



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Teori Semikonduktor

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

01

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Teori Semikonduktor terdiri dari Teori Atom, Teori Atom Silikon, Semikonduktor Intrinsik dan Semikonduktor Ekstrinsik.

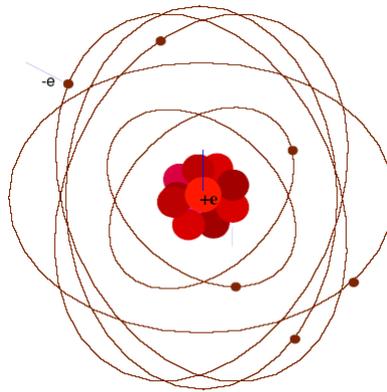
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami dasar Teori Atom, Teori Atom Silikon, Semikonduktor Intrinsik dan Semikonduktor Ekstrinsik.

Pembahasan

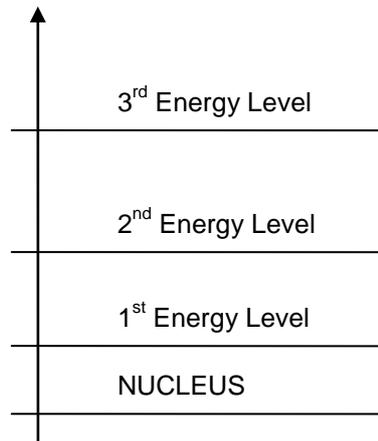
1.1 Teori Atom

Dalam dunia fisika atom, terdapat beberapa model untuk menggambarkan struktur fisik sebuah atom. Beberapa ahli yang menyodorkan model atom antara lain adalah: Rutherford, Thompson, Bohrs dan De Broglie. Bohr membuat model dimana atom diasumsikan sebagai sebuah inti yang dikelilingi oleh elektron-elektron, (e^-), (bermuatan negatif) yang mengitarinya, sebagaimana terlihat di Gambar 1.1. Inti atom terdiri dari neutron dan proton, (e^+), (bermuatan positif) yang menarik elektron-elektron agar tetap pada orbit yang stabil. Model ini diinspirasi dari miniatur sistem tata surya alam semesta ini.



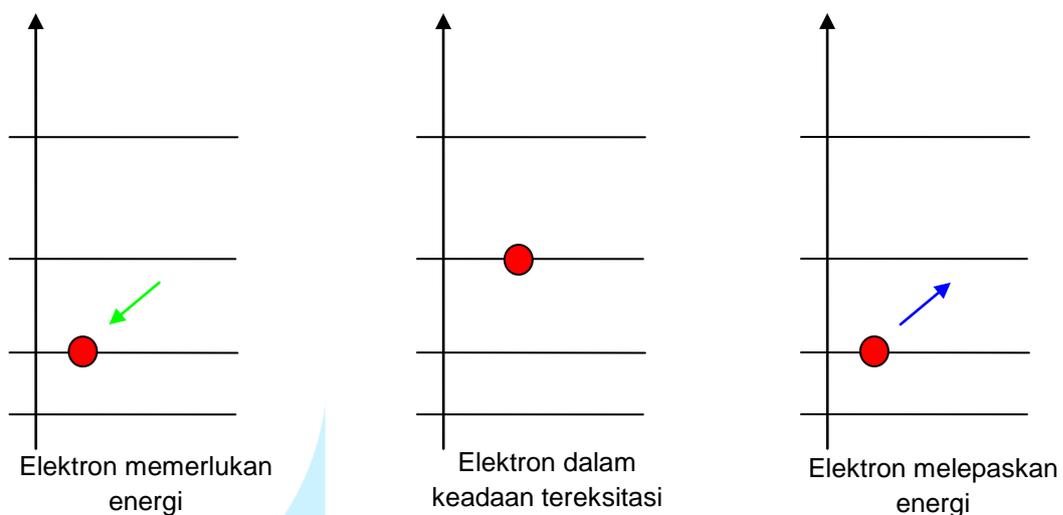
Gambar 1.1 Struktur atom Carbon

Setiap elektron beredar di dalam suatu lintasan dengan radius tertentu. Setiap radius memiliki lintasan yang unik dengan ikatan energi tertentu, dimana elektron tidak dapat berada diantara lintasan-lintasan tersebut. Lintasan terjauh dari inti atom disebut dengan lintasan valensi. Sehingga, elektron yang terletak pada lintasan terluar disebut dengan *elektron valensi*. Tipe atom akan didasari oleh jumlah *elektron valensi* ini. Ilustrasi sistem level energi ini digambarkan pada Gambar 1.2. di bawah ini.



Gambar 1.2. Level Energi

Untuk berpindah dari satu lintasan ke lintasan lain yang lebih tinggi, diperlukan energi, seperti energi panas, cahaya, radiasi dan lainnya. Situasi dimana sebuah elektron berada pada level energi yang lebih tinggi dikenal dengan istilah *elektron yang tereksitasi*. Sebaliknya, ketika elektron berpindah dari lintasan yang tinggi ke lintasan yang lebih rendah, ia akan melepaskan energi. Gambar di bawah ini mengilustrasikan proses perpindahan elektron di level energi yang berbeda.

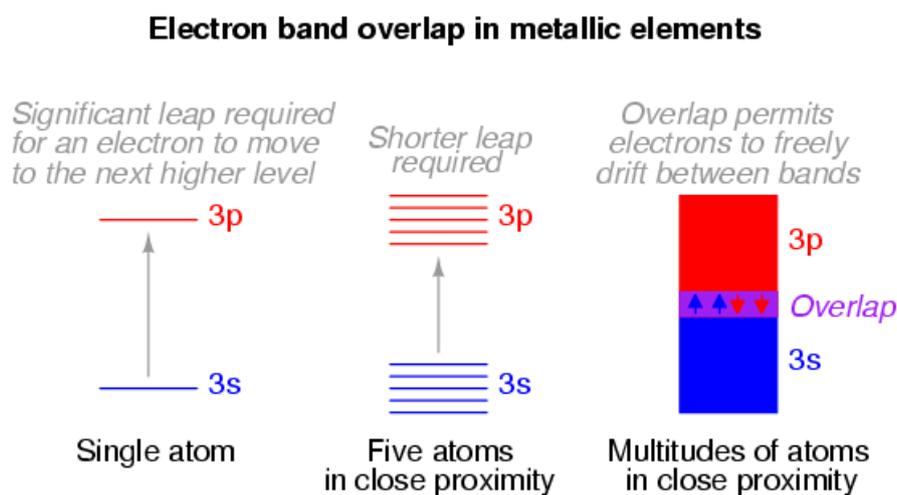


Gambar 1.3. Perpindahan Elektron

Pada kondisi sebenarnya, atom-atom tersebut akan saling mengikat dalam jumlah yang banyak. Sehingga, level energi setiap atom akan saling berdekatan. Level-level energi yang saling berdekatan ini akan membentuk suatu pita, dikenal dengan pita energi (*Energy Band*).

Secara umum, pita energi ini akan terbagi menjadi 2 (dua) daerah besar, yaitu daerah pita valensi (*Valence Band*) dan pita konduksi (*Conduction Band*). Atom-atom pada daerah pita valensi terikat sangat erat dengan inti atom, sedangkan atom-atom pada daerah pita konduksi mudah sekali terlepas dari inti atom. Setiap material memiliki jarak tertentu antara pita valensi dengan pita konduksi, dikenal dengan istilah *Energy Gap*. Berdasarkan *Energy Gap* inilah, sifat-sifat material dapat dibedakan.

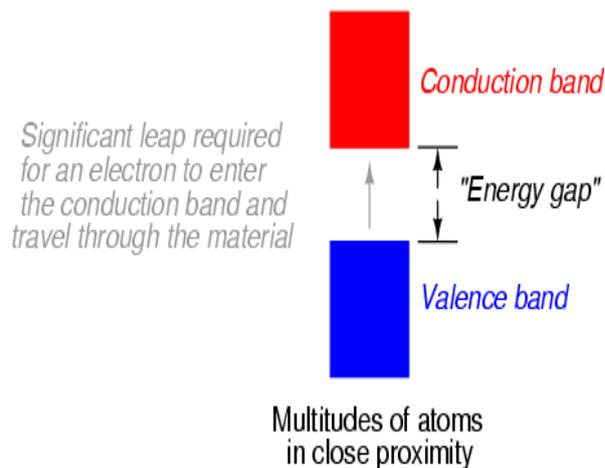
Material logam memiliki *Energy Gap* yang saling tumpang tindih (*overlap*), sehingga atom-atom dapat dengan sangat mudah bergerak ke daerah pita konduksi. Sehingga, material ini memiliki sifat yang sangat konduktif dan dikenal dengan bahan konduktor. Gambar 1.4 di bawah ini mengilustrasikan pita energi dan *Energy Gap* pada material konduktor.



Gambar 1.4 Pita energi dan *Energy Gap* pada Material Logam

Sementara itu, material non-logam memiliki *Energy Gap* yang berjauhan, sehingga atom-atom sulit untuk bergerak ke daerah pita konduksi. Sehingga, material ini memiliki sifat yang sukar untuk konduksi dan dikenal dengan istilah isolator. Ilustrasi pita energi dan *Energy Gap* pada material isolator ditampilkan pada Gambar 1.5 di bawah ini.

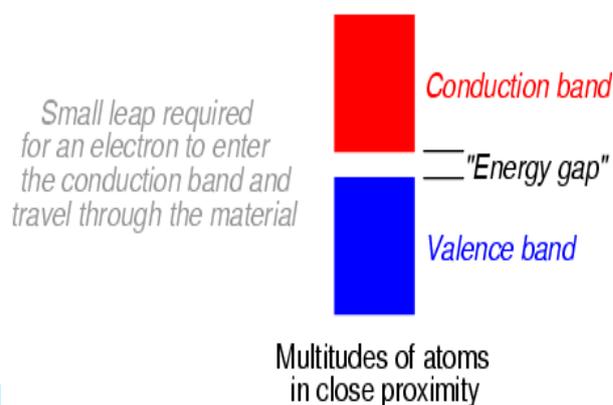
Electron band separation in insulating substances



Gambar 1.5 Pita energi dan *Energy Gap* pada Material Non-Logam

Pada sisi yang lain, terdapat material yang memiliki *Energy Gap* yang berdekatan. Oleh karena itu, pada kondisi normal atom-atom sulit untuk bergerak ke daerah pita konduksi dan bersifat isolator. Namun, dengan sedikit tambahan energi, atom-atom tersebut dapat bergerak ke daerah pita konduksi sehingga menjadi bersifat konduktor. Karena sifatnya yang demikian, material ini dikenal dengan nama bahan semikonduktor. Ilustrasi pita energi dan *Energy Gap* pada material semikonduktor ditampilkan pada Gambar 1.6 di bawah ini. Material semikonduktor yang telah dikenal secara umum adalah Silikon.

Electron band separation in semiconducting substances



Gambar 1.6 Pita energi dan *Energy Gap* pada Material Semikonduktor

1.2. Teori Atom Silikon

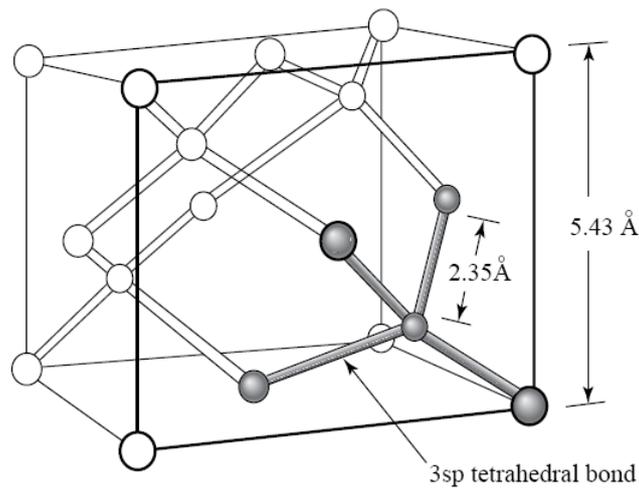
Atom Silikon (Si) mempunyai 14 buah elektron, yang terdiri dari 2 elektron pada lintasan pertama, 8 elektron pada lintasan kedua, dan 4 elektron pada lintasan ketiga atau terakhir (jumlah elektron/atom pada atom-atom golongan III hingga V terdapat pada Tabel 1.1). Jadi, atom Silikon memiliki 10 elektron yang terikat kuat kepada inti atom, dan 4 elektron valensi yang ikatannya kepada inti atom tidak kuat dan mudah lepas dengan sedikit energi tertentu. Karena atom Silikon memiliki 4 buah elektron valensi, maka ia dikenal dengan istilah *atom tetravalen*.

Tabel 1.1 Nomor Atom Golongan IIIA hingga VIA dan Silikon

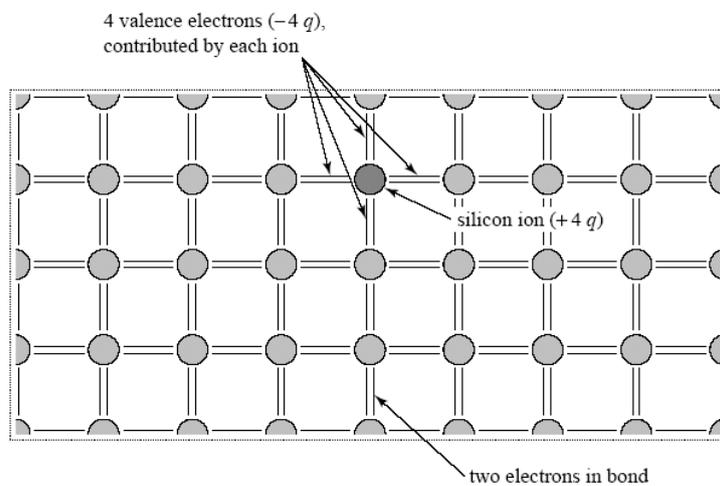
	IIIA	IVA	VA	VIA
	5 B	6 C	7 N	8 O
	13 Al	14 Si	15 P	16 S
IIB	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As
	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb
				52 Te

2.33		28.086
5.43	Si	14
	$3s^2 3p^2$	
1683	DIA	625

Untuk menjadi stabil secara kimiawi, sebuah atom Silikon membutuhkan delapan elektron di lintasan valensinya. Maka, setiap atom Silikon akan bergabung dengan atom Silikon lainnya, sedemikian rupa sehingga menghasilkan delapan elektron di dalam lintasan valensinya. Ketika ini terjadi, maka Silikon akan membentuk benda padat, yang disebut kristal. Gambar 1.7 mengilustrasikan gambar 3 Dimensi sebuah atom Silikon yang berikatan dengan 4 atom Silikon tetangganya, sehingga jumlah total elektron atom tersebut pada lintasan valensinya menjadi tetap 8. Hal ini terjadi pula dengan atom-atom Silikon yang lainnya. Karena pusat-pusat atom yang berdekatan mempunyai muatan total positif, maka akan menarik elektron-elektron yang dimiliki bersama tersebut. Gaya-gaya ini akan mengikat kuat atom satu sama lain dengan suatu ikatan yang disebut ikatan kovalen (*covalen bonds*). Gambar 1.8 menggambarkan ikatan ini dalam gambar 2 Dimensi pada saat suhunya 0^0K .



Gambar 1.7 Struktur Kristal Silikon (3 Dimensi, pada 0^0K)



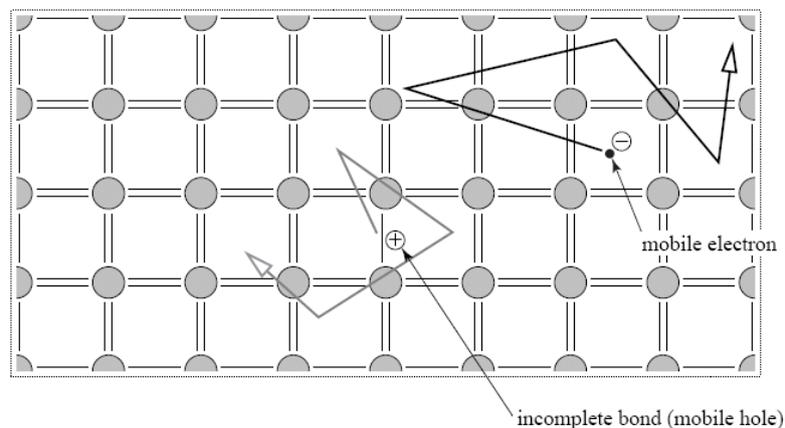
Gambar 1.8 Struktur Kristal Silikon (2 Dimensi, pada 0^0K)

Pada kondisi ini, elektron hanya memenuhi daerah valensi. Sedangkan pada daerah konduksi tidak terdapat sama sekali elektron. Sehingga, Silikon akan bersifat seperti isolator, yang tidak dapat mengalirkan energi.

Namun, bila suhu dinaikkan di atas 0^0K , maka akan terjadi perubahan, dimana energi panas tersebut akan mampu melepaskan beberapa ikatan kovalen. Elektron-elektron valensi akan pindah ke jalur yang dapat bergerak dengan leluasa, yaitu jalur konduksi. Pada jalur ini, gerakan elektron tersebut akan menghasilkan arus sesuai dengan banyaknya elektron

valensi yang terjadi, yang disebut dengan arus elektron. Namun, arus ini masih terlalu kecil untuk dapat dimanfaatkan. Pada kondisi ini, Silikon bukanlah isolator yang baik dan bukan pula konduktor yang baik. Karena alasan inilah, silikon disebut sebagai bahan *semikonduktor*.

Bersamaan dengan terlepasnya elektron ke jalur konduksi, maka akan ‘tertinggal’ sebuah lubang (*hole*) di dalam jalur valensi. Setiap hole di dalam jalur ini, akan menyebabkan pergerakan hole. Pergerakan hole juga dapat menghasilkan arus. Sebenarnya, yang bergerak tetaplah elektron, namun, pergerakan elektron ini terjadi karena tersedianya hole di jalur valensi. Pergerakan elektron di jalur ini, dianggap sebagai arus hole. Struktur Silikon 2 Dimensi pada suhu ruang yang menceritakan pasangan elektron-hole ini dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Struktur Kristal Silikon (2 Dimensi, pada suhu ruang)

Yang membedakan bahan Semikonduktor dengan bahan lain adalah bahan ini memiliki dua lintasan arus, yaitu Arus Elektron pada jalur konduksi dan Arus Hole pada jalur valensi. Kedua arus ini memiliki besar yang sama, karena jumlah elektron dan hole yang terbentuk adalah sama. Elektron-elektron pada jalur konduksi diberi simbol negatif, sesuai dengan muatannya. Sedangkan hole-hole pada jalur valensi diberi simbol positif, karena dianggap bermuatan positif.

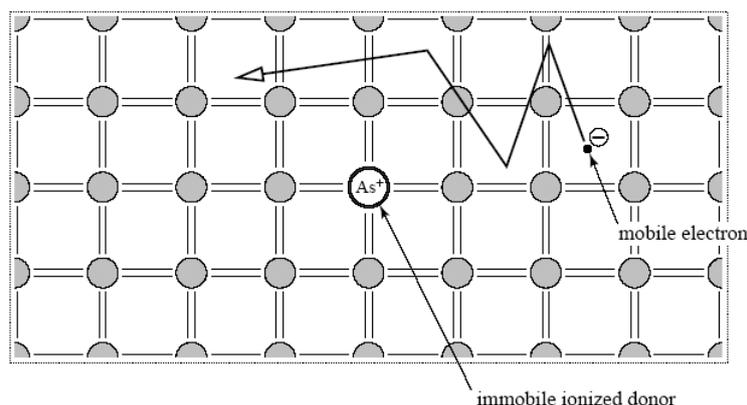
Karena beberapa hal, sangat sering terjadi suatu elektron pada jalur konduksi terjatuh ke dalam hole pada jalur valensi. Penggabungan kembali sebuah elektron bebas dan sebuah hole disebut dengan rekombinasi. Rekombinasi dapat terjadi terus menerus di

dalam suatu semikonduktor. *Lifetime* adalah istilah yang diberikan kepada waktu rata-rata timbul dan menghilangnya sepasang elektron-hole.

1.3 Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik

Suatu kristal Silikon yang murni, dimana setiap atomnya adalah atom Silikon saja, disebut sebagai *semikonduktor intrinsik*. Untuk kebanyakan aplikasi, tidak terdapat pasangan elektron-hole yang cukup banyak didalam suatu semikonduktor intrinsik untuk dapat menghasilkan arus yang berguna. *Doping* adalah penambahan atom-atom impuritas pada suatu kristal untuk menambah jumlah elektron maupun hole. Suatu kristal yang telah di-*dop* disebut *semikonduktor ekstrinsik*.

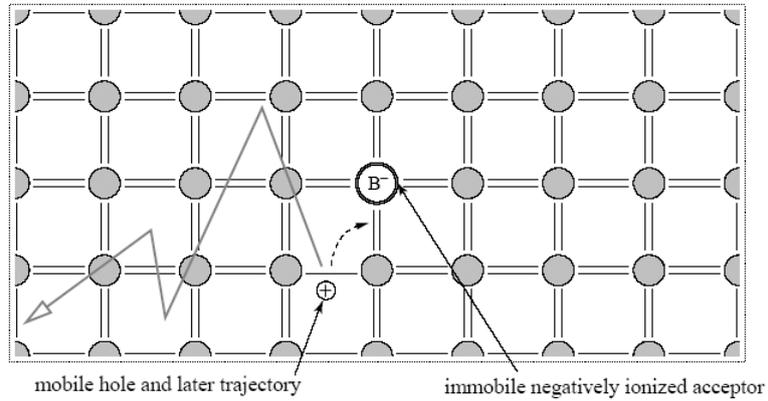
Untuk memperoleh tambahan elektron pada jalur konduksi, diperlukan atom pentavalent (atom yang memiliki 5 buah elektron valensi, lihat Tabel 1.1). Atom pentavalen ini juga disebut sebagai atom donor. Setelah membentuk ikatan kovalen dengan tetangganya, atom pentavalen ini mempunyai kelebihan sebuah elektron, yang dapat beredar pula pada jalur konduksi, seperti pada Gambar 1.10. Sehingga terbentuk jumlah elektron yang cukup banyak dan jumlah hole yang sedikit. Keadaan ini diistilahkan dengan elektron sebagai pembawa mayoritas dan hole sebagai pembawa minoritas. Semikonduktor yang di-*dop* seperti ini disebut dengan semikonduktor type-*n*.



Gambar 1.10. Semikonduktor type-*n*

Demikian pula jika semikonduktor di-*dop* bahan trivalent, atau atom akseptor, akan terbentuk jumlah hole pada jalur valensi yang banyak. Maka, akan terbentuk keadaan dimana hole menjadi pembawa mayoritas dan elektron menjadi pembawa minoritas.

Semikonduktor ini disebut semikonduktor type-*p*. Gambar 1.11 memperlihatkan struktur semikonduktor type-*p* dengan atom Boron sebagai akseptornya.



Gambar 1.11 Semikonduktor type-*p*

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Teori Dioda

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

02

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Dioda adalah kristal yang menggabung separuh semikonduktor type- n dan separuh semikonduktor type- p , atau disebut pula *pn junction*. Sisi p (Anoda) mempunyai banyak *hole* (pembawa mayoritas) dan sisi n (Katoda) mempunyai banyak *electron* (pembawa mayoritas).

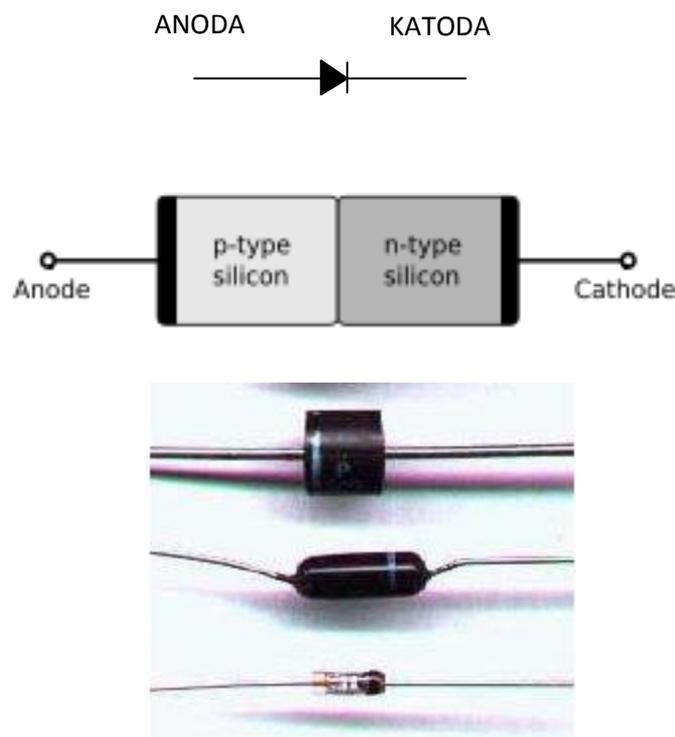
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami Definisi Dioda, Prategangan Dioda, Grafik Karakteristik Dioda, Garis BEban dan Titik Operasi, Model Dioda.

Pembahasan

2.1 Definisi Dioda

Dioda adalah sebuah kata majemuk yang berarti 'dua elektroda', dimana 'di' berarti dua, dan 'oda' berasal dari elektroda. Jadi, dioda adalah kristal yang menggabung separuh semikonduktor type- n dan separuh semikonduktor type- p , atau disebut pula *pn junction*. Sisi p (Anoda) mempunyai banyak *hole* (pembawa mayoritas) dan sisi n (Katoda) mempunyai banyak *electron* (pembawa mayoritas). Simbol, struktur dan fisik beberapa dioda dapat dilihat pada Gambar 2.1.

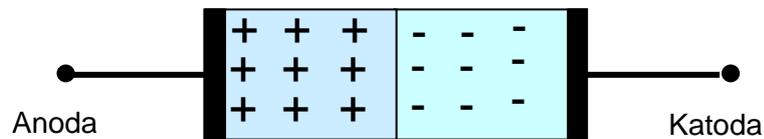


Gambar 2.1 Simbol, Struktur dan Fisik Dioda

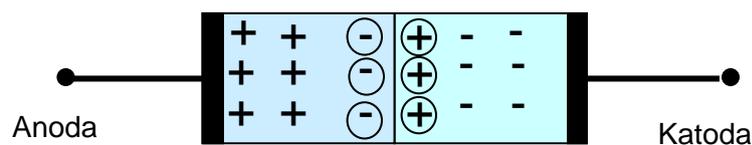
2.2 Prategangan Dioda

Pada saat Dioda tidak diberikan tegangan (*unbiased*), terjadi difusi elektron ke segala arah pada setiap tepi-tepi semikonduktor. Beberapa difusi melewati *junction*, sehingga akan tercipta ion positif pada daerah n dan ion negatif pada daerah p . Jika ion-ion ini bertambah banyak, maka daerah di sekitar *junction* akan terjadi kekosongan dari elektron bebas dan hole. Daerah ini disebut dengan *depletion layer*, atau lapisan pengosongan.

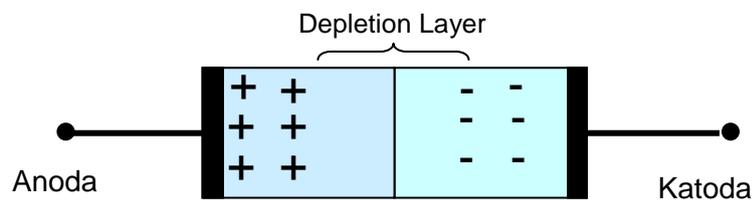
Pada suatu saat, *depletion layer* akan berlaku sebagai penghalang bagi elektron untuk berdifusi lanjut melalui *junction*. Diperlukan tegangan tertentu agar elektron dapat menembus penghalang tersebut, yang dikenal dengan istilah tegangan offset.



(a)



(b)

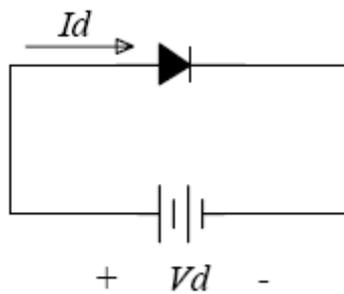


(c)

Gambar 2.2 Struktur Pasangan Elektron-Hole Dioda

(a) Kondisi Awal, (b) Kondisi setelah terjadi difusi elektron dan (c) Lapisan Pengosongan (*Depletion Layer*)

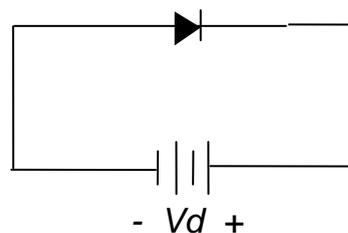
Jika dioda diberi tegangan seperti tampak pada Gambar 2.3, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan bahan type-p dan kutub negatif baterai dihubungkan dengan bahan type-n, maka rangkaian ini disebut dengan *forward biased* atau prategangan maju. Bila tegangan ini melebihi tegangan yang diakibatkan oleh lapisan pengosongna, maka *forward biased* dapat menghasilkan arus yang besar. Kutub negatif dari sumber dapat mendorong elektron pada bahan type-n menuju *junction*. Elektron ini dapat melewati *junction* dan jatuh ke dalam hole. Bila ini terjadi, elektron akan dapat terus bergerak melalui hole pada bahan type-p yang ada menuju kutub positif baterai.



Gambar 2.3 Forward Biased

Sebaliknya, jika sumber tegangan tersebut dibalik polaritasnya, maka rangkain yang tampak pada Gambar 2.4. itu disebut dengan *reverse biased*. Hubungan ini memaksa elektron bebas di dalam daerah *n* berpindah dari *junction* ke arah terminal positif sumber, sedangkan hole di dalam daerah *p* juga bergerak menjauhi *junction* ke arah terminal negatif. Gerakan ini akan membuat lapisan pengosongan semakin besar sehingga beda potensialnya mendekati harga sumber tegangan.

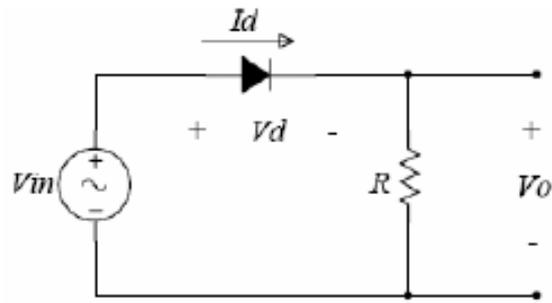
Namun pada situasi ini, masih terdapat arus kecil, arus pembawa minoritas, atau disebut arus balik (*reverse current*), I_S . Disamping itu juga terdapat arus bocor permukaan, I_{SL} . Jika keadaan ini terus berlanjut, akan tercapai titik pendobrakan, yang disebut dengan *breakdown voltage*.



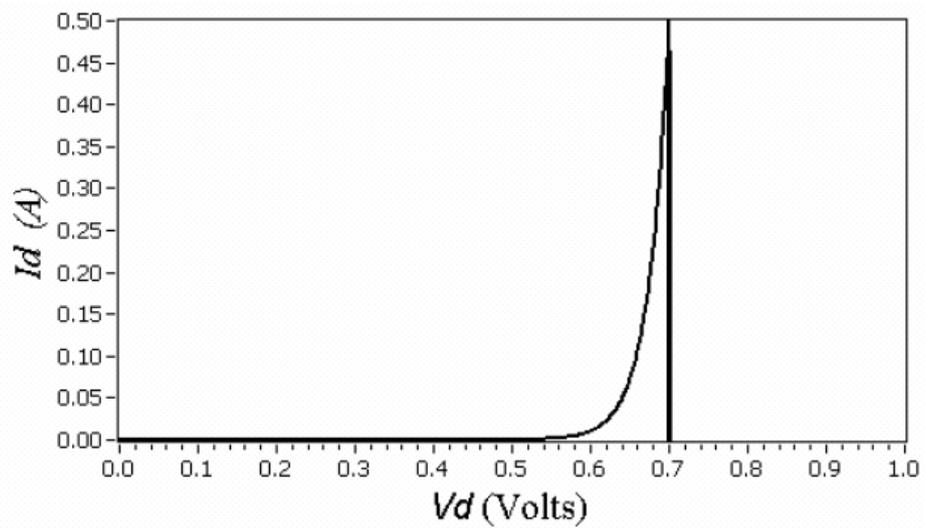
Gambar 2.4 Reverse Biased

2.3 Grafik Dioda

Jika sebuah dioda dirangkain seperti pada Gambar 2.5., dimana tegangan V_{in} dirancang untuk dapat diubah-ubah besarnya, maka akan didapat tegangan (V_d) dan arus (I_d) pada dioda yang berbeda-beda pula. Dengan menghubungkan titik-titik tegangan dan arus dioda, maka akan didapat grafik dioda seperti pada Gambar 2.6.

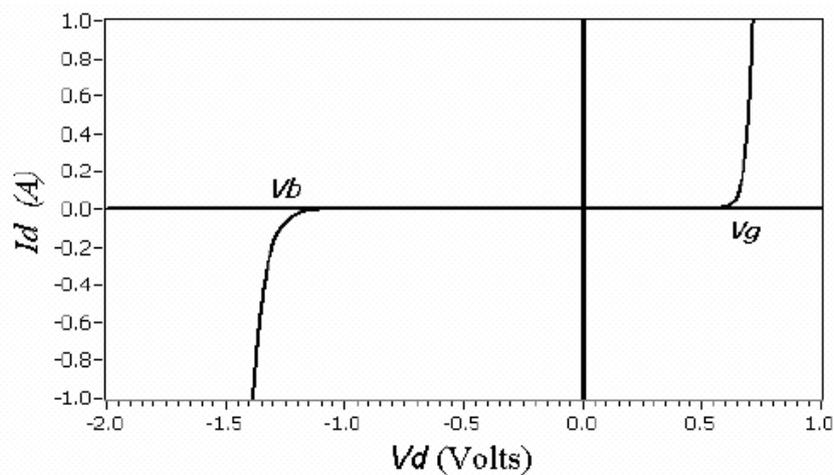


Gambar 2.5. Rangkaian Dioda



Gambar 2.6. Grafik Dioda Forward Biased

Jika dibalik prategangannya, secara lengkap, grafik tersebut menjadi grafik seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Grafik Dioda Lengkap

Gambar-gambar diatas menjelaskan karakteristik dioda, yaitu sebagai komponen non-linear. Bila diberikan *forward biased* dioda menjadi sangat tidak konduktif sebelum tegangannya melampaui potensial barier, sehingga arusnya sangat kecil sekali. Ketika tegangannya mendekati potensial barier, pasangan elektron-hole mulai melintasi *junction*. Di atas 0.7 volt, biasa disebut tegangan lutut (*knee voltage*), V_g , atau tegangan offset, dioda menjadi sangat konduktif dan mengalirkan arus yang besar. Semakin besar tegangannya, arus bertambah dengan sangat cepat pula. Hal ini menunjukkan, bahwa dioda memiliki tahanan tertentu, disebut tahanan bulk (*bulk resistance*).

Sebaliknya, pada saat dioda di-*reverse biased*, terdapat arus balik yang sangat kecil. Jika tegangan ini ditambah, akan dicapai tegangan breakdown, dimana terjadi peningkatan arus yang sangat besar, yang dapat merusakkan dioda. Sehingga diperlukan kehati-hatian untuk memberikan tegangan dioda, jangan sampai jatuh ke daerah *breakdown*.

2.4 Garis Beban dan Titik Operasi

Jika rangkaian dioda pada Gambar 2.5. dianalisa, maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$I_d = \frac{V_{in} - V_d}{R} \quad (2.1)$$

Jika tegangan input dan tahanan pembatas diketahui, maka hanya tegangan dan arus dioda yang tidak diketahui. Persamaan ini menyatakan hubungan yang linear antara tegangan dan arus.

Pada saat V_d sama dengan nol, maka

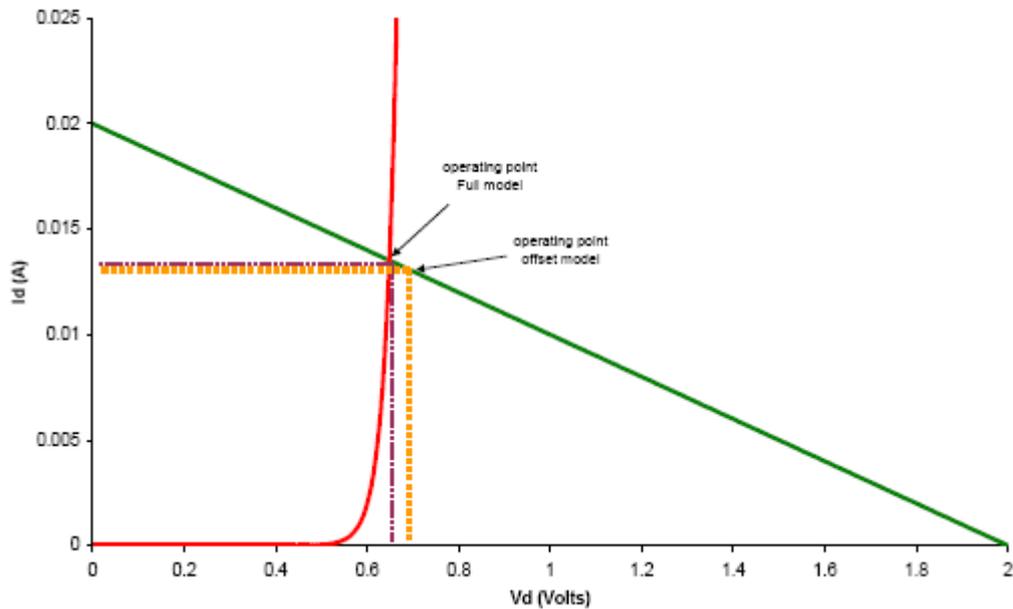
$$I_d = \frac{V_{in}}{R} \quad (2.2)$$

Titik ini disebut dengan titik jenuh (*saturation point*) yang terletak pada sumbu tegak arus. Sementara itu, jika V_d sama dengan V_{in} , maka

$$I_d = 0 \quad (2.3)$$

Titik ini disebut dengan titik putus (*cut off point*) yang terletak pada sumbu mendatar. Jika kedua titik ini dihubungkan, atau dengan mengukur titik-titik lain, akan didapatkan sebuah garis yang khas, disebut garis beban (*load line*).

Apabila grafik garis beban dioda ditumpukkan dengan grafik dioda, maka akan didapatkan grafik seperti pada Gambar 2.8., dengan V_{in} sama dengan 2 Volt dan R sama dengan 100Ω . Titik jenuh grafik tersebut adalah 20 mA dan titik potongnya adalah 0 mA. Kedua grafik itu memiliki sebuah titik potong, yang disebut dengan titik operasi (*operating point*), yang menyatakan arus dan tegangan dioda sesuai dengan tegangan input dan tahanannya. Dari gambar tersebut, tampak bahwa titik operasi dioda jatuh pada tegangan 0.75 V dan arus 12.5 mA.



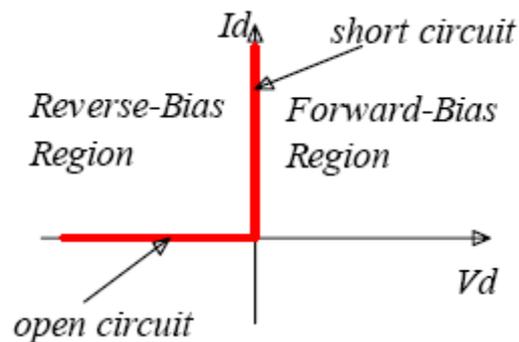
Gambar 2.8 Load Line dan Operating Point

2.5 Model Dioda

Di dalam dunia praktek sehari-hari, seringkali dioda cara kerja didekati dengan menggunakan pendekatan atau model. Sudah barang tentu, model ini tetap berdasarkan kepada representasi matematika dan grafik dari karakteristik V-I dari dioda itu sendiri. Penyederhanaan model ini, hanya ingin memberikan gambaran global dari cara kerja dioda, namun belum merepresentasikan detail-detil penting dari dioda itu sendiri. Terdapat beberapa model pendekatan dioda, yaitu: Model Dioda Ideal, Model Dioda Offset dan Model Dioda Real.

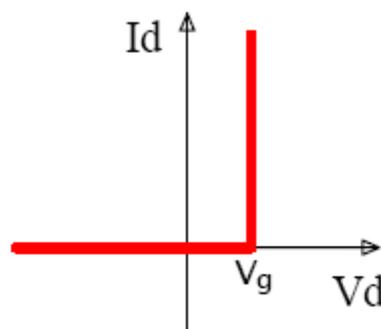
Model Dioda Ideal memiliki karakteristik V-I seperti pada Gambar 2.9. di bawah ini. Pada model ini, suatu dioda berlaku sebagai konduktor yang sempurna (bertegangan nol) bila diberi *forward biased* dan berlaku sebagai isolatif yang sempurna (berarus nol) bila

diberi *reverse biased*. Dalam istilah rangkaian, dioda berlaku seperti saklar (*switch*), bila diberi *forward biased* ia bertindak sebagai saklar tertutup (ON), dan bertindak seperti saklar terbuka (OFF) bila diberi *reverse biased*. Model ini sangat ekstrim, sehingga untuk kondisi-kondisi tertentu, diperlukan model yang lebih baik lagi.



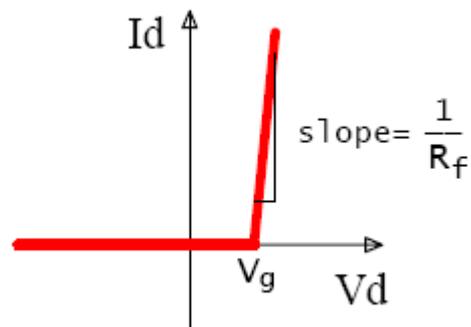
Gambar 2.9 Model Dioda Ideal

Sesungguhnya, diperlukan tegangan offset sekitar 0,7 volt sebelum dioda Silikon menjadi konduktor dengan baik. Bila tegangan sumber besar, 0.7 volt ini tidak menjadi persalan. Gambar 2.10. memperlihatkan karakteristik V-I dioda, dimana tidak ada arus mengalir sampai tegangan dioda mencapai 0,7 volt. Pada titik ini dioda mulai konduksi. Jadi, dioda dianggap seperti sebuah *switch* yang disarikan dengan sebuah baterai 0.7 volt. Jika tegangan sumber lebih besar dari 0.7 volt, *switch* menutup dan tegangan dioda adalah 0.7 volt. Namun, jika tegangan sumber kurang dari 0.7 volt maka *switch* membuka.



Gambar 2.10 Model Dioda Offset

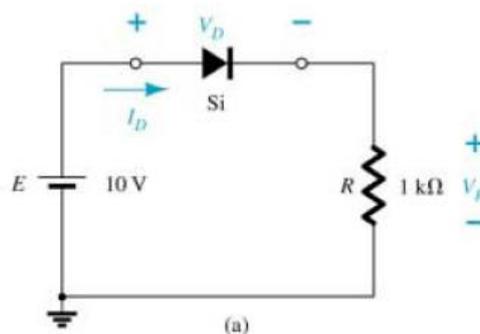
Pada model ketiga ini, tahanan dalam dioda, R_f , diperhitungkan. Gambar 2.11 menunjukkan model dioda real ini. Sehingga, pada saat konduksi, arus menghasilkan tegangan pada R_f , dimana semakin besar arus, semakin besar pula tegangan tersebut. Rangkain ekivalen pada model real dioda ini, adalah seperti sebuah saklar yang diseri dengan baterai 0.7 volt dan tahanan R_f .



Gambar 2.11 Model Dioda Real

Untuk kebanyakan hal praktis, Model Dioda offset seringkali dipergunakan. Namun, jika diperlukan analisa yang lebih mendalam, Model Dioda Real akan dipakai, sehingga akan didapatkan analisa yang lebih akurat.

Sebagai contoh, sebuah rangkaian dioda tampak pada gambar di bawah ini,



Gambar 2.12 Rangkaian Dasar Dioda

dimana: $E = 10$ volt dan $R = 1$ K Ω . Maka persamaan arusnya adalah:

$$-E + V_d + V_R = 0$$

$$-E + V_d + I_d R = 0$$

Jika digunakan Model Dioda Ideal, maka dioda tidak memiliki tegangan offset dan tahanan dalam. Sehingga, ketika dioda diberi *forward biased*, maka akan mengalir arus melalui dioda, dimana:

$$I_d = \frac{E - V_d}{R}$$

Dari persamaan diatas, didapat garis beban, dimana:

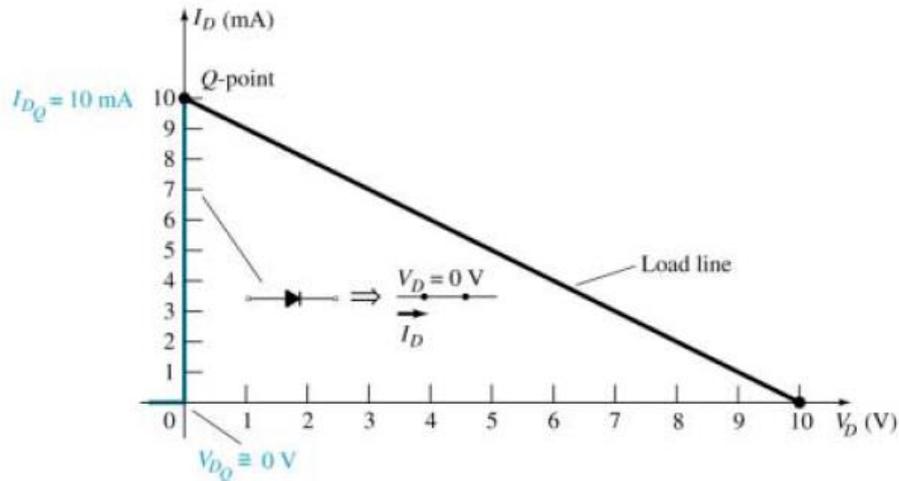
jika $V_d = 0$, maka $I_d = E / R = 10 \text{ volt} / 1 \text{ K}\Omega = 10 \text{ mA}$, dan

jika $I_d = 0$, maka $V_d = E = 10 \text{ volt}$,

dengan titik operasi pada

$V_d = 0 \text{ volt}$ dan $I_d = 10 \text{ mA}$

Garis beban dan titik operasi ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.13 Garis Beban dan Titik Operasi Model Dioda Ideal

Jika digunakan Model Dioda Offset, maka dioda memiliki tegangan offset, sebesar $V_g = 0.7 \text{ volt}$. Dengan cara yang sama seperti diatas, akan didapat persamaan garis beban yang sama. Namun, titik operasinya adalah

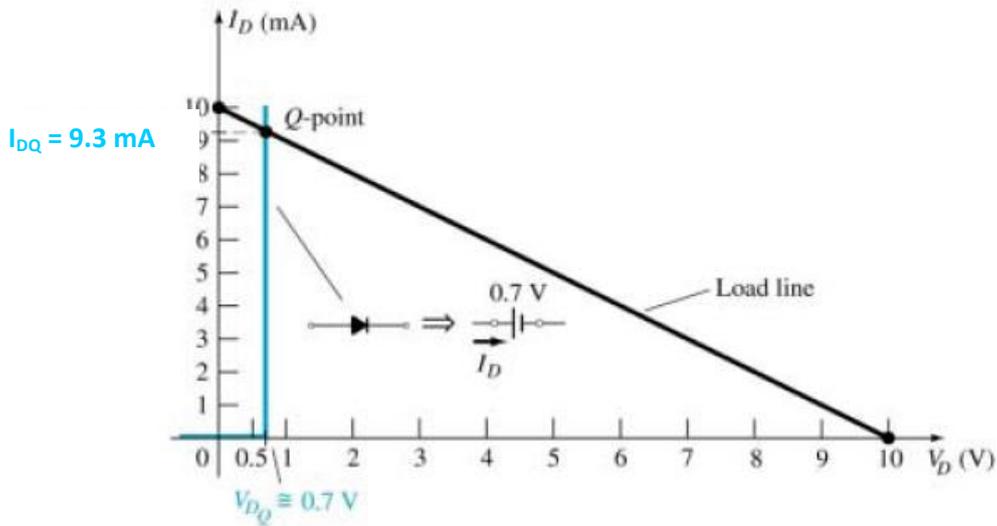
$$I_d = \frac{E - V_g}{R}$$

dimana:

$V_d = V_g = 0.7 \text{ volt}$, dan

$I_d = (10 - 0.7) \text{ volt} / 1 \text{ K}\Omega = 9.3 \text{ volt}$

Garis beban dan titik operasi ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14 Garis Beban dan Titik Operasi Model Dioda Offset

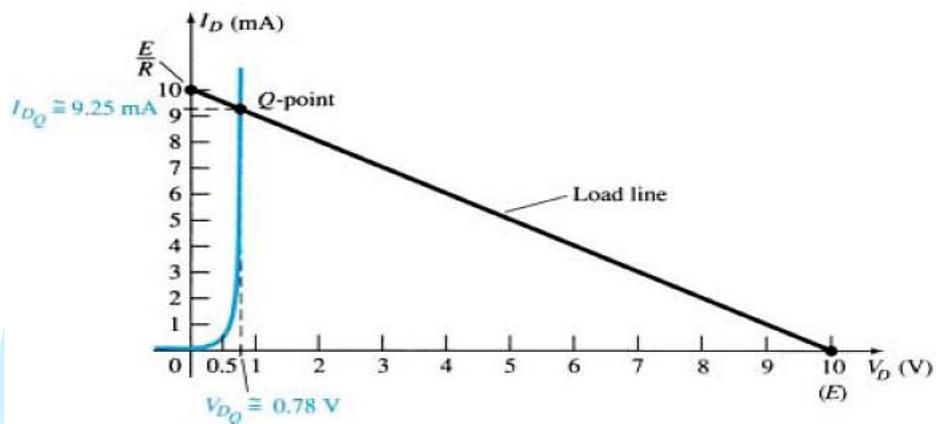
Dengan cara yang sama, dapat pula diturunkan persamaan diatas untuk Dioda Ideal, yang memiliki tegangan offset sebesar $V_g = 0.7$ volt dan tahanan dalam $R_f = 10 \Omega$. Titik operasinya adalah

$$I_d = \frac{E - V_g}{(R_f + R)}, \text{ dimana:}$$

$V_d = V_g = 0.7$ volt, dan $R_f = 1 \Omega$, maka

$$I_d = (10 - 0.7) \text{ volt} / (1.01) \text{ K}\Omega = 9.2 \text{ mA}$$

Garis beban dan titik operasi ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Garis Beban dan Titik Operasi Model



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Rangkaian Dioda

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

03

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Rangkaian Dioda terdiri dari Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang, Gelombang Penuh, CT, Dioda Jembatan, Filter Kapasitor.

Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang, Gelombang Penuh, CT, Dioda Jembatan, Filter Kapasitor.

Pembahasan

3.1. Rangkaian Penyearah (*Rectifier Circuit*)

Sebagian besar rangkaian elektronika membutuhkan tegangan DC untuk dapat bekerja dengan baik. Karena tegangan jala-jala adalah tegangan AC, maka yang harus dilakukan terlebih dahulu dalam setiap peralatan elektronika adalah mengubah atau menyearahkan (*rectifying*) tegangan AC ke DC.

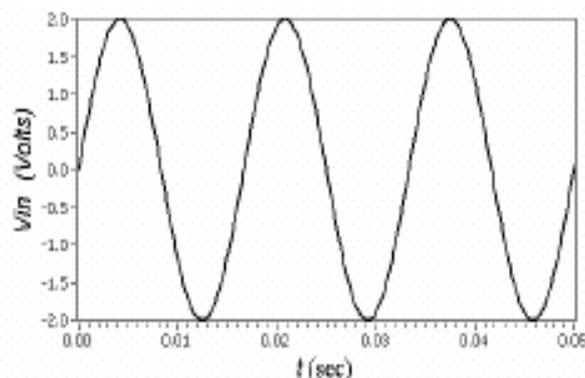
Pada umumnya, tegangan AC didekati dengan sinyal gelombang sinus, seperti tampak pada Gambar 3.1. Secara matematika, gelombang sinus dinyatakan oleh:

$$v = V_p \sin (t+\theta) \quad (3.1)$$

dimana v = tegangan sesaat

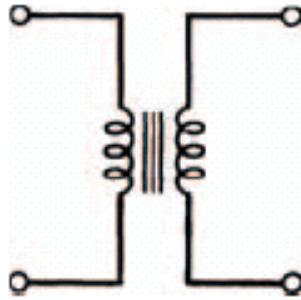
V_p = tegangan puncak

θ = sudut dalam derajat atau radian



Gambar 3.1 Gelombang Sinus

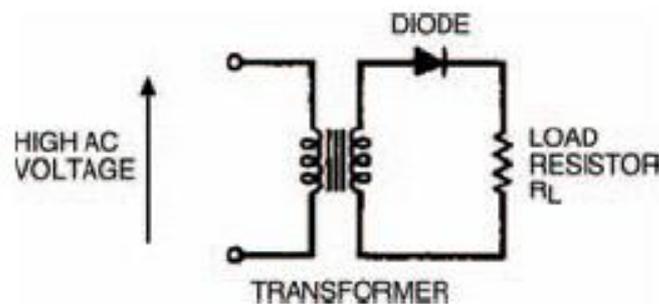
Beberapa peralatan elektronika mengandung sebuah transformator seperti tampak pada Gambar 3.2 untuk menaikkan atau menurunkan tegangan jala-jala. Besarnya penaikan atau penurunan tegangan sebanding dengan rasio jumlah lilitan pada bagian primer dengan jumlah lilitan sekunder. Untuk memudahkan pemahaman berikutnya, perbandingan ini tidak dibahas lebih lanjut. Sebagai gantinya, hanya tegangan sekunder yang diberikan.



Gambar 3.2 Transformator

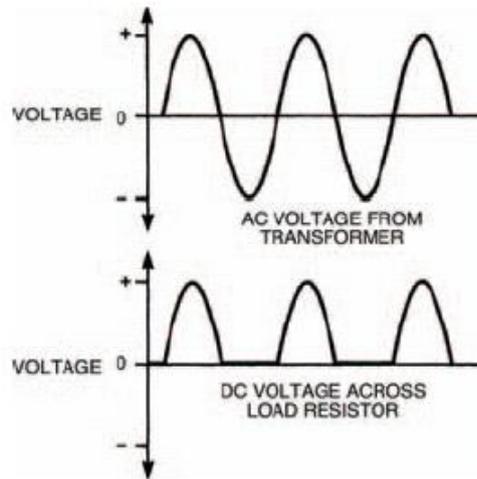
3.2. Rangkaian Penyerarah Setengah Gelombang

Gambar 3.3 memperlihatkan rangkaian yang disebut penyerah setengah gelombang (*half wave rectifier*). Pada setengah siklus tegangan sekunder yang positif, dioda mengalami *forward biased* untuk setiap tegangan yang lebih dari 0.7 volt (tegangan offset). Ini menghasilkan tegangan lintas tahanan beban (R_L) yang mendekati bentuk setengah gelombang sinus. Pada setengah siklus negatif, dioda mengalami *reverse biased*, yang menyebabkan arus beban menjadi nol dan tegangan beban jatuh menjadi nol.

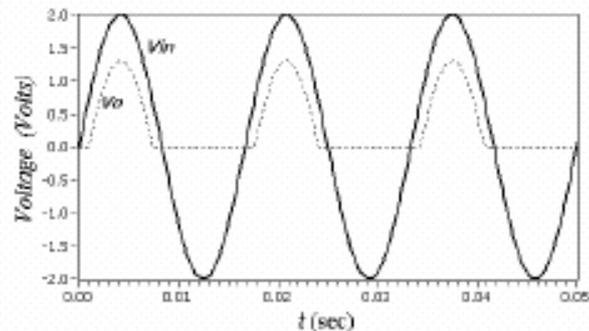


Gambar 3.3 Rangkaian Penyerah Setengah Gelombang

Jika digunakan pendekatan dioda ideal, puncak tegangan yang disearahkan sama dengan puncak tegangan sekunder, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 (a). Sedangkan, jika digunakan pendekatan dioda offset, puncak tegangan yang disearahkan memiliki tegangan puncak keluaran yang lebih rendah dari tegangan puncak masukan, seperti tampak pada Gambar 3.4 (b).



(a)



(b)

Gambar 3.4 Tegangan Masukan dan Keluaran Penyerah Setengah Gelombang

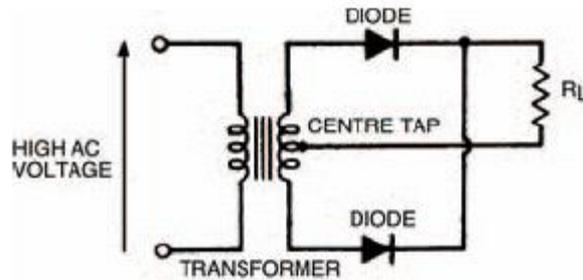
(a) Pendekatan Dioda Ideal dan (b) Pendekatan Dioda Offset

3.3. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan *Center Tap* Trafo

Nampak dari gambar diatas, bahwa penyearah setengah gelombang, belum menghasilkan tegangan DC yang baik. Oleh karena itu, diupayakan cara-cara lain untuk mendapatkan tegangan DC yang lebih baik.

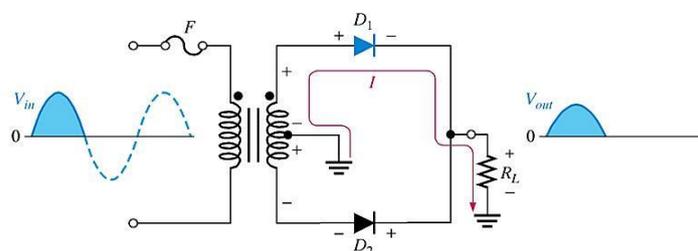
Gambar 3.5 menunjukkan sebuah rangkaian penyearah gelombang penuh dengan menggunakan *Center Tap* Trafo. Selama setengah siklus tegangan sekunder yang positif, dioda yang atas mengalami *forward biased* dan dioda yang bawah mengalami *reverse biased*. Sehingga, arus mengalir melalui dioda yang atas, ke tahanan beban, dan setengah belitan yang atas. Sebaliknya, selama setengah siklus tegangan sekunder yang negatif, arus

akan mengalir melalui dioda yang bawah, ke tahanan beban, dan setengah belitan yang bawah.

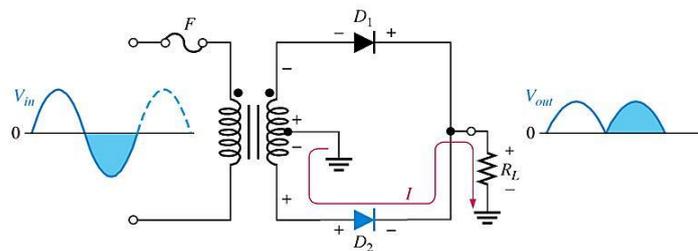


Gambar 3.5 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan Center Tap Trafo

Dalam kedua siklus diatas, tahanan beban mendapatkan polaritas yang sama, tanpa memperhatikan dioda mana yang konduksi. Sehingga, tegangan keluaran pada beban berbentuk sinyal gelombang penuh yang disearahkan seperti terlihat pada Gambar 3.6.

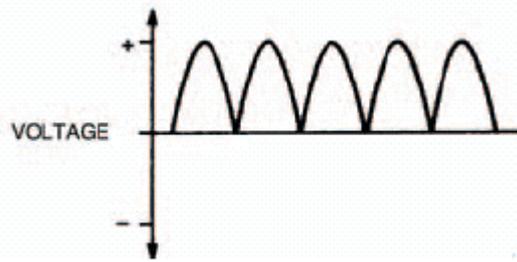


(a) During positive half-cycles, D_1 is forward-biased and D_2 is reverse-biased.

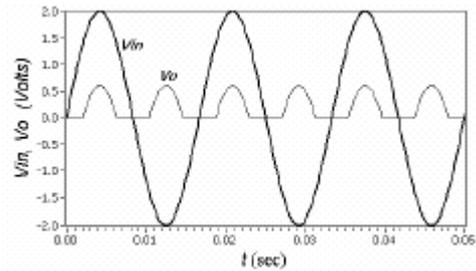


(b) During negative half-cycles, D_2 is forward-biased and D_1 is reverse-biased.

(a)



(b)

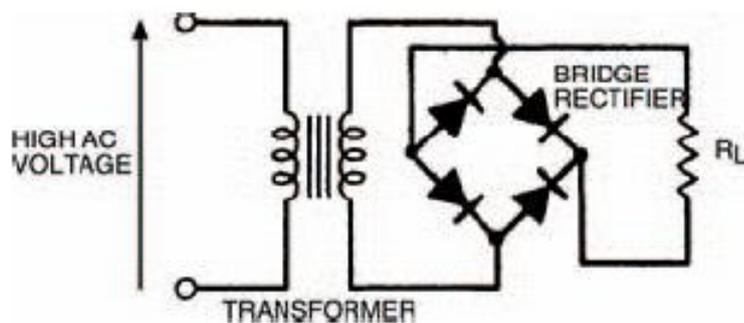


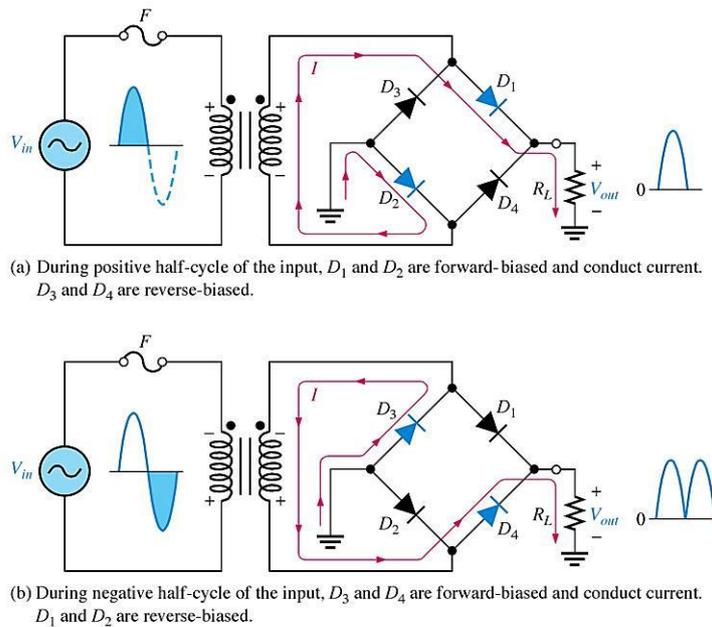
(c)

Gambar 3.6 Penyearah Gelombang Penuh Center Tap Trafo: (a) Proses Penyearahan (b) Pendekatan Dioda Ideal dan (c) Pendekatan Dioda Offset

3.4. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan Dioda Jembatan

Pada saat ini, penyearah gelombang penuh dengan *Center Tap* Trafo, tidak umum digunakan. Penyearah gelombang penuh yang paling terkenal ialah penyearah jembatan (*bridge rectifier*). Gambar 3.7 menunjukkan rangkaian dan proses penyearah jembatan. Selama setengah siklus tegangan sekunder yang positif, dioda kanan atas dan dioda kiri bawah di-*forward biased*, sehingga tegangan beban mempunyai polaritas yang searah. Selama setengah siklus negatif, dioda kiri atas dan dioda kanan bawah yang *forward biased*, sehingga tahanan beban juga memiliki polaritas yang sama dengan sebelumnya. Secara bentuk, tegangan masukan dan keluaran penyearah gelombang penuh dengan menggunakan *bridge dioda* sama dengan menggunakan center tap trafo.

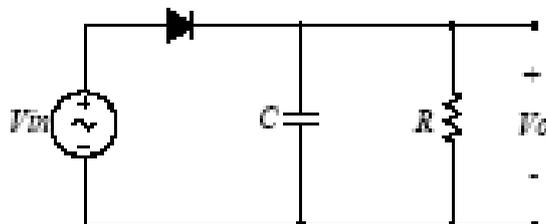




Gambar 3.7 Rangkaian dan Proses Penyearah Gelombang Penuh dengan *bridge dioda*

3.5. Rangkaian Penyearah dengan Filter Kapasitor

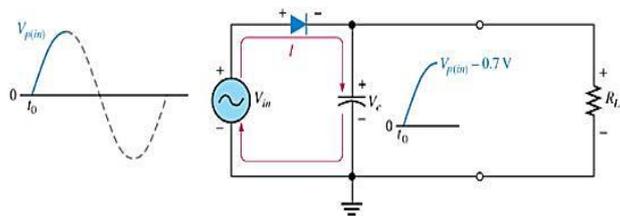
Keluaran penyearah rata-rata adalah tegangan DC yang memiliki denyut (*ripple*). Untuk mengubah denyut ini ke tegangan DC yang tetap, dibutuhkan sebuah penapis (*filter*). Gambar 3.8 memperlihatkan rangkain penyearah setengah gelombang dengan penapis menggunakan Kapasitor.



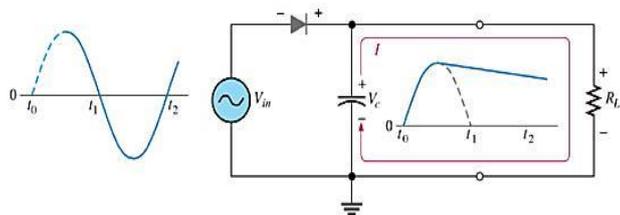
Gambar 3.8 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang dengan Filter Kapasitor

Selama seperempat siklus pertama dari tegangan sumber, dioda di-*forward biased*. Pada saat itu, dioda menghubungkan sumber langsung melintas kapasitor, sehingga kapasitor diisi sampai tegangan puncak. Namun, setelah melewati puncak positif, dioda berhenti konduksi. Pada keadaan ini, kapasitor membuang muatannya melalui resistansi beban. Dengan rancangan yang baik, tetapan waktu pembuangan (t_{RC}) dapat dibuat jauh

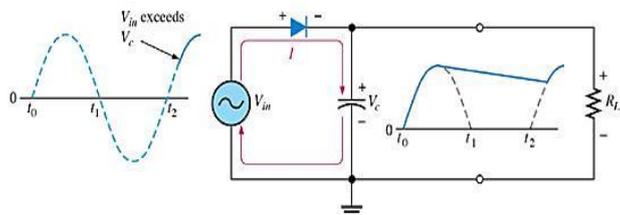
lebih besar daripada perioda T sinyal masuk. Oleh karena itu, kapasitor hanya kehilangan sebagian besar kecil muatannya. Kemudian, pada saat tegangan sumber mencapai puncaknya kembali, dioda menghantar sebentar dan mengisi kapasitor kembali sampai tegangan puncaknya. Proses ini digambarkan pada Gambar 3.9.



(a) Initial charging of capacitor (diode is forward-biased) happens only once when power is turned on.

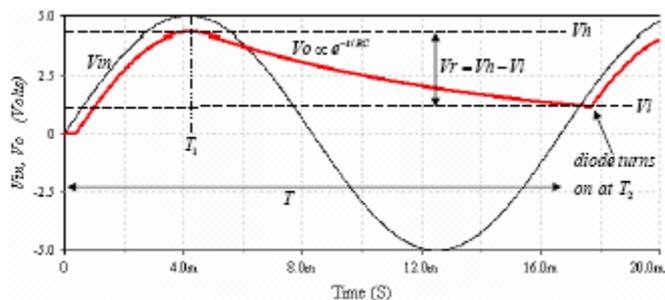


(b) The capacitor discharges through R_L after peak of positive alternation when the diode is reverse-biased. This discharging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid blue curve.



(c) The capacitor charges back to peak of input when the diode becomes forward-biased. This charging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid blue curve.

(a)

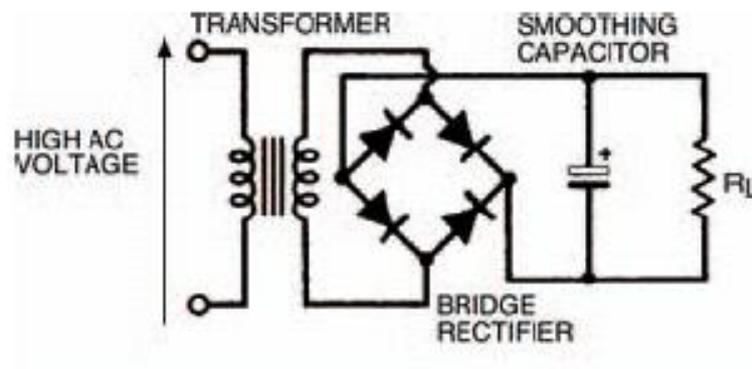


(b)

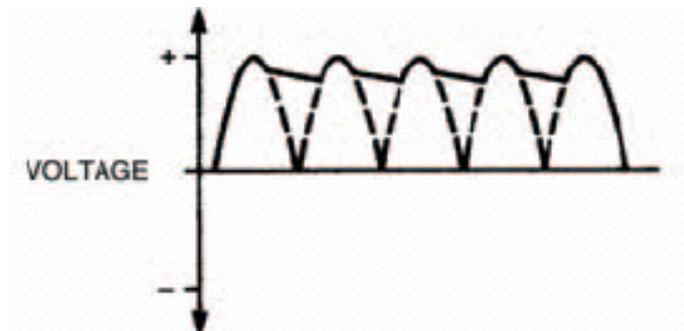
Gambar 3.9 Penapisan sinyal DC menggunakan kapasitor (a) Proses dan

(b) Detail Hasil Pemfilteran

Hal ini juga terjadi pada rangkaian penyearah gelombang penuh dengan *dioda bridge*, sebagaimana tampak pada Gambar 3.10.



(a)



(b)

Gambar 3.10 Rangkaian Penyearah Dioda Bridge dengan penapis kapasitor

Proses pengisian dan pembuangan arus (*charging and discharging*) pada rangkaian kapasitor diatas, sangat bergantung kepada harga-harga dari Resistor dan Kapasitor. Tegangan pada kapasitor pada saat proses pengisian adalah sebagai berikut:

$$V_C(t) = V_{in}(1 - e^{-t/RC}) \quad (3.2)$$

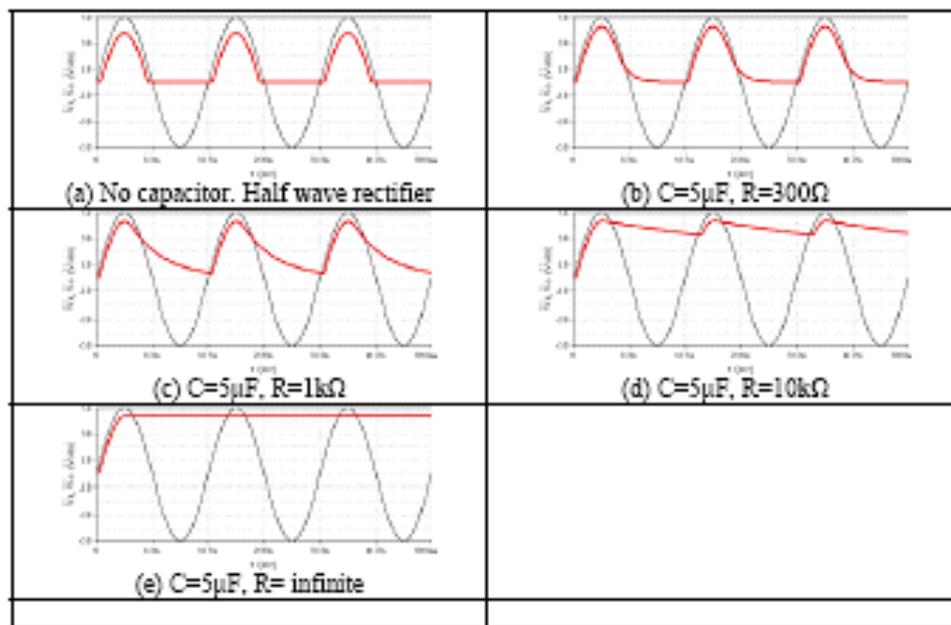
sedangkan persamaan arus untuk proses pembuangan adalah sebagai berikut:

$$V_C(t) = V_{in}e^{-t/RC} \quad (3.3)$$

dimana konstantat waktu peluruhan, biasa dikenal dengan istilah konstanta waktu τ , dimana:

$$\tau = RC \quad (3.4)$$

Beberapa pasangan harga R dan C serta tegangan DC keluaran tampak pada Gambar 3.11 di bawah ini.



Gambar 3.11 Keluaran Tegangan DC

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Franci Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Rangkaian Dioda (Lanjutan)

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

04

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Rangkaian Dioda (Lanjutan) terdiri dari Voltage Multiplier, Limiter/Clipper, Clamper dan Rangkaian Proteksi dengan Dioda.

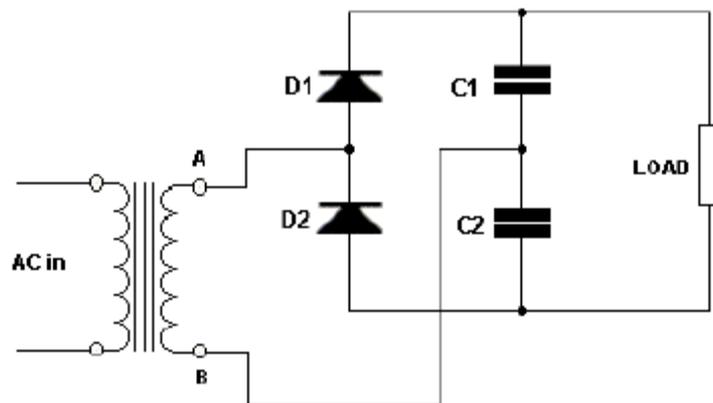
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami Voltage Multiplier, Limiter/Clipper, Clamper dan Rangkaian Proteksi dengan Dioda.

Pembahasan

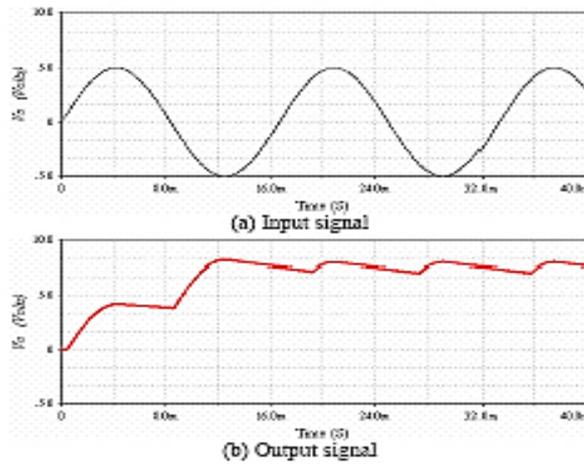
4.1. Voltage Multiplier

Pelipatgandaan tegangan adalah dua atau lebih dioda penyearah puncak yang menghasilkan tegangan DC sama dengan perbanyakannya puncak tegangan masuknya. Catu daya ini digunakan untuk alat-alat tegangan tinggi seperti tabung TV, monitor, oskiloskop, dan lain-lain. Rangkaian Voltage Doubler dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



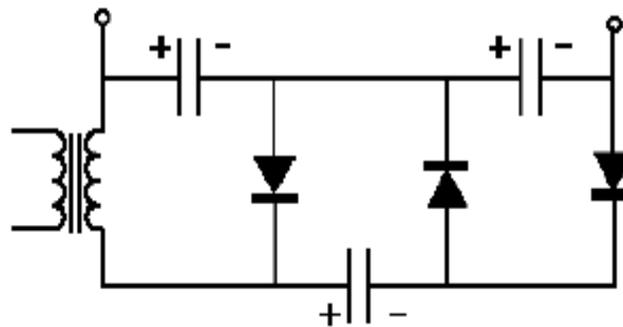
Gambar 4.1 Rangkaian Voltage Multiplier

Pada setengah siklus positif dari sumber, dioda D_1 konduksi, sehingga kapasitor C_1 dimuati sampai tegangan puncak. Kemudian, pada setengah siklus negatif, dioda D_2 konduksi, yang menyebabkan kapasitor C_2 yang dimuati sampai tegangan puncaknya. Tahanan beban akan menerima tegangan jatuh sebesar jumlah dari muatan kapasitor yang terhubung secara seri, yaitu 2 kali dari tegangan puncak masukan ($2V_{in}$). Gambar 4.2 menggambarkan peristiwa tersebut.

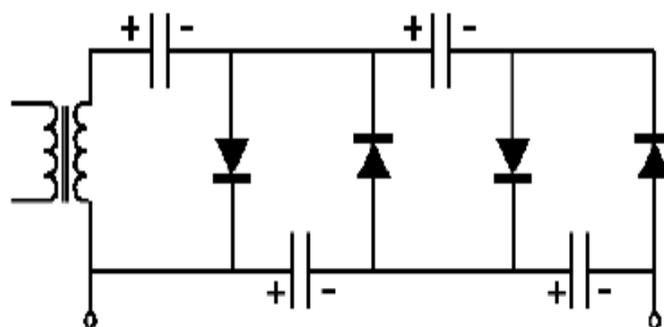


Gambar 4.2 Grafik Masukan dan Keluaran Rangkaian Voltage Multiplier

Secara umum, dapat dikatakan bahwa jumlah pelipatgandaan dapat ditingkatkan sesuai dengan kehendak perancang dengan menambahkan jumlah pasangan dioda dan kapasitor. Di bawah ini, merupakan rangkaian pelipatgandaan tripler dan pelipatgandaan quadraple.



(a)



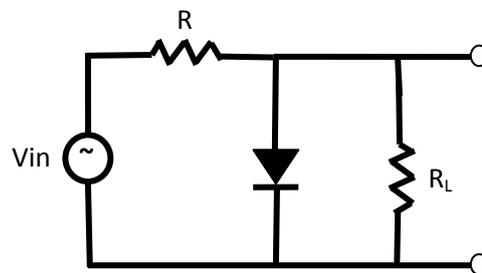
(b)

Gambar 4.3 General Voltage Multiplier: (a)Tripler dan (b) Quadraple

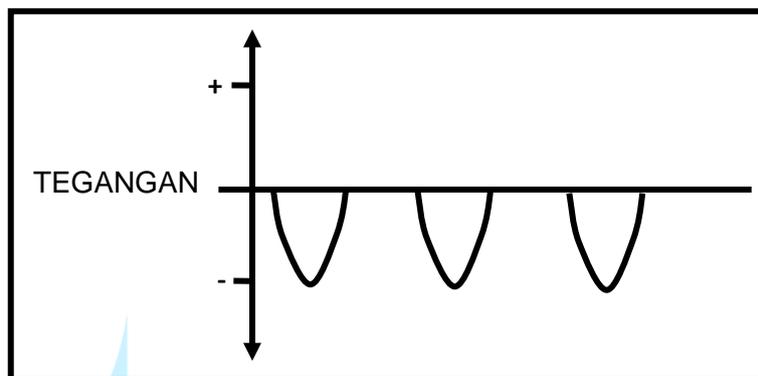
4.2. Rangkaian Pembatas (*Limiter*)

Untuk dioda-dioda sinyal kecil, yang mempunyai batas kemampuan daya kurang dari 0.5 watt, biasanya digunakan pada peralatan elektronika frekuensi tinggi. Salah satu rangkaian sinyal kecil ini adalah Rangkaian Pembatas (*limiter*).

Gambar 4.3 memperlihatkan rangkaian pembatas positif, yang terkadang disebut sebagai penggunting (*clipper*), yaitu suatu rangkaian yang menyingkirkan bagian sinyal yang positif. Selama setengah tegangan masuk yang positif, dioda konduksi. Akibatnya, tegangan yang jatuh pada tahanan beban adalah 0 volt (seolah-olah tegangan positif terpotong). Selanjutnya, selama setengah tegangan masuk negatif, dioda di-*reverse biased*, yang menyebabkan semua tegangan masuk jatuh ke tahanan beban. Grafik tegangan yang jatuh pada tahanan beban, tergambar pada Gambar 4.4.



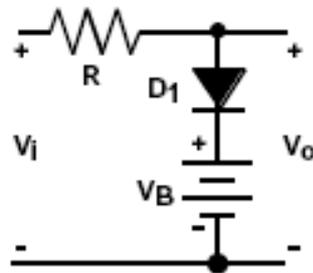
Gambar 4.3 Rangkaian Pembatas Tegangan Positif



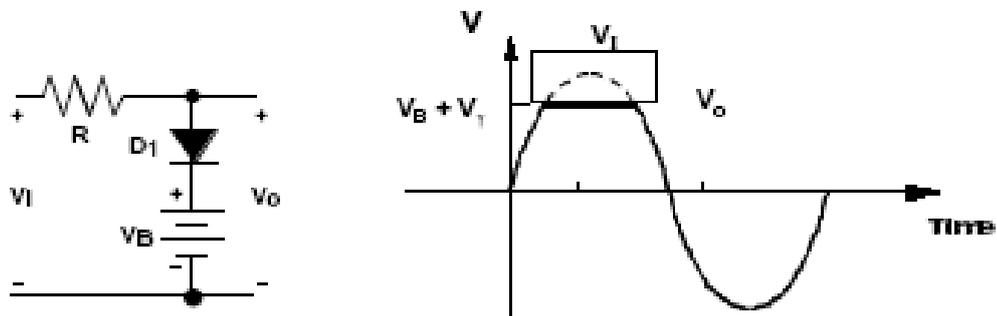
Gambar 4.4 Grafik Pembatas Tegangan Positif

Pada aplikasinya, terdapat sebuah sumber tegangan untuk menentukan besar tegangan yang akan dipotong. Gambar 4.5. di bawah ini menunjukkan rangkaian pemotong yang diberikan sumber tegangan V_B . Sehingga, rangkaian akan memotong tegangan yang melebihi $V_B + V_V$. Sedangkan tegangan dibawah nilai tersebut akan tetap diteruskan oleh

rangkaian menuju tahanan beban. Proses dan hasil pemotongan rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Rangkaian Pembatas Atas dengan Sumber Tegangan

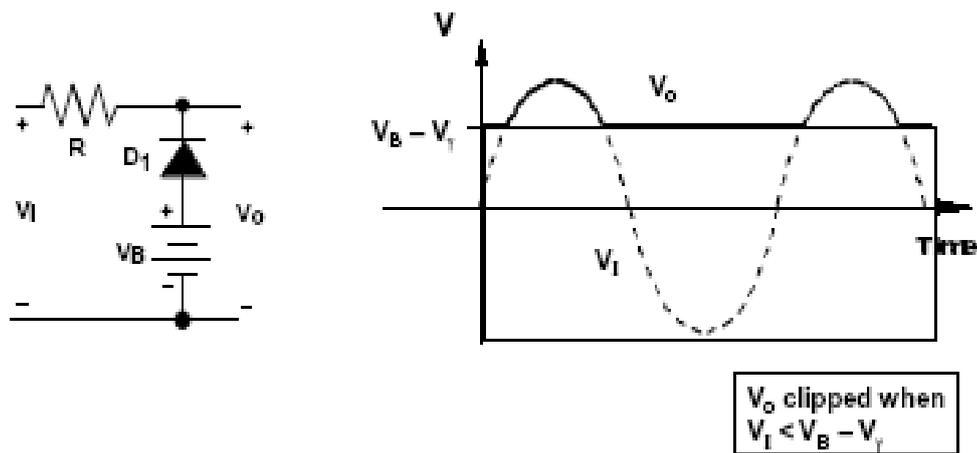


Gambar 4.6 Proses dan Hasil Rangkaian Pembatas Atas dengan Sumber Tegangan

Jika V_B sebesar 5 volt dan V_Y adalah 0.7 volt, maka rangkaian akan memotong tegangan diatas 5.7 volt, namun akan melewati tegangan dibawah 5.7 volt.

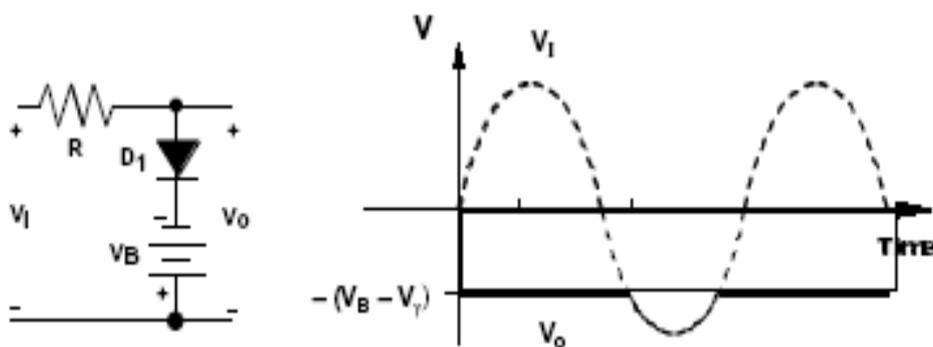
Jika diinginkan kondisi yang lain, maka dimungkinkan untuk membalik posisi dioda, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.7 di bawah ini. Dari gambar tersebut, jika tegangan masuk melebihi $V_B - V_Y$, maka tegangan akan diteruskan karena dioda dalam kondisi *reverse*. Sedangkan jika tegangan masuk kurang dari $V_B - V_Y$, dioda berada dalam kondisi *forward* sehingga tegangan akan terpotong.

Secara umum, posisi dioda akan menentukan bagian mana dari tegangan masukan yang akan dibatasi. Jika posisi dioda ke arah bawah, maka rangkaian akan membatasi bagian atas. Sedangkan jika dioda dalam posisi ke arah atas, rangkaian akan membatasi tegangan masukan bagian bawah.



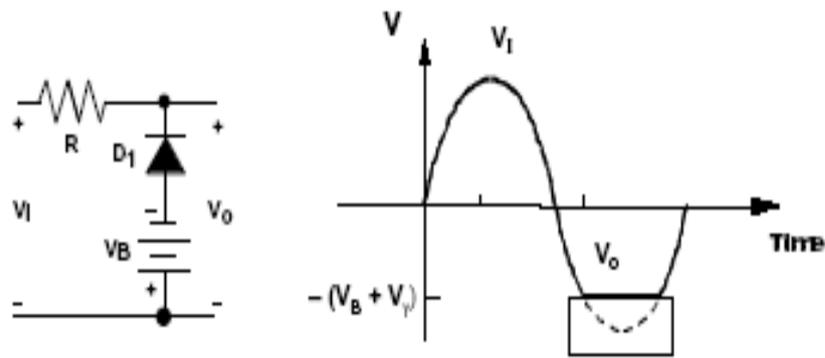
Gambar 4.7 Proses dan Hasil Rangkaian Pembatas Bawah

Dari contoh diatas, posisi batere selalu dalam keadaan yang sama. Jika, posisi batere diubah polarisasinya, maka akan terjadi pula perubahan proses pembatasan. Gambar 4.8 di bawah ini, menunjukkan rangkaian pembatas atas dengan polarisasi batere yang berbeda. Sehingga, rangkaian akan membatasi tegangan masukan bagian atas dengan batasan negatif, $-(V_B - V_\gamma)$. Secara proses, rangkaian ini sama seperti rangkaian pembatas atas (Gambar 4.6), hanya pembatasnya adalah negatif, disebabkan oleh polarisasi batere yang dibalik.



Gambar 4.8 Proses dan Hasil Rangkaian Pembatas Atas Negatif

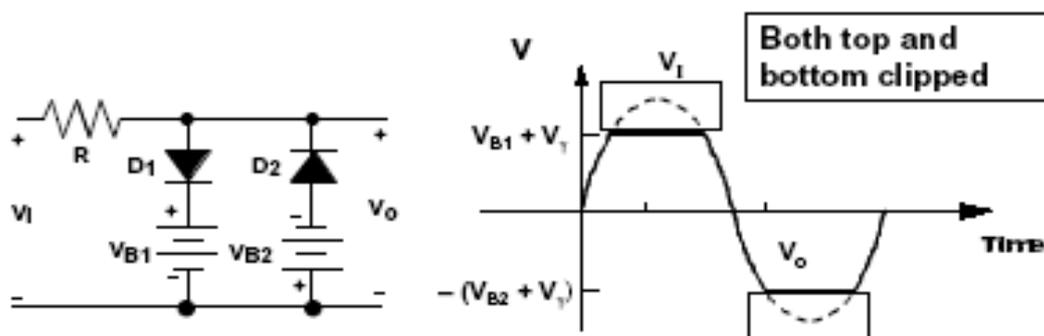
Demikian juga, apabila rangkaian pembatas negatif memiliki polarisasi batere terbalik, seperti yang tampak pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.9 Proses dan Hasil Rangkaian Pembatas Bawah Negatif

Pada gambar tersebut, rangkaian akan memotong tegangan masukan pada bagian bawah. Namun, karena polarisasi batere terbalik, pembatasan terjadi pada harga negatif, yaitu: $-(V_B + V_\gamma)$.

Jika rangkaian-rangkaian pemotong ini dikombinasikan, akan didapat sebuah rangkaian pembatas atas positif dan rangkaian pembatas bawah negatif, seperti yang tampak pada Gambar 4.10 di bawah ini. Pada rangkaian ini, akan didapat suatu hasil dimana rangkaian memotong gelombang di atas batas tertentu, memotong gelombang di bawah batas tertentu dan melewatkan gelombang di area tertentu pula. Dengan sedikit modifikasi, akan didapatkan sebuah gelombang kotak dengan harga-harga yang dapat ditentukan.

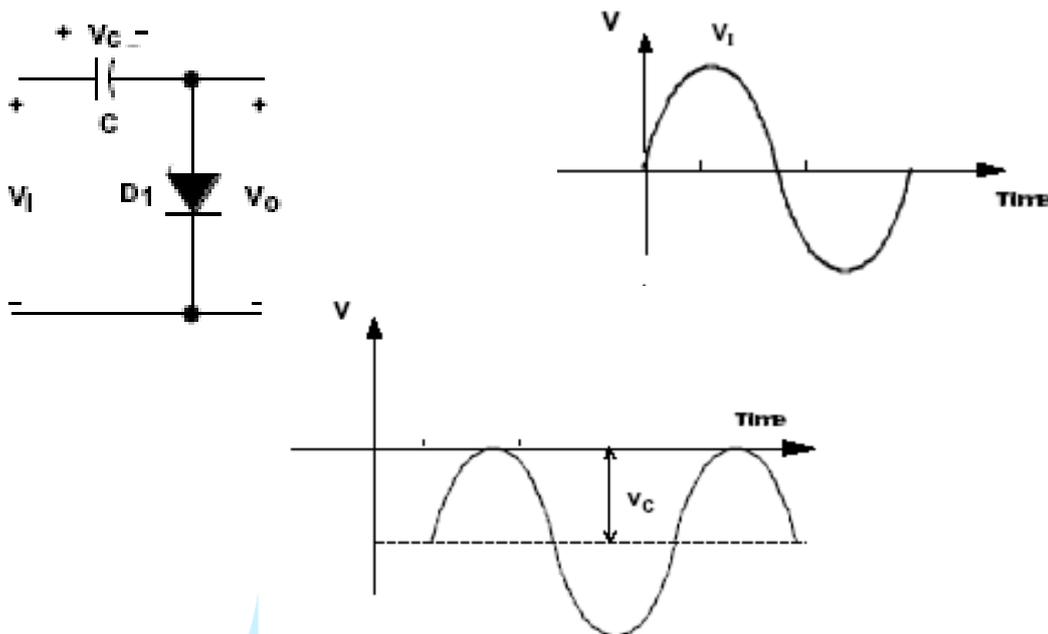


Gambar 4.10 Proses dan Hasil Rangkaian Pembatas Paralel Atas dan Bawah

4.3. Rangkaian Penggeser (*Clamper*)

Rangkaian ini memberikan penambahan komponen DC pada tegangan masukan. Akibatnya, seolah-olah terjadi pergeseran (*clamping*) pada tegangan. Jika penambahan komponen DC negatif, maka terjadi pergeseran tegangan ke bawah (*negatively clamped*), dan begitu pula sebaliknya, (*positively clamped*).

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian penggeser negatif. Selama setengah tegangan masukan V_i positif, dioda di-*forward biased* dan dalam kondisi konduksi, sehingga kapasitor akan terisi dengan polaritas seperti ditunjukkan oleh gambar. Akibatnya, tegangan keluaran V_o akan sama dengan nol. Namun, selama setengah tegangan masukan V_i negatif, dioda di-*reverse biased*. Kapasitor akan mulai membuang tegangannya melalui tegangan keluaran V_o . Akibatnya, tegangan keluaran V_o akan sama dengan tegangan masukan V_i dikurang dengan tegangan buangan dari kapasitor V_C . Sehingga, secara grafik, tegangan keluaran V_o merupakan tegangan masukan V_i yang diturunkan sejauh tegangan buangan dari kapasitor V_C . Jika dirancang bahwa waktu buangan kapasitor sangat lama, maka tegangan buangan dari kapasitor V_C akan sama dengan tegangan masukan V_i maksimum.



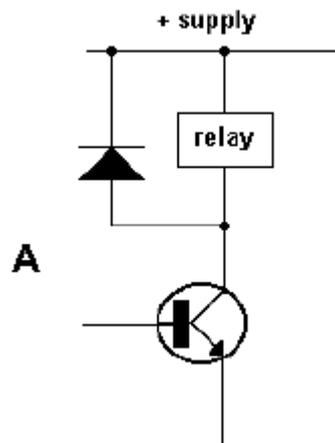
Gambar 4.11 Rangkaian *Clamper* Negatif

Rangkaian clamper positif dapat dirancang dari Gambar 4.11 diatas, dengan cara membalik posisi dioda, sehingga dioda mengarah ke atas. Maka, akan didapatkan tegangan keluaran V_o merupakan tegangan masukan V_i yang dinaikkan sebesar tegangan maksimumnya.

4.4. Rangkaian Proteksi dengan Dioda

Rangkaian yang juga sering dipakai sebagai sebuah aplikasi dari dioda adalah rangkaian proteksi. Rangkaian ini berisi sebuah relay yang digunakan sebagai saklar dari sistem saklar otomatis menggunakan transistor seperti yang tampak pada Gambar 4.12.

Karena sistem saklar otomatis ini, maka relay terkadang dalam kondisi ON dan terkadang dalam kondisi OFF. Perpindahan relay dari kondisi ON ke kondisi OFF akan menghasilkan tegangan balik akibat daya elektromagnetik ($EMF = \textit{Electromagnetical Force}$) pada koil di dalam relay. Tegangan balik ini dapat berupa tegangan yang amat besar, yang dapat merusak transistor. Dioda, yang dipasang secara *reverse biased*, akan mengalirkan tegangan balik ini secara *forward biased* searah dengannya. Sehingga, dengan demikian arah arus tersebut akan mencegah tegangan melalui transistor.



Gambar 4.12 Rangkaian Proteksi dengan Dioda

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Franci Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Dioda Khusus

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

05

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Dioda-dioda penyearah dan dioda-dioda sinyal kecil dibuat untuk bekerja baik dalam penyearahan sinyal. Tetapi, tidak hanya ini saja fungsi dioda. Penggunaan lain dari dioda yang bukan penyearah yakni Dioda Zener, LED, dan lain-lain.

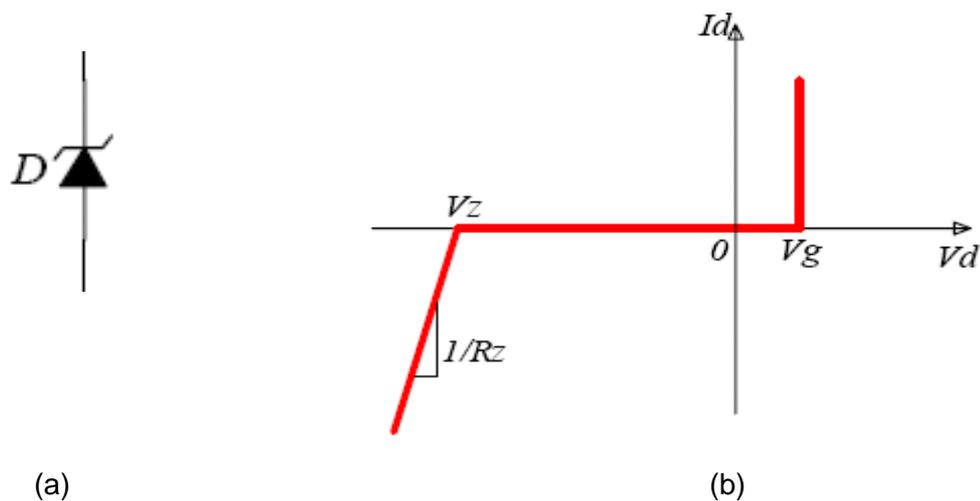
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami Dioda Zener, LED, Seven Segment, Fotodioda, Optocoupler, Dioda Schotky.

Pembahasan

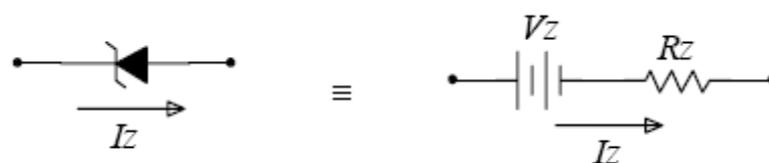
5.1. Dioda Zener

Pada umumnya, operasi dioda pada daerah *reverse* dibatasi untuk tidak melebihi tegangan balik maksimum yang diizinkan. Jika tegangan ini terus naik, dapat mencapai tegangan dadal (*breakdown voltage*) yang dapat merusakkan dioda. Namun, pada Dioda Zener, dioda yang telah dirancang khusus, daerah dadal justru menghasilkan fenomena yang berguna. Tegangan dadal (*breakdown voltage*) ini memiliki harga dengan jangkauan antara beberapa volt sehingga ratusan volt. Simbol dan grafik V-I dari Dioda Zener ditunjukkan pada Gambar 5.1.



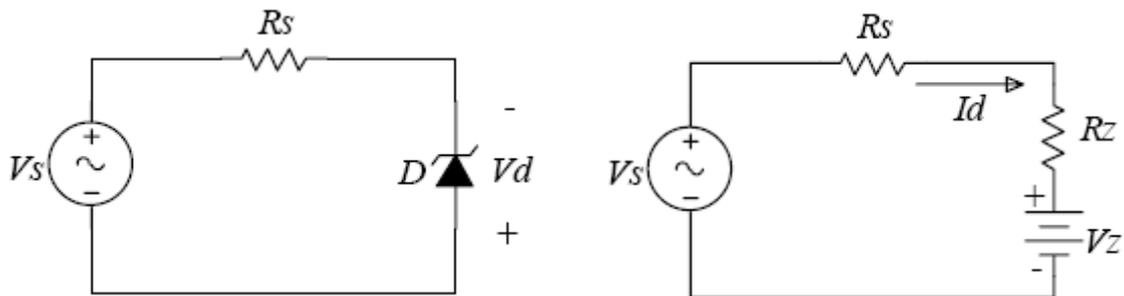
Gambar 5.1 Simbol dan Grafik V-I Dioda Zener

Berdasarkan Grafik V-I, Gambar 5.1 (b), pada daerah *forward biased*, Dioda Zener mulai menghantar pada tegangan sekitar 0.7 volt, seperti dioda biasa. Pada daerah *reverse biased* Dioda Zener hanya mempunyai sedikit arus bocor. Namun, pada daerah *breakdown* kenaikan arus menghasilkan sedikit kenaikan tegangan. Ini berarti bahwa Dioda Zener mempunyai resistansi yang kecil. Pada daerah ini, Dioda Zener beroperasi seperti sebuah batere (V_z) dengan tahanan dioda (R_z). Operasi Dioda Zener ini, dimodelkan seperti Gambar 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.2 Model Dioda Zener

Karena itulah, Dioda Zener disebut sebagai pengatur tegangan (*voltage regulaor*), karena ia mempertahankan tegangan keluaran yang tetap meskipun arus yang melaluinya berubah. Gambar 5.3 menunjukkan rangkaian Dioda Zener dengan sebuah sumber (V_s) dan tahanan seri (R_s):



Gambar 5.3 Rangkaian Dioda Zener:

(a) Rangkaian Sebenarnya dan (b) Rangkaian Model

Maka:

$$I_d = \frac{V_s - V_z}{(R_s + R_z)} \quad (5.1)$$

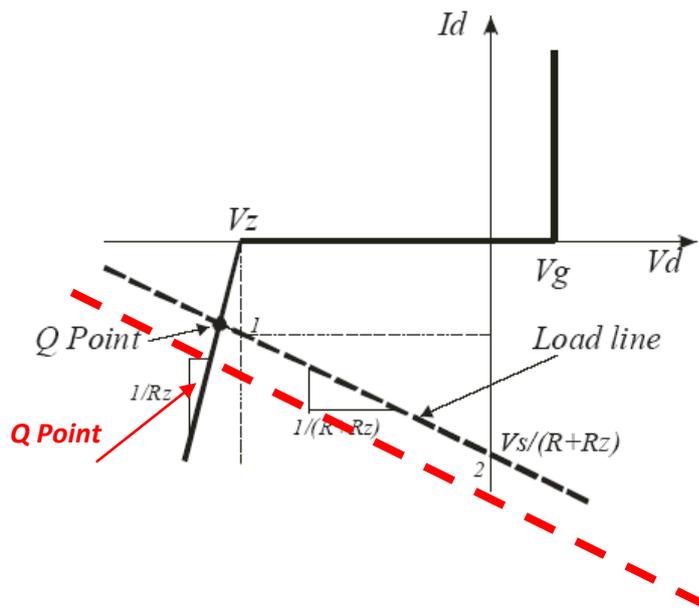
Dari persamaan ini, dapat dilukiskan sebuah Garis Beban (*Load Line*). Titik jenuhnya terjadi dengan menetapkan $V_z = 0$, sehingga arus dioda adalah:

$$I_d = \frac{V_s}{(R_s + R_z)} \quad (5.2)$$

Dengan cara yang sama, titik potongnya didapatkan ketika ditetapkan bahwa $I_d = 0$, sehingga tegangan dioda adalah:

$$V_z = V_s \quad (5.3)$$

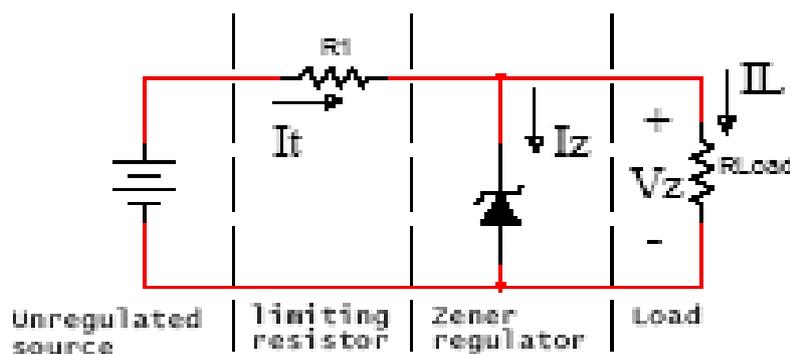
Jika kedua titik ini dihubungkan, maka akan didapat sebuah Garis Beban. Dan, apabila Garis Beban ini ditumpukkan dengan Grafik V-I Dioda Zener, maka akan didapatkan grafik seperti pada Gambar 5.4. Perpotongan kedua grafik itu terjadi pada titik operasi (*Operating Point*), Q.



Gambar 5.4 Operating Point Dioda Zener

Jika Sumber Tegangan, V_s , 20 volt, Tahanan Seri, R_s 1 K Ω , $V_z = 12$ volt, dan $R_z = 0\Omega$, maka arus maksimum dioda adalah 20 mA dan tegangan maksimumnya adalah 20 volt. Namun, apabila V_s diubah menjadi 30 volt, maka arus maksimumnya menjadi 30 mA dan tegangan maksimumnya adalah 30 volt. Tampak bahwa terjadi pula perubahan Titik Operasi, dari Q_1 ke Q_2 . Dapat dilihat bahwa, adanya perubahan arus yang mengalir melalui Dioda Zener, tetapi tegangannya hampir sama. Prinsip inilah yang menjadi gagasan pokok dari Dioda Zener untuk melakukan pengaturan tegangan, tegangan keluarannya hampir selalu tetap meskipun tegangan masuknya telah mengalami perubahan yang besar.

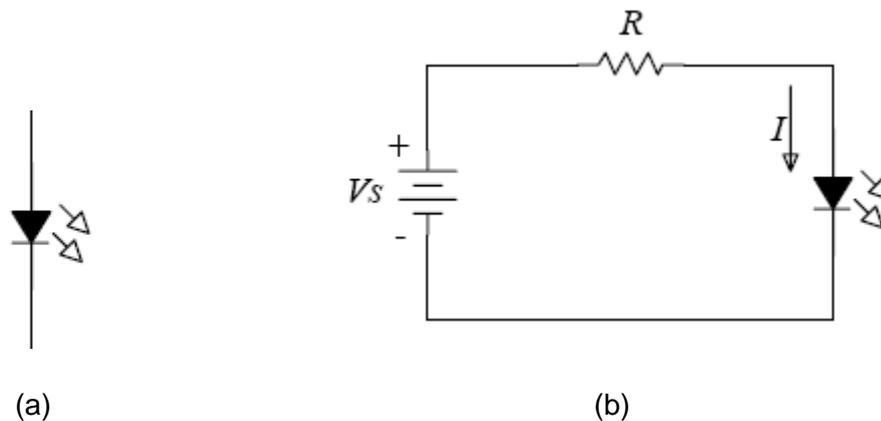
Gambar 5.5 di bawah ini menunjukkan dioda zener yang digunakan untuk mengatur tegangan lintas resistansi beban. Secara prinsip, dioda zener bekerja pada daerah *breakdown* dan menjaga tegangan bebannya hampir tetap.



Gambar 5.5 Pengaturan Tegangan dengan Dioda Zener

5.2. LED (*Light Emitting Dioda*)

Pada dioda yang *diforward biased*, elektron bebas melintasi *junction* dan jatuh ke dalam lubang (*hole*). Pada saat electron jatuh dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah, ia akan melepaskan energi. Pada dioda-dioda biasa, energi ini dilepaskan dalam bentuk panas. Namun, pada LED, energi ini dilepaskan dalam bentuk pancaran cahaya. Saat ini, LED telah menggantikan fungsi lampu pijar, karena tegangan yang diperlukan rendah, umurnya panjang dan *switch* mati-hidupnya yang cepat. Simbol dan rangkaian LED dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

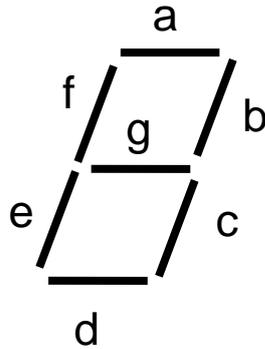


Gambar 5.6 Simbol dan Rangkaian LED

LED mempunyai penurunan tegangan lazimnya dari 1.5 volt hingga 2.5 volt untuk arus di antara 10 dan 150 mA. Penurunan tegangan yang tepat tergantung dari arus LED, warna dan lain-lain. Pada umumnya, tegangan 2 volt dijadikan tegangan jatuh LED dengan arus 10 sampai 50 mA, karena daerah ini memberikan cahaya yang cukup untuk banyak pemakaian.

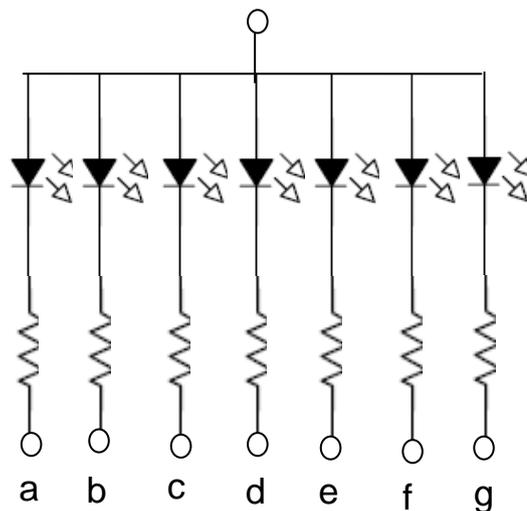
5.3. Seven Segment

Pemakaian LED juga umum dalam bentuk gabungan 7 buah LED, yang disebut dengan *Seven Segment*, a, b, c, d, e, f, dan g. Setiap segmen dapat menampilkan alfanumerik 0 hingga 9, dan huruf A hingga F. Untuk dapat menampilkan alfanumerik yang diinginkan, maka kombinasi masukan bagian setiap LED harus ditentukan terlebih dahulu. Gambar 5.7 adalah diagram skematik dari *Seven Segment*.



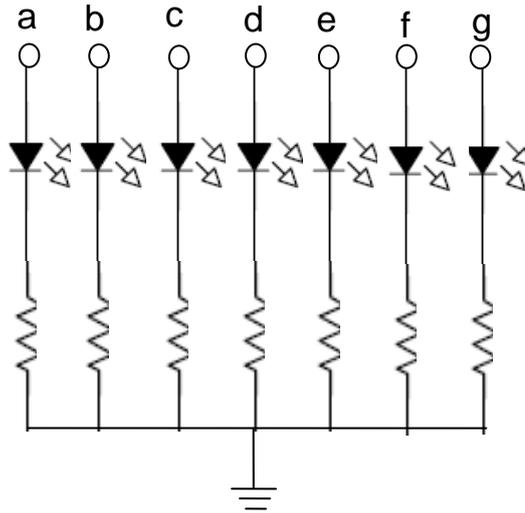
Gambar 5.7 Simbol LED

Pada aplikasi digital rangkaian LED dan Seven Segment, posisi sumber arus atau ground amat menentukan. Bila sumber arus dihubungkan dengan kaki anoda LED, maka rangkaian dikenal dengan istilah *common anode* (Anoda Sekutu). Pada rangkaian seperti ini, LED akan menyala jika diberikan masukan '0' (atau 0 volt) ke kaki katoda LED dan tidak akan menyala jika diberikan masukan '1' (atau 5 volt). Hal ini diperlihatkan pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5.8 Rangkaian *Common Anode*

Sebaliknya, bila ground dihubungkan dengan kaki katoda LED maka rangkaian ini disebut dengan *common cathode* (Katoda Sekutu). Sehingga, LED hanya akan menyala jika berikan masukan '1' ke kaki anoda LED, dan sebaliknya. Gambar 5.9 memperlihatkan rangkaian ini.



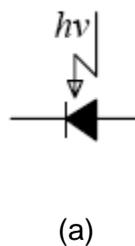
Gambar 5.9 Rangkaian *Common Cathode*

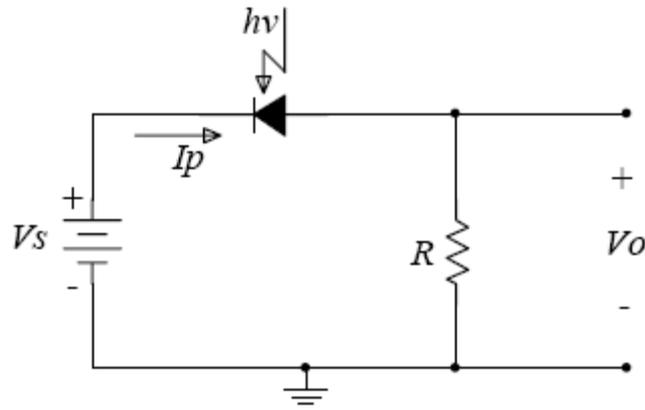
Pada kedua rangkaian diatas, dipergunakan tahanan (*resistor*) untuk membatasi arus yang masuk ke dalam masing-masing LED, demi menjaga *life time* (masa hidup) dari LED tersebut.

5.3. Fotodioda

Fotodioda adalah satu alat yang dibuat untuk berfungsi paling baik berdasarkan kepekaannya terhadap cahaya. Pada dioda ini, sebuah jendela memungkinkan cahaya untuk masuk melalui pembungkus dan mengenai persambungan. Cahaya yang datang menghasilkan electron bebas dan *hole*. Makin kuat cayahanya, makin banyak pula jumlah pasangan electron-hole ini dan makin besar pula arus baliknya.

Gambar 5.8 menunjukkan symbol dan rangkaian fotodioda. Panah yang ke dalam melambangkan cahaya yang datang. Sumber dan tahanan seri memberi prategangan balik pada fotodioda. Bila cahaya makin cerah, arus balik naik.





(b)

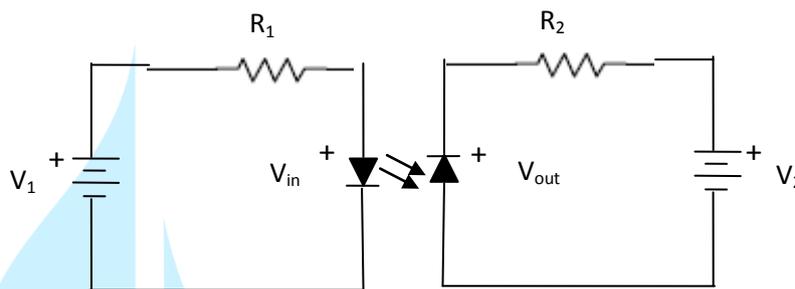
Gambar 5.10 Simbol dan Rangkaian Fotodiode

Fotodiode adalah salah satu contoh fotodetektor, yaitu sebuah alat optoelektronik yang dapat mengubah cahaya menjadi besaran listrik.

5.5. Optocoupler

Optocoupler menggabungkan LED dengan fotodiode dalam satu kemasan. Sebuah optocoupler mempunyai LED pada sisi masukan dan fotodiode pada sisi keluaran. Tegangan sumber V_1 dan tahanan seri R_1 , menghasilkan arus melalui LED dan memancarkan cahaya tertentu. Kemudian, cahaya dari LED tersebut mengenai fotodiode, dan ini menyebabkan timbulnya arus balik I_2 .

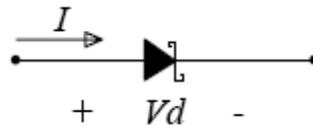
Tegangan keluaran tergantung pada arus balik I_2 . Bila tegangan masukan V_1 berubah, jumlah cahayanya juga berubah. Ini berarti bahwa tegangan keluar berubah sejalan dengan tegangan masuk. Itulah sebabnya, gabungan LED dan fotodiode ini disebut dengan optocoupler. Rangkaian skematik optocoupler tampak pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Optocoupler

5.6. Dioda Schotky

Dioda Schotky dibuat menggunakan bahan logam seperti emas, perak atau platina pada satu sisi persambungan dan silikon tak murni pada sisi yang lain. Simbol Dioda Schotky tampak pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Dioda Schotky

Dioda ini dapat beralih ke keadaan putus lebih cepat dari dioda biasa. Oleh karena itu, dioda ini mudah menyearahkan frekuensi di atas 300 MHz. Di sisi lain, dioda Schotky mempunyai tegangan offset yang rendah, yaitu sekitar 0.25 volt.

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Aplikasi Dioda

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

06

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Aplikasi Dioda antara lain Konversi Arus, Over-voltage Protection, Radio Demodulation, Logic Gates, dll.

Kompetensi

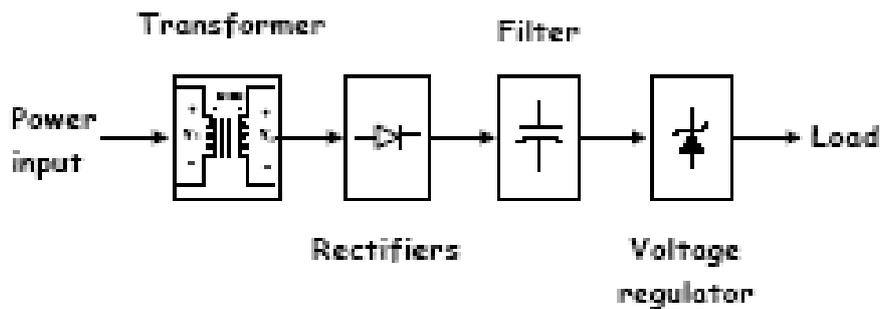
Mampu menjelaskan dan memahami Konversi Arus, Over-voltage Protection, Radio Demodulation, Logic Gates, dll.

Pembahasan

6.1. Konversi Arus

Aplikasi yang paling umum dari dioda adalah konversi arus. Alat ini, mengkonversikan arus dari arus bolak-balik, *Alternating Current* (AC) ke arus searah, *Direct Current* (DC). Aplikasi ini banyak digunakan pada berbagai peralatan listrik yang menggunakan arus DC, seperti TV, radio, VCD, dll.

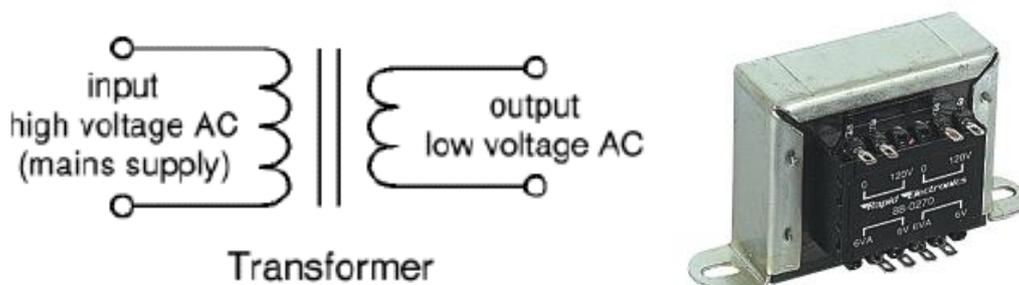
Secara umum, sistem konversi arus memiliki blok rangkaian sebagai berikut:



Gambar 6.1 Rangkaian Sistem Konversi Arus

Pada gambar diatas, tampak bahwa sistem konversi arus terdiri dari transformator, penyearah (*rectifiers*), penapis (*filter*) dan pengatur tegangan (*voltage regulator*).

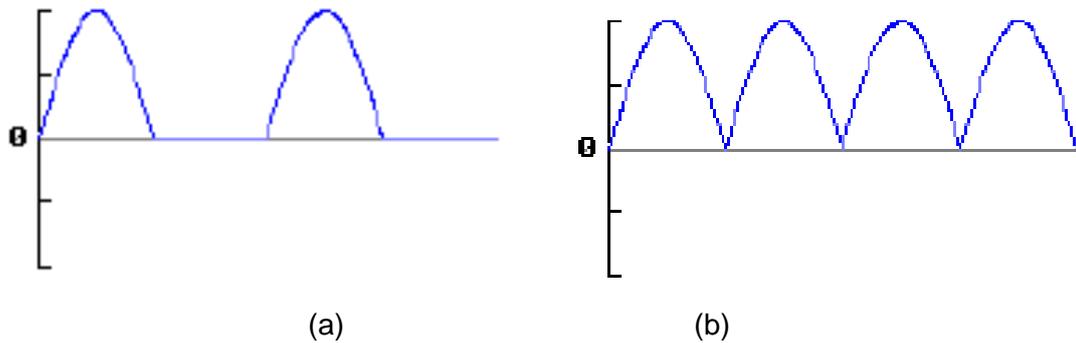
Transformator berfungsi menurunkan tegangan, dari tegangan yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Proses penurunan tegangan menggunakan prinsip perbedaan gulungan primer dan sekunder pada transformator.



Gambar 6.2 Transformator

Blok berikutnya adalah penyearah. Pada bagian inilah prinsip dan karakter dioda diaplikasikan (lihat Modul 3 – 4). Susunan dioda akan mempengaruhi bentuk tegangan DC yang dihasilkan, seperti tampak pada Gambar 6.3. Namun, karena bentuk keluaran

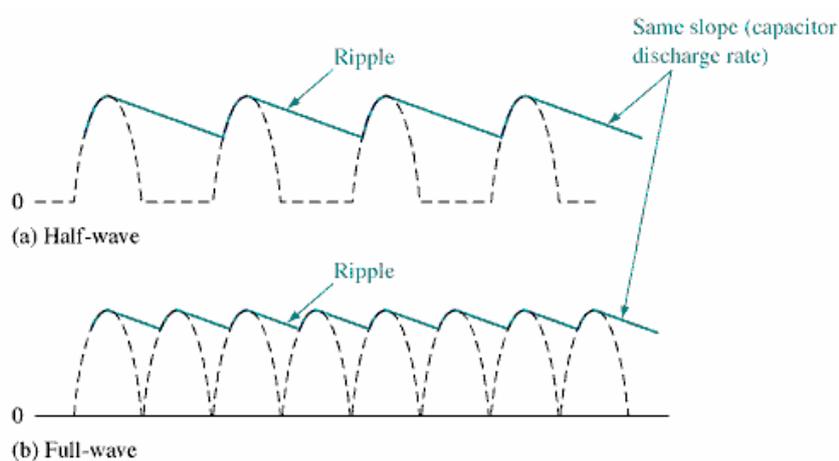
tegangan dari blok ini masih berupa tegangan DC berpulsa, diperlukan blok lain untuk meminimalisir pulsa tersebut.



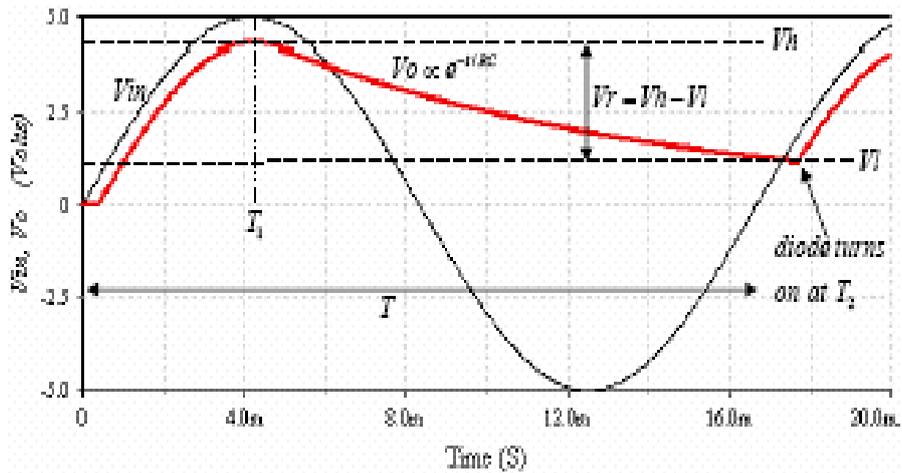
Gambar 6.3 Hasil Penyearahan berupa Tegangan DC berpulsa

(a) Half Wave Rectifier dan (b) Full Wave Rectifier

Blok yang dapat mengurangi pulsa adalah rangkaian penapis. Dengan memanfaatkan prinsip pengisian dan pembuangan (*charging and recharging*) muatan pada kapasitor, akan dapat dihasilkan tegangan DC yang lebih baik, yaitu tegangan DC berdenyut. Harga kapasitor dan tahanan yang digunakan pada rangkaian ini akan menghasilkan konstanta waktu tertentu. Konstanta waktu ini akan mempengaruhi lamanya proses pengisian dan pembuangan muatan pada kapasitor dan beban. Proses pemfilteran dan pengaruh harga-harga kapasitor dan resistor tampak pada gambar-gambar di bawah ini.

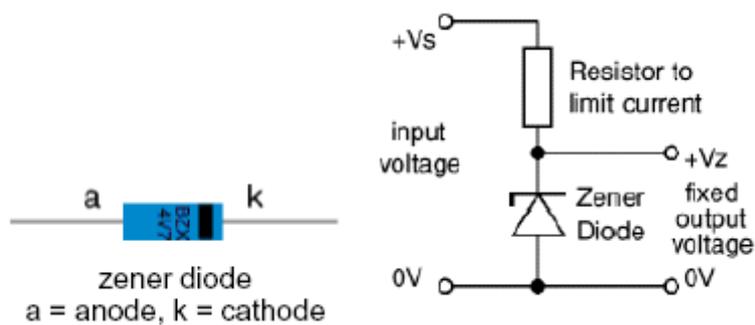


Gambar 6.4 Proses Pemfilteran DC berpulsa menjadi DC berdenyut



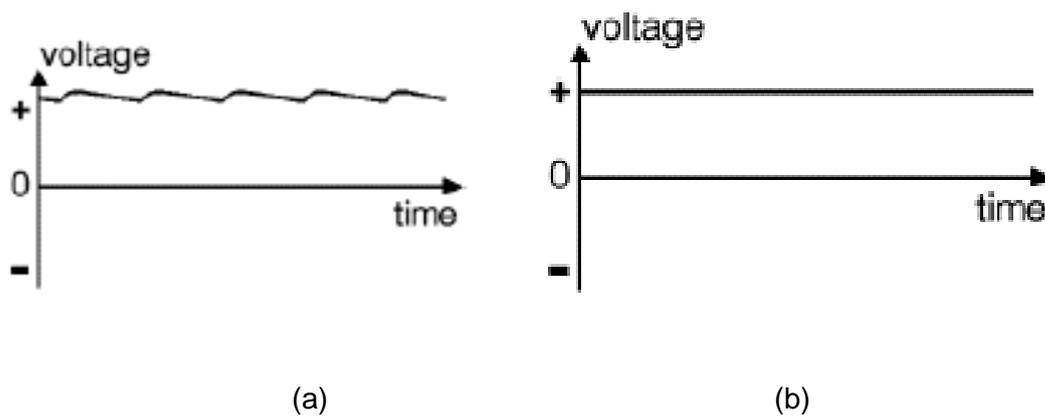
Gambar 6.5 Pengaruh Harga-harga Kapasitor dan Resistor pada Proses Pemfilteran

Terakhir adalah bagian pengatur tegangan, dimana blok ini berfungsi mengendalikan agar keluaran yang dihasilkan memiliki tegangan yang konstan walaupun terjadi perubahan pada tegangan masukan. Karakteristik dioda zener yang mampu mengendalikan tegangan pada arus yang berubah-ubah diaplikasikan untuk mencapai fungsi tersebut. Contoh Dioda Zener dan rangkaiannya dapat dilihat pada Gambar 6.5 di bawah ini.



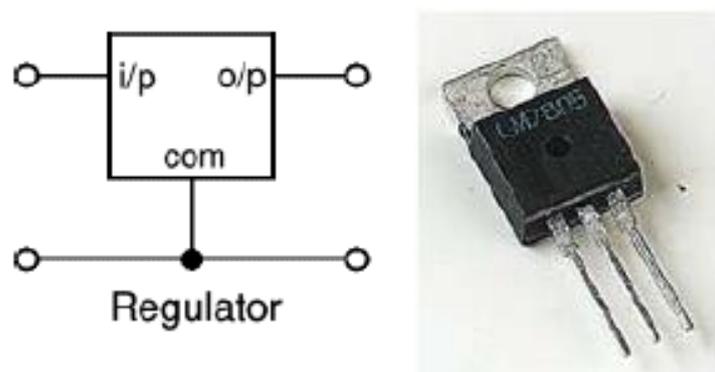
Gambar 6.6 Dioda Zener dan Rangkaiannya

Secara keseluruhan, ketika blok-blok rangkaian diatas dihubungkan ke beban, sistem ini akan memberikan penyediaan daya (*power supply*) yang stabil, sebagaimana gambar di bawah ini.



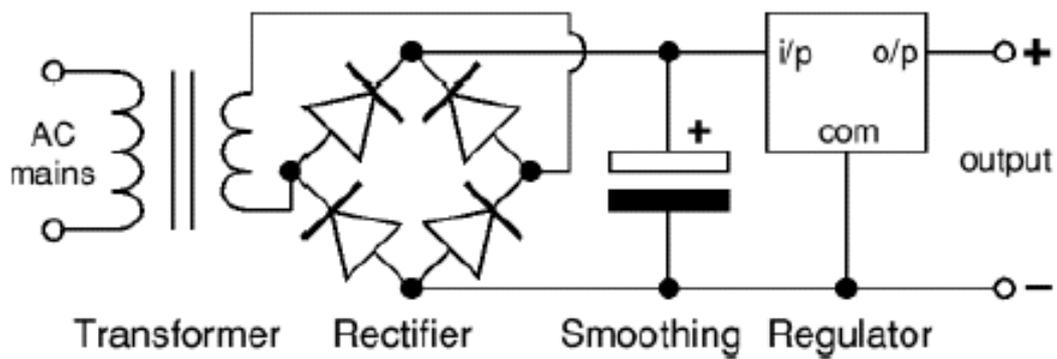
Gambar 6.7 Gelombang Keluaran (a) DC Berdenyut dan (b) DC murni setelah melalui Voltage Regulator

Pada aplikasi yang lebih praktis, rangkaian dioda Zener ini telah dipadukan dalam bentuk rangkaian terpadu (Integrated Circuit, IC) Voltage Regulator, seperti IC 7805, 7809 atau 7812. Masing-masing IC tersebut mengatur tegangan agar berada pada harga 5, 9 dan 12 volt DC. Struktur dan bentuk fisii IC Voltage Regulator 7805 tampak pada Gambar 6.8 di bawah ini.



Gambar 6.8 IC 7805 (a) Struktur dan (b) Fisik

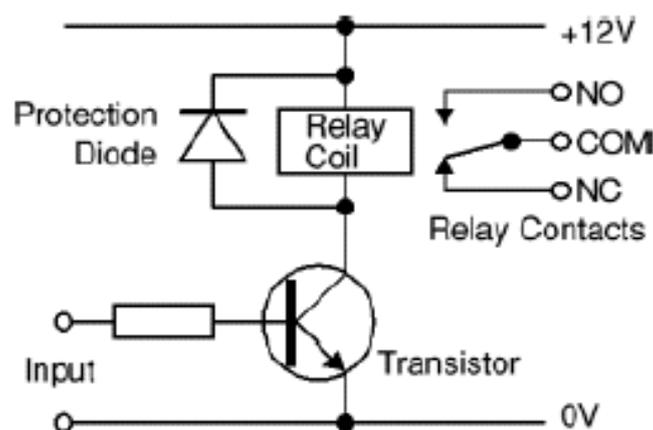
Salah satu rangkaian keseluruhan sistem konversi arus yang sering dipakai ditampilkan pada gambar di bawah ini. Pada rangkaian tersebut, hanya diperlukan beberapa komponen sahaja, seperti: 4 buah dioda, sebuah kapasitor dan sebuah IC volage regulator 7805. Sehingga, tidak memerlukan tempat yang luas dan dana yang besar.



Gambar 6.9 Rangkaian Konversi Arus Praktis

6.2. Proteksi Tegangan Berlebih

Aplikasi lain dari dioda yang banyak ditemukan adalah sebagai pencegah (proteksi) beberapa komponen elektronika yang sensitif dari tegangan berlebih yang melaluinya (*Over-voltage Protection*). Komponen elektronika yang biasa diproteksi adalah transistor dan IC. Gambar di bawah ini menunjukkan bagaimana dioda dihubungkan secara terbalik (*backwards*) pada rangkaian koil relay untuk memproteksi transistor.



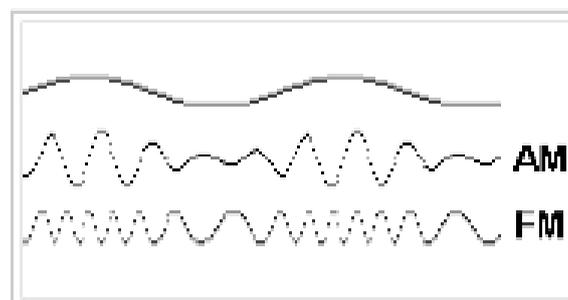
Gambar 6.10 Rangkaian Proteksi Komponen dengan Dioda

Ketika transistor diberikan masukan tertentu, maka secara otomatis ia akan berfungsi seperti saklar aktif. Dimana, arus akan mengalir dari sumbernya melalui koil relay ke tanah (*ground*). Hal ini akan mengakibatkan koil relay mengaktifkan rangkaian di sebelahnya melalui kontak relay yang ada. Namun, pada saat arus masukan transistor memiliki harga yang membuat ia akan berfungsi seperti saklar tidak aktif, terjadi gaya medan elektromagnetik terbalik (*back EMF, Electromagnetic Forced*). Back EMF ini dapat berupa

tegangan yang cukup besar. Tegangan yang cukup besar ini dapat menghasilkan kerusakan pada transistor. Dengan posisi dioda seperti diatas, ia akan mengalirkan arus tersebut melaluinya dan tidak melalui transistor. Prinsip inilah yang akan melindungi transistor dari tegangan lebih.

6.3. Demodulasi Radio

Sebenarnya, penggunaan awal dari dioda adalah dalam aplikasi demodulasi gelombang radio *Amplitude Modulated* (AM). Secara umum, signal radio AM berupa tegangan dalam bentuk gelombang bergantian antara puncak positif dan puncak negatif, dimana amplitudanya sebanding dengan signal suara original namun memiliki rata-rata nol. Dioda akan menyearahkan signal AM ini sehinggalah signalnya akan memiliki amplitudo rata-rata yang sesuai dengan signal audio yang diinginkan. Harga rata-rata tersebut dihasilkan dengan penapis sederhana dan dikirimkan ke transduser audio yang nantinya akan menghasilkan suara.



Gambar 6.11 Amplitudo Modulation (AM) dan Frequency Modulation (FM)

6.4. Gerbang Logika

Dioda, atau dapat dikombinasikan dengan komponen lain, yaitu Transistor, akan membentuk unsur penting dalam dunia elektronika digital. Kombinasi tersebut dapat membentuk gerbang-gerbang dasar dari Rangkaian Terpadu (*Integrated Circuit*, IC). Kombinasi ini sering dikenal dengan istilah DL, *Diode Logic*, atau DTL, *Diode Transistor Logic*. Beberapa gerbang yang dapat dihasilkan dari DL dan DTL adalah gerbang AND dan OR, misalnya, seperti yang tampak pada gambar di bawah ini.

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Transistor Bipolar

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

07

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Transistor adalah komponen yang merupakan bangunan utama dari perkembangan elektronika. Divalis semikonduktor biasanya diklasifikasikan dalam 2 pembagian besar, yaitu: *Bipolar Junction Transistor* (BJT) dan *Field Effect Transistor* (FET).

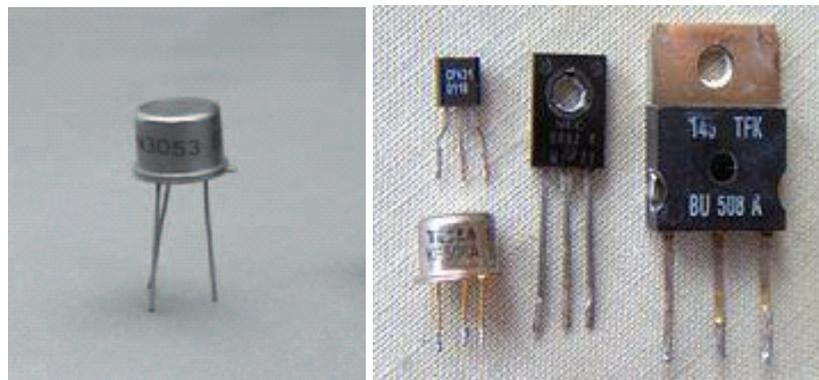
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami dasar Teori Transistor, Prategangan Transistor, Rangkaian Transistor Sederhana.

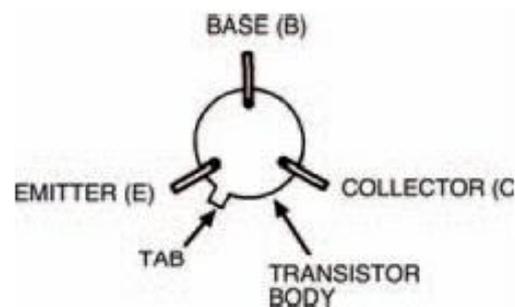
Pembahasan

7.1. Pengantar Teori Transistor

Transistor adalah komponen yang merupakan bangunan utama dari perkembangan elektronika. Divais semikonduktor biasanya diklasifikasikan dalam 2 pembagian besar, yaitu: *Bipolar Junction Transistor* (BJT) atau biasa disebut dengan Transistor saja dan *Field Effect Transistor* (FET). Bab ini, dan beberapa bab selanjutnya, akan membahas karakteristik, konfigurasi dan penggunaan Transistor dalam rangkaian elektronika. Pada umumnya, Transistor digunakan pada 3 fungsi, yaitu: sebagai saklar, pembentuk sinyal dan penguat rangkaian. Contoh sebuah Transistor dan terminal-terminalnya tampak pada Gambar 7.1.



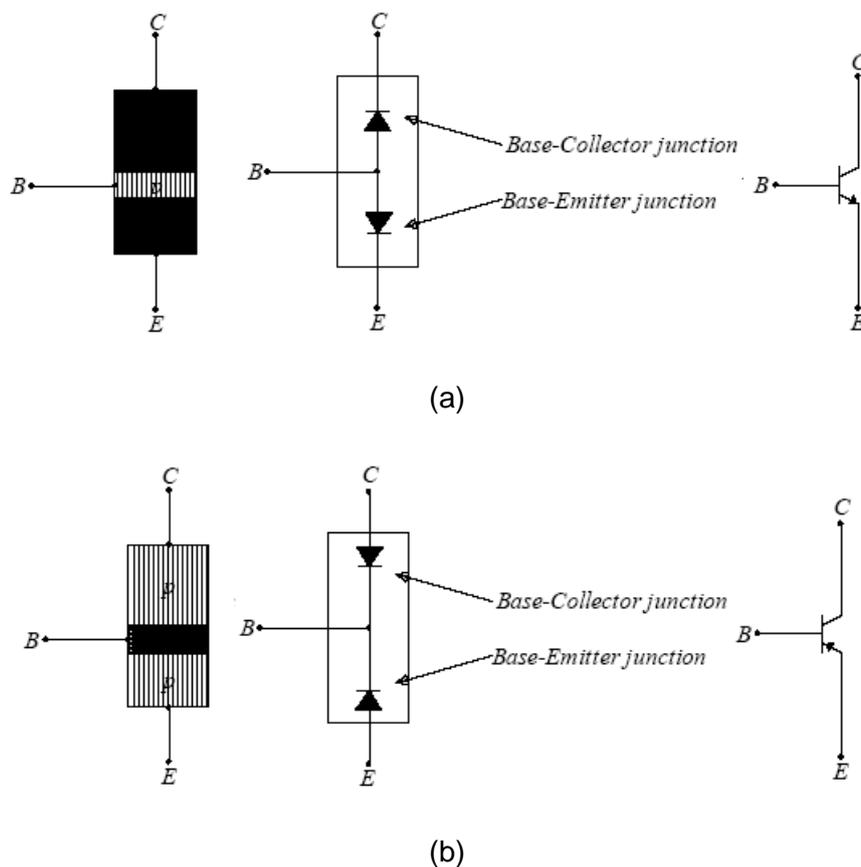
(a)



(b)

Gambar 7.1 Transistor (a) Fisik dan (b) Diagram

Transistor adalah divais 3 terminal (kaki) dan terdiri dari 2 tipe yang berbeda, yaitu Transistor NPN dan Transistor PNP. Blok diagram, skematik dan simbol Transistor, baik NPN dan PNP dapat dilihat pada Gambar 7.2. Transistor dibuat dengan menggabungkan 3 keping semikonduktor dengan doping dan ketebalan yang berbeda. Transistor NPN memiliki 1 daerah p yang diapit oleh 2 daerah n , sedangkan Transistor PNP memiliki 1 daerah n yang diapit oleh 2 daerah p . Dari penggabungan ketiga terminal tersebut, maka terdapat 2 persambungan (*junction*) antara daerah n dan daerah p . Persambungan ini memiliki sifat dan karakteristik seperti Dioda biasa, yang telah dibahas pada modul-modul sebelumnya.

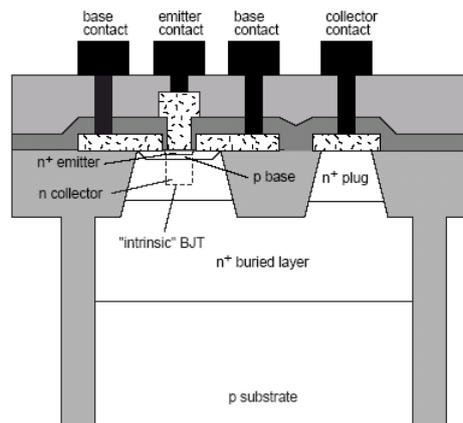


Gambar 7.2 Blok diagram, skematik, dan simbol

(a) Transistor NPN dan (b) Transistor PNP

Sebagaimana terlihat pada Gambar 7.2 diatas, terminal-terminal Transistor disebut dengan Emiter (E), Basis (B), dan Kolektor (C). Terminal Emiter didop sangat banyak dengan bagian yang sedang, Basis didop dengan konsentrasi sedikit sekali dengan bagian yang paling tipis, dan Kolektor didop sedang dengan bagian yang besar. Pendopan dan pembagian ini akan bermanfaat untuk mendukung fungsi dan cara kerja Transistor. Gambar

7.3 memperlihatkan sebuah penampang semikonduktor yang difabrikasi untuk membuat sebuah Transistor.



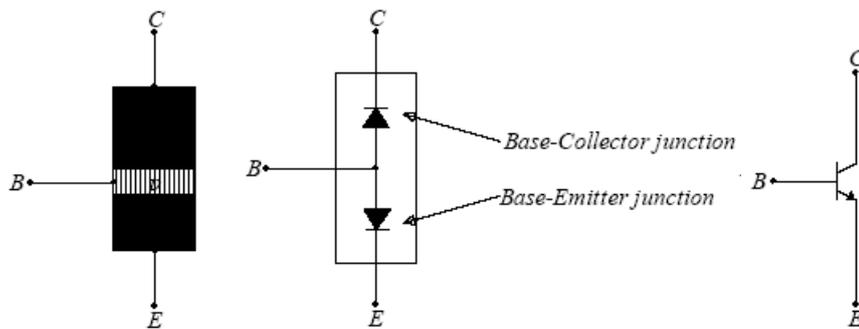
Gambar 7.3 Penampang Transistor

Perbandingan konsentrasi doping antara terminal Basis, Kolektor, dan Emiter adalah 10^{15} , 10^{17} , dan 10^{19} . Jadi, sifat elektrik masing-masing terminal tidak simetris dan masing-masing keluaran tidak dapat dipertukarkan.

Agar tidak menimbulkan kebingungan, pada pembahasan awal, hanya akan dipusatkan pada Transistor NPN terlebih dahulu.

7.2. Prategangan Transistor

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7.4, Transistor memiliki 2 persambungan, satu diantara Emiter dan Basis, disebut dengan Dioda Basis - Emiter, dan lainnya diantara Kolektor dan Basis, disebut dengan Dioda Basis - Kolektor. Karena setiap dioda memiliki 2 kemungkinan prategangan, yaitu Prategangan Maju (*forward biased*) dan Prategangan Mundur (*reverse biased*), maka Transistor memiliki 4 (empat) kemungkinan prategangan. Kemungkinan prategangan masing-masing dioda ditampilkan pada Tabel 7.1.



Gambar 7.4 Blok diagram, skematik, dan simbol Transistor NPN

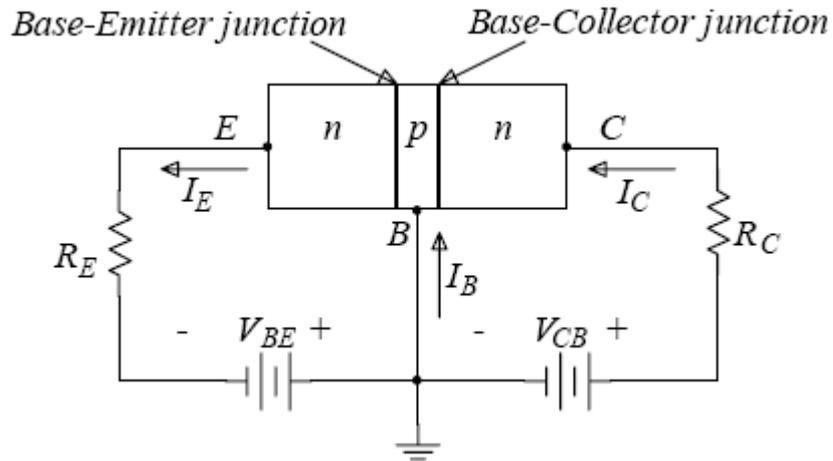
Tabel 7.1 Kemungkinan Prategangan Dioda Basis-Emiter dan Basis-Kolektor

Dioda Basis-Emiter	Dioda Basis-Kolektor
Forwar Biased	Forwar Biased
Forwar Biased	Reverse Biased
Reverse Biased	Forwar Biased
Reverse Biased	Reverse Biased

Jika kedua Dioda (Dioda Emiter dan Dioda Kolektor) diberi prategangan maju, maka kedua Dioda tersebut akan menghantarkan arus yang cukup besar. Demikian juga, jika kedua dioda diberi prategangan mundur, maka hanya arus yang sangat kecil, kalau tidak bisa dikatakan tidak terjadi arus, yang melalui kedua dioda. Kedua prategangan ini, tidak menghasilkan karakteristik yang cukup menarik untuk dibahas.

Pembahasan akan mulai menarik, jika Dioda Emiter diberi prategangan maju dan Dioda Kolektor diberi prategangan mundur (disebut dengan Prategangan Maju-Mundur), seperti tampak pada Gambar 7.5.



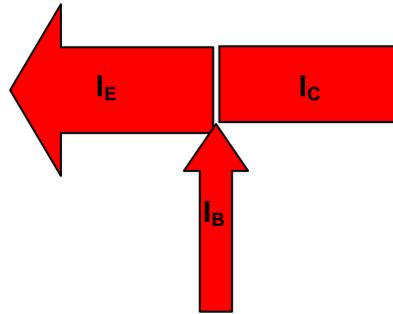


Gambar 7.5 Prategangan Maju-Mundur Transistor

Dari gambar diatas, tampak bahwa Dioda Emiter diberi prategangan maju oleh V_{BE} dan Dioda Kolektor diberi prategangan mundur oleh V_{CB} .

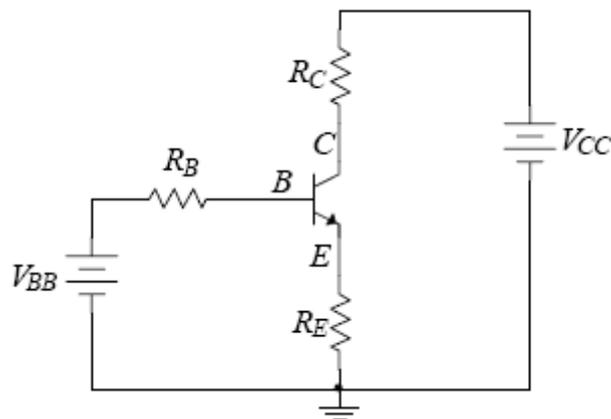
Dikarenakan perbedaan konsentrasi doping pada daerah Emiter dan Basis, maka elektron dari V_{BE} diijeksikan (*emitted*) dari daerah Emiter ke daerah Basis, sehingga menghasilkan Arus Emiter, I_E . Kemudian, karena daerah Basis didop dengan konsentrasi yang sangat sedikit dan memiliki struktur yang sangat tipis, hanya sangat sedikit elektron yang terjatuh ke daerah Basis yang menghasilkan arus Basis, I_B , sehingga sebagian besar elektron dilewatkan terus menuju daerah Kolektor. Kolektor akan mengumpulkan (*collected*) elektron-elektron yang menuju padanya, dan menggerakannya ke tegangan V_{CB} , sehingga menghasilkan Arus Kolektor, I_C .

Rangkaian yang nampak pada Gambar 7.5 menyatukan tegangan pada terminal Basis, sehingga dikenal dengan istilah Basis Sekutu (*Common Base*). Dari besaran-besaran arus yang terjadi, I_E , I_B dan I_C , dapat diilustrasikan pada Gambar 7.6 di bawah ini. Namun, rangkaian ini tidak dapat menampilkan proses yang menarik, dimana tidak terdapat hubungan yang dapat disimpulkan. Sehingga, rangkaian ini jarang dipergunakan secara praktis.



Gambar 7.6 Arah Arus pada Rangkaian Basis Sekutu (*Common Base*)

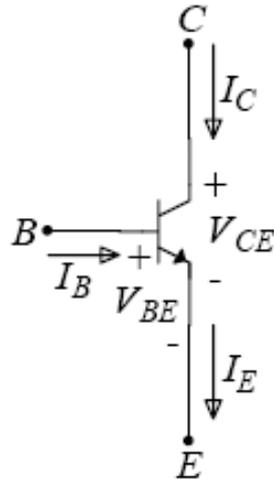
Sementara itu, terdapat rangkaian yang sering digunakan untuk menampilkan keistimewaan kerja transistor. Rangkaian ini menyatukan prategangannya pada terminal Emitter, sehingga dikenal dengan rangkaian Emitter Sekutu (*Common Emitter*), seperti tampak pada Gambar 7.7 di bawah ini.



Gambar 7.7 Transistor dengan Prategangan *Common Emitter*

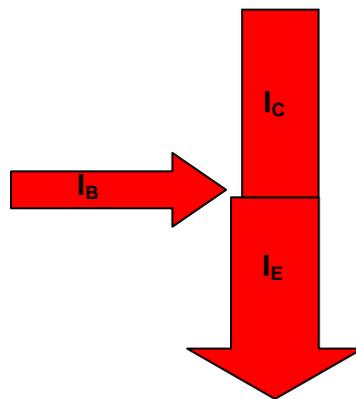
Tampak pada gambar diatas bahwa, Dioda Emitter diberi prategangan maju V_{BB} dan Dioda Kolektor diberi prategangan mundur V_{CC} . Sehingga, pembagian arah arusnya adalah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.8 di bawah ini:





Gambar 7.8 Pembagian Arus pada *Common Emitter* Transistor

Pembagian arus diatas dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 7.9 di bawah ini. Dari gambar tersebut tampak bahwa dengan arus Basis, I_B , yang kecil dapat menghasilkan arus Kolektor, I_C , yang besar. Dari sinilah kerja transistor jadi sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut.



Gambar 7.9 Arah Arus pada Rangkaian Emitter Sekutu (*Common Emitter*)

Jika Hukum Arus Khirchoff (KCL) diterapkan pada rangkaian diatas, akan didapatkan, bahwa:

$$I_E = I_C + I_B \tag{7.1}$$

Dan, karena dikatakan bahwa hanya sedikit elektron yang terjatuh pada daerah Basis, sedangkan sebagian besar elektron diteruskan ke daerah Kolektor, maka terdapat hubungan antara arus I_B dengan arus I_C , yang didefinisikan dengan Beta DC, β_{dc} , yaitu:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}, \text{ atau}$$

$$I_C = \beta_{dc} I_B \quad (7.2)$$

Selain itu, terdapat pula hubungan antara arus I_E dengan arus I_C , dimana hampir semua elektron yang diemisikan oleh daerah Emiter dikumpulkan oleh daerah Kolektor. Berarti, arus kolektor, I_C , hampir sama dengan arus emiter, I_E , yang didefinisikan dengan Alpha DC, α_{dc} , yaitu:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}, \text{ atau}$$

$$I_C = \alpha_{dc} I_E \quad (7.3)$$

Biasanya, harga β_{dc} berkisar antara 50 hingga 300, sedangkan harga α_{dc} berkisar antara 0.95 hingga 1. Hubungan antara β_{dc} dengan α_{dc} adalah sebagai berikut:

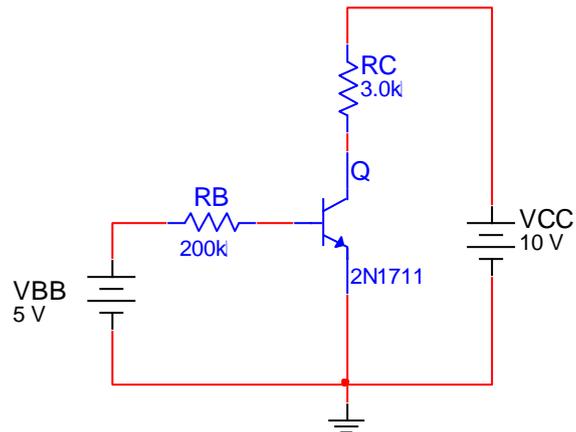
$$\alpha_{dc} = \frac{\beta_{dc}}{\beta_{dc} + 1} \quad (7.4)$$

Jika diasumsikan bahwa putaran arus pada Dioda Emiter sebagai putaran Input dan putaran arus pada Dioda Kolektor sebagai putaran output, maka dapat dikatakan bahwa, terjadi penguatan arus I_B sebesar β_{dc} sehingga menghasilkan arus I_C . Inilah yang menjadi salah satu karakteristik utama dari Transistor, yaitu dengan syarat:

1. Dioda Emiter harus diberi prategangan maju
2. Dioda Kolektor harus diberi prategangan mundur
3. Tegangan pada Dioda Kolektor harus lebih kecil dari tegangan *Breakdown*-nya

7.3. Rangkaian Transistor Sederhana

Berikut ini, akan dibahas secara global, sebuah rangkaian transistor sederhana. Rangkaian Transistor Emiter Sekutu ini terdiri dari sebuah transistor, 2N1711, prategangan pada dioda emiter, V_{BB} , prategangan pada dioda kolektor, V_{CC} , tahanan basis, R_B dan tahanan kolektor, R_C , sebagaimana tampak Gambar 7.10.



Gambar 7.10 Rangkaian Transistor Sederhana

Rangkaian transistor sederhana diatas dianalisa dengan melihatnya dari dua lup, yaitu lup dioda Basis –Emiter dan lup dioda Basis – Kolektor.

Persamaan Lup Emitter:

$$\begin{aligned}
 -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\
 I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}
 \end{aligned}
 \tag{7.5}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$\begin{aligned}
 -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\
 I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} \\
 I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}
 \end{aligned}
 \tag{7.6}$$

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Karakteristik Transistor

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

08

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Karakteristik yang paling penting dari Transistor adalah grafik Dioda Kolektor-Emiter, yang biasa dikenal dengan Kurva Tegangan-Arus (*V-I Curve*). Kurva ini menggambarkan arus Kolektor, I_C , dengan tegangan lintas persambungan Kolektor – Emiter, V_{CE} , dimana harga-harga tersebut diukur dengan arus Basis, I_B , yang berbeda-beda.

Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Karakteristik Transistor, Garis Beban Transistor, Contoh Rangkaian Transistor.

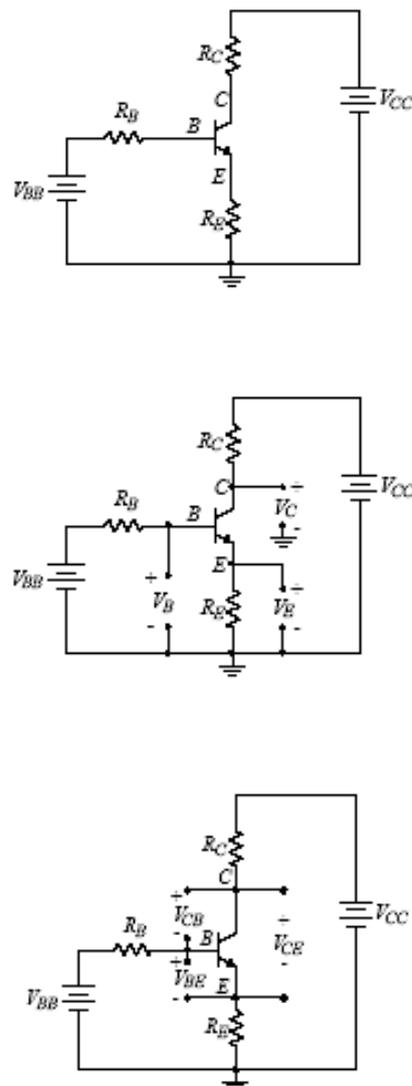
Pembahasan

8.1. Karakteristik Transistor

Sebelum membahas karakteristik dan daerah kerja Transistor, perlu disepakati terlebih dahulu beberapa simbol tegangan yang terdapat pada Transistor. Rangkaian Transistor memiliki tiga tipe tegangan. Ketiga tipe tegangan itu adalah:

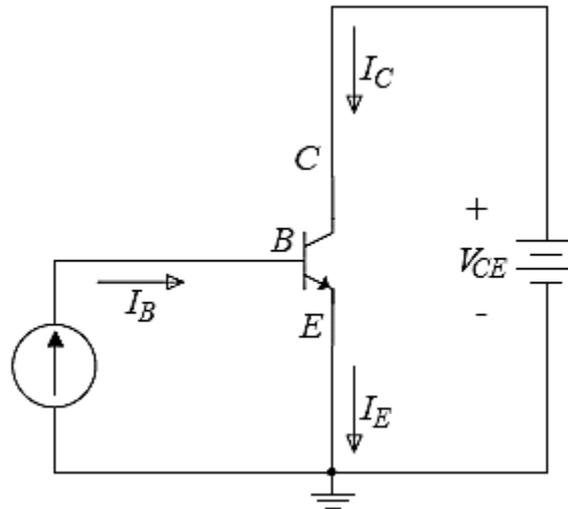
- Sumber Tegangan Transistor : V_{BB} dan V_{CC}
- Tegangan Terminal Transistor : V_B , V_C dan V_E
- Tegangan Lintas Persambungan : V_{BE} , V_{CE} , dan V_{CB}

Sebagaimana yang tampak pada Gambar 8.1 di bawah ini.



Gambar 8.1 Tegangan-tegangan pada Rangkaian Transistor

Karakteristik yang paling penting dari Transistor adalah grafik Dioda Kolektor-Emiter, yang biasa dikenal dengan Kurva Tegangan-Arus (*V-I Curve*). Kurva ini menggambarkan arus Kolektor, I_C , dengan tegangan lintas persambungan Kolektor – Emiter, V_{CE} , dimana harga-harga tersebut diukur dengan arus Basis, I_B , yang berbeda-beda. Rangkaian yang digunakan untuk mendapatkan kurva tampak pada Gambar 8.2 di bawah ini.

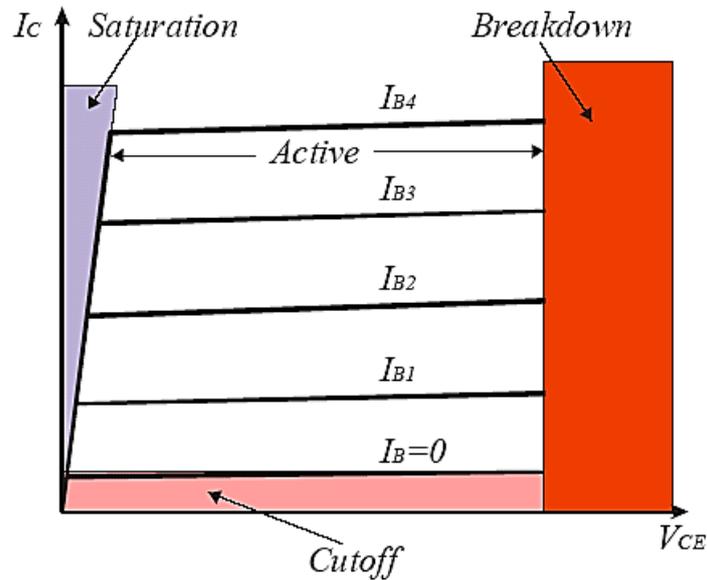


Gambar 8.2 Rangkaian Transistor *Common Emitter* untuk Kurva Tegangan-Arus

Hasil pengukuran rangkaian Transistor tersebut ditunjukkan secara kualitatif pada Gambar 8.3. Kurva tersebut mengindikasikan bahwa terdapat 4 (empat) buah daerah operasi, yaitu:

- Daerah Potong (*Cutoff Region*)
- Daerah Saturasi (*Saturation Region*)
- Daerah Aktif (*Active Region*), dan
- Daerah *Breakdown*.

dimana setiap daerah memiliki karakteristik masing-masing. Fungsi dan kegunaan Transistor dapat diketahui dengan memahami karakteristik-karakteristik Transistor tersebut. Disamping itu, perancangan dan analisa Transistor sesuai dengan fungsinya juga akan berdasarkan karakteristik ini.



Gambar 8.3. Kurva Karakteristik Transistor

Karakteristik dari masing-masing daerah operasi Transistor tersebut dapat diringkas sebagai berikut:

- Daerah Potong:
Dioda Emiter diberi prategangan mundur. Akibatnya, tidak terjadi pergerakan elektron, sehingga arus Basis, $I_B = 0$. Demikian juga, arus Kolektor, $I_C = 0$, atau disebut I_{CEO} (Arus Kolektor ke Emiter dengan harga arus Basis adalah 0).
- Daerah Saturasi
Dioda Emiter diberi prategangan maju. Dioda Kolektor juga diberi prategangan maju. Akibatnya, arus Kolektor, I_C , akan mencapai harga maksimum, tanpa bergantung kepada arus Basis, I_B , dan β_{dc} . Hal ini, menyebabkan Transistor menjadi komponen yang tidak dapat dikendalikan. Untuk menghindari daerah ini, Dioda Kolektor harus diberi prategangan mundur, dengan tegangan melebihi $V_{CE(sat)}$, yaitu tegangan yang menyebabkan Dioda Kolektor saturasi.
- Daerah Aktif
Dioda Emiter diberi prategangan maju. Dioda Kolektor diberi prategangan mundur. Terjadi sifat-sifat yang diinginkan, dimana:

$$I_E = I_C + I_B \quad (8.1)$$

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B},$$

atau

$$I_C = \beta_{dc} I_B \quad (8.2)$$

dan

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E},$$

atau

$$I_C = \alpha_{dc} I_E \quad (8.3)$$

sebagaimana penjelasan pada bagian sebelumnya. Transistor menjadi komponen yang dapat dikendalikan.

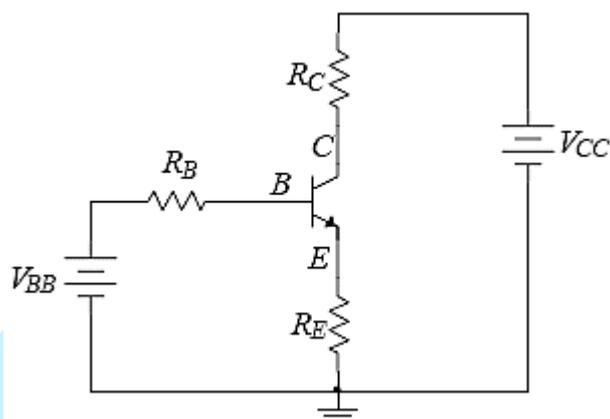
- Daerah Breakdown

Dioda Kolektor diberiprategangan mundur yang melebihi tegangan Breakdown-nya, BV_{CEO} (tegangan *breakdown* dimana tegangan Kolektor ke Emiter saat Arus Basis adalah nol). Sehingga arus Kolektor, I_C , melebihi spesifikasi yang dibolehkan. Transistor dapat mengalami kerusakan.

8.2 Garis Beban (*Load Line*) Transistor

Garis Beban (*load line*) dapat digambarkan pada kurva karakteristik (Kurva Dioda Kolektor) untuk memberikan pandangan yang lebih banyak mengenai Transistor bekerja dan daerah operasinya. Pendekatan pembuatan Grafik Beban Transistor sama dengan pembuatan Grafik Beban pada Dioda.

Jika terdapat sebuah rangkaian Transistor *Common Emitter* seperti ditampilkan pada Gambar 8.4 di bawah ini,



Gambar 8.4 Rangkaian *Common Emitter*

maka dapat diturunkan persamaan pada putaran outputnya, yaitu:

$$I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E - V_{CC} = 0 \quad (8.4)$$

Jika diasumsikan bahwa $R_E = 0$, maka:

$$I_C R_C + V_{CE} - V_{CC} = 0, \text{ atau}$$
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (8.5)$$

persamaan (8.5) adalah persamaan Garis Beban dari Transistor.

Pada persamaan Garis Beban dari Transistor, akan terdapat 2 (dua) buah titik penting, yaitu Titik Saturasi (*Saturation Point*) dan Titik Potong (*Cut off Point*). Jika, $V_{CE} = 0$, maka akan didapat Titik Saturasi pada:

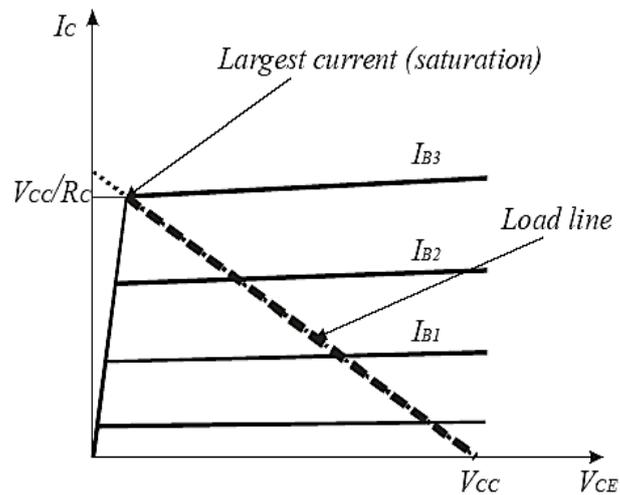
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (8.6)$$

Sedangkan jika $I_C = 0$, maka akan diketahui Titik Potongnya pada:

$$V_{CE} = V_{CC} \quad (8.7)$$

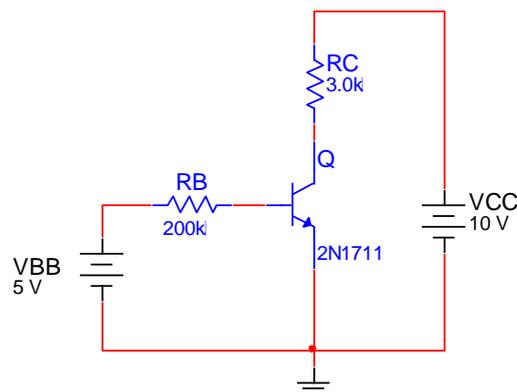
Dari kedua titik tersebut, jika saling dihubungkan, akan didapat Garis Beban sebagaimana tampak pada Gambar 8.5. Pada gambar tersebut, bahwa Garis Beban akan memotong salah satu titik dari I_B pada daerah aktif. Titik potong inilah yang merupakan Titik Operasi (*operating point*) dari Transistor.





Gambar 8.5 Garis Beban dan Titik Operasi Transistor

Berikut ini akan digambarkan contoh tahapan perhitungan untuk dapat mengetahui daerah kerja sebuah rangkaian Transistor. Dimana sebuah rangkaian transistor tampak pada Gambar 8.6 di bawah ini, dimana $R_B = 200 \text{ Kohm}$, $R_C = 3 \text{ Kohm}$, $V_{BB} = 5 \text{ volt}$ dan $V_{CC} = 10 \text{ volt}$. Diketahui bahwa V_{BE} adalah 0.7 volt dan $\beta = 100$.



Gambar 8.6 Rangkaian Transistor

Maka, tahapan pertama adalah menurunkan persamaan-persamaan pada masing-masing lup, yaitu persamaan pada lup Emitter dan lup Kolektor. Persamaan Lup Emitter adalah:

$$\begin{aligned}
 -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\
 I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}
 \end{aligned}
 \tag{8.8}$$

sehingga:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{200K} = 0.0215 \text{ mA}$$

Sedangkan persamaan pada Lup Kolektor adalah:

$$\begin{aligned}
 -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\
 I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} \\
 I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}
 \end{aligned}
 \tag{8.9}$$

Kemudian, dari persamaan (8.9) ini, dapat dibuatkan persamaan Garis Beban, dimana:

$I_{C \text{ sat}}$ ($V_{CE} = 0$) adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10}{3K} = 3.33 \text{ mA}$$

dan

$V_{CE \text{ cut-off}}$ ($I_C = 0$) adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} = 10 \text{ volt}$$

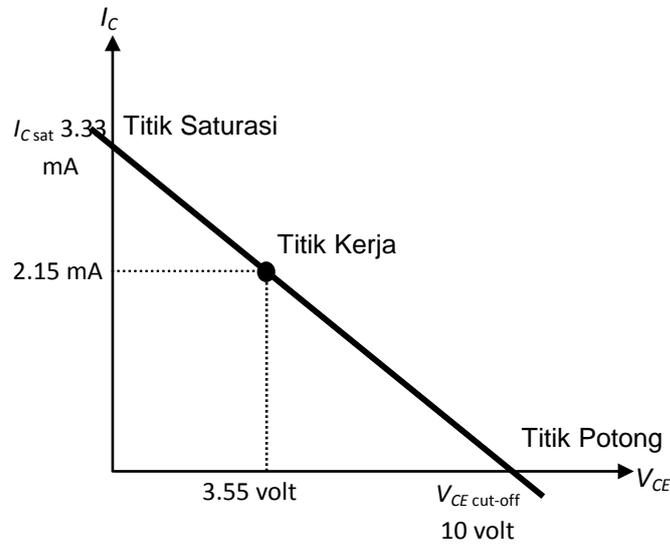
Setelah itu, jika diasumsikan bahwa rangkaian berada pada daerah aktif, maka:

$$I_C = \beta I_B = 100 * 0.0215 = 2.15 \text{ mA},$$

dan

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - 2.15 * 3K = 3.55 \text{ volt}$$

Dari harga-harga diatas, karena $I_C < I_{C\text{ sat}}$, dan/atau V_{CE} di luar daerah saturasi dan daerah breakdown maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah aktif, dengan $I_B = 0.0215\text{ mA}$, $I_C = 2.15\text{ mA}$ dan $V_{CE} = 3.55\text{ volt}$. Sehingga dapat digambarkan garis bebannya seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8.7. Garis Beban

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Aplikasi Dasar Transistor

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

09

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Beberapa aplikasi dasar yang umum digunakan pada Transistor, yaitu sebagai saklar (switch), logika digital (digital logic), dan rangkaian penguat (amplifier circuit).

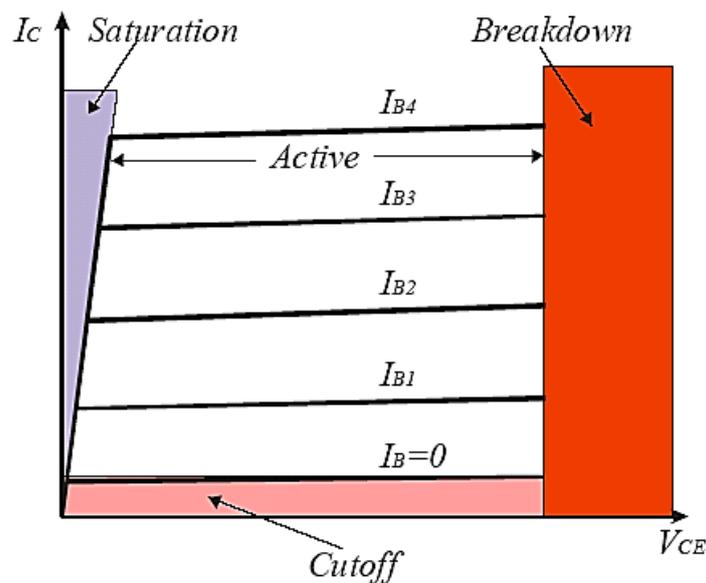
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Aplikasi - aplikasi Dasar Transistor, Transistor sebagai Saklar, Gerbang Logika (Digital), Rangkaian Penguat.

Pembahasan

9.1. Aplikasi-Aplikasi Dasar Transistor

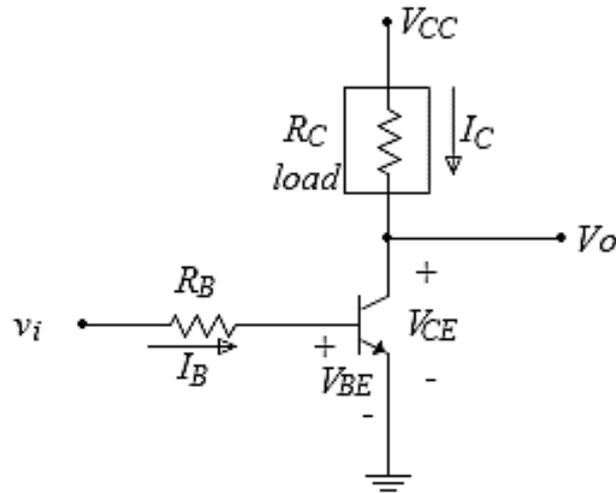
Beberapa aplikasi dasar yang umum digunakan pada Transistor, yaitu sebagai saklar (*switch*), logika digital (*digital logic*), dan rangkaian penguat (*amplifier circuit*) akan dibahas pada modul ini. Pembahasan ini didasari oleh kurva karakteristik Transistor yang memiliki daerah-daerah kerja: Daerah Saturasi, Daerah Potong, Daerah Aktif dan Daerah Breakdown, seperti tampak pada Gambar 9.1 di bawah ini.



Gambar 9.1 Kurva Karakteristik Transistor

9.2. Transistor Sebagai Saklar

Untuk dapat memahami fungsi dasar Transistor sebagai saklar, maka dapat diperhatikan sebuah rangkaian seperti yang tampak pada Gambar 9.2 di bawah ini. Jika tegangan input, v_i , memiliki harga kurang dari tegangan yang diperlukan untuk membuat Dioda Emiter berprategangan maju, maka arus $I_B = 0$, sehingga transistor akan jatuh pada Daerah Potong dan $I_C = 0$. Karena $I_C = 0$, maka tegangan yang melintas tahanan beban R_C adalah nol dan tegangan output $V_O = V_{CC}$. Pada kondisi ini, seolah-olah Transistor seperti sebuah saklar yang terputus (*off*).



Gambar 9.2 Rangkaian Transistor sebagai saklar

Jika tegangan input, v_i , terus meningkat sehingga Dioda Emiter diberi prategangan maju, Transistor akan mulai masuk ke daerah aktif, sehingga:

$$I_B = \frac{v_i - V_{BE}}{R_B} \quad (9.1)$$

Sekali Transistor mulai aktif, belum diketahui apakah Transistor berada pada Daerah Aktif atau berada pada Daerah Saturasi. Dengan menggunakan aturan tegangan Kirchoff (KVL) pada putaran Dioda Kolektor, akan didapat:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \quad (9.2)$$

sehingga:

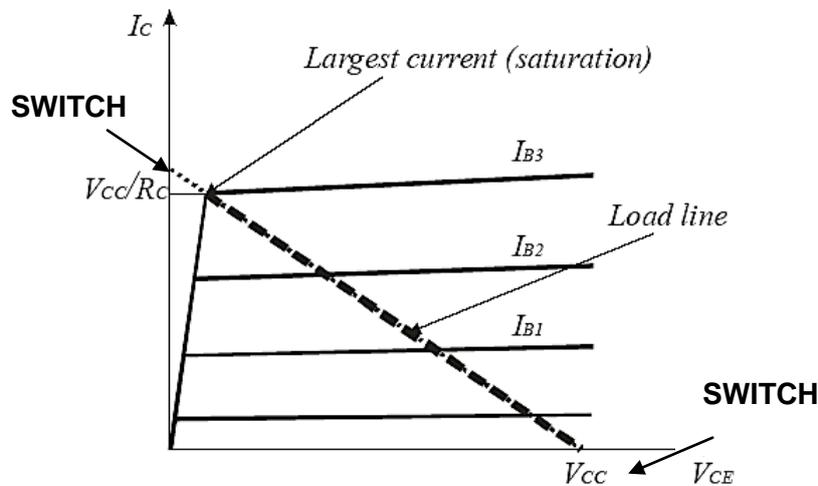
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (9.3)$$

Persamaan (9.3) adalah persamaan Garis Beban Transistor. Dalam bentuk grafik, garis ini diperlihatkan dalam Gambar 9.3.

Bersamaan dengan terus meningkatnya arus Basis, I_B , Transistor dapat beroperasi sepanjang Garis Beban. Hal ini terus terjadi, sehingga arus Basis, I_B , mencapai harga arus yang terbesar, I_{B3} . Arus ini dikenal dengan arus saturasi dan jika Transistor beroperasi pada kondisi ini, maka dikatakan ia berada pada Daerah Saturasi. Oleh karena itu, arus Kolektor adalah:

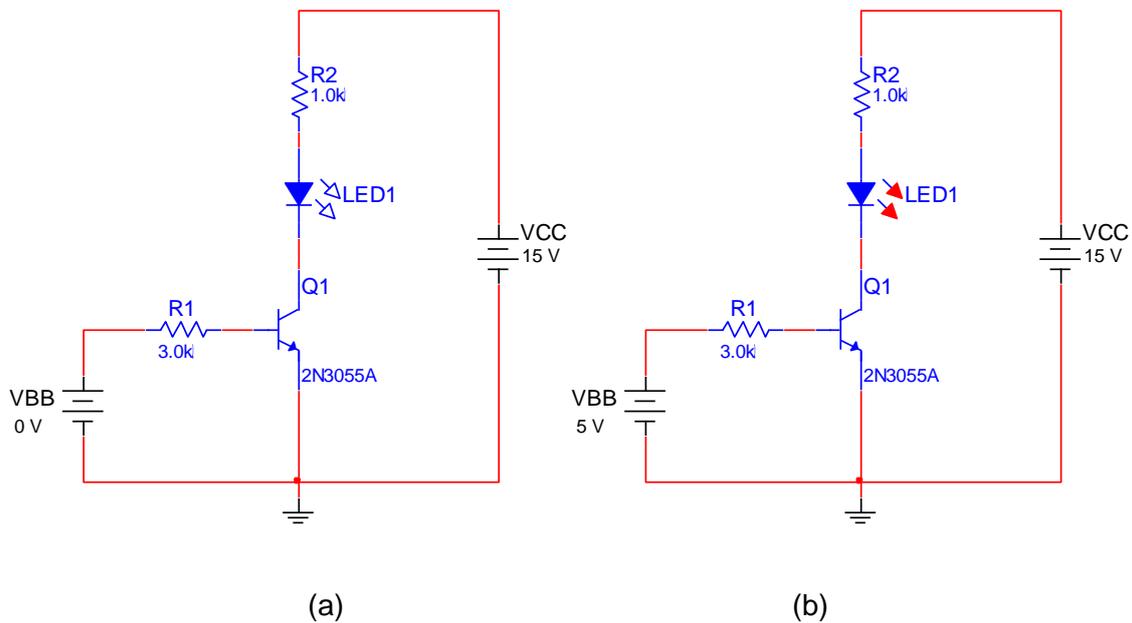
$$I_C(\text{sat}) = \frac{V_{CC} - V_{CE}(\text{sat})}{R_C} \quad (9.4)$$

Biasanya, harga $V_{CE}(\text{sat})$ adalah 0.2 volt. Pada kondisi ini, Transistor bekerja seperti sebuah saklar yang terhubung (*on*).



Gambar 9.3 Garis Beban dan Titik Operasi Transistor

Berikut ini ditampilkan contoh rangkaian transistor sebagai saklar yang berperan untuk mengendalikan LED (*LED driver*). Jika tegangan input rendah ($V_{BB} = 0$ volt), transistor akan tersumbat dan berperan seperti saklar off dan LED dalam keadaan padam, seperti tampak pada Gambar 9.4 (a). Sedangkan jika tegangan input tinggi ($V_{BB} = 5$ volt), seperti tampak pada Gambar 9.4(b), transistor berperan sebagai saklar on, dan LED menyala. Gambar 9.4 dijalankan menggunakan perangkat lunak MULTISIM. Pada gambar tersebut, LED tampak tidak berwarna (kosong) pada saat saklar dalam keadaan off dan memberikan warnanya ketika saklar dalam keadaan on.



Gambar 9.4 Rangkaian Transistor sebagai saklar pengendali LED

Dari persamaan-persamaan matematik diatas, pada saat $V_{BB} = 0$, maka:

$$I_B = 0 \text{ mA}$$

sehingga,

$$I_C = 0 \text{ mA, dan}$$

$$V_{CE} = V_{CC} = 15 \text{ volt}$$

maka Transistor berada pada daerah potong dan LED padam.

Jika $V_{BB} = 5$ volt, maka, menurut persamaan (9.1)

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{3K} = 1.43 \text{ mA}$$

sedangkan, menurut persamaan (9.4), harga I_C saturasi adalah:

$$I_C(\text{sat}) = \frac{V_{CC} - V_{CE}(\text{sat}) - V_{LED}}{R_C} = \frac{15 - 0 - 2}{1K} = 13 \text{ mA}$$

jika, $\beta = 10$, maka harga I_B saturasi adalah:

$$I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{13 \text{ mA}}{10} = 1.3 \text{ mA}$$

karena

$$I_B > I_{Bsat}$$

maka, Transistor berada pada daerah saturasi dan LED menyala merah.

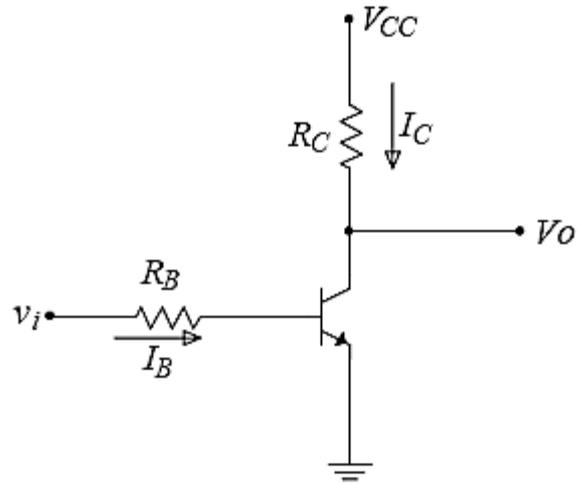
Dalam aplikasi praktisnya, Transistor dapat mengendalikan (*drive*) berbagai macam peralatan, seperti lampu, speaker, motor-motor, relay, timer, counter, dan lain-lain. Sedangkan besarnya arus basis, I_B , dapat dilakukan oleh trimpot, potensiometer dan berbagai macam sensor. Dari kombinasi ini, dapat dirancang bervariasi peralatan elektronika yang berasaskan saklar otomatis menggunakan transistor.

9.3. Transistor Sebagai Gerbang Logika Digital

Rangkaian Logika yang sekarang maju dengan sangat cepat ini, adalah pengembangan dari prinsip-prinsip logika digital dari Transistor. Pada aplikasi ini, kerja Transistor sebagai saklar menjadi prinsip yang diimplementasikan dalam bentuk harga-harga digital. Dimana, harga digital hanya mengenal 2 (dua) keadaan, yaitu keadaan nol (*low*) dan keadaan satu (*high*).

Salah satu contoh rangkaian yang menggunakan prinsip logika digital adalah rangkaian inverter (NOT), seperti yang tampak pada Gambar 9.5 di bawah ini. Jika tegangan input, v_i , adalah nol (atau biasa disebut kondisi *low*) maka Transistor sedang berada pada Daerah Potong, dengan arus Kolektor, $I_C = 0$. Sehingga, tegangan pada $V_O = V_{CC}$ (atau biasa disebut kondisi *high*). Sebaliknya, jika tegangan input, v_i , misalnya mendekati V_{CC} (disebut dengan kondisi *high*), maka Transistor didorong untuk menuju Daerah Saturasi dan mengakibatkan tegangan V_O sama dengan $V_{CE(sat)}$ (atau biasa disebut kondisi *low*).





Gambar 9.5 Rangkaian Inverter

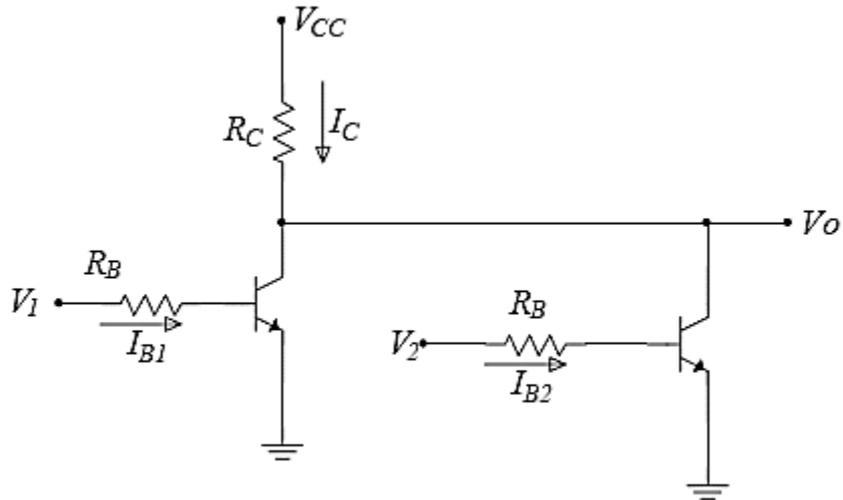
Kerja rangkaian tersebut dapat disimpulkan dalam bentuk tabel, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 9.1 di bawah ini.

Tabel 9.1 Kerja rangkaian inverter

v_i		V_o	
0	LOW	V_{CC}	HIGH
V_{CC}	HIGH	0	LOW

Rangkaian fundamental ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk membangun berbagai operasi logika lainnya, seperti NAND sebagaimana tampak pada Gambar 9.6 di bawah ini:





Gambar 9.6 Rangkaian NAND

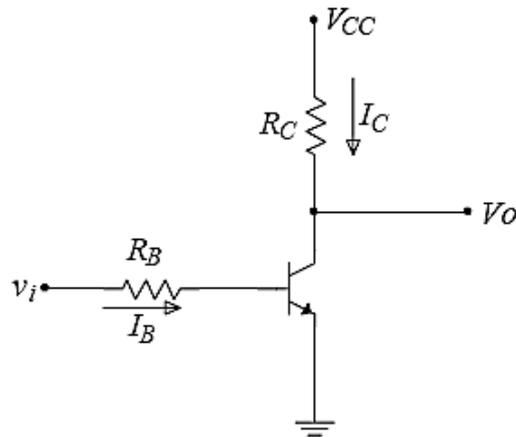
Kerja rangkaian logika NAND tersebut dapat disimpulkan dalam bentuk tabel, yang disebut dengan Tabel Kebenaran (*Truth Table*) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 9.2 di bawah ini.

Tabel 9.2 Tabel Kebenaran rangkaian Logika NAND

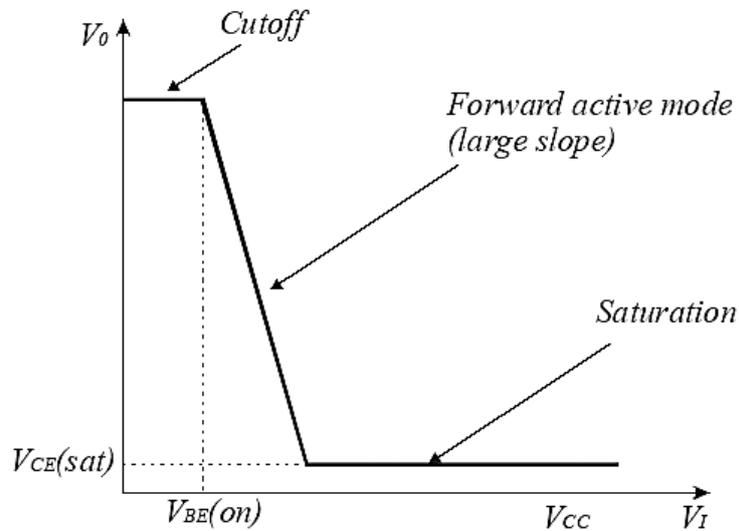
V1		V2		V0	
0	LOW	0	LOW	V_{CC}	HIGH
0	LOW	V_{CC}	HIGH	0	LOW
V_{CC}	HIGH	0	LOW	0	LOW
V_{CC}	HIGH	V_{CC}	HIGH	0	LOW

9.4. Transistor Sebagai Rangkaian Penguat

Dasar dari rangkaian inverter diatas juga akan menjadi dasar untuk membentuk dasar dari rangkaian penguat. Kurva Alih Tegangan (tegangan keluaran adalah fungsi dari tegangan input) adalah karakteristik yang fundamental dari sebuah penguatan. Untuk rangkaian yang tampak pada Gambar 9.7, kurva alih tegangannya ditunjukkan oleh Gambar 9.8.

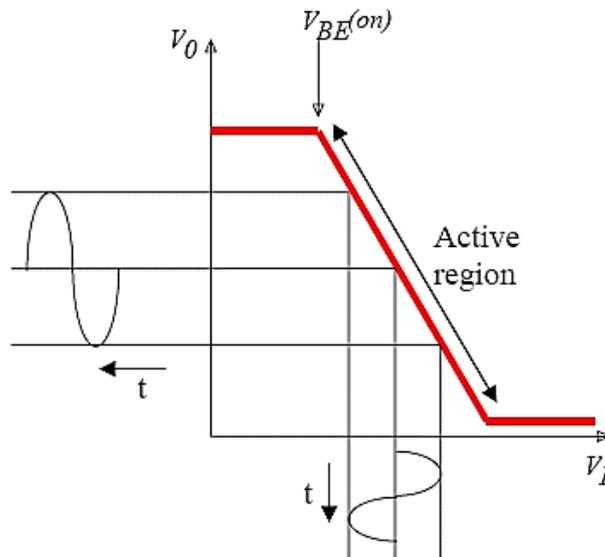


Gambar 9.7 Rangkaian Penguat



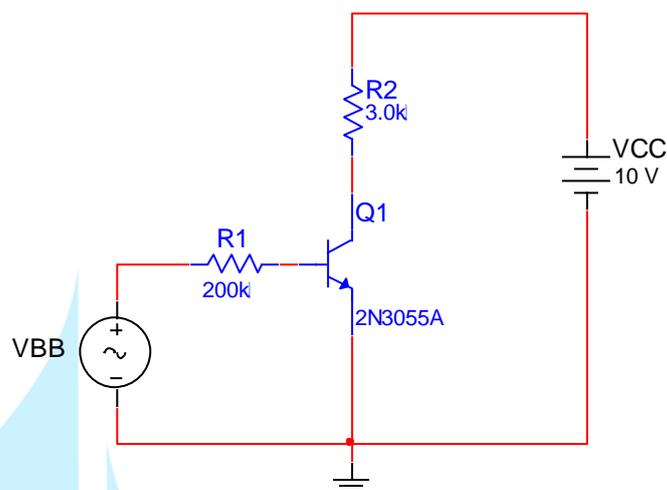
Gambar 9.8 Kurva Alih Tegangan Transistor

Dari Gambar 9.8 tampak bahwa kemiringan yang besar pada kurva tersebut berada pada Daerah Aktif Transistor. Pada daerah tersebut, perubahan yang kecil dari tegangan input, v_i , akan mengakibatkan perubahan yang besar pada tegangan output, V_o , yang menunjukkan adalah sebuah proses penguatan. Namun, proses penguatan ini tidak akan terjadi di luar daerah aktif. Penguatan tidak terjadi jika tegangan input, v_i , melebihi harga $V_{CE\text{ sat}}$. Demikian juga, tegangan output, V_o , akan terpotong jika tegangan input, v_i , kurang V_{BE} . Gambar 9.9 mengilustrasikan proses penguatan tegangan input menjadi tegangan output pada daerah aktif.



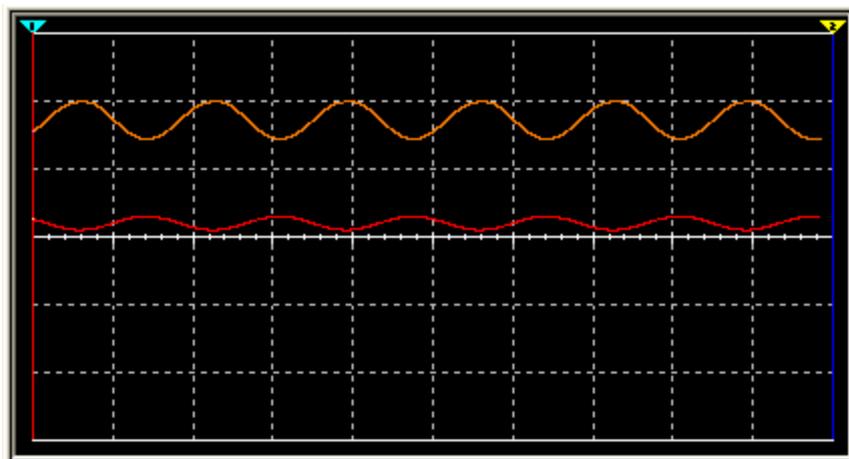
Gambar 9.9 Proses Penguatan Transistor

Untuk memperjelas kerja rangkaian penguat tegangan ini, Gambar 9.10 menampilkan sebuah rangkaian penguat tegangan, dengan harga-harga komponen yang diperlukan. Harga-harga komponen rangkaian penguat tegangan tersebut adalah: $R_1 = 200$ Kohm, $R_2 = 3$ Kohm, $V_{CC} = 10$ volt dan sebuah Transistor NPN 2N3055A. Harga V_{BB} dibuat bervariasi untuk memperlihatkan proses penguatan tegangannya.



Gambar 9.10 Contoh Rangkaian Penguat Tegangan

Jika V_{BB} adalah tegangan sinusioda dengan frekuensi 60 Hz, Amplitude 0.5 V dan offset tegangan adalah 1 V, berarti tegangan input, V_{BB} , akan berkisar antara 0.5 hingga 1.5 V. Dari harga-harga V_{BB} yang berada dalam daerah aktif Transistor, maka akan terjadi penguatan tegangan, V_o , dengan harga berkisar 7.2 hingga 10 V. Tegangan masukan, V_{BB} , dan tegangan keluaran, V_o , ditampilkan pada Gambar 9.11 menggunakan Oskiloskop perangkat lunak MULTISIM. Oskiloskop diatur dengan pengaturan sebagai berikut: Waktu: 10 ms.Div dan Tegangan: 5 V/Div.



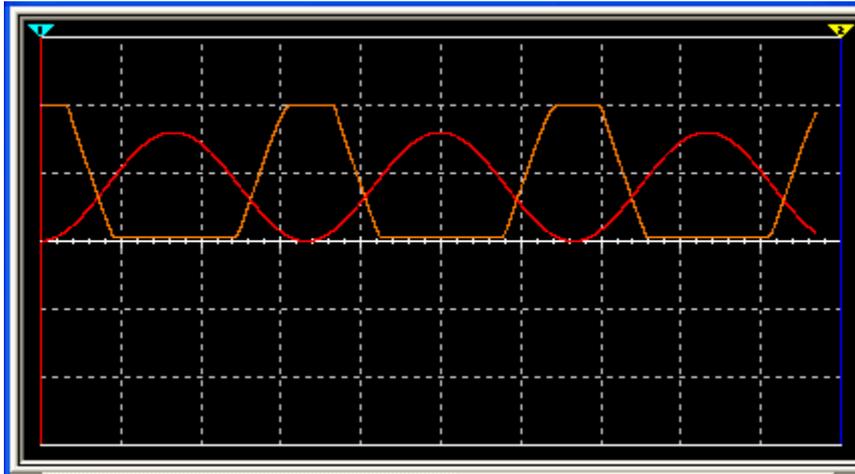
Gambar 9.11 Hasil Oskiloskop Rangkaian Penguat Tegangan pada Daerah Aktif

Pada Gambar 9.11 tersebut, bahwa terjadi penguatan untuk seluruh harga V_{BB} . Hal ini dikarenakan harga V_{BB} berkisar seluruhnya pada daerah aktif.

Namun, jika kisaran harga V_{BB} memasuki daerah saturasi atau daerah potong, maka penguatan akan mengalami perubahan. Jika V_{BB} adalah tegangan sinusioda dengan frekuensi 60 Hz, Amplitude 4 V dan offset tegangan adalah 4 V, berarti tegangan input, V_{BB} , akan berkisar antara 0 hingga 8 V.

Dari harga-harga V_{BB} yang berada dalam daerah aktif Transistor, maka akan terjadi penguatan tegangan, V_o , dengan harga berkisar 0 hingga 10 V. Sedangkan pada daerah pasif dan daerah potong Transistor, tidak akan terjadi penguatan, namun akan terjadi pemotongan pada tegangan 0 dan 10 V. Tegangan masukan, V_{BB} , dan tegangan keluaran, V_o , ditampilkan pada Gambar 9.12 menggunakan Oskiloskop perangkat lunak MULTISIM.

Oskiloskop diatur dengan pengaturan sebagai berikut: Waktu: 10 ms.Div dan Tegangan: 5 V/Div.



Gambar 9.12 Hasil Oskiloskop Rangkaian Penguat Tegangan pada Daerah Aktif, Saturasi dan Potong

Pada Gambar 9.12 tersebut, bahwa tidak terjadi penguatan untuk seluruh harga V_{BB} . Penguatan akan terjadi pada harga $V_{BB} = 0.7 \text{ V}$ ($V_{BE \text{ ON}}$) sehingga harga $V_{BB} = 4.8 \text{ V}$. Harga V_{BB} di bawah 0.7 V telah memasuki daerah potong, karena arus Basis, I_B , dibawah harga $I_{B \text{ cut-off}}$. Sedangkan harga V_{BB} di atas 4.8 volt telah diatas harga $I_{B \text{ sat}}$ sehingga telah memasuki daerah saturasi.

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Analisa Rangkaian Dasar Transistor

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

10

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

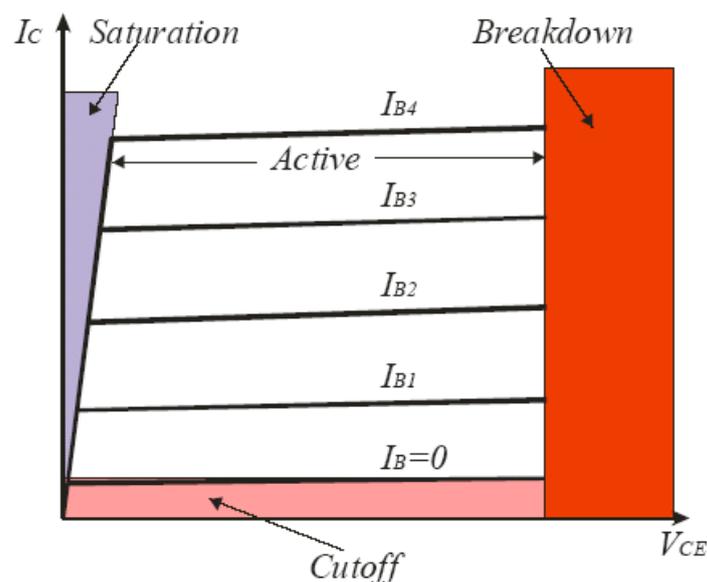
Perhitungan dan analisa rangkaian transistor dimulai dari perhitungan lup emitter (rangkaiannya input), sehingga didapat persamaan pada lup tersebut. Setelah itu, perhitungan dilanjutkan terhadap lup kolektor (rangkaiannya output).

Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Beberapa contoh perhitungan dan analisa rangkaian transistor.

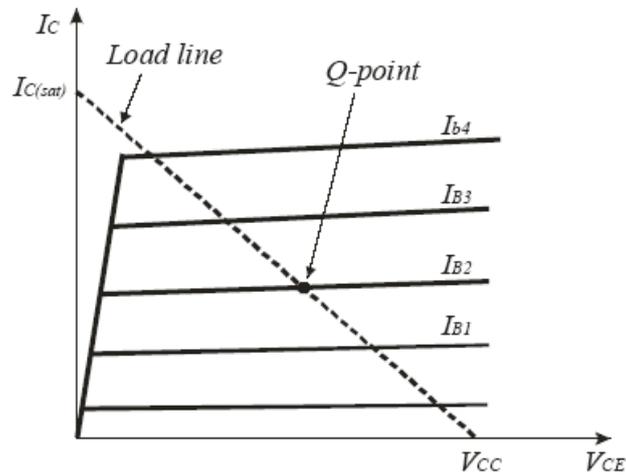
ANALISA RANGKAIAN TRANSISTOR DASAR

Beberapa cara perhitungan dan analisa dari rangkaian dasar dari Transistor, akan dibahas pada Modul ini. Pembahasan ini didasari oleh kurva karakteristik Transistor yang memiliki daerah-daerah kerja: Daerah Saturasi, Daerah Potong, Daerah Aktif dan Daerah Breakdown, seperti tampak pada Gambar 10.1 di bawah ini.



Gambar 10.1 Kurva Karakteristik Transistor

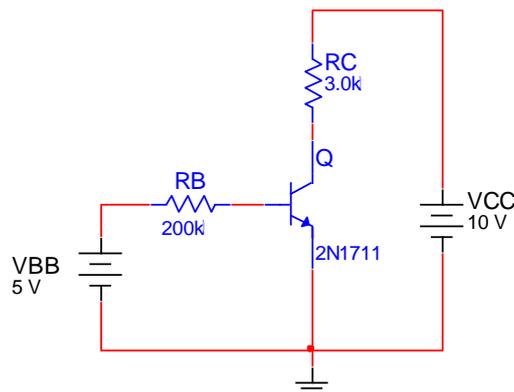
Perhitungan dan analisa rangkaian transistor dimulai dari perhitungan lup emitter (rangkain input), sehingga didapat persamaan pada lup tersebut. Setelah itu, perhitungan dilanjutkan terhadap lup kolektor (rangkain output). Berdasarkan persamaan pada rangkaian output inilah, akan didapat persamaan garis beban (*Load Line*). Dari persamaan garis beban ini, akan diketahui harga arus kolektor saturasi ($I_{C\ sat}$) dan tegangan pancung (*cut-off*) dioda kolektor-emiter ($V_{CE\ cut-off}$). Persamaan garis beban tersebut ditampilkan kembali pada Gambar 10.2 di bawah ini.



Gambar 10.2 Garis Beban

Contoh 10.1

Sebuah rangkaian transistor tampak pada Gambar 10.3 di bawah ini, dimana $R_B = 200 \text{ Kohm}$, $R_C = 3 \text{ Kohm}$, $V_{BB} = 5 \text{ volt}$ dan $V_{CC} = 10 \text{ volt}$. Carilah arus-arus yang terdapat pada rangkaian tersebut! Sebelumnya, tentukan terlebih dahulu daerah kerja transistor dan gambarkan pula garis bebannya! Diketahui bahwa V_{BE} adalah 0.7 volt dan $\beta = 100$.



Gambar 10.3 Rangkaian Transistor Contoh 10.1

Persamaan Lup Emiter:

$$\begin{aligned}
 -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\
 I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}
 \end{aligned}
 \tag{10.1}$$

Sehingga:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{200K} = 0.0215 \text{ mA}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\ I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \end{aligned} \tag{10.2}$$

Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana:

$I_{C \text{ sat}}$ ($V_{CE} = 0$) adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10}{3K} = 3.33 \text{ mA}$$

dan

$V_{CE \text{ cut-off}}$ ($I_C = 0$) adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} = 10 \text{ volt}$$

Jika diasumsikan bahwa rangkaian berada pada daerah aktif, maka:

$$I_C = \beta I_B = 100 * 0.0215 = 2.15 \text{ mA},$$

Dan

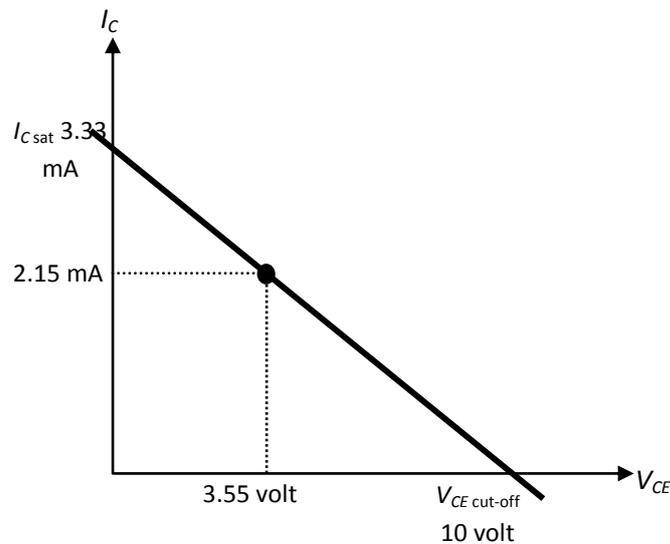
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - 2.15 * 3K = 3.55 \text{ volt}$$

Karena

$$I_C < I_{C \text{ sat}}, \text{ dan/atau}$$

V_{CE} di luar daerah saturasi dan daerah breakdown

maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah aktif, dengan $I_B = 0.0215 \text{ mA}$, $I_C = 2.15 \text{ mA}$ dan $V_{CE} = 3.55 \text{ volt}$. Sehingga dapat digambarkan garis bebannya seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 10.4. Garis Beban Contoh 10.1

Contoh 10.2

Rangkaian yang sama dengan Contoh 10.1 (Gambar 10.3) kembali dianalisa dengan mengubah harga R_B menjadi 50 Kohm. Harga-harga komponen dan parameter yang lain adalah sama. Carilah arus-arus yang terdapat pada rangkaian tersebut dan tentukan daerah kerja transistor!

Persamaan Lup Emiter:

$$\begin{aligned}
 -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\
 I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}
 \end{aligned}
 \tag{10.3}$$

Sehingga:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{50K} = 0.086 \text{ mA}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\ I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \end{aligned} \quad (10.4)$$

Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana

$I_{C \text{ sat}} (V_{CE} = 0)$ adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10}{3K} = 3.33 \text{ mA}$$

dan

$V_{CE \text{ cut-off}} (I_C = 0)$ adalah:

$$V_{CE} = V_{CC} = 10 \text{ volt}$$

Jika diasumsikan bahwa rangkaian berada pada daerah aktif, maka:

$$I_C = \beta I_B = 100 * 0.086 = 8.6 \text{ mA},$$

dan

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - 8.6 * 3K = - 15.8 \text{ volt}$$

Karena

$$I_C > I_{C \text{ sat}}, \text{ dan/atau}$$

V_{CE} berada pada daerah saturasi

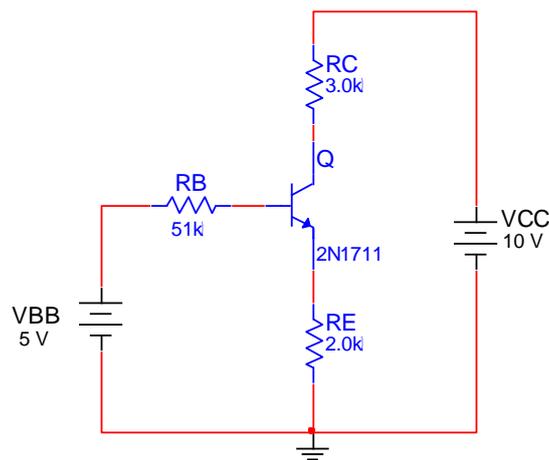
maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah saturasi, dengan $I_B = 0.086 \text{ mA}$, $I_C = 3.33 \text{ mA}$ dan $V_{CE} = 0 \text{ volt}$.

Pada Contoh 10.1 rangkaian transistor berada pada daerah aktif. Kemudian, pada Contoh 10.2, setelah harga tahanan R_B diubah menjadi lebih kecil, sehingga arus I_B menjadi lebih besar, maka rangkain menjadi masuk ke dalam daerah saturasi. Dari kedua contoh ini,

dapat disimpulkan bahwa untuk dapat masuk ke daerah saturasi dapat dilakukan dengan menaikkan harga arus I_B .

Contoh 10.3

Jika, rangkaian transistor pada Gambar 10.3 dimodifikasi menjadi Gambar 10.5 di bawah ini, dimana $R_B = 50 \text{ Kohm}$, $R_E = 2 \text{ Kohm}$, $R_C = 3 \text{ Kohm}$, $V_{BB} = 5 \text{ volt}$ dan $V_{CC} = 10 \text{ volt}$. Carilah arus-arus yang terdapat pada rangkaian tersebut dan tentukan daerah kerja transistor!



Gambar 10.5 Rangkaian Transistor Contoh 10.3

Persamaan Lup Emiter:

$$-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = 0$$

$$-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + (I_B + I_C) R_E = 0,$$

jika diasumsikan transistor bekerja pada daerah aktif, maka:

$$I_C = \beta I_B = 100 I_B$$

sehingga:

$$\begin{aligned}
-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + (I_B + \beta I_B) R_E &= 0 \\
-V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} + 101 I_B R_E &= 0 \\
I_B (R_B + 101 R_E) &= V_{BB} - V_{BE} \\
I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{(R_B + 101 R_E)}
\end{aligned}
\tag{10.5}$$

dan:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{(50K + 101 * 2K)} = 0.0107 \text{ mA}$$

$$I_C = 1.07 \text{ mA}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$\begin{aligned}
-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E &= 0 \\
-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + (I_B + I_C) R_E &= 0 \\
-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_B R_E + I_C R_E &= 0 \\
I_C (R_C + R_E) &= V_{CC} - V_{CE} - I_B R_E \\
I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE} - I_B R_E}{(R_C + R_E)}
\end{aligned}
\tag{10.6}$$

Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana

$I_{C \text{ sat}} (V_{CE} = 0)$ adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC}}{(R_C + R_E)} = \frac{10}{(3K + 2K)} = 5 \text{ mA}$$

dan

$V_{CE \text{ cut-off}} (I_C = 0)$ adalah:

$$V_{CE \text{ cut-off}} = V_{CC} = 10 \text{ volt}$$

dan dari persamaan (10.6)

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_B R_E - I_C R_E$$

$$V_{CE} = 10 - 1.07 * 3K - 0.0107 * 2K - 1.07 * 2K$$

$$V_{CE} = 10 - 3.21 - 0.0214 - 2.14$$

$$V_{CE} = 4.62 \text{ volt}$$

Karena

$$I_C < I_{C \text{ sat}}$$

maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah aktif, dengan $I_B = 0.0107 \text{ mA}$, $I_C = 1.07 \text{ mA}$, $I_E = 1.0807 \text{ mA}$ dan $V_{CE} = 4.62 \text{ volt}$.

Pada Contoh 10.2, rangkaian transistor berada pada daerah saturasi. Kemudian, pada Contoh 10.3, setelah ditambahkan tahanan R_E , rangkaian menjadi berada pada daerah aktif. Hal ini membuktikan bahwa tambahan tahanan R_E menjadikan rangkaian berada pada daerah aktif.

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Rangkaian dan Bias Transistor

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

11

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Rangkaian transistor yang difungsikan sebagai sumber tegangan dan sumber arus. Sebuah LED akan diletakan pada rangkaian untuk menguji perbedaan fungsi tersebut. Perhitungan dan analisa akan diturunkan untuk memperjelas perbedaan ini. Beberapa bias yang umum untuk operasi linear adalah Bias Basis, Bias Pembagi Tegangan dan Bias Umpan Balik Kolektor.

Kompetensi

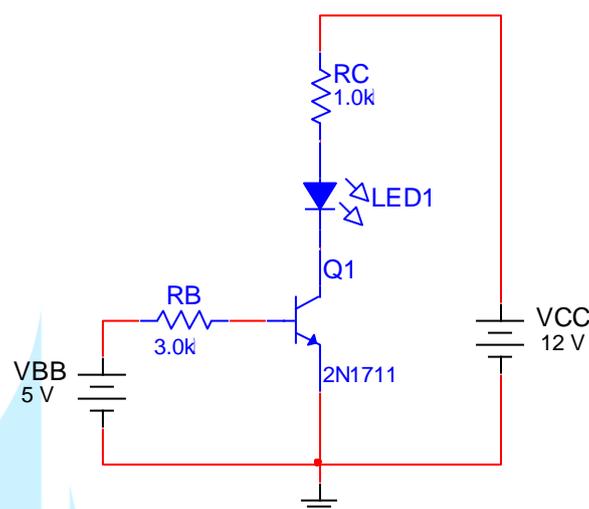
Mampu menjelaskan dan memahami tentang Rangkaian Sumber Tegangan, Sumber Arus, Bias Basis, Pembagi Tegangan, Umpan Balik, Kolektor.

RANGKAIAN DAN BIAS TRANSISTOR

Modul ini menjelaskan tentang perbedaan rangkaian transistor yang difungsikan sebagai sumber tegangan dan sumber arus. Sebuah LED akan diletakkan pada rangkaian untuk menguji perbedaan fungsi tersebut. Perhitungan dan analisa akan diturunkan untuk memperjelas perbedaan ini. Selain itu, beberapa bias transistor juga akan diperkenalkan pada modul ini. Keunggulan masing-masing bias akan dianalisa. Beberapa bias yang umum untuk operasi linear adalah Bias Basis, Bias Pembagi Tegangan (*Voltage Divider*) dan Bias Umpan Balik Kolektor (*Collector Feedback*).

11.1. RANGKAIAN SUMBER TEGANGAN

Sebuah transistor dirangkai seperti yang tampak pada Gambar 11.1 di bawah ini, dimana $R_B = 3 \text{ Kohm}$, $R_C = 1 \text{ Kohm}$, $V_{BB} = 5 \text{ volt}$ dan $V_{CC} = 5 \text{ volt}$. Sebuah LED dipasang pada rangkaian output untuk pengujian, yang memiliki tegangan jatuh V_{LED} antara 1.5 hingga 2 volt. Secara global, rangkaian ini merupakan rangkaian transistor yang berfungsi sebagai *switch*.



Gambar 11.1 Rangkaian Transistor sebagai Sumber Tegangan

Persamaan Lup Emiter:

$$\begin{aligned} -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\ I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\ I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \end{aligned} \quad (11.1)$$

sehingga:

$$I_B = \frac{5 - 0.7}{3K} = 1.43 \text{ mA}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + I_C R_C + V_{LED} + V_{CE} &= 0 \\ I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} - V_{LED} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{LED}}{R_C} \end{aligned} \quad (11.2)$$

Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana

$I_{C \text{ sat}}$ ($V_{CE} = 0$) adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{R_C} \quad (11.3)$$

dan

$V_{CE \text{ cut-off}}$ ($I_C = 0$) adalah:

$$V_{CE \text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} \quad (11.4)$$

Jika, V_{LED} dianggap 1.5 volt, maka berdasarkan persamaan (11.3) dan (11.4), harga $I_{C \text{ sat}}$ dan $V_{CE \text{ cut-off}}$ adalah:

$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{R_C} = \frac{5 - 1.5}{1K} = 3.5 \text{ mA}$$

$$V_{CE \text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} = 5 - 1.5 = 3.5 \text{ volt}$$

Jika diasumsikan bahwa rangkaian berada pada daerah aktif, maka:

$$I_C = \beta I_B = 100 * 1.43 = 143 \text{ mA},$$

Karena

$$I_C > I_{C\text{ sat}},$$

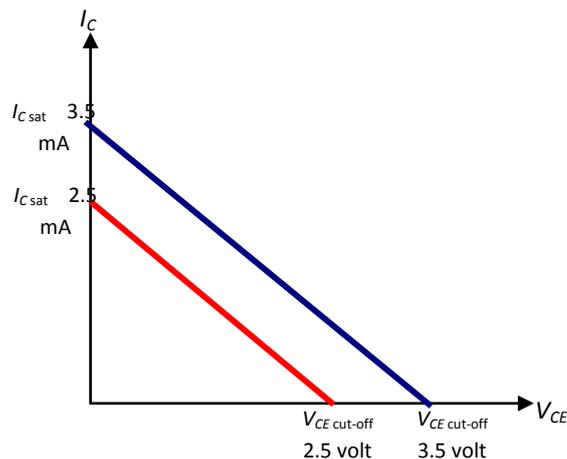
maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah saturasi, dengan $I_B = 1.43\text{ mA}$, $I_C = 3.5\text{ mA}$ dan $V_{CE} = 0\text{ volt}$.

Namun, jika V_{LED} dianggap 2.5 volt, maka berdasarkan persamaan (11.3) dan (11.4), harga $I_{C\text{ sat}}$ dan $V_{CE\text{ cut-off}}$ adalah yang baru adalah:

$$I_{C\text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{R_C} = \frac{5 - 2.5}{1K} = 2.5\text{ mA}$$

$$V_{CE\text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} = 5 - 2.5 = 2.5\text{ volt}$$

Persamaan garis beban untuk harga V_{LED} yang berbeda ditampilkan pada Gambar 11.2 di bawah ini.

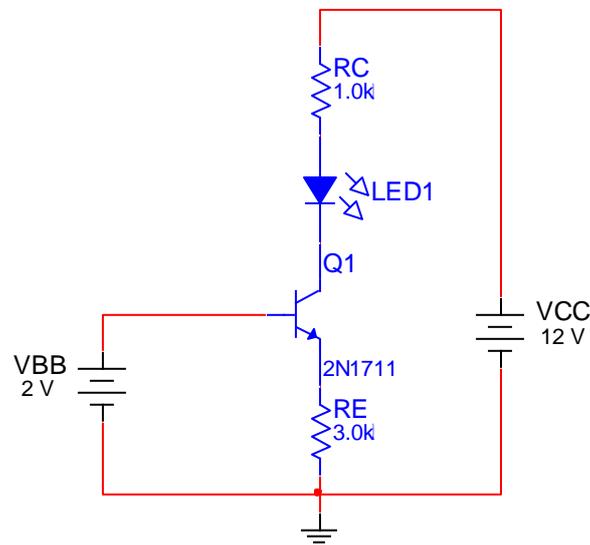


Gambar 11.2. Garis Beban Rangkaian Sumber Tegangan

Dari garis beban pada Gambar 11.2, tampak bahwa arus yang jatuh pada LED berubah sesuai dengan tegangan jatuh V_{LED} (3.5 mA untuk $V_{LED} = 1.5\text{ volt}$ dan 2.5 mA untuk $V_{LED} = 2.5\text{ volt}$). Hal ini akan mengakibatkan terangnya LED akan berubah-ubah pula. Berarti, rangkaian ini berfungsi sebagai sumber tegangan saja (*switch*) namun tidak dapat mempertahankan harga arus kolektor (I_C).

11.2. RANGKAIAN SUMBER ARUS

Pada rangkaian ini, tahanan di lup Emiter, tahanan Basis, R_B , dipindahkan menjadi tahanan Emiter, R_E . Rangkaian tersebut ditampilkan pada Gambar 11.3 di bawah ini, dimana $R_E = 3 \text{ Kohm}$, $R_C = 1 \text{ Kohm}$, $V_{BB} = 2 \text{ volt}$ dan $V_{CC} = 5 \text{ volt}$.



Gambar 11.3 Rangkaian Transistor sebagai Sumber Arus

Persamaan Lup Emiter:

$$\begin{aligned} -V_{BB} + I_E R_E + V_{BE} &= 0 \\ I_E R_E &= V_{BB} - V_{BE} \\ I_E &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E} \end{aligned} \quad (11.5)$$

Sehingga:

$$I_E = \frac{2 - 0.7}{3K} = 0.43 \text{ mA}$$

Persamaan Lup Kolektor:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{LED} + V_{CE} + I_E R_E = 0 \quad (11.6)$$

Karena α biasanya mendekati 1, maka $I_C = I_E$, sehingga

$$\begin{aligned}
 -V_{CC} + I_C R_C + V_{LED} + V_{CE} + I_E R_E &= 0 \\
 I_C R_C + I_C R_E &= V_{CC} - V_{CE} - V_{LED} \\
 I_C (R_C + R_E) &= V_{CC} - V_{CE} - V_{LED} \\
 I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{LED}}{(R_C + R_E)}
 \end{aligned} \tag{11.7}$$

Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana

$I_{C\text{ sat}}$ ($V_{CE} = 0$) adalah:

$$I_{C\text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{(R_C + R_E)} \tag{11.8}$$

dan

$V_{CE\text{ cut-off}}$ ($I_C = 0$) adalah:

$$V_{CE\text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} \tag{11.9}$$

Jika, V_{LED} dianggap 1.5 volt, maka berdasarkan persamaan (11.12) dan (11.9), harga $I_{C\text{ sat}}$ dan $V_{CE\text{ cut-off}}$ adalah:

$$I_{C\text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{(R_C + R_E)} = \frac{5 - 1.5}{4K} = 0.875 \text{ mA}$$

$$V_{CE\text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} = 5 - 1.5 = 3.5 \text{ volt}$$

Dan, jika V_{LED} dianggap 2.5 volt, maka berdasarkan persamaan (11.8) dan (11.9), harga $I_{C\text{ sat}}$ dan $V_{CE\text{ cut-off}}$ adalah yang baru adalah:

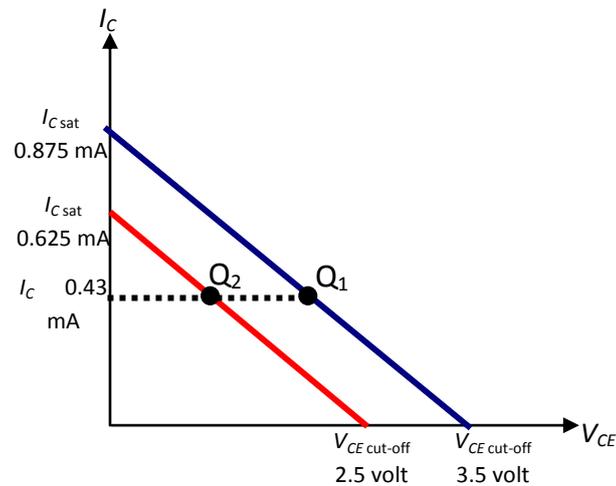
$$I_{C\text{ sat}} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{(R_C + R_E)} = \frac{5 - 2.5}{4K} = 0.625 \text{ mA}$$

$$V_{CE\text{ cut-off}} = V_{CC} - V_{LED} = 5 - 2.5 = 2.5 \text{ volt}$$

Karena harga arus I_C (untuk kedua harga V_{LED}) lebih kecil dari kedua harga $I_{C\text{ sat}}$

$$I_C < I_{C\text{ sat}}$$

maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian transistor ini bekerja pada daerah aktif. Persamaan garis beban untuk harga V_{LED} yang berbeda ditampilkan pada Gambar 11.4 di bawah ini.

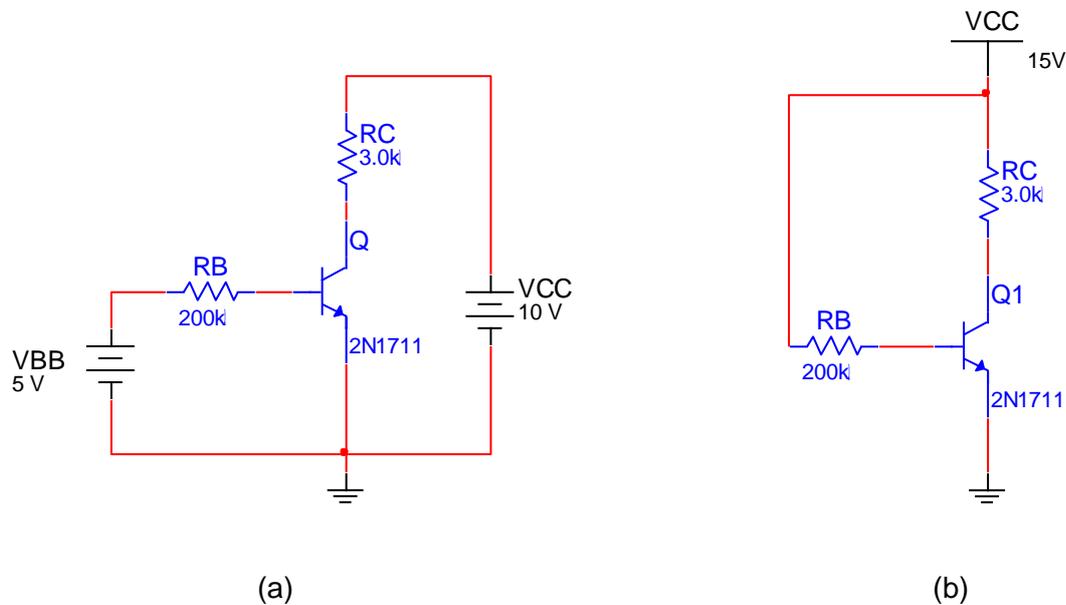


Gambar 11.4. Garis Beban Rangkaian Sumber Arus

Dari garis beban pada Gambar 11.3, tampak bahwa arus yang jatuh pada LED memiliki harga yang sama, yaitu $I_C = 0.43$ mA, baik untuk $V_{LED} = 1.5$ volt dan $V_{LED} = 2.5$ volt. Hal ini akan mengakibatkan LED akan memiliki terang yang sama, tidak peduli terhadap perubahan tegangannya.

11.3. RANGKAIAN BIAS BASIS

Rangkaian transistor yang telah dibahas pada modul-modul sebelumnya adalah sebuah Rangkaian Bias Basis, seperti yang tampak pada Gambar 11.5 di bawah ini.



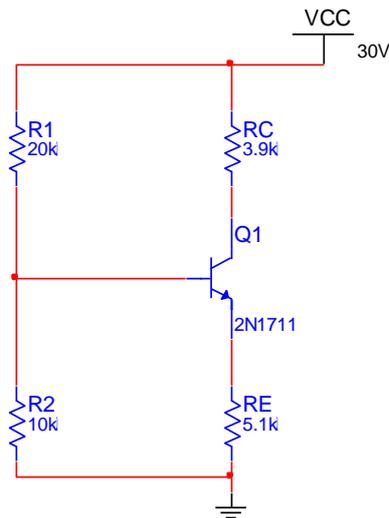
Gambar 11.5 (a) Rangkaian Bias Basis dan (b) Bentuk Lain Rangkaian Bias Basis

Pada rangkaian ini, sumber tegangan V_{BB} membias forward dioda emitter melalui tahanan R_B yang membatasi arus I_B . Sedangkan dalam rangkaian kolektor, sumber tegangan V_{CC} membias reverse dioda kolektor melalui tahanan R_C . Dari rangkaian kolektor ini, dapat diturunkan sebuah persamaan garis, yang dikenal dengan istilah Garis Beban (*Load Line*). Pada garis ini, tegangan kolektor-emiter (V_{CE}) dan arus kolektor (I_C) dianggap sebagai variabel.

Karena telah dibahas pada modul sebelumnya, rangkaian ini tidak diperbincangkan lagi pada modul ini.

11.4. RANGKAIAN PEMBAGI TEGANGAN (VOLTAGE DIVIDER)

Gambar 11.3 menunjukkan bias pembagi tegangan, bias yang paling banyak digunakan dalam rangkaian-rangkaian diskrit linear. Nama 'pembagi tegangan' berasal dari pembagi tegangan yang dibentuk oleh R_1 dan R_2 . Tegangan pada R_2 membias forwar dioda emitter. Seperti rangkaian lainnya, catu V_{CC} membias reverse dioda kolektor.



Gambar 11.6 Rangkaian Bias Pembagi Tegangan

Rangkaian bias pembagi tegangan bekerja sebagai berikut. Arus basis, I_B , dalam rangkaian ini kecil sekali dibandingkan dengan arus dalam R_1 dan R_2 . Akibatnya, kita dapat menggunakan teorema pembagi tegangan untuk mendapatkan tegangan pada R_2 , yaitu:

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (11.10)$$

sehingga pada lup emiter terjadi persamaan tegangan sebagai berikut:

$$-V_2 + V_{BE} + I_E R_E = 0, \text{ atau} \quad (11.11)$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E}$$

Sementara itu, persamaan tegangan pada lup kolektor adalah:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = 0 \quad (11.12)$$

karena I_C dan I_E hampir sama, maka persamaan (11.3) dapat dituliskan kembali:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_C R_E = 0$$

$$-V_{CC} + I_C (R_C + R_E) + V_{CE} = 0 \quad (11.4)$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{(R_C + R_E)}$$

Sebagaimana rangkaian bias basis, pada rangkaian bias ini juga dapat digambarkan Garis Beban. Juga dapat diturunkan arus I_{Csat} , yaitu:

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (11.13)$$

dan tegangan $V_{CEcut-off}$, yaitu:

$$V_{CEcut-off} = V_{CC} \quad (11.14)$$

Sebuah transistor dirangkai secara bias pembagi tegangan, seperti tampak pada Gambar 11.3, dimana $R_1 = 20 \text{ Kohm}$, $R_2 = 10 \text{ Kohm}$, $R_C = 4 \text{ Kohm}$, $R_E = 5 \text{ kohm}$ dan $V_{CC} = 30 \text{ volt}$. Gambarkan garis beban untuk rangkaian ini!

Tegangan pada V_2 adalah:

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_2 = \frac{10 \text{ Kohm}}{20 \text{ Kohm} + 10 \text{ Kohm}} 30$$

$$V_2 = 10 \text{ volt}$$

sehingga pada lup emiter terjadi persamaan tegangan sebagai berikut:

$$-V_2 + V_{BE} + I_E R_E = 0, \text{ atau}$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{5 \text{ Kohm}} = 1.86 \text{ mA}$$

Sementara itu, persamaan tegangan pada lup kolektor adalah:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = 0$$

karena I_C dan I_E hampir sama, maka:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = 30 - 1.86 * 9 = 13.3 \text{ volt}$$

dan

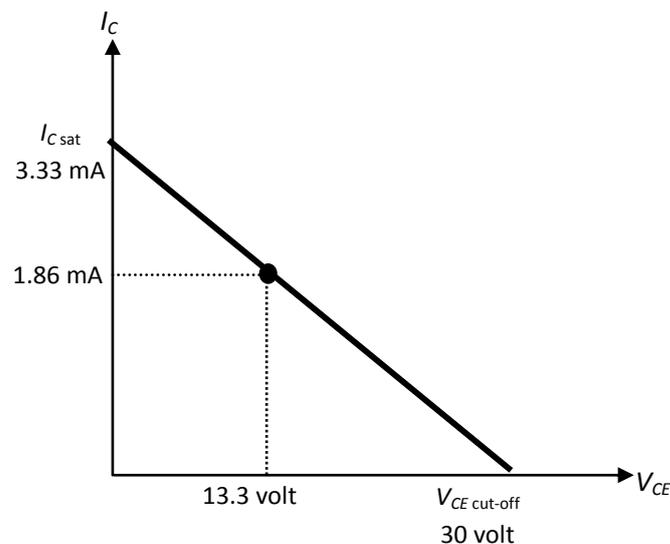
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{(R_C + R_E)}$$

Sehingga:

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{30}{(4Kohm + 5Kohm)} = 3.33 \text{ mA}$$

$$V_{CE_{cut-off}} = V_{CC} = 30 \text{ volt}$$

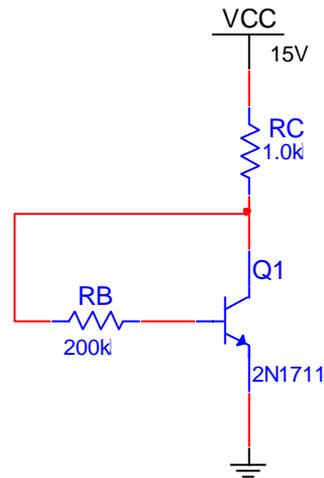
Maka, persamaan garis beban dan titik operasinya digambarkan pada Gambar 11.7 di bawah ini.



Gambar 11.7 Garis Beban Rangkaian Bias Pembagi Tegangan pada Gambar 11.6

11.5. RANGKAIAN UMPAN BALIK KOLEKTOR

Rangkain Bias Umpan Balik Kolektor ditunjukkan pada Gambar 11.8 di bawah ini. Bias ini memberikan kesederhanaan (hanya 2 resistor) dan respon frekuensi rendah yang baik. Pada rangkaian ini, tahanan basis, R_B , dikembalikan ke kolektor dan bukan ke pencatu daya. Untuk menggerakkan tahanan basis, tidak digunakan tegangan catu yang tetap, tetapi menggunakan tegangan kolektor. Ini termasuk konsep umpan balik yang membantu mengurangi efek dari β terhadap titik operasi, Q .



Gambar 11.8 Rangkaian Bias Umpan Balik Kolektor

Persamaan tegangan pada lup basis adalah:

$$I_B R_B + V_{BE} - V_{CE} = 0, \text{ atau} \quad (11.15)$$

$$V_{CE} = I_B R_B + V_{BE}$$

karena $\beta = I_C / I_B$, maka $I_B = I_C / \beta$, sehingga

$$V_{CE} = \frac{I_C}{\beta} R_B + V_{BE} \quad (11.16)$$

Sedangkan persamaan tegangan pada lup kolektor adalah:

$$V_{CE} - V_{CC} + I_C R_C = 0 \quad (11.17)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Jika setiap bagian kanan dari persamaan (11.8) dan (11.9), maka akan didapatkan:

$$\frac{I_C}{\beta} R_B + V_{BE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$\frac{I_C}{\beta} R_B + I_C R_C = V_{CC} - V_{BE} \quad (11.18)$$

$$I_C \left(\frac{R_B}{\beta} + R_C \right) = V_{CC} - V_{BE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\left(\frac{R_B}{\beta} \right) + R_C}$$

Dari persamaan (11.10) inilah dapat dibuatkan Garis Beban dari rangkaian bias umpan balik kolektor ini.

Sebuah transistor dirangkai secara bias umpan balik kolektor, seperti tampak pada Gambar 11.5, dimana $R_B = 200 \text{ Kohm}$, $R_C = 1 \text{ Kohm}$ dan $V_{CC} = 15 \text{ volt}$. Gambarkan garis beban untuk rangkaian ini, jika β berubah dari 100 menjadi 300!

Berdasarkan persamaan (11.10), dimana:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(R_B / \beta) + R_C}$$

maka:

$$I_C = \frac{15 - 0.7}{(200 / 100) + 1} = 4.77 \text{ mA}, \text{ untuk } \beta = 100$$

$$I_C = \frac{15 - 0.7}{(200 / 300) + 1} = 8.58 \text{ mA}, \text{ untuk } \beta = 300$$

dan berdasarkan persamaan (11.9), dimana:

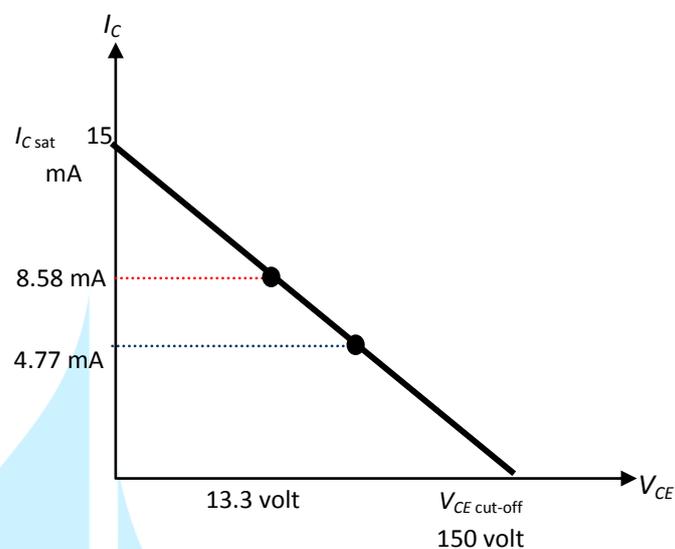
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

maka:

$$V_{CE \text{ cut-off}} = 15 \text{ volt}$$

$$I_{C \text{ sat}} = 15 \text{ mA}$$

Garis Beban dari rangkaian ini adalah:



Gambar 11.9 Garis Beban Rangkaian Bias Umpan Balik Kolektor pada Gambar 11.8

Dari garis beban diatas, dapat disimpulkan bahwa bias ini memiliki keunggulan karena tidak sensitif terhadap perubahan β .

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Franci Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Rangkaian Komplementer

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

12

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Transistor PNP dikatakan “komplemen” dari Transistor NPN. Kata komplemen menandakan bahwa karakteristik tegangan dan arus pada Transistor PNP berlawanan dengan yang dimiliki pada Transistor NPN.

Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Transistor PNP dan NPN, Perjanjian Terbalik, Rangkaian Bias Basis, Pembagi Tegangan, Umpan Balik Kolektor pada PNP, Transistor JFET, MOSFET.

Pembahasan

12.1. Pendahuluan

Pembahasan mengenai transistor pada modul-modul sebelumnya, dipusatkan pada satu jenis saja, yaitu Transistor NPN. Hal ini disebabkan untuk mempermudah pemahaman dasar transistor terlebih dahulu. Sedangkan, pada kenyataannya, terdapat jenis lain, yaitu Transistor PNP.

Transistor PNP dikatakan “komplemen” dari Transistor NPN. Kata komplemen menandakan bahwa karakteristik tegangan dan arus pada Transistor PNP berlawanan dengan yang dimiliki pada Transistor NPN. Gambar 12.1 di bawah ini menggambarkan prinsip arus-arus, masing-masing, pada Transistor NPN dan PNP.



Gambar 12.1 Arus-arus pada Transistor NPN dan PNP

Dari gambar tersebut, dapat dikatakan aturan-aturan arus transistor tetap berlaku, namun dengan arah yang berlawanan, dimana:

$$I_E = I_B + I_C \quad (12.1)$$

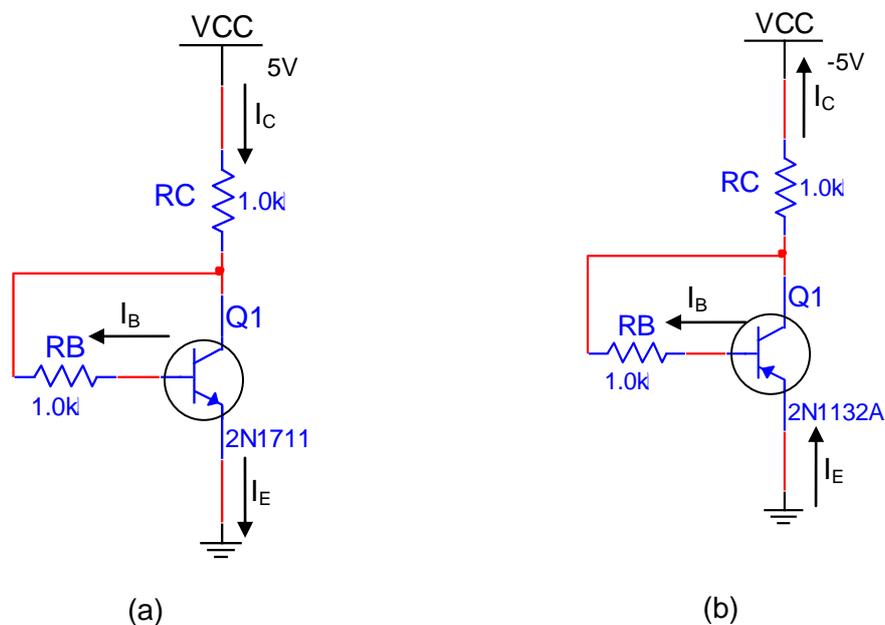
bahwa arus terbesar pada transistor adalah pada arus emitter, I_E , dimana arus emitter tersebut merupakan jumlah dari dua arus yang lain, yaitu arus kolektor, I_C , dan arus basis, I_B .

12.2. Perjanjian Terbalik

Jika terdapat sebuah rangkaian menggunakan Transistor NPN, maka untuk mendapatkan rangkaian PNP komplementer, langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Gantilah transistor NPN dengan transistor PNP
2. Baliklah semua tegangan dan arusnya

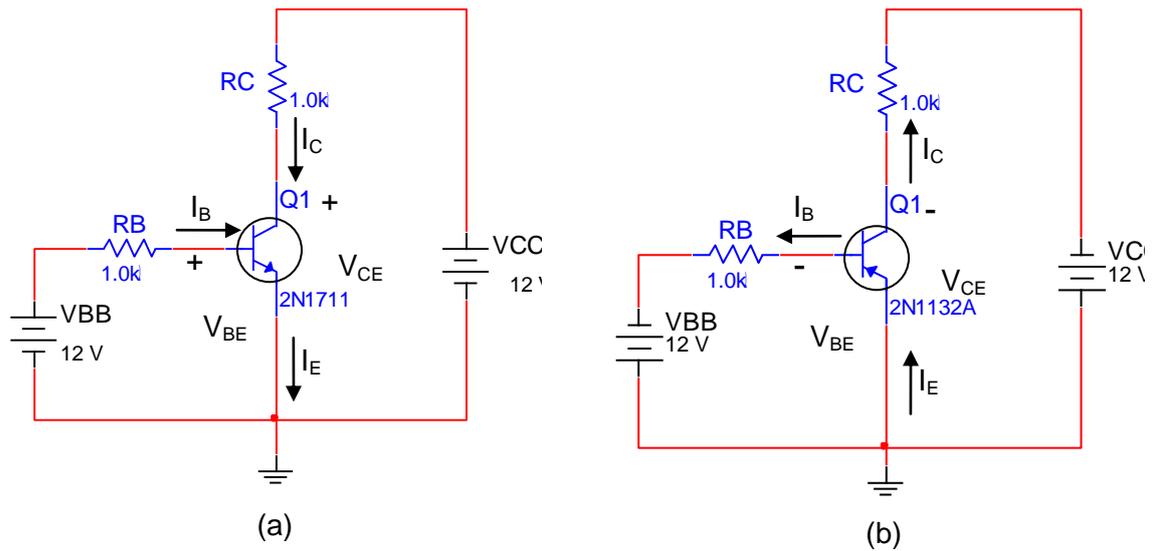
Sebagai contoh, Gambar 12.2(a) memperlihatkan prategangan umpan balik kolektor yang menggunakan Transistor NPN. Tegangan kolektor positif terhadap tanah. Gambar 12.2(b) memperlihatkan rangkaian Transistor PNP komplementernya. Yang dilakukan adalah mengkomplemenkan tegangan dan arusnya serta mengganti Transistor NPN dengan PNP.



Gambar 12.2 Rangkaian Kolektor Umpan Balik (a) Transistor NPN dan
(b) Transistor PNP

12.3. Rangkaian Bias Basis Pada Transistor PNP

Gambar 12.3 berikut ini adalah sebuah rangkaian transistor dengan pencatu dayaan model bias basis. Pada bagian sebelah kiri, adalah transistor NPN sebagai perbandingan dan bagian sebelah kanan adalah Transistor PNP (harga-harga parameter tahanan dan tegangan, tidak perlu diperhatikan).



Gambar 12.3 Rangkaian Common Emiter (a) Transistor NPN dan
(b) Transistor PNP

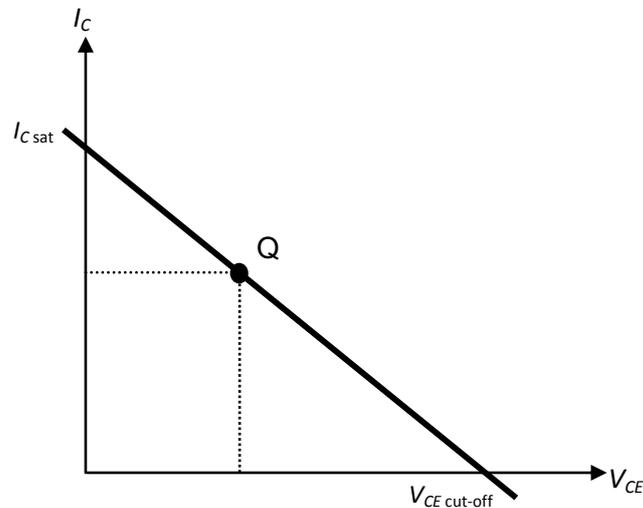
Maka persamaan Lup Emiter pada Transistor PNP adalah:

$$\begin{aligned}
 -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\
 I_B R_B &= V_{BB} - V_{BE} \\
 I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}
 \end{aligned}
 \tag{12.2}$$

dan persamaan Lup Kolektornya adalah:

$$\begin{aligned}
 -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\
 I_C R_C &= V_{CC} - V_{CE} \\
 I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}
 \end{aligned}
 \tag{12.3}$$

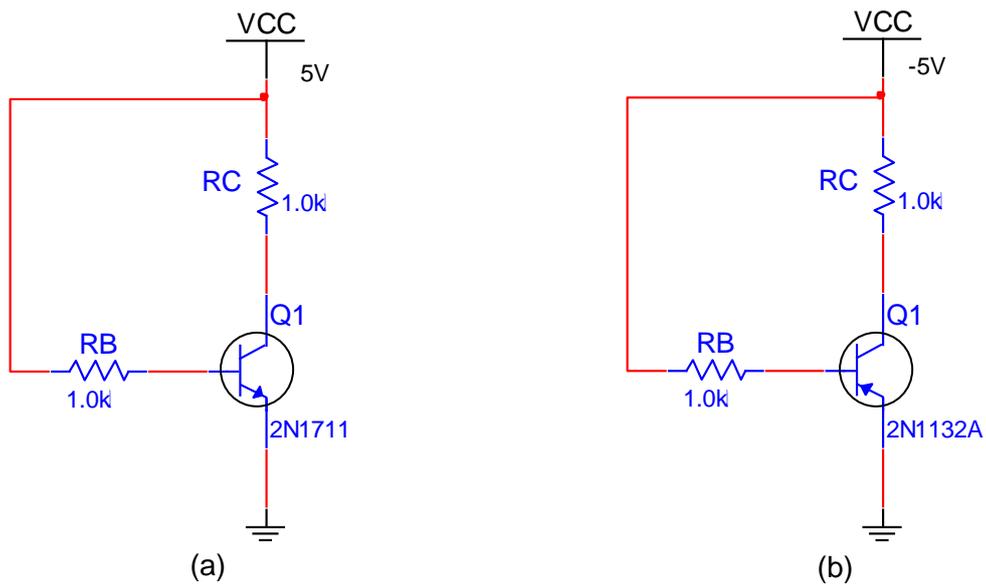
Dari persamaan ini, dapat dibuatkan garis beban, dimana $I_{C\text{ sat}}$ ($V_{CE} = 0$), $V_{CE\text{ cut-off}}$ ($I_C = 0$) dan titik operasi Q, sehingga dapat digambarkan garis bebannya seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 12.4. Garis Beban

Dari persamaan (12.2) dan (12.3) serta garis beban pada Gambar 12.4 memiliki harga dan bentuk yang sama dengan Transistor NPN, namun terjadi perbedaan arah arus dari masing-masing kaki serta catu dayanya (lihat kembali modul-modul sebelumnya).

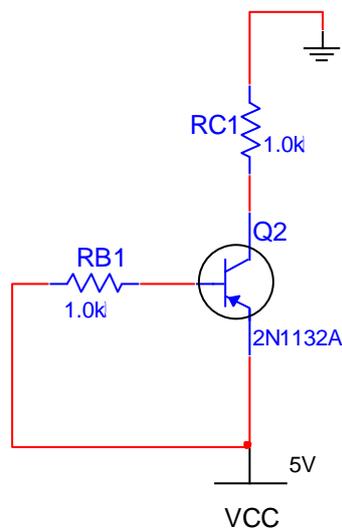
Bila Gambar 12.3 diringkas penggambarannya dengan cara menggabungkan catu daya V_{BB} dengan V_{CC} , maka akan didapat Gambar 12.5 di bawah ini. Perhatikan bahwa V_{CC} pada Transistor PNP adalah negatif dan pembumian yang positif.



Gambar 12.5 Gambar Ringkas dari Rangkaian pada Gambar 12.3

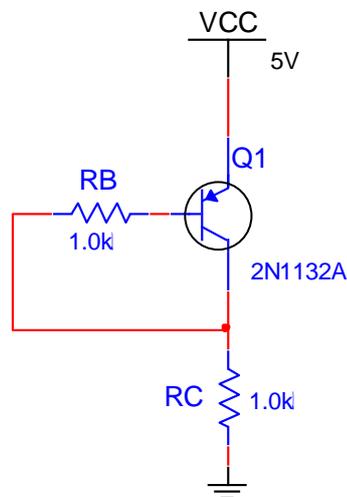
(a) Transistor NPN dan (b) Transistor PNP

Jika catu daya yang negatif (dari Gambar 12.3(b)) dihubungkan dengan tanah, maka akan didapat rangkaian seperti di bawah ini:



Gambar 12.6 Gambar Ringkas dengan catu daya yang diubah

Namun, pada umumnya, catu daya digambarkan di bagian atas sebuah rangkaian, sehingga, rangkaian tersebut digambarkan seperti di bawah ini:

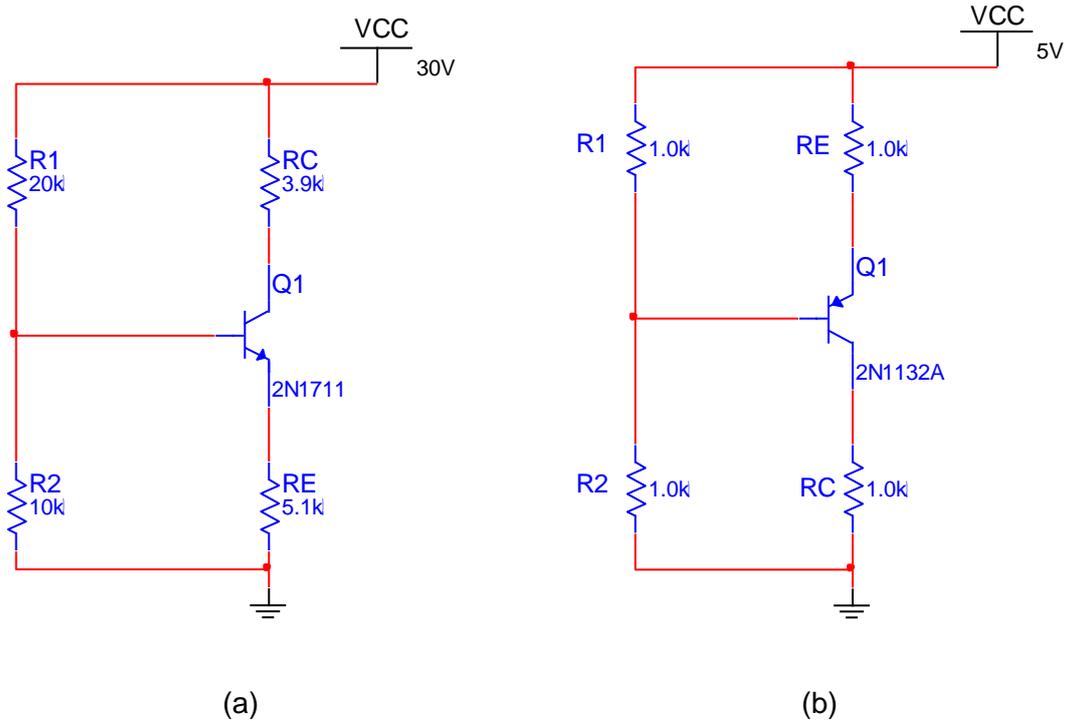


Gambar 12.7 Gambar Ringkas dengan catu daya yang dibalik

Gambar transistor seperti diatas, awalnya tampak janggal, tapi semua arus dan tegangan mempunyai nilai yang sama dengan gambar sebelumnya (Gambar 12.3(b), Gambar 12.5(b) dan Gambar 12.6).

12.4. Rangkaian Pembagi Tegangan Pada Transistor PNP

Rangkaian Pembagi Tegangan untuk Transistor PNP dan NPN diperlihatkan pada Gambar 12.8 di bawah ini. Nama 'pembagi tegangan' berasal dari pembagi tegangan yang dibentuk oleh R_1 dan R_2 . Namun, pada Transistor NPN, tegangan pada yang R_2 membias forward dioda emiter. Sedangkan pada Transistor PNP tegangan pada R_1 yang membias dioda emiter. Seperti rangkaian lainnya, catu V_{CC} membias reverse dioda kolektor.



Gambar 12.8 Rangkaian Bias Pembagi Tegangan

(a) Transistor NPN dan (b) Transistor PNP

Rangkaian bias pembagi tegangan bekerja sebagai berikut. Arus basis, I_B , dalam rangkaian ini kecil sekali dibandingkan dengan arus dalam R_1 dan R_2 . Akibatnya, kita dapat menggunakan teorema pembagi tegangan untuk mendapatkan tegangan pada R_1 , yaitu:

$$V_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \tag{12.4}$$

sehingga pada lup emiter terjadi persamaan tegangan sebagai berikut:

$$-V_1 + V_{BE} + I_E R_E = 0, \text{ atau} \tag{12.5}$$

$$I_E = \frac{V_1 - V_{BE}}{R_E}$$

Sementara itu, persamaan tegangan pada lup kolektor adalah:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = 0 \quad (12.6)$$

karena I_C dan I_E hampir sama, maka persamaan (12.6) dapat dituliskan kembali:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} + I_C R_E &= 0 \\ -V_{CC} + I_C (R_C + R_E) + V_{CE} &= 0 \end{aligned} \quad (12.7)$$
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{(R_C + R_E)}$$

Sebagaimana rangkaian bias basis, pada rangkaian bias ini juga dapat digambarkan Garis Beban. Persamaan ini, sebagaimana bias yang lain, didapat dari menurunkan rumus arus I_{Csat} , yaitu:

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (12.8)$$

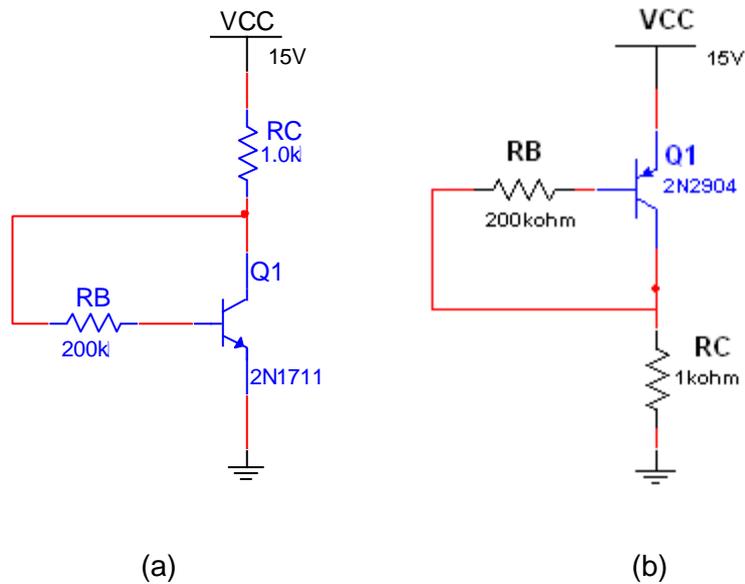
dan tegangan $V_{CEcut-off}$, yaitu:

$$V_{CEcut-off} = V_{CC} \quad (12.9)$$

12.5. Rangkaian Umpan Balik Kolektor Pada Transistor PNP

Rangkaian Bias Umpan Balik Kolektor untuk Transistor PNP dan NPN diperlihatkan pada Gambar 12.9 di bawah ini. Sebagaimana telah dijelaskan pada modul sebelumnya, bias ini memberikan kesederhanaan (hanya 2 resistor) dan respon frekuensi rendah yang baik. Pada rangkaian ini, tahanan basis, R_B , dikembalikan ke kolektor dan bukan ke pencatu

daya. Untuk menggerakkan tahanan basis, tidak digunakan tegangan catu yang tetap, tetapi menggunakan tegangan kolektor. Ini termasuk konsep umpan balik yang membantu mengurangi efek dari β terhadap titik operasi, Q.



Gambar 12.9 Rangkaian Bias Umpan Balik Kolektor

Persamaan tegangan pada lup basis adalah:

$$I_B R_B + V_{BE} - V_{CE} = 0, \text{ atau} \quad (12.10)$$

$$V_{CE} = I_B R_B + V_{BE}$$

karena $\beta = I_C / I_B$, maka $I_B = I_C / \beta$, sehingga

$$V_{CE} = \frac{I_C}{\beta} R_B + V_{BE} \quad (12.11)$$

Sedangkan persamaan tegangan pada lup kolektor adalah:

$$\begin{aligned}V_{CE} - V_{CC} + I_C R_C &= 0 \\V_{CE} &= V_{CC} - I_C R_C\end{aligned}\tag{12.12}$$

Jika setiap bagian kanan dari persamaan (12.11) dan (12.12) dihubungkan, maka akan didapatkan:

$$\begin{aligned}\frac{I_C}{\beta} R_B + V_{BE} &= V_{CC} - I_C R_C \\ \frac{I_C}{\beta} R_B + I_C R_C &= V_{CC} - V_{BE} \\ I_C \left(\frac{R_B}{\beta} + R_C \right) &= V_{CC} - V_{BE} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\left(R_B / \beta \right) + R_C}\end{aligned}\tag{12.13}$$

Dari persamaan (12.13) inilah dapat dibuatkan Garis Beban dari rangkaian bias umpan balik kolektor ini.

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Franci Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.



MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Transistor Efek Medan

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

13

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

FET (*Field Effect Transistor*) adalah komponen semikonduktor yang operasinya bergantung pada pengendalian arus oleh medan listrik. Terdapat dua tipe FET, yaitu: Transistor Efek Medan Persambungan (Junction Field Effect Transistor = JFET) dan Transistor Semikonduktor Oksida Logam (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor = MOSFET).

Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Transistor Efek Medan.

13.1. Pendahuluan

Modul-modul terdahulu telah membahas berbagai macam segi dari transistor. Pada hakikatnya, transistor yang telah dibahas tersebut, dikenal dengan istilah Transistor Persambungan Dwikutub (*Bipolar Junction Transistor* = BJT). Namun, memang secara praktis, biasa disebut Transistor saja. Padahal, terdapat jenis transistor yang lain, yang dikenal dengan Transistor Efek Medan (*Field Effect Transistor* = FET). FET adalah komponen semikonduktor yang operasinya bergantung pada pengendalian arus oleh medan listrik. Terdapat dua tipe FET, yaitu: Transistor Efek Medan Persambungan (*Junction Field Effect Transistor* = JFET) dan Transistor Semikonduktor Oksida Logam (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* = MOSFET).

Transistor FET berbeda dari BJT dalam karakter-karakter penting sebagai berikut:

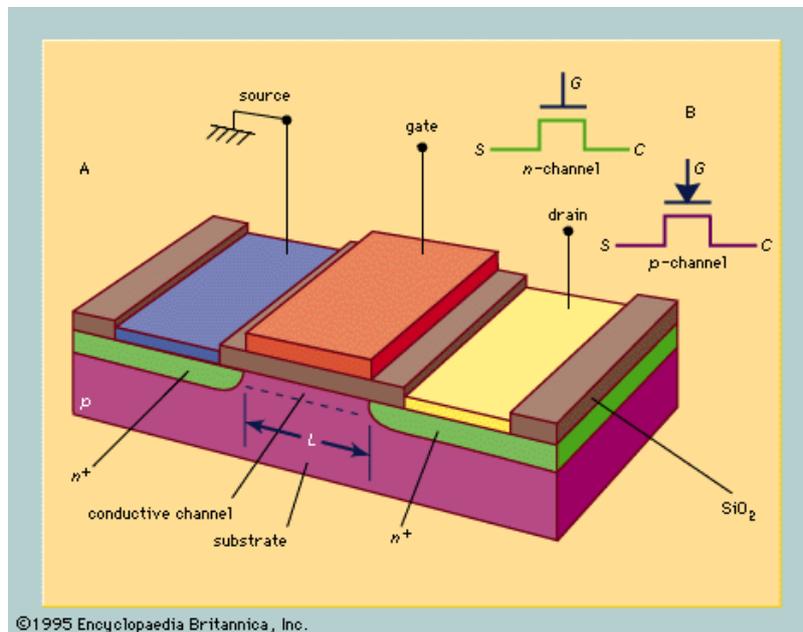
1. Operasinya bergantung pada aliran pembawa mayoritas (*majority carriers*) saja. Karena itu, transistor FET adalah transistor kutub tunggal (*Unipolar Junction Transistor* = UJT).
2. Lebih mudah dibuat dan mengambil ruang yang lebih kecil dalam bentuk rangkaian terpadu (*Integrated Circuit* = IC)
3. Menunjukkan hambatan-masukan yang tinggi, secara khas berharga dalam ukuran Megaohm
4. Mempunyai *noise* lebih rendah dari transistor BJT
5. Tidak menunjukkan adanya tegangan selisih-perimbangan (*offset*) pada arus Drain nol, dan oleh karena itu berguna sebagai pencacah atau *signal chopper* yang sangat baik.

Kerugian utama dari FET adalah hasil kali penguatan lebar-pita yang relatif kecil dibandingkan dengan harga yang dapat diperoleh dari transistor BJT. Penerapan utama dari MOSFET adalah sebagai unsur utama komponen digital skala kecil (*Large Scale Integration* = LSI).

13.2. Transistor JFET

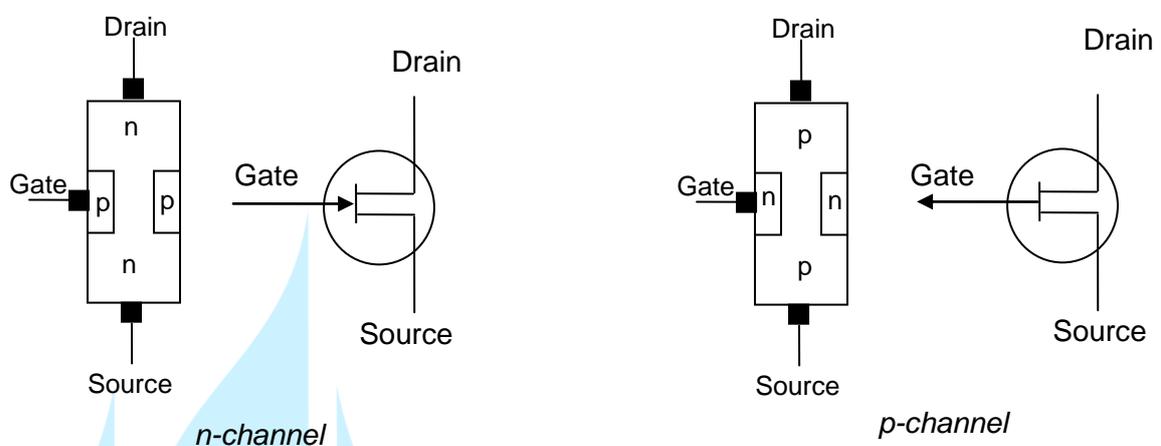
Gambar 13.1 memperlihatkan struktur dari suatu Transistor JFET saluran-n (*n-channel*). Kontak atau hubungan ohmik dibuat pada kedua ujung kepingan semikonduktor dari tipe-n. Diantara daerah dari bahan tipe-n ditambahkan daerah khusus yang didop

dengan jumlah yang sangat besar, 'menjepit' saluran antara kedua sisinya. Dengan demikian, arus mengalir sepanjang kepingan akrobat catu tegangan yang dihubungkan antara kedua ujungnya. Arus tersebut hanya terdiri dari pembawa mayoritas, yang dalam hal ini, berupa elektron. Pada Transistor JFET saluran-p (*p-channel*), struktur dan kerjanya merupakan kebalikan dari Transistor JFET saluran-n (*n-channel*).



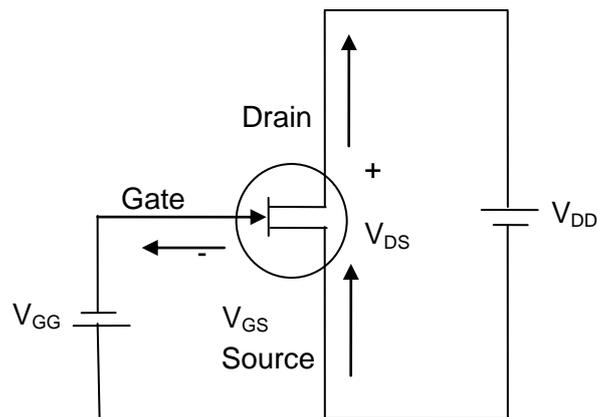
Gambar 13.1 Struktur Dasar Transistor JFET

Simbol dan struktur JFET, baik saluran-p (*p-channel*) ataupun saluran-n (*n-channel*) ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 13.2 Simbol JFET

Simbol rangkaian dengan tanda-tanda polaritas arus dan tegangan diberikan pada Gambar 13.3 di bawah ini:



Gambar 13.3 Simbol Rangkaian untuk FET

Notasi JFET berikut ini merupakan tanda-tanda standar yang berlaku:

- *Source* (Sumber). Source, *S*, adalah terminal yang dilalui pembawa utama (*majority carriers*) ketika memasuki kepingan semikonduktor. Arus konvensional yang memasuki kepingan pada *S*, diberi tanda I_S .
- *Drain* (Penguras). Drain, *D*, adalah terminal yang dilalui pembawa utama ketika meninggalkan kepingan. Arus konvensional yang memasuki kepingan pada *D* diberi tanda I_D . Tegangan Drain-Source, disebut V_{DS} , bersifat positif jika *D* lebih positif dari *S*.
- *Gate* (Gerbang). Gate, *G*, merupakan daerah yang mengapit kepingan dari Source ke Drain, yang dapat menciptakan daerah persambungan p-n (seperti dioda). Antara Gate dan Source diberi tegangan V_{GS} . Arus konvensional yang memasuki kepingan pada *G* diberi tanda I_G .

Perlu diketahui bahwa pada kedua sisi dari persambungan p-n dengan prategangan terbalik terdapat daerah muatan ruang. Arus pembawa setelah berdifusi melintasi persambungan hanya meninggalkan ion-ion positif terkupas di sebelah n dan ion-ion negatif dis sebelah p. Garis-garis medan listrik yang kini berawal dari ion-ion positif dan berakhir pada ion-ion negatif justru merupakan sumber penurunan tegangan lintas persambungan. Bila prategangan balik pada persambungan bertambah besar, maka bertambah besar pula ketebalan daerah dari muatan terkupas yang tidak bergerak. Konduktivitas daerah ini biasanya nol, karena tidak tersedianya pembawa arus. Jadi lebar efektif dari saluran akan berkurang terus dengan prategangan balik yang bertambah terus. Sebagai akibatnya,

tegangan Drain-Source yang tetap akan membuat arus Drain akan merupakan fungsi dari pategangan balik lintas persambungan Gate. Istilah Efek Medan digunakan untuk melukiskan ciri alat ini yang berkaitan dengan mekanisme pengendalian arus melalui efek perluasan medan pada daerah muatan terkuspas, dengan memperbesar pategangan balik.

Beberapa rangkaian yang memanfaatkan karakteristik yang menguntungkan dari JFET, antara lain adalah:

- Penguat Penyangga (*Buffer Amplifier*)
- Penguat Derau Rendah (*Low-noise Amplifier*)
- Resistensi yang tergantung pada Tegangan (*Voltage-variable Resistance*)
- Pengendali Penguat Automatis (*Automatic Gain Control*)
- Penguat Kaskade
- Pembatas Arus

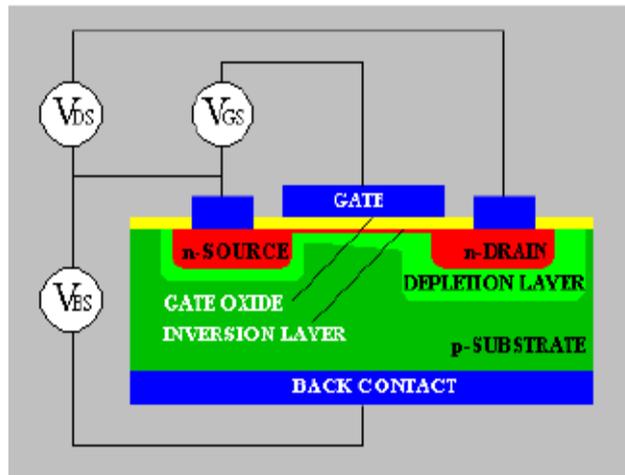
Sedangkan beberapa keuntungan penggunaan JFET pada rangkaian elektronika adalah:

- Disipasi daya yang rendah
- impedansi gerbang yang tinggi, dan
- Resistansi (tahanan) S/D yang rendah

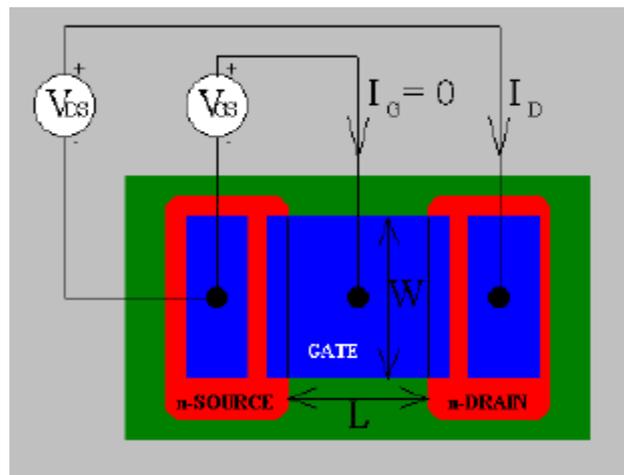
13.3. MOSFET

Pertama kali, MOSFET diusulkan pembuatannya oleh Lilinfeld dan Heil pada tahun 1930. Kemudian, usulan ini dibuat secara operasional pada tahun 1974 di Laboratorium Bell (Bell Labs). Sejak saat itu, pengembangan MOSFET terus dilakukan, baik dari sisi penskalaan dan fungsi, sehingga mencapai kegunaan yang optimal.

MOSFET adalah komponen yang memiliki 4 (empat) terminal. Parameter yang terdapat pada MOSFET adalah: Panjang Kanal (L), Lebar Kanal (W), Ketebalan Oksidasi (d_{ox}), Kedalaman Sambungan (r_j) dan Penambahan Substrate (N_A). Konfigurasi dasar sebuah komponen ini diilustrasikan pada Gambar 13.4.



(a)



(b)

Gambar 13.4 Konfigurasi Dasar MOSFET (a) Tampak Samping dan (b) Tampak Atas

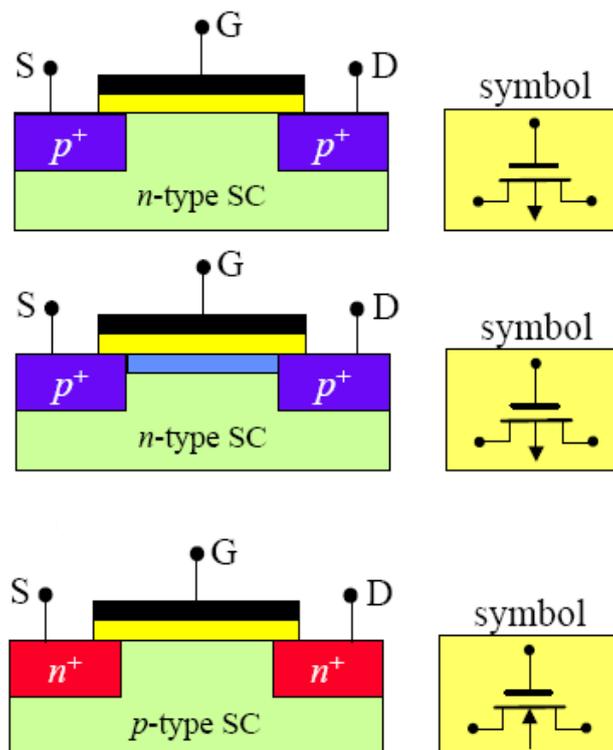
Terdapat 2 (dua) tipe MOSFET, yaitu saluran-p (*p-channel*) dan saluran-n (*n-channel*). Sebuah MOSFET saluran-p terdiri dari substrat yang dimasuki impuritas tipe-n dalam kadar rendah, dan dua daerah dalam substrat tersebut yang dimasuki impuritas tipe-p⁺ dalam kadar tinggi secara difusi. Kedua daerah p⁺ yang bertindak sebagai Source dan Drain itu terpisah oleh jarak sekitar 5 sampai 10 μm . Suatu lapisan tipis (1000 sampai 2000 Å) dari dioksida silikon (SiO_2) ditumbuhkan di atas permukaan dari struktur tersebut, dan lubang-lubang dibuat menembus lapisan oksida itu untuk memungkinkan kontak dengan Source dan Drain. Kemudian lapisan oksida dari seluruh daerah saluran dilapisi lebih lanjut menjadi permukaan logam Gate. Bersamaan itu pula dibuatkan kontak logam untuk Source dan Drain. Kontak logam diatas daerah saluran merupakan terminal Gate.

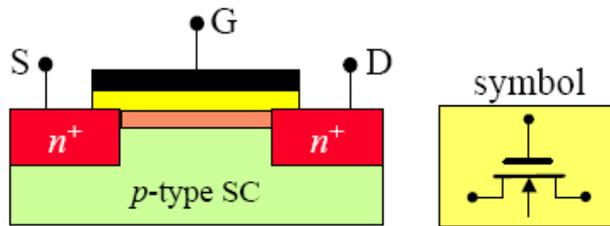
Lapisan logam dari daerah Gate bersama dengan lapisan oksida dielektrik yang berupa lapisan isolasi, serta saluran semikonduktor di bawahnya, membentuk suatu kapasitor keping-sejajar. Lapisan dioksida yang mengisolasi itu merupakan sebab mengapa alat ini disebut transistor efek medan dengan gerbang terisolasi (*Insulated Gate Field Effect Transistor* = IGFET, nama lain dari MOSFET). Lapisan dapat menghasilkan hambatan masukan yang sangat tinggi (10 sampai 10^{15} ohm).

Secara umum, beberapa kelebihan MOSFET adalah:

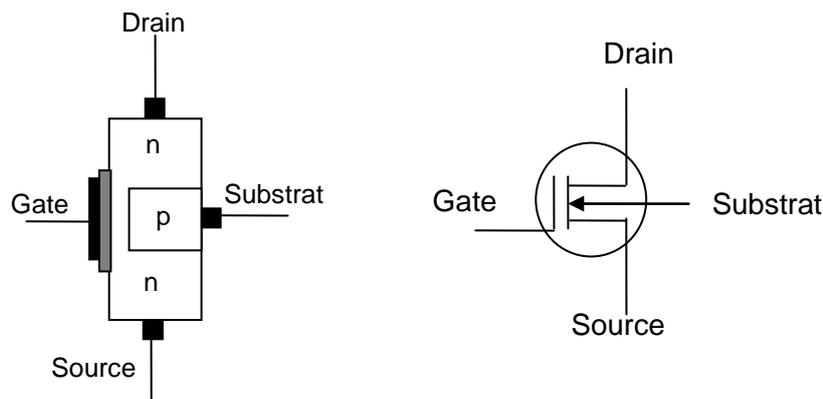
- Memiliki penguatan, isolasi dan kecepatan yang baik
- Memiliki waktu suis (switching time) yang cepat
- Konsumsi daya yang rendah

Terdapat 2 (dua) jenis MOSFET yang biasa digunakan, yaitu MOSFET ragam pengosongan (*depletion type* MOSFET) dan MOSFET ragam peningkatan (*enhancement type* MOSFET). Gambar 13.5 menunjukkan lambang skematik dan struktur sebuah MOSFET. Detail terminal MOSFET terdapat pada Gambar 13.6, sebagai contoh.



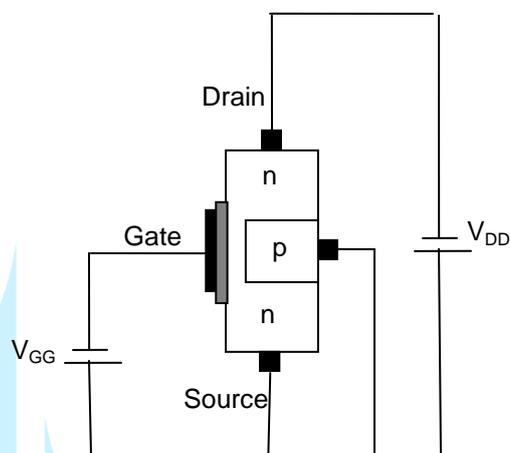


Gambar 13.5 Lambang Skematik dan Struktur MOSFET, berturut-turut: saluran-p ragam peningkatan dan pengosongan dan saluran-n ragam peningkatan dan pengosongan



Gambar 13.6 Lambang Skematik dan Struktur MOSFET ragam pengosongan saluran-n

Gambar 13.7 menunjukkan rangkaian dan pencatudayaan sebuah MOSFET jenis tipe pengosongan (*depletion-type MOSFET*):

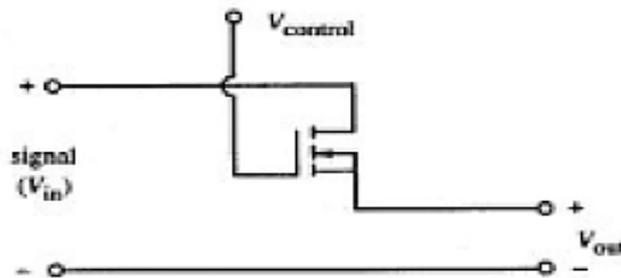


Gambar 13.7 Skema rangkaian MOSFET ragam pengosongan

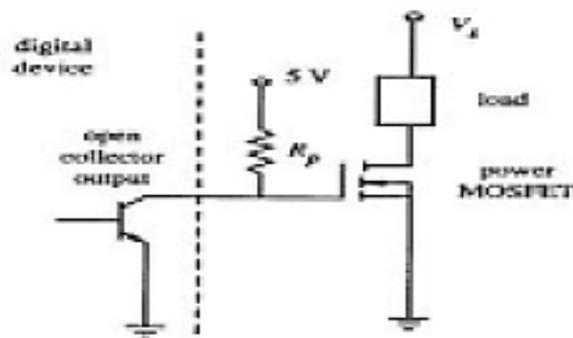
Beberapa aplikasi MOSFET dalam rangkaian elektronika, antara lain adalah:

- Penguat Mencuplik dan Menahan (*Sample and Hold Amplification*)
- Beban Aktif
- Pembalik CMOS (*CMOS Inverter*)

Berikut ini adalah beberapa rangkaian implementasi MOSFET pada sistem elektronika:



Gambar 13.8 Saklar Analog menggunakan MOSFET



Gambar 13.9 Saklar Daya menggunakan MOSFET

Saat ini, perkembangan jenis MOSFET terus bertambah. Beberapa jenis MOSFET yang banyak digunakan di dalam aplikasi sistem elektronika, baik analog maupun digital, adalah:

- Dual-Gate MOSFET
- FinFET MOSFET
- NMOS dan PMOS MOSFET
- Power MOSFET
- DMOS MOSFET, dan
- CMOS MOSFET

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Franci Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.

MODUL PERKULIAHAN

Dasar Elektronika

Transistor Efek Medan (Lanjutan)

Fakultas
Teknik

Program Studi
Teknik Elektro

Tatap Muka

14

Kode MK
14010

Disusun Oleh
Ketty Siti Salamah, ST, MT

Abstract

Karakteristik $i-v$ dari FET menunjukkan bahwa arus keluaran dapat dikontrol oleh tegangan masukan, dengan demikian FET dapat digunakan sebagai "saklar" dengan tegangan sebagai pengontrol. Jika arus keluaran dilewatkan pada suatu resistor, tegangan yang terjadi mungkin akan lebih besar dibandingkan tegangan masukan, atau FET dapat digunakan sebagai "penguat".

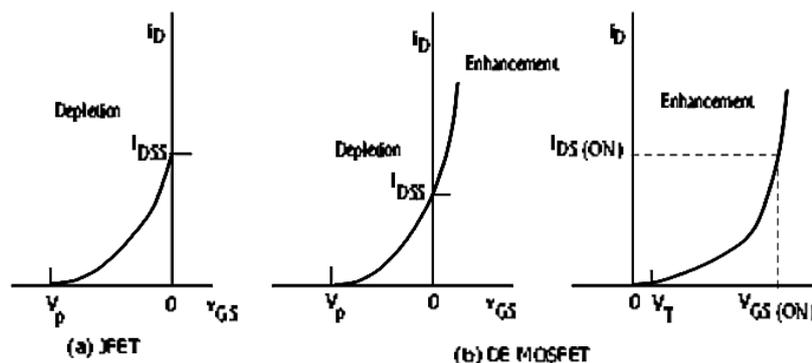
Kompetensi

Mampu menjelaskan dan memahami tentang Transistor Efek Medan (Lanjutan).

Pembahasan

14.1 Karakteristik Transfer

Karakteristik $i-v$ dari FET menunjukkan bahwa arus keluaran dapat dikontrol oleh tegangan masukan, dengan demikian FET dapat digunakan sebagai “saklar” dengan tegangan sebagai pengontrol. Jika arus keluaran dilewatkan pada suatu resistor, tegangan yang terjadi mungkin akan lebih besar dibandingkan tegangan masukan, atau FET dapat digunakan sebagai “penguat”. Karena karakteristik piranti secara individu tidak dapat diketahui secara pasti, maka biasanya digunakan analisa pendekatan. Pada daerah jenuh, yaitu antara *pinch-off* atau *turn-on* dengan daerah *breakdown*, arus D (i_D) hampir tidak tergantung pada besarnya tegangan D-S (v_{DS}), dan “karakteristik transfer” yang menggambarkan hubungan antara arus keluaran dengan tegangan masukan diperlihatkan seperti pada gambar 14.1.



Gambar 14.1 Karakteristik transfer pa daerah arus-konstant untuk tiga jenis FET

Dari analisis teori dan pengukuran praktis, dapat diperlihatkan bahwa karakteristik transfer untuk ketiga jenis FET dapat didekati berbentuk parabolik. Untuk JFET, arus D pada daerah arus-konstan adalah

$$i_D = I_{DSS} (1 - v_{GS} / V_p)^2 \quad (14.1)$$

dimana

i_{DS} = arus D pada daerah arus-konstan

I_{DSS} = nilai i_{DS} dengan G terhubung langsung dengan S

V_p = tegangan *pinch-off*

Besarnya deplesi atau *enhancement* MOSFET juga digambarkan pada persamaan 14.1, dimana v_{GS} dapat berharga positif atau negatif. Untuk *enhancement* MOSFET, karakteristik transfer adalah

$$i_{DS} = K (v_{GS} - V_T)^2 \quad (14.2)$$

dimana K adalah parameter transistor dan V_T adalah tegangan *turn-on*.

Persamaan sederhana di atas sangat berguna untuk memprediksi karakteristik DC dari FET. Untuk JFET atau D-E MOSFET, pabrik pembuat piranti biasanya memberikan spesifikasi berupa nilai I_{DSS} dan $V_{GS(OFF)}$ (*gate-source cutoff voltage*), dimana ini hampir sama dengan V_p karena terjadi efek *pinch-off* yang sama antara G dengan saluran. Untuk *enhancement-only* MOSFET, pabrik akan memberikan tambahan spesifikasi berupa V_T dan secara khusus nilai $I_{DS(ON)}$ untuk suatu harga $V_{GS(ON)}$.

Karena sambungan G-S pada JFET berpanjar mundur, isyarat masukan akan berharga sangat kecil; dengan kata lain resistansi masukan berharga sangat tinggi dan diperlukan daya masukan yang kecil. Pada MOSFET atau *insulated-gate* FET, resistansi masukan dapat berharga setinggi $10^5 \Omega$.

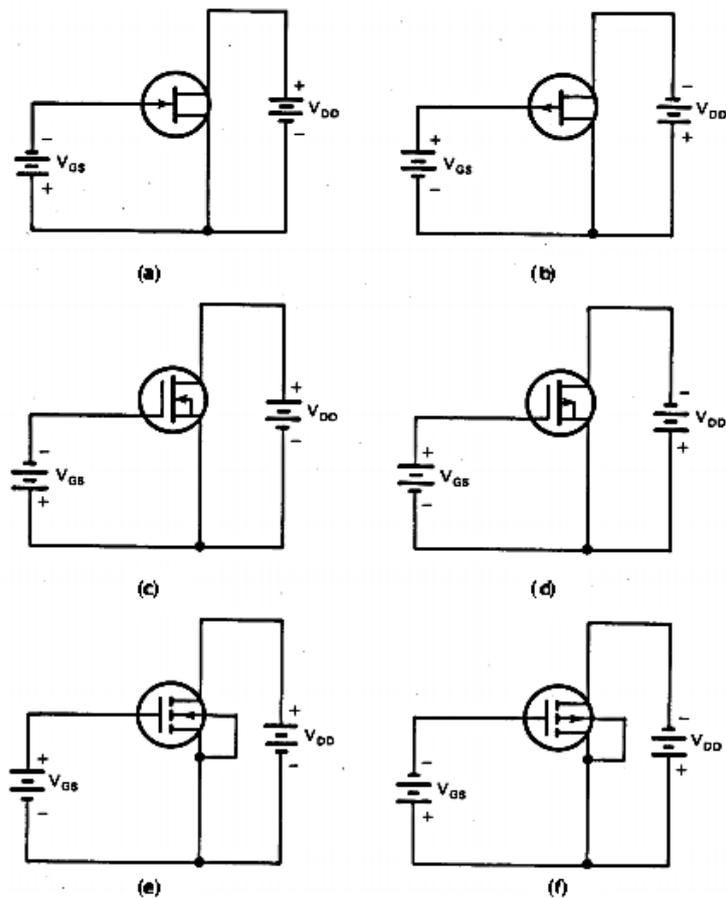
FET sangat berguna dalam sistem digital dimana ribuan unit, sebagian berfungsi sebagai resistor atau kapasitor, dapat dipabrikasi di atas sebuah chip silikon dengan biaya produksi yang murah. Keunggulan FET dibandingkan dengan transistor “bipolar” adalah pada tingkat kepadatan element dan kebutuhan daya yang rendah.

14.2 Rangkaian Dasar Penguat FET

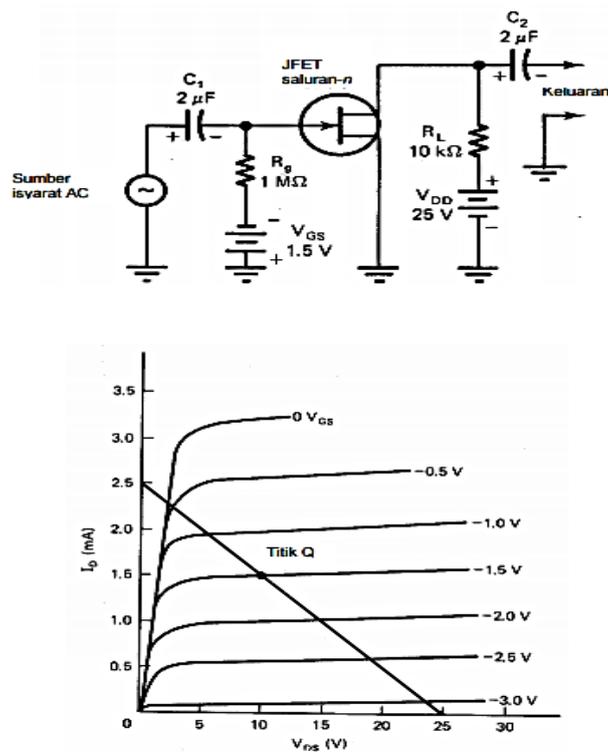
Sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis FET, sebagai ilustrasi pemasangan tegangan dan polaritas yang diperlukan untuk berbagai jenis FET diperlihatkan pada gambar 14.2. Sebagai contoh, JFET harus mendapatkan panjar mundur pada bagian sambungan *gate-source* (G-S).

Gambar 14.3 memperlihatkan rangkaian penguat JFET saluran-*n* dalam konfigurasi sumber-bersama (*common-source*). Pada konfigurasi ini “source” S terhubung ke masukan dan keluaran. Rangkaian ini mirip dengan konfigurasi emitor bersama. V_{DD} sebagai sumber DC untuk S dan D. V_{GS} membuat panjar mundur G terhadap S. Nilai V_{GS} menentukan titik

operasi statis rangkaian. R_g bernilai sangat tinggi sehingga tidak ada arus I_G melewati R_g . Isyarat masukan dikenakan pada G melalui kapasitor C.



Gambar 14.2 Pemasangan tegangan pengoperasian FET: a) JFET saluran- n , b) JFET saluran- p , c) D-MOSFET saluran- n , d) D-MOSFET saluran- p , e) E-MOSFET saluran- n dan f) E-MOSFET saluran- p .



Gambar 14.3 Kurva karakteristik penguat JFET saluran-n.

Marilah kita lihat pengoperasian penguat JFET dalam kondisi statik dengan rangkaian seperti pada gambar 14.2 di atas. Kurva karakteristik seperti pada gambar 14.3 akan kita gunakan untuk menerangkan pengoperasian JFET ini. Pertama, perlu menentukan garis beban. Perlu diingat bahwa dua kondisi ekstrem pengoperasian diperlukan untuk menggambar garis beban. Pada JFET dua kondisi ekstrem ini adalah saat konduksi penuh dan saat *cutoff*. Pada titik *cutoff*, tidak ada arus yang mengalir melalui saluran. Tegangan V_{DD} sepenuhnya akan ada pada V_{DS} . Konduksi penuh terjadi pada saat I_D maksimum mengalir lewat R_L , yaitu sebesar

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_L} \quad (14.3)$$

Untuk rangkaian penguat seperti pada gambar 14.2 di atas, harga I_D maksimum adalah

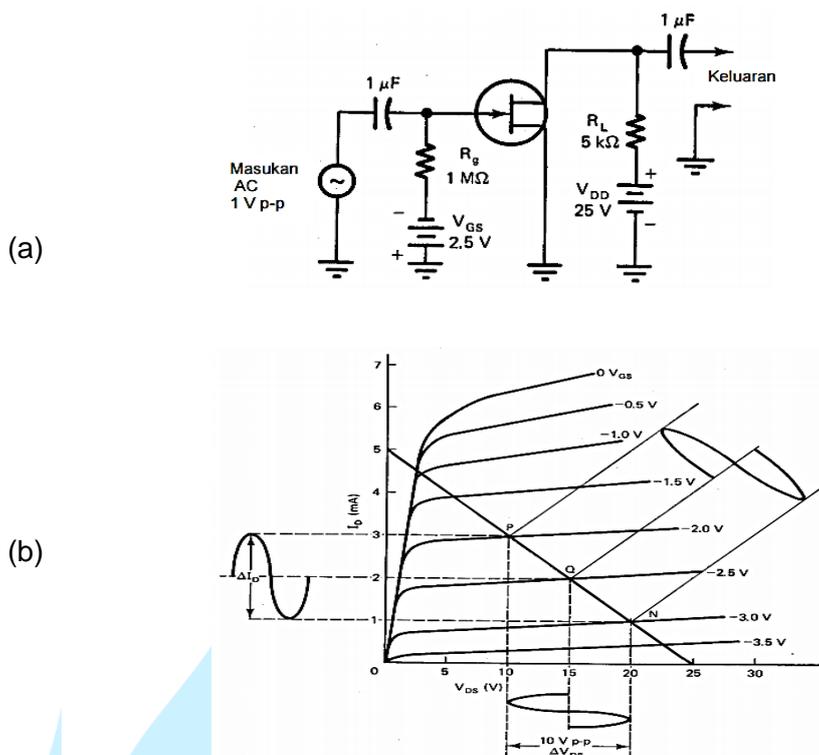
$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_L} = \frac{25 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 2,5 \text{ mA}$$

Dengan mengalirnya arus pada R_L , V_{DS} akan berharga nol. Dua titik ekstrem pada garis beban adalah pada $V_{DS} = 25 \text{ V}$ dengan $I_D = 0 \text{ mA}$ dan $V_{DS} = 0 \text{ V}$ dengan $I_D = 2,5 \text{ mA}$.

Dengan menggunakan garis beban dapat dilihat bagaimana respon JFET pada kondisi statik. Operasi statik terjadi saat tidak ada isyarat yang diumpankan. Untuk pengoperasian linier, penguat harus merespon di sekitar titik pusat daerah aktif. Pada rangkaian dasar di atas, V_{GS} adalah sebesar $-1,5 \text{ V}$. Titik Q pada garis beban menunjukkan titik pengoperasian.

Untuk melihat bagaimana JFET merespon pada kondisi statik, garis beban diproyeksikan dari titik Q. Dengan memproyeksikan titik Q ke sumbu vertikal didapat harga I_D , sedangkan proyeksi ke sumbu horizontal didapat V_{DS} sekitar 10 V . Ini berarti bahwa pada titik pengoperasian ini, tegangan sekitar 15 V akan berada pada R_L . Kita dapat menghitung besarnya penguatan tegangan (A_V), yaitu sebesar tegangan D-S dibagi dengan tegangan G-S. Untuk rangkaian di atas besarnya penguatan tegangan adalah

$$A_V = \frac{V_{DS}}{V_{GS}} = \frac{10 \text{ V}}{1,5 \text{ V}} = 6,667$$



Gambar 14.4 Penguat JFET; a) Penguat saluran- n dan b) Kurva karakteristik

14.3 Analisis Dinamik Penguat JFET

Analisis dinamik penguat JFET bertujuan untuk melihat bagaimana piranti ini melakukan respon saat diberi isyarat AC pada masukannya (lihat gambar 14.4-a). Kita akan gunakan kurva karakteristik pada gambar 14.4-b untuk menganalisis penguat ini.

Pada kurva karakteristik nampak bahwa garis beban dan titik Q telah didapat. Seperti pada bagian sebelumnya, ini menggambarkan respon JFET pada kondisi statik.

Pada masukan diumpangkan isyarat AC sebesar 1 Vp-p. Dengan adanya masukan ini titik operasi V_{GS} berubah dari -2,0 V ke -3,0 V. Untuk periode positif, V_{GS} akan bergoyang dari -2,5 V ke -2,0 V. Perubahan ini diperlihatkan oleh titik P pada garis beban. Untuk periode negatif, V_{GS} akan turun dari -2,5 V ke -3,0 V. Perubahan ini diperlihatkan oleh titik N pada garis beban. Ini berarti bahwa masukan 1 Vp-p menyebabkan V_{GS} berubah dari -2,0 V ke -3,0 V. Ini disebut sebagai nilai ΔV_{GS} .

Untuk memperlihatkan bagaimana ΔV_{GS} mengubah I_D , titik P, Q dan N pada garis beban diproyeksikan ke kiri. Perhatikan bagaimana I_D berubah dengan ΔI_D . Kenaikan atau penurunan V_{GS} menghasilkan perubahan I_D . Ini menunjukkan bahwa V_{GS} dan I_D sefase.

Proyeksi P, Q dan N ke bawah memperlihatkan bagaimana V_{DS} berubah terhadap perubahan V_{GS} . Besarnya perubahan tersebut dinyatakan sebagai ΔV_{DS} . Perhatikan bahwa kenaikan V_{GS} menyebabkan penurunan V_{DS} , ini menunjukkan bahwa keduanya berbeda fase 180° . Selisih V_{DS} dan V_{DD} akan nampak pada resistor sebagai V_{RL} .

Penguatan tegangan dari penguat JFET dapat diperoleh dari data garis beban. Untuk rangkaian di atas nampak bahwa ΔV_{GS} sebesar 1 Vp-p menghasilkan ΔV_{DS} sekitar 18 Vp-p. Dengan demikian secara jelas menunjukkan penguatan sebesar 18, dengan persamaan

$$A_V = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} = \frac{18 \text{ Vp-p}}{1 \text{ Vp-p}} = 18$$

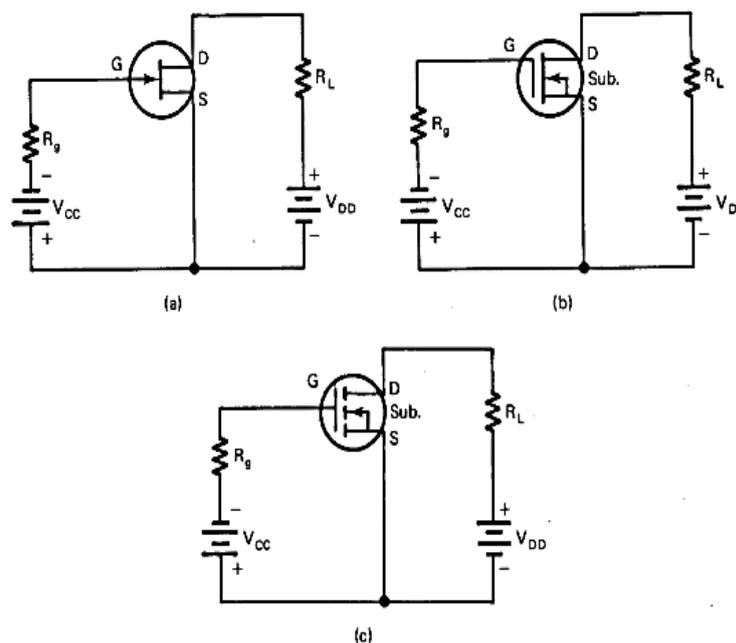
14.4 Pengoperasian Rangkaian MOSFET

Pengoperasian *D-type (depletion)* MOSFET dan *E-type (enhancement)* MOSFET sangat mirip dengan JFET. Namun demikian terdapat perbedaan dalam operasional besarnya tegangan dan polaritas yang diperlukan. Analisa garis beban kedua jenis penguat secara prinsip adalah sama. Gerbang G mempunyai resistansi sangat tinggi. Arus yang 146 ELEKTRONIKA DASAR mengalir pada saluran dikontrol oleh besarnya tegangan dan polaritas isyarat G. Satu perbedaan yang perlu diperhatikan adalah untuk D-MOSFET yang

biasanya diberi panjar pada titik V_{GS} nol. Isyarat AC akan menyebabkan V_{GS} berubah-ubah di atas dan di bawah harga nol. Perlu selalu diingat bahwa semua FET adalah piranti yang sensitif terhadap tegangan. Piranti ini hanya menghasilkan penguatan tegangan.

14.5 Metode Pemasangan Panjar pada FET

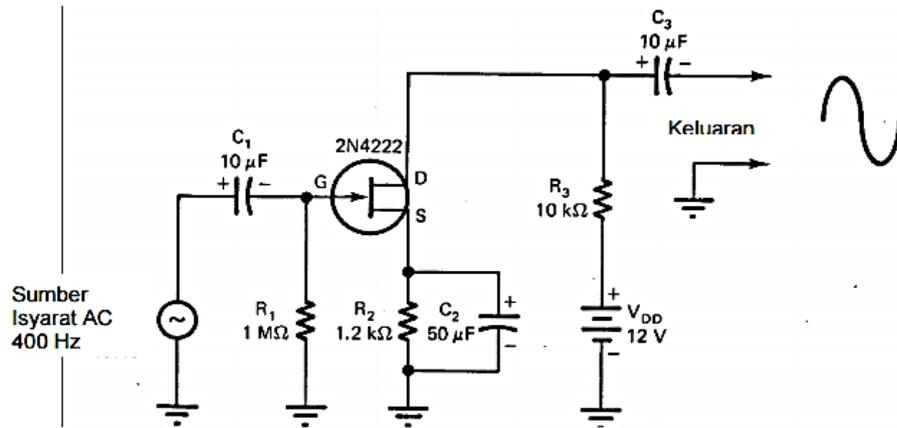
Pengoperasian panjar FET berupa tegangan DC pada G terhadap S, yaitu berupa tegangan V_{GS} yang sesuai. Dengan memilih tegangan yang sesuai, transistor dapat dioperasikan pada titik Q sesuai dengan keinginan kita. Tegangan V_{DD} yang diberikan pada S-D biasanya bukan dipertimbangkan sebagai tegangan panjar. Masing-masing jenis FET memerlukan prosedur panjar yang berbeda. Berikut ini kita pelajari jenis panjar pada FET.



Gambar 14.5 Metode pemberian panjar tetap: a) JFET saluran- n , b) D-MOSFET saluran- n dan c) E-MOSFET saluran- n

14.6 Konfigurasi Rangkaian FET

Seperti halnya BJT (*bipolar junction transistor*), FET dapat dirangkai menjadi tiga konfigurasi. Rangkaian dapat berupa konfigurasi sumber-bersama (*common-source*), gerbang-bersama (*common gate*) dan saluran-bersama (*common drain*). Untuk ketiganya berlaku, satu kawat dihubungkan dengan masukan, satu kawat dihubungkan dengan keluaran dan kawat ketiga dihubungkan ke masukan dan keluaran. Kawat ketiga ini dipakai sebagai acuan dan sering disebut sebagai “tanah” (*ground*).



Gambar 14.6 Penguat JFET sumber bersama (*common-source*)

Daftar Pustaka

1. Barret, Steven, F. Arduino Microcontroller: Processing for Everyone. Second Edition. Florida: Morgan and Claypool Publishers, 2012.
2. Anant Agrawal and Jeffrey H. Lang, "Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits", Morgan Kaufmann Publisher, Elsevier, 2005.
3. Robert Boylestad and Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio, 2006.
4. Gurevich, Vladimir. Electrical Relays: Principles and Applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2006.
5. S.M. Sze, Kwok K. Ng. Physics of Semiconductor Devices. California: John Wiley & Sons, 2007.