

16. EREMU EFEKTUKO TRANSISTOREAK II: JFETAK

Ikasgai honetan, JFETen egitura eta funtzionamendua analizatuko ditugu.

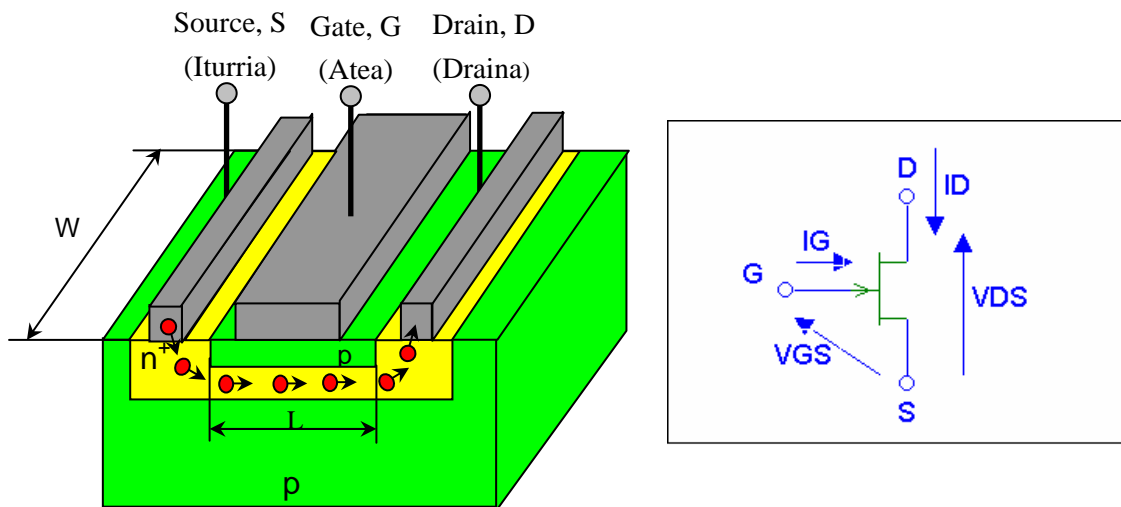
MOSFETaren kasuan egindako urratsak hemen ere errepikatuko ditugu. Hasteko, egitura aurkeztuko dugu, eta korrontearantzako pasabidea fabrikazio-prozesuan sortzen dela ikusi. Gero, pasabidea desagertarazteko aplikatu behar dugun tentsioa analizatuko dugu. Azkenean, I-V ezaugarriak arrazoitu, aurkeztu eta marraztuko ditugu.

16.1 JFETaren egitura

16.1 Irudian, n pasabideko JFET transistoreen ohiko egitura eta ikurra azaltzen dira.

N motako oinarri batetik abiatuz, bi kontaktu ohmiko eransten zaizkio: draina (D, drain) eta iturri (S, source). Horrela, erresistentzia simple bat lortzen da ($R = \rho \times l / A = l / (\sigma A)$); non $\sigma = q \times \mu_n \times N_D$). Egitura horretan V_{DS} tentsioa aplikatzen dugunean, $I_D = V_{DS} / R$.

Horren inguruan, dopaketa altuko p motako bi eskualde gauzatzen dira (fabrikazio-prozesuan, barreiapenez, adibidez): atea (G, gate).

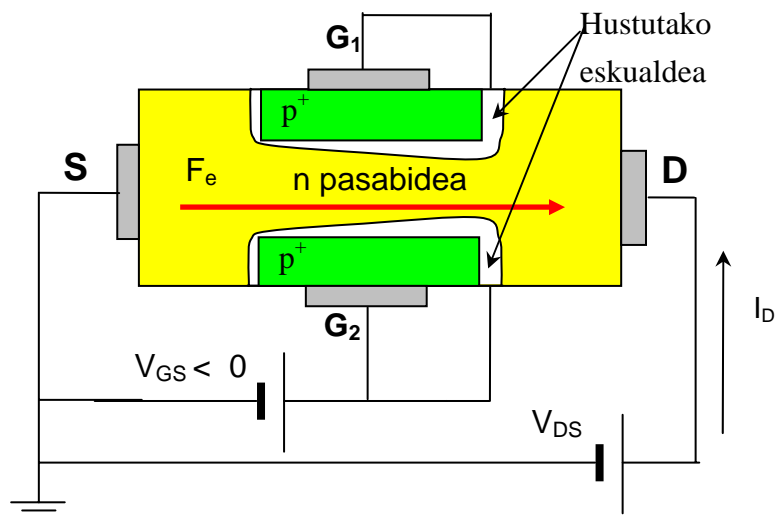


16.1 Irudia. N pasabideko JFETen egitura eta ikurra

(Urritze) MOSFETetan bezala:

Definizioz, eramaileak iturritik irten eta drainera iristen dira. Ateetan aplikatutako tentsioak berez dagoen pasabidearen eroankortasuna kontrolatzen du.

