabiltzen dira, alderantzizko polarizaziopean.

**11. «Einstein-en erlazioa» ( $k$ ):**

- a. Erregimen dinamikoan soilik da baliagarria.
- b. Atomo eta barreiararen osagaien arteko erlazioa adierazten du, bai orekan, bai orekatik kanpo.
- c. pn junturarako soilik da baliagarria.

**12. FETetan, draineren korrantearen eta draineren aplikatutako tentsioaren arteko erlazioa:**

- a. Zuzenki proportzionala da asetasunean, non irteerako ezaugarriak ia 0 malda baitute.
- b. Zuzenki proportzionala da; horregatik, irteerako ezaugarriak lerro zuzen batekin hasten dira.
- c. Zuzenki proportzionala da, soilik draineren tentsioaren balio txikiarentzat, eskualde ohmi-koan.

**13. FETetan, draineren asetasun-tentsioa:**

- a. Gailuaren ezaugarrien arabera da soilik; beraz, magnitude konstante bat da.
- b. Gailua etenduran sartzen den draineren tentsioa da.
- c. balio absolutuan, atariko tentsioaren gainetik aplikatutako atearen tentsioa zenbat eta Handiagoa izan, orduan eta handiagoa da.

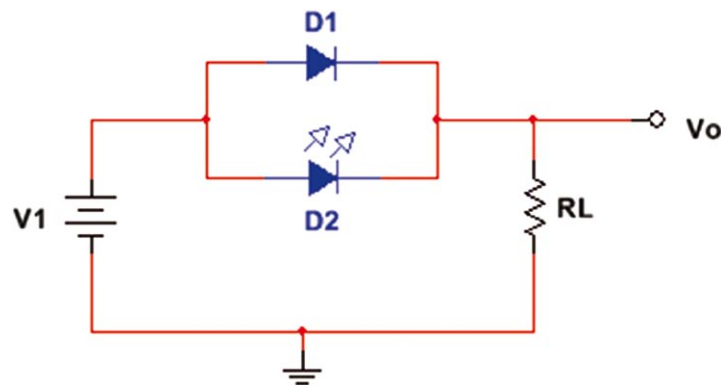
**14. Transistore bipolarra:**

- a. Gailu erdieroale bat da, eta elkarrengandik oso gertu dauden bi pn juntura ditu.
- b. Aukera biak zuzenak dira.
- c. Bipolarra da, eroapenean eramaile mota biek parte hartzen dutelako.

15. Eremu-efektuko transistoreak:

- a. Beste biak zuzenak dira.
- b. Polobakarrak dira, eroapenean eramaile mota bakar batek parte hartzen duelako.
- c. Kanpoko eremu elektriko batek edo potentzial-diferentzia batek kontrolatzen du pasabidearen eroankortasuna.

16.  $V_1 = 25 \text{ V}$ ,  $V_{\gamma}(D_1) = 0.3 \text{ V}$ ,  $V_{\gamma}(\text{LED}) = 4.5 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$



2. irudia

Kalkulatu (gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz):  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$  eta  $V_0$ .

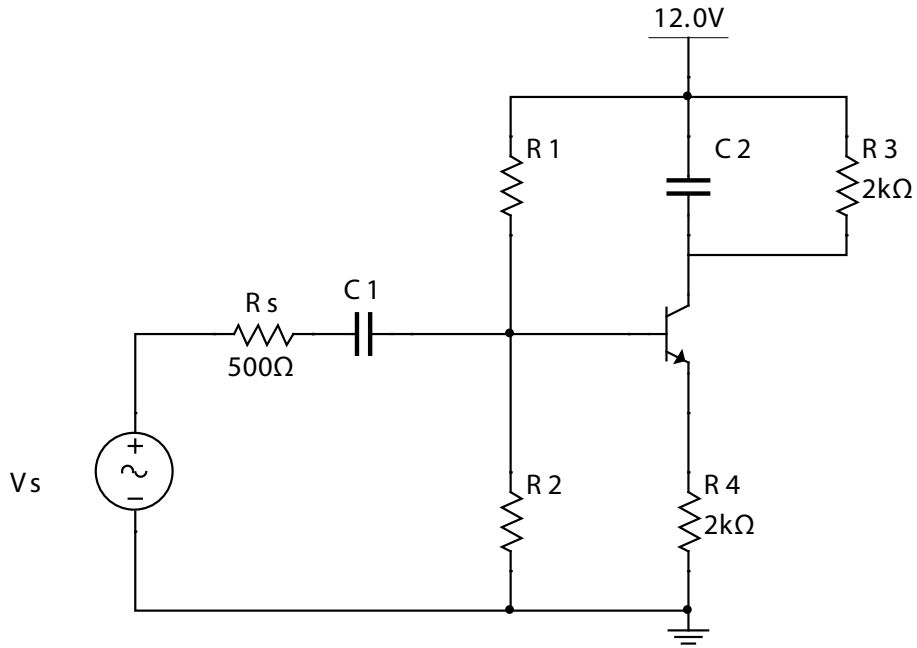
17. Seinale txikiko erregimenean lan egiten duen transistore bipolar baterako:

- a. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira, soilik maiztasun baxuetan.
- b. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira.
- c. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira, baina soilik igorle komuneko konfigurazioan.

**B Atala**

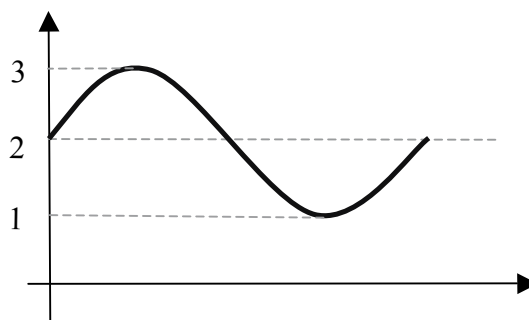
3. irudiko zirkuituaren datuak honako hauek dira:

$$|V_{BE}| = 0,6 \text{ V} \quad \beta = 250 \quad V_T = 0,025 \text{ V}$$



3. irudia

$v_s = 3 \text{ V}_p$  izanda, 4. irudiko grafikoan erakusten den seinalea igorlean neurtu da.



4. irudia



*Erantzun*

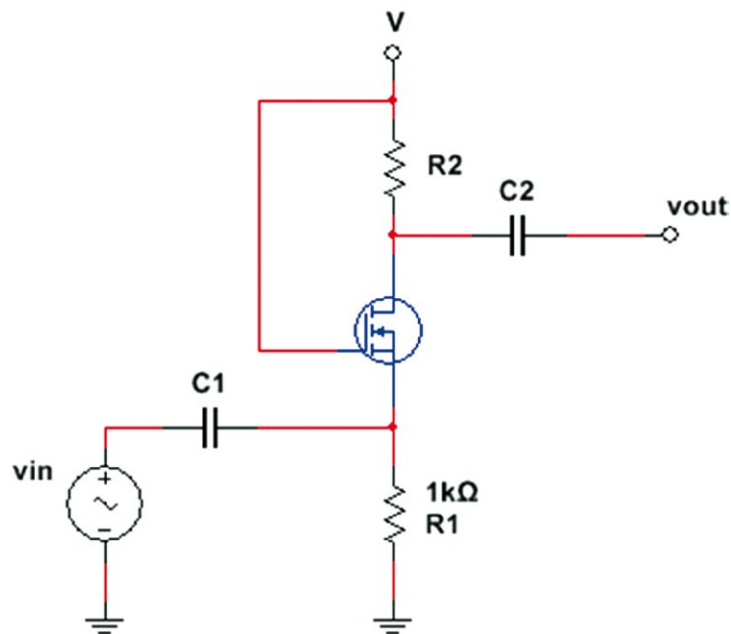
- Konfigurazio mota.
- Lan-puntua.
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa,  $I_C$ - $V_{CE}$  planoan, eta kokatu kalkulaturako  $Q$ .
- Muntaia osoaren tentsio-irabazia.
- Zirkuitu anplifikatzailearen tentsio-irabazia.
- Sarrerako inpedantzia.
- Nola eragiten du  $R_S$ -k muntaia osoaren tentsio-irabazian? Arrazoitu erantzuna.
- $R_1$  eta  $R_2$  erresistentzien balioak.
- Irteerako inpedantzia.
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen dinamikoa.
- Irteerako seinalearen tarte dinamikoa.

**C Atala**

5. irudiko transistorean:

$$|I_{DSS}| = 4 \text{ mA}$$

$$|V_T| = 2 \text{ V}$$



5. irudia

*Erantzun:*

- a) Zein motatakoa da zirkuituan erabilitako transistorea? Nolakoak dira haren asetasun-korrontea,  $I_{DSS}$ , eta atariko tentsioa,  $V_T$ ? Adierazi zirkuituan bertan transistorearen terminalak.
- b) Transistorea etenduran polarizatuta egon dadin, nolakoa izan behar da  $V$  tentsioa?
- c)  $V = 5\text{ V}$  izanda, kalkulatu iturriko terminalean dagoen tentsioa.
- d)  $V = 5\text{ V}$  izanda, kalkulatu  $R_2$  erresistentziak izan dezakeen balio maximoa transistorea asetasunean polarizatuta egon dadin.
- e) Kalkulatu transkonduktantzia,  $g_m$ .
- f) Zein da zirkuitu anplifikatzailearen konfigurazioa? Zenbatekoa da tentsio-irabazia? Atal honetatik aurrera, hartu  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ .
- g) Kalkulatu zirkuitu anplifikatzailearen sarrerako inpedantzia.
- h) Kalkulatu zirkuitu anplifikatzailearen irteerako inpedantzia.
- i) Irudian erabilitako polarizazio-zirkuituak asetasuna bermatzen du, tentsioaren eta erresistentzien balioen independentziarekin? Arrazoitu erantzuna.

2018/2019

## 2019ko ekaina

1. irudiko zirkuituan, diodoak berdin-berdinak dira, eta 0,7 V-eko ukondoko tentsioa daukate.

- Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba.
- $v_{in} = 10 \cdot \sin(\omega t)$  V bada, marraztu  $v_{in}$  eta  $v_{out}$  grafiko berean.
- $D_1$  diodoaren polaritatea aldatuz gero, kalkulatu zirkuituaren transferentzia-kurba berria.

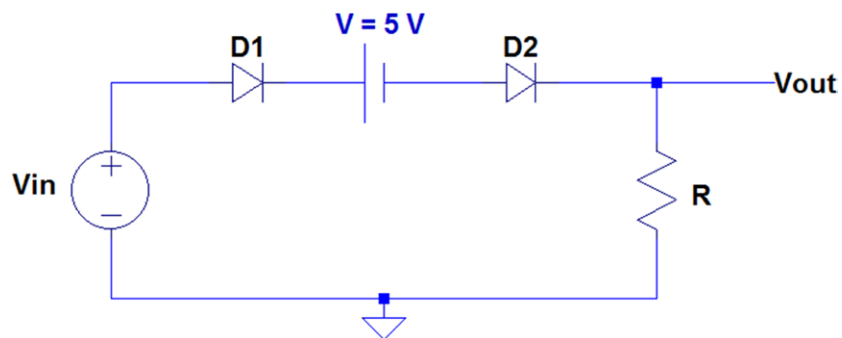
Gainera, badakigu 1. irudiko diodoak pn juntura batez osatuta daudela.  $n$  eskualdeak daukan elektroien kontzentrazioa  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  da,  $p$  eskualdeak daukana  $10^3 \text{ cm}^{-3}$ , eta kontzentrazio intrintsekoa  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$ . Bestelako datuak:

$$\epsilon_{r, Si} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Kalkulatu potentzial termodinamikoa. Zein da potentzial gehien duen eskualdea?

ARRAZOITU ERANTZUNA.

- Kalkulatu hustutako eskualdearen zabalera oreka termodinamikoan. Zer eskualdetan zehar zabalduko da nagusiki? ARRAZOITU ERANTZUNA.



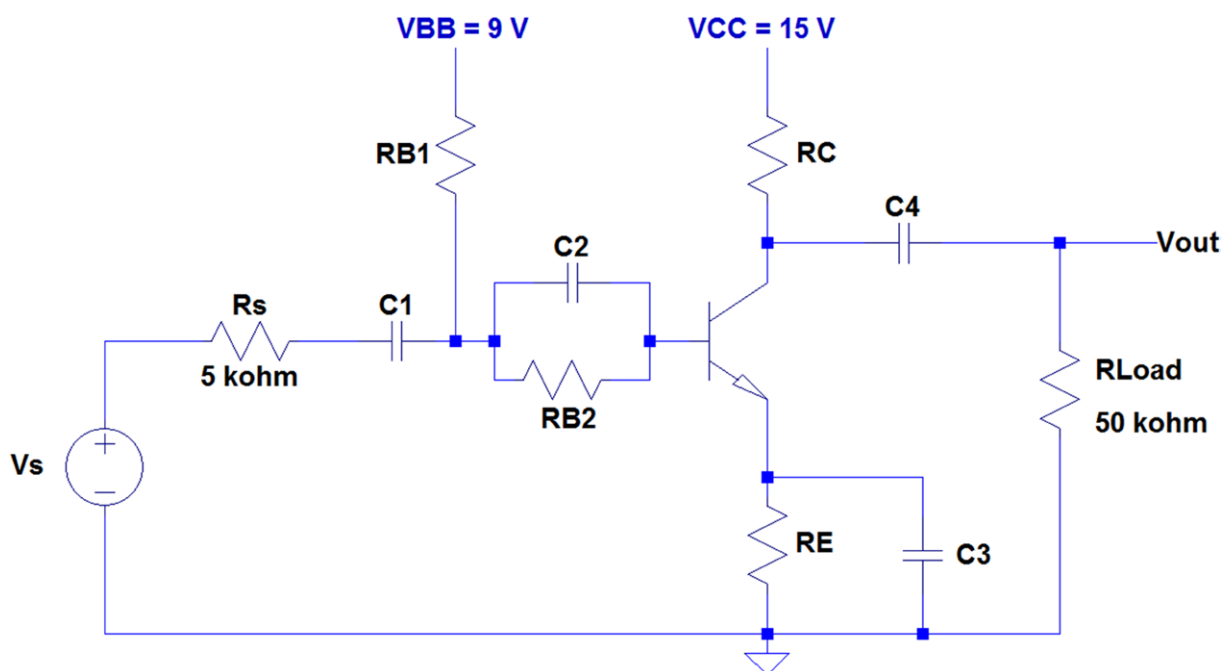
1. irudia

2. irudiko zirkuituan, honako hauek dira transistore bipolarren datuak:

$$\beta = 100 \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V} \quad R_S = 5 \text{ k}\Omega \quad R_{Load} = 50 \text{ k}\Omega$$

Gainera, neurketa hauek egin dira:

$$I_C = 0,12 \text{ mA} \quad V_{CE} = 2,08 \text{ V} \quad Z_{in} = 11,13 \text{ k}\Omega \quad Z_{out} = 39 \text{ k}\Omega$$



2. irudia

- Kalkulatu  $R_C$ ,  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  eta  $R_E$  erresistentzien balioa.
- Zirkuitua egonkorra da? ARRAZOITU ERANTZUNA.
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, balio esanguratsuenak adieraziz, eta, kokatu lan-puntua karga zuzen estatikoaren gainean.
- Kalkulatu muntaketa osoaren tentsio-irabazia eta korrante-irabazia.
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen dinamikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, eta kalkulatu tarte dinamikoa.
- Marraztu, grafiko berean,  $v_s(t)$  seinalea eta kolektoreko tentsio osoa,  $v_c(t)$ , honako kasu hauetan:
  - $v_s(t) = 10 \text{ mV}_p$
  - $v_s(t) = 60 \text{ mV}_p$

Erresistentzietarako honako balio hauek hartuz:

$$R_{B1} = 25 \text{ k}\Omega \quad R_{B2} = 24 \text{ k}\Omega \quad R_C = 39 \text{ k}\Omega \quad R_E = 68 \text{ k}\Omega$$

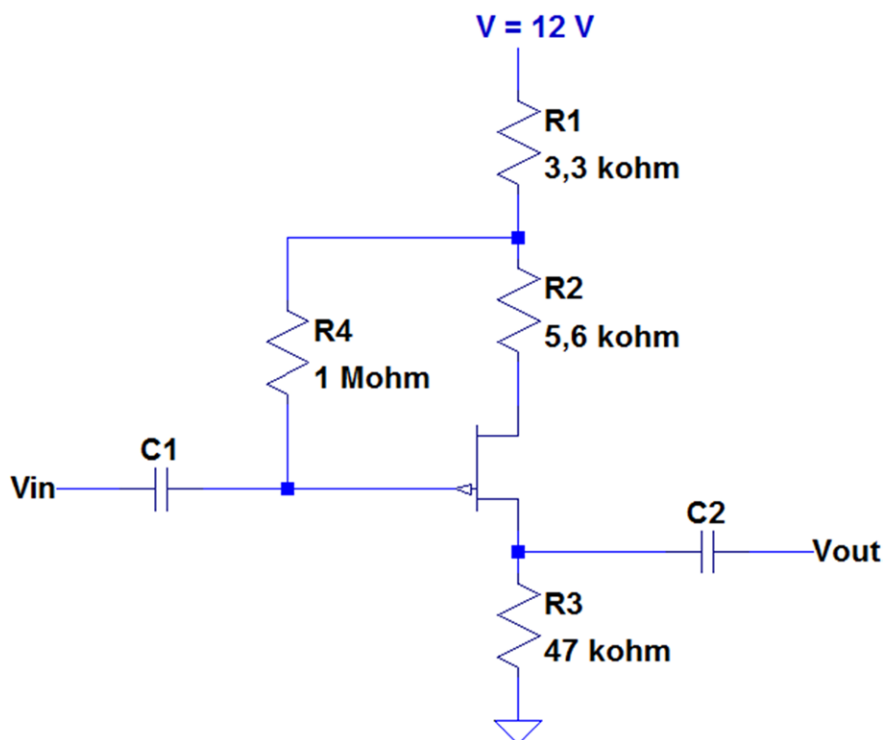
Eta  $V_{BB}$  ezezaguna dela, eta  $|I_{CO}| = 1 \text{ pA}$  eta  $|I_{EO}| = 0,5 \text{ pA}$  direla kontuan hartuz:

- Zein da transistorea asetaseren eramatzen duen baseko korronearen balio minimoa?
  - Kalkulatu  $\alpha_F$  eta  $\alpha_R$  parametroen balioak.
- $V_{BB}$  tentsioaren balio jakin baterako,  $I_B = 0,003 \text{ mA}$  lortu dela kontuan hartuz,
- Kalkulatu  $V_{BE}$ ,  $V_{BC}$  eta  $V_{CE}$  tentsioen balio zehatzak, eta  $I_C$  eta  $I_E$  korroneen balio zehatzak (hurbilketa hobeak direnak).

3. irudiko transistorean:

$$|I_{DSS}| = 1 \text{ mA} \quad |V_T| = 1 \text{ V}$$

- Zein da erabilitako gailua? Kokatu, zirkuituan bertan, draina, iturria eta atea.
- Marratu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Kalkulatu lan-puntua.
- Marratu gailuaren irteerako ezaugarriak, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Marratu seinale txikiko zirkuitua.
- Kalkulatu tentsio-irabazia.

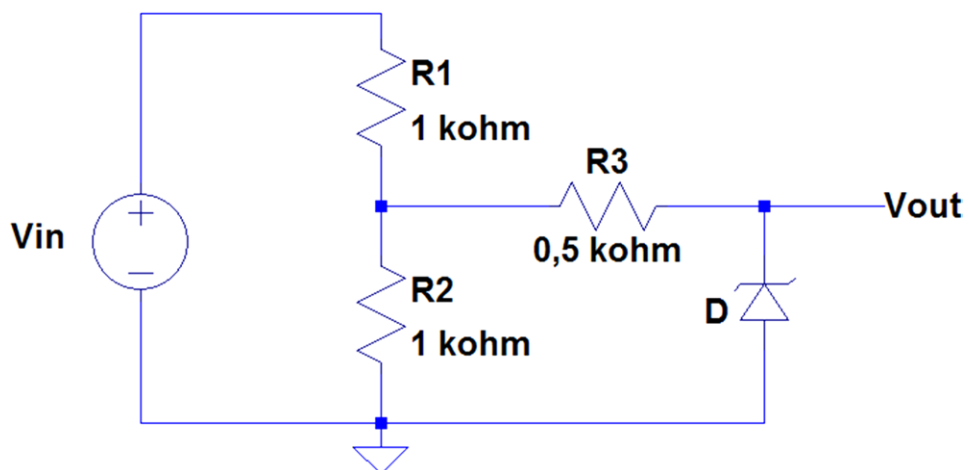


3. irudia

## 2019ko maiatza

1. 1. irudiko zirkuituan erabili den diodoak honako ezaugarri hauek ditu: 0,7 V-eko ukondoko tentsioa eta 3 V-eko haustura-tentsioa.

- Marraztu, kualitatiboki, diodoaren ezaugarri-kurba, bere languneak eta balio esanguratsuenak adieraziz. Zer diodo mota da? Zein da bere funtsezko erabilera?
- Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba.
- $v_{in} = 12 \cdot \sin(xt)$  V bada, marraztu  $v_{in}$  eta  $v_{out}$  grafiko berean.
- $v_{in}$  12 V-eko tentsio zuzena bada, kalkulatu zirkuituaren karga zuzen estatikoa eta diodoaren lan-puntua. Marraztu biak a) ataleko ezaugarri-kurban.

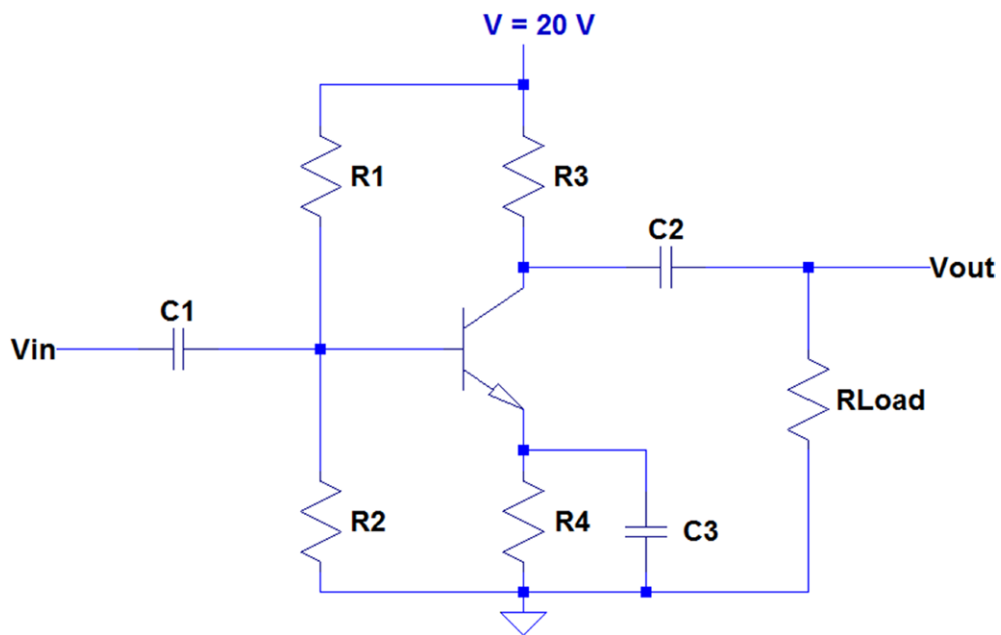


1. irudia

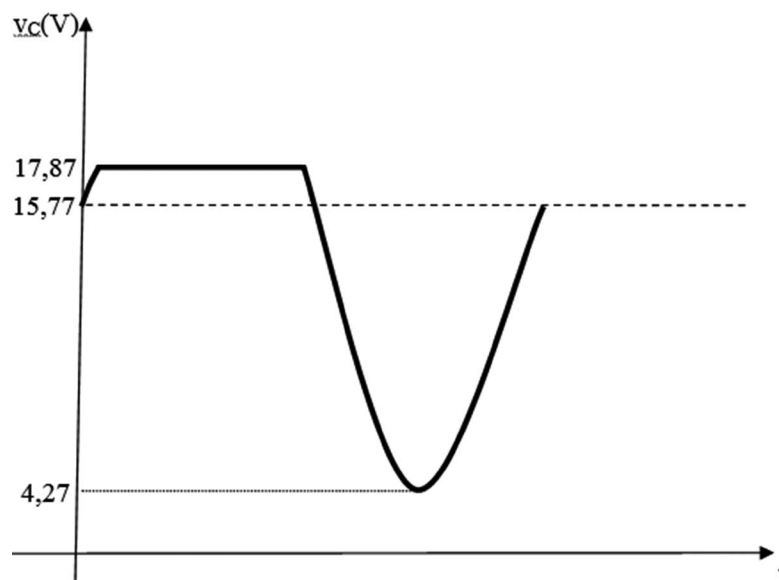
2. 2. irudiko zirkuituan, kolektorean tentsio osoa ( $v_C(t)$ ) neurtu da, eta 3. irudiko seinalea lortu da. Esandako seinalea lortzeko erabili den sarrerako tentsioa ( $v_{in}$ )  $136 \text{ mV}_P$ -koa izan da. Gainera, badakigu sarrerako tentsio hori erabiliz, aresetunaren mugara heltzen dela ( $v_{CE}(t) \cong 0 \text{ V}$  onartuz). Beste datu batzuk:

$$V = 20 \text{ V} \quad R_3 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_L = 1 \text{ k}\Omega \quad \beta = 100 \quad Z_{in} = 0,57 \text{ k}\Omega \quad V_T = 25 \text{ mV} \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

- Marrastu polarizazio-zirkuitua eta seinale txikiko zirkuitua.
- Kalkulatu polarizazioari dagokion kolektore-igorle tentsioa,  $V_{CE,Q}$ .
- Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazia.
- Kalkulatu eta marrastu karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoa  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Kalkulatu polarizazioari dagokion kolektoreko korronea,  $I_{C,Q}$ .
- Kalkulatu  $R_1$ ,  $R_2$  eta  $R_4$  erresistentzien balioa.



2. irudia



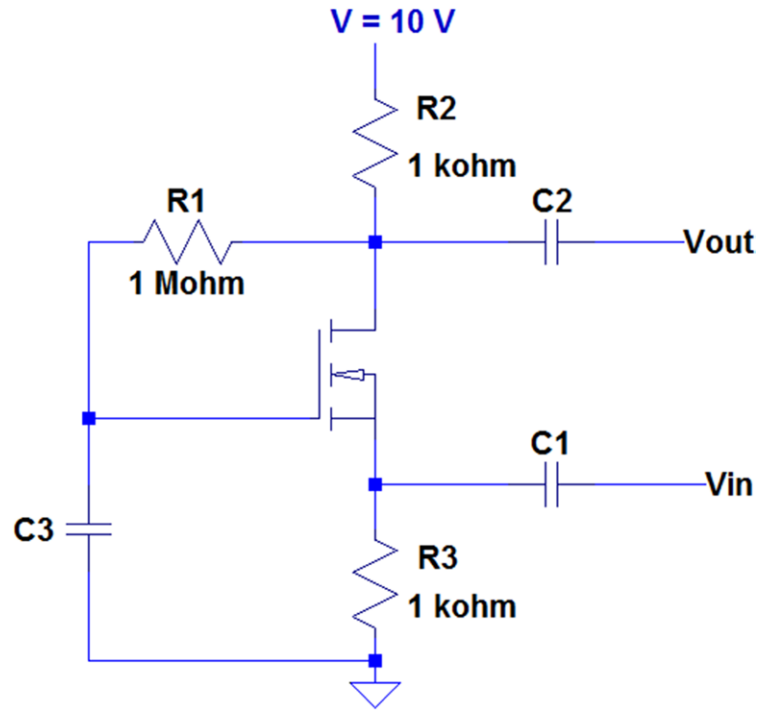
3. irudia

3. 4. irudiko zirkuituan, ezagunak dira honako datu hauek:  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

$$|I_{DSS}| = 10 \text{ mA} \quad |V_{GS,OFF}| = |V_T| = 3 \text{ V} \quad R_1 = 1 \text{ M}\Omega \quad R_3 = 1 \text{ k}\Omega \quad V = 10 \text{ V}$$

- Zein da erabilitako gailua? Marraztu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Kalkulatu gailuaren lan-puntua.
- Marraztu gailuaren irteerako ezaugarriak, eta kalkulatu eta marraztu karga zuzen estati-koa, lan-puntua kokatuz.
- Kalkulatu tentsio-irabazia, sarrerako inpedantzia eta irteerako inpedantzia.
- Nola deritzo zirkuituak alternoan duen konfigurazioari?
- Zirkuitu honek asetasunean lan egitea bermatzen du? **Arrazoitu erantzuna.**
- Zirkuitu hau mota bereko kanaleko beste FET mota bat polarizatzeko erabil daiteke? **Arrazoitu erantzuna.**





4. irudia

2017/2018

## 2018ko uztaila

1. 1. irudiko zirkuituko gailuei buruz, ezagunak dira honako datu hauek:

–  $D_1$  eta  $D_2$  diodoak berdin-berdinak dira, eta 2. irudiko ezaugarri-kurba daukate.

– Transistore bipolarra:

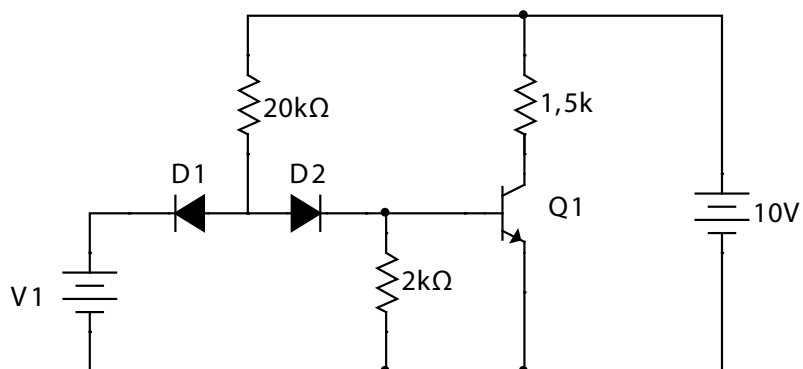
$$V_{BE,activa} = 0,7 \text{ V} \quad \beta = 100$$

$$V_{BE,saturación} = 0,8 \text{ V} \quad V_{CE,saturación} = 0,2 \text{ V}$$

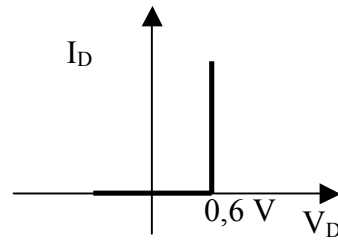
$V_1 = 0,2 \text{ V}$  aplikatuz gero, kalkulatu:

- $D_1$  eta  $D_2$  diodoen egoera.
- $I_1$  korrontearen balioa.
- $I_2$  korrontearen balioa.
- Transistorearen lan-puntua eta langunea.

$V_1 = 10 \text{ V}$  tentsioa aplikatuz gero, erantzun berriz aurreko atalak. Kasu honetarako, kalkulatu, zehatz-mehatz,  $D_2$  diodoaren lan-puntua,  $I_{sat} = 0,1 \text{ pA}$ -koa bada.



1. irudia

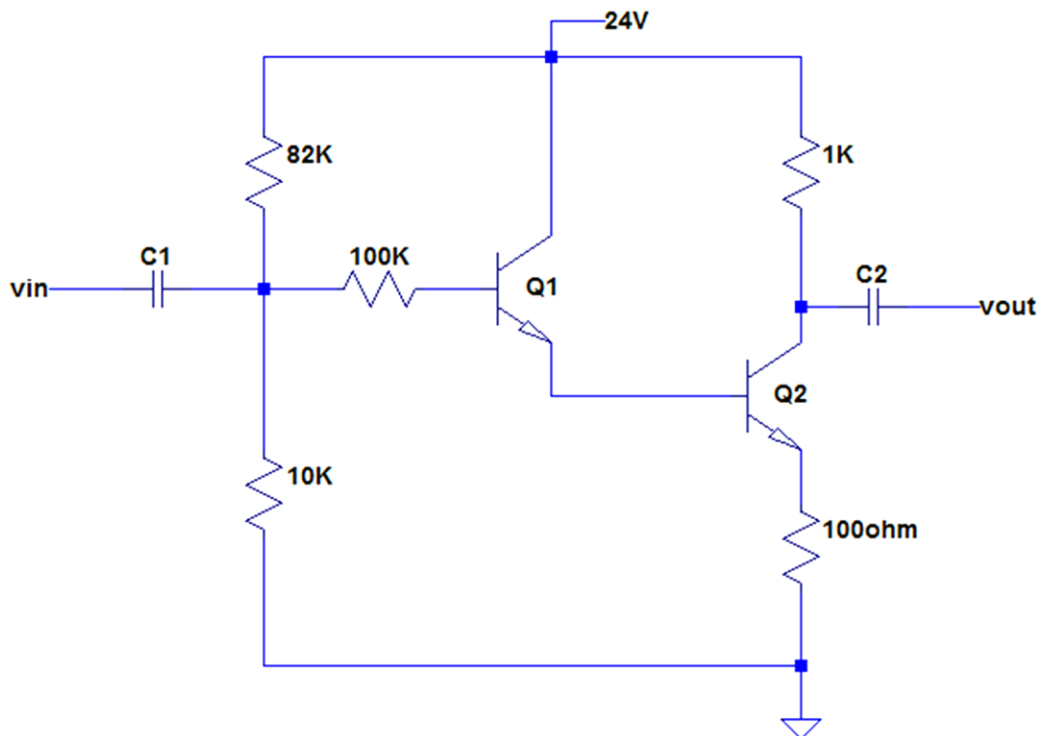


2. irudia

2. 3. irudiko zirkuituan erabilitako transistore bipolarrei buruz, ezagunak dira honako datu hauek:

$$\beta_1 = 50 \quad \beta_2 = 100 \quad V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7 \text{ V}$$

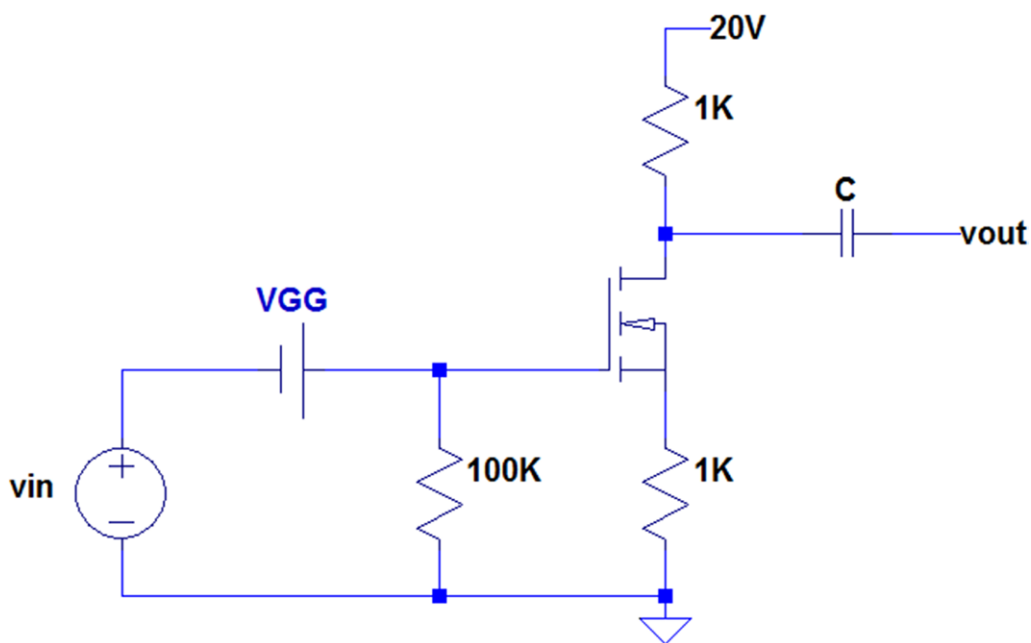
- Kalkulatu  $Q_2$  transistorearen lan-puntua.
- Kalkulatu eta marraztu  $Q_2$  transistorearen karga zuzen estatikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrietan.
- Kalkulatu zirkuitu osokoko  $\Delta V$  eta  $Z_{in}$ .
- Kalkulatu eta marraztu  $Q_2$  transistorearen karga zuzen dinamikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrietan. Zein izango litzateke transistore horren tarte dinamikoa?
- Marratzu, grafiko berean,  $v_{in}$  eta  $v_{ce2}$ , sarrerako tentsioa  $v_{in} = 1,5 \cdot \sin(\omega t)$  V denean. Zein izango litzateke  $v_{in}$  maximoa, irteeran distorsiorik ez izateko?



3. irudia

3. 4. irudiko zirkuituan, honako FET hau erabili da:  $|I_{DSS}| = 10 \text{ mA}$ ,  $|V_T| = 5 \text{ V}$ .

- a) Zer gailu mota da?
- b) Marraztu transistorearen transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.  
 $V_{GG}$  tentsioaren balio ezberdinetarako, transferentzia-ezaugarrian zehar ibiltzeko asmoa dugu. Horretarako,  $v_i = 0$  hartuz, kalkulatu:
- c) Gailuan pasabidea ager dadin, beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa.
- d)  $I_D = I_{DSS}$  izan dadin, beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa.
- e)  $V_{DS} = 10 \text{ V}$  izan dadin, beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa. Kalkulatu eta marraztu transistorearen karga zuzen estatikoa,  $I_D - V_{DS}$  ezaugarrietan,  $Q$  puntua adieraziz.
- f) Atalean lortutako korrante eta tentsioetarako, kalkulatu  $v_i$  tentsioa gailuan zehar korrante osoa nulua izan dadin,  $i_D(t) = 0$ .



4. irudia

## 2018ko maiatza

1. 1. irudiko zirkuituan, diodoak berdin-berdinak dira, eta  $V\gamma = 0,7$  V.

- Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Marraztu irteerako tentsioa  $v_{in} = 6 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  V bada. Zer zirkuitu mota da?
- Erabilitako diodoek egitura ezagun bati zor diote beren funtzionamendua; zer egitura da?
- Diodoen parametro fisiko eta teknologikoen balioak honako hauek dira:

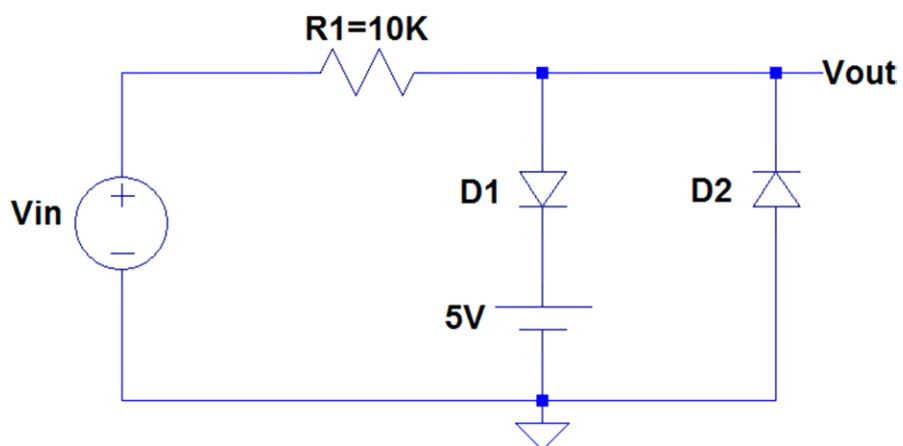
$$\begin{array}{llll}
 N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3} & D_n = 30 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s} & L_n = 50 \text{ } \mu\text{m} & w_a = 200 \text{ } \mu\text{m} \\
 N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3} & D_p = 10 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s} & L_p = 50 \text{ } \mu\text{m} & w_a = 200 \text{ } \mu\text{m} \\
 N_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} & \epsilon_{r,SI} = 11,8 & \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m} & w_a = 200 \text{ } \mu\text{m}
 \end{array}$$

Kalkulatu potentzial termodinamikoa eta eskualde dipolarraren zabalera orekako egoeran. Norantz zabaltzen da, nagusiki, eskualde dipolarra? Zein eskualdek dauka potentzial handiena?

**Arrazoitu erantzun guztiak.**

- Diodoei tentsio positibo bat, adibidez  $v_{AK} = 0,8$  V, aplikatzen bazaie, zer gertatuko zaio eskualde dipolarrari? Eta anodoaren eta katodoaren artean agertzen den potentzial-diferentziari? Kalkulatu balio berriak eta esan zein eskualdek duen potentzial handiena.

**Arrazoitu erantzun guztiak.**



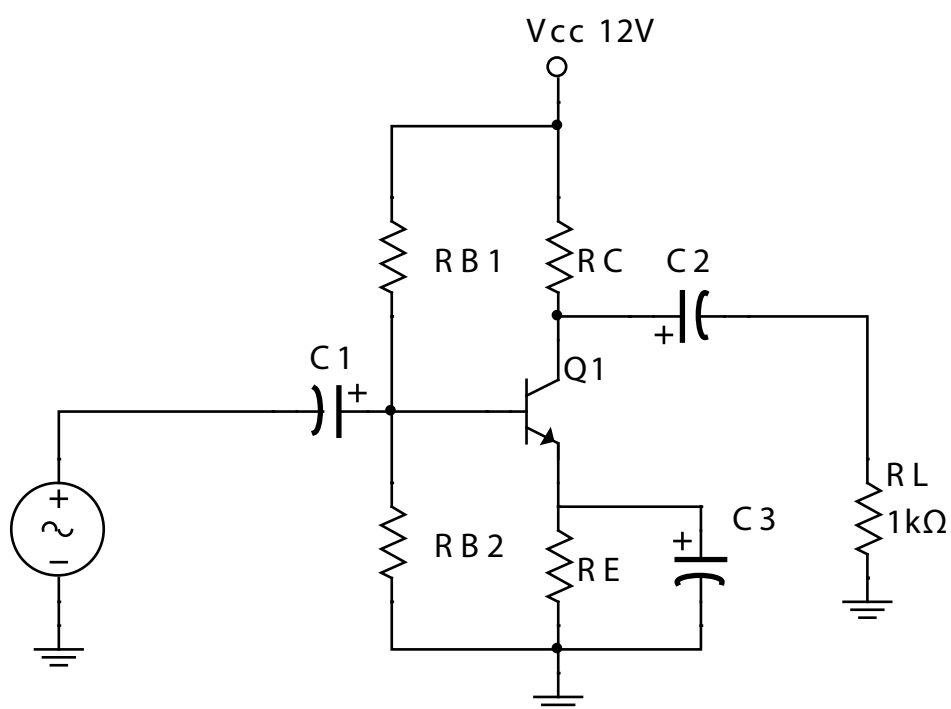
1. irudia

2. 2. irudiko zirkuitu amplifikatzailearen tarte dinamikoa 1,5 V-ekoa da, eta etendurak mugatzen du. Gainera, irteerako inpedantzia 1 k $\Omega$ -ekoa da, eta sarrerako inpedantzia 0,77 k $\Omega$ -ekoa. Beste datu batzuk:

$$\beta = 100$$

$$V_T = 25 \text{ mV}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$



2. irudia

- Marraztu seinale txikiko zirkuitua.
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa eta dinamikoa, zirkuituaren erresistentzien mende.
- Kalkulatu zirkuituaren erresistentzien balioak, egonkorra izan dadin.
- Kalkulatu lan-puntua.
- Kalkulatu sarrerako seinalearen balio maximoa, irteeran distortsioa saihesteko.

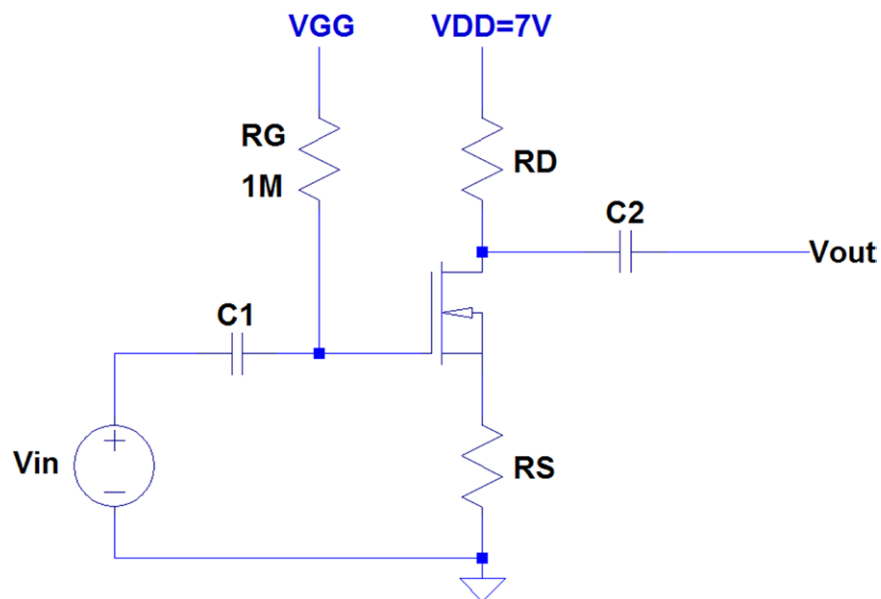
### 3. 3. irudiko zirkuituan,

- Esan zein den erabilitako transistore mota, eta marraztu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Dagoen transistorearen ordez, erabili n pasabideko JFET bat. Bere parametroak honako hauek dira:

$$|I_{DSS}| = 0,5 \text{ mA} \quad |V_T| = 1,5 \text{ V}$$

Marraztu transistore berriaren transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.

- Kalkulatu  $R_S$ ,  $R_D$  eta  $V_{GG}$ , erresistentzia bietan tentsio berdina egon dadin eta lan-puntua  $I_D = 0,2 \text{ mA}$ ,  $V_{DS} = 3 \text{ V}$  izan dadin.
- Kalkulatu zirkuitu amplifikatzailearen  $\Delta_v$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$ .
- Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa eta dinamikoa, irteerako ezaugarrietan. Zein eskualdek mugatzen du tarte dinamikoa?
- Zirkuitu horrek asetasunean lan egitea bermatzen du? **Arrazoitu erantzuna.**
- N pasabideko ugaltze MOSFET bat polarizatzeko baliagarria da? **Arrazoitu erantzuna.**



3. irudia

2016/2017

## 2017ko ekaina

### Teoria

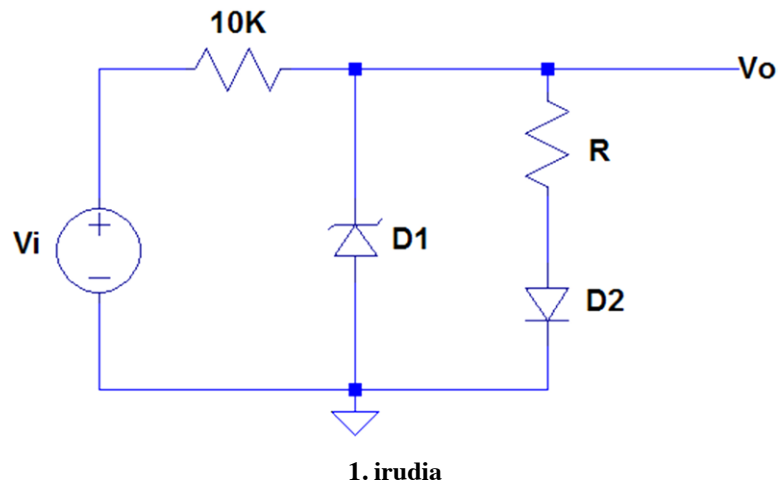
1. Alderantziz polarizatuta dagoen diodo batean zehar,
  - a) blokeo-korronte inbertsoa igarotzen da.
  - b) asetasun-korronte inbertsoa igarotzen da.
  - c) haustura-korronte inbertsoa igarotzen da.
  
2. Zein transistore mota dira tentsioak kontrolatutako gailuak?
  - a) JFETak eta MOSFETak.
  - b) JFETak eta BJTak.
  - c) MOSFETak eta BJTak.
  
3. P motako silizioan, zelan deritze eramaile ugarienei?
  - a) Hutsune.
  - b) Elektroi.
  - c) Ioi negatibo.
  
4. PNP transistore batek asetasunean lan egin dezan,
  - a) EB eta CB junturak zuzenki polarizatu behar ditugu.
  - b) EB juntura zuzenki eta CB juntura alderantziz polarizatu behar ditugu.
  - c) EB juntura alderantziz eta CB juntura zuzenki polarizatu behar ditugu.



- 5.** Zein diodo motak lan egin ohi du erreguladore gisa?
- a) Diodo artezlea.
  - b) Zener diodoa.
  - c) LED diodoa.
- 6.** Kolektore komuneko konfigurazioan, zirkuituko irteera
- a) Kolektorean kokatzen da.
  - b) Igorlean kokatzen da.
  - c) Basean kokatzen da.
- 7.** FET transistore bat, anplifikadore gisa lan egin dezan,
- a) gune aktiboan polarizatuta egon behar da.
  - b) asetasunean polarizatuta egon behar da.
  - c) gune gradualean polarizatuta egon behar da.
- 8.** MOSFET ideal batean,
- a)  $V_G$  edozein izanda ere, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.
  - b)  $V_G < V_\gamma$  bada, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.
  - c)  $V_G = 0$  bada, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.
- 9.** Zein dira kolektore komuneko egituran lan egiten duen BJT batean oinarritutako anplifikadore bateko ezaugarriak?
- a)  $A_V - 1$ ,  $Z_{in}$  altua,  $Z_{out}$  baxua.
  - b)  $A_V < 1$ ,  $Z_{in}$  baxua,  $Z_{out}$  altua.
  - c)  $A_V \gg 1$ ,  $Z_{in}$  altua,  $Z_{out}$  baxua.
- 10.** Seinale txikiko erregimenean, gune aktiboan polarizatutako BJT batentzat:
- a) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioa erregimen estatikoan dagoenaren berdina da.
  - b) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioak gora egiten du maiztasunarekin.
  - c) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioa erregimen estatikoan dagoenaren berdina da, maiztasun baxuetan lan eginez gero.

**Ariketak**

1. 1. irudiko zirkuituan, diodo biek daukaten ukondoko tentsioa  $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$  da. Gainera, ZENER diodoak tentsioa  $3,5 \text{ V}$ -etara finkatzen du, bere korronea  $I_{Z,\min} = 0$ -tik  $I_{Z,\max}$ -ra doan tartean dagoenean.
- a)  $v_i = 10 \text{ V}$  izanda, kalkulatu  $R$  erresistentziaren balio minimoa ZENER diodoak hausturan lan egin dezan eta diodo arrunta zuzenean polarizatuta egon dadin.
- b) Kalkulatu eta marraztu transferentzia-kurba, sarrerako tentsioa  $-12 \text{ V} < v_i < 12 \text{ V}$  tartean badago eta  $R = 5 \text{ K}$  izanda.



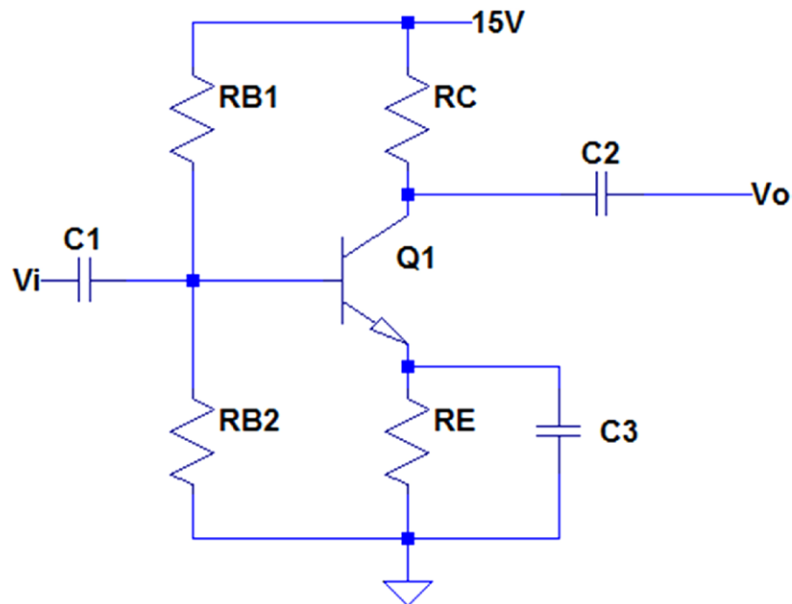
2. 2. irudiko zirkuituan, honako neurketa hauek egin dira:

$$\Delta_v = -184 \quad I_C = 0,118 \text{ mA} \quad Z_{in} = 12 \text{ k}\Omega$$

Gainera:

$$\beta = 100 \quad \text{eta} \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

- Kalkulatu zirkuituko erresistentzia guztien balioak.
- Zenbatekoa da tarte dinamikoa?
- Kalkulatu  $v_i$  tentsioaren balio maximoa ( $v_{i,max}$ ), irteeran distortsiorik izan ez dadin.
- Marraztu, grafiko berean,  $v_{i,max}$  eta  $v_{0,max}$ .



