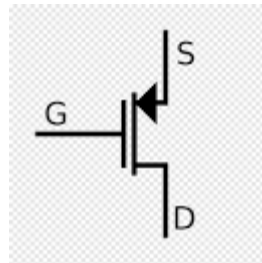


Pembahasan

A. MOS (Metal Oxide Semiconductor)



Transistor MOS adalah komponen semikonduktor yang digunakan dalam rangkaian elektronika untuk mengendalikan aliran arus listrik melalui pengendalian medan listrik. Transistor MOS adalah salah satu jenis transistor efek medan yang menggunakan lapisan semikonduktor MOS dalam struktur perangkatnya. Transistor MOS terdiri dari tiga bagian utama: Source, Drain, dan Gate. Ketika tegangan pada Gerbang melebihi ambang batas, terbentuk kanal penghantar yang memungkinkan arus listrik mengalir. Jika tegangan pada Gerbang lebih rendah dari ambang batas, kanal penghantar tidak terbentuk, dan arus listrik terhenti. Transistor MOS adalah komponen kunci dalam desain sirkuit digital dan memiliki simbol MOSFET yang khas.

MOSFET, singkatan dari Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, adalah transistor yang paling umum digunakan dalam sirkuit digital dan analog. MOSFET terdiri dari kanal yang terbuat dari bahan semikonduktor tipe-N dan tipe-

P, yang dikenal sebagai NMOSFET dan PMOSFET. Diciptakan oleh Mohamed M. Atalla (kiri) dan Dawon Kahng pada (kanan) tahun 1959



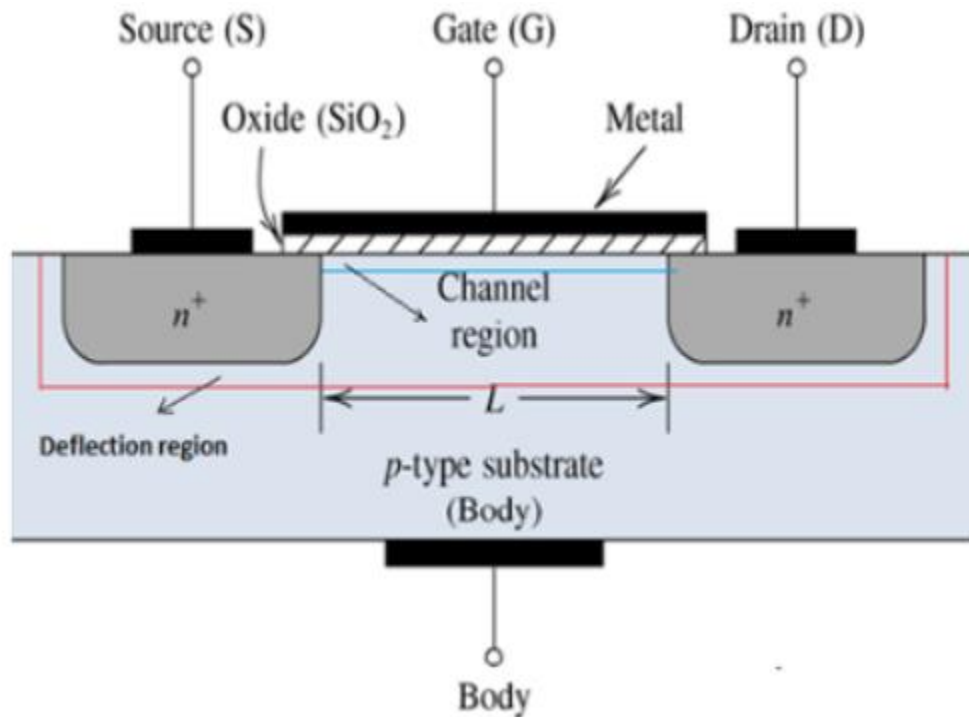
MOSFET telah menjadi perangkat pembangun dasar dalam elektronika modern. Sejak diperkenalkan pada Juni 1960, MOSFET telah diproduksi dalam jumlah yang sangat besar, sekitar 13 sekstiliun MOSFET antara tahun 1960 dan 2018.



MOSFET telah menjadi perangkat semikonduktor yang dominan dalam sirkuit terpadu (IC) digital dan analog, serta umum digunakan sebagai perangkat daya. Miniaturisasi MOSFET telah memungkinkan produksi massal untuk berbagai bentuk aplikasi, memainkan peran penting dalam revolusi digital, era silikon, dan era informasi. Perkembangan teknologi MOSFET yang terus berlanjut sejak tahun 1960-an telah memfasilitasi perkembangan teknologi semikonduktor elektronik yang cepat, termasuk produksi chip memori dan mikroprosesor berkepadatan tinggi.

MOSFET telah merevolusi industri elektronika dengan menyediakan solusi semikonduktor yang efisien dan serbaguna untuk berbagai aplikasi di era modern.

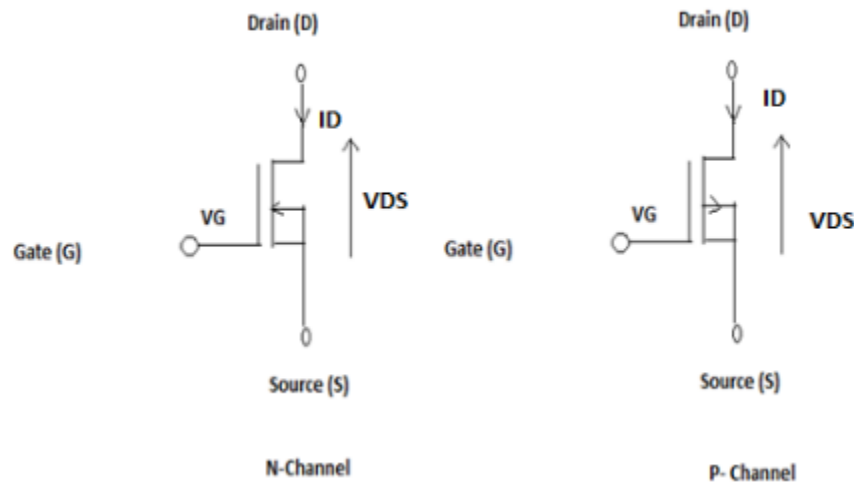
Mari kita bahas secara lebih rinci mengenai setiap bagian fisik MOSFET:



- 1) Substrate (Substrat): Substrat MOSFET adalah bagian dasar yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon. Substrat ini dapat memiliki tipe doping yang berbeda, yaitu tipe P (positive) atau tipe N (negative), tergantung pada jenis MOSFET yang digunakan.
- 2) Gate (Gerbang): Gerbang MOSFET terletak di antara substrat dan saluran. Gerbang ini terisolasi dari saluran oleh lapisan tipis oksida (biasanya oksida silikon). Gerbang MOSFET biasanya terhubung ke sumber tegangan untuk mengendalikan aliran arus dalam saluran.

- 3) Channel (Saluran): Saluran MOSFET adalah jalur konduktif antara sumber (source) dan drain. Ketika tegangan diberikan pada gerbang MOSFET, medan listrik yang terbentuk di dalam oksida akan mempengaruhi saluran dan mengontrol aliran arus antara source dan drain. Jika gerbang MOSFET diberi tegangan yang memadai, saluran akan menjadi konduktif, memungkinkan aliran arus.
- 4) Drain (Drain): Drain MOSFET terletak di satu sisi saluran MOSFET, berlawanan dengan sumber. Drain berfungsi sebagai terminal untuk mengambil atau mengeluarkan arus listrik dari saluran MOSFET. Ketika tegangan diberikan pada gerbang, arus listrik akan mengalir melalui saluran dan keluar melalui terminal drain.
- 5) Source (Sumber): Source MOSFET terletak di sisi saluran MOSFET yang berlawanan dengan drain. Source adalah terminal dari mana arus listrik memasuki saluran MOSFET. Ketika tegangan diberikan pada gerbang, arus listrik akan mengalir dari source melalui saluran dan menuju ke drain.
- 6) Body (Tubuh): Body MOSFET adalah bagian dari substrat MOSFET yang berada di bawah saluran dan terisolasi dari gerbang oleh lapisan oksida. Biasanya, body MOSFET terhubung ke sumber atau drain untuk menstabilkan potensial pada substrat. Dalam MOSFET tipe-P, body biasanya berasal dari substrat tipe-P, sedangkan dalam MOSFET tipe-N, body biasanya berasal dari substrat tipe-N.

B. nMOS dan pMOS



nMOS adalah jenis transistor MOS yang menggunakan kanal penghantar n-type semikonduktor. Ketika tegangan yang diterapkan pada Gerbang bernilai tinggi (di atas ambang batas), kanal penghantar n-type terbentuk dan memungkinkan arus listrik mengalir dari Source ke Drain. Dalam keadaan ini, nMOS dinyalakan dan digunakan sebagai saklar elektronik. nMOS menggunakan substrat semikonduktor tipe p (p-substrate) sebagai bahan dasar. Di atas substrat, terdapat lapisan tipis oksida (oxide layer) yang berfungsi sebagai gate dielectric. Kemudian, terdapat lapisan konduktif (polysilicon) sebagai gate, dan dua daerah semikonduktor tipe n (source dan drain) yang mengapit kanal semikonduktor.

Prinsip kerja pMOS ialah ketika tegangan negatif diberikan ke terminal gerbang (gate), medan listrik yang berlawanan terbentuk di bawah gate oxide. Medan ini mengubah sifat konduktif kanal semikonduktor antara source dan drain. Jika tegangan gerbang mencapai atau melebihi ambang tegangan negatif (threshold

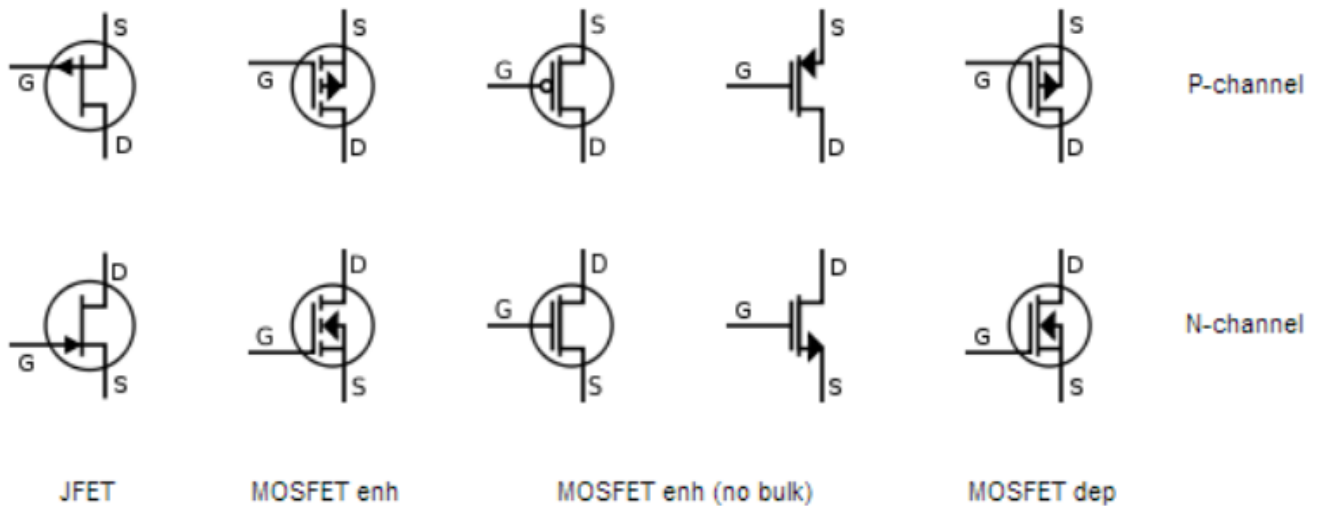
voltage), kanal semikonduktor menjadi konduktif dan mengizinkan aliran arus dari drain ke source. Ketika tegangan gerbang rendah atau positif, kanal semikonduktor menjadi non-konduktif dan menghentikan aliran arus.

1 Prinsip kerja nMOS

- Ketika tegangan positif diberikan ke terminal gerbang (gate), sebuah medan listrik terbentuk di bawah lapisan oksida gerbang. Medan ini mempengaruhi sifat konduktif dari saluran semikonduktor antara sumber (source) dan drain.
- Jika tegangan gerbang mencapai atau melebihi ambang tegangan (threshold voltage), saluran semikonduktor menjadi konduktif dan memungkinkan aliran arus dari source ke drain.
- Namun, jika tegangan gerbang rendah atau negatif, saluran semikonduktor menjadi non-konduktif dan menghentikan aliran arus.

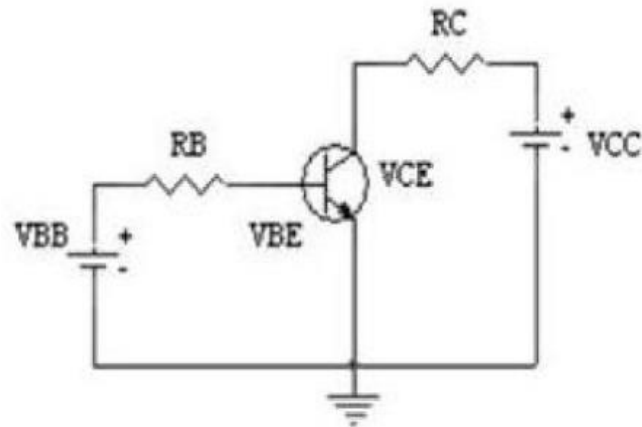
2 Prinsip kerja pMOS

- Ketika tegangan yang diterapkan pada gerbang memiliki nilai rendah (di bawah ambang batas), kanal penghantar tipe p terbentuk dan memungkinkan arus listrik mengalir dari source ke drain. Dalam kondisi ini, pMOS dinyalakan dan digunakan sebagai saklar elektronik.
- pMOS memiliki struktur yang mirip dengan nMOS, tetapi dengan kebalikan polaritasnya. pMOS menggunakan substrat semikonduktor tipe n (n-substrate), lapisan oksida gerbang, gerbang, dan daerah semikonduktor tipe p (source dan drain).

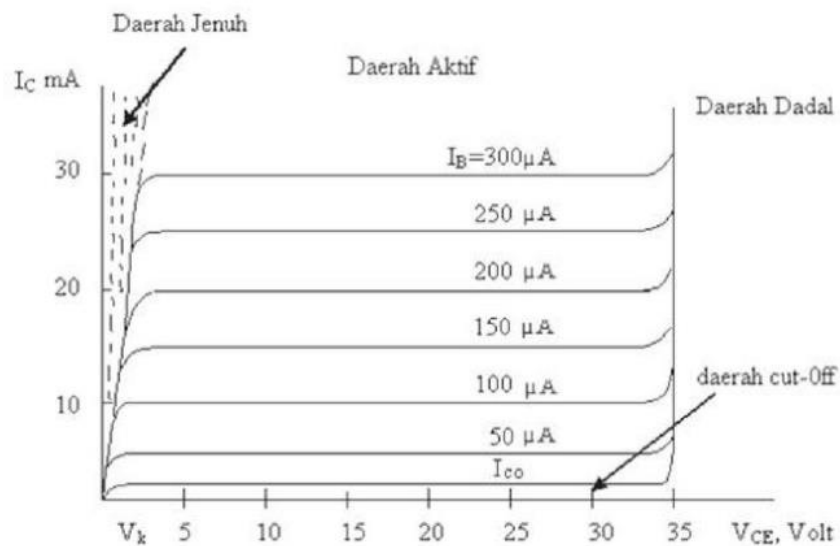


Kedua jenis MOSFET, konduktivitas kanal semikonduktor diatur oleh tegangan gerbang. nMOS bekerja dengan tegangan positif pada gerbang untuk mengaktifkan aliran arus, sementara pMOS bekerja dengan tegangan negatif pada gerbang. Dengan prinsip kerjanya yang berbeda dari nMOS, pMOS digunakan dalam implementasi logika CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) di mana nMOS dan pMOS digabungkan untuk menciptakan sirkuit logika yang lebih kompleks.

C. Mengenal Wilayah Operasi Transistor



Wilayah operasi transistor adalah kisaran tegangan dan arus di mana transistor dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Terdapat beberapa wilayah operasi utama pada transistor, yaitu wilayah aktif, *cut-off*, jenuh, dan potong:

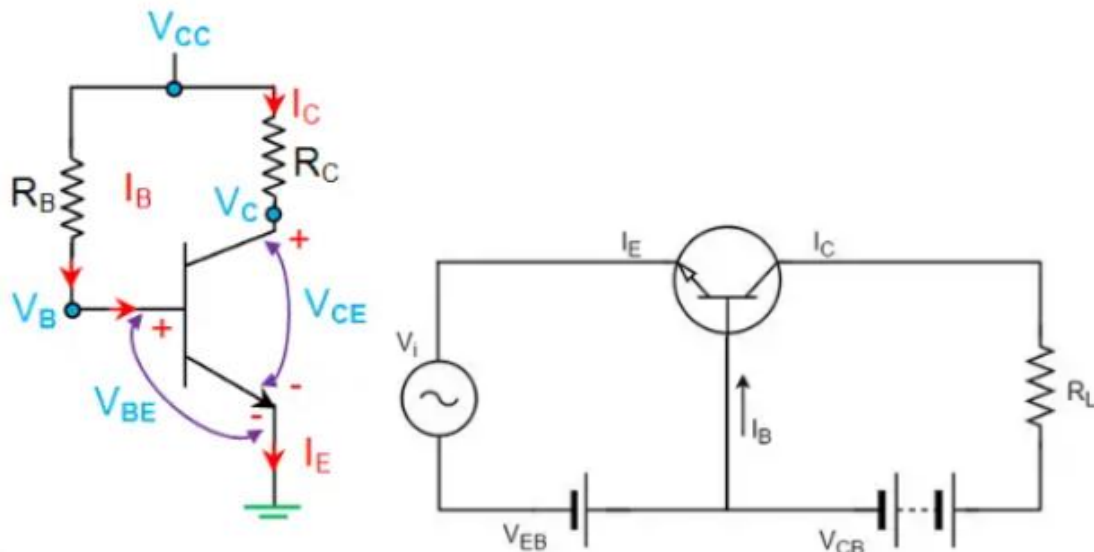


1. Wilayah Cut-off: Pada wilayah ini, transistor berada dalam kondisi mati (off). Tegangan antara basis dan emitor transistor bipolar atau tegangan antara gate dan source transistor MOSFET berada di bawah ambang tegangan (threshold voltage). Dalam kondisi ini, tidak ada arus yang mengalir melalui transistor.
2. Wilayah Aktif: Wilayah ini juga dikenal sebagai wilayah linier atau wilayah penggunaan normal. Transistor beroperasi dengan arus dan tegangan yang berada pada tingkat yang diinginkan. Transistor bipolar beroperasi dalam wilayah ini saat arus basis cukup besar sehingga menghasilkan arus kolektor dan tegangan kolektor-emitor yang terkendali. Pada transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan gate-source lebih tinggi dari ambang tegangan dan menghasilkan aliran arus drain-source yang terkendali.
3. Wilayah Jenuh: Pada wilayah ini, transistor beroperasi dengan arus dan tegangan yang mencapai batas maksimum yang diizinkan. Pada transistor bipolar, wilayah ini terjadi ketika arus basis melebihi arus jenuh (saturation current) dan menyebabkan jenuhnya arus kolektor. Pada transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan gate-source lebih tinggi dari ambang tegangan dan arus drain-source mencapai batas maksimum.
4. Wilayah Potong: Wilayah ini terjadi ketika transistor beroperasi di luar karakteristik normalnya dan seringkali dihindari karena dapat mengakibatkan kerusakan atau distorsi pada sinyal. Pada transistor bipolar, wilayah ini terjadi ketika arus basis sangat besar dan menyebabkan jenuh total pada transistor. Pada transistor MOSFET, wilayah ini terjadi ketika tegangan

gate-source sangat tinggi atau sangat rendah dan transistor tidak dapat berfungsi secara normal.

Perlu dicatat bahwa karakteristik dan batasan wilayah operasi transistor dapat berbeda tergantung pada jenis transistor yang digunakan, seperti transistor bipolar (BJT) atau transistor MOSFET (nMOS, pMOS). Selain itu, dalam aplikasi tertentu, seperti amplifier atau switch, wilayah operasi transistor dapat diatur dengan sirkuit biasing yang tepat untuk memenuhi kebutuhan desain dan kinerja yang diinginkan.

D. Biasing Transistor (Bias Transistor)



Bias Transistor adalah proses pengaturan tegangan dan arus operasi DC agar transistor dapat memperkuat sinyal input AC dengan baik. Transistor perlu memiliki titik operasi yang sesuai agar dapat berfungsi sebagai penguat linier. Titik operasi yang tepat ditentukan oleh arus basis, tegangan kolektor, dan arus kolektor transistor. Untuk mencapai titik operasi yang benar, kita perlu memilih resistor bias dan resistor beban yang sesuai untuk menciptakan kondisi input dan tegangan kolektor yang diinginkan. Titik operasi transistor bipolar, baik NPN maupun PNP, biasanya terletak di antara dua titik operasi ekstrem, yaitu "sepenuhnya-ON" atau "sepenuhnya-OFF" pada garis beban. Titik operasi pusat ini disebut "Titik Operasi Diam" atau "titik-Q".

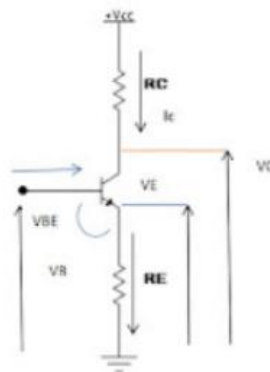
Mode operasi penguat Kelas-A terjadi ketika titik-Q berada di tengah jangkauan operasi transistor, sekitar setengah jalan antara cut-off dan saturasi. Pada mode ini,

arus keluaran dapat meningkat dan berkurang seiring sinyal input berayun melalui siklus lengkap. Dengan kata lain, arus keluaran mengalir selama 360° siklus input. Untuk mengatur bias transistor dengan benar, digunakan teknik yang disebut Base Bias. Teknik ini melibatkan pemilihan resistor bias yang tepat untuk mengatur arus basis transistor. Fungsi bias pada transistor ada banyak diantaranya: menentukan titik operasi transistor, menjaga stabilitas operasi transistor, mengatur amplifikasi sinyal, mencegah distorsi dalam sinyal output, melindungi transistor dari kerusakan.

Macam bias pada Transistor

1 Bias Dasar Transistor (Bias Base Transistor)

Rangkaian dasar transistor pada intinya merupakan sebuah rangkaian transistor yang terdapat arus yang mengalir dan adanya tegangan listrik. Fungsi bias DC menentukan Titik Q point Transistor dengan benar, yaitu dengan mengatur besarnya arus kolektor ke nilai konstan dan stabil tanpa adanya sinyal input di kaki basis transistor.



Titik kerja DC ditentukan oleh VCC, resistor RC, dan RE. Pemasangan kapasitor baypass ke ground membantu memblokir arus dari transistor lainnya. Konfigurasi bias base yang dapat digunakan adalah common base, common collector, dan common emitter.

2 Bias Dasar Common Emitter

Salah satu rangkaian bias yang umum digunakan untuk transistor adalah self bias dengan konfigurasi common emitter. Resistor digunakan untuk mengatur nilai DC awal dari tiga arus transistor (I_B , I_C , dan I_E). Ada dua bentuk bias transistor bipolar yang umum, yaitu Beta Dependent dan Beta Independent.

Tegangan bias transistor sebagian besar bergantung pada transistor beta (β), sehingga bias yang diatur untuk satu transistor mungkin tidak berlaku untuk transistor lainnya karena nilai beta mereka bisa berbeda. Bias transistor dapat dicapai dengan menggunakan resistor belakang pakan tunggal atau dengan menggunakan jaringan pembagi tegangan sederhana untuk menyediakan tegangan bias yang diperlukan.

Konfigurasi bias Basis transistor mengacu pada cara mengatur tegangan bias pada terminal Basis transistor untuk memastikan operasi yang stabil dan sesuai. Berikut adalah lima contoh konfigurasi bias Basis transistor dari satu pasokan (V_{cc}):

- 1) Bias Basis Tetap: Menggunakan resistor pembagi tegangan antara V_{cc} dan Basis transistor untuk menentukan tegangan bias yang tetap pada Basis. Ini

memastikan titik operasi yang stabil tetapi kurang fleksibel terhadap perubahan parameter transistor.

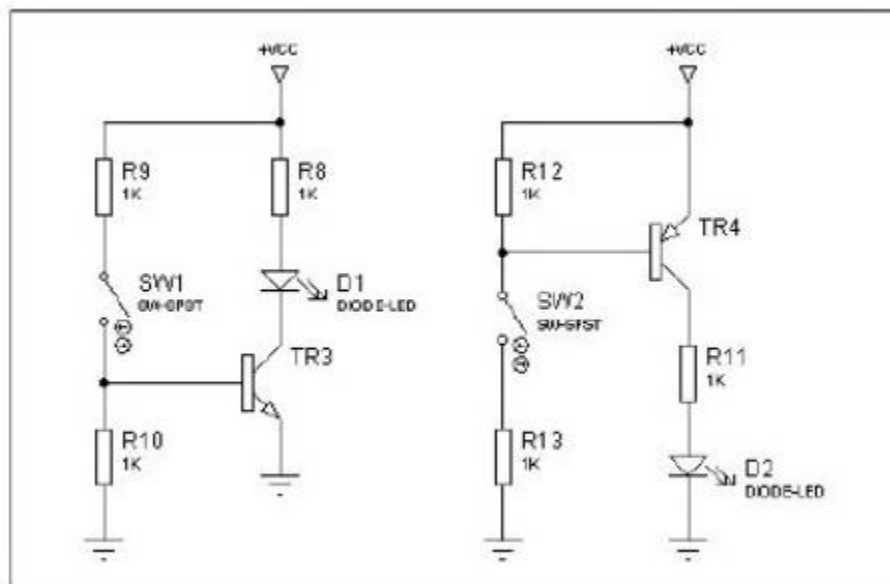
- 2) Bias Basis Potensial Terbagi: Menggunakan resistor pembagi tegangan dan resistor penghubung ke Basis transistor. Ini memungkinkan penyesuaian fleksibel dari tegangan bias tetapi lebih kompleks dalam perhitungannya.
- 3) Bias Basis Emitor Terbagi: Menggunakan resistor pembagi tegangan dan resistor penghubung ke Emitor transistor. Ini memberikan stabilitas dan fleksibilitas dalam penyesuaian tegangan bias, tetapi menghasilkan tegangan Emitor yang lebih rendah dari V_{cc} .
- 4) Bias Basis Potensial Tetap dengan Resistor Emitor: Menggunakan resistor pembagi tegangan untuk Basis dan resistor Emitor terhubung ke V_{cc} . Ini memberikan stabilitas tegangan bias Basis dan mengatur arus Emitor yang lebih tinggi.
- 5) Bias Basis Potensial Tetap dengan Resistor Rekuperasi: Menggunakan resistor pembagi tegangan untuk Basis dan resistor Rekuperasi terhubung ke Emitor. Ini memberikan stabilitas tegangan bias Basis dan mengatur tingkat rekuperasi arus Emitor.

Setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kelemahan tertentu tergantung pada kebutuhan aplikasi dan transistor yang digunakan. Pemilihan konfigurasi bias Basis yang tepat penting untuk memastikan kinerja transistor yang diinginkan.

E. Pemanfaatan Transistor

1 Transistor Sebagai Saklar

Dengan mengatur bias sebuah transistor sampai transistor jenuh, maka seolah akan didapathubung singkat antara kaki kolektor dan emitor. Dengan memanfaatkan fenomena ini, maka transistor dapat difungsikan sebagai saklar elektronik.



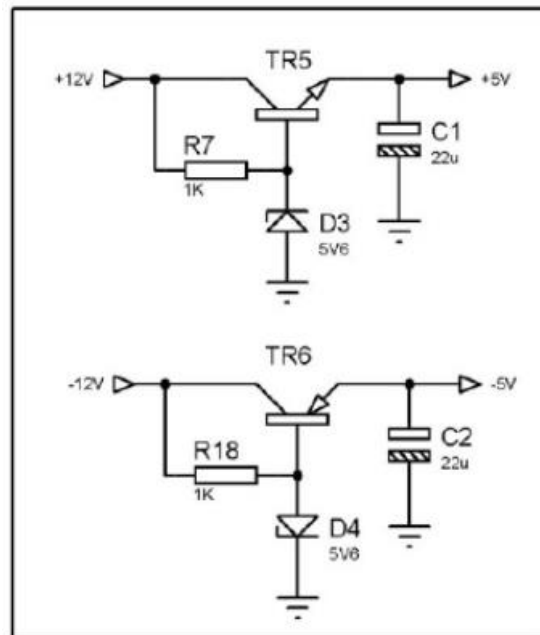
Pada gambar terlihat sebuah rangkaian saklar elektronik dengan menggunakan transistor NPN dan transistor PNP. Tampak TR3 (NPN) dan TR4 (PNP) dipakai untuk menghidupkan dan mematikan LED. TR3 dipakai untuk memutuskan dan menyambung hubungan antara katoda LED dengan ground. Jadi jika transistor OFF maka LED akan mati dan jika transistor ON maka LED akan hidup. Karena kaki emitor dihubungkan ke ground maka untuk menghidupkan transistor, posisi saklar

SW1 harus ON jadi basis transistor TR3 mendapat bias dari tegangan positif dan akibatnya transistor menjadi jenuh (ON) lalu kaki kolektor dan kaki emitor tersambung. Untuk mematikan LED maka posisi SW1 harus OFF.

TR4 dipakai untuk memutus dan menyambung hubungan antara anoda LED dengan tegangan positif. Jadi jika transistor OFF maka LED akan mati dan jika transistor ON maka LED akan hidup. Karena kaki emitor dihubungkan ke tegangan positif, maka untuk menghidupkan transistor, posisi saklar SW2 harus ON jadi basis transistor TR4 mendapat bias dari tegangan negatif dan akibatnya transistor menjadi jenuh (ON) lalu kaki emitor dan kaki kolektor tersambung. Untuk mematikan LED maka posisi SW1 harus OFF.

2 Transistor Sebagai penguat Arus

Transistor juga berfungsi sebagai penguat arus. Dalam rangkaian power supply, transistor bisa digunakan untuk mengatur tegangan yang diinginkan. Untuk tujuan ini, transistor perlu dibias dengan tegangan yang konstan pada basisnya, sehingga tegangan output pada emitor tetap stabil. Biasanya, digunakan dioda zener untuk mengatur tegangan basis agar tetap konstan.

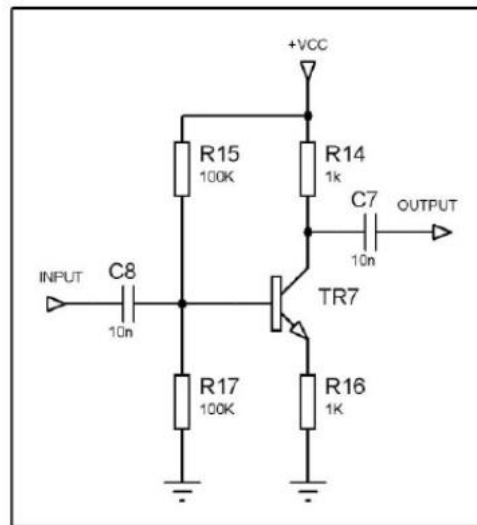


Sebagai contoh, pada gambar terlihat dua regulator dengan polaritas tegangan output yang berbeda. Transistor TR5 (NPN) digunakan sebagai regulator tegangan positif, sedangkan transistor TR6 (PNP) digunakan sebagai regulator tegangan negatif. Tegangan basis pada masing-masing transistor dijaga agar tetap konstan menggunakan dioda zener D3 dan D4. Dengan demikian, tegangan yang keluar pada emitor memiliki arus yang diperkuat oleh perkalian antara arus basis dan HFE (hFE) transistor.

3 Transistor Sebagai Penguat sinyal AC

Selain sebagai penguat arus, transistor juga bisa digunakan sebagai penguat tegangan pada sinyal AC. Untuk pemakaian transistor sebagai penguat sinyal digunakan beberapa macam teknik pembiasan basis transistor. Dalam bekerja

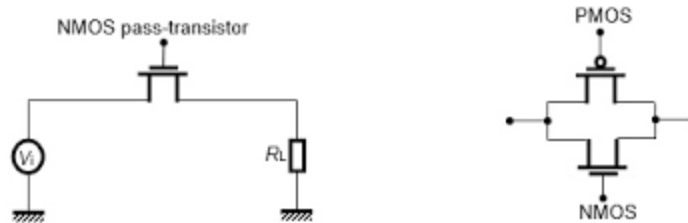
sebagai penguat sinyal AC, transistor dikelompokkan menjadi beberapa jenis penguat, yaitu: penguat kelas A, penguat kelas B, penguat kelas AB, dan kelas C



Pada gambar tampak bahwa R15 dan R16 bekerjasama dalam mengatur tegangan bias pada basis transistor. Konfigurasi ini termasuk jenis penguat kelas A. Sinyal input masuk ke penguat melalui kapasitor C8 ke basis transistor. Dan sinyal output diambil pada kaki kolektor dengan melewati kapasitor C7. Fungsi kapasitor pada input dan output penguat adalah untuk mengisolasi penguat terhadap pengaruh dari tegangan DC eksternal penguat. Hal ini berdasarkan karakteristik kapasitor yang tidak melewatkan tegangan DC.

4 Pass Transistor dan Transmision Gates

Pass Transistor



Gambar di atas menunjukkan struktur dari pass transistor dan transmission gates. Pass transistor digunakan untuk meneruskan sinyal input ke output dengan mengontrol arus yang mengalir melalui transistor. Pass transistor dapat berupa transistor MOSFET (nMOS atau pMOS) atau transistor bipolar. Pada implementasi fungsi logika dengan pass transistor, sinyal input dikendalikan oleh tegangan pada terminal gerbang transistor. Jika transistor aktif, sinyal input akan melewati transistor dari sumber ke drain atau dari collector ke emitter pada transistor bipolar, menghasilkan sinyal output sesuai dengan fungsi logika yang diinginkan.

Mode operasi umum untuk pass transistor adalah mode cut-off dan mode saturasi.

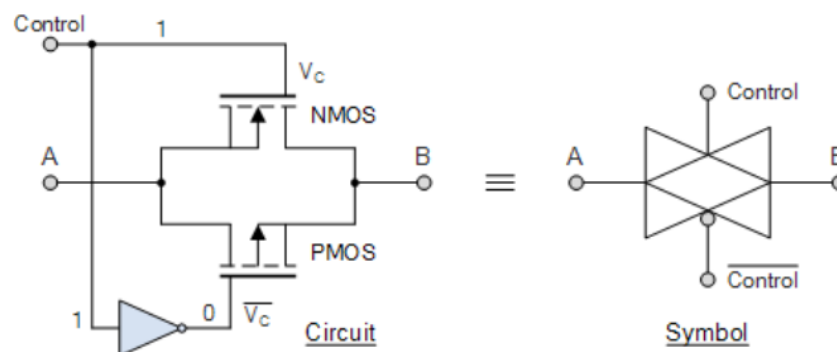
- Mode Cut-off: Transistor mati dan tidak ada arus yang mengalir melalui saluran MOSFET. Tegangan input pada gerbang transistor harus lebih rendah dari threshold voltage (V_{th}) agar transistor tetap mati.
- Mode Saturasi: Transistor aktif dan mengizinkan aliran arus melalui saluran MOSFET. Tegangan input pada gerbang transistor harus lebih tinggi dari V_{th} agar transistor tetap aktif.

Keuntungan penggunaan pass transistor adalah konsumsi daya yang rendah dan kecepatan yang tinggi, karena hanya ada satu transistor yang ditembusi oleh sinyal input. Namun, kelemahan pass transistor adalah adanya resistansi saluran (channel resistance) yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal output dan membatasi kecepatan operasi.

Transmission gate

Transmission gate, juga dikenal sebagai analog switch, adalah komponen elektronik untuk mengontrol aliran sinyal digital atau analog. Terdiri dari transistor MOSFET yang dikendalikan oleh sinyal kontrol. Keunggulan transmission gate termasuk aliran arus bolak-balik, resistansi rendah saat terbuka, dan isolasi yang baik saat tertutup. Terdiri dari sepasang transistor MOSFET yang dihubungkan seri, dikendalikan oleh sinyal kontrol yang berkebalikan.

Gerbang Transmisi CMOS



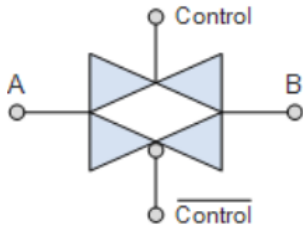
Dua transistor MOS terhubung back-to-back secara paralel dengan inverter yang digunakan antara gerbang NMOS dan PMOS untuk menyediakan dua tegangan kontrol komplementer. Saat sinyal kontrol input, V_c RENDAH, transistor NMOS dan

PMOS terputus dan saklar terbuka. Ketika VC tinggi , kedua perangkat bias ke konduksi dan saklar ditutup.

Dengan demikian gerbang transmisi bertindak sebagai saklar "tertutup" ketika $V_C = 1$, sedangkan gerbang bertindak sebagai saklar "terbuka" ketika $V_C = 0$ berfungsi sebagai saklar yang mengendalikan tegangan. membunyikan simbol yang menunjukkan gerbang FET PMOS.

Ekspresi Boolean Gerbang Transmisi

Seperti gerbang logika tradisional, kita dapat mendefinisikan pengoperasian gerbang transmisi menggunakan tabel kebenaran dan ekspresi boolean sebagai berikut.

Lambang	Tabel Kebenaran		
 <p>Gerbang Transmisi</p>	Menguasai	Sebuah	B
	1	0	0
	1	1	1
	0	0	Hai-Z
	0	1	Hai-Z
Ekspresi Boolean $B = A.Kontrol$	Baca sebagai A DAN Lanjutan. memberikan B		

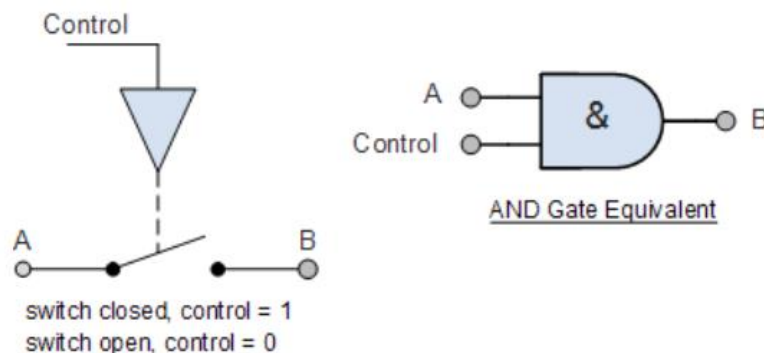
Kita dapat melihat dari tabel kebenaran di atas, bahwa output pada B tidak hanya bergantung pada tingkat input logika A, tetapi juga pada tingkat logika yang ada pada input kontrol. Dengan demikian nilai tingkat logika B didefinisikan sebagai A DAN Kontrol yang memberi kita ekspresi boolean untuk gerbang transmisi:

$$B = A \cdot \text{Kontrol}$$

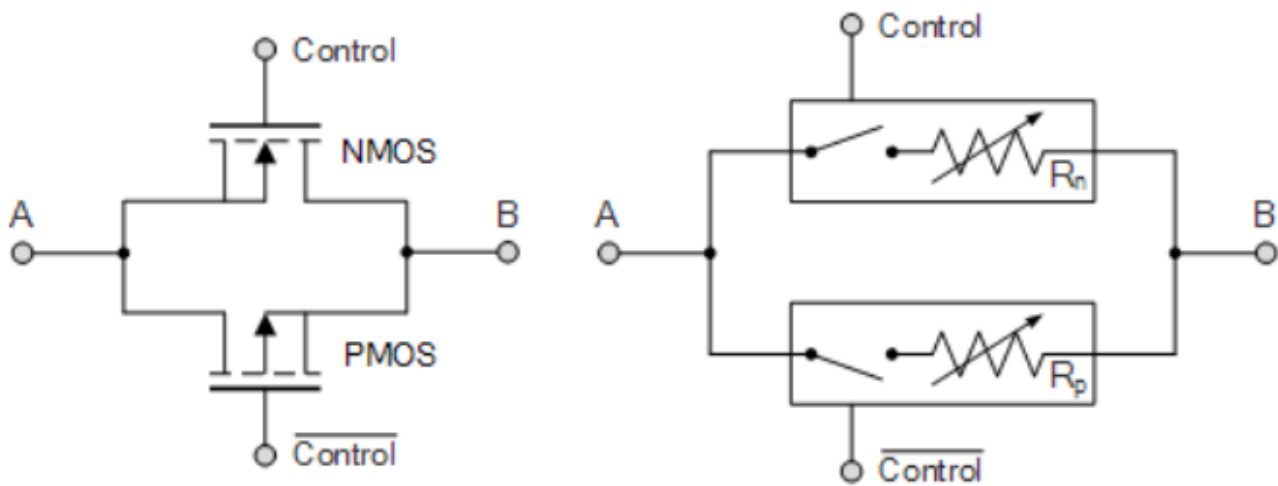
Karena ekspresi boolean dari gerbang transmisi menggabungkan fungsi AND logis, oleh karena itu dimungkinkan untuk mengimplementasikan operasi ini menggunakan gerbang AND 2-input standar dengan satu input menjadi input data sementara yang lainnya adalah input kontrol seperti yang ditunjukkan.

AND Implementai Gerbang

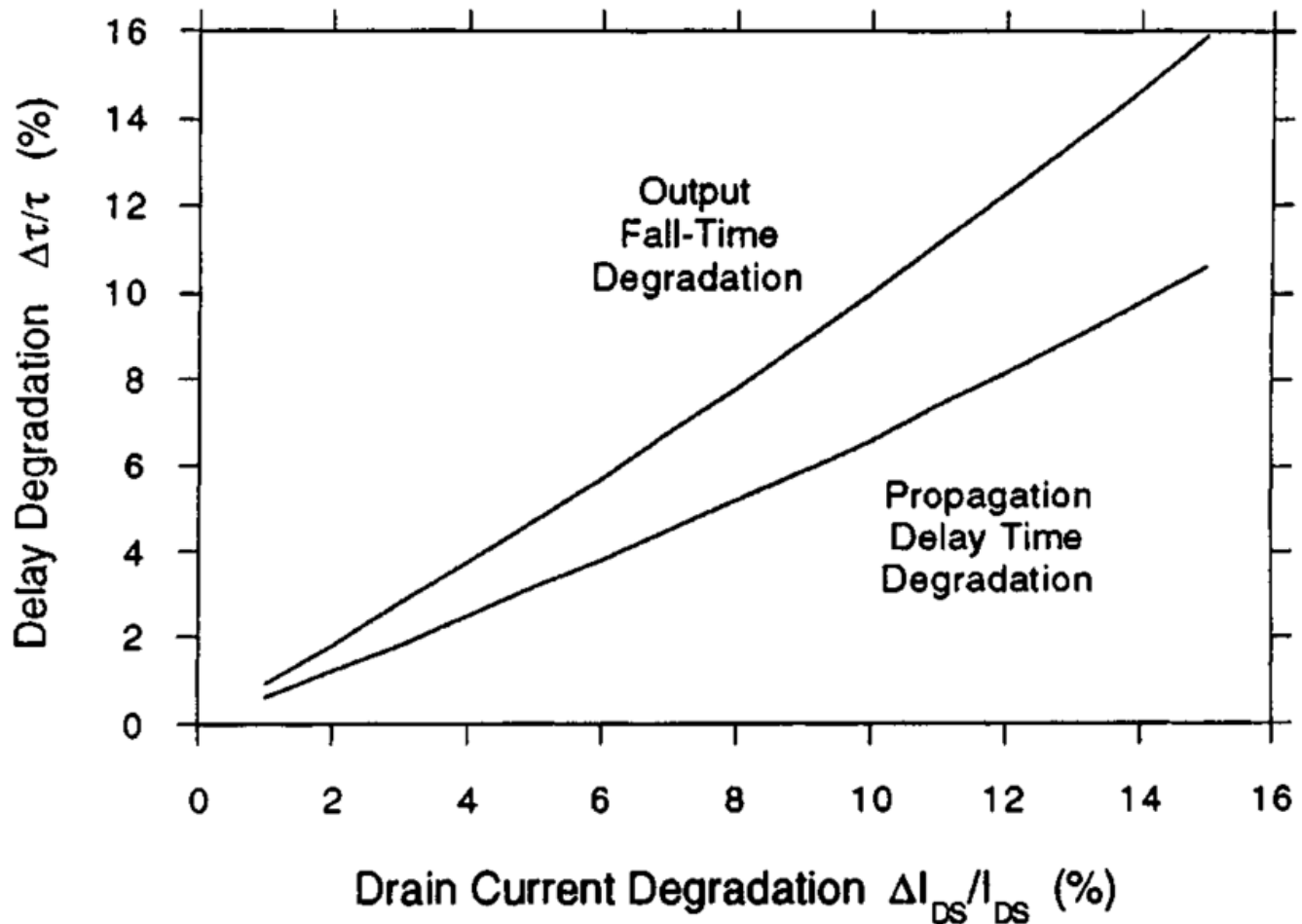
Satu hal lain yang perlu dipertimbangkan tentang gerbang transmisi, NMOS tunggal atau PMOS tunggal sendiri dapat digunakan sebagai saklar CMOS, tetapi kombinasi dari dua transistor secara paralel memiliki beberapa keunggulan. Saluran FET bersifat resistif sehingga resistansi ON dari kedua transistor terhubung secara efektif secara paralel.



Sebagai FET On-resistance adalah fungsi dari tegangan gerbang-ke-sumber, V_{GS} , karena satu transistor menjadi kurang konduktor karena drive gerbang, transistor lainnya mengambil alih dan menjadi lebih konduktor. Dengan demikian nilai gabungan dari dua resistansi ON (serendah 2 atau 3Ω) tetap lebih atau kurang konstan daripada yang akan terjadi pada transistor switching tunggal sendiri. Hasilnya dapat ditunjukkan ini dalam diagram berikut.



F. Prepropagation Delay, Rise Time dan Fall Time



1 Prepropagation Delay:

Prepropagation delay mengacu pada jeda waktu antara aplikasi sinyal masukan dan waktu dimulainya perubahan sinyal keluaran yang sesuai. Ini adalah waktu yang dibutuhkan oleh sinyal untuk menjalar melalui rangkaian dari masukan ke keluaran. Jeda ini terjadi karena berbagai faktor seperti kapasitansi internal, resistansi, dan induktansi komponen dalam rangkaian. Prepropagation delay adalah parameter

penting yang perlu dipertimbangkan dalam rangkaian digital karena mempengaruhi kinerja dan waktu secara keseluruhan dari sistem tersebut.

2 Rise Time:

Rise time adalah waktu yang dibutuhkan oleh sinyal untuk bertransisi dari level tegangan rendah ke level tegangan tinggi. Ini merupakan ukuran seberapa cepat sinyal keluaran naik sebagai respons terhadap perubahan sinyal masukan. Rise time biasanya diukur antara titik 10% dan 90% dari transisi sinyal. Rise time yang lebih pendek menunjukkan transisi yang lebih cepat dan integritas sinyal yang lebih baik. Rise time dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kapasitansi dan resistansi elemen rangkaian, serta kemampuan penggerak sinyal sumber.

3 Fall Time:

Fall time adalah waktu yang dibutuhkan oleh sinyal untuk bertransisi dari level tegangan tinggi ke level tegangan rendah. Ini merupakan kebalikan dari rise time dan mengukur seberapa cepat sinyal keluaran jatuh sebagai respons terhadap perubahan sinyal masukan. Sama seperti rise time, fall time biasanya diukur antara titik 10% dan 90% dari transisi sinyal. Fall time yang lebih pendek menunjukkan transisi yang lebih cepat dan integritas sinyal yang lebih baik. Fall time dipengaruhi oleh faktor-faktor yang sama dengan rise time, termasuk kapasitansi, resistansi, dan kemampuan penggerak sinyal sumber.

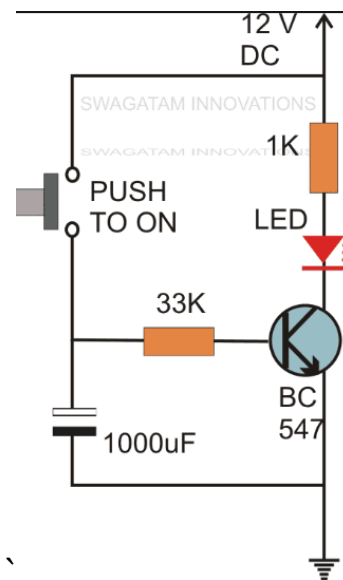
Baik rise time maupun fall time adalah parameter penting dalam rangkaian digital, karena mempengaruhi kecepatan dan kinerja keseluruhan dari sistem. Rise time dan fall time yang lebih cepat diinginkan untuk meminimalkan distorsi sinyal,

mengurangi konsumsi daya, dan meningkatkan keandalan rangkaian secara keseluruhan.

Perlu dicatat bahwa nilai prepropagation delay, rise time, dan fall time dapat bervariasi tergantung pada desain rangkaian spesifik, komponen yang digunakan, dan kondisi operasional. Parameter ini biasanya dijelaskan dalam lembar data dari sirkuit terpadu atau dapat diukur menggunakan peralatan pengujian yang sesuai. Para insinyur mempertimbangkan parameter ini selama tahap desain dan analisis untuk memastikan fungsi yang tepat dari rangkaian digital dan memenuhi persyaratan kinerja yang diinginkan.

G. Model Unit-Delay & Model Tau

1 Model Unit-Delay:



Model Unit-Delay menggambarkan sistem dengan delay unit, yang berarti setiap perubahan input akan ditunda selama satu periode waktu sebelum mempengaruhi output. Model ini sering digunakan untuk memodelkan sifat-sifat delay dalam sistem fisik atau elektronik yang menyebabkan penundaan dalam propagasi sinyal.

Dalam representasi blok diagram, Model Unit-Delay direpresentasikan dengan sebuah blok yang memiliki input dan output. Perubahan pada input dianggap terjadi secara langsung pada output setelah penundaan satu unit waktu. Model ini berguna untuk menggambarkan sifat dinamis sistem dengan penundaan konstan. Contoh penggunaan Model Unit-Delay adalah dalam pengendalian sistem waktu diskret, di mana output pada waktu tertentu hanya tergantung pada input pada waktu sebelumnya.

Pada Unit Delay perubahan pada input akan langsung mempengaruhi output setelah satu periode waktu. Dengan kata lain, sinyal input diteruskan ke output dengan penundaan satu unit waktu. Hal ini memungkinkan kita untuk menganalisis sinyal yang mengalami penundaan konstan, seperti penundaan yang disebabkan oleh komponen elektronik atau jalur transmisi dalam rangkaian.

Secara matematis, Model Unit-Delay dapat direpresentasikan dengan persamaan:

$$y(t) = x(t-1)$$

di mana $y(t)$ adalah output pada waktu t , dan $x(t-1)$ adalah input pada waktu sebelumnya.

Model Unit-Delay sering digunakan untuk memodelkan penundaan konstan dalam sistem. Misalnya, dalam rangkaian digital, transistor atau komponen lainnya dapat memperkenalkan penundaan dalam propagasi sinyal. Dalam model ini, sinyal input dianggap "ditunda" selama satu unit waktu sebelum mempengaruhi sinyal output. Model Unit-Delay berguna dalam analisis dan desain sistem yang melibatkan penundaan, seperti pengendalian waktu diskret, sinkronisasi sinyal, dan jaringan komunikasi dengan delay konstan. Dengan memahami dan memodelkan efek penundaan ini, kita dapat mengoptimalkan kinerja sistem, mengidentifikasi masalah penundaan, dan merancang solusi yang sesuai.

2 Model Tau:

Model Tau digunakan untuk memodelkan respons sistem dengan konstanta waktu (time constant) yang terkait dengan perubahan eksponensial dalam sistem. Konstanta waktu menggambarkan laju perubahan sistem terhadap perubahan input.

Dalam model ini, output sistem pada waktu tertentu bergantung pada input saat ini dan pada sejarah input sebelumnya melalui fungsi eksponensial yang terkait dengan konstanta waktu. Model ini umumnya digunakan dalam sistem dinamis dengan respons yang bergantung pada memori, seperti sistem pengendalian suhu atau sistem respons impuls dalam domain frekuensi.

Pada Model Tau output sistem pada waktu tertentu bergantung pada input saat ini dan juga pada sejarah input sebelumnya melalui fungsi eksponensial yang terkait dengan konstanta waktu. Model ini berguna untuk menganalisis sistem dinamis dengan respons yang bergantung pada memori atau memiliki karakteristik eksponensial dalam responsnya.

Secara matematis, Model Tau dapat direpresentasikan dengan persamaan diferensial, seperti persamaan diferensial linear orde satu:

$$\tau(dy(t)/dt) + y(t) = x(t)$$

di mana $y(t)$ adalah output pada waktu t , $x(t)$ adalah input pada waktu t , dan τ adalah konstanta waktu.

Konstanta waktu (τ) dalam Model Tau menggambarkan laju perubahan sistem terhadap perubahan input. Nilai τ yang lebih kecil mengindikasikan respons yang lebih cepat, sementara nilai τ yang lebih besar mengindikasikan respons yang lebih lambat. Model Tau berguna dalam memahami dan merancang sistem yang melibatkan fenomena seperti pengisian dan pengosongan kapasitor, respon sistem fisik terhadap stimulus, atau sistem kontrol dengan elemen penyusun yang memiliki sifat eksponensial.

Contoh penggunaan Model Tau adalah dalam model pengisian dan pengosongan kapasitor atau induktor dalam rangkaian elektronik, di mana responsnya dapat dinyatakan dengan persamaan diferensial dengan konstanta waktu sebagai parameter.

H. Efek Fan-In dan Efek Fan-Out

Fan-in didefinisikan sebagai jumlah maksimum input yang dapat diterima logic gate. Jika jumlah input melebihi, output akan tidak terdefinisi atau salah. Ini ditentukan oleh pabrikan dan disediakan dalam lembar data. Fan-out didefinisikan sebagai jumlah maksimum input (beban) yang dapat dihubungkan ke output gerbang tanpa menurunkan operasi normal. Fan Out dihitung dari jumlah arus yang tersedia di output gerbang dan jumlah arus yang dibutuhkan di setiap input gerbang penghubung.

Dalam desain rangkaian logika, salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan adalah efek fan-in dan fan-out pada gerbang logika. Efek fan-in mengacu pada jumlah input yang dapat terhubung ke sebuah gerbang logika, sedangkan efek fan-out mengacu pada jumlah output yang dapat dihubungkan ke gerbang logika tersebut. Kedua efek ini memiliki dampak penting pada kinerja, kestabilan, dan kompleksitas desain rangkaian logika. Dalam konteks materi sebelumnya, efek fan-in dan fan-out dapat mempengaruhi beberapa aspek yang telah dibahas sebelumnya:

1. Propagation Delay: Efek fan-in dan fan-out dapat mempengaruhi waktu penyebaran sinyal (propagation delay) dalam rangkaian logika. Jumlah input dan output yang terhubung pada sebuah gerbang logika dapat memengaruhi waktu yang dibutuhkan sinyal untuk mencapai keluaran dengan kecepatan yang diinginkan.
2. Rise Time dan Fall Time: Efek fan-in dan fan-out juga dapat mempengaruhi rise time dan fall time sinyal output pada gerbang logika. Jumlah output yang

terhubung dan kemampuan gerbang logika untuk mendorong sinyal dapat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan sinyal untuk berubah dari nilai rendah ke tinggi (rise time) atau dari nilai tinggi ke rendah (fall time).

Efek fan-in adalah kemampuan gerbang logika untuk menerima dan mengolah sejumlah input. Setiap gerbang logika memiliki batasan pada jumlah input yang dapat terhubung tanpa mengurangi kinerja atau menyebabkan kesalahan logika. Efek fan-in yang terlalu besar dapat menyebabkan peningkatan waktu penyebaran sinyal, penurunan tegangan logika, atau kebocoran arus yang tidak diinginkan.

Efek fan-out adalah kemampuan gerbang logika untuk menghasilkan dan mendorong sinyal keluar ke sejumlah output. Setiap gerbang logika memiliki batasan pada jumlah output yang dapat dihubungkan tanpa mengalami penurunan tegangan atau penundaan sinyal yang signifikan. Efek fan-out yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan tegangan output, peningkatan waktu penyebaran sinyal, atau kegagalan dalam menggerakkan beban output yang besar.

Dengan memperhatikan batasan fan-in dan fan-out, desain rangkaian logika dapat memastikan kinerja yang stabil, waktu penyebaran sinyal yang minimal, tegangan logika yang sesuai, dan keluaran yang dapat diandalkan. Ini ditentukan oleh pabrikan dan disediakan dalam lembar data. Melebihi beban maksimum yang ditentukan dapat menyebabkan kegagalan fungsi karena sirkuit tidak akan dapat memasok daya yang diminta.

I. Efek Ukuran Transistor Waktu Tunda pada nMOS & Pengskalaan/Daya CMOS.

1 Efek Ukuran pada Propagation Delay

Semakin panjang transistor, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi dan mengosongkan saluran kanal. Hal ini menyebabkan peningkatan propagation delay. Semakin lebar transistor, semakin besar arus yang dapat mengalir melalui saluran kanal. Hal ini dapat mengurangi propagation delay karena arus dapat mengisi dan mengosongkan saluran dengan lebih cepat.

2 Pengskalaan Transistor CMOS

Pengskalaan transistor CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) adalah praktik mengurangi ukuran transistor dalam desain sirkuit terpadu. Pengskalaan transistor bertujuan untuk meningkatkan kepadatan transistor, meningkatkan kecepatan operasi, dan mengurangi daya yang dikonsumsi oleh rangkaian.

Pengurangan Ukuran:

Pengskalaan transistor melibatkan pengurangan ukuran panjang dan lebar transistor secara proporsional. Dengan mengurangi ukuran, transistor dapat diatur lebih rapat di dalam sirkuit, meningkatkan kepadatan transistor.

Keuntungan:

Pengskalaan transistor dapat meningkatkan kecepatan operasi rangkaian karena jarak yang lebih pendek antara transistor. Selain itu, pengskalaan juga dapat mengurangi kapasitansi parasit dan resistansi saluran, yang mengurangi propagation delay dan daya yang dikonsumsi oleh transistor.

Dalam desain sirkuit digital, perlu diperhatikan bahwa pengskalaan transistor juga memiliki beberapa tantangan, seperti:

Efek Kuantum:

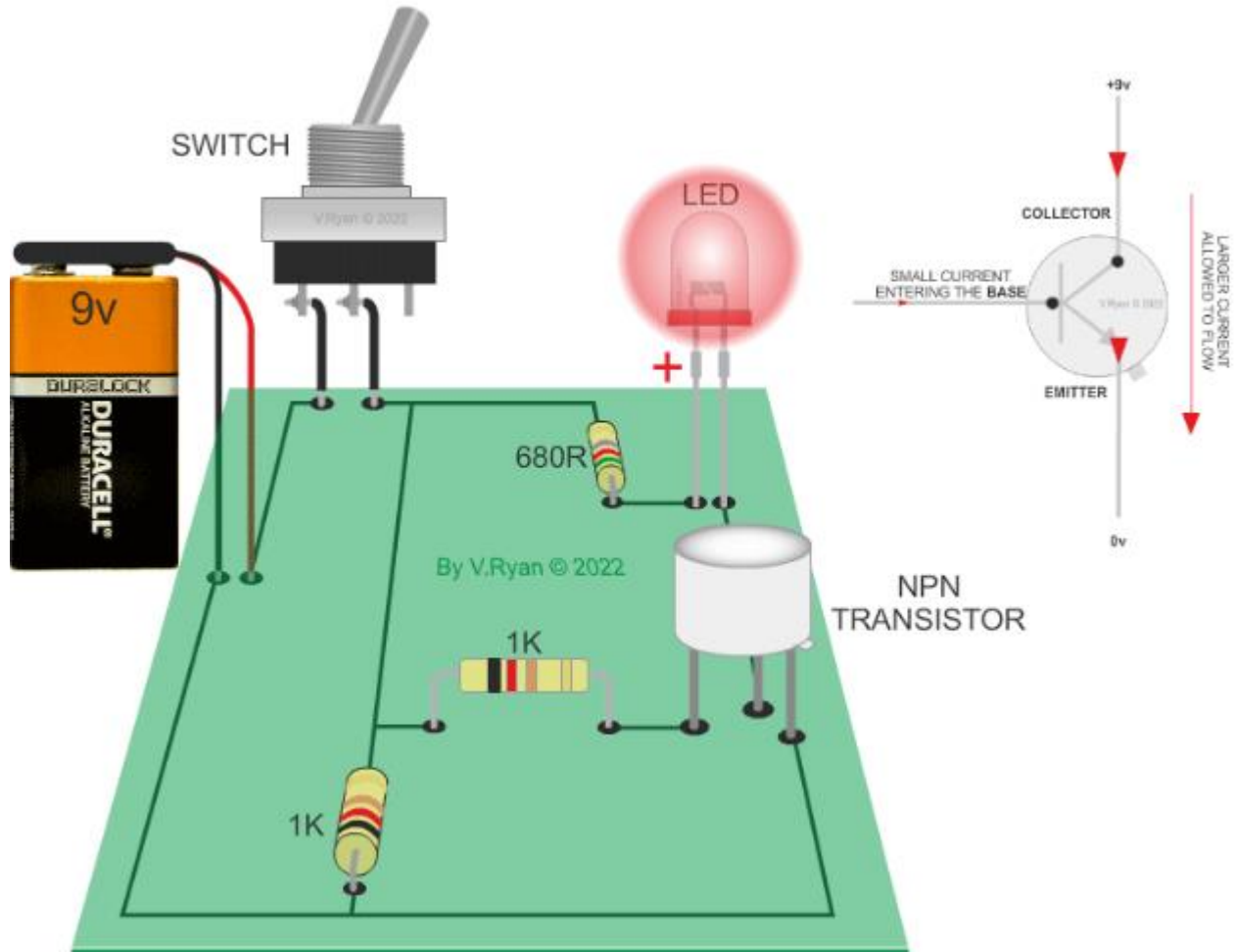
Dalam transistor dengan ukuran sangat kecil, efek kuantum dapat mempengaruhi kinerja transistor dan memperkenalkan gangguan yang tidak diinginkan.

Variabilitas:

Pengurangan ukuran transistor juga meningkatkan variabilitas dalam karakteristik transistor. Ini mempengaruhi konsistensi kinerja transistor dalam jumlah besar dalam produksi massal.

Dalam kesimpulan, ukuran transistor dalam desain sirkuit digital memiliki pengaruh yang signifikan terhadap waktu penyebaran sinyal dan daya yang dikonsumsi oleh transistor. Pengskalaan transistor CMOS adalah praktik umum untuk meningkatkan kepadatan transistor dan mengurangi daya. Namun, pengskalaan transistor juga memiliki tantangan yang perlu diperhatikan dalam desain sirkuit digital.

J. Karakteristik Sirkuit



Sirkuit elektronik adalah kombinasi dari komponen elektronik yang saling terhubung dan berinteraksi untuk mencapai fungsi yang diinginkan. Transistor adalah salah satu komponen kunci dalam sirkuit elektronik dan memiliki karakteristik yang penting dalam menentukan kinerja keseluruhan sirkuit. Dalam artikel ini, kita akan membahas karakteristik sirkuit dan hubungannya dengan transistor.

1 Tegangan dan Arus Transistor:

Tegangan dan arus adalah dua karakteristik utama yang berkaitan dengan transistor dalam sebuah sirkuit. Transistor dapat beroperasi dalam beberapa mode, seperti mode cut-off, active, dan saturation. Dalam mode aktif, tegangan dan arus yang diterapkan pada transistor mempengaruhi konduktivitas kanal dan mengendalikan aliran arus melalui transistor.

2 Penguatan Tegangan (Voltage Gain):

Transistor sering digunakan sebagai penguat sinyal dalam sirkuit elektronik. Penguatan tegangan adalah ukuran seberapa besar sinyal masukan dapat diperkuat oleh transistor menjadi sinyal keluaran yang lebih besar. Karakteristik ini penting dalam aplikasi seperti penguat audio, penguat radio, dan banyak lagi.

3 Resistansi Input dan Output:

Resistansi input dan output transistor juga merupakan karakteristik penting dalam sirkuit elektronik. Resistansi input adalah resistansi antara terminal input transistor, sedangkan resistansi output adalah resistansi antara terminal output transistor. Karakteristik ini mempengaruhi seberapa baik transistor dapat menerima atau mengirim sinyal dalam sirkuit.

4 Waktu Penyebaran (Propagation Delay):

Waktu penyebaran adalah karakteristik yang terkait dengan kecepatan transistor dalam merespons perubahan sinyal input. Waktu penyebaran mengacu pada waktu yang diperlukan bagi sinyal untuk mencapai nilai yang stabil pada

output transistor setelah ada perubahan pada inputnya. Semakin kecil waktu penyebaran, semakin cepat transistor dapat merespons perubahan sinyal.

5 Daya dan Efisiensi:

Transistor juga memiliki karakteristik daya yang perlu dipertimbangkan dalam desain sirkuit. Daya yang dikonsumsi oleh transistor dapat mempengaruhi efisiensi keseluruhan sirkuit. Oleh karena itu, penting untuk memilih transistor yang sesuai dengan kebutuhan daya sirkuit agar efisiensi dapat ditingkatkan.

6 Linieritas dan Distorsi:

Karakteristik linieritas mengacu pada sejauh mana transistor dapat mempertahankan sinyal input-output yang linier tanpa terjadi distorsi. Distorsi adalah perubahan bentuk gelombang sinyal yang tidak diinginkan. Dalam beberapa aplikasi, seperti penguat audio, penting untuk memilih transistor dengan karakteristik linieritas yang baik untuk menghasilkan reproduksi suara yang akurat.

7 Stabilitas Termal:

Stabilitas termal adalah karakteristik yang terkait dengan kemampuan transistor untuk menjaga suhu operasional yang stabil dalam berbagai kondisi. Perubahan suhu dapat mempengaruhi kinerja transistor dan menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan dalam sirkuit. Oleh karena itu, stabilisasi termal menjadi faktor penting dalam desain sirkuit yang memanfaatkan transistor.