



10. GAIA – TRANSISTOREAK

2018-2019 Ikasturtea

Irakaslea: Jose Manuel Gonzalez

Teknologia Elektronikoko Saila

5I28 – Bilboko Ingeniaritza Eskola (II Eraikina)

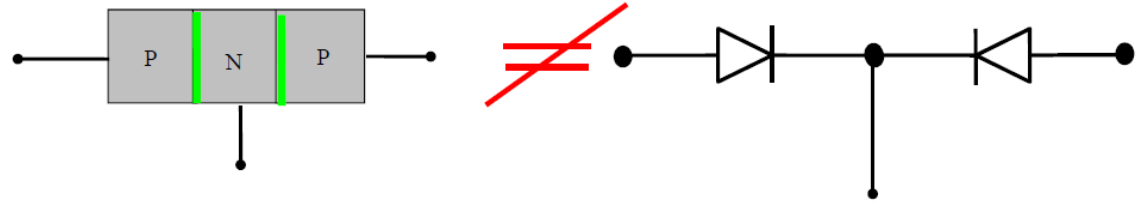
josemanuel.gonzalezp@ehu.eus

GAIAREN GAI-ZERRENDA

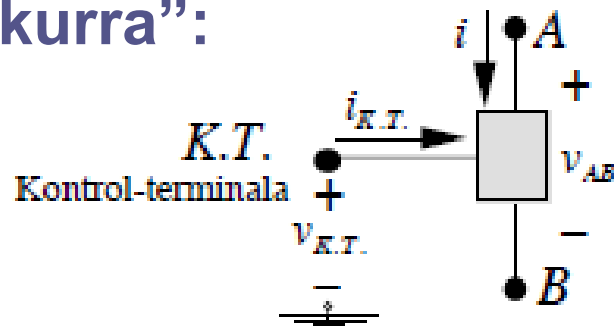
1. Sarrera
2. Transistore motak
3. Transistore bipolarra (BJT)
4. Eremu efektuzko transistorea (FET)
5. Diodoen aplikazioak

1. SARRERA

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



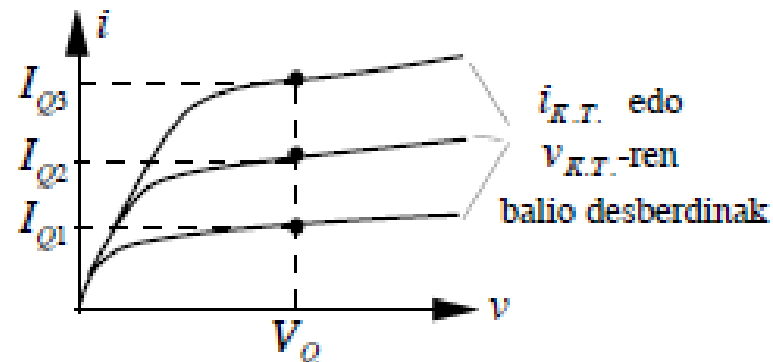
- “Ikurra”:



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

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

- Ezaugarri grafikoa:



2. TRANSISTORE MOTAK

◦ Transistore bipolarra (BJT)

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

◦ Transistore unipolarra (FET)

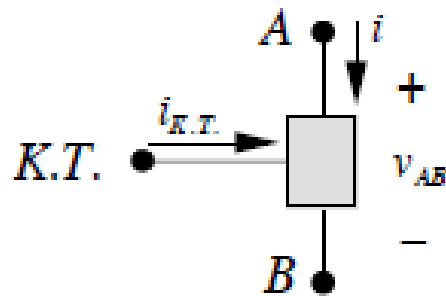
- Eremu efektuzko transistoreak
- Elektroien edo hutsuneen mugimendua
- Kontrol magnitudea: tentsioa
- Bi mota:
 - JFET
 - MOSFET (N kanalekoa edo P kanalekoa)

◦ Juntura bakarreko transisoreak (UJT)

- Oso konplexua → Ez dugu ikusiko

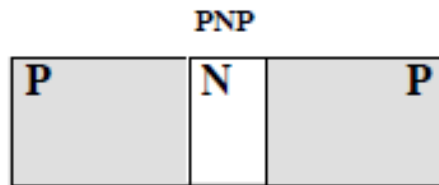
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- **Kontrol magnitudea:** Korrontea

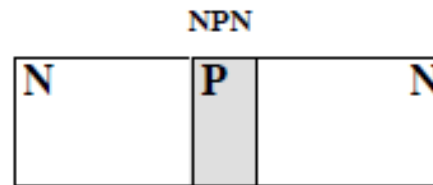
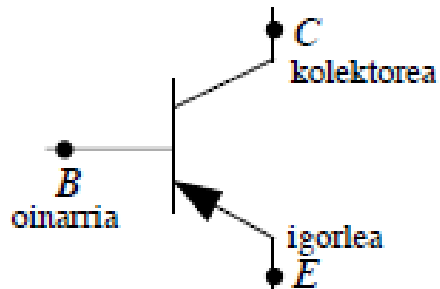


$$i = f(v_{AB}, i_{K.T.})$$

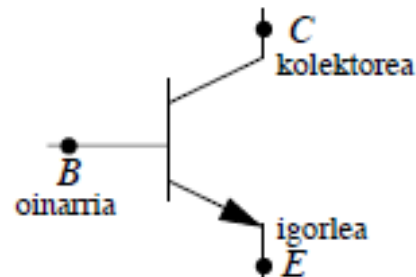
- Bi PN juntura



PNP transistore bipolarra



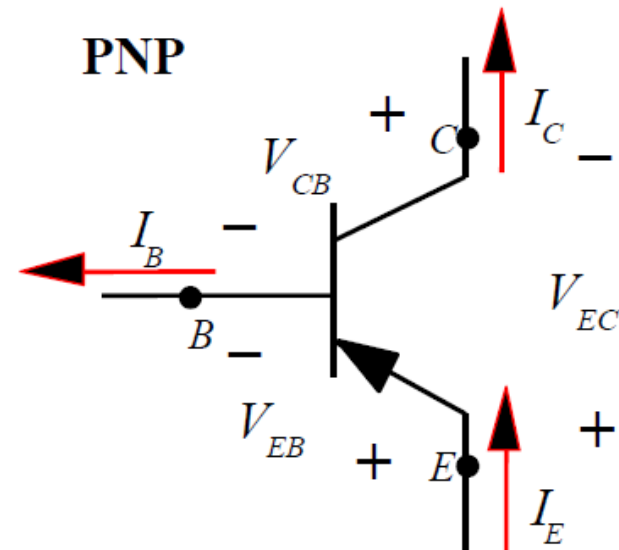
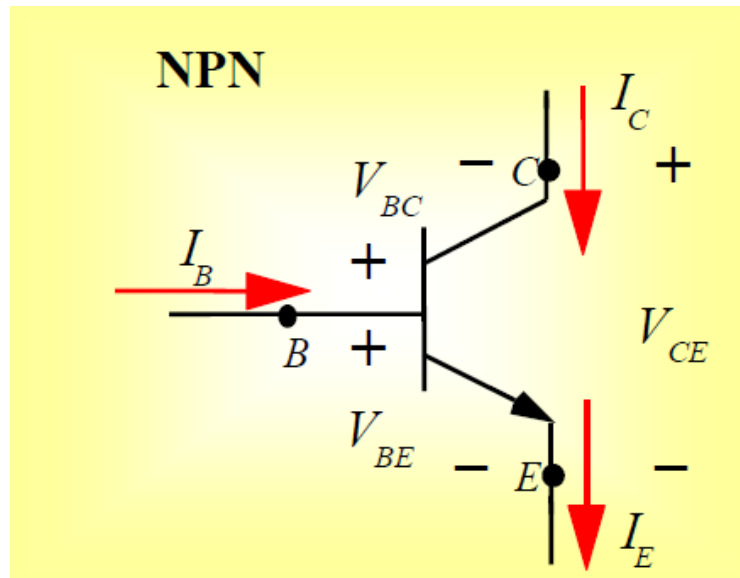
NPN transistore bipolarra