2. irudia

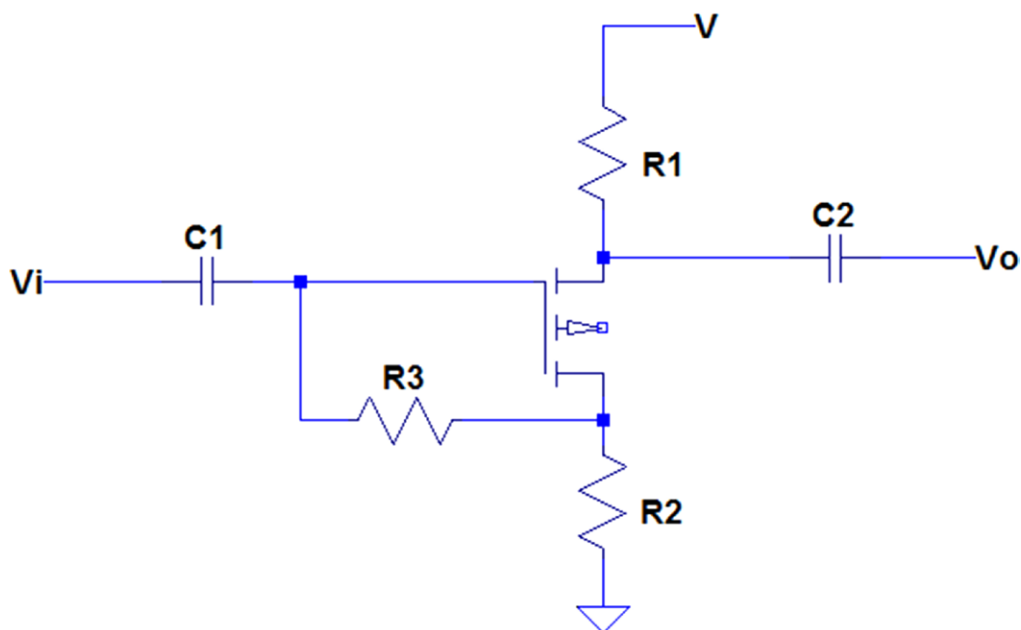
3. 3. irudiko anplifikadorean, FET transistoreak honako parametro hauek ditu:

$$|I_{DSS}| = 230 \text{ mA} \quad |V_T| = 3 \text{ V}$$

Gainera, ezagunak dira honako datu hauek:

$$V = 24 \text{ V} \quad R_1 = 150 \text{ } \Omega \quad R_2 = 180 \text{ } \Omega \quad R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega$$

- Osatu FET transistorea egoki polarizatuta egon dadin, draina, iturria eta ateko terminalak ondo adieraziz. Zein motatakoa da FETa?
- Marratzu FETaren sarrerako eta irteerako ezaugarriak, balio esanguratsuenak adieraziz.
- Kalkulatu lan-puntua.
- Zirkuitu honek asetasunean lan egitea ziurtatzen du? Arrazoitu erantzuna.
- Zirkuitu hau baliagarria al da beste FET mota bat polarizatzeko?
- Kalkulatu, tentsio-irabazia, sarrerako inpedantzia eta irteerako inpedantzia.



3. irudia

## 2017ko maiatza

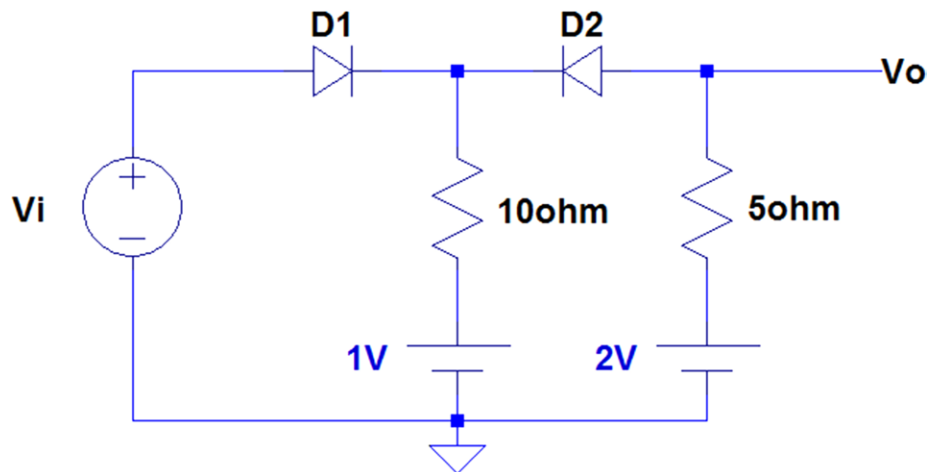
### Teoria

1. Oreka termodinamikoan dagoen PN juntura batean, zein eskualdek dauka potentzial handiena?
  - a) P eskualdeak.
  - b) Junturak.
  - c) N eskualdeak.
  
2. PN juntura alderantziz polarizatzean, potentzial-langa ...
  - a) ... handitzen da.
  - b) ... txikitzen da.
  - c) ... aplikatutako tentsioaren menpe dago.
  
3. Adierazpen hauetako bat zuzena da; zein?
  - a) Schottky diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.
  - b) LED diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.
  - c) Zener diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.
  
4. Zergatik esaten da BJTa bipolarra dela?
  - a) Bi juntura dituelako.
  - b) Erdieroale mota biz osatuta dagoelako.
  - c) Eramaile mota biek eroapenean parte hartzen dutelako.

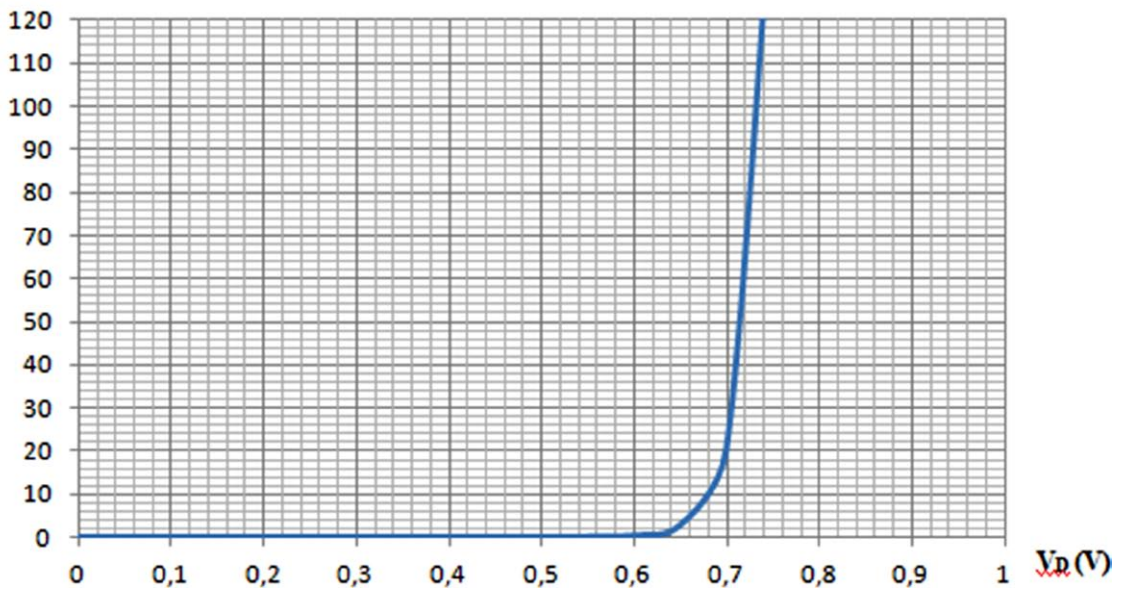
- 5.** Igorle komuneko egituran, pnp motako transistore bipolar bateko sarrerako ezaugarrietan ...
- ... baseko korrontea ( $-I_B$ ) eta  $V_{BE}$  tentsioa erlazionatzen dira.
  - ... baseko korrontea ( $I_B$ ) eta  $V_{EB}$  tentsioa erlazionatzen dira.
  - ... baseko korrontea ( $-I_B$ ) eta  $V_{EB}$  tentsioa erlazionatzen dira.
- 6.** Transistore bipolar batean, irteerako ezaugarri-kurben errealek dauzkaten idealarekiko desbi-deratzeak:
- Early efektuari zor zaizkio.
  - Early efektuari eta  $\beta$  parametroaren  $I_c$ -rekiko menpekotasunari zor zaizkie.
  - $\beta$  parametroaren  $I_c$ -rekiko menpekotasunari zor zaizkio.
- 7.** Gailu elektroniko batean, noiz lortzen da tarte dinamikorik handiena?
- Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen dinamikoaren erdian kokatzen denean.
  - Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen estatikoaren erdian kokatzen denean.
  - Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen dinamikoaren erdian kokatzen denean, eta, gainera, karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoa bat datozenean.
- 8.** P pasabideko MOSFET batean, pasabidea dago...
- ... ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino handiagoa denean.
  - ... ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino txikiagoa denean.
  - ... ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino handiagoa denean ugaltze MOSFETentzat, eta ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino txikiagoa denean urritze MOSFETentzat.
- 9.**  $V_G$  konstante izanda,  $V_D$  aldatzen bada, nondik hasten da pasabidearen itotzea?
- Drainaren aldetik.
  - Iturriaren aldetik.
  - Atearen aldetik.
- 10.** JFET batean, nola kontrolatzen da pasabidearen zabalera?
- Ateko junturak zuzenean polarizatuz.
  - P pasabideko JFETetan ateko junturak zuzenean polarizatuz, eta N pasabideko JFETetan ateko junturak alderantziz polarizatuz.
  - Ateko junturak alderantziz polarizatuz.

## Ariketak

1. a) 1. irudiko diodoak berdinak dira eta 2. irudiko ezaugarri-kurba daukate. Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba, egokiagoa den seinale handiko ereduak erabiliz.
- b) Demagun  $D_1$  diodoa alderantziz polarizatuta dagoela eta  $D_2$  diodoa zuzenean polarizatuta dagoela; kalkulatu egoera honi dagokion karga zuzen estatikoa, eta kokatu karga zuzenaren gainean  $D_2$  diodoaren lan-puntua.
- c) Zenbatekoa da diodoen asetasun-korrontea,  $I_{SAT}$ ?



1. irudia

 $I_D$  (mA)

2. irudia

2. 3. irudiko zirkuituko transistoreak honako datu hauek ditu:

$$I_{ES} = 6 \cdot 10^{-15} \text{ A} \quad I_{CS} = 1,8 \cdot 10^{-14} \text{ A} \quad \alpha_R = 0,3311 \quad C = \infty$$

Gainera, kolektoreko korronea neurtu egin da:  $I_C = 1 \text{ mA}$ . Kalkulatu:

a)  $V_{BE}$ .

b)  $R_B$ .

Hemendik aurrera, erabil itzazu honako datu hauek:

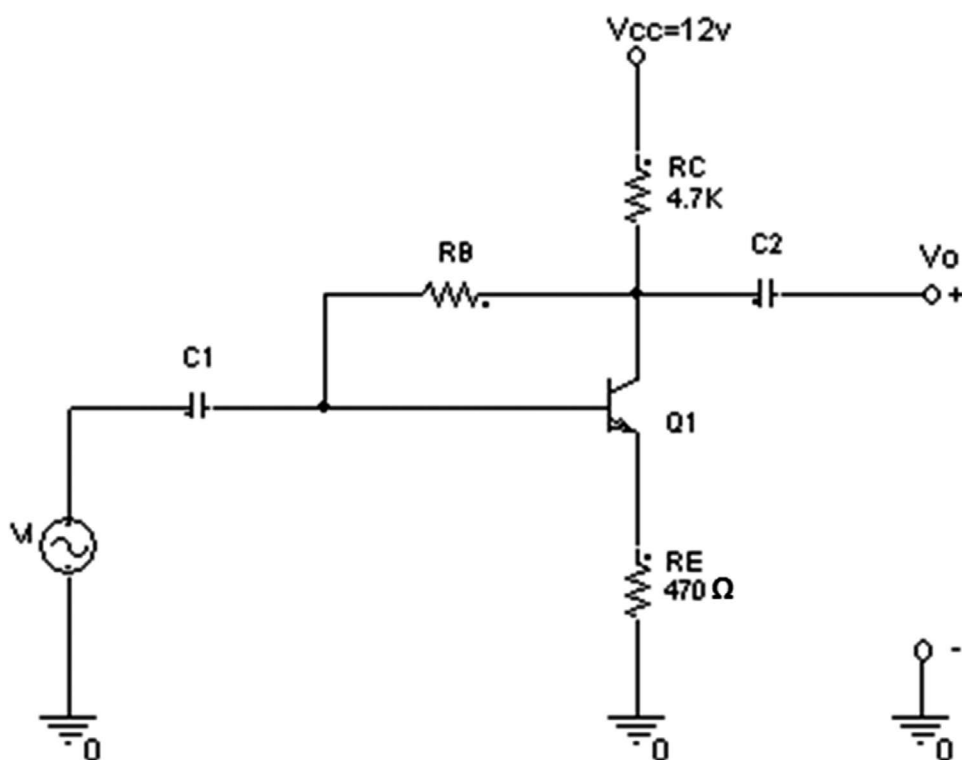
$$I_C = 1 \text{ mA} \quad \beta = 149,25 \quad V_{CE} = 6,8 \text{ V} \quad R_B = 9,12 \text{ k}\Omega$$

c) Kalkulatu  $A_V$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$ .

d) Marraztu, grafiko berean,  $v_i$  eta  $v_{ce}$  sarrerako honako bi seinale ezberdin hauentzat, balio esanguratsuenak adieraziz:

$$- v_i = 0,5 \text{ sen } \omega t (\text{V})$$

$$- v_i = 1 \text{ sen } \omega t (\text{V})$$



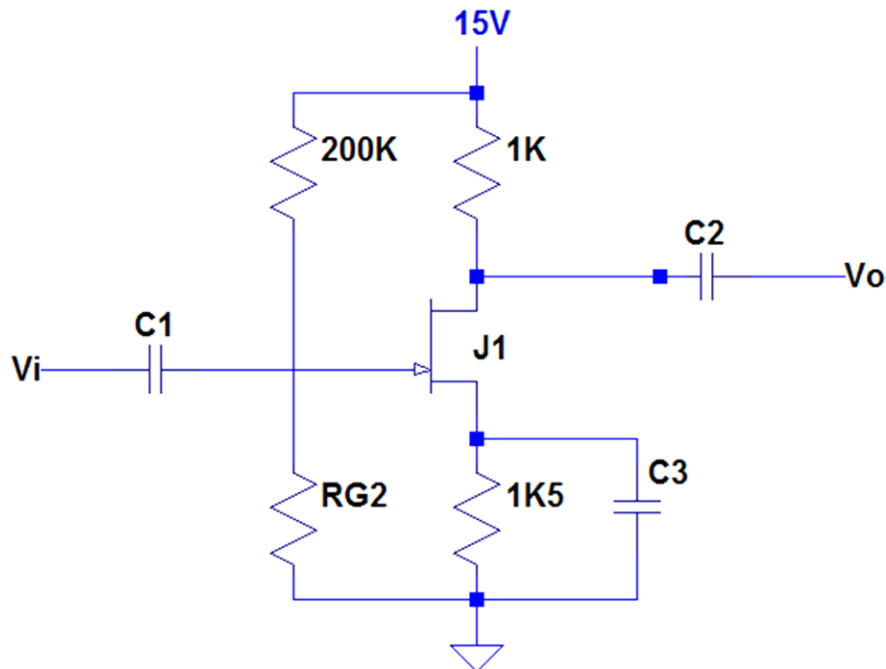
3. irudia



3. 4. irudiko zirkuituan, hauek dira FET transistoreak dituen parametroak:

$$|I_{DSS}| = 9 \text{ mA} \quad |V_T| = 3 \text{ V}$$

- Zer transistore mota da?
- Zenbatekoa izan behar da  $R_{G2}$  erresistentzia, zirkuitu anplifikatzailearen sarrerako inpedantzia  $66,67 \text{ k}\Omega$ -ekoa izan dadin?
- Kalkulatu transistorearen lan-puntua, eta, marraztu  $I_D$ - $V_{GS}$  ezaugarria, bertan ahalik eta informazio gehien adieraziz.
- Kalkulatu  $A_v$  eta  $Z_{out}$ .
- Marraztu, irteerako ezaugarrietan, lan-puntua, karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoa.



4. irudia

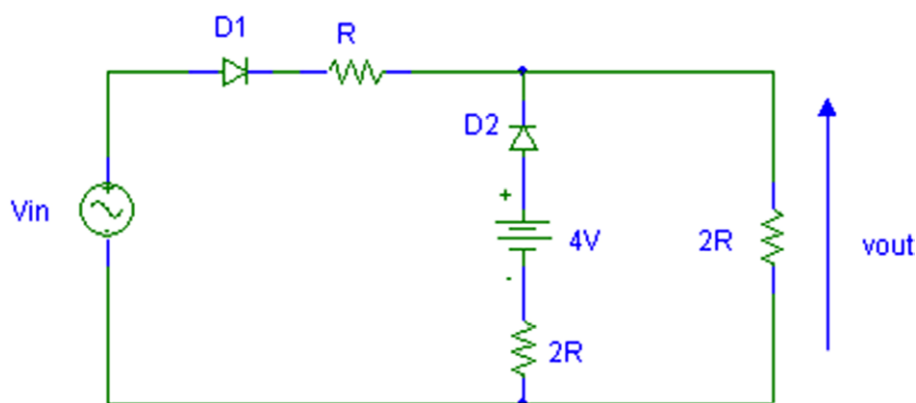
2015/2016

## 2016ko ekaina

1. PN junturako diodo batean, katodoak daukan elektroien kontzentrazioa  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  da, eta anodoak daukana  $10^7 \text{ cm}^{-3}$ .
- Zein da junturak duen potentzial termodinamikoa?
  - Zein da potentzial gehien duen eskualdea?
  - Kalkulatu hustutako eskualdearen zabalera. Zer eskualdetan zehar zabalduko da nagusiki?
  - Marraztu eremu elektrikoaren profila hustutako eskualdean, eta kalkulatu eremu elektrikoaren puntako balioa. Non lortzen da?

**Erantzun guztiak arrazoitu behar dira.**

Aurreko diodoa 1. irudiko zirkuituan erabiltzen da:



1. irudia

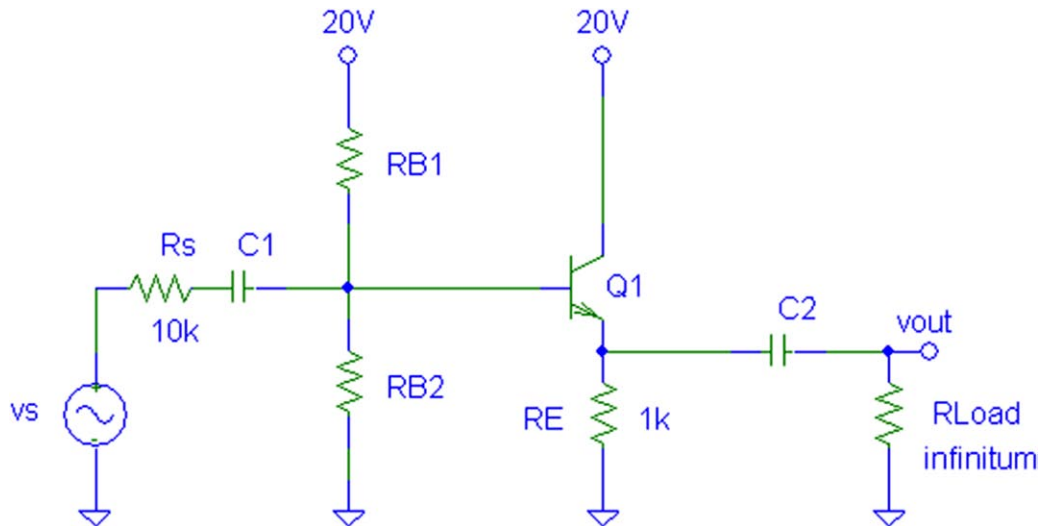
- e) Kalkulatu eta marraztu zirkuituko transferentzia-kurba (diodoak idealtzat jo daitezke).

Datuak:

$$V_T = 0,025 \text{ V} \quad n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\epsilon_{r,SI} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

2. 2. irudiko zirkuituan, hauek dira erabilitako BJT transistoreak igorle komuneko konfigurazioan dituen parametroak:  $\beta = 100$  eta  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ .
- Kalkulatu  $R_{B1}$  eta  $R_{B2}$  erresistentzien balioak, irteerako tentsioak tarte dinamiko maximoa lor dezan.
  - Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazi osoa eta sarrerako inpedantzia.
  - Erabilitako tentsio-sorgailuak badu trabaren bat? Zer gertatuko litzateke tentsio-sorgailuaren  $R_S = 100 \Omega$ -ekoa izango balitz?

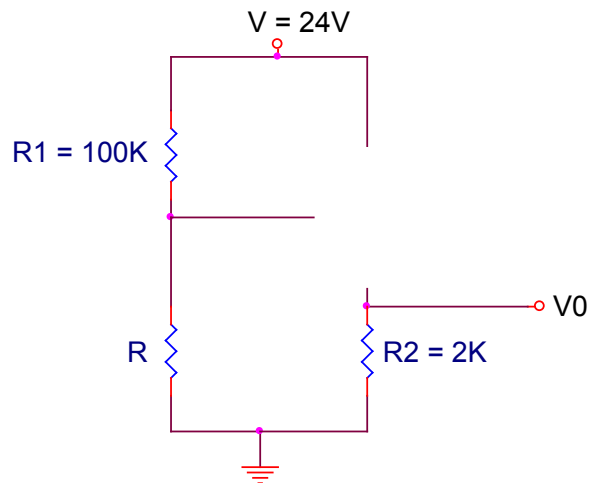


2. irudia

3. 3. irudia p pasabideko ugaltze MOSFET bat duen polarizazio-zirkuitua da. Asetasunean, ekuazio honen bidez kalkulatzen da transistorearen draineiko korronea:

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2. \quad \text{Datuak: } |V_T| = 2 \text{ V} \quad |K| = 2 \text{ mA/V}^2$$

- Kokatu transistorearen ikurra polarizazio-zirkuituan, bere terminalak adieraziz.
- Marratzu MOSFETaren transferentzia-kurba.
- Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa, MOSFETa eroaten has dadin.
- Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa,  $V_0 = 16 \text{ V}$  izan dadin.
- Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa, MOSFETak tentsio baten bidez kontrolatutako korrone-sorgailu modura lan egiteari uzteko.



3. irudia

## 2016ko maiatza

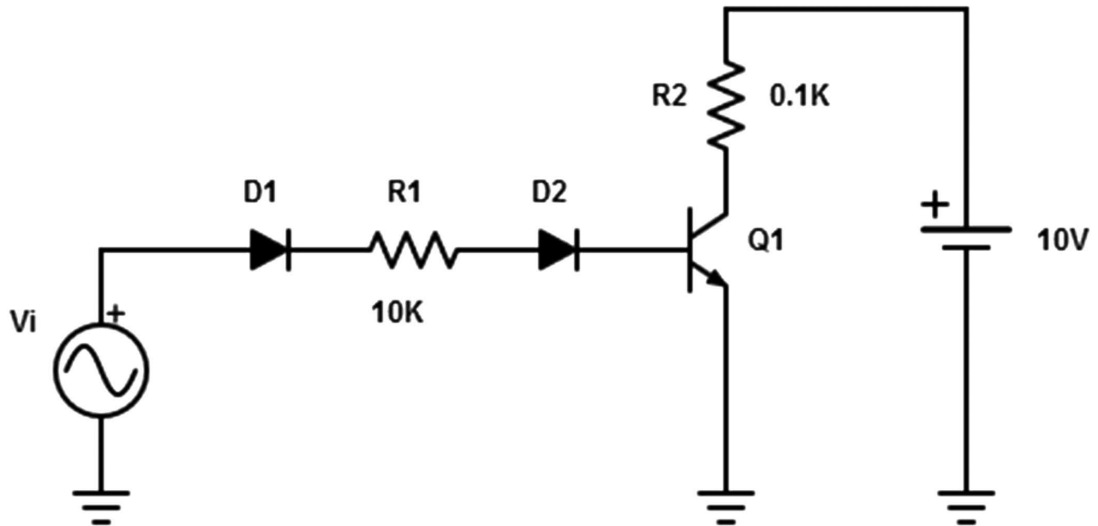
1. 1. irudiko zirkuituak  $V_T = 0,5$  V duten bi diodo berdin eta  $V_{BE} = 0,7$  V eta  $\beta = 200$  dituen transistore bipolar bat erabiltzen ditu.

- a) Kalkulatu eta marraztu  $I_c$  korrontearen balioa  $v_i$  tentsioaren arabera, diodoen zein transistorearen egoera posible guztiak kontuan izanda. Adierazi, grafikoan, balio esanguratsuenak eta transistorearen languneak.
- b) Azaldu PN junturako diodoaren seinale handiko eredu linealak, eta adierazi zein den aurreko atalean erabili duzuna.
- c) Kalkulatu, **zehatz-mehatz**, diodoak zeharkatzen dituen korrontea eta diodoetan agertzen den tentsioa,  $v_i = 5$  V denean. Diodoaren asetasun-korrontea ezaguna da,  $I_{sat} = 1$  pA.
- d) Erabilitako PN junturako diodoek honako ezaugarri teknologiko hauek dituzte:

$$A = 0,4 \text{ cm}^2 \quad N_D = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\epsilon_{r,Si} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m} \quad \phi_T = 979 \text{ mV} \quad V_T = 25 \text{ mV}$$

- d1) Kalkulatu ezpurutasun hartzaileen kontzentrazioa,  $N_A$ .
- d2) Kalkulatu orekako hustutako eskualdearen zabalera.
- d3) PN juntura alderantziz polarizatzen badugu,  $v_i = -1$  V, zer gertatzen zaio hustutako eskualdeari? Kalkulatu egoera honetan izango duen zabalera.
- d4) Kalkulatu junturako kapazitatea,  $C_j$ ,  $v_i = -1$  V denean.

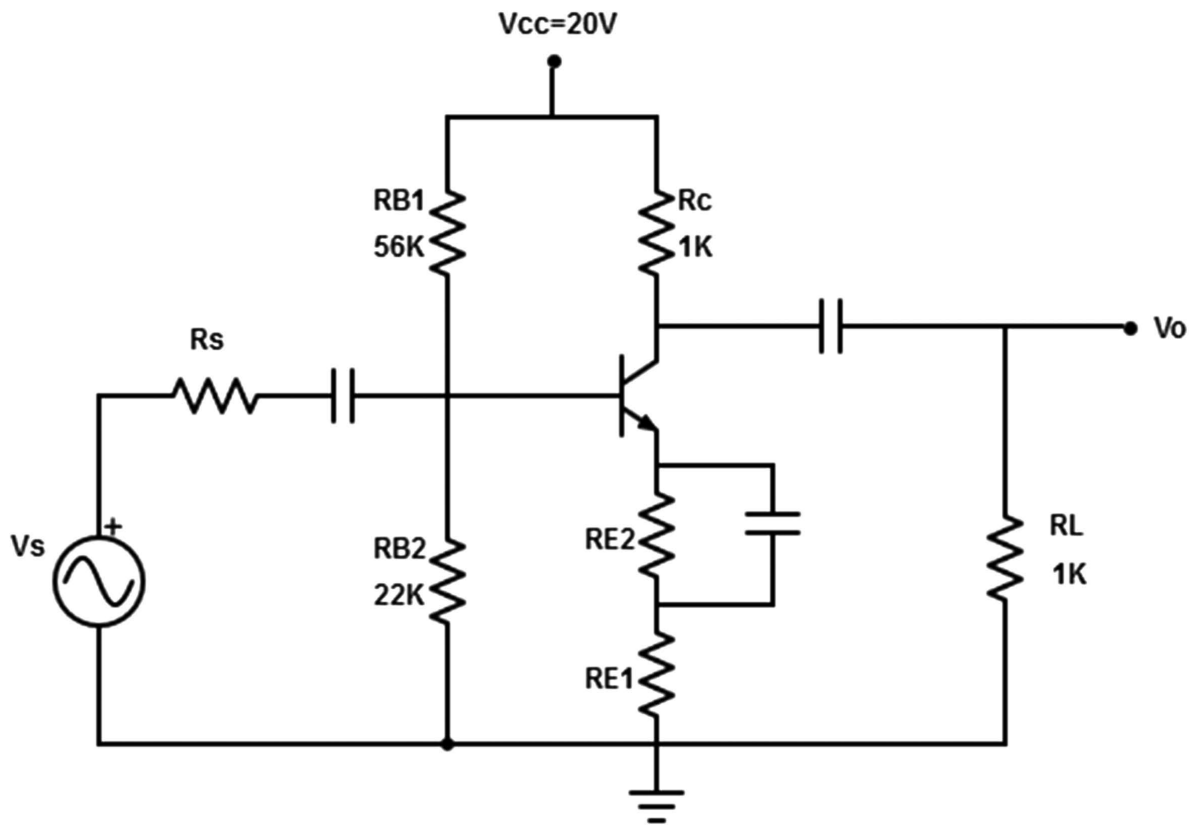


1. irudia

2. Basea zirkuitu irekian daukan p<sup>+</sup>np transistore bipolar bat daukagu. Igorlearen eta kolektorearen artean  $V \gg V_T$  den tentsioa aplikatzen badiogu, eta igorletik  $I_E$  korrontea pasatzen bada:
- Zein da  $V_{EB}$  tentsioaren balioa? Gailuaren ezaugarri bat da?
  - Zein langunetan egongo litzateke transistorea? Zein izango litzateke kolektoreko korrontea,  $I_C$ ?

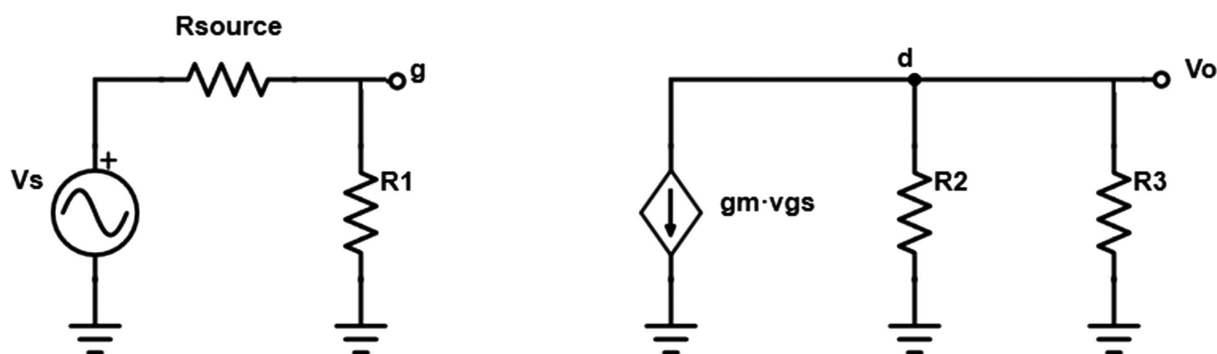
**ERANTZUN GUZTIAK ARRAZOITU BEHAR DIRA.**

3. 2. irudiko zirkuitu amplifikatzailea aztertu nahi dugu. Datuak:  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$  eta  $\beta = 100$ .
- Marratzu polarizazio-zirkuitua, eta kalkulatu eta marratzu karga zuzen estatikoa  $I_C - V_{CE}$  irteerako ezaugarrietan.
  - Marratzu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkulatu eta marratzu karga zuzen dinamikoa  $I_C - V_{CE}$  irteerako ezaugarrietan.
  - Kalkulatu  $R_{E1}$  eta  $R_{E2}$  erresistentzien arteko erlazioa, karga zuzen dinamikoaren malda karga zuzen estatikoaren bikoitza izan dadin.
  - Kalkulatu lan-puntua, c) ataleko egoeran.
  - Kalkulatu tarte dinamikoa.
  - Nola hobe genezake amplifikadorearen tentsio-irabazia  $R_E$  erresistentziarekin jokatuz gero? Zein izango litzateke hartutako soluzioak duen eragina?
  - Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak, d) atalean lortutako emaitzekin.



2. irudia

4. 3. irudiko zirkuitua, n pasabideko urritze MOSFET bat duen muntaia baten seinale txikiko zirkuituari dagokio. Datuak:  $|I_{DSS}| = 8 \text{ mA}$   $|V_T| = 4 \text{ V}$   $g_m = 2(\text{k}\Omega)^{-1}$
- Marraztu muntaiaari dagokion seinale handiko zirkuitua. Horretarako, kontuan izan iturritik erreferentziara  $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$  erresistentzia dagoela, kondentsadore batekin paraleloan. Gehitu behar diren osagaiak seinale handiko zirkuituari.
  - Kalkulatu  $I_D$  eta  $V_{GS}$ .
  - Marraztu  $I_D - V_{GS}$  ezaugarria, eta, bertan, kokatu FET transistorearen parametroen balioak eta  $Q$  puntuarenak.
  - Elikatze-tentsioa  $V_{DD} = 12 \text{ V}$  bada, kalkulatu drainekeo erresistentziaren balio maximoa, MOSFET transistorea asetasunean egoteko.
  - n kanaleko JFET bat polarizatzeko, erabil liteke daukagun zirkuitua?
  - Kalkulatu anplifikadorearen sarrerako eta irteerako inpedantziak.
  - $R_{\text{source}} = 50 \text{ k}\Omega$  bada, nolakoa izan behar da  $Z_{\text{in}}$  anplifikadorearen tentsio-irabazian eragirik izan ez dezan? Kalkulatu  $R_1$  erresistentziaren balioa, tentsio-irabazia  $\Delta V_s = -7,5$  bada ( $R_3 = \infty$  eta d] atalean lortutako drainekeo erresistentziaren balio maximoa hartu egin da).



3. irudia



---

# **Soluzioak**

## 2020ko uztaila

### Teoria

1. Seinale txikian lan egiten duen FET bat(ek):

- a. Portaera lineala du denboraren araberako magnitudeekiko.
- b. Draina eta iturri terminalen arteko konduktantzia batez eta korronte sorgailu batez ordezkadateke.
- c. Beste bi erantzunak zuzenak dira.

2. JFET bat ia baliokidea da funtzionamenduan:

- a. MOSFET batena, urritzekoa edo ugaltzekoa.
- b. Ez da MOSFETen baliokidea, atearen eta kanalaren arteko isolamendua desberdina baita.
- c. Urritze MOSFET batena.

3. Seinale txikiko erregimena:

- a. Erregimen dinamikoaren kasu berezi bat da, non, polarizatuta egoteaz gain, gailu elektronikoen denboraren araberako tentsioak edo korronteak jasaten baitituzte, baina polarizazio-balioak baino askoz txikiagoak.
- b. Gailuek portaera lineala dute.
- c. Beste bi erantzunak zuzenak dira.

**4.** BJTren konfigurazioaren arabera:

- a.  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroen balioak beti berdinak dira, BJTren konfigurazioa alde batera utzita.
- b. Balio desberdinak lortzen dira  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroetarako.
- c.  $A_V$ ,  $A_I$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$  parametroen balioak aldatzen dira, BJTak portaera ideala duen ala ez.

**5.** p pasabideko ugaltze MOSFET batean, draineiko korronea egon dadin:

- a.  $V_G > V_T$
- b.  $V_G < V_T$
- c.  $V_T < V_G < 0$

**6.** Kuadripoloen teoria:

- a. BJTan bakarrik aplikatu daiteke, maiztasun baxuetan lan egiten badu.
- b. BJTari aplikatu dakioke, seinale txikian lanean ari denean.
- c. BJTan aplikatu daiteke, bai estatikan, bai dinamikan.

**7.** Early efektuak:

- a. Etenduran bakarrik du garrantzia, bi junturak alderantziz polarizatuta daudenean.
- b. BJT erreal baten portaera ikasgelan ikusitako idealetik desbideratzen den ideia ematen du.
- c. Basearen zabaleraren eta junturei aplikatutako tentsioen arteko mendekotasuna islatzen du.

**8.** Potentzial termodinamikoa:

- a. Oreka termodinamikoaren ondorio bat da, eta eroankortasun ezberdina duten bi material elkartzuz gero agertzen da.
- b. Orekan egon arren, korrante garbia dago potentzial termodinamikoaren ondorioz.
- c. Esperimentalki neur daiteke, egituraren bi muturren artean voltmetro bat jarritz, besterik gabe.

**9.** Transistore bipolar baterako, Ebers-Moll-en eredua(k):

- a. BJTa modu aktiboan polarizatuta badago bakarrik da baliozkoa.
- b. Gailuaren funtzionamendua deskribatzen du, bai estatikan, bai dinamikan. Azken kasu horretan, tentsioak denboraren arabera izango dira.
- c. Gailuaren funtzionamendua deskribatzen du, bere junturetako edozein polarizazio-baliotarako.

**10. FET batean:**

- a. Atearen korrontea nulua da, soilik  $V_{GS} = V_{DS}$  bada.
- b. Atearen korrontea ia nulua da.
- c. Atearen korrontea nulua da, kanala ito edo zulatu bada soilik.

**11. Hauek dira FETen aplikazio ohikoenak:**

- a. Erresistentzia lineala eskualde gradualean eta tentsioak kontrolatutako iturria asetasunean.
- b. Erresistentzia ez-lineala eskualde gradualean eta tentsioak kontrolatutako iturria asetasunean.
- c. Erresistentzia ez-lineala eskualde gradualean eta korrontek kontrolatutako iturria asetasunean.

**12. Eguzki-zelulak:**

- a. Argi-erradiazioarekiko oso sentikorrak diren gailuak dira, fotodiodoak bezala.
- b. pn junturan oinarrituta daudenez, zuzeneko polarizaziopean zein alderantzizkoan lan egin dezakete.
- c. pn junturan oinarritzen dira, eta argi-erradiazioa energia elektriko bihurtzen dute. Horretarako, laugarren koadrantean lan egin behar dute.

**PN JUNTURA - ZIRKUITU DIODODUNA**

1. Siliziozko erdieroaleez egindako pn juntura batean, honako datu hauek ezagutzen dira:  
 $N_D = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

a) Kalkulatu potentzial termodinamikoa giro-tenperaturan.

$$\Phi_T = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right) = 0,025 \cdot \ln\left(\frac{10^{16} \cdot 10^{20}}{10^{20}}\right) = \mathbf{0,921 \text{ V}}$$

b) Potentzial termodinamikoa kalkulatzeko erabiltzen den adierazpenak balio al du juntura mota guztietarako? Arrazoitu erantzuna.

*Ez, ez du balio juntura mota guztietarako. Juntura latz-lauarekin soilik erabil daiteke, non Nd-k bi balio konstante baititu juntura metalurgikoaren bi aldeetan.*

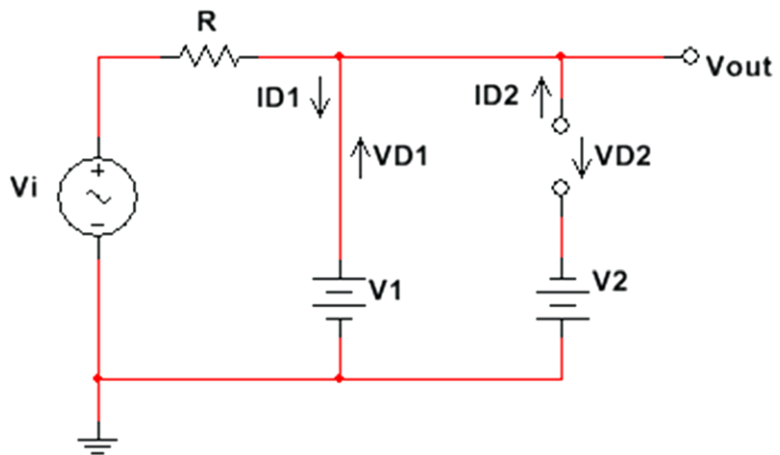
c) Zer lotura du potentzial termodinamikoak pn juntura baten eskualde dipolarraren eremu elektrikoarekin?

*Potentzial termodinamikoa eremu elektrikoaren integrala da, eskualde dipolarraren muturren artean.*

$$\Phi_T(x) = \int_{-x_p}^{x_n} \epsilon(x) \cdot dx = \frac{l \cdot |\epsilon_{\max}|}{2}$$

2. Erakutsitako zirkuiturako, datu hauek ematen dira:

$$V_1 = 5 \text{ V}, \quad V_2 = 10 \text{ V}, \quad R = 1 \text{ k}\Omega, \quad \text{diodoak idealak}$$



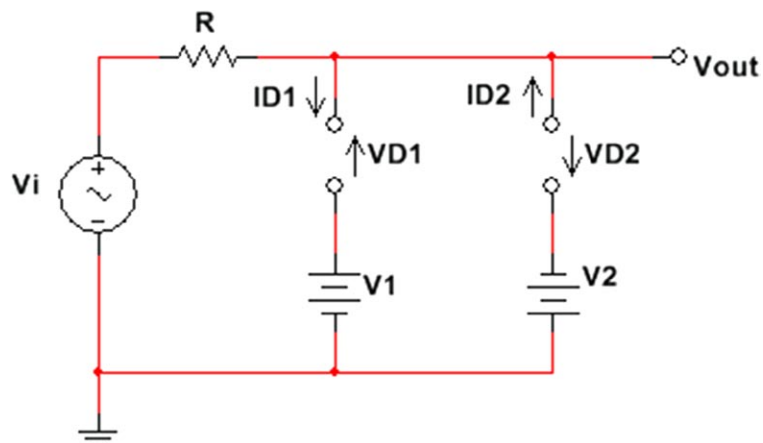
1. irudia

Gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz, eta transferentzia-kurba kontuan hartuta, kalkulatu: a)  $v_{\text{out}}$  maximoa eta  $v_{\text{out}}$  minimoa

**5 V eta -10 V, hurrenez hurren.**

- $v_i = +15\text{ V}$  izanda:

- b)  $v_{\text{out}}$ ,  $I_{D1}$ ,  $V_{D1}$ ,  $I_{D2}$  eta  $V_{D2}$   
 $D_1$  ON eta  $D_2$  OFF



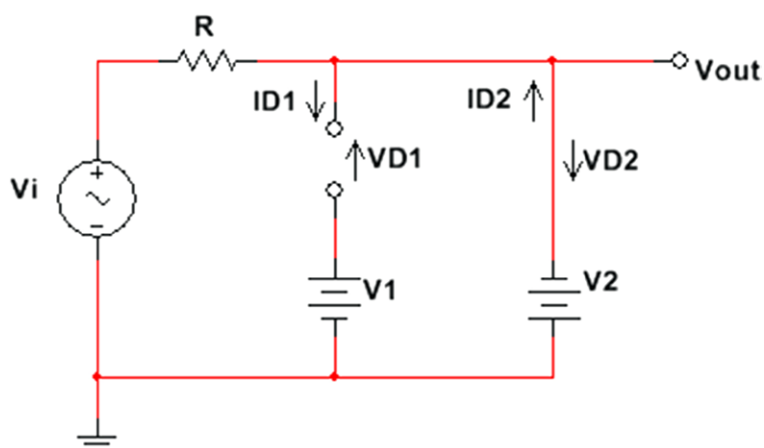
$$V_{\text{out}_1} = V_i = 15\text{ V}, V_{D1} = 0\text{ V}, I_{D2} = 0\text{ mA}$$

$$I_{D1} = \frac{V_i - V_1}{R} = \frac{15 - 5}{1} = 10\text{ mA}$$

$$V_{D2} = -V_2 - V_1 = -10 - 5 = -15\text{ V}$$

- $v_i = +2,5\text{ V}$  izanda:

- c)  $v_{\text{out}}$ ,  $I_{D1}$ ,  $V_{D1}$ ,  $I_{D2}$  eta  $V_{D2}$   
 $D_1$  OFF eta  $D_2$  OFF



$$V_{\text{out}_2} = v_i = 2,5\text{ V}, I_{D1} = 0\text{ mA}, I_{D2} = 0\text{ mA}$$

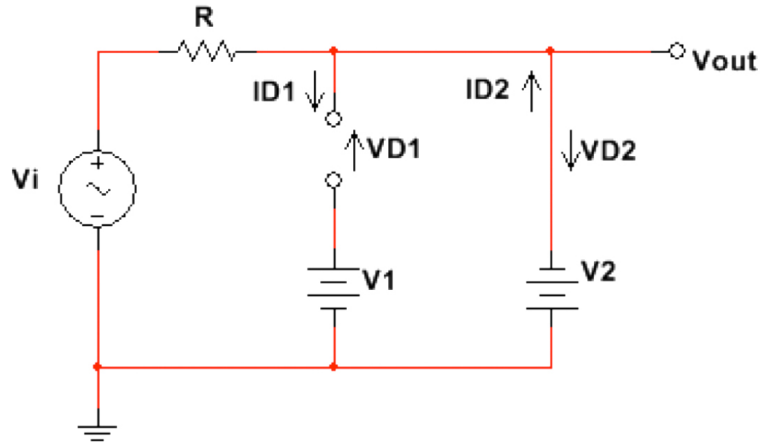
$$V_{D1} = v_i - V_1 = 2,5 - 5 = -2,5\text{ V}$$

$$V_{D2} = -V_2 - v_i = -10 - 2,5 = -12,5\text{ V}$$

- $v_i = -15$  V izanda:

4.  $v_{out}$ ,  $I_{D1}$ ,  $V_{D1}$ ,  $I_{D2}$  eta  $V_{D2}$

$D_1$  OFF eta  $D_2$  ON



$$V_{out_3} = -V_2 = -10 \text{ V}, I_{D1} = 0 \text{ V}, V_{D2} = 0 \text{ mA}$$

$$V_{D1} = -V_2 - V_1 = -10 - 5 = -15 \text{ V}$$

$$I_{D2} = \frac{-V_2 - V_i}{R} = \frac{-10 - (-15)}{1} = 5 \text{ mA}$$

- Kommutazioari buruz:

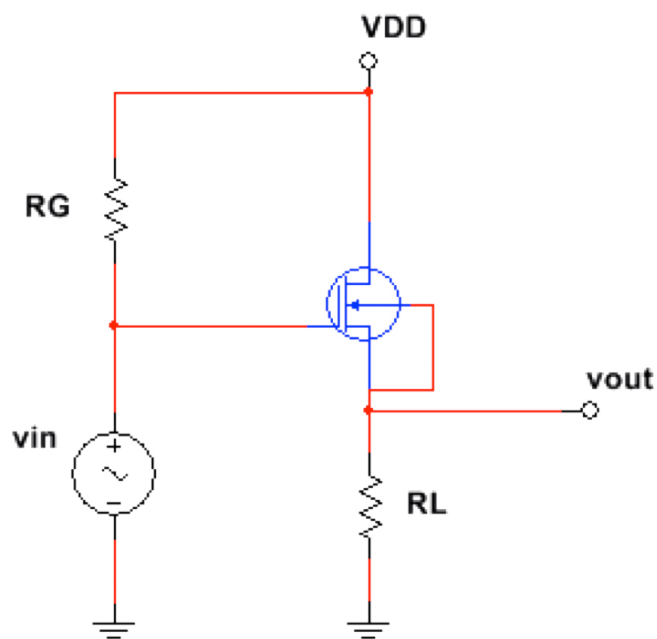
e)  $v_i$ -ren balioa,  $D_1$  kommutatzeko (V)

$$V_{out_2} = V_{out_1} \rightarrow V_i = 5 \text{ V}$$

f)  $v_i$ -ren balioa,  $D_2$  kommutatzeko (V)

$$V_{out_2} = V_{out_3} \rightarrow V_i = -10 \text{ V}$$

## DRAIN KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA



2. irudia

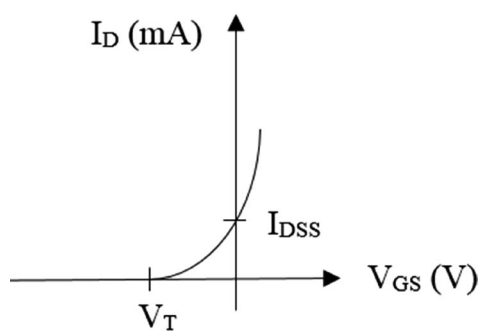
Irudiaren zirkuituan, parametro hauek dituen transistore bat erabili da:

$$|V_T| = 5 \text{ V} \quad k = 2 \text{ mA/V}^2$$

Seinale sinusoidal alferno puruaren sorgailu batek,  $v_{in}$ , transistorea kitzikatzen du. Honako hauek dira zirkuituaren beste balio batzuk:

$$R_G = 10 \text{ k}\Omega \quad V_{DD} = 10 \text{ V}$$

- a) Zer transistore mota da? Marraztu transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.



**n pasabideko urritze MOSFET bat da.**



- b) Transistorearen funtzionamenduak, asetasunean,  $I_D = k (V_{GS} - V_T)^2$  ekuazioa jarraitzen badu, zenbat balio du asetasun-korronteak ( $I_{DSS}$ )?

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

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

$$k = \frac{I_{DSS}}{V_T^2} \rightarrow I_{DSS} = k \cdot V_T^2 = 2 \cdot (-5)^2 \rightarrow I_{DSS} = 50 \text{ mA}$$

- c) Kalkula ezazu  $R_L$ -ren balioa, transistorea asetasunean polarizatuta egonda, bere drainaren korrontea 2 mA-koa izan dadin. Egiaztatu funtzionamendu-egoera hori.

$$V_{GS} = 0 - R_L \cdot I_D = -2 \cdot R_L$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 2 \cdot (-2 \cdot R_L - (-5))^2$$

$$4 \cdot R_L^2 \cdot -20 \cdot R_L + 24 = 0 \rightarrow R_L = 2 \text{ k}\Omega \text{ edo } 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 2 \text{ k}\Omega \rightarrow V_{GS} = -4 \text{ V} > V_T \checkmark$$

$$R_L = 3 \text{ k}\Omega \rightarrow V_{GS} = -6 \text{ V} < V_T \times$$

**Asetasunean egoteko:**  $V_{DS} \geq V_{DS_{sat}}$

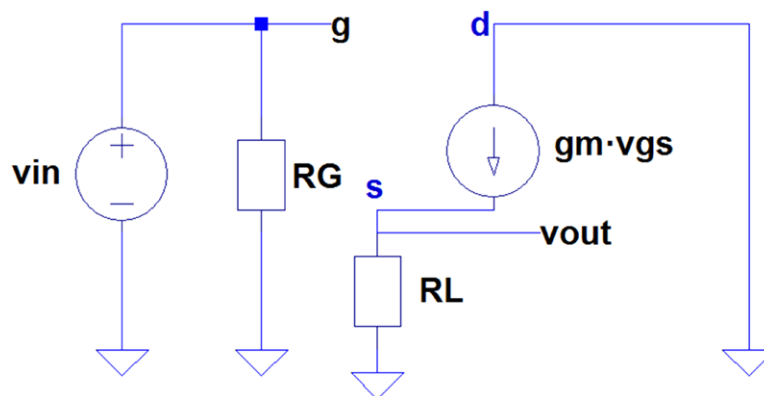
$$V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T = -4 - (-5) = 1 \text{ V}$$

$$V_{DS_{sat}} = V_{DD} - R_L \cdot I_D = 10 - 4 = 6 \text{ V} \quad \text{Baldintza betetzen da.}$$

- d) Kalkulatu  $g_m$  parametroaren balioa.

$$g_m = \frac{2 \cdot \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D}}{|V_T|} = \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot 50}}{5} = 4 (\text{K}\Omega)^{-1}$$

- e) Marraztu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkula zirkuituaren tentsio-irabazia.



$$v_{\text{out}} = R_L \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

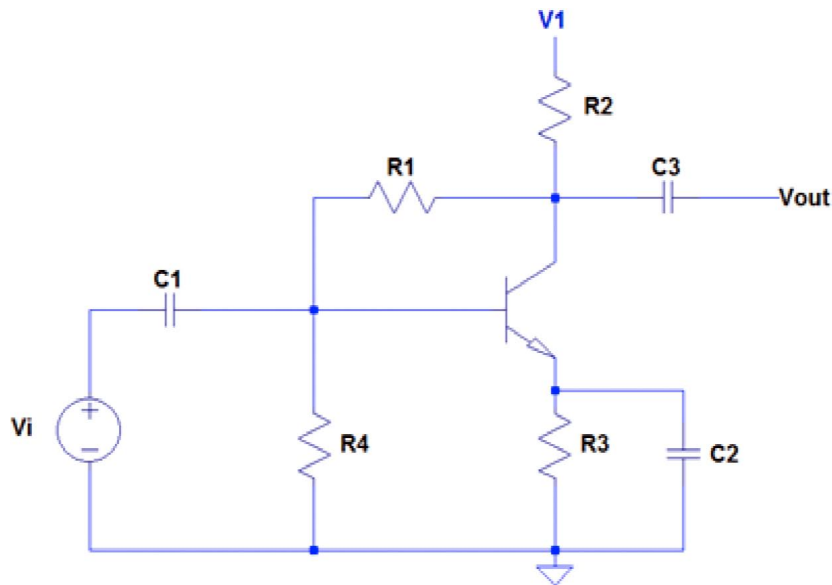
$$v_{gs} = v_{\text{in}} - v_{\text{out}} = v_{\text{in}} - R_L \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{\text{in}} = v_{gs} + R_L \cdot g_m \cdot v_{gs} = (1 + R_L \cdot g_m) \cdot v_{gs}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = \frac{R_L \cdot g_m}{(1 + R_L \cdot g_m)} = \frac{2 \cdot 4}{(1 + 2 \cdot 4)} \rightarrow \Delta v = \mathbf{0,899}$$

## IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

Irudiaren zirkuitua kontuan hartuta,



3. irudia

DATUAK:  $I_{CB0} = 1,21 \cdot 10^{-14} \text{ A}$ ,  $I_{EB0} = 4,03 \cdot 10^{-15} \text{ A}$ ,  $\alpha_R = 0,3311$ ,  $V_T = 25 \text{ mV}$   
 $V_1 = 12 \text{ V}$ ,  $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 200 \Omega$ ,  $R_4 = 22 \text{ k}\Omega$ .

