



Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan
Republik Indonesia
2013



TEKNIK DASAR ELEKTRONIKA KOMUNIKASI

Untuk SMK / MAK Kelas X

1

Penulis : RUGIANTO
Editor Materi : ASMUNIV
Editor Bahasa :
Ilustrasi Sampul :
Desain & Ilustrasi Buku : PPPPTK BOE MALANG

Hak Cipta © 2013, Kementerian Pendidikan & Kebudayaan

**MILIK NEGARA
TIDAK DIPERDAGANGKAN**

Semua hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak (merekproduksi), mendistribusikan, atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku teks dalam bentuk apapun atau dengan cara apapun, termasuk fotokopi, rekaman, atau melalui metode (media) elektronik atau mekanis lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit, kecuali dalam kasus lain, seperti diwujudkan dalam kutipan singkat atau tinjauan penulisan ilmiah dan penggunaan non-komersial tertentu lainnya diizinkan oleh perundangan hak cipta. Penggunaan untuk komersial harus mendapat izin tertulis dari Penerbit.

Hak publikasi dan penerbitan dari seluruh isi buku teks dipegang oleh Kementerian Pendidikan & Kebudayaan.

Untuk permohonan izin dapat ditujukan kepada Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, melalui alamat berikut ini:

Pusat Pengembangan & Pemberdayaan Pendidik & Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif & Elektronika:

Jl. Teluk Mandar, Arjosari Tromol Pos 5, Malang 65102, Telp. (0341) 491239, (0341) 495849, Fax. (0341) 491342, Surel: vedcmalang@vedcmalang.or.id, Laman: www.vedcmalang.com

DISKLAIMER (*DISCLAIMER*)

Penerbit tidak menjamin kebenaran dan keakuratan isi/informasi yang tertulis di dalam buku tek ini. Kebenaran dan keakuratan isi/informasi merupakan tanggung jawab dan wewenang dari penulis.

Penerbit tidak bertanggung jawab dan tidak melayani terhadap semua komentar apapun yang ada didalam buku teks ini. Setiap komentar yang tercantum untuk tujuan perbaikan isi adalah tanggung jawab dari masing-masing penulis.

Setiap kutipan yang ada di dalam buku teks akan dicantumkan sumbernya dan penerbit tidak bertanggung jawab terhadap isi dari kutipan tersebut. Kebenaran keakuratan isi kutipan tetap menjadi tanggung jawab dan hak diberikan pada penulis dan pemilik asli. Penulis bertanggung jawab penuh terhadap setiap perawatan (perbaikan) dalam menyusun informasi dan bahan dalam buku teks ini.

Penerbit tidak bertanggung jawab atas kerugian, kerusakan atau ketidaknyamanan yang disebabkan sebagai akibat dari ketidakjelasan, ketidaktepatan atau kesalahan didalam menyusun makna kalimat didalam buku teks ini.

Kewenangan Penerbit hanya sebatas memindahkan atau menerbitkan mempublikasi, mencetak, memegang dan memproses data sesuai dengan undang-undang yang berkaitan dengan perlindungan data.

Katalog Dalam Terbitan (KDT)
Elektronika Komunikasi, Edisi Pertama 2013
Kementerian Pendidikan & Kebudayaan
Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik & Tenaga Kependidikan, th.
2013: Jakarta

KATA PENGANTAR

Penerapan kurikulum 2013 mengacu pada paradigma belajar kurikulum abad 21 menyebabkan terjadinya perubahan, yakni dari pengajaran (*teaching*) menjadi pembelajaran (*learning*), dari pembelajaran yang berpusat kepada guru (*teachers-centered*) menjadi pembelajaran yang berpusat kepada peserta didik (*student-centered*), dari pembelajaran pasif (*pasive learning*) ke cara belajar peserta didik aktif (*active learning-CBSA*) atau *Student Active Learning-SAL*.

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas tersusunnya buku teks ini, dengan harapan dapat digunakan sebagai buku teks untuk siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Bidang Studi Keahlian Teknologi Dan Rekayasa, Elektronika Komunikasi.

Buku teks "Teknik Dasar Elektronika Komunikasi" ini disusun berdasarkan tuntutan paradigma pengajaran dan pembelajaran kurikulum 2013 diselaraskan berdasarkan pendekatan model pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan belajar kurikulum abad 21, yaitu pendekatan model pembelajaran berbasis peningkatan keterampilan proses sains.

Penyajian buku teks untuk Mata Pelajaran "Teknik Dasar Elektronika Komunikasi" ini disusun dengan tujuan agar supaya peserta didik dapat melakukan proses pencarian pengetahuan berkenaan dengan materi pelajaran melalui berbagai aktivitas proses sains sebagaimana dilakukan oleh para ilmuwan dalam melakukan penyelidikan ilmiah (penerapan saintifik), dengan demikian peserta didik diarahkan untuk menemukan sendiri berbagai fakta, membangun konsep, dan nilai-nilai baru secara mandiri.

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, dan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan menyampaikan terima kasih, sekaligus saran kritik demi kesempurnaan buku teks ini dan penghargaan kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam membantu terselesaikannya buku teks Siswa untuk Mata Pelajaran Teknik Dasar Elektronika Komunikasi X/Semester 1 Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).

Jakarta, 12 Desember 2013
Menteri Pendidikan dan Kebudayaan

Prof. Dr. Mohammad Nuh, DEA

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul	I
Hak Cipta dan Disklaimer	II
Kata Pengantar	IV
Daftar Isi	V

I. Pendahuluan

A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Petunjuk Penggunaan	1
D. Tujuan Akhir	2
E. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar	2
F. Cek Kemampuan Awal	2

II. Pembelajaran

1. Kegiatan Belajar 1

a. Tujuan Pembelajaran	4
b. Uraian Materi	4
c. Rangkuman	8

2. Kegiatan Belajar 2

a. Tujuan Pembelajaran	20
b. Uraian Materi	20
c. Rangkuman	50
d. Tugas Kegiatan Belajar 2-1	54
e. Tugas Kegiatan Belajar 2-2	61
f. Tugas Kegiatan Belajar 2-3	75

3. Kegiatan Belajar 3

a. Tujuan Pembelajaran	79
b. Uraian Materi	79

c. Rangkuman	92
d. Tugas Kegiatan Belajar 3-1	94
e. Tugas Kegiatan Belajar 3-2	100

4. Kegiatan Belajar 4

a. Tujuan Pembelajaran	107
b. Uraian Materi	107
c. Rangkuman	117
d. Tugas Kegiatan Belajar 4-1	118

5. Kegiatan Belajar 5

a. Tujuan Pembelajaran	126
b. Uraian Materi	126
c. Rangkuman	193
d. Tugas Kegiatan Belajar 5-1	195
e. Tugas Kegiatan Belajar 5-2	204
f. Tugas Kegiatan Belajar 5-3	210
g. Tugas Kegiatan Belajar 5-4	217
h. Tugas Kegiatan Belajar 5-5	223

III. Penerapan

A. Attitude skills	230
B. Kognitif skills	231
C. Psikomotorik skills	232
D. Produk/benda kerja sesuai kriteria standard	234

Daftar Pustaka	235
-----------------------	-----

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Teknik Elektronika Analog adalah merupakan dasar dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan yang berkaitan dengan rangkaian maupun peralatan telekomunikasi. Untuk itu pada pekerjaan ini siswa diharapkan dapat melakukan dan menguasai dengan benar karena akan menunjang pada proses pembelajaran berikutnya.

Teknik Elektronika Analog merupakan salah satu bentuk dan alat bantu ajar yang dapat digunakan baik di laboratorium elektronika pada saat siswa melakukan praktek di laboratorium elektronika telekomunikasi. Dengan modul ini maka diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas proses belajar mengajar yang berorientasi pada proses pembelajaran tuntas. Dengan modul ini diharapkan proses belajar mengajar akan menjadi program dan terencana untuk meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan pada siswa didik.

B. Prasyarat

Sebelum siswa mempelajari materi teknik elektronika analog ini, siswa sudah harus mengetahui metode dan cara pengukuran menggunakan berbagai macam alat ukur di bidang elektronika untuk menunjang kegiatan agar proses belajar mengajar menjadi lebih lancar.

C. Petunjuk Penggunaan

Langkah - langkah yang harus dilakukan untuk mempelajari modul ini:

a. Bagi siswa atau peserta didik:

1. Bacalah tujuan antara dan tujuan akhir dengan seksama,
2. Bacalah Uraian Materi pada setiap kegiatan belajar dengan seksama sebagai teori penunjang,
3. Baca dan ikuti langkah kerja yang ada pada modul ini pada tiap proses pembelajaran sebelum melakukan atau mempraktekkan,
4. Persiapkan peralatan yang digunakan pada setiap kegiatan belajar yang sesuai dan benar,

b. Bagi guru pembina / pembimbing:

1. Dengan mengikuti penjelasan didalam modul ini, susunlah tahapan penyelesaian yang diberikan kepada siswa / peserta didik.
2. Berikanlah penjelasan mengenai peranan dan pentingnya materi dari modul ini.
3. Berikanlah penjelasan serinci mungkin pada setiap tahapan tugas yang diberikan kepada siswa.
4. Berilah contoh gambar-gambar atau barang yang sudah jadi, untuk memberikan wawasan kepada siswa.
5. Lakukan evaluasi pada setiap akhir penyelesaian tahapan tugas.
6. Berilah penghargaan kepada siswa didik yang setimpal dengan hasil karyanya.

D. Tujuan Akhir

1. Peserta / siswa dapat menginterpretasikan model atom bahan semikonduktor.
2. Peserta / siswa dapat menguji dioda semikonduktor sebagai penyearah.
3. Peserta / siswa dapat menguji dioda zener sebagai rangkaian penstabil tegangan.
4. Peserta / siswa dapat menguji dioda khusus seperti dioda LED, varaktor, Schottky, dan dioda tunnel pada rangkaian elektronika.
5. Peserta / siswa dapat menguji Bipolar Junction Transistor (BJT) sebagai penguat dan piranti saklar

E. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

Dengan menguasai modul ini diharapkan peserta / siswa didik dapat menjelaskan teknik elektronika analog dalam teknik telekomunikasi.

F. Cek Kemampuan Awal

Pada awal pembelajaran siswa didik diberi tugas untuk melaksanakan penggunaan alat ukur pengukur tegangan, arus dan tahanan menggunakan

multimeter serta pengukuran tegangan dan frekuensi dengan menggunakan oscilloscope dalam laboratorium teknik elektronika telekomunikasi

Apabila siswa telah dapat melaksanakan tugas tersebut dengan benar, aman dan sesuai dengan sistem pengelolaan dan penggunaannya maka siswa yang bersangkutan sudah dapat ujian untuk mendapatkan sertifikat, dan tidak perlu mengikuti modul ini serta diperbolehkan langsung mengikuti modul berikutnya.

II. PEMBELAJARAN

1. Kegiatan Belajar 1.

ATOM SEMIKONDUKTOR

a. Tujuan Pembelajaran

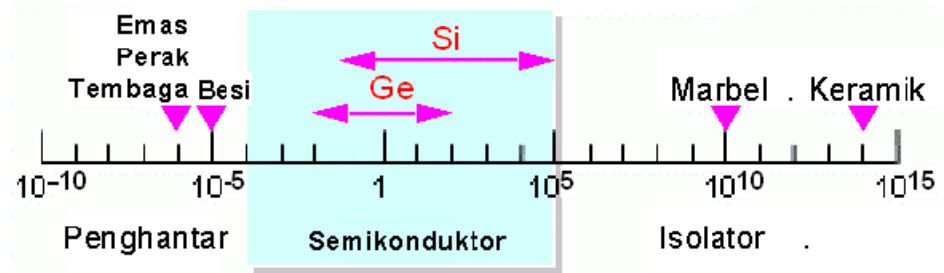
Peserta diklat / siswa dapat :

- Memahami model atom semikonduktor.
- Mendeskripsikan model atom semikonduktor.
- Mengkatagorikan macam-macam bahan semikonduktor berdasarkan data tabel periodik material.
- Mengklasifikasikan bahan pengotor semikonduktor berdasarkan data tabel periodik material.
- Membedakan semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N.

b. Uraian Materi

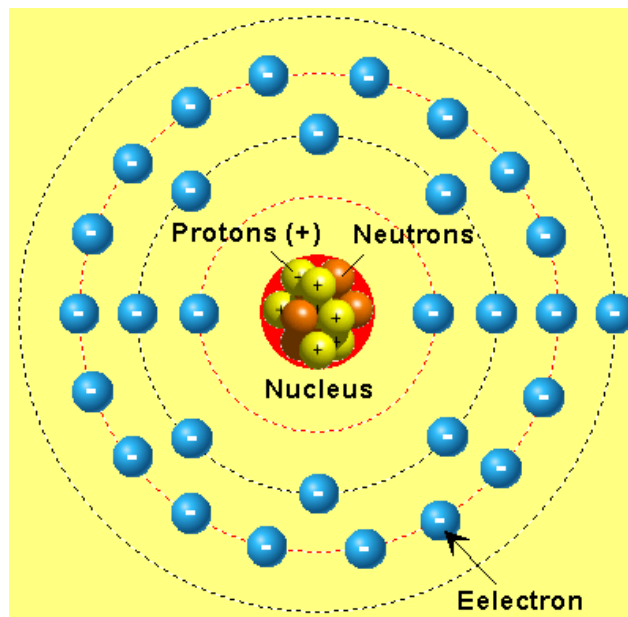
1. Model atom semikonduktor

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor bipolar (*Bipolar Junction Transistor/BJT*), transistor unipolar (*Uni Junction Transistor/UJT*), thyristor dan piranti terintegrasi seperti IC (*integrated circuit*). Dinamakan semi atau setengah konduktor (penghantar), karena bahan ini memang bukan konduktor murni. Tidak seperti bahan-bahan logam seperti tembaga, besi, timah disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa, sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. Gambar di bawah. memperlihatkan karakteristik dari bahan konduktor, semikonduktor dan isolator.



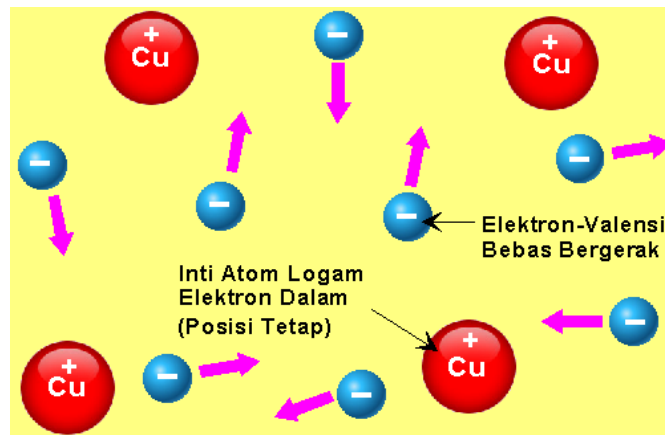
Gambar 1. Karakteristik Penghantar (*Conductor*), Semikonduktor (*Semiconductor*) dan Isolator (*Insulator*)

Seperti Gambar 2, atom tembaga dengan lambang kimia Cu memiliki inti 29 ion (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut *nucleus*. Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan elektron-elektron ini. Satu buah elektron lagi yaitu electron yang ke-29, berada pada orbit paling luar.



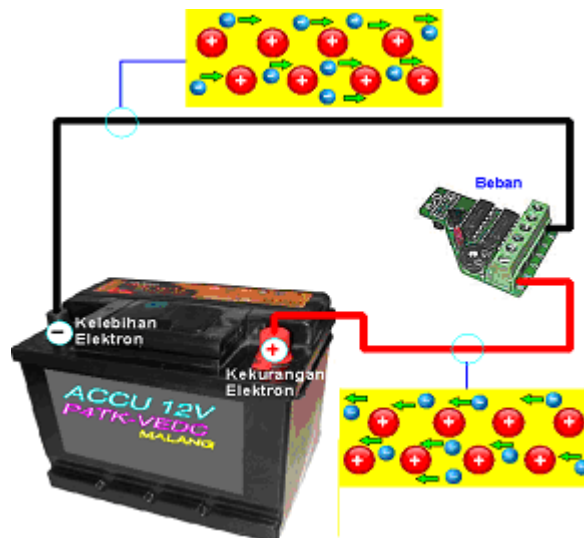
Gambar 2. Struktur Atom Tembaga (Cu)

Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dengan jarak yang jauh dari *nucleus*, sehingga ikatannya tidak terlalu kuat. Hanya dengan energi yang relatif kecil, maka elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatan intinya.



Gambar 3. Karakteristik Atom Konduktor

Pada suhu kamar, elektron tersebut dapat bebas bergerak atau berpindah-pindah dari satu *nucleus* ke *nucleus* lainnya, tanpa beda potensial elektron-elektron pada bahan konduktor akan bergerak tidak teratur (elektron bebas) seperti Gambar 3. Jika diberi beda potensial listrik, maka gerakan elektron-elektron tersebut menjadi teratur dan dengan mudah berpindah ke arah potensial yang sama seperti Gambar 4. Phenomena ini yang dinamakan sebagai arus listrik. Berbeda dengan bahan isolator, bahwa struktur atom mempunyai elektron valensi sebanyak 8 buah, dan melepaskan elektron-elektron dari ikatan intinya dibutuhkan energi yang besar.

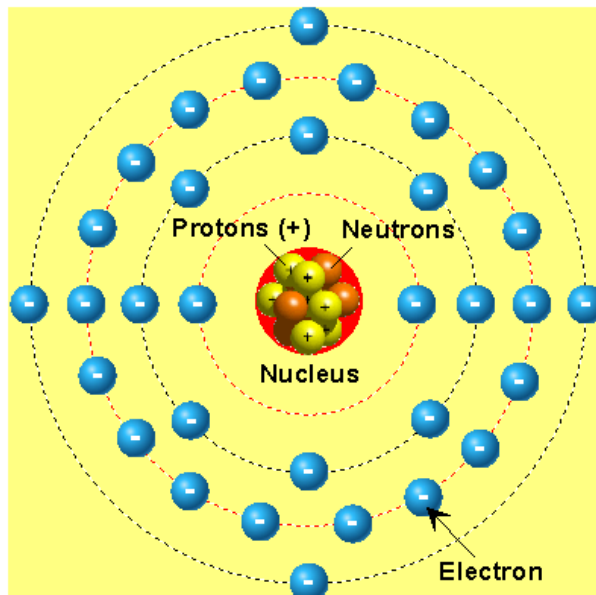


Gambar 4. Lintas Aliran Elektron

Elektron yang diambil dari terminal positif berjalan didalam sumber tegangan menuju terminal negatif. Lintas aliran elektron tertutup.

Struktur Atom

Arus listrik sesungguhnya gerakan sesaat dari partikel-partikel (bagian-bagian yang terkecil) yang bermuatan positif. Partikel-partikel ini ada yang bermuatan positif dan ada pula yang bermuatan negatif. Kumpulan partikel bermuatan positif dan pertikel bermuatan negatif membentuk atom, yang merupakan dasar terbentuknya semua zat.



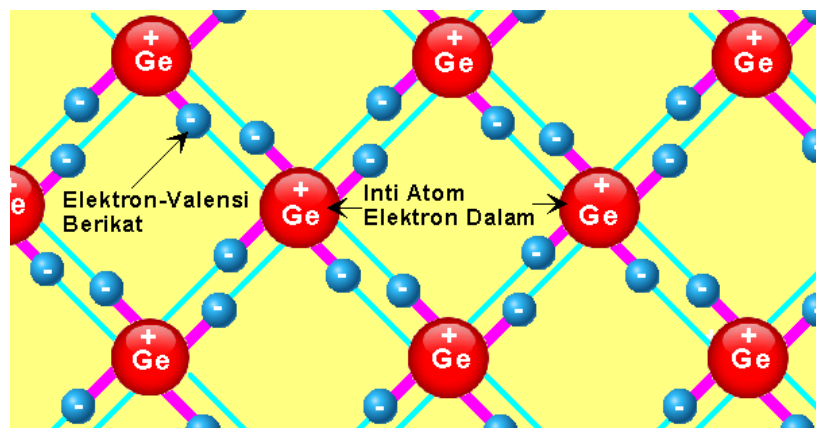
Gambar 5. Struktur Atom Germanium (Ge)

Setiap atom terdiri dari inti atom positif dan sejumlah elektron negatif yang mengelilingi inti. Gambar 5 memperlihatkan contoh struktur atom germanium (Ge) dengan elektron bervalensi 4. Elektron paling luar yang bervalensi 4 berfungsi sebagai pengikat terhadap atom tetangga terdekat. Pada umumnya perilaku khas sebuah bahan padat adalah bahwa atom berada dalam posisi tetap dengan elektron yang bermuatan negatif dan terikat terhadap intinya.

Ikatan Kristal Semikonduktor

Elektron valensi antara bahan semikonduktor dan bahan isolator, tidak sama dengan elektron valensi yang terdapat dalam logam, yaitu biasanya tidak dapat bergerak dengan bebas. Elektron valensi ini biasanya merupakan elektron terikat (*bound electron*). Terdapat satu jenis kristal/hablur yang sangat penting yaitu kristal valensi. Susunan ikatan antara dua atom yang berdampingan membentuk sepasang elektron valensi ikatan ganda atau *covalent electron*. Dalam keadaan ikatan ganda antara sebuah atom dengan sejumlah atom tetangga terdekatnya sama dengan banyaknya elektron valensi semula yang dimiliki oleh atom bersangkutan.

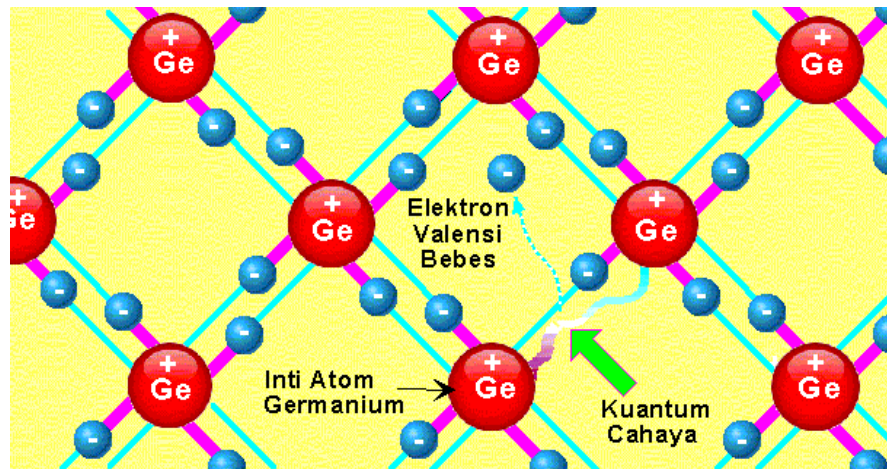
Gambar 6. memperlihatkan model struktur atom bahan setengah penghantar germanium dengan 4 buah elektron valensi.



Gambar 6. Model Struktur Atom Germanium (Ge)

Elektron Valensi Akibat Renggutan

Pada paragraph diatas telah dijelaskan, bahwa tidak ada perbedaan antara elektron valensi semikonduktor dan isolator secara normal tidak mungkin dapat menyebabkan aliran arus karena keduanya merupakan elektron berikat. Untuk membuat agar supaya elektron-elektron berikat tersebut terlepas dari ikatan inti atom, dapat dilakukan dengan cara pemberian panas dari luar.



Gambar 7. Renggutan Elektron Valensi Dari Inti

Gambar 7 memperlihatkan proses renggutan/terlepasnya elektron berikat menjadi elektron bebas sebagai akibat saling tabrakan dengan partikel lain yang sarat menerima energi lebih (dalam hal ini bisa berupa kuantum cahaya terkecil). Cara yang paling mudah untuk melepaskan elektron valensi berikat dalam suatu material semikonduktor menjadi konduktor (valensi bebas), yaitu dapat dengan jalan memanaskan struktur kristal/hablor tersebut. Proses perlakuan ini, atom akan menjadi osilasi yang terus kian meningkat, kemudian lama kelamaan akan meregang dari ikatan inti atom. Sehingga pada suhu tertentu menyebabkan suatu ikatan antara inti atom dengan elektron valensi menjadi terenggut.

Perlu diketahui, bahwa tenaga yang dibutuhkan untuk merenggut/melepas ikatan-ikatan tersebut tidak berasal dari partikel luar, melainkan datang dari kristal itu sendiri. Makin tinggi suhu yang dapat diterima oleh semikonduktor, makin banyak elektron-elektron berikat yang dapat terenggut lepas dari ikatan-ikatan intinya. Pada tahap keadaan ini menunjukkan, bahwa semikonduktor dapat berubah menjadi bahan yang dapat mengalirkan arus (bahan konduktor).

2. Macam-macam bahan semikonduktor

Bahan semi konduktor adalah bahan yang daya hantar listriknya antara konduktir dan isolator. Tahanan jenis bahan semi konduktor antara sekitar 10^{-3} Wm sampai dengan sekitar 10^3 Wm.

Atom-atom bahan semi konduktor membentuk kristal dengan struktur tetrahedral, dengan ikatan kovalen. Bahan semi konduktor yang banyak dipakai dalam elektronika adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge). Pada 0 K Si mempunyai lebar pita terlarang (energy gap) 0,785 eV, sedang untuk Ge 1,21 eV.

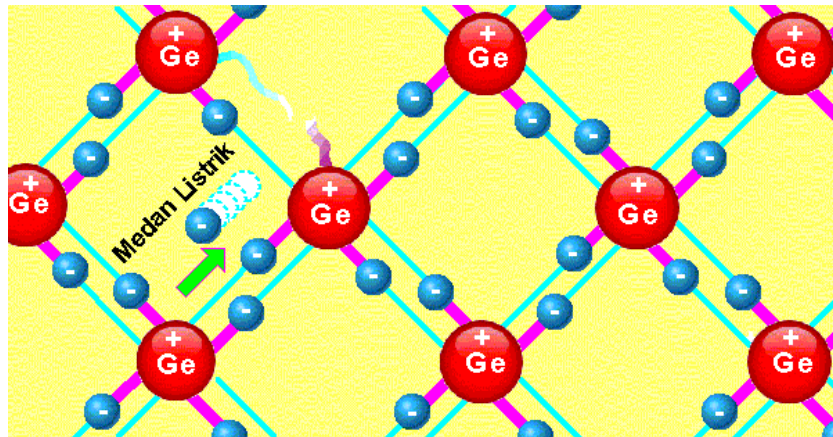
Baik Si maupun Ge mempunyai elektron valensi 4. Ada 2 jenis bahan semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni). Untuk semikonduktor ekstrinsik ada 2 tipe yaitu tipe P dan tipe N.

3. Arah arus elektron dan lubang

Aliran Elektron Bebas

Kristal seperti yang diperlihatkan Gambar di atas, adalah semakin memperjelas pengaruh agitasi panas atom. Kita dapat melihat bahwa sebuah elektron yang bermuatan negatif menjadi bebas dan dapat menimbulkan aliran arus listrik.

Ini suatu cara, untuk menggambarkan sebuah elektron dapat mengakibatkan terjadinya aliran arus, apabila elektron-elektron valensi teregut lepas dari ikatan intinya. Seperti yang diperlihatkan ilustrasi Gambar di bawah, bahwa arah gerakan terlepasnya elektron-elektron valensi tersebut selalu berlawanan arah dengan medan listrik.



Gambar x Proses Renggutan Akibat Panas

Arus Elektron Berikat

Pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan, bahwa dalam keadaan normal elektron yang terikat dalam atom tidak dapat meninggalkan posisinya, kecuali bila ada pengaruh dari luar. Akan tetapi khusus terhadap ketentuan ini terdapat pengecualian, yaitu apabila suatu elektron valensi berikat berada dekat pada tempat yang kekurangan elektron (biasanya disebut “lubang/hole”), yaitu akibat ditinggalkan oleh elektron yang terenggut dari ikatannya, dan menyebabkan elektron-valensi dapat bergerak/meloncat melintang menuju ikatan yang telah dikosongkan sebelumnya. Jadi tempat yang berlubang menjadi bergeser satu langkah kearah yang berlawanan (kesebelah kiri).



Gambar x Arus Elektron Bebas

Gambar di atas memperlihatkan ilustrasi bagaimana gerakan elektron valensi terlepas dari intinya dengan meninggalkan lubang bergeser berlawanan arah dengan arah medan listrik. Proses kejadian ini bergerak secara terus menerus. Dan apabila medan listrik (beda potensial) diterapkan pada kristal/hablur akan dapat mendesak tempat yang kekurangan/*hole* semakin dekat menuju ke arah medan listrik tersebut. Sehingga pada kutub positif menjadi kekurangan electron, dan sebaliknya dikutub negatif menjadi kelebihan elektron.

Model Garasi Shockley

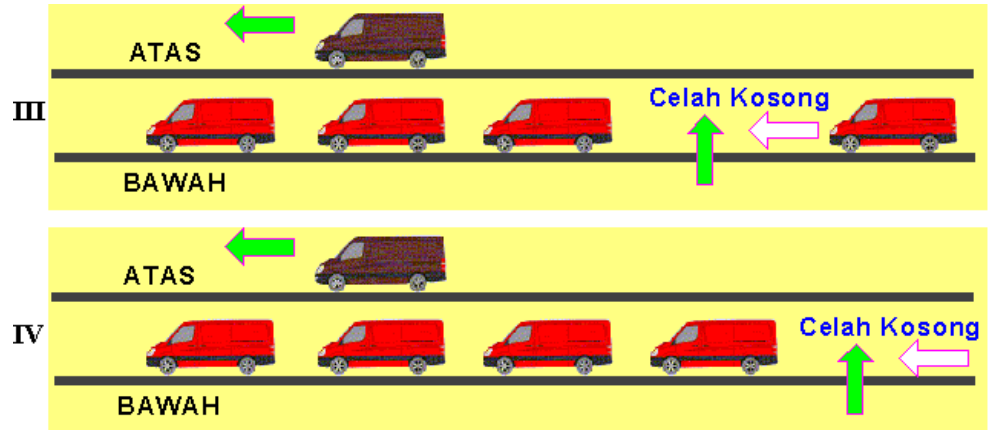
Untuk mempermudah bagaimana proses terjadinya aliran elektron-valensi berikat menjadi elektron bebas, seorang ahli fisika W. Shockley memodelkan dengan sebuah garasi mobil dua tingkat yang berderet dengan banyak mobil di tingkat I, sedangkan pada tingkat II kosong tidak ada satupun mobil yang di parker. Model tersebut dikenal dengan sebutan Garasi Shockkley.



Gambar x Model Garasi Schockley I

Ilustrasi Gambar di atas memperlihatkan, mula-mula semua garasi di bawah terisi penuh, tetapi tidak demikian dengan situasi di tingkat atas, sehingga meyebabkan kendaraan yang di parkir di bawah tidak dapat bergerak. Untuk mengatasi kemacetan tersebut, maka salah satu kendaraan harus dinaikkan ke tingkat atas. Dengan demikian kendaraan yang dinaikkan keatas dapat bergerak bebas, sedangkan tempat yang ditinggalkan kendaraan tersebut terbentuk sebuah celah kosong. Jika proses ini dilakukan terus menerus maka

akan terbangun sebuah celah kosong yang bergerak ke arah kanan seperti yang diperlihatkan oleh Gambar di bawah ini.



Gambar x Model Garasi Schockley II

Berpindahnya renggangan celah kosong tersebut berjalan berlawanan arah dengan kendaraan yang dipindahkan ke tingkat atas. Bila keadaan ini dilakukan berulang-ulang, maka renggangan celah kosong akan dapat melintasi seluruh tingkat bawah.

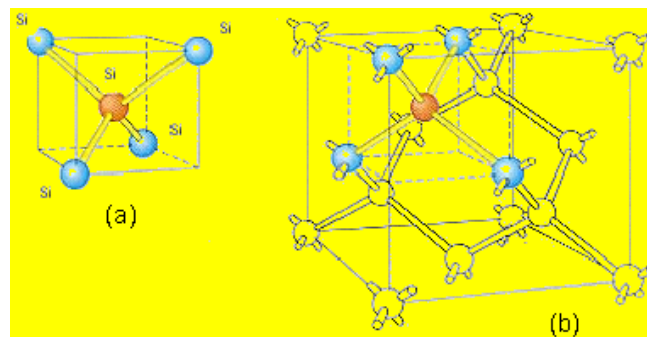
Elektron Yang Hilang

Pada paragraf sebelumnya telah dijelaskan, bahwa tidak hanya elektron bebas saja yang dapat bergerak dalam kristal, melainkan kadang-kadang juga elektron-valensi berikat. Dan jika gerakan tunggal elektron tersebut dirangkaikan akan dapat mengakibatkan bergeraknya renggangan elektron (lubang). Agar supaya lebih mudah, maka pembahasan tidak membicarakan mengenai masalah gerak elektron valensi berikat, melainkan hanya fokus pada gerak kekurangan elektron. Kekurangan disini dapat dialogikan sebagai elektron yang hilang atau lubang (*hole*), dimana lubang ini dinamakan suatu partikel bermuatan positif yang bergerak searah dengan medan listrik. Ada dua jenis partikel pembawa arus listrik dalam semikonduktor, yaitu lubang (*hole*) yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif.

4. Bahan pengotor semikonduktor

Semikonduktor Intrinsik-Murni

Silikon (Si) dan germanium (Ge) merupakan dua jenis semikonduktor yang sangat penting dalam elektronika. Keduanya terletak pada kolom empat dalam tabel periodik dan mempunyai elektron valensi empat. Struktur kristal silikon dan germanium berbentuk *tetradhedral* dengan setiap atom satu sama lain saling terikat bersama sebuah elektron valensi dengan atom-atom tetangganya. Gambar di bawah memperlihatkan bentuk ikatan kovalen dalam 3 dimensi. Pada temperatur mendekati harga nol mutlak, elektron pada kulit terluar terikat dengan erat sehingga tidak terdapat elektron bebas atau silikon bersifat sebagai insulator. Produksi berpindahnya pasangan elektron dan lubang dalam semikonduktor akibat pemanasan dapat menyebabkan timbulnya penghantaran yang sebenarnya atau disebut dengan *konduksi intrinsik*.



Gambar. X (a) Koordinasi tetradhedral, (b) ikatan kovalen silikon dalam 3 dimensi

Energi yang diperlukan untuk memutus sebuah ikatan kovalen adalah sebesar 1,1 eV untuk silikon dan 0,7 eV untuk germanium. Pada temperatur ruang (300°K), sejumlah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Besarnya energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari pita valensi ke pita konduksi ini disebut energi terlarang (*energy gap*).

Jika sebuah ikatan kovalen terputus, maka akan terjadi kekosongan atau lubang (*hole*). Pada daerah dimana terjadi kekosongan akan terdapat kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Kedua muatan inilah yang memberikan kontribusi adanya aliran listrik pada semikonduktor murni. Jika elektron valensi dari ikatan kovalen yang lain mengisi lubang tersebut, maka akan terjadi lubang baru di tempat yang lain dan seolah-olah sebuah muatan positif bergerak dari lubang yang lama ke lubang baru.

Semikonduktor Ekstrinsik-Tak Murni

Kita dapat memasukkan pengotor berupa atom-atom dari kolom tiga atau lima dalam tabel periodik kimia (lihat tabel pada pelajaran kimia) ke dalam silikon (Si) atau germanium (Ge) murni.

Arsenida (GaAs), Germanium dahulu adalah bahan satu-satunya yang dikenal untuk membuat komponen semikonduktor. Namun belakangan, silikon menjadi populer setelah ditemukan cara mengekstrak bahan ini dari alam. Silikon merupakan bahan terbanyak ke dua yang ada di bumi setelah oksigen (O_2). Pasir, kaca dan batu-batuan lain adalah bahan alam yang banyak mengandung unsur silikon.

Struktur atom kristal silikon, satu inti atom (*nucleus*) masing-masing memiliki 4 elektron valensi. Ikatan inti atom yang stabil adalah jika dikelilingi oleh 8 elektron, sehingga 4 buah elektron atom kristal tersebut membentuk ikatan kovalen dengan ion-ion atom tetangganya. Pada suhu yang sangat rendah ($0^{\circ}K$), struktur atom silikon divisualisasikan seperti pada gambar berikut.

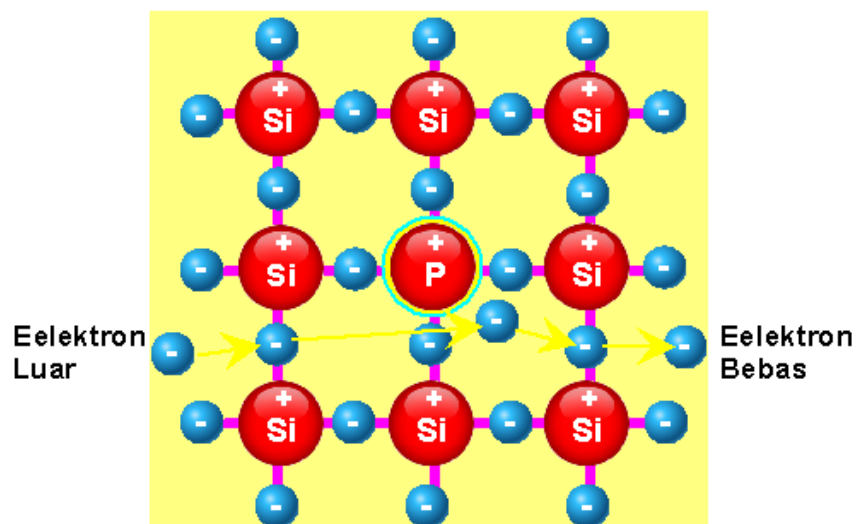
Ikatan kovalen menyebabkan elektron tidak dapat berpindah dari satu inti atom ke inti atom yang lain. Pada kondisi demikian, bahan semikonduktor bersifat isolator karena tidak ada elektron yang dapat berpindah untuk menghantarkan listrik. Pada suhu kamar, ada beberapa ikatan kovalen yang lepas karena energi panas, sehingga memungkinkan elektron terlepas dari ikatannya. Namun

hanya beberapa jumlah kecil yang dapat terlepas, sehingga tidak memungkinkan untuk menjadi konduktor yang baik. Ahli-ahli fisika terutama yang menguasai fisika quantum pada masa itu mencoba memberikan pengotor pada bahan semikonduktor ini. Pemberian pengotor dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan akan dapat menghantarkan listrik.

5. Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N

Tipe-N

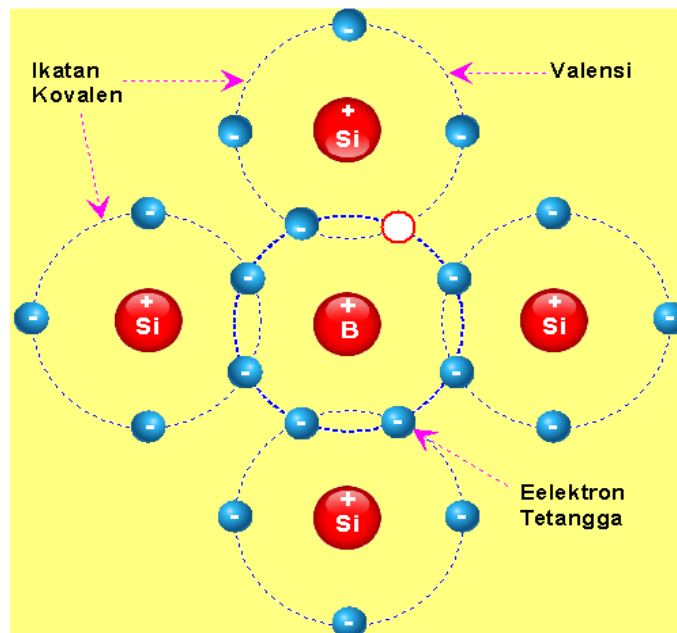
Bahan silikon diberi pengotor *phosphorus* atau *arsenic* yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi. Dengan pengotor, Silikon yang tidak lagi murni ini (*impurity semiconductor*) akan memiliki kelebihan elektron. Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-N. Semikonduktor tipe-N disebut juga donor yang siap melepaskan elektron. Gambar berikut memperlihatkan kristal silikon dengan pengotor Posfor menjadi semikonduktor tipe- N



Gambar x Struktur dua dimensi kristal silikon dengan pengotor fosfor

Tipe-P

Kalau silikon diberi pengotor *Boron*, *Gallium* atau *Indium*, maka akan didapat semikonduktor tipe-P. Untuk mendapatkan silikon tipe-P, bahan pengotornya adalah bahan trivalen yaitu unsur atom dengan ion yang memiliki 3 elektron pada pita valensi. Karena ion silikon memiliki 4 elektron, dengan demikian ada ikatan kovalen yang lubang (*hole*). Lubang (*hole*) ini dapat dialogikan sebagai **akseptor** yang siap menerima elektron. Dengan demikian, kekurangan elektron menyebabkan semikonduktor ini menjadi tipe-P. Gambar di bawah ini memperlihatkan kristal Silikon dengan pengotor Boron menjadi semikonduktor tipe- P



Gambar x. Struktur dua dimensi kristal Silikon dengan pengotor Boron

c. Rangkuman

1. Model atom semikonduktor

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda, transistor bipolar (*Bipolar Junction Transistor/BJT*), transistor unipolar (*Uni Junction Transistor/UJT*), thyristor dan piranti terintegrasi seperti IC (*integrated circuit*).

Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dengan jarak yang jauh dari *nucleus*, sehingga ikatannya tidak terlalu kuat. Hanya dengan energi yang relatif kecil, maka elektron terluar ini mudah terlepas dari ikatan intinya.

2. Macam-macam bahan semikonduktor

Atom-atom bahan semi konduktor membentuk kristal dengan struktur tetrahedral, dengan ikatan kovalen. Bahan semi konduktor yang banyak dipakai dalam elektronika adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge). Pada 0 OK Si mempunyai lebar pita terlarang (energy gap) 0,785 eV, sedang untuk Ge 1,21 eV.

Baik Si maupun Ge mempunyai elektron valensi 4. Ada 2 jenis bahan semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni). Untuk semikonduktor ekstrinsik ada 2 tipe yaitu tipe P dan tipe N.

3. Bahan pengotor semikonduktor

Produksi berpindahnya pasangan elektron dan lubang dalam semikonduktor akibat pemanasan dapat menyebabkan timbulnya penghantaran yang sebenarnya atau disebut dengan *konduksi intrinsik*.

Pemberian pengotor dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan akan dapat menghantarkan listrik.

4. Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N

Bahan silikon diberi pengotor *phosphorus* atau *arsenic* yang pentavalen yaitu bahan kristal dengan inti atom memiliki 5 elektron valensi. Dengan pengotor, Silikon yang tidak lagi murni ini (*impurity semiconductor*) akan memiliki kelebihan elektron. Kelebihan elektron membentuk semikonduktor tipe-N.

Kalau silikon diberi pengotor *Boron*, *Gallium* atau *Indium*, maka akan didapat semikonduktor tipe-P. Untuk mendapatkan silikon tipe-P, bahan pengotornya adalah bahan trivalen yaitu unsur atom dengan ion yang memiliki 3 elektron pada pita valensi

2. Kegiatan Belajar 2.

DIODA PENYEARAH

a. Tujuan Pembelajaran

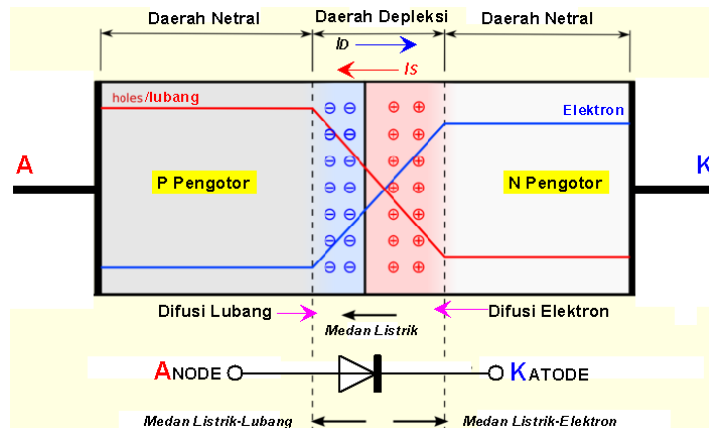
Peserta diklat / siswa dapat :

- Memahami susunan fisis dan simbol dioda penyearah.
- Memahami prinsip kerja dioda penyearah.
- Menginterpretasikan kurva arus-tegangan dioda penyearah.
- Mendefinisikan parameter dioda penyearah.
- Memodelkan komponen dioda penyearah
- Menginterpretasikan lembar data (datasheet) dioda penyearah.
- Merencana rangkaian penyearah setengah gelombang satu fasa.
- Merencana rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa.
- Merencana catu daya sederhana satu fasa (*unregulated power supply*).
- Merencana macam-macam rangkaian limiter dan clamper.
- Merencana macam-macam rangkaian pelipat tegangan

b. Uraian Materi

1. Susunan fisis dan simbol dioda penyearah.

Sebuah dioda (daya) merupakan komponen sambungan-PN dua terminal yang dibentuk dari penumbuhan pencampuran, difusi (pembauran), dan epiktasial. Pada penerapan teknik kendali (kontrol) modern dalam proses difusi dan epiktasial sangat memungkinkan sekali sebuah karakteristik dioda yang diharapkan sesuai dengan tuntutan dan keinginan spesifikasi. Gambar 1. menunjukkan simbol dan konstruksi sebuah dioda persambungan-PN.



Gambar 1. Simbol dan konstruksi diode persambungan-PN

2. Prinsip kerja dioda penyearah.

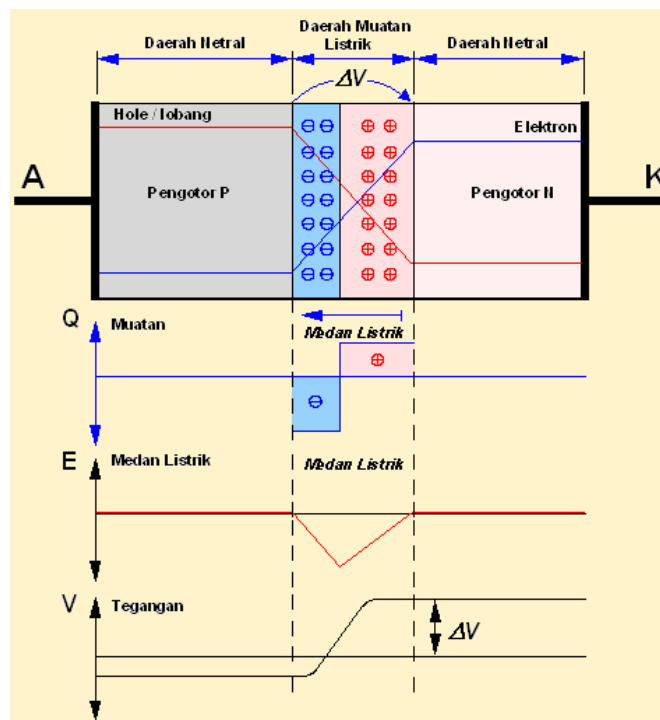
Ketika potensial anode (A) positif terhadap katode (K), diode mendapat bias maju dengan demikian nilai yang positif dari (I_D) yang menyebabkan arus mengalir dari sisi P ke sisi N. Suatu diode berprategangan maju (*forward bias*) apabila tegangan V positif, hal ini menandakan bahwa sisi P dari persambungan adalah positif terhadap sisi N. Simbol (η) menunjukan koefisien emisi yang tergantung oleh material dan susunan fisik diode. Untuk diode Germanium (η) bernilai 1 dan untuk diode silicon nilai prediksi (η) adalah 2. Pada kebanyakan aplikasi didalam praktek nilai (η) untuk diode silicon berada dalam rentang 1,1 untuk arus besar sampai 1,8 untuk arus kecil.

Gambar 1 memperlihatkan diode persambungan PN akibat pengaruh eksternal temperatur dalam kondisi tanpa adanya tegangan bias. Elektron dan lubang ditunjukkan dan ditandai oleh batas warna biru, garis biru dan garis warna merah. Daerah abu-abu memperlihatkan area netral.

Medan listrik dihasilkan oleh daerah defleksi berlawanan arah terhadap pproses difusi untuk *hole-hole* dan elektron-elektron. Terjadi dua fenomena yaitu proses difusi yang cenderung menghasilkan daerah defleksi dan medan listrik yang dihasilkan

oleh daerah defleksi yang cenderung melawan gerakan difusi. Bentuk konsentrasi pembawa digambarkan seperti garis merah dan biru pada Gambar 2.100, di mana terlihat kurva yang berlawanan dan seimbang.

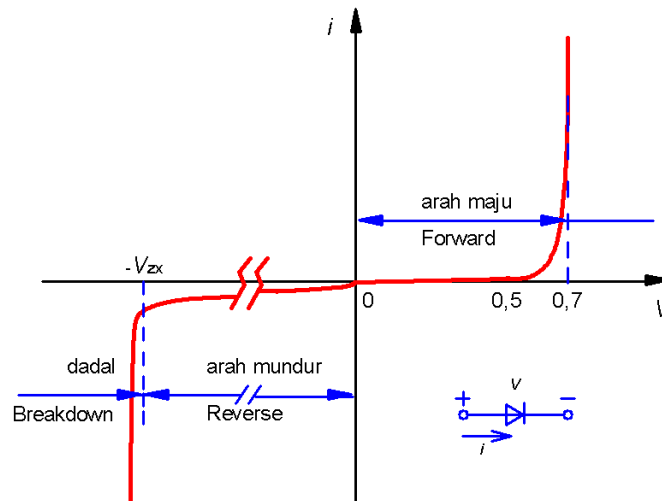
Gambar 2 adalah hubungan PN dalam suhu ruang tanpa pemberian tegangan bias. Di bawah gambar hubungan (*junction*), dilukiskan kepadatan pengisian, medan listrik dan tegangan. Daerah defleksi adalah daerah pengumpulan ion-ion donor dan aseptor yang tidak terbentuk oleh difusi pembawa mayoritas. Bila keseimbangan tercapai, kepadatan pengisian akan digambarkan seperti fungsi *step* (tanjakan). Dalam kenyataan, daerah ini sangat sulit untuk dilewati pembawa mayoritas (kepadatan muatan setara dengan level pengotoran/*doping*), dan persilangan di antara daerah netral dan daerah defleksi sangat tajam (lihat Gambar 2). daerah defleksi memiliki bentuk yang sama dengan daerah muatan dilihat dari sisi hubungan PN di mana terpisah dari sisi pengotoran (sisi N pada Gambar 1 dan 2).



Gambar 2. Diode persambungan-PN pengaruh panas tanpa bias

3. Kurva arus-tegangan dioda penyearah.

Karakteristik V-I dapat ditunjukkan pada Gambar 3. yang menyatakan perubahan besarnya arus (I_D) akibat tegangan bias (V_D) dan dapat dinyatakan dalam persamaan (1) yang lebih dikenal dengan persamaan diode Schockley.



Gambar 3 Karakteristik diode PN

Persamaan arus dioda

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Dari persamaan (1) dapat dijelaskan bahwa suatu diode berprategangan maju (*forward biased*) apabila tegangan (V_D) positif, ini berarti menunjukkan nilai positif arus diode (I_D) mengalir dari sisi persambungan-P menuju sisi persambungan-N.

dengan

I_D = besarnya arus yang melalui diode (Ampere)

V_D = besarnya tegangan diode dengan anode positif terhadap katode (Volt)

I_S = besarnya arus bocor (saturasi balik) umumnya 10^{-6} A sampai 10^{-15} A

η = Konstanta empiris yang dikenal sebagai factor idealitas atau suatu koefisien emisi yang nilainya antara 1 sampai 2.

Simbol (V_T) dalam persamaan (1) menyatakan ekivalen tegangan dari temperatur atau disebut juga konstanta tegangan termal dan dapat dinyatakan dalam persamaan (2) berikut;

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q} \quad (2)$$

dengan;

q = muatan electron 1.6022×10^{-19} coulomb (C)

T = temperatur absoulut kamar dalam Kelvin ($K = 273 + ^\circ\text{C}$)

K = konstanta Boltmann 1.2806×10^{-23} J/K

Pada temperatur kamar 25°C , maka besarnya tegangan ekivalen (V_T) adalah sebesar

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q} = \frac{1.2806 \times 10^{-23} \times (273 + 25)}{1.6022 \times 10^{-19}} \approx 25.8\text{mV}$$

Untuk nilai pendekatan banyak buku data memberikan nilai referensi $V_T=25\text{mV}$ atau $V_T=26\text{mV}$.

Pada kondisi temperatur tertentu (khusus), besarnya arus bocor (I_S) konstan untuk tuntutan sebuah diode dengan spesifikasi khusus.

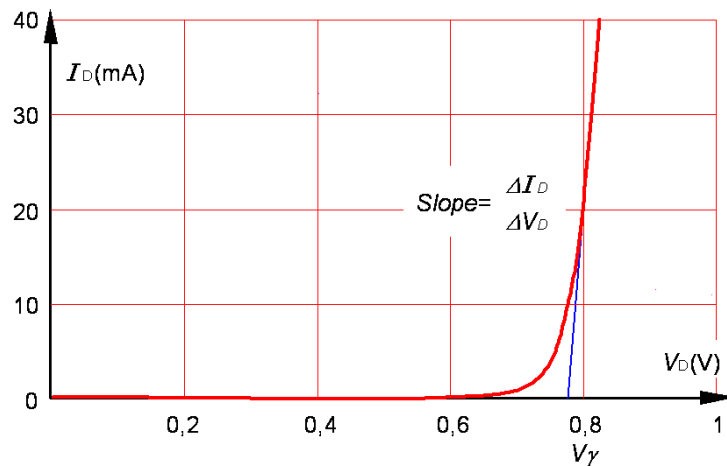
Karakteristik V-I yang diberikan oleh persamaan (2) ditunjukkan seperti pada Gambar 3. dapat dikelompokkan menjadi tiga daerah kerja, yaitu;

⇒ Daerah kerja bias maju, dengan $V_D > 0$

⇒ Daerah kerja bias mundur, dengan $V_D < 0$

⇒ Daerah brekdown, dengan $V_D > -V_{ZK}$

Linierisasi Karakteristik Diode



Gambar 4 Linierisasi I-V karakteristik dioda

Pendekatan untuk model sinyal besar yang menuntut hasil dengan ketelitian tinggi, maka diperlukan model pendekatan sifat-sifat kurva diode ideal yaitu dengan cara membuat kurva diode sedemikian rupa sehingga karakteristik tersebut mendekati linear. Gambar 4 menunjukkan linearisasi karakteristik diode semikonduktor, dimana titik tegangan potong (V_γ) tidak berada dipangkal dan oleh karena itu disebut juga tegangan ambang (threshold) atau penyimpangan.

Berdasarkan kurva karakteristik tersebut, jika ($V < V_\gamma$) maka diode akan berfungsi sebagai rangkaian terbuka, dengan kenaikan tegangan tanpa adanya kenaikan arus $r_D = dV/dI (\Omega)$ yang menunjukkan masih mempunyai nilai resistansi besar sekali. Dan bila ($V > V_\gamma$) maka diode akan berfungsi sebagai rangkaian tertutup, dengan faktor kemiringan tegangan terhadap arus $r_D = dV/dI (\Omega)$ yang menunjukkan perubahan penurunan nilai resistansi atau dapat dinyatakan dengan $(1/r_D)$ dan biasanya dikenal dengan resistansi maju. Penting untuk diperhatikan, bila resistansi (r_D) dinyatakan (R_D) yang merupakan notasi resistansi maju static. Untuk keperluan pemodelan sinyal besar resistansi static $R_D = V/I (\Omega)$ yang mempunyai nilai berubah-ubah tidak digunakan didalam disain rangkaian.

Nilai numerik tegangan potong (V_γ) dan resistansi maju static (R_D) berbeda bergantung pada tipe diode. Misalnya untuk diode bertipe germanium untuk nilai pada arus diode $10mA$ didapatkan tegangan $V_\gamma=0,2V$ bersesuaian dengan nilai resistansi $R_D=20\Omega$. Sedangkan untuk diode tipe silicon pada tegangan $V_\gamma=0,6V$ bersesuaian dengan nilai resistansi $R_D=15\Omega$. Dan arus diode dinaikkan menjadi $50mA$, maka perubahan tegangan $V_\gamma=0,3V$ bersesuaian dengan nilai resistansi $R_D=6\Omega$. Sedangkan untuk diode tipe silicon pada tegangan $V_\gamma=0,6V$ bersesuaian dengan nilai resistansi $R_D=5,5\Omega$. Untuk diode khusus seperti misalnya diode zener/avelans tegangan (V_γ) disebut dengan (V_z) dan resistansi dinamik (R_D) berada pada daerah operasi dadal/mundur.

4. Parameter dioda penyearah.

Resistansi statik (R_D) dari diode didefinisikan sebagai perbandingan (V/I) dari tegangan dan arus disebatang titik karakteristik volt-ampere. Perubahan resistansi (R_D) mengekspresikan kebalikan dari kemiringan kurva dari garis yang menghubungkan setiap titik operasi. Perubahan nilai resistansi statik (R_D) sangat tergantung dari perubahan tegangan (V) dan arus (I), dan tidak merupakan parameter yang penting didalam disain rangkaian. Sifat-sifat penyearahan dari sebuah diode yang diberikan dalam lembaran spesifikasi dari pabrik dengan memberikan tegangan maju pada operasi maksimum (V_F) diperlukan untuk mencapai arus maju diode maksimum (I_F) dan sebaliknya untuk kondisi tegangan reverse maksimum (V_R) untuk mencapai arus reverse maksimum (I_R). Nilai-nilai pengukuran uji spesifikasi untuk diode silicon epitaksial planar adalah $V_F=0.8V$ pada $I_F=10mA$ didapatkan nilai resistansi statis $R_F=80\Omega$ dan arus balik $I_R=0.1\mu A$ pada $V_R=-50V$ didapatkan nilai resistansi balik statis $R_R=500M\Omega$.

Tahanan dinamik (r_D) dari sebuah diode merupakan perbandingan ($\Delta V/\Delta I$) dari perubahan tegangan dengan perubahan arus. Untuk keperluan operasi sinyal kecil (small signal) resistansi dinamik atau

inkrimental (r_D) adalah suatu parameter yang penting dan dapat juga didefinisikan sebagai kebalikan dari kemiringan karakteristik perubahan volt-ampere disemua garis yang menghubungkan titik operasi. Perlu diketahui bahwa resistansi dinamik suatu diode yang disertakan dalam lembar data bukan merupakan suatu tetapan yang mutlak, tapi nilainya sangat tergantung pada tegangan operasi. Sebagai contoh, untuk diode semikonduktor nilai (r_D) ditentukan oleh persamaan (3), dengan konduktansi dinamik ($g = 1/r_D$) adalah

$$g \equiv \frac{\Delta I}{\Delta V} \equiv \frac{\delta I}{\delta V} = \frac{I_S \cdot \frac{V_D \eta}{V_T}}{\eta \cdot V_T} = \frac{I_D + I_S}{\eta \cdot V_T} \quad (3)$$

Untuk kondisi tegangan bias balik (*reverse biased*), karena $V_D/\eta V_T \gg 1$, maka konduktansi (g) kecil dan (r_B) besar sekali. Dengan demikian nilai resistansi dinamik (r_B) jauh lebih besar dari nilai r_D ($r_B \gg r_D$). Sedangkan untuk kondisi prategangan maju nilai arus ($I_D \gg I_S$), sehingga (I_S) dapat diabaikan. Sehingga dari persamaan (3) didapatkan nilai resistansi dinamik (r_D) seperti berikut;

$$r_D \approx \frac{\eta \cdot V_T}{I_D} \quad (4)$$

Dari persamaan (4) dapat dijelaskan, bahwa besarnya resistansi dinamik (r_D) berbanding terbalik dengan arus (I_D). Pada temperatur ruang untuk $\eta = 1$, maka besarnya $r_D (\Omega) = 26mV/I_D$. Sebagai contoh, untuk arus maju $I_D = 26mA$, maka resistansi dinamik $r_D = 1\Omega$. Pada umumnya besarnya resistansi dinamik dari bahan semikonduktor secara keseluruhan diluar persambungan mungkin mempunyai orde yang lebih atau lebih tinggi dari nilai ini. Walaupun nilai (r_D) berubah terhadap perubahan arus. Untuk keperluan pemodelan sinyal kecil, maka tuntutan disain selayaknya parameter (r_D) penting sekali dipergunakan sebagai ketetapan.

5. Model komponen dioda penyearah

Bias Maju (*forward biased*)

Pada daerah bias maju untuk ($V_D > 0$), besarnya arus diode (I_D) sangat kecil jika tegangan diode (V_D) kurang dari nilai spesifik tegangan temperatur (V_T) (umumnya $0.6V \sim 0.7V$). Dan diode akan konduksi penuh bila (V_D) lebih besar daripada tegangan temperatur (V_T) yang direferensikan pada tegangan batas (threshold voltage) atau tegangan *cut in/turn on*. Sehingga yang dinamakan tegangan batas adalah tegangan ketika diode konduksi penuh.

Saat tegangan diode kecil, misal $V_D = 0.1V$; $\eta = 1$ dan $V_T = 25.8mV$.

Dengan menggunakan persamaan (2), maka dapat ditentukan nilai arus diode (I_D).

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) = I_S \left(e^{\frac{0.1}{(1 \times 0.0258)}} - 1 \right)$$

$$I_D = I_S (48.23 - 1) = 47.23 I_S \Rightarrow \text{dengan kesalahan } 2.1\%$$

Sehingga untuk $V_D > 0.1V$ dengan nilai $I_D \gg I_S$, maka pada kasus persamaan (2) dapat dilakukan pendekatan dengan factor kesalahan 2.1%.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) \approx I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} \right) \quad (5)$$

Daerah Kerja Bias Mundur (*reverse biased*)

Pada daerah bias maju untuk ($V_D < 0$). Jika (V_D) negatif ($V_D < -0.1V$) dan $|V_D| \gg V_T$, maka bagian eksponensial pada persamaan (2) menjadi sangat kecil dan bisa diabaikan dengan demikian hubungan persamaan arus bocor saturasi balik (I_S) berlaku sebagai berikut;

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{-V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) \approx -I_S \quad (6)$$

Daerah Patahan (*break down*)

Untuk menentukan daerah dadal (*break down region*) sebuah diode yaitu dengan cara menaikkan bias mundur setinggi mungkin dan biasanya sampai mencapai tegangan diatas 100V. Besarnya tegangan mundur sampai mencapai nilai tertentu dikenal sebagai tegangan breakdown (V_{BR}).

