

1. GAIA - ELEKTROSTATIKA

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritzako Eskola (II Eraikina)

josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

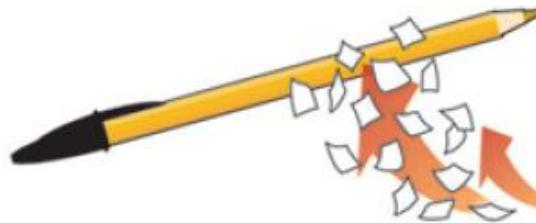
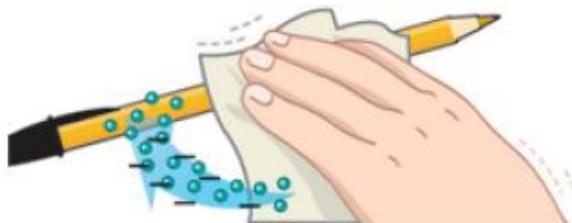
GAIAREN GAI-ZERRENDA

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

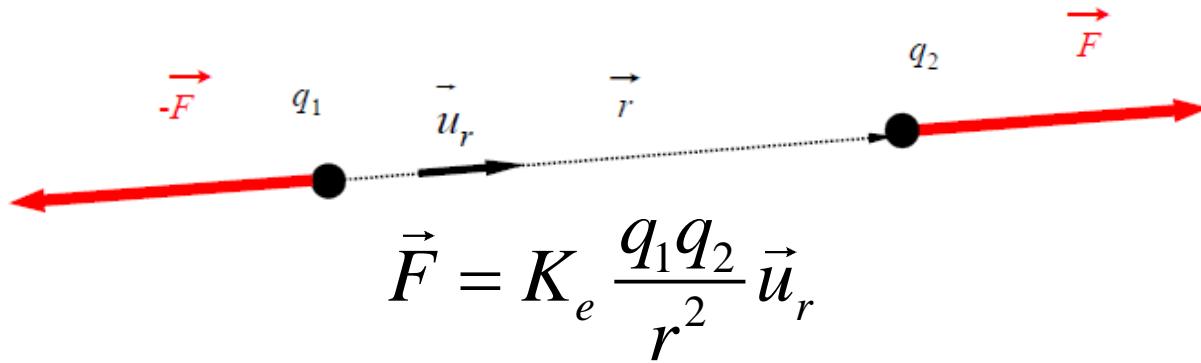
1. KARGA ELEKTRIKOA

- 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**. q_1 kargak sortzen duen indarra q_2 -n.



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

- q coulombian: C
- $K_e = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ $K_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
- $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ hutsezko permitibitatea
- Coulomb legea bakarrik baliagarria da kargak denboraren menpean mantentzen badira (eremu elektrostatikoa)

3. EREMU ELEKTRIKOA

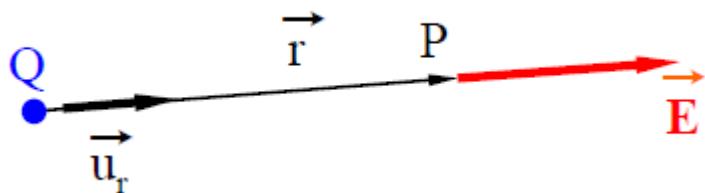
- Karga elektrikoaren efektua eremu baten existentziaren bitartez deskribatzen da
- \vec{E} eremu elektrikoa, kargak bere inguruan sortzen dituen indarren deskribapena da
- Inguruko puntu bakoitzean eta denbora une bakoitzean, puntu eta denbora une horretan kokatutako q karga baten agertuko lukeen indarreko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

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

3. EREMU ELEKTRIKOA

- Karga puntual batek sortzen duen eremu elektrikoa:

- Coulomb-en legetik abiatuz:



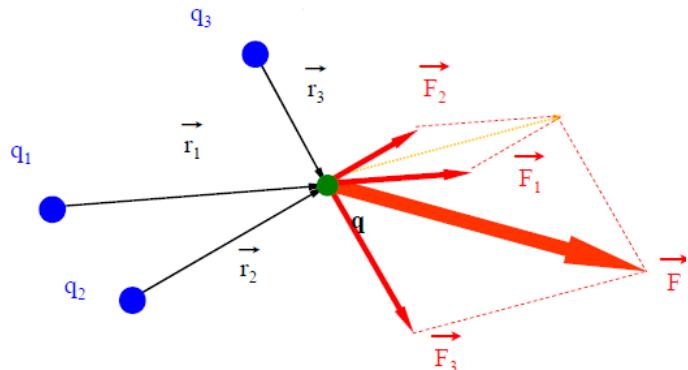
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

- Hauxe da q kargak sortzen duen eremu elektrikoa

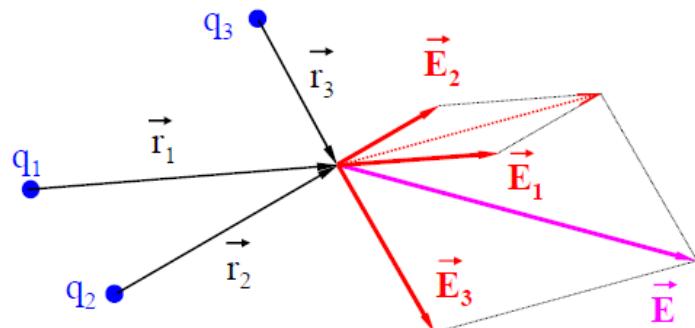
3. EREMU ELEKTRIKOA

- Ginezarmen printzipioa

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



$$\vec{F} = \sum_i^n \vec{F}_i = \sum_i^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i}$$

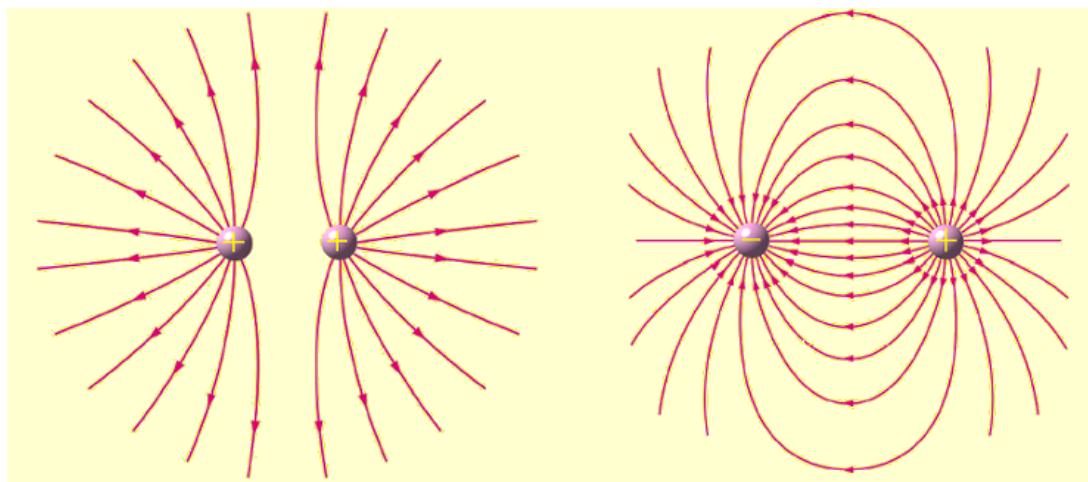
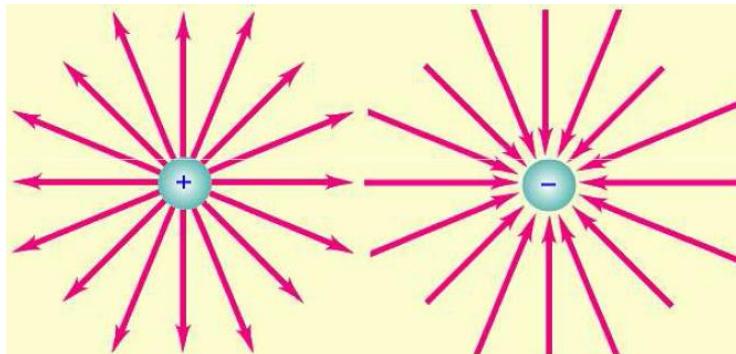


$$\vec{E} = \sum_i^n \vec{E}_i = \sum_i^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_{r_i}$$

3. EREMU ELEKTRIKOA

- Indar lerroak

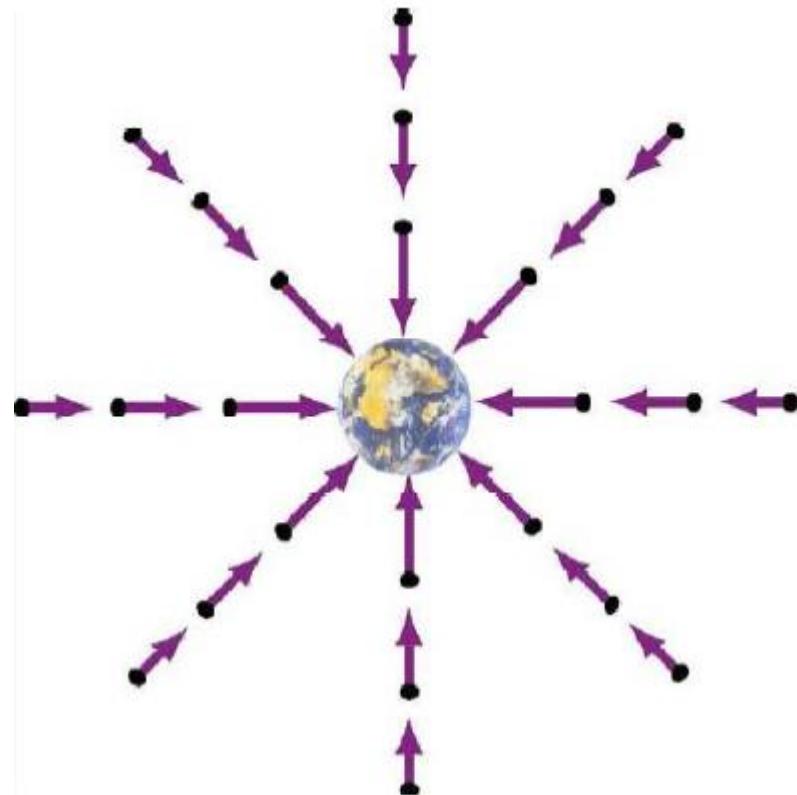
- Bektoreekiko lerro ukitzaileei indar lerro deritze eta eremu elektrikoa bistaratzeko erabiltzen dira



4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu grabitatorioarekin analogia

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



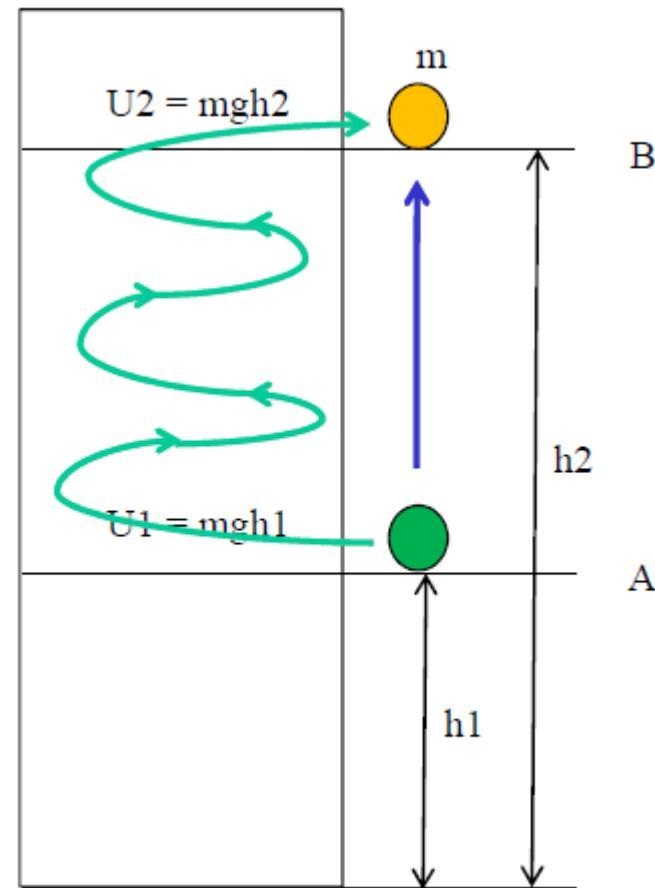
4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu grabitatorioarekin analogia

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

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

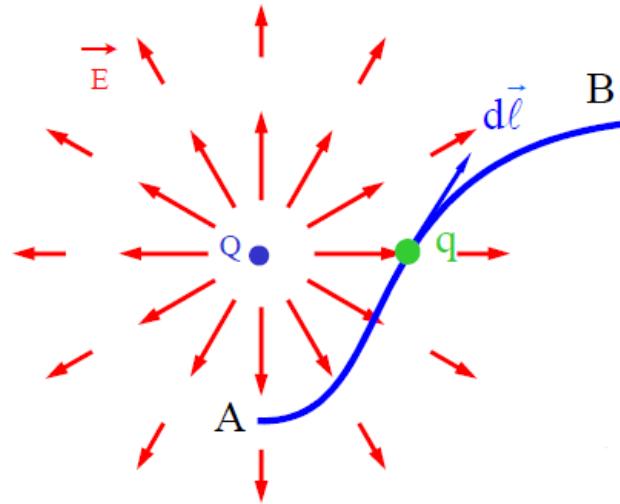
$$W_{AB} = \Delta U = U_2 - U_1$$



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:

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



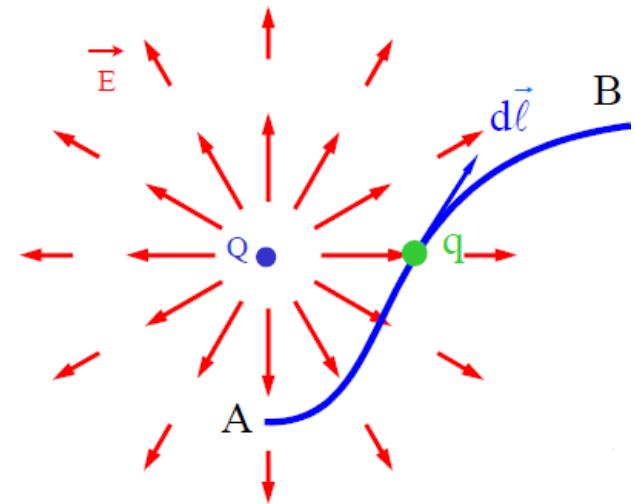
- Indar biak berdinak egiten direnean, $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$, eta beraz, gai biak integratuz gero, egoera elektrostatikoan energia balantzea daukagu.

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

4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu elektrostatikoak egindako lana

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{r_A}^{r_B} \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r \cdot d\vec{r}$$

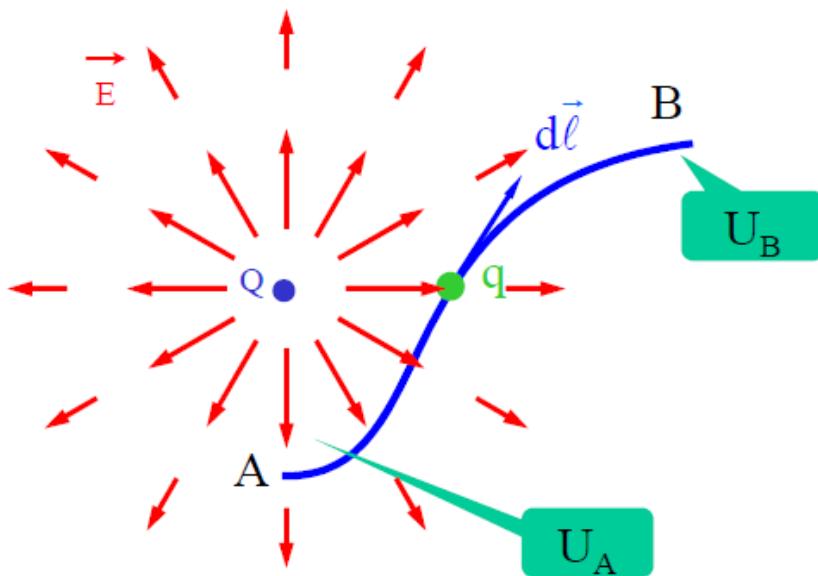


$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_A}^{r_B} = -\frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

$$W_{A \rightarrow B} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

4. ENERGIA POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Eremu elektrikoa kontserbakorra da



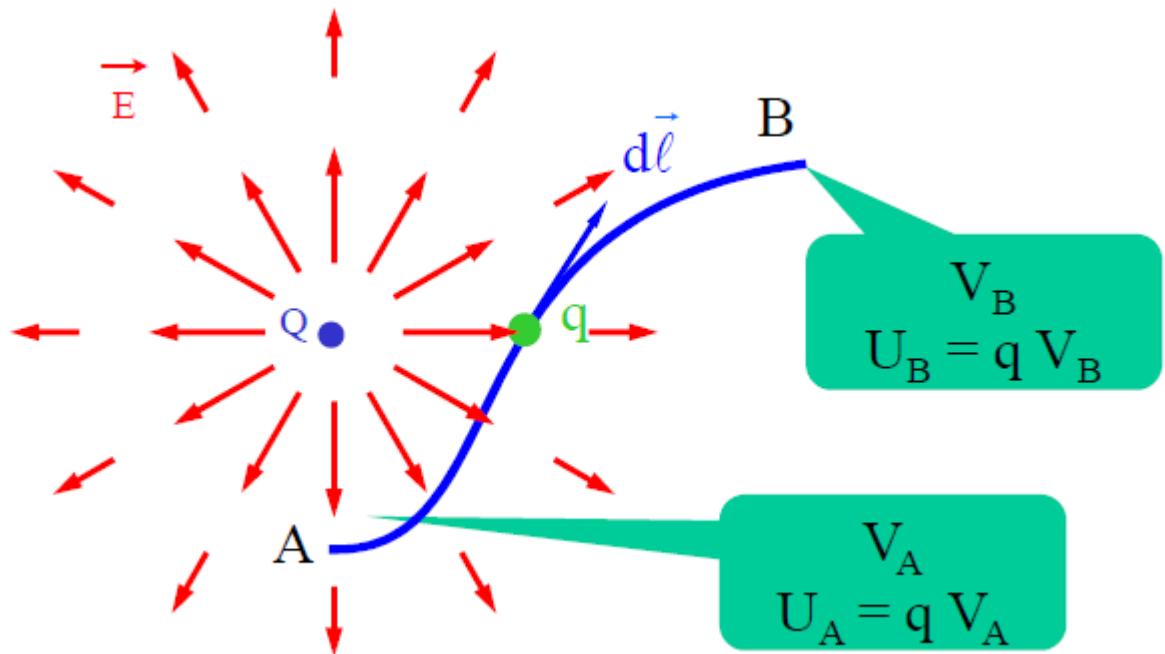
$$W_{AB} = -(U_B - U_A) = -\Delta U$$

$$\longrightarrow U = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r} [J]$$

POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

- Energia potentziala karga unitate bakoitzeko

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



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

POTENTZIAL ELEKTROSTATIKOA

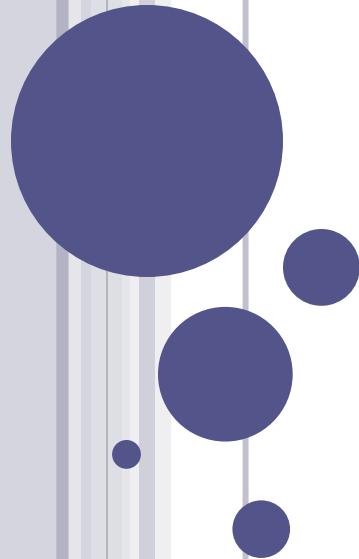
- Eremua eta potentzialaren arteko erlazioa

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

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

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

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



2. GAIA - ELEKTROZINETIKA

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritzako 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

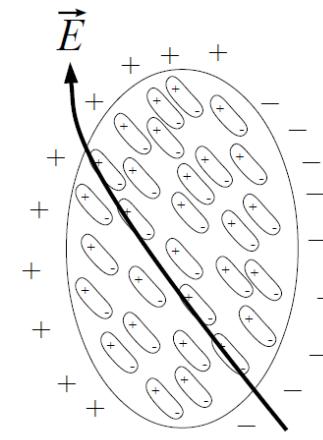
- Eroale elektriko bat karga elektrikoaren mugimenduari oztopo txikia jartzen dion material bat
- Karga elektrikoak (e^-) libreki mugitzen dira
→ beraien arteko indar elektrikoa zero izango da
→ Eroaleak oreka elektrostatikoan daude
 - Eremu elektrikoa eroalearen barruan zero da
 - Eroale guztian zehar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



2. MATERIAL ELEKTRIKO MOTAK

○ Isolatzaileak edo dielektrikoak

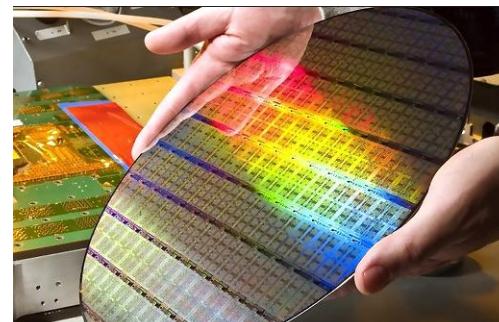
- Karga elektrikoaren mugimenduari eragotzen dioten materialak → korronte elektriko igarotzea “ezinezkoa”
- Eremu elektriko batean daudenean, karga elektrikoak materialen gainazalean kokatzen dira eta kargen balio osoa zero da → Polarizazioa
- Polarizazioa
 - Eremu elektrikoaren murriketa, dielektrikoaren ondorioz
 - Portaera hau, dielektrikoaren permitibitatearen bidez adierazten da $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$



2. MATERIAL ELEKTRIKO MOTAK

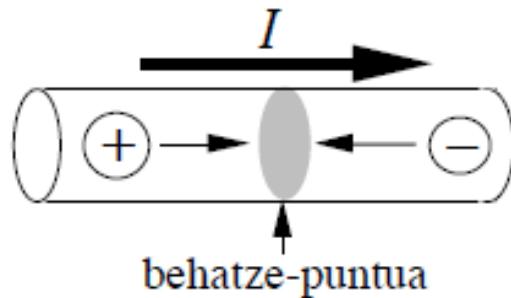
○ Erdieroaleak

- 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. KORRONTTE ELEKTRIKOA

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

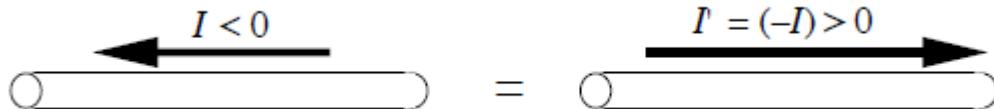
○ Adierazpen matematikoa:

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

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

○ Oinarrizko ezaugariak:

- Zeinua
- Norantza
 - Konbentzioz: Geziaren norantzak adierazten du karga positiboen norantza (e⁻-en kontrankoa)



4. POTENTZIAL DIFERENTZIA: TENTSIO ELEKTRIKOA

- Kargak potentzial-diferenzia bat dagoenean mugituko dira soilik
- **Definizioa:** Potentzial-diferenzia 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

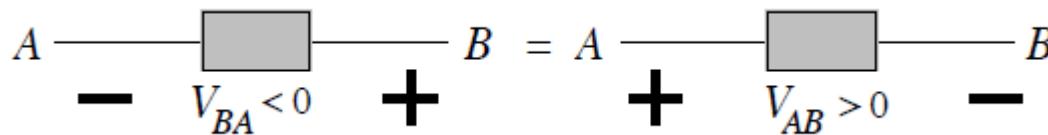
$$\Delta V_{AB} = V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{BA}}{q}$$

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

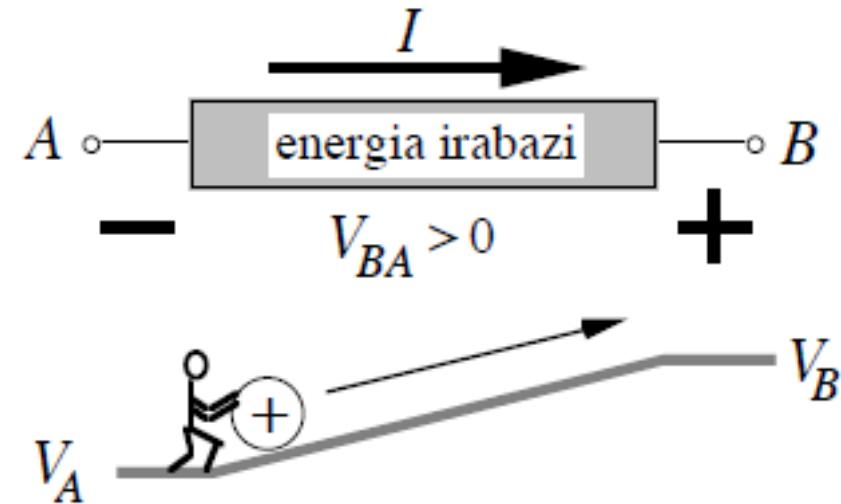
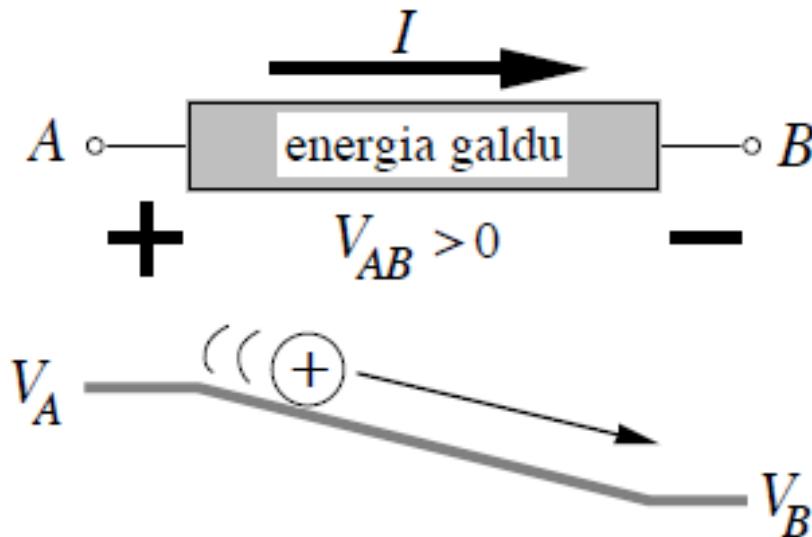
4. POTENTZIAL DIFERENTZIA: TENTSIO ELEKTRIKOA

- **Oinarrizko ezaugarriak:**

- Zeinua
- Norantza
 - + potentzial handiena
 - - potentzial txikiiena



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:**

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

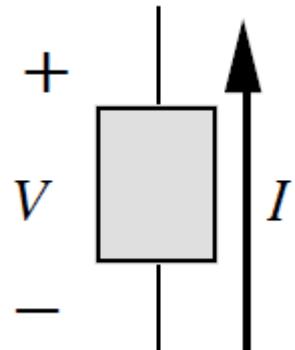
- **Unitateak:** Watio edo Watt (W)
- Zirkuitu-osagai bateko potentzia elektrikoa:
 - Xurgatutakoa: P_x
 - Emandakoa: P_e

$$P = V \cdot I$$

6. POTENTZIA ELEKTRIKOA

○ Emandako potentzia:

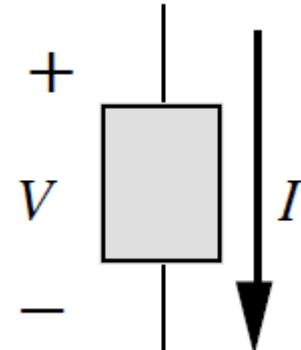
$V > 0$	eta	$I > 0$
	edo	
$V < 0$	eta	$I < 0$
	↓	
		$P_e = V \cdot I > 0$
		Osagai aktiboa



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

○ Xurgatutako potentzia:

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



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

6. POTENTZIA ELEKTRIKOA

○ Potentziaren balantza

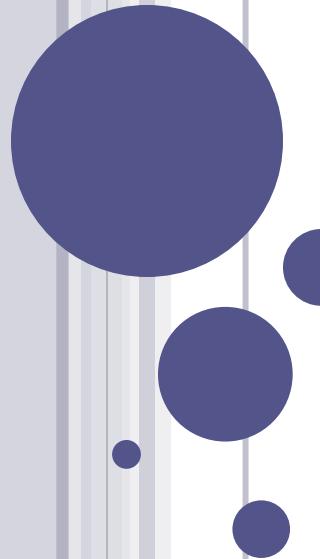
- Energiaren kontserbazio printzipioa

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

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

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

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



3. GAIA – ZIRKUITUETARAKO SARRERA

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritzako Eskola (II Eraikina)

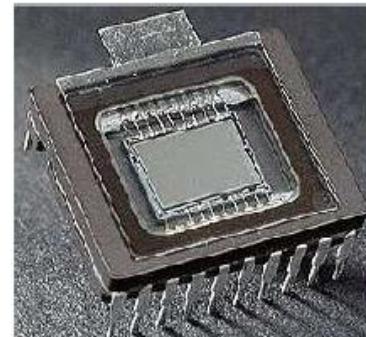
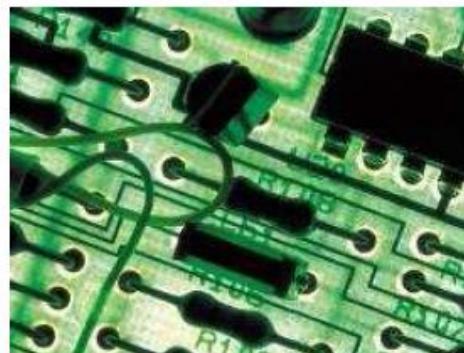
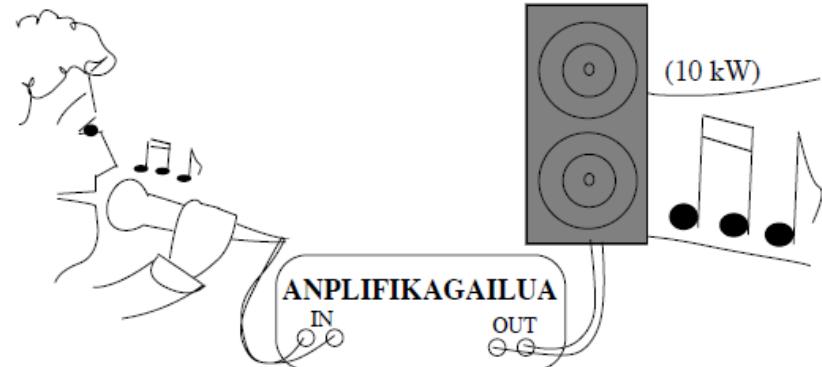
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

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?

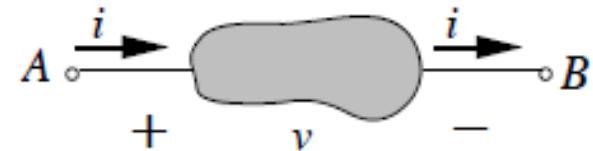
- Sistema bat
- **Zirkuitu elektriko edo elektronikoa:**
energiaren edo informazioaren garraioa egiteko
asmoz elkarrekin konektatu diren gailu edo
osagai elektriko edota elektronikoen multzoa
- Gutxienez ibilbide itxi bat
→ Korronte elektrikoa
zirkulatzeko



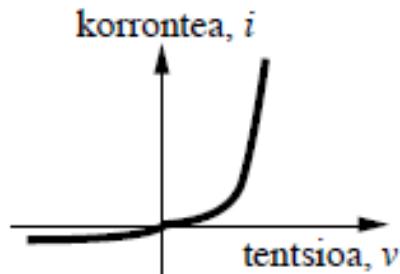
1. ZER DIRA ZIRKUITUAK?

○ Osagaien modelizazioa

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

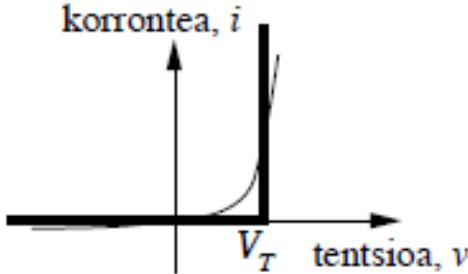


portaera erreala



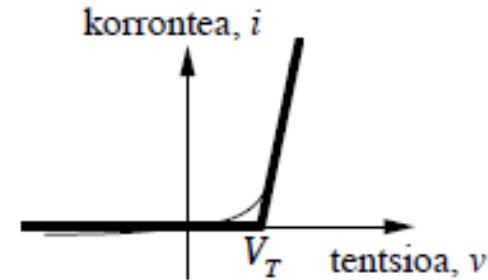
$$i = k_1 \cdot \exp(k_2 v)$$

hurbilketa



$$\begin{cases} i = 0, \text{ baldin } v \leq V_T \\ v = V_T, \text{ baldin } i \geq 0 \end{cases}$$

hurbilketa zehatzagoa

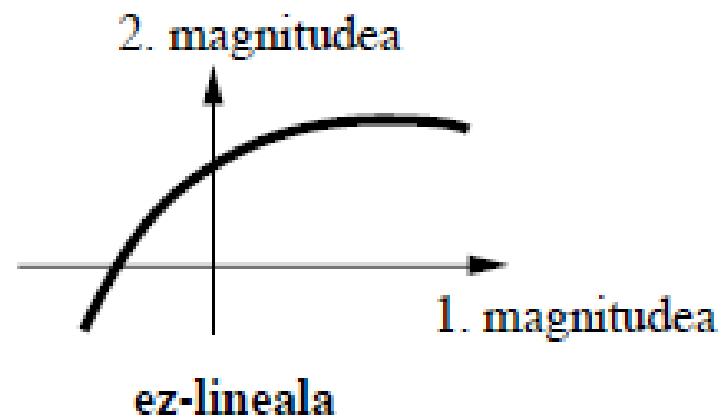
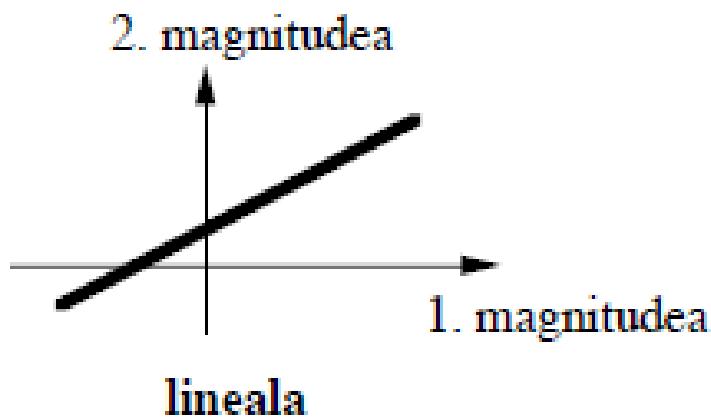


$$\begin{cases} i = 0, \text{ baldin } v \leq V_T \\ v = V_T + i \cdot R, \text{ baldin } i \geq 0 \end{cases}$$

○ Zirkuitu → Eredu teoriko

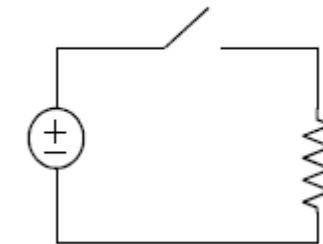
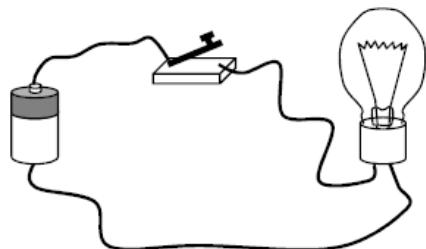
2. ZIRKUITUEN SAILKAPENA

- Zirkuitu linealak eta ez-linealak

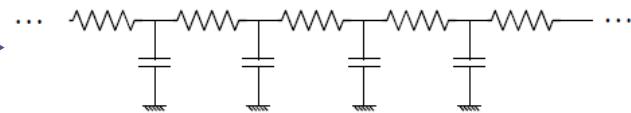
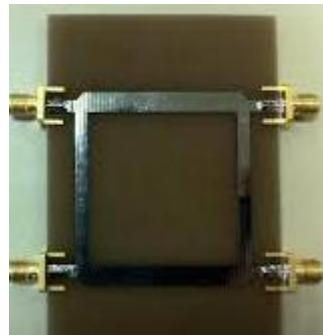
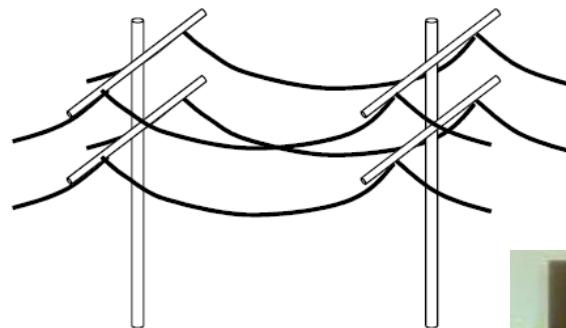


2. SAILKAPENA

- Bilduak



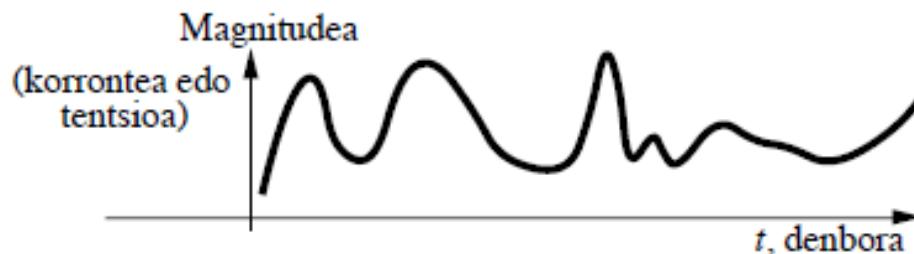
- Banatuak



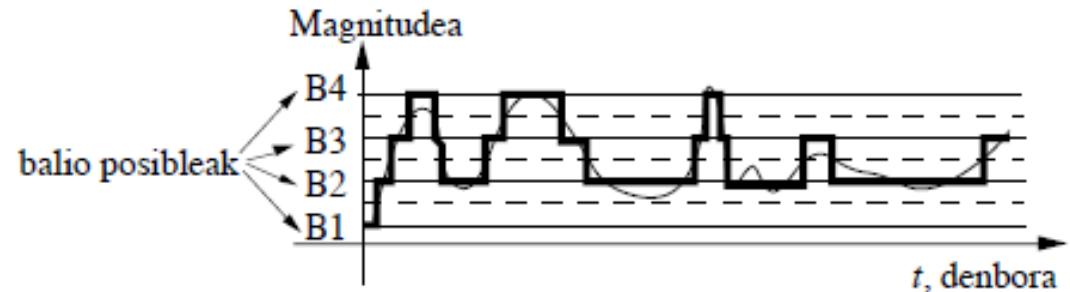
2. SAILKAPENA

- Zirkuitu analogikoak eta digitalak

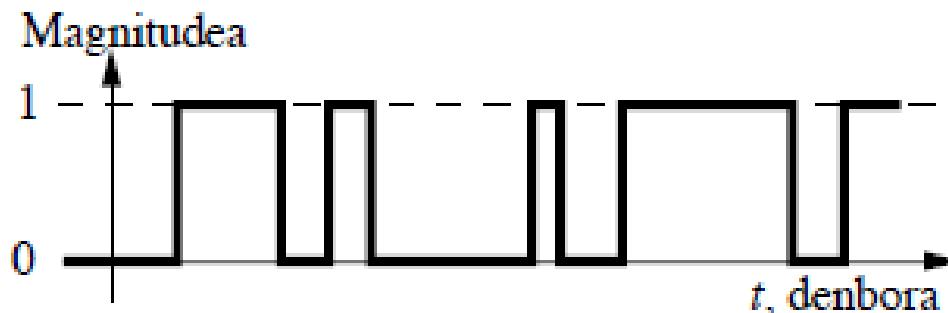
- Seinale analogikoa



- Seinale digitala

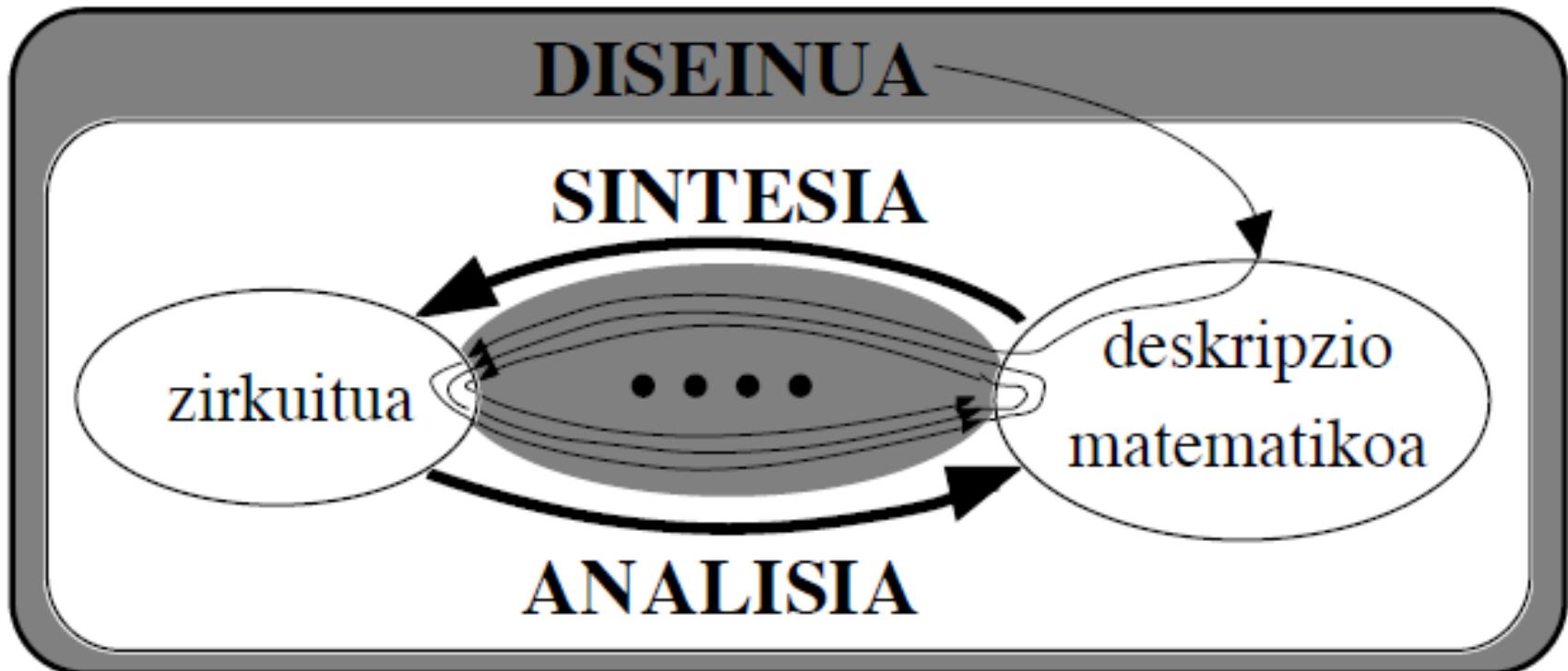


- Seinale bitarra



3. ZIRKUITUEN GAINeko IKUSPUNTUAk

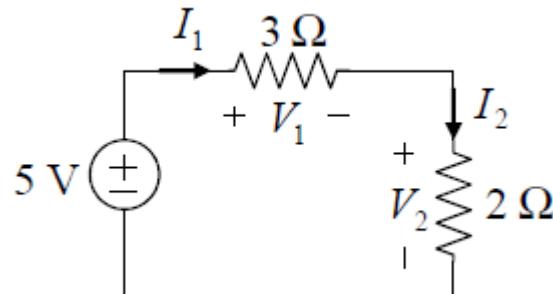
- Analisia, sintesia eta diseinua



4. ZIRKUITUEN EZAUGARRIAK ETA EGOERA

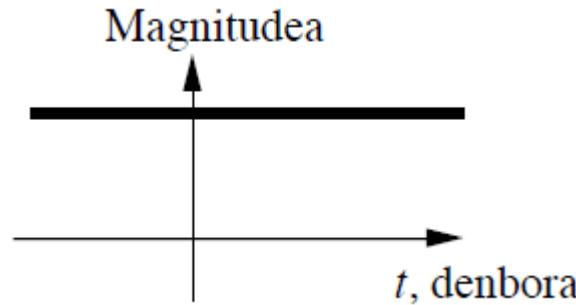


- Zirkuitua osorik definitzeko
 - Osagaiak (R, L, C, iturriak) + balioak
 - Topologia
- Zirkuituaren egoera
 - Osagai guztiako V eta I → Energia eta potentzia
- Eskema adibidea:

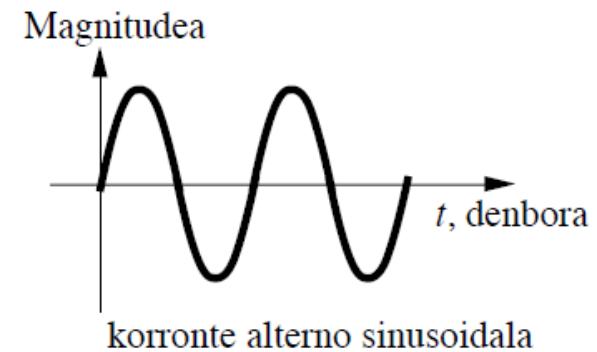
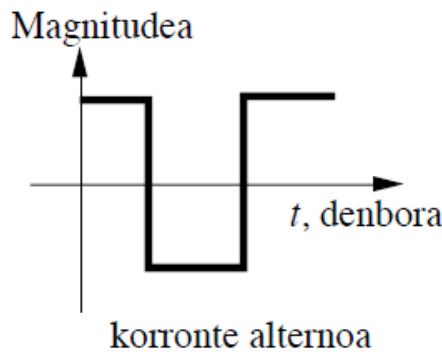


5. KORRONTE MOTAK

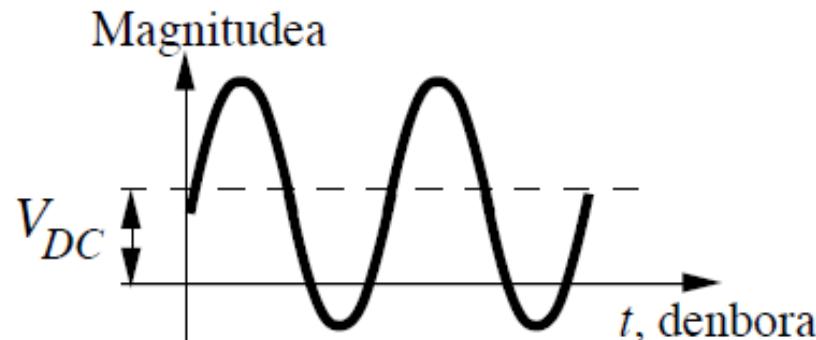
- Korronte zuzena



- Korronte alternoa

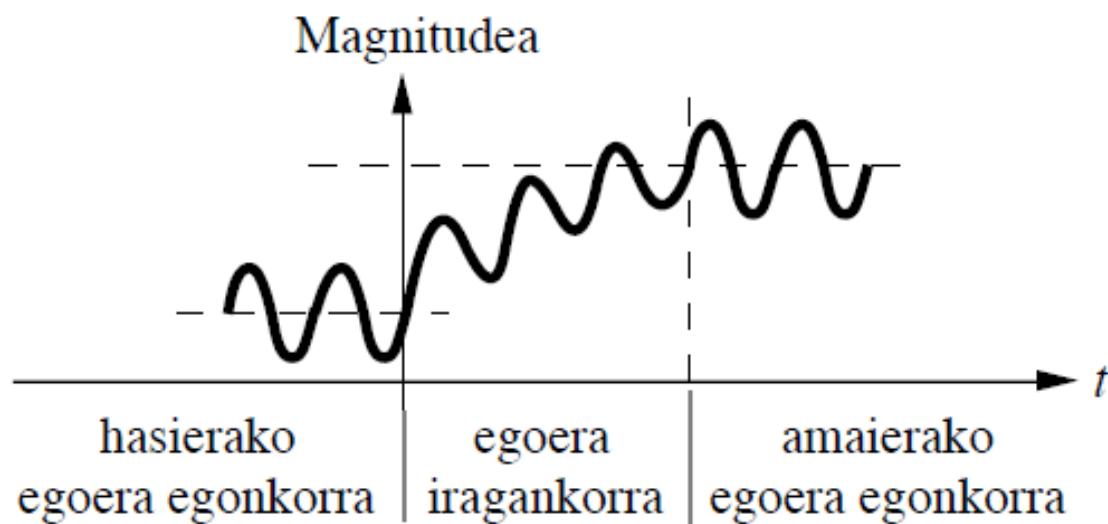
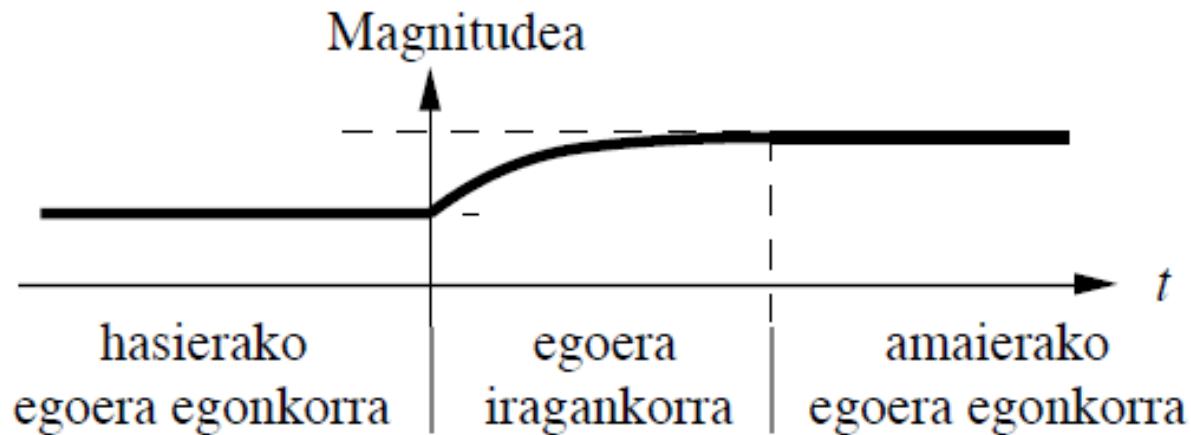


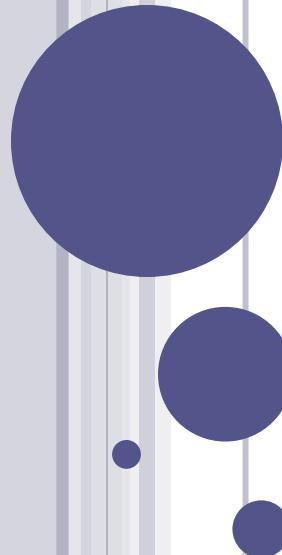
- Korronte alternoa korronte zuzeneko osagaiarekin



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)

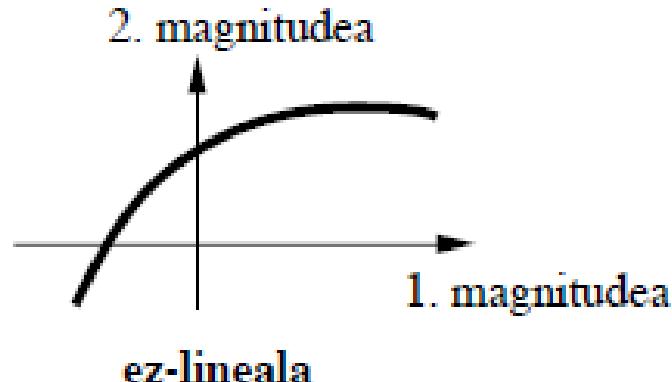
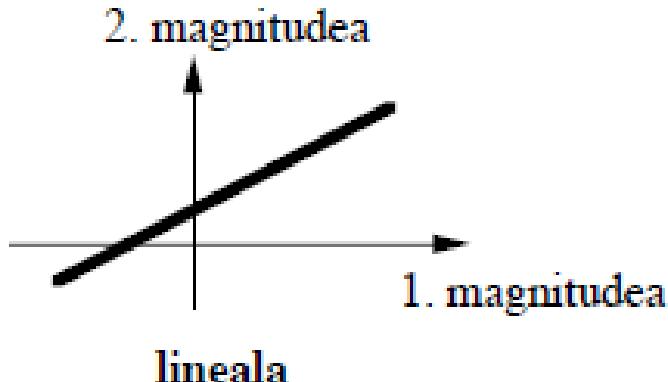
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

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

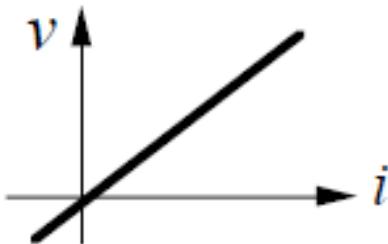


- Aktiboak edo pasiboak

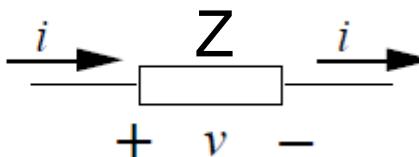
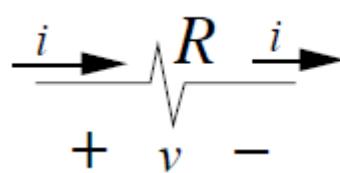
- **Aktiboak edo eraginkorrik:** Zirkuituko beste elementuei energia edo potentzia ematen dietenak, horretarako beste energia-mota bat gastatuz
- **Elementu pasiboak edo geldoak:** energia edo potentzia hartzen dutenak, energia hori guztiz beharrezkoa dutelarik funtzionatzeko

2. ERRESISTENTZIAK

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



- Ikurra:



- Unitatea: Ohm, Ω
- Potentzia:

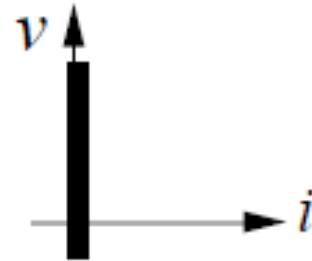
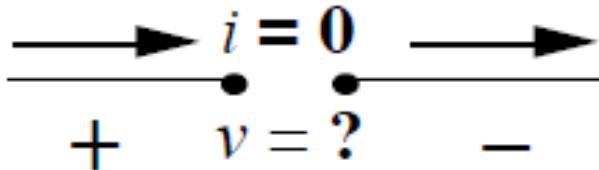
$$p = R \cdot i^2 = \frac{v^2}{R}$$

Joule efektua

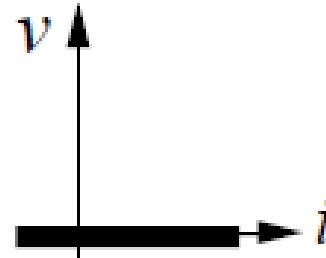
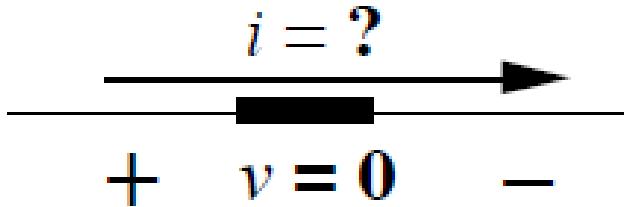
2. ERRESISTENTZIAK

o Kasu bereziak:

- Zirkuitu irekia: $R = \infty$



- Zirkuitulaburra: $R = 0$

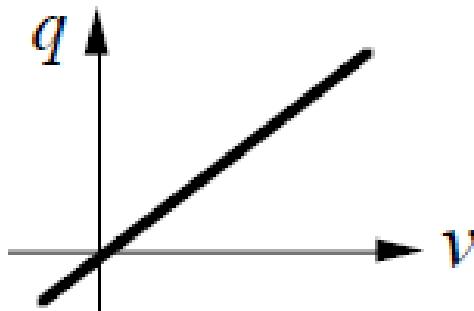


3. KONDENTSADOREAK

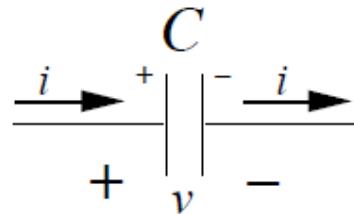
o Portaera: $q = C \cdot v$

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

o Ezaugarri grafikoa:



o Ikurra:

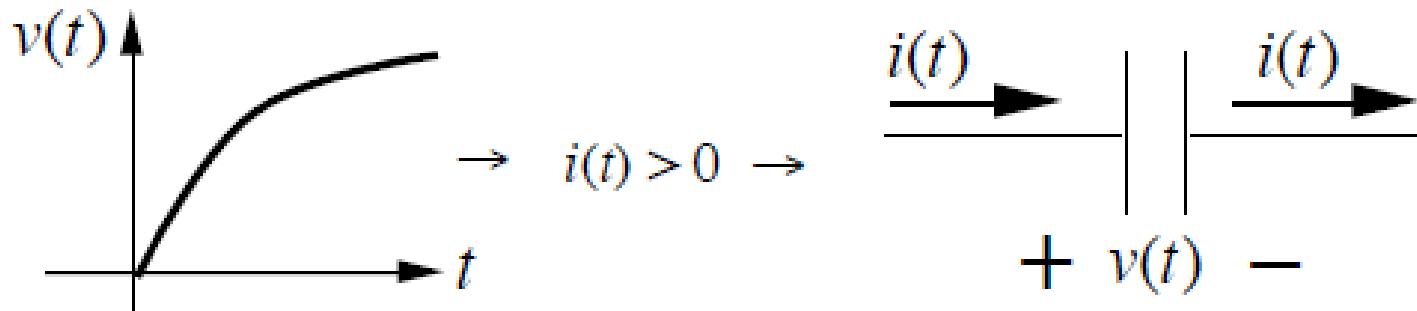


o Unitatea: farad, f

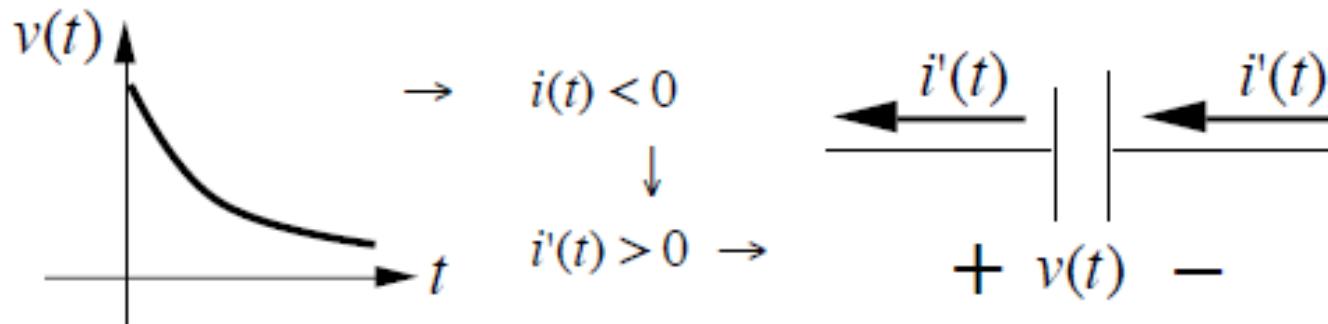
3. KONDENTSADOREAK

o Bi portaera desberdin:

- Karga-prozesua → energia hartu

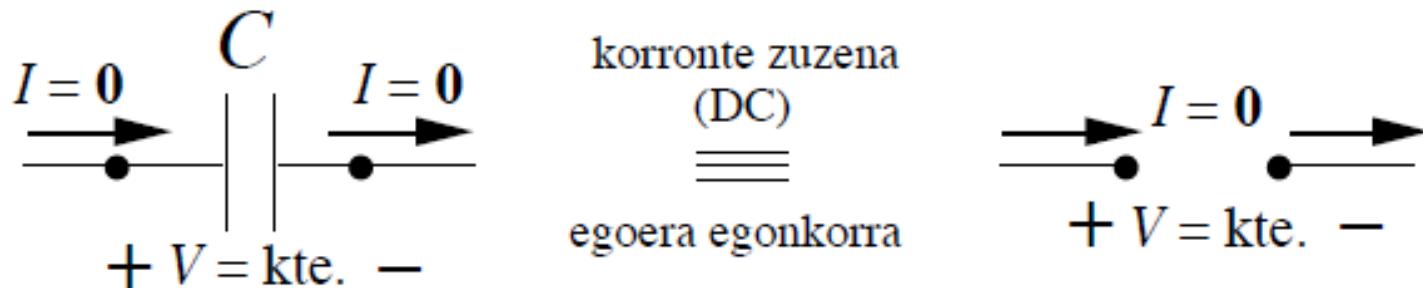


- Deskarga-prozesua → energia eman



3. KONDENTSADOREAK

- Portaera korronte zuzena eta egoera egonkorra
 - V konstantea $\rightarrow I = 0$



- Potentzia:

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

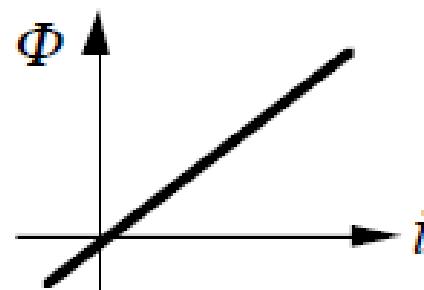
- $P=0$ W

4. HARILAK

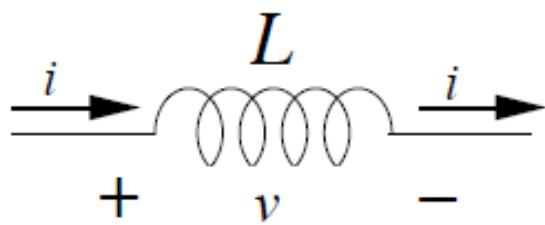
o Portaera: $\Phi = L \cdot i$

$$v(t) = L(t) \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

o Ezaugarri grafikoa:



o Ikurra:

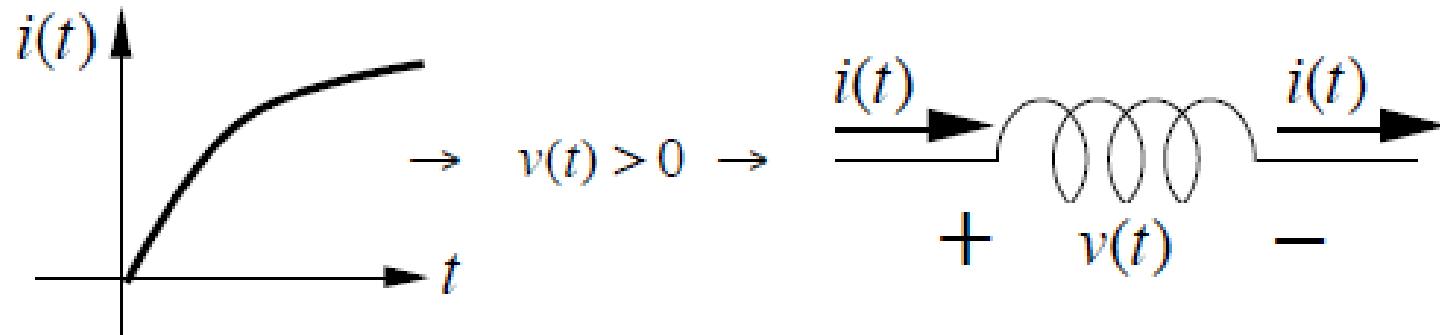


o Unitatea: henry, H

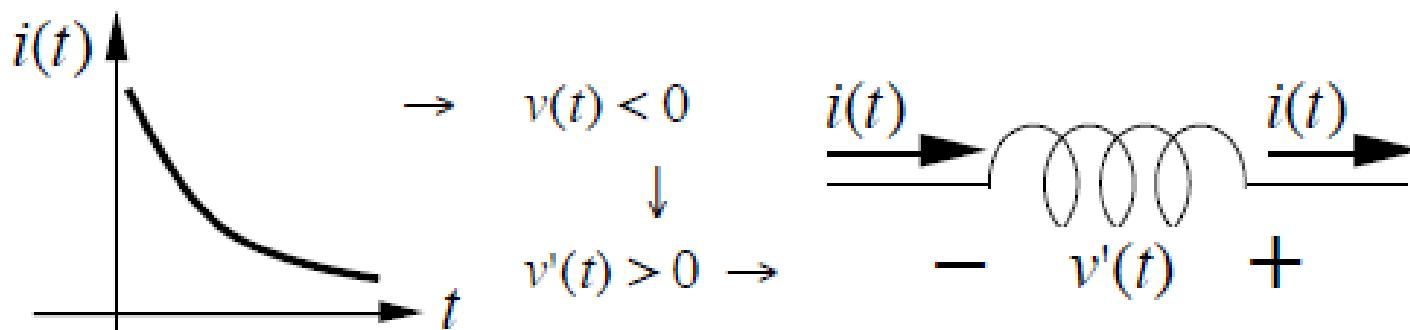
4. HARILAK

o Bi portaera desberdin:

- Karga-prozesua → energia hartu

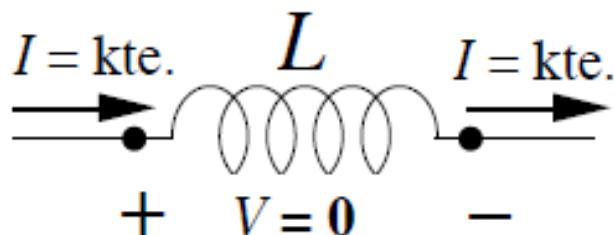


- Deskarga-prozesua → energia eman

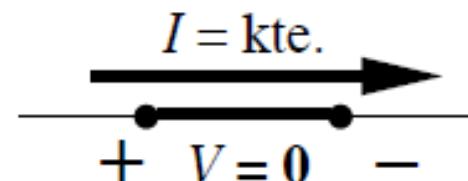


4. HARILAK

- Portaera korronte zuzena eta egoera egonkorra
 - V konstantea $\rightarrow I = 0$



korronte zuzena
(DC)
egoera egonkorra



- Potentzia:

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

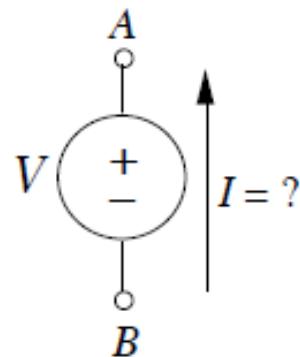
- $P=0$ W

5. SORGAILUAK

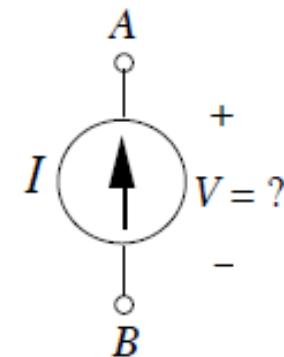
- Motak:
 - Tentsio sorgailua
 - Korronte sorgailua
- Portaera sailkapena
 - Independenteak
 - Menpekoak edo kontrolatuak

sorgailu independenteak:

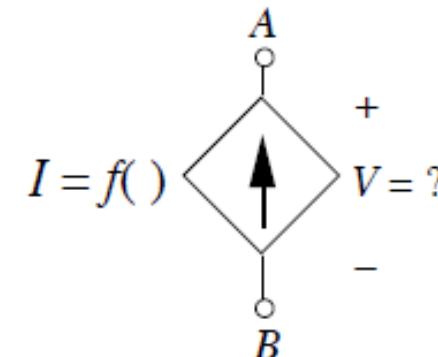
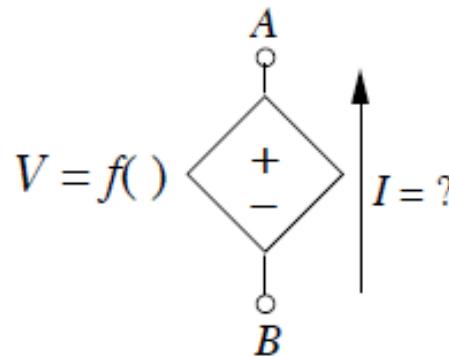
tentsio-sorgailua



korronte-sorgailua



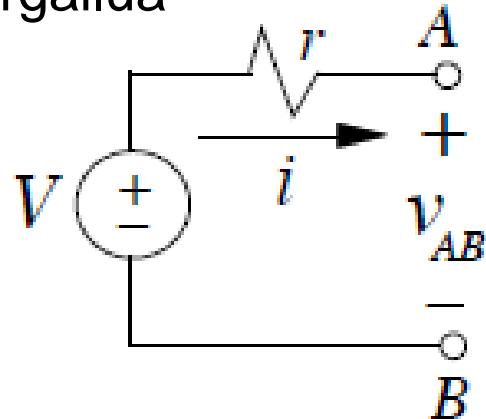
sorgailu menpekoak:



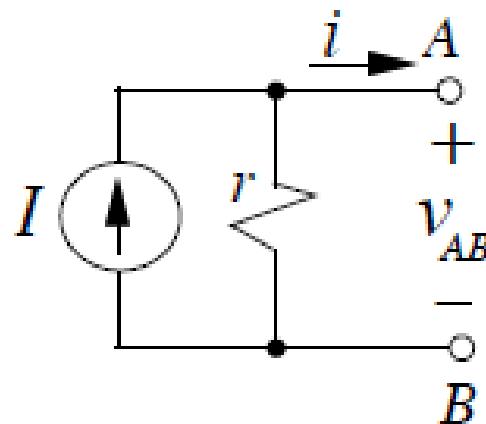
5. SORGAILUAK

- Sorgailu independente errealen zirkuitu-ereduak

- Tentsio-sorgailua

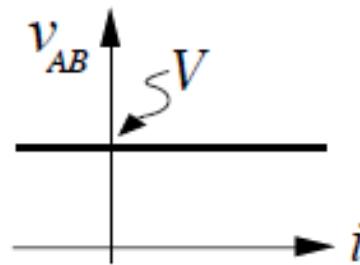


- Korronte-sorgailua



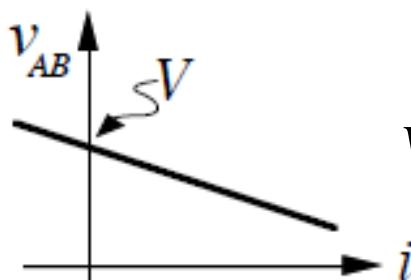
5. SORGAILUAK

- Tentsio sorgailu independenteak
- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
 - Ideala:

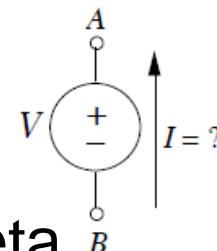


$$V_{AB} = V, \forall i$$

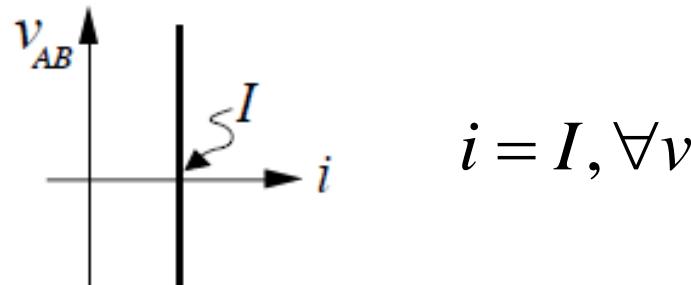
- Errealia:



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

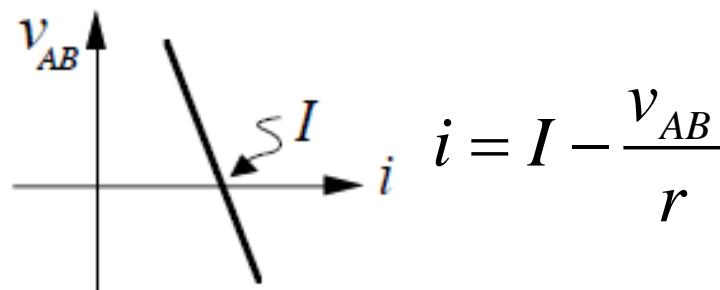


- Korronte sorgailu independenteak
- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
 - Ideala:

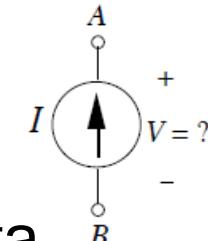
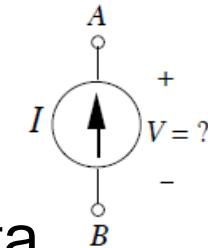


$$i = I, \forall v$$

- Errealia:



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



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

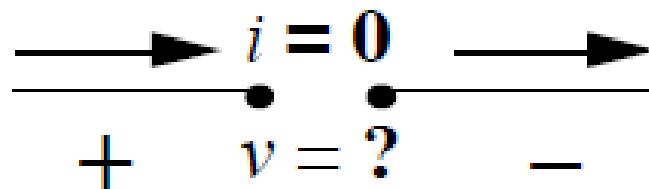
o Etengailu idealak

- Ikurra:



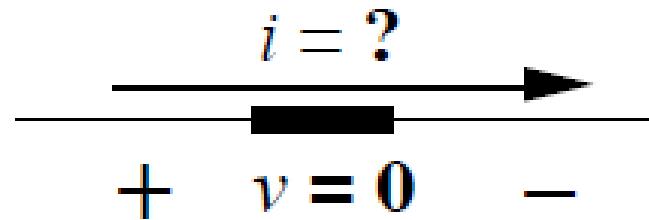
- Posizioak:

- o Irekita



$$I = 0, \forall v$$

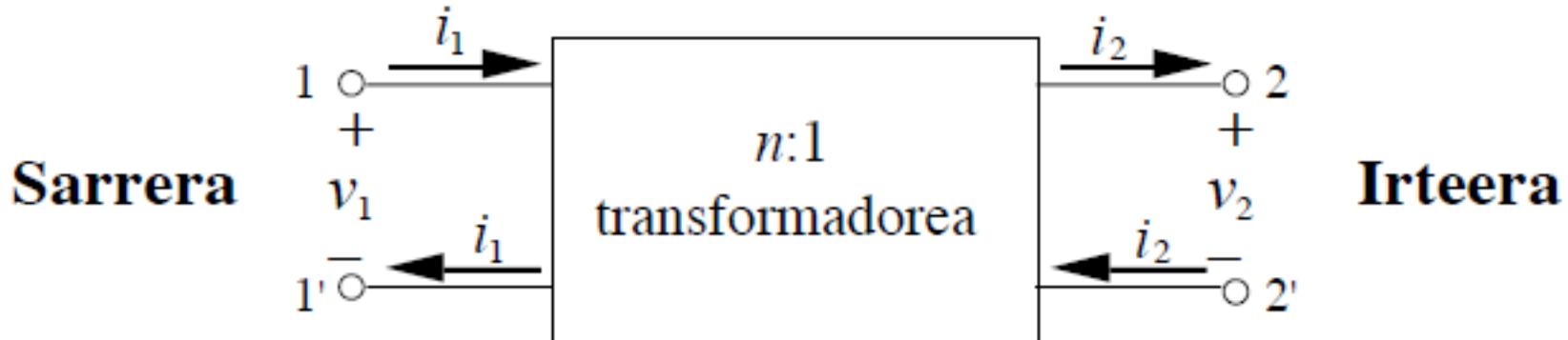
- o Itxita



$$V = 0, \forall i$$

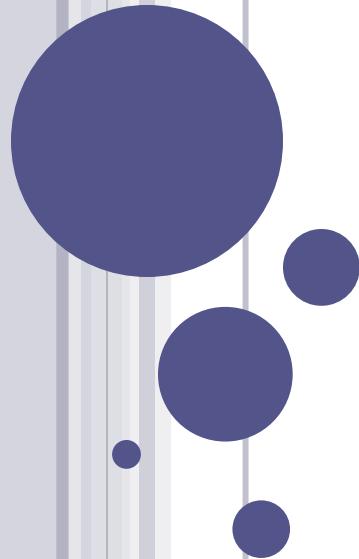
6. BESTE ELEMENTU BATZUK

o 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 Ingeniaritzako Eskola (II Eraikina)

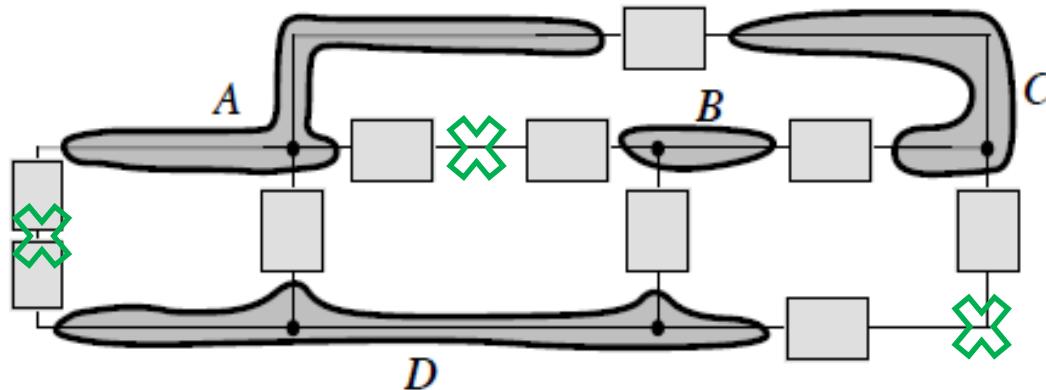
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDAA

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

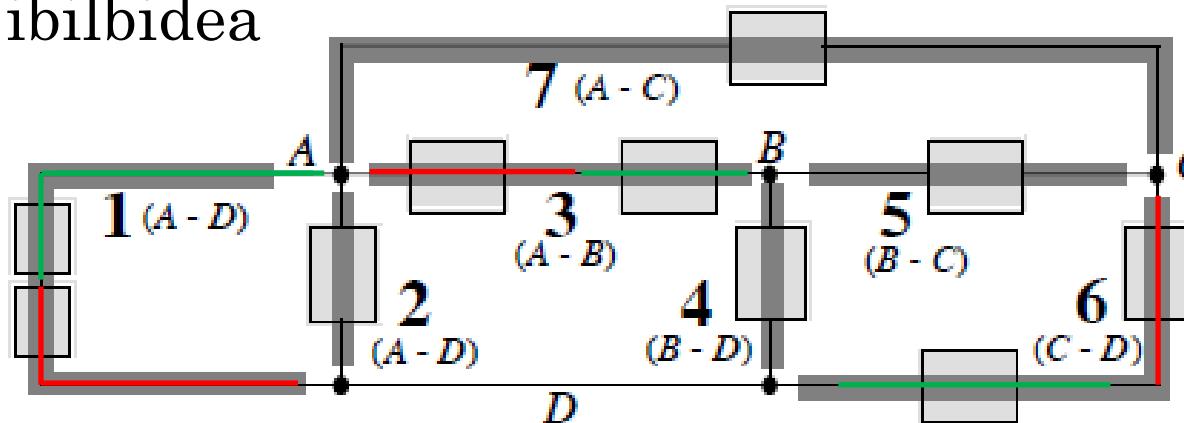
1. OINARRIZKO KONTZEPTUAK

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



Nodoen arteko
tentsioak

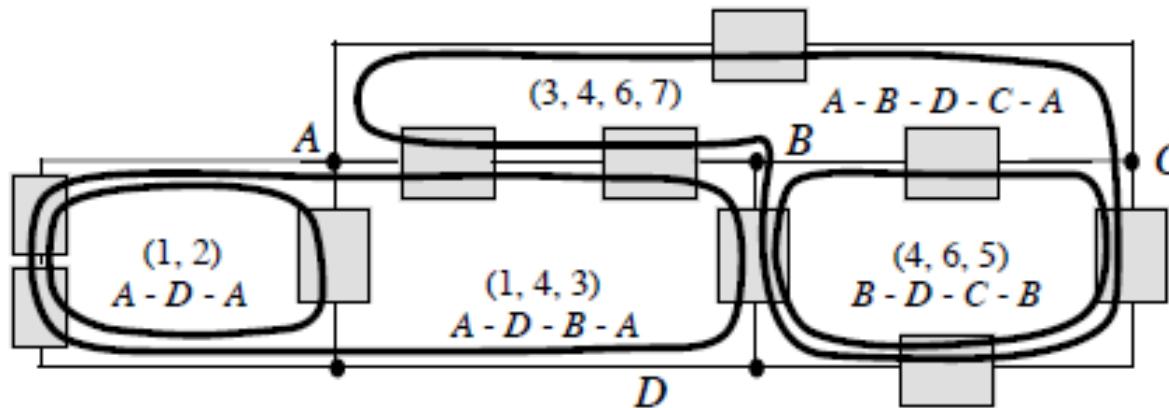
- **Adarra:** Ondoko bi nodo edo korapiloren arteko ibilbidea



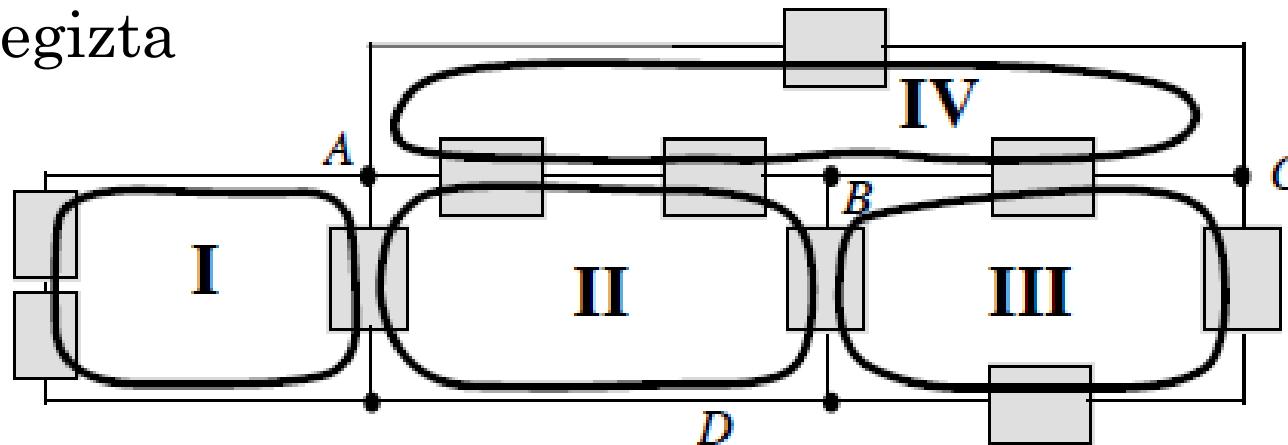
Adarreko korrontea

1. OINARRIZKO KONTZEPTUAK

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

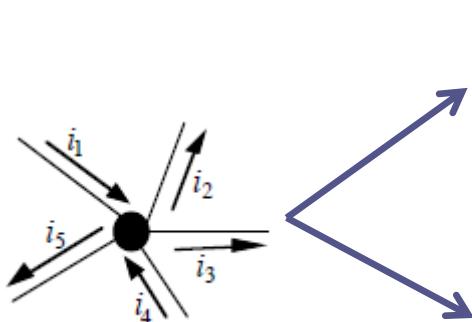


- **Maila:** Barruan adarrik barne hartzen ez duen begizta



2. KIRCHHOFF-EN LEGEAK

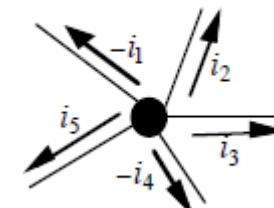
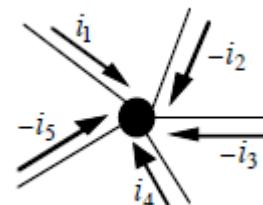
- Kirchhoff-en korronteen legea (KKL edo KCL)
Nodoen edo korapiloen legea
 - Kargaren kontserbazioaren printzipioan oinarritzen da
 - Definizioa: Korapilo batera iristen diren intentsitate guztien batura aljebraikoa zero da



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

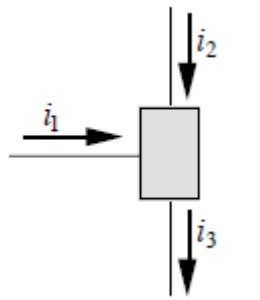
$$\sum_{guztiak} i_{irten} = 0$$

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



2. KIRCHHOFF-EN LEGEAK

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

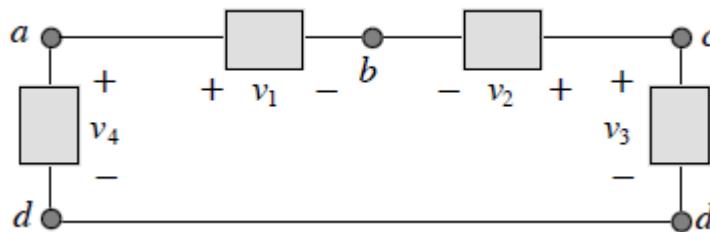


$$i_1 + i_2 = i_3$$

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!)

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



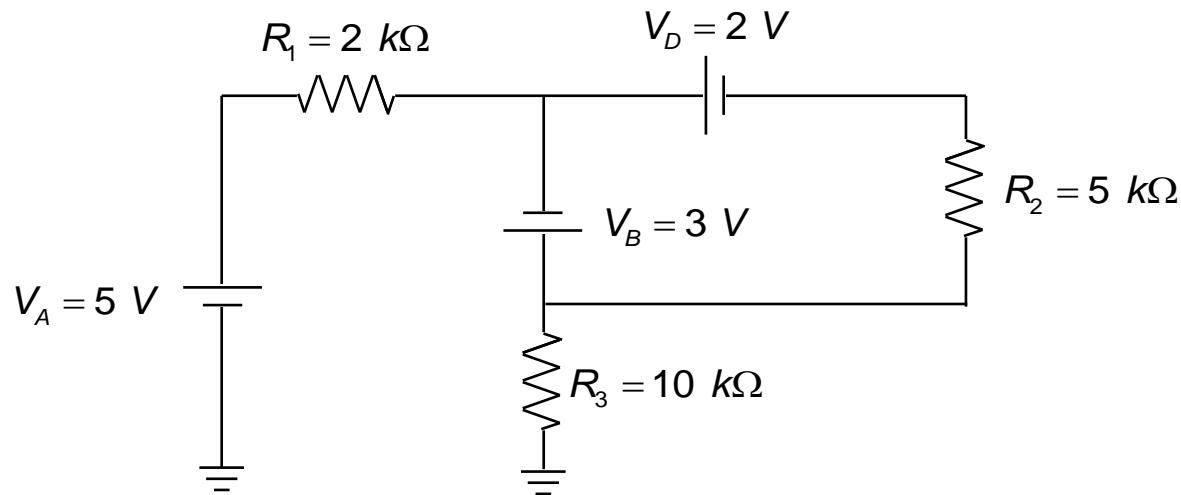
$$v_{ab} + v_{bc} + v_{cd} + v_{da} = v_1 - v_2 + v_3 - v_4 = 0$$

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

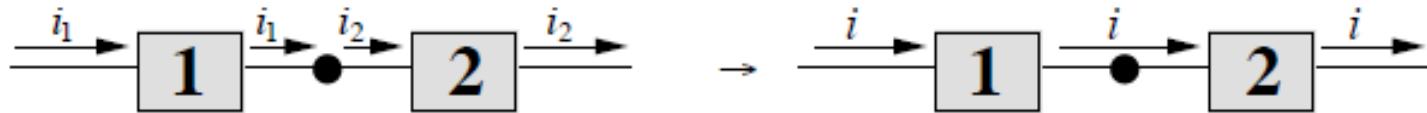
- Adibidea



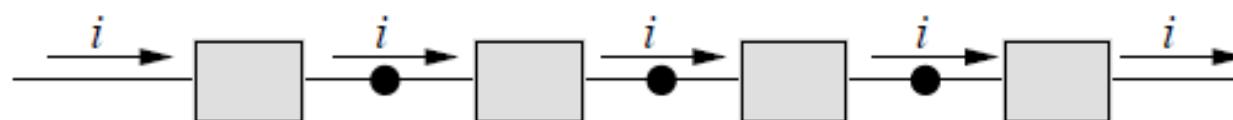
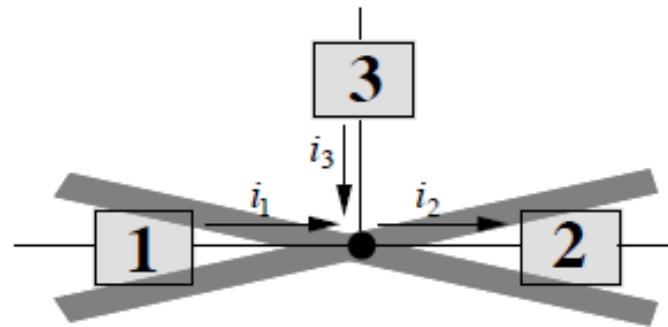
4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Serie elkarketa

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



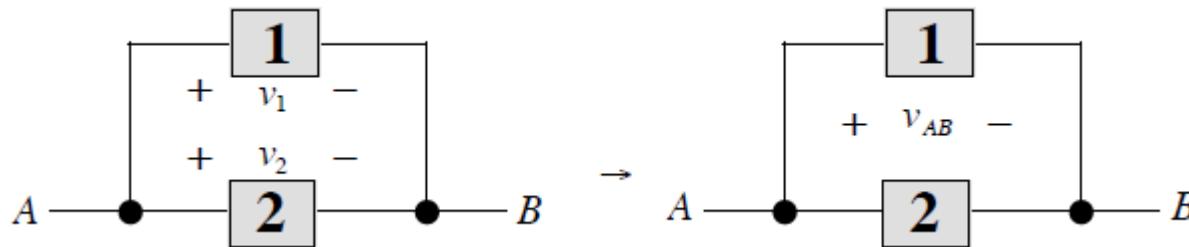
- Bi elementu seriean konektaturik daude, bietatik korronte bera igarotzen denean.



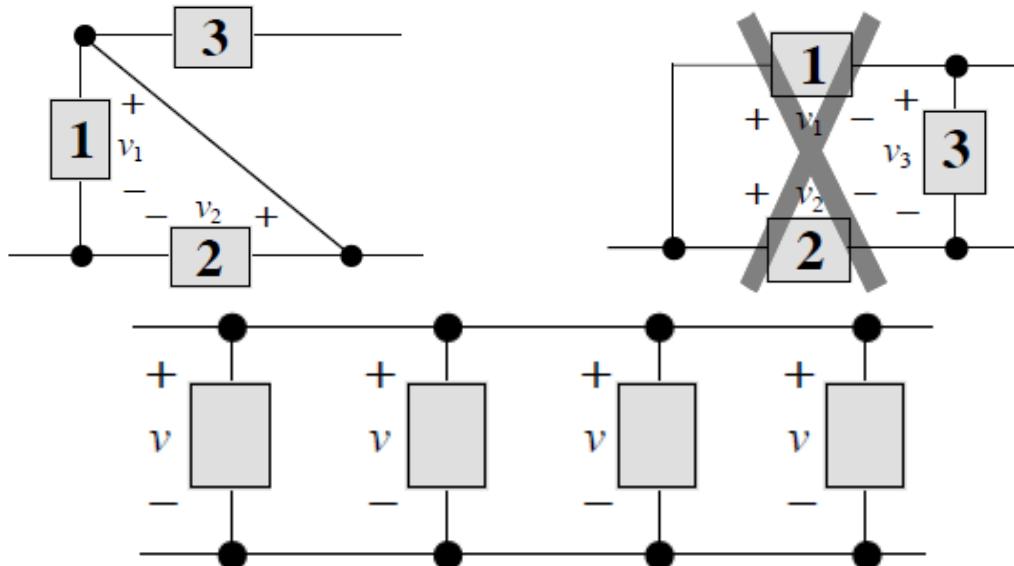
4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Paralelo elkarketa

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

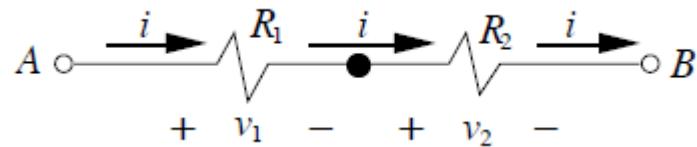


- Bi elementu paraleloan konektaturik daude, bien muturren arteko tentsioa bera denean.



4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

- Erresistentziak seriean



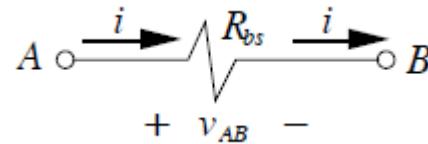
$$v_1 = R_1 i$$

$$v_2 = R_2 i$$

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

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

Erresistenzia baliokidea



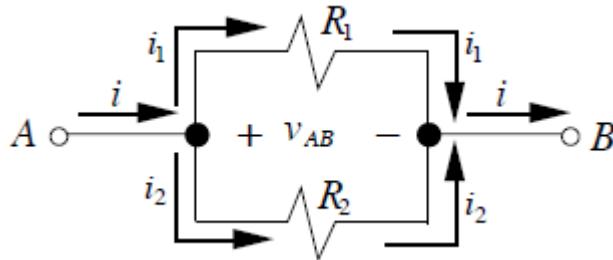
$$v_{AB} = R_{bs} i$$

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

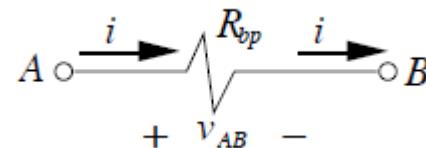
$$R_{bs} = \sum_i R_i$$

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

- Erresistentziak paraleloan



Erresistenzia baliokidea



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

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

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

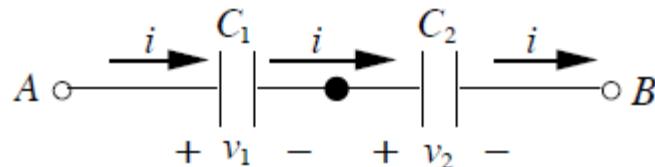
$$i = \frac{v_{AB}}{R_{bp}}$$

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

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

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Kondentsadoreak seriean



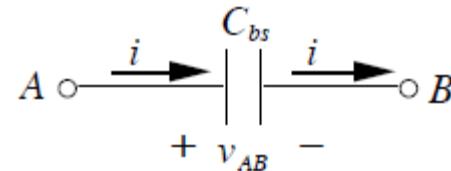
$$i = C_1 \cdot \frac{dv_1}{dt} \quad i = C_2 \cdot \frac{dv_2}{dt}$$

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

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

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

Kapazitate baliokidea



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

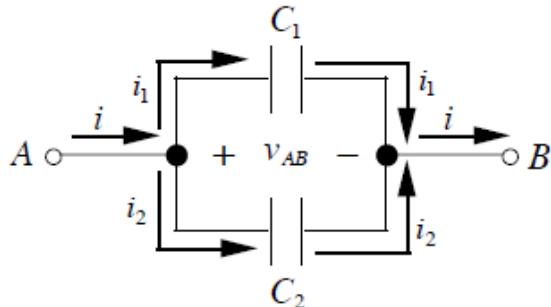
$$\frac{dv_{AB}}{dt} = \left(\frac{1}{C_{BS}} \right) i$$

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

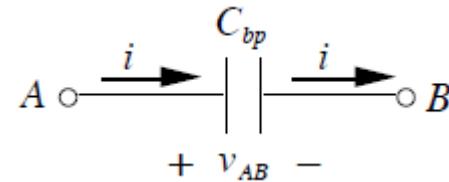
4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Kondentsadoreak paraleloan

Kapazitate baliokidea



$$i = C_1 \cdot \frac{dv_{AB}}{dt} \quad i = C_2 \cdot \frac{dv_{AB}}{dt}$$



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

$$i = i_1 + i_2$$

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

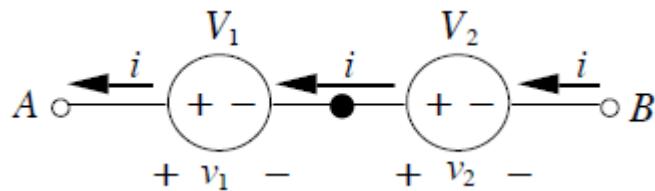
$$C_{bp} = C_1 + C_2$$

$$C_{bp} = \sum_i C_i$$

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

- Tentsio sorgailuak seriean

Tentsio sorgailu baliokidea

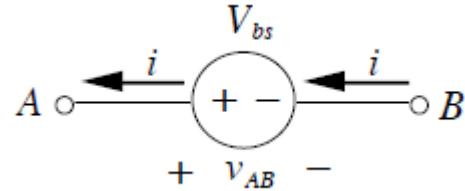


$$v_1 = V_1$$

$$v_2 = V_2$$

$$v_{AB} = V_{bs}$$

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



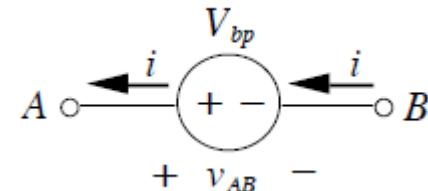
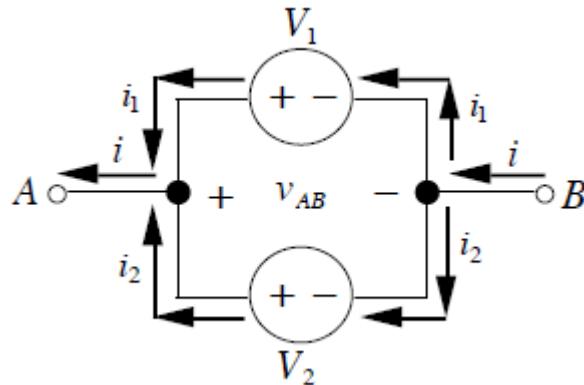
$$V_{bs} = V_1 + V_2$$

$$V_{bs} = \sum_i V_i$$

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Tentsio sorgailuak paraleloan

Tentsio sorgailu baliokidea



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

$$v_{AB} = V_1$$

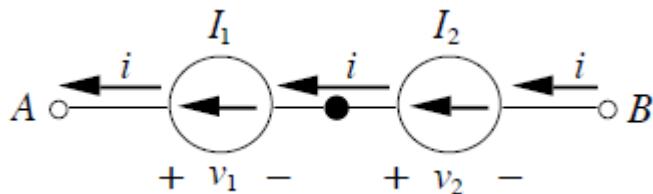
$$v_{AB} = V_2$$

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

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

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

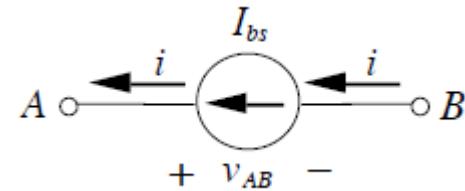
- Korronte sorgailuak seriean



$$i = I_1$$

$$i = I_2$$

Korronte sorgailu baliokidea

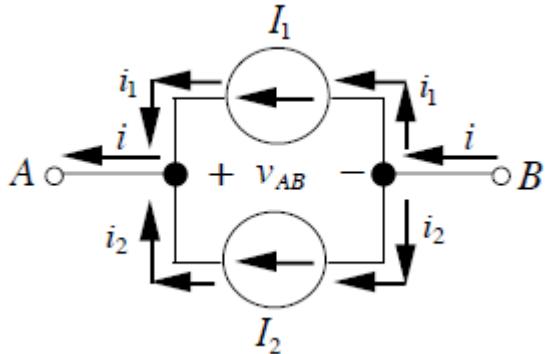


$$i = I_{bs}$$

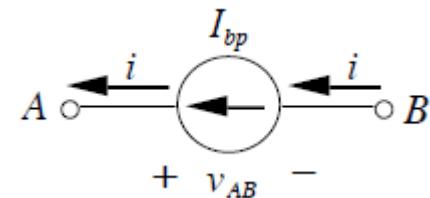
$$I_{bs} = I_1 = I_2$$

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

- Korronte sorgailuak paraleloan



Korronte sorgailu baliokidea



$$\dot{i}_1 = I_1$$

$$\dot{i}_2 = I_2$$

$$i = I_{bp}$$

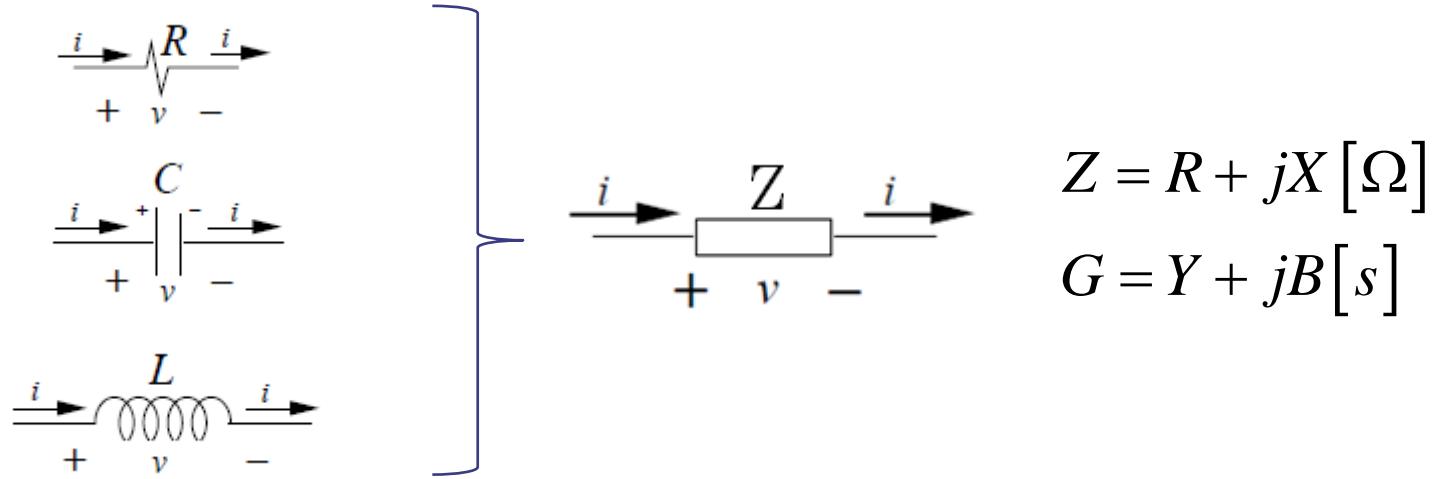
$$i = \dot{i}_1 + \dot{i}_2 = I_1 + I_2$$

$$I_{bp} = I_1 + I_2$$

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

4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

○ Inpedantzia kontzeptua



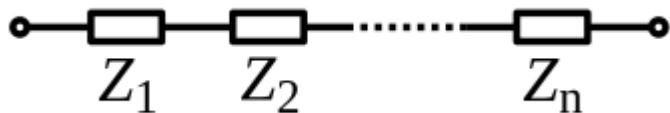
$$\begin{array}{c} \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \end{array}$$
$$Z_R = R$$

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \end{array}$$
$$Z_c = -jX_c \rightarrow X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \\ | \\ \text{---} \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{+} \quad \text{v} \quad - \\ \text{---} \end{array}$$
$$Z_L = jX_L \rightarrow X_L = \omega L = 2\pi f L$$

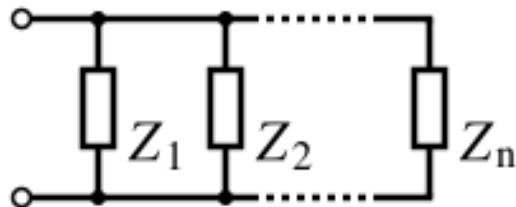
4. ELEMENTUEN SERIE ETA PARALELO ELKARKETAK

- Inpedantziak seriean



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

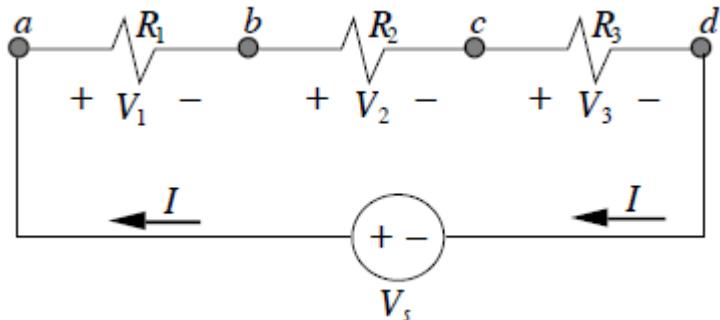
- Inpedantziak paraleloan



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

5. ELKARKETEN APLIKAZIOAK

- Tentsio zatitzalea



$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

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

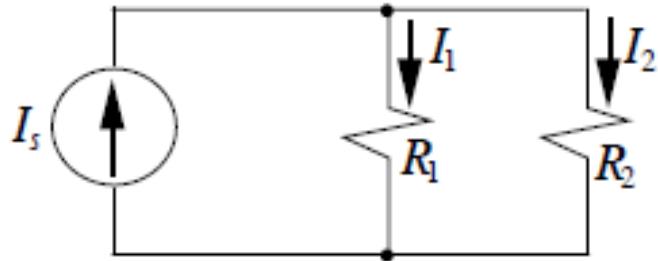
$$I = \frac{V_s}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_s}{R_{bs}}$$

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

$$V_i = \frac{R_i}{R_{bs}} V_s$$

5. ELKARKETEN APLIKAZIOAK

- Korronte zatitzaila



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

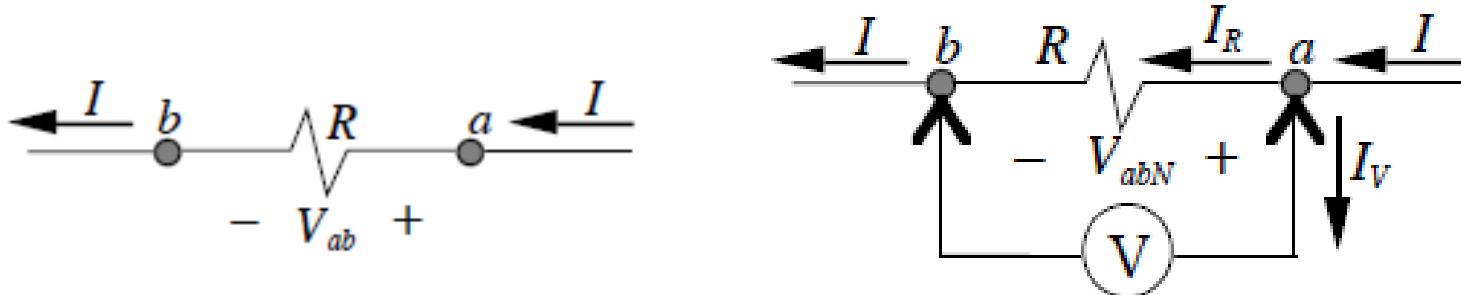
$$V_1 = V_2 = V_{bp}$$

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

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

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:

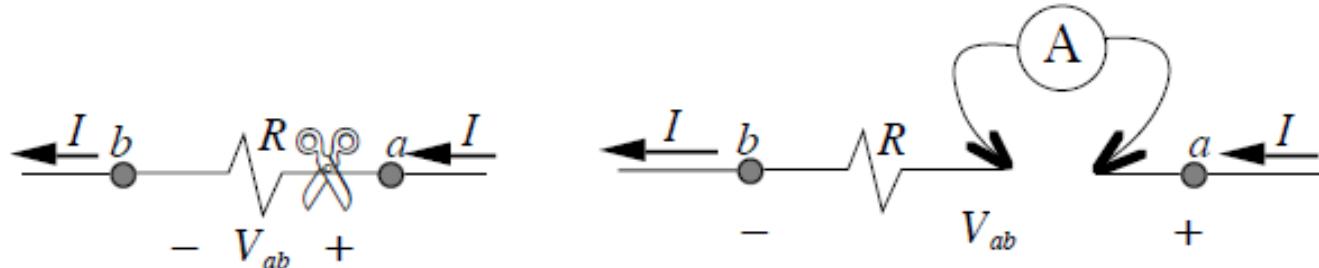
$$R_v = \infty \rightarrow I_v = 0 \rightarrow I_R = I \rightarrow V_{abN} = V_{ab}$$

- Voltmetro erreall batean:

$$R_v \gg R$$

6. TENTSIO ETA KORRONTE NEURKETAK

○ Anperemetroa

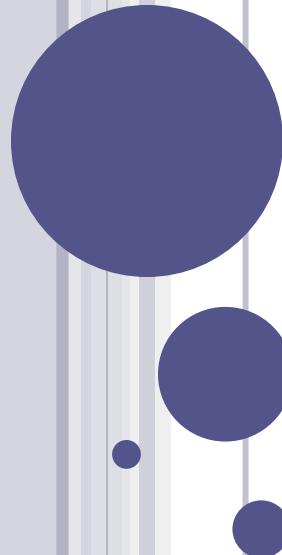


- ab adarreko korrontea neurtzen du
- Anperemetroa konektatzean zirkuitua aldatzen dugu
→ neurtu nahi dugun korrontea aldatzen dugu
- Anpermetro ideal batean:

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

- Anpermetro 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

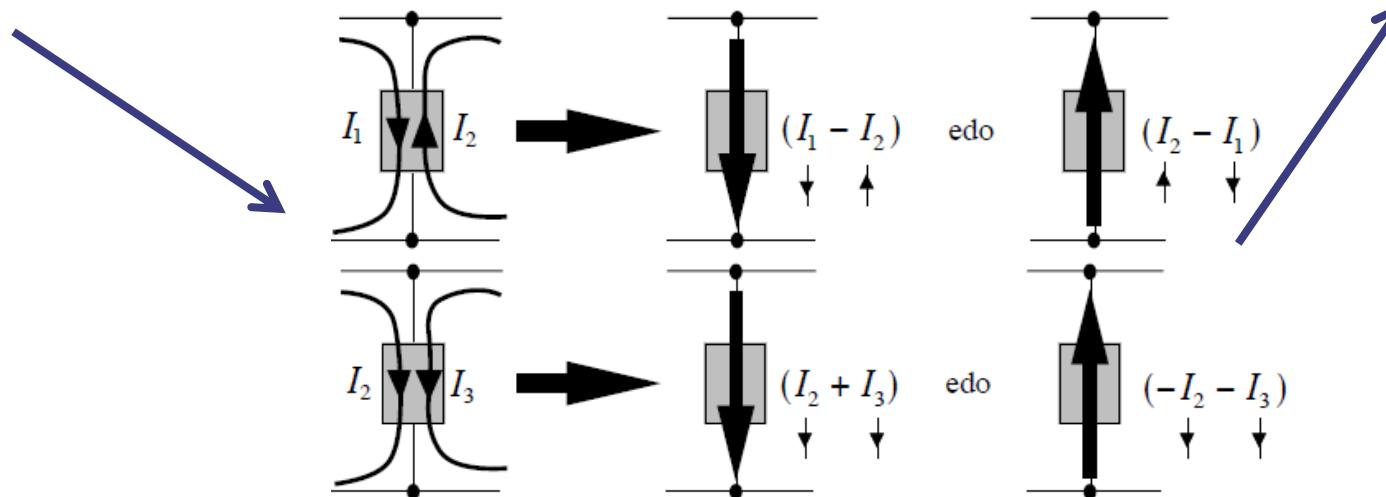
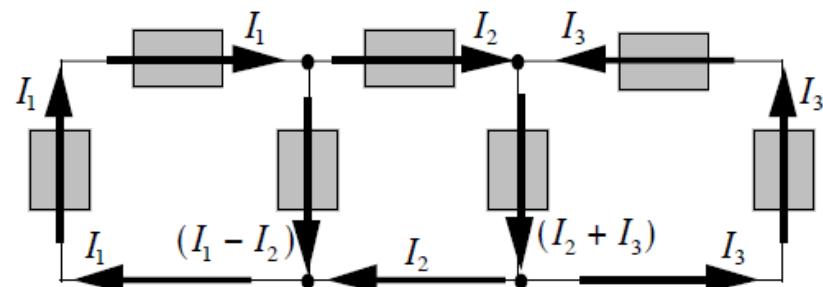
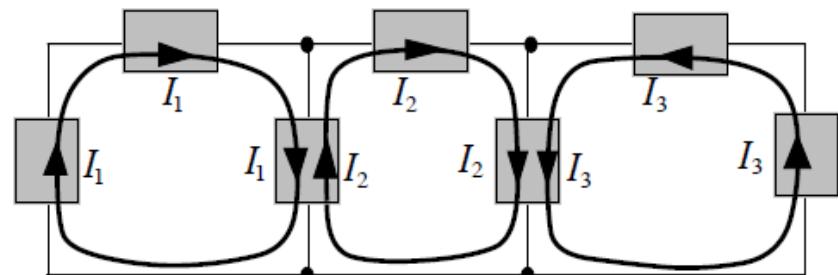
GAIAREN GAI-ZERRENDA

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

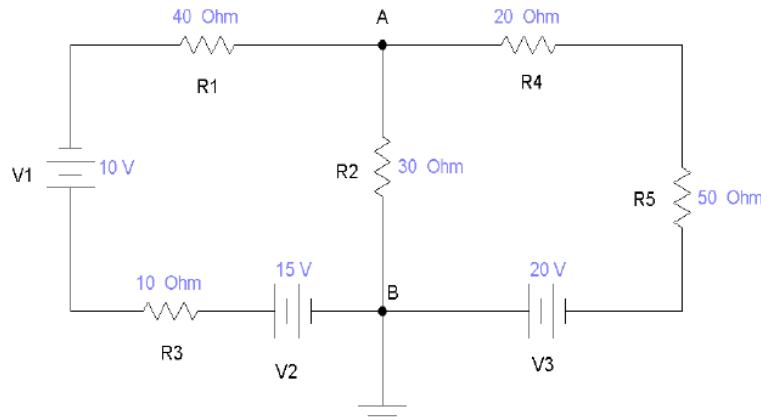


1. MAILEN METODOA

o Ebazpidea:

1. Mailak aurkitu ($\text{MK} \rightarrow \text{Ezezagun kopurua}$)
2. Mailen korronteen noranzkoak esleitu arbitrarioki
3. KVL erabiliz ekuazioak planteatu
 - o Arazoa: Korronte sorgailuak...
4. Sistema ebatzi
5. Adarretako korronteak kalkulatu
6. Zirkuituaren soluzioa eman.

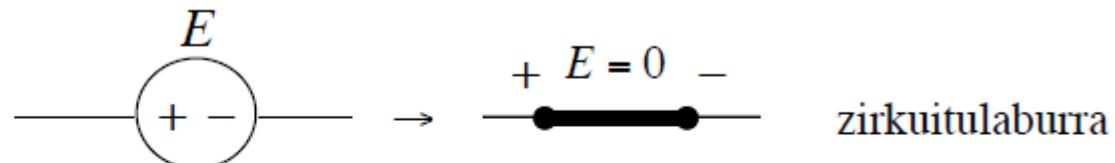
o Adibidea:



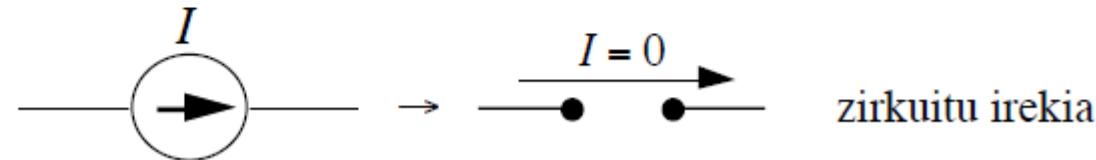
2. GAINEZARMEN PRINTZIPIOA

- **Definizioa:** Zirkuitu lineal batean sorgailu independente bat baino gehiago badago, emaitza orokorra sorgailu guztiekin 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

tentsio-sorgailua:



korronte-sorgailua:

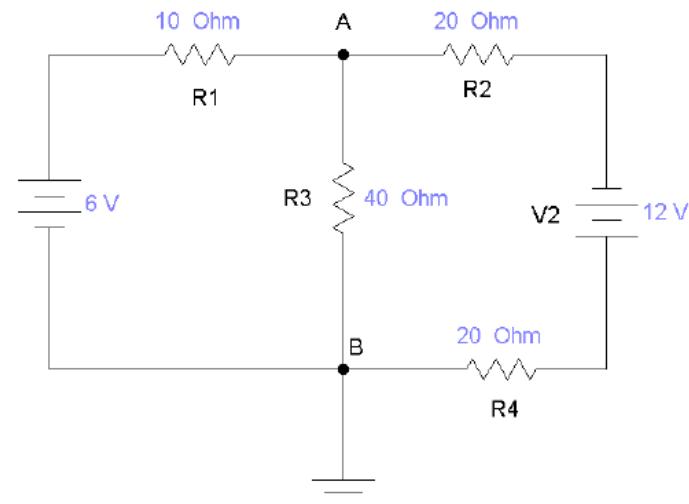


2. GAINEZARMEN PRINTZIPIOA

o Ebazpidea:

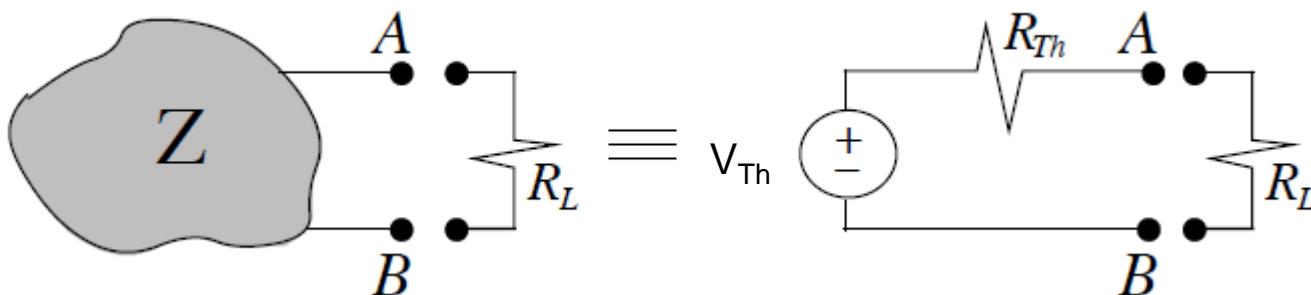
1. Zenbatu sorgailu independente kopurua
2. Esleitu korronteen noranzkoak arbitrarioki
3. Anulatu sorgailu denak bat kenduta
4. Esleitu korronteak baina EZ arbitrarioki
5. Eman zirkuitu simple honen soluzioa^{V1}
6. Hartu beste sorgailu independente bat eta anulatu beste guztiak
7. Bueltatutu 4. puntura sorgailu guztiak ebatzi arte
8. Eman zirkuitu orokorraren soluzioa
9. Eman eskatzen den erantzuna

o Adibidea:



3. THÉVENIN-EN TEOREMA

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



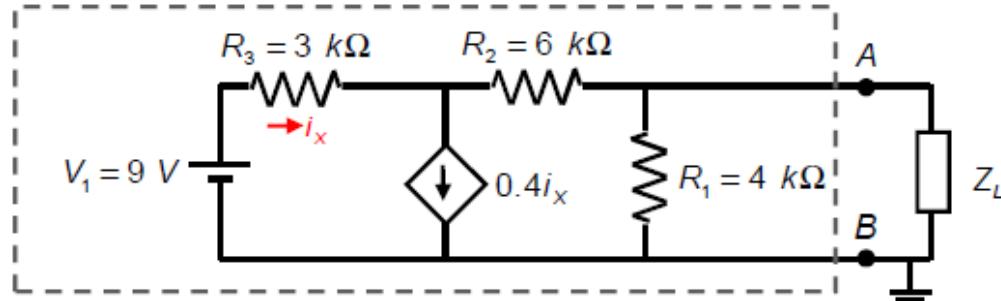
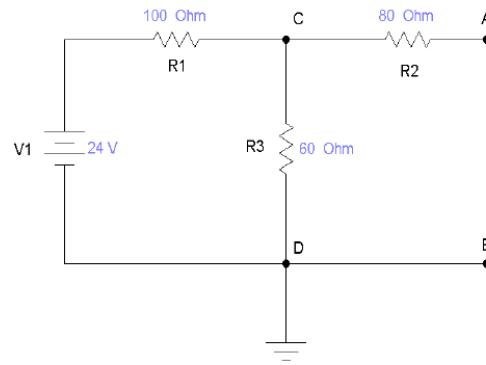
- **V_{Th}:** A eta B puntu arteko potentzial-diferenzia, bi puntu hauen artean zirkuitu irekia izanik
- **R_{Th}/Z_{Th}:** A eta B puntu arteko impedantzia baliokidea sorgailu independente guztiak anulatuz

3. THÉVENIN-EN TEOREMA

o Ebazpidea:

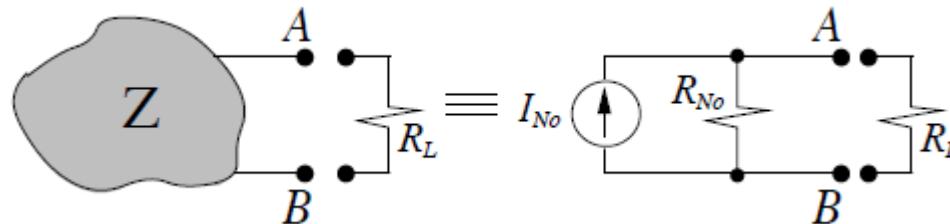
1. Zein zirkuituaren baliokidea lortu nahi den identifikatu / A eta B puntuak identifikatu
2. V_{th} lortu
 1. A eta B puntuen artean zirkuitu irekia jarri
 2. A eta B puntuen arteko tentsioa lortu
3. R_{th}/Z_{th} lortu
 1. Sorgailu independente guztiak anulatu
 2. A eta B puntuen arteko impedantzia baliokidea lortu
4. Zirkuitu baliokidea marraztu

o 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 simple batez ordezka daiteke



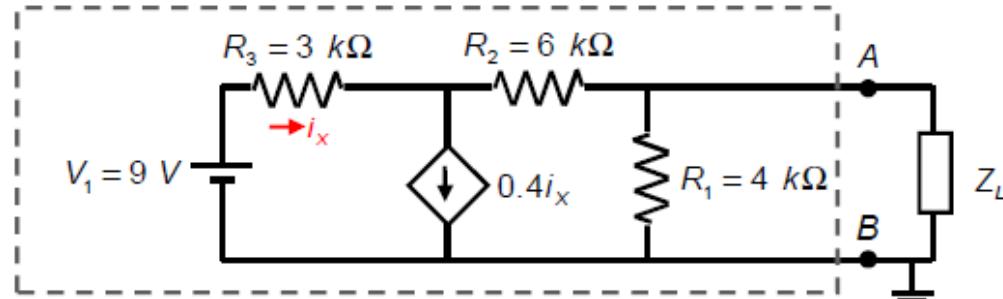
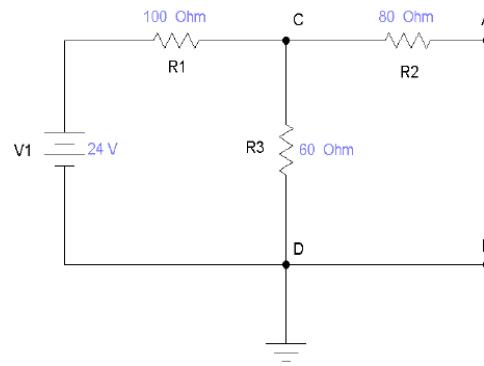
- I_{nor} : A puntutik B puntura igarotzen den korrontea, bi puntu hauen artean zirkuitulaburra dagoenean
- R_{nor}/Z_{nor} : A eta B puntu arteko impedantzia balioakidea sorgailu independente guztiak anulatuz