$I_E = -2 \text{ mA}$  bada, kalkulatu:

a)  $V_{BE}$  tentsioaren balioa.

Ebers-Mollen ekuazioak, zirkuitu irekiko asetatsun-korronteak erabiliz:

$$I_E = -\alpha_R \cdot I_C - I_{EB0} \cdot \left[ e^{\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)} - 1 \right] \quad (1)$$

$$I_C = -\alpha_F \cdot I_E - I_{CB0} \cdot \left[ e^{\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right)} - 1 \right] \quad (2)$$

$$(1)\text{-tik } V_{BE} = V_T \cdot \left[ \text{Ln} \left( \frac{I_E + \alpha_R \cdot I_C}{-I_{EB0}} \right) + 1 \right] = \mathbf{0,6632 \text{ V}}$$

Elkarrekikotasunaren erlazioa erabiliz,  $\alpha_F \cdot I_{EB0} = \alpha_R \cdot I_{CB0}$

$$\alpha_F = \frac{\alpha_R \cdot I_{CB0}}{I_{EB0}} = 0,9941 \rightarrow \beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} = 168,49$$

(2)-tik, gune aktiboan,  $I_C = -\alpha_F \cdot I_E - I_{CB0} = 1,988 \text{ mA}$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = 0,0118 \text{ mA}$$

b)  $V_{CE}$  tentsioaren balioa.

$$V_E = R_3 \cdot I_E = 0,4 \text{ V} \quad (I_E \text{ positibotzat hartuta})$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 1,0632 \text{ V}$$

$$I_{R4} = \frac{V_B}{R_4} = 0,0483 \text{ mA}$$

$$I_{R1} = I_{R4} + I_B = 0,0603 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = I_{R1} + I_C = 2,0483 \text{ mA}$$

$$V_1 - R_2 \cdot I_{R2} - V_{CE} - V_E \rightarrow V_{CE} = 7,5 \text{ V}$$

c)  $R_1$  erresistentziaren balioa.

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} = -6,8368 \text{ V}$$

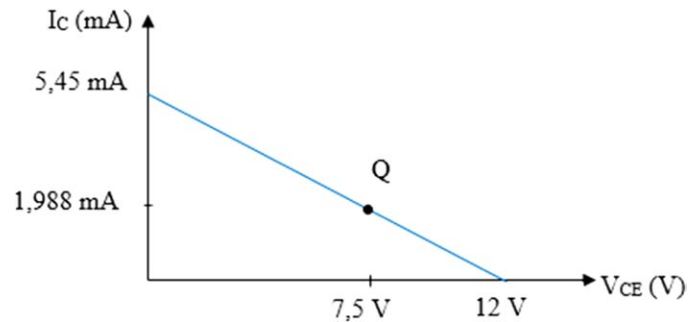
$$R_1 = \frac{-V_{BC}}{I_{R1}} = 113,37 \text{ k}\Omega$$

d) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa, balio esanguratsuenak adieraziz. Egin itzazu egokitzat jotzen dituzun hurbilketak.

$$I_C = \frac{V_1 - V_{CE}}{R_2 + R_3} = \frac{12 - V_{CE}}{2,2}$$

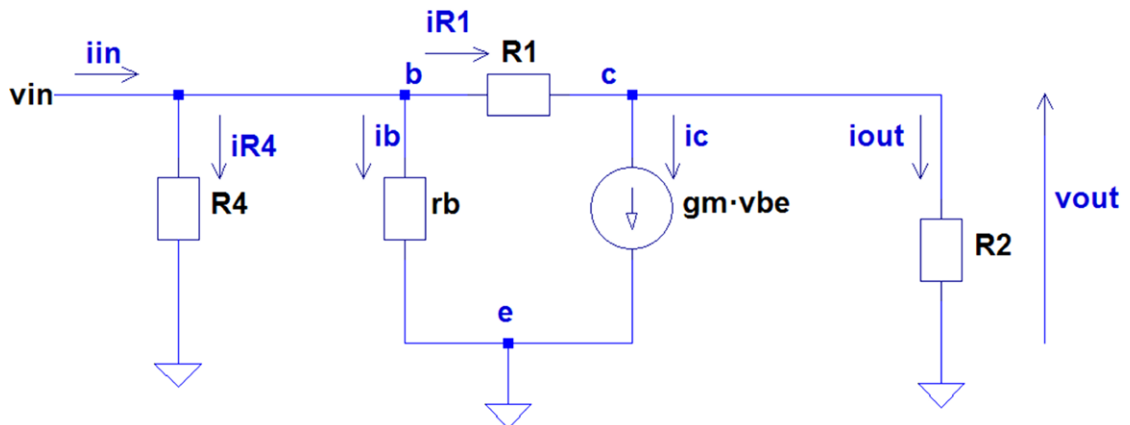
$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = 12 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{12}{2,2} = 5,45 \text{ mA}$$



e) Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazia.

Seinale txikiko zirkuitua:



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1,998}{0,025} = 79,52 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$r_b = \frac{1}{g_b} = \frac{V_T}{I_B} = 2,08 \text{ k}\Omega$$

$$v_{in} = v_{be}$$

$$v_{out} = R_2 \cdot i_{out} = R_2 \cdot \left[ \frac{v_{be} - v_{out}}{R_1} - g_m \cdot v_{be} \right]$$

$$i_{out} = i_{R1} - i_c = \frac{v_{in} - v_{out}}{R_1} - g_m \cdot v_{be} = \frac{v_{be} - v_{out}}{R_1} - g_m \cdot v_{be}$$

$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot v_{be} - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_{out} - R_2 \cdot g_m \cdot v_{be}$$

$$\Delta v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\frac{R_2}{R_1} - R_2 \cdot g_m}{\frac{R_2}{R_1} + 1} \rightarrow \Delta V = -155,28$$

f) Marraztu, grafiko berean, sarrerako eta irteerako tentsioak, balio esanguratsuenak adieraziz, honako bi kasu hauetarako:

f1)  $v_i(t) = 10 \text{ mV}_p$

f2)  $v_i(t) = 30 \text{ mV}_p$

Irteerako tentsioa marraztu ahal izateko, karga zuzen dinamikoa bilatu behar da.

$$v_{ce} = v_{be} - v_{bc} = r_b \cdot i_b - R_1 \cdot i_{R1} = r_b \cdot \frac{i_c}{\beta} - R_1 \cdot i_c - \frac{R_1}{R_2} \cdot v_{ce}$$

$$i_{R1} = i_c + i_{out} = i_c + \frac{v_{ce}}{R_2}$$

$$\left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot v_{ce} = \left( \frac{r_b}{\beta} - R_1 \right) \cdot i_c$$

$$m_{kzd} = \frac{i_c}{v_{ce}} = \frac{\left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)}{\left( \frac{r_b}{\beta} - R_1 \right)} = -0,508$$

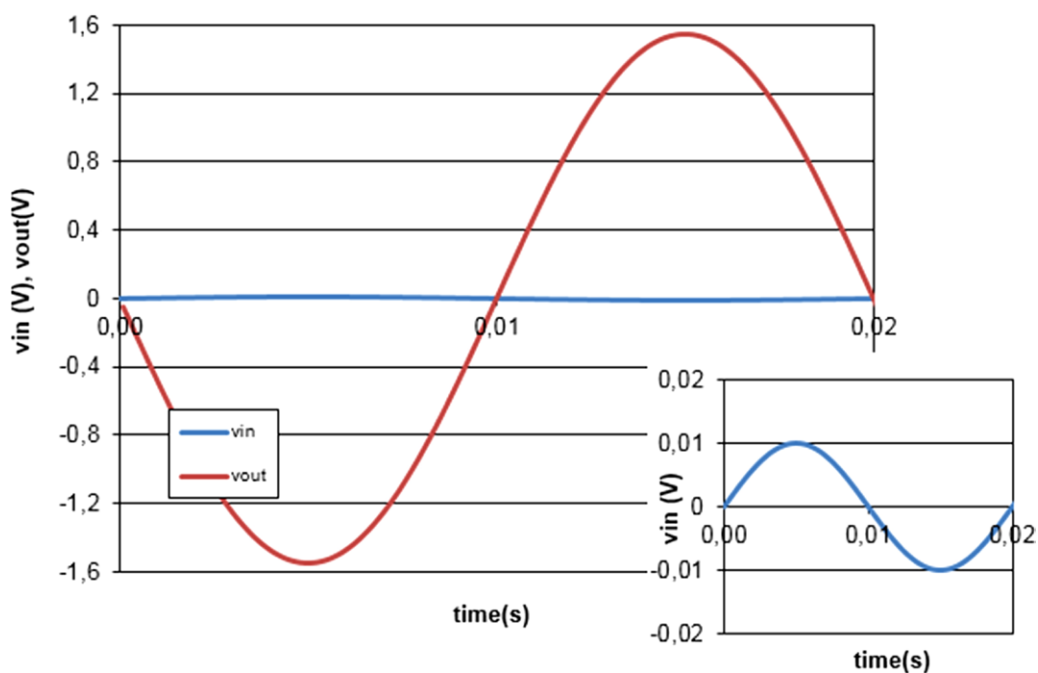
karga - zuzen dinamikoa :  $(i_c(t) - I_C) = m_{kzd} \cdot (v_{ce}(t) - V_{CE})$

$$(i_c(t) - 1,988) = -0,508 \cdot (v_{ce}(t) - 7,5)$$

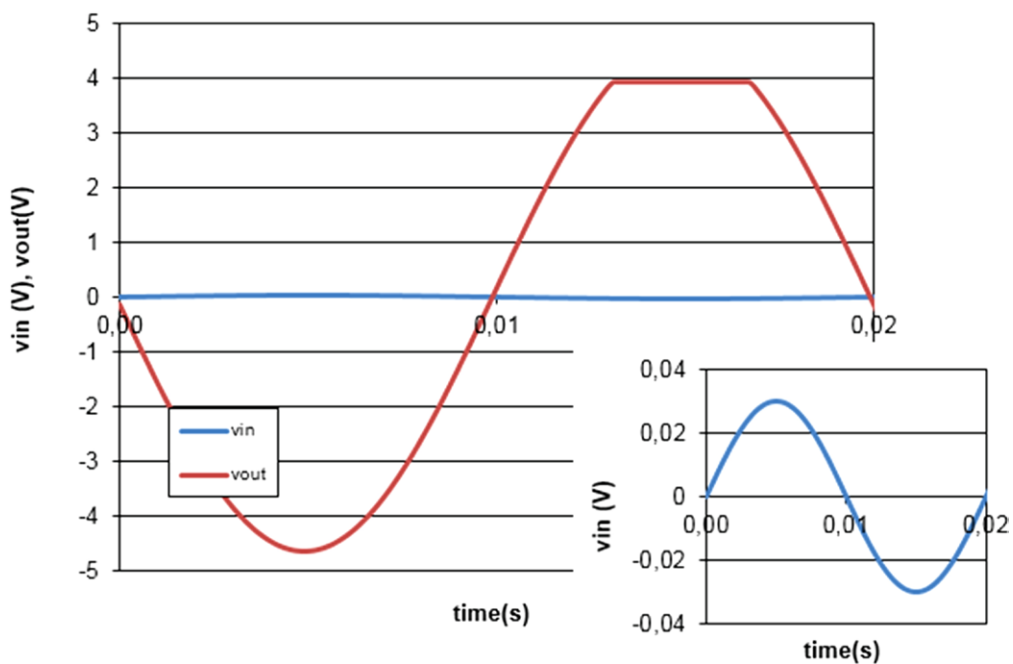
$$i_c(t) = 0 \rightarrow v_{ce}(t) = \frac{1,988}{0,508} + 7,5 = 11,41 \text{ V}$$

Tarte dinamikoa:  $11,41 - 7,5 = 3,91$  V, etendurak mugatuta.

$v_i(t) = 10$  mV<sub>p</sub> bada,  $v_{out} = \Delta V \cdot v_{in} = -155,28 \cdot 0,01 = -1,55$  V<sub>p</sub> (ez dago distortsiorik).



$v_i(t) = 30$  mV<sub>p</sub> bada,  $v_{out} = \Delta V \cdot v_{in} = -155,28 \cdot 0,03 = -4,65$  V<sub>p</sub> (Etendura dela eta, irteera distortsionatuta dago).



## 2020ko ekaina

### Teoria - Zirkuitu diododunak

1. BJT baten ezaugarri-kurbak(ek):
  - a. Gailu idealaren funtzionamendua soilik deskribatzen dute.
  - b. «Ebers-Moll»en ereduaren adierazpen grafikoa dira.
  - c. Igorle komuneko konfigurazioan lan egiten duenean soilik erabil daitezke BJTak.
2. n pasabideko urritze MOSFET batean:
  - a. Pasabidea dago, soilik  $V_{DS_{sat}}$  lortzen bada.
  - b.  $V_G < V_T$  denean, pasabidea dago.
  - c.  $V_G = 0$  denean, pasabidea dago.
3. JFET batean:
  - a. Atariko tentsioa bat dator drainekeo asetasun-tentsioarekin.
  - b. Itotze-tentsioa bat dator drainekeo asetasun-tentsioarekin.
  - c.  $I_{DSS}$  gailutik asetasunean ibil daitekeen drainekeo korrante maximoa da.
4.  $pn^+$  diodo asimetriko batean, eskualde dipolarra, batez ere, dopaketa ...txikien . . . . . duen eskualdetik hedatzen da; kasu honetan, ...anodoa..... da.

Oreka termodinamikoan, potentzial gehien duen eskualdea ...katodoa.... da.

Polarizaziopean,

— korrantea garraiatzeaz arduratzen den eramailea, nagusiki, ...elektroiak...dira, ...katodoa ..... eskualde dopatuena delako.

— Gailuaren funtzionamendua nagusiki menderatzen duen eskualdea dopaketa ...handiena..... duena da, hau da, ...katodoa.....

5. Erregimen dinamikoan:

- a. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura beti da konstante:  $\beta$ .
- b. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura bat dator erregimen estatikoko balioarekin, maiztasun baxuetan bakarrik.
- c. Kolektoreko korrontearen eta baseko korrontearen arteko zatidura maiztasunaren funtzioa da, maiztasuna handitu ahala handituz.

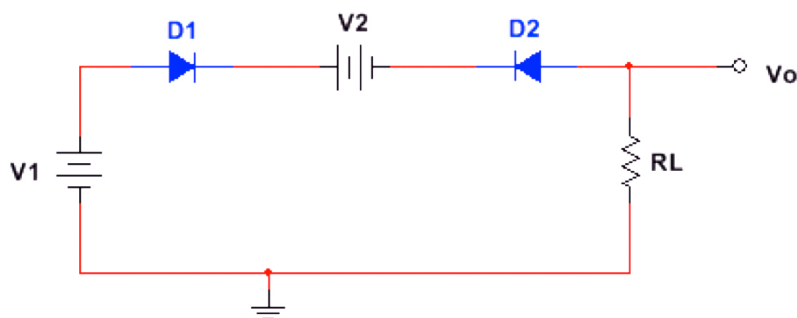
6. Erregimen dinamikoan:

- a. Schockley-ren ekuazioak ez du balio, gailuko karga-aldaketekin lotutako korronte-termino berriak agertzen baitira.
- b. Ezin da Schockley-ren ekuazioa erabili, soilik gailua seinale txikiko erregimenean dagoenean.
- c. Schockley-ren ekuazioa MHz-etako maiztasunetaraino erabil daiteke.

7. Gune aktiboan:

- a. BJTak korronteak eta tentsioak kontrolatutako korronte-iturri bezala jokatzeko du.
- b. BJTak tentsioak kontrolatutako korronte-iturri bezala jokatzeko du.
- c. BJTak korronteak kontrolatutako korronte-iturri bezala jokatzeko du.

8.  $V_1 = 10 \text{ V}$ ,  $V_2 = 5 \text{ V}$ ,  $I_{sat1} = 30 \text{ } \mu\text{A}$ ,  $I_{sat2} = 10 \text{ } \mu\text{A}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_T = 25 \text{ mV}$



1. irudia

Kalkulatu (gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz):  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$  eta  $V_0$

$$D_1 \text{ ON eta } D_2 \text{ OFF} \rightarrow I_{D1} = I_{sat2} = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_{D2} = -I_{sat2} = -10 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{D1} = I_{sat1} \cdot \left[ e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1 \right] \rightarrow V_{D1} = V_T \cdot \ln \left[ \frac{I_{D1}}{I_{sat1}} + 1 \right] \rightarrow V_{D1} = 0,00719 \text{ V} = 7,19 \text{ mV}$$

$$V_1 - V_{D1} - V_2 + V_{D2} - R_L \cdot I_{D1} = 0 \rightarrow V_{D2} = -4,99 \text{ V}$$

$$V_0 = R_L \cdot I_{D1} \rightarrow V_0 = 0,010 \text{ V}$$

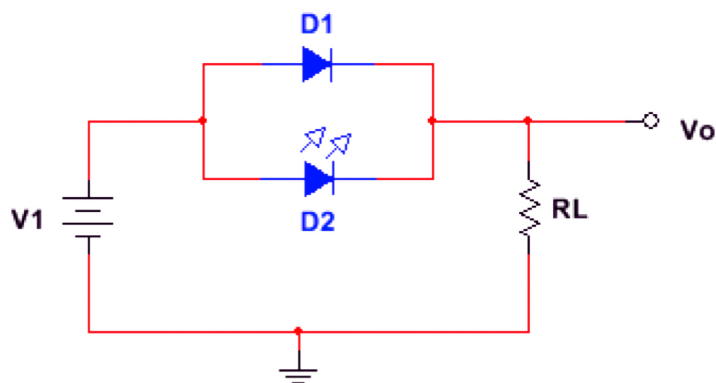


2. Oreka termodinamikoan dagoen pn juntura batean:
- a. Elektroien eta hutsuneen atoiko eta barreiapeneko korronteak daude, baina juntura orekan dagoenez, korronteen osagaiak konpentsatzen dira, korronte garbia nulua izanez.
  - b. Elektroikorrontea baino ez dago, partikula bezala existitzen diren eramaile bakarrak direnak, eta, beraz, mugi daitezkeenak.
  - c. Ez dago atoiko korronterik ez barreiapeneko korronterik, juntura orekan dagoelako.
3. ZENER diodoak
- a. Duen ukondoko tentsioa diodo artezgailuak duena baino askoz handiagoa da.
  - b. Alderantzizko polarizaziopean soilik lan egin dezake.
  - c. Tentsio-iturri gisa erabiltzen dira, alderantzizko polarizaziopean.
4. «Einstein-en erlazioa»(k):
- a. Erregimen dinamikoan soilik da baliagarria.
  - b. Atoikoen eta barreiapeneko osagaien arteko erlazioa adierazten du, bai orekan, bai orekatik kanpo.
  - c. pn junturetarako soilik da baliagarria.
5. FETetan, draineiko korrontearen eta drainean aplikatutako tentsioaren arteko erlazioa:
- a. Zuzenki proportzionala da asetasunean, non irteerako ezaugarriek ia 0 malda baitute.
  - b. Zuzenki proportzionala da; horregatik, irteerako ezaugarriak lerro zuzen batekin hasten dira.
  - c. Zuzenki proportzionala da, soilik draineiko tentsioaren balio txikientzat, eskualde ohmikoan.
6. FETetan, draineiko asetasun-tentsioa:
- a. Gailuaren ezaugarrien araberakoa da soilik; beraz, magnitude konstante bat da.
  - b. Gailua etenduran sartzen den draineiko tentsioa da.
  - c. Balio absolutuan, atariko tentsioaren gainetik aplikatutako atearen tentsioa zenbat eta handiagoa izan, orduan eta handiagoa da.
7. Transistore bipolarra:
- a. Gailu erdieroale bat da, eta elkarrengandik oso gertu dauden bi pn juntura ditu.
  - b. Aukera biak zuzenak dira.
  - c. Bipolarra da, eroapenean eramaile mota biek parte hartzen dutelako.

8. Eremu efektuko transistoreak:

- a. Beste biak zuzenak dira.
- b. Polobakarrak dira, eroapenean eramaile mota bakar batek parte hartzen duelako.
- c. Kanpoko eremu elektriko batek edo potentzial-diferentzia batek kontrolatzen du pasabidearen eroankortasuna.

9.  $V_1 = 25 \text{ V}$ ,  $V_\gamma(D_1) = 0.3 \text{ V}$ ,  $V_\gamma(\text{LED}) = 4.5 \text{ V}$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$



2. irudia

Kalkulatu (gailuetarako zeinu-hitzarmena erabiliz):  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $V_{D1}$ ,  $V_{D2}$  eta  $V_0$

$$V_\gamma(D_1) = 0.3 \text{ V} < V_\gamma(\text{LED}) = 4.5 \text{ V} \rightarrow D_1 \text{ ON eta } D_2 \text{ OFF}$$

$$V_{D1} = V_{D2} = \mathbf{0,3 \text{ V}}$$

$$V_1 - V_{D1} - R_L \cdot I_{D1} = 0 \rightarrow I_{D1} = \mathbf{24,7 \text{ mA}}$$

$$V_0 = R_L \cdot I_{D1} \rightarrow V_0 = \mathbf{24,7 \text{ V}}$$

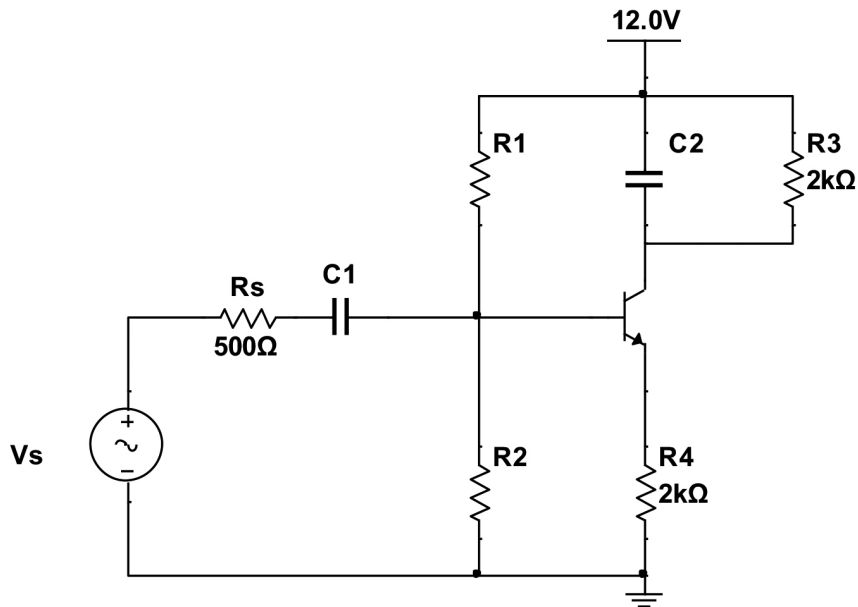
10. Seinale txikiko erregimenean lan egiten duen transistore bipolar baterako:

- a. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira, soilik maiztasun baxuetan.
- b. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira.
- c. pi zirkuitu hibridoa eta «h» parametroetan oinarritutako zirkuitua baliokideak dira, baina soilik igorle komuneko konfigurazioan.

**KOLEKTORE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

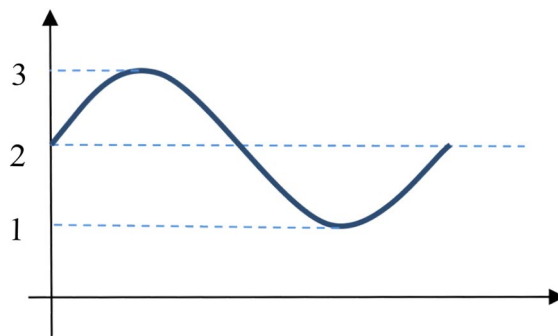
3. irudiko zirkuituaren datuak honako hauek dira:

$$|V_{BE}| = 0,6 \text{ V} \quad \beta = 250 \quad V_T = 0,025 \text{ V}$$



3. irudia

$v_s = 3 V_p$  izanda, 4. irudiko grafikoan erakusten den seinalea neurtu da igorlean.



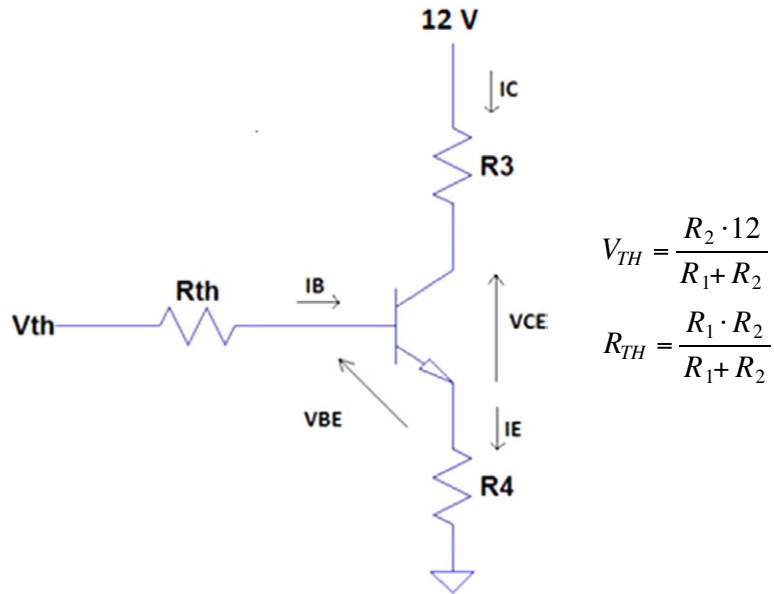
4. irudia

*Erantzun*

a) Konfigurazio mota

**Kolektore komunekoa**

b) Lan-puntua



Grafikotik:  $V_E = 2 \text{ V} \rightarrow I_E = \frac{V_E}{R_4} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mA}$

$$I_E = I_B + I_C = \left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \cdot I_C = \left(\frac{1 + \beta}{\beta}\right) \cdot I_C \rightarrow I_C = 0,996 \text{ mA} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,00398 \text{ mA}$$

$$12 - R_3 \cdot I_C - V_{CE} - R_4 \cdot I_E = 0 \quad (\beta = 250 \text{ denez}, I_E = I_C)$$

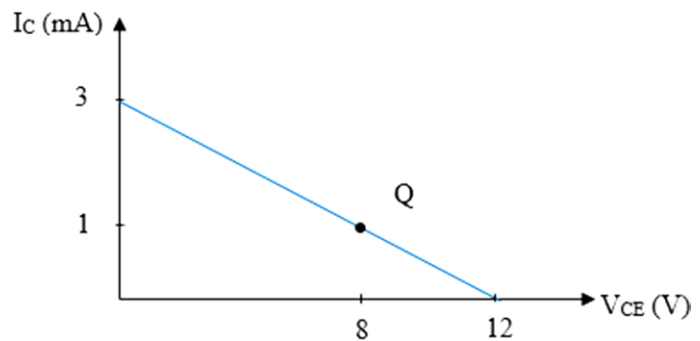
$$V_{CE} = 12 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 0 \rightarrow V_{CE} = 8 \text{ V}$$

c) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa,  $I_C$ - $V_{CE}$  planoan, eta kokatu kalkulaturako  $Q$ .

$$I_C = \frac{12 - V_{CE}}{R_3 + R_4} = \frac{12 - V_{CE}}{4}$$

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

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{12}{4} = 3 \text{ mA}$$

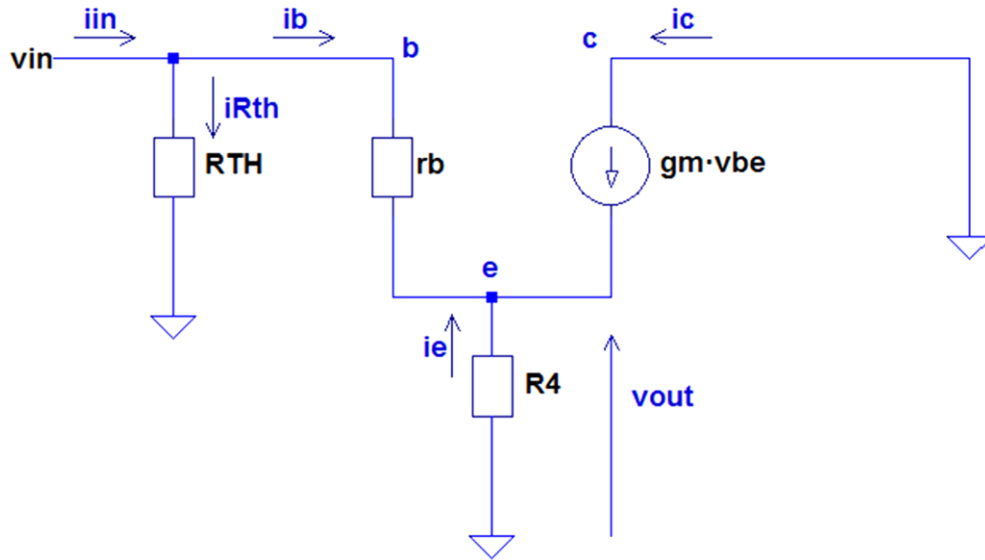


d) Muntaia osoaren tentsio-irabazia.

$$v_{out} = v_e = 1 \text{ Vp (grafikotik)}$$

$$\Delta V_S = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{1}{3} = 0,333$$

e) Zirkuitu amplifikatzailearen tentsio-irabazia.



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0,996}{0,025} = 39,84 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$g_b = \frac{I_B}{V_T} = \frac{0,00398}{0,025} = 0,159 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1} \rightarrow r_b = \frac{1}{g_b} = 6,275 \text{ k}\Omega$$

$$v_{out} = v_e = -i_e \cdot R_4 = -R_4 \cdot \left( \frac{1}{r_b} + g_m \right) \cdot v_{be} = 79,98 \cdot v_{be}$$

$$-i_e = i_b + i_c = \frac{v_{be}}{r_b} + g_m \cdot v_{be} = \left( \frac{1}{r_b} + g_m \right) \cdot v_{be} = 39,99 \cdot v_{be}$$

$$v_{in} = v_{be} + v_e = v_{be} + 79,98 \cdot v_{be} = 80,98 \cdot v_{be}$$

$$\Delta V = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \mathbf{0,987}$$

f) Sarrerako inpedantzia.

$$\Delta V_s = R_s \frac{Z_{in}}{R_s + Z_{in}} \cdot \Delta V \rightarrow Z_{in} = \frac{R_s \cdot \Delta V_s}{\Delta V - \Delta V_s} \rightarrow Z_{in} = \mathbf{0,255 \text{ k}\Omega}$$

g) Nola eragiten du  $R_s$ -k muntaia osoaren tentsio-irabazian? Arrazoitu erantzuna.

**$Z_{in} < R_s$ enez,  $R_s$  handitzean,  $\Delta V_s$  txikiagoa egiten da.**

h)  $R_1$  eta  $R_2$  erresistentzien balioak.

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{80,98}{\left(0,159 + \frac{80,98}{R_{TH}}\right)} = 0,255 \text{ k}\Omega \rightarrow R_{TH} = 0,255 \text{ k}\Omega$$

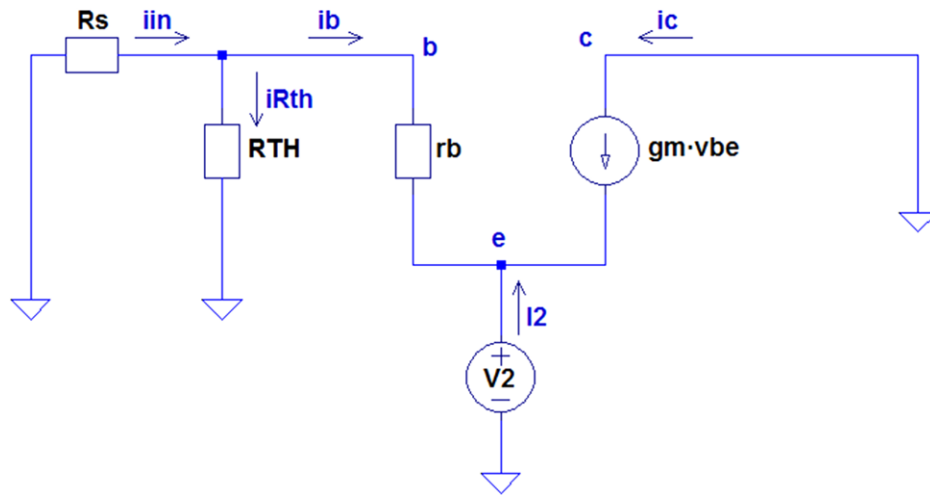
$$i_{in} = i_b + i_{R_{in}} = \frac{v_{be}}{r_b} + \frac{v_{in}}{R_{TH}} = \left(\frac{1}{r_b} + \frac{80,98}{R_{TH}}\right) \cdot v_{be}$$

$$V_{TH} - R_{TH} \cdot I_B - V_{BE} - R_4 \cdot I_E = 0$$

$$V_{TH} - 0,255 \cdot 0,00398 - 0,6 - 2 \cdot 1 = 0 \rightarrow V_{TH} = 2,6 \text{ V}$$

$$\frac{R_2 \cdot 12}{R_1 + R_2} = 2,6 \text{ V}, \quad \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 0,255 \text{ k}\Omega \rightarrow R_1 = 1,17 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 0,324 \text{ k}\Omega$$

i) Irteerako inpedantzia.



$$Z_{out} = Z'_{out} \parallel R_4, \quad Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_s=0}$$

$$I_2 = -(i_b + i_c) = -\left(\frac{v_{be}}{r_b} + g_m \cdot v_{be}\right) = -\left(\frac{1}{r_b} + g_m\right) \cdot v_{be} = -39,99 \cdot v_{be}$$

$$v_{in} = -(R_s \parallel R_{TH}) \cdot \frac{v_{be}}{r_b}$$

$$v_{be} = v_{in} - V_2 = -(R_s \parallel R_{TH}) \cdot \frac{v_{be}}{r_b} - V_2 \rightarrow V_2 = -\left[\frac{(R_s \parallel R_{TH})}{r_b} + 1\right] \cdot v_{be}$$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_s=0} = \frac{-\left[\frac{(R_s \parallel R_{TH})}{r_b} + 1\right] \cdot v_{be}}{-\left(\frac{1}{r_b} + g_m\right) \cdot v_{be}} = 0,0257 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{out} = 0,0253 \text{ k}\Omega$$

j) Kalkukatu eta marraztu karga zuzen dinamikoa.

$$v_{\text{out}} = v_e = v_{ec} = -i_e \cdot R_4 = R_4 \cdot \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right) \cdot i_c \rightarrow v_{ce} = -R_4 \cdot \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right) \cdot i_c$$

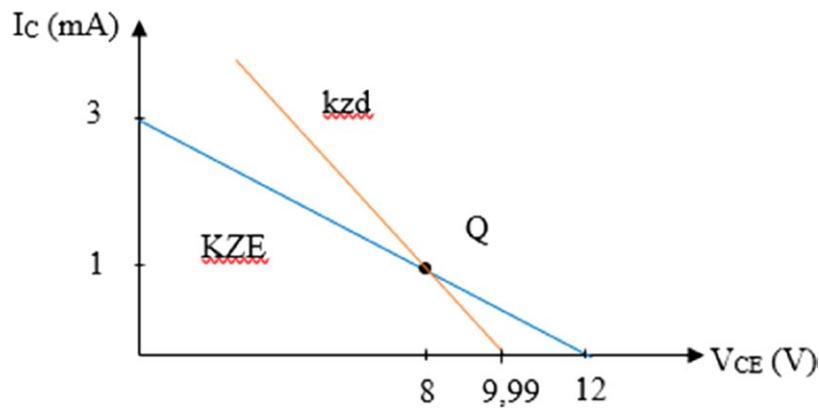
$$-i_e = i_b + i_c = \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right) \cdot i_c$$

$$m_{kzd} = \frac{i_c}{v_{ce}} = -\frac{1}{R_4 \cdot \left(\frac{1+\beta}{\beta}\right)} = -\frac{1}{2}$$

$$\text{karga - zuzen dinamikoa : } (i_c(t) - I_C) = m_{kzd} \cdot (v_{ce}(t) - V_{CE})$$

$$(i_c(t) - 0,996) = -\frac{1}{2} \cdot (v_{ce}(t) - 8)$$

$$i_c(t) = 0 \rightarrow v_{ce}(t) = 1,992 + 8 = 9,99 \text{ V}$$



k) Irteerako seinalearen tarte dinamikoa.

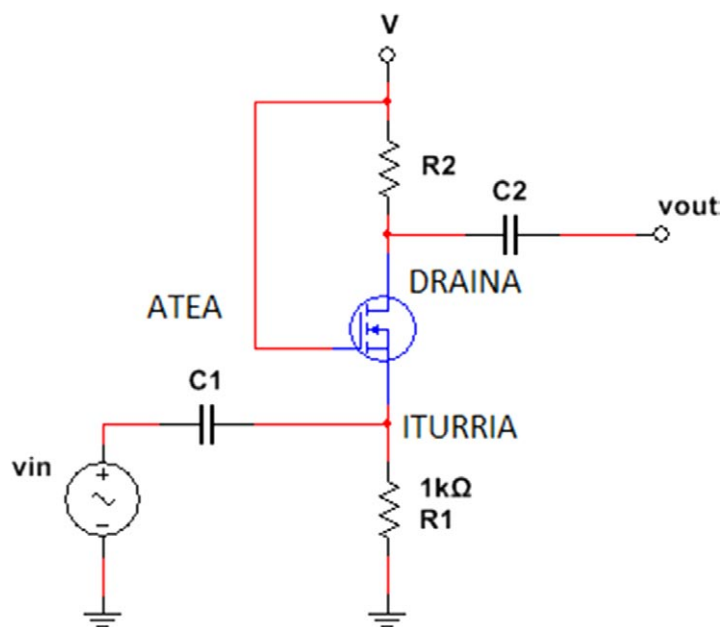
$$9,99 - 8 = 1,99 \text{ V}$$

**Tarte dinamikoa 1,99 V-ekoa da.**

**ATE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

5. irudiko transistorean:

$$|I_{DSS}| = 4 \text{ mA} \quad |V_T| = 2 \text{ V}$$



5. irudia

*Erantzun*

- a) Zein motatakoa da zirkuituan erabilitako transistorea? Nolakoak dira haren asetasun-korrontea,  $I_{DSS}$ , eta atariko tentsioa,  $V_T$ ? Adierazi zirkuituan bertan transistorearen terminalak.

***n pasabideko ugaltze MOSFET bat da. Beraz, asetasun-korrontea,  $I_{DSS}$ , eta atariko tentsioa,  $V_T$ , biak dira positiboak.***

- b) Transistorea etenduran polarizatuta egon dadin, nolako izan behar da V tentsioa?

$$I_D = 0, \quad V_{GS} \leq V_T$$

$$V - V_{GS} - R_1 \cdot I_D = 0 \rightarrow V = V_{GS} \rightarrow V \leq 2 \text{ V}$$

- c)  $V = 5 \text{ V}$  izanda, kalkulatu iturriko terminalean dagoen tentsioa.

Zirkuitutik:  $V_{GS} = V - R_1 \cdot I_D = 5 - 1 \cdot I_D$

Asetasunean:  $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 = 4 \cdot \left(1 - \frac{(5 - 1 \cdot I_D)}{2}\right)^2$



$$I_D^2 - 7 \cdot I_D + 9 = 0$$

$$I_D = 5,3 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 0,3 \text{ V}$$

$$I_D = 1,7 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 3,3 \text{ V} (> V_T)$$

$$V_S = R_1 \cdot I_D = 1 \cdot 1,7 \rightarrow V_S = 1,7 \text{ V}$$

- d)  $V = 5 \text{ V}$  izanda, kalkulatu  $R_2$  erresistentziak izan dezakeen balio maximoa transistorea aseptasunean polarizatuta egon dadin.

$$V_{DS} \geq V_{DS_{sat}} \rightarrow V_{DS_{min}} = V_{DS_{sat}}$$

$$V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T = 3,3 - 2 = 1,3 \text{ V}$$

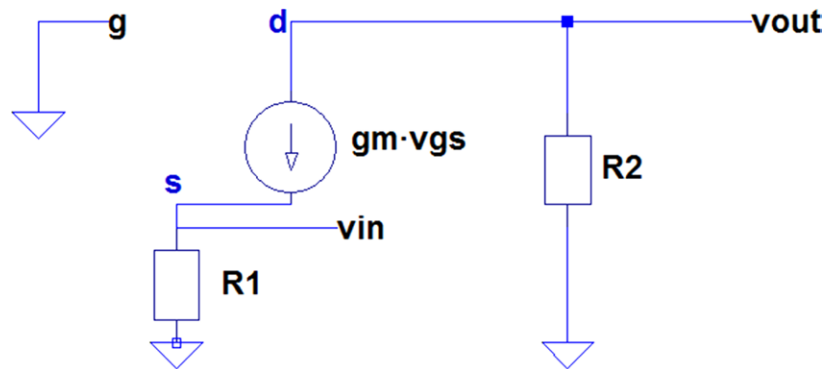
$$V - R_{2_{max}} \cdot I_D - V_{DS_{sat}} - R_1 \cdot I_D = 0 \rightarrow R_{2_{max}} = \frac{V - V_{DS_{sat}} - R_1 \cdot I_D}{I_D} \rightarrow R_{2_{max}} = 1,17 \text{ k}\Omega$$

- e) Kalkulatu transkonduktantzia,  $g_m$ .

$$g_m = \frac{2 \cdot \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}}}{|V_T|} = \frac{2 \cdot \sqrt{4 \cdot 1,7}}{2} = 2,6 \text{ (kohm)}^{-1} \rightarrow g_m = 2,6 \text{ (k}\Omega)^{-1}$$

- f) Zein da zirkuitu amplifikatzailearen konfigurazioa? *Ate komunekoa.*

Zenbatekoa da tentsio-irabazia? Atal honetatik aurrera, hartu  $R_2 = 1 \text{ k}$ .



$$\Delta V = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_1 \parallel R_2)}{v_{gs}} = 2,6$$

$$v_{out} = -R_2 \cdot i_d = -R_2 \cdot g_m \cdot v_{gs} = -2,6 \cdot v_{gs}$$

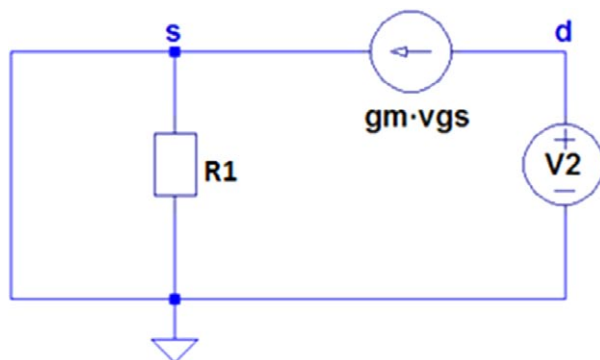
$$v_{in} = v_{sg} = -v_{gs}$$

g) Kalkulatu zirkuitu amplifikatzailearen sarrerako inpedantzia.

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{3,6} = \mathbf{2,8 \text{ k}\Omega}$$

$$i_{in} = i_1 - i_d = \frac{v_{in}}{R_1} - g_m \cdot v_{gs} = \left( \frac{1}{R_1} + g_m \right) \cdot v_{in} = 3,6 \cdot v_{in}$$

h) Kalkulatu zirkuitu amplifikatzailearen irteerako inpedantzia.



$$Z_{out} = Z'_{out} // R_2$$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_{in}=0} = \infty$$

$$I_2 = i_d = g_m \cdot v_{gs} = -g_m \cdot v_{in} = 0$$

$$\mathbf{Z_{out} = R_2 = 1 \text{ k}\Omega}$$

i) Irudian erabilitako polarizazio-zirkuituak asetasuna bermatzen du, tentsioaren eta erresistentzien balioen independentziarekin? Arrazoitu erantzuna.

$$V_{DS} \geq V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T$$

$$V - (R_1 + R_2) \cdot I_D \geq V - R_1 \cdot I_D - V_T$$

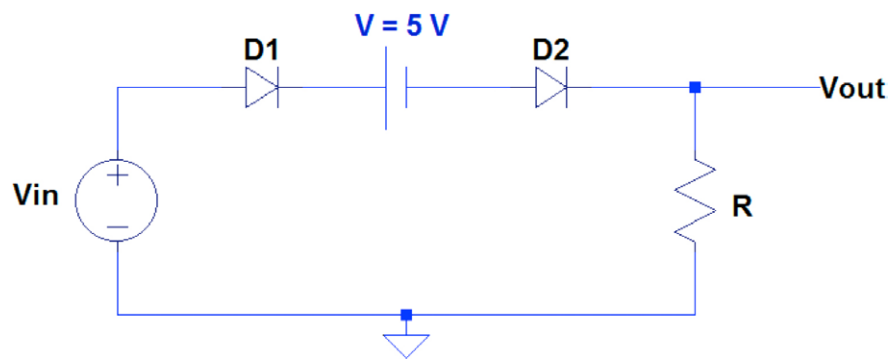
$$-R_2 \cdot I_D \geq -V_T$$

$R_2 \cdot I_D \leq V_T \rightarrow \mathbf{EZ}$ , ez du asetasuna bermatzen,  $R_2$  erresistentziaren eta  $V_T$  parametroaren balioen menpe dago.

# 2019ko ekaina

## PN JUNTURA - ZIRKUITU DIODODUNA

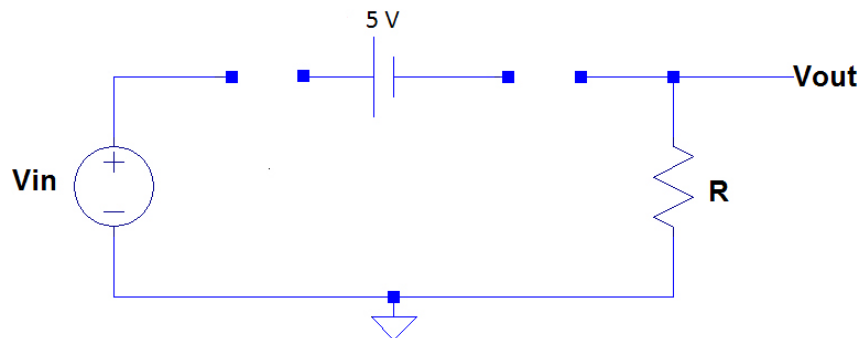
1. 1. irudiko zirkuituan, diodoak berdin-berdinak dira, eta 0,7 V-eko ukondoko tentsioa daukate.



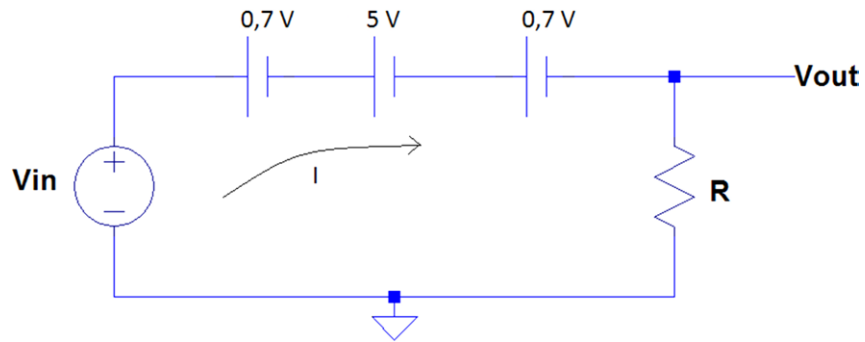
1. irudia

- a) Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba.

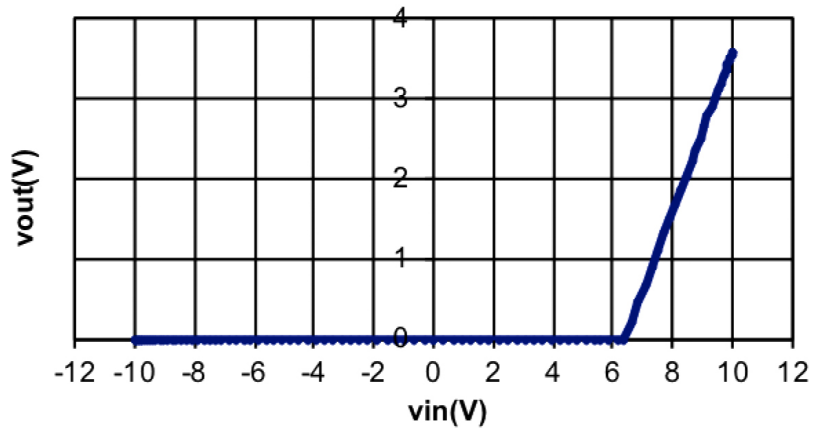
$$v_{in} \leq 6,4 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D_1 \text{ OFF} \\ D_2 \text{ OFF} \end{array} \right\} v_{out} = 0 \text{ V}$$



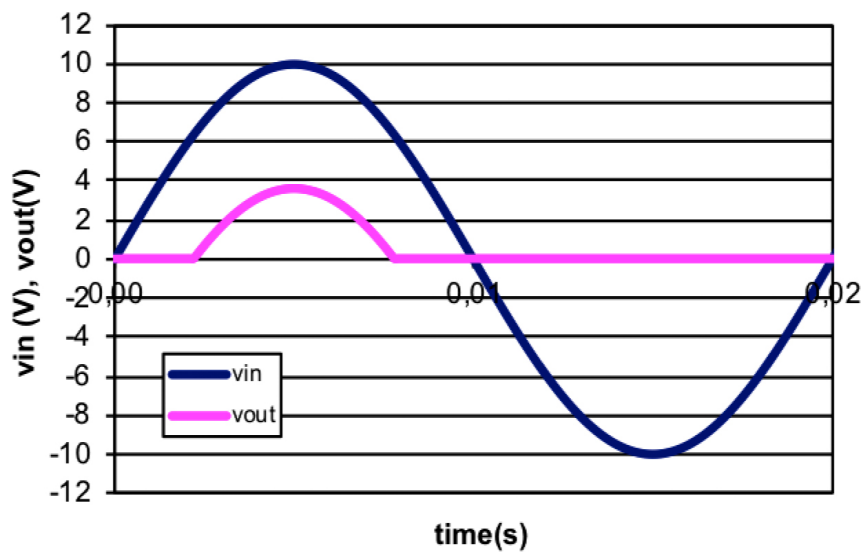
$$v_{in} \leq 6,4 \text{ V} \quad v_{out} = R \cdot I = R \frac{v_{in} - 5 - 1,4}{R} \quad \boxed{v_{out} = v_{in} - 6,4}$$



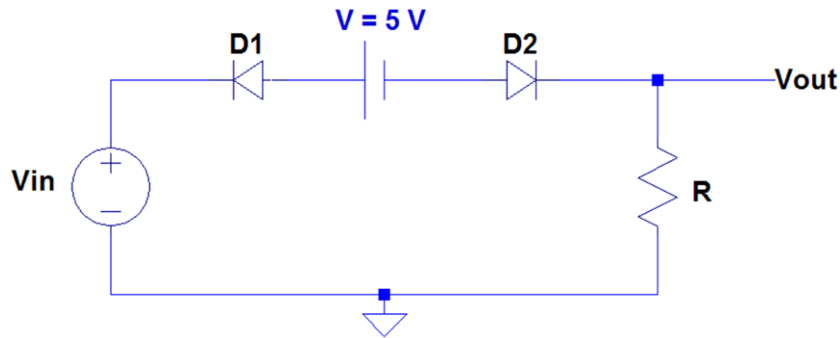
$v_{in}, D_1, D_2$  ON?  $v_{in} = 6,4 \text{ V}$



b)  $v_{in} = 10 \cdot \text{sen}(\omega t) \text{ V}$  bada, marraztu  $v_{in}$  eta  $v_{out}$  grafiko berean.



c)  $D_1$  diodoaren polaritatea aldatuz gero, kalkulatu zirkuituaren transferentzia-kurba berria.