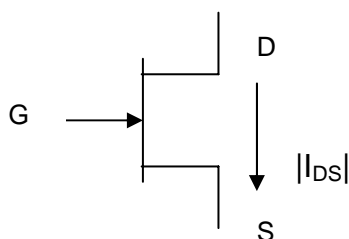
Atearen eta iturriaren artean, V_{GS} tentsioa aplikatzen da, **pn junturak beti alderantziz polarizatuz**. Atetik sartuko den korronea, beraz, ez da aintzat hartzen (junturen I_{sat} korronea ~ 1 pA).



16.2 Irudia. N pasabideko JFETen polarizazioa: tentsioak eta korroneak

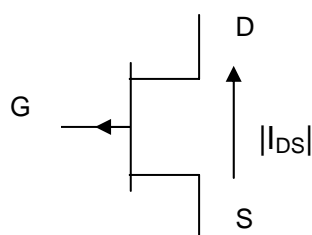
Korrontearen noranzkoa eta terminalak MOSFETetan bezalakoak izango dira:

- N pasabideko JFETetan, V_{GS} negatiboa izango da eta V_{DS} eta I_D , positiboak (I_D sartzen, I_S irteten, ugarienak (elektroiak) iturritik drainerantz doaz)



16.3 Irudia. N pasabideko JFETaren ikurra eta korrontearen noranzkoa

- P pasabideko JFETetan, V_{GS} positiboa izango da eta V_{DS} eta I_D negatiboak (I_D irteten da, I_S sartzen da, ugarienak (hutsuneak) iturritik drainerantz doaz, definizioz)



16.4 Irudia. P pasabideko JFETaren ikurra eta korrontearen noranzkoa

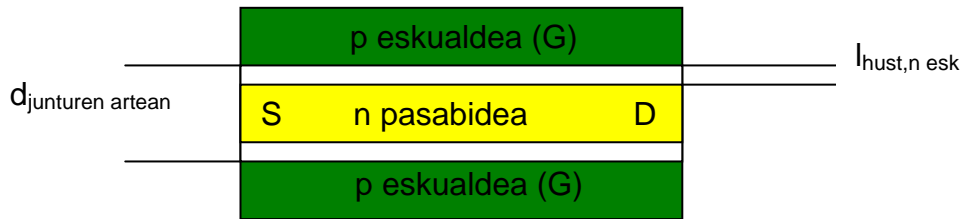
[Ateko korrontea aintzat ez harzeko modukoa denez, $I_D = -I_S$]

OHARRA: (ateko) geziak pn junturako korronteak (zuzenean) hartuko lukeen noranzkoa adierazten digu (n eskualderantz begira dago, beraz).

16.2 Iturri aldeko zabalera kalkulatzeko: atariko tentsioa

Eragingailu horretan, egitura fisikoa dela-eta, drainaren eta iturriaren arteko kanalaren zabalera erraz kontrola daiteke baldin eta pasabidearen inguruan agertzen den hustutako eskualdearen hedapena modulatzeko badugu (ikus 16.5 Irudia). Eta, hori lortzeko, pn junturak alderantziz polarizatu besterik ez dugu egin behar.

$$l_{\text{hustuta n eskualdean}} \approx l_{\text{hustuta}} = l_{\text{orekan}} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T - V_{GS}}{\Phi_T}} = l_{\text{orekan}} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T + |V_{GS}|}{\Phi_T}}$$



16.5 Irudia. Pasabidearen zabalera zehazki

Estutzea azken mugaraino eramanez, hustutako eskualdeek kanal osoa jan dezakete. Horretarako aplikatu beharreko tentsioa atariko tentsioa da.

$$2 \cdot l_{\text{hustuta}} = \text{junturen arteko distantzia} = d \rightarrow V_{GS_{\text{Sitotze}}} = V_T;$$

$$2 \cdot l_{\text{orekan}} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T - V_{GS_{\text{Sitotze}}}}{\Phi_T}} = d \Rightarrow \Phi_T - V_{GS_{\text{Sitotze}}} = \Phi_T \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot l_{\text{orekan}}} \right)^2$$

$$V_{GS_{\text{Sitotze}}} = V_T = \Phi_T \left[1 - \left(\frac{d}{2 \cdot l_{\text{orekan}}} \right)^2 \right]$$

$$V_{GS_{\text{Sitotze}}} \approx -\Phi_T \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot l_{\text{orekan}}} \right)^2 = \frac{-\Phi_T \cdot d^2}{4 \cdot l_{\text{orekan}}^2} = \frac{-\Phi_T \cdot d^2}{4 \cdot \left(\frac{2 \epsilon}{q N_D} \Phi_T \right)} = \frac{-q N_D \cdot d^2}{8 \epsilon}$$

Beraz, tentsio hori nahiko erraz kontrola daiteke .