3. NORTON-EN TEOREMA

o Ebazpidea:

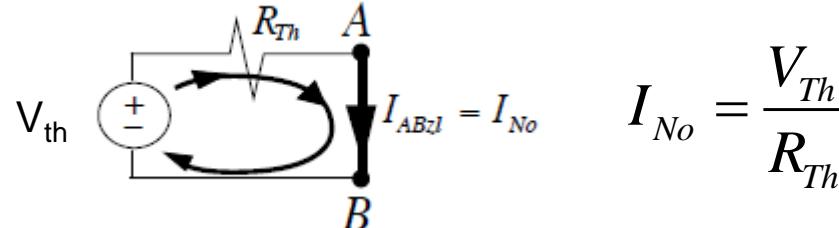
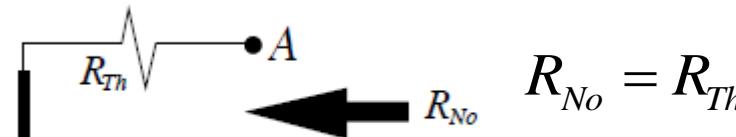
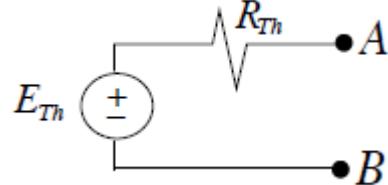
1. Zein zirkuituaren baliokidea lortu nahi den identifikatu / A eta B puntuak identifikatu
2. I_{nor} lortu
 1. A eta B puntuen artean zirkuitulaburra jarri
 2. A puntutik B puntura igarotzen den korrontea kalkulatu
3. R_{nor}/Z_{nor} lortu
 1. Sorgailu independente guztiak anulatu
 2. A eta B puntuen arteko impedantzia baliokidea lortu
4. Zirkuitu baliokidea marraztu

o Adibideak: Lortu A eta B puntuen artean Norton baliokidea

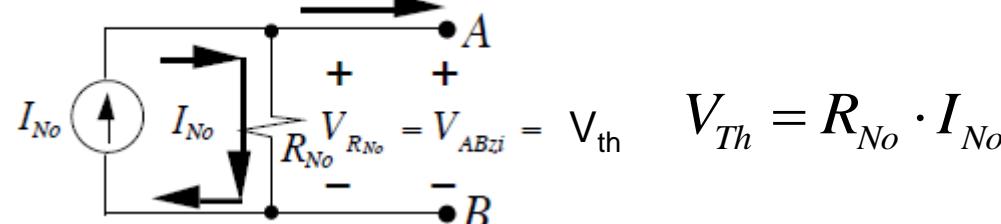
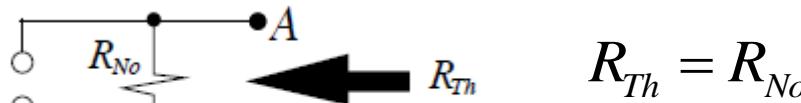
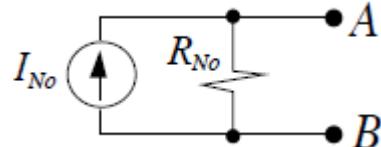


5. THÉVENIN-EN ETA NORTON-EN ZIRKUITU BALIOKIDEEN ARTEKO ERLAZIOA

- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:

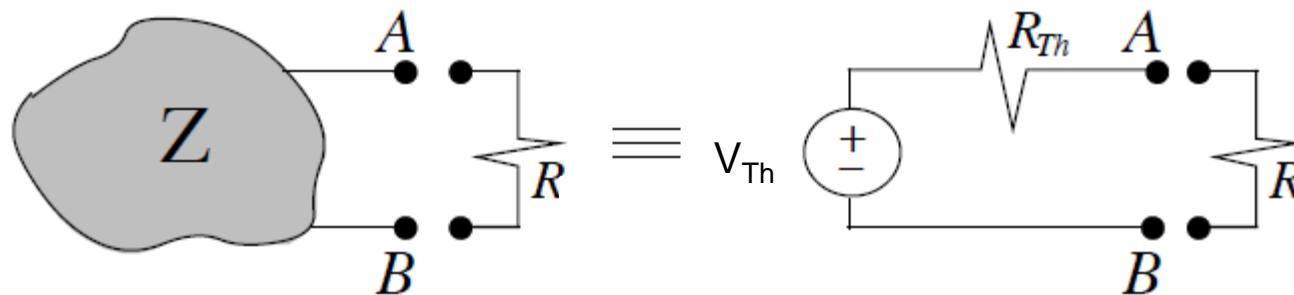


- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:



6. POTENZIAREN 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.

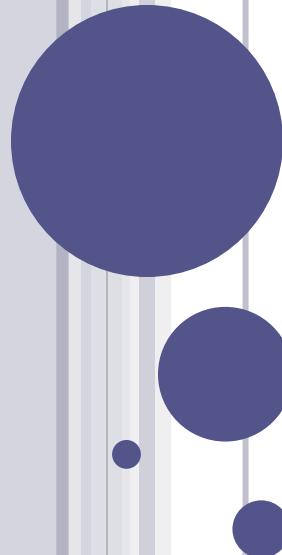


- Xurgatutako potentzia:

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

- Maximo bat:

$$R = R_{Th}$$



7. GAIA – ZIRKUITU ELEKTRIKOEN EGOERA IRAGANKORRA ETA KORRONTZ ALTERNOA

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)

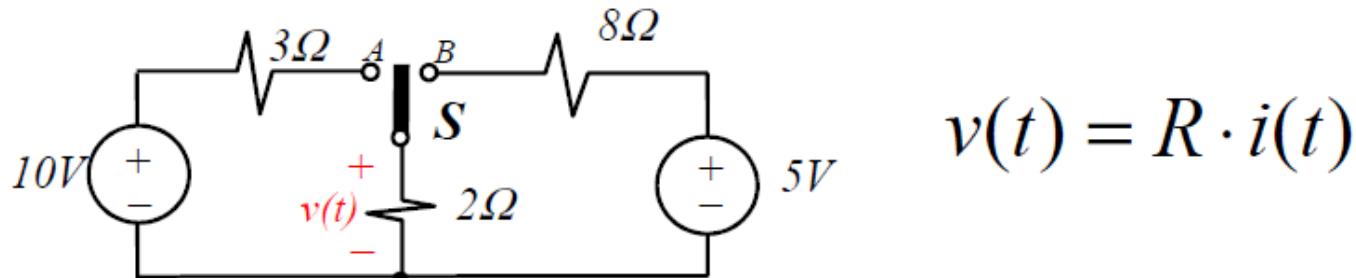
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDA

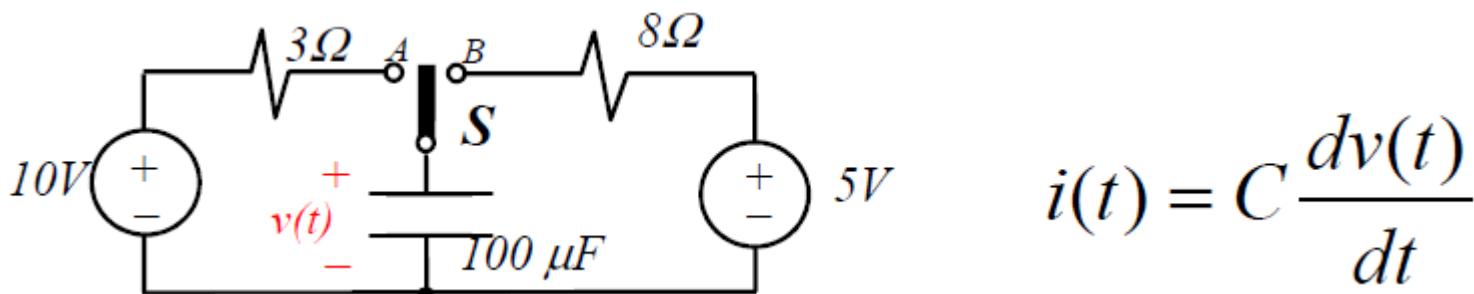
1. Egoera iragankorra zirkuitu linealetan
2. RC zirkuitua
 - Karga prozesua eta denbora konstantea
 - Deskarga prozesua eta denbora konstantea
 - Erantzuna seinale karratuei
3. RL zirkuitua
4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

1. EGOERA IRAGANKORRA ZIRKUITU LINEALETAN

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

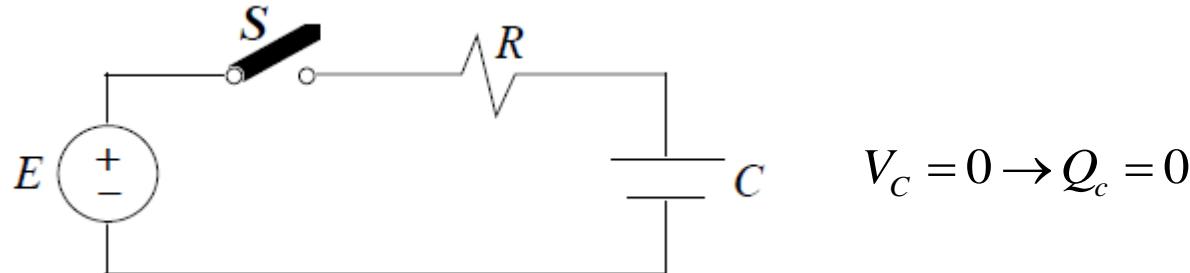


- Kondentsadore bat badago, oreka egoerara (egoera egonkorra) heltzeko denbora bat (egoera iragankorra) behar da, kondentsadorearen portaera ekuazioa dela eta

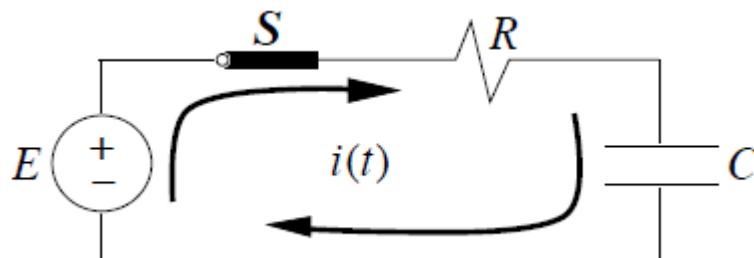


2. RC ZIRKUITUA

o Zirkuitua:



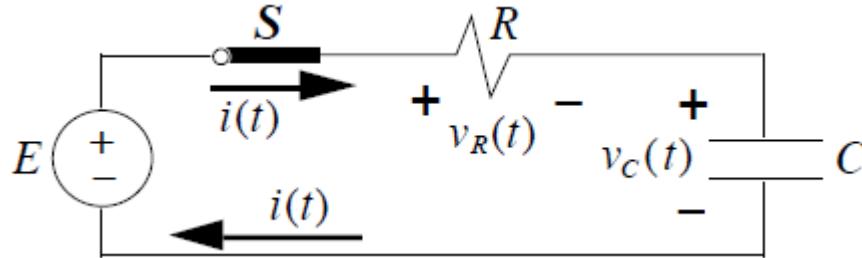
o Karga prozesua:



- Etengailua itxi \rightarrow Aldaketa: $t = 0$
- Kondentsadorea kargatzen hasi \rightarrow Egoera iragankorra

2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua:



- Portaera ekuazioak:

- Erresistentzia:

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

- Kondentsadorea:

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

- Ondorioa:

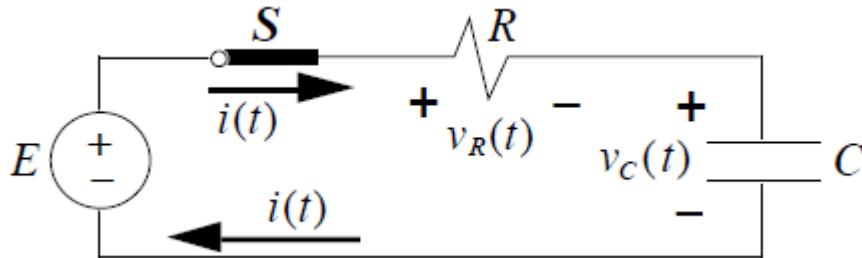
$$v_R(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt}$$

- KVL (KTL)

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

2. RC ZIRKUITUA

o 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:

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

- o K_1 eta K_2 konstanteak zirkuituaren hasierako ($t=0$) eta bukaerako ($t=\infty$) egoeren menpekoak

2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua:

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

- Hasierako egoera egonkorra ($t=0$):

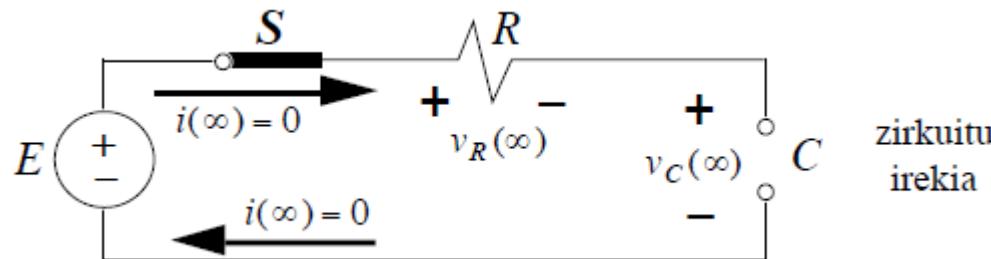
$$v_C(0^-) = 0V$$

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

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

$$K_1 + K_2 = 0$$

- Bukaerako egoera egonkorra ($t=\infty$)



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

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

2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua:

$$K_1 + K_2 = 0$$

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

- 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

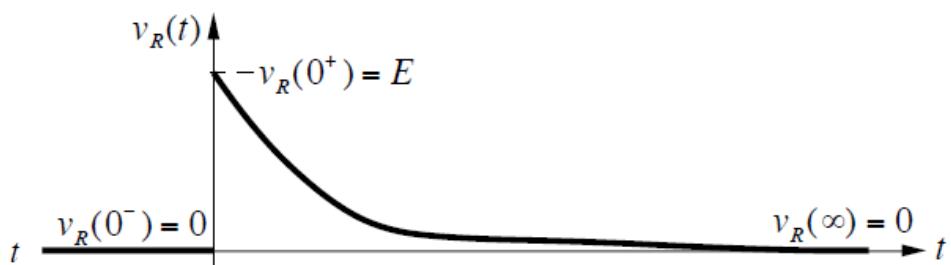
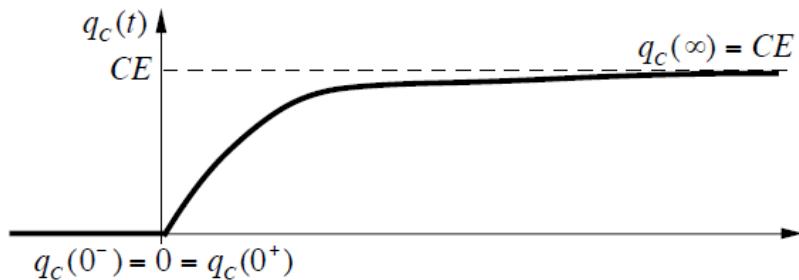
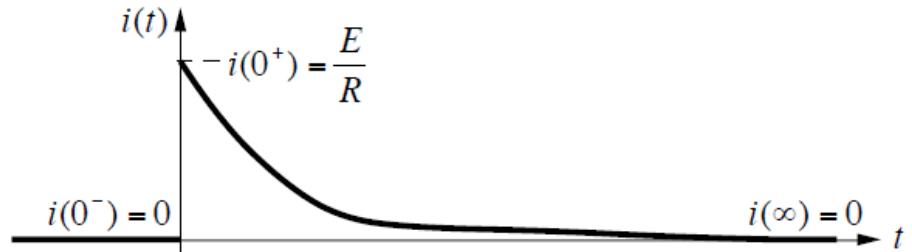
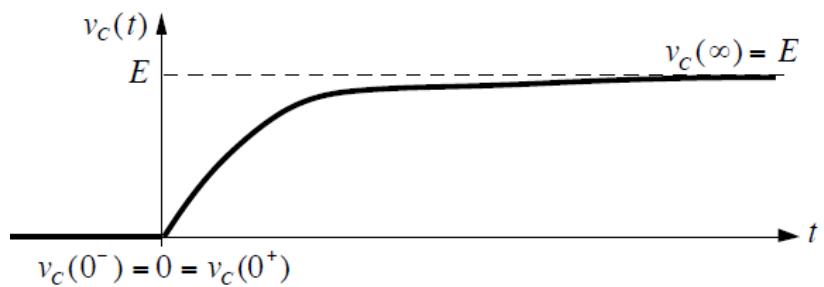
$$v_R(t) = E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Kondentsadorean metaturiko karga

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

2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua:



2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua – Denbora konstantea:

$$\tau = RC$$

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

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

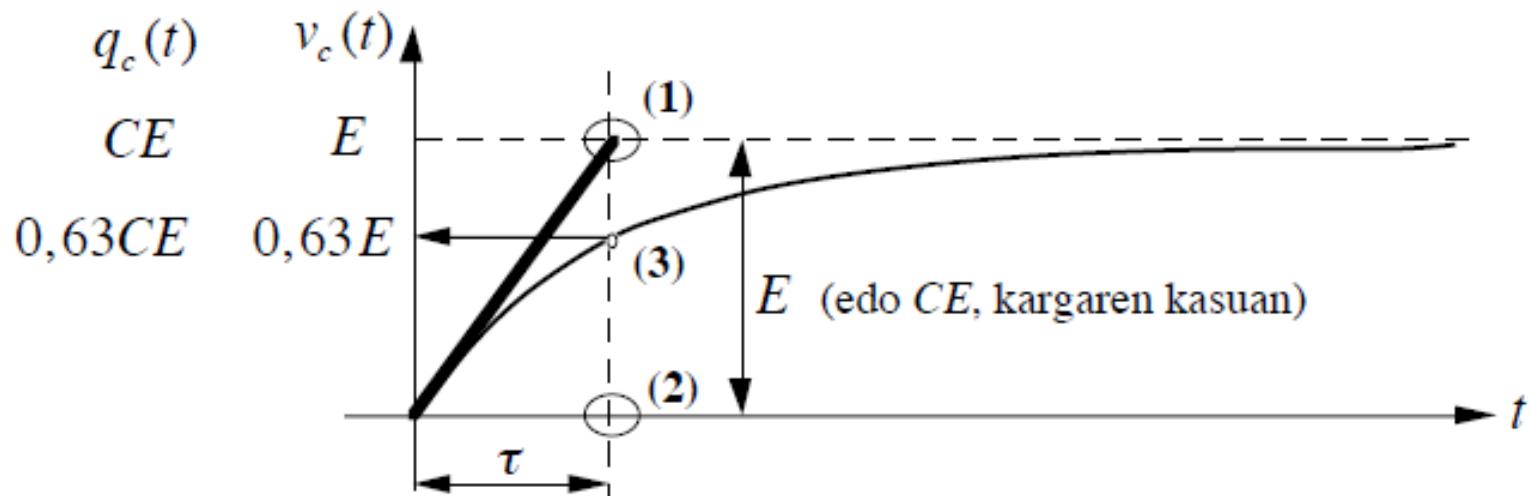
- **Definizioa:** RC zirkuitu baten denbora-konstantea, hasierako unetik kondentsadoreak orekan izango duen tentsioaren (kargaren) % 63ko tentsioa (karga) lortu arte igarotzen den denbora-tartea da.

2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua – Denbora konstantea:

- Tentsioa:

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

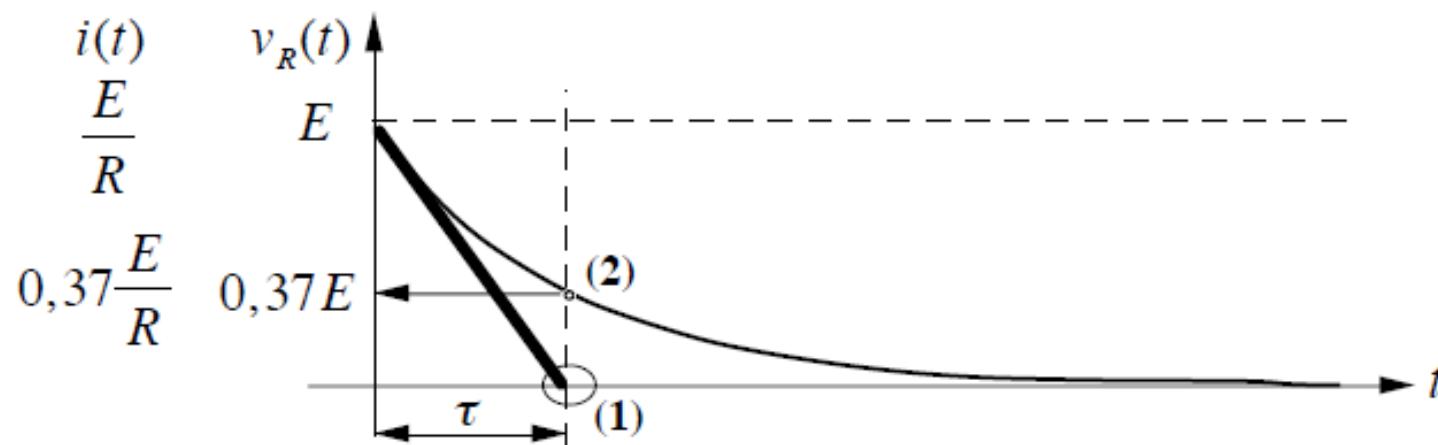


2. RC ZIRKUITUA

o Karga prozesua – Denbora konstantea:

- Korrontea:

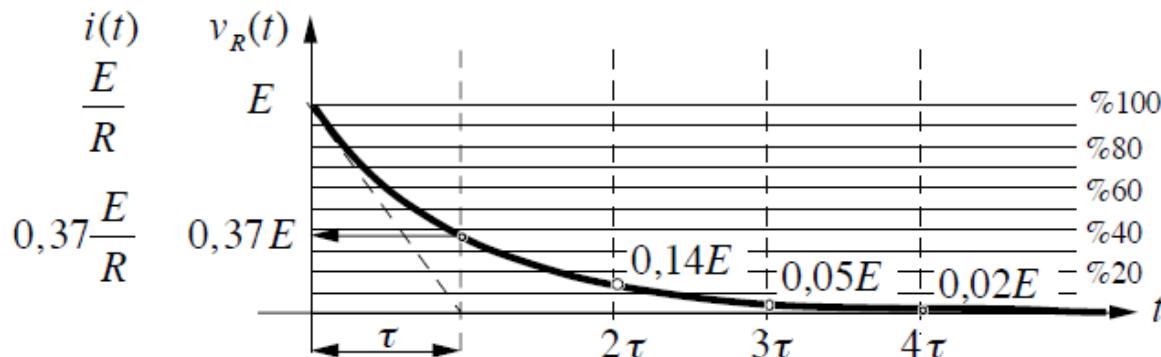
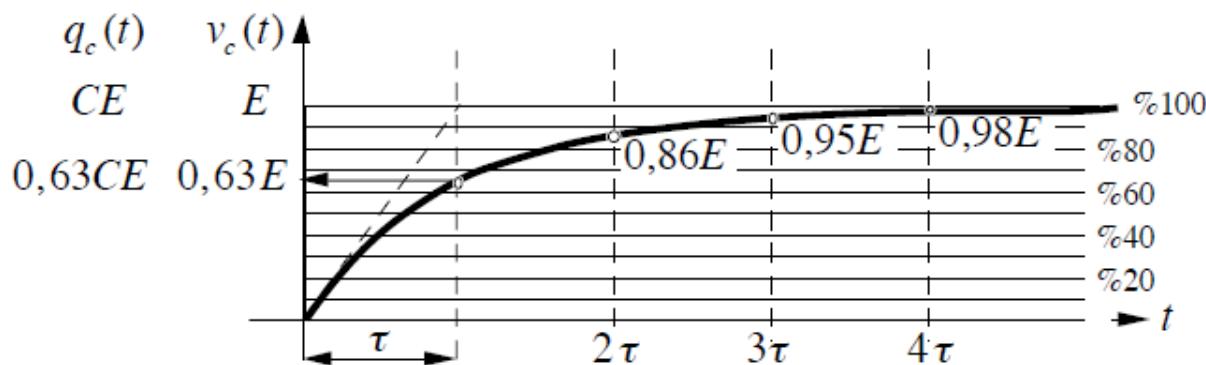
$$\left[\frac{dv_R(t)}{dt} \right]_{t=0} = \left[\frac{d}{dt} \left(E \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \right) \right]_{t=0} = -\frac{E}{RC} = -\frac{E}{\tau}$$



2. RC ZIRKUITUA

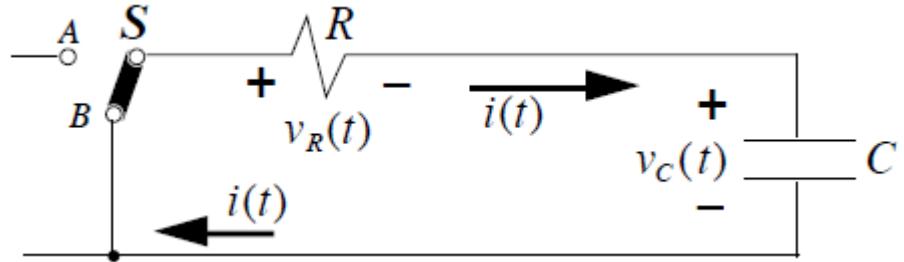
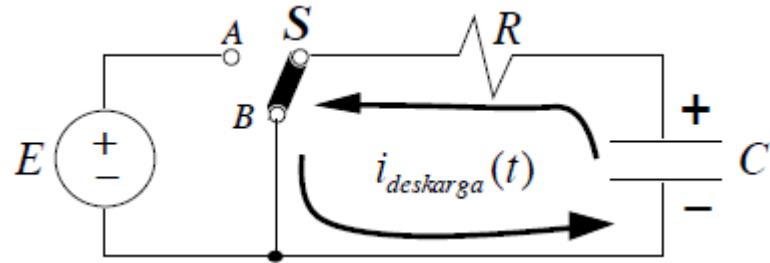
o Karga prozesua – Denbora konstantea:

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



2. RC ZIRKUITUA

o Deskarga prozesua:



- Portaera ekuazioak:

- Erresistentzia:

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

- Kondentsadorea:

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

- Ondorioa:

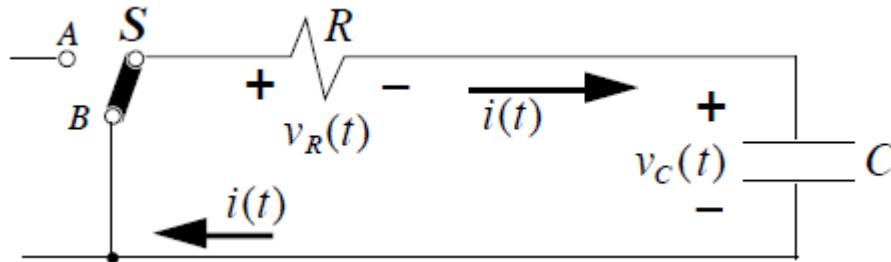
$$v_R(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt}$$

- 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 zirkuituaren hasierako ($t=0$) eta bukaerako ($t=\infty$) egoeren menpekoak

2. RC ZIRKUITUA

o Deskarga prozesua:

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

- Hasierako egoera egonkorra ($t=0$):

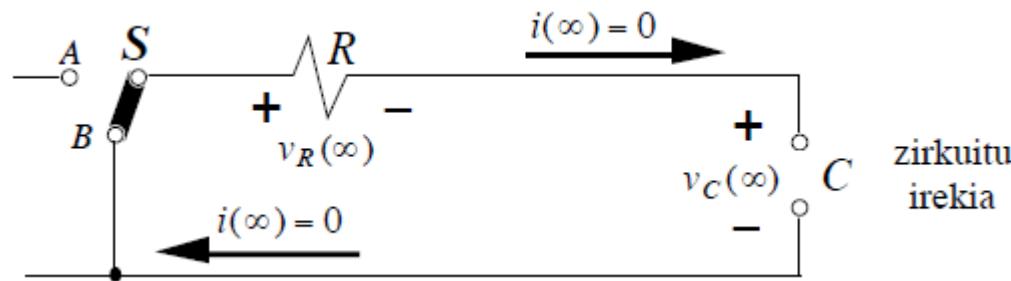
$$v_C(0^-) = E \text{ V}$$

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

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

$$K_1 + K_2 = E$$

- Bukaerako egoera egonkorra ($t=\infty$)



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

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

2. RC ZIRKUITUA

o 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

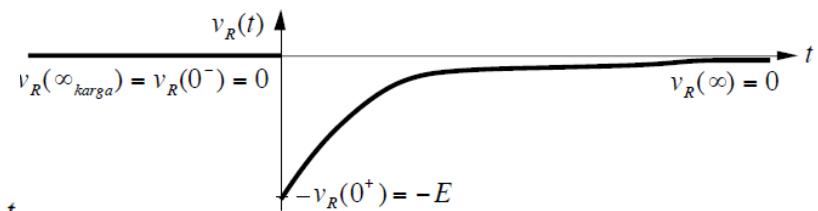
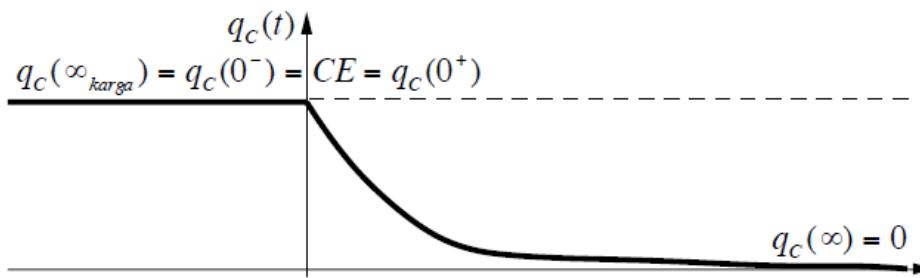
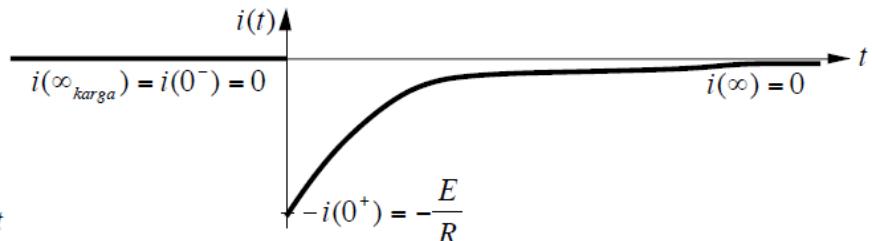
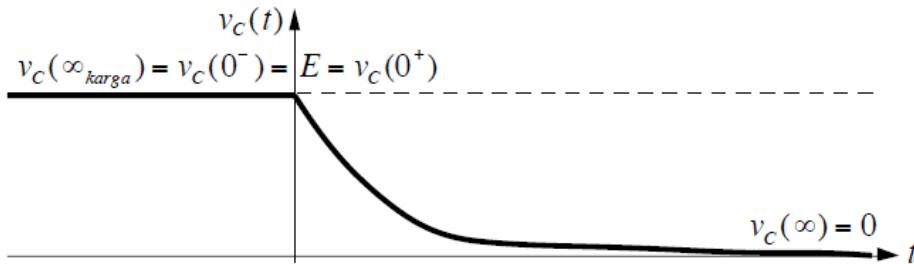
$$v_R(t) = -E \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

- Kondentsadorean metaturiko karga

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

2. RC ZIRKUITUA

o Deskarga prozesua:

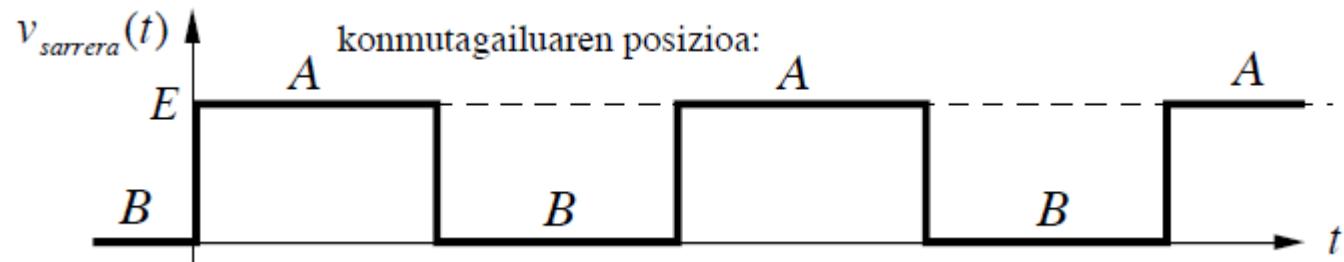
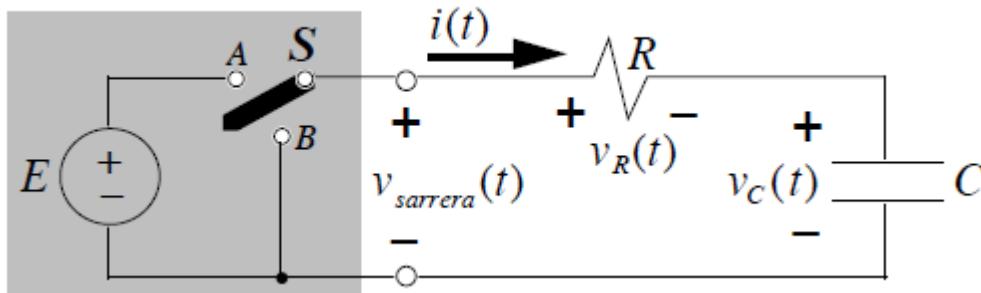


o Denbora konstantea:

$$\tau_{k \arg a} = R_{k \arg a} C \quad \text{eta} \quad \tau_{desk \arg a} = R_{desk \arg a} C$$

2. RC ZIRKUITUA

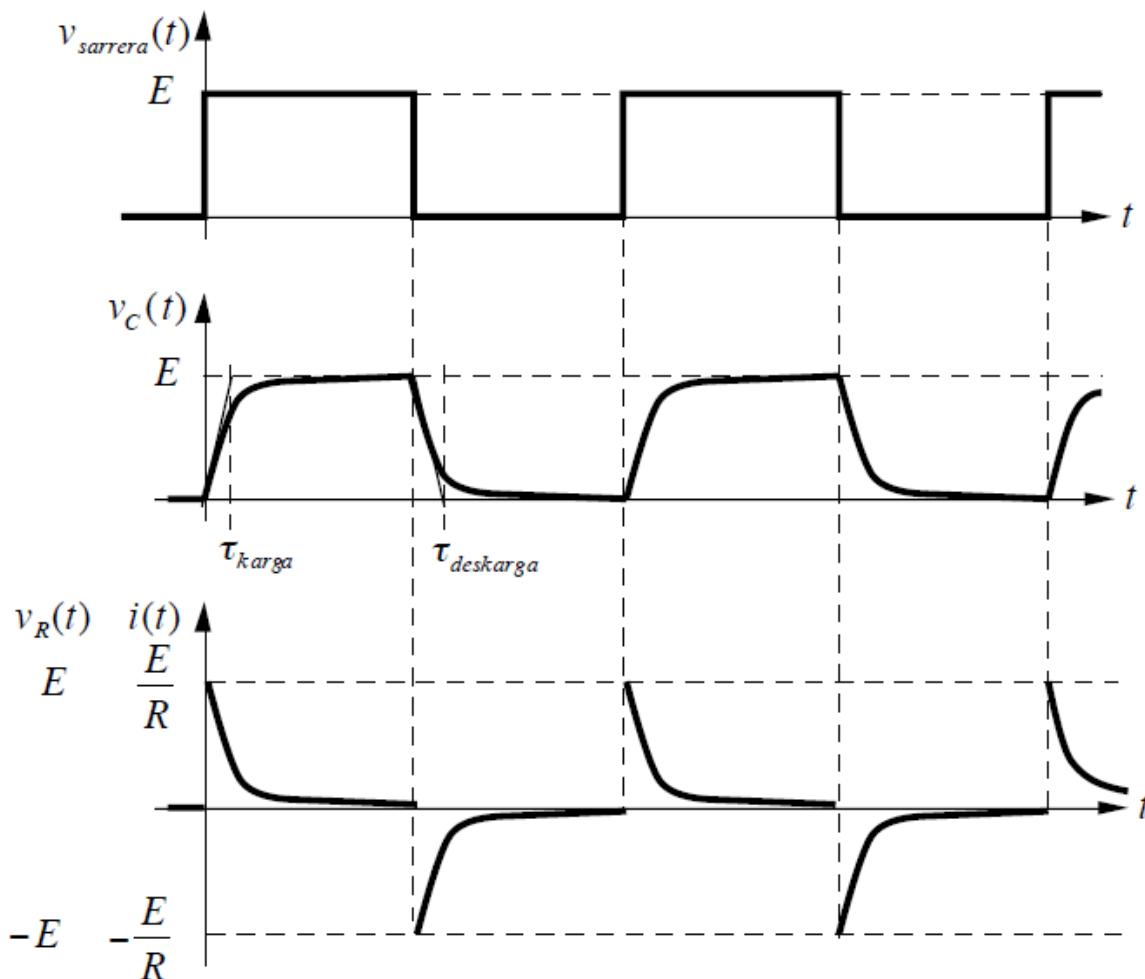
- Erantzuna seinale karratuei:



2. RC ZIRKUITUA

o Erantzuna seinale karratuei:

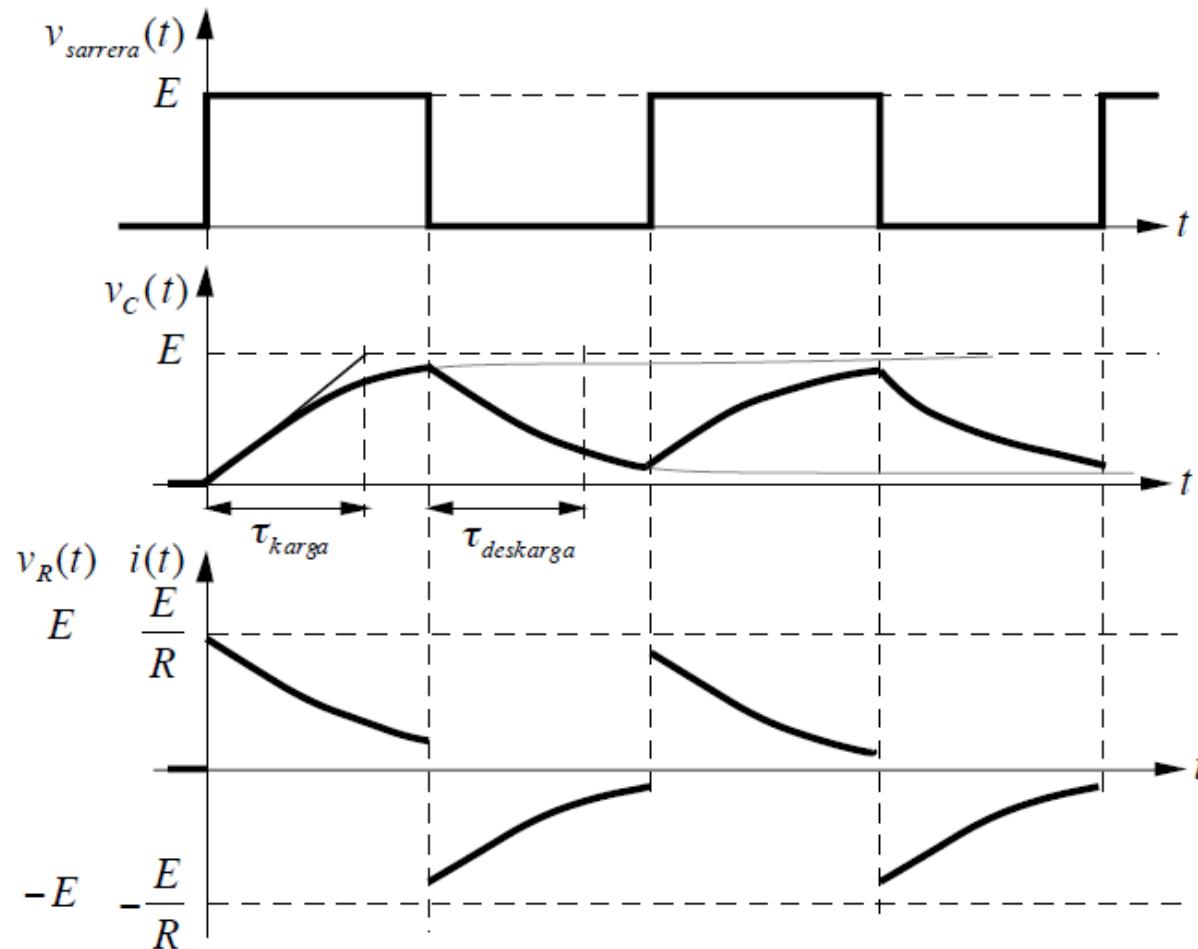
- 1. kasua: $(T/2) \gg 4\tau$



2. RC ZIRKUITUA

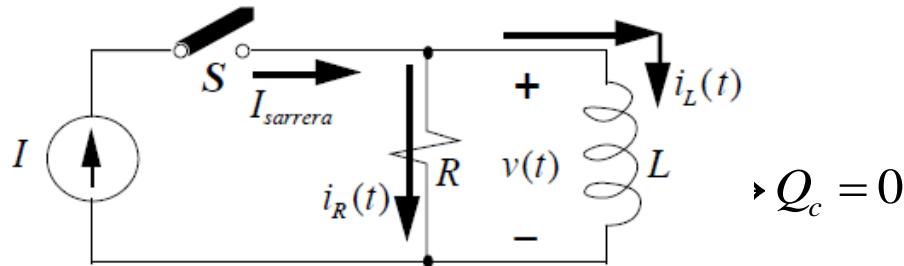
o Erantzuna seinale karratuei:

- 2. kasua: $(T/2) \ll 4\tau$



3. RL ZIRKUITUA

o Zirkuitua:



o Portaera ekuazioak:

- Erresistentzia:

$$v(t) = R i_R(t)$$

- Harila:

$$v(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

- Ondorioa:

$$i_R(t) = \frac{L}{R} \frac{di_L(t)}{dt}$$

o KCL (KKL)

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

3. RL ZIRKUITUA

o Karga prozesua:

Etengailua itxita: $I_{sarrera} = I$

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

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

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

Hasierako egoera:

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

Bukaerako egoera:

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

Konstanteen balioak:

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

Soluzio partikularra:

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

o 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: $\tau = \frac{L}{R}$

Hasierako egoera:

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

Bukaerako egoera:

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

Konstanteen balioak:

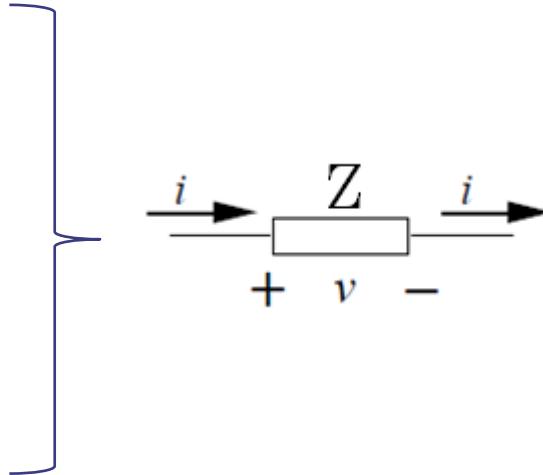
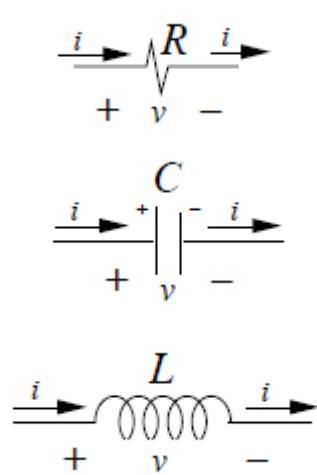
$$K_2 = 0 \text{ eta } K_1 = I$$

Soluzio partikularra:

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

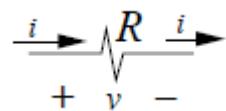
4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

o Impedancia kontzeptua

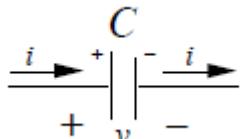


$$Z = R + jX \text{ [Ω]}$$

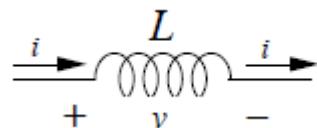
$$G = Y + jB \text{ [s]}$$



$$Z_R = R$$



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



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

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRANTE ALTERNOAN

- **Erregimen sinusoidalaren sarrerako seinale sinusoideak 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 diferenzialak → Zenbaki konplexuak
 - ✗ Zirkuituen egoera geldikorra baino ez da lortzen
 - ✓ Kalkuluak asko errazten dira → Ekuazio aljebraiko lineal

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTTE ALTERNOAN

o 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

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

- 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

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

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTTE ALTERNOAN

o 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 neurzen da
- Ez da fasorea (ez da denboraren menpekoa)
- Orokorrean maiztasunaren menpekoa

4. ZIRKUITU LINEALAK KORRONTE ALTERNOAN

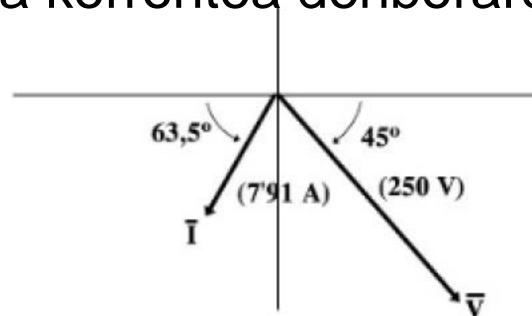
o Fasoreak:

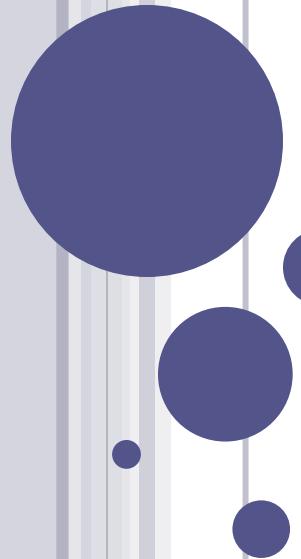
- **Adibide 1:** Fasore eta impedantzia diagrama marraztu eta zirkuituko konstanteak kalkulatu suposatuz bi elementuko zirkuitu serie bat dauagula. Tentsioa eta korrontea boltetan eta anperetan adierazita daude hurrenez hurren.

$$v(t) = 50 \sin(2000t - 25^\circ)$$

$$i(t) = 8 \sin(2000t + 5^\circ)$$

- **Adibide 2:** Hiru elementuko zirkuitu serie batek $L=0.02\text{H}$ -ko bobina bat duka. Aplikaturiko tentsioa eta lortutako korrontea irudiko fasore diagraman ikusten dira. $\omega = 500$ 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 erresistititatea
2. Efektu fotoelektrikoa
3. Bohr-en eredu atomikoa
4. Energia bandak
5. Material motak
6. Erdieroaleak
7. PN juntura

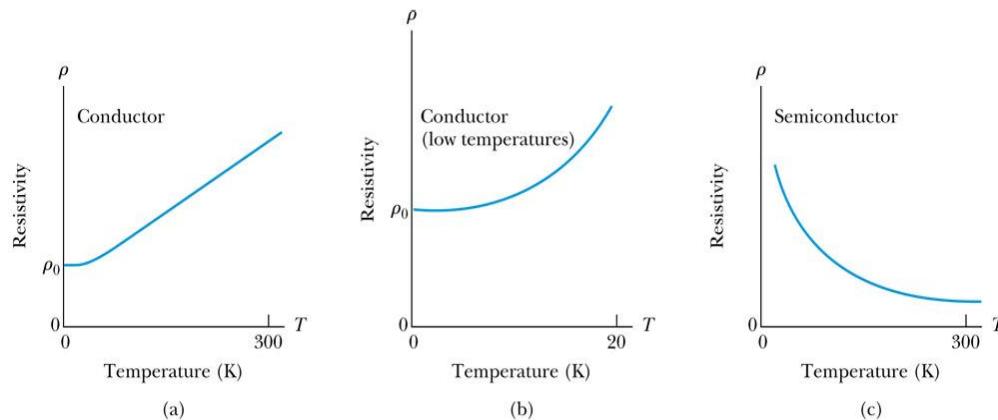
1. EROANKORTASUNA ETA ERRESISTIBITATEA

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

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

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

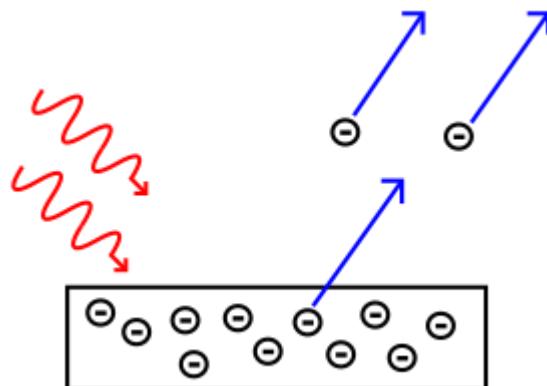
- Propietate hauek aldatu ditzakegu



2. EFEKTU FOTOELEKTRIKOA

○ **Definizioa:** erradiazio elektromagnetikoz (X izpiak, argi ikusgaia...) erasotua izan ondoren, materialik elektroiak erauztearen fenomeno elektroniko-kuantikoa da

- Maiztasunarekiko proportzionala
- Igorritako elektroien kopurua argiaren intentsitatearekiko proportzionala
- Fotoiak transmititzen dira → beraien energia uhin maiztasunarekiko proportzionala



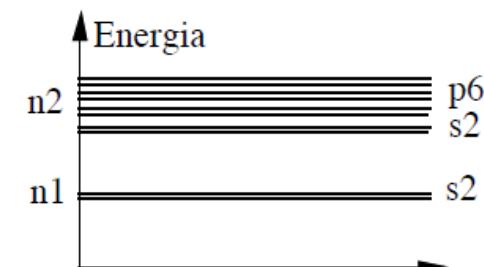
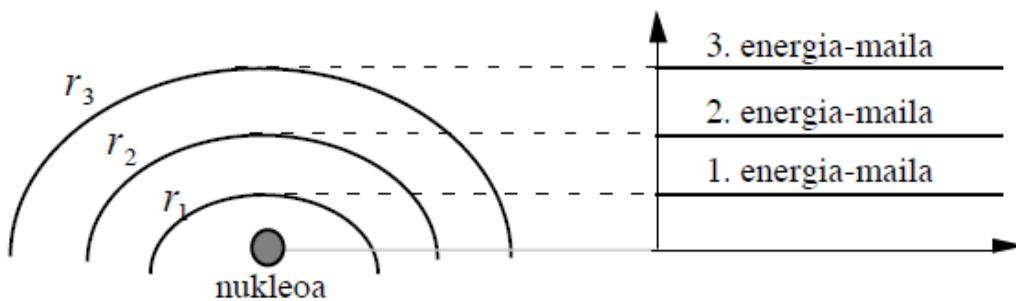
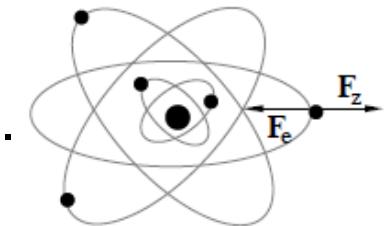
3. BOHR-EN EREDU ATOMIKOA

- Atomoan bi atal nagusi:

- Nukleoak: 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

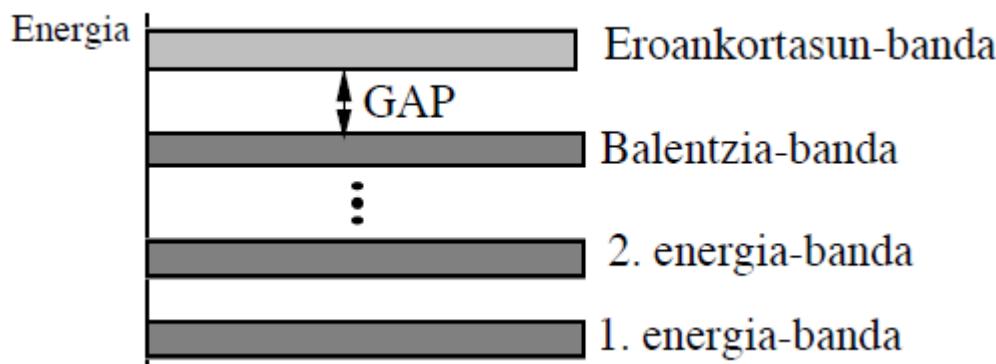


- Orbita txikiago batetik handiago batera → Energia potentziala irabazi
- Nukleotik gertuko geruzak oso egonkorrik
 - Azken geruza → Balentzia geruza

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 neurten da

5. MATERIAL MOTAK

o Eroaleak

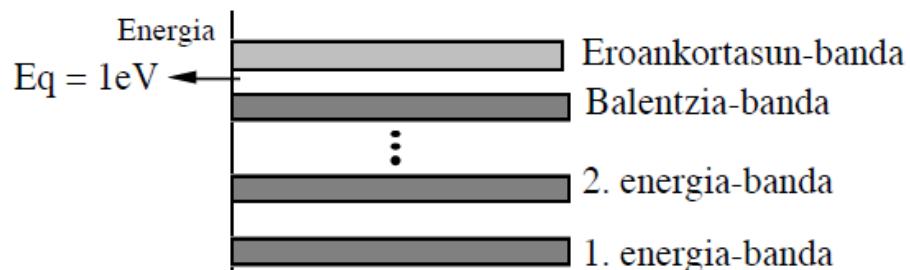
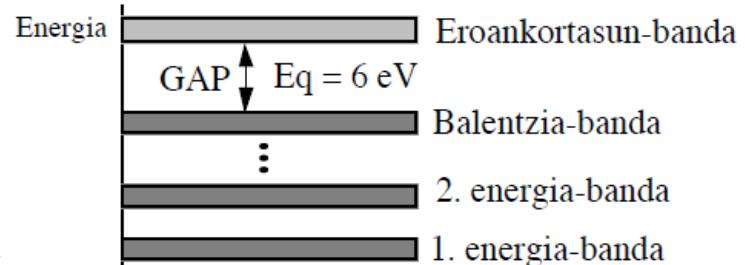
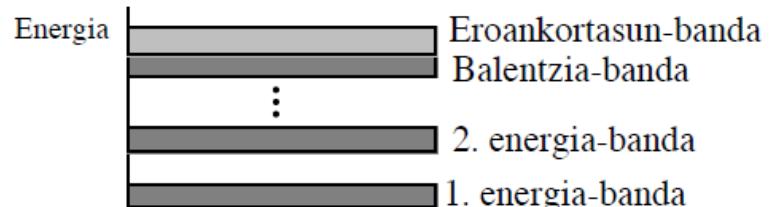
- Azken banda ez dago beteta
- Banda debekaturik ez

o Isolatzaileak

- Balentzia banda guztiz beteta
- Banda debekatua oso zabala
- Eroankortasuna mesprezagarrria

o Erdieroaleak

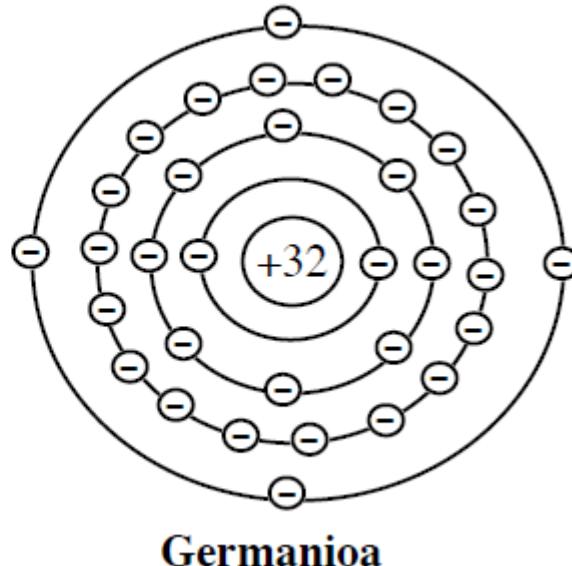
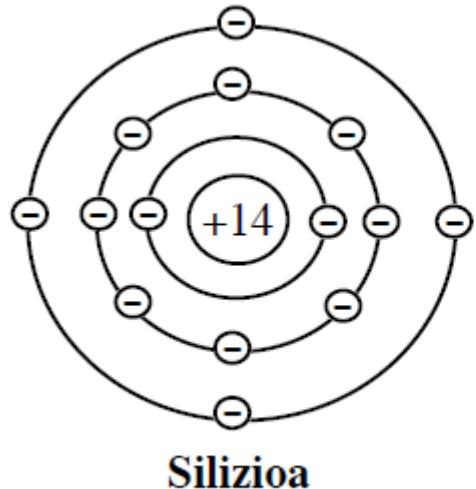
- “4. taldeko elementuak”
- Banda debekatu “txikia”
- Temperatura baxuetan isolatzaileak
- Temperatura altuetan eroaleak



6. ERDIEROALEAK

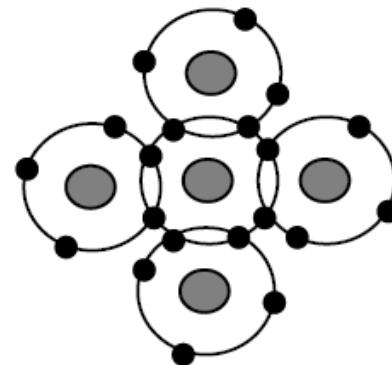
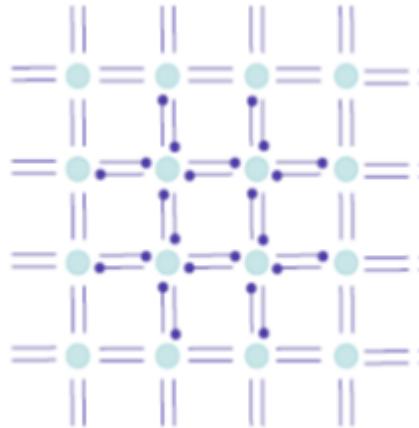
- IV. taldeko elementuak (Si, Ge)
- Konposatuak
 - III-V taldekoak (GaAs, InP)
 - II-VI taldekoak (CdTe)
- Aleazioak (AlGaAs, AlGaN, InGaN)

VIIIA								
2 He 4.003								
5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.183			
IB	IIB	III A	IV A	VA	VIA	VIIA		
		13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948	
29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.909	36 Kr 83.80	
47 Ag 107.870	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.904	54 Xe 131.30	
79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.980	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)	

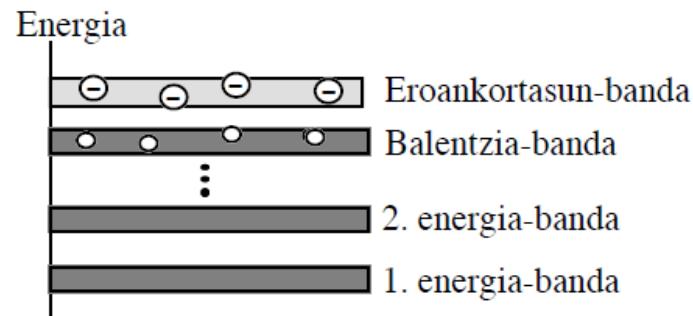
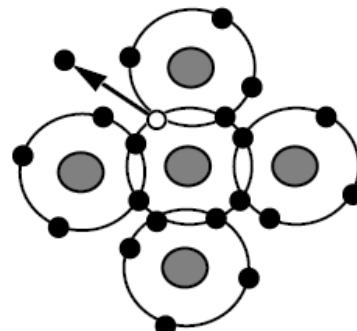
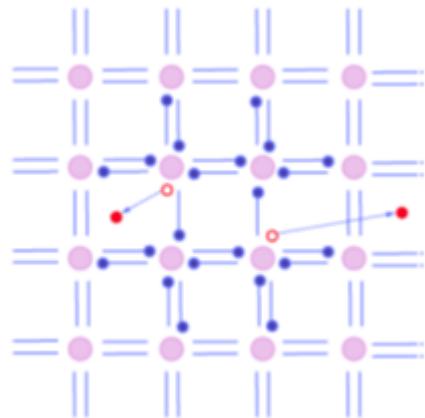


6. ERDIEROALEAK

- Egitura kristalinoa eta lotura kobalentea



- Tenperatura 0K ez bada



6. ERDIEROALEAK

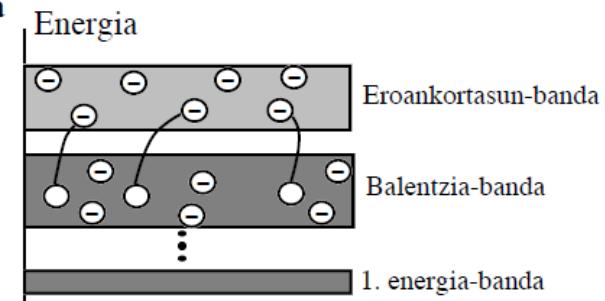
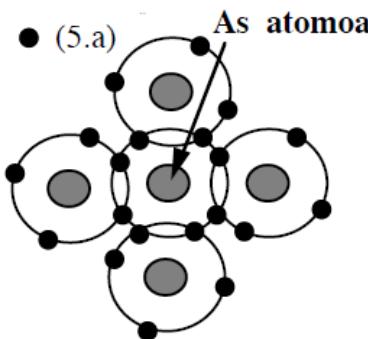
o Erdieroale intrintsekoak

- Purua, gehituriko ez-purutasunik ez

o Erdieroale estrintsekoak

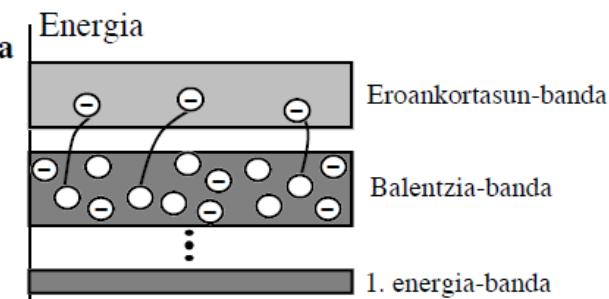
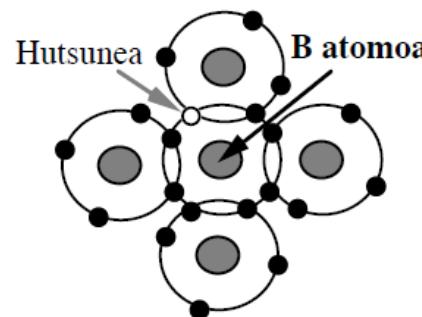
• N motakoak

- Balentzia orbitan $5e^-$
- V. taldekoak
- Eramaileak elektroiak



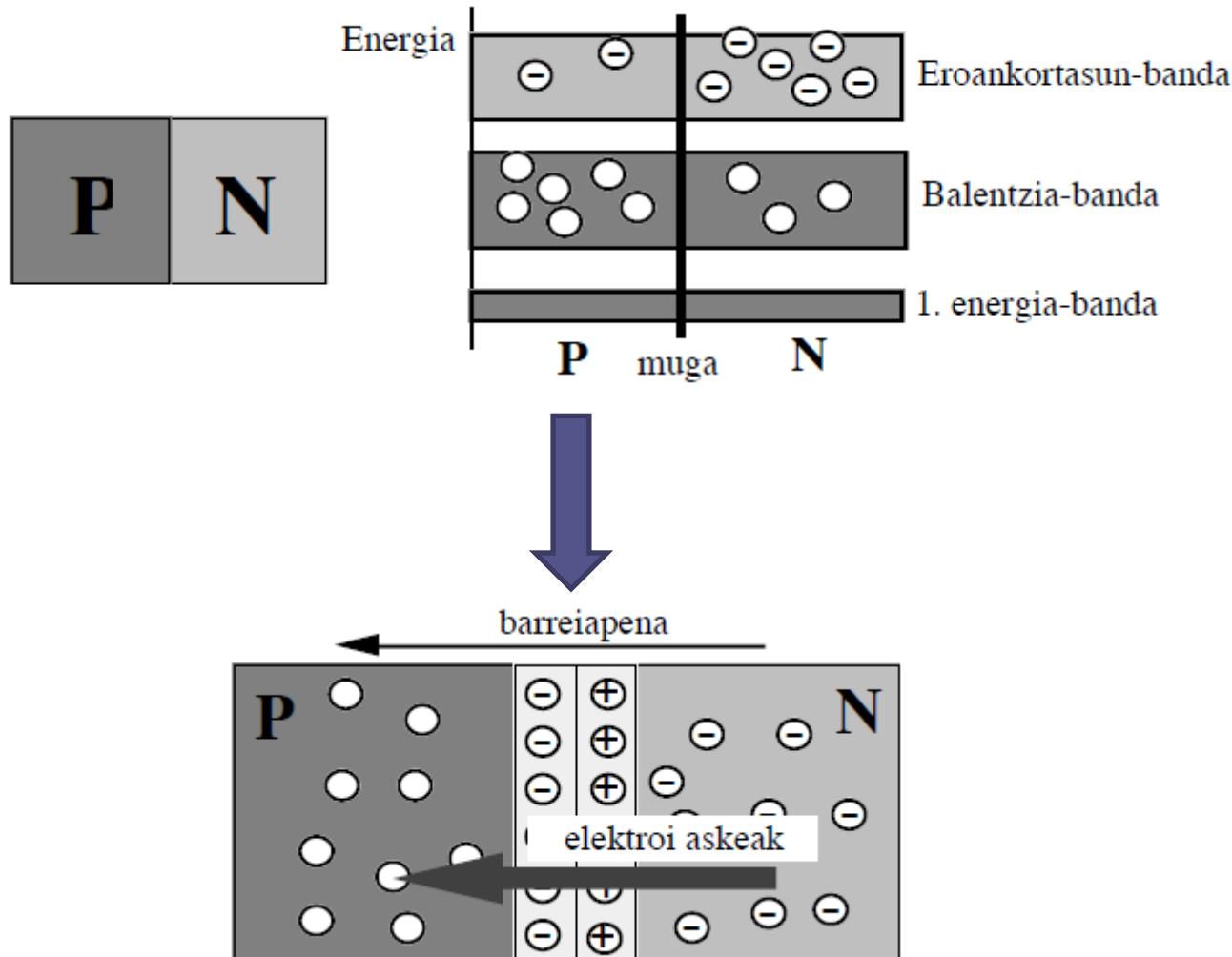
• P motakoak

- Balentzia orbitan $3e^-$
- III. taldekoak
- Eramaileak zuloak



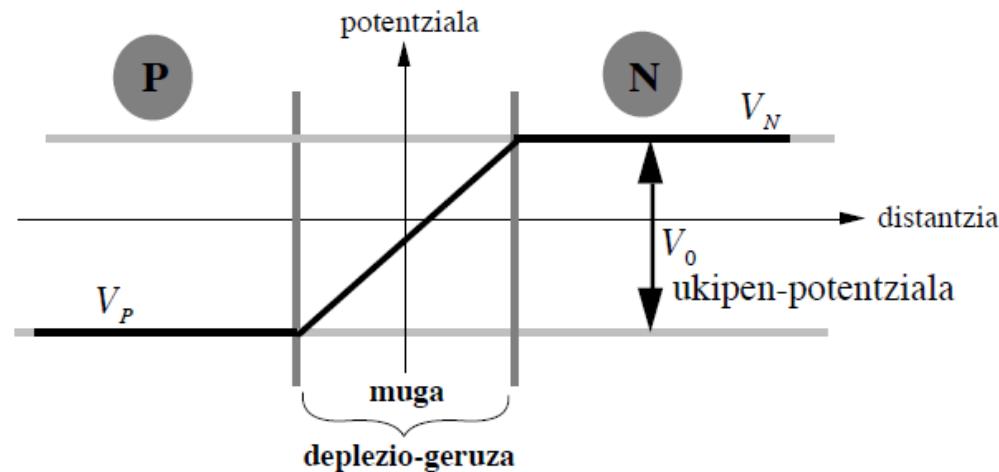
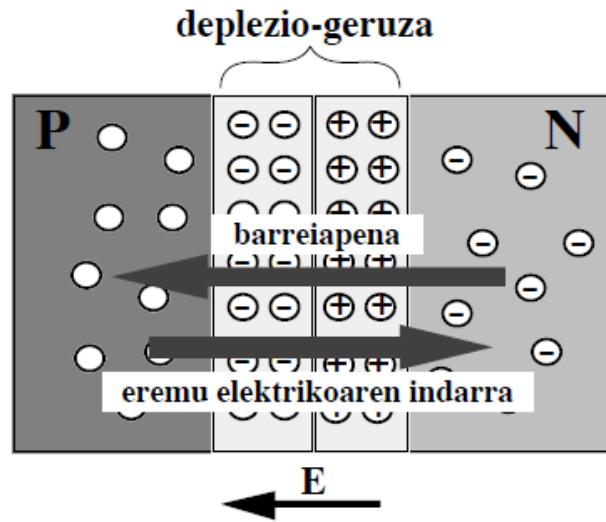
7. PN JUNTURA

o Orekan – Kanpo polarizazio gabe



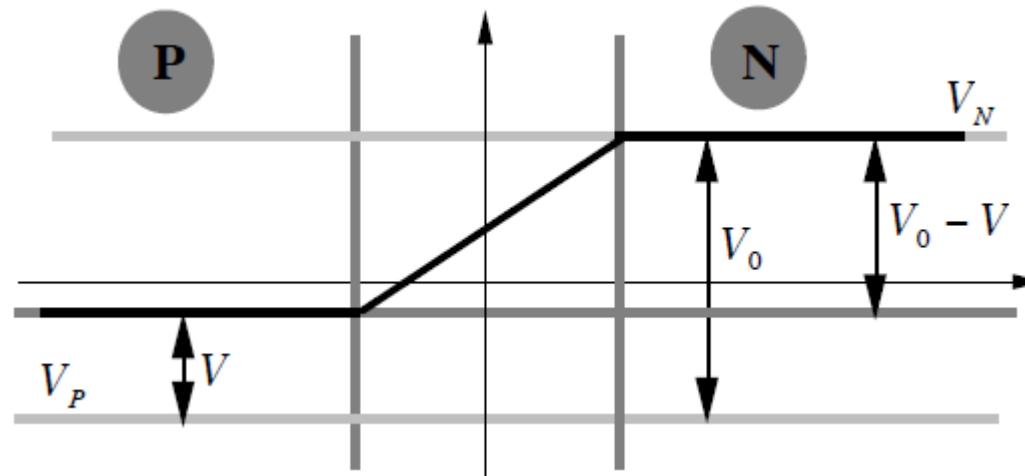
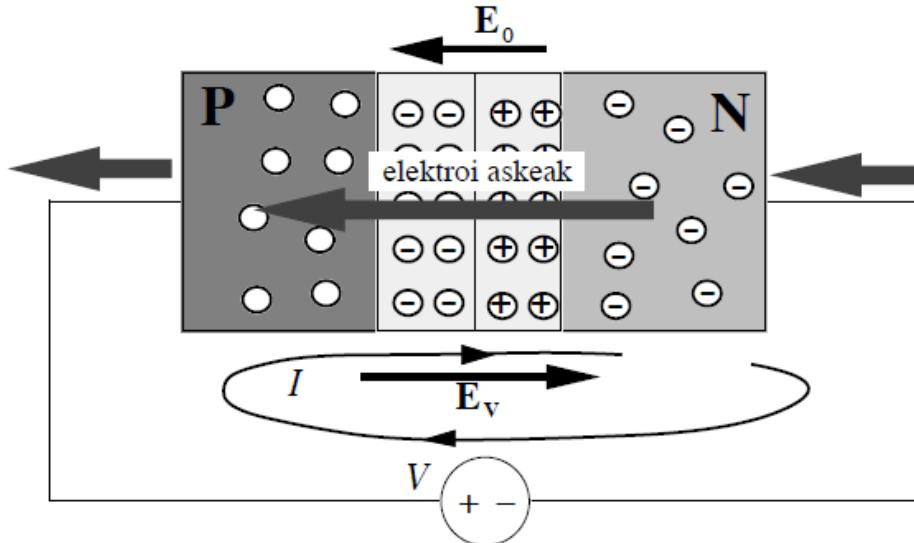
7. PN JUNTURA

o Orekan – Kanpo polarizazio gabe



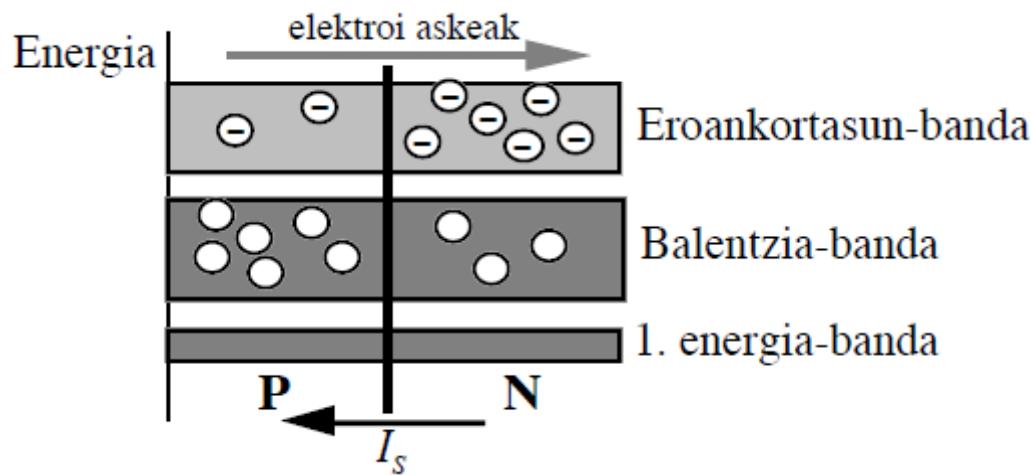
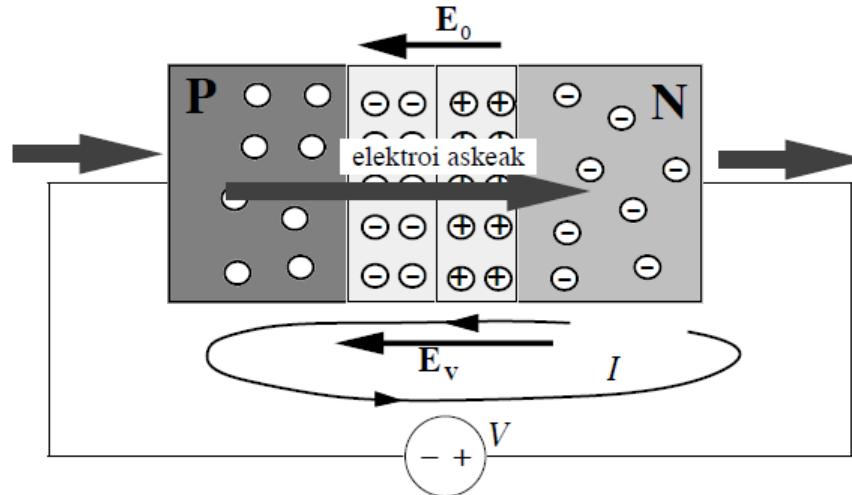
7. PN JUNTURA

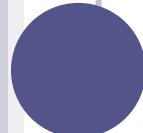
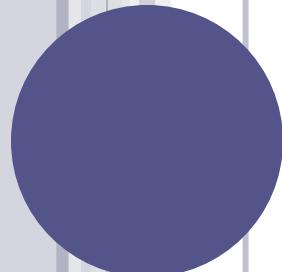
o Zuzeneko polarizazioan



7. PN JUNTURA

o 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

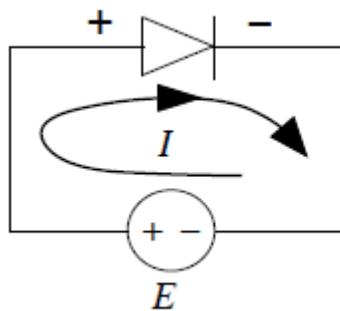
1. Ikurra eta polarizazioa
2. Diodo motak
3. Ezaugarri kurbak
4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak
5. Diododun zirkuituen ebazpidea
6. Diodoen aplikazioak

1. IKURRA ETA POLARIZAZIOA

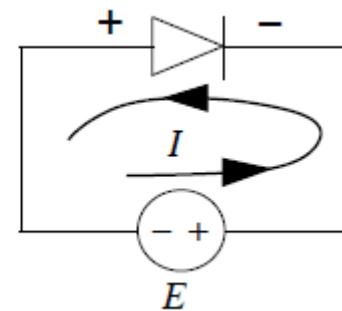
- PN juntura – Ohikoena siliziozkoa
- Biterminala
- Pasibo
- Ez da trukakorra – Alde positibo eta negatiboa
- **Ikurra:**



- **Polarizazioa:**



Zuzeneko polarizazioa
Z.P.

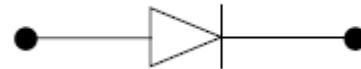


Alderantzizko polarizazioa
Z.P.

2. DIODO MOTAK

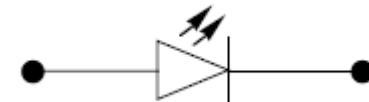
o Diodo artezleak

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



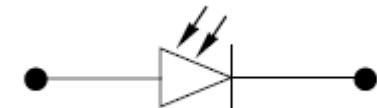
o LED (Light Emitting Diode)

- Z.P → Korrontea eroan eta argia eman
- A.P → Korronte eta argirik ez



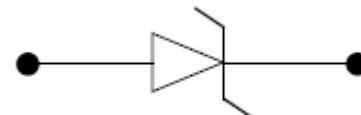
o Fotodiodo

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



o Zener

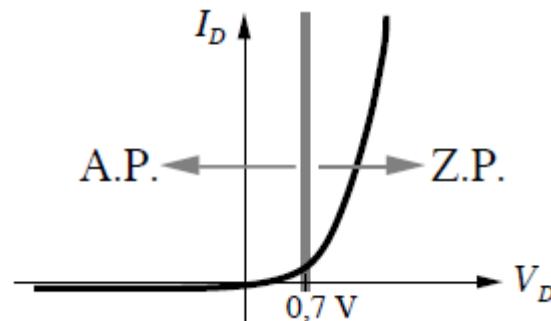
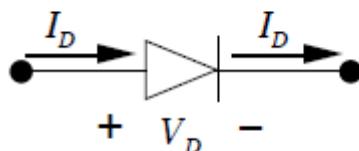
- Z.P → Korrontea eroan
- A.P → Korronterik ez (normalean)
- Zener gunea → Korrontea eroan



3. EZAGARRI KURBAK

o 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



o Portaera ekuazioa

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

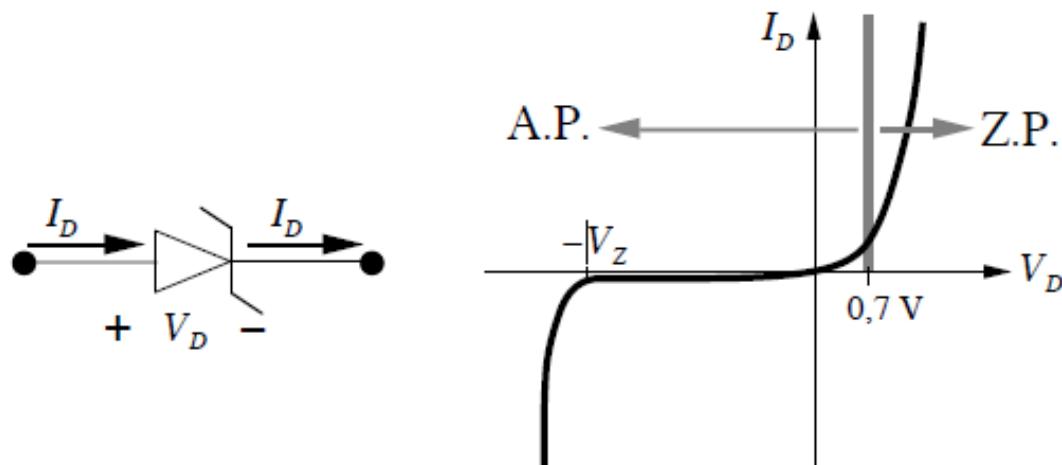
o LED diodoa

- Atari tentsioa: 1.7-2.2V

3. EZAGARRI KURBAK

o Zener diodoa

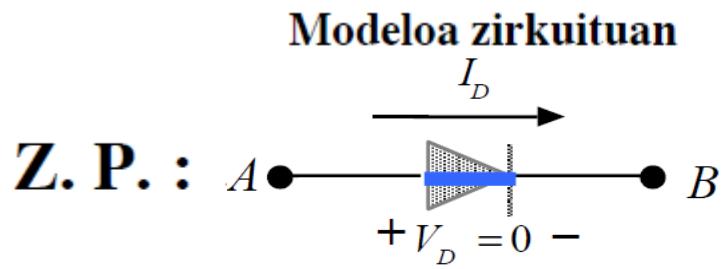
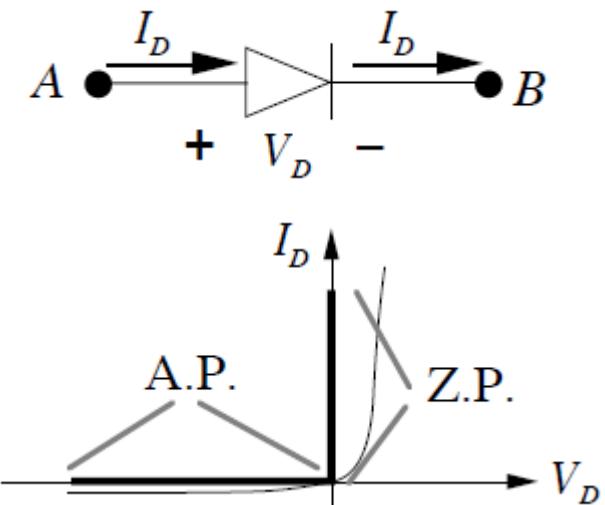
- Arbezlearen antzekoa
- Erlazio esponentziala
- Z.P. → Atalase edo atari tentsioa: 0.7V inguru
- A.P. → Korronte oso txikia, ia nulua: asetasun korrontea
- A.P.-n Zener tentsioa → Korrontea eroan



4. DIODOEN PORTAERAREN HURBILKETA LINEALAK

o Diodo artezlea

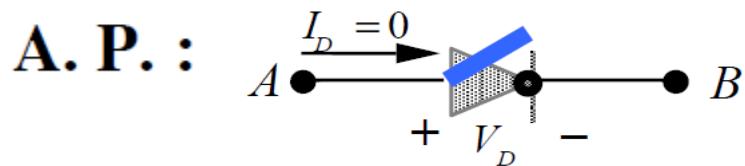
- 1. Hurbilketa (diodo ideal)
 - Z.P: Zirkuitulabur bezala eroan
 - A.P ez du eroaten
 - Hurbilketarik aldenduena
Zehaztasun txikiena



Ekuazioa Baldintza

$$V_D = 0 \quad | \quad I_D \geq 0$$

(zirkuitulaburra)



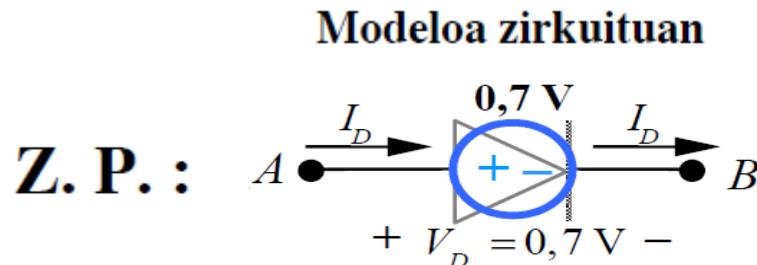
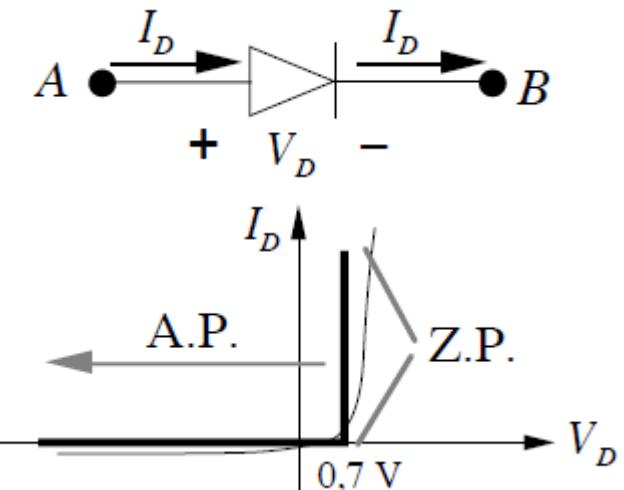
$$I_D = 0 \quad | \quad V_D \leq 0$$

(zirkuitu irekia)

4. DIODOEN PORTAERAREN HURBILKETA LINEALAK

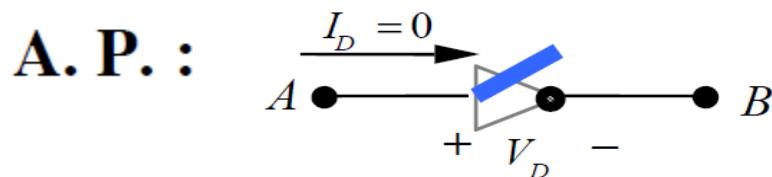
o Diodo artezlea

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



Ekuazioa Baldintza

$$V_D = 0,7\text{ V} \quad | \quad I_D \geq 0$$



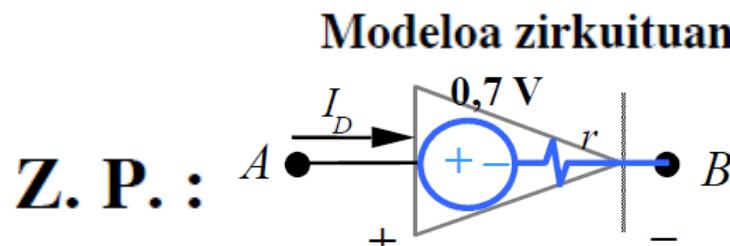
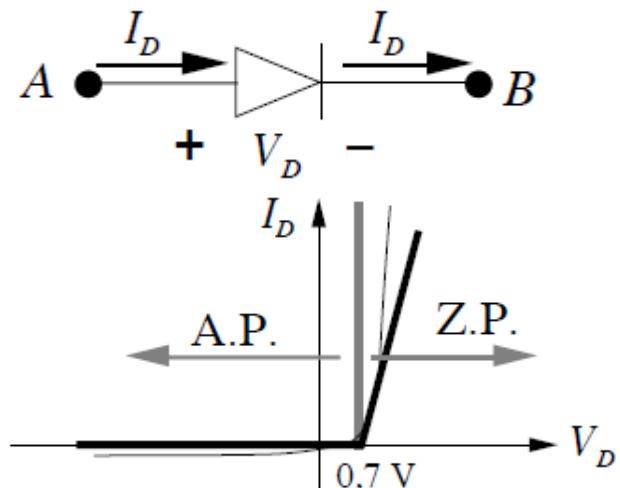
$$I_D = 0 \quad | \quad V_D \leq 0,7\text{ V}$$

(zirkuitu irekia)

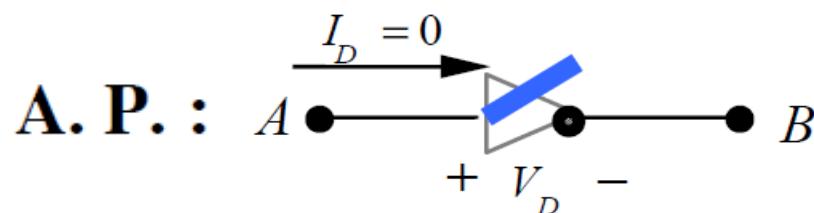
4. DIODOEN PORTAERAREN HURBILKETA LINEALAK

o Diodo artezlea

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



Ekuazioa	Baldintza
$V_D = 0,7 + rI_D \quad \quad I_D \geq 0$	$(r \approx 0,5 \Omega - 1 \Omega)$ r barne-erresistentzia, parametro ezaguna



$I_D = 0 \quad \quad V_D \leq 0,7 \text{ V}$
--

(zirkuitu irekia)

4. DIODOEN PORTAERAREN HURBILKETA LINEALAK

o Zener diodoa

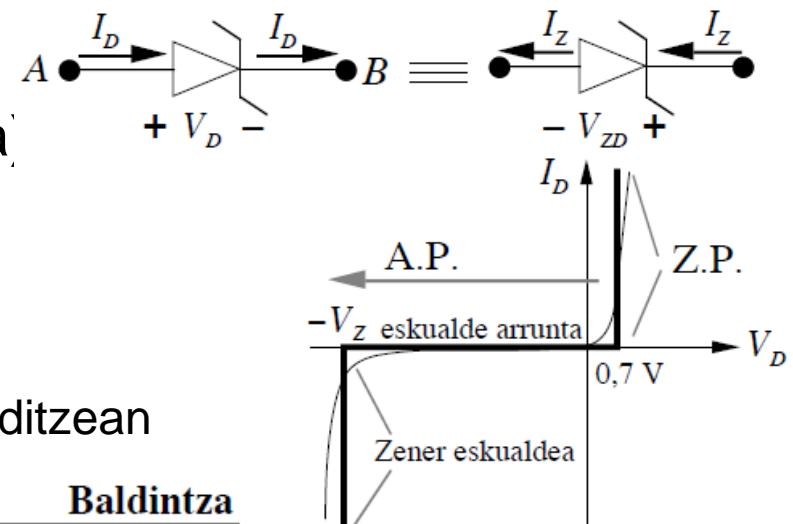
- Hurbilketa bakarra (2. hurbilketa)

 - Z.P: Zirkuitulabur bezala 0.7V-tik

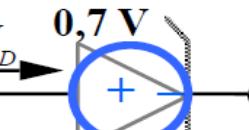
 - A.P:

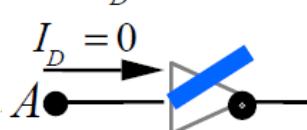
 - Ez du eroaten tentsio baxuetan

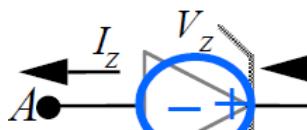
 - Alderantzizko korrontea V_z gainditzean



Modeloa zirkuituan Ekuazioa Baldintza

Z. P. :  $V_D = 0,7 \text{ V} \mid I_D \geq 0 \equiv I_Z \leq 0$

A. P. :  $I_D = 0 \mid -V_z \leq V_D \leq 0,7 \text{ V}$
V_z parametro ezaguna

Zener eskualdean:  $V_D = -V_z \mid I_Z \geq 0 \equiv I_D \leq 0$

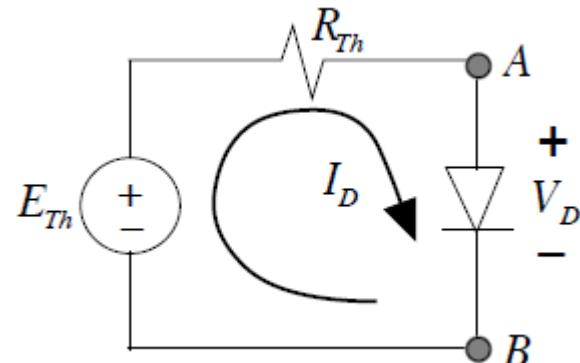
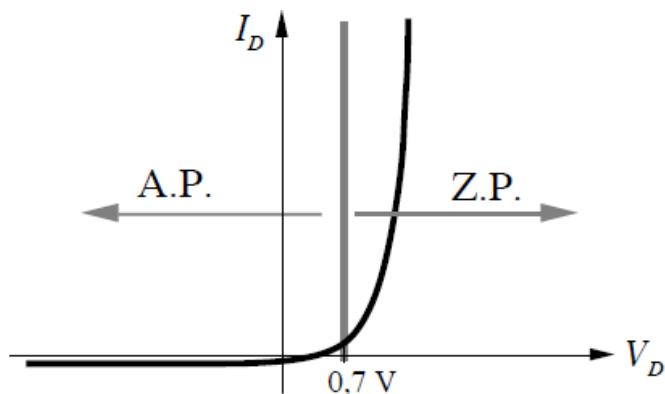
5. DIODODUN ZIRKUITUEN EBAZPIDEA

o 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. Egiaztu 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

o Ebazpide grafikoa



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

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

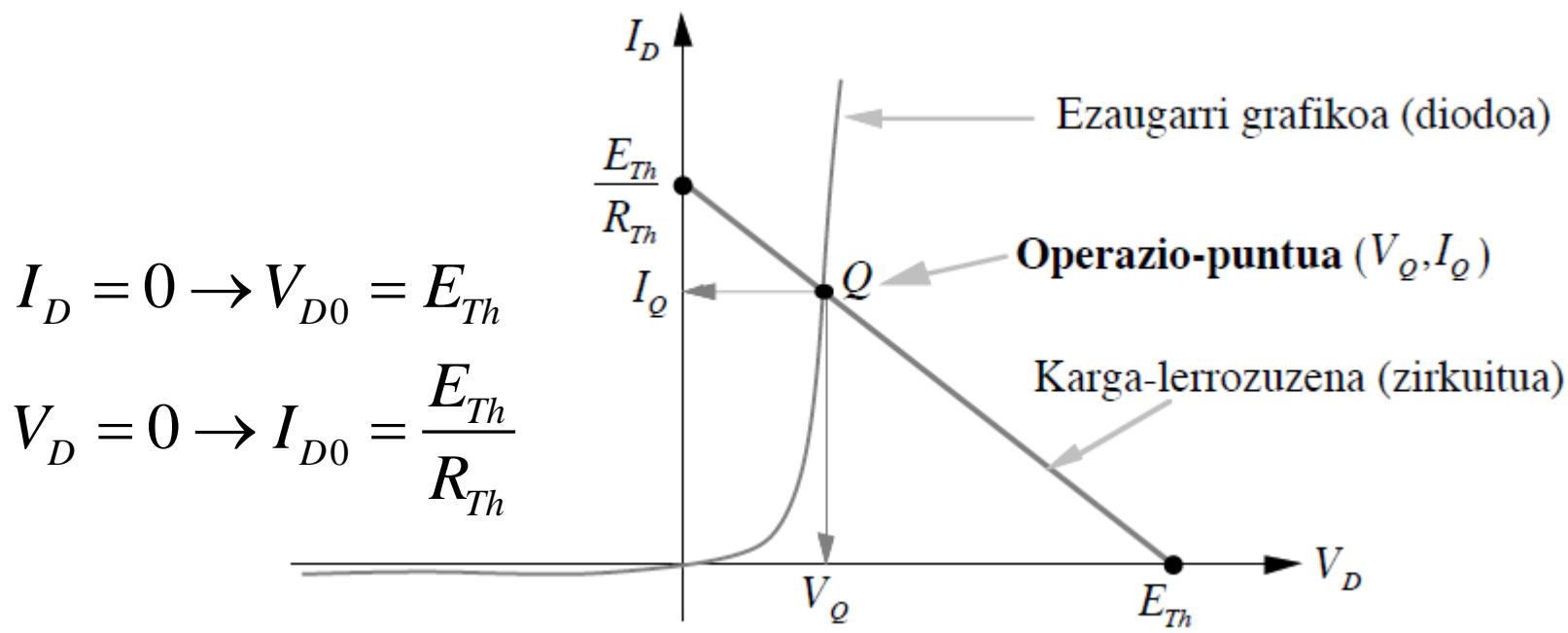
$$I_D = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} - \frac{1}{R_{Th}} \cdot V_D$$

Karga zuzena

5. DIODODUN ZIRKUITUEN EBAZPIDEA

o Ebazpide grafikoa

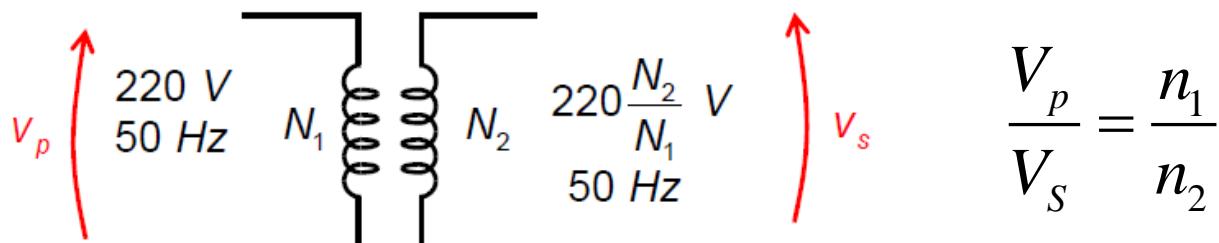
- Betetzen diren bi ekuazio ditugu
 - Diodoaren ezaugarri grafikoak
 - Karga zuzena



6. DIODOEN APLIKAZIOAK

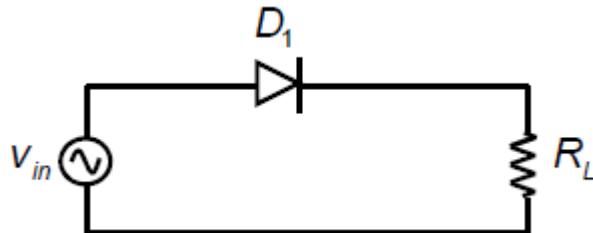
o Artegailuak

- AC-ko tentsio bat (balio positiboak eta negatiboak dituena) soilik balio positiboak edo soilik balio negatiboak dituen tentsio bihurtzen duten zirkuituak
- Ekipo elektroniko gehienek artegailuren 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.

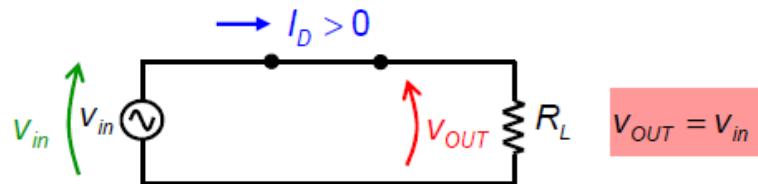


6. DIODOEN APLIKAZIOAK

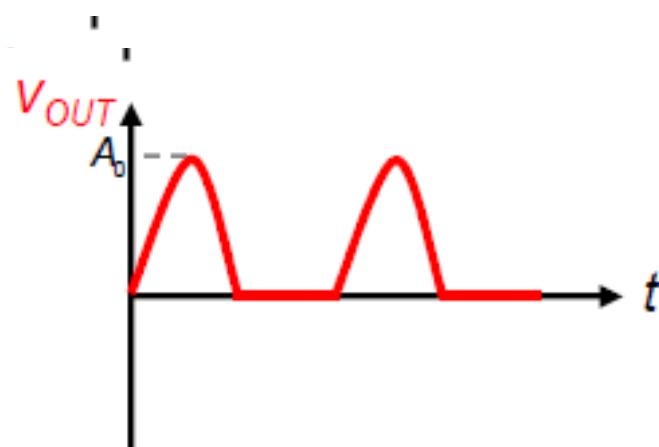
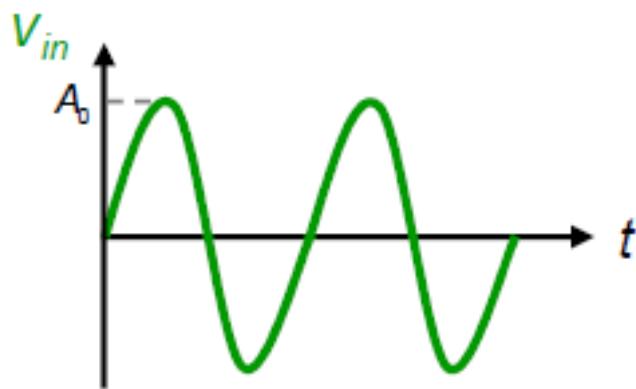
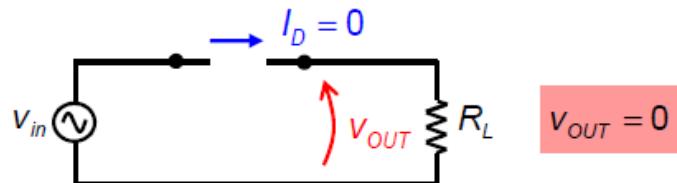
o Uhin erdiko artezgailua



o Kondukzioan $v_{in} > 0$

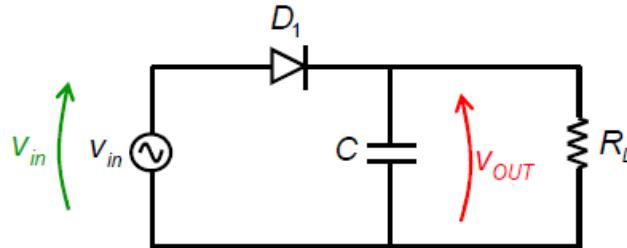


o Etenduran $v_{in} < 0$

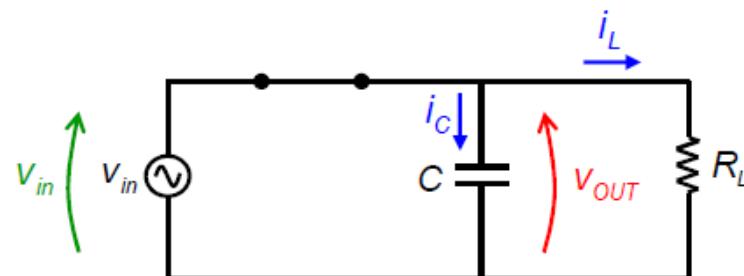


6. DIODOEN APLIKAZIOAK

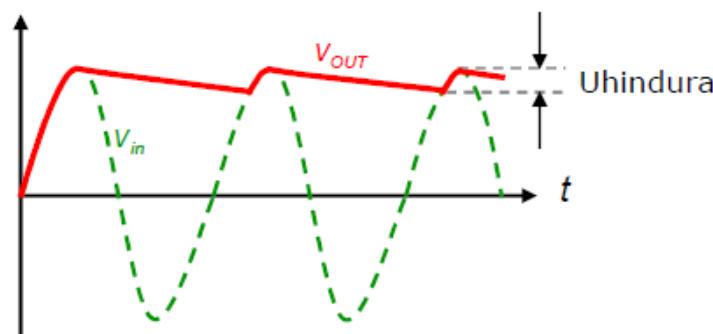
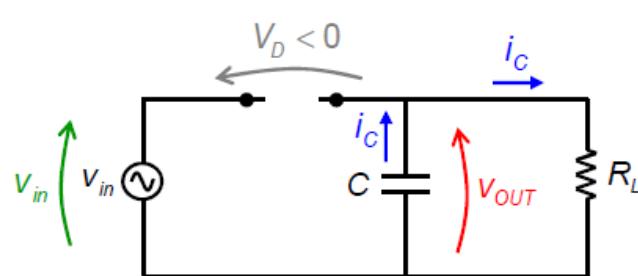
o Tentsio iturria uhin erdiko artezgailuarekin



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

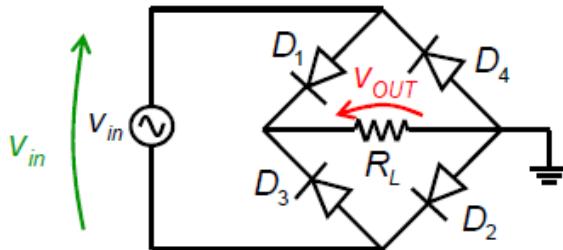


$v_{in} < v_{out}$ diodoa etenduran



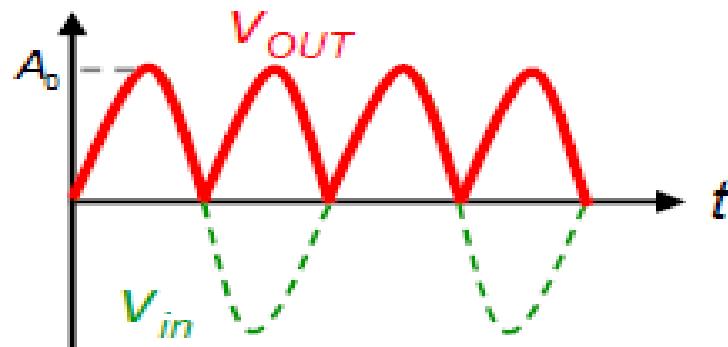
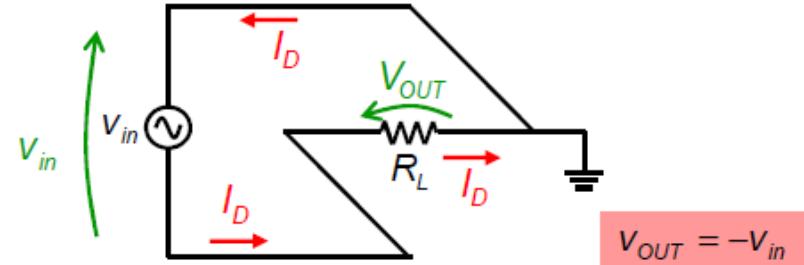
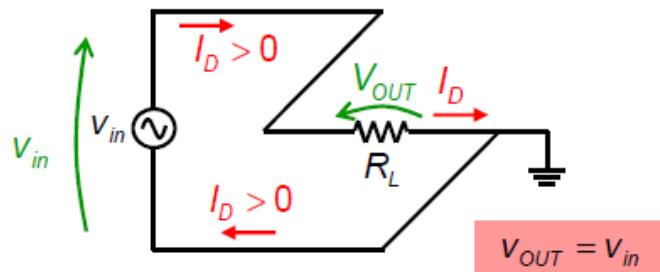
6. DIODOEN APLIKAZIOAK

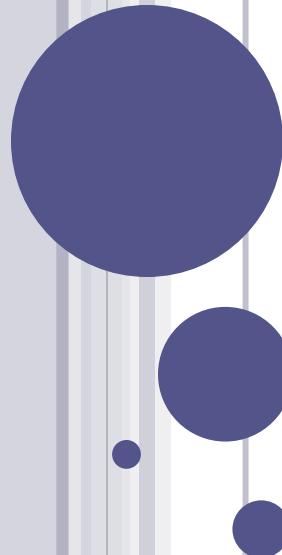
o Uhin osoko artezgailua edo zubi artezgailua



$v_{in} > 0$ D₁ eta D₂ kondukzioan

$v_{in} < 0$ D₃ eta D₄ kondukzioan





10. GAIA – TRANSISTOREAK

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)

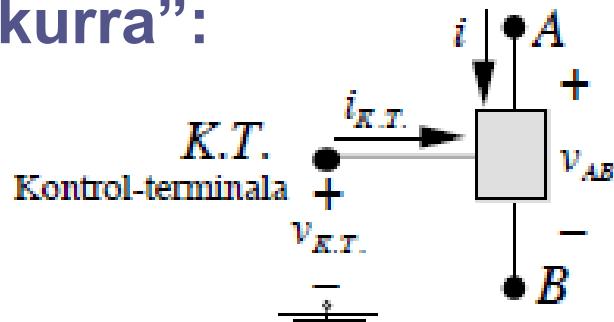
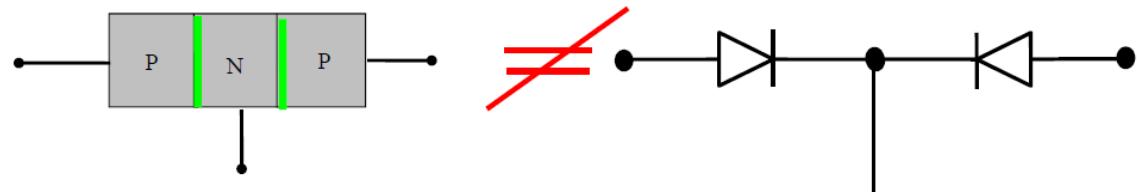
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDA

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

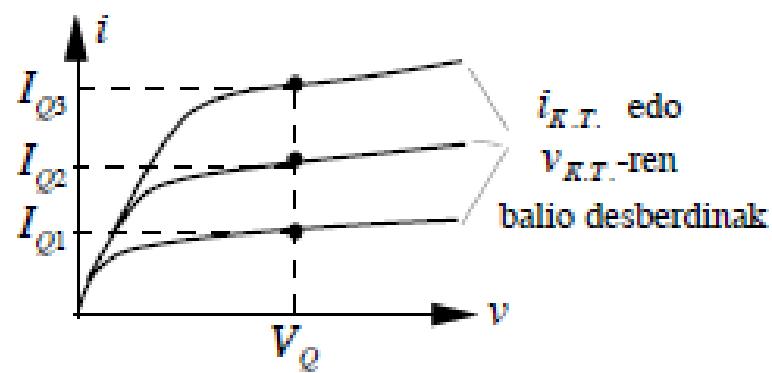
1. SARRERA

- Bi PN juntura
- Triterminala
- Aktiboa
- Tentsioz edo korrontez kontrolatua
- Funtzionamendu egoera desberdinak
- “Ikurra”:



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

- Ezaugarri grafikoa:



2. TRANSISTORE MOTAK

- **Transistore bipolarra (BJT)**

- Elektroien eta hutsuneen mugimendua
- Kontrol magnitudea: korrontea
- Bi mota: PNP edo NPN

- **Transistore unipolarra (FET)**

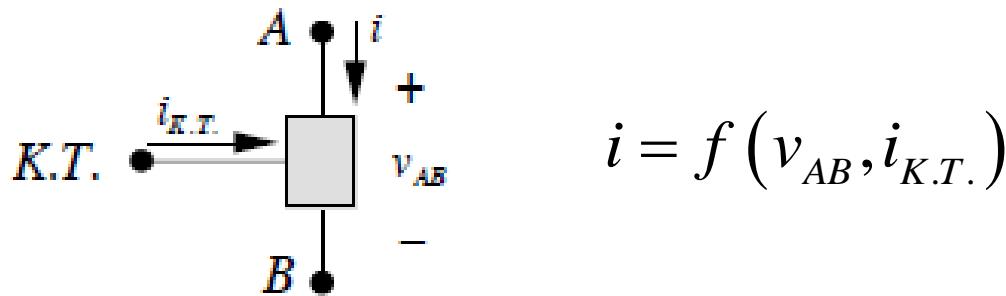
- Eremu efektuzko transistoreak
- Elektroien edo hutsuneen mugimendua
- Kontrol magnitudea: tentsioa
- Bi mota:
 - JFET
 - MOSFET (N kanalekoa edo P kanalekoa)

- **Juntura bakarreko transisoreak (UJT)**

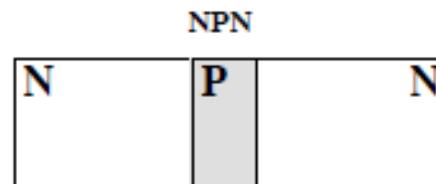
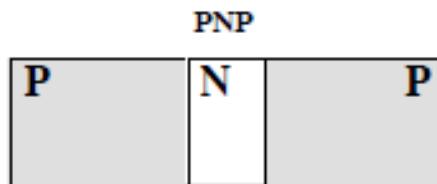
- Oso konplexua → Ez dugu ikusiko

3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

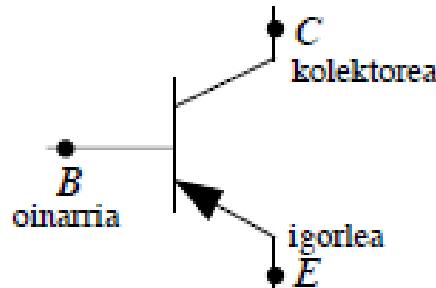
- **Kontrol magnitudea:** Korrontea



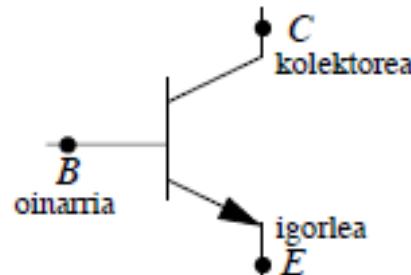
- Bi PN juntura



PNP transistore bipolarra



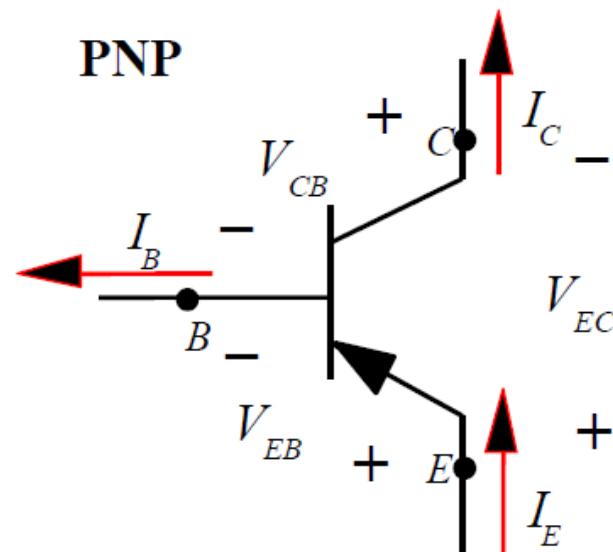
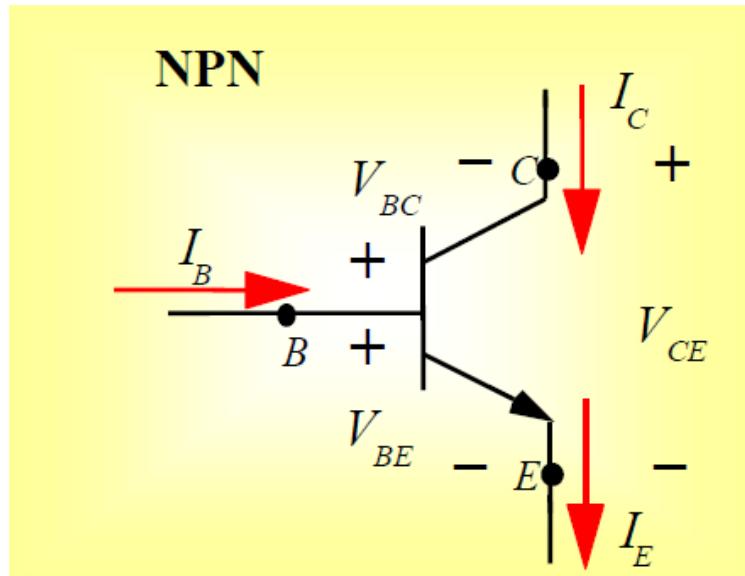
NPN transistore bipolarra



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

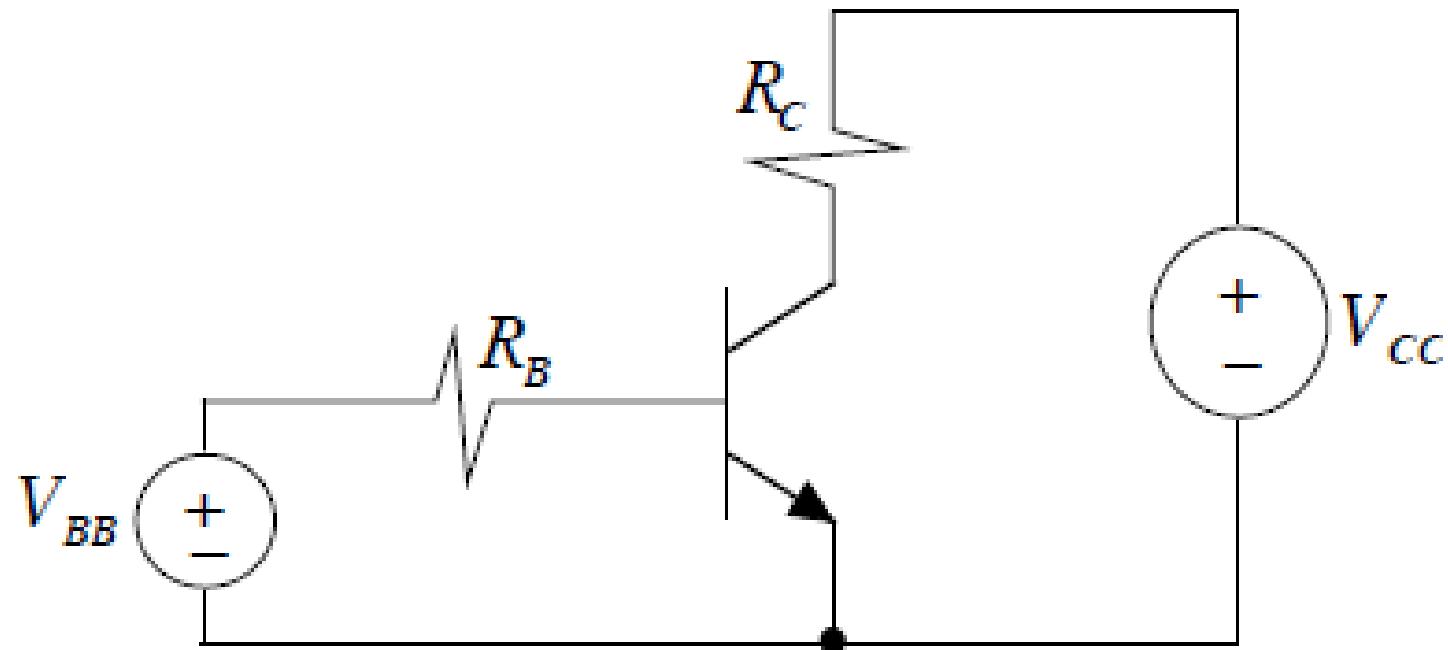
o Magnitudeak:

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



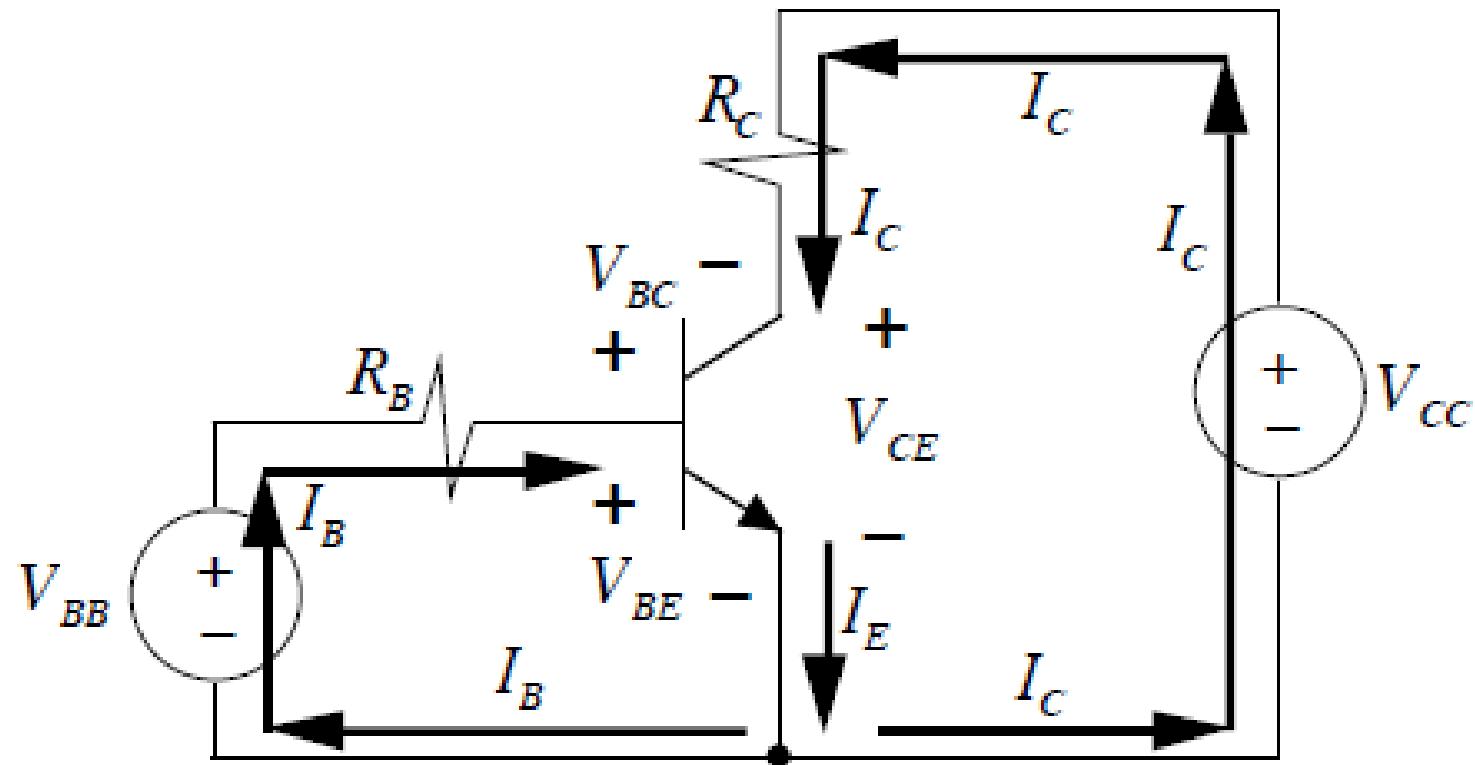
3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

- Transistorearen polarizazioa:



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

- Transistorearen polarizazioa:



3. TRANSISTORE BIPOЛАRRA (BJT)

- o Portaera ekuazioak:

$$1. \quad I_E = I_B + I_C$$

$$2. \quad V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

$$3. \quad V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$$

$$4. \quad V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

$$5. \quad I_C = f(V_{CE}, I_B)$$

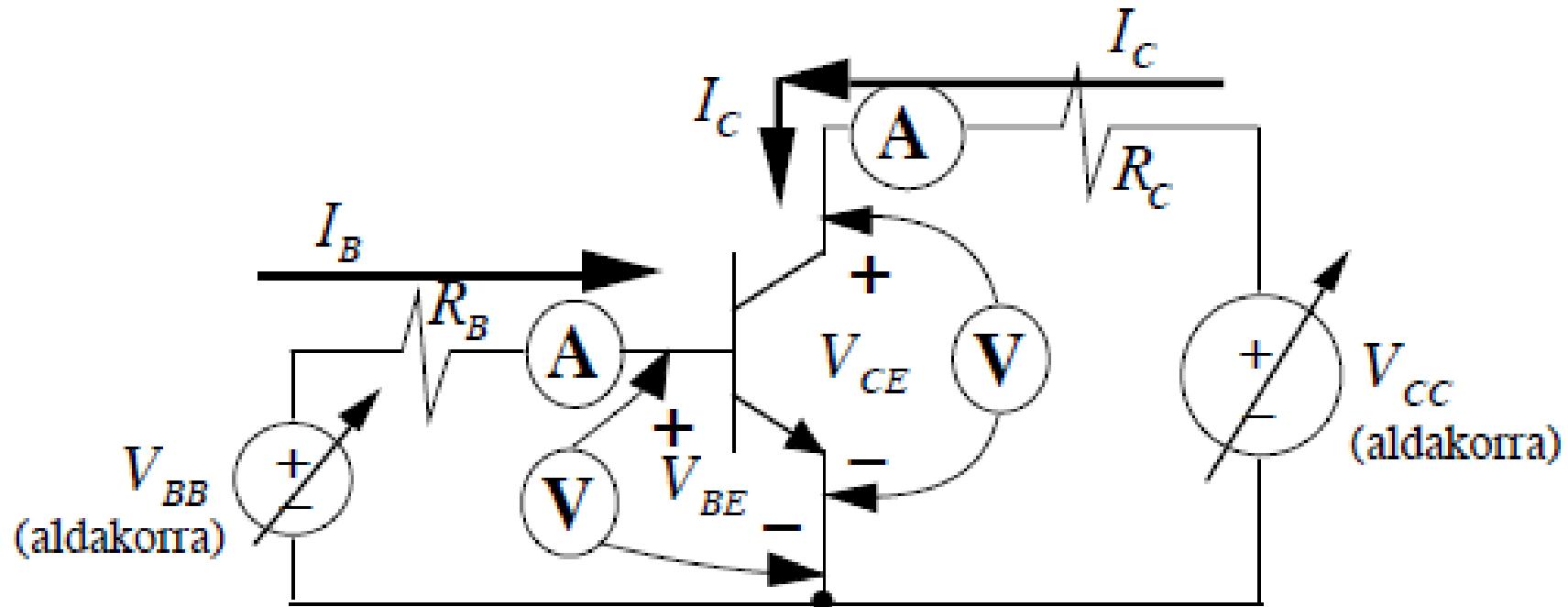
$$6. \quad I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$$

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

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

3. TRANSISTORE BIPOLEARA (BJT)

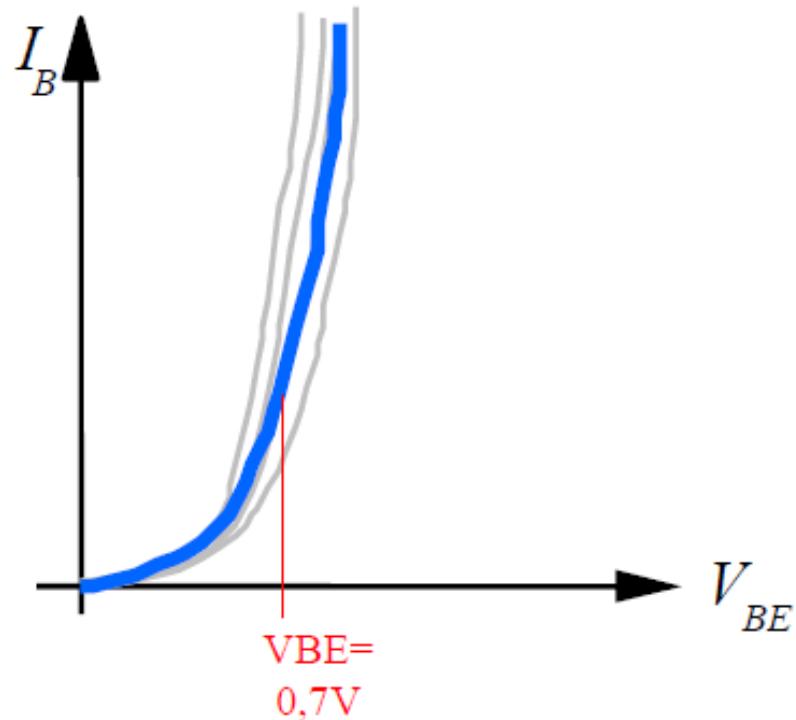
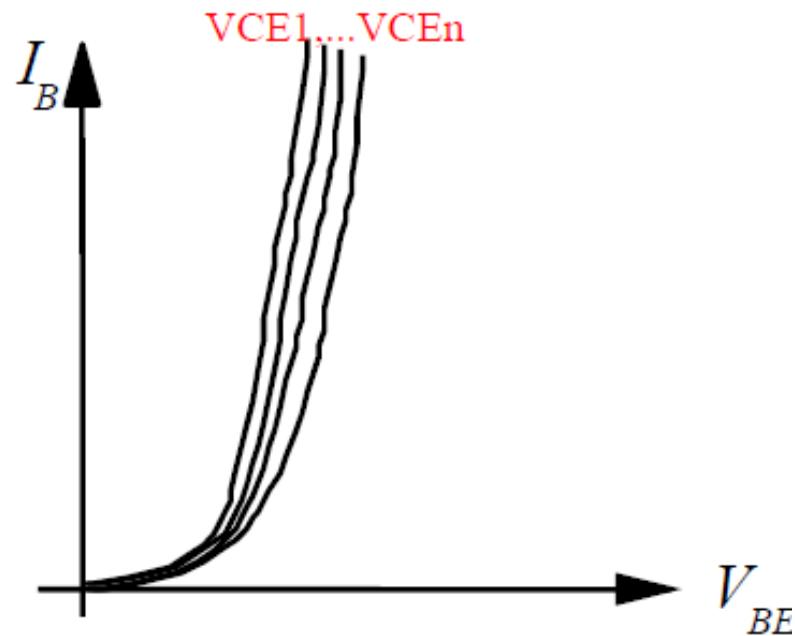
- Ezaugarri kurbak:



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

- Ezaugarri kurbak:

- Sarrera zirkuitua

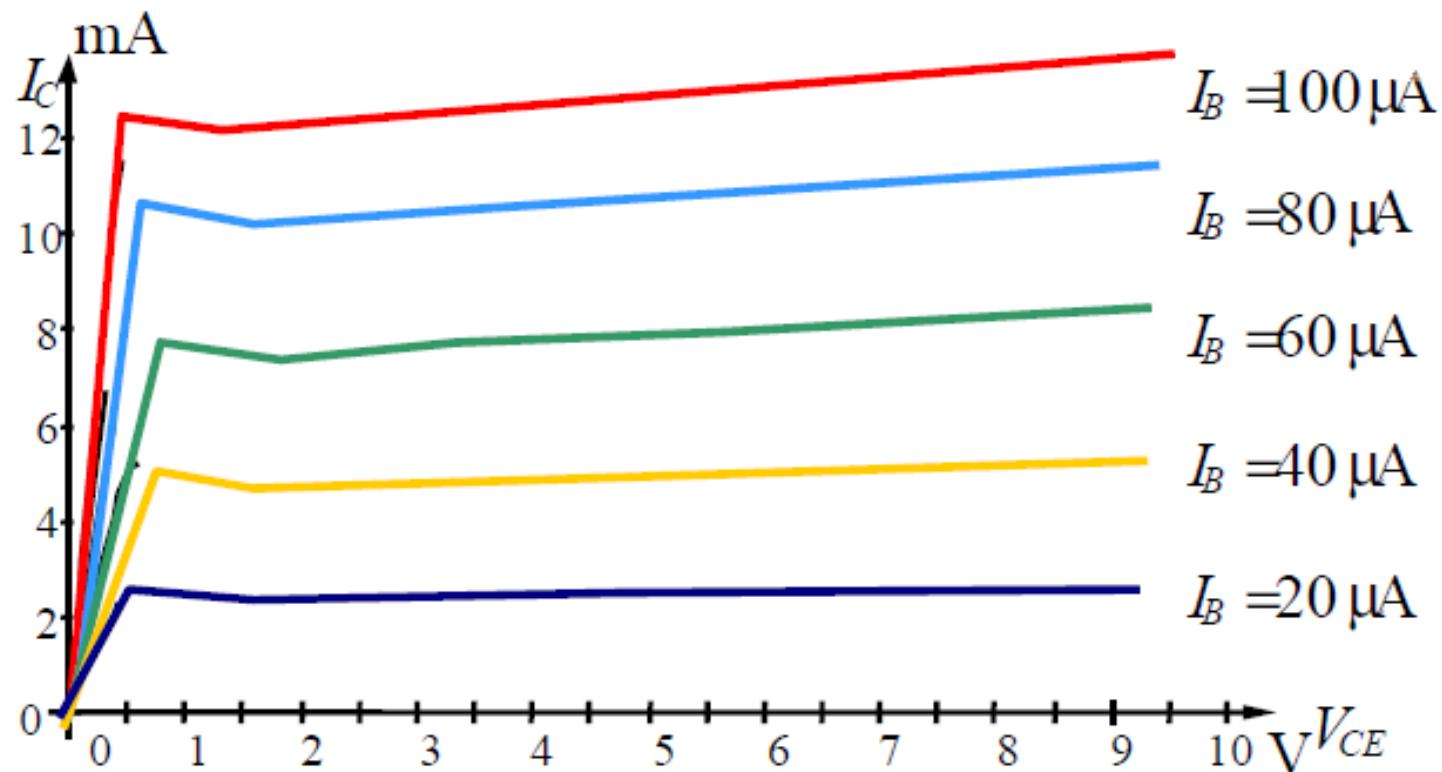


$$6. I_B = g(V_{BE}, V_{CE}) \rightarrow I_B = g(V_{BE})$$

3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

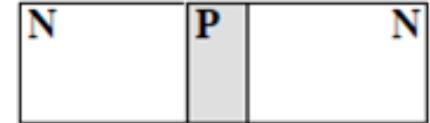
- Ezaugarri kurbak:

- Irteera zirkuitua



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

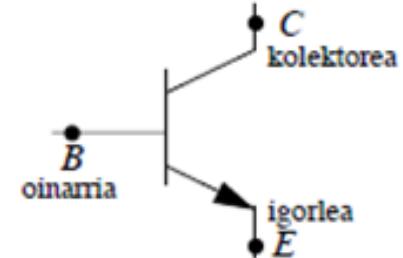
NPN



o Funtzionamendu egoerak:

- 2 PN juntura
 - 2² funtzionamendu egoerak

NPN transistore bipolarra



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 BIPOLEARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

- Etendura edo kortea:

- BE juntura A.P. eta BC juntura A.P.

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

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

- Ez da korronterik igarotzen

$$5. I_C = 0$$

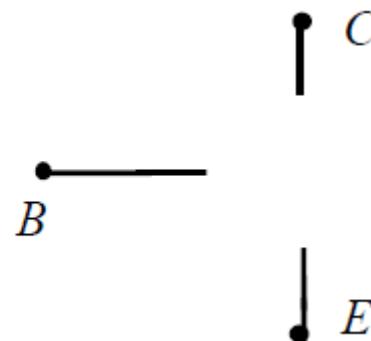
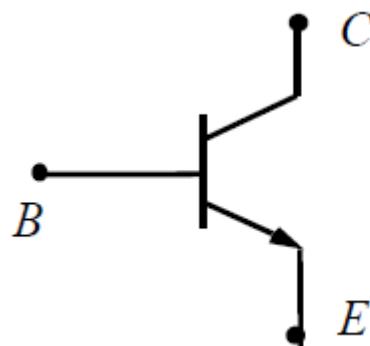
$$6. I_B = 0$$

Baldintza:

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

Ekuazioak:

$$I_C = 0, \quad I_B = 0$$



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

- Gune aktiboa:

- BE juntura Z.P. eta BC juntura A.P.

$I_E = I_B + I_C$	$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$
$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$	$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$
$I_C = f(V_{CE}, I_B)$	$I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$

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

- Korrontea bi junturetan $I_B \ll I_C$

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

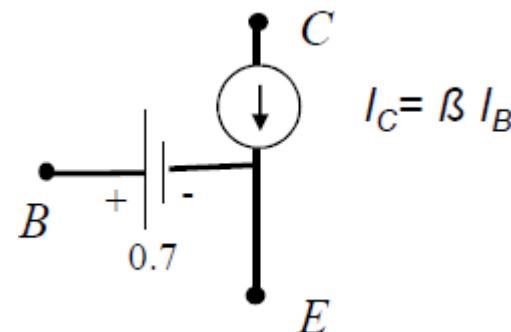
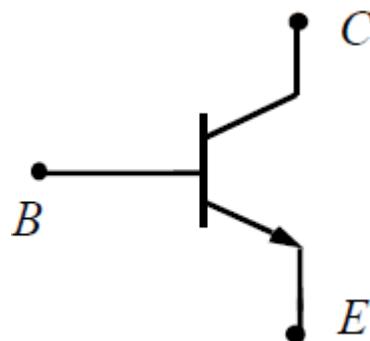
Baldintza:

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



Ekuazioak:

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



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

- Asetasuna:

- BE juntura Z.P. eta BC juntura Z.P.

$$1. I_E = I_B + I_C$$

$$3. V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$$

$$5. I_C = f(V_{CE}, I_B)$$

$$2. V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

$$4. V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

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

$$V_{BE} = 0.7V$$

$$V_{BC} = 0.5V$$

- Korrontea igarotzen da

$$5. V_{CE} = 0.2V$$

Baldintza:

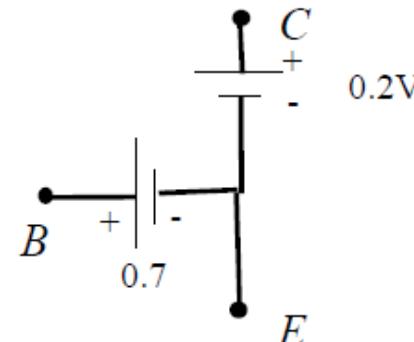
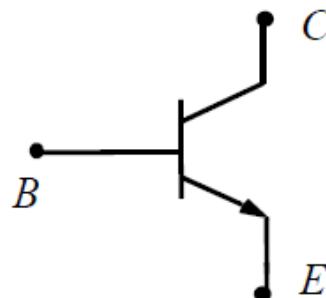
$$\frac{I_C}{I_B} \leq \beta$$

$$6. V_{BE} = 0.7V$$

Ekuazioak:

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

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



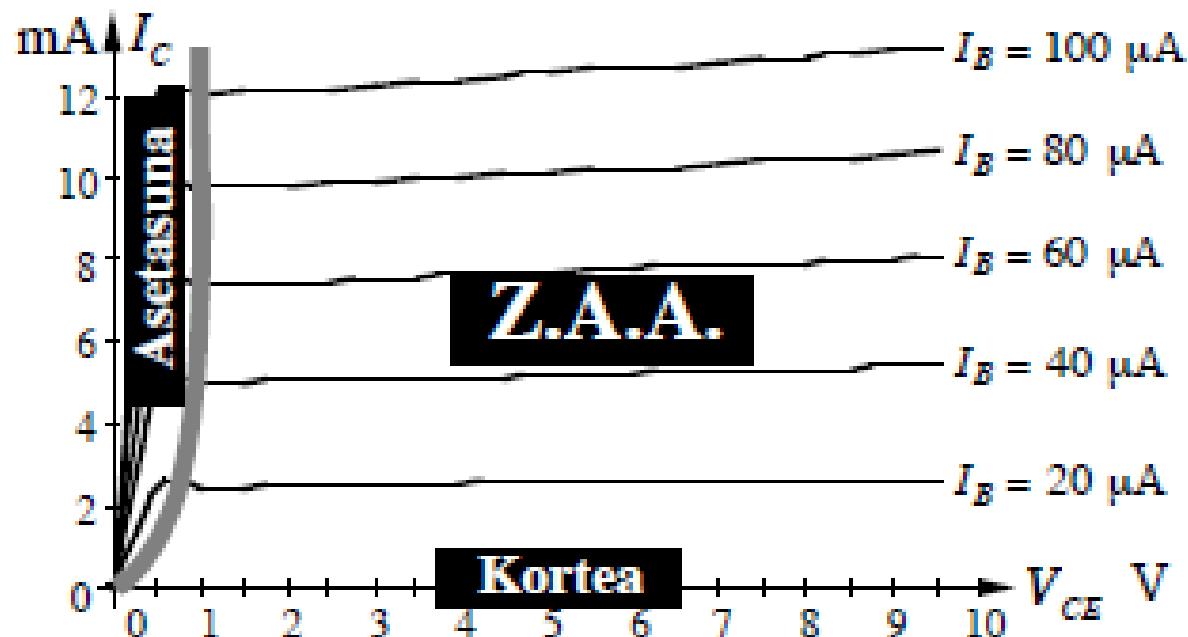
3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak

- α irabazia kontzeptua:

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

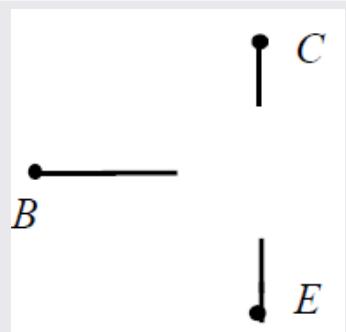
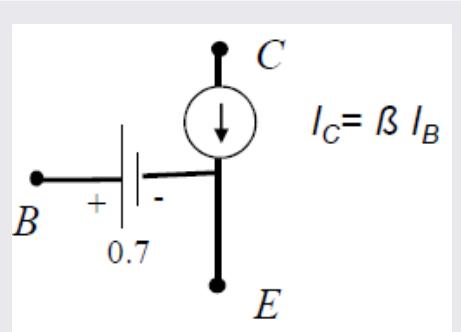
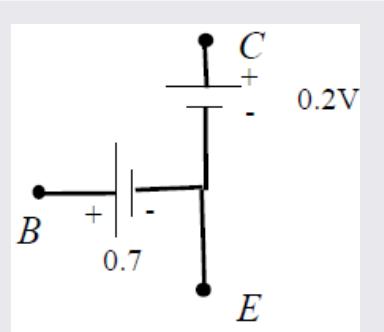
- Funtzionamendu egoerak ezaugarri kurban:



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

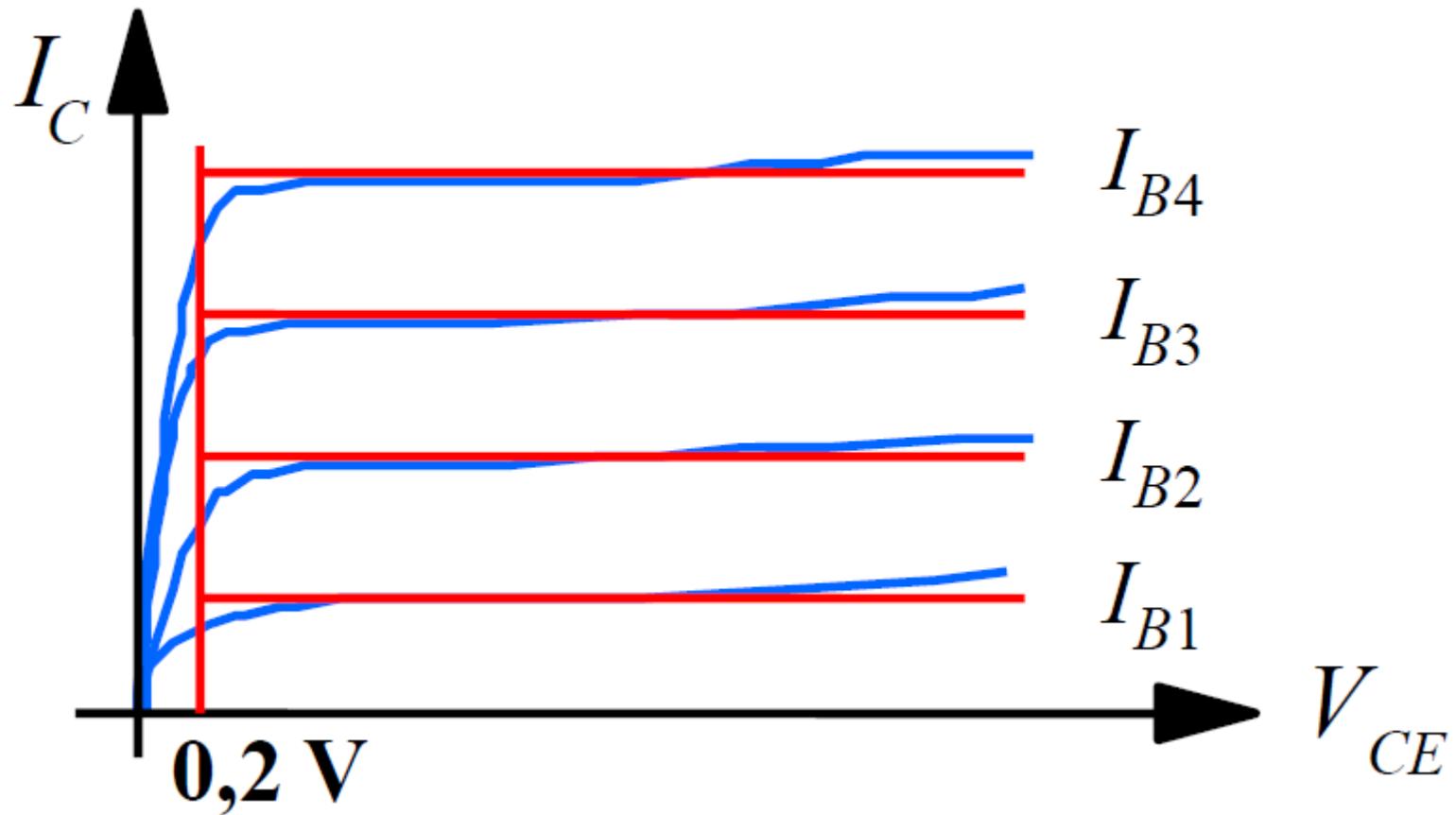
- Hurbilketak (laburpena):

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

3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

- Funtzionamendu egoerak:

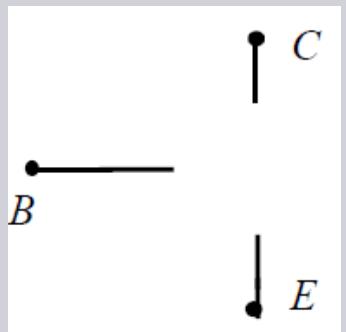
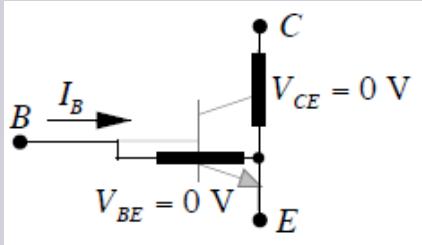
- Hurbilketak (grafikoki):



3. TRANSISTORE BIPOЛАRRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

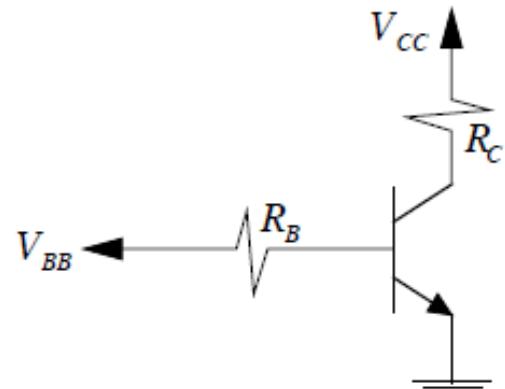
- Hurbilketak (idealak):

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

3. TRANSISTORE BIPOЛАRRA (BJT)

o Zenbakizko ebazpidea:

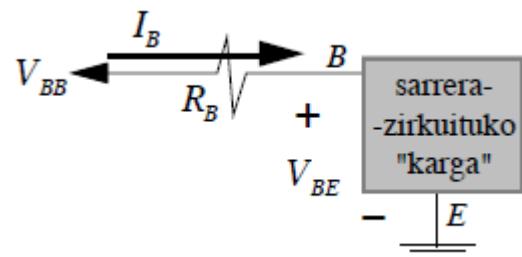
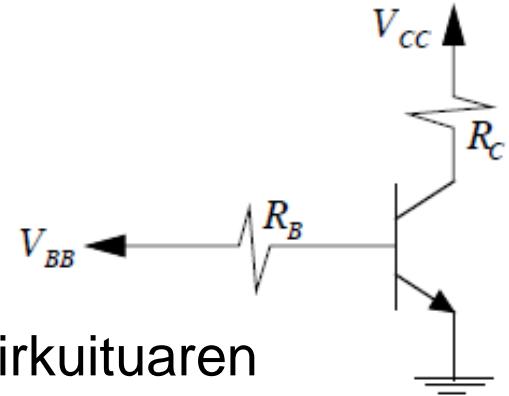
1. Idatzi zirkuituari dagozkion ekuazioak
2. Idatzi transistorearen portaera-ekuazioak
3. Hipotesia egin: transistorearen egoera funtzionamendua suposatu
4. Dagokion hurbilketaz ordezkatu
5. Zirkuitua ebatzi
6. Hipotesia zuzena den egiaztatu
 - o Zuzena ez bada 3. puntura bueltatu eta beste hipotesi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



3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

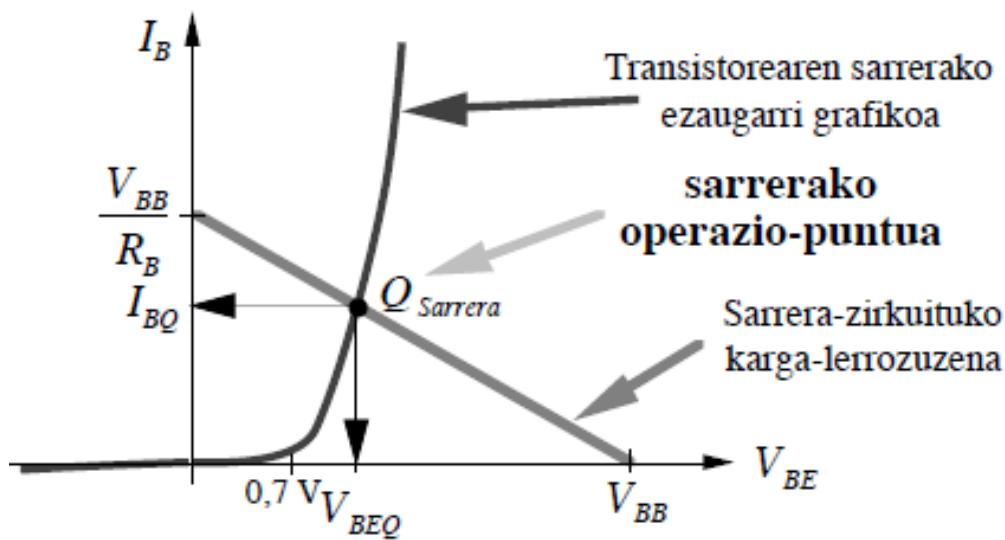
o Ebazpide grafikoa:

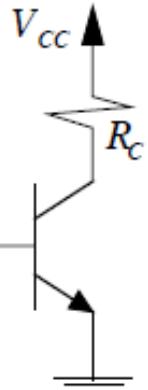
- Sarrera zirkuituaren (I_B , V_{BE}) eta irteerako zirkuituaren (I_C , V_{CE}) ezaugarri kurbak ezagunak
- **Sarrerako karga-zuzena**



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

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

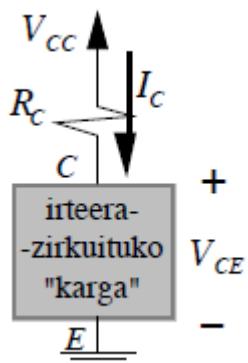




3. TRANSISTORE BIPOLEARRA (BJT)

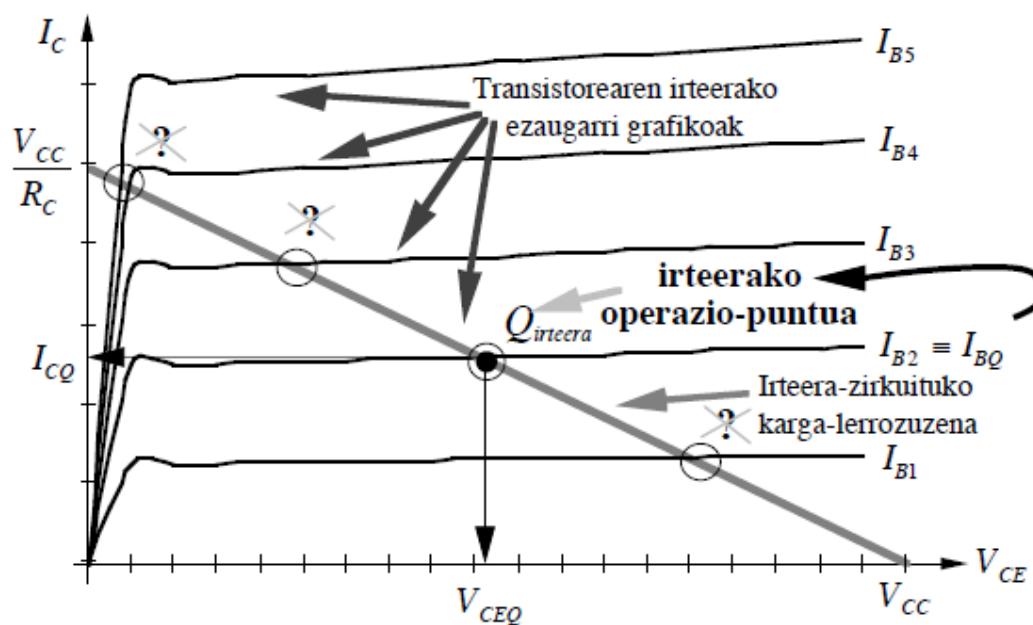
- Ebazpide grafikoa:

- Irteerako karga-zuzena



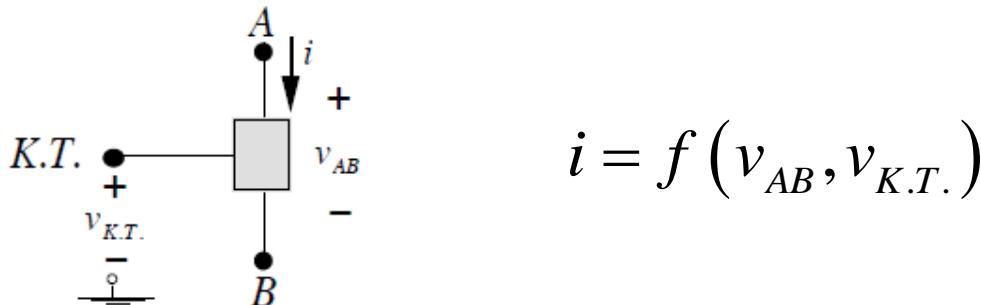
$$\text{KTL: } V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

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



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **Kontrol magnitudea:** Potentzial diferentzia

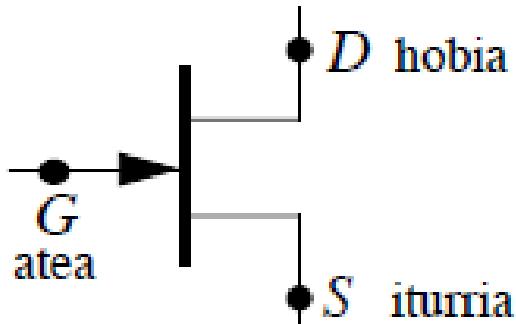


- Eremu elektrikoak funtzionamenduan eragina dauka
- Korrontea: bakarrik elektroien edo zuloen mugimendua, motaren arabera
- JFET
- MOSFET: N kanalekoa edo P kanalekoa

4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

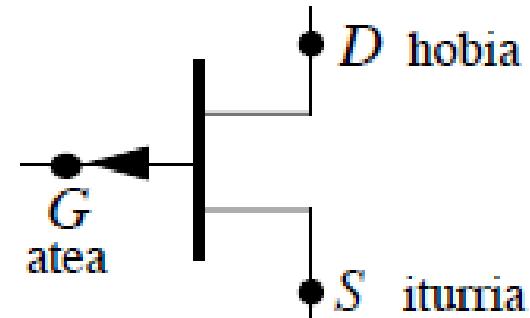
o JFET – Ikurrak:

N kanaleko JFET transistorea

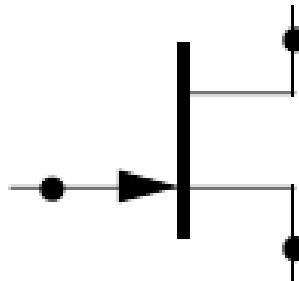


Ikurrak:

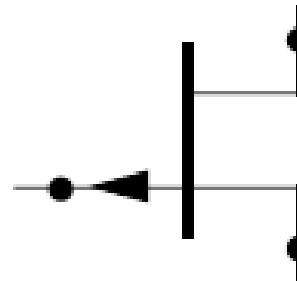
P kanaleko JFET transistorea



N kanaleko JFET transistorea



P kanaleko JFET transistorea

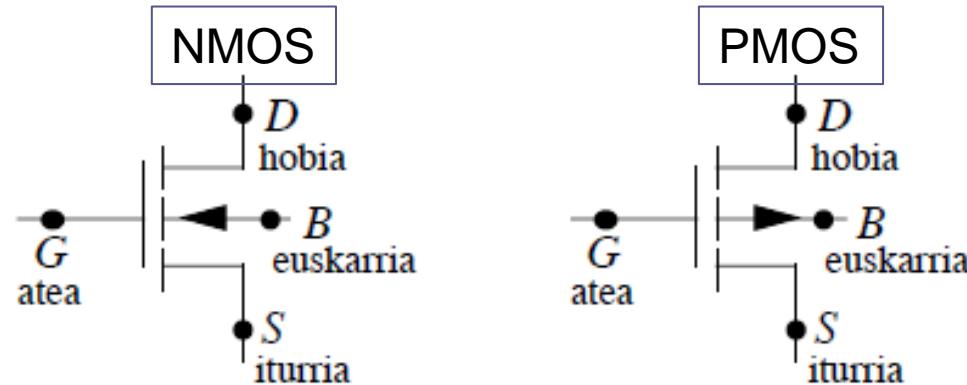


4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o MOSFET – Motak:

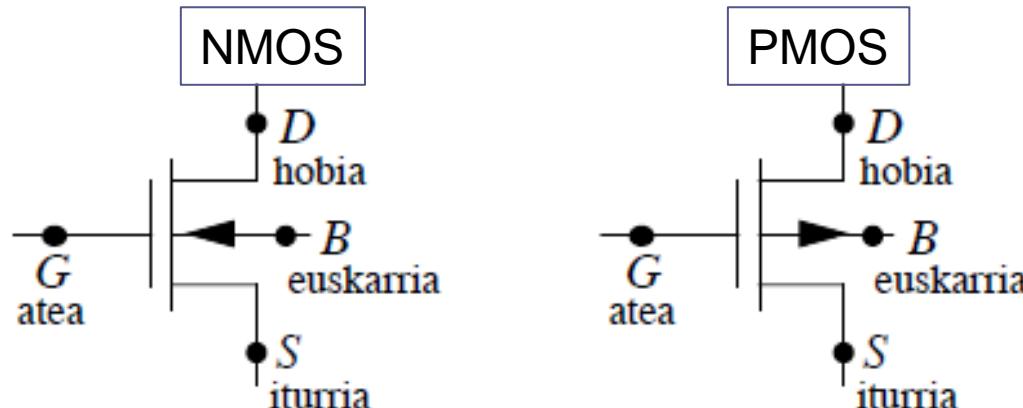
- Ugaltze MOSFET: D eta S fisikoki separatuta

Ikurrak:



- Urritze MOSFET : D eta S artean

Ikurrak:

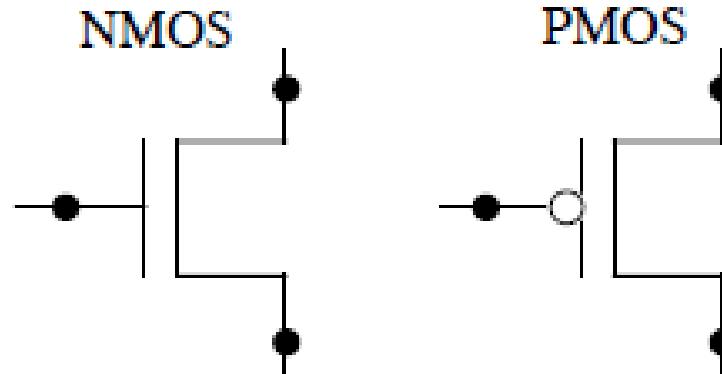


- o B: Oinarria/Euskarria ez da terminal bat

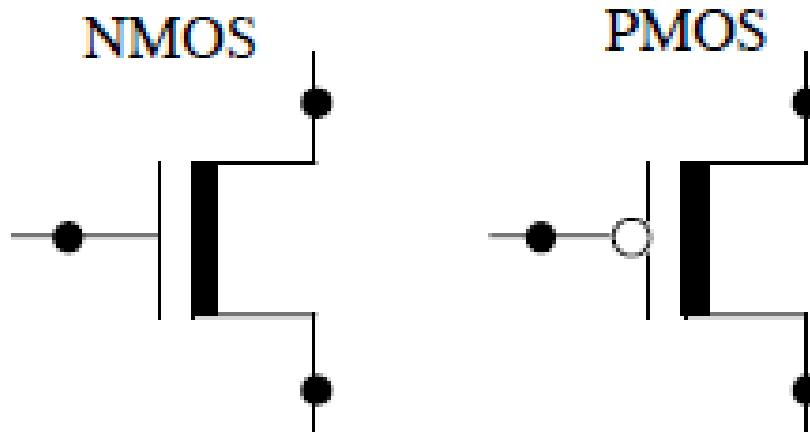
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o MOSFET – Motak:

- Ugaltze MOSFET:



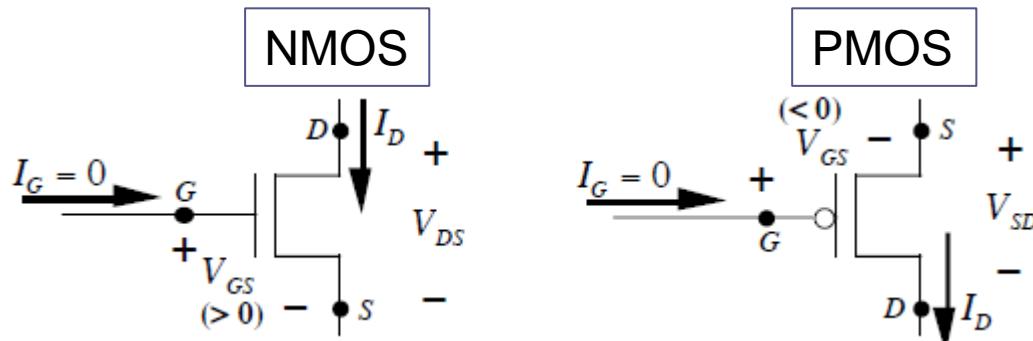
- Urritze MOSFET:



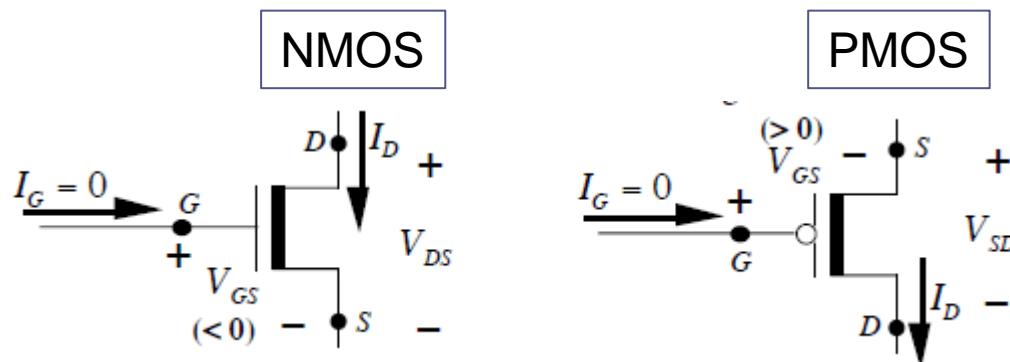
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o 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



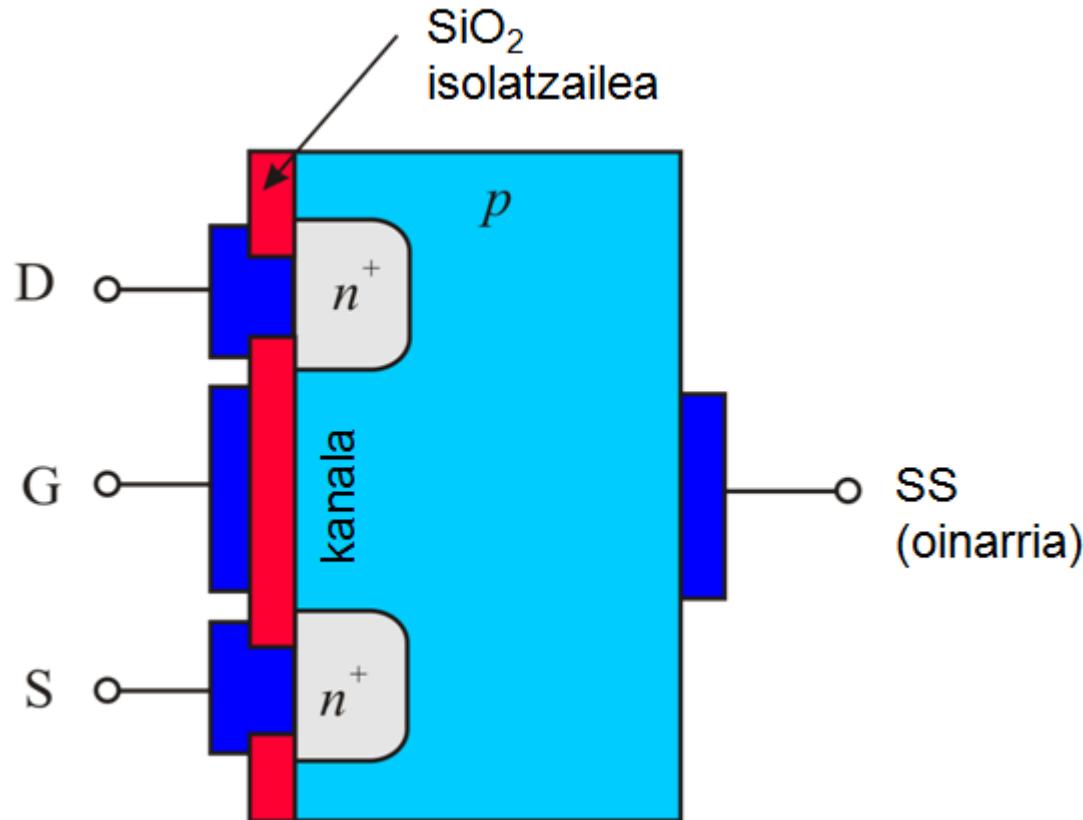
- Urritze → S eta D arteko kanala estutu



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

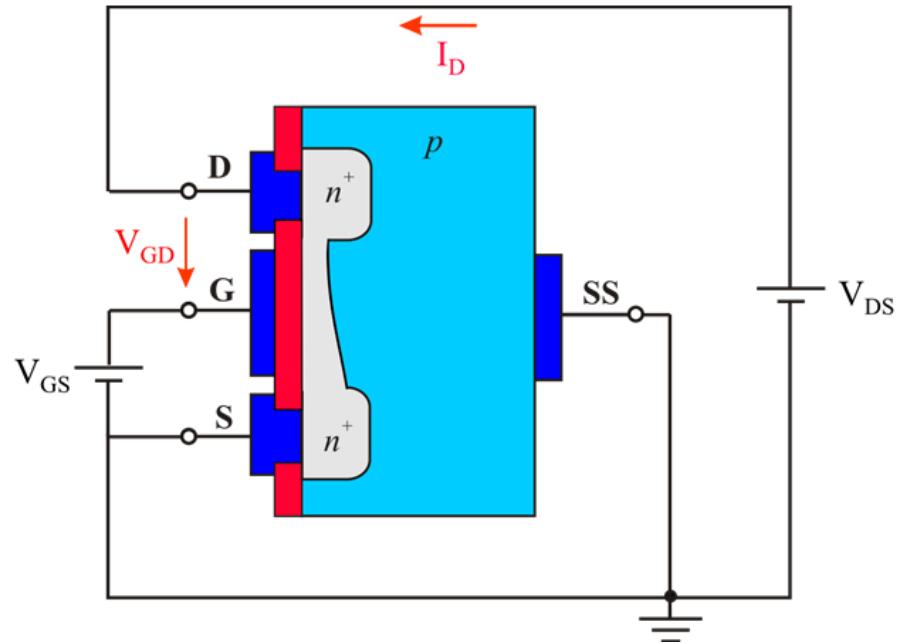
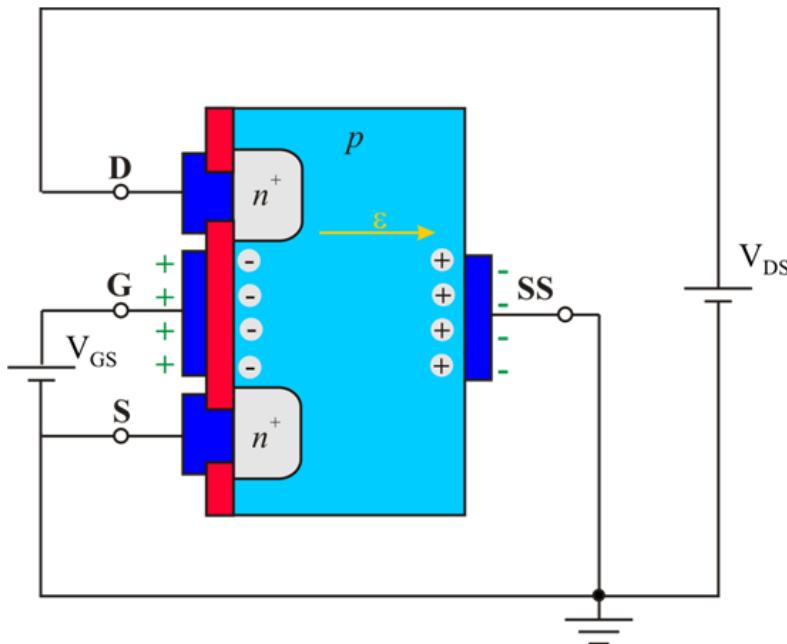
o N kanaleko ugaltze MOSFETa – Egitura:

- Atea elektrikoki isolatuta dago gailuan
- Ez dago konexio elektrikorik ate eta oinarriaren artean



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

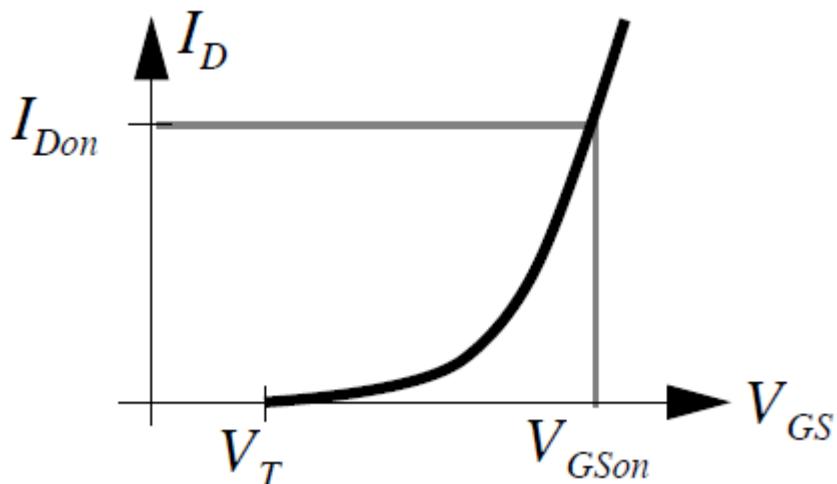
- N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:

- Operazio puntuak: Q (I_{DQ} , V_{DSQ} , V_{GSQ})
- I_D , bi tentsioen funtzioko: $I_D = f(V_{GS}, V_{DS})$
- Esperimentalki lortzen da
- 1. kurba: V_{DS} mantendu, $I_D = f(V_{GS})$ (asetasunean)

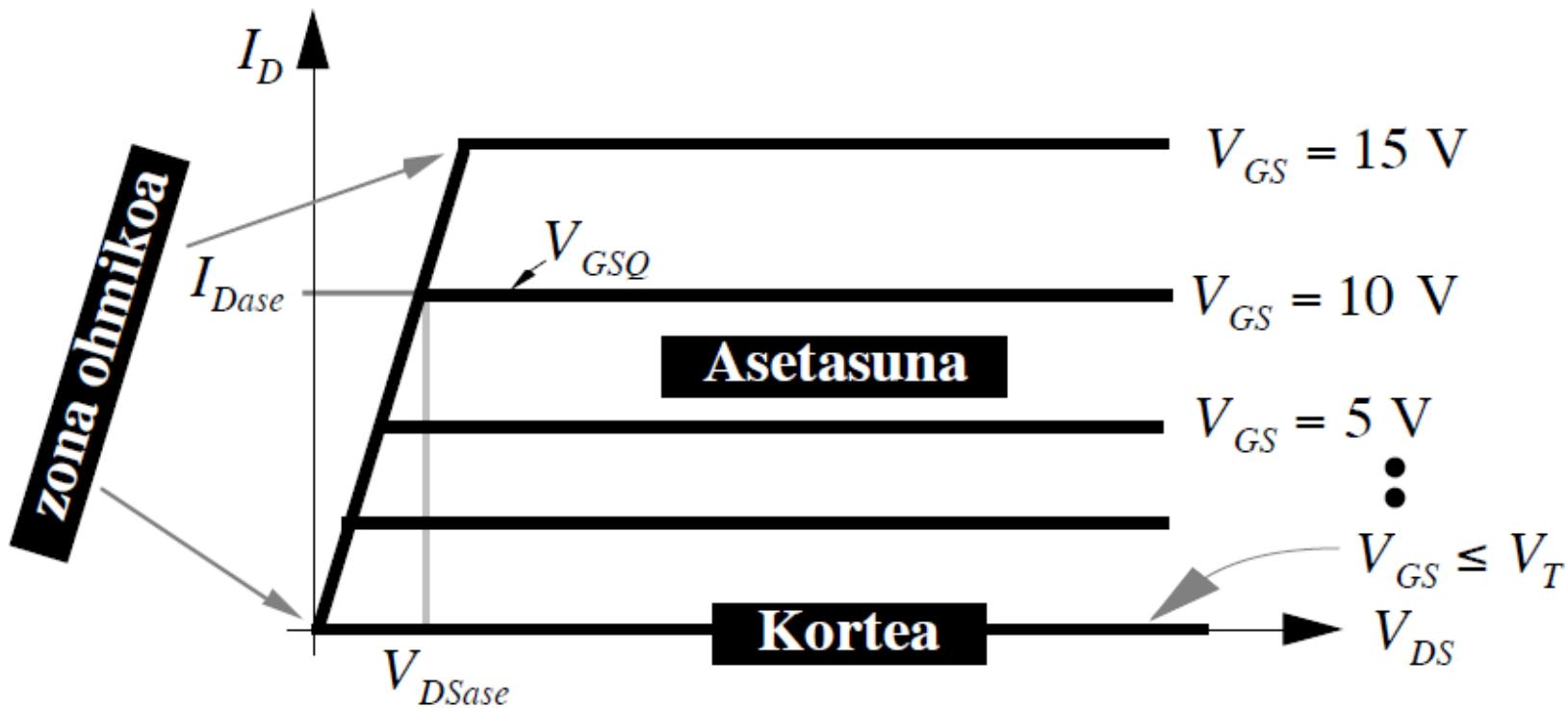


$$I_D = I_{Don} \cdot \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$$

4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:

- 2. kurba: V_{GS} balio ezberdinenzat, $I_D = f(V_{DS})$



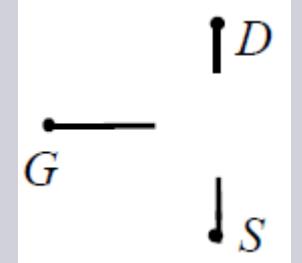
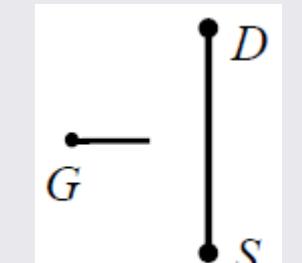
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- o 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	$V_{GSQ} \geq V_T$ $V_{DSQ} \geq V_{DSsat}$	$I_D = K \cdot I_{Don}$ $K = \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{Gson} - V_T} \right)^2$	

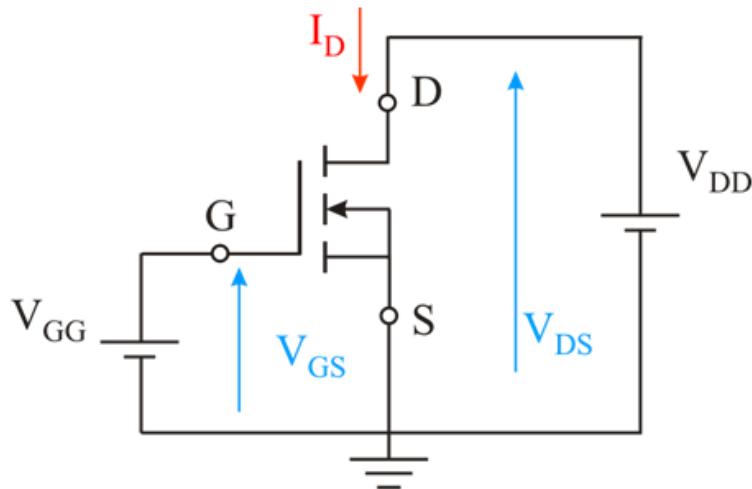
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- N kanaleko ugaltze MOSFETa –
Funtzionamendu egoerak konmutazioan:

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

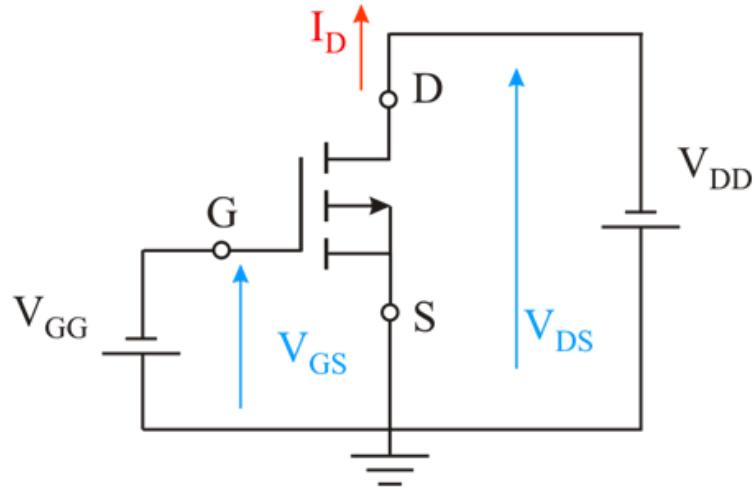
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o P kanaleko ugaltze MOSFETa:



n-kanalekoa

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

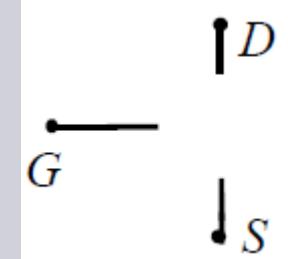
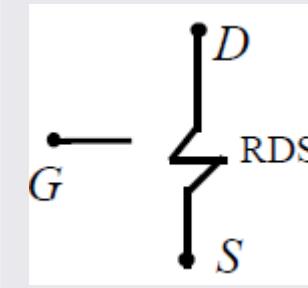
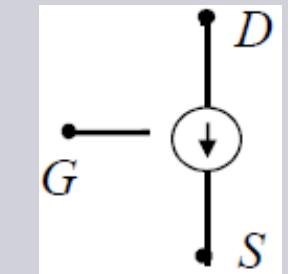


p-kanalekoa

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

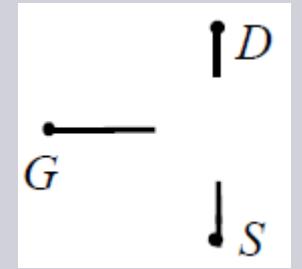
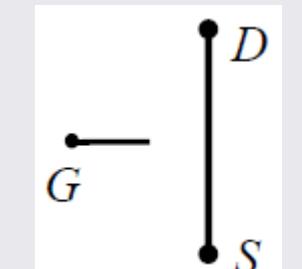
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- o 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)

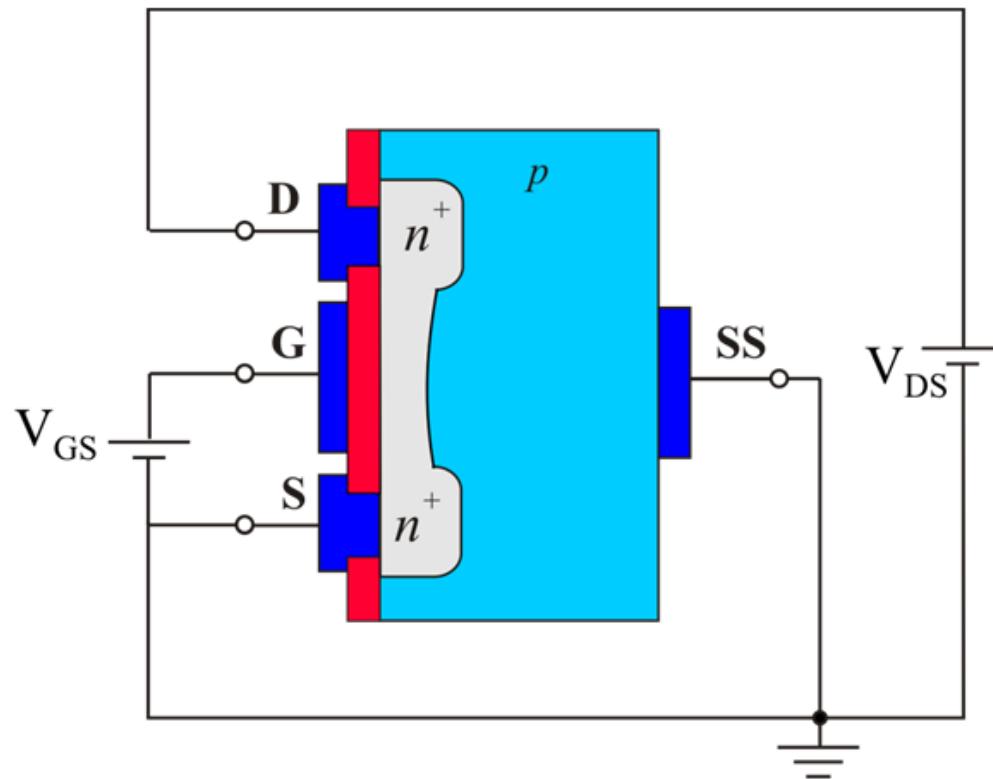
- o P kanaleko ugaltze MOSFETa – Funtzionamendu egoerak konmutazioan:

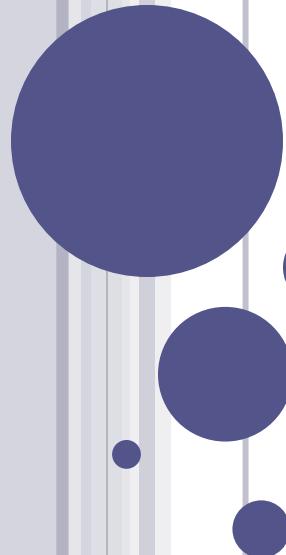
Egoera	Baldintzak	Ekuazioak	Eredua
Etendura	$V_{GSQ} \geq V_T$	$I_D = 0$	
Kondukzioan	$V_{GSQ} \leq V_T$	$V_{DS} = 0$	

4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o Urritze MOSFETa:

- Kanala existitzen tentsio gabe
- $V_{DS}>0$ aplikatzen bada korrontea eroan
- N kanaleko \rightarrow Kanala desagerrazteko $V_{GS}<0$
- P kanaleko \rightarrow Kanala desagerrazteko $V_{GS}>0$





11. GAIA – ZIRKUITU DIGITALAK

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)

josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

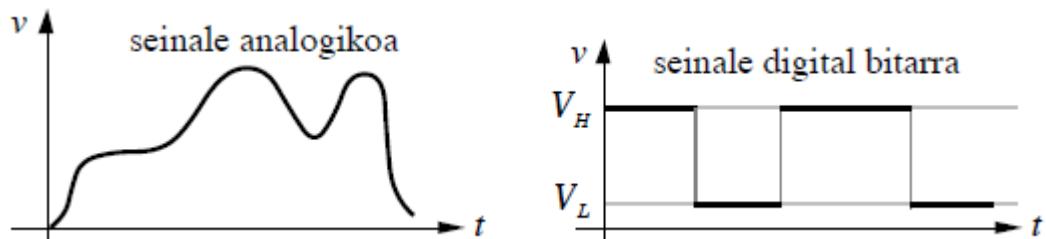
GAIAREN GAI-ZERRENDA

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

1. DEFINIZIOAK

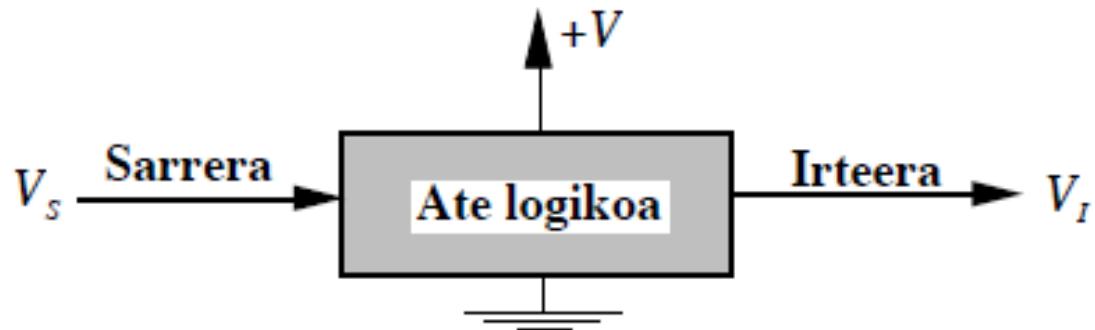
o Seinale digitalak

- 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



o Zirkuitu digitalak

- Ate logikoak
 - Irteera tentsioa sarrera funtziola
 - Elikatuta

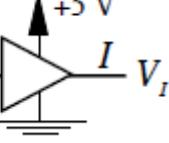


1. DEFINIZIOAK

o Ateak

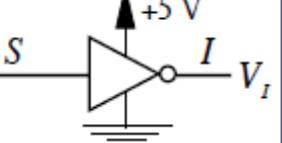
Identitatea			(Buffer, driver)	+5 V
	V_s	V_I		
L	L			
H	H			

V_s S I V_I



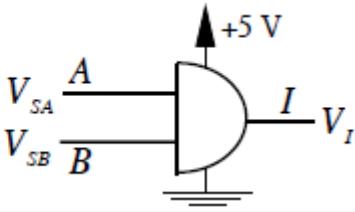
Alderanzkailua			NOT	+5 V
	V_s	V_I		
L	H			
H	L			

V_s S I V_I



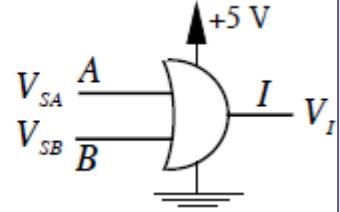
AND			+5 V
	V_{SA}	V_{SB}	
L	L	L	
L	H	L	
H	L	L	
H	H	H	

V_{SA} A I V_I
 V_{SB} B



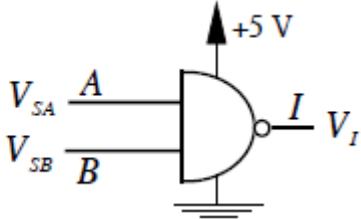
OR			+5 V
	V_{SA}	V_{SB}	
L	L	L	
L	H	H	
H	L	H	
H	H	H	

V_{SA} A I V_I
 V_{SB} B



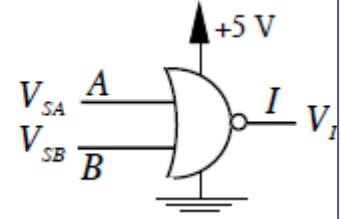
NAND			+5 V
	V_{SA}	V_{SB}	
L	L	H	
L	H	H	
H	L	H	
H	H	L	

V_{SA} A I V_I
 V_{SB} B



NOR			+5 V
	V_{SA}	V_{SB}	
L	L	H	
L	H	L	
H	L	L	
H	H	H	

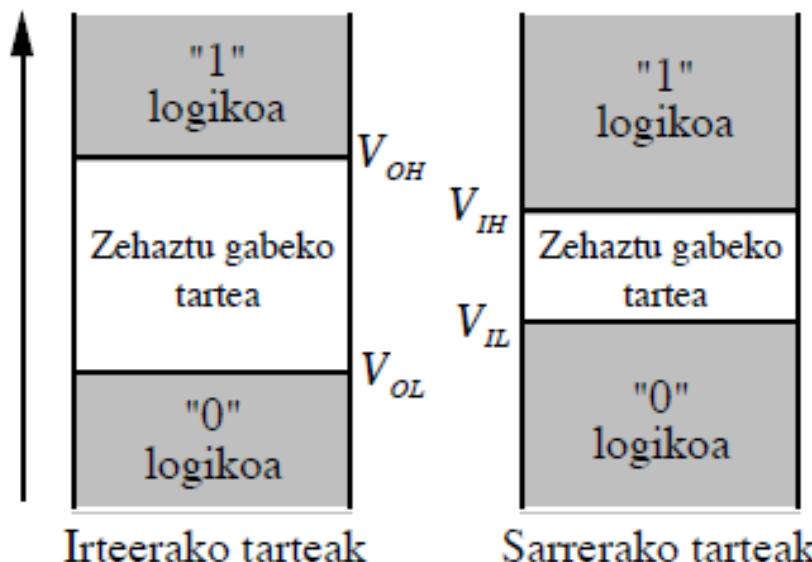
V_{SA} A I V_I
 V_{SB} B



1. DEFINIZIOAK

o Balio tarteak

- V_{IL} : Sarreran izan daitekeen tentsio baxuaren (L) balio maximoa, atea 0 logikotzat har dezan
- V_{IH} : Sarreran izan daitekeen tentsio altuaren (H) balio minimoa, atea 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

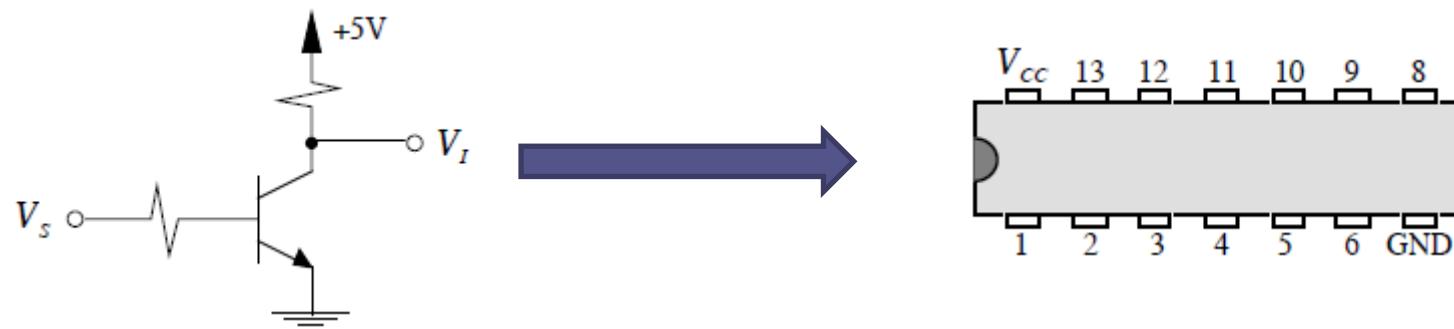


2. INTEGRAZIO MAILAK

o Osagai diskretuak



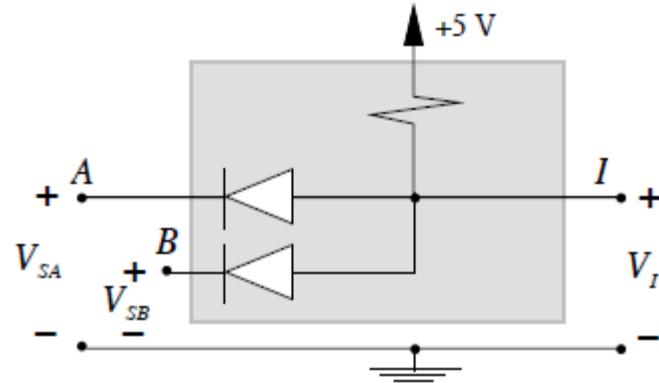
o Zirkuitu integratuak



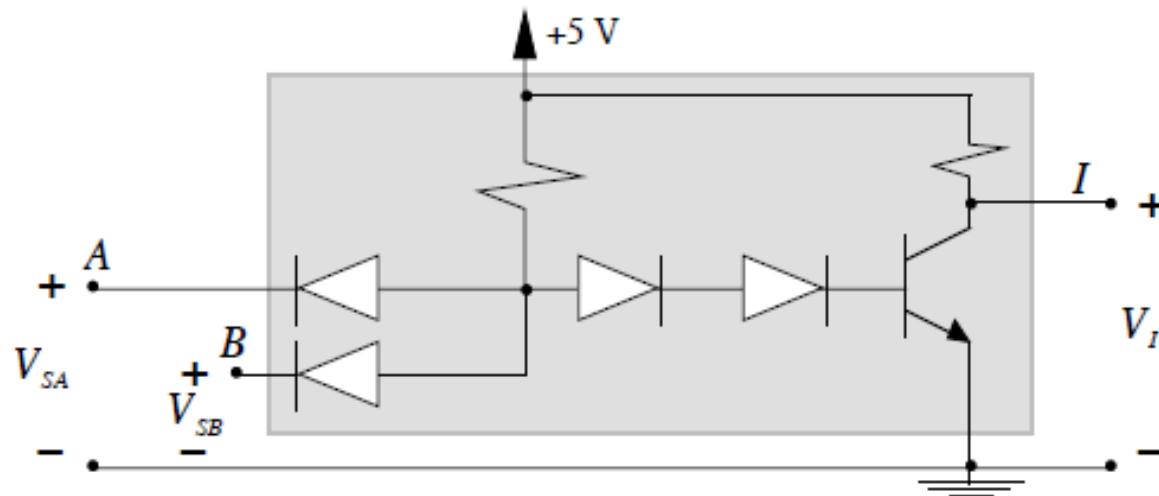
- **SSI** (integrazio-eskala txikia – Small Scale of Integration)
- **MSI** (integrazio-eskala ertaina – Medium Scale of Integration)
- **LSI** (integrazio-eskala handia – Large Scale of Integration)
- **VLSI** (integrazio-eskala oso handia – Very Large Scale of Integration):

3. FAMILIA LOGIKOAK

- Diodoz osatutako ate logikoak (Diode Logic, DL)

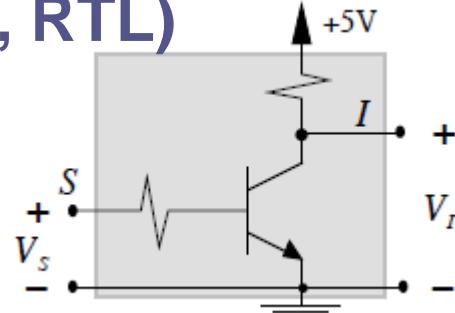


- Diodo/transistore logika (DTL)

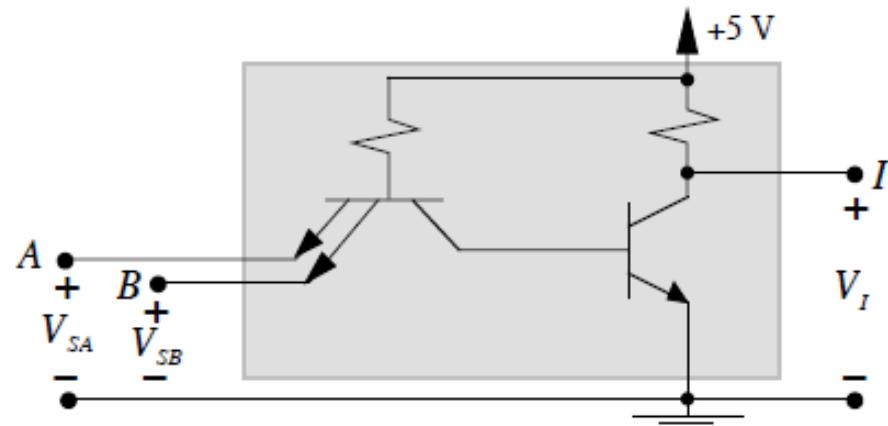
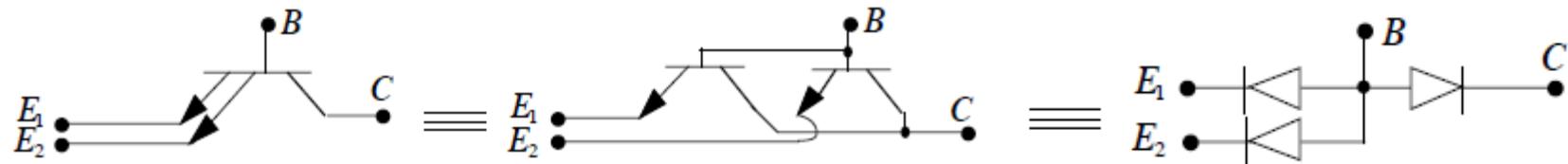


3. FAMILIA LOGIKOAK

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

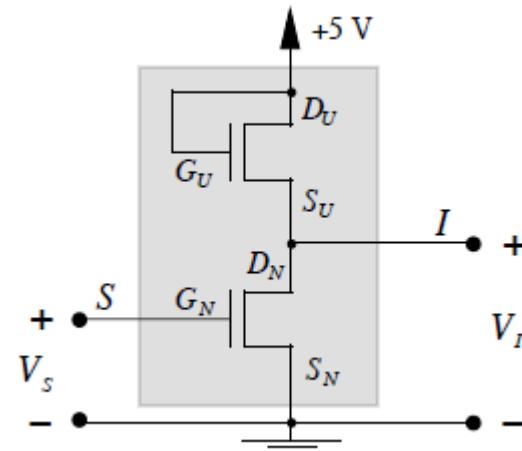
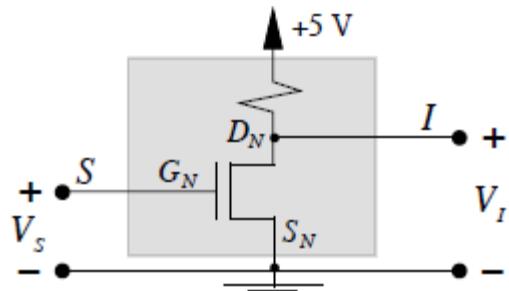


- Transistore/transistore logika (TTL)

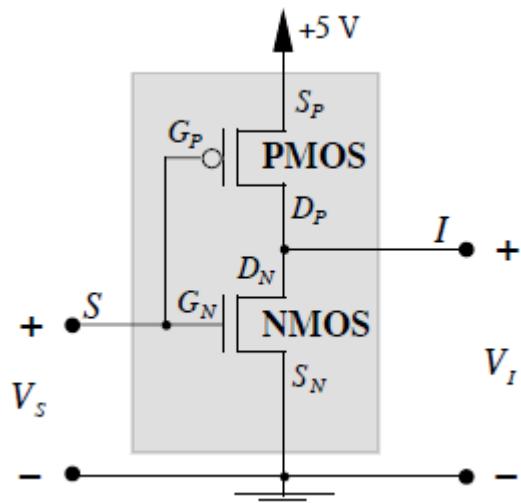


3. FAMILIA LOGIKOAK

- NMOS logika



- CMOS logika

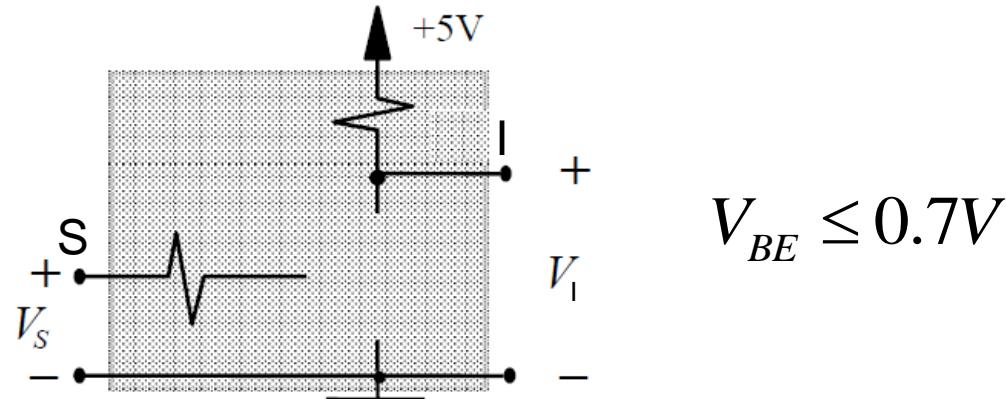


4. BIPOLARRA ATE LOGIKOETAN

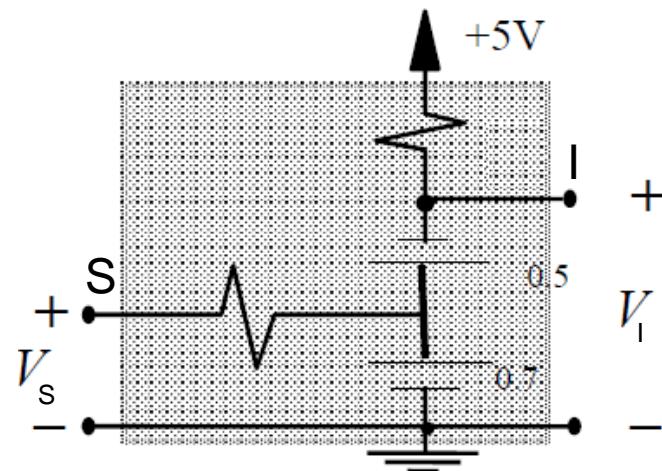
- Bi tentsio: H, L
→ Bi funtzionamendu egoera:

- Etendura eta asetasuna

- Etendura



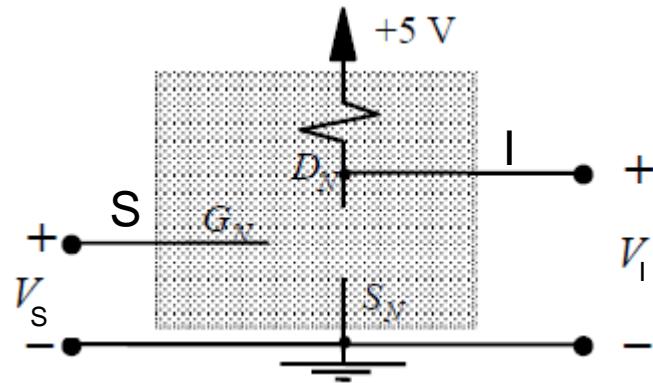
- Asetasuna



5. NMOS ATE LOGIKOETAN

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

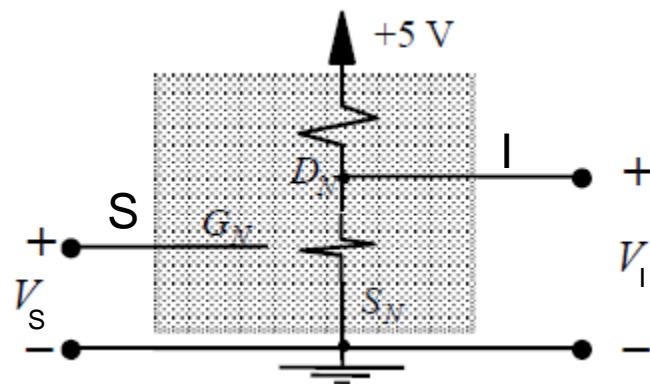
○ Etendura



$$V_T > 0$$

$$V_{GS} \leq V_T$$

○ Gune ohmikoa

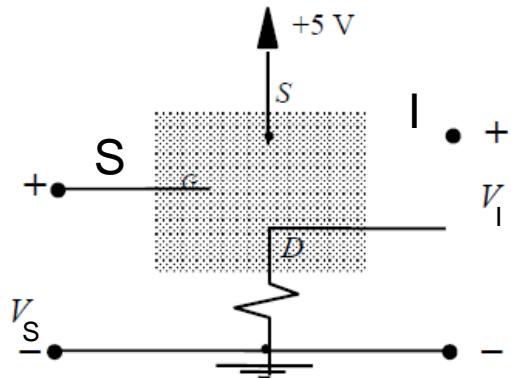


$$V_{GS} \geq V_T$$

6. PMOS ATE LOGIKOETAN

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

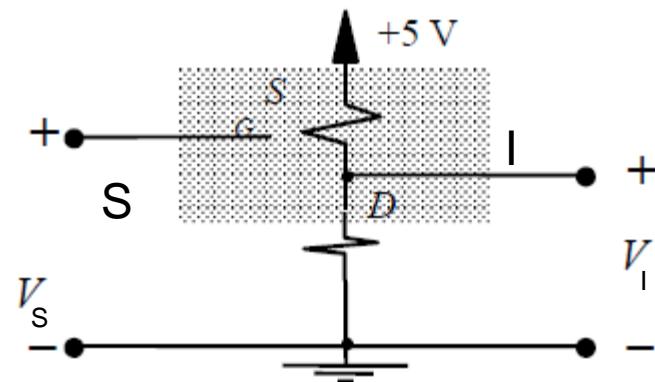
○ Etendura



$$V_T < 0$$

$$V_{GS} \geq V_T$$

○ Gune ohmikoa



$$V_{GS} \leq V_T$$