*Diodoak seriean daudenez, biak ezin dira batera ON egoeran egon; beraz,*

$$v_{\text{out}} = 0 \text{ V}$$

Gainera, badakigu 1. irudiko diodoak pn juntura batez osatuta daudela.  $n$  eskualdeak daukan elektroiaren kontzentrazioa  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  da,  $p$  eskualdeak daukana  $10^3 \text{ cm}^{-3}$ , eta kontzentrazio intrintsekoa  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  da. Bestelako datuak:

$$\epsilon_{r, Si} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

d) Kalkulatu potentzial termodinamiko. Zein da potentzial gehien duen eskualdea?

ARRAZOITU ERANTZUNA.

$$n_n = 10^{14} \text{ cm}^{-3} \cong N_D \quad n_p = 10^3 \text{ cm}^{-3} \quad n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\phi_T = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

$$n_p \cdot p_p = n_i^2 \rightarrow p_p \cong N_A = \frac{n_i^2}{n_p} = \frac{10^{20}}{10^3} = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \rightarrow p^+n \text{ junturako diodoa da.}$$

$$\phi_T = 633,2 \text{ mV}$$

*$n$  eskualdea da potentzial gehien duena; hau da, katodoa. Elektroi kopuru handiena duelako.*

e) Kalkulatu hustutako eskualdearen zabalera oreka termodinamikoan. Zer eskualdetan zehar zabalduko da nagusiki? ARRAZOITU ERANTZUNA.

$$l = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_T} \rightarrow l = 2,88 \text{ } \mu\text{m}$$

*Hustutako eskualdea katodotik zabaltzen da nagusiki, katodoak dopaketa baxuena duelako.  $p^+n$  motako juntura asimetriko bat da.*

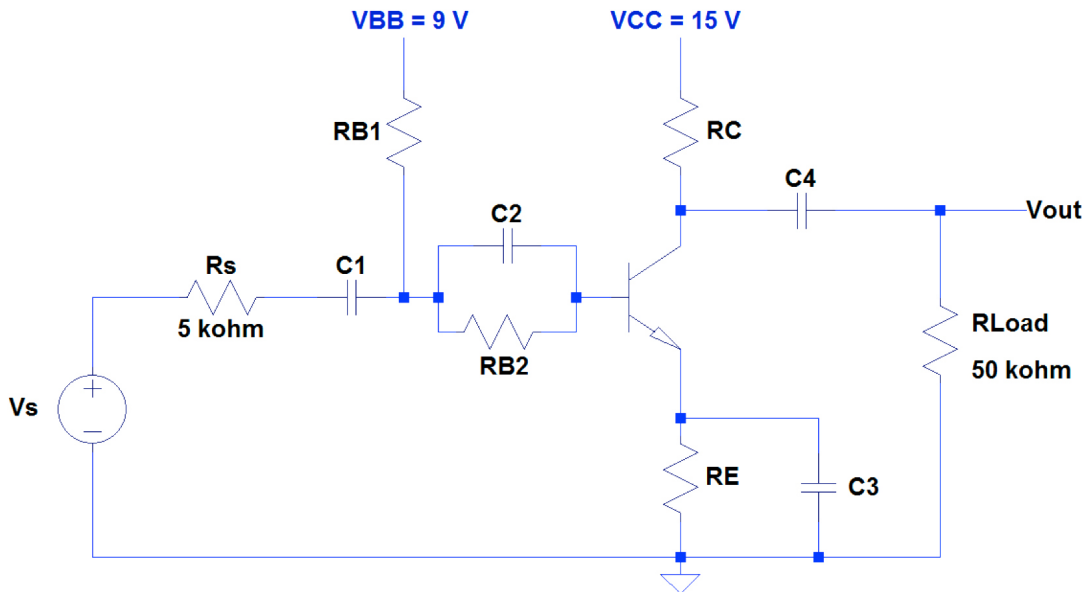
**IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

2. 2. irudiko zirkuituan, honako hauek dira transistore bipolarraren datuak:

$$\beta = 100 \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V} \quad R_S = 5 \text{ k}\Omega \quad R_{Load} = 50 \text{ k}\Omega$$

Gainera, neurraketa hauek egin dira:

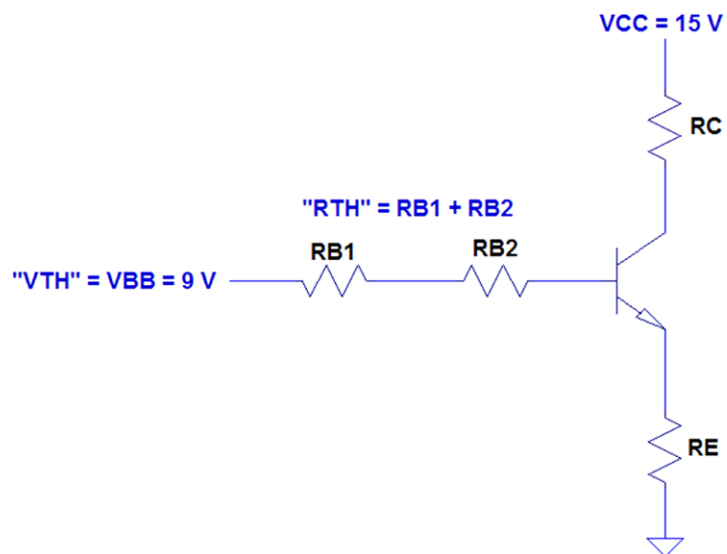
$$I_C = 0,12 \text{ mA} \quad V_{CE} = 2,08 \text{ V} \quad Z_{in} = 11,3 \text{ k}\Omega \quad Z_{out} = 39 \text{ k}\Omega$$



2. irudia

a) Kalkulatu  $R_C$ ,  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  eta  $R_E$  erresistentzien balioa.

*Polarizazio-zirkuitua:*



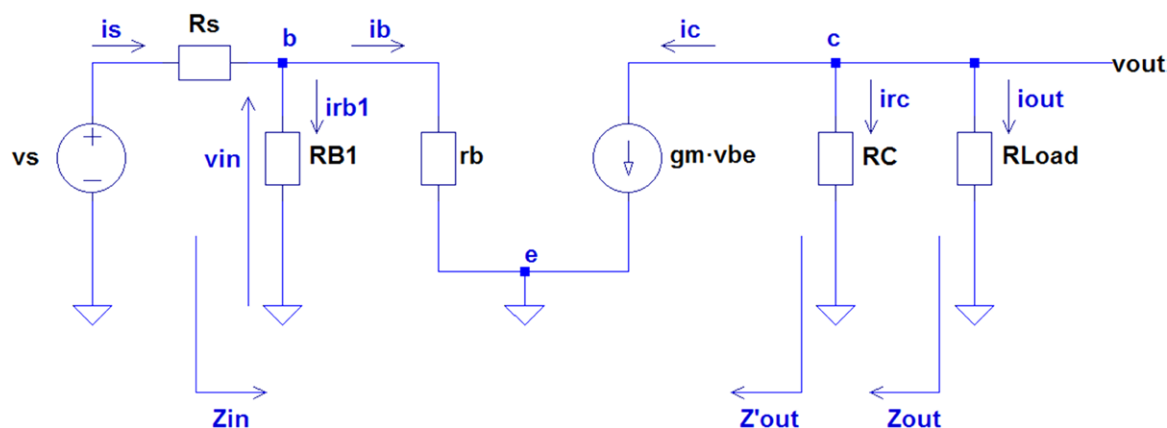
$$15 - V_{CE} = R_C I_C - R_E I_E$$

$$15 - V_{CE} = R_C I_C + R_E (I_C + I_B)$$

$$15 - V_{CE} = \left[ R_C + R_E \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right) \right] I_C \rightarrow K.Z.E$$

$$9 - V_{BE} = (R_{B1} + R_{B2}) I_B + R_E (I_C + I_B)$$

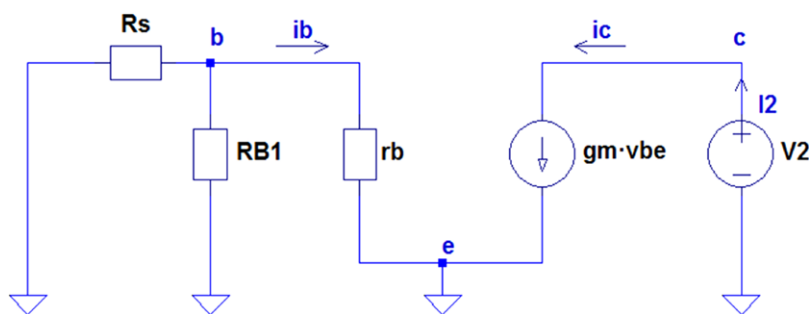
Seinale txikiko zirkuitua:



$$Z_{in} \equiv \frac{v_{in}}{i_s} = \frac{1}{\frac{1}{R_{B1}} + g_b} = 11,3 \quad \left( \frac{1}{11,3} - g_b \right) = \frac{1}{R_{B1}} \rightarrow R_{B1} = 24,69 \text{ k}\Omega$$

$$i_s = \frac{v_{in}}{R_{B1}} + g_b v_{in} = \left( \frac{1}{R_{B1}} + g_b \right) v_{in}$$

$$g_b \equiv \frac{I_B}{V_T} = \frac{I_C}{\beta V_T} = 0,048 (\text{k}\Omega)^{-1}$$



$$Z_{out} \equiv Z_{out} \parallel R_C \quad Z_{out} = R_C = 39 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{out} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{v_s=0} = \infty$$

$$I_2 = i_c = g_m v_{be} = g_m v_{in} = g_m v_s = 0$$

$$K.Z.E - tik : \quad \left[ \frac{15 - V_{CE}}{I_C} - R_C \right] \frac{\beta}{\beta + 1} = R_E \quad \boxed{R_E = 67,99 \text{ k}\Omega = 68 \text{ k}\Omega}$$

Baseko begiztatik:

$$\frac{9 - V_{BE} - R_E \frac{\beta + 1}{\beta} I_C}{I_C / \beta} - R_{B1} = R_{B2} \quad \boxed{R_{B2} = 23,98 \text{ k}\Omega = 24 \text{ k}\Omega}$$

b) Zirkuitua egonkorra da? ARRAZOITU ERANTZUNA.

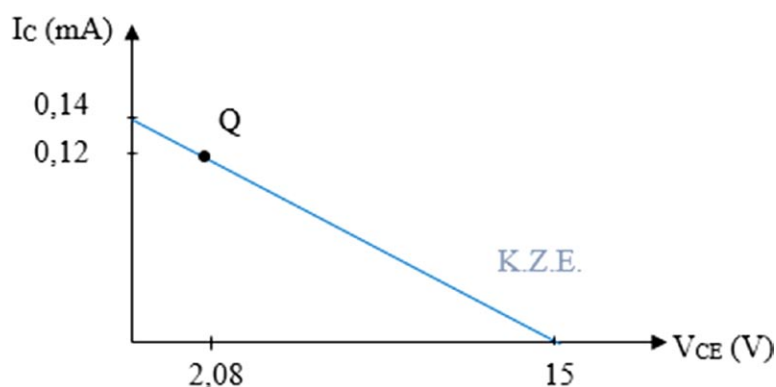
$R_{TH} = R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$  dela onartuz eta egonkortasunerako baldintza aplikatuz,

$$\frac{R_{BB}}{R_E} \ll \beta \quad \rightarrow \quad 0,72 \ll 100 \quad \text{BAI, egonkorra da.}$$

c) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, balio esanguratsuenak adieraziz, eta kokatu lan-puntua karga zuzen estatikoaren gainean.

K.Z.E.:

$$I_C = \frac{15 - V_{CE}}{R_C + R_E \frac{\beta + 1}{\beta}} \cong \frac{15 - V_{CE}}{R_C + R_E}$$



d) Kalkulatu muntaketa osoaren tentsio-irabazia eta korrante-irabazia.

$A_v, A_I$  ?

$$A_v \cong \frac{v_{out}}{v_s} = -\frac{(R_C \parallel R_L)g_m}{R_S \left( \frac{1}{R_{B1}} + g_b \right) + 1} \quad \rightarrow \quad \boxed{A_v = -72,91}$$

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

$$\left. \begin{aligned} v_s &= R_S i_s + v_{in} \\ i_s &= \left( \frac{1}{R_{B1}} + g_b \right) v_{in} \end{aligned} \right\} v_s = \left[ R_S \left( \frac{1}{R_{B1}} + g_b \right) + 1 \right] v_{in}$$



$$g_m \equiv \frac{I_C}{V_T} = 4,8 \text{ (k}\Omega\text{)}^{-1} \rightarrow g_b \equiv \frac{g_m}{\beta} = 0,048 \text{ (k}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$R_C \parallel R_L = \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = 21,91 \text{ k}\Omega$$

$$A_I \equiv \frac{i_L}{i_s} = -\frac{(R_C \parallel R_L)g_m}{R_L \left( \frac{1}{R_{B1}} + g_b \right)} \rightarrow \boxed{A_I = -23,77}$$

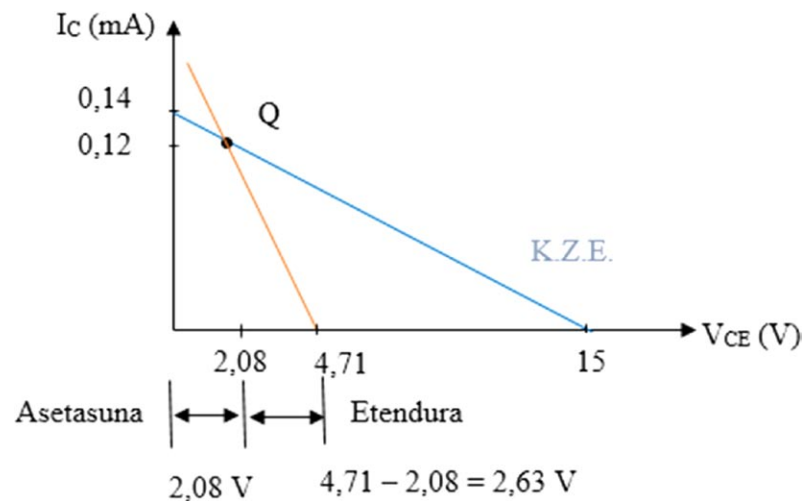
$$v_{\text{out}} = R_L \cdot i_L = -(R_C \parallel R_L)g_m v_{\text{in}} \rightarrow i_L = -\frac{(R_C \parallel R_L)g_m}{R_L} v_{\text{in}}$$

- e) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen dinamikoa  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, eta kalkulatutarte dinamikoa.

$$v_{\text{out}} = v_{ce} = -(R_C \parallel R_L)i_c \rightarrow i_c = -\frac{V_{ce}}{R_C \parallel R_L}$$

$$i_c(t) - I_{CQ} = -\frac{1}{R_C \parallel R_L} [V_{CE}(t) + V_{CEQ}] \text{ r.c.d}$$

$$i_c(t) = 0 \rightarrow (R_C \parallel R_L)I_{CQ} + V_{CEQ} = v_{CE}(t) \rightarrow v_{CE}(t) = 4,71 \text{ V}$$



→ Tarte dinamikoa 2,08 V, asetahunak mugatuta.

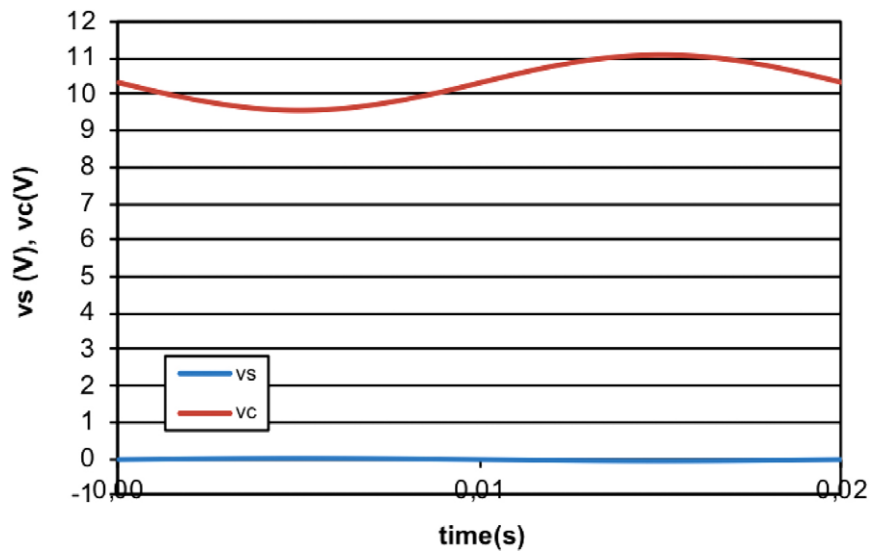
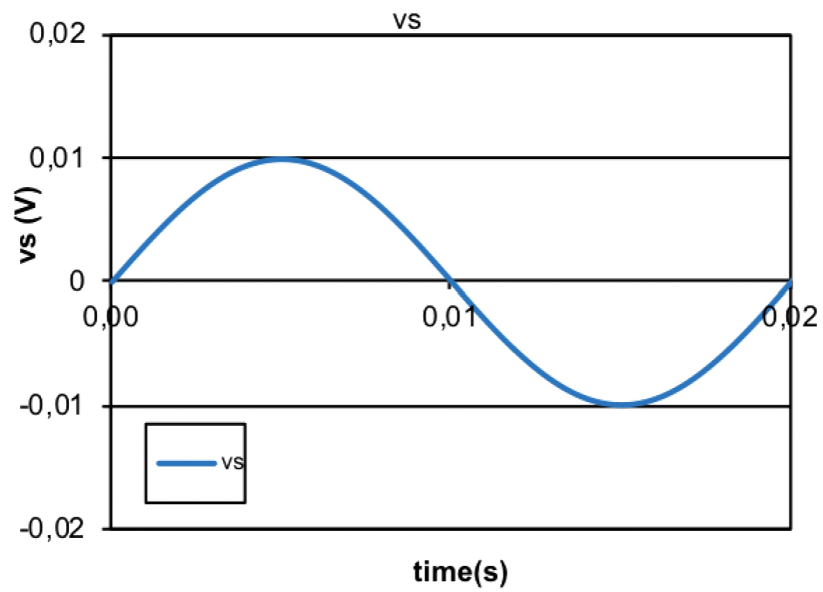
f) Marraztu, grafiko berean,  $v_s(t)$  seinalea eta kolektoreko tentsio osoa,  $v_c(t)$ , honako kasu hauetan:

i)  $v_s(t) = 10 \text{ mV}_p$

$$v_c(t) = V_C + v_c(t) = V_C + v_{\text{out}}(t)$$

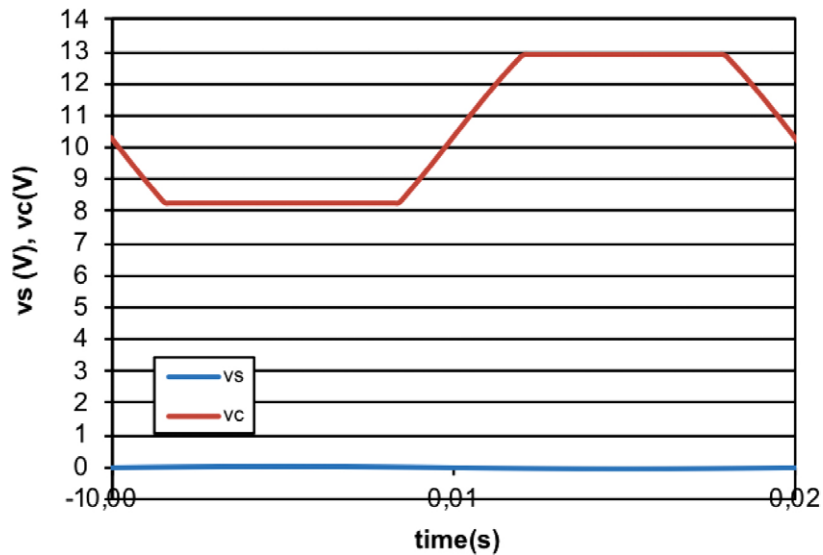
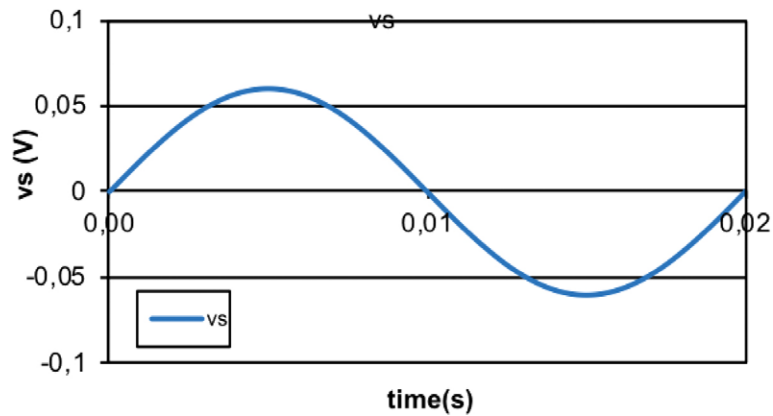
$$v_s(t) = 10 \text{ mV}_p \quad V_C = 15 - R_C I_C \quad V_C = 10,32 \text{ V}$$

$$v_{\text{out}} = A_V \cdot v_s = 0,73 \text{ V}_p \quad \rightarrow \quad v_c(t) = 10,32 - 0,73 \text{ V}_p$$



ii)  $v_s(t) = 60 \text{ mV}_p$

$v_{\text{out}} = A_V \cdot v_s = 4,37 \text{ V}_p \rightarrow$  *Irteera distortsionatua, asetasunagatik eta etenduragatik.*



Erresistentzietarako honako balio hauek hartuz:

$R_{B1} = 25 \text{ k}\Omega$

$R_{B2} = 24 \text{ k}\Omega$

$R_C = 39 \text{ k}\Omega$

$R_E = 68 \text{ k}\Omega$

Eta  $V_{BB}$  ezezaguna dela, eta  $|I_{CO}| = 1 \text{ pA}$  eta  $|I_{EO}| = 0,5 \text{ pA}$  direla kontuan hartuz:

g) Zein da transistorea asetasunera eramaten duen baseko korrontearen balio minimoa?

Asetasunean:  $V_{CE} \cong 0 \rightarrow I_C = \frac{15}{R_C + R_E} \frac{\beta + 1}{\beta}$

$I_C = 0,14 \text{ mA}$

$\downarrow I_{B, \text{min}} = \frac{I_C}{\beta} = 1,39 \mu\text{A}$

h) Kalkulatu  $\alpha_F$  eta  $\alpha_R$  parametroen balioak.

$$\alpha_F, \alpha_R?$$

$$\alpha_F \equiv \frac{\beta_F}{1 + \beta_F} \rightarrow \boxed{\alpha_F = 0,9901}$$

$$\alpha_F I_{EO} = \alpha_R I_{CO} \rightarrow \boxed{\alpha_R = 0,4951}$$

$V_{BB}$  tentsioaren balio jakin baterako  $I_B = 0,003$  lortu dela kontuan hartuz:

i) Kalkulatu  $V_{BE}$ ,  $V_{BC}$  eta  $V_{CE}$  tentsioen balio zehatzak, eta,  $I_C$  eta  $I_E$  korronteen balio zehatzagoak (hurbilketa hobeak direnak).

$$I_B = 0,003 \text{ mA} \quad V_{BE}, V_{BC}, V_{CE} ???$$

$$\left. \begin{aligned} I_E &= -I_{ES} \left( \exp \frac{V_{BE}}{V_T} - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} \left( \exp \frac{V_{BC}}{V_T} - 1 \right) \\ I_C &= \alpha_F I_{ES} \left( \exp \frac{V_{BE}}{V_T} - 1 \right) - I_{CS} \left( \exp \frac{V_{BC}}{V_T} - 1 \right) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} I_C &= \alpha_F I_{ES} - I_{CO} \left( \exp \frac{V_{BC}}{V_T} - 1 \right) \\ I_E &= \alpha_R I_C - I_{EO} \left( \exp \frac{V_{BE}}{V_T} - 1 \right) \end{aligned} \right\}$$

$$I_B = 3 \mu\text{A} \text{ denez, BJT asetasunean dago} \rightarrow I_C = 0,14 \text{ mA} \rightarrow I_E = -0,143 \text{ mA}$$

$$V_{BE} = V_T \ln \left[ \frac{I_E + \alpha_R I_C}{-I_{EO}} + 1 \right] = 470 \text{ mV}$$

$$V_{BC} = V_T \ln \left[ \frac{I_C + \alpha_F I_E}{-I_{CO}} + 1 \right] = 356,9 \text{ mV}$$

↓

$$\boxed{V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = 113,1 \text{ mV}}$$

↓

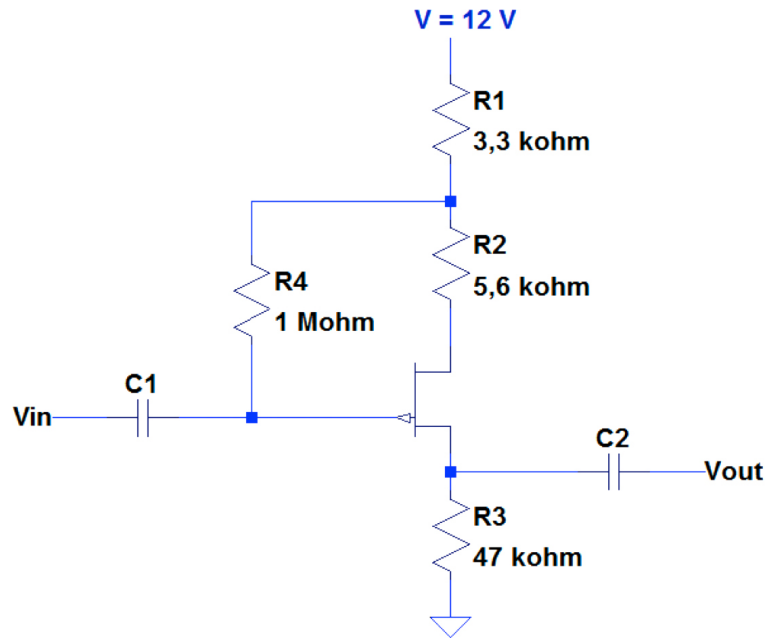
$$I_C = \frac{15 - V_{CE}}{R_C + R_E \frac{\beta + 1}{\beta}} \rightarrow \boxed{\begin{aligned} I_C &= 0,138 \text{ mA} \\ I_E &= -0,141 \text{ mA} \end{aligned}}$$

**ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

3. 3. irudiko transistorean:

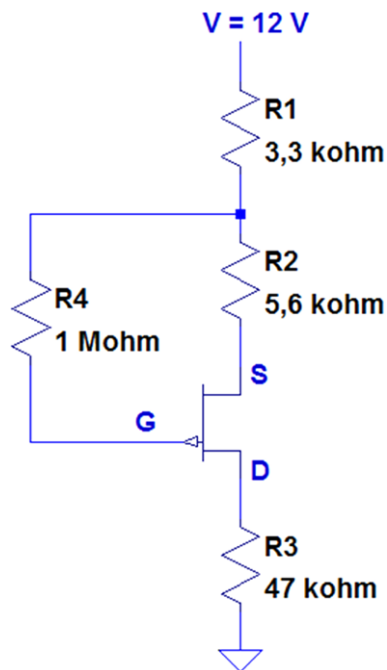
$$|I_{DSS}| = 1 \text{ mA}$$

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

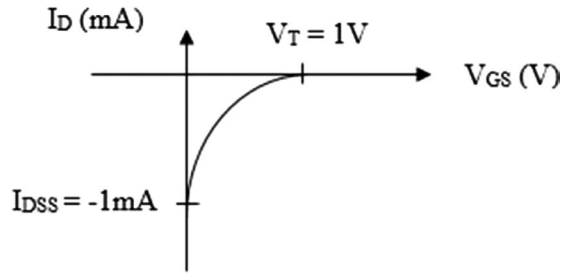


3. irudia

a) Zein da erabilitako gailua? Kokatu, zirkuituan bertan, draina, iturria eta atea.  $p$  pasabideko JFET bat da



b) Marraztu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.



c) Kalkulatu lan-puntua.

Demagun JFET asetasurean dagoela :  $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$

$$I_D = -1 \left(1 - \frac{V_{GS}}{1}\right)^2 \rightarrow \left. \begin{array}{l} -I_D = (1 - V_{GS})^2 \\ V_{GS} = -5,6 I_D \end{array} \right\}$$

$$-I_D = (1 + 5,6 I_D)^2$$

$$31,36 I_D^2 + 12,2 I_D + 1 = 0$$

$$I_D = \left\{ \begin{array}{l} -0,117 \text{ mA} \\ -0,272 \text{ mA} \end{array} \right\} \rightarrow V_{DS} = \left\{ \begin{array}{l} 0,66 \text{ V} \\ 1,52 \text{ V} \end{array} \right\}$$

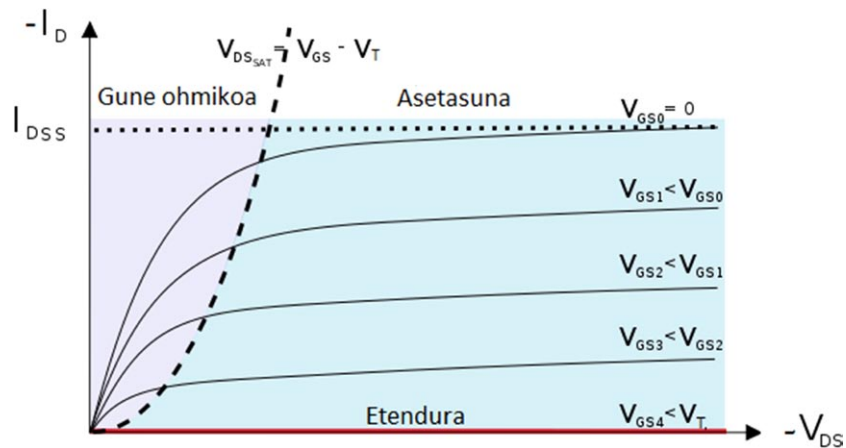
$$12 + V_{DS} = -(R_1 + R_2 + R_3) I_D \rightarrow \boxed{V_{DS} = -5,46 \text{ V}}$$

Asetasurean egoteko,

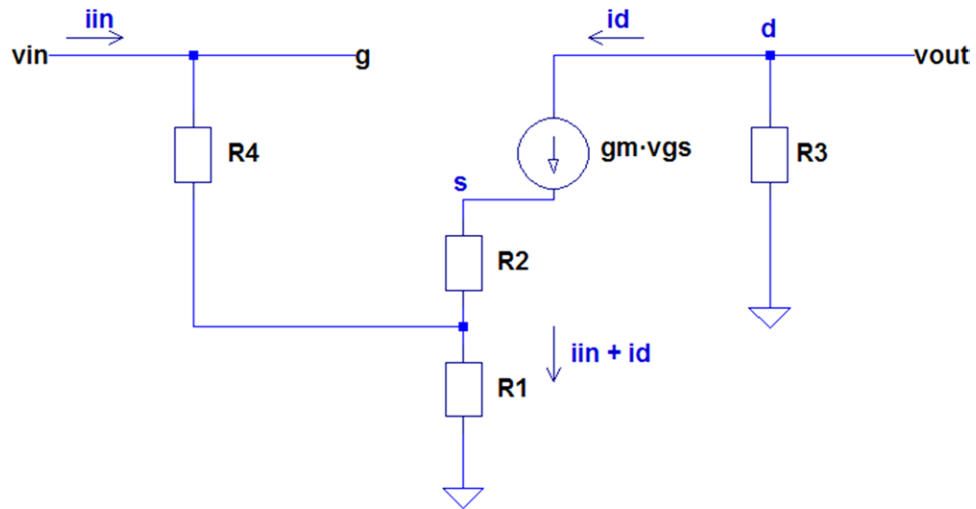
$$|V_{DS}| \geq |V_{D, SAT}| = |V_{GS} - V_T|$$

$$5,46 \geq |0,66 - 1| \rightarrow \text{BAI}$$

d) Marraztu gailuaren irteerako ezaugarriak, balio esanguratsuenak adieraziz.



e) Marraztu seinale txikiko zirkuitua.



f) Kalkulatu tentsio-irabazia.

$$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$v_{out} = -R_3 i_d = -R_3 g_m v_{gs}$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_{in} - (R_2 g_m v_{gs} + R_1 (i_{in} + g_m v_{gs}))$$

$$v_{gs} = v_{in} - R_2 g_m v_{gs} - R_1 i_{in} - R_1 g_m v_{gs}$$

$$v_{in} = R_4 i_{in} + R_1 (i_{in} + g_m v_{gs})$$

$$v_{gs} (1 + R_2 g_m + R_1 g_m) = v_{in} - R_1 i_{in}$$

$$v_{gs} (1 + R_2 g_m + R_1 g_m) = R_4 i_{in} + R_1 i_{in} + R_1 g_m v_{gs} - R_1 i_{in}$$

$$i_{in} = \frac{1 + R_2 g_m}{R_4} \cdot v_{gs} \quad v_{in} = \left[ (R_4 + R_1) \frac{1 + R_2 g_m}{R_4} + R_1 g_m \right] v_{gs}$$

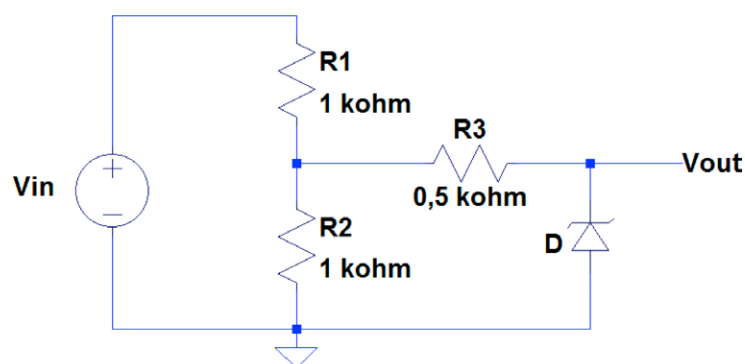
$$A_v = \frac{R_3 g_m}{(R_4 + R_1) \frac{1 + R_2 g_m}{R_4} + R_1 g_m} \rightarrow \boxed{A_v = -4,53}$$

$$g_m \equiv \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_D I_{DSS}} = 0,684 (\text{k}\Omega)^{-1}$$

## 2019ko maiatza

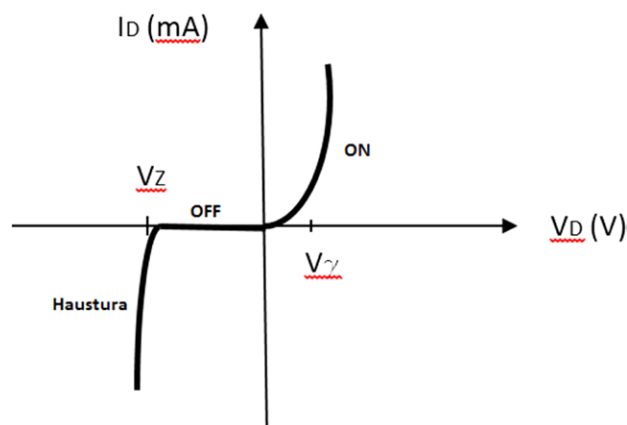
### DIODOA - PN JUNTURA

1. 1. irudiko zirkuituan erabili den diodoak honako ezaugarri hauek ditu: 0,7 V-eko ukondoko tentsioa eta 3 V-eko haustura-tentsioa.



1. irudia

- a) Marraztu, kualitatiboki, diodoaren ezaugarri-kurba, bere languneak eta balio esanguratsuenak adieraziz. Zer diodo mota da? Zein da bere funtsezko erabilera?

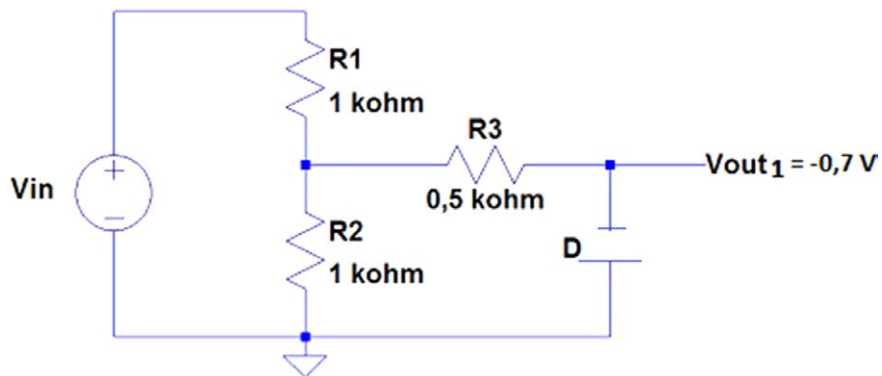


*Zener diodoa da. Tentsio-mugatzaile edo -egonkortzaile moduan erabiltzen da.*

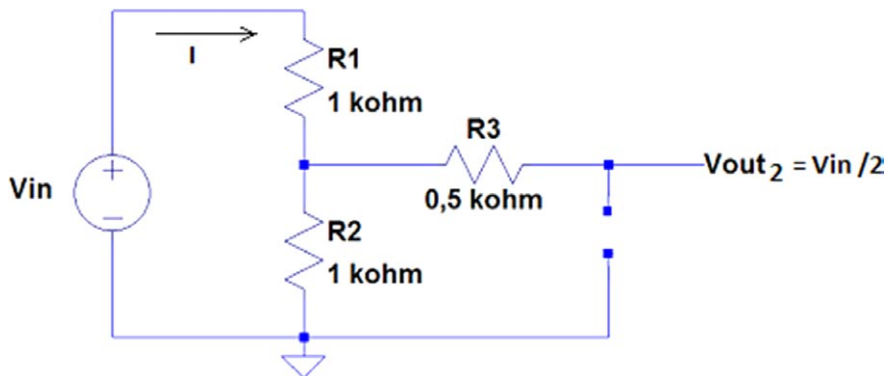


b) Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba.

$$v_{in} < \theta \quad v_{in} \leq -1,4 \text{ V} \rightarrow D \text{ ON}$$



$$\theta < v_{in} < 3 \text{ V} \quad -1,4 \text{ V} \leq v_{in} \leq 6 \text{ V} \rightarrow D \text{ OFF}$$

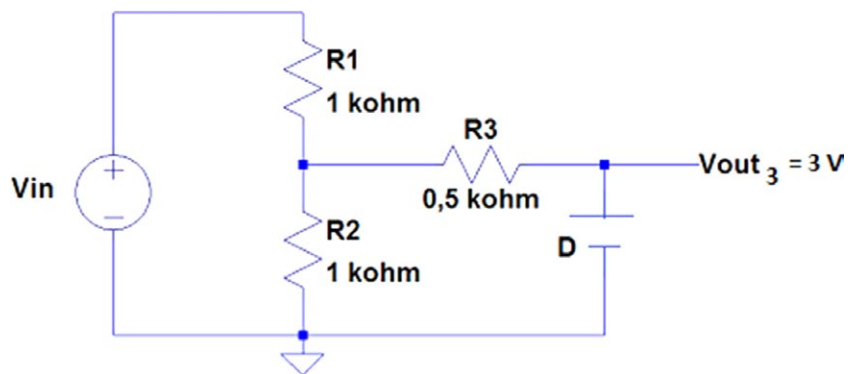


$$v_{in} = (R_1 + R_2) \cdot I \rightarrow I = v_{in} / 2 \rightarrow v_{out2} = I \cdot R_2$$

Noiz konmutatzen du diodoak (ON  $\rightarrow$  OFF)?

$$v_{out1} = v_{out2} \rightarrow -0,7 = v_{in} / 2 \rightarrow v_{in} = -1,4 \text{ V}$$

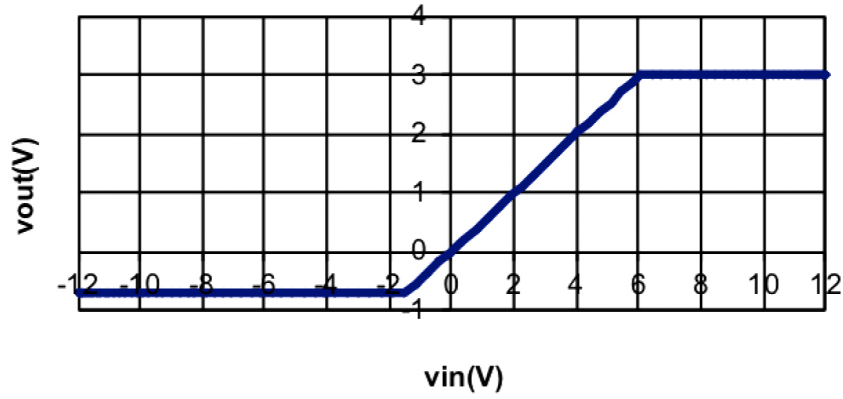
$$v_{in} > 3 \text{ V} \quad v_{in} \geq 6 \text{ V} \rightarrow D \text{ hausturan}$$



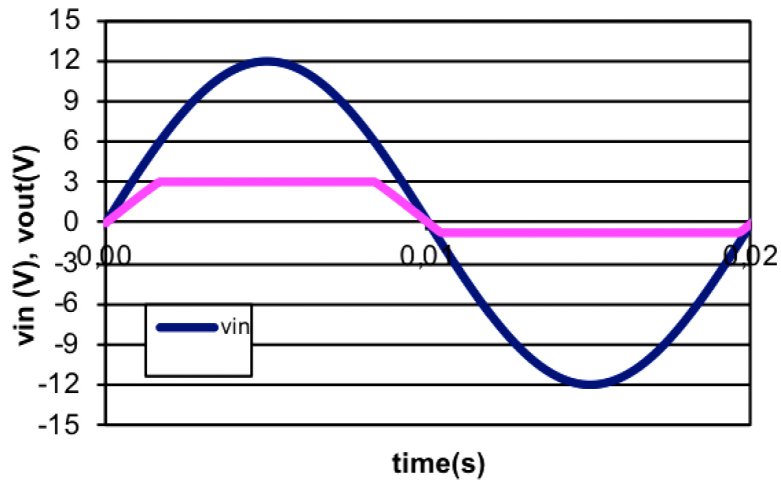
Noiz konmutatzen du diodoak (OFF  $\rightarrow$  haustura)?

$$v_{out2} = v_{out3} \rightarrow v_{in} / 2 = 3 \rightarrow v_{in} = 6 \text{ V}$$

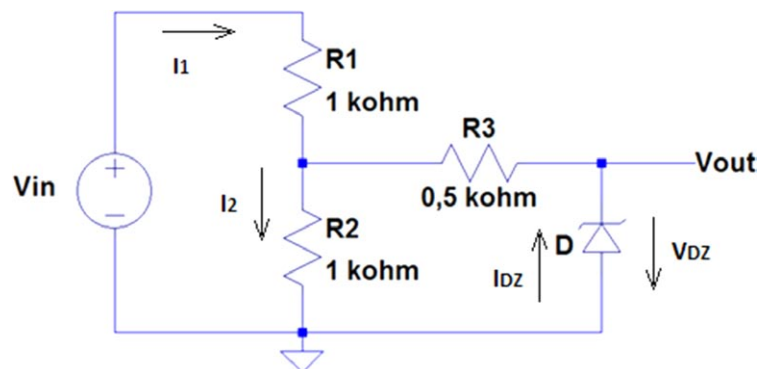
Transferentzia-kurba:



c)  $v_{in} = 12 \cdot \sin(\omega t)$  V bada, marraztu  $v_{in}$  eta  $v_{out}$  grafiko berean.



d)  $v_{in}$  12 V-eko tentsio zuzena bada, kalkulatu zirkuituaren karga zuzen estatikoa eta diodoaren lan-puntua. Marraztu biak a) ataleko ezaugarri-kurban.



$$I_1 = I_2 - I_{DZ}$$

$$v_{in} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

$$12 = I_1 + I_2 = I_2 - I_{DZ} + I_2 \rightarrow I_2 = 6 + 0,5 \cdot I_{DZ}$$

$$R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_{DZ} + V_{DZ} = 0$$

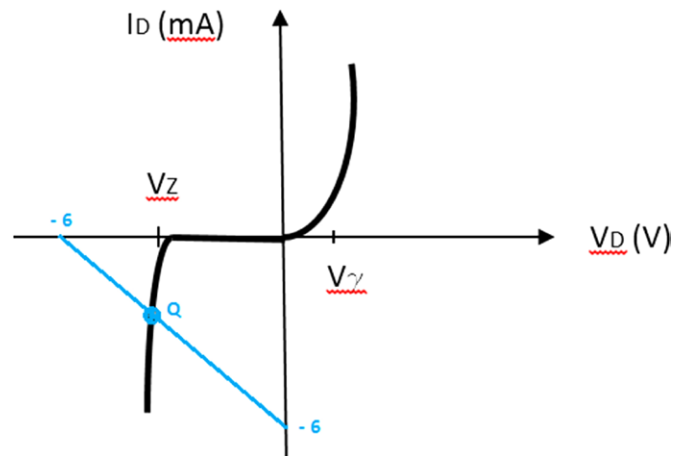
$$I_2 + 0,5 \cdot I_{DZ} + V_{DZ} = 0$$

$$6 + 0,5 \cdot I_{DZ} + 0,5 \cdot I_{DZ} + V_{DZ} = 0$$

$$\text{Karga zuzena: } I_{DZ} = -(6 + V_{DZ})$$

$$I_{DZ} = 0 \rightarrow V_{DZ} = -6 \text{ V}$$

$$V_{DZ} = 0 \rightarrow I_{DZ} = -6 \text{ mA}$$



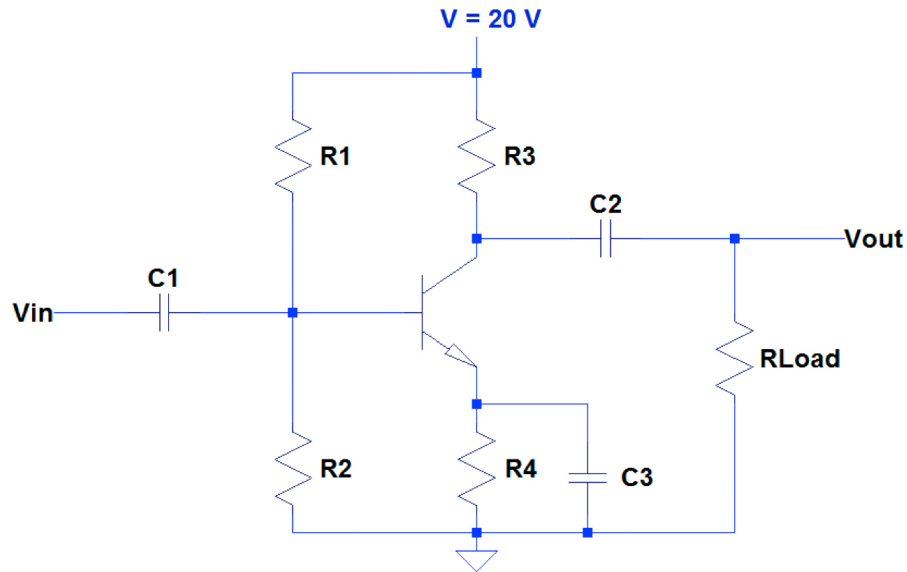
$$Q: V_{DZ} = -3 \text{ V}, \quad I_{DZ} = -3 \text{ mA}$$

**IGORLE KOMUNENKO ANPLIFIKADOREA**

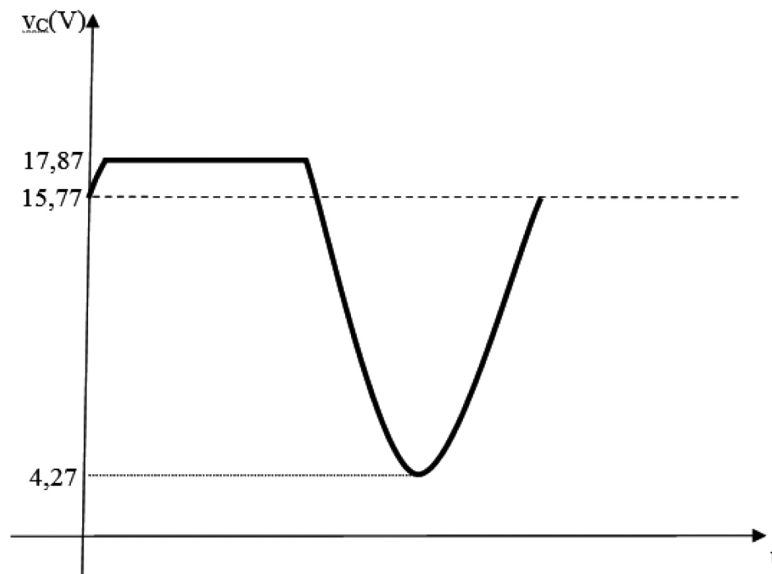
2. irudiko zirkuituan, kolektorean tentsio osoa ( $v_C(t)$ ) neurtu da, eta 3. irudiko seinalea lortu da. Esandako seinalea lortzeko erabili den sarrerako tentsioa ( $v_{in}$ )  $136 \text{ mV}_p$ -koa izan da. Gainera, badakigu sarrerako tentsio hori erabiliz, asetasunaren mugara heltzen dela

( $v_C(t) \cong 0 \text{ V}$  onartuz). Beste datu batzuk:

$$V = 20 \text{ V} \quad R_3 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_L = 1 \text{ k}\Omega \quad \beta = 100 \quad Z_{in} = 0,57 \text{ k}\Omega \quad V_T = 25 \text{ mV} \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$



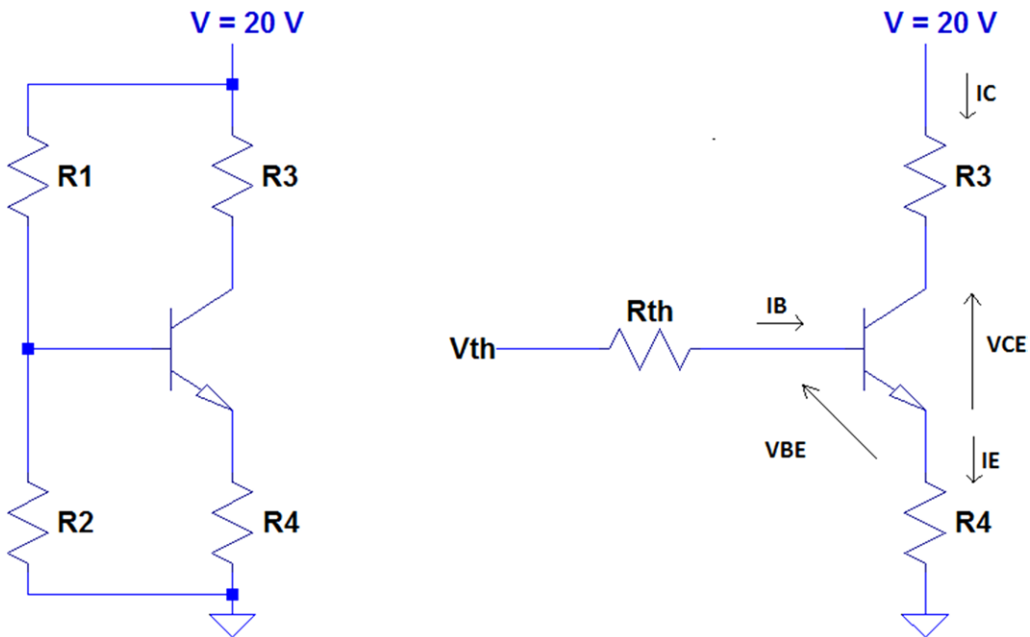
2. irudia



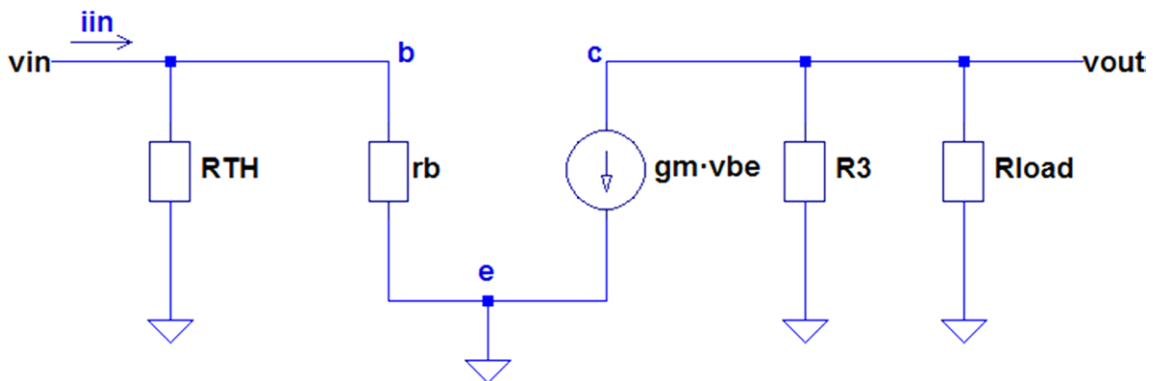
3. irudia

a) Marraztu polarizazio-zirkuitua eta seinale txikiko zirkuitua.

