

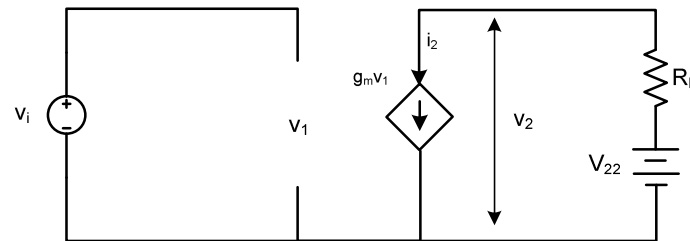
Elektronika Dasar

Pertemuan Ke-10

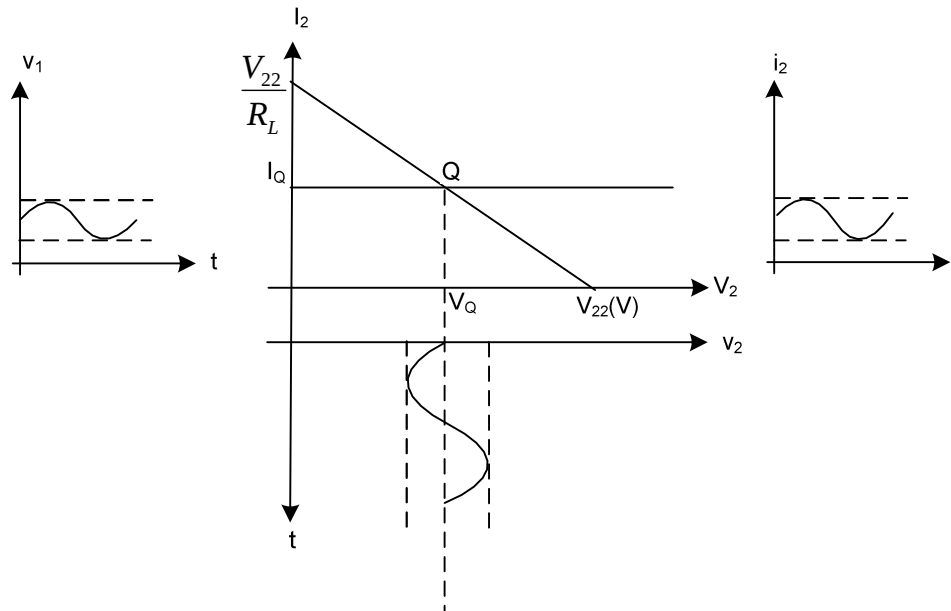
FET (Field Effect Transistor) Transistor Efek Medan

Ideal Voltage-Controlled Current Source

- Representasi :



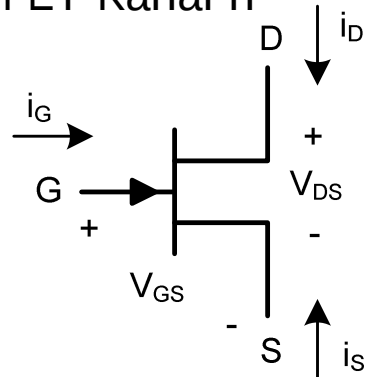
- Karakteristik Volt Ampere :



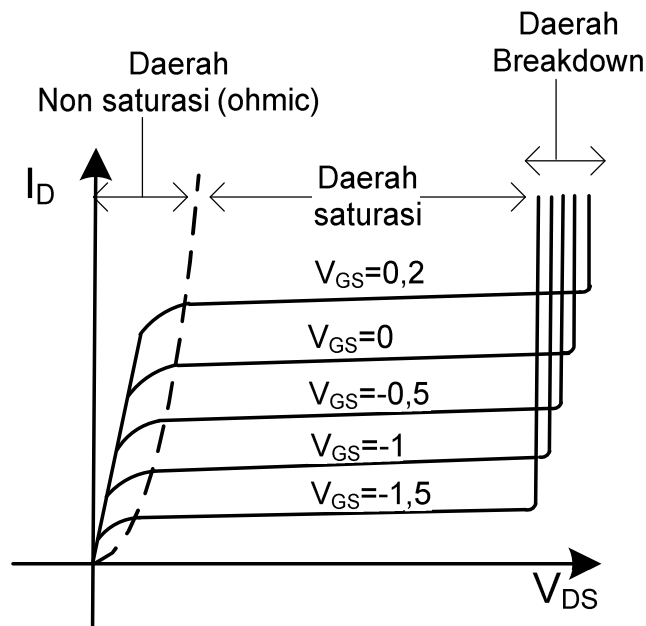
Junction Field Effect Transistor

- Simbol :

