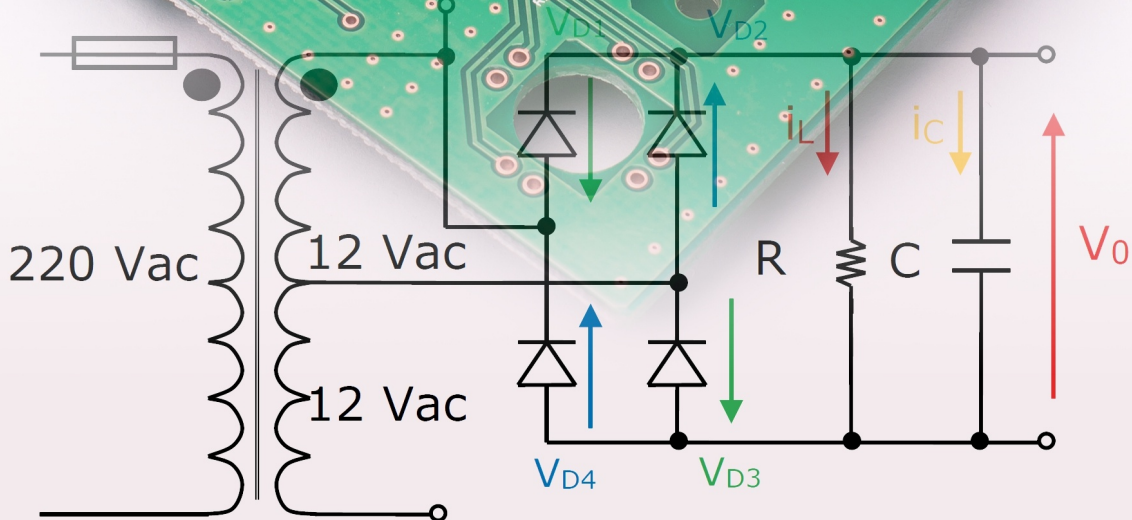
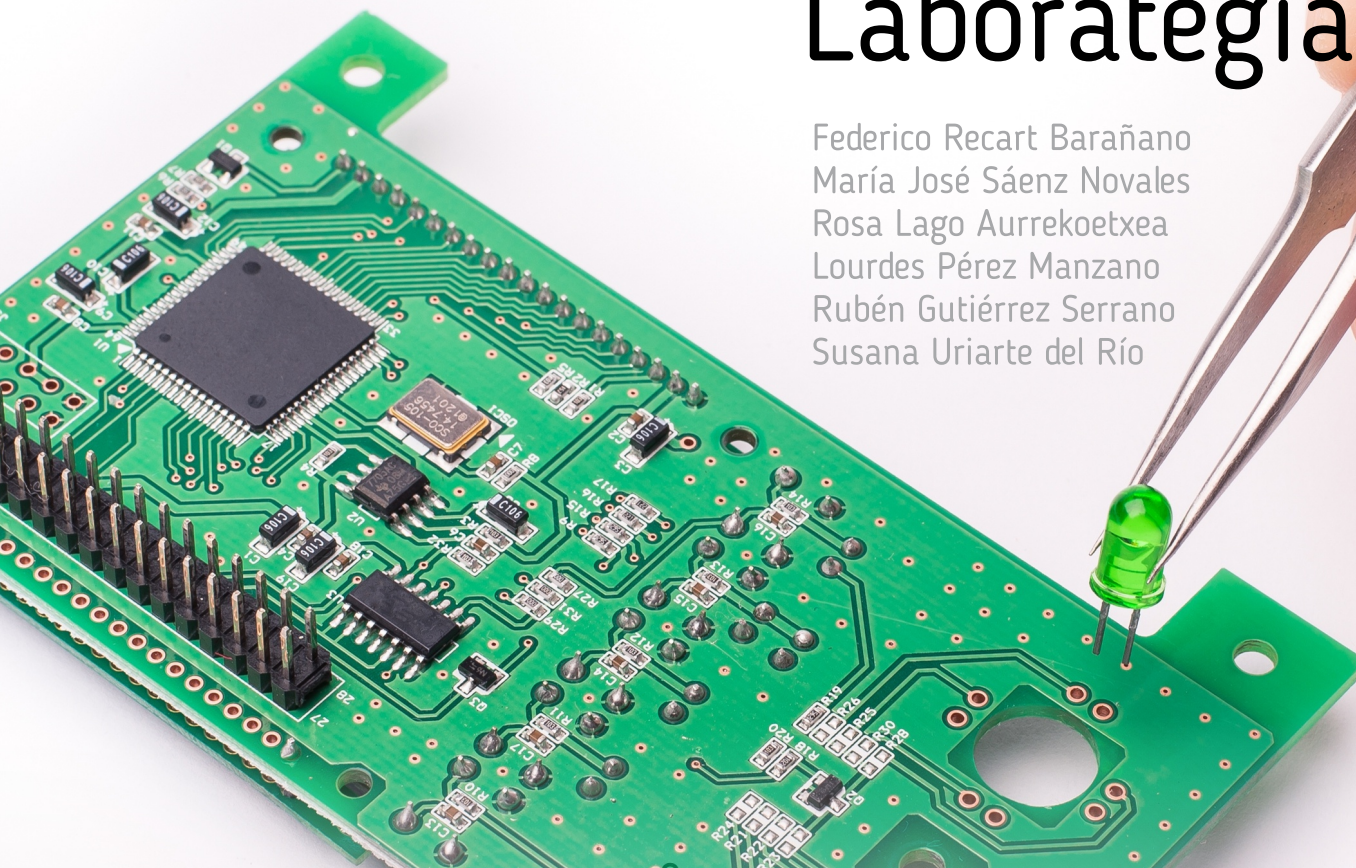


# Gailu eta zirkuitu elektronikoak

## Laborategia

Federico Recart Barañano  
María José Sáenz Novales  
Rosa Lago Aurrekoetxea  
Lourdes Pérez Manzano  
Rubén Gutiérrez Serrano  
Susana Uriarte del Río



*CIP. Unibertsitateko Biblioteka*

**Gailu** eta zirkuitu elektronikoak [Recurso electrónico] : laborategia /Federico Recart Barañano ... [et al.]. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, [2018]. – 1 recurso en línea : PDF (106 p.)

Modo de acceso: World Wide Web.

ISBN: 978-84-9082-784-0.

1. Circuitos electrónicos. 2. Componentes electrónicos. 3. Electrónica – Manuales de laboratorio. I. Recart Barañano, Federico, coaut.

(0.034)621.38.049(076.5)

# Aurkibidea

<b>Sarrera</b> .....	5
<b>A ATALA. DIODOAK</b> .....	7
1. Diodoen I-V kurbak eta uhin erdiko zuzentzailea .....	8
A. Praktika prestatzen .....	8
B. Laborategian egin beharreko lana .....	13
2. Zener diodoak eta erregulazioa .....	15
A. Praktika prestatzen .....	15
B. Laborategian egin beharreko lana .....	20
3. Uhin osoko zuzentzailea, iragazki eta erregulazioarekin .....	26
A. Praktika prestatzen .....	26
B. Laborategian egin beharreko lana .....	30
<b>B ATALA. TRANSISTORE BIPOLARRA</b> .....	33
4. Transistore bipolarrarren I-V ezaugarriak (BJTren kurbak) .....	34
Prestaketa eta laborategian egin beharreko lana .....	34
5. Transistore bipolarrak polarizatzen .....	42
A. Praktika prestatzen .....	42
B. Laborategian egin beharreko lana .....	47
6. Korrante-iturriak .....	50
A. Praktika prestatzen .....	50
B. Laborategian egin beharreko lana .....	55
7. Transistore bipolarrak eta amplifikatzea: kolektore komuna .....	59
A. Praktika prestatzen .....	59
B. Laborategian egin beharreko lana .....	64
8. Transistore bipolarrak eta amplifikatzea: igorle komuna .....	67
A. Praktika prestatzen .....	67
B. Laborategian egin beharreko lana .....	70

9. Anplifikadore diferentziala .....	76
A. Praktika prestatzen .....	76
B. Laborategian egin beharreko lana .....	81
10. Push-pull motako irteera .....	86
A. Praktika prestatzen .....	86
B. Laborategian egin beharreko lana .....	90
<b>C ATALA. EREMU-EFEKTUKO TRANSISTOREA</b> .....	93
11. JFET transistoreak: polarizazioa eta anplifikatzea .....	94
A. Praktika prestatzen .....	94
B. Laborategian egin beharreko lana .....	97
<b>Eranskinak</b> .....	102
1. Txostenak modu egokian egiteko gomendio batzuk .....	103
2. Datu-orrien estekak .....	105

# Sarrera

Liburu honek Telekomunikazio Teknologiaren Ingeniaritzako Graduako *Gailu eta Zirkuitu Elektronikokoak* (GeZE) irakasgaiaren laborategiko praktikak jasotzen ditu. Haietan, esperimentalki lantzen dira GeZE irakasgaiaren ikusitako osagai elektronikoen ezaugarriak eta aplikazioak.

Liburuan hamaika praktika biltzen dira, hiru ataletan banatuta, hiru direlako irakasgaiaren lantzen diren osagai mota nagusiak: pn junturako diodoak (artezleak eta Zenerrak, besteak beste), transistore bipolarrak, eta eremu-efektuko transistoreak (batez ere, JFETak eta MOSFETak).

Lehenengo atalean, diodoei buruzko hiru praktika daude. Hasteko, diodo mota nagusien ezaugarri-kurbak aztertzen dira. Gero, Zener diodoa erreguladore gisa erabiltzen da, hori baita haren aplikazio adierazgarriena. Amaitzeko, uhin osoko zuzentzaile bat analizatzen da, iragazki eta erregulazioarekin.

Bigarren atala transistore bipolarrei dagokie, eta luzeena da, zazpi praktikaz osatzen da. Praktika hauetan zehar, transistoreen polarizazioa eta anplifikatzeko gaitasuna lantzen dira, horretarako konfigurazio ezberdinak erabiliz. Gainera, zirkuitu-egitura berezi batzuk aztertzen dira: korronte-ispilua, anplifikadore diferentziala eta push-pull irteerako etapa.

Hirugarren atalean eremu-efektuko transistoreak lantzen dira, praktika bakarra erabiliz. JFET baten polarizazioa eta anplifikatzea erabiliz, haren ezaugarri nagusiak esperimentalki analizatzen dira.

Praktika bakoitzak bi azpiatal ditu: prestaketa eta praktika bera. Prestaketa da laborategira joan baino lehen irakurri eta bete behar den zatia; praktika, laborategian garatzen dena; hau da, laborategiko saioaren gidoia (hau ere aldeztu aurretik irakurtzea komeni da).

Ikasleak eGela plataforman aurkituko ditu bai prestaketa bai saioaren gidoia. Gehienetan, prestaketaren galderak erantzuteko eGelan bertan betetzeko galdetegi bat egongo da; bestela, irakasleari eskura eman beharko zaizkio egin beharrekoak. Laborategian praktika burutu ondoren, ikasleak praktikari buruzko txostena idatzi beharko du, astebeteko epean, eta, horretarako, beha-

rrezkoa da liburu honen amaieran gehitzen diren argibideak irakurtzea (ikus lehenengo eranskina). Batzuetan, txostena idatzi beharrean, praktikarekin batera doan fitxa laborategian bertan betetzeko eskatuko da.

Liburu honetan biltzen diren praktika guztiak gauzatzeko, prestaketak zein praktikak berak, nahitaezkoa da erabiliko diren gailu elektronikoen datu-orriak kontsultatzea. Horregatik, bigarren eranskinean zerrendatzen dira datu-orri horien estekak.

A ATALA

DIODOAK

1.

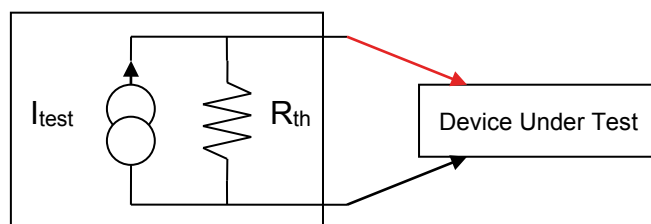
## Diodoen I-V kurbak eta uhin erdiko zuzentzailea

### A. PRAKTIKAK PRESTATZEN

Irakurri ohar hauek eta praktikaren enuntziatua, eta saiatu honako galdera hauei erantzuten laborategira joan baino lehen.

#### 1. Polimetroaren erabilera *diodo* moduan

Modu honetan, polimetroa korrante jakin bat (askotan, 1-10 mA) injektatzen saiatzen da bere terminal positibotik (R) negatibora (COM), eta irakurtzen den balioa gailuan aplikatu den tentsioa da. Hori dela eta, korrontearen noranzkoak diodoa zuzenean polarizatzen badu, neurketa diodoaren atariko tentsioa izango da (proban erabilitako korronterako  $V_g$ ). Alderantziz polarizatzen saiatzen bada, berriz, polimetroa ez da gauza izango testeko korrontea aplikatzeko, eta agertuko den tentsioa handiagoa izango da (OL  $\Leftrightarrow$  Over Limit / Over Load esango du). Prozedura hau ez da —normalean— baliagarria izango, diodoa zirkuitu batean muntatuta badago.



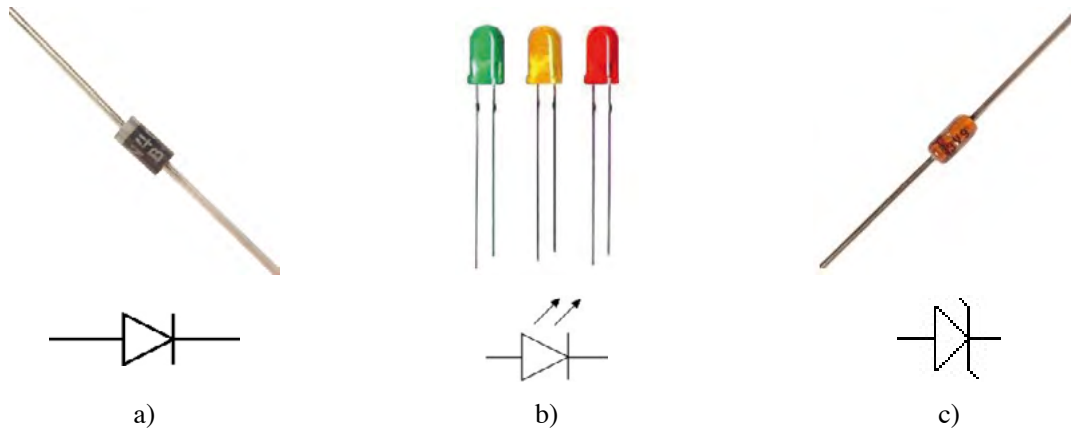


Zer gertatuko litzateke erresistentzia batekin aplikatuko bagenu?

- Erresistentziaren simetriaren neurria emango liguke irakurketak.
- OL emango luke erresistentzia txikiekin, eta balio baxu bat erresistentzia handiekin.
- OL emango luke erresistentzia handiekin, eta balio txiki bat erresistentzia oso txikiekin.

## 2. Osagaien itxura eta zirkuitu-ikurrak

Diodo zuzentzaileetan eta Zenerretan, katodoak marratxo bat du kapsulan. LEDetan, katodoko terminala laburragoa izan ohi da, eta hozka txiki bat du.



Zenbait diodoren itxura eta zirkuitu-ikurrak: a) siliziozko zuzentzailea b) LED c) Zener

## 3. Osagaiei buruzko zenbait galdera (ikus datu-orriak)

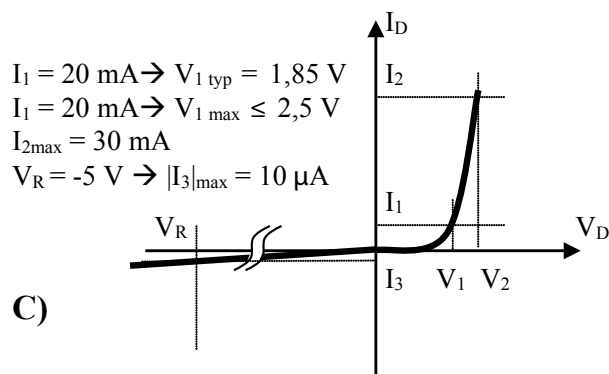
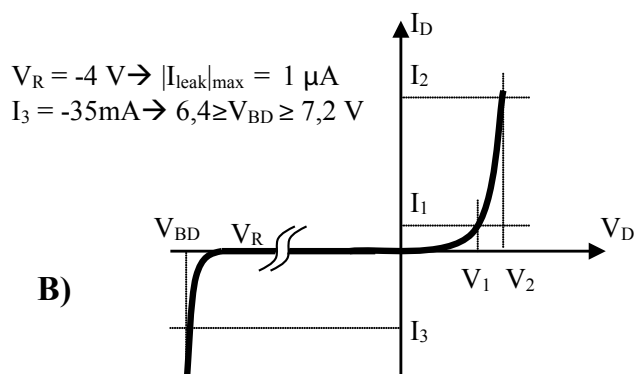
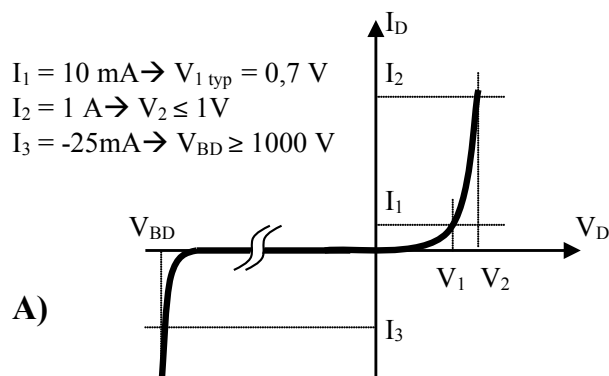
*Diodo zuzentzailea – 1N4007*

- Diodo honen datu-orrietako 2. irudian ikusten den bezala, giro-tenperaturan, honako hau da haren atariko tentsio tipikoa, 10 mA inguruko korronteetarako:
  - $V_g = V_{\text{Forward}} = 0,7 \text{ V}$
  - $V_g = V_{\text{Forward}} = 0,8 \text{ V}$
  - $V_g = V_{\text{Forward}} = 1,0 \text{ V}$
- Onar daitezkeen balio maximoak* (maximum ratings) atalean ikusten dugunez, honako hau da diodo mota honek jasan (blokea) dezakeen alderantzizko tentsio maximoa (25 °C):
  - 1000 V
  - Infinitua
  - 700 V
- Onar daitezkeen balio maximoak* (maximum ratings) atalean, edo 1. eta 3. irudiak analizatuz:
  - Diodoak jasaten duen korronte jarraitu (edo batez besteko korronte) maximoa (25 °C) 1 A da.
  - Jasan dezakeen korronte maximoa (errepikarik gabe) 30 A da.
  - Aurreko bi erantzunak dira zuzenak.

LED Diodoa – L53RSD

1. LEDaren kolorea gorria/horia/berdea da, GaAlAs materialezkoa da, eta 300-400 nm, 640-680 nm, 2-3  $\mu\text{m}$  uhin-luzeretan igortzen du.
2. Estatikoan (edo DCn, edo *etengabe*) jasan dezakeen korrante maximoa (2. or.) [30 mA- /50mA/1 A] da.
3. Haren atariko tentsioa, 20 mA inguruko korranteekin lan eginez gero, [ $<1,85\text{V} / < 2.5 \text{ V} / > 2\text{V}$ ] da.

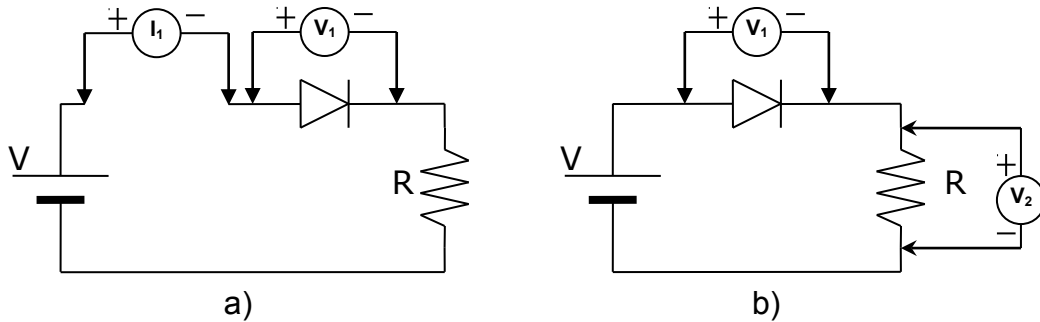
Esan zein diren aurreko bi diodoen ezaugarri-kurbak



Hiru diodo ezberdinen I-V kurbak (haien artean 1N4007 eta LED L53RSD)

4. IV ezaugarriaren neurketari buruzko prestaketa

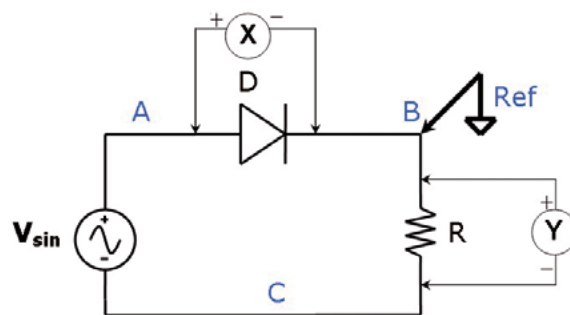
1. Pentsatu zer abantaila eta zer desabantaila dituzten honako zirkuitu hauek, diodo baten I-V ezaugarriak neurtzeko. Bietan, bi polimetro eta denboran zehar aldatuz doan tentsio zuzen bat erabiltzen dira:



- a) Muntatutako zirkuituan korronea eta tentsioa zuzenean neurtzen dira, bitartekorik gabe. b) Kasuan, berriz, korronea erresistentzian erortzen den tentsiotik kalkulatzen da:  $I_D = V_2/R$ .

Zein dira prozedura bakoitzaren abantailak eta desabantailak?

- a) Anperemetro bat erabili nahi badugu, zirkuitua askotxo aldatu behar dugu (ireki eta neurgailua seriean sartu), baina emaitza berehalakoa da.
  - b) Korronea tentsioaren bitartez neurtzeko, zehatz-mehatz jakin behar dugu erresistentziaren balioa, eta, gero, zatiketa bat egin behar dugu; baina neurtzea bera oso erraza da.
  - c) Aurreko bi erantzunak dira zuzenak.
2. Aurreko  $V_2$  tentsioa (korronearen adierazlea) erraz irudikatzen da  $V_1$  tentsioaren funtzioan maiztasun baxuko seinale bat eta osziloskopioaren XY modua erabiliz, honako zirkuitu honekin:



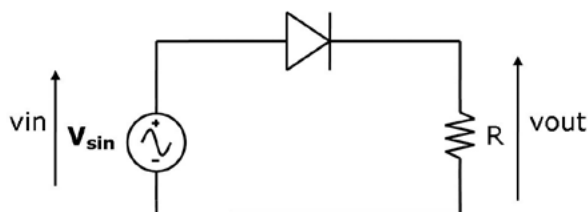
Pentsatu nola konektatu behar diren osziloskopioan X ( $v_{AB}$ ) eta Y ( $v_{BC}$ ) sarbideak.

- a) Erreferentzia C puntuan, CH1 =  $V_{AC} - V_{BC}$  eta CH2 =  $V_{BC}$
- b) Erreferentzia B puntuan, CH1 =  $V_{AB}$  eta CH2 =  $V_{CB}$  inbertituta =  $V_{BC}$
- c) Erreferentzia B puntuan, CH1 =  $V_{AB}$  eta CH2 =  $V_{BC}$

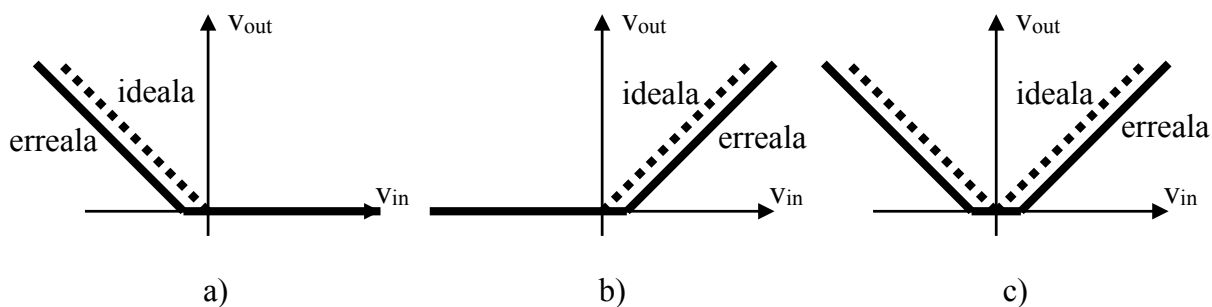
### 5. Uhin erdiko zuzentzaileaz

Pentsatu, beheko zirkuiturako,  $v_{out}$  eta  $v_{in}$  modu dualean eta XY moduan ikusiz gero lortzen diren irudiak.

Aurreko zirkuitua erabiliz,  $v_{in}$  eta  $v_{out}$  sarrerako eta irteerako seinaleak batera irudika ditza-kegu modu dualean zein XY moduan. XY moduan ( $X = CH1 = v_{in}$ ;  $Y = CH2 = v_{out}$ ), irteera sarre-raren funtzio gisa adieraz daiteke, transferentzia-kurba izeneko grafikoan, hain zuzen ere.



Nolakoa da zirkuitu honen transferentzia-funtzioa?



## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen lehenengo atalean, diodo batzuen estatikoko I-V kurbak lortuko dira. Horretarako, bi prozedura erabiliko dira: lehenengoan tentsio zuzen batzuk aplikatuz joango gara, eta dagozkien korranteak neurtuko ditugu; bigarrenean, diodoei maiztasun baxuko seinale alterno bat aplikatuko diegu —oso zirkuitu simple baten bidez—, eta osziloskopioan (XY moduan) korrantea tentsioaren arabera irudikatuko dugu.

Bigarren atalean, uhin erdiko zuzentzailearen funtzionamendua analizatuko da. Sarrerako eta irteerako uhin-formak eta transferentzia-kurba neurtzeaz gain, atariko tentsioaren efektua balioetsiko da, eta, maiztasuna igoz, efektu dinamiko nabarmenak ikusiko ditugu.

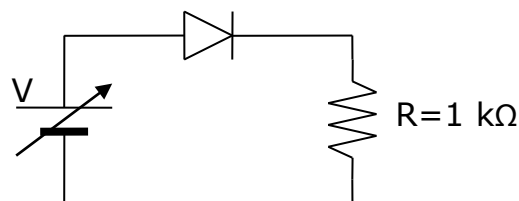
### A. I-V ezaugarria

#### 1. Terminalak bereizten eta atariko tentsioa neurtzen

Esan, polimetroa **diodo** moduan erabiliz, zein den katodoa eta zein anodoa eta zenbat den atariko tentsioa bi diodo hauetarako: 1N4007 (Si) eta L53 LED 5 mm. Alderatu lortu dituzun balioak datu-orrietan agertzen direnekin.

#### 2. I-V ezaugarria puntuz puntu lortzen

Muntatu behean agertzen den zirkuitua 1N4007 diodoarekin eta elikadura-iturriarekin (korrantea 100 mA-an mugatuz).



- a) Finkatu iturriko tentsioa behean agertzen diren balioetan (-20 V-etik 20 V-erako tartean) eta, kasu bakoitzeko, neurtu diodoan erortzen den tentsioa eta zirkuitutik dugun korrantea.

V (V)	-20	-15	-10	-3	-2	-1	0	1	2	3	10	15	20
$V_D$ (V)													
$I_D$ (mA)													

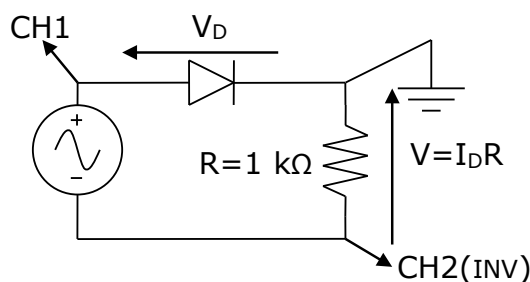
- b) Hartutako datuekin, marraztu diodoaren I-V ezaugarria.

### 3. I-V ezaugarria osziloskopioan ikusten (XY moduan)

I-V kurbak irudikatzeko, seinale hauek sartu behar ditugu osziloskopiora:

- X ardatzean (CH1-ean) diodoan erortzen den tentsioa,  $V_D$ .
- Y ardatzean (CH2-an) korronearekiko proportzionala den tentsio bat sartu beharko dugu: erresistentzia erortzen den tentsioa.

Puntu bat ez baina I-V kurba oso bat lortzeko (tarte batean seinale horiek har ditzaketen balio posibleak irudikatzeko), seinale alferno sinusoidal bat aplikatuko dugu. Tentsio hori mahaiko transformadoretik lortuko dugu, eta  $12 V_{ef}$  eta  $f = 50 \text{ Hz}$  ezaugarriak izango ditu.



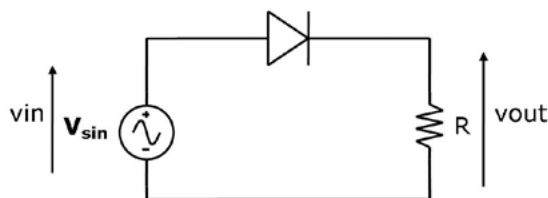
Muntatutako zirkuitu hau erabiliz, irudikatu osziloskopioan eta marraztu honako diodo hauen I-V ezaugarria:

- a) 1N4007
- b) L53 LED 5mm

### B. Uhin erdiko zuzentzailea. Atariko tentsioa eta efektu dinamikoak

1N4007 diodoa eta funtzio-sorgailua erabiliz, muntatu irudiko zirkuitua, irudikatu —osziloskopioan, batera (DUAL)— sarrerako eta irteerako seinaleak, eta ikusi haien arteko erlazioa (XY moduan), puntako balio eta maiztasun hauek erabiliz:

- a)  $V_{in} = 8 V_p$ ;  $f = 100 \text{ Hz}$
- b)  $V_{in} = 8 V_p$ ;  $f = 10 \text{ kHz}$
- c)  $V_{in} = 1,5 V_p$ ;  $f = 100 \text{ Hz}$



- d) Azaldu zer nolako eragina duten maiztasunak eta atariko tentsioak  $v_{out}(t)$  eta  $v_{out}(v_{in})$  kurbetan.

2.

## Zener diodoak eta erregulazioa

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

Irakurri ohar hauek, eta erantzun testuko galderak laborategira joan baino lehen.

#### 1. Zener diodoen I-V ezaugarria



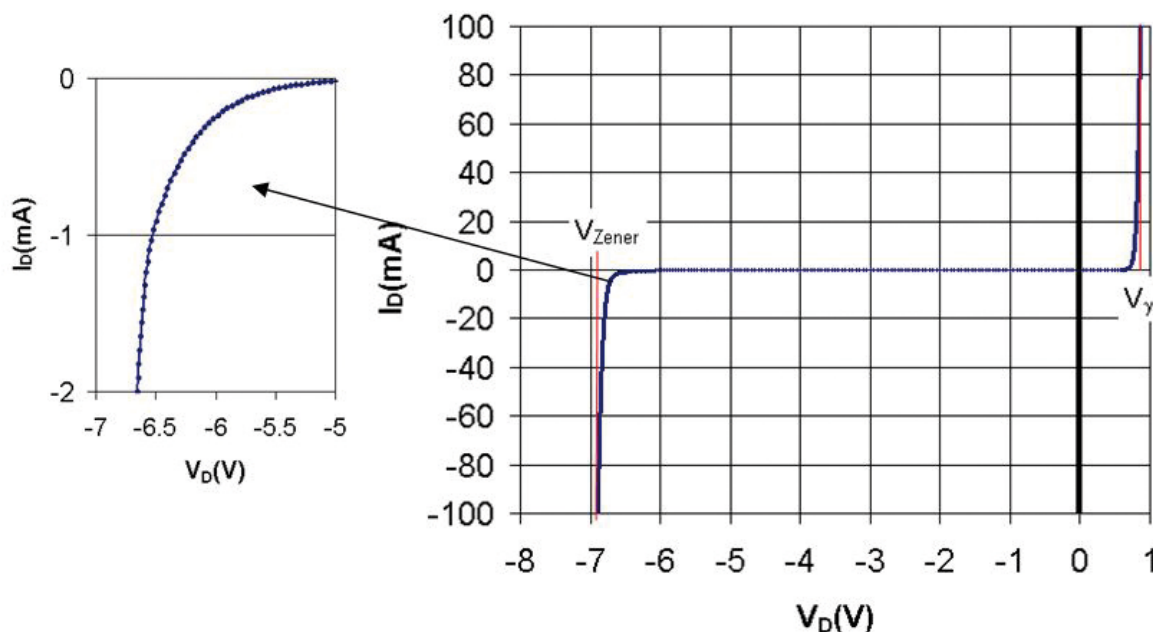
1. IRUDIA

**Zener diodo bat (marratxoak katodoa adierazten du) eta zirkuitu-ikurra**

Lehenengo praktikan ikusi dugunez, diodo zuzentzaileek (1N4007 diodoak, adibidez) zuzenean ondo eroaten dute baldin eta atariko —ukondoko— tentsio txiki bat aplikatzen badugu; berriz, oso ondo blokeatzen/geldiarazten dute kontrako noranzkoan doan korronea (oso altuak diren tentsio inbertsoak aplikatzen ez badira).