*Polarizazio-zirkuitua:*



*Seinale txikiko zirkuitua:*



b) Kalkulatu polarizazioari dagokion kolektore-igorle tentsioa,  $V_{CE,Q}$ .

Grafikotik:  $V_{CE,Q} = 15,77 - 4,27 = 11,5 \text{ V}$

(Seinale txikian:  $v_c = v_{ce}$ )

c) Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazia.

$$v_c = v_{ce} = v_{out} = \Delta v \cdot v_{in}$$

$$|\Delta v| = \frac{1 \cdot 1,5}{0,136} = 84,56$$

Igorle komuneko konfigurazioa denez,  $\Delta v = -84,56$

- d) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrian, balio esanguratsuenak adieraziz.

KZE:

$$V = R_3 \cdot I_C + V_{CE} + R_4 \cdot I_E \quad (\beta = 100 \text{ denez}, I_E = I_C)$$

$$I_C = \frac{V - V_{CE}}{R_3 + R_4} = \frac{20 - V_{CE}}{1 + R_4}$$

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = 20 \text{ V}$$

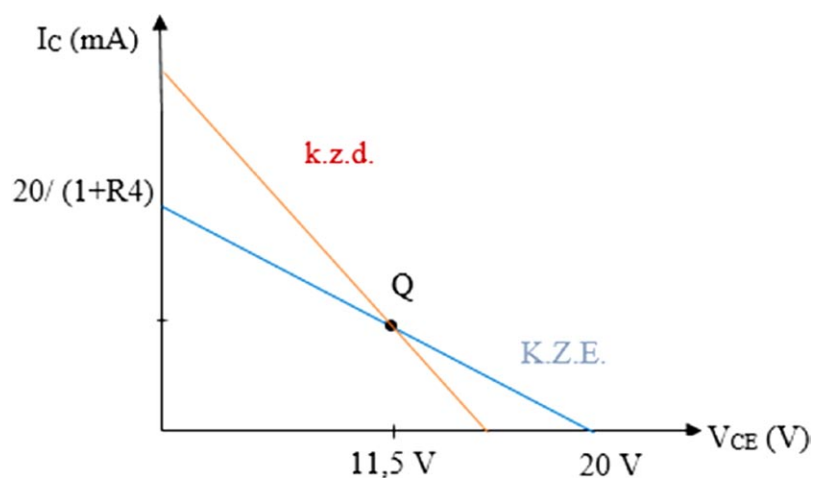
$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{20}{1 + R_4}$$

kzd:

$$v_{\text{out}} = v_{ce} = -(R_3 // R_{\text{Load}}) \cdot i_c$$

$$m_{kzd} = \frac{i_c}{v_{ce}} = \left( \frac{1}{R_3 // R_{\text{LOAD}}} \right) \neq m_{KZE} = \frac{1}{R_3 + R_4}$$

Grafikotik:  $v_{ce_{\text{max}}}(t) = 17,87 - 4,27 = 13,6 \text{ V}$



- e) Kalkulatu polarizazioari dagokion kolektoreko korrontea,  $I_{C,Q}$ .

Grafikotik:  $V_C = 15,77 \text{ V}$

$$I_C = \frac{V - V_C}{R_3} = \frac{20 - 15,77}{1} = \boxed{4,23 \text{ mA}}$$

f) Kalkulatu  $R_1$ ,  $R_2$  eta  $R_4$  erresistentzien balioa.

$$I_E = I_B + I_C = \left(\frac{\beta+1}{\beta}\right) \cdot I_C = \left(\frac{101}{100}\right) \cdot 4,23 = 4,27 \text{ mA}$$

$$V_E = V_C + V_{CE} = 15,77 - 11,5 = 4,27 \text{ V}$$

$$\boxed{R_4 = \frac{V_E}{I_E} = \frac{4,27}{4,27} = 1 \text{ kohm}}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4,23}{100} = 0,0423 \text{ mA}$$

$$r_b = \frac{1}{g_b} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{0,025}{0,0423} = 0,59 \text{ kohm}$$

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = (R_{TH} \parallel r_b) = \frac{R_{TH} \cdot r_b}{R_{TH} + r_b} = \frac{R_{TH} \cdot 0,59}{R_{TH} + 0,59} = 0,57$$

$$0,59 \cdot R_{TH} = 0,57 \cdot R_{TH} + 0,34$$

$$\boxed{R_{TH} = 17 \text{ kohm}}$$

$$V_{TH} - R_{TH} \cdot I_B - V_{BE} - R_4 \cdot I_E = 0$$

$$\frac{R_1}{R_1} \cdot \frac{R_2 \cdot V}{R_1 + R_2} - R_{TH} \cdot I_B - V_{BE} - R_4 \cdot I_E = 0$$

$$\frac{V}{R_1} - R_{TH} \cdot I_B - V_{BE} - R_4 \cdot I_E = 0$$

$$\frac{17 \cdot 20}{R_1} - 17 \cdot 0,043 - 0,7 - 1 \cdot 4,27 = 0$$

$$\boxed{R_1 = 59,64 \text{ kohm}}$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$17 = \frac{59,64 \cdot R_2}{59,64 + R_2}$$

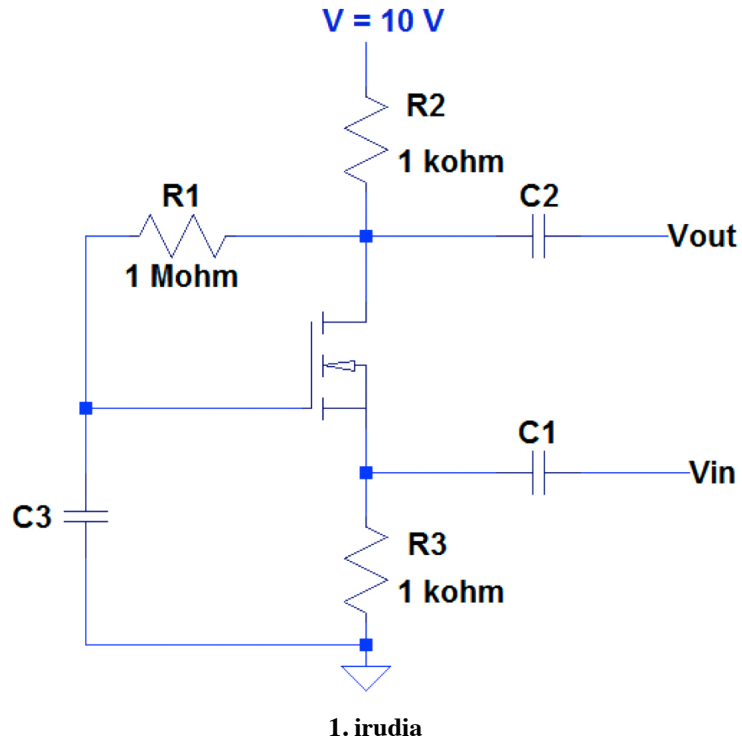
$$1013,88 + 17 \cdot R_2 = 59,64 \cdot R_2$$

$$\boxed{R_2 = 23,77 \text{ kohm}}$$

**ATE KOMUNeko ANPLIFIKADOREA**

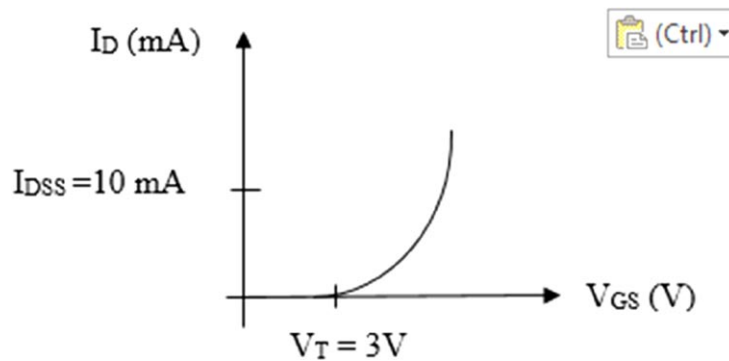
1. 4. irudiko zirkuituan, ezagunak dira honako datu hauek:  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

$|I_{DSS}| = 10 \text{ mA}$        $|V_{GS,OFF}| = |V_T| = 3 \text{ V}$        $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$        $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$        $V = 10 \text{ V}$



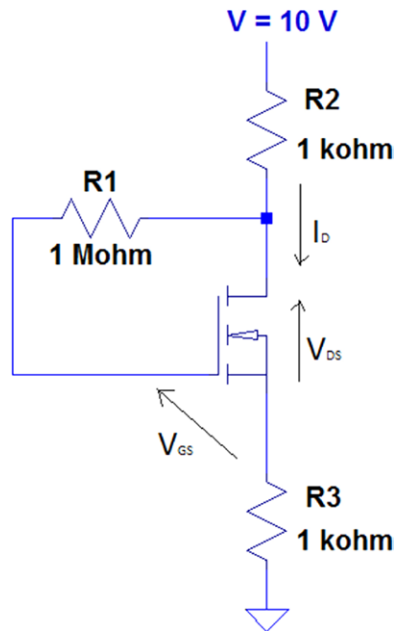
a) Zein da erabilitako gailua? Marraztu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.

*n pasabideko ugaltze MOSFET da.*





b) Kalkulatu gailuaren lan-puntua.



Zirkuitutik:  $V_{GS} = V_{DS} = V - (R_2 + R_3) \cdot I_D = 10 - 2 \cdot I_D$

Asetasunean:  $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 = 10 \cdot \left(1 - \frac{(10 - 2 \cdot I_D)}{3}\right)^2$

$$40 \cdot I_D^2 - 289 \cdot I_D + 490 = 0$$

$$I_D = 4,51 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 0,98 \text{ V}$$

$I_D = 2,72 \text{ mA} \rightarrow V_{GS} = 4,56 \text{ V} = V_{DS}$
--

$$V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T = 4,56 - 3 = 1,56 \text{ V}$$

$V_{DS} \geq V_{DS_{sat}} \rightarrow$  MOSFET asetasunean dago.

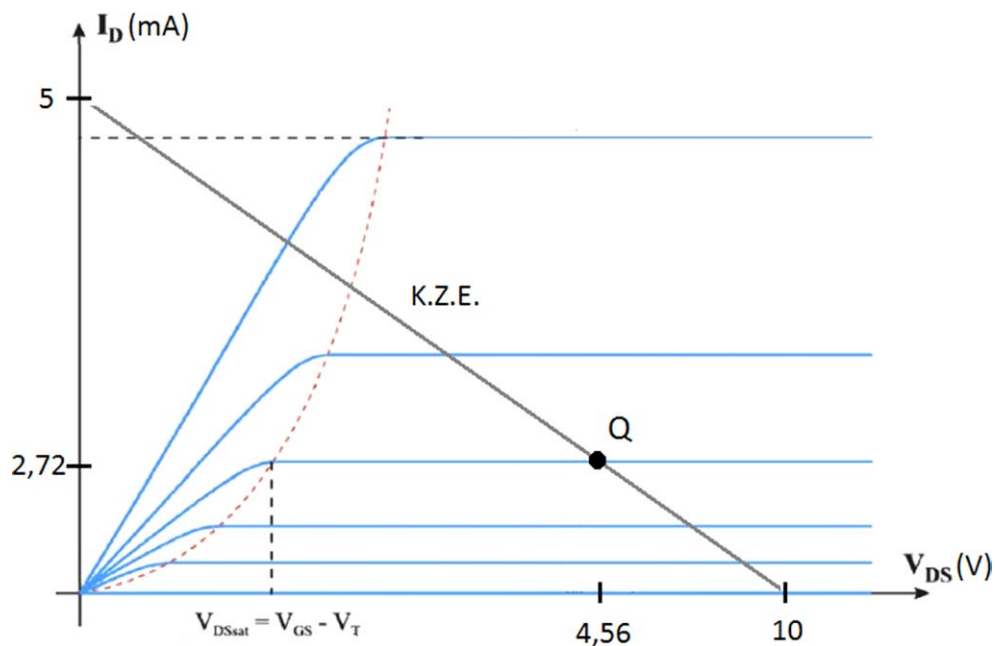
- c) Marraztu gailuaren irteerako ezaugarriak, eta kalkulatu eta marraztu karga zuzen estati-  
koa, lan-puntua kokatuz.

KZE:

$$I_D = \frac{10 - V_{DS}}{2}$$

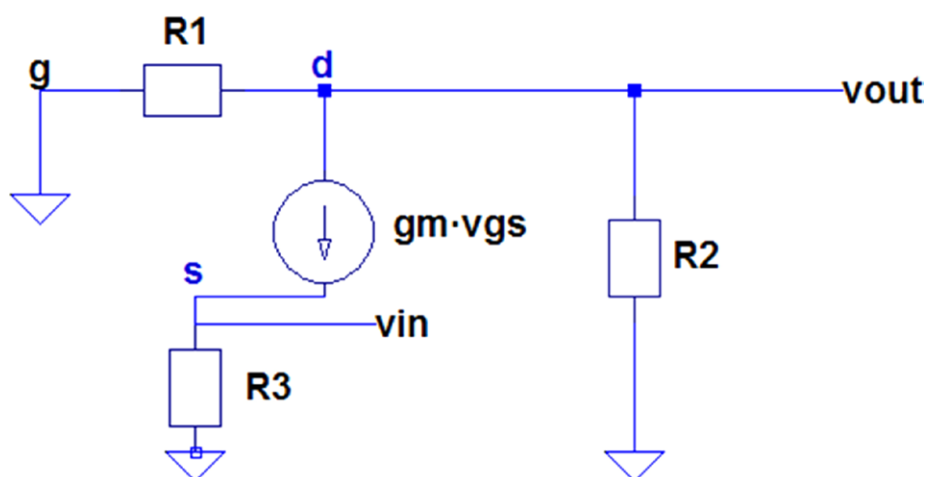
$$I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = 10 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = 5 \text{ mA}$$

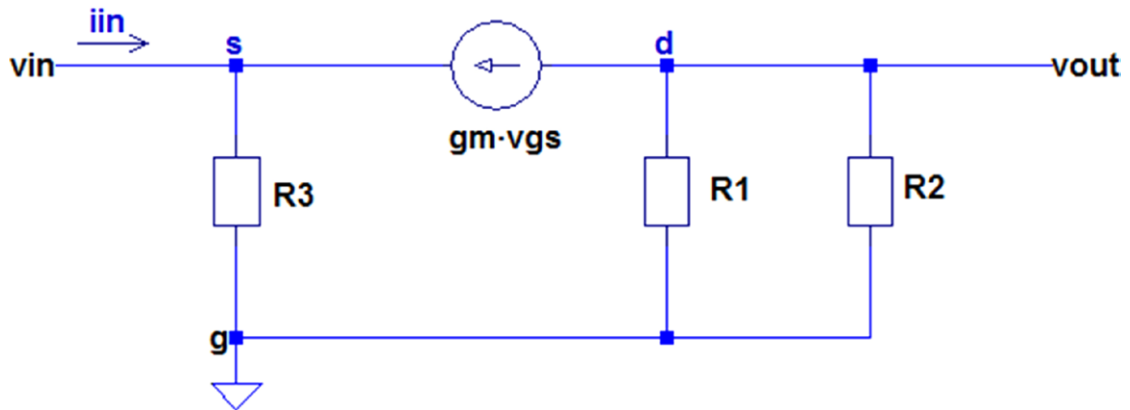


- d) Kalkulatu tentsio-irabazia, sarrerako inpedantzia eta irteerako inpedantzia.

Seinale txikiko zirkuitua:



Edo,



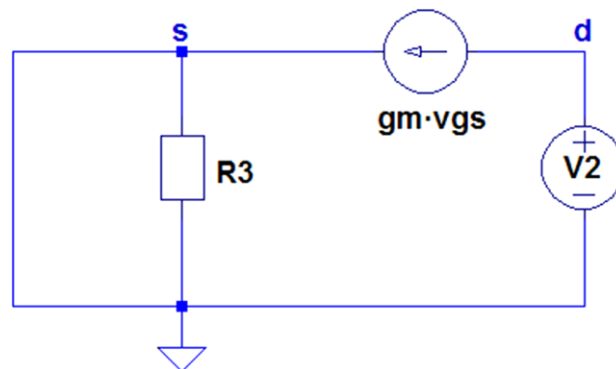
$$g_m = \frac{2 \cdot \sqrt{I_D \cdot I_{DSS}}}{|V_T|} = \frac{2 \cdot \sqrt{2,72 \cdot 10}}{3} = 3,48 \text{ (kohm)}^{-1}$$

$$\Delta V = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m \cdot v_{gs} \cdot (R_1 \parallel R_2)}{v_{gs}} = 3,48$$

$$Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{4,48} = 0,223 \text{ kohm}$$

$$v_{in} = \frac{v_{in}}{R_3} - g_m \cdot v_{gs} = \frac{v_{in}}{R_3} - g_m \cdot v_{in} = v_{in} + 3,48 \cdot v_{in} = 4,48 \cdot v_{in}$$

$$Z_{out} = Z'_{out} \parallel (R_1 \parallel R_2)$$



$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_{in}=0} = \infty$$

$$Z_{out} = R_1 \parallel R_2 = 1 \text{ kohm}$$

e) Nola deritzo zirkuituak alternoan duen konfigurazioari?

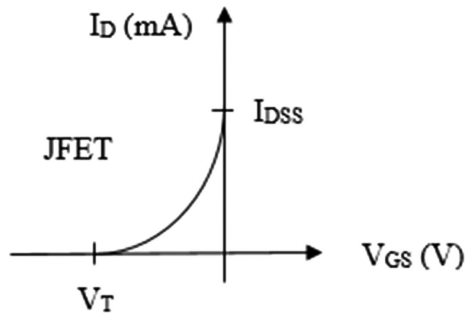
*Ate komunekoa.*

f) Zirkuitu honek asetasunean lan egitea bermatzen du? **Arrazoitu erantzuna.**

*Bai,  $V = 10\text{ V} > V_T = 3\text{ V}$  delako.*

g) Zirkuitu hau mota bereko kanaleko beste FET mota bat polarizatzeko erabil daiteke? **Arrazoitu erantzuna.**

*Ez,  $n$  pasabideko ugaltze MOSFETetarako soilik da baliagarria.  $n$  pasabideko urritze MOSFETetan eta JFETetan,  $V_T$  negatiboa izan behar da.*



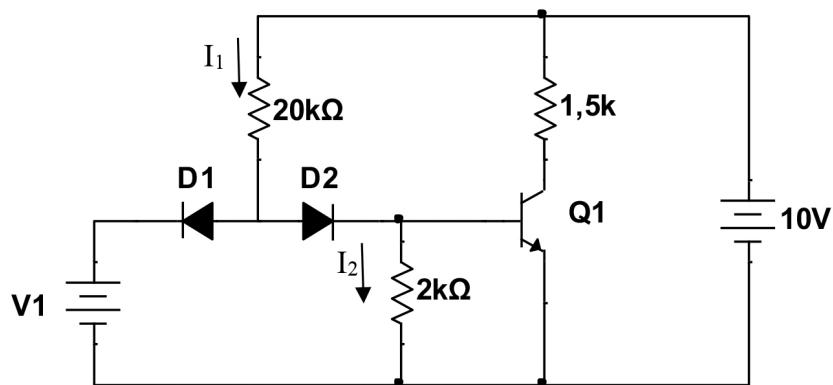
## 2018ko uztaila

### DIODODUN ETA TRANSISTOREDUN ZIRKUITUA

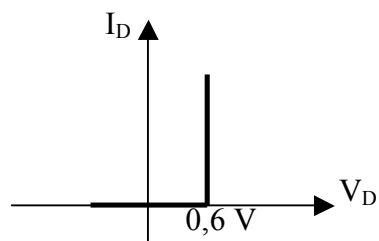
1. irudiko zirkuituko gailuei buruz, ezagunak dira honako datu hauek:
  - $D_1$  eta  $D_2$  diodoak berdin-berdinak dira, eta 2. irudiko ezaugarri-kurba daukate.
  - Transistore bipolarra:

$$V_{BE,activa} = 0,7 \text{ V} \quad \beta = 100$$

$$V_{BE,saturación} = 0,8 \text{ V} \quad V_{CE,saturación} = 0,2 \text{ V}$$



1. irudia

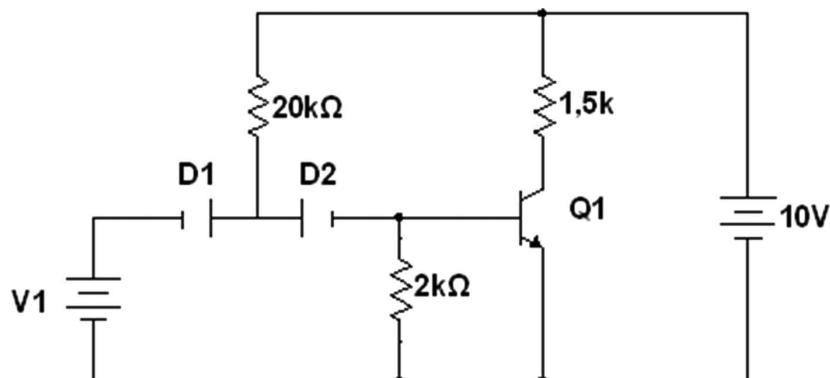


2. irudia

$V_1 = 0,2V$  aplikatuz gero, kalkulatu:

a)  $D_1$  eta  $D_2$  diodoen egoera.

$D_1$  eta  $D_2$  diodoak zuzenean polarizatuta daude.



b)  $I_1$  korrontearen balioa.

$$I_1 = \frac{10 - (0,2 + 0,6)}{20} = \frac{9,2}{20} = 0,46 \text{ mA} = 460 \mu\text{A}$$

c)  $I_2$  korrontearen balioa.

$$I_2 = \frac{0,8 - 0,6}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ mA} = 100 \mu\text{A}$$

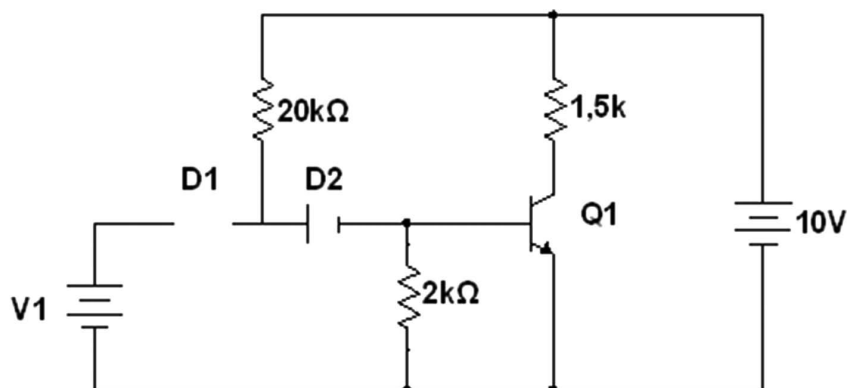
d) Transistorearen lan-puntua eta langunea.

Aurreko ataletik:  $V_{BE} = 0,2 \text{ V}$ , beraz, transistorea ETENDURAN dago.

$$I_C = I_B = 0 \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$$

$V_1 = 10 \text{ V}$  tentsioa aplikatuz gero, erantzun berriz aurreko atalak. Kasu honetarako, kalkulatu, zehatz-mehatz,  $D_2$  diodoaren lan-puntua,  $I_{\text{sat}} = 0,1 \text{ pA}$ -koa bada.

a)  $D_1$  alderantziz polarizatuta dago, eta  $D_2$  zuzenean polarizatuta dago.



b) Demagun  $Q_1$  gune aktiboan polarizatuta dagoela,

$$I_1 = \frac{10 - (0,6 + 0,7)}{20} = \frac{8,7}{20} = 0,435 \text{ mA} = 435 \mu\text{A}$$

c)  $I_2 = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ mA} = 350 \mu\text{A}$

d)  $I_B = I_1 - I_2 = 0,435 - 0,35 = 0,085 \text{ mA}$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 0,085 = 8,5 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 10 \text{ V} = 10 - 1,5 \cdot I_C = 10 - 12,75 = -2,75 \text{ V} < 0,2 \text{ V}$$

Beraz,  $Q_1$  ezin da gune aktiboan polarizatuta egon; ASETASUNEAN egon behar da.

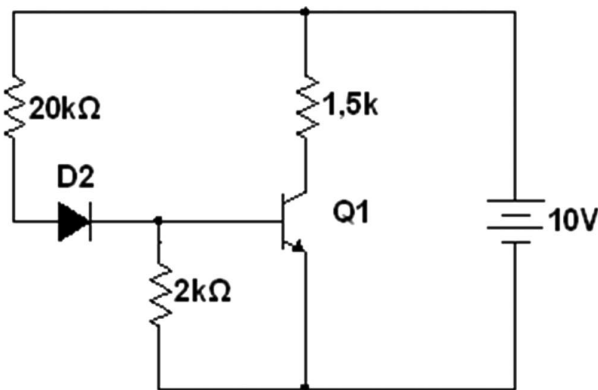
$$I_1 = \frac{10 - (0,6 + 0,8)}{20} = \frac{8,6}{20} = 0,43 \text{ mA} = 430 \mu\text{A}$$

$$I_2 = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ mA} = 400 \mu\text{A}$$

$$I_B = I_1 - I_2 = 0,43 - 0,4 = 0,03 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 0,2 \text{ V} \rightarrow I_C = \frac{10 - 0,2}{1,5} = 6,53 \text{ mA}$$

$D_2$  diodoaren lan-puntua zehatz-mehatz kalkulatzeko, beharrezkoa da iteratze-prozesua, beheko zirkuituak ematen digun ekuazioa eta Shockley-ren ekuazioa erabiliz.



Zirkuitutik:  $10 - 20 \cdot I_{D2} - V_{D2} - 0,8 = 0 \rightarrow I_{D2} = \frac{9,2 - V_{D2}}{20}$  (1)

Shockley-ren ekuazioa:  $I_{D2} = I_{\text{sat}} \cdot \left[ \exp\left(\frac{V_{D2}}{V_T}\right) - 1 \right] = 0,1 \cdot 10^{-9} \cdot \left[ \exp\left(\frac{V_{D2}}{0,025}\right) - 1 \right]$

$$V_{D2} = 0,025 \cdot \text{Ln}\left(\frac{I_{D2}}{0,1 \cdot 10^{-9}} + 1\right)$$
 (2)

*Abiapuntua:  $D_2$  ON ( $V_{D2} = 0,6$  V;  $I_{D2} = 0,43$  mA)*

$$(2) \rightarrow V_{D2} = 0,025 \cdot \ln\left(\frac{0,43}{0,1 \cdot 10^{-9}} + 1\right) \rightarrow V_{D2} = 0,5545 \text{ V}$$

$$(1) \rightarrow I_{D2} = \frac{9,2 - 0,5545}{20} \rightarrow I_{D2} = 0,4323 \text{ mA}$$

$$(2) \rightarrow V_{D2} = \mathbf{0,5547 \text{ V}}$$

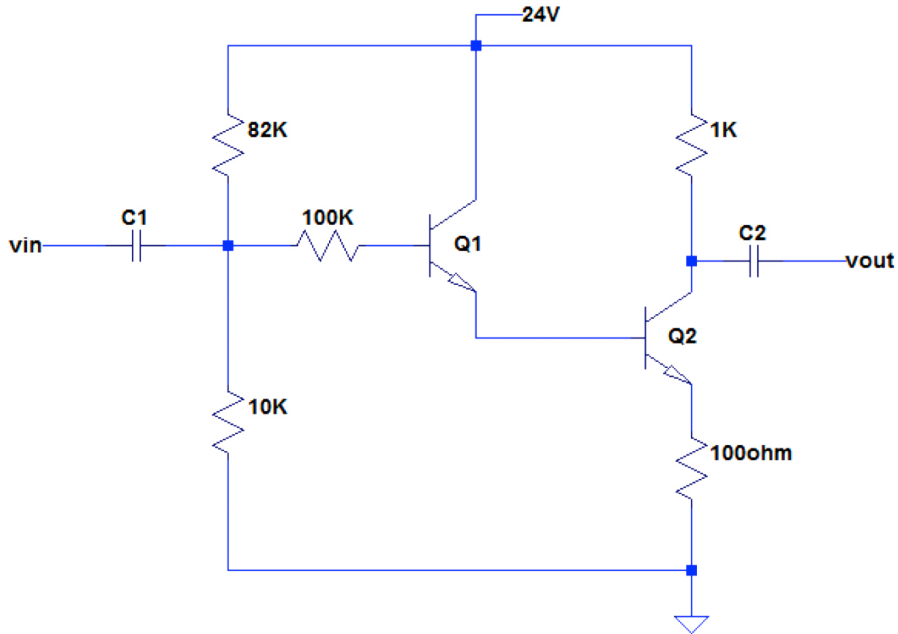
$$(1) \rightarrow I_{D2} = \mathbf{0,4322 \text{ mA}}$$



**IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA (BI TRANSISTORE)**

2. 3. irudiko zirkuituan erabilitako transistore bipolarrei buruz, ezagunak dira honako datu hauek:

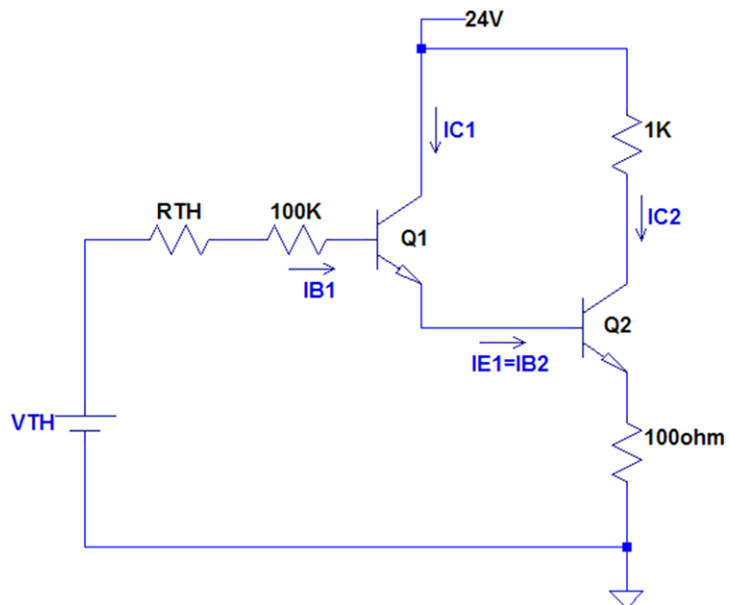
$$\beta_1 = 50 \quad \beta_2 = 100 \quad V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7 \text{ V}$$



3. irudia

a) Kalkulatu  $Q_2$  transistorearen lan-puntua.

$Q_2$  transistorearen lan-puntua kalkulatzeko, Thevenin baliokidea kalkulatuko dugu:



$$V_{TH} = \frac{24 \cdot 10}{82 + 10} = 2,61 \text{ V} \quad R_{TH} = \frac{82 \cdot 10}{82 + 10} = 8,9 \text{ K}\Omega$$

$$V_{TH} = (R_{TH} + 100) \cdot I_{B1} + V_{BE1} + V_{BE2} + 0,1 \cdot I_{E2}$$

$$I_{E2} = (\beta_2 + 1) \cdot I_{B2} = (\beta_2 + 1) \cdot I_{E1} = (\beta_2 + 1) \cdot (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1} = 5.151 \cdot I_{B1}$$

$$I_{B1} = \frac{2,61 - 0,7 - 0,7}{108,9 + 0,1 \cdot 5151} = \frac{1,21}{624} = 0,0019 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_{B1} = 50 \cdot 0,0019 = 0,095 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = I_{E1} = 51 \cdot 0,0019 = \mathbf{0,097 \text{ mA}}$$

$$I_{C2} = 100 \cdot 0,097 = \mathbf{9,7 \text{ mA}}$$

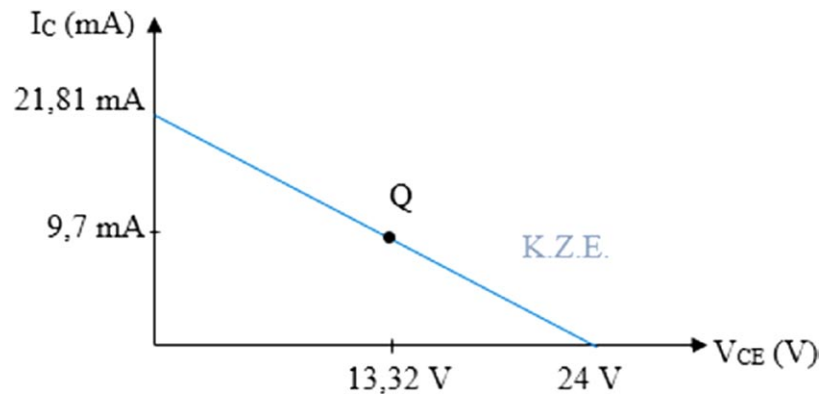
$$I_{E2} = 101 \cdot 0,097 = \mathbf{9,8 \text{ mA}}$$

$$24 - 1 \cdot I_{C2} = -V_{CE2} - 0,1 \cdot I_{E2} = 0$$

$$V_{CE2} = 24 - 9,7 - 0,98 = \mathbf{13,32 \text{ V}}$$

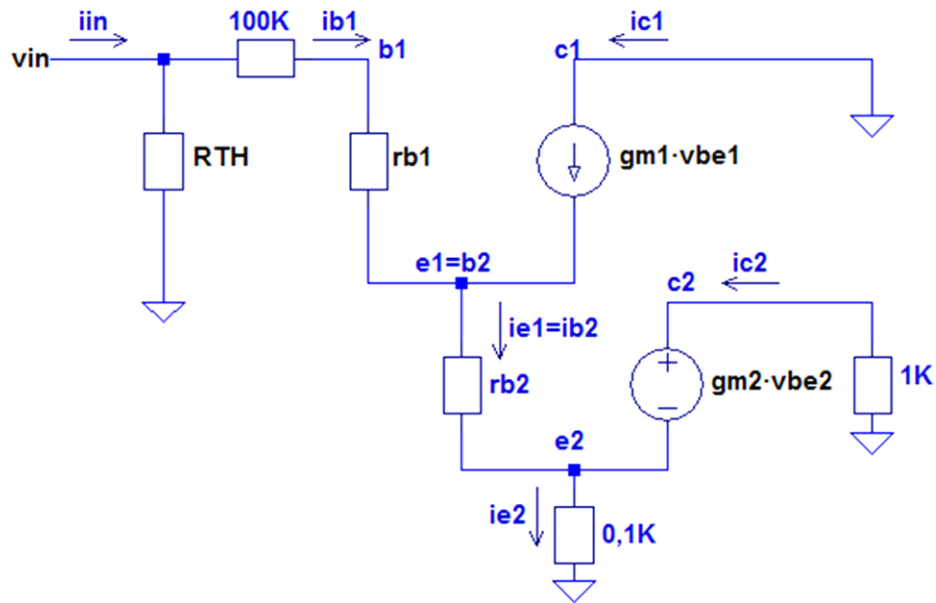
- b) Kalkulatu eta marraztu  $Q_2$  transistorearen karga zuzen estatikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrietan.  
*Polarizazio-zirkuitutik,*

$$K.Z.E. \quad I_{C2} = \frac{24 - V_{CE2}}{1 + 0,1} \quad \left\{ \begin{array}{l} I_{C2} = 0 \rightarrow V_{CE2} = 24 \text{ V} \\ V_{CE2} = 0 \rightarrow I_{C2} = \frac{24}{1,1} = 21,81 \text{ mA} \end{array} \right.$$

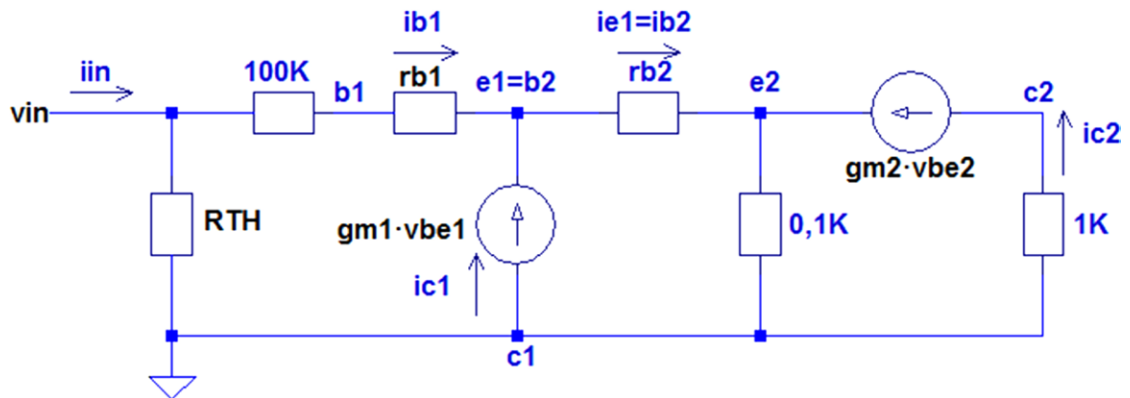


c) Kalkulatu zirkuitu osokoko  $\Delta v$  eta  $Z_{in}$ .

Seinale txikiko zirkuitua marraztu behar da.



Edo,



• Tentsio irabazia:  $\Delta v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

$$v_{out} = -i_{c2} \cdot 1 = -g_{m2} \cdot v_{be2} = -g_{m2} \cdot r_{b2} \cdot i_{b2}$$

$$i_{b1} = -i_{b2} - g_{m1} \cdot v_{be1} = i_{b2} - g_{m1} \cdot r_{b1} \cdot i_{b1}$$

$$i_{b1} \cdot (1 + g_{m1} \cdot r_{b1}) = i_{b2} \quad \rightarrow \quad i_{b1} = \frac{i_{b2}}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})}$$

$$v_{in} = (100 + r_{b1}) \cdot i_{b1} + r_{b2} \cdot i_{b2} + 0,1 \cdot (i_{b2} + g_{m2} \cdot v_{be2})$$

$$v_{in} = \left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right] \cdot i_{b2}$$

$$\Delta v = \frac{v_{\text{out}}}{v_{\text{in}}} = - \frac{g_{m2} \cdot r_{b2}}{\left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right]}$$

$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{0,095}{0,025} = 3,8 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$g_{m2} = \frac{I_{C2}}{V_T} = \frac{9,7}{0,025} = 388 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$r_{1b} = \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{0,025}{0,0019} = 13,19 \text{ K}\Omega$$

$$r_{b2} = \frac{V_T}{I_{B2}} = \frac{0,025}{0,097} = 0,257 \text{ K}\Omega$$

$$\Delta v = -7,95$$

- Sarrerako inpedantzia:  $Z_{\text{in}} = \frac{v_{\text{in}}}{i_{\text{in}}}$

$$i_{\text{in}} = i_{b1} + i_{RTH} = i_{b1} + \frac{v_{\text{in}}}{RTH}$$

$$i_{b2} = \frac{v_{\text{in}}}{\left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right]} = (1 + g_{m1} \cdot r_{b1}) \cdot i_{b1}$$

$$i_{b1} = \frac{v_{\text{in}}}{\left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right] \cdot (1 + g_{m1} \cdot r_{b1})}$$

$$i_{\text{in}} = \frac{v_{\text{in}}}{\left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right] \cdot (1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + \frac{v_{\text{in}}}{RTH}$$

$$\frac{v_{\text{in}}}{i_{\text{in}}} = \frac{1}{\frac{1}{\left[ \frac{(100 + r_{b1})}{(1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + r_{b2} + 0,1 + 0,1 \cdot g_{m2} \cdot r_{b2} \right] \cdot (1 + g_{m1} \cdot r_{b1})} + \frac{1}{RTH}}$$

$$Z_{\text{in}} = 8,78 \text{ K}\Omega$$

- d) Kalkulatu eta marraztu  $Q_2$  transistorearen karga zuzen dinamikoa,  $I_C - V_{CE}$  ezaugarrietan. Zein izango litzateke transistore horren tarte dinamikoa?

Seinale txikiko zirkuitutik,

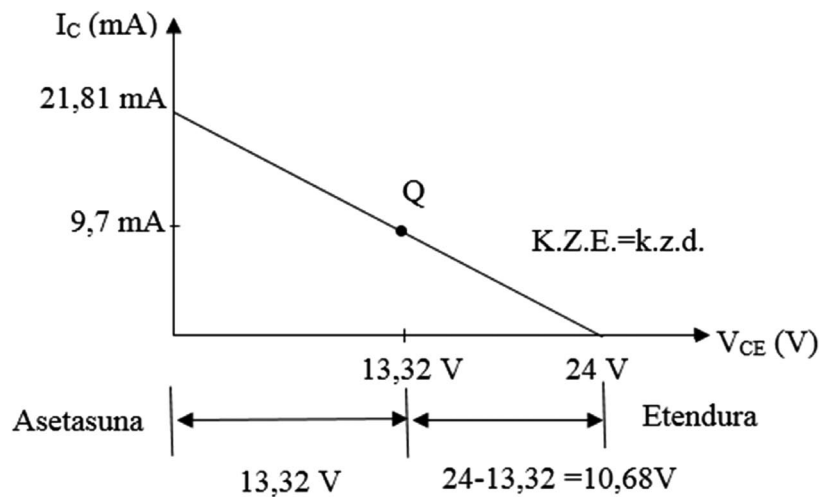
$$i_{c2} = g_{m2} \cdot v_{be2} \rightarrow v_{be2} = \frac{i_{c2}}{g_{m2}}$$

$$i_{b2} = \frac{v_{be2}}{r_{b2}} = \frac{i_{c2}}{g_{m2} \cdot r_{b2}}$$

$$v_{ce2} = v_{out} - v_{e2} = -i_{c2} \cdot 1K - 0,1 \cdot (i_{b2} + i_{c2}) = -i_{c2} - \frac{0,1 \cdot i_{c2}}{g_{m2} \cdot r_{b2}} - 0,1 \cdot i_{c2}$$

$$m_{kzd} = \frac{i_{c2}}{v_{ce2}} = - \frac{1}{1 + \frac{0,1}{g_{m2} \cdot r_{b2}} + 0,1} = -0,9$$

$$m_{KZE} = - \frac{1}{1 + 0,1} = -0,9 \rightarrow m_{kzd} = m_{KZE} \rightarrow \text{karga zuzenak berdinak dira.}$$



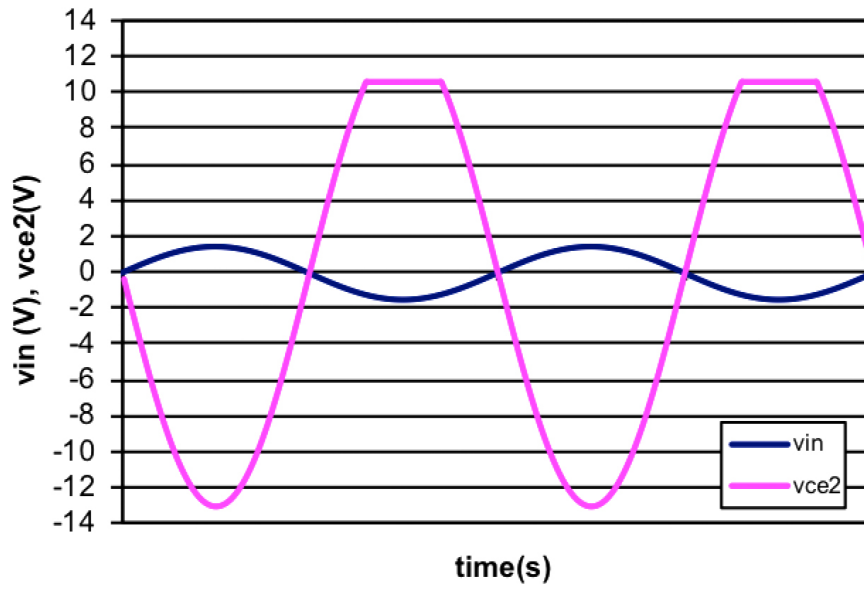
Tarte dinamikoa 10,68 V-ekoa da, eta etendurak mugatzen du.

- e) Marraztu, grafiko berean,  $v_{in}$  eta  $v_{ce2}$ , sarrerako tentsioa  $v_{in} = 1,5 \cdot \sin(\omega t)$  V denean. Zein izango litzateke  $v_{in}$  maximoa irteeran distortsiorik ez izateko?

$$v_{ce2} = - \frac{1}{0,9} i_{c2} = -1,1 \cdot i_{c2}$$

$$v_{out} = -i_{c2} \cdot 1K \rightarrow i_{c2} = -v_{out} \rightarrow v_{ce2} = 1,1 \cdot v_{out}$$

$$v_{in} = 1,5 \text{ Vp} \rightarrow v_{out} = v_{in} \cdot \Delta v = 1,5 \cdot 7,95 = 11,925 \text{ V} \rightarrow v_{ce2} = 13,12 \text{ V}$$



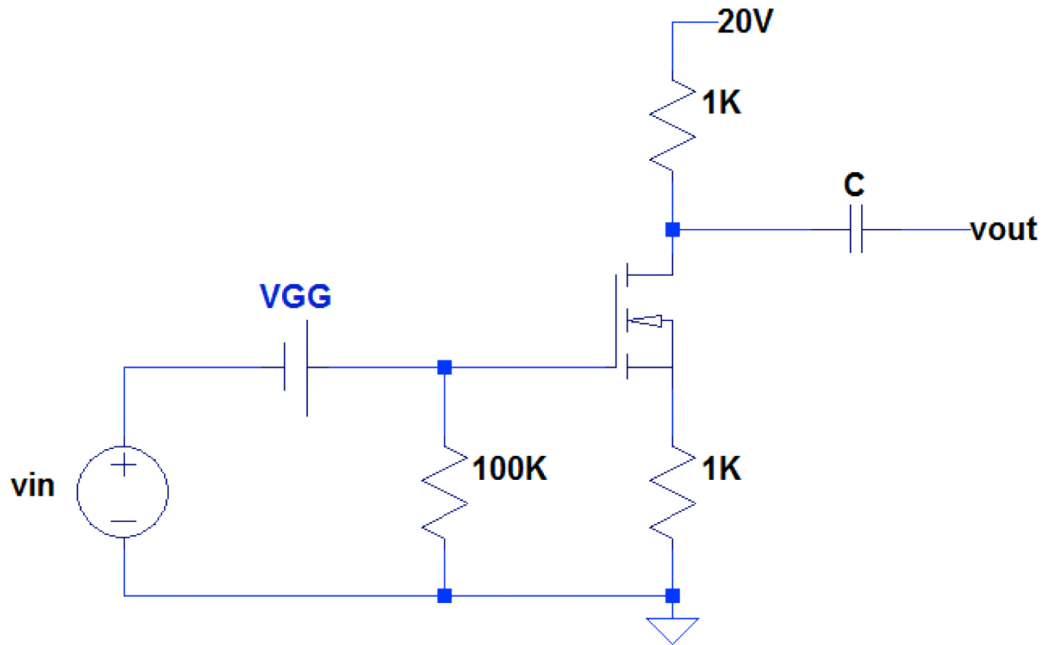
$$v_{\text{out\_max}} = \frac{v_{\text{ce2\_max}}}{1,1} = \frac{10,68}{1,1} = 9,7 \text{ V}$$

$$v_{\text{in\_max}} = \frac{v_{\text{out\_max}}}{\Delta v} = \frac{9,7}{7,95} \rightarrow v_{\text{in\_max}} = 1,22 \text{ Vp}$$

**ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

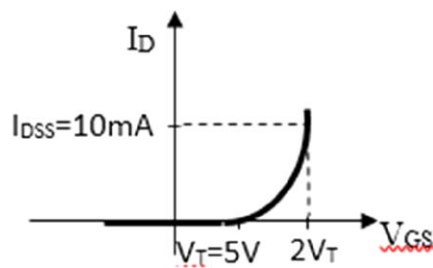
4. 4. irudiko zirkuituan, honako FET hau erabili da:

$$|I_{DSS}| = 10 \text{ mA} \quad |V_T| = 5 \text{ V}$$



4. irudia

- a) Zer gailu mota da?  
*n pasabideko ugaltze MOSFET bat da.*
- b) Marraztu transistorearen transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.



$V_{GG}$  tentsioaren balio ezberdinetarako, transferentzia-ezaugarrian zehar ibiltzeko asmoa dugu. Horretarako,  $v_i = 0$  hartuz, kalkulatu:

*Ibilbidea egiteko polarizazio-zirkuitua aztertuko dugu.*

- c) Gailuan pasabidea ager dadin beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa.

$$\text{Pasabidea ager dadin: } V_{GS} \geq V_T$$

$$V_{GG} = V_{GS} + R \cdot I_D \rightarrow V_{GS} = V_{GG} - R \cdot I_D \geq V_T$$

$$V_{GG} = V_T + R \cdot I_D = 5 + 1 \cdot 0 \rightarrow \mathbf{V_{GG} = 5 \text{ V}}$$

- d)  $I_D = I_{DSS}$  izan dadin beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa.

$$I_D = I_{DSS} \text{ bada,}$$

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

$$V_T^2 = V_T^2 + V_{GS}^2 - 2 \cdot V_T \cdot V_{GS} \rightarrow V_{GS} = 2 \cdot V_T$$

$$V_{GG} = 2 \cdot V_T + R \cdot I_D = 2 \cdot 5 + 1 \cdot 10 \rightarrow \mathbf{V_{GG} = 20 \text{ V}}$$

- e)  $V_{DS} = 10 \text{ V}$  izan dadin beharrezkoa den  $V_{GG}$  tentsioaren balioa. Kalkulatu eta marraztu transistorearen karga zuzen estatikoa,  $I_D - V_{DS}$  ezaugarrietan,  $Q$  puntua adieraziz.

e atalean lortutako korrante eta tentsioetarako, kalkulatu  $v_i$  tentsioa gailuan zehar korrante osoa nulua izan dadin,  $i_D(t) = 0$ .

$$V_{DS} = 10 \text{ V bada,}$$

$$20 - (1+1) \cdot I_D - V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = \frac{20 - 10}{2} = 5 \text{ mA}$$

$$\text{Demagun asetatsunean dagoela: } I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2$$

$$5 = 10 \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{5}\right)^2 = \frac{10}{25} \cdot (5 - V_{GS})^2 \rightarrow V_{GS}^2 - 10 \cdot V_{GS} + 12,5 = 0$$

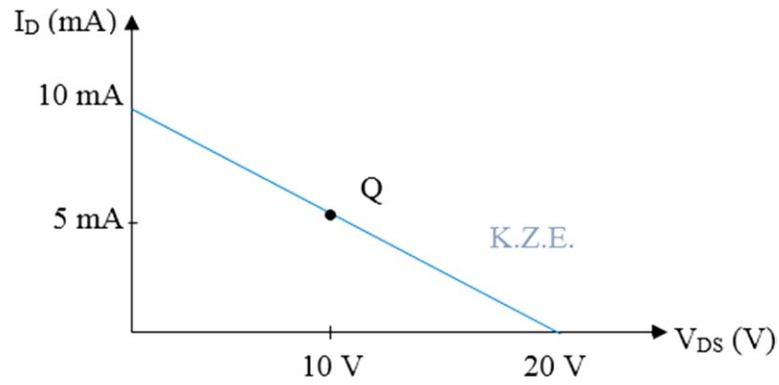
$$V_{GS} = \frac{10 \pm \sqrt{100 - 50}}{2} = \frac{10 \pm 7,07}{2} = \begin{cases} \boxed{8,54 \text{ V}} \\ 1,47 \text{ V (ez du balio)} \end{cases}$$

$$V_{GG} = V_{GS} + R \cdot I_D = 8,54 + 1 \cdot 5 \rightarrow \mathbf{V_{GG} = 13,54 \text{ V}}$$

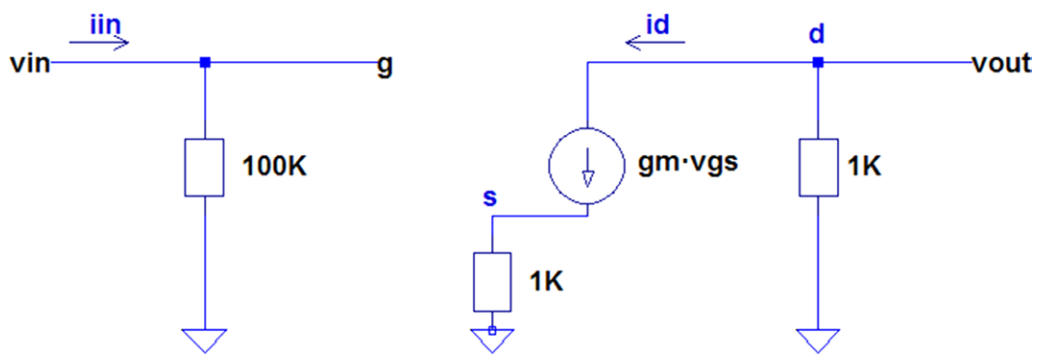
$$V_{DS_{\text{sat}}} = V_{GS} - V_T = 8,54 - 5 = 3 \text{ V} \leq V_{DS} = 10 \text{ V} \rightarrow \text{Asetatsunean dago}$$

$$\text{Karga zuzen estatikoa: } I_D = \frac{20 - V_{DS}}{2} \begin{cases} I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = 20 \text{ V} \\ V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = 10 \text{ mA} \end{cases}$$





Seinale txikiko zirkuitua:



$$i_D(t) = i_D + i_d(t) \rightarrow 0 = 5 + i_d(t) \rightarrow i_d(t) = -5 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{2 \cdot \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D}}{|V_T|} = \frac{2 \cdot \sqrt{10 \cdot 5}}{5} = 2,83 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$v_{gs} = v_g - v_s = v_{in} = -1 \cdot i_d$$

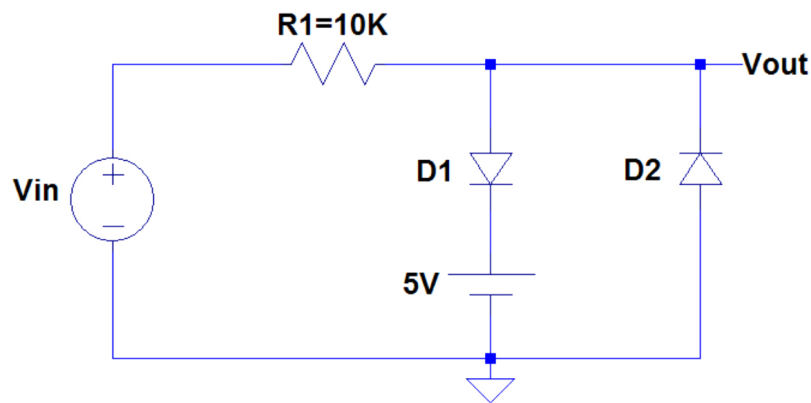
$$i_d = g_m \cdot v_{gs} = g_m \cdot (v_{in} - i_d) = 2,83 \cdot (v_{in} - i_d)$$

$$v_{in} = \frac{3,83 \cdot i_d}{2,83} = \frac{3,83 \cdot (-5)}{2,83} \rightarrow v_{in} = -6,77 \text{ mV}$$

# 2018ko maiatza

## PN JUNTURA - ZIRKUITU DIODODUNA

1. 1. irudiko zirkuituan, diodoak berdin-berdinak dira, eta  $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$ .



1. irudia

- a) Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba, balio esanguratsuenak adieraziz.

*Diodoen egoerak:*

$$v_{in} \leq -0,7 \text{ V} \rightarrow D_1 \text{ OFF}, D_2 \text{ ON: } v_{out1} = -0,7 \text{ V}$$

$$-0,7 \leq v_{in} \leq 5,7 \text{ V} \rightarrow D_1 \text{ OFF}, D_2 \text{ OFF: } v_{out2} = v_{in}$$

$$v_{in} \geq 5,7 \text{ V} \rightarrow D_1 \text{ ON}, D_2 \text{ OFF: } v_{out3} = 5,7 \text{ V}$$

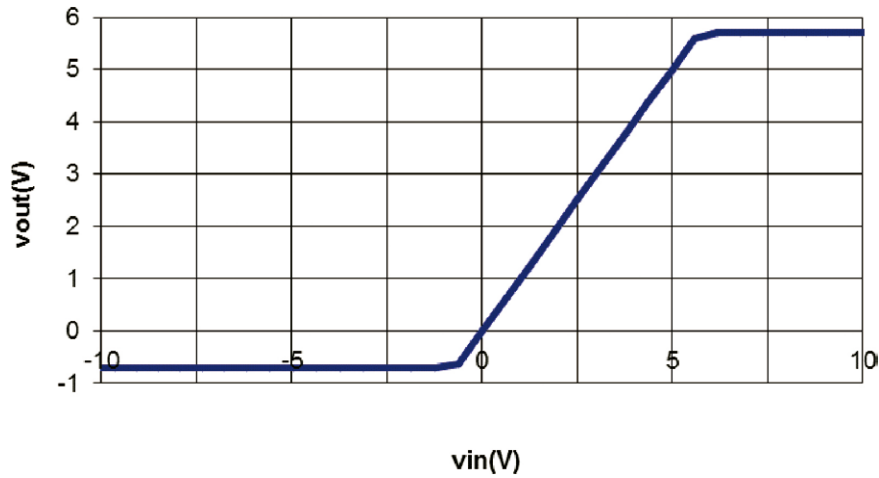
*Noiz konmutatzen du  $D_2$  diodoak?*  $v_{out1} = v_{out2}$

$$v_{in} = -0,7 \text{ V}$$

*Noiz konmutatzen du  $D_1$  diodoak?*  $v_{out2} = v_{out3}$

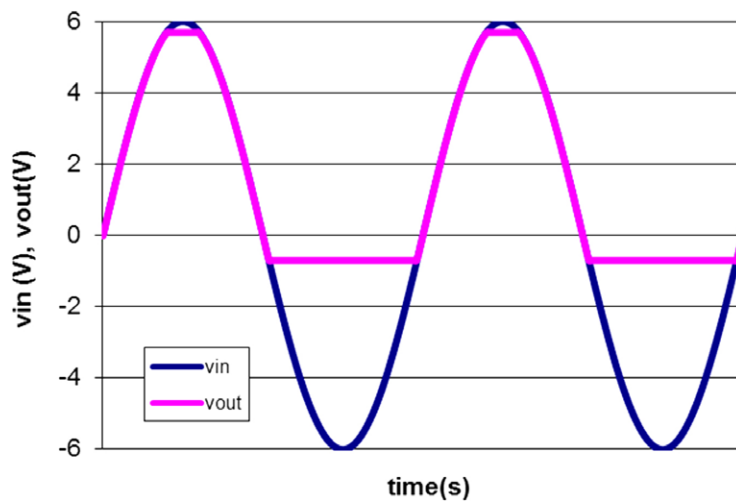
$$v_{in} = 5,7 \text{ V}$$

Transferentzia-kurba:



b) Marraztu irteerako tentsioa  $v_{in} = 6 \cdot \sin(\omega t)$  V bada. Zer zirkuitu mota da?

Zirkuitu ebakitzaillea da.



c) Erabilitako diodoek beren funtzionamendua egitura ezagun bati zor diote; zer egitura da?

pn juntura

d) Diodoen parametro fisiko eta teknologikoen balioak honako hauek dira:

$$\begin{array}{llll}
 N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3} & D_n = 30 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s} & L_n = 50 \text{ } \mu\text{m} & w_a = 200 \text{ } \mu\text{m} \\
 N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3} & D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s} & L_p = 100 \text{ } \mu\text{m} & w_c = 200 \text{ } \mu\text{m} \\
 n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} & \epsilon_{r, Si} = 11,8 & \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m} & 
 \end{array}$$

Kalkulatu potentzial termodinamikoa eta eskualde dipolarraren zabalera orekako egoeran. Norantz zabalitzen da, nagusiki, eskualde dipolarra? Zein eskualdek dauka potentzial handiena?

**Arrazoitu erantzun guztiak.**

$$\Phi_T = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right) = 0,025 \cdot \ln\left(\frac{10^{16} \cdot 10^{19}}{10^{20}}\right) = \boxed{0,863 \text{ V}}$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{rsi} \cdot \epsilon_0 = 11,8 \cdot 8,85 = 104,43 \text{ pF / m} = 104,43 \cdot 10^{-14} \text{ F / cm}$$

$$l_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_s}{q} \cdot \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right) \cdot \Phi_T} = \sqrt{\frac{2 \cdot 104,43 \cdot 10^{-14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot \left(\frac{1}{10^{16}} + \frac{1}{10^{19}}\right) \cdot \Phi_T}$$

$$\boxed{l_0 = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,336 \text{ } \mu\text{m}}$$

$N_A < N_D \rightarrow pn^+$  juntura asimetrikoa  $\rightarrow p$  eskualderantz zabaltzen da (dopaketa gutxieneko eskualderantz).

$n$  eskualdeak dauka potentzial handiena, elektroien kopurua handiagoa delako.

- e) Diodoei tentsio positibo bat, adibidez  $V_{AK} = 0,8 \text{ V}$ , aplikatzen bazaie, zer gertatuko zaio eskualde dipolarri? Eta anodoaren eta katodoaren artean agertzen den potentzial diferentziari? Kalkulatu balio berriak eta esan zein eskualdek duen potentzial handiena.

**Arrazoitu erantzun guztiak.**

*Eskualde dipolarra estutzen da, eta potentziala txikiagotzen.*

*$n$  eskualdeak dauka potentzial handiena.*

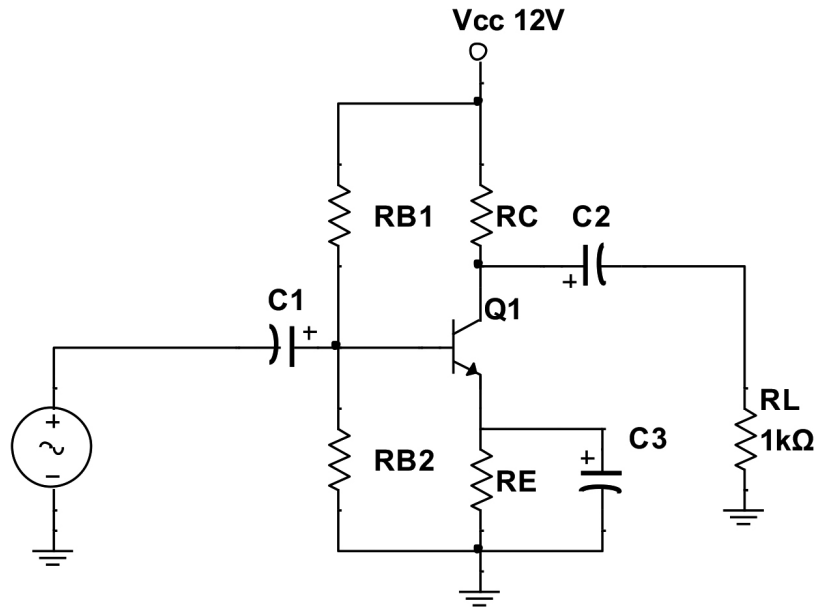
$$\Phi = \Phi_T - V_{AK} = 0,863 - 0,8 = \boxed{0,063 \text{ V}}$$

$$l = l_0 \sqrt{\frac{\Phi_T - V_{AK}}{\Phi_T}} = 3,36 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{0,863 - 0,8}{0,863}} = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = \boxed{0,09 \text{ } \mu\text{m}}$$

**IGORLE KOMUNENKO ANPLIFIKADOREA**

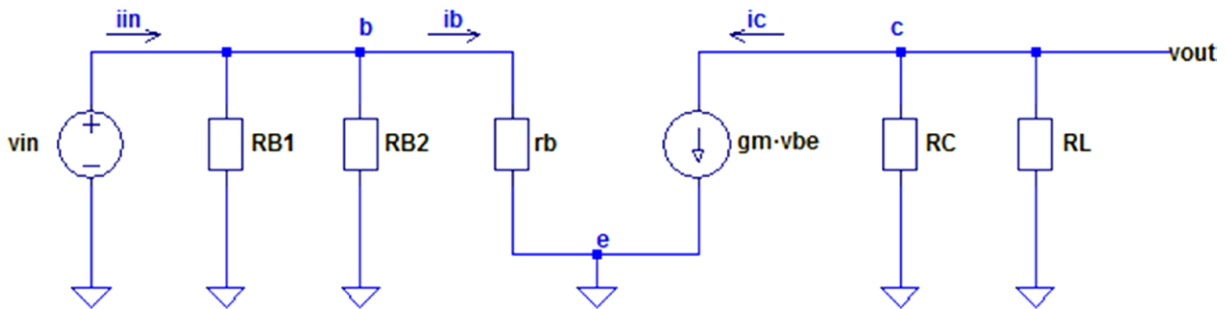
2. 2. irudiko zirkuitu anplifikatzailearen tarte dinamikoa 1,5 V-ekoa da, eta etendurak mugatzen du. Gainera, irteerako inpedantzia 1 kΩ-ekoa da, eta sarrerako inpedantzia 0,77 kΩ-ekoa. Beste datu batzuk:

$$\beta = 100 \quad V_T = 25 \text{ mV} \quad V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$



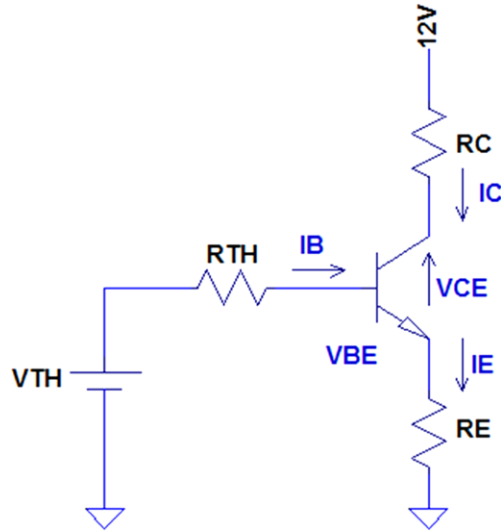
2. irudia

- a) Marraztu seinale txikiko zirkuitua.



- b) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa eta dinamikoa, zirkuituaren erresistentzien mende.

*Karga zuzen estatikoa (polarizazio-zirkuitutik):*



$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E}$$

$$\begin{cases} I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12 \text{ V} \\ V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{12}{R_C + R_E} \end{cases}$$

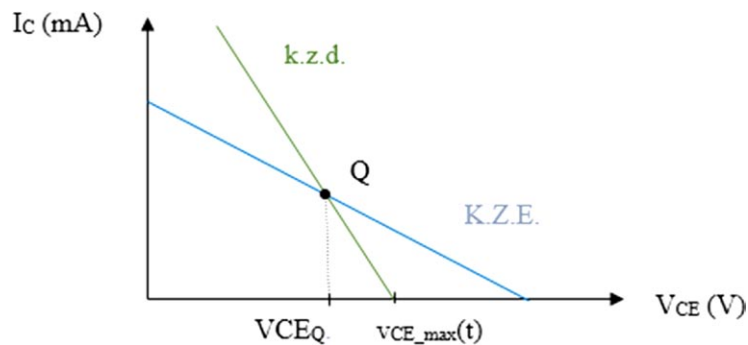
*Karga zuzen dinamikoa (seinale txikiko zirkuitutik):*

$$V_{\text{out}} = -i_c \cdot (R_C \parallel R_L) = v_{ce}$$

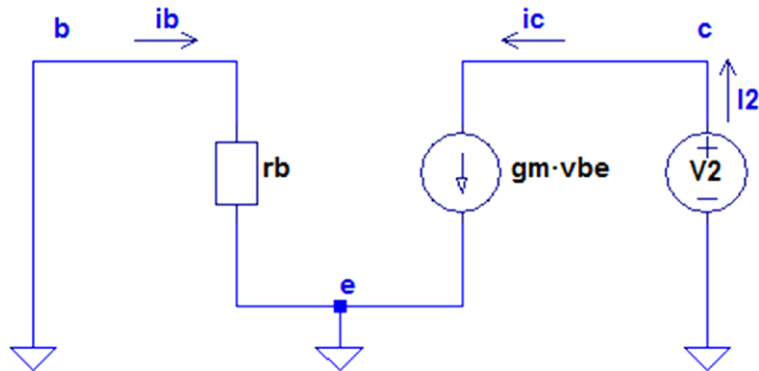
$$m_{kzd} = \frac{i_c}{v_{ce}} = -\frac{1}{(R_C \parallel R_L)}$$

$$i_C(t) - I_{C_Q} = -\frac{1}{(R_C \parallel R_L)} \cdot (v_{ce}(t) - V_{CE_Q})$$

$$i_C(t) = 0 \rightarrow v_{CE\_max}(t) = I_{C_Q} \cdot (R_C \parallel R_L) + V_{CE_Q}$$



c) Kalkulatu zirkuituaren erresistentzien balioak, egonkorra izan dadin.



- $Z_{out} = 1 \text{ K}\Omega \parallel R_C$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V2}{I2} \right|_{v_{in}=0} = \infty \rightarrow Z_{out} = \boxed{R_C = 1 \text{ K}\Omega}$$

$$I_2 = i_c = g_m \cdot v_{be} = 0$$

- *Tarte dinamikoa* = 1,5 V  $\rightarrow v_{CE\_max}(t) - V_{CEQ} = 1,5 \text{ V}$

$$v_{CE\_max}(t) = 1,5 \text{ V} + V_{CEQ}$$

$$v_{CE\_max}(t) = I_{CQ} \cdot (R_C \parallel R_L) + V_{CEQ}$$

$$1,5 = I_{CQ} \cdot (R_C \parallel R_L) = I_{CQ} \cdot \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = I_{CQ} \cdot \frac{1}{2}$$

$$I_{CQ} = \frac{1,5}{0,5} = 3 \text{ mA} \rightarrow I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{3}{100} = 0,03 \text{ mA}$$

- $Z_{in} = 0,77 \text{ K}\Omega = \frac{v_{in}}{i_{in}} = (r_b \parallel r_b) = \frac{R_{TH} \cdot r_b}{R_{TH} + r_b}$

$$0,77 R_{TH} + 0,77 r_b = R_{TH} \cdot r_b$$

$$r_b = \frac{V_T}{I_B} = \frac{0,025}{0,03} = 0,833 \text{ K}\Omega$$

$$R_{TH} = \frac{0,6414}{0,063} = 10,2 \text{ K}\Omega \approx 10 \text{ K}\Omega$$

- *Egonkortasunerako baldintza aplikatu beharra dago:*

$$\beta \cdot R_E \gg R_{TH} \rightarrow R_E \gg \frac{R_{TH}}{\beta} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ K}\Omega$$

Adibidez, 10 aldiz handiagoa:  $\boxed{R_E = 1 \text{ K}\Omega}$

- *Polarizazio-zirkuitutik:*

$$V_{TH} - R_{TH} \cdot I_B - V_{BE} - R_E \cdot I_E = 0$$

$$I_E \approx I_C$$

$$\frac{R_{B2} \cdot 12}{R_{B1} + R_{B2}} - 10 \cdot 0,03 - 0,7 - 1 \cdot 3 = 0$$

$$\frac{R_{B2} \cdot 12}{R_{B1} + R_{B2}} = 4 \rightarrow 12R_{B2} = 4R_{B1} + 4R_{B2} \rightarrow R_{B1} = 2 \cdot R_{B2}$$

$$R_{TH} = 10K\Omega = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$10R_{B1} + 10R_{B2} = R_{B1} \cdot R_{B2}$$

$$R_{B2} = 15 K\Omega \quad R_{B1} = 30 K\Omega$$

- d) Kalkulatu lan-puntua.

Aurreko atalean:  $I_{CQ} = 3 \text{ mA}$

$$V_{CE} = 12 - (R_C + R_E) \cdot I_C$$

$$V_{CE} = 6 \text{ V}$$

- e) Kalkulatu sarrerako seinalearen balio maximoa, irteeran distortsioa saihesteko.

*Sarrerako seinalearen balio maximoa kalkulatzeko, lehenengo eta behin, tentsio-irabazia kalkulatu behar dugu:*

$$\Delta v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{3}{0,025} = 120 (K\Omega)^{-1}$$

$$V_{out} = -i_c \cdot (R_C \parallel R_L) = -0,5 \cdot g_m \cdot v_{be} = -60 v_{be}$$

$$V_{in} = v_{be}$$

$$\Delta v = \frac{-60v_{be}}{v_{be}} = -60$$

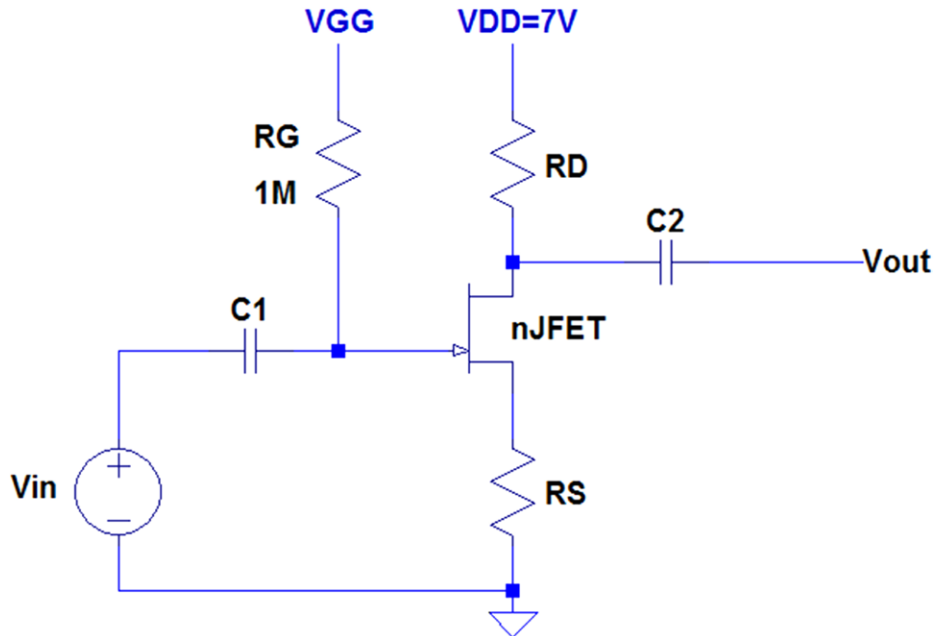
*Irteerako seinalearen balio maximoa tarte dinamikoa da (1,5 V).*

$$v_{in\_max} = \frac{v_{out\_max}}{|\Delta v|} = \frac{1,5}{60} = 0,025 \text{ V} = \boxed{25 \text{ mV}}$$



## ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. 3. irudiko zirkuituan,



3. irudia

- a) Esan zein den erabilitako transistorearen mota, eta marraztu bere transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.

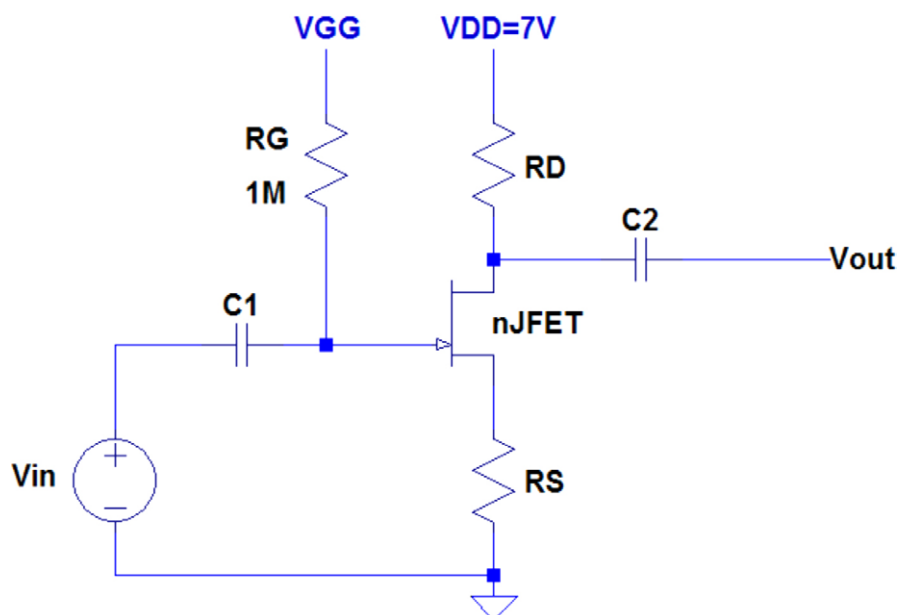
*n pasabideko urritze MOSFET bat da:  $V_T$  negatiboa eta  $I_{DSS}$  positiboa ( $V_{GS}$  negatiboa zein positiboa izan daiteke).*

- b) Dagoen transistorearen ordeztu, n pasabideko JFET bat erabili. Bere parametroak honako hauek dira:

$$|I_{DSS}| = 0,5 \text{ mA} \quad |V_T| = 1,5 \text{ V}$$

Marraztu transistore berriaren transferentzia-ezaugarria, balio esanguratsuenak adieraziz.

*n pasabideko JFETA :  $V_T$  negatiboa eta  $I_{DSS}$  positiboa ( $V_{GS}$  negatiboa)*



- c) Kalkulatu  $R_S$ ,  $R_D$  eta  $V_{GG}$ , erresistentzia bietan tentsio berdina egon dadin eta lan-puntua  $I_D = 0,2 \text{ mA}$ ,  $V_{DS} = 3 \text{ V}$  izan dadin.

Demagun JFETa asetasunean dagoela,

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{-1,5}\right)^2$$

$$0,2 = 0,5 \cdot \left(\frac{1,5 + V_{GS}}{1,5}\right)^2 = \frac{0,5}{2,25} \cdot (1,5 + V_{GS})^2$$

$$V_{GS} = \begin{cases} \boxed{-0,55 \text{ V}} \\ -2,45 \text{ V} \quad (\text{ez du balio}) \end{cases}$$

Erresistentzia bietan tentsio bera egon dadin:  $R_D = R_S$

$$V_{DD} - (R_D + R_S) \cdot I_D - V_{DS} = 0$$

$$7 - 2 \cdot R_D \cdot 0,2 - 3 = 0$$

$$\boxed{R_D = 10 \text{ K}\Omega = R_S}$$

$$V_{GG} = V_{GS} + R_S \cdot I_D = -0,55 + 10 \cdot 0,2 \rightarrow \boxed{V_{GG} = 1,45 \text{ V}}$$

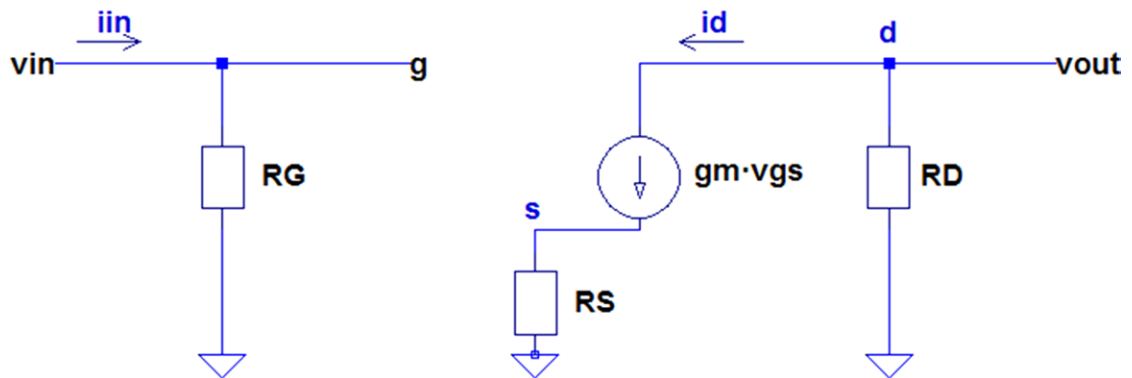
Asetasunean dagoela ziurtatzeko:  $V_{DS} \geq V_{DS_{\text{sat}}} = V_{DS} - V_T$

$$V_{DS_{\text{sat}}} = -0,55 - (-1,5) = 0,95 \text{ V}$$

$V_{DS} = 3 \text{ V} > 0,95 \text{ V} \rightarrow$  Bai, asetasunean dago

d) Kalkulatu zirkuitu amplifikatzailearen  $\Delta v$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$ .

Seinale txikiko zirkuitua:



$$g_m = \frac{2 \cdot \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D}}{|V_T|} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,5 \cdot 0,2}}{1,5} = 0,42 \text{ (K}\Omega\text{)}^{-1}$$

- $\Delta v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

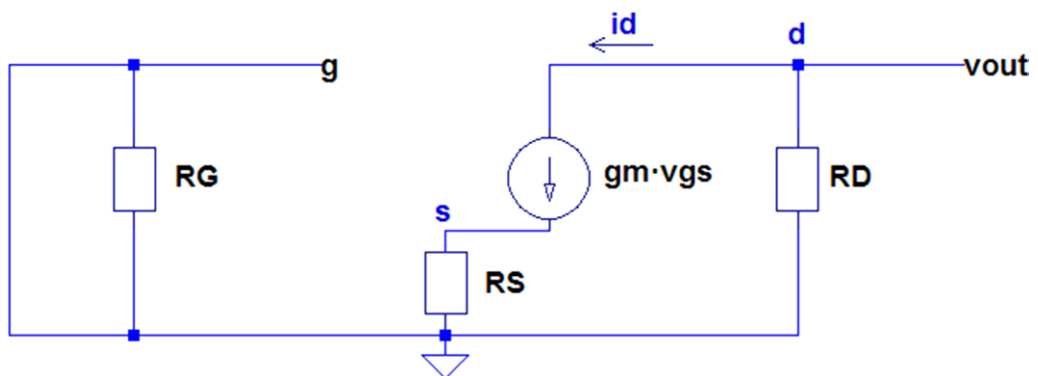
$$v_{out} = -i_d \cdot R_D = -R_D \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{in} = -i_{in} \cdot R_G \neq v_{gs} = v_g - v_s = v_{in} - R_S \cdot g_m \cdot v_{gs}$$

$$v_{in} = v_{gs} \cdot (1 + R_S \cdot g_m)$$

$$\Delta v = \frac{R_D \cdot g_m}{(1 + R_S \cdot g_m)} = -\frac{10 \cdot 0,42}{(1 - 10 \cdot 0,42)} \rightarrow \boxed{\Delta v = -0,81}$$

- $Z_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_G = \boxed{1 \text{ M}\Omega}$



- $Z_{out} = Z'_{out} \parallel R_D$   
 $Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_m=0} = \infty \rightarrow Z_{out} = \boxed{R_D = 10\text{ K}\Omega}$   
 $I_2 = i_d = g_m \cdot v_{gs} = 0$   
 $v_{gs} = -i_d \cdot R_S \rightarrow i_d = -\frac{v_{gs}}{R_S}$   
 $g_m \cdot v_{gs} = -\frac{v_{gs}}{R_S} \rightarrow \begin{cases} g_m = -\frac{1}{R_S} \text{ (ez da betetzen)} \\ \boxed{v_{gs} = 0} \end{cases}$

e) Kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa eta dinamikoa, irteerako ezaugarrietan. Zein eskualdek mugatzen du tarte dinamikoa?

*Karga zuzen estatikoa (polarizazio-zirkuitutik):*

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S} = \frac{7 - V_{DS}}{20} \rightarrow m_{KZE} = -\frac{1}{R_D + R_S}$$

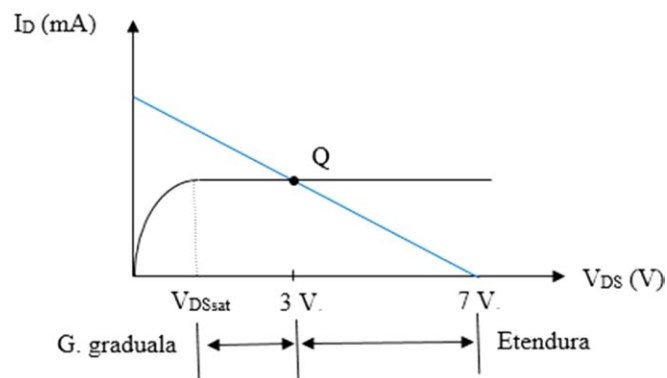
$$\begin{cases} I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = V_{DD} = 7\text{ V} \\ V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = \frac{7}{20} = 0,35\text{ mA} \end{cases}$$

*Karga zuzen dinamikoa (seinale txikiko zirkuitutik):*

$$m_{kzd} = \frac{i_d}{v_{ds}}$$

$$v_{ds} = v_{out} - v_s = -i_d \cdot R_D - i_d \cdot R_S = -i_d \cdot (R_D + R_S)$$

$$\frac{i_d}{v_{ds}} = -\frac{1}{(R_D + R_S)} \rightarrow \boxed{m_{kzd} = m_{KZE}}$$



*Gune gradualak mugatzen du tarte dinamikoa.*

- f) Zirkuitu horrek asetasunean lan egitea bermatzen du? **Arrazoitu erantzuna.**

*Zirkuitu mota honek ez du bermatzen asetasunean lan egitea. Erresistentzien eta aplikatutako tentsioen arabera, langunea alda daiteke. Horregatik, c) atalean egiaztatu egin da asetasunean dagoela.*

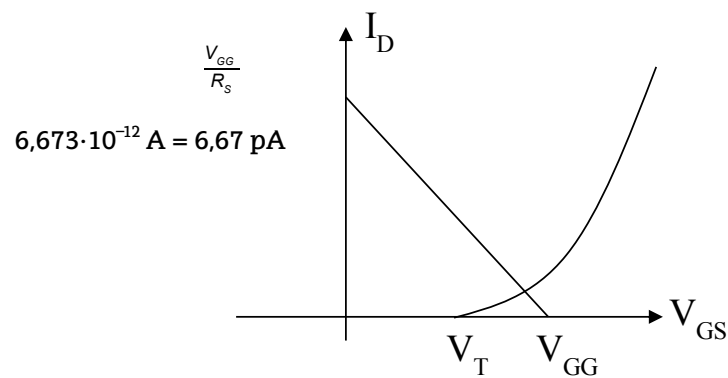
- g)  $N$  pasabideko ugaltze MOSFET bat polarizatzeko baliagarria da? **Arrazoitu erantzuna.**

Bai,  $V_{GG} > V_T$  bada.

Polarizazio zuzena kalkulatzuz,

$$V_{GS} = V_{GG} - R_S \cdot I_D \quad \rightarrow \quad I_D = \frac{V_{GG} - V_{GS}}{R_S}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_D = 0 \quad \rightarrow \quad V_{GS} = V_{GG} \\ V_{GS} = 0 \quad \rightarrow \quad I_D = \frac{V_{GG}}{R_S} \end{array} \right.$$



## 2017ko ekaina

### Teoria

Alderantziz polarizatuta dagoen diodo batean zehar,

- a) blokeo-korronte inbertsoa igarotzen da.
- b) asetasun-korronte inbertsoa igarotzen da.**
- c) haustura-korronte inbertsoa igarotzen da.

Zein transistore mota dira tentsioak kontrolatutako gailuak?

- a) JFETak eta MOSFETak.**
- b) JFETak eta BJTak.
- c) MOSFETak eta BJTak.

P motako silizioan, zelan deritze eramaile ugarienei?

- a) Hutsune.**
- b) Elektroi.
- c) Ioi negatibo.

PNP transistore batek asetasunean lan egin dezan,

- a) EB eta CB junturak zuzenki polarizatu behar ditugu.**
- b) EB juntura zuzenki eta CB juntura alderantziz polarizatu behar ditugu.
- c) EB juntura alderantziz eta CB juntura zuzenki polarizatu behar ditugu.

Zein diodo motak lan egin ohi du erreguladore gisa?

- a) Diodo artezlea.
- b) Zener diodoa.**
- c) LED diodoa.

Kolektore komuneko konfigurazioan, zirkuituko irteera:

- a) kolektorean kokatzen da.
- b) igorlean kokatzen da.**
- c) basean kokatzen da.

FET transistore bat, amplifikadore gisa lan egin dezan,

- a) gune aktiboan polarizatuta egon behar da.
- b) asetsunean polarizatuta egon behar da.**
- c) gune gradualean polarizatuta egon behar da.

MOSFET ideal batean,

- a)  $V_G$  edozein izanda ere, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.**
- b)  $V_G < V_\gamma$  bada, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.
- c)  $V_G = 0$  bada, atearen eta substratuaren artean ez dago korronterik.

Zein dira kolektore komuneko egituran lan egiten duen BJT batean oinarritutako amplifikadore baten ezaugarriak?

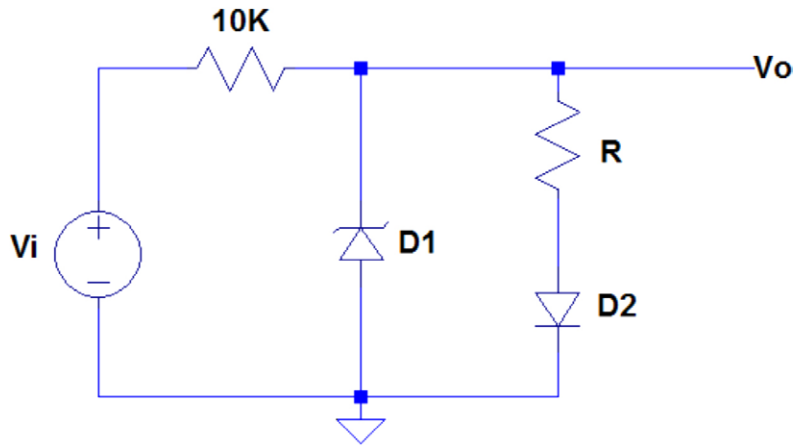
- a)  $A_V - 1$ ,  $Z_{in}$  altua,  $Z_{out}$  baxua.**
- b)  $A_V < 1$ ,  $Z_{in}$  baxua,  $Z_{out}$  altua.
- c)  $A_V \gg 1$ ,  $Z_{in}$  altua,  $Z_{out}$  baxua.

Seinale txikiko erregimenean, gune aktiboan polarizatutako BJT batentzat:

- a) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioa erregimen estatikoan dagoenaren berdina da.
- b) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioak gora egiten du maiztasunarekin.
- c) Kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioa erregimen estatikoan dagoenaren berdina da, maiztasun baxuetan lan eginez gero.**

**ZIRKUITU DIODODUNA**

1. 1. irudiko zirkuituan, diodo biek daukaten ukondoko tentsioa  $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$  da. Gainera, ZENER diodoak tentsioa  $3,5 \text{ V}$ -etara finkatzen du, bere korronea  $I_{Z, \min} = 0$ -tik  $I_{Z, \max}$ -ra doan tartean dagoenean.

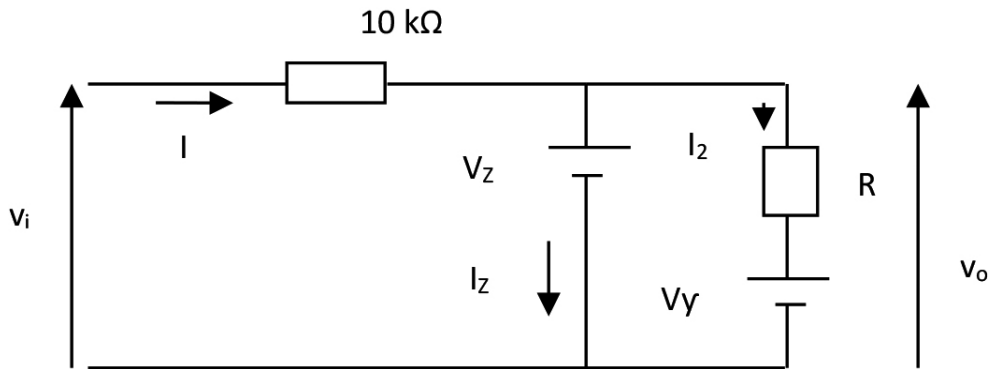


1. irudia

- a)  $v_i = 10 \text{ V}$  izanda, kalkulatu  $R$  erresistentziaren balio minimoa ZENER diodoak hausturan lan egin dezan eta diodo arrunta zuzenean polarizatuta egon dadin.

$$\left. \begin{array}{l} R_{\min} \text{ ???? D1 HAUST.} \\ \text{D2 ON} \end{array} \right\} v_i = 10 \text{ V}$$

Egoera honetan, zirkuitu baliokidea:



$$v_i - V_Z = 10 I$$

$$I = I_Z + I_2$$

$$V_Z - V_\gamma = R I_2$$

$$I_{Z, \min} = 0 \quad I = I_2 = \frac{v_i - V_Z}{10} = 0,65 \text{ mA} \quad R_{\min} = \frac{V_Z - V_\gamma}{I_2}$$

$$R_{\min} = 4,31 \text{ k}\Omega$$



- b) Kalkulatu eta marraztu transferentzia-kurba, sarrerako tentsioa  $-12\text{ V} < v_i < 12\text{ V}$  tartean badago eta  $R = 5\text{ k}\Omega$  izanda.

$$-12\text{ V} \leq v_i \leq 12\text{ V} \quad R = 5\text{ k}\Omega$$

*Egoera posibleak:*

$$v_i \leq -0,7\text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1\text{ ON} \\ D2\text{ OFF} \end{array} \right\} \boxed{v_o = -V_\gamma = -0,7\text{ V}}$$

$$-0,7\text{ V} \leq v_i \leq 0,7\text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1\text{ OFF} \\ D2\text{ OFF} \end{array} \right\} \boxed{v_o = v_i}$$

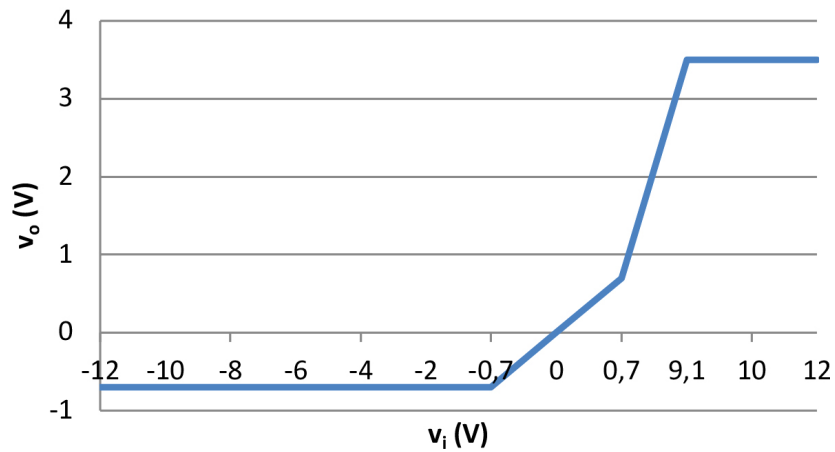
*Noiz konmutatzen du  $D_1$  diodoak????*  $v_i = -0,7\text{ V}$

$$0,7\text{ V} \leq v_i \leq 9,1\text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1\text{ OFF} \\ D2\text{ ON} \end{array} \right\} \boxed{v_o = \frac{v_i + 1,4}{3}}$$

*Noiz konmutatzen du  $D_2$  diodoak????*  $v_i = 9,1\text{ V}$

$$v_i \geq 9,1\text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1\text{ RUPTURA} \\ D2\text{ ON} \end{array} \right\} \boxed{v_o = V_Z = 3,5\text{ V}}$$

*Noiz konmutatzen du  $D_1$  diodoak????*  $v_i = 9,1\text{ V}$

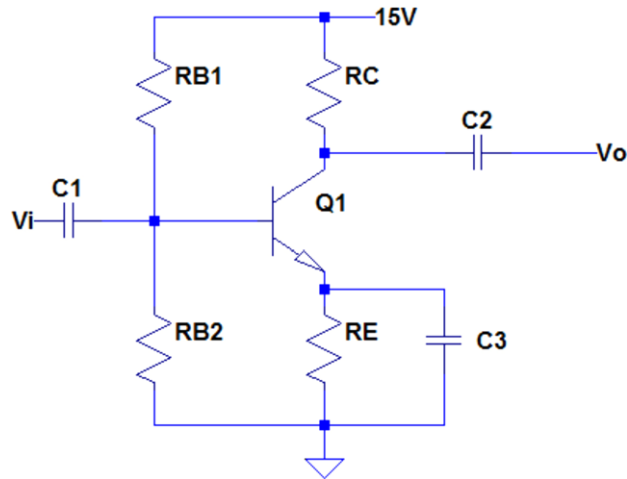


**IGORLE KOMUNENKO ANPLIFIKADOREA**

2. 2. irudiko zirkuituan, honako neurketa hauek egin dira:

$$\Delta V = -184 \quad I_C = 0,118 \text{ mA} \quad Z_{in} = 12 \text{ k}\Omega$$

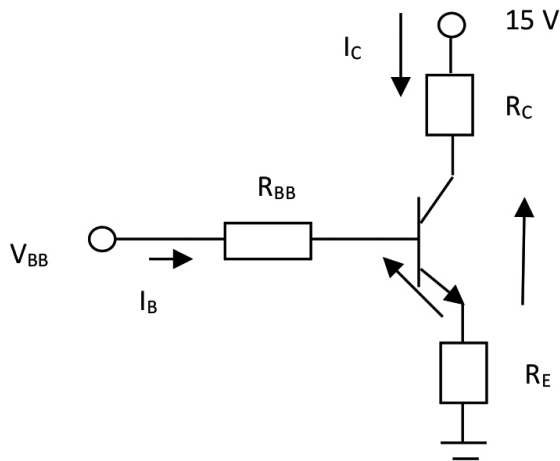
Gainera:  $\beta = 100$  eta  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$



2. irudia

a) Kalkulatu zirkuituko erresistentzia guztien balioak.

*Polarizazio-zirkuitua:*

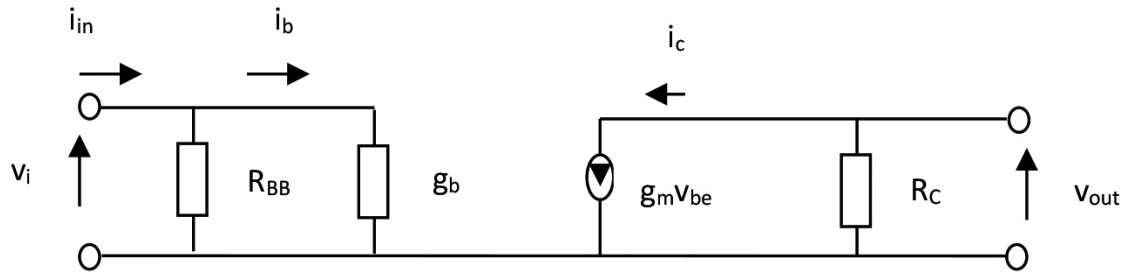


$$\left. \begin{aligned} R_{BB} &= R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \\ V_{BB} &= R_{B2} \frac{15}{R_{B1} + R_{B2}} \end{aligned} \right\}$$

$$V_{BB} - V_{BE} = R_{BB} I_B + R_E (I_B + I_C)$$

$$15 - V_{CE} = R_C I_C + R_E (I_B + I_C)$$

Seinale txikiko zirkuitua:



$$A_V = \frac{v_{out}}{v_i}$$

$$v_{out} = -R_C i_c = -R_C g_m v_{be}$$

$$v_i = v_{be}$$

$$A_V = -R_C g_m = -184$$

$$R_C = 38,98 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_{in}} = \frac{v_i}{\left(\frac{1}{R_{BB}} + g_b\right)v_i} = 12 \text{ k}\Omega$$

$$i_{in} = \frac{v_i}{R_{BB}} + i_b = \frac{v_i}{R_{BB}} + g_b v_i = \left(\frac{1}{R_{BB}} + g_b\right)v_i$$

$$\left(\frac{1}{R_{BB}} + g_b\right) = \frac{1}{12}$$

$$R_{BB} = 27,68 \text{ k}\Omega$$

Egonkortasunerako baldintza erabiliz:

$$\frac{R_{BB}}{R_E} \ll \beta \quad \beta = 10 \frac{R_{BB}}{R_E}$$

$$R_E = 10 \frac{R_{BB}}{\beta}$$

$$R_E = 2,77 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = V_{BE} + R_{BB} I_B + R_E (1 + \beta) I_B$$

$$V_{BB} = V_{BE} + [R_{BB} + R_E (1 + \beta)] I_B$$

$$V_{BB} = 1,06 \text{ V}$$

$$R_{BB} = R_{B1} \frac{V_{BB}}{15}$$

$$R_{B1} = \frac{15 R_{BB}}{V_{BB}}$$

$$R_{B1} = 391,7 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} R_{B1} + V_{BB} R_{B2} = 15 R_{B2}$$

$$R_{B2} = 29,78 \text{ k}\Omega$$

BJTa gune aktiboan polarizatuta dagoela ziurtatzen dugu:

$$V_{CE} = 15 - R_C I_C - R_E \left( \frac{1+\beta}{\beta} \right) I_C \quad V_{CE} = 10,07 \text{ V}$$

b) Zenbatekoa da tarte dinamikoa?

*Polarizazio-zirkuitutik, karga zuzen estatikoa aterako dugu:*

$$I_C = \frac{15 - V_{CE}}{R_C + R_E \left( \frac{1+\beta}{\beta} \right)}$$

*Seinale txikiko zirkuitutik, karga zuzen dinamikoa aterako dugu:*

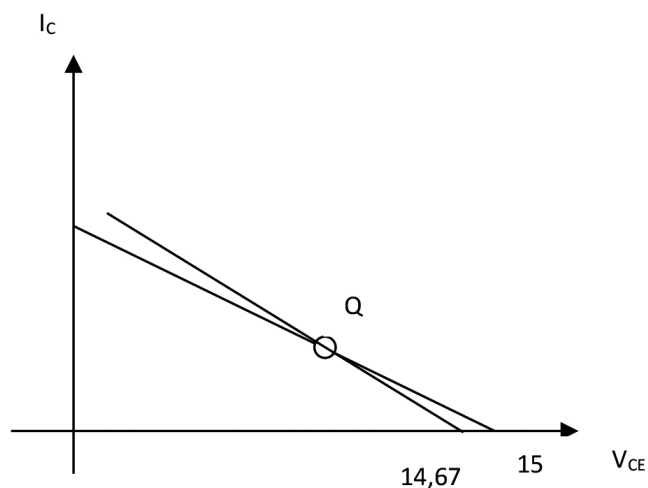
$$v_{out} = v_{ce} = -R_C i_c \quad i_c = -\frac{v_{ce}}{R_C}$$

$$i_c - I_{CQ} = -\frac{1}{R_C} [v_{CE} - V_{CEQ}]$$

$$i_c(t) = 0 \quad R_C I_{CQ} + V_{CEQ} = v_{CE}(t)$$

$$4,6 + 10,07 = v_{CE}(t)$$

*Tarte dinamiko 4,6 V-ekoa da, eta etendurak mugatzen du.*



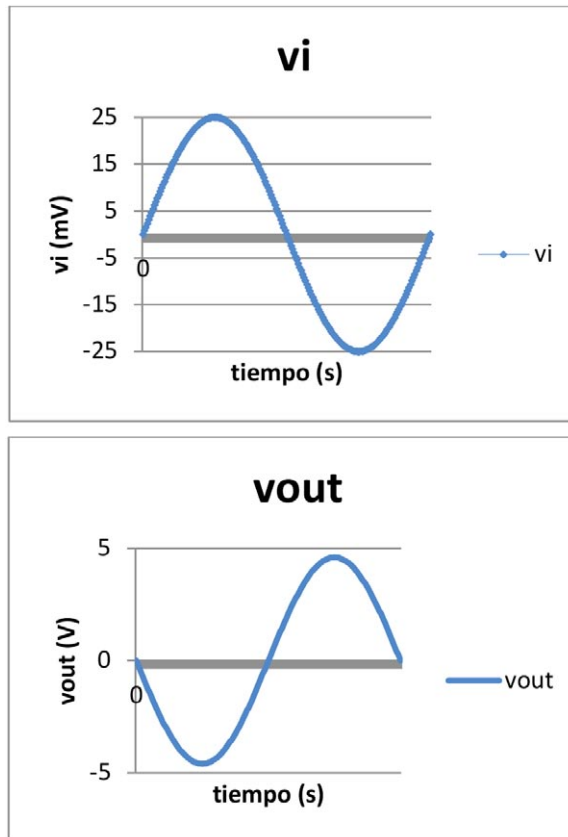
c) Kalkulatu  $v_i$  tentsioaren balio maximoa ( $v_{i,max}$ ), irteeran distorsiorik izan ez dadin.

$$v_{out,max} = v_{ce,max} = 4,6 \text{ V}$$

$$v_{i,max} = \frac{v_{out,max}}{A_V}$$

$$v_{i,max} = 25 \text{ mV}_P$$

d) Marraztu, grafiko berean,  $v_{i,max}$  eta  $v_{o,max}$ .



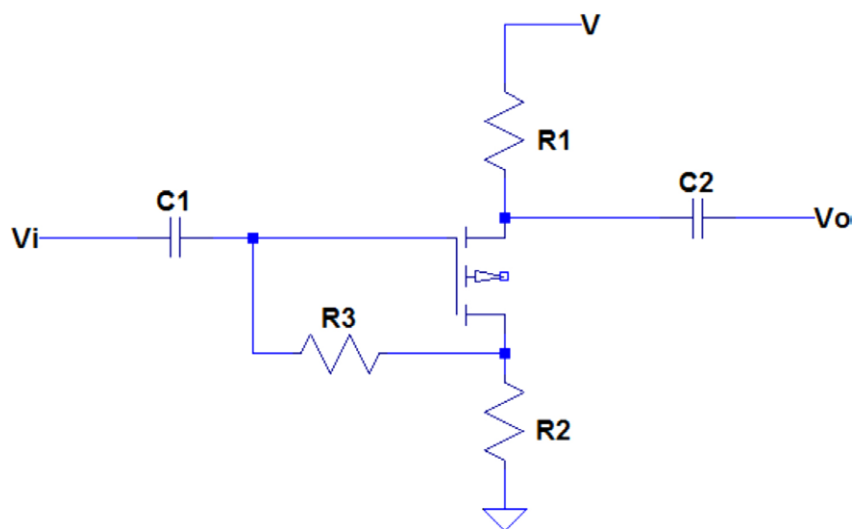
**DRAIN KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

3. 3. irudiko anplifikadorean, FET transistorea honako parametro hauek ditu:

$$|I_{DSS}| = 230 \text{ mA} \quad |V_T| = 3 \text{ V}$$

Gainera, ezagunak dira honako datu hauek:

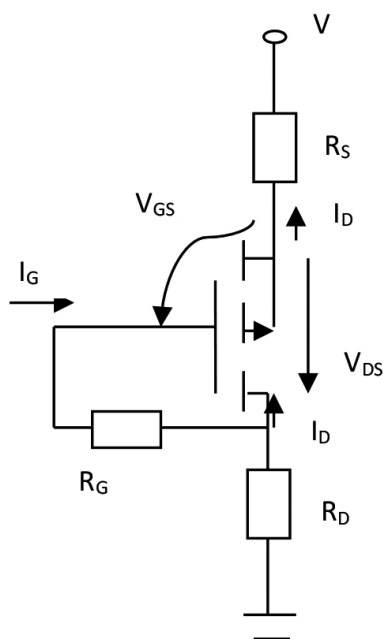
$$V = 24 \text{ V} \quad R_1 = 150 \text{ } \Omega \quad R_2 = 180 \text{ } \Omega \quad R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega$$



3. irudia

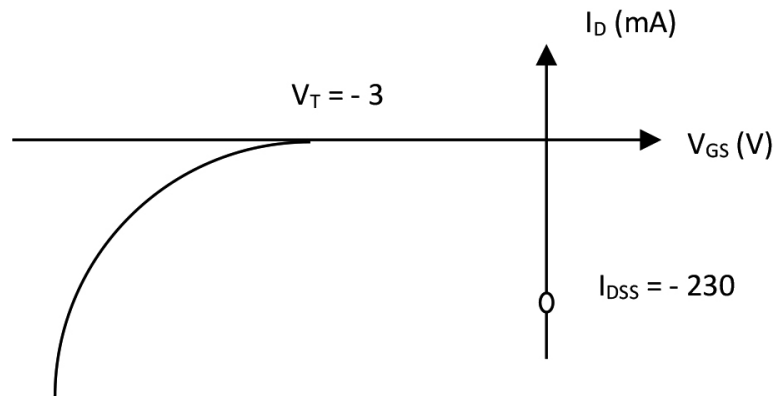
a) Osatu FET transistorea egoki polarizatuta egon dadin, draina, iturria eta ateko terminalak ondo adieraziz. Zein motatakoa da FETa?

*p pasabideko ugaltze MOSFET bat da*



b) Marraztu FETaren sarrerako eta irteerako ezaugarriak, balio esanguratsuenak adieraziz.

*Transferentzia-ezaugarria:*



*Irteerako ezaugarrietan:  $I_D$  eta  $V_{DS}$  negatiboak.*

c) Kalkulatu lan-puntua.

*Demagun MOSFETa asetasunean dagoela:*

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

$$I_D = -230 \left( 1 + \frac{V_{GS}}{3} \right)^2$$

$$I_D = -\frac{230}{9} (3 + V_{GS})^2$$

$$\left. \begin{aligned} 24 + V_{GS} &= -(R_S + R_D)I_D & I_D &= -\frac{24 + V_{GS}}{0,33} \\ 75,9V_{GS}^2 + 446,4V_{GS} + 467,1 &= 0 & V_{GS} &= \cancel{1,36V} \end{aligned} \right\}$$

$$\boxed{V_{GS} = -4,52V}$$

$$\boxed{I_D = -59,03mA}$$

$$24 + V_{DS} = -(R_S + R_D)I_D$$

$$\boxed{V_{DS} = V_{GS} = -4,52V}$$

*Asetasunean dagoela ziurtatuko dugu,*

$$|V_{DS}| \geq |V_{D,SAT} = V_{GS} - V_T|$$

$$4,52 \geq |-4,52 + 3| \quad \text{BAI}$$

d) Zirkuitu honek asetasunean lan egitea ziurtatzen du? Arrazoitu erantzuna.

*Asetasunean lan egiten duela ziurtatzeko:*

$$|V_{DS}| \geq |V_{D,SAT} = V_{GS} - V_T|$$

$$|-(R_S + R_D)I_D - 24| \geq |-(R_S + R_D)I_D - 24 - V_T|$$

*Aurreko baldintza beti beteko da.*

e) Zirkuitu hau baliagarria al da beste FET mota bat polarizatzeko?

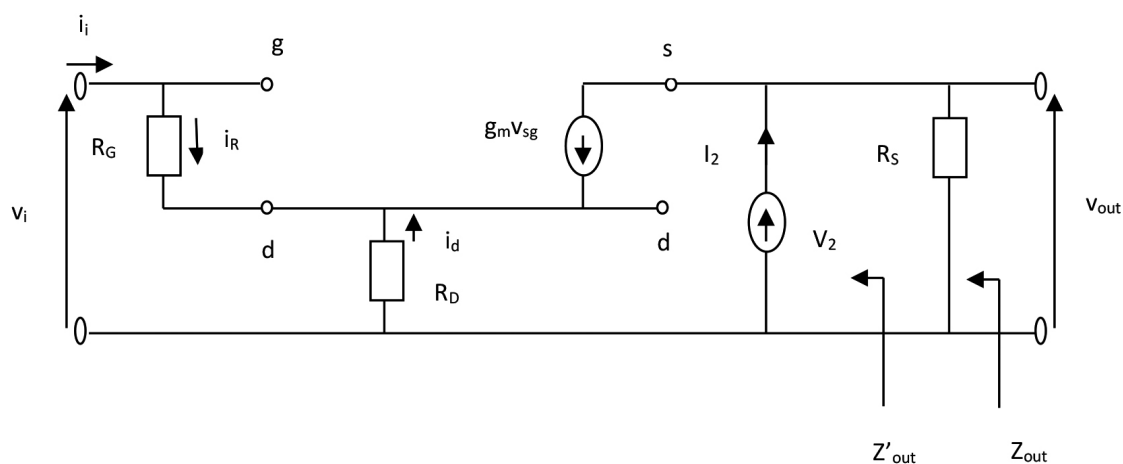
*Polarizazio-zuzena kalkulatu dugu, transferentzia-ezaugarrian marrazteko:*

$$-I_D = \frac{24 + V_{GS}}{R_S + R_D} = \frac{24 - (-V_{GS})}{R_S + R_D}$$

*P pasabideko urritze bat polarizatzeko:  $|I_{DSS}| > \text{lordenada en el origen} = 72,76 \text{ mA}$ . Beraz,  $V_{GS} > 0$  izan beharko litzateke, eta, zirkuitu honetan ezinezkoa da.*

f) Kalkulatu tentsio-irabazia, sarrerako inpedantzia eta irteerako inpedantzia.

*Seinale txikiko zirkuitua:*



$$A_V \equiv \frac{v_{out}}{v_i}$$

$$v_{out} = -R_S g_m v_{sg} = -R_S g_m (v_s - v_g)$$

$$v_{out} = -R_S g_m (v_{out} - v_i)$$

$$\frac{v_{out}}{v_i} = \frac{R_S g_m}{1 + R_S g_m}$$

$$g_m \equiv \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_D I_{DSS}} = 77,68 \text{ (k}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$A_V \equiv 0,921$$



$$Z_{in} \equiv \frac{v_i}{i_i}$$

$$v_i = v_g = v_{gd} + v_d = R_G i_i - R_D i_d \quad i_i + i_d = -g_m v_{sg} \quad i_d = -g_m v_{sg} - i_i$$

$$v_i = R_G i_i + R_D (i_i + g_m v_{sg}) = (R_G + R_D) i_i + R_D g_m v_{sg}$$

$$v_{sg} = v_s - v_g = v_{out} - v_i = (A_V - 1) v_i$$

$$v_i = (R_G + R_D) i_i + R_D g_m (A_V - 1) v_i$$

$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_i} = \frac{R_G + R_D}{1 - R_D g_m (A_V - 1)} \quad \boxed{Z_{in} = 1,13 \text{ k}\Omega}$$

$$Z_{out} = Z_{out} // R_S$$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_i=0} = \frac{1}{g_m}$$

$$I_2 = i_s = g_m v_{sg} = g_m (v_s - v_g) = g_m V_2$$

$$Z_{out} = \frac{1}{g_m} // R_S = \frac{R_S}{1 + R_S g_m} \quad \boxed{Z_{out} = 11,9 \Omega}$$

## 2017ko maiatza

### Teoria

Oreka termodinamikoan dagoen PN juntura batean, zein eskualdek dauka potentzial handiena?

- a) P eskualdeak.
- b) Junturak.
- c) **N eskualdeak.**

PN juntura alderantziz polarizatzean, potentzial-langa...

- a) **... handitzen da.**
- b) ... txikitzen da.
- c) ... aplikatutako tentsioaren menpe dago.

Adierazpen hauetako bat zuzena da; zein?

- a) Schottky diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.
- b) **LED diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.**
- c) Zener diodo baten ukondoko tentsioa,  $V_\gamma$ , diodo arruntena baino handiagoa da.

Zergatik esaten da BJTa bipolarra dela?

- a) Bi juntura dituelako.
- b) Erdieroale mota biz osatuta dagoelako.
- c) **Eramaile mota biek eroapenean parte hartzen dutelako.**

Igorle komuneko egituran, pnp motako transistore bipolar bateko sarrerako ezaugarrietan...

- ... baseko korrontea ( $-I_B$ ) eta  $V_{BE}$  tentsioa erlazionatzen dira.
- ... baseko korrontea ( $I_B$ ) eta  $V_{EB}$  tentsioa erlazionatzen dira.
- ... **baseko korrontea ( $-I_B$ ) eta  $V_{EB}$  tentsioa erlazionatzen dira.**

Transistore bipolar batean, irteerako ezaugarri-kurben errealek dauzkaten idealarekiko desbideratzeak:

- Early efektuari zor zaizkio.
- Early efektuari eta  $\beta$  parametroaren  $I_c$ -rekiko menpekotasunari zor zaizkie.**
- $\beta$  parametroaren  $I_c$ -rekiko menpekotasunari zor zaizkio.

Gailu elektronikoko batean, noiz lortzen da tarte dinamikorik handiena?

- Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen dinamikokoaren erdian kokatzen denean.
- Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen estatikoaren erdian kokatzen denean.
- Lan-puntua ( $Q$ ) karga zuzen dinamikokoaren erdian kokatzen denean, eta, gainera, karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoa bat datozenean.**

P pasabideko MOSFET batean, pasabidea dago...

- ... ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino handiagoa denean.
- ... **ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino txikiagoa denean.**
- ... ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino handiagoa denean ugaltze MOSFETentzat, eta ateko tentsioa ( $V_G$ ) atariko tentsioa ( $V_T$ ) baino txikiagoa denean urritze MOSFETentzat.

$V_G$  konstante izanda,  $V_D$  aldatzen bada, nondik hasten da pasabidearen itotzea?

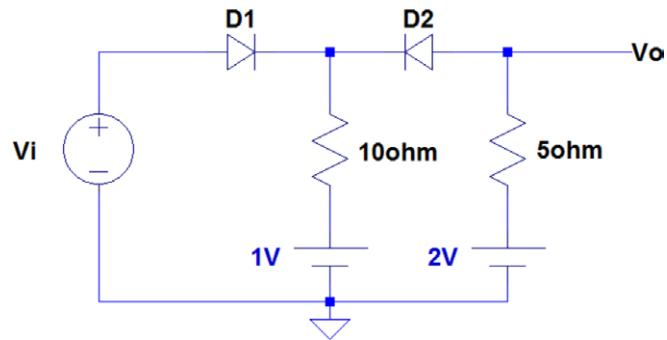
- Drainaren aldetik.**
- Iturriaren aldetik.
- Atearen aldetik.

JFET batean, nola kontrolatzen da pasabidearen zabalera?

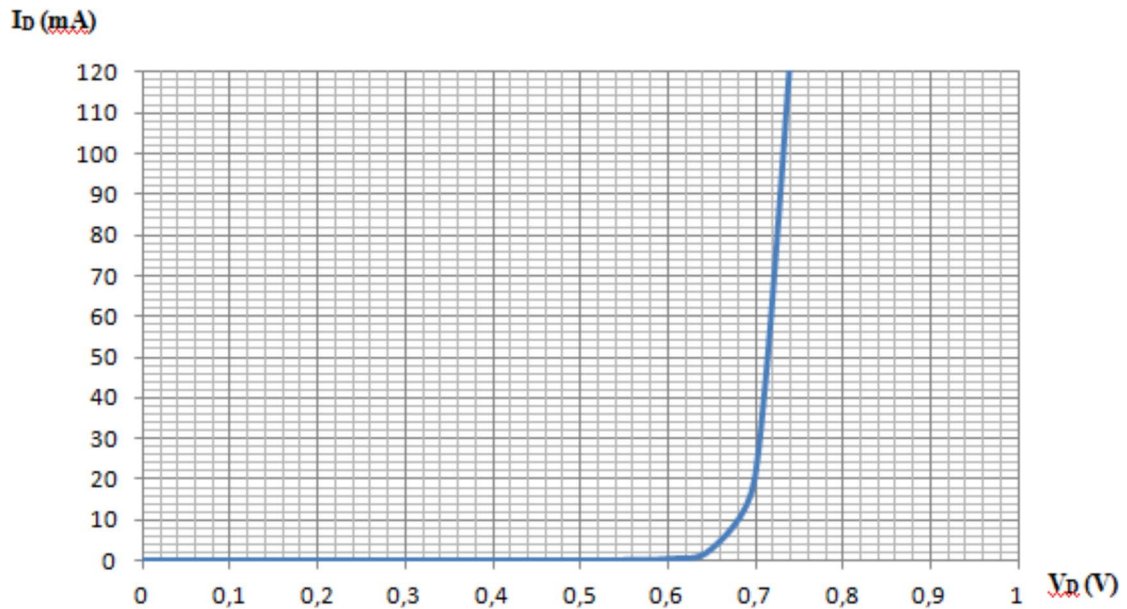
- Ateko junturak zuzenean polarizatuz.
- P pasabideko JFETetan ateko junturak zuzenean polarizatuz, eta, N pasabideko JFETetan ateko junturak alderantziz polarizatuz.
- Ateko junturak alderantziz polarizatuz.**

ZIRKUITU DIODODUNA

1.



1. irudia



2. irudia

a) 1. irudiko diodoak berdinak dira, eta 2. irudiko ezaugarri-kurba daukate. Kalkulatu eta marraztu zirkuituaren transferentzia-kurba, egokiagoa den seinale handiko eredu erabiliz.

*Diodoaren ezaugarri-kurbatik, zuzen bat marraztuz,  $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$  ateratzen da, gutxi gorabehera.*

*Egoera posibleak:*

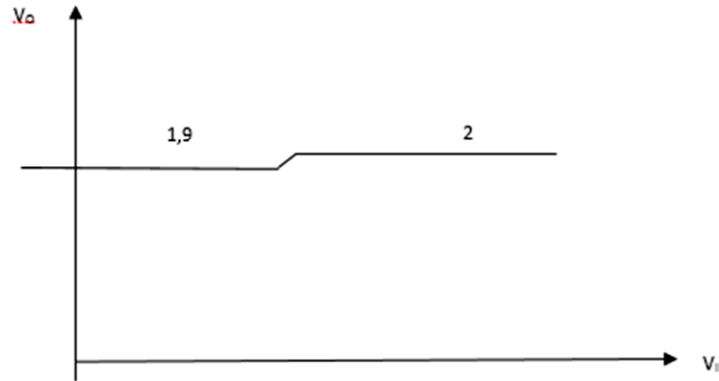
$$v_i \leq 1,9 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ OFF} \\ D2 \text{ ON} \end{array} \right\} \boxed{v_o = 1,9 \text{ V}}$$

$$1,9 \text{ V} \leq v_i \leq 2 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ ON} \\ D2 \text{ ON} \end{array} \right\} \boxed{v_o = v_i}$$

Noiz konmutatzen du  $D_1$  diodoak?  $v_i = 1,9 \text{ V}$

$$v_i \geq 2 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ ON} \\ D2 \text{ OFF} \end{array} \right\} \boxed{v_o = 2 \text{ V}}$$

Noiz konmutatzen du  $D_2$  diodoak?  $v_i = 2 \text{ V}$

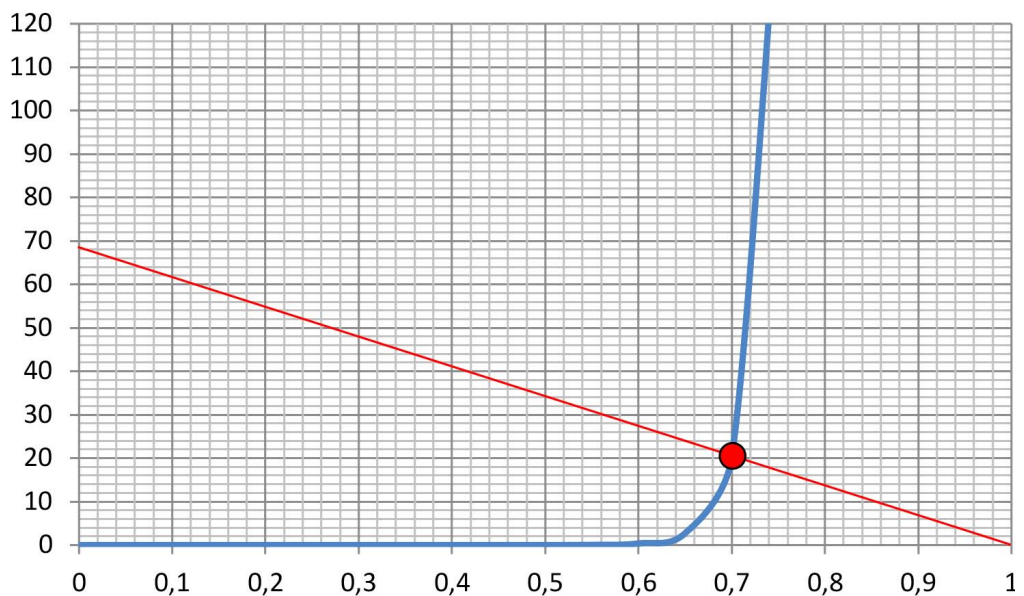


- b) Demagun  $D_1$  diodoa alderantziz polarizatuta dagoela eta  $D_2$  diodoa zuzenean polarizatuta dagoela; kalkulatu egoera honi dagokion karga zuzen estatikoa, eta kokatu karga zuzenaren gainean  $D_2$  diodoaren lan-puntua.

$$\left. \begin{array}{l} D1 \text{ OFF} \\ D2 \text{ ON} \end{array} \right\} I_D = \frac{1 - V_D}{15}$$

karga zuzen estatikoaren ekuazioa, 2. irudiko ezaugarri-kurban gainjartzen dena. Bien arteko ebaketa-puntua  $D_2$  diodoaren lan-puntua izango da.

$I_D$  (mA)



c) Zenbatekoa da diodoen asetasun-korrontea,  $I_{SAT}$ ?

$D_2$  diodoaren lan-puntutik abiatuta,  $I_D = 20 \text{ mA}$ ,  $V_D = 0,7 \text{ V}$ .

Shockley-ren ekuazioa erabiliz:

$$I_D = I_{sat} \left( \exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right)$$

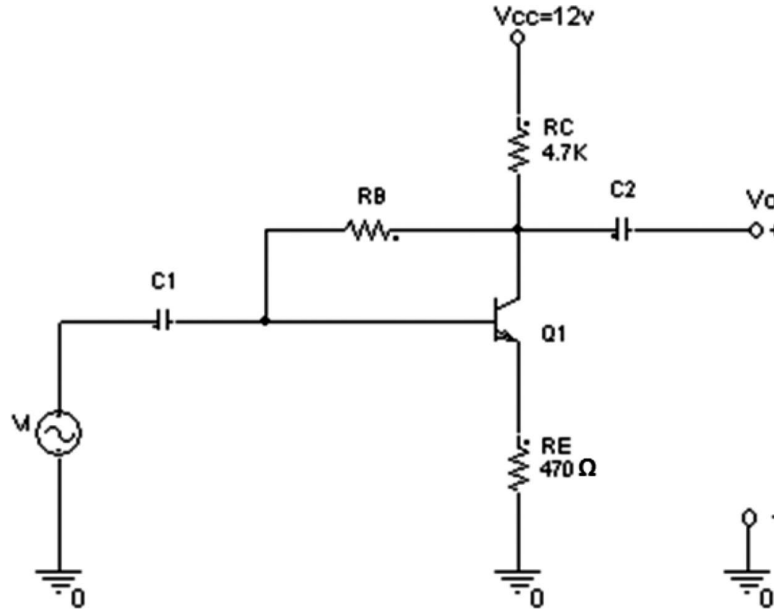
$I_{SAT}$  bakantzen da:

$I_{sat} = 1,38 \cdot 10^{-14} \text{ A}$
---

**IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

2. 3. irudiko zirkuituko transistoreak honako datu hauek ditu:

$$I_{ES} = 6 \cdot 10^{-15} \text{ A} \quad I_{CS} = 1,8 \cdot 10^{-14} \text{ A} \quad \alpha_R = 0,3311 \quad C = \infty$$



3. irudia

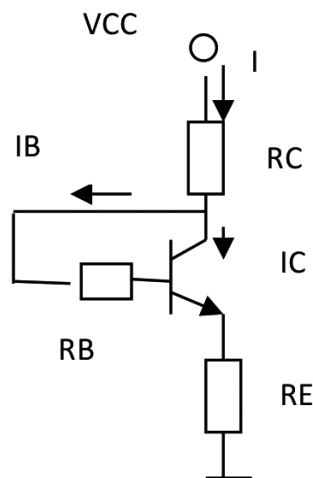
Gainera, kolektoreko korronea neurtu egin da:  $I_C = 1 \text{ mA}$ . Kalkulatu:

a)  $V_{BE}$

$I_C$  korronterako Ebers-Moll-en ekuazioa:

$$I_C = \alpha_F \cdot I_{ES} \left( \exp \frac{V_{BE}}{V_T} - 1 \right) - I_{CS} \left( \exp \frac{V_{BC}}{V_T} - 1 \right)$$

*BJTaren langunea ezagutu behar da. Horretarako, zirkuitutik, polarizazio-zirkuitua aterako dugu, eta  $V_{CE}$  kalkulatuko dugu:*



$$I = I_C + I_B = \frac{\beta + 1}{\beta} I_C$$

$$12 - V_{CE} = (R_C + R_E)I$$

$$V_{CE} = 12 - (R_C + R_E) \frac{\beta + 1}{\beta} I_C$$

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS} \quad \alpha_F = 0,9933 \quad \beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} = 148,25$$

Beraz,  $V_{CE} = 6,8 \text{ V}$ , eta BJTa gune aktiboan polarizatuta dago. Hau da,  $V_{BC} \leq 0$ :

$$I_C = \alpha_F \cdot I_{ES} \left( \exp \frac{V_{BE}}{V_T} - 1 \right) + I_{CS}$$

Eta  $V_{BE}$  bakanduz:  $V_{BE} = 646,1 \text{ mV}$

$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \rightarrow V_{CB} = 6,15 \text{ V} \rightarrow$  BJTa gune aktiboan dagoela ziurtatzen da.

b)  $R_B$

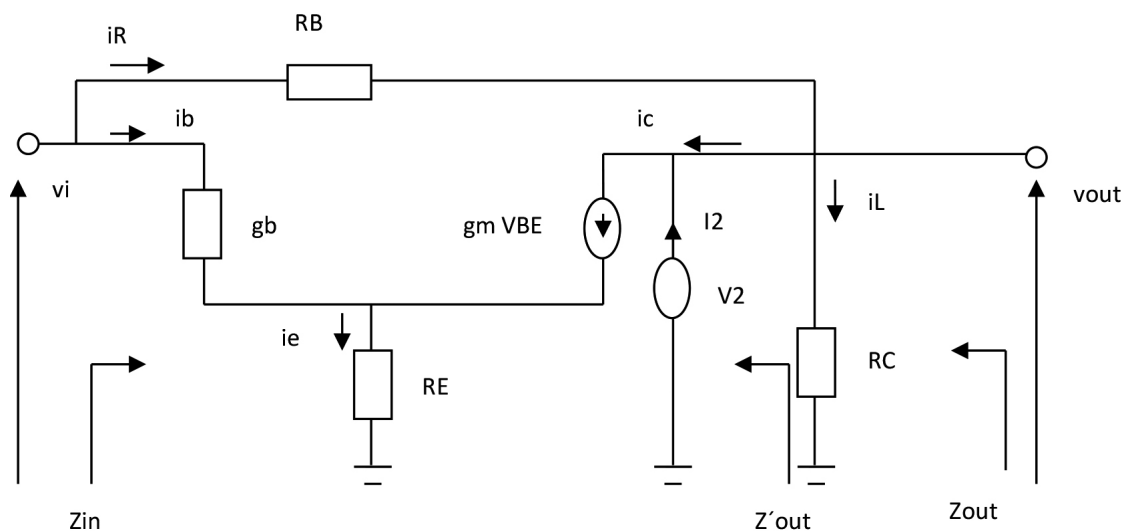
$$V_{CB} = R_B \cdot I_B \quad R_B = \frac{V_{CB}}{I_C} \cdot \beta \quad \boxed{R_B = 911,74 \text{ k}\Omega}$$

Hemendik aurrera, erabil itzazu honako datu hauek:

$$I_C = 1 \text{ mA} \quad \beta = 149,25 \quad V_{CE} = 6,8 \text{ V} \quad R_B = 912 \text{ k}\Omega$$

c) Kalkulatu  $A_V$ ,  $Z_{in}$  eta  $Z_{out}$ .

Seinale txikiko zirkuitua:





$$A_V = \frac{v_{out}}{v_i}$$

$$v_{out} = v_c = v_{ce} + v_e = v_{cb} + v_{be} + v_e$$

$$v_{out} = -R_B i_R + v_{be} + R_E (g_b v_{be} + g_m v_{be})$$

$$i_R = i_c + i_L = g_m v_{be} + \frac{v_{out}}{R_C}$$

$$v_{out} = -R_B g_m v_{be} - \frac{R_B}{R_C} v_{out} + v_{be} + R_E \left( \frac{g_m}{\beta} + g_m \right) v_{be}$$

$$v_{out} = \frac{1 + \left[ R_E \left( \frac{1+\beta}{\beta} \right) - R_B \right] g_m}{1 + \frac{R_B}{R_C}} v_{be}$$

$$v_{out} = -186,93 v_{be} \quad |$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 40 (k\Omega)^{-1}$$

$$v_i = v_{be} + v_e = v_{be} + R_E (i_b + i_c)$$

$$v_i = \left[ 1 + R_E \left( \frac{1+\beta}{\beta} \right) g_m \right] v_{be}$$

$$v_i = 19,93 v_{be} \quad |$$

$$A_V = -9,38$$

$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_i}$$

$$i_i = i_R + i_b = g_m v_{be} + \frac{v_{out}}{R_C} + g_b v_{be}$$

$$i_i = \left[ g_m - \frac{186,93}{R_C} + \frac{g_m}{\beta} \right] v_{be}$$

$$i_i = 0,5 v_{be} \quad |$$

$$Z_{in} = 40,21 k\Omega$$

$$Z_{out} = Z'_{out} // R_C$$

$$Z'_{out} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{v_i=0}$$

$$I_2 + i_R = i_c = g_m v_{be} = 0$$

$$I_2 = -i_R$$

$$I_2 = -\frac{v_{bc}}{R_B} = -\frac{v_{be} + v_{ec}}{R_B} = -\frac{v_e - v_c}{R_B} = \frac{v_c}{R_B} = \frac{V_2}{R_B}$$

$$Z'_{out} = R_B$$

$$Z_{out} = R_B // R_C$$

$$Z_{out} = 4,68 k\Omega$$

- d) Marraztu, grafiko berean,  $v_i$  eta  $v_{ce}$  sarrerako hurrengo bi seinale ezberdinentzat, balio esanguratsuenak adieraziz:

$$- v_i = 0,5 \text{ sen } \omega t \text{ (V)}$$

$$- v_i = 1 \text{ sen } \omega t \text{ (V)}$$

*Polarizazio-zirkuitutik, karga zuzen estatikoa aterako dugu:*

$$I_C = \frac{12 - V_{CE}}{\left( R_C + R_E \right) \frac{\beta + 1}{\beta}}$$

*eta bere malda  $-0,19$  da.*

*Seinale txikiko zirkuitutik, karga zuzen dinamikoa aterako dugu:*

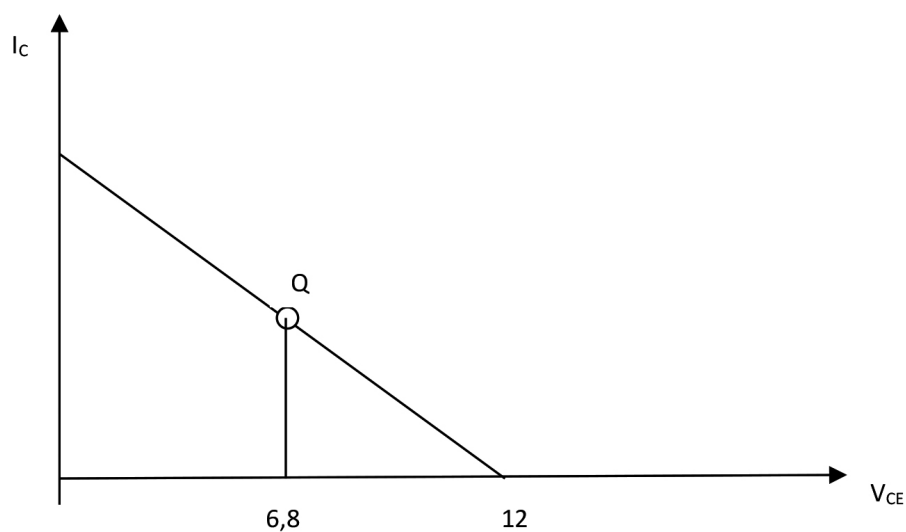
$$v_{ce} = v_c - v_e = v_{out} - R_E (i_b + i_c)$$

$$v_{ce} = -186,93 v_{be} - R_E (g_b + g_m) v_{be}$$

$$i_c = g_m v_{be} \quad v_{ce} = - \left[ 186,93 + R_E \left( \frac{1 + \beta}{\beta} \right) g_m \right] \frac{i_c}{g_m}$$

$$\underline{i_c = -0,19 v_{ce}}$$

*beraz, karga zuzenak bat datoz.*



*Tarte dinamikoa 5,2 V-ekoa da, etendurak mugatuta.*

$$v_{ce} = v_{out} - R_E (g_b + g_m) v_{be}$$

$$v_{ce} = v_{out} + R_E \left( \frac{1 + \beta}{\beta} \right) g_m \frac{v_{out}}{186,93}$$

$$v_{ce} = \left[ 1 + R_E \left( \frac{1 + \beta}{\beta} \right) \frac{g_m}{186,93} \right] A_v v_i \quad v_{ce} = -10,33 v_i$$

*Ondorioz,*

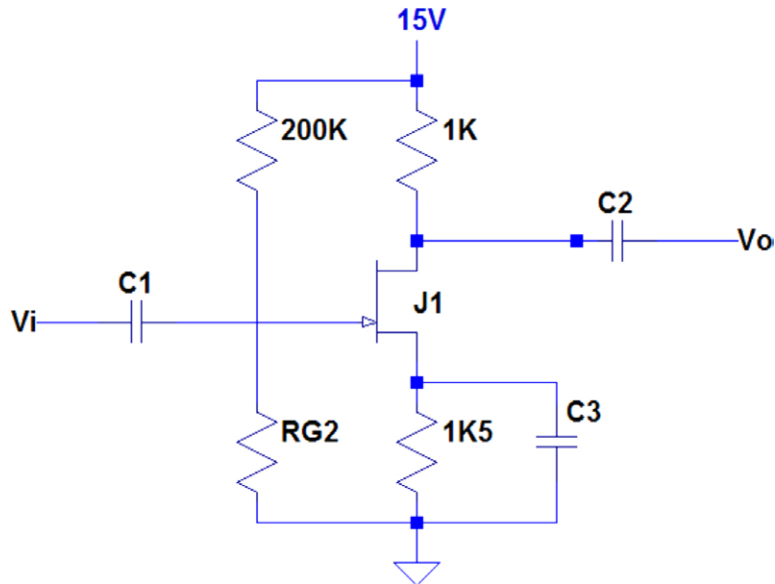
—  $v_i = 0,5 \text{ sen } \omega t \text{ (V)}$      $v_{ce} = 5,7 \text{ (V}_p\text{)}, 180^\circ \text{ desfasatuta.}$

—  $v_i = 1 \text{ sen } \omega t \text{ (V)}$      $v_{ce} = 10,33 \text{ (V}_p\text{)}, 180^\circ \text{ desfasatuta, eta asetasunak eta etendurak mugatuta.}$

**ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

3. 4. irudiko zirkuituan, hauek dira FET transistoreak dituen parametroak:

$$|I_{DSS}| = 9 \text{ mA} \quad |V_T| = 3 \text{ V}$$



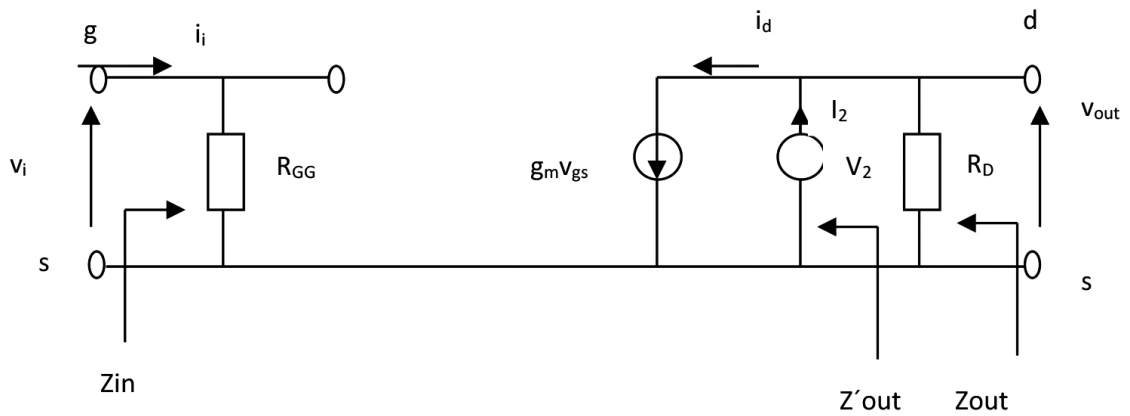
3. irudia

a) Zer transistore mota da?

*n* pasabideko JFET bat da:  $I_{DSS} = 9 \text{ mA}$  eta  $V_T = -3 \text{ V}$

b) Zenbatekoa izan behar da  $R_{G2}$  erresistentzia, zirkuitu anplifikatzailearen sarrerako inpedantzia  $66,67 \text{ k}\Omega$ -ekoa izan dadin?

*Seinale txikiko zirkuitua:*

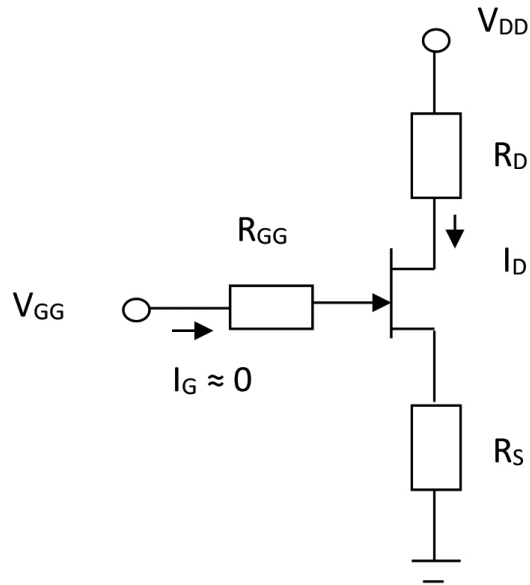


$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_i} = R_{GG}$$

$$R_{GG} = R_{G1} // R_{G2} = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \quad R_{G2} = 100 \text{ k}\Omega$$

- c) Kalkulatu transistorearen lan-puntua, eta, marraztu  $I_D$ - $V_{GS}$  ezaugarria, bertan ahalik eta informazio gehien adieraziz.

*Polarizazio-zirkuitua:*



$$V_{GG} = \frac{V_{DD} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 5 \text{ V}$$

*Demagun asetasunean dagoela:*

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

$$\left. \begin{aligned} I_D &= (3 + V_{GS})^2 \\ 5 - V_{GS} &= 1,5 I_D \end{aligned} \right\}$$

$$1,5 V_{GS}^2 + 10 V_{GS} + 8,5 = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = -1 \text{ V} \\ V_{GS} = -5,67 \text{ V} \end{array} \right. \quad \boxed{I_D = 4 \text{ mA}}$$

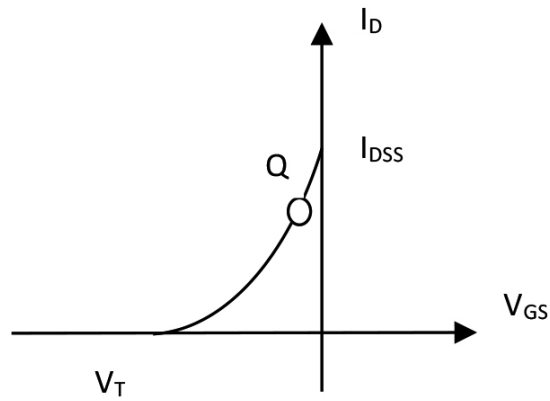
*Polarizazio-zirkuitutik:*

$$15 - V_{DS} = (R_D + R_S) I_D \quad \boxed{V_{DS} = 5 \text{ V}}$$

*Asetasunean dagoela ziurtatuko dugu:*

$$V_{DS} \geq V_{D,SAT} = V_{GS} - V_T$$

$$5 \geq -1 + 3 \quad \text{Bai, JFETa asetasunean dago.}$$



d) Kalkulatu  $A_V$  eta  $Z_{out}$ .

Seinale txikiko zirkuitutik:

$$A_V = \frac{v_{out}}{v_i} = -R_D g_m \quad \boxed{A_V = -4}$$

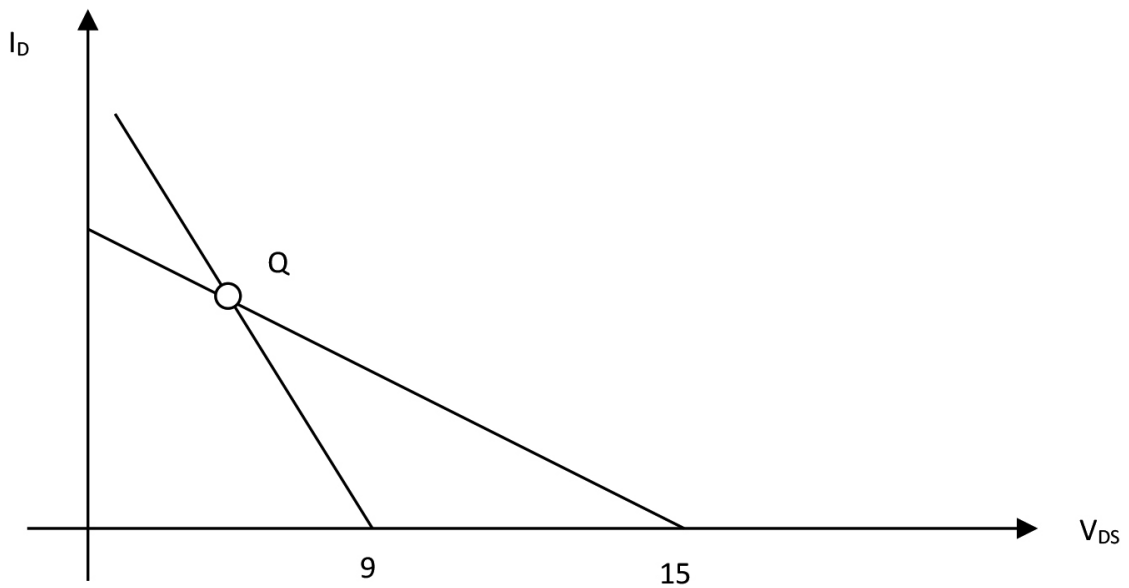
$$v_{out} = -R_D i_d = -R_D g_m v_{gs} = -R_D g_m v_i$$

$$g_m = \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_D I_{DSS}} \quad g_m = 4 \text{ (k}\Omega\text{)}^{-1}$$

$$Z_{out} = Z'_{out} // R_D \quad Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_i=0} = \infty \quad \boxed{Z_{out} = R_D = 1 \text{ k}\Omega}$$

$$I_2 = i_d = g_m v_{gs} = g_m v_i = 0$$

e) Marraztu, irteerako ezaugarrietan, lan-puntua, karga zuzen estatikoa eta karga zuzen dinamikoak.



*Karga zuzen estatikoa:*

$$I_D = \frac{15 - V_{DS}}{R_D + R_S} = \frac{15 - V_{DS}}{2,5}$$

*Karga zuzen dinamikoa:*

$$v_{ds} = v_{out} = -R_D i_d \quad i_d = -\frac{v_{ds}}{R_D}$$

$$i_D - I_{DQ} = -(v_{DS} - V_{DSQ})$$

$$i_D = 0 \quad I_{DQ} + V_{DS} = v_{DS}(t)$$

## 2016ko ekaina

### PN juntura - Zirkuitu diododuna

1. PN junturako diodo batean, katodoak daukan elektroien kontzentrazioa  $10^7 \text{ cm}^{-3}$  da, eta anodoak daukana  $10^7 \text{ cm}^{-3}$ .

- a) Zein da junturak duen potentzial termodinamikoa?

$$n_n = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cong N_D \quad n_p = 10^7 \text{ cm}^{-3}$$

$$\phi_T = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

$$n_p = 10^7 \text{ cm}^{-3} = \frac{n_i^2}{N_A} \quad N_A = 10^{13} \text{ cm}^{-3} \quad \boxed{\phi_T = 575,6 \text{ mV}}$$

- b) Zein da potentzial gehien duen eskualdea?

*Elektroi gehien duen eskualdeak du potentzial handiena; hau da, katodoa (n eskualdea).*

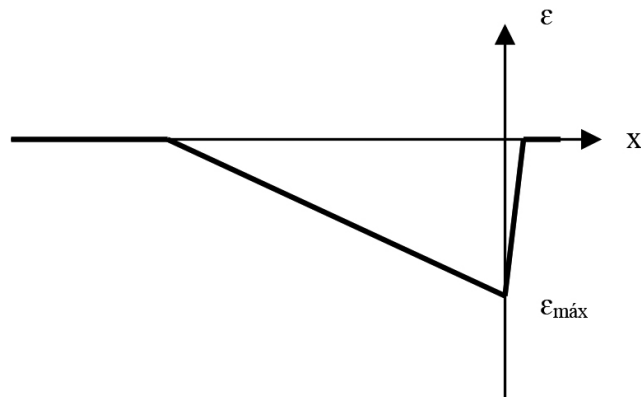
- c) Kalkulatu hustutako eskualdearen zabalera. Zer eskualdetan zehar zabalduko da nagusiki?

$$l_o = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_T} \quad \boxed{l_o = 8,67 \text{ } \mu\text{m}}$$

*pn<sup>+</sup> juntura asimetriko bat denez, hustutako eskualdea anodoan zehar zabalduko da nagusiki.*



- d) Marraztu eremu elektrikoaren profila hustutako eskualdean, eta kalkulatu eremu elektrikoaren puntako balioa. Non lortzen da?



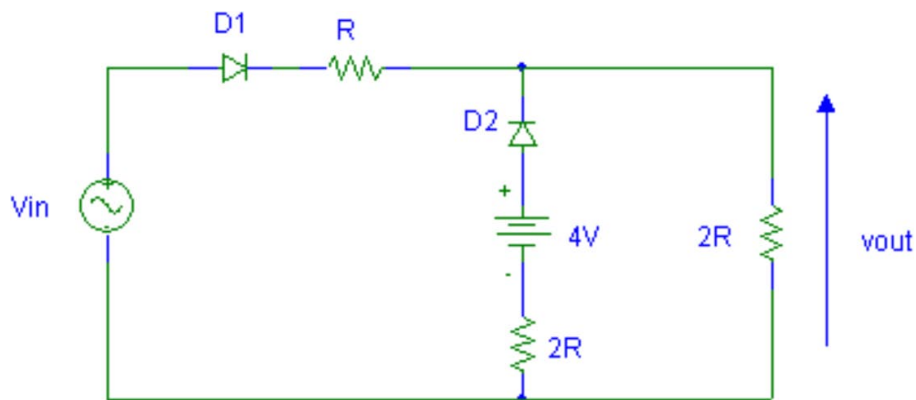
Eremu elektrikoaren balio maximoa juntura metalurgikoan lortzen da.

$$\phi_T = \frac{l|\epsilon_{\max}|}{2} \quad |\epsilon_{\max}| = \frac{2\phi_T}{l}$$

$$|\epsilon_{\max}| = 1327,8 \text{ V/cm} = 0,1328 \text{ V}/\mu\text{m}$$

**ERANTZUN GUZTIAK ARRAZOITU BEHAR DIRA.**

Aurreko diodoa 1. irudiko zirkuituan erabiltzen da:



1. irudia

- e) Kalkulatu eta marraztu zirkuituko transferentzia-kurba (diodoak idealtzat jo daitezke).

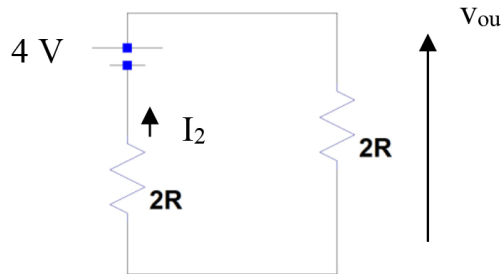
Datuak:

$$V_T = 0,025 \text{ V} \quad n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

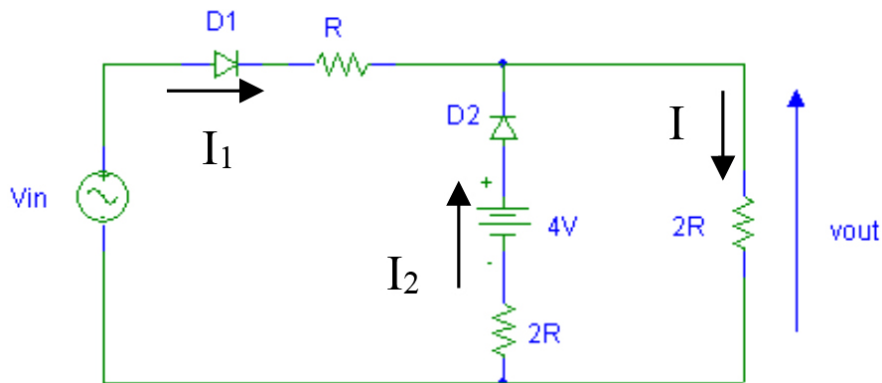
$$\epsilon_{r,Si} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

Diodoen egoerak:

$$v_i \leq 2V \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ OFF} \\ D2 \text{ ON} \end{array} \right\} v_{out} = 2RI_2 = 2R \frac{4}{4R} \quad \boxed{v_{out} = 2V}$$



$$2V \leq v_i \leq 6V \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ ON} \\ D2 \text{ ON} \end{array} \right\}$$



$$I = I_1 + I_2$$

$$\left. \begin{array}{l} v_i - 4 = RI_1 - 2RI_2 \\ 4 = 2RI_1 + 2RI_2 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} v_i - 4 = RI_1 - 2RI_2 \\ 4 = 2RI_1 + 4RI_2 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2v_i - 8 = 2RI_1 - 4RI_2 \\ 4 = 2RI_1 + 4RI_2 \end{array} \right\} \quad 2v_i - 4 = 4RI_1 \quad I_1 = \frac{v_i - 2}{2R}$$

$$4 = 2R \frac{v_i - 2}{2R} + 4RI_2 \quad I_2 = \frac{6 - v_i}{4R}$$

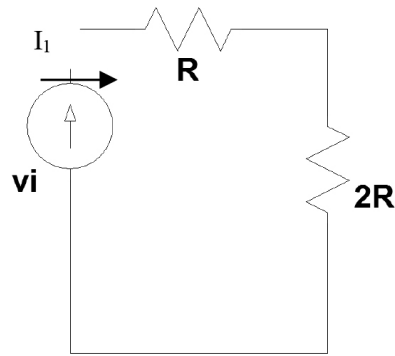
$$v_{out} = 2R \left[ \frac{v_i - 2}{2R} + \frac{6 - v_i}{4R} \right]$$

$$v_{out} = v_i - 2 + \frac{6 - v_i}{2} \quad \boxed{v_{out} = \frac{v_i + 2}{2}}$$

Noiz kommutatzen du  $D_1$  diodoak?

$$\frac{v_i + 2}{2} = 2 \quad v_i = 2 \text{ V}$$

$v_i \geq 6 \text{ V}$  }  
 $D1 \text{ ON}$   
 $D2 \text{ OFF}$



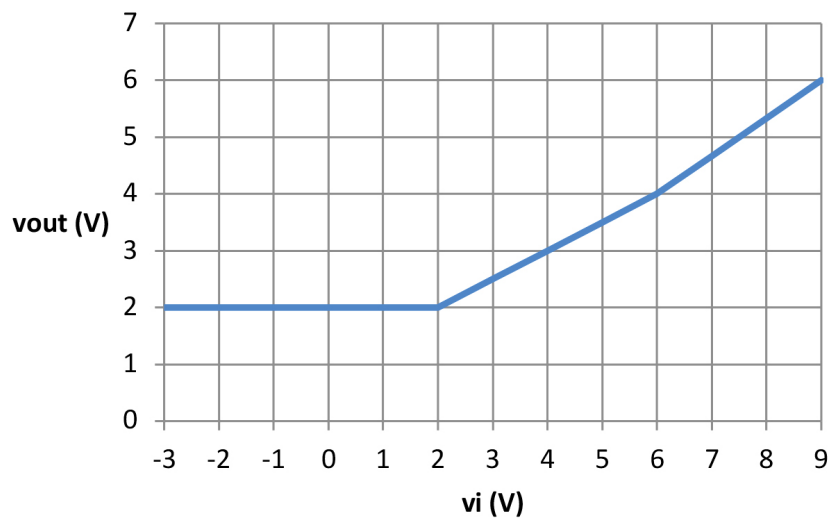
$$v_{out} = 2R I_1 = 2R \frac{v_i}{3R}$$

$$v_{out} = \frac{2}{3} v_i$$

Noiz kommutatzen du  $D_2$  diodoak?