- JFET Kanal n

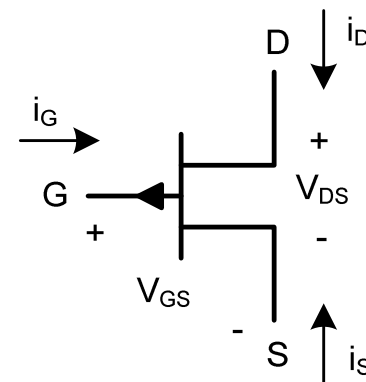


- Karakteristik Volt Ampere JFET



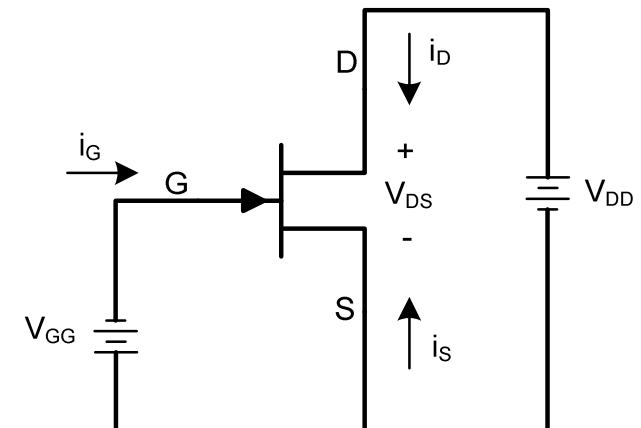
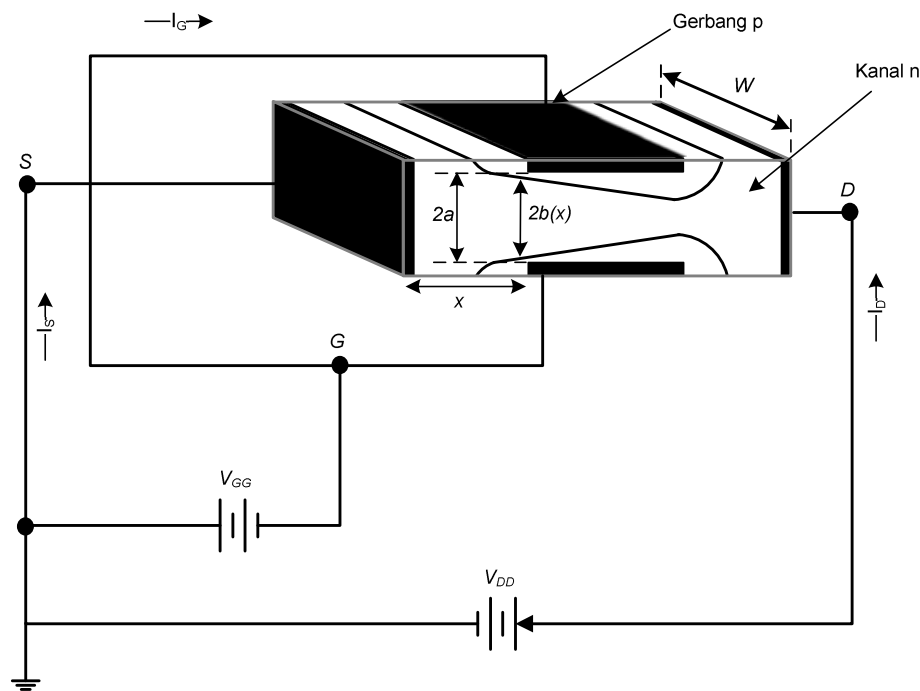
- Simbol :

- JFET Kanal p



Junction Field Effect Transistor

- 4 Kondisi operasi dari JFET :
 1. Kondisi Non saturasi (Ohmic Region)
 2. Kondisi saturasi (pinch off region)
 3. Kondisi Breakdown
 4. Kondisi Cutoff



Junction Field Effect Transistor

- JFET pada kondisi Non saturasi (ohmic region)

- Berlaku :

$$I_D = AqN_D\mu_n E_x = 2bWqN_D\mu_n = 2bqN_D\mu_n \left(\frac{W}{L} \right)$$

- Dimana :

2b = sisa lebar kanal setelah ada depletion region

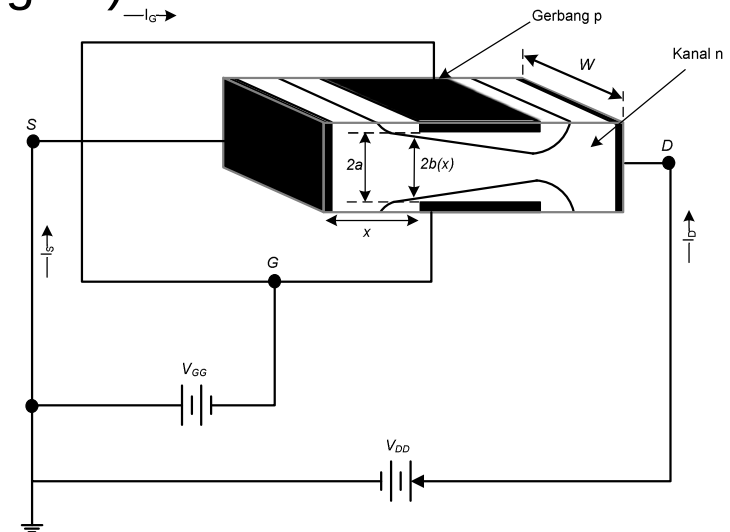
W = lebar

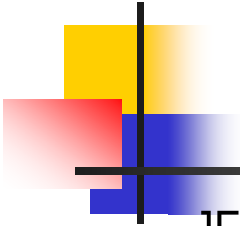
L = Panjang kanal

- Pada kondisi ini JFET akan berperilaku seperti resistor yang nilainya bergantung pada V_{GS}
- I_D bergantung pada W/L yang disebut sebagai faktor skala arus dari JFET
- Rasio perbandingan $\frac{V_{DS}}{I_D} = r_{DS(ON)}$ disebut sebagai ON drain resistance ,

untuk $V_{GS} = 0$ maka $b=a$ dan berlaku :

$$r_{DS(ON)} = \frac{1}{2aqN_D\mu_n} \left(\frac{L}{W} \right)$$





Junction Field Effect Transistor

- JFET pada kondisi Saturasi (Pinch off region)

- Jika $|V_{GS}| < |V_P|$ dan diberikan tegangan pada drain – source (V_{DS}) maka :
 - V_{DS} akan menimbulkan medan listrik E_x sepanjang x yang mengakibatkan lebar kanal $b(x)$ akan mengecil.
 - Pada kondisi ini maka Densitas arus (J) pada JFET :

