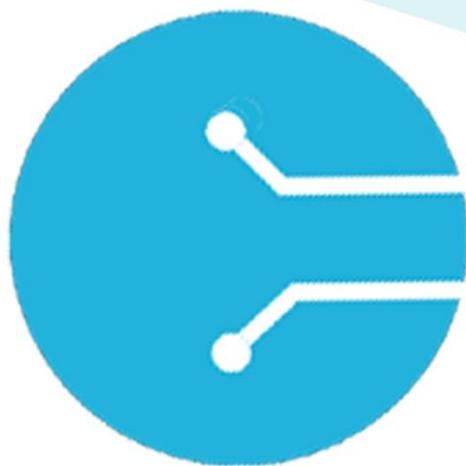


Modul Praktikum *Rangkaian Elektronika*



E-LAB

Universitas Indonesia

2017



Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmatNYA sehingga modul praktikum ini dapat tersusun hingga selesai . Tidak lupa kami juga mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan isi materi dari praktikum ini dengan baik dan benar.

Dan harapan kami semoga modul praktikum ini dapat menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca dan/atau praktikan laboratorium elektronika Universitas Indonesia. Untuk ke depannya dapat memperbaiki bentuk maupun menambah isi modul praktikum agar menjadi lebih baik lagi.

Karena keterbatasan pengetahuan maupun pengalaman kami, kami yakin masih banyak kekurangan dalam makalah ini. Oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca dan/atau praktikan laboratorium elektronika Universitas Indonesia demi kesempurnaan makalah ini.

Depok, 9 Februari 2017

Penyusun





Daftar Isi

Cover i

Kata Pengantar ii

Daftar Isi iii

Struktur Pengurus Lab viii

Peraturan Lab x

Sistem Penilaian xii

Persentase Nilai Tiap Modul xiii

Modul I – Pendahuluan 1

1. Tujuan Praktikum 1

2. Poin-Poin Dasar Teori..... 1

3. Dasar Teori..... 1

 a. Peralatan yang digunakan pada Praktikum Rangkaian Elektronika

 i. Breadboard..... 2

 ii. Power Supply..... 3

 iii. Multimeter..... 4

 iv. LCR Meter 4

 v. Oscilloscope..... 5

 vi. Function Generator 6

 b. Komponen-komponen yang digunakan pada Praktikum RE

 i. Resistor..... 6

 ii. Capacitor 7

 c. Pengantar Divais Elektronika

 i. Struktur Atom 8

 ii. Karakteristik Atom 10

 iii. Pergerakan Elektron dan Hole 11



- iv. Konduktivitas Atom 12
- v. Material Semikonduktor 13
- vi. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik 14
- vii. Tipe Semikonduktor dan Carrier 15
- viii. PN Junction Diode 15
- ix. Mode Bias dan Karakteristik PN Junction Diode 17
- d. Praktikum 19
- e. Daftar Pustaka 19

Modul II – Dioda..... 20

- 1. Tujuan Praktikum 20
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 20
- 3. Dasar Teori..... 20
 - a. Jenis dan Fungsi Dioda 20
 - b. Rangkaian Ekuivalen Dioda..... 21
 - c. Aplikasi DIoda
 - i. Half wave rectifier 22
 - ii. Full wave rectifier 23
 - iii. Clippers Circuit..... 24
 - iv. Clampers Circuit..... 25
 - v. Voltage Regulator Circuit 26
- 4. Praktikum..... 27
- 5. Daftar Pustaka..... 32

Modul III – Bipolar Junction Transistor (BJT)..... 33

- 1. Tujuan Praktikum 33
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 33
- 3. Dasar Teori..... 33
 - a. Pendahuluan..... 33
 - b. Prinsip Kerja BJT..... 34
 - c. Konfigurasi BJT 35
 - i. Common Base..... 35
 - ii. Common Emitter..... 36
 - iii. Common Collector..... 37
 - d. BJT AC Analysis..... 39
 - i. BJT Transistor Modelling..... 39



- ii. Model Transistor R_e 40
- iii. Konfigurasi Fixed Bias CE..... 42
- iv. Konfigurasi Voltage Divider Bias CE..... 45
- e. Praktikum 47
- f. Data Sheet BJT BC 107 51
- g. Daftar Pustaka 52

Modul IV – Field Effect Transistor (FET)..... 53

- 1. Tujuan Praktikum 53
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 53
- 3. Dasar Teori..... 53
 - a. Definisi..... 53
 - b. Perbedaan FET dan BJT 54
 - c. Jenis-Jenis FET 55
 - i. JFET 55
 - ii. D-MOSFET..... 59
 - iii. E-MOSFET 61
 - d. Rangkaian Ekuivalen AC FET..... 64
- 4. Praktikum..... 65

Modul V – Respon Frekuensi BJT..... 67

- 1. Tujuan Praktikum 67
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 67
- 3. Dasar Teori..... 67
 - a. Desibel 67
 - b. Diagram Bode 68
 - c. Respon Frekuensi 69
 - d. Respon Frekuensi pada Voltage Divider BJT..... 69
- 4. Praktikum..... 72
- 5. Daftar Pustaka..... 74

Modul VI – Respon Frekuensi FET 75

- 1. Tujuan Praktikum 75
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 75
- 3. Dasar Teori..... 75
 - a. Desibel 75
 - b. Diagram Bode 76



- c. Respon Frekuensi 77
- d. Respon Frekuensi Rendah pada Penguat FET 78
- e. Respon Frekuensi Tinggi pada Penguat FET 79
- 4. Praktikum..... 81
- 5. Daftar Pustaka..... 82

Modul VII – Operasional Amplifier 83

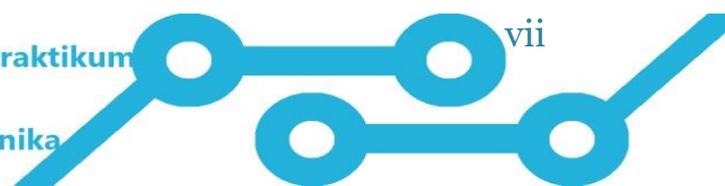
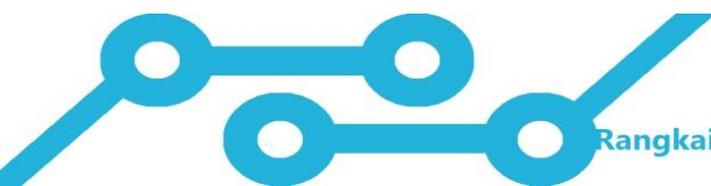
- 1. Tujuan Praktikum 83
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 83
- 3. Dasar Teori..... 83
 - a. Pendahuluan..... 83
 - b. Ideal Op-Amp 85
 - c. Inverting Op-Amp 86
 - d. Noninverting Amplifier 87
 - e. Rangkaian Integrator..... 89
 - f. Rangkaian Differentiator 89
 - g. Data Sheet Op-Amp 91
- 4. Praktikum..... 92
- 5. Daftar Pustaka..... 96

Modul VIII – Filter Aktif..... 97

- 1. Tujuan Praktikum 97
- 2. Poin-Poin Dasar Teori..... 97
- 3. Dasar Teori..... 97
 - a. Pendahuluan..... 97
 - b. Penurunan Rumus Sallen-Key..... 101
 - c. Gain Block Diagram..... 101
 - d. Fungsi Transfer Ideal..... 102
 - e. Fungsi Transfer High Pass Filter dan Frekuensi Cutoff 103
 - f. Fungsi Transfer Low Pass Filter dan Frekuensi Cutoff 103
- 4. Praktikum..... 104
- 5. Daftar Pustaka..... 109



Modul IX – Aplikasi	110
1. Tujuan Praktikum	110
2. Poin-Poin Dasar Teori.....	110
3. Dasar Teori.....	110
a. Sensor Cahaya Sebagai Saklar Otomatis Lampu 220V	110
b. Astable Multivibrator dengan Komponen Diskrit	113
c. Astable Multivibrator dengan IC (Integrator Circuit) LM555.....	114
d. Motor Driver dengan Optocoupler	118
4. Daftar pustaka.....	121
 Modul X – Proyek Akhir	 122





Struktur Pengurus Lab

1. Kepala Laboratorium Elektronika Universitas Indonesia



Ir. Agus Santoso Tamsir, M.T.

2. Asisten Laboratorium Elektronika Universitas Indonesia



Alfiqie Tanjung (2013)



Arif Widiyanto (2013)



Heinz Kristian
Pramono (2013)



Josef Stevanus
Matondang (2013)



Faisal Abdillah (2014)



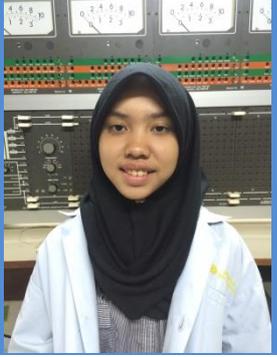
Istighfari Dzikri (2014)



Kresna Devara (2014)



Michael Hariadi (2014)



Savira Ramadhanty
(2014)



Yosua Adriadi (2014)



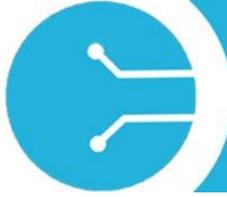
Peraturan Lab

1. Praktikan wajib mengikuti seluruh rangkaian Praktikum Rangkaian Elektronika yang terdiri atas 10 (Sepuluh) Modul Praktikum.
2. Praktikan wajib membaca Petunjuk Keselamatan Umum dan Petunjuk Keselamatan pada setiap modul praktikum untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan.
3. Selama rangkaian kegiatan praktikum, setiap praktikan wajib berpakaian sopan, memakai baju berkerah dan sepatu. Apabila praktikan tidak berpakaian sesuai peraturan, maka tidak boleh mengikuti rangkaian kegiatan praktikum tersebut.
4. Praktikan wajib melakukan persiapan materi praktikum, melalui modul praktikum, materi-materi kuliah, serta sumber lain yang berhubungan.
5. Praktikan harus membawa kartu praktikum, Tugas pendahuluan, Power Point dan Dasar Teori. Jika tidak membawa salah satunya tidak dapat mengikuti praktikum. TP diupload paling lambat 1x24 jam sebelum shift dimulai
6. Setiap praktikan wajib membawa Dasar Teori ketika praktikum, dasar Teori tersebut akan distempel dan menjadi bahan pendukung ketika memulai praktikum.
7. Setiap praktikan yang berada dalam 1 shift yang sama wajib membawa 1 buah Power Point untuk praktikan presentasikan sebelum praktikum dimulai.
8. Sebelum mengambil data, pastikan rangkaian sudah dicek oleh asisten demi keselamatan bersama.





9. Alasan yang dapat diterima adalah sakit (disertakan Surat Keterangan Dokter/Rumah Sakit), musibah mendadak, dan force major (banjir, kebakaran, dan lainnya).
10. Pergantian jadwal karena izin, (kecuali sakit) yang dapat dibuktikan dan diterima, harus dilakukan bersama anggota kelompok lainnya.
11. Setiap praktikan wajib mengisi daftar kehadiran Praktikum dan Laporan Praktikum.
12. Toleransi keterlambatan untuk setiap Modul Praktikum adalah 15 menit. Jika lewat waktu yang telah ditentukan tanpa memberikan alasan yang jelas, maka praktikan masih dapat mengikuti praktikum pada modul tersebut tetapi tidak memperoleh nilai borang.
13. Praktikan yang menginginkan pergantian jadwal praktikum dapat memberitahu kepada koordinator praktikum. Pergantian jadwal hanya diizinkan apabila memiliki alasan yang jelas dan dapat diterima.
14. Apabila praktikan tidak mengikuti praktikum, maka nilai praktikum modul tersebut adalah nol.
15. Nilai praktikum ditentukan oleh tingkah laku dan keaktifan praktikan selama mengikuti praktikum, termasuk saat tes lisan sebelum praktikum dimulai. Tingkah laku yang dilarang adalah segala bentuk tindakan yang dapat mengganggu jalannya praktikum dan ketertiban lab seperti bercanda, mengganggu kelompok lain, kerapihan alat setelah praktikum, dan main gadget.
16. Tugas Tambahan dikerjakan di kertas yang terlampir pada borang dan disatukan pada laporan praktikum.
17. Seluruh perizinan dan pengaduan terkait teknis pelaksanaan modul praktikum harap disampaikan ke Koordinator Praktikum Savira Ramadhanty (085746546788).



Sistem Penilaian

- Setiap modul memiliki bobot penilaian :

Komponennnen	Presentase
Dasar Teori	10%
Tugas Pendahuluan	5%
Analisa Data	30%
Sikap, praktikum, keaktifan, tes lisan	40%
Tugas Tambahan	10%
Kesimpulan	5%

- Jika tidak mengikuti 5 modul, maka langsung dinyatakan **tidak lulus (D/E)**.



Persentase Nilai Tiap Modul

Komponen	Persentase
Modul I Pendahuluan	10 %
Modul II Dioda	10 %
Modul III Bipolar Junction Transistor	10 %
Modul IV Field Effect Transistor	10 %
Modul V BJT Freq Response	5 %
Modul VI FET Freq Response	5 %
Modul VII Operasional Amplifier	10 %
Modul VIII Rangkaian Filter	10 %
Modul IX Aplikasi Rangkaian Elektronika	10 %
Modul X Proyek Akhir	20 %
Total	100 %



Modul I

Pendahuluan Praktikum Rangkaian Elektronika (RE)

1. Tujuan Praktikum

- Mengetahui alat-alat yang digunakan pada praktikum RE
- Mengetahui komponen-komponen yang digunakan pada praktikum RE dan cara membaca serta menggunakannya
- Mengetahui dan memahami dasar teori divais elektronika

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Peralatan yang digunakan pada praktikum RE
- Komponen yang digunakan pada praktikum RE
- Dasar-dasar divais elektronika

3. Dasar Teori

Peralatan yang digunakan pada Praktikum Rangkaian Elektronika

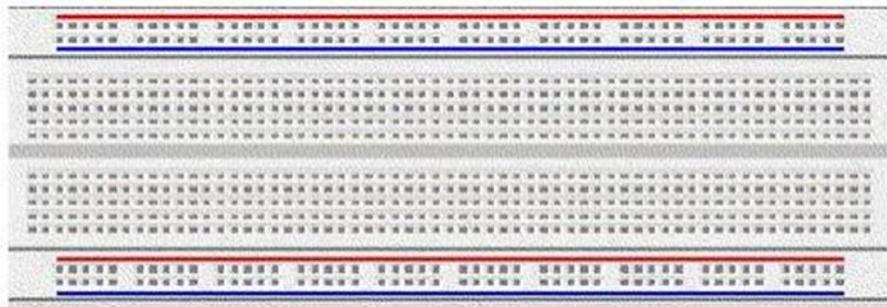
Sebelum kita melakukan praktikum kita harus mengetahui peralatan yang akan digunakan pada praktikum rangkaian elektronika kali ini, peralatan yang digunakan pada praktikum kali ini yaitu :

- Breadboard
- Power Supply
- Multimeter
- LCR Meter
- Oscilloscope
- Function generator



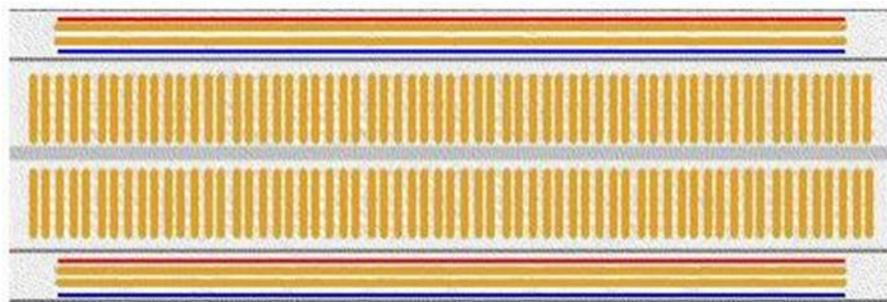
1. Breadboard

Breadboard digunakan untuk membuat dan menguji rangkaian-rangkaian elektronik secara cepat, sebelum finalisasi desain rangkaian dilakukan. *Breadboard* memiliki banyak lubang yang berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan komponen-komponen seperti resistor ataupun IC. Contoh *breadboard* pada umumnya adalah sebagai berikut:



Gambar 1.1 *Breadboard*

Breadboard dilengkapi dengan lapisan strip metal yang terdapat di sepanjang permukaan bawah *board* dan menghubungkan lubang-lubang yang ada di permukaan atas *board*. *Layout* dari strip metal tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1.2 *Layout strip metal* dibawah permukaan *Breadboard*



Lubang-lubang pada bagian atas dan bawah terhubung secara horizontal, namun pada breadboard lab terdapat pemisah pada tengah-tengahnya sehingga untuk menyambungkannya dibutuhkan jumper, pada bagian tengah lubang terhubung secara vertikal dan dipisahkan pada tengahnya seperti pada gambar 1.2.

2. Power Supply

Power supply mengambil sumber listrik dari PLN dengan tegangan 220V AC. Pada power supply terdapat trafo untuk menurunkan tegan. Power supply juga mampu menghasilkan tegangan DC. Pada power supply terdapat fuse untuk proteksi jikalau ada kesalahan dalam rangkaian.

Unsur-unsur yang penting dalam power supply yaitu terdiri dari:

- Sumber *power supply*
- Vratings pada *power supply*
- *DC Variabel*
- *Jumper*
- Rangkaian sumber +/- 15 Volt
- Ground AC dan ground DC

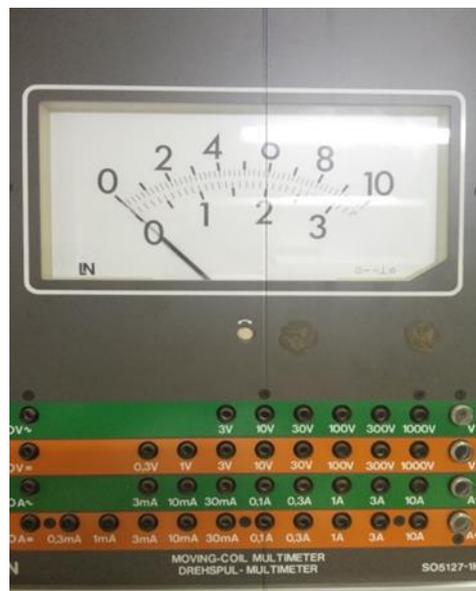


Gambar 1.3 Power supply pada protoboard



3. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus. Multimeter yang digunakan ada 2 jenis yaitu multimeter analog dan multimeter digital. Umumnya multimeter dapat digunakan sebagai voltmeter ataupun amperemeter. Perlu diperhatikan nilai yang muncul pada multimeter adalah nilai RMS. Pada pengukuran tegangan, multimeter dipasang secara paralel. Sedangkan untuk mengukur arus, multimeter dipasang secara seri.



Gambar 1.4 Multimeter pada protoboard

4. LCR Meter

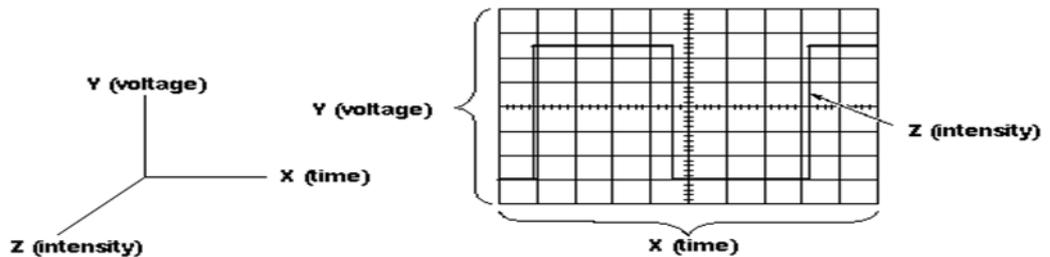
LCR meter yang digunakan adalah LCR meter digital. LCR meter dapat digunakan untuk mengukur besarnya induktansi L dan kapasitansi C. Pada LCR meter yang digunakan terdapat 3 frekuensi pengukuran.



Gambar 1.5 Boonton 5110 LCR Meter

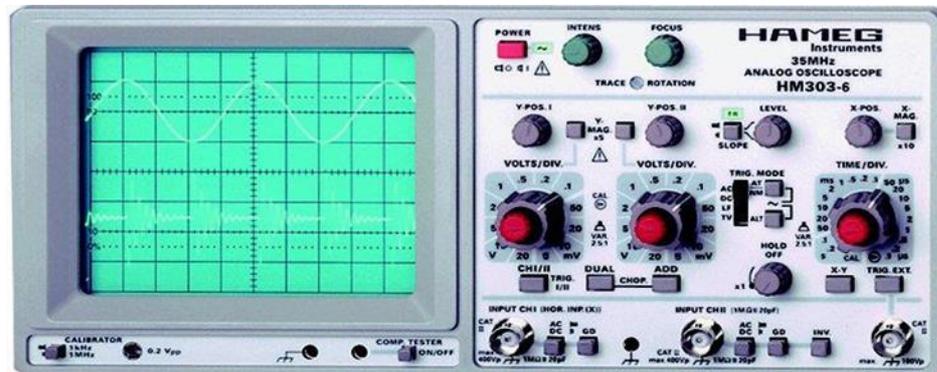
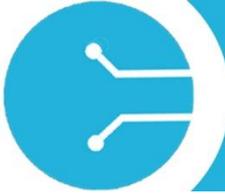
5. Oscilloscope

Oscilloscope merupakan sebuah instrumen laboratorium yang umumnya digunakan untuk menggambarkan dan menampilkan grafik dari suatu sinyal listrik. Grafik ini menunjukkan bagaimana sinyal berubah seiring berjalannya waktu.



Gambar 1.6 Komponen X,Y dan Z dari gelombang yang ditampilkan

Sumbu vertikal (Y) menggambarkan tegangan dan sumbu horizontal (X) menggambarkan waktu. Intensitas atau kecerahan dari tampilan pada oscilloscope terkadang disebut sebagai sumbu Z. Tegangan yang terbaca pada oscilloscope merupakan tegangan peak-to-peak. Untuk rangkaian Praktikum Rangkaian Elektronika ini digunakan analog oscilloscope.



Gambar 1.7 Analog Oscilloscop

6. Function Generator

Function Generator mengambil suplai DC dari power supply. Function generator mampu menghasilkan sinyal dengan range frekuensi hingga 200kHz. Jenis gelombang yang dapat dihasilkan power supply adalah sinusoidal, segitiga, dan kotak.

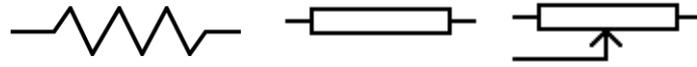
Unsur-unsur yang penting dalam function generator yaitu terdiri dari:

- Sumber power
- Range frekuensi
- Jenis gelombang
- Grounding

Komponen-komponen yang digunakan pada Praktikum RE

1. Resistor

Resistor merupakan komponen elektronik yang berfungsi membatasi aliran arus listrik pada suatu rangkaian elektronik. Resistor dapat pula digunakan untuk memberikan tegangan yang spesifik untuk suatu divais aktif, contohnya transistor. Simbol resistor:



Berikut cara pembacaan resistor

<ul style="list-style-type: none"> 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 Black 1 Brown 2 Red 3 Orange 4 Yellow 5 Green 6 Blue 7 Purple 8 Grey 9 White ±1% Brown ±2% Red ±5% Gold ±10% Silver 	<p>±1% ±2% ±5% ±10%</p> <p>27K EXAMPLE</p> <p>0 1 X1 2 2 X100 3 3 X1000 4 4 X10000 5 5 X100000 6 6 X1000000 7 7 ±10 8 8 ±100 9 9</p>	<p>±1% ±2% ±5% ±10%</p> <p>15K EXAMPLE</p> <p>0 0 X1 1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ±10 6 6 6 ±100 7 7 7 8 8 8 9 9 9</p>	<p>±1% ±2% ±5% ±10%</p> <p>620K EXAMPLE</p> <p>100 50 25 15 10 5 1</p> <p>0 0 X1 1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ±10 6 6 6 ±100 7 7 7 8 8 8 9 9 9</p>
Color Codes	4 Band Resistors	5 Band Resistors	6 Band Resistors

Gambar 1.8 Pembacaan resistor

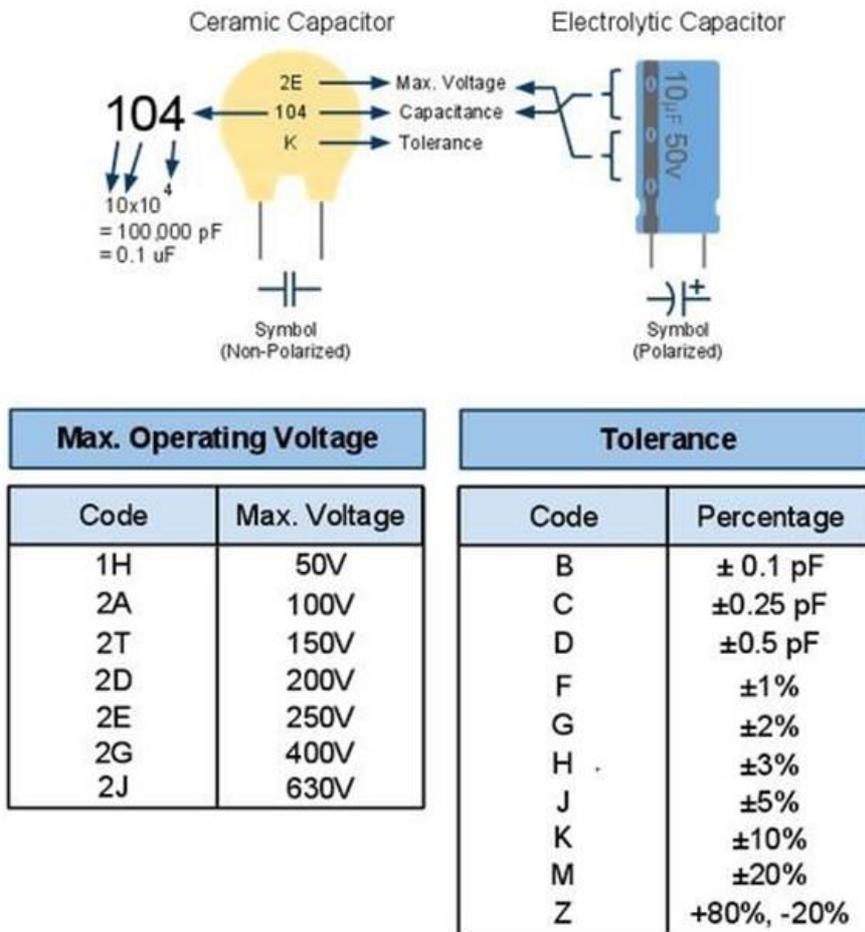
2. Capacitor

Kapasitor merupakan komponen elektronik yang berfungsi menyimpan muatan listrik. Kapasitor terbuat dari dua konduktor yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Kapasitansi dari kapasitor adalah jumlah dari muatan listrik yang disimpan di dalam kapasitor tersebut pada saat diberi tegangan sebesar sumbernya.

Kapasitor dikategorikan menjadi 2 grup, yaitu kapasitor polarized dan non-polarized. Pada umumnya, kapasitor dengan nilai kapasitansi yang rendah termasuk dalam kategori kapasitor non-polarized.



Berikut ini merupakan cara pembacaan kapasitor:



Gambar 1.9 Cara pembacaan capacitor

Pengantar Divais Elektronika

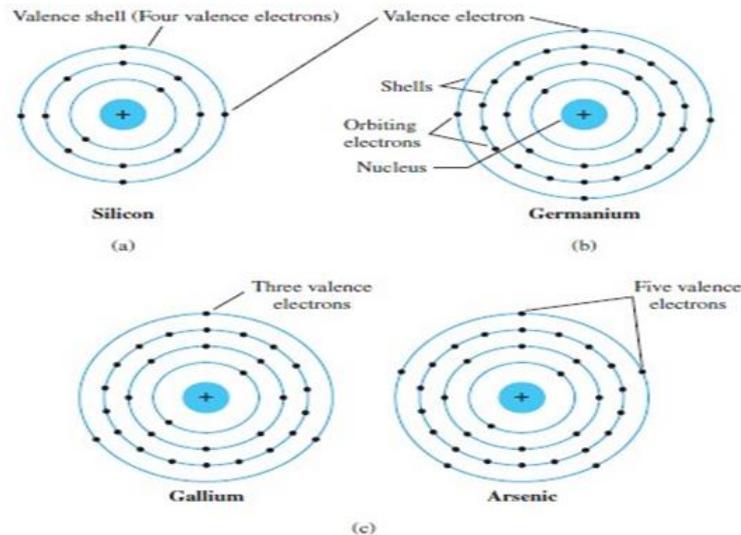
1. Struktur Atom

Benda yang terdapat di alam telah kita ketahui bahwa benda tersebut tersusun dari unsur-unsur, dimana unsur terbentuk dari susunan atom. Atom merupakan penyusun terkecil dari suatu benda. Ketika mempelajari kimia di SMA, kita telah mengetahui terdapat partikel yang menyusun sebuah atom, yaitu: proton, neutron dan elektron. Di antara ketiga partikel tersebut yang dapat bergerak adalah elektron. sehingga suatu atom dapat memiliki kondisi



kelebihan atau kekurangan elektron. Pada kondisi ini disebut ion. Ion yang memiliki elektron berlebih disebut ion negatif dan sebaliknya ion positif.

Susunan atom dapat digambarkan menggunakan model atom Bohr sebagai berikut :

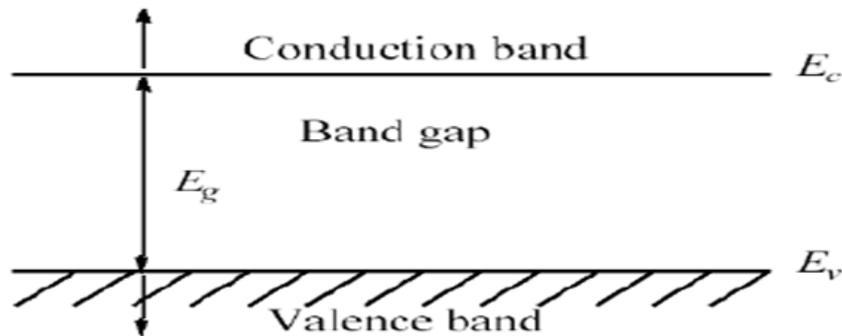


**Gambar 1.10 Struktur atom : a. Silicon b. Germanium
c. Gallium dan Arsenic**

Berdasarkan gambar di atas, titik hitam merupakan elektron dari suatu atom dan garis melingkar merupakan kulit energi tiap atom. Pengertian elektron adalah partikel subatomik yang bermuatan negatif. Pada kenyatannya elektron terus bergerak sehingga tidak selalu menempati kulit yang sama. Elektron dapat berpindah dari kulit satu ke kulit lainnya. Daerah yang ditinggalkan oleh elektron akibat perpindahannya disebut hole.

2. Karakteristik Atom

Setiap atom dapat digambarkan karakteristiknya menggunakan band diagram. Band diagram adalah representasi energi pada atom. Berikut adalah gambar dari band diagram :

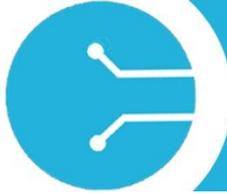


Gambar 1.11 Band Diagram

Pada gambar 1.11 dapat dilihat bahwa band diagram terdiri dari dua daerah, yaitu conduction band dan valence band yang dipisahkan oleh suatu daerah yang disebut band gap. Conduction band adalah pita energi tempat tujuan elektron berpindah. Valence band adalah pita energi dimana elektron berasal pada kondisi statis atau dengan kata lain valence band merupakan pita energi yang paling banyak ditemukan elektron pada keadaan statis.

Daerah pemisah, band gap, merupakan daerah dimana elektron tidak dapat ditemukan pada daerah tersebut. Daerah ini yang menentukan sifat konduktivitas suatu atom. Band gap memiliki jarak yang bervariasi tergantung dari atom itu sendiri. Selain itu band gap merepresentasikan energi yang dibutuhkan agar suatu elektron dapat berpindah dari valence band menuju conduction band.

