

PNPN DEVICES

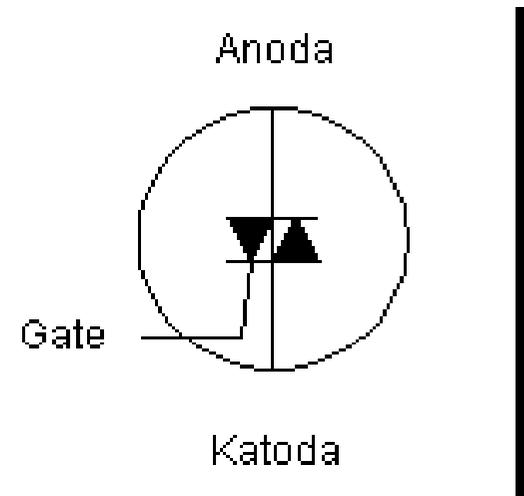
Pertemuan Ke-15

OLEH :

ALFITH, S.Pd, M.Pd

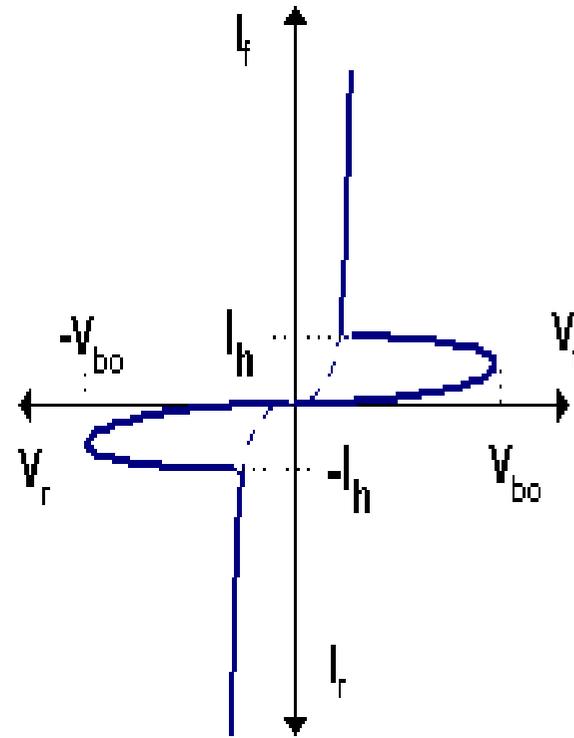
TRIAC

- TRIAC boleh dikatakan SCR adalah thyristor yang uni-directional, karena ketika ON hanya bisa melewatkan arus satu arah saja yaitu dari anoda menuju katoda. Struktur TRIAC sebenarnya adalah sama dengan dua buah SCR yang arahnya bolak-balik dan kedua gate-nya disatukan. Simbol TRIAC ditunjukkan pada gambar-1. TRIAC biasa juga disebut thyristor *bi-directional*.



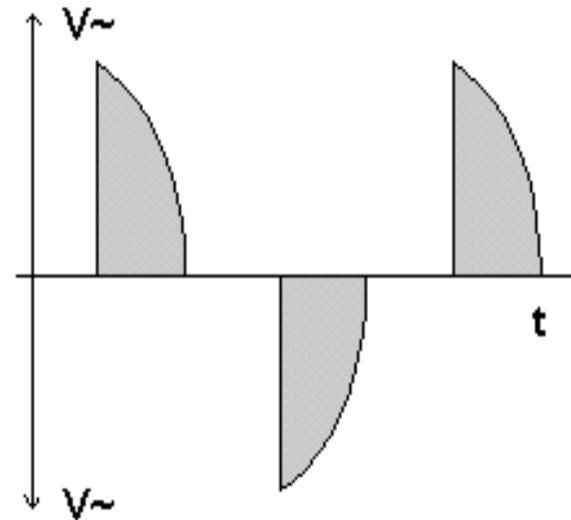
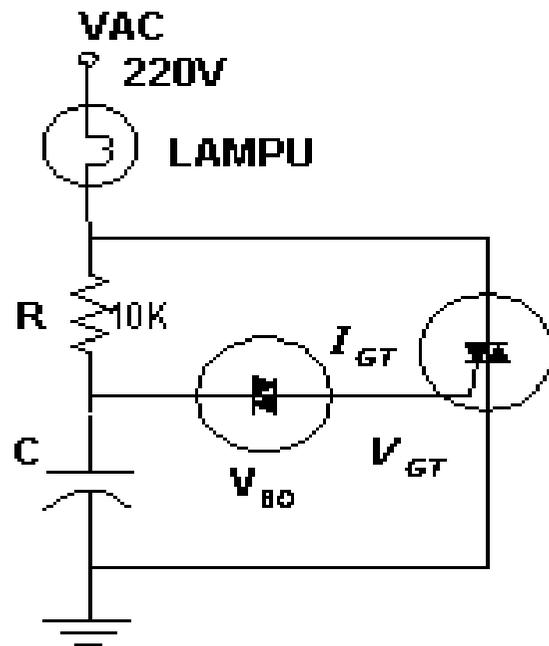
- Gambar 1. Simbol TRIAC

