1. Gaia - Elektrostatika

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Karga elektrikoa

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

Igurtziz, boligrafoa kargatzen da

Boligrafoak paperak erakartzen ditu

1. Karga elektrikoa

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

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

1. Karga elektrikoa

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

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

2. Coulomb-en legea

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

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

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

3. Eremu elektrikoa

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

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

3. Eremu elektrikoa

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

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

  - Hauxe da q kargak sortzen duen eremu elektrikoa

3. Eremu elektrikoa

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

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

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

3. Eremu elektrikoa

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

4. Energia potentzial elektrostatikoa

- Eremu grabitatorioarekin analogia

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

4. Energia potentzial elektrostatikoa

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

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

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

4. Energia potentzial elektrostatikoa

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

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

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

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

4. Energia potentzial elektrostatikoa

- Eremu elektrostatikoak egindako lana

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

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

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

4. Energia potentzial elektrostatikoa

- Eremu elektrikoa kontserbakorra da

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

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

Potentzial elektrostatikoa

- Energia potentziala karga unitate bakoitzeko

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

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

Potentzial elektrostatikoa

- Eremua eta potentzialaren arteko erlazioa

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

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

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

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

2. Gaia - Elektrozinetika

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Karga elektrikoa

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

2. Material elektriko motak

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

2. Material elektriko motak

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

2. Material elektriko motak

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

3. Korronte elektrikoa

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

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

3. Korronte elektrikoa

- **Adierazpen matematikoa:**

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

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

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

4. Potentzial diferentzia: tentsio elektrikoa

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

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

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

4. Potentzial diferentzia: tentsio elektrikoa

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

5. Potentzial diferentzia eta korrontearen zentzua

6. Potentzia elektrikoa

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

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

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

$$P = V \cdot I$$

6. Potentzia elektrikoa

- **Emandako** potentzia:

$V > 0$ eta $I > 0$

edo

$V < 0$ eta $I < 0$

$\downarrow$

$P_e = V \cdot I > 0$

Osagai aktiboa

$V > 0$ eta $I < 0$

edo

$V < 0$ eta $I > 0$

$\downarrow$

$P_e = V \cdot I < 0$

Osagai pasiboa

$(P_x > 0)$

- **Xurgatutako** potentzia:

$V > 0$ eta $I > 0$

edo

$V < 0$ eta $I < 0$

$\downarrow$

$P_x = V \cdot I > 0$

Osagai pasiboa

$V > 0$ eta $I < 0$

edo

$V < 0$ eta $I > 0$

$\downarrow$

$P_x = V \cdot I < 0$

Osagai aktiboa

$(P_e > 0)$

6. Potentzia elektrikoa

- Potentzien balantzea
  - Energiaren kontserbazio printzipioa

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

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

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

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

3. Gaia – Zirkuituetarako sarrera

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Zer dira zirkuituak?

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

1. Zer dira zirkuituak?

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

- Zirkuitu → Eredu teoriko

2. Zirkuituen sailkapena

- Zirkuitu linealak eta ez-linealak

lineala

ez-lineala

2. Sailkapena

- Bilduak

- Banatuak

2. Sailkapena

- Zirkuitu analogikoak eta digitalak
  - Seinale analogikoa

  - Seinale digitala

  - Seinale bitarra

3. Zirkuituen gaineko ikuspuntuak

- Analisia, sintesia eta diseinua

4. Zirkuituen ezaugarriak eta egoera

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

5. Korronte motak

- Korronte zuzena

- Korronte alternoa

korronte alternoa

korronte alterno sinusoidala

- Korronte alternoa korronte zuzeneko osagaiarekin

6. Funtzionamendu egoerak

- Egonkorra eta iragankorra

4. Gaia – Zirkuituetarako sarrera

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Elementu motak

- Linealak edo ez linealak

lineala

ez-lineala

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

2. Erresistentziak

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

- **Ikurra:**

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

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

2. Erresistentziak

Kasu bereziak:

- Zirkuitu irekia: $R = \infty$

- Zirkuitulaburra: $R = 0$

3. KONDENTSADOREAK

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

- **Ikurra:**

- **Unitatea:** farad, f

3. KONDENTSADOREAK

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

  - Deskarga-prozesua → energia eman

3. KONDENTSADOREAK

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

- **Potentzia:**

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

  - P=0 W

4. Harilak

- **Portaera:** $\Phi = L \cdot i$

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

- **Ezaugarri grafikoa:**

- **Ikurra:**

- **Unitatea:** henry, H

4. HARILAK

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

  - Deskarga-prozesua → energia eman

4. HARILAK

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

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

tentsio-sorgailua korronte-sorgailua

sorgailu independenteak:

sorgailu menpekoak:

5. Sorgailuak

- Sorgailu independente errealen zirkuitu-ereduak
  - Tentsio-sorgailua

  - Korronte-sorgailua

5. Sorgailuak

- Tentsio sorgailu independenteak

- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
  - Ideala:

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

  - Erreala:

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

- Korronte sorgailu independenteak

- Ezaugarri kurba eta portaera ekuazioa:
  - Ideala:

$$i = I, \forall v$$

  - Erreala:

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

5. Sorgailuak

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

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

    - Korrontez kontrolatua

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

  - Korronte-sorgailua
    - Tentsioz kontrolatuta

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

    - Korrontez kontrolatua

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

6. Beste elementu batzuk

Etengailu ideala

- Ikurra:

- Posizioak:
  - Irekita

$$I = 0, \forall v$$

  - Itxita

$$V = 0, \forall i$$

6. Beste elementu batzuk

- **n:1 transformadorea**

$$v_1 = n \cdot v_2$$

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

5. Gaia – Zirkuituetako oinarrizko legeak eta horien aplikazioak

2018-2019 Ikasturtea

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Oinarrizko kontzeptuak

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

Nodoen arteko tentsioak

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

Adarreko korrontea

1. Oinarrizko kontzeptuak

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

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

2. Kirchhoff-en legeak

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

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

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

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

2. Kirchhoff-en legeak

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

$$i_1 + i_2 = i_3$$

2. Kirchhoff-en legeak

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

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

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

3. Zirkuituen ebazpide arrunta

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

3. Zirkuituen ebazpide arrunta

- Adibidea

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Erresistentziak seriean

Erresistenzia baliokidea

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

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

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

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

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Erresistentziak paraleloan

Erresistenzia baliokidea

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

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

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

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

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Kondentsadoreak seriean

Kapazitate baliokidea

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

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

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

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

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Kondentsadoreak paraleloan

Kapazitate baliokidea

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

$$i = i_1 + i_2$$

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Tentsio sorgailuak seriean

Tentsio sorgailu baliokidea

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

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Tentsio sorgailuak paraleloan

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

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

Tentsio sorgailu baliokidea

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Korronte sorgailuak seriean

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

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

Korronte sorgailu baliokidea

$$i = I_{bs}$$

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Korronte sorgailuak paraleloan

Korronte sorgailu baliokidea

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

$$i = i_1 + i_2 = I_1 + I_2$$

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Inpedantzia kontzeptua

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

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

$$Z_R = R$$

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

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

4. Elementuen serie eta paralelo elkarketak

- Inpedantziak seriean

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

- Inpedantziak paraleloan

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

5. Elkarketen aplikazioak

- Tentsio zatitzailea

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

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

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

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

5. Elkarketen aplikazioak

- Korronte zatitzailea

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

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

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

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

6. Tentsio eta korronte neurketak

- Voltmetroa

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

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

- Voltmetro erreal batean:

$$R_v \gg R$$

6. Tentsio eta korronte neurketak

- Anperemetroa

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

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

  - Anperemetro erreal batean:

$$R_A \ll R$$

6. Gaia – Zirkuituak analizatzeko oinarrizko metodoak

2018-2019 Ikasturtea

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Mailen metodoa

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

1. Mailen metodoa

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

2. Gainezarmen printzipioa

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

2. Gainezarmen printzipioa

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

- **Adibidea:**

3. Thévenin-en teorema

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

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

3. Thévenin-en teorema

- **Ebazpidea:**
  1. Zein 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 inpedantzia baliokidea lortu
  4. Zirkuitu baliokidea marraztu
- Adibideak: Lortu A eta B puntuen artean Thévenin baliokidea

4. Norton-en teorema

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

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

3. Norton-en teorema

- **Ebazpidea:**
  1. Zein 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 inpedantzia baliokidea lortu
  4. Zirkuitu baliokidea marraztu
- Adibideak: Lortu A eta B puntuen artean Norton baliokidea

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

- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:

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

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

- Thévenin baliokidean Norton baliokidea kalkulatzen dugu:

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

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

6. Potentziaren transferentzia maximoaren teorema

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

- Xurgatutako potentzia:

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

- Maximo bat:

$$R = R_{Th}$$

7. Gaia – Zirkuitu elektrikoen egoera iragankorra eta korronte alternoa

2018-2019 Ikasturtea

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Egoera iragankorra zirkuitu linealetan

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

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

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

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

2. RC Zirkuitua

- **Zirkuitua:**

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

- **Karga prozesua:**

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

2. RC Zirkuitua

- **Karga prozesua:**

- Portaera ekuazioak:
  - Erresistentzia:

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

  - Kondentsadorea:

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

- Ondorioa:

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

- KVL (KTL)

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

2. RC Zirkuitua

Karga prozesua:

- Ekuazio diferentziala:

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

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

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

- Soluzio orokorra:

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

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

2. RC Zirkuitua

Karga prozesua:

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

- Hasierako egoera egonkorra (t=0):

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

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

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

$$K_1 + K_2 = 0$$

- Bukaerako egoera egonkorra (t=∞)

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

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

2. RC Zirkuitua

Karga prozesua:

$$K_1 + K_2 = 0$$

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

- Tentsioa:

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

- Korrontea:

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

- Tentsio erresistentzian

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

- Kondentsadorean metaturiko karga

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

2. RC Zirkuitua

- **Karga prozesua:**

2. RC Zirkuitua

Karga prozesua – Denbora konstantea:

$$\tau = RC$$

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

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

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

2. RC Zirkuitua

Karga prozesua – Denbora konstantea:

- Tentsioa:

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

2. RC Zirkuitua

- **Karga prozesua – Denbora konstantea:**
  - Korrontea:

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

2. RC Zirkuitua

- **Karga prozesua – Denbora konstantea:**

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

2. RC ZIRKUITUA

Deskarga prozesua:

- Portaera ekuazioak:
  - Erresistentzia:

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

  - Kondentsadorea:

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

- Ondorioa:

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

- KVL (KTL) → HEMEN DESBERDINA

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

2. RC Zirkuitua

Deskarga prozesua:

- Ekuazio diferentziala:

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

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

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

- Soluzio orokorra:

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

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

2. RC Zirkuitua

Deskarga prozesua:

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

- Hasierako egoera egonkorra (t=0):

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

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

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

$$K_1 + K_2 = E$$

- Bukaerako egoera egonkorra (t=∞)

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

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

2. RC Zirkuitua

Deskarga prozesua:

$$K_1 + K_2 = 0$$

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

- Tentsioa:

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

- Korrontea:

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

- Tentsio erresistentzian

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

- Kondentsadorean metaturiko karga

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

2. RC Zirkuitua

- **Deskarga prozesua:**

- Denbora konstantea:

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

2. RC Zirkuitua

- **Erantzuna seinale karratuei:**

2. RC Zirkuitua

- **Erantzuna seinale karratuei:**
  - 1. kasua: (T/2)>>4τ

2. RC Zirkuitua

- **Erantzuna seinale karratuei:**
  - 2. kasua: (T/2)<<4τ

3. RL Zirkuitua

- **Zirkuitua:**

$Q_c = 0$

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

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

3. RL Zirkuitua

Karga prozesua:

Etengailua itxita: $I_{sarrera} = I$

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

Deskarga prozesua:

Etengailua irekita: $I_{sarrera} = 0$

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

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

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

Hasierako egoera:

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

Bukaerako egoera:

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

Konstanteen balioak:

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

Soluzio partikularra:

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

Hasierako egoera:

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

Bukaerako egoera:

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

Konstanteen balioak:

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

Soluzio partikularra:

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

4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

Inpedantzia kontzeptua

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

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

$$Z_R = R$$

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

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

4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

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

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

4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

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

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

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

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

    - Normalean polarretan baina koordenatu kartesiarretan ere

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

    - Euler-en formularen arabera

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

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

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

4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

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

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

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

4. Zirkuitu linealak korronte alternoan

Fasoreak:

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

$$v(t) = 50\sin(2000t - 25^{o})$$

$$i(t) = 8\sin(2000t + 5^{o})$$

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

8. Gaia – Erdieroaleak

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Eroankortasuna eta erresistibitatea

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

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

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

- Propietate hauek aldatu ditzakegu

2. Efektu fotoelektrikoa

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

3. Bohr-en eredu atomikoa

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

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

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

4. Energia bandak

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

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

5. Material motak

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

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

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

6. Erdieroaleak

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

Silizioa

Germanioa

6. Erdieroaleak

- Egitura kristalinoa eta lotura kobalentea

- Tenperatura 0K ez bada

6. Erdieroaleak

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

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

7. PN JUNTURA

- **Orekan – Kanpo polarizazio gabe**

7. PN JUNTURA

- **Orekan – Kanpo polarizazio gabe**

7. PN JUNTURA

- **Zuzeneko polarizazioan**

7. PN JUNTURA

- **Alderantzizko polarizazioan**

9. Gaia – Diodoak

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Ikurra eta polarizazioa

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

- **Polarizazioa:**

Zuzeneko polarizazioa
Z.P.

Alderantzizko polarizazioa
Z.P.

2. Diodo motak

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

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

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

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

3. Ezaugarri kurbak

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

- Portaera ekuazioa

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

- **LED diodoa**
  - Atari tentsioa: 1.7-2.2V

3. Ezaugarri kurbak

Zener diodoa

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

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Diodo artezlea

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

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

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

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

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

(zirkuitu irekia)

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

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

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

$V_D = 0,7 + rI_D$

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

r barne-erresistentzia, parametro ezaguna

(zirkuitu irekia)

4. Diodoen portaeraren hurbilketa linealak

Zener diodoa

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

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

V_Z parametro ezaguna

5. Diododun zirkuituen ebazpidea

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

5. Diododun zirkuituen ebazpidea

- **Ebazpide grafikoa**

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

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

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

Karga zuzena

5. Diododun zirkuituen ebazpidea

Ebazpide grafikoa

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

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

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

6. Diodoen aplikazioak

Artezgailuak

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

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

6. Diodoen aplikazioak

- **Uhin erdiko artezgailua**

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

6. DIODOEN APLIKAZIOAK

- **Tentsio iturria uhin erdiko artezgailuarekin**

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

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

6. DIODOEN APLIKAZIOAK

- **Uhin osoko artezgailua edo zubi artezgailua**

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

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

10. Gaia – Transistoreak

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Sarrera

- Bi PN juntura
- Triterminala
- Aktiboa

- Tentsioz edo korrontez kontrolatua
- Funtzionamendu egoera desberdinak
- **“Ikurra”:**

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

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

- **Ezaugarri grafikoa:**

2. Transistore motak

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Kontrol magnitudea:** Korrontea

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

- Bi PN juntura

PNP transistore bipolarra

NPN transistore bipolarra

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Transistorearen polarizazioa:**

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Transistorearen polarizazioa:**

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Portaera ekuazioak:**

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

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

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

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

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Ezaugarri kurbak:**

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Ezaugarri kurbak:**
  - Sarrera zirkuitua

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Ezaugarri kurbak:**
  - Irteera zirkuitua

3. Transistore bipolarra (BJT)

NPN transistore bipolarra

- **Funtzionamendu egoerak:**
  - 2 PN juntura
    - 2^2 funtzionamendu egoerak

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

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

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

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

    - Ez da korronterik igarotzen

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

Baldintza:

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

Ekuazioak:

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

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

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

    - Korrontea bi junturetan $I_B << I_C$

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

Baldintza:

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

Ekuazioak:

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

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

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

    - Korrontea igarotzen da

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

Baldintza:

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

Ekuazioak:

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

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak

- **α irabazia kontzeptua:**

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

- **Funtzionamendu egoerak ezaugarri kurban:**

3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak:

- Hurbilketak (laburpena):

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

- **Funtzionamendu egoerak:**
  - Hurbilketak (grafikoki):

3. Transistore bipolarra (BJT)

Funtzionamendu egoerak:

- Hurbilketak (idealak):

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

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

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

3. Transistore bipolarra (BJT)

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

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

- **Kontrol magnitudea:** Potentzial diferentzia

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

- **JFET – Ikurrak:**

Ikurrak:

N kanaleko JFET transistorea

P kanaleko JFET transistorea

N kanaleko JFET transistorea

P kanaleko JFET transistorea

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

  - Urritze MOSFET : D eta S artean

    - B: Oinarria/Euskarria ez da terminal bat

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

- **MOSFET – Motak:**
  - Ugaltze MOSFET:

  - Urritze MOSFET:

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

NMOS

PMOS

    - Urritze → S eta D arteko kanala estutu

NMOS

PMOS

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

- **P kanaleko ugaltze MOSFETa:**

n-kanalekoa

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

p-kanalekoa

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

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

4. Eremu efektuzko transistorea (FET)

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

11. Gaia – Zirkuitu digitalak

2018-2019 Ikasturtea

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

Gaiaren gai-zerrenda

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

1. Definizioak

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

- **Zirkuitu digitalak**
  - Ate logikoak
    - Irteera tentsioa sarrera funtzio
    - Elikatuta

1. Definizioak

Ateak

Identitatea

V_S	V_I
L	L
H	H

(Buffer, driver)

Alderanzkailua NOT

V_S	V_I
L	H
H	L

AND

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

OR

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

NAND

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

NOR

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

1. Definizioak

Balio tarteak

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

2. Integrazio mailak

Osagai diskretuak

Zirkuitu integratuak

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

3. Familia logikoak

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

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

3. Familia logikoak

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

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

3. Familia logikoak

- **NMOS logika**

- **CMOS logika**

4. Bipolarra ate logikoetan

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

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

- **Asetasuna**

5. NMOS ATE LOGIKOETAN

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

$V_{GS} \leq V_T$

- **Gune ohmikoa**

$V_{GS} \geq V_T$

6. PMOS ATE LOGIKOETAN

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

$$V_{GS} \geq V_T$$

- **Gune ohmikoa**

$$V_{GS} \leq V_T$$