

Modul Praktikum

SISTEM

INSTRUMENTASI

ELEKTRONIKA

Ir. Lanny Agustine, ST., MT., IPM.
Hartono Pranjoto, Ph.D, IPM.

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Penerbit
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya



Modul Praktikum

Sistem Instrumentasi Elektronika

Ir. Lanny Agustine, ST., MT., IPM.

Hartono Pranjoto, Ph.D, IPM.

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Modul Praktikum Sistem Instrumentasi Elektronika

Penulis

Ir. Lanny Agustine, ST., MT., IPM.

Hartono Pranjoto, Ph.D, IPM.

Desainer sampul

Canva (www.canva.com)

Penerbit

Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jl. Dinoyo 42-44, Surabaya, 60265

Edisi 1, 2019

Copyright © 2019 oleh **Universitas katolik Widya Mandala Surabaya**

e-ISBN : 978-623-90966-1-8

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak isi buku ini dalam bentuk dan cara apapun tanpa seijin penulis dan penerbit

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penyusunan Modul Praktikum Sistem Instrumentasi Elektronika ini dapat diselesaikan. Modul ini merupakan penyempurnaan dan pengembangan dari modul versi pertama yang penyusunannya dibimbing oleh Kris Pusporini, ST., MT.

Modul ini berisi tentang panduan untuk melakukan praktik berbagai rangkaian dasar menggunakan *operational amplifier* sebagai rangkaian pengkondisi sinyal dan sensor. Modul dilengkapi dengan dasar teori yang dibutuhkan untuk merancang rangkaian yang diminta dan memahami tahapan praktikum yang akan dilakukan. Tabel data pengujian disediakan bagi praktikan sebagai panduan hal-hal yang harus diamati dan dicatat untuk memahami kinerja rangkaian yang dipraktikkan.

Sesuai dengan tujuan matakuliah praktikum, maka penggunaan modul ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap materi ajar matakuliah Sistem Instrumentasi Elektronika khususnya mengenai sensor dan rangkaian pengkondisi sinyal melalui kegiatan praktik.

Akhir kata kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan modul ini.

Surabaya, Mei 2019

Penyusun

Daftar Isi

	Halaman
<i>Kata Pengantar</i>	iii
<i>Daftar Isi</i>	iv
<i>Peraturan Praktikum</i>	v
Modul I Operasional Amplifier	1
Modul II Rangkaian <i>span & zero</i> dan rangkaian <i>converter</i>	6
Modul III Lowpass Filter	12
Modul IV Highpass Filter	16
Modul V Bandpass dan Notch Filter	19
Modul VI Rangkaian Generator	23
Modul VII 555 dalam Rangkaian Timer	28
Modul VIII Sensor dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal	31
Daftar Pustaka	35
Lembar Monitoring Praktikum	36
Laporan Praktikum (Tabel Percobaan)	37

PERATURAN PRAKTIKUM

1. Praktikum secara berkelompok (@ 2-3 orang).
2. Praktikum dimulai sesuai waktu yang ditentukan selama 2 jam.
3. Tiap kelompok hanya diperkenankan melakukan praktikum jika:
 - a. Semua anggota hadir.
 - b. Perhitungan desain rangkaian telah selesai.
 - c. Bila memang ada anggota absen karena halangan yang mutlak seperti sakit, anggota tersebut harus melakukan praktikum sendiri untuk mengejar ketinggalan dari kelompoknya diluar jadwal praktikum.
4. Komponen elektronika diluar yang disediakan Lab diadakan sendiri oleh kelompok praktikan.
5. Semua komponen, peralatan, kabel, dan kursi dikembalikan ke tempat semula setelah praktikum berakhir.
6. Praktikum dinyatakan telah selesai bila rangkaian yang telah direalisasikan diujicobakan dihadapan dosen/asisten praktikum dan mendapat **paraf** pada **tabel pengujian** dan **Lembar Monitoring Praktikum**.
7. Ujian terdiri dari ujian tulis dan praktik pada UTS dan UAS.
8. Isi laporan:

Dibuat di kertas ukuran folio (F4), cukup 1 laporan tiap kelompok.

Berisi:

I. Laporan Awal	: Gambar rangkaian lengkap yang dipakai pada percobaan beserta perhitungan teoritis nilai komponen sesuai urutan Prosedur Praktikum.
II. Tabel percobaan	: Hasil perhitungan desain dan pengukuran saat percobaan.
III. Jawaban pertanyaan	: Menjawab pertanyaan-pertanyaan secara logis.
IV. Kesimpulan	: Menyimpulkan kesesuaian teori dan praktik, kendala yang dihadapi dan cara penyelesaiannya.
9. Pengumpulan laporan:
 - Poin I dikumpul ke dosen/asisten praktikum untuk diperiksa kebenarannya sebelum praktikum berlangsung.
 - Point II yang telah diisi dikumpulkan diakhir praktikum hari itu.
 - Keseluruhan laporan dapat direvisi dan dilengkapi selambatnya 1 minggu setelah praktikum modul tersebut selesai dilaksanakan.
 - Grafik dapat digambar manual di kertas grafik. Bila harus digambar dengan *software* tertentu dapat disusulkan selambatnya 1 minggu setelah praktikum dilakukan.

Laporan akan dinilai dan dikembalikan pada mahasiswa sebelum masa Ujian berlangsung.
10. Laporan dinyatakan selesai jika telah mendapat paraf di **Lembar Monitoring Praktikum** yang dikumpulkan di akhir semester.

PERATURAN PRAKTIKUM

1. Praktikum secara berkelompok (@ 2-3 orang).
2. Praktikum dimulai sesuai waktu yang ditentukan selama 2 jam.
3. Tiap kelompok hanya diperkenankan melakukan praktikum jika:
 - a. Semua anggota hadir.
 - b. Perhitungan desain rangkaian telah selesai.
 - c. Bila memang ada anggota absen karena halangan yang mutlak seperti sakit, anggota tersebut harus melakukan praktikum sendiri untuk mengejar ketinggalan dari kelompoknya diluar jadwal praktikum.
4. Komponen elektronika diluar yang disediakan Lab diadakan sendiri oleh kelompok praktikan.
5. Semua komponen, peralatan, kabel, dan kursi dikembalikan ke tempat semula setelah praktikum berakhir.
6. Praktikum dinyatakan telah selesai bila rangkaian yang telah direalisasikan diujicobakan dihadapan dosen/asisten praktikum dan mendapat **paraf** pada **tabel pengujian** dan **Lembar Monitoring Praktikum**.
7. Ujian terdiri dari ujian tulis dan praktik pada UTS dan UAS.
8. Isi laporan:

Dibuat di kertas ukuran folio (F4), cukup 1 laporan tiap kelompok.

Berisi:

I. Laporan Awal	: Gambar rangkaian lengkap yang dipakai pada percobaan beserta perhitungan teoritis nilai komponen sesuai urutan Prosedur Praktikum.
II. Tabel percobaan	: Hasil perhitungan desain dan pengukuran saat percobaan.
III. Jawaban pertanyaan	: Menjawab pertanyaan-pertanyaan secara logis.
IV. Kesimpulan	: Menyimpulkan kesesuaian teori dan praktik, kendala yang dihadapi dan cara penyelesaiannya.
9. Pengumpulan laporan:
 - Poin I dikumpul ke dosen/asisten praktikum untuk diperiksa kebenarannya sebelum praktikum berlangsung.
 - Point II yang telah diisi dikumpulkan diakhir praktikum hari itu.
 - Keseluruhan laporan dapat direvisi dan dilengkapi selambatnya 1 minggu setelah praktikum modul tersebut selesai dilaksanakan.
 - Grafik dapat digambar manual di kertas grafik. Bila harus digambar dengan *software* tertentu dapat disusulkan selambatnya 1 minggu setelah praktikum dilakukan.

Laporan akan dinilai dan dikembalikan pada mahasiswa sebelum masa Ujian berlangsung.
10. Laporan dinyatakan selesai jika telah mendapat paraf di **Lembar Monitoring Praktikum** yang dikumpulkan di akhir semester.

MODUL I

Materi	: <i>Operational Amplifier</i> dalam rangkaian <i>offset null</i> , <i>buffer</i> , <i>inverting amplifier</i> , <i>non-inverting amplifier</i> , <i>summer amplifier</i> , dan <i>differential amplifier</i> .
Tujuan	: Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian: <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Buffer dengan Offset Null</i> 2. <i>Inverting amplifier</i> 3. <i>Non-inverting amplifier</i> 4. <i>Summing amplifier</i> 5. <i>Differential amplifier</i>
Daftar bacaan	: <i>Bruce Carter, Ron Mancini, Op-amps for Everyone</i> , Newnes, USA, 2018. Bruce Carter, Thomas R. Brown, <i>Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports</i> , Texas Instruments, Texas, 2016.
Alat dan Bahan	: <i>Op-amp</i> , kabel penghubung, potensiometer, resistor, <i>DC power supply</i> , AVO meter.

TEORI DASAR

Operational Amplifier (op-amp) dapat digunakan pada batasan linier maupun non-linier. Pada praktikum ini, *op-amp* digunakan untuk batasan linier yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan penguatan dan untuk melakukan komputasi matematika (penjumlahan dan pengurangan). *Op-amp* pada umumnya dimanfaatkan karena kemudahannya untuk menyederhanakan desain rangkaian dibandingkan dengan membangun dari rangkaian-rangkaian transistor.

1. Konfigurasi Umum *Operational Amplifier*

Terminal *power supply*

Op-amp mempunyai dua terminal *power supply*, $+V_{cc}$ dan $-V_{cc}$, dengan nilai tegangan berkisar antara $\pm 5V$ sampai $\pm 18V$ tergantung dari tipe *op-amp* yang digunakan.

Terminal *output*

Op-amp mempunyai *single ended output* (hanya satu terminal *output*) yang terukur terhadap *ground*. Tegangan maksimum *output op-amp* (tegangan saturasi) adalah sekitar $\pm (V_{cc} - 2 \times \text{tegangan dioda})$. Contoh, bila digunakan *power supply* $\pm 15V$ maka *output* maksimum *op-amp* adalah sekitar $\pm 13,6V$.

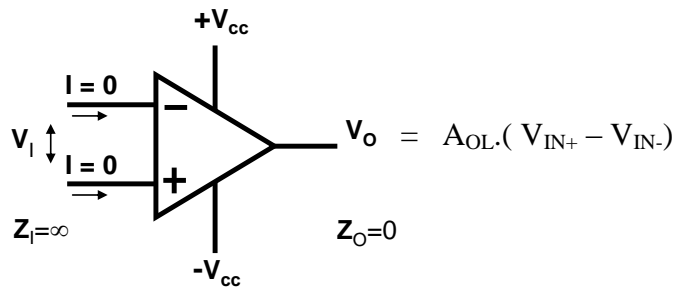
Terminal *input*

Terminal *input op-amp* ada dua yaitu *non-inverting input* ($IN+$) dan *inverting input* ($IN-$).

2. Karakteristik *Op-amp* Ideal

Berikut ini beberapa karakteristik *op-amp* ideal (Gambar 1.1) yang dapat digunakan untuk analisa rangkaian yang menggunakan *op-amp*, yaitu:

- Penguatan *open loop* (A_{OL}) tak hingga,
- Impedansi *input* (Z_I) tak hingga, impedansi *output* (Z_O) nol,
- Resistansi *input* tak hingga menyebabkan arus yang masuk ke *op-amp* nol,
- Tegangan *output* (V) = nol saat $V_{IN+} = V_{IN-}$ (asumsi tidak ada tegangan *offset*).



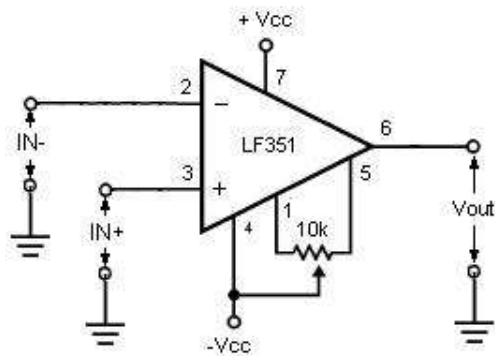
Gambar 1.1. Operational amplifier ideal

Sehingga dapat disimpulkan ada dua asumsi yang dapat digunakan untuk menyederhanakan dalam perancangan rangkaian dengan *op-amp*:

- Untuk *op-amp* pada batasan linier, $V_{IN+} = V_{IN-}$.
- Tidak ada arus yang mengalir masuk ke masing-masing terminal *input op-amp*.

3. Offset Null

Beberapa tipe *op-amp* mempunyai kemampuan untuk *offset null*, misalnya LF351. *Offset null* berfungsi untuk mengkondisikan agar *output* dari *open loop op-amp* menjadi 0V saat diferensial *input*-nya 0V dengan menambahkan potensiometer 10kΩ pada pin 1 dan 5 seperti pada Gambar 1.2 dan mengatur nilainya hingga kondisi diatas tercapai.



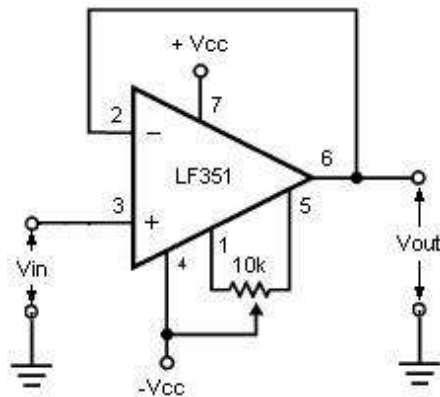
Gambar 1.2. Rangkaian offset null

4. Buffer dengan Offset Null

Karakteristik *buffer* adalah impedansi *input* besar, impedansi *output* kecil, dengan penguatan satu. Berdasarkan asumsi untuk desain, maka: $V_{in} = IN-$. Karena $IN-$ terhubung langsung ke V_{out} , maka $IN- = V_{out}$, sehingga $V_{out} = V_{in}$.

Buffer biasanya dimanfaatkan untuk mencegah terjadinya *drop* tegangan akibat *loading effect* saat suatu rangkaian dengan impedansi *output* besar dihubungkan dengan rangkaian dengan impedansi *input* kecil.

Rangkaian *Buffer* dengan *offset null* ditunjukkan pada Gambar 1.3. Pada kondisi ini, *offset null* tercapai bila tegangan *output* yang dihasilkan rangkaian tepat sama dengan tegangan *input* yang diberikan dengan meng-*adjust* potensiometer 10kΩ.



Gambar 1.3. Rangkaian *buffer* dengan *offset null*

5. *Inverting Amplifier*

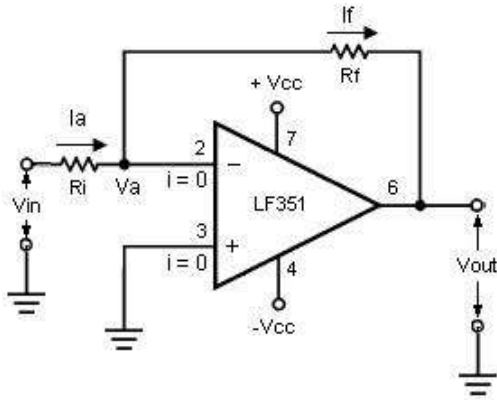
Karakteristik *inverting amplifier* (Gambar 1.4) yaitu impedansi *input* sama dengan resistansi *input* (R_i) dan *output* rangkaian berkebalikkan fasa 180° terhadap *input*. Berdasarkan asumsi untuk desain, maka:

- V_a (IN_-) = 0V (*virtual ground*) karena IN_+ terhubung langsung ke *ground*.
- Karena arus yang masuk ke terminal *input* $i = 0A$, maka arus yang mengalir pada R_i sama dengan pada R_f ($I_a = I_f$).

Sehingga hubungan *input* terhadap *output* dapat disimpulkan sbb: $V_{out} = -\frac{R_f}{R_i}.V_{in}$ (1.1)

Gain rangkaian adalah: $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$ (1.2)

Rangkaian ini dimungkinkan untuk menghasilkan penguatan lebih kecil dari 1 bila $R_i > R_f$, dan penguatan 0 (nol) bila $R_f = 0\Omega$. Manfaatkan fasilitas *offset null* dalam rancangan agar diperoleh *output* yang presisi.



Gambar 1.4. Rangkaian *inverting amplifier*

6. *Non-inverting Amplifier*

Karakteristik *non-inverting amplifier* (Gambar 1.5) yaitu mempunyai impedansi *input* besar, dan tegangan *output* rangkaian sefasa dengan *input* yang diberikan. Impedansi *input* besar karena *input* langsung masuk ke kaki *op-amp*, sehingga dapat menghindari terjadinya *loading effect* yang menyebabkan *drop* tegangan *input* bila dihubungkan dengan rangkaian yang impedansi *output*-nya besar.

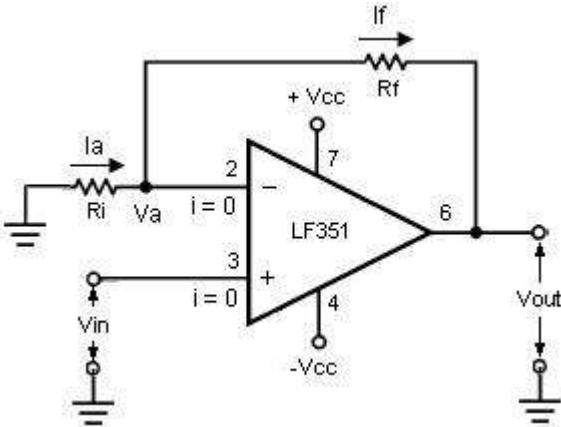
Berdasarkan asumsi untuk desain, maka:

- $V_a (IN-) = V_{in}$.
- Karena arus yang masuk ke terminal *input* $i = 0A$, maka $I_a = I_f$.

Dengan menggunakan *Kirchoff Current Law* (KCL) pada titik V_a dan asumsi desain diatas, maka dapat dilakukan analisa rangkaian sehingga diperoleh persamaan *gain*/penguatan rangkaian sbb:

$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right)$ (1.3)

Dari persamaan 1.3 dapat disimpulkan bahwa *gain* rangkaian ini selalu ≥ 1 .



Gambar 1.5. Rangkaian *non-inverting amplifier*

7. *Summing Amplifier (Adder)*

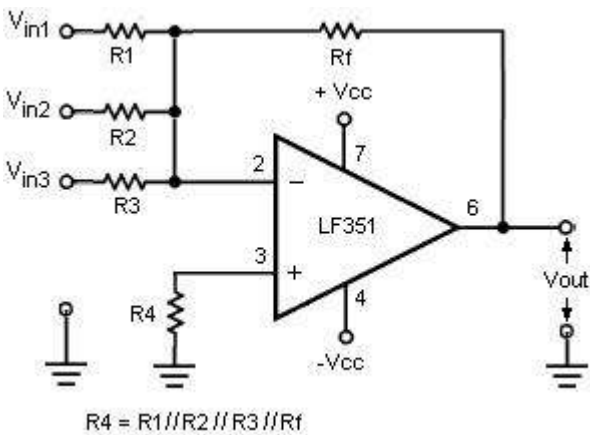
Karakteristik *summing amplifier* (Gambar 1.6) hampir sama dengan *inverting amplifier*. Perbedaannya terletak pada impedansi tiap terminal *input* sama dengan nilai resistor yang terhubung ke masing-masing terminal *input* tersebut. Rangkaian ini dapat digunakan untuk operasi penjumlahan. *Gain* tiap terminal *input* dapat diatur berdasar perbandingan nilai R_f dan resistor pada tiap terminal *input*.

Persamaan *output* terhadap *input* rangkaian adalah sbb:

$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \frac{V_{in3}}{R_3} \right)$ (1.4)

Dimana *gain* untuk tiap terminal *input* adalah:

$Gain\ Ch1 = \frac{R_f}{R_1}; \quad Gain\ Ch2 = \frac{R_f}{R_2}; \quad Gain\ Ch3 = \frac{R_f}{R_3}$ (1.5)

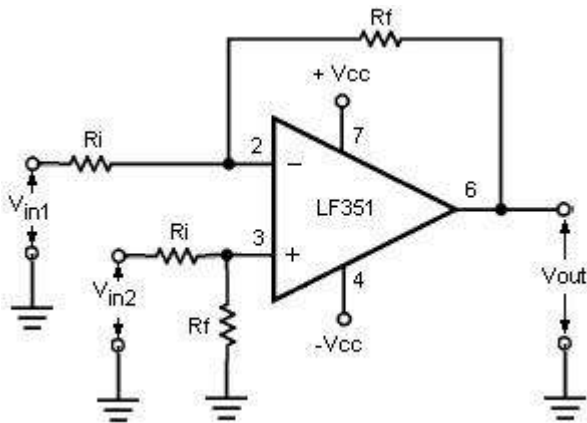


Gambar 1.6. Rangkaian *summing amplifier*

8. Rangkaian *Differential Amplifier*

Rangkaian *differential amplifier* (Gambar 1.6) digunakan untuk mengukur beda tegangan atau operasi pengurangan.

Hubungan *input* terhadap *output*nya sbb: $V_{out} = \frac{R_f}{R_i}(V_{in2} - V_{in1})$ (1.6)



Gambar 1.7. Rangkaian *Differential amplifier*

PROSEDUR PERCOBAAN

A. Buffer dengan Offset Null

- 1. Perhatikan rangkaian pada Gambar 1.3 dan realisasikan rangkaian tersebut di *bread board* menggunakan IC LF351.
- 2. Berikan *supply* tegangan *dc* pada pin +Vcc (pin 7) dan –Vcc (pin 4) sesuai batasan IC (bila polaritas terbalik akan mengakibatkan kerusakan IC).
- 3. Berikan *input* tegangan *dc* pada Vin, dan amati tegangan *output* Vout menggunakan AVO meter.
- 4. Putarlah potensiometer pada rangkaian *offset null* dan amati perubahan tegangan *output*-nya.
- 5. Catatlah Vout berdasarkan desain dan dari hasil percobaan pada Tabel 1.1.

Rumus penguatan rangkaian untuk percobaan selanjutnya:

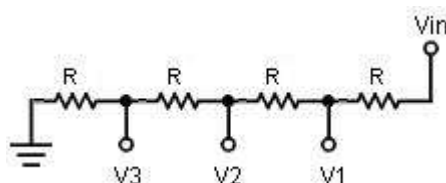
Misalkan terdiri dari 3 orang mahasiswa per kelompok (Mhs 1: 51030xx064, Mhs 2: 51030xx063, Mhs 3: 51030xx066), maka jumlahkanlah 1 digit terakhir dari tiap NRP (4 + 3 + 6 = 13). Hasil jumlah bila masih terdiri dari 2 digit maka jumlahkan kembali hingga tinggal 1 digit (1 + 3 = 4). Jadi penguatan rangkaiannya adalah 4 untuk kelompok tersebut.

B. Inverting Amplifier

- 1. Perhatikan Gambar 1.4 dan realisasikan rangkaiannya di *bread board* menggunakan IC LF351 dengan penguatan sesuai rumusan diatas. Tentukan nilai Rf antara 1k – 100kΩ, hitunglah nilai Ri berdasar persamaan 1.2.
- 2. Berikan *supply* tegangan *dc* pada pin +Vcc (pin 7) dan –Vcc (pin 4) sesuai batasan IC (bila polaritas terbalik akan mengakibatkan kerusakan IC).
- 3. Lengkapi rangkaian *inverting amplifier* tersebut dengan *offset null*, dan *adjust* potensiometer 10kΩ sehingga saat Vin = 0volt, maka Vout yang dihasilkan rangkaian tepat sama dengan 0volt.
- 4. Berikan *input* tegangan *dc* Vin sesuai Tabel 1.2, dan amati tegangan *output* Vout dengan menggunakan AVO meter.
- 5. Catatlah Vout berdasar perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.1 dan dari hasil percobaan pada Tabel 1.2.

C. Non-inverting Amplifier

1. Perhatikan Gambar 1.5 dan realisasikan rangkaiannya di *bread board* menggunakan IC LF351 dengan penguatan sesuai rumusan diatas.
2. Berikan *supply* tegangan *dc* pada pin +Vcc (pin 7) dan -Vcc (pin 4) sesuai batasan IC (bila polaritas terbalik akan mengakibatkan kerusakan IC).
3. Lengkapi rangkaian *non-inverting amplifier* tersebut dengan *offset null*, dan *adjust* potensiometer 10k Ω sehingga saat $V_{in} = 0$ volt, maka V_{out} yang dihasilkan rangkaian tepat sama dengan 0volt.
4. Berikan *input* tegangan *dc* V_{in} sesuai Tabel 1.3, dan amati tegangan *output* V_{out} dengan menggunakan AVO meter.
5. Catatlah V_{out} berdasar perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.3 dan dari hasil percobaan pada Tabel 1.3.



Gambar 1.8. Rangkaian Pembagi Tegangan

D. Summing Amplifier

1. Perhatikan Gambar 1.8, tuliskan rumusan V_1 , V_2 , dan V_3 terhadap V_{in} , dan realisasikan rangkaian tersebut di *bread board*, dan pilihlah nilai resistansi R antara 100 – 1k Ω .
2. Perhatikan Gambar 1.6 dan realisasikan rangkaiannya di *bread board* menggunakan IC LF351. Penguatan masing-masing terminal *input* diambil dari NRP terakhir tiap mahasiswa dengan $R_f = 100$ k Ω .
3. Hubungkan terminal V_1 , V_2 , dan V_3 dari rangkaian pada Gambar 1.8 ke terminal V_{in1} , V_{in2} , dan V_{in3} pada Gambar 1.6.
4. Berikan *supply* tegangan *dc* pada pin +Vcc (pin 7) dan -Vcc (pin 4) sesuai batasan IC (bila polaritas terbalik akan mengakibatkan kerusakan IC).
5. Berikan *input* tegangan *dc* pada terminal V_{in} (Gambar 1.8) sesuai Tabel 1.4, dan amati tegangan *output* rangkaian *summing amplifier* V_{out} dengan menggunakan AVO meter.
6. Tambahkan *buffer* pada masing-masing terminal *output* Gambar 1.8 sebelum dihubungkan ke terminal *input* rangkaian *summing amplifier*. Gunakan IC TL074 untuk merangkai *buffer*, dan amati perubahan *output* rangkaian *summing amplifier*.
7. Catatlah V_{out} berdasar perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.4 dan dari hasil percobaan pada Tabel 1.4.

E. Differential Amplifier

1. Perhatikan Gambar 1.8, tuliskan rumusan V_1 , V_2 , dan V_3 terhadap V_{in} , dan realisasikan rangkaian tersebut di *bread board*, dan pilihlah nilai resistansi R_1 , R_2 , R_3 , dan R_4 antara 100 – 1k Ω .
2. Perhatikan Gambar 1.7 dan realisasikan rangkaiannya di *bread board* menggunakan IC LF351. Pasang tahanan $R_f = R_i = R_f' = R_i' = 100$ k Ω .
3. Berikan *supply* tegangan *dc* pada pin +Vcc (pin 7) dan -Vcc (pin 4) sesuai batasan IC (bila polaritas terbalik akan mengakibatkan kerusakan IC).
4. Pilihlah dua dari *output* Gambar 1.8 dan hubungkan ke masing-masing *input* rangkaian pada Gambar 1.7, V_{in1} dan V_{in2} .
5. Berikan *input* tegangan *dc* pada terminal V_{in} (Gambar 1.8) sesuai Tabel 1.4, dan amati tegangan *output* rangkaian *differential amplifier* V_{out} dengan menggunakan AVO meter.
6. Tambahkan *buffer* pada masing-masing terminal *output* Gambar 1.8 sebelum dihubungkan ke terminal *input* rangkaian *differential amplifier*. Gunakan IC TL074 untuk merangkai *buffer*, dan amati perubahan *output* rangkaian *differential amplifier*.
7. Catatlah V_{out} berdasar perhitungan dengan menggunakan persamaan 1.6 dan dari hasil percobaan pada Tabel 1.5.

MODUL II

- Materi : *Operational Amplifier* dalam rangkaian *span & zero* dan rangkaian *converter*.
- Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian:
- A. *Span & zero*
 - B. *V to I Converter*
 - C. *I to V Converter*
 - D. *F to V Converter*
- Daftar bacaan : *Bruce Carter, Ron Mancini, Op-amps for Everyone*, Newnes, USA, 2018.
Bruce Carter, Thomas R. Brown, Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports, Texas Instruments, Texas, 2016.
Frank Lamb, Industrial Automation: Hands-On, McGraw-Hill Education, USA, 2013.
- Alat dan Bahan : *Op-amp*, LM2907, kabel penghubung, transistor, potensiometer, resistor, kapasitor, *DC power supply*, AVO meter, *function generator*, *project board*.

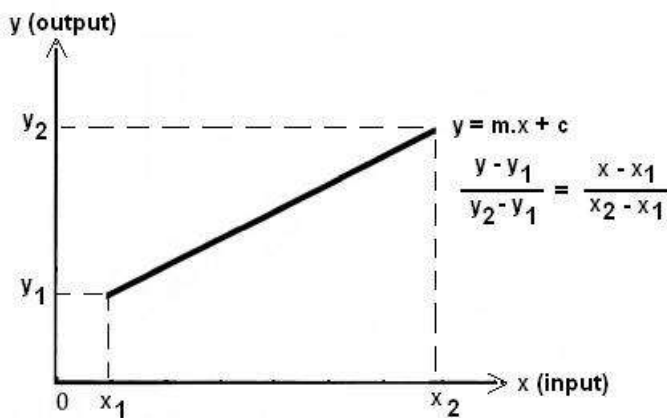
TEORI DASAR

A. Rangkaian *Span & Zero*

Rangkaian *span & zero* bertujuan untuk menskala *span* suatu level tegangan tertentu menjadi batas maksimum dan minimum tertentu yang direncanakan. *Span* adalah selisih antara batas maksimum dan minimum dari level yang akan diskala. Rangkaian ini dapat dimanfaatkan misalnya untuk menyesuaikan level *output* suatu sensor ke kontroler atau ADC yang akan saling terhubung. Misal:

Sebuah sensor suhu yang digunakan menghasilkan *output* linier 10mV/°C akan dihubungkan ke ADC yang mempunyai rentang *input* analog 0-5V, dan resolusi 10mV. Bila rentang suhu yang perlu diukur adalah antara -15°C s.d. +50°C, maka *output* sensor adalah antara -0,15V s.d. +0,5V. Dengan menambahkan rangkaian *span & zero*, rentang *output* sensor akan diskala dimana *output* minimum sensor menjadi 0V dan *output* maksimum sensor menjadi 5V, sehingga sesuai dengan rentang *input* analog ADC.

Contoh pemanfaatan lainnya, bila diinginkan mengukur suhu hingga ketelitian 0,5°C, berarti ADC dengan resolusi 10mV belum dapat memenuhi kebutuhan ini. Perbedaan level resolusi ini dapat diatasi dengan menambahkan rangkaian *span & zero* di antara sensor dan ADC.



Gambar 2.1. Kurva transfer

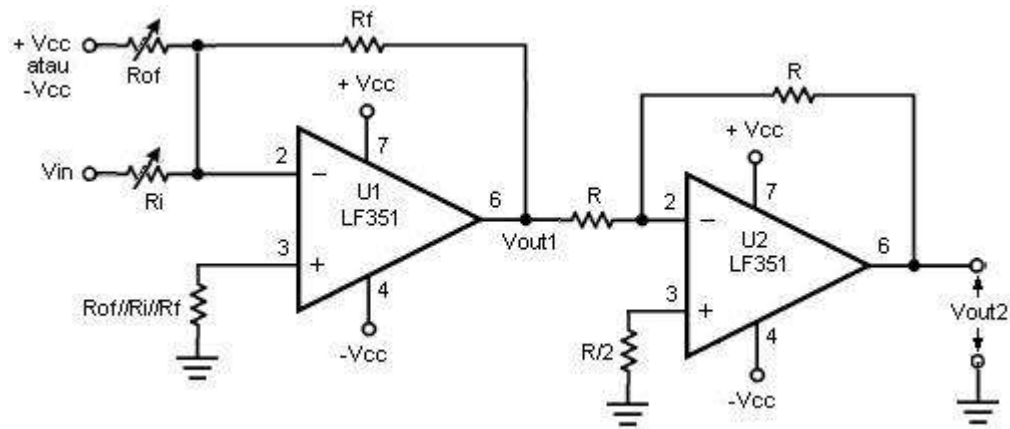
Dengan menggunakan kurva transfer pada Gambar 2.1, maka dapat diperoleh suatu persamaan garis lurus:

$y = m.x + c$ (2.1)

dimana:

- y = Vo dari rangkaian *span & zero*
- x = Vo sensor yang dihubungkan ke terminal *input span & zero*
- m = penguatan terminal *input span & zero*
- c = tegangan dc statis

Dapat dilihat bahwa persamaan 2.1 merupakan aritmatika penjumlahan, sehingga persamaan tersebut dapat direalisasikan dengan rangkaian *summing amplifier* (U1) dan *inverting amplifier* (U2) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2. Rangkaian *Span & zero*

Berdasarkan persamaan 1.4 pada percobaan 1, maka persamaan *output* rangkaian *summing amplifier* U1 dengan dua *input* adalah sbb:

$$V_{out1} = -\left(\frac{R_f}{R_i} V_{in} + \frac{R_f}{R_{of}} (+/- V_{cc})\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dan rangkaian *inverting amplifier* U2 sbb:

$$V_{out2} = -V_{out1} \dots\dots\dots (2.3)$$

Maka hubungan *input* dan *output* rangkaian *span & zero* sbb:

$$V_{out2} = \left(\frac{R_f}{R_i} V_{in} + \frac{R_f}{R_{of}} (+/- V_{cc})\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan diatas sesuai dengan persamaan garis 2.1, sehingga nilai-nilai komponen dapat dihitung sbb:

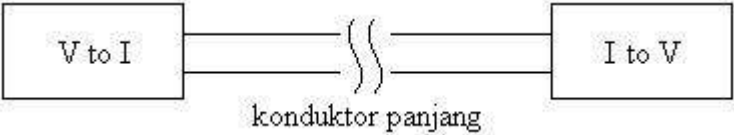
$$m = \frac{R_f}{R_i} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$c = \frac{R_f}{R_{of}} (+/- V_{cc}) \dots\dots\dots (2.6)$$

B. Rangkaian *Voltage to Current (V to I)* dan *Current to Voltage (I to V)* Converter

Pengiriman tegangan dalam jarak jauh dengan kabel yang panjangnya lebih dari 10 meter dapat menimbulkan banyak masalah, terutama masalah *noise* dan *drop* tegangan karena hambatan kabel. Tahanan kabel antara rangkaian pengkondisi sinyal dan beban bergantung pada jarak, jenis kabel yang digunakan, dan suhu. Pengiriman data berupa tegangan dapat mengalami kehilangan beberapa milivolt dan menyebabkan *error* atau penurunan tegangan pada rangkaian selanjutnya.

Masalah tersebut dapat diatasi dengan cara mengirimkan data berupa arus. Hal ini disebabkan karena karakteristik arus yang mempunyai besar sama dalam sebuah *loop* seri. Selama proses pengiriman arus tidak menghilangkan data dan daya. Blok diagram dari proses pengiriman data tersebut dapat dilihat sbb:



Gambar 2.3. Blok Diagram Komunikasi Data Berupa Arus

Dasar pemikiran dari rangkaian *converter* ini adalah bila arus mengalir suatu tahanan maka akan timbul tegangan pada tahanan tersebut sebesar hasil kali dengan tahananannya atau:

$V = I.R$ dimana V = tegangan, I = arus, R = tahanan.

Kuntungan lainnya menggunakan komunikasi arus adalah dapat menggunakan konduktor yang lebih tipis sehingga menghemat biaya instalasi. Ada dua macam *converter V to I* dan *I to V* yaitu *floating load* dan *grounding load* yang akan dijelaskan lebih lanjut berikut ini.

B.1. Floating Load V to I

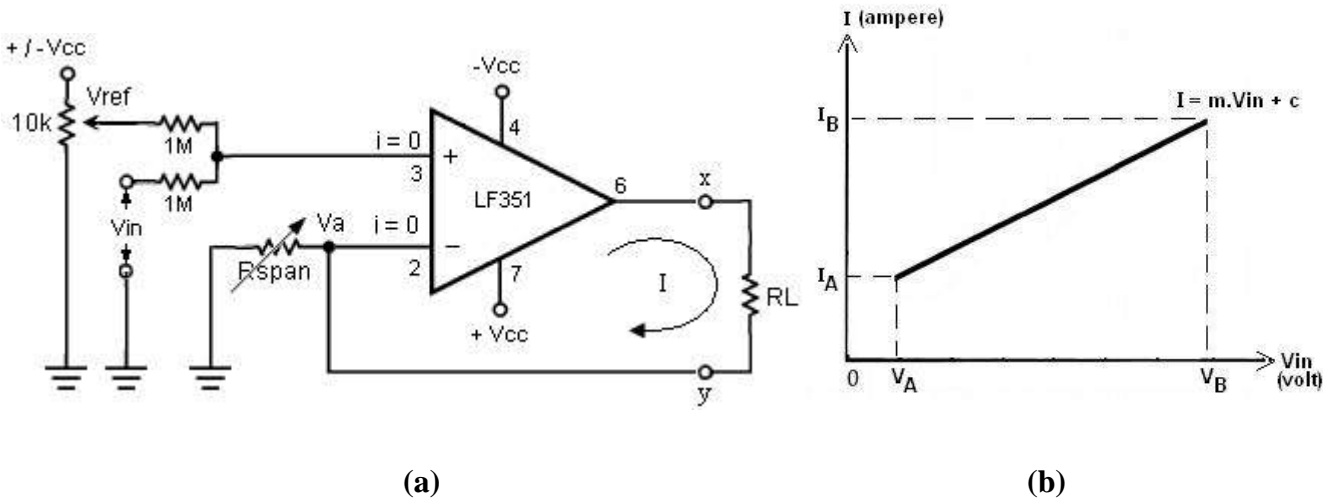
Salah satu rangkaian *floating load V to I* ditunjukkan pada Gambar 2.4(a). Bentuk rangkaian *non-inverting summing amplifier* karena *input* tegangan dan tegangan referensi berada pada kaki (+) dan terjadi penjumlahan kedua tegangan tersebut. Resistor *input* ($1M\Omega$) sebaiknya dipilih sebesar mungkin untuk menghindari terjadinya *drop* tegangan.