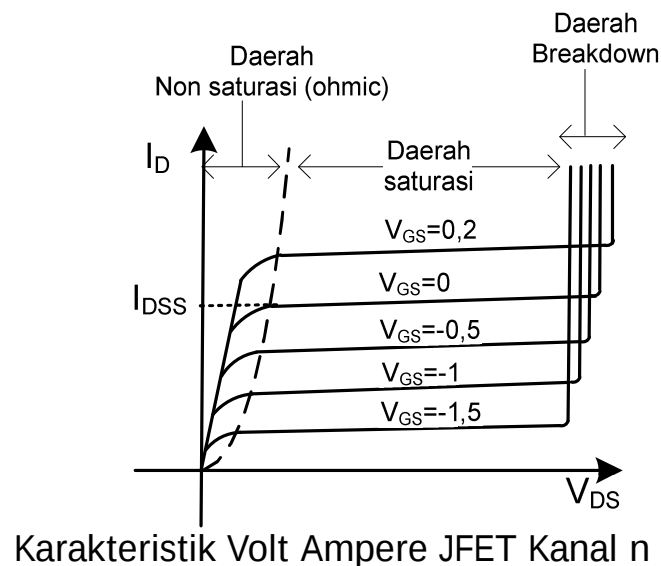
$$J = \frac{I_D}{2b(x)}$$

- Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa selama $|V_{GS}| < |V_P|$ maka total pinch-off ($b=0$) tidak dapat terjadi karena akan mengakibatkan densitas arus yang tak terhingga.
- Karakteristik volt ampere JFET pada daerah saturasi menunjukkan bahwa nilai I_D relatif konstan sehingga dapat disimpulkan bahwa JFET tidak berperilaku sebagai resistor seperti pada daerah non saturasi.
- Saturasi pada JFET mengandung pengertian bahwa terdapat pembatasan jumlah muatan yang yang dipindahkan sehingga I_D nilainya relatif konstan.
- Karena nilai arus I_D relatif konstan maka JFET dapat digambarkan seperti sumber arus tak bebas yang dikendalikan oleh tegangan.

dimana : $V_{GS} = v_1$; $i_2 = I_D$ dan $V_{DS} = v_2$ (lihat gambar ideal voltage – controlled current source)

Junction Field Effect Transistor

- JFET pada kondisi breakdown
 - Nilai tegangan maksimum yang dapat diberikan pada JFET adalah nilai tegangan minimum yang akan mengakibatkan avalanche breakdown.
 - Dari karakteristik volt ampere JFET dapat diketahui bahwa untuk nilai reverse biased V_{GS} yang semakin besar maka kondisi breakdown terjadi untuk nilai V_{DS} yang lebih rendah.
- JFET pada kondisi cutoff
 - Pada kondisi ini maka JFET akan berperilaku seperti open switch
 - Pada kondisi tegangan $|V_{GS}| > |V_P|$, maka $I_D \approx 0$ dan V_{DS} dapat bernilai besar.
- Karakteristik Volt Ampere JFET Kanal N



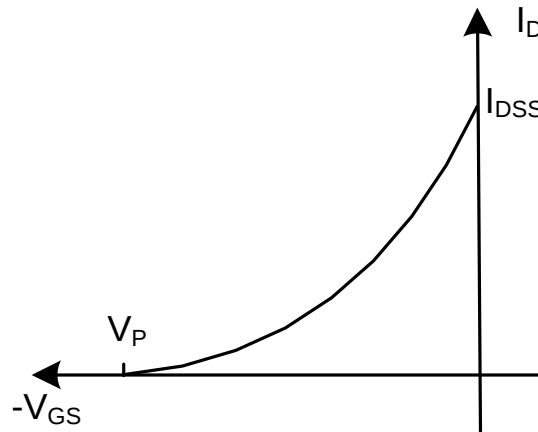
Junction Field Effect Transistor

- Karakteristik fungsi transfer V_{GS} dan I_D JFET Kanal N:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

■ Dimana :

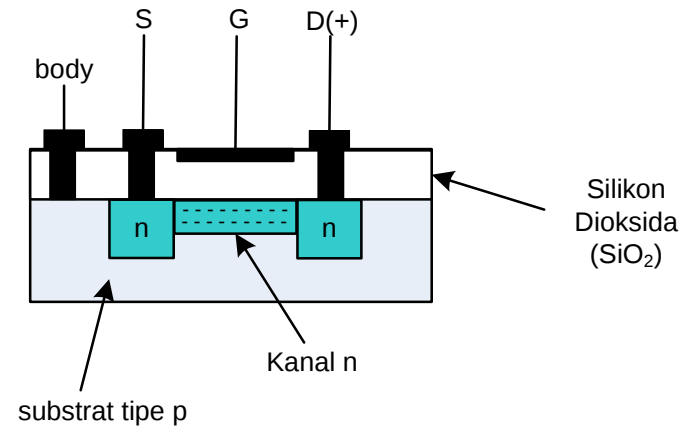
- I_D = Arus drain
- I_{DSS} = arus drain pada JFET dalam kondisi saturasi dengan terminal Gate dan Source di hubung singkat (short circuit)



Karakteristik V_{GS} I_D Pada JFET Kanal n

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Bagan Depletion MOSFET
 - Depletion MOSFET kanal N

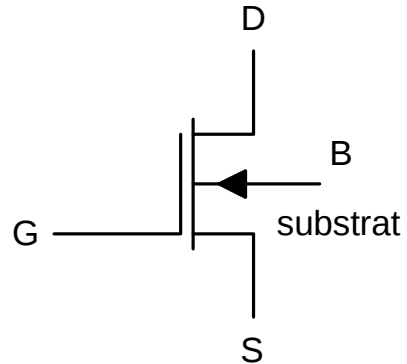


- Fungsi dari oksida logam (misal : silikon dioksida) adalah berfungsi sebagai isolator dan memungkinkan pengendalian karakteristik dari kanal melalui medan listrik yang timbul karena adanya beda potensial antara gate dengan semikonduktor.