Tentsio positiboekin (hots, zuzenean) Zener diodoen portaera zuzentzaileena bezalakoa da, eta tentsio inbertso oso txikiekin ere korronea blokeatzen dute. Halere, fabrikazio-prozesuan erabiltzen diren dopaketak eta geometria direla eta, tentsio negatibo (ez oso handi) jakin bat aplikatuz gero, nahiko modu latzean hasten dira eroaten. Eroapen inbertsoko erregio horri *hausturako eskualde* deitzen diogu, eta Zener diodoen aplikazioetan, normalean, horixe aprobetxatzen da. Korrone negatiboak lortzeko, Zener tentsioa aplikatu behar da. Nahiko konstantea eta zehatza izaten denez, Zenerrak tentsio-erreferentzia gisa erabil daitezke.

2. irudian Zener diodo baten kurba bereizgarria dugu. Bertan, atariko tentsioa  $V_g$ , eta hausturako tentsioa ( $V_{zener} \sim 6,8 \text{ V}$ ) irudikatu dira.



2. IRUDIA

### Zener baten I-V ezaugarria eta zona baten xehetasuna

Diodo honetarako,  $-2 \text{ mA}$  eta  $-100 \text{ mA}$  arteko korronteak ditugunean, tentsioa  $-6,65 \text{ V}$  eta  $-6,9 \text{ V}$  artean dago. Eta  $-4 \text{ V}$  ditugunean, korrontea oso txikia da: grafikoan  $I = 0 \text{ mA}$  irakurriko genuke. Zehazkiago,  $I_D(-4\text{V}) = -1,5 \mu\text{A}$  ikusiko genuke.

Fabrikazio-prozesuan dauden perdoiak (tolerantziak) direla eta, modelo horretako diodo guztiak ez dira berdin-berdinak izango, eta, beraz, fabrikatzaileak parametro nagusien ohiko balioak eta, puntu kritiko batzuetarako, gehieneko/gutxieneko balio batzuk emango dizkigu datu-orrietan.

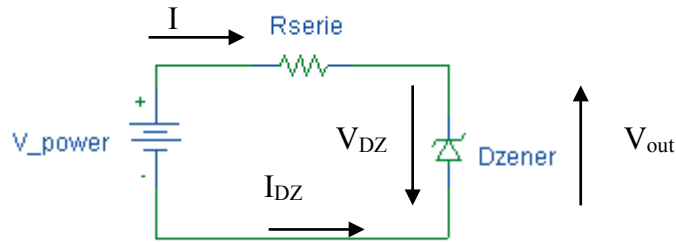
### PRAKTIKARA JOAN BAINO LEHEN ERANTZUN BEHARREKO GALDERAK BZX85C6V8 DIODOAREN EZAUGARRIAK – IKUSI HAREN DATU-ORRIAK

1. Ezaugarri elektrikoaren taula ikusiz, Zenerretik alderantzizko korrontea  $35 \text{ mA}$  bada ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), diodoan dugun tentsioa (moduluan) gutxienez  $\text{___ V}$  eta gehienez  $\text{___ V}$  izango da.
2. Beraz, diodo honen Zener tentsioa  $\text{___ V} \pm \text{___ V}$  izango da.
3. Taula horretan bertan esaten digutenez, alderantzizko polarizaziopean, OFFean, diodoa zeharkatuko duen korrontea ( $-4 \text{ V}$ -ean neurtuta)  $\text{___ A}$  izango da (moduluan).
4. *Onar daitezkeen balio maximoak* (maximum ratings) atalean ikusten denez, xahu dezakeen potentzia maximoa  $\text{___ W}$  da. Beraz, hausturako eskualdean lan egiten duenean jasan dezakeen korrontea  $1\text{W}/6,8\text{V} = \text{___ mA}$  izango da.



2. Zener diodo bat erabiltzen duen ohiko zirkuitua

2.1. Kargarik gabe



3. IRUDIA

Zener bat duen zirkuitua

Zirkuitu honetan, diodoa alderantziz polarizatzen dugu.  $V_{power}$  tentsioa hausturan sartzeko behar dena (6,8 V) baino txikiagoa bada, diodoak ez du ia korronteirik onartuko (korrontea oso oso txikia izango da).  $V_{power}$  nahiko handia bada, diodoak eroan egingo du, eta  $V_{out} = (-) V_{Zener}$  finkatuko du.

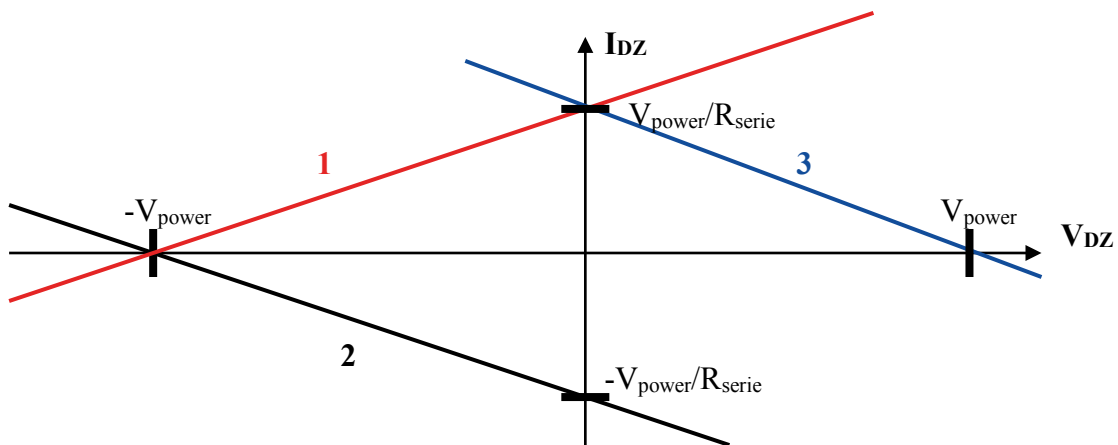
Analitikoki, erraz ikusten denez:

$$V_{power} = I \cdot R_{serie} + V_{out} = -I_{DZ} \cdot R_{serie} - V_{DZ} \text{ beteko da.}$$

$V_{power} > 0$  onartzen badugu (eta, beraz,  $I > 0$  y  $V_{out} > 0$ ), zirkuituak honako erlazio lineal hau behartuko/bermatuko du  $I_{DZ}$  eta  $V_{DZ}$  aldagaien artean:

$$I_{DZ} = -\frac{V_{power}}{R_{serie}} - \frac{V_{DZ}}{R_{serie}} \quad y = y_0 + m \cdot x$$

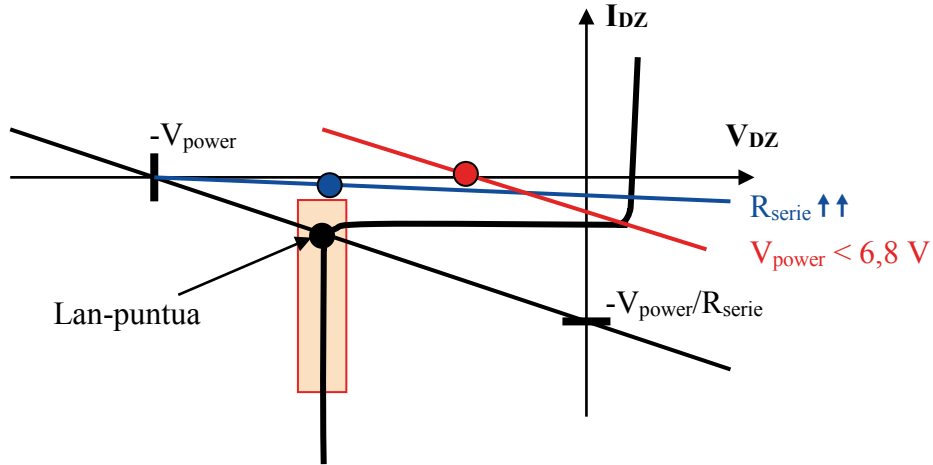
**GALDERA:** beheko irudian, zein da goiko ekuazioari dagokion zuzena? 1, 2 ala 3?



4. IRUDIA

Zirkuituak ematen digun ekuazioaren grafikoa (karga zuzena)

Zenerraren I-V kurba eta karga zuzena (zirkuitutik atera dugun ekuazioa) uztartuz ikusten dugunez, Zenerrak, normalean ( $V_{power} > 6,8 \text{ V}$  eta serieko erresistentzia altuegia ez bada),  $V_{DZ} \sim -6,8 \text{ V}$  zonan lan egingo du.

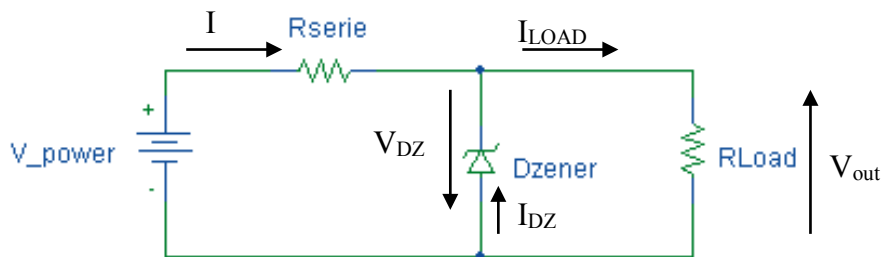


5. IRUDIA

**Bilatzen den lan-puntua (beltzez) eta hausturako eskualdea**

$V_{power} < 6,8 \text{ V}$  bada,  $V_{DZ} = -V_{power}$  izango da, eta Zenerrak ez du eroango (puntu gorria).  $R_{serie}$  erresistentzia oso altua bada, zirkuitutik eta Zenerretik joango den korrontea oso txikia izango da, eta tentsioa baxuagoa izango da (puntu urdina).

## 2.2. $R_L$ karga bat jarritz



6. IRUDIA

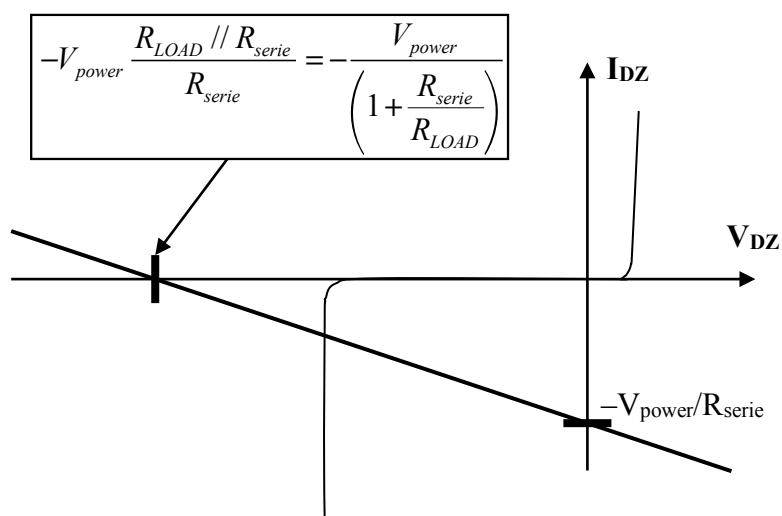
**Zener diodoak  $R_{LOAD}$  kargan aplikatzen den tentsioa finkatzen du.**

$$I = \frac{V_{power} + V_{DZ}}{R_{serie}} \qquad I_{LOAD} = \frac{-V_{DZ}}{R_{LOAD}}$$

$$I_{DZ} = I_{LOAD} - I = -\frac{V_{DZ}}{R_{LOAD}} - \frac{V_{power} + V_{DZ}}{R_{serie}} = -V_{DZ} \left( \frac{1}{R_{LOAD}} + \frac{1}{R_{serie}} \right) - \frac{V_{power}}{R_{serie}}$$

$$I_{DZ} = -\frac{V_{power}}{R_{serie}} - \frac{V_{DZ}}{R_{LOAD} // R_{serie}}$$

$$y = y_0 + m \cdot x$$



**Ondorio garrantzitsua:**  $V_{power}$  askotarako eta  $R_{load}$  karga ezberdinetarako kargan agertuko den tentsioa Zener tentsioa izango da. Hau da, egoera askotarako, Zenerrak  $R_L$  kargako tentsioa finkatu egiten du ( $R_L$  zirkuitu konplexu bat izan daiteke).

B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

1. Zener diodoen I-V ezaugarria neurtzen eta irudikatzen

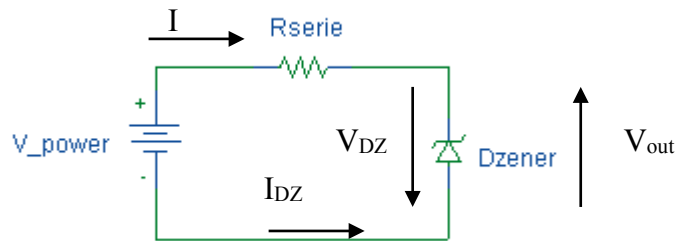


1. IRUDIA

Zener diodo bat (marratxoak katodoa adierazten du) eta zirkuitu-ikurra

Lehenengo praktikan ikusi dugunez, diodo zuzentzaileek (1N4007 diodoak, adibidez) zuzenean ondo eroaten dute, baldin eta atariko —ukondoko— tentsio txiki bat aplikatzen badugu; berriaz, oso ondo blokeatzen/geldiarazten dute kontrako noranzkoan doan korronea (oso altuak diren tentsio inbertsoak aplikatzen ez badira).

Laborategiko elikatze-iturria, BZX85C6V8 diodo bat eta erresistentzia batzuk erabiliko ditugu Zener diodoaren I-V ezaugarria neurtzeko (korronea kontrolatzeko eta neurtzeko erabiliko dugu erresistentzia).



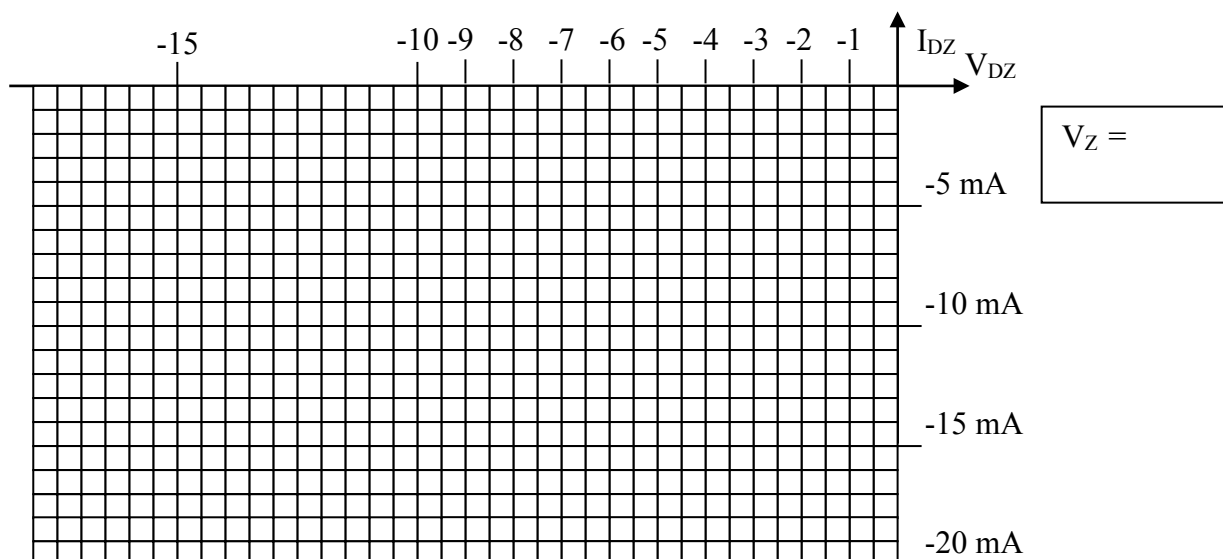
1.1. Goiko irudiko zirkuitua erabiliz, neurtu diodoaren (inbertsoko) I-V ezaugarria korrone baxuetarako (erabili  $R_{serie} = 100 \text{ k}\Omega$ ):

$V_{power}$	0	5	6	8	10
$V_{DZ}$					
$V_{Rserie}$					
$I_{DZ} = -V_{Rserie} / 100 \text{ k}\Omega$					

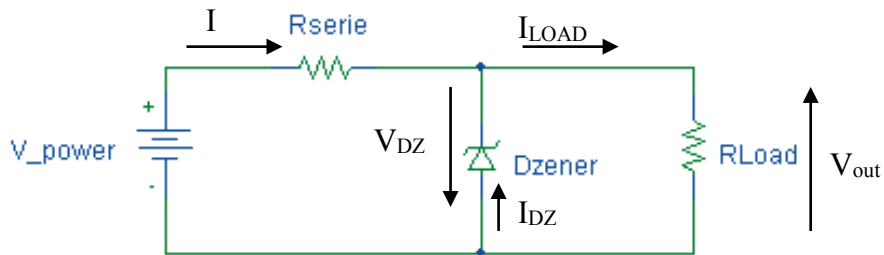
1.2. Goiko irudiko zirkuitua erabiliz, neurtu diodoaren (inbertsoko)  $I$ - $V$  ezaugarria korrante ertainetarako (erabili  $R_{serie} = 1 \text{ k}\Omega$ ):

$V_{power}$	6	8	10	20	30
$V_{DZ}$					
$V_{Rserie}$					
$I_{DZ} = -V_{Rserie} / 1 \text{ k}\Omega$					

1.3. Marraztu neurtu diren aurreko 10 datu pareak beheko grafikoan, eta esan zenbatekoa den diodoaren Zener tentsioa

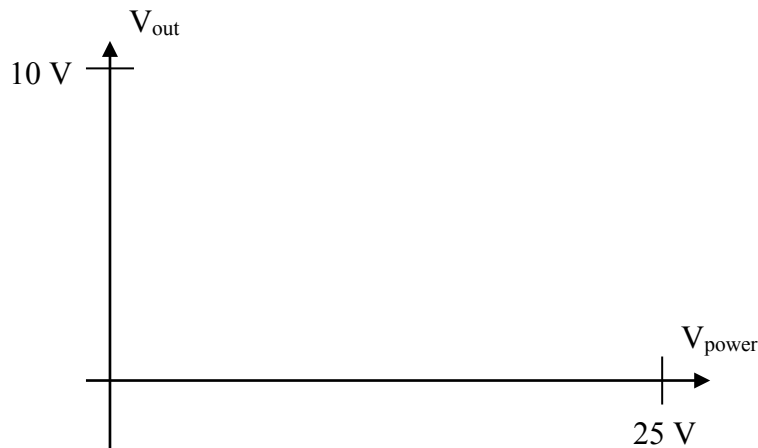


2.  $R_L$  kargan agertzen den tentsioa finkatzen



Erabili irudiko zirkuitua ( $R_{serie} = 1 \text{ k}\Omega$  eta  $R_{Load} = 10 \text{ k}\Omega$  erabiliz),  $V_{power}$  eta  $V_{out}$  tentsioen arteko erlazioa karakterizatzeko. Marraztu (goiko I-V kurban)  $V_{power} = 4 \text{ V}$  eta  $V_{power} = 15 \text{ V}$  kasuei dagozkien karga-zuzenak eta lan-puntuak.

$V_{power} \text{ (V)}$	0	4	6	8	10	15	20	25
$V_{out} \text{ (V)}$								

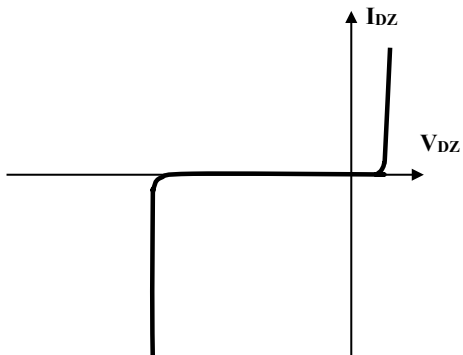
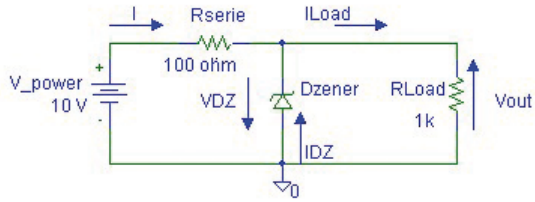


3. Zirkuitu erregulatzailetan ager daitezkeen arazoak

Beheko zirkuituetarako, kalkulatu (zirkuitua ondo dabilela eta  $V_{out} = 6,8 \text{ V}$  agertzen dela onartuz) agertuko diren tentsioak, korronteak eta potentziak. Ondoren, esan zirkuituak ondo ala gaizki erregulatuko duen ( $V_{out} = 6,8 \text{ V}$  denetz).

**Oharra:** erresistentziak  $\frac{1}{4} \text{ W}$ -ekoak dira; Zenerrak  $1 \text{ W}$  jasan/xahu dezake.

1. zirkuitua

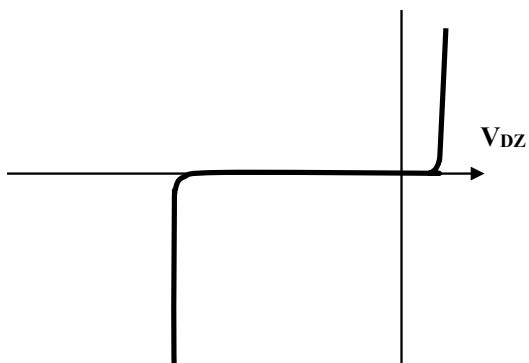
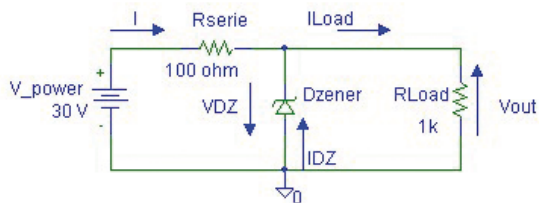


$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .

.....

2. zirkuitua

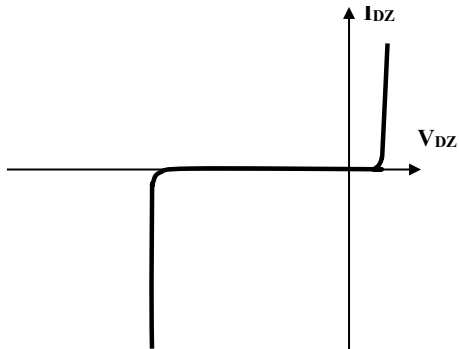
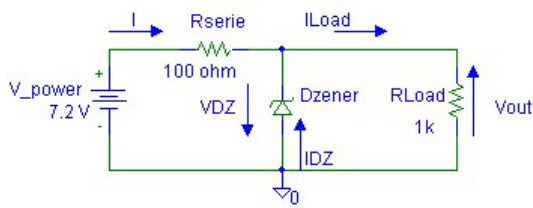


$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .

.....

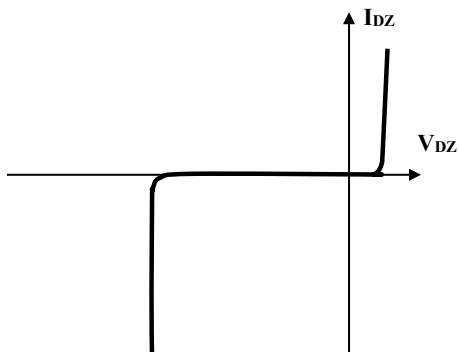
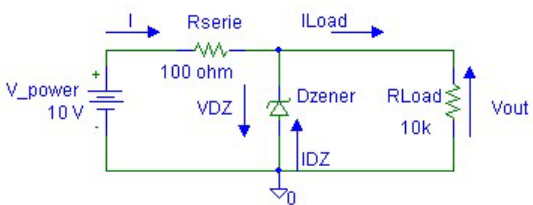
3. zirkuitua



$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .

4. zirkuitua

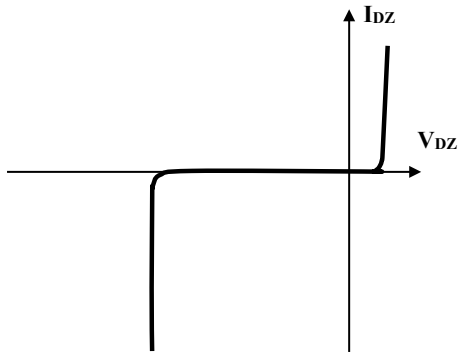
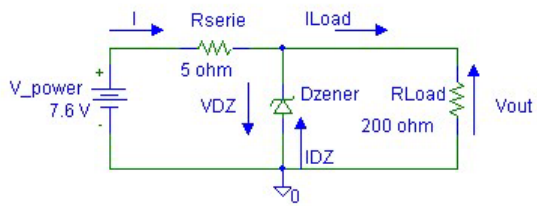


$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .



5. zirkuitua

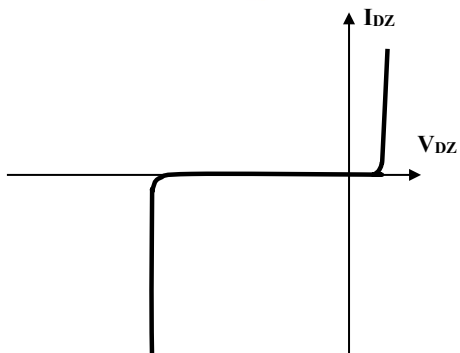
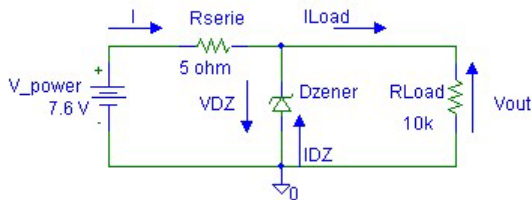


$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .

.....

6. zirkuitua



$V_{out}$ (V)	6,8
$V_{DZ}$ (V)	-6,8
I (mA)	
$I_{load}$ (mA)	
$I_{DZ}$ (mA)	
$P_{Rserie}$ (W)	
$P_{RLOAD}$ (W)	
$P_{DZENER}$ (W)	
$P_{Powersupply}$ (W)	

Funtzionatzen al du? . . . . .

.....

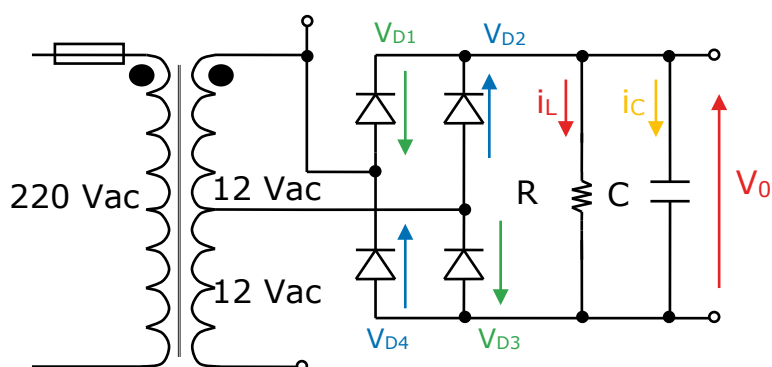
3.

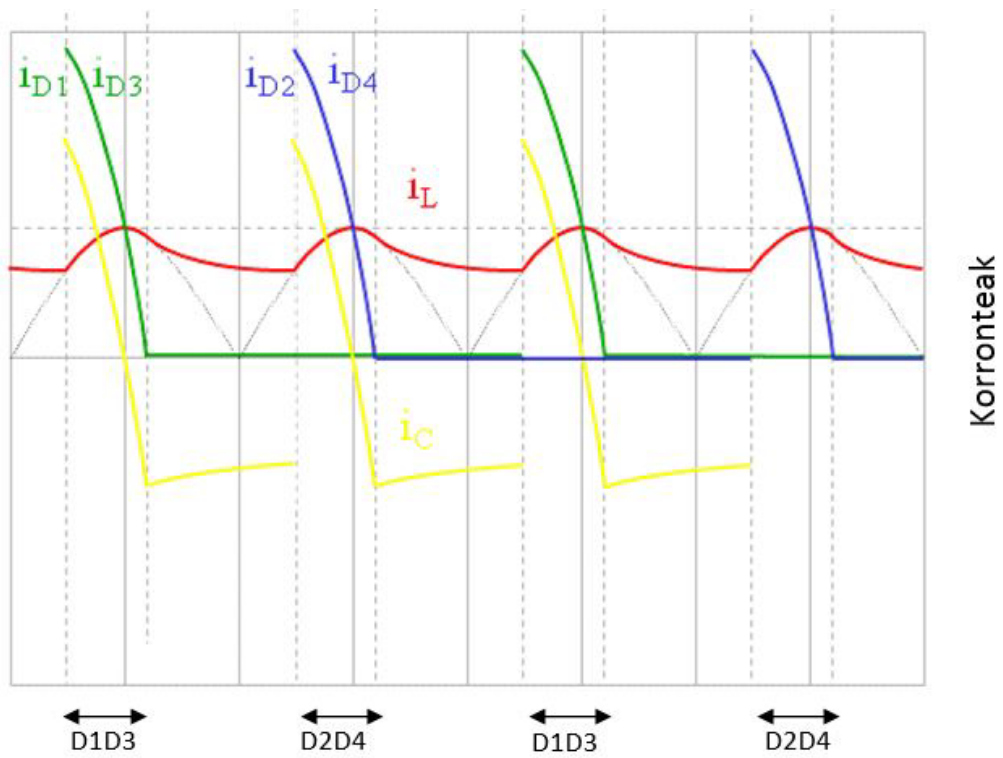
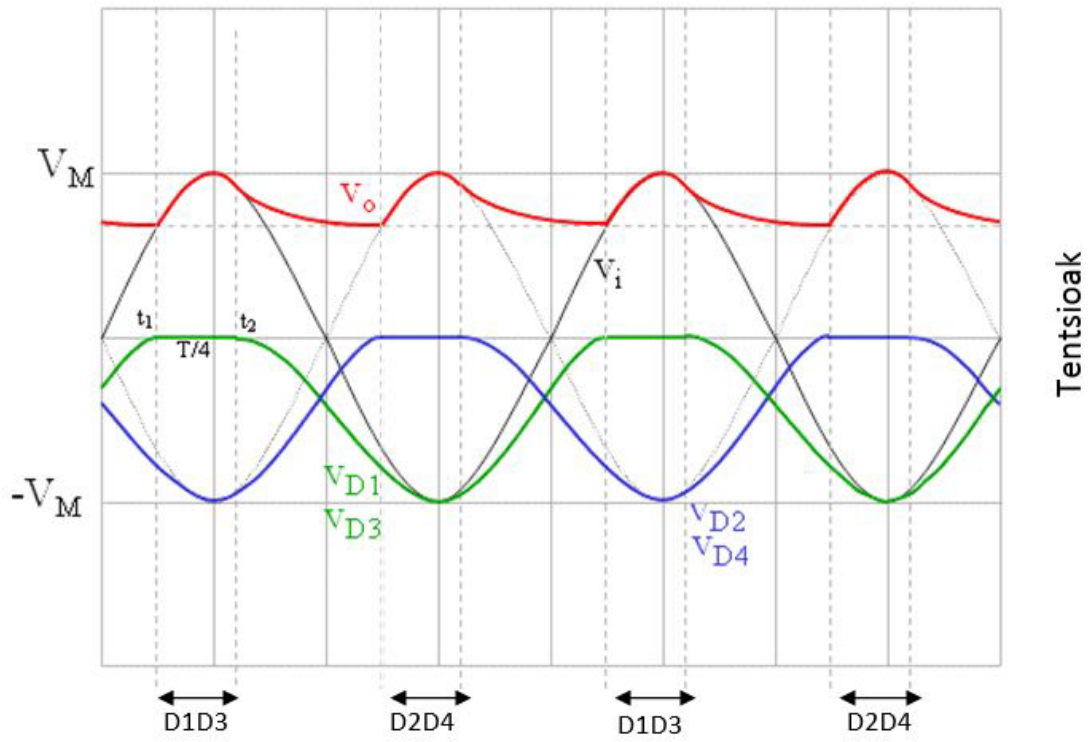
## Uhin osoko zuzentzailea, iragazki eta erregulazioarekin

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

#### 1. Uhin osoko zuzentzailea iragazkiarekin: tentsioak eta korronteak

Goiko zirkuitua uhin osoko zuzentzaile bat da, diodo-zubi batekin eginda eta iragazteko kondentsadorearekin. Hurrengo bi irudietan, irteeran eta diodoetan agertzen diren tentsioak eta gailuetatik pasatzen diren korronteak irudikatu dira, eta eroaten duten diodoak (diodo pareak) adierazi dira.