Pada batas daerah ini perubahan tegangan mundur (V_{BR}) yang kecil akan menyebabkan peningkatan arus mundur yang besar. Operasi pada daerah break down tidak akan menyebabkan diode tersebut mengalami kerusakan selama disipasi dayanya dikendalikan pada daerah kerja spesifikasi nominalnya.

Dengan demikian yang perlu diperhatikan adalah agar diode tidak mengalami disipasi daya yang berlebihan adalah dengan membatasi arus mundur di daerah *break down* sesuai dengan batas yang diijinkan.

Karakteristik tegangan balik suatu diode semikonduktor yang berada pada daerah dadal (*break down*) ditunjukkan pada Gambar 4. Diode-diode yang didesain dengan kemampuan membuang daya yang memadai untuk dijalankan di daerah dadal (*break down region*) aplikasinya dapat digunakan sebagai acuan tegangan (*reference voltage*) yang dapat memberikan tegangan keluaran yang konstan. Diode yang bekerjanya seperti ini dinamakan sebagai diode *avalans*, dadal atau diode zener (untuk lebih jelasnya pembahasan diode zener akan diterangkan pada bab tersendiri).

Waktu *Switching* Diode Persambungan

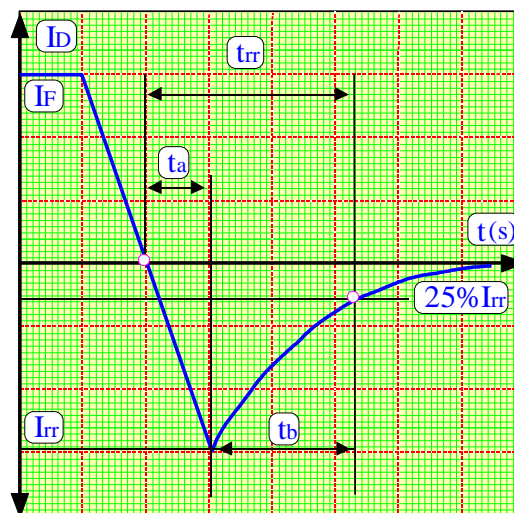
Apabila sebuah diode dikendalikan dari keadaan mundur menjadi keadaan maju atau dalam arah yang berlawanan, maka tanggapan diode akan mengalami transien penundaan dengan interval waktu sebelum diode tersebut pulih kembali (*recovery*) pada keadaan stasionernya. Untuk waktu pemulihan maju (t_{fr}) adalah selisih waktu dimulai dari waktu tegangan mencapai 10% dari maksimumnya

sampai pada waktu tegangan tinggal 10% untuk memncapai tegangan akhirnya. Ternyata waktu *switching* maju tfr tidak merupakan masalah yang begitu penting didalam praktek.

Oleh karena itu didalam kebanyakan aplikasi yang penting perlu ditinjau adalah hanya saat keadaan pemulihan balik/*reverse* saja.

Pemulihan Mundur (*Reverse Recovery*)

Arus pada diode sambungan-PN bias maju sangat ditentukan pada saat efek bersih (netral) dari pembawa mayoritas dan minoritasnya. Pada saat diode dikondisikan mode maju dan kemudian arus majunya diturunkan sedemikian rupa sehingga menjadi nol (karena perilaku natural diode yang seharusnya telah mendapatkan tegangan balik), diode mengalami perlambatan (waktu tunda), dalam hal ini diode masih meneruskan proses konduksi karena akibat pembawa minoritas yang tersisa tersimpan dalam sambungan-PN dan material semikonduktornya. Pembawa minoritas memerlukan waktu yang cukup untuk menyusun ulang dengan pengisian lawannya untuk segera dinetralkan. Waktu ini disebut waktu pemulihan balik (*reverse recovery*) diode.



Gambar 5. Karakteristik pengisian-pemulihan mundur

Gambar 5 menunjukkan karakteristik pemulihan balik sebuah diode persambungan-PN dan tipe pemulihan lunak (*soft recovery*) yang

umum, dimana waktu balik ini dinotasikan dengan (t_r) dan diukur dari perpotongan initial *zero crossing* arus diode sampai pada titik 25% arus balik puncak, (I_{RR}) dan (t_r) terdiri dari dua komponen (t_a) dan (t_b). Waktu t_a diakibatkan karena proses pengisian komponen penyimpanan di daerah depleksi dari sambungan dan merepresentasikan waktu antara *zero crossing* dengan arus mundur puncak (I_{RR}).

Waktu tunda (t_b) adalah merupakan proses komponen penyimpanan dalam bagian terbesar karena pengaruh material semikonduktor.

Besarnya faktor perbandingan antara waktu (t_a) dan (t_b) dikenal dengan factor kelunakan (*softnes factor SF*). Agar diperoleh hubungan matematis yang praktis, maka konsentrasi pada waktu pemulihan total (t_r) dengan nilai puncak dari arus mundur puncak (I_R) dapat dinyatakan seperti pada persamaan (7) berikut ini;

$$t_r = t_a + t_b \quad (7)$$

(t_r) sangat tergantung pada temperatur sambungan, tingkat jatuhnya arus maju dan arus maju selum komutasi. Dengan demikian arus mundur puncak dapat diekspresikan kedalam persamaan (8)

$$I_{RR} = t_a \frac{\delta i}{\delta t} \quad (8)$$

Waktu tunda pemulihan mundur (t_r) dapat didefinisikan sebagai interval waktu antara arus yang melewati titik nol selama peralihan dari mode konduksi *forward*/maju ke mode *reverse*/mundur ketika momen arus mundur mencapai 25% dari nilai puncak mundur (I_{RR}).

Pengisian pemulihan mundur (Q_{RR}) dapat didefinisikan sebagai pembawa muatan pengisian yang mengalir melalui diode dengan arah berlawanan yang dikarenakan pengambilalihan dari saat mode kondisi konduksi maju ke mode kondisi *reverse*/mundur. Besarnya nilai pengisian pemulihan mundur (Q_{RR}) ditentukan dari daerah yang dicakup oleh arah dari arus pemulihan mundur.

Pendekatan daerah yang dicakup oleh arah arus pengisian pemulihan mundur secara matematis dapat ditentukan menurut persamaan (9) berikut

$$Q_{RR} \cong \frac{1}{2} \cdot I_{RR} \cdot t_a + \frac{1}{2} \cdot I_{RR} \cdot t_b = \frac{1}{2} \cdot I_{RR} \cdot t_r \quad (9)$$

atau

$$I_{RR} = \frac{2 \cdot Q_{RR}}{t_r} \quad (10)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (8) dengan persamaan (10) sehingga dihasilkan

$$t_r \cdot t_a = \frac{2 \cdot Q_{RR}}{\delta i / \delta t} \quad (10)$$

Jika ($t_a \gg t_b$) dan ($t_r \cong t_a$), maka (t_b) dapat diabaikan dan didapatkan persamaan (11) berikut

$$t_r = \sqrt{\frac{2 \cdot Q_{RR}}{\delta i / \delta t}} \quad (11)$$

dan

$$I_{RR} = \sqrt{2 \cdot Q_{RR} \frac{\delta i}{\delta t}} \quad (12)$$

Dapat dinyatakan dari persamaan (11) dan (12) bahwa waktu pemulihan mundur (t_r) dan arus pemulihan mundur puncak (I_{RR}) tergantung dari pengisian penyimpanan (Q_{RR}) dan (di/dt) mundur. Pengisian penyimpanan tidak tergantung pada arus diode maju (I_F). Arus pemulihan mundur (I_{RR}), pengisian mundur (Q_{RR}), dan factor kelunakaan (*soft recovery*) sangat penting untuk diperhatikan bagi perancang/rekayasa perancang rangkaian, dan parameter ini terdapat pada lembaran buku data komponen (*datasheet*) diode.

Jika sebuah diode dalam kondisi bias mundur, bahwa arus bocor mengalir karena pembawa minoritas. Kemudian aplikasi untuk

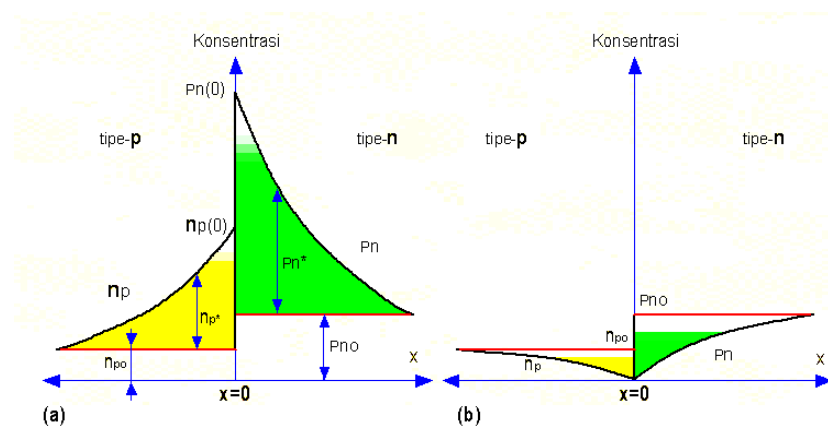
tegangan bias maju akan memaksa diode membawa arus ke arah maju (dari sisi P ke sisi N). Namun begitu, hal ini memerlukan waktu tertentu, yaitu yang dikenal dengan waktu pemulihan maju sebelum semua pembawa mayoritas melalui sambungan dapat berkontribusi pada aliran arus. Jika tingkat kenaikan arus maju tinggi dan arus maju dikonsentrasikan pada bagian sambungan yang kecil saja, kemungkinan diode akan mengalami kegagalan sehingga waktu pemulihan maju akan membatasi tingkat kenaikan arus maju dan kecepatan pensaklaran/*switching*.

Model Waktu Pemulihan Mundur

Suatu persambungan –PN yang dihubungkan dengan tegangan luar bias maju, maka kerapatan pembawa minoritas dalam keadaan stasioner diperlihatkan pada Gambar 6. Dan apabila tegangan bias tersebut dibalik dalam arah mundur/*reverse biased*, maka besarnya arah arus maju yang mengalir tidak akan langsung turun ke nilai tegangan balik keadaan stasioner (nol). Hal ini disebabkan oleh karena arus dapat mencapai nilainya pada keadaan stasioner sebelum distribusi pembawa minoritas yang pada saat tegangan balik mempunyai bentuk pada Gambar 6a, berubah mejadi seperti bentuk Gambar b. Dengan demikian rapat pembawa minoritas P_n - P_{no} (atau n_p - n_{po}) nilainya turun sampai pada level nol, dalam hal ini diode masih menghantarkan arus dengan mudah, dimana besarnya arus yang mengalir hanya ditentukan oleh resistansi beban (R_L), tidak lagi tergantung oleh tegangan bias luar rangkaian diode.

Waktu penyimpanan dan waktu transisi, telah dijelaskan bahwa disebabkan akibat pembalikan prategangan bias maju berubah menjadi bias mundur dalam rangkaian diode seperti yang ditunjukkan Gambar 6. Bila tegangan masukan berupa gelombang kotak untuk siklus selama waktu (t_i) pada tegangan setinggi ($V_i=V_F$) dalam posisi arah bias maju menyebabkan diode konduksi. Agar supaya penurunan tegangan keluaran yang melintasi beban (R_L) besar terhadap penurunan tegangan yang melintasi pada diode, maka nilai resistor beban (R_L) dibuat besar terhadap resistansi diode.

Dengan demikian arus yang mengalir melalui diode adalah $i \approx V_F/R_L \equiv I_F$. Pada saat siklus ($t = t_1$) dimana tegangan masukan seketika berbalik mendadak menjadi ($v = -V_R$). Disebabkan oleh kejadian tersebut diatas, maka aliran arus tidak langsung turun menjadi nol, melainkan aliran arus membalik dari arah semula dan bertahan pada nilai $i \approx -V_F/R_L \equiv -I_F$ sampai pada saat ($t = t_2$).



Gambar 6. Rapat pembawa minoritas suatu dioda persambungan

6. Lembar data (datasheet) dioda penyearah.

Yang dimaksud dengan harga batas dari dioda adalah batas kemampuan maksimal dari suatu dioda baik arus maupun tegangannya.

Contoh : Dioda 1N4001

Dengan melihat data book dari dioda maka harga batas tegangan dan arus dapat diketahui.

Harga batas arus = 1 Ampere

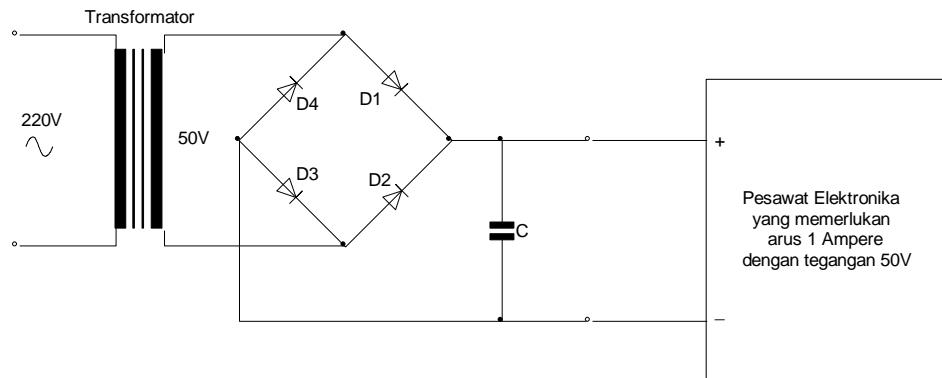
Harga batas tegangan = 50 Volt

Contoh Penerapannya :

Misalnya untuk peralatan / pesawat elektronika yang membutuhkan arus dibawah 1 Amper dengan tegangan dibawah 50 V maka dioda

penyearah yang digunakan cukup dengan memakai dioda dengan type 1N4001.

Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut ini :



Gambar 7. Aplikasi penyearah dengan dioda bridge

maka diodanya (D1,D2,D3,D4) cukup menggunakan dioda dengan type 1N4001 sebanyak 4 buah.

Diodes, Power Rectifier

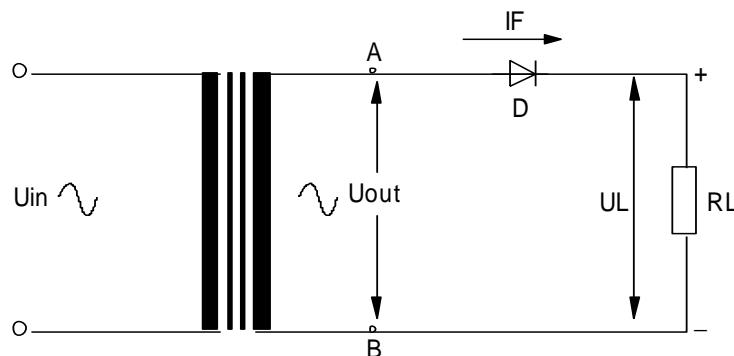
Type	See Note	Construction	Peak Inverse Voltage (PIV) (V)	Max. Rect. Current (A)	Maximum Forward Voltage Drop		Maximum Reverse Current		Cuse Outline	Lead Info.
					(V)	at Ampere	(uA)	at Volts		
1N3211	4	Si	300	20	1.2	20	1mA	300	-	105
1N3212	4	Si	400	20	1.2	20	1mA	400	-	105
1N3213	4	Si	500	20	1.2	20	1mA	500	-	105
1N3214	4	Si	600	2-	1.2	20	1mA	600	-	105
1N3611	-	Si	200	1	1.1	2	1	200	-	104
1N3612	-	Si Junction	400	1	1-1	2	1	400	-	104
1N3613	-	Si	600	1	1-1	2	1	600	-	104
1N3614	-	Si	800	1	1-1	2	1	800	-	104
1N3670A	4	Si	700	12	0.55	12	900	700	DO-4	105
1N3671A	4	Si	800	12	0.55	12	800	800	DO-4	105
1N3672A	4	Si	900	12	0.55	12	700	900	DO-4	105
1N3673A	4	Si	1000	12	0.55	12	600	1000	DO-4	105
1N3675	-	Si	700	35	1.8	35	5mA	700	DO-5	105
1N3766	-	Si	800	35	1.8	35	4mA	800	DO-5	105
1N3767	-	Si	900	35	1.8	35	3mA	900	DO-5	105
1N3768	-	Si	1000	35	1-8	35	2mA	1000	DO-5	105
1N3879	-	Si	50	6	1-4	6	3mA	50	DO-4	105
1N3879R	-	Si	50	6	1-4	6	3mA	50	DO-4	106
1N3880	-	Si	100	6	1-4	6	3mA	100	DO-4	105
1N3880R	-	Si	100	6	1-4	6	3mA	100	DO-4	106
1N3881	-	Si	200	6	1.4	6	3mA	200	DO-4	105
1N3881R	-	Si	200	6	1.4	6	3mA	200	DO-4	106
1N3882	-	Si	300	6	1.4	6	3mA	300	DO-4	105
1N3882R	-	Si	300	6	1.4	6	3mA	300	DO-4	106
1N3883	-	Si	400	6	1.4	6	3mA	400	DO-4	105
1N3883R	-	Si	400	6	1.4	6	3mA	400	DO-4	106
1N3889	-	Si	50	12	1.4	12	3mA	50	DO-5	105
1N3889R	-	Si	50	12	1.4	12	3mA	50	DO-5	106
1N3890	-	Si	100	12	1.4	12	3mA	100	DO-5	105
1N3890R	-	Si	100	12	1.4	12	3mA	100	DO-5	106

1N3891	-	Si	200	12	1.4	12	3mA	200	DO-5	105
1N3891R	-	Si	200	12	1.4	12	3mA	200	DO-5	106
1N3892	-	Si	300	12	1.4	12	3mA	300	DO-5	105
1N3892R	-	Si	300	12	1.4	12	3mA	300	DO-5	106
1N3893	-	Si	400	12	1.4	12	3mA	400	DO-5	105
1N3893R	-	Si	400	12	1.4	12	3mA	400	DO-5	106
1N3899	-	Si	50	20	1.4	20	6mA	50	DO-5	105
1N3899R	-	Si	50	20	1.4	20	6mA	50	DO-5	106
1N3900	-	Si	100	20	1.4	20	6mA	100	DO-5	105
1N3900R	-	Si	100	20	1.4	20	6mA	100	DO-5	106
1N3901	-	Si	200	20	1.4	20	6mA	200	DO-5	105
1N3901R	-	Si	200	20	1.4	20	6mA	200	DO-5	106
1N3902	-	Si	300	20	1.4	20	6mA	300	DO-5	105
1N3902R	-	Si	300	20	1.4	20	6mA	300	DO-5	106
1N3903	-	Si	400	20	1.4	20	6mA	400	DO-5	105

Type	See Note	Construction	Peak Inverse Voltage (PIV) (V)	Max. Rect. Current (A)	Maximum Forward Voltage Drop		Maximum Reverse Current		Cuse Outline	Lead Info.
					(V)	at Ampere	(uA)	at Volts		
1N3903R	-	Si	400	20	1.4	20	6mA	400	DO-5	106
1N3909	-	Si	50	30	1.4	30	10mA	50	DO-5	105
1N3909R	-	Si	50	30	1.4	30	10mA	50	DO-5	106
1N3910	-	Si	100	30	1.4	30	10mA	100	DO-5	105
1N3910R	-	Si	100	30	1.4	30	10mA	100	DO-5	106
1N3913R	-	Si	400	30	1.4	30	10mA	400	DO-5	106
1N4001	-	Si Junction	50	1	1-1	1	5	50	DO-15	104
1N4002	-	Si	100	1	1-1	1	5	100	DO-15	104
1N4003	-	Si	200	1	1-1	1	5	200	DO-15	104
1N4004	-	Si	400	1	1-1	1	5	400	DO-15	104
1N4005	-	Si Junction	600	1	1-1	1	5	600	DO-15	104
1N4006	-	Si	800	1	1-1	1	5	800	DO-15	104
1N4007	-	Si	1000	1	1-1	1	5	1000	DO-15	104
1N4245	-	Si	200	1	1-1	1	1	200	-	104
1N4246	-	Si	400	1	1-1	1	1	400	-	104
1N4247	-	Si	600	1	1.2	1	1	600	-	104
1N4248	-	Si	800	1	1.2	1	1	800	-	104
1N4249	-	Si	1000	1	1.2	1	1	1000	-	104
1N4383	-	Si	200	30	1	1	10	200	DO-41	104
1N4384	-	Si	400	30	1	1	10	400	DO-41	104

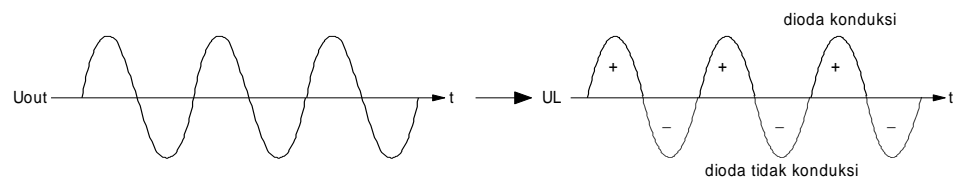
7. Rangkaian penyearah setengah gelombang satu fasa.

Contoh Penggunaan Dioda Sebagai Penyearah Setengah Gelombang Dengan Beban Tahanan



Gambar 8. Penyearah setengah gelombang dengan beban tahanan

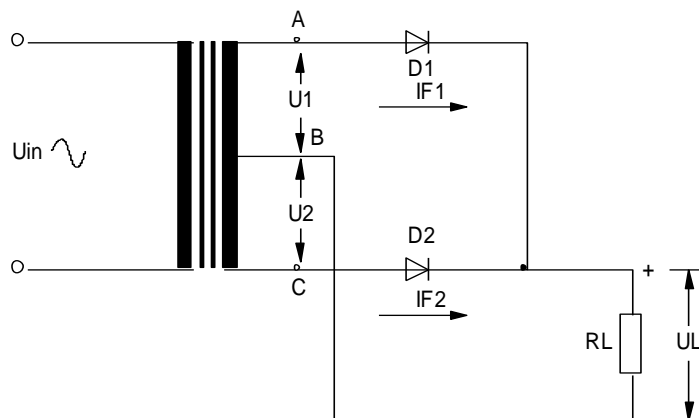
- Prinsip Kerja Penyearah Setengah Gelombang
 - Jika A positif (+), B negatif (-), maka dioda konduksi 1 bekerja , sehingga arus akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo.
 - Saat A negatif (-), B positif (+), maka dioda tidak konduksi/tidak bekerja sehingga arus tidak mengalir.
 - Kejadian ini berulang/muncul lagi terus-menerus sehingga bentuk gelombangnya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 9. Prinsip Kerja Penyearah Setengah Gelombang

8. Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa.

- Sebagai Penyearah Gelombang Penuh Dengan Dua Dioda

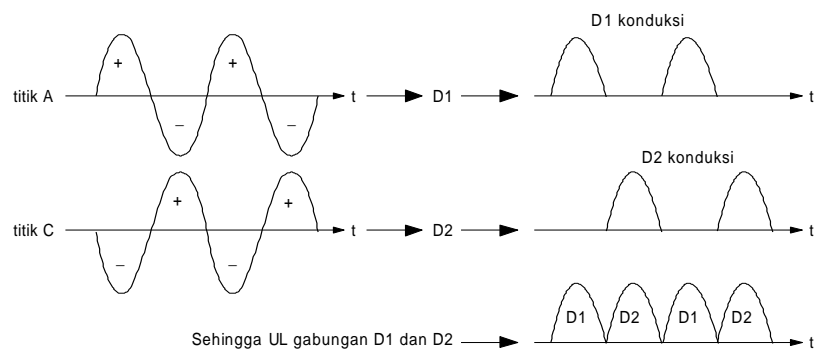


Gambar 10. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dua dioda

- Prinsip Kerja Dari Penyearah Gelombang Penuh Dua Dioda Dengan Beban Tahanan
 - Perlu diketahui bahwa untuk rangkaian penyearah gelombang penuh dua dioda diperlukan transformator yang mempunyai CT

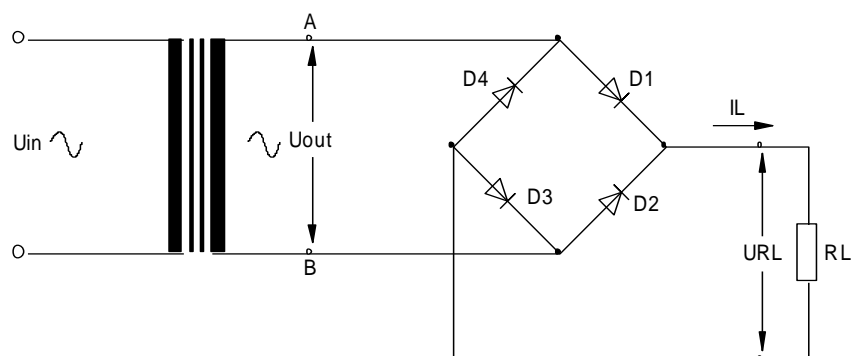
(Center Tap). Gelombang sinyal pada titik A selalu berbeda fasa 180° terhadap titik C sedangkan titik B sebagai nolnya.

- Jika titik A positif (+), titik C negatif (-), maka D1 akan konduksi kemudian arus I_{F1} akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo (titik B).
- Jika titik C positif (+), titik A negatif (-), maka D2 akan konduksi kemudian arus I_{F2} akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo (titik B). Kejadian ini akan selalu berulang dan gelombang/sinyalnya dapat digambarkan sebagai berikut :



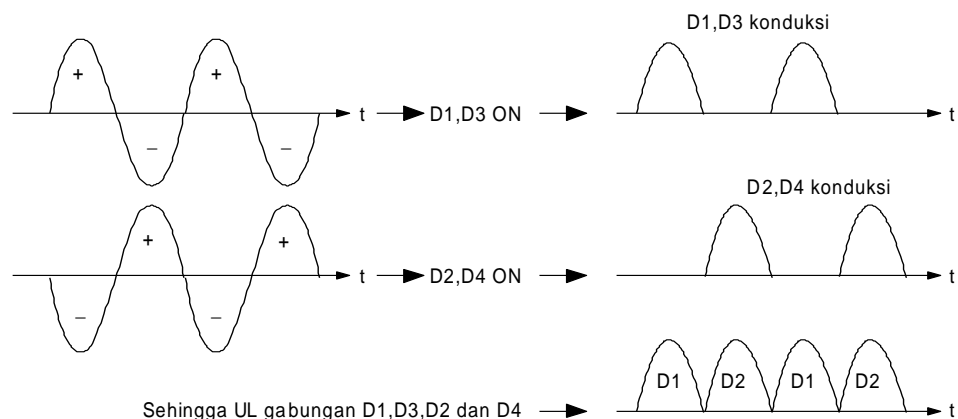
Gambar 11. Prinsip Kerja Dari Penyearah Gelombang Penuh Dua Dioda Dengan Beban Tahanan

- Sebagai Penyearah Gelombang Penuh Dengan Sistem Bridge (empat Dioda)



Gambar 12. Rangkaian penyearah gelombang penuh sistem bridge

- Prinsip Kerja Penyearah Gelombang Penuh Sistem Bridge :
 - Jika A positif (+), B negatif (-), maka D1 konduksi arus I akan mengalir menuju RL dan D3 menuju titik B.
 - Saat B positif (+), A negatif (-), maka D2 konduksi arus I akan mengalir menuju RL dan D4 menuju titik B.
 - Kejadian ini berulang secara kontinyu sehingga gelombang sinyalnya dapat digambarkan sebagai berikut :

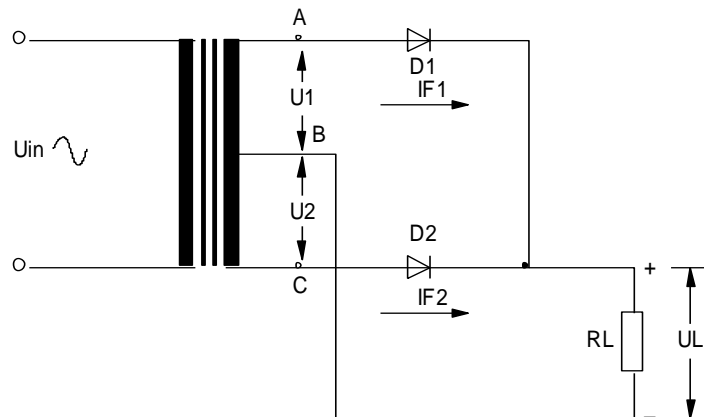


Gambar 13. Prinsip Kerja Penyearah Gelombang Penuh Sistem Bridge

9. Catu daya sederhana satu fasa (*unregulated power supply*).

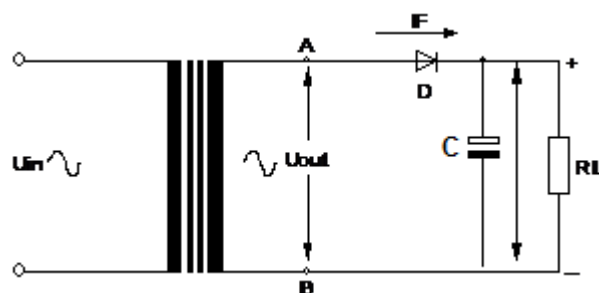
Prinsip penyearah (*rectifier*) yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 14 berikut ini. Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil pada kumparan sekundernya.

Pada rangkaian ini, dioda (D1) berperan hanya untuk merubah dari arus AC menjadi DC dan meneruskan tegangan positif ke beban R1. Ini yang disebut dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Untuk mendapatkan penyearah gelombang penuh (*full wave*) diperlukan transformator dengan *center tap* (CT) seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dua dioda dan trafo center tap

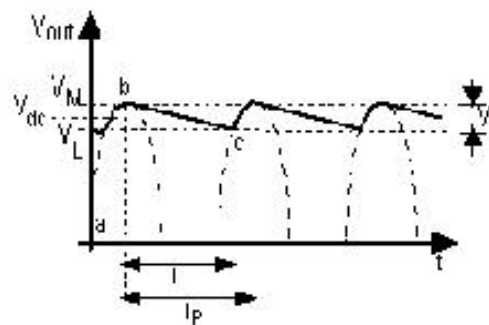
Tegangan positif fasa yang pertama diteruskan oleh D1 sedangkan fasa yang berikutnya dilewatkan melalui D2 ke beban R_L dengan CT transformator sebagai *common ground*. Dengan demikian beban R_L mendapat suplai tegangan gelombang penuh seperti gambar di atas. Untuk beberapa aplikasi seperti misalnya untuk men-catu motor dc yang kecil atau lampu pijar dc, bentuk tegangan seperti ini sudah cukup memadai. Walaupun terlihat di sini tegangan *ripple* dari kedua rangkaian di atas masih sangat besar.



Gambar 15. Rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter C

Gambar 15 adalah rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor C yang paralel terhadap beban R. Ternyata dengan filter ini bentuk gelombang tegangan keluarannya

bisa menjadi rata. Gambar 16 menunjukkan bentuk keluaran tegangan DC dari rangkaian penyearah setengah gelombang dengan filter kapasitor. Garis b-c kira-kira adalah garis lurus dengan kemiringan tertentu, dimana pada keadaan ini arus untuk beban R1 dicatu oleh tegangan kapasitor. Sebenarnya garis b-c bukanlah garis lurus tetapi eksponensial sesuai dengan sifat pengosongan kapasitor.



Gambar 16. Bentuk tegangan keluaran dengan filter kapasitor

Kemiringan kurva b-c tergantung dari besar arus (I) yang mengalir ke beban R . Jika arus $I = 0$ (tidak ada beban) maka kurva b-c akan membentuk garis horizontal. Namun jika beban arus semakin besar, kemiringan kurva b-c akan semakin tajam. Tegangan yang keluar akan berbentuk gigi gergaji dengan tegangan *ripple* yang besarnya adalah :

$$V_r = V_M - V_L$$

dan tegangan dc ke beban adalah $V_{dc} = V_M + V_r/2$

Rangkaian penyearah yang baik adalah rangkaian yang memiliki tegangan *ripple* (V_r) paling kecil. V_L adalah tegangan *discharge* atau pengosongan kapasitor C , sehingga dapat ditulis :

$$V_L = V_M e^{-T/RC}$$

Jika persamaan diatas disubsitusi, maka diperoleh

$$V_r = V_M (1 - e^{-T/RC})$$

Jika $T \ll RC$, dapat ditulis : $e^{-T/RC} \approx 1 - T/RC$

sehingga jika ini disubsitusi ke rumus diatas dapat diperoleh persamaan yang lebih sederhana :

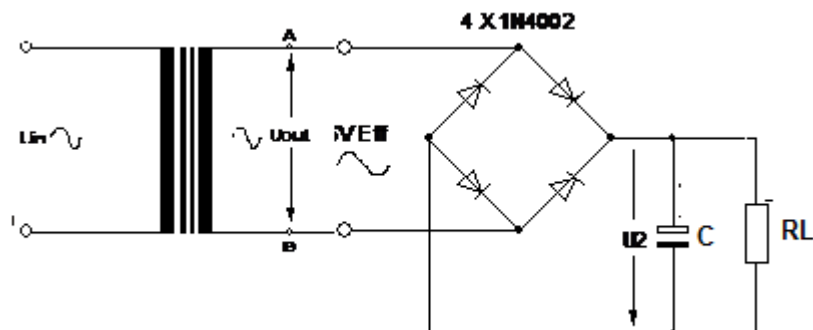
$$V_r = V_M(T/RC)$$

V_M/R tidak lain adalah beban I , sehingga dengan ini terlihat hubungan antara beban arus I dan nilai kapasitor C terhadap tegangan *ripple* V_r . Perhitungan ini efektif untuk mendapatkan nilai tegangan ripple yang diinginkan.

$$V_r = I T/C$$

Rumus ini mengatakan, jika arus beban I semakin besar, maka tegangan *ripple* akan semakin besar. Sebaliknya jika kapasitansi C semakin besar, tegangan *ripple* akan semakin kecil. Untuk penyederhanaan biasanya dianggap $T=T_p$, yaitu periode satu gelombang sinus dari jala-jala listrik yang frekuensinya 50Hz atau 60Hz. Jika frekuensi jala-jala listrik 50Hz, maka $T = T_p = 1/f = 1/50 = 0.02$ det. Ini berlaku untuk penyearah setengah gelombang. Untuk penyearah gelombang penuh, tentu saja frekuensi gelombangnya dua kali lipat, sehingga $T = 1/2 T_p = 0.01$ det.

Penyearah gelombang penuh dengan filter C dapat dibuat dengan menambahkan kapasitor. Bisa juga dengan menggunakan transformator yang tanpa CT, tetapi dengan merangkai 4 dioda seperti pada gambar 17 berikut ini.



Gambar 17. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan filter C

Sebagai contoh, anda mendisain rangkaian penyearah gelombang penuh dari catu jala-jala listrik 220V/50Hz untuk mensuplai beban sebesar 0.5 A. Berapa nilai kapasitor yang diperlukan sehingga rangkaian ini memiliki tegangan *ripple* yang tidak lebih dari 0.75 Vpp. Maka diperoleh:

$$C = I.T/V_r = (0.5) (0.01)/0.75 = 6600 \mu\text{F}$$

Untuk kapasitor yang sebesar ini banyak tersedia tipe elco yang memiliki polaritas dan tegangan kerja maksimum tertentu. Tegangan kerja kapasitor yang digunakan harus lebih besar dari tegangan keluaran catu daya. Anda barangkali sekarang paham mengapa rangkaian audio yang anda buat mendengung, coba periksa kembali rangkaian penyearah catu daya yang anda buat, apakah tegangan *ripple* ini cukup mengganggu. Jika dipasaran tidak tersedia kapasitor yang demikian besar, tentu bisa dengan memparalel dua atau tiga buah kapasitor.

10. Macam-macam rangkaian limiter dan clamper.

Rangkaian Clipper

Pada peralatan computer, digital dan sistim elektronik lainnya, kadang kitaingin membuang tegangan sinyal diatas atau dibawah level tegangan tertentu. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan rangkaian clipper dioda (clipper = pemotong).

Rangkaian ini memiliki kemampuan untuk memotong bagian tertentu dari sinyal masukan tanpa mengganggu bagian sinyal masukan lainnya yang dilewatkan.

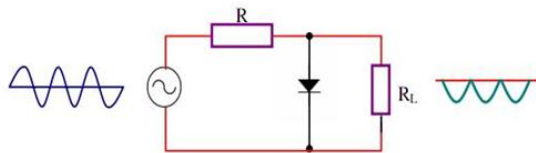
Rangkaian clipper adalah rangkaian yang digunakan untuk membatasi tegangan agar tidak melebihi dari suatu nilai tegangan tertentu. Rangkaian ini dapat dibuat dari dioda dan sumber tegangan DC yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

Rangkaian *clipper* berfungsi untuk membuang polaritas sinyal. Jika sinyal yang ingin dibuang adalah sinyal polaritas positif maka digunakan *clipper* positif. Jika sinyal yang ingin dibuang adalah polaritas sinyal negatif maka digunakan *clipper* negatif.

Jenis-Jenis Clipper dalam penggunaannya

Clipper Positif

Clipper positif disebut juga pembatas positif (positive limiter), karena tegangan output dibatasi maksimum 0 Volt



Gambar 18. Rangkaian Clipper positif

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 18 tegangan output bagian positifnya semua dipotong.

Cara kerja rangkaian adalah sebagai berikut:

1. Selama setengah siklus positif tegangan input dioda konduksi, dengan demikian kita dapat membayangkan dalam kondisi ini dioda seperti saklar tertutup.
2. Tegangan pada hubungan singkat harus sama dengan nol, oleh sebab itu tegangan output sama dengan nol selama tiap-tiap setengah siklus positif sehingga semua tegangan jatuh pada resistor (R).

Selama setengah siklus negatif, dioda terbias reverse dan keliatan

terbuka dan sebagai akibatnya rangkaian membentuk pembagi tegangan dengan output:

$$V_{out} = \frac{R_L}{\Delta i}$$

Clipper dibias positif

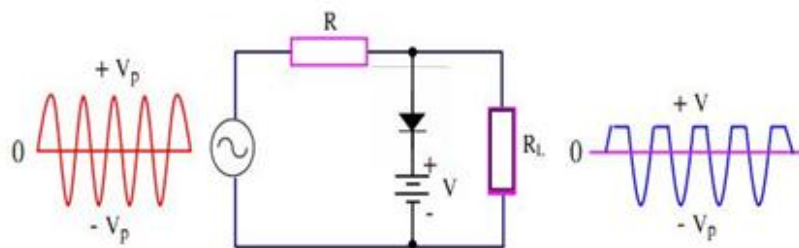
Selama setengah siklus negatif, dioda terbias reverse tidak terlihat seperti terbuka, dan sebagai akibatnya rangkaian membentuk pembagi tegangan dengan output:

$$V_{out} = \frac{R_L}{R + R_L} V_p$$

Biasanya R_L jauh lebih besar dari pada R sehingga $V_{out} \cong -V_p$. Selama setengah siklus positif dioda konduksi dan seluruh tegangan jatuh pada R dan sebaliknya pada setengah siklus negatif dioda off, dan karena R_L jauh lebih besar dari R sehingga hampir seluruh tegangan setengah siklus negatif muncul pada R_L . Seperti yang diperlihatkan pada gambar clipper positif semua sinyal diatas level 0 V telah dipotong.

Clipper di bias

Clipper dibias berarti membuang semua sinyal diatas level +V. Dalam beberapa aplikasi, mungkin level pemotongan tidak = 0 V, maka dengan bantuan clipper di bias kita dapat menggeser level pemotongan positif atau level negatif yang diinginkan.



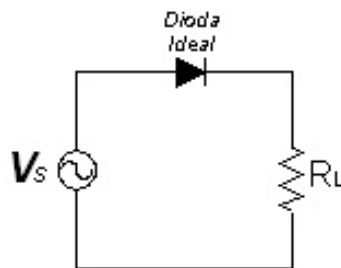
Gambar 19. Rangkaian clipper dibias

Pada gambar 19, menunjukkan clipper dibias. Agar dioda dapat konduksi tegangan, input harus lebih besar dari

pada $+V$. Ketika V_{in} lebih besar daripada $+V$ dioda berlaku seperti saklar tertutup dan tegangan output sama dengan $+V$ dan tegangan output tetap pada $+V$ selama tegangan input melebihi $+V$. Ketika tegangan input kurang dari $+V$ dioda terbuka dan rangkaian kembali pada pembagi tegangan.

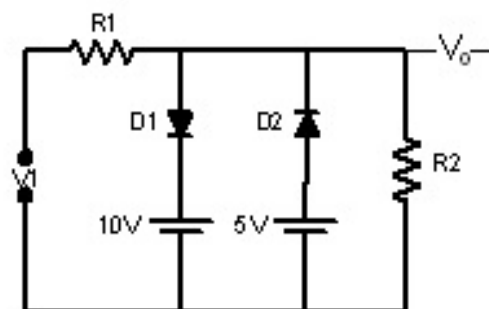
Contoh rangkaian Clipper

Rangkaian penyearah $\frac{1}{2}$ merupakan gelombang yang juga salah satu contoh rangkaian clipper.



Gambar 20. Rangkaian penyearah $\frac{1}{2}$ gelombang

Rangkaian 20 merupakan rangkaian clipper. Pada rangkaian ini, dengan asumsi D1 dan D2 ideal, maka V_o akan dibatasi antara 5 V – 10 V.



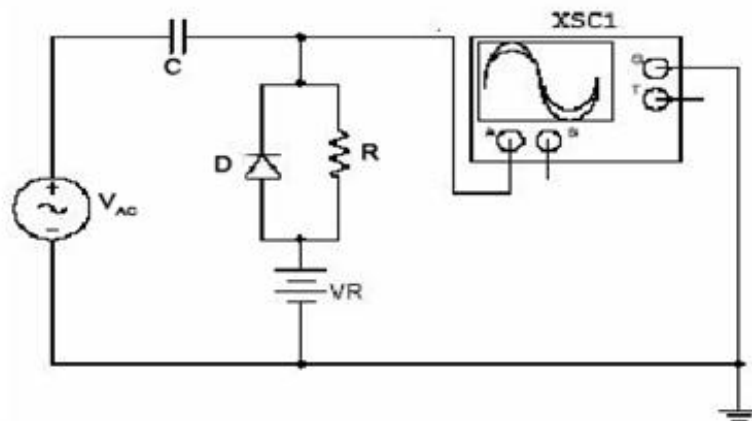
Gambar 21 Rangkaian clipper

Analisis sinyal output rangkaian Clipper pada kasus rangkaian gambar 21 adalah sebagai berikut :

- c. Anggap $R_1 = R_2$.
- d. $V_1 = 30 \sin \omega t$.
- e. D1 dan D2 adalah dioda ideal.
- f. Maka pada $\frac{1}{2}$ siklus positif pertama, saat $V_1 \leq 10V$, D1 off dan D2 on, $V_o = 5$ Volt.
- g. Saat $10V < V_1 \leq 20V$, D1 dan D2 off, $V_o = 0,5V_1$.
- h. $V_1 > 20V$, D1 on dan D2 off, $V_o = 10$ Volt.
- i. Pada $\frac{1}{2}$ siklus negatif, D1 selalu off sedangkan D2 akan selalu on, $V_o = 5$ Volt.

Rangkaian Clamper

Rangkaian Clamper adalah rangkaian yang digunakan untuk memberikan offset tegangan DC, dengan demikian, tegangan yang dihasilkan adalah tegangan input ditambahkan dengan tegangan DC. Rangkaian ini ditunjukkan oleh berikut ini.



Gambar 22. Rangkaian clamper

Rangkaian ini berfungsi untuk mendorong sinyal masukan pada suatu level tegangan DC tertentu.

Cara Kerja

Rangkaian Penggeser(Clamper) 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 atas (Rangkaian Clamper) menunjukkan sebuah rangkaian penggeser negatif. Selama setengah tegangan masukan V_{in} 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_{in} 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_{in} dikurang dengan tegangan buangan dari kapasitor V_C . Sehingga, secara grafik, tegangan keluaran V_o merupakan tegangan masukan V_{in} 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_{in} maksimum.

Manfaat Rangkaian Clamper

Manfaat rangkaian clamper adalah menambahkan nilai DC pada sinyal AC. Rangkaian clamper menggunakan kapasitor dan diode :

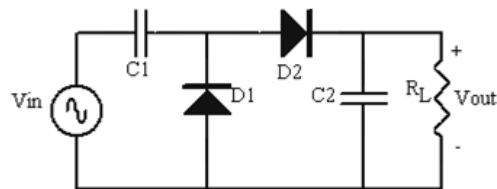
- Dioda sebagai penyearah
- Kapasitor sebagai penyimpan tegangan
- Bila perlu ditambahkan sumber tegangan untuk memberi kebebasan menentukan nilai DC.

11. Rangkaian pelipat tegangan

Rangkaian pelipat tegangan adalah rangkaian yang dapat menghasilkan tegangan DC beberapa kali lebih besar dari tegangan puncak sinyal input. Dengan kata lain, sinyal DC yang dihasilkan dapat sebesar 2x, 3x, 4x dan seterusnya dari besarnya sinyal AC yang masuk rangkaian. Rangkaian pelipat tegangan digunakan pada rangkaian pencatu tabung sinar katoda.

Cara Kerja

Pada uraian ini hanya akan dibahas rangkaian pelipat-dua tegangan atau *voltage doubler*



Gambar 23. Rangkaian clamper

Cara kerja rangkaian gambar diatas adalah sebagai berikut:

- Pada puncak setengah periode negatif, D1 terbias *forward* dan D2 terbias *reverse*. Hal ini menyebabkan kapasitor C1 dimuati hingga tegangan puncak V_{in} dengan polaritas positif di sebelah kanan.
- Pada puncak setengah periode positif, D1 terbias *reverse* dan D2 terbias *forward*. Karena V_{in} dan C1 terpasang seri, maka C2 akan diisi hingga $2V_{in}$. Dengan kata lain, C2 akan diisi oleh tegangan sebesar $V_{in} + V_{C1}$.
- Setelah beberapa siklus, tegangan pada C2 akan sama dengan $2V_{in}$.

c. Rangkuman

1. Susunan fisis dan simbol dioda penyearah.

Sebuah dioda (daya) merupakan komponen sambungan-PN dua terminal yang dibentuk dari penumbuhan pencampuran, difusi (pembauran), dan epiktasial.

2. Prinsip kerja dioda penyearah.

Ketika potensial anode (A) positif terhadap katode (K), diode mendapat bias maju dengan demikian nilai yang positif dari (I_D) yang menyebabkan arus mengalir dari sisi P ke sisi N. Suatu diode berprategangan maju (*forward bias*) apabila tegangan V positif, hal ini menandakan bahwa sisi P dari persambungan adalah positif terhadap sisi N. Simbol (η) menunjukkan koefisien emisi yang tergantung oleh material dan susunan fisik diode.

3. Kurva arus-tegangan dioda penyearah.

Karakteristik V-I menyatakan perubahan besarnya arus (I_D) akibat tegangan bias (V_D)

Suatu diode berprategangan maju (*forward biased*) apabila tegangan (V_D) positif, ini berarti menunjukkan nilai positif arus diode (I_D) mengalir dari sisi persambungan-P menuju sisi persambungan-N.

4. Parameter dioda penyearah.

Resistansi statik (R_D) dari diode didefinisikan sebagai perbandingan (V/I) dari tegangan dan arus disebareng titik karakteristik volt-ampere. Perubahan resistansi (R_D) mengekspresikan kebalikan dari kemiringan kurva dari garis yang menghubungkan setiap titik operasi. Perubahan nilai resistansi statik (R_D) sangat tergantung dari

perubahan tegangan (V) dan arus (I), dan tidak merupakan parameter yang penting didalam disain rangkaian.

5. Model komponen dioda penyearah

Pada daerah bias maju untuk ($V_D > 0$), besarnya arus diode (I_D) sangat kecil jika tegangan diode (V_D) kurang dari nilai spesifik tegangan temperatur (V_T) (umumnya $0.6V \sim 0.7V$). Dan diode akan konduksi penuh bila (V_D) lebih besar daripada tegangan temperatur (V_T) yang direferensikan pada tegangan batas (threshold voltage) atau tegangan *cut in/turn on*. Sehingga yang dinamakan tegangan batas adalah tegangan ketika diode konduksi penuh.

Karakteristik tegangan balik suatu diode semikonduktor yang berada pada daerah dadal (*break down*). Diode-diode yang didesain dengan kemampuan membuang daya yang memadai untuk dijalankan di daerah dadal (*break down region*) aplikasinya dapat digunakan sebagai acuan tegangan (*reference voltage*) yang dapat memberikan tegangan keluaran yang konstan

6. Lembar data (datasheet) dioda penyearah.

Harga batas dari dioda adalah batas kemampuan maksimal dari suatu dioda baik arus maupun tegangannya.

7. Rangkaian penyearah setengah gelombang satu fasa.

- Jika A positif (+), B negatif (-), maka dioda konduksi 1 bekerja , sehingga arus akan mengalir menuju RL dan kembali ke trafo.
- Saat A negatif (-), B positif (+), maka dioda tidak konduksi/tidak bekerja sehingga arus tidak mengalir.
- Kejadian ini berulang/muncul lagi terus-menerus sehingga bentuk gelombangnya dapat digambarkan sebagai berikut :

8. Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa.

- Jika A positif (+), B negatif (-), maka D1 konduksi arus I akan mengalir menuju RL dan D3 menuju titik B.
- Saat B positif (+), A negatif (-), maka D2 konduksi arus I akan mengalir. menuju RL dan D4 menuju titik B.
- Kejadian ini berulang secara kontinyu

9. Catu daya sederhana satu fasa (*unregulated power supply*).

Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil pada kumparan sekundernya.

Pada rangkaian ini, dioda (D1) berperan hanya untuk merubah dari arus AC menjadi DC dan meneruskan tegangan positif ke beban R1. Ini yang disebut dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Untuk mendapatkan penyearah gelombang penuh (*full wave*) diperlukan transformator dengan *center tap* (CT)

Rangkaian penyearah yang baik adalah rangkaian yang memiliki tegangan *ripple* (V_r) paling kecil. V_L adalah tegangan *discharge* atau pengosongan kapasitor C

10. Rangkaian limiter dan clamper.

- Rangkaian Clipper
 - Sebuah resistor dan dioda didorong oleh sebuah sumber tegangan AC memotong sinyal yang diamati di seluruh dioda.
 - Sepasang anti-paralel dioda Si berpotongan simetris pada $\pm 0,7V$
 - Ujung ground dari dioda clipper (s) dapat memutus dan dihubungkan ke tegangan DC untuk memotong pada tingkat berubah-ubah
 - Pemotong dapat digunakan sebagai ukuran pelindung, mencegah sinyal dari melebihi batas pemotongan.

- Rangkaian Clamper
 - Secara kapasitif, sepasang sinyal bergantian sekitar tingkat rata-rata DC nya (0 V).
 - Sinyal yang keluar dari clamper muncul dengan satu puncak dijepit ke tegangan DC. contoh:Puncak negatif dijepit ke 0 VDC, gelombang akan tampak bergeser ke atas. Polaritas dioda menentukan puncak mana yang dijepit.

Puncak negatif yang dijepit ke 0 VDC, gelombang tampaknya bergeser ke atas. Polaritas dioda menentukan puncak yang dijepit.

11. Rangkaian pelipat tegangan

- Sebuah pelipat tegangan menghasilkan beberapa DC (2,3,4, dll) dari tegangan input puncak AC.
- Pelipat tegangan paling dasar adalah Pelipat Setengah Gelombang.
- Pelipat Gelombang Penuh adalah sirkuit unggul sebagai sebuah Pelipat.

d. Tugas Kegiatan Belajar 2 - 1

1. PENGUKURAN KURVA SIFAT DASAR DIODA

Tujuan Instruksional Umum

- ⇒ Peserta dapat memahami sifat arus dan tegangan dioda, serta penggunaannya.

Tujuan Instruksional Khusus

Setelah pelajaran peserta harus dapat :

- ⇒ Melakukan percobaan untuk mendapatkan kurva karakteristik dari dioda.
- ⇒ Menjelaskan perilaku arus dan tegangan dioda pada daerah cut in dari kurva.
- ⇒ Menjelaskan perilaku arus dan tegangan dioda pada daerah bias maju.
- ⇒ Menjelaskan perilaku arus dan tegangan dioda pada daerah bias mundur.

Waktu

6 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| ⇒ DC Power Suply 15 Volt/regulator | 1 buah |
| ⇒ Digital multimeter | 1 buah |
| ⇒ Analog multimeter | 1 buah |
| ⇒ Kabel penghubung | 1 set (secukupnya) |

Bahan:

- | | |
|--|--------|
| ⇒ Gambar kerja | 1 buah |
| ⇒ Dioda silicon 1 N 4002 / 1 N 4007 | 2 buah |
| ⇒ Resistor 330 Ω (1W) | 2 buah |
| ⇒ Resistor variable 50 k Ω (1W) | 2 buah |

Langkah Kerja

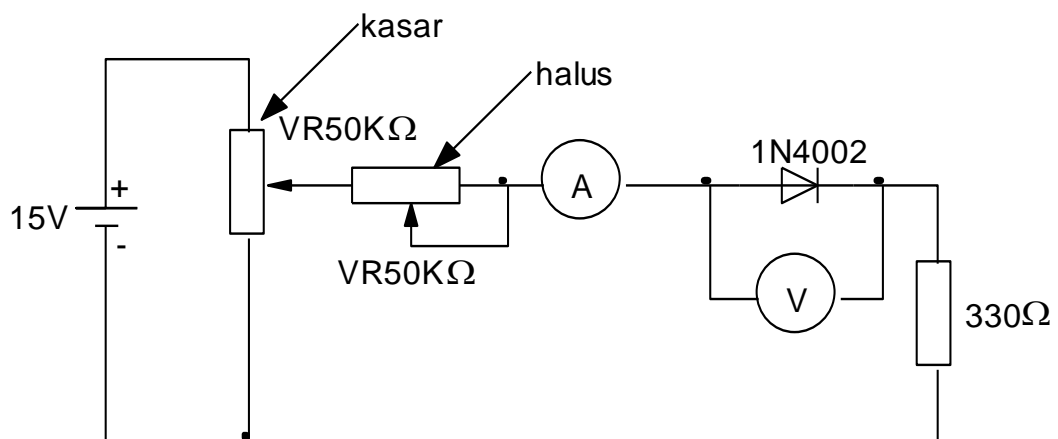
1. Percobaan bias maju
 - Rangkailah seperti gambar kerja 1
 - Atur variable resistor sehingga didapatkan arus dioda dan catat tegangan anoda katoda seperti pada tugas 1. Isi tugas 1, 2, 3, 4, 5, 6.
2. Percobaan bias mundur
 - Rangkailah seperti gambar kerja 2.
 - Atur variable resistor sehingga didapatkan arus dioda dan catat tegangan anoda katoda seperti pada tugas 6. Isi tugas 6, 7, 8, 9.

Cara Kerja / Petunjuk

Hal yang perlu diperhatikan pada pengukuran

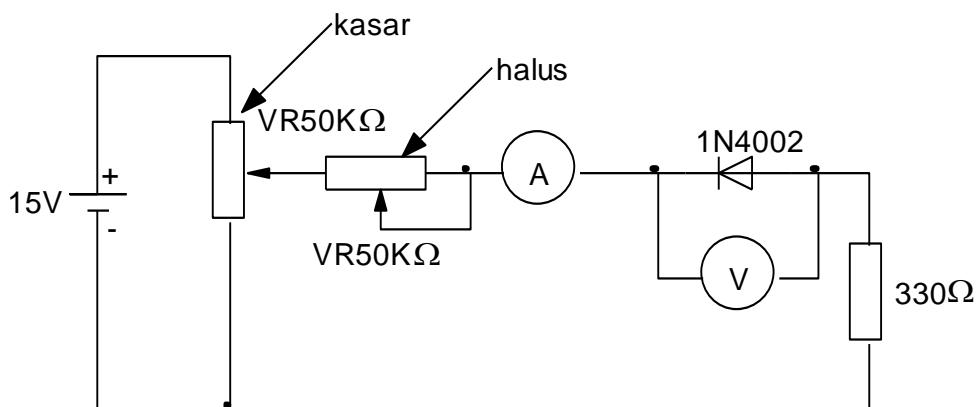
- Gunakan digital voltmeter untuk mengukur tegangan anoda, katoda atau voltmeter dengan resistansi input besar.
- Gunakan ampermeter dengan resistansi kecil untuk pengukuran arus dioda.
- Untuk pengukuran arus mundur perbesar batas ukur voltmeter dan perkecil batas ukur ampermeter.
- Tentukan elektroda dari dioda.

Gambar kerja



Gambar 1

Pengukuran arus dan tegangan pada bias maju



Gambar 2

Pengukuran arus dan tegangan pada bias mundur

Tugas

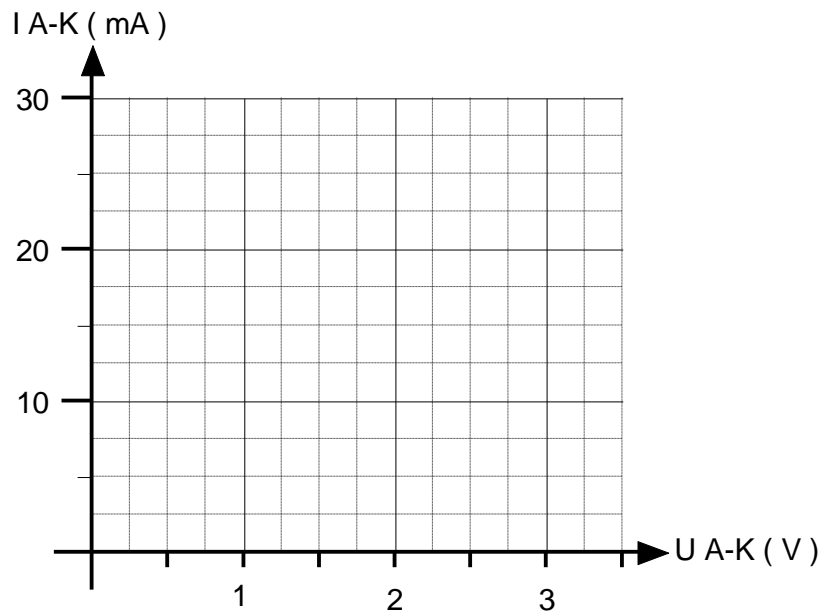
1. Catat tegangan anoda-katoda pada tabel 1

Arus Anoda-Katoda	Tegangan Anoda-Katoda
15 μ A	V
30 μ A	V
50 μ A	V
100 μ A	V
200 μ A	V
400 μ A	V
800 μ A	V
1400 μ A	V
2 mA	V
4 mA	V
8 mA	V
14 mA	V
20 mA	V
30 mA	V

Tabel 1

Tabel pengukuran arus dan tegangan dioda pada bias arah maju

2. Gambarkan kurva arus-tegangan dari hasil pengukuran sesuai tabel 1, pada sumbu arus dan tegangan dibawah.



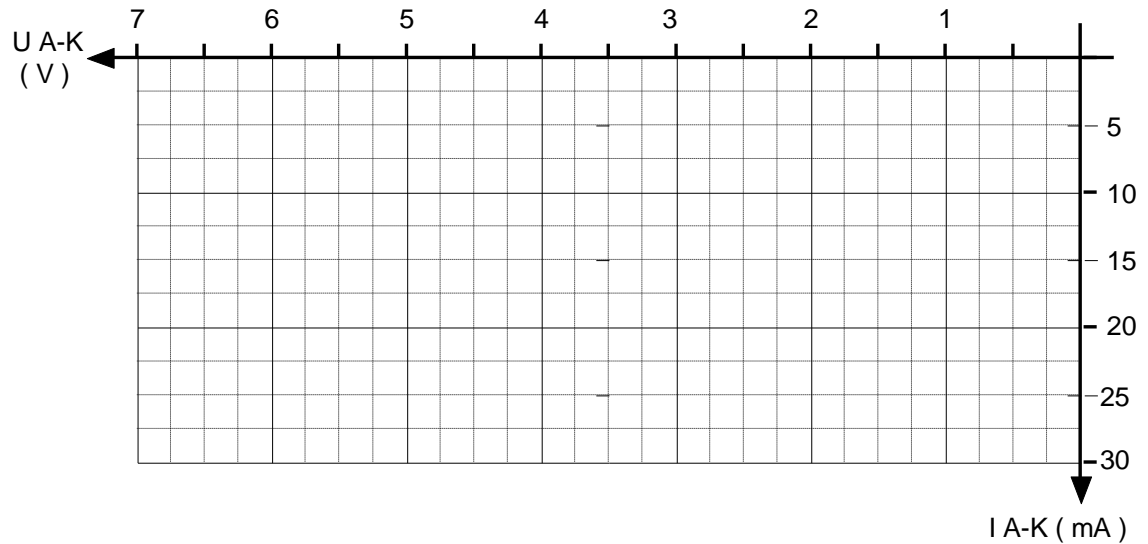
Gambar 3
Kurva arus-tegangan pada arah maju

3. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Pada tegangan anoda-katoda, berapakah arus dioda naik linear ? Pada.....V.
4. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Titik dimana kenaikan arus mulai linear dan besar dengan pertambahan tegangan A-K yang kecil,disebut titik
5. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Pada tegangan bias arah maju, dioda dapat dianalogikan sebagai sakelar dengan kondisi
6. Catat tegangan anoda-katoda pada tabel 2

Arus Anoda-Katoda	Tegangan Anoda-Katoda
0,5 μA	V
1 μA	V
1,5 μA	V
2 μA	V
3 μA	V
5 μA	V
7 μA	V

Tabel 2
Tabel pengukuran arus dan tegangan dioda pada bias arah mundur

7. Gambar kan kurva arus-tegangan dari hasil pengukuran sesuai tabel 2, pada sumbu arus dan tegangan dibawah.



Gambar 4
Kurva arus-tegangan pada arah mundur

8. Bandingkan besar arus pada arah maju dan mundur pada tegangan yang sama. Pada arah mundur dioda dapat dianalogikan sebagai sakelar dengan kondisi
9. Dari gambar kurva arus-tegangan seperti gambar 3 dan gambar 4, dioda dapat digunakan sebagai

Jawaban

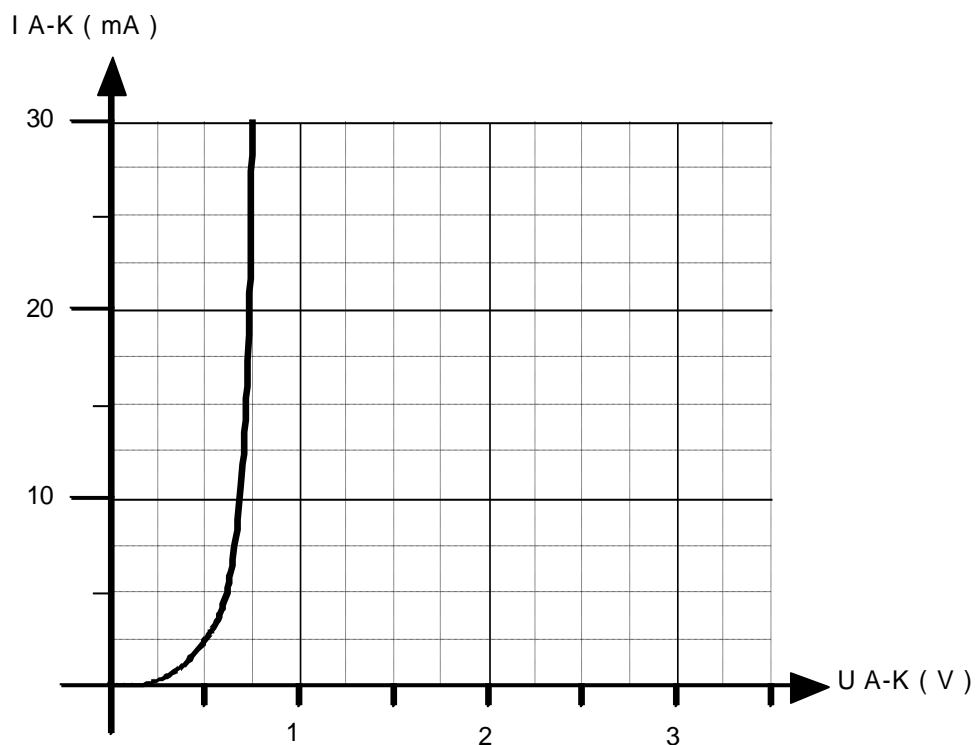
1. Tegangan anoda-katoda pada tabel 1

Arus Anoda-Katoda	Tegangan Anoda-Katoda
15 μ A	0,4 V
30 μ A	0,4 V
50 μ A	0,42 V
100 μ A	0,43 V
200 μ A	0,44 V
400 μ A	0,46 V
800 μ A	0,5 V
1400 μ A	0,56 V
2 mA	0,6 V
4 mA	0,63 V
8 mA	0,68 V

14 mA	0,7 V
20 mA	0,7 V
30 mA	0,7 V

Tabel 1
Tabel pengukuran arus dan tegangan dioda pada bias arah maju

2. Gambar kan kurva arus-tegangan dari hasil pengukuran sesuai tabel 1, pada sumbu arus dan tegangan dibawah.



Gambar 3
Kurva arus-tegangan pada arah maju

3. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Pada tegangan anoda-katoda berapakah arus dioda naik linear ? Pada $\approx 0,6V$.
4. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Titik dimana kenaikan arus mulai linear dan besar dengan pertambahan tegangan A-K yang kecil, disebut **cut-in**
5. Perhatikan gambar kurva arus-tegangan dioda dari tugas no 2. Pada tegangan bias arah maju, dioda dapat dianalogikan sebagai sakelar dengan kondisi **tertutup**

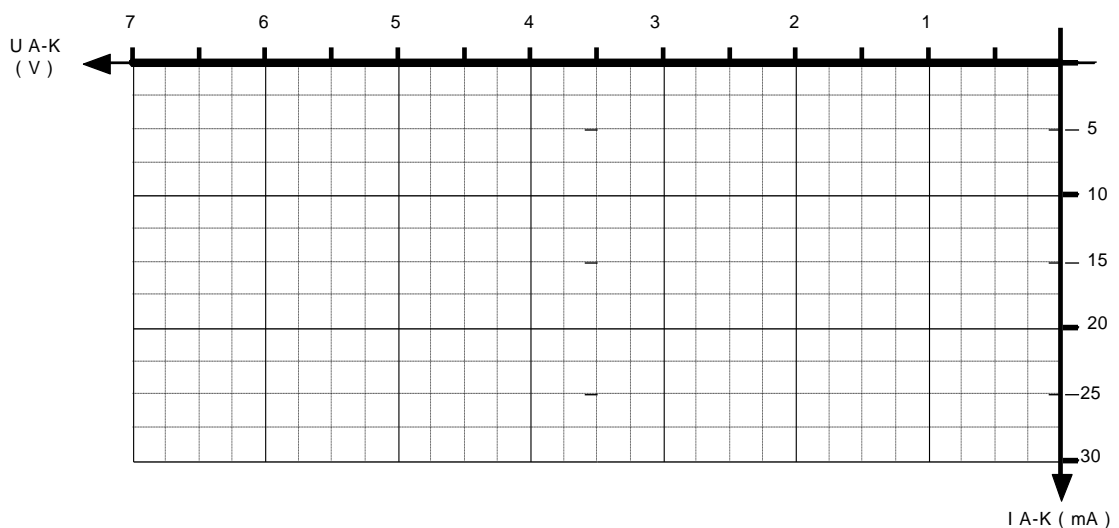
6. Catat tegangan anoda-katoda pada tabel 2

Arus Anoda-Katoda	Tegangan Anoda-Katoda
0,5 μA	0,2 V
1 μA	1 V
1,5 μA	1,4 V
2 μA	2 V
3 μA	4 V
5 μA	6 V
7 μA	8 V

Tabel 2

Tabel pengukuran arus dan tegangan dioda pada bias arah mundur

7. Gambarkan kurva arus-tegangan dari hasil pengukuran sesuai tabel 2, pada sumbu arus dan tegangan dibawah.



Gambar 4

Kurva arus-tegangan pada arah mundur

8. Bandingkan besar arus pada arah maju dan mundur pada tegangan yang sama. Pada arah mundur dioda dapat dianalogikan sebagai sakelar dengan kondisi **terbuka**
9. Dari gambar kurva arus-tegangan seperti gambar 3 dan gambar 4, dioda dapat digunakan sebagai **penyearah arus bolak-balik, pengaman terhadap polaritas balik, dll**

e. Tugas Kegiatan Belajar 2 – 2**2. PENYERAHAN SETENGAH GELOMBANG DAN GELOMBANG PENUH**

Tujuan Instruksional Umum

- ⇒ Peserta mengenal rangkaian penyearah / rectifier

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- ⇒ Membangun rangkaian penyearah setengah gelombang
- ⇒ Membangun rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 (dua) buah dioda.
- ⇒ Membangun rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 4 (empat) buah dioda./sistim bridge
- ⇒ Mengukur tegangan searah (DC) dengan CRO pada masing-masing penyearah
- ⇒ Menggambarkan gelombang keluaran pada masing-masing penyearah.
- ⇒ Mengukur tegangan ripple dengan CRO pada masing-masing penyearah
- ⇒ Menghitung tegangan balik dioda pada rangkaian penyearah.

Waktu

12 X 45 menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ CRO 1 buah
- ⇒ Bread Board 1 buah
- ⇒ Kabel penghubung secukupnya

Bahan:

- ⇒ Transformator 220 V/2 x 9 V 500 mA 1 buah
- ⇒ Resistor R1 = 220 ohm/5 W 1 buah
- ⇒ Resistor R2 = 47 ohm/5 W 1 buah
- ⇒ Dioda 1N4002 1 buah
- ⇒ Kapasitor 470 μ F/25 V 1 buah

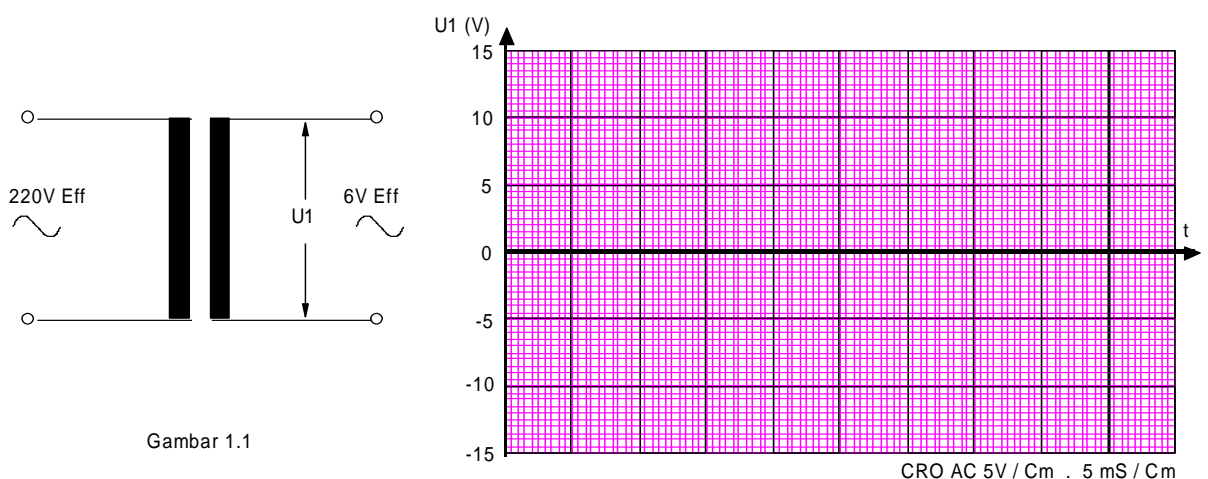
Keselamatan Kerja

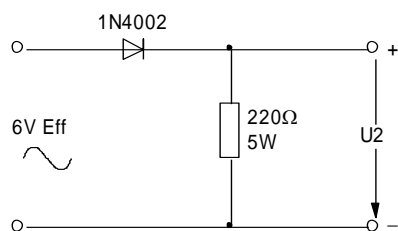
- ⇒ Bekerjalah dengan teliti
- ⇒ Hati-hati dengan tegangan 220 V
- ⇒ Pemasangan kapasitor tidak boleh terbalik polaritasnya
- ⇒ Laporkan kepada instruktur sebelum rangkaian di hubungkan dengan sumber tegangan.
- ⇒ Setiap perubahan rangkaian, sumber tegangan harus di matikan.

Langkah Kerja

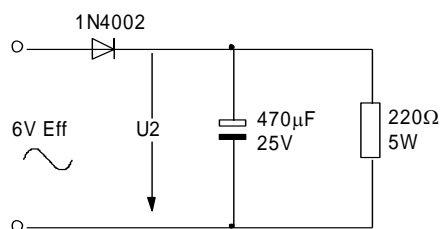
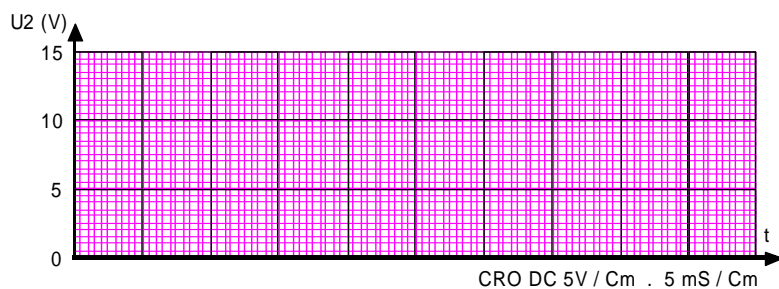
1. Hubungkan lilitan primer transformator dengan sumber 220 VAC.
2. Amati bentuk gelombang U1 dengan CRO.
3. Gambar bentuk gelombang di kertas yang telah tersedia.
4. Buatlah rangkaian seperti gambar 1.2.
5. Amati bentuk gelombang U2 dengan CRO.
6. Gambar bentuk gelombang di kertas yang telah tersedia.
7. Ulangi langkah 4 s/d 6 unuk gambar 1.3 dan 1.4.
8. Buatlah kesimpulan atas pengamatan tersebut.
9. Ulangi langkah 1 s/d 8 untuk seksi B dan seksi C.

Seksi : A Penyearah Tunggal

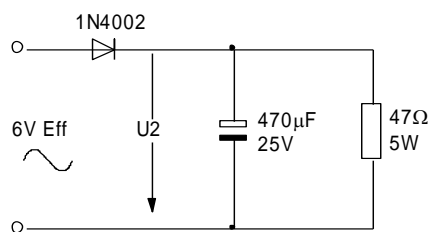
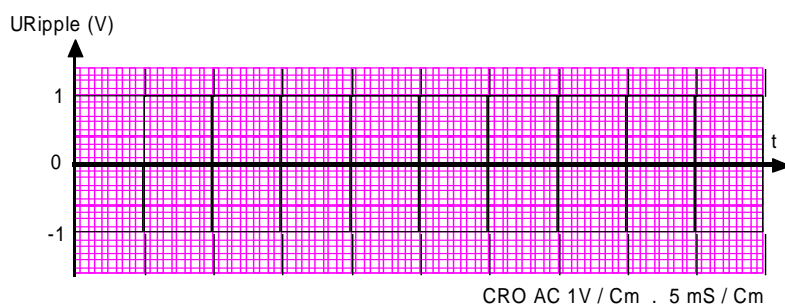
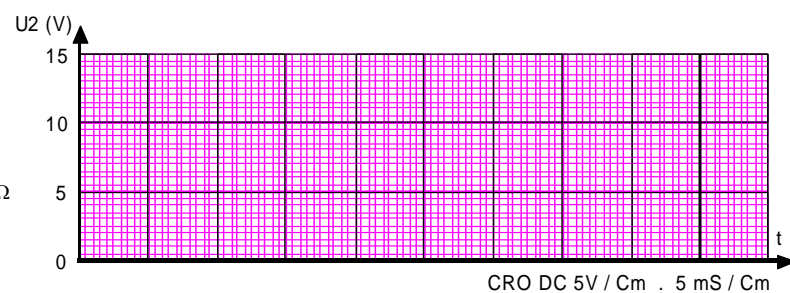




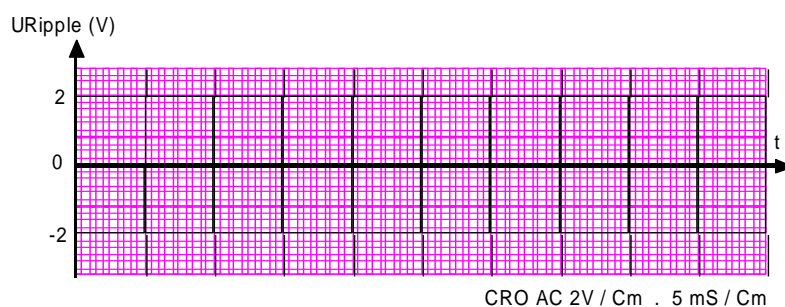
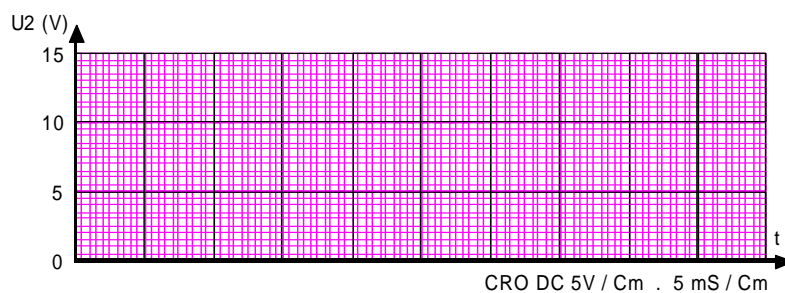
Gambar 1.2



Gambar 1.3



Gambar 1.4



PERTANYAAN I

a). Perhatikan hasil pengamatan gb. 1.1. dan 1.2.

Jelaskan bagaimana terjadinya perubahan bentuk gelombang U1 menjadi U2.

Jawab :

b). Apakah pengaruh pemasangan Kapasitor (CL) terhadap bentuk gelombang U2 dan jelaskan hal tersebut terjadi ?

Jawab :

c). Pada gambar 1.3, lakukan pengukuran berikut :

a. Besarnya tegangan searah (U2) = volt.

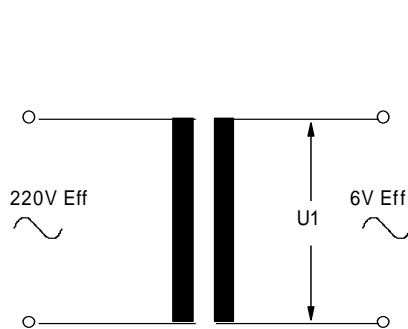
b. Besarnya tegangan ripple (Ur) = volt.

d). Perhatikan gb. 1.4

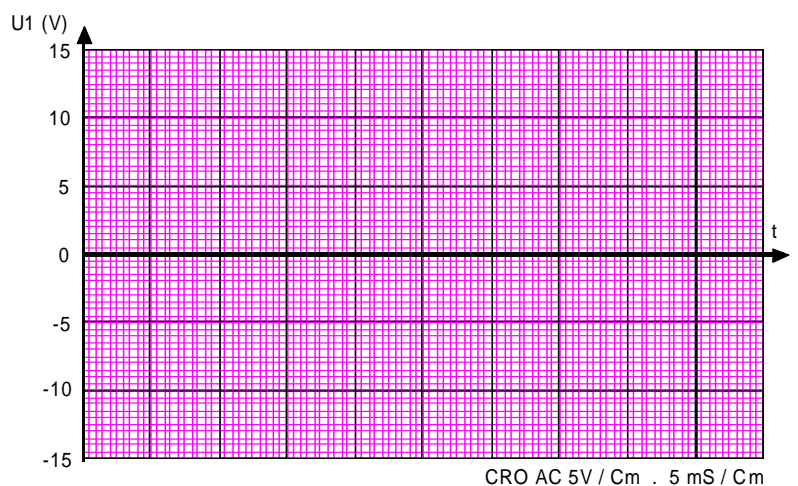
Tentukan tegangan balik dioda agar dioda tersebut bekerja dengan aman.

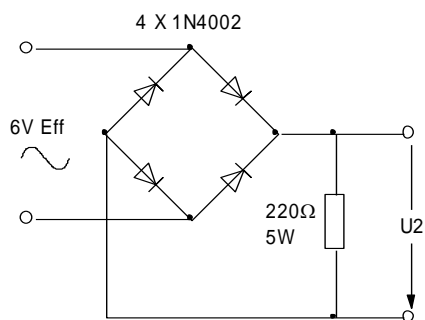
Perhitungan :

Seksi : B Penyearah Jembatan

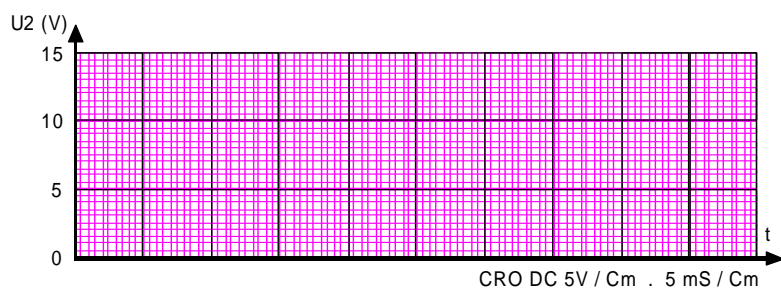


Gambar 2.1

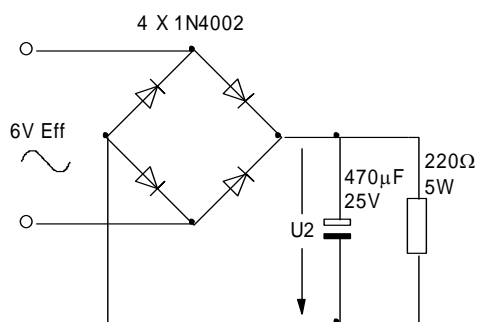




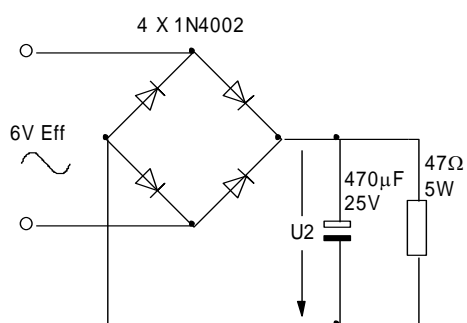
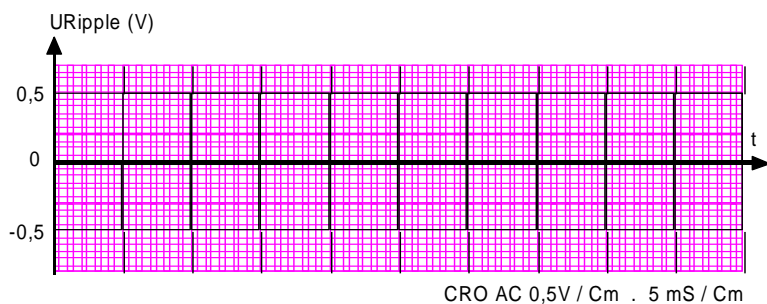
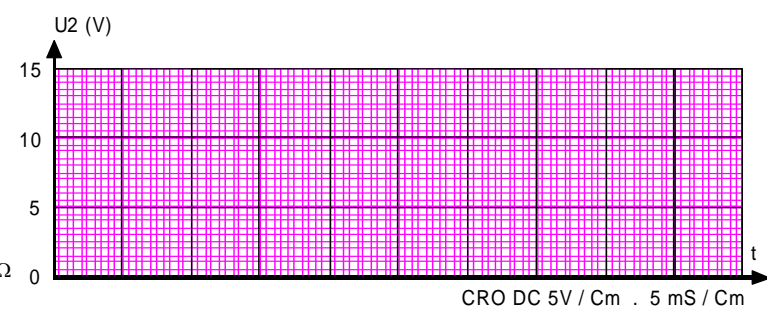
Gambar 2.2



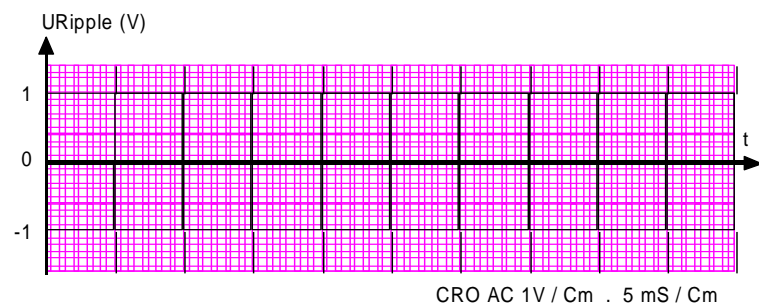
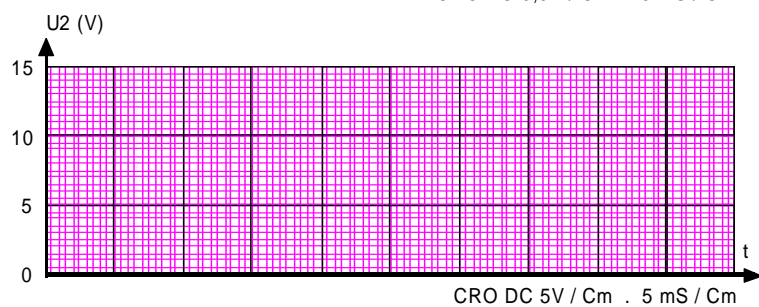
Gambar



Gambar 2.3



Gambar 2.4



PERTANYAAN II

- a). Apa perbedaan bentuk gelombang oleh penyearah 1/2 gelombang dengan gelombang penuh (sebelum dipasang kapasitor CL).

Jawab :

- b). Pada gambar 2.3, lakukan pengukuran berikut :

a. Besarnya tegangan searah (U_2) = volt.

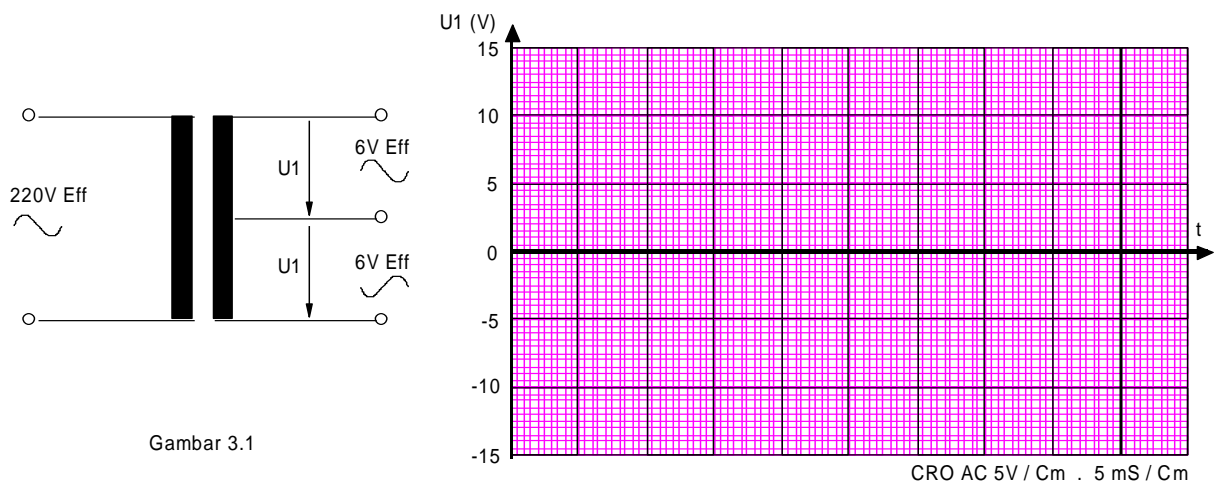
b. Besarnya tegangan ripple (U_r) = volt.

Jawab :

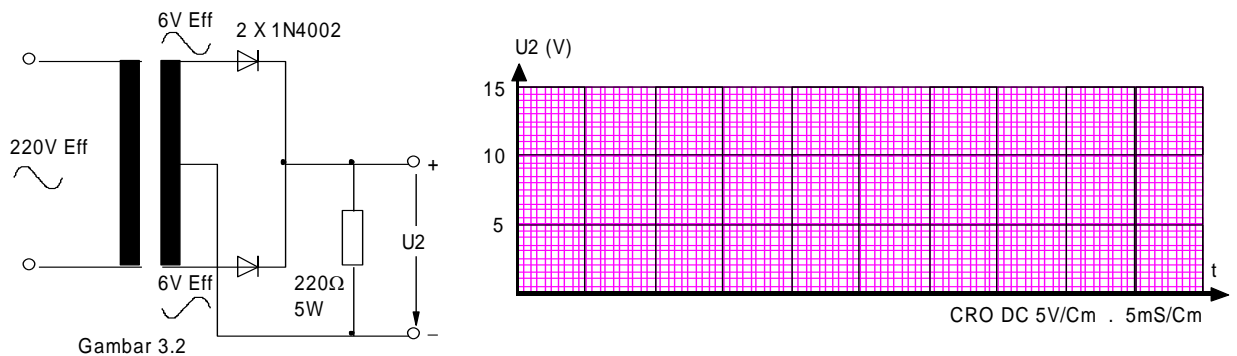
- c). Bandingkan penyearah tunggal (seksi A) dengan penyearah penuh (seksi B) dan buat kesimpulan (bentuk gelombang, tegangan searah & tegangan ripple).

Jawab :

Seksi : C Penyearah Ganda

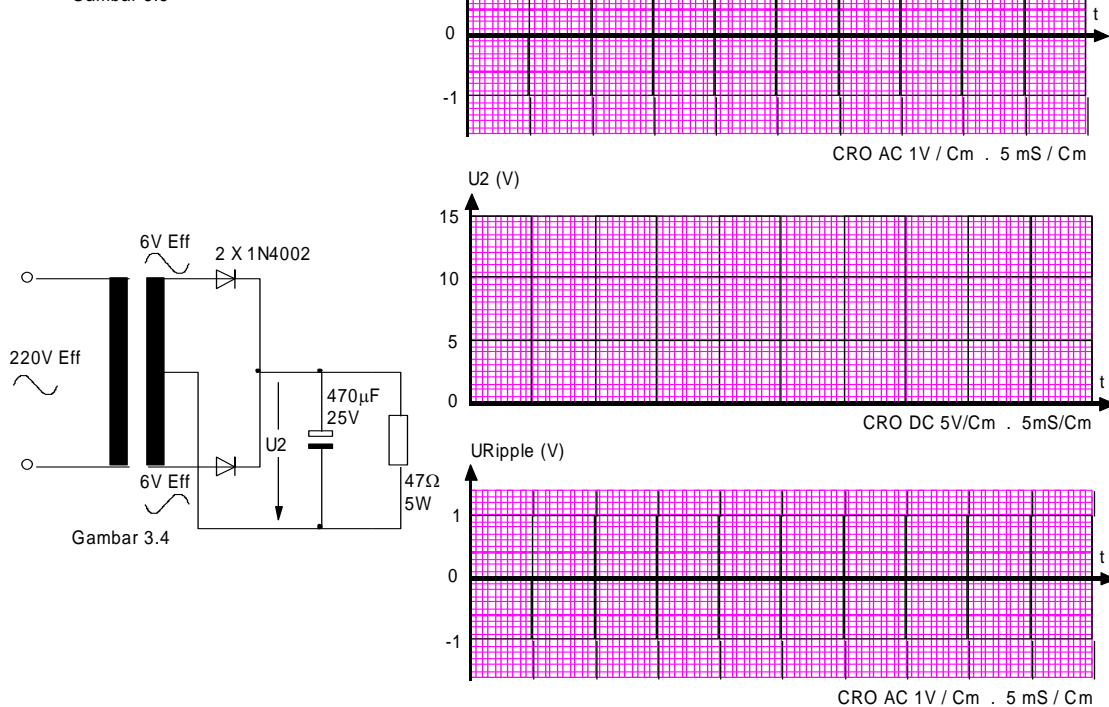
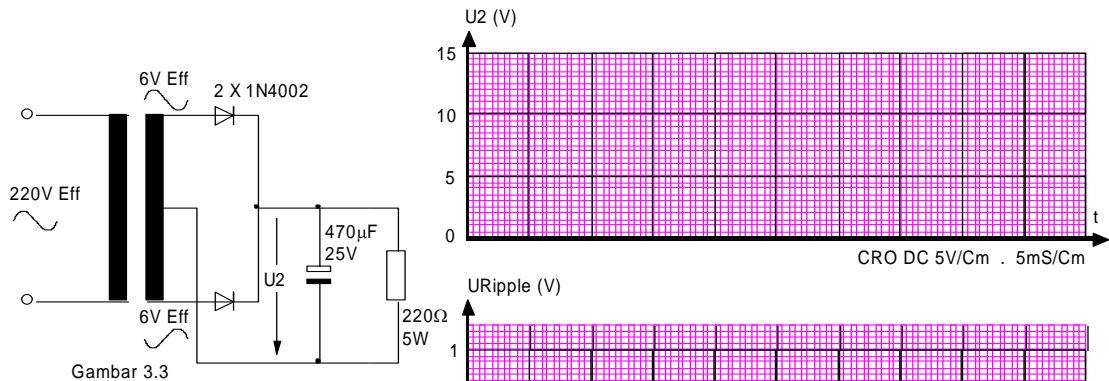


Gambar 3.1



Gambar 3.2

Gambar



PERTANYAAN III

- a). Untuk penyearah gelombang penuh ada dua macam, dengan 4 dioda dan 2 dioda. Kapan masing-masing digunakan ?

Jawab :

- b). Pada gambar 3.3, lakukan pengukuran berikut :

- a. Besarnya tegangan searah (U_2) = volt.
b. Besarnya tegangan ripple (U_r) = volt.

Jawab :

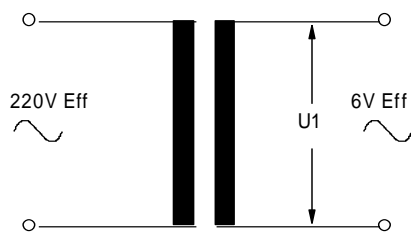
- c). Jika kapasitor pada penyearah seksi A, B dan C diperbesar nilai kapasitansinya maka :

Jawab :

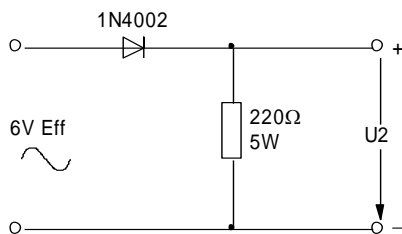
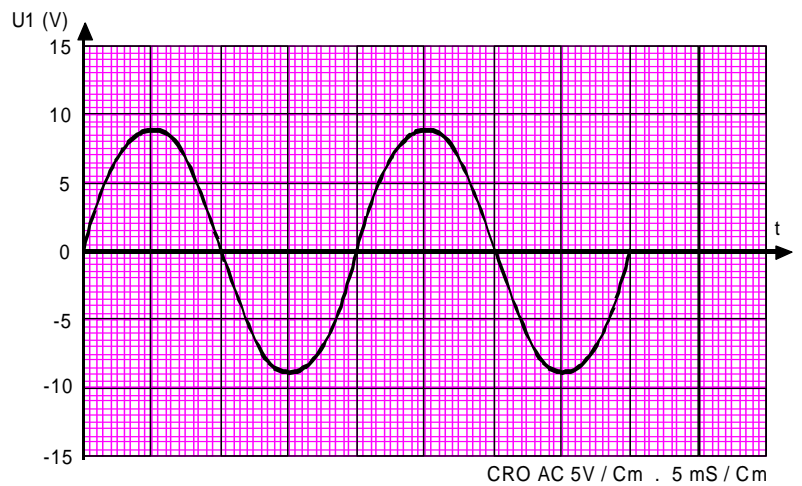
- d). Untuk memperbesar nilai kapasitansi (nomer 3) harus memperhatikan beberapa hal.
Jelaskan !

Kunci Jawaban 2.

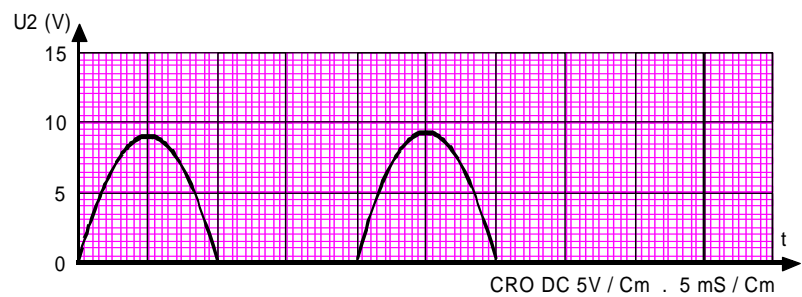
Seksi A : Penyearah Tunggal

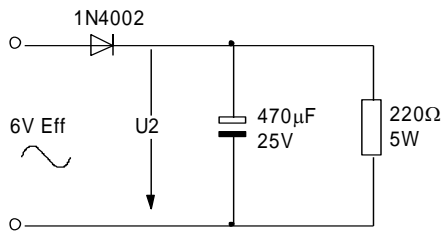


Gambar 1.1

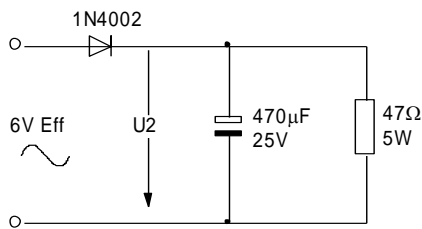
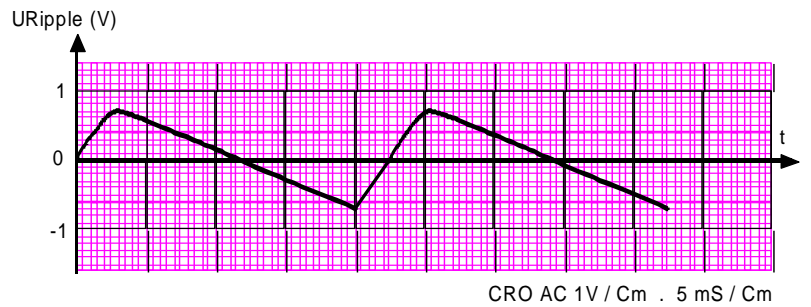
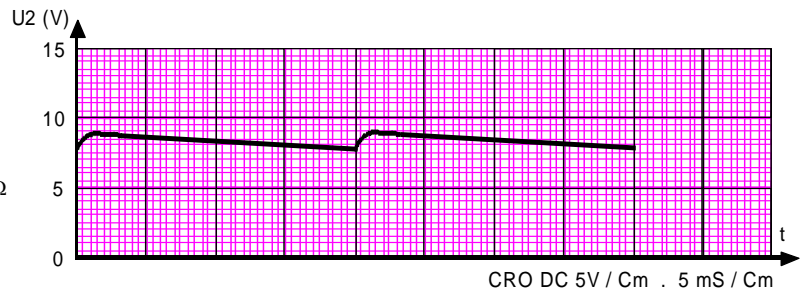


Gambar 1.2

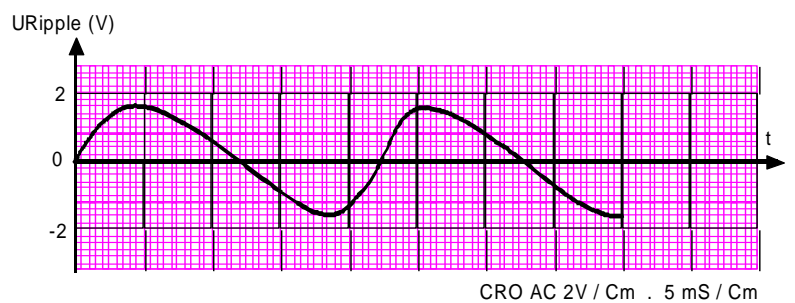
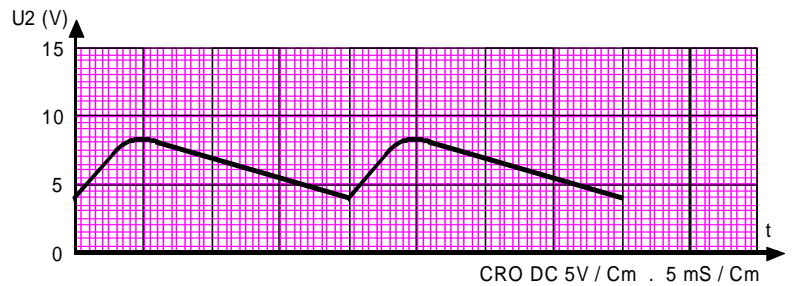




Gambar 1.3



Gambar 1.4

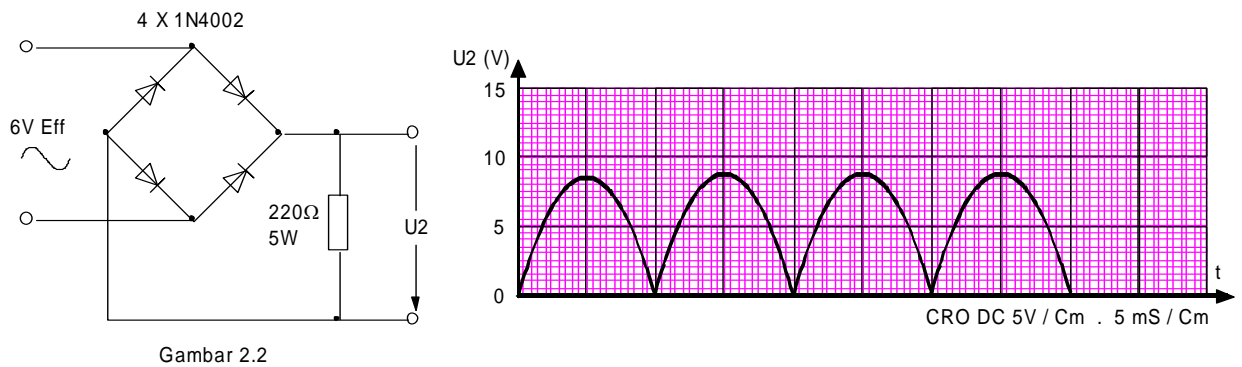
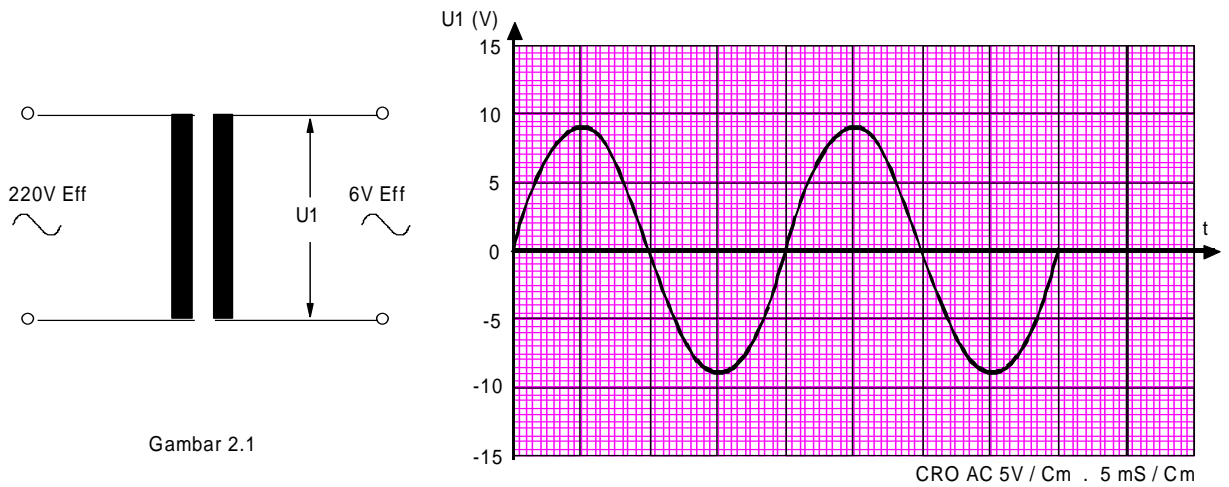


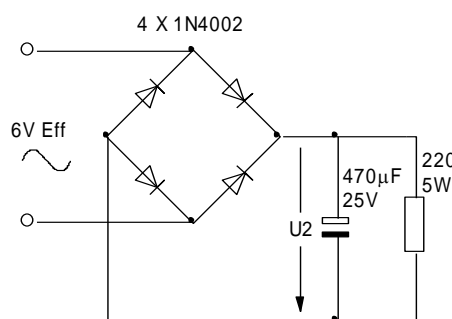
JAWABAN I :

- Perubahan bentuk gelombang diakibatkan adanya dioda yang berfungsi memotong/menyearahkan sewaktu gelombang positif dilewatkan dan saat negatif tidak dilewatkan.
- Pengaruh pemasangan kapasitor (c) terhadap bentuk gelombang agar supaya bentuk gelombang kemas menjadi **lebih rata**

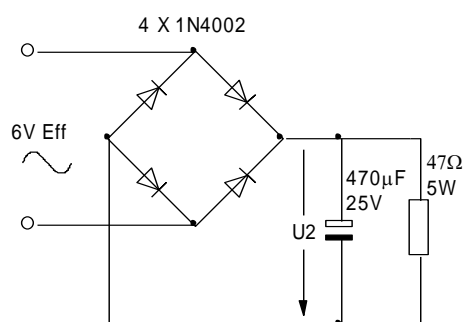
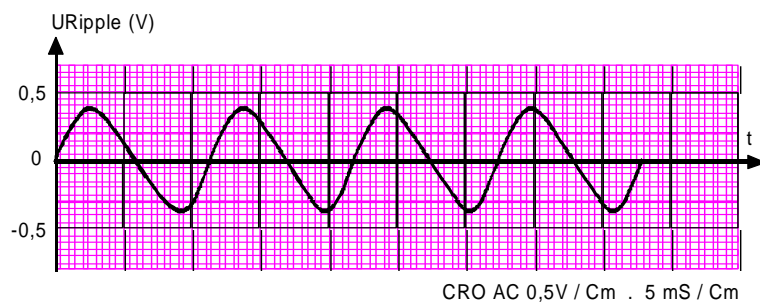
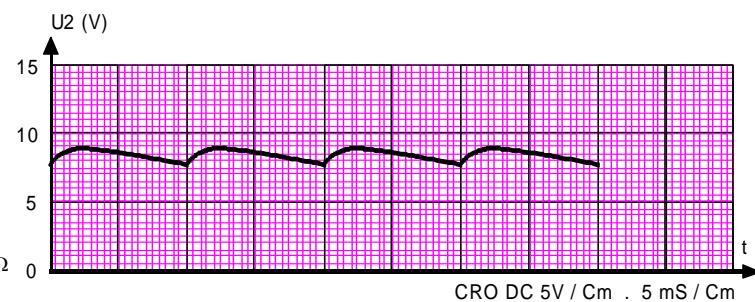
- c) Tegangan keluaran pada gambar 1.3. adalah
- Besarnya tegangan searah (UDC) = 8 volt.
 - Besarnya tegangan ripple (UDF) = 0,8 volt.
- d) Tegangan balik dioda kira-kira
- $$U_r = 2 \times V_p = 2 \cdot 6 \cdot 1,4 = 16,8 \text{ V.}$$

Seksi B : Penyearah Jembatan

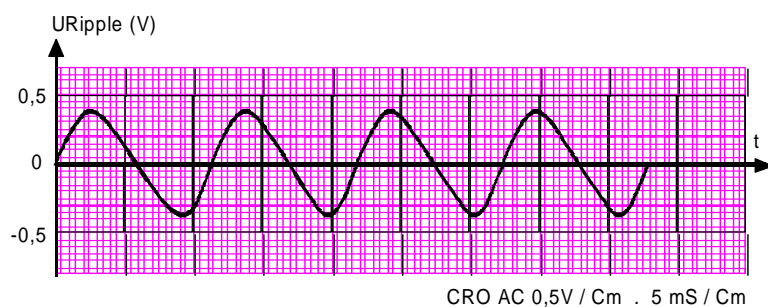
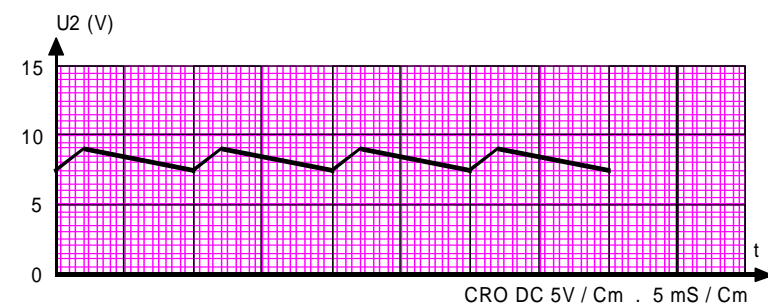




Gambar 2.3



Gambar 2.4



JAWABAN II :

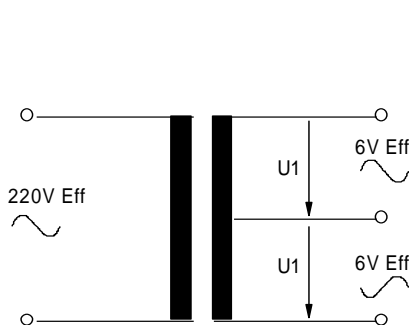
- a) Perbedaan penyearah 1/2 gelombang dengan gelombang penuh adalah :
- Penyearah 1/2 gelombang, hanya satu bagian positif yang dilewatkan melalui beban.
 - Dan penyearah gelombang penuh dua buah tegangan positif dilewatkan melalui beban.

b) Pada gambar 2.3. tegangan terukur :

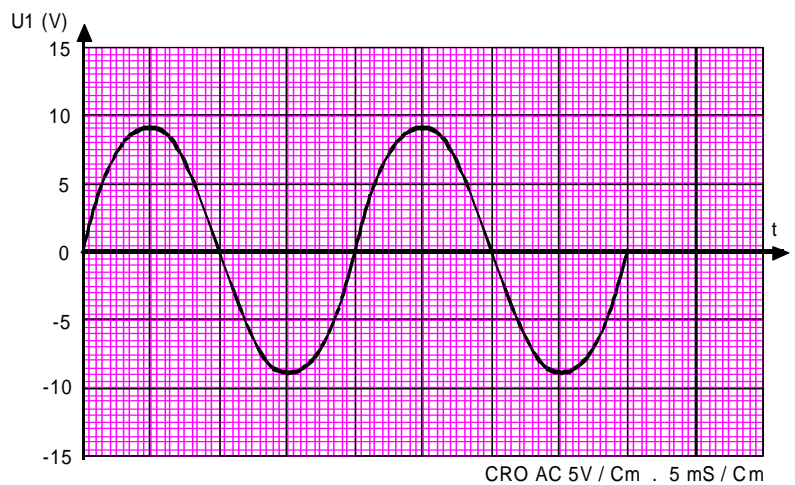
- a. Besarnya tegangan searah = 8 volt DC.
- b. Besarnya tegangan ripple = 0,8 volt AC.
- c) Kesimpulan dari hasil percobaan

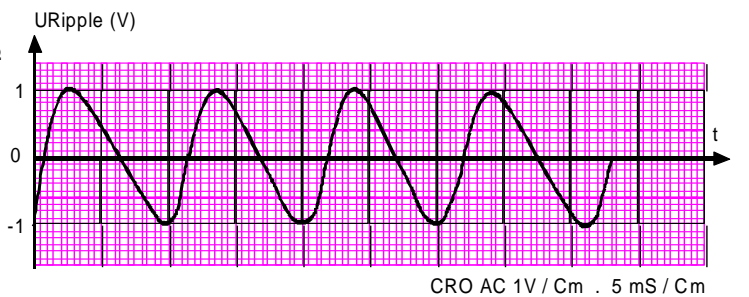
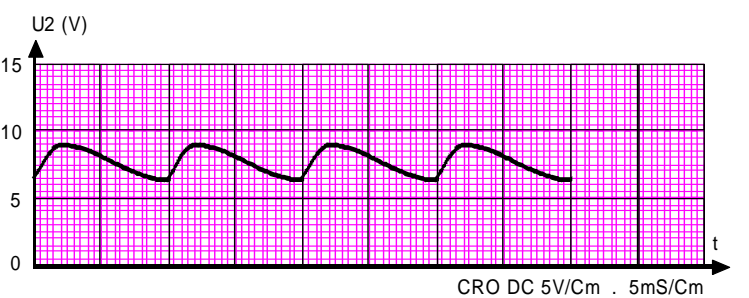
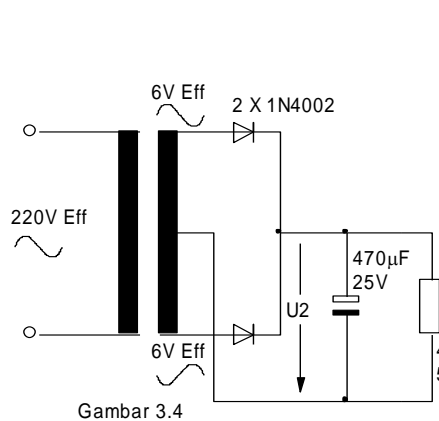
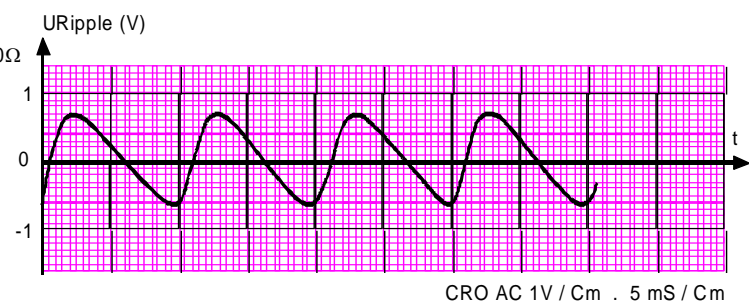
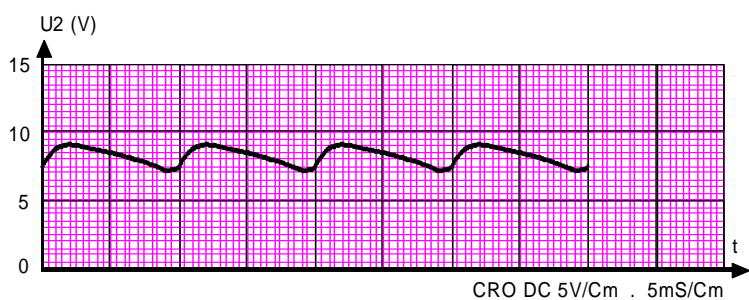
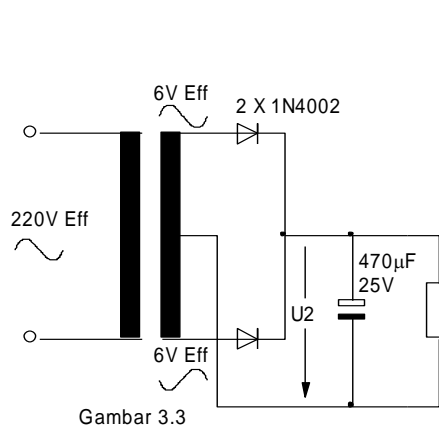
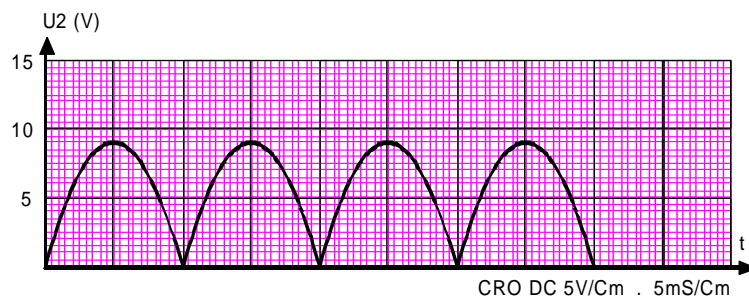
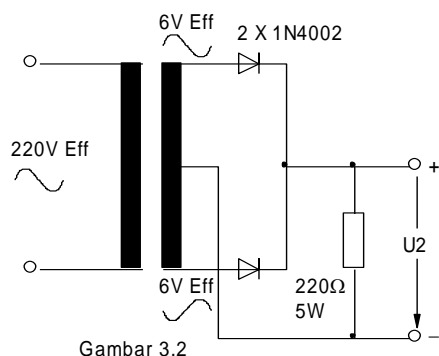
Penyearah penuh lebih baik dibandingkan dengan penyearah 1/2 gelombang karena ripple faktor lebih kecil sedangkan tegangan DC hampir sama.

Seksi C : Penyearah Ganda



Gambar 3.1





JAWABAN III :

Untuk penyearah penuh dengan 4 dioda menggunakan transforator biasa, sedangkan dengan 2 dioda menggunakan transformator CT.

Pada gambar 3.3. tegangan terukur :

- a. Tegangan searah (U_{DC}) = 8,5 volt DC
- b. Tegangan ripple (U_{rf}) = 0,6 volt AC

Jika kapasitor pada penyearah seksi A, B dan C diperbesar nilai kapasitansinya, maka faktor ripple menjadi lebih kecil atau memperkecil kecuraman kurva .

Untuk memperbesar nilai kapasitor , harus memperhatikan tegangan keluaran dari dioda, batas tegangan kerja pada kapasitor harus lebih besar tegangan dioda, tidak boleh melebihi nilai I_{max} dari dioda.

f. Tugas Kegiatan Belajar 2 - 3**3. PENGGUNAAN DIODA SEBAGAI PENGGANDA TEGANGAN**

Tujuan Instruksional Umum

- ⇒ Peserta dapat mengetahui penggunaan dioda sebagai pengganda tegangan.

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- ⇒ Membangun rangkaian pengganda tegangan setengah gelombang.
- ⇒ Menggambarkan bentuk gelombang output dari rangkaian pengganda tegangan setengah gelombang.
- ⇒ Menerangkan prinsip kerja pengganda tegangan setengah gelombang.
- ⇒ Membangun rangkaian pengganda tegangan gelombang penuh.
- ⇒ Menggambarkan bentuk gelombang output dari rangkaian pengganda tegangan gelombang penuh.
- ⇒ Menerangkan prinsip kerja pengganda tegangan gelombang penuh.
- ⇒ Mengukur tegangan kerja rangkaian pengganda tegangan.

Waktu

3 X 45 menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ Papan percobaan 1 buah
- ⇒ Multimeter 1 buah
- ⇒ Osiloskop 1 buah

Bahan:

- ⇒ Dioda 1N 4002 2 buah
- ⇒ Condensator 100 μ F/35 V 2 buah
- ⇒ Kabel Penghubung secukupnya
- ⇒ Resistor 1 K Ω 1 buah
- ⇒ Trafo step down 220 V/18 V 1 buah

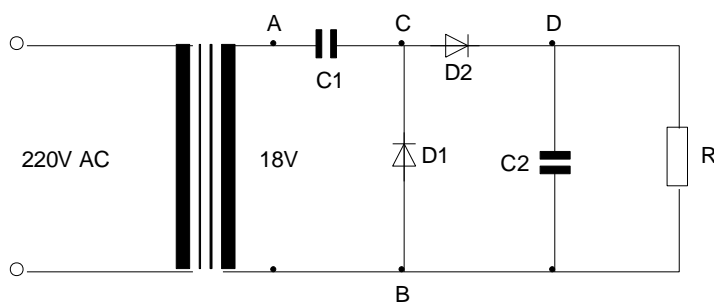
Keselamatan Kerja

- ⇒ Telitilah batas ukur dan polaritas dari multimeter sebelum anda gunakan untuk mengukur tegangan.
- ⇒ Berhati-hatilah dan jangan sampai jatuh saat anda menggunakan multimeter.
- ⇒ Berhati-hatilah saat anda menghubungkan rangkaian dengan tegangan dari jala-jala PLN.

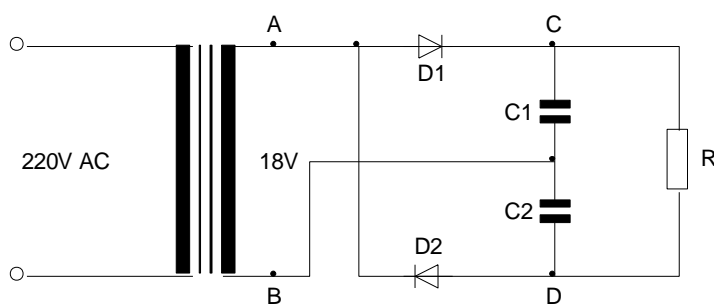
Langkah Kerja

1. Bangunlah rangkaian pengganda tegangan setengah gelombang seperti pada gambar 1.
2. Pastikan bahwa rangkaian sudah benar kemudian hubungkan dengan tegangan jala-jala dari PLN.
3. Ukur tegangan pada titik AB, titik AC, dan titik BD dengan multimeter dan catat hasilnya dalam tabel I.
4. Hubungkan osiloskop pada titik BD, gambarkan bentuk gelombangnya. Masukkan pada tabel I.
5. Bangunlah rangkaian pengganda tegangan gelombang penuh seperti gambar 2.
6. Pastikan bahwa rangkaian sudah benar kemudian hubungkan dengan tegangan jala-jala dari PLN.
7. Ukur tegangan pada titik AB, titik BC, dan titik CD dengan multimeter dan catat hasilnya dalam tabel II.
8. Hubungkan osiloskop pada titik CD, gambarkan bentuk gelombangnya, masukkan pada tabel II.
9. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan ini.

Gambar kerja :



Gambar 1



Gambar 2

Tabel I

Titik AB	Titik AC	Titik DC	Bentuk Gelombang Output
..... Vac Vdc Vdc	= V

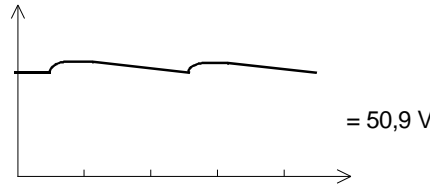
Tabel II

Titik AB	Titik BC	Titik DC	Bentuk Gelombang Output
..... Vac Vdc Vdc	= V

Kunci Jawaban

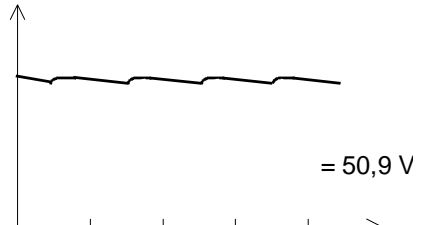
Untuk langkah 1 sampai dengan langkah 4 hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :

Tabel I

Titik AB	Titik AC	Titik DC	Bentuk Gelombang Output
18 Vac	25,46 Vdc	50,9 Vdc	

Untuk langkah 5 sampai dengan langkah 8 hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :

Tabel II

Titik AB	Titik BC	Titik DC	Bentuk Gelombang Output
18 Vac	25,46 Vdc	50,9 Vdc	

Kesimpulan dari hasil percobaan :

- Tegangan outputnya merupakan dua kali tegangan maksimum.
Dimana : $U_{maks} = 1,4142 \times 18 \text{ V} = 25,46 \text{ Vdc}$
Sehingga tegangan output = $2 \times 25,46 = 50,9 \text{ Vdc}$
- Jarak tegangan ripple (untuk tabel I) mempunyai jarak lebih dua kali dari jarak tegangan ripple pada tabel II

3. Kegiatan Belajar 3

DIODA ZENER**a. Tujuan Pembelajaran**

Peserta diklat / siswa dapat menjelaskan

- Memahami susunan fisis, simbol, karakteristik dan prinsip kerja zener dioda.
- Mendeskripsikan kurva arus-tegangan zener dioda.
- Memahami pentingnya tahanan dalam dinamis zener dioda untuk berbagai macam arus zener.
- Memahami hubungan tahanan dalam dioda zener dengan tegangan keluaran beban.
- Mendesain rangkaian penstabil tegangan paralel menggunakan dioda zener.

b. Uraian Materi**1. Susunan fisis, simbol, karakteristik dan prinsip kerja zener dioda.**

Semua dioda prinsip kerjanya adalah sebagai peyearah, tetapi karena proses pembuatan, bahan dan penerapannya yang berbeda beda, maka nama-namanya juga berbeda.

Secara garis besar komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor adalah ringkas (kecil-kecil atau sangat kecil). Maka hampir-hampir kita tidak bisa membedakan satu sama lainnya. Hal ini sangat penting untuk mengetahui kode-kode atau tanda-tanda komponen tersebut.

Bahan dasar

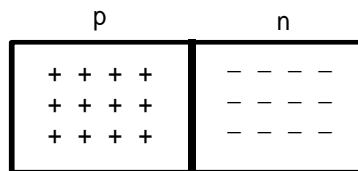
Bahan dasar pembuatan komponen dioda zener adalah silikon yang mempunyai sifat lebih tahan panas, oleh karena itu sering digunakan untuk komponen-komponen elektronika yang berdaya tinggi. Elektron-elektron yang terletak pada orbit paling luar (lintasan valensi) sangat kuat terikat dengan intinya (proton) sehingga sama

sekali tidak mungkin elektron-elektron tersebut melepaskan diri dari intinya.

Dasar pembentukan junction pn

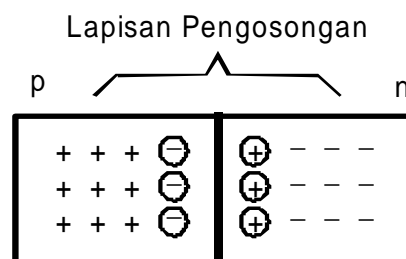
Pembentukan dioda bisa dilaksanakan dengan cara point kontak dan junction. Namun dalam pembahasan ini fokus pembahasan materi diarahkan pada cara junction.

Pengertian junction (pertemuan) adalah daerah dimana tipe p dan tipe n bertemu, dan dioda junction adalah nama lain untuk kristal pn (kata dioda adalah pendekan dari dua elektroda dimana di berarti dua). Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Sisi p mempunyai banyak hole dan sisi n banyak elektron pita konduksi. Agar tidak membingungkan, pembawa minoritas tidak ditunjukkan, tetapi camkanlah bahwa ada beberapa elektron pita konduksi pada sisi p dan sedikit hole pada sisi n.

Elektron pada sisi n cenderung untuk berdifusi kesegala arah, beberapa berdifusi melalui junction. Jika elektron masuk daerah p, ia akan merupakan pembawa minoritas, dengan banyaknya hole disekitarnya, pembawa minoritas ini mempunyai umur hidup yang singkat, segera setelah memasuki daerah p, elektron akan jatuh kedalam hole. Jika ini terjadi, hole lenyap dan elektron pita konduksi menjadi elektron valensi. Setiap kali elektron berdifusi melalui junction ia menciptakan sepasang ion, untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini :



Tanda positif berlingkaran menandakan ion positif dan tanda negatif berlingkaran menandakan ion negatif. Ion tetap dalam struktur kristal karena ikatan kovalen dan tidak dapat berkeliling seperti elektron pita konduksi ataupun hole. Tiap pasang ion positif dan negatif disebut dipole, penciptaan dipole berarti satu elektron pita konduksi dan satu hole telah dikeluarkan dari sirkulasi.

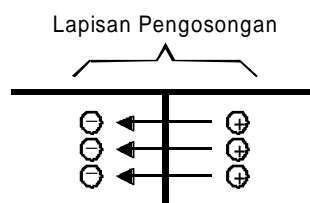
Jika terbentuk sejumlah dipole, daerah dekat junction dikosongkan dari muatan-muatan yang bergerak, kita sebut daerah yang kosong muatan ini dengan lapisan pengosongan (depletion layer).

Potensial Barrier

Tiap dipole mempunyai medan listrik, anak panah menunjukkan arah gaya pada muatan positif. Oleh sebab itu jika elektron memasuki lapisan pengosongan, medan mencoba mendorong elektron kembali ke dalam daerah n. Kekuatan medan bertambah dengan berpindahnya tiap elektron sampai akhirnya medan menghentikan difusi elektron yang melewati junction.

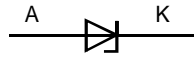
Untuk pendekatan kedua kita perlu memasukkan pembawa minoritas. Ingat sisi p mempunyai beberapa elektron pita konduksi yang dihasilkan secara thermal. Mereka yang didalam pengosongan didorong oleh medan ke dalam daerah n. Hal ini sedikit mengurangi kekuatan medan dan membiarkan beberapa pembawa mayoritas berdifusi dari kanan ke kiri untuk mengembalikan medan pada kekuatannya semula.

Inilah gambaran terakhir dari kesamaan pada junction :

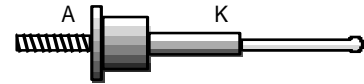


1. Beberapa pembawa minoritas bergeser melewati junction, mereka akan mengurangi medan yang menerimanya.
2. Beberapa pembawa mayoritas berdifusi melewati junction dan mengembalikan medan pada harga semula.

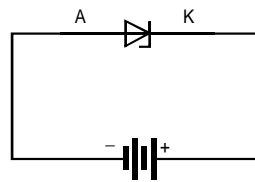
Adanya medan diantara ion adalah ekuivalen dengan perbedaan potensial yang disebut potensial barier, potensial barier kira-kira sama dengan 0,3 V untuk germanium dan 0,7 V untuk silikon.



(a) Simbol



(b) Contoh Konstruksi



(c) Cara pemberian tegangan

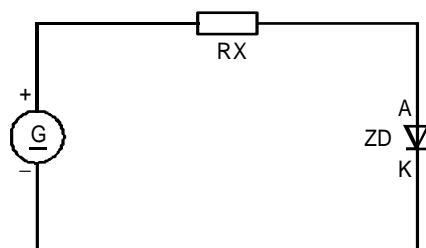
2. Kurva arus-tegangan zener dioda.

Dioda zener berbeda dengan dioda penyearah, dioda zener dirancang untuk beroperasi dengan tegangan muka terbalik (reverse bias) pada tegangan tembusnya, biasa disebut “break down diode”

Jadi katoda-katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda dengan mengatur tingkat dopping, pabrik dapat menghasilkan dioda zener dengan tegangan break down kira-kira dari 2V sampai 200V.

Dioda zener dalam kondisi forward bias.

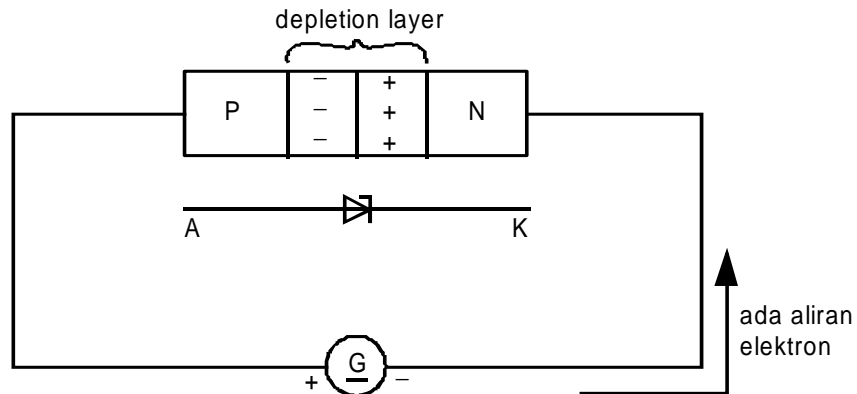
Dalam kondisi forward bias dioda zener akan dibias sebagai berikut: kaki katoda diberi tegangan lebih negatif terhadap anoda atau anoda diberi tegangan lebih positif terhadap katoda seperti gambar berikut.



Dalam kondisi demikian dioda zener akan berfungsi sama halnya dioda penyearah dan mulai aktif setelah mencapai tegangan barier yaitu 0,7V.

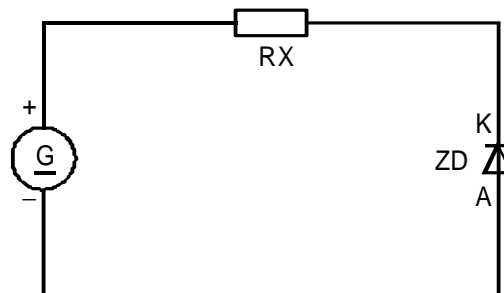
Disaat kondisi demikian tahanan dioda (R_z) kecil sekali .

Sedangkan konduktansi ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) besar sekali, karena tegangan maju akan menyempitkan depletion layer (daerah perpindahan muatan) sehingga perlawanannya menjadi kecil dan mengakibatkan adanya aliran elektron. Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini.



Dioda zener dalam kondisi Reverse bias.

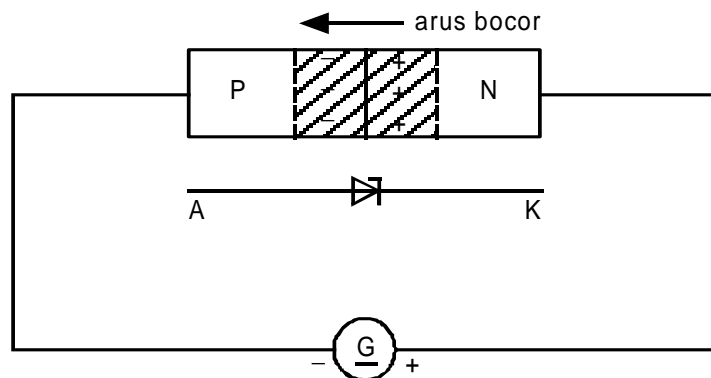
Dalam kondisi reverse bias dioda zener kaki katoda selalu diberi tegangan yang lebih positif terhadap anoda.



Jika tegangan yang dikenakan mencapai nilai breakdown, pembawa minoritas lapisan pengosongan dipercepat sehingga mencapai kecepatan yang cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron valensi dari orbit terluar. Elektron yang baru dibebaskan kemudian dapat menambah kecepatan cukup tinggi untuk membebaskan elektron valensi yang lain. Dengan cara ini kita memperoleh longsor elektron bebas. Longsor terjadi untuk tegangan reverse yang lebih besar dari 6V atau lebih.

Efek zener berbeda-beda bila dioda di-doping banyak, lapisan pengosongan amat sempit. Oleh karena itu medan listrik pada lapisan pengosongan amat kuat. Jika kuat medan mencapai kira-kira 300.000 V persentimeter, medan cukup kuat untuk menarik elektron keluar dari orbit valensi. Penciptaan elektron bebas dengan cara ini disebut breakdown zener.

Efek zener dominan pada tegangan breakdown kurang dari 4 V, efek longsor dominan pada tegangan breakdown yang lebih besar dari 6 V, dan kedua efek tersebut ada antara 4 dan 6 V. Pada mulanya orang mengira bahwa efek zener merupakan satu-satunya mekanisme breakdown dalam dioda. Oleh karenanya, nama “dioda zener” sangat luas digunakan sebelum efek longsor ditemukan. Semua dioda yang dioptimumkan bekerja pada daerah breakdown oleh karenanya tetap disebut dioda zener.



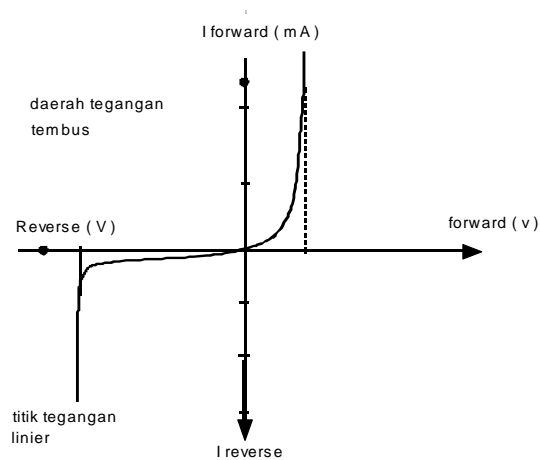
Di daerah reverse mulai aktif, bila tegangan dioda (negatif) sama dengan tegangan zener dioda, atau dapat

dikatakan bahwa didalam daerah aktif reverse ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) konduktansi

besar sekali dan sebelum aktif ($\frac{\Delta I}{\Delta U}$) konduktansi kecil sekali.

Karakteristik Dioda zener.

Jika digambarkan kurva karakteristik dioda zener dalam kondisi forward bias dan reverse bias adalah sebagai berikut.



Gambar Grafik Karakteristik Dioda Zener

3. Tahanan dalam dinamis zener dioda untuk berbagai macam arus zener.

Tegangan Breakdown dan Rating Daya

Gambar berikut menunjukkan kurva tegangan dioda zener . Abaikan arus yang mengalir hingga kita mencapai tegangan breakdown U_z . Pada dioda zener , breakdown mempunyai lekukan yang sangat tajam, diikuti dengan kenaikan arus yang hampir vertikal. Perhatikanlah bahwa tegangan kira-kira konstan sama dengan U_z pada arus test I_{ZT} tertentu di atas lekukan.

Dissipasi daya dioda zener sama dengan perkalian tegangan dan arusnya , yaitu :

$$P_z = U_z I_z$$

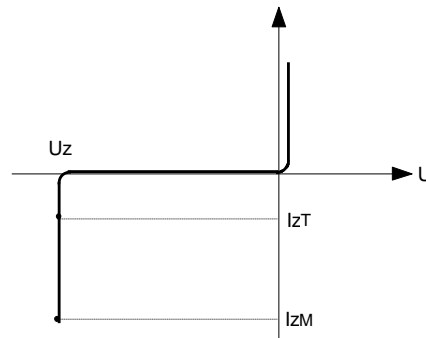
Misalkan, jika $U_z = 12$ dan $I_z = 10$ mA,

$$P_z = 1,2 \times 0,01 = 0,12 \text{ W}$$

Selama P_z kurang daripada rating daya $P_{Z(max)}$, dioda zener tidak akan rusak. Dioda zener yang ada di pasaran mempunyai rating daya dari 1/4 W sampai lebih dari 50 W .

Lembar data kerap kali menspesifikasikan arus maksimum dioda zener yang dapat ditangani tanpa melampaui rating dayanya . Arus maksimum diberi tanda I_{ZM} (lihat Gambar 1 . Hubungan antara I_{ZM} dan rating daya adalah :

$$I_{ZM} = \frac{P_{Z(max)}}{V_Z}$$



Gambar Kurva Tegangan Dioda Zener

Impendansi Zener

Jika dioda zener bekerja dalam daerah breakdown, dengan tambahan tegangan sedikit menghasilkan pertambahan arus yang besar. Ini menandakan bahwa dioda zener mempunyai impedansi yang kecil. Kita dapat menghitung impedansi dengan cara :

$$Z_Z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Sebagai contoh, jika kurva menunjukkan perubahan 80 mV dan 20 mA, impedansi zener adalah :

$$Z_Z = \frac{0,08}{0,02} = 4 \Omega$$

Lembar data menspesifikasikan impedansi zener pada arus tes yang sama di gunakan untuk U_Z . Impedansi zener pada arus tes ini diberi tanda Z_{ZT} . Misalnya, 1N3020 mempunyai U_Z 10 V dan $Z_{ZT} = 7\Omega$ untuk $I_{ZT} = 25$ mA .

Koefisien Suhu

Koefisien suhu T_C adalah perubahan (dalam persen) tegangan zener per derajat Celcius.

Jika $U_Z = 10$ V pada 25° C dan $T_C = 0,1\%$, maka

$$U_Z = 10 \text{ V} \quad (25^\circ\text{C})$$

$$U_Z = 10,01 \quad (26^\circ\text{C})$$

$$U_Z = 10,02 \text{ V} \quad (27^\circ\text{C})$$

$$U_Z = 10,03 \text{ V} \quad (28^\circ\text{C})$$

dan seterusnya .

Dalam rumus, perubahan tegangan zener adalah :

$$\Delta U_z = T_C \times \Delta T \times U_z$$

Diketahui $T_C = 0,004\%$ dan $U = 15V$ pada $25^\circ C$, perubahan tegangan zener dari $25^\circ C$ sampai $100^\circ C$ adalah

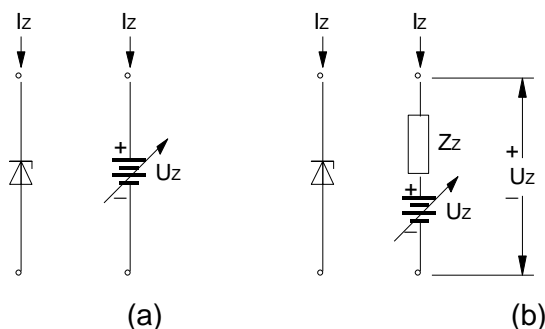
$$\Delta U_z = 0,004 (10^{-2}) (100 - 25) 15 = 0,045 V$$

Oleh sebab itu, pada $100^\circ C$, $U_z = 15,045 V$

4. Hubungan tahanan dalam dioda zener dengan tegangan keluaran beban.

Pendekatan Zener

Untuk semua analisa pendahuluan, kita dapat melakukan pendekatan daerah breakdown sebagai garis vertikal. Ini berarti tegangannya konstan walaupun arus berubah. Gambar berikut menunjukkan *pendekatan ideal* suatu dioda zener. Pada pendekatan pertama, dioda zener yang bekerja dalam daerah ekuivalen dengan baterai U_z volt.

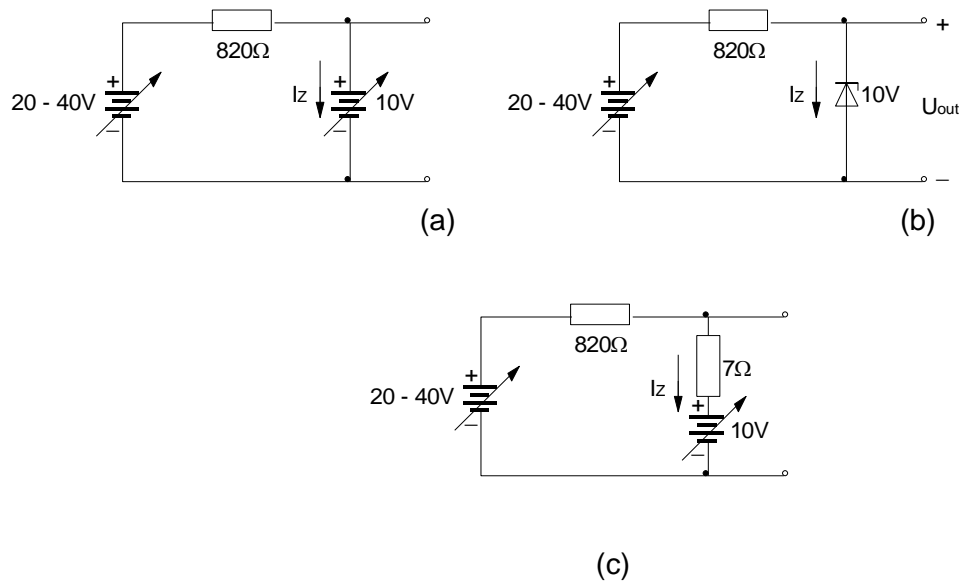


Untuk memperbaiki analisa, kita memperhitungkan kemiringan dari daerah breakdown. Daerah breakdown tidak benar-benar vertikal, tetapi ada impedansi zener yang kecil. Gambar 2 menunjukkan pendekatan kedua dari dioda zener. Karena impedansi zener, tegangan zener total U_z adalah :

$$\Delta U_z = U_z + I_z Z_z$$

CONTOH 1

Dioda zener pada Gambar berikut mempunyai $U_z = 10 V$ dan $Z_{ZT} = 7 \Omega$. Tentukan harga U_{OUT} dengan pendekatan ideal. Juga hitung minimum dan maksimum arus zener.



PENYELESAIAN

Tegangan yang dikenakan (20 sampai 40 V) selalu lebih besar dari tegangan breakdown dioda zener. Oleh sebab itu, kita dapat membayangkan dioda zener seperti baterai dalam Gambar b. Tegangan outputnya adalah :

$$U_{out} = U_z = 10 \text{ V}$$

Tak peduli berapa harga tegangan sumber antara 20 dan 40 V, tegangan output selalu pada 10 V. Jika tegangan sumber 20 V, tegangan pada resistor pembatas-seri adalah 10 V, jika tegangan sumber 40 V, tegangan pada resistor pembatas-seri adalah 30 V. Oleh sebab itu, setiap perubahan tegangan sumber, muncul pada resistor pembatas-seri. Tegangan output secara ideal konstan. Arus zener minimum $I_{Z(\min)}$ terjadi pada tegangan sumber minimum. Dengan hukum Ohm .

$$I_{Z(\min)} = \frac{U_{IN(\min)} - U_z}{R} = \frac{20 - 10}{820} = 12,2 \text{ mA}$$

Arus zener maksimum terjadi jika tegangan sumber maksimum :

$$I_{Z(\max)} = \frac{U_{IN(\max)} - U_z}{R} = \frac{40 - 10}{820} = 36,6 \text{ mA}$$

CONTOH 2

Gunakan pendekatan kedua untuk menghitung tegangan output minimum dan maksimum pada Gambar 3a

PENYELESAIAN

Contoh 2 memberikan $Z_{ZT} = 7 \Omega$. Walaupun hal ini hanya benar pada arus tertentu, Z_{ZT} merupakan pendekatan yang baik untuk ZZ di mana saja dalam breakdown .

Kita dapatkan $I_{Z(\min)} = 12,2 \text{ mA}$ dan $I_{Z(\text{Mak})} = 36,6 \text{ mA}$. Jika arus ini mengalir melalui dioda zener pada Gambar c, tegangan minimum dan maksimumnya adalah :

$$\begin{aligned} U_{\text{OUT}(\text{MIN})} &\cong U_z + I_{Z(\text{MIN})} Z_z \\ &= 10 + 0,0122(7) = 10,09 \text{ V} \end{aligned}$$

dan

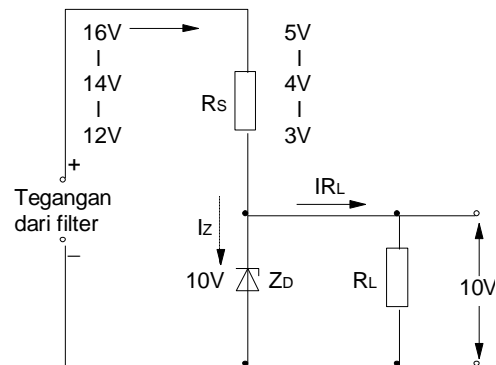
$$\begin{aligned} U_{\text{OUT}} &\cong U_z + I_{Z(\text{max})} Z_z \\ &= 10 + 0,0366(7) = 10,26 \text{ V} \end{aligned}$$

Yang penting dari contoh ini adalah untuk menggambarkan regulasi tegangan (menjaga tegangan output konstan). Di sini kita mempunyai sumber yang berubah dari 20 sampai 40 V, perubahan 100%. Tegangan output berubah dari 10,09 sampai 10,26 V, perubahan 1,7%. Dioda zener telah mengurangi perubahan input 100% menjadi perubahan output hanya 1,7%. Regulasi tegangan merupakan penggunaan utama dari dioda zener.

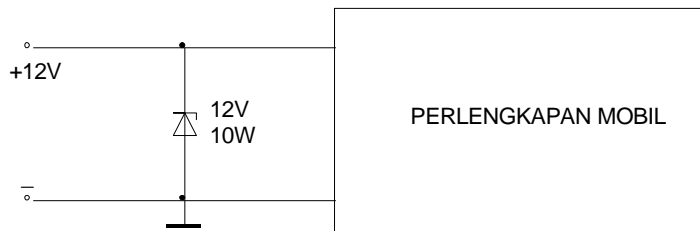
5. Desain rangkaian penstabil tegangan paralel menggunakan dioda zener.

CONTOH PENERAPAN DIODA ZENER

Sesuai dengan sifat-sifat yang dimiliki, dioda zener dapat digunakan sebagai penstabil ataupun pembagi tegangan . Salah satu contoh adalah ditunjukkan gambar berikut ini .



Gambar Penstabil tegangan pada output penyearah



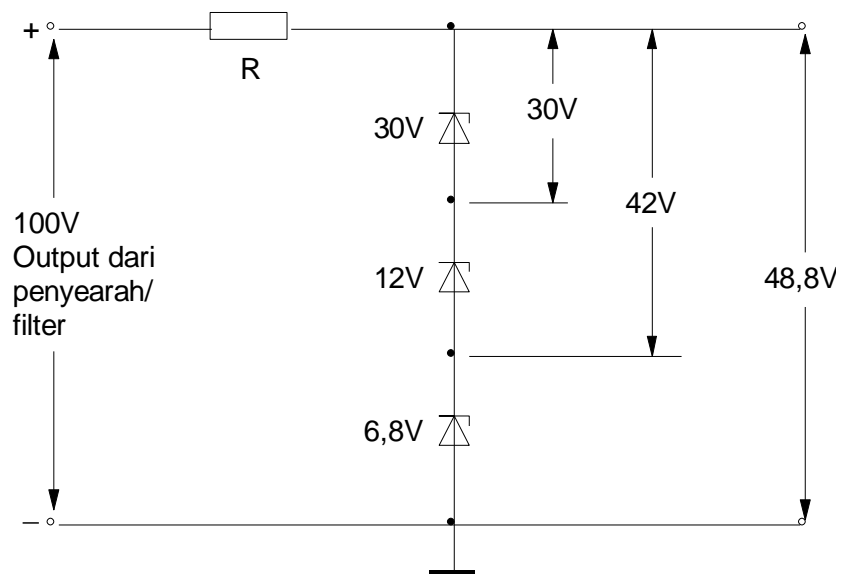
Dioda Zener yang melindungi pemancar (transceiver) di dalam kendaraan mobil , terhadap loncatan-loncatan tegangan.

Adapun cara kerja rangkaian di atas adalah sebagai berikut :

1. Bila dioda Zener yang kita pilih memiliki tegangan tembus sebesar 10 Volt , lihat gambar di atas, berarti tegangan output yang diperlukan adalah sebesar 10 V satabil .
2. RS gunanya untuk membatasi tegangan yang masuk dalam rangkaian dan RL untuk beban atau output yang kita ambil tegangannya .
3. Seandainya tegangan input (tegangan dari filter) itu naik , misalkan 16 Volt maka tegangan yang didrop oleh RL juga akan naik misalkan sebesar 12 Volt . Maka dioda zener akan menghantar . Arus akan terbagi dua , yaitu lewat RL dan ZD . Sedangkan dioda zener mempertahankan tegangan sebesar 10 Volt dan karena dioda ini di pasang paralel dengan RL maka dengan sendirinya tegangan output akan tetap sebesar 10 Volt .

4. Selanjutnya apabila tegangan input turun maka tegangan yang di drop oleh RS akan kurang dari 4 Volt dan tegangan yang di drop oleh RL pun akan kurang dari 10 Volt . Hal ini mengakibatkan dioda zener menyumbat dan arus hanya mengalir lewat RL saja . Dengan sendirinya tegangan output akan turun (tegangan input turun menjadi 12 Volt.
5. Kesimpulannya adalah bahwa tegangan output tidak akan melebihi dari 10 Volt tetapi dioda zener tidak menjamin tegangan tetap sebesar 10 Volt bila tegangan input dari filter itu turun .

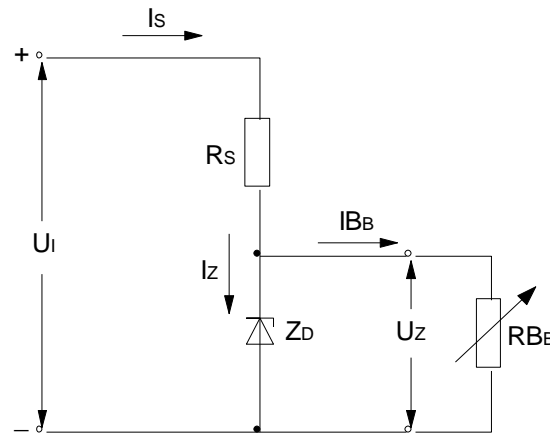
Contoh lain pemakaian dioda zener adalah seperti gambar berikut . Dengan cara tersebut kita akan mendapatkan beberapa macam tegangan yang diinginkan .



Gambar Pembagi tegangan dengan dioda zener

Beberapa dioda zener dipasang berderet dan setiap dioda memiliki tegangan tersendiri (tegangan zener) . Dengan jalan seperti di atas maka kita akan mendapatkan tegangan-tegangan 30 V , 42 V dan 48,8 V .

Rumus untuk menyelesaikan rangkaian Stabilitas tegangan dengan Dioda Zener adalah sebagai berikut :



- Arus pada R_S :

$$I_S = \frac{U_i - U_Z}{R_S}$$
- $I_Z = I_S - I_{B_B}$
- Tegangan-beban : $U_{R_B} = U_Z$
- Arus-beban : $I_{B_B} = \frac{U_Z}{R_{B_B}}$

c. Rangkuman

1. Susunan fisis, simbol, karakteristik dan prinsip kerja zener dioda.

Bahan dasar pembuatan komponen dioda zener adalah silikon yang mempunyai sifat lebih tahan panas, oleh karena itu sering digunakan untuk komponen-komponen elektronika yang berdaya tinggi. Elektron-elektron yang terletak pada orbit paling luar (lintasan valensi) sangat kuat terikat dengan intinya (proton) sehingga sama sekali tidak mungkin elektron-elektron tersebut melepaskan diri dari intinya

Medan diantara ion adalah ekuivalen dengan perbedaan potensial yang disebut potensial barier, potensial barier kira-kira sama dengan 0,3 V untuk germanium dan 0,7 V untuk silikon

2. Kurva arus-tegangan zener dioda.

Dioda zener berbeda dengan dioda penyearah, dioda zener dirancang untuk beroperasi dengan tegangan muka terbalik (reverse bias) pada tegangan tembusnya, biasa disebut "break down diode"

3. Tahanan dalam dinamis zener dioda untuk berbagai macam arus zener.

Jika dioda zener bekerja dalam daerah breakdown, dengan tambahan tegangan sedikit menghasilkan pertambahan arus yang besar. Ini menandakan bahwa dioda zener mempunyai impedansi yang kecil.

4. Hubungan tahanan dalam dioda zener dengan tegangan keluaran beban.

Pada pendekatan daerah breakdown sebagai garis vertikal, berarti tegangannya konstan walaupun arus berubah.

5. Desain rangkaian penstabil tegangan paralel menggunakan dioda zener.

Bahwa tegangan output tidak akan melebihi dari 10 Volt tetapi dioda zener tidak menjamin tegangan tetap sebesar 10 Volt bila tegangan input dari filter itu turun .

d. Tugas Kegiatan Belajar 3 - 1**1. KARAKTERISTIK DIODA ZENER**

Tujuan Instruksional Umum

- ⇒ Peserta dapat memahami sifat arus dan tegangan dioda zener, serta penggunaannya.

Tujuan Instruksional Khusus

Setelah pelajaran selesai, peserta harus dapat:

- ⇒ Melakukan percobaan untuk mendapatkan kurva karakteristik arus-tegangan dari dioda zener.
- ⇒ Menjelaskan perilaku arus dioda zener pada daerah bias maju.
- ⇒ Menjelaskan perilaku tegangan dioda zener pada daerah bias maju.
- ⇒ Menjelaskan perilaku arus dioda zener pada daerah bias mundur.
- ⇒ Menjelaskan perilaku tegangan dioda zener pada daerah bias mundur.
- ⇒ Menggunakan data harga batas untuk merencanakan penggunaan dioda zener.

Tugas : Pengukuran karakteristik arus dan tegangan pada bias arah maju dan mundur

Waktu 135 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ Sumber tegangan 10 Volt DC 1 buah
- ⇒ Multimeter Analog 1 buah
- ⇒ Multimeter Digital 1 buah
- ⇒ Trainer elektronika dasar 1 buah

Bahan:

- ⇒ Dioda Zener BZX 55C 5,6 V 1 buah
- ⇒ Potensiometer 50K 1 buah
- ⇒ Tahanan Modul 1 buah
- ⇒ Kabel penghubung secukupnya
- ⇒ Data book semikonduktor

Keselamatan Kerja :

- ⇒ Bacalah petunjuk kerja dengan cermat.
- ⇒ Bekerjalah sesuai dengan urutan petunjuk kerja.
- ⇒ Setiap merubah rangkaian, sumber tegangan harus dilepas / dimatikan.
- ⇒ Perhatikan batas alat ukur pada saat di gunakan.

Langkah Kerja

I. Bias Maju

1. Siapkan alat dan bahan.
2. Hitung besar R_x , kemudian buatlah rangkaian seperti gambar 1.
3. Periksakan pada instruktur.
4. Adakan pengukuran untuk tegangan dengan arus yang bervariasi seperti pada tabel I.
5. Catatlah hasil pengukuran pada tabel tersebut.

II. Bias Mundur

6. Buat rangkaian seperti gambar 2.
7. Ukur tegangan dengan arus yang bervariasi seperti tabel II.
8. Catatlah hasil pengukuran pada tabel tersebut.

Tempat membuat hitungan

⇒ Besarnya tahanan R_x :

.....

.....

.....

.....

⇒ Besarnya daya P_{RX} :

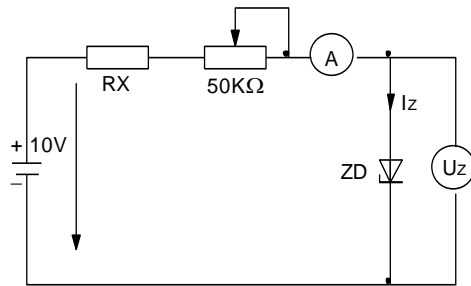
.....

.....

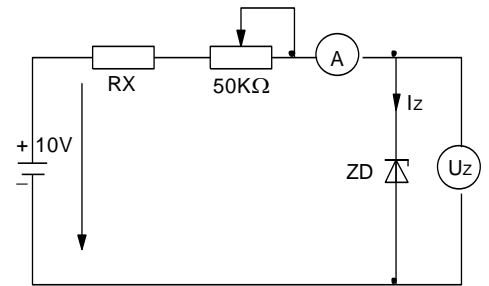
.....

.....

Gambar percobaan



Gambar 1



Gambar 2

Tabel I

No	I (mA)	U (V)
1	0	
2	0,25	
3	0,1	
4	0,2	
5	0,3	
6	0,4	
7	0,5	
8	1	
9	2	
10	3	
11	4	
12	5	

Tabel II

No	I (mA)	U (V)
1	0	
2	0,25	
3	0,1	
4	0,2	
5	0,3	
6	0,4	
7	0,5	
8	1	
9	2	
10	3	
12	4	
12	5	
13	6	
14	8	
15	10	
16	12	

Pertanyaan :1

a). I_{\max} untuk tegangan maju ?

.....
.....

b). I_{\max} untuk tegangan mundur ?

.....
.....

c). Buat kesimpulan dari hasil percobaan !

.....
.....

d). Buatlah gambar karakteristik Dioda Zener sesuai dengan data pengukuran !

.....
.....

Kunci Jawaban

Untuk langkah 2

Besarnya tahanan R_X :

Dik : I sesuai tabel Data Book dioda zener

BZX 55C series : 5 mA

Tegangan sumber (U_S) = 10 VDC

Potensiometer $R = 50 \text{ K}\Omega \rightarrow I \text{ max, potensiometer } \sim 0 \Omega$

Dit : R_X

$$U_R = U_S - U_{DZ}$$

$$= 10 - 5,6 \text{ V} = 4,4 \text{ Volt}$$

$$R_X = \frac{U_R}{I_{\text{max}}} = \frac{4,4 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 0,88 \text{ K}\Omega$$

Besarnya daya P_{RX} :

$$P_{RX} = U^2 \cdot I = 100 \times 5 \\ = 500 \text{ mW}$$

Untuk langkah 4,5

Tabel 1

No	I (mA)	U (V)
1	0	0
2	0,25	0,62
3	0,1	0,64
4	0,2	0,65
5	0,3	0,66
6	0,4	0,67
7	0,5	0,69
8	1	0,70
9	2	0,71
10	3	0,72
11	4	0,73
12	5	0,74

Untuk langkah 7,8

Tabel 2.

No	I (mA)	U (V)
1	0	0
2	0,25	3,19
3	0,1	4
4	0,2	4,1
5	0,3	4,2
6	0,4	4,3
7	0,5	4,4
8	1	4,6
9	2	4,8
10	3	4,9
11	4	5,1
12	5	5,3
13	6	5,4

14	8	5,6
15	10	5,6
16	12	5,6

Pertanyaan :1

$$a). I_{\max_{ff}} = \frac{U_s - U_f}{R_x} = \frac{10 - 0,7}{0,88 \text{ K}\Omega} = 10,57 \text{ mA}$$

$$b). I_{\max_{rr}} = \frac{U_s - U_z}{R_x} = \frac{10 - 5,6 \text{ V}}{0,88 \text{ K}\Omega} = 5 \text{ mA}$$

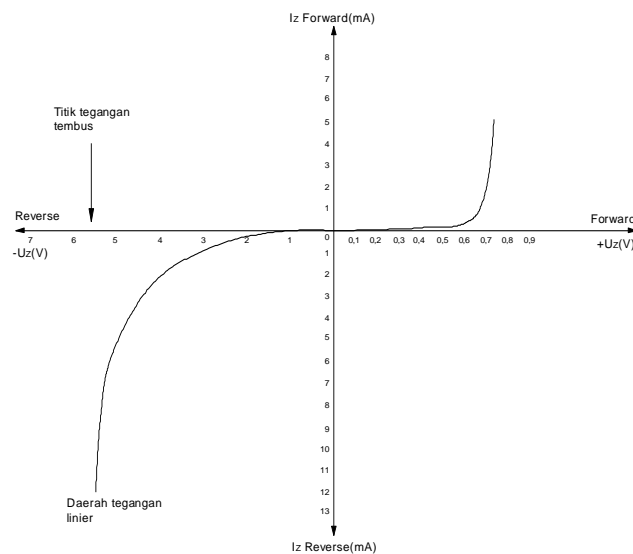
c). **Kesimpulan :**

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa karakteristik dioda zener untuk forward sama dengan dioda rectifier (penyearah) dan mulai aktif setelah tegangan 0,7 Volt.

Di daerah reverse mulai aktif, bila tegangan dioda (negatif) sama dengan tegangan zener dioda (5,6V).

Dalam daerah aktif (forward dan reverse) $\frac{\Delta I}{\Delta U}$ besar, setelah dan sebelum aktif $\frac{\Delta I}{\Delta U}$ kecil sekali.

KARAKTERISTIK DIODA ZENER TYPE BZX 55C 5,6 V



e. Tugas Kegiatan Belajar 3 - 2**1. PENGGUNAAN DIODA ZENER SEBAGAI PENSTABIL TEGANGAN**

Tujuan Instruksional Umum :

- ⇒ Peserta dapat memahami arus dan tegangan Dioda Zener serta penggunaannya sebagai penstabil tegangan.

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- ⇒ Membuat rangkaian stabilisator tegangan dengan diode zener.
- ⇒ Menggambarkan karakteristik regulasi tegangan output terhadap tegangan sumber pada rangkaian tanpa beban.
- ⇒ Menggambarkan karakteristik regulasi tegangan output terhadap tegangan sumber pada rangkaian berbeban.

Tugas : Pengujian dioda zener sebagai penstabil tegangan

Waktu 6 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ Catu daya 1 buah
- ⇒ A V O meter 2 buah
- ⇒ Jumper secukupnya
- ⇒ Ampere meter 2 buah

Bahan:

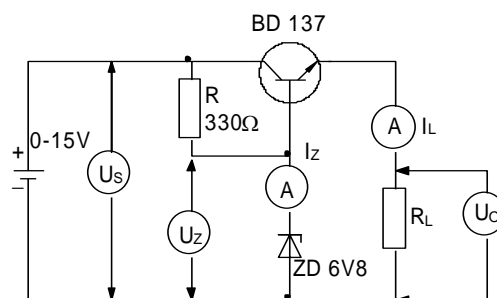
- ⇒ Diode zener 6V8 1 buah
- ⇒ Transistor BD 137 1 buah
- ⇒ Tahanan 330 Ohm 1 buah
- ⇒ Tahanan 1 Kilo Ohm 1 buah
- ⇒ Tahanan 10 Kilo Ohm 1 buah
- ⇒ Tahanan 100 Kilo Ohm 1 buah

Keselamatan Kerja

- ⇒ Bacalah petunjuk kerja dengan cermat.
- ⇒ Bekerjalah sesuai dengan urutan petunjuk kerja
- ⇒ Setiap merubah rangkaian, sumber tegangan harus dilepas atau dimatikan.
- ⇒ Perhatikan batas alat ukur pada saat digunakan.

Langkah Kerja

Gambar kerja



1. Siapkan alat - alat dan bahan - bahan yang diperlukan.
2. Buatlah rangkaian percobaan stabilisator tegangan dengan diode zener seperti pada gambar kerja.
3. Periksa rangkaian pada instruktur.
4. Hubungkan rangkaian percobaan dengan sumber tegangan.
5. Aturlah besar tegangan sumber (U_s) sesuai dengan tabel pengukuran 1, kemudian catatlah besar tegangan output (U_o), Arus zener (I_z), dan arus beban (I_L)

Tabel percobaan 1 :

U_s (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U_o (Volt)												
I_L (mA)												
I_z (mA)												

6. Lakukan percobaan diatas dengan beban (R_L) diganti sebesar 10 Kilo Ohm, kemudian catatlah hasil pengukuran pada tabel percobaan 2.

Tabel percobaan 2 :

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Uo (Volt)												
IL (mA)												
Iz (mA)												

7. Lakukan percobaan diatas dengan beban (RL) diganti sebesar 100 Kilo ohm kemudian catatlah hasil pengukuran pada tabel percobaan 3

Tabel percobaan 3 :

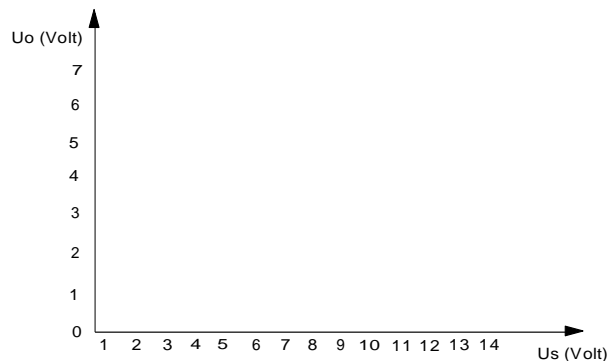
Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Uo (Volt)												
IL (mA)												
Iz (mA)												

8. Lakukan percobaan diatas dengan beban (RL) dilepas (tanpa beban), kemudian catatlah besar Uo (UCE), Uz (tegangan zener) dan arus zener (Iz) pada tabel percobaan.

Tabel percobaan 4 :

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U CE (Volt)												
IL (mA)												
Iz (mA)												

9. Buatlah grafik $U_o = f(U_s)$ dari percobaan 1, 2, 3 dan 4



10. Lakukan percobaan diatas dengan ketentuan :

⇒ Tegangan sumber (U_s) tetap sebesar 15 Volt.

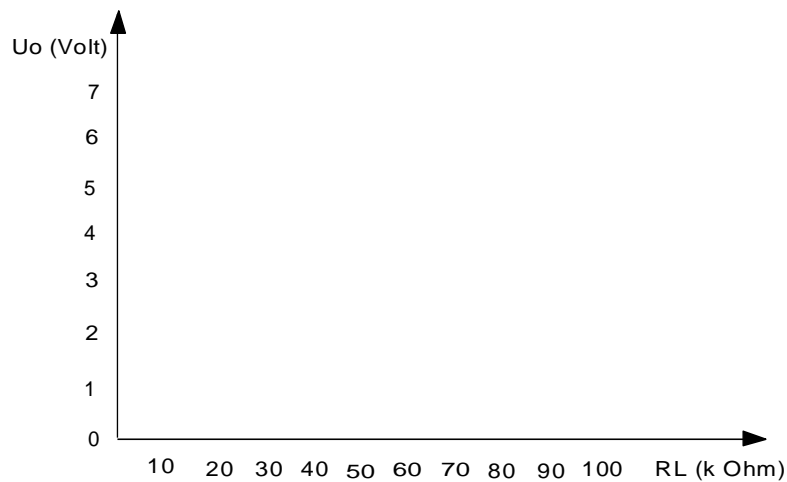
⇒ Beban tidak tetap (Variabel)

⇒ Kemudian catatlah hasil pengukuran U_{out} , I_L dan I_z kedalam tabel percobaan 5.

Tabel percobaan 5 :

R_L (k ohm)	1	4,7	10	22	47	100
U_o (Volt)						
I_L (mA)						
I_z (mA)						

11. Gambarlah grafik $U_o = f(R_L)$



Tugas

1. Bila tegangan input melebihi tegangan zener, maka bagaimanakah dengan kelebihan tegangan tersebut.

Jawab :

.....

.....

.....

.....

.....

2. Apakah yang harus dilakukan apabila kita ingin memperbesar dan memperkecil tegangan output pada rangkaian stabilisator tegangan.

Jawab :

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan apa yang terjadi pada tegangan output dan tegangan zener bila rangkaian tidak dibebani.

Jawab :

.....

.....

.....

.....

Jawaban

1. Kelebihan tegangan didrop pada U_{CE}

$$U_{CE} = U_S - U_O$$

2. Yang harus dilakukan mengganti Dioda Zener dengan cara memindahkan saklar pilih

$$U_O = U_Z + U_{BE}$$

Untuk langkah 5

Tabel 1

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Uo (Volt)	3	4	5	5,8	6	6,18	6,2	6,2	6,3	6,4	6,8	7,1
IL (mA)	3	4	5	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,3	6,4	6,8	7,1
Iz (mA)	0	0	0	0	2,5	5,8	8,5	11,2	14,5	18,2	25,5	24,5

Untuk langkah 6

Tabel 2.

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Uo (Volt)	3,2	4,3	5,3	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,4	6,4	6,5	6,6

IL (mA)	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
Iz (mA)	0	0	0	0,5	3,8	6,4	9,1	12	15	18	21	23,5

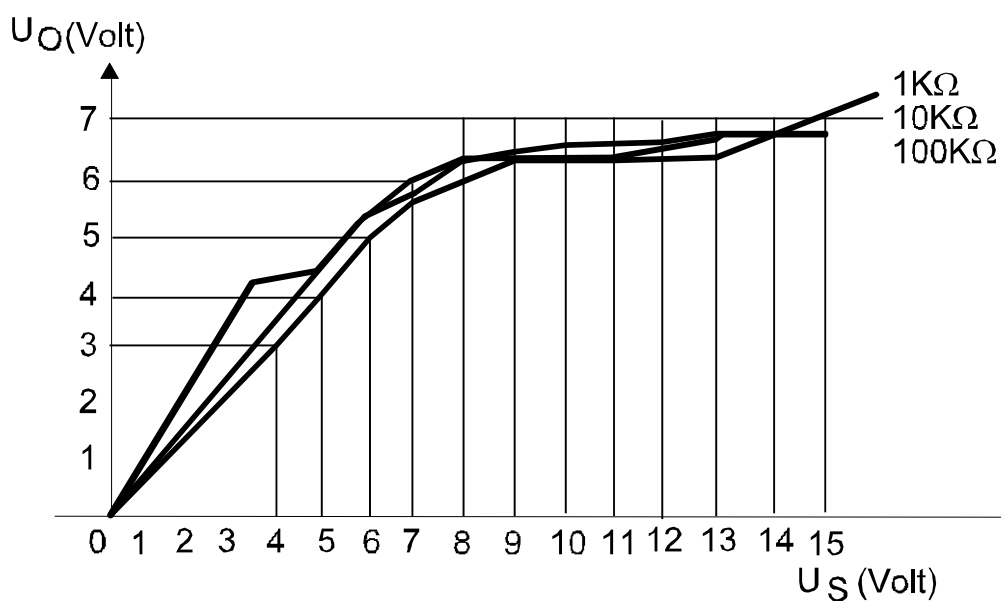
Untuk langkah 7
Tabel 3

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Uo (Volt)	4,2	4,2	5,3	6	6,2	6,3	6,39	6,4	6,42	6,5	6,6	6,6
IL (mA)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Iz (mA)	0	0	0	0,5	3,2	6	9,2	12	15	18	20,4	23,2

Untuk langkah 8
Tabel 4

Us (Volt)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U _{CE} (Volt)	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7	2,68	3,6	4,4	5,38	6,4	7	7,25
IL (mA)	3,3	4,4	5,4	6,2	6,2	6,4	6,4	6,4	6,6	6,6	7	7,25
Iz (mA)	0	0	0	0,8	3,8	6,8	9	11,8	14,9	18	20,5	24

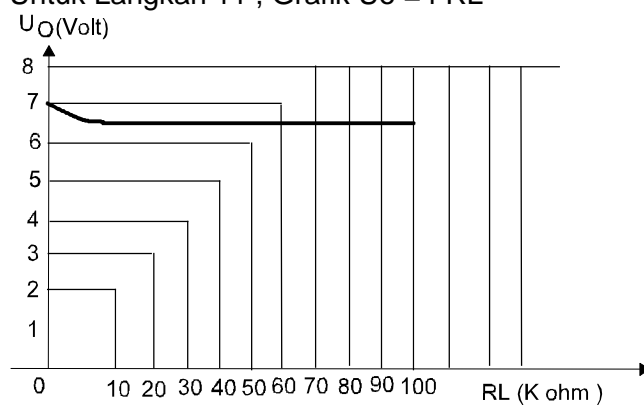
Untuk langkah 9
Grafik karakteristik $U_o = f(U_s)$ (data dari percobaan 1,2,3 dan 4)



Untuk langkah 10
Tabel 5

RL (k ohm)	1	4,7	10	22	47	100
Uo (Volt)	7	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
IL (mA)	7	1,4	0,8	0,4	0,2	0,1
Iz (mA)	25	24	24	23	23,5	2,35

Untuk Langkah 11 , Grafik $U_o = f R_L$



4. Kegiatan Belajar 4

DIODA KHUSUS

a. Tujuan Pembelajaran

Peserta diklat / siswa dapat memahami susunan fisis, simbol, karakteristik dan prinsip kerja dioda khusus seperti dioda LED, varaktor, Schottky, dan tunnel.

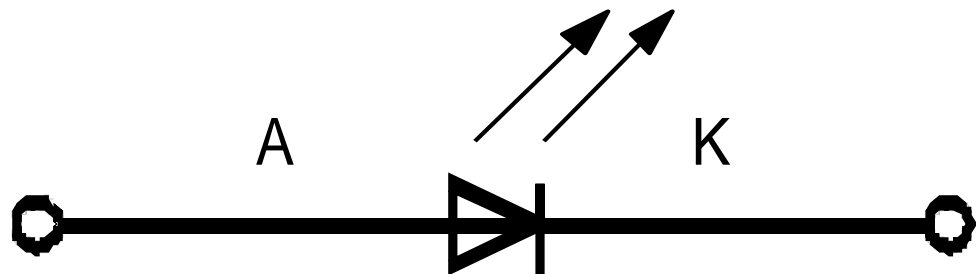
b. Uraian Materi

1. Dioda LED

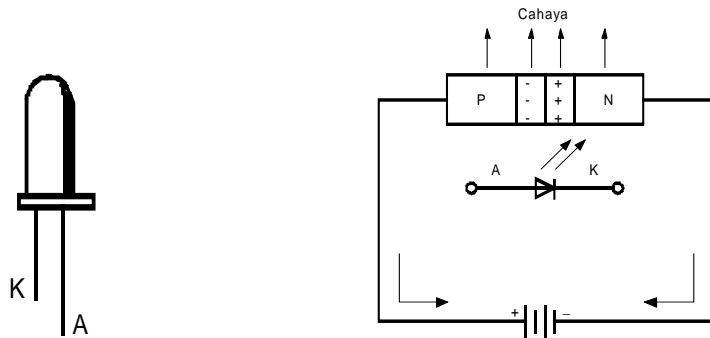
Konfigurasi LED

Light Emiting Diode (LED) adalah semacam dioda pertemuan (junction dioda) yang dapat mengeluarkan cahaya apabila diberikan tegangan forward. Bahan dasar yang dipakai adalah gallium arsenide (Ga As) atau gallium arsenide phosphide (Ga As P) atau gallium phosphide (Ga P), sehingga didapatkan material P - N. LED adalah salah satu komponen Foelectronic yang banyak digunakan. Yang dimaksud Foelectronic ialah teknologi hasil penggabungan antara optik dan elektronika.

Gambar 1. Adalah simbol, contoh konstruksi dan cara pemberian tegangan pada LED.



(a) Simbol



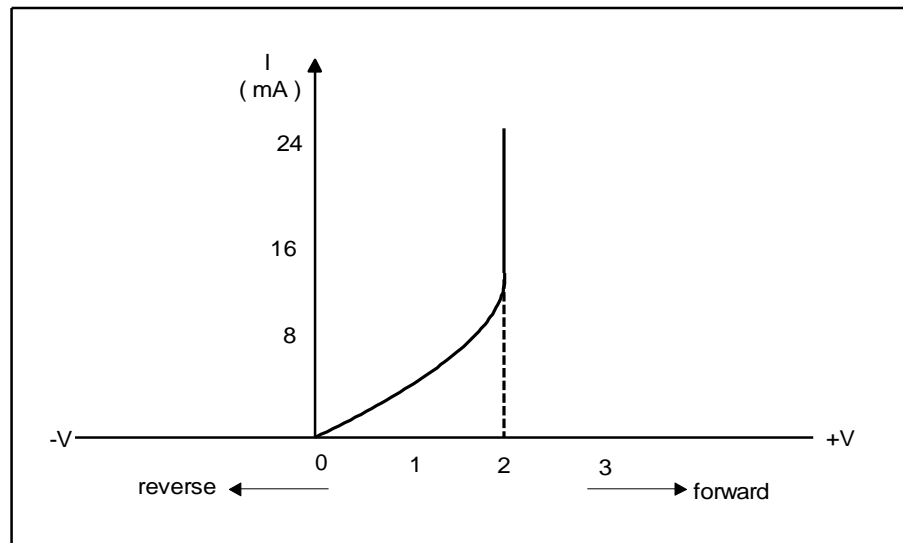
(b) Contoh Konstruksi (c) Cara Pemberian Tegangan Pada LED

Gambar 1. LED

Sinar yang dihasilkan bukan disebabkan adanya pengaruh panas seperti halnya lampu biasa, tetapi pengaruh dari arus yang mengalir didalam struktur atom material semikonduktor P - N. Tegangan maju antara anoda dan katoda berkisar antara 1,5 - 2V, arus majunya antara 5 - 20 mA, tergantung tipenya.

Cara Kerja

1. Perhatikan gambar 1 (c), sebuah LED diberikan tegangan forward. Elektron-elektron bebas, dari wilayah N akan menembus junction dan akan berkombinasi dengan hole diwilayah P.
2. Karena elektron bebas mempunyai level tenaga yang lebih tinggi dari hole, maka pada peristiwa rekombinasi ini elektron bebas akan membebaskan sejumlah tenaga. Tenaga ini dipancarkan dalam bentuk panas dan cahaya.
3. Pada dioda silikon cahaya ini tidak nampak, karena dioda silikon dibuat dari bahan tidak tembus cahaya, karena itu pancaran cahaya itu tampak dari luar.
4. Bila bahan dasar LED dibuat dari Ga As (Gallium Arsenide) akan memancarkan cahaya infra merah. Ga As P (Gallium Arsenide Phosphide) memancarkan merah atau kuning, sedangkan Ga P (Gallium Phosphide) memancarkan cahaya merah atau hijau.



Gambar 2 Karakteristik LED .

2. Dioda Varaktor

Dalam bagian ini kita akan menjelaskan pengaruh yang terjadi didalam dioda yang mengandung elemen kapasitansi .

Nilai kapasitansi ini bergantung pada besar polaritas tegangan yang di terapkan pada dioda dan type sambungan yang dibuat selama proses produksi .

Dalam praktek nilai kapasitansi tidak linier namun secara pendekatan (untuk mempermudah pemahaman) dapat dianggap sebagai elemen yang linier .

Bias balik kapasitansi persambungan

Tujuan Dioda PN diberi bias balik seperti di tunjukkan pada gambar 1 . Bila dioda bekerja dalam cara ini lubang-lubang didalam daerah P dan elektron-elektron dalam daerah N bergerak menjauhi persambungan .

Karena itu membentuk daerah penipisan , dimana penumpukan pembawa-pembawa telah di hilangkan .

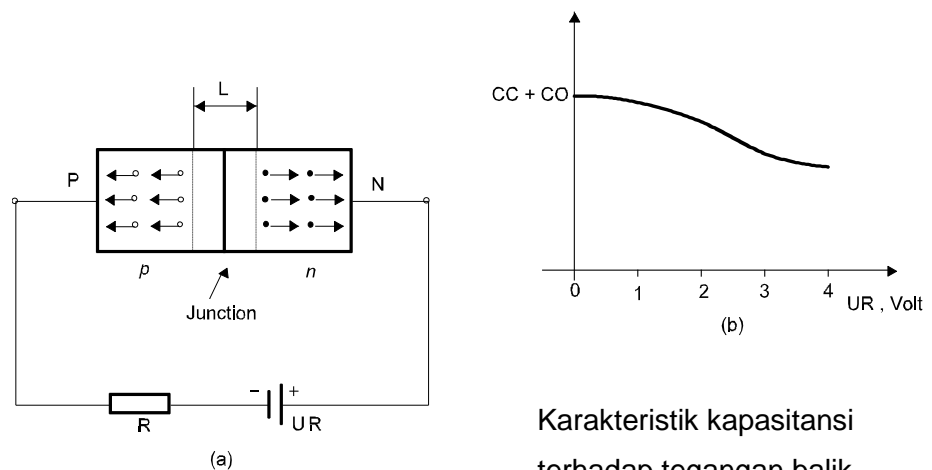
Panjang efektif L dari daerah depletion (penipisan) menjadi lebih besar dengan bertambahnya tegangan balik U_R , karena medan listrik bertambah sebanding dengan U_R .

Karena elektron dan lubang menjauhi sambungan , daerah penipisan yang terbentuk akan bermuatan negatif pada bahan type P sementara daerah penipisan yang terbentuk didalam bahan type N menjadi bermuatan positif.

Karena itu persambungan dengan bias balik akan bertingkah seperti kapasitor yang kapasitansinya secara teori berubah berbanding terbalik dengan tegangan UNP dari N ke P

Dalam praktek kapasitansi CR berbanding terbalik dengan pangkat $1/2$ atau $1/3$ dari UNP , tergantung apakah elemen mempunyai sambungan paduan atau sambungan yang di tumbuhkan . Dalam kecepatan tinggi (frekuensi tinggi) kapasitansi dioda ini ebih kecil, biasanya urang dari 5 PF .

Pada arus yang besar dioda ini dapat sebesar 500 PF.



Kapasitansi dioda bias balik

Karakteristik kapasitansi terhadap tegangan balik

Gambar 3. Karakteristik dioda varaktor

Varicap atau dioda varactor dibuat khusus untuk beroperasi dalam mode bias balik . Dapat dibuat untuk kapasitansi sampai dengan beratus-ratus pico Farrad jika diinginkan. Pemanfaatan dioda

seperti ini adalah pada rangkaian Frekuensi Modulasi (FM) , dimana dioda yang dibias balik diletakkan secara paralel dengan suatu induktor.

Frekuensi resonansi dan rangkaian bertala dapat di rubah dengan cara merubah UR. Maka jika UR adalah suatu sinyal suara, frekuensi resonansi akan sebanding dengan amplitudo sinyal suara , yakni frekuensi akan termodulasi . Banyak sistem FM dibuat dengan prinsip ini.

Persamaan yang berhubungan dengan kapasitansi lintas persambungan dioda yang di bias balik oleh tegangan UR adalah :

$$CR \approx CC + \frac{C_o}{(1 + 2 UR)^n}$$

Dimana : CC = Kapasitansi dioda

CO = Kapasitansi dioda bila UR = 0

n = Antara $\frac{1}{3}$ s/d $\frac{1}{2}$

Gambar kapasitansi dioda sebagai fungsi dari UR ditunjukkan pada gambar 3(b) . Sifat ketidak linieran dari CR biasanya diabaikan dan suatu nilai konstanta digunakan dalam perhitungan .

Bias maju, kapasitansi penyimpanan

Bila dioda dibias maju lebar daerah penipisan L berkurang dan kapasitansi persambungan bertambah . Namun dalam keadaan bias maju terjadi pengaruh kapasitansi yang lebih besar .

Yang di modelkan sebagai suatu elemen penyimpan atau difusi atau kapasitansi . Kita misalkan bahwa waktu rata-rata yang diperlukan oleh sebuah elektron untuk berpindah adalah + detik . (+ adalah waktu rata-rata dari elektron yang mengalir pada pita konduksi maupun pada pita valensi) .

Maka arus rata-rata yang mengalir adalah $ID = \frac{2}{t} = I_o \cdot E^{VD/VT}$

Jika kita mendefinisikan kapasitansi penyimpanan C_S sebagai

$$C_S = \frac{dQ}{dV_D} \text{ kita temukan dengan mudah bahan : } C_S = \frac{I_D \cdot t}{V_T}$$

Maka kapasitansi secara langsung sebanding dengan arus dioda maju dan dapat menjadi sangat besar . Misalnya jika $t = 1 \text{ ns}$ dan $I_D = 1 \text{ mA}$, maka $C_S = 40 \text{ PF}$. Kapasitansi ini yang membatasi kecepatan switching (pensaklaran) pada rangkaian-rangkaian logic penggunaan komponen persambungan.

3. Dioda Schottky

Dioda Schottky dibuat dengan cara menggabungkan suatu logam seperti **emas** , **perak** atau **platina** dengan **silikon jenis n**.

Alat ini mempunyai penyimpanan muatan yang sangat kecil dan banyak dijumpai dalam penerapan sebagai saklar kecepatan tinggi.

Suatu jenis logam itu berlaku sebagai acceptor bagi elektron bila digabungkan ke silikon type n. Selanjutnya elektron berdifusi dari silikon ke logam tadi. Seperti diperlihatkan pada gambar 4 (a) . Difusi ini mengakibatkan terjadi penipisan elektron dekat sambungan pada bahan n dan cenderung bermuatan positif.

Bila daerah ini menjadi cukup lebar tegangan positif ini menghalangi difusi lebih lanjut. Dengan kata lain bila tegangan positif cukup besar dikenakan dari luar , seperti Gambar 4(b). Elektron pada daerah n melihat tegangan positif pada sisi metal dan elektron mengalir.

Pembaca harus mengerti tujuan dibuatnya kontak penyearah , seperti yang dijelaskan diatas dan kontak ohmic , yang dibuat untuk menghubungkan daerah atau ke rangkaian luar.

Pada kontak penyearah , arus yang sangat kecil mengalir hingga tegangan UN melampaui tegangan minimum tertentu . U_j adalah tegangan yang diperlukan untuk mencapai kurva tegangan datar

seperti Gambar 4 (a), (dalam suatu dioda PN silikon tegangan U_j sekitar 0,65 V).

Penambahan nilai kecil tegangan U_N diatas U_j mengakibatkan perubahan arus yang besar. Bila tegangan yang diterapkan pada dioda dibalik sehingga bahan N dibuat positif terhadap platina (atau bahan P) , tegangan pada sisi N dari sambungan bertambah (Gambar 4 (c)). melampaui level yang ditunjukkan pada gambar 4 (a) dan tidak ada arus mengalir.

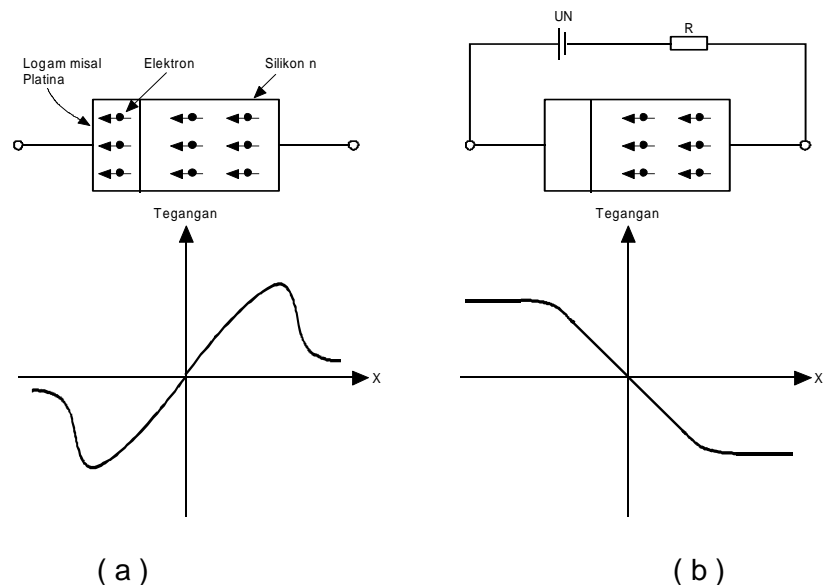
Bila dioda Schottky dioperasikan dalam mode maju , arus elektron bergerak dari silikon type N

Karena elektron bergerak melalui logam berimpedansi rendah waktu rekombinasi τ sangat kecil , bernilai sekitar 10 ps.

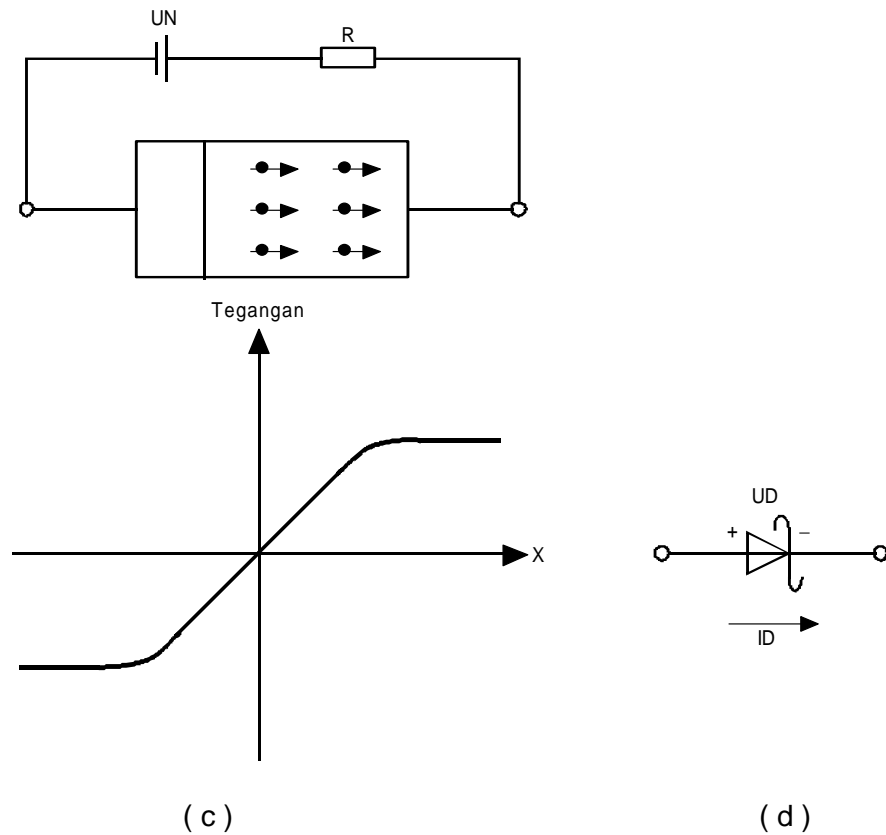
Ini beberapa kali lebih kecil dari yang didapati pada dioda silikon PN.

Simbol rangkaian untuk dioda Schottky adalah Gambar (d)

Dioda mempunyai karakteristik U_i seperti dioda PN biasa kecuali bahwa tegangan dadal maju dari dioda adalah $U_f \approx 0,3$ Volt.



Gambar 4. Dioda Schottky



Gambar 4. Dioda Schottky

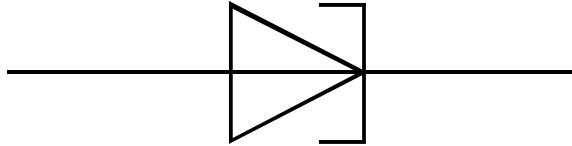
4. Dioda Tunnel

Dioda Tunnel adalah dioda khusus yang di bentuk dari semikonduktor yang dapat membentuk daerah transisi menjadi sangat sempit .

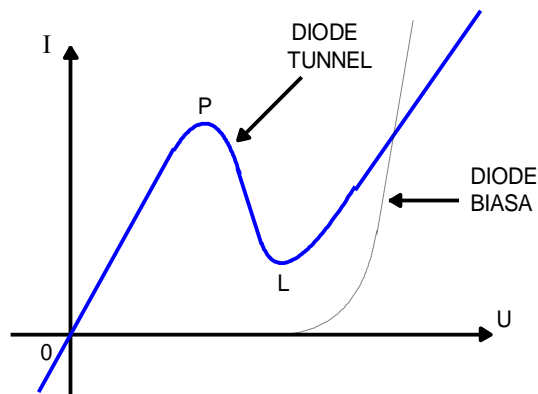
Dioda Tunnel masih dalam kondisi normal apabila di gunakan pada gelombang micro , penguat , oscilator dan pembalik frekwensi .

Dioda Tunnel mempunyai karakteristik perlawanan negatif , yaitu pada pemberian tegangan muka maju, apabila tegangan muka maju ditambah secara perlahan-lahan, arus maju turut bertambah pula , lihat gambar 1 .

Setelah sampai di titik penambahan tegangan muka maju tidak menyebabkan arus di titik L , baru kemudian arus maju naik lagi .



Gambar 5 . Simbol dioda tunnel



Gambar 6. Karakteristik $I = f(U)$ Dioda Tunnel

Karakteristik perlawanan negatif ini terjadi bila tegangan muka majunya antara 200 sampai 300 mili volt .

Dioda Tunnel ini dapat digunakan pada rangkaian osilator dengan karakteristik perlawanan negatifnya dapat mengembalikan tenaga yang hilang pada saat digunakan untuk berosilasi .

Pemakaian dioda tunnel

Salah satu pemakaian Dioda Tunnel adalah sebagai peralatan pensaklaran pada kecepatan yang sangat tinggi , dikarenakan

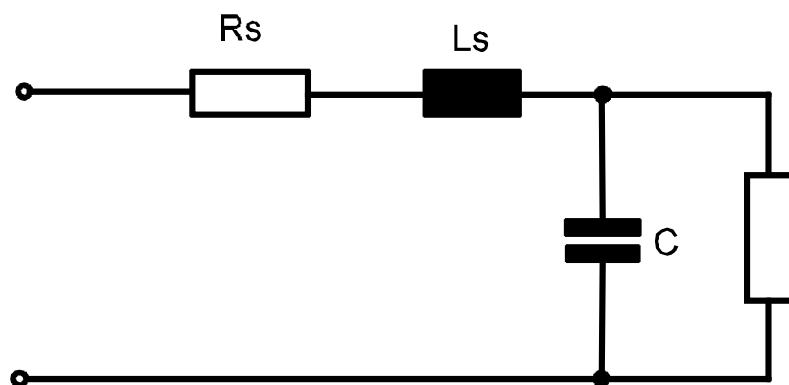
proses penerowongan , yang pada dasarnya terjadi pada kecepatan cahaya .

Waktu respon dibatasi hanya kapasitansi dioda yang mana ada pada tingkat 1 sampai 10 pf, memungkinkan pensaklaran terjadi (dari suatu titik awal kesuatu titik dekat puncak) dengan waktu naik serendah 22 p second .

(waktu naik adalah waktu yang diperlukan untuk berubah dari level 10% ke 90%)

Dioda Tunnel juga di gunakan sebagai alat penyimpan memori logik .

Rangkaian equivalent untuk sinyal kecil Dioda Tunnel ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian equivalent sinyal kecil Dioda Tunnel

R_s biasanya 1 sampai dengan 5 ohm , L_s dari 0,1 sampai 4 nH, dan C dari 0,35 sampai 100pf .

Induktansi dan kapasitansi yang sangat rendah memungkinkan Dioda Tunnel di gunakan di dalam osilator microwave pada frekwensi didalam tingkat 10 GHz .

Resistansi negatif dari Dioda Tunnel memungkinkan Dioda Tunnel di gunakan didalam osilator relaksasi.

c. Rangkuman

- Light Emitting Diode (LED) adalah semacam dioda pertemuan (junction dioda) yang dapat mengeluarkan cahaya apabila diberikan tegangan forward. Bahan dasar yang dipakai adalah gallium arsenide (Ga As) atau gallium arsenide phosphide (Ga As P) atau gallium phosphide (Ga P), sehingga didapatkan material P - N. LED adalah salah satu komponen Foelectronic yang banyak digunakan. Yang dimaksud Foelectronic ialah teknologi hasil penggabungan antara optik dan elektronika.
- Dioda varaktor yang mengandung elemen kapasitansi . Nilai kapasitansi ini bergantung pada besar polaritas tegangan yang diterapkan pada dioda dan type sambungan yang dibuat selama proses produksi .
- Dioda Schottky dibuat dengan cara menggabungkan suatu logam seperti **emas** , **perak** atau **platina** dengan **silikon jenis n**. Komponen ini mempunyai penyimpanan muatan yang sangat kecil dan banyak dijumpai dalam penerapan sebagai saklar kecepatan tinggi.
- Dioda Tunnel masih dalam kondisi normal apabila di gunakan pada gelombang micro , penguat , oscilator dan pembalik frekwensi . Dioda Tunnel mempunyai karakteristik perlawanan negatif , yaitu pada pemberian tegangan muka maju, apabila tegangan muka maju ditambah secara perlahan-lahan, arus maju turut bertambah pula

d. Tugas Kegiatan Belajar 4 - 1

1. PENGUKURAN KURVA SIFAT DASAR LED

Tujuan Instruksional Umum

- ⇒ Peserta mampu memahami macam-macam pengukuran kurva sifat dasar LED

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- ⇒ Mempergunakan LED sesuai dengan kebutuhan dan fungsinya
- ⇒ Menerangkan cara kerja LED
- ⇒ Membuat karakteristik LED

Waktu

4 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ Catu Daya 1 buah
- ⇒ AVO meter 2 buah
- ⇒ Trainer Eldas 1 buah

Bahan:

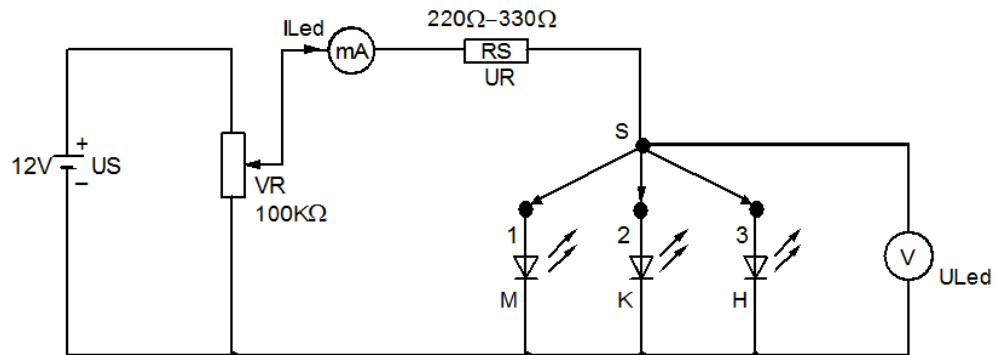
- ⇒ Potensiometer 100 K 1 buah
- ⇒ Tahanan 330 Ω 1 buah
- ⇒ Tahanan 220 Ω 1 buah
- ⇒ LED merah 1 buah
- ⇒ LED Kuning 1 buah
- ⇒ LED Hijau 1 buah
- ⇒ Kabel penghubung secukupnya

Keselamatan Kerja

- ⇒ Bacalah petunjuk kerja dengan cermat
- ⇒ Bekerjalah sesuai dengan urutan petunjuk kerja
- ⇒ Setiap merubah rangkaian, sumber tegangan harus di matikan
- ⇒ Perhatikan batas alat ukur pada saat digunakan

LangkahKerja

1. Siapkan alat-alat dan bahan yang diperlukan
2. Susunlah rangkaian pengukuran kurva sifat dasar LED seperti pada gambar dibawah ini

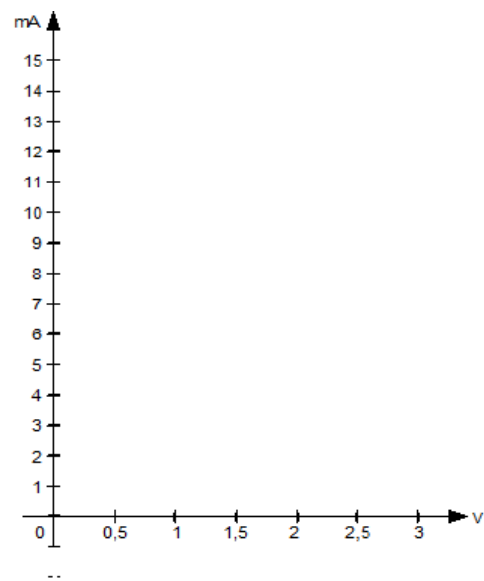


3. Periksa rangkaian pada guru
4. Hubungkan rangkaian percobaan pada sumber tegangan
5. Tempatkan saklar S pada posisi 1

Tabel Percobaan 1

LED	$I_{LED}(mA)$	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	13	15
MERAH	$U_{LED}(V)$															

7. Atur potensiometer agar arus yang mengalir melalui rangkaian yang diukur oleh miliamperemeter (mA) besarnya sesuai dengan nilai-nilai pada tabel. Ukurlah besarnya tegangan yang jatuh pada LED yang diukur oleh Voltmeter U_{LED} pada setiap perubahan arus yang mengalir kemudian hasilnya masukkan pada tabel.
8. Gambarkan lengkungan karakteristiknya LED yang anda selidiki tadi dengan berdasarkan pada data-data pada tabel , dimana I_{LED} terhadap tegangan U_{LED}

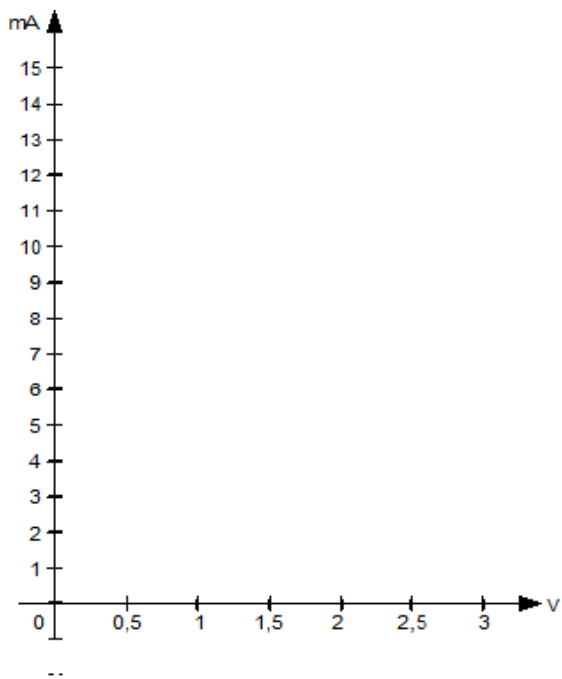


Gambar Kurva Karakteristik LED Merah

9. Tempatkan saklar S pada posisi 2 dan ulangi langkah no 6-8

Tabel Percobaan 2

LED	$I_{LED}(mA)$	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	14	15
KUNING	$U_{LED}(V)$															

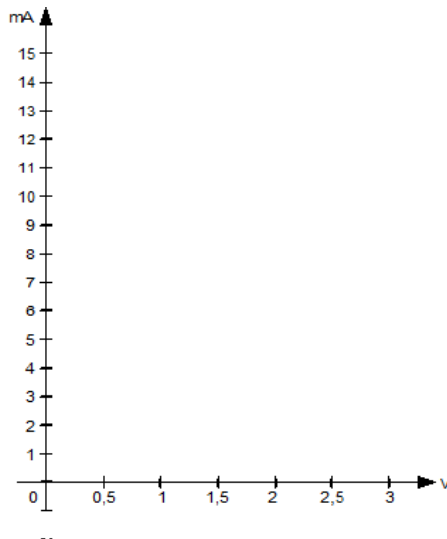


Gambar Kurva Karakteristik LED Kuning

10. Tempatkan saklar S pada posisi 3 dan ulangi langkah no 6-8

Tabel percobaan 3

LED	$I_{LED}(mA)$	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	14	15
HIJAU	$U_{LED}(V)$															



Gambar Kurva Karakteristik LED Hijau

Tugas

1. Bila tegangan melebihi tegangan LED , maka bagaimana dengan kelebihan tegangan tersebut :

Jawab :

.....

.....

.....

.....

.....

2. Apakah yang harus di lakukan apabila kita ingin mengamankan LED agar tidak rusak akibat tegangan lebih

Jawab :

.....

.....

.....

.....

.....

3. Jelaskan apa yang terjadi pada LED jika tidak di lengkapi tahanan seri

Jawab :

.....

.....

.....

.....

.....

4. Tuliskan persamaan tegangan yang ada pada percobaan LED

Jawab :

.....

.....

.....

.....

.....

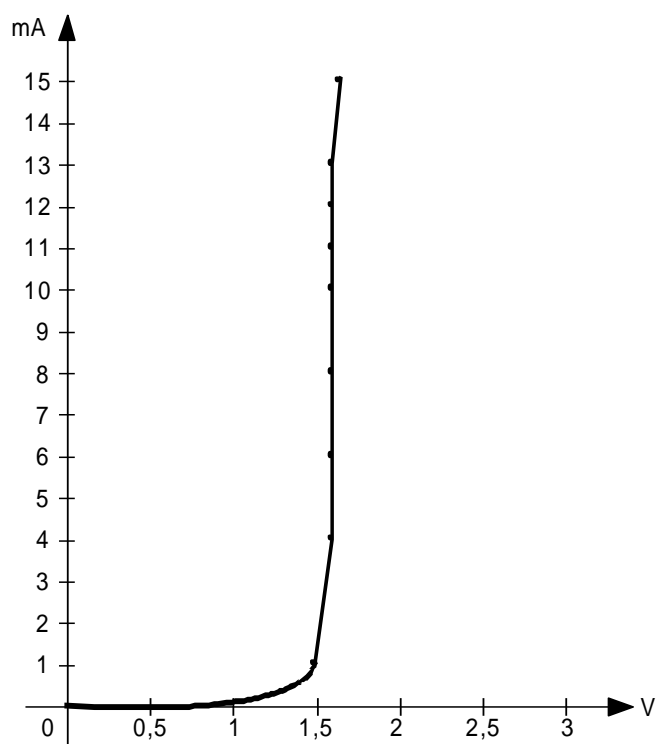
5. Buatlah laporan kegiatan praktek , didalamnya termasuk jawaban pertanyaan dan kesimpulan praktek

Kunci Jawaban

Untuk Langkah no 5

Tabel Percobaan 1

LED	$I_{LED}(mA)$	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	13	15
MERAH	$U_{LED}(V)$	0	1.25	1.4	1.45	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.65

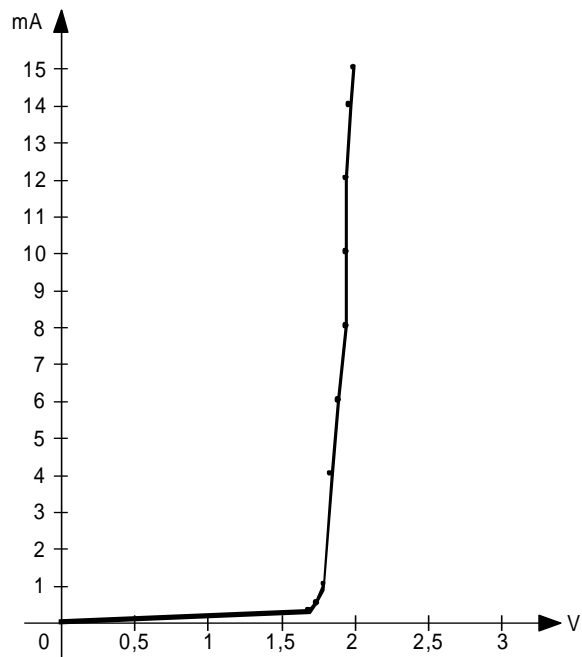


Gambar Kurva Karakteristik LED Merah

Untuk langkah no 9

Tabel Percobaan 2

LED	$I_{LED}(mA)$	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	14	15
KUNING	$U_{LED}(V)$	0	1.25	1.5	1.65	1.7	1.75	1.8	1.85	1.9	1.95	1.95	1.95	1.95	1.97	2.0

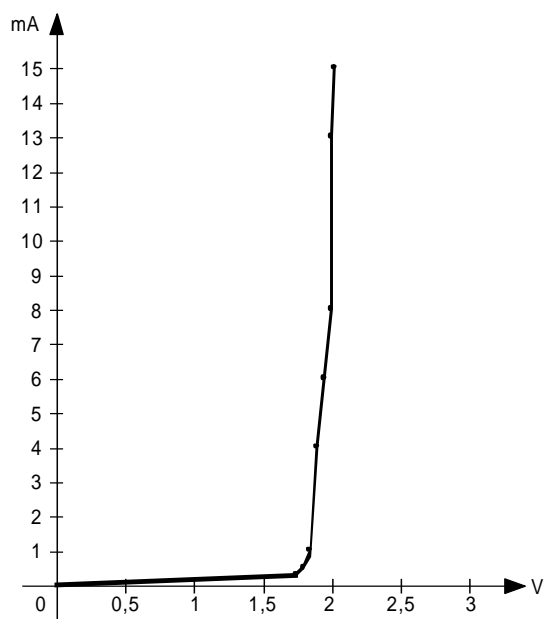


Gambar Kurva Karakteristik LED Kuning

Untuk langkah no 10

Tabel percobaan 3

LED	I _{LED} (mA)	0	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	4	6	8	10	11	12	13	15
HIAU	U _{LED} (V)	0	1.3	1.65	1.7	1.75	1.8	1.85	1.9	1.95	2	2	2	2	2	2.01



Gambar Kurva Karakteristik LED Hijau

Jawaban Pertanyaan

1. Kelebihan tegangan tersebut di drop oleh tahanan yang dipasang secara seri
2. Yang harus dilakukanya itu memasang tahanan yang dipasang secara seri sehingga dapat membagi tegangan yang masuk
3. Yang terjadi pada LED apabila dimasuki tegangan melebihi tegangan kerja LED, maka LED akan mengalami kerusakan yang diakibatkan arus yang mengalir melebihi harga batas maximumnya
4.
$$U_{LED} = U_S - U_R$$
$$= U_S - (I_{LED} \cdot R_S)$$
5. Kesimpulannya :

Dalam percobaan kurva karakteristik LED ,dengan warna yang berbeda didapatkan data yang berbeda.

5. Kegiatan Belajar 5

BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR

a. Tujuan Pembelajaran

Peserta diklat / siswa dapat :

- Memahami susunan fisis, simbol dan karakteristik transistor.
- Merancang rangkaian bipolar transistor sebagai penguat dan piranti saklar.
- Menganalisis hasil eksperimen berdasarkan data dari hasil pengukuran.
- Menginterpretasikan datasheet macam-macam tipe transistor untuk keperluan eksperimen.

b. Uraian Materi

1. Susunan fisis, simbol dan karakteristik transistor.

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai susunan dan perilaku fisis dari suatu komponen semikonduktor, atau yang lebih dikenal dengan sebutan transistor persambungan bipolar (*bipolar junction transistor-BJT*). Karakteristik penting yang perlu diketahui, bahwa perilaku kurva transistor dari arus-tegangan antara masukan dan keluaran mempunyai karakteristik yang berbeda, pada bagian masukan bersifat sebagai sumber tegangan konstan, sedangkan pada bagian keluaran bersifat sebagai sumber arus konstan.

Sejarah

Perkembangan dan kemajuan teknologi khususnya di bidang elektronik yang semakin pesat, sebagai indikasinya adalah dengan ditemukannya suatu metoda planar didalam pembuatan komponen semikonduktor seperti dioda dan transistor. Disamping itu, rekayasa teknologi di bidang elektronik menuntut semakin meningkatnya akan kebutuhan komponen-komponen semikonduktor seperti transistor maupun diode. Sejarah penemuan dan pengembangan

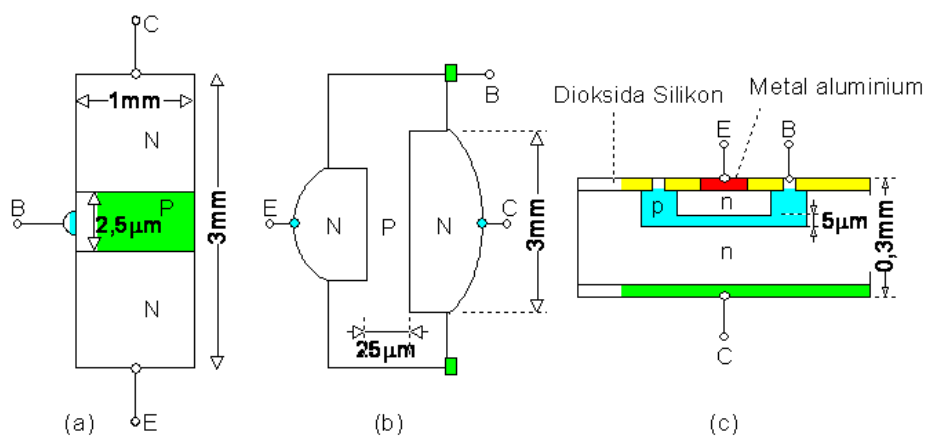
transistor telah mengalami beberapa tahapan dan perubahan, yaitu mulai dengan ditemukannya transistor titik kontak (1948), transistor sambungan bipolar (1950), dan yang baru adalah transistor dengan proses planar (1960). Tujuan dari beberapa pengembangan dan penemuan tersebut, tidak lain adalah adanya tuntutan dan beberapa pertimbangan seperti misalnya, penekanan biaya, waktu, dan tingkat kemudahan didalam proses dan teknik produksi. Penting untuk diketahui adalah pada kebanyakan transistor lazimnya mempunyai susunan dan konstruksi serupa.

Pembuatan Transistor

Ada empat teknik yang dikembangkan untuk membuat dioda, transistor dan piranti-piranti semikonduktor lainnya. Untuk itu beberapa proses pembuatan piranti-piranti semikonduktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi empat macam pengelompokan yaitu, ditumbuhkan, pencampuran (*alloy*), difusi atau epitaksial/planar.

Proses Penumbuhan

Transistor persambungan NPN dengan proses penumbuhan dapat dilihat pada Gambar 1a. Proses pembuatan piranti tersebut dilakukan dengan menarik kristal tunggal (*single crystal*) dari suatu lelehan *Silicon* atau Germanium yang kadar ketidakmurniannya diubah selama proses penarikan kristal dengan menambah atom-atom tipe -N atau tipe-P yang diperlukan.



Gambar 1. Susunan fisis transistor

Proses Pencampuran

Proses konstruksi pembuatan piranti ini disebut juga teknik paduan (*fused construction*). Gambar 1b menunjukkan proses penumbuhan untuk suatu jenis transistor NPN, dimana elektroda bagian tengah (basis) merupakan suatu kepingan tipis dari bahan tipe-P. Dua buah bintik kecil yang terbuat dari bahan Indium ditempelkan di kedua sisi yang berlawanan dari kepingan tersebut. Kemudian dalam waktu singkat seluruh struktur ini dipanaskan dengan temperatur yang tinggi, kira-kira antara diatas titik didih indium dan dibawah titik didih Germanium. Dengan cara menempatkan titik didih yang benar, diharapkan akan terbentuk suatu larutan jenuh Indium dan Germanium dengan posisi tumpang tindih dibawah germanium. Pada waktu proses pendinginan, Germanium yang telah bersentuhan dengan bahan basis akan kembali mengkristal, dengan konsentrasi Indium cukup untuk mengubah dari bahan tipe-N menjadi tipe-P. elektroda kolektor dibuat dengan ukuran fisik relatif lebih besar dibandingkan dengan emitor sehingga apabila dilihat dari emitor kolektor akan nampak sedemikian rupa sehingga membentuk sudut yang cukup besar. Oleh karena pengaturan lebar dan bentuk sudut tersebut, diharapkan akan dapat membuat pengaruh terhadap perubahan arus basis daripada perubahan arus difusi pada emitor, demikian juga untuk arus difusi kolektor adalah sangat kecil pengaruhnya.

Proses Difusi

Proses teknik pembuatan piranti ini adalah dengan membuat persambungan-persambungan antara elektroda-elektroda emitor dan kolektor, yaitu dengan cara melakukan difusi ketidakmurnian antara bahan tipe-N dan tipe-P dari difusi gas pada suatu kepingan tipis semikonduktor. Gambar 1c. memperlihatkan suatu Silikon planar dari proses difusi. Proses yang paling penting di dalam pembuatan piranti semikonduktor adalah proses difusi dari ketidakmurnian ke dalam kepingan Silikon, karena pada proses ini merupakan dasar ditemukannya hubungan teori dasar

semikonduktor. Suatu penyelesaian persamaan difusi akan memberikan efek dari perubahan temperatur terhadap waktu saat terjadinya distribusi proses difusi dan masalah yang sangat penting pada karakteristik suatu semikonduktor adalah pengaruh temperatur. Parameter-parameter yang menentukan difusi dari suatu atom-atom netral dapat dinyatakan seperti persamaan (1) berikut:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \quad (1)$$

dengan N adalah konsentrasi dari partikel dalam atom per satuan volume sebagai fungsi dari jarak (x) dari permukaan dan waktu (t), dan (D) adalah konstanta difusi dalam luas per satuan waktu (lihat Gambar 1) sumbu horisontal adalah fungsi jarak (x).

Proses Epitaksial

Suatu transistor proses planar ditemukan dan banyak dikembangkan dengan tujuan adanya permasalahan dan kesulitan pada tingkat proses difusi ketidakmurnian ke dalam bentuk kepingan silikon didalam langkah-langkah dan teknik produksi. Selain itu untuk memenuhi tuntutan akan kebutuhan transistor maupun dioda dengan spesifikasi tertentu, seperti dalam hal ukuran dan bentuk fisiknya yang kecil, pengeluaran biaya yang lebih murah dengan kuantitas produksi yang lebih banyak, dan yang lebih penting adalah adanya peningkatan keandalan di dalam hal karakteristik-karakteristik bisa di jamin kualitasnya. Maka dari itu suatu teknologi proses planar untuk saat ini merupakan salah satu pilihan yang tepat dan akurat, karena proses planar dapat menghasilkan transistor-transistor dengan dengan bentuk fisik yang halus dengan ukuran yang kecil, sehingga spesifikasi frekuensi *cut-off* (f_T) dapat dibuat hingga mencapai setinggi 1GHz. Konstruksi dasar dari proses planar dapat dibentuk dengan cara membuat lapisan tipis dioksida silikon (SiO_2) yang ditumbuhkan pada permukaan irisan silicon, proses ini akan dapat membentuk

suatu segel pelindung yang sangat efektif terhadap kelembaban udara dan ketidakmurnian. Bilamana pada daerah-daerah tertentu dari oksida tersebut dihilangkan sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah “jendela-jendela kecil,” maka difusi ketidakmurnian dapat didorong ke dalam silikon yang terbuka untuk menciptakan daerah-daerah P atau N yang independen. Pemrosesan planar merupakan suatu urutan pekerjaan pengulangan berkesinambungan yang terdiri atas tiga bagian penting, yaitu:

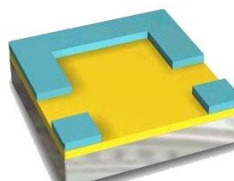
- ⇒ Oksidasi, merupakan proses pembentukan dioksida silikon pada seluruh permukaan irisan silikon.
- ⇒ Pembukaan jendela dengan menggunakan teknik fotoreซิส dengan perantara pola kisi-kisi (mask) yang akurat.
- ⇒ Difusi solid-state untuk menciptakan batas luas daerah-daerah tertentu untuk jenis P atau N.

Gambar 2 memperlihatkan urutan langkah-langkah proses planar pembuatan transistor jenis NPN. dengan keterangan gambar sebagai berikut:

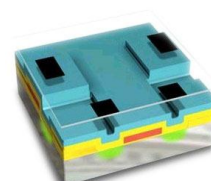
- ⇒ Gambar 2a, Irisan silikon jenis-N dipotong, ditumpuk, dan dipoles secara kimiawi. Diameter irisan berukuran berkisar 25mm sampai 75mm dengan tebal sekitar 0,3mm. Pada irisan yang besar dapat dibuat beberapa ribu transistor pada waktu yang bersamaan



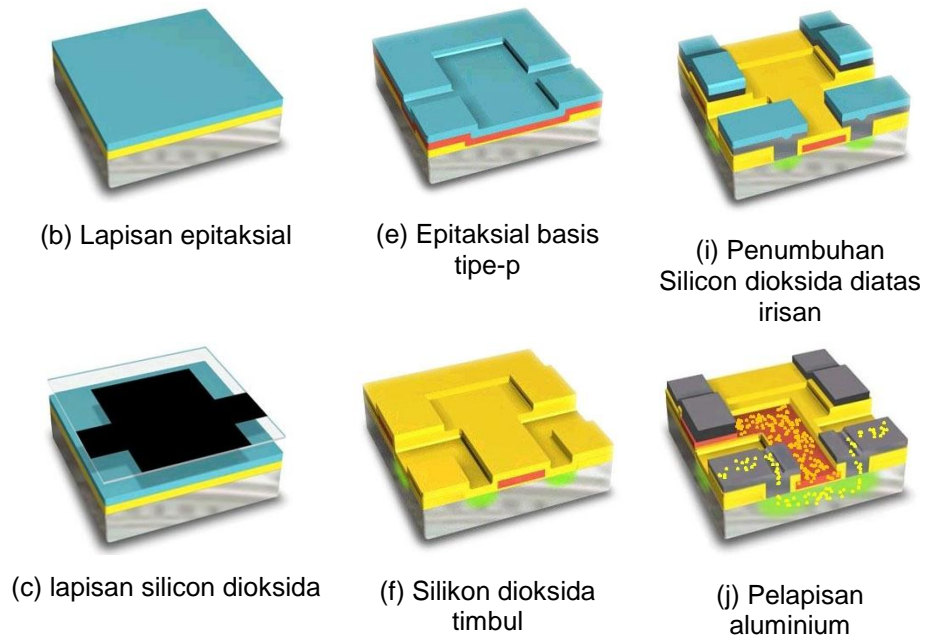
(a) satu bagian irisan



(d) Jendela proses fotoreซิส



(g) Jendela emitor, (h) dan terbentuknya difusi N



Gambar 2 Konstruksi lapisan proses planar transistor.

- ⇒ Gambar 2b, Suatu lapisan epitaksial dari silikon jenis N didapatkan pada permukaan irisan. Dalam lapisan epitaksial inilah akan diciptakan bagian-bagian aktif dari transistor. Lapisan ini, dengan tipikal tebal sekitar $7\mu\text{m}$ sampai $12\mu\text{m}$, diendapkan dengan jalan meletakkan irisan itu dalam atmosfer tetraklorida-silikon pada suhu kira-kira 1200°C .
- ⇒ Gambar 2c, Irisan dipanasi sampai kira-kira 1100°C dalam uap selama 1 sampai 2 jam dan pada permukaan irisan tersebut terbentuk lapisan tipis dioksida silikon. Tebal oksida tipikal adalah $0,5\mu\text{m}$ sampai $1\mu\text{m}$.
- ⇒ Gambar 2d, Tahap fotoreซิส merupakan tahap pelapisan irisan dengan cara diputar memakai film dari bahan pelindung (*resist material*) dan dikeringkan dengan membakarnya. Pola (mask) pertama dibuat menyentuh irisan dan ultra-violet disinarkan pada bagian-bagian fotoreซิส yang tidak tertutup. Fotoreซิส yang tidak terkena sinar dihilangkan dengan bahan pengencer dan dioksida

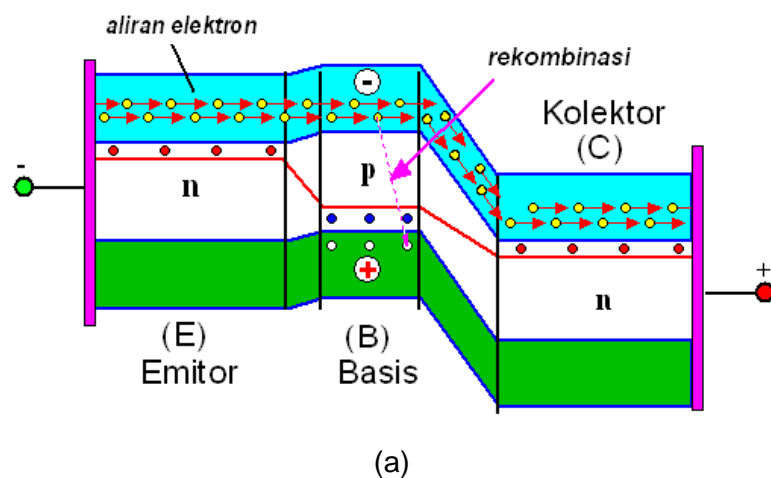
silicon yang terbuka terbuang secara kimiaw, dengan meninggalkan “jendela” pada lapisan epitaksial. Akhirnya, sisa fotoreซิส dibuang.

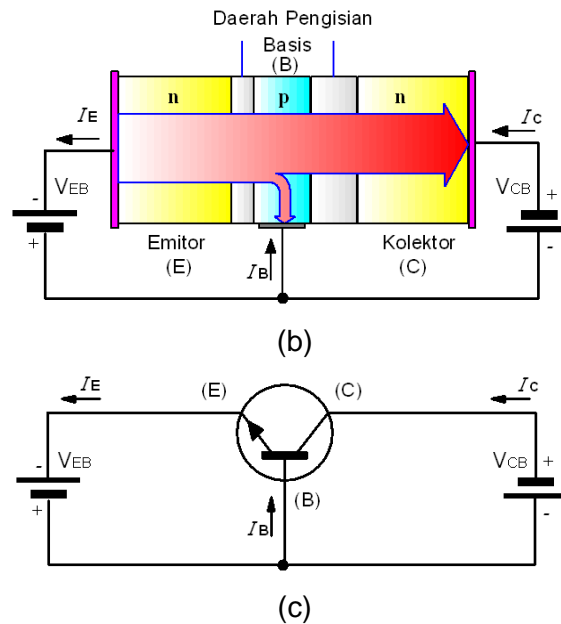
- ⇒ Gambar 2e, Difusi basis adalah suatu ketidakmurnian, dalam hal ini bahan dari boron karena basis harus dari bahan P pertama kali diendapkan pada permukaan irisan lalu didifusikan ke dalam silicon melalui jendela yang terbuka dengan memanasi irisan itu di dalam suatu tungku pada suhu 1100°C antara 1 jam sampai 2 jam. Karena difusi *solid-state* berjalan lambat, hal ini bertujuan agar supaya mudah dikendalikan sehingga diperoleh hasil yang tepat. Apabila pembuatan basis yang diperlukan sudah selesai, lalu irisan-irisan diambil dari tungku dan sisa-sisa boron dihilangkan secara kimiawi dari permukaan.
- ⇒ Gambar 2f, Sekali lagi ditumbuhkan dioksida silicon pada seluruh irisan sampai menutup semua permukaan daerah basis yang baru selesai dibuat.
- ⇒ Gambar 2g, Jendela emitor ditentukan dengan proses fotoreซิส melalui pola (mask) kedua. Penting untuk diperhatikan bahwa kedok ini harus diluruskan secara akurat terhadap pola (mask) pertama.
- ⇒ Gambar 2h, Difusi emitor dengan menggunakan fosfor sebagai ketidakmurnian
- ⇒ Gambar 2i, Sekali lagi ditumbuhkan dioksida silicon pada seluruh irisan sampai menutup daerah emitor yang baru selesai dibuat.
- ⇒ Gambar 2j, Proses pembuatan transistor selanjutnya adalah dengan fotoreซิส ketiga dan tahap masking untuk menentukan daerah-daerah kontak. Kontak dibuat dengan menguapkan aluminium pada daerah-daerah yang terbuka. Sedangkan permukaan bagian belakang dari irisan akan menjadi daerah kontak kolektor.

- ⇒ Gambar 2k, Setiap transistor pada irisan yang selesai dibuat harus melalui pengujian secara otomatis (*ATE-Automatic Test Equipment*), biasanya transistor yang mengalami kegagalan langsung dipisahkan dan dibuang. Sedangkan transistor-transistor yang lulus uji test, sesuai dengan ketentuan spesifikasi, dipisahkan dari irisan dengan menandainya memakai jarum-jarum intan dan memecahkannya dalam unit-unit individual.
- ⇒ Gambar 2l, Keping-keping ini kemudian dipasang pada suatu kepala, biasanya berlapis emas, yang kemudian membentuk kontak kolektor. Sambungan-sambungan dibuat ke bagian logam basis emitor, dan kemudian transistor ditutup rapat di dalam kaleng logam atau plastik. Untuk Gambar 2k sampai Gambar 2l tidak disertakan

Transistor Persambungan

Transistor persambungan yang terbuat dari susunan bahan kristal Silikon atau Germanium, untuk jenis transistor bertipe PNP adalah satu lapisan Silikon tipe-N diapit di antara dua lapisan Silikon tipe-P. Sedangkan untuk jenis transistor tipe NPN satu lapisan tipe-P diapit di antara dua lapisan kristal tipe-N.





Gambar 3. Konstruksi fisis transistor-NPN

Gambar 3a memperlihatkan aliran arus elektron dan Gambar 3b memperlihatkan susunan fisik dari transistor tipe-NPN lengkap dengan pencatutan masing-masing kaki serta memperlihatkan aliran arus didalamnya. Sedang Gambar 3c memperlihatkan Gambar 3b secara skematik.

Pendahuluan

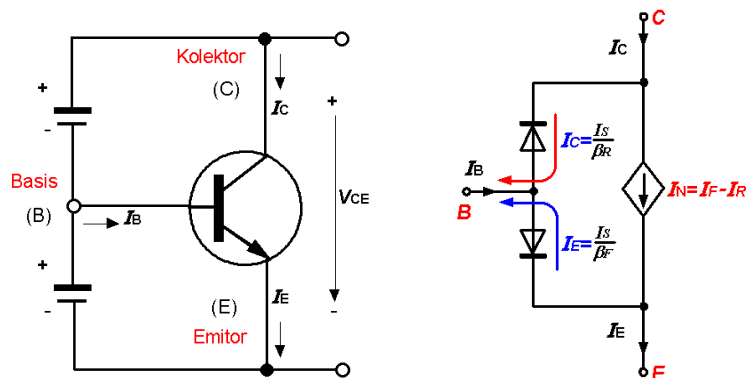
Pada paragraf sebelumnya telah dijelaskan bagaimana semikonduktor sambungan NPN atau PNP terbentuk menjadi sebuah transistor. Pada beberapa rangkaian elektronik transistor sering difungsikan sebagai elemen penguat dan saklar terkendali. Dua hal yang membedakan, bila transistor dioperasikan sebagai penguat pemberian tegangan bias diletakkan pada daerah aktif (linier), sedangkan apabila transistor bekerja sebagai saklar pemberian tegangan bias berada pada daerah hantaran penuh/sumbatan penuh (non linier).

Karakteristik masukan

Untuk memudahkan pengertian secara kualitatif perilaku dari bentuk karakteristik masukan dan keluaran suatu transistor dapat dipandang sebagai ekivalen dari dua buah dioda yang saling bertolak belakang dengan posisi katodanya saling dihubungkan. Gambar 3. memperlihatkan suatu simbol dan rangkaian pengganti transistor-npn, dimana pada daerah aktif susunan dioda antara emitor-basis mendapat tegangan bias maju (*forward biased*).

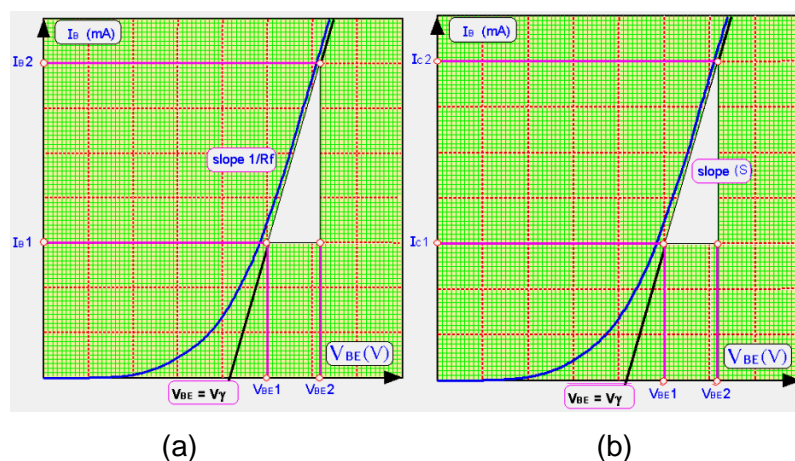
Suatu sifat penting dari karakteristik masukan arus tegangan adalah menyerupai sifat sumber tegangan konstan yang ditandai dengan adanya tegangan ambang (V_γ) dengan arus emitor kecil. Umumnya, besarnya tegangan ambang (V_γ) kira-kira $<0,3V$ untuk transistor Germanium dan $<0.6V$ untuk transistor Silikon.

Pada daerah diatas batasan tegangan ambang (V_γ) terlihat jelas sekali bentuk kurva dapat digunakan model pendekatan linier sumber arus konstan. Pada daerah ini terlihat perubahan tegangan basis emitor (V_{BE}) yang sedemikian kecil akan menyebabkan perubahan arus kolektor (I_C) cukup besar. Dengan perilaku yang demikian ini sangat memungkinkan sekali suatu alasan kenapa transistor banyak difungsikan sebagai penguat (*amplification*).



Gambar 4. Bias dan rangkaian pengganti transistor-NPN

Agar supaya mudah dipahami, maka bentuk kurva dari karakteristik masukan dapat kita pandang sebagai perubahan tegangan basis emitor (V_{BE}) dengan mengkondisikan tegangan antara kolektor-emitor (V_{CE}) konstan. Persamaan (2) memperlihatkan kemiringan kurva hubungan fungsi perubahan antara arus kolektor (I_C) terhadap tegangan basis emitor (V_{BE}) pada saat tegangan kolektor-emitor (V_{CE}) dikondisikan konstan. Gambar 5a. memperlihatkan karakteristik masukan, dimana absis adalah arus basis (I_B) dan ordinat menggambarkan tegangan basis ke emitor (V_{BE}) untuk berbagai nilai tegangan kolektor-emitor (V_{CE}). Pertama dapat diamati untuk tegangan kolektor emitor hubung singkat ($V_{CE}=0$) dengan basis emitor terbias maju. Dengan kondisi seperti ini, karakteristik masukan dari transistor pada hakekatnya menyerupai dioda persambungan yang terbias maju. Dan apabila tegangan basis menjadi nol, maka arus basis (I_B) akan berada pada nilai nol juga, karena dalam keadaan ini kedua persambungan antara kolektor dan emitor dalam kondisi hubung singkat (*short-circuited*). Pada kenyataannya menaikkan tegangan $|V_{CE}|$ dengan kondisi tegangan basis emitor (V_{BE}) tetap konstan, maka akan menyebabkan penurunan arus rekombinasi basis.



Gambar 5. (a) Karakteristik masukan $I_B=f(V_{BE})$ dan (b) transfer $I_C=f(V_{BE})$

Dari Gambar 5b memperlihatkan kemiringan kurva transfer (k) dapat dinyatakan seperti persamaan berikut:

$$k = \frac{\delta \cdot I_C}{\delta \cdot V_{BE}} \Big|_{V_{CE} = \text{konstan}} \quad (3)$$

dengan $\delta \cdot I_C = \beta \cdot \delta \cdot I_B$, sehingga besarnya arus kolektor adalah:

$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \quad (4)$$

sehingga didapatkan hubungan kemiringan (k) sebagai berikut:

$$k = \frac{I_S}{V_T} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) = \frac{I_C}{V_T} \quad (5)$$

Kemiringan (k) tidak tergantung dari parameter transistor, untuk semua jenis transistor mempunyai bentuk kurva yang sama.

Karena kurva masukan $I_B = f(V_{BE})$ dari transistor menyerupai karakteristik dioda persambungan, maka perubahan arus basis (I_B) berlaku hubungan persamaan sebagai berikut:

$$I_B = I_{BS} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{m \cdot V_T}\right) \quad (6)$$

$$\frac{1}{r_{BE}} = \frac{I_{BS}}{m \cdot V_T} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{m \cdot V_T}\right) \quad (7)$$

Dengan demikian besarnya resistansi masukan dinamis (r_{BE}) adalah:

$$r_{BE} = \frac{k \cdot V_T}{I_B} \quad (8)$$

dimana r_{BE} adalah resistansi dinamis masukan dalam Ω , dan k adalah koefisien emisi tergantung dari material dan susunan fisis dioda. Untuk dioda Germanium $m=1$ dan untuk dioda Silikon $m=2$, atau dalam eksperimen besarnya resistansi dalam dinamis dapat dicari dengan persamaan:

$$r_{BE} = \frac{(V_{BE2} - V_{BE1})}{(I_{B2} - I_{B1})} V \quad (9)$$

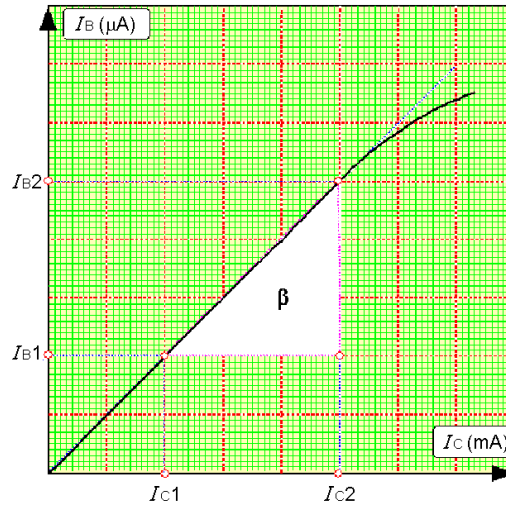
Kurva transformasi; penguatan arus untuk sinyal kecil (β) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan arus kolektor (δI_C) terhadap perubahan arus basis (δI_B) yang kecil yang terletak diantara titik kerja statis atau titik kerja DC (*direct current* / arus searah) dengan kondisi tegangan kolektor emitor (V_{CE}) konstan, atau definisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\beta = h_{fe} = \frac{\delta \cdot I_C}{\delta \cdot I_B} = \left. \frac{(I_{C2} - I_{C1})}{(I_{B2} - I_{B1})} \right|_{V_{CE} = \text{konstan}} \quad (10)$$

Gambar 6. memperlihatkan kurva karakteristik perubahan arus basis (δI_B) terhadap perubahan arus kolektor (δI_C) dengan tegangan kolektor emitor (V_{CE}) dijaga konstan. Melalui kurva tersebut dapat ditentukan besarnya penguatan arus statis (B) adalah:

$$B = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (11)$$

Bilamana karakteristik penguatan arus bersifat linier, maka besarnya antara penguatan arus statis (B) dan penguatan arus dinamis (β) adalah sama. Akan tetapi secara riil tidak demikian karena penguatan arus transistor sangat tergantung oleh perubahan temperatur. Apabila temperatur yang diberikan ke transistor semakin besar, maka menyebabkan arus yang mengalir pada basis (I_B) semakin naik cenderung tidak linier (melengkung kebawah). Kondisi ini menyebabkan penguatan arus statis (B) dan penguatan arus dinamis (β) tidak sama.



Gambar 6. Karakteristik transfer

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan (6), (8), dan (9), maka besarnya resistansi masukan dinamis (r_{BE}) dapat ditentukan:

$$r_{BE} = \frac{\delta \cdot V_{BE}}{\delta \cdot I_B} = \beta \cdot \frac{\delta \cdot V_{BE}}{I_C} = \frac{\beta}{k} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C} \quad (12)$$

Pada kejadian ini $m \approx 1$, dan karena kurva masukan $I_B = f(V_{BE})$ dipengaruhi juga oleh kondisi tegangan keluaran kolektor emitor (V_{CE}), atau kejadian sebaliknya pada saat kondisi arus basis ditetapkan konstan.

Dengan demikian dari proses transformasi tersebut terjadi pengaruh efek balik antara jaringan masukan tegangan basis emitor (V_{BE}) terhadap jaringan keluaran tegangan kolektor emitor (V_{CE}) seperti dinyatakan pada persamaan berikut:

$$Ar = \left. \frac{\delta \cdot V_{BE}}{\delta \cdot V_{CE}} \right|_{I_B = \text{konstan}} \quad (13)$$

demikian juga berlaku:

$$kr = \left. \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot V_{CE}} \right|_{V_{BE} = \text{konstan}} \quad (14)$$

secara umum pengaruh transformasi balik adalah relatif sangat kecil dan pada hakekatnya dapat diabaikan di dalam perencanaan rangkaian. Dengan melakukan perubahan pada arus basis (δI_B), maka arus keluaran kolektor (I_C) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan differensial dan dapat ditulis seperti pada persamaan berikut:

$$dI_B = \frac{\delta I_B}{\delta V_{BE}} dV_{BE} + \frac{\delta I_B}{\delta V_{CE}} dV_{CE} \quad (15)$$

atau transformasi terhadap perubahan arus kolektor (dI_C)

$$dI_C = \frac{\delta I_C}{\delta V_{BE}} dV_{BE} + \frac{\delta I_C}{\delta V_{CE}} dV_{CE} \quad (16)$$

sehingga didapatkan perubahan arus basis (dI_B) seperti berikut ini:

$$dI_B = \frac{1}{r_{BE}} dV_{BE} + kr \cdot dV_{CE} \quad (17)$$

atau transformasi terhadap perubahan arus kolektor (dI_C)

$$dI_C = k \cdot dV_{BE} + \frac{1}{r_{CE}} dV_{CE} \quad (18)$$

atau bila dinyatakan dalam notasi (Y) matrik adalah:

$$\begin{pmatrix} dI_C \\ dI_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{r_{BE}} & kr \\ k & \frac{1}{r_{CE}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dV_{BE} \\ dV_{CE} \end{pmatrix} \quad (19)$$

Formulasi pada persamaan (19) atau lebih dikenal dengan Y-matrik, pada aplikasi didalam menentukan parameter-parameter transistor sering diistilahkan dengan sebutan matrik hibrida (*Hybrid matrix*). Dan secara umum dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$dV_{BE} = r_{BE} \cdot dI_B - r_{BE} \cdot kr \cdot dV_{CE} \quad (20)$$

dan formulasi perubahan arus keluaran (dI_C) dapat juga dinyatakan sebagai berikut:

$$dI_C = k \cdot dV_{BE} + \frac{1}{r_{CE}} \cdot dV_{CE} \quad (21)$$

dengan demikian berlaku persamaan masukan:

$$k \cdot dV_{BE} = k \frac{dV_{BE}}{dI_B} dI_B = kr \cdot r_{BE} dI_B \quad (22)$$

dan selanjutnya dapat dinyatakan:

$$dV_{BE} = r_{BE} dI_B - r_{BE} \cdot kr \cdot dV_{CE} \quad (23)$$

atau

$$dI_C = k \cdot r_{BE} \cdot dI_B + \frac{1}{r_{CE}} dV_{CE} \quad (24)$$

Dan dapat juga dicari dengan menggunakan persamaan matrix Hibrida seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} dV_{BE} \\ dI_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dI_B \\ dV_{CE} \end{pmatrix} \quad (25)$$

ringkasan istilah parameter-parameter transistor bipolar

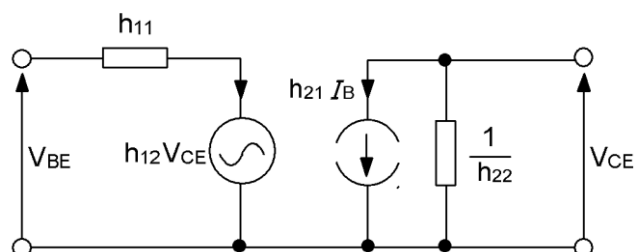
$h_{11} = r_{BE}$ menyatakan resistansi masukan internal dinamis antara basis dan emitor (Ω)

$h_{12} = -r_{BE} \cdot kr = -dV_{BE}/dV_{CE}$ menyatakan transformasi balik antara perubahan tegangan masukan (V_{BE}) dan perubahan tegangan keluaran (V_{CE}) atau $h_{12} = Ar = dV_{BE}/dV_{CE}$

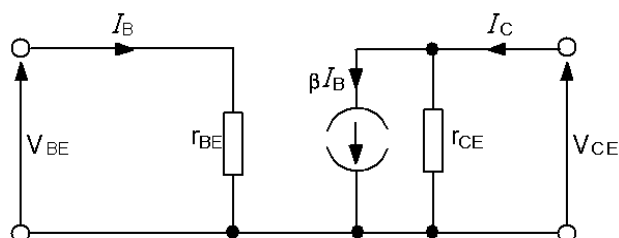
$h_{21} = r_{BE} \cdot S = -dI_C/dI_B$ menyatakan besarnya faktor penguatan arus dinamis sinyal kecil atau $h_{21} = \beta$

$h_{22} = 1/r_{CE}$ menyatakan besarnya daya hantar keluaran (mho)

Berdasarkan formulasi diatas, maka rangkaian pengganti dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. berikut



Gambar 7. Model umum hibrida transistor



Gambar 8. Rangkaian Pengganti Model H

Persamaan empat kutub tegangan basis-emitor (V_{BE}) dan arus kolektor transistor (I_C):

$$V_{BE} = r_{BE} \cdot I_B \quad (26)$$

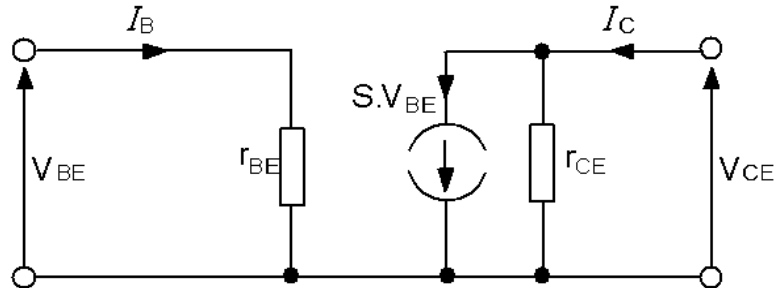
$$I_C = \beta \cdot I_B + \frac{V_{CE}}{r_{CE}} \quad (27)$$

dari persamaan empat kutub, maka persamaan matrik (17) dapat ditulis dengan menggunakan model persamaan notasi matrik H sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} V_{BE} \\ I_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{BE} & A_r \\ \beta & \frac{1}{r_{CE}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_B \\ V_{CE} \end{pmatrix} \quad (28)$$

dengan mengasumsikan bahwa nilai $A_r = V_{BE}/V_{CE} \approx 0$ (kecil sekali), maka model rangkaian

pengganti transistor dapat disederhanakan seperti yang diperlihatkan Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Rangkaian pengganti model Y

Persamaan empat kutub dari arus basis dan kolektor sebuah transistor

$$i_B = \frac{1}{r_{BE}} v_{BE} \quad (29)$$

$$i_C = k \cdot v_{BE} + \frac{1}{r_{CE}} v_{CE} \quad (30)$$

dari persamaan empat kutub, maka persamaan matrik (29) dapat ditulis dengan menggunakan model persamaan notasi matrik Y sebagai berikut:

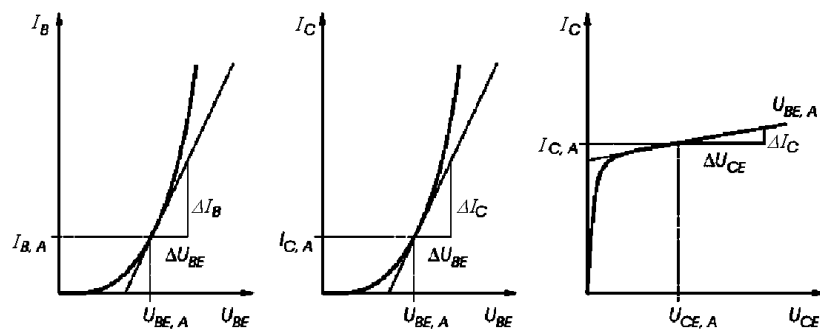
$$\begin{pmatrix} i_B \\ i_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{r_{BE}} & k_r \\ k & \frac{1}{r_{CE}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{BE} \\ v_{CE} \end{pmatrix} \quad (31)$$

dengan mengasumsikan bahwa nilai $k_r = i_B / v_{CE} \approx 0$ (kecil sekali), maka model rangkaian pengganti transistor dapat disederhanakan seperti yang diperlihatkan Gambar 9.

Parameter model transistor untuk sinyal kecil

Transformasi hubungan antara karakteristik masukan dan karakteristik keluaran penting sekali untuk dipahami. Gambar

10 memperlihatkan hubungan karakteristik masukan dari arus basis (I_B) terhadap tegangan basis-emitor (V_{BE}) ditransformasikan menjadi perubahan arus kolektor (I_C) terhadap perubahan tegangan basis-emitor (V_{BE}), dimana keduanya mempunyai bentuk yang sama. Karakteristik masukan transistor cenderung bersifat sebagai sumber tegangan, sedangkan kurva karakteristik keluaran cenderung bersifat sebagai sumber arus konstan.



Gambar 10. Parameter karakteristik Model Transistor

Parameter resistansi dinamis masukan basis emitor (r_{BE}) adalah

$$r_{BE} = \Delta V_{BE} / \Delta I_B \text{ atau } r_{BE} = \beta / k$$

Parameter transformasi perubahan arus kolektor (I_C) terhadap perubahan tegangan masukan basis emitor (V_{BE}) adalah

$$k = \Delta I_C / \Delta V_{BE} \text{ atau } k = I_C / V_T \text{ dimana } V_T = 25\text{mV}$$

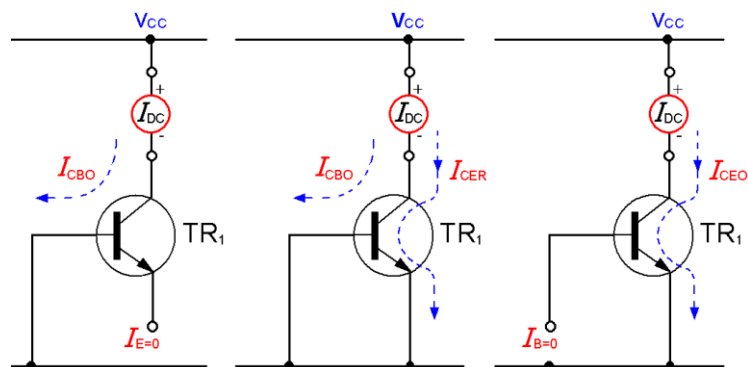
Parameter resistansi dinamis keluaran kolektor emitor (r_{CE}) adalah

$$r_{CE} = \Delta V_{CE} / \Delta I_C$$

Karakteristik Keluaran

Pada daerah aktif persambungan kolektor diberi tegangan bias balik (*reverse biased*), sedangkan pada emitor diberi

tegangan maju (*forward biased*). Untuk memahami pengertian, maka pertama-tama arus emitor dapat dianggap sama dengan nol ($I_E=0$). Karena polaritas kolektor basis terbias balik, maka pada kondisi ini arus kolektor yang mengalir sangat kecil dan sama dengan arus kolektor balik jenuh I_{CBO} (untuk tipe Germanium arus balik jenuh dalam kisaran μA , sedangkan untuk transistor tipe silicon dalam kisaran nA). dari persambungan kolektor, dan dalam hal ini dapat dipandang sebagai komponen persambungan-pn dioda. Dengan demikian apabila sekarang dimisalkan arus emitor maju (I_E) mengalir pada rangkaian emitor, yang mana sebagian dari arus ini sebesar αI_E berada dan akan mencapai pada kolektor. persamaan (32) menjelaskan hubungan antara arus (I_C) dan arus balik jenuh (I_{CBO}).



Gambar 11. Arus Bocor Transistor

Dari Gambar 11 didapat hubungan arus bocor transistor seperti berikut:

$$I_{CEV} < I_{CES} < I_{CER} < I_{CEO}$$

$$I_{CBO} \cong \frac{I_{CEO}}{\beta}$$

$$I_C = I_{CBO} - \alpha \cdot I_E \quad (32)$$

Pada daerah aktif, perubahan arus kolektor (I_C) pada hakekatnya tidak tergantung dari perubahan tegangan kolektor dan hanya tergantung oleh perubahan arus emitor (-

$\alpha \cdot I_E$). Pada daerah ini perubahan nilai dari arus keluaran kolektor (I_C) paling peka terhadap perubahan sinyal masukan dan apabila transistor akan digunakan sebagai penguat tanpa adanya distorsi yang berarti, maka operasi titik kerja sebaiknya dipilih dan dibatasi pada daerah kerja aktif. Gambar 12. memperlihatkan kurva keluaran $I_C = f(V_{CE})$ untuk berbagai macam variasi arus basis (I_B) yang berbeda-beda.

Karakteristik dan hubungan arus basis (I_B) pada rangkaian emitor bersama (*common emitter*) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$I_B = -(I_C + I_E) \quad (33)$$

Dengan menggabungkan persamaan (33) ke dalam persamaan (32), diperoleh hubungan persamaan berikut:

$$I_C = \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} + \frac{\alpha \cdot I_B}{1 - \alpha} \quad (34)$$

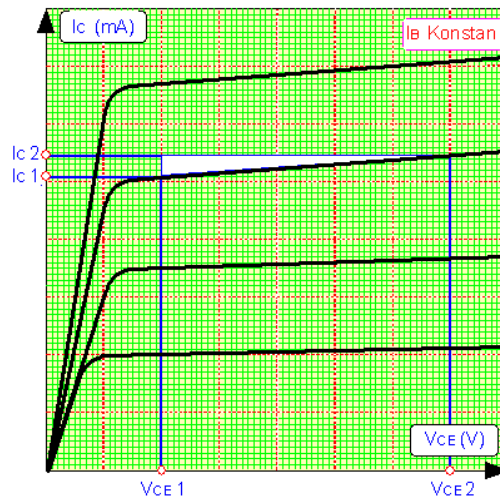
dengan

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (35)$$

maka persamaan (34) dapat ditulis menjadi:

$$I_C = (1 + \beta) \cdot I_{CBO} + \beta \cdot I_B \quad (36)$$

Oleh karena arus balik jenuh arus basis $I_B \gg I_{CBO}$, dengan demikian $(1 + \beta) \cdot I_{CBO}$ bernilai kecil untuk selanjutnya dapat diabaikan. Dengan (α) merupakan konstanta, maka berdasarkan persamaan (36), kemiringan kurva arus kolektor tidak tergantung oleh tegangan (V_{CE}). Pengaruh ini disebut dengan *Early effect* (efek awal) (α), yang menunjukkan suatu pengaruh numerik yang kecil terhadap nilai (α) akan menyebabkan perubahan nilai penguatan arus (β) yang relatif besar. Gambar 12 memperlihatkan karakteristik keluaran transistor arus kolektor (I_C) terhadap tegangan kolektor emitor (V_{CE})

Gambar 12. Karakteristik keluaran $I_C=f(V_{CE})$

2. Rangkaian bipolar transistor sebagai penguat dan piranti saklar.

Tegangan Bias Transistor Dan Stabilisasi *Thermal*

Stabilisasi *Thermal*, Permasalahan yang perlu diperhatikan didalam merancang sebuah penguat transistor penentuan dan penetapan titik kerja DC (statis). Untuk menetapkan titik kerja statis dari suatu penguat transistor dipilih pada area daerah aktif dari karakteristiknya. Penting untuk diperhatikan bahwasannya disain penguat yang baik adalah bagaimana kita bisa memilih dan menempatkan titik kerja statis pada daerah aktif dan dalam kondisi stabil (*quiescent operating point*). Teknik pemberian tegangan bias bertujuan untuk mendapatkan titik kerja DC sedemikian rupa sehingga tidak mengalami pergeseran ketika transistor mendapatkan tekanan **perubahan temperatur (T)**, sebab parameter-parameter transistor (penguatan arus β , arus bocor I_{CBO} dan tegangan basis-emitor V_{BE}) merupakan fungsi dari T dan masalah ini perlu dikendalikan sehingga tidak mempengaruhi titik operasi dari transistor.

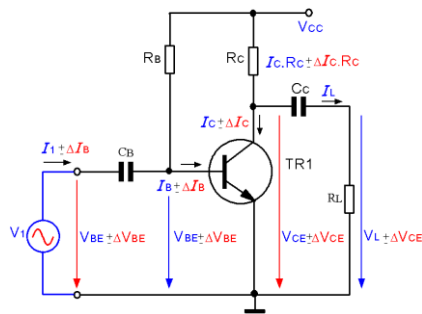
Titik Kerja-DC

Karakteristik titik kerja transistor mempunyai sifat linier yang paling baik jika daerah kerjanya hanya dibatasi pada daerah aktifnya. Untuk menetapkan titik kerja pada daerah ini transistor harus mendapatkan tegangan bias dan arus bias searah pada nilai yang tepat. Gambar 13, memperlihatkan suatu contoh rangkaian sederhana dari penguat emitor bersama (*common emitter*) dengan bias tetap (*fix biased*).

Parameter Transistor

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi titik kerja statis transistor adalah:

- ⇒ Rentang variasi perubahan penguatan arus transistor (β), dari data transistor biasanya dinyatakan dengan nilai minimum-tipikal-maksimum (nilai tersebut berkisar 5 banding 1 atau lebih) untuk tipe transistor tertentu.
- ⇒ Rentang variasi arus bocor kolektor basis (I_{CBO}) pada saat emitor terbuka dan ini sangat tergantung dari perubahan temperatur internal transistor.
- ⇒ Perubahan tegangan basis-emitor (V_{BEQ}), perubahan nilai ini sangat tergantung dari perubahan temperatur internal transistor.
- ⇒ Kondisi tegangan dari sumber tegangan catu (*power supply*) yang tidak stabil dapat membuat titik kerja statis berubah.
- ⇒ Rentang variasi nilai toleransi dari tahanan rangkaian dan atau efek dari temperatur eksternal.



Gambar 13. Rangkaian Emitor bersama dengan bias tetap (*fix biased*)

Teknik Bias Dan Tingkat Kestabilan

Stabilisasi titik kerja seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa arus bocor yang terjadi pada rangkaian dasar transistor akibat pengaruh perubahan temperatur internal transistor dapat menggeser pengaturan titik kerja statisnya. Untuk mengetahui kondisi rangkaian tersebut stabil atau tidak, maka perlu dianalisa tingkat faktor kestabilan (S_F) terhadap pengaruh perubahan temperatur dapat diminimalisir sekecil mungkin dengan demikian diharapkan titik kerja transistor tetap dipertahankan dalam kondisi stabil. Dan pada akhirnya pengaruh arus bocor (I_{CBO}) dapat ditekan sekecil mungkin.

Faktor Kestabilan

Untuk menjaga agar kondisi titik kerja statis rangkaian tetap stabil, maka perlu diperhitungkan tingkat faktor kestabilan (S_F), dan dapat didefinisikan sebagai perbandingan perubahan arus kolektor (ΔI_C) dengan perubahan arus bocor (ΔI_{CBO}) dimana penguatan arus (β) dan tegangan basis-emitor (V_{BE}) tetap konstan.

Faktor kestabilan (S_F) secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S_F = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} = \frac{\delta I_C}{\delta I_{CBO}} \quad (37)$$

Faktor kestabilan dari persamaan (37) diatas adalah akibat pengaruh kenaikan temperatur pada rangkaian transistor yang digunakan.

Diatas telah disebutkan beberapa pengaruh yang dapat membuat tingkat faktor kestabilan rangkaian mengalami perubahan seperti akibat perubahan arus kolektor (I_C) dengan perubahan penguatan arus (β) dan perubahan arus bocor (I_{CBO}) tetap konstan.

$$S_{\beta} = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} = \frac{\delta I_C}{\delta \beta} \quad (37)$$

Selain itu ada pengaruh tingkat kestabilan yang didefinisikan sebagai perbandingan dari perubahan arus kolektor (I_C) dengan perubahan tegangan basis-emitor (V_{BE}) dimana arus bocor (I_{CBO}) dan penguatan arus (β) dijaga konstan. Dan secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S_V = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \frac{\delta I_C}{\delta V_{BE}} \quad (38)$$

Dari ketiga analisa faktor kestabilan tersebut dan untuk alasan kemudahan baik itu praktis maupun analisis, maka persamaan (35) menjadi pilihan yang tepat yang sering digunakan untuk analisa kestabilan rangkaian.

Analisa Kestabilan

Dengan mengacu difinisi dari persamaan 35, maka rangkaian bias tetap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dapat dianalisa tingkat faktor kestabilannya.

Besarnya arus basis yang mengalir pada rangkaian Gambar 13 adalah:

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} \quad (39)$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (40)$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad (41)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - \beta \frac{R_C}{R_B} (V_{CC} - V_{BE}) \quad (42)$$

Dari persamaan (42) dapat disimpulkan bahwa untuk menetapkan besarnya tegangan (V_{CE}) komponen-komponen yang menentukan adalah R_C , R_B , V_{CC} dan (β) transistor. Suatu permasalahan yang penting untuk diperhatikan adalah pengaruh perubahan penguatan arus (β) transistor, karena nilai (β) sangat tergantung dari perubahan/kenaikan temperatur. Oleh karena (β) berubah menyebabkan pergeseran tegangan (V_{CE}), dengan demikian titik kerja statis tidak stabil.

Pada daerah aktif, hubungan persamaan arus kolektor (I_C) dengan (I_B) dapat dinyatakan seperti berikut:

$$I_C = (1 + \beta) \cdot I_{CBO} + \beta \cdot I_B \quad (43)$$

Untuk mendapatkan tingkat faktor kestabilan (S_F), untuk itu persamaan (43) dideferensialkan terhadap terhadap arus kolektor (I_C), sehingga berlaku persamaan seperti berikut:

$$1 = (1 + \beta) \frac{\delta I_{CBO}}{\delta I_C} + \beta \frac{\delta I_B}{\delta I_C} \quad (44)$$

karena $S_F = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} = \frac{\delta I_C}{\delta I_{CBO}}$, maka persamaan (44) berlaku:

$$1 = (1 + \beta) \frac{1}{S_F} + \beta \frac{\delta I_B}{\delta I_C} \quad (45)$$

sehingga:

$$1 - \beta \frac{\delta I_B}{\delta I_C} = (1 + \beta) \frac{1}{S_F}$$

$$S_F = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \frac{\delta I_B}{\delta I_C}} \quad (46)$$

Kesimpulan, karena pada rangkaian bias tetap menurut persamaan (40) besarnya arus (I_B) tidak tergantung dari besarnya arus kolektor (I_C), maka faktor perubahan $\delta I_B / \delta I_C$ sangat kecil sekali dan dapat diabaikan, dengan demikian faktor kestabilan (S_F) untuk rangkaian bias tetap rangkaian Gambar 13 dapat disederhanakan menjadi:

$$S_F = \beta + 1 \quad (47)$$

Berdasarkan persamaan (47) dapat disimpulkan bahwa rangkaian pada bias ini sangat tergantung dari perubahan nilai (β) dan sangat tidak stabil. Bila pada rangkaian menggunakan $\beta = 100$, ini menunjukkan bahwa bertambahnya arus bocor (I_{CBO}) yang disebabkan oleh kenaikan temperatur, maka arus kolektor (I_C) bertambah 101kali seperti pertambahan arus bocor. Dan ini membuktikan tingkat kestabilan rangkaian sangat jelek, karena titik kerja rangkaian ditentukan oleh nilai arus bocor (I_{CBO}) dan penguatan arus (β).

Masalah Disain

Untuk mendapatkan tingkat faktor kestabilan yang baik, maka nilai (S_F) sebaiknya didisain sekecil mungkin. Karena arus basis (I_B) tergantung dari parameter transistor, dimana nilai arus (I_C) dan tegangan (V_{CE}) sangat dipengaruhi oleh (β) transistor, dengan demikian stabilisasi titik kerja statis rangkaian tidak baik atau I_C f(V_{CE}) menjadi tidak stabil \Rightarrow Teknik Bias dengan umpan balik negatif.

Contoh 1:

Rencanakan sebuah penguat dengan bias tetap seperti Gambar 13 Pengaturan titik kerja statis yang dikehendaki adalah arus kolektor $I_C = 25\text{mA}$ dengan tegangan $V_{CE} = 7,5\text{V}$.

- a) Tentukan nilai tahanan R_C , R_B , jika diketahui penguatan arus $\beta = 100$, tegangan basis-emitor $V_{BE} = 0,7\text{V}$ dan tegangan catu $V_{CC} = 15\text{V}$.

- b) Seperti permasalahan (a), jika temperatur naik sehingga penguatan arus $\beta = 200$. Tentukan besarnya tegangan kolektor-emitor (V_{CE}).
- c) Berikan kesimpulan dari permasalahan (a) dan (b).

Hitungan:

Menentukan tahanan (R_B)

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{15V - 0,7V}{\frac{25mA}{100}} = 57,2k\Omega$$

Menentukan tahanan (R_C)

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE}$$

$$15V = 25 \cdot 10^{-3} \cdot R_C + 7,5V$$

$$R_C = \frac{15V - 7,5V}{25 \cdot 10^{-3} A} = 300\Omega$$

Jika temperatur naik penguatan arus $\beta = 200$, maka tegangan (V_{CE}) bergeser sebesar:

$$V_{CE} = V_{CC} - \beta \frac{R_C}{R_B} (V_{CC} - V_{BE})$$

$$V_{CE} = 15V - 200 \frac{300\Omega}{57200} (15V - 0,7V)$$

$$V_{CE} = 15V - 15V = 0V$$

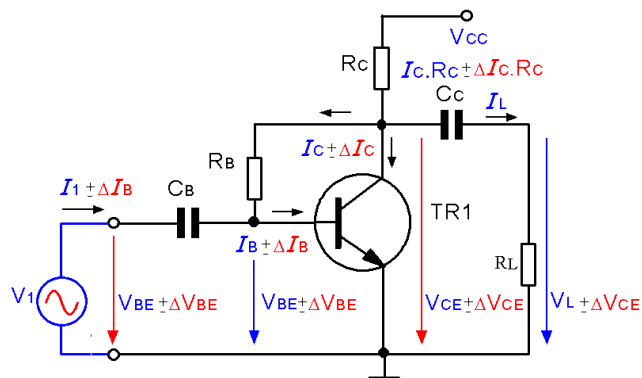
Kesimpulan; Jika tegangan $V_{CE} < V_{BE}$, maka tidak lagi dioperasikan pada daerah aktif, dengan demikian persamaan diatas tidak bisa digunakan untuk daerah titik kerja saturasi. Permasalahan disain rangkaian dengan menggunakan bias tetap yang harus diperhatikan adalah pengaruh perubahan naik turunnya penguatan arus β dari nilai tipikal ke nilai minimal atau maksimalnya, karena pabrik pembuat transistor memberikan data pengujian spesifikasi pada temperatur kerja dipertahankan konstan sebesar 25° .

Rangkaian Bias dengan Stabilisasi Umpan Balik Tegangan

Pada rangkaian bias tetap Gambar 13, tahanan bias basis (R_B) langsung dihubungkan dengan terminal sumber daya dc (*power supply*), sedangkan pada rangkaian bias dengan umpan balik tahanan basis (R_B) dihubungkan ke kaki kolektor sehingga membentuk jaringan umpan balik tegangan kolektor-emitor. Gambar 14 memperlihatkan rangkaian dasar bias umpan balik.

Titik Kerja DC Melalui Tahanan R_B .

Gambar 14 memperlihatkan metode penstabil titik kerja DC dengan menggunakan umpan balik tegangan melalui tahanan (R_B).



Gambar 14 Rangkaian bias umpan balik arus kolektor

Analisa Rangkaian DC

Untuk menghitung titik kerja DC semua kapasitor dapat diasumsikan sebagai rangkaian terbuka (*open circuit*). Dengan menggunakan hukum kirchoff, maka didapatkan persamaan tegangan sebagai berikut:

$$V_{CC} = R_C \cdot (I_B + I_C) + I_B \cdot R_B + V_{BE} \quad (48)$$

$$V_{CC} = I_B \cdot R_C + I_C \cdot R_C + I_B \cdot R_B + V_{BE} \quad (49)$$

$$V_{CC} = \frac{I_C}{\beta} R_C + I_C R_C + \frac{I_C}{\beta} R_B + V_{BE} \quad (50)$$

$$V_{CC} = \left(\frac{R_C}{\beta} + R_C + \frac{R_B}{\beta} \right) I_C + V_{BE} \quad (51)$$

Bila $I_B + I_C \approx I_C$, maka

$$V_{CC} = \left(R_C + \frac{R_B}{\beta} \right) I_C + V_{BE} \quad (52)$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{\beta}} \quad (53)$$

Jika $\frac{R_B}{\beta} \ll R_C$ atau $R_B \ll \beta R_C$, maka didapatkan persamaan

pendekata seperti berikut:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C} \quad (54)$$

Dari persamaan (54) dapat disimpulkan bahwa, selama arus kolektor (I_C) tidak tergantung dari penguatan arus (β), selama itu titik kerja statis beroperasi pada daerah aktif dan dalam hal ini rangkaian dapat dinyatakan stabil.

Bila persamaan masukan dinyatakan kedalam arus basis (I_B), maka:

$$V_{CC} = I_C R_C + I_B (R_B + R_C) + V_{BE} \quad (55)$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - I_C R_C}{R_C + R_B} \quad (56)$$

Tegangan V_{CC} , V_{BE} suatu nilai yang konstan dan tidak tergantung dari arus kolektor (I_C), maka diferensial arus basis (I_B) terhadap arus kolektor (I_C) dari persamaan (56) adalah:

$$\frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} = \frac{-R_C}{R_C + R_B} \quad (57)$$

Substitusi persamaan (56) terhadap persamaan (57)

$$S_F = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \frac{\delta I_B}{\delta I_C}} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_C}{R_C + R_B}} \quad (58)$$

Kesimpulan; dari persamaan (58) akan didapatkan faktor kestabilan yang baik apabila penguatan arus (β) ditetapkan besar, sehingga perkalian $\beta \cdot R_C$ semakin bertambah besar. Karena pada rangkaian bias umpan balik membuktikan bahwa perubahan arus (I_B) terhadap perubahan arus (I_C) dapat membuat nilai (S_F) kecil, dengan demikian rangkaian dengan bias umpan balik seperti yang Gambar 14, mempunyai faktor kestabilan yang jauh lebih baik bila dibandingkan dengan rangkaian bias tetap Gambar 13.

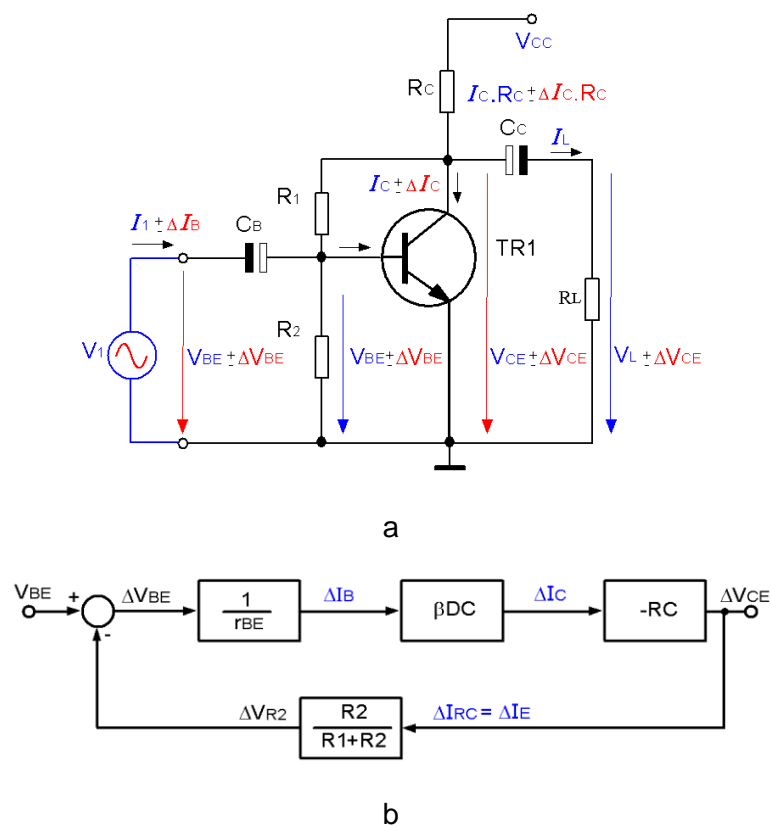
Stabilisasi Rangkaian Gambar 14:

Bila temperatur (T) naik, maka penguatan arus (β) naik, demikian pula arus kolektor (I_C) naik, dengan naiknya arus (I_C) menyebabkan tegangan pada tahanan (R_C) juga mengalami kenaikan ($V_{RC} = I_C \cdot R_C$). Karena tegangan pada tahanan (R_C) naik, dengan demikian menyebabkan arus basis (I_B) menurun (lihat persamaan 2.386). Dengan turunnya arus basis (I_B) menyebabkan arus kolektor juga turun (ingat $I_C = \beta \cdot I_B$) dan rangkaian terjadi proses umpan balik sehingga dapat mengkompensasi kenaikan faktor penguatan arus (β) akibat kenaikan temperatur (T).

Titik Kerja DC Pembagi Tegangan Sumber Kolektor

Dasar pemikiran dan latar belakang dari stabilisasi titik kerja DC pada rangkaian ini adalah mengacu pada rangkaian emitor bersama (*common-emitter*), dimana pada rangkaian emitor bersama stabisasi titik kerja atau perubahan tegangan kolektor-emitor ditentukan oleh tahanan R_E dan R_C atau $\Delta V_{CE} \approx -\Delta I_C (R_E + R_C)$. Melalui pembagi tegangan yang dibangun oleh tahanan R_1 dan R_2 pada gambar rangkaian dibawah bertujuan untuk menjaga agar

tegangan kolektor-emitor tetap konstan akibat perubahan atau kenaikan temperatur. Dari rangkaian diatas dapat digambarkan diagram alur proses stabilisasi titik kerja DC melalui pembagi tegangan tahanan R_1 dan R_2 . Dimana tegangan keluaran kolektor-emitor V_{CE} dikendalikan oleh jaringan umpan balik yang dibangun oleh besarnya faktor perbandingan antara R_1 dan R_2 dengan faktor umpan balik $R_2/(R_2+R_3)$. Gambar 15(a) meperlihatkan prinsip stabilisasi titik kerja dengan pembagi tegangan R_1 dan R_2 .



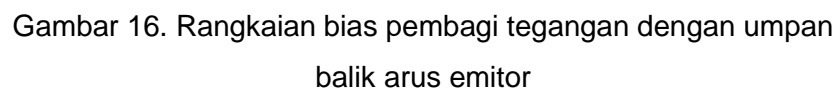
Gambar 15. Stabilisasi titik kerja dengan pembagi tegangan R_1 dan R_2

Gambar 16 memperlihatkan diagram alur perubahan tegangan kolektor-emitor (ΔV_{CE}) akibat pengaruh dari perubahan tegangan masukan basis-emitor (ΔV_{BE}) dapat dinyatakan kedalam persamaan berikut:

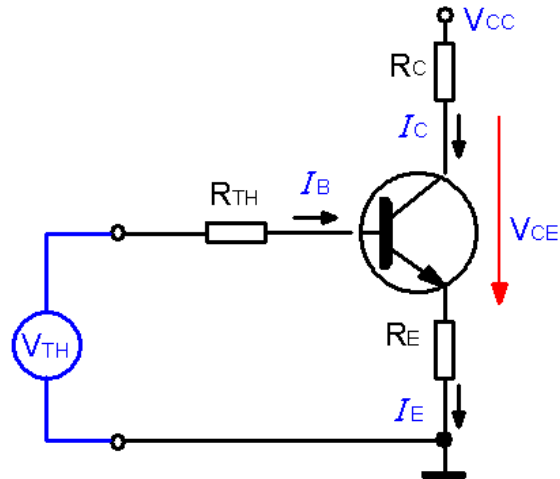
Bila r_{BE}/β_{DC} bernilai kecil maka perubahan $\Delta V_{CE}/\Delta V_{BE}$ hanya ditentukan oleh pembagi tegangan antara tahanan R_1 dan R_2 , dengan demikian berlaku persamaan sebagai berikut:

Berdasarkan persamaan ini, maka terbukti bahwa fungsi dari tahanan R_1 dan R_2 identik dengan rangkaian stabilisasi titik kerja dengan menggunakan tahanan R_E dan R_C .

Ada beberapa cara untuk mendapatkan tingkat faktor kestabilan yang baik, berikut ini akan dibahas rangkaian bias pembagi tegangan dengan umpan balik arus emitor. Untuk itu pada kaki emitor perlu dihubungkan tahanan R_E dengan nilai relatif kecil. Gambar 16, memperlihatkan sebuah rangkaian bias pembagi tegangan dengan umpan balik arus.



Gambar 16 memperlihatkan rangkaian pengganti menurut teori Thevenin, dimana tahanan R_1 , R_2 diganti dengan (R_{TH}) dan tegangan sumber (V_{TH})



Gambar 16. Rangkaian Pengganti Thevenin

Menurut teori Thevenin nilai tahanan (R_{TH}) dapat dinyatakan kedalam persamaan berikut:

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (61)$$

sedangkan nilai tegangan pengganti Thevenin (V_{TH}) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} \quad (62)$$

Nilai pembagi tegangan tahanan (R_2) adalah

$$R_2 = \frac{R_{TH}}{1 - V_{TH}/V_{CC}}$$

Nilai pembagi tegangan tahanan (R_1) adalah

$$R_1 = R_{TH} \frac{V_{CC}}{V_{TH}}$$

Analisa titik kerja statis rangkaian:

$$I_E \approx I_C = \beta \cdot I_B \quad (63)$$

Persamaan masukan basis-emitor:

$$V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_E \cdot R_E \quad (64)$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + \beta \cdot R_E} \quad (65)$$

Persamaan keluaran kolektor-emitor

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E \quad (66)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) \quad (67)$$

Karena tegangan sumber V_{CC} adalah konstan, maka perubahan tegangan kolektor-emitor ΔV_{CE} ditentukan oleh:

$$\Delta V_{CE} = -\Delta I_C (R_C + R_E) \quad (68)$$

atau arus kolektor dapat dinyatakan

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C + R_E} \\ &= -\frac{1}{R_C + R_E} V_{CE} + \frac{1}{R_C + R_E} V_{CC} \\ I_C &= \frac{1}{R_C + R_E} (V_{CC} - V_{CE}) \end{aligned} \quad (69)$$

$1/(R_C + R_E)$ menentukan kemiringan garis beban DC rangkaian penguat.

Agar supaya didapatkan jaringan umpan balik yang efektif, maka nilai tahanan R_{TH} sebaiknya dipilih lebih kecil dari $\beta \cdot R_E \Rightarrow (R_{TH} \ll \beta \cdot R_E)$, dengan demikian persamaan (65) dapat disederhanakan menjadi:

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{\beta \cdot R_E} \quad (70)$$

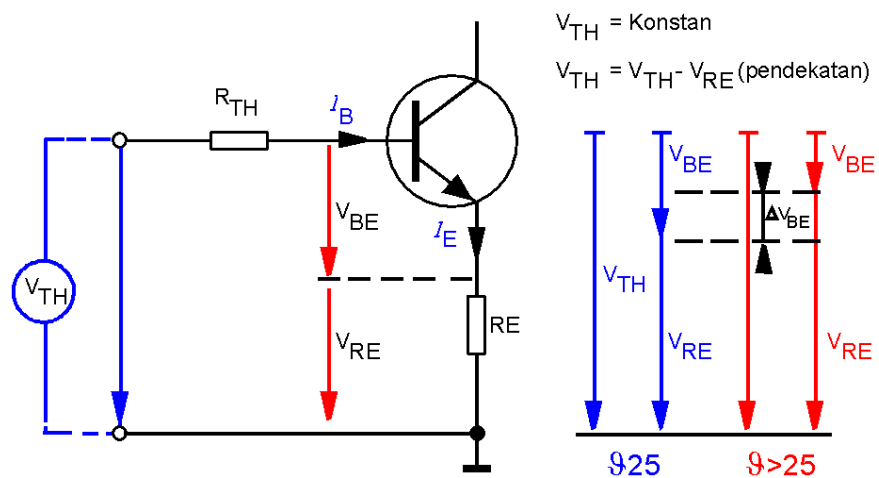
dan

$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E} \quad (71)$$

Substitusi persamaan (71) terhadap persamaan (69) adalah sebagai berikut:

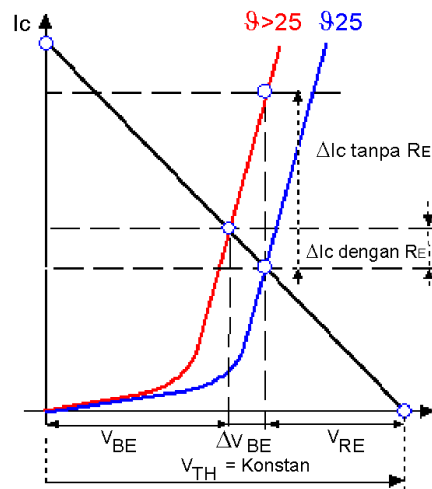
$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ &\approx V_{CC} - \frac{R_C + R_E}{R_E} (V_{TH} - V_{BE}) \end{aligned} \quad (72)$$

Dari persamaan (72) dapat disimpulkan bahwa dengan menghubungkan tahanan (R_E) jaringan umpan balik arus negatif, maka besarnya arus kolektor (I_C) dan tegangan kolektor-emitor (V_{CE}) tidak lagi tergantung oleh perubahan faktor penguatan arus (β). Gambar 17 memperlihatkan rangkaian umpan balik arus negatif dengan rangkaian pengganti thevenin. Dengan memasang tahanan (R_E) dan tegangan thevenin (V_{TH}) konstan, maka dapat mengkompensasi perubahan tegangan basis-emitor (ΔV_{BE}) akibat pengaruh perubahan temperatur.



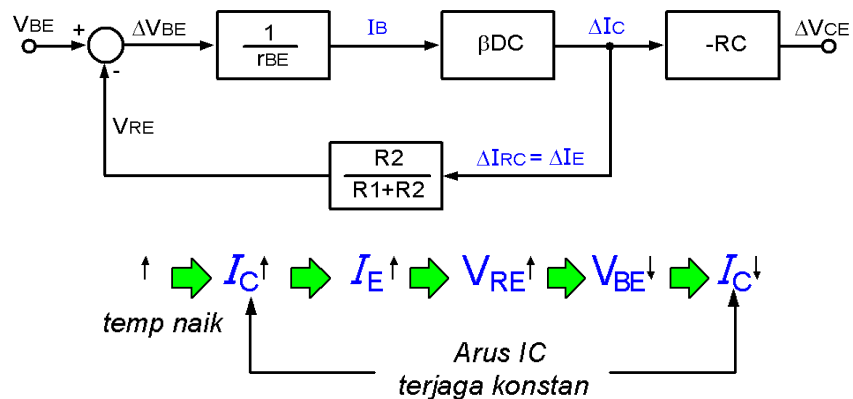
Gambar 17 Umpan balik arus negatif

Gambar 18 memperlihatkan kurva diagram pergeseran titik kerja transistor akibat perubahan temperatur dari $\vartheta = 25^\circ$ (kurva warna biru) dinaikkan menjadi lebih besar $\vartheta > 25^\circ$ (kurva warna merah). Pada saat tanpa tahanan (R_E) didapatkan perubahan arus kolektor (ΔI_C) lebih besar bila dibandingkan dengan pada saat kondisi dengan tahanan (R_E).



Gambar 18. Prinsip Stabilisasi dengan Tahanan R_E

Gambar 19 memperlihatkan proses stabilisasi arus kolektor (I_C) akibat dari kenaikan temperatur dengan memanfaatkan tahanan (R_E). Diagram gambar dibawah bertujuan untuk memperjelas dan membuktikan proses pentabilan arus kolektor (I_C) berdasarkan konsep dari Gambar 17.



Gambar 19. Diagram alur stabilisasi umpan balik arus I_E

Prinsip stabilisasi temperatur, bila temperatur (ϕ) naik maka arus kolektor (I_C) naik dengan demikian arus emitor (I_E) juga naik dan menyebabkan tegangan pada tahanan (R_E) naik dan tegangan basis emitor (V_{BE}) turun dikarenakan tegangan Thevenin (V_{TH}). Suatu apresiasi adanya perbaikan prinsip kerja bias rangkaian Gambar (19) bila dibandingkan dengan bias rangkaian Gambar (17). Pada jaringan umpan balik masukan basis-emitor yang

diberikan adalah sebesar $V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + I_E \cdot R_E$. Jika jaringan umpan balik dipilih dan dikondisikan $R_{TH} \cdot I_B \ll I_E \cdot R_E$ atau $R_B \ll (I_E/I_B) \cdot R_E \approx \beta \cdot R_E$, maka jaringan Hukum Kirchoff Tegangan (HKT) mereduksi tegangan $V_{TH} \approx V_{BE} + I_E \cdot R_E$ dan memaksa agar supaya arus emitor I_E tidak tergantung dari parameter-parameter transistor. Berikut perihal penting yang lain yang perlu diperhatikan adalah bila $V_{TH} \approx V_{BE} + I_E \cdot R_E$. Sebagai contoh kejadian apabila tegangan basis-emitor V_{BE} tidak konstan dan sedikit mengalami perubahan turun 0,6V atau naik 0,7V, maka dalam hal ini tegangan pada tahanan emitor $I_E \cdot R_E$ harus menjadi lebih besar dari nilai perubahan tegangan V_{BE} . Misalnya apabila tegangan V_{BE} mengalami perubahan sebesar 0,1V, maka didalam disain agar supaya titik kerja rangkaian stabil, maka kita perlu tegangan emitor $V_E = I_E \cdot R_E \gg 0,1V$ atau biasa dipilih dengan faktor $V_E > 10 \times 0,1 = 1V$ (tegangan V_E minimum untuk mendapatkan kestabilan titik kerja statis rangkaian).

Kesimpulan, bila arus kolektor I_C naik yang disebabkan kenaikan β akibat temperatur, maka tegangan $V_E = I_E \cdot R_E$ menjadi naik, dan selama tegangan V_{TH} dan R_B tidak berubah, maka arus basis I_B harus dapat menjadi turun untuk mereduksi nilai arus kolektor I_C kembali ke nilai tipikalnya. Dan jika arus kolektor I_C mengecil maka kejadian berubah sebaliknya, arus basis I_B naik dan arus kolektor I_C naik, tegangan V_{BE} mengecil seterusnya arus basis kembali turun dan Hukum Kirchoff Tegangan kembali menyetabilkan arus kolektor I_C .

Analisa Kestabilan

Dengan menggunakan Hukum Kirchoff Tegangan (HKT) dari persamaan (64), maka persamaan masukan basis-emitor adalah:

$$V_{TH} = I_B \cdot R_{TH} + V_{BE} + (I_B + I_C) \cdot R_E \quad (73)$$

Karena V_{CC} dan V_{BE} merupakan suatu nilai konstanta yang tetap dan tidak tergantung dari arus kolektor I_C , dengan demikian

didapatkan diferensial persamaan (73) terhadap arus kolektor I_C seperti berikut:

$$0 = \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} R_{TH} + R_E \left(1 + \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} \right) \quad (74)$$

$$0 = \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} R_{TH} + R_E + \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} R_E \quad (75)$$

$$-R_E = (R_{TH} + R_E) \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} \quad (76)$$

$$-\frac{R_E}{R_{TH} + R_E} = \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C} \quad (77)$$

Substitusi persamaan (77) terhadap persamaan (78)

$$S_F = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \frac{\delta \cdot I_B}{\delta \cdot I_C}} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_E + R_{TH}}} \quad (78)$$

Kesimpulan, dari persamaan (78) akan didapatkan faktor kestabilan yang baik apabila penguatan arus β ditetapkan besar, sehingga perkalian $\beta \cdot R_E$ semakin bertambah besar. Karena pada rangkaian bias tetap membuktikan bahwa perubahan arus I_B terhadap perubahan arus I_C dapat membuat nilai (S_F) kecil. Dimensi perancangan ditetapkan sehingga nilai $\beta \cdot R_E \gg R_{TH}$. Tahanan R_E dan $R_{TH} = R_1 // R_2$ berfungsi sebagai penstabil titik kerja statis akibat pengaruh perubahan atau naiknya temperatur.

Contoh:

Rencanakan titik kerja statis rangkaian dari Gambar 15, jika dikehendaki arus kolektor $I_C = 2,5\text{mA}$ dan tegangan kolektor–emitor $V_{CE} = 7,5\text{V}$. Transistor yang digunakan mempunyai rentang factor penguatan arus antara $\beta_{MIN} = 50$ sampai $\beta_{MAKS} = 200$.

Langkah 1: Menentukan tegangan catu V_{CC} , untuk mendapatkan ayunan maksimum tegangan keluaran, maka garis beban ditetapkan sebesar sehingga tegangan catu:

$$V_{CC} = 2 \cdot V_{CE} = 2 \cdot 7,5V = 15V$$

Langkah 2. Menentukan nilai tahanan R_C dan R_E :

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

$$R_C + R_E = \frac{7,5V}{2,5 \times 10^{-3}A} = 3k\Omega$$

Untuk mendapatkan tingkat kestabilan rangkaian yang mantap, maka dipilih besarnya tegangan emitor $V_E = I_E \cdot R_E > 1V$ atau tahanan emitor $R_E > 1V / I_E = 400\Omega$. Untuk itu tahanan emitor R_E dipilih sebesar $1k\Omega$, dengan nilai tahanan $R_C = 2k\Omega$.

Langkah 3. Menentukan tahanan pengganti R_{TH} dan tegangan V_{TH} . Untuk mendapatkan kestabilan titik kerja statis, maka jaringan umpan balik Hukum Kirchhoff Tegangan ditetapkan agar nilai $R_{TH} \ll \beta \cdot R_E$. Dan karena penguatan arus transistor β berubah dari nilai minimal-tipikal-maksimum, maka agar supaya untuk kasus rangkaian Gambar 15 didapatkan tingkat kestabilan yang tinggi, untuk alasan tersebut β dipilih harga minimalnya (β_{min}). sehingga berlaku persamaan pendekatan sebagai berikut:

$$R_{TH} \ll \beta_{min} \cdot R_E$$

$$R_{TH} = 0,1 \cdot \beta_{min} \cdot R_E = 0,1 \cdot 50 \cdot 1k\Omega = 5k\Omega$$

Sehingga didapatkan nilai tegangan V_{TH}

$$V_{TH} = V_{BE} + I_B \cdot R_{TH} + I_E \cdot R_E$$

$$= 0,7V + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 3,2V$$

$$V_{TH} = V_{BE} + \frac{I_C}{\beta_{nom}} \cdot R_{TH} + I_E \cdot R_E$$

$$= 0,7V + 0,125V + 2,5 \times 10^{-3} \times 10^3 = 3,325V$$

Langkah 4. Menentukan nilai tahanan R_1 dan R_2 .

Menurut teori thevenin tahanan (R_{TH}) dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 5k\Omega$$

Menurut teori thevenin berlaku hubungan:

$$\frac{V_{TH}}{V_{CC}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{3,325V}{15V} = 0,222$$

karena dua persamaan mempunyai dua besaran yang tidak diketahui (R_1 dan R_2), maka untuk menyelesaikan persamaan tersebut adalah dengan membagi dua persamaan tersebut untuk mendapatkan nilai tahanan R_1 dan untuk itu digunakan persamaan untuk tegangan V_{TH} :

$$R_1 = \frac{5k\Omega}{0,222} = 22,5k\Omega$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0,222$$

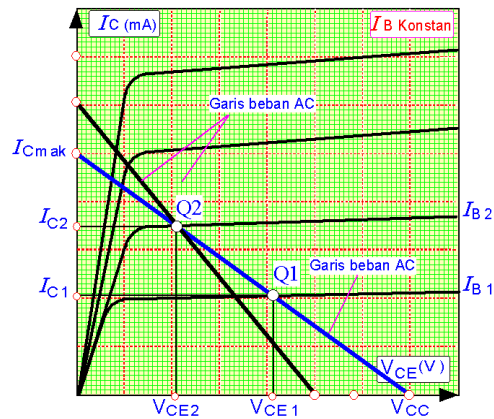
$$\frac{22,5k\Omega}{22,5k\Omega + R_2} = 0,222$$

$$4,995k\Omega + R_2 = 22,5k\Omega$$

$$R_2 = 22,5k\Omega - 4,995k\Omega = 17,505k\Omega$$

Analisa garis beban

Pada analisa DC (*direct current*/arus searah) semua kapasitor C_B dan C_C bertindak sebagai hubungan terbuka (*open circuit*). Dengan demikian nilai arus dan tegangan kolektor dalam keadaan tenang (tanpa sinyal) dapat diperoleh dengan menarik garis beban statis (DC) dengan kemiringan tergantung dari besarnya nilai tahanan R_C . Untuk mencari garis beban dapat dengan membuat arus kolektor $I_C = 0$ sehingga didapatkan titik tegangan kolektor-emitor $V_{CEMAX} = V_{CC}$, dan sebaliknya dengan membuat tegangan kolektor-emitor $V_{CE} = 0$ sehingga didapatkan titik puncak arus kolektor (I_{CMAX}). Hasilnya seperti yang ditunjukkan Gambar 20. Garis yang berwarna biru memperlihatkan kemiringan garis beban DC.



Gambar 20. Titik Kerja dan Garis beban

Untuk mendapatkan titik kerja Q dengan kemiringan dari garis beban statis (DC) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{CC} - V_{CE} = I_{CQ} \cdot R_C + I_{EQ} \cdot R_E \quad (79)$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{R_C + R_E} \quad (80)$$

Dengan menganggap $I_{CQ} = I_{EQ}$, maka diperoleh hubungan persamaan:

Untuk mendapatkan arus kolektor I_C maksimum, maka tegangan kolektor emitor $V_{CE} = 0$ Volt, sehingga didapatkan persamaan arus sebagai berikut:

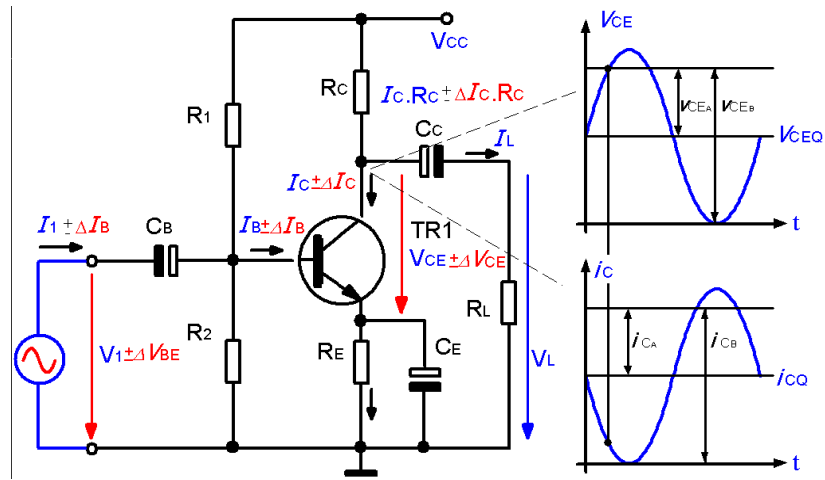
$$I_{Cmak} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (81)$$

Sedangkan untuk mendapatkan tegangan kolektor emitor maksimum V_{CEmak} , maka arus kolektor $I_C = 0$ Volt, sehingga didapatkan hubungan persamaan sebagai berikut:

$$V_{CC} = V_{CEmak} \quad (82)$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan 79, 80, 81, 82, maka didapatkan titik kerja statis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.

Pada analisa titik kerja dan garis beban AC semua kapasitor C_B , C_C dan sumber tegangan V_{CC} bertindak sebagai rangkaian hubung singkat (*short circuit*). Gambar 20 memperlihatkan pengaruh sinyal masukan terhadap kemiringan garis beban dinamis (AC). Garis warna hitam pada Gambar 19 memperlihatkan kemiringan garis beban AC, dimana posisi kemiringannya dipengaruhi oleh posisi titik kerja statis (DC)



Gambar 20. Sinyal keluaran dan garis beban AC

Persamaan arus keluaran untuk sinyal bolak-balik pada kolektor adalah:

$$i_{CB} - I_{CQ} = -\frac{1}{R_L // R_C} (v_{CEB} - V_{CEQ}) \quad (83)$$

Untuk menentukan titik potong arus kolektor maksimum i_{CBmak} , maka $v_{CEB} = 0$, dengan demikian didapatkan persamaan:

$$i_{CBmak} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_L // R_C} \quad (84)$$

Sedangkan untuk menentukan titik potong tegangan kolektor-emitor maksimum v_{CEBmak} , maka arus $i_{CB} = 0$, dengan demikian didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$-(i_{CB} - I_{CQ})(R_C // R_L) = v_{CEB} - V_{CEQ} \quad (85)$$

$$I_{CQ} (R_C // R_L) = v_{CEB} - V_{CEQ} \quad (86)$$

$$V_{CEBmak} = V_{CEQ} + I_{CQ} \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) \quad (87)$$

Untuk mendapatkan ayunan sinyal maksimum saat dengan beban R_L , yaitu: $I_{CBmaks} = 2 \cdot I_{CQ}$ (88)

Substitusi persamaan (88) terhadap persamaan (84)

$$2 \cdot I_{CQ} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_L // R_C} \quad (89)$$

sehingga didapatkan persamaan arus kolektor I_{CQ} untuk ayunan maksimum sebagai berikut:

$$I_{CQ} = \frac{V_{CEQ}}{R_L // R_C} \quad (90)$$

Untuk mendapatkan titik kerja Q yang optimal, maka persamaan (90) disubsitusikan terhadap persamaan (79), sehingga didapatkan persamaan:

$$V_{CC} = V_{CEQ} + I_{CQ}(R_C + R_E) \quad (91)$$

Maka ayunan maksimum arus kolektor I_{CQ} adalah:

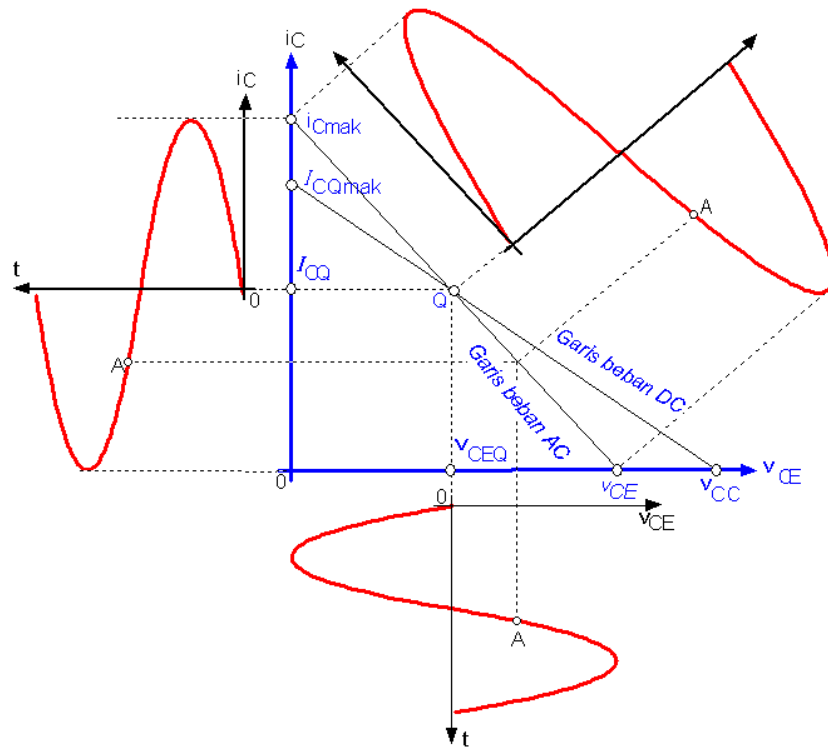
$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2 \cdot R_C + R_E} \quad (92)$$

Penting diperhatikan didalam mendisain rangkaian, bahwa garis beban AC pada rangkaian kolektor emitor adalah $R_{ac} = R_C // R_L$, dan oleh karena garis beban dc adalah $R_{dc} = R_C + R_E$. Maka bila dfinisi ini digunakan ke dalam persamaan (92) didapatkan persamaan:

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{dc} + R_{ac}} \quad (93)$$

sehingga didapatkan ayunan tegangan kolektor-emitor maksimum (V_{CEQ})

$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2 + \frac{R_C + R_E}{R_C // R_L}} = \frac{V_{CC}}{1 + \frac{R_{dc}}{R_{ac}}} \quad (94)$$

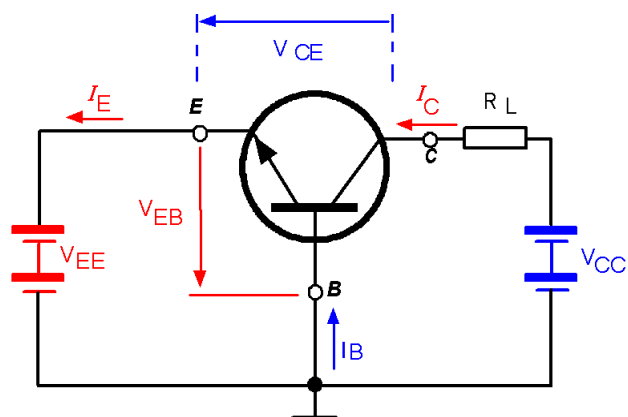


Gambar 21. Titik Kerja dan Garis Beban

Gambar 21 memperlihatkan penempatan titik kerja DC dan titik kerja AC terhadap hubungan sinyal pada transistor.

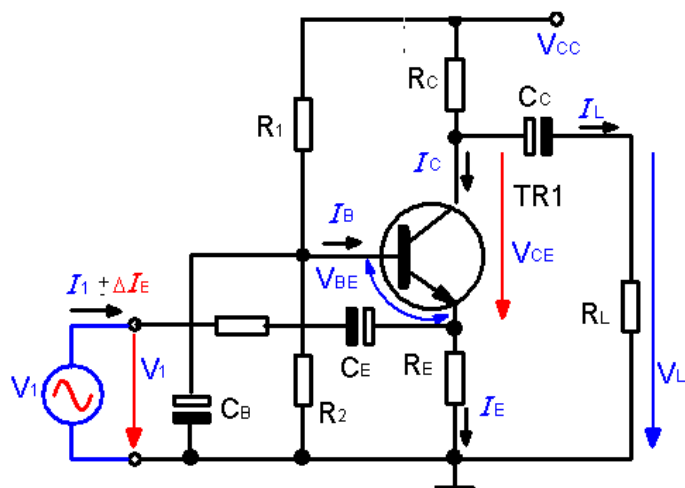
Rangkaian Basis Bersama (*Common Base*)

Tidak ada perbedaan didalam pengkondisian titik kerja DC dan stabilisasi thermal antara rangkaian emitor bersama dan basis bersama. Perbedaannya hanya terletak pada pengkodisian sinyal bolak-balik. Rangkaian basis bersama didisain dengan maksud untuk mendapatkan tahanan masukan yang kecil, maka dari itu variasi sinyal masukan ditempatkan pada kaki emitor dan sebagai kapasitor *bypass*-nya ditempatkan antara basis dan massa, dimana untuk sinyal bolak-balik bias DC yang dibangun oleh R_1 , R_2 dapat dianggap rangkaian hubung singkat. Gambar 22 memperlihatkan konsep dasar rangkaian basis bersama yang dibangun dengan menggunakan transistor NPN.

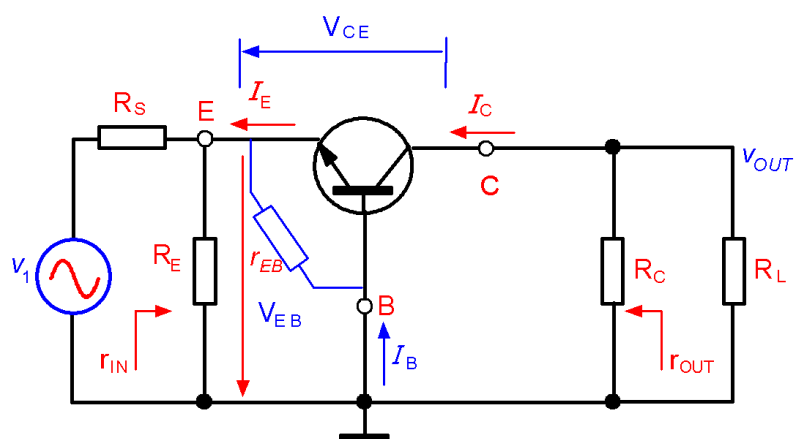


Gambar 22 Konsep dasar rangkaian basis bersama

Sedangkan Gambar 23 memperlihatkan



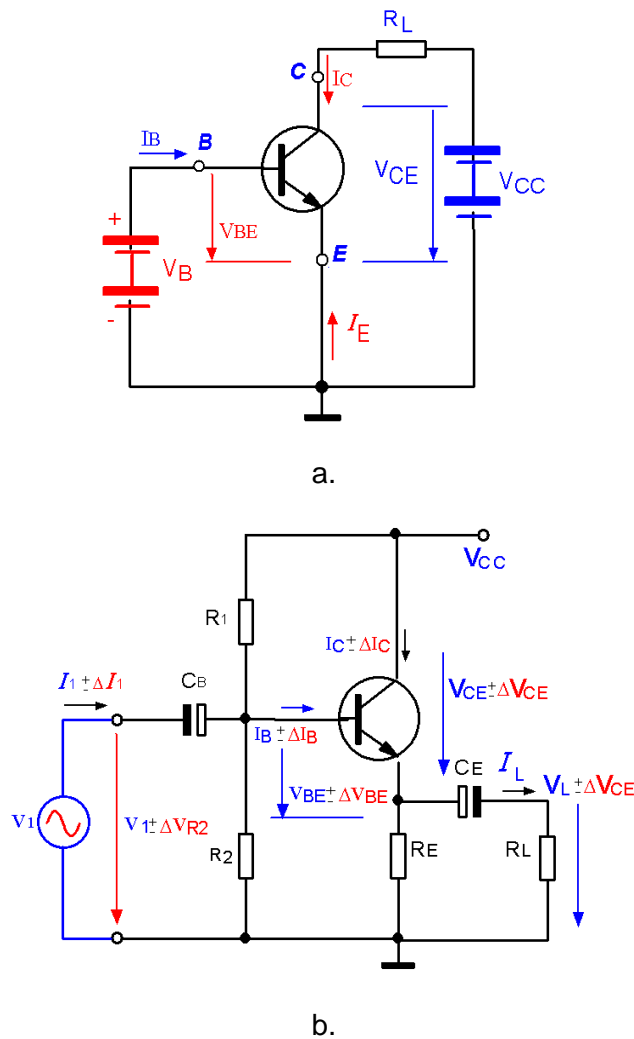
Gambar 23. Rangkaian Basis Bersama (*Common Base*)



Gambar 24. Rangkaian pengganti sinyal bolak-balik

Rangkaian Kolektor Bersama (*Common Colector*)

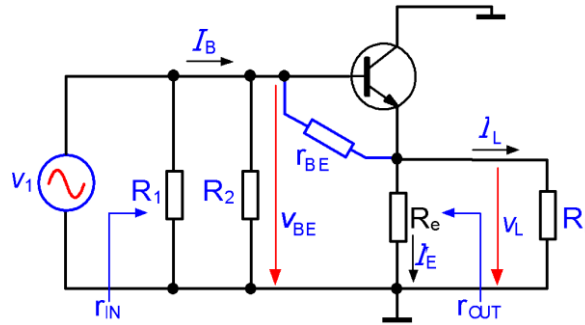
Konfigurasi rangkaian kolektor bersama (*common colector*) dapat digunakan sebagai rangkaian pengubah impedansi, karena konsep dasar pada rangkaian ini bertujuan untuk mendapatkan tahanan masukan yang tinggi.



Gambar 25. Rangkaian kolektor bersama (*Common Colector*)

Prinsip pengendalian pada rangkaian kolektor bersama, bahwa arus masukan (I_B) dan tegangan kolektor emitor (V_{CE}) bertindak sebagai variabel bebas, sedangkan tegangan masukan basis-emitor (V_{BE}) dan arus keluaran kolektor (I_C) bertindak sebagai variable-variabel

yang tergantung dari variable bebas, atau untuk masukan umumnya dinyatakan dengan $V_{BE} = f_1(V_{CE}, I_B)$ dan untuk keluaran dinyatakan dengan $I_C = f_2(V_{CE}, I_B)$. Kelebihan dari rangkaian kolektor bersama adalah kesetabilan titik kerja statis (DC), karena sistem bias pada rangkaian ini adalah selalu dihubungkan tahanan R_E pada emitor.



Gambar 26. Rangkaian Pengganti Sinyal Bolak-Balik

Persamaan masukan sinyal kecil

$$v_i = v_{BE} = i_B \cdot r_{BE} + i_E \cdot R_E \quad (98)$$

$$v_{BE} = i_B \cdot r_{BE} + (i_C + i_B) \cdot R_E \quad (99)$$

$$v_{BE} = i_B \cdot r_{BE} + (\beta \cdot i_B + i_B) \cdot R_E$$

$$v_{BE} = i_B \cdot r_{BE} + (\beta \cdot i_B + i_B) \cdot R_E$$

$$v_{BE} = i_B [r_{BE} + (\beta \cdot i_B + i_B) \cdot R_E] \quad (100)$$

Tahanan masukan

$$r_{IN} = \frac{v_{BE}}{i_B} = r_{BE} + (\beta + 1) \cdot R_E \quad (101)$$

Dengan adanya bias pembagi tegangan (bias Thevenin) R_1 , R_2 pada masukan, maka besarnya resistansi masukan menjadi terbatas atau semakin kecil, dengan demikian persamaan diatas berubah seperti berikut:

$$\begin{aligned} r_{IN} &= \frac{V_{BE}}{i_B} \\ &= R_1 // R_2 [r_{BE} + (\beta + 1) \cdot R_E] \end{aligned} \quad (102)$$

Dari persamaan 102 diatas dapat disimpulkan adanya suatu permasalahan dengan tahanan bias R_1 , R_2 , suatu problem perbaikan rangkaian adalah bagaimana kedua tahanan tersebut untuk sinyal kecil dapat dibuat sedemikian agar tidak membatasi sinyal bolak-balik akan tetapi perubahan tersebut harus tetap menjaga kondisi titik kerja statis (titik kerja DC tidak boleh berubah).

Persamaan Keluaran

$$V_{OUT} = i_E \cdot R_E = i_B \cdot (\beta + 1) R_E \quad (103)$$

Penguatan tegangan A_v

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{i_B \cdot (\beta + 1) \cdot R_E}{i_B [r_{BE} + (\beta + 1)]} = \frac{(\beta + 1) \cdot R_E}{[r_{BE} + (\beta + 1)]} \leq 1 \quad (104)$$

dengan adanya bias R_1 , R_2 maka penguatan berubah menjadi:

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{(\beta + 1) \cdot R_E}{(R_1 // R_2) [r_{BE} + (\beta + 1)]} \leq 1 \quad (105)$$

Tahanan keluaran

$$r_{OUT} = R_E // \left[\frac{r_{BE} + (R_{TH} // R_S)}{\beta + 1} \right] \text{ dimana } R_{TH} = R_1 // R_2 \quad (106)$$

Karena tahanan keluaran (r_{OUT}) dari rangkaian kolektor bersama merupakan fungsi dari sumber arus (i_E), dengan demikian faktor pembagi $(\beta + 1)$ dikarenakan arus basis (i_B) dipandang sebagai sumber arus emitor (i_E). Dan nilai dari tahanan keluaran (r_{out}) rangkaian kolektor bersama adalah kecil (dalam orde Ω)

Penguatan Arus (A_i)

$$\Delta i_E = \frac{V_{OUT}}{r_{OUT}} \text{ dan } \Rightarrow \Delta i_B = \frac{V_i}{r_{IN}} \quad (107)$$

$$A_i = \frac{\Delta i_E}{\Delta i_E} = \frac{v_{OUT}}{v_i} \frac{r_{IN}}{r_{OUT}} = A_v \frac{r_{IN}}{r_{OUT}} \quad (108)$$

atau dapat dinyatakan

$$A_i = \frac{r_{CE} \cdot (\beta + 1)}{R_E + r_{CE}} \quad (109)$$

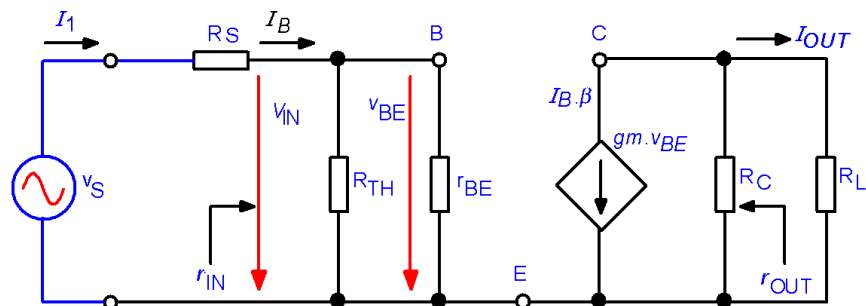
nilai r_{CE} dapat ditentukan dari datasheet transistor pada arus kolektor I_C .

3. Analisis hasil eksperimen berdasarkan data dari hasil pengukuran.

Ada perbedaan model analisa antara sinyal DC (model analisa sinyal besar) dengan sinyal AC (model analisa sinyal kecil), untuk itu didalam menganalisa rangkaian transistor dapat dibedakan berdasarkan fungsinya. Analisa statis (DC) dapat dengan mengasumsikan semua kapasitor sebagai rangkaian terbuka (*open circuit*) dan hungbung singkat (*short circuit*) untuk kondisi AC.

Analisa sinyal AC

Tegangan catu V_{CC} merupakan rangkaian hungbung singkat. Dengan mengasumsikan semua kapasitor sebagai rangkaian hungbung singkat (*short circuit*). Sedangkan efek dari kapasitor (C_B), (C_C), dan (C_E) menentukan batas frekuensi rendah (ω_L).



Gambar 27 Rangkaian pengganti emitor bersama

Persamaan tegangan masukan antara basis-emitor (v_{BE})

$$v_{BE} = I_B \cdot r_{BE} \quad (110)$$

Persamaan tegangan keluaran pada beban (v_{OUT})

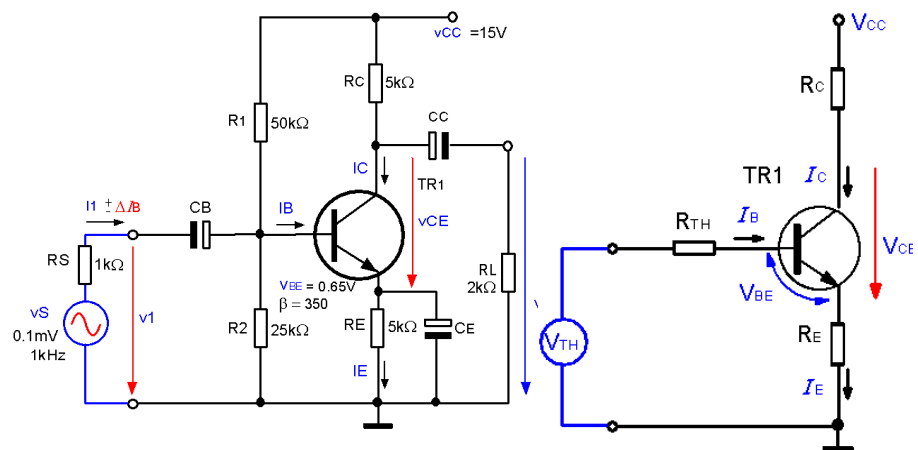
$$v_{OUT} = I_C \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) = \beta \cdot I_B \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) \quad (111)$$

Sehingga didapatkan besarnya penguatan tegangan (A_V)

$$A_V = \frac{v_{OUT}}{v_{BE}} = \frac{\beta \cdot I_B}{I_B \cdot r_{BE}} \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) = \frac{\beta}{r_{BE}} \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) \quad (112)$$

Untuk mendapatkan penguatan tegangan (A_V) yang besar dipilih transistor yang memiliki faktor penguatan arus (β) yang besar dengan nilai resistansi masukan basis (r_{BE}).

Contoh:



Gambar 28 Rangkaian emitor bersama

Analisa Titik Kerja DC

⇒ Besarnya tahanan pengganti thevenin (R_{TH})

$$R_{TH} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \times 25}{50 + 25} = 16,7k\Omega$$

⇒ Besarnya tegangan pengganti thevenin (V_{TH})

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} = \frac{25}{50 + 25} \times 15 = 5 \text{ Volt}$$

⇒ Dari rangkaian pengganti Thevenin didapat persamaan

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + I_E \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B \cdot I_B + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot \{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E\}$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E}$$

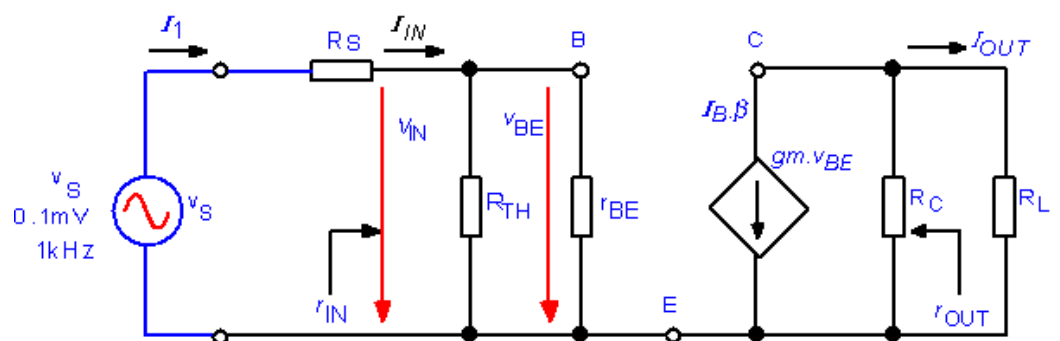
$$= \frac{(5 - 0,65) \text{ V}}{16,7 \text{ k}\Omega + (1 + 350) \cdot 5 \text{ k}\Omega} = \frac{4,35 \text{ V}}{1771,7 \text{ k}\Omega} = 2,4553 \mu\text{A}$$

$$I_C = B \cdot I_B = 350 \cdot 2,4553 \mu\text{A} = 0,86 \text{ mA}$$

⇒ Menentukan besarnya transkonduktansi (g_m).

$$g_m = 38,9 \cdot I_C = 38,9 \cdot 0,86 \text{ mA} = 33,454 \text{ mA/Volt}$$

⇒ Rangkaian Pengganti Sinyal AC



Gambar 29 Rangkaian pengganti

⇒ Menentukan resistansi basis-emitor dinamis (r_{BE}).

$$gm = \frac{I_{CQ}}{V_T}$$

$$r_{BE} = \frac{\beta_0}{gm} = \frac{294}{33,454} = 8,97k\Omega$$

⇒ Menentukan impedansi masukan (r_{IN}).

$$r_{IN} = \frac{R_{TH} \cdot r_{BE}}{R_{TH} + r_{BE}} = \frac{(16,7 \cdot 8,79)k\Omega^2}{(16,7 + 8,79)k\Omega} = 5,759k\Omega$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan (A_{vi}).

$$A_{vi} = \frac{\beta_0 \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right)}{r_{BE}} = \frac{294 \left(\frac{5,2}{5 + 2} \right)}{8,79} = \frac{420,42}{8,79} = 47,83kali$$

$$A_{vi} \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 47,83 = 33,59\text{dB}$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan terhadap generator input (A_{vs})

$$A_{vs} = A_{vi} \frac{Z_{IN}}{Z_{IN} + R_S} = 47,83 \cdot \frac{5,759}{5,759 + 1} = 40,75kali$$

$$A_{vs} \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 40,75 = 32,2 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan arus (A_i)

$$A_i = A_{vi} \frac{r_{IN}}{R_L} = 47,83 \frac{5,759}{2} = 137,73kali$$

$$A_i \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 137,73 = 42,78 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan daya (A_p)

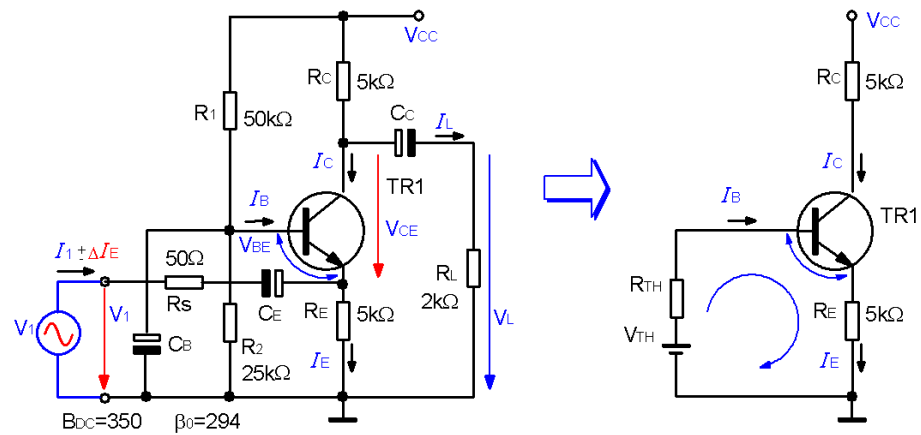
$$A_p = A_{vi} \cdot A_i = 47,83 \cdot 137,73 = 6587,62 \text{ kali}$$

$$A_p \text{ (dB)} = 10 \log 6587,62 = 38,19 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan impedansi keluaran (r_{OUT})

$$r_{OUT} = R_C = 5k\Omega$$

Analisa Basis bersama (*Common Base*)



Gambar 30 Rangkaian basis bersama

⇒ Besarnya tahanan pengganti thevenin (R_{TH})

$$R_{TH} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \times 25}{50 + 25} = 16,7k\Omega$$

⇒ Besarnya tegangan pengganti thevenin (V_{TH})

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} = \frac{25}{50 + 25} \times 15 = 5\text{Volt}$$

⇒ Dari rangkaian pengganti Thevenin didapat persamaan

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + I_E \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B \cdot I_B + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot \{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E\}$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E}$$

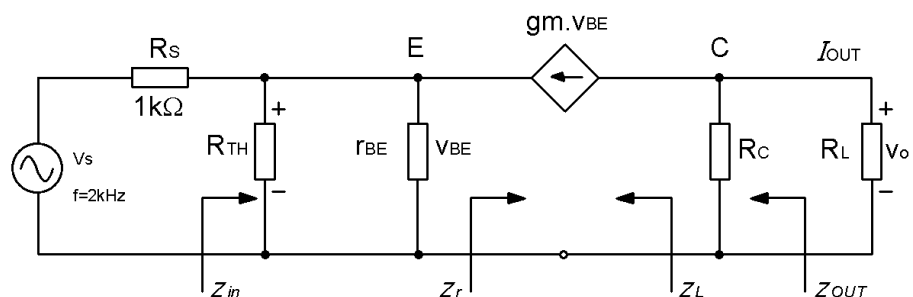
$$= \frac{(5 - 0,65) \text{ V}}{16,7 \text{ k}\Omega + (1 + 350) \cdot 5 \text{ k}\Omega} = \frac{4,35 \text{ V}}{1771,7 \text{ k}\Omega} = 2,4553 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 350 \cdot 2,4553 \mu\text{A} = 0,86 \text{ mA}$$

⇒ Menentukan besarnya transkonduktansi (g_m).

$$g_m = 38,9 \cdot I_C = 38,9 \cdot 0,86 \text{ mA} = 33,454 \frac{\text{mA}}{\text{Volt}}$$

⇒ Rangkaian Pengganti Sinyal AC



Gambar 31 Rangkaian pengganti basis Bersama

⇒ Menentukan resistansi emitor-basis dinamis (r_{EB}).

$$r_{EB} = \frac{\beta_o}{g_m} = \frac{294}{33,454} = 8,97 \text{ k}\Omega$$

⇒ Menentukan impedansi masukan (Z_{in}).

$$Z_{in} = \frac{r_{EB}}{\beta_o + 1} \parallel R_E = \frac{(8,79) \text{ k}\Omega}{(294 + 1)} = 29,79 \Omega$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan (A_{vi}).

$$A_{vi} = \frac{\beta_o \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right)}{r_{EB}} = \frac{294 \left(\frac{5,2}{5 + 2} \right)}{8,79} = \frac{420,42}{8,79} = 47,83 \text{ kali}$$

$$A_{vi}(\text{dB}) = 20 \cdot \log 47,83 = 33,59 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan terhadap generator input (A_{vs})

$$A_{VS} = A_{VI} \frac{Z_{IN}}{Z_{IN} + R_S} = 47,83 \cdot \frac{29,7\Omega}{29,7\Omega + 50\Omega} = 17,82 \text{ kali}$$

$$A_{VS}(\text{dB}) = 20 \cdot \log 17,82 = 25,02 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan arus (A_i)

$$A_i = A_{VI} \frac{Z_{IN}}{R_L} = 47,83 \cdot \frac{29,7}{2000} = 0,71 \text{ kali}$$

$$A_i(\text{dB}) = 20 \cdot \log 0,71 = -2,97 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan daya (A_P)

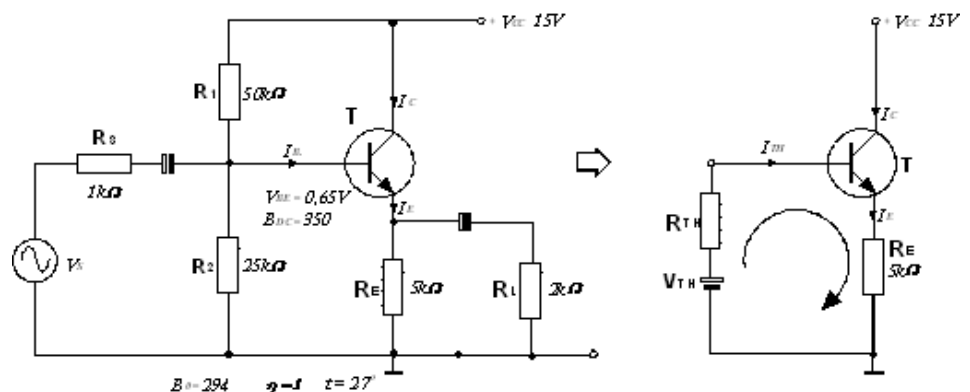
$$A_P = A_{VI} \cdot A_i = 47,83 \cdot 0,71 = 33,96 \cong 34 \text{ kali}$$

$$A_P(\text{dB}) = 10 \log 34 = 15,31 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan impedansi keluaran (Z_{OUT})

$$Z_{OUT} = R_C = 5\text{k}\Omega$$

Analisa Rangkaian Kolektor Bersama (Common Colector)



Gambar 32. Rangkaian Kolektor Bersama

⇒ Besarnya tahanan pengganti thevenin (R_{TH})

$$R_{TH} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \times 25}{50 + 25} = 16,7\text{k}\Omega$$

⇒ Besarnya tegangan pengganti thevenin (V_{TH})

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC} = \frac{25}{50 + 25} \times 15 = 5 \text{ Volt}$$

⇒ Dari rangkaian pengganti Thevenin didapat persamaan

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + I_E \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B \cdot I_B + I_B) \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot R_{TH} + (B + 1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$V_{TH} - V_{BE} = I_B \cdot \{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E\}$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (1 + B) \cdot R_E}$$

$$= \frac{(5 - 0,65) \text{ V}}{16,7 \text{ k}\Omega + (1 + 350) \cdot 5 \text{ k}\Omega} = \frac{4,35 \text{ V}}{1771,7 \text{ k}\Omega} = 2,4553 \mu\text{A}$$

$$I_C = B \cdot I_B = 350 \cdot 2,4553 \mu\text{A} = 0,86 \text{ mA}$$

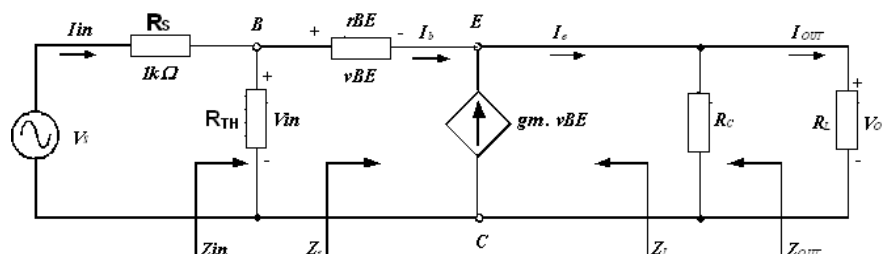
$$I_E = I_B (1 + B_0) = 2,4553 (1 + 294) = 0,724 \text{ mA}$$

$$V_O = I_E \cdot (R_C // R_L) = 0,724 \text{ mA} (5 // 2) \text{ k}\Omega$$

$$= 0,724 \text{ mA} \cdot 1,43 \text{ k}\Omega = 1,035 \text{ Volt}$$

$$Z_r = \frac{V_O}{I_b} = \frac{1,035 \text{ Volt}}{2,4553 \mu\text{A}} = 421,85 \text{ k}\Omega$$

⇒ Rangkaian Pengganti Sinyal AC



Gambar 33 Rangkaian pengganti Kolektor Bersama

⇒ Menentukan besarnya transkonduktansi (gm).

$$g_m = 38,9 \cdot I_C = 38,9 \cdot 0,86 \text{mA} = 33,454 \text{ mA/Volt}$$

⇒ Menentukan resistansi basis-emitor dinamis (r_{BE}).

$$r_{BE} = \frac{\beta_0}{g_m} = \frac{294}{33,454} = 8,97 \text{k}\Omega$$

⇒ Menentukan impedansi masukan (Z_{in}).

$$\begin{aligned} Z_{in} &= (r_{BE} + Z_r) // R_{TH} \\ &= (8,97 + 421,85) \text{k}\Omega // 16,7 \text{k}\Omega = 29,79 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{in} &= (8,97 + 421,85) \text{k}\Omega // 16,7 \text{k}\Omega \\ &= (430,82) \text{k}\Omega // 16,7 \text{k}\Omega \\ &= \frac{(430,82 \cdot 16,7) \text{k}\Omega^2}{(430,82 + 16,7) \text{k}\Omega} = \frac{7194,69 \text{k}\Omega^2}{447,52 \text{k}\Omega} \end{aligned}$$

$$Z_{in} = 16,07 \text{k}\Omega$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan (A_{vi}).

$$\begin{aligned} A_{vi} &= \frac{Z_r}{r_{BE} + Z_r} = \frac{421,85 \text{k}\Omega}{(8,97 + 421,85) \text{k}\Omega} \\ &= \frac{421,85}{430,82} = 0,98 \text{ kali} \end{aligned}$$

$$A_{vi} \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 0,98 = -0,17 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan tegangan terhadap generator input (A_{vs})

$$\begin{aligned} A_{vs} &= A_{vi} \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_s} = 0,98 \cdot \frac{16,07 \text{k}\Omega}{16,07 \text{k}\Omega + 1 \text{k}\Omega} \\ &= \frac{15,75 \text{k}\Omega}{17,07 \Omega} = 0,922 \text{ kali} \end{aligned}$$

$$A_{vs} \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 0,922 = -0,705 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan arus (A_i)

$$A_i = A_{vi} \frac{Z_{IN}}{R_L} = 0,98 \frac{16,07k\Omega}{2k\Omega} = 7,87 \text{ kali}$$

$$A_i \text{ (dB)} = 20 \cdot \log 7,87 = 17,92 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan penguatan daya (A_p)

$$A_p = A_{vi} \cdot A_i = 0,98 \cdot 7,87 = 7,71 \text{ kali}$$

$$A_p \text{ (dB)} = 10 \log 7,71 = 8,87 \text{ dB}$$

⇒ Menentukan impedansi keluaran (Z_{OUT})

$$\begin{aligned} Z_i &= \frac{r_{BE} + R_{TH} // R_s}{1 + \beta_o} \\ &= \frac{8,79k\Omega + \left(\frac{16,7k\Omega \cdot 1k\Omega}{16,7k\Omega + 1k\Omega} \right)}{1 + 294} = \frac{9,733k\Omega}{295} = 32,99\Omega \\ Z_{OUT} &= \frac{R_E Z_i}{R_E + Z_i} = \frac{(5000 \cdot 32,99)\Omega^2}{(5000 + 32,99)\Omega} = 32,7\Omega \end{aligned}$$

4. Datasheet transistor untuk keperluan eksperimen.

Harga karakteristik kerja :

Merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh transistor, misalnya penguat arus (yang di tentukan oleh I_C) frekuensi batas dsb .

Harga batas kerja :

Harga batasan-batasan maksimum (Seperti : $I_{C \text{ max}}$, $U_{CE \text{ max}}$, $P_{V \text{ max}}$)

yang bila berlangsung melampaui waktu yang di tentukan , akan terjadi kerusakan / kehancuran elemen

Temperatur maksimum dari lapisan penghalang dan rugi daya

Temperatur lapisan kolektor hendaknya tidak dilampaui.

$$V_{J \text{ max}} \approx 200^\circ \text{ C}$$

Lapisan penghalang menjadi panas terutama karena adanya pemanasan sendiri, maksudnya karena adanya rugi daya P_V

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C \quad P_V \text{ atau } P_O \text{ (disipasi).}$$

Saling bergantung $P_V \rightarrow V_J \rightarrow V_J : V$ adalah sebanding $P_V ! V_{J \max}$ tidak di lampau untuk membuat keadaan aman, caranya dengan mengeliminasi panas \rightarrow Pendingin antara, alat pendingin \rightarrow reduksi rugi daya.

Disini masih dapat terjadi rugi hantaran maksimum yang diijinkan dari keterkaitan dan ketergantungan dengan panas. Karena \rightarrow Pernyataan / Penentuan rugi daya maksimal yang diijinkan, $P_{V \max}$, juga tergantung pada temperatur luar.

Dua kasus rugi daya (masing-masing terlihat dari lembar data)

- $P_{V \max}$ yang berkaitan dengan temperatur sekitar .
 \rightarrow pada transistor-transistor kecil
- $P_{V \max}$ yang berkaitan dengan pemanasan
 \rightarrow transistor-transistor besar (harus ada alat pendingin !)

Penentuan rugi daya yang diijinkan :

Rugi daya yang berkaitan dengan temperatur sekitar :

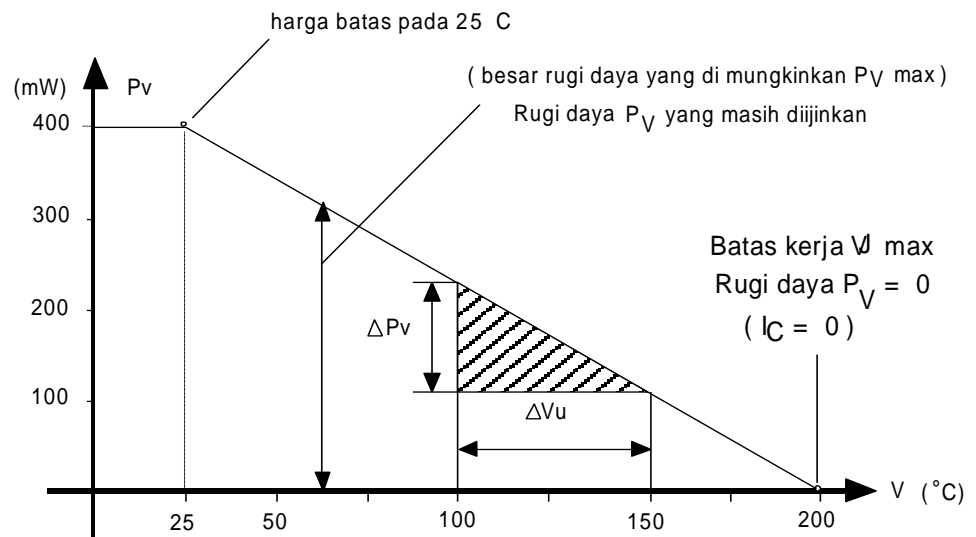
Temperatur sekitar $\rightarrow V_U$ atau , Tamb tamb

(ambient = daerah sekitar)

Petunjuk rugi daya maksimum untuk $V = 25^\circ \text{C}$

(Temperatur pemakaian)

Analisa grafis : P_V dan ketergantungannya dengan V_U



Rugi daya yang diijinkan dikurangi dengan pertambahan temperatur adalah linier.

Yaitu : $\frac{\Delta V_U}{\Delta P_V} = \text{Konstan} \rightarrow \text{tahanan termis } R_{thju}$

Juga : $R_{thju} = \frac{\Delta V_U}{\Delta P_V} = \frac{V_{j \max} - V_U}{P_V - 0} = \frac{V_{j \max} - V_U}{P_V}$

Dengan demikian : $P_V = \frac{V_{j \max} - V_U}{R_{thju}} = \frac{\Delta V}{R_{thju}}$

hubungan ohm tentang aliran panas

Contoh : Diketahui temperatur sekitar $V_U = 25^\circ \text{C}$,
temperatur lapisan penghalang maksimal

$V_{j \max} = 200^\circ \text{C}$, tahanan termis $R_{thju} = 0,44^\circ \text{C/mW}$

Berapa besar rugi daya yang diijinkan :

Jawab : $P_V = \frac{\Delta V}{R_{thju}} = \frac{200 - 25}{0,44} \text{ (mW)} \approx 400 \text{ mW}$

Data lain yang menentukan besar tahanan termis R_{thju} → daya

hantar termis $\frac{1}{R_{thju}}$

$$\frac{1}{R_{thju}} \left[\frac{\text{mW}}{^{\circ}\text{C}} \right] \Rightarrow \text{Pengurangan rugi daya tiap } ^{\circ}\text{C}$$

Dengan begitu :

$$P_V = \frac{I}{R_{thju}} \cdot \Delta V$$

Contoh :

Hitunglah rugi daya yang diijinkan pada suatu temperatur daerah sekitar

$V_U = 60^{\circ}\text{C}$ dari transistor type 2 N2904

Jawab :

Daya hantar = $3,34 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$

$P_V \text{ max} = 600 \text{ mW}$

$V_j \text{ max} = 200^{\circ}\text{C}$

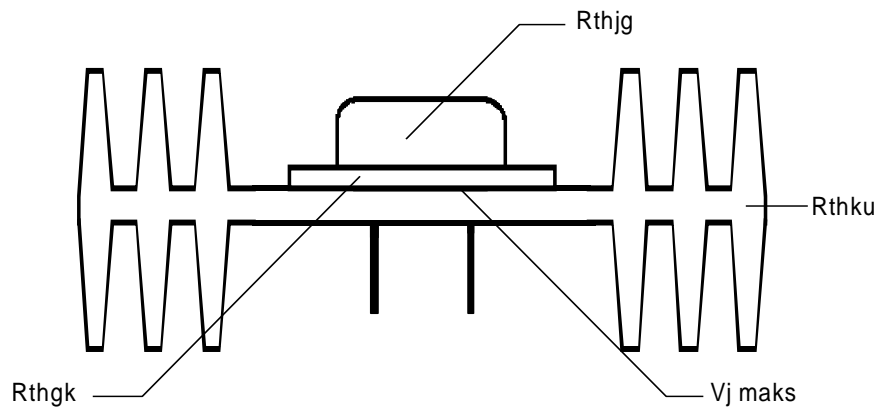
$$P_V = \frac{1}{R_{thju}} \Delta V = 3,43 (200 - 60) \left[\frac{\text{mW} \cdot ^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \right] = 3,43 \cdot 140$$

$$P_V = 480 \text{ mW}$$

Pemakaian rugi daya pada temperatur kotak / bodi :

Temperatur bodi V_G atau T_C ' t_C (Case = kotak)

Data rugi daya maksimum pada : $V_G = 25^{\circ}\text{C}, 45^{\circ}\text{C}$ (P_V pada $V_C = 25^{\circ}\text{C}$ adalah data yang semu) Alat pendingin harus pada panas $V_U = 25^{\circ}\text{C}$ (kalau dapat dipertahankan ini merupakan kondisi kerja yang sangat baik) .



Tahanan termis bersama :

$$R_{th} = R_{thjg} + R_{thgk} = R_{thku}$$

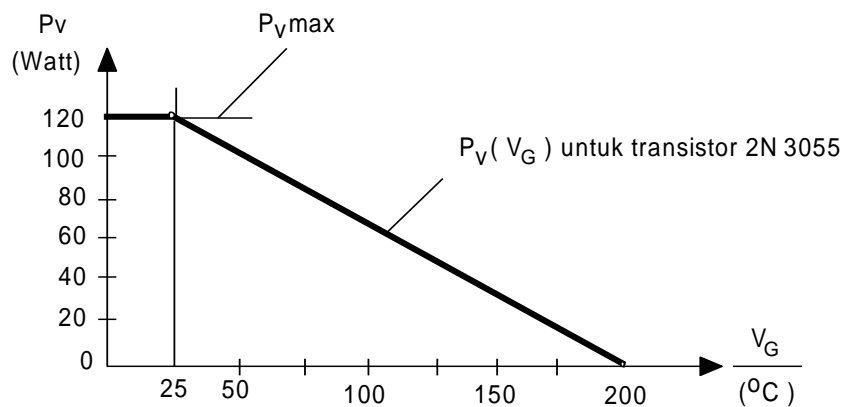
R_{thjg} = Data dalam lembar data transistor

R_{thgk} = Tahanan antara / Penyekat → kotak alat pendingin

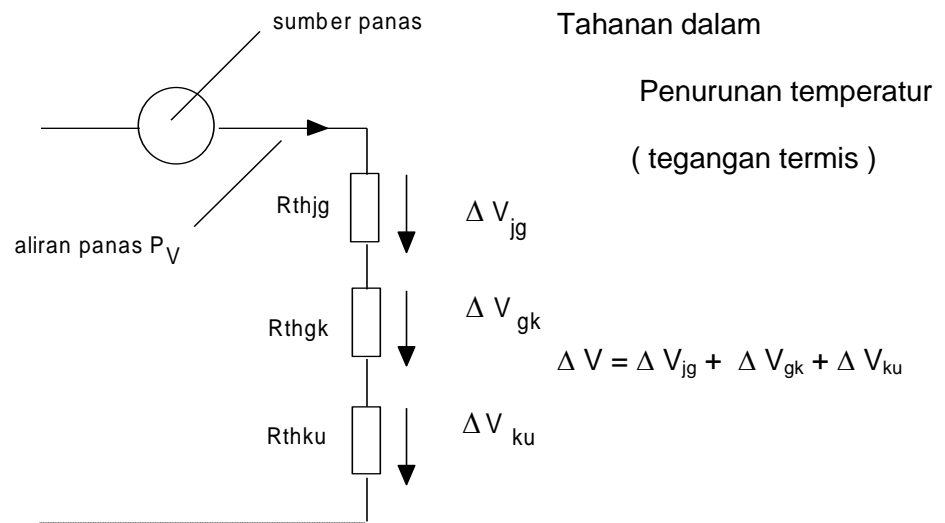
0,1 - 0,3 °C/W ; Pada isolasi listrik (Plat mika) sebesar > 1°C/W

R_{thku} = Tahanan profil pendingin → profil - daerah sekitar ; data dari perusahaan .

Lukisan grafis : P_V fungsi V_G



Gambar rangkaian pengganti “ Listrik “ untuk aliran panas .



Penghitungan pemakaian panas sebagaimana penghitungan pada sebuah rangkaian seri pemakaian Listrik.

Persesuaian Formal :

Arus I	Tegangan U	Tahanan R
Aliran panas	Penurunan Panas	Tahanan termis
P_V	ΔV	R_{th}

Berlaku hubungan
$$P_V = \frac{\Delta V}{R_{th}} = \frac{V_j - V_U}{R_{th}}$$

R_{th} = Tahanan termis total .

Perhitungan :

Contoh :

- Seorang akan menentukan rugi daya P_V yang diijinkan .

Diketahui : $R_{thjg} = 7,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$; $R_{thgk} 0,2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

$R_{thku} = 6,8 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

$V_{jmax} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$; $V_U = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

Penyelesaian :

$$P_V = \frac{\Delta V}{R_{th}} = \frac{V_{j \max} - V_U}{R_{thjg} + R_{thgk} + R_{thku}} = \frac{200 - 25}{7,5 + 0,2 + 6,8} = 12 \text{ Watt}$$

2. Pilihlah alat pendingin untuk transisto 2 N 3055 yang rugi dayanya $P_V = 30 \text{ W}$. Temperatur sekitar $V_U = 450^\circ\text{C}$ (R_{thGK} diabaikan) .

Jawab :

Dari data : $V_{j \max} = 200^\circ\text{C}$; $\frac{1}{R_{thjg}} = 0,657 \text{ W}/^\circ\text{C}$

Jadi $\rightarrow P_V = \frac{\Delta V}{R_{th}} = \frac{V_{j \max} - V_U}{R_{thjg} - R_{thku}}$

$$R_{thKU} = \frac{V_{j \max} - V_U}{P_V} - R_{thjg} = \frac{200 - 45}{30} - 1,52 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right]$$

$$R_{thku} = 3,64 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \rightarrow \text{ [tahanan alat pendingin]}$$

(Dapat memilih dari tabel profil yang di berikan)

Temperatur bodi/kotak :

$$P_V = \frac{V_G - V_U}{R_{thku}} ; \quad V_G = P_V \cdot R_{thku} + V_U$$

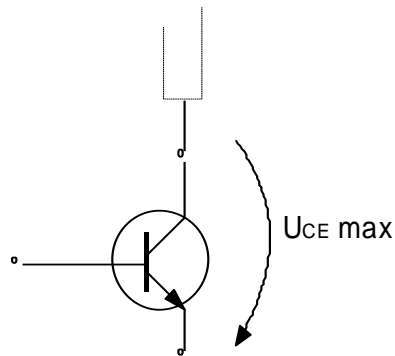
$$V_G = 30 \cdot 3,64 + 45 \quad [^\circ\text{C}] = 154^\circ\text{C}$$

Harga-harga yang lain

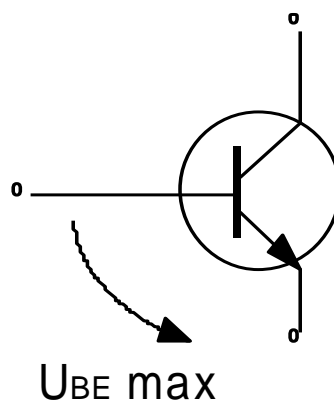
- Tegangan kolektor -emiter maksimal Tegangan kolektor -emiter maksimum yang diijinkan dengan basis terbuka .

(Tegangan tembus !)

Simbol yang lain :



- Tegangan basis-emiter maksimal

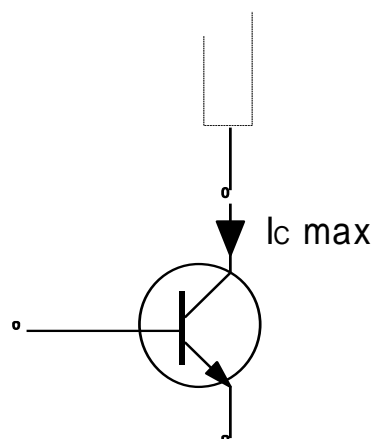


$B\ V_{CEO} (V_{BR})_{CEO}$
Breakdown Voltage Collector
Emitter
(tegangan dadal kolektor -
Emitter)

Tegangan basis - emiter
maksimum yang diijinkan
dengan kolektor terbuka
(Misalnya : penggunaan
sebagai saklar)

Simbol yang lain : $B\ V_{BEO}$

- Arus kolektor maksimal



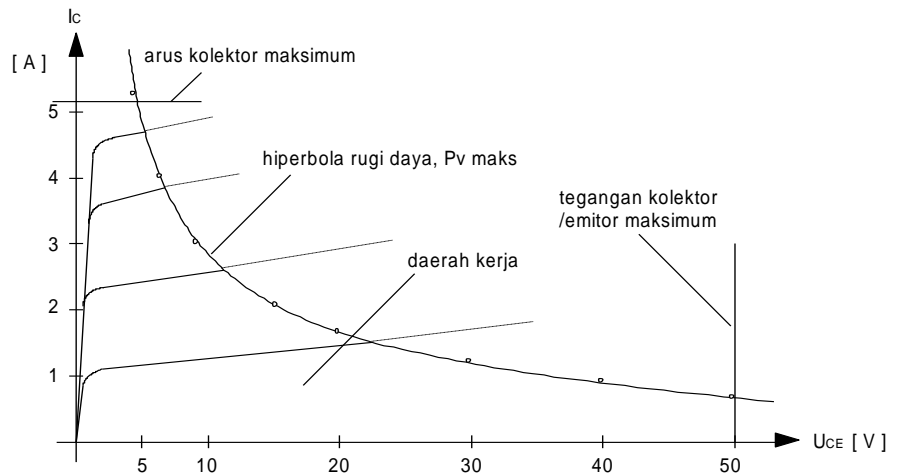
Besarnya arus kolektor
maksimum yang diijinkan (
dapat dilihat pada buku data
transistor)

Jika melampaui harga-harga
maksimal transistor akan rusak
.

Harga batas kerja dalam daerah grafik karakteristik

$$P_{V \max} = 30 \text{ W}$$

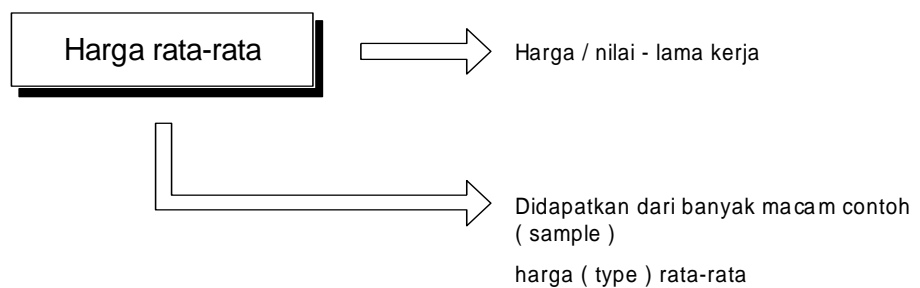
$$(V_G = 45^{\circ}\text{C})$$



$$P_V U_{CE} \cdot I_C \Rightarrow 30 \text{ W} = \text{Konstan !}$$

$U_{CE} \text{ (V)}$	5	7,5	10	15	20	30	40	50
$I_C \text{ (A)}$	6	4	3	2	1,5	1	0,75	0,6

Harga batas kerja adalah : harga yang statis/tetap .



Dalam waktu yang singkat diperbolehkan memberlakukan sebuah harga maksimum

misal : $I_{C \max}, P_{V \max}$

c. Rangkuman

1. Susunan fisis, simbol dan karakteristik transistor.

- Proses pembuatan piranti-piranti semikonduktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi empat macam pengelompokan yaitu, ditumbuhkan, pencampuran (*alloy*), difusi atau epitaksial/planar.
- Transistor persambungan yang terbuat dari susunan bahan kristal Silikon atau Germanium, untuk jenis transistor bertipe PNP adalah satu lapisan Silikon tipe-N diapit di antara dua lapisan Silikon tipe-P. Sedangkan untuk jenis transistor tipe NPN satu lapisan tipe-P diapit di antara dua lapisan kristal tipe-N.
- Karakteristik masukan arus tegangan adalah menyerupai sifat sumber tegangan konstan yang ditandai dengan adanya tegangan ambang (V_{γ}) dengan arus emitor kecil. Umumnya, besarnya tegangan ambang (V_{γ}) kira-kira $<0,3V$ untuk transistor Germanium dan $<0,6V$ untuk transistor Silikon.

2. Rangkaian bipolar transistor sebagai penguat dan piranti saklar.

- Bila temperatur (T) naik, maka penguatan arus (β) naik, demikian pula arus kolektor (I_C) naik, dengan naiknya arus (I_C) menyebabkan tegangan pada tahanan (R_C) juga mengalami kenaikan ($V_{RC} = I_C \cdot R_C$). Karena tegangan pada tahanan (R_C) naik, dengan demikian menyebabkan arus basis (I_B) menurun (lihat persamaan 2.386). Dengan turunnya arus basis (I_B) menyebabkan arus kolektor juga turun (ingat $I_C = \beta \cdot I_B$) dan rangkaian terjadi proses umpan balik sehingga dapat mengkompensasi kenaikan faktor penguatan arus (β) akibat kenaikan temperatur (T).
- Rangkaian basis bersama didisain dengan maksud untuk mendapatkan tahanan masukan yang kecil, maka dari itu variasi sinyal masukan ditempatkan pada kaki emitor dan sebagai kapasitor *bypass*-nya ditempatkan antara basis dan

massa, dimana untuk sinyal bolak-balik bias DC yang dibangun oleh R_1 , R_2 dapat dianggap rangkaian hubung singkat.

- Konfigurasi rangkaian kolektor bersama (*common collector*) dapat digunakan sebagai rangkaian pengubah impedansi, karena konsep dasar pada rangkaian ini bertujuan untuk mendapatkan tahanan masukan yang tinggi.

3. Datasheet transistor untuk keperluan eksperimen.

- Harga karakteristik kerja merupakan sifat-sifat yang dimiliki oleh transistor, misalnya penguat arus (yang ditentukan oleh I_C) frekuensi batas dsb .
- Harga batas kerja Harga batasan-batasan maksimum (Seperti : $I_{C\ max}$, $U_{CE\ max}$, P_{Vmax}) yang bila berlangsung melampaui waktu yang ditentukan , akan terjadi kerusakan / kehancuran elemen

d. Tugas Kegiatan Belajar 5 - 1**1. Pengukuran Kurva Sifat Dasar****Tujuan Instruksional Umum**

Peserta dapat memahami macam-macam keluarga semi konduktor serta sifatnya.

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- Menggambarkan grafik karakteristik hubungan $I_c = f(I_b)$, $U_{ce} = 10$ Volt.
- Menggambarkan grafik karakteristik hubungan $I_c = f(U_{ce})$, $I_b = \text{konstant}$.
- Menggambarkan grafik karakteristik hubungan $I_b = f(U_{be})$, $U_{ce} = 5$ Volt.
- Interpretasi karakteristik masing-masing percobaan.

Waktu**12 X 45 Menit****Alat dan Bahan****Alat Alat:**

- | | |
|----------------------------------|------------|
| ⇒ Catu day DC ,skala 0 - 12 Volt | 2 buah |
| ⇒ Multimeter | 3 buah |
| ⇒ Papan Percobaan | 1 buah |
| ⇒ Kabel penghubung | secukupnya |

Bahan:

- | | |
|----------------------|---|
| ⇒ Trasistor - BC 108 | |
| ⇒ Tahanan | : 220 Ω , 390 Ω , 8,2 K Ω |
| ⇒ Potensiometer | : 1 K Ω , 47 K Ω , 100 K Ω |

Keselamatan Kerja

Hati-hati tegangan catu tidak boleh melebihi ketentuan.

Perhatikan polaritas alat ukur jangan sampai terbalik.

Langkah Kerja**Percobaan I**

1. Siapkan alat dan bahan.
2. Bangunlah rangkaian seperti gambar 1.
3. Periksakan pada Instruktur.
4. Lakukan pengukuran untuk I_b bervariasi, sesuai tabel I dan masukkan hasil pengukuran anda pada tabel tersebut.
5. Gambarkan grafik $I_c = f(I_b)$, $U_{ce} = 1$ Volt konstan pada kertas milimeter
6. Buatlah interpretasi dari grafik anda.

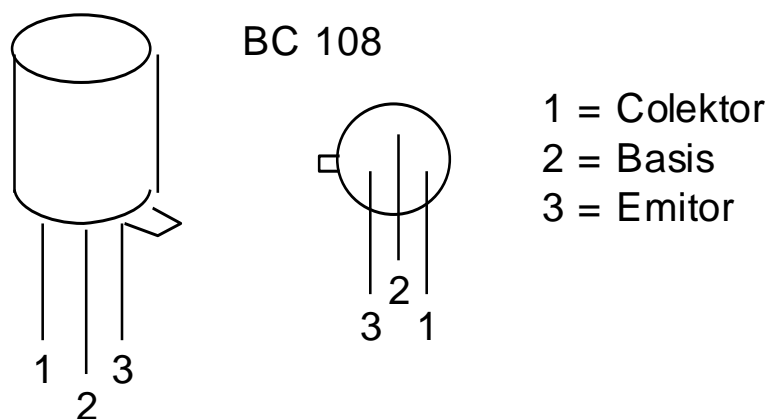
Percobaan II

7. Ulangi langkah kerja pada percobaan I untuk gambar 2 dengan pengukuran U_{ce} bervariasi, sesuai tabel II dan catat hasil pengukuran kedalam tabel II.
8. Gambarkan karakteristik $I_c = f(U_{ce})$, dengan I_b konstan pada kertas milimeter.
9. Jawablah pertanyaan II.

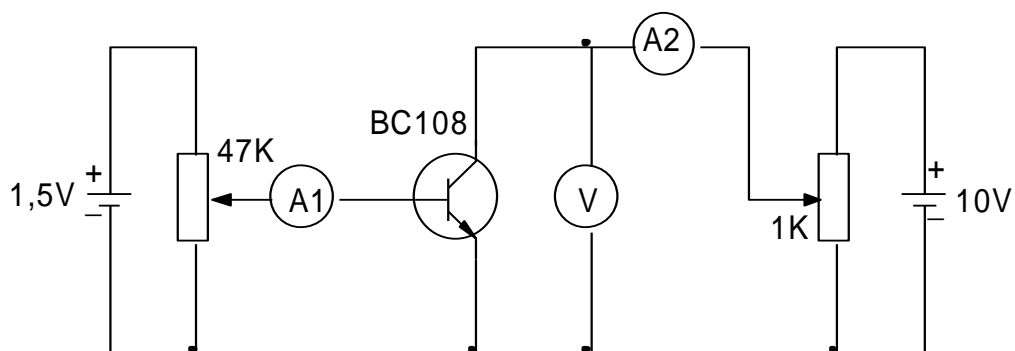
Percobaan III

10. Ulangi langkah kerja pada percobaan I untuk gambar 3 dengan pengukuran U_{be} bervariasi sesuai tabel III dan tulis hasil pengukuran kedalam tabel III.
11. Gambarkan karakteristik $I_c = f(U_{be})$, pada kertas milimeter.
12. Jawablah pertanyaan III.

Cara Kerja / Petunjuk



RANGKAIAN PENGUKURAN
PERCOBAAN I



Gambar 1

A_1 =

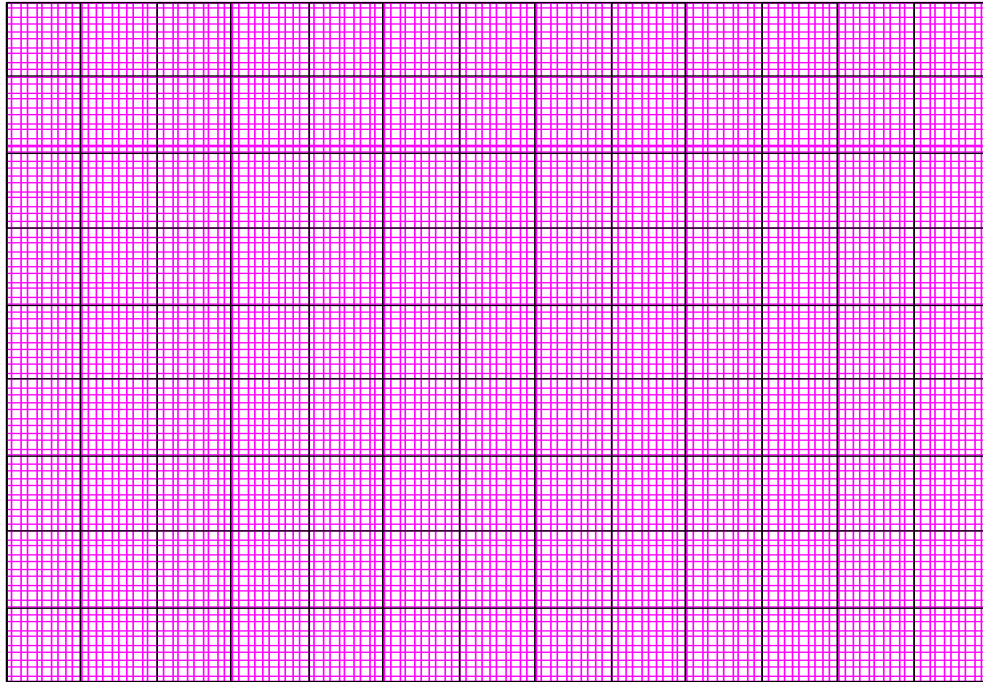
A_2 =

V =

Tabel I

I_B (μA)	2,5	8	12	20	25	30	40	60	85	120
I_C (mA)										

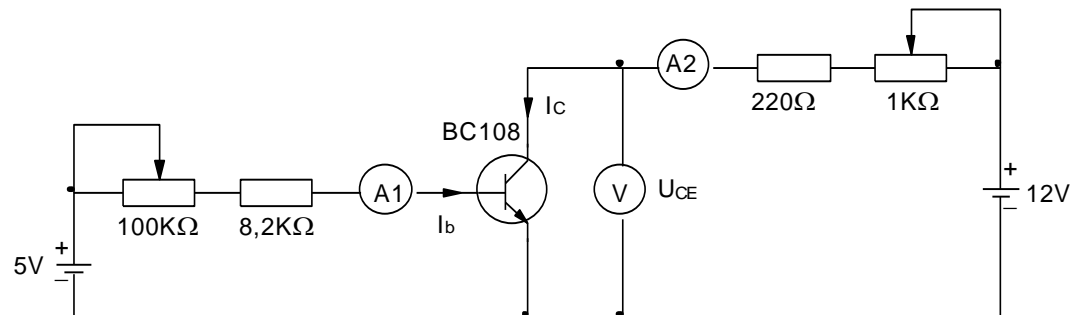
GAMBAR GRAFIK I



Pertanyaan I

- * Buatlah Interpretasi dari grafik saudara !
- * Jawab

RANGKAIAN PENGUKURAN PERCOBAAN II



Gambar 2

Tuliskan nama alat ukur yang di pakai :

A_1 =

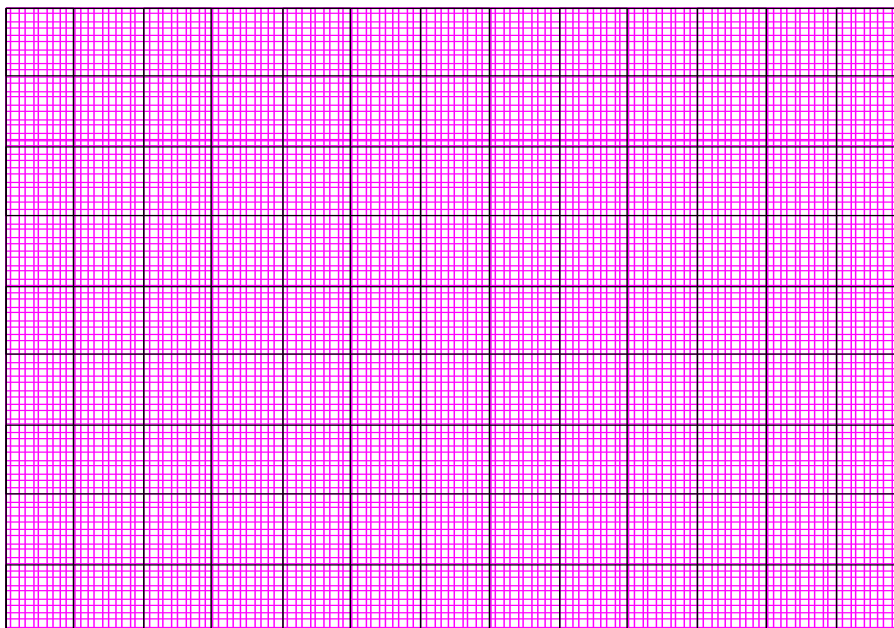
A_2 =

V =

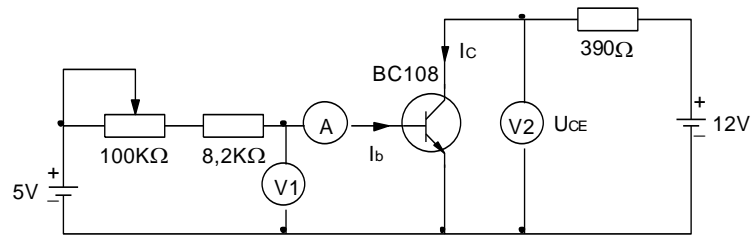
Tabel II

U_{CE}	I_C (mA) PADA $I_B = 100 / 200 / 300$ (μA)		
(V)	$I_B = 100$	$I_B = 200$	$I_B = 300$
0,1	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
0,2	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
0,5	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
1	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
2	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
5	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
7	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$
10	$I_C =$	$I_C =$	$I_C =$

GAMBAR GRAFIK II



RANGKAIAN PENGUKURAN PERCOBAAN III



Gambar 3

Tuliskan nama alat ukur yang dipakai :

A =

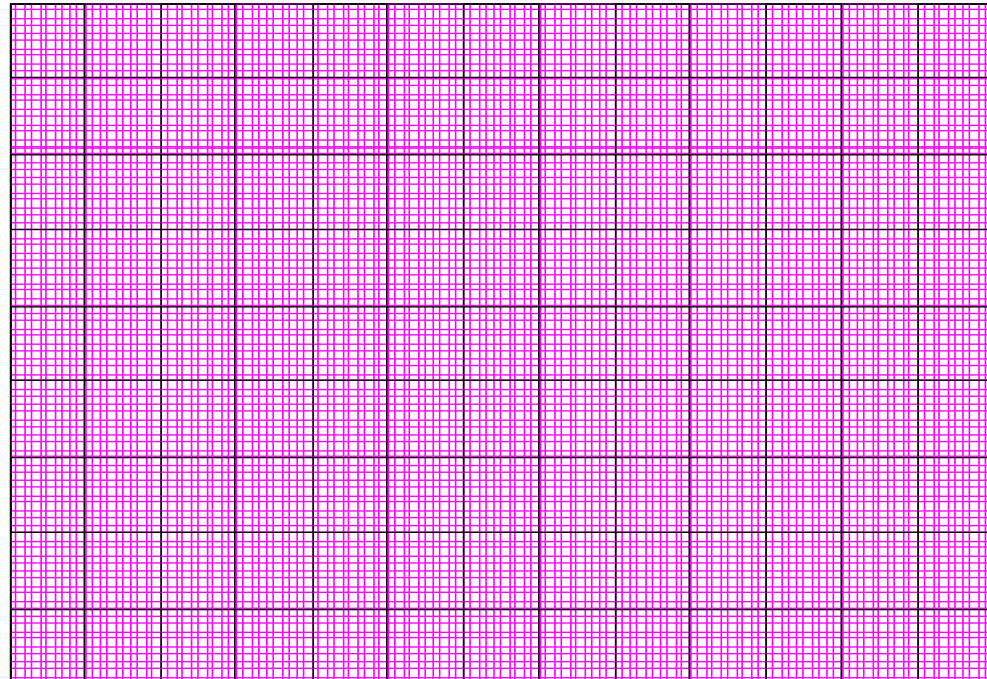
V₁ =

V₂ =

Tabel III

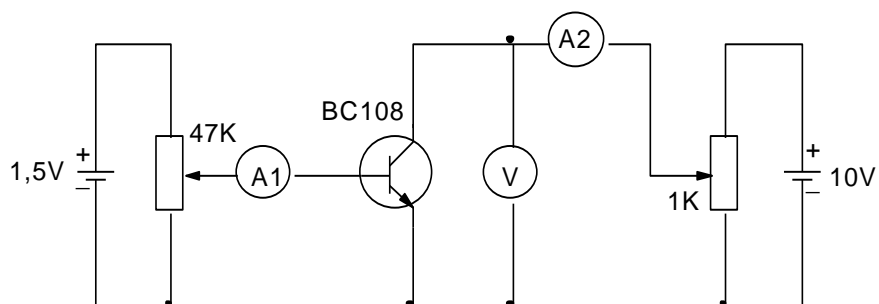
U _{BE} (V)	0,6	0,65	0,7	
I _B				U _{CE} = 5 V
(μA)				U _{CE} = 0 V

GAMBAR GRAFIK III



Kunci Jawaban

PERCOBAAN I



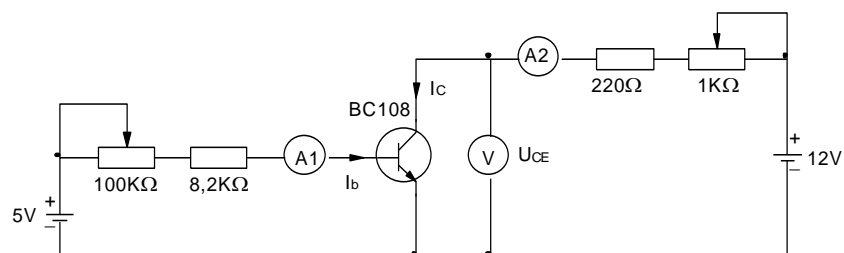
Tabel

I_B (μA)	2,5	8	12	20	25	30	40	60	85	120
I_C (mA)	0,5	1,9	2,8	4,8	6	7,2	9,6	14,5	20,4	28,5

Gambar Grafik 1



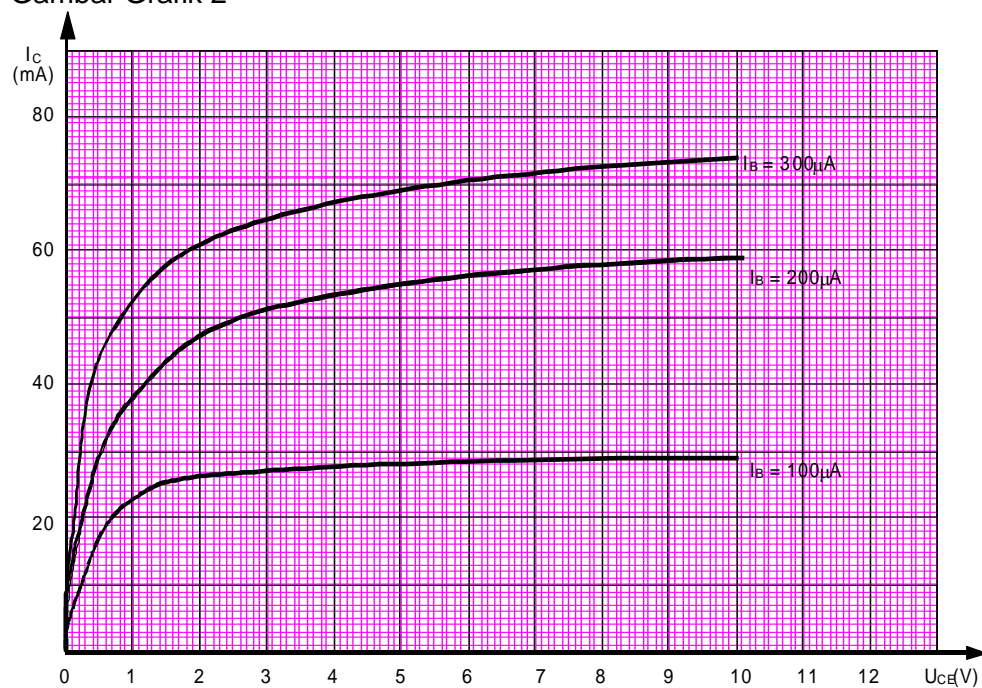
PERCOBAAN II



Gambar 2

U_{CE}	I_C (mA) PADA $I_B = 100 / 200 / 300 (\mu A)$		
(V)	$I_B = 100$	$I_B = 200$	$I_B = 300$
0,1	$I_C = 6,03$	$I_C = 10,5$	$I_C = 13,8$
0,2	$I_C = 15,4$	$I_C = 24,1$	$I_C = 30,6$
0,5	$I_C = 19,8$	$I_C = 30,9$	$I_C = 38,8$
1	$I_C = 22$	$I_C = 36,4$	$I_C = 45,7$
2	$I_C = 23$	$I_C = 42,2$	$I_C = 53,8$
5	$I_C = 25,5$	$I_C = 50,4$	$I_C = 66$
7	$I_C = 27,1$	$I_C = 54,2$	$I_C = 71,8$
10	$I_C = 29,7$	$I_C = 59,4$	$I_C = 74,4$

Gambar Grafik 2



e. Tugas Kegiatan Belajar 5 - 2

1. Pengaturan titik Kerja

Tujuan Instruksional Umum

Peserta memahami macam-macam keluarga semi konduktor serta sifatnya.

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- Membangun rangkaian pengukuran pengaturan titik kerja
- Menggambar grafik garis beban dan titik kerja DC transistor
- Menerangkan fungsi pengaturan titik kerja

Waktu

16 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat :

- | | |
|--------------------|------------|
| ⇒ Catu Daya DC | 2 buah |
| ⇒ Multimeter | 2 buah |
| ⇒ Papan percobaan | 1 buah |
| ⇒ Kabel penghubung | Secukupnya |

Bahan :

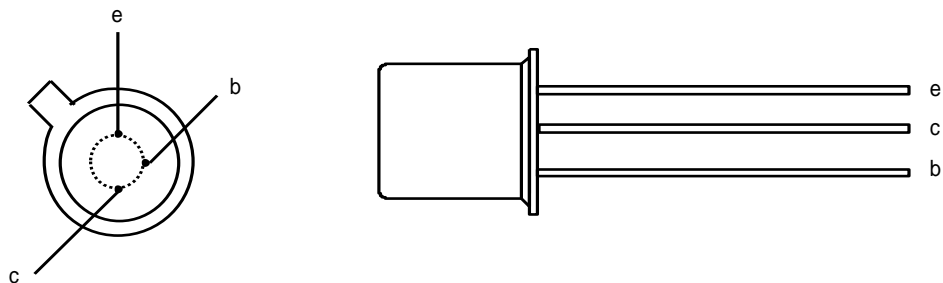
- | | |
|---------------------------------|--------|
| ⇒ Tahanan : 1 k Ω | 1 buah |
| ⇒ 2,2 k Ω | 1 buah |
| ⇒ 4,7 k Ω | 1 buah |
| ⇒ Potensio meter : 5 k Ω | 1 buah |
| ⇒ Transistor : BC 108 | 1 buah |

Langkah Kerja

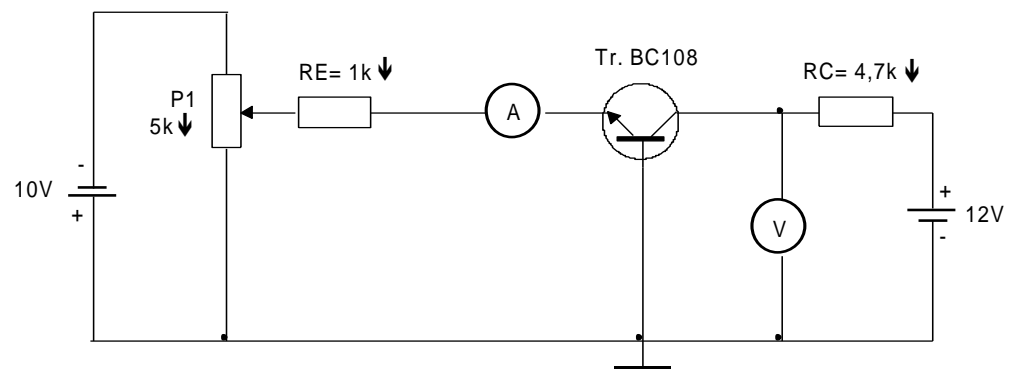
1. Siapkan alat dan bahan
2. Bangun rangkaian seperti gambar kerja
3. Tunjukkan pada instruktur anda
4. Lakukan pengukuran untuk I_E bervariasi sesuai tabel I dan isikan hasil pengukuran anda pada tabel tersebut
5. Aturlah P1 sedemikian hingga $U_{CB} \approx 0$ perhatikan I_E
6. Aturlah P1 sedemikian hingga $I_E \approx 0$ perhatikan U_{CB}
7. Gambarkan grafik $I_C = f(U_{CB})$ pada kertas mili meter diketahui $I_E = I_C$
8. Ulangi langkah 1-7 untuk $R_C = 2,2 \text{ K } \Omega$ dan masukkan hasilnya pada tabel II

Cara Kerja / Petunjuk

Untuk mengetahui / menentukan kaki-kaki komponen transistor tipe BC 108 dapat di lihat pada gambar di bawah ini



Gambar Kerja



Untuk langkah 4

Tuliskan nama alat ukur yang anda pakai :

A =

V =

Tabel I

I_E (mA)	0,5	1	1,5	2	2,5
U_{CB} (V)					

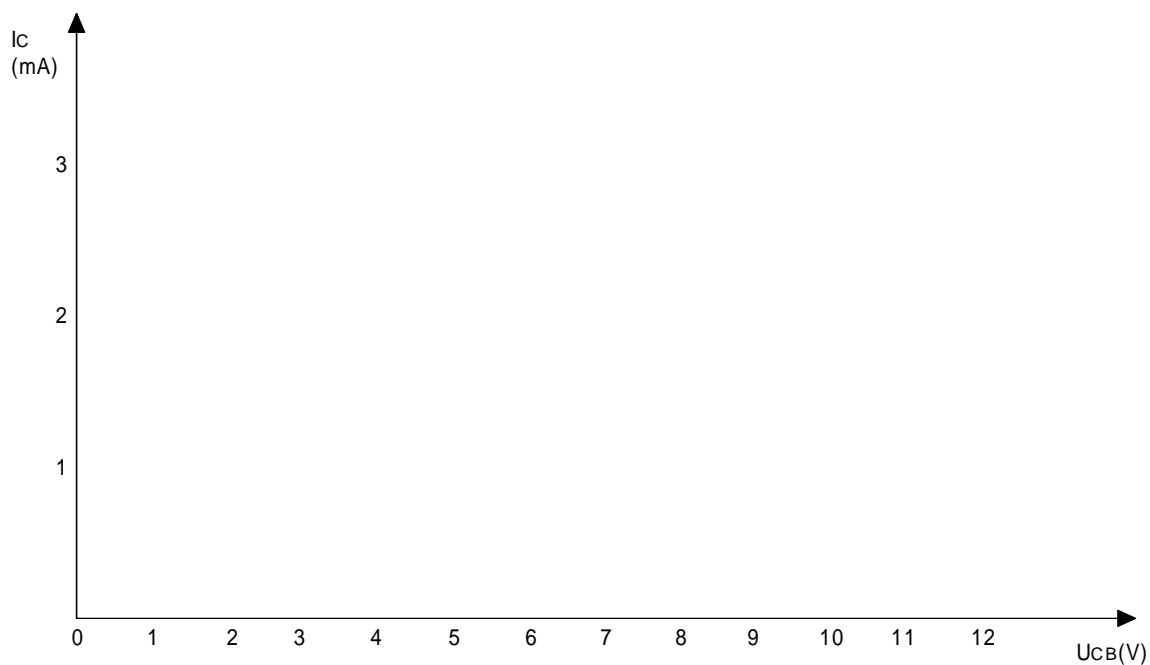
Untuk langkah 5 dan 6

$U_{CB} \approx 0$; $I_E =$

$I_E \approx 0$; $U_{CB} =$

Untuk langkah 7

Gambar grafik



Untuk langkah 8

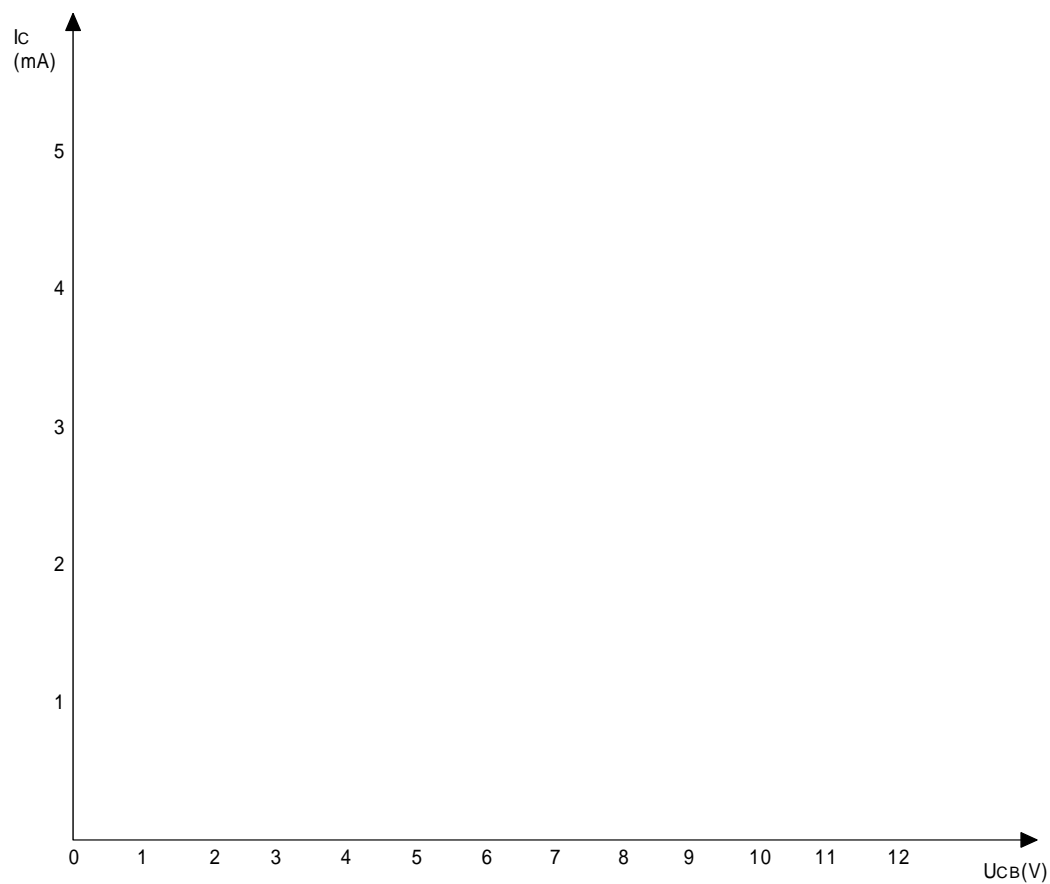
Tabel II

I_E (mA)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
U_{CB} (V)								

$U_{CB} \approx 0$; $I_E =$

$I_E \approx 0$; $U_{CB} =$

Gambar grafik



Jawaban

Untuk langkah 4

Tabel I

I_E (mA)	0,5	1	1,5	2	2,5
U_{CB} (V)	9,1	6,9	4,8	2,6	0,3

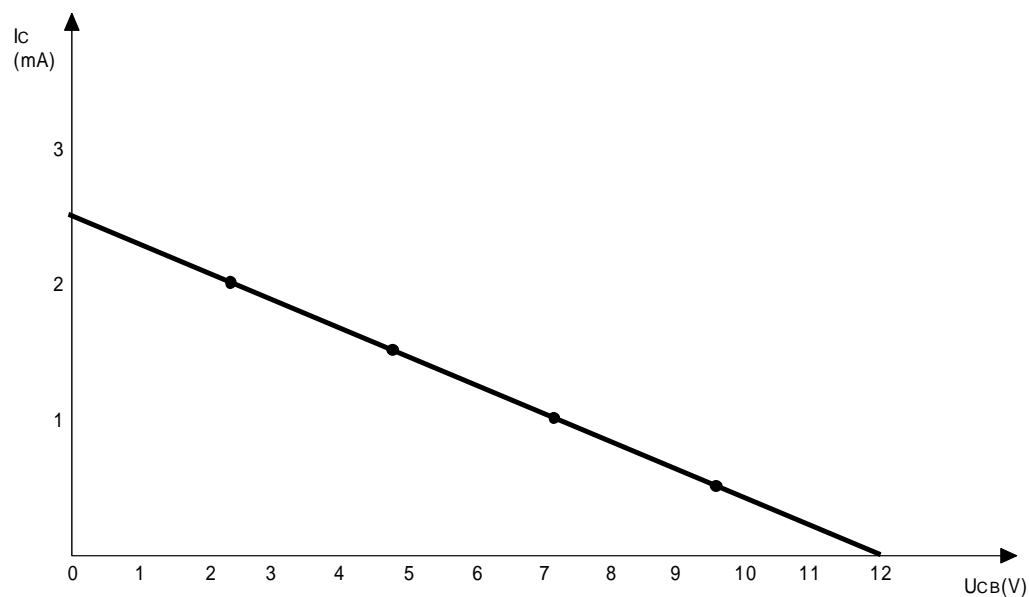
Untuk langkah 5 dan 6

$$U_{CB} \approx 0 ; I_E = 2,76 \text{ mA}$$

$$I_E \approx 0 ; U_{CB} = 11,3 \text{ V}$$

Untuk langkah 7

Gambar grafik



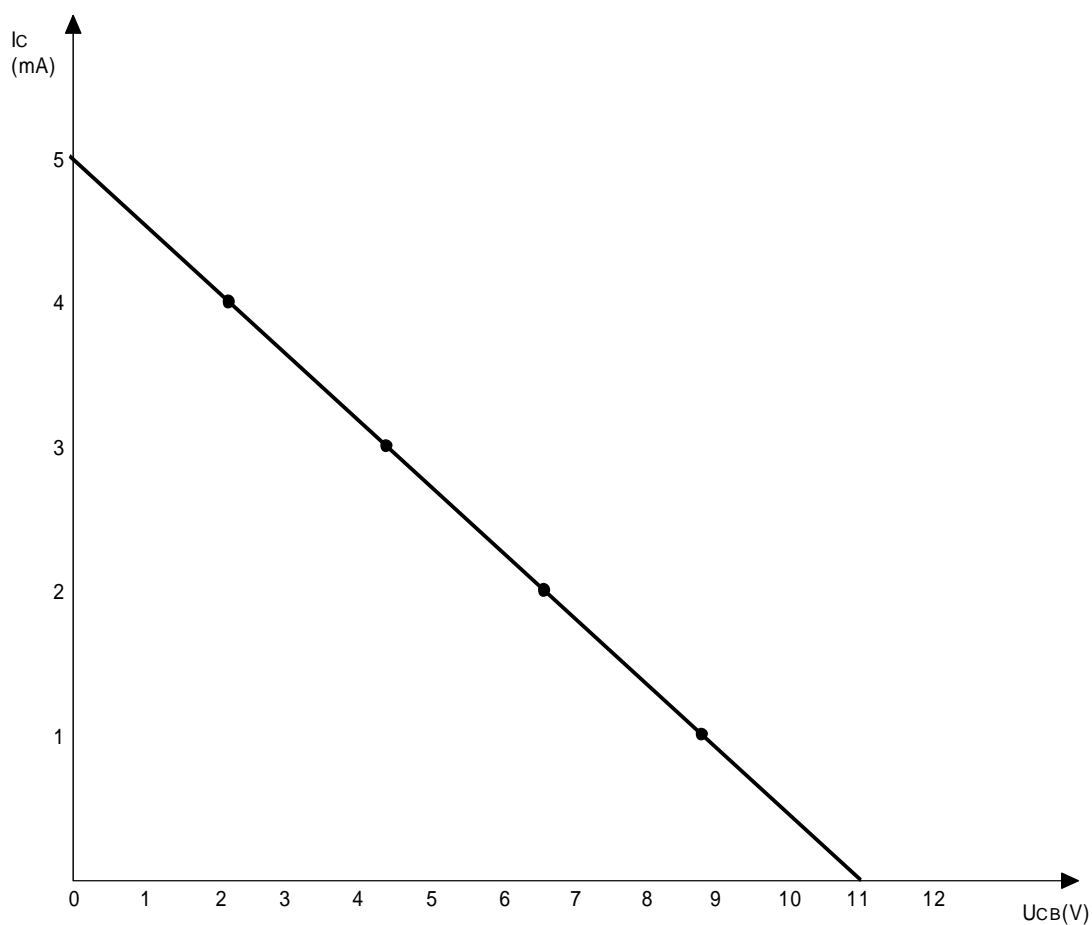
Untuk langkah 8

Tabel II

I_E (mA)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
U_{CB} (V)								

$U_{CB} \approx 0$; $I_E =$
 $I_E \approx 0$; $U_{CB} =$

Gambar grafik



f. Tugas Kegiatan Belajar 5 - 3

3. Hubungan dasar Emitor Bersama (Common Emitor)

Tujuan Instruksional Umum

Peserta memahami macam-macam keluarga semi konduktor serta sifatnya.

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- Membangun rangkaian emitor bersama
- Mengukur tegangan kerja dengan Oscilloscope
- Mengukur beda fasa dari tegangan antara masukan dan keluaran dari penguat emitor bersama
- Menentukan penguatan tegangan pada penguat emitor bersama
- Menentukan penguatan arus pada penguat emitor bersama
- Menentukan impedansi masukan dan keluaran dari penguat emitor bersama
- Menentukan penguatan daya dari penguat emitor bersama

Benda Kerja

Lihat pada gambar kerja halaman 1-3

Waktu

8 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

⇒ Funtion Generator	1 buah
⇒ Oscilloscope 2 sinar	1 buah
⇒ Papan percobaan	1 buah
⇒ Pribe CRO : 1 : 10	1 buah
⇒ Probe Funtion Generator	1 buah

⇒ Kabel penghubung secukupnya

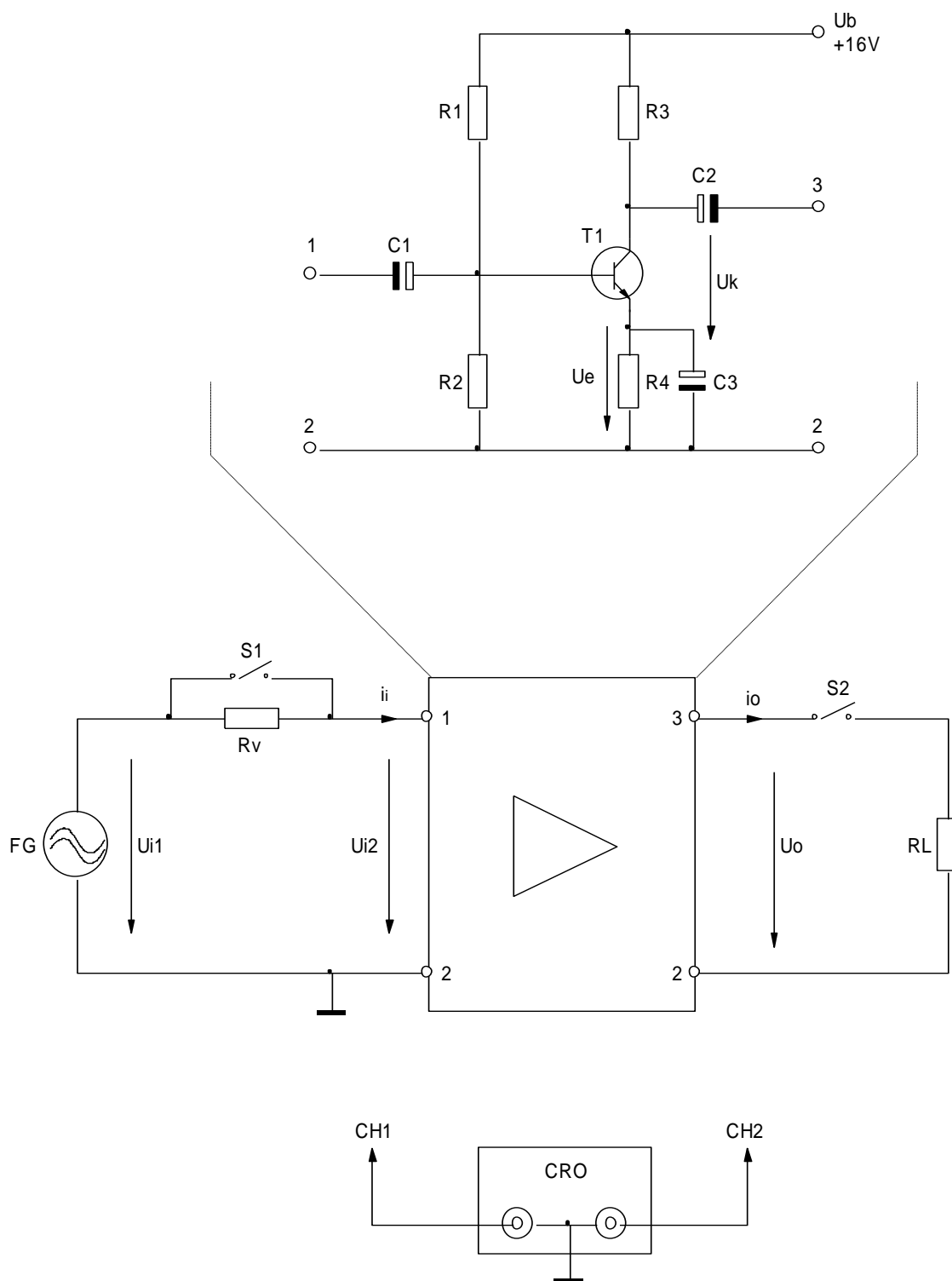
Bahan:

- ⇒ Tahanan : $R1 = 680\text{ K}\Omega$ 1 buah
- $R2 = 100\text{ K}\Omega$ 1 buah
 - $R3 = 47\text{ K}\Omega$ 1 buah
 - $R4 = 10\text{ K}\Omega$ 1 buah
 - $R_V = 22\text{ K}\Omega$ 1 buah
 - $R_L = 47\text{ K}\Omega$ 1 buah
- ⇒ Kondensator $C1 = 10\text{ }\mu\text{F} / 16\text{ V}$ 1 buah
- $C2 = 47\text{ }\mu\text{F} / 16\text{ V}$ 1 buah
 - $C3 = 100\text{ }\mu\text{F} / 16\text{ V}$ 1 buah
- ⇒ Transistor : BC 547 1 buah

Keselamatan Kerja

Jangan memberi tegangan catu melampaui ketentuan

Gambar Kerja



Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti gambar kerja . Usaha tegangan emitor U_e antara 1,6 V - 2,0 V dan tegangan kolektor U_k antara 8 Volt - 9 Volt

Catat type transistor yang digunakan pada lembar jawaban dan catat pula besar tegangan

2. Hubungkan saklar S_1 dan S_2

Atur tegangan dari Function Generator hingga tegangan keluaran U_o dari rangkaian sebesar 5 Vp-p frekuensi $F = 1 \text{ KHz}$. Ukur besar tegangan masukan U_i 2 dan hitung penguatan tegangan V_U . Hitung beda fasanya .

3. S_1 terbuka, S_2 tertutup , ukur U_i 1 dan U_i 2 dan hitung impedansi masukan r_i dari perubahan tegangan masukan (lihat rumus halaman 1-5)

4. Saklar S_1 tertutup , S_2 terbuka . Ukur tegangan $U_o = U_o$ 1 . Saklar S_1 tertutup, . Ukur tegangan $U_o = U_o$ 1 . Hitung impedansi keluaran r_o (lihat rumus halaman 1-5)

5. Hitung arus masukan i_i dan arus keluaran i_o serta hitung penguatan arusnya V_i

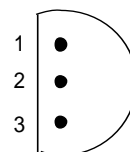
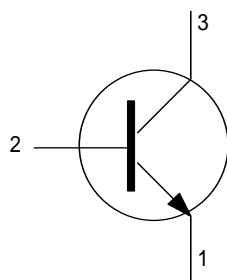
6. Hitunglah penguatan daya V_p dari rangkaian tersebut

7. Bandingkanlah impedansi masukan r_i dengan impedansi keluaran r_o

8. Diskusikan dengan instruktur anda

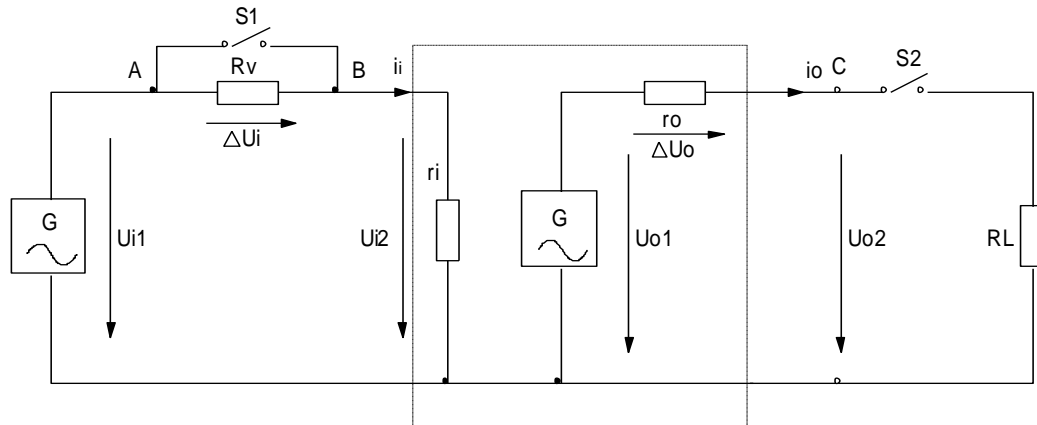
Cara Kerja / Petunjuk

- Untuk mengetahui elektroda-elektroda transistor BC 547 dapat dilihat pada gambar dibawah ini



1 = Emitor
2 = Basis
3 = Colector

Mencari besaran impedansi masukan r_i dan keluaran dengan menggunakan rangkaian persamaan (Equivalent) di bawah ini



1. Untuk mencari impedansi masukan dari rangkaian diatas hanya merupakan pembagi tegangan

2. Ukur tegangan U_{i1} dan U_{i2} pada saat S_1 terbuka

$$\frac{U_{i1} - U_{i2}}{R_v} = \frac{U_{i2}}{r_i}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v$$

3. Sedangkan mencari impedansi keluaran dari rangkaian diatas juga sama langkahnya . Ukur tegangan C pada S_2 terbuka $\rightarrow U_{o1}$ Ukur tegangan dititik C pada saat S_2 tertutup $\rightarrow U_{o2}$

4. Dari langkah tersebut diatas persamaan sebagai berikut :

$$\frac{U_{o1} - U_{o2}}{r_o} = \frac{U_{o2}}{R_L}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L$$

Tugas

Untuk langkah : 1

$$U_e = \dots\dots\dots \text{ Volt}$$

$$U_k = \dots\dots\dots \text{ Volt}$$

Type Transistor :

.....

Untuk langkah : 2

$$U_o = \dots\dots\dots \text{ Vp-p}$$

$$U_{ie} = \dots\dots\dots \text{ m Vp-p}$$

$$V_u = \frac{U_o}{U_{i2}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$V_u (d_B) = 20 \log V_u = 20 \log \dots\dots\dots = \dots\dots\dots d_B$$

$$\text{Beda Fasa} = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 3

$$U_{i1} = \dots\dots\dots \text{ Vp-p}$$

$$U_{i2} = \dots\dots\dots \text{ Vp-p}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 4

$$U_{o2} = \dots\dots\dots \text{ Vp-p}$$

$$U_{o1} = \dots\dots\dots \text{ Vp-p}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 5

$$i_i = \frac{U_{i2} (LK 2)}{r_i (LK 3)} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$i_o = \frac{U_o (LK 2)}{R_L} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$V_i = \frac{i_o}{i_i} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 6

$$V_p = V_u \times U_i = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Jawaban

Untuk langkah : 1

$$U_e = 1,5 \text{ Volt}$$

$$U_k = 7. \text{ Volt}$$

Type Transistor : **BC 547**

Untuk langkah : 2

$$U_o = 5 \text{ Vp-p}$$

$$U_{ie} = 60 \text{ m Vp-p}$$

$$V_u = \frac{U_o}{U_{i2}} = \frac{5 \text{ Vp-p}}{60 \text{ m Vp-p}} = 83,33 \text{ kali}$$

$$V_u (d_B) = 20 \log V_u = 20 \log = 38,4 d_B$$

Beda Fasa = **Berbalik fasa / 1800**

Untuk langkah 3

$$U_{i1} = 110 \text{ Vp-p}$$

$$U_{i2} = 60 \text{ m Vp-p}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v = 26,4 \text{ K}\Omega$$

Untuk langkah 4

$$U_{o2} = 5 \text{ Vp-p}$$

$$U_{o1} = 9,6 \text{ Vp-p}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L = 4,324 \text{ K}\Omega$$

Untuk langkah 5

$$i_i = \frac{U_{i2} (L K 2)}{r_i (L K 3)} = 2,27 \text{ m A}$$

$$i_o = \frac{U_o (L K 2)}{R_L} = 1,06 \text{ m A}$$

$$V_i = \frac{i_o}{i_i} = 468, 64 \text{ kali}$$

Untuk langkah 6

$$V_p = V_u \times U_i = 39051 \text{ kali}$$

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = \frac{26,4 \text{ K}\Omega}{4,324 \text{ K}\Omega} = 6,111 \text{ kali}$$

g. Tugas Kegiatan Belajar 5 - 4

4. HUBUNGAN DASAR KOLEKTOR BERSAMA (COMMON COLLECTOR)

Tujuan Instruksional Umum

Peserta memahami macam-macam keluarga semi konduktor serta sifatnya .

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- Membangun rangkaian penguat kolektor bersama
- Mengukur tegangan kerja dengan oscilloscope
- Mengukur beda fasa antara sinyal masukan dan keluaran dari penguat kolektor bersama
- Menentukan penguatan tegangan pada penguat kolektor bersama
- Menentukan penguatan arus pada penguat kolektor bersama
- Menentukan impedansi masukan dan keluaran dari penguat kolektor bersama
- Menentukan penguatan daya dari penguat kolektor bersama.

Benda Kerja

Lihat pada gambar kerja

Waktu

8 X 45 Menit

Alat dan Bahan

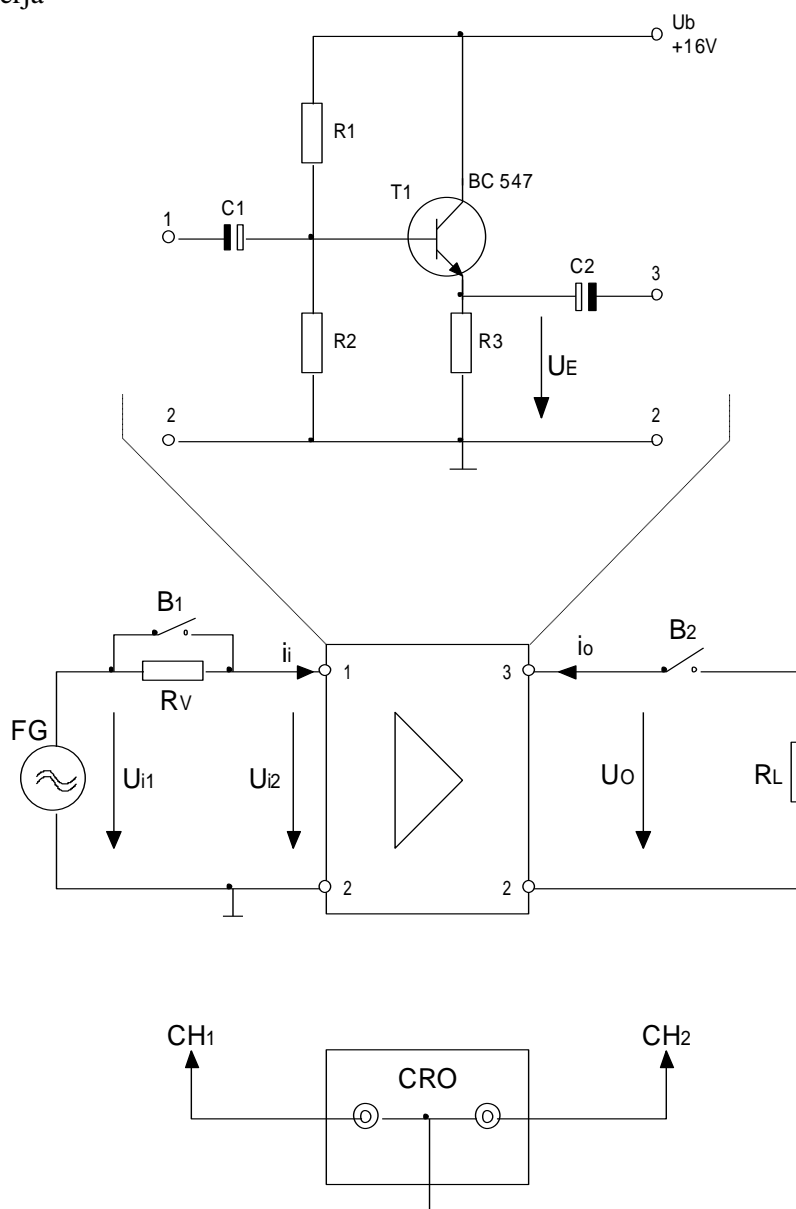
Alat Alat:

- ⇒ Function generator :1 buah
- ⇒ Dual trace oscilloscope :1 buah
- ⇒ Papan percobaan :1 buah
- ⇒ Probe 1 : 10 :2 buah
- ⇒ Kabel penghubung :secukupnya
- ⇒ Kabel penghubung :1 buah
- ⇒ Probe Function Generator :1 buah

Bahan:

- ⇒ **Tahanan :** R1 = 820 K Ohm 1 buah
 ⇒ R2 = 1 M Ohm 1 buah
 ⇒ R3 = 10 K Ohm 1 buah
 ⇒ RV = 220 K Ohm 1 buah
 ⇒ RL = 2,2 K Ohm 1 buah
 ⇒ **Kondensator :** C1 = 20 μ F/16V 1 buah
 ⇒ C2 = 100 μ F/16V 1 buah
 ⇒ **Transistor :** = BC 547 1 buah

Gambar Kerja

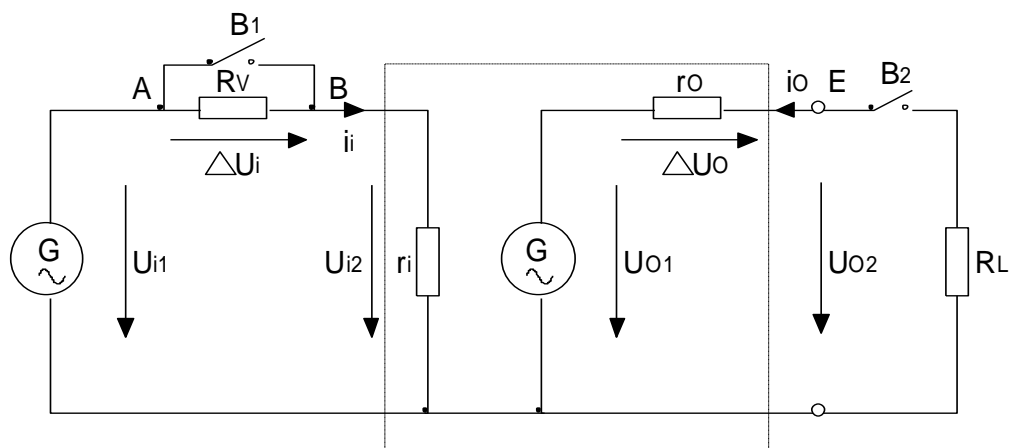


Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti gambar kerja 1. Usahakan tegangan Emitter U_e antara 7V sampai dengan 8V Catat type transistor yang digunakan pada lembar jawaban. Catat besar tegangannya.
2. Hubungkan terminal B_1 dan B_2
Atur tegangan dari generator fungsi hingga tegangan keluaran U_o dari rangkaian sebesar 2 Vpp frekuensi = 1 KHZ .
Ukur besar tegangan masukan U_{i2} dan hitung penguatan tegangan V_u .
Hitung beda fasanya.
3. B_1 terbuka, B_2 tertutup. Ukur U_{i1} dan U_{i2} dan hitung impedansi masukan r_i dari perubahan tegangan masukan. (lihat rumus halaman : 1-5)
4. Saklar B_1 tertutup, B_2 terbuka. Ukur tegangan $U_o = U_{o1}$.
Saklar B_1 tertutup, B_2 tertutup. Ukur tegangan $U_o = U_{o2}$
Hitung Impedansi keluaran r_o (Lihat rumus halaman 1-5)
5. Hitung arus masukan i_i dan arus i_o serta hitung penguatan arusnya V_i .
6. Hitunglah penguatan daya V_p dari rangkaian tersebut.
7. Bandingkan impedansi masukan r_i dengan impedansi keluaran r_o .
8. Diskusikan dengan instruktur anda

Cara Kerja / Petunjuk

Mencari besaran impedansi masukan r_i dan keluaran r_o dengan menggunakan rangkaian persamaan (equevalent)



Tambahan lampiran

Untuk mencari impedansi masukan dari rangkaian diatas hanya merupakan pembagi tegangan Ukur tegangan U_{i1} dan U_{i2} pada saat B_1 terbuka

$$\frac{U_{i1} - U_{i2}}{R_v} = \frac{U_{i2}}{r_i}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v$$

Sedangkan mencari impedansi keluaran dari rangkaian di atas juga sama langkahnya. Ukur tegangan di titik C pada saat B_2 terbuka $\rightarrow U_{o1}$

Ukur tegangan dititik C pada saat B_2 tertutup $\rightarrow U_{o2}$

Dari langkah tersebut didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{U_{o1} - U_{o2}}{r_o} = \frac{U_{o2}}{R_L}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L$$

Tugas

Untuk langkah 1

UE =Volt

UK =Volt, type transistor :.....

Untuk langkah 2

Uo =Vpp

Ui2 =mVpp

$$V_u = \frac{U_o}{U_{i2}} = =$$

$$V_u \text{ (dB)} = 20 \log V_u = 20 \log = \text{dB}$$

Beda fasa =

Untuk langkah 3

$$U_{i1} = \dots\dots\dots V_{pp}$$

$$U_{i2} = \dots\dots\dots V_{pp}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 4

$$U_{o2} = \dots\dots\dots V_{pp}$$

$$U_{o1} = \dots\dots\dots V_{pp}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 5

$$ii = \frac{U_{i2} \text{ (LK2)}}{r_i \text{ (LK 3)}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$i_o = \frac{U_o \text{ (LK2)}}{R_L} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$V_i = \frac{i_o}{ii} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 6

$$V_p = V_u \times V_i = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Kunci Jawaban

Untuk langkah 1

$$U_E = 7 \text{ Volt}$$

$$U_K = 15 \text{ Volt}$$

type transistor : **BC 547**

Untuk langkah 2

$$U_o = 2 \text{ Vpp}$$

$$U_{i_2} = 2 \text{ mVpp}$$

$$V_u = \frac{U_o}{U_{i_2}} = \frac{2}{2} = 1 \text{ kali}$$

$$V_u \text{ (dB)} = 20 \log V_u = 20 \log 1 = 0 \text{ dB}$$

Beda fasa = **sama/sefasa**

Untuk langkah 3

$$U_{i_1} = 3,2 \text{ Vpp}$$

$$U_{i_2} = 1,4 \text{ Vpp}$$

$$r_i = \frac{U_{i_2}}{U_{i_1} - U_{i_2}} \times R_v = \frac{1,4}{3,2 - 1,4} \times 220 \text{ K} = 171 \text{ K Ohm}$$

Untuk langkah 4

$$U_{o_2} = 2 \text{ Vpp}$$

$$U_{o_1} = 2,4 \text{ Vpp}$$

$$r_o = \frac{U_{o_1} - U_{o_2}}{U_{o_2}} \times R_L = \frac{2,4 - 2}{2} \times 2 \text{ K} = 440 \text{ Ohm}$$

Untuk langkah 5

$$i_i = \frac{U_{i_2} \text{ (LK2)}}{r_i \text{ (LK 3)}} = \frac{1,4}{171 \text{ K}\Omega} = 8,187 \mu\text{A}$$

$$i_o = \frac{U_o \text{ (LK2)}}{R_L} = \frac{2 \text{ V}}{2200 \text{ Ohm}} = 909 \mu\text{A}$$

$$V_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{909}{8,187} = 150 \text{ kali}$$

Untuk langkah 6

$$V_p = V_u \times V_i = 1 \times 111 = 111$$

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = 171 / 440 = 0,39$$

h. Tugas Kegiatan Belajar 5 - 5

5. Hubungan Dasar Basis Bersama (Common Basis)

Tujuan Instruksional Umum

Peserta memahami macam-macam keluarga semi konduktor serta sifatnya

Tujuan Instruksional Khusus

Peserta harus dapat :

- Membangun rangkaian penguat basis bersama
- Mengukur tegangan kerja dengan oscilloscope
- Mengukur beda fasa antara sinyal masukan dan keluaran dari penguat basis bersama
- Menentukan penguatan tegangan pada penguat basis bersama
- Menentukan penguatan arus pada penguat basis bersama
- Menentukan impedansi masukan dan keluaran dari penguat basis bersama
- Menentukan penguatan daya dari penguat basis bersama

Waktu

8 X 45 Menit

Alat dan Bahan

Alat Alat:

- ⇒ Sumber tegangan DC 1 buah
- ⇒ FuctionGenerator 1 buah
- ⇒ Oscilloscope 2 Trace 1 buah
- ⇒ Papan Percobaan 1 buah
- ⇒ Kabel Penghubung Secukupnya
- ⇒ Probe CRO 1 : 10 2 buah
- ⇒ Probe Function Generator 1 buah

Bahan:

- Tahanan : $R_1 = 10 \text{ K } \Omega$
 $R_2 = 47 \text{ K } \Omega$
 $R_3 = 100 \text{ K } \Omega$
 $R_4 = 680 \text{ K } \Omega$

$$R_V = 1 \text{ K}\Omega$$

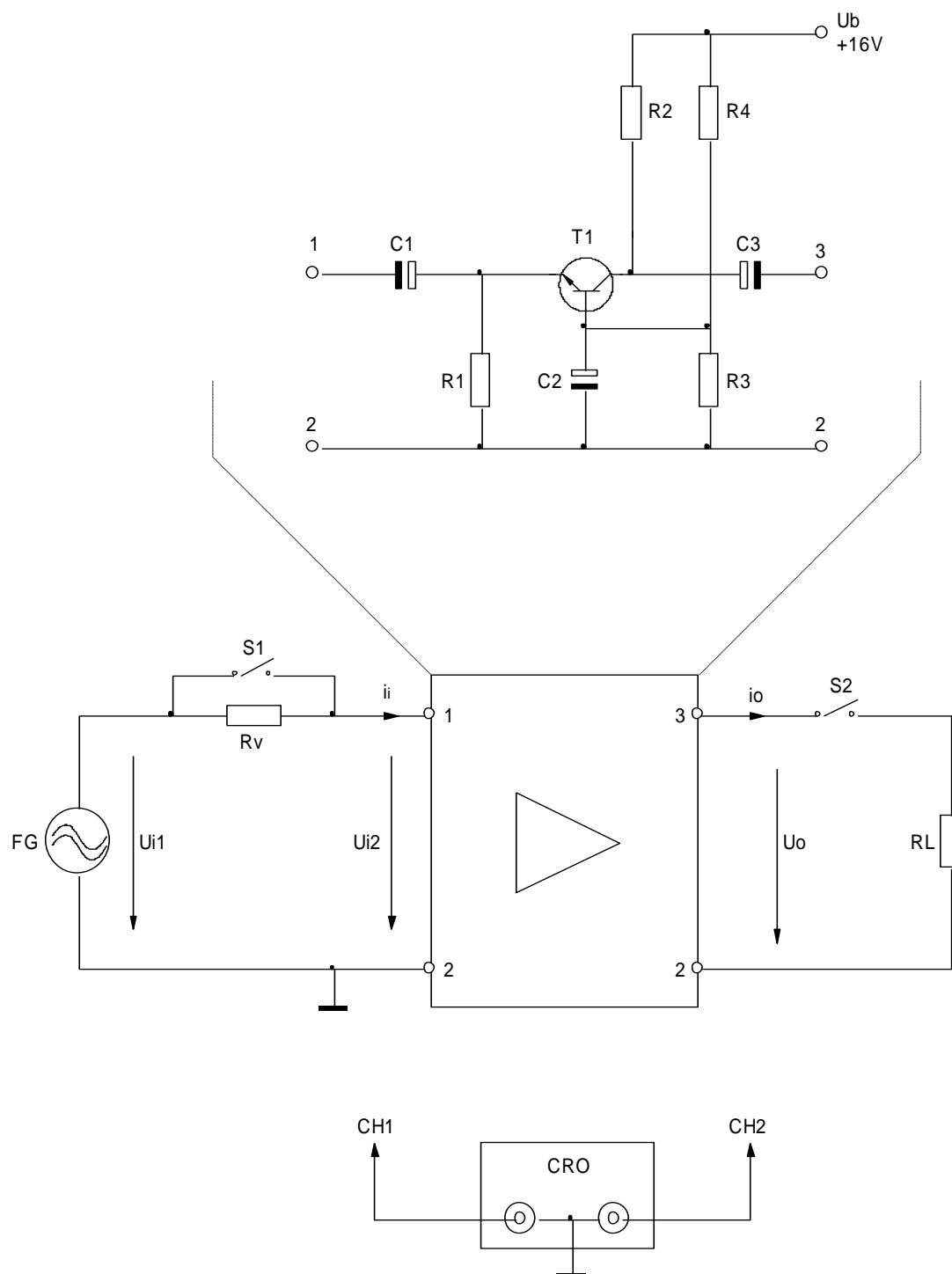
$$R_L = 47 \text{ K}\Omega$$

\Rightarrow Kondensator : $C_1 = 100 \mu\text{F} / 16 \text{ V}$

- $C_2 = 10 \mu\text{F} / 16 \text{ V}$

- $C_3 = 47 \mu\text{F} / 16 \text{ V}$

\Rightarrow Transistor : BC 547



Langkah Kerja

1. Buatlah seperti gambar kerja usahakan tegangan basis U_o antara 1,5 s/d 2 V dan tegangan kerja pada kolektor 8 Volt s/d 9 Volt. Catat type

transistor yang di gunakan pada lembar jawaban . Catat besar tegangannya.

2. Hubungan saklar S_1 dan S_2

Atur tegangan dari generator fungsi hingga tegangan keluaran U_o dari rangkaian sebesar

$2 V_{p-p}$ $F = 1 \text{ KHz}$.

3. S_1 terbuka, S_2 tertutup , ukur tegangan U_{i1} dan U_{i2} dan hitung impedansi masukan r_i dari perubahan tegangan.

4. Saklar S_1 tertutup , S_2 terbuka ukur tegangan $U_o = U_{o2}$.

Hitung impedansi keluaran r_o .

5. Hitung arus masukan i_i dan arus keluaran i_o serta hitung penguatan arusnya (V_i).

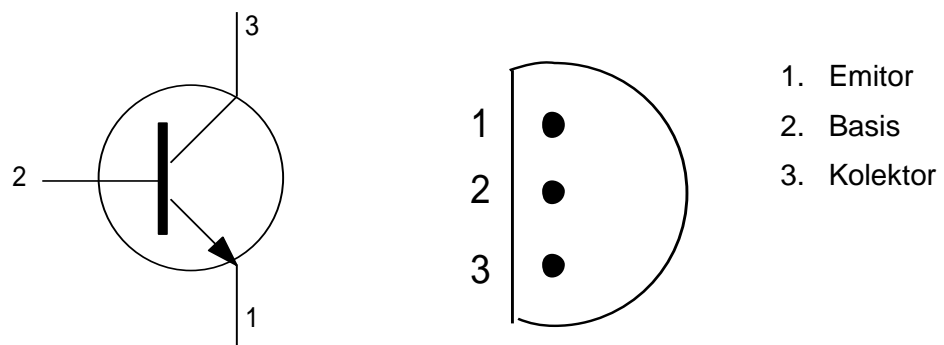
6. Hitunglah penguatan daya (V_p) dari rangkaian tersebut.

7. Bandingkanlah impedansi masukan r_i dengan impedansi keluaran r_o .

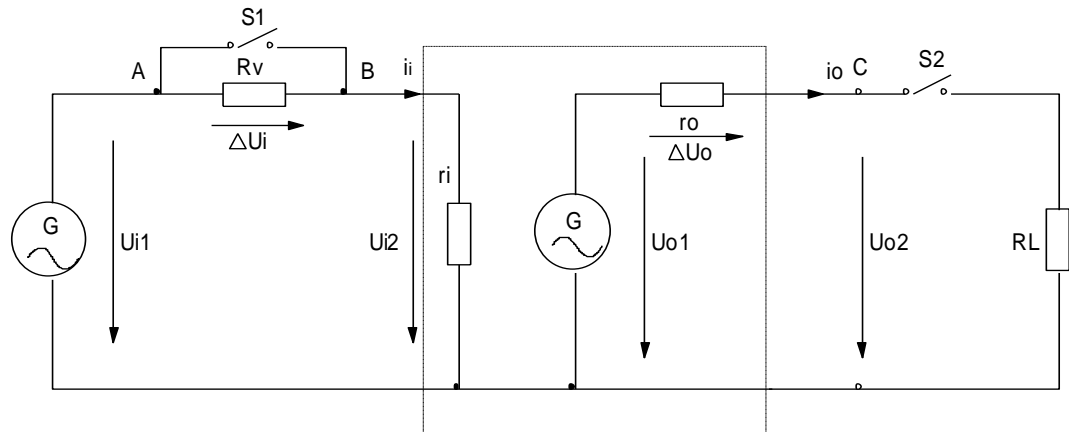
8. Diskusikan dengan instruktur anda

Cara Kerja / Petunjuk

Untuk mengetahui elektroda-elektroda transistor BC 547 dapat di lihat pada gambar dibawah ini



Mencari besaran impedansi masukan r_i dan keluaran r_o dengan menggunakan rangkaian persamaan (equivalent) .



1. Untuk mencari impedansi masukan dari rangkaian diatas hanya merupakan pembagi tegangan . Ukur tegangan U_{i1} dan U_{i2} pada saat S_1 terbuka

$$\frac{U_{i1} - U_{i2}}{R_v} = \frac{U_{i2}}{r_i}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v$$

2. Sedangkan mencari impedansi keluaran dari rangkaian di atas juga sama langkahnya . Ukur tegangan dititik C pada saat S_2 terbuka $\rightarrow U_{o1}$.
3. Ukur tegangan pada titik C saat S_2 tertutup $\rightarrow U_{o2}$.
4. Dari langkah tersebut didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{U_{o1} - U_{o2}}{r_o} = \frac{U_{o2}}{R_L}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L$$

Tugas

Untuk langkah 1

UE = Volt

UK = Volt , Type transistor.....

Untuk langkah 2

UD = Vp-p

Ui 2 = m Vp-p

Vu (dB) = 20 log Vu = 20 log

..... = dB

Beda Phasa =

Untuk langkah 3

Ui 1 = m Vp-p

Ui 2 = m Vp-p

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v =$$

..... =

Untuk langkah 4

Uo 2 = Vp-p

Uo 1 = Vp-p

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L =$$

..... =

Untuk langkah 5

$$i_i = \frac{U_{i2} LK 2}{r_i (LK 3)} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$i_o = \frac{U_o (LK 2)}{R_L} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$V_i = \frac{i_o}{i_i} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Untuk langkah 6

Vp = Vu . Vi

..... =

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Jawaban

Untuk langkah 1

$$U_E = 1,5 \text{ Volt}$$

$$U_K = 8,2 \text{ Volt, Type transistor : BC 547}$$

Untuk langkah 2

$$U_D = 2 \text{ Vp-p}$$

$$U_{i2} = 30 \text{ m Vp-p}$$

$$V_u (\text{ dB }) = 20 \log V_u = 20 \log 66,66 = 36,47 \text{ .dB}$$

$$\text{Beda Phasa} = 0^\circ$$

Untuk langkah 3

$$U_{i1} = 170 \text{ m Vp-p}$$

$$U_{i2} = 30 \text{ m Vp-p}$$

$$r_i = \frac{U_{i2}}{U_{i1} - U_{i2}} \times R_v = \frac{30 \text{ m Vp-p}}{170 \text{ m Vp-p} - 30 \text{ m Vp-p}} = 10 \text{ K}\Omega = 2,14 \text{ K}\Omega$$

Untuk langkah 4

$$U_{o2} = 2 \text{ Vp-p}$$

$$U_{o1} = 4 \text{ Vp-p}$$

$$r_o = \frac{U_{o1} - U_{o2}}{U_{o2}} \times R_L = \frac{4 \text{ Vp-p} - 2 \text{ Vp-p}}{2 \text{ Vp-p}} \times 47 \text{ K}\Omega$$

Untuk langkah 5

$$i_i = \frac{U_{i2} / R_{L2}}{r_i (L_{K3})} = \frac{30 \text{ m Vp-p}}{2,14 \text{ K}\Omega} = 14,01 \text{ mA}$$

$$i_o = \frac{U_{o1} (L_{K2})}{R_L} = \frac{2 \text{ Vp-p}}{47 \text{ K}\Omega} = 42,55 \text{ mA}$$

$$V_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{42,55 \mu \text{ A}}{14,01 \mu \text{ A}} = 3 \text{ kali}$$

Untuk langkah 6

$$V_p = V_u \cdot V_i = 66,666 \cdot 3 = 199,98 \text{ kali}$$

Untuk langkah 7

$$\frac{r_i}{r_o} = \frac{2,14 \text{ K}\Omega}{47 \text{ K}\Omega} = 0,045$$

III. Penerapan

A. Attitude skills

Kata bijak dalam Attitude skills: *"Holding yourself accountable for job performance begins with holding yourself accountable for your attitude"*.

Dalam buku teknik kerja bengkel ini, diharapkan peserta mengembangkan attitude skill, kesadaran dan pemahaman yang tinggi, bagaimana agar yang bersangkutan berani mengatakan **"Ya, saya bisa!"** pada pendekatan untuk semua yang mereka lakukan. Melalui evaluasi diri, latihan aplikasi dan mengembangkan rencana aksinya, dan memfokuskan kembali untuk mencapai tujuan materi pembahasan setiap topik pada buku teknik kerja bengkel ini.

Adapun Konsep dan penerapan Attitude skill pada pekerjaan teknik kerja bengkel ini meliputi:

- Memahami sikap
- Mengenali pentingnya sikap
- Sikap positif adalah cara untuk mendedikasikan diri Anda dan cara Anda berpikir
- Memeriksa cara berpikir Anda
- Mengembangkan atribut sikap Anda
- Mengembangkan sikap "Ya, saya bisa"
- Belajar kekuatan sikap
- Mengidentifikasi asal-usul sikap dan pengaruhnya
- Menerapkan prinsip-prinsip yang mengarah pada sikap positif
- Memiliki visi yang jelas dan singkat
- Melakukan pemeriksaan realitas impian Anda
- Jangan membiarkan rasa takut menghentikan kesuksesan Anda
- Menjual manfaat dari kinerja
- Bertanggung jawab atas sikap Anda, tindakan dan hasil Anda
- Mengambil tindakan spesifik yang akan mengarah pada sikap positif

- Menceritakan kisah untuk melukis gambaran keberhasilan
- Memancarkan optimisme
- Mengakui prestasi
- Apa yang harus dilakukan ketika Anda memiliki kekurangan/kelemahan.
- Apa yang harus dilakukan ketika orang lain memiliki kekurangan/kelemahan.
- Mengembangkan rencana aksi individu untuk mencapai sikap positif
- For most people, these skills and behaviors do not automatically happen. This is especially true in time of crisis and uncertainty. This training can do wonders for improved workplace morale and improved performance. Creating great workplace attitudes is not just the manager's job – it is everyone's job.

B. Kognitif skills

Keterampilan kognitif yang lemah yang mendasari mungkin menjadi alasan mengapa seseorang berjuang untuk membaca atau belajar pada bahkan dimulai tingkat dasar. Jika ini adalah penyebab kesulitan belajar, itu bisa dikoreksi. Targetnya dari kognitif skill untuk mencapai pemahaman yang lebih cepat, lebih mudah belajar dan membaca. Hasil penerapan keterampilan kognitif individu membantu kita memahami bagaimana mereka mempengaruhi pembelajaran. Proses penerapan Keterampilan ini meliputi:

- Pengolahan Kecepatan : efisiensi dengan otak memproses data yang diterimanya. Kecepatan pemrosesan lebih cepat mengarah ke pemikiran yang lebih efisien dan belajar.
- Pengolahan Auditory : ini adalah keahlian khusus suara pengolahan. Hal ini melibatkan menganalisis, segmentasi dan pencampuran suara. Keterampilan pendengaran sangat penting jika seorang siswa untuk membaca, mengeja, dan belajar kata-kata baru atau konsep dengan baik.

- Pengolahan Visual: ini adalah kemampuan untuk menerima dan memanipulasi informasi visual. Menciptakan citra mental juga sangat berpengaruh membaca pemahaman dan memori jangka panjang.
- Memory : Memory termasuk memori jangka panjang , penyimpanan dan recall dan kerja memori jangka pendek . Proses gabungan membantu menciptakan konsep-konsep baru dan pemahaman .
- Logika dan Penalaran : Keterampilan ini diperlukan untuk pemecahan masalah dan perencanaan

C. Psikomotorik skills

Penerapan psikomotorik skills mensintesis kesimpulan berbasis empiris, serta teori yang relevan, mengenai proses pengembangan keterampilan psikomotor. Itu variabel yang akan terkandung dalam materi teknik kerja bengkel ini antara lain: (1) motivasi. (2) demonstrasi, (3) fisik praktek, (4) latihan mental, dan (5) umpan balik / pengetahuan tentang hasil.

- Pemberian motivasi kepada seorang siswa memiliki pengaruh yang positif terhadap pengembangan keterampilan psikomotor.
- Demonstrasi meningkatkan perolehan keterampilan psikomotor. Semakin tinggi status orang (guru terhadap siswa) menyajikan demonstrasi, semakin besar pengaruh dari demonstrasi pada penguasaan keterampilan siswa. Tugas harus dipecah menjadi beberapa sub-unit untuk tujuan pengajaran. Keterampilan yang terlibat dalam setiap sub-unit harus dibuktikan secara berurutan, memungkinkan siswa untuk berlatih di masing-masing subunit sebelum pindah ke yang sub-unit berikutnya. Demonstrasi dapat membantu mengurangi kecemasan atas melakukan keterampilan yang baru dilihatnya.
- Praktek dapat didefinisikan sebagai "... pengulangan dengan maksud meningkatkan kinerja". Praktek yang sebenarnya dari keterampilan manipulatif sangat penting untuk kinerja yang

diterimanya. Selain itu, kinerja aktual keterampilan secara efektif mengurangi rasa takut dan kecemasan yang menyertai kinerja banyak keterampilan .

- Penerapan latihan mental untuk meningkatkan keterampilan:
 - ✓ Siswa harus terbiasa dengan tugas (melalui pengalaman sebelumnya, demonstrasi, atau visual) sebelum menggunakan teknik latihan mental.
 - ✓ Siswa perlu instruksi dalam penggunaan latihan mental.
 - ✓ Kombinasi latihan fisik dan mental harus memberikan keuntungan kinerja terbesar.
 - ✓ Keterampilan sederhana, atau keterampilan yang kompleks dipecah menjadi subunit, paling cocok untuk praktek.
 - ✓ Siswa harus melakukan latihan mental dalam waktu dan tempat mereka sendiri.

- Keterampilan umpan balik ini biasanya keterampilan kompleks yang dapat dipecah menjadi bagian-bagian, dampaknya pada perolehan keterampilan:
 - ✓ Tingkat peningkatan keterampilan tergantung pada kepresisian dan frekuensi kerja.
 - ✓ Sebuah keterlambatan dalam pengetahuan ini tidak mempengaruhi perolehan keterampilan. Namun, umpan balik adalah penting, terutama pada tahap awal berlatih keterampilan feedback sederhana.
 - ✓ Penarikan pengetahuan hasil penurunan kinerja pada tahap awal tidak mempengaruhi kinerja dalam tahap akhir.
 - ✓ Berbagai jenis umpan balik harus disediakan. termasuk visual, verbal, dan kinestetik. Penggunaan video tape dan umpan balik lisan meningkatkan kinerja pada umpan balik dan keterampilan yang kompleks.

D. Produk/benda kerja sesuai kriteria standard

Teknik Elektronika Analog adalah merupakan dasar dalam melakukan melakukan pekerjaan-pekerjaan yang berkaitan dengan rangkaian maupun peralatan telekomunikasi. Untuk itu pada pekerjaan ini siswa harus dapat melakukan dan menguasai dengan benar meliputi:

1. Menginterpretasikan model atom bahan semikonduktor.
2. Menguji dioda semikonduktor sebagai penyearah.
3. Menguji dioda zener sebagai rangkaian penstabil tegangan.
4. Menguji dioda khusus seperti dioda LED, varaktor, Schottky, dan dioda tunnel pada rangkaian elektronika.
5. Menguji Bipolar Junction Transistor (BJT) sebagai penguat dan pirnati saklar

Daftar Pustaka

1. <http://fshamouzcier.blogspot.com/2012/03/clamper-cliper-dan-pelipat-tegangan.html>
2. G Loveday CEng, Sedyana. Ir (1994), Pengujian Elektronik dan Diagnosa Kesalahan, Jakarta: Elex Media Komputindo. PT.
3. Halliday & Resnick, Pantur Silaban & Erwin Sucipto (1984), Fisika, Jakarta: Erlangga
4. Heinrich Hübscher, Jürgen Klaue, Werner Pflüger, Siegfried Appelt (1988), Elektrotechnik Grundbildung Ausgabe E, Berlin: Westermann Schulbuchverlag GmbH
5. Heinrich Hübscher, Szapanski (1989), Elektrotechnik Fachbildung Ausgabe E, Berlin: Kommunikationselektronik 1, Westermann Schulbuchverlag GmbH.
6. Karl Schuster (1986), Susunan Materi, Penuntun Berencana 1, Katalis, Siemens AG.
7. Lehrermappe (1984), Analogtechnik, Bremen: Herausgeber
8. Udo Lob (1989), Cara Kerja Dioda Semikonduktor, Penuntun Berencana 17, Katalis, Siemens AG.