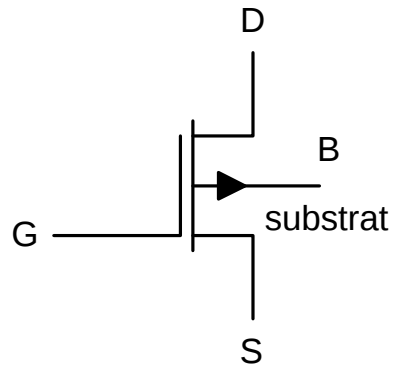


Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

■ Simbol :

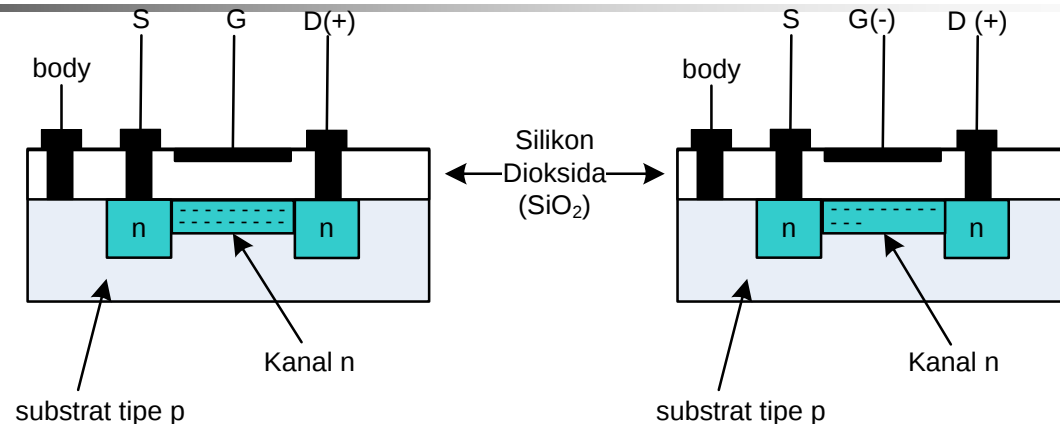


Depletion Mosfet tipe N
(Depletion NMOS)



Depletion Mosfet tipe P
(Depletion PMOS)

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)



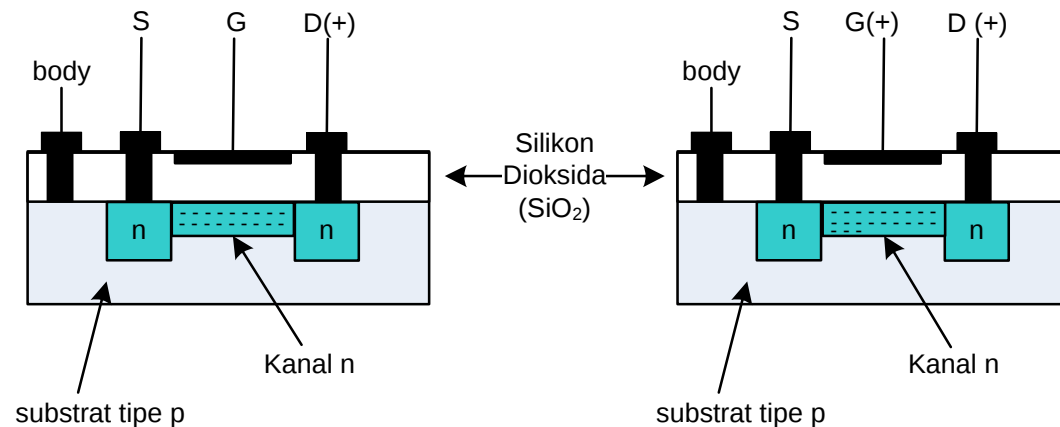
■ Depletion Mosfet kanal n (Depletion NMOS)

■ Mode Pengosongan (Depletion)

- Dari bagan dapat dilihat bahwa bila tegangan V_{GS} semakin negatif maka jumlah muatan dalam kanal akan berkurang sebagai akibat terbentuknya lapisan pengosongan pada kanal
- Nilai V_{GS} negatif yang terbesar yang menyebabkan kanal dikosongkan secara total disebut tegangan threshold (V_T). Kondisi ini serupa dengan kondisi “pinch-off” pada JFET
- Untuk suatu nilai negatif V_{GS} dan ($|V_{GS}| < |V_T|$), maka peningkatan tegangan V_{DS} akan menyebabkan MOSFET berada dalam kondisi saturasi dan I_D akan relatif konstan dan $I_D < I_{DSS}$ (Arus I_D pada saat Gate dan Source dihubungkan singkat)

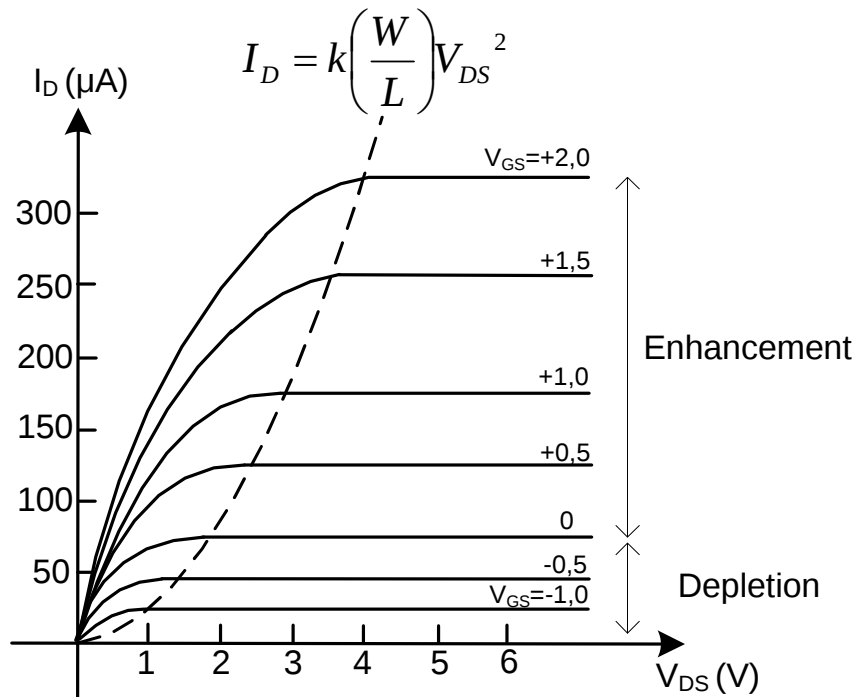
Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Depletion MOSFET kanal n (Depletion NMOS)
 - Mode Peningkatan (Enhancement)
 - Pada model ini maka V_{GS} akan diberikan tegangan positif sehingga jumlah muatan dalam kanal akan bertambah.
 - Untuk suatu nilai V_{GS} positif, peningkatan tegangan V_{DS} akan menyebabkan MOSFET berada dalam kondisi saturasi dan arus I_D akan relatif konstan dan $I_D > I_{DSS}$ (Arus I_D pada kondisi Gate dan source dihubung singkat)



Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

■ Karakteristik Volt Ampere MOSFET kanal N (Depletion NMOS)



• Kondisi Non Saturasi :

$$I_D = k\left(\frac{W}{L}\right)\left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2\right]$$

• Kondisi Saturasi :

$$I_D = k\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_T)^2 \equiv I_{DS}$$

Dimana :

k = process parameter

L = Panjang kanal

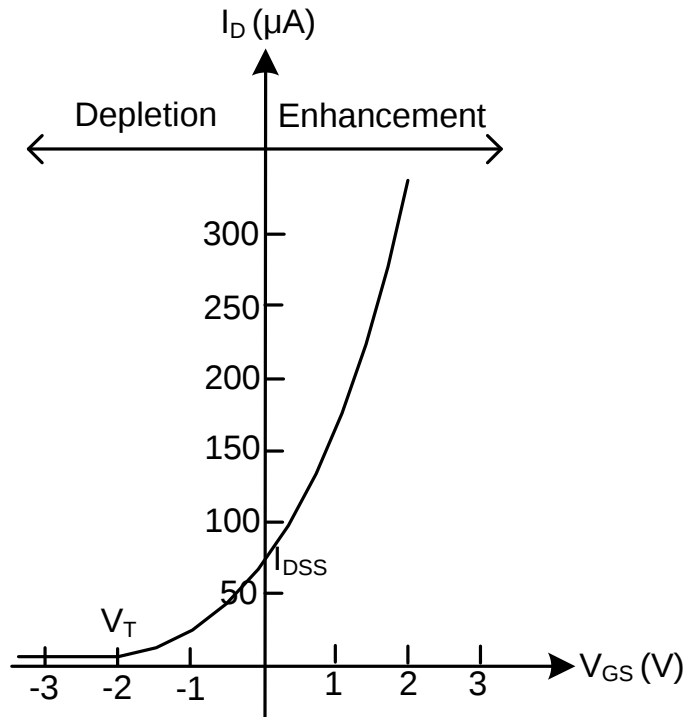
W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

■ MOSFET :

- Jenis : Depletion MOSFET kanal n (Depletion NMOS)
- $k = 20\mu\text{A}/\text{V}^2$; $W/L = 1$; $V_T = -2 \text{ V}$
- Asumsi : channel length modulasi diabaikan sehingga nilai I_D konstan pada kondisi saturasi

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Karakteristik Fungsi transfer V_{GS} dan I_D Depletion MOSFET kanal N



- Kondisi $V_{GS} < V_T$:
 - $I_D \approx 0$
- Kondisi $V_{GS} > V_T$; $V_{DS} = V_{GS} - V_T$; $V_{DS} \geq 0$

- $$I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2$$

Dimana :

k = process parameter

L = Panjang kanal

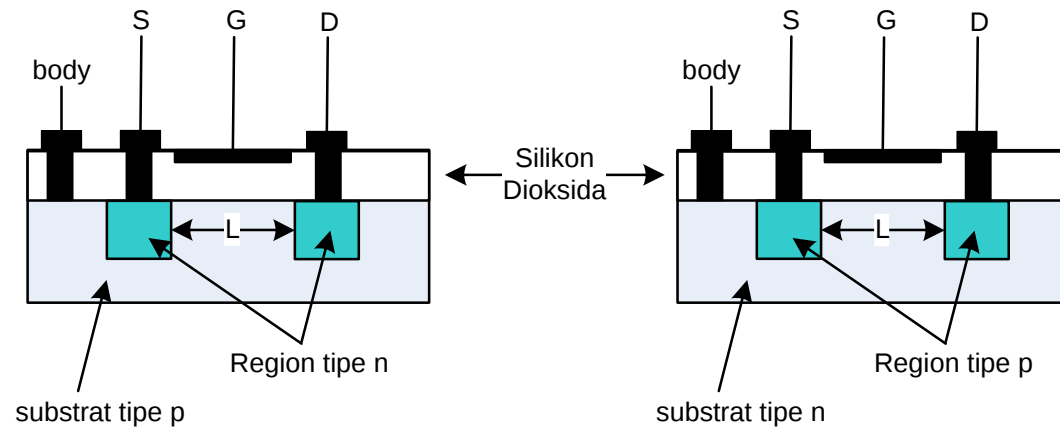
W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