- TRIAC bekerja mirip seperti SCR yang paralel bolak-balik, sehingga dapat melewatkan arus dua arah. Kurva karakteristik dari TRIAC adalah seperti pada gambar-2 berikut ini. Pada datasheet akan lebih detail diberikan besar parameter-parameter seperti **Vbo** dan **-Vbo**, lalu **IGT** dan **-IGT**, **Ih** serta **-Ih** dan sebagainya. Umumnya besar parameter ini simetris antara yang plus dan yang minus. Dalam perhitungan desain, bisa dianggap parameter ini simetris sehingga lebih mudah di hitung.



• Gambar 2
Karakteristik TRIAC

- Contohnya adalah aplikasi dimmer lampu yang berikut pada gambar-3. Jika diketahui IGT dari TRIAC pada rangkaian di atas 10 mA dan $V_{GT} = 0.7$ volt. Lalu diketahui juga yang digunakan adalah sebuah DIAC dengan $V_{BO} = 20$ V, maka dapat dihitung TRIAC akan ON pada tegangan : $V = I_{GT}(R) + V_{BO} + V_{GT} = 120.7$ V
- Pada rangkaian dimmer, resistor R biasanya diganti dengan rangkaian seri resistor dan potensiometer. Di sini kapasitor C bersama rangkaian R digunakan untuk menggeser fasa tegangan VAC. Lampu dapat diatur menyala redup dan terang, tergantung pada saat kapan TRIAC di picu.

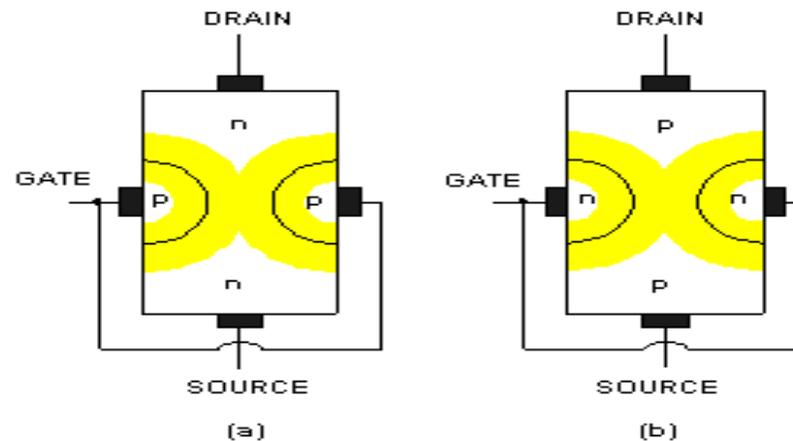


TRANSISTOR FET— JFET & MOSFET

- Transistor Bipolar dinamakan demikian karena bekerja dengan 2 (bi) muatan yang berbeda yaitu elektron sebagai pembawa muatan negatif dan hole sebagai pembawa muatan positif. Ada satu jenis transistor lain yang dinamakan FET (*Field Effect Transistor*). Berbeda dengan prinsip kerja transistor bipolar, transistor FET bekerja bergantung dari satu pembawa muatan, apakah itu elektron atau hole. Karena hanya bergantung pada satu pembawa muatan saja, transistor ini disebut komponen unipolar.
- Umumnya untuk aplikasi linear, transistor bipolar lebih disukai, namun transistor FET sering digunakan juga karena memiliki impedansi input (input impedance) yang sangat besar. Terutama jika digunakan sebagai *switch*, FET lebih baik karena resistansi dan disipasi dayanya yang kecil.
- Ada dua jenis transistor FET yaitu **JFET (*junction FET*)** dan **MOSFET (*metal-oxide semiconductor FET*)**. Pada dasarnya kedua jenis transistor memiliki prinsip kerja yang sama, namun tetap ada perbedaan yang mendasar pada struktur dan karakteristiknya.

TRANSISTOR JFET

Gambar dibawah menunjukkan struktur transistor JFET kanal n dan kanal p. Kanal n dibuat dari bahan semikonduktor tipe n dan kanal p dibuat dari semikonduktor tipe p. Ujung atas dinamakan Drain dan ujung bawah dinamakan Source. Pada kedua sisi kiri dan kanan terdapat implant semikonduktor yang berbeda tipe. Terminal kedua sisi implant ini terhubung satu dengan lainnya secara internal dan dinamakan Gate.