Banyak atau tidaknya elektron ditemukan di valence band dan hole di conduction band dapat ditentukan berdasarkan dua faktor, pertama kita perlu mengetahui density of states yang tersedia untuk kepemilikan pada band tersebut, kemudian kita tentukan



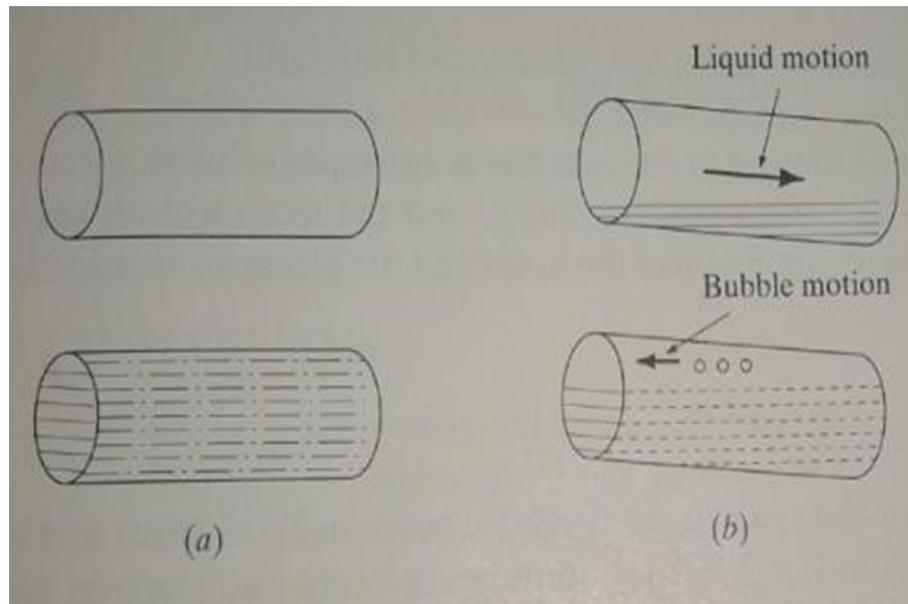
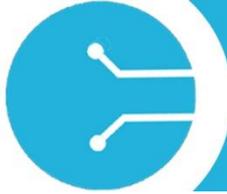
kemungkinan kepemilikan dari states yang bervariasi pada masing-masing level. Density of states merupakan nilai states elektron yang tersedia dalam satuan volume per satuan energi pada suatu level energi tertentu. Dari density of states ini kita dapat menentukan fermi level suatu atom, yaitu level dimana probabilitas elektron dan hole ditemukan sebesar 50%.

3. Pergerakan Elektron dan Hole

Analogi pergerakan elektron dan hole adalah tabung yang diisi oleh air. Asumsikan air merupakan elektron dan udara merupakan hole. Ketika tabung diisi air sampai penuh, tidak ada udara yang tersisa di dalam tabung, kemudian kita miringkan posisi tabung tersebut. Terlihat bahwa tidak ada udara yang berpindah. Begitu pun sebaliknya jika tabung tidak diisi air. Dalam hal ini baik, elektron maupun hole tidak dapat berpindah.

Ketika tabung diisi setengah penuh atau hampir penuh, ada udara tersisa, kemudian kita miringkan posisinya, terlihat bahwa udara pindah posisi menyesuaikan dengan arah kemiringannya, dimana air berpindah ke posisi yang berlawanan. Dalam hal ini, elektron dan hole dapat berpindah.

Dapat disimpulkan bahwa jika suatu band terisi penuh atau tidak terisi sama sekali maka tidak terjadi pergerakan elektron dan hole.



Gambar 1.12 Fluid Analogy

- a. Terisi penuh dan tidak terisi
- b. Terisi Sebagian

4. Konduktivitas Atom

Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa konduktivitas suatu atom ditentukan oleh daerah band gap pada band diagram. Semakin lebar band gap semakin sulit elektron untuk berpindah dari valence band menuju conduction band dan sebaliknya.

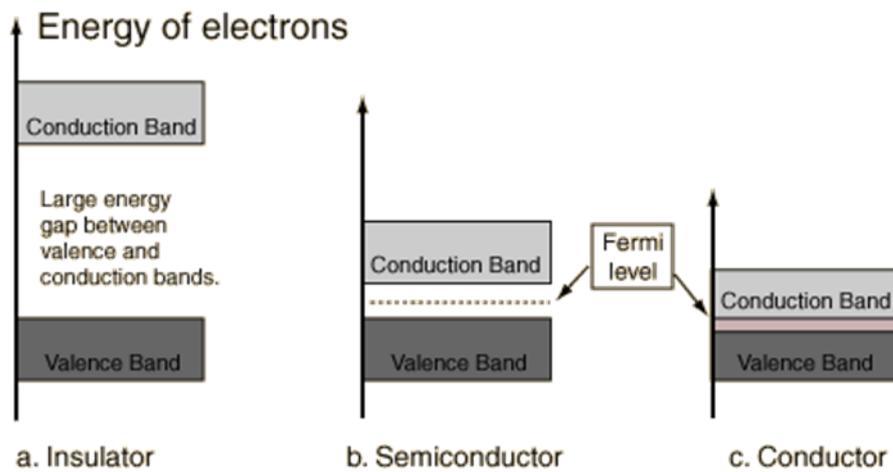
Band gap dimana elektron dapat berpindah dengan sangat mudah adalah band gap yang overlap (tidak ada band gap, valence band dan conduction band seperti satu kesatuan). Oleh karena itu, band gap overlap merupakan karakteristik dari atom konduktor.

Band gap dimana elektron sangat sulit berpindah adalah band gap yang sangat lebar jaraknya. Lebar jarak ini merepresentasikan energi yang dibutuhkan satu elektron untuk berpindah ($E_g > 3eV$). Selain itu tidak terdapat elektron sama sekali di conduction band dan



valence band terisi penuh. Oleh karena itu, band gap ini merupakan karakteristik dari atom isolator

Band gap dimana lebar jaraknya berada di antara lebar band gap konduktor dan isolator merupakan karakteristik dari atom semikonduktor. Atom semikonduktor merupakan atom yang konduktivitasnya dapat diatur sesuai kebutuhan. Band gap nya berkisar $E_g < 2eV$.



Gambar 1.13 Band Diagram Konduktivitas Atom

5. Material Semikonduktor

Berdasarkan uraian di atas, yang termasuk golongan semikonduktor adalah Silicon, Germanium dan Galium Arsenide. Silicon dan Germanium (IV) merupakan semikonduktor yang terdiri dari atom yang sama sedangkan Galium Arsenide merupakan semikonduktor yang terbentuk akibat ikatan kovalen antara Galium (III) dan Arsenic (V).

Setiap material semikonduktor tersebut memiliki energi gap yang berbeda- beda. Perhatikan gambar 5. Meskipun germanium memiliki energi gap yang rendah, germanium tidak banyak digunakan pada kebanyakan divais elektronika. Jumlah ketersediaan di alam yang





sedikit menjadi alasannya, sehingga untuk memperolehnya dibutuhkan biaya yang cukup besar. Sedangkan GaAs memiliki band gap yang terbesar sehingga silikon-lah yang paling banyak digunakan. Selain itu, ketersediaannya di alam juga sangat besar sehingga mudah diperoleh.

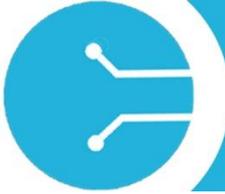
$$\begin{aligned} E_g &= 0.67 \text{ eV (Ge)} \\ E_g &= 1.1 \text{ eV (Si)} \\ E_g &= 1.43 \text{ eV (GaAs)} \end{aligned}$$

Gambar 1.14 Nilai energi gap material semikonduktor

6. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa semikonduktor merupakan konduktivitas yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Pengaturan konduktivitas dapat dilakukan dengan cara memberikan atom lain pada atom semikonduktor. Semikonduktor intrinsik merupakan keadaan semikonduktor yang masih murni atom semikonduktor, sedangkan semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor yang telah diberi atom lain untuk mengubah sifat elektrik dari semikonduktor tersebut. Proses pemberian atom lain pada atom semikonduktor disebut doping dan atomnya disebut dopant.

Terdapat 2 macam dopant, yaitu donor dan akseptor. Dopant donor merupakan atom yang memiliki elektron lebih banyak daripada atom semikonduktor, sehingga setelah proses doping jumlah elektron semakin banyak. Dopant donor mayoritas berasal dari atom golongan V, misalnya fosfor dan sulfur dan golongan VI arsenic. Dopant akseptor merupakan atom yang memiliki jumlah elektron yang lebih sedikit daripada atom semikonduktor, sehingga setelah proses doping jumlah hole semakin banyak. Dopant akseptor mayoritas berasal dari atom golongan III, misalnya boron, gallium dan indium.



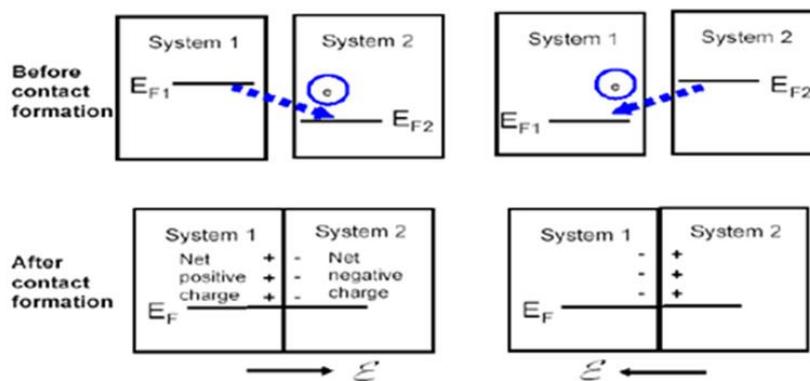
Pemberian dopant pada semikonduktor intrinsic berdampak pada perubahan fermi level semikonduktor tersebut. Jika diberi dopant yang bersifat donor, maka fermi level akan berpindah mendekati conduction band, sedangkan jika diberi dopant yang bersifat akseptor, maka fermi level akan berpindah mendekati valence band.

7. Tipe Semikonduktor dan Carrier

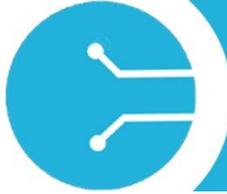
Semikonduktor yang telah diberi dopant akseptor disebut semikonduktor tipe- P sedangkan yang telah diberi dopant donor disebut semikonduktor tipe-N. Tiap tipe semikonduktor memiliki dua jenis carrier, yaitu majority carrier dan minority carrier. Majority carrier merepresentasikan carrier sesuai dengan tipe semikonduktornya. Majority carrier pada semikonduktor tipe-P adalah hole, sedangkan minority carrier-nya adalah elektron, sementara majority carrier pada semikonduktor tipe-N adalah elektron dan minority carriernya adalah hole.

8. PN Junction Diode

PN junction diode adalah suatu divais elektronika yang terdiri dari gabungan dari dua tipe semikonduktor yang telah dijelaskan di atas.

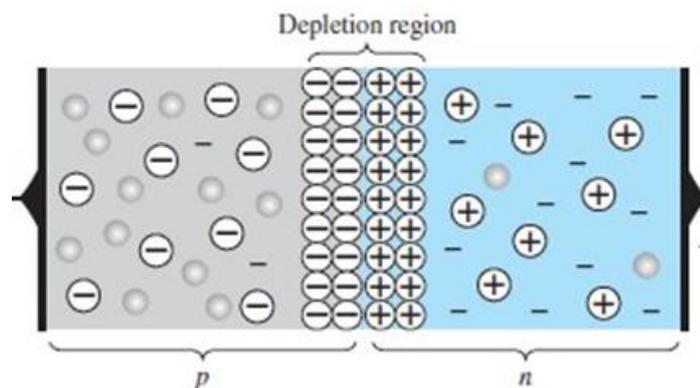


Gambar 1.15 Semikonduktor Tipe-P & Tipe-N sebelum dan sesudah kontak



Gambar 1.15 menjelaskan bagaimana dua tipe semikonduktor disatukan. Dapat dilihat bahwa gambar kiri pada gambar sebelum kontak sistem 1 merupakan Tipe-N dan sistem 2 Tipe-P berdasarkan fermi levelnya. Gambar kanan pada gambar sebelum kontak merupakan sebaliknya.

Secara umum, PN junction diode difabrikasikan dengan kondisi salah satu semikonduktornya diberi dopan lebih tinggi dari semikonduktor lainnya, misalnya dopan semikonduktor tipe-P lebih tinggi daripada dopan semikonduktor tipe-N. Ketika kedua semikonduktor disatukan, muatan dari setiap tipe yang berada di daerah permukaan kontak akan saling berdifusi ke tipe lainnya, hole dari tipe-P akan berdifusi ke tipe-N dan sebaliknya. Ketika elektron dari tipe-N berdifusi ke tipe-P, ia meninggalkan ion positif, sedangkan ketika hole berdifusi membentuk ion negatif. Hasilnya adalah ion positif terkumpul di permukaan kontak tipe-N dan ion negatif terkumpul di permukaan kontak tipe-P. Daerah yang berisi ion-ion ini disebut daerah deplesi (depletion region). Kondisi diode yang seperti ini terjadi pada mode no biased.



Gambar 1.16 Keadaan Setelah Kontak (PN Junction Diode)



Konsentrasi hole dan elektron menjadi sangat kecil dibandingkan dengan konsentrasi ketidakmurnian pada daerah deplesi akibat medan elektrostatis yang sangat tinggi. Intensitas medan listrik mengarah dari kiri ke kanan (gambar 6 kiri) atau kanan ke kiri (gambar 6 kanan) karena medan listrik didefinisikan sebagai gaya pada satuan muatan positif.

Pada kondisi tersebut, hole dan elektron terus saling berdifusi. Jika terus demikian maka yang sebelumnya tipe-P menjadi tipe-N dan sebaliknya merupakan hal yang salah. Medan listrik yang tercipta setelah difusi memaksa elektron dan hole kembali ke tempat asalnya, sehingga jumlah arus total yang terjadi pada kondisi ini bernilai 0. Kemudian berdifusi lagi dst. Arus yang diakibatkan oleh adanya medan listrik disebut arus drift.

9. Mode Bias dan Karakteristik PN Junction Diode

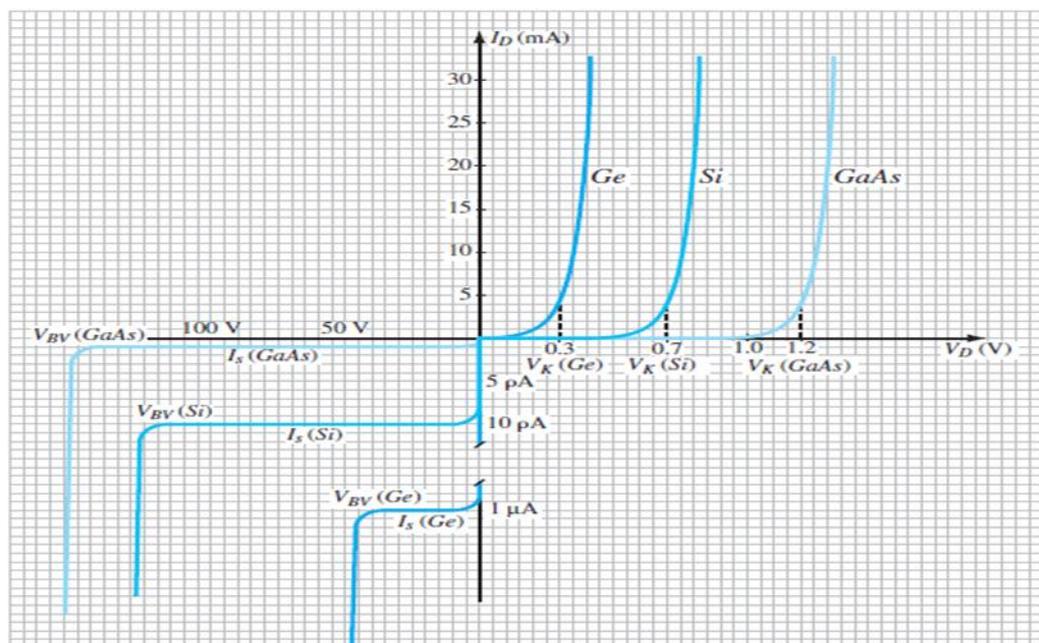
Terdapat 3 mode bias PN junction diode, yaitu no biased, forward biased dan reverse biased. Mode no biased telah dijelaskan di atas. Mode forward biased merupakan mode ketika region diode dicatu bersesuaian dengan polaritas catu daya, region tipe-P dengan polar positif dan region tipe-N dengan polar negatif. Mode reverse biased merupakan mode ketika region diode berlawanan dengan polaritas catu daya.

Ketika diode dicatu pada tegangan tertentu secara forward biased, nilai tegangan tersebut memaksa elektron pada tipe-N dan hole pada tipe-P berekombinasi dengan ion-ion pada daerah deplesi. Akibatnya, daerah deplesi mengecil. Muatan yang berasal dari sumber membuat region tipe-P semakin positif (semakin banyak hole) dan region tipe-N semakin negatif (semakin banyak elektron). Seiring



dengan peningkatan potensial catu daya, muatan yang berekombinasi semakin banyak sehingga muatan mulai mengalir melewati daerah deplesi (daerah deplesi semakin menyempit). Hal ini menyebabkan majority carrier tiap region dapat dengan mudah melewati daerah deplesi, sehingga terjadi lonjakan arus yang mengalir melalui diode.

Ketika diode dicatu pada tegangan tertentu secara reverse biased, jumlah ion positif pada daerah deplesi akan semakin banyak karena elektron bebas pada region tipe-N tertarik mendekati potensial positif dari tegangan catu (atau dapat diasumsikan ketika muatan potensial positif, hole, masuk ke region tipe-N maka elektron akan mengisi hole pada region tersebut. Sama seperti mode no biased, ketika elektron meninggalkan posisinya, ion positif akan terbentuk). Dengan alasan yang sama berlaku juga untuk region tipe-P, sehingga daerah deplesi semakin melebar. Pelebaran daerah deplesi menyebabkan majority carrier tiap region sangat sulit melewatinya, sehingga mereduksi arus mendekati nol.



Gambar 1.17 Kurva Karakteristik Diode



Gambar di atas menjelaskan kurva karakteristik diode yang terbuat dari bahan dasar yang berbeda. Sumbu V positif menjelaskan kondisi pada mode forward biased dan sumbu V negatif menjelaskan kondisi pada mode reverse biased. Dapat dilihat bahwa ketika diberi potensial positif, arus tidak langsung mengalir pada diode sampai potensial positif mencapai nilai tertentu. Setelah potensial positif mencapai nilai tertentu barulah diode dialiri arus, atau disebut on-state. Ketika polaritasnya dibalik, arus yang mengalir pada diode sangat kecil sekali mendekati nol (off-state). Namun jika nilai potensialnya terus dinaikkan sampai nilai tertentu (namun sangat besar) akan terjadi lonjakan arus. Lonjakan arus ini diakibatkan oleh peningkatan kecepatan pergerakan minority carrier (pada reverse biased carrier yang bergerak adalah minority carrier), yang mampu merubah susunan atom stabil sehingga menimbulkan carrier tambahan, dan elektron valensi yang mengalami proses ionisasi. Carrier tambahan tersebut dapat membantu proses ionisasi tersebut di titik dimana lonjakan arus tersebut terjadi. Area dimana titik lonjakan arus pada mode reverse biased terjadi disebut breakdown region. Titik breakdown region dapat diperkecil dengan meningkatkan atom dopant pada kedua region diode. Breakdown region yang memiliki titik breakdown yang lebih kecil disebut zener region.

4. Praktikum

Untuk modul ini, praktikumnya adalah tes pendahuluan pada Jumat 10 Februari 2017.

5. Daftar Pustaka

1. Modul Praktikum Rangkaian Elektronika, 2015



Modul II

Dioda

1. Tujuan Praktikum

- Memahami konsep dasar PN Junction : Dioda
- Memahami mode bias Dioda
- Memahami aplikasi Dioda

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Memahami konsep transfer muatan
- Memahami bias pada PN Junction
- Memahami kurva karakteristik PN Junction
- Mengetahui rangkaian ekivalen PN Junction
- Memahami titik kerja PN Junction pada suatu rangkaian
- Memahami PN Junction sebagai rectifier
- Memahami PN Junction sebagai pengubah suatu level tegangan
- Memahami PN Junction sebagai pengatur tegangan

3. Dasar Teori

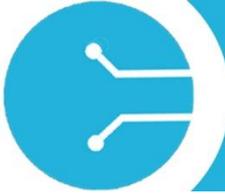
3.1 Jenis dan Fungsi Dioda

Berdasarkan penjelasan kurva karakteristik, terdapat dua jenis diode yaitu :

1. Diode (ordinary)

Memiliki fungsi utama sebagai penyearah arus dan switch.

Paling banyak digunakan untuk merubah tegangan AC menjadi DC dengan memanfaatkan kedua fungsi tersebut.



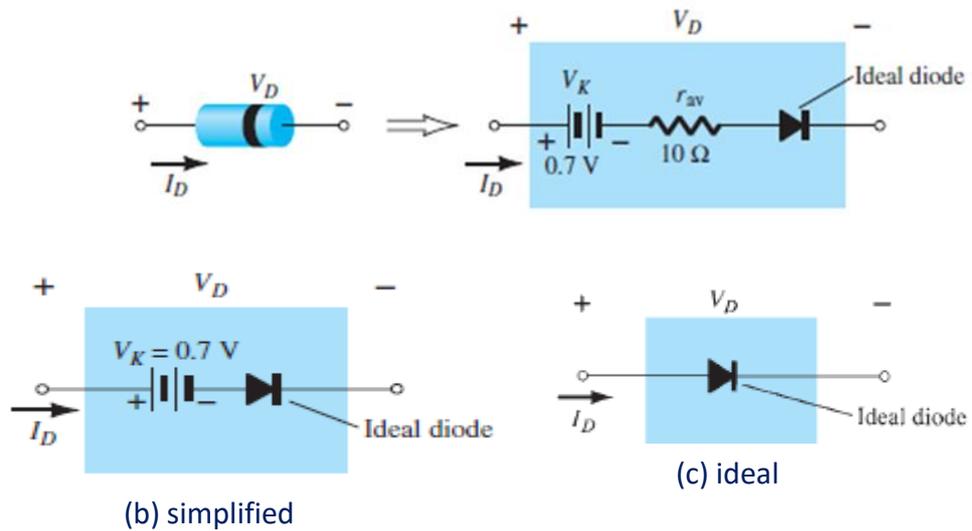
2. Zener diode

Merupakan diode yang bekerja pada kondisi breakdown dengan titik breakdown yang lebih kecil. Memiliki fungsi utama sebagai voltage regulator.

3.2 Rangkaian Ekivalen Dioda

Terdapat 3 jenis rangkaian ekivalen diode :

- 1. Piecewise-linear
- 2. Simplified
- 3. Ideal

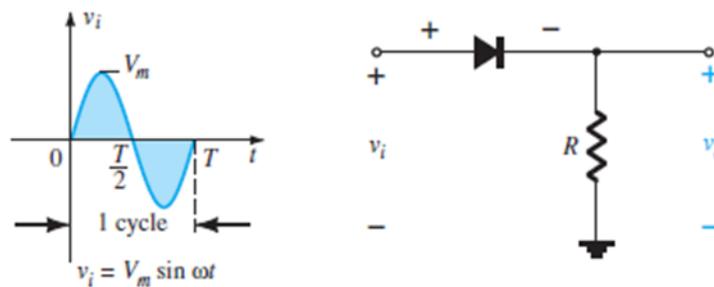


Gambar 9. Rangkaian ekivalen diode

3.3 Aplikasi Dioda

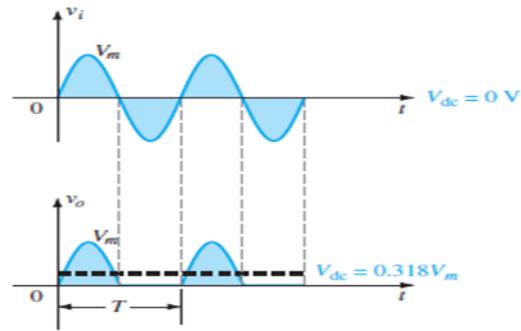
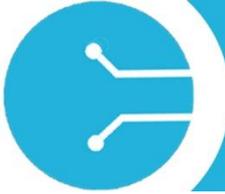
3.3.1. Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (Half-Wave Rectifier Circuit)

Telah dijelaskan bahwa fungsi diode sebagian penyearah arus. HWRC merupakan rangkaian yang komponennya tersusun atas diode dimana sinyal inputnya adalah sinyal sinusoidal (AC) dan outputnya adalah sinyal DC setengah gelombang.



Gambar 10. Half-Wave Rectifier Circuit

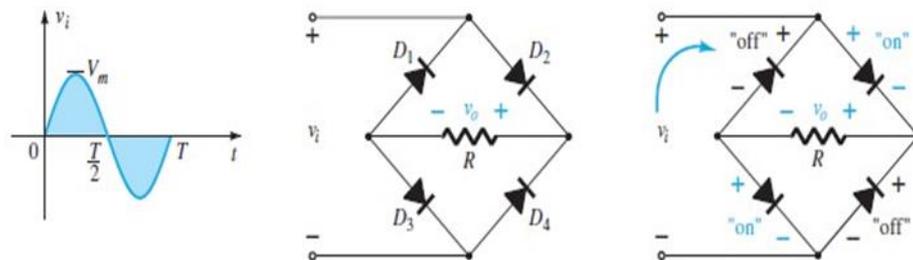
Gambar sebelah kiri menjelaskan sinyal input sinusoidal. Ketika input diberikan pada rentang waktu $0 - T/2$ (siklus positif), arus dari sumber akan mengalir melalui diode (asumsi ideal) karena pada siklus tersebut diode dicatu pada mode forward biased, sehingga diode dianggap short dan tegangan memasuki resistor. Ketika input diberikan pada rentang waktu $T/2 - T$ (siklus negative), arus dari sumber tidak akan mengalir melalui diode karena berada pada mode reverse biased, sehingga diode dianggap open dan tegangan tidak masuk ke resistor. Jika input terus diberikan maka hasilnya akan terlihat seperti gambar berikut :



Gambar 11. Hasil HWRC

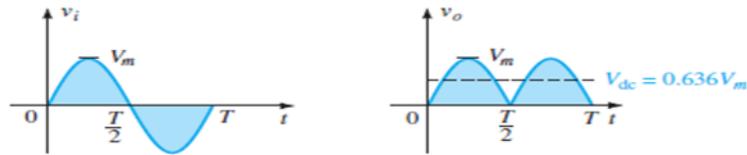
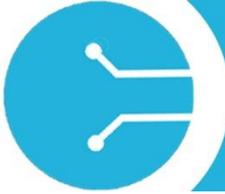
3.3.2. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh (Full-Wave Rectifier Circuit)

FWRC merupakan rangkaian yang komponennya tersusun atas diode dimana sinyal inputnya adalah sinyal sinusoidal (AC) dan outputnya adalah sinyal DC gelombang penuh.



Gambar 13. Full-Wave Rectifier Circuit

Cara kerja FWRC sama saja dengan HWRC, namun pada FWRC harus dianalisis terlebih dahulu diode mana yang open dan mana yang short. Hasilnya polaritas resistor (output) tidak berubah, baik pada siklus positif maupun negatif, sehingga menghasilkan gelombang penuh.

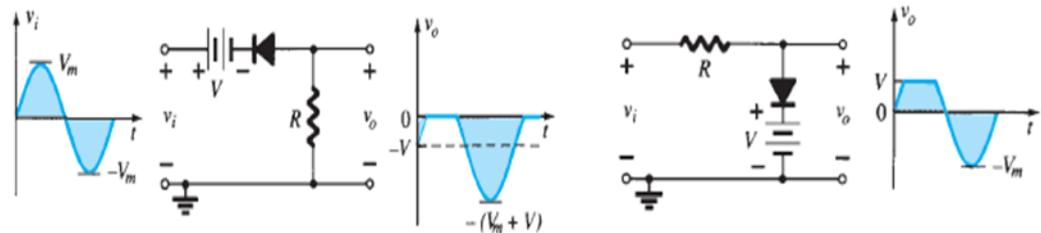


Gambar 14. Hasil FWRC

3.3.3. Rangkaian Penjepit Tegangan (Clippers Circuit)

CC adalah rangkaian yang komponennya terdiri atas diode yang berfungsi menggeser level pergantian polaritas dari sinyal input yang masuk ke rangkaian dan menjepit (memaksa) nilai tegangan output tetap pada suatu nilai tertentu pada siklus sinyal input tertentu. Terdapat dua jenis konfigurasi CC, yaitu sinyal input terhubung seri dengan diode dan terhubung paralel. HWRC merupakan CC yang terhubung seri.

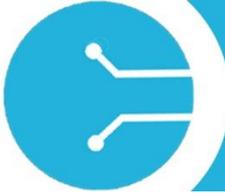
Biased Series Clippers (Ideal Diodes)



Gambar 16. Konfigurasi seri (kiri) & paralel Clippers Circuit

Pada konfigurasi seri, perhatikan bahwa DC supply terpasang searah dengan diode. Ketika input positif masuk ke rangkaian, jika nilainya kurang dari DC supply maka diode dalam on-state. Dengan menggunakan KVL maka nilai output dapat diperoleh. Ketika nilainya melebihi DC supply, maka diode dalam off-state, sehingga nilai output 0 V dst. Dalam hal ini, CC sebagai pengubah level pergantian polaritas sinyal input.

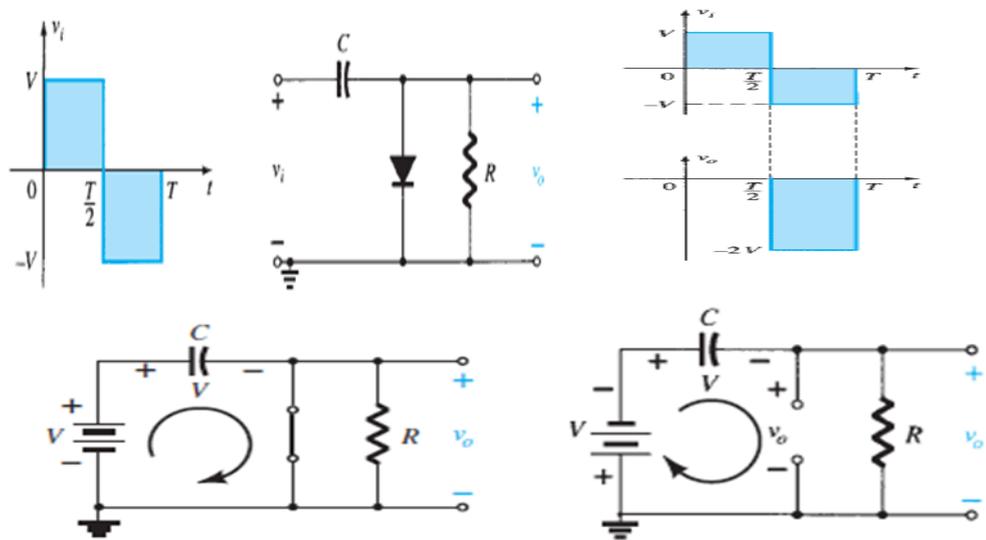
Pada konfigurasi paralel, perhatikan bahwa DC supply terpasang berlawanan dengan diode. Ketika input positif masuk



ke rangkaian, diode on, sehingga dianggap short. Karena output terhubung paralel dengan DC supply, maka nilai output senilai dengan DC supply bila nilai input melebihi DC supply. Ketika input negatif maka nilai output akan sama dengan nilai input.

3.3.4. Rangkaian Pengubah Level Tegangan (Clampers Circuit)

CLC adalah rangkaian yang terdiri dari diode dan kapasitor yang berfungsi untuk menggeser level tegangan input tanpa merubah bentuk aslinya. Misal, jika sinyal input sinusoidal memiliki amplitudo sebesar 20 V (peak-to-peak 40V), maka level tegangan output merupakan hasil pergeseran sinyal input dengan peak-to- peak yang tetap (40 V).



Gambar 18. Clampers Circuit

Pertama asumsikan keadaan diode, pada gambar di atas diode dalam keadaan on pada siklus positif. Pada siklus ini kapasitor akan mengalami charging sampai sebesar nilai input dalam selang waktu $\tau = RC$. Agar rangkaian tersebut berfungsi, maka nilai RC harus memenuhi syarat 10 kali lebih kecil dari periode sinyal input.

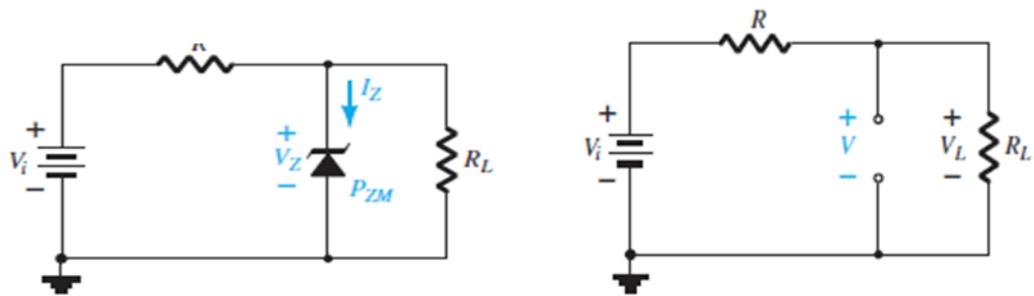


Pada gambar di atas RC bernilai kecil karena resistor ter-short oleh diode. Nilai output 0 V karena parallel dengan diode.

Ketika siklus negative, kapasitor akan mengalami discharging dan diode dalam keadaan off. Nilai output dapat diperoleh dengan KVL dimana nilainya adalah total dari sinyal input dan kapasitor. Hasil clamping terdapat pada gambar sudut kanan atas.

3.3.5. Rangkaian Regulasi Tegangan (Voltage Regulator Circuit)

VRC merupakan rangkaian yang menggunakan zener diode untuk meregulasi tegangan output.



Gambar 20. Voltage Regulator Circuit

Berbeda dengan rangkaian percobaan lain, VRC menggunakan DC supply agar arus melalui diode hanya dalam satu arah saja. Analisis rangkaian ini dimulai dengan mengasumsikan zener diode dalam keadaan open. Lalu, hitung nilai output menggunakan KVL. Zener diode memiliki nilai spesifikasi tegangan yang tetap. Jika nilai output sama atau melebihi nilai tegangan zener diode, maka zener diode dalam keadaan aktif dan nilai output akan sama dengan nilai tegangan zener diode karena terhubung paralel. Jika kurang, maka zener diode dalam keadaan off.



4. Praktikum

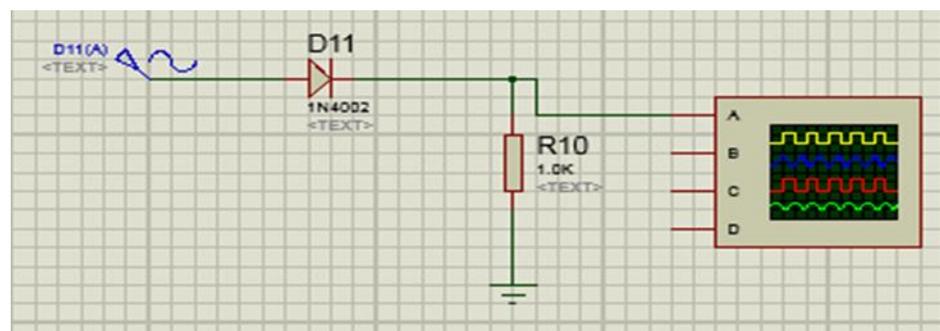
➤ PERCOBAAN HALF-WAVE RECTIFIER CIRCUIT

• Alat dan Bahan:

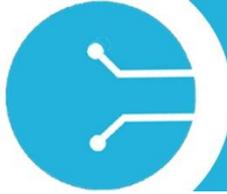
- 1 buah protoboard & oscilloscope
- 1 buah dioda (1N4002 / 1N4007 / 1N4148)
- 1 buah resistor (10K)

• Langkah Percobaan:

1. Susunlah rangkaian seperti gambar 12!
2. Pasang jumper pada nilai 12 V, lalu hubungkan ke anoda diode!
3. Pasang jumper pada nilai 0 V, lalu hubungkan ke ground!
4. Pasang jumper pada katode diode, lalu hubungkan dengan probe + oscilloscope!
5. Pasang jumper pada ground, lalu hubungkan ke probe - oscilloscope!
6. Setelah selesai, mintalah asisten untuk mengecek rangkaian!
7. Jika asisten sudah mengizinkan rangkaian untuk dicoba, nyalakan protoboard
8. Amati hasilnya pada oscilloscope!



Gambar 12. Percobaan HWRC



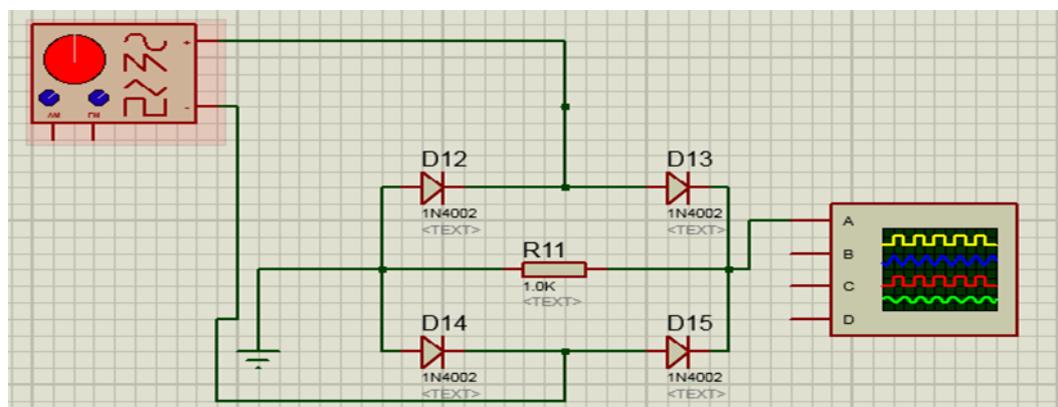
➤ PERCOBAAN FULL-WAVE RECTIFIER CIRCUIT

• **Alat dan Bahan:**

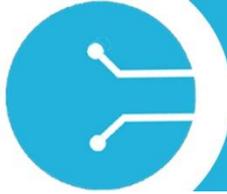
- 1 buah protoboard & oscilloscope
- 4 buah dioda (1N4002 / 1N4007 / 1N4148)
- 1 buah resistor (10K)

• **Langkah Percobaan:**

1. Susunlah rangkaian seperti gambar 15!
2. Pasang jumper pada nilai 12 V, lalu hubungkan ke antara D12 & D13!
3. Pasang jumper pada nilai 0 V, lalu hubungkan ke antara D14 & D15!
4. Pasang jumper pada katode diode, lalu hubungkan dengan probe + oscilloscope!
5. Pasang jumper pada ground, lalu hubungkan ke probe - oscilloscope!
6. Setelah selesai, mintalah asisten untuk mengecek rangkaian!
7. Jika asisten sudah mengizinkan rangkaian untuk dicoba, nyalakan protoboard
8. Amati hasilnya pada oscilloscope!



Gambar 15. Percobaan FWRC



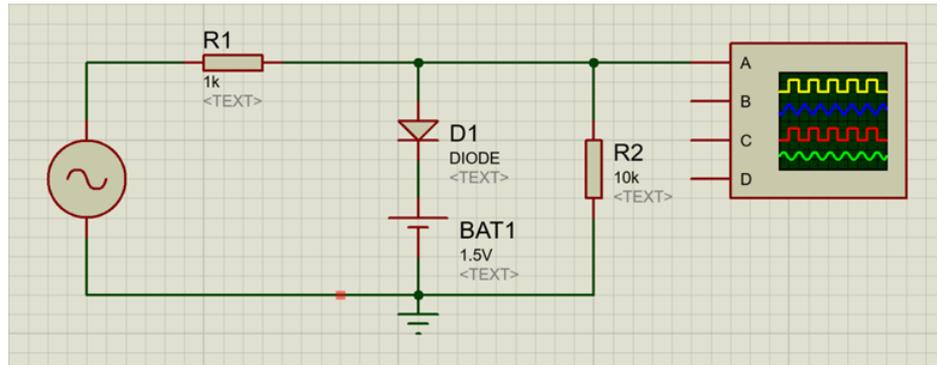
➤ PERCOBAAN CLIPPERS CIRCUIT

• **Alat dan Bahan:**

- 1 buah protoboard & oscilloscope
- 1 buah dioda (1N4002 / 1N4007)
- 1 buah resistor (10K)
- 1 buah resistor (1K)
- 1 buah DC Supply

• **Langkah Percobaan:**

1. Susunlah rangkaian seperti gambar 17!
2. Ikuti petunjuk percobaan HWRC!
3. Ulangi percobaan dengan membalikkan arah diode dan DC supply!



Gambar 17. Percobaan Clippers Circuit

➤ PERCOBAAN CLAMPERS CIRCUIT

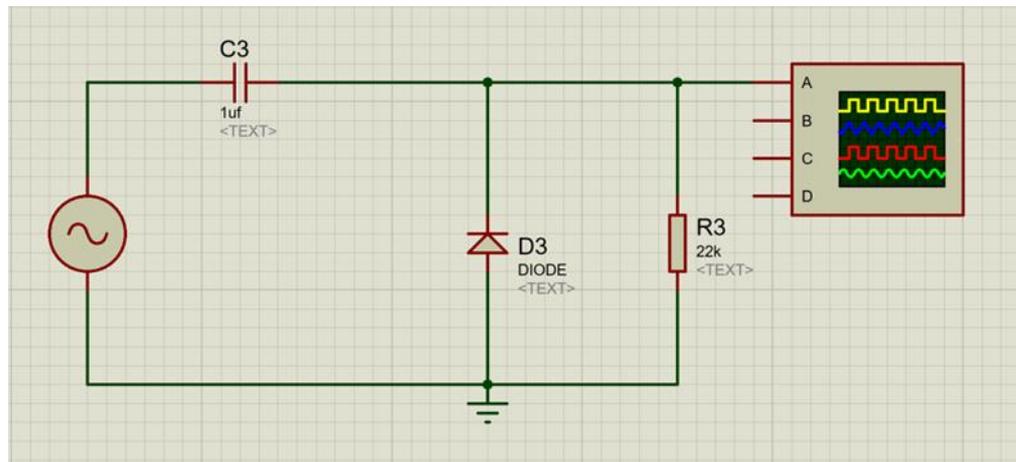
• **Alat dan Bahan:**

- 1 buah protoboard & oscilloscope
- 1 buah dioda (1N4002 / 1N4007)
- 1 buah resistor (22K)
- 1 buah DC Supply
- 1 buah kapasitor (10 uF)

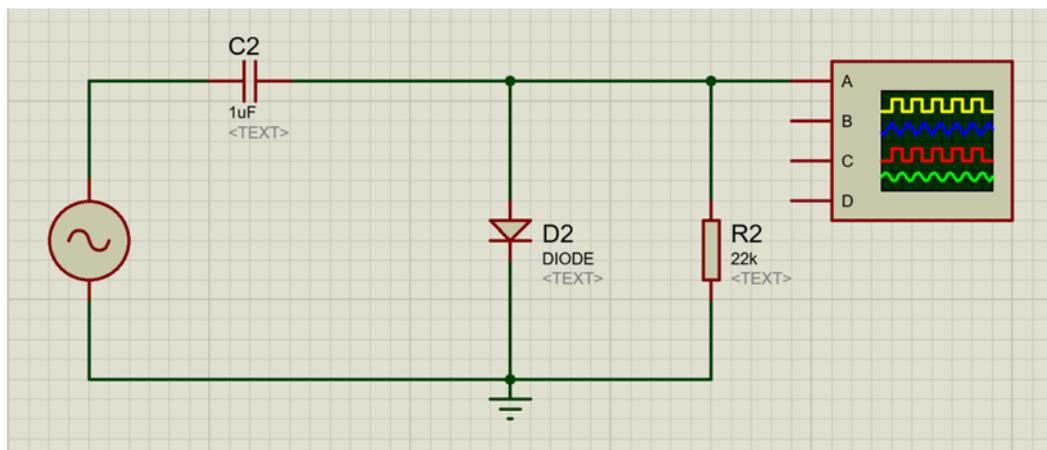


• **Langkah Percobaan:**

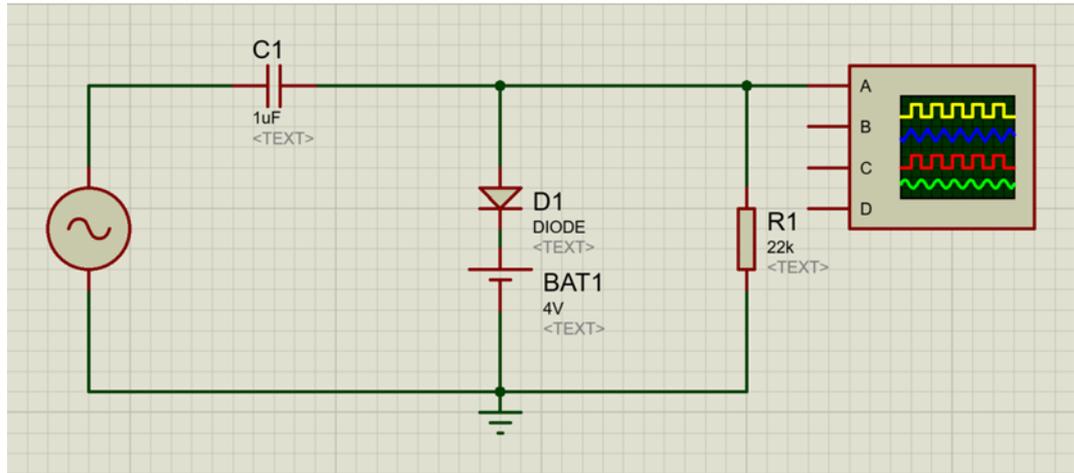
1. Susunlah rangkaian seperti gambar 19!
2. Ikuti petunjuk percobaan HWRC!
3. Ulangi percobaan dengan membalikkan arah diode!
4. Susun rangkaian seperti gambar 21!



Gambar 19. Percobaan Positive Clamper Circuit



Gambar 20. Percobaan Negative Clamper Circuit



Gambar 21. Percobaan Negative DC Bias Clampers Circuit

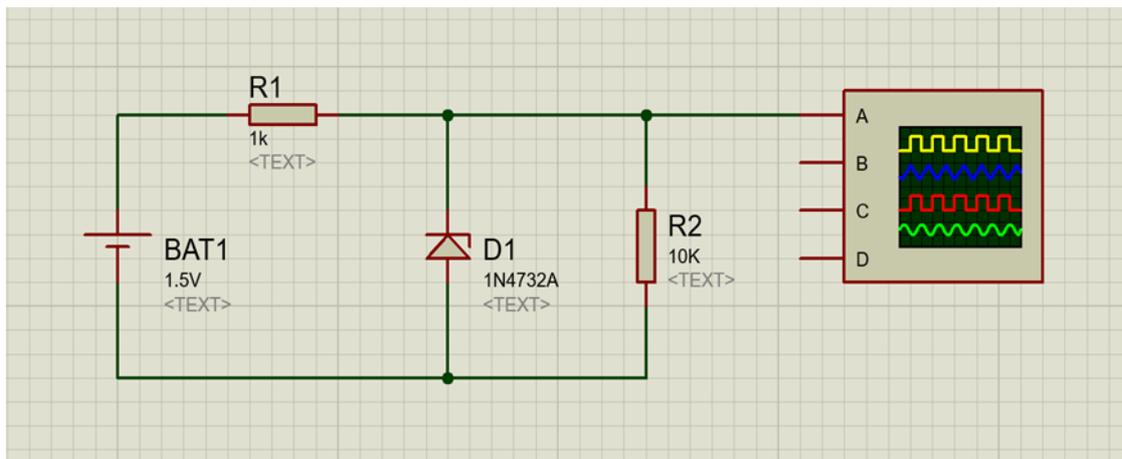
➤ PERCOBAAN VOLTAGE REGULATOR CIRCUIT

• **Alat dan Bahan:**

- buah protoboard & oscilloscope
- 1 buah zener diode (1N4732)
- buah resistor (10K)
- 1 buah resistor (100K)
- 1 buah DC Supply

• **Langkah Percobaan:**

- Susunlah rangkaian seperti gambar 21!
- Ikuti petunjuk percobaan HWRC!



Gambar 21. Percobaan Voltage Regulator Circuit



NB : Pelajari materi yang tertulis pada Poin-poin Dasar Teori. Penguasaan dari setiap materi yang tertulis di atas adalah WAJIB dan akan diuji pada Tes Pendahuluan. Asisten BERHAK memberikan sanksi kepada praktikan yang tidak menguasai materi tersebut.

5. Daftar Pustaka

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. 2013. ELECTRONIC DEVICES & CIRCUIT THEORY, Eleventh Edition. United States : Pearson.
- Kano, Kanaan. - . SEMICONDUCTOR DEVICES. United States : Prentice Hall
- Pierret, R. F.. 1996 . SEMICONDUCTOR DEVICES FUNDAMENTALS. - : Addison Weasley.



Modul III

Bipolar Junction Transistor (BJT)

1. Tujuan Praktikum

- Memahami prinsip kerja bipolar junction transistor.
- Mengamati dan memahami DC bias pada transistor.
- Mengamati dan memahami prinsip kerja transistor bipolar sebagai penguat.
- Memahami prinsip rangkaian logika melalui BJT

2. Poin-Poin Dasar Teori

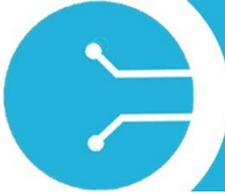
- Definisi Bipolar Junction Transistor
- Penjelasan Band Diagram BJT
- Prinsip Kerja BJT tipe PNP dan tipe NPN
- Karakteristik dari masing-masing konfigurasi rangkaian BJT
- BJT Symbol, Packaging, and Terminal Identification
- Aplikasi BJT pada Logic Gate (NOT, AND, OR, NAND, NOR)
- Rangkuman Datasheet BJT BC-107

3. Dasar Teori

3.1. Pendahuluan

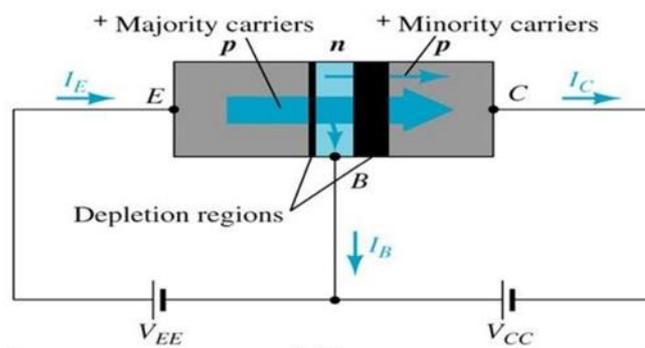
Transistor merupakan divais semikonduktor yang berfungsi sebagai penguat arus, tegangan, dan sinyal. BJT (Bipolar Junction Transistor) merupakan jenis transistor yang sering digunakan. Disebut 'Bipolar' karena pengoperasian transistor ini melibatkan hole dan elektron dalam proses kerjanya. Sementara jika hanya melibatkan salah satu carrier (elektron atau hole), maka disebut unipolar.





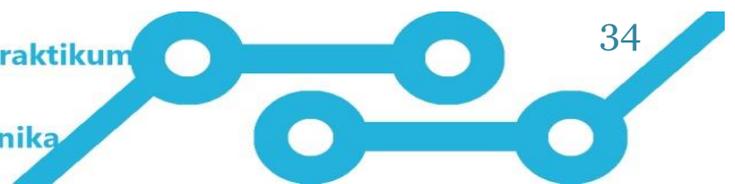
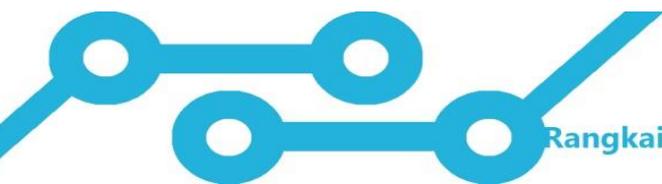
BJT merupakan transistor 3 layer yang terdiri dari 2 layer tipe n- dan 1 layer tipe p- (disebut transistor npn) atau 2 layer tipe p- dan 1 layer tipe n- (disebut transistor pnp). Layer BJT terdiri dari emiter, base, dan collector. Emmitter merupakan sumber majority carrier yang diberi doping sejumlah $10^{19} / \text{cm}^3$ (heavily doped). Base didoping lebih tipis dan lebih kecil dikarenakan agar tidak terjadi rekombinasi serta memiliki waktu transien yang kecil. Collector didoping lebih kecil tetapi layernya lebih besar dibandingkan dengan emiter dikarenakan untuk mengurangi disipasi.

3.2. Prinsip Kerja Bipolar Junction Transistor



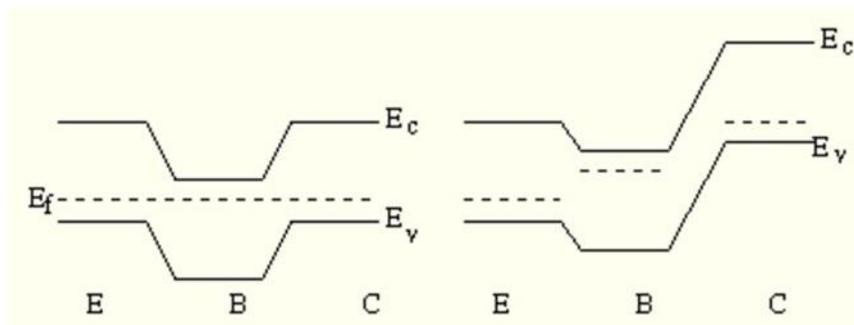
Gambar 1. Aliran majority dan minority carrier pada transistor pnp

Prinsip kerja BJT di atas dideskripsikan dengan aliran minority dan majority carrier, dimana menggunakan BJT tipe pnp. Apabila kita perhatikan, terdapat dua p-n junction pada BJT yang memiliki daerah deplesi yang berbeda. Dalam keadaan forward active, salah satu p-n junction pada transistor diberi forward biased dan yang lain diberi reverse biased. Ketika kedua p-n junction telah diberi tegangan potensial, maka akan terjadi aliran antara minority dan majority carrier. Seperti yang telah dipelajari pada modul 2 terkait proses p-n junction, ketika p-n junction diberi forward biased maka sejumlah majority carrier akan berdifusi dari





material tipe p ke tipe n dikarenakan daerah deplesi yang kecil. Carriers yang berdifusi tersebut akan berkontribusi langsung menuju arus base IB atau langsung lewat menuju material tipe p. Dikarenakan pada material tipe-n memiliki ketebalan yang tipis dan konduktifitas yang rendah maka arus yang mengalir menuju terminal base akan sangat kecil. Majority carrier akan bertindak sebagai minority carrier pada saat berada pada material tipe-n. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa telah terjadi injeksi minority carrier pada material tipe-n. Oleh karena itu semua minority carrier pada daerah deplesi (base-collector) akan bergerak melewati reverse-biased junction dan menuju terminal kolektor atau yang dikatakan sebagai arus drift.



Gambar 2. Band Diagram transistor pnp

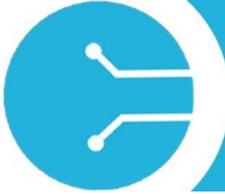
3.3. Konfigurasi Bipolar Junction Transistor

Pada dasarnya transistor bipolar yang digunakan sebagai penguat terdiri dari tiga konfigurasi dasar, yaitu common base, common emitter, dan common collector

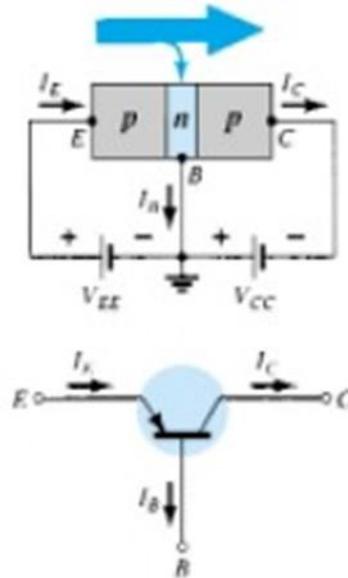
3.3.1. Konfigurasi Common Base

Seperti namanya, yang dimaksud dengan konfigurasi Common Base atau Basis Bersama adalah konfigurasi yang kaki Basis-nya





disambungkan terhadap ground dan digunakan bersama untuk input maupun output. Pada Konfigurasi Common Base, sinyal input dimasukan ke Emitter dan sinyal output-nya diambil dari Collector, sedangkan kaki Basis-nya di-ground-kan. Oleh karena itu, Common Base juga sering disebut dengan istilah “Grounded Base”.

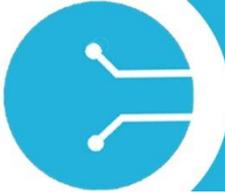


Gambar 3. Konfigurasi Common Base (PNP)

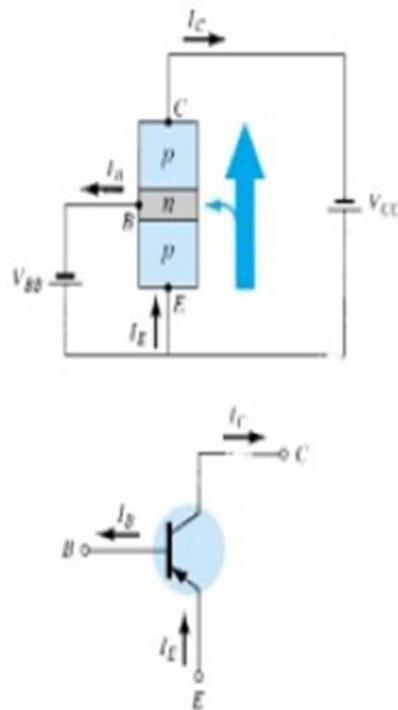
Konfigurasi Common Base ini menghasilkan Penguatan Tegangan antara sinyal input dan sinyal output namun tidak menghasilkan penguatan pada arus.

3.3.2. Konfigurasi Common Emitter

Common Emitter adalah konfigurasi Transistor dimana kaki Emitter Transistor di-ground-kan dan dipergunakan bersama untuk Input dan Output. Pada Konfigurasi Common Emitter ini, sinyal



Input dimasukan ke Basis dan sinyal Output-nya diperoleh dari kaki Collector.

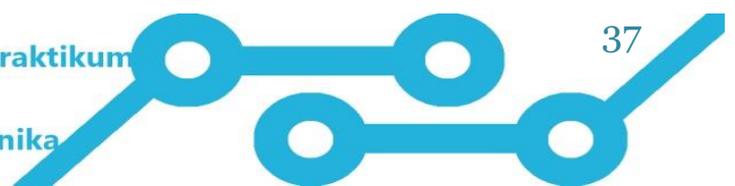
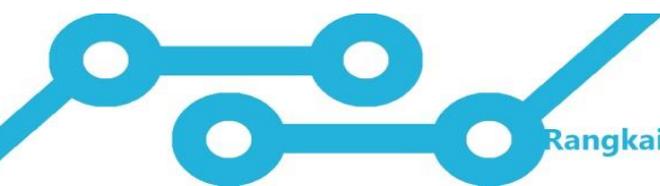


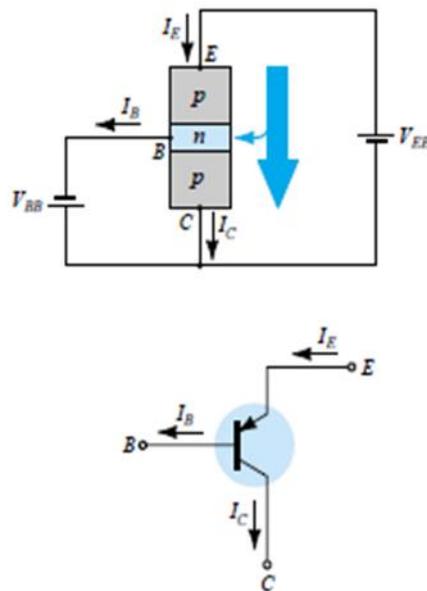
Gambar 4. Konfigurasi Common Emitter (PNP)

Konfigurasi Common Emitter atau Emitor Bersama merupakan konfigurasi transistor yang paling sering digunakan, terutama pada penguat yang membutuhkan penguatan tegangan dan arus secara bersamaan. Hal ini dikarenakan konfigurasi transistor dengan Common Emitter ini menghasilkan penguatan Tegangan dan Arus antara sinyal Input dan sinyal Output.

3.3.3. Konfigurasi Common Collector

Pada Konfigurasi Common Collector, Input disambungkan ke Basis Transistor sedangkan Outputnya diperoleh dari Emitor Transistor sedangkan Kolektor-nya di-ground-kan dan digunakan bersama untuk Input maupun Output.





Gambar 5. Konfigurasi Common Collector (PNP)

Konfigurasi Common Collector atau Kolektor Bersama memiliki sifat dan fungsi yang berlawanan dengan Common Base. Kalau pada Common Base menghasilkan penguatan Tegangan tanpa memperkuat Arus, maka Common Collector ini memiliki fungsi yang dapat menghasilkan penguatan arus namun tidak menghasilkan penguatan tegangan.

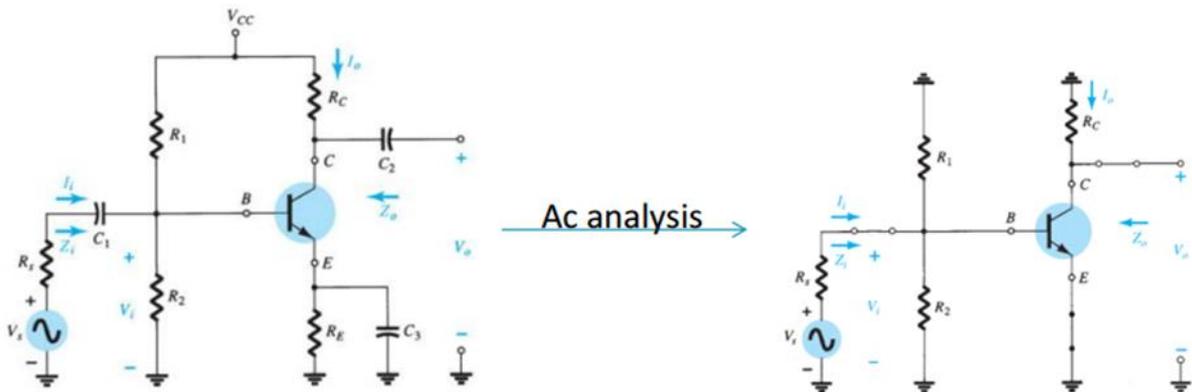


3.4. BJT AC Analysis

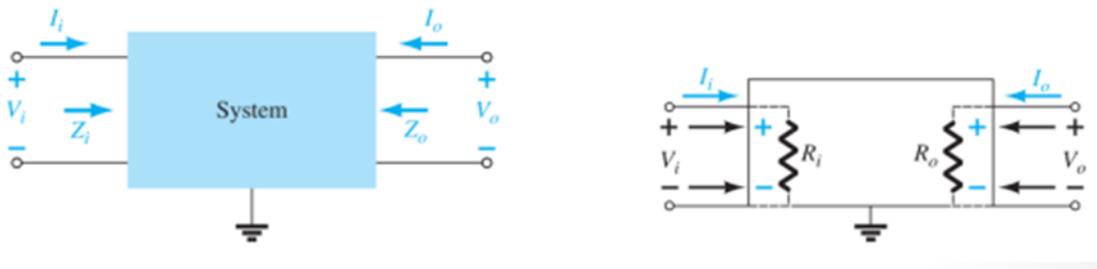
3.4.1. BJT Transistor Modeling

Model adalah sebuah pendekatan kombinasi elemen rangkaian elektronika yang dipilih untuk menggambarkan cara kerja sebuah komponen semikonduktor dalam kondisi tertentu.

Untuk menentukan parameter dari tiap rangkaian, dapat

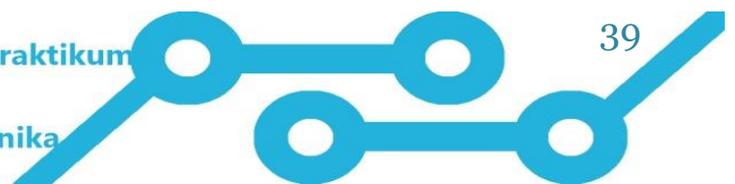
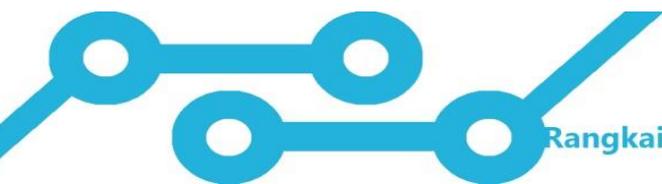


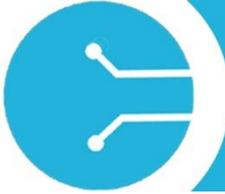
menggunakan metode kutub empat.



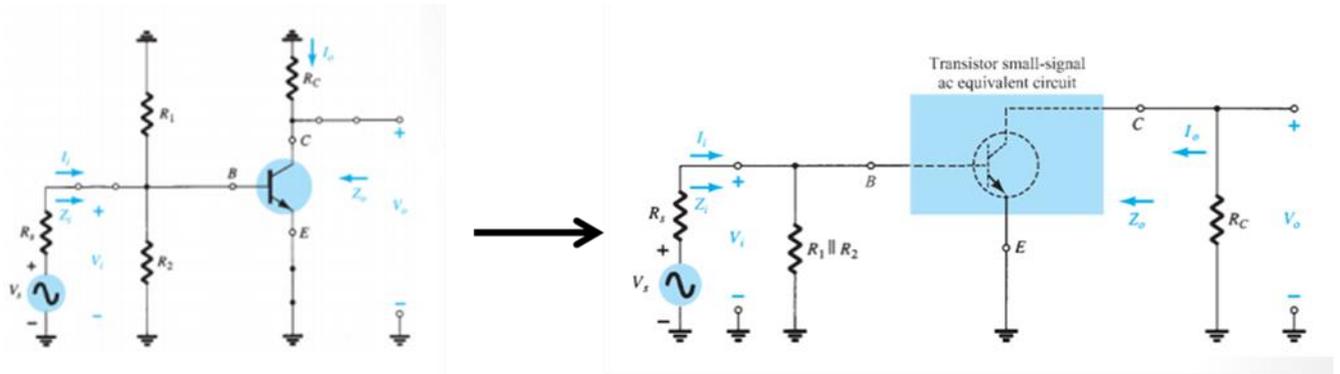
Rangkaian AC ekuivalen dari sebuah transistor dapat diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

1. Mengganti semua sumber DC menjadi nol (ground) dan menggantikannya dengan rangkaian short-circuit yang setara.
2. Mengganti semua kapasitor menjadi short-circuit.
3. Buang semua elemen yang dilalui oleh komponen yang diubah menjadi short-circuit menurut langkah 1 & 2.



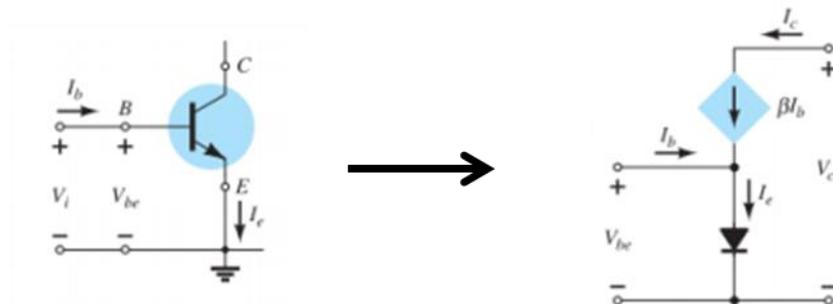


4. Merapikan gambar rangkaian agar lebih mudah dipahami.

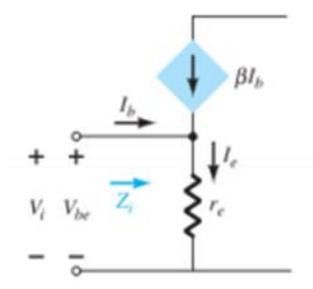


3.4.2. Model Transistor re (Common Emitter)

1. Menentukan rangkaian ekuivalen dari BJT



2. Menentukan besar Zi



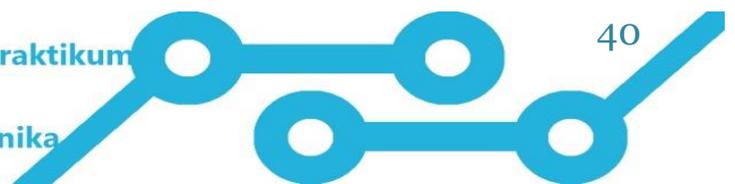
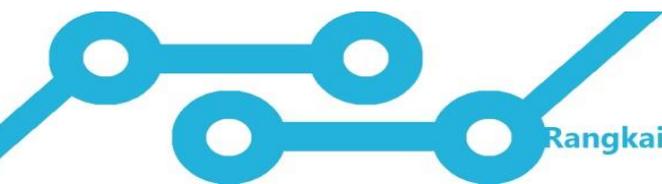
$$Z_i = \frac{V_i}{I_b} = \frac{V_{be}}{I_b}$$

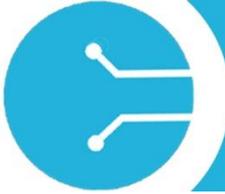
$$V_{be} = I_e r_e = (I_c + I_b) r_e = (\beta I_b + I_b) r_e$$

$$= (\beta + 1) I_b r_e$$

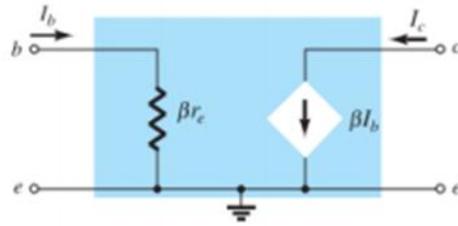
$$Z_i = \frac{V_{be}}{I_b} = \frac{(\beta + 1) I_b r_e}{I_b}$$

$$Z_i = (\beta + 1) r_e \cong \beta r_e$$

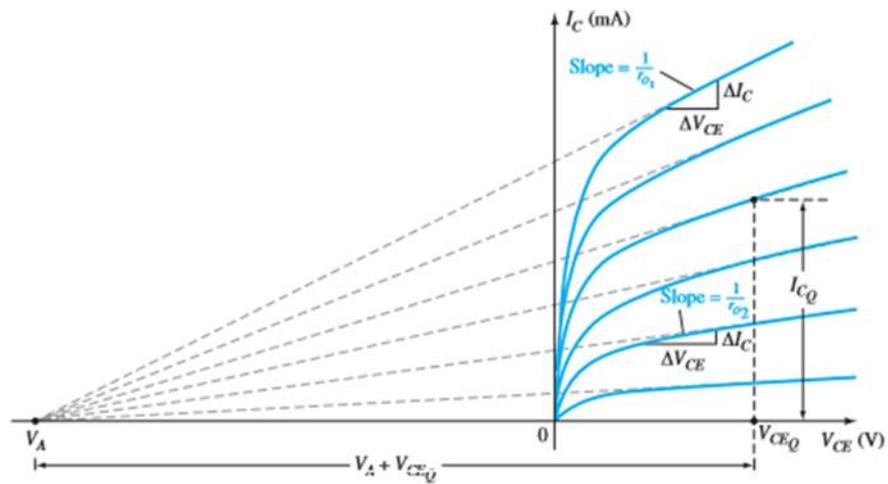




Sehingga rangkaian dapat dirapikan menjadi:



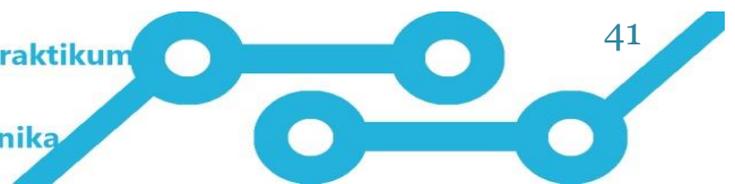
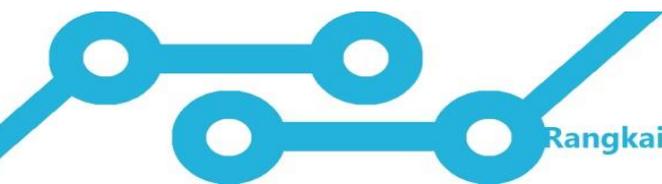
3. Menentukan besar tegangan awal dan impedansi output



$$r_o = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_A + V_{CEQ}}{I_{CQ}}$$

Tanda “Q” menandakan posisi tegangan mulai memiliki kenaikan yang stabil. Namun karena V_A sangat jauh lebih dari V_{CEQ} , maka dapat dituliskan menjadi:

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_{CQ}}$$



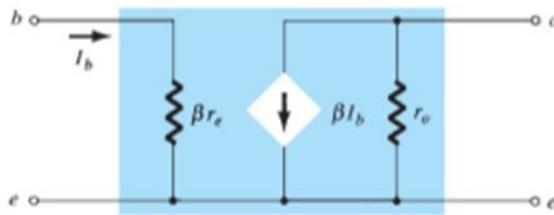


Atau dapat menggunakan metode gradien (kemiringan garis)

$$\text{Slope} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = \frac{1}{r_o}$$

$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$$

Sehingga rangkaian ekivalen akhir terlihat seperti demikian



3.4.3. Konfigurasi Fixed Bias Common Emitter

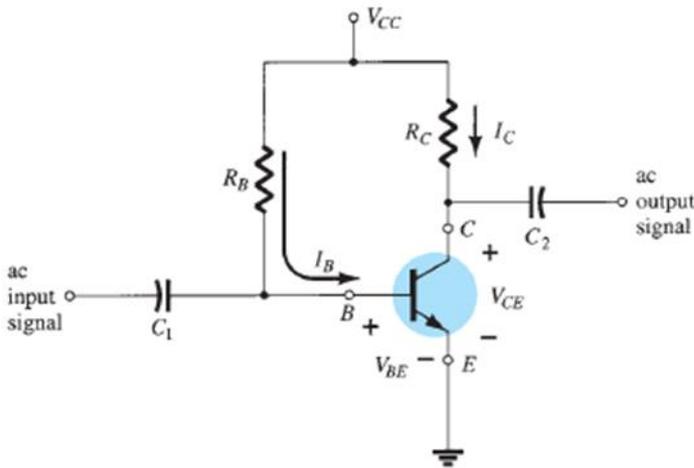


FIG. 4.2 Fixed-bias circuit.

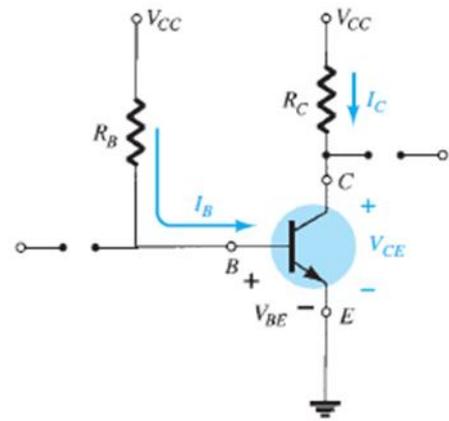
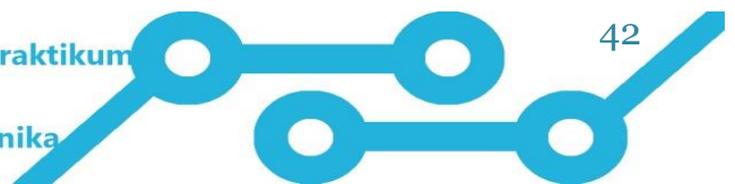
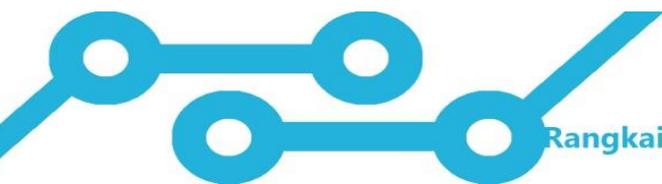


FIG. 4.3 DC equivalent of Fig. 4.2.

Rangkaian fixed-bias pada gambar 4.2 merupakan konfigurasi transistor dc bias yang paling simple. Meskipun rangkaianya menggunakan sebuah transistor npn, semua persamaan dan kalkulasi sama seperti ketika menggunakan sebuah konfigurasi

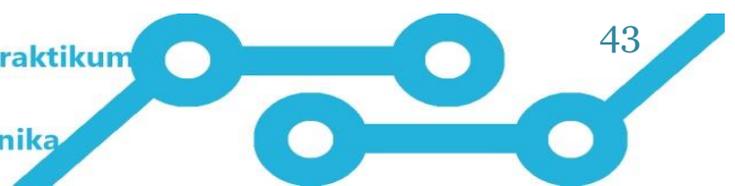
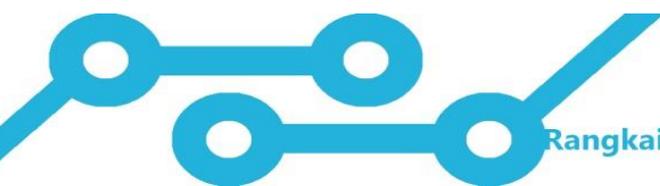




transistor pnp dengan hanya mengubah semua arah arus dan polaritas tegangan.

Semua arah arus pada gambar 4.2 adalah arah-arahan arus aktual, dan tegangan-tegangannya didefinisikan dengan notasi standar double-subscript. Untuk analisis DC, rangkaian dapat diisolasi dari sinyal AC dengan menggantikan kapastor-kapasitor tersebut dengan sebuah rangkaian terbuka setara karena pada dasarnya reaktansi dari sebuah kapasitor merupakan sebuah fungsi dari frekuensi yang diaplikasikan. Untuk DC, $f = 0 \text{ Hz}$, and $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0)C} = \infty \Omega$.

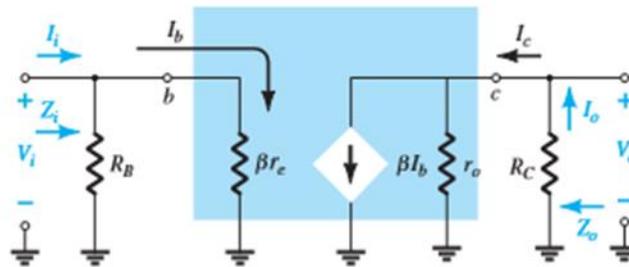
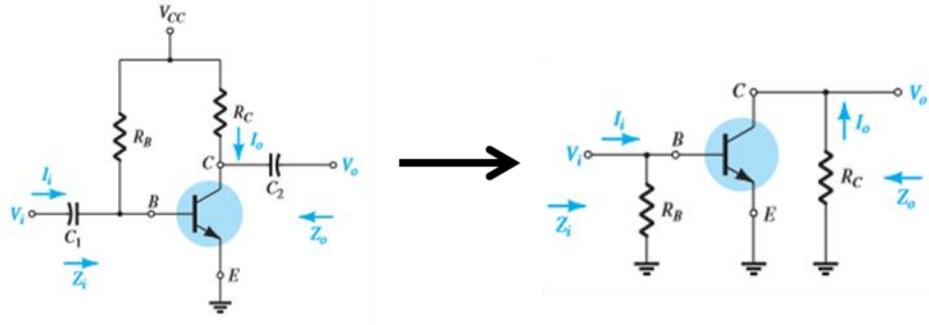
Selain itu, sumber DC V_{cc} dapat dipisahkan menjadi dua sumber seperti pada gambar 4.3 untuk memperbolehkan sebuah pemisahan dari rangkaian input dan output. Pemisahan tersebut juga dapat mengurangi hubungan antara kedua sumber terhadap arus base I_B .





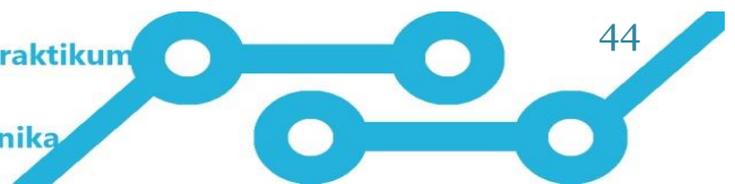
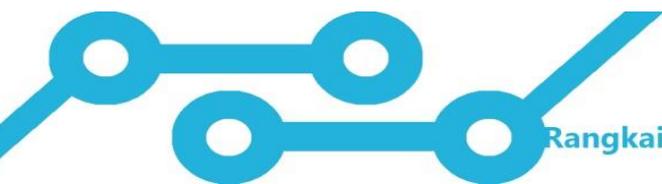
Langkah-Langkah Penghitungan Parameter pada Fixed Bias CE:

1. Ubah bentuk rangkaian awal ke bentuk rangkaian ekivalen



2. Menentukan impedansi input dan output (Z_i & Z_o)

$Z_i = R_B \parallel \beta r_e$ ohms	$Z_o = R_C \parallel r_o$ ohms
↓	↓
$Z_i \cong \beta r_e$ ohms	$Z_o \cong R_C$ ohms
$R_B \geq 10\beta r_e$	$r_o \geq 10R_C$





3. Menentukan gain tegangan (Av)

$$V_o = -\beta I_b (R_C \parallel r_o)$$

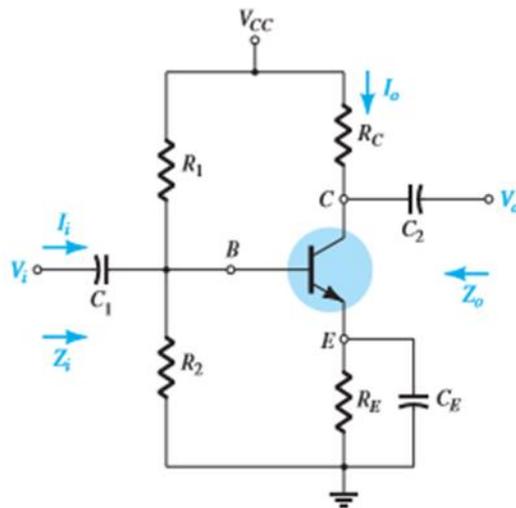
$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} \quad r_o \geq 10R_C$$

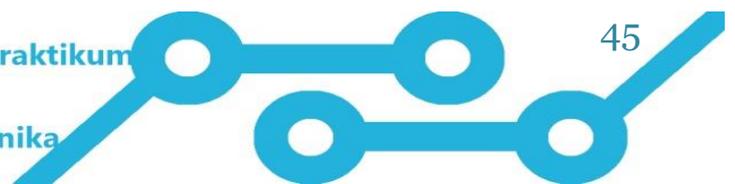
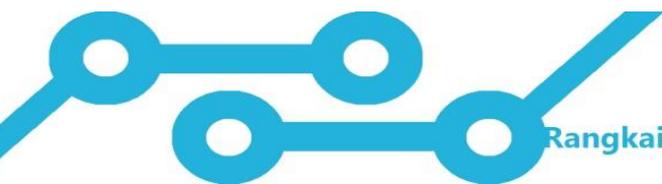
Tanda minus disebabkan oleh polaritas I_o terbalik dengan polaritas uji.



3.4.4. Konfigurasi Voltage Divider Bias Common Emitter

Konfigurasi ini menggunakan dua resistor sebagai pembagi beda potensial pada suplai tegangan untuk menyuplai sejumlah tegangan yang diperlukan oleh base pada BJT. Konfigurasi ini biasa digunakan sebagai rangkaian penguat.

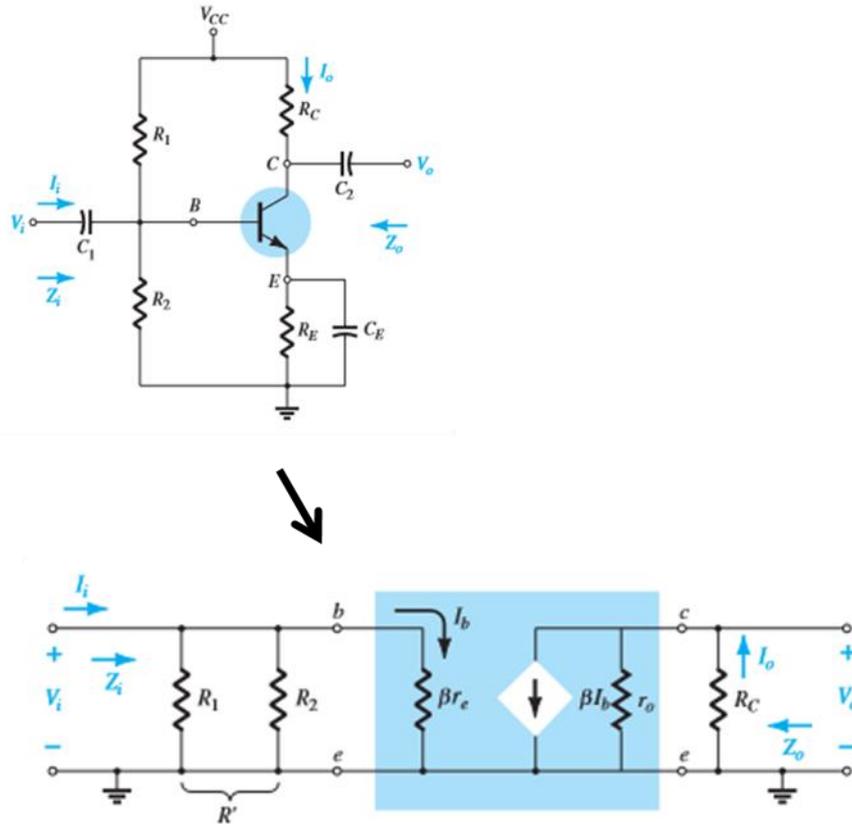
Metode ini sangat mengurangi efek dari perbedaan besar beta (β) dengan menahan bias pada base pada tegangan yang konstan untuk kestabilan yang baik. Besar tegangan pada Base (Vb) ditentukan oleh voltage divider yang dibentuk oleh dua resistor (R1 & R2) dan sumber tegangan Vcc.





Langkah-Langkah Penghitungan Parameter pada Fixed Bias CE:

1. Ubah bentuk rangkaian awal ke bentuk rangkaian ekivalen



2. Menentukan hambatan Thevenin (Rth) pada base dari BJT

$$R' = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. Menentukan impedansi input dan output (Zi & Zo)

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$



4. Menentukan gain tegangan (Av)

$$V_o = -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

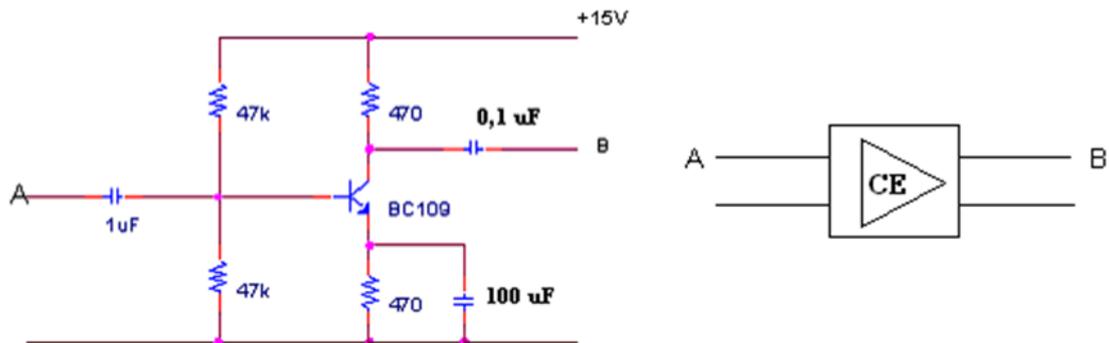
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \parallel r_o}{r_e}$$

4. Praktikum

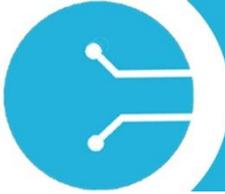
➤ Alat dan Bahan:

- Power supply DC
- Multimeter
- Oscilloscope
- Bread board
- LED
- Resistor
- BC107

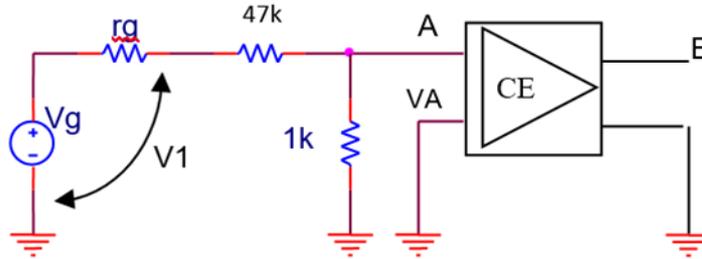
➤ Voltage Divider Common Emitter



Gambar 1. (a) Rangkaian common-emitter (b) Rangkaian ekivalen



Hubungkan rangkaian penguat CE dengan generator fungsi seperti Gambar 4. Atur agar harga $V_1 = 10$ volt dan frekuensinya = 1 kHz.



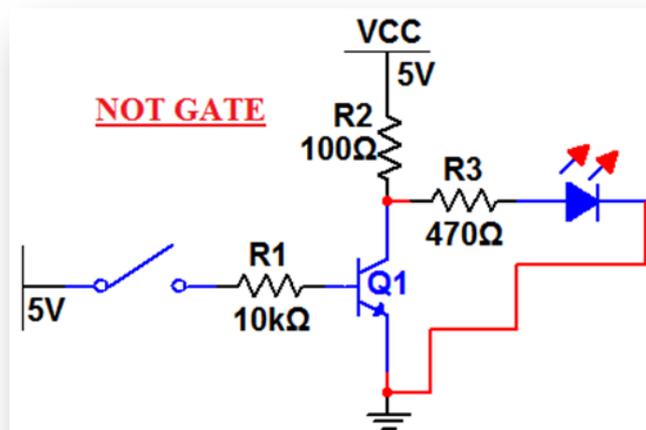
Gambar 2. Rangkaian perubahan CE-1

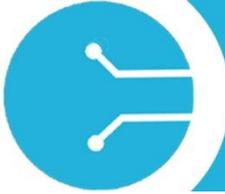
Ulangi langkah di atas dengan frekuensi yang berbeda-beda.

➤ Rangkaian Logika

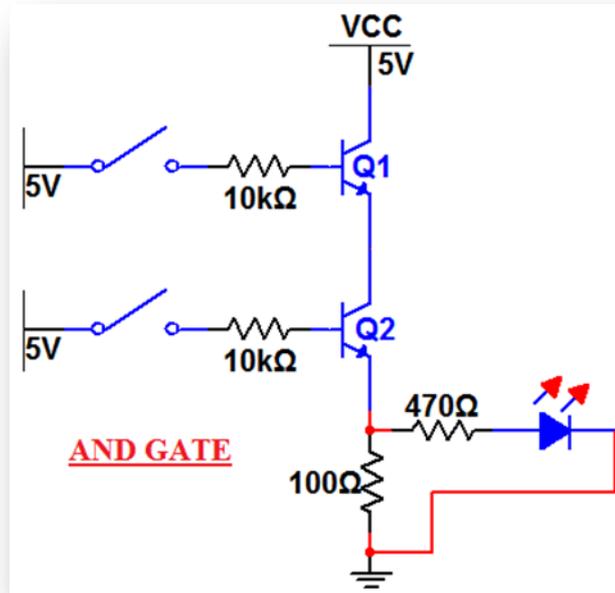
Selain untuk rangkaian amplifier, transistor juga biasa digunakan dalam proses switching. Proses switching digunakan pada aplikasi digital, yaitu untuk merangkai gerbang-gerbang logika.

- Gerbang NOT

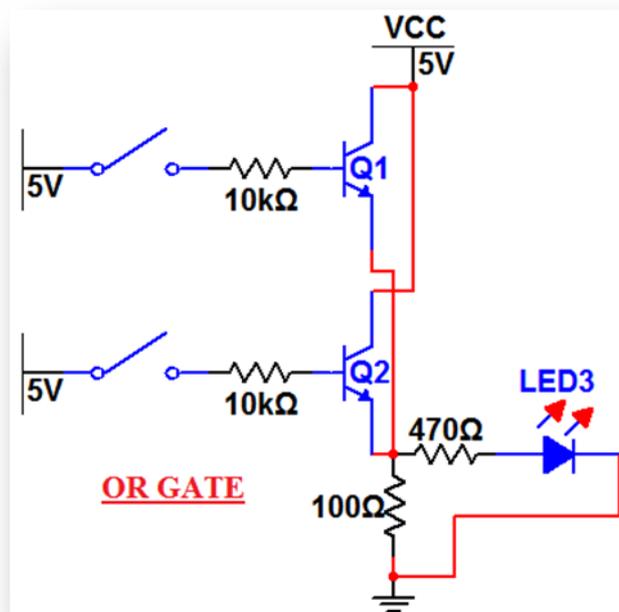




- o Gerbang AND

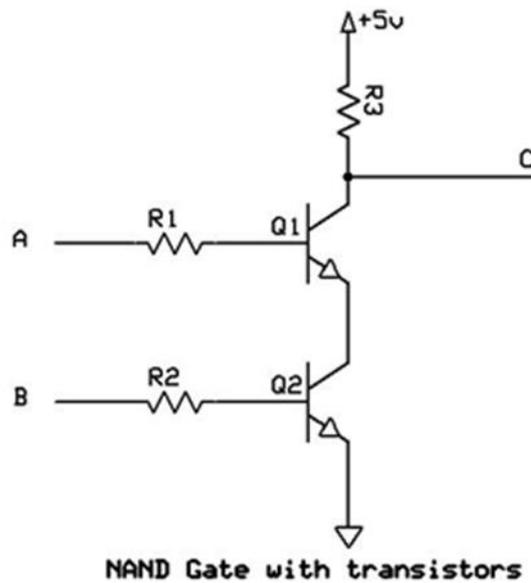


- o Gerbang OR

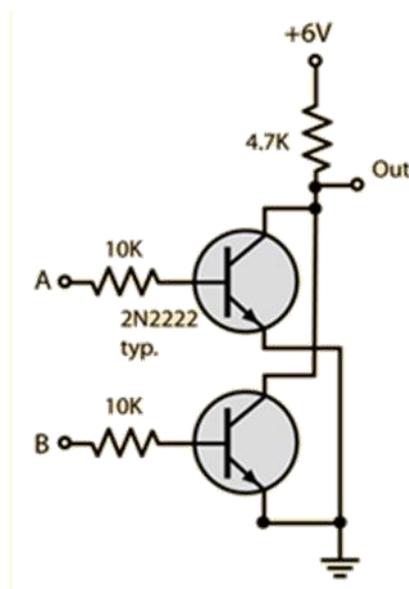




o Gerbang NAND



o Gerbang NOR



Hubungkan Rangkaian Logika NOT seperti Gambar di atas. Perhatikan outputnya (diindikasikan dengan menyala atau tidaknya LED) untuk setiap kombinasi input.

Catat hasilnya pada lembar yang telah disediakan.



5. Data Sheet BJT BC 107

Philips Semiconductors

Product specification

NPN general purpose transistors

BC107; BC108; BC109

FEATURES

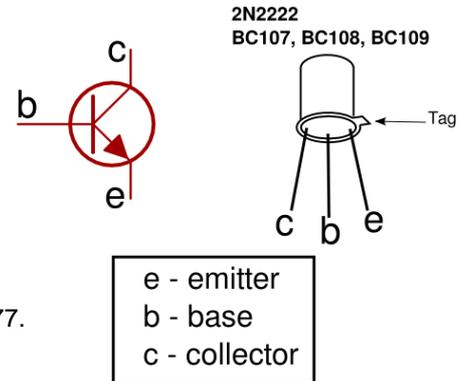
- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 45 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

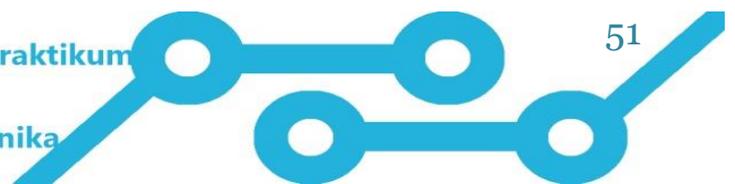
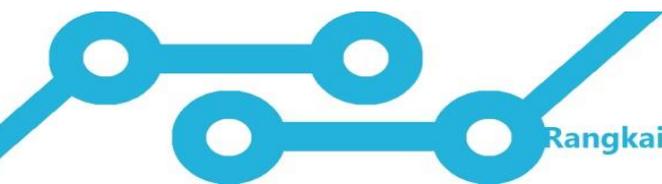
DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-18; SOT18 metal package. PNP complement: BC177.



QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage BC107 BC108; BC109	open emitter	–	50 30	V V
V_{CEO}	collector-emitter voltage BC107 BC108; BC109	open base	–	45 20	V V
I_{CM}	peak collector current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	300	mW
β_{FE}	DC current gain BC107 BC108 BC109	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$	110 110 200	450 800 800	
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	MHz





6. Daftar Pustaka

- Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. 2013. ELECTRONIC DEVICES & CIRCUIT THEORY, Eleventh Edition. United States : Pearson.
- Alexander, Charles K., Sadiku, Matthew N.O. (2009). Fundamental of Electric Circuit (Fourth Edition). New York : McGraw-Hill.
- Floyd.2001. “Electronics Fundamentals Circuit, Devices, and Application”.New Jersey:Printice Hall, Inc.
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opamp.html#c2>
- http://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amp_2.html
- BJT Datasheet Catalog – BC107



Modul IV

Field Effect Transistor (FET)

1. Tujuan Praktikum

- Memahami prinsip kerja JFET dan MOSFET.
- Mengamati dan memahami DC bias pada JFET dan MOSFET.
- Mengamati dan memahami prinsip kerja JFET dan E-MOSFET sebagai penguat.

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Definisi FET
- Prinsip kerja FET
- Perbedaan BJT dan FET
- Jenis-jenis FET (Konstruksi, kurva dan karakteristiknya)
- Analisa AC FET

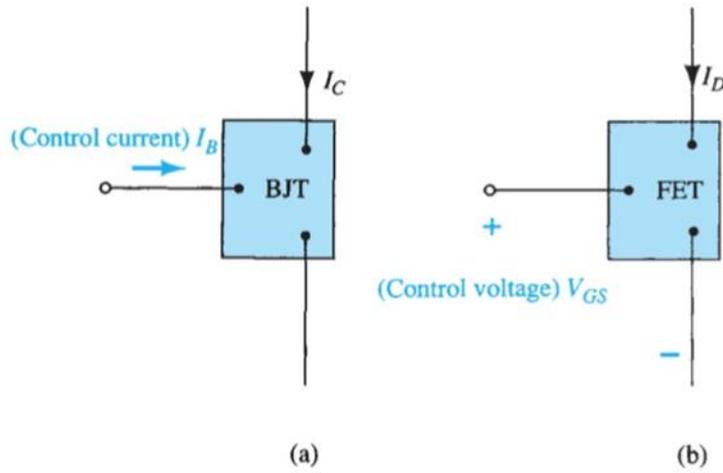
3. Dasar Teori

3.1. Definisi

FET (Field Effect Transistor) merupakan komponen aktif elektronika yang biasa dipergunakan sebagai penguat dan juga sebagai rangkaian switching. FET merupakan jenis transistor yang memakai efek medan listrik dalam aplikasinya sebagai amplifier ataupun sebagai switching dan merupakan komponen unipolar.



3.2. Perbedaan FET dan BJT



Gambar 1. BJT sebagai pengatur arus dan FET pengatur tegangan

FET	BJT
Mengubah tegangan menjadi arus	Mengubah arus menjadi arus
VCCS	CCCS
Unipolar	Bipolar
Switching lebih cepat	Switching lambat



3.3. Jenis-Jenis FET

3.3.1. Junction FET (J-FET)

- Konstruksi

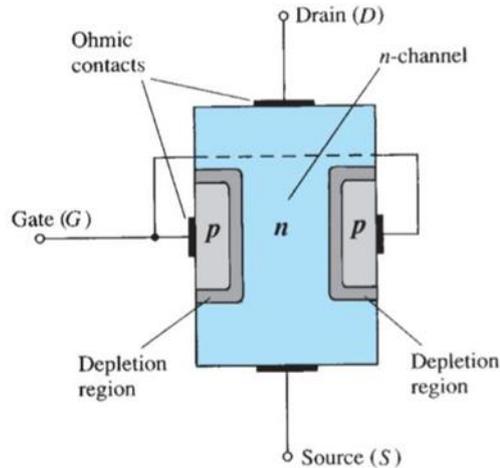


FIG. 6.3

Junction field-effect transistor (JFET).

JFET merupakan divais semikonduktor yang memiliki tiga terminal yang salah satu terminalnya memiliki kemampuan untuk mengontrol arus pada dua terminal lainnya. Gambar diatas merupakan n-type JFET pada bagian channelnya dan p-type material yang membentuk depletion regionnnya. Pada bagian atas terdapat drain (D) dan bagian bawah terdapat source (S) yang terhubung dengan ohmic contact. Dua bagian p-type material terhubung dengan terminal gate (G). Untuk cara kerja JFET akan dijelaskan pada kurva transfer dan karakteristik berikut.



- Kurva Transfer dan Karakteristik

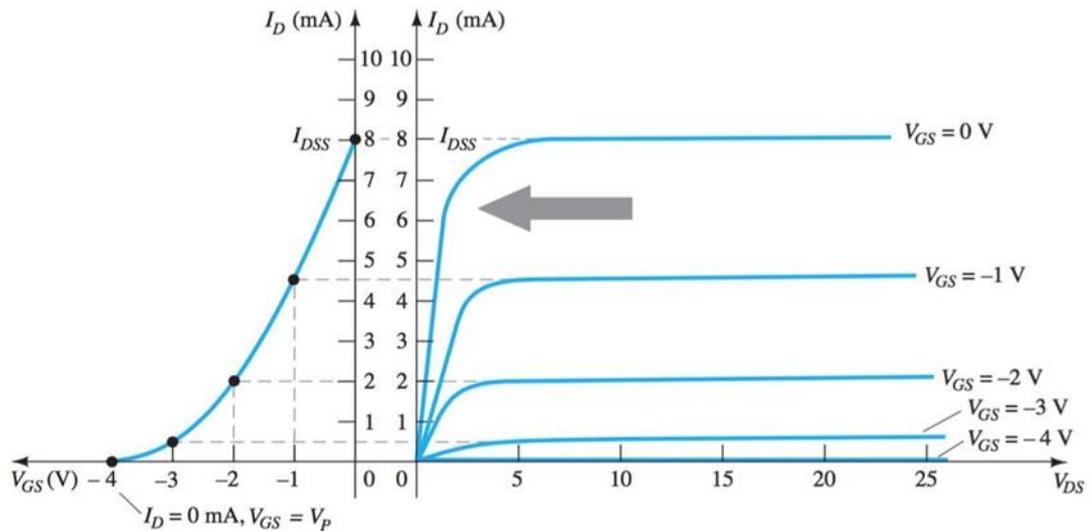


FIG. 6.17

Obtaining the transfer curve from the drain characteristics.

Pada gambar kurva transfer dan karakteristik diatas dapat dilihat bahwa ketika tegangan positif diberikan pada V_{DS} dan $V_{GS} = 0$ V menghasilkan kondisi gate dan source memiliki potensial yang sama dan depletion region yang dihasilkan sangat rendah dan menyebabkan arus dapat mengalir.

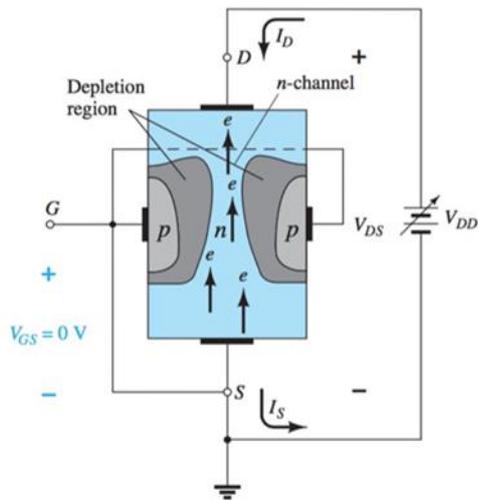


FIG. 6.5

JFET at $V_{GS} = 0\text{ V}$ and $V_{DS} > 0\text{ V}$.

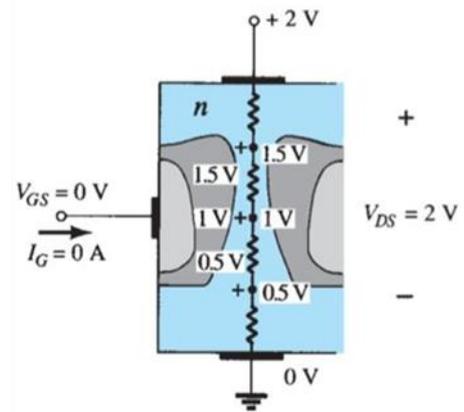


FIG. 6.6

Varying reverse-bias potentials across the p-n junction of an n-channel JFET.

Kondisi pinch-off adalah ketika arus dari source menuju drain tidak dapat mengalir yang disebabkan oleh meningkatnya depletion region pada p-type material. ($V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = V_P$)

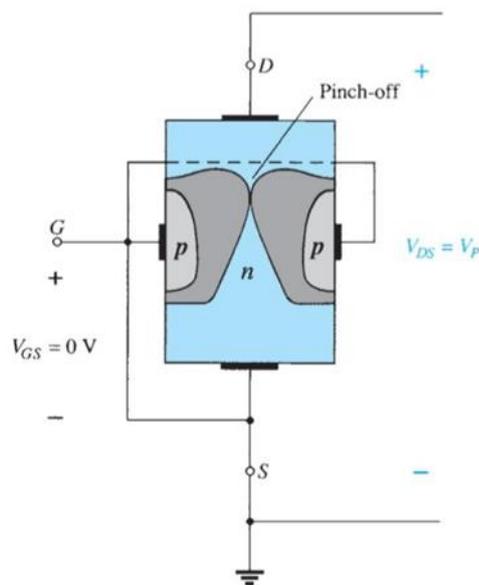


FIG. 6.8

Pinch-off ($V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = V_P$).



- Rumus-rumus penting

When $V_{GS} = V_P$, $I_D = 0 \text{ mA}$

When $V_{GS} = 0 \text{ V}$, $I_D = I_{DSS}$

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

control variable

constants

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

TABLE 6.2

JFET		BJT
$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$	\Leftrightarrow	$I_C = \beta I_B$
$I_D = I_S$	\Leftrightarrow	$I_C \cong I_E$
$I_G \cong 0 \text{ A}$	\Leftrightarrow	$V_{BE} \cong 0.7 \text{ V}$

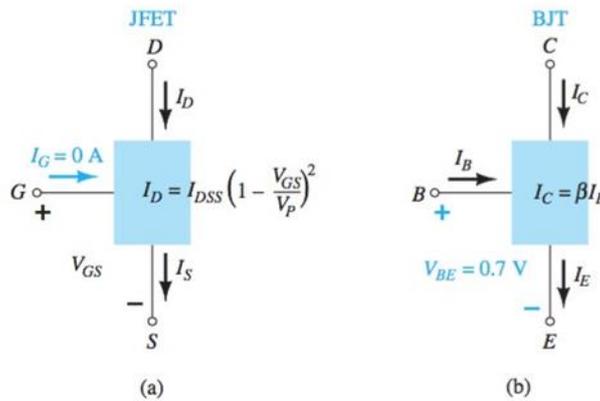


FIG. 6.23 (a) JFET versus (b) BJT.



3.3.2. Depletion-type MOSFET (D-MOSFET)

- Konstruksi

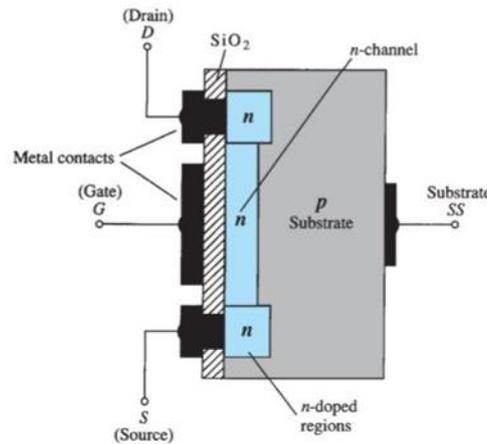


FIG. 6.24
n-Channel depletion-type MOSFET.

Konstruksi dari n-channel depletion-type MOSFET dapat dilihat dari gambar diatas. Substrat p-type dibentuk dari bahan silicon. Bagian source dan drain dihubungkan dengan bagian metal sebagai kontaknya. Bagian gate juga dihubungkan dengan metal contact namun terdapat perbedaan yaitu adanya bagian insulator (SiO_2) yang berfungsi untuk menghindari adanya koneksi elektrik secara langsung antara gate dengan channel pada MOSFET. Berikut akan dijelaskan cara kerja D-MOSFET dengan kurva transfer dana karakteristik.



- Kurva Transfer dan Karakteristik

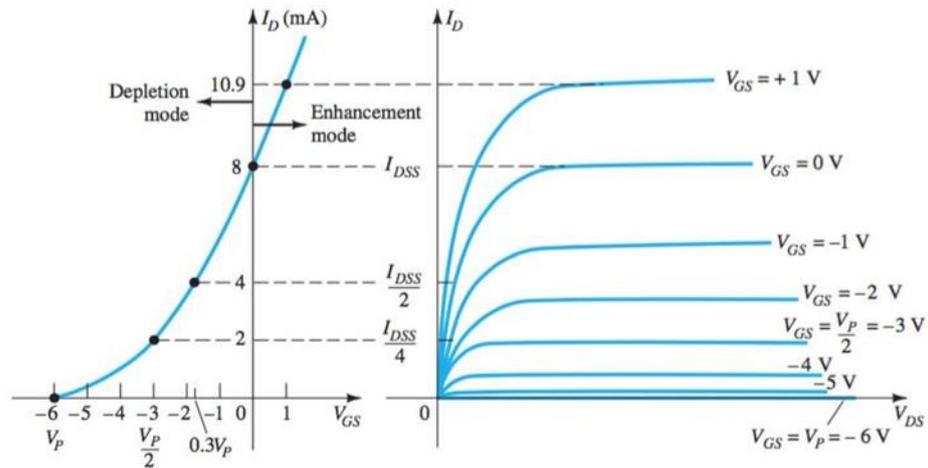


FIG. 6.26

Drain and transfer characteristics for an n-channel depletion-type MOSFET.

Tegangan V_{GS} diberikan tegangan $0V$ dengan koneksi langsung dari satu terminal ke terminal lainnya. Dan tegangan V_{DD} dihubungkan dengan terminal drain-source. Hasilnya adalah tertariknya electron bebas pada n-channel dengan tegangan positif pada drain. Hasilnya adalah adanya arus yang sama dengan JFET yang mengalir melalui channel. Arus yang dihasilkan dengan $V_{GS} = 0V$ adalah I_{DSS} .

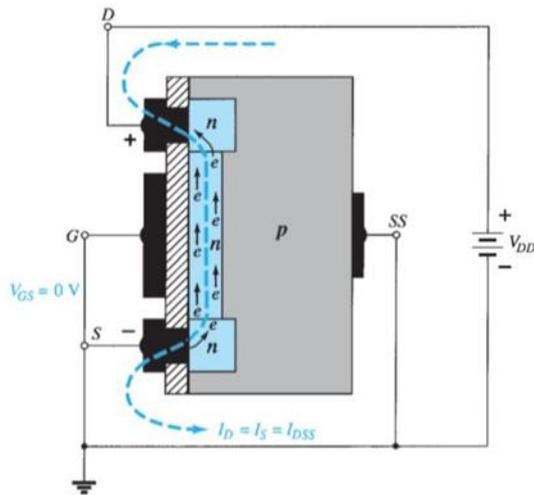


FIG. 6.25

n-Channel depletion-type MOSFET with $V_{GS} = 0$ V and applied voltage V_{DD} .

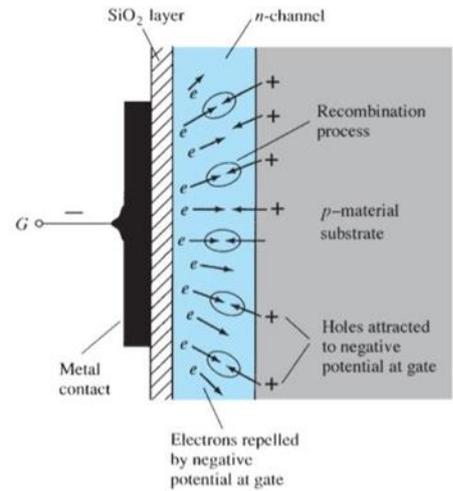


FIG. 6.27

Reduction in free carriers in a channel due to a negative potential at the gate terminal.

Ketika D-MOSFET diberikan tegangan negatif pada bagian gate maka electron bebasnya akan berkurang pada channel. Karena ketika tegangan negatif diberikan maka electron akan menjauh dari channel menuju p-substrate dan menyebabkan terjadinya rekombinasi dengan hole.

3.3.3. Enhancement-type MOSFET (E-MOSFET)

- Konstruksi

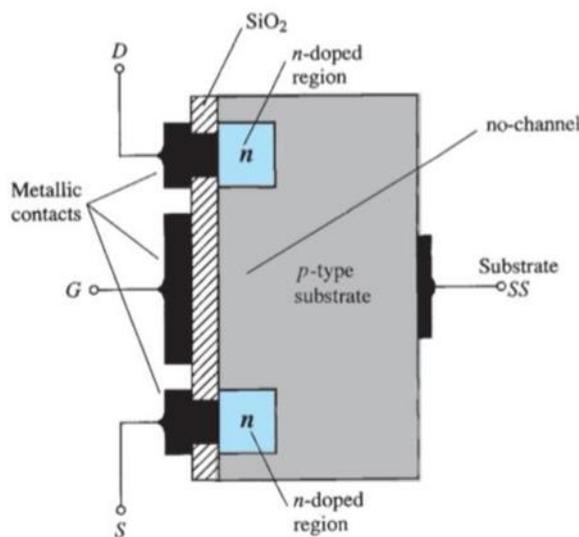


FIG. 6.32

n-Channel enhancement-type MOSFET.



Meskipun E-MOSFET memiliki kemiripan dengan D-MOSFET secara konstruksi namun memiliki perbedaan pada karakteristiknya. Kurva transfer pada E-MOSFET tidak ditentukan berdasarkan persamaan Shockley dan arus pada source ke drain tidak akan mengalir hingga tercapainya sebuah tegangan minimum pada tegangan gate-source.

Perbedaan yang terlihat pada konstruksi E-MOSFET adalah tidak adanya channel yang menghubungkan antara source dan drain. Namun metal contact tetap menjadi penghubung pada source dan drain. kemudian gate juga dibatasi dengan adanya insulator SiO₂. Selain perbedaan channel bagian lain pada E-MOSFET sama dengan D-MOSFET. Lalu bagaimana cara arus dapat mengalir dari source ke drain. berikut akan dijelaskan cara kerja dari E-MOSFET.

- Kurva Transfer dan Karakteristik

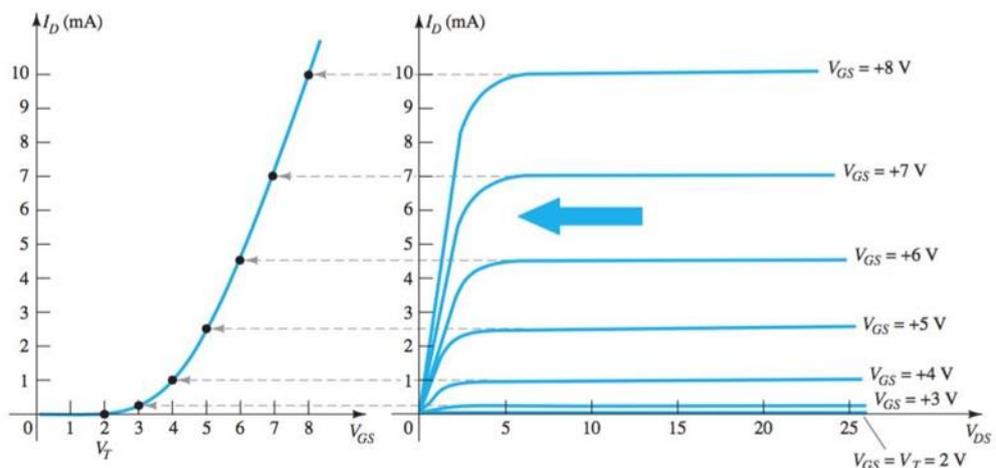


FIG. 6.36

Sketching the transfer characteristics for an n-channel enhancement-type MOSFET from the drain characteristics.



Dari grafik dapat terlihat jelas perbedaan pada bagian kurva transfernya yaitu adanya V_T sebagai tegangan minimum agar E-MOSFET dapat bekerja. Tegangan batas atau threshold voltage adalah tegangan minimum dari E-MOSFET agar terbentuknya channel antara source-drain. electron tertarik keatas ketika gate diberikan tegangan positif dan depletion region mendorong holes untuk membatasi dengan p-substrate.

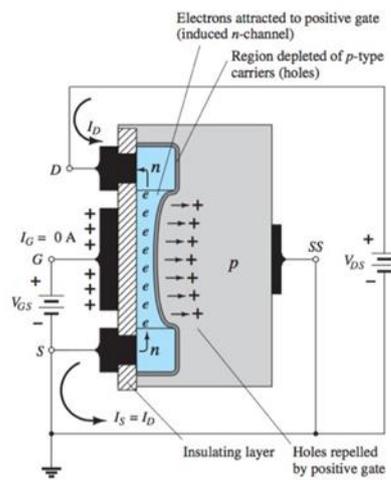


FIG. 6.33 Channel formation in the n-channel enhancement-type MOSFET.

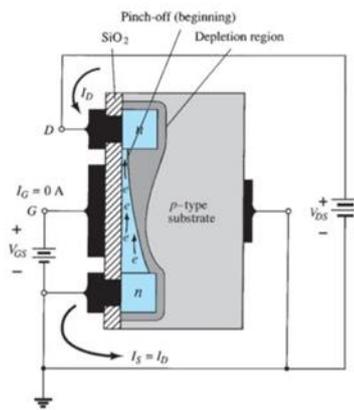


FIG. 6.34 Change in channel and depletion region with increasing level of V_{DS} for a fixed value of V_{GS} .

• Rumus-Rumus Penting

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_T)^2}$$

$$V_{DS_{sat}} = V_{GS} - V_T$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{DG} = V_{DS} - V_{GS}$$



- Cara Mengukur I_{DSS}
 1. Pin Gate dan Source JFET di hubung singkat
 2. Sambungkan kutub negatif (-) power supply ke nodal Gate dan Source.
 3. Sambung kabel negatif (-) multimeter ke pin Drain si JFET
 4. Sambung kabel positif (+) multimeter ke kutub positif (+) batre
 5. Jangan lupa multimeternya set di skala mA
- Rangkaian Ekuivalen AC FET

Setelah melakukan analisa DC pada FET dan dipastikan FET bekerja pada kondisi saturasi (aktif) dilakukan analisa AC untuk melihat seberapa besar amplifikasi arus / tegangan yang dihasilkan oleh FET. Berikut adalah bentuk ekuivalen rangkaian ac JFET.

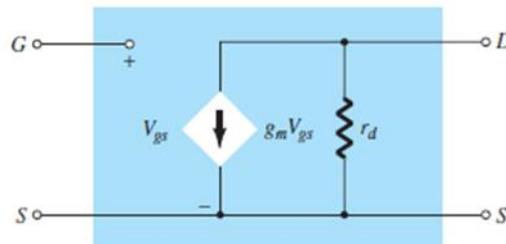


FIG. 8.8
JFET ac equivalent circuit.

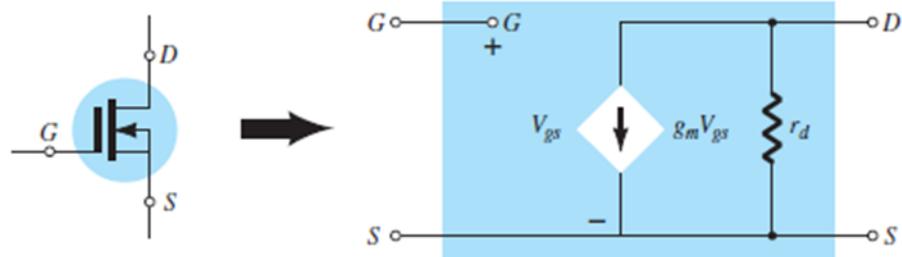


FIG. 8.33

D-MOSFET ac equivalent model.

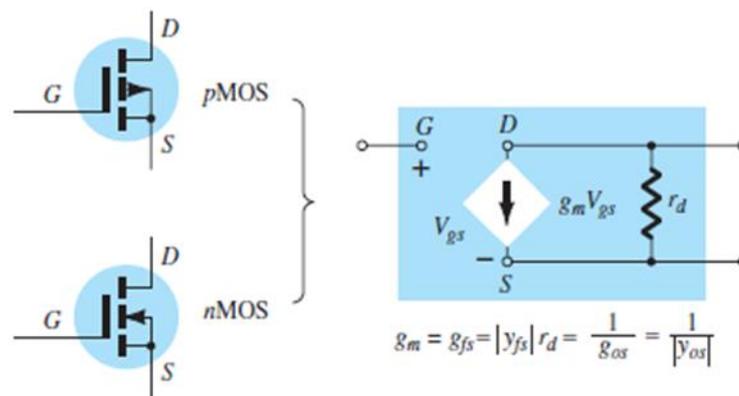


FIG. 8.36

Enhancement MOSFET ac small-signal model.

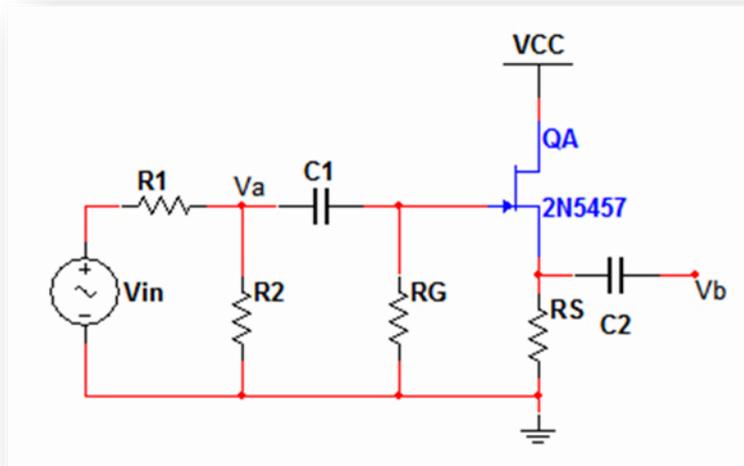
4. Praktikum

Langkah Percobaan

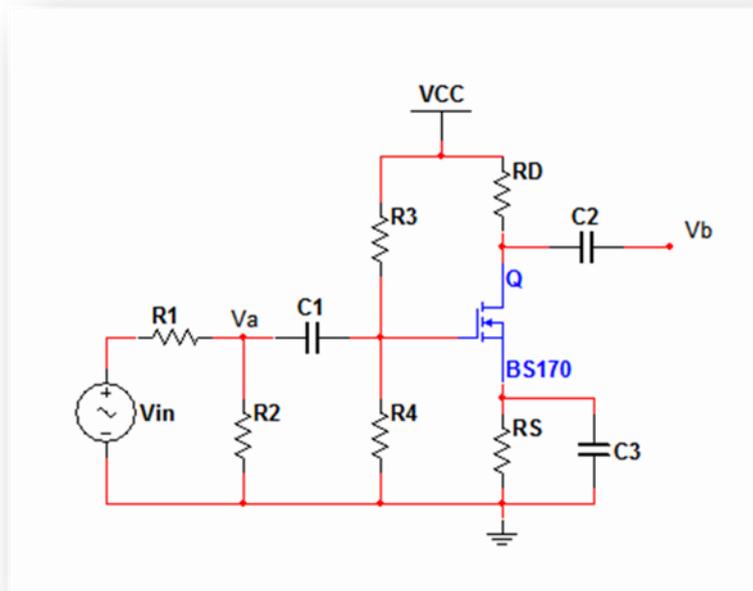
1. Susun rangkaian seperti gambar berikut.
2. Ukurlah V_a , V_b , I_{DSS} , V_P dan V_T .



o J-FET Common Drain



o E-MOSFET Common Source





Modul V

Respon Frekuensi Bipolar Junction Transistor (BJT)

1. Tujuan Praktikum

- Memahami analisis respon frekuensi dengan bode plot
- Memahami respon frekuensi rendah pada penguatan BJT
- Memahami respon frekuensi tinggi pada penguatan BJT

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Desibel dan diagram Bode
- Respon frekuensi
- Respon frekuensi pada rangkaian voltage divider BJT
- Analisa DC dan AC (frekuensi rendah dan tinggi) pada rangkaian BJT
- Kapasitansi yang terjadi pada rangkaian BJT
- Kurva frekuensi terhadap penguatan pada rangkaian BJT

3. Dasar Teori

3.1 Desibel

Desibel (dB) merupakan suatu satuan power ataupun audio yang berhubungan dengan basis logaritma yang merupakan perbandingan antara Daya keluaran dengan daya masukan suatu sistem. Dapat dituliskan sebagai berikut

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$



ataupun dalam perbandingan tegangan dapat dituliskan menjadi

$$G_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

perbandingan dengan satuan dB biasanya digunakan untuk mengetahui penguatan pada suatu sistem (A_v) dimana dapat terjadi penguatan (> 0 dB) ataupun terjadi pelemahan (< 0 dB) dan keterkaitannya dengan analisis frekuensi dan bode plot . Perbandingan keluaran terhadap masukan sistem dapat terlihat pada tabel 5.1

Voltage Gain, V_o/V_i	dB Level
0.5	-6
0.707	-3
1	0
2	6
10	20
40	32
100	40
1000	60
10,000	80
etc.	

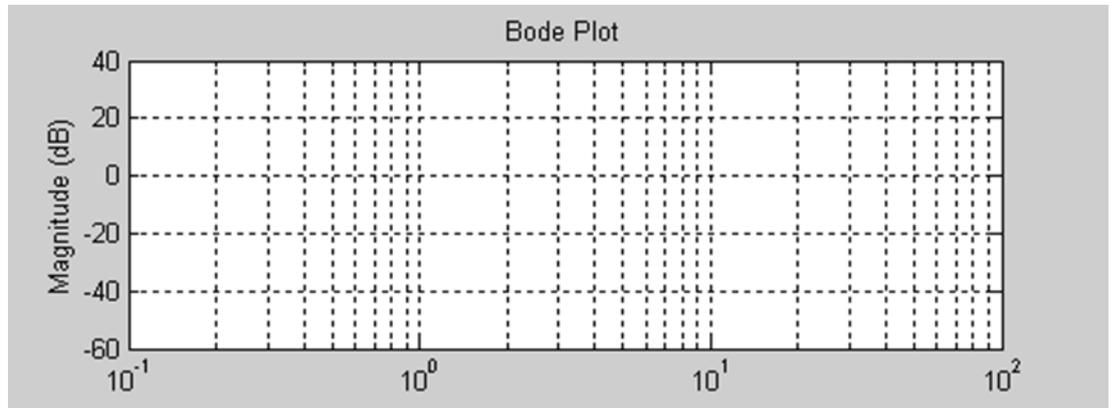
tabel 5.1 Perbandingan $A_v = V_o/V_i$ terhadap Db

3.2 Diagram Bode

Diagram Bode merupakan suatu metode analisa grafis dalam kawasan frekuensi, sehingga dapat dengan mudah menentukan sifat rangkaian bila bekerja pada frekuensi tertentu. Pembuatan diagram bode biasanya menggunakan kertas semilog graph yang ditunjukkan pada gambar 5.1 terlihat perubahan 1 decade pada



sisi horizontal yang menunjukkan frekuensi, dan biasanya pada sisi vertikal diberikan satuan dB untuk menunjukkan Magnitude, penguatan, pelemahan.



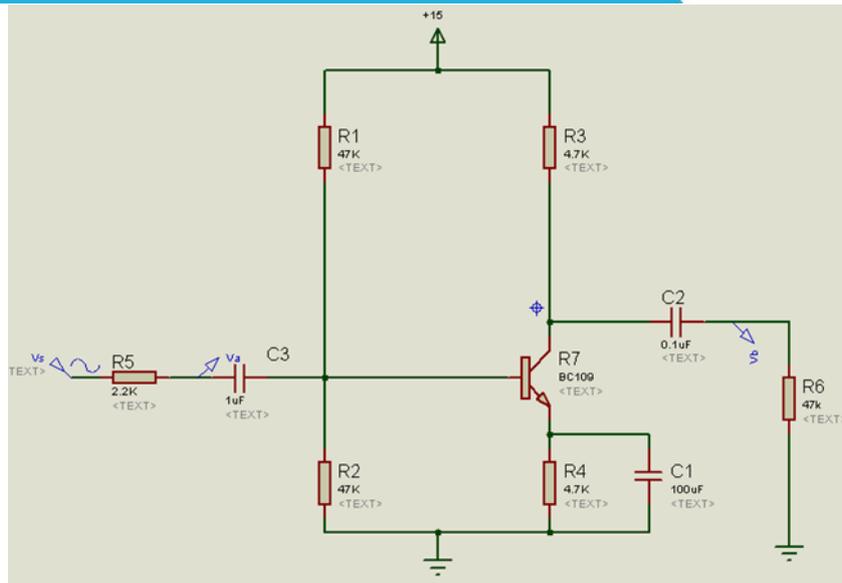
Gambar 5.1 Bode plot

3.3 Respon Frekuensi

Respon frekuensi merupakan suatu fenomena rangkaian terhadap nilai-nilai frekuensi yang diberikan pada rangkain itu. Pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi, terdapat kapasitor bypass dan coupling yang tidak dapat digantikan lagi dengan pendekatan short circuit maupun open circuit diakibatkan penambahan reaktansi dari elemen tersebut. Pada bab ini pendekatan tidak lagi dilakukan sehingga perhitungan nilai kapasitansi akan digunakan

3.4 Respon Frekuensi Pada Voltage Divider BJT

Rangkaian yang digunakan pada percobaan ini adalah voltage divider BJT dapat dilihat pada gambar 5.2 Terdapat capacitor C3 (Cin), C2 (Cout), C1 (CE) dimana pada percobaan ini dilakukan untuk melihat respon dari rangakaian BJT terhadap variasi frekuensi yang diberikan.



Gambar 5.2 Rangkaian Voltage divider BJT

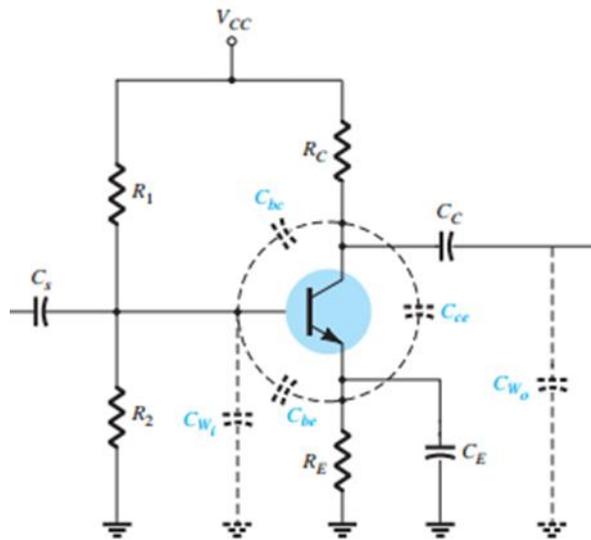
Pada analisa DC dimana frekuensinya adalah 0 maka capacitor C1, C2, dan C3 akan dianggap open circuit dikarenakan reaktansinya yang tak hingga. Namun pada analisa AC terdapat efek dari capacitor untuk setiap level frekuensi yang berbeda yaitu pada frekuensi rendah, menengah, dan tinggi.

Sebelum melanjutkan analisis perlu diketahui mengenai penamaan capacitor dan lokasinya, secara garis besar terdapat dua tipe capacitor yaitu :

- Practical capacitor : C_{in} , C_{out} , C_E seperti yang dijelaskan sebelumnya, berbentuk fisik dan dipasang pada rangkaian gambar 5.2.
- Virtual capacitor : C_{wi} , C_{wo} , C_{BE} , C_{BC} , C_{CE} , capacitor ini tidak berbentuk secara fisik namun muncul kapasitansi diantara kaki-kaki transistor akibat frekuensi tinggi atau yang sering dikenal yaitu efek miller.

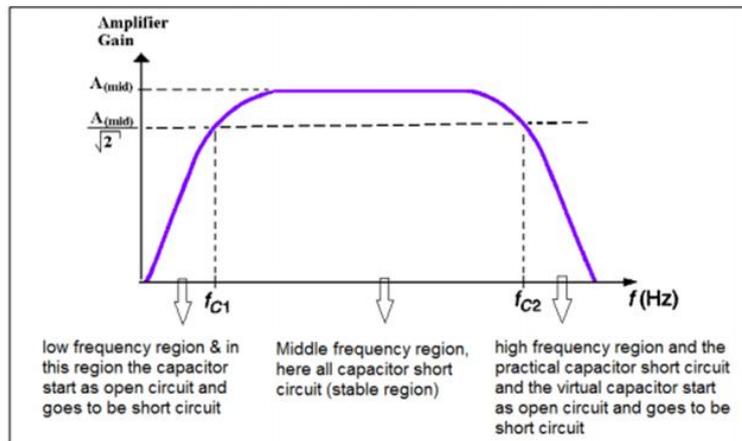


posisi virtual capacitor dapat dilihat pada gambar 5.3 Sehingga harus dilakukan pengukuran kembali dengan LCR meter untuk kapasitansi antar kaki-kaki transistor dan kapasitansi input & output terhadap ground.



Gambar 5.3 Virtual Capacitor

Selanjutnya variasi frekuensi akan menghasilkan penguatan yang berbeda-beda disetiap frekuensinya. Kurva antara penguatan (V_o/V_i) terhadap frekuensi ditunjukkan pada gambar 5.4 . Pada percobaan ini untuk mendapatkan hasil yang akurat kurva dibuat pada diagram bode.



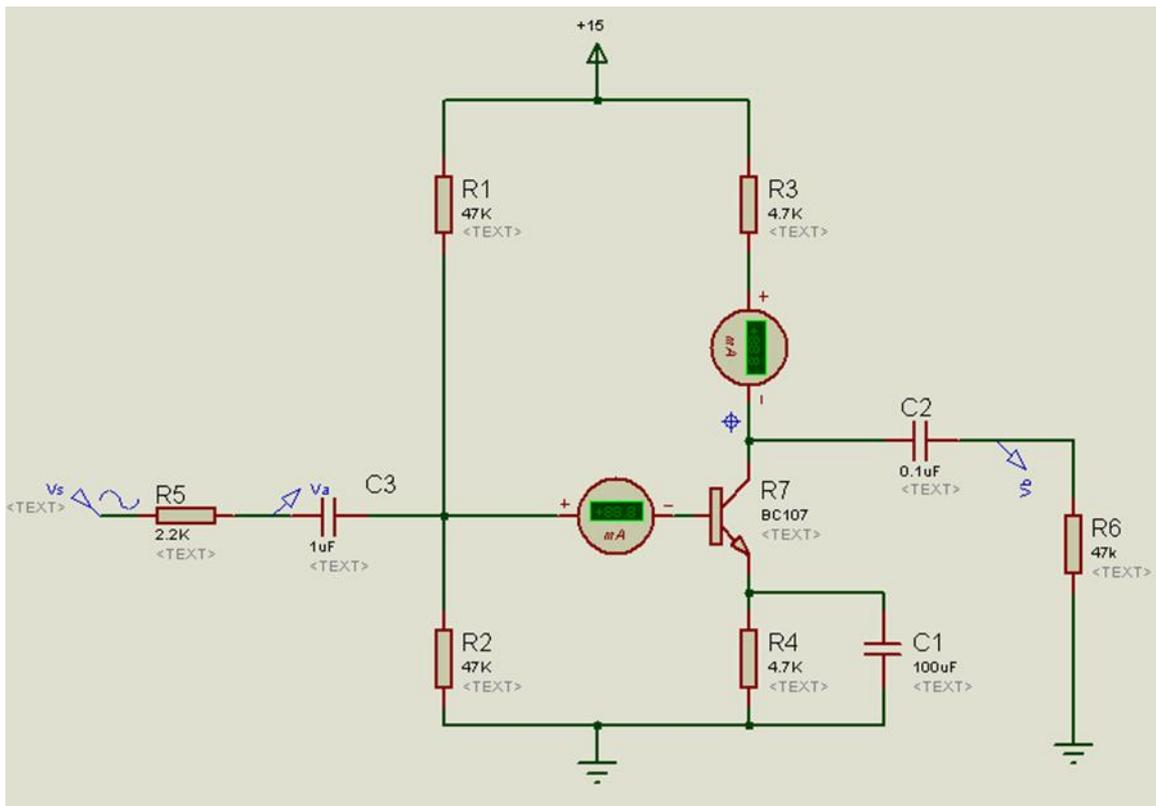
Gambar 5.4 Respon frekuensi terhadap penguatan BJT



Pada gambar 5.4 terdapat f_{c1} dan f_{c2} dimana hal tersebut dimaksudkan adalah frekuensi cutoff bawah dan frekuensi cutoff atas. Frekuensi cut off adalah dimana ketika penguatan turun sebesar 0.707 (-3dB) dari keadaan stabilnya. Sehingga pada percobaan ini kita akan mengetahui respon dari suatu sistem terhadap variasi frekuensi yang diberikan, rangkaian ini memiliki fungsi yang mirip seperti filter yang akan dipelajari pada modul filter aktif.

4. Praktikum

Rangkaian Voltage Divider BJT



1. Susun komponen sesuai dengan gambar rangkaian. Pastikan kaki-kaki komponen tidak ada yang short dan kaki transistor terpasang dengan benar.



2. Hubungkan rangkain dengan multimeter untuk mengukur I_B dan I_C dengan menggunakan kabel capit dan jumper. Pastikan multimeter terpasang dengan benar (seri untuk mengukur arus). Pastikan port yang digunakan pada multimeter benar (port arus DC untuk mengukur I_B (0.3mA), dan I_C 30mA)).
3. Hubungkan function generator dengan multimeter kemudian nyalakan function generator. Atur frekuensi menjadi 50 Hz dan juga amplitudo pada function generator agar V_s sesuai yang diinginkan.
4. Setelah didapat V_s yang diinginkan, sambungkan V_s dan VCC (15V) dari function generator ke rangkaian . Ukurlah V_a (VAC) dan V_b (VAC) lalu ukurlah arus I_b (A DC) dan I_c (A DC) dengan menggunakan multimeter.
5. Ulangilah langkah 3-4 dengan mengubah frekuensi yang berbeda-beda.
6. kembalikan sumber ke frekuensi 1Khz ukurlah kapasitansi C_{wi} dan C_{wo} dengan menggunakan LCR meter.
7. Setelah selesai cabutlah BJT dan ukurlah capacitansi antar kaki-kai BJT BE,EC, dan BC dengan menggunakan LCR meter.



5. Daftar Pustaka

1. Boylestad, Robert., Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory : eleventh Edition", Prentice Hall International Editions, 2013



Modul VI

Respon Frekuensi Field Effect Transistor (FET)

1. Tujuan Praktikum

- Memahami analisis respon frekuensi dengan bode plot
- Memahami respon frekuensi rendah pada penguatan FET
- Memahami respon frekuensi tinggi pada penguatan FET

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Desibel dan diagram Bode
- Respon frekuensi
- Respon frekuensi pada rangkaian voltage divider FET
- Analisa DC dan AC (frekuensi rendah dan tinggi) pada rangkaian FET
- Kapasitansi yang terjadi pada rangkaian FET
- Kurva frekuensi terhadap penguatan pada rangkaian FET
- Rangkuman Datasheet JFET 2N5457

3. Dasar Teori

a. Desibel

Desibel (dB) merupakan suatu satuan power ataupun audio yang berhubungan dengan basis logaritma yang merupakan perbandingan antara Daya keluaran dengan daya masukan suatu sistem. Dapat dituliskan sebagai berikut



$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

ataupun dalam perbandingan tegangan dapat dituliskan menjadi

$$G_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

perbandingan dengan satuan dB biasanya digunakan untuk mengetahui penguatan pada suatu sistem (A_v) dimana dapat terjadi penguatan (> 0 dB) ataupun terjadi pelemahan (< 0 dB) dan keterkaitannya dengan analisis frekuensi dan bode plot . Perbandingan keluaran terhadap masukan sistem dapat terlihat pada tabel 5.1

Voltage Gain, V_o/V_i	dB Level
0.5	-6
0.707	-3
1	0
2	6
10	20
40	32
100	40
1000	60
10,000	80
etc.	

tabel 5.1 Perbandingan $A_v = V_o/V_i$ terhadap Db

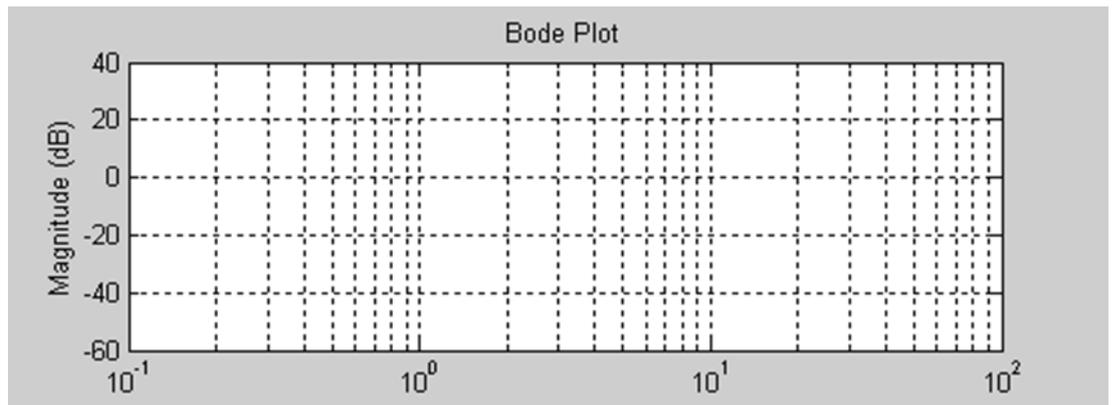
b. Diagram Bode

Diagram Bode merupakan suatu metode analisa grafis dalam kawasan frekuensi, sehingga dapat dengan mudah menentukan sifat rangkaian bila bekerja pada frekuensi tertentu. Pembuatan





diagram bode biasanya menggunakan kertas semilog graph yang ditunjukkan pada gambar 5.1 terlihat perubahan 1 decade pada sisi horizontal yang menunjukkan frekuensi, dan biasanya pada sisi vertikal diberikan satuan dB untuk menunjukkan Magnitude, penguatan, pelemahan.



Gambar 6.1 Bode plot

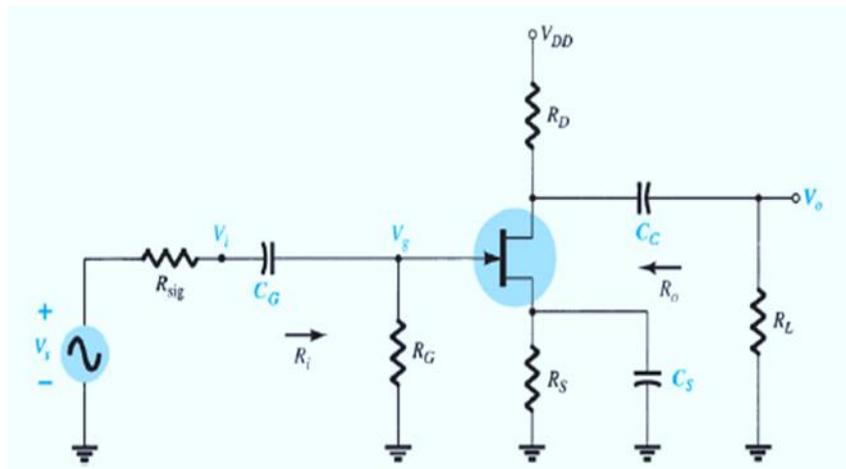
c. **Respon Frekuensi**

Respon frekuensi merupakan suatu fenomena rangkaian terhadap nilai-nilai frekuensi yang diberikan pada rangkain itu. Pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi, terdapat kapasitor bypass dan coupling yang tidak dapat digantikan lagi dengan pendekatan short circuit maupun open circuit diakibatkan penambahan reaktansi dari elemen tersebut. Pada bab ini pendekatan tidak lagi dilakukan sehingga perhitungan nilai kapasitansi akan digunakan.



d. **Respon Frekuensi Rendah pada Penguat FET**

Terdapat 3 kapasitor C_G , C_C , C_S dimana C_G dan C_S adalah coupling capacitors, sedangkan C_C adalah bypass capacitor. Rangkaian yang digunakan pada percobaan ini dilakukan untuk melihat respon dari rangkaian FET terhadap variasi frekuensi yang diberikan.



Gambar 6.2 Rangkaian self-bias FET

Pada analisa DC dimana frekuensinya adalah 0 maka kapasitor C_G , C_C , dan C_S akan dianggap open circuit dikarenakan reaktansinya yang tak hingga. Namun pada analisa AC terdapat efek dari kapasitor untuk setiap level frekuensi yang berbeda yaitu pada frekuensi rendah, menengah, dan tinggi.

Sebelum melanjutkan analisis perlu diketahui mengenai penamaan kapasitor dan lokasinya, secara garis besar terdapat dua tipe kapasitor yaitu :

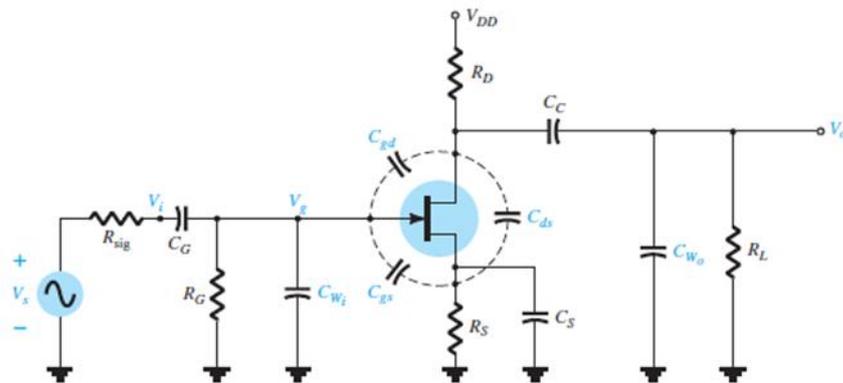
- Practical capacitor : C_G, C_C, C_S seperti yang dijelaskan sebelumnya, berbentuk fisik dan dipasang pada rangkaian gambar 6.2.



- Virtual capacitor : C_{wi} , C_{wo} , C_{gd} , C_{gs} , C_{ds} , kapasitor ini tidak berbentuk secara fisik namun muncul kapasitansi diantara kaki-kaki transistor akibat frekuensi tinggi atau yang sering dikenal yaitu efek miller (diantara Gate-Drain junction dengan frekuensi tinggi pada common source konfigurasi penguat FET).

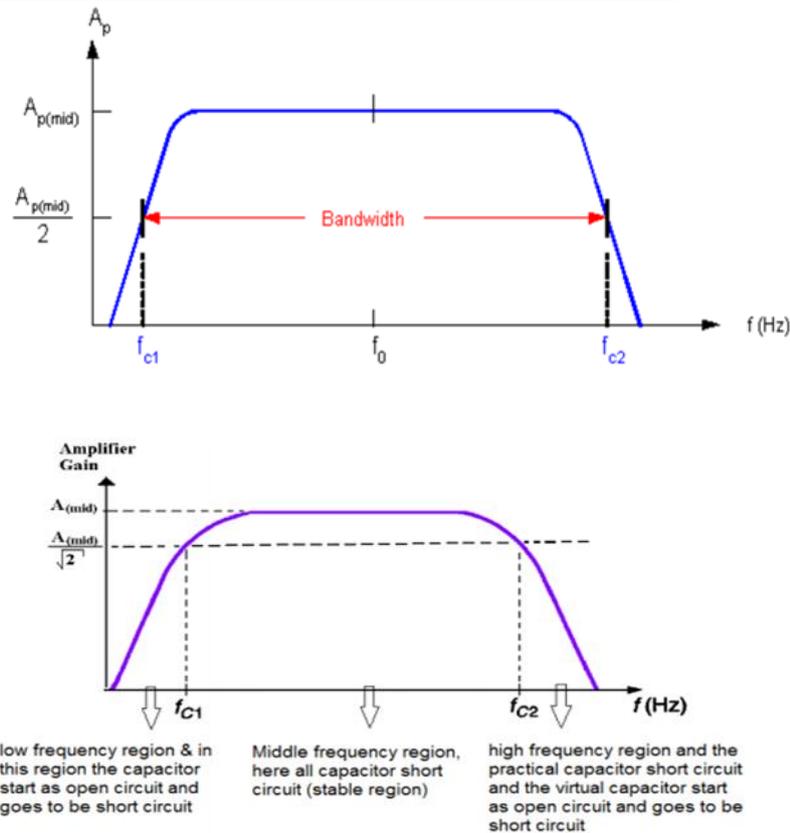
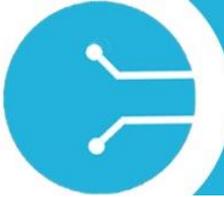
Posisi virtual capacitor dapat dilihat pada gambar 6.3 Sehingga harus dilakukan pengukuran kembali dengan LCR meter untuk kapasitansi antar kaki-kaki transistor dan kapasitansi input & output terhadap ground.

e. **Respon Frekuensi Tinggi pada Penguat FET**



Gambar 6.3 Virtual Capacitor

Selanjutnya variasi frekuensi akan menghasilkan penguatan yang berbeda-beda disetiap frekuensinya. Kurva antara penguatan (V_o/V_i) terhadap frekuensi ditunjukkan pada gambar 6.4 . Pada percobaan ini untuk mendapatkan hasil yang akurat kurva dibuat pada diagram bode .



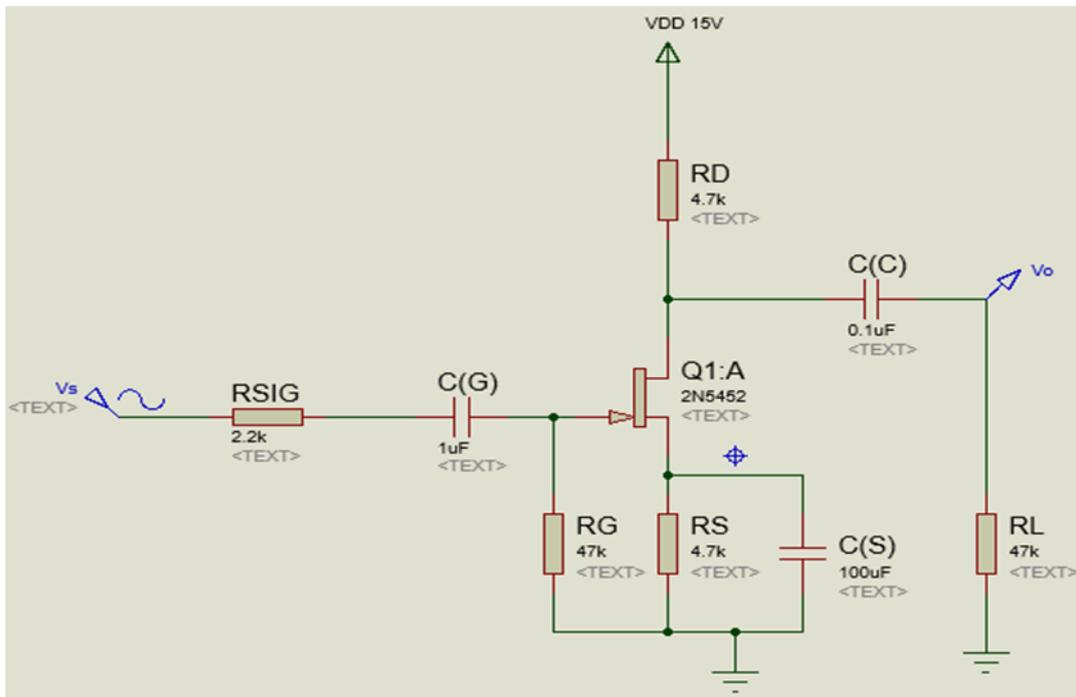
Gambar 6.4 Respon frekuensi terhadap penguatan FET

Pada gambar 6.4 terdapat f_{c1} dan f_{c2} dimana hal tersebut dimaksudkan adalah frekuensi cutoff bawah dan frekuensi cutoff atas. Frekuensi cut off adalah dimana ketika penguatan turun sebesar 0.707 (-3dB) dari keadaan stabilnya. Sehingga pada percobaan ini kita akan mengetahui respon dari suatu sistem terhadap variasi frekuensi yang diberikan, rangkaian ini memiliki fungsi yang mirip seperti filter yang akan dipelajari pada modul filter aktif.



4. Praktikum

Rangkaian Self Bias FET



1. Susun komponen sesuai dengan gambar rangkaian. Pastikan kaki-kaki komponen tidak ada yang short dan kaki transistor terpasang dengan benar.
2. Hubungkan rangkain dengan multimeter untuk mengukur V_i , V_o , I_{DSS} dan V_P dengan menggunakan kabel capit dan jumper.
3. Hubungkan function generator dengan multimeter kemudian nyalakan function generator. Atur frekuensi menjadi 50 Hz dan juga amplitudo pada function generator agar V_s sesuai yang diinginkan.



4. Setelah didapat V_s yang diinginkan, sambungkan V_s dan VCC (15V) dari function generator ke rangkaian . Ukurlah V_i , V_o , arus IDSS, dan VP dengan menggunakan multimeter.
5. Ulangilah langkah 3-4 dengan mengubah frekuensi yang berbeda-beda.
6. kembalikan sumber ke frekuensi 1Khz ukurlah kapasitansi C_{wi} dan C_{wo} dengan menggunakan LCR meter.
7. Setelah selesai cabutlah FET dan ukurlah kapasitansi antar kaki-kaki C_{gd} , C_{gs} dan C_{ds} dengan menggunakan LCR meter.

5. Daftar Pustaka

1. Alexander, Charles K., Sadiku, Matthew N.O. (2009). Fundamental of Electric Circuit (Fourth Edition). New York : McGraw-Hill.
2. Boylestad, Robert., Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory : eleventh Edition", Prentice Hall International Editions, 2013



Modul VII

Operasional Amplifier

1. Tujuan Praktikum

- Mempelajari kerja op-amp sebagai penguat
- Mempelajari penguat inverting dan non-inverting pada op-amp
- Mempelajari integrasi dan diferensiasi bentuk gelombang sinusoidal dan nonsinusoidal serta pengaruhnya terhadap amplitudo dan sudut fasanya

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Mengetahui karakteristik op-amp
- Mengetahui simbol dan rangkaian dalam op-amp
- Mengetahui apa itu tegangan offset dalam op-amp
- Mengetahui jenis-jenis rangkaian op-amp
- Mengetahui rangkaian inverting dan non-inverting pada op-amp
- Mengetahui cara kerja rangkaian penguat

3. Dasar Teori

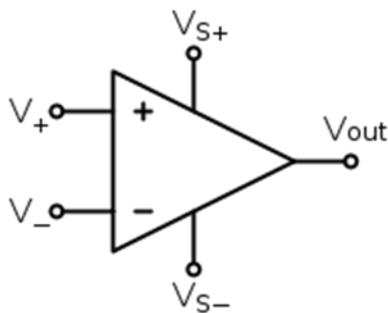
3.1. Pendahuluan

Operational Amplifier atau op-amp adalah sebuah divais penguat tegangan yang umumnya digunakan dengan komponen eksternal seperti resistor atau kapasitor pada terminal input dan outputnya. Dengan mengkombinasikan penggunaan resistor, kapasitor, atau keduanya, op-amp dapat melakukan berbagai fungsi atau operasi. Op-amp umumnya terintegrasi dalam suatu *Integrated Circuit* (IC), beberapa contoh IC op-amp adalah LM 741, TL071, LM311, dan beberapa variasi dari keduanya bisa dari catu dayanya

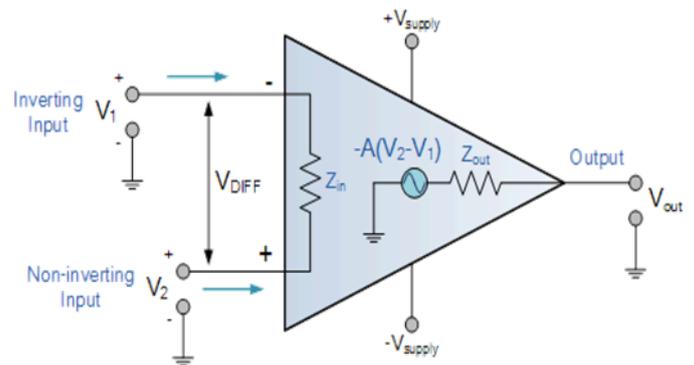


(*single power supply* atau *dual power supply*) atau dari banyaknya op-amp dalam satu IC (*single, dual, atau quadruple*).

Op-amp umumnya dianalisis sebagai op-amp ideal, hal ini memungkinkan karena IC op-amp pada umumnya berfungsi layaknya op-amp ideal. Op-amp ideal memiliki tiga terminal penting yaitu *Inverting Input*, umumnya diberi tanda minus (-); *Non-inverting Input*, umumnya diberi tanda plus (+); dan Output. IC op-amp sebenarnya juga memiliki dua terminal untuk *power supply*, V_{cc+} dan V_{cc-} untuk *dual power supply* Op-Amp atau V_{cc+} dan GND untuk *Single Power Supply* op-amp.



Gambar 1. Simbol op-amp



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen op-amp

Berikut karakteristik op-amp ideal yang berguna dalam menganalisis operasi kerja suatu op-amp:

➤ **Gain tegangan tak berhingga**

Gain tegangan tidak bergantung pada spesifikasi op-amp, melainkan pada konfigurasi rangkaian sehingga gain tegangan dapat dibuat berapapun sesuai kebutuhan.

➤ **Impedansi masukan tak berhingga**

Impedansi masukan tak berhingga menyebabkan tidak ada arus yang masuk ke melalui kedua terminal input

➤ **Impedansi keluaran bernilai nol**



➤ **Bandwidth tak berhingga**

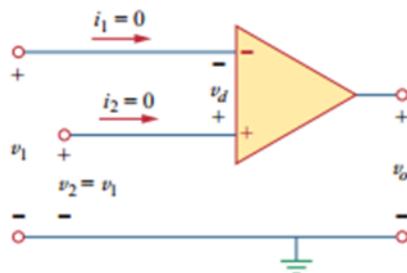
Bandwidth ada rentang frekuensi yang dilewatkan. Karakteristik ini biasanya digunakan dalam desain filter. Bandwidth rangkaian diatur melalui konfigurasi rangkaian sehingga bandwidth dapat dibuat berapapun sesuai kebutuhan.

➤ **Tegangan offset sebesar nol**

Tegangan offset adalah tegangan pada output ketika diberi tegangan input sebesar nol.

3.2. Ideal Op-Amp

Untuk melakukan analisis pada op-amp dilakukan pendekatan pada op-amp ideal dimana masing masing karakteristiknya telah diketahui sebelumnya. Berikut adalah gambar dari op-amp ideal



Gambar 3. Op-Amp Ideal

1. Arus pada kedua terminal input (inverting dan noninverting) nol

$$i_1 = 0, \quad i_2 = 0$$

Hal tersebut terjadi karena resistansi input pada rangkaian open loop tak hingga sehingga tidak ada arus yang masuk ke dalam op-amp. Namun arus output tidak nol.





2. Tegangan diantara input terminal sama dengan nol

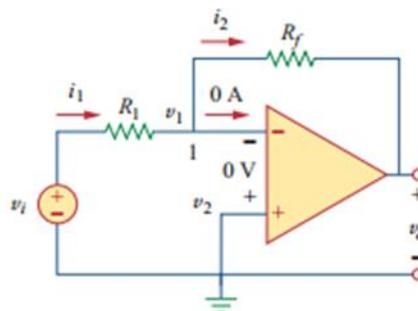
$$v_d = v_2 - v_1 = 0$$

$$v_1 = v_2$$

Pada ideal op amp tidak ada arus yang masuk ke dalam op-amp sehingga tegangan diantara input juga nol. Sehingga tegangan pada *input inverting* dan *noninverting* sama.

3.3. Inverting Op-Amp

Pada sesi ini dibahas mengenai aplikasi op-amp sebagai penguat pembalik. Input non inverting dihubungkan dengan ground. v_i terhubung dengan resistor R_1 dan juga resistor feedback R_f yang terhubung dengan v_o .



Gambar 4. Op-Amp Inverting Amplifier

Dengan menerapkan KCL pada node 1 maka

$$i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{v_i - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$



telah dijelaskan sebelumnya pada ideal op amp $V_1 = V_2$. V_2 terhubung dengan ground dimana tegangannya adalah 0 V sehingga $V_1 = V_2 = 0V$. Sehingga persamaan menjadi

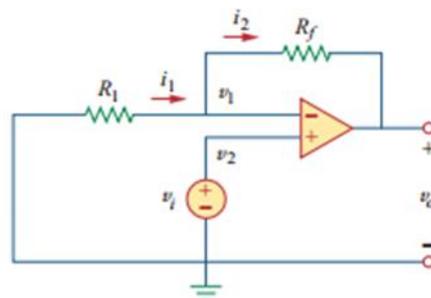
$$\frac{v_i}{R_1} = -\frac{v_o}{R_f}$$

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1}v_i$$

Sehingga gain yang didapatkan $A_v = V_o/V_i = -R_f/R_i$. Didapatkan output yang bertanda negatif yang berarti output akan berbeda polaritasnya terhadap input.

3.4. Noninverting Amplifier

Aplikasi op-amp yang lainnya adalah rangkaian noninverting amplifier dimana input langsung diberikan pada terminal noninverting. Resistor R_1 diberikan diantara inverting terminal dan ground dan R_2 sebagai feedback antara input inverting dan output.



Gambar 5. Op-Amp NonInverting Amplifier

terapkan KCL pada inverting terminal sehingga

$$i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{0 - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$



Pada ideal op amp $V_1=V_2$ dimana V_2 sama dengan V_{input} sehingga $V_1=V_2=V_i$

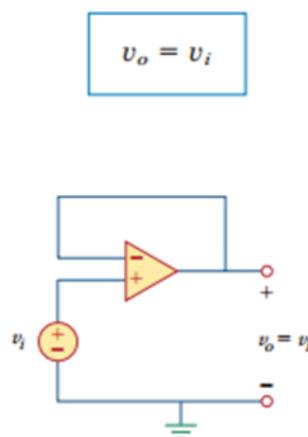
$$\frac{-v_i}{R_1} = \frac{v_i - v_o}{R_f}$$

atau

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)v_i$$

Sehingga didapatkan gain $A = V_o/V_i = 1 + R_f/R_i$. Tidak terdapat perbedaan tanda antara input dan output sehingga polaritas pada tegangan output sama dengan tegangan input.

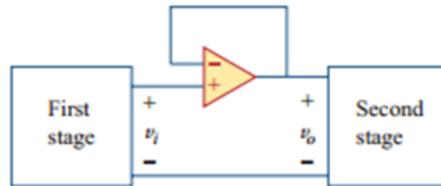
Pada kondisi lain op-amp juga digunakan sebagai intermediate stage (buffer) dimana gainnya 1 ($R_f=0, R_1=\infty$). Rangkaian tersebut dinamakan voltage follower (atau unity gain amplifier) . Tegangan pada rangkaian voltage follower



Gambar 6. Voltage Follower

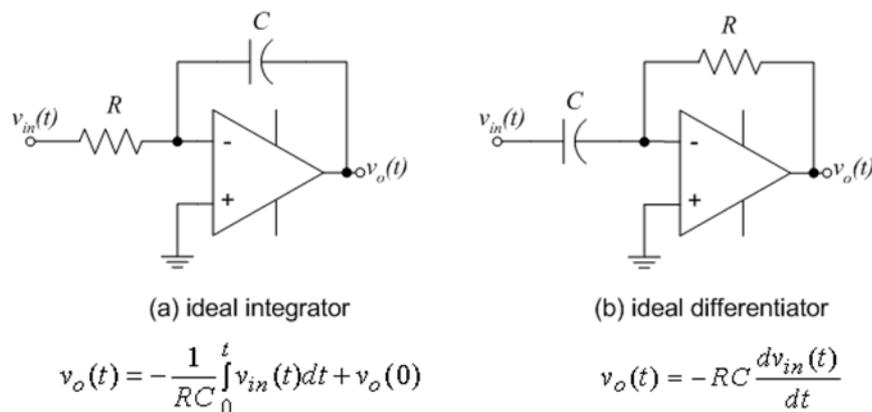


rangkaian voltage follower (buffer) digunakan untuk mengisolasi satu rangkaian dengan rangkaian lainnya. Rangkaian tersebut meminimalisir interaksi antara 2 rangkaian dan mengeliminasi interstage loading.



Gambar 7. Voltage follower digunakan untuk mengisolasi dua rangakain yang dicascade

Selain sebagai penguat tegangan, IC op-amp umumnya digunakan juga sebagai komparator. Komparator dapat membandingkan masukan pada inverting input dan noninverting input. Hal yang terjadi adalah selisih tegangan pada kedua masukan dikuatkan sesuai dengan penguatan tegangan lup terbuka (open loop gain). Umumnya penguatan tersebut lebih besar dari 100 sehingga yang terjadi adalah tegangan output menjadi tersaturasi, hanya ada dua kemungkinan keluaran yaitu tegangan positif mendekati Vcc positif dan tegangan negatif mendekati Vcc negatif.



Gambar 4. Rangkaian Integrator Ideal dan Diferensiator Ideal



Hukum Kirchoff I pada rangkaian integrator

$$\frac{v_{in}(t) - 0}{R} = C \frac{d(0 - v_o(t))}{dt}$$

$$\frac{v_{in}(t)}{R} = -C \frac{dv_o(t)}{dt}$$

$$dv_o(t) = -\frac{1}{RC} v_{in}(t) dt$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_{in}(t) dt + v_o(0)$$

Hukum Kirchoff I pada rangkaian differensiator

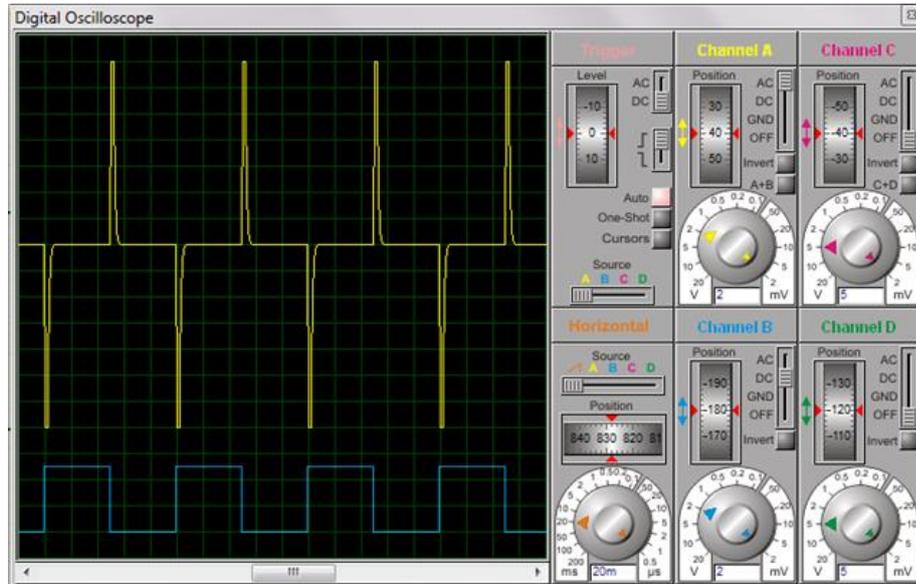
$$C \frac{d(v_{in}(t) - 0)}{dt} = \frac{0 - v_o(t)}{R}$$

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_{in}(t)}{dt}$$

Selain menggunakan resistor sebagai komponen eksternal dari sebuah rangkaian op-amp, umumnya sebuah kapasitor juga dapat digunakan. Kapasitor yang dapat melewatkan arus sesuai dengan perubahan tegangan terhadap waktu (diferensiasi) dapat membuat rangkaian op-amp yang dikenal sebagai diferensiator dan integrator. Rangkaian pada gambar di atas adalah rangkaian Integrator dan Diferensiator. Rangkaian ini dapat melakukan operasi layaknya integral atau differensial terhadap suatu gelombang masukan. Rangkaian ini memiliki suatu frekuensi transisi dimana terjadi pemisahan frekuensi saat gelombang diberi penguatan dan saat gelombang dilakukan integrasi/diferensiasi. Diferensiator Ideal nyatanya tidak

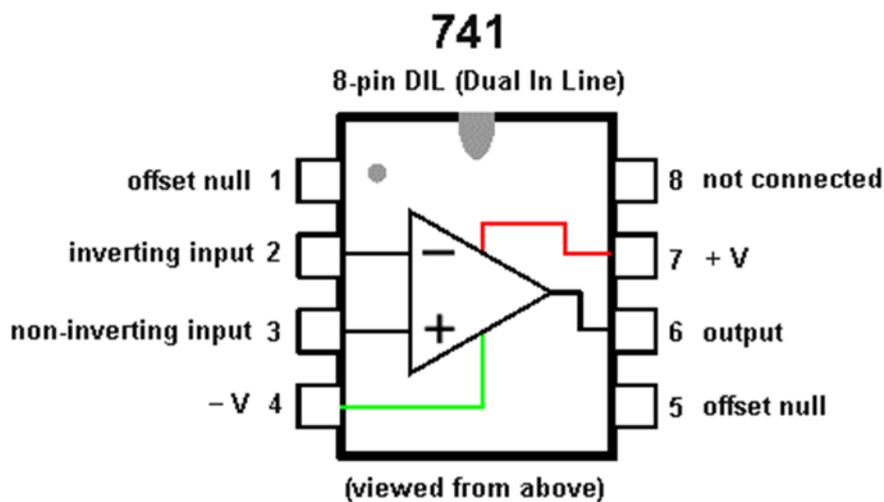


digunakan secara praktik karena rentannya terhadap high frequency noise yang akan dikuatkan dengan sangat tinggi, karena respons frekuensi dari rangkaian diferensiator ideal yang semakin diperkuat saat frekuensi tinggi[3].



Gambar 5. Hasil Gelombang Terdiferensiasi dari Input Pulsa DC

DataSheet Op-Amp 741

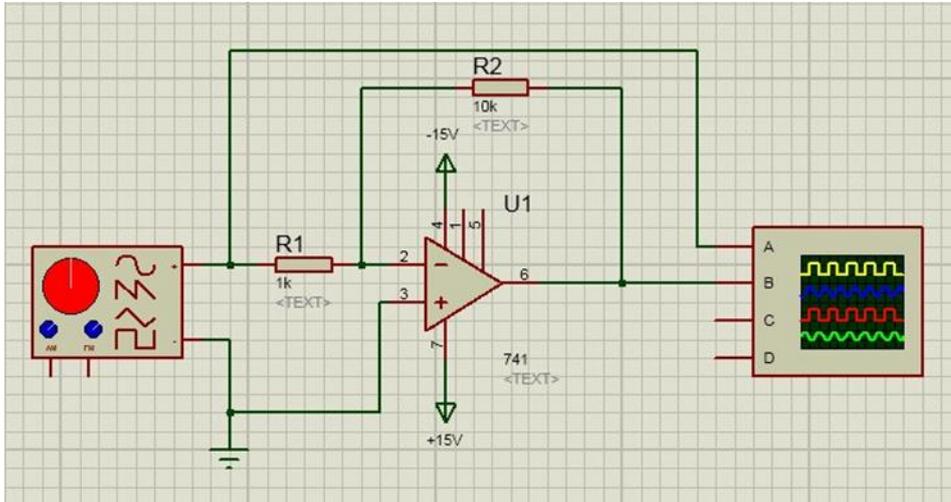


Gambar 8. Pinout IC 741



4. Praktikum

➤ Rangkaian Penguat Pembalik (Inverting Amplifier)

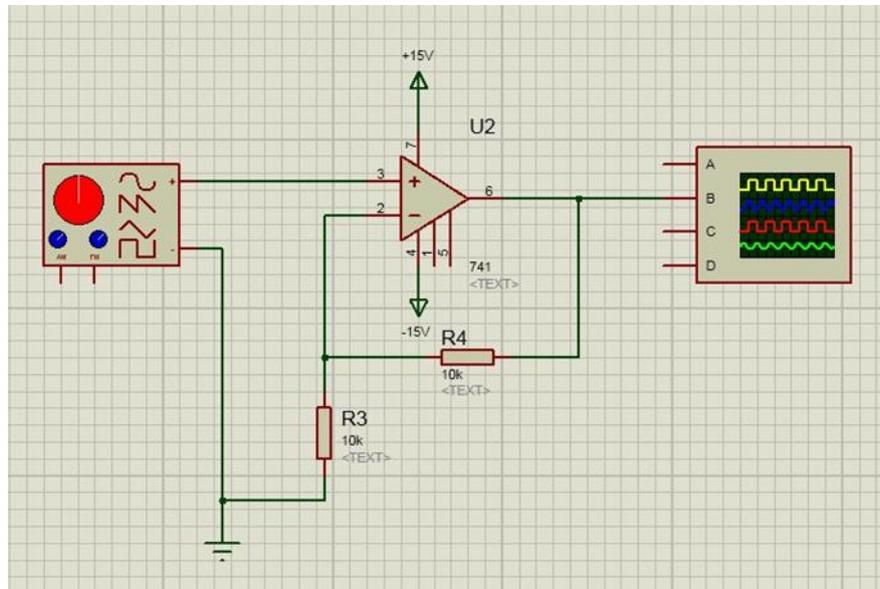


Langkah Percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti gambar di atas! Nilai resistansi R1 dan R2 akan diberikan oleh asisten laboratorium
2. Buatlah gelombang sinusoidal dengan amplituda dan frekuensi yang ditentukan oleh asisten laboratorium pada Signal Generator.
3. Perhatikan dan catat nilai tegangan output yang tertera pada osiloskop dan alat ukur
4. Ulangi langkah kedua dan ketiga dengan tegangan input yang berbeda yang berbeda



➤ Rangkaian Penguat Tidak Membalik (Noninverting Amplifier)

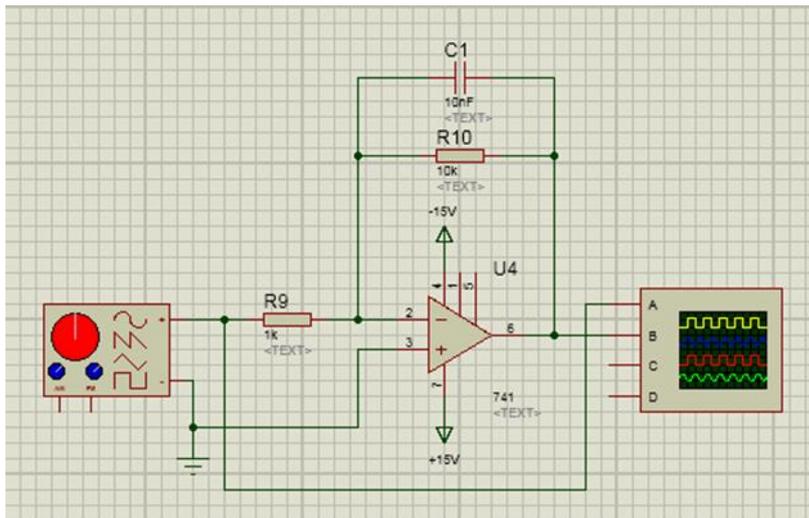


Langkah Percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti gambar di atas! Nilai resistansi R1 dan R2 akan diberikan oleh asisten laboratorium
2. Buatlah gelombang sinusoidal dengan amplituda dan frekuensi yang ditentukan oleh asisten laboratorium pada Signal Generator.
3. Perhatikan dan catat nilai tegangan output yang tertera pada osiloskop dan alat ukur
4. Ulangi langkah kedua dan ketiga dengan tegangan input yang berbeda



➤ Percobaan Rangkaian Pembanding (Comparator)

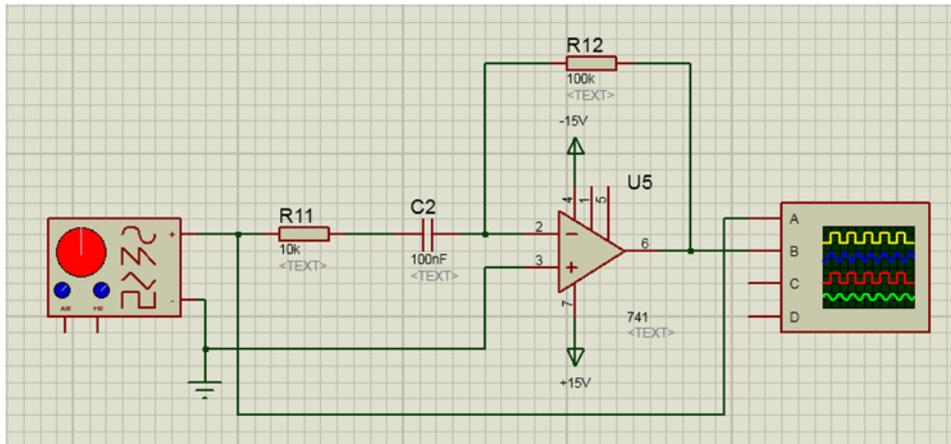


Langkah Percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti gambar di atas! Gunakan R9 sebesar 1K dan R10 sebesar 10K, C1 sebesar 10nF dan Power Supply sebesar +/-15V
2. Aturilah generator sinyal agar mengeluarkan gelombang persegi dengan $V = 3 V_{p-p}$ dan frekuensi sebesar 10 Hz
3. Amati gelombang masukan dan keluarannya pada osiloskop
4. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk frekuensi sebesar 14kHz
5. Ulangi langkah 2, 3, dan 4 untuk gelombang segitiga dan sinusoidal
6. Ubah resistansi R10 menjadi 22K, dan ulangi langkah 2, 3, 4, dan 5



➤ Percobaan Rangkaian Diferensiator



Langkah Percobaan:

1. Buatlah rangkaian seperti gambar di atas! Gunakan R11 sebesar 10K dan R12 sebesar 100K, C1 sebesar 100nF dan Power Supply sebesar +/-15V
2. Aturilah generator sinyal agar mengeluarkan gelombang persegi dengan $V = 3 V_{p-p}$ dan frekuensi sebesar 10 Hz
3. Amati gelombang masukan dan keluarannya pada osiloskop
4. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk frekuensi sebesar 14kHz
5. Ulangi langkah 2, 3, dan 4 untuk gelombang segitiga dan sinusoidal
6. Ubah resistansi R11 menjadi 22K, dan ulangi langkah 2, 3, 4, dan 5



5. Daftar Pustaka

- Alexander, Charles K., Sadiku, Matthew N.O. (2009). Fundamental of Electric Circuit (Fourth Edition). New York : McGraw-Hill.
- www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_1.html
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/opamp.html#c2>
- <http://www.ee.nmt.edu/~rhb/spr05-ee212/lab/lab0>



Modul VIII

Filter Aktif

1. Tujuan Praktikum

- Praktikan dapat mengetahui fungsi dan kegunaan dari sebuah filter.
- Praktikan dapat mengetahui karakteristik sebuah filter.
- Praktikan dapat membuat suatu filter aktif dengan karakteristik yang diinginkan.

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Pengertian Dasar Filter elektronik
- Pengertian Filter Ideal
- Jenis Filter berdasarkan komponennya
- Jenis Filter berdasarkan frekuensi yang diloloskan
- Cara kerja filter secara umum

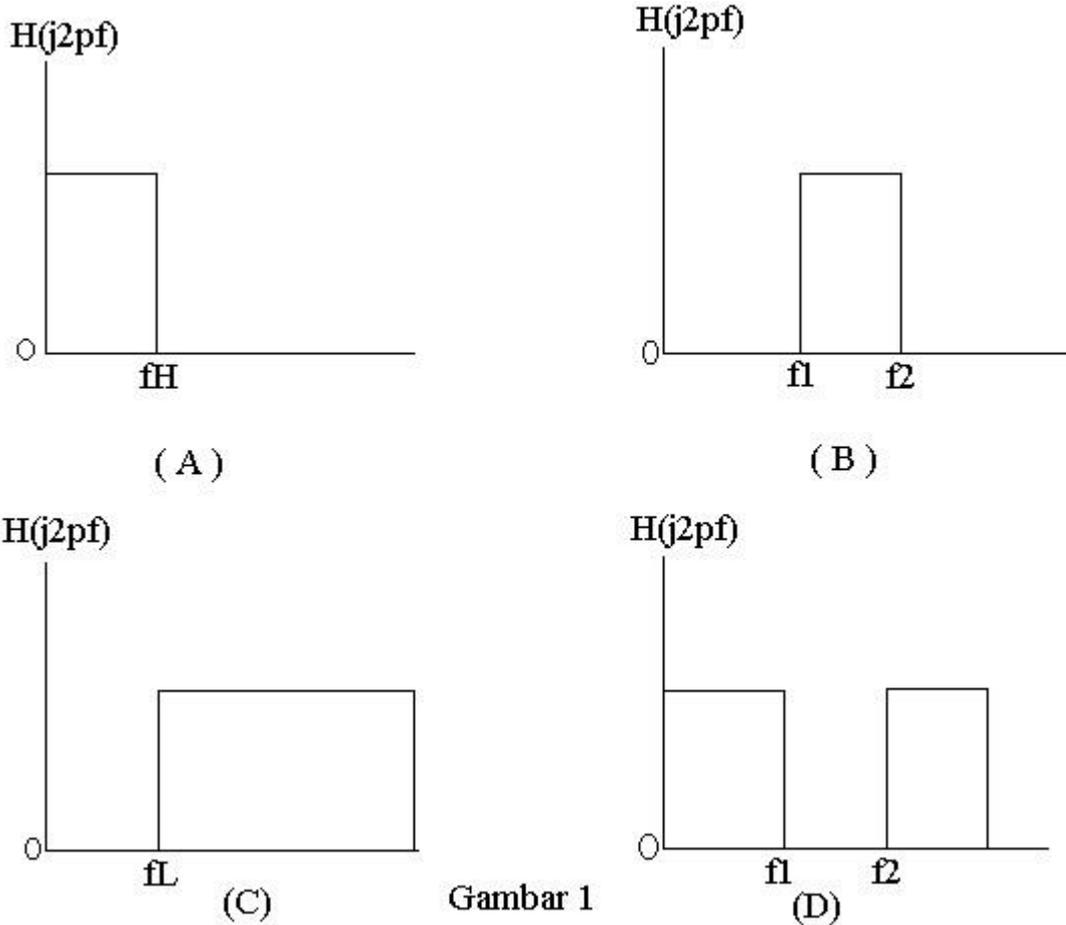
3. Dasar Teori

3.1. Pendahuluan

Filter aktif RC adalah rangkaian pemilah frekuensi yang komponen-komponen pasifnya terdiri dari tahanan (R), kapasitor (C) dan Op Amp sebagai komponen aktifnya. Tidak digunakannya induktor merupakan suatu keuntungan terutama dalam fabrikasi rangkaian terpadu, induktor dalam fabrikasi rangkaian terpadu maupun dalam rangkaian diskrit menggunakan space yang cukup besar sehingga tidak diinginkan. Ada empat jenis filter yang



mempunyai tanggapan frekuensi ideal seperti ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini:



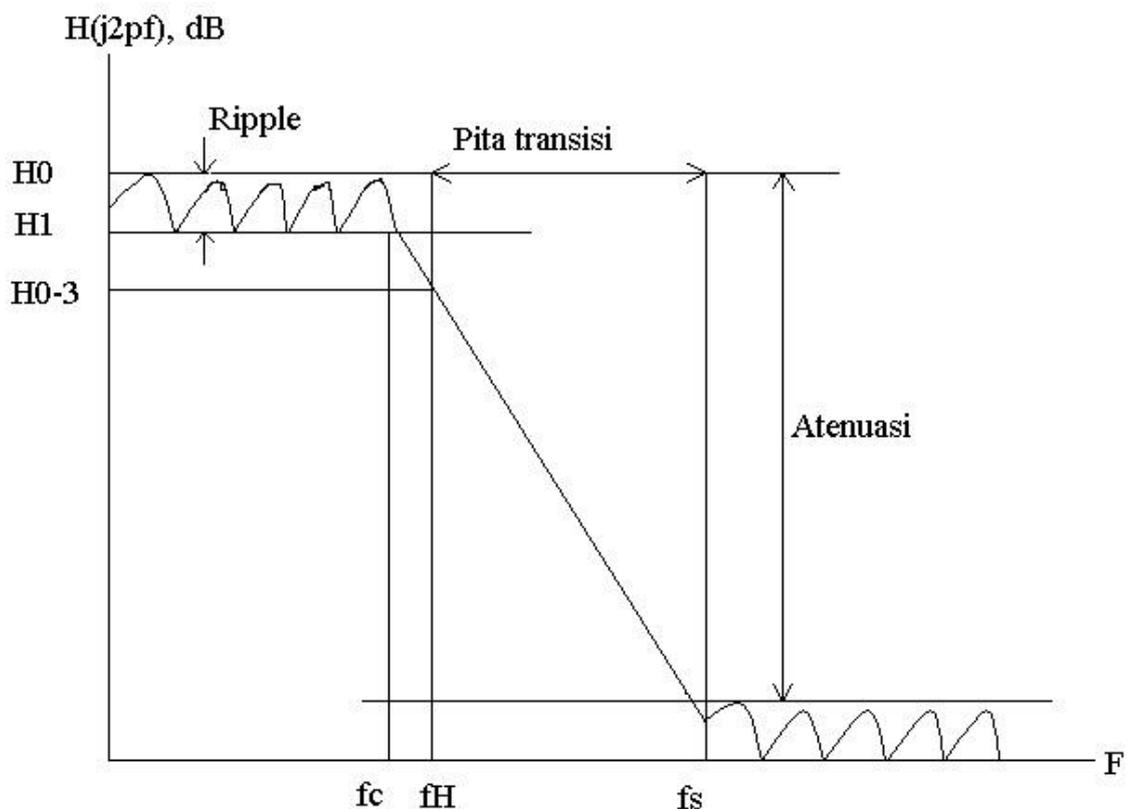
Respon frekuensi filter ideal tersebut ialah dari jenis:

- Lewat bawah (Low Pass), keluaran filter (yang mungkin merupakan penguatan), yang dinyatakan oleh $H(j2\pi f)$ muncul untuk frekuensi-frekuensi rendah, dalam gambar ditunjukkan dari frekuensi nol sampai frekuensi batas atas f_H .
- Lewat pita (Band Pass), keluaran filter yang dinyatakan oleh $H(j2\pi f)$ muncul untuk frekuensi-frekuensi antara frekuensi batas bawah f_1 dan frekuensi batas atas f_2 .



- Lewat atas (High Pass), keluaran filter yang dinyatakan oleh $H(j2\pi f)$ muncul untuk frekuensi-frekuensi antara frekuensi batas bawah f_1 dan frekuensi batas atas tak terhingga.
- Eliminasi pita / penolakan pita (Band Rejection), keluaran filter yang dinyatakan oleh $H(j2\pi f)$ tidak muncul untuk frekuensi-frekuensi antara frekuensi batas bawah f_1 dan frekuensi batas atas f_2 .

Pada kenyataannya, tanggapan frekuensi sebuah filter tidak seideal seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Tanggapan $H(j2\pi f)$ tidak tetap besarnya, bervariasi antara harga maksimum H_0 dan H_1 . Beda antara H_0 dan H_1 dinamakan kerutan (ripple). Untuk lebih jelasnya pada gambar 2 akan terlihat karakteristik yang sesungguhnya dari suatu filter lewat bawah (Low Pass).





Jika melihat dari persamaan fungsi transfer dari suatu filter aktif, dapat dibagi menjadi sebagai berikut:

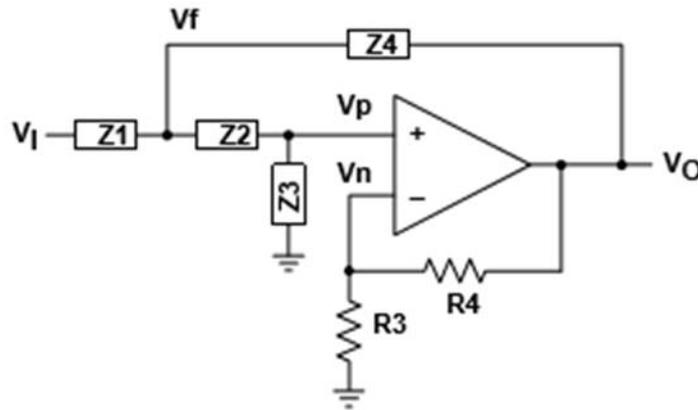
1. **Filter Butterworth**, merupakan filter yang keluarannya dapat mengurangi atenuasi, seiring dengan bertambahnya orde dari filter tersebut.
2. **Filter Chebyshev**, merupakan filter yang keluarannya dapat mengurangi ripple, seiring dengan bertambahnya orde dari filter tersebut.
3. **Filter Bassel**, merupakan filter yang keluarannya dapat mengurangi perbedaan fasa, seiring dengan bertambahnya orde dari filter tersebut.

Jika melihat dari topologi atau konfigurasi rangkaian suatu filter aktif, dapat dilihat topologi seperti:

1. **Filter Sallen Key**, merupakan filter aktif, yang digunakan untuk orde genap ($n = 2, 4, 6, \dots$) sehingga dapat langsung menghasilkan orde 2 (atau kelipatannya) dan dapat menghemat pemakaian komponen lainnya.
2. **Filter Multiple Feedback**, merupakan filter aktif yang digunakan untuk orde genap ($n = 2, 4, 6, \dots$), konfigurasi ini merupakan inverting amplifier pada dasarnya, sehingga fasa yang dihasilkan berbeda 180 derajat dari fasa asli sumber.



Penurunan Rumus Sallen-Key Architecture Active Filter



Kirchoff Current Law pada titik Vf:

$$Vf \left(\frac{1}{Z1} + \frac{1}{Z2} + \frac{1}{Z4} \right) = Vi \left(\frac{1}{Z1} \right) + Vp \left(\frac{1}{Z2} \right) + Vo \left(\frac{1}{Z4} \right)$$

Kirchoff Current Law pada titik Vp:

$$Vp \left(\frac{1}{Z2} + \frac{1}{Z3} \right) = Vf \left(\frac{1}{Z2} \right) \rightarrow Vf = Vp \left(1 + \frac{Z2}{Z3} \right)$$

Substitusikan persamaan KCL Vf ke dalam persamaan KCL Vp:

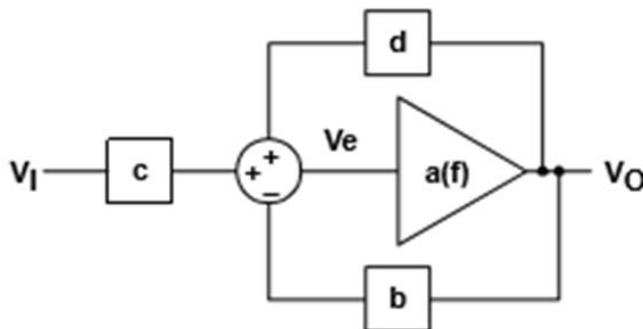
Vp

$$= Vi \left(\frac{Z2Z3Z4}{Z2Z3Z4 + Z1Z2Z4 + Z1Z2Z3 + Z2Z2Z4 + Z2Z2Z1} \right) + Vo \left(\frac{Z1Z2Z3}{Z2Z3Z4 + Z1Z2Z4 + Z1Z2Z3 + Z2Z2Z2Z4 + Z2Z2Z1} \right)$$

Kirchoff Current Law pada titik Vn:

$$Vn \left(\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} \right) = Vo \left(\frac{1}{R4} \right) \rightarrow Vn = Vo \left(\frac{R3}{R3 + R4} \right)$$

Gain-Block Diagram





Sesuai dengan persamaan $V_p = V_i * c + V_o * d$, dibuat representasi Gain Block Diagram dengan nilai c dan d sebagai berikut:

$$c = \frac{Z_2 * Z_3 * Z_4}{Z_2 * Z_3 * Z_4 + Z_1 * Z_2 * Z_4 + Z_1 * Z_2 * Z_3 + Z_2 * Z_2 * Z_4 + Z_2 * Z_2 * Z_1}$$

$$d = \frac{Z_1 * Z_2 * Z_3}{Z_2 * Z_3 * Z_4 + Z_1 * Z_2 * Z_4 + Z_1 * Z_2 * Z_3 + Z_2 * Z_2 * Z_4 + Z_2 * Z_2 * Z_1}$$

Sesuai dengan persamaan V_n , didapatkan nilai b sebagai berikut:

$$b = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

dan a(f) adalah nilai open-loop gain dari amplifier.

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{a(f)b} - \frac{d}{b}}\right)$$

Fungsi Transfer Ideal

Open loop gain dari amplifier sangat besar sehingga:

$$\frac{1}{a(f)b} \cong 0$$

Menjadikan fungsi transfer berdasarkan gain block diagram menjadi seperti:





$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{c}{b} \left(\frac{1}{1 - \frac{d}{b}} \right)$$

Dengan memasukkan nilai $1/b = K$, didapatkan fungsi transfer umum dari sebuah filter menggunakan Sallen Key architecture sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{K}{\frac{Z_1 Z_2}{Z_3 Z_4} + \frac{Z_1}{Z_3} + \frac{Z_2}{Z_3} + \frac{Z_1(1-K)}{Z_4} + 1}$$

Fungsi Transfer High Pass Filter dan Frekuensi Cutoff

Menggunakan penurunan rumus dari fungsi transfer filter ideal di atas, dapat dihasilkan fungsi transfer untuk filter high pass dengan gain unity sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\frac{1}{s^2(R_1 R_2 C_1 C_2)} + \frac{1}{s(R_2 C_1)} + \frac{1}{s(R_2 C_2)} + 1}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Fungsi Transfer Low Pass Filter dan Frekuensi Cutoff

Menggunakan penurunan rumus dari fungsi transfer filter ideal di atas, dapat dihasilkan fungsi transfer untuk filter low pass dengan gain unity sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{s^2(R_1 R_2 C_1 C_2) + s(R_1 C_2 + R_2 C_2) + 1}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$



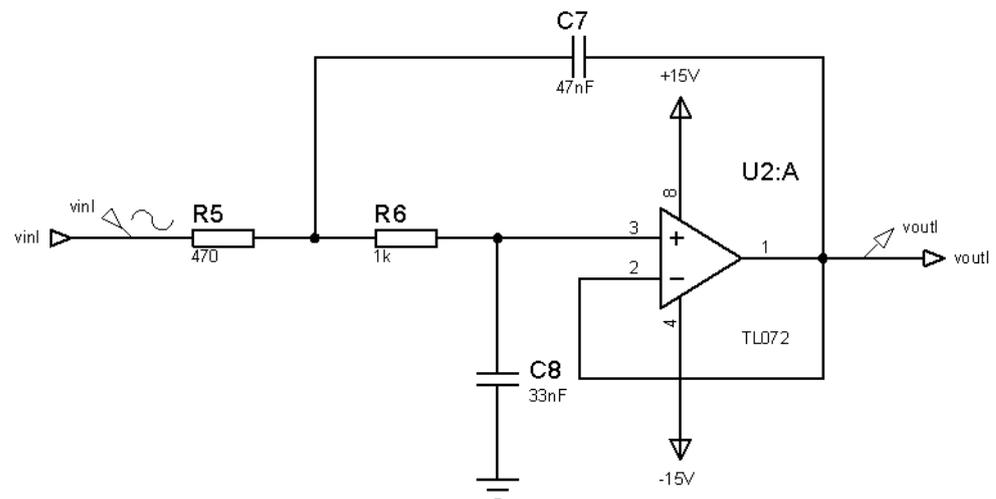
4. Praktikum

➤ Low Pass Filter

○ Alat dan Bahan

- Function generator
- Oscilloscope
- Protoboard dan kabel penghubung
- DC power supply
- Komponen:
 - Resistor: $220\Omega/1W$ (2); $100\Omega/2W$ (1); $100k\Omega/0,5W$ (1)
 - Kapasitor: $0,1\mu F/400V$ (2)
 - Op Amp (1)

○ Rangkaian Percobaan



○ Langkah Percobaan

1. Susun rangkaian seperti pada gambar.
2. Pasang function generator dengan mode gelombang sinusoidal pada kanal input dan oscillator pada kanal output.



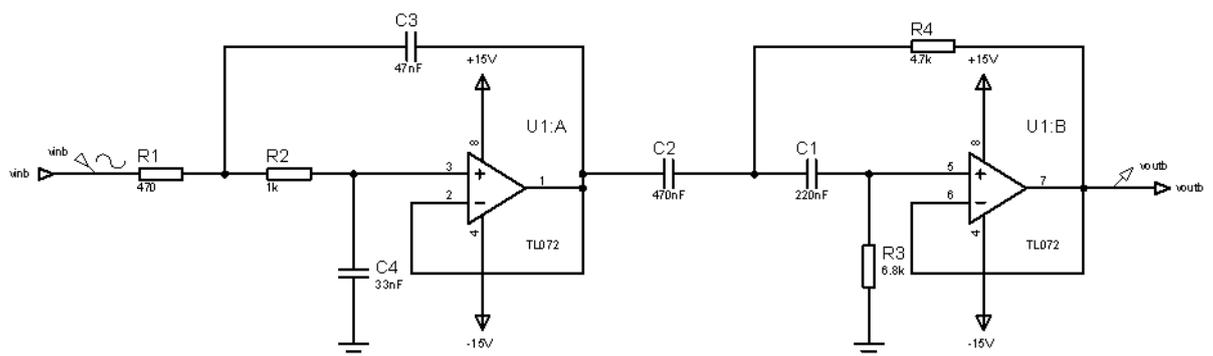
3. Beri catu daya pada rangkaian, catat level tegangan dan frekuensi yang tertera pada oscilloscope untuk masukan frekuensi yang berbeda.

➤ **Band Pass Filter**

○ **Alat dan Bahan**

- Function generator
- Oscilloscope
- Protoboard dan kabel penghubung
- DC power supply
- Komponen:
 - Resistor: 2.2kΩ/0.5W (1); 4.7kΩ/0.5W (2); 6.8kΩ/0.5W (1);
 - Kapasitor: 4.7nF/200V (1); 470nF/200V (1); 330nF/200V (1); 2.2nF/200V (1);
 - TL-072 (2)

○ **Rangkaian Percobaan**





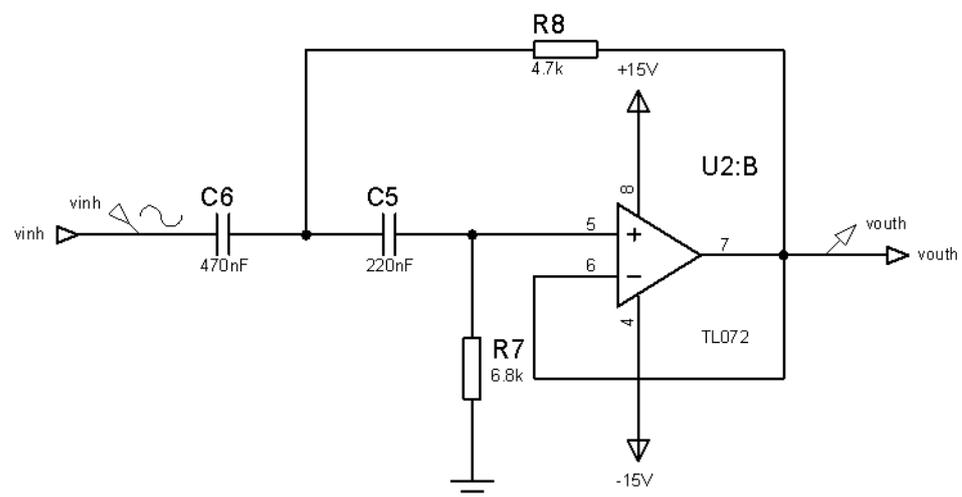
- Langkah Percobaan
 1. Susun rangkaian seperti pada gambar.
 2. Pasang function generator dengan mode gelombang sinusoidal pada kanal input dan oscillator pada kanal output.
 3. Beri catu daya pada rangkaian, catat level tegangan dan frekuensi yang tertera pada oscilloscope untuk masukan frekuensi yang berbeda.

➤ **High Pass Filter**

○ Alat dan Bahan

- Function generator
- Oscilloscope
- Protoboard dan kabel penghubung
- DC power supply
- Komponen:
 - Resistor: $220\Omega/1W$ (2); $100\Omega/2W$ (1); $100k\Omega/0,5W$ (1)
 - Kapasitor: $0,1\mu F/400V$ (2)
 - Op Amp (1)

○ Rangkaian Percobaan





○ Langkah Percobaan

1. Susun rangkaian High Pass dan Low Pass secara seri.
2. Pasang function generator dengan mode gelombang sinusoidal pada kanal input dan oscillator pada kanal output.
3. Beri catu daya pada rangkaian, catat level tegangan dan frekuensi yang tertera pada oscilloscope untuk masukan frekuensi yang berbeda.

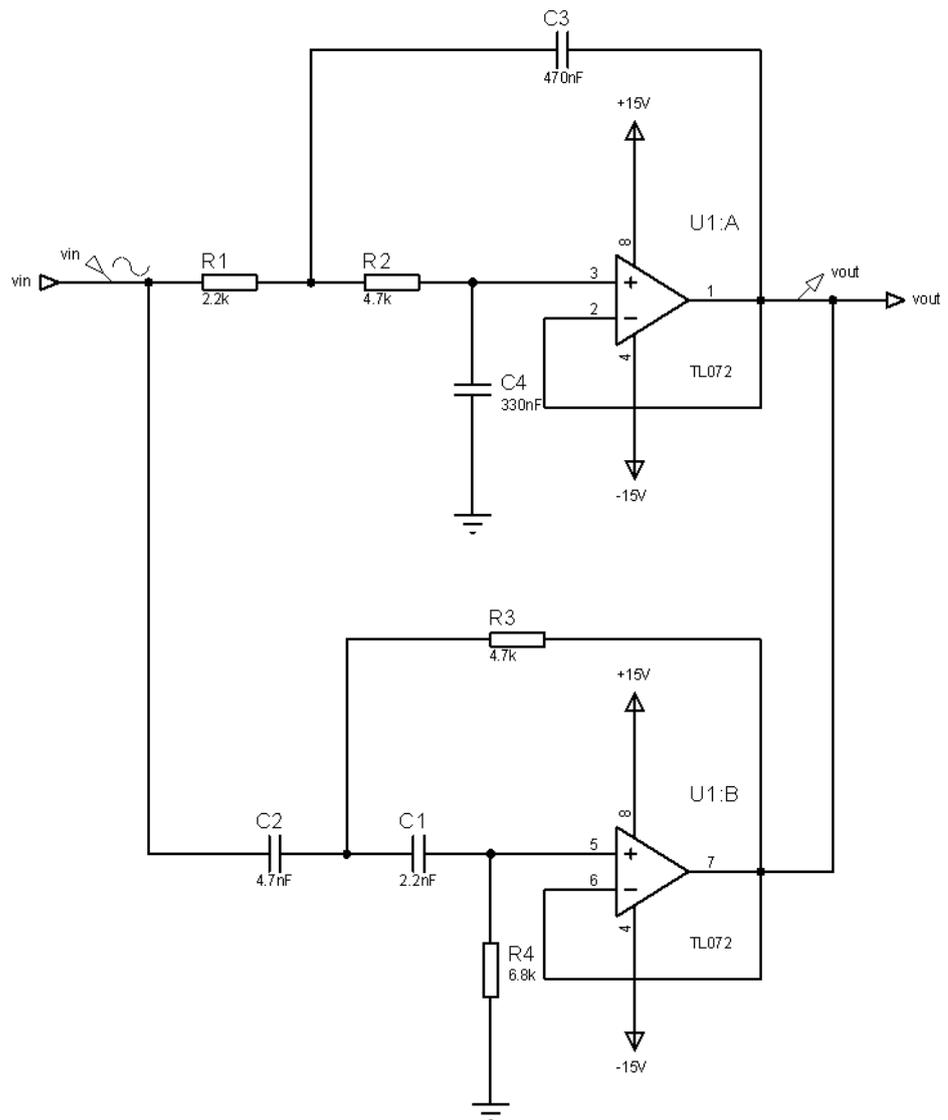
➤ **Band Reject Filter**

○ Alat dan Bahan

- Function generator
- Oscilloscope
- Protoboard dan kabel penghubung
- DC power supply
- Komponen:
 - Resistor: $2.2\text{k}\Omega/0.5\text{W}$ (1); $4.7\text{k}\Omega/0.5\text{W}$ (2); $6.8\text{k}\Omega/0.5\text{W}$ (1);
 - Kapasitor: $4.7\text{nF}/200\text{V}$ (1); $470\text{nF}/200\text{V}$ (1); $330\text{nF}/200\text{V}$ (1); $2.2\text{nF}/200\text{V}$ (1);
 - TL-072 (2).



o Rangkaian Percobaan



o Langkah Percobaan

1. Susun rangkaian High Pass dan Low Pass secara seri.
2. Pasang function generator dengan mode gelombang sinusoidal pada kanal input dan oscillator pada kanal output.
3. Beri catu daya pada rangkaian, catat level tegangan dan frekuensi yang tertera pada oscilloscope untuk masukan frekuensi yang berbeda.



5. Daftar Pustaka

- Sutanto, Rangkaian Elektronika Analog dan Terpadu.
- Millman, Jacob & Arvin Grabel, Microelectronics.
- Millman, Jacob & Christos Halkias, Integrated Electronics.



Modul IX

Aplikasi Rangkaian Elektronika

1. Tujuan Praktikum

- Memahami cara kerja dari rangkaian sensor cahaya sebagai saklar otomatis lampu 220 VAC
- Memahami cara kerja dari rangkaian multivibrator diskrit dan IC
- Memahami cara kerja dari motor driver untuk motor DC dengan menggunakan MOSFET

2. Poin-Poin Dasar Teori

- Cara kerja sensor LDR dan prinsip voltage divider
- Komparator dan saklar menggunakan op-Amp dan BJT
- Relay sebagai saklar AC dengan menggunakan kendali DC
- Vibrator diskrit dengan transistor, capacitor, dan resistor
- Vibrator IC 555
- Motor driver H-Bridge dengan MOSFET dan optocoupler

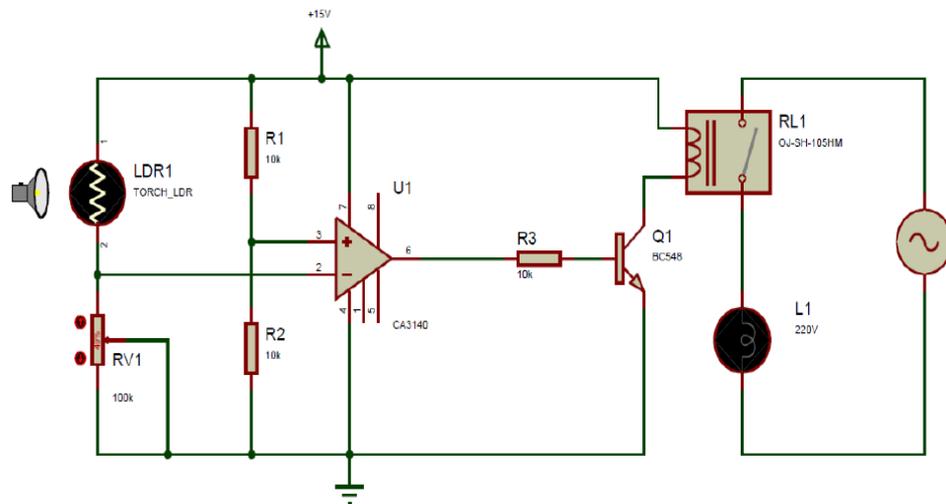
3. Dasar Teori

Sensor Cahaya Sebagai Saklar Otomatis lampu 220V

Rangkaian ini merupakan rangkaian yang dapat menyalakan dan mematikan lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya yang mengenai sensor. Rangkaian ini menggunakan sensor LDR (Light Dependent Resistor) untuk mengukur intensitas cahaya yang diubah menjadi hambatan listrik. Semakin besar intensitas cahaya mengenai



sensor semakin rendah nilai resistansi sensor. Skematik rangkaian dapat dilihat pada gambar 9.1 .sekian :



Gambar 9.1 Gambar sensor cahaya sebagai saklar

Terdapat 3 stage pada skematik di atas, sensor stage, komparator stage dan switch stage. Berikut adalah penjelasan masing-masing stage.

a. Sensor stage

Stage ini terdiri dari LDR dan sebuah *variable* resistor (biasa dikenal dengan sebutan potensiometer) yang terhubung dengan sumber tegangan. Keduanya yang bersifat resistif ini digunakan sebagai *voltage divider* dari nilai tegangan sumber. Pada dasarnya, penggunaan potensio dapat digantikan dengan *fixed* resistor. Namun, pengguna tidak dapat mengatur dengan sesuka hati kapan lampu akan menyala pada intensitas cahaya yang seberapa. Dengan kombinasi kedua resistor tersebut, nilai tegangan pada potensiometer digunakan sebagai input untuk komparator stage. Pada modul ini, tegangan pada potensiometer menjadi input *inverting* komparator. Ketika intensitas cahaya sedang tinggi, nilai tegangan pada potensiometer akan mendekati V_{CC} , sedangkan nilai



tegangan potensiometer akan mendekati 0 V ketika intensitas cahaya rendah.

b. Komparator *Stage*

Stage ini memiliki fungsi untuk menerjemahkan pembacaan sensor LDR. *Stage* ini terdiri dari sepasang *fixed* resistor sebagai *voltage divider* dan Op-amp yang digunakan sebagai komparator dan keduanya terhubung langsung dengan sumber tegangan. Dengan menentukan batas nilai tegangan yang diinginkan oleh pengguna, komparator dapat menerjemahkan intensitas cahaya yang ditangkap oleh sensor LDR. Batas nilai tegangan ini ditentukan oleh sepasang *fixed* resistor yang terhubung dengan input non-inverting dari Op-amp. Dengan demikian, input *non-inverting* digunakan sebagai tegangan referensi. Ketika intensitas cahaya sedang tinggi, nilai tegangan non-inverting lebih rendah dari nilai tegangan inverting, dan begitu sebaliknya. Oleh karena itu, intensitas cahaya yang tinggi dan rendah diterjemahkan sebagai logika 0 & 1 secara berurutan.

c. Switch *Stage*

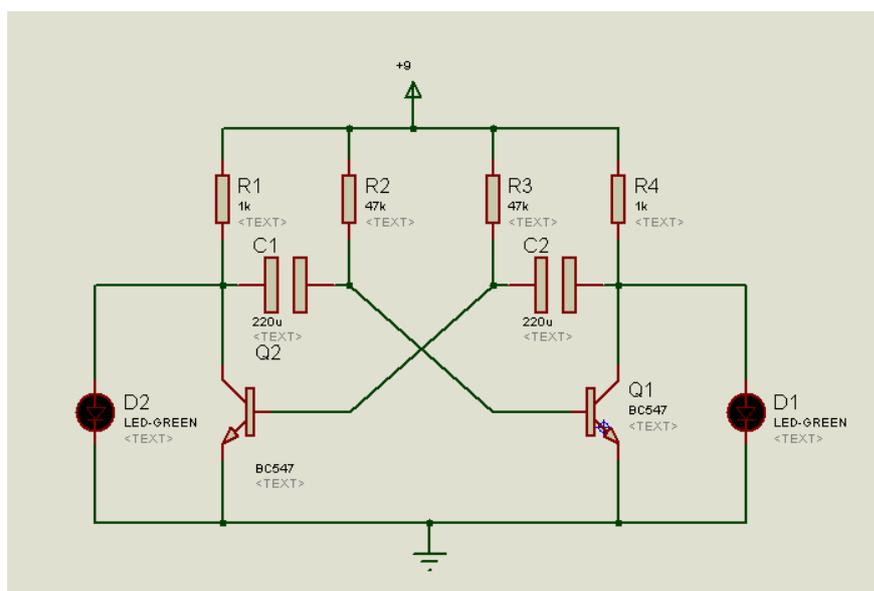
Stage ini terdiri dari BJT NPN sebagai saklar dan relay sebagai saklar pada rangkaian lampu AC. Ketika intensitas cahaya sedang tinggi, relay dalam keadaan normally open, dan sebaliknya. Kondisi ini diatur oleh BJT NPN yang memperoleh input dari keluaran komparator. Bagian kumparan dari relay dihubungkan ke collector BJT NPN. Ketika intensitas cahaya tinggi, logika 0 menjadi input BJT NPN, menyebabkan tidak adanya arus pada base sehingga BJT berada dalam mode cut-off. Tidak ada arus base menyebabkan tidak adanya arus collector, sehingga tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan relay dan tidak tercipta medan magnet yang dapat menarik switch relay yang terbuat dari logam. Lampu dalam keadaan



mati. Ketika intensitas cahaya rendah, logika 1 menjadi input BJT NPN, menyebabkan adanya arus pada base dan collector sehingga BJT berada dalam keadaan saturasi. Adanya arus collector menyebabkan adanya arus yang melewati kumparan relay sehingga medan magnet tercipta dan dapat menarik switch relay. Lampu dalam keadaan menyala. Perlu diketahui bahwa lampu harus selalu terhubung dengan sumber 220V.

Astable Multivibrator dengan Komponen Diskrit

Rangkaian ini merupakan rangkaian *oscillator* yang berfungsi sebagai penghasil sinyal yang periodik dengan bentuk sinyal kotak, sehingga sinyal yang dihasilkan memiliki nilai logika 0 dan 1. Sinyal periodik yang dihasilkan tidak memerlukan trigger untuk mengubahnya menjadi logika 0 menjadi 1 dan sebaliknya, melainkan rangkaian ini didesain agar sinyal dapat beresilasi secara bebas. Oleh karena itu astable multivibrator biasa juga disebut dengan *Free Running Multivibrator*. Disebut multivibrator karena terdapat 2 output yang beresilasi berbeda fase.



Gambar 9.2 Rangkaian multivibrator diskrit



Rangkaian ini memiliki dua stage yang identik yang masing-masing terdiri dari BJT NPN sebagai switch, pasangan kapasitor dan resistor, LED. Cara kerja dari rangkaian ini adalah sebagai berikut:

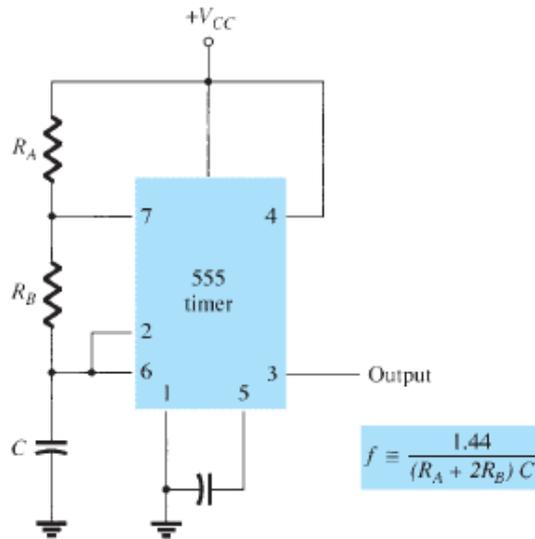
- a. Analisa rangkaian ini dimulai dengan mengasumsikan BJT mana yang akan aktif dan tidak aktif terlebih dahulu. Misal, asumsikan BJT Q1 yang akan aktif dan Q2 yang akan tidak aktif terlebih dahulu.
- b. Agar Q1 aktif, arus base mengalir dari V_{CC} melalui R_3 sehingga arus collector mengalir melalui R_1 menuju terminal emitter. Karena collector dan emitter Q1 terhubung singkat, maka arus tidak akan mengalir melalui LED biru yang memiliki hambatan yang lebih besar.
- c. Karena Q2 tidak aktif maka terminal collector dan emitter Q2 terbuka. Arus yang mengalir melalui Q4 akan langsung menuju LED kuning sehingga LED kuning akan menyala. Pada saat yang bersamaan kapasitor mengalami pengisian akibat adanya arus yang mengalir pada R_3 dan R_4 .
- d. Setelah kapasitor terisi penuh, kapasitor mengalami pengosongan. Ketika mengalami pengosongan arus base mengalir melalui R_2 menjadikan Q2 aktif dan arus mengalir melalui collector Q2 menuju emitter Q2. LED kuning dalam keadaan mati. Dengan cara yang sama maka LED biru menyala. Proses ini terus berulang secara sekuensial.

Astable Multivibrator dengan IC LM555

Perbedaan rangkaian ini dengan sebelumnya adalah penggunaan IC LM555 sebagai rangkaian penghasil osilasi sinyal. IC LM555 merupakan salah satu jenis IC timer yang paling tua dan banyak digunakan karena kesederhanaannya. LM555 memiliki beberapa stage dalam rangkaiannya, yaitu 3 buah resistor voltage divider, 2 buah

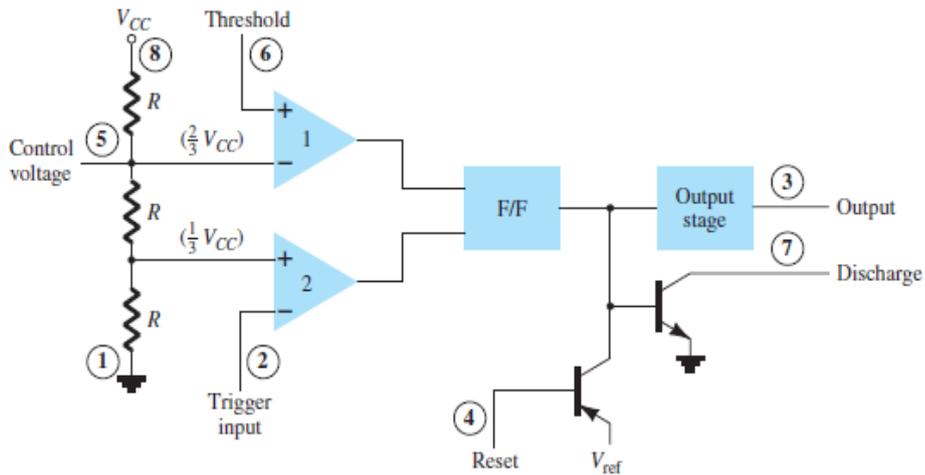


komparator dan RS flip-flop. Berikut adalah LM555 dalam mode konfastable.



Gambar 9.3 Konfigurasi Astable IC 555

Sebelum kita melanjutkan aplikasi dari rangkaian *multivibrator*. Pada IC 555 terdapat beberapa rangkaian yang pada akhirnya dapat difungsikan sebagai multivibrator *astable*. Gambar 9.4 merupakan rangkaian dalam pada IC 555.



Gambar 9.4 Rangkaian dalam IC 555

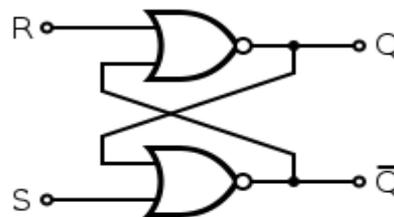
Gambar di atas merupakan skematik rangkaian dalam IC LM555. Berikut adalah penjelasan cara kerja IC LM555:



- a. Voltage divider membagi tegangan V_{CC} menjadi 3 bagian yang sama besar. Kemudian nilai referensi sebesar $1/3$ dan $2/3$ dari besar V_{CC} menjadi tegangan referensi dari 2 buah komparator ($1/3$ dari besar V_{CC} masuk ke input non-inverting komparator 2, sedangkan $2/3$ dari besar V_{CC} masuk ke input inverting komparator 1) yang akan memberikan nilai logika pada gerbang RS Flip-flop. Komparator 1 & 2 akan masuk ke input Reset dan Set pada RS Flip-flop secara berurutan.
- b. Kapasitor eksternal yang terhubung ke pin 2 & 6 LM555 akan terisi muatan oleh V_{CC} melalui R_A dan R_B . Pada kondisi ini, nilai tegangannya masih di bawah $1/3$ dari besar V_{CC} , sehingga komparator 2 akan memberikan logika 1 pada input Set. Dengan asumsi bahwa state flip-flop sebelumnya adalah logika 0, maka output dari input Set ini akan memberikan nilai logika 0 (untuk lebih jelasnya lihat skematik RS flip-flop pada gambar 9.5) yang akan menjadi state untuk input Reset. Pada saat yang bersamaan, nilai tegangan kapasitor masih di bawah $2/3$ dari besar V_{CC} , sehingga komparator 1 akan memberikan logika 0 pada input Reset. Output dari input Reset ini adalah logika 1 dan akan menjadi state untuk input Set sekaligus merupakan output dari IC LM555.
- c. Kemudian kapasitor terisi pada rentang antara $1/3$ sampai $2/3$ dari besar V_{CC} . Pada kondisi ini komparator 1 & 2 masing-masing akan memberikan nilai logika 0 pada input Reset & Set. Output dari input Set adalah logika 0 sekaligus menjadi state untuk input Reset. Output dari input Reset adalah logika 1 sekaligus menjadi state untuk input Set. Dapat dilihat bahwa pada rentang ini output dari IC LM555 masih berlogika 1.



- d. Ketika kapasitor terisi lebih dari 2/3 dari besar V_{CC} , maka komparator 1 & 2 akan memberikan nilai logika 1 & 0 pada input Reset & Set secara berurutan. Output dari input Set adalah logika 0 sekaligus menjadi state untuk input Reset. Output dari input Reset adalah logika 0. Pada kondisi ini kapasitor akan mengalami pengosongan menuju pin 7 melalui R_B . Dapat disimpulkan bahwa setelah kapasitor terisi melebihi 2/3 dari besar V_{CC} , output IC LM555 dalam keadaan off.
- e. Siklus kemudian beralih ke pengosongan kapasitor yang mana analisa dilakukan dengan analisa mundur. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel sekian.

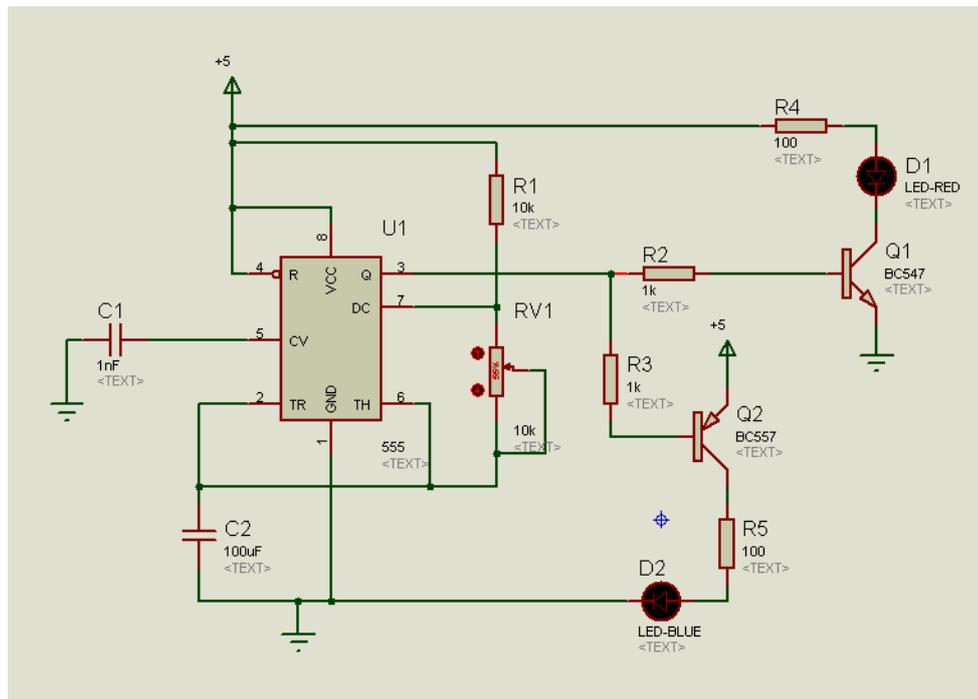


Gambar 9.5 Rangkaian RS Flip-flop

Charging	Stage	$V < (V_{CC}/3)$	$(V_{CC}/3) < V < (2V_{CC}/3)$	$(2V_{CC}/3) < V$
	Komparator 1 (Reset)	0	0	1
	Komparator 2 (Set)	1	0	0
	Flip-flop (Q)	1	1	0

Discharging	Stage	$(2V_{CC}/3) < V$	$(V_{CC}/3) < V < (2V_{CC}/3)$	$V < (V_{CC}/3)$
	Komparator 1 (Reset)	1	0	0
	Komparator 2 (Set)	0	0	1
	Flip-flop (Q)	0	0	1

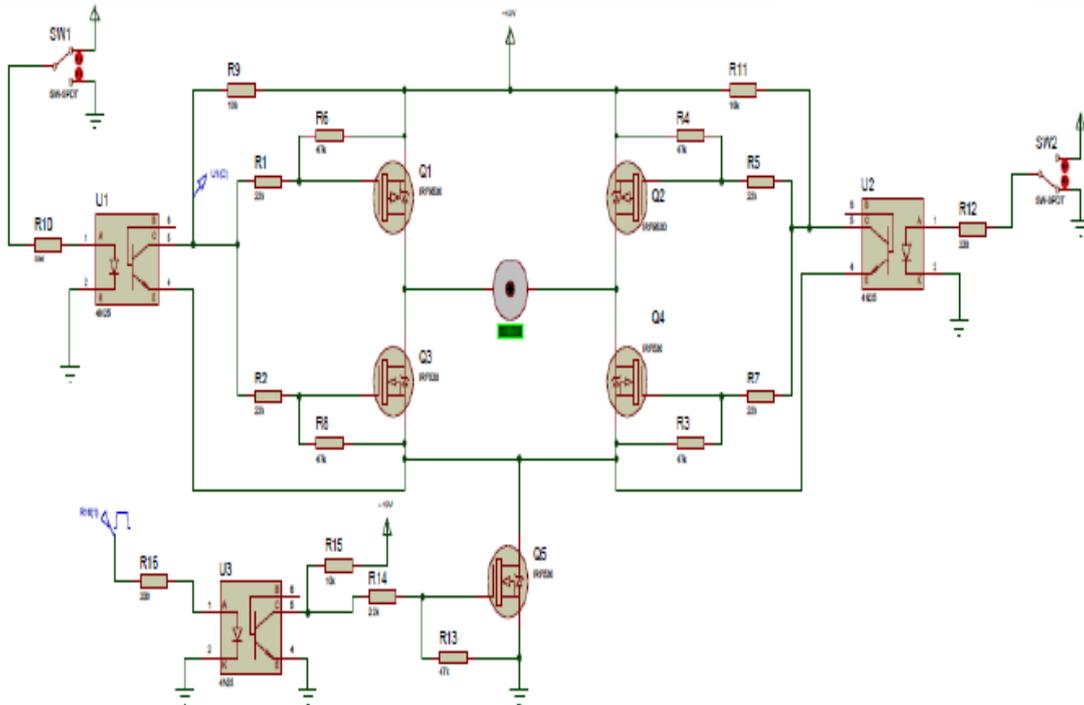
Pada praktikum kali ini kita akan mengaplikasikan multivibrator 555 *astable* dengan menggunakan indikator LED untuk mengetahui perubahan yang terjadi dengan mengubah besaran resistornya. Gambar 9.6 merupakan rangkaian yang akan kita gunakan



Gambar 9.6 Rangkaian *astable 555* menggunakan LED

Motor *Driver* Menggunakan *Optocoupler*

Rangkaian ini berfungsi sebagai penggerak motor agar bisa berputar dalam 2 arah, clockwise atau counter-clockwise. Rangkaian ini terdiri dari sepasang P-MOSFET (2 MOSFET teratas, Q1 dan Q2), sepasang N-MOSFET (2 MOSFET terbawah, Q3 dan Q4), sepasang optocoupler dan stage pengatur kecepatan motor. Pada prinsipnya, motor berputar sesuai arah arus yang mengalir ke kumparan motor akibat adanya medan elektromagnetis, sehingga rangkaian ini dibuat berdasarkan prinsip bagaimana mengalirkan arus dalam 2 arah yang berbeda pada motor. Rangkaian motor *driver* yang digunakan pada aplikasi praktikum kali ini ditunjukkan pada gambar 9.7 .



Gambar 9.7 Motor driver menggunakan MOSFET dan optocoupler

Perlu diingat bahwa P-MOSFET akan mengalirkan arus dari Drain ke Source jika Gate diberi tegangan negatif dan begitu pun sebaliknya untuk N-MOSFET. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa terdapat 2 input logika, yaitu input optocoupler. Optocoupler adalah suatu IC yang berfungsi sebagai isolator antara input dan output. Di dalamnya terdapat divais penghasil cahaya infra merah dan BJT NPN. Cahaya infra merah berfungsi sebagai penghasil arus base agar BJT NPN dapat aktif. Analisisnya adalah sebagai berikut:

- a. Anggap optocoupler sebelah kiri & kanan sebagai O1 dan O2. Ketika kedua optocoupler ini tidak diberikan input, maka BJT dalam keadaan mati. Hal ini menyebabkan 2 gate dari Q1 dan Q3, misalnya, terhubung secara paralel dan bernilai sebesar V_{CC} . Hal yang sama juga terjadi pada Q2 dan Q4. Pada kondisi ini Q1 dan Q2 dalam keadaan mati, sedangkan Q3 dan Q4 dalam keadaan aktif. Akan tetapi karena Q1 dan Q2 dalam keadaan mati, maka tidak ada arus



yang mengalir dari Drain Q3 dan Q4. Selain itu Q1 dan Q2 yang tidak aktif menyebabkan nilai tegangan pada kedua terminal motor masing-masing sebesar 0V. Oleh karena itu, motor tidak akan berputar jika logika input 00.

- b. Misal kedua optocoupler diberi input logika 1. Pada kondisi ini, kedua BJT dalam keadaan aktif. Gate yang terhubung paralel memiliki nilai tegangan sebesar 0V karena juga terhubung paralel dengan terminal collector-emitter BJT yang terhubung singkat. Hal ini menyebabkan Q1 dan Q2 dalam keadaan aktif, sedangkan Q3 dan Q4 dalam keadaan mati. Drain Q1 dan Q2 terhubung singkat dengan Source-nya masing-masing, sehingga nilai tegangan pada tiap terminal motor sebesar V_{CC} . Karena Q3 dan Q4 dalam keadaan mati, maka masing Drain dan Source nya terbuka. Oleh karena itu, motor tidak berputar jika logika input 11.
- c. Akan tetapi, jika diberikan logika 1 pada O1 dan logika 0 pada O2, maka BJT O1 dalam keadaan aktif sedangkan BJT O2 dalam keadaan mati. Hal ini menyebabkan tegangan Gate Q1 dan Q3 sebesar 0V, sedangkan tegangan Gate Q2 dan Q4 sebesar V_{CC} . Pada kondisi ini Q1 dan Q4 dalam keadaan aktif sedangkan Q2 dan Q3 dalam keadaan mati. Oleh karena itu, tegangan pada terminal kiri & kanan motor sebesar V_{CC} & 0V secara berurutan. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari terminal kiri ke kanan menuju ground dan motor berputar searah jarum jam.
- d. Selanjutnya, jika diberikan logika 0 dan 1 pada O1 dan O2 secara berurutan, maka BJT O1 dalam keadaan mati, sedangkan BJT O2 dalam keadaan aktif. Hal ini menyebabkan tegangan Gate Q1 dan Q3 sebesar V_{CC} , sedangkan tegangan Gate Q2 dan Q4 sebesar 0V. Pada kondisi ini Q1 dan Q4 dalam keadaan mati, sedangkan Q2 dan Q3



dalam keadaan aktif. Oleh karena itu, tegangan pada terminal kiri & kanan motor sebesar $0V$ & V_{CC} secara berurutan. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari terminal kanan ke kiri menuju ground dan motor berputar berlawanan dengan arah jarum jam.

- e. Kecepatan dapat diatur dengan memberikan input berupa PWM (Pulse Width Modulation) pada stage pengatur kecepatan motor. Prinsip kerjanya sama dengan prinsip optocoupler dan MOSFET di atas, hanya saja input beresilasi dengan lama waktu high dan low yang dapat divariasikan, sehingga dapat mengatur kecepatan motor.

4. Daftar Pustaka

1. Modul Praktikum Rangkaian Elektronika untuk mahasiswa Teknik Elektro tahun 2016.
2. Boylestad, Robert L., Nashelsky, Louis. 2013. *ELECTRONIC DEVICES & CIRCUIT THEORY, Eleventh Edition*. United States : Pearson.
3. Flip-flop (Electronics). Diakses dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Flip-flop_\(electronics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Flip-flop_(electronics)) pada 5 Februari 2017.
4. 41 LED Flasher using 555 IC. Diakses dari <http://www.instructables.com/id/41-LED-Flasher-Circuit-using-555-IC/step2/Build-the-circuit/> pada 5 Februari 2017.



Modul X
Proyek Akhir

Ketentuan mengenai Proyek Akhir akan diberitahukan lebih lanjut