■ MOSFET:

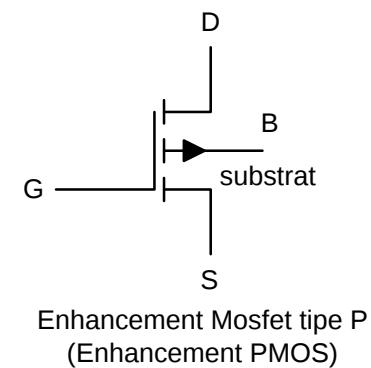
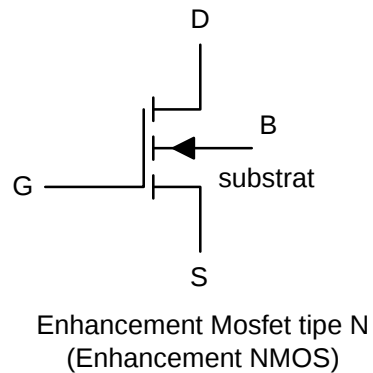
- Depletion MOSFET kanal n (Depletion NMOS)
- $k = 20 \mu A/V^2$; $W/L = 1$; $V_T = -2$ V

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Enhancement MOSFET
 - Bagan Enhancement MOSFET

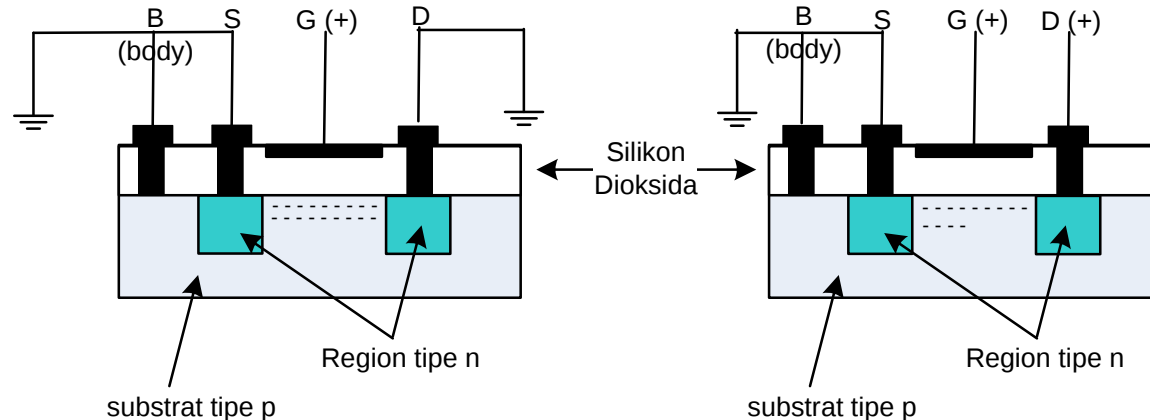


- Simbol :



Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Enhancement MOSFET kanal N (Enhancement PMOS)

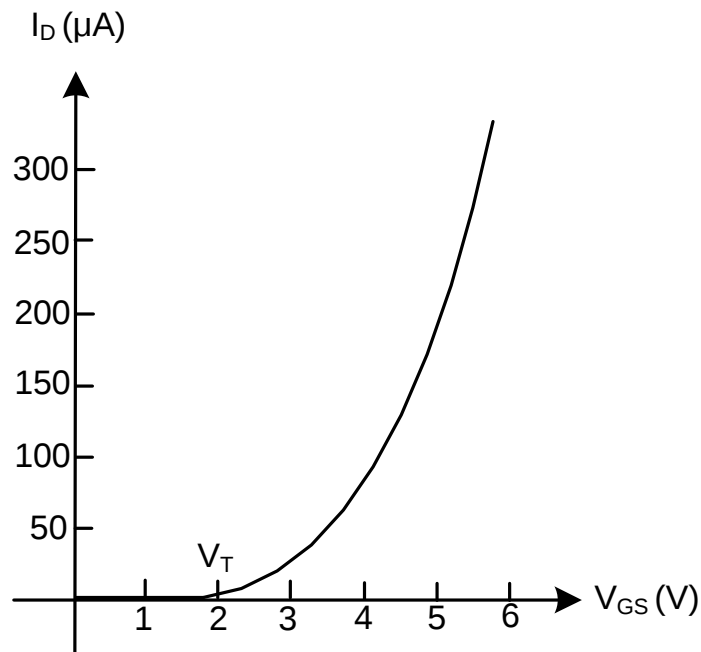


- Enhancement MOSFET Kanal n (Enhancement NMOS)

- Tegangan positif pada Gate akan menginduksikan muatan negatif pada permukaan semikonduktor dan membentuk “lapisan inversi” yang kemudian membentuk kanal n, jika tegangan positif pada Gate lebih besar dari tegangan threshold V_T .
- Jika diberikan tegangan pada Drain ($V_{DS} > 0$) maka arus I_D akan mengalir melalui kanal.
- Jika besar V_{DS} bertambah maka beda potensial antara gate dan drain akan berkurang sehingga akan mengurangi konduktivitas dekat daerah drain, pada kondisi ini maka Enhancement MOSFET akan masuk pada daerah saturasi.
- Pada daerah saturasi nilai I_D akan relatif konstan untuk penambahan nilai V_{DS} .

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Karakteristik Fungsi Transfer V_{GS} dan I_D Enhancement MOSFET kanal n (Enhancement NMOS)



- Kondisi $V_{GS} < V_T$:
 - $I_D \approx 0$
- Kondisi $V_{GS} > V_T$; $V_{DS} = V_{GS} - V_T$; $V_{DS} \geq 0$:
 - $I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2$

Dimana :

k = process parameter

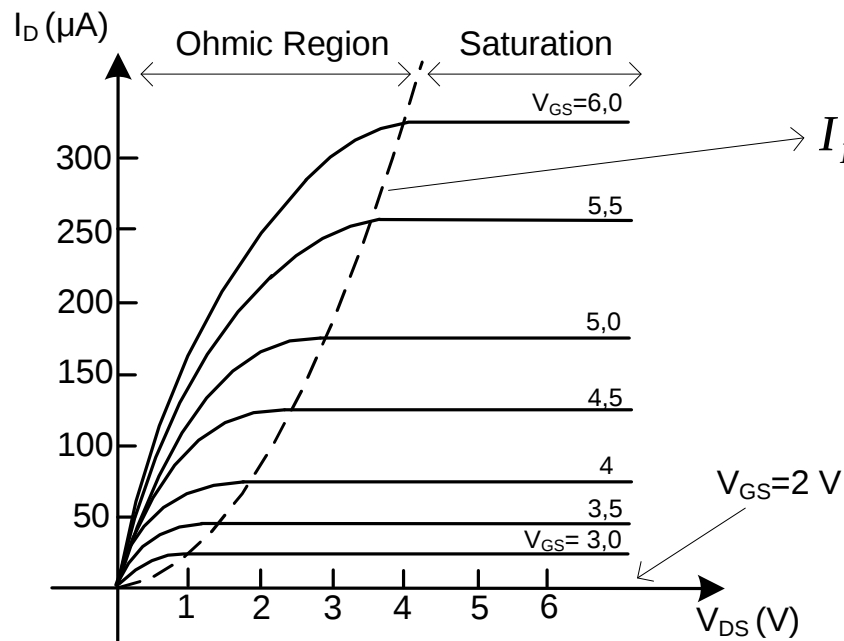
L = Panjang kanal

W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

- Mosfet memiliki :
 - Enhancement MOSFET kanal n (Enhancement NMOS)
 - $k = 20 \mu A/V^2$; $W/L = 1$; $V_T = 2 V$
 - Asumsi : channel length modulasi diabaikan sehingga nilai I_D konstan pada saturasi

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

Karakteristik Enhancement MOSFET kanal n (Enhancement NMOS)



Kondisi Non Saturasi :

$$I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

Kondisi Saturasi :

$$I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2 \equiv I_{DS}$$

Dimana :

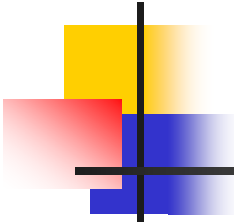
k = process parameter

L = Panjang kanal

W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

Mosfet memiliki :

- Enhancement MOSFET kanal n (Enhancement NMOS)
- $k = 20 \mu\text{A}/\text{V}^2$; $W/L = 1$; $V_T = 2 \text{ V}$
- Asumsi : channel length modulasi diabaikan sehingga nilai I_D konstan pada saturasi



Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

- Enhancement MOSFET

- Kanal N (Enhancement NMOS)

- Dari bagan dan karakteristik volt ampere dapat diketahui bahwa :

- Lapisan inversi (kanal) pada $V_{DS} = 0$ hanya akan muncul jika $V_{GS} > V_T$. Pada $V_{GS} < V_T$ lapisan inversi tersebut tidak akan tersedia dan $I_D = 0$, sehingga V_T adalah serupa dengan tegangan pinch off pada JFET. Kondisi $I_D = 0$ karena $V_{GS} < V_T$ adalah kondisi cut off dari MOSFET.

- Pada kondisi non saturasi (ohmic) maka :

- $(V_{GS} - V_T > V_{DS})$ atau $(V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} > V_T)$

- $$I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

- Dimana :

$k = \text{process parameter} = \left(\frac{\mu_n C_o}{2} \right)$

L = Panjang kanal

W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

μ_n = mobilitas elektron

C_o = gate capacitance (kapasitansi gerbang) per unit area

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

■ Enhancement MOSFET

■ Kanal n (Enhancement NMOS)

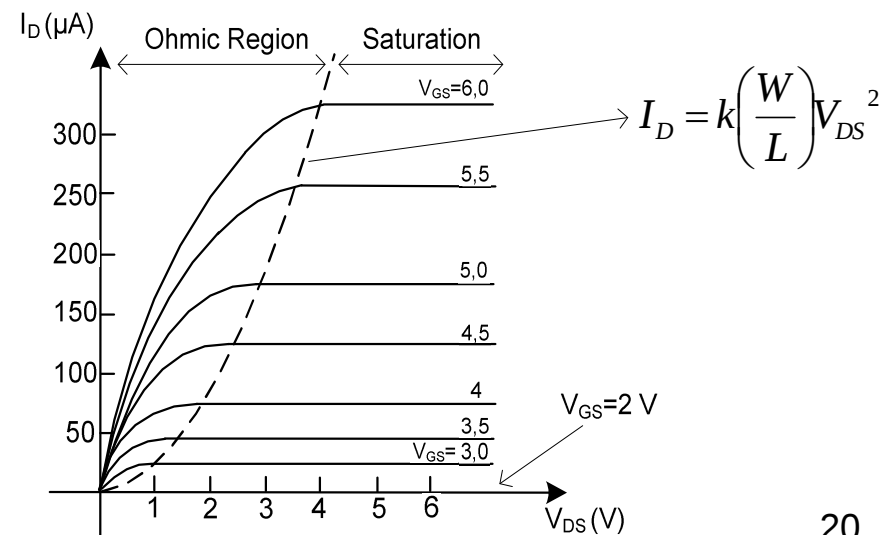
■ Pada daerah saturasi :

- $0 < V_{GS} - V_T < V_{DS}$
- I_D cenderung konstan dan tidak bergantung pada nilai V_{DS} , dan hanya bergantung pada tegangan pengendali ($V_{GS} - V_T$) atau :

$$■ I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2 \equiv I_{DS}$$

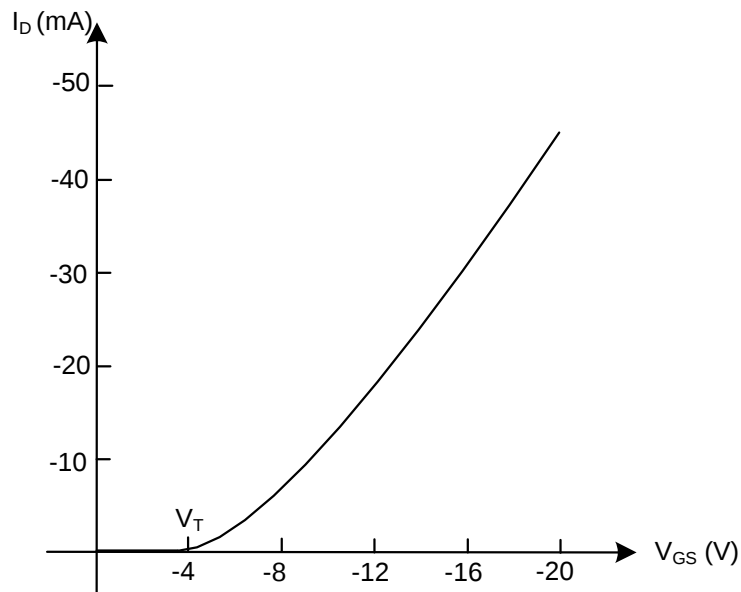
- Garis pembatas daerah ohmic dan saturasi terjadi pada $V_{DS} = V_{GS} - V_T$ dan besar I_D pada tegangan V_{DS} ini adalah :

$$■ I_D = k \left(\frac{W}{L} \right) V_{DS}^2$$



Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

■ Karakteristik Enhancement MOSFET kanal P (Enhancement PMOS)



- Kondisi $V_{GS} > V_T$:
 - $I_D \approx 0$
- Kondisi $V_{GS} < V_T$; $V_{DS} = V_{GS} - V_T$; $V_{DS} \leq 0$:
 - $I_D = -k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2$

Dimana :

k = process parameter

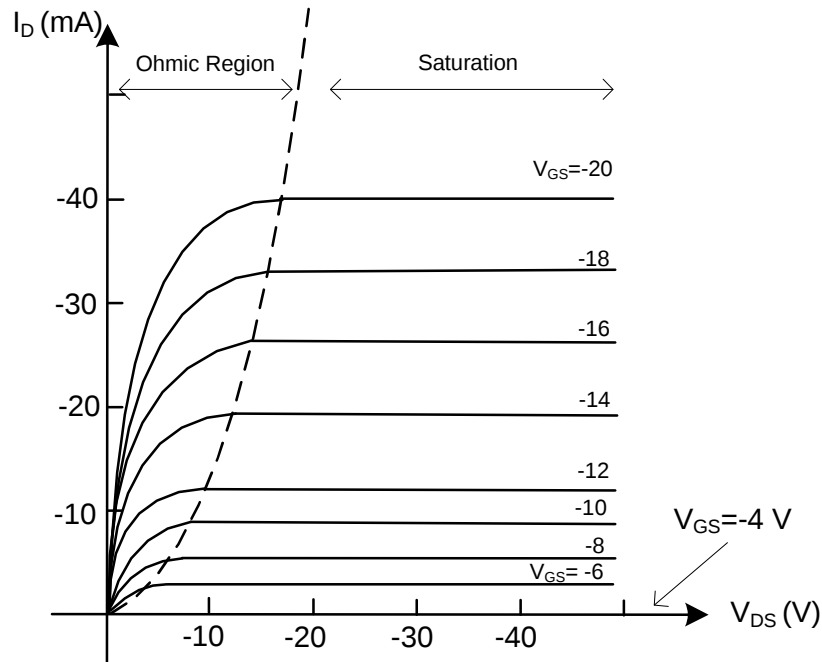
L = Panjang kanal

W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

- Dari kurva karakteristik dapat dilihat bahwa PMOS serupa dengan NMOS dengan polaritas V_{DS} dan I_{DS} yang terbalik, dan pembawa muatan dalam PMOS adalah hole.

Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

■ Karakteristik Enhancement MOSFET kanal P (Enhancement PMOS)



- Kondisi Non Saturasi :

$$I_D = -k \left(\frac{W}{L} \right) \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

- Kondisi Saturasi :

$$I_D = -k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2 \equiv I_{DS}$$

Dimana :

k = process parameter

L = Panjang kanal

W = Lebar kanal dengan panjang kanal L

- Dari kurva karakteristik dapat dilihat bahwa PMOS serupa dengan NMOS dengan polaritas V_{DS} dan I_{DS} yang terbalik, dan pembawa muatan dalam PMOS adalah hole.