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

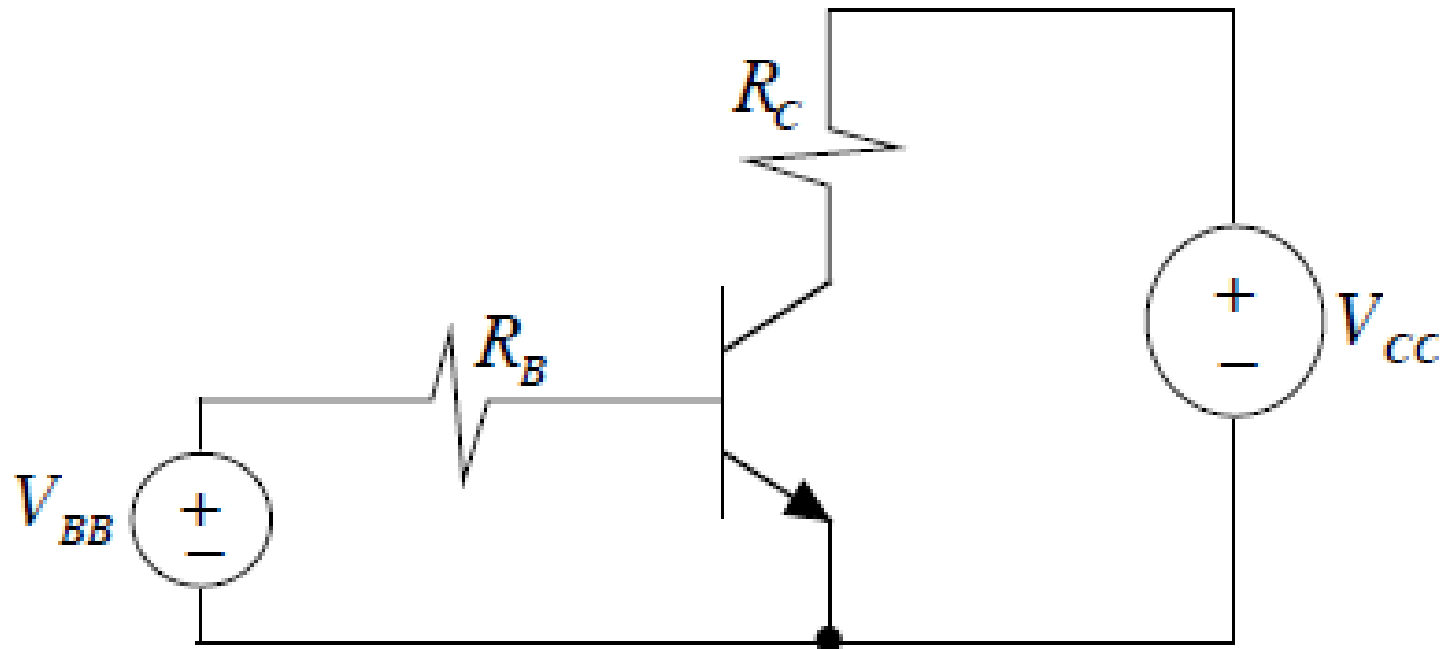
o Magnitudeak:

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



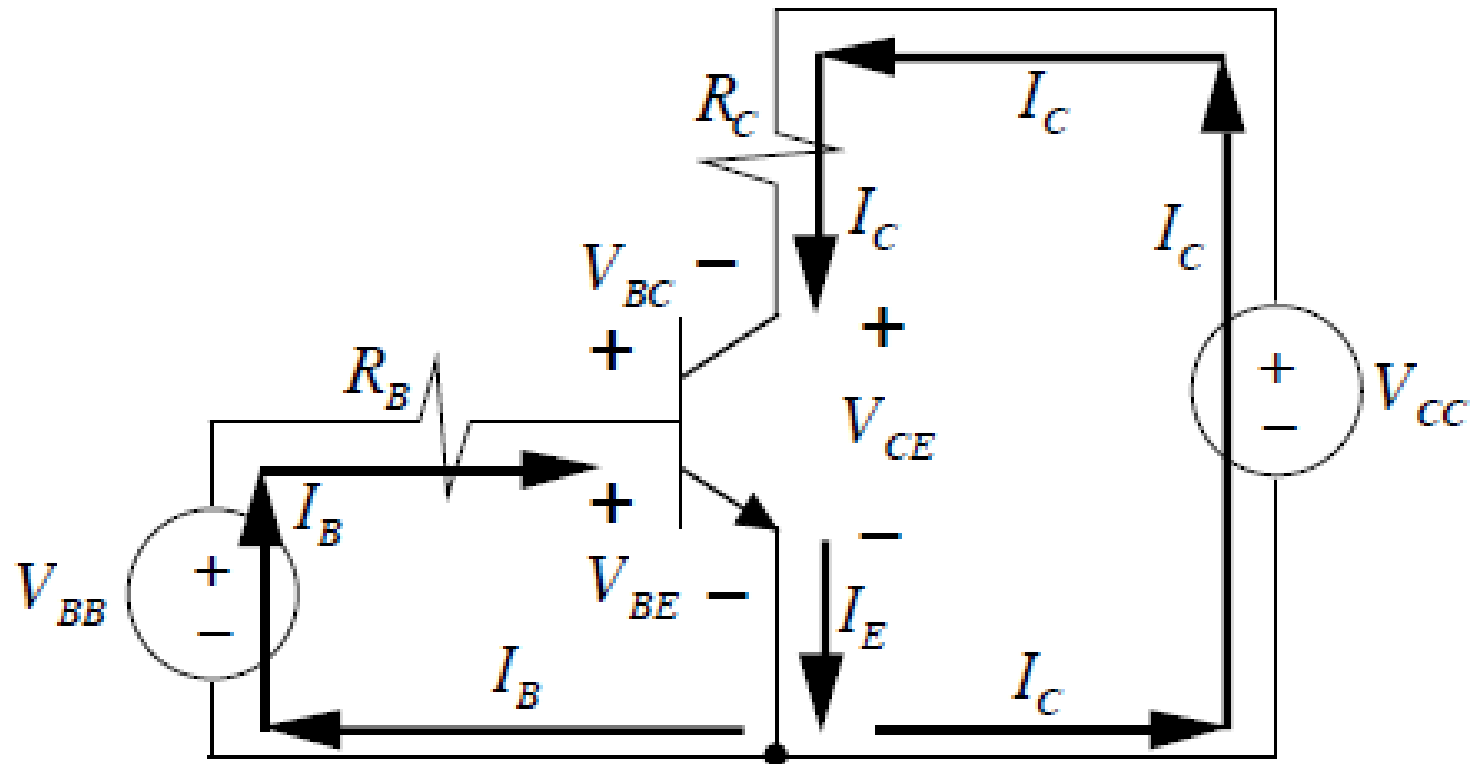
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- Transistorearen polarizazioa:



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- Transistorearen polarizazioa:



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ Portaera ekuazioak:

$$1. I_E = I_B + I_C$$

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

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

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

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

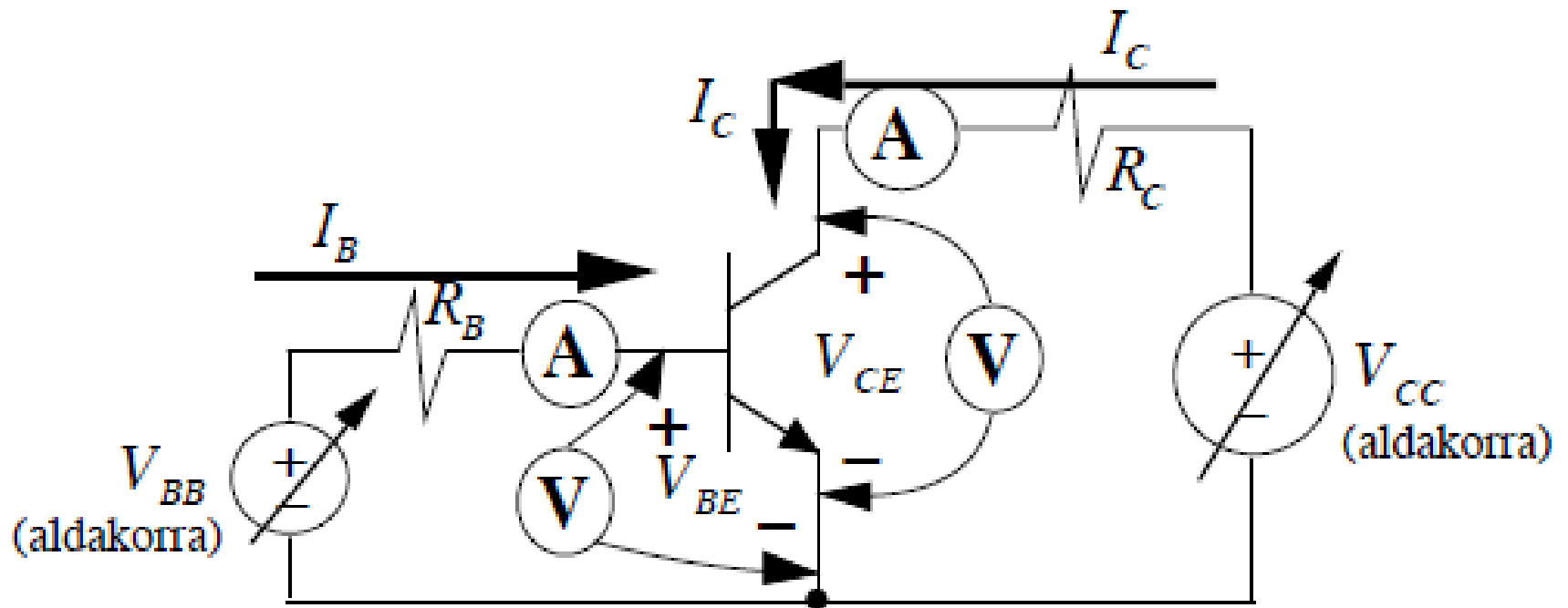
$$6. I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$$

- 5 eta 6 dira transistorearen portaera ekuazioak
- 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 BIPOLARRA (BJT)

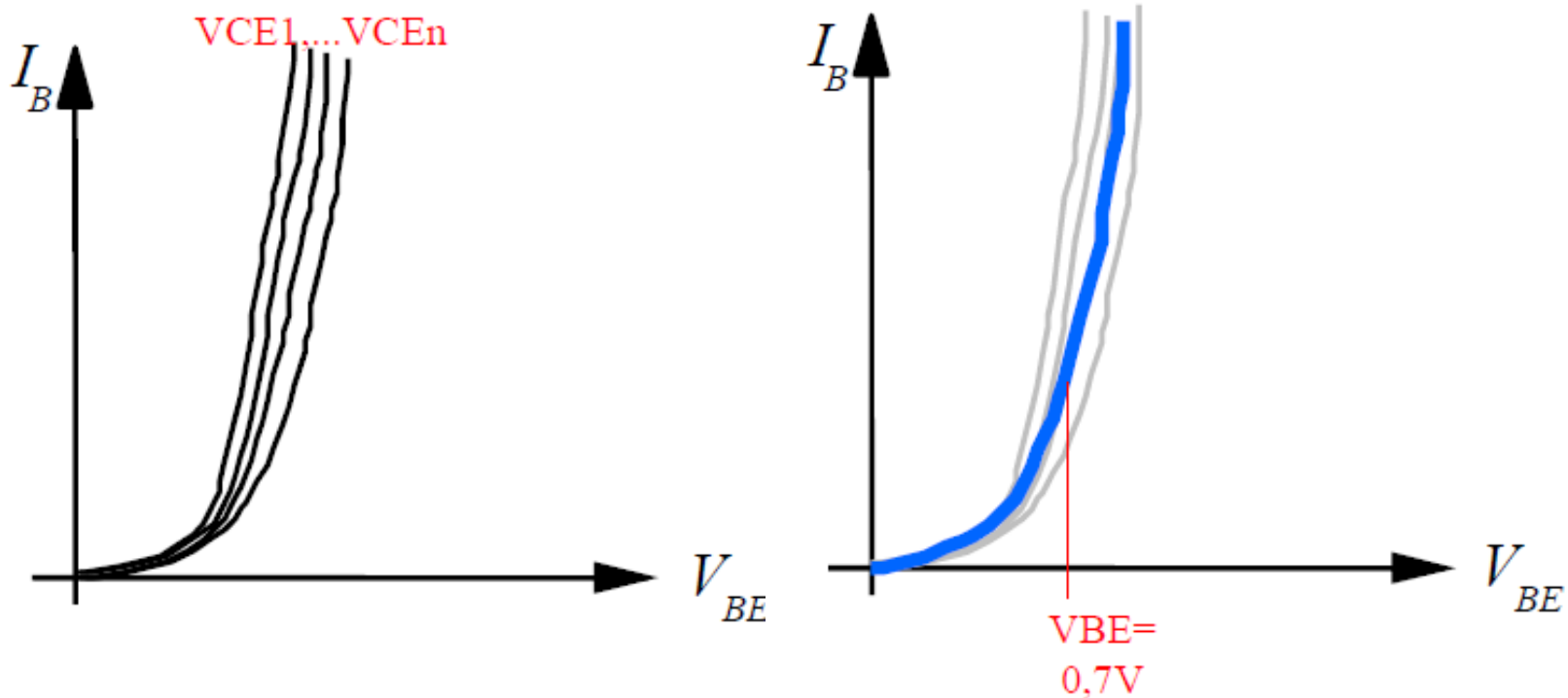
o Ezaugarri kurbak:



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ Ezaugarri kurbak:

- Sarrera zirkuitua

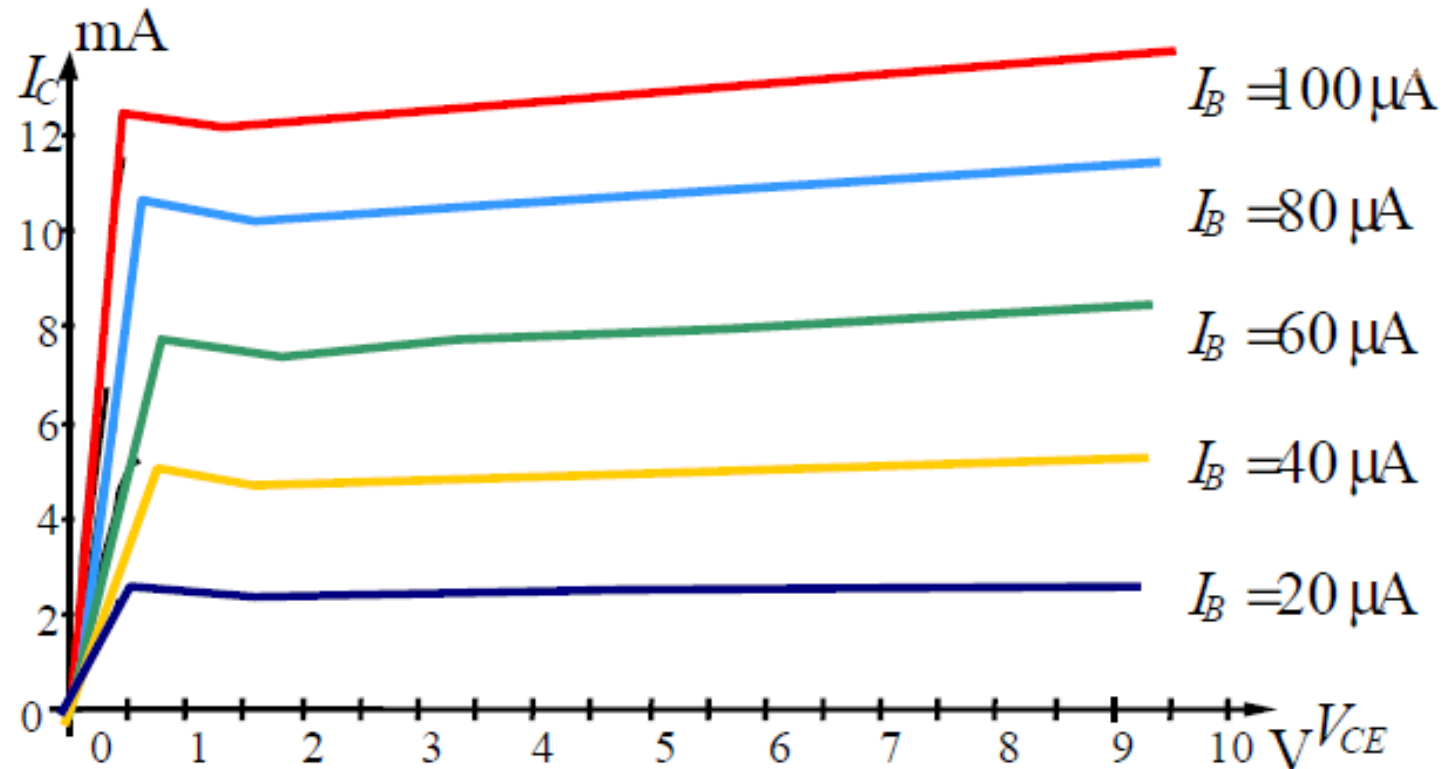


$$6. I_B = g(V_{BE}, V_{CE}) \rightarrow I_B = g(V_{BE})$$

3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

- Ezaugarri kurbak:

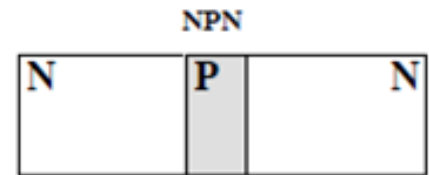
- Irteera zirkuitua



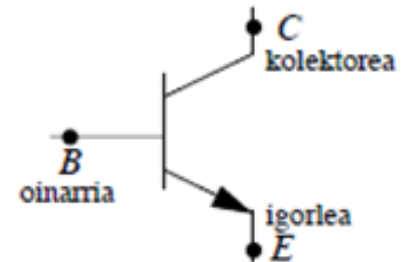
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ 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 BIPOLARRA (BJT)

◦ 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

$$5. I_C = 0$$

$$6. I_B = 0$$

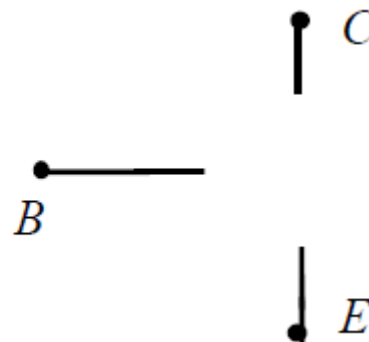
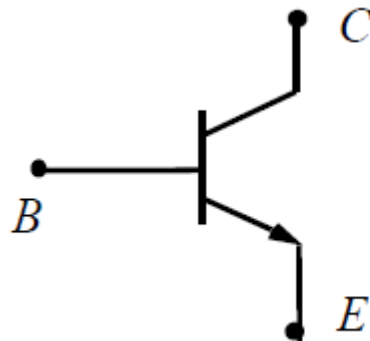
Baldintza:

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



Ekuazioak:

$$I_C = 0, I_B = 0$$



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ Funtzionamendu egoerak:

- **Gune aktiboa:**

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

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

- Korrontea bi junturetan $I_B \ll I_C$

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

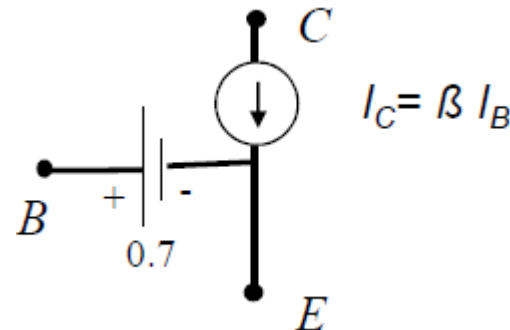
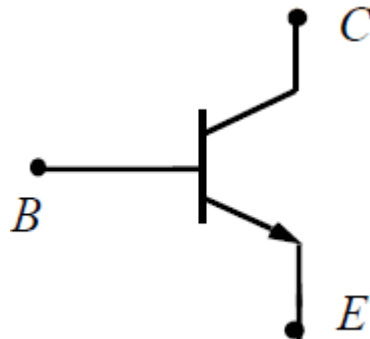
Baldintza:

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



Ekuazioak:

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



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ Funtzionamendu egoerak:

- **Asetasuna:**

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

$$V_{BE} = 0.7V$$

$$V_{BC} = 0.5V$$

- Korrontea igarotzen da

5. $V_{CE} = 0.2V$

6. $V_{BE} = 0.7V$

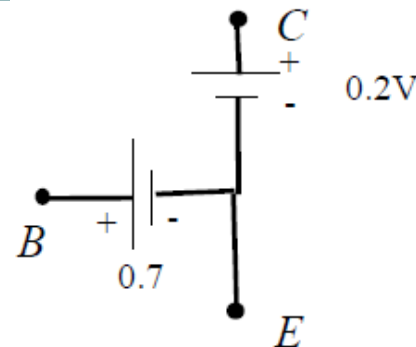
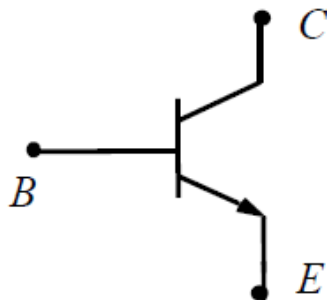
Baldintza:

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



Ekuazioak:

$$V_{BE} = 0.7V, \\ V_{CE} = 0.2V \text{ edo } V_{BC} = 0.5V$$



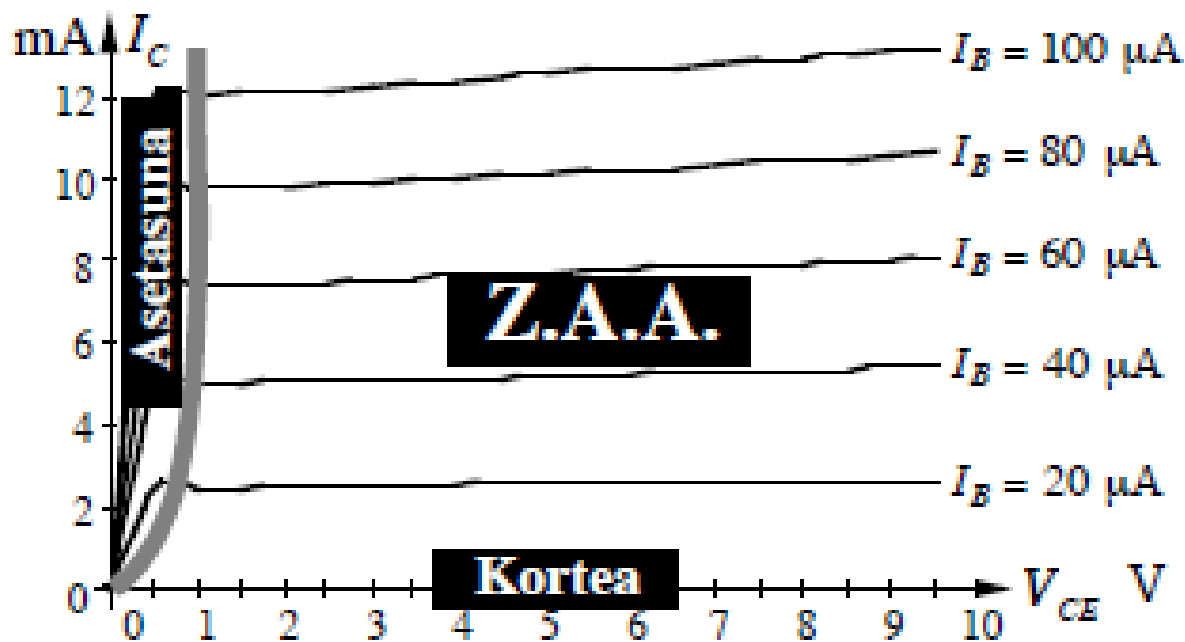
3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak

- α irabazia kontzeptua:

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

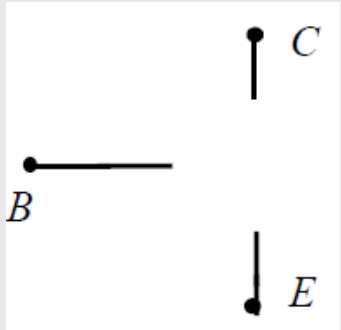
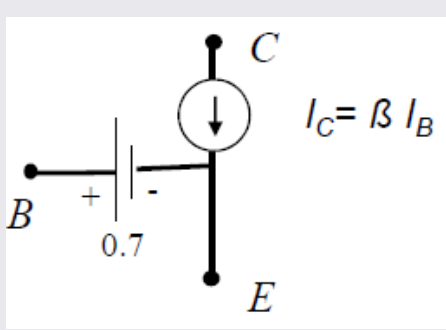
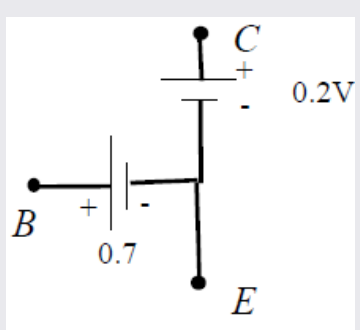
- Funtzionamendu egoerak ezaugarri kurban:



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

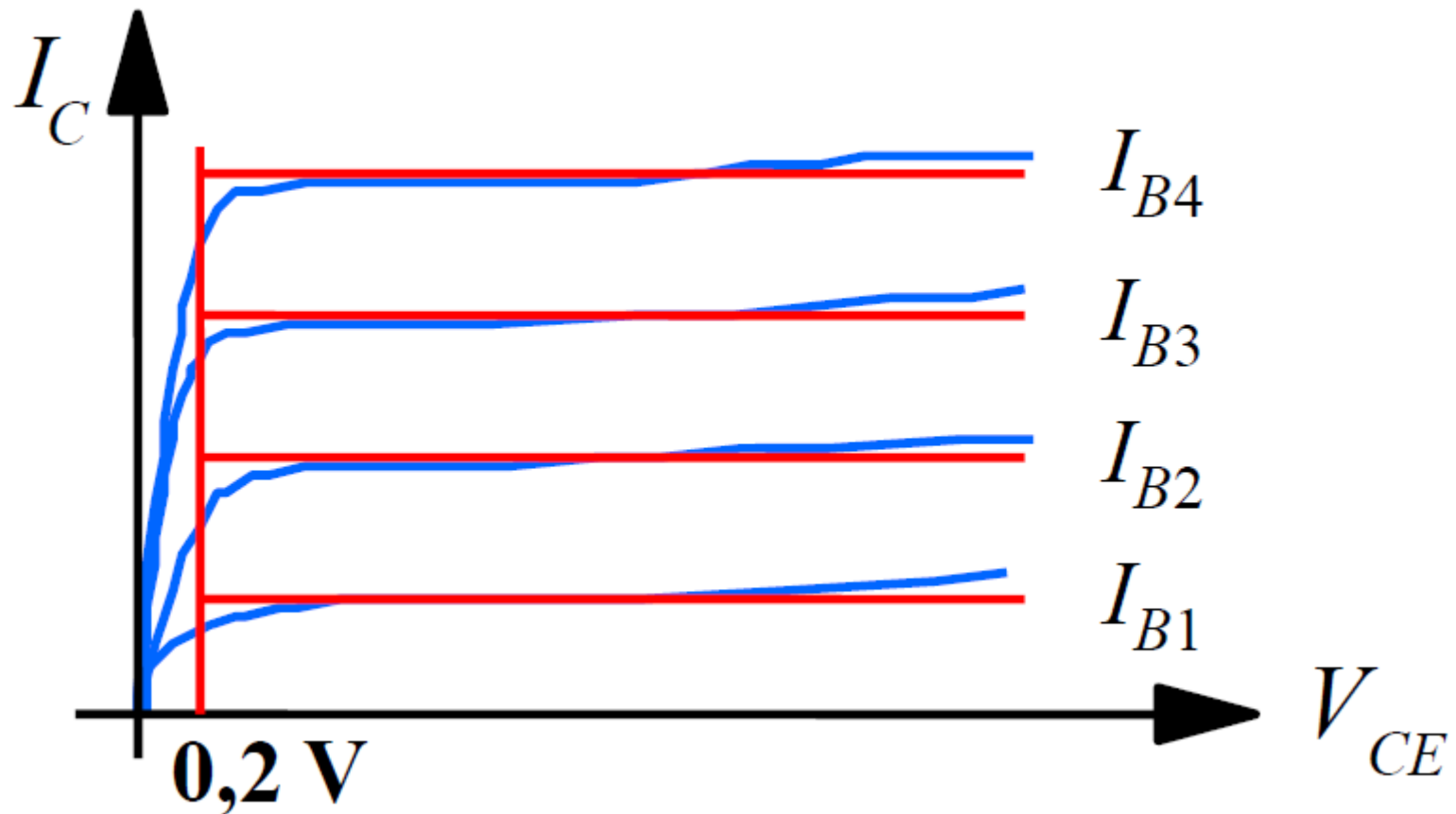
- Hurbilketak (laburpena):

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

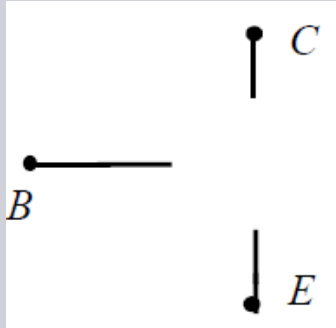
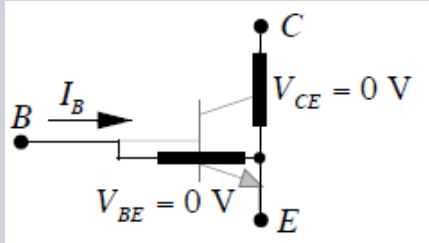
- Hurbilketak (grafikoki):



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

o Funtzionamendu egoerak:

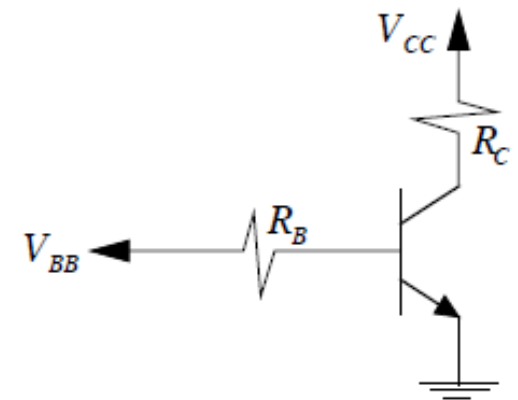
- Hurbilketak (idealak):

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

3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

◦ Zenbakizko ebazpidea:

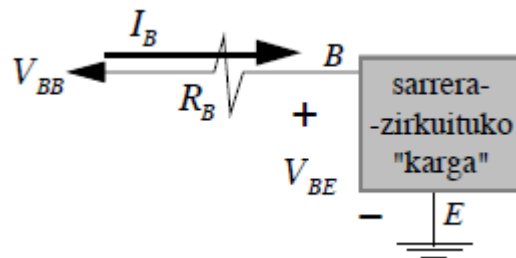
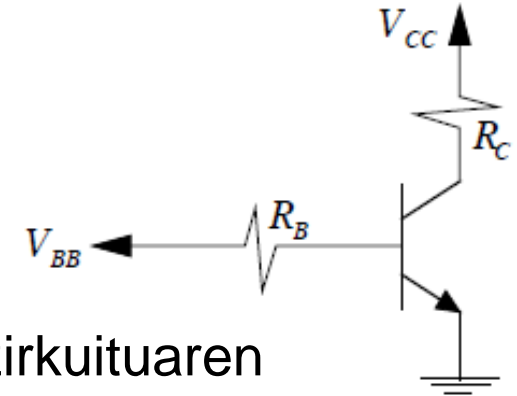
1. Idatzi zirkuituari dagozkion ekuazioak
2. Idatzi transistorearen portaera-ekuazioak
3. Hipotesia egin: transistorearen egoera funtzionamendua suposatu
4. Dagokion hurbilketa ordezkatu
5. Zirkuitua ebatzi
6. Hipotesia zuzena den egiaztatu
 - Zuzena ez bada 3. puntura bueltatu eta beste hipotesi bat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



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

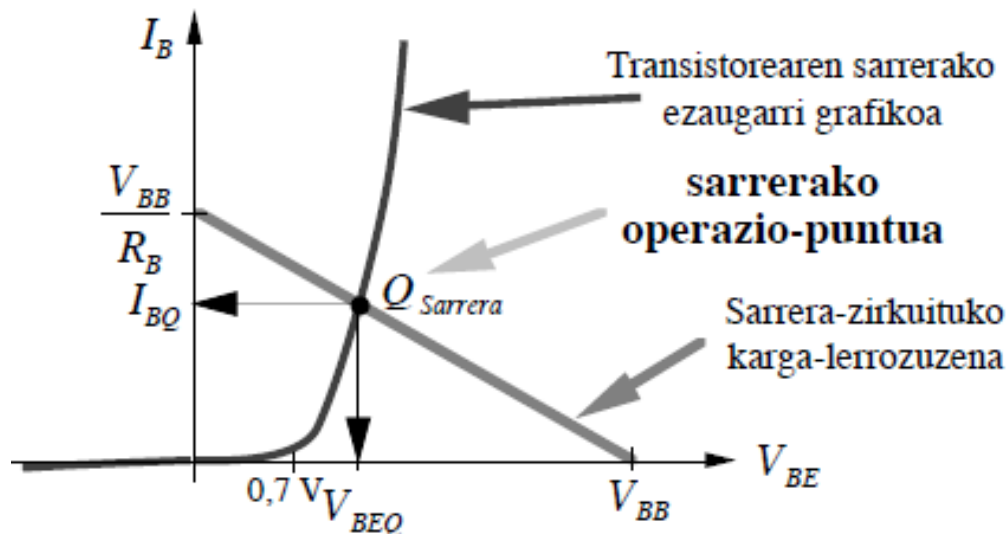
◦ Ebazpide grafikoa:

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



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

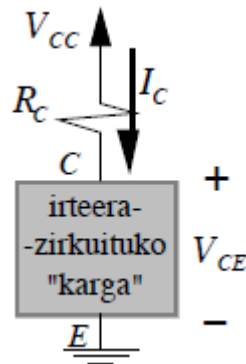
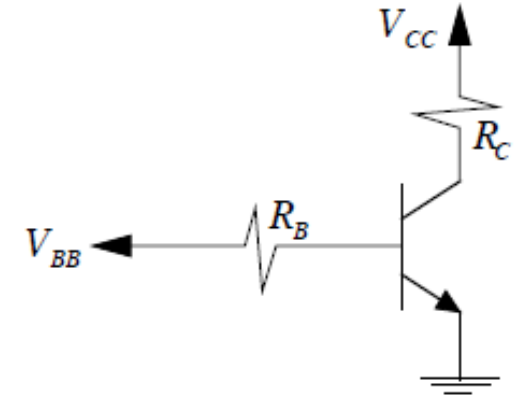
$$\text{Karga zuzena: } I_B = \frac{V_{BB}}{R_B} - \frac{1}{R_B} \cdot V_{BE}$$



3. TRANSISTORE BIPOLARRA (BJT)

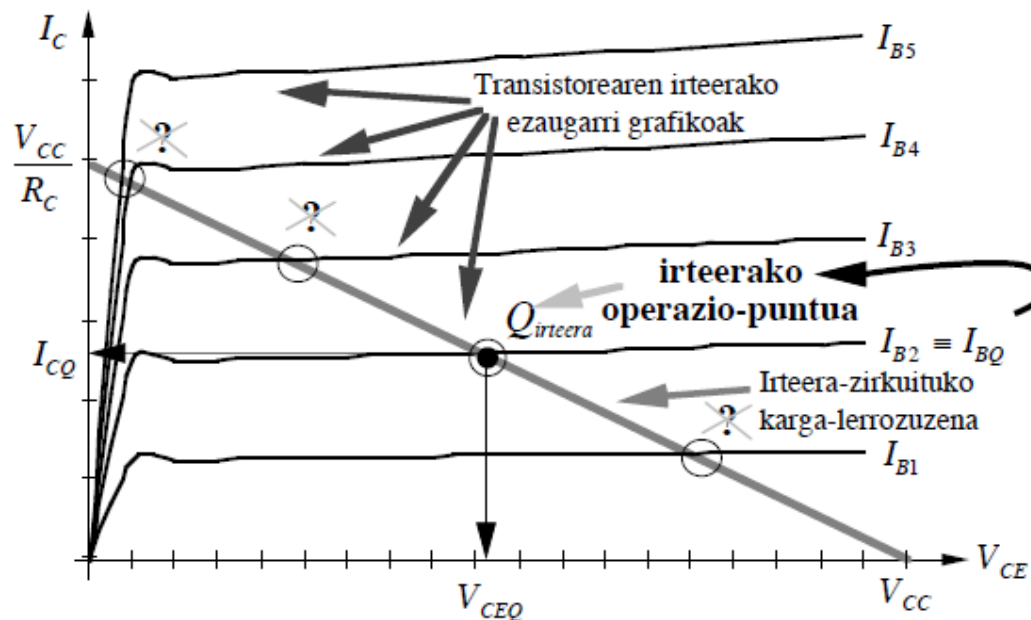
o Ebazpide grafikoa:

- Irteerako karga-zuzena



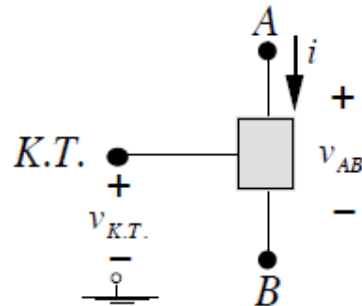
$$\text{KTL: } V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

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



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- **Kontrol magnitudea:** Potentzial diferentzia



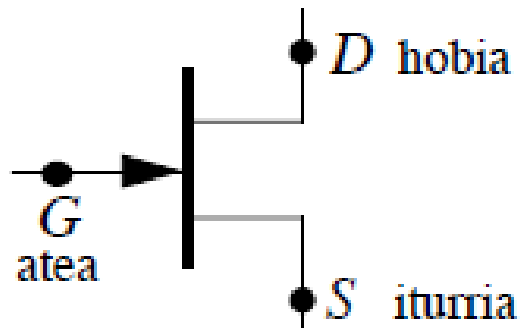
$$i = f(v_{AB}, v_{K.T.})$$

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

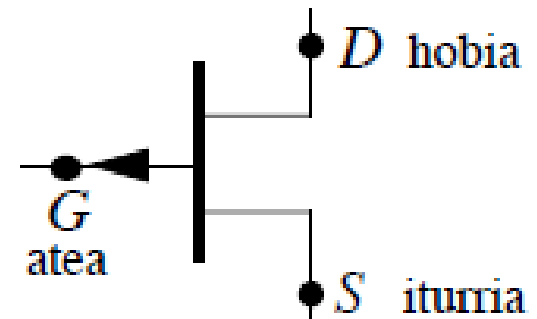
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o JFET – Ikurrak:

N kanaleko JFET transistorea

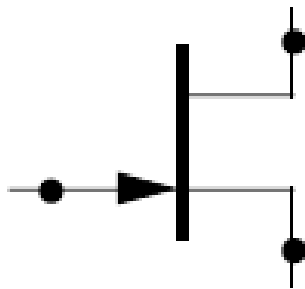


P kanaleko JFET transistorea

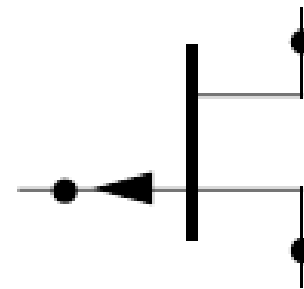


Ikurrak:

N kanaleko JFET transistorea



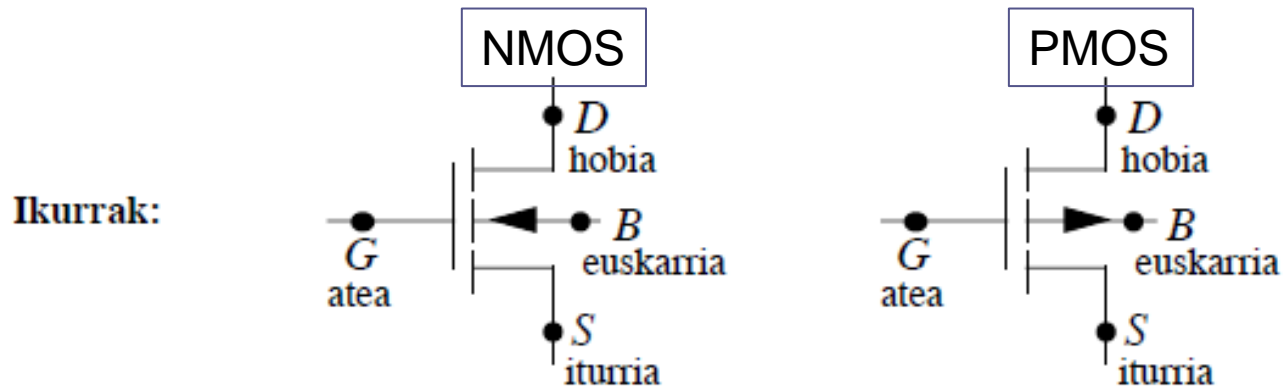
P kanaleko JFET transistorea



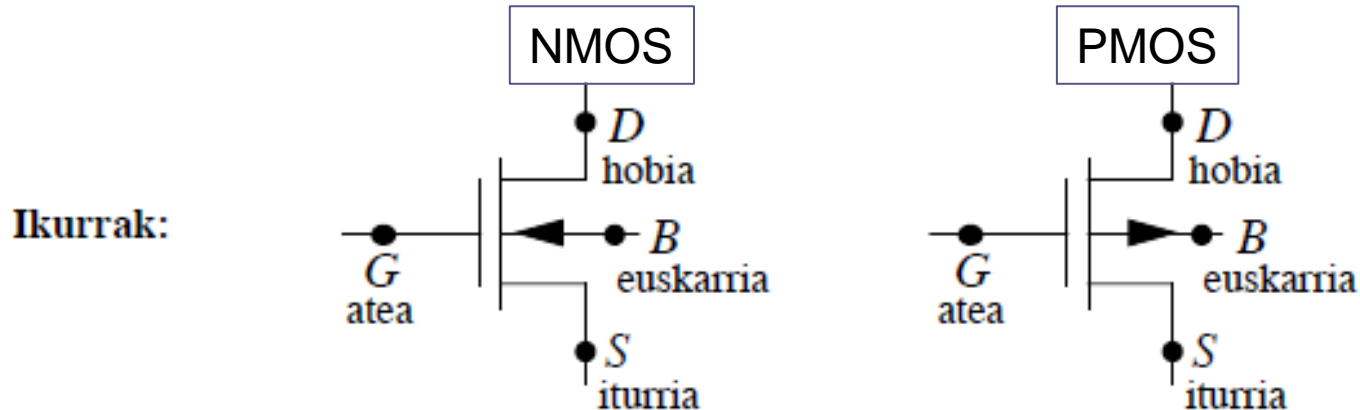
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

◦ MOSFET – Motak:

- Ugaltze MOSFET: D eta S fisikoki separatuta



- Urritze MOSFET : D eta S artean

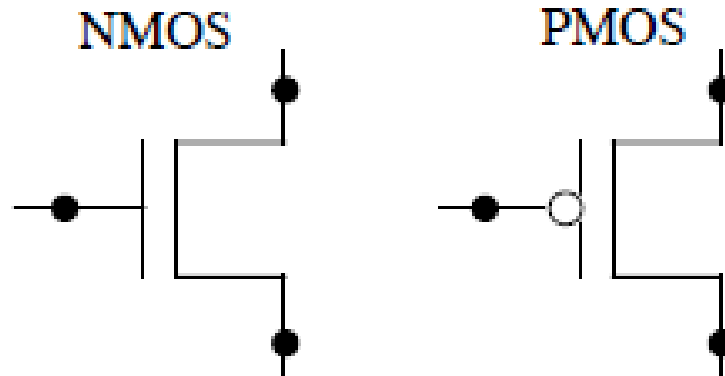


- B: Oinarria/Euskarria ez da terminal bat

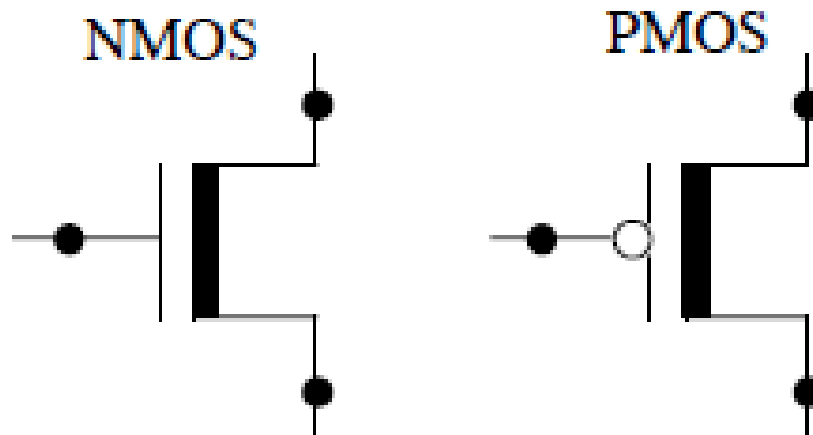
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

○ MOSFET – Motak:

- Ugaltze MOSFET:



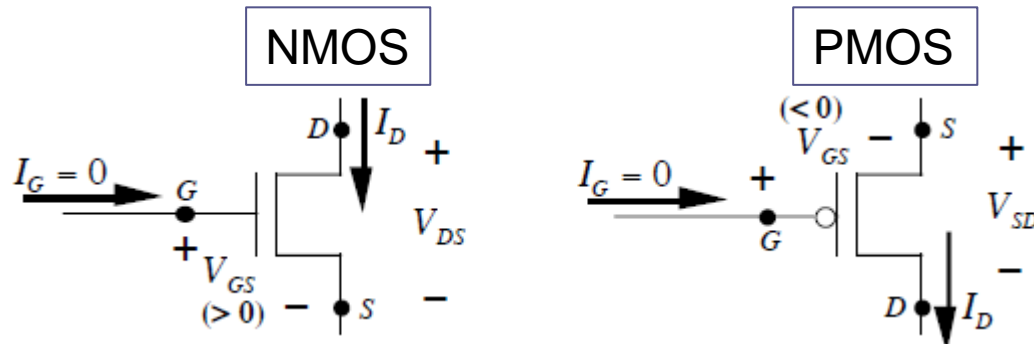
- Urritze MOSFET:



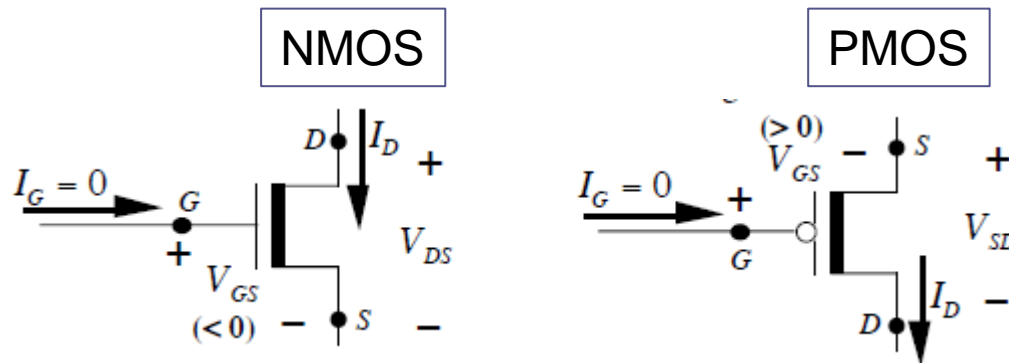
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

◦ 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



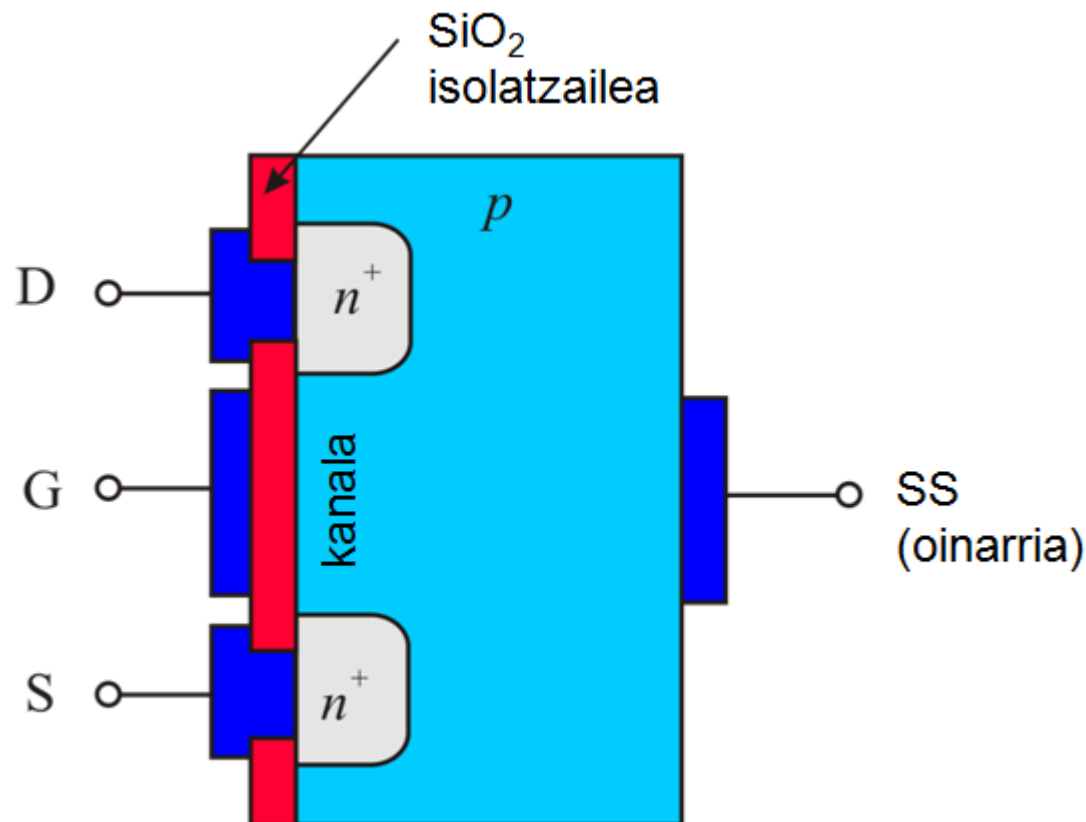
- Urritze → S eta D arteko kanala estutu



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

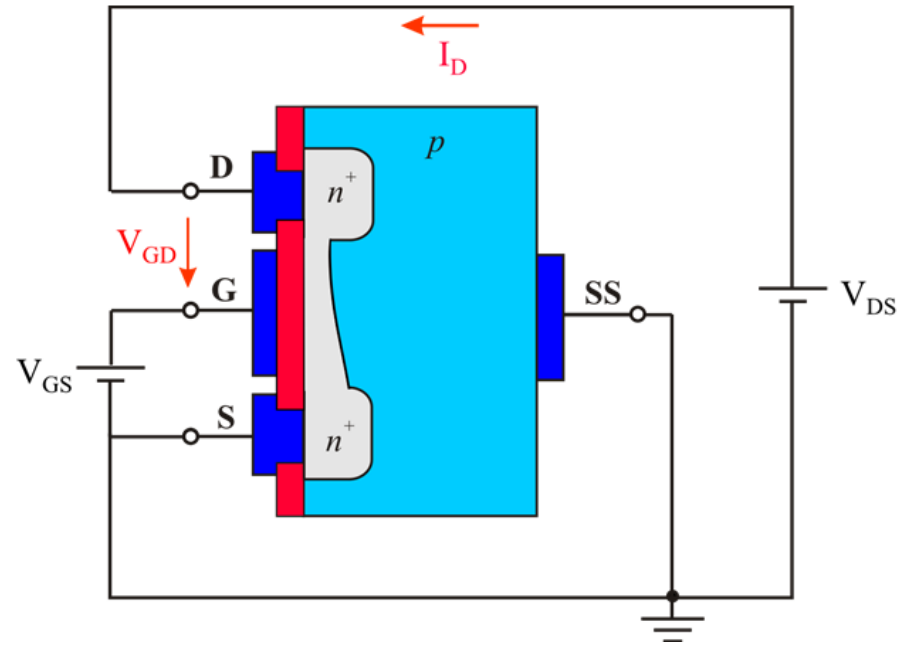
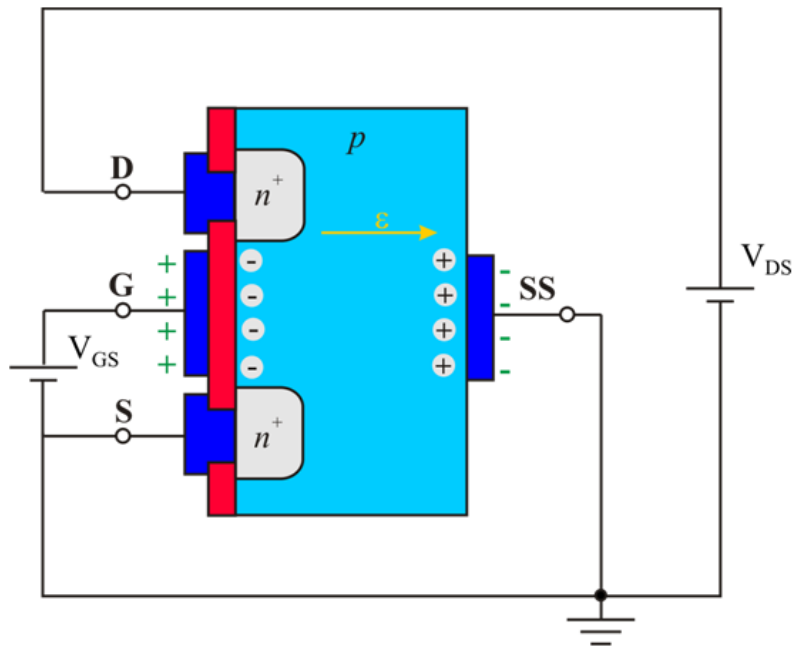
o N kanaleko ugaltze MOSFETa – Egitura:

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



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

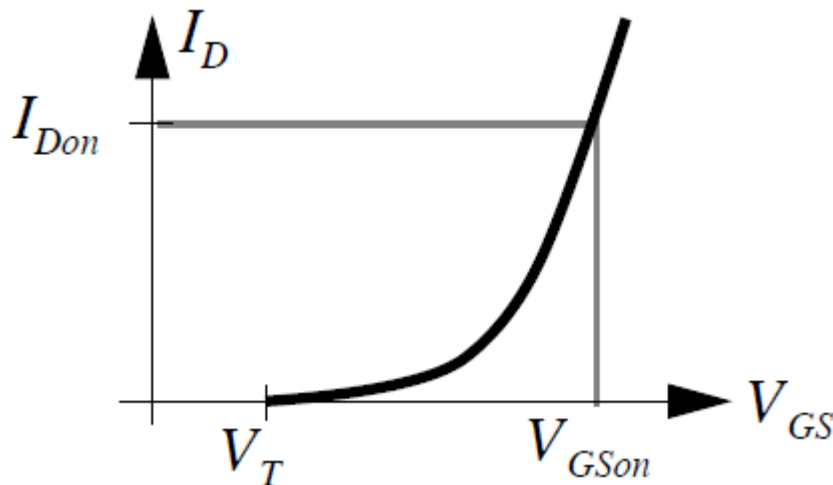
o N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:



4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

o 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)

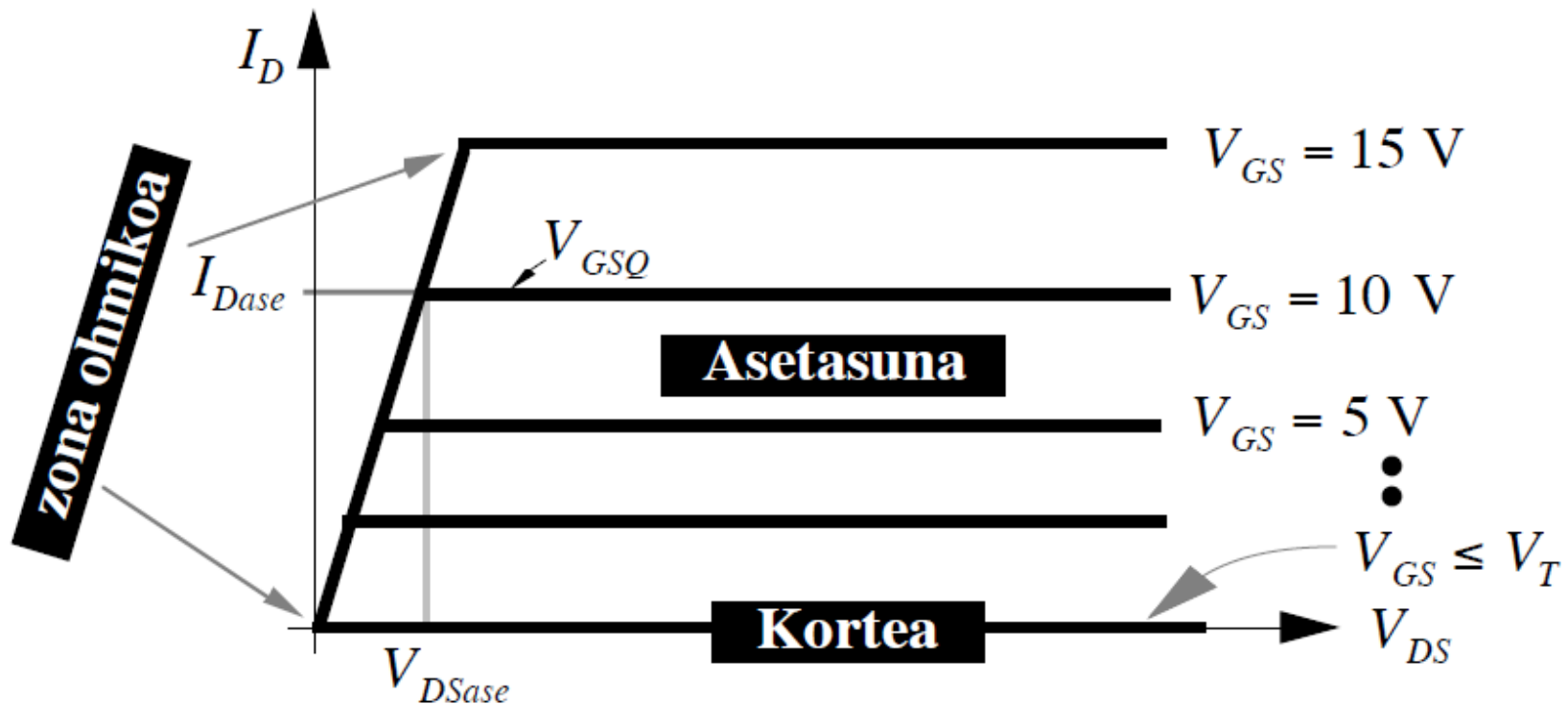


$$I_D = I_{Don} \cdot \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$$

4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

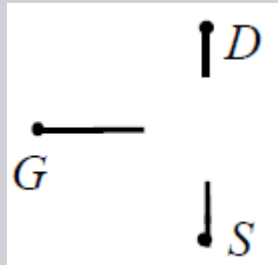
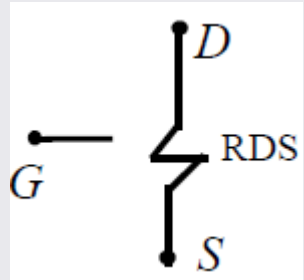
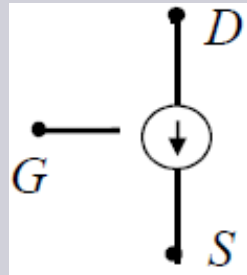
o N kanaleko ugaltze MOSFETa – Transferentzia kurbak:

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



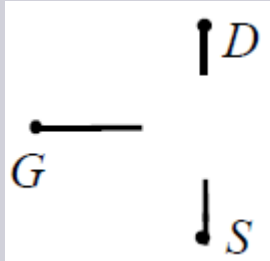
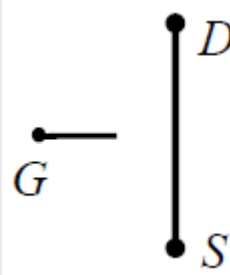
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

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

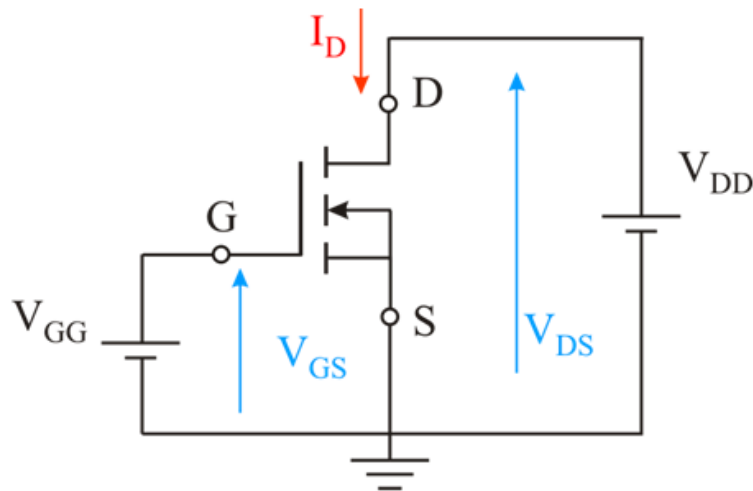
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

- o 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:

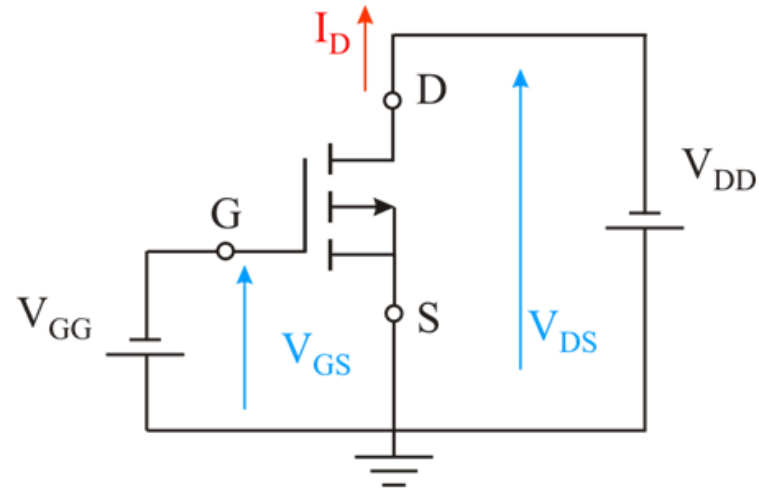


n-kanalekoa

V_{DS} positiboa

V_{GS} positiboa

I_D positiboa (sartzen da)



p-kanalekoa

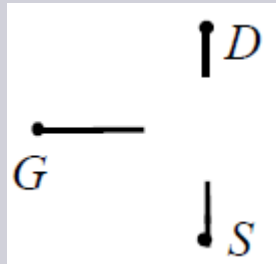
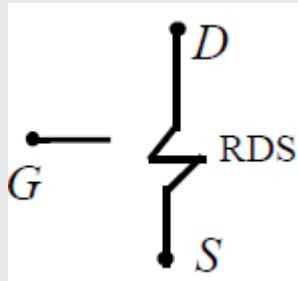
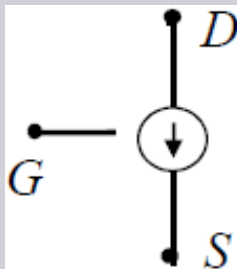
V_{DS} negatiboa

V_{GS} negatiboa

I_D negatiboa (ateratzen da)

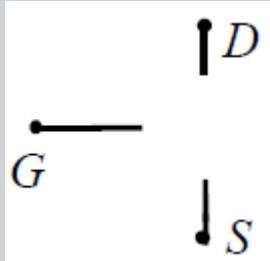
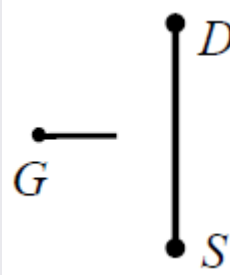
4. EREMU EFEKTUZKO TRANSISTOREA (FET)

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)

◦ Urritze MOSFETa:

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