Perbandingan tegangan *input* dan arus *output* ditunjukkan pada kurva linier Gambar 2.4(b). Tegangan *input* V_A menghasilkan arus *output* I_A , dan tegangan *input* V_B menghasilkan arus *output* I_B . Melalui analisa rangkaian maka diperoleh persamaan-persamaan berikut:

$$R_{span} = \frac{V_A - V_B}{2(I_A - I_B)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$V_{ref} = 2.R_{span}.I_A - V_A \dots\dots\dots (2.8)$$

$$I = \frac{V_{in} + V_{ref}}{2.R_{span}} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.4. Floating load V to I: (a) Skematik; (b) Kurva Transfer

B.2. Floating Load I to V

Salah satu rangkaian *floating load I to V* ditunjukkan pada Gambar 2.5(a). Arus yang keluar dari rangkaian *V to I* diubah menjadi tegangan oleh R_s . Rangkaian selanjutnya yaitu *differential amplifier* (U1) dan *buffer* (U2) untuk memenuhi persamaan garis lurus 2.1. Menggunakan rangkaian *differential amplifier* karena terjadi beda tegangan pada *input*. Nilai resistor $1M\Omega$ pada rangkaian *differential amplifier* agar tidak terjadi *drop* tegangan. *Input* arus dan *output* tegangan ditunjukkan pada kurva linier pada Gambar 2.5(b). *Input* arus I_A menghasilkan *output* tegangan V_A , dan *input* arus I_B menghasilkan *output* tegangan V_B . Melalui analisa rangkaian maka diperoleh persamaan-persamaan berikut:

$$R_s = \frac{V_A - V_B}{m.(I_A - I_B)} \dots\dots\dots (2.11)$$

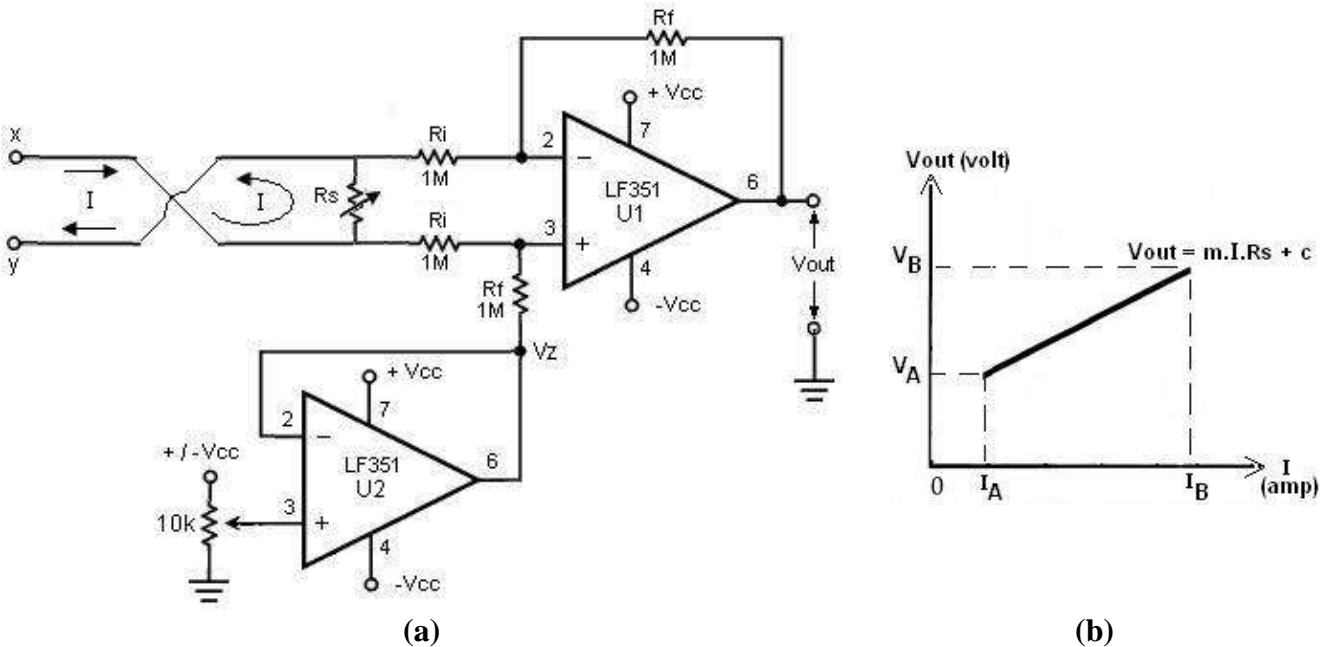
dimana m (penguatan rangkaian op-amp U1) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5.

Sehingga persamaan tegangan V_{out} terhadap arus *input* I dapat dituliskan sbb:

$V_{out} = m.(I.R_s) + V_z$ (2.12)

Persamaan diatas memenuhi persamaan garis 2.1, dimana y adalah V_{out} , x adalah arus *input* dikali R_s , dan V_z sebagai tegangan referensi yang besarnya dapat dihitung dari persamaan 2.13 berikut dan pada rangkaian dapat diatur dengan meng-*adjust* nilai potensiometer 10kΩ.

$V_z = V_B - (I_B.R_s)$ (2.13)



Gambar 2.5. Floating load I to V : (a) Skematik; (b) Kurva Transfer

B.3. Grounding Load V to I dan I to V

Salah satu rangkaian *Grounded load V to I* ditunjukkan pada Gambar 2.6. Bentuk rangkaian *differential amplifier* karena terjadi pada tegangan. Resistor *input* dengan harga 1MΩ untuk mengatasi *drop* tegangan. Sebaiknya resistor *input* harganya sebesar mungkin. Arus dapat dikontrol oleh sebuah beban yang dihubungkan ke *ground*. R_{span} ditempatkan antara *output* dan beban.

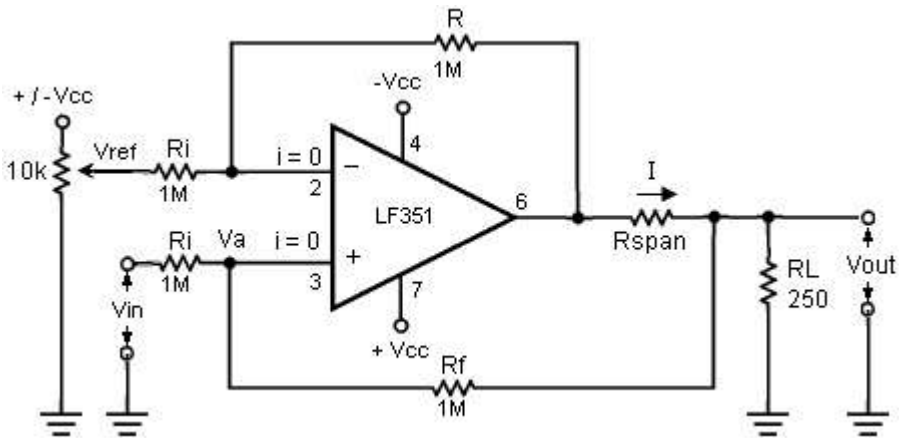
Perbandingan *input* tegangan dan *output* arus ditunjukkan pada kurva linier Gambar 2.2(b). *Input* tegangan V_A menghasilkan *output* arus I_A , dan *input* tegangan V_B menghasilkan *output* arus I_B . Melalui analisa rangkaian maka diperoleh persamaan-persamaan berikut:

$R_{span} = \frac{V_A - V_B}{(I_A - I_B)}$ (2.14)

$V_{ref} = V_B - I_B.R_{span}$ (2.15)

$I = \frac{V_{in} - V_{ref}}{R_{span}}$ (2.16)

$V_{out} = I.R_L$ (2.17)



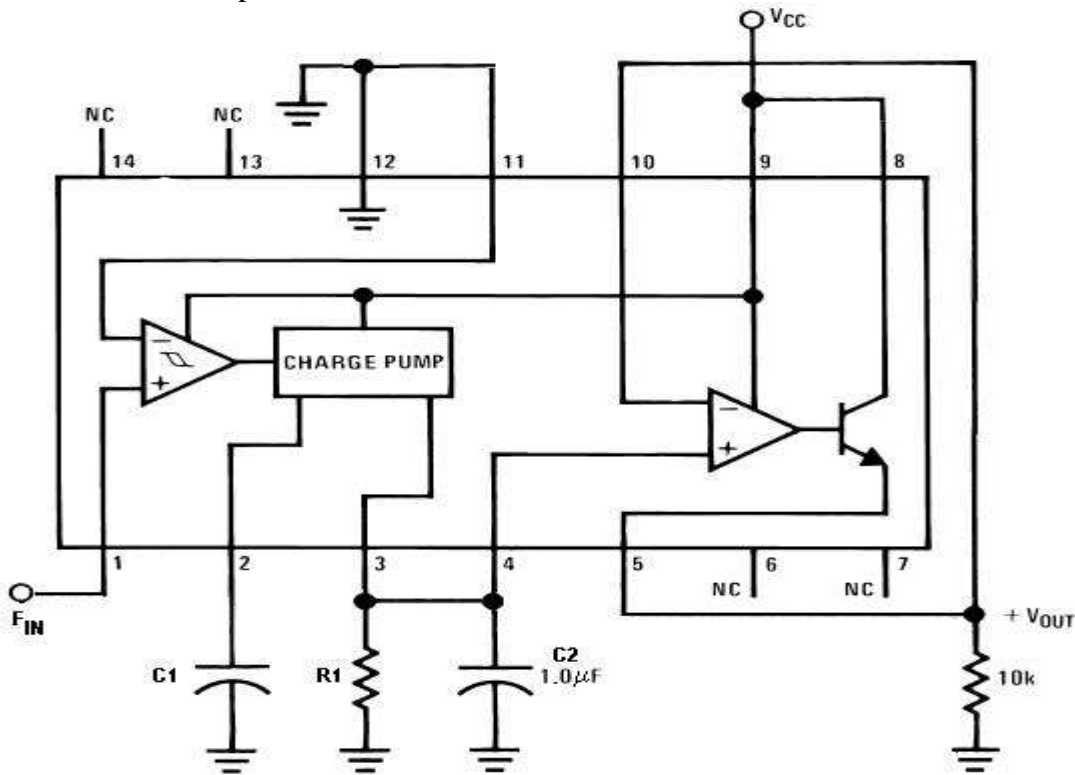
Gambar 2.5. Grounded Load V to I dan I to V

C. F to V Converter

Rangkaian F to V memanfaatkan komparator dan metode *charge pump* untuk melakukan konversi frekuensi ke tegangan. Transistor *floating* juga memberi keuntungan karena memungkinkan arus *sink* atau *source* hingga 50mV, sehingga rangkaian ini kompatibel untuk mengoperasikan relay, solenoid, atau LED. Konversi dari frekuensi sinyal ke besar tegangan dapat dilakukan dengan mengatur nilai R1, C1 dengan persamaan berikut ini:

$V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$ (2.18)

Pilihlah nilai C1 lebih besar dari 500pF untuk mendapatkan hasil yang akurat. Bila terlalu kecil, akan timbul arus *error* pada R1.



Gambar 2.6. Rangkaian F to V dari LM2907

PROSEDUR PERCOBAAN

A. *Span & zero*

Soal:

Output sensor mempunyai range $-1V$ sampai dengan $3V$. Sedangkan *input* ADC mempunyai range $0V$ sampai dengan $5V$. Gunakan rangkaian *span & zero* untuk menghubungkan sensor dengan ADC sehingga level *output* sensor sesuai dengan level *input* ADC seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Range nilai *input* dan *output* konversi level sensor ke ADC

Nilai	Vin	Vout
Minimum (A)	$-1V$	$0V$
Maksimum (B)	$3V$	$5V$

1. Lakukan perhitungan desain hingga diperoleh persamaan garis dan nilai-nilai resistor yang dibutuhkan rangkaian *span & zero*.
2. Cobalah rangkaian tersebut Gambar 2.1 di *project board* dengan nilai resistor yang sudah anda hitung.
3. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan DC *supply*.
4. Amati perubahan *output* dengan AVO meter, dan catat hasil *output* percobaan pada Tabel 2.3.

B. *V to I Converter dan I to V Converter*

Soal:

Sebuah data berupa tegangan dengan range $-20mV$ sampai dengan $5V$ hendak dikirimkan dengan jarak $100m$. Kemudian diterima oleh pengolah data dalam orde $0 - 10V$. Gunakan arus pada range industri $4 - 20mA$ untuk mentransmisikan data tersebut. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Range nilai *input* dan *output* konversi V ke I dan kembali ke V

Nilai	Vin	I	Vout
Minimum (A)	$-20mV$	$4mA$	$0V$
Maksimum (B)	$5V$	$20mA$	$10V$

Buatlah:

1. Diagram blok rangkaian dan persamaan garisnya.
2. Perhitungkan rangkaian yang anda rancang dengan dua metode yaitu *floating load* dan *grounded load*.
3. Pada output rangkaian *grounded load VtoI* dan *ItoV*, tambahkan rangkaian *span and zero* sehingga rentang tegangan yang dihasilkan ($Vout = I.R_L$) rangkaian tersebut mencapai $0-10V$ seperti Tabel 2.2.
4. Cobalah rangkaian tersebut pada *project board*.
5. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan *audio generator*.
6. Amati perubahan *output* dengan AVO meter, dan catat hasil *output* percobaan pada Tabel 2.4 & 2.5.

C. *F to V Converter*

1. Hubungkan tiap-tiap pin LM2907 sesuai dengan rangkaian pada Gambar 2.6 jika ditetapkan $V_{cc} = 12V$; $R1 = 100k\Omega$; $C1 = 10nF$.
2. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan *audio generator* dan berikan sinyal *input* berupa gelombang sinus.
3. Amati perubahan *output* dengan AVO meter, dan catat hasil percobaan pada Tabel 2.6.

MODUL III

- Materi : *Operational Amplifier* sebagai *lowpass filter* (LPF).
Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian *Lowpass Filter* tipe:
A. Butterworth
B. Bessel
C. Chebychev
Daftar bacaan : Bruce Carter, Thomas R. Brown, *Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports*, Texas Instruments, Texas, 2016.
Bruce Carter, Ron Mancini, Op-amps for Everyone, Newnes, USA, 2018.
Alat dan Bahan : *Op-amp*, *project board*, kabel penghubung, potensiometer, resistor, kapasitor, *DC power supply*, AVO meter, osiloskop, audio generator.

TEORI DASAR

Filter adalah suatu rangkaian untuk melewatkan sinyal dengan spesifikasi frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar frekuensi tersebut. Filter terdiri dari dua tipe yaitu:

1. Filter pasif: merupakan filter yang tersusun dari komponen pasif yaitu resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C). Induktor jarang digunakan karena untuk nilai tertentu harganya sangat mahal dan ukurannya besar.
2. Filter aktif: merupakan filter yang tersusun dari komponen aktif dan pasif. Komponen aktif yaitu operational amplifier, dan komponen pasif adalah R, L, dan C.

Keuntungan filter aktif yaitu:

1. Nilai komponen resistor dan kapasitor tersedia yang mendekati ideal dibandingkan dengan induktor.
2. Relatif tidak mahal karena rangkaian sederhana.
3. Dapat di-*cascade* (ditingkat) untuk menghasilkan tingkat filter yang lebih tinggi.
4. Dapat didesain dalam waktu yang singkat dengan menggunakan persamaan yang sederhana.
5. Mudah diatur karakteristiknya: frekuensi *cutoff*, penguatan *passband*, kestabilan filter.
6. Dapat digunakan untuk filter sinyal dengan frekuensi yang sangat rendah.

Kerugian filter aktif adalah frekuensi maksimum sinyal yang mungkin dilewatkan dengan baik tergantung dari frekuensi maksimum tipe *operational amplifier* yang digunakan filter.

Lowpass filter (LPF) adalah filter yang melewatkan sinyal yang frekuensinya dibawah frekuensi *cutoff* filter dan meredam sinyal yang frekuensinya diatas frekuensi *cutoff* filter. Pada modul praktikum ini digunakan *lowpass filter* dengan model Sallen-Key orde 2 dan orde 3. Konfigurasi filter dengan model Sallen-Key memungkinkan untuk menghasilkan filter dengan *unity gain*. Kekhususan lainnya, model Sallen-Key dapat menggunakan nilai komponen R dan C yang sama sehingga menyusutkan variasi komponen.

Secara umum fungsi transfer *lowpass filter* adalah sbb:

$$A(s) = \frac{A_0}{(1 + a_1s + b_1s^2)(1 + a_2s + b_2s^2) \dots (1 + a_ns + b_ns^2)} = \frac{A_0}{\prod_i (1 + a_is + b_is^2)} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana A₀ adalah gain dc rangkaian, dan a_i & b_i adalah koefisien filter yang menentukan sifat gain pada daerah *passband*.

Hasil perkalian penyebut akan menghasilkan polinomial sⁿ dimana n akan menentukan orde filter yang menjadi penentu karakteristik penguatan daerah *passband* filter dengan persamaan:

Gain = - n.20dB/decade (3.2)

Q adalah faktor kualitas yang menentukan kestabilan filter, semakin tinggi nilai Q maka filter makin tidak stabil. Untuk LPF dan HPF, Q diperoleh dari rasio b_i dan a_i seperti persamaan berikut:

$$\frac{\sqrt{b_i}}{a_i} = Q \dots\dots\dots (3.3)$$

Tabel 3.1 menunjukkan parameter-parameter desain semua jenis filter untuk tipe Butterworth, Bessel, dan 3-dB Chebychev untuk orde 1, 2, dan 3.

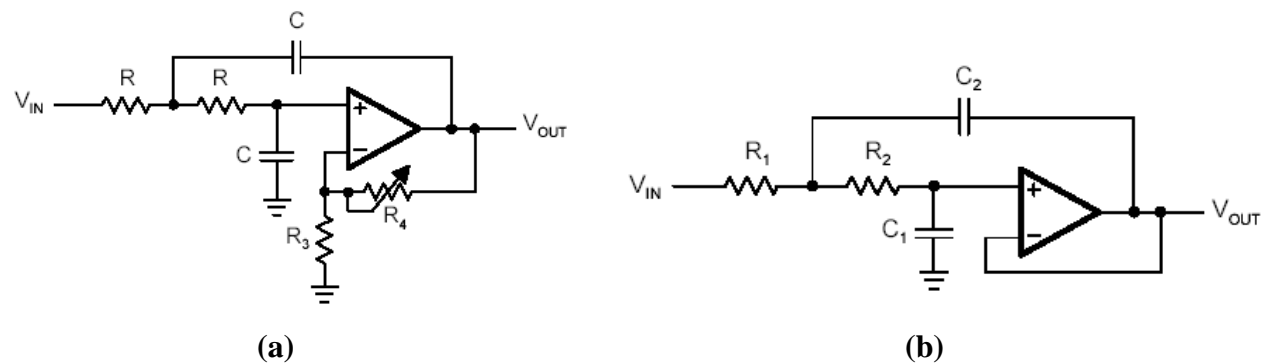
Tabel 3.1. Parameter Desain Filter

Type Filter	n	i	a _i	b _i	Q
Butterworth	1	1	1	-	-
	2	1	1,4142	1	0,71
	3	1	1	0	-
		2	1	1	1
Bessel	1	1	1	-	-
	2	1	1,3617	0,618	0,58
	3	1	0.7560	0	-
		2	0.9996	0.4772	0,69
3-dB Chebychev	1	1	1	-	-
	2	1	1,065	1,9305	1,3
	3	1	3.3496	0	-
		2	0.3559	1.1923	3,07

n: orde filter, a_i & b_i: koefisien filter, Q: faktor kualitas

A. Prosedur Perancangan Lowpass Filter Orde 2

Konfigurasi LPF model Sallen-Key umum dan *unity gain* ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1. Rangkaian Lowpass Filter Orde 2: model Sallen-Key
(a) umum, (b) *unity gain*

Dengan melakukan analisa rangkaian umum bisa diperoleh fungsi transfer rangkaian sbb:

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \omega_c [C_1(R_1 + R_2) + (1 - A_0) R_1 C_2] s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Pada praktikum ini digunakan rangkaian *unity gain* (Gambar 3.1.b). Prosedur desain rangkaian sbb:

- 1. LPF *unity gain* berarti A₀=1, sehingga fungsi transfer rangkaian pada persamaan 3.4 menjadi:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_c C_1(R_1 + R_2) s + \omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan menyesuaikan persamaan tersebut dengan persamaan 3.1 maka bisa dicari hubungan koefisien filter dan komponen untuk menghitung nilai komponen R dan C (ω_c=2πf_c).

- 2. Tentukan nilai C₁ dan cari nilai C₂ dengan persamaan berikut:

$$C_2 > C_1 \frac{4b_1}{a_1^2}$$

..... (3.10)

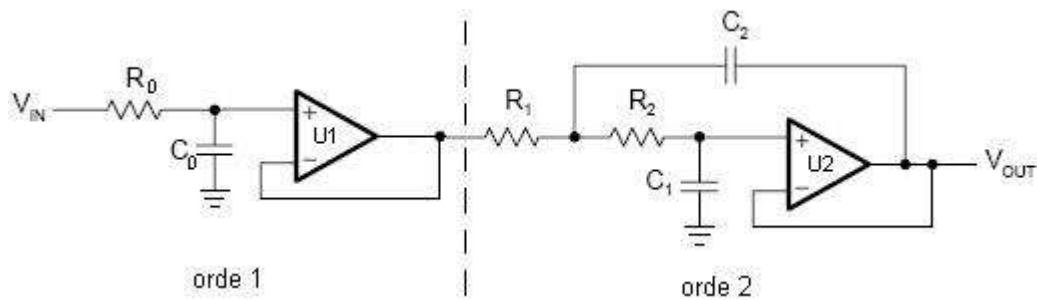
3. Dari nilai C_1 dan C_2 tersebut, hitunglah nilai R_1 dan R_2 dengan persamaan berikut:

$$R_{1,2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4b_1 C_1 C_2}}{4\pi f_c C_1 C_2}$$

..... (3.11)

B. Prosedur Perancangan Lowpass Filter Orde 3

Untuk menghasilkan filter dengan orde yang lebih tinggi dapat dilakukan dengan menghubungkan filter secara bertingkat (*cascade*). Filter orde 3 dapat dibentuk dari filter orde 1 (filter pasif R_0 - C_0) di-*cascade* dengan filter orde 2 seperti ditunjukkan pada rangkaian LPF *unity gain* pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian Lowpass Filter Orde 3 Unity Gain

Untuk menghindari terjadinya *loading effect*, tambahkan rangkaian *buffer* (U1) antara *output* filter orde 1 dan input filter orde 2.

Prosedur desain rangkaian pada Gambar 3.2 sbb :

- 1. Dengan melakukan analisa rangkaian bisa diperoleh fungsi transfer rangkaian LPF orde 1 sbb:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \omega_c R_0 C_0 s}$$

..... (3.12)

Dengan menyesuaikan persamaan tersebut dengan persamaan 3.1 maka bisa dicari hubungan koefisien filter dan komponen untuk menghitung nilai komponen R_0 dan C_0 ($\omega_c=2\pi f_c$).

- 2. Tentukan nilai C_0 dan hitung nilai R_0 dengan rumusan berikut ini, dimana koefisien filter a_1 yang digunakan adalah koefisien untuk orde 3 (Tabel 3.1):

$$R_0 = \frac{a_1}{2\pi f_c C_0}$$

..... (3.13)

- 3. Gabungkan dengan desain LPF orde 2, dimana koefisien filter yang digunakan adalah a_2 dan b_2 .

PROSEDUR PERCOBAAN

A. Lowpass Filter Orde 2

1. Desainlah LPF orde 2 dengan frekuensi *cutoff* sebesar 1kHz. Bila filter yang diinginkan:
 - a. Butterworth
 - b. Bessel
 - c. 3-dB Chebychev
 Buat perancangan perhitungan sesuai dengan prosedur perancangan. Nilai C_1 ditentukan sebesar $0,01\mu\text{F}$.
3. Lakukan percobaan dengan rangkaian yang anda desain untuk ketiga macam filter di *project board*.
4. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
5. Gunakan Tabel 3.1 untuk mencatat perubahan *output* yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
6. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik (diagram Bode).

B. Lowpass Filter Orde 3

1. Desainlah LPF orde 3 dengan frekuensi *cutoff* sebesar 1kHz. Bila filter yang diinginkan:
 - a. Butterworth
 - b. Bessel
 - c. 3-dB Chebychev
 Buat perancangan perhitungan sesuai dengan prosedur perancangan. Nilai C_0 dan C_1 ditentukan sebesar $0,01\mu\text{F}$.
2. Lakukan percobaan dengan rangkaian yang anda desain untuk ketiga macam filter di *project board*.
3. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
4. Gunakan Tabel 3.2 untuk mencatat perubahan *output* yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
5. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik dalam satu grafik dengan filter orde 2 (diagram Bode).

MODUL IV

- Materi : *Operational Amplifier* sebagai *highpass filter* (HPF).
- Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian *Highpass Filter*:
A. Butterworth
B. Bessel
C. Chebychev
- Daftar bacaan : Bruce Carter, Thomas R. Brown, *Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports*, Texas Instruments, Texas, 2016.
Bruce Carter, Ron Mancini, *Op-amps for Everyone*, Newnes, USA, 2018.
- Alat dan Bahan : *Op-amp*, *project board*, kabel penghubung, potensiometer, resistor, kapasitor, *DC power supply*, AVO meter, osiloskop, audio generator.

TEORI DASAR

Highpass filter (HPF) adalah filter yang melewatkan sinyal yang frekuensinya diatas frekuensi *cutoff* filter dan meredam sinyal yang frekuensinya dibawah frekuensi *cutoff* filter. Pada modul praktikum ini digunakan *lowpass filter* dengan model Sallen-Key orde 2 dan orde 3.

Faktor kualitas (Q) menentukan kestabilan filter, semakin tinggi nilai Q maka filter makin tidak stabil. Q diperoleh dari rasio b_i dan a_i seperti persamaan 3.3 dan parameter desain filter sesuai Tabel 3.1 pada modul Praktikum III.

Secara umum fungsi transfer *highpass filter* adalah sbb:

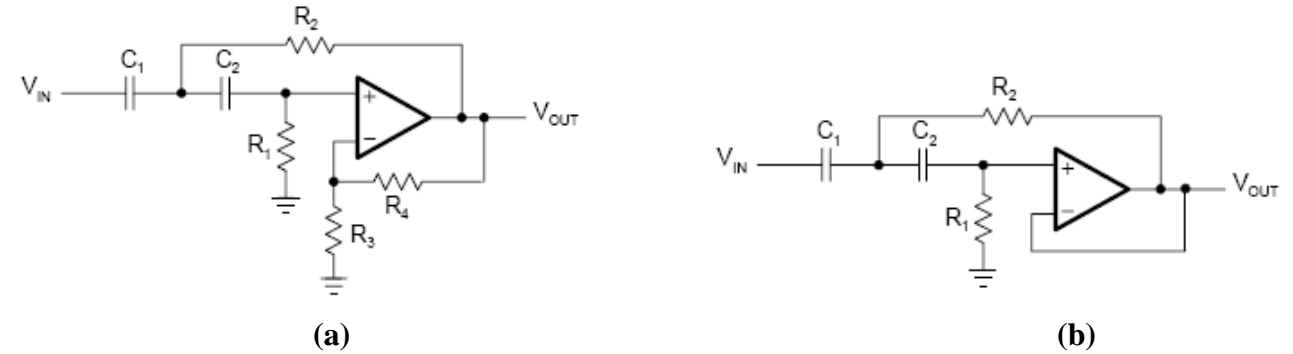
$$A(s) = \frac{A_{\infty}}{\prod_i \left(1 + \frac{a_i}{s} + \frac{b_i}{s^2} \right)}$$
 (4.1)

Dimana A_0 adalah gain dc rangkaian, dan a_i & b_i adalah koefisien filter yang menentukan sifat gain pada daerah *passband*.

Hasil perkalian penyebut akan menghasilkan polinomial s^n dimana n akan menentukan orde filter yang menjadi penentu karakteristik penguatan daerah *passband* filter dengan persamaan 3.2 pada modul Praktikum III.

A. Prosedur Perancangan *Highpass Filter* Orde 2

Konfigurasi HPF model Sallen-Key dengan *unity gain* dan model umum ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1. Rangkaian *Highpass Filter* Orde 2: model Sallen-Key
(a) umum, (b) *unity gain*

Dengan melakukan analisa rangkaian umum bisa diperoleh fungsi transfer rangkaian sbb:

$$A(s) = \frac{A_{\infty}}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1C_2(1 - A_{\infty})}{\omega_c R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s^2}}$$
 (4.2)

Pada praktikum ini digunakan rangkaian *unity gain* (Gambar 4.1.b). Prosedur desain rangkaian sbb:

- 1. HPF *unity gain* berarti $A_{\infty}=1$, dan dengan mengambil nilai komponen $C_1=C_2=C$, maka fungsi transfer rangkaian pada persamaan 4.2 menjadi:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \frac{2}{\omega_c R_1 C} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\omega_c^2 R_1 R_2 C^2} \cdot \frac{1}{s^2}} \dots\dots\dots (4.6)$$

Dengan menyesuaikan persamaan tersebut dengan persamaan 4.1 maka bisa dicari hubungan koefisien filter dan komponen untuk menghitung nilai komponen R ($\omega_c=2\pi f_c$).

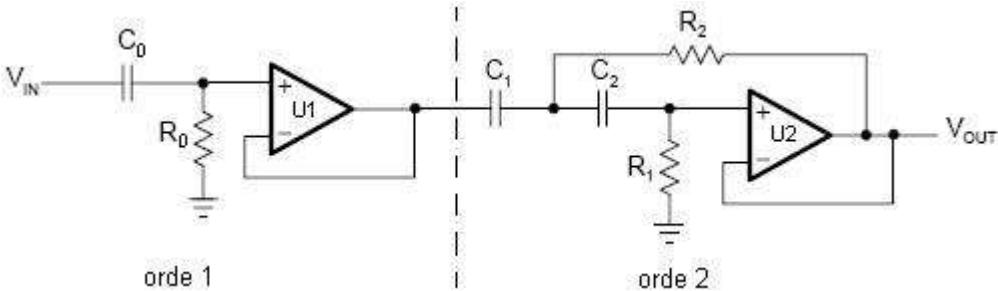
- 2. Tentukan nilai C, dan hitung nilai R_1 dan R_2 dengan kedua persamaan berikut:

$$R_1 = \frac{1}{\pi f_c C a_1} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$R_2 = \frac{a_1}{4\pi f_c C b_1} \dots\dots\dots (4.8)$$

B. Prosedur Perancangan Highpass Filter Orde 3

Untuk menghasilkan filter dengan orde yang lebih tinggi dapat dilakukan dengan menghubungkan filter secara bertingkat (*cascade*). Filter orde 3 dapat dibentuk dari filter orde 1 (filter pasif R_0 - C_0) di-*cascade* dengan filter orde 2 seperti ditunjukkan pada rangkaian HPF *unity gain* pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian Third Order Highpass Filter

Untuk menghindari terjadinya *loading effect*, tambahkan rangkaian *buffer* (U1) antara *output* filter orde 1 dan *input* filter orde 2.

Prosedur desain rangkaian pada Gambar 4.2 sbb :

- 1. Dengan melakukan analisa rangkaian bisa diperoleh fungsi transfer rangkaian HPF orde 1 sbb:

$$A(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_c R_0 C_0} \cdot \frac{1}{s}} \dots\dots\dots (4.9)$$

Dengan menyesuaikan persamaan tersebut dengan persamaan 4.1 maka bisa dicari hubungan koefisien filter dan komponen untuk menghitung nilai komponen R_0 dan C_0 ($\omega_c=2\pi f_c$).

- 2. Tentukan nilai C_0 dan hitung nilai R_0 dengan rumusan berikut ini, dimana koefisien filter a_1 yang digunakan adalah koefisien untuk orde 3 (Tabel 3.1):

$$R_0 = \frac{1}{2\pi f_c a_1 C_0} \dots\dots\dots (4.10)$$

- 3. Gabungkan dengan desain HPF orde 2, dimana koefisien filter yang digunakan adalah a_2 dan b_2 .

PROSEDUR PERCOBAAN

A. *Highpass Filter Orde 2*

1. Desainlah HPF orde 2 dengan frekuensi *cutoff* sebesar 1kHz. Bila filter yang diinginkan:
 - a. Butterworth
 - b. Bessel
 - c. 3-dB Chebychev
 Buat perancangan perhitungan sesuai dengan prosedur perancangan. Nilai C ditentukan sebesar 0,01 μ F.
2. Lakukan percobaan dengan rangkaian yang anda desain untuk ketiga macam filter di *project board*.
3. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
4. Gunakan Tabel 4.1 untuk mencatat perubahan *output* yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
5. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik (diagram Bode).

B. *Highpass Filter Orde 3*

1. Desainlah HPF orde 3 dengan frekuensi *cutoff* sebesar 1kHz. Bila filter yang diinginkan:
 - a. Butterworth
 - b. Bessel
 - c. 3-dB Chebychev
 Buat perancangan perhitungan sesuai dengan prosedur perancangan. Nilai C ditentukan sebesar 0,01 μ F.
2. Lakukan percobaan dengan rangkaian yang anda desain untuk ketiga macam filter di *project board*.
3. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
4. Gunakan Tabel 4.2 untuk mencatat perubahan *output* yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
5. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik dalam satu grafik dengan filter orde 2 (diagram Bode).

MODUL V

- Materi : Operational Amplifier sebagai band pass filter & notch filter.
- Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian:
- A. Bandpass Filter (Wideband & Narrowband)
 - B. Notch Filter (Bandstop Filter)
- Daftar bacaan : Bruce Carter, Thomas R. Brown, Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports, Texas Instruments, Texas, 2016.
Bruce Carter, Ron Mancini, Op-amps for Everyone, Newnes, USA, 2018.
- Alat dan Bahan : Op-amp, project board, kabel penghubung, potensiometer, resistor, kapasitor, DC power supply, osiloskop, audio generator.

TEORI DASAR

A. Bandpass filter

Bandpass filter (BPF) merupakan frequency selector, karena hanya melewatkan sinyal pada rentang (band) frekuensi yang diinginkan. Bandpass filter memiliki berbagai macam tipe, berdasarkan faktor kualitasnya (Q) dapat dibedakan menjadi: narrowband ($Q > 0,5$) dan wideband ($Q \leq 0,5$) BPF.

A.1. Wideband Bandpass Filter

Wideband bandpass filter terbuat dari cascade dua macam filter yang berbeda, yaitu lowpass filter dan highpass filter dengan catatan frekuensi cutoff dari kedua filter tersebut tidak overlap (bertumpuk), dan penguatan yang dihasilkan rangkaian LPF harus sama dengan yang dihasilkan rangkaian HPF. Frekuensi cutoff LPF minimal 10 kali lebih besar dari frekuensi cutoff HPF.

Prosedur perancangan wideband bandpass filter:

Hitung Bandwidth passband (Hz) dari rumus: $BW = f_H - f_L$ (5.1)

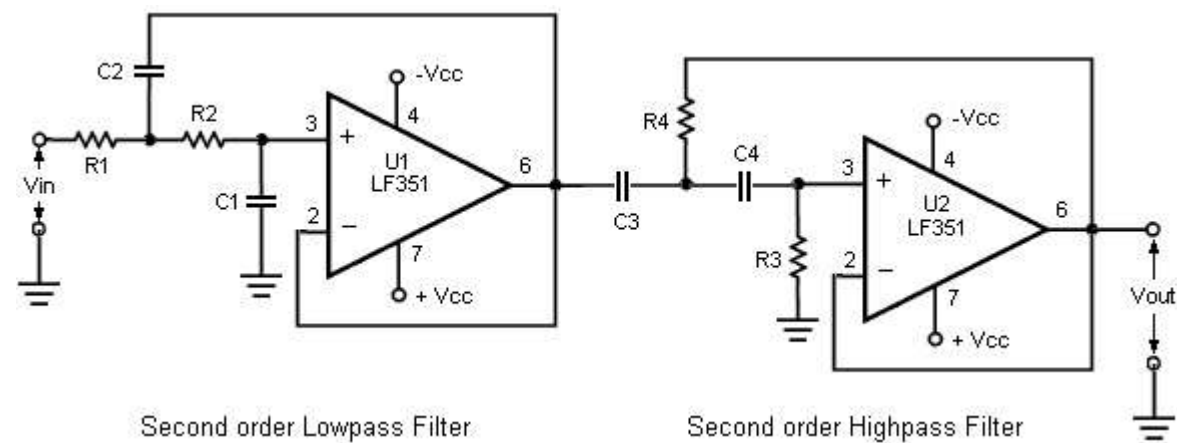
Hitung frekuensi tengah passband dari rumus: $f_r = \sqrt{f_L \cdot f_H}$ (5.2)

Hitung frekuensi cutoff low (f_L) dan high (f_H) dari kedua rumus berikut jika diketahui f_r dan BW:

$f_L = \sqrt{\frac{BW^2}{4} + f_r^2} - \frac{BW}{2}$ (5.3)

$f_H = f_L + BW$ (5.4)

Hitung faktor kualitas dari rumus: $Q = \frac{f_r}{BW}$ (5.5)



Gambar 5.1. Rangkaian Wideband Bandpass Filter

A.2. Narrowband Bandpass Filter (dengan multiple feedback)

Keuntungan yang diperoleh dari rangkaian BPF ini adalah:

- 1. Hanya menggunakan satu op-amp,
- 2. Frekuensi resonansi (f_r) dapat diatur dengan cara mengubah nilai R_2 tanpa mengganggu *bandwidth* dan *gain*.

Prosedur perancangan narrowband bandpass filter:

- 1. Tentukan f_r , H , dan Q ($Q < 10$), pilihlah nilai $H < (0,01 \times \text{open loop gain op-amp})$
- 2. Hitunglah *bandwidth* (BW) dari *passband* nya:

$$BW = \frac{f_r}{Q} \dots\dots\dots (5.6)$$

- 3. Tentukan nilai $C=C_1=C_2$, $R_3=2R_1$, lalu hitung nilai R_1 dan R_2 dari persamaan berikut:

$$R_1 = \frac{0,1591}{BW.C} \dots\dots\dots (5.7)$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2Q^2 - 1} \dots\dots\dots (5.8)$$

Bila nilai R_3 terlalu besar, maka pilih nilai C yang lebih besar dan hitung kembali nilai R_3 . Nilai R_3 tidak boleh terlalu besar ($\leq 1M\Omega$), karena *input bias current* (i_b) akan menyebabkan *dc offset* sebesar $i_b.R_3$.

- 4. Periksa ulang nilai H dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H = \frac{R_3 C_2}{R_1 (C_1 + C_2)} \dots\dots\dots (5.9)$$

- 5. Periksa ulang nilai f_r dengan menggunakan persamaan berikut:

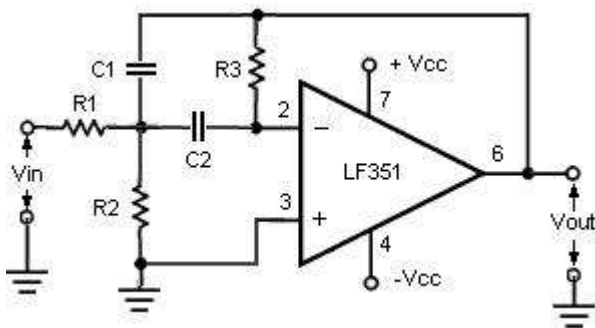
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}{R_3 C_1 C_2} \right) \dots\dots\dots (5.10)$$

- 6. Periksa ulang nilai Q dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{\left[R_3 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right]^{1/2}}{(C_2/C_1)^{1/2} + (C_1/C_2)^{1/2}} \dots\dots\dots (5.11)$$

- 7. Periksa ulang nilai BW dengan menggunakan persamaan berikut:

$$BW = \frac{f_r}{Q} = \frac{0,1125}{R_1 C} \sqrt{1 + \frac{R_1}{R_2}} \dots\dots\dots (5.12)$$



Gambar 5.2. Rangkaian Narrowband Bandpass Filter

B. Notch Filter (Bandstop Filter)

Notch filter disebut juga sebagai *band reject filter* atau *bandstop filter* dengan karakteristik meredam sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan melewati sinyal yang frekuensinya diluar rentang tersebut. *Notch filter* menghasilkan penguatan sebesar 1, C_1 dan C_2 yang berguna untuk mengatur frekuensi resonansi, serta mempengaruhi kedalaman kurva *output notch filter*.

Prosedur perancangan notch filter:

- 1. $R1=R2=R3=2R_{in}$, dimana R_{in} nilainya diatas nilai impedansi *input* yang diperlukan rangkaian.

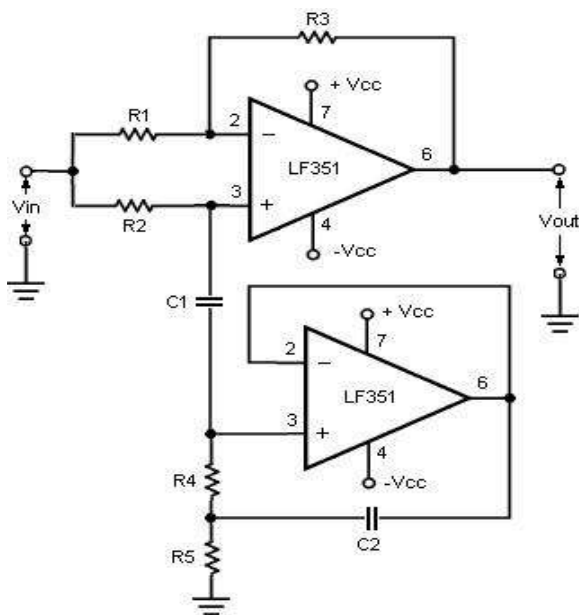
Atur $R=R4=R5=\frac{R1}{2}$ (5.13)

Hitung harga $C2=\frac{2Q}{\pi f_r R}$ (5.14)

- 2. Hitung harga $C1$, dimana $C1$ dan $C2$ yang lebih kecil dipakai untuk mengatur f_r :

$C1=\frac{1}{(2\pi f_r R)^2 C2}$ (5.15)

- 3. Hitung ulang harga frekuensi resonansi dengan persamaan: $f_r=\frac{1}{2\pi R\sqrt{C1C2}}$ (5.16)



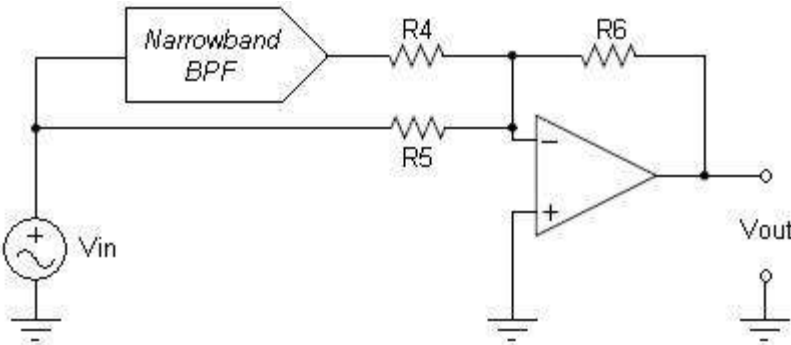
Gambar 5.3. Rangkaian Notch Filter

Selain itu *notch filter* dapat dihasilkan dari rangkaian *narrowband bandpass filter* dan rangkaian *Adder (summing amplifier)* dua *input* seperti pada Gambar 5.4, karena pada frekuensi tengah (f_r) *passband*, sinyal *output* BPF akan mengalami pergeseran fasa sebesar 180° terhadap sinyal *input*-nya.

Prosedur perancangan notch filter dari narrowband BPF dan adder:

- 1. Desain *narrowband* BPF dengan frekuensi resonansi, BW, dan Q sama dengan *notch filter* yang akan dibuat,
- 2. Hubungkan *narrowband* BPF tadi dengan rangkaian *adder (summing amplifier)*,
- 3. Nilai resistor $R4$, dan $R5$ ($R6=R5$) dapat dihitung sbb. untuk menghasilkan nilai redaman terdalam yang paling mungkin pada frekuensi tengah *passband* filter:

$\frac{R4}{R5}=\frac{R3}{2R1}$ (5.17)



Gambar 5.4. Rangkaian Notch Filter dibentuk dari Narrowband BPF dan Adder

PROSEDUR PERCOBAAN

A. Wideband Bandpass Filter

1. Desainlah *wideband* BPF untuk sinyal dengan rentang frekuensi *passband* antara $f_L = 300\text{Hz}$ hingga $f_H = 3000\text{Hz}$. Gunakan desain *second order* LPF dan HPF untuk menghasilkan rangkaian BPF tersebut (Gambar 5.1). Komponen C yang digunakan adalah $0,01\mu\text{F}$.
2. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
3. Gunakan Tabel 5.1 untuk mencatat perubahan yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
4. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik.

B. Narrowband Bandpass Filter

1. Desainlah *narrowband* BPF dengan spesifikasi sebagai berikut: $f_r = 1\text{kHz}$, $H = 10$, $Q = 5$ dengan menggunakan rangkaian pada Gambar 5.2. Komponen C yang digunakan adalah $0,01\mu\text{F}$.
2. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan audio generator, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
3. Amatilah tegangan *output* (V_{out}) rangkaian *Notch Filter* pada frekuensi tengahnya, trim R_2 pada rangkaian *Narrowband BPF* hingga *output* rangkaian *notch filter* yang paling kecil yang mungkin dicapai (frekuensi tengah rangkaian *narrowband* BPF yang direalisasikan tepat seperti yang dirancang).
4. Gunakan Tabel 5.2 untuk mencatat perubahan yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
5. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik.

C. Notch Filter (Bandstop Filter)

1. Desainlah rangkaian *notch filter* dengan frekuensi tengah 1kHz , $Q = 5$, dan $R_{in}(\text{min}) = 10\text{k}\Omega$.
2. Selesaikan desain tersebut pada laporan sementara dengan mengikuti prosedur perancangan. (Note: Tidak dilakukan percobaan)
3. Desainlah rangkaian *notch filter* dengan menggunakan rangkaian *narrowband* BPF (percobaan B) digabung dengan rangkaian *adder* seperti Gambar 5.4.
4. Gambarkan rangkaian lengkap hasil desain rangkaian *notch filter* tersebut pada laporan sementara.
5. Hubungkan rangkaian dengan *power supply*, lalu hubungkan juga *input* rangkaian dengan *audio generator*, dan *output* rangkaian ke osiloskop.
6. Gunakan Tabel 5.3 untuk mencatat perubahan yang terjadi setiap perubahan frekuensi sinyal *input*.
7. Gambarkan grafik respon frekuensi terhadap *gain* rangkaian dalam skala logaritmik.

MODUL VI

- Materi : *Operational Amplifier* dalam rangkaian Generator.
- Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian *Op-amp* untuk membangkitkan gelombang sinus, cosinus, segitiga (*triangle*), persegi (*square*), dan gigi gergaji (*saw tooth/ramp*)
- Daftar bacaan : *Bruce Carter, Ron Mancini, Op-amps for Everyone*, Newnes, USA, 2018.
Bruce Carter, Thomas R. Brown, *Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports*, Texas Instruments, Texas, 2016.
Thomas L. Floyd, *Electronic Devices: Electron Flow Version*, Ninth Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2012.
- Alat dan Bahan : *Op-amp, project board*, kabel penghubung, potensiometer, resistor, kapasitor, *DC power supply*, osiloskop, audio generator.

TEORI DASAR

A. Rangkaian Differentiator

Differentiator Op-amp dasar mirip dengan penguat pembalik dasar, namun elemen *input*-nya adalah kapasitor. Persamaan tegangan *output* rangkaian ini adalah:

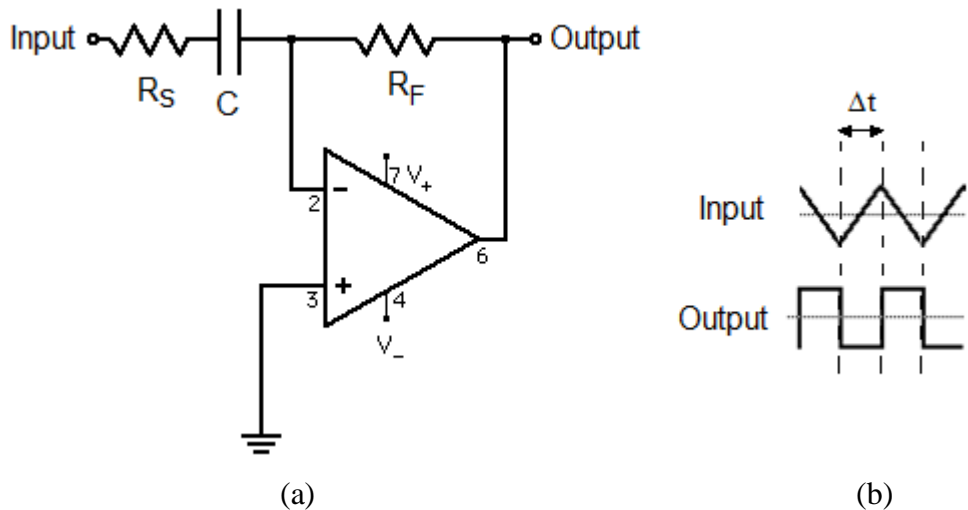
$$V_{out} = -R_F C \left(\frac{dV_{in}}{dt} \right) \dots\dots\dots (6.1)$$

Sehingga dengan tegangan *input* yang stabil berubah terhadap waktu ($\frac{dV_{in}}{dt}$, *ramp*), maka akan menghasilkan *output* yang konstan. Masalah dari rangkaian dasar ini adalah bahwa reaktansi kapasitif (X_C) berbanding terbalik terhadap frekuensi, sehingga tegangan *output differentiator* akan bertambah besar seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini menyebabkan rangkaian rawan terhadap *noise* pada frekuensi tinggi.

Pada rangkaian *differentiator*, gambar 6.1, terdapat sebuah tahanan R_S (bernilai $50\Omega - 100\Omega$) yang diseri dengan kapasitor *input* yang membentuk *lowpass filter* orde 1, sehingga meredam penguatan frekuensi tinggi hingga ke nilai $\frac{R_F}{R_S}$. Frekuensi *cutoff lowpass filter* dapat dihitung

dengan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_S C} \dots\dots\dots (6.2)$$



Gambar 6.1. *Differentiator* dengan penguat frekuensi tinggi terbatas, a) rangkaian, b) grafik bentuk sinyal *input* dan *output*

Dasar Perancangan:

- Bila frekuensi sinyal input (f_{in}) < frekuensi *cutoff lowpass filter* (f_c), maka rangkaian berfungsi sebagai *differentiator* dengan tegangan *output* sesuai pers. 6.1.
- Bila frekuensi sinyal input (f_{in}) > frekuensi *cutoff lowpass filter* (f_c), maka rangkaian berfungsi sebagai penguat pembalik dengan penguatan sesuai rumusan berikut:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_S} \dots\dots\dots (6.3)$$

- Respon frekuensi sesuai pers. 6.2
- Amplitudo *output* sinyal persegi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V_{out(P)} = -R_F C \left(\frac{V_{in(P)}}{\Delta t} \right) \dots\dots\dots (6.4)$$

B. Rangkaian Integrator

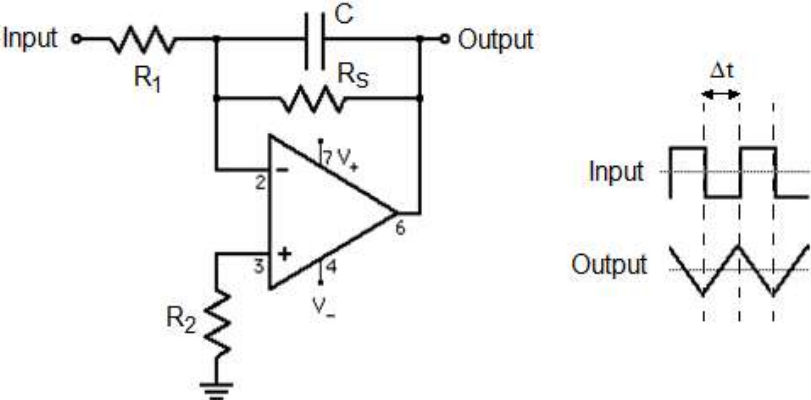
Output sebuah *integrator* proporsional dengan integral sinyal *input*-nya terhadap waktu. Jika *input*-nya konstan, maka akan menghasilkan *output* yang stabil berubah terhadap waktu (*ramp*). Dalam bentuk matematis, tegangan *output* sebagai fungsi waktu adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_{in} dt + C \dots\dots\dots (6.5)$$

C adalah kostanta integral yang merupakan nilai awal *V_{out}* saat *t*=0. Pada gambar 6.2, rangkaian *integrator* dibentuk dengan menukar posisi tahanan dan kapasitor dari rangkaian *differentiator*. *R₁* adalah elemen *input*, dan kapasitor C adalah elemen umpan balik. Sinyal *output* rangkaian dapat diamati dengan mengetahui kecepatan perubahan sinyal *output* terhadap waktu dengan rumusan berikut:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = -\frac{V_{in}}{R_1 C} \text{ (volt/detik)} \dots\dots\dots (6.6)$$

Tahanan *R_S* yang paralel terhadap kapasitor umpan balik disebut tahanan *shunt*, yang berfungsi untuk membatasi penguatan frekuensi rendah rangkaian, sehingga bersifat sebagai *highpass filter* orde 1. Jika penguatan frekuensi rendah tidak dibatasi, maka *offset* dc, sekalipun kecil, akan ikut diintegrasikan selama periode pengintegrasian, dan bahkan akan menjenuhkan *op-amp*.



Gambar 6.2. Integrator dengan penguatan frekuensi rendah terbatas, a) rangkaian, b) grafik bentuk sinyal input dan output

Tegangan *offset* dc yang disebabkan arus *bias* yang masuk ke kaki *input op-amp* diperkecil oleh tahanan *R₂*, yang nilainya diperoleh dari kombinasi paralel tahanan *input* dan tahanan *shunt* sebagaimana persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_S}{R_1 + R_S} \dots\dots\dots (6.7)$$

Karena tahanan *shunt* ini membantu membatasi penguatan frekuensi rendah rangkaian, maka persamaan 6.8 berlaku untuk frekuensi *input* yang lebih besar dari frekuensi *cutoff* (*f_c*) *highpass filter* yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_S C} \dots\dots\dots (6.8)$$

Dasar Perancangan

- Bila frekuensi sinyal input (*f_{in}*) > frekuensi *cutoff highpass filter* (*f_c*), maka rangkaian berfungsi sebagai *integrator* dengan tegangan *output* sesuai pers. 6.10.

- Bila frekuensi sinyal input (f_{in}) < frekuensi *cutoff highpass filter* (f_c), maka rangkaian berfungsi sebagai penguat pembalik dengan penguatan sesuai persamaan berikut:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_S}{R_1} \dots\dots\dots (6.9)$$

Dimana R_S dibuat kira-kira 10 kali R_1 , karena dengan rangkaian *differentiator* maka konstanta waktu R_1C dibuat kira-kira sama dengan periode sinyal *input* yang akan diintegrasi.

- Respon frekuensi rendah sesuai pers. 6.8
- R_2 dihitung dengan menggunakan pers. 6.7
- Amplitudo *output* sinyal segitiga dapat dihitung dengan rumus berikut:

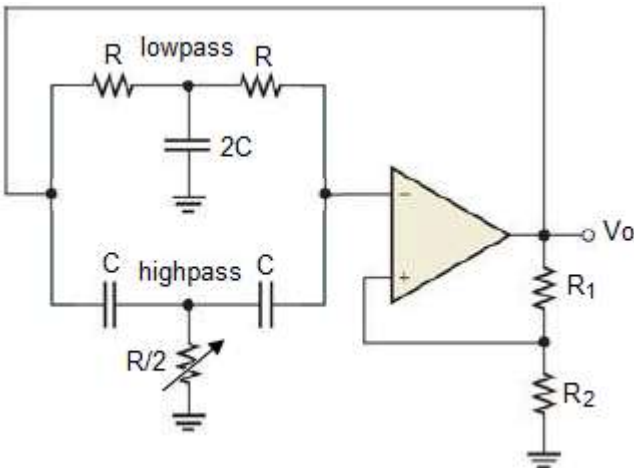
$$V_{out(PP)} = -\frac{V_{in(P)} \cdot \Delta t}{R_1 C} \text{ (volt)} \dots\dots\dots (6.10)$$

C. Sine Wave Generator

Sine wave yang sering digunakan selain *wien bridge oscillator* adalah *twin-T oscillator* atau *double integrator oscillator* (gambar 6.3). Frekuensi osilasi dari rangkaian osilator *twin-T* adalah:

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots (6.11)$$

dimana resistor variabel ($R/2$) di-adjust sehingga rangkaian berosilasi. Supaya rangkaian dapat digunakan saat dihubungkan ke *power supply* maka ambillah nilai $R_2 = 2.R$, dan R_1 dibuat 10 kali lebih besar dari R_2 .

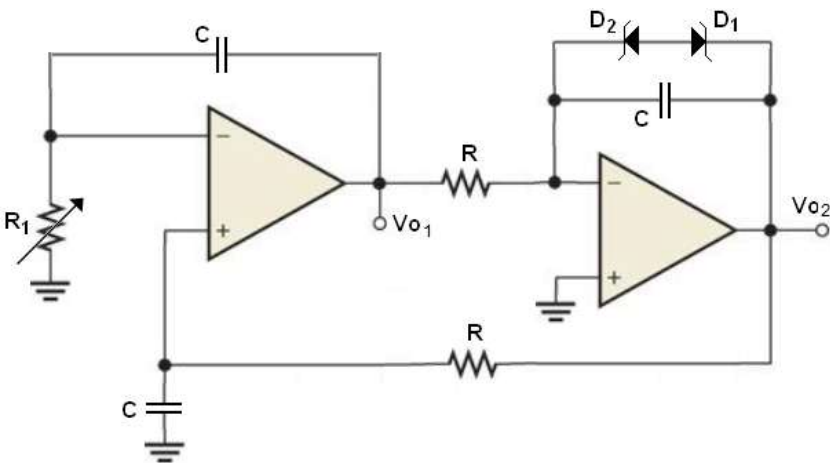


Gambar 6.3. Rangkaian Twin-T sine wave oscillator

D. Sine/Cosine Oscillator

Gelombang sinus dan cosinus dapat dibangkitkan dalam satu osilator yang disebut *quadrature oscillator*. Frekuensi *output* yang dihasilkan adalah:

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC} \dots\dots\dots (6.12)$$



Gambar 6.4. Rangkaian Quadrature Oscillator

R_1 dibuat sedikit lebih rendah dari R untuk membuat osilasi langsung terjadi saat terhubung dengan *power supply*. Untuk mengontrol amplitudo *output* cosinus maka dipasang dioda zener $\pm V_Z$.

E. *Square and Triangle Generator*

Rangkaian dasar *square wave* dan *triangle generator* biasanya disebut juga *relaxation oscillator*, seperti rangkaian osilator yang lain yaitu tanpa dipicu *external signal*. Keluarannya merupakan *feedback* dari kedua masukannya, sehingga frekuensi *output* ditentukan oleh *charge* dan *discharge* dari kapasitor C melewati R , sehingga:

$$f_o \cong \frac{1}{2RC \ln \left(\frac{2R_1}{R_2} + 1 \right)} \tag{6.13}$$

Rangkaian terdiri dari komparator dengan tegangan referensi 0 volt, yang dihubungkan ke *integrator*. Rasio R_2/R_1 mengatur amplitudo dari gelombang *triangle*, dan amplitudo gelombang persegi adalah tegangan saturasi *output* komparator.

Dasar Perancangan

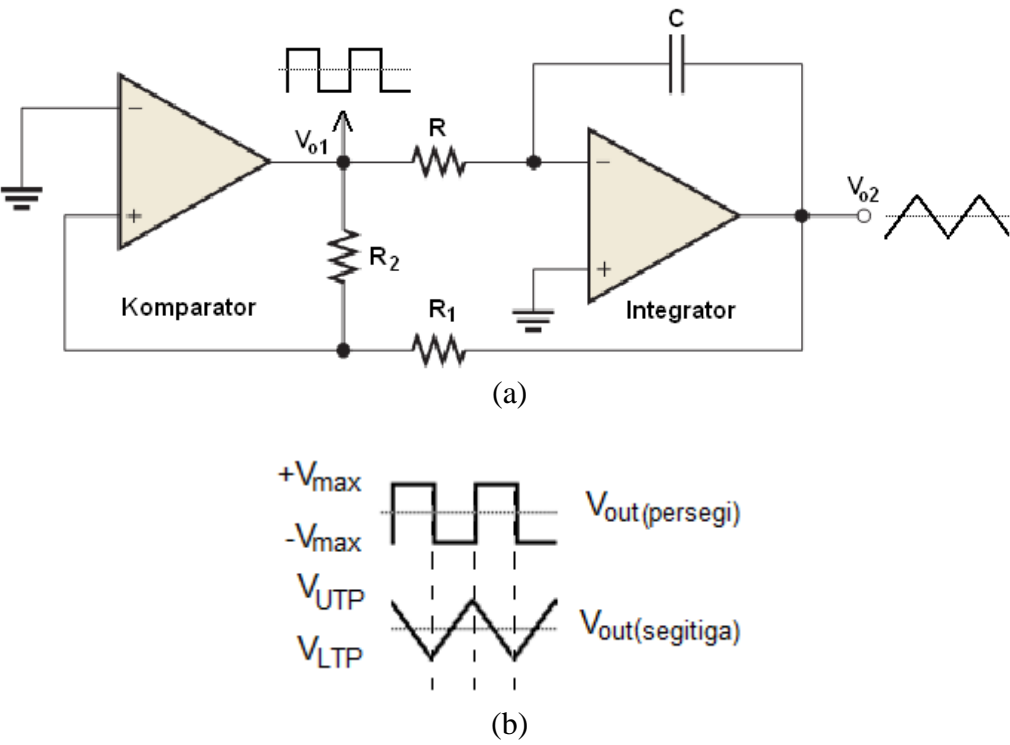
- Frekuensi osilasi kedua rangkaian dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$f_o = \frac{1}{4RC} \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \tag{6.14}$$

- Amplitudo sinyal segitiga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{UTP} = +V_{max} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \tag{6.15}$$

$$V_{LTP} = -V_{max} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \tag{6.16}$$



Gambar 6.5. *Square/triangle wave generator*, a) rangkaian, b) grafik bentuk sinyal *output*

PROSEDUR PERCOBAAN

A. Rangkaian *Differentiator*

1. Desainlah rangkaian *differentiator* pada Gambar 6.1(a) yang bekerja pada frekuensi (f_c) antara 0,01 – 1kHz dengan $A_v = 10x$. Gunakan $C = 0,1\mu F$. Hitung R_F dan R_S .
2. Berilah *input* gelombang segitiga 1 V_{PP} (0,5 volt puncak) dan frekuensi 100Hz, dan amatilah perbandingan bentuk sinyal *input* terhadap *output* pada osiloskop. Gambarkan bentuk kedua gelombang tersebut pada laporan, serta catat V_P sinyal *output*.
3. Hitung tegangan *output* $V_{out(PP)}$ secara teoritis dan bandingkan dengan hasil percobaan anda.
4. Lakukan langkah 2 dan 3 untuk frekuensi 10kHz (rangkaiannya berfungsi sebagai penguat pembalik karena $f_i > f_c$).
5. Lakukan langkah 2 dan 3 untuk frekuensi yang berubah-ubah sesuai Tabel 6.1. Carilah frekuensi batas perubahan mode kerja *differentiator* ke penguat pembalik dan gambarkan sinyal *output*-nya saat itu (mulai cacat).
6. Lakukan langkah 2 dan 3 dengan *input* gelombang sinus.

B. Rangkaian *Integrator*

1. Desainlah rangkaian *integrator* pada Gambar 6.2(a) yang bekerja pada frekuensi (f_c) antara 0,01 – 1kHz dengan $A_v = 10x$. Gunakan $C = 0,1\mu F$. Hitung R_F dan R_S .
2. Hitung perubahan tegangan *output* secara teoritis jika diberi *input* gelombang persegi $V_{in(PP)}$ 1 volt dengan frekuensi 10kHz.
3. Realisasikan pada rangkaian. Amatilah perbandingan bentuk sinyal *input* terhadap *output* pada osiloskop dan gambarkan bentuk kedua gelombang tersebut pada laporan. Catatlah $V_{out(PP)}$ sinyal *output* hasil percobaan pada Tabel 6.2.
4. Lakukan langkah 2 dan 3 untuk frekuensi 100Hz (rangkaiannya berfungsi sebagai penguat pembalik karena $f_i > f_c$). Gambarkan perbandingan bentuk gelombang sinyal *input* dan *output* tersebut pada laporan.
5. Lakukan langkah 2 dan 3 untuk frekuensi 200Hz, 500Hz, 1kHz, 1k5Hz, 3kHz tanpa gambar. Carilah frekuensi batas perubahan mode kerja *integrator* ke penguat pembalik dan gambarkan sinyal *output*-nya saat itu (mulai cacat).
6. Lakukan langkah 2 dan 3 dengan *input* gelombang sinus.

C. Rangkaian *Twin-T Sine Wave Generator*

1. Desainlah rangkaian *Twin-T sine wave generator* untuk $f_o = 500Hz$, serta hitung nilai dari R , R_1 dan R_2 yang harus dipasang bila diketahui $C = 0,047\mu F$.
2. Rangkailah rangkaian sesuai Gambar 6.3 dengan nilai R dan C tersebut.
3. Hubungkan dengan tegangan suplai ± 12 volt.
4. Gambarkan bentuk sinyal *output* yang teramati pada osiloskop.

D. Rangkaian *Sine/Cosine Oscillator*

1. Desainlah rangkaian *Sine/cosine oscillator* untuk $C = 0,033\mu F$, $R = 10k\Omega$, $R_1 = 12k\Omega$.
2. Rangkailah rangkaian sesuai Gambar 6.4 dengan nilai R dan C tersebut.
3. Hubungkan dengan tegangan suplai ± 12 volt.
4. Gambarkan dan bandingkan bentuk sinyal *output* sinus dan cosinus yang teramati pada osiloskop. Apakah perbedaan antara kedua gelombang *output* tersebut? Jelaskan!

E. Rangkaian *Square and Triangle Generator*

1. Desainlah rangkaian *Square & triangle oscillator* untuk $f_o = 5kHz$, bila $C = 0,1\mu F$ dan $R = 10k\Omega$.
2. Hubungkan dengan tegangan suplai ± 12 volt.
3. Rangkailah rangkaian sesuai Gambar 6.5 dengan nilai R dan C tersebut.
4. Gambarkan dan bandingkan bentuk sinyal *output* persegi dan segitiga yang teramati pada osiloskop.
5. Jika frekuensi osilasi menjadi 10kHz, gambarlah bentuk sinyal *output*-nya dan sertakan pula hasil perhitungannya, dan catatlah $+V_{max}$, $-V_{max}$, V_{UTP} , V_{LTP} yang dihitung dan teramati pada osiloskop di Tabel 6.3.

MODUL VII

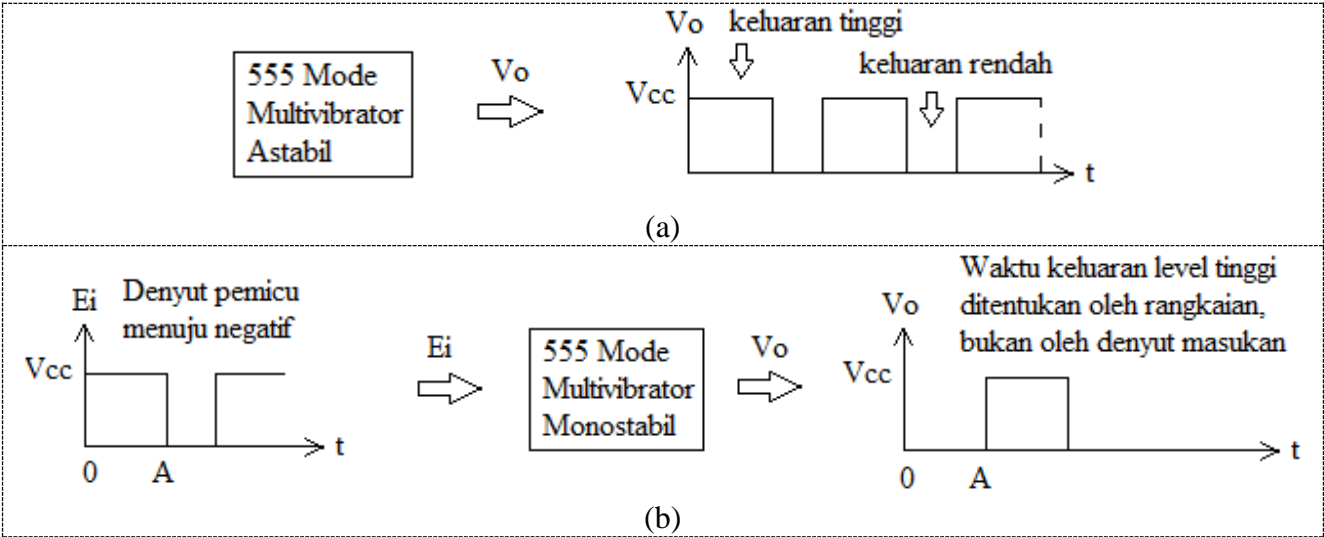
- Materi : 555 dalam rangkaian timer
- Tujuan : Mahasiswa dapat menggunakan dan merancang rangkaian Timer
- Daftar bacaan : Bruce Carter, Ron Mancini, *Op-amps for Everyone*, Newnes, USA, 2018.
M.C. Sharma, *555 Timer and Its Applications*, BPB Publication, New Delhi, 2017.
- Alat dan Bahan : *Op-amp, project board*, multitrurn, resistor, kapasitor, *DC power supply*, AVO meter, osiloskop.

TEORI DASAR

Rangkaian pewaktu digunakan pada perangkat-perangkat yang membutuhkan *delay* seperti osilator, pembangkit pulsa/ gelombang persegi (*square wave generator*), multivibrator satu tembakan (*one shoot multivibrator*), penanda bahaya pencurian, dan monitor-monitor tegangan.

Rangkaian pewaktu sering menggunakan 555, karena mudah penggunaannya dan murah. IC 555 dapat beroperasi pada tegangan kerja 5V sampai 18V, sehingga IC ini kompatibel dihubungkan dengan rangkaian-rangkaian *transistor-transistor logic* (TTL) dan juga rangkaian Op-Amp.

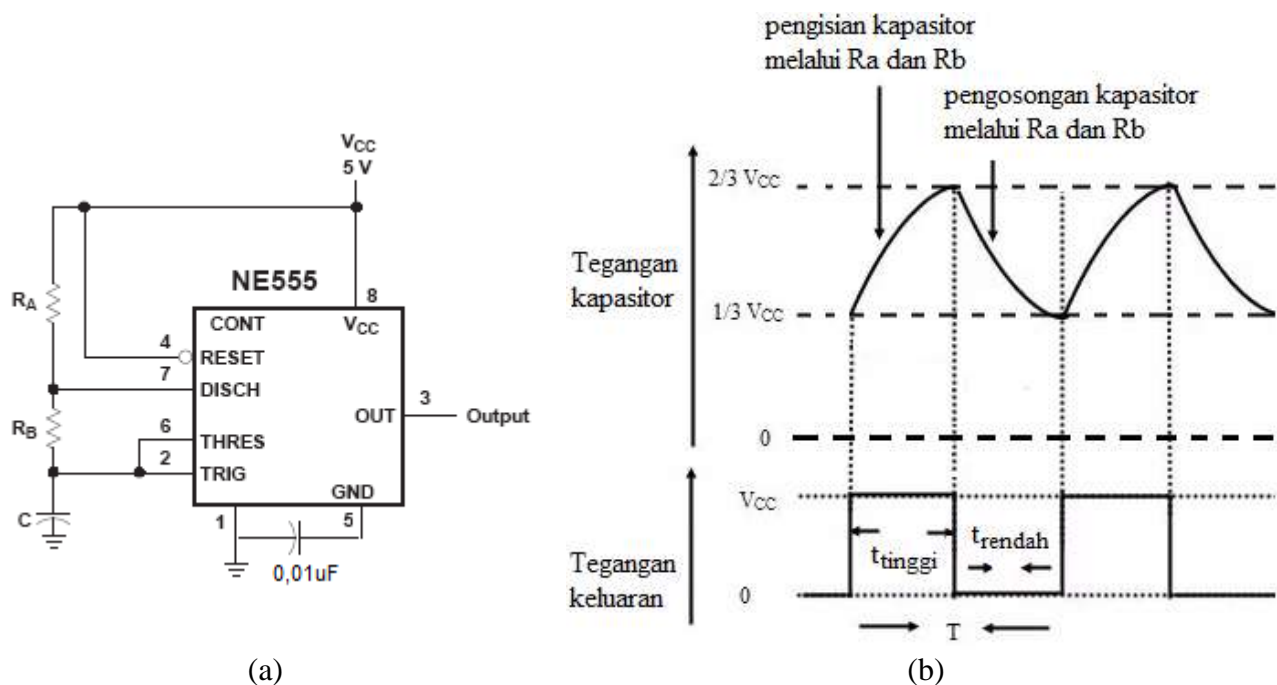
Pewaktu 555 dapat dianggap sebagai sebuah blok fungsional yang berisi dia buah pembanding, dua transistor, tiga tahanan yang sama, sebuah *flip-flop* dan sebuah tingkat keluaran. Pewaktu ini mempunyai dua cara kerja, yaitu baik secara multivibrator astabil (bergerak bebas) dan multivibrator monostabil (satu tembakan). Cara kerja kedua multivibrator tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7.1. Cara kerja multivibrator: (a) astabil; (b) monostabil

Tegangan keluaran beralih dari level tinggi ke level rendah, dan kembali lagi. Lamanya keluaran pada level tinggi atau rendah ditentukan oleh sebuah jaringan kapasitor-tahanan yang dihubungkan dari luar ke pewaktu 555. Nilai tegangan keluaran level tinggi sedikit lebih kecil dari V_{cc} . Nilai tegangan keluaran level rendah kira-kira 0,1V.

Bila pewaktu tersebut bekerja sebagai multivibrator monostabil, tegangan keluarannya rendah sampai sebuah pulsa pemicu yang menuju negatif diterapkan ke pewaktu tersebut, kemudian keluarannya menjadi level tinggi. Lama keluarannya pada level tinggi ditentukan oleh tahanan dan kapasitor yang dihubungkan ke pewaktu IC 555. Selanjutnya keluaran kembali ke level rendah hingga ada pulsa pemicu selanjutnya.



(a) (b)
Gambar 7.2. Multivibrator astabil: (a) Rangkaian operasi; (b) Bentuk gelombang

Frekuensi Osilasi (multivibrator astabil):

Selang waktu level tinggi dan rendah diberikan oleh persamaan berikut:

$t_{tinggi} = 0,695.(R_a + R_b).C$ (7.1)

$t_{rendah} = 0,695.R_b.C$ (7.2)

Jadi perioda osilasi t.otat T adalah:

$T = t_{tinggi} + t_{rendah}$ (7.3)

$T = 0,695.(R_a + 2.R_b).C$ (7.4)

Sehingga frekuensi osilasinya adalah:

$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_a + 2.R_b).C}$ (7.5)

Dengan siklus tugas t_{rendah} terhadap perioda adalah:

$D = \frac{t_{rendah}}{T} = \frac{R_b}{R_a + 2.R_b}$ (7.6)

PROSEDUR PERCOBAAN

1. Tugas 1
 - a. Hitunglah t_{tinggi} , t_{rendah} , periode osilasi, frekuensi osilasi, dan siklus tugas secara teoritis.
 - b. Desainlah rangkaian pewaktu 555 yang bekerja pada tegangan +5V. Nilai R_a , R_b , dan C seperti pada Gambar 7.2a.
 - c. Amatilah sinyal outputnya menggunakan osiloskop, dan gambarlah bentuk sinyalnya.
 - d. Bandingkan parameter-parameter sinyal output tersebut dengan hasil perhitungan pada langkah 1.a.
2. Tugas 2
 - a. Desainlah rangkaian pewaktu 555 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Periode osilasi : 1ms
 - Nilai C (pada V_c) : 0,1 μ F
 - Siklus tugas t_{rendah} : 30%
 - b. Ulangi langkah 1.c dan 1.d.
3. Tugas 3
 - a. Desainlah rangkaian pewaktu 555 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Periode osilasi : 1ms
 - Nilai C (pada V_c) : 0,1 μ F
 - Siklus tugas t_{rendah} : 25%
 - b. Ulangi langkah 1.c dan 1.d.
4. Tugas 4
 - a. Desainlah rangkaian pewaktu 555 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Tegangan kerja : +12V
 - Nilai R_a : 3 kali R_b
 - Nilai C (pada V_c) : 50nF
 - b. Ulangi langkah 1.c dan 1.d.
5. Tugas 5
 - a. Desainlah rangkaian pewaktu 555 dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Tegangan kerja : +12V
 - Periode osilasi : 5ms
 - Nilai C (pada V_c) : 50nF
 - Siklus tugas t_{rendah} : 15%
 - b. Ulangi langkah 1.c dan 1.d.

MODUL VIII

- Materi : Sensor infra merah, LDR, LM35, LM335, dan tranduser *ultrasound* serta rangkaian pengkondisi sinyalnya.
- Tujuan : Mahasiswa dapat mengoperasikan sensor hingga menghasilkan *output*.
- Daftar bacaan : Robert L. Boylestad, Louis Nshelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, Eleventh Edition, Pearson, USA, 2013.
Albert Malvino, David Bates, *Electronic Principles*, Eight Edition, Mc Graw Hill Education, USA, 2016.
- Alat dan Bahan : Sensor infra merah Tx-Rx, LDR, LM35, LM335, tranduser *ultrasound*, transistor, kapasitor, dioda, potensiometer, resistor, CMOS MC14049/HEF4049, LM324, kabel penghubung, *project board*, *DC power supply*, AVO meter, pemanas air, thermometer, papan pantul, osiloskop digital, penggaris.

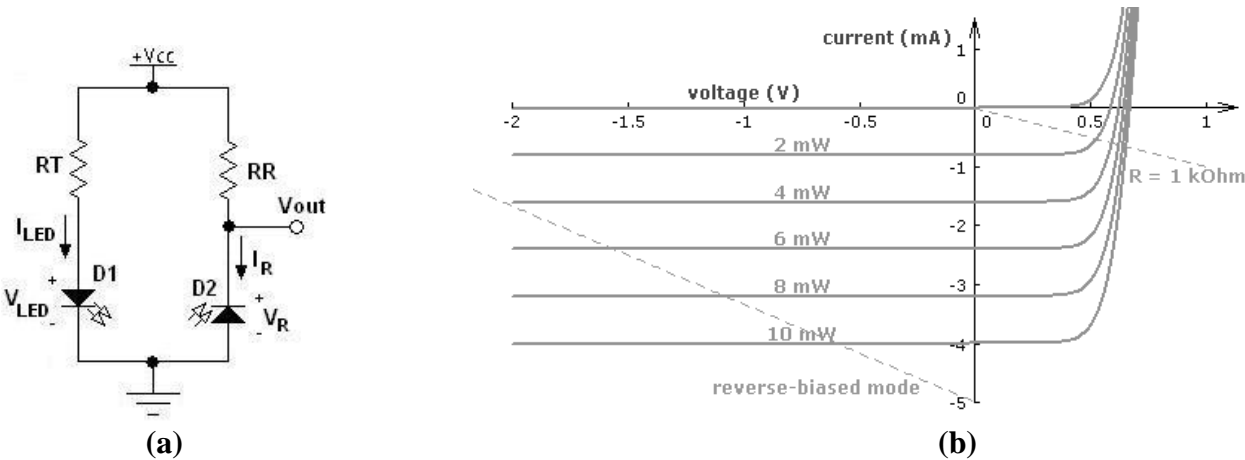
TEORI DASAR

1. Sensor Infra Merah

Rangkaian infra merah ini terdiri dari pemancar dan penerima. Dan yang biasa digunakan untuk rangkaian sensor ini adalah LED infra merah untuk memancarkan cahaya, dan photodiode sebagai penerimanya. Spesifikasi umum LED adalah besarnya arus kerja 10 – 150mA, dan tegangan kerjanya 1,5V – 2,5V. Nilai resistor (RT) pada rangkaian pemancar (Gambar 8.1.a) dapat dihitung dengan menentukan tegangan kerja dan arus yang diberikan pada LED dan menggunakan persamaan berikut:

$$R_T = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}}$$
 (8.1)

Pada rangkaian penerima, photodiode yang dipasang *reverse bias* akan menghasilkan arus yang besarnya bergantung pada cahaya yang diterima (mode *photoconductive*). Kurva arus *reverse* terhadap tegangan *reverse* yang dihasilkan oleh photodiode bergantung dari daya iluminasi cahaya yang diterima dapat dilihat pada Gambar 8.1.b. Saat tidak menerima cahaya maka photodiode akan beroperasi pada daerah OFF maka $I_R \approx 0A$, dan saat terang pada daerah ON maka I_R , dalam kondisi ini umumnya dikenal dengan I_{sc} atau *ideal current source*, bergantung dari daya iluminasi cahaya yang diterima. Nilai RR dapat dipilih antara 10Ω hingga 1kΩ, bergantung dari nilai ambang V_{out} yang diinginkan.



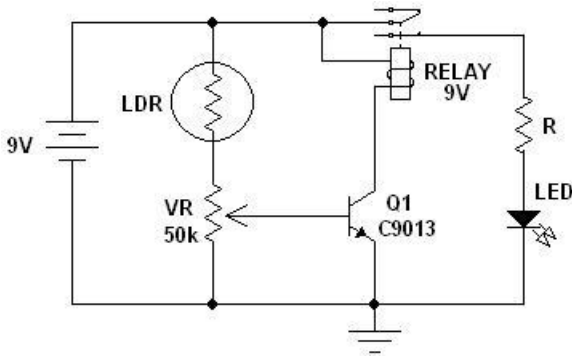
Gambar 8.1. Sensor Infra Merah

(a) Rangkaian Pemancar dan Penerima. (b) Grafik I-V Reverse pada Photodiode

2. LDR

LDR merupakan sensor cahaya yang menghasilkan *output* perubahan resistansi (Ω) terhadap intensitas cahaya yang diterima. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diberikan,

resistansinya semakin kecil, dan sebaliknya. Aplikasi yang digunakan pada praktikum adalah rangkaian saklar cahaya yang akan menyala LED saat keadaan gelap dan mematikan LED saat keadaan terang. Rangkaian saklar cahaya ditunjukkan pada Gambar 8.2. Resistor variabel VR 50kΩ dan LDR membentuk rangkaian pembagi tegangan. VR berfungsi untuk mengatur proporsi pembagian tegangan sehingga rangkaian relay bisa merespon kondisi cahaya yang diinginkan. Resistor R untuk mengatur intensitas cahaya LED. Pada saat gelap, resistansi LDR besar, maka tegangan yang masuk ke basis mendekati 0,7V. Kondisi tersebut menyebabkan transistor aktif dan arus mengalir, sehingga relay akan bekerja menyalakan LED.



Gambar 8.2. Rangkaian Saklar Cahaya

3. LM35

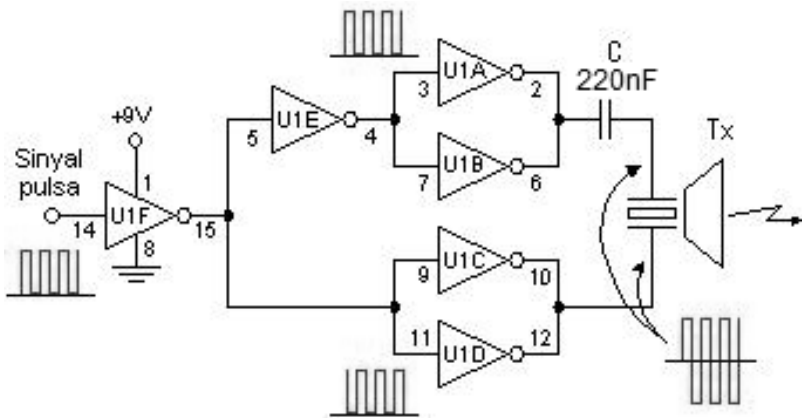
Merupakan jenis sensor yang mendeteksi temperatur dan menghasilkan tegangan. Level tegangan *output* terhadap perubahan suhu adalah 10mV per derajat Celcius. Untuk lebih jelasnya lihat *datasheet*.

4. LM335

Merupakan jenis sensor yang mendeteksi suhu/temperatur dan menghasilkan tegangan. Level tegangan *output* terhadap perubahan suhu adalah 10mV per derajat Kelvin. Untuk lebih jelasnya lihat *datasheet*.

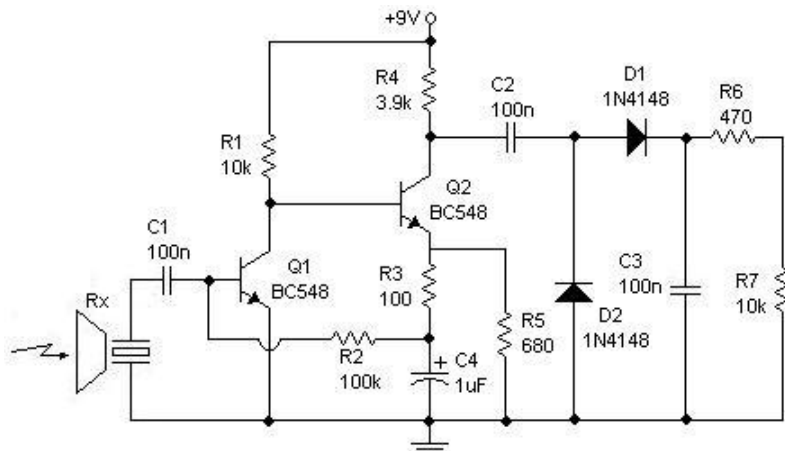
5. Ultrasound

Rangkaian pada Gambar 8.3 dan 8.4 merupakan pemancar dan penerima gelombang *ultrasound*. Pada rangkaian pemancar, daya sinyal pulsa, pada frekuensi *ultrasound*, ditingkatkan menggunakan dua buah inverter (U1A & U1B, U1C & U1D) yang dihubungkan paralel. Inverter U1E berfungsi agar sinyal pada kedua sisi input transduser akan saling berkebalikan fasa dan menghasilkan penguatan amplitudo sinyal sekitar 2x amplitudo sumber. IC inverter yang digunakan adalah MC14049/HEF4049 (inverting hex buffer). Gelombang *ultrasound* akan dihasilkan oleh transduser. C1 digunakan untuk menahan arus DC yang masuk ke transduser. Gunakan IC CMOS untuk inverter sehingga dapat melakukan ON/OFF dengan kecepatan tinggi.



Gambar 8.3. Rangkaian Pemancar Ultrasound

Rangkaian penerima *ultrasound* berfungsi untuk mengubah frekuensi yang masuk menjadi tegangan, dan transistor-transistor tersebut digunakan sebagai penguat tegangan.



Gambar 8.4. Rangkaian Penerima *Ultrasound*

PROSEDUR PERCOBAAN

A. Infra Merah

1. Desainlah rangkaian pemancar dan penerima infra merah pada Gambar 8.1.
2. Tambahkan sebuah rangkaian Komparator (gunakan LM324) pada *output* rangkaian penerima infra merah sehingga dapat digunakan untuk sistem pengaman rumah dimana *output* dari rangkaian tersebut diinginkan pada kondisi *high* ('1') saat antara pemancar cahaya dan penerima tidak ada penghalang, dan kondisi *low* ('0') saat ada penghalang.
3. Realisasikan rangkaian tersebut pada *project board*, dan hubungkan dengan *DC power supply* setelah disetujui asisten.
4. Amatilah *output* rangkaian menggunakan AVO meter, catatlah hasil pengamatan pada Tabel 8.1 dan beri kesimpulan atas percobaan anda.

B. LDR

1. Realisasikanlah rangkaian pada Gambar 8.2 di *project board*, dan hubungkan dengan *DC power supply* setelah disetujui asisten.
2. Amatilah *output* rangkaian menggunakan AVO meter, catatlah tegangan yang dihasilkan rangkaian saat gelap dan terang.
3. Jawablah pertanyaan-pertanyaan pada lembar laporan praktikum.

C. LM35 dan LM335

1. Desainlah sebuah rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor LM35 ($10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$) sehingga level tegangan *output* sensor saat suhu $0 - 100^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan rentang *input* analog ADC yaitu $0 - 5\text{V}$.
2. Realisasikan rangkaian tersebut pada *project board*, gunakan air sebagai media yang diukur suhunya dan thermometer sebagai alat ukur pembanding, serta hubungkan rangkaian dengan *DC power supply* setelah disetujui asisten.
3. Amatilah *output* rangkaian menggunakan AVO meter.
4. Catatlah hasil pengamatan pada Tabel 8.2.
5. Lakukan kembali langkah 1 sampai 3 untuk sensor LM335 ($10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$) dan catatlah hasil pengamatan pada Tabel 8.3.

D. Ultrasound

1. Realisasikanlah rangkaian pada Gambar 8.3 dan 8.4 di *project board*, letakkan transduser pemancar dan penerima pada posisi menghadap ke arah yang sama.
2. Hubungkan kedua rangkaian dengan *DC power supply* setelah disetujui asisten.
3. Letakkan papan pantul pada jarak tertentu terhadap kedua transduser.
4. Amatilah *output* rangkaian menggunakan osiloskop pada titik kolektor Q1, kolektor Q2, dan katoda D1.
5. Catatlah tegangan yang dihasilkan rangkaian penerima setiap perubahan jarak papan pantul terhadap transduser pada Tabel 8.4.

DAFTAR PUSTAKA

1. Albert Malvino, David Bates, *Electronic Principles*, Eight Edition, Mc Graw Hill Education, USA, 2016.
2. Bruce Carter, Ron Mancini, *Op-amps for Everyone*, Newnes, USA, 2018.
3. Bruce Carter, Thomas R. Brown, *Handbook of Operational Amplifier Applications: Application Reports*, Texas Instruments, Texas, 2016.
4. Frank Lamb, *Industrial Automation: Hands-On*, McGraw-Hill Education, USA, 2013.
5. M.C. Sharma, *555 Timer and Its Applications*, BPB Publication, New Delhi, 2017.
6. Robert L. Boylestad, Louis Nshelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, Eleventh Edition, Pearson, USA, 2013.
7. Thomas L. Floyd, *Electronic Devices: Electron Flow Version*, Ninth Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2012.

LEMBAR MONITORING PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA

Nama/NRP/T.tangan mahasiswa 1 : //


Nama/NRP/T.tangan mahasiswa 2 : //

Nama/NRP/T.tangan mahasiswa 3 : //

No.	Nama Percobaan	Tanggal pelaksanaan	Tanggal selesai	Tanggal persetujuan laporan	T. Tangan dosen/asisten
1	Operasional Amplifier: <i>offset null, buffer, inverting amplifier, non-inverting amplifier, summer amplifier, dan differential amplifier</i>				
2	Rangkaian <i>Span & Zero</i> dan Rangkaian <i>Converter</i>				
3	Lowpass Filter				
4	Highpass Filter				
5	Bandpass dan Notch Filter				
6	Rangkaian Generator				
7	555 dalam Rangkaian Timer				
8	Sensor dan Rangkaian Pengkondisi Sinyal				

Nilai	
Nama/NIK/T.tangan dosen/asisten //

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL I



Nama/NRP Mahasiswa: 1.
2.
3.

Hari & jam Prakt.:

Dosen / Asisten:

Paraf:

A. *Buffer dengan Offset Null*
Perhitungan desain rangkaian diletakkan di: **Lampiran I**
Vcc = volt

Tabel 1.1

Vin (volt)	Vout (volt)	
	Desain	Percobaan
*)		
-5		
-3		
1		
3		
5		
**)		

Catatan: *) Saat output mulai mencapai minimum, **) Saat output mulai mencapai minimum

B. *Inverting Amplifier*
Perhitungan desain rangkaian diletakkan di: **Lampiran I**
Penguatan = kali; Rf = Ω; Ri = Ω; Vcc = volt

Tabel 1.2

Vin (volt)	Vout (volt)	
	Desain	Percobaan
*)		
-5		
-3		
1		
3		
5		
**)		

Catatan: *) Saat output mulai mencapai minimum, **) Saat output mulai mencapai minimum

C. *Non-inverting Amplifier*

Perhitungan desain rangkaian Gambar 1.6 dan 1.8 diletakkan di: **Lampiran I**

Penguatan = kali; R_f = Ω ; R_i = Ω ; V_{cc} = volt

Tabel 1.3

Vin (volt)	Vout (volt)	
	Desain	Percobaan
*)		
-5		
-3		
1		
3		
5		
**))		

Catatan: *) Saat output mulai mencapai minimum, **) Saat output mulai mencapai minimum

Pertanyaan untuk inverting amplifier & non-inverting amplifier:

1. *Ouput* rangkaian *amplifier* (V_{out}) mempunyai batas maksimum & minimum tertentu. Mengapa demikian? Jelaskan.
2. Apakah perbedaan antara *inverting* dan *non-inverting amplifier*?
3. Berilah kesimpulan dari kedua percobaan tersebut!

D. *Summing Amplifier*

Perhitungan desain rangkaian diletakkan di: **Lampiran I**

Rumus Tegangan pada: V_1 = V_{in}

Rumus Tegangan pada: V_2 = V_{in}

Rumus Tegangan pada: V_3 = V_{in}

Penguatan Ch_1 = kali, Ch_2 = kali, Ch_3 = kali; V_{cc} = volt

R_f = Ω ; R_1 = Ω ; R_2 = Ω ; R_3 = Ω ; R_4 = Ω

Tabel 1.4

Vin (volt)	V1 (volt)	V2 (volt)	V3 (volt)	Vout desain (volt)	Vout Percobaan (volt)	
					tanpa Buffer	dengan Buffer
-3						
-2						
1						
2						
3						

E. *Differential Amplifier*

Perhitungan desain rangkaian diletakkan di: **Lampiran I**

Vcc = volt


Tabel 1.5

Vin (volt)	V _{in2} (volt)	V _{in1} (volt)	Vout desain (volt)	Vout Percobaan (volt)	
				tanpa Buffer	dengan Buffer
-3					
-2					
1					
2					
3					

Pertanyaan untuk *summing amplifier* dan *differential amplifier*:

1. Bandingkan polaritas *input* dan *output* sinyal pada percobaan *summing amplifier*! Jelaskan hasil pengamatan anda!
2. Apakah perbedaan hasil percobaan dengan dan tanpa menambahkan *buffer* pada *input summing amplifier*? Jelaskan!
3. Apakah perbedaan hasil percobaan dengan dan tanpa menambahkan *buffer* pada *input differential amplifier*? Jelaskan!
4. Mungkinkah rangkaian *summing amplifier* digunakan untuk melakukan operasi pengurang seperti *differential amplifier*? Jelaskan!
5. Berilah kesimpulan dari kedua percobaan tersebut!

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL II



Nama/NRP Mahasiswa: 1.
2.
3.

Hari & jam Prakt.:

Dosen / Asisten:

Paraf:

Tugas awal (jawaban diletakkan di Lampiran II):

1. Gunakanlah prinsip KCL dan kedua asumsi pada Modul Praktikum I untuk melakukan analisa rangkaian op-amp untuk membuktikan:
- a. Rumus *input* terhadap *output* rangkaian *span & zero* pada persamaan 2.4.
- b. Rumus *input* terhadap *output* rangkaian floating load *V to I* pada persamaan 2.9.
- c. Rumus *input* terhadap *output* rangkaian grounded load *V to I* pada persamaan 2.12.
- d. Rumus *input* terhadap *output* rangkaian floating load *I to V* pada persamaan 2.16.
2. Perhitungan desain rangkaian *span & zero*.
3. Blok diagram dan perhitungan desain rangkaian *V to I* dan *I to V* (*floating* dan *grounded*).

Hasil percobaan:

A. *Span & zero*

V_{cc} = volt; R_f = Ω ; R_{of} = Ω ; R_i = Ω
 $R_f // R_{of} // R_i$ = Ω ; R = Ω ; $R/2$ = Ω

Tabel 2.3

Vin (Vrms)	Vout (Vrms)	
	Desain	Percobaan
-1		
0		
1		
2		
3		

B. *V to I* dan *I to V Converter*

V_{cc} = volt
Floating load V to I: R_{span} = Ω ; V_{ref} = V
Floating load I to V: R_s = Ω ; V_z = V

Tabel 2.4. Floating Load V to I dan I to V

Vin (Vrms) (Input rangkaian V to I)	I (A) (Output rangkaian V to I)		Vout (Vrms) (Output rangkaian I to V)	
	Desain	Percobaan	Desain	Percobaan
0				
1				
3				
5				

Grounded load V to I: Rspan = Ω ; Vref = V

Grounded load I to V: RL = Ω

Tabel 2.5. Grounded Load V to I dan I to V

Input V to I Vin (Vrms)	Output V to I I (A)		Output I to V (I.RL) Vout (Vrms)		Output Span and zero Vout (Vrms)	
	Desain	Percobaan	Desain	Percobaan	Desain	Percobaan
0						
1						
3						
5						

C. F to V Converter

Vcc = ± 12V; R1 = 100 kΩ; C1 = 10nF

Tabel 2.6

FIN (Hz)	Vout (Vrms)	
	Desain	Percobaan
50		
100		
500		
800		
1000		

Berapa tegangan maksimum dari rangkaian F to V *Converter*? Mengapa demikian? Jelaskan!

Analisa dan kesimpulan:

.....

.....

.....

.....


.....

.....

.....

.....

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL III

	Nama/NRP Mahasiswa: 1.	
	2.	
	3.	
	Hari & jam Prakt.:	
	Dosen / Asisten:	Paraf:

Perhitungan desain rangkaian LPF orde 2 dan 3 diletakkan di: **Lampiran III.**

A. *Lowpass Filter Orde 2*

Vcc = volt; $f_{\text{cutoff}} = 1000 \text{ Hz}$; $C1 = 0,01\mu\text{F}$

Tabel 3.1

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)		
			Butterworth	Bessel	Chebychev
			C ₂ = F	C ₂ = F	C ₂ = F
			R ₁ = Ω	R ₁ = Ω	R ₁ = Ω
			R ₂ = Ω	R ₂ = Ω	R ₂ = Ω
5 V	10				
	100				
	400				
	500				
	600				
	700				
	800				
	900				
	950				
	980				
	1000				
	1025				
	1050				
	1075				
	1100				
	1150				
	1200				
	1500				
	2000				
	5000				
	10000				

B. Lowpass Filter Orde 3

V_{cc} = volt; f_{cutoff} = 1000 Hz; $C_0 = C_1 = 0,01\mu F$

Tabel 3.2


Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)		
			Butterworth	Bessel	Chebychev
			R ₀ = Ω	R ₀ = Ω	R ₀ = Ω
			C ₂ = F	C ₂ = F	C ₂ = F
			R ₁ = Ω	R ₁ = Ω	R ₁ = Ω
5 V	10				
	100				
	400				
	500				
	600				
	700				
	800				
	900				
	950				
	980				
	1000				
	1025				
	1050				
	1075				
	1100				
	1150				
	1200				
	1500				
	2000				
	5000				
	10000				

1. Grafik respon frekuensi terhadap gain dalam skala logaritmik (diagram Bode) LPF orde 2 dan orde 3 diletakkan di: **Lampiran III.**

2. Analisa dan kesimpulan:

[illegible]

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL IV

	Nama/NRP Mahasiswa: 1.		
	2.		
	3.		
	Hari & jam Prakt.:		
	Dosen / Asisten:		Paraf:

Perhitungan desain rangkaian HPF orde 2 dan 3 diletakkan di: **Lampiran IV**

A. *Highpass Filter Orde 2*

Vcc = volt; $f_{\text{cutoff}} = 1000 \text{ Hz}$; $C1 = C2 = C = 0,01\mu\text{F}$

Tabel 4.1

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)		
			Butterworth	Bessel	Chebychev
			R ₁ = Ω	R ₁ = Ω	R ₁ = Ω
			R ₂ = Ω	R ₂ = Ω	R ₂ = Ω
5 V	10				
	100				
	400				
	500				
	600				
	700				
	800				
	900				
	950				
	980				
	1000				
	1025				
	1050				
	1075				
	1100				
	1150				
	1200				
	1500				
	2000				
	5000				
	10000				

B. Highpass Filter Orde 3

$V_{cc} = \dots\dots\dots$ volt; $f_{cutoff} = 1000\text{ Hz}$; $C_0 = C_1 = C_2 = C = 0,01\mu\text{F}$

Tabel 4.2


Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)		
			Butterworth	Bessel	Chebychev
			R ₀ = Ω	R ₀ = Ω	R ₀ = Ω
			R ₁ = Ω	R ₁ = Ω	R ₁ = Ω
5 V	10		R ₂ = Ω	R ₂ = Ω	R ₂ = Ω
	100				
	400				
	500				
	600				
	700				
	800				
	900				
	950				
	980				
	1000				
	1025				
	1050				
	1075				
	1100				
	1150				
	1200				
	1500				
	2000				
	5000				
	10000				

3. Grafik respon frekuensi terhadap gain dalam skala logaritmik (diagram Bode) HPF orde 2 dan orde 3 diletakkan di: **Lampiran IV**

4. Analisa dan kesimpulan:

[illegible]

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL V

	Nama/NRP Mahasiswa: 1.	
	2.	
	3.	
	Hari & jam Prakt.:	
	Dosen / Asisten:	Paraf:

Perhitungan desain rangkaian *wideband* BPF, *narrowband* BPF, dan *notch filter* diletakkan di Lampiran V.

A. *Wideband Bandpass Filter*

V_{cc} = volt; f_L = 300Hz ; f_H = 3 kHz ; $C1 = C3 = C4 = 0,01\ \mu F$
 $f_{cutoff\ LPF}$ = Hz ; $C2$ =F; $R1$ = Ω ; $R2$ = Ω
 $f_{cutoff\ HPF}$ = Hz ; $R3$ = Ω ; $R4$ = Ω

Tabel 5.1

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5 V	10		
	30		
	100		
	200		
	250		
	280		
	300		
	325		
	350		
	380		
	400		
	500		
	1000		
	1500		
	2000		
	2500		
	2800		
	2850		
	2900		
	2950		
	3000		

Tabel 5.1 (Lanjutan)

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5V	3050		
	3100		
	3200		
	3300		
	3400		
	3500		
	4000		
	5000		
	10000		
	30000		
	100000		

B. *Narrowband Bandpass Filter*

Vcc = volt
f_r = 1 kHz ; H = 10 ; Q = 5 ; C1 = C2 = 0,01 uF
BW = Hz ; R1 = Ω ; R2 = Ω ; R3 = Ω

Tabel 5.2

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5 V	10		
	100		
	400		
	500		
	600		
	700		
	800		
	850		
	880		
	900		
	950		
	980		
	1000		
	1050		
	1075		
	1100		

Tabel 5.2 (Lanjutan)

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5V	1125		
	1150		
	1200		
	1500		
	2000		
	5000		
	10000		

C. Notch Filter (Bandstop Filter)

Vcc = volt
fr = 1 kHz ; H = 10 ; Q = 5 ; C1 = C2 = 0,01 uF
R4 = Ω ; R5 = Ω ; R6 = Ω

Tabel 5.3

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5 V	10		
	100		
	400		
	500		
	600		
	700		
	800		
	850		
	880		
	900		
	950		
	980		
	1000		
	1050		
	1075		
	1100		
	1125		
	1150		
	1200		
	1500		

Tabel 5.3 (Lanjutan)

Vin (Vpeak)	Fin (Hz)	Fout (Hz)	Vout (Vpeak)
5V	2000		
	5000		
	10000		

1. Grafik respon frekuensi terhadap *gain* dalam skala logaritmik (diagram Bode) untuk filter berikut dan diletakkan di **Lampiran V**:
- a. *Wideband* BPF.

b. *Narrowband* BPF dibandingkan dengan *notch filer*.
2. Analisa dan kesimpulan:

.....

.....


.....

.....

.....

.....

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL VI



Nama/NRP Mahasiswa: 1.
2.
3.

Hari & jam Prakt.:

Dosen / Asisten:

Paraf:

Perhitungan desain rangkaian *Differensiator*, *Integrator*, *Twin-T Sine Wave Oscillator*, *Sine/Cosine Oscillator*, dan *Square & Triangle Oscillator* diletakkan di **Lampiran VI**.

A. Rangkaian *Differensiator*

Vcc = volt

1. Diketahui: C = 0,1uF; Av = 10x; Tentukan fc = Hz

Hitunglah: Rs = Ω ; Rf = Ω

Tabel 6.1

Fin (Hz)	V _{out(P)}		Sifat rangkaian ^{*)}
	Teori	Percobaan	
200			
500			
1000			
1500			
3000			
10000			

^{*)}Dari pengamatan, tentukan apakah rangkaian bekerja sebagai *differentiator* atau penguat pembalik

2. Gambarlah bentuk gelombang input dan output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VI**:

a. Pada saat Fin = 10kHz dan 100Hz.
b. Pada saat output tepat mulai cacat.
3. Ganti input dengan gelombang sinus 1 Vpp. Gambarlah bentuk gelombang input dan output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VI**:

a. Pada saat Fin = 100Hz.
b. Pada saat output tepat mulai cacat.
4. Analisa dan kesimpulan:

.....

.....

.....

.....

B. Rangkaian *Integrator*

Vcc = volt

1. Diketahui: C = 0,1μF; Av = 10x; Tentukan fc = Hz

Hitunglah: Rs = Ω ; Rf = Ω

Tabel 6.2

Fin (Hz)	V _{out(PP)}		Sifat rangkaian ^{*)}
	Teori	Percobaan	
100			
200			
500			
1000			
1500			
3000			
10000			

- ^{*)}Dari pengamatan, tentukan apakah rangkaian bekerja sebagai *integrator* atau penguat pembalik
2. Gambarlah bentuk gelombang *input* dan *output* rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VI**:
- a. Pada saat Fin = 10kHz dan 100Hz.
- a. Pada saat *output* tepat mulai cacat.
3. Ganti *input* dengan gelombang sinus 1 Vpp. Gambarlah bentuk gelombang *input* dan *output* rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VI**:
- a. Pada saat Fin = 100Hz.
- b. Pada saat *output* tepat mulai cacat.
4. Analisa dan kesimpulan:
-
-
-
-

C. Rangkaian *Sine Wave Oscillator*

1. Diketahui: C = 0,047μF; fo = 500 Hz; Vcc = ±12 volt

Hitunglah: R = Ω ; R1 = Ω; R2 = Ω

Percobaan: fo = Hz; % Error = %

2. Gambarlah bentuk gelombang *output* rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VI**.
3. Analisa dan kesimpulan:
-
-
-

D. Rangkaian Sine/Cosine Oscillator

1. Diketahui: $C = 0,033\mu\text{F}$; $R = 10\text{k}\Omega$; $R1 = 12\text{k}\Omega$; $V_{cc} = \pm 12\text{ volt}$; $V_Z = \dots\dots\dots\text{ volt}$
Hitunglah: $f_o = \dots\dots\dots\text{ Hz}$
Catatlah: $+V_{out} = \dots\dots\dots\text{ volt}$; $-V_{out} = \dots\dots\dots\text{ volt}$
2. Gambarlah bentuk kedua gelombang *output* rangkaian dalam 1 grafik, dan letakkan di **Lampiran VI**.
3. Analisa dan kesimpulan:

E. Rangkaian Square & Triangle Oscillator


1. Diketahui: $f_o = 5\text{kHz}$; $C = 0,1\mu\text{F}$; $R = 10\text{k}\Omega$; $V_{cc} = \pm 12\text{ volt}$
Hitunglah: $R1 = \dots\dots\dots\Omega$; $R2 = \dots\dots\dots\Omega$
2. Gambarlah bentuk kedua gelombang *output* rangkaian dalam 1 grafik, dan letakkan di **Lampiran VI**.
3. Ulangi langkah 1 dan 2 untuk $f_o = 10\text{kHz}$.
Hitunglah: $R1 = \dots\dots\dots\Omega$; $R2 = \dots\dots\dots\Omega$
4. Gambarlah bentuk kedua gelombang *output* rangkaian dalam 1 grafik, dan letakkan di **Lampiran VI**.

Tabel 6.3

fo (Hz)	+Vmax (volt)	-Vmax (volt)	VUTP (volt)		VLTP (volt)	
	Percobaan		Desain	Percobaan	Desain	Percobaan
5kHz						
10kHz						

5. Analisa dan kesimpulan:

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL VII

	Nama/NRP Mahasiswa: 1.	
	2.	
	3.	
	Hari & jam Prakt.:	
	Dosen / Asisten:	Paraf:

Perhitungan desain rangkaian pewaktu 555 diletakkan di **Lampiran VII**.

A. Tugas 1

Diketahui: $V_{cc} = +5V$; $R_a = 6,8k\Omega$; $R_b = 3,3k\Omega$; $C (V_c) = 0,1\mu F$

Tabel 7.1

Kriteria	Teori	Pengukuran
t_{tinggi}		
t_{rendah}		
f (Frekuensi osilasi)		
T (Periode osilasi)		
D (Siklus tugas)		

B. Tugas 2

- Diketahui: $V_{cc} = +5V$; $T = 1ms$; $C (V_c) = 0,1\mu F$; $D = 30\%$
- Hitunglah: $R_a = \dots\dots\dots \Omega$; $R_b = \dots\dots\dots \Omega$;
- Gambarlah bentuk gelombang output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VII**.

Tabel 7.2

Kriteria	Teori	Pengukuran
t_{tinggi}		
t_{rendah}		
f (Frekuensi osilasi)		
T (Periode osilasi)		
D (Siklus tugas)		

C. Tugas 3

- Diketahui: $V_{cc} = +5V$; $T = 1ms$; $C (V_c) = 0,1\mu F$; $D = 25\%$
- Hitunglah: $R_a = \dots\dots\dots \Omega$; $R_b = \dots\dots\dots \Omega$;
- Gambarlah bentuk gelombang output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VII**.

Tabel 7.3

Kriteria	Teori	Pengukuran
t _{tinggi}		
t _{rendah}		
f (Frekuensi osilasi)		
T (Periode osilasi)		
D (Siklus tugas)		

D. Tugas 4

- 1. Diketahui: Vcc = +12V; R_a = 3. R_b; C (Vc) = 50nF
- 2. Hitunglah: R_a = Ω; R_b = Ω
- 3. Gambarlah bentuk gelombang output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VII**.

Tabel 7.4

Kriteria	Teori	Pengukuran
t _{tinggi}		
t _{rendah}		
f (Frekuensi osilasi)		
T (Periode osilasi)		
D (Siklus tugas)		

E. Tugas 5

- 1. Diketahui: Vcc = +12V; T = 5ms; C (Vc) = 50nF; D = 15%
- 2. Hitunglah: R_a = Ω; R_b = Ω
- 3. Gambarlah bentuk gelombang output rangkaian, dan letakkan di **Lampiran VII**.

Tabel 7.5

Kriteria	Teori	Pengukuran
t _{tinggi}		
t _{rendah}		
f (Frekuensi osilasi)		
T (Periode osilasi)		
D (Siklus tugas)		

Analisa dan kesimpulan:


.....

.....

.....

.....

LAPORAN PRAKTIKUM
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA
MODUL VIII

	Nama/NRP Mahasiswa: 1.	
	2.	
	3.	
	Hari & jam Prakt.:	
Dosen / Asisten:		Paraf:

Tugas awal (jawaban diletakkan di Lampiran VIII):

- 1. Perhitungan desain rangkaian pemancar dan penerima infra merah.
- 2. Desain rangkaian komparator untuk sistem pengaman rumah dengan infra merah.
- 3. Gambar rangkaian pengkondisi sinyal dan perhitungan desainnya untuk sensor LM35.
- 4. Gambar rangkaian pengkondisi sinyal dan perhitungan desainnya untuk sensor LM335.

A. Infra Merah

$V_{cc} = \dots\dots\dots V$; $I = \dots\dots\dots A$; $V_{LED} = \dots\dots\dots V$
 $R_T = \dots\dots\dots \Omega$; $R_R = \dots\dots\dots \Omega$; $V_{ref} \text{ komparator} = \dots\dots\dots V$

Tabel 8.1

Jarak (cm)	Vout Penerima Infra merah (volt)	Vout Komparator (volt) *)	
		Terhalang	Tidak terhalang
0			
1			
3			
5			
7			
9			
11			
13			
15			

*) Cukup tuliskan di baris tabel pada jarak tertentu yang anda pilih

B. LDR

Tahanan pada saat cahaya terang = $\dots\dots\dots \Omega$
Tahanan pada saat cahaya gelap = $\dots\dots\dots \Omega$
Tegangan pada saat cahaya terang = $\dots\dots\dots V$
Tegangan pada saat cahaya gelap = $\dots\dots\dots V$
Jelaskan cara kerja rangkaian saklar cahaya ini!

C. LM35

Tabel 8.2

Suhu (°C)	Vout sensor (volt)		Vout RPS (volt)	
	Desain	Percobaan	Desain	Percobaan
Suhu awal				
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				
70				
75				
80				
85				
90				
95				
100				

D. LM335

Tabel 8.3

Suhu (°C)	Vout sensor (volt)		Vout RPS (volt)	
	Desain	Percobaan	Desain	Percobaan
Suhu awal				
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				
70				
75				
80				
85				
90				
95				
100				

E. *Ultrasound*

Frekuensi input = Hz

Tabel 8.4

Jarak (cm)	Vout (peak) pada		
	Kolektor Q1	Kolektor Q2	Katoda D1
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			

Gambarkan bentuk sinyal output rangkaian pada titik :

Kolektor Q1:

Kolektor Q2:

Kolektor D1:

Analisa dan kesimpulan:

Penerbit
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl. Dinoyo 42-44, Surabaya 60265

ISBN 978-623-90966-1-8