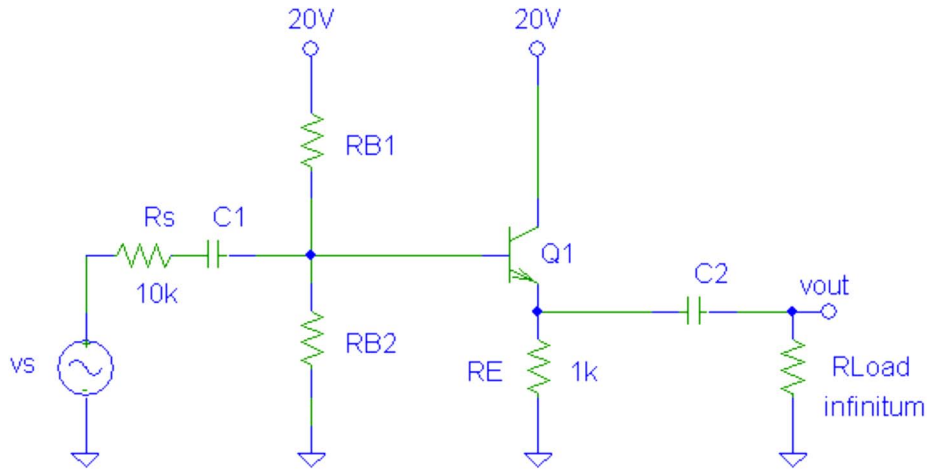
$$\frac{2}{3} v_i = \frac{v_i + 2}{2} \quad v_i = 6 \text{ V}$$

Zirkuituaren transferentzia-kurba:



**KOLEKTORE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

2. irudiko zirkuituan, hauek dira erabilitako BJT transistoreak igorle komuneko konfigurazioan dituen parametroak:  $\beta = 100$  eta  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ .

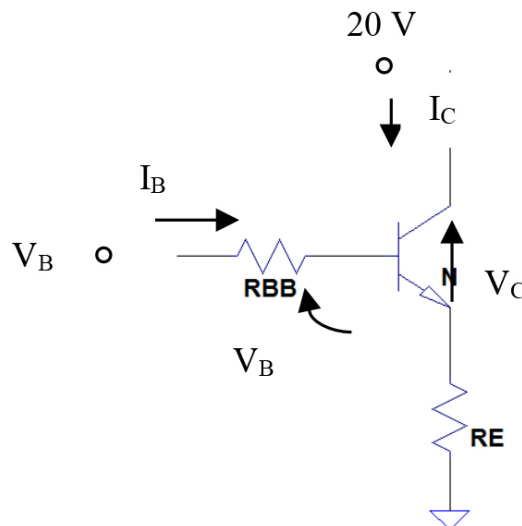


2. irudia

- a) Kalkulatu  $R_{B1}$  eta  $R_{B2}$  erresistentzien balioak, irteerako tentsioak tarte dinamiko maximoa lor dezan.

*Irteeran tarte dinamiko maximoa lortzeko, Q puntua k.z.d.-ren erdian kokatuta egon behar da.*

*Polarizazio-zirkuitutik, Q puntua kalkulatuko dugu:*

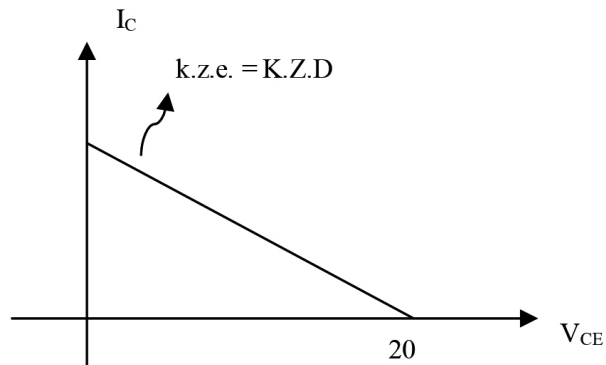


$$\left. \begin{aligned} V_{BB} &= R_{B2} \frac{20}{R_{B1} + R_{B2}} \\ R_{BB} &= R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \end{aligned} \right\}$$

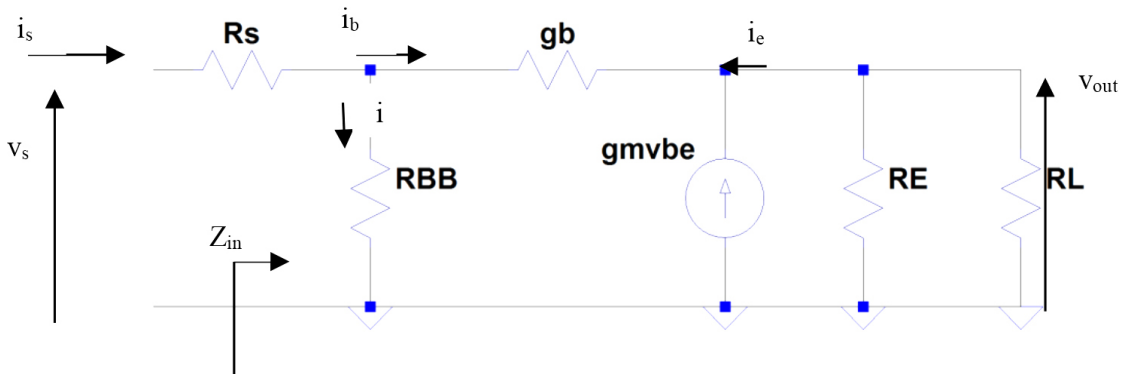
$$V_{BB} - 0,7 = [R_{BB} + R_E(1 + \beta)] I_B$$

$$20 - V_{CE} = R_E \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right) I_C \quad \left. I_C = \frac{20 - V_{CE}}{R_E \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right)} \right| \text{ k.z.e.}$$

Karga zuzen estatikoa marraztuko dugu (*gero ikusiko dugu zuzen biak bat datozela*):



Seinale txikiko zirkuitutik, karga zuzen dinamikoa kalkulatuko dugu:



$$v_{out} = v_{ec} = -R_E i_e$$

$$i_e = -g_m v_{be} - i_b = -i_c - i_b = i_c - g_b v_{be} = -i_c - g_b \frac{i_c}{g_m} = -\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) i_c = -\frac{\beta + 1}{\beta} i_c$$

$$v_{out} = R_E \frac{\beta + 1}{\beta} i_c \quad \left. i_c = -\frac{\beta}{\beta + 1} \frac{v_{ce}}{R_E} = -\frac{v_{ce}}{\frac{\beta + 1}{\beta} R_E} \right| \text{ K.Z.D.}$$

Beraz, K.Z.E eta k.z.d. bat datoz.

Q puntua k.z.d.-ren erdian kokatuz:

$$V_{CE} = 10 \text{ V}$$

$$I_C = 9,9 \text{ mA}$$

$$I_B = 99 \text{ } \mu\text{m}$$

Egonkortasunerako baldintza aplikatuko dugu:

$$\frac{R_{BB}}{R_E} \ll \beta \quad R_{BB} \ll 100$$

$$R_{BB} = 10 \text{ k}\Omega \quad V_{BB} = 11,69 \text{ V}$$

$V_{BB}$  eta  $R_{BB}$ -ren ekuazioak erabiliz:

$$V_{BB} = 20 \frac{R_{BB}}{R_{B1}} \quad \boxed{R_{B1} = 17,11 \text{ k}\Omega}$$

$$V_{BB}R_{B1} + V_{BB}R_{B2} = 20R_{B2} \quad R_{B2} = \frac{V_{BB}R_{B1}}{20 - V_{BB}} \quad \boxed{R_{B2} = 24,07 \text{ k}\Omega}$$

b) Kalkulatu zirkuituaren tentsio-irabazi osoa eta sarrerako inpedantzia.

$$A_{vs} \equiv \frac{v_{out}}{v_s}$$

$$v_{out} = -R_E i_e = -R_E (-i_b - g_m v_{bc}) = R_E (i_b + g_m r_b i_b) = R_E (1 + \beta) i_b$$

$$v_s = R_S i_s + v_{bc} = R_S \left[ \frac{v_{bc}}{R_{BB}} + i_b \right] + v_{bc} = \left[ \frac{R_S}{R_{BB}} + 1 \right] v_{bc} + R_S i_b$$

$$v_{bc} = v_{be} + v_{ec} = r_b i_b + v_{out} = [r_b + R_E (1 + \beta)] i_b$$

$$v_s = \left\{ \left[ \frac{R_S}{R_{BB}} + 1 \right] [r_b + R_E (1 + \beta)] + R_S \right\} i_b$$

$$A_{vs} = \frac{R_E (1 + \beta)}{\left[ \frac{R_S}{R_{BB}} + 1 \right] [r_b + R_E (1 + \beta)] + R_S} \quad \boxed{A_{vs} = 0,48}$$

$$Z_{in} \equiv \frac{v_{bc}}{i_s} = \frac{v_{bc}}{\frac{v_{bc}}{R_{BB}} + i_b} = \frac{1}{\frac{1}{R_{BB}} + \frac{i_b}{v_{bc}}}$$

$$Z_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R_{BB}} + \frac{1}{\frac{1}{g_b} + R_E (1 + \beta)}} \quad \boxed{Z_{in} = 9,1 \text{ k}\Omega}$$

c) Erabilitako tentsio-sorgailuak badu trabaren bat? Zer gertatuko litzateke tentsio-sorgailuaren  $R_S = 100 \text{ }\Omega$ -ekoa izango balitz?

Erabilitako tentsio-sorgailuaren  $R_S \approx Z_{in}$ ; beraz, ia  $v_s$  tentsioaren erdia galtzen da.

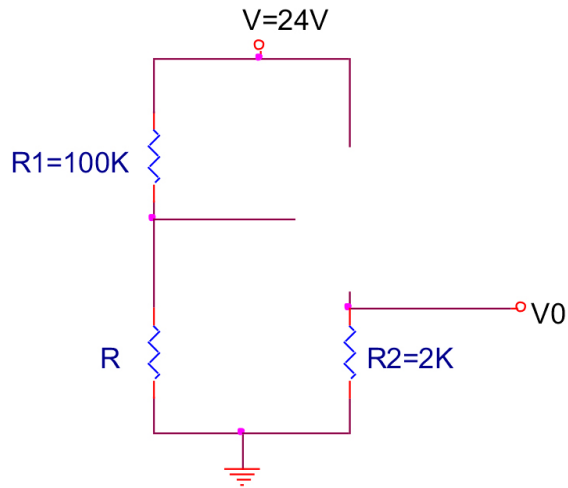
$R_S = 100 \text{ }\Omega$  izatekotan,  $R_S \ll Z_{in}$  eta  $A_{vs} = 0,99$ . Beraz, ia  $v_s$  tentsio guztia aplikadorera sartuko litzateke.

### ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA

3. 3. irudia p pasabideko ugaltze MOSFET bat duen polarizazio-zirkuitua da. Asetasunean, transistorearen draineko korronea ekuazio honen bidez kalkulatzen da:

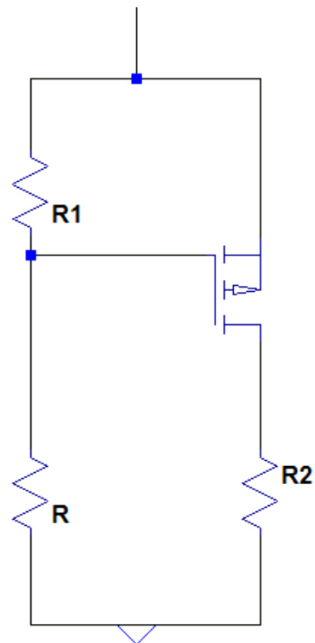
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2.$$

$$\text{Datuak: } |V_T| = 2 \text{ V} \quad |K| = 2 \text{ mA/V}^2$$



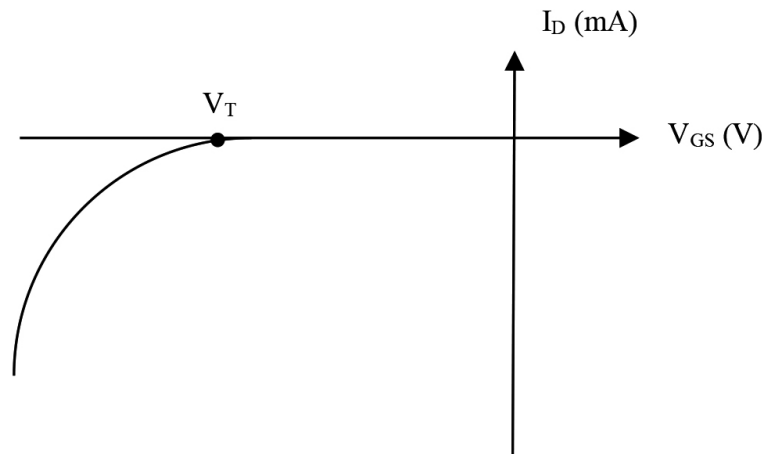
3. irudia

- a) Kokatu transistorearen ikurra polarizazio-zirkuituan, bere terminalak adieraziz.  
*P pasabideko ugaltze MOSFET bat da.*



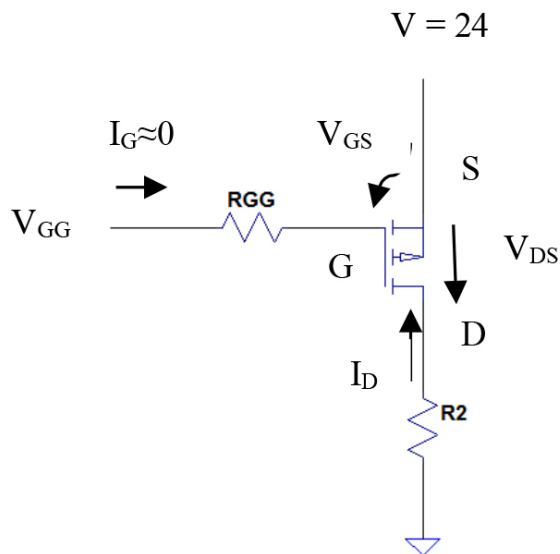
b) Marraztu MOSFETaren transferentzia-kurba.

$$V_T = -2 \text{ V}$$



c) Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa, MOSFETa eroaten has dadin.

*Eroaten hasteko, pasabidea egon behar da  $\rightarrow V_{GS} = V_T$*



$$\left. \begin{aligned} V_{GG} &= R \frac{24}{R + R_1} \\ R_{GG} &= R // R_1 \end{aligned} \right\} \quad 24 + V_{GS} - V_{GG} = 0 \quad V_{GG} = 22 \text{ V}$$

$$22 = R \frac{24}{R + 100} \quad \boxed{R = 1,1 \text{ M}\Omega}$$



d) Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa,  $V_0 = 16 \text{ V}$  izan dadin.

$$V_o = 16 \text{ V} = V_D$$

$$V_D = -2 I_D = 16 \quad I_D = -8 \text{ mA}$$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad K = -2 \text{ mA/V}^2$$

$$8 = 2(V_{GS} + 2)^2 \quad 4 = (V_{GS} + 2)^2 \quad \left. \begin{array}{l} V_{GS} = 0 \text{ V} \\ V_{GS} = -4 \text{ V} \end{array} \right\}$$

$$V_{GG} = 24 + V_{GS} \quad V_{GG} = 20 \text{ V}$$

$$20 = \frac{24 R}{R + 100} \quad \boxed{R = 500 \text{ k}\Omega}$$

Asetasunean?

$$|V_{DS}| \geq |V_{D,SAT}| = |V_{GS} - V_T|$$

$$|-24 - 2 I_D| \geq |-4 + 2 I_T|$$

$$|-8| \geq |-2| \quad \text{BAI}$$

e) Kalkulatu  $R$  erresistentziaren balioa, MOSFETak tentsio baten bidez kontrolatutako korronte-sorgailu modura lan egiteari uzteko.

Gune gradualaren eta asetunaren mugan:

$$V_{DS} = V_{D,SAT} = V_{GS} - V_T$$

$$-24 - 2 I_D = V_{GS} + 2 \quad V_{GS} = -26 - 2 I_D$$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$I_D = -2(-26 - 2 I_D + 2)^2 \quad 8 I_D^2 + 193 I_D + 1152 = 0$$

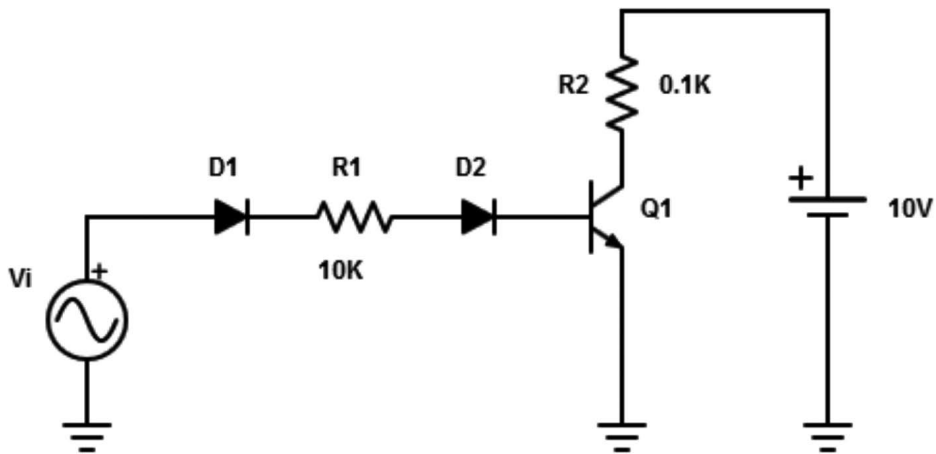
$$\left. \begin{array}{l} I_D = -10,84 \text{ mA} \\ I_D = -13,29 \text{ mA} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} V_{GS} = -4,32 \text{ V} \\ V_{GS} = 0,58 \text{ V} \end{array} \right\}$$

$$V_{GG} = 24 + V_{GS} = 19,68 \text{ V} = \frac{24 R}{R + 100} \quad \boxed{R = 455,56 \text{ k}\Omega}$$

# 2016ko maiatza

## PN Juntura - Zirkuitu diododuna

1. 1. irudiko zirkuituak  $V_\gamma = 0,5 \text{ V}$  duten bi diodo berdinak eta  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$  eta  $\beta = 200$  dituen transistore bipolar bat erabiltzen ditu.



1. irudia

- a) Kalkulatu eta marraztu  $I_c$  korrontearen balioa  $v_i$  tentsioaren arabera, diodoen zein transistorearen egoera posible guztiak kontuan izanda. Adierazi, grafikoan, balio esanguratsuenak eta transistorearen languneak.

$$I_C = f(v_i)$$

$$v_i \leq 1 \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ OFF} \\ D2 \text{ OFF} \end{array} \right\} \quad V_{BE} < 0,7V \quad \text{BJT etenduran}$$

$$I_C = 0$$

$$1 \leq v_i \leq 1,7 \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ ON} \\ D2 \text{ ON} \\ \text{BJT eten.} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} v_i - 2V_\gamma - V_{BE} = R_B I_B \\ I_B = \frac{v_i - 2V_\gamma - V_{BE}}{R_B} \end{array} \right\}$$

BJTa gune aktiboan egon dadin  $\rightarrow I_B \geq 0 \rightarrow v_i \geq 2 V_\gamma + V_{BE} \quad v_i \geq 1,7 \text{ V}$

$$1,7 \leq v_i \leq 6,7 \quad \left. \begin{array}{l} D1 \text{ ON} \\ D2 \text{ ON} \\ BJT \text{ g. akt.} \end{array} \right\} I_C = \beta I_B$$

$$I_C = \frac{v_i - 1,7}{10} 200$$

$$I_C = 20(v_i - 1,7)$$

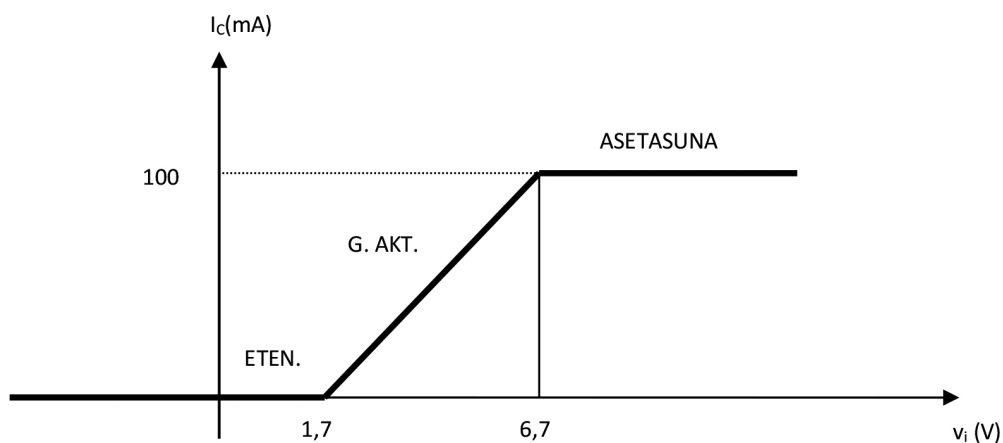
$$10 - V_{CE} = 0,1 I_C$$

$$V_{CE} = 10 - 2(v_i - 1,7)$$

G. aktiboan,  $v_i \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_{CE} \downarrow$ :  $V_{CE}$  jaitsiz joango da, BJTa asetasunera sartu arte.

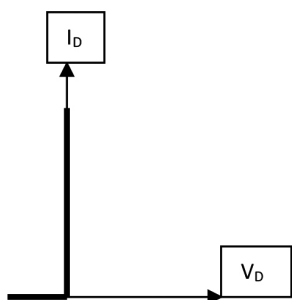
$$V_{CE} \cong 0 \Rightarrow I_C = 100 \text{ mA}$$

$$\begin{array}{cc} \Downarrow & \Downarrow \\ v_i = 6,7 \text{ V} & I_B = 0,5 \text{ mA} \end{array}$$

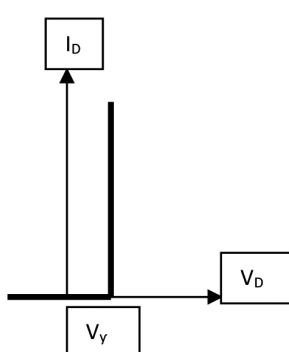


b) Azaldu PN junturako diodoaren seinale handiko eredu linealak, eta adierazi zein den aurreko atalean erabili duzuna.

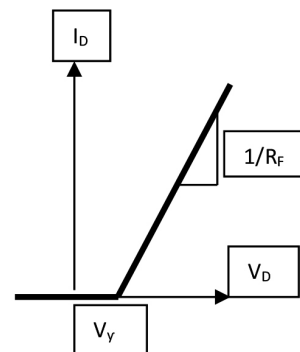
DIODO IDEALA



DIODOA  $V_\gamma$ -rekin



DIODOA  $V_\gamma$  eta  $R_F$ -rekin



a) atalean, bigarren aukera (DIODOA  $V_\gamma$ -rekin) erabili da.

- c) Kalkulatu, **zehatz-mehatz**, diodoak zeharkatzen dituen korronea eta diodoetan agertzen den tentsioa,  $v_i = 5 \text{ V}$  denean. Diodoaren asetasun-korronea ezaguna da:  $I_{\text{sat}} = 1 \text{ pA}$ .

$$I_D = I_B \text{ ?????} \quad V_D \text{ ?????} \quad v_i = 5 \text{ V} \quad D_1, D_2 \text{ ON}$$

*BJT g. aktiboan*

$$I_B = \frac{v_i - 2V_D - V_{BE}}{R_B} \quad (1)$$

$$V_D = V_T \ln \left[ 1 + \frac{I_B}{I_{\text{sat}}} \right] \quad (2)$$

$$V_D \cong 0$$

$$\Downarrow (1)$$

$$I_B = \frac{5 - 0,7}{10} = 0,43 \text{ mA}$$

$$\Downarrow (2)$$

$$V_D = 0,497 \text{ V}$$

$$\Downarrow (1)$$

$$I_B = 0,3306 \text{ mA}$$

$$\Downarrow (2)$$

$$V_D = 0,4904 \text{ V}$$

- d) Erabilitako PN junturako diodoek honako ezaugarri teknologiko hauek dituzte:

$$A = 0,4 \text{ cm}^2 \quad N_D = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \quad n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\epsilon_{r, \text{Si}} = 11,8 \quad \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m} \quad \phi_T = 979 \text{ mV} \quad V_T = 25 \text{ mV}$$

- d1) Kalkulatu ezpurutasun hartzaileen kontzentrazioa,  $N_A$ .

$$\phi_T = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

$$\frac{n_i^2}{N_D} \exp \frac{\phi_T}{V_T} = N_A$$

$$N_A = 1,02 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

- d2) Kalkulatu orekako hustutako eskualdearen zabalera.

$$l_o = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_T}$$

$$l_o = 0,0372 \text{ } \mu\text{m}$$

- d3) PN juntura alderantziz polarizatzen badugu,  $v_i = -1$  V, zer gertatzen zaio hustutako eskualdeari? Kalkulatu egoera honetan izango duen zabalera.

Alderantzizko polarizazioan, eskualde dipolarra zabaltzen da.  $v_i = -1$  V izanda,

$$l = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (\phi_T + 1)} \quad \boxed{l = 0,0528 \mu m}$$

- d4) Kalkulatu junturako kapazitatea,  $C_J$ ,  $v_i = -1$  V denean.

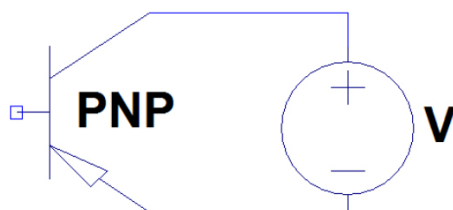
$$C_J = \frac{A\varepsilon}{l} \quad \boxed{C_J = 79,11 nF}$$

## TRANSISTORE BIPOLARRA

2. Basea zirkuitu irekian daukan p<sup>+</sup>np transistore bipolar bat daukagu. Igorlearen eta kolektorearen artean  $V \gg V_T$  den tentsioa aplikatzen badiogu, eta igorletik  $I_E$  korronea pasatzen bada,

### ERANTZUN GUZTIAK ARRAZOITU BEHAR DIRA

- a) Zein da  $V_{EB}$  tentsioaren balioa? Gailuaren ezaugarri bat da?



$$\left. \begin{aligned} I_E &= I_{ES} \left( \exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) - \alpha_R I_{CS} \left( \exp \frac{V_{CB}}{V_T} - 1 \right) \\ I_C &= -\alpha_F I_{ES} \left( \exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) + I_{CS} \left( \exp \frac{V_{CB}}{V_T} - 1 \right) \end{aligned} \right\}$$

$$I_E + I_C + I_B = 0 \quad \rightarrow \quad I_E = -I_C$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} = V_{CB} - V_{EB} < 0$$

$V_{CE}$  handia eta negatiboa izateko,  $V_{CB}$  handia eta negatiboa izan behar da.

$$I_{ES} \left( \exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) + \alpha_R I_{CS} = \alpha_F I_{ES} \left( \exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) + I_{CS}$$

$$(1 - \alpha_F) I_{ES} \left( \exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) = (1 - \alpha_R) I_{CS}$$

$$\boxed{V_{EB} = V_T \ln \left[ \frac{1 - \alpha_R}{1 - \alpha_F} \cdot \frac{I_{CS}}{I_{ES}} + 1 \right] > 0}$$

BAI, gailuaren ezaugarri bat da.

BAI, gailuaren ezaugarri bat da.

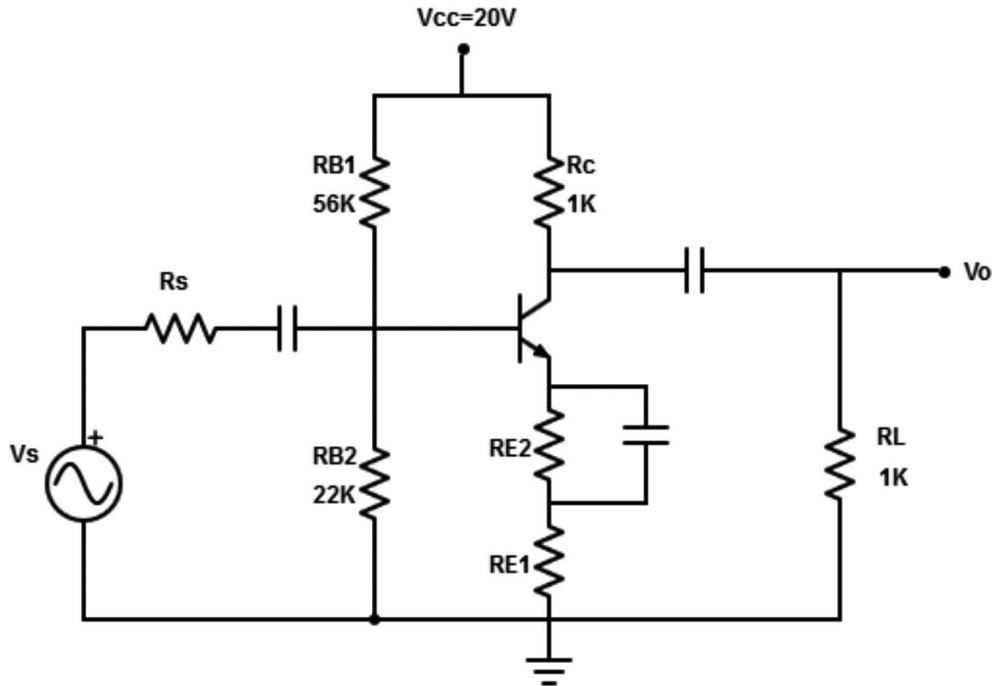
- b) Zein langunetan egongo litzateke transistorea? Zein izango litzateke kolektoreko korronea,  $I_C$ ?

Etendura -g. aktiboaren mugan dago.

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO} = (1 + \beta) I_{CO} = I_{CEO}$$

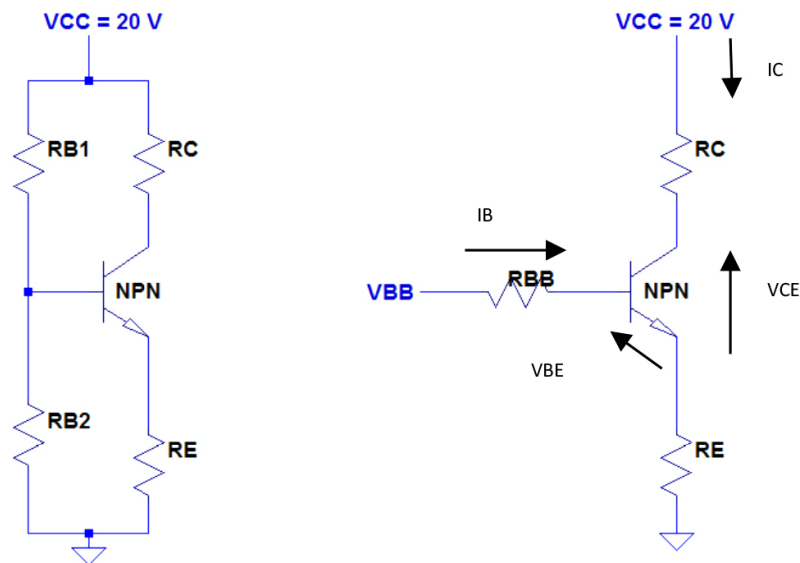
**IGORLE KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

3. 2. irudiko zirkuitu anplifikatzailea aztertu nahi dugu. Datuak:  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$  eta  $\beta = 100$ .



1. irudia

a) Marraztu polarizazio-zirkuitua, eta kalkulatu eta marraztu karga zuzen estatikoa  $I_C - V_{CE}$  irteerako ezaugarrietan.

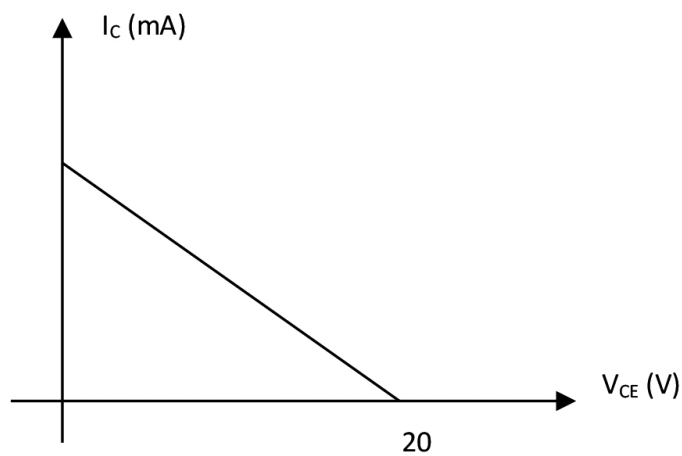


$$R_E = R_{E1} + R_{E2}$$

$$\left. \begin{aligned} V_{BB} &= R_{B2} \frac{20}{R_{B1} + R_{B2}} = 5,64 \text{ V} \\ R_{BB} &= R_{B1} // R_{B2} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 15,79 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right\}$$

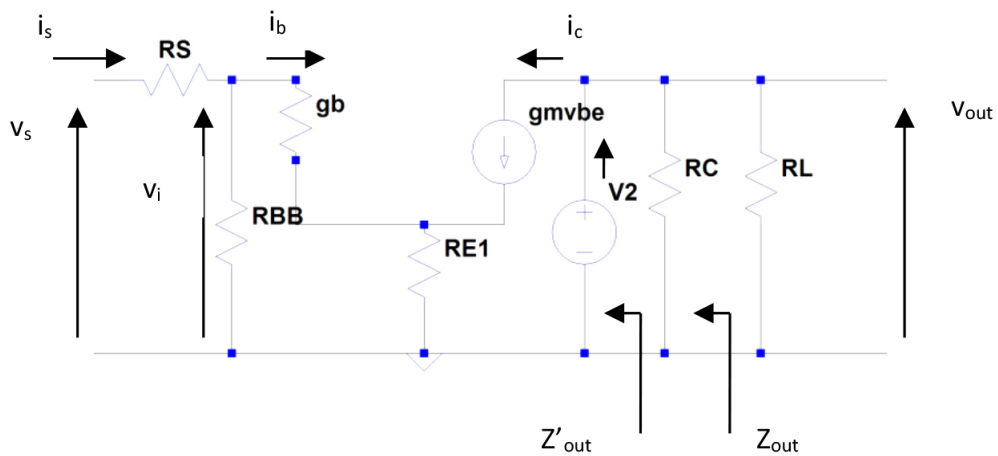
$$20 - V_{CE} = R_C I_C + R_E (I_C + I_B)$$

$$I_C = \frac{20 - V_{CE}}{R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E}$$



- b) Marraztu seinale txikiko zirkuitua, eta kalkulatu eta marraztu karga zuzen dinamikoa  $I_C - V_{CE}$  irteerako ezaugarrietan.

Seinale txikiko zirkuitua ( $V_2$  sorgailua eta guzti,  $Z'_{out}$  kalkulatzeko):





$$v_{ce} = v_c - v_e = v_{out} - R_{E1} i_e = -(R_C // R_L) i_c - R_{E1} (i_b + i_c)$$

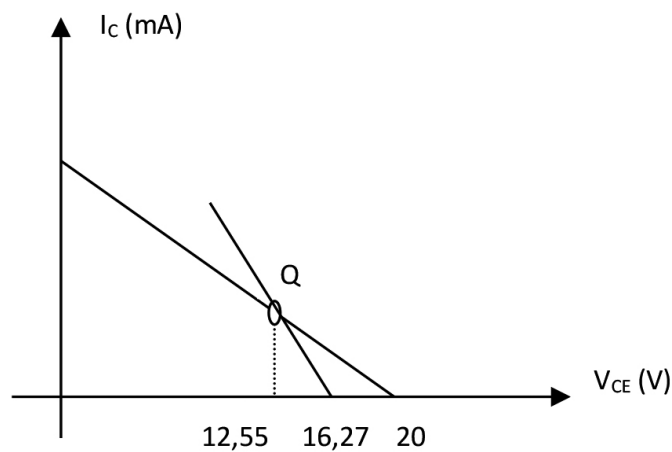
$$i_c = g_m v_{be} = g_m r_b i_b = \frac{g_m}{g_b} i_b = \beta i_b$$

$$v_{ce} = -(R_C // R_L) i_c - R_{E1} \left( \frac{\beta + 1}{\beta} \right) i_c$$

$$i_c = - \frac{v_{ce}}{R_C // R_L + R_{E1} \frac{\beta + 1}{\beta}}$$

$$i_c(t) - I_{CQ} = - \frac{v_{CE}(t) - V_{CEQ}}{R_C // R_L + R_{E1} \frac{\beta + 1}{\beta}}$$

$$R_C // R_L = 0,5 \text{ k}\Omega \quad m_{r.c.d.} > m_{r.c.e.}$$



- c) Kalkulatu  $R_{E1}$  eta  $R_{E2}$  erresistentzien arteko erlazioa, karga zuzen dinamikoaren malda karga zuzen estatikoaren bikoitza izan dadin.

$$\frac{1}{R_C // R_L + R_{E1} \frac{\beta + 1}{\beta}} = 2 \frac{1}{1 + \frac{101}{100} R_E} \quad \boxed{R_{E1} = R_{E2}}$$

- d) Kalkulatu lan-puntua, c) ataleko egoeran.

$$V_{BB} - V_{BE} = R_{BB} I_B + 2 R_{E1} (I_C + I_B)$$

$$V_{BB} - V_{BE} = [R_{BB} + 2 R_{E1} (\beta + 1)] I_B$$

Egonkortasunerako baldintza:  $\frac{R_{BB}}{R_E} \ll \beta$

$$0,1579 \ll R_E \rightarrow R_E \ll 1,58 \text{ k}\Omega$$

$$R_{E1} = R_{E2} = 0,79 \text{ k}\Omega$$

$$\Downarrow$$

$$I_B = 28,7 \text{ }\mu\text{A}$$

$$\Downarrow$$

$$I_C = 2,87 \text{ mA}$$

$$\Downarrow$$

$$V_{CE} = 12,55 \text{ V}$$

Beraz, gune aktiboan dago.

e) Kalkulatu tarte dinamikoa.

*K.z.d.-ren arabera:*  $i_C(t) = 0 \rightarrow v_{CE}(t) = 3,72 + 12,55 = 16,27 \text{ V}$

Beraz, tarte dinamikoa 3,72 V-ekoa da, eta etendurak mugatzen du.

f) Nola hobe genezake anplifikadorearen tentsio-irabazia  $R_E$  erresistentziarekin jokatuz gero? Zein izango litzateke hartutako soluzioak duen eragina?

$$A_V \equiv \frac{v_{out}}{v_i}$$

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

$$v_i = r_b i_b + R_{E1} (i_b + i_c) = [r_b + R_{E1} (1 + \beta)] i_b$$

$$A_V = - \frac{R_C // R_L}{r_b + R_{E1} (1 + \beta)}$$

$A_{V,m\acute{a}x} \Rightarrow R_{E1}$  desakoplatu behar da, kondentsadore bat paraleloan jarritz.

$R_{E1}$  desakoplatzean,  $A_{V,m\acute{a}x}$   $\beta$  parametroaren menpe geratzen da.

g) Kalkulatu sarrerako eta irteerako inpedantziak, d) atalean lortutako emaitzekin.

$$g_b = \frac{I_B}{V_T} = 1,15 (\text{k}\Omega)^{-1} \quad r_b = 0,87 \text{ k}\Omega \quad \rightarrow \quad \boxed{A_V = -0,62}$$

$$Z_{in} \equiv \frac{v_i}{i_s} = \frac{1}{\frac{1}{R_{BB}} + \frac{1}{r_b + R_{E1} (1 + \beta)}}$$

$$i_s = \frac{v_i}{R_{BB}} + \frac{v_i}{r_b + R_{E1}(1 + \beta)} \quad \rightarrow \quad \boxed{Z_{in} = 13,2 \text{ k}\Omega}$$

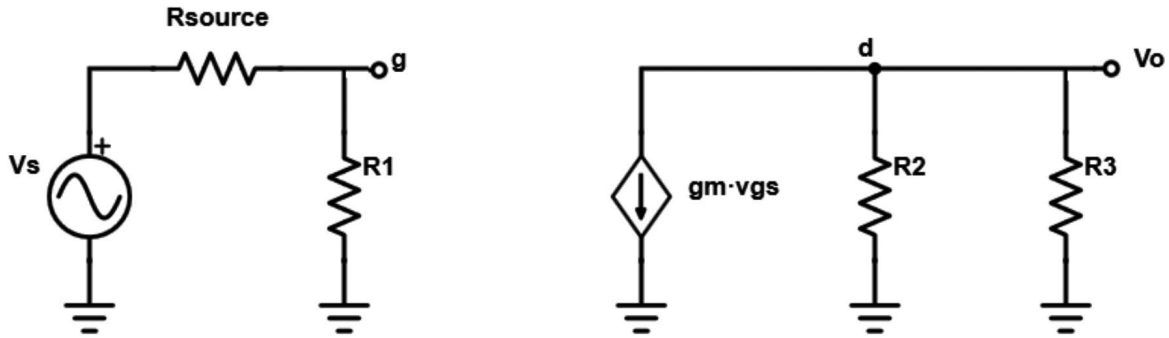
$$Z_{out} = Z'_{out} // R_C \quad \rightarrow \quad \boxed{Z_{out} = R_C = 1 \text{ k}\Omega}$$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_s=0} = \infty$$

**ITURRI KOMUNEKO ANPLIFIKADOREA**

4. 3. irudiko zirkuitua, n pasabideko urritze MOSFET bat duen muntaia baten seinale txikiko zirkuituari dagokio. Datuak:

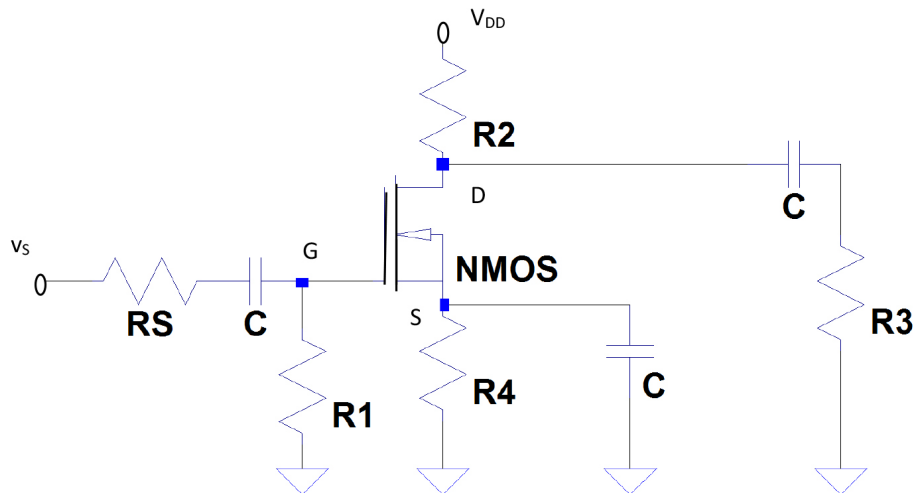
$|I_{DSS}| = 8 \text{ mA}$        $|V_T| = 4 \text{ V}$        $g_m = 2(\text{k}\Omega)^{-1}$



3. irudia

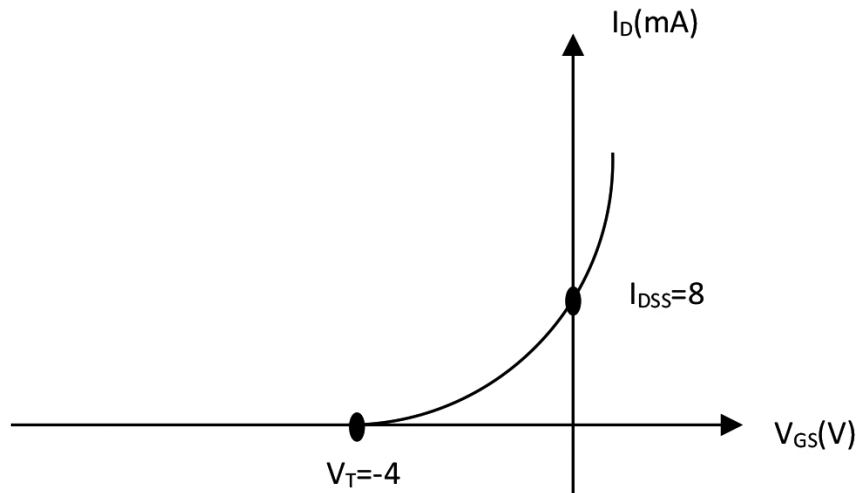
- a) Marraztu muntaiaari dagokion seinale handiko zirkuitua. Horretarako, kontuan izan iturritik erreferentziara  $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$  erresistentzia dagoela, kondentsadore batekin paraleloan. Gehitu behar diren osagaiak seinale handiko zirkuituari.

*Zirkuitua honako hau izango litzateke:*



- b) Kalkulatu  $I_D$  eta  $V_{GS}$ .

*n pasabideko MOSFET bat denez:*



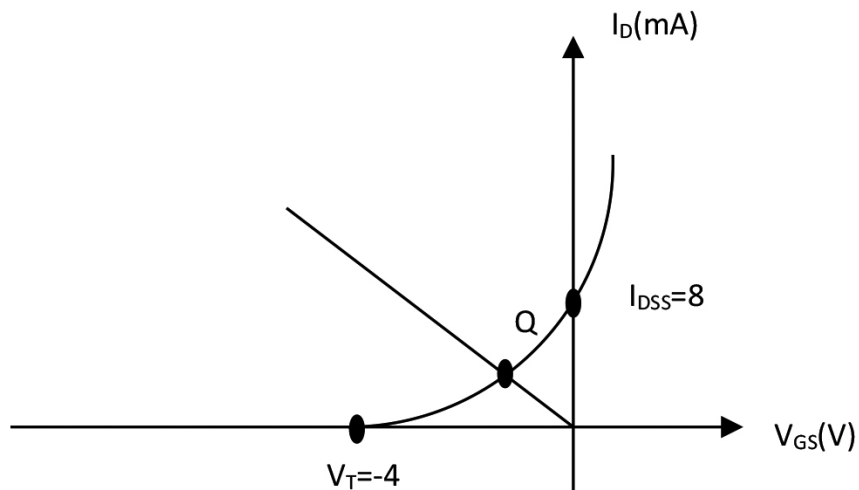
$$g_m \equiv \frac{2}{|V_T|} \sqrt{I_D I_{DSS}} \quad 2 = \frac{2}{4} \sqrt{8 I_D} \quad \boxed{I_D = 2 \text{ mA}}$$

$$V_{GS} = -R_S I_D \quad \boxed{V_{GS} = -2 \text{ V}}$$

- c) Marraztu  $I_D - V_{GS}$  ezaugarria, eta, bertan, kokatu FET transistorearen parametroen balioak eta  $Q$  puntuarenak.

*Polarizazio-zirkuitutik karga zuzen estatikoa kalkulatuko dugu:*

$$I_D = -\frac{V_{GS}}{R_S}$$



- d) Elikatze-tentsioa  $V_{DD} = 12 \text{ V}$  bada, kalkulatu draineko erresistentziaren balio maximoa, MOSFET transistorea asetasunean egoteko.

$$\text{Asetasunean egon dadin: } V_{DS} \geq V_{D,SAT} = V_{GS} - V_T$$

$$V_{DD} - (R_D + R_S) I_D \geq -R_S I_D - V_T$$

$$V_{DD} - R_D I_D \geq -V_T$$

$$V_{DD} + V_T \geq R_D I_D \quad \boxed{R_{D,m\acute{a}x} = 4 \text{ k}\Omega}$$

- e)  $n$  kanaleko JFET bat polarizatzeko erabil liteke daukagun zirkuitua?

Bai, muntaia honekin beti  $V_{GS} < 0$ .

- f) Kalkulatu anplifikadorearen sarrerako eta irteerako inpedantziak.

$$Z_{in} = \frac{v_i}{i_s} = \frac{R_1 i_s}{i_s} \quad \boxed{Z_{in} = R_1}$$

$$Z_{out} = Z'_{out} // R_2 \quad \boxed{Z_{out} = R_2}$$

$$Z'_{out} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{v_s=0} = \infty$$

$$I_2 = i_d = g_m v_{gs} = 0$$

- g)  $R_{source} = 50 \text{ k}\Omega$  bada, nolakoa izan behar da  $Z_{in}$  anplifikadorearen tentsio-irabazian eragirik izan ez dezan? Kalkulatu  $R_1$  erresistentziaren balioa, tentsio-irabazia  $\Delta V_s = -7,5$  bada ( $R_3 = \infty$  eta d] atalean lortutako draineko erresistentziaren balio maximoa hartu egin da).

$R_S = 50 \text{ k}\Omega$  izanda,  $Z_{in} = R_1$  oso altua izan behar da.

$$A_{vS} = \frac{v_{out}}{v_s} = -7,5$$

$$v_{out} = -(R_2 // R_3) i_d = -(R_2 // R_3) g_m v_{gs} = -(R_2 // R_3) g_m R_1 i_s$$

$$v_s = (R_S + R_1) i_s$$

$$A_{vS} = -\frac{R_2 // R_3 g_m R_1}{R_S + R_1}$$

$$7,5 R_S + 7,5 R_1 = R_2 g_m R_1 \quad \boxed{R_1 = 750 \Omega}$$

**UNIBERTSITATEKO ESKULIBURUAK**  
MANUALES UNIVERSITARIOS

**INFORMAZIOA ETA ESKARIAK • INFORMACIÓN Y PEDIDOS**

UPV/EHUko Argitalpen Zerbitzua • Servicio Editorial de la UPV/EHU  
argitaletxea@ehu.eus • editorial@ehu.eus  
1397 Posta Kutxatila - 48080 Bilbo • Apartado 1397 - 48080 Bilbao  
Tfn.: 94 601 2227 • [www.ehu.eus/argitalpenak](http://www.ehu.eus/argitalpenak)

emari ta zabal-zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea