Konputagailuen Teknologiaren Oinarriak

Gaiak

1. Gaia - Elektrostatika

2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

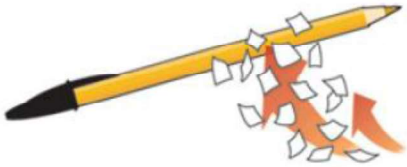
Gaiaren gai-zerrenda

1. Karga elektrikoa
2. Coulomb-en legea
3. Eremu elektrikoa
4. Energia potentzial elektrostatikoa
5. Potentzial elektrostatikoa

1. Karga elektrikoa

- Indar elektrikoa
  - Zenbait materialetan, igurtziak direnean, beste gorputzak erakartzen dituen (ikutu barik) indarrak agertzen dira.
  - Indar hauek alderatzaile edo erakartzaileak dira eta gorputzen arteko distantziaren araberakoak dira.
  - Urrutiko ekintza mota hau grabitazio-indarra baino indartsuagoa da eta indar elektrikoa deitzen da: $\vec{F}$

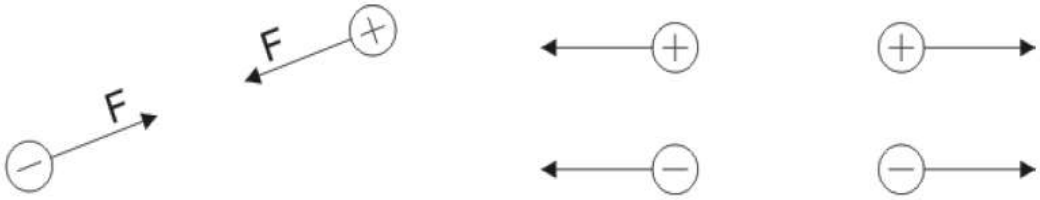
Igurtziz, boligrafoa kargatzen da



Boligrafoak paperak erakartzen ditu

1. Karga elektrikoa

- Indarra handitu egiten da igurztea handitzen denean, nahiz eta materialak ez aldatu ezta distantzia ere
- Zenbait materialetan agertzen diren indarrak alderatzaileak dira, eta besteetan, erakartzaileak



- Igurtziz, materiaren propietate (masa bezala) bat aldatzen da, **q karga elektrikoa** deitzen duguna eta bi motakoa izan daiteke: negatiboa eta positiboa

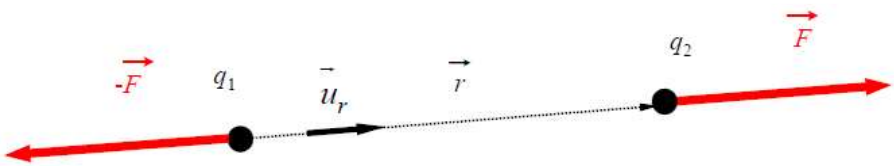
1. Karga elektrikoa

- Karga elektrikoa bera:
  - Materialen ezaugarri intrintseko bat da
  - Adierazpenak
    - Q = Karga konstantea
    - q = Karga aldakorra, orokorrean
    - q(t) = Karga aldakorra denborarekiko
  - Unitatea: Coulomb [C]
  - Kargako unitate basikoa: Elektroia
  - Elektroi baten karga:

$$e^- = -1.602 \cdot 10^{-19} C$$

2. Coulomb-en legea

- Coulomb-en legeak bi kargen arteko indarra zelakoa den adierazten du elektrostatikaren aldetik aztertuta, **indar elektrikoa.** q1 kargak sortzen duen indarra q2-n.



$$\vec{F} = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

  - q coulombiotan: C
  - $K_e = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ $\qquad K_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$
  - $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ hutsezko permitibitatea
- Coulomb legea bakarrik baliagarria da kargak denboraren menpean mantentzen badira (eremu elektrostatikoa)

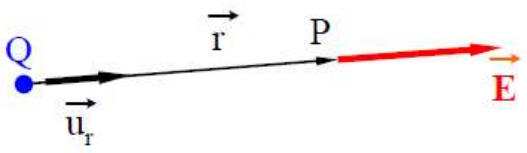
3. EREMU ELEKTRIKOA

- Karga elektrikoaren efektua eremu baten existentziaren bitartez deskribatzen da
- $\vec{E}$ eremu elektrikoa, kargak bere inguruan sortzen dituen indarren deskribapena da
- Inguruko puntu bakoitzean eta denbora une bakoitzean, puntu eta denbora une horretan kokatutako q karga baten agertuko lukeen indarreko balioa definitzen dugu $\vec{F}$ funtzioaren bidez

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad \text{edo} \qquad \vec{E}(x,y,z,t) = \frac{\vec{F}(x,y,z,t)}{q}$$

3. EREMU ELEKTRIKOA

- Karga puntual batek sortzen duen eremu elektrikoa:
  - Coulomb-en legetik abiatuz:

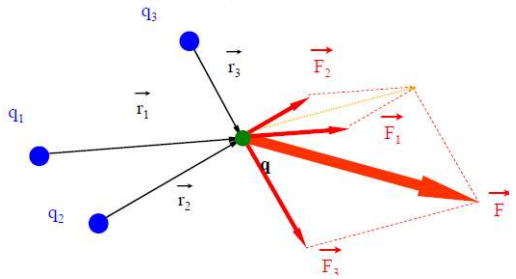


$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\vec{u}_r$$

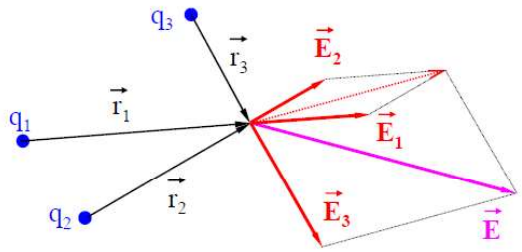
  - Hauxe da q kargak sortzen duen eremu elektrikoa

3. EREMU ELEKTRIKOA

- Gainezarmen printzipioa
  - Zenbait kargek sortutako **eremu elektrikoa** edo **indarra** karga bakoitzak sortzen duenaren batura da



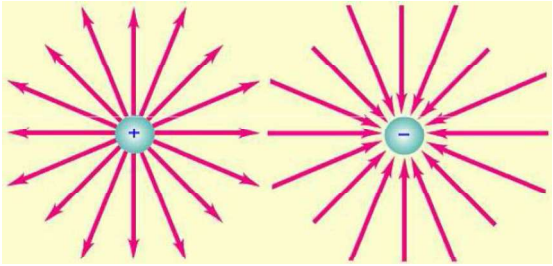
$$\vec{F} = \sum_i^n \vec{F}_i = \sum_i^n \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q\, q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i}$$

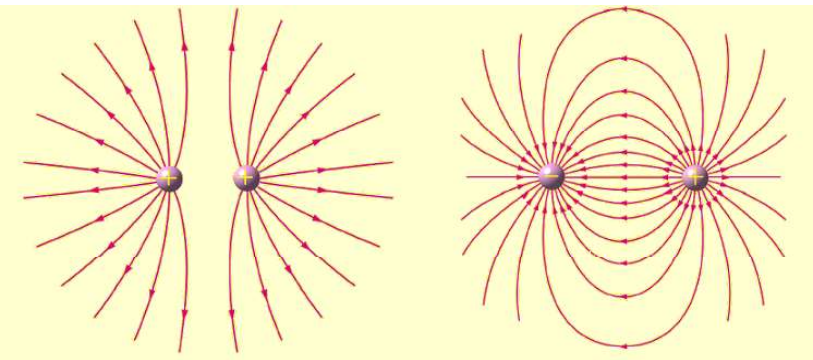


$$\vec{E} = \sum_i^n \vec{E}_i = \sum_i^n \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i}$$

3. EREMU ELEKTRIKOA

- Indar lerroak
  - Bektoreekiko lerro ukitzaileei indar lerro deritze eta eremu elektrikoa bistaratzeko erabiltzen dira

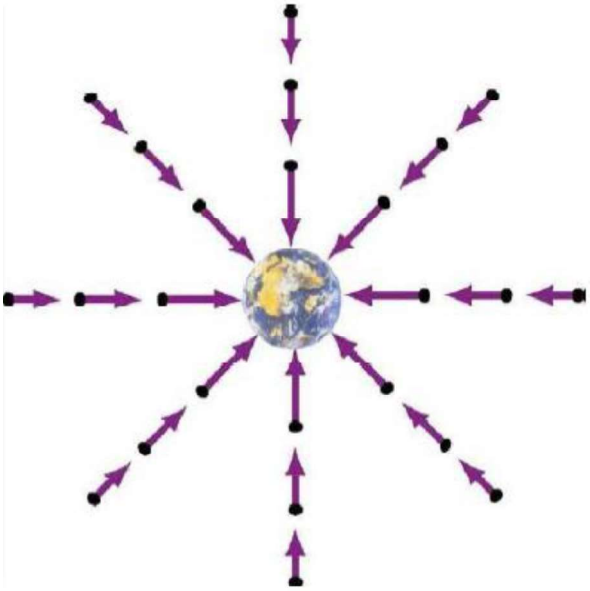




4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu grabitatorioarekin analogia

$$\vec{F} = G\frac{m_1 m_2}{r^2}\vec{u}_r$$

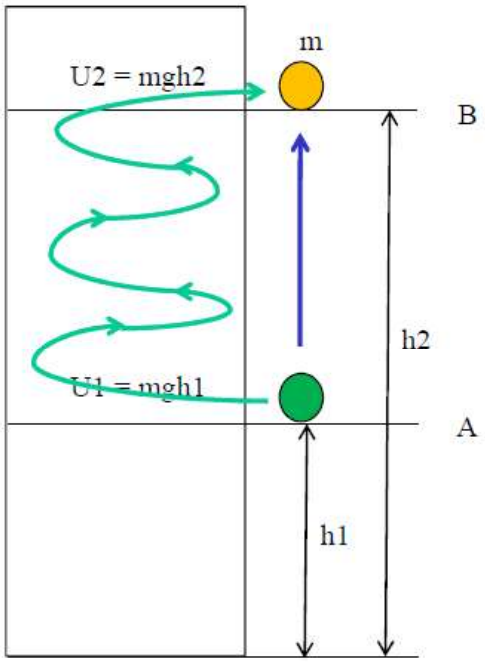


4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu grabitatorioarekin analogia
  - Eremu kontserbakorra
  - m masa A-tik B-ra eramateko egindako lana berdina da bide urdina edo bide berdea jarraituz

$$W_{AB} = W_{AB}$$

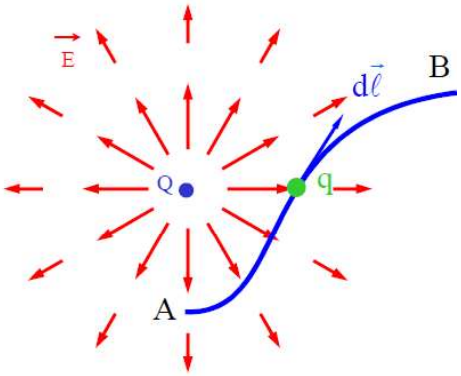
$$W_{AB} = \Delta U = U_2 - U_1$$



4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Ibilbide l batetik m masa duen q karga bat mugitzeko eremu elektriko barruan, $\vec{F}_{kan}$ kanpo indar bat aplikatu egin behar da, $q \cdot \vec{E}$ indar elektrikoa gainditzeko
- Mugimendu horren ekuazioa:

$$\vec{F}_{kan} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} - q \cdot \vec{E}$$

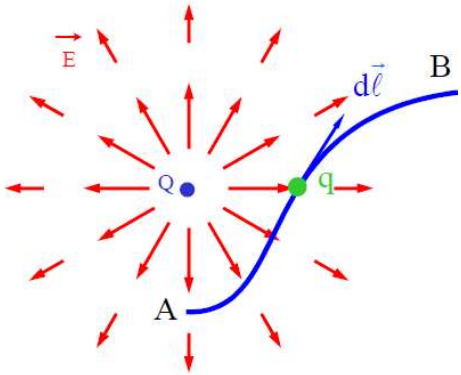


- Indar biak berdinak egiten direnean, $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$,eta beraz, gai biak integratuz gero, egoera elektrostatikoan energia balantzea daukagu.

$$\int_L \vec{F}_{kan} \cdot d\vec{l} = -q \cdot \int_L \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu elektrostatikoak egindako lana



$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{r_A}^{r_B} \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \vec{u}_r \cdot d\vec{r}$$

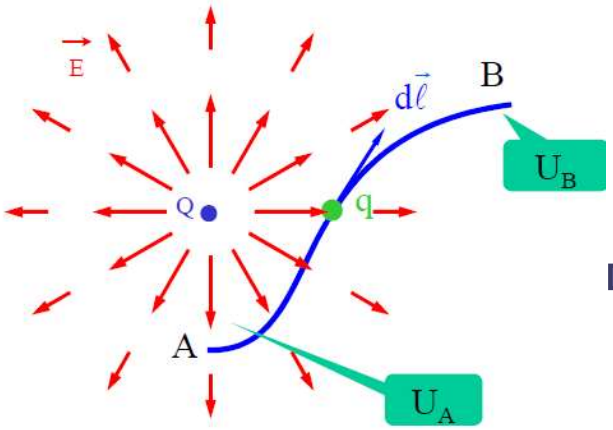
$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_A}^{r_B} = -\frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

$$W_{A \to B} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

4. Energia potentzial elektrostatikoa

- Eremu elektrikoa kontserbakorra da

$$W_{AB} = -(U_B - U_A) = -\Delta U$$

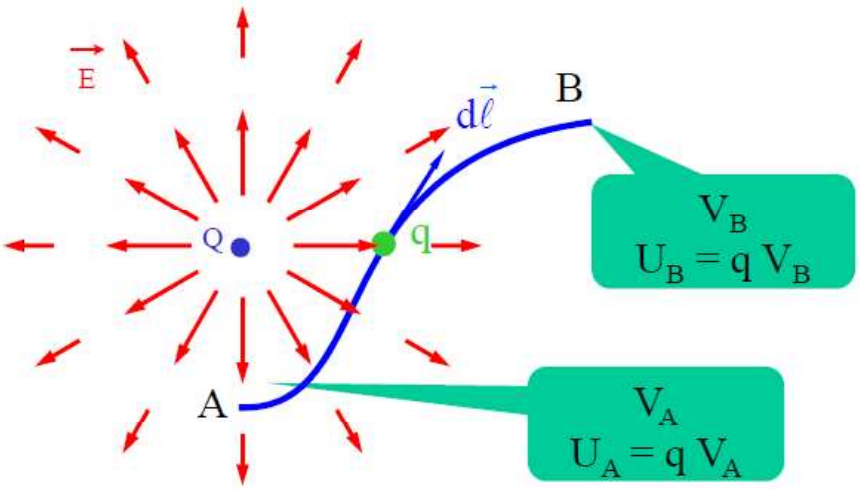


$$U = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0 r}[J]$$

Potentzial elektrostatikoa

- Energia potentziala karga unitate bakoitzeko

$$V = \frac{U}{q} \quad [V]$$



$$W_{AB} = -\Delta U = -q(V_B - V_A)$$

POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremua eta potentzialaren arteko erlazioa

$$W_{AB} = -\Delta U = -q(V_B - V_A)$$

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B q\vec{E} \cdot d\vec{r} = -\left(V_B - V_A\right)$$

$$\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_{V_A}^{V_B} dV$$

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

2. Gaia - Elektrozinetika

2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

1. Karga elektrikoa (gogoratu)
2. Material elektriko motak
3. Korronte elektrikoa
4. Potentzial diferentzia: tentsio elektrikoa
5. Potentzial diferentzia eta korrontearen zentzua
6. Potentzia elektrikoa

1. Karga elektrikoa

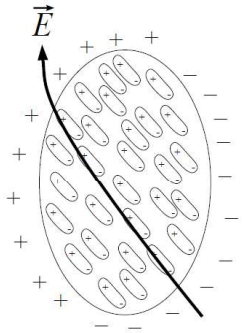
- Materialen ezaugarri intrintseko eta oinarrizko bat da (masa bezala)
- Bi motatako kargak:
  - Karga positiboak
  - Karga negatiboak
- Adierazpenak
  - Q = Karga konstantea
  - q = orokorrean, karga aldakor baten aldiuneko balioa
  - q(t) = denboran aldakorra den karga baten aldiuneko balioa
- Unitatea: Coulomb [C]
- Zirkuituetan, kargen mugimendua aztertzen da zirkuituetako elementuetatik igarotzean
- Orokorrean, mugitzen dena elektroia da, atomoetako oinarrizko partikuletako bat, karga negatiboduna.
- Elektroiaren karga: $e^- = -1.602 \cdot 10^{-19} C$

2. Material elektriko motak

- Eroaleak
  - Eroale elektriko bat karga elektrikoaren mugimenduari oztopo txikia jartzen dion material bat
  - Karga elektrikoak (e^-) libreki mugitzen dira
    →beraien arteko indar elektrikoa zero izango da
    → Eroaleak oreka elektrostatikoan daude
    - Eremu elektrikoa eroalearen barruan zero da
    - Eroale guztian zehar potentzial elektrikoa konstantea da
    - Kargak eroalearen gainazalean kokatzen dira.

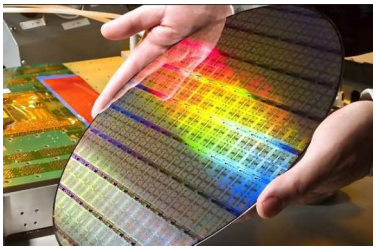
2. Material elektriko motak

- Isolatzaileak edo dielektrikoak
  - Karga elektrikoaren mugimenduari eragozten dioten materialak → korronte elektriko igarotzea "ezinezkoa"
  - Eremu elektriko batean daudenean, karga elektrikoak materialen gainazalean kokatzen dira eta kargen balio osoa zero da → Polarizazioa
  - Polarizazioa
    - Eremu elektrikoaren murrizketa, dielektrikoaren ondorioz
    - Portaera hau, dielektrikoaren permitibitatearen bidez adierazten da $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$



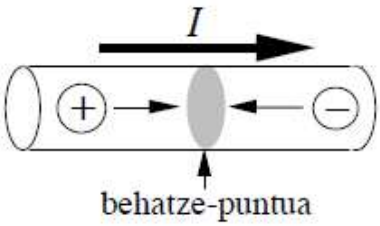
2. Material elektriko motak

- Erdieroaleak
  - Eroankortasun elektrikoa tenperaturaren arabera aldatzen duen substantzia kristalinoa
  - Giro-tenperaturan ez dira ez eroale ez isolatzaileak.
    - Tenperatura zero absoluturantz hurbilduz gero isolatzaileak dira.
    - Tenperatura altuetan berriz, eroale onak izatera hel daitezke.
  - Gehien erabiltzen den material erdieroalea silizioa (Si) da eta ondoren germanioa (Ge).
  - Horrez gain, AsGa, PIn, AsGaAl, TeCd, SeCd eta SCd konbinaketak (aleazioak) ere erabiltzen dira.
  - Transistore /diodo funtsa



3. Korronte elektrikoa

- Kargen mugimendua material eroale baten zehar
- **Definizioa:** Eroale baten zeharkako azalera atetik (sinplifikatzeko, behatze-puntu batetik) denbora unitatean igarotzen diren karga elektrikoen kopurua da korrontearen intentsitatea.



- **Adierazpena:**
  - I : korronte konstantearen intentsitatea
  - i : oro har, korronte aldakorraren intentsitatearen aldiuneko balioa
  - i(t) :korrontea denboran zehar aldatzen dela adierazteko
- **Unitatea:** Anperioa (A)

3. Korronte elektrikoa

- **Adierazpen matematikoa:**

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad i = \frac{dq}{dt}$$

$$I = \frac{\sum Q^{+} - \sum Q^{-}}{\Delta t} = \frac{\sum Q^{+} + \sum |Q^{-}|}{\Delta t}$$

- **Oinarrizko ezaugarriak:**
  - Zeinua
  - Norantza
    - Konbentzioz: Geziaren norantzak adierazten du karga positiboen norantza (e^{-}-en kontrankoa)

4. Potentzial diferentzia: tentsio elektrikoa

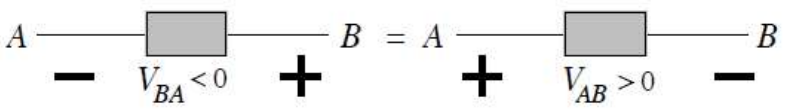
- Kargak potentzial-diferentzia bat dagoenean mugituko dira soilik
- **Definizioa:** Potentzial-diferentzia bi punturen artean (A eta B), karga-unitate positiboa potentzial baxuko puntutik (B) potentzial altuko puntura (A) eramateko egin behar den lana da, edo beste hitzetan esanda, karga-unitate positiboari eman behar zaion energia-kantitatea

$$\Delta V_{AB} = V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{BA}}{q}$$

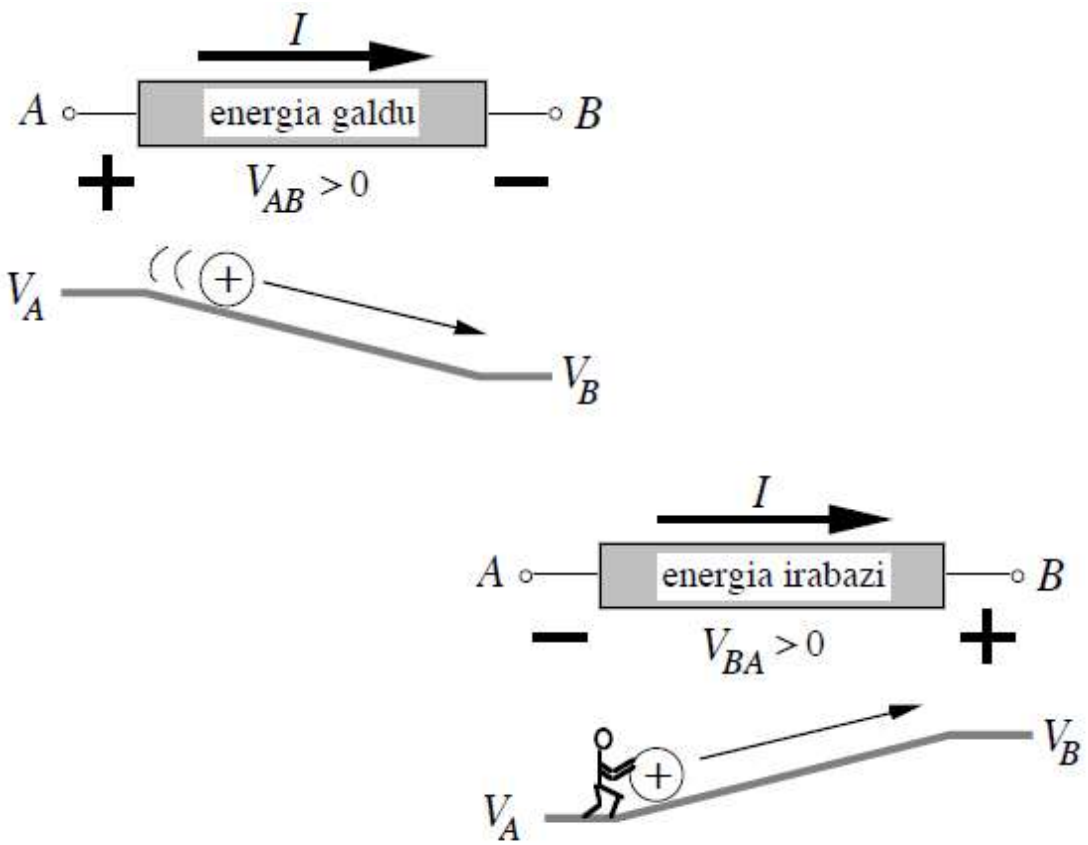
- **Unitateak:** Boltioa edo Volt (V)

4. Potentzial diferentzia: tentsio elektrikoa

- **Oinarrizko ezaugarriak:**
  - Zeinua
  - Norantza
    - + potentzial handiena
    - - potentzial txikiena



5. Potentzial diferentzia eta korrontearen zentzua



6. Potentzia elektrikoa

- Adierazten du energiak nola aldatzen duen denboran zehar
- **Definizioa:** karga elektrikoak mugitzen direnean ematen den energia aldaketa
- **Adierazpen matematikoa:**

$$P_{AB} = \frac{W_{BA}}{t} = \frac{V_{AB} \cdot q}{t} = V_{AB} \cdot \left(\frac{q}{t}\right) = V_{AB} \cdot I_{AB}$$

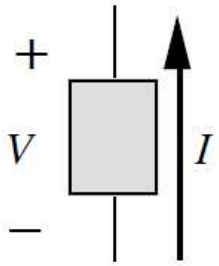
- **Unitateak:** Watio edo Watt (W)
- Zirkuitu-osagai bateko potentzia elektrikoa:
  - Xurgatutakoa: P_x
  - Emandakoa: P_e

$$P = V \cdot I$$

6. Potentzia elektrikoa

- **Emandako** potentzia:

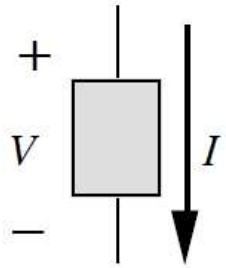
$V > 0$ eta $I > 0$
edo
$V < 0$ eta $I < 0$
$\downarrow$
$P_e = V \cdot I > 0$
Osagai aktiboa



$V > 0$ eta $I < 0$
edo
$V < 0$ eta $I > 0$
$\downarrow$
$P_e = V \cdot I < 0$
Osagai pasiboa
$(P_x > 0)$

- **Xurgatutako** potentzia:

$V > 0$ eta $I > 0$
edo
$V < 0$ eta $I < 0$
$\downarrow$
$P_x = V \cdot I > 0$
Osagai pasiboa



$V > 0$ eta $I < 0$
edo
$V < 0$ eta $I > 0$
$\downarrow$
$P_x = V \cdot I < 0$
Osagai aktiboa
$(P_e > 0)$

6. Potentzia elektrikoa

- Potentzien balantzea
  - Energiaren kontserbazio printzipioa

$$\sum_{\text{osagai aktiboak}} P_{emandakoa} = \sum_{\text{osagai pasiboak}} P_{xurgatutakoa}$$

  - Beraz, zirkuitu guztietan elementu aktibo bat behar da gutxienez, elementu pasiboek energia jaso dezaten.

$$\sum_{\text{osagai aktiboak}} P_{emandakoa} = 0$$

$$\sum_{\text{osagai pasiboak}} P_{xurgatutakoa} = 0$$

3. Gaia – Zirkuituetarako sarrera

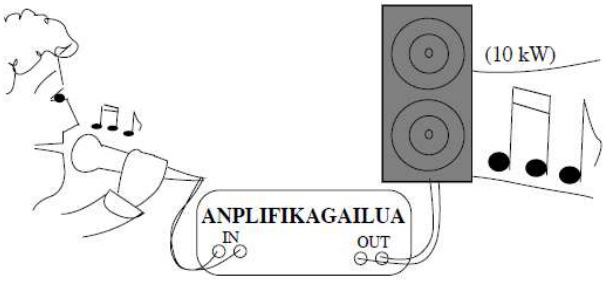
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

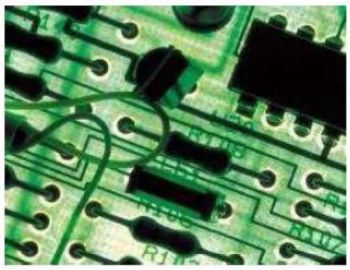
Gaiaren gai-zerrenda

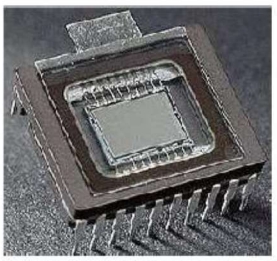
1. Zer dira zirkuituak?
2. Zirkuituen sailkapena
   - Linealak eta ez-linealak
   - Bilduak eta banatuak
   - Analogikoak eta digitalak
3. Zirkuituen gaineko ikuspuntuak
4. Zirkuituen ezaugarriak eta egoera
5. Korronte motak
6. Funtzionamendu egoerak

1. ZER DIRA ZIRKUITUAK?

- Sistema bat
- **Zirkuitu elektriko edo elektronikoa:** energiaren edo informazioaren garraioa egiteko asmoz elkarrekin konektatu diren gailu edo osagai elektriko edota elektronikoen multzoa
- Gutxienez ibilbide itxi bat →Korronte elektrikoa zirkulatzeko

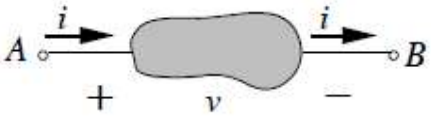


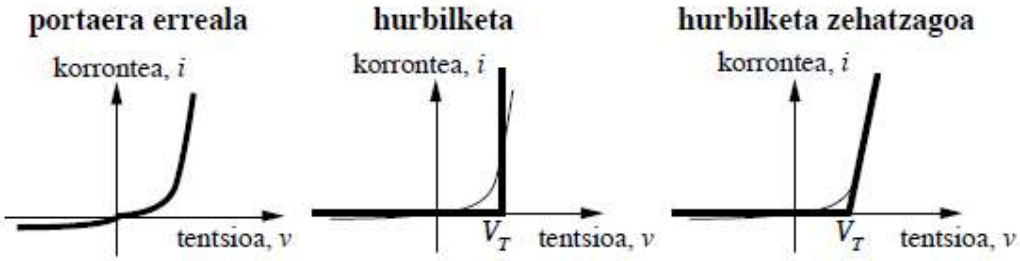




1. ZER DIRA ZIRKUITUAK?

- Osagaien modelizazioa
  - Zirkuitu elementua edo osagaia
    - i eta v-ren arteko erlazio matematiko finkoa i=f(v)
    - Ad: diodoa





$i = k_1 \cdot \exp(k_2 v)$

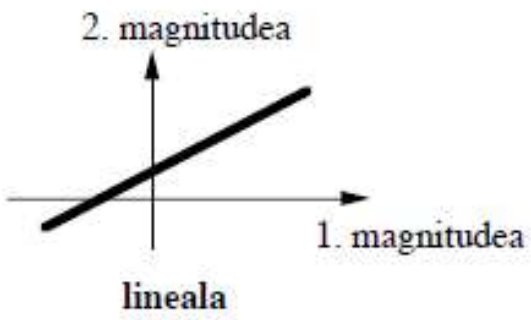
$\begin{cases} i = 0, \text{ baldin } v \le V_T \\ v = V_T, \text{ baldin } i \ge 0 \end{cases}$

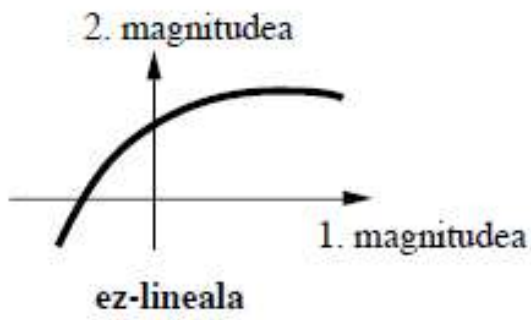
$\begin{cases} i = 0, \text{ baldin } v \le V_T \\ v = V_T + i \cdot R, \text{ baldin } i \ge 0 \end{cases}$

- Zirkuitu → Eredu teoriko

2. Zirkuituen sailkapena

- Zirkuitu linealak eta ez-linealak

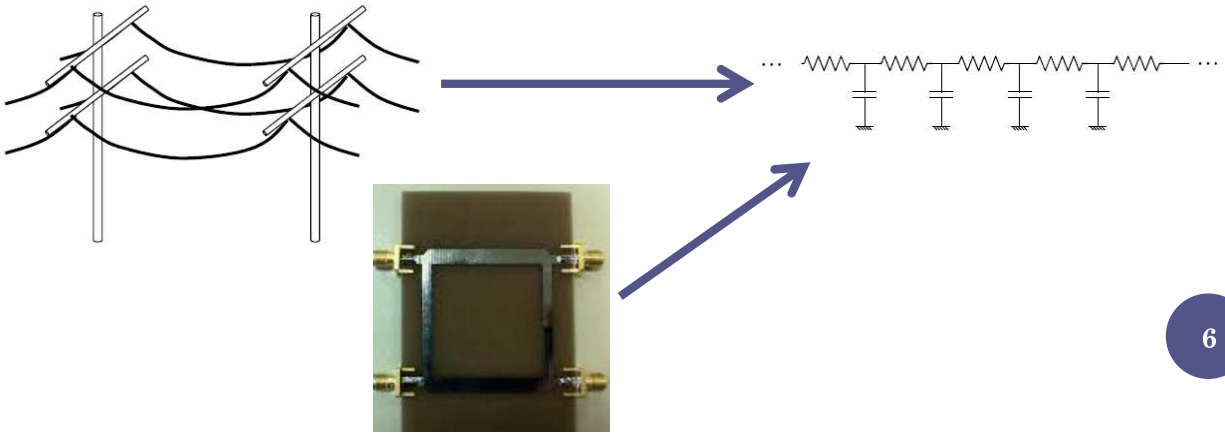




2. Sailkapena

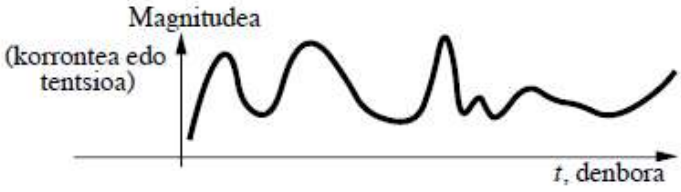
- Bilduak

- Banatuak

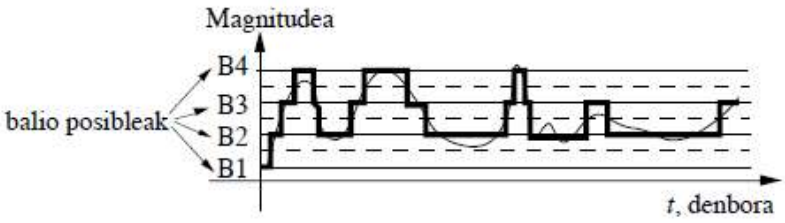


2. SAILKAPENA

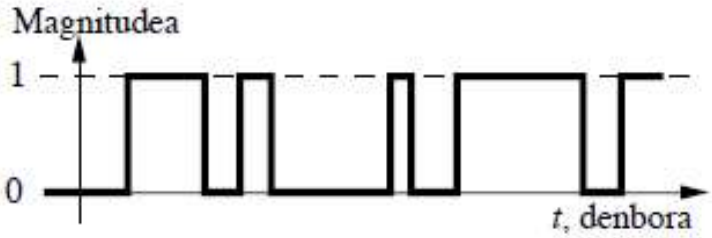
- Zirkuitu analogikoak eta digitalak
  - Seinale analogikoa



  - Seinale digitala

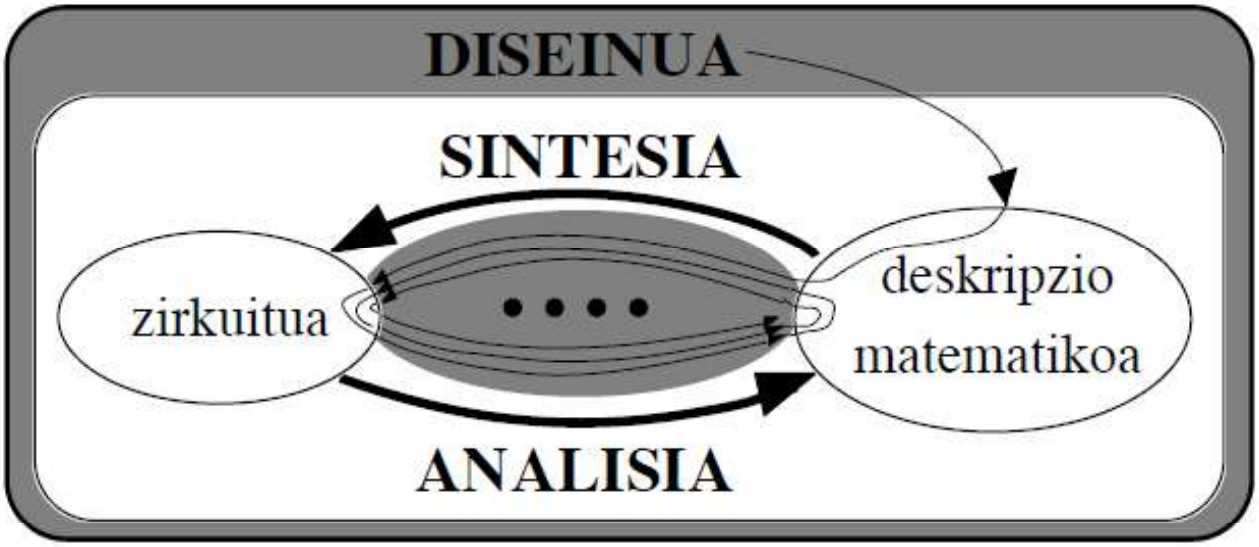


  - Seinale bitarra



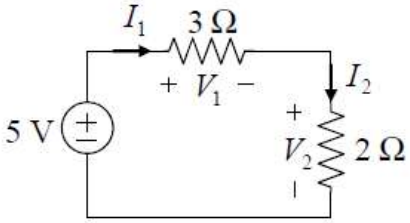
3. ZIRKUITUEN GAINEKO IKUSPUNTUAK

- Analisia, sintesia eta diseinua



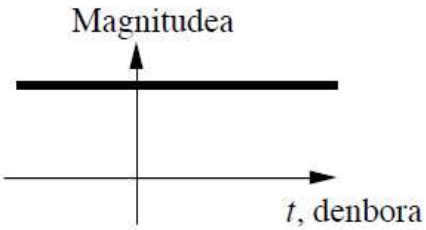
4. Zirkuituen ezaugarriak eta egoera

- Zirkuitua osorik definitzeko
  - Osagaiak (R, L, C, iturriak) + balioak
  - Topologia
- Zirkuituaren egoera
  - Osagai guztietako V eta I → Energia eta potentzia
- Eskema adibidea:

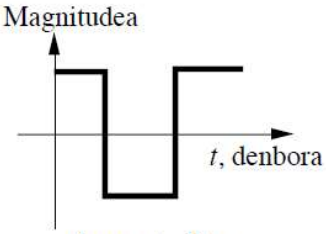


5. Korronte motak

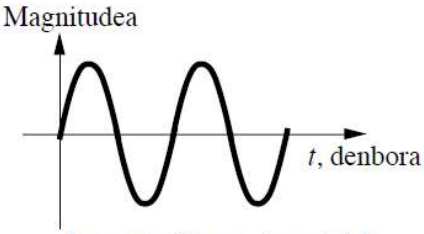
- Korronte zuzena



- Korronte alternoa

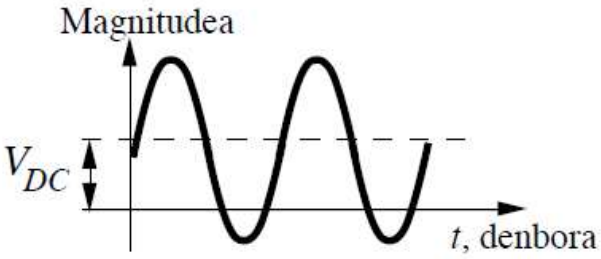


korronte alternoa



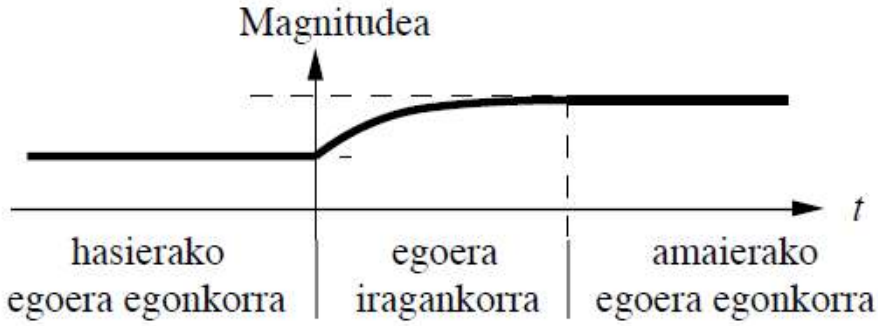
korronte alterno sinusoidala

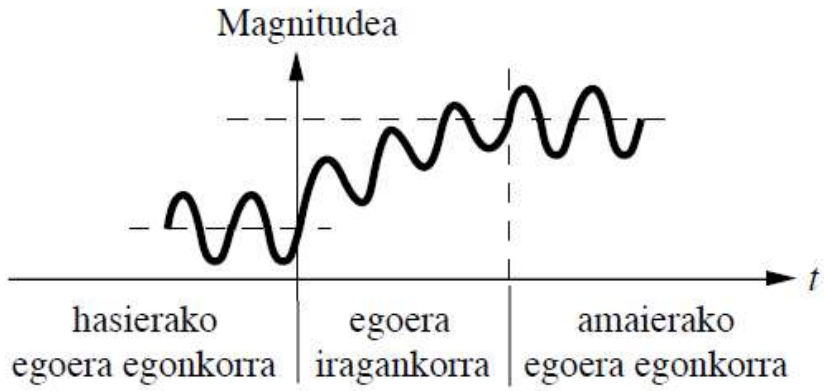
- Korronte alternoa korronte zuzeneko osagaiarekin



6. Funtzionamendu egoerak

- Egonkorra eta iragankorra





4. GAIA – ZIRKUITUETARAKO SARRERA

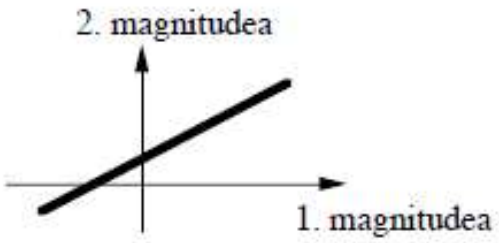
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDA

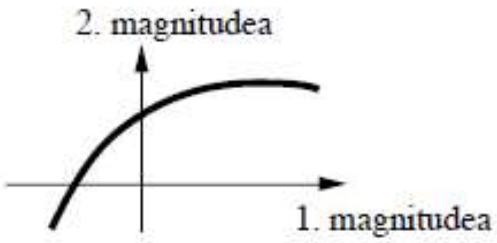
1. Elementu motak
2. Erresistentziak
3. Kondentsadoreak
4. Harilak
5. Sorgailuak
6. Beste elementu batzuk

1. ELEMENTU MOTAK

- Linealak edo ez linealak



lineala

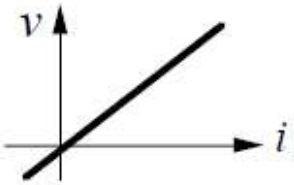


ez-lineala

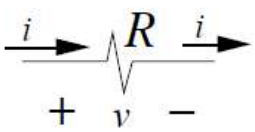
- Aktiboak edo pasiboak
  - **Aktiboak edo eraginkorrak:** Zirkuituko beste elementuei energia edo potentzia ematen dietenak, horretarako beste energia-mota bat gastatuz
  - **Elementu pasiboak edo geldoak:** energia edo potentzia hartzen dutenak, energia hori guztiz beharrezkoa dutelarik funtzionatzeko

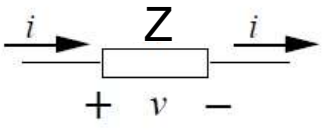
2. ERRESISTENTZIAK

- **Portaera:** $v = R \cdot i$ Ohm-en legea
- **Ezaugarri grafikoa:**



- **Ikurra:**



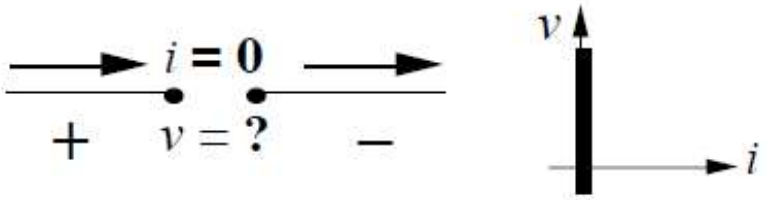


- **Unitatea:** Ohm, Ω
- **Potentzia:**

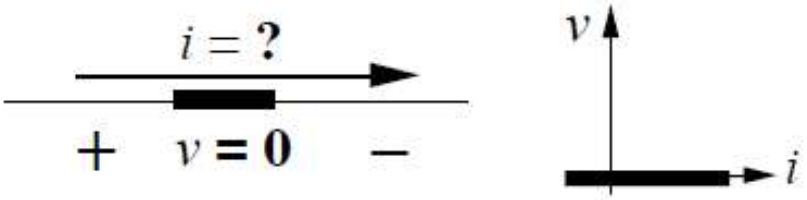
$$p = R \cdot i^2 = \frac{v^2}{R}$$ Joule efektua

2. ERRESISTENTZIAK

- **Kasu bereziak:**
  - Zirkuitu irekia: $R = \infty$

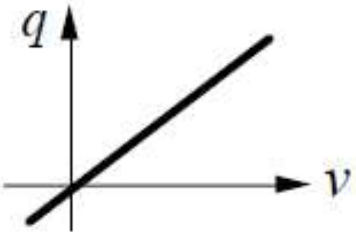


  - Zirkuitulaburra: $R = 0$

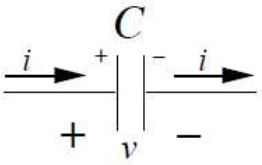


3. KONDENTSADOREAK

- **Portaera:** $q = C \cdot v$ $\qquad i(t) = C \cdot \dfrac{dv(t)}{dt}$
- **Ezaugarri grafikoa:**



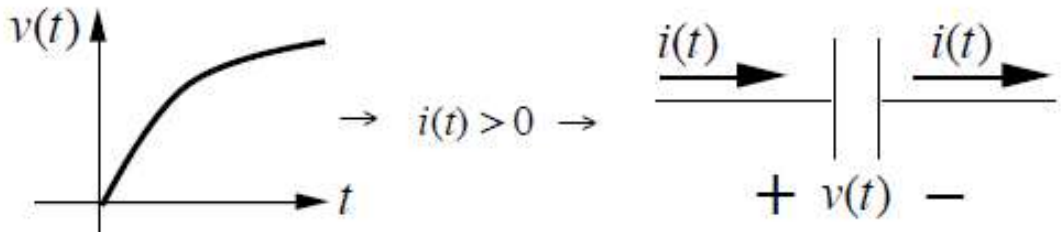
- **Ikurra:**



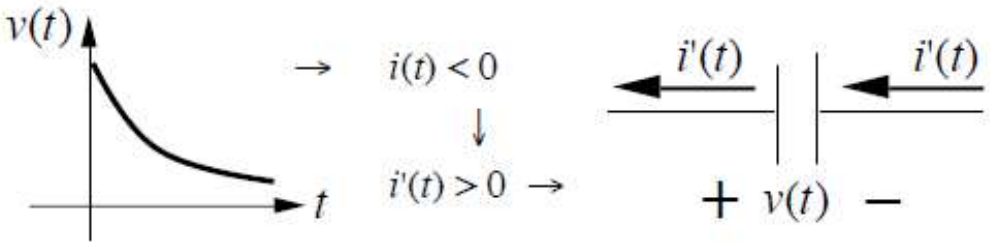
- **Unitatea:** farad, f

3. KONDENTSADOREAK

- **Bi portaera desberdin:**
  - Karga-prozesua → energia hartu

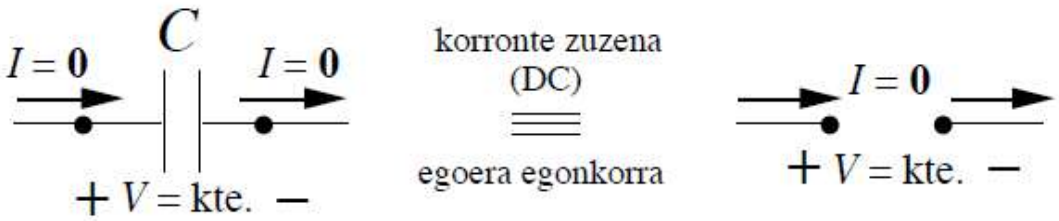


  - Deskarga-prozesua → energia eman



3. KONDENTSADOREAK

- Portaera korronte zuzena eta egoera egonkorra
  - V konstantea → I = 0



- **Potentzia:**

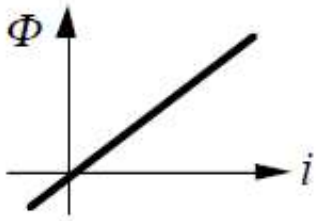
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = v(t) \cdot \left[C \cdot \frac{dv(t)}{dt} \right] = C \cdot v(t) \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

  - P=0 W

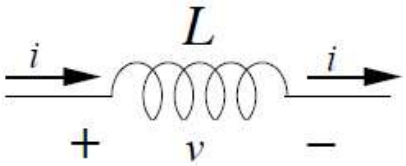
4. HARILAK

- **Portaera:** $\Phi = L \cdot i$ $\qquad v(t) = L(t) \cdot \dfrac{di(t)}{dt}$

- **Ezaugarri grafikoa:**



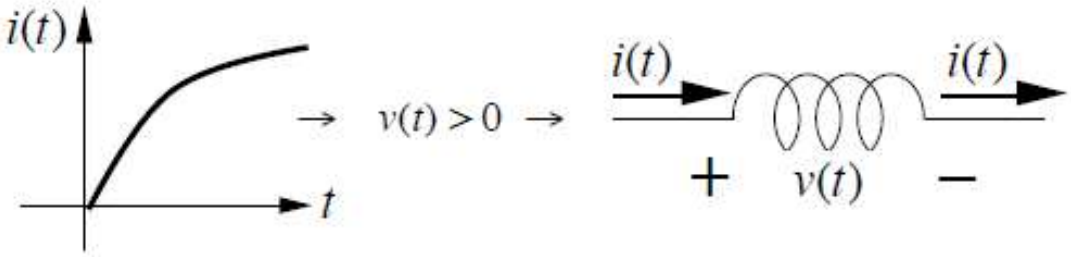
- **Ikurra:**



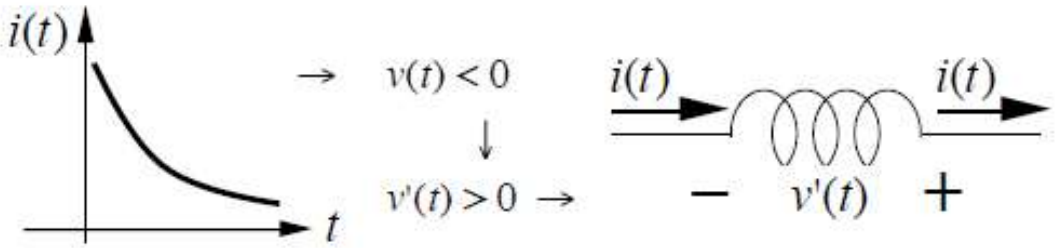
- **Unitatea:** henry, H

4. HARILAK

- **Bi portaera desberdin:**
  - Karga-prozesua → energia hartu

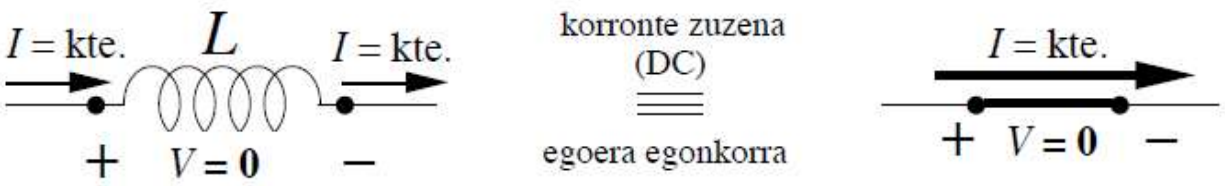


  - Deskarga-prozesua → energia eman



4. HARILAK

- Portaera korronte zuzena eta egoera egonkorra
  - V konstantea → I = 0



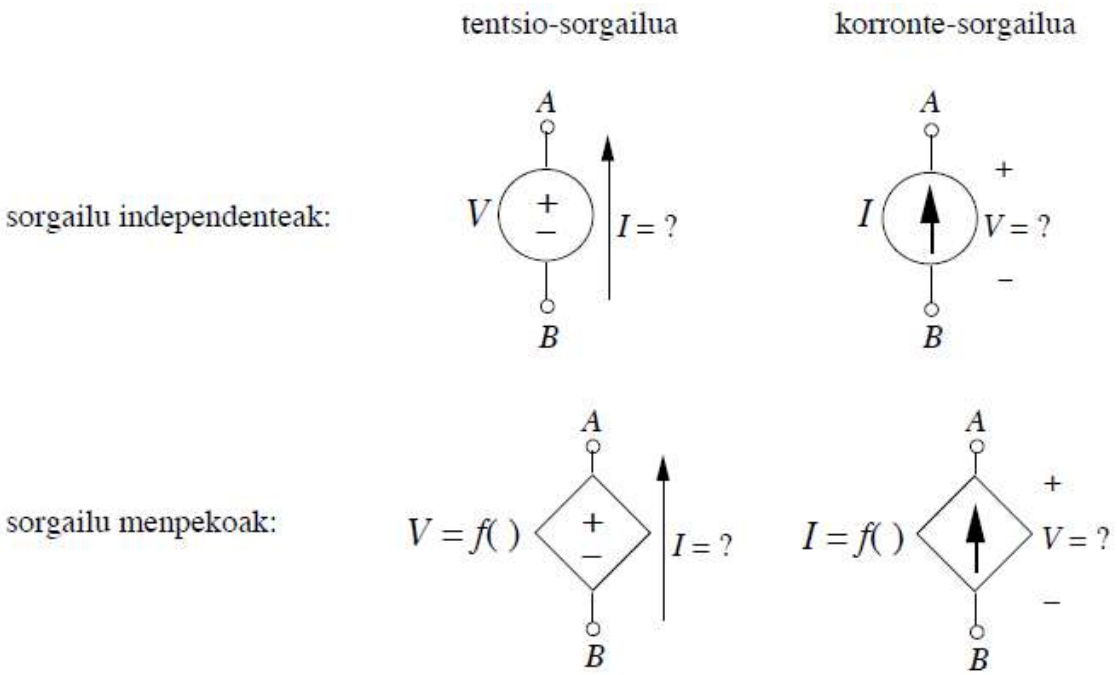
- **Potentzia:**

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \left[L \cdot \frac{di(t)}{dt} \right] \cdot i(t) = i(t) \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

  - P=0 W

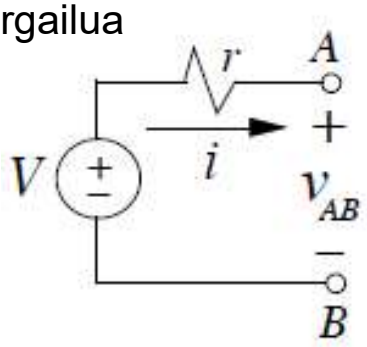
5. SORGAILUAK

- Motak:
  - Tentsio sorgailua
  - Korronte sorgailua
- Portaera sailkapena
  - Independenteak
  - Menpekoak edo kontrolatuak

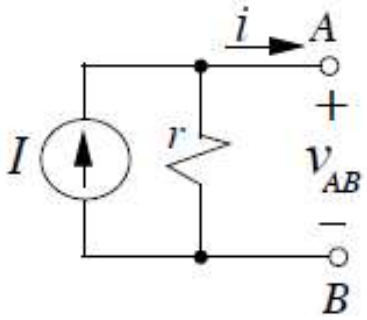


5. SORGAILUAK

- Sorgailu independente errealen zirkuitu-ereduak
  - Tentsio-sorgailua

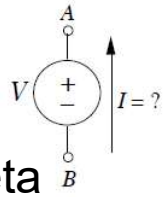


  - Korronte-sorgailua

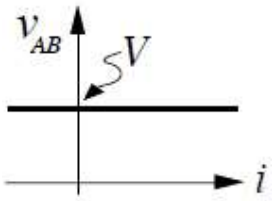


5. SORGAILUAK

- Tentsio sorgailu independenteak

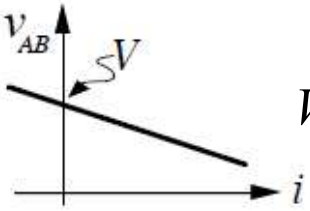


- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
  - Ideala:



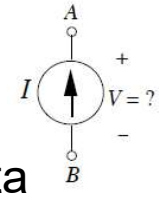
$$V_{AB} = V, \forall i$$

  - Erreala:

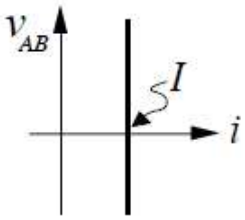


$$V_{AB} = V - r \cdot i$$

- Korronte sorgailu independenteak

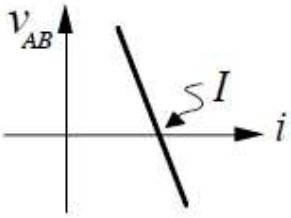


- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
  - Ideala:



$$i = I, \forall v$$

  - Erreala:



$$i = I - \frac{v_{AB}}{r}$$

5. SORGAILUAK

- Sorgailu menpekoen portaera ekuazioa
  - Tentsio-sorgailua
    - Tentsioz kontrolatuta

$$V = f(V') = k \cdot V'$$

    - Korrontez kontrolatua

$$V = f(I') = k \cdot I'$$

  - Korronte-sorgailua
    - Tentsioz kontrolatuta

$$I = f(V') = k \cdot V'$$

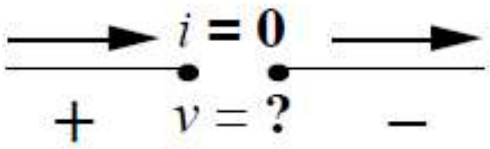
    - Korrontez kontrolatua

$$I = f(I') = k \cdot I'$$

6. BESTE ELEMENTU BATZUK

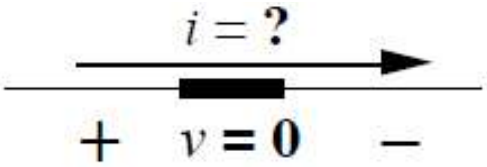
- **Etengailu ideala**
  - Ikurra:

  - Posizioak:
    - Irekita



$$I = 0, \forall v$$

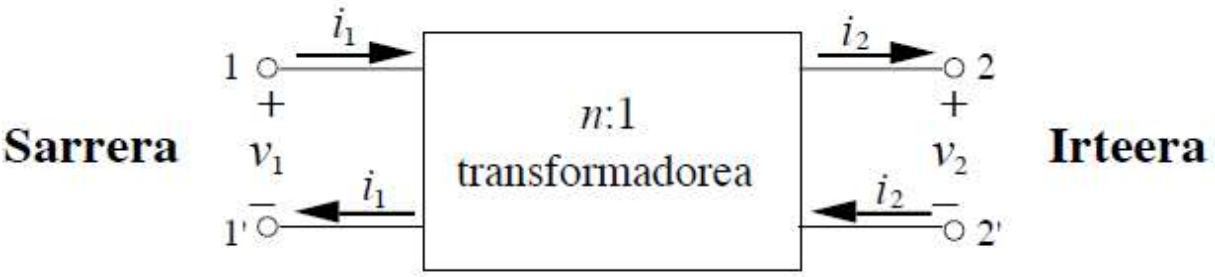
    - Itxita



$$V = 0, \forall i$$

6. BESTE ELEMENTU BATZUK

n:1 transformadorea



$$v_1 = n \cdot v_2$$

$$i_1 = \frac{i_2}{n}$$

5. Gaia – Zirkuituetako oinarrizko legeak eta horien aplikazioak

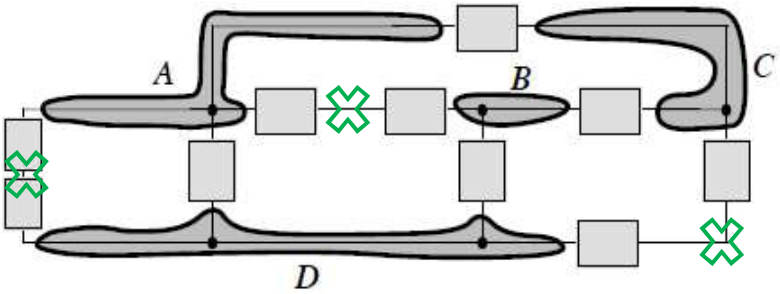
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

1. Oinarrizko kontzeptuak
2. Kirchhoff-en legeak
3. Zirkuituen ebazpide arrunta
4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak
5. Elkarketen aplikazioak
6. Tentsio eta korronte neurketak

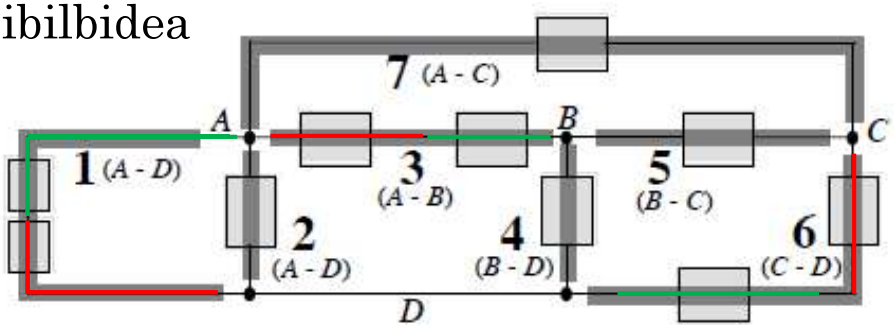
1. Oinarrizko kontzeptuak

- **Nodo edo korapilo:** Bi (hiru) elementu edo gehiago elkartzen direneko puntua



Nodoen arteko tentsioak

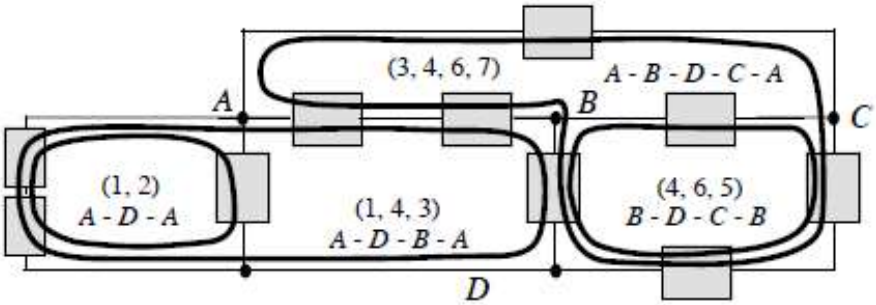
- **Adarra:** Ondoko bi nodo edo korapiloren arteko ibilbidea



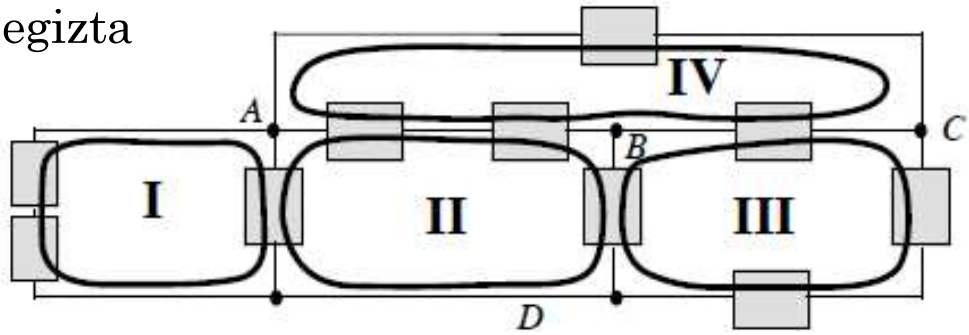
Adarreko korrontea

1. Oinarrizko kontzeptuak

- **Begizta:** Zirkuitu batean, adarreko osaturiko edozein ibilbide itxi

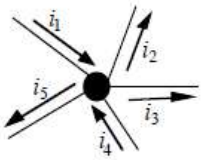


- **Maila:** Barruan adarrik barne hartzen ez duen begizta



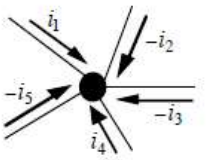
2. KIRCHHOFF-EN LEGEAK

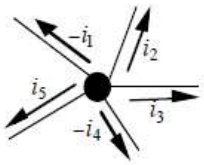
- Kirchhoff-en korronteen legea (KKL edo KCL) Nodoen edo korapiloen legea
  - Kargaren kontserbazioaren printzipioan oinarritzen da
  - Definizioa: Korapilo batera iristen diren intentsitate guztien batura aljebraikoa zero da



$$\sum_{guztiak} i_{iritsi} = 0$$

$$\sum_{guztiak} i_{irten} = 0$$

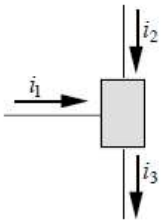




$$\sum i_{iritsi} = \sum i_{irten}$$

2. KIRCHHOFF-EN LEGEAK

- Kirchhoff-en korronteen legea (KKL edo KCL) Nodoen edo korapiloen legea
  - Ondorioz:

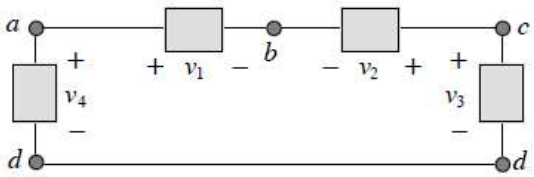


$$i_1 + i_2 = i_3$$

2. KIRCHHOFF-EN LEGEAK

- Kirchhoff-en tentsioen legea (KTL edo KVL) Begizten legea
  - Energiaren kontserbazioaren printzipioan oinarritzen da
  - Definizioa: Begizta batean, tentsio guztien batura algebraikoa zero da (tentsioen zeinuak kontuan hartuz!)

$$\sum_{guztiak} v = 0$$



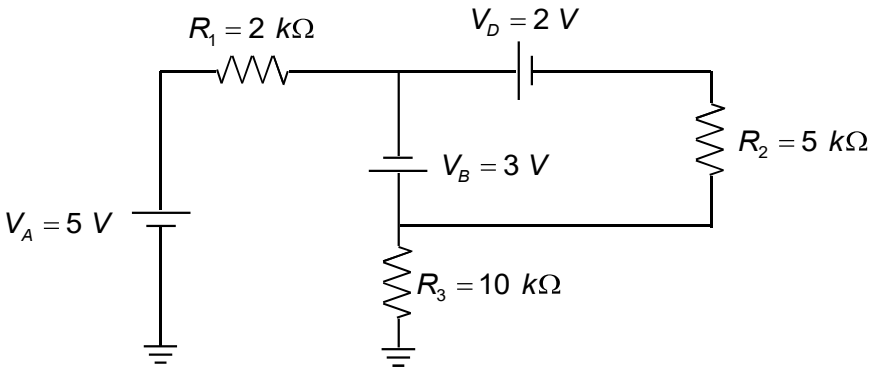
$$v_{ab} + v_{bc} + v_{cd} + v_{da} = v_1 - v_2 + v_3 - v_4 = 0$$

3. ZIRKUITUEN EBAZPIDE ARRUNTA

1. Korapilo kopurua: N
2. Adarretako korronteen noranzkoak arbitrarioki
3. Tentsioen noranzkoak aukeratu
4. Ezezagun kopurua zenbatu → Planteatu ekuazioak (KVL + KCL)
   - Begiztak erabili → Korronte sorgailurik gabeko begiztak
5. Sistema ebatzi
6. Soluzioa eman

3. Zirkuituen ebazpide arrunta

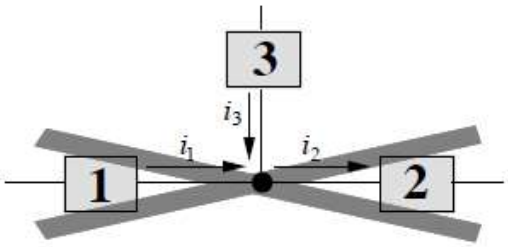
- Adibidea

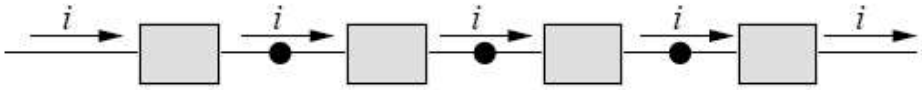


4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Serie elkarketa
  - Bi elementu seriean konektaturik daude mutur komun bat baldin badute eta, gainera, mutur komun horretan beste elementu bat konektaturik ez badago.

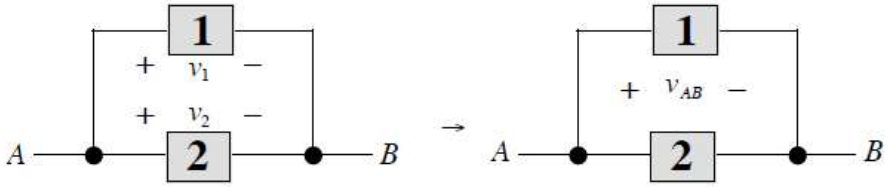
  - Bi elementu seriean konektaturik daude, bietatik korronte bera igarotzen denean.



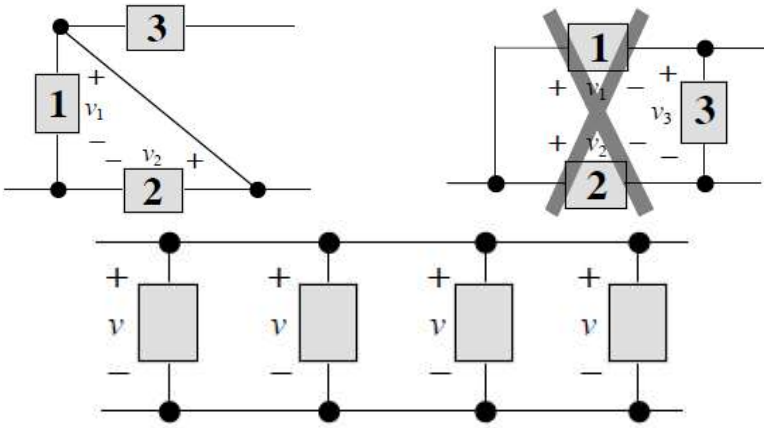


4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Paralelo elkarketa
  - Bi elementu paraleloan konektaturik daude, bi muturrak komunak dituztenean.

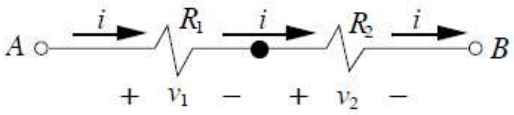


  - Bi elementu paraleloan konektaturik daude, bien muturren arteko tentsioa bera denean.

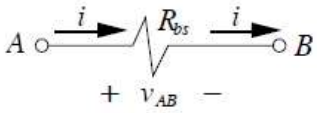


4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Erresistentziak seriean



Erresistenzia baliokidea



$$v_1 = R_1 i \qquad v_2 = R_2 i$$

$$v_{AB} = R_{bs} i$$

$$v_{AB} = v_1 + v_2 = R_1 i + R_2 i$$

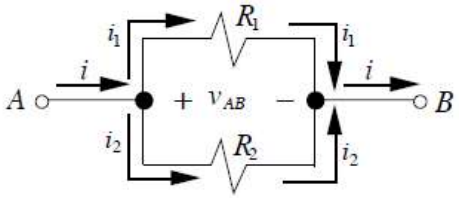
$$v_{AB} = (R_1 + R_2) i$$

$$R_{bs} = R_1 + R_2$$

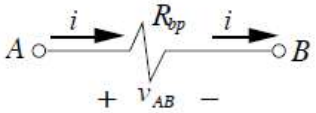
$$R_{bs} = \sum_i R_i$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Erresistentziak paraleloan



Erresistenzia baliokidea



$$v_{AB} = R_1 i_1 \qquad v_{AB} = R_2 i_2$$

$$i = i_1 + i_2 = \left(\frac{v_{AB}}{R_1}\right) + \left(\frac{v_{AB}}{R_2}\right)$$

$$i = \left[\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right)\right] \cdot v_{AB}$$

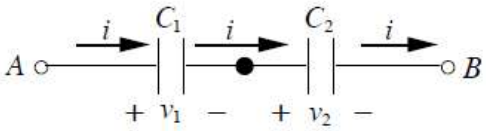
$$i = \frac{v_{AB}}{R_{bp}}$$

$$\frac{1}{R_{bp}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

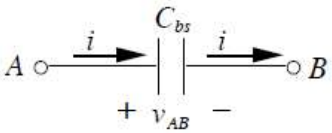
$$\frac{1}{R_{bp}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Kondentsadoreak seriean



Kapazitate baliokidea



$$i = C_1 \cdot \frac{dv_1}{dt} \qquad i = C_2 \cdot \frac{dv_2}{dt}$$

$$v_{AB} = v_1 + v_2 \rightarrow \frac{dv_{AB}}{dt} = \frac{dv_1}{dt} + \frac{dv_2}{dt}$$

$$\frac{dv_{AB}}{dt} = \frac{i}{C_1} + \frac{i}{C_2} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) i$$

$$i = C_{bs} \cdot \frac{dv_{AB}}{dt}$$

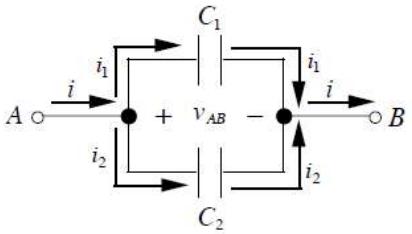
$$\frac{dv_{AB}}{dt} = \left(\frac{1}{C_{BS}}\right) i$$

$$\frac{1}{C_{bs}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

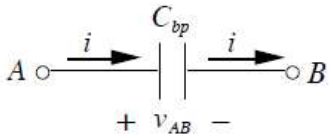
$$\frac{1}{C_{bs}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Kondentsadoreak paraleloan



Kapazitate baliokidea



$$i = C_1 \cdot \frac{dv_{AB}}{dt} \qquad i = C_2 \cdot \frac{dv_{AB}}{dt} \qquad i = C_{bp} \cdot \frac{dv_{AB}}{dt}$$

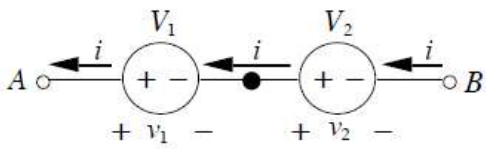
$$i = i_1 + i_2$$

$$i = \left(C_1 + C_2\right)\frac{dv_{AB}}{dt}$$

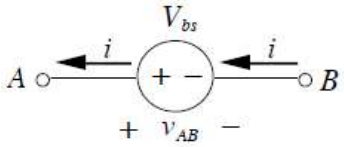
$$C_{bp} = C_1 + C_2 \qquad C_{bp} = \sum_i C_i$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Tentsio sorgailuak seriean



Tentsio sorgailu baliokidea



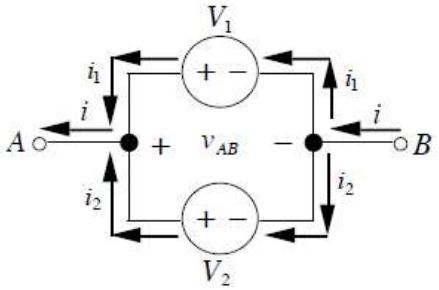
$$v_1 = V_1 \qquad v_2 = V_2 \qquad v_{AB} = V_{bs}$$

$$v_{AB} = v_1 + v_2 = V_1 + V_2$$

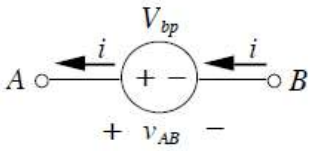
$$V_{bs} = V_1 + V_2 \qquad V_{bs} = \sum_i V_i$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Tentsio sorgailuak paraleloan



Tentsio sorgailu baliokidea



$$v_{AB} = V_{bp}$$

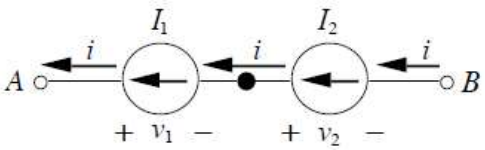
$$v_{AB} = V_1 \qquad v_{AB} = V_2$$

$$V_{bp} = V_1 = V_2$$

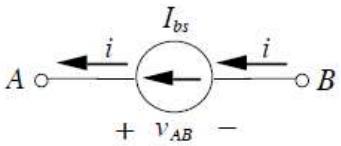
Zer gertatzen da ezberdinak badira? Zentzurik badauka paraleloan jartzea tentsio sorgailuak?

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Korronte sorgailuak seriean



Korronte sorgailu baliokidea



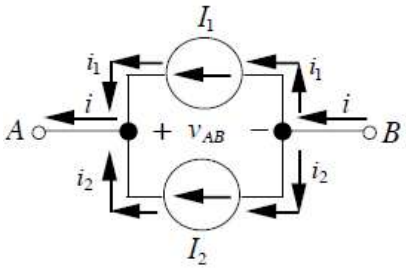
$$i = I_1 \qquad i = I_2$$

$$i = I_{bs}$$

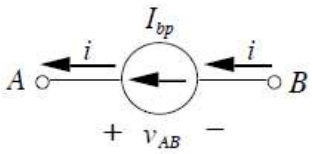
$$I_{bs} = I_1 = I_2$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Korronte sorgailuak paraleloan



Korronte sorgailu baliokidea



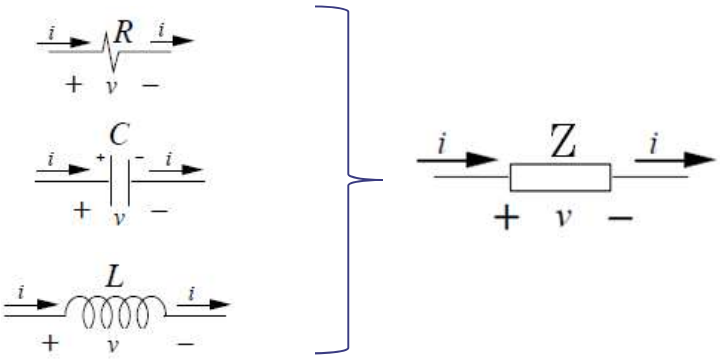
$$i_1 = I_1 \qquad i_2 = I_2 \qquad i = I_{bp}$$

$$i = i_1 + i_2 = I_1 + I_2$$
$$I_{bp} = I_1 + I_2$$

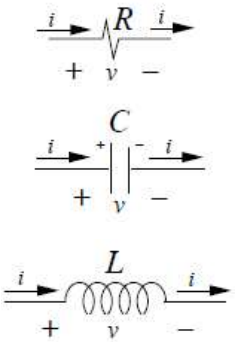
$$I_{bp} = \sum_i I_i$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Inpedantzia kontzeptua



$$Z = R + jX\,[\Omega]$$
$$G = Y + jB\,[s]$$



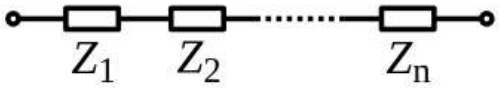
$$Z_R = R$$

$$Z_c = -jX_c \rightarrow X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z_L = jX_L \rightarrow X_L = \omega L = 2\pi f L$$

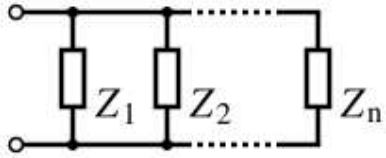
4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Inpedantziak seriean



$$Z_{bs} = \sum_i Z_i$$

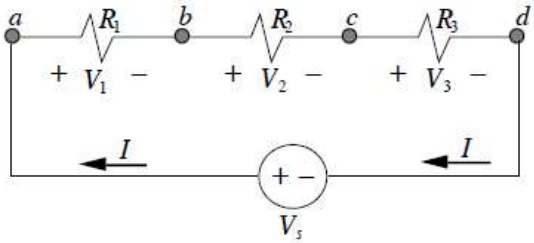
- Inpedantziak paraleloan



$$\frac{1}{Z_{bp}} = \sum_i \frac{1}{Z_i}$$

5. Elkarketen aplikazioak

- Tentsio zatitzailea



$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 \qquad V_1 = R_1 I, \quad V_2 = R_2 I, \quad V_3 = R_3 I$$

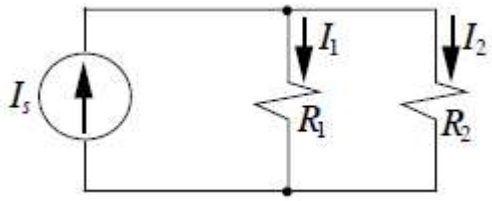
$$I = \frac{V_s}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_s}{R_{bs}}$$

$$V_1 = \frac{R_1}{R_{bs}} \mathrm{V}_s, \quad V_2 = \frac{R_2}{R_{bs}} \mathrm{V}_s, \quad V_3 = \frac{R_3}{R_{bs}} \mathrm{V}_s$$

$$V_i = \frac{R_i}{R_{bs}} \mathrm{V}_s$$

5. ELKARKETEN APLIKAZIOAK

- Korronte zatitzailea



$$I_s = I_1 + I_2 \qquad V_1 = R_1 I_1, \quad V_2 = R_2 I_2, \quad V_{bp} = R_{bp} I_s$$

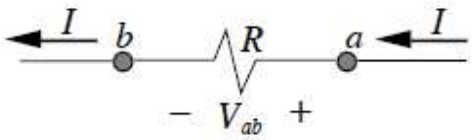
$$V_1 = V_2 = V_{bp}$$

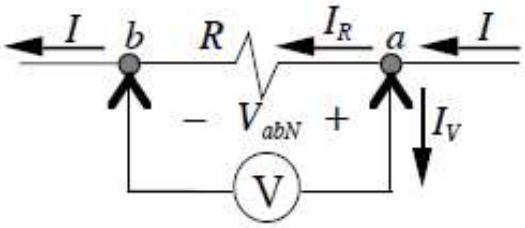
$$I_1 = \frac{V_{bp}}{R_1} = \frac{R_{bp}}{R_1} I_s \qquad I_2 = \frac{V_{bp}}{R_2} = \frac{R_{bp}}{R_2} I_s$$

$$I_i = \frac{V}{R_1} = \frac{R_{bp}}{R_i} I_s$$

6. TENTSIO ETA KORRONTE NEURKETAK

- Voltmetroa





- a eta b puntuen artean neurtzen du tentsioa
- Voltmetroa konektatzean zirkuitua aldatzen dugu → neurtu nahi dugun tentsioa aldatzen dugu
- Voltmetro ideal batean:

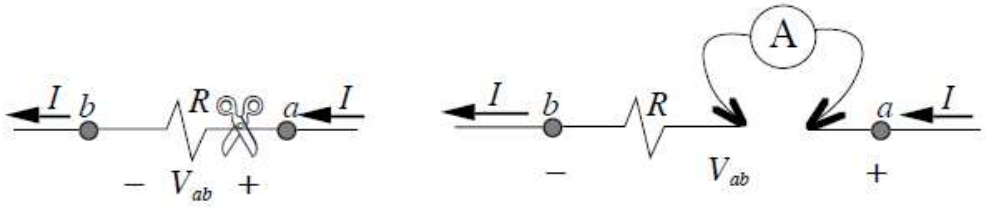
$$R_v = \infty \rightarrow I_v = 0 \rightarrow I_R = I \rightarrow V_{abN} = V_{ab}$$

- Voltmetro erreal batean:

$$R_v \gg R$$

6. TENTSIO ETA KORRONTE NEURKETAK

- Anperemetroa



- ab adarreko korrontea neurtzen du
- Anperemetroa konektatzean zirkuitua aldatzen dugu → neurtu nahi dugun korrontea aldatzen dugu
- Anperemetro ideal batean:

$$R_A = 0 \rightarrow V_A = 0 \rightarrow V'_{ab} = V_{ab} \rightarrow I_N = I$$

- Anperemetro erreal batean:

$$R_A \ll R$$

6. GAIA – ZIRKUITUAK ANALIZATZEKO OINARRIZKO METODOAK

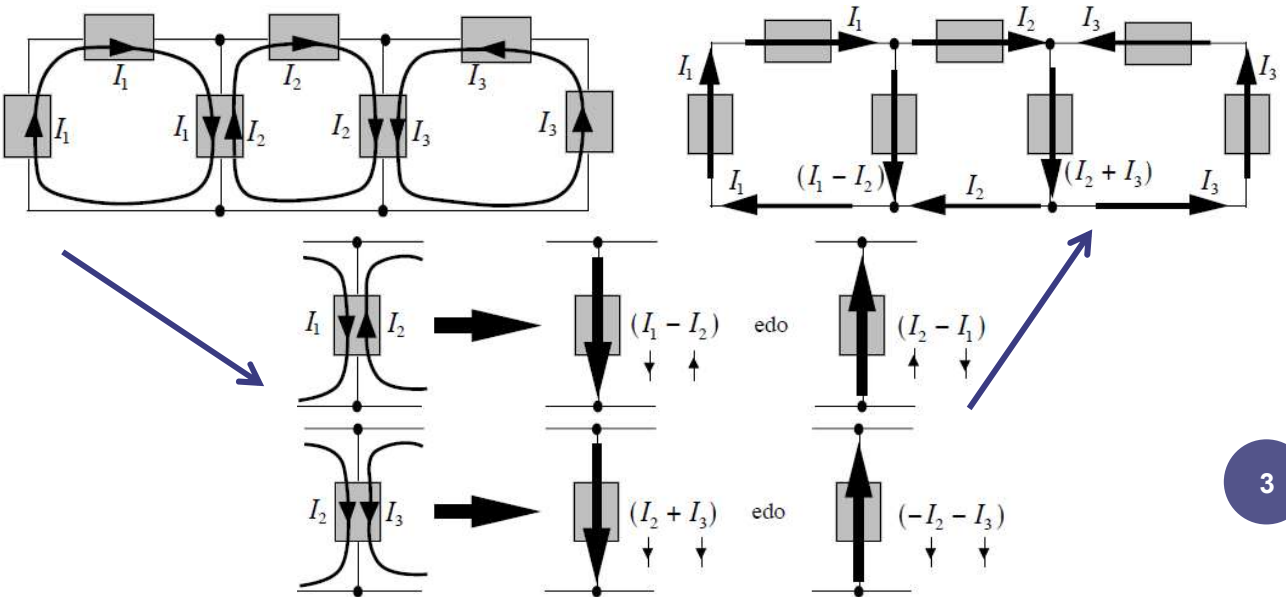
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDA

1. Mailen metodoa
2. Gainezarmen printzipioa
3. Thévenin-en teorema
4. Norton-en teorema
5. Thévenin-en eta Norton-en zirkuitu baliokideen arteko erlazioa
6. Potentziaren transferentzia maximoaren teorema

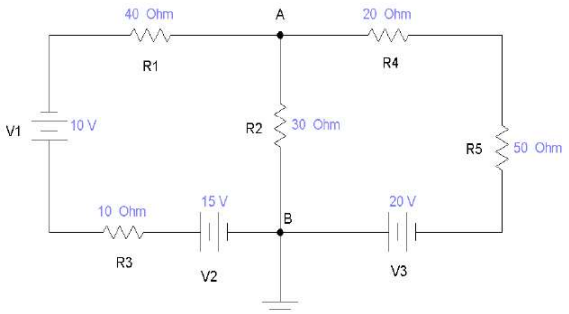
1. Mailen metodoa

- Adarretako korronteak ↔ Mailetako korronteak
  - Maila-korrontea: Mailaren perimetroan dauden elementu guztietatik igarotzen den korrontea
  - Adar korrontea: Adar batetik igarotzen diren mailetako korronte guztien batura



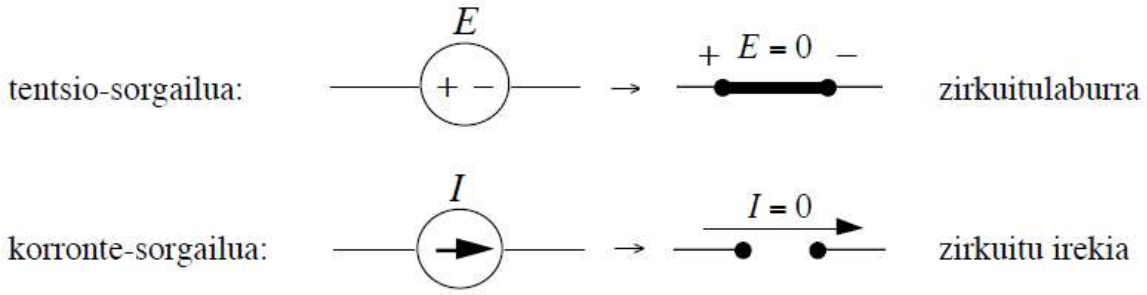
1. Mailen metodoa

- **Ebazpidea**:
  1. Mailak aurkitu (MK → Ezezagun kopurua)
  2. Mailen korronteen noranzkoak esleitu arbitrarioki
  3. KVL erabiliz ekuazioak planteatu
     - Arazoa: Korronte sorgailuak…
  4. Sistema ebatzi
  5. Adarretako korronteak kalkulatu
  6. Zirkuituaren soluzioa eman.
- **Adibidea:**



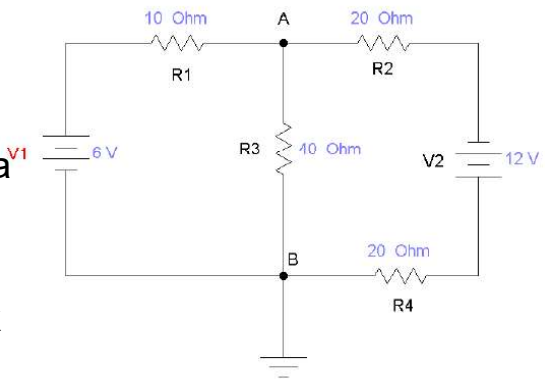
2. GAINEZARMEN PRINTZIPIOA

- **Definizioa:** Zirkuitu lineal batean sorgailu independente bat baino gehiago badago, emaitza orokorra sorgailu guztiek banan-banan sortzen dituzten emaitza partzialak batuz lortzen da, beste guztiak ez baleude bezala sorgailu bakoitza bere aldetik kontuan hartuz
- Egin behar dena sorgailua independente guztiak anulatzea da



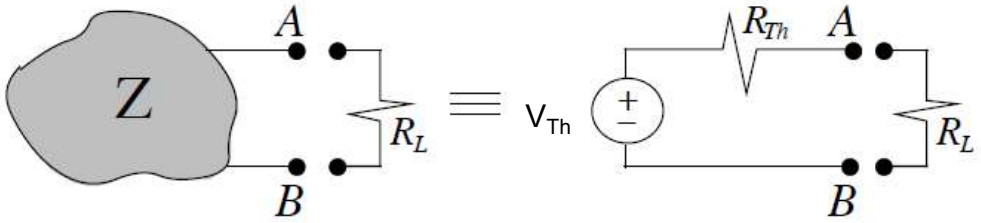
2. GAINEZARMEN PRINTZIPIOA

- **Ebazpidea:**
  1. Zenbatu sorgailu independente kopurua
  2. Esleitu korronteen noranzkoak arbitrarioki
  3. Anulatu sorgailu denak bat kenduta
  4. Esleitu korronteak baina EZ arbitrarioki
  5. Eman zirkuitu sinple honen soluzioa
  6. Hartu beste sorgailu independente bat eta anulatu beste guztiak
  7. Bueltatu 4. puntura sorgailu guztiak ebatzi arte
  8. Eman zirkuitu orokorraren soluzioa
  9. Eman eskatzen den erantzuna
- **Adibidea:**



3. THÉVENIN-EN TEOREMA

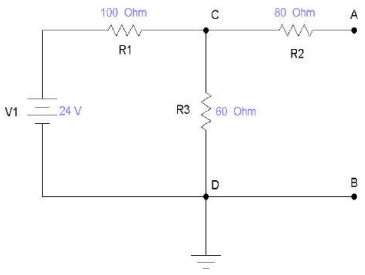
- **Definizioa:** Edozein zirkuitu lineal seriean konektatutako tentsio-sorgailu batek eta erresistentzia batek osatutako sistema sinple batez ordezka daiteke

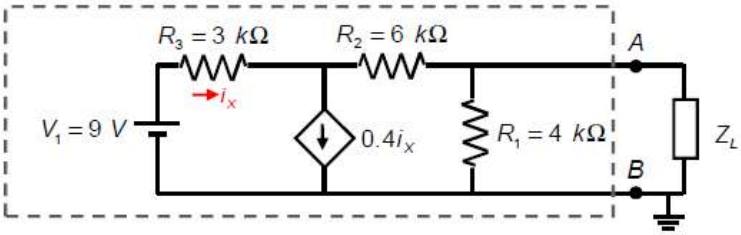


- V_{Th}: A eta B puntuen arteko potentzial-diferentzia, bi puntu hauen artean zirkuitu irekia izanik
- R_{Th}/Z_{Th}: A eta B puntuen arteko inpedantzia baliokidea sorgailu independente guztiak anulatuz

3. THÉVENIN-EN TEOREMA

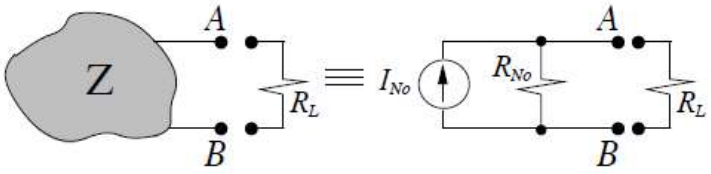
- **Ebazpidea:**
  1. Zein zirkituaren baliokidea lortu nahi den identifikatu / A eta B puntuak identifikatu
  2. V_{th} lortu
     1. A eta B puntuen artean zirkuitu irekia jarri
     2. A eta B puntuen arteko tentsioa lortu
  3. R_{th}/Z_{th} lortu
     1. Sorgailu independente guztiak anulatu
     2. A eta B puntuen arteko inpedantzia baliokidea lortu
  4. Zirkuitu baliokidea marraztu
- Adibideak: Lortu A eta B puntuen artean Thévenin baliokidea





4. NORTON-EN TEOREMA

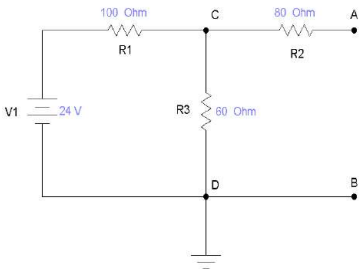
- **Definizioa:** Edozein zirkuitu lineal paraleloan konektatutako korronte-sorgailu batek eta erresistentzia batek osatutako sistema sinple batez ordezka daiteke

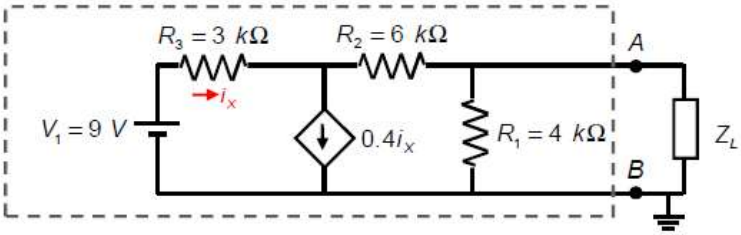


- I_{nor}: A puntutik B puntura igarotzen den korrontea, bi puntu hauen artean zirkuitulaburra dagoenean
- R_{nor}/Z_{nor}: A eta B puntuen arteko inpedantzia baliokidea sorgailu independente guztiak anulatuz

3. NORTON-EN TEOREMA

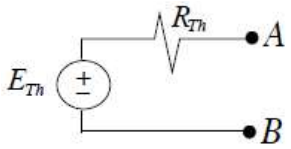
- **Ebazpidea:**
  1. Zein zirkituaren baliokidea lortu nahi den identifikatu / A eta B puntuak identifikatu
  2. I_{nor} lortu
     1. A eta B puntuen artean zirkuitulaburra jarri
     2. A puntutik B puntura igarotzen den korrontea kalkulatu
  3. R_{nor}/Z_{nor} lortu
     1. Sorgailu independente guztiak anulatu
     2. A eta B puntuen arteko inpedantzia baliokidea lortu
  4. Zirkuitu baliokidea marraztu
- Adibideak: Lortu A eta B puntuen artean Norton baliokidea

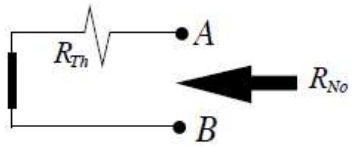




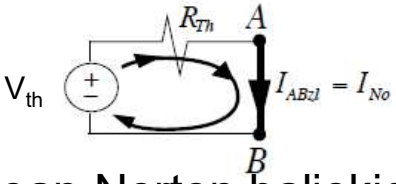
5. Thévenin-en eta Norton-en zirkuitu baliokideen arteko erlazioa

- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:



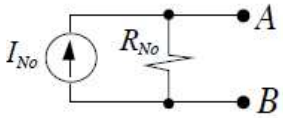


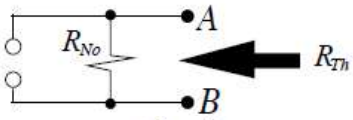
$$R_{No} = R_{Th}$$



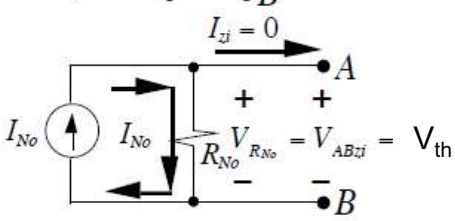
$$I_{No} = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$

- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:





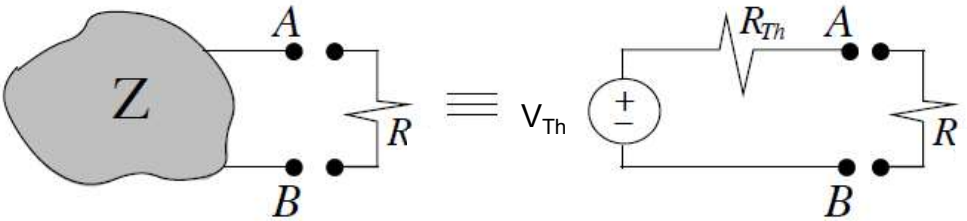
$$R_{Th} = R_{No}$$



$$V_{Th} = R_{No} \cdot I_{No}$$

6. Potentziaren transferentzia maximoaren teorema

- **Definizioa:** Zirkuitu bateko bi punturen artean xurgatzen den potentzia maximoa izatea nahi bada, tartean konektatu beharreko erresistentziaren balioak, zirkuitu beraren bi puntu horien arteko Thévenin-en erresistentzia baliokidearen berdina izan behar du.



- Xurgatutako potentzia:

$$P_R = RI_R^2 = R\left(\frac{V_{Th}}{R_{Th} + R}\right)^2$$

- Maximo bat: $R = R_{Th}$

7. Gaia – Zirkuitu elektrikoen egoera iragankorra eta korronte alternoa

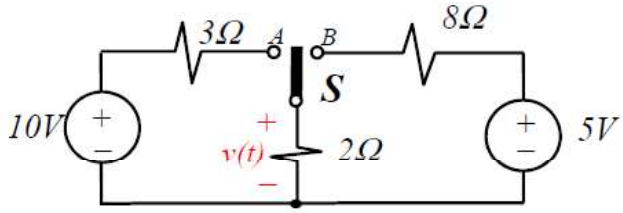
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

1. Egoera iragankorra zirkuitu linealetan
2. RC zirkuitua
   - Karga prozesua eta denbora konstantea
   - Deskarga prozesua eta denbora konstantea
   - Erantzuna seinale karratuei
3. RL zirkuitua
4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

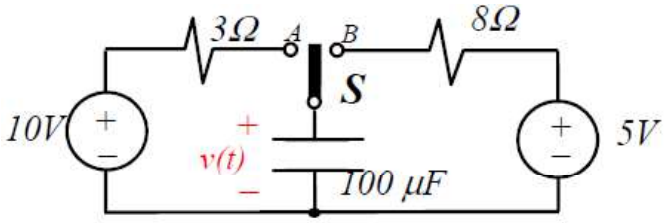
1. Egoera iragankorra zirkuitu linealetan

- Zirkuitu erresistibo batean, zirkuituan edozein aldaketak berehalako aldaketa sortarazten du zirkuituaren egoeran



$$v(t) = R \cdot i(t)$$

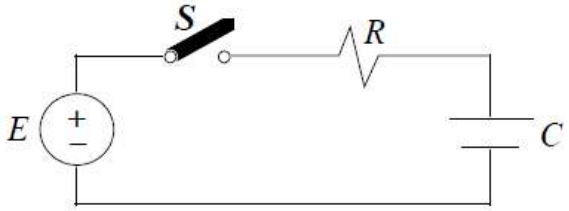
- Kondentsadore bat badago, oreka egoerara (egoera egonkorra) heltzeko denbora bat (egoera iragankorra) behar da, kondentsadorearen portaera ekuazioa dela eta



$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$$

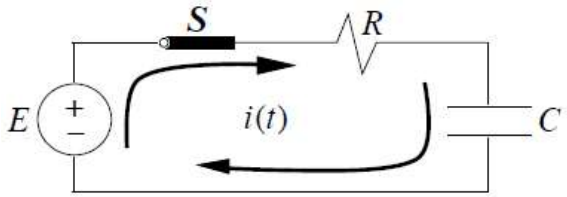
2. RC Zirkuitua

- **Zirkuitua:**



$$V_C = 0 \rightarrow Q_c = 0$$

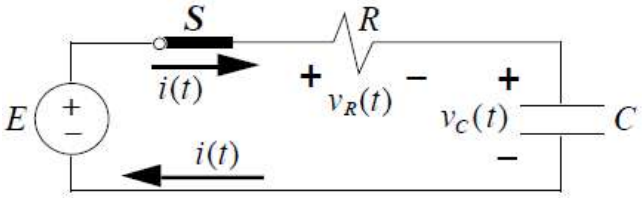
- **Karga prozesua:**



  - Etengailua itxi → Aldaketa: t = 0
  - Kondentsadorea kargatzen hasi → Egoera iragankorra

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua:



- Portaera ekuazioak:
  - Erresistentzia:

$$v_R(t) = Ri(t)$$

  - Kondentsadorea:

$$i(t) = C\frac{dv_C(t)}{dt}$$

- Ondorioa:

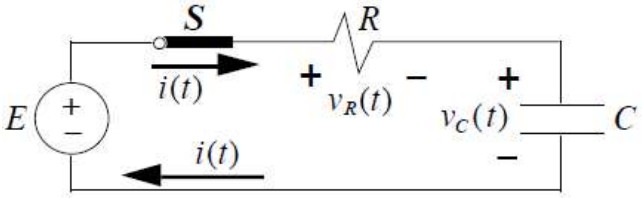
$$v_R(t) = RC\frac{dv_C(t)}{dt}$$

- KVL (KTL)

$$E = v_R(t) + v_C(t)$$

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua:



- Ekuazio diferentziala:

$$E = v_R(t) + v_C(t)$$

$$E = RC\frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t)$$

$$\frac{dv_C(t)}{dt} + \frac{1}{RC}v_C(t) = \frac{E}{RC}$$

- Soluzio orokorra:

$$v_C(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + K_2$$

  - K_1 eta K_2 konstanteak zirkituaren hasierako (t=0) eta bukaerako (t=∞) egoeren menpekoak

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua:

$$v_C(t) = K_1 e^{-\frac{t}{RC}} + K_2$$

- Hasierako egoera egonkorra (t=0):

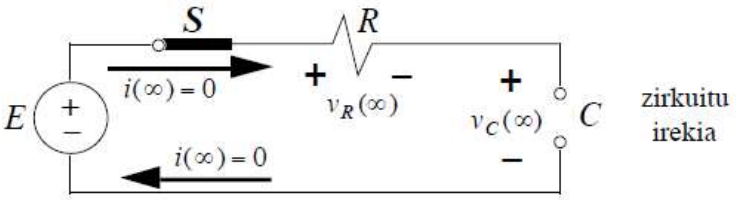
$$v_C(0^-) = 0V$$

$$v_C(0^+) = K_1 + K_2$$

$$v_C(t^-) = v_C(t^+) \rightarrow v_C(0^-) = v_C(0^+)$$

$$K_1 + K_2 = 0$$

- Bukaerako egoera egonkorra (t=∞)



$$E = v_R(\infty) + v_C(\infty) = Ri(\infty) + v_C(\infty) = v_C(\infty) \rightarrow v_C(\infty) = E$$

$$v_C(\infty) = K_1 e^{-\infty} + K_2 = K_1 \cdot 0 + K_2 = K_2 \rightarrow K_2 = E$$

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua:

$$K_1 + K_2 = 0$$

$$K_2 = \text{E} \quad \text{eta} \quad K_1 = -E$$

- Tentsioa:

$$v_C(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

- Korrontea:

$$i(t) = C\frac{dv_C(t)}{dt} \rightarrow i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Tentsio erresistentzian

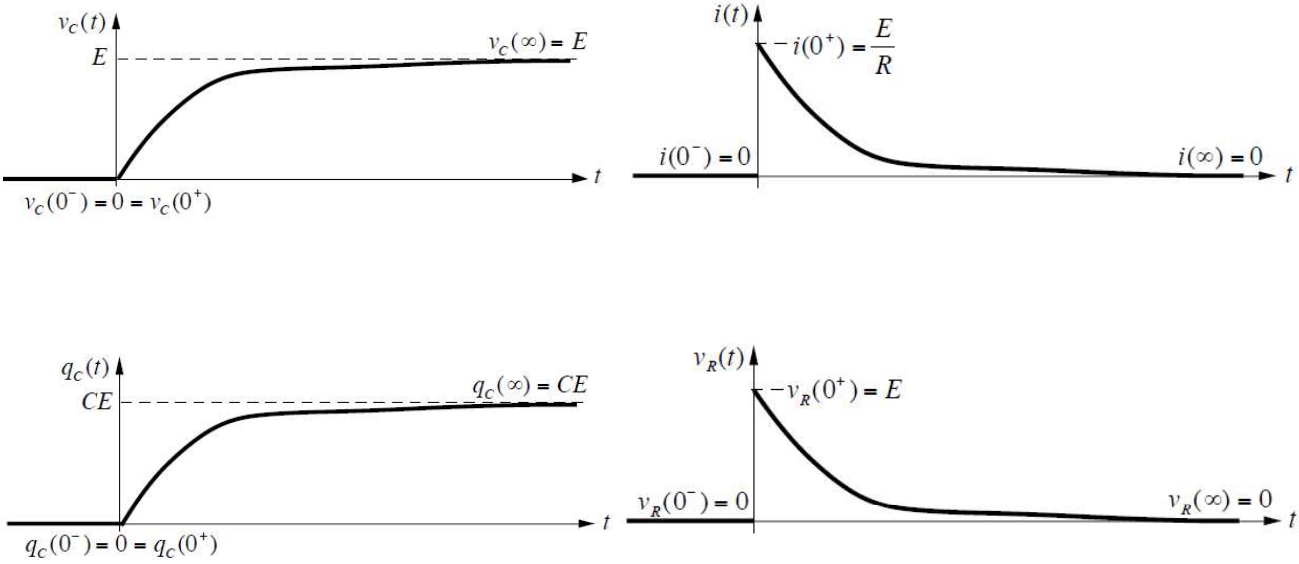
$$v_R(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Kondentsadorean metaturiko karga

$$q_C(t) = CE \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua:



2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua – Denbora konstantea:

$$\tau = RC$$

$$v_C(t=\tau) = E\left(1 - e^{-\frac{\tau}{RC}}\right) = E \cdot \left(1 - e^{-1}\right) = 0.63E;\ q_C(t=\tau) = 0.63CE$$

$$i(t=\tau) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{\tau}{RC}} = \frac{E}{R} \cdot e^{-1} = 0.37 \cdot \frac{E}{R};\ \mathrm{v}_R(t=\tau) = 0.37 \cdot E$$

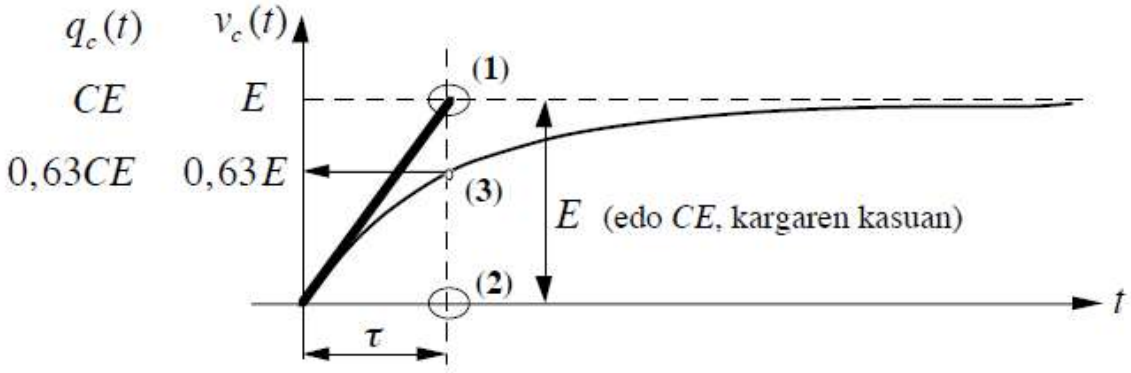
- **Definizioa:** RC zirkuitu baten denbora-konstantea, hasierako unetik kondentsadoreak orekan izango duen tentsioaren (kargaren) % 63ko tentsioa (karga) lortu arte igarotzen den denbora-tartea da.

2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua – Denbora konstantea:

- Tentsioa:

$$\left[\frac{dv_C(t)}{dt}\right]_{t=0} = \left[\frac{d}{dt}\left[E\left(1-e^{-\frac{t}{RC}}\right)\right]\right]_{t=0} = \frac{E}{RC} = \frac{E}{\tau}$$

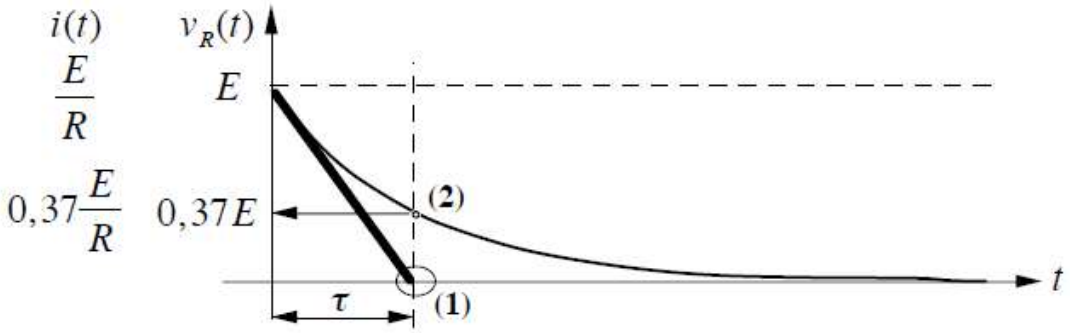


2. RC ZIRKUITUA

Karga prozesua – Denbora konstantea:

- Korrontea:

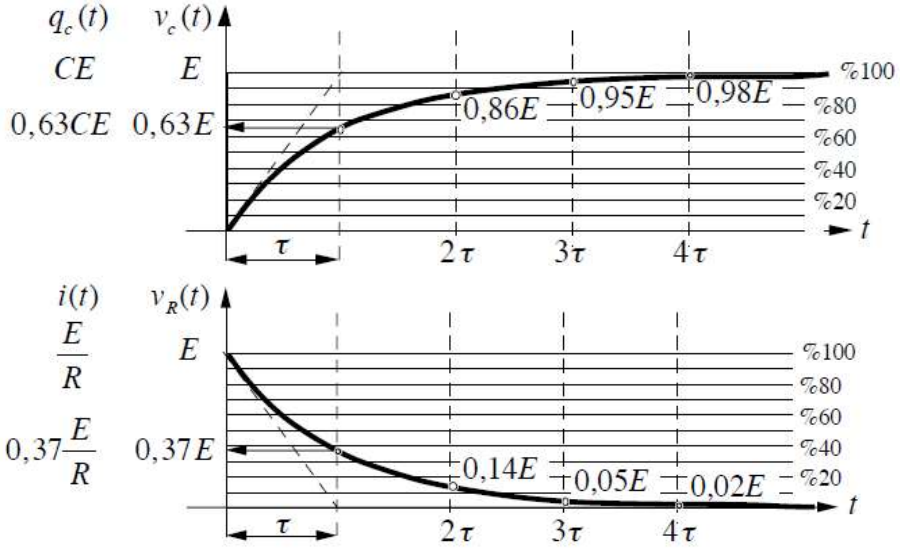
$$\left[\frac{dv_R(t)}{dt}\right]_{t=0} = \left[\frac{d}{dt}\left(E\cdot e^{-\frac{t}{RC}}\right)\right]_{t=0} = -\frac{E}{RC} = -\frac{E}{\tau}$$



2. RC ZIRKUITUA

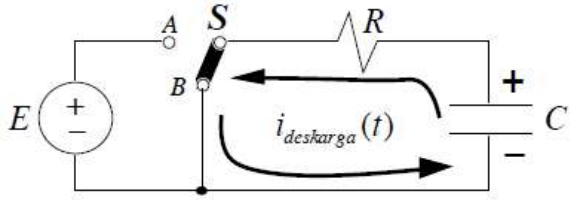
Karga prozesua – Denbora konstantea:

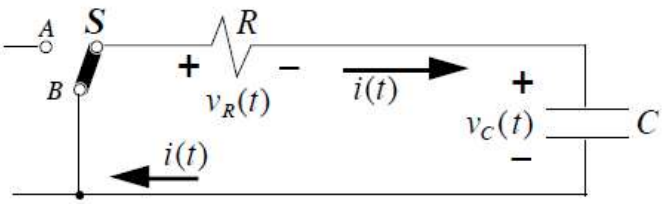
$t=\tau$	$v_C(\tau)=0{,}63E$	$q_C(\tau)=0{,}63CE$	$i(\tau)=0{,}37\frac{E}{R}$	$v_R(\tau)=0{,}37E$
$t=2\tau$	$v_C(2\tau)=0{,}86E$	$q_C(2\tau)=0{,}86CE$	$i(2\tau)=0{,}14\frac{E}{R}$	$v_R(2\tau)=0{,}14E$
$t=3\tau$	$v_C(3\tau)=0{,}95E$	$q_C(3\tau)=0{,}95CE$	$i(3\tau)=0{,}05\frac{E}{R}$	$v_R(3\tau)=0{,}05E$
$t=4\tau$	$v_C(4\tau)=0{,}98E$	$q_C(4\tau)=0{,}98CE$	$i(4\tau)=0{,}02\frac{E}{R}$	$v_R(4\tau)=0{,}02E$



2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:





- Portaera ekuazioak:
  - Erresistentzia:

$$v_R(t) = Ri(t)$$

  - Kondentsadorea:

$$i(t) = C\frac{dv_C(t)}{dt}$$

- Ondorioa:

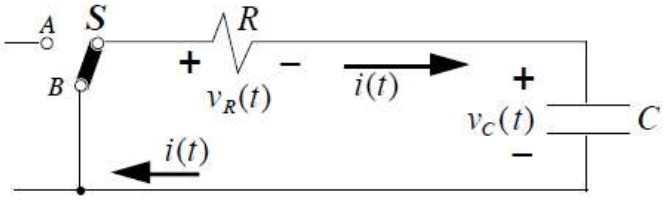
$$v_R(t) = RC\frac{dv_C(t)}{dt}$$

- KVL (KTL) → HEMEN DESBERDINA

$$0 = v_R(t) + v_C(t)$$

2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:



- Ekuazio diferentziala:

$$0 = v_R(t) + v_C(t)$$

$$0 = RC\frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t)$$

$$\frac{dv_C(t)}{dt} + \frac{1}{RC}v_C(t) = 0$$

- Soluzio orokorra:

$$v_C(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + K_2$$

  - K_1 eta K_2 konstanteak zirkituaren hasierako (t=0) eta bukaerako (t=∞) egoeren menpekoak

2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:

$$v_C(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + K_2$$

- Hasierako egoera egonkorra (t=0):

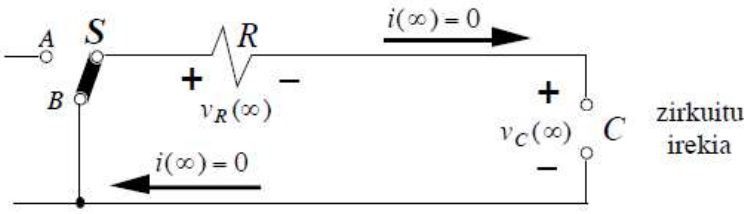
$$v_C(0^-) = E\ V$$

$$v_C(0^+) = K_1 + K_2$$

$$v_C(t^-) = v_C(t^+) \rightarrow v_C(0^-) = v_C(0^+)$$

$$K_1 + K_2 = E$$

- Bukaerako egoera egonkorra (t=∞)



$$0 = v_R(\infty) + v_C(\infty) = Ri(\infty) + v_C(\infty) = v_C(\infty) \rightarrow v_C(\infty) = 0$$

$$v_C(\infty) = K_1 e^{-\infty} + K_2 = K_1 \cdot 0 + K_2 = K_2 \rightarrow K_2 = 0$$

2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:

$$K_1 + K_2 = 0$$

$$K_2 = 0 \quad \text{eta} \quad K_1 = E$$

- Tentsioa:

$$v_C(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Korrontea:

$$i(t) = C \cdot \frac{dv_C(t)}{dt} \rightarrow i(t) = -\frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Tentsio erresistentzian

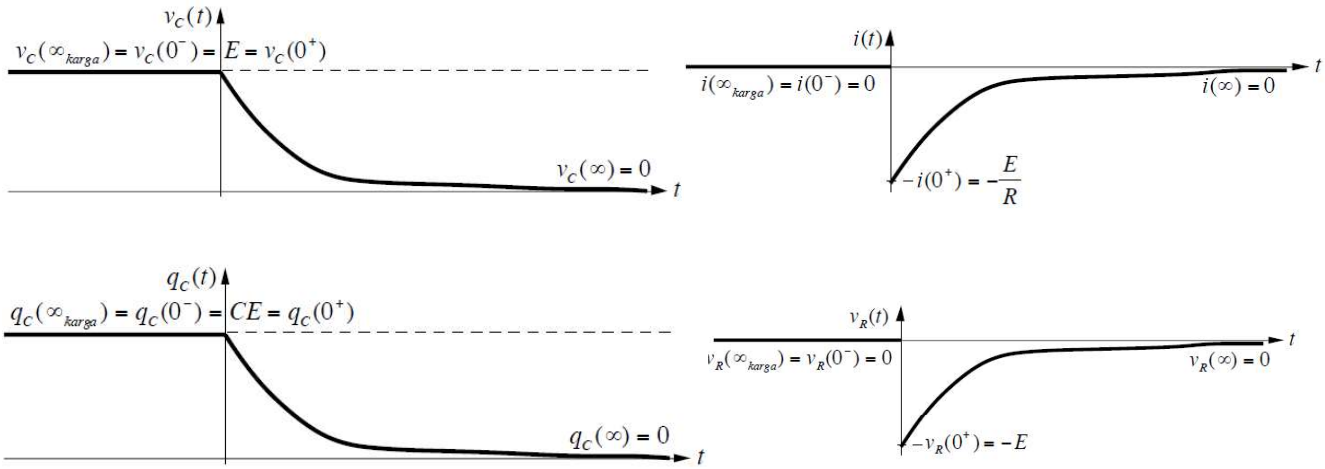
$$v_R(t) = -E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Kondentsadorean metaturiko karga

$$q_C(t) = CE \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:

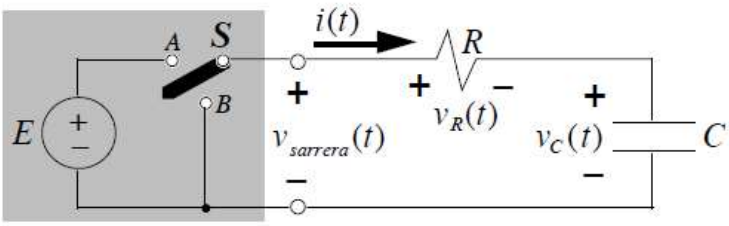


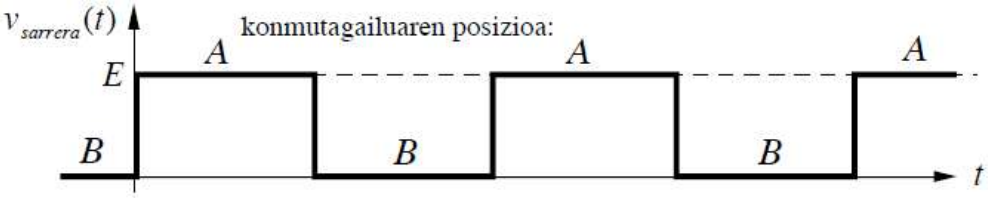
Denbora konstantea:

$$\tau_{karga} = R_{karga} C \quad \text{eta} \quad \tau_{deskarga} = R_{deskarga} C$$

2. RC ZIRKUITUA

Erantzuna seinale karratuei:

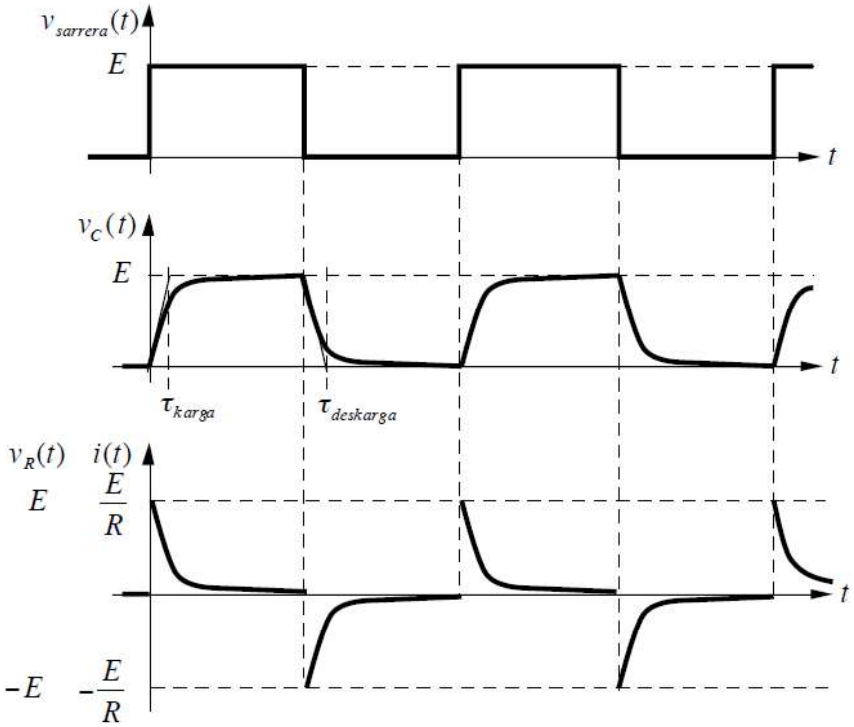




2. RC ZIRKUITUA

Erantzuna seinale karratuei:

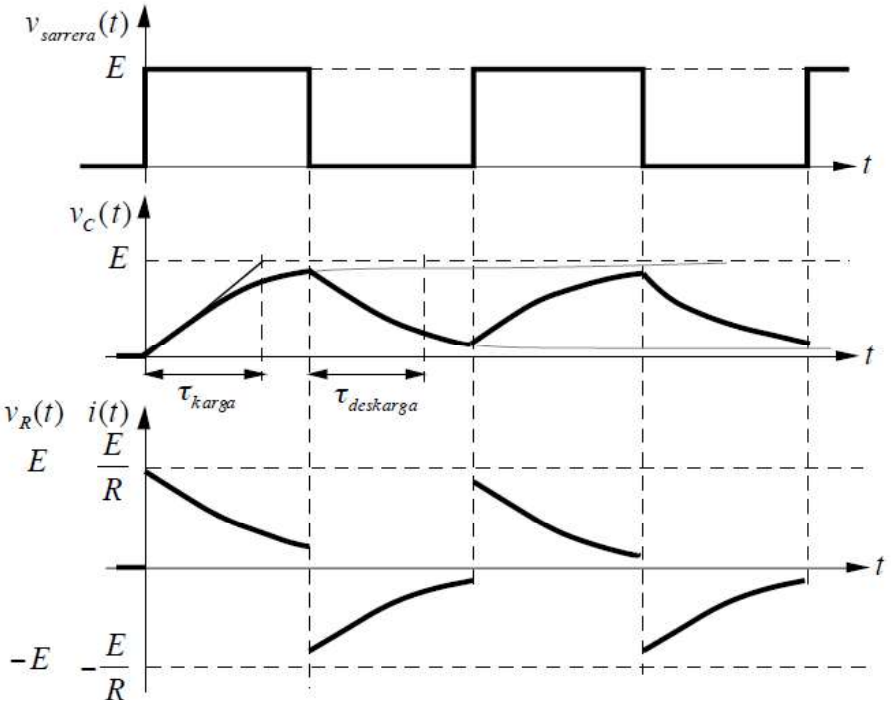
- 1. kasua: (T/2)>>4τ



2. RC ZIRKUITUA

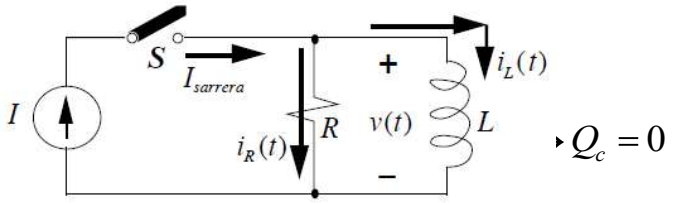
Erantzuna seinale karratuei:

- 2. kasua: (T/2)<<4τ



3. RL ZIRKUITUA

Zirkuitua:



Portaera ekuazioak:

- Erresistentzia: $v(t) = Ri_R(t)$
- Harila: $v(t) = L\frac{di_L(t)}{dt}$
- Ondorioa: $i_R(t) = \frac{L}{R}\frac{di_L(t)}{dt}$

KCL (KKL)

$$I_{sarrera} = i_R(t) + i_L(t) \rightarrow I_{sarrera} = \frac{L}{R}\frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)$$

3. RL ZIRKUITUA

Karga prozesua:

Etengailua itxita: $I_{sarrera} = I$

Ekuazioa: $\frac{di_L(t)}{dt} + \frac{R}{L} i_L(t) = \frac{R}{L} \cdot I$

Deskarga prozesua:

Etengailua irekita: $I_{sarrera} = 0$

Ekuazioa: $\frac{di_L(t)}{dt} + \frac{R}{L} i_L(t) = 0$

Soluzio orokorra: $i_L(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} + K_2$

Denbora konstantea: $\tau = \frac{R}{L}$

Hasierako egoera:

$$0 = i_L(0^-) = i_L(0^+) = K_1 + K_2$$

Bukaerako egoera:

$$I = i_L(\infty) = K_2$$

Konstanteen balioak:

$$K_2 = I \quad \text{eta} \quad K_1 = -I$$

Soluzio partikularra:

$$i_L(t) = I \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Hasierako egoera:

$$I = i_L(0^-) = i_L(0^+) = K_1 + K_2$$

Bukaerako egoera:

$$0 = i_L(\infty) = K_2$$

Konstanteen balioak:

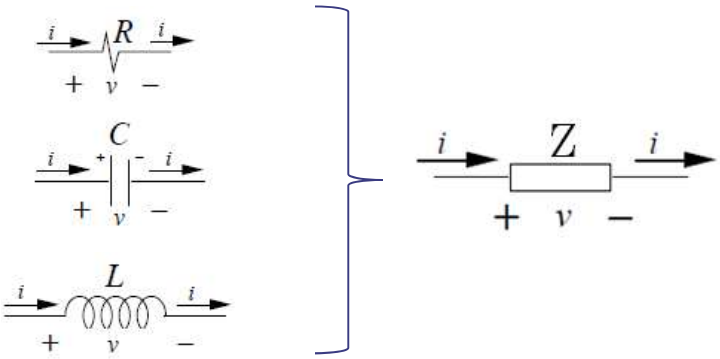
$$K_2 = 0 \quad \text{eta} \quad K_1 = I$$

Soluzio partikularra:

$$i_L(t) = I \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

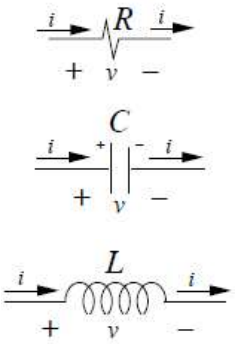
4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

Inpedantzia kontzeptua



$$Z = R + jX\,[\Omega]$$

$$G = Y + jB\,[s]$$



$$Z_R = R$$

$$Z_c = -jX_c \rightarrow X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z_L = jX_L \rightarrow X_L = \omega L = 2\pi f L$$

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

- **Erregimen sinusoidala:** Sarrerako seinale sinusoidalak direnean, zirkuitu elektrikoek lortzen duten egoera geldikorra

  - Zirkuitu linealek ez dituzte sarrerako seinaleak distortzionatzen
  - Zirkuitu linealek ez dute sarrerako seinalearen harmonikorik sortzen ezta beste edozein maiztasuneko seinalerik ere ez.
- Ekuazio diferentzialak → Zenbaki konplexuak
  - × Zirkuituen egoera geldikorra baino ez da lortzen
  - ✓ Kalkuluak asko errazten dira → Ekuazio aljebraiko lineal

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

- **Fasoreak:**
  - Tentsio edo korronte sinusoidal bat denboraren eremuan:

$$x(t) = X_m \cos(\omega_0 t + \theta)$$

  - Bere $\tilde{X}$ fasorea zenbaki konplexu bat da

$$\tilde{X} = X_m e^{j\theta} = X_m \angle\theta$$

    - Normalean polarretan baina koordenatu kartesiarretan ere

$$\tilde{X} = X_m e^{j\theta} = X_{\mathrm{Re}} + jX_{\mathrm{Im}} \qquad X_m = \sqrt{X_{\mathrm{Re}}^2 + X_{\mathrm{Im}}^2} \qquad \theta = \arctan\left(\frac{X_{\mathrm{Im}}}{X_{\mathrm{Re}}}\right)$$

    - Euler-en formularen arabera

$$\tilde{X} = X_m e^{j\theta} = X_m(\cos\theta + j\sin\theta)$$

  - $\tilde{X}$ fasoretik abiatuz x(t) denboraren eremuko seinalea erraz berreskura daiteke

$$x(t) = \mathrm{Re}\left(\tilde{X} e^{j\omega_0 t}\right)$$

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

Fasoreak:

- Fasoreekin lan egitean zirkuitu-teorian azaldutako axioma eta emaitza guztiak aplikagarriak dira
  - Zirkuitu dinamikoak erregimen sinusoidalean ebazteko zirkuitu erresistiboak ebazteko erabiltzen den metodologia berbera erabil daiteke
  - Alde bakarra zenbaki konplexuekin lan egin beharko dugula izango da
  - Inpedantzia konplexua: Tentsio fasore bat eta korronte fasore baten arteko erlazioa

$$Z(j\omega) = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}} = R + jX$$

    - Ohm-etan neurtzen da
    - Ez da fasorea (ez da denboraren menpekoa)
    - Orokorrean maiztasunaren menpekoa

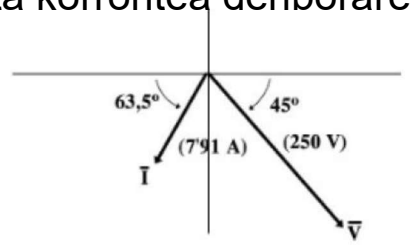
4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

Fasoreak:

- Adibide 1: Fasore eta inpedantzia diagrama marraztu eta zirkuituko konstanteak kalkulatu suposatuz bi elementuko zirkuitu serie bat daukagula. Tentsioa eta korrontea boltetan eta anperetan adierazita daude hurrenez hurren.

$$v(t) = 50\sin(2000t - 25^{\circ})$$
$$i(t) = 8\sin(2000t + 5^{\circ})$$

- Adibide 2: Hiru elementuko zirkuitu serie batek L=0.02H-ko bobina bat dauka. Aplikaturiko tentsioa eta lortutako korrontea irudiko fasore diagraman ikusten dira. ω =500 rad/s dela jakinik, zirkuituko beste bi elementuak zehaztu eta tentsioa eta korrontea denboraren eremuan adierazi.



8. Gaia – Erdieroaleak

2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

1. Eroankortasuna eta erresistibitatea
2. Efektu fotoelektrikoa
3. Bohr-en eredu atomikoa
4. Energia bandak
5. Material motak
6. Erdieroaleak
7. PN juntura

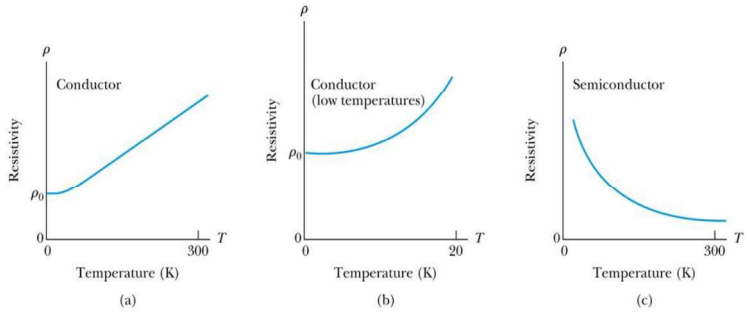
1. Eroankortasuna eta erresistibitatea

- **Eroankortasuna:** material batek bere baitatik korronte elektrikoa pasatzeko duen gaitasuna eta gaitasun horren neurria.
- **Erresistibitatea:** material baten erresistentzia elektriko espezifikoa da. Eroankortasunaren alderantzizkoa.

$$\sigma_{isolatzaile} << \sigma_{erdieroale} << \sigma_{metal}$$

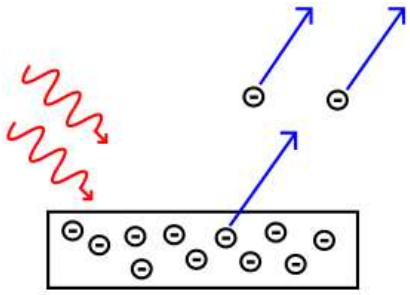
$$\rho_{isolatzaile} >> \rho_{erdieroale} >> \rho_{metal}$$

- Propietate hauek aldatu ditzakegu



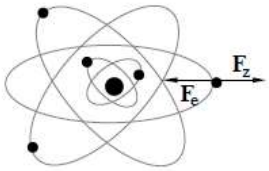
2. Efektu fotoelektrikoa

- **Definizioa:** erradiazio elektromagnetikoz (X izpiak, argi ikusgaia...) erasotua izan ondoren, materiatik elektroiak erauztearen fenomeno elektroniko-kuantikoa da
  - Maiztasunarekiko proportzionala
  - Igorritako elektroien kopurua argiaren intentsitatearekiko proportzionala
  - Fotoiak transmititzen dira → beraien energia uhin maiztasunarekiko proportzionala

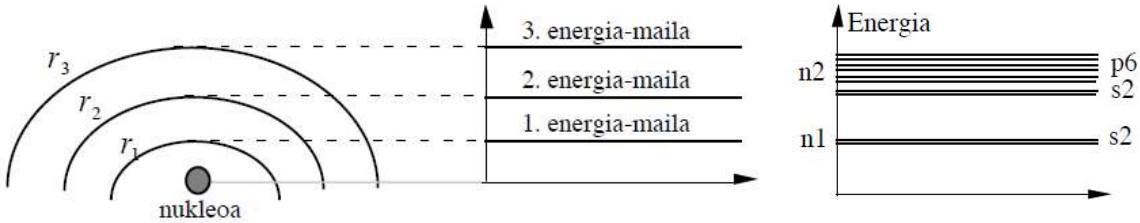


3. Bohr-en eredu atomikoa

- Atomoan bi atal nagusi:
  - Nukleoa: protoiak eta neutroiak daude, hau da, karga positiboa eta masa.
  - Karga negatiboa: nukleoaren inguruan orbita eliptikoetan biratzen ari diren elektroien multzoa.



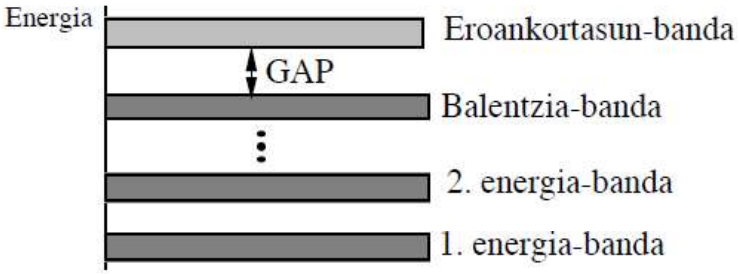
- Indarren arteko oreka
- Elektroiek orbita jakin batean → Energia-maila



  - Orbita txikiago batetik handiago batera → Energia potentziala irabazi
  - Nukleotik gertuko geruzak oso egonkorrak
    - Azken geruza → Balentzia geruza

4. Energia bandak

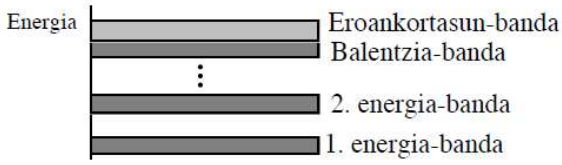
- Elektroi bakoitzak
  - Bere atomoaren aldarapen/erakarpen-indarrak
  - Ondoko atomo guztienak
  - Ez daude bi elektroi indar berdinen eragina nozitzen dutenak



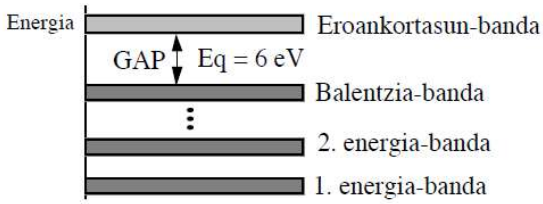
  - Energiaren balio guztiak ez dira posible → Banda debekatuak
    - GAP, eV-tan neurtzen da

5. Material motak

- **Eroaleak**
  - Azken banda ez dago beteta
  - Banda debekaturik ez



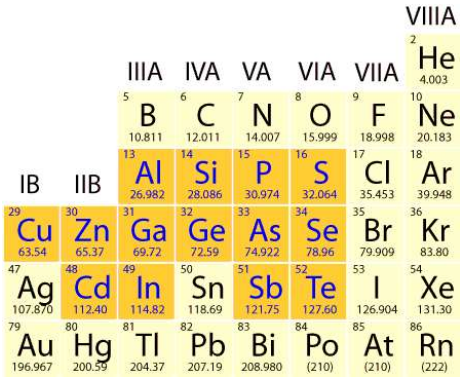
- **Isolatzaileak**
  - Balentzia banda guztiz beteta
  - Banda debekatua oso zabala
  - Eroankortasuna mesprezagarria

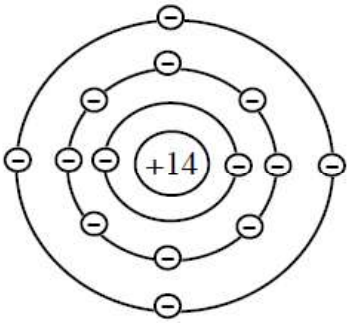


- **Erdieroaleak**
  - "4. taldeko elementuak"
  - Banda debekatu "txikia"
  - Tenperatura baxuetan isolatzaileak
  - Tenperatura altuetan eroaleak

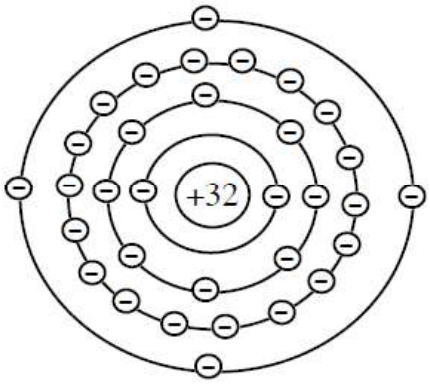
6. Erdieroaleak

- IV. taldeko elementuak (Si, Ge)
- Konposatuak
  - III-V taldekoak (GaAs, InP)
  - II-VI taldekoak (CdTe)
- Aleazioak (AlGaAs, AlGaInP, InGaN)





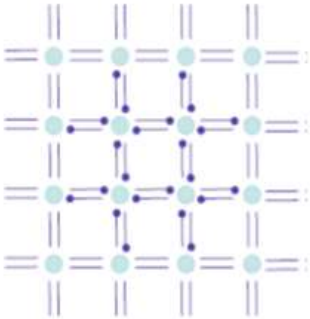
Silizioa

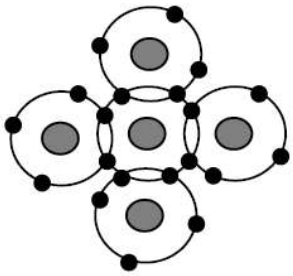


Germanioa

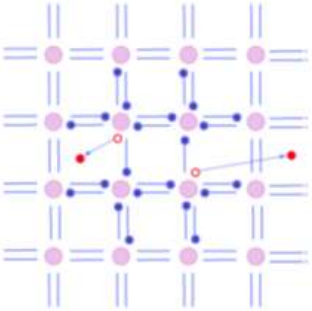
6. ERDIEROALEAK

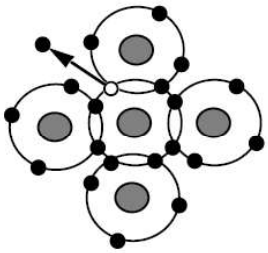
- Egitura kristalinoa eta lotura kobalentea

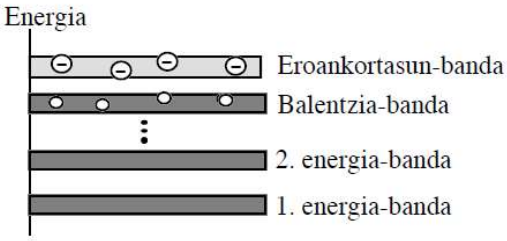




- Tenperatura 0K ez bada

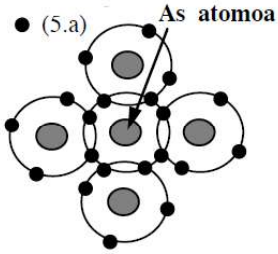


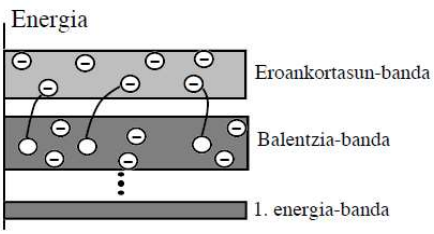


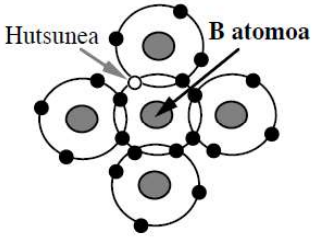


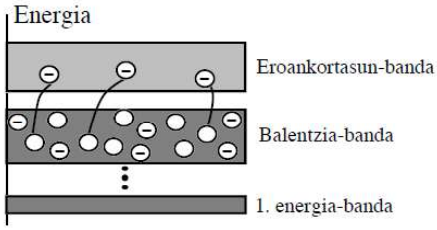
6. ERDIEROALEAK

- **Erdieroale intrintsekoak**
  - Purua, gehituriko ez-purutasunik ez
- **Erdieroale estrintsekoak**
  - N motakoak
    - Balentzia orbitan 5e-
    - V. taldekoak
    - Eramaileak elektroiak





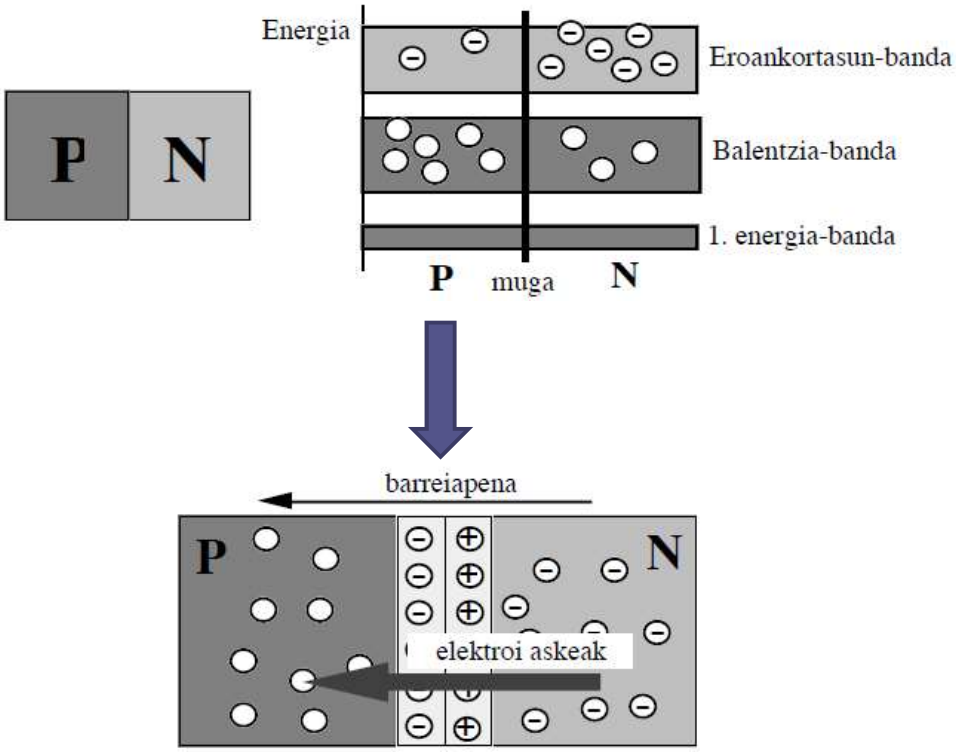




  - P motakoak
    - Balentzia orbitan 3e-
    - III. taldekoak
    - Eramaileak zuloak

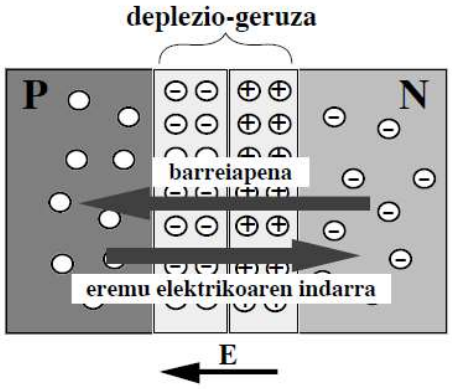
7. PN JUNTURA

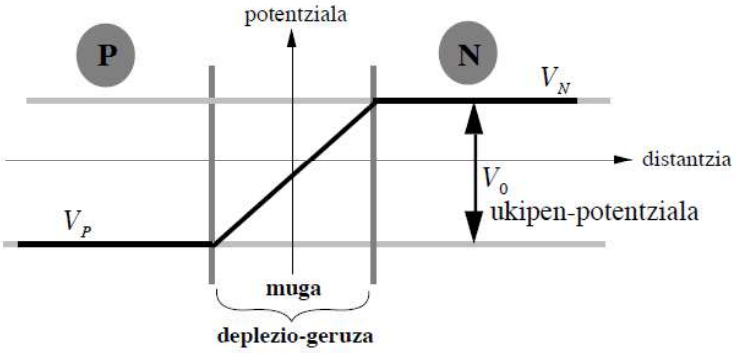
Orekan – Kanpo polarizazio gabe



7. PN JUNTURA

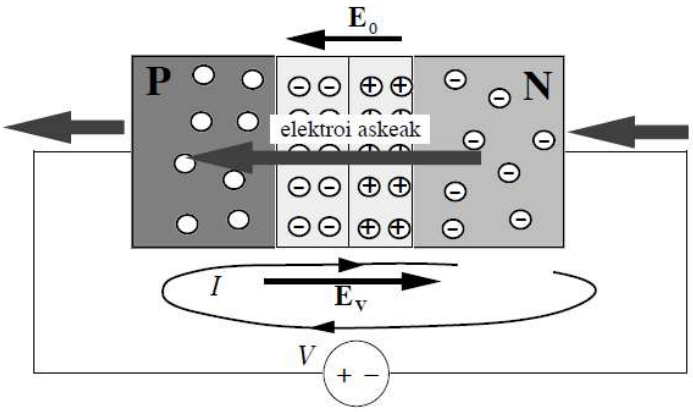
Orekan – Kanpo polarizazio gabe

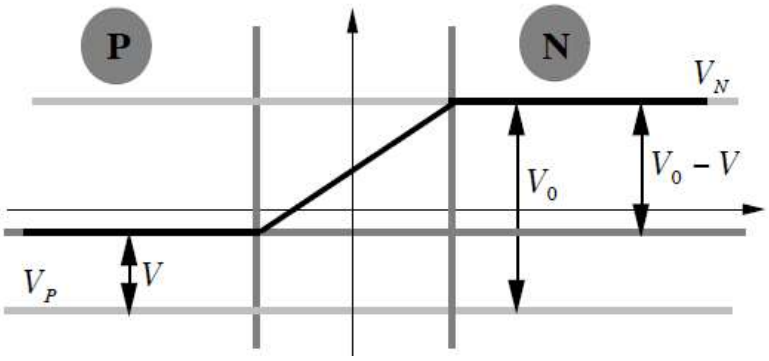




7. PN JUNTURA

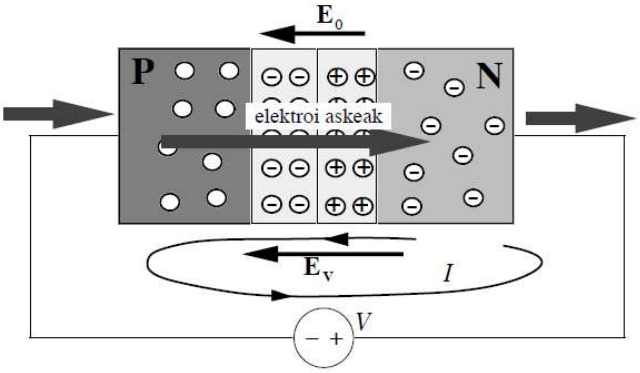
Zuzeneko polarizazioan

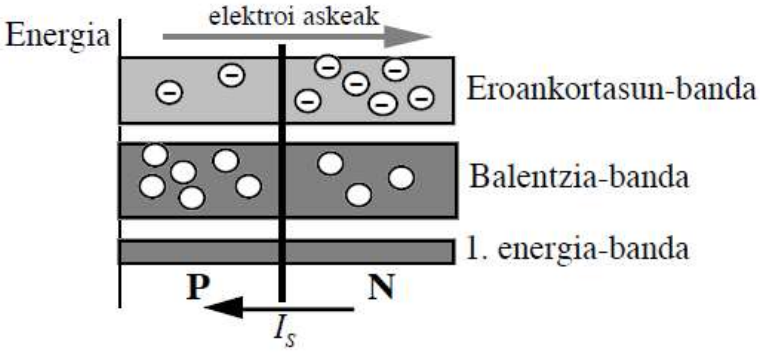




7. PN JUNTURA

Alderantzizko polarizazioan





9. Gaia – Diodoak

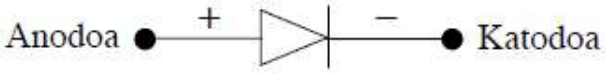
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

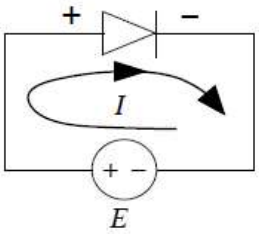
1. Ikurra eta polarizazioa
2. Diodo motak
3. Ezaugarri kurbak
4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak
5. Diododun zirkuituen ebazpidea
6. Diodoen aplikazioak

1. IKURRA ETA POLARIZAZIOA

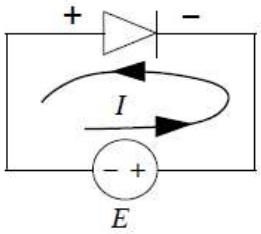
- PN juntura – Ohikoena siliziozkoa
- Biterminala
- Pasibo
- Ez da trukakorra – Alde positibo eta negatiboa
- **Ikurra:**



- **Polarizazioa:**



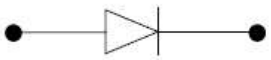
Zuzeneko polarizazioa
Z.P.



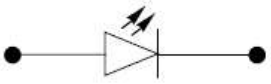
Alderantzizko polarizazioa
Z.P.

2. DIODO MOTAK

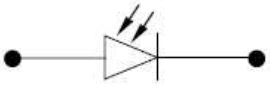
- **Diodo artezleak**
  - Z.P → Korrontea eroan
  - A.P → Korronterik ez (normalean)



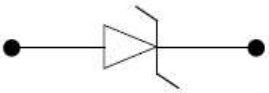
- **LED** (Light Emitting Diode)
  - Z.P → Korrontea eroan eta argia eman
  - A.P → Korronte eta argirik ez



- **Fotodiodo**
  - Z.P → Korronterik ez
  - A.P → Argia sumatu eta korrontea eroan



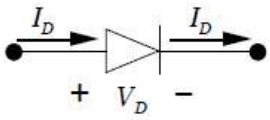
- **Zener**
  - Z.P → Korrontea eroan
  - A.P → Korronterik ez (normalean)
  - Zener gunea → Korrontea eroan

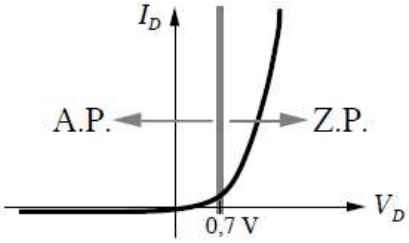


3. EZAUGARRI KURBAK

Diodo artezlea

- Erlazio esponentziala
- Z.P → Atalase edo atari tentsioa: 0.7V inguru
- A.P → Korronte oso txikia, ia nulua: asetasun korrontea
- A.P → Haustura tentsioa





Portaera ekuazioa

$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kT}} - 1 \right)$$

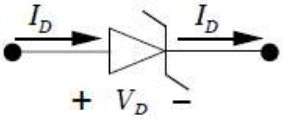
LED diodoa

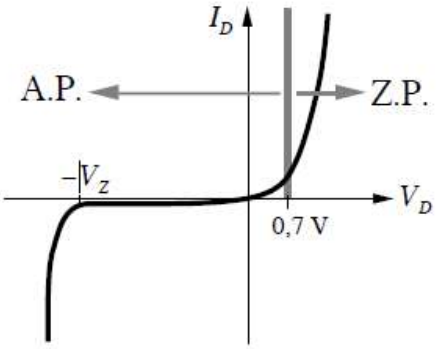
- Atari tentsioa: 1.7-2.2V

3. EZAUGARRI KURBAK

Zener diodoa

- Artezlearen antzekoa
- Erlazio esponentziala
- Z.P → Atalase edo atari tentsioa: 0.7V inguru
- A.P → Korronte oso txikia, ia nulua: asetasun korrontea
- A.P-n Zener tentsioa → Korrontea eroan

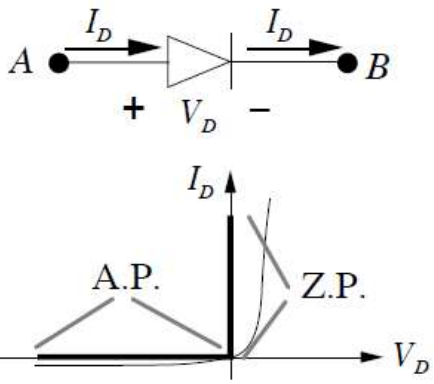


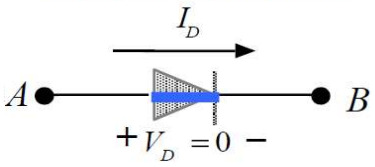
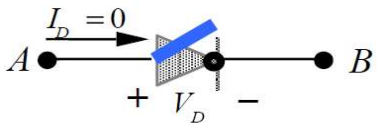


4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Diodo artezlea

- 1. Hurbilketa (diodo ideala)
  - Z.P: Zirkuitulabur bezala eroan
  - A.P ez du eroaten
  - Hurbilketarik aldenduena Zehaztasun txikiena

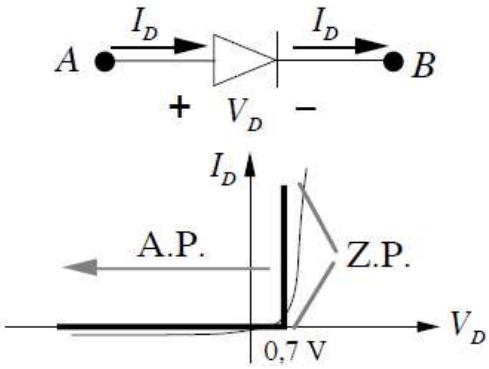


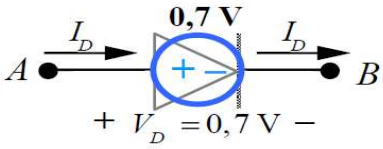
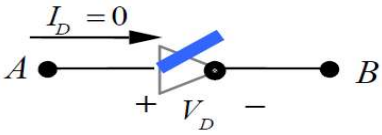
	Modeloa zirkuituan	Ekuazioa	Baldintza
Z. P. :		$V_D = 0$	$I_D \geq 0$
		(zirkuitulaburra)	
A. P. :		$I_D = 0$	$V_D \leq 0$
		(zirkuitu irekia)	

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Diodo artezlea

- 2. Hurbilketa
  - Z.P: Zirkuitulabur bezala 0.7V-tik
  - A.P ez du eroaten
  - Atari tentsioa kontutan hartzen du

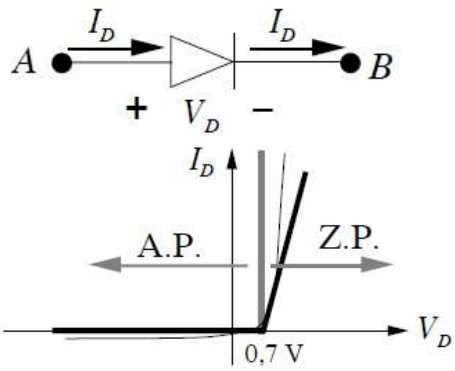


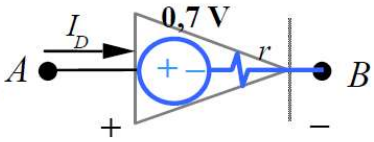
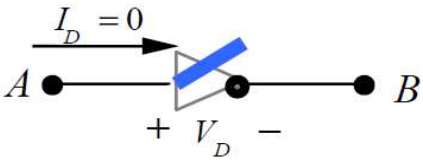
	Modeloa zirkuituan	Ekuazioa	Baldintza
Z. P. :		$V_D = 0{,}7$ V	$I_D \geq 0$
A. P. :		$I_D = 0$	$V_D \leq 0{,}7$ V
		(zirkuitu irekia)	

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Diodo artezlea

- 3. Hurbilketa
  - Z.P: Zirkuitulabur bezala 0.7V-tik korrontea handitu tentsioarekin
  - A.P ez du eroaten



	Modeloa zirkuituan	Ekuazioa	Baldintza
Z. P. :		$V_D = 0,7 + rI_D$	$I_D \geq 0$
A. P. :		$I_D = 0$	$V_D \leq 0,7$ V

$V_D = 0,7 + rI_D$

($r \approx 0,5\ \Omega$ - $1\ \Omega$)

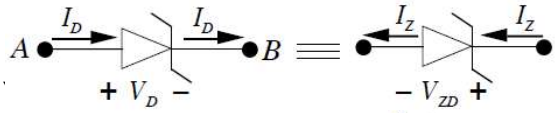
r barne-erresistentzia, parametro ezaguna

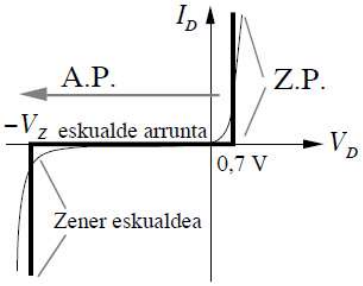
(zirkuitu irekia)

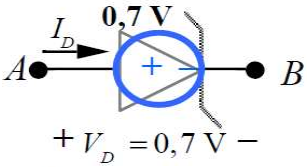
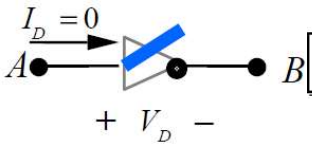
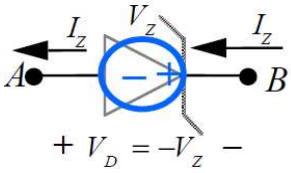
4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Zener diodoa

- Hurbilketa bakarra (2. hurbilketa)
  - Z.P: Zirkuitulabur bezala 0.7V-tik
  - A.P:
    - Ez du eroaten tentsio baxuetan
    - Alderantzizko korrontea V_z gainditzean





	Modeloa zirkuituan	Ekuazioa	Baldintza
Z. P. :		$V_D = 0,7$ V	$I_D \geq 0 \equiv I_Z \leq 0$
A. P. : zona arruntean:		$I_D = 0$	$-V_Z \leq V_D \leq 0,7$ V
Zener eskualdean:		$V_D = -V_Z$	$I_Z \geq 0 \equiv I_D \leq 0$

V_Z parametro ezaguna

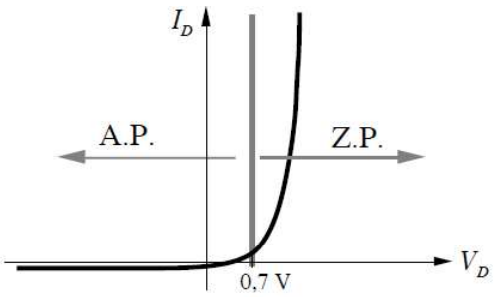
5. DIODODUN ZIRKUITUEN EBAZPIDEA

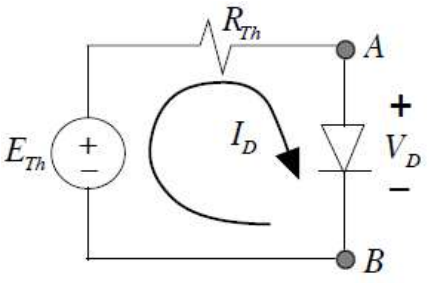
Zenbakizko ebazpidea:

1. Aukeratu diodoentzat erabiliko den hurbilketa
2. Sorgailuen arabera, aurreikusi adarretako korronteen noranzkoa edo finkatu arbitrarioki
3. Korronte horien arabera, egin diodoen polarizazioari buruzko hipotesi bat
4. Egindako hipotesiaren eta aukeratutako hurbilketaren arabera, ordezkatu diodoak dagozkien elementuekin
5. Ebatzi zirkuitua
6. Egiaztatu hipotesiaren zuzentasuna, aztertu hipotesiei dagozkien baldintzak betetzen ote diren.
7. Baldintzak betetzen badira, egindako hipotesia zuzena da; amaitu da prozesua eta zirkuitua ebatzita dago
   Baldintzak betetzen ez badira, berriz, okerreko hipotesia egin dugu. Beraz, kalkulatutako soluzioak ez du balio eta hipotesi berri bat egin behar dugu, 3. pausotik aurrerako atal guztiak errepikatuz.

5. DIODODUN ZIRKUITUEN EBAZPIDEA

Ebazpide grafikoa





$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{qV_D}{kT}} - 1 \right)$$

$$E_{Th} = R_{Th} I_D + V_D$$

$$I_D = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} - \frac{1}{R_{Th}} \cdot V_D$$

Karga zuzena

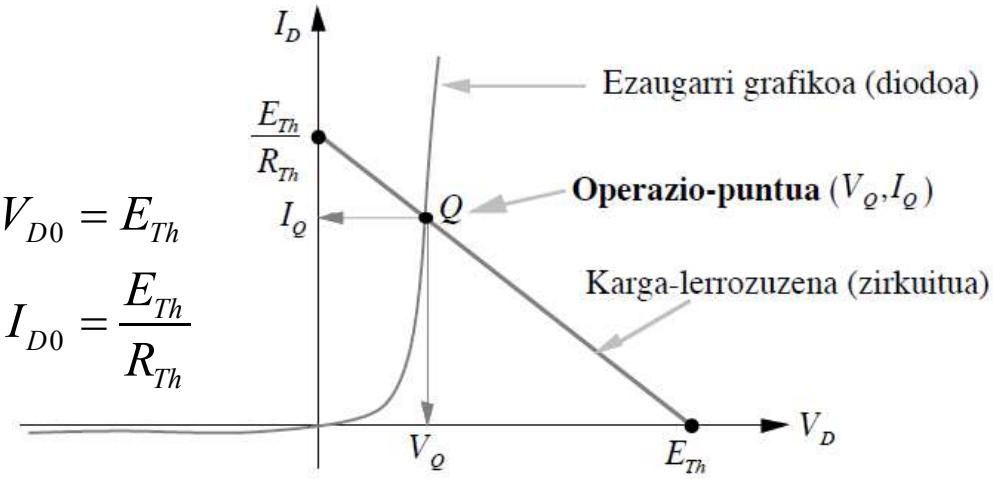
5. DIODODUN ZIRKUITUEN EBAZPIDEA

Ebazpide grafikoa

- Betetzen diren bi ekuazio ditugu
  - Diodoaren ezaugarri grafikoak
  - Karga zuzena

$$I_D = 0 \rightarrow V_{D0} = E_{Th}$$

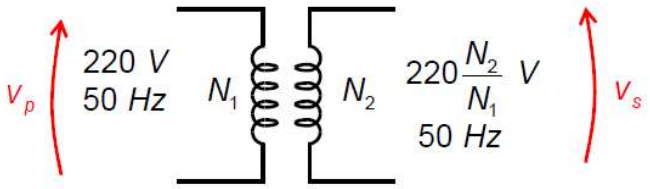
$$V_D = 0 \rightarrow I_{D0} = \frac{E_{Th}}{R_{Th}}$$



6. DIODOEN APLIKAZIOAK

Artezgailuak

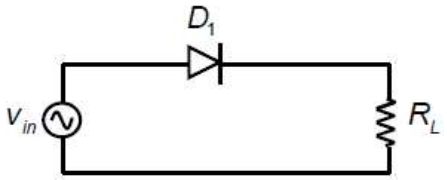
- AC-ko tentsio bat (balio positiboak eta negatiboak dituena) soilik balio positiboak edo soilik balio negatiboak dituen tentsio bihurtzen duten zirkuituak
- Ekipo elektroniko gehienek artezgailuren bat dute entxufeko tentsio sinusoidala DC-ko maila jakin bateko tentsio bihurtzeko.
  - Entxufeko seinalea 220 V RMS eta 50 Hz-tako seinale sinusoidala da. Gehienetan transformadore baten bidez seinalearen maila jaitsi egiten da.
    - Transformadoreek, ekipo elektronikoa eta sare elektrikoaren arteko isolamendu elektrikoa ahalbidetzen dute.



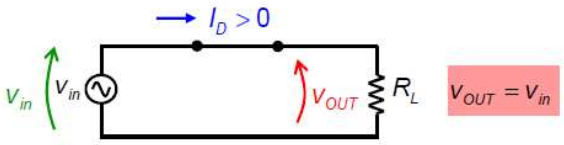
$$\frac{V_p}{V_S} = \frac{n_1}{n_2}$$

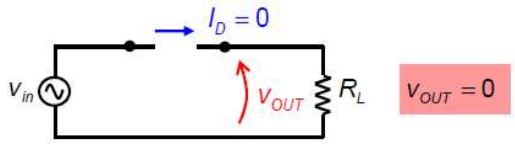
6. DIODOEN APLIKAZIOAK

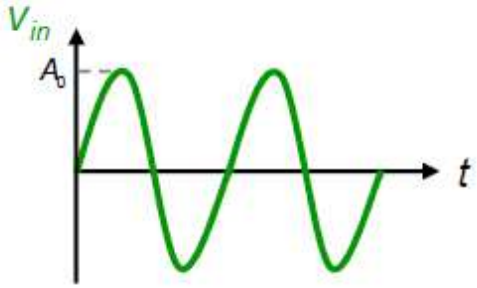
Uhin erdiko artezgailua

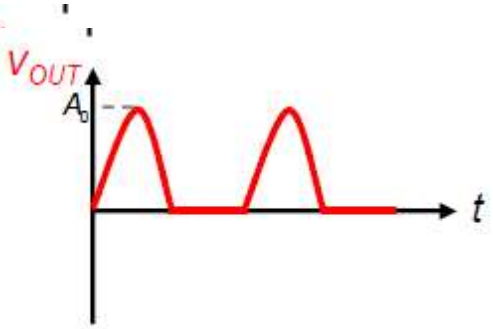


- Kondukzioan $v_{in} > 0$
- Etenduran $v_{in} < 0$



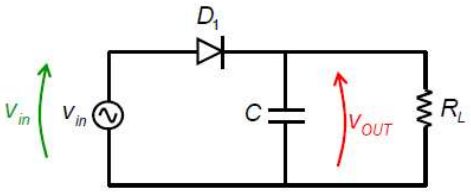






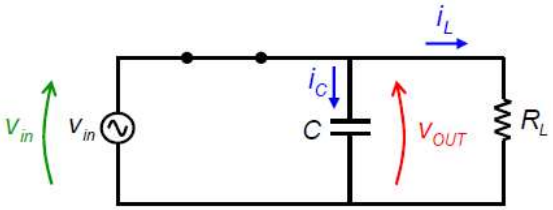
6. DIODOEN APLIKAZIOAK

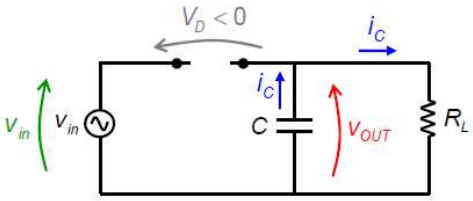
Tentsio iturria uhin erdiko artezgailuarekin

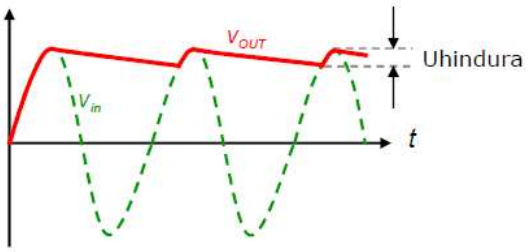


$v_{in} \geq v_{out}$ diodoa kondukzioan

$v_{in} < v_{out}$ diodoa etenduran

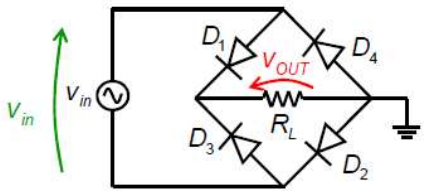




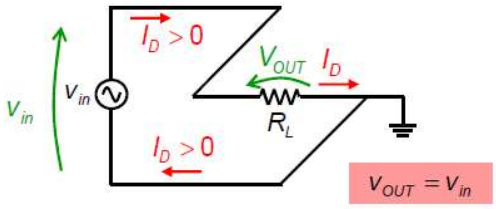


6. DIODOEN APLIKAZIOAK

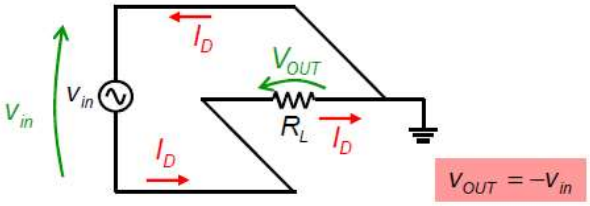
Uhin osoko artezgailua edo zubi artezgailua

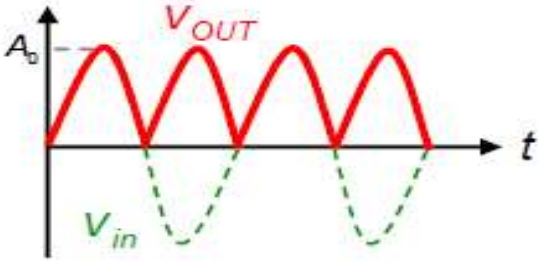


$v_{in} > 0$ D_1 eta D_2 kondukzioan



$v_{in} < 0$ D_3 eta D_4 kondukzioan





10. Gaia – Transistoreak

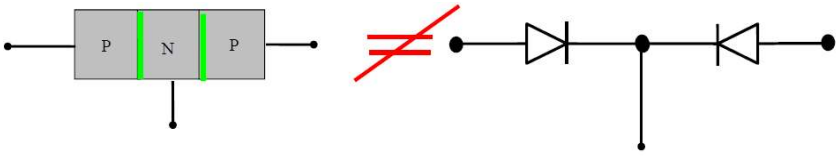
2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

Gaiaren gai-zerrenda

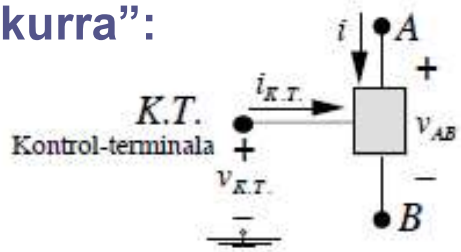
1. Sarrera
2. Transistore motak
3. Transistore bipolarra (BJT)
4. Eremu efektuzko transistorea (FET)
5. Diodoen aplikazioak

1. Sarrera

- Bi PN juntura
- Triterminala
- Aktiboa
- Tentsioz edo korrontez kontrolatua
- Funtzionamendu egoera desberdinak



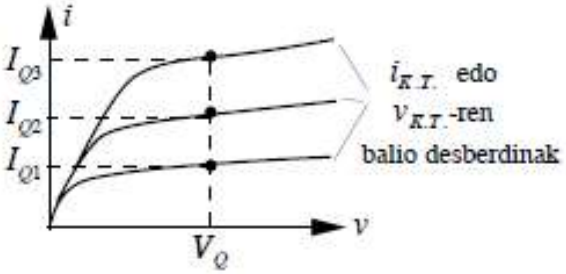
- **"Ikurra":**



$$i = f\left(v_{AB}, v_{K.T.}\right)$$

$$i = f\left(v_{AB}, i_{K.T.}\right)$$

- **Ezaugarri grafikoa:**

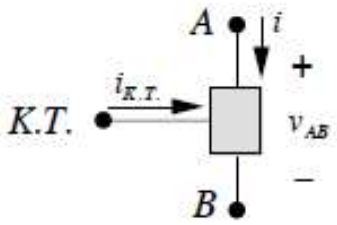


2. Transistore motak

- **Transistore bipolarra (BJT)**
  - Elektroien eta hutsuneen mugimendua
  - Kontrol magnitudea: korrontea
  - Bi mota: PNP edo NPN
- **Transistore unipolarra (FET)**
  - Eremu efektuzko transistoreak
  - Elektroien edo hutsuneen mugimendua
  - Kontrol magnitudea: tentsioa
  - Bi mota:
    - JFET
    - MOSFET (N kanalekoa edo P kanalekoa)
- **Juntura bakarreko transisoreak (UJT)**
  - Oso konplexua → Ez dugu ikusiko

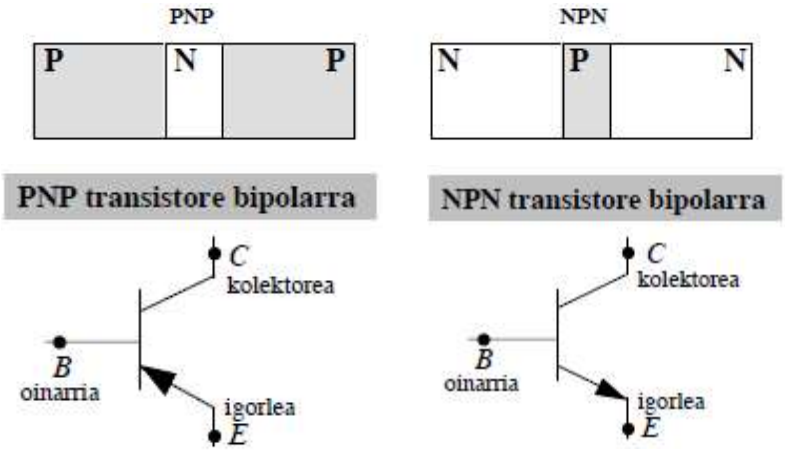
3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Kontrol magnitudea:** Korrontea



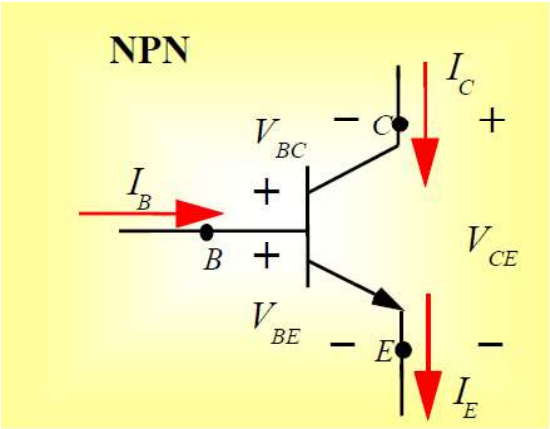
$$i = f\left(v_{AB}, i_{K.T.}\right)$$

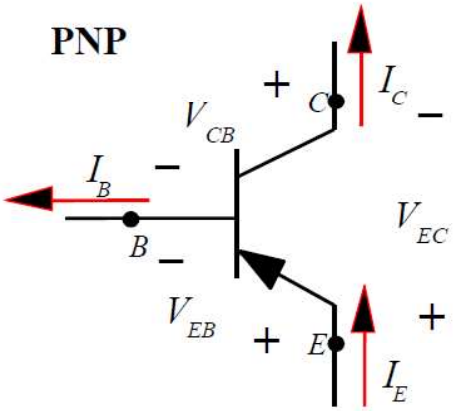
- Bi PN juntura



3. Transistore bipolarra (BJT)

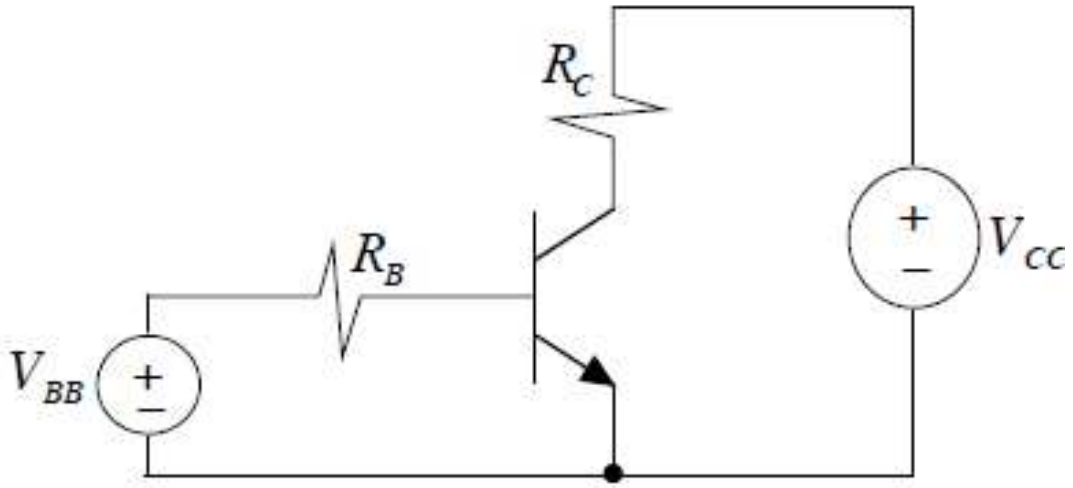
- **Magnitudeak:**
  - Terminaletako korronteak I_C, I_B, I_E
  - Potentzial diferentziak V_{BC}, V_{BE}, V_{CE}
  - 2 portaera ekuazio
  - Hitzarmena





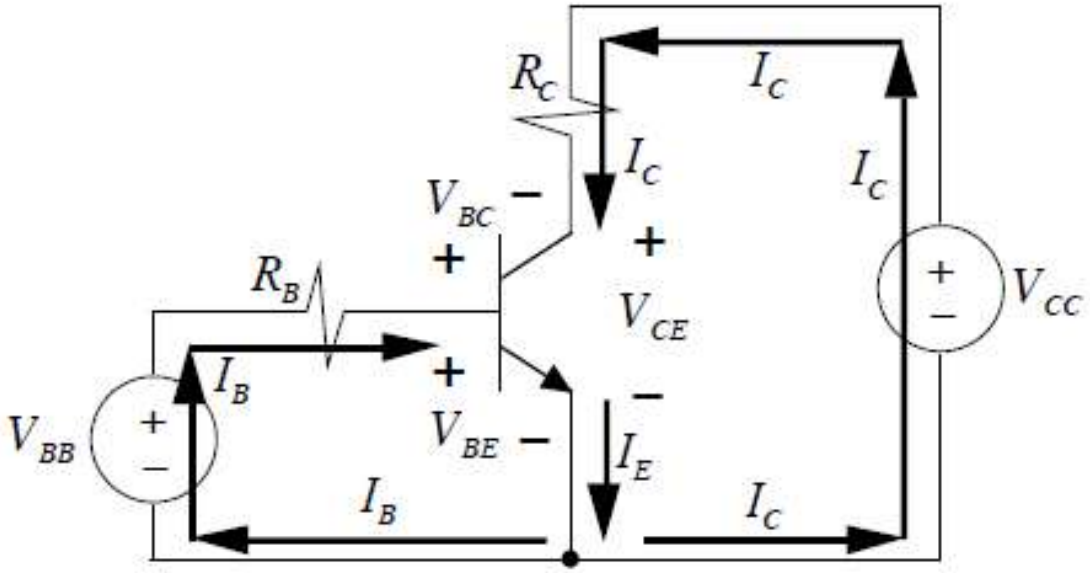
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- **Transistorearen polarizazioa:**



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- **Transistorearen polarizazioa:**



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- **Portaera ekuazioak:**

$$1.\ I_E = I_B + I_C \qquad 2.\ V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

$$3.\ V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} \qquad 4.\ V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

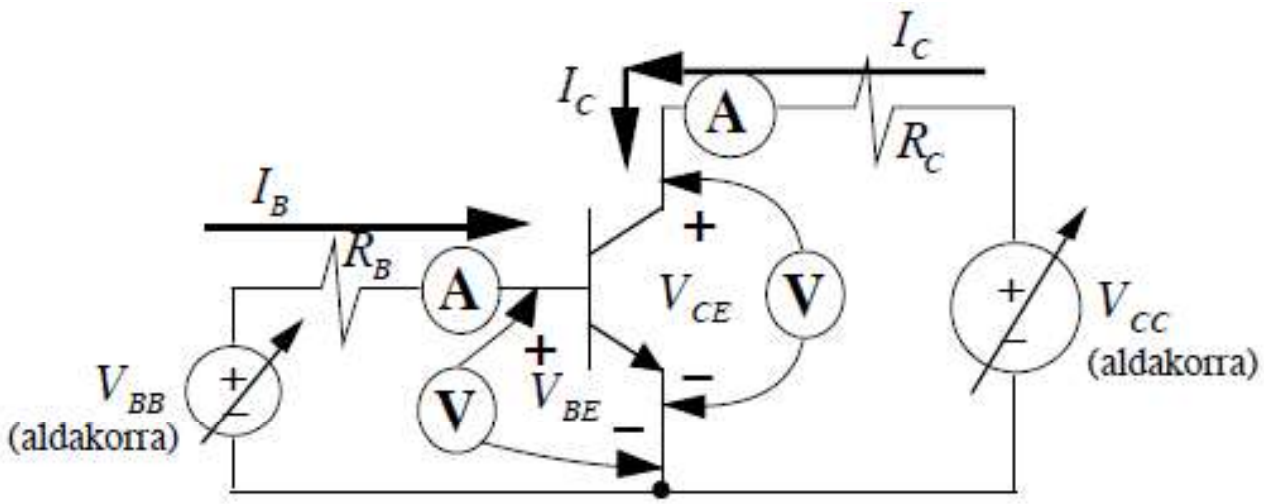
$$5.\ I_C = f\left(V_{CE}, I_B\right) \qquad 6.\ I_B = g\left(V_{BE}, V_{CE}\right)$$

- 5 eta 6 dira transistorearen portaera ekuazioak
- Transistorearen funtzionamendu edo operazio puntua:

$$Q\left(I_B, I_C, I_E, V_{BE}, V_{CE}, V_{BC}\right) \rightarrow Q\left(I_B, I_C, V_{BE}, V_{CE}\right)$$

3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

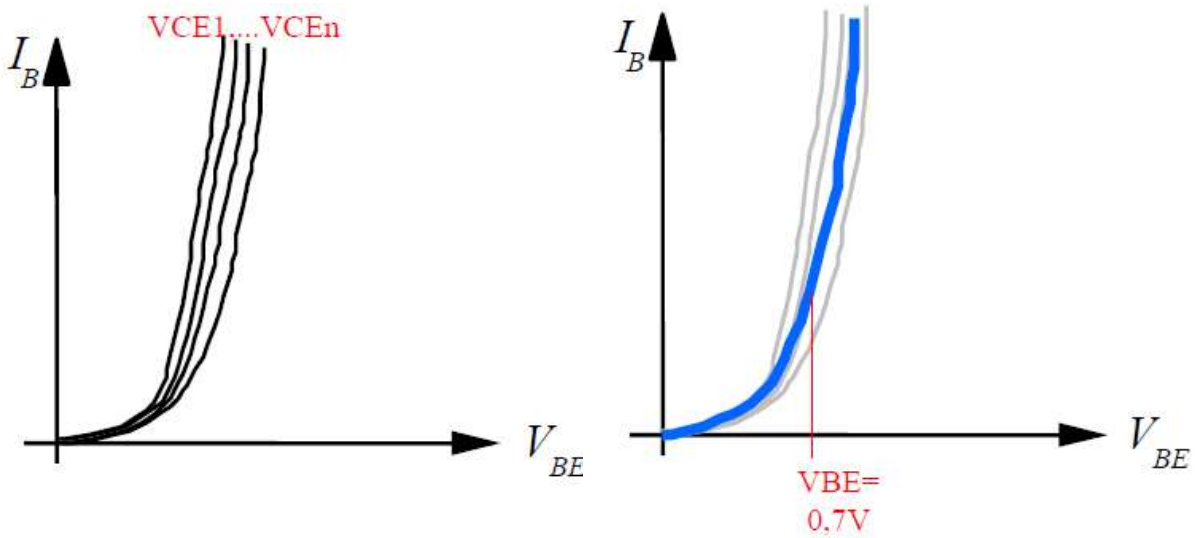
- **Ezaugarri kurbak:**



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

Ezaugarri kurbak:

- Sarrera zirkuitua

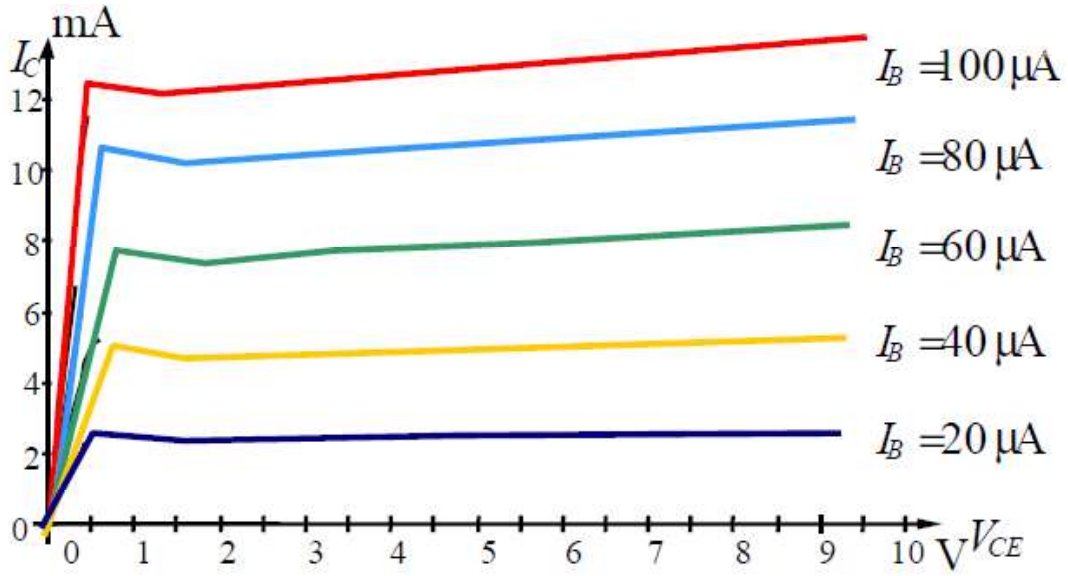


$$6.\ I_B = g(V_{BE}, V_{CE}) \rightarrow I_B = g(V_{BE})$$

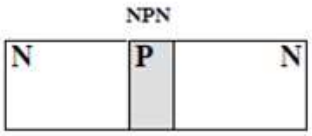
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

Ezaugarri kurbak:

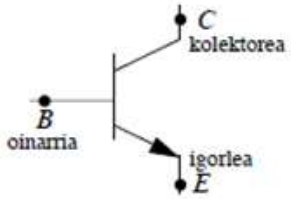
- Irteera zirkuitua



3. Transistore bipolarra (BJT)



NPN transistore bipolarra



Funtzionamendu egoerak:

- 2 PN juntura
  - 2^2 funtzionamendu egoerak

Egoera	Etendura	Alderantzizko gune aktiboa	Gune aktiboa	Asetasuna
BE juntura	A.P.	A.P.	Z.P.	Z.P.
BC juntura	A.P.	Z.P.	A.P.	Z.P.

- C eta E definituta daude baina oso antzekoak…
- Alderantzizko gune aktiboa ez da asko erabiltzen

3. Transistore bipolarra (BJT)

1. $I_E = I_B + I_C$	2. $V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$
3. $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$	4. $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$
5. $I_C = f(V_{CE}, I_B)$	6. $I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$

Funtzionamendu egoerak:

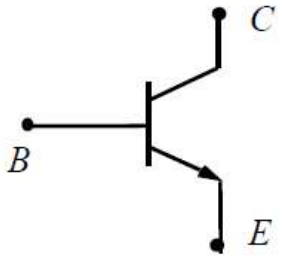
- **Etendura edo kortea:**
  - BE juntura A.P. eta BC juntura A.P.

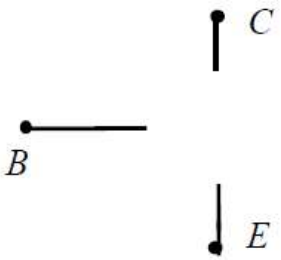
$$\boxed{V_{BE} \le 0.7V} \qquad V_{BC} \le 0.7V$$

  - Ez da korronterik igarotzen

$$5.\ I_C = 0 \qquad 6.\ I_B = 0$$

Baldintza: $V_{BE} \le 0.7V$ → Ekuazioak: $I_C = 0,\ I_B = 0$





3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

1. $I_E = I_B + I_C$	2. $V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$
3. $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$	4. $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$
5. $I_C = f(V_{CE}, I_B)$	6. $I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$

- **Funtzionamendu egoerak:**
  - **Gune aktiboa:**
    - BE juntura Z.P. eta BC juntura A.P.

$$V_{BE} = 0.7V \qquad V_{BC} \leq 0.5V$$

- Korrontea bi junturetan $I_B << I_C$

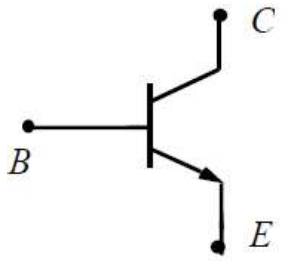
5. $I_C = \beta \cdot I_B$ 6. $V_{BE} = 0.7V$

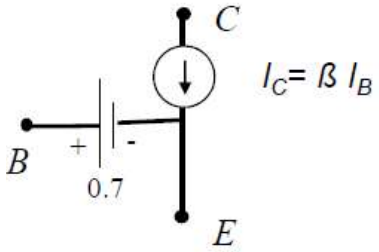
Baldintza:

$$V_{BC} \leq 0.5V$$

Ekuazioak:

$$V_{BE} = 0.7V, \quad \frac{I_C}{I_B} = \beta$$





3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

1. $I_E = I_B + I_C$	2. $V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$
3. $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$	4. $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$
5. $I_C = f(V_{CE}, I_B)$	6. $I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$

- **Funtzionamendu egoerak:**
  - **Asetasuna:**
    - BE juntura Z.P. eta BC juntura Z.P.

$$V_{BE} = 0.7V \qquad V_{BC} = 0.5V$$

- Korrontea igarotzen da

5. $V_{CE} = 0.2V$ 6. $V_{BE} = 0.7V$

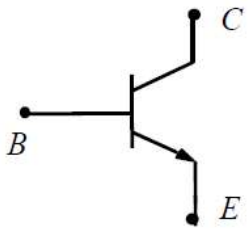
Baldintza:

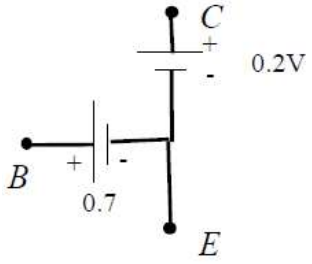
$$\frac{I_C}{I_B} \leq \beta$$

Ekuazioak:

$$V_{BE} = 0.7V,$$

$$V_{CE} = 0.2V \text{ edo } V_{BC} = 0.5V$$





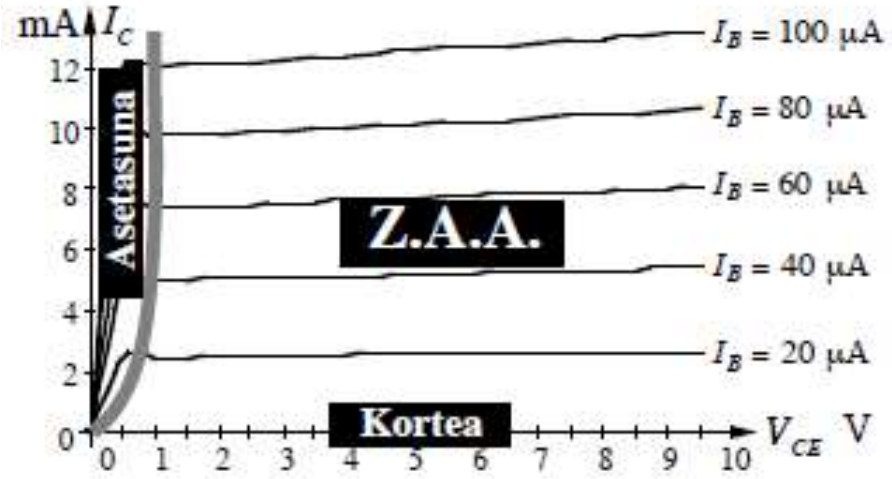
3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak

- **α irabazia kontzeptua:**

$$I_E = I_B + I_C = \frac{I_C}{\beta} + I_C = \frac{1+\beta}{\beta} \cdot I_C \rightarrow \alpha = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\beta}{\beta+1}$$

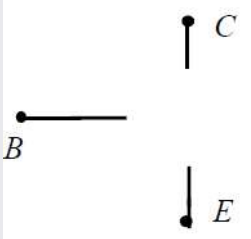
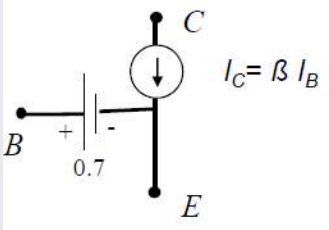
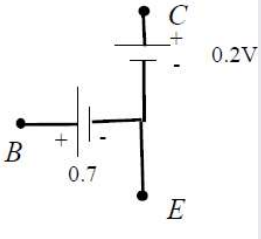
- **Funtzionamendu egoerak ezaugarri kurban:**



3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak:

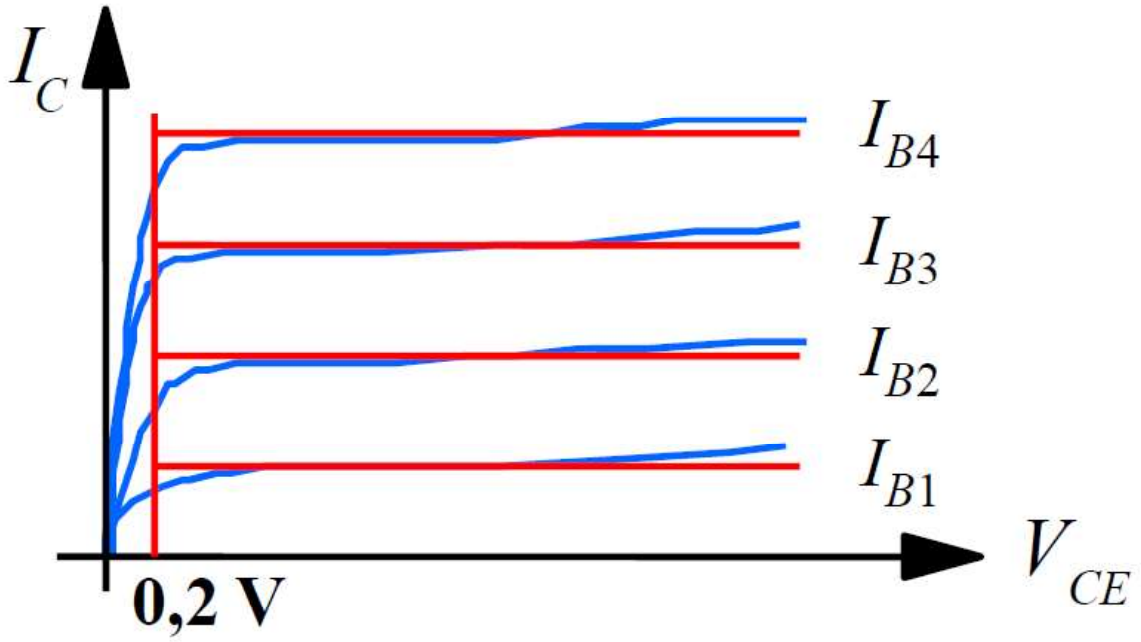
- Hurbilketak (laburpena):

Egoera	Etendura	Gune aktiboa	Asetasuna
Baldintzak	$V_{BE} \leq 0.7V$	$V_{BC} \leq 0.5V$	$\frac{I_C}{I_B} \leq \beta$
Eredua	$I_C = I_B = I_E = 0$	$V_{BE} = 0.7V$	$V_{BE} = 0.7V$
		$\frac{I_C}{I_B} = \beta$	$V_{BC} = 0.5V$
			

3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak:

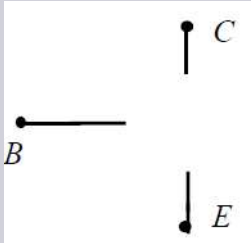
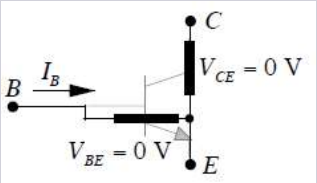
- Hurbilketak (grafikoki):



3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak:

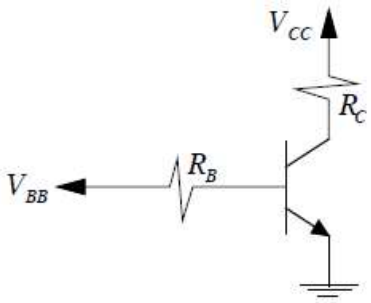
- Hurbilketak (idealak):

Egoera	Etendura	Asetasuna
Eredua	$I_C = I_B = I_E = 0$	$V_{BE} = 0V$
		$V_{CE} = 0V$
		

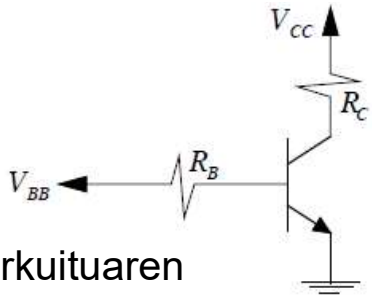
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

Zenbakizko ebazpidea:

1. Idatzi zirkuituari dagozkion ekuazioak
2. Idatzi transistorearen portaera-ekuazioak
3. Hipotesia egin: transistorearen egoera funtzionamendua suposatu
4. Dagokion hurbilketaz ordezkatu
5. Zirkuitua ebatzi
6. Hipotesia zuzena den egiaztatu
   - Zuzena ez bada 3. puntura bueltatu eta beste hipotesi bat egin
7. Zirkuituaren emaitza eman (polarizazio puntua)

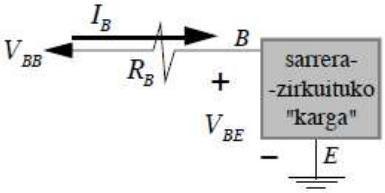


3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)



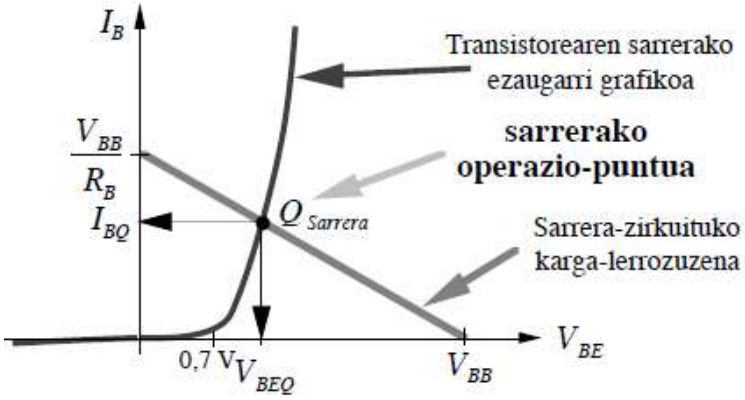
Ebazpide grafikoa:

- Sarrera zirkuituaren (I_B, V_{BE}) eta irteerako zirkuituaren (I_C, V_{CE}) ezaugarri kurbak ezagunak
- **Sarrerako karga-zuzena**

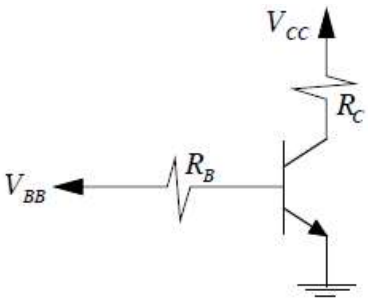


KTL: $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$

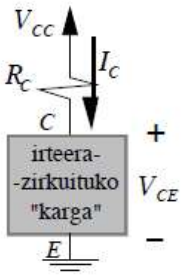
Karga zuzena: $I_B = \dfrac{V_{BB}}{R_B} - \dfrac{1}{R_B} \cdot V_{BE}$



3. Transistore bipolarra (BJT)

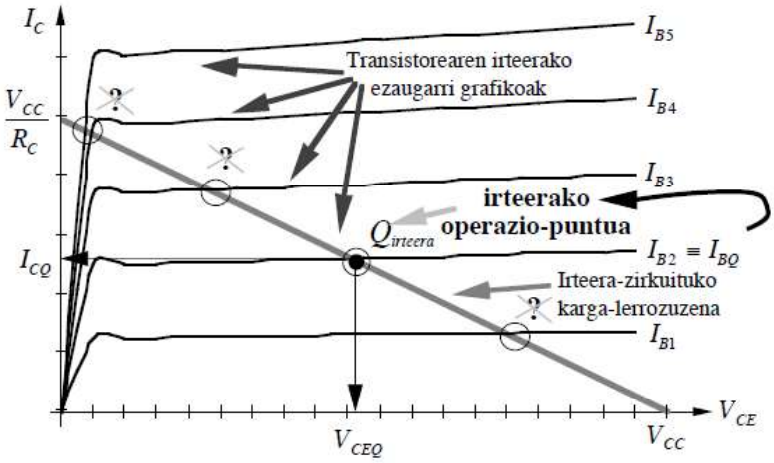


- **Ebazpide grafikoa:**
  - **Irteerako karga-zuzena**



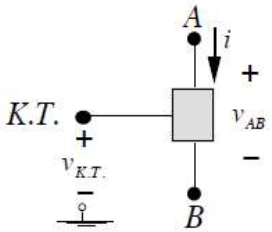
KTL: $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

Karga zuzena: $I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C} - \dfrac{1}{R_C} \cdot V_{CE}$



4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

- **Kontrol magnitudea:** Potentzial diferentzia

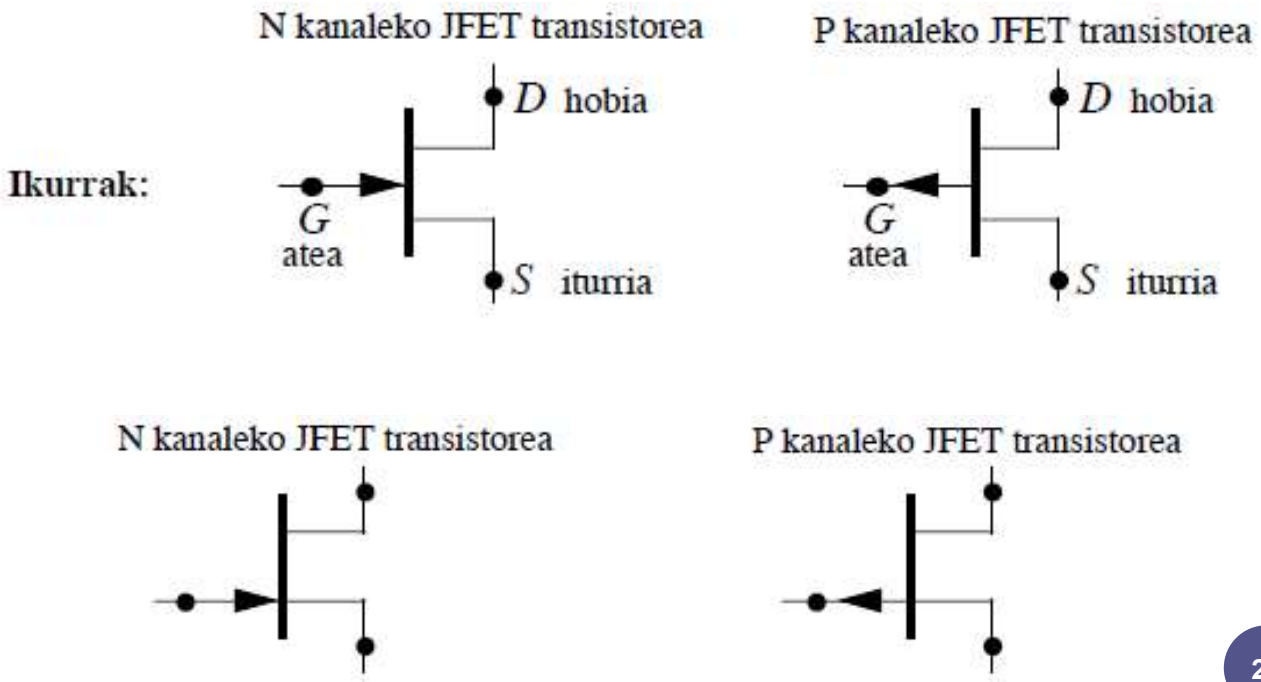


$$i = f\left(v_{AB}, v_{K.T.}\right)$$

- Eremu elektrikoak funtzionamenduan eragina dauka
- Korrontea: bakarrik elektroien edo zuloen mugimendua, motaren arabera
- JFET
- MOSFET: N kanalekoa edo P kanalekoa

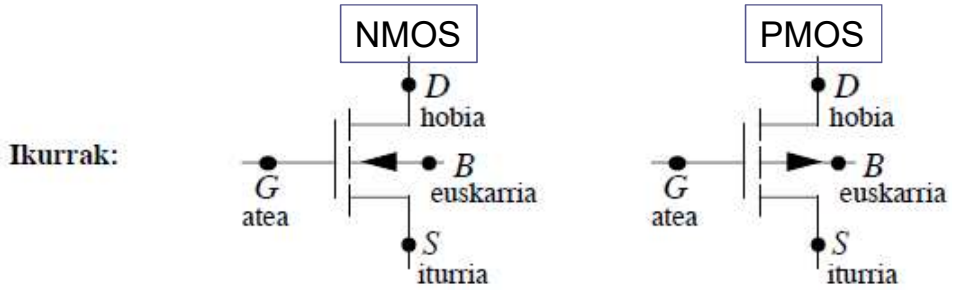
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **JFET – Ikurrak:**

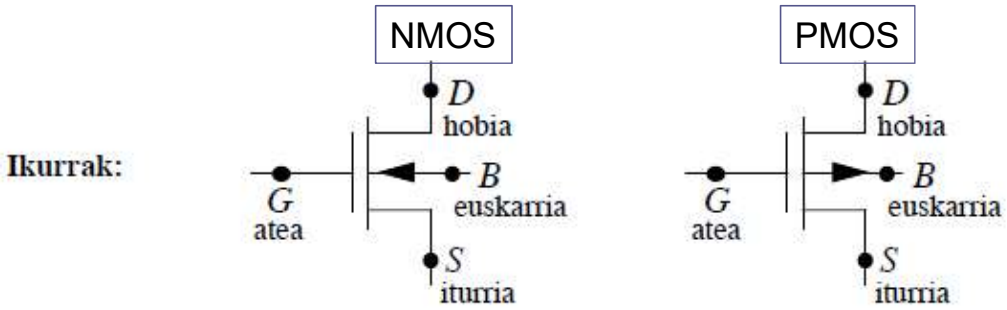


4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **MOSFET – Motak:**
  - Ugaltze MOSFET: D eta S fisikoki separatuta



  - Urritze MOSFET : D eta S artean

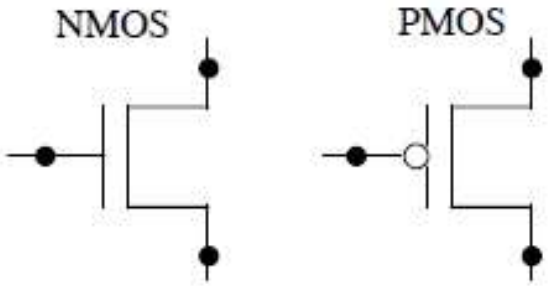


    - B: Oinarria/Euskarria ez da terminal bat

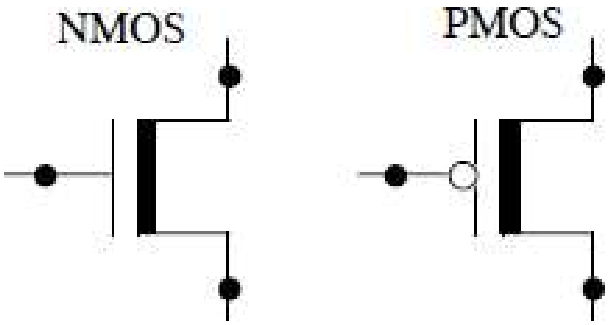
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

MOSFET – Motak:

- Ugaltze MOSFET:



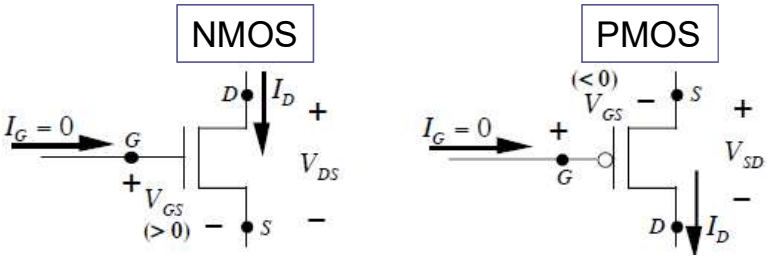
- Urritze MOSFET:



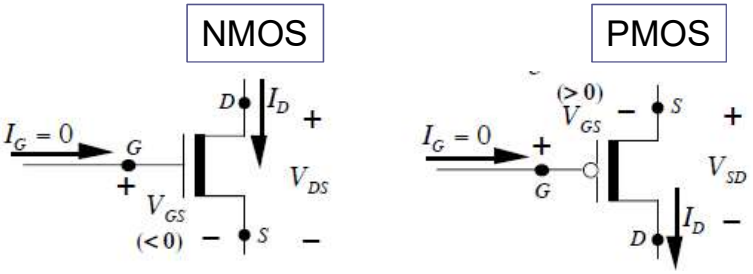
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

MOSFET – Magnitudeak:

- Hiru magnitude portaera analizatzeko (I_D, V_{DS} eta V_{GS})
- I_G=0 beti
- Polarizazioa egokia
  - Ugaltze → Kanala sortu S eta D artean

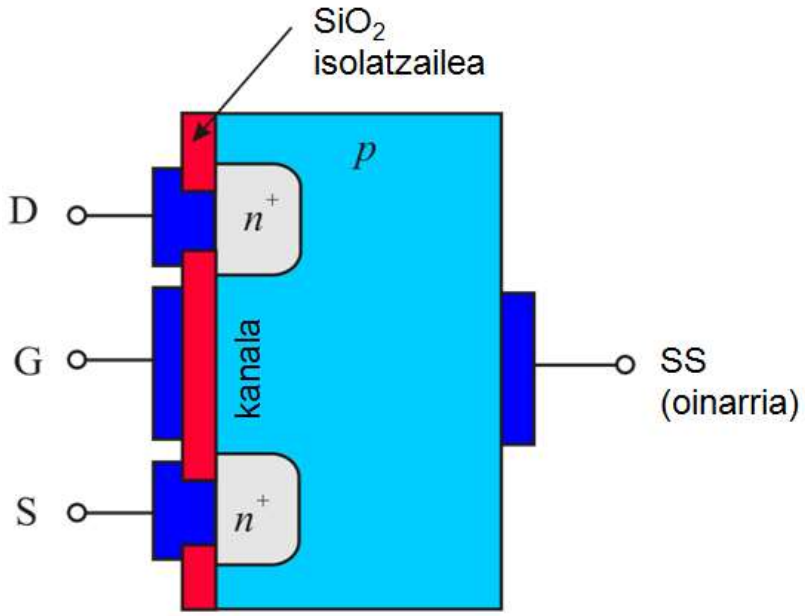


  - Urritze → S eta D arteko kanala estutu



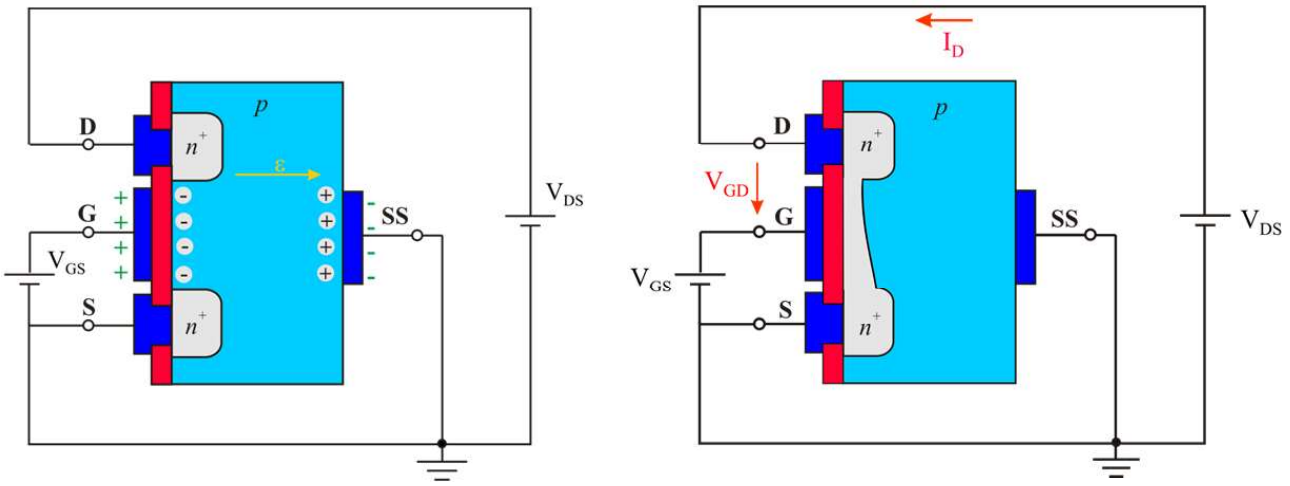
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **N kanaleko ugaltze MOSFETa – Egitura:**
  - Atea elektrikoki isolatuta dago gailuan
  - Ez dago konexio elektrikorik ate eta oinarriaren artean



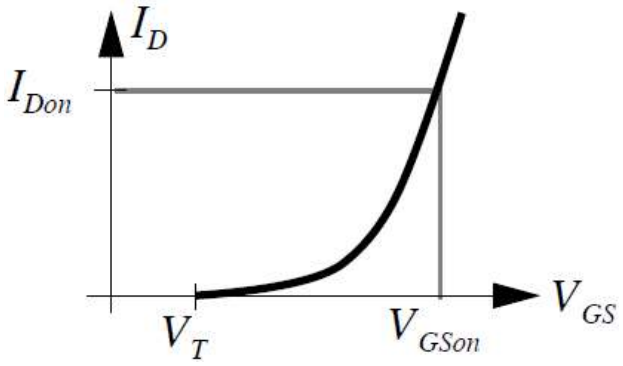
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:**



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

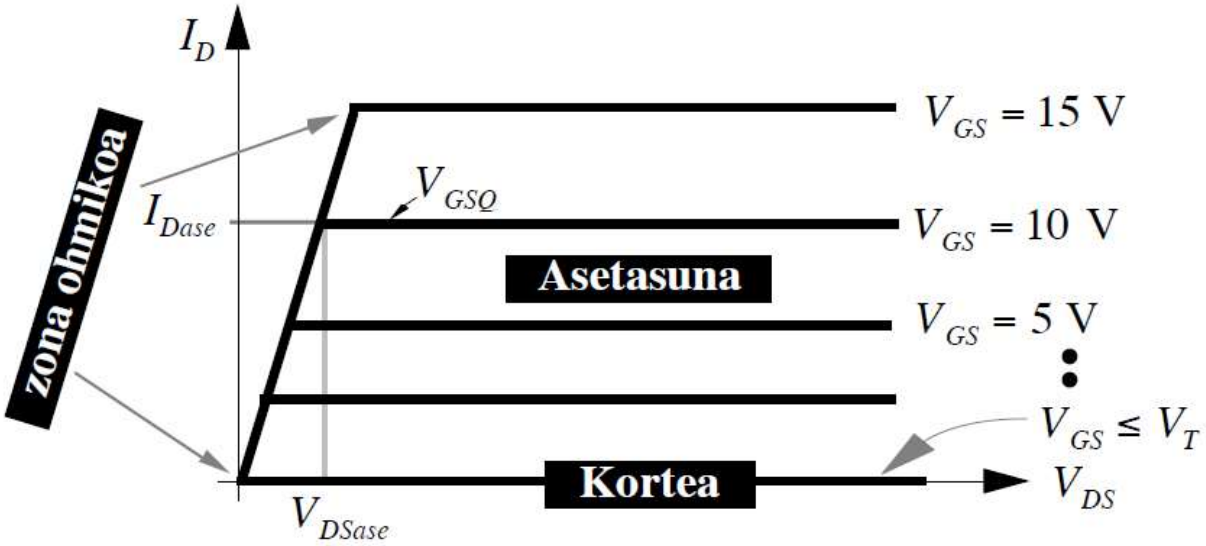
- **N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:**
  - Operazio puntua: Q (I_{DQ}, V_{DSQ}, V_{GSQ})
  - I_D, bi tentsioen funtzio: $I_D=f(V_{GS}, V_{DS})$
  - Esperimentalki lortzen da
  - 1. kurba: V_{DS} mantendu, $I_D=f(V_{GS})$ (asetasunean)



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

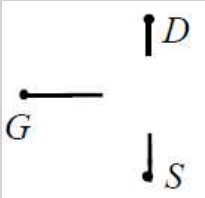
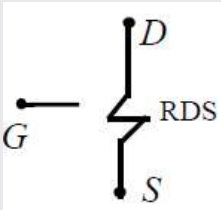
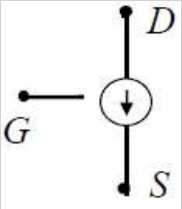
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:**
  - 2. kurba: V_{GS} balio ezberdinentzat, $I_D=f(V_{DS})$



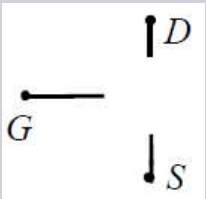
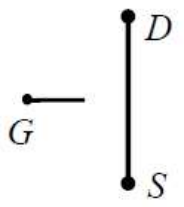
4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

N kanaleko ugaltze MOSFETa – Funtzionamendu egoerak:

Egoera	Baldintzak	Ekuazioak	Eredua
Etendura	$V_{GSQ} \leq V_T$	$I_D = 0$	
Gune ohmikoa	$V_{GSQ} \geq V_T$ $V_{DSQ} \leq V_{DSsat}$	$I_D = \frac{V_{DSS}}{R_{DS}}$	
Asetasuna	$V_{GSQ} \geq V_T$ $V_{DSQ} \geq V_{DSsat}$	$I_D = K \cdot I_{Don}$ $K = \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$	

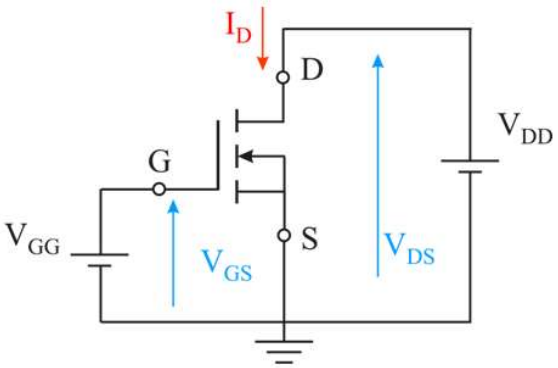
4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

N kanaleko ugaltze MOSFETa – Funtzionamendu egoerak konmutazioan:

Egoera	Baldintzak	Ekuazioak	Eredua
Etendura	$V_{GSQ} \leq V_T$	$I_D = 0$	
Kondukzioan	$V_{GSQ} \geq V_T$	$V_{DS} = 0$	

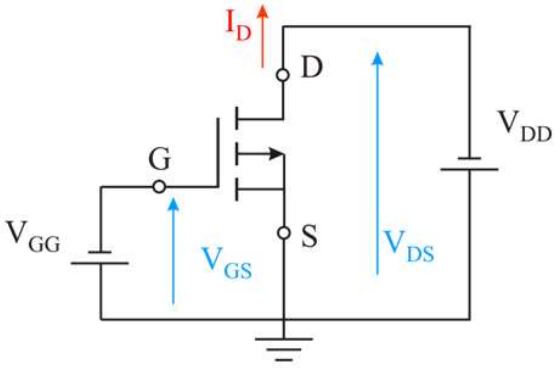
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **P kanaleko ugaltze MOSFETa:**



n-kanalekoa

V_{DS} positiboa
V_{GS} positiboa
I_D positiboa (sartzen da)

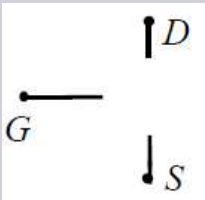
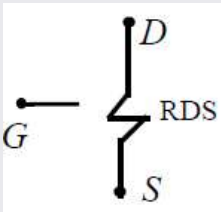
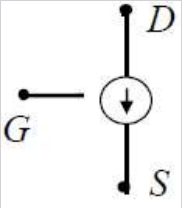


p-kanalekoa

V_{DS} negatiboa
V_{GS} negatiboa
I_D negatiboa (ateratzen da)

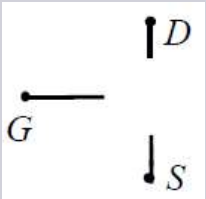
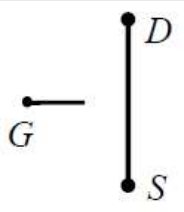
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **P kanaleko ugaltze MOSFETa – Funtzionamendu egoerak:**

Egoera	Baldintzak	Ekuazioak	Eredua
Etendura	$V_{GSQ} \geq V_T$	$I_D = 0$	
Gune ohmikoa	$V_{GSQ} \leq V_T$ $V_{DSQ} \leq V_{DSsat}$	$I_D = \frac{V_{DS}}{R_{DS}}$	
Asetasuna	$V_{GSQ} \leq V_T$ $V_{DSQ} \geq V_{DSsat}$	$I_D = K \cdot I_{Don}$ $K = \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$	

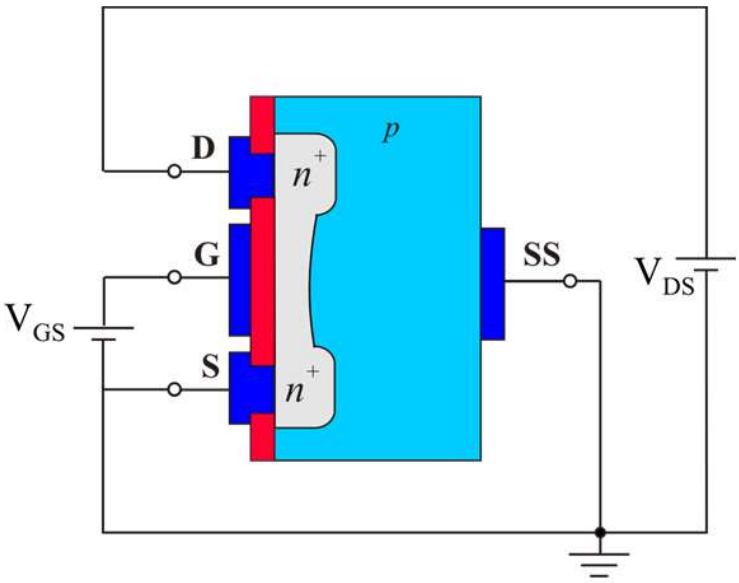
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **P kanaleko ugaltze MOSFETa – Funtzionamendu egoerak konmutazioan:**

Egoera	Baldintzak	Ekuazioak	Eredua
Etendura	$V_{GSQ} \geq V_T$	$I_D = 0$	
Kondukzioan	$V_{GSQ} \leq V_T$	$V_{DS} = 0$	

4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **Urritze MOSFETa:**
  - Kanala existitzen tentsio gabe
  - V_{DS}>0 aplikatzen bada korrontea eroan
  - N kanaleko → Kanala desagerrarazteko V_{GS}<0
  - P kanaleko → Kanala desagerrarazteko V_{GS}>0



11. Gaia – Zirkuitu digitalak

2018-2019 Ikasturtea
Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez
Teknologia Elektronikoko Saila
5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

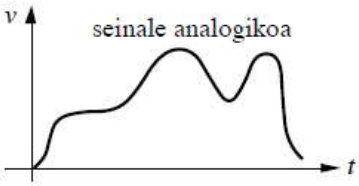
Gaiaren gai-zerrenda

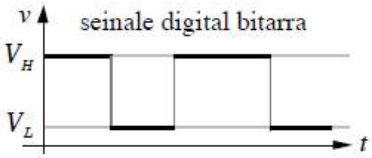
1. Definizioak
2. Integrazio mailak
3. Familia logikoak
4. Bipolarra ate logikoetan
5. NMOS ate logikoetan
6. PMOS ate logikoetan

1. DEFINIZIOAK

Seinale digitalak

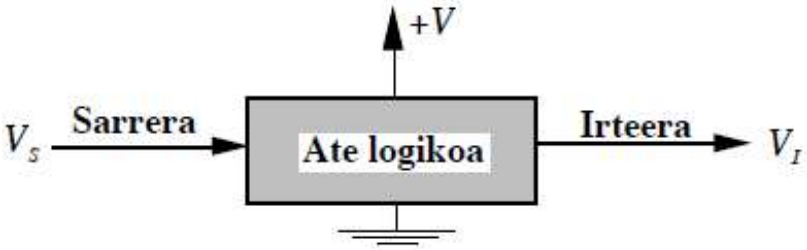
- Balio diskretuak
- Seinale bitarra
- Bi tentsio maila:
  - V_H: Tentsio maila altua – "1" logikoa – Egia
  - V_L: Tentsio maila baxua – "0" logikoa – Faltsua
- Logika positiboa eta negatiboa





Zirkuitu digitalak

- Ate logikoak
  - Irteera tentsioa sarrera funtzio
  - Elikatuta

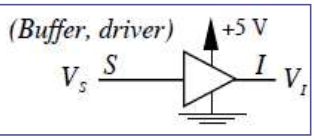


1. DEFINIZIOAK

Ateak

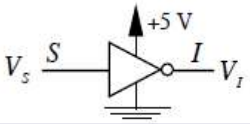
Identitatea

V_S	V_I
L	L
H	H



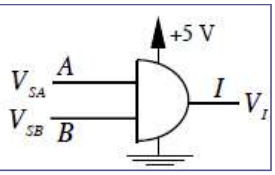
Alderanzkailua NOT

V_S	V_I
L	H
H	L



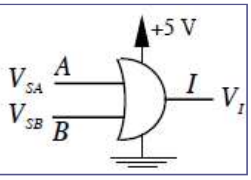
AND

V_{SA}	V_{SB}	V_I
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H



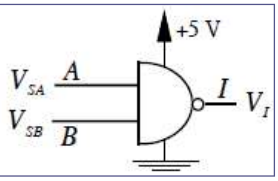
OR

V_{SA}	V_{SB}	V_I
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H



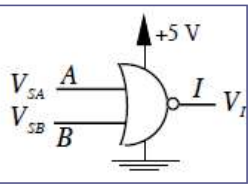
NAND

V_{SA}	V_{SB}	V_I
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L



NOR

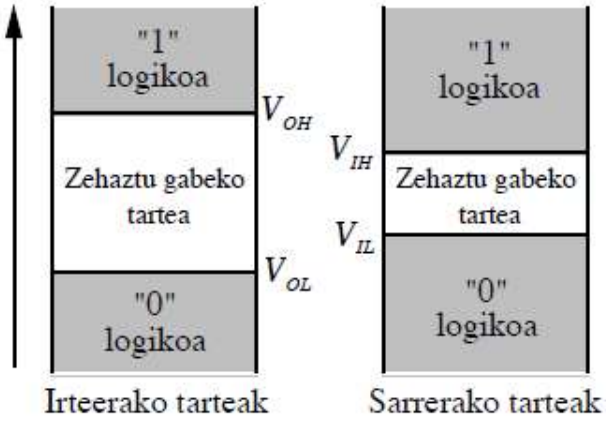
V_{SA}	V_{SB}	V_I
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L



1. DEFINIZIOAK

Balio tarteak

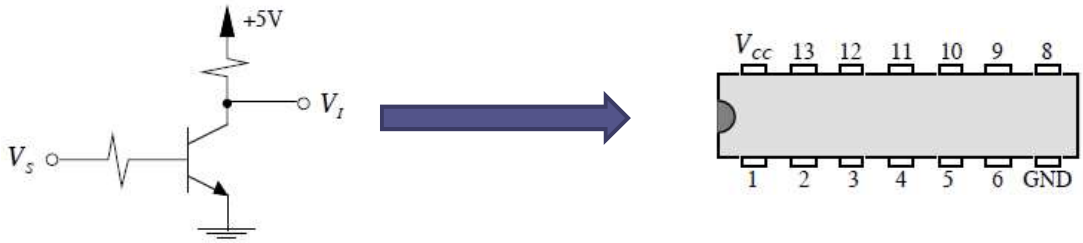
- V_{IL}: Sarreran izan daitekeen tentsio baxuaren (L) balio maximoa, ateak 0 logikotzat har dezan
- V_{IH}: Sarreran izan daitekeen tentsio altuaren (H) balio minimoa, ateak 1 logikotzat har dezan
- V_{OL}: Ate baten irteeran ager daitekeen tentsio baxuaren (L) balio maximoa
- V_{OH}: Ate baten irteeran ager daitekeen tentsio altuaren (H) balio minimoa



2. INTEGRAZIO MAILAK

Osagai diskretuak

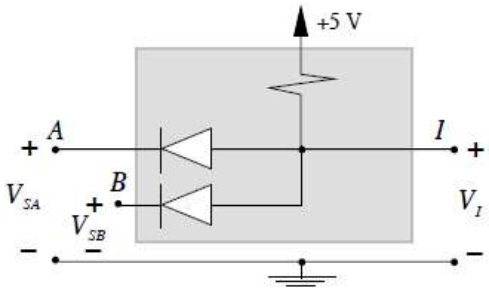
Zirkuitu integratuak



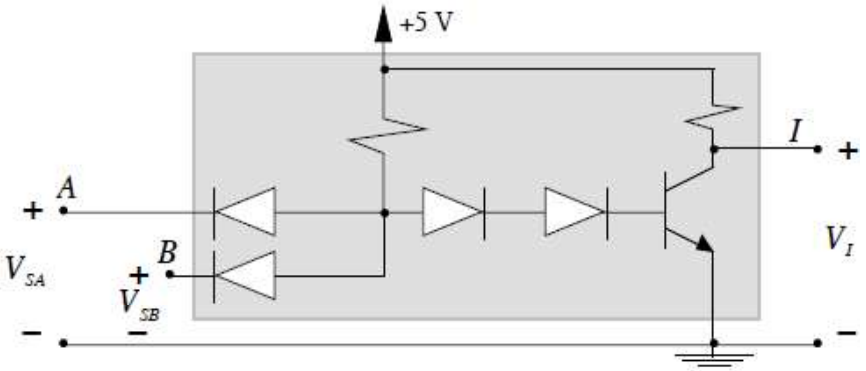
- SSI (integrazio-eskala txikia – Small Scale of Integration)
- MSI (integrazio-eskala ertaina – Medium Scale of Integration)
- LSI (integrazio-eskala handia – Large Scale of Integration)
- VLSI (integrazio-eskala oso handia – Very Large Scale of Integration):

3. FAMILIA LOGIKOAK

- **Diodoz osatutako ate logikoak (Diode Logic, DL)**

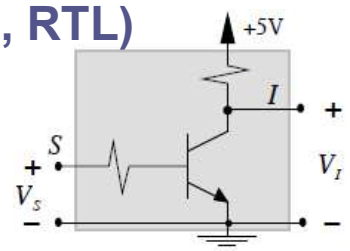


- **Diodo/transistore logika (DTL)**

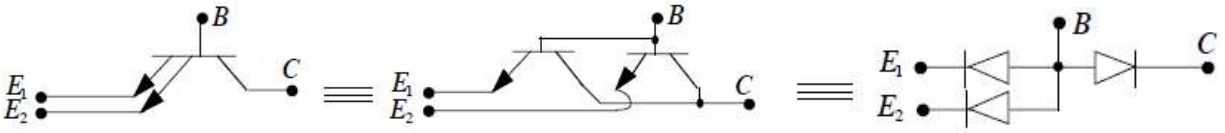


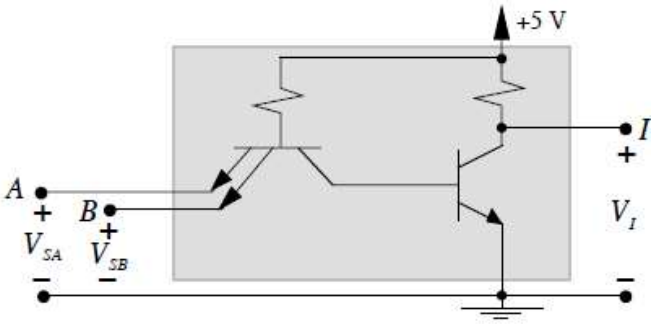
3. FAMILIA LOGIKOAK

- **Erresistentzia/transistore logika (Resistor Transistor Logic, RTL)**



- **Transistore/transistore logika (TTL)**

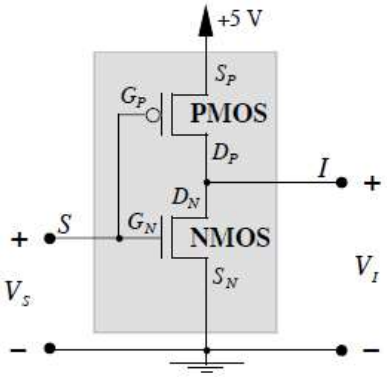




3. FAMILIA LOGIKOAK

- **NMOS logika**

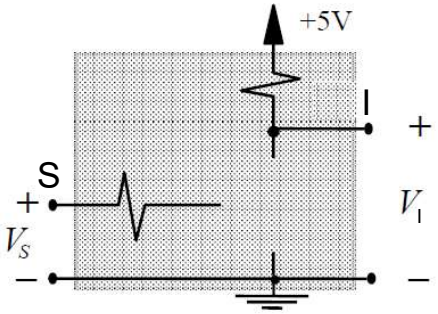
- **CMOS logika**



4. BIPOLARRA ATE LOGIKOETAN

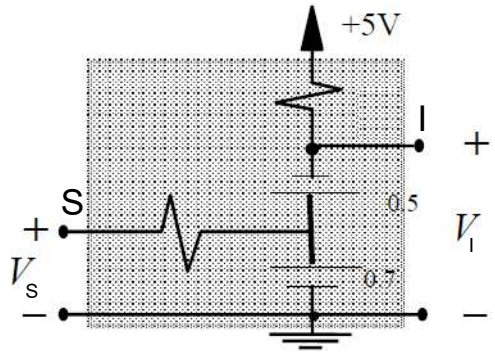
- Bi tentsio: H, L
  → Bi funtzionamendu egoera:
  - Etendura eta asetasuna

- **Etendura**



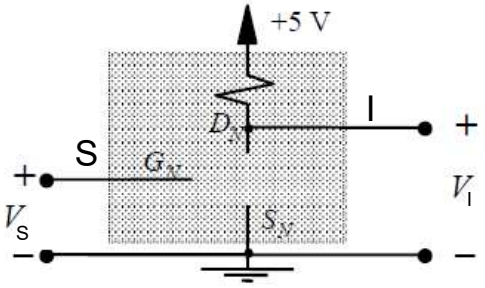
$$V_{BE} \leq 0.7V$$

- **Asetasuna**



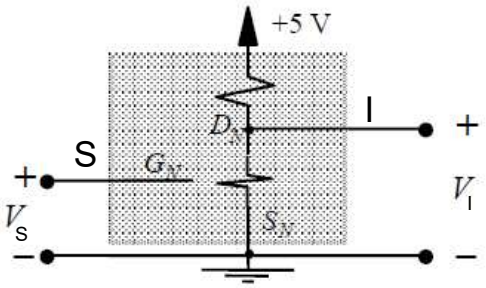
5. NMOS ATE LOGIKOETAN

- Bi tentsio: H, L
  → Bi funtzionamendu egoera: $V_T > 0$
  - Etendura eta gune ohmikoa
- **Etendura**



$V_{GS} \leq V_T$

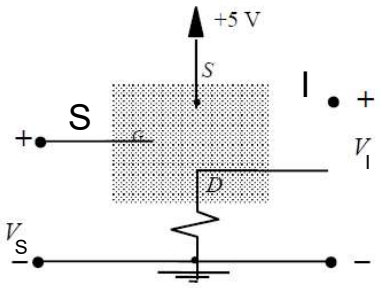
- **Gune ohmikoa**



$V_{GS} \geq V_T$

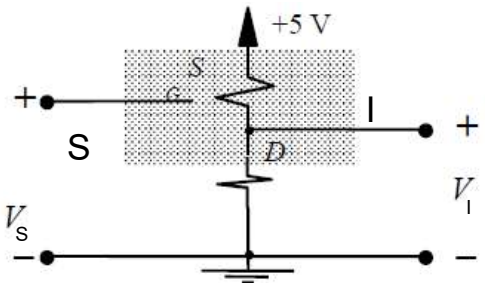
6. PMOS ATE LOGIKOETAN

- Bi tentsio: H, L
  → Bi funtzionamendu egoera: $V_T < 0$
  - Etendura eta gune ohmikoa
- **Etendura**



$V_{GS} \geq V_T$

- **Gune ohmikoa**



$V_{GS} \leq V_T$

Ariketak

KTO GA – Elektrozinetika

1.) Eroale bateko puntu batetik eskuinerantz igaro den karga elektrikoaren kantitatea honako formula hauen bidez adieraz daiteke denboraren arabera (t segundotan, s; eta q coulombetan, C):

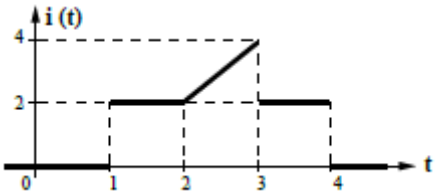
- $t \leq -2$ $\quad q(t) = 0$
- $-2 \leq t \leq 1$ $\quad q(t) = 2t + 4$
- $1 \leq t \leq 4$ $\quad q(t) = 7 - t$
- $4 \leq t$ $\quad q(t) = 3$

a) Marraz ezazu q(t) denboraren funtzioan. Zer azpimarratuko zenuke funtzio honi buruz?

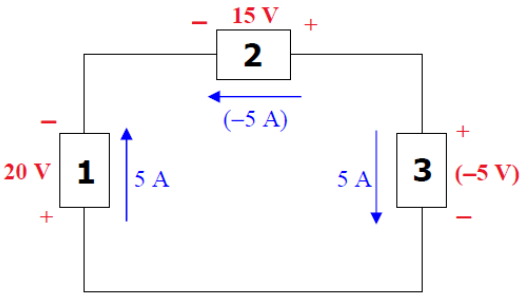
b) Kalkula ezazu puntu horretatik igaro den korronte elektrikoaren intentsitatea, i(t), eta marraz ezazu funtzio hori.

2.) Eroale bateko puntu batetik segundo-erdi bakoitzean +3 C-eko karga bat igarotzen da eskuinerantz eta, aldi berean, segundo-heren bakoitzean –5 C-eko karga bat igarotzen da ezkerrerantz. Zenbatekoa da korrontearen intentsitatea puntu horretan?

3.) Irudiko korronte aldakorra, i(t), aintzat hartuz, kalkula ezazu erreferentzia-puntutik $1 \leq t \leq 3$ denbora-tartean igaro den karga osoa (t segundotan, s; eta i anperetan, A).

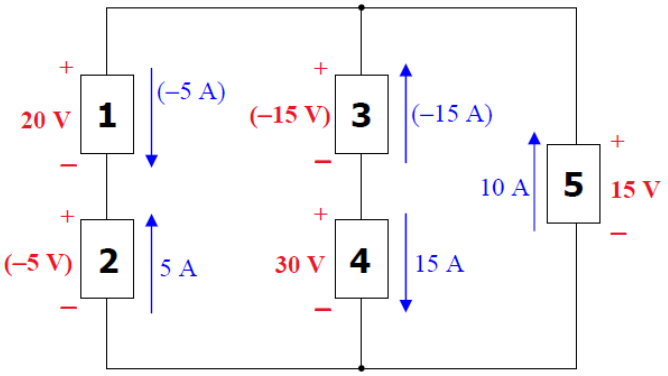


4.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



Magnitudea	1	2	3
Korrontea			
Tentsioa			
Potentzia			
Eman/Xurgatu			

5.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

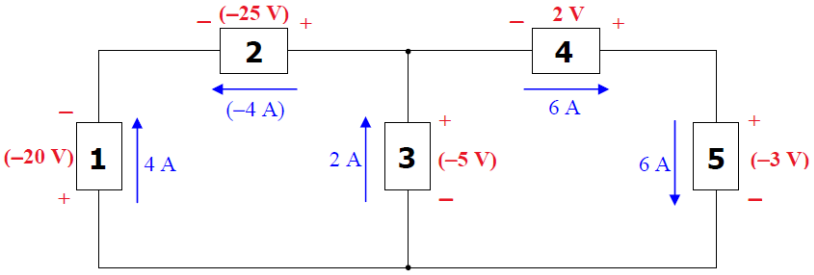


Magnitudea	1	2	3	4	5
Korrontea					
Tentsioa					
Potentzia					
Eman/Xurgatu					

6.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

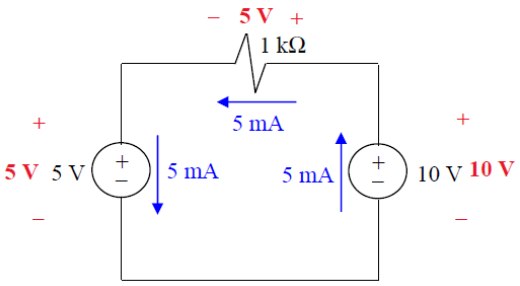
Erantzun hurrengo galderak ere:

a) Zenbateko potentzia ematen dute 1 eta 4 elementuek?
b) Zenbateko potentzia xurgatzen dute 3 eta 5 elementuek?
c) Zein motatako elementua da 2.? Aktiboa edo pasiboa. Zergatik?



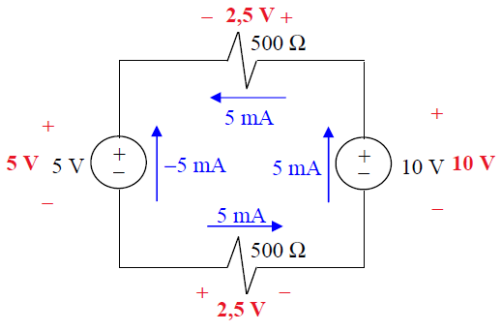
Magnitudea	1	2	3	4	5
Korrontea					
Tentsioa					
Potentzia					
Eman/Xurgatu					

7.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



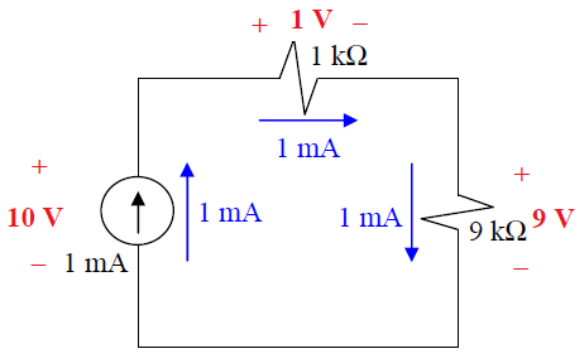
Magnitudea	5 V	1 kΩ	10 V
Korrontea			
Tentsioa			
Potentzia			
Eman/Xurgatu			

8.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



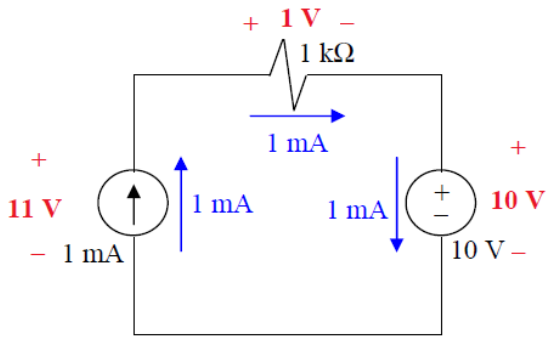
Magnitudea	5 V	500 Ω	10 V	500 Ω
Korrontea				
Tentsioa				
Potentzia				
Eman/Xurgatu				

9.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



Magnitudea	1 mA	1 kΩ	9 kΩ
Korrontea			
Tentsioa			
Potentzia			
Eman/Xurgatu			

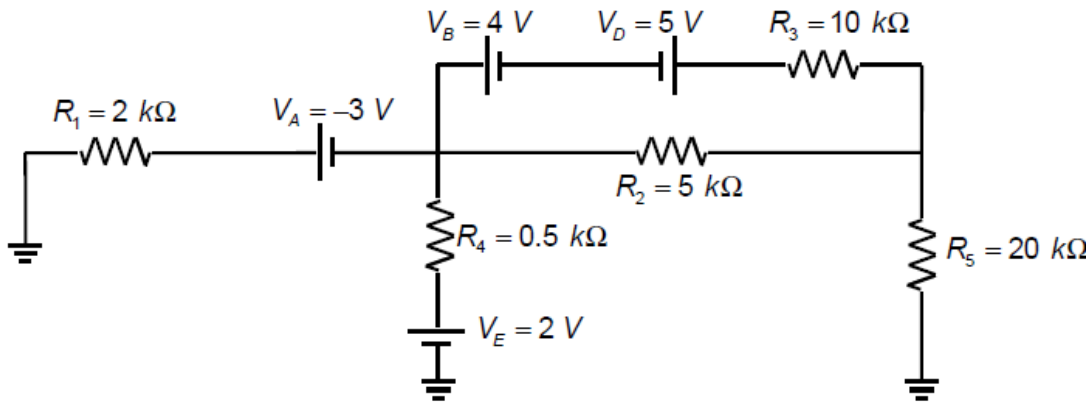
10.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



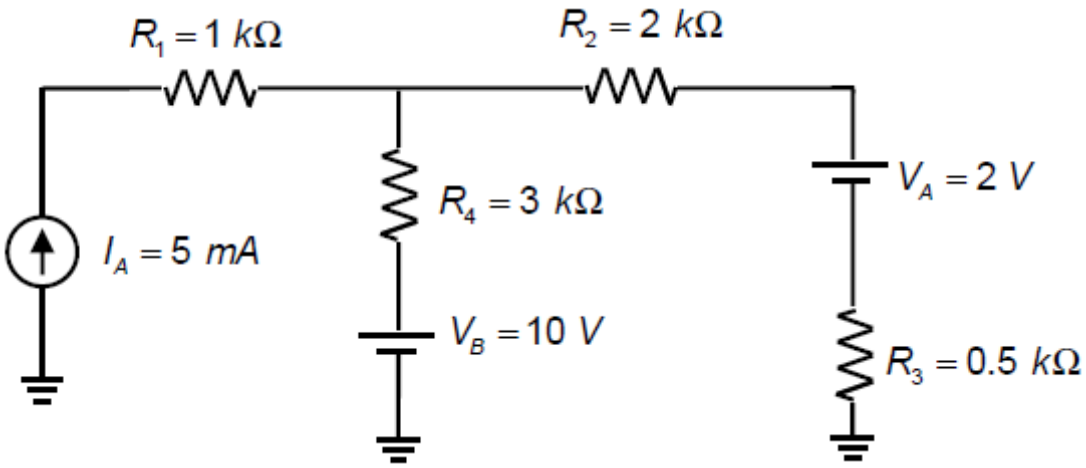
Magnitudea	1 mA	1 kΩ	10 V
Korrontea			
Tentsioa			
Potentzia			
Eman/Xurgatu			

KTO GA – Zirkuituetako oinarrizko legeak eta horien aplikazioak

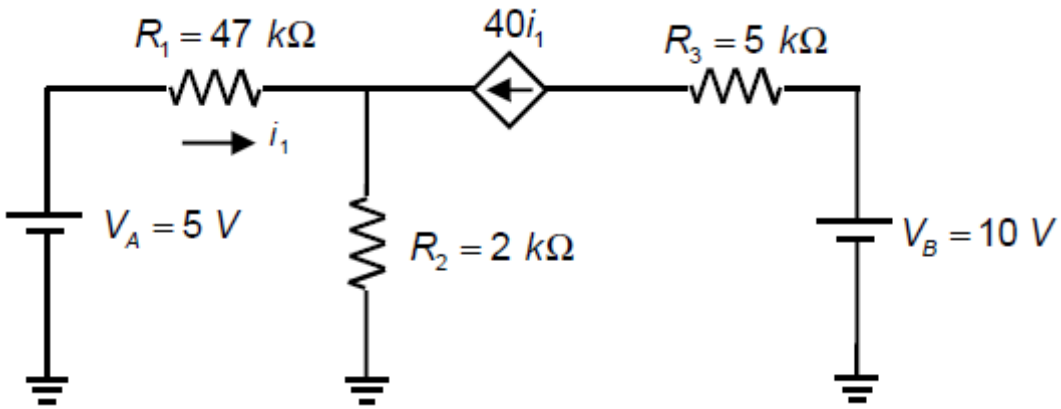
1.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



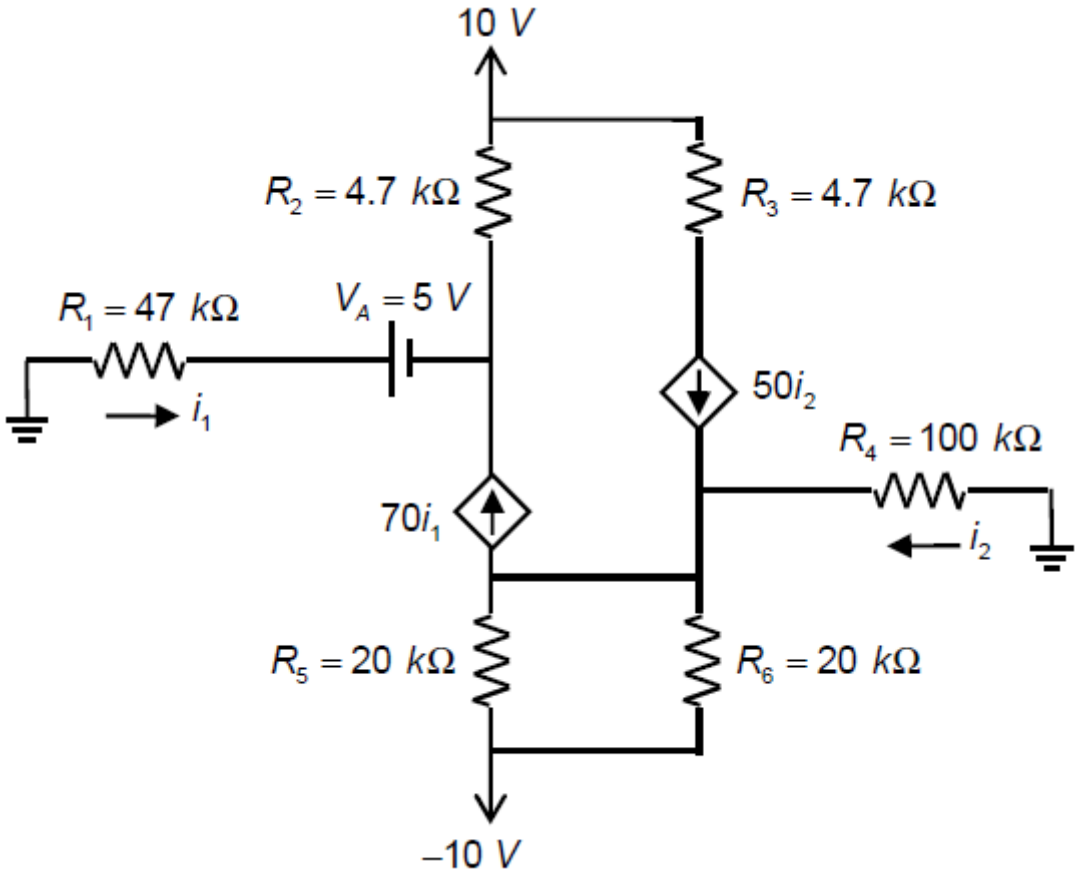
2.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



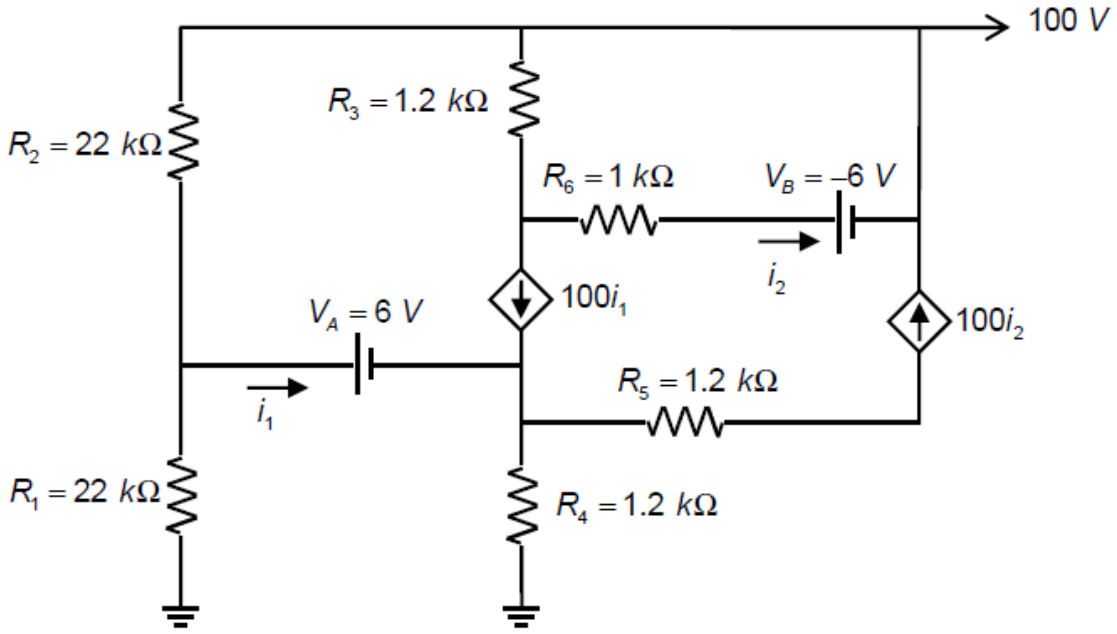
3.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



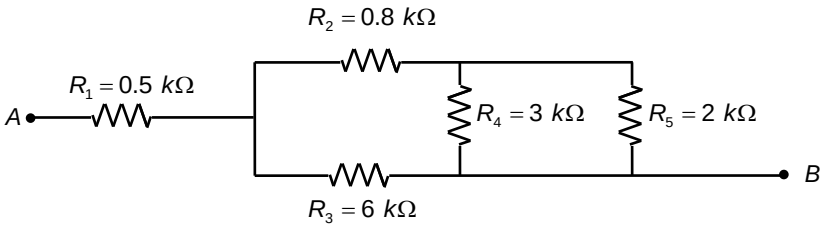
4.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



5.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.

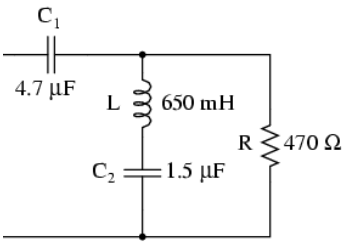


6.) Irudiko zirkuituaren erresistentzia baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

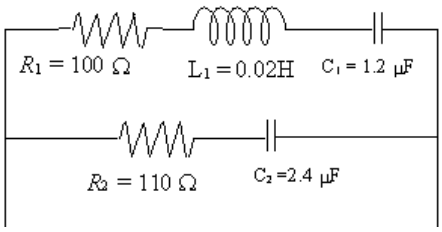


7.) Esandako maiztasunean ondoko zirkituen inpedantzia baliokidea kalkulatu

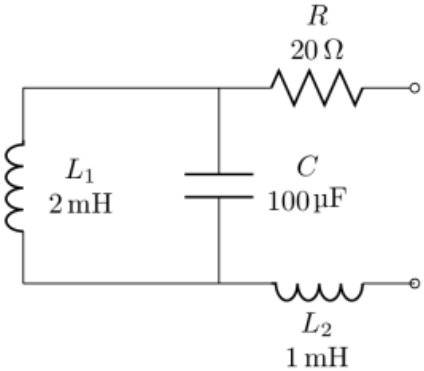
a) 60 Hz:



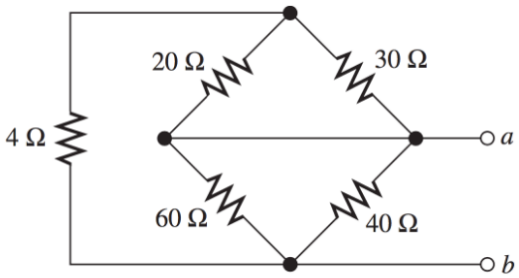
b) 60Hz:



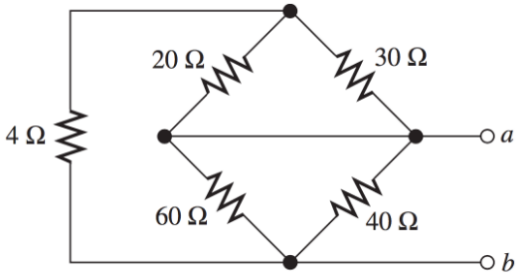
d) 2 kHz:



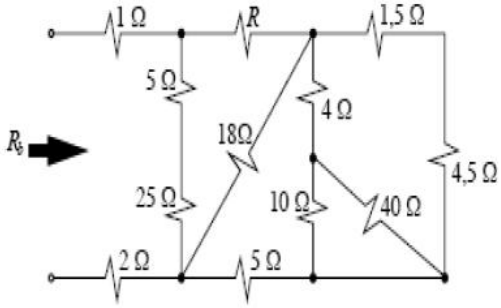
e) 300 Hz:



f) 750 Hz:



g) R= 14Ω eta f=750 Hz:



KTO GA – Zirkuituak analizatzeko oinarrizko metodoak

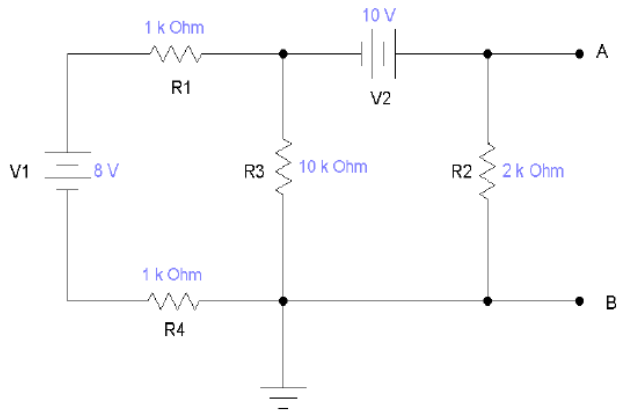
1.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Erresistore guztien tentsio erorketak eta korronteak kalkulatu mailen metodo erabiliz.

b) Zirkuitu honen adarretako intentsitate guztiak kalkulatu, baita A eta B puntuen arteko potentzial diferentzia gainezarmen printzipioa erabiliz.

d) Thévenin zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

e) Norton zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.



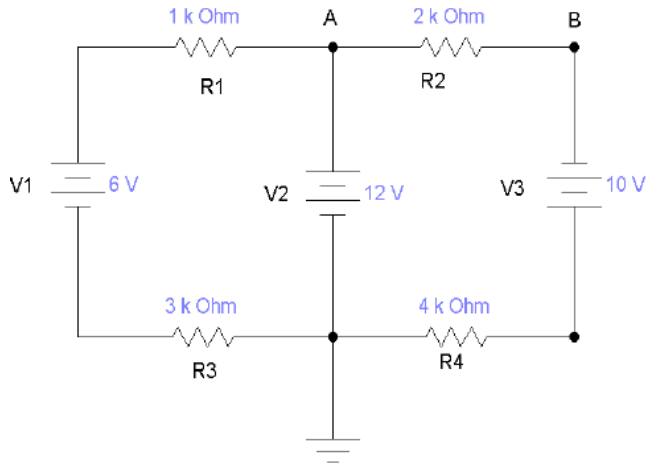
2.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Erresistore guztien tentsio erorketak eta korronteak kalkulatu mailen metodo erabiliz.

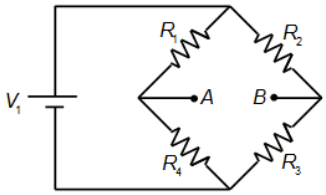
b) Zirkuitu honen adarretako intentsitate guztiak kalkulatu, baita A eta B puntuen arteko potentzial diferentzia gainezarmen printzipioa erabiliz.

d) Thévenin zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

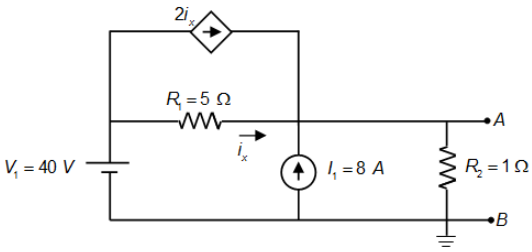
e) Norton zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.



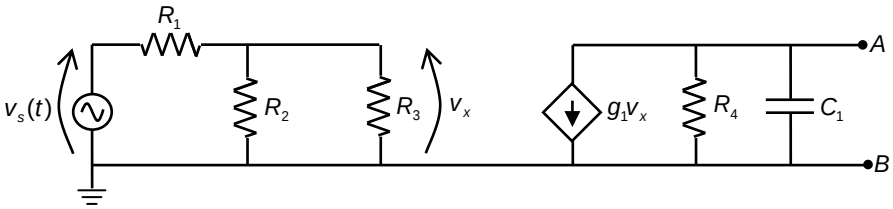
3.) Irudiko zirkituaren Thevenin baliokidea lortu A eta B puntuen artean.



4.) Irudiko zirkituaren Thevenin eta Norton baliokideak lortu A eta B puntuen artean.



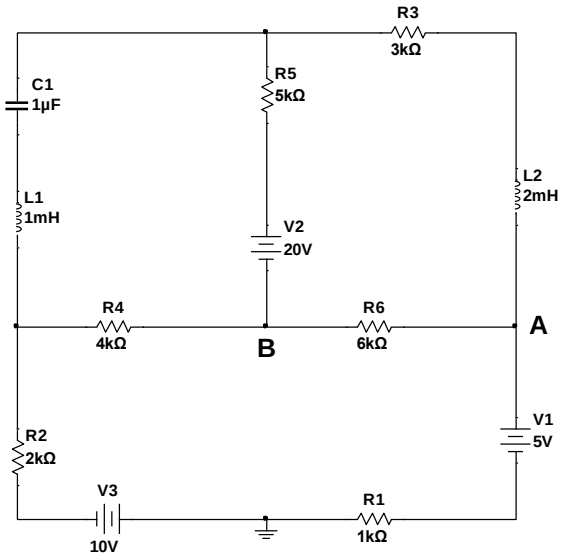
5.) Irudiko zirkituaren Thevenin baliokidea lortu A eta B puntuen artean.



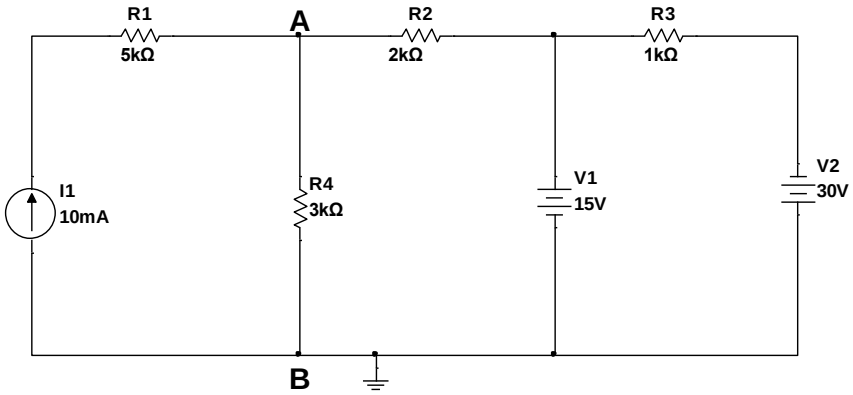
6.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Mailen metodoa erabiliz, adar guztien korronteak kalkulatu. Kalkulatu ere harila eta kondentsadore guztien tentsioak baita A eta B puntuen artean dagoen tentsioa ere.

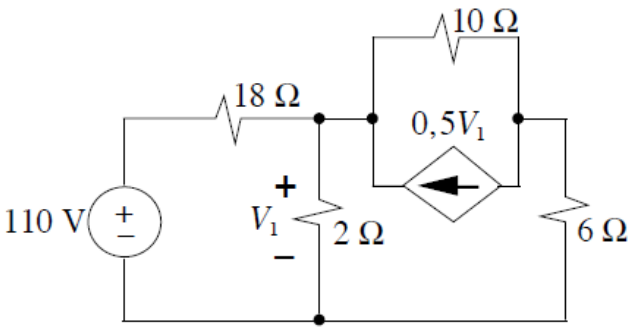
b) Thevenin eta Norton zirkuitu baliokideak lortu A eta B puntuen artean.



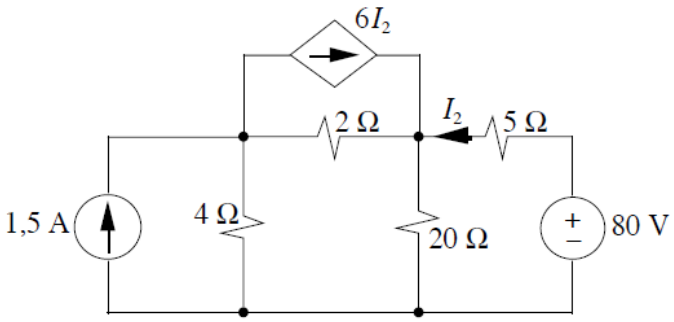
7.) Hurrengo zirkuituan gainezarmen printzipioa erabiliz A eta B puntuen arteko tentsioa kalkulatu.



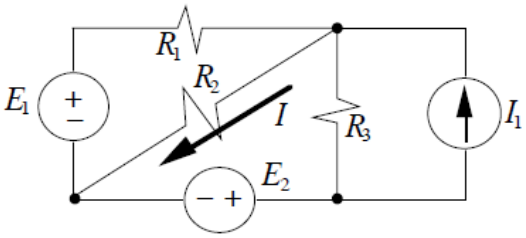
8.) Hurrengo zirkuitua analizatu mailen metodoa erabiliz.



9.) Hurrengo zirkuitua analizatu mailen metodoa erabiliz.

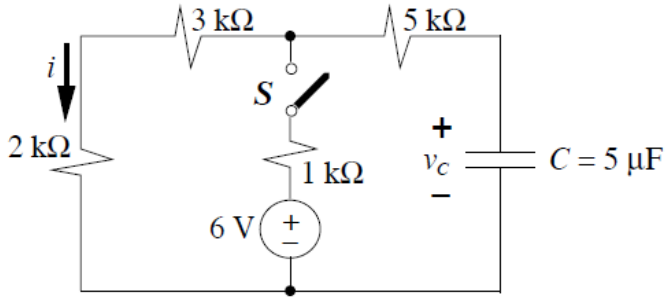


10.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu I intentsitatea, gainezarpen printzipioa erabiliz.



KTO GA – Zirkuitu elektrikoen egoera iragankorra eta korronte alternoa

1.) Irudiko zirkuituan, etengailua t = 0 unean ireki dugu, denbora luzez itxita egon ondoren.

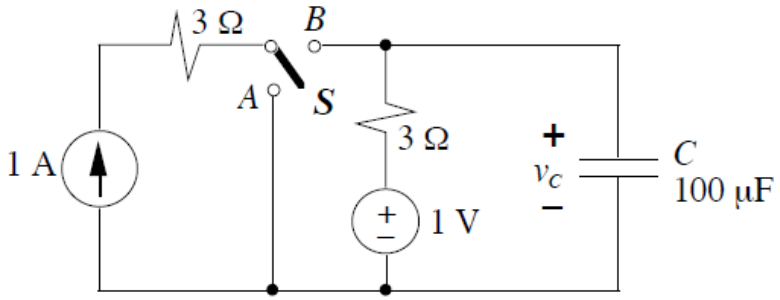


a) Kalkula itzazu honako balio hauek: $v_C(0^-)$, $i(0^-)$, $v_C(0^+)$, $i(0^+)$, $v_C(\infty)$, $i(\infty)$.

b) Zenbat denbora beharko du kondentsadoreak bere muturren arteko tentsioa 2,5 V-ekoa izan dadin?

c) Etengailua denbora luzean irekita egon ondoren, berriro itxi dugu. Zenbat denbora beharko du kondentsadoreak oreka berrian lortuko duen tentsioaren erdia lortzeko?

2.) Irudiko zirkuituan:



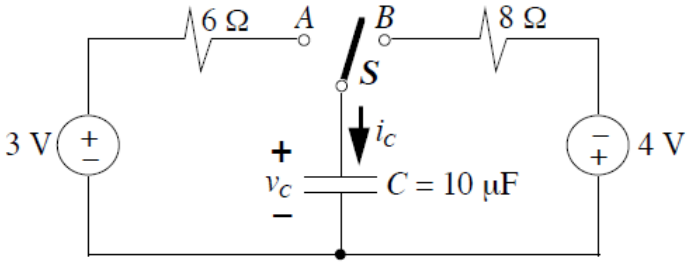
a) Kalkula ezazu zenbat balio duen kondentsadorearen borneen arteko potentzial-diferentziak etengailua denbora luzez A posizioan egon ondoren.

b) t = 0 unean etengailua B posiziora eramaten badugu, kalkula ezazu zenbat denbora beharko duen kondentsadoreak egoera egonkorrean edukiko zukeen kargaren %90 lortzeko.

c) Etengailua B posizioan denbora luzez egon ondoren, t' = 0 unean berriro A posiziora eramaten badugu, kalkula ezazu zenbatekoa izango den kondentsadorearen muturren arteko tentsioa 150 μs pasatu ondoren.

3.) Irudiko zirkuituan, idatz itzazu gerta daitezkeen bi egoera iragankorrak islatzen dituzten ekuazioak, hots, etengailua B posiziotik A posiziora pasatzen denean, eta, alderantziz, A posiziotik B posiziora, horretarako posizio bakoitzean denbora luzea igaroko dela suposatuz. Bi kasu horietan, adieraz itzazu argi eta garbi honako balio hauek:

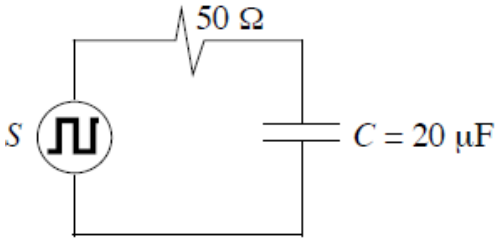
$$v_C(0^-),\ i_C(0^-),\ v_C(0^+),\ i_C(0^+),\ v_C(\infty), i_C(\infty).$$

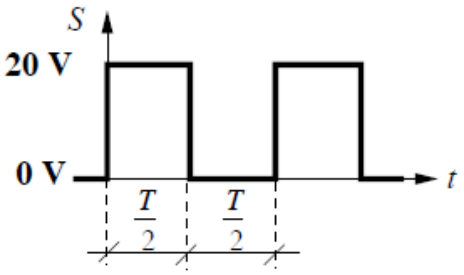


4.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu zenbatekoa izan daitekeen sarrerako seinale karratuaren maiztasun maximoa honako bi kasuetan:

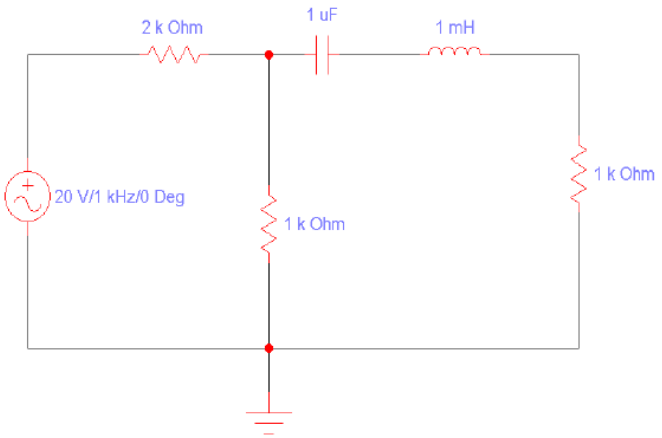
a) Gutxienez lau denbora-konstanteko tartea eman nahi badiogu kondentsadoreari kargatzeko zein deskargatzeko (%98an, alegia)

b) Kondentsadorea gutxienez %95ean karga zein deskarga dadin.Kalkula ezazu zenbat balio duen kondentsadorearen borneen arteko potentzial-diferentziak etengailua denbora luzez A posizioan egon ondoren.

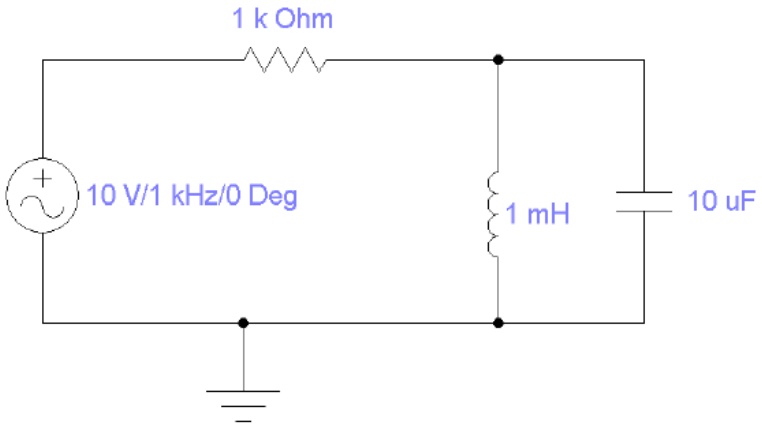




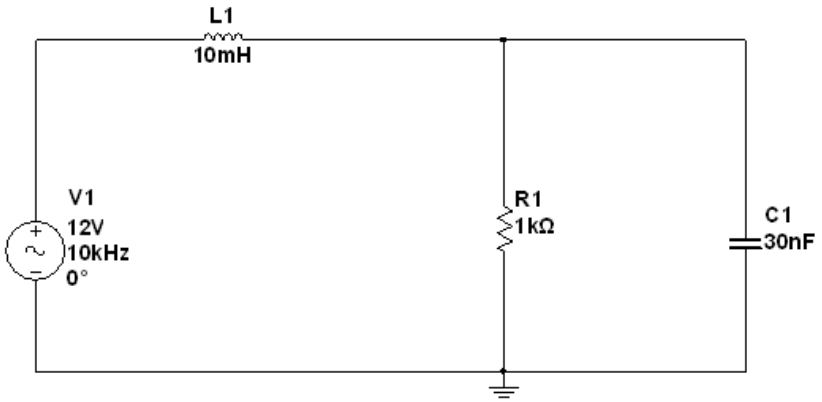
5.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.



6.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.

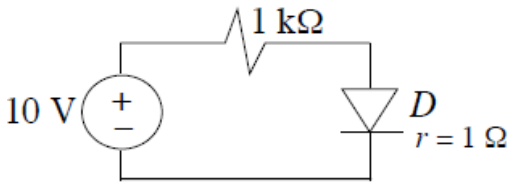


7.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.

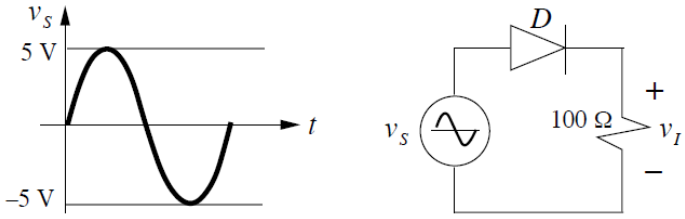


KTO GA – Diodoak

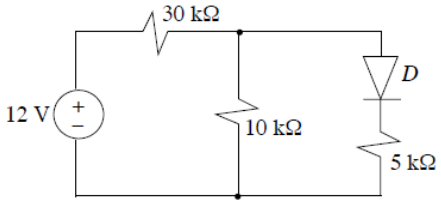
1.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula itzazu elementu guztietako tentsioak eta korronteak, eta aldera itzazu soluzioak diodoaren hiru hurbilketak erabiliz:



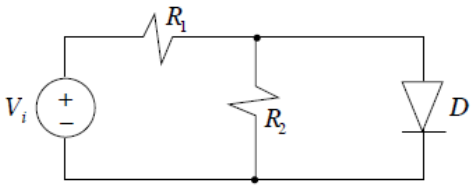
2.) Irudiko zirkuiturako kalkula ezazu diodotik igarotzen den korronte maximoa eta marraz ezazu irteera-tentsioa diodoaren hiru hurbilketetarako. (Suposa ezazu diodoaren barne-erresistenzia 0,2 Ω-ekoa dela.)



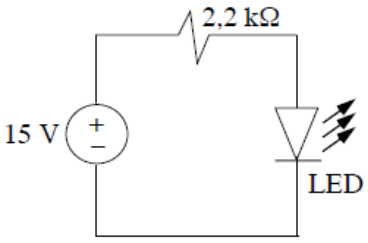
3.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua, diodoarentzat bigarren hurbilketa erabiliz.



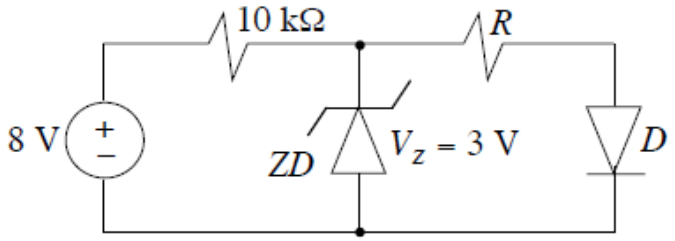
4.) Irudiko zirkuiturako, esan zenbatekoa den Vi tentsioaren balio minimoa diodoak korrontea eroan dezan (erabili diodoaren bigarren hurbilketa). R1 eta R2 erresistentzien balioak ezagunak dira.



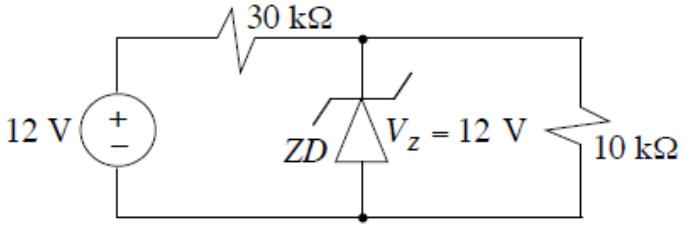
5.) Irudiko zirkuitu sinplean, LED diodoa piztuko al da?



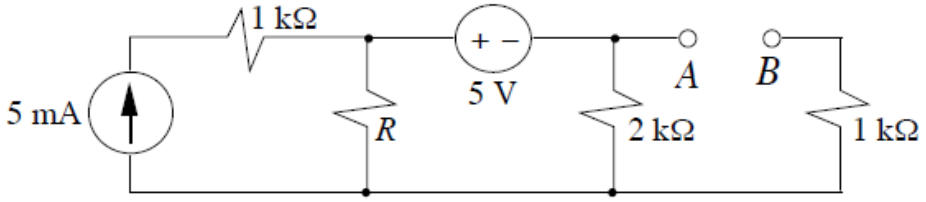
6.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu zenbatekoa den R erresistentziaren balio minimoa Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta eta diodo artezlea zuzenki polarizatuta egon daitezen (erabili bigarren hurbilketa bi diodoetarako).



7.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua Zener diodoaren bigarren hurbilketa erabiliz.

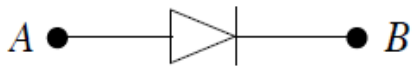


8.) Irudiko zirkuituan:

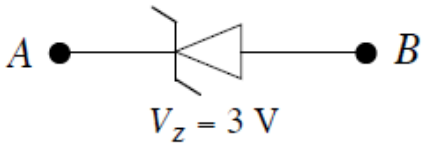


a) Kalkula itzazu A eta B puntuen arteko Thévenin-en zirkuitu baliokideak R erresistentziaren ondoko bi balioetarako eta irudika itzazu lortutako zirkuitu baliokideak: R = 2 kΩ, R = 500 Ω

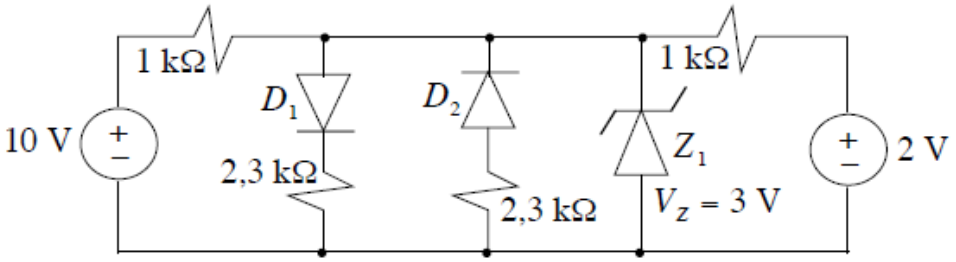
b) A eta B puntuen artean siliziozko diodo artezle bat konektatzen bada, ondoko irudian adierazten den bezala, kalkula itzazu diodotik igarotzen den korrontea eta bere borneen arteko tentsioa R-ren bi balioetarako. Erabil ezazu diodoaren bigarren hurbilketa.



c) Errepika ezazu aurreko atalekoa, A eta B puntuen artean V_Z = 3 V duen Zener diodo bat konektatzen bada (irudian adierazten den bezala).



9.) Irudiko zirkuiturako kalkula itzazu adar guztietako korronteak eta elementu guztien muturren arteko tentsioak.

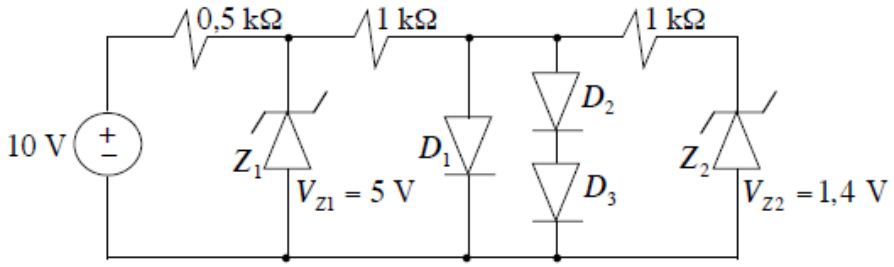


10.) Irudiko zirkuiturako, diodo guztiak siliziozkoak direla suposatuz eta bigarren hurbilketa erabiliz.

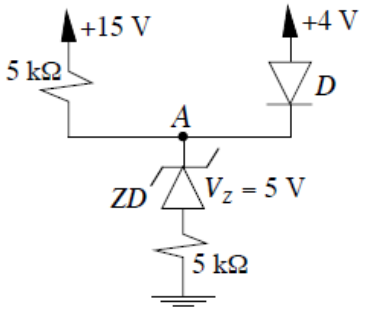
a) Bila ezazu nola dauden polarizatuta zirkuituko diodo guztiak;

b) Kalkula itzazu zirkuituko elementu guztien tentsioak eta korronteak;

c) Egin ezazu potentzien balantzea.



11.) Irudiko zirkuiturako:

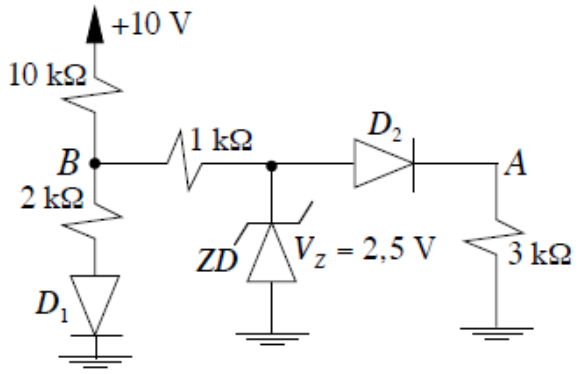


a) Kalkula ezazu zenbatekoa izan behar den A puntuko tentsio minimoa ZD Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta egon dadin.

b) Kasu horretan, nola egongo da polarizatuta D diodoa?

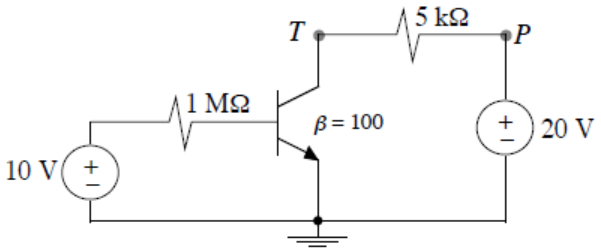
c) Aurreko bi galderen erantzunetan oinarriturik, egin ezazu bi diodoen polarizazioari buruzko balizko hipotesi bat eta, kalkula itzazu osagai guztietako korronteak eta tentsioak, hipotesi horren arabera.

12.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula itzazu elementu guztietako korronteak eta tentsioak, diodoak siliziozkoak direla kontuan izanik. Zenbat balio dute A eta B puntuetako tentsioek?

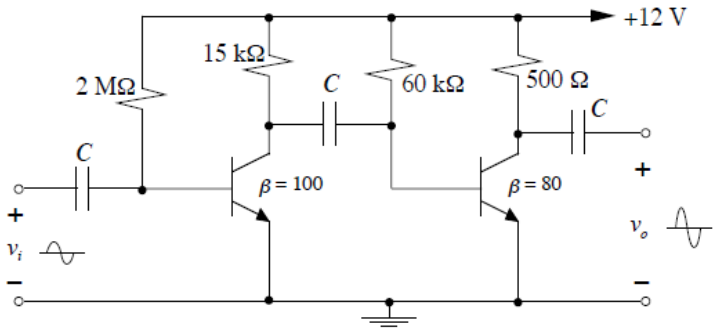


KTO GA – Transistoreak

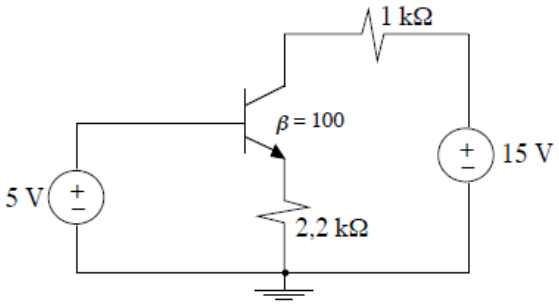
1.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula ezazu transistorearen operazio-puntua: $Q(V_{BE}, I_B, V_{CE}, I_C)$. Zenbatekoa da P eta T puntuen arteko potentzial-diferentzia?



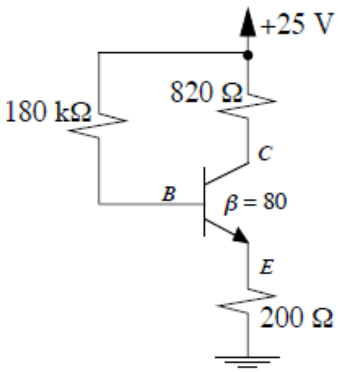
2.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua egoera egonkorrean:



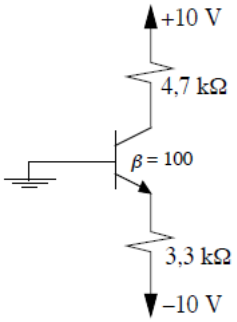
3.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua.



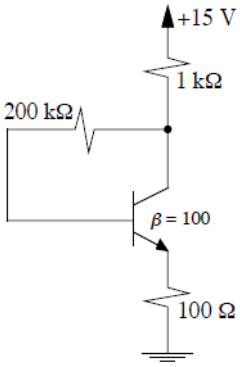
4.) Irudiko zirkuiturako, kalkula itzazu V_C, V_B eta V_E tentsioak. Zein funtzionamendu-egoeran dago transistorea?



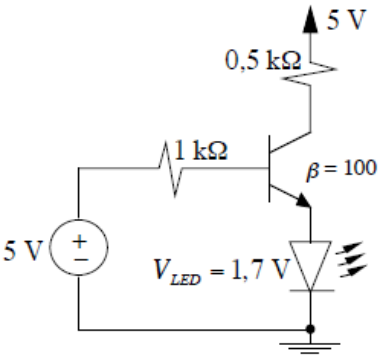
5.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



6.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



7.) Irudiko zirkuituan:



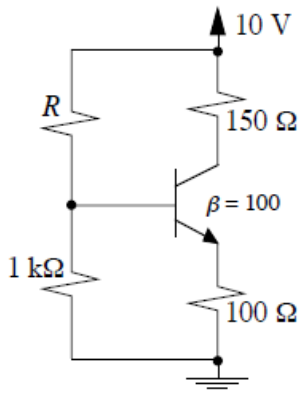
a) Azter ezazu zein funtzionamendu-zonatan dagoen transistorea.

b) Zein egoeratan dago LED diodoa?

c) Zenbatekoa da LED diodoak xurgatutako potentzia?

d) LED diodoa R erresistentzia batez ordezkatuz gero, kalkula ezazu zenbatekoa izan behar duen R-ren balioak, transistorearen kolektoreko tentsioa 2,5 V-ekoa izan dadin.

8.) Irudiko zirkuituan:

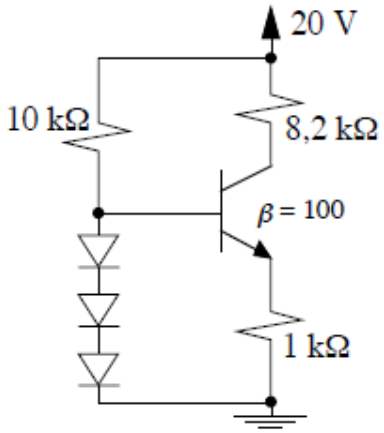


a) Kalkula ezazu R erresistentziaren balioa, transistorearen oinarriko tentsioa 1,71 Vekoa izan dadin.

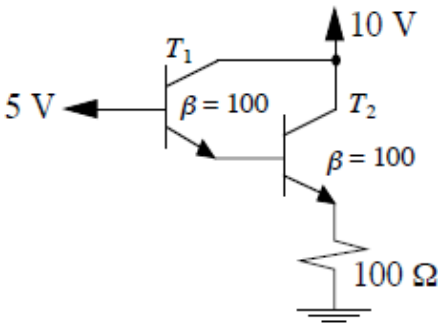
b) Esan ezazu zein funtzionamendu-zonatan egongo den transistorea R-ren balio horretarako, eta lor ezazu operazio-puntua.

c) Zenbatekoak dira, kasu horretan, kolektoreko tentsioa, V_C, eta igorlekoa, V_E?

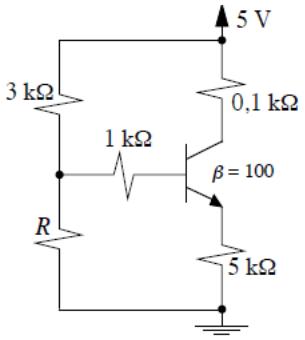
9.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



10.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



11.) Irudiko zirkuituan:

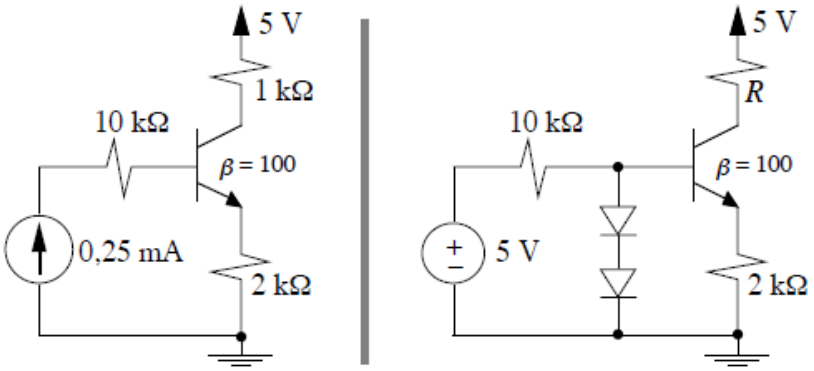


a) Zenbatekoa izan behar du R erresistentziaren balioak, transistorea eroaten has dadin, hots, etenduratik atera eta zona aktibo arruntean sar dadin?

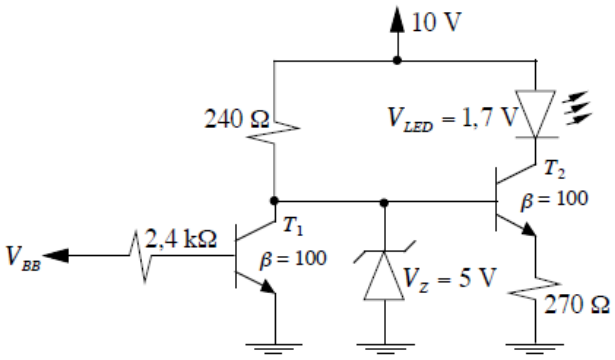
b) Zein funtzionamendu-zonatan dago transistorea, R = 600 Ω baldin bada?

12.) Ezkerreko irudiko zirkuiturako, aurki ezazu zein funtzionamendu-egoeratan dagoen transistorea. Horrez gain, kalkula itzazu transistorearen korapilo guztietako tentsioak (V_B, V_C eta V_E) eta korronteak (I_B, I_C eta I_E).

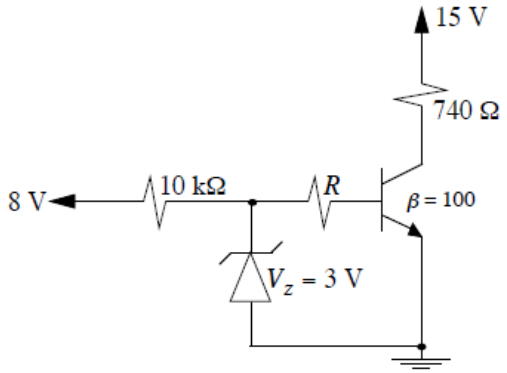
Ondoren, korronte-sorgailua tentsio-sorgailu batez ordezkatu eta, eskuineko irudian ageri den legez, bi diodo sartzen badira, kalkula ezazu R erresistentziaren muga-balioa, transistorea zona aktibo arruntean egon dadin. Zer da balio hori, maximoa ala minimoa? Justifika ezazu erantzuna. (Suposatu diodoak siliziozkoak direla eta erabili 2. hurbilketa.)



13.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua V_{BB}=0 V denean eta 10 V denean. Zenbatekoak dira V_{BB} tentsioaren muga-balioak, T_1 transistorea zona aktibo arruntean egoteko?



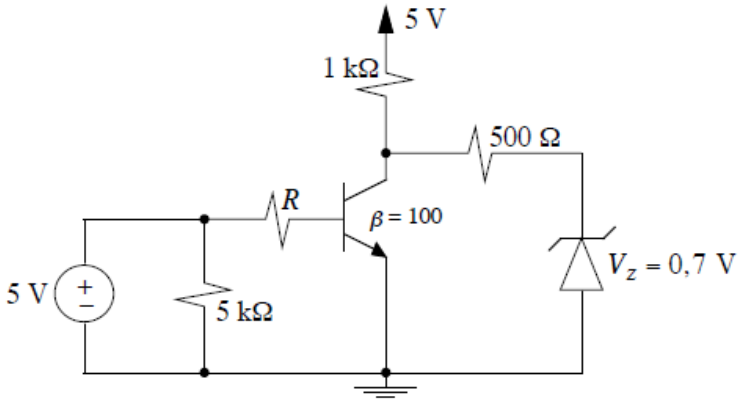
14.) Kalkula ezazu zein balio-tartetan egon daitekeen R erresistentzia (maximoa eta minimoa) irudiko zirkuituan, transistorea asetasunean eta Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta egon daitezen.



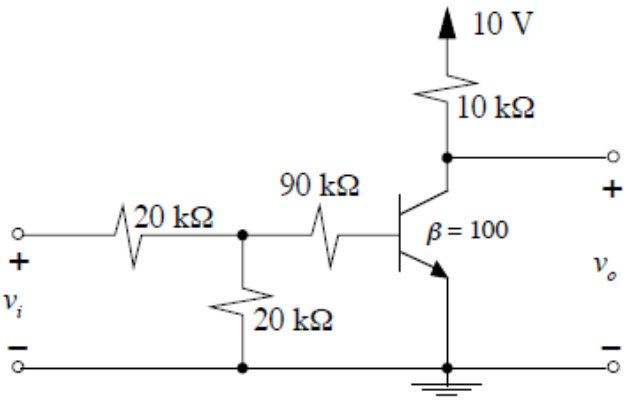
15.) Irudiko zirkuituan:

a) Bila ezazu zenbatekoa izan behar duen R erresistentziaren balioak, Zener diodoa korrontea eroaten has dadin. Nolakoa da balio hori, maximoa ala minimoa?

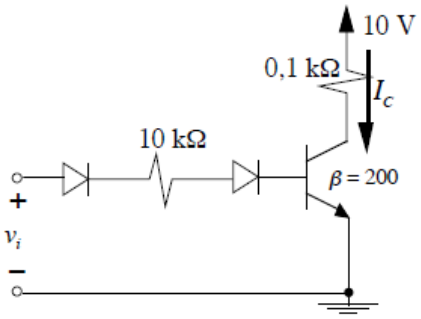
b) Aurki ezazu zein funtzionamendu-zonatan dagoen transistorea, aurreko atalean lortutako R-ren balio horretarako.



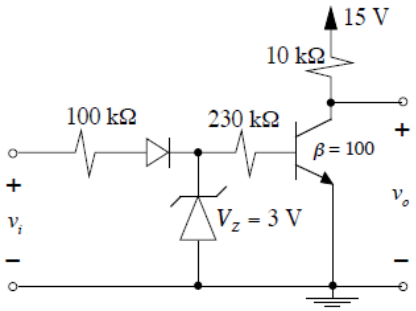
16.) Irudiko zirkuiturako marraz ezazu (v_o, v_i) transferentzia-kurba. Horretarako, azter ezazu sarrera-tentsioaren aldaketak (v_i-renak) irteera-tentsioaren gainean (v_o-ren gainean) duen eragina.



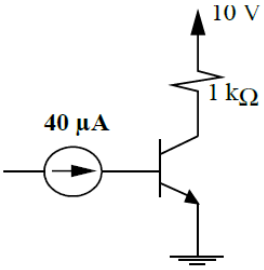
17.) Irudiko zirkuiturako, marraz ezazu (I_C, v_i) kurba.



18.) Irudiko zirkuiturako, marraz ezazu (v_o, v_i) transferentzia-kurba.

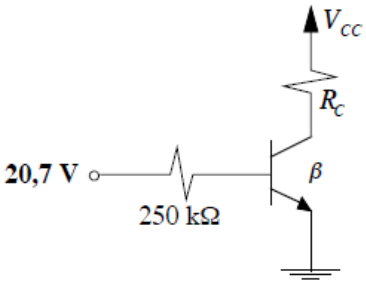


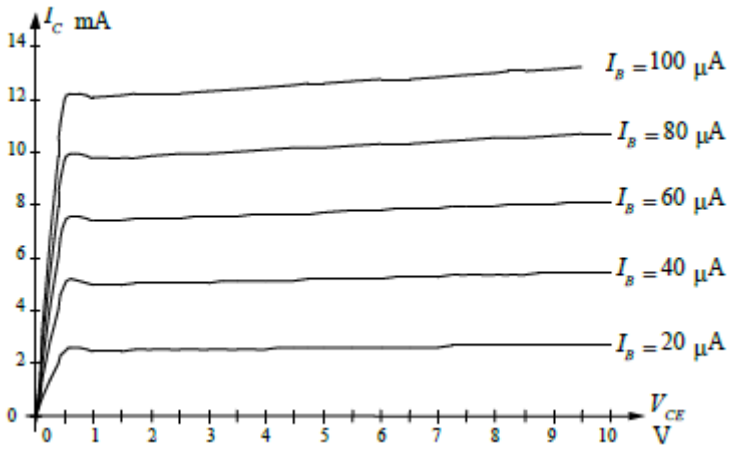
19.) Irudiko zirkuituan dagoen transistorearen irteera-kurbak esperimentalki ezagunak dira (hurrengo orrian). Marraz ezazu kurba horien gainean zirkuituaren irteerako karga-zuzena eta ondoren kalkula ezazu transistorearen irteerako operazio-puntua (I_C, V_{CE}).

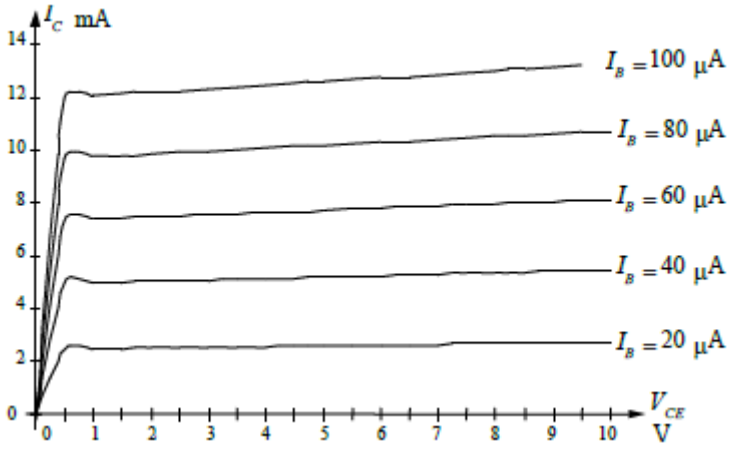


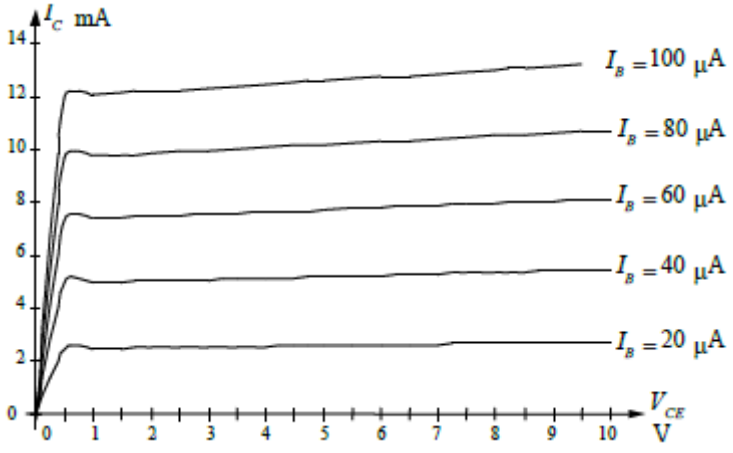
20.) Irudiko zirkuituan dagoen transistorearen irteera-kurbak esperimentalki ezagunak dira (hurrengo orria ikusi). Bestalde, zirkuituaren irteerako karga-zuzena ere ezaguna da, honako hauek izanik ardatzekiko ebakidura-puntuak: I_{C0} =12 mA; V_{CE0} = 9 V.

Datu horiek oinarritzat hartuz, kalkula itzazu honako balio hauek: zirkuituko V_{CC} eta R_C balioak, transistorearen operazio-puntua (I_B, V_{BE}, I_C, V_{CE}) eta β.



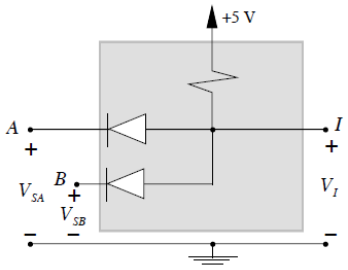

I_C mA
14
12
10
8
6
4
2
0
$I_B = 100$ μA
$I_B = 80$ μA
$I_B = 60$ μA
$I_B = 40$ μA
$I_B = 20$ μA
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
V_{CE}
V


I_C mA
14
12
10
8
6
4
2
0
$I_B = 100$ μA
$I_B = 80$ μA
$I_B = 60$ μA
$I_B = 40$ μA
$I_B = 20$ μA
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
V_{CE}
V

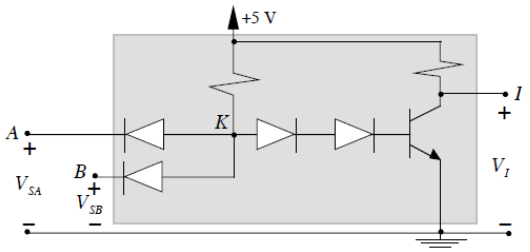

I_C mA
14
12
10
8
6
4
2
0
$I_B = 100$ μA
$I_B = 80$ μA
$I_B = 60$ μA
$I_B = 40$ μA
$I_B = 20$ μA
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
V_{CE}
V

KTO GA – Zirkuitu digitalak

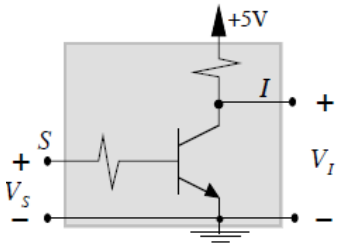
1.) Ondoko zirkuitua DL familia logikoko ate bat da. Analiza ezazu zirkuituaren funtzionamendua sarreren balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



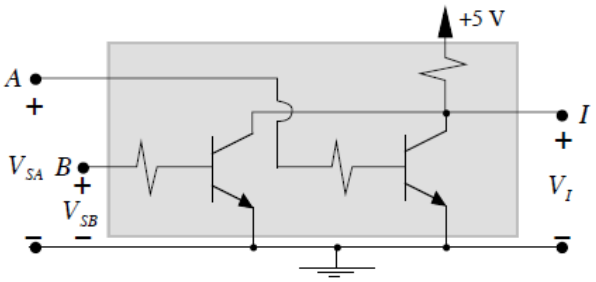
2.) Ondoko zirkuitua DTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



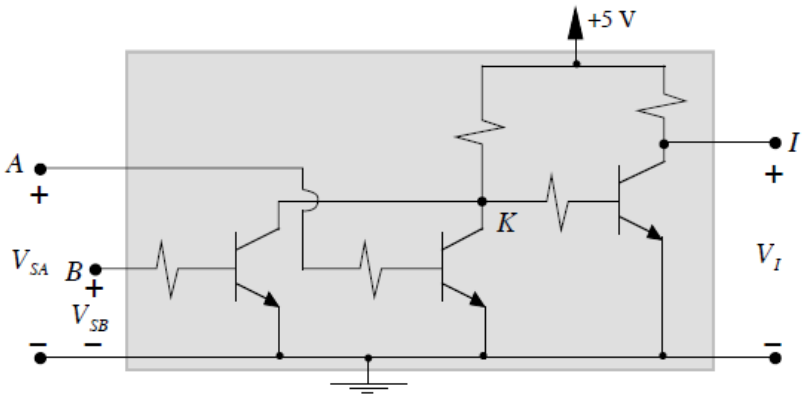
3.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



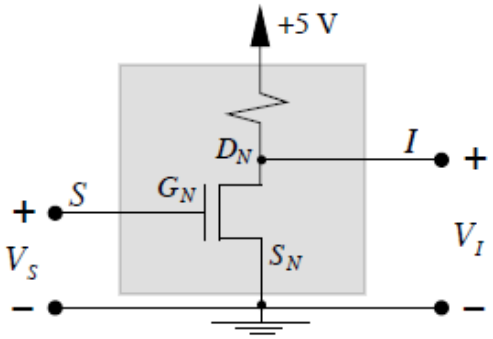
4.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



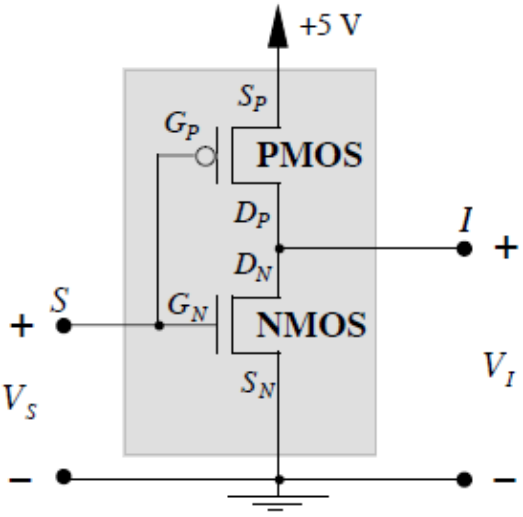
5.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



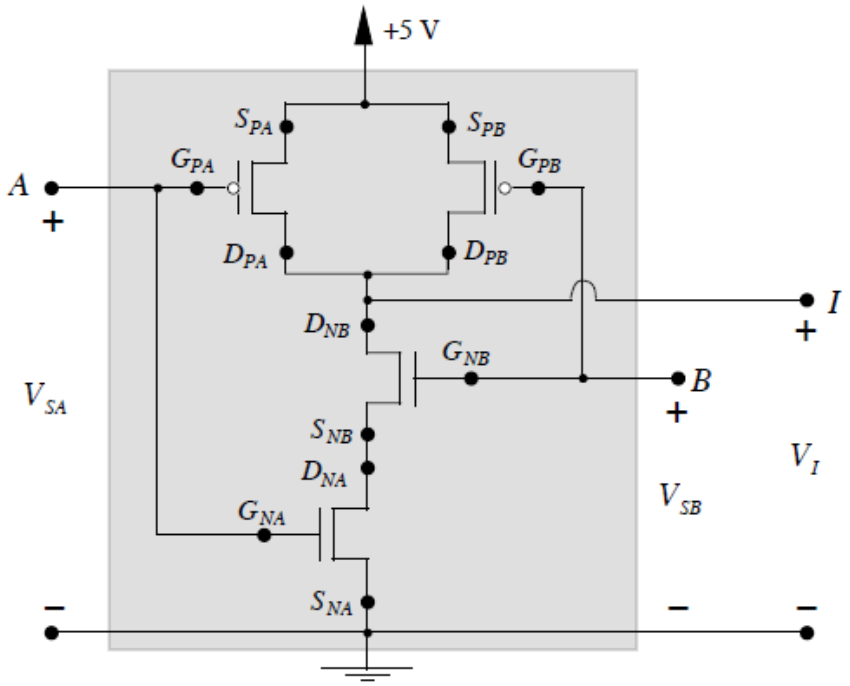
6.) Ondoko zirkuitua NMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



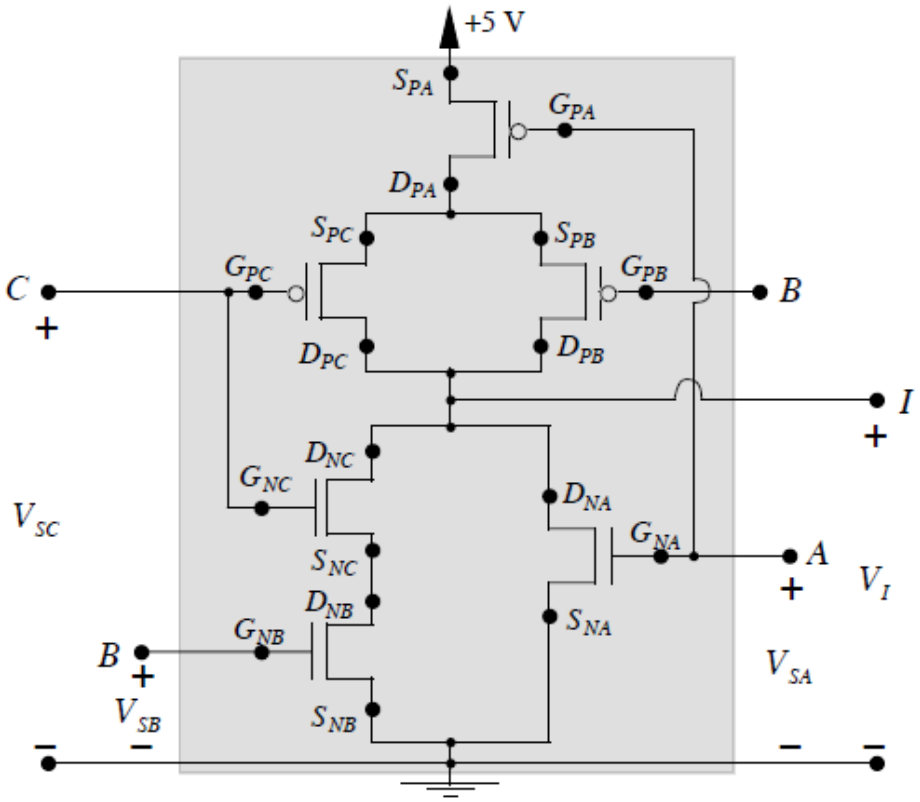
7.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



8.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.:



9.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko hiru sarrerako ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, eta bete egia-taula.



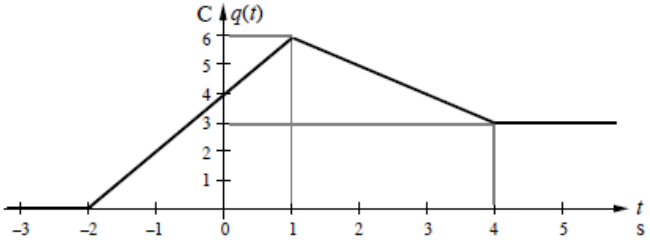
Ariketen Emaitzak

KTO GA – Elektrozinetika

1.) Eroale bateko puntu batetik eskuinerantz igaro den karga elektrikoaren kantitatea honako formula hauen bidez adieraz daiteke denboraren arabera (t segundotan, s; eta q coulombetan, C):

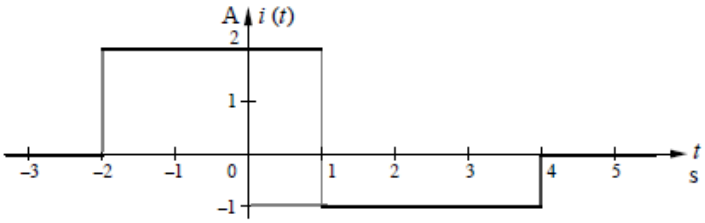
- $t \leq -2$ $\quad q(t) = 0$
- $-2 \leq t \leq 1$ $\quad q(t) = 2t + 4$
- $1 \leq t \leq 4$ $\quad q(t) = 7 - t$
- $4 \leq t$ $\quad q(t) = 3$

a) Marraz ezazu q(t) denboraren funtzioan. Zer azpimarratuko zenuke funtzio honi buruz?



Funtzio hori jarraitua dela azpimarratu behar da.

b) Kalkula ezazu puntu horretatik igaro den korronte elektrikoaren intentsitatea, i(t), eta marraz ezazu funtzio hori.

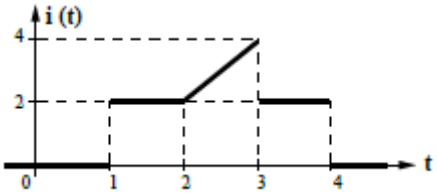


Nabaria da funtzio hori ez dela jarraitua.

2.) Eroale bateko puntu batetik segundo-erdi bakoitzean +3 C-eko karga bat igarotzen da eskuinerantz eta, aldi berean, segundo-heren bakoitzean –5 C-eko karga bat igarotzen da ezkerrerantz. Zenbatekoa da korrontearen intentsitatea puntu horretan?

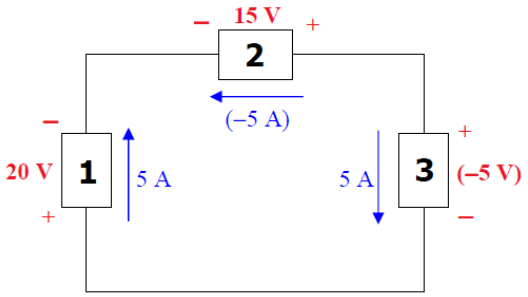
$$I = 21A$$

3.) Irudiko korronte aldakorra, i(t), aintzat hartuz, kalkula ezazu erreferentzia-puntutik $1 \leq t \leq 3$ denbora-tartean igaro den karga osoa (t segundotan, s; eta i anperetan, A).



$$\Delta q = 5C$$

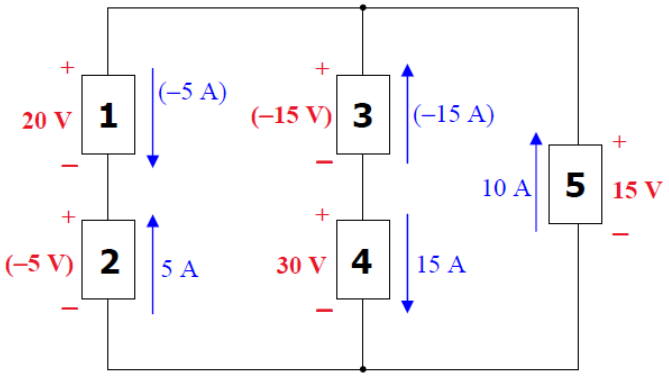
4.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



Magnitudea	1	2	3
Korrontea	-5A	-5A	5A
Tentsioa	20V	15V	-5V
Potentzia	Px=100W	Pe=75W	Pe=25W
Eman/Xurgatu	Pasibo	Aktibo	Aktibo

Betetzen da potentzien balantzea

5.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



Magnitudea	1	2	3	4	5
Korrontea	-5A	5A	-15A	15A	10A
Tentsioa	20V	-5V	-15V	30V	15V
Potentzia	Pe=100W	Px=25W	Pe=225W	Px=450W	Pe=150W
Eman/Xurgatu	Aktibo	Pasibo	Aktibo	Pasibo	Aktibo

Betetzen da potentzien balantzea

6.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

Erantzun hurrengo galderak ere:

a) Zenbateko potentzia ematen dute 1 eta 4 elementuek?

1. elementuak 80W ematen ditu

4. elementuak 12W ematen ditu

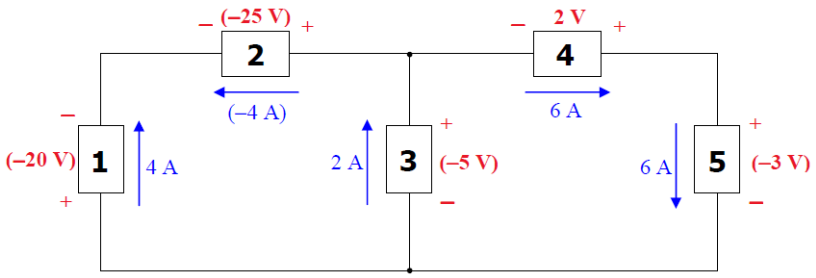
b) Zenbateko potentzia xurgatzen dute 3 eta 5 elementuek?

3. elementuak 10W xurgatzen ditu

5. elementuak -18W xurgatzen ditu

c) Zein motatako elementua da 2.? Aktiboa edo pasiboa. Zergatik?

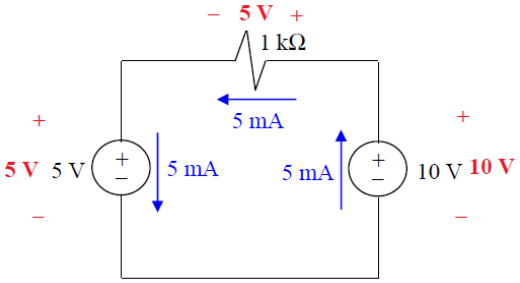
2. elementua pasiboa da potentzia xurgatzen duelako



Magnitudea	1	2	3	4	5
Korrontea	4A	-4A	2A	6A	6A
Tentsioa	-20V	-25V	-5V	2V	-3V
Potentzia	Pe=80W	Px=100W	Px=10W	Pe=12W	Pe=18W
Eman/Xurgatu	Aktibo	Pasibo	Pasibo	Aktibo	Aktibo

Betetzen da potentzien balantzea

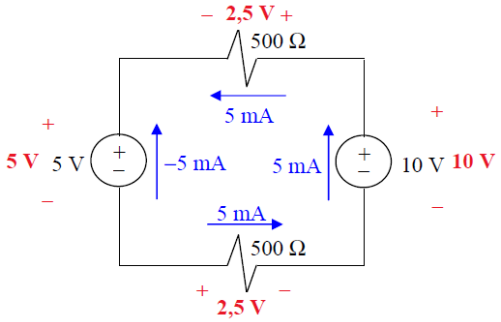
7.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.



Magnitudea	5 V	1 kΩ	10 V
Korrontea	5mA	5mA	5mA
Tentsioa	5V	5V	10V
Potentzia	Px=25mW	Px=25mW	Pe=50mW
Eman/Xurgatu	Pasibo	Pasibo	Aktibo

Betetzen da potentzien balantzea

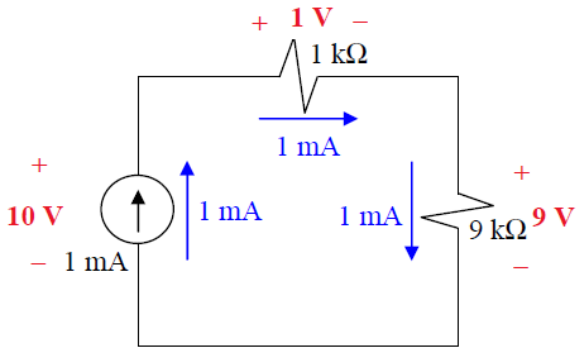
8.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

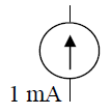
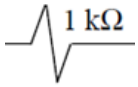


Magnitudea	5 V	500 Ω	10 V	500 Ω
Korrontea	-5mA	5mA	5mA	5mA
Tentsioa	5V	2.5V	10V	2.5V
Potentzia	Px=25mW	Px=12.5mW	Pe=50mW	Px=12.5mW
Eman/Xurgatu	Pasibo	Pasibo	Aktibo	Pasibo

Betetzen da potentzien balantzea

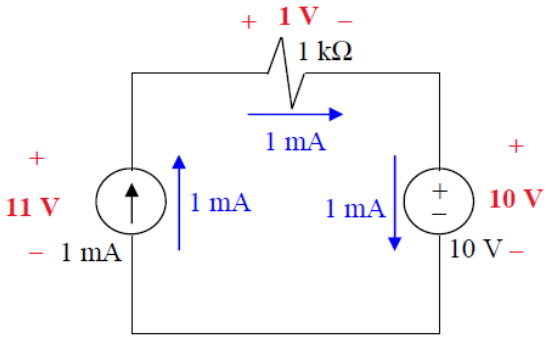
9.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

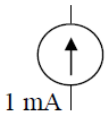
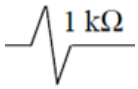
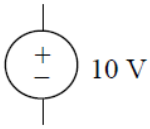


Magnitudea			
Korrontea	1mA	1mA	1mA
Tentsioa	10V	1V	9V
Potentzia	Pe=10mW	Px=1mW	Px=9mW
Eman/Xurgatu	Aktibo	Pasibo	Pasibo

Betetzen da potentzien balantzea

10.) Irudiko zirkuituko potentzia balantzea egin. Irudikatu taulan tentsio eta korronteen balioak eta tentsioak, baita potentzia ere eta esan zein elementu diren aktiboak eta zein pasiboak.

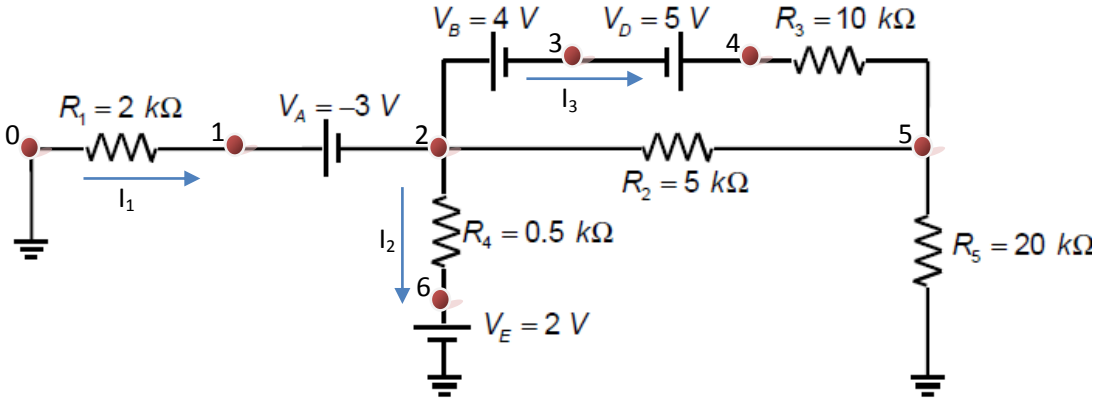


Magnitudea			
Korrontea	1mA	1mA	1mA
Tentsioa	11V	1V	10V
Potentzia	Pe=11mW	Px=1mW	Px=10mW
Eman/Xurgatu	Aktibo	Pasibo	Pasibo

Betetzen da potentzien balantzea

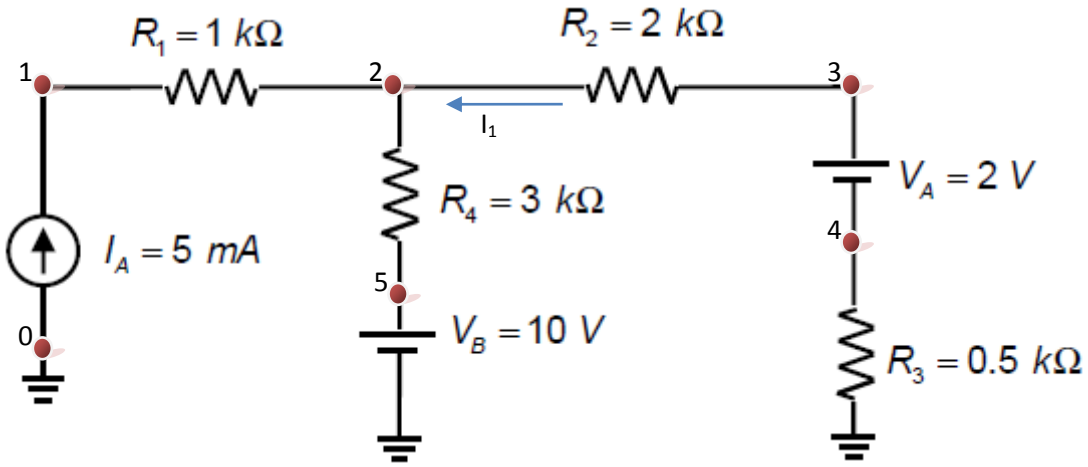
KTO GA – Zirkuituetako oinarrizko legeak eta horien aplikazioak

1.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



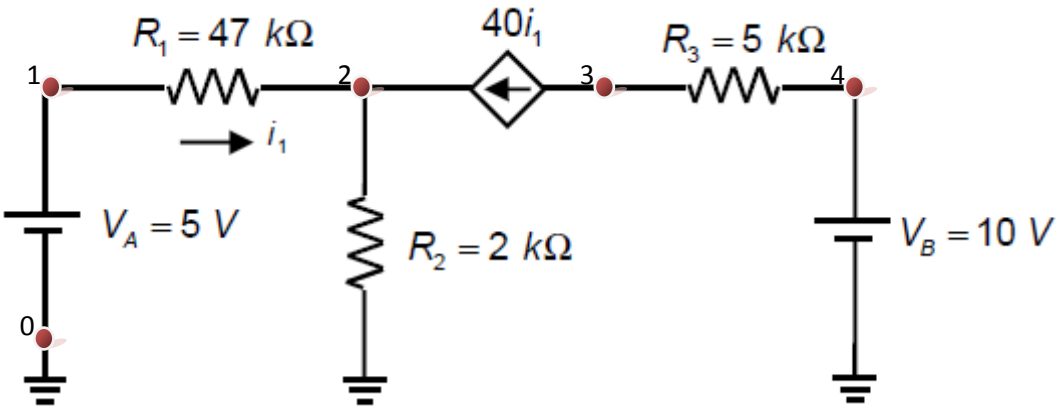
$$I_1 = 421.3\mu A; I_2 = 314.6\mu A; I_3 = 102.2\mu A$$
$$e_1 = -0.84V; e_2 = 2.16V; e_3 = -1.84V$$
$$e_4 = 3.16V; e_5 = 2.13V; e_6 = 2V$$

2.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



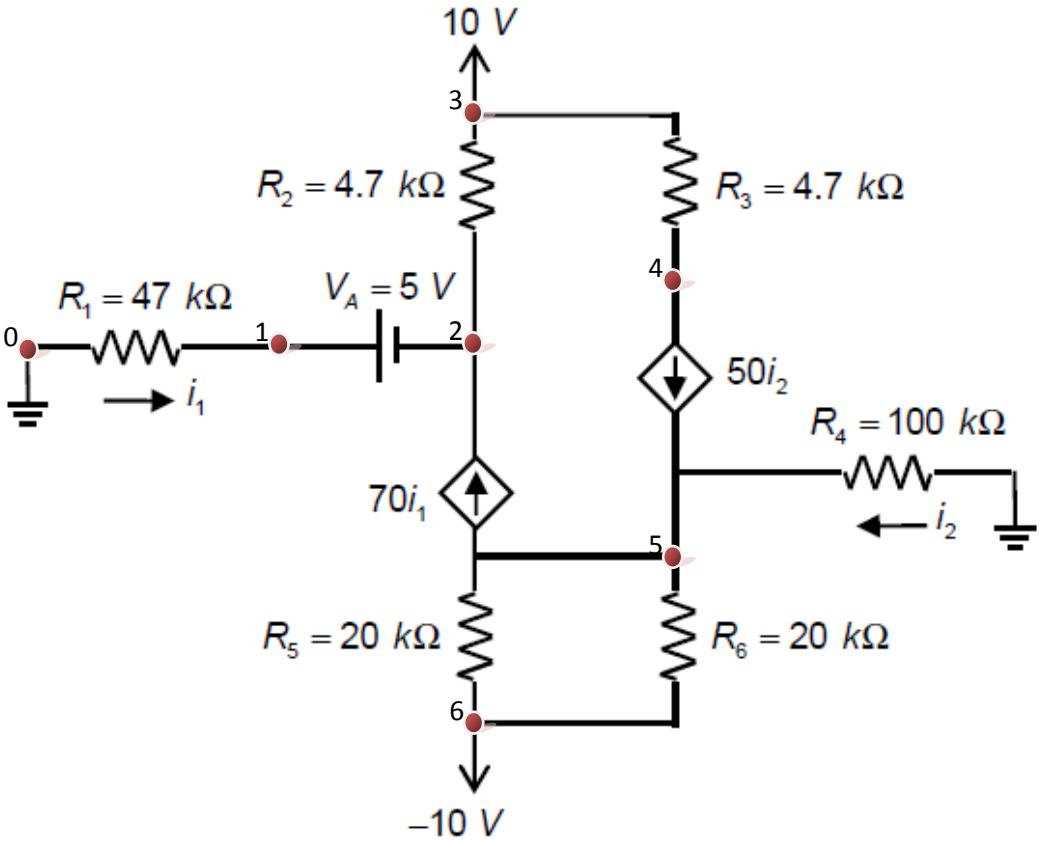
$$I_1 = -4.18mA$$
$$e_1 = 17.45V; e_2 = 12.45V; e_3 = 4.1V$$
$$e_4 = 2.1V; e_5 = 10V$$

3.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



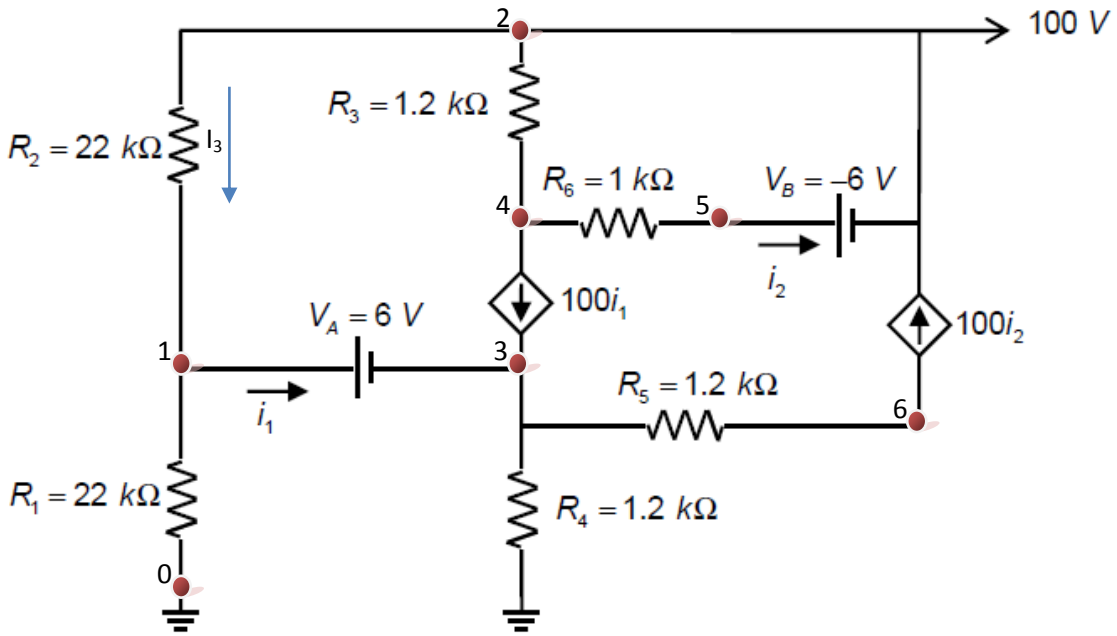
$$I_1 = 38.76\mu A$$
$$e_1 = 5V; e_2 = 3.18V$$
$$e_3 = 2.25V; e_4 = 10V$$

4.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



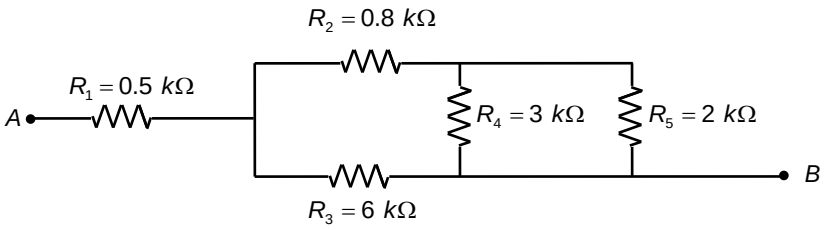
$$I_1 = -39.40\mu A; I_2 = -28.85\mu A$$
$$e_1 = 1.85V; e_2 = -3.15V; e_3 = 10V$$
$$e_4 = 16.77V; e_5 = 2.88V; e_6 = -10V$$

5.) Hurrengo zirkuitu elektrikoa ebatzi nodo bakoitzeko lurrarekiko tentsioa kalkulatuz.



$$I_1 = 55.6\mu A; I_2 = -305.4\mu A; I_2 = 2.3mA$$
$$e_1 = 49.4V; e_2 = 100V; e_3 = 43.4V$$
$$e_4 = 93.7V; e_5 = 94V; e_6 = 80V$$

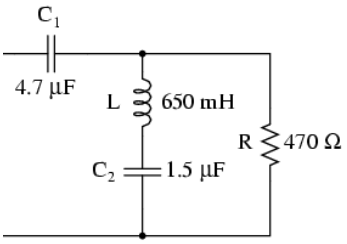
6.) Irudiko zirkituaren erresistentzia baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.



$$R_{Bal} = 2k\Omega$$

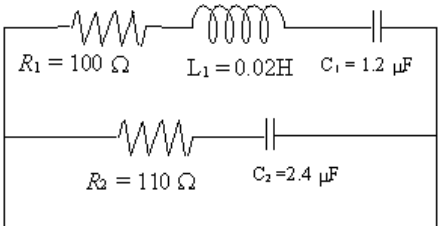
7.) Esandako maiztasunean ondoko zirkituen inpedantzia baliokidea kalkulatu

a) 60 Hz:



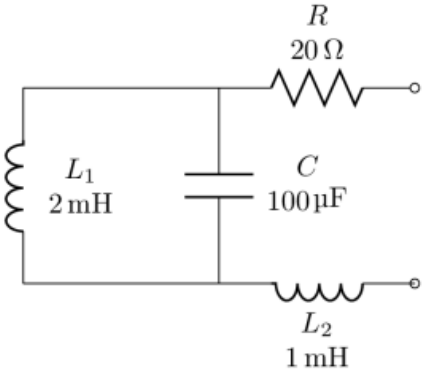
$$Z_{Bal} = (429.15 - j696.79)\Omega$$

b) 60Hz:



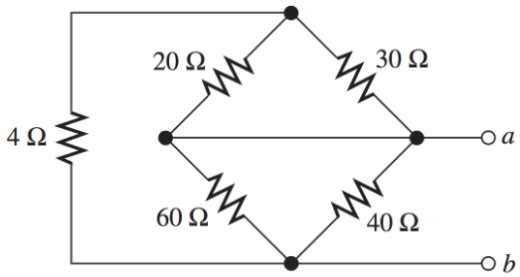
$$Z_{Bal} = (59.9 - j736.5)\Omega$$

d) 2 kHz:



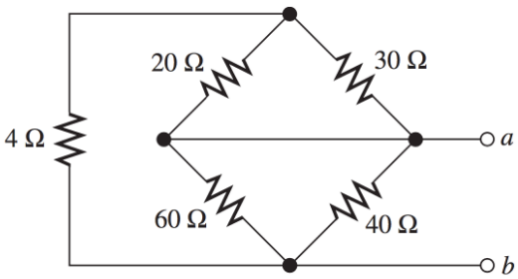
$$Z_{Bal} = (20 + j11.743)\Omega$$

f) 750 Hz:



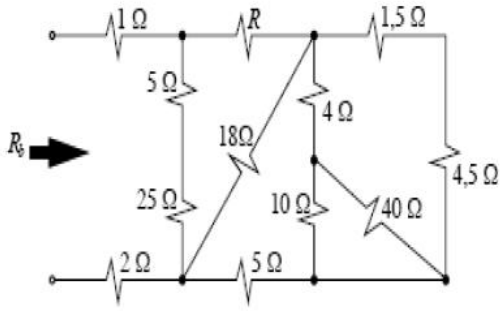
$$Z_{Bal} = 9.6\Omega$$

e) 300 Hz:



$$Z_{Bal} = 9.6\Omega$$

g) R= 14Ω eta f=750 Hz:



$$Z_{Bal} = 15\Omega$$

KTO GA – Zirkuituak analizatzeko oinarrizko metodoak

1.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Erresistore guztien tentsio erorketak eta korronteak kalkulatu mailen metodo erabiliz.

$$I_{R_1} = 4.454mA; V_{R_1} = 4.454V$$
$$I_{R_2} = 4.545mA; V_{R_2} = 9.09V$$
$$I_{R_3} = -0.091mA; V_{R_3} = 0.91V$$
$$I_{R_4} = 4.454mA; V_{R_4} = 4.454V$$

b) Zirkuitu honen adarretako intentsitate guztiak kalkulatu, baita A eta B puntuen arteko potentzial diferentzia gainezarmen printzipioa erabiliz.

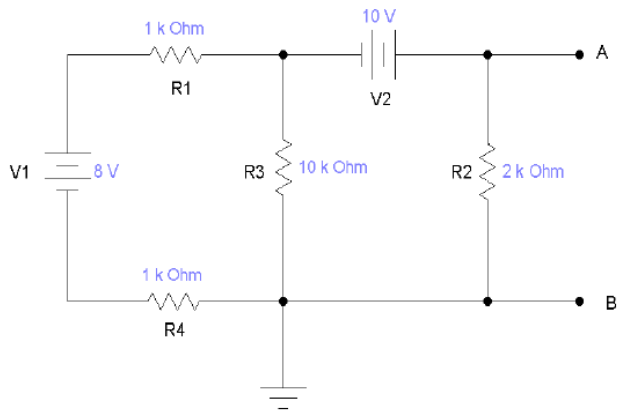
$$I_1 = 4.454mA; I_2 = 4.595mA; I_{R_3} = -0.091mA$$
$$V_{AB} = 9.19V$$

d) Thévenin zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

$$V_{Th} = 9.1V; R_{Th} = 0.91k\Omega$$

e) Norton zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

$$I_{No} = 10mA; R_{No} = 0.91k\Omega$$



2.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Erresistore guztien tentsio erorketak eta korronteak kalkulatu mailen metodo erabiliz.

$$I_{R_1} = -1.5mA; V_{R_1} = -1.5V$$
$$I_{R_2} = 3.6mA; V_{R_2} = 7.3V$$
$$I_{R_3} = -1.5mA; V_{R_3} = -4.5V$$
$$I_{R_4} = 3.6mA; V_{R_4} = 14.6V$$

b) Zirkuitu honen adarretako intentsitate guztiak kalkulatu, baita A eta B puntuen arteko potentzial diferentzia gainezarmen printzipioa erabiliz.

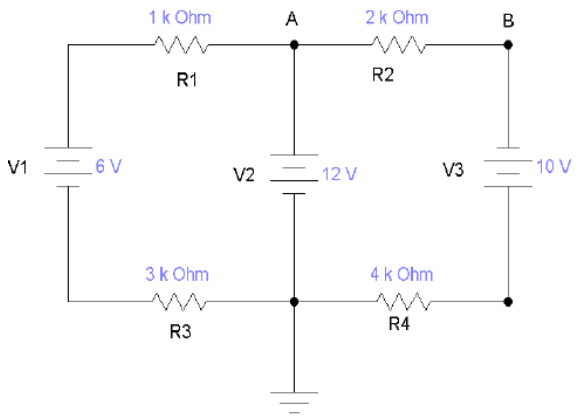
$$I_1 = -1.5mA; I_2 = -5.16mA; I_{R_3} = 3.6mA$$
$$V_{AB} = 7.3V$$

d) Thévenin zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

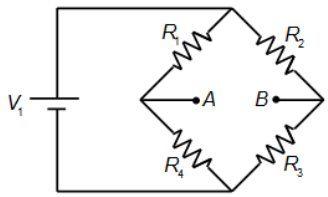
$$V_{Th} = 7.3V; R_{Th} = 1.3k\Omega$$

e) Norton zirkuitu baliokidea kalkulatu A eta B puntuen artean.

$$I_{No} = 5.5mA; R_{No} = 1.3k\Omega$$

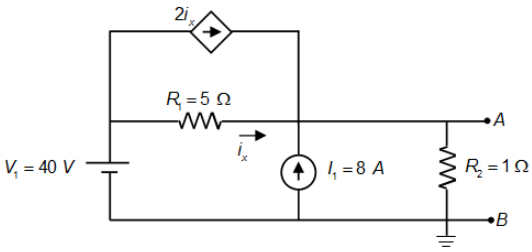


3.) Irudiko zirkituaren Thevenin baliokidea lortu A eta B puntuen artean.



$$V_{Th} = V_1\left(\frac{R_4}{R_4 + R_1} - \frac{R_3}{R_3 + R_2}\right); R_{Th} = (R_1 \parallel R_4) + (R_2 \parallel R_3)$$

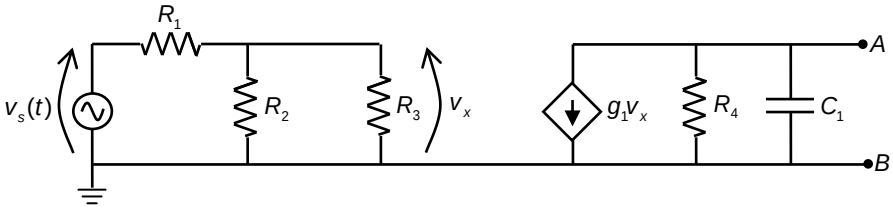
4.) Irudiko zirkituaren Thevenin eta Norton baliokideak lortu A eta B puntuen artean.



$$V_{Th} = 20V; Z_{Th} = \frac{5}{8}\Omega$$

$$I_{No} = 32A; Z_{No} = \frac{5}{8}\Omega$$

5.) Irudiko zirkituaren Thevenin baliokidea lortu A eta B puntuen artean.



$$V_{Th} = -g_1\left(R_4 \parallel Z_{C_1}\right)\frac{R_2 \parallel R_3}{R_2 \parallel R_3 + R_1}V_s$$

$$Z_{Th} = Z_{C_1} \parallel R_4 = \frac{R_4}{1 + j\omega C_1 R_4}$$

$$Z_{C_1} = \frac{-j}{\omega C_1}$$

6.) Hurrengo zirkuitu elektrikoan:

a) Mailen metodoa erabiliz, adar guztien korronteak kalkulatu. Kalkulatu ere harila eta kondentsadore guztien tentsioak baita A eta B puntuen artean dagoen tentsioa ere.

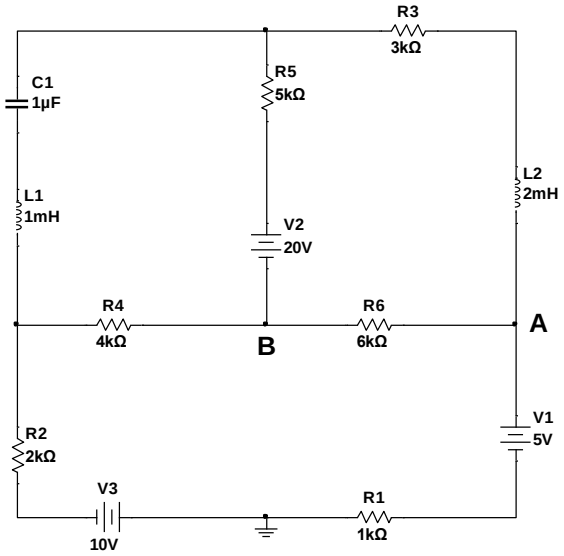
$$I_1 = -0.617mA; I_2 = 0mA; I_3 = 1.16mA; I_4 = 0.617mA; I_5 = -1.16mA; I_6 = -1.78mA$$

$$V_{L_1} = 0V; V_{L_2} = 0V; V_{C_1} = 16.67V; V_{AB} = 10.68V$$

b) Thevenin eta Norton zirkuitu baliokideak lortu A eta B puntuen artean.

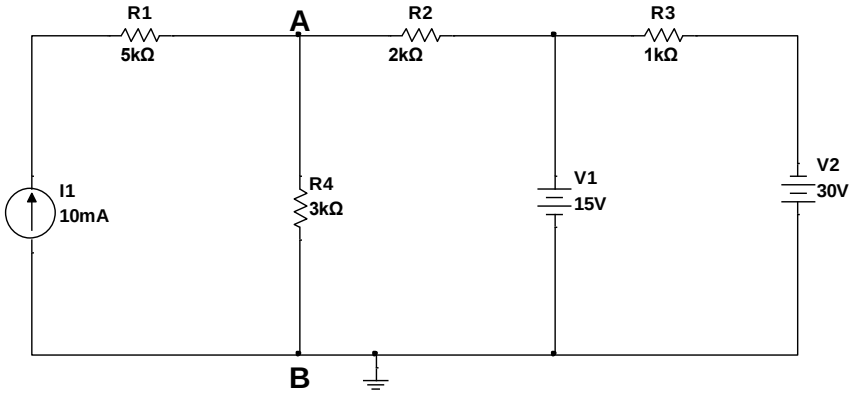
$$V_{Th} = 10.68V; Z_{Th} = 2.301k\Omega$$

$$I_{No} = 4.64mA; Z_{No} = 2301\Omega$$

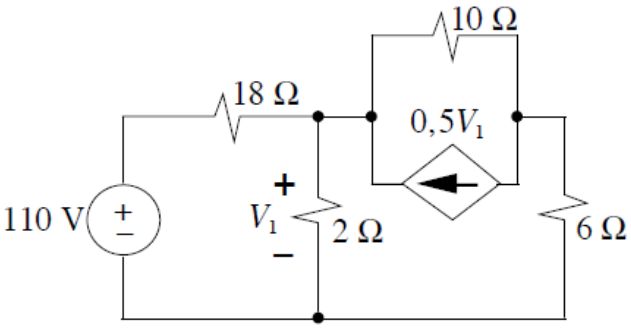


7.) Hurrengo zirkituan gainezarmen printzipioa erabiliz A eta B puntuen arteko tentsioa kalkulatu.

$$V_{AB} = 21V$$

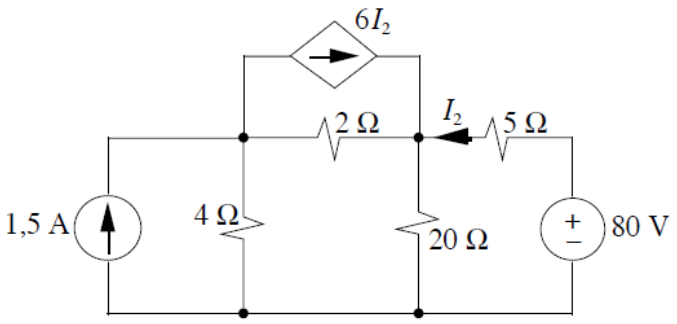


8.) Hurrengo zirkuitua analizatu mailen metodoa erabiliz.



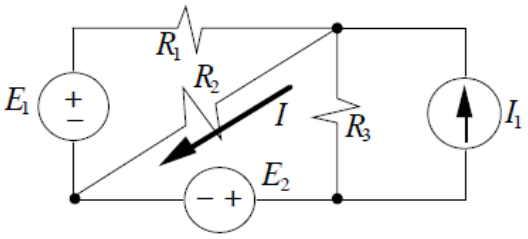
$$I_1 = 5A; I_2 = 10A; I_3 = 5A; I_4 = 10A; I_5 = -5A$$
$$e_1 = 110V; e_2 = 20V; e_3 = -30V$$

9.) Hurrengo zirkuitua analizatu mailen metodoa erabiliz.



$$I_1 = 1.5A; I_2 = 2.5A; I_3 = 24A; I_4 = -4A; I_5 = -25A; I_6 = 3A$$
$$e_1 = 10V; e_2 = 60V; e_3 = 80V$$

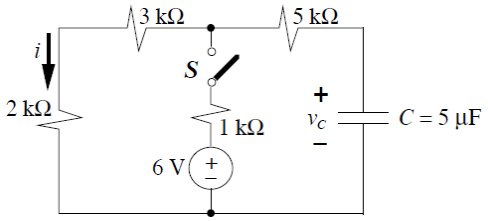
10.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu I intentsitatea, gainezarpen printzipioa erabiliz.



$$I = \frac{1}{R_2}\left[\frac{R_2 \parallel R_3}{(R_2 \parallel R_3) + R_1} E_1 + \frac{R_1 \parallel R_2}{(R_1 \parallel R_2) + R_3} E_2 + (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) I_1\right]$$

KTO GA – Zirkuitu elektrikoen egoera iragankorra eta korronte alternoa

1.) Irudiko zirkuituan, etengailua t = 0 unean ireki dugu, denbora luzez itxita egon ondoren.



a) Kalkula itzazu honako balio hauek: $v_C(0^-)$, $i(0^-)$, $v_C(0^+)$, $i(0^+)$, $v_C(\infty)$, $i(\infty)$.

$$v_C(0^-) = 5V; i(0^-) = 1mA; v_C(0^+) = 5V; i(0^+) = 0.5mA; v_C(\infty) = 0V; i(\infty) = 0mA$$

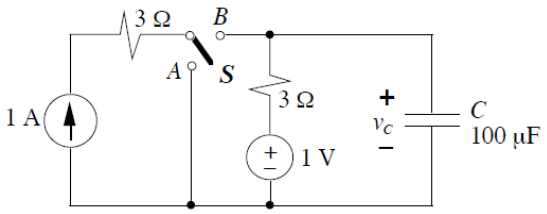
b) Zenbat denbora beharko du kondentsadoreak bere muturren arteko tentsioa 2,5 V-ekoa izan dadin?

$$t_{0.5} = 34.66ms = 0.69\tau$$

c) Etengailua denbora luzean irekita egon ondoren, berriro itxi dugu. Zenbat denbora beharko du kondentsadoreak oreka berrian lortuko duen tentsioaren erdia lortzeko?

$$t_{0.5} = 20.22ms = 0.69\tau$$

2.) Irudiko zirkuituan:



a) Kalkula ezazu zenbat balio duen kondentsadorearen borneen arteko potentzial-diferentziak etengailua denbora luzez A posizioan egon ondoren.

$$v_C(\infty_A) = 1V$$

b) t = 0 unean etengailua B posiziora eramaten badugu, kalkula ezazu zenbat denbora beharko duen kondentsadoreak egoera egonkorrean edukiko zukeen kargaren %90 lortzeko.

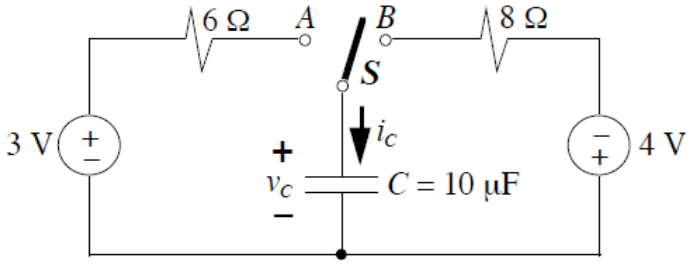
$$t_{0.9} = 604.5\mu s$$

c) Etengailua B posizioan denbora luzez egon ondoren, t' = 0 unean berriro A posiziora eramaten badugu, kalkula ezazu zenbatekoa izango den kondentsadorearen muturren arteko tentsioa 150 μs pasatu ondoren.

$$v_C(150) = 2.82V$$

3.) Irudiko zirkuituan, idatz itzazu gerta daitezkeen bi egoera iragankorrak islatzen dituzten ekuazioak, hots, etengailua B posiziotik A posiziora pasatzen denean, eta, alderantziz, A posiziotik B posiziora, horretarako posizio bakoitzean denbora luzea igaroko dela suposatuz. Bi kasu horietan, adieraz itzazu argi eta garbi honako balio hauek:

$v_C(0^-)$, $i_C(0^-)$, $v_C(0^+)$, $i_C(0^+)$, $v_C(\infty)$, $i_C(\infty)$.



$$v_C(0^-{}_A) = -4V; i_C(0^-{}_A) = 0A; v_C(0^+{}_A) = -4V; i_C(0^+{}_A) = \frac{7}{6}A; v_C(\infty_A) = 3V; i_C(\infty_A) = 0A$$

$$v_C(0^-{}_B) = 3V; i_C(0^-{}_B) = 0mA; v_C(0^+{}_B) = 3V; i_C(0^+{}_B) = -\frac{7}{8}A; v_C(\infty_B) = -4V; i_C(\infty_B) = 0A$$

$$\tau_A = R_A \cdot C = 60\mu s; v_{C_A}(t') = 3 - 7 \cdot e^{-\frac{t'}{60}}; I_{C_A}(t') = \frac{7}{6} \cdot e^{-\frac{t'}{60}}$$

$$\tau_B = R_B \cdot C = 80\mu s; v_{C_B}(t) = 7 \cdot e^{-\frac{t}{80}} - 4; I_{C_B}(t) = -\frac{7}{8} \cdot e^{-\frac{t}{80}}$$

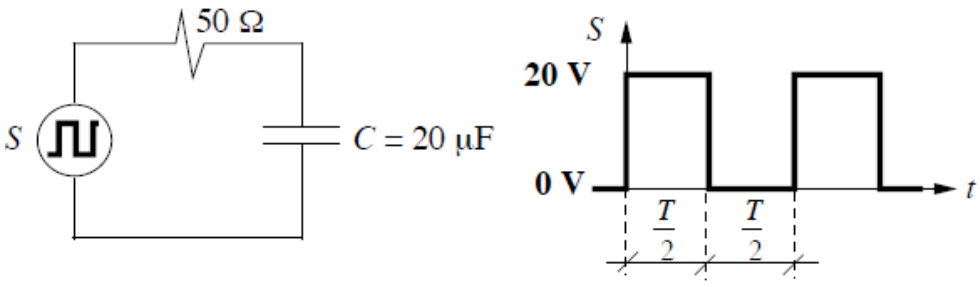
4.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu zenbatekoa izan daitekeen sarrerako seinale karratuaren maiztasun maximoa honako bi kasuetan:

a) Gutxienez lau denbora-konstanteko tartea eman nahi badiogu kondentsadoreari kargatzeko zein deskargatzeko (%98an, alegia)

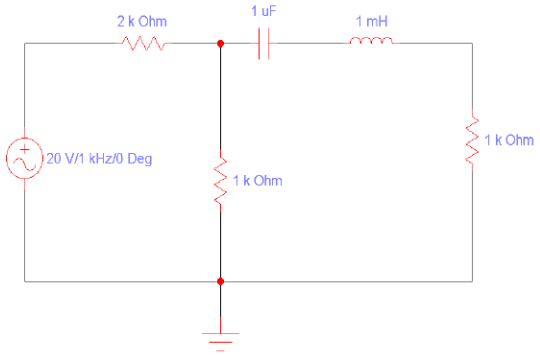
$$f_{\max} = \frac{1}{8\tau} = 125Hz$$

b) Kondentsadorea gutxienez %95ean karga zein deskarga dadin.

$$t_{0.95} = 3\tau; f_{\max} = 166.67Hz$$

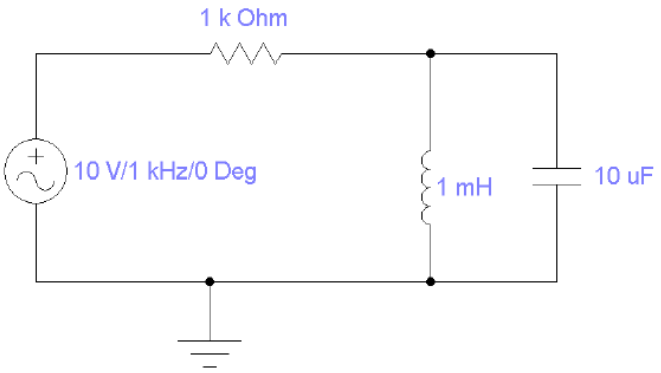


5.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.



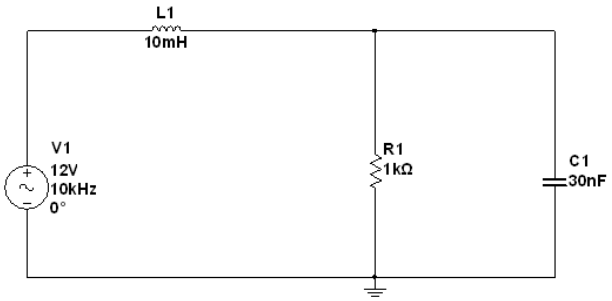
$$\tilde{I}_{R2k} = 7.990_{\angle 0.87^\circ} mA; \tilde{I}_{R1k} = 4.029_{\angle -3.457^\circ} mA; \tilde{I}_{RCL} = 3.984_{\angle 5.243^\circ} mA$$
$$\tilde{V}_C = 0.634_{\angle -84.757^\circ} V; \tilde{V}_L = 25.031_{\angle 95.243^\circ} mV$$

6.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.



$$\tilde{I}_R = 9.999_{\angle -0.595^\circ} mA; \tilde{I}_L = 16.521_{\angle -0.595^\circ} mA; \tilde{I}_C = 6.522_{\angle 179.405^\circ} mA$$
$$\tilde{V}_C = \tilde{V}_L = 103.804_{\angle 89.405^\circ} mV$$

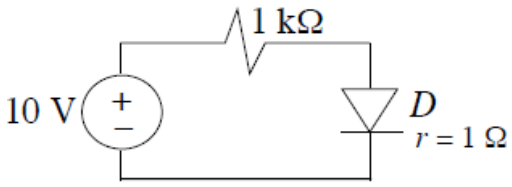
7.) Hurrengo zirkuituko adar guztien korronteak kalkulatu baita harilan eta kondentsadorean erortzen den tentsioa ere.



$$\tilde{I}_R = 18.57_{\angle -105.52^\circ} mA; \tilde{I}_L = 29.56_{\angle -195.52^\circ} mA; \tilde{I}_C = 35_{\angle 18.52^\circ} mA$$
$$\tilde{V}_L = 24.899_{\angle 46.52^\circ} mV; \tilde{V}_C = \tilde{V}_R = 18.57_{\angle -105.52^\circ} mV$$

KTO GA – Diodoak

1.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula itzazu elementu guztietako tentsioak eta korronteak, eta aldera itzazu soluzioak diodoaren hiru hurbilketak erabiliz:

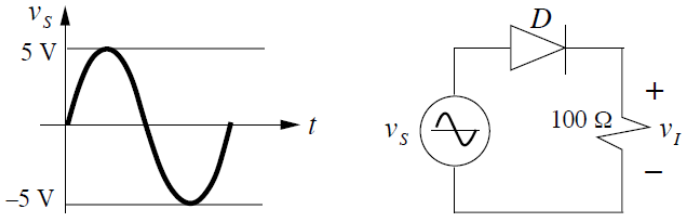


1. Hurbilketa: $I_D = 10mA; V_D = 0V; V_R = 10V$

2. Hurbilketa: $I_D = 9.3mA; V_D = 0.7V; V_R = 9.3V$

3. Hurbilketa: $I_D = 9.29mA; V_D = 0.71V; V_R = 9.29V$

2.) Irudiko zirkuiturako kalkula ezazu diodotik igarotzen den korronte maximoa eta marraz ezazu irteera-tentsioa diodoaren hiru hurbilketetarako. (Suposa ezazu diodoaren barne-erresistenzia 0,2 Ω-ekoa dela.)

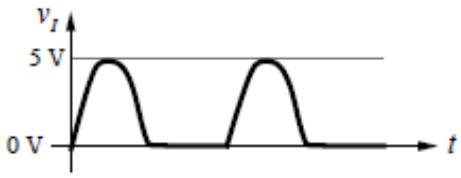


1. Hurbilketa: $I_{max} = 50mA$

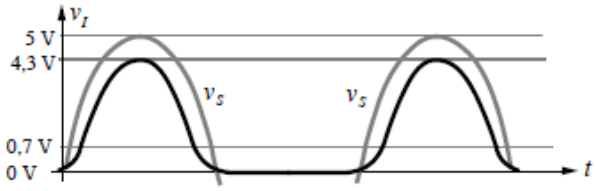
2. Hurbilketa: $I_{max} = 43mA$

3. Hurbilketa: $I_{max} = 42.91mA$

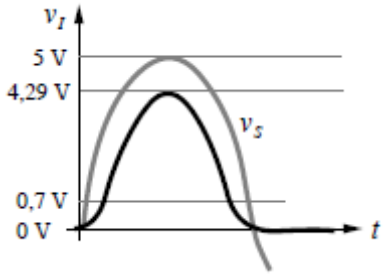
1. hurbilketa:



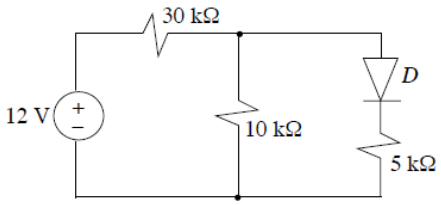
2. hurbilketa:



3. hurbilketa:

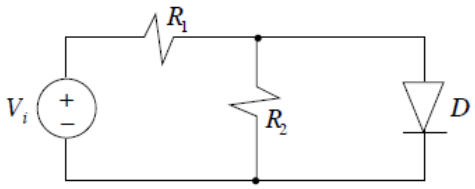


3.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua, diodoarentzat bigarren hurbilketa erabiliz.



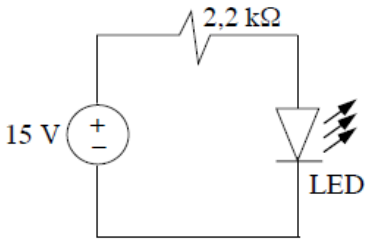
$$I_1 = 0.346mA; I_2 = 0.162mA; I_D = 0.184mA; V_D = 0.7V$$

4.) Irudiko zirkuiturako, esan zenbatekoa den Vi tentsioaren balio minimoa diodoak korrontea eroan dezan (erabili diodoaren bigarren hurbilketa). R1 eta R2 erresistentzien balioak ezagunak dira.



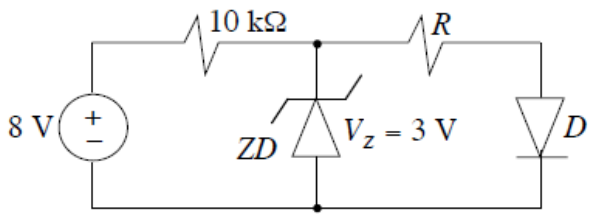
$$V_i \geq \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot 0.7V$$

5.) Irudiko zirkuitu sinplean, LED diodoa piztuko al da?



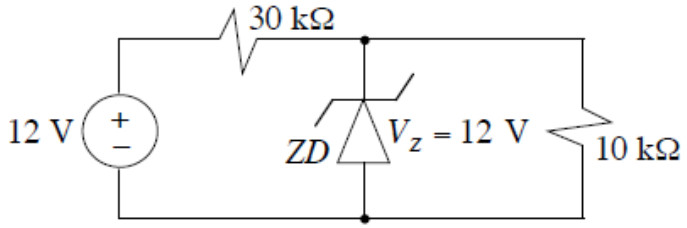
Bai

6.) Irudiko zirkuituan, kalkula ezazu zenbatekoa den R erresistentziaren balio minimoa Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta eta diodo artezlea zuzenki polarizatuta egon daitezen (erabili bigarren hurbilketa bi diodoetarako).



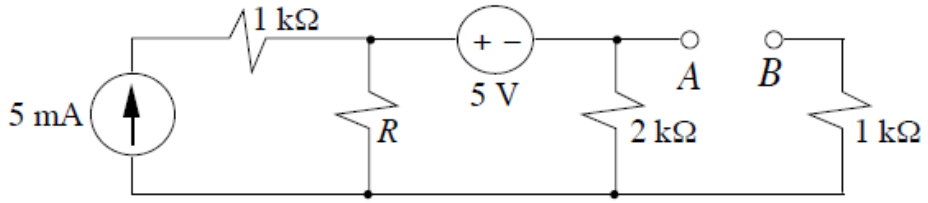
$$R_{\min} = 4.6k\Omega$$

7.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua Zener diodoaren bigarren hurbilketa erabiliz.



$$I_1 = I_2 = 0.3mA; I_Z = 0mA; V_D = -3V$$

8.) Irudiko zirkuituan:

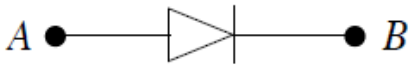


a) Kalkula itzazu A eta B puntuen arteko Thévenin-en zirkuitu baliokideak R erresistentziaren ondoko bi balioetarako eta irudika itzazu lortutako zirkuitu baliokideak: R = 2 kΩ, R = 500 Ω

$$R_{Th(2k\Omega)} = 2k\Omega; V_{Th(2k\Omega)} = 2.5V$$

$$R_{Th(0.5k\Omega)} = \frac{7}{5}k\Omega; V_{Th(0.5k\Omega)} = -2V$$

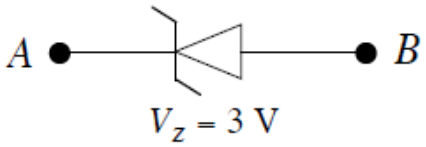
b) A eta B puntuen artean siliziozko diodo artezle bat konektatzen bada, ondoko irudian adierazten den bezala, kalkula itzazu diodotik igarotzen den korrontea eta bere borneen arteko tentsioa R-ren bi balioetarako. Erabil ezazu diodoaren bigarren hurbilketa.



$R = 2k\Omega \rightarrow I_D = 0mA; V_D = -2.5V;$ Diodoa alderantziz polarizatuta eskualde arruntan

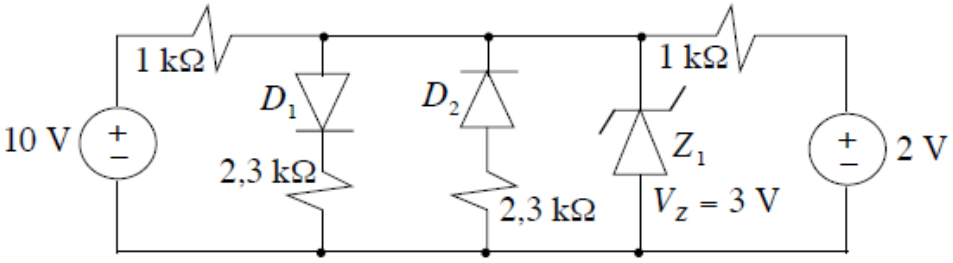
$R = 0.5k\Omega \rightarrow I_D = 0.93mA; V_D = 0.7V;$ Diodoa zuzenki polarizatuta

c) Errepika ezazu aurreko atalekoa, A eta B puntuen artean V_Z = 3 V duen Zener diodo bat konektatzen bada (irudian adierazten den bezala).



$$R = 2k\Omega \rightarrow I_D = 0.9mA; V_D = 0.7V;\ \text{Diodoa zuzenki polarizatuta}$$
$$R = 0.5k\Omega \rightarrow I_D = 0mA; V_D = -2V;\ \text{Diodoa alderantziz polarizatuta}$$

9.) Irudiko zirkuiturako kalkula itzazu adar guztietako korronteak eta elementu guztien muturren arteko tentsioak.



$$I_1 = 7mA; I_2 = -1mA; I_{D1} = 1mA; I_{D2} = 0mA; I_{Z1} = 5mA$$
$$V_{D1} = 0.7V; V_{D2} = -3V; V_Z = 3V; V_{R1k} = 7V; V_{R2.3k} = 2.3V; V_{R2.3k'} = 0V; V_{R1k'} = 1V$$

10.) Irudiko zirkuiturako, diodo guztiak siliziozkoak direla suposatuz eta bigarren hurbilketa erabiliz.

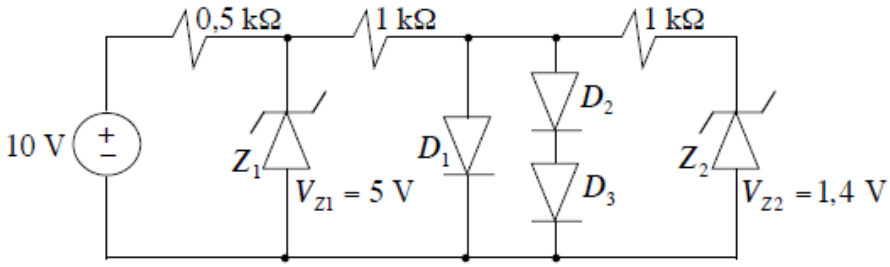
a) Bila ezazu nola dauden polarizatuta zirkuituko diodo guztiak;

D_1: Z.P, D_2 eta D_3: A.P, Z_1: AP Zener eskualdean, Z_2: A.P eskualde arruntean

b) Kalkula itzazu zirkuituko elementu guztien tentsioak eta korronteak;

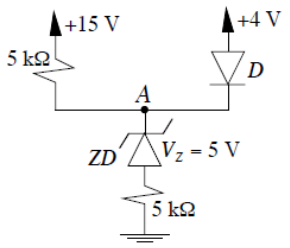
$$I_{R_{0.5k}} = 10mA; I_{Z_1} = 5.7mA; I_{R_{1k}} = 4.3mA; I_{D_1} = 4.3mA; I_{D_2} = I_{D_3} = 0mA; I_{Z_2} = 0mA$$
$$V_{R_{0.5k}} = 5V; V_{Z_1} = 5V; V_{R_{1k}} = 4.3V; V_{D_1} = 0.7V; V_{D_2} = 0.35V; V_{D_3} = 0.35V; V_{Z_2} = 0.7V; V_{R_{1k'}} = 0V$$

c) Egin ezazu potentzien balantzea.



$$P_{10V} = 100mW; P_{R_{0.5k}} = 50mW; P_{Z_1} = 28.5mW; P_{R_{1k'}} = 18.49mW;$$
$$P_{D_1} = 3.01mW; P_{D_2} = 0mW; P_{D_3} = 0.mW; P_{Z_2} = 0mW; P_{R_{1k''}} = 0mW$$
$$\sum P_{emandakoa} = \sum P_{xurgatutakoa} \rightarrow 100mW = (50 + 28.5 + 18.49 + 3.01 + 0)mW$$

11.) Irudiko zirkuiturako:



a) Kalkula ezazu zenbatekoa izan behar den A puntuko tentsio minimoa ZD Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta egon dadin.

$$V_{A\min} = 5V$$

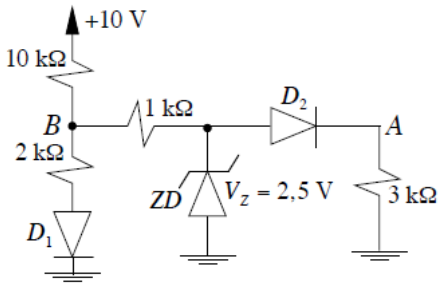
b) Kasu horretan, nola egongo da polarizatuta D diodoa?

Alderantziz polarizatuta

c) Aurreko bi galderen erantzunetan oinarriturik, egin ezazu bi diodoen polarizazioari buruzko balizko hipotesi bat eta, kalkula itzazu osagai guztietako korronteak eta tentsioak, hipotesi horren arabera.

$$I_{R_{5k}} = 1mA; I_{ZD} = 1mA; I_{R_{5k'}} = 1mA; I_D = 0mA$$
$$V_{R_{5k}} = 5V; V_{ZD} = 5V; V_{R_{5k'}} = 5V; V_D = -6V;$$

12.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula itzazu elementu guztietako korronteak eta tentsioak, diodoak siliziozkoak direla kontuan izanik. Zenbat balio dute A eta B puntuetako tentsioek?

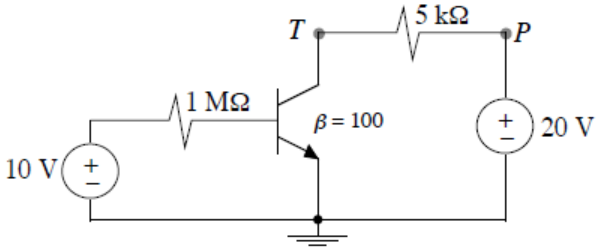


$$I_{R_{10k}} = 0.821mA; I_{R_{2k}} = I_{D_1} = 0.547mA; I_{R_{1k}} = 0.274mA; I_{ZD} = 0mA; I_{D_2} = I_{R3k} = 0.274mA$$
$$V_{R_{10k}} = 8.21V; V_{R_{2k}} = 1.09V; V_{D_1} = 0.7V; V_{R_{1k}} = 0.27V; V_{ZD} = 1.52V; V_{D_2} = 0.7V; V_{R3k} = 0.82V$$
$$V_A = 0.82V; V_B = 1.79V$$

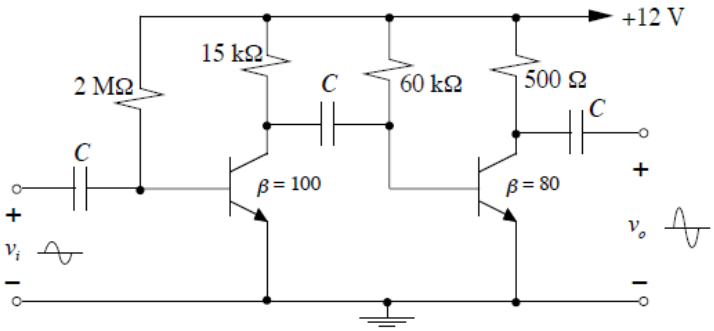
KTO GA – Transistoreak

1.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua, hots, kalkula ezazu transistorearen operazio-puntua: $Q(V_{BE}, I_B, V_{CE}, I_C)$. Zenbatekoa da P eta T puntuen arteko potentzial-diferentzia?

$$Q(V_{BE} = 0.7V; I_B = 9.3\mu A; V_{CE} = 15.35V; I_C = 0.93mA)$$
$$V_{PT} = 4.65V$$

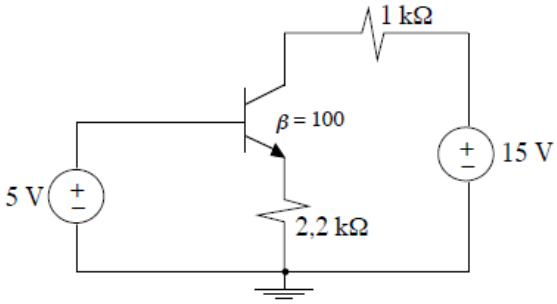


2.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua egoera egonkorrean:



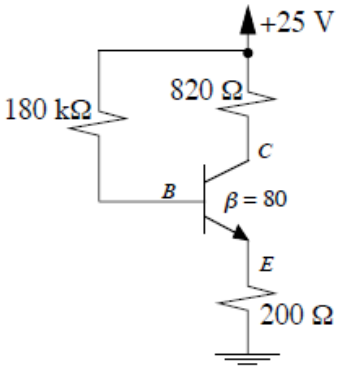
$$Q_1(V_{BE} = 0.7V; I_B = 5.65\mu A; V_{CE} = 3.525V; I_C = 0.565mA)$$
$$Q_2(V_{BE} = 0.7V; I_B = 0.19mA; V_{CE} = 4.5V; I_C = 15.1mA)$$

3.) Ebatz ezazu irudiko zirkuitua.



$$Q(V_{BE} = 0.7V; I_B = 19\mu A; V_{CE} = 8.76V; I_C = 1.94mA)$$

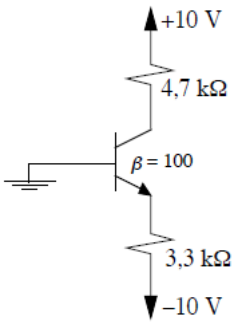
4.) Irudiko zirkuiturako, kalkula itzazu V_C, V_B eta V_E tentsioak. Zein funtzionamendu-egoeran dago transistorea?



$$V_E = 2V; V_B = 2.7V; V_C = 16.87V$$

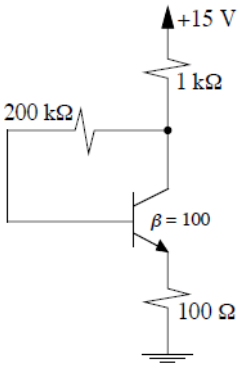
Gune aktiboan

5.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



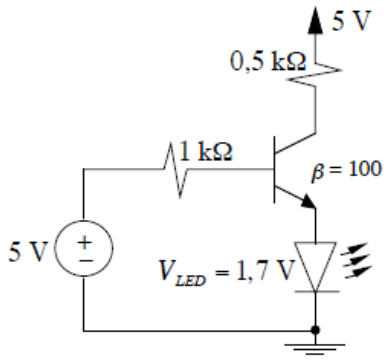
$$Q\left(V_{BE} = 0.7V; I_B = 0.58mA; V_{CE} = 0.2V; I_C = 2.23mA\right)$$

6.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



$$Q\left(V_{BE} = 0.7V; I_B = 46\mu A; V_{CE} = 9.89V; I_C = 4.6mA\right)$$

7.) Irudiko zirkuituan:



a) Azter ezazu zein funtzionamendu-zonatan dagoen transistorea.

Asetasunean

$$Q_T\left(V_{BE}=0.7V;I_B=2.6mA;V_{CE}=0.2V;I_C=6.2mA\right)$$

b) Zein egoeratan dago LED diodoa?

Zuzenki polarizatuta

$$Q_{LED}\left(I_{LED}=8.8mA;V_{LED}=1.7V\right)$$

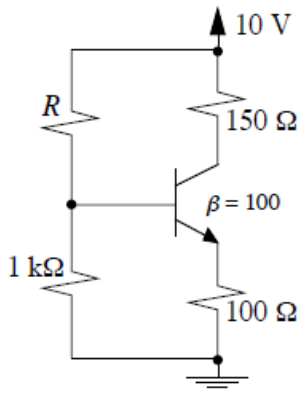
c) Zenbatekoa da LED diodoak xurgatutako potentzia?

$$P_{LEDxurgatua}=14.96mW$$

d) LED diodoa R erresistentzia batez ordezkatuz gero, kalkula ezazu zenbatekoa izan behar duen R-ren balioak, transistorearen kolektoreko tentsioa 2,5 V-ekoa izan dadin.

$$R=328.6\Omega$$

8.) Irudiko zirkuituan:



a) Kalkula ezazu R erresistentziaren balioa, transistorearen oinarriko tentsioa 1,71 Vekoa izan dadin.

$$R=4.58k\Omega$$

b) Esan ezazu zein funtzionamendu-zonatan egongo den transistorea R-ren balio horretarako, eta lor ezazu operazio-puntua.

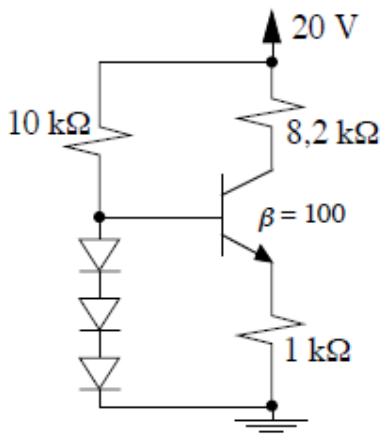
Gune aktiboan

$$Q\left(V_{BE}=0.7V;I_B=0.1mA;V_{CE}=7.49V;I_C=10mA\right)$$

c) Zenbatekoak dira, kasu horretan, kolektoreko tentsioa, V_C, eta igorlekoa, V_E?

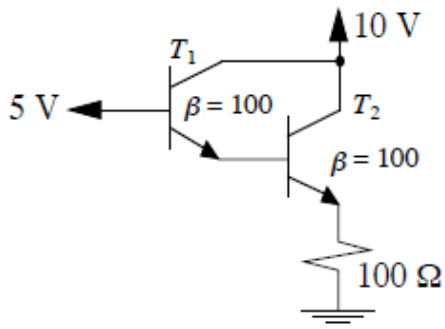
$$V_E=1.01V;V_C=8.5V$$

9.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



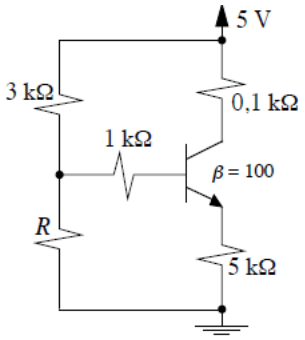
$$Q_T\left(V_{BE}=0.7V;I_B=13.9\mu A;V_{CE}=7.2V;I_C=1.39mA\right)$$
$$Q_D\left(I_D=1.78mA;V_D=0.7V\right)$$

10.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua:



$$Q_1\left(V_{BE}=0.7V;I_B=3.53\mu A;V_{CE}=5.7V;I_C=353\mu A;I_E=356\mu A\right)$$
$$Q_2\left(V_{BE}=0.7V;I_B=356\mu A;V_{CE}=6.4V;I_C=35.6mA;I_E=36mA\right)$$

11.) Irudiko zirkuituan:



a) Zenbatekoa izan behar du R erresistentziaren balioak, transistorea eroaten has dadin, hots, etenduratik atera eta zona aktibo arruntean sar dadin?

$$R = 488\Omega$$

b) Zein funtzionamendu-zonatan dago transistorea, R = 600 Ω baldin bada?

Gune aktiboan

12.) Ezkerreko irudiko zirkuiturako, aurki ezazu zein funtzionamendu-egoeratan dagoen transistorea. Horrez gain, kalkula itzazu transistorearen korapilo guztietako tentsioak (V_B, V_C eta V_E) eta korronteak (I_B, I_C eta I_E).

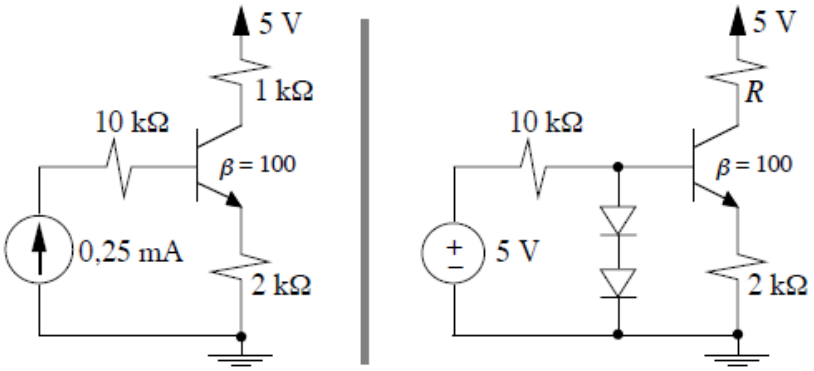
Asetasunean

$$V_E = 3.37V; V_B = 4.07V; V_C = 3.57V$$

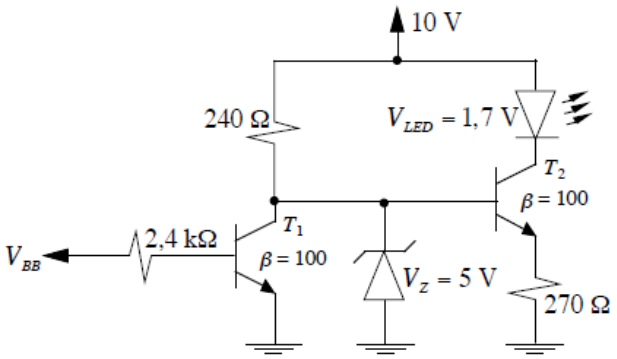
$$I_E = 1.68mA; I_B = 0.25mA; I_C = 1.43mA$$

Ondoren, korronte-sorgailua tentsio-sorgailu batez ordezkatu eta, eskuineko irudian ageri den legez, bi diodo sartzen badira, kalkula ezazu R erresistentziaren muga-balioa, transistorea zona aktibo arruntean egon dadin. Zer da balio hori, maximoa ala minimoa? Justifika ezazu erantzuna. (Suposatu diodoak siliziozkoak direla eta erabili 2. hurbilketa.)

$$R = 11.8k\Omega \rightarrow \text{Maximoa}$$

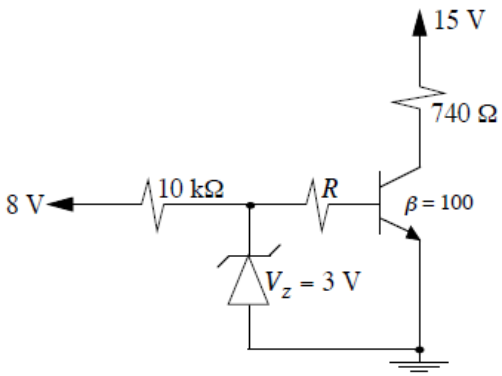


13.) Analiza ezazu irudiko zirkuitua V_{BB}=0 V denean eta 10 V denean. Zenbatekoak dira V_{BB} tentsioaren muga-balioak, T_1 transistorea zona aktibo arruntean egoteko?



$$V_{BB} = 0V:$$
$$Q_1\left(V_{BE} = 0V; I_B = 0A; V_{CE} = 5V; I_C = 0A\right)$$
$$Q_2\left(V_{BE} = 0.7V; I_B = 0.16mA; V_{CE} = 4V; I_C = 15.8mA; I_E = 15.9mA\right)$$
$$Q_Z(V_Z = -5V; I_Z = 20.7mA)$$
$$Q_{LED}(V_{LED} = 1.7V; I_{LED} = 15.8mA)$$
$$V_{BB} = 10V:$$
$$Q_1\left(V_{BE} = 0.7V; I_B = 3.875mA; V_{CE} = 0.2V; I_C = 40.83mA\right)$$
$$Q_2\left(V_{BE} = 0.2V; I_B = 0mA; V_{CE} = 10V - V_{LED}; I_C = 0mA; I_E = 0mA\right)$$
$$Q_Z(V_Z = -0.2V; I_Z = 0mA)$$
$$Q_{LED}(V_{LED} = 10V - V_{CE2}; I_{LED} = 0mA)$$
$$\text{Mugak: } 0.7V \le V_{BB} \le 1.68V$$

14.) Kalkula ezazu zein balio-tartetan egon daitekeen R erresistentzia (maximoa eta minimoa) irudiko zirkuituan, transistorea asetasunean eta Zener diodoa Zener eskualdean alderantziz polarizatuta egon daitezen.



$$4.6k\Omega \le R \le 11.5k\Omega$$

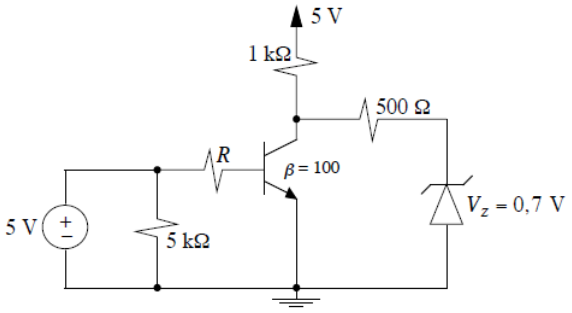
15.) Irudiko zirkuituan:

a) Bila ezazu zenbatekoa izan behar duen R erresistentziaren balioak, Zener diodoa korrontea eroaten has dadin. Nolakoa da balio hori, maximoa ala minimoa?

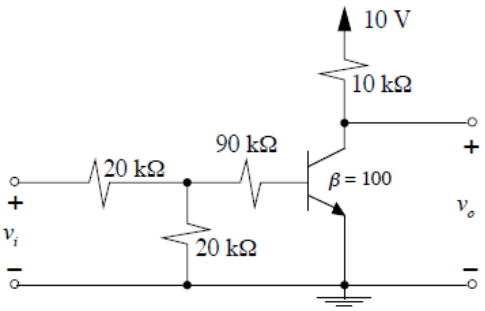
$$R = 100k\Omega \rightarrow \text{Minimoa}$$

b) Aurki ezazu zein funtzionamendu-zonatan dagoen transistorea, aurreko atalean lortutako R-ren balio horretarako.

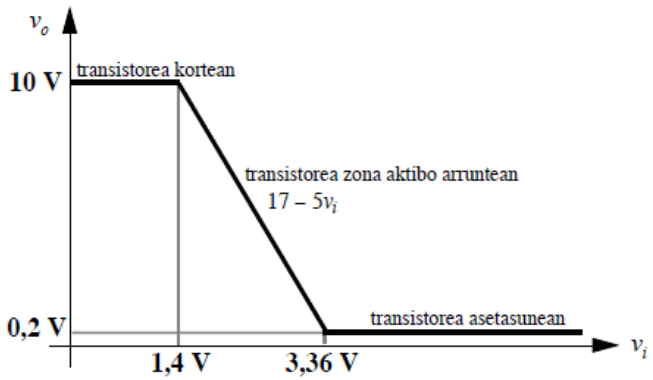
Gune aktiboan



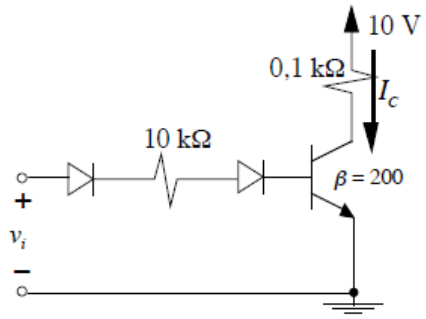
16.) Irudiko zirkuiturako marraz ezazu (v_o, v_i) transferentzia-kurba. Horretarako, azter ezazu sarrera-tentsioaren aldaketak (v_i-renak) irteera-tentsioaren gainean (v_o-ren gainean) duen eragina.



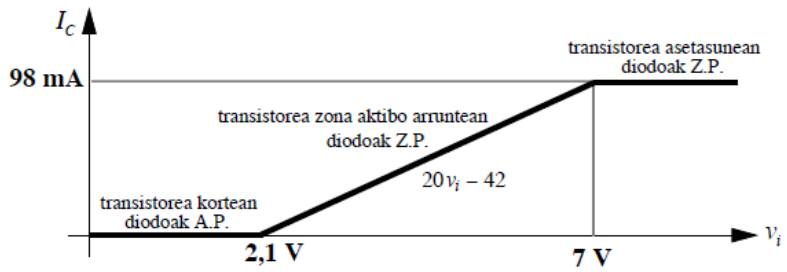
$$v_i \leq 1.4V \rightarrow v_o = 10V$$
$$1.4V \leq v_i \leq 3.36V \rightarrow v_o = (17 - 5v_i)V$$
$$3.36V \leq v_i \rightarrow v_o = 0.2V$$



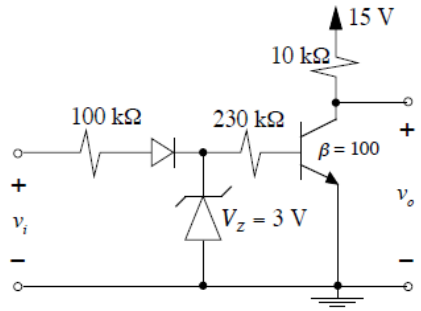
17.) Irudiko zirkuiturako, marraz ezazu (I_C, v_i) kurba.



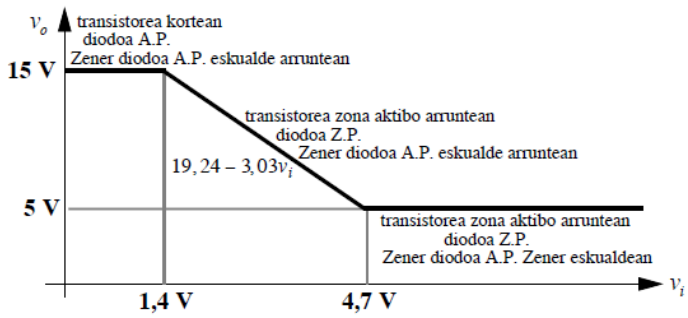
$$v_i \le 2.1V \rightarrow I_C = 0mA$$
$$2.1V \le v_i \le 7V \rightarrow I_C = (20v_i - 42)mA$$
$$7V \le v_i \rightarrow I_C = 98mA$$



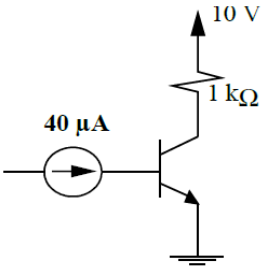
18.) Irudiko zirkuiturako, marraz ezazu (v_o, v_i) transferentzia-kurba.

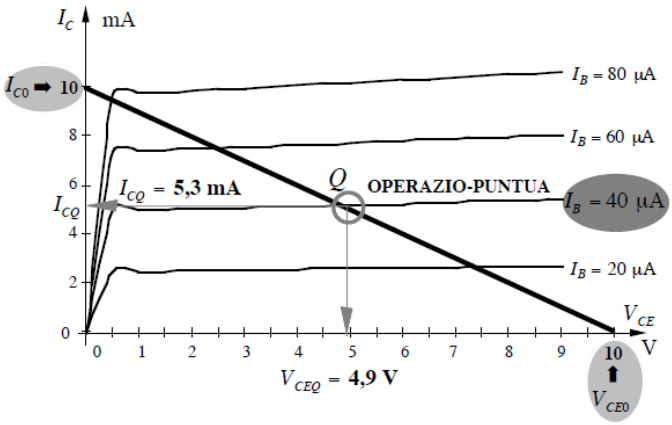


$$v_i \le 1.4V \rightarrow v_o = 15V$$
$$1.4V \le v_i \le 4.7V \rightarrow v_o = (19.24 - 53.03v_i)V$$
$$4.7V \le v_i \rightarrow v_o = 5V$$



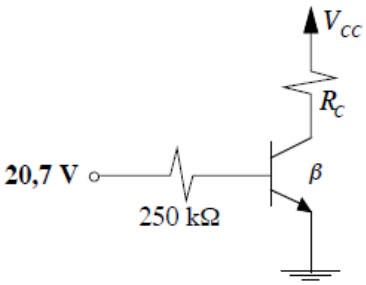
19.) Irudiko zirkuituan dagoen transistorearen irteera-kurbak esperimentalki ezagunak dira (hurrengo orrian). Marraz ezazu kurba horien gainean zirkituaren irteerako karga-zuzena eta ondoren kalkula ezazu transistorearen irteerako operazio-puntua (I_C, V_{CE}).



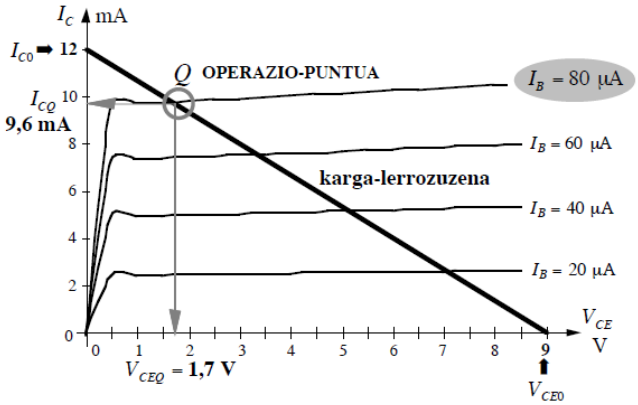


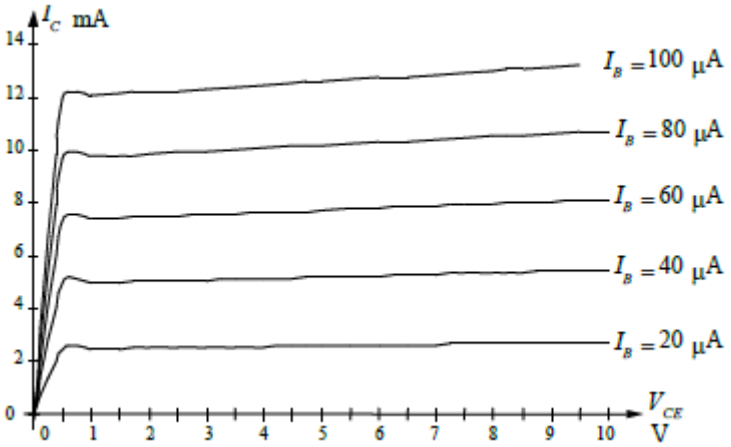
20.) Irudiko zirkuituan dagoen transistorearen irteera-kurbak esperimentalki ezagunak dira (hurrengo orria ikusi). Bestalde, zirkituaren irteerako karga-zuzena ere ezaguna da, honako hauek izanik ardatzekiko ebakidura-puntuak: I_{C0} =12 mA; V_{CE0} = 9 V.

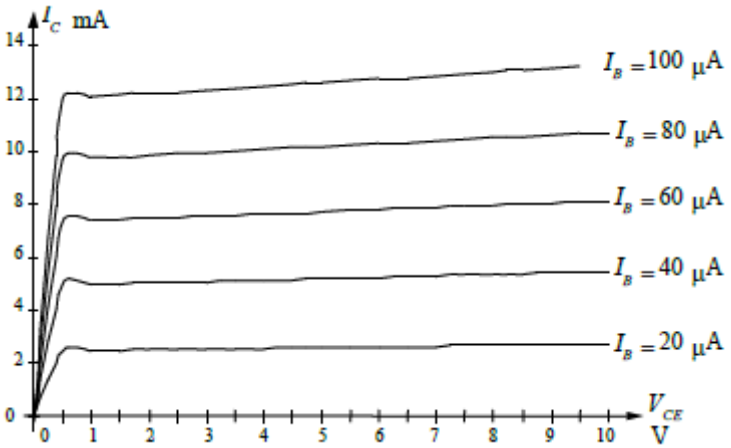
Datu horiek oinarritzat hartuz, kalkula itzazu honako balio hauek: zirkituko V_{CC} eta R_C balioak, transistorearen operazio-puntua (I_B, V_{BE}, I_C, V_{CE}) eta β.



$$V_{CC} = 9V; R_C = 0.75k\Omega$$
$$Q_T\left(V_{BE} = 0.7V; I_B = 80\mu A; V_{CE} = 1.7V; I_C = 9.6mA\right)$$
$$\beta = 120$$

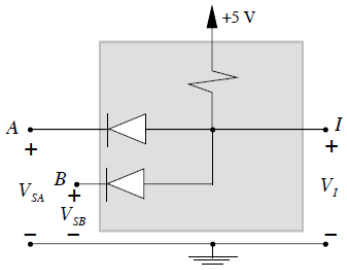

I_C mA
I_{C0} 12
I_{CQ} 10
9,6 mA
Q OPERAZIO-PUNTUA
I_B = 80 μA
I_B = 60 μA
karga-lerrozuzena
I_B = 40 μA
I_B = 20 μA
V_{CE}
V
V_{CEQ} = 1,7 V
V_{CE0}


I_C mA
I_B = 100 μA
I_B = 80 μA
I_B = 60 μA
I_B = 40 μA
I_B = 20 μA
V_{CE}
V


I_C mA
I_B = 100 μA
I_B = 80 μA
I_B = 60 μA
I_B = 40 μA
I_B = 20 μA
V_{CE}
V

KTO GA – Zirkuitu digitalak

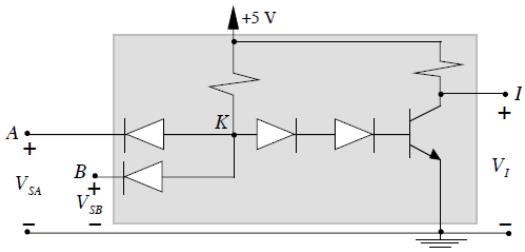
1.) Ondoko zirkuitua DL familia logikoko ate bat da. Analiza ezazu zirkuituaren funtzionamendua sarreren balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_{SA}	V_{SB}	V_I
❶	L	L	L
❷	L	H	L
❸	H	L	L
❹	H	H	H

AND ate logikoa

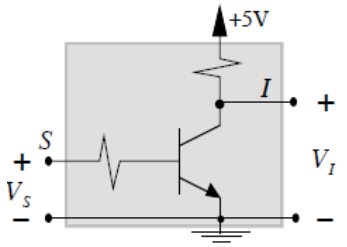
2.) Ondoko zirkuitua DTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_{SA}	V_{SB}	V_I
❶	L	L	H
❷	L	H	H
❸	H	L	H
❹	H	H	L

NAND ate logikoa

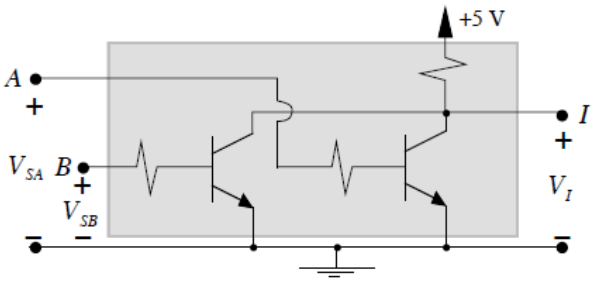
3.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_S	V_I
❶	L	H
❷	H	L

NOT ate logikoa, alderanzkailua

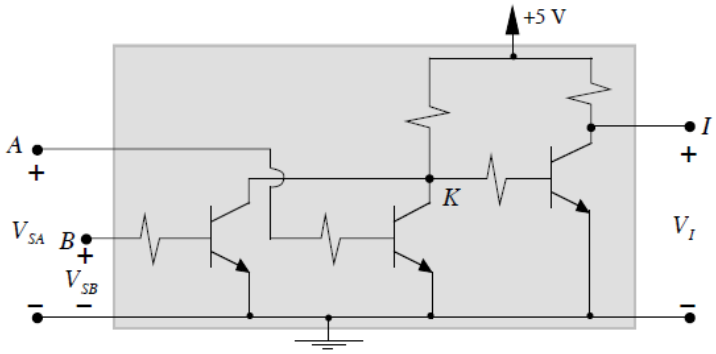
4.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_{SA}	V_{SB}	V_I
❶	L	L	H
❷	L	H	L
❸	H	L	L
❹	H	H	L

NOR ate logikoa

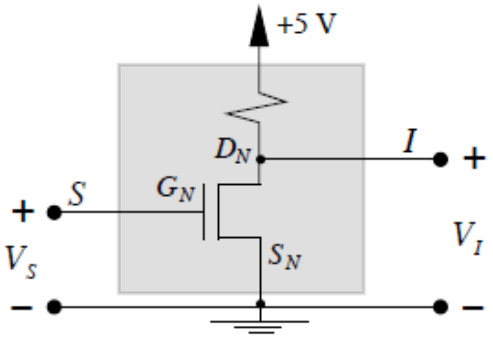
5.) Ondoko zirkuitua RTL familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_{SA}	V_{SB}	V_I
❶	L	L	L
❷	L	H	H
❸	H	L	H
❹	H	H	H

OR ate logikoa

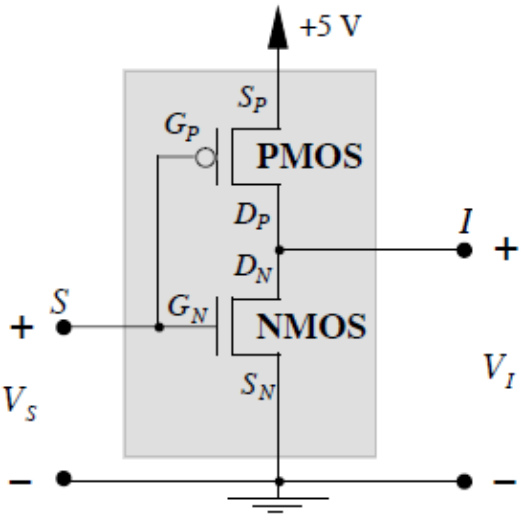
6.) Ondoko zirkuitua NMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_S	V_I
❶	L	H
❷	H	L

NOT ate logikoa, alderanzkailua

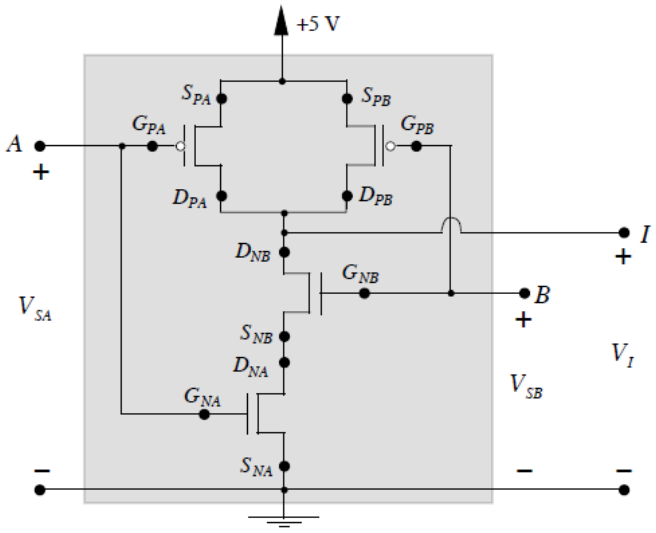
7.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.



	V_S	V_I
❶	L	H
❷	H	L

NOT ate logikoa, alderanzkailua

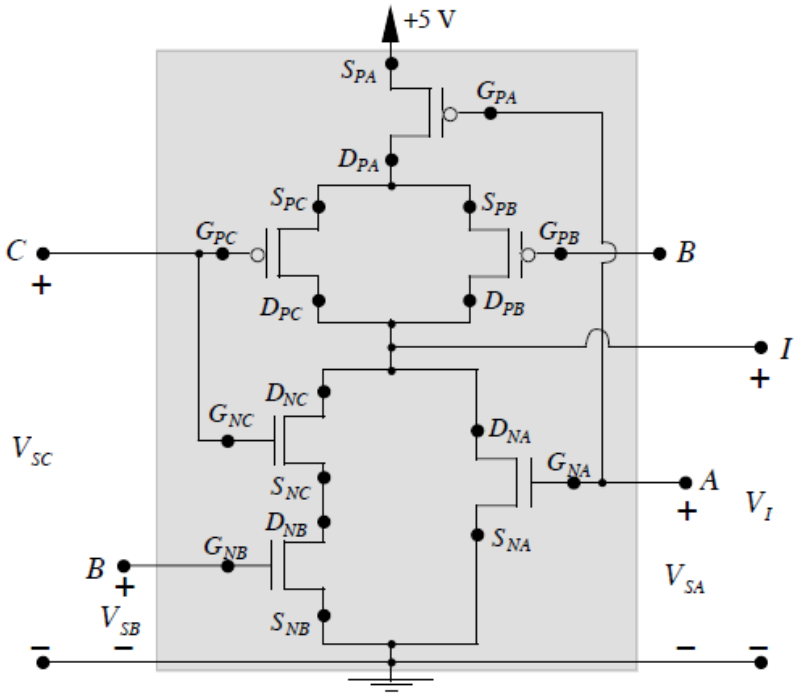
8.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, bete egia-taula eta esan zein ate logikori dagokion.:



	V_{SA}	V_{SB}	V_I
❶	L	L	H
❷	L	H	H
❸	H	L	H
❹	H	H	L

NAND ate logikoa

9.) Ondoko zirkuitua CMOS familia logikoko hiru sarrerako ate bat da. Azter ezazu zein izango den irteerako tentsioaren balioa sarrerako tentsioen balio posible guztietarako, eta bete egia-taula.



	V_{SA}	V_{SB}	V_{SC}	V_I
❶	L	L	L	H
❷	L	L	H	H
❸	L	H	L	H
❹	L	H	H	L
❺	H	L	L	L
❻	H	L	H	L
❼	H	H	L	L
❽	H	H	H	L