2. **Kizkurdura-faktorea: definizioa eta kalkulua (g.g.b.)**

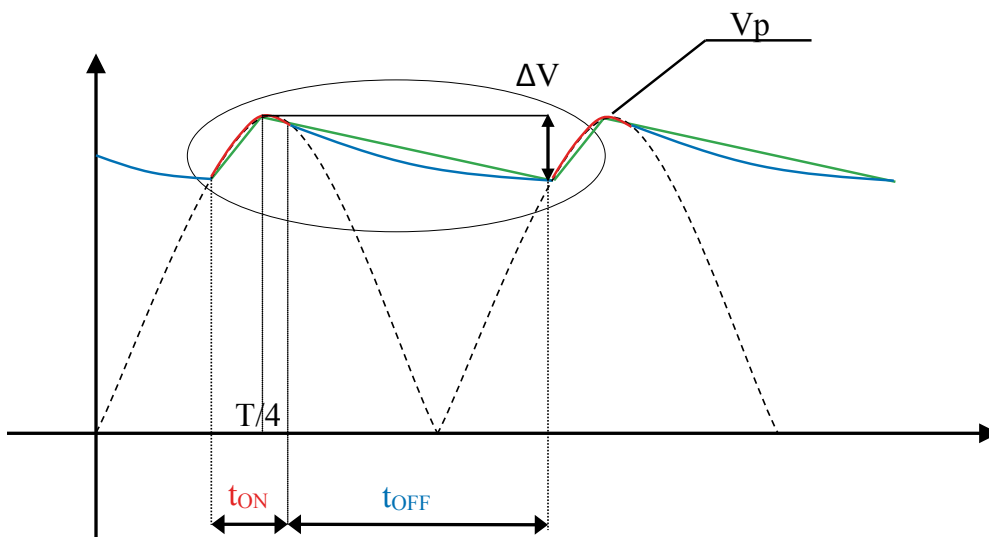
Zirkuitu hau muntatzen dugunean, gure helburua da tentsio zuzen (jarraitu) bat lortzea, seinale alferno batetik abiatuz. Kizkurdura *kargan agertzen den (nahigabeko) osagai alfernoa* da, eta haren garrantzi erlatiboa balioesteko, kizkurdura-faktorea erabiltzen dugu:

$$\gamma_r \% = \frac{V_{\text{eraginkor(AC garbia)}}}{V_{DC}} \cdot 100$$

Kizkurdura-faktorea lortzen den seinalearen itxuraren adierazlea da. Agerian uzten du irteeran osagai alfernoak duen garrantzia. Kizkurdura-faktore txiki batek zuzenketa hobea dela esaten digu, zeren eta irteerako seinalea zuzenagoa (jarraituagoa) baita (osagai alferno txikiagoa baitu).

2.1. *Gutxi gorabeherako kalkulua: uhin-formen erraztea (hurbilketa)*

Dakigunez, diodoek eroaten dutenean, irteerako seinalearen forma sinusoidala da, eta diodo guztiak OFF egoeran daudenean esponentziala (kondentsadorearen deskargari dagokionez). Baina horrelako itxura duen seinale baten balio eraginkorra (efikaza) kalkulatzeko oso zaila da, eta, lehenengo hurbilketan, seinalearen itxura hiruki batena da. Horrelakoa dela onartuz kalkulua errazten dira, eta errore txikia egiten da.



Orduan:  $V_{ef} = \frac{\Delta V}{2\sqrt{3}}$

eta kizkurdura-faktorea kalkulatzeko:  $\gamma_R (\%) = \frac{\Delta V}{V_{DC} \cdot 2\sqrt{3}} \cdot 100$

2.2.  $\gamma_r$  zirkuituko osagaien funtzioan kalkulatzeko formulak: gutxi gorabeherako garapen matematikoa

Seinalea hirukia dela eta kondentsadorearen deskarga seinalearen balio maximotik hasten dela onartuko dugu (kalkuluak errazteko bi hurbilketa dira).

$$V_C(t) = V_{PR} \cdot \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \approx V_{PR} \cdot \left(1 - \frac{t}{RC}\right) = (V_P - 2V_V) \cdot \left(1 - \frac{t}{RC}\right)$$

Iragaztea nahiko ona dela onartzen badugu, deskarga-denbora ia  $T/2$  izango da ( $t_{ON} \ll t_{OFF}$ ). Orduan, seinale hirukiaren puntatik puntarako ibilbidea eta irteerako seinalearen batezbestekoa (DC osagaia) honako hauek izango dira:

$$V_{PR} \cdot \frac{T}{2RC} \quad V_{PR} \cdot \left(1 - \frac{T}{4RC}\right)$$

Eta kizkurdura-faktorea kalkulatzeko, formula hau erabiliko dugu:

$$\gamma_R (\%) = 100 \cdot \frac{V_{PR} \cdot \frac{T}{2RC} \cdot \frac{1}{2\sqrt{3}}}{V_{PR} \cdot \left(1 - \frac{T}{4RC}\right)} = \frac{100}{\sqrt{3}} \frac{1}{\frac{4RC}{T} - 1} \approx 100 \cdot \frac{T}{4RC\sqrt{3}}$$

Praktikara joan baino lehen, kalkulatu —formula honen bidez— erabiliko diren osagaiekin lortuko diren kizkurdura-faktoreak ( $f = 50$  Hz).

### 3. Erregulazioa: Zener diodoari buruzko bi galdera

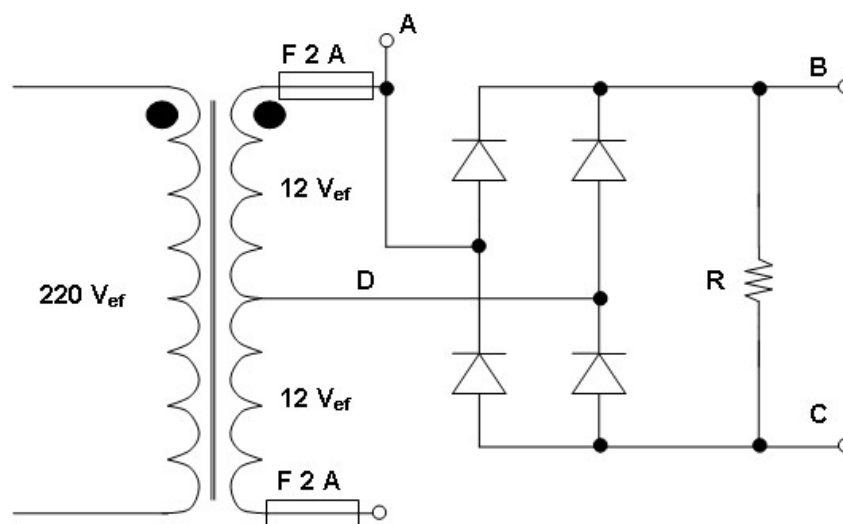
Zenbat da praktika honetan erabiliko den BZX85C10 Zenerraren haustura-tentsioa? Zenbat da haren korrante tipikoa hausturako eskualdean ( $I_{test}$ )?

## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honetan zirkuitu zuzentzaileak eta erreguladoreak landuko ditugu, muntaketen eta analisiaren aldetik. Horretarako, 6,8 volteko tentsio-iturri simple bat muntatuko dugu, honako etapa hauek erabiliz: diodo-zubidun uhin osoko zuzentzailea, kondentsadorearen bidezko iragazkia eta Zener erregulazioa. Muntaketan zehar etapaz etapa analizatuko dugu prozesatze hori.

### 1. Uhin osoko zuzentzailea

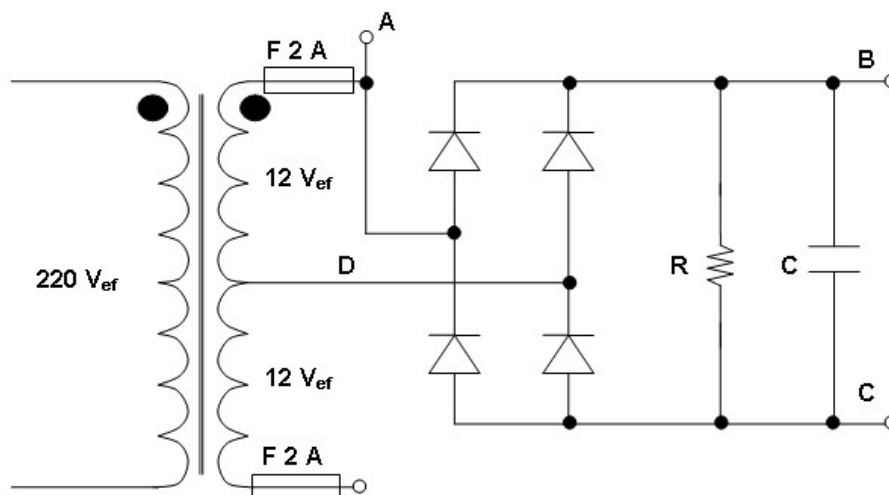
Uhin osoko zuzentzaile bat muntatuko dugu honako osagai hauek erabiliz: laborategiko mahaietako transformadorea, erdiko aterabidea duena ( $V_{ef} = 24\text{ V}$  eta  $f = 50\text{ Hz}$  ezaugarriak dituen sarrerako seinalea emango digu); diodo-zubi bat (lau 1N4007 diodo zuzentzaile erabiliz) eta 10 kW-eko erresistentzia bat.



- Marratu zer agertzen den osziloskopioan  $V_{AD}$  (lehenago) eta  $V_{BC}$  (ondoren) irudikatuz gero (ezin dira batera irudikatu, noski).
- Zenbat dira diodo bikote bakoitzak eta diodo bakoitzak jasan behar dituzten alderantzizko tentsio maximoak? Egiaztatu balio hori  $V_{AB}$  irudikatuz.
- Zenbat da erresistentzian agertzen den tentsioaren batez besteko balioa? (neurtu polimetroaz eta osziloskopioaz).

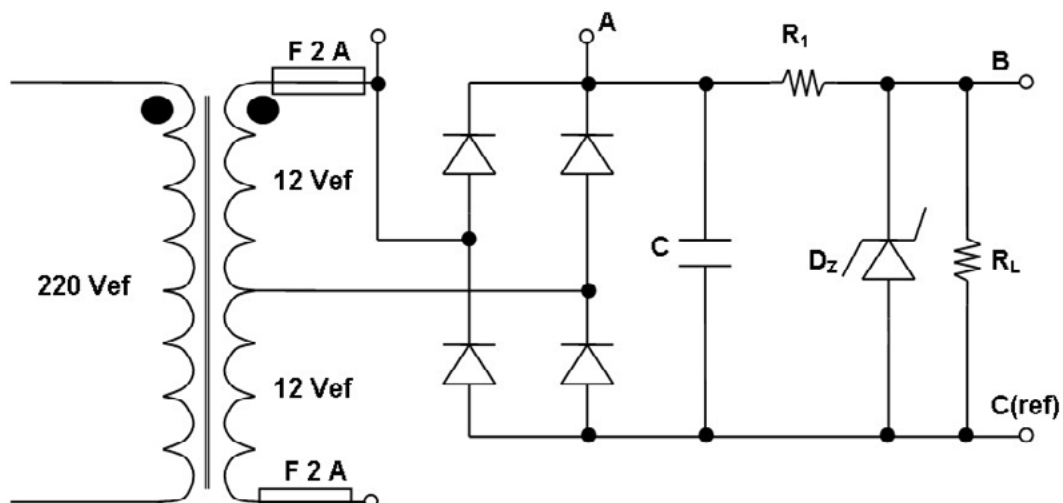
### 2. Uhin osoko zuzentzailea iragazkiarekin

Aurreko muntatutako zirkuituan, gehitu 10 mF-eko kondentsadorea erresistentziarekin paraleloan.



- Marratzu zer agertzen den osziloskopioan  $V_{AD}$  eta  $V_{BC}$  (hurrenez hurren) irudikatuz gero.
- Neurtu irteerako kizkurdura-faktorea  $\gamma_r (\%) = \frac{V_{eraginkor\ AC\ purua}}{V_{DC}} \cdot 100$
- Berregin aurreko atalak  $47\ \mu\text{F}$ -eko kondentsadore bat erabiliz.

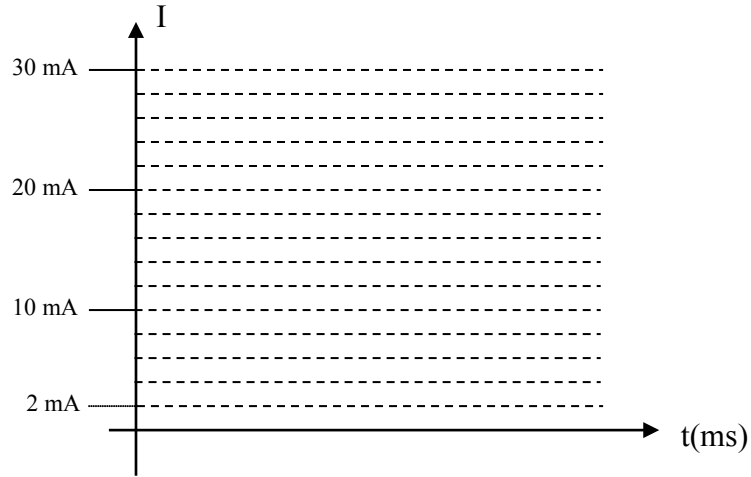
### 3. Uhin osoko zuzentzailea iragazkiarekin eta erregulazioarekin



Egin goiko irudiko zirkuitua honako osagai hauek erabiliz:  $R_1 = 330\ \Omega$ ,  $R_L = 10\ \text{k}\Omega$ ,  $C = 47\ \mu\text{F}$  eta 10 V-eko Zenerra (BZX85C10).

- Marratzu osziloskopioan agertzen diren  $V_{AC}$  eta  $V_{BC}$  seinaleak.
- Neurtu irteerako seinalearen kizkurdura-faktorea.
- a) ataleko  $V_{AC}$  eta  $V_{BC}$  seinaleetatik abiatuz, kalkulatu eta irudikatu  $R_1$  serieko erresistentzia eta  $R_L$  karga zeharkatzen dituzten korrontek ( $I_{R1} = (V_{AC} - V_{BC})/R_1$  eta  $I_{LOAD} = V_{BC}/R_L$ ).

- hurrenez hurren). Marraztu, halaber, Zener diodotik pasatzen den (aldiuneko) inbertsoko korronea ( $I_z = I_{R1} - I_{LOAD}$ ).
- d) Zertarako behar dugu  $R_1$  erresistentzia?



$I_{R1}$ ,  $I_{LOAD}$  eta  $|I_z|$  korroneen grafikoa



B ATALA

TRANSISTORE  
BIPOLARRA

4.

## Transistore bipolararren I-V ezaugarriak (BJTren kurbak)

### A. PRESTAKETA ETA LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

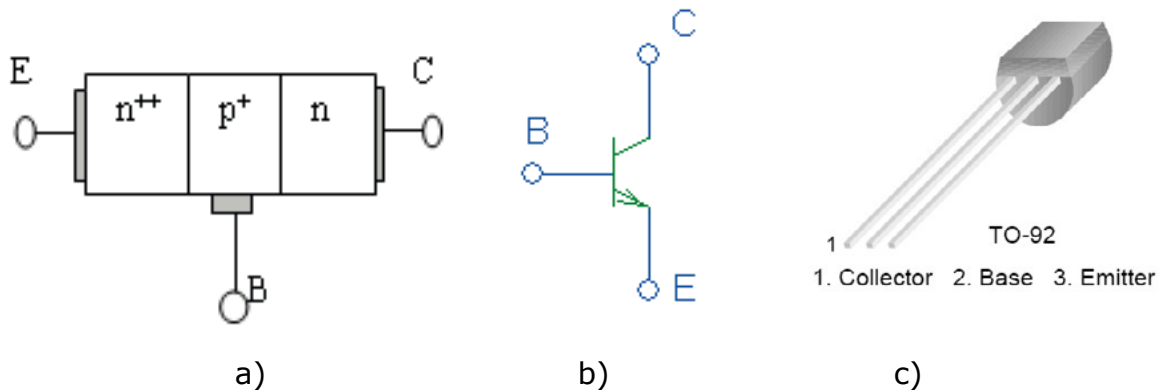
Transistoreak, bipolarrak (BJTak) zein eremu-efektukoak, ezinbesteko gailu aktiboak dira elektronikan: oinarritzko osagaiak dira anplifikadoreetan eta zirkuitu digitaletan.

Praktika honetan, transistore bipolar baten I–V ezaugarriak (kurbak) neurtuko ditugu, haien oinarritzko funtzionamendu-guneak ezagutuko ditugu, eta zuzeneko aplikazioetako bat ikusiko dugu: kontrolatutako etengailu gisa erabiliko dugu BJTa.

#### 1. Transistore bipolarren egitura fisikoa ezagutzen eta terminalak bereizten

Transistore bipolarrek hiru terminal dituzte; bakoitza erdieroalezko kristal bateko eskualde bati dagokio. Barneko egituraren erdiko eskualdea (kontuz, ez da beti kapsularen erdiko terminala izango!) **oinarria** edo **batea** da, eta haren mota (p/n) beste bi eskualdeen motaren kontrakoa da. Ondorioz, transistorean bi pn juntura izango ditugu eta, beraz, bi BJT mota nagusi ditugu: npn eta pnp. Praktika honetan npn motako BJT bat erabiliko dugu; BC547B modeloa, hain zuzen ere.

Beste bi eskualdeek, mota berekoak izan arren, dopaketa-maila oso ezberdina dute. Dopatuen (oinarria baina are gehiago) **igorlea** da, eta gezi baten bidez adierazten dugu transistorearen zirkuitu-ikurrean. Dopaketa txikiena (oinarriak baino are txikiagoa) duen eskualdeak **kolektore** du izena.



1. IRUDIA

npn transistore baten egitura fisiko kontzeptuala (a), zirkuitu-ikurra (b) eta kapsula (BC547, Fairchild Semiconductor) (c).

Hitzarmenez, sartzen diren korronteak positibotzat jotzen dira (eta, noski, irteten diren korronteak negatiboak izango dira).

## 2. Erlazio nagusiak eta aplikazioak

Praktikan ikusiko dugunez, **egoera jakin (usu) batzuetan**, kolektoreko eta baseko korronteen arteko erlazioa linealtzat jo daiteke:

$$I_C \sim \beta \cdot I_B$$

non  $\beta$  (testu batzuetan,  $h_{FE}$ ), (igorle komuneko) korronte-irabazia, transistorearen parametro garrantzitsu(en)a baita. Haren balioa (10-10.000 bitartean) transistore modeloaren eta lan-egoeren araberakoa izango da. Gure praktikan,  $\beta$  300 ingurukoa izango da.

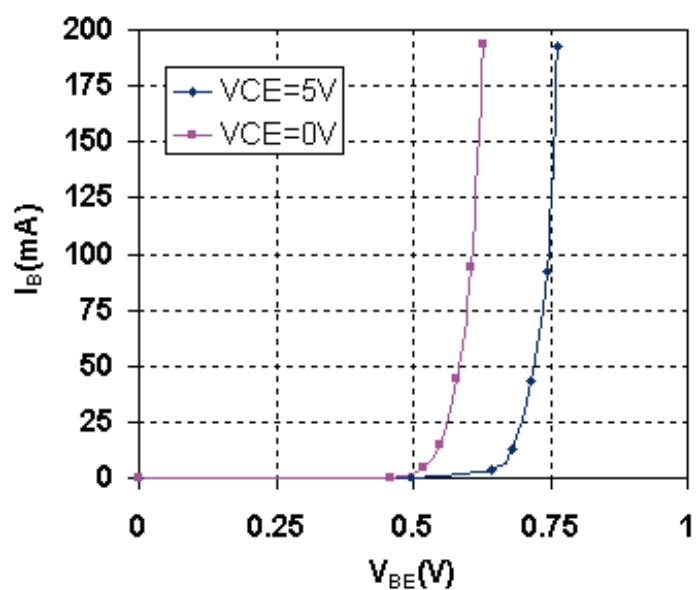
Beraz, basean  $I_B$  korronte txiki bat izanez gero, kolektorean amplifikatuta, handituta, agertuko da.

Erlazio horrek transistorearen bi aplikazio nagusi(ak) ekarriko ditu:

- Kontrolatutako etengailua (praktika honetan ikusiko dugu).
- Anplifikadorea (ikasgelan eta beste praktika batzuetan ikusiko dugu).

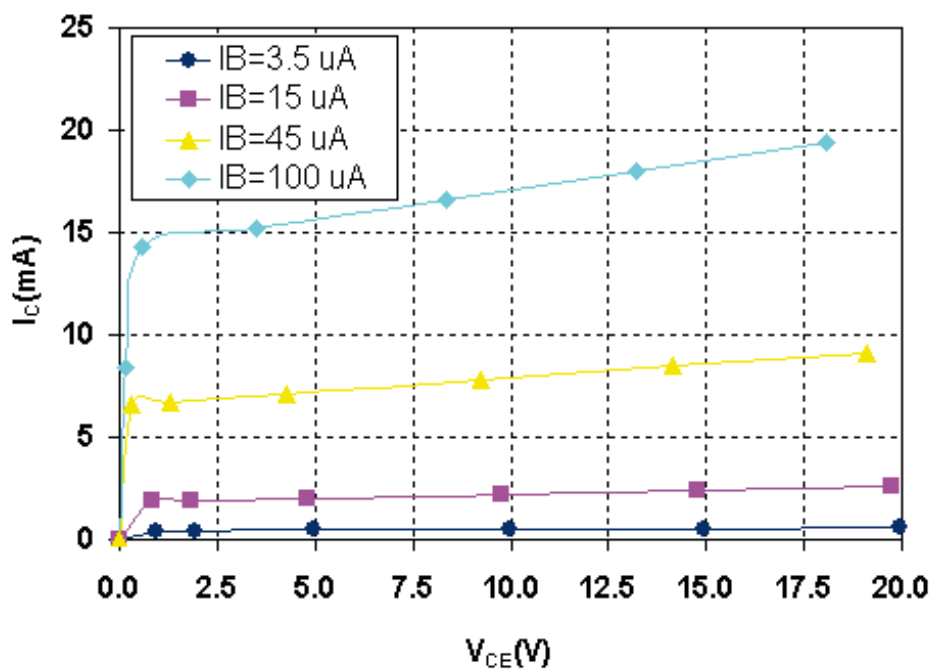
## 3. Ezaugarri-kurbak edo kurba karakteristikoak

Transistoreak hiru terminal dituenaz, korronte baten (adib.,  $I_C$ ) eta tentsio baten (adib.:  $V_{CE}$ ) arteko erlazioa ez da berehalakoa, ezta bakarra ere, zeren eta beste aldagaiak (adib.:  $I_B$ ) ere eragina izango baitute. Hori dela eta, ez dago  $I_C$ - $V_{CE}$  kurba bakar bat, baizik eta kurba-familia bat, non beste aldagaietako bat ( $I_B$ ) parametrotzat hartuko baita. Ezaugarri-kurba interesgarrienak bi izaten dira:  $I_B$ - $V_{BE}$  (parametrotzat  $V_{CE}$  hartuz) eta, batez ere,  $I_C$ - $V_{CE}$  ezaugarria (parametrotzat  $I_B$  hartuz). Haien itxurak honako irudi hauetakoak izan daitezke:



2. IRUDIA

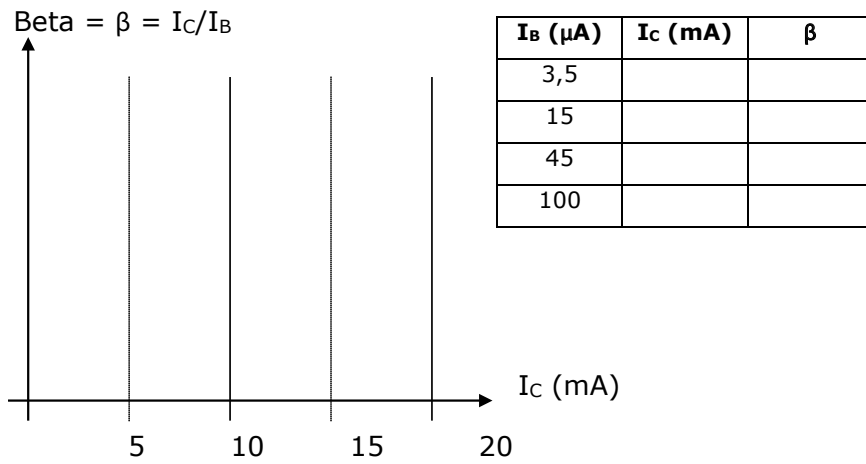
$V_{CE}$  tentsioaren araberako  $I_B$ - $V_{BE}$  ezaugarria



3. IRUDIA

$I_B$ -ren araberako  $I_C$ - $V_{CE}$  ezaugarria

**Laborategira joan baino lehen**, aurreko grafikotik (3. iruditik) abiatuz, kalkulatu eta marraztu  $\beta$   $I_C$ -ren arabera ( $V_{CE} = 5$  V inguruko balioetarako, eta gutxi gorabehera).

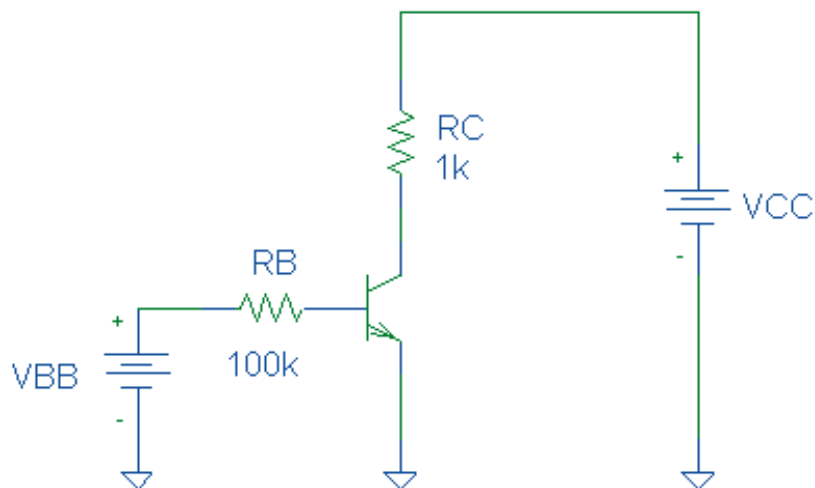


4. IRUDIA

$\beta$  -ren  $I_C$ -rekiko mendekotasuna

**4. Laborategian, I-V kurbak neurtzen.**

Praktikan, muntatu honako zirkuitu hau:

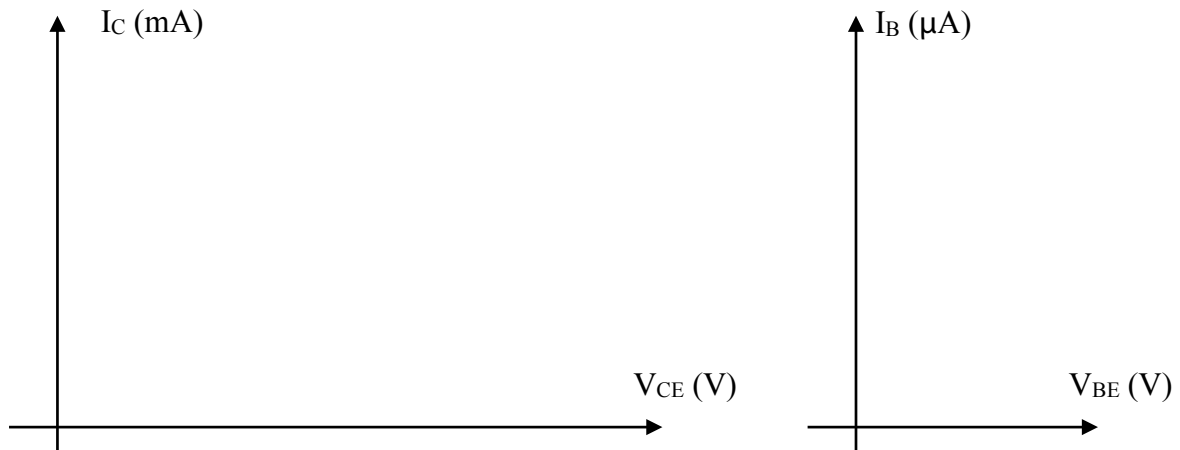


5. IRUDIA

I-V ezaugarriak neurtzeko zirkuitua

Eta neurtu/kalkulatu transistorean agertzen diren tentsioak eta korronteak honako  $V_{BB}$  eta  $V_{CC}$  tentsio hauek konbinatuz:  $V_{BB}$  (V) = [0 0,5 1 2 3 4 5] eta  $V_{CC}$  (V) = [0 5 10 15 20].

Horretako, hurrengo orrialdeko taulari jarraituz, **finkatu** (gutxi gorabehera)  $V_{BB}$  eta  $V_{CC}$  tentsioak, **neurtu** —voltmetroaz—  $V_{BE}$ ,  $V_{RB}$ ,  $V_{CE}$  eta  $V_{RC}$ , eta **kalkulatu** korronteak:  $I_B = V_{RB}/R_B$ ,  $I_C = V_{RC}/R_C$  e  $I_E = -(I_C + I_B)$ . Ondoren, **irudikatu** transistorearen ezaugarriak:  $I_B$ - $V_{BE}$  ( $V_{CE} = 0$  eta  $V_{CE} > 5$  V kasuetarako) eta  $I_C$ - $V_{CE}$ .



6. IRUDIA

**I-V ezaugarriak neurtzeko muntaketa**

4. TRANSISTORE BIPOLARRARREN I-V EZAUGARRIAK (BJTREN KURBAK)

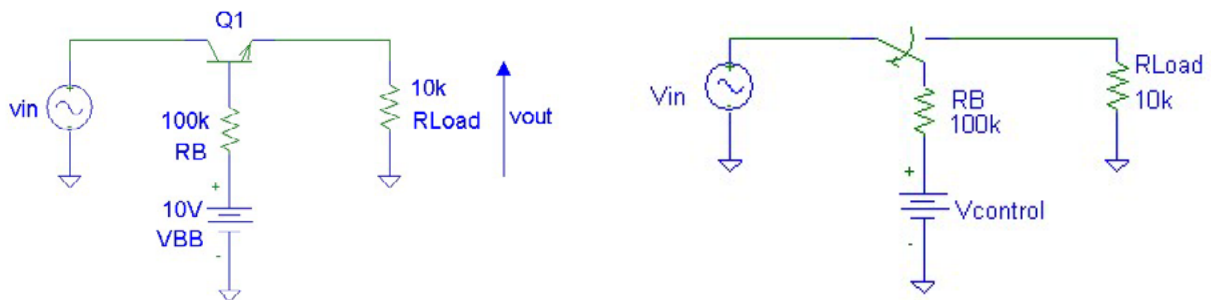
Azkenik, balioetsi betaren balioa  $V_{CE} = 5 \text{ V}$  eta  $1 \text{ mA}$  inguruko  $I_C$  ditugunean.

Finkatu (gutxi gorabehera)		Neurtu (voltmetroaz) ( $V_{BE}$ , 3 dezimal erabiliz)				Kalkulatu			
$V_{BB}$ (V)	$V_{CC}$ (V)	$V_{BE}$ (V)	$V_{RB}$ (V)	$V_{CE}$ (V)	$V_{RC}$ (V)	$I_B$ ( $\mu\text{A}$ )	$I_C$ (mA)	$I_E$ (mA)	$I_C/I_B$
0	0								
0	5								
0	10								
0	15								
0	20								
0.5	0								
0.5	5								
0.5	10								
0.5	15								
0.5	20								
1	5								
1	8								
1	10								
1	15								
1	20								
2	0								
2	5								
2	10								
2	15								
2	20								
3	0								
3	5								
3	10								
3	15								
3	20								
4	0								
4	5								
4	10								
4	15								
4	20								
5	0								
5	5								
5	10								
5	15								
5	20								

## 5. Transistorea, mendeko etengailu

Baseko korronea nulua denean kolektoreko eta igorleko korroneak nulua direnez, transistorearen zuzeneko aplikazioetako bat menpeko etengailua da. Jarraian, aplikazio honetako bi adibide ikusiko dira.

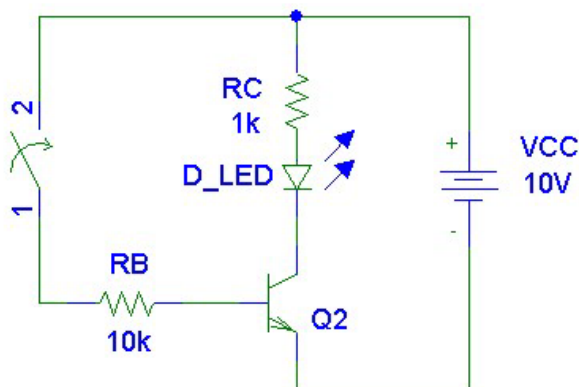
### 5.1. Seinale baten igarotzea kontrolatzen



Muntatu ezkerreko zirkuitua eta aplikatu sarreran  $V_{in} = 5 \text{ V} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$  seinalea ( $f = 1 \text{ kHz}$  erabiliz, adibidez). Ikusi osziloskopioan kargaraino heltzen den irteerako seinalea,  $V_{out}$ . Neurtu  $V_{BB}$ ,  $V_{BE}$  eta  $V_{CE}$ , eta identifikatu zein eskualdetan lan egiten duen transistorea.

Ondoren, deskonektatu  $V_{BB}$  elikatze-iturria eta ikusi nola aldatzen den irteera. Karakterizatu  $V_{BB}$ ,  $V_{BE}$  eta  $V_{CE}$ , eta esan zein den, egoera honetan, transistorearen lan-gunea.

### 5.2. LED bat zeharkatzen duen korronea kontrolatzen





Muntatu goiko irudiko zirkuitua (etengailuaren funtzioa egiteko, konektatu/deskonektatuko dugun kable bat erabiliko dugu), eta egiaztatu LEDa zeharkatzen duen korronea baseko korronearen/zirkuituaren araberakoa dela.

Karakterizatu zirkuituko korroneak eta tentsioak etengailuaren bi kasuetarako (ON/OFF), eta, kasu bakoitzean, adierazi zein eskualdetan lan egiten duen transistoreak.

5.

## Transistore bipolarrak polarizatzen

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

#### BC547B transistoreari buruzko galderak (ikus datu-orriak)

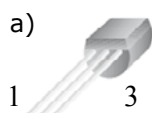
1) BC547B transistorea:

- Siliziozkoa da.
- Germaniozkoa da.

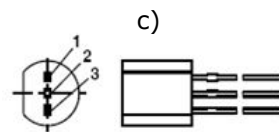
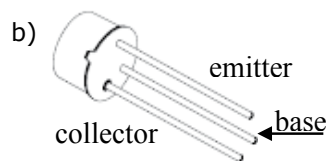
2) Zein motatakoa da?

- npn
- pnp

3) Haren eskema hauetako bat da:



- Emitter
- Base
- Collector

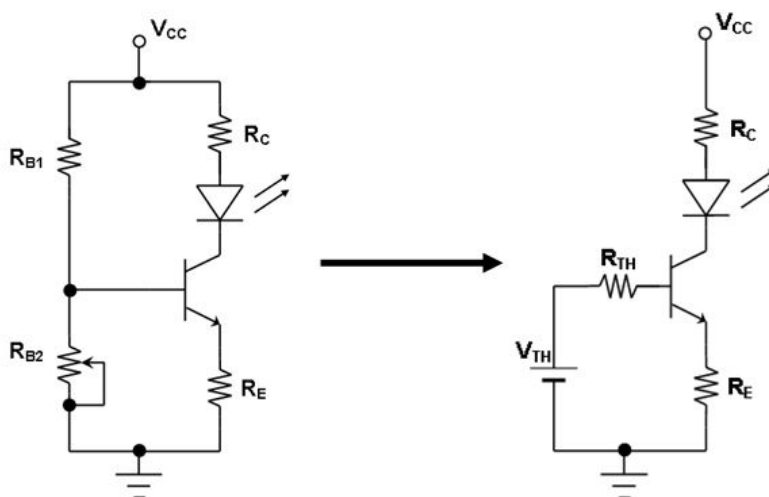


- Emitter
- Base
- Collector

- Transistorearen muturreko lan-baldintzei dagokienez, haren lan-tenperatura maximoa ... °C da, eta (DCn) jasan dezakeen kolektoreko korrante maximoa ..... mA da. Giro-tenperaturan (25 °C), ..... W-eko potentzia xahu dezake gehienez.
- 25 °C-an, BC547B modeloaren igorle komuneko DC korrante-irabazia ( $\beta = h_{FE}$ ), kolektoreko korrantea  $I_C = 2 \text{ mA}$  eta  $V_{CE} = 5 \text{ V}$  direnean, tarte honetan dago: [ $\beta_{\min} = \dots\dots\dots$ ]- [ $\beta_{\max} = \dots\dots\dots$ ]. Ohiko balioa hau izan daiteke,  $\beta_{\text{typ}} = \dots$

- 6) BC547A eta BC547C modeloak BC547B motarekin alderatzen baditugu, ezberdinak dira:
- Jasan dezaketen tentsio maximoa ezberdina delako.
  - Haien  $\beta$  ( $h_{FE}$ ) ezberdina da: BC547A modeloan txikiago eta BC547Can handiagoa.
  - Aurreko bi erantzunak zuzenak dira.
- 7) BC546B eta BC548B modeloak BC547B motarekin alderatzen baditugu, ezberdinak dira:
- Jasan dezaketen tentsio maximoa ezberdina delako.
  - Haien  $\beta$  ( $h_{FE}$ ) ezberdina da: BC547A modeloan txikiago eta BC547Can handiagoa.
  - Aurreko bi erantzunak zuzenak dira.
- 8)  $I_C = 10 \mu\text{A}$  bada, BC547B transistorearen beta ez da 290 izango, txikiago baizik, eta  $\beta_{\text{typ}} = \dots\dots$

### Tentsio-banatzaila eta igorleko erresistentzia dituen polarizazio-zirkuitua. Lan-puntuaren egonkortasuna



Kalkulatu sarrerako mailaren Thévenin baliokidea\*,  $R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega$  eta  $V_{CC} = 12 \text{ V}$  hartuz,  $R_{B2}$  erresistentziaren balio hauekarako:

$R_{B2}$ (k $\Omega$ )	0,5	0,625	0,65	0,75	1	5	10
$V_{TH}$ (V)							
$R_{TH}$ ( $\Omega$ )							

Teorian ikusi denez, 
$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{\frac{R_{TH}}{\beta} + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E}$$

\* Thévenin baliokidea nola kalkulatzen den jakiteko, ikus prestaketaren amaieran dagoen eranskina.

Eta beraz,  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$  hartuz, aurreikusten ditugun  $I_C$  (mA) balioak erraz kalkulatu ditugu.  $R_E = 0 \text{ k}\Omega$  kasurako, bete itzazue beheko tauletan hutsik agertzen diren laukitxoak, dagozkien  $I_C$  balioak kalkulatu.

$R_{B2}$ (k $\Omega$ )	<b>0,5</b>	<b>0,625</b>	<b>0,65</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>
$V_{TH}$ (V)	X	X	X	X	X
$R_{TH}$ ( $\Omega$ )	X	X	X	X	X
$\beta_{min} = 200$	X			X	X
$\beta = 300$					
$\beta_{max} = 450$	X			X	X

Eta  $R_E = 1 \text{ kW}$  kasuan:

$R_{B2}$ (k $\Omega$ )	<b>0,5</b>	<b>0,65</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
$V_{TH}$ (V)	X	X	X	X	X	X
$R_{TH}$ ( $\Omega$ )	X	X	X	X	X	X
$\beta_{min} = 200$	X	X	X			
$\beta = 300$						
$\beta_{max} = 450$	X	X	X			

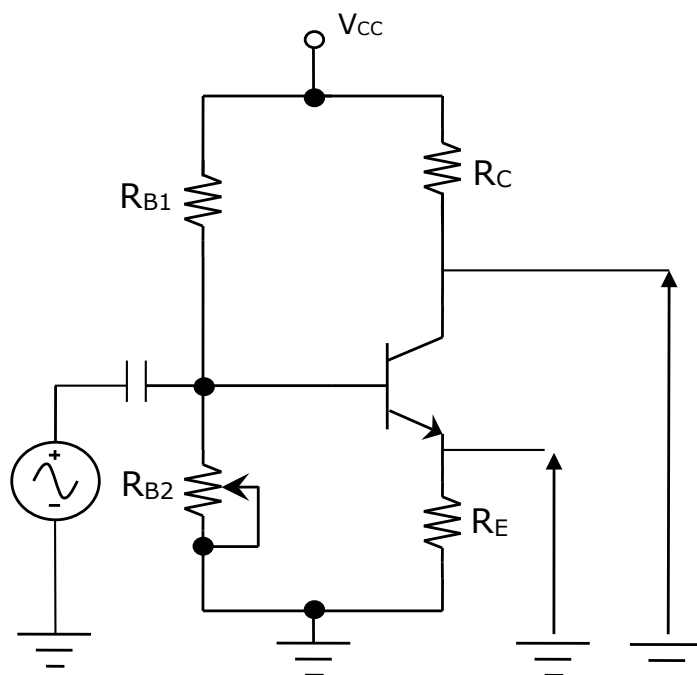
$R_C$  balioaren arabera, kasu batzuetan transistorea ez da modu aktiboan egongo, eta, beraz,  $I_C$  ez da izango formula horrek aurreikusten duena.  $V_{\gamma_{LED}} = 2 \text{ V}$  eta  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$  hartuz, pentsatu zein diren asetasunean egoteko kasuak.

Noiz (zein  $R_E$ -rako) da egonkorragoa  $I_C$  (b-ren aldaketan aurrean)? Zein da egonkortasuna bermatzeko baldintza?

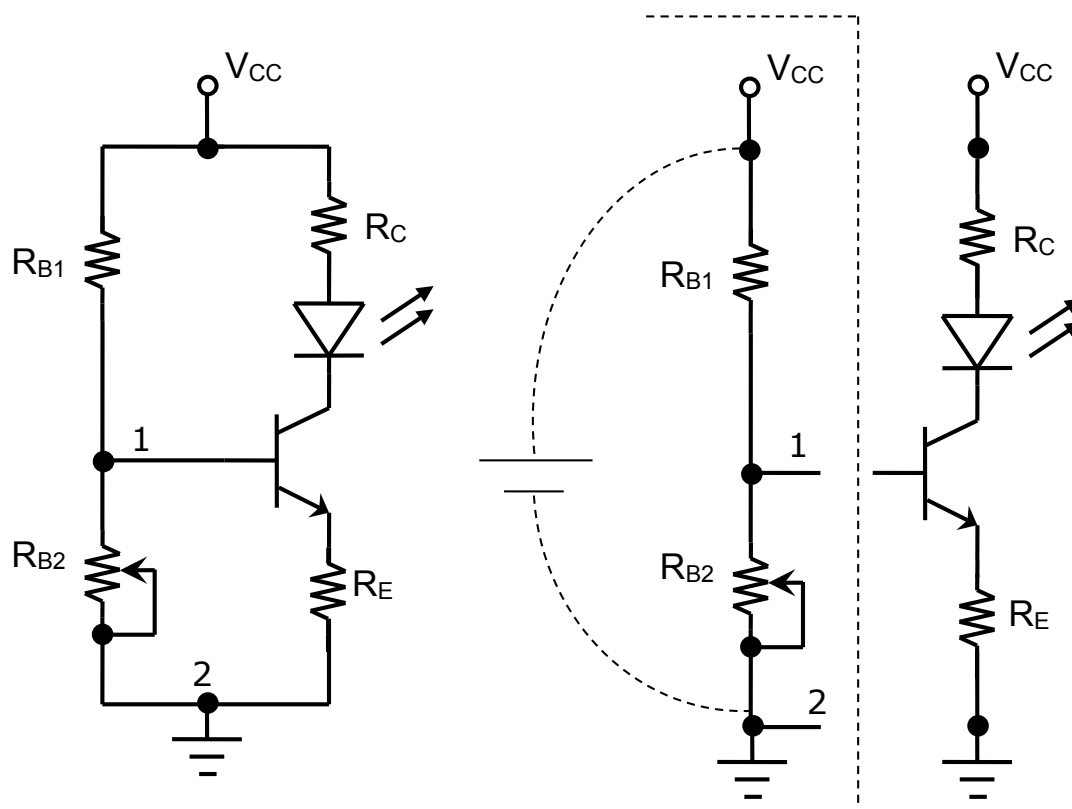
### Karga zuzena

Polarizazio-zirkuituan LEDa kentzen badugu eta  $R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$  eta  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$  finkatzen baditugu:

- Kalkulatu eta marraztu, aurreko praktikan lortu zenuten  $I_C$ - $V_{CE}$  ezaugarriaren gainean, karga zuzen estatikoa (hau da, zirkuituak ematen digun  $V_{CE}$  eta  $I_C$  aldagaien arteko erlazioa).
- Kalkulatu ( $\beta=300$  hartuz)  $V_{CE} = 5 \text{ V}$  lortzeko izango ditugun polarizazio-korronteak eta tentsioak. Horretarako, zenbat izan behar du  $R_{B2}$  erresistentziak?



Eranskina: *Thevenin* baliokidea

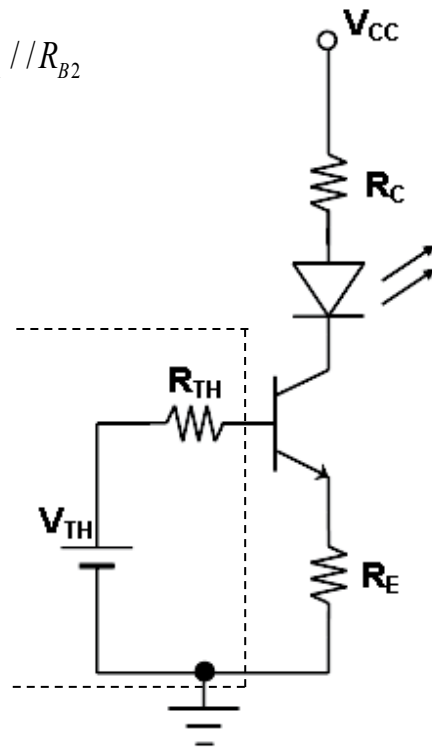


Praktikan ohiko ezkerreko zirkuitua muntatuko dugu. Analisia errazteko, 1 eta 2 puntuetatik ezkeralderantz begiratzuz dugu *Thévenin* baliokidea kalkulatu dugu.

Horretarako:

$$V_{TH} = \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} R_{B2}$$

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

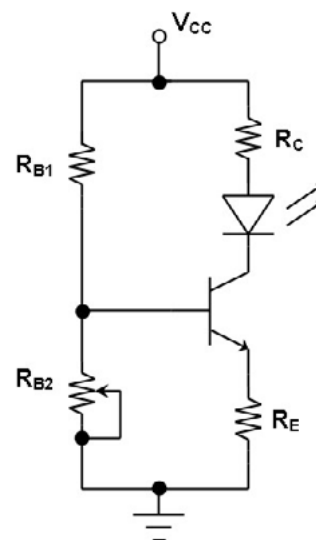


## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen helburu nagusia da transistore bipolarren polarizazioari buruzko kontzeptu batzuk lantzea. Basean banatzaile erresistibo bat erabiliz, npn transistore bat hainbat puntutan polarizatu dugu, etenduratik asetasunera pasatuz eta eskualde aktiboan arreta bereziaz analizatuz. Orobat, egonkortasunaren kontzeptua landuko da, horretarako bi polarizazio-zirkuitu alderatuz (lehenengoak igorleko erresistentzia izango du; bestea igorleko erresistentziarik gabekoa izango da).

### 1. Baseko tentsio-banatzailaren eta igorleko erresistentziaren bidezko zirkuitu autopolarizatua

Prestatu irudian agertzen den zirkuitua,  $V_{CC} = 12\text{ V}$ -eko elikatze-iturria eta honako osagai hauek erabiliz: BC547B transistorea,  $R_{B2}$ , LED bat eta  $R_{B1} = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1\text{ k}\Omega$  eta  $R_E = 1\text{ k}\Omega$  erresistentziak.



Zirkuitua konektatu baino lehen, finkatu elikatze-iturria 12 V-ean eta mugatu korronea 0,1 A-tan.

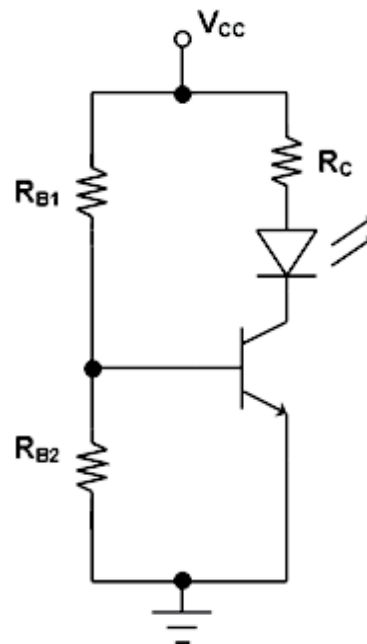
- a) Karakterizatu nola aldatzen den lan-puntua  $R_{B2}$  erresistentziarekin. Horretarako, joan erresistentzia aldatuz balio minimotik maximora.

$R_{B2}$ (k $\Omega$ )	$V_{CE}$ (V)	$V_{BE}$ (V)	$I_B$ ( $\mu$ A)	$I_C$ (mA)	$I_C/I_B$	LED	Lan-eskualdea
0							
15							
33							
82							
150							

- b)  $R_{B2} = 33\text{ k}\Omega$  balioa finkatuz, aldatu BJTa eta kalkulatu modelo bereko beste bat (beste batzuk) erabiliz agertzen diren  $I_C$  eta  $V_{CE}$  aldaketak (**ehunekotan**).

## 2. Baseko tentsio-banatzaileren bidezko polarizazioa

Aurreko zirkuituari igorleko erresistentzia kenduko diogu ( $R_E = 0 \text{ k}\Omega$ ).



- a) Karakterizatu nola aldatzen den lan-puntua  $R_{B2}$  erresistentziarekin. Horretarako, joan erresistentzia aldatuz balio minimotik maximora.

$R_{B2}$ (k $\Omega$ )	$V_{CE}$ (V)	$V_{BE}$ (V)	$I_B$ ( $\mu$ A)	$I_C$ (mA)	$I_C/I_B$	LED	Lan-eskualdea
0							
6,8							
10							

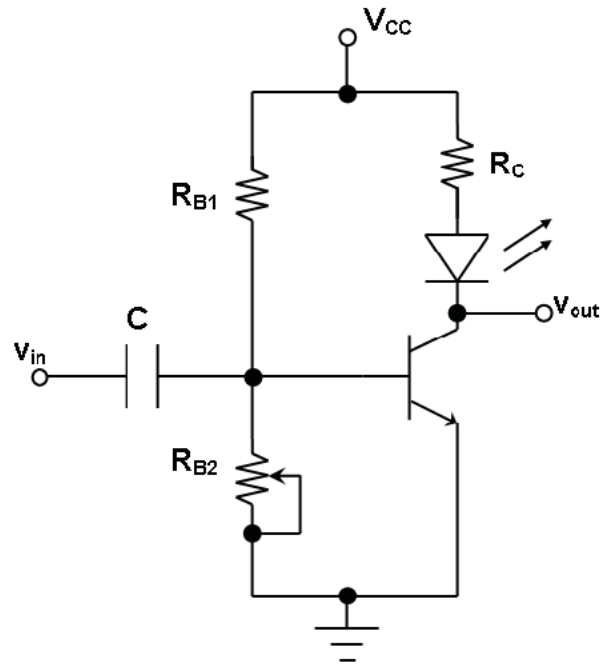
- b)  $R_{B2} = 6\text{k}8$  finkatuz, ikusi nola aldatzen diren denboran zehar (pizterakoan)  $I_C$  eta  $V_{CE}$ . Ondoren, aldatu BJTa, eta jarri modelo bereko beste transistore batzuk  $I_C$ -ren eta  $V_{CE}$ -ren aldaketak (**ehunekotan**) analizatzeko.
- c) Alderatu zirkuitu honen eta aurreko atalekoaren egonkortasuna, eta arrazoitu emaitza.

## 3. Anplifikatzea (*hautazkoa*)

Aurreko polarizazio-eskematik abiatuz, zirkuitu anplifikatzaile bat muntatuko dugu.

Horretarako, basean,  $C = 100 \mu\text{F}$ -eko desatxikimenduko kondentsadore bat erabiliz, 1 kHz-eko maiztasuna eta 10 mV-eko anplitudea dituen seinalea sartuko dugu (ATT botoiaz ahuldu beharko dugu funtzio sorgailuaren irteera naturala).





- a) Ikusi osziloskopioan sarrerako eta irteerako seinale alternoak ( $v_{in}$  eta  $v_c$ ), eta kalkulatu tentsio-irabazia,  $A_v = \frac{v_{c\_ac}}{v_{i\_ac}}$ .
- b) Igo sarrerako tentsioaren amplitudea, eta ikusi nola distortsionatzen den irteerako seinalea.

6.

## Korronte-iturriak

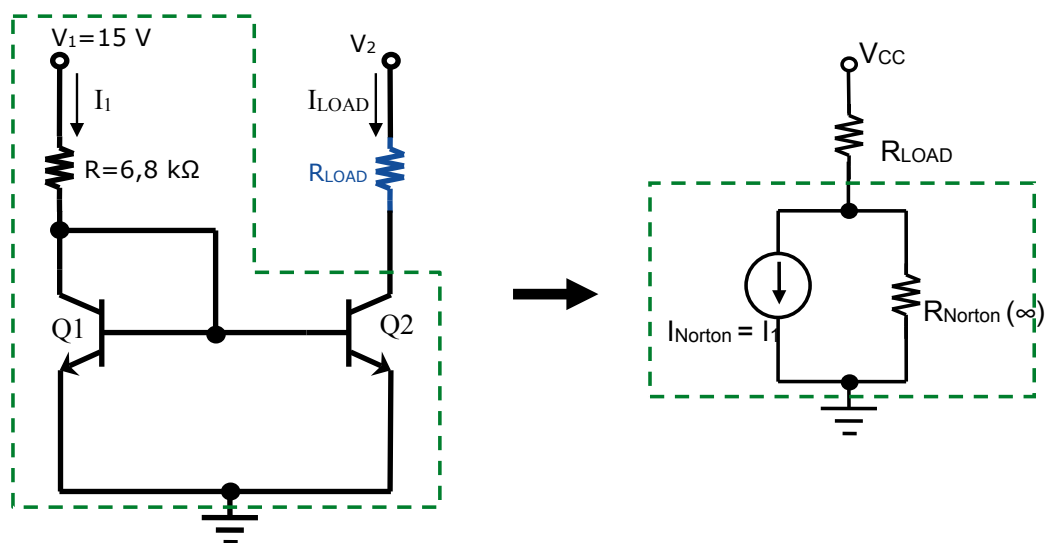
### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

Korronte-iturrien oinarrizko eskema bat lantzea da praktika honen helburu nagusia: transistore bipolarren bidez egindako korronte-ispilua. Hasteko, transistore diskretuak erabiliko dira; ondoren, transistore berdin-berdinez osaturiko zirkuitu integratu bat.

#### 1. Korronte-iturriak eta korronte-ispiluak

Korronte-iturri batek korronte jakin bat behartzen du karga batean, bere muturren artean dauden tentsioaren independentziarekin (gutxi gorabehera). Dauden diseinu posibleen artean, korronte-ispiluetan jarriko dugu arreta.

Hurrengo zirkuituan, adibidez,  $R_{LOAD}$  erresistentziatik pasatuko (behartzen) den korrontea bat etorriko da ezkerreko adarretik pasatzen denarekin  $[(15 - V_{BE})/6k8]$  —gutxi gorabehera, eta ondoren analizatuko ditugun baldintza batzuk betetzen badira—. Hori dela eta, eskema honi *korronte-ispilu* esaten diogu.



Korronte-ispilu batean, transistore bat (Q2) polarizatzeko beste bat (Q1) erabiltzen da. Ispiluak ondo funtzionatzeko, bi transistoreek (ia) berdin-berdinak izan behar dute, eta hori lortzeko batera fabrikatu behar izaten dira zirkuitu integratu batean (adibidez, 5 transistore dituen LM3046 zirkuituan). Ikusiko dugunez, bigarren transistorearen kolektoreko korrontea ( $I_{LOAD} = I_{C2}$ ), gutxi gorabehera,  $I_1$  izango da.

$I_B - V_{BE}$  sarrerako ezaugarriak  $V_{CE}$ -rekin duen mendekotasuna baztertuz, baseko bi korronteak berdinak izango dira ( $I_{B1} = I_{B2}$ ), zeren eta transistoreak eta bere asetarako korronteak (gogoratu Ebers-Moll) berdinak baitira. Gainera, aktiboan daudenez eta b berdina dutenez, kolektoreko korronteak berdinak izango dira. Orduan:

$$I_{\Gamma} = \frac{V_1 - 0,7}{R} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} = I_{E1} + I_{B2} = I_{E2} + I_{B2} = I_{C2} + 2I_{B2} = I_{C2} + \frac{2I_{C2}}{\beta} = I_{C2} \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right)$$

$$I_{LOAD} = I_{C2} = \frac{I_1}{1 + \frac{2}{\beta}} \approx I_1 = \frac{V_1 - 0,7}{R}$$

[OHARRA. Lehenago onartutako hipotesiak ez dira guztiz zehatzak, eta, hortaz,  $I_1$  eta  $I_{C2}$  ez dira guztiz berdinak izango. Ez eta  $I_{C1}$  eta  $I_{C2}$  ere. Gainera,  $I_{C2}$  korrontea  $V_{CE2}$  tentsioaren arabera izango da, eta, beraz,  $R_{LOAD}$  kargaren arabera.]

Zirkuitua korronte-iturri gisa erabili behar bada, badira funtsezko bi galdera:

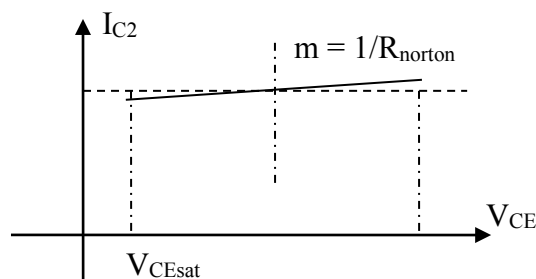
- a) Zenbat da jasan (elika) dezakeen kargarik handiena?

Karga igoz gero, Q2 asetaserantz hurbilduko da. Asetasunean sartzean funtzionatzeari utziko dio korronte-ispiluak, eta horrek mugatuko du *iturriak* elika dezakeen karga maximoa:

$$I_1 = \frac{V_1 - 0,7}{R} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2} = I_{E1} + I_{B2} = I_{E2} + I_{B2} = I_{C2} + 2I_{B2} = I_{C2} + \frac{2I_{C2}}{\beta} = I_{C2} \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right)$$

$$R_{LOAD\_MAX} = \frac{V_2 - 0,5}{I_1} \approx \frac{V_2}{V_1} \cdot R$$

- b) Iturria ideala izango al da? Ala  $I_C$  korrontea  $V_{CE2}$  tentsioarekin aldatu ote da? Hori nolabait neurtzeko,  $R_{norton}$  erabiliko dugu.



Zenbat da  $R_{norton}$   $h_{oc} = 20 \mu S$  bada?

Edo, beste modu batera, zenbat da  $R_{norton}$  baldin eta Early tentsioa  $V_A = -50 V$  eta  $V_{CE} = 5V$  eta  $I_C = 2mA$  badira?

## 2. Transistoreen asetasun-korronteen gorabeherek dakarten desoreka eta haren konpentsazioa

[Oharra:  $V_{EB}$  agertzen den guztietan,  $V_{BE}$ -z ordezkatu behar da, BJTak npn motakoak direlako.]

Korronte-ispilua osatzen duten korronteak berdin-berdinak ez direnean (adibidez, transistore diskretuen kasuan), fabrikazio-prozesuaren tolerantzien ondorioz, haien asetasun-korronteak eta b parametroak (oso) ezberdinak izaten dira. Gainera, bi transistoreen lan-tenperaturak nahiko ezberdinak izan daitezke.

Garapenean hipotesi batzuk onartuko ditugu: bi transistoreak aktiboan daudela; kolektoreko korrontea kolektore-igorle tentsioaren independentea dela;  $\beta \gg 1$  betetzen dela; eta bi transistoreak temperatura berdinean daudela. Horiek onartuz:

$$I_{E1} \approx I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) \quad I_{B1} \approx \frac{I_{ES1}}{\beta_1 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) \quad I_{C1} \approx \frac{\beta_1 \cdot I_{ES1}}{\beta_1 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right)$$

$$I_{E2} \approx I_{ES2} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) \quad I_{B2} \approx \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) \quad I_{C2} \approx \frac{\beta_2 \cdot I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right)$$

$$I_1 = \frac{V_1 - V_{BE}}{R} = I_{C1} + I_{B1} + I_{B2}$$

Bi transistoreetan  $V_{BE}$  berbera daukagunez, asetasun-korronteetan izaten diren alde (oso) garrantzitsuak (>100) berehala islatzen dira adarretako korronteetan:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_{BE}}{R} = I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) + \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right) = \left( I_{ES1} + \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \right) \cdot \exp\left(\frac{V_{EB}}{V_T}\right)$$

$$V_{BE} = V_T \cdot \ln \left[ \frac{V_1 - V_{BE}}{\left( I_{ES1} + \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \right) \cdot R} \right] \approx V_T \cdot \ln \left[ \frac{(V_1 - 0,6) / R}{I_{ES1} + \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1}} \right] \text{ ekuazioaz kalkulatu da } V_{BE}.$$

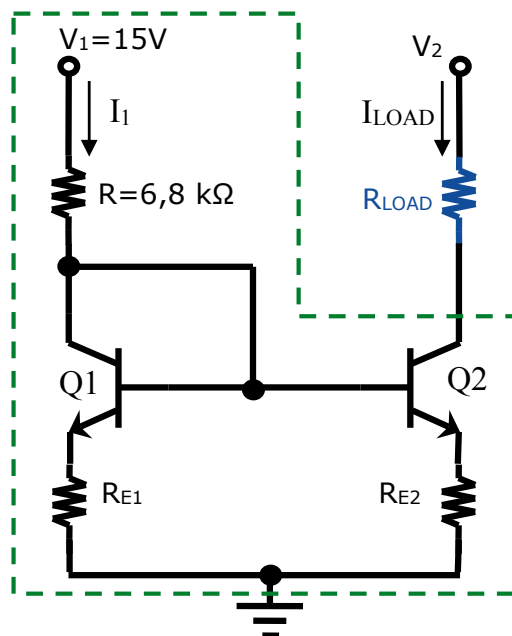
Ondoren, transistoreetako korronte guztiak kalkulatu dira, eta  $I_1$  (ia aurreikusita) eta  $I_{load}$  (oso ezberdina,  $I_{ES2}$ -ren araberakoa eta kontrolagaitza). Beraz, aurreko eskema zirkuitu integratuetan baino ezin da erabili.

**Kalkulatu**  $V_{BE}$  eta korronteak datu hauetarako:

$$V_1 = 15 \text{ V}, R = 6\text{k}\Omega, I_{ES1} = 1 \text{ pA}, I_{ES2} = 2 \text{ pA}, \beta_1 = \beta_2 = 150 (V_T = 25 \text{ mV}).$$

*Konpentsazioa: igorleko erresistentziak*

Igorleko erresistentziak (berdinak,  $R_{E1} = R_{E2}$ ) sartuz gero, korrontea ez dago nagusiki asetasun-korronteen menpe: zirkuituko erresistentziak behartzen dute.



$$I_{E1} \approx I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \quad I_{B1} \approx \frac{I_{ES1}}{\beta_1 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \quad I_{C1} \approx \frac{\beta_1 \cdot I_{ES1}}{\beta_1 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right)$$

$$I_{E2} \approx I_{ES2} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right) \quad I_{B2} \approx \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right) \quad I_{C2} \approx \frac{\beta_2 \cdot I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right)$$

$$I_{E1} \cdot R_{E1} + V_{BE1} = I_{E2} \cdot R_{E2} + V_{BE2}$$

$$I_{ES1} \cdot R_{E1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) + V_{EB1} = I_{ES2} \cdot R_{E2} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right) + V_{EB2}$$

$$V_{EB2} + V_T \cdot \ln \left[ \frac{I_{ES1} \cdot R_{E1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) + (V_{EB1} - V_{EB2})}{I_{ES2} \cdot R_{E2}} \right]$$

Igorle-base tentsioen kenketa ( $V_{BE1} - V_{BE2}$ ) igorleko erresistentzian erortzen den tentsioa  $R_{E1}$  ( $I_{ES1} \cdot R_{E1} \cdot \exp(V_{BE1}/V_T)$ ) baino askoz txikiagoa bada:

$$V_{EB2} \approx V_T \cdot \ln \left[ \frac{I_{ES1} \cdot R_{E1}}{I_{ES2} \cdot R_{E2}} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \right] \Rightarrow V_{EB2} \approx V_{EB1} + V_T \cdot \ln \left[ \frac{I_{ES1}}{I_{ES2}} \right]$$

Eta, orduan,  $I_{E1} \sim I_{E2}$  eta, beraz,  $I_{Load} \sim I_1$ .

Balio horiekin hurbilketa egiteko erabili dugun baldintzara itzuliz, erresistentzietan erortzen den tentsioa askoz handiagoa izateko  $V_{BE}$  baino:

$$I_{E1} \cdot R_{E1} = I_{ES1} \cdot R_{E1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \gg V_{EB1} - V_{EB2} \approx V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{ES2}}{I_{ES1}}\right)$$

Ikusten denez, aplikagarria izango da baldin eta  $R_{E1}$  erresistentzian erortzen den tentsioa 25 mV baino askoz handiagoa bada. Beraz,  $R_E \ll R$  izanik, igorleko erresistentzian 25 mV baino askoz gehiago erortzen bada (adibidez, 500 mV),  $I_1$  eta  $I_{load}$  orekatzen dira, gainerako funtzionamenduan aldaketarik eragin gabe.

Orduan,

$$V_1 = I_{E1} \cdot R_{E1} + V_{BE1} + (I_{E1} + I_{B2}) \cdot R$$

$$V_1 = I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \cdot (R_{E1} + R) + V_{BE1} + I_{B2} \cdot R$$

$$V_1 = I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \cdot (R_{E1} + R) + V_{BE1} + \frac{I_{ES2}}{\beta_2 + 1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB2}}{V_T}\right) R$$

$$V_1 \approx I_{ES1} \cdot \exp\left(\frac{V_{EB1}}{V_T}\right) \cdot \left(R_{E1} + R + \frac{R}{\beta_2 + 1}\right) + V_{BE1}$$

$$V_{BE1} \approx V_T \cdot \ln\left[\frac{V_1 - V_{BE1}}{I_{ES1} \left(R_{E1} + R + \frac{R}{\beta_2 + 1}\right)}\right]$$

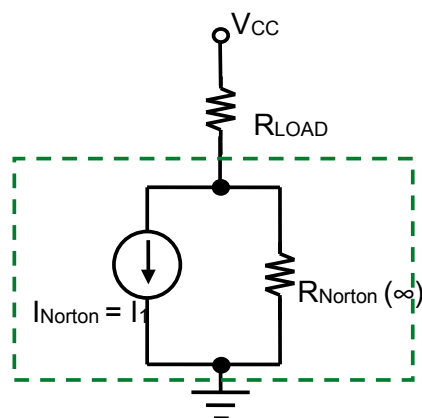
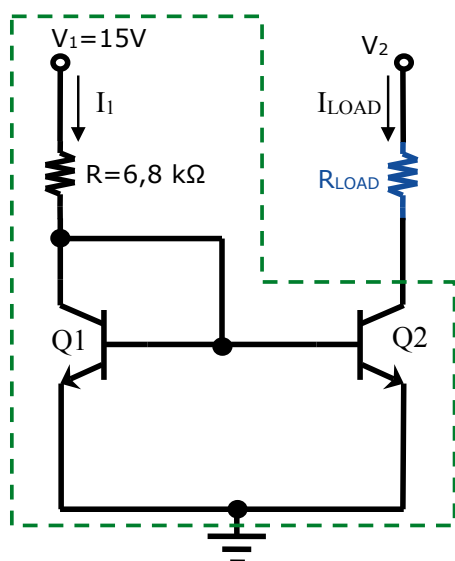
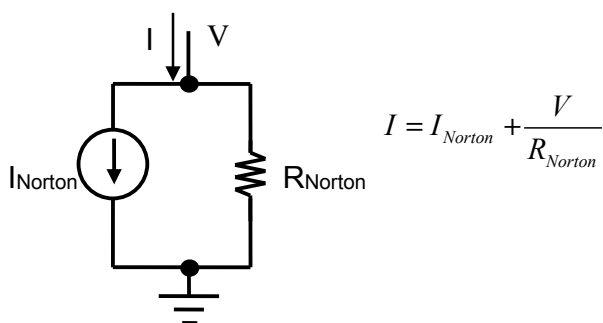
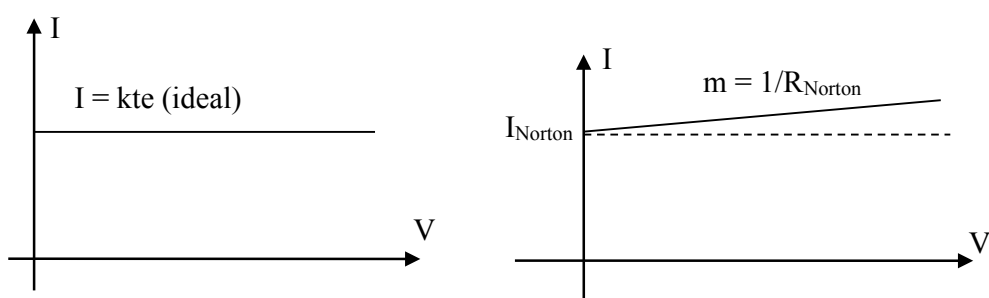
$$V_{BE1} \approx V_T \cdot \ln\left[\frac{V_1 - 0,6}{I_{ES1} (R_{E1} + R)}\right]$$

**Kalkulatu**, aurreko formulak erabiliz eta  $R_E = 220 \Omega$  hartuz,  $V_{BE1}$ -en gutxi gorabeherako balioak,  $I_1$  eta  $I_{Load}$ .

## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Korronte-iturrien oinarritzko eskema bat lantzea da praktika honen helburu nagusia: transistore bipolarren bidez egindako korronte-ispilua. Praktikaren garapenean, BJTen polarizazioari buruzko funtsezko kontzeptuak jorratuko dira, arreta modu aktiboan eta asetasunean ipiniz. Transistoreen arteko ezberdintasunen eta asetasun-korronteen garrantzia ikusiko dugu bereziki, eta  $I_C$ - $V_{CE}$  ezaugarriaren malda (Early efektua) neurtuko da.

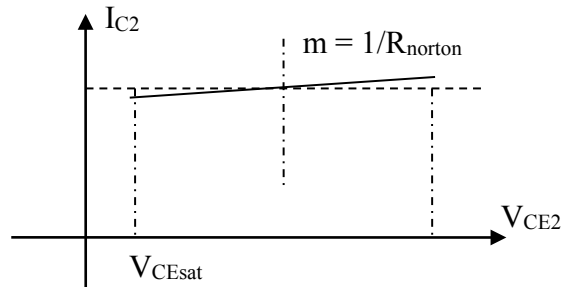
Garatuko ditugun korronte-iturriek bi ez-idealtasun nagusi dituzte: batetik, transistoreak aktiboan dauden bitartean ( $V_{CE} > 0,2$  V) bakarrik funtzionatuko dute; bestetik, korrontearen tentsioarekiko mendekotasuna aintzat hartzeko modukoa izango da, eta, kuantifikatzeko, Norton baliokidea erabiliko dugu (iturri ideal bat bere terminalen arteko tentsioaren independentea da, eta  $R_{Norton} = \infty$ ).



$$I_{Load} = \frac{V_{CC} + I_{Norton} \cdot R_{Norton}}{R_{Load} + R_{Norton}} \approx \left\langle \begin{array}{l} R_{Norton} \gg R_{Load} \\ I_{Norton} \cdot R_{Norton} \gg V_{CC} \end{array} \right\rangle \approx I_{Norton}$$

$$R_{Norton} = -\frac{\Delta V_{Load}}{\Delta I_{Load}} \quad I_{Norton} = I_{Load} \Big|_{V_{Norton}=0} = I_{Load} \Big|_{V_{Load}=V_{CC}}$$

Gure kasuan, Early efektuak markatuko du eraikiko dugun korrante-iturriaren Norton erresistentzia.



### 1. Korrante-ispilua transistore diskretuak erabiliz

Muntatu aurreko irudiko zirkuitua, transistore diskretuak (BC547B) eta —karga gisa—  $1\text{ k}\Omega$ -eko erresistentzia bat erabiliz.

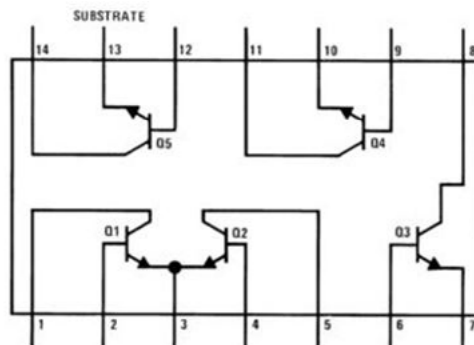
Karakterizatu transistoreen polarizazio-puntuak, bakoitzaren  $I_C$  eta  $V_{CE}$  neurtuz ( $I_1 \approx I_{C1}$  betetzen dela onartuko dugu).

Aurreko muntatutako zirkuitutik abiatuz, gehitu transistoreen igorleetan erresistentzia bana ( $R_E = 220\ \Omega$ ), eta karakterizatu berriro transistoreen polarizazio-puntuak.

- Bi zirkuituetako emaitzak ikusita, nola aldatu da kolektoreko korronteen arteko aldea? Zergatik?
- Igorleko erresistentzia handiagoak erabiliz gero, emaitza berbera lortuko al genuke?

### 2. Korrante-ispilua integratutako transistoreekin

Egin berriro lehenengo zirkuitua (igorleko erresistentziarik gabekoa), baina LM3046 zirkuitu integratua erabiliz. Haren eskema honako hau da:





Zirkuitua egiteko, Q1 eta Q2 erabiltzea komeni da, zeren eta haien igorleak barrutik lotuta baitaude.

- a) Karakterizatu transistoreen polarizazio-puntuak ( $I_C, V_{CE}$ ), eta azaldu  $I_1$  eta  $I_{load}$  korronteen arteko aldeak.

Jarraian, korronte-iturria karakterizatuko dugu. Horretarako, karga gisa erresistentzia jakin batzuk erabiliko ditugu:  $R_{load} = 2k\Omega, 4k\Omega, 6k\Omega, 10k\Omega$  eta  $47k\Omega$ .

- a) Neurtu, erresistentzia bakoitzeko,  $I_{load}$  eta  $V_{CE2}$ , eta marraztu korronte-iturriaren I-V kurba ( $I_{load} - V_{CE2}$ ) eta  $I_{Load} - V_{Load}$ .
- b) Esan zenbat den muntatutako zirkuitu honek elika dezakeen karga maximoa (hartu  $V_{CEsat} = 0,2V$ ).
- c) Lortu, iturriaren funtzionamendu egokia duen tarterako, haren Norton baliokidea ( $I_{Norton}$  eta  $R_{Norton}$ ).

Bete hurrengo orrialdeko fitxa.

3. Korrante-ispilua transistore diskretuak erabiliz

	Transistorea	$I_C$ korrante	$V_{CE}$ tentsioa
Igorleko erresistentziarik gabe	$Q_1$	$(\sim I_1)$	
	$Q_2$	$(I_{Load})$	
Igorleko erresistentziekin	$Q_1$	$(\sim I_1)$	
	$Q_2$	$(I_{Load})$	

Nolakoak dira korronteen arteko erlazioak? Azaldu horretarako zergatia.

.....

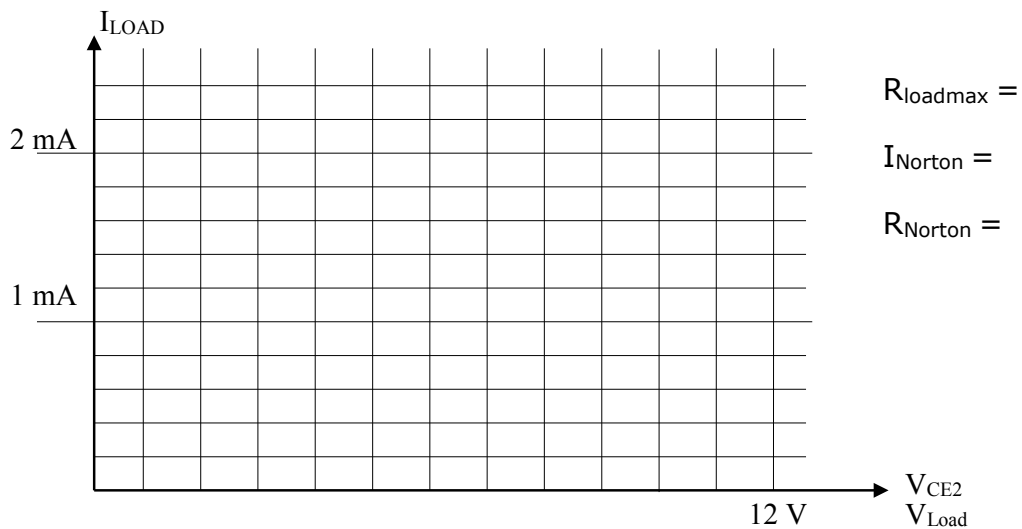
.....

.....

.....

4. Korrante-ispilua integratutako transistoreekin

$R_{load}$	1k	2k2	4k7	6k8	10k	47k
$I_{Load}$ (mA)						
$V_{CE2}$ (V)						
$Q_2$ -ren lan-puntua						



7.

## Transistore bipolarrrak eta anplifikatzea: kolektore komuna

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

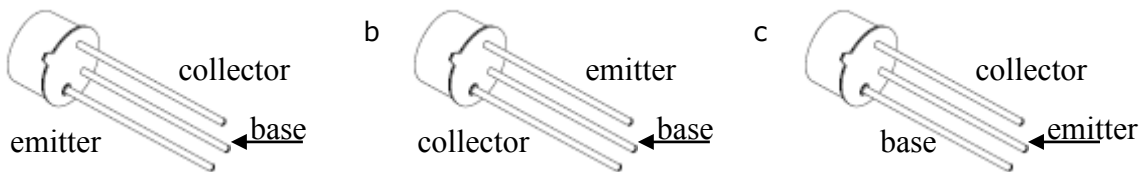
Praktika honetan, 2N2222A modeloko BJT batekin, askotan erabiltzen den eskema anplifikatzaile bat muntatuko dugu: kolektore komuneko egituraren oinarritzen dena (*igorleko jarraitzaile* ere deitu ohi zaio). Muntaketak funtzionatu behar badu, 2N2222A transistorea aktiboan polarizatu beharko dugu.

Praktikaren prestaketan:

- 2N2222A transistorearen ezaugarri batzuk ikusiko dira: kapsula eta terminalak,  $\beta$ -ren tarteak, funtzionamendu-mugak eta abar.
- Praktikan muntatu beharreko zirkuituaren polarizazioa (edo polarizazioaren zirkuitua) ebartziko da.
- Kolektore komuneko egituraren eta sarrerako eta irteerako inpedantzien kontzeptuak ikusiko ditugu.

### A. 2N2222A transistoreari buruzko galderak (ikus datu-orriak)

1. 2N2222A transistorea:
  - Siliziozkoa da.
  - Germaniozkoa da.
2. Zein motatakoa da?
  - npn
  - pnp
3. Haren eskema hauetako bat da:



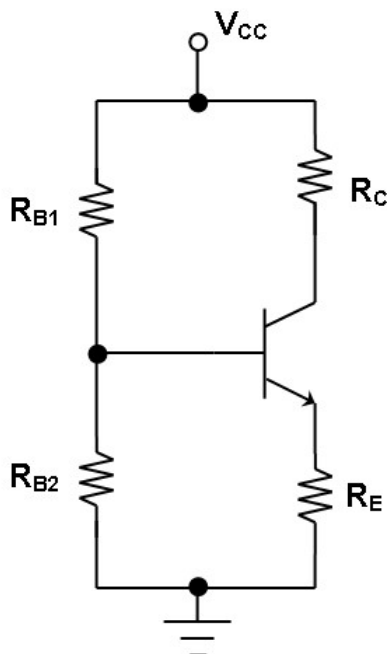
Info: kapsula metalikoa duen 2N2222A transistorean bat datoz gailuaren kapsula eta kolektorea.

4. Transistorearen muturreko lan-baldintzei dagokienez, haren lan-tenperatura maximoa .... °C da, eta jasan dezakeen korrante maximoa (gehienez 5 milisegundoz bada ere) ..... A da. Giro-tenperaturan (25 °C), ..... W-eko potentzia xahu dezake gehienez.
5. 25 °C-an, igorle komuneko DC korrante-irabazia ( $\beta = h_{FE}$ ), kolektoreko korrantea  $I_C = 1 \text{ mA}$  eta  $V_{CE} = 10 \text{ V}$  direnean, tarte honetan dago: [ $\beta_{\min} = \dots\dots\dots$ ]-[ $\beta_{\max} = \dots\dots\dots$ ].  $I_C = 10 \text{ mA}$  bada,  $\beta_{\min} = \dots\dots\dots$
6. Haren  $I_{C0}$  ( $I_{CB0}$ ), giro-tenperaturan, gehienez 10 nA da, eta, beraz, aktiboan:
  - Normalean ez da aintzat hartzeko modukoa izango.
  - Kontuan hartu beharko dugu beti.

**B. Polarizazioa**

Kalkulatu beheko zirkuituko polarizazio-puntua.

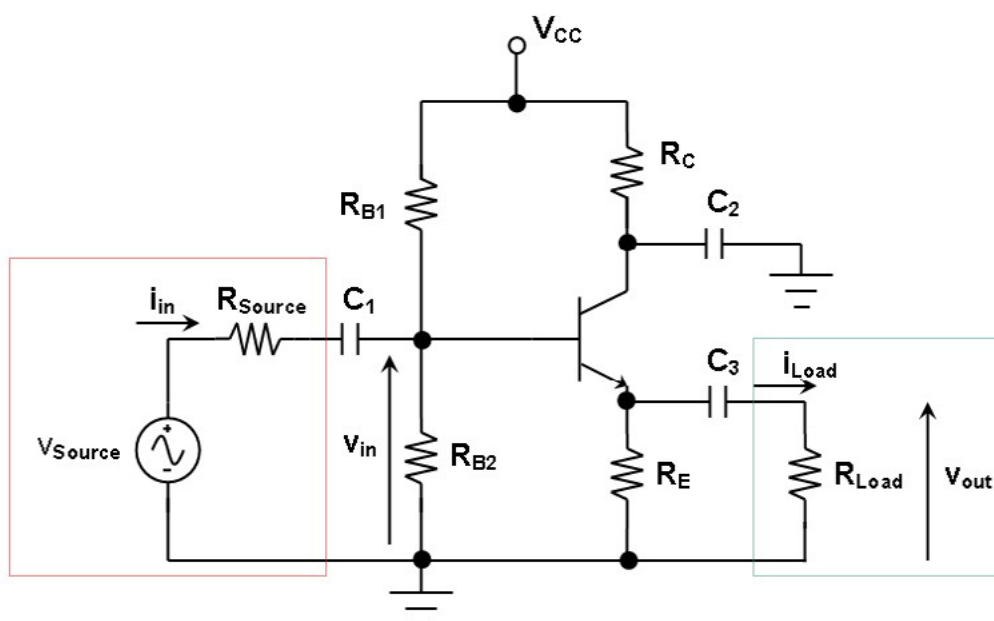
Datuak:  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $R_{B1} = 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 5,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 180$ ,  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$



Urratsa	Kalkulua		
1.	$V_{th} =$	$R_{th} =$	
2.	$I_B =$		
3.	$I_C =$		
4.	$V_E =$	$V_C =$	$V_{CE} =$

### C. Kolektore komuneko anplifikadorea (igorleko jarraitzailea)

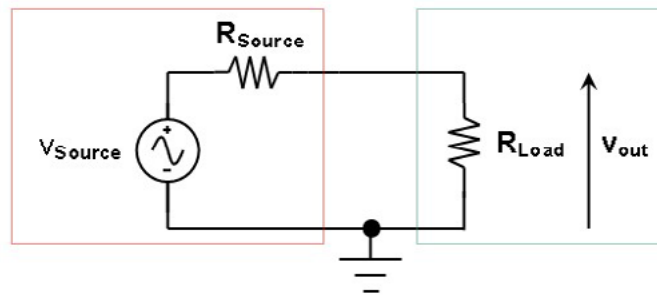
Kolektore komuneko anplifikadorea maiz erabiltzen den anplifikatze-eskema da (praktika honetan, gainera, kolektoreko erresistentzia lurrera konektatuko dugu kondentsadore baten bitartez: hango alternoko osagaia desakoplatuko dugu).



Eskema honek —ohiko lan-egoeretan— kargan (igorleko terminalean) behartzen duen tentsioa ( $v_{out}$ ) basekoarekin bat etortzen da ( $v_{in}$ ) ( $v_e$  eta  $v_b$  ia-ia berdinak izango dira normalean); hori dela eta, *igorleko jarraitzaile* ere deitu ohi zaio. Beraz, ez du tentsioa anplifikatzen.

Orduan, zertarako erabiltzen da? Kitzikapeneko tentsioa kargara iristeko erabiltzen da; inpedantziak egokitzeko, hain zuzen ere. Zer anplifikatzen du? Korrontea, behar den punturaino.

Ikus dezagun zer gertatzen den bi etapa (sarrerakoa,  $V_{source} + R_{source}$  sorgailua; irteerakoa,  $R_{load}$ ) zuzenean, besterik gabe, konektatzen baditugu:



Orduan:

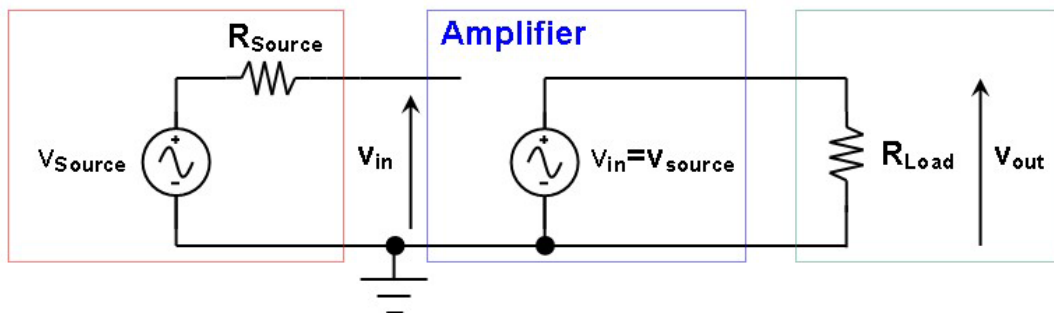
$$v_{out} = v_{source} \cdot \frac{R_{Load}}{R_{Source} + R_{Load}} = v_{source} \cdot \frac{1}{1 + R_{Source}/R_{Load}}$$

Kalkulatu  $v_{out}/v_{source}$  erlazioa, honako  $R_{source}$  eta  $R_{Load}$  balioetarako:

$R_{source}$	$R_{load}$	$v_{out}/v_{source}$
50 $\Omega$	50 $\Omega$	
50 $\Omega$	1 k $\Omega$	
600 $\Omega$	50 $\Omega$	
600 $\Omega$	1 k $\Omega$	

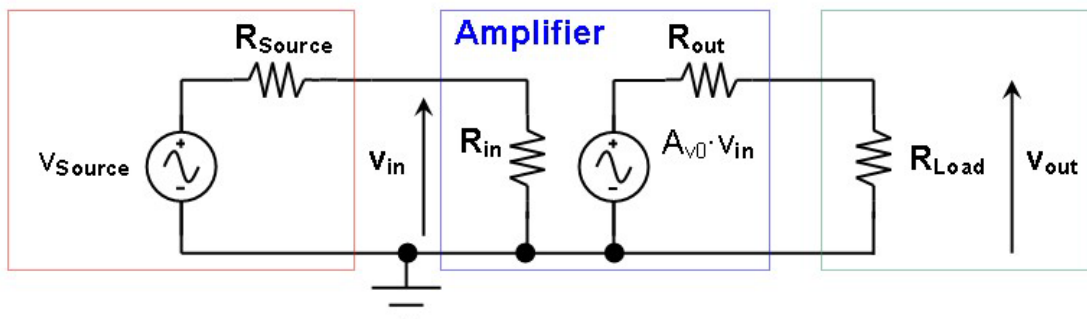
Ikusten dugunez, askotan, tentsioaren zati handi bat bidean galtzen da, eta ez da kargaraino iristen.

Hori konpontzeko, igorleko jarraitzaile bat erabil dezakegu. Haren eskema baliokide ideala honako hau izango litzateke:



Beraz,  $v_{out} = v_{source}$  beteko litzateke, eta jatorrizko tentsioa oso-osorik iritsiko litzateke kargaraino.

Kasu erreal batean, anplifikadore orokor baterako, eskema hau izango da:



Non  $A_0$  zirkuituko tentsio-irabazia baita (igorleko jarraitzailearen kasuan, idealki  $A_0 = 1$ );  $R_{in}$  (oro har,  $Z_{in}$ ), anplifikadorearen sarrerako inpedantzia (idealki, infinitua); eta  $R_{out}$  (oro har,  $Z_{out}$ ), anplifikadorearen irteerako inpedantzia (idealki, nulua).

$$v_{out} = A_0 v_{in} \cdot \frac{R_{Load}}{R_{OUT} + R_{Load}}$$

$$v_{in} = v_{source} \cdot \frac{R_{in}}{R_{Source} + R_{in}}$$

$$v_{out} = v_{source} \cdot A_0 \cdot \frac{R_{Load}}{R_{out} + R_{Load}} \cdot \frac{R_{in}}{R_{Source} + R_{in}}$$

Beraz,  $A_0 \sim 1$ ,  $R_{in} \gg R_{source}$  eta  $R_{out} \ll R_{load}$  betetzen bada,  $v_{out} \sim v_{in}$ .

Kalkulatu  $v_{out}/v_{in}$  erlazioa, baldin eta gure anplifikadorearen ezaugarriak honako hauek bada:  $A_0 = 1$ ,  $R_{in} = 5 \text{ k}\Omega$  eta  $R_{out} = 5 \Omega$ .

$R_{source}$	$R_{load}$	$v_{out}/v_{source}$
50 $\Omega$	50 $\Omega$	
50 $\Omega$	1 k $\Omega$	
600 $\Omega$	50 $\Omega$	
600 $\Omega$	1 k $\Omega$	

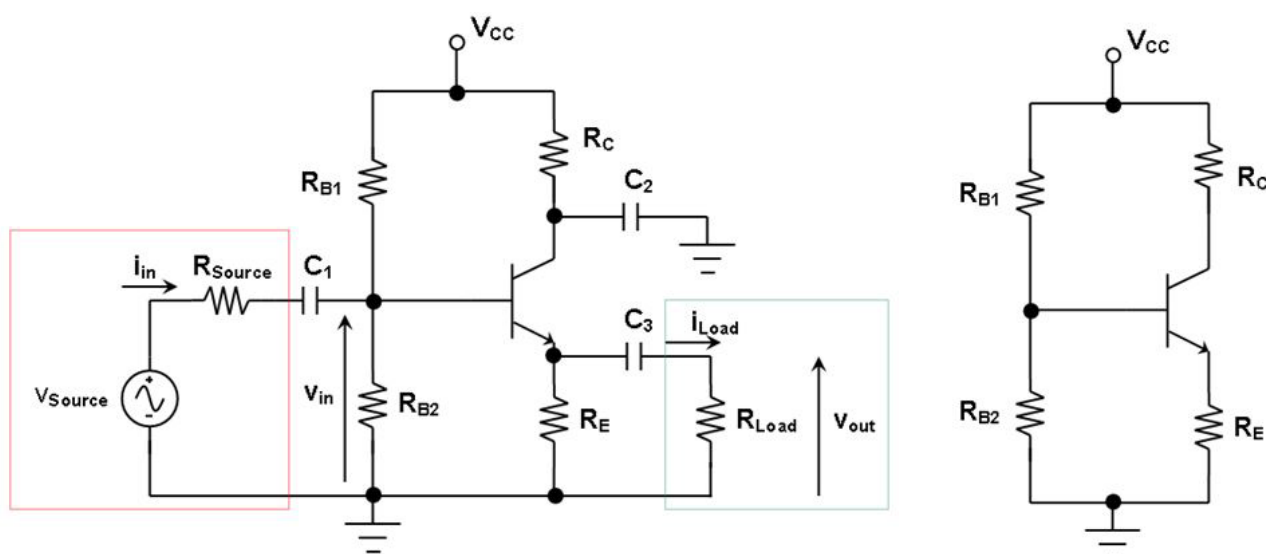
## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen helburu nagusia hauxe da: BJT transistore bat *kolektore komuneko* egituran erabiliz, oinarrizko anplifikadoreetako bat muntatzea eta karakterizatzea. Lortuko den zirkuituan, lan-egoera normaletan, igorleko terminaleko seinale alternoa basekoaren berdina izango da, eta, horregatik, *igorleko jarraitzaile* deitu ohi zaio. Haren ohiko funtzioa hauxe izaten da: (bere sarrerako eta irteerako) etapan inpedantziak egokitzea.

Lehenengo atalean, polarizazio-zirkuitu simple bat muntatu eta karakterizatuko da; ondoren, zirkuitu anplifikatzailea osatuko da, haren tentsio-irabazia karakterizatuko, eta distortsioaren eta tarte dinamikoaren kontzeptuak aurkeztuko dira. Azkenik, bozgorailu baten bidez, inpedantzien egokitzapenaren eragina ikusiko da.

### A. Polarizazio-zirkuitua

Anplifikatzeko oinarrizko eskema ohikoenetako bat kolektore komunarena da; gainera, praktika honetan erabiliko den eskeman, kolektorea erresistentzia alternoan desakoplatuko da (lurrera jarriko da kondentsadore baten bitartez).



Anplifikadorearen eskema osoa (ezk.) eta polarizazio-zirkuituaren osagaiak (esk.). Datuak:  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $R_{B1} = 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 5,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ .

Muntatu, lehendabizi, transistorea polarizatuko duen zirkuitua (hots, eskuinekoa), eta karakterizatu Q polarizazio-puntua; hau da: neurtu  $I_C = V_{RC}/R_C$  eta  $V_{CE}$  tentsioa. Neurtu  $I_B$  eta kalkulatu  $\beta$ .



## B. Zirkuitu anplifikatzaile osoa

Aurreko eskematik abiatuz, osatu zirkuitua osagai hauek erabiliz:

- 1) 100  $\mu\text{F}$ -eko hiru kondentsadore elektrolitiko, ac seinaleak akoplatzeko/desakoplatzeko.
- 2) Funtzio-sorgailuaren OUTPUT MAIN,  $R_{\text{Source}} = 50 \Omega$  irteera erabiliz (batzuetan nulutzat hartuko dugun inpedantzia), aplikatu **100 mV-eko puntako balioa duen seinale sinusoidala,  $f = 1 \text{ kHz}$  maiztasunekoa.**
- 3) Hasieran,  $R_{\text{Load}}$  karga gisa osziloskopioa erabiliko dugu, eta, haren inpedantzia ( $1 \text{ M}\Omega$ ) oso altua denez, kalkulu batzuetan  $R_{\text{Load}} = \infty$  hurbilketa erabiliko dugu.