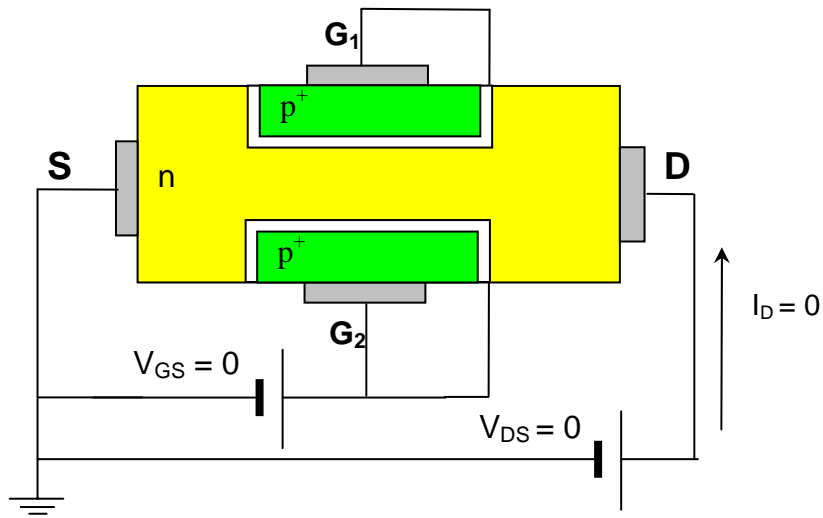
16.3 Funtzionamenduaren oinarriak (n pasabideko JFET transistoretarako)

$V_{GS} > 0$ KASUAN

Kasu horretan, junturak zuzenean polarizatzen ari gara eta nahiko korrante altuak sar daitezke atetik. Hori ez da guk bilatzen dugun funtzionamendua eta, beraz, ez da inoiz erabiltzen. Izan ere, zirkuituaren diseinuak junturak alderantziz polarizatzea ziurtatu behar du.

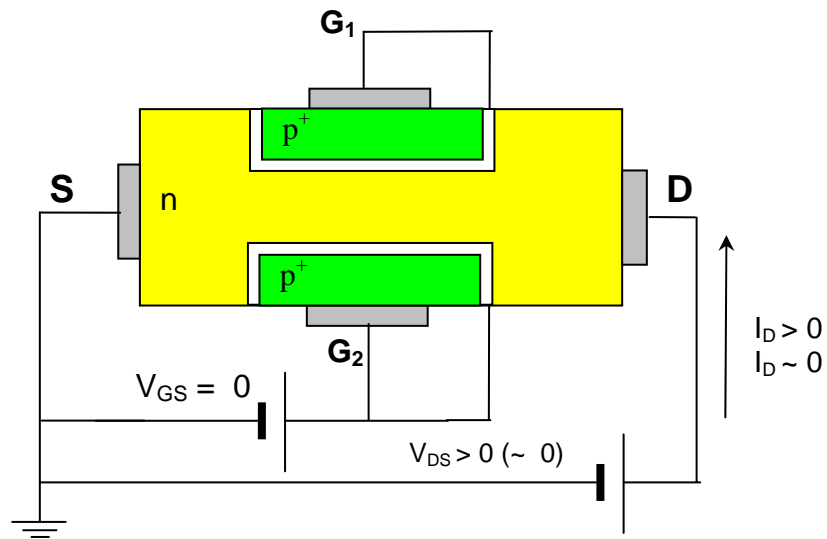
$V_{GS} = 0$ KASUAN

- $V_{DS} = 0$ V: Berez (atean tentsiorik aplikatzen ez dugunean), badago pasabidea (bai eta pn junturako orekako hustutako eskualdea). OREKAN GAUDE.



16.6 Irudia. Pasabidea orekan

- $V_{DS} \downarrow \downarrow$ (hau da, $V_{DS} > 0$, baina txikia denean): aplikatzen den V_{DS} tentsioarekiko proportzionala den korronea lortzen dugu: $I_{DS} = V_{DS} / R_{pasabidea}$ orekan. (ESKUALDE OHMIKO EDO LINEALEAN GAUDE).



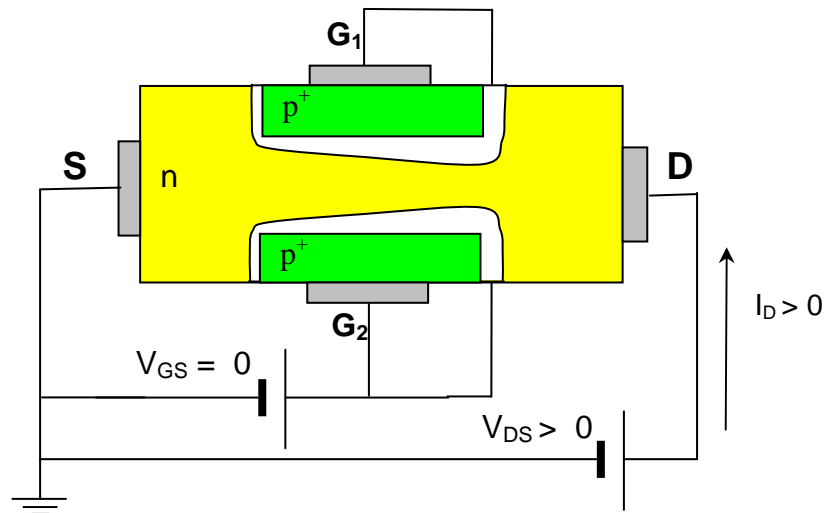
16.7 Irudia. Pasabidea orekaren inguruan

[pasabidearen erresistentzia orekan = erresistibitatea x luzera / orekako sekzioa]

- $V_{DS} \uparrow \downarrow$ (hau da, $V_{DS} > 0$ eta, *ertaina* denean, junturako Φ_T potentzial termodinamikoarekin alderagarria): Drainaren aldean dagoen tentsioa nabarmena denez, junturako polarizazioa nahiko negatiboa (alderantzizkoa) da inguru horretan eta, beraz, hustutako eskualdea zabalagoa da.

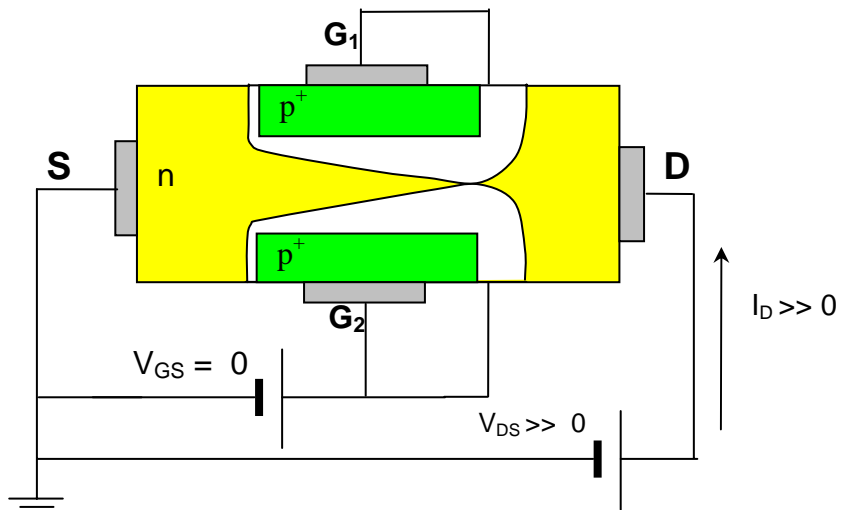
Kanala estutzen denez, erresistentziak gora egiten du eta, beraz, korrontearen igotzeko joera moteltzen da. I-V erlazioa ez da lineala (ESKUALDE GRADUALA).

[pasabidearen erresistentzia > orekako pasabidearen erresistentzia]



16.8 Irudia. Pasabidea estutzen (hustutako eskualdeak zabaltzen)

- $V_{DS} \uparrow \uparrow$ (hau da, $V_{DS} > 0$ eta handia denean): kanala desagertu egiten da (ito edo ziztatu egiten da) V_{DSat} denean ($V_S = 0$ izaten denez, V_{Dsat} bakarrik izendatzen da askotan). Eramailerik gabeko eskualde bat agertu da: oso erresistentzia handikoa, beraz.



16.9 Irudia. Pasabidea itotzen den unea

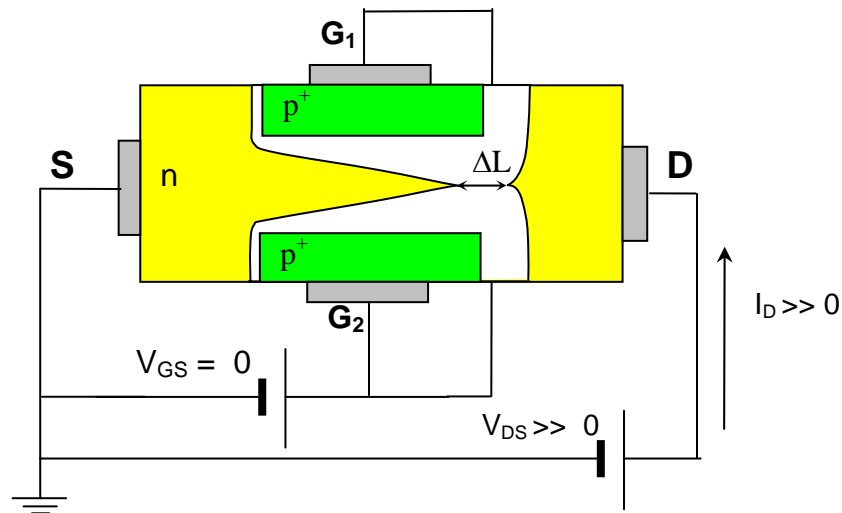
Tentsio horretatik aurrera, V_{DS} tentsioaren igoera (guretzat *soberakina* izango dena) kanalaren hustutako zatian agertuko da MOSFETetan gertatzen zen bezala (zati horren luzera $V_{DS}-V_{DSsat}$ soberakina erortzeko behar dena izango da). Nola?

1. Korronteak hustutako eskualdeko eremuak bultzaturik zeharkatzen du eskualde hori. Eskualde oso erresistiboa baina laburra da, tentsio nahiko altuak ager daitezke distantzia laburrean, hau da, eremu elektriko nahiko altuak.
2. Gainontzeko kanalaren luzera (zabalik mantentzen den kanalaren luzera) nahiko luzea izaten da itotako/hustutako zatiarekin konparatuz, eta, beraz, itotzea gertatu den momentuan zuen geometria gordetzen du: erresistentzia bera $R_{pasabidea}$ ito berria zenean.
3. Argi dagoenez, zabalik geratzen den pasabidearen zatian, V_{DSsat} erortzen da beti. Erresistentzia, gutxi gorabehera $R_{pasabidea}$ ito berria zenean = $k\tau$

V_{DS} zabalik dagoen pasabidean = V_{DSsat} bada, korrontea konstante mantentzen da:

$$I_{Dsat} = \text{asetasuneko korrontea} = V_{DSsat} / R_{pasabidea} \text{ ito berria zenean}$$

$$I_{Dsat} (V_{GS}=0 \text{ denez}) = I_{DSS}$$



16.10 Irudia. Pasabidea ΔL distantzian itota

ASETASUNEAN gaude: kanalak onar dezakeen korronterik altuena pasatzen ari da.

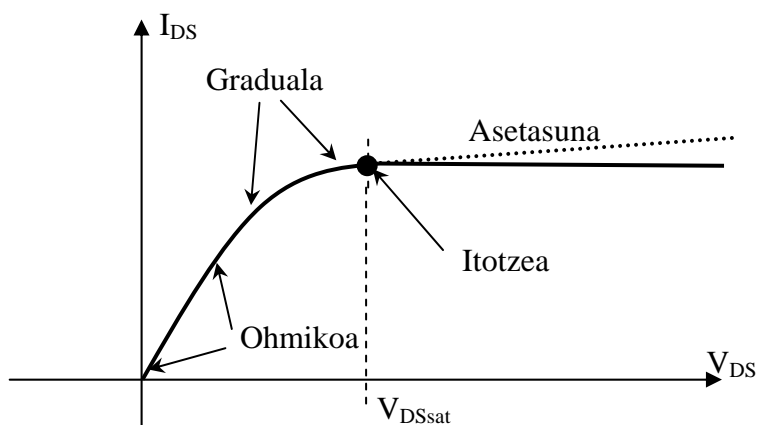
Esan bezala, $\Delta L \ll L \rightarrow L - \Delta L \sim L \rightarrow R_{asetasunean} \sim R_{asetasunera} \text{ sartu berria}$

Egia esan, badakigu $R_{asetasunean} < R_{asetasunera} \text{ sartu berria}$, baina hori izango da nabaria pasabide laburreko JFETetan bakarrik ($\Delta L \ll L$ betetzen ez denean).

Ondorioz, $I_D \sim I_{DSS}$, baina, zehatzak izateko, $I_D > I_{DSS}$ eta I-V ezaugarria ez da guztiz horizontala.

(kasu horretan, $V_{GS} = 0$ V denez, $I_{Dasetasun}$ = I_{DSS})

Guztira lortzen den I-V ezaugarria ($V_{GS} = 0$ tentsioa aplikatuz):



16.11 Irudia. I_{DS} - V_{DS} ezaugarri osoa ($V_{GS} = 0$ denean)

$V_{GS} < 0$ KASUAN

Kualitatiboki, FETak berdin funtzionatzen du $V_{GS} < 0$ aplikatzen denean. Hasierako pasabidearen sekzioan datza desberdintasun bakarra: pn junturen hustutako eskualdeen zabalera txikiagoa izango da. Litekeena da erabat itxita egotea:

[Gogoratu: $V_{GS} = -|V|$ aplikatzean \rightarrow hustutako eskualdea zabaltzen da

$$l_{hustuta \text{ n eskualdean}} \approx l_{hustuta} = l_{orekan} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T - V_{GS}}{\Phi_T}} = l_{orekan} \cdot \sqrt{\frac{\Phi_T + |V_{GS}|}{\Phi_T}}$$

$$V_{GSitotze} = V_T = \Phi_T \left[1 - \left(\frac{d}{2 \cdot l_{orekan}} \right)^2 \right] < 0$$

V_T atariko tentsioa aplikatuz, pasabidea erabat itotzen da].

Aplikatutako V_{GS} tentsioarekin, baldin eta oraindik pasabidea badago:

- $V_{DS} = 0$ V \rightarrow $R_{pasabidea}$, baina $I_D = 0$ A
- $V_{DS} \downarrow \downarrow \rightarrow$ eskualde ohmikoa, $I_D = V_{DS}/R_{pasabidea}$
- $V_{DS} \uparrow \downarrow \rightarrow$ eskualde graduala \rightarrow itotzea lehenago gertatuko da
- $V_{DS} \uparrow \uparrow \rightarrow$ asetasuna

FUNTZIONAMENDUA $V_{GS} < V_T = -|V_T|$ DENEAN

Kanala erabat itota dago → FETa etenik dago, korronterik gabe.

Oharrak:

Itotzea gertatzen den puntuan dagoen tentsioa

Edozein kasutan ($V_{GS} = 0$ zenean ere), itotzea gertatzen den A puntuan (atearekiko) dagoen tentsioa $V_{GA} = V_T$ izango da.

$$V_A = V_{AS} = V_{AG} + V_{GS} = -V_T + V_{GS}$$

Eta puntu horretako junturan dagoen potentziala:

$$\Phi_{A \text{ junturan}} = \Phi_{\text{Torekan}} - |V_{pnA}| = \Phi_{\text{Torekan}} - (-V_T) = \Phi_{\text{Torekan}} + V_T$$

A puntu hori draina izango da hasiera batean:

$$V_{DS} = V_{DSsat} = -V_T + V_{GS}$$

Atearen eta itotzea gertatzen den (lehenengo) puntuaren artean $-|V_T|$ tentsioa izango dugu.

Puntu horretan, junturaren potentziala $\phi = \phi_T - (-|V_T|) = \phi_T + |V_T|$ izango da.

Edo, beste ere batera esanda, $V_{DS} = V_{GS} - V_{GD} > V_{GS} - V_T = V_{Dssat}$

Asetasunaren baldintzak

Asetasunean egoteko, honako hauek beteko dira (n pasabideko JFET batean):

- Kanala iturri aldean irekita edukitzea

$$\rightarrow V_{GS} > -|V_T|$$

- Kanala drainaren inguruetan itota edukitzea

$$\rightarrow V_{GD} < -|V_T|; (V_{DG} > |V_T|), \text{ edo } V_{DS} > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

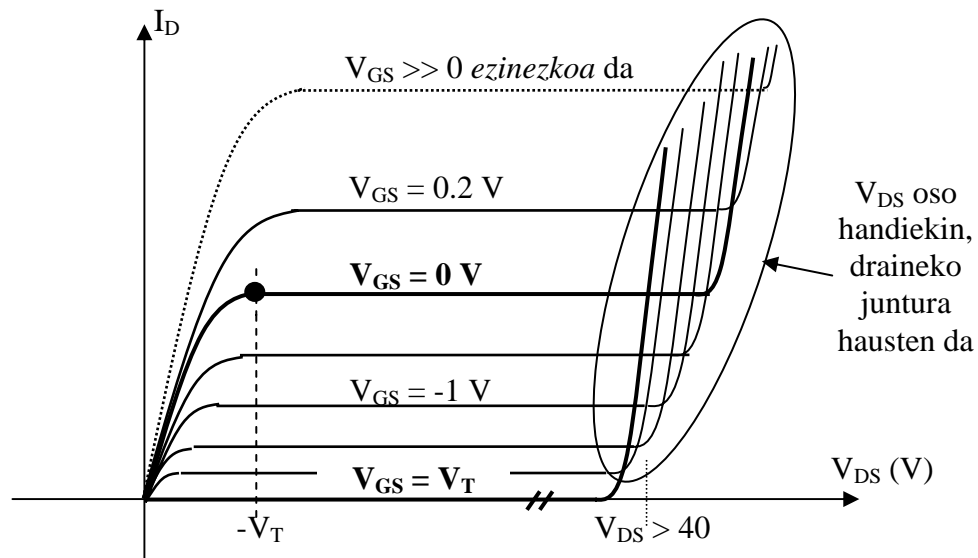
pn junturaren korronteari buruzko bi ohar:

- Gogoratu $V_{GS} > 0$ V denean GS juntura zuzenean jartzen dela.
- Gogoratu V_{GS} (edo V_{GD}) $< -|\text{Breakdown Voltage}|$ tentsioan juntura hausten dela.

Bi kasu horietan, $I_G \neq 0$. Gainontzeko guztietan, atetik ez da korronterik sartzen (gutxi gorabehera).

16.4 I-V ezaugarriak

Efektu hauek guztiak bilduz, 16.12 Irudiko ezaugarria lortzen da.

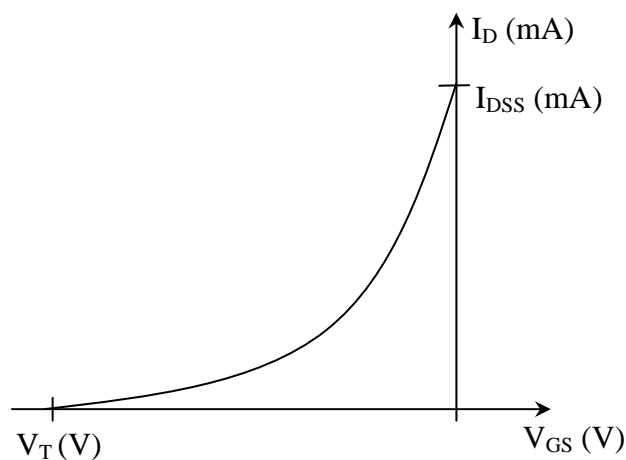


16.12 Irudia. N JFET baten I_D - V_{DS} ezaugarriak zenbait V_{GS} -entzat ($V_T \sim -3$ V)

ASETASUNEAN lortzen den korronea ez dago V_{DS} tentsioaren menpe. Izan ere, **mosfetetan erabiltzen zen formula bera erabiliko da hemen ere:**

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T} \right)^2 \quad \text{non} \quad I_{DSS} = I_{DS\ sat} \Big|_{V_{GS}=0}$$

[I-V erlazioetatik jakin behar dugun adierazpen analitiko bakarra].