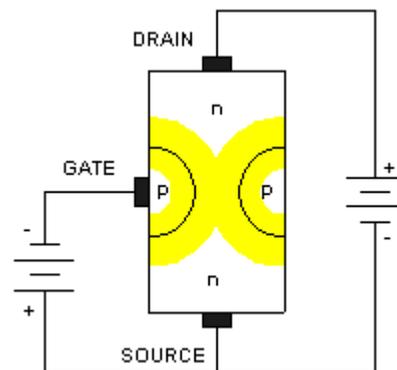


Gambar 1 : Struktur JFET (a) kanal-n (b) kanal-p

- Istilah *field effect* (efek medan listrik) sendiri berasal dari prinsip kerja transistor ini yang berkenaan dengan lapisan deplesi (*depletion layer*). Lapisan ini terbentuk antara semikonduktor tipe n dan tipe p, karena bergabungnya elektron dan hole di sekitar daerah perbatasan. Sama seperti medan listrik, lapisan deplesi ini bisa membesar atau mengecil tergantung dari tegangan antara gate dengan source. Pada gambar di atas, lapisan deplesi ditunjukkan dengan warna kuning di sisi kiri dan kanan.

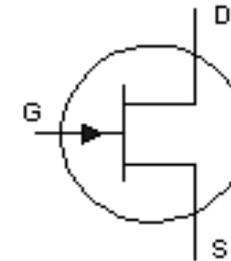
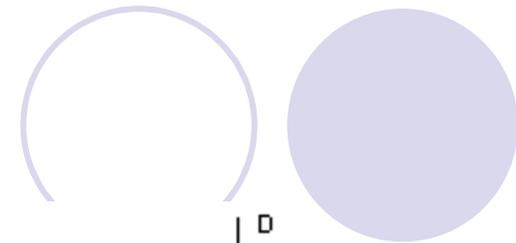
PRINSIP KERJA JFET KANAL-N

- Untuk menjelaskan prinsip kerja transistor JFET lebih jauh akan ditinjau transistor JFET kanal-n. Drain dan Source transistor ini dibuat dengan semikonduktor tipe n dan Gate dengan tipe p. Gambar berikut menunjukkan bagaimana transistor ini di beri tegangan bias. Tegangan bias antara gate dan source adalah tegangan *reverse bias* atau disebut bias negatif. Tegangan bias negatif berarti tegangan gate lebih negatif terhadap source. Perlu catatan, Kedua gate terhubung satu dengan lainnya (tidak tampak dalam gambar). Dari gambar di atas, elektron yang mengalir dari source menuju drain harus melewati lapisan deplesi. Di sini lapisan deplesi berfungsi semacam keran air. Banyaknya elektron yang mengalir dari source menuju drain tergantung dari ketebalan lapisan deplesi. Lapisan deplesi bisa menyempit, melebar atau membuka tergantung dari tegangan gate terhadap source.
- Jika gate semakin negatif terhadap source, maka lapisan deplesi akan semakin menebal. Lapisan deplesi bisa saja menutup seluruh kanal transistor bahkan dapat menyentuh drain dan source. Ketika keadaan ini terjadi, tidak ada arus yang dapat mengalir atau sangat kecil sekali. Jadi jika tegangan gate semakin negatif terhadap source maka semakin kecil arus ya



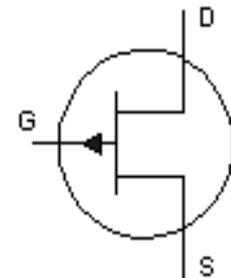
SIMBOL JFET

- Untuk menggambarkan JFET pada skema rangkaian elektronika, bisa dipakai simbol seperti pada gambar di samping berikut. Karena struktur yang sama, terminal drain dan source untuk aplikasi frekuensi rendah dapat dibolak balik. Namun biasanya tidak demikian untuk aplikasi frekuensi tinggi. Umumnya JFET untuk aplikasi frekuensi tinggi memperhitungkan kapasitansi bahan antara gate dengan drain dan juga antara gate dengan source. Dalam pembuatan JFET, umumnya ada perbedaan kapasitansi gate terhadap drain dan antara gate dengan source.



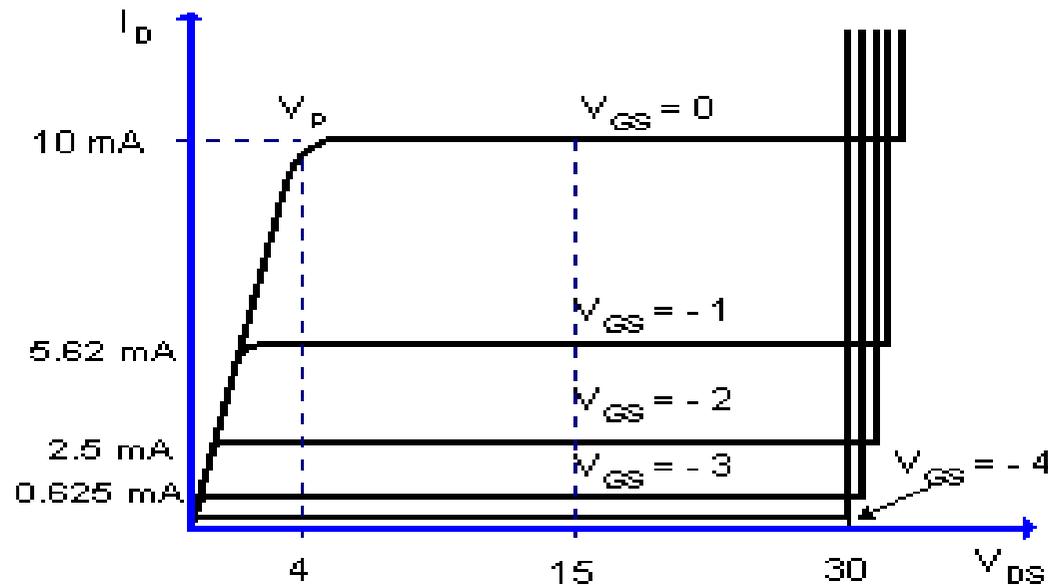
(a)

- JFET Kanal n



- JFET Kanal p

- Jika gate dan source dihubung singkat, maka akan diperoleh arus drain maksimum. Ingat jika **$V_{GS}=0$** lapisan deplesi kiri dan kanan pada posisi yang hampir membuka. Perhatikan contoh kurva drain pada gambar berikut, yang menunjukkan karakteristik **arus drain I_D** dan **tegangan drain-source V_{DS}** . Terlihat arus drain I_D tetap (konstan) setelah V_{DS} melewati suatu besar tegangan tertentu yang disebut **V_p** .
- Pada keadaan ini (**$V_{GS}=0$**) celah lapisan deplesi hampir bersingungan dan sedikit membuka. Arus I_D bisa konstan karena celah deplesi yang sempit itu mencegah aliran arus I_D yang lebih besar. Perumpamaannya sama seperti selang air plastik yang ditekan dengan jari, air yang mengalir juga tidak bisa lebih banyak lagi. Dari sinilah dibuat istilah ***pinchoff voltage* (tegangan jepit)** dengan simbol **V_p** . Arus I_D maksimum ini di sebut **I_{DSS}** yang berarti arus drain-source jika gate dihubung singkat (*shorted gate*). Ini adalah arus maksimum yang bisa dihasilkan oleh suatu transistor JFET dan karakteristik I_{DSS} ini tercantum di datasheet.



- **Daerah Ohmic**

- Pada tegangan V_{DS} antara 0 volt sampai tegangan *pinchoff* $V_P=4$ volt, arus I_D menaik dengan kemiringan yang tetap. Daerah ini disebut daerah Ohmic. Tentu sudah maklum bahwa daerah Ohmic ini tidak lain adalah resistansi drain-source dan termasuk celah kanal diantara lapisan deplesi. Ketika bekerja pada daerah ohmic, JFET berlaku seperti resistor dan dapat diketahui besar resistansinya adalah :

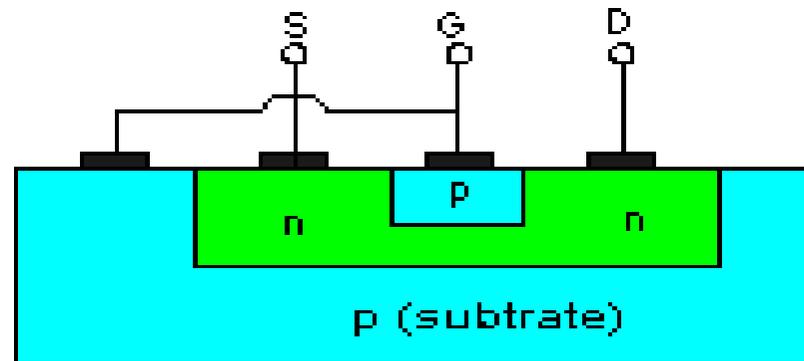
- $R_{DS} = V_p / I_{DSS}$

- R_{DS} disebut *ohmic resistance*, sebagai contoh di dataseet diketahui $V_P = 4V$ dan $I_{DSS} = 10\text{ mA}$, maka dapat diketahui :

- $R_{DS} = 4V / 10mA = 400\text{ Ohm}$

- **Pabrikasi JFET**

- Kalau sebelumnya sudah dijelaskan bagaimana struktur JFET secara teoritis, maka gambar berikut adalah bagaimana sebenarnya transistor JFET-n dibuat.



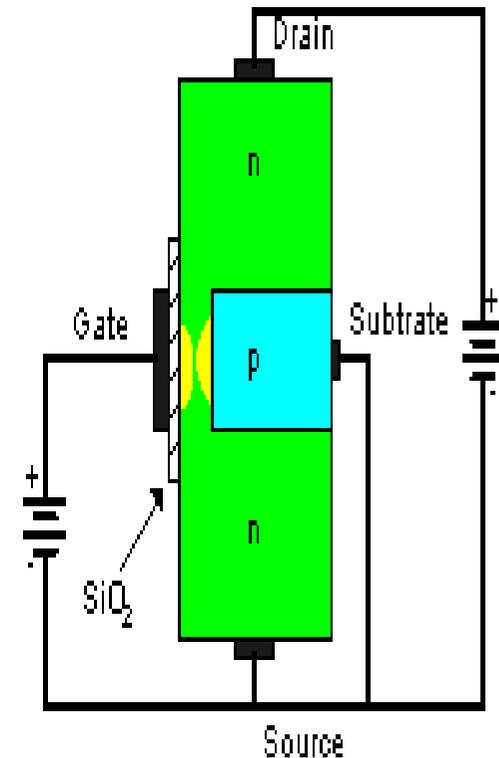
Gambar 7 : Struktur penampang JFET-n

- Transistor JFET-n dibuat di atas satu lempengan semikonduktor tipe-p sebagai **subtrat (*substrate*)** atau dasar (*base*). Untuk membuat kanal n, di atas subtrat di-implant semikonduktor tipe n yaitu dengan memberikan doping elektron. Kanal-n ini akan menjadi drain dan source. Kemudian di atas kanal-n dibuat implant tipe-p, caranya adalah dengan memberi doping p (*hole*). Implant tipe p ini yang menjadi gate. Gate dan subtrat disambungkan secara internal.

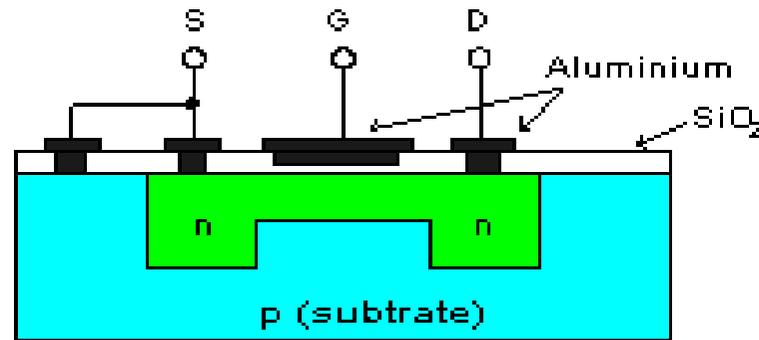
TRANSISTOR MOSFET

Mirip seperti JFET, transistor **MOSFET** (**Metal oxide FET**) memiliki drain, source dan gate. Namun perbedaannya gate terisolasi oleh suatu **bahan oksida**. Gate sendiri terbuat dari bahan **metal** seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena gate yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga **IGFET** yaitu *insulated-gate FET*.

- Ada dua jenis MOSFET, yang pertama jenis **depletion-mode** dan yang kedua jenis **enhancement-mode**. Jenis MOSFET yang kedua adalah komponen utama dari gerbang logika dalam bentuk IC (*integrated circuit*), uC (*micro controller*) dan uP (*micro processor*) yang tidak lain adalah komponen utama dari komputer modern saat ini.



Pabrikasi MOSFET depletion-mode



Gambar 9 : Penampang D-MOSFET (depletion-mode)

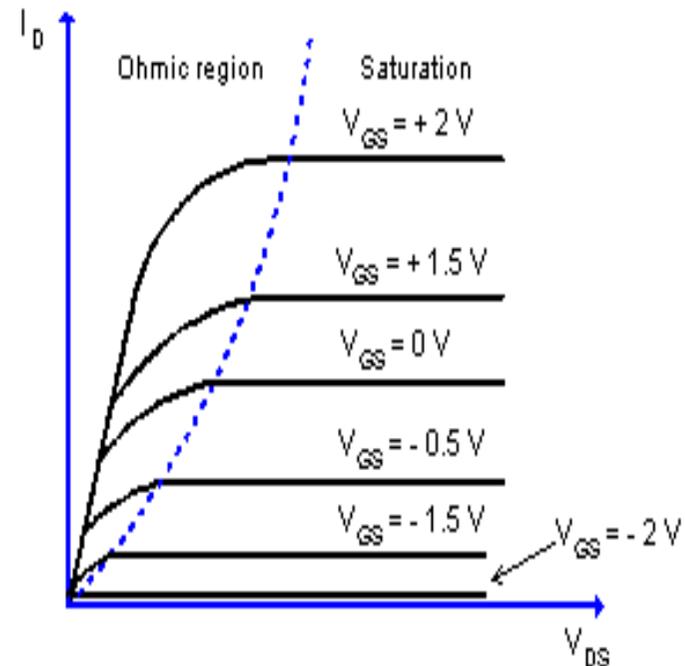
Struktur ini adalah penampang MOSFET *depletion-mode* yang dibuat di atas sebuah lempengan semikonduktor tipe p. Implant semikonduktor tipe n dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat celah kanal tipe n. Kanal ini menghubungkan drain dengan source dan tepat berada di bawah gate. Gate terbuat dari metal aluminium yang diisolasi dengan lapisan SiO₂ (kaca). Dalam beberapa buku, transistor MOSFET *depletion-mode* disebut juga dengan nama **D-MOSFET**.

Kurva drain MOSFET depletion mode

Analisa kurva drain dilakukan dengan mencoba beberapa tegangan gate VGS konstan, lalu dibuat grafik hubungan antara arus drain ID terhadap tegangan VDS.

Dari kurva ini terlihat jelas bahwa transistor MOSFET *depletion-mode* dapat bekerja (**ON**) mulai dari tegangan VGS negatif sampai positif. Terdapat dua daerah kerja, yang pertama adalah **daerah ohmic** dimana resistansi drain-source adalah fungsi dari : $R_{DS(on)} = V_{DS}/I_{DS}$

Jika tegangan VGS tetap dan VDS terus dinaikkan, transistor selanjutnya akan berada pada **daerah saturasi**. Jika keadaan ini tercapai, arus IDS adalah konstan. Tentu saja ada tegangan VGS(max), yang diperbolehkan. Karena jika lebih dari tegangan ini akan dapat merusak isolasi gate yang tipis alias merusak transistor itu sendiri.



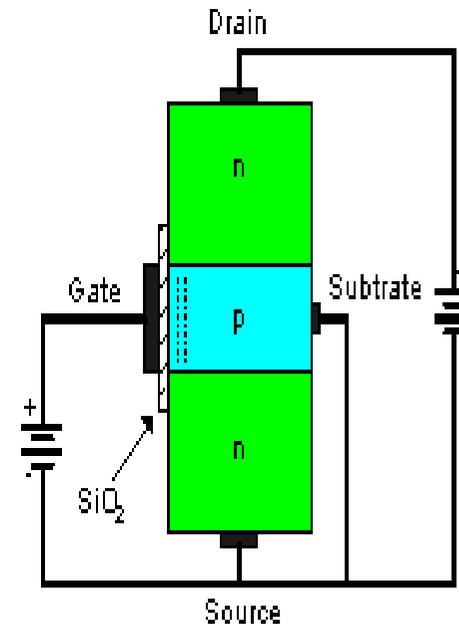
Gambar Kurva drain transistor MOSFET depletion-mode

MOSFET Enhancement-mode

Jenis transistor MOSFET yang kedua adalah MOSFET *enhancement-mode*.

Transistor ini adalah evolusi jenius berikutnya setelah penemuan MOSFET *depletion-mode*. Gate terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 sama seperti transistor MOSFET *depletion-mode*.

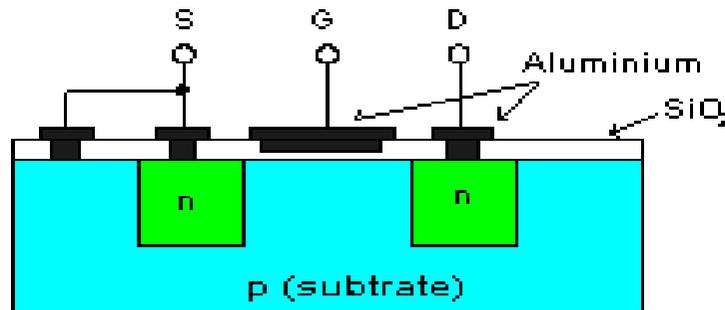
Perbedaan struktur yang mendasar adalah, subtrat pada transistor MOSFET *enhancement-mode* sekarang dibuat sampai **menyentuh gate**, seperti terlihat pada gambar berikut ini.



● Gambar Struktur MOSFET *enhancement-mode*

Pabrikasi MOSFET enhancement-mode

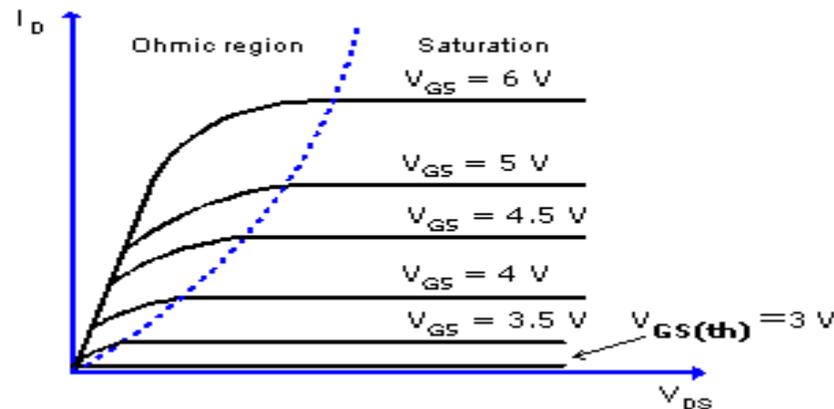
- Transistor MOSFET *enhancement mode* dalam beberapa literatur disebut juga dengan nama **E-MOSFET**.



Gambar : Penampang E-MOSFET (enhancement-mode)

- Gambar diatas adalah bagaimana transistor MOSFET *enhancement-mode* dibuat. Sama seperti MOSFET *depletion-mode*, tetapi perbedaannya disini tidak ada kanal yang menghubungkan drain dengan source. Kanal n akan terbentuk (*enhanced*) dengan memberi tegangan V_{GS} diatas tegangan *threshold* tertentu. Inilah struktur transistor yang paling banyak di terapkan dalam IC digital.

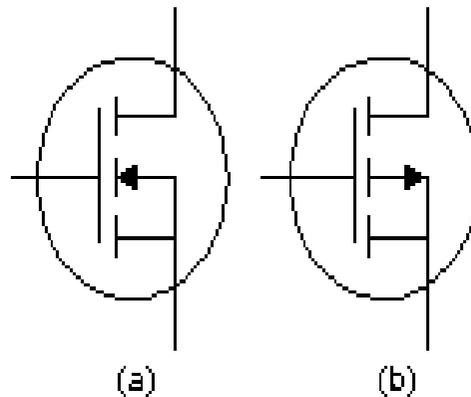
Kurva Drain MOSFET enhancement-mode



- Karena transistor MOSFET umumnya digunakan sebagai saklar (*switch*), parameter yang penting pada transistor E-MOSFET adalah resistansi drain-source. Biasanya yang tercantum pada datasheet adalah resistansi pada saat transistor ON. Resistansi ini dinamakan $R_{DS(on)}$. Besar resistansi bervariasi mulai dari 0.3 Ohm sampai puluhan Ohm. Untuk aplikasi *power switching*, semakin kecil resistansi $R_{DS(on)}$ maka semakin baik transistor tersebut. Karena akan memperkecil rugi-rugi disipasi daya dalam bentuk panas. Juga penting diketahui parameter arus drain maksimum $I_{D(max)}$ dan disipasi daya maksimum $P_{D(max)}$.

Symbol Transistor MOSFET

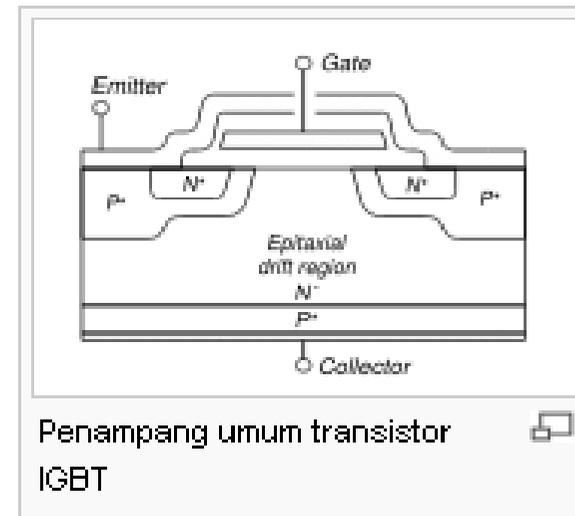
- Garis putus-putus pada simbol transistor MOSFET menunjukkan struktur transistor yang terdiri drain, source dan subtrat serta gate yang terisolasi. Arah panah pada subtrat menunjukkan type lapisan yang terbentuk pada subtrat ketika transistor ON sekaligus menunjukkan type kanal transistor tersebut.



Gambar Simbol MOSFET, (a) kanal-n (b) kanal-p

TRANSISTOR IGBT

IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipolar (BJT) dan sebuah transistor efek medan (MOSFET). Jenis divais baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an.

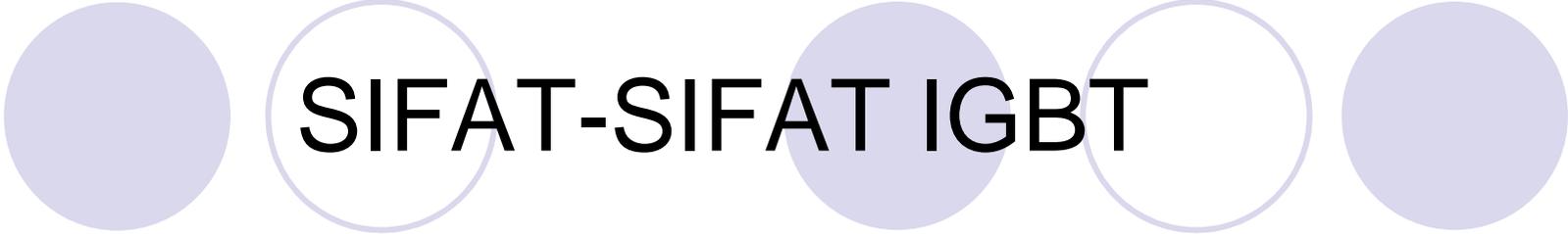


KARAKTERISTIK IGBT

- Sesuai dengan namanya, divais baru ini merupakan divais yang menggabungkan struktur dan sifat-sifat dari kedua jenis transistor tersebut di atas, BJT dan MOSFET. Dengan kata lain, IGBT mempunyai sifat kerja yang menggabungkan keunggulan sifat-sifat kedua jenis transistor tersebut. Terminal gate dari IGBT, sebagai terminal kendali juga mempunyai struktur bahan penyekat (insulator) sebagaimana pada MOSFET.
- Input dari IGBT adalah terminal *Gate* dari MOSFET, sedang terminal *Source* dari MOSFET terhubung ke terminal *Basis* dari BJT. Dengan demikian, arus drain keluar dari MOSFET akan menjadi arus basis dari BJT. Karena besarnya tahanan masuk dari MOSFET, maka terminal input IGBT hanya akan menarik arus yang kecil dari sumber. Di pihak lain, arus drain sebagai arus keluaran dari MOSFET akan cukup besar untuk membuat BJT mencapai keadaan saturasi. Dengan gabungan sifat kedua elemen tersebut, IGBT mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah saklar elektronik. Di satu pihak IGBT tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya.

- Terminal masukan IGBT mempunyai nilai impedansi yang sangat tinggi, sehingga tidak membebani rangkaian pengendalinya yang umumnya terdiri dari rangkaian logika. Ini akan menyederhanakan rancangan rangkaian pengendali (*controller*) dan penggerak (*driver*) dari IGBT.
- Di samping itu, kecepatan pensaklaran IGBT juga lebih tinggi dibandingkan divais BJT, meskipun lebih rendah dari divais MOSFET yang setara. Di lain pihak, terminal keluaran IGBT mempunyai sifat yang menyerupai terminal keluaran (kolektor-emitter) BJT.

- Dengan kata lain, pada saat keadaan menghantar, nilai tahanan menghantar (*R_{on}*) dari IGBT sangat kecil, menyerupai *R_{on}* pada BJT
- Dengan demikian bila tegangan jatuh serta lesapan dayanya pada saat keadaan menghantar juga kecil. Dengan sifat-sifat seperti ini, IGBT akan sesuai untuk dioperasikan pada arus yang besar, hingga ratusan Ampere, tanpa terjadi kerugian daya yang cukup berarti. IGBT sesuai untuk aplikasi pada perangkat Inverter maupun Kendali Motor Listrik (*Drive*).



SIFAT-SIFAT IGBT

Komponen utama di dalam aplikasi elektronika daya (power electronics) dewasa ini adalah saklar zat padat (solid-state switches) yang diwujudkan dengan peralatan semikonduktor seperti transistor bipolar (BJT), transistor efek medan (MOSFET), maupun thyristor. Sebuah saklar ideal di dalam aplikasi elektronika daya akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Pada saat keadaan tidak menghantar (off), saklar mempunyai tahanan yang besar sekali, mendekati nilai tak berhingga. Dengan kata lain, nilai arus bocor struktur saklar sangat kecil
2. Sebaliknya, pada saat keadaan menghantar (on), saklar mempunyai tahanan menghantar (R_{on}) yang sekecil mungkin. Ini akan membuat nilai tegangan jatuh (*voltage drop*) keadaan menghantar juga sekecil mungkin, demikian pula dengan besarnya daya lesapan (*power dissipation*) yang terjadi, dan (kecepatan pensaklaran (*switching speed*) yang tinggi.