Zirkuitu hau erabiliz:

1. Egiaztatu polarizazio-puntua ( $I_C = V_{RC}/R_C$  eta  $V_{CE}$ ) ez dela aldatu (aurreko ataleko balioekin alderatu).
2. **Neurtu tentsio-irabaziaren ( $v_{\text{out}}/v_{\text{source}}$ ) modulua eta fasea.** Marraztu seinaleak praktika-ren enuntziatuaren azken orrialdeko txantiloian.
3. **Aplikatu sarreran 10 V-eko puntako balioa duen seinale sinusoidala, eta ikusi irteerak forma sinusoidala galtzen duela: distortsionatu egiten da.** Marraztu sarrerako eta irteerako seinaleak txantiloian.
4. Doitu sarrerako tentsioa, irteerako seinalearen distortsioa (des)agertzen hasten den anplitudera arte. **Neurtu irteerako tarte dinamikoa** (irteerako seinaleak distorsiorik gabe har dezakeen anplituderik handiena).

## C. Inpedantzien egokitzapena

Inpedantzien egokitzapenaren eragina aztertzeko, bozgorailu bat erabiliko da.

Funtzio-sorgailuaren OUTPUT  $R_{\text{Source}} = 600 \Omega$  irteera erabiliz, aplikatu **2 V-eko puntako balioa duen seinale sinusoidala,  $f = 1 \text{ kHz}$  maiztasunekoa.**

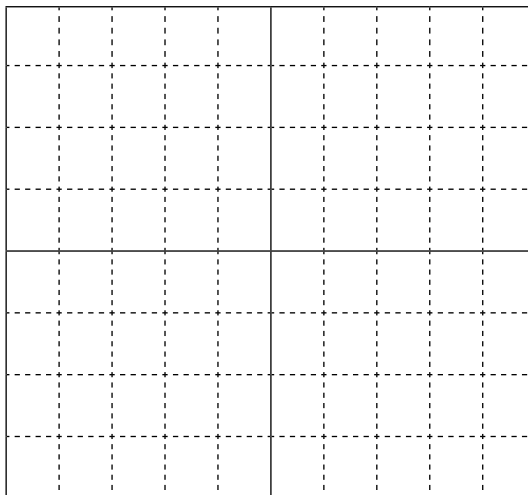
1. Konektatu bozgorailua, jarraian, funtzio-sorgailuaren irteeran. Funtzionatzen du?
2. Konektatu funtzio-sorgailua kolektore komuneko anplifikadorearen sarreran eta bozgorailua irteeran. Funtzionatzen du? Zer gertatzen da? Zergatik?

Bete hurrengo orrialdeko fitxa.

A.

<b>POLARIZAZIOA</b>			
$I_C$	$V_{CE}$	$I_B$	$\beta$

B. Sarrerako eta irteerako seinaleen forma,  $v_{in} = 50 \text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot t)$  erabiliz.



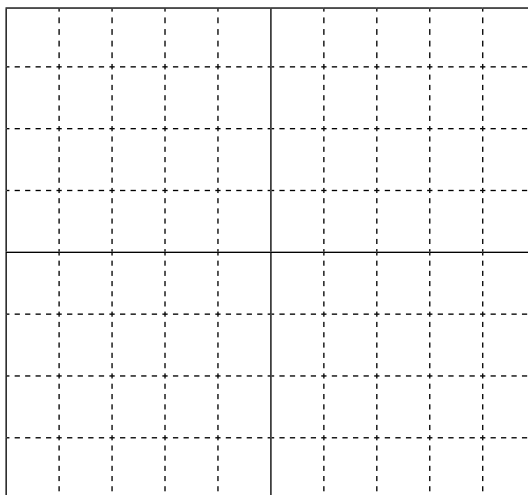
CH1:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

CH2:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:  
 DUAL / XY modua  
 Eskala: ms/div

Tentsio-irabazia:  $v_{out}/v_{source} = \dots\dots\dots$

Sarrerako eta irteerako seinaleen forma,  $v_{in} = 5 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot t)$  erabiliz



CH1:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

CH2:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:  
 DUAL / XY modua  
 Eskala: ms/div

Zein da irteerak aurkezten duen distortsioa? .....

Irteerako tentsioak duen tarte dinamikoa: .....

C. Zer gertatzen da bozgorailua jarraian funtzio-sorgailuan edota anplifikadorearen irteeran konektatzen denean? Zergatik? .....

.....

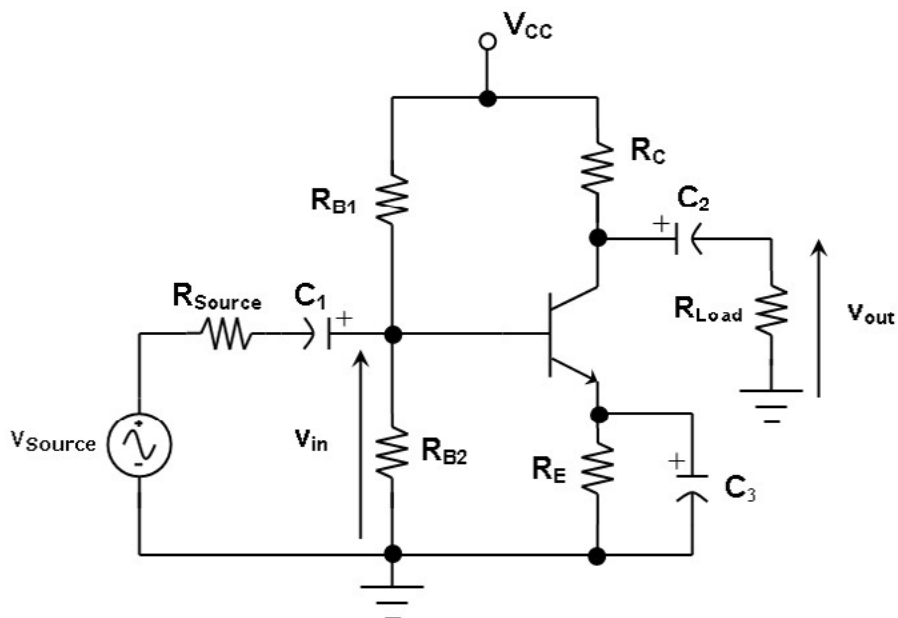
8.

## Transistore bipolarrrak eta anplifikatzea: igorle komuna

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

#### A. Igorle komuneko anplifikadorea

Anplifikatzeko oinarrizko eskema ohikoenetako bat igorle komunarena da; batez ere igorleko erresistentzia, polarizazioan erabili ondoren, altxoan desakoplatzen (lurrera jartzen) duena.

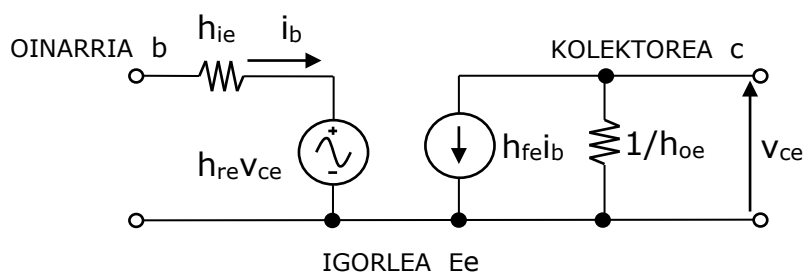


Aurreko zirkuiturako,  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $R_{B1} = 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$  hartuz:

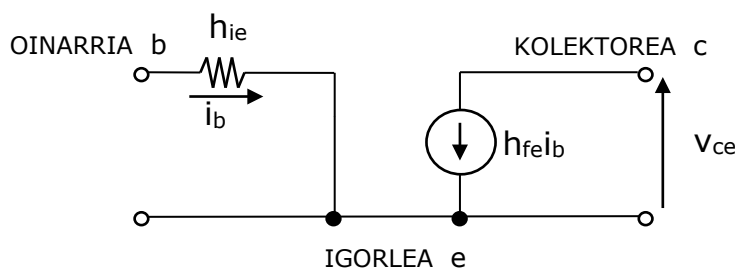
1. Kalkulatu polarizazio-puntua ( $I_C$  korronea eta  $V_{CE}$  tentsioa)  $R_{B2}=5k6$ ,  $2k2$  eta  $8k2$  kasue-tarako (hartu  $\beta = h_{FE DC} = 180$  eta  $V_{BE}=0,7$  V).
2. Zer nolako kapazitatea (handia/txikia) izan behar dute kondentsadoreek, haien inpedan-tziak alternoko zirkuituan parte ez hartzeko?
3. Zenbat da  $R_{Source}$ , laborategiko (ohiko) funtzio-sorgailua erabiltzen bada (OUTPUT MAIN,  $50 \Omega$ )?
4. Sarrerako seinalea  $1$  kHz-ekoa bada, zenbat da  $R_{Load}$ , baldin eta irteeran osziloskopioa ba-karrik jartzen badugu ( $1 M\Omega // 25$  pF)?

### B. “h” parametroen bidezko zirkuitu baliokidea

Alternoko zirkuituaren analisisa egiteko gure transistorea ordeztuko dugu, haren (igorle ko-muneko) “h” parametroak erabiltzen dituen zirkuitu baliokidea ipiniz. Zirkuitua honako hau izango da:



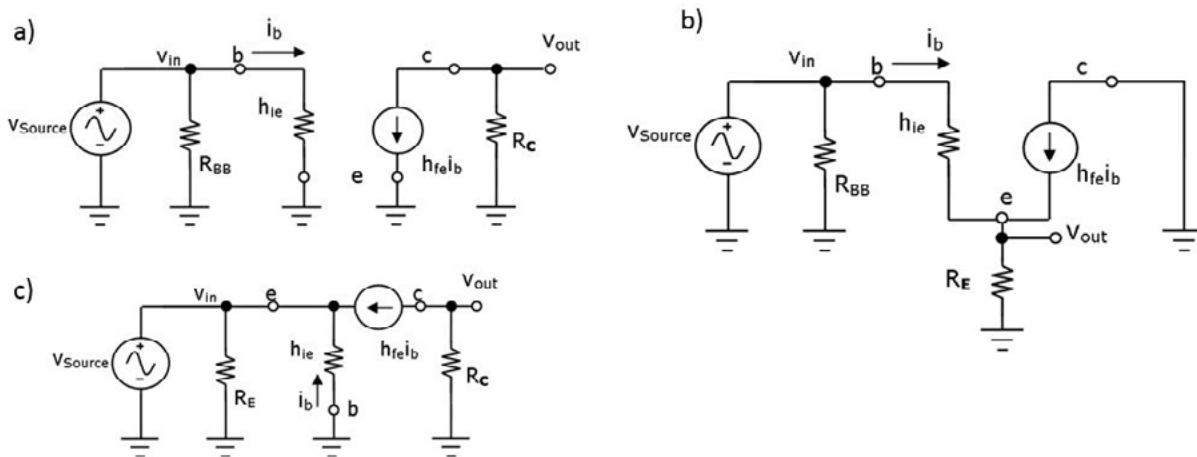
Askotan, aurreko zirkuitua erraztuko dugu, eta honako hau erabiliko dugu:



1. Horretarako, aintzat hartzen ez diren parametroek honelakoak izan behar dute:
  - a) Txikiak, bai  $h_{re}$  bai  $h_{oe}$ .
  - b) Altuak, bai  $h_{re}$  bai  $h_{oe}$ .
  - c)  $h_{re}$  txikia eta  $h_{oe}$  handia.
  - d)  $h_{re}$  handia eta  $h_{oe}$  txikia.
2. Bilatu, 2N2222A transistorearen datu-orrietan, haren (igorle komuneko) h parametroen ohiko balioak ( $V_{CE} = 10$  V eta  $f = 1$  kHz egoerarako).

	Parametroa					
	$h_{ie} (\Omega)$		$h_{fe}$		$h_{re}$	$h_{oe} (\Omega^{-1})$
	min	max	min	max	max	max
$I_C=1 \text{ mA}$						
$I_C=10 \text{ mA}$						

- Esan esaldi hau egia ala okerra den:  
Transistorea oso motela da, zeren eta haren konmutazio-denborak mikrosegundo batzuk baitira eta trantsizio-maiztasun tipikoa (fT) 1 MHz baita.
- Marraztu A. ataleko zirkuitu anplifikadorearen seinale txikiko zirkuitu baliokidea ( $Z_C \sim 0$ ,  $h_{re} \sim 0$ , eta  $h_{oe} \sim 0$  hartuz).



- Kalkulatu A ataleko zirkuituaren tentsio-irabazia eta sarrerako eta irteerako inpedantziak,  $R_{B2} = 5k\Omega$  eta  $R_{LOAD} = \infty$  direnean,  $h_{re}$  eta  $h_{oe}$  parametroen efektua arbuiauz eta  $h_{ie} = 1,125 \text{ k}\Omega$  eta  $h_{fe} = 180$  hartuz.

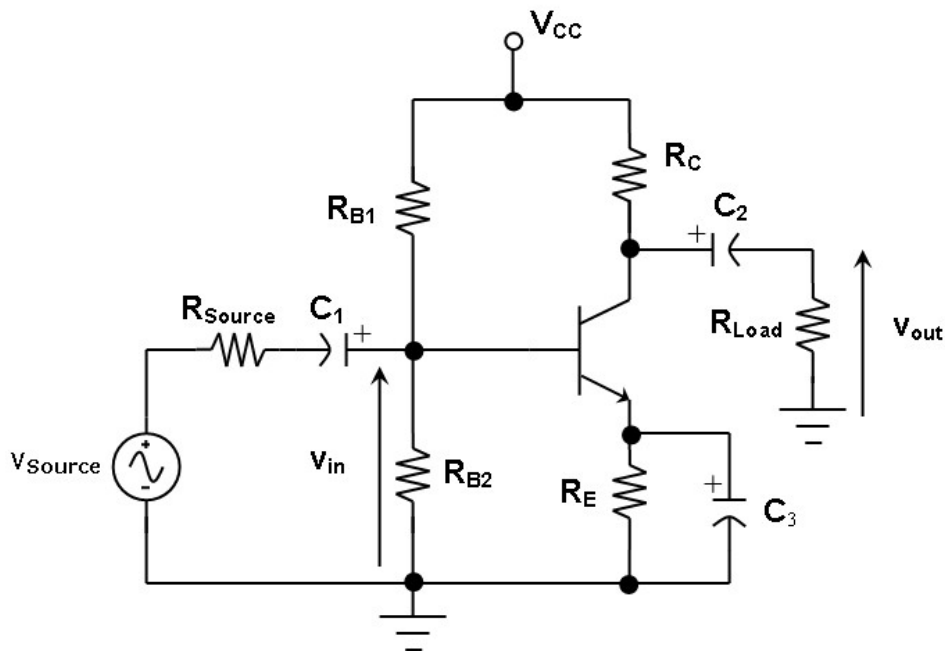
## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen helburua hauxe da: BJTekin amplifikatzeko erabiltzen diren oinarrizko eske-  
metako bat analizatzea eta muntatzea: *igorle komuneko egitura*.

Lehenengo eta behin, transistorea egokiro polarizatuko dugu, aktiboan eta tarte dinamiko za-  
bala bermatuz, eta, gero, oinarrizko egitura muntatu eta analizatuko dugu: tentsio-irabazia eta tarte  
dinamikoa neurtuko ditugu, eta, ondoren, seinale txikiko zirkuitu baliokideekin eta karga zuzen  
estatiko eta dinamikoekin erlazionatuko ditugu emaitzak.

### 1. Igorle komuneko amplifikadorea

Anplifikatzeko oinarrizko eskema ohikoenetako bat igorle komunarena da, batez ere polari-  
zazioan igorleko erresistentzia bat erabili baina altxatzen erresistentzia hori desakoplatzen (lurrera  
jartzen) duena.



Datuak:  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $R_{B1} = 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 5,6 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ .

Eskema honetan,  $R_{Source} = 0$  eta  $R_{Load} = \infty$  onartuz, ondoren eskatuko diren neurketak hartuz,  
bete enuntziatuan erantsita doazen taulak eta txantiloiak:

- Karakterizatu polarizazio-puntua; alegia, neurtu  $I_C$  eta  $V_{CE}$ .
- Aplikatu sarreran  $f = 1\text{kHz}$ -eko seinale bat, amplitude txikiarekin (10 mV-ekoa, distor-  
tsioa saihesteko modukoa). Zenbat da tentsio-irabazia? (neurtu modulua eta fasea).
- Handitu sarrerako seinalea, irteeran distortsioa izan arte. Zenbat da transistorea etendu-  
rara daroan sarrerako tentsioa? Eta asetasunera daroana? Zenbat da amplifikadore honen  
tarte dinamikoa? (irteerako seinale maximoa distorsiorik gabe).

- d) Ezarri 200 mV-eko seinalea eta marraztu lortzen diren uhin-formak ondoren duzuen txantiloian, irteerako seinalean argi adieraziz etendura eta asetasuna zer baliotan agertzen diren.

Errepikatu aurreko ataletan (a-d) egindako neurketa guztiak honako erresistentzia hauetarako:

a.  $R_{B2} = 2,2 \text{ k}\Omega$

b.  $R_{B2} = 8,2 \text{ k}\Omega$

- e) Karakterizatu, azken  $R_{B2}$  horretarako, zirkuitu anplifikatzailearen sarrerako eta irteerako erresistentziak.

[Txostenean, eman bai datu esperimentalak (neurketak) bai haiei dagozkien kalkulu teorikoak.]

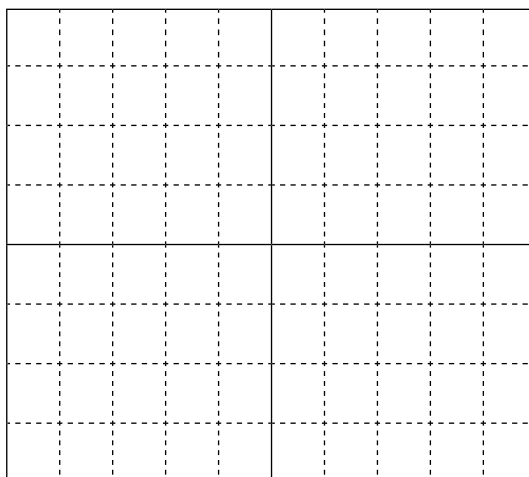
Bete hurrengo orrialdeko fitxa.

**Igorle komuneko anplifikadorea:**

	POLARIZAZIOA		SEINALE TXIKIA ( $v_{in}=10\text{ mVp}$ )		
	$I_C$	$V_{CE}$	$A_v$	$Z_{in}$	$Z_{out}$
$R_{B2}=5K6$				—	—
$R_{B2}=2K2$				—	—
$R_{B2}=8K2$					

Sarrerako eta irteerako seinaleen forma,  $v_{in} = 10\text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot t)$  erabiliz

$R_{B2}=5K6$

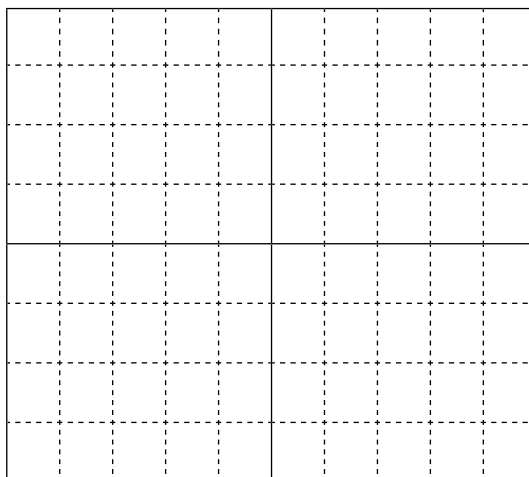


CH1:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

CH2:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:  
 DUAL / XY modua  
 Eskala: ms/div

$R_{B2}=2K2$



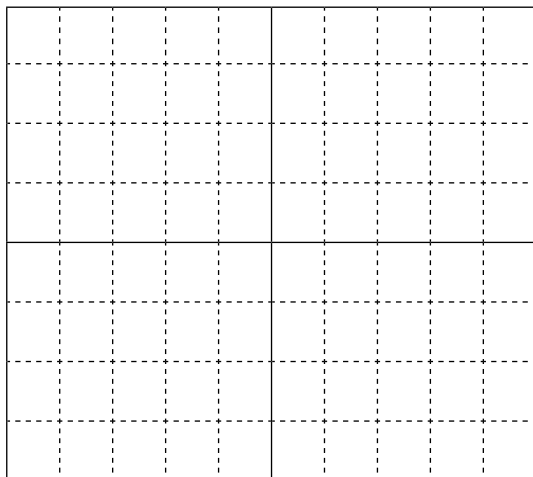
CH1:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

CH2:  
 Modua: AC/DC/GND  
 Eskala: V/div  
 Zunda: x1/x10  
 Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:  
 DUAL / XY modua  
 Eskala: ms/div



$R_{B2}=8K2$



CH1:

Modua: AC/DC/GND

Eskala: V/div

Zunda: x1/x10

Erreferentzia: dibisio

CH2:

Modua: AC/DC/GND

Eskala: V/div

Zunda: x1/x10

Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:

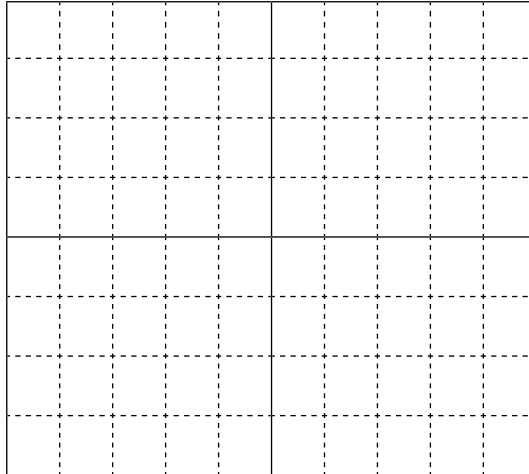
DUAL / XY modua

Eskala: ms/div

Sarrerako eta irteerako seinaleen forma,  $v_{in} = 200 \text{ mV} \cdot \sin(2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot t)$  erabiliz

$R_{B2}=5k6$ . Zenbat da distortsioa hasteko  $V_{p_{in}}$ ? .....

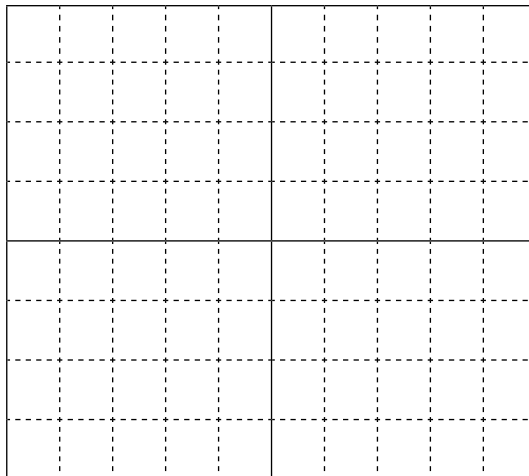
$R_{B2}=5k6$



<b>CH1:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
<b>CH2:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
Denbora-oinarria:	
DUAL / XY modua	
Eskala:	ms/div

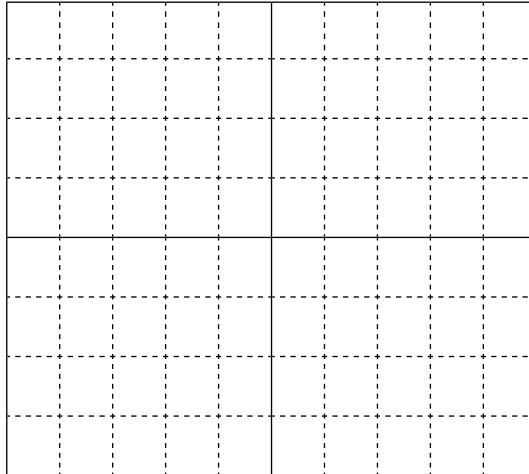
$R_{B2}=2k2$ . Zenbat da distortsioa hasteko  $V_{p_{in}}$ ? .....

$R_{B2}=2k2$



<b>CH1:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
<b>CH2:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
Denbora-oinarria:	
DUAL / XY modua	
Eskala:	ms/div

$R_{B2}=8k2$ . Zenbat da distortsioa hasteko  $V_{p_{in}}$ ? .....

$R_{B2}=8k2$ 

CH1:

Modua: AC/DC/GND

Eskala: V/div

Zunda: x1/x10

Erreferentzia: dibisio

CH2:

Modua: AC/DC/GND

Eskala: V/div

Zunda: x1/x10

Erreferentzia: dibisio

Denbora-oinarria:

DUAL / XY modua

Eskala: ms/div

9.

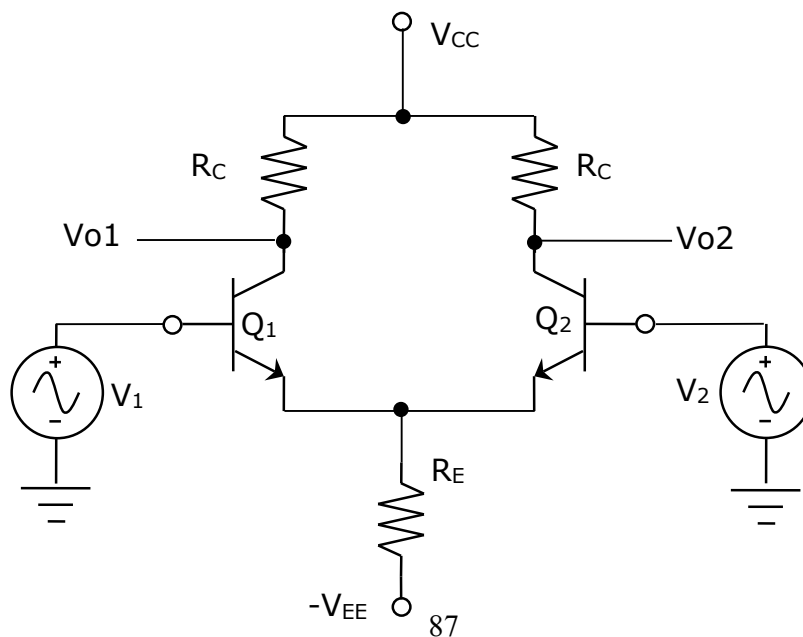
## Anplifikadore diferentziala

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

Praktika honen helburu nagusiak bi dira: anplifikadore diferentzialak aurkeztea eta korrone-iturri eskema bat analizatzea. Horretarako, bi BJT erabiliko dituen anplifikadore diferentzial bat muntatuko da, eta hori polarizatzeko bi eskema erabiliko dira.

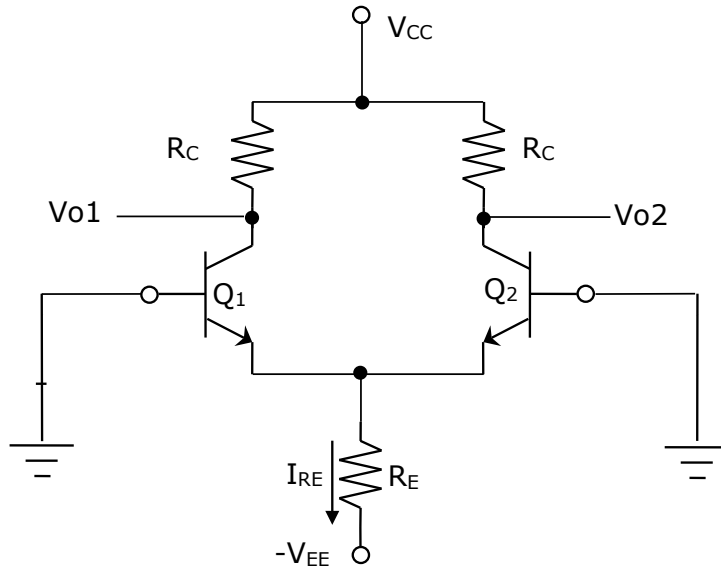
#### 1. Oinarrizko anplifikadore diferentziala

Anplifikadore diferentziala (*igorre pare* edo *pare diferentzial* ere deitzen dena) anplifikatze-sistemetan ohiko etapa izaten da, eta bi seinaleren arteko aldea bakarrik anplifikatzeko balio du. Eskemarik sinpleena honako hau da:



## 2. Polarizazioa

Transistoreen polarizazioa analizatzeko, tentsio zuzenak bakarrik hartuko ditugu kontuan, eta, horrela, bi baseak lurrera konektatuta egongo dira.



Base-igorle polarizazio-tentsioa berdina (bera, hain zuzen ere) izango da bi transistoreetan, eta, bi transistoreak berdinak badira, simetria, igorleko korranteak ere berdinak izango dira:  $|I_{E1}| = |I_{E2}| = \frac{I_{RE}}{2}$

Igorleko sarea ebatziz:

$$I_{RE} \cdot R_E + V_{BE} = V_{EE} \Rightarrow I_{RE} = \frac{V_{EE} - 0,7}{R_E} \Rightarrow |I_{E1}| = |I_{E2}| = \frac{V_{EE} - 0,7}{2R_E}$$

Eta kolektoreko sareari dagokionez, aktiboan  $I_C \approx |I_E|$  betetzen dela onartuz:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \frac{I_{RE}}{2} R_C = V_{CC} - \frac{V_{EE} - 0,7}{2R_E} R_C$$

$$V_{CE1} = V_{CE2} = (V_{CC} - 0,7) - \frac{(V_{EE} - 0,7) R_C}{2R_E}$$

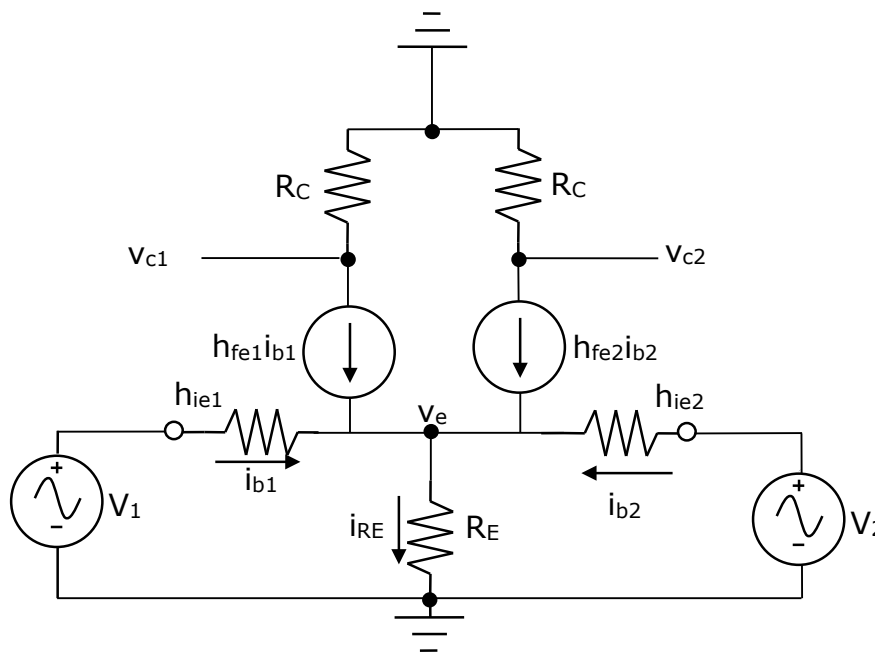
Askotan elikatze simetrikoa erabiltzen dugu ( $V_{EE} = V_{CC}$ ), eta orduan:

$$V_{CE1} = V_{CE2} = (V_{CC} - 0,7) \cdot \left[ 1 - \frac{R_C}{2R_E} \right]$$

**Kalkulatu** polarizazio-puntuako korranteak eta tentsioak honako osagai hauek erabiltzen direnean:  $\pm V_{CC} = \pm 10V$ ;  $R_C = 3,3 \text{ k}\Omega$ ;  $R_E = 4,7 \text{ k}\Omega$ ,  $\beta = 160$ .

### 3. Seinale txikia

Lehenengo transistorearen basean  $V_1$  eta bigarrenean ( $Q_2$ -n)  $V_2$  seinale alterno sinusoidal txikiak aplikatzen baditugu, zirkuitu baliokidea hau izango da:



Bi transistoreak berdin-berdinak direla onartuz, polarizazio berdin-berdina dutenez, seinale txikiko parametroak ere berdinak izango dira ( $h_{fe1} = h_{fe2} = h_{fe}$  eta  $h_{ie1} = h_{ie2} = h_{ie}$ ).