16.13 Irudia. N JFET baten I_D - V_{GS} ezaugarria asetasunean ($V_{DS} > V_{DS\ sat} = V_{GS} - V_T = V_{GS} + |V_T|$)

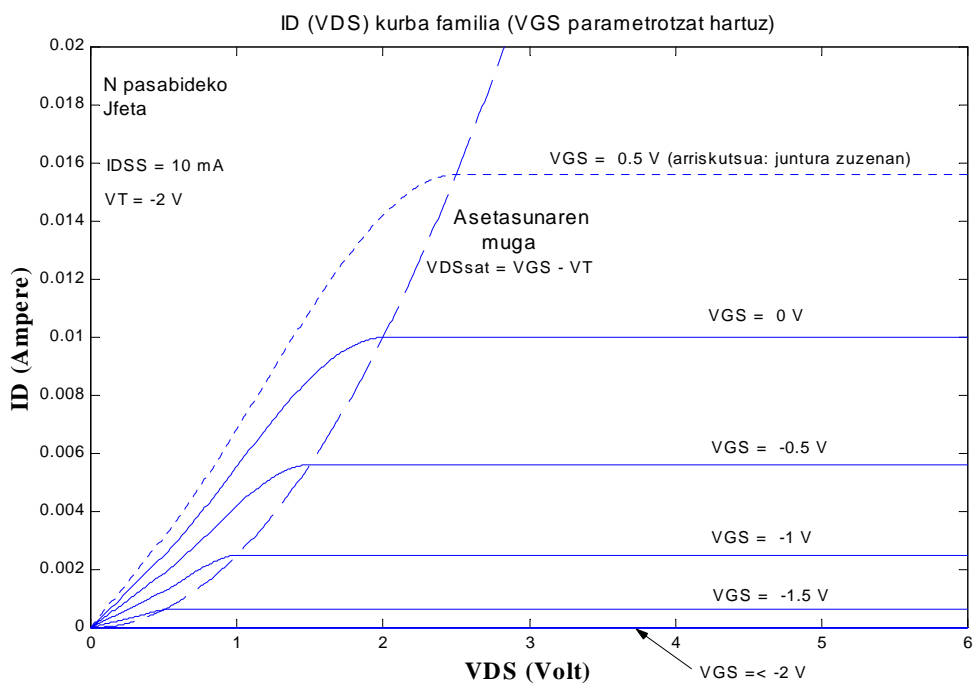
Ikusi dugunez, JFETa eta urritze MOSFETa baliokideak dira. Salbuespen bakarra: JFETetan ezin da orekako pasabidea baino zabalagoa lortu ($V_{GS} < 0$, n pasabidekoetan; $V_{GS} > 0$, p pasabidekoetan).

Aurreko ikasgaien aurkezten genuen beste eredua (SPICE programakoa) hemen ere erabilgarria da:

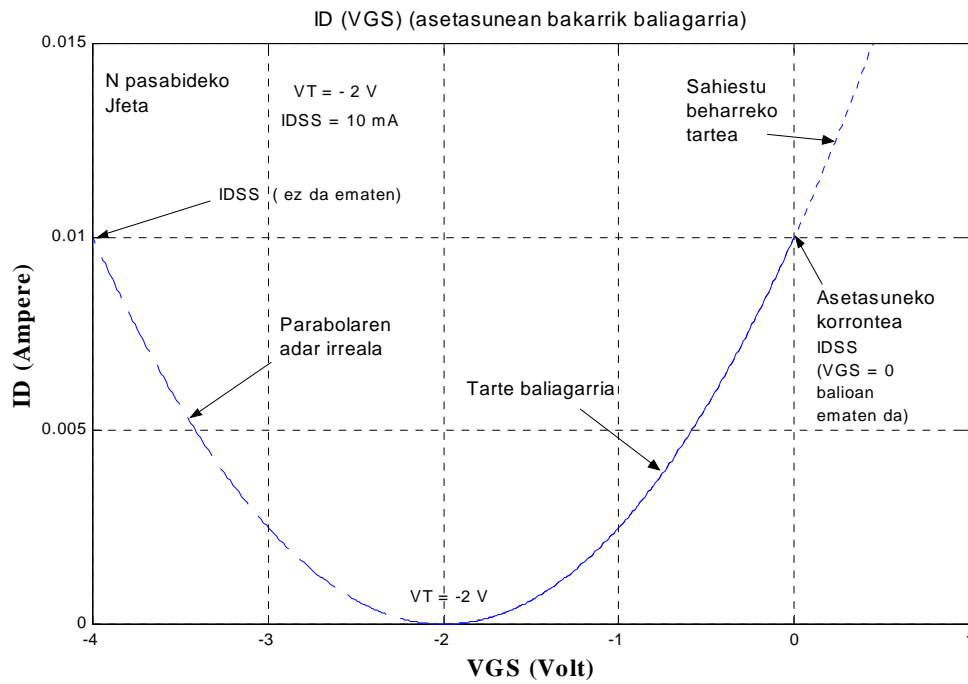
$$I_D = \beta \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS}) (V_{GS} - V_T)^2 = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \Rightarrow I_{DSS} = \beta \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS}) \cdot V_T^2$$

Askotan, $\lambda = 0$, eta $I_{DSS} = \beta \cdot V_T^2$

Hurrengo irudietan, n kanaleko JFET baten ezaugarri idealak aurkezten dira. Haren oinarrizko parametroak honako hauek dira: $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$, $V_T = -2\text{V}$.



16.14 Irudia. N JFET kurba orokorrak



16.15 Irudia. N JFET baten I_D - V_{GS} ezaugarria (asetasunean)