Zirkuitu baliokidea ebazteko,  $v_e$  tentsio lagungarria erabiliko dugu. Hori erabiliz,  $i_{b1}$ ,  $i_{b2}$  eta  $i_{RE}$  berehala adieraz daitezke aplikatutako tentsioen funtzioan:

$$i_{b1} = \frac{V_1 - v_e}{h_{ie}} \quad i_{b2} = \frac{V_2 - v_e}{h_{ie}} \quad i_{RE} = \frac{v_e}{R_E}$$

Eta Kirchhoff-en lehenengo legea aplikatuz (igorleetan):

$$(h_{fe1} + 1) \cdot i_{b1} + (h_{fe2} + 1) \cdot i_{b2} = i_{RE} \Rightarrow (h_{fe} + 1) \frac{V_1 - v_e}{h_{ie}} + (h_{fe} + 1) \frac{V_2 - v_e}{h_{ie}} = \frac{v_e}{R_E} \Rightarrow$$

$$(h_{fe} + 1) \frac{V_1 + V_2}{h_{ie}} = \frac{v_e}{R_E} + (h_{fe} + 1) \frac{2 \cdot v_e}{h_{ie}} \Rightarrow v_e = \frac{V_1 + V_2}{h_{ie} \left( \frac{1}{(h_{fe} + 1) \cdot R_E} + \frac{2}{h_{ie}} \right)}$$

$$\text{Eta: } v_e = \frac{V_1 + V_2}{2 + \left( 1 \cdot \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E} \right)}$$

$$\begin{aligned}
 i_{b1} &= \frac{1}{h_{ie}} \left( V_1 - \frac{V_1 + V_2}{2 \cdot \left( 1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E} \right)} \right) = \frac{1}{h_{ie}} \left( \frac{V_1 - V_2}{2} + \frac{V_1 + V_2}{2} - \frac{V_1 + V_2}{2 \cdot \left( 1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E} \right)} \right) \\
 i_{b1} &= \frac{1}{h_{ie}} \frac{V_1 - V_2}{2} + \frac{1}{h_{ie}} \frac{V_1 + V_2}{2} \left( 1 - \frac{1}{\left( 1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E} \right)} \right) = \frac{V_1 - V_2}{2h_{ie}} + \frac{V_1 + V_2}{2h_{ie}} \frac{\frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}} \\
 i_{b1} &= \frac{V_1 - V_2}{2h_{ie}} + \frac{V_1 + V_2}{2h_{ie}} \frac{1}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}} \\
 i_{b2} &= \frac{V_2 - V_1}{2h_{ie}} + \frac{V_1 + V_2}{2h_{ie}} \frac{1}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}} \\
 v_{c1} &= -R_C \cdot h_{fe} \cdot i_{b1} = -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}} (V_1 - V_2) - \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}} \frac{1}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}} \frac{V_1 + V_2}{2}
 \end{aligned}$$

Beraz, Q1 transistorearen kolektorean agertzen den irteerako seinaleak bi osagai ditu, guztiz ezberdinak. Bata proportzionala da  $V_1$  eta  $V_2$  tentsioen arteko aldearekiko (diferentziarekiko) (modu diferentziala:  $v_{diff} = V_1 - V_2$ ), eta bestea bi seinaleen batezbestekoarekiko (partekatzen duten osagaiarekiko) (modu komuna:  $v_{common} = (V_1 + V_2)/2$ ).

$$v_{c1} = -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}} v_{diff} - \frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}} \frac{1}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}} v_{common}$$

Bi moduak era oso ezberdinean amplifikatzen direnez, bi amplifikatze-faktore bereizten dira, amplifikatze edo irabazi diferentziala ( $A_{DM}$ ) eta modu komunari dagokion irabazia ( $A_{CM}$ ):

$$A_{DM} = -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}}$$

$$A_{CM} = -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}} \frac{2}{1 + \frac{h_{ie}}{2(h_{fe} + 1) R_E}}$$

$R_E \gg h_{ie}$  hartuz, modu komuneko tentsio-irabazia oso txikia izatea lortzen da (ahultzea), eta irteerako tentsioa, gutxi gorabehera, bi seinaleen arteko aldearekiko (kenketarekiko) proportzionaltzat jo daiteke.

$$A_{CM} = -\frac{h_{fe} R_C}{2h_{ie}} \frac{2}{1 + \frac{2(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}}} \approx -\frac{h_{fe} R_C}{2(h_{fe} + 1) R_E}$$

Modu diferentzialaren eta komunaren irabazien arteko erlazioa oso parametro esanguratsua da, seinaleen diferentzia areagotzearen neurria ematen baitigu:

$$\frac{A_{DM}}{A_{CM}} = \frac{1 + \frac{2(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}}}{2} \Rightarrow \left\langle (h_{fe} + 1) R_E \gg h_{ie} \right\rangle \Rightarrow \frac{A_{DM}}{A_{CM}} = \frac{(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}}$$

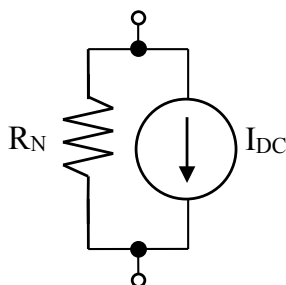
Erlazio hori *modu komunaren aurkako erlazioa* da (CMRR, common mode rejection ratio), eta normalean dB-tan ematen da:

$$CMRR_{lineal} = \frac{(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}} \quad CMRR_{lineal} = \frac{(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}} \approx \frac{(\beta + 1) R_E}{V_T / I_B} \approx \frac{I_C \cdot R_E}{V_T}$$

$$CMRR_{dB} = 20 \log \left( \frac{(h_{fe} + 1) R_E}{h_{ie}} \right)$$

**Kalkulatu**, aurreko zirkuiturako, tentsio-irabazi diferentzial eta komunak eta CMRR parametroa,  $h_{fe} = \beta = 160$  eta  $h_{ie} = r_b = V_T / I_B$  hartuz.

OHARRA:  $R_E$  oso altua interesatzen zaigu, baina baita polarizazio-korronte egokiak ere (ertainak edo altuak), eta, horretarako, oso komenigarria izango litzateke,  $R_E$  bakan baten ordean, korronte-iturri bat erabiltzea (idealki,  $R_{Norton} = \infty$ ).



$$CMRR_{lineal} \approx \frac{I_C \cdot R_{Norton}}{V_T} \approx \frac{I_{DC} \cdot R_{Norton}}{2V_T}$$

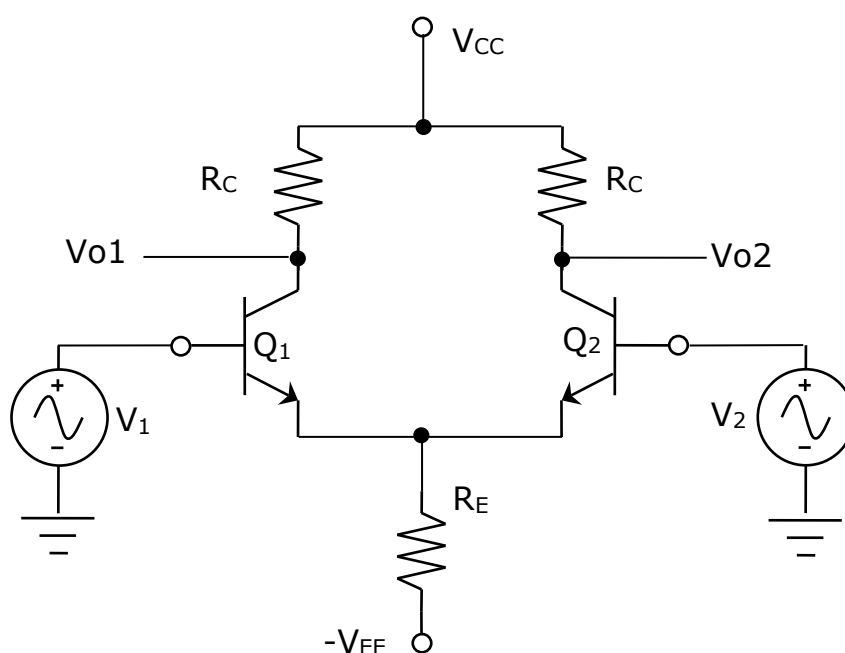


## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen helburu nagusiak bi dira: anplifikadore diferentzialak aurkeztea eta korronte-iturri eskema bi analizatzea. Horretarako, bi BJT erabiliko dituen anplifikadore diferentzial bat muntatuko da, eta hori polarizatzeko bi eskema erabiliko dira.

### 1. Oinarrizko anplifikadore diferentziala

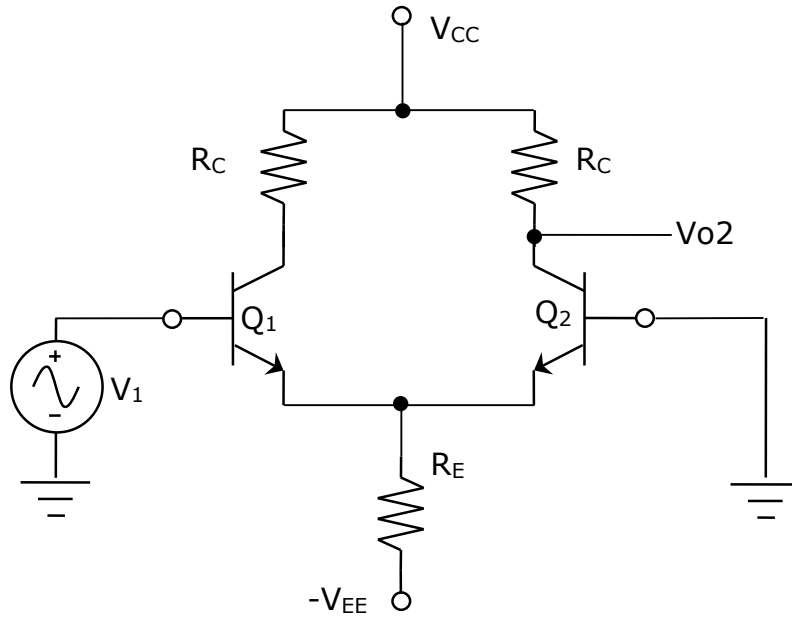
Anplifikadore diferentziala (*igorre pare* edo *pare diferentzial* ere deitzen dena) anplifikatze-sistemetan ohiko etapa izaten da sarreretan, eta bi seinalaren arteko aldea bakarrik anplifikatzeko balio du. Eskemarik sinpleena honako hau da:



Esperimentalki karakterizatzeko, seinale bakarra eta bi muntaketa erabiliko ditugu.

#### 1.1. Modu diferentzialaren anplifikatzea

Modu diferentziala (eta polarizazioa) analizatzeko beheko zirkuitua muntatuko dugu, honako material hauek erabiliz: bi npn 2N2222A transistore,  $\pm V_{CC} = \pm 10V$  elikatze simetrikoa, eta  $R_C = 3,3 \text{ k}\Omega$ ;  $R_E = 4,7 \text{ k}\Omega$  erresistentziak.

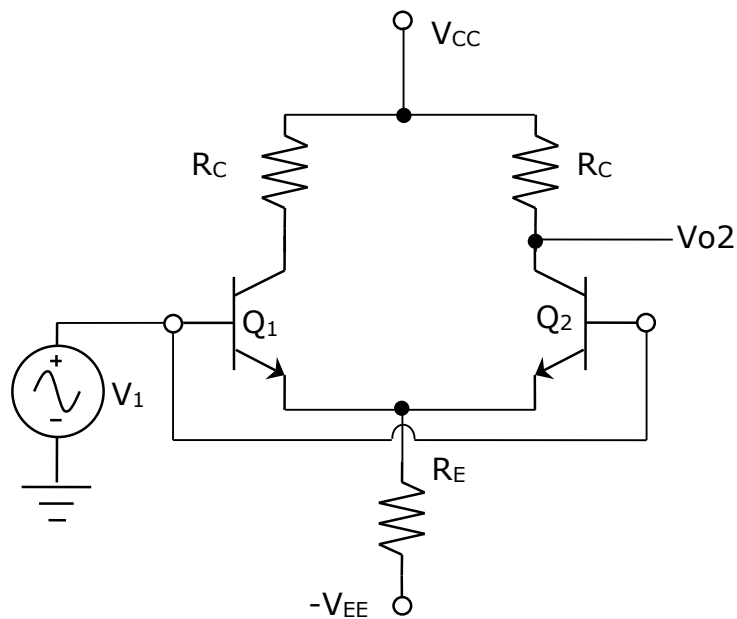


Q1 transistorearen basean, 10 mV-eko anplitudea eta 1 kHz-eko maiztasuna dituen seinale sinusoidala aplikatu dugu, eta Q2 transistorearen basea lurrera jarriko dugu.

- Karakterizatu transistoreen polarizazio-puntua ( $V_{CE}$  eta  $I_C$ ).
- Irudikatu  $V_1$  eta  $V_{C2}$  tentsioen osagai alternoak.
- Eta kalkulatu, aurreko tentsioekin, tentsio-irabazi diferentziala:  $A_{diff} = V_{o2}/V_1$ .

### 1.2. Modu komunaren aplikatzea

Orain, bi sarreretan aplikatuko dugu  $V_1$  seinalea, baina anplitude handiagoa erabiliko dugu (200 mV<sub>p</sub>, 1 kHz).



- Karakterizatu transistoreen polarizazio-puntua eta alderatu aurreko atalekoarekin.
- Irudikatu  $V_1$  eta  $V_{C2}$  tentsioen osagai alternoak.
- Eta kalkulatu tentsio-irabazi komuna:  $A_{\text{comm}} = V_{o2}/V_1$ .

### 1.3. Modu komunaren baztertze-faktorea

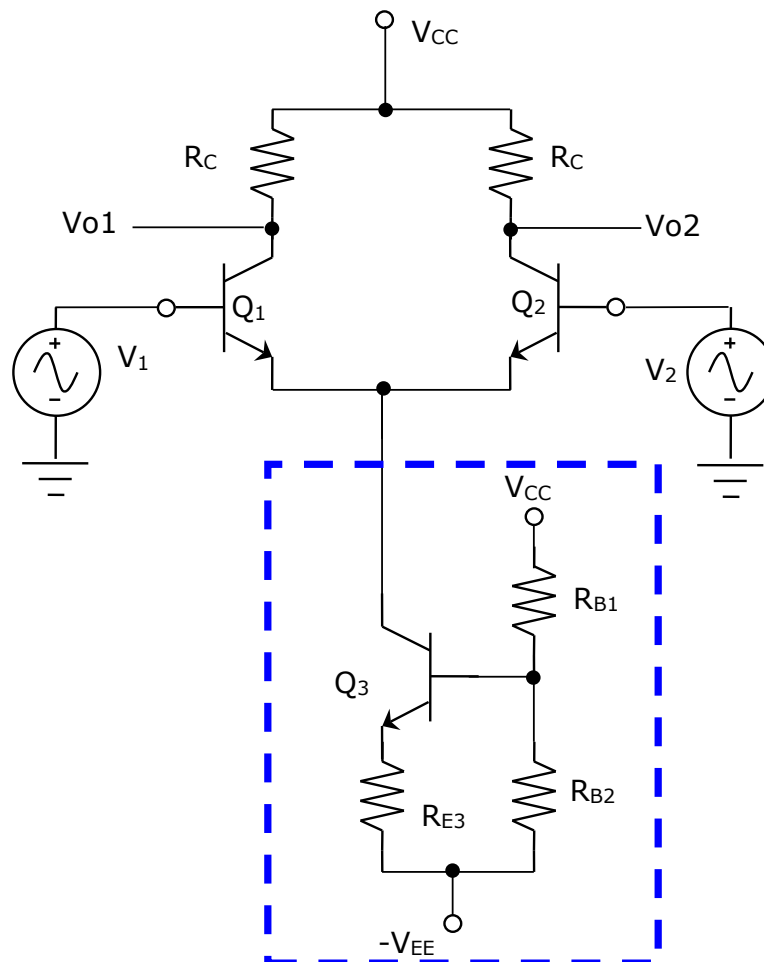
Aurreko ataletako tentsio-irabaziekin, kalkulatu modu komunaren baztertze-faktorea (linealetan eta dB-tan).

$$\text{CMRR} = A_{\text{diff}} / A_{\text{common}}$$

$$\text{CMRR}_{\text{dB}} = 20 \cdot \log [A_{\text{diff}} / A_{\text{common}}]$$

## 2. Korrante-iturriaren bidezko polarizazioa

Aurreko zirkuituan, erresistentzia baten bidez polarizatzeak modu komunaren baztertze-faktore maximoa 45 dB inguruan mugatzen du. Parametro hori hobetzeko,  $R_E$  erabili beharrean, korrante-iturri bat erabil dezakegu. Horretarako badaude aukera asko; horien artean, hemen proposatzen dugun zirkuitu sinplea:



Muntatu goiko zirkuitua, 2N2222A transistore bat eta honako erresistentzia hauek gehituz aurrekoari:  $R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{B2} = 3,3 \text{ k}\Omega$  eta  $R_{E3} = 2,2 \text{ k}\Omega$ .

- a) Karakterizatu polarizazio-puntua. Zenbat da, gutxi gorabehera, erabili dugun iturriaren  $I_{DC}$  balioa?
- b) Neurtu irabazi diferentziala eta komuna, eta kalkulatu CMRR faktorea. Zenbat da erabili dugun iturriaren  $R_{Norton}$  erresistentzia (gogoratu prestaketan erabili den CMRR faktorearen formula)?

Bete hurrengo orrialdeko fitxa:

**1. Oinarrizko eskemarekin (polarizazioa  $R_E$  erabiliz)**

**Polarizazioa:**

Transistorea	Langunea	Teorikoki		Neurtuta	
		$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$
$Q_1$					
$Q_2$					

**Osagai alternoak:**

	Irabazi diferentziala	Irabazi komuna	CMRR (lineal)	CMRR (dB)
Teorikoa				
Esperimentala				

**2. Korrante-iturriaren bidezko polarizazioarekin**

**Polarizazioa:**

Transistorea	Langunea	Teorikoki		Neurtuta	
		$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$
$Q_1$					
$Q_2$					
$Q_3$					

**Osagai alternoak:**

	Irabazi diferentziala	Irabazi komuna	CMRR (lineal)	CMRR (dB)
Teorikoa		-----	-----	-----
Esperimentala				

$$I_{DC} = 2I_C - \frac{(0,7 + V_{EE})}{R_N} \approx 2I_C =$$

$$CMMR_{lineal} \approx \frac{I_C \cdot R_{Norton}}{V_T} \Rightarrow R_{Norton} =$$

10.

## Push-pull motako irteera

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

Praktika honen helburua da push-pull anplifikadoreen funtzionamendua analizatzea. Mota horretako anplifikadoreak bi transistore osagarritz eraikitzen dira, eta irteerako etapa gisa erabili ohi dira, zeren eta —orain arte ikusitako egiturekin alderatuz— potentziaren ikuspuntutik efizienteagoak baitira.

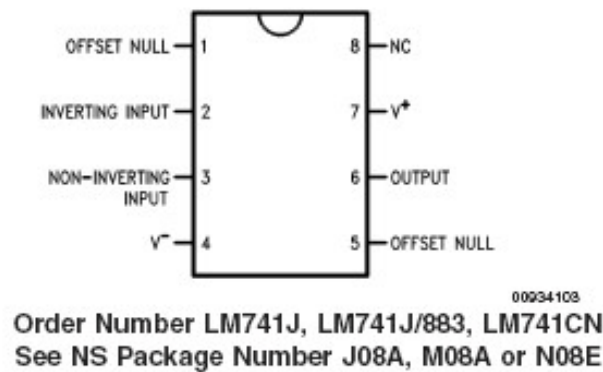
#### 1. Etapa anplifikatzaileak eta potentziaren aprobetxamendua

Distortsioaren analisisian ikusi dugunez, kolektore edo igorle komunean anplifikadore batek eman dezakeen alternoko gehieneko korrontea polarizazioan jasaten duen  $I_C$  korrontea da. Hori dela eta, karga bati potentzia handiak emateko, transistoreak berak korronte altuak eta tentsio altuak —hots, potentzia altua— jasan behar ditu; kargak jasoko duenaren parekoa, hain zuzen ere. Potentziaren ikuspuntutik, etapa horiek A motakoak direla esaten dugu.

Badaude, halere, etapa anplifikatzaile efizienteagoak, eta haien arteko ezagunena push-pull motakoa da. Horietan, osagarriak diren bi transistorek txandaka lan egiten dute ziklo positiboan eta negatiboan, eta lan-puntuan atsedeen-korronte nulua dute biek. Baina egitura horrek badu desabantaila nabarmen bat: polarizazio-korrontea nulua denez, erdiziklo batetik bestera igarotzean, transistoreek eroaten hasteko denbora jakin bat behar dute, eta distortsio (txiki) bat agertzen da (*gurutzatze-distortsioa*). Potentziaren efizientziaren ikuspuntutik, etapa horiek B motakoak dira. Diseinuan aldaketa txiki bat sartuz, transistoreak korronte minimo batekin polarizatzen badira, irteerako distortsioa minimizatzen da, eta kalitatea nabarmenki hobetzen da. AB motako anplifikadoreak dira.

Badaude are aukera efizienteagoak (C, D eta E anplifikadoreak), baina ez ditugu irakasgai honetan analizatuko.

## 2. Potentziako etapan beharra: AO erreala (ez-ideala)



(‘National Semiconductor’)

LM741 amplifikadore operazionala erreala da, eta haren ezaugarriak ez dira idealak. Izan ere, (berrelikatu gabe, 25 °C-tan,  $V_S = \pm 15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ ,  $R_L = 2\text{ k}\Omega$ ,  $V_O = \pm 10V$ ) honako ezaugarri hauek ditu:

Tentsio-irabazi (*Large signal voltage gain*) tipikoa:

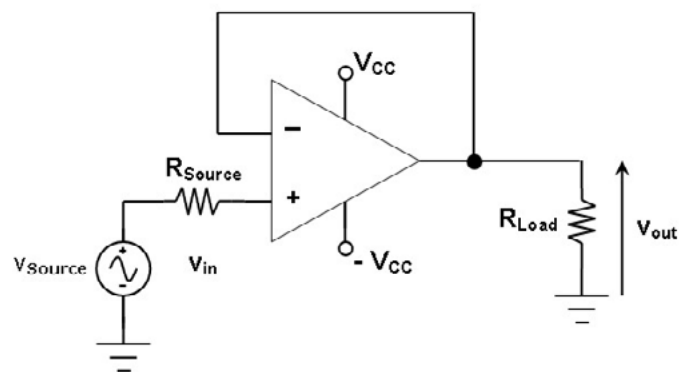
Sarrerako inpedantzia (*Input resistance*) tipikoa:

Abiaduraren neurria (*Slew-rate*):

Eman dezakeen korrante maximoa (*Output short circuit current*):

Xahu dezakeen gehieneko potentzia (25 °C-tan):

Beheko zirkuituan, amplifikadore operazional ideal bat eta  $R_{Load} = 10\ \Omega$  erabiliz, zenbat da lor daitekeen tentsio maximoa, sarreran 4 V aplikatzen badira? Eta LM741 txipa erabiliz?



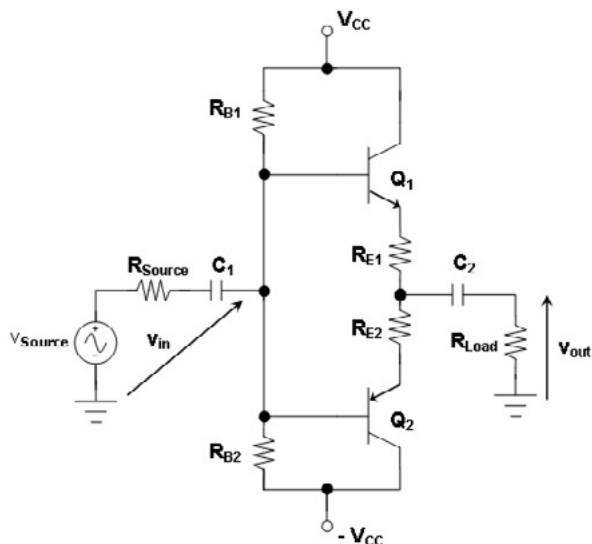
Datuak:  $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $R_{Source} = 600\text{ ohm}$  eta  $R_{load} = 10\text{ ohm}$

Zirkuituak ondo funtzionatu behar badu, zer korrante eman behar dio amplifikadoreak kargari?

### 3. Push-pull amplifikadoreak

#### 3.1. Oinarrizko push-pull etapa (B motakoa)

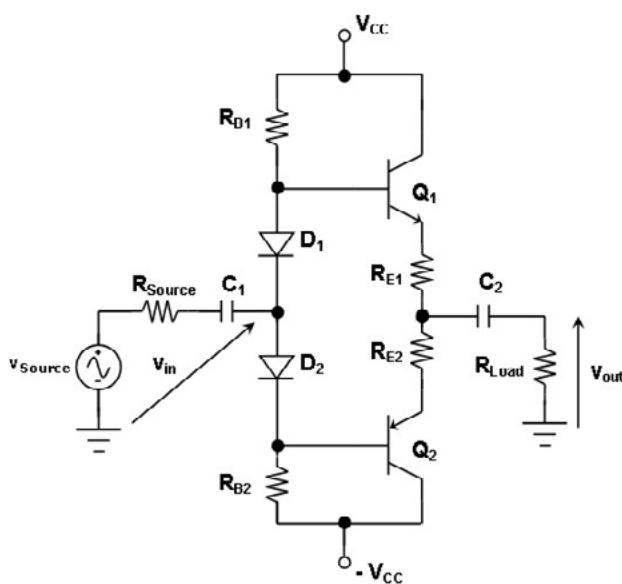
Irudiko zirkuituan, B motako push-pull etapa bat gehitu diogu amplifikadore operazionalari (funtzio-sorgailuaren ondoren edo beste etapa baten ostean ere joan zitezkeen, noski).



- Kalkulatu transistoreen egoera eta polarizazio-korronteak.
- Transistoreek eroapenean sartzeko  $|V_{BE}|=0,6$  V behar dutela onartuz, aurreikusi kargan agertuko den seinalea, baldin eta  $v_s = 0,5$  V $\cdot$ sin(wt) bada. Eta  $v_s = 5$  V $\cdot$ sin(wt) bada?

#### 3.2. Transistoreak polarizaturik dituen push-pull etapa (AB motakoa)

Beheko zirkuitua AB motako push-pull etapa bat da.





(Askotan bi kondentsadore erabiltzen dira, Q1 eta Q2 baseetara zuzenean akoplatzeko).

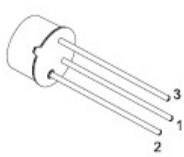
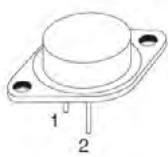
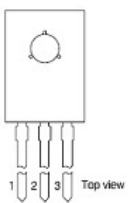
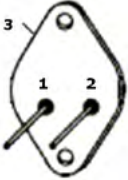
- Kalkulatu transistoreen polarizazio-korronteak honako datu hauekin: baseko erresistentziak,  $R_{B1}=R_{B2} = 1 \text{ kohm}$ ; igorlekoak,  $R_{E1} = R_{E2} = 1 \text{ ohm}$ , diodoen atariko tentsioa  $V_{\gamma} = 0,7 \text{ V}$ , transistoreen eroapeneko tentsioak  $V_{BE}$  eta  $V_{EB} = 0,6 \text{ V}$  ( $\beta = 120$ ).
- Aurreikusi kargan agertuko den irteerako tentsioa, baldin eta  $v_s = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$  bada.
- Zer gertatuko litzateke  $R_{E1}$  eta  $R_{E2}$  ipiniko ez bagenitu? Eta diodoen atariko tentsioa transistoreena baino txikiagoa izango balitz?

#### 4. Potentziako transistoreak

Eta hauek erabilgarriak izateko, transistoreek potentzia altuak xahutzeko gauza izan behar dute, 2N3055-ek eta haren osagarri den M2955-ek bezala. Praktika honetan, BD139 eta BD140 transistore osagarriak erabiliko ditugu.

Praktika egin baino lehen, bilatu (Interneten) beheko taulan agertzen diren transistoreen datu-orriak, eta bete ezazu ezaugarrien laburpena:

	2N2222A	2N3055	M2955	BD139	BD140
<b>Mota (npn/npn)</b>					
<b><math>h_{FE \text{ max}}</math> (<math>\beta_{\text{max}}</math>)</b>					
<b><math>I_{C \text{ maximoa}}</math> (A)</b>					
<b><math>V_{CE \text{ maximoa}}</math> (V)</b>					
<b><math>P_{\text{max}}</math> (W) (@25°C)</b>					
<b>Kapsula</b>					

Kapsula			
<b>Irudia</b>			
<b>Terminalak</b>	<p><b>Kasu honetan,</b></p> <p>1 →</p> <p>2 →</p> <p>3 →</p>	 <p>1 →</p> <p>2 →</p> <p>3 →</p>	<p>1 →</p> <p>2 →</p> <p>3 →</p>

TO-3 kapsula transistore bati dagokio, eta, halere, bi terminal bakarrik ditu. Zergatik? Nola konektatu behar da?

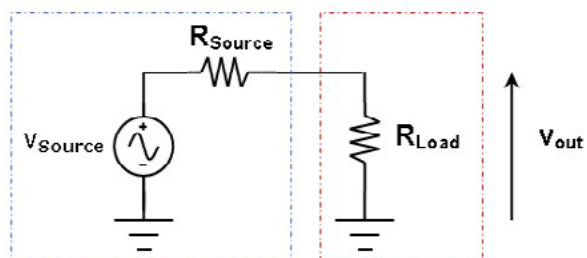
## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honen helburua da push-pull anplifikadoreen funtzionamendua analizatzea. Horretarako, potentziako bi transistore osagarri erabiliko ditugu.

### 1. Anplifikadore operazional errealak: ez-idealtasunak

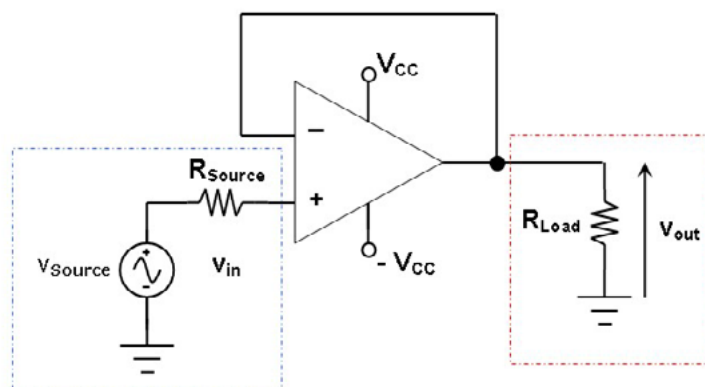
Prestatu funtzio sorgailua 100 mVp-eko eta 1 kHz-eko seinale sinusoidala ateratzeko.

- Aplikatu seinale hori  $R_{load} = 10 \Omega$ -eko karga batera  $R_{source} = 50 \Omega$  aterabidea erabiliz, eta neurtu kargaraino iristen den tentsioa.
- Errepikatu aurreko atala  $R_{source} = 600 \Omega$  aterabidea erabiliz.



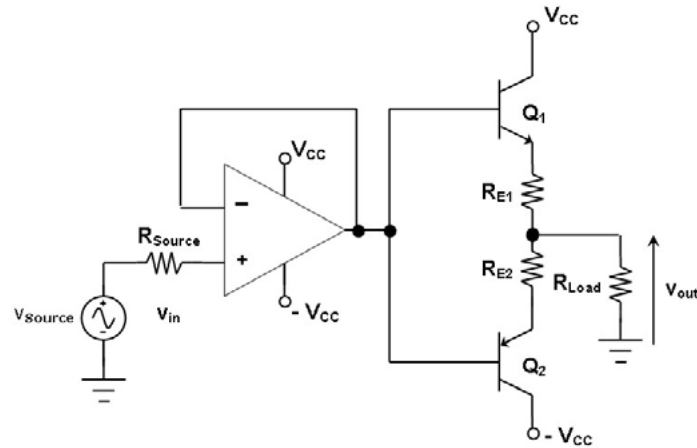
Ondoren, muntatu beheko irudiko zirkuitua, LM741 operazionala eta honako osagai hauek erabiliz:  $V_{CC} = \pm 15V$ , eta  $R_{load} = 10 \text{ ohm}$ .  $R_{source} = 600 \text{ ohm}$  (adibidez) erabiliz, neurtu eta irudikatu sarrera eta irteera, honako sarrera hauetarako:

- 100 mVp-eko eta 1 kHz-eko seinale sinusoidala.
- 100 mVp-eko eta 1 MHz-eko seinale karratua.
- 4 Vp-eko eta 1 kHz-eko seinale sinusoidala.



## 2. Oinarrizko push-pull etapa (B motakoa)

Muntatu beheko irudiko zirkuitua, B motako push-pull etapa bat.



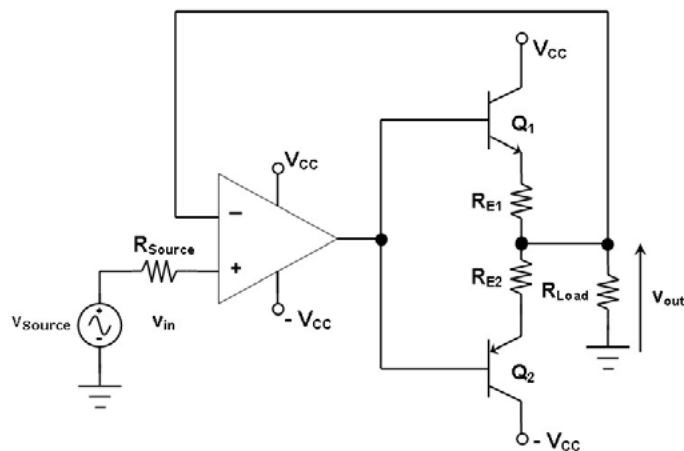
Oharrak: erabili BD139 eta BD140 transistoreak.  $R_{load}$  1 W eta 10  $\Omega$ -eko erresistentzia bat da.  $R_{B1} = R_{B2} = 1k\Omega$ ;  $R_{E1} = R_{E2} = 1 \text{ ohm}$ .

Muntatutako zirkuitu horretan:

- Neurtu ( $v_{source} = 0$ ) transistoreen polarizazio-korronteak, eta azaldu haien egoera. Beharrezkoak al dira  $R_{B1}$  eta  $R_{B2}$ ?
- Aplikatu 1 kHz-eko maiztasuna eta 0,5 V-eko anplitudea dituen seinale bat ( $v_s = 0,5V \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$ ), eta neurtu irteerako seinalea.
- Errepikatu aurreko atala  $v_s = 4 V \cdot \sin(\omega t)$  seinalea aplikatuz.
- Identifikatu eta balioetsi gurutzatze-distortsioa. Zergatik agertzen da?

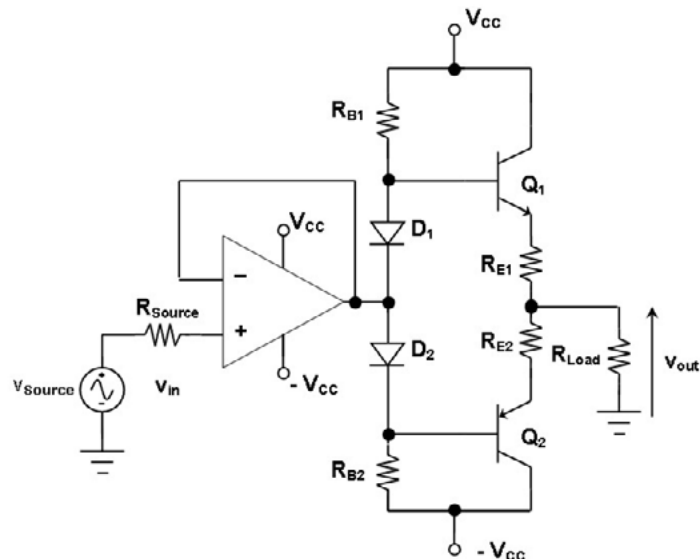
## 3. B motako push-pull irteera, OpAmp eta berrelikadurarekin

Errepikatu b, c eta d atalak, berrelikadura kargatik hartuz:



#### 4. Transistoreak polarizaturik dituen push-pull etapa (AB mota) (hautazkoa)

Muntatu beheko irudiko zirkuitua, AB motako push-pull etapa bat (erabili 1N4007 diodoak).



Muntatutako zirkuitu horretan, aurrekoetan bezala:

- Neurtu ( $v_{\text{source}}=0$ ) transistoreen polarizazio-korronteak eta azaldu haien egoera. Beharrezkoak al dira  $R_{B1}$  eta  $R_{B2}$ ?
- Aplikatu 1 kHz-eko maiztasuna eta 0,5 V-eko anplitudea dituen seinale bat ( $v_s = 0,5V \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$ ), eta neurtu irteerako seinalea.
- Errepikatu aurreko atala,  $v_s = 4 V \cdot \sin(\omega t)$  seinalea aplikatuz.
- Identifikatu eta balioetsi gurutzatze-distortsioa.

C ATALA

EREMU-EFEKTUKO  
TRANSISTOREA

11.

## JFET transistoreak: polarizazioa eta anplifikatzea

### A. PRAKTIKA PRESTATZEN

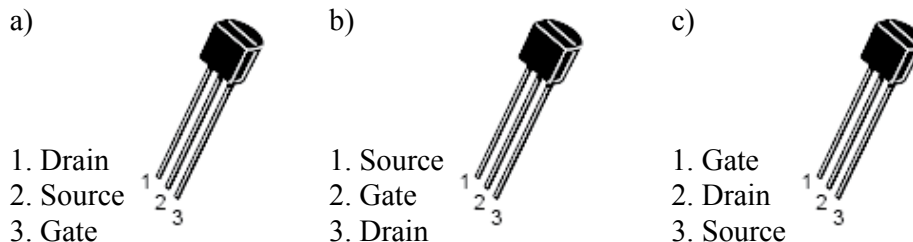
Praktika honek bi helburu nagusi ditu. Lehenengoa, junturazko eremu-efektuko transistore bat karakterizatzea da. Horretarako, oinarritzko bi polarizazio-zirkuitu muntatuko ditugu, eta erregimen estatikoko bi parametro nagusiak aterako ditugu (asetasun-korrontea,  $I_{DSS}$ , eta atariko tentsioa,  $V_T$ ). Bigarren helburua zirkuitu anplifikatzaile bat muntatzea da (iturri komuneko egitura eta aurreko transistorea erabiliz).

#### 1. Erabiliko den FETa eta haren parametroak ezagutzen

1) 2N5457 transistorea:

- P pasabideko urritze (hustuketazko) MOSFET bat da.
- P pasabideko JFET bat da.
- N pasabideko JFET bat da.

2) Haren kapsula eta terminalak honako hauek dira:



Modelo bereko JFET transistore batzuk hartzen baditugu, haien parametro nagusiak ( $I_{DSS}$ ,  $V_T$ ) nahiko ezberdinak izan daitezke transistore batetik bestera. Hori ageri-agerian geratzen da fabrikatzaileek ematen dituzten datu-orrietako balioetan, oso tarte zabalak erabiltzen dituztelako. 2N5457 transistorearen kasuan:

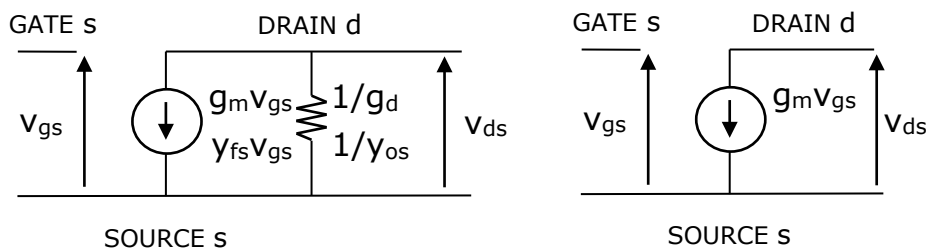
- 3)  $V_T$  atariko tentsioa ( $V_{DS} = 15 \text{ V}$  eta  $I_D = 10 \text{ nA} \sim 0$  egoeran neurtuta) muturreko balio hauen artean egongo da:

$$V_{Tmin} = V_{GSoffmin} = \qquad V_{Tmax} = V_{GSoffmax} =$$

- 4) Asetasun-korrontearen (draineko asetasuren korrontea  $V_{GS}=0$  denean) balio tipiko, minimo eta maximoak hauek dira:

$$I_{DSStypical} = \qquad I_{DSSmin} = \qquad I_{DSSmax} =$$

Seinale txikiko zirkuituari dagokionez, hau izango da:

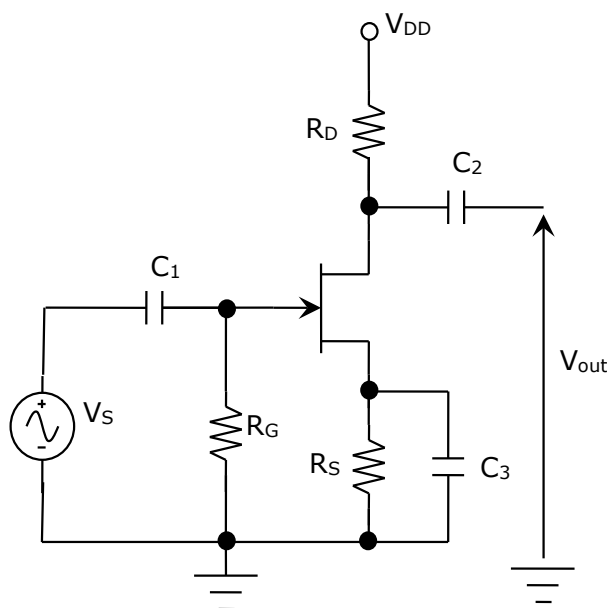


- 5) Eta seinale txikiko zirkuituko osagaien balioak honelakoak izan litezke, adibidez (ikus datu-orriak muturreko balioak emateko):

a)  $g_m = y_{fs} = 2000 \text{ mmhos} = 2 \text{ mA/V}$      $g_{mmin} = g_{mmax} =$   
 b)  $g_d = y_{os} = 10 \text{ } \mu\text{mhos} \rightarrow g_d^{-1} = 100 \text{ k}\Omega \sim \infty$      $g_{dmax} (\mu\text{mhos}) =$

## 2. JFETa polarizatzen eta anplifikatzeko erabiltzen

Demagun beheko anplifikadorean erabiliko den JFETaren parametroak honako hauek direla:  $V_T = -2 \text{ V}$  eta  $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$ .

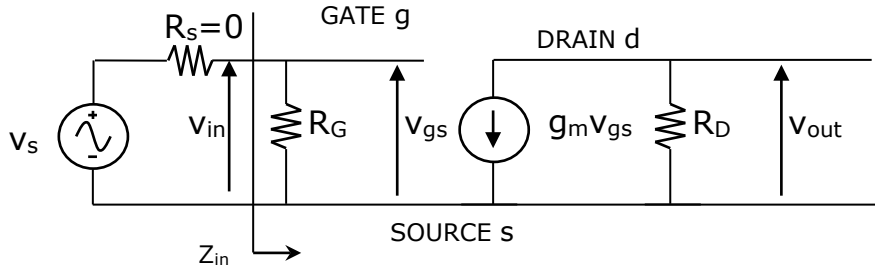


Zirkuituko datuak:  $V_{DD} = 20 \text{ V}$ ;  $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_G = 1 \text{ M}\Omega$ ;  $C_i = \infty$ .

a) Kalkulatu polarizazio-puntua:

$V_G(V)$	$V_S(V)$	$V_D(V)$	$V_{GS}(V)$	$V_{DS}(V)$	$V_{GD}(V)$	$V_{RD}(V)$	$I_D(mA)$	$I_G(mA)$

b) Beheko zirkuitua (eta  $g_m = 2mA/V$ ) erabiliz, kalkulatu tentsio-irabazia eta sarrerako inpedantzia  $R_S = 0$  bada. Eta  $R_S = 1M\Omega$  bada?



$$Z_{in} =$$

$$A_{vs} = v_{out} / v_s$$

$$A_{vi} = v_{out} / v_i =$$

$$\text{Baldin eta } R_S = 0 \text{ W bada} \rightarrow A_{vs} =$$

$$\text{Baina } R_S = 1 \text{ MW kasuan} \rightarrow A_{vs} = A_{vi} \cdot Z_{in} / (Z_{in} + R_{Serie}) =$$



## B. LABORATEGIAN EGIN BEHARREKO LANA

Praktika honek bi helburu nagusi ditu. Lehenengoa junturazko eremu-efektuko transistore bat karakterizatzea da. Horretarako, oinarritzko bi polarizazio-zirkuitu muntatuko ditugu, eta erregimen estatikoko bi parametro nagusiak aterako ditugu (asetasun-korrontea,  $I_{DSS}$ , eta atariko tentsioa,  $V_T$ ). Bigarren helburua zirkuitu anplifikatzaile bat muntatzea da (iturri komuneko egitura eta aurreko transistorea erabiliz).

### 1. JFETaren parametroak

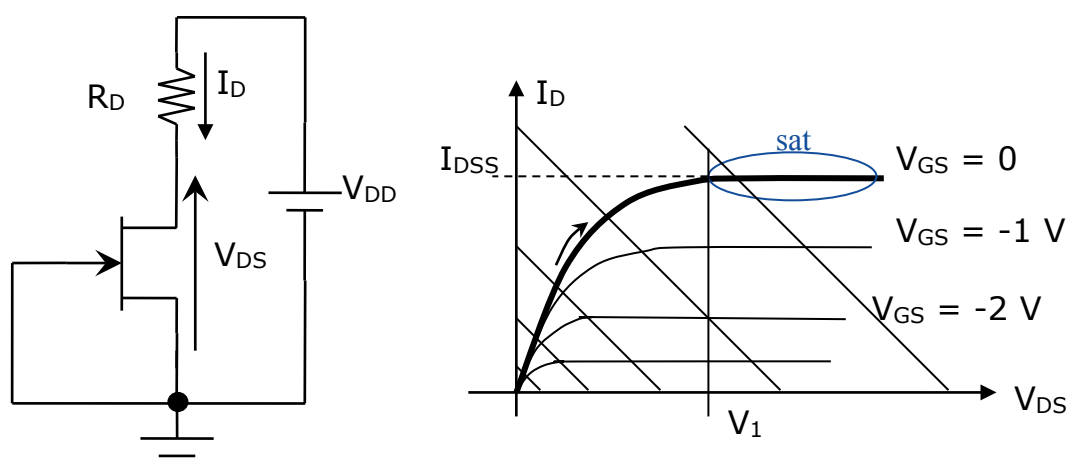
Modelo bereko JFET transistore batzuk hartzen baditugu, haien parametro nagusiak ( $I_{DSS}$ ,  $V_T$ ) nahiko ezberdinak izan daitezke transistore batetik bestera. Hori ageri-agerian geratzen da fabrikatzaileek ematen dituzten datu-orrietako balioetan, oso tarte zabalak erabiltzen dituztelako. Hori dela eta, transistore jakin baten  $I_{DSS}$  (asetasun-korrontea edo *asetasuneko korrontea ateko tentsio nulua-rekin*) eta atariko tentsioa ( $V_T$ ,  $V_P$  edo  $V_{GSoff}$ ) ondo jakiteko, laborategian neurtu beharko ditugu.

Praktika honetan, 2N5457 modeloko transistoreak erabiliko ditugu.

#### 1.A. $I_{DSS}$ draineko asetasuneko korrontea neurtzen

Gure FETaren asetasuneko korrontea (*draineko asetasuneko korrontea edo asetasuneko korrontea ateko tentsio nulua-rekin*) neurtzeko,  $V_{GS} = 0$  V tentsioari dagokion  $I_D$ - $V_{DS}$  kurban zehar mugituko gara:  $V_{DS}$ -ren balio txikietatik hasi (eskualde ohmikotik), eskualde gradualetik igaro, eta asetasuneraino ( $V_{DS} > V_1$ ) iritsiko gara.

Horretarako, 1.a irudiko muntaketa egingo dugu: atea zirkuitu-laburtzen dugun bitartean,  $V_{DD}$  tentsioa aplikatuko dugu  $R_D = 1$  k $\Omega$  erresistentziaren bitartez. Zeretik abiatuz, tentsioa igotzen joango gara 20 V-era iritsi arte, eta  $I_D$  draineko korrontea neurtuko (kalkulatuko) dugu ( $R_D$  erresistentzian erortzen den tentsioa neurtuz). Egiaztatuko dugunez, tentsio jakin batetik aurrera  $I_D$  ia konstante mantenduko da (oso astiro aldatuko da), eta horixe izango da  $I_{DSS}$  parametroaren balioa.



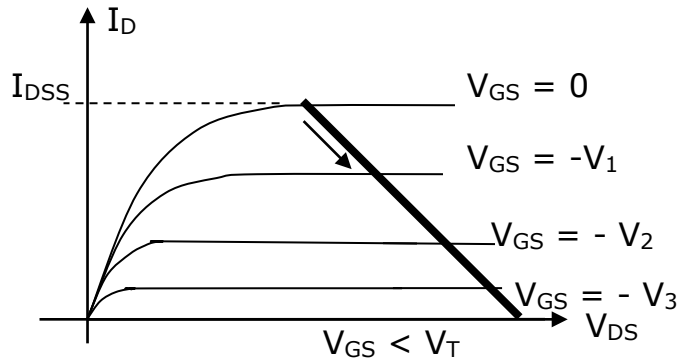
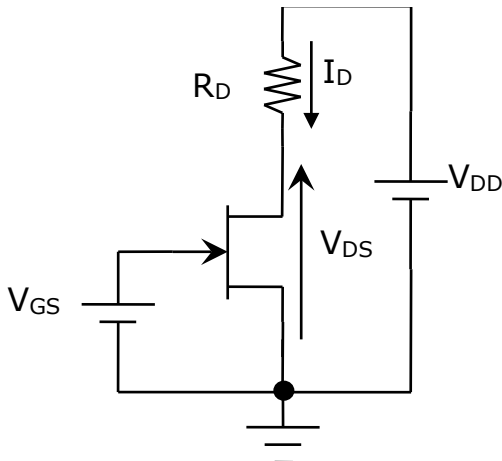
1. IRUDIA

a)  $I_{DSS}$  neurtzeko zirkuitua eta b) Polarizazio-puntuaren mugimendua  $I_D$ - $V_{DS}$  ezaugarrian zehar (karga-zuzenak ere adierazi dira).

a) Bete ezazue beheko taula, identifikatu  $I_{DSS}$ , eta egiaztatu haren balioa fabrikatzaileak emandako tartean dagoela.

$V_{DD}$ (V)	0	1	2	4	5	10	15	20
$V_{RD}$ (V)								
$V_{DS}$ (V) = $V_{DD} - V_{RD}$								
$I_D$ (mA) = $V_{RD} / 1k\Omega$								

1.B. Atariko tentsioa ( $V_T$  edo  $V_{GSoff}$ )



2. IRUDIA

a)  $V_{GSoff}$  neurtzeko zirkuitua ( $V_{DD} = 20V$ ,  $R_D = 1k\Omega$ )  
 eta b) Polarizazio-puntuaren mugimendua irteerako ezaugarrian.

Oraingo muntatutako zirkuituan  $V_{DD} = 20 V$  tentsioa finkatuko dugu, asetasunean (edo eten-duran) egongo garela ziurtatzeko, eta  $V_{GS}$  tentsio negatibo bat aplikatuko dugu (ate-iturri juntura alderantziz polarizatzeko). Tentsio negatiboa igotzen joango gara  $I_D$  korronea nulua izan arte: orduan,  $V_{GSoff}$  balioa neurtuko dugu.

a) Bete ezazue beheko taula, eta marraztu asetasuneko  $I_D - V_{GS}$  kurba.

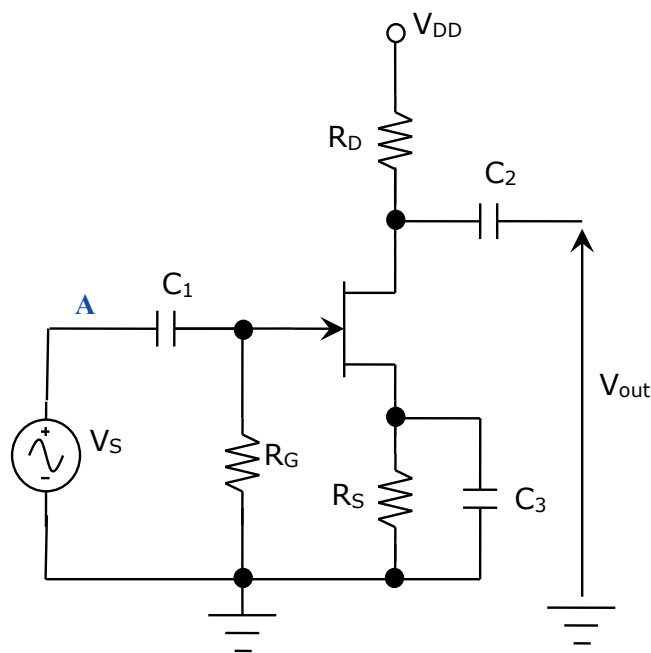
$V_{GS}$ (V)	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
$V_{RD}$ (V)							
$I_D$ (mA) = $V_{RD} / 1k\Omega$							



b) Zenbat da  $V_T$  atariko tentsioa ( $V_{GSoff}$ )?

**2. Iturri komuneko amplifikadorea, aurreko JFETa erabiliz**

Aurreko JFETa erabiliz, muntatu honako zirkuitu amplifikatzaile hau:



3. IRUDIA

Muntatu behar den zirkuitu amplifikatzailea. Honako osagai hauek ditu:  
 $V_{DD} = 20 \text{ V}$ ;  $R_S = 1 \text{ kW}$ ;  $R_D = 1 \text{ kW}$ ;  $R_G = 1 \text{ MW}$ ,  $C_1 = 47 \text{ mF}$ .

a) Karakterizatu polarizazio-puntua.

$V_G(\text{V})$	$V_S(\text{V})$	$V_D(\text{V})$	$V_{GS}(\text{V})$	$V_{DS}(\text{V})$	$V_{GD}(\text{V})$	$V_{RD}(\text{V})$	$I_D(\text{mA})$	$I_G(\text{mA})$

b) Neurtu zenbat den tentsio-irabazia. Horretarako, erabili 250 mV-eko anplitudea eta 1 kHz-eko maiztasuna dituen sarrerako seinalea.

b) Orain, funtzio-sorgailuaren eta  $C_1$  kondentsadorearen artean (A puntuan), 1 MW-eko erresistentzia bat sartuko dugu. Zenbat da orain tentsio-irabazia? Balio hori erabiliz, kal-

kulatu amplifikadorearen sarrerako inpedantzia: 
$$Z_{in} = \frac{R_{serie}}{\frac{A_v}{A_{v-R_{serie}}} - 1}$$

c) Alderatu datu esperimentalak, praktika prestatzean lortutako emaitza teorikoekin.

Bete hurrengo orrialdeko fitxa:

### JFET transistorearen parametroak

$I_{DSS}$  asetarako korronea

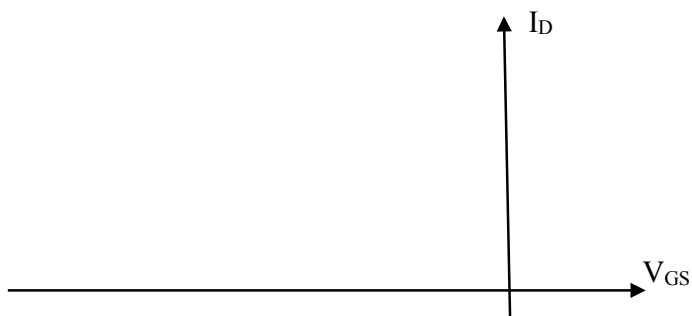
$V_{DD}$ (V)	0	1	2	4	5	10	15	20
$V_{RD}$ (V)								
$V_{DS}$ (V) = $V_{DD} - V_{RD}$								
$I_D$ (mA) = $V_{RD} / 1k\Omega$								

$I_{DSS}$  laborategia =

$I_{DSS}$  datasheet min =

$I_{DSS}$  datasheet max =

Atariko tentsioa ( $V_T$  edo  $V_{GSoff}$ )



Laborategiko esperimentutik:

$V_T = V_{GS\ off} =$

Datu-orrietako balioak:

$V_{Tmin} =$

$V_{Tmax} =$

### Iturriko komuneko anplifikadorea (aurreko JFETarekin)

Polarizazioa

$V_G$ (V)	$V_S$ (V)	$V_D$ (V)	$V_{GS}$ (V)	$V_{DS}$ (V)	$V_{GD}$ (V)	$V_{RD}$ (V)	$I_D$ (mA)	$I_G$ (mA)

Anplifikadorearen ezaugarriak

Kalkulu teorikoak (prestaketan):

$Z_{in} =$

$A_v = V_{outac} / V_{in} =$

$A_v$  1MW-rekin seriean =

Esperimentalki:

$A_v = v_{outac} / v_{in} =$

$A_v$  1MW-rekin seriean =

$Z_{in} =$

ERANSKINAK

## 1. TXOSTENAK MODU EGOKIAN EGITEKO GOMENDIO BATZUK

— Txosten batek honako osagai hauek izaten ditu normalean:

- Azala (lehenengo orria edo lehenengo orrialdearen goiburua)
- Aurkibidea (beharrezkotzat jotzen badugu: adibidez, praktika oso luzea / atal askotako bada).
- Helburuak (azaltzea beharrezkotzat jotzen badugu).

— 1. atala

- Kontu teorikoen laburpena (behar bada).
- Kontu esperimentalak: garapena, emaitzak (neurketak, irudiak, balioak, kalkuluak) eta azalpenak.
- Ondorioak (behar badira).

— 2. atala

- Kontu teorikoen laburpena (behar bada).
- Kontu esperimentalak: garapena, emaitzak (neurketak, irudiak, balioak, kalkuluak) eta azalpenak.
- Ondorioak (behar badira).

— ...

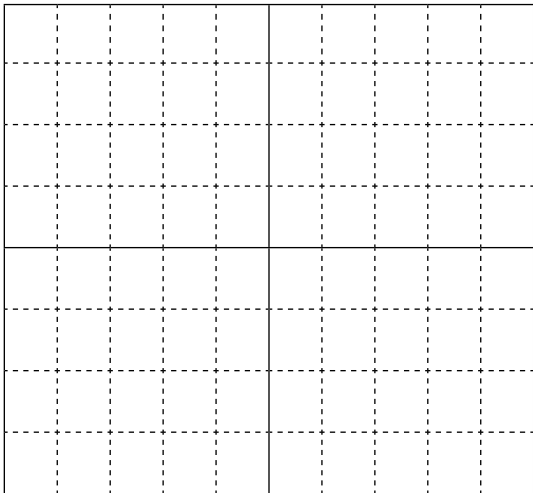
— n. atala

- Kontu teorikoen laburpena (behar bada).
- Kontu esperimentalak: garapena, emaitzak (neurketak, irudiak, balioak, kalkuluak) eta azalpenak.
- Ondorioak (behar badira).

— Ondorioak (laburbiltzea beharrezkotzat jotzen bada).

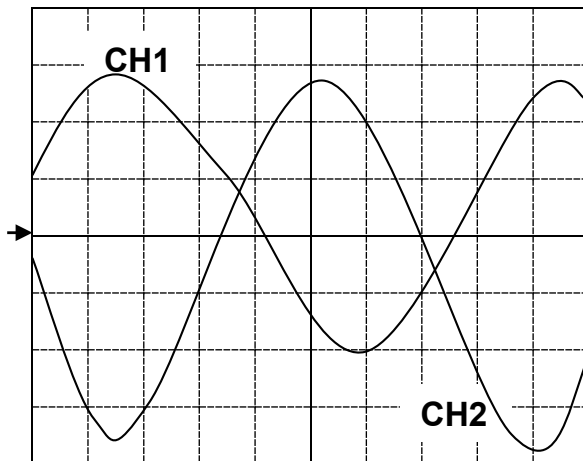
— Ez ahaztu **lehenengo orrian (azalean)** praktikaren izenburua, taldearen identifikazioa eta egileen izenak jartzea.

- Txostena e-mailez bidaltzen bada, gogoratu pdf formatua hobesten dela. Fitxategiaren ize-nak identifikazioa (praktikarena eta egileena) erraztu beharko luke.
- Edukietan, ez errepikatu klasean egindako garapenak edo begi-bistakoak gertatzen diren kontu matematikoak.
- Oszilaskopioaren pantailaren argazkiak oso adierazgarriak eta baliagarriak badira ere, ez ahaztu eskalak behar-beharrezkoak direla irudiak ulertzeko. Interesgarria izan daiteke labo-rategian eta txostenean honelako txantilo bat erabiltzea, gainean uhin-formak (eskuz) ma-rrazteko:



<b>CH1:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
<b>CH2:</b>	
Modua:	AC/DC/GND
Eskala:	V/div
Zunda:	x1/x10
Erreferentzia:	dibisio
Denbora-oinarria:	
DUAL / XY modua	
Eskala:	ms/div

Adibidez:



<b>CH1:</b>	
Modua:	DC
Eskala:	2 V/div
Zunda:	x10
Erreferentzia:	0 dibisio
<b>CH2:</b>	
Modua:	DC
Eskala:	10 mV/div
Zunda:	x1
Erreferentzia:	0 dibisio
Denbora-oinarria:	
DUAL	
Eskala:	50 $\mu$ s/div

**Irudia. Sarrerako eta irteerako uhin-formak ( $v_{AB}$ , CH1;  $v_{CB}$ , CH2 hurrenez hurren)**

Behar-beharrezkoa izango da seinaleak identifikatzea: zein den CH1, zein CH2 eta zer di-ren (sarrera, irteera, kolektoreko tentsioa eta abar), eta deskribatzea: anplitudeak, DC eta AC osa-gaiak, desfaseak eta abar. Horrek emaitzen analisia erraztuko du.



- Oso garrantzitsuak dira emaitzen eztabaida eta atal bakoitzari dagozkion ondorioak. Itzuliguruka ibiltzea eta azalpen/kalaka luzeak saihestuko ditugu, baina informazio esanguratsu guztia ematen saiatuko gara, emaitzak azaltzeko eta aurreikuspen (kalkulu) teorikoekin eratzeko. Neurketa esperimentalak eta kalkulu teorikoak bat etortzeak koherentzia frogatuko du; oso ezberdinak direnean, aldiz, dauden aldeak azaltzen saiatuko gara.
- Unitateak, aurrizkiak eta haien idazkera normalduta daude. Hona hemen ohiko kasu batzuk (ikus ikurrak, hutsuneak, letra larri eta xeheen erabilera...):

$$V_1 = 10 \text{ V} \qquad I_3 = 6,3 \text{ mA}$$

$$R_2 = 3,4 \text{ k}\Omega$$

- Ondorioetan zer azaldu behar den (eta zer ez), sen onak esango digu (!?).
- Txostenak euskara garbi, jator, *zuzen eta egokian* idazten saiatuko gara, eta, horretarako, ordenagailua erabiliz gero, oso lagungarria izaten da zuzentzaile ortografiko bat erabiltzea. *Xuxen* euskarazko zuzentzailea (ortografia baino gehiago zuzentzen duena) lortzeko, sakatu hemen: xuxen  
[[http://www.euskara.euskadi.net/r59738/eu/contenidos/informacion/euskarazko\\_softwarea/eu\\_9567/xuxen.html](http://www.euskara.euskadi.net/r59738/eu/contenidos/informacion/euskarazko_softwarea/eu_9567/xuxen.html)]

## 2. DATU-ORRIEN ESTEKAK

Diodo artezlea:

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15032/PHILIPS/1N4007.html>

LED diodoa:

<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/166116/KINGBRIGHT/L53HD.html>

ZENER diodoa:

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50839/FAIRCHILD/BZX85C6V8.html>

Transistore bipolarrak:

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50732/FAIRCHILD/BC547B.html>

<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/8834/NSC/LM3046.html>

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/21675/STMICROELECTRONICS/2N2222.html>

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/21980/STMICROELECTRONICS/BD139.html>

<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/21982/STMICROELECTRONICS/BD140.html>

Anplifikadore operazionala:

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/53589/FAIRCHILD/LM741.html>

Eremu-efektuko transistorea:

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50039/FAIRCHILD/2N5457.html>

**UNIBERTSITATEKO ESKULIBURUAK**  
**MANUALES UNIVERSITARIOS**

**INFORMAZIOA ETA ESKARIAR • 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)

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea