

PETUNJUK PRAKTIKUM

Praktikum Elektronika II



**Laboratorium Dasar
Teknik Elektro**

Mervin T Hutabarat

**Sekolah Teknik Elektro Dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
2022**

Petunjuk Praktikum

EL3109 Elektronika II

edisi 2022-2023

Disusun oleh

Mervin T. Hutabarat
Laboratorium Dasar Teknik Elektro



Sekolah Teknik Elektro Dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
2022

Daftar Kontributor

Penulis menghargai semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi pada penyusunan petunjuk praktikum ini. Berikut ini daftar nama yang berkontribusi pada penyusunan petunjuk praktikum ini

Mervin Hutabarat

Amy Hamidah Salman

Narpendyah Wisjnu Ariwadhani

Ardy Pratama

Sandra Irawan

Nina Lestari

Adji Gunhardi

Daftar Isi

Daftar Kontributor	i
Daftar Isi	iii
Aturan Umum Laboratorium Dasar Teknik Elektro	v
Kelengkapan Praktikum	v
Persiapan/ Sebelum Praktikum	v
Selama Praktikum	v
Setelah Praktikum	vi
Pergantian Jadwal	vi
Sanksi	vii
Panduan Umum Keselamatan dan Penggunaan Peralatan Laboratorium	viii
Keselamatan	viii
Penggunaan Peralatan Praktikum	x
Sanksi	x
Tabel Sanksi Praktikum	xi
Plagiarisme dan Kecurangan Akademik	xii
Bentuk - Bentuk Plagiarisme:	xii
Prinsip Menghindari Plagiarisme:	xii
Kecurangan Akademik Dalam Pelaksanaan Praktikum:	xiii
Tugas Pendahuluan Analisis Hitungan Tangan dan Simulasi Rangkaian Praktikum	xiv
Percobaan 1: Penguat Diferensial	1
1. Tujuan	1
2. Pengetahuan Pendukung	1
3. Alat dan Komponen yang Digunakan	4
4. Tugas Pendahuluan	4
5. Langkah Percobaan	5
6. Analisis dan Diskusi	9
Percobaan 2: Penguat Op Amp dengan Umpan Balik	10
1. Tujuan	10
2. Pengetahuan Pendukung	10
3. Alat dan Komponen yang Digunakan	13
4. Tugas Pendahuluan	14
5. Percobaan	14
6. Analisis dan Diskusi	16
Percobaan 3: Penguat Transistor dengan Umpan Balik	17
1. Tujuan	17
2. Pengetahuan Pendukung	17
3. Alat dan Komponen yang Digunakan	17
4. Tugas Pendahuluan	18
5. Percobaan	18
6. Analisis dan Diskusi	19
Percobaan 4: Osilator RC	20
1. Tujuan	20
2. Pengetahuan Pendukung dan Bacaan Lanjut	20
3. Alat dan Komponen yang Digunakan	23
4. Tugas Pendahuluan	23
5. Percobaan	23

6. Analisis dan Diskusi	26
Percobaan 5: Osilator LC dan Pembangkit Gelombang Non-Sinusoidal	27
1. Tujuan	27
2. Pengetahuan Pendukung	27
3. Alat dan Komponen yang Digunakan.....	30
4. Tugas Pendahuluan	30
5. Percobaan.....	31
6. Analisis dan Diskusi	34
Percobaan 6.....	35
Lampiran A: Analisis Rangkaian dengan Spice	36
1. Pendahuluan.....	36
2. Struktur Bahasa (Sintaks) SPICE.....	36
3. Deskripsi Sintaks Library di SPICE	37
4. Contoh Deskripsi Rangkaian SPICE	37
5. Hasil Analisis SPICE	39
6. Analisis Waktu SPICE.....	39
Lampiran B: Petunjuk Pembuatan Rangkaian Elektronik pada Breadboard	40
1. Breadboard.....	40
2. Merangkai Kabel, Komponen dan Instrumen Kabel	42
3. Komponen.....	43
4. Instrumen	44
5. Daftar Pustaka.....	44
Lampiran C: Resistor, Op-Amp, dan Inverter	45
1. Resistor	45
2. Op Amp 741.....	46
3. Transistor	46

Aturan Umum Laboratorium Dasar Teknik Elektro

Kelengkapan Praktikum

Setiap praktikan wajib berpakaian lengkap, mengenakan celana panjang/rok, kemeja dan mengenakan sepatu. Untuk memasuki ruang laboratorium praktikan wajib membawa kelengkapan berikut:

1. Modul praktikum,
2. Buku Catatan Laboratorium (BCL),
3. Alat tulis dan kalkulator,
4. Kartu Nama (Name tag), dan
5. Kartu Praktikum.

Persiapan/ Sebelum Praktikum

Sebelum mengikuti percobaan sesuai jadwalnya, sebelum memasuki laboratorium praktikan harus mempersiapkan diri dengan melakukan hal-hal berikut:

1. Membaca dan memahami isi modul praktikum,
2. Mengerjakan hal-hal yang harus dikerjakan sebelum praktikum dilaksanakan, misalnya mengerjakan tugas pendahuluan, melakukan perhitungan-perhitungan, menyalin source code, mengisi Kartu Praktikum dsb.,
3. Mengisi daftar hadir di Tata Usaha Laboratorium,
4. Mengambil kunci loker dan melengkapi administrasi peminjaman kunci loker dengan kartu identitas (KTM/ SIM/ KTP).

Selama Praktikum

Setelah dipersilahkan masuk dan menempati bangku dan meja kerja, praktikan haruslah:

1. Menuliskan identitas diri pada Berita Acara Praktikum yang diedarkan oleh asisten,
2. Memperhatikan dan mengerjakan setiap percobaan dengan waktu sebaik-baiknya, diawali dengan kehadiran praktikan secara tepat waktu,
3. Mengumpulkan Kartu Praktikum pada asisten,
4. Melakukan pengecekan terhadap peralatan praktikum (termasuk kabel di dalam boks kabel) sebelum memulai praktikum,
5. Mendokumentasikan dalam Buku Catatan Laboratorium. (lihat Petunjuk Penggunaan BCL) tentang hal-hal penting terkait percobaan yang sedang dilakukan.

Setelah Praktikum

Setelah menyelesaikan percobaan, praktikan harus

1. Memastikan BCL dan Kartu Praktikum telah ditandatangani oleh asisten,
2. Mengembalikan kunci loker dan melengkapi administrasi pengembalian kunci loker (pastikan kartu identitas KTM/ SIM/ KTP diperoleh kembali),
3. Mengerjakan laporan dalam bentuk SoftCopy (lihat Panduan Penyusunan Laporan di laman <http://ldte.stei.itb.ac.id>),
4. Mengumpulkan file laporan dengan cara mengunggah di laman <http://praktikum.stei.itb.ac.id>. Waktu pengiriman paling lambat jam 11.00 WIB, dua hari kerja berikutnya setelah praktikum, kecuali ada kesepakatan lain antara Dosen Pengajar dan/atau Asisten.

Pergantian Jadwal

Kasus Biasa

Pergantian jadwal dilakukan dengan proses pertukaran. Pertukaran jadwal hanya dapat dilakukan per orang dengan modul yang sama. Langkah untuk menukar jadwal adalah sebagai berikut:

1. Lihatlah format Pertukaran Jadwal di <http://ldte.stei.itb.ac.id> pada halaman Panduan
2. Salah satu praktikan yang bertukar jadwal harus mengirimkan e-mail ke labdasar@stei.itb.ac.id . Waktu pengiriman paling lambat jam 16.30, satu hari kerja sebelum praktikum yang dipertukarkan.
3. Pertukaran diperbolehkan setelah ada email konfirmasi dari Lab. Dasar.

Kasus Sakit atau Urusan Mendesak Pribadi Lainnya

Jadwal pengganti dapat diberikan kepada praktikan yang sakit atau memiliki urusan mendesak pribadi. Praktikan yang hendak mengubah jadwal untuk urusan pribadi mendesak harus memberitahu staf tata usaha laboratorium sebelum jadwal praktikumnya melalui email.

Segera setelah praktikan memungkinkan mengikuti kegiatan akademik, praktikan dapat mengikuti praktikum pengganti setelah mendapatkan konfirmasi dari staf tata usaha laboratorium dengan melampirkan surat keterangan dokter bagi yang sakit atau surat terkait untuk yang memiliki urusan pribadi.

Kasus "kepentingan massal"

"Kepentingan massal" terjadi jika ada lebih dari sepertiga rombongan praktikan yang tidak dapat melaksanakan praktikum pada satu hari yang sama karena alasan yang terkait kegiatan akademis, misalnya Ujian Tengah Semester pada jadwal kelompoknya. Beritahukan kepada administrasi TU Lab. Dasar secepatnya. Jadwal praktikum pengganti satu hari itu akan ditentukan kemudian oleh admin Lab. Dasar.

Sanksi

Pengabaian aturan-aturan di atas dapat dikenakan sanksi pengurangan nilai praktikum terkait.

Panduan Umum Keselamatan dan Penggunaan Peralatan Laboratorium

Keselamatan

Pada prinsipnya, untuk mewujudkan praktikum yang aman diperlukan partisipasi seluruh praktikan dan asisten pada praktikum yang bersangkutan. Dengan demikian, kepatuhan setiap praktikan terhadap uraian panduan pada bagian ini akan sangat membantu mewujudkan praktikum yang aman.

Bahaya Listrik

Perhatikan dan pelajari tempat-tempat sumber listrik (stop-kontak dan circuit breaker) dan cara menyala-matikannya. Jika melihat ada kerusakan yang berpotensi menimbulkan bahaya, laporkan pada asisten.

1. Hindari daerah atau benda yang berpotensi menimbulkan bahaya listrik (sengatan listrik/ strum) secara tidak disengaja, misalnya kabel jala-jala yang terkelupas dll.
2. Tidak melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan bahaya listrik pada diri sendiri atau orang lain.
3. Keringkan bagian tubuh yang basah karena, misalnya, keringat atau sisa air wudhu.
4. Selalu waspada terhadap bahaya listrik pada setiap aktivitas praktikum.

Kecelakaan akibat bahaya listrik yang sering terjadi adalah tersengat arus listrik. Berikut ini adalah hal-hal yang harus diikuti praktikan jika hal itu terjadi:

1. Jangan panik,
2. Matikan semua peralatan elektronik dan sumber listrik di meja masing-masing dan di meja praktikan yang tersengat arus listrik,
3. Bantu praktikan yang tersengat arus listrik untuk melepaskan diri dari sumber listrik,
4. Beritahukan dan minta bantuan asisten, praktikan lain dan orang di sekitar anda tentang terjadinya kecelakaan akibat bahaya listrik.

Bahaya Api atau Panas berlebih

Jangan membawa benda-benda mudah terbakar (korek api, gas dll.) ke dalam ruang praktikum bila tidak disyaratkan dalam modul praktikum.

1. Jangan melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan api, percikan api atau panas yang berlebihan.
2. Jangan melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan bahaya api atau panas berlebih pada diri sendiri atau orang lain.
3. Selalu waspada terhadap bahaya api atau panas berlebih pada setiap aktivitas praktikum.

Berikut ini adalah hal-hal yang harus diikuti praktikan jika menghadapi bahaya api atau panas berlebih:

1. Jangan panik,
2. Beritahukan dan minta bantuan asisten, praktikan lain dan orang di sekitar anda tentang terjadinya bahaya api atau panas berlebih,
3. Matikan semua peralatan elektronik dan sumber listrik di meja masing-masing,
4. Menjauh dari ruang praktikum.

Bahaya Lain

Untuk menghindari terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan selama pelaksanaan percobaan perhatikan juga hal-hal berikut:

1. Jangan membawa benda tajam (pisau, gunting dan sejenisnya) ke ruang praktikum bila tidak diperlukan untuk pelaksanaan percobaan,
2. Jangan memakai perhiasan dari logam misalnya cincin, kalung, gelang dll.,
3. Hindari daerah, benda atau logam yang memiliki bagian tajam dan dapat melukai,
4. Hindari melakukan sesuatu yang dapat menimbulkan luka pada diri sendiri atau orang lain, misalnya bermain-main saat praktikum.

Lain-lain

Praktikan dilarang membawa makanan dan minuman ke dalam ruang praktikum.

Penggunaan Peralatan Praktikum

Berikut ini adalah panduan yang harus dipatuhi ketika menggunakan alat-alat praktikum:

1. Sebelum menggunakan alat-alat praktikum, pahami petunjuk/ prosedur penggunaan tiap alat itu. Petunjuk/ prosedur penggunaan beberapa alat praktikum ada di kuliah praktikum bersangkutan dan di <http://ldte.stei.itb.ac.id>.
2. Perhatikan dan patuhi peringatan (warning) yang biasanya tertera pada badan alat.
3. Pahami fungsi atau peruntukan alat-alat praktikum dan gunakanlah alat-alat tersebut hanya untuk aktivitas yang sesuai fungsi atau peruntukannya. Menggunakan alat praktikum di luar fungsi atau peruntukannya dapat menimbulkan kerusakan pada alat tersebut dan bahaya keselamatan praktikan.
4. Pahami rating dan jangkauan kerja alat-alat praktikum dan gunakanlah alat-alat tersebut sesuai rating dan jangkauan kerjanya. Menggunakan alat praktikum di luar rating dan jangkauan kerjanya dapat menimbulkan kerusakan pada alat tersebut dan bahaya keselamatan praktikan.
5. Pastikan seluruh peralatan praktikum yang digunakan aman dari benda/ logam tajam, api/ panas berlebih atau lainnya yang dapat mengakibatkan kerusakan pada alat tersebut.
6. Tidak melakukan aktifitas yang dapat menyebabkan kotor, coretan, goresan atau sejenisnya pada badan alat-alat praktikum yang digunakan.
7. Kerusakan instrumentasi praktikum menjadi tanggung jawab bersama rombongan praktikum ybs. Alat yang rusak harus diganti oleh rombongan tersebut.

Sanksi

Pengabaian uraian panduan di atas dapat dikenakan sanksi tidak lulus mata kuliah praktikum yang bersangkutan.

Tabel Sanksi Praktikum

Berlaku mulai: 14 Agustus 2017

Level		Kasus	Sanksi	Pengurangan nilai per modul
Akademik	Saat dan setelah praktikum	Semua kegiatan plagiarasi (mencontek): tugas pendahuluan, test dalam praktikum, laporan praktikum	Gugur praktikum	
		Sengaja tidak mengikuti praktikum		
Berat	Saat praktikum	Terlambat hadir praktikum	Gugur modul	
		Pakaian tidak sesuai: kemeja, sepatu		
		Tugas pendahuluan tidak dikerjakan/hilang/tertinggal		
Ringan	Saat Praktikum	Tidak mempelajari modul sebelum praktikum/tidak mengerti isi modul	Dikeluarkan dari praktikum	
		Pertukaran jadwal tidak sesuai ketentuan		-25 nilai akhir
		BCL tertinggal/hilang		-100% nilai BCL
		Name Tag tertinggal/hilang		-10 nilai akhir
		Kartu praktikum tertinggal/hilang		-25 nilai akhir
		Kartu praktikum tidak lengkap data dan foto		-10 nilai akhir
		Loker tidak dikunci/kunci tertinggal		-10 nilai akhir
	Setelah Praktikum	Tidak minta paraf asisten di BCL/kartu praktikum		-25 nilai akhir
		Terlambat mengumpulkan laporan		-1/min nilai akhir, maks -50
		Terlambat mengumpulkan BCL		-1/min nilai BCL, maks -50
		Tidak bawa kartu praktikum saat pengumpulan BCL		-50 nilai BCL
		Tidak minta paraf admin saat pengumpulan BCL		-50 nilai BCL

Catatan:

- Pelanggaran akademik menyebabkan gugur praktikum, nilai praktikum E
- Dalam satu praktikum, praktikan maksimal boleh melakukan
 - 1 pelanggaran berat dan 1 pelanggaran ringan; atau
 - 3 pelanggaran ringan
- Jika jumlah pelanggaran melewati point 2, praktikan dianggap gugur praktikum.
- Praktikan yang terkena sanksi gugur modul wajib mengganti praktikum pada hari lain dengan nilai modul tetap 0. Waktu pengganti praktikum ditetapkan bersama asisten. Jika praktikan tidak mengikuti ketentuan praktikum (pengganti) dengan baik, akan dikenakan sanksi gugur praktikum.
- Setiap pelanggaran berat dan ringan dicatat/diberikan tanda di kartu praktikum
- Waktu acuan adalah waktu sinkron dengan NIST
- Sanksi yang tercantum di tabel adalah sanksi minimum.
- Sanksi yang belum tercantum akan ditentukan kemudian.

Plagiarisme dan Kecurangan Akademik

Plagiarisme merupakan salah satu bentuk kecurangan akademik. Definisi plagiarisme sesuai Peraturan Akademik ITB adalah menggunakan kata-kata atau karya orang lain sebagai kata-kata atau karya sendiri dalam suatu kegiatan akademik tanpa menyebutkan acuan yang dipakai. Plagiarisme bisa dilakukan secara sengaja, akibat kecerobohan, maupun tidak sengaja. Plagiarisme merupakan pelanggaran integritas akademik. Prinsip kejujuran intelektual menyiratkan bahwa semua anggota komunitas akademik harus mengakui peran pemilik gagasan awal dalam hal kata-kata dan data yang membentuk dasar untuk pekerjaan mereka sendiri. Mengakui karya orang lain sebagai milik anda memberi makna bahwa anda telah gagal menyelesaikan proses pembelajaran. Plagiarisme adalah sangat tidak etis dan memiliki konsekuensi serius bagi karir masa depan Anda sekaligus merusak reputasi institusi.

Bentuk - Bentuk Plagiarisme:

1. Mengutip kata demi kata (Verbatim)
2. Parafrase: menuliskan kembali karya hasil orang lain dengan mengubah kata atau mengubah urutan kalimat, dengan mengikuti struktur argumen orang lain tersebut tanpa menyebutkan acuan.
3. Kolusi: kolaborasi tidak sah antar mahasiswa tanpa atribusi terhadap bantuan dari luar yang diterima, atau tidak mengikuti sebenarnya pada peraturan kerja berkelompok
4. Kutipan tidak akurat: salah kutip atau mencantumkan referensi yang tidak pernah dikutip.
5. Apresiasi (acknowledgement) tidak akurat: tidak menyebutkan kontribusi pihak yang berkontribusi atau sebaliknya memberi apresiasi pada pihak yang tidak berkontribusi.
6. Menggunakan jasa pihak ketiga, profesional maupun tidak.

Prinsip Menghindari Plagiarisme:

1. Semua karya ilmiah harus dilandasi latar belakang, motivasi, dan lain sebagainya yang bisa dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Adalah wajib untuk menggunakan referensi untuk mendukung ide-ide yang telah Anda kembangkan.
2. Dalam karya ilmiah, Anda harus menunjukkan bahwa Anda memiliki pemahaman yang jelas dan benar tentang materi yang telah Anda dapatkan dari referensi.
3. Berikan kejelasan antara analisa (ide) original Anda dengan apa yang telah diambil dari referensi:
 - Berikan penanda bagian mana suatu paragraf adalah berasal dari referensi.

- Kutipan harus selalu diidentifikasi dengan menggunakan tanda kutip atau indentasi, dan dengan referensi penuh dari sumber yang dikutip.
- Untuk menghindari parafrase, lebih baik menuliskan kembali ringkasan singkat dari keseluruhan sumber dengan kata-kata sendiri, dan dengan jelas menunjukkan bahwa itu yang dilakukan sehingga jelas bagian mana yang merupakan ide original Anda, mana yang diambil dari referensi.
- Untuk menghindari kolusi, adalah tanggung jawab Anda untuk memastikan bahwa Anda sepenuhnya jelas tentang sejauh mana kolaborasi/kerja kelompok diizinkan, dan bagian mana dari pekerjaan itu harus Anda kerjakan sendiri.
- Tidak boleh memasukkan apa pun dalam referensi atau bibliografi yang sebenarnya tidak direferensikan.
- Jika akses ke sumber utama tidak diperoleh, boleh menggunakan teks sekunder.
- Sitasi (menyebutkan) referensi harus diikuti dengan identifikasi pengutipannya dalam paragraf.

Kecurangan Akademik Dalam Pelaksanaan Praktikum:

Tugas pendahuluan harus dikerjakan sendiri dalam setiap aspeknya, baik apabila tugas berupa analisis, perhitungan, atau simulasi. Kegiatan mencontoh atau meniru tugas pendahuluan tidak diperkenankan, dan apabila terbukti/bisa dibuktikan dapat dianggap melakukan kecurangan akademik seperti halnya mencontek. Apabila tugas yang diberikan membutuhkan referensi dari buku, internet dan sejenisnya, berlaku aturan plagiarisme. Untuk menghindari plagiarisme dalam mengerjakan tugas pendahuluan yang membutuhkan referensi, gunakan minimal 3 referensi dengan melakukan elaborasi dari referensi-referensi tersebut. Hindari dalam menggunakan hanya satu referensi meskipun dengan melakukan parafrase.

Tes awal termasuk dalam kategori yang sama dengan kuis atau **ujian**, dimana segala bentuk upaya mendapatkan bantuan dari pihak luar (mencontek pekerjaan peserta lain dengan bekerjasama atau tidak, menerima bantuan melalui alat komunikasi, memakai joki, dsb) dan menggunakan metode diluar yang diperkenankan (memakai contekan: melalui catatan, smartphone, dsb) adalah terlarang dan merupakan pelanggaran akademik.

Laporan praktikum sebagaimana laporan teknis, makalah, dan buku TA termasuk dalam kategori karya ilmiah, sehingga definisi dan aturan mengenai plagiarisme berlaku. Kecurangan yang biasa dilakukan diantaranya menggunakan data dari peserta lain, menggunakan template laporan peserta lain dan hanya mengganti datanya dan melakukan parafrase isi laporan yang lain.

Tugas Pendahuluan Analisis Hitungan Tangan dan Simulasi Rangkaian Praktikum

Sebelum melakukan setiap percobaan, praktikan wajib menyelesaikan tugas pendahuluan sebagai bagian dari persiapan melakukan percobaan. Tugas pendahuluan terdiri dari analisis hitungan tangan dan simulasi rangkaian percobaan yang dilakukan. Hasil analisis hitungan tangan dan simulasi rangkaian pada tugas pendahuluan dibandingkan dengan pengamatan pada saat melakukan percobaan.

Petunjuk langkah analisis hitungan tangan secara umum dibahas dalam kuliah tatap muka. Selanjutnya praktikan melakukan hitungan secara detail. Petunjuk dan rangkaian simulasi dengan LTSpice juga diberikan saat kuliah tatap muka. Praktikan melakukan eksplorasi dengan simulator untuk mengenal perilaku rangkaian dengan lebih baik. Hasil analisis dan simulasi disampaikan sebagai deskripsi yang dapat dibantu dengan bentuk gambar, bukan sekedar print-out dari simulator.

Tugas pendahuluan adalah tugas individu dan setiap mahasiswa mengerjakan sendiri. Berkas tugas dikumpulkan dalam bentuk soft copy ke situs yang ditentukan di kelas. Berkas tugas pendahuluan dalam bentuk hard copy dibawa saat melakukan percobaan di laboratorium.

Percobaan 1: Penguat Diferensial

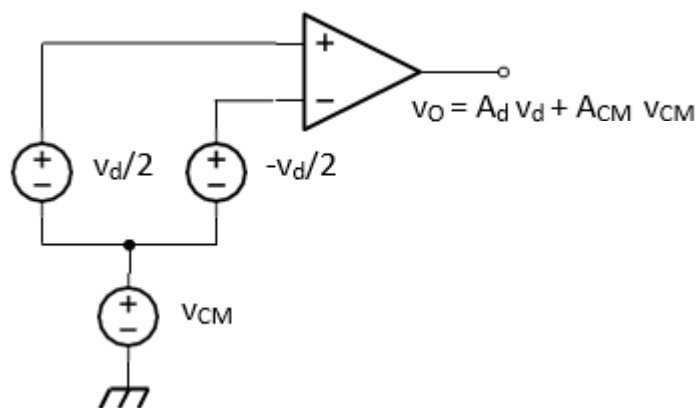
1. Tujuan

- Mengamati perilaku pasangan diferensial dengan transistor bipolar dengan berbagai konfigurasi.
- Mengukur, dan menganalisa penguatan differential-mode dan common-mode pada tahap penguat diferensial dengan berbagai konfigurasi.

2. Pengetahuan Pendukung

Prinsip Penguat Diferensial

Penguat diferensial adalah penguat yang memiliki dua input dan memperkuat selisih tegangan pada kedua input tersebut. Pada keadaan ideal pada penguat diferensial sinyal interferensi yang berupa sinyal yang sama (*common signal*) yang masuk pada kedua input akan dihilangkan pada proses penguatan karena hanya selisih tegangan yang diperkuat. Namun demikian pada implementasinya penguat diferensial juga memberikan output yang berasal dari sinyal bersama tersebut. Hubungan input dan output pada penguat diferensial tampak pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1 Prinsip Penguatan Diferensial

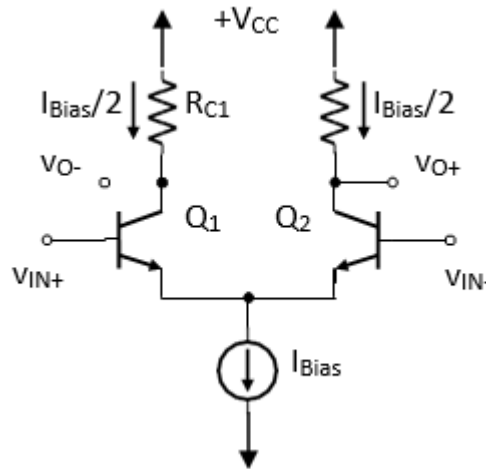
Pada penguat seperti ini diinginkan penguat dengan penguatan diferensial yang besar dan penguat common mode nol atau sangat kecil. Dengan demikian penguat ini dapat digunakan untuk memperkuat sinyal kecil yang muncul bersamaan dengan sinyal interferensi yang besar.

Besaran perbandingan penguatan diferensial A_d dan penguatan common mode A_{cm} disebut sebagai CMMR *Common Mode Rejection Ratio*, sbb:

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| \quad \text{Persamaan 1}$$

Rangkaian Dasar Penguat Diferensial

Rangkaian dasar penguat diferensial terdiri dari rangkaian pasangan transistor dengan emitor bersama, bias arus, dan rangkaian beban seperti tampak pada Gambar 1-2.



Gambar 1-2 Prinsip Penguatan Diferensial

Penguat diferensial diberikan dua input berbeda pada terminal basis Q_1 dan basis Q_2 dengan tegangan masing-masing v_{id1} dan v_{id2} (pada Gambar 1-2 v_{IN+} dan v_{IN-}) atau selisih tegangan sebesar v_{id} dan nilai rata-rata v_{cm} . Output penguat diferensial dapat diambil pada salah satu terminal kolektor saja v_{c1} atau v_{c2} (pada Gambar 1-2 v_{O+} dan v_{O-}) atau selisih tegangan kedua kolektor v_{od} .

Penguat diferensial tersebut akan memberikan penguatan diferensial sbb.:

$$A_d \equiv \frac{v_{od}}{v_{id}} = g_m R_C \quad \text{Persamaan 2}$$

dimana R_C resistansi di terminal kolektor, dan g_m transkonduktansi transistor pada arus bias yang diberikan. Penguatan diferensial ini sebanding dengan arus bias pada transistornya.

Sinyal output common-mode juga dapat diambil pada salah satu terminal kolektor saja atau selisih tegangan kedua terminal kolektor. Penguatan common mode untuk output tegangan salah satu terminal kolektor dan penguatan common mode untuk output diferensial secara berurutan adalah sebagai berikut

$$A_{cm} \equiv \frac{v_{c1}}{v_{cm}} = \frac{\alpha R_C}{2R_{EE} + r_e} \quad \text{Persamaan 3}$$

$$A_{cm} \equiv \frac{v_{ocm}}{v_{cm}} = \frac{\alpha \Delta R_C}{2R_{EE} + r_e} \quad \text{Persamaan 4}$$

dimana R_{EE} adalah resistansi sumber arus bias yang digunakan, α penguatan arus kolektor dari arus emitor, r_e adalah parameter resistansi emitor transistor pada sinyal kecil. Penguat common

mode dapat ditekan dengan menggunakan resistansi sumber arus yang besar. Untuk rangkaian dengan bias sumber arus resistor hal ini dapat dilakukan dengan memperbesar nilai resistansi biasnya. Namun demikian untuk menjaga penguatan diferensialnya maka perlu digunakan juga tegangan bias yang lebih tinggi agar arus bias-nya tetap.

Penguat Diferensial dengan Resistor Degenerasi pada Emitor

Penguat diferensial di atas mempunyai jangkauan penguatan linier yang sangat kecil (jauh di bawah V_T). Untuk memperoleh penguat diferensial dengan jangkauan penguatan linier yang lebih besar digunakan resistansi degenerasi emitor R_e . Pada rangkaian demikian diperoleh penguatan diferensial

$$A_d = \frac{2\alpha R_C}{2(r_e + R_e)} \quad \text{Persamaan 5}$$

Penambahan resistor R_e ini mengurangi penguatan diferensialnya. Pada penguat seperti ini penguatan common modenya adalah sbb.:

$$A_{cm} = \frac{\alpha \Delta R_C}{2R_{EE} + R_e + r_e} \quad \text{Persamaan 6}$$

Tampak dari persamaan terakhir penambahan resistansi degenerasi emitor juga akan memperbaiki CMRR atau menekan penguatan common mode.

Penguat Diferensial dengan Bias Cermin Arus dan Beban Aktif

Peningkatan resistansi rangkaian sumber arus bias dapat dilakukan dengan menggantikan resistor dengan sebuah cermin arus. Dalam keadaan demikian resistansi sumber arus adalah resistansi output transistor cermin arus ybs.

Resistansi kolektor pada pasangan diferensial dapat juga digantikan dengan beban aktif berupa cermin arus. Sinyal output untuk pasangan diferensial seperti ini diambil pada salah satu terminal kolektor pasangan diferensialnya. Untuk rangkaian yang demikian akan diperoleh penguatan diferensial

$$A_d = \frac{1}{2} g_m r_o \quad \text{Persamaan 7}$$

Dimana g_m adalah transkonduktansi sinyal kecil transistor pasangan diferensial dan r_o adalah resistansi output transistor beban aktif. Penguatan yang diperoleh akan sangat besar mengingat umumnya resistansi output r_o juga sangat besar.

Penguatan common mode untuk rangkaian dengan beban aktif ini akan mendekati:

$$A_{cm} = - \frac{r_{o4}}{\beta_3 R_{EE}} \quad \text{Persamaan 8}$$

dimana r_{o4} adalah resistansi output transistor beban pada terminal output, β_3 adalah penguatan arus transistor beban pasangannya, dan R_{EE} resistansi output sumber arus bias.

Nonidealitas pada Penguat Diferensial

Penguat diferensial ideal bila pasangan diferensial yang digunakan seluruh parameter sepenuhnya sama. Namun pada kenyataannya akan sangat diperoleh komponen yang demikian. Pada kasus rangkaian diferensial dengan beban resistor akan ada offset tegangan input V_{OS} penguat diferensial sebesar:

$$V_{OS} = V_T \frac{\Delta R_C}{R_C} \quad \text{Persamaan 9}$$

Demikian juga dengan transistor yang digunakan, bila arus saturasinya tidak persis sama maka akan diperoleh tegangan offset sebesar

$$V_{OS} = V_T \frac{\Delta I_S}{I_S} \quad \text{Persamaan 10}$$

Selain itu perbedaan penguatan arus β juga akan memberikan arus offset input I_{OS} sebesar

$$I_{OS} = I_B \frac{\Delta \beta}{\beta} \quad \text{Persamaan 11}$$

3. Alat dan Komponen yang Digunakan

1. Kit Praktikum Penguat Diferensial
2. Generator Sinyal
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Catu Daya Ter-regulasi (2 bh)
6. Kabel dan aksesoris pengukuran
7. DCA Pro

4. Tugas Pendahuluan

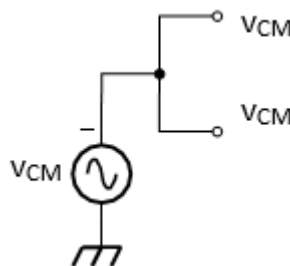
Pelajari keseluruhan petunjuk praktikum untuk modul ini. Lakukan analisis hitungan tangan dan simulasi untuk seluruh rangkaian yang akan dilakukan pada percobaan modul ini sesuai dengan Petunjuk Pengerjaan Tugas Pendahuluan.

1. Hitunglah arus bias (DC) untuk setiap rangkaian.
2. Carilah penguatan diferensial untuk setiap rangkaian.
3. Carilah penguatan Common Mode untuk setiap rangkaian.
4. Lakukan prediksi batas jangkauan linier input diferensial.

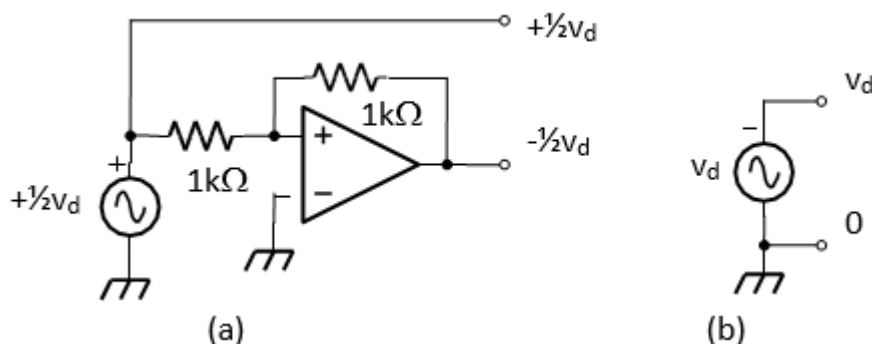
5. Langkah Percobaan

Pemberian dan Pengukuran Tegangan untuk Pasangan Diferensial

1. Untuk pemberian tegangan input Common Mode pada pasangan diferensial pada percobaan ini, gunakan hubungan seperti pada Gambar 1-3. Besaran amplitudo tegangan yang diberikan dapat diberikan hingga mendekati tegangan catu daya VCC. Dalam percobaan ini digunakan VCC 9V, maka amplitudo tegangan common mode dapat diberikan hingga maksimum 9V.
2. Untuk Differential Mode pemberian tegangan input menggunakan hubungan seperti pada Gambar 1-4. Amplitudo tegangan yang diberikan berada pada kisaran mV. Rangkaian pada Gambar 1-4 (a) memerlukan penguat operasional yang mempunyai tegangan offset dan derau rendah. Perangkat yang tersedia di laboratorium kurang mendukung pemberian sinyal seperti pada gambar tersebut. Oleh karena itu, pada praktikum akan dilakukan cara pada Gambar 1-4 (b). Amplitudo yang diinginkan kurang dari potensial termal (V_T atau sekitar 25 mV untuk tiap transistornya) agar transistor tetap bekerja pada daerah linier. Namun demikian, amplitudo perlu dijaga untuk mengatasi derau dari pembangkit sinyalnya. Amplitudo yang digunakan dapat berada antara 10-40 mV.



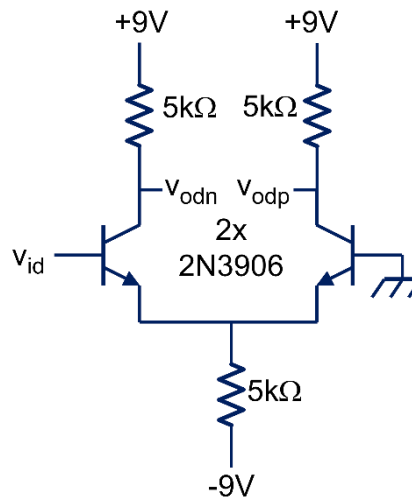
Gambar 1-3 Rangkaian Pemberi Tegangan Input Common Mode



Gambar 1-4 Rangkaian Pemberi Tegangan Input Diferensial
(a) $-\frac{1}{2}v_d$ dan $+\frac{1}{2}v_d$ dan (b) 0 dan v_d

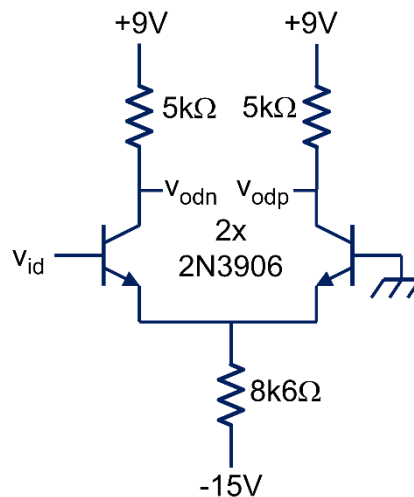
Pasangan Diferensial dengan Bias Resistor

1. Susunlah rangkaian penguat dengan pasangan diferensial seperti pada Gambar 1-5. Nilai-nilai komponen dan besaran tegangan catu daya yang dipilih adalah $R_{C1} = R_{C2} = 5\text{ k}\Omega$, $R_{bias} = 5\text{ k}\Omega$, transistor 2N3904, dan $V_{CC} = 9\text{ V}$. Ukurlah arus bias yang mengalir. Bandingkan hasilnya dengan perhitungan tangan dan simulasi yang dalam tugas pendahuluan.



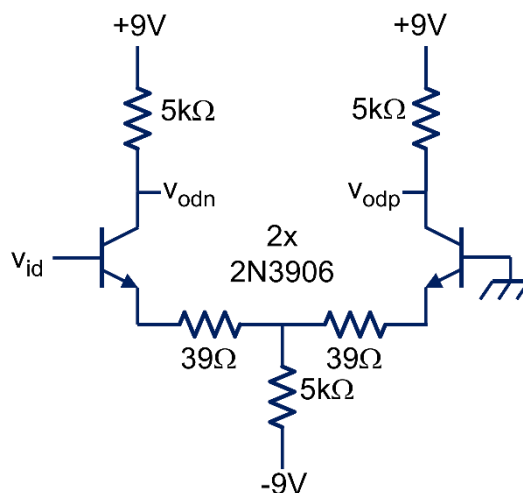
Gambar 1-5 Rangkaian Penguat Diferensial dengan Bias Resistor 5 k Ω

2. Amati penguatan mode diferensial untuk penguat tersebut dengan membaca tegangan output single ended (hanya pada salah satu v_{odp} atau v_{odn} terhadap ground), mau pun diferensial (selisih v_{odp} dan v_{odn}). Saat mengamati tegangan output diferensial, **jangan hubungkan terminal output dengan ground karena cara tersebut akan mengubah rangkaian percobaan**. Gunakan fungsi MATH pada osiloskop saat mengamati output diferensial. Catatlah hasil pengamatan penguatan diferensial dan bandingkan dengan perhitungan tangan dan simulasi pada tugas pendahuluan.
3. Gunakan mode xy untuk melihat kurva karakteristik transfer tegangan VTC tegangan output single ended dan output diferensial terhadap input diferensial v_{id} . Catat hasil pengamatan tersebut dan bandingkan dengan hasil analisis hitungan tangan dan simulasi.
4. Lanjutkan pengamatan untuk penguatan mode bersama pada output yang sama. Catat hasil pengamatan tersebut dan bandingkan dengan hasil analisis hitungan tangan dan simulasi.
5. Ulangi pengamatan arus DC, penguatan mode diferensial, dan penguatan mode bersama ini untuk rangkaian dengan resistansi bias dan tegangan bias negatif yang lebih tinggi seperti pada Gambar 1-6 di bawah ini.



Gambar 1-6 Rangkaian Penguat Diferensial dengan Bias Resistor 8,6 kΩ

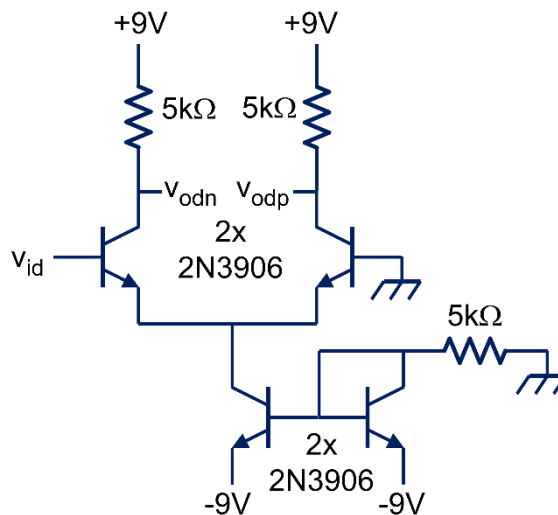
6. Lakukan juga pengamatan yang sama untuk rangkaian diferensial dengan bias resistor dan degenerasi emitor.



Gambar 1-7 Rangkaian Penguat Diferensial dengan Bias Resistor dan Emitor Degeneratif

Pasangan Diferensial dengan Bias Cermin Arus

1. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar 1-8 di bawah ini. Gunakan transistor 2N3904 untuk rangkaian bias dengan cermin arus. Ukurlah arus DC yang mengalir pada transistor pasangan diferensial, pada transistor cermin arus, dan arus referensi pada resistor.

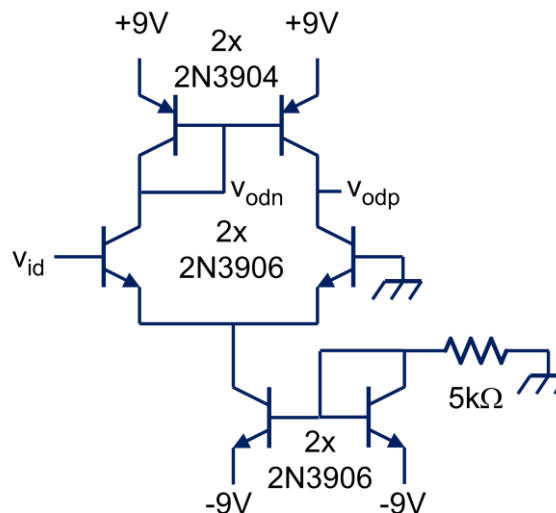


Gambar 1-8 Rangkaian Penguat Diferensial dengan Bias Cermin Arus

2. Lakukan pengamatan untuk penguatan mode diferensial dan penguatan bersama.
3. Gunakan DCA Pro untuk menentukan resistansi output transistor yang digunakan untuk cermin arus.

Pasangan Diferensial dengan Bias Cermin Arus dan Beban Aktif

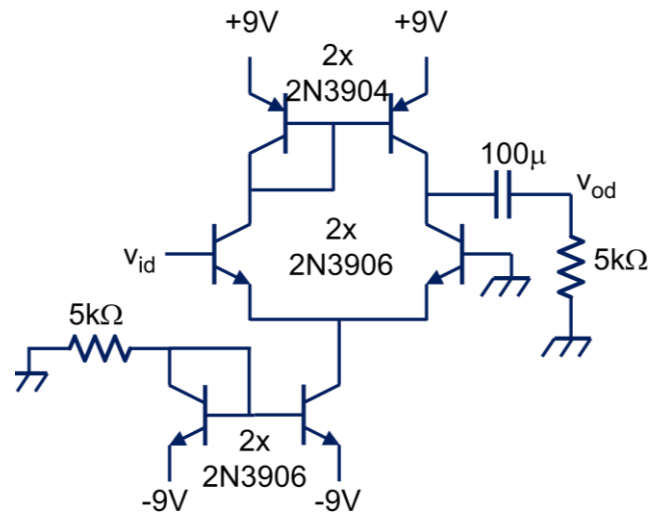
1. Susunlah rangkaian seperti pada Gambar 1-9 di bawah ini. Gunakan transistor 2N3906 untuk transistor pasangan diferensial dan cermin arus rangkaian sumber arus. Transistor untuk cermin arus beban aktif menggunakan 2N3904. Ukurlah arus DC yang mengalir antara kolektor semua transistor.



Gambar 1-9 Rangkaian Penguat Diferensial dengan Bias Cermin Arus dan Beban Aktif

2. Lakukan pengamatan untuk penguatan mode diferensial dan penguatan bersama. Perhatikan bentuk output yang diperoleh.
3. Ubahlah rangkaian dengan memberikan beban pada output seperti pada Gambar 1-10

berikut ini. Amati penguatan diferensial dan penguatan bersama pada terminal output v_o (pada beban R_L).



Gambar 1-10 Rangkaian Penguat Diferensial

6. Analisis dan Diskusi

Dengan menggunakan hasil pengamatan dan pengukuran lakukanlah analisis dan diskusikan hal-hal berikut:

1. Bagaimana perilaku penguatan diferensial pada pasangan penguat diferensial.
2. Bagaimana perilaku penguatan common mode pada pasangan diferensial.
3. Apa pengaruh penggunaan cermin arus sebagai sumber arus bias.
4. Apa keuntungan penggunaan cermin arus sebagai beban aktif.

Percobaan 2: Penguat Op Amp dengan Umpan Balik

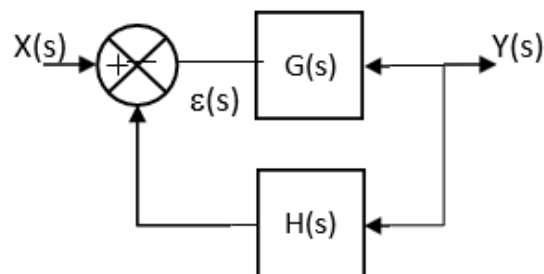
1. Tujuan

- Mengamati dan mengenali prinsip umpan balik pada rangkaian
- Mengamati, mengukur, dan menganalisa efek umpan balik pada frekuensi pole rangkaian orde satu filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi
- Mengamati dan menganalisa efek umpan balik pada rangkaian dengan distorsi saturasi

2. Pengetahuan Pendukung

Sistem dengan Umpan Balik

Sistem dengan loop terbuka sangat rentan terhadap gangguan dari luar. Berapapun besarnya ketelitian sistem tersebut akan menghasilkan keluaran yang buruk saat gangguan misalnya derau masuk pada sistem, misalnya bercampur dengan input. Untuk memperoleh sistem yang lebih baik digunakan umpan balik. Pada seperti ini output dikembalikan ke input untuk melihat perbedaan output dengan rujukan yang diharapkan. Sistem dengan umpan balik ini tampak pada Gambar 2-1 berikut.



Gambar 2-1 Diagram Blok Umum Sistem dengan Umpan Balik

Pada grafik tersebut $G(s)$ adalah fungsi transfer maju dari sistem, $H(s)$ fungsi transfer umpan balik, $X(s)$ sinyal input rujukan untuk sistem, $Y(s)$ sinyal keluaran yang diperoleh, dan $\epsilon(s)$ perbedaan sinyal keluaran dengan rujukan atau galat (error). Secara keseluruhan sistem dengan umpan balik tersebut akan memberikan fungsi transfer $G_f(s)$ seperti pada persamaan berikut:

$$G_f(s) \equiv \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad \text{Persamaan 1}$$

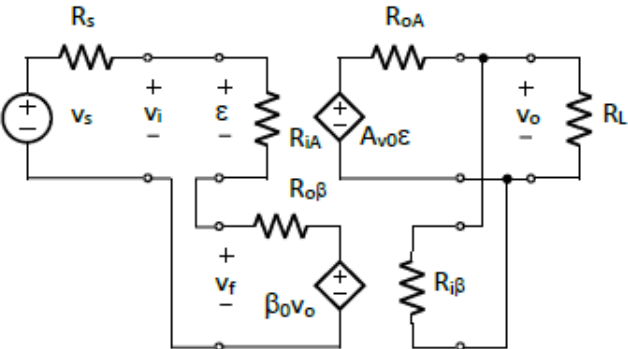
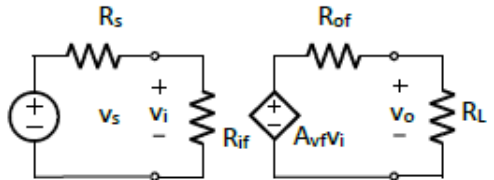
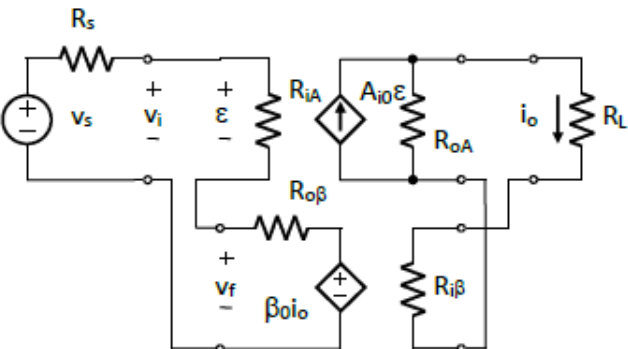
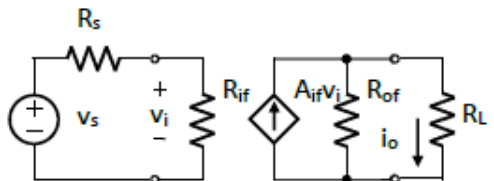
Untuk sistem seperti diatas, baik $G(s)$ maupun $H(s)$ dapat merupakan fungsi yang kompleks atau juga fungsi sederhana. Sistem dengan fungsi kompleks menjadi bagian dari studi bidang kendali. Dalam bidang elektronika sistem dengan umpan balik banyak digunakan dalam

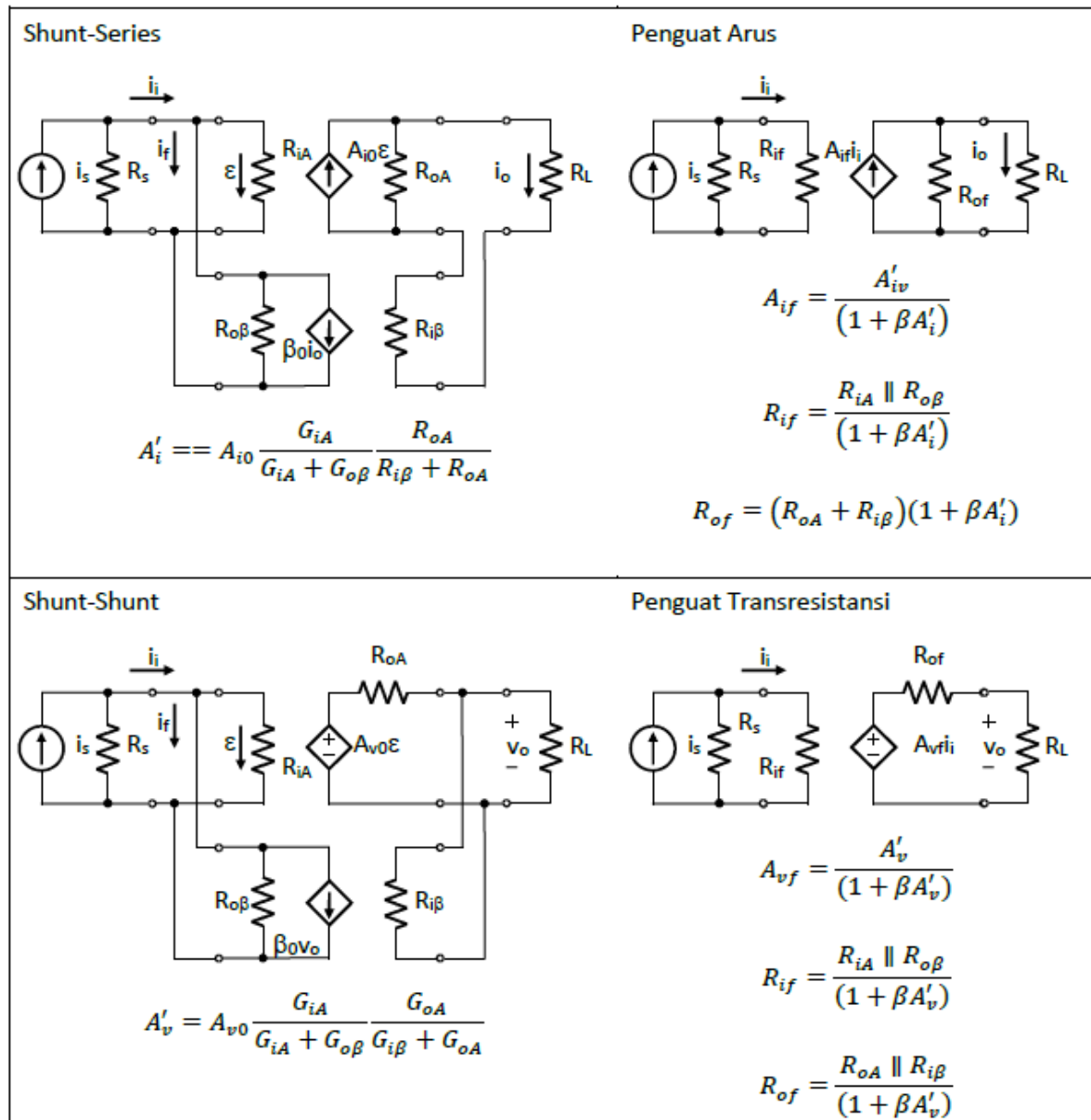
penguat dan filter. Sistem seperti ini menggunakan fungsi $G(s)$ dan $H(s)$ yang cenderung lebih sederhana.

Respons Umum Penguat dengan Umpan Balik

Untuk penguat dengan umpan balik, $G(s)$ merupakan fungsi penguatan A . Fungsi transfer umpan baliknya $H(s)$ merupakan fungsi skalar β . Sinyal yang diperkuat dalam elektronika dapat berupa tegangan atau arus. Representasi sinyal tersebut dapat dinyatakan dengan Rangkaian Thevenin atau Norton. Untuk penguat dengan umpan balik maka ada empat kemungkinan jenis penguat, yaitu: penguat tegangan, penguat arus, penguat transkonduktansi, dan penguat transresistansi. Tabel 2-1 menunjukkan efek umpan balik pada penguatan resistansi input dan output seluruh konfigurasi tersebut.

Tabel 2-1 Efek Umpan Balik pada Penguatan dan Resistansi Input dan Output

<p>Series – Shunt</p>  $A'_v = A_{v0} \frac{R_{iA}}{R_{iA} + R_{o\beta}} \frac{G_{oA}}{G_{i\beta} + G_{oA}}$	<p>Penguat Tegangan</p>  $A_{vf} = \frac{A'_v}{(1 + \beta A'_v)}$ $R_{if} = (R_{iA} + R_{o\beta})(1 + \beta A'_v)$ $R_{of} = \frac{R_{oA} \parallel R_{i\beta}}{(1 + \beta A'_v)}$
<p>Series-Series</p>  $A'_i = A_{i0} \frac{R_{iA}}{R_{iA} + R_{o\beta}} \frac{R_{oA}}{R_{i\beta} + R_{oA}}$	<p>Penguat Transkonduktansi</p>  $A_{if} = \frac{A'_{iv}}{(1 + \beta A'_i)}$ $R_{if} = (R_{iA} + R_{o\beta})(1 + \beta A'_i)$ $R_{of} = (R_{oA} + R_{i\beta})(1 + \beta A'_i)$



Untuk dapat menggunakan persamaan di atas rangkaian perlu terlebih dahulu dikenali konfigurasi. Hubungan *series* menambah atau tegangan pada input dan mencuplik arus pada output. Hubungan *shunt* menambah atau mengurangi arus pada input dan mencuplik tegangan pada output.

Respons Frekuensi Penguat dengan Umpan Balik

Secara alamiah setiap penguat mempunyai penguatan dengan pada frekuensi terbatas. Perilaku ini seringkali dimodelkan dengan orde satu, misalnya untuk respons filter frekuensi rendah (LPF) satu pole maka fungsi transfer penguat dapat ditulis seperti pada persamaan berikut

$$A(s) \equiv \frac{v_o}{v_i} = A_m \frac{\omega_p}{s + \omega_p} \quad \text{Persamaan 2}$$

Dalam kasus seperti ini persamaan fungsi transfer untuk penguat dengan umpan balik skalar β akan memberikan penguatan keseluruhan $A_f(s)$ seperti pada persamaan berikut

$$A_f(s) \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_m \frac{\omega_p}{s + \omega_p}}{1 + \beta A_m \frac{\omega_p}{s + \omega_p}} = \frac{\frac{A_m}{1 + \beta A_m} \omega_p (1 + \beta A_m)}{s + \omega_p (1 + \beta A_m)}$$

Persamaan 3

$$A_f(s) = A_{mf} \frac{\omega_{pf}}{s + \omega_{pf}}, A_{mf} = \frac{A_m}{1 + \beta A_m} \text{ dan } \omega_{pf} = \omega_p (1 + \beta A_m)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa pada penguat LPF orde satu dengan umpan balik, penguatan akan terskala turun sebesar $(1 + A_m \beta)$ dan sebaliknya frekuensi pole atau frekuensi sudut (*corner frequency*) akan terskala naik sebesar $(1 + A_m \beta)$. Frekuensi pole menjauh menuju tak hingga dengan peningkatan penguatan loop terbuka. Perkalian penguatan keseluruhan dan frekuensi pole akan tetap. Besaran terakhir ini disebut Gain Bandwidth Product (GBW Product) sebuah amplifier. Besaran ini merupakan *figure of merit* dari sebuah penguat.

Untuk penguat dengan kopling kapasitif, penguat juga mempunyai respons HPF pada frekuensi rendahnya. Fungsi transfer penguat dapat ditulis seperti pada persamaan berikut:

$$A(s) \equiv \frac{v_o}{v_i} = A_m \frac{s}{s + \omega_p} \quad \text{Persamaan 4}$$

$$A_f(s) = \frac{A_m \frac{s}{s + \omega_p}}{1 + A_m \frac{s}{s + \omega_p} \beta} = \frac{A_m s}{s + \omega_p + \beta A_m s} = \frac{\frac{A_m}{(1 + \beta A_m)} s}{s + \frac{\omega_p}{(1 + \beta A_m)}}$$

$$A_f(s) = A_{mf} \frac{s}{s + \omega_{pf}}, A_{mf} = \frac{A_m}{1 + \beta A_m} \text{ dan } \omega_{pf} = \frac{\omega_p}{(1 + \beta A_m)} \quad \text{Persamaan 5}$$

Dalam kasus HPF orde 1 ini, penguatan akan terskala turun sebesar $(1 + A_m \beta)$ dan frekuensi pole juga akan terskala turun sebesar $(1 + A_m \beta)$. Frekuensi pole mendekati nol (letak zero) dengan peningkatan penguatan loop terbuka.

Umpan Balik untuk Linierisasi

Umpan balik dapat digunakan untuk menekan nonlinieritas penguat. Salah satu contoh umpan balik untuk menekan *cross over distortion* yang muncul pada penguat *push-pull* kelas B seperti yang dilakukan pada percobaan penguat daya. Umpan balik juga dapat digunakan untuk menekan nonlinieritas saturasi pada penguat.

3. Alat dan Komponen yang Digunakan

1. Kit Praktikum Umpan Balik
2. Generator Sinyal
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Catu Daya Ter-regulasi (2 bh)
6. Kabel dan aksesoris pengukuran

4. Tugas Pendahuluan

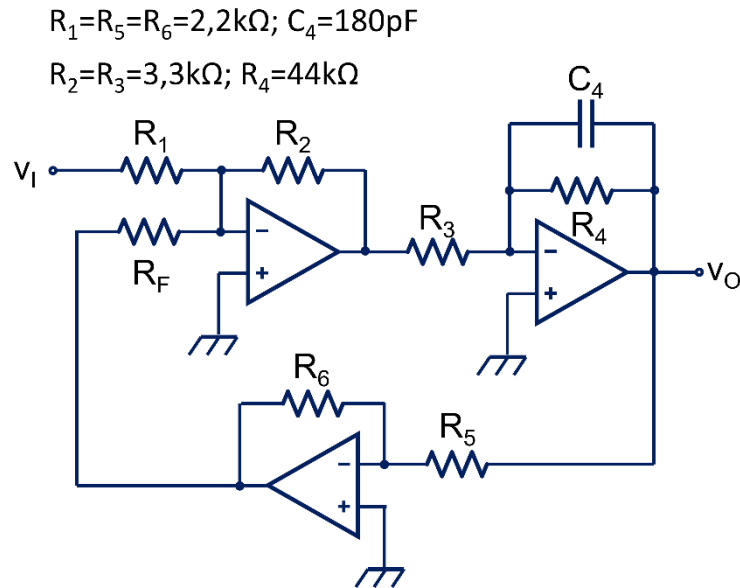
Untuk rangkaian opamp pada gambar 2-2 dan gambar 2-3.

1. Hitunglah besar penguatan loop terbuka (A_v) dari input ke output dan hitung juga penguatan rangkaian umpan baliknya (β) melalui masing-masing resistor yang tersedia R_A 110 k Ω , R_B 220 k Ω , dan R_C 440 k Ω .
2. Hitung resistansi input dan frekuensi sudutnya untuk keadaan loop terbuka dan loop tertutup di atas.
3. Lakukan simulasi untuk seluruh rangkaian yang akan dilakukan pada percobaan modul ini sesuai dengan Petunjuk Pengerjaan Tugas Pendahuluan Simulasi Rangkaian Praktikum.

5. Percobaan

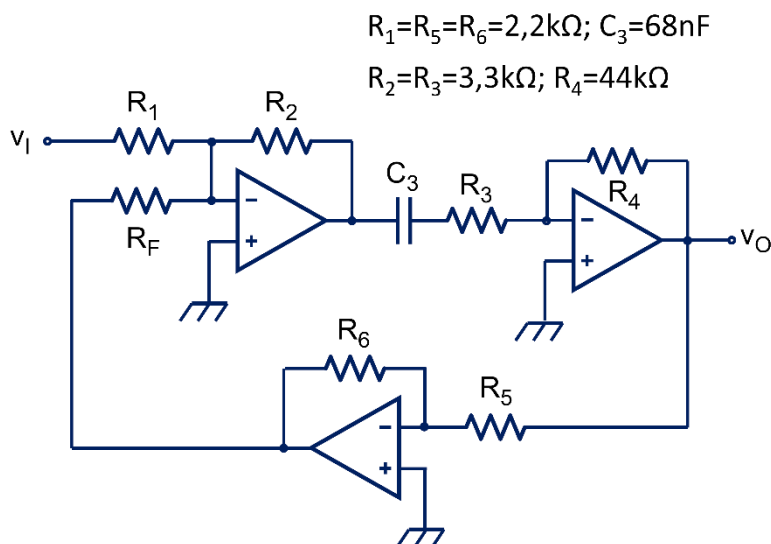
Respons Umum Rangkaian Opamp dengan Umpan Balik

1. Susunlah rangkaian pada kit untuk memperoleh rangkaian LPF orde 1 seperti tampak pada Gambar 2-2. Hubungkan generator sinyal sinusoidal untuk memberikan input pada rangkaian dan osiloskop untuk mengamati sinyal input dan outputnya.
2. Dengan memanfaatkan selektor S_1 untuk memilih R_A , R_B , atau R_C guna menentukan nilai skala umpan balik output ke inputnya,
 - a. Amati perilaku rangkaian untuk penguatan pada frekuensi *passband* (rendah, sekitar 1kHz atau kurang). Pilih amplitudo output sekitar
 - b. Naikkan frekuensi sehingga mencapai frekuensi sudut (cut-off 3dB)
 - c. Lakukan untuk rangkaian loop terbuka dan loop tertutup. Catat nilai-nilai tersebut.
3. Dengan menggunakan resistor tambahan pada input rangkaian, amati dan ukurlah resistansi input rangkaian untuk rangkaian loop terbuka dan rangkaian umpan balik untuk semua nilai skala umpan balik yang tersedia. Catat nilai-nilai tersebut dalam tabel yang sama dengan data sebelumnya.



Gambar 2-2 Rangkaian LPF orde 1 dengan Opamp

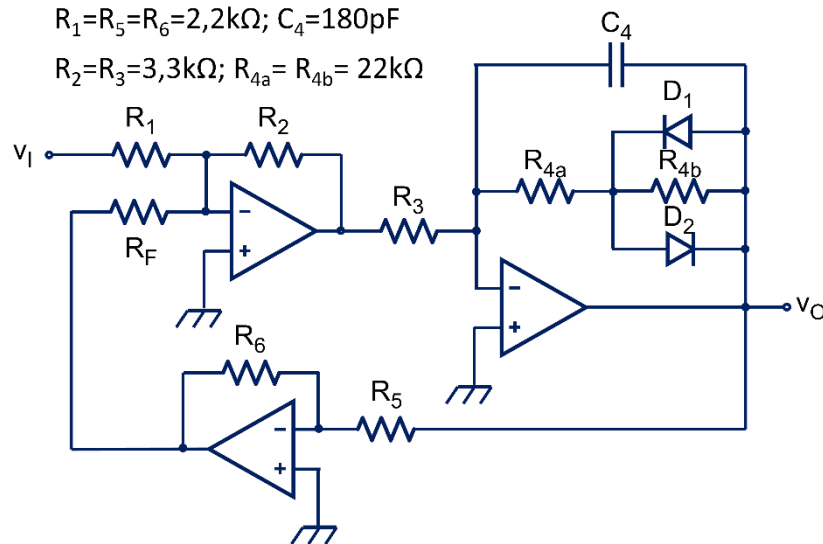
4. Susunlah rangkaian pada pada kit untuk memperoleh rangkaian HPF orde 1 seperti tampak pada Gambar 2-3. Hubungkan generator sinyal sinusoidal untuk memberikan input pada rangkaian dan osiloskop untuk mengamati sinyal input dan outputnya.
5. Lakukan pengamatan perilaku rangkaian untuk penguatan pada frekuensi *passband* (tinggi, sekitar 12-15 kHz) dan turunkan frekuensi sehingga mencapai frekuensi sudut (cut-off 3dB) untuk rangkaian loop terbuka dan loop tertutup dan rangkaian dengan umpan balik. Catat nilai-nilai tersebut. Bandingkan hasilnya dengan hasil pada langkah no. 2 di atas.



Gambar 2-3 Rangkaian HPF orde 1 dengan Opamp

Linierisasi Rangkaian Opamp dengan Umpan Balik

Susunlah rangkaian pada kit untuk memperoleh rangkaian nonlinier seperti tampak pada Gambar 2-4. Hubungkan generator sinyal sinusoidal untuk memberikan input pada rangkaian dan osiloskop untuk mengamati sinyal input dan outputnya.



Gambar 2-4 Rangkaian HPF orde 1 dengan Opamp

Gunakan osiloskop dalam mode *dual trace*. Dalam keadaan loop terbuka, berikan amplitudo sinyal input yang cukup besar sehingga pada sinyal output tampak saturasi pada puncak dan lembah sinyalnya. Amati juga kurva alih tegangan (VTC) dalam xy. Catat kedua hasilnya.

Dengan memanfaatkan selektor S_1 untuk memilih R_A 15k Ω , R_B 22k Ω , atau R_C 110k Ω guna menentukan nilai skala umpan balik output ke inputnya, dalam mode xy amati VTC untuk rangkaian dengan umpan balik. Amati juga sinyal keluarannya dalam mode dual trace. Catat hasil keduanya.

6. Analisis dan Diskusi

Dengan menggunakan hasil pengamatan dan pengukuran lakukanlah analisis dan diskusikan hal-hal berikut:

1. Resistansi input, output dan penguatan pada rangkaian dengan umpan balik.
2. Frekuensi pole pada LPF dan HPF orde 1 dengan adanya umpan balik.
3. Pengaruh umpan balik pada perbaikan linieritas dan harga yang harus dibayar.

Percobaan 3: Penguat Transistor dengan Umpan Balik

1. Tujuan

- Mengamati dan mengenali prinsip umpan balik pada rangkaian
- Mengamati, mengukur, dan menganalisa efek umpan balik pada frekuensi pole rangkaian orde satu filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi
- Mengamati dan mengenali cara memberikan umpan balik pada penguat satu transistor
- Mengamati, mengukur, dan menganalisa efek umpan balik pada karakteristik penguat: resistansi input, resistansi output, dan penguatan

2. Pengetahuan Pendukung

Umpan Balik pada Penguat Transistor

Penguat transistor dapat diberikan umpan balik untuk memperoleh keuntungan perilaku rangkaian dengan umpan balik, seperti pada bandwidth dan resistansi input dan output. Pengambilan sampel dari output dapat dilakukan dengan menggunakan resistor, baik secara seri untuk memberikan umpan balik tegangan, maupun dengan paralel untuk memberikan umpan balik arus. Penggunaan resistor ini diharapkan tidak mengubah titik kerja rangkaian. Untuk analisisnya, rangkaian penguat dan rangkaian umpan balik dimodelkan dahulu sebagai jaringan 2 port. Selanjutnya besaran yang menyatakan perilaku rangkaian dapat diprediksi sesuai Tabel 2-1 pada Percobaan 2.

3. Alat dan Komponen yang Digunakan

1. Kit Praktikum Umpan Balik
2. Generator Sinyal
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Catu Daya Ter-regulasi (2 bh)
6. Kabel dan aksesoris pengukuran

4. Tugas Pendahuluan

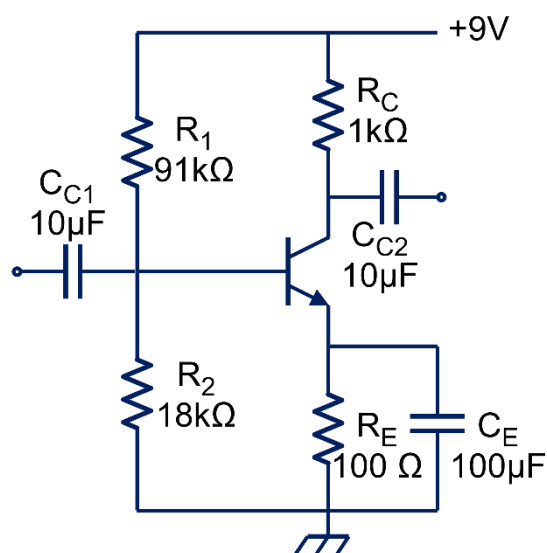
Untuk rangkaian penguat satu transistor pada Gambar 3-1 – 3-3

1. Hitunglah penguatan rangkaian dan resistansi input untuk rangkaian tanpa umpan balik.
2. Amati skema rangkaian pada jenis konfigurasi apakah rangkaian umpan balik 1 (Gambar 3-2) dan umpan balik 2 (Gambar 3-3) tersebut.
3. Carilah nilai umpan balik untuk rangkaian umpan balik 1 dan umpan balik 2.
4. Lakukan simulasi untuk seluruh rangkaian yang akan dilakukan pada percobaan modul ini sesuai dengan Petunjuk Pengerjaan Tugas Pendahuluan Simulasi Rangkaian Praktikum.

5. Percobaan

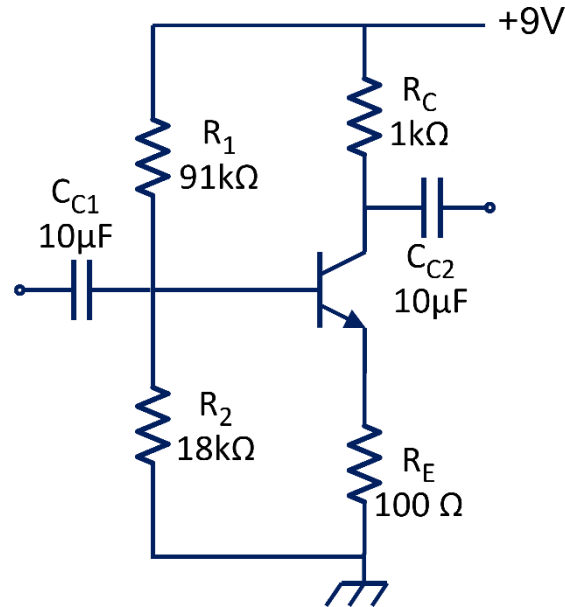
Penguat Transistor dengan Umpan Balik

1. Gunakan rangkaian pada kit praktikum untuk menyusun rangkaian seperti tampak pada Gambar 3-1. Berikan sinyal input sinusoidal sebesar 100 mV_{pp} 1 kHz dari generator sinyal dan amati sinyal input dan output dengan osiloskop.



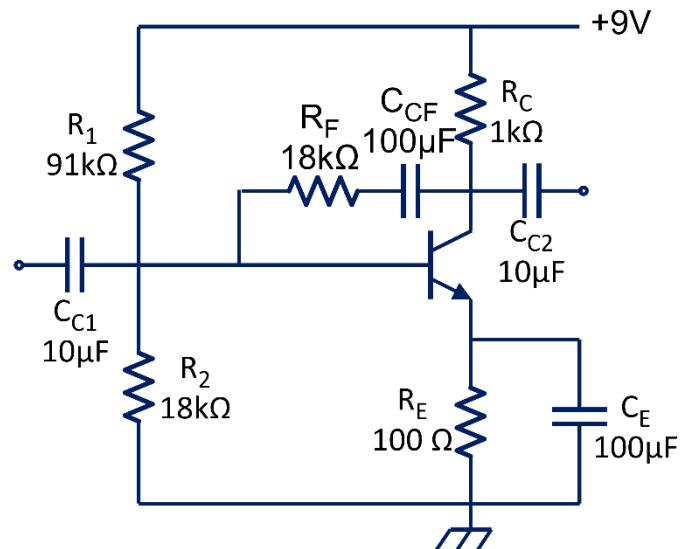
Gambar 3-1 Penguat Satu Transistor Tanpa Umpan Balik

2. Lakukan pengamatan dan pengukuran untuk penguatan, frekuensi *cut-off*, dan resistansi input rangkaian tersebut (catatan: Rangkaian ini mempunyai umpan balik pada arus bias atau DC namun untuk sinyal ac penguat tidak mempunyai umpan balik karena adanya kapasitor *bypass* C_E paralel ke resistor emitor R_E).
3. Putuskan hubungan kapasitor *bypass* C_E dari resistor emitor R_E sehingga diperoleh rangkaian seperti pada Gambar 3-2.
4. Lakukan ulang pengamatan dan pengukuran untuk penguatan, frekuensi *cut-off*, dan resistansi input rangkaian tersebut.



Gambar 3-2 Penguat Satu Transistor dengan Umpan Balik 1

5. Hubungkan kembali kapasitor bypass C_E dari resistor emitor R_E dan hubungkan juga resistor R_F dan kapasitor C_F sehingga diperoleh rangkaian seperti pada Gambar 3-3.
6. Lakukan ulang pengamatan dan pengukuran untuk penguatan, frekuensi *cut-off*, dan resistansi input rangkaian tersebut.



Gambar 3-3 Penguat Satu Transistor dengan Umpan Balik 2

6. Analisis dan Diskusi

Dengan menggunakan hasil pengamatan dan pengukuran lakukanlah analisis dan diskusikan hal-hal berikut:

1. Umpan balik pada penguat satu transistor dan pengaruhnya pada karakteristik rangkaian.

Percobaan 4: Osilator RC

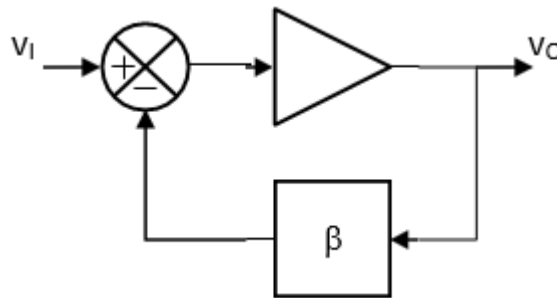
1. Tujuan

- Mengamati dan menganalisa rangkaian-rangkaian osilator umpan balik resistor dan kapasitor (RC)
- Mengamati dan menganalisa keadaan untuk menjamin terjadinya osilasi
- Mengamati dan menganalisa pengaturan amplitudo output osilator

2. Pengetahuan Pendukung dan Bacaan Lanjut

Osilator dan Umpan Balik Positif

Sistem dengan umpan balik secara umum dapat digambarkan dengan diagram blok pada Gambar 4-1 berikut.



Gambar 4-1 Diagram Blok Sistem dengan Umpan Balik

Blok A merupakan fungsi transfer maju dan blok β merupakan fungsi transfer umpan baliknya. Pada sistem dengan umpan balik ini dapat diturunkan penguatan tegangannya:

$$A_f \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{A}{1+A\beta} \quad \text{Persamaan 1}$$

Secara umum persamaan di atas menunjukkan adanya tiga keadaan yang ditentukan oleh denominatornya. Salah satu keadaan tersebut adalah saat denominator menjadi nol. Saat itu nilai A_f menjadi tak hingga. Secara matematis pada keadaan ini bila diberikan sinyal input nol atau $v_i=0$ ini, akan menjadikan tegangan v_o dapat bernilai berapa saja. Keadaan seperti inilah yang menjadi prinsip pembangkitan sinyal atau osilator sinusoidal dengan umpan balik yang disebut sebagai Kriteria Barkhausen. Dalam rangkaian kriteria tersebut dilihat dari total penguatan loop terbuka L sbb.:

$$L(j\omega) = A(j\omega)\beta(j\omega) = 1 \quad \text{Persamaan 2}$$

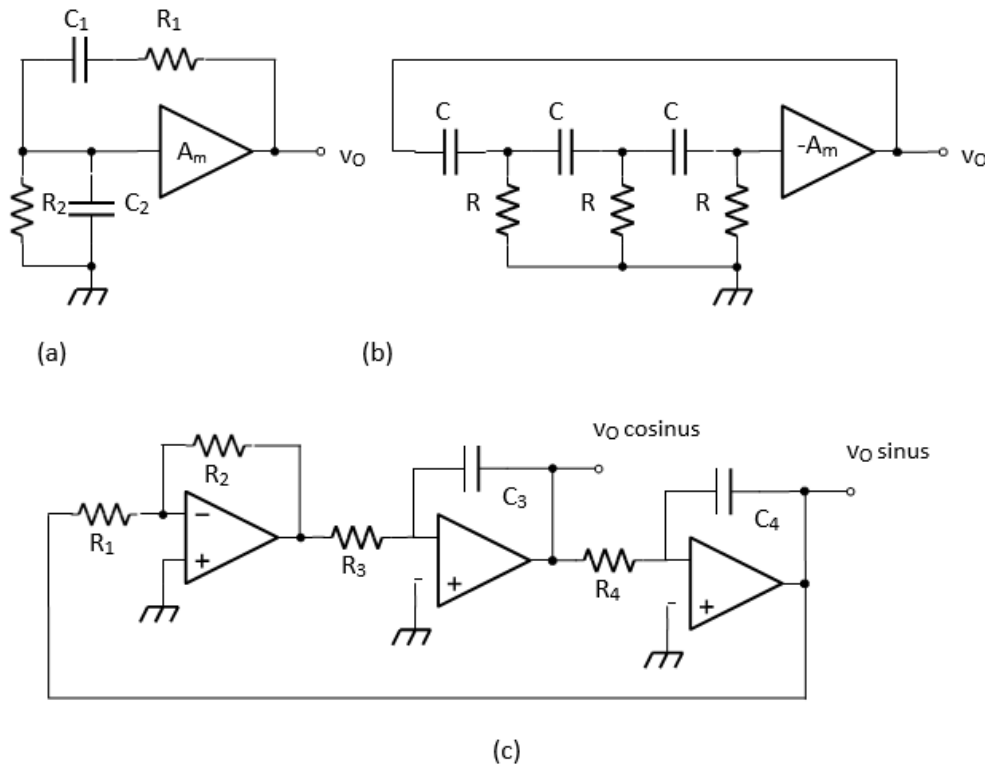
Osilator dengan Opamp, Resistor, dan Kapasitor (RC Oscillator)

Implementasi Kriteria Osilasi

Ada banyak cara untuk mencapai kriteria terjadinya osilasi di atas, namun untuk kemudahannya dalam perancangan sering kali dipilih keadaan-keadaan berikut:

$$\begin{aligned} A &= A_m \angle 0 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 0 \\ A &= A_m \angle 180 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle 180 \\ A &= A_m \angle 90 \text{ dan } \beta = \frac{1}{A_m} \angle -90 \end{aligned} \quad \text{Persamaan 3}$$

Contoh implementasi untuk ketiga keadaan tersebut di atas, secara berurutan adalah Osilator Jembatan Wien, Osilator Penggeser Fasa, dan Osilator Kuadratur yang rangkaian umumnya tampak pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Contoh Implementasi Kriteria Osilasi

(a) Jembatan Wien (b) Penggeser Fasa (c) Kuadratur

Osilator Jembatan Wien secara umum mempunyai frekuensi osilasi dan penguatan yang diperlukan untuk terjadinya osilasi sebagai berikut:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ dan } A_m = 1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Persamaan 4}$$

Dalam realisasinya, dalam merancang Osilator Jembatan Wien sering kali dipilih $R_1=R_2=R$ dan $C_1=C_2=C$ sehingga frekuensi osilasinya menjadi $\omega=1/CR$ dan penguatan yang diperlukan $A_m=3$.

Nilai lain yang juga sering digunakan adalah $R_1=R$, $R_2=10R$, $C_1=C/10$, dan $C_2=10C$ dengan frekuensi osilasi yang sama yaitu $\omega=1/CR$ namun penguatan hanya $A_m=1,2$.

Untuk Osilator Penggeser Fasa frekuensi osilasi dan penguatan yang diperlukan adalah

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \text{ dan } A_m = -\frac{1}{29} \quad \textbf{Persamaan 5}$$

Sedangkan untuk osilator kuadratur frekuensi osilasinya adalah

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1 R_3 C_3 R_4 C_4}}} \quad \textbf{Persamaan 6}$$

dan untuk masing-masing integrator (inverting dan noninverting) penguatannya adalah

$$A_1 = \frac{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}}{\sqrt{\frac{C_3 R_3}{C_4 R_4}}} \text{ dan } A_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_3 R_3}{R_1 C_4 R_4}}} \quad \textbf{Persamaan 7}$$

Dalam perancangannya bila dipilih $R_1=R_2=R$, $R_3=R_4$ dan $C_3=C_4$ maka diperoleh penguatan pada masing-masing opamp 1 (satu) dan penguatan loop terbuka juga 1 (satu).

Pengendalian Amplitudo

Kriteria osilasi sangat ketat, bila $L > 1$ maka rangkaian umpan balik menjadi tidak stabil dan bila $L < 1$ osilasi tidak akan terjadi. Oleh karena itu, penguat pada osilator menjamin $L > 1$ saat mulai dioperasikan dan kemudian dibatasi pada nilai $L = 1$ saat beroperasi. Cara yang umum digunakan untuk kendali tersebut adalah dengan rangkaian pembatas amplitudo (clipper) atau pengendali penguatan otomatis (automatic gain control, AGC).

Prinsip kerja rangkaian pembatas amplitudo adalah memanfaatkan dioda pada resistor penentu penguatan rangkaian penguat operasional. Dioda akan konduksi dan mempertahankan nilai tegangannya bila memperoleh tegangan lebih dari tegangan *cut-in*. Prinsip kerja pengendali penguatan otomatis adalah dengan menggantikan resistor penentu penguatan rangkaian penguat operasional dengan transistor (FET). Tegangan output disearahkan dan digunakan untuk mengendalikan resistansi transistor.

Cara lain adalah dengan menggunakan *Piece Wise Linear Limiter*. Prinsip cara ini adalah menjadikan penguat memberikan penguatan pada amplitudo yang berbeda yang ditentukan dengan dioda dan resistor.

3. Alat dan Komponen yang Digunakan

1. Kit Praktikum Osilator Sinusoidal
2. Generator Sinyal
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Catu Daya Ter-regulasi (2 bh)
6. Kabel dan aksesoris pengukuran
7. Aerosol udara terkompresi

4. Tugas Pendahuluan

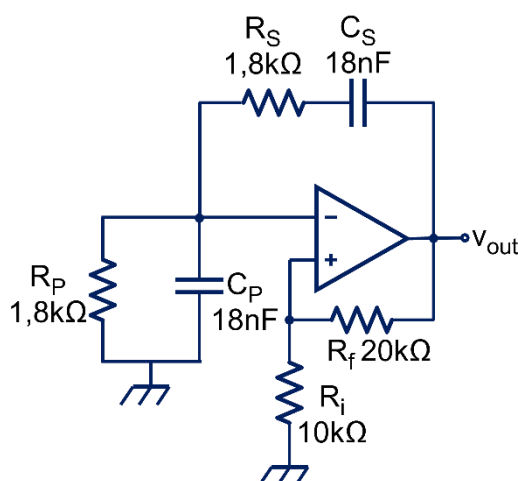
Pelajari keseluruhan petunjuk praktikum untuk modul ini.

Lakukan simulasi untuk seluruh rangkaian yang akan dilakukan pada percobaan modul ini sesuai dengan Petunjuk Pengerjaan Tugas Pendahuluan Simulasi Rangkaian Praktikum.

5. Percobaan

Pengamatan Osilasi dan Kriteria Osilasi

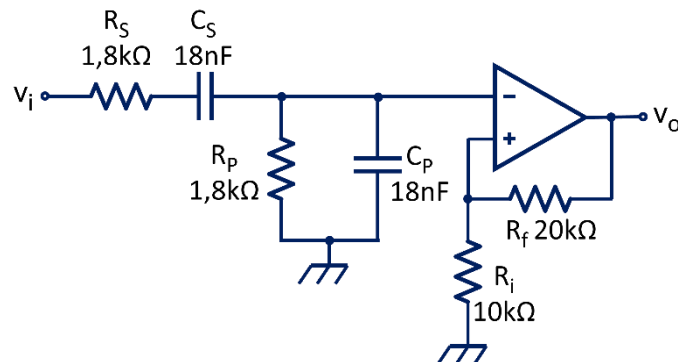
1. Susunlah rangkaian osilator jembatan Wien pada Gambar 4-3 berikut dengan nilai resistansi $R = 1,8 \text{ k}\Omega$, kapasitansi $C = 18 \text{ nF}$, resistansi $R_i = 10 \text{ k}\Omega$, dan resistansi $R_f = 20 \text{ k}\Omega$. Tegangan catu daya penguat operasional $V_{CC} = 15 \text{ V}$ dan $-V_{CC} = -15 \text{ V}$.



Gambar 4-3 Osilator Jembatan Wien dengan Penguat Operasional

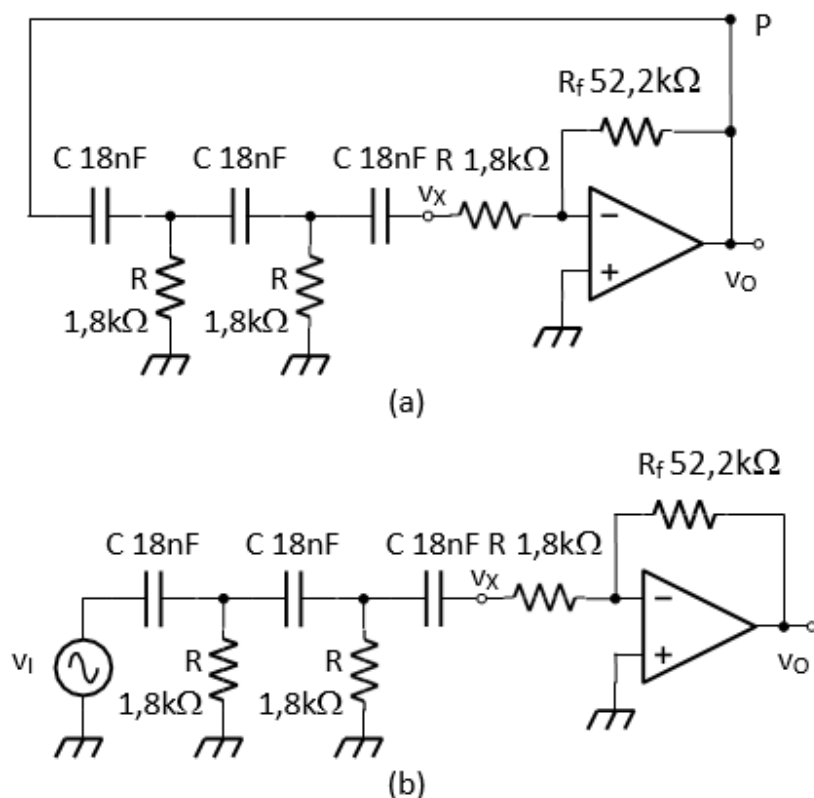
2. Hubungkan terminal output v_o dengan kanal 2 osiloskop. Atur resistansi R_f sehingga diperoleh rangkaian yang berosilasi dengan output sinyal sinusoidal yang baik. Amati dan catat amplitudo dan frekuensi sinyal keluarannya, serta ukur resistansi R_f .

- Putuskan rangkaian pada simpul P dan hubungkan simpul input rangkaian umpan balik dengan generator sinyal dengan frekuensi sesuai pengamatan atau perhitungan. Hubungkan juga sinyal dari generator sinyal ini ke input kanal 1 osiloskop. Amati dan catat amplitudo dan fasa penguatan total loop.



Gambar 4-4 Pengukuran Penguatan Open Loop Osilator Jembatan Wien

- Pindahkan input kanal 2 osiloskop \$v_X\$. Amati dan catat amplitudo dan fasa peredaman pada rangkaian umpan balik.

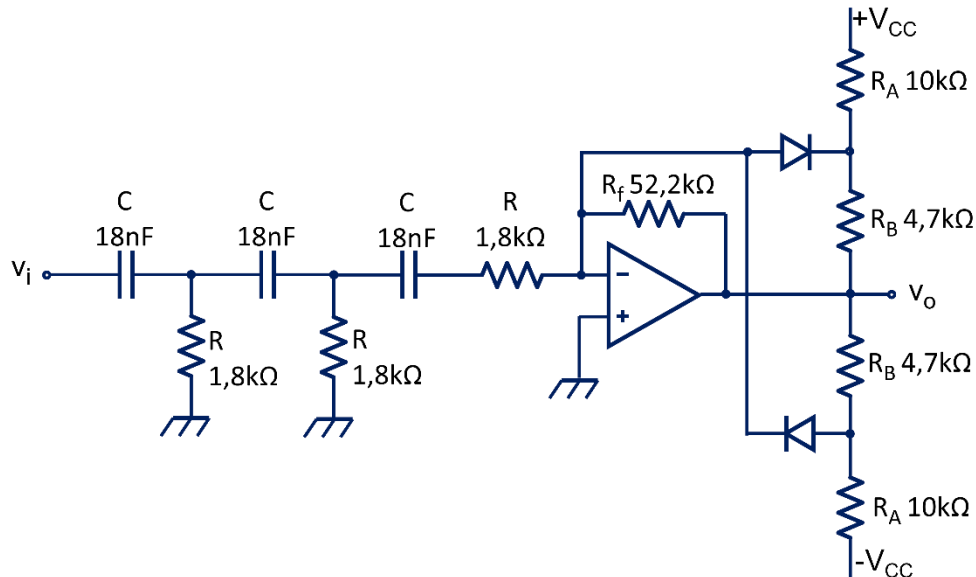


Gambar 4-5 Osilator Penggeser Fasa (a) dan Pengukuran Penguatan Open Loopnya (b)

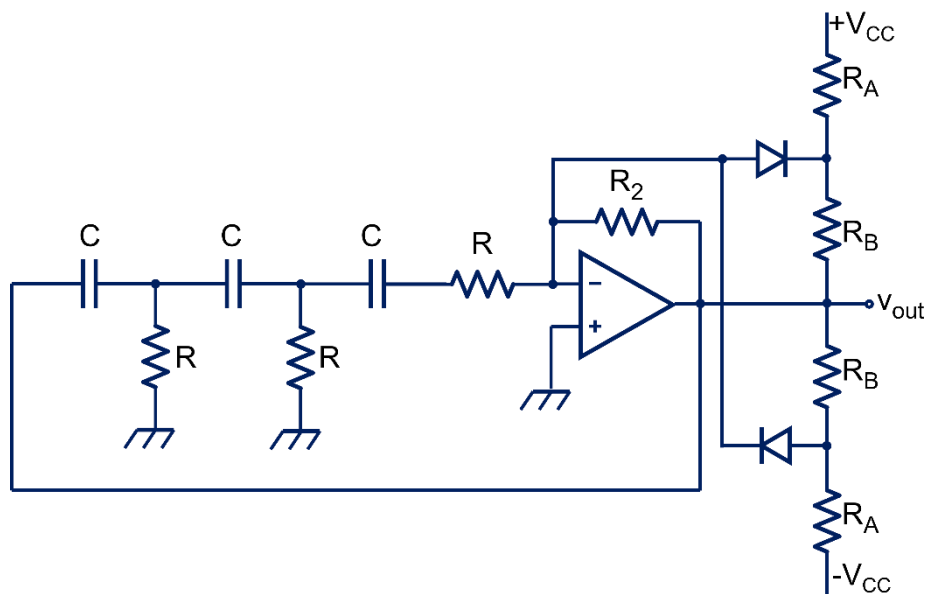
- Susun rangkaian osilator penggeser fasa seperti pada gambar 4-5. Gunakan nilai resistansi $R = 1,8k\Omega$, kapasitansi $C = 18nF$, dan resistansi R_f sedikit di atas $52,2k\Omega$. Tegangan catu daya penguat operasional $V_{CC} = 15V$ dan $-V_{CC} = -15V$.
- Ulangi langkah 2-4 di atas untuk rangkaian osilator penggeser fasa ini.

Pengendalian Amplitudo

- Gunakan rangkaian osilator penggeser fasa dan atur resistansi R_f sehingga output osilator diperoleh 18 Vpp (atau nilai lain yang lebih rendah yang dapat diperoleh dengan mudah).
- Gunakan udara terkompresi untuk mendinginkan penguat operasional dan amati apa yang terjadi pada amplitudo output osilator.



Gambar 4-6 Osilator Penggeser Fasa dengan Pembatas Amplitudo



Gambar 4-7

- Atur kembali resistansi resistansi R_f sehingga output osilator diperoleh sekitar $25V_{pp}$ atau lebih.
- Hubungkan penguat dengan pembatas amplitudo seperti pada Gambar 4-6. Gunakan

pembatas amplitudo dengan resistansi R_A 10k Ω dan R_B 4,7k Ω .

11. Gunakan udara terkompresi untuk mendinginkan penguat operasional dan amati apa yang terjadi pada amplitudo output osilator.

Osilator Kuadratur

12. Susun rangkaian osilator kuadratur seperti pada Gambar 4-2 (c). Gunakan nilai resistansi $R=1,8\text{k}\Omega$, kapasitansi $C=18\text{nF}$, resistansi $R_i=10\text{k}\Omega$, dan Resistansi R_f sekitar 10k Ω .
13. Ulangi langkah 2-4 di atas untuk rangkaian osilator penggeser fasa ini.

6. Analisis dan Diskusi

Dengan menggunakan hasil pengamatan dan pengukuran lakukanlah analisis dan diskusikan hal-hal berikut:

1. Penentu terjadinya osilasi dan penentu frekuensi osilasinya.
2. Cara menjamin terjadinya osilasi dan pengaruhnya pada amplitudo dan frekuensi sinyal output.
3. Perbandingan amplitudo pada osilator dengan tegangan catu daya yang digunakan serta cara mengatur amplitudo output osilator.
4. Perbandingan bentuk sinyal, amplitudo, serta frekuensi berbagai osilator.
5. Pengaruh temperatur pada osilator.

Percobaan 5: Osilator LC dan Pembangkit Gelombang Non-Sinusoidal

1. Tujuan

1. Mengamati dan mengenali prinsip pembangkitan sinyal sinusoidal dengan rangkaian umpan balik
2. Mengamati dan menganalisa rangkaian-rangkaian osilator umpan balik induktor dan kapasitor (LC)
3. Merancang dan mengimplementasikan pembangkit gelombang segitiga
4. Mengamati dan menganalisa osilator cincin (ring oscillator)

2. Pengetahuan Pendukung

Osilator dengan Resonator

Osilator Penguat, Induktor, dan Kapasitor

Osilator dengan penguat, induktor dan kapasitor pada dasarnya merupakan osilator yang memanfaatkan rangkaian resonansi seri induktor dan kapasitor (LC). Secara teoritis, induktor dan kapasitor akan mengalami *self resonance*. Akan tetapi adanya redaman akibat resistansi pada induktor dan konduktansi pada kapasitor osilasi tersebut tidak dapat terjadi dengan sendirinya. Untuk menjamin terjadinya osilasi tersebut, maka rangkaian LC harus mendapat mekanisme kompensasi terhadap redaman. Pada implementasinya maka induktor dan kapasitor ditempatkan dalam rangkaian umpan balik guna menjaga resonansi berkelanjutan.

Ada beberapa rangkaian osilator LC yang terkenal, tiga diantaranya adalah Colpitts, Clapp, dan Hartley. Prinsip rangkaian penguat dan umpan balik untuk ketiganya tampak pada gambar 5-1. Frekuensi osilasi rangkaian ini ditentukan oleh rangkaian resonansinya. Untuk Osilator Colpitts frekuensi resonansinya adalah sebagai berikut.

$$f \cong \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC_T}} \text{ dengan } C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad \text{Persamaan 1}$$

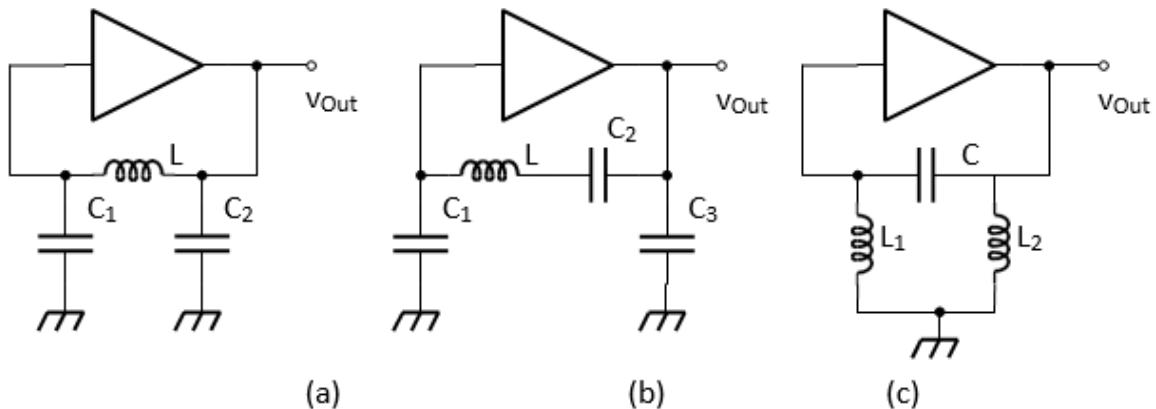
Osilator Clapps memberikan frekuensi osilasi

$$f \cong \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC_T}} \text{ dengan } C_T = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1} \quad \text{Persamaan 2}$$

Osilator Hartley memberikan frekuensi osilasi

$$f \cong \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{CL_T}} \text{ dengan } L_T = L_1 + L_2 \quad \text{Persamaan 3}$$

Pada persamaan di atas digunakan tanda mendekati karena frekuensi akan bergeser sedikit bila resistansi input dan resistansi output penguat masuk dalam perhitungan.

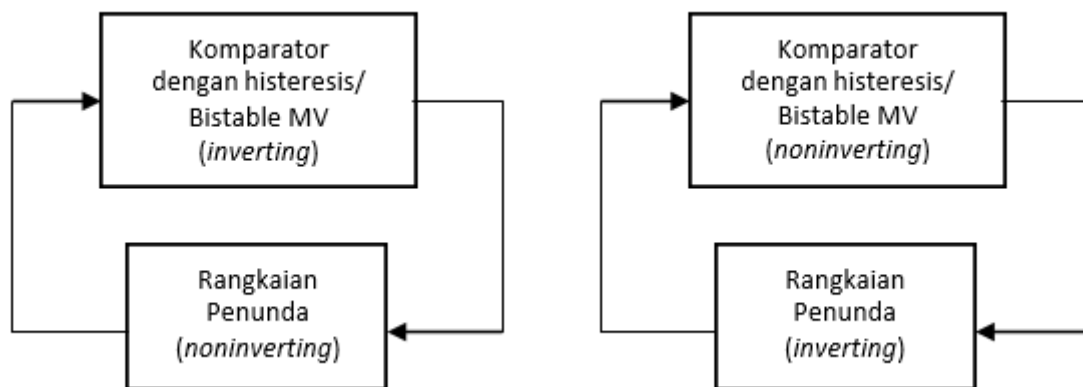


Gambar 5-1 Osilator Penggeser Fasa dengan Pembatas Amplitudo

Prinsip Pembangkitan Gelombang Non-sinusoidal

Prinsip Umum

Secara umum osilator non sinusoidal atau juga dikenal sebagai astable multivibrator dapat memanfaatkan fungsi penunda sinyal, inverting, dan/ atau komparasi dengan histeresis atau bistable multivibrator. Bagian-bagian tersebut dapat dirangkai dalam loop tertutup dengan keseluruhan loop bersifat inverting. Alternatif pembentukan loop tersebut ditunjukkan pada Gambar 5-2.



Gambar 5-2 Prinsip Dasar Pembangkitan Gelombang

Fungsi komparator dengan histeresis atau bistable multivibrator adalah mempertahankan keadaan pada status tertentu sehingga ada sinyal luar yang memaksa perubahan status tersebut. Fungsi penunda adalah untuk memberikan selisih waktu antara perubahan pada output komparator atau multivibrator kembali ke input komparator atau multivibrator tersebut. Secara keseluruhan fungsi dalam satu loop haruslah bersifat inverting atau membalikkan sinyal.

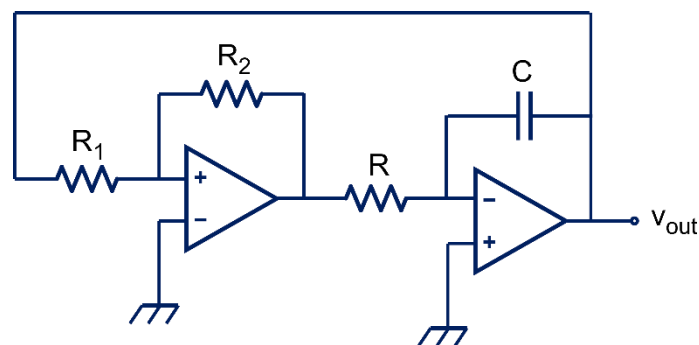
Rangkaian Tunda

Rangkaian tunda dapat diimplementasikan dengan beberapa cara. Rangkaian tunda inverting dapat dibangun dengan integrator dengan penguat operasional dan rangkaian tunda noninverting dapat dibangun dengan rangkaian resistor dan kapasitor orde satu (RC orde 1 sebagai filter frekuensi rendah LPF). Penggunaan integrator memberikan skala waktu tunda linier sedangkan rangkaian RC orde 1 memberikan waktu tunda mengikuti fungsi eksponensial negatif.

Rangkaian Pembangkit Gelombang Non-sinusoidal

Pembangkit Gelombang Segitiga

Rangkaian pembangkit gelombang segitiga dapat dibangun dengan memanfaatkan komparator dengan histerisis non inverting dan rangkaian integrator. Rangkaian ini tampak pada Gambar 5-3.



Gambar 5-3 Pembangkit Gelombang Segitiga

Rangkaian pembangkit gelombang segitiga ini akan memberikan sinyal dengan frekuensi dan amplitudo pada persamaan berikut.

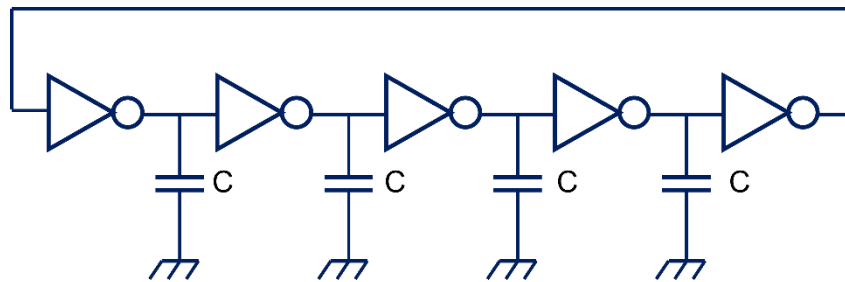
$$f = \frac{1}{4} \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{CR} \quad \text{Persamaan 4}$$

$$V_M = \frac{R_1}{R_2} V_S \quad \text{Persamaan 5}$$

Untuk memastikan komparator berfungsi baik maka nilai harus dipenuhi resistansi $R_2 > R_1$. Selain menghasilkan gelombang segitiga, rangkaian tersebut juga menghasilkan gelombang persegi pada output komparatornya dengan tegangan $+V_s$ dan $-V_s$.

Osilator Cincin (Ring Oscillator)

Osilator cincin dapat dibangun dengan sejumlah ganjil inverter CMOS dan penunda waktu yang disusun dalam satu loop. Secara alamiah setiap inverter juga mempunyai waktu tunda dengan demikian sejumlah ganjil inverter yang disusun dalam satu loop juga akan membentuk osilator seperti ditunjukkan pada gambar 5-4. Untuk memperoleh frekuensi yang lebih rendah waktu tunda tiap inverter dapat diperbesar dengan menambahkan kapasitor yang terhubung dengan ground pada output inverter.



Gambar 5-4 Osilator Cincin

Frekuensi sinyal yang dihasilkan oleh osilator cincin ini adalah

$$f = \frac{1}{2\pi t_d} \quad \text{Persamaan 6}$$

Dalam hal ini n adalah jumlah inverter dan t_d adalah delay rata-rata inverter.

3. Alat dan Komponen yang Digunakan

1. Kit Praktikum Osilator Sinusoidal
2. Generator Sinyal
3. Osiloskop
4. Multimeter
5. Catu Daya Ter-regulasi (2 bh)
6. Kabel dan aksesoris pengukuran
7. Aerosol udara terkompresi
8. Breadboard
9. Komponen pasif Resistor, dan kapasitor
10. Kabel AWG 22
11. Kabel dan aksesoris pengukuran

4. Tugas Pendahuluan

1. Bacalah Data Sheet LM741. Perhatikan dan pelajari batas saturasi tegangan outputnya. Pada percobaan ini gunakan tegangan catu VCC 15 Volt.
2. Rancanglah sebuah pembangkit gelombang segitiga seperti pada Gambar 5-3 dengan pilihan frekuensi dan amplitudo seperti tercantum dalam Tabel 5-1 berikut.
3. Lakukan simulasi untuk seluruh rangkaian yang akan dilakukan pada percobaan modul ini sesuai dengan Petunjuk Pengerjaan Tugas Pendahuluan Simulasi Rangkaian Praktikum.

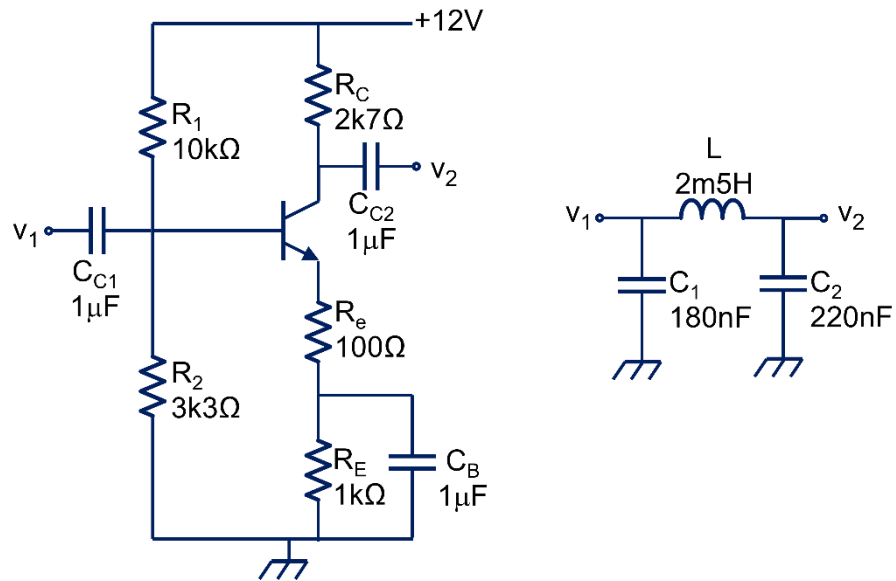
Tabel 5-1 Pilihan Frekuensi dan Amplitudo Pembangkit Gelombang Segitiga

Pilihan	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V_{pp})
1	1,0	9
2	1,0	10
3	1,0	12
4	1,2	9
5	1,2	12
6	1,2	15
7	1,5	10
8	1,5	15
9	5,0	12
10	5,0	15

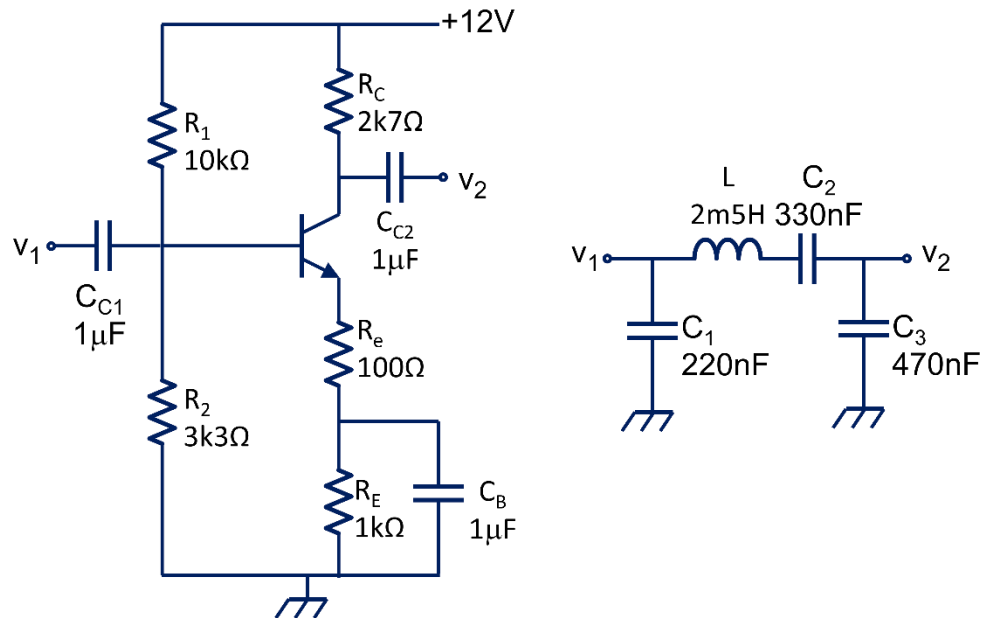
5. Percobaan

Osilator dengan Resonator

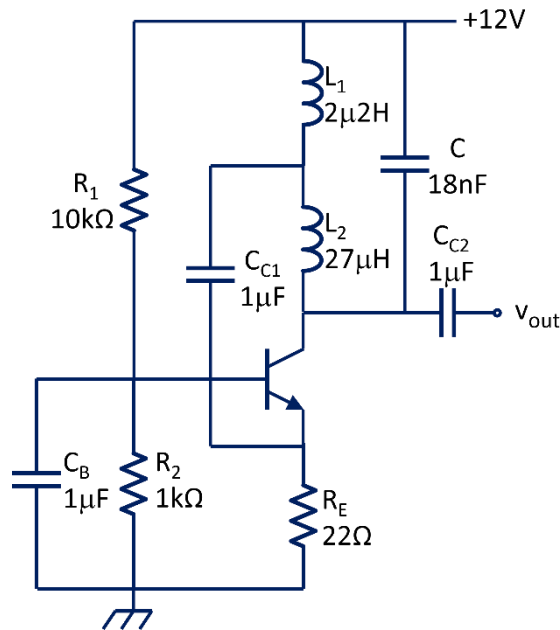
1. Susunlah rangkaian osilator seperti digambarkan pada Gambar 5-5. Untuk rangkaian penguat gunakan nilai komponen $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R_C = 2,7 \text{ k}\Omega$, $R_E = 100 \Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $C_{C1} = C_{C2} = C_B = 1 \mu\text{F}$, dan $Q_1 = 2\text{N}2222$, serta catu daya rangkaian $V_{CC} = 12 \text{ V}$. Komponen rangkaian umpan balik untuk osilator Colpitts ini $L = 2,5 \text{ mH}$, $C_1 = 180 \text{ nF}$, dan $C_2 = 220 \text{ nF}$.
2. Amati dan catat amplitudo dan frekuensi sinyal output osilator tersebut.
3. Lakukan kembali untuk rangkaian Osilator Clapp seperti pada Gambar 5-6 dengan komponen rangkaian umpan balik $L = 2,5 \text{ mH}$, $C_1 = 220 \text{ nF}$, $C_2 = 330 \text{ nF}$ dan $C_3 = 470 \text{ nF}$.
4. Susunlah rangkaian Osilator Hartley seperti digambarkan pada Gambar 5-7. Untuk rangkaian penguat gunakan nilai komponen $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_E = 22 \Omega$, $C_{C1} = C_{C2} = C_B = 1 \mu\text{F}$, dan $Q_1 = 2\text{N}2222$, serta catu daya rangkaian $V_{CC} = 12 \text{ V}$. Komponen rangkaian umpan balik untuk osilator Hartley ini $C = 18 \text{ nF}$, $L_1 = 2,2 \mu\text{H}$, dan $L_2 = 27 \mu\text{H}$.
5. Amati dan catat amplitudo dan frekuensi sinyal output osilator tersebut.
6. Gunakan udara terkompresi untuk mendinginkan beberapa komponen secara bergiliran transistor, kapasitor dan induktor rangkaian resonansi. Amati amplitudo dan frekuensi sinyal outputnya.



Gambar 5-5 Osilator Collpitts



Gambar 5-6 Osilator Clapp



Gambar 5-7 Osilator Hartley

Pembangkit Gelombang Segitiga

1. Susunlah rangkaian pembangkit gelombang segitiga sesuai rangkaian yang telah dipersiapkan.
2. Gunakan kanal 1 osiloskop dan mode waktu untuk mengamati keluaran integrator pada pembangkit sinyal yang telah disusun. Amati dan catat bentuk sinyal, amplitudo dan frekuensinya. Pada saat yang sama amati juga sinyal tegangan pada output komparatornya pada kanal 2.
3. Putuskan hubungan antara komparator dan integrator. Hubungkan input komparator dengan generator sinyal. Berikan sinyal segitiga dengan amplitudo mendekati 15Vpp. Hubungkan input komparator dengan kanal 1 osiloskop dan output komparator dengan kanal 2 osiloskop. Gunakan osiloskop pada mode xy untuk memperoleh kurva karakteristik alih tegangan (VTC) komparator.

Osilator Cincin

1. Susunlah rangkaian osilator cincin dengan 3 (tiga) inverter.
2. Bacalah pada kanal input BNC osiloskop nilai beban kapasitif osiloskop dan baca juga data sheet untuk probe osiloskop yang digunakan terkait beban kapasitifnya.
3. Gunakan salah satu kanal osiloskop untuk mengamati sinyal output salah satu inverter. Catat frekuensi sinyal yang dihasilkannya.
4. Secara bersamaan gunakan juga kanal osiloskop lainnya untuk mengamati sinyal input pada inverter di atas dan perhatikan frekuensi yang dihasilkan.
5. Dengan hanya mengamati satu sinyal dengan osiloskop, amati dan catat frekuensi yang dihasilkan untuk osilator cincin dengan 3, 5 dan 7 buah inverter.

6. Analisis dan Diskusi

1. Perbandingan bentuk sinyal, amplitudo, serta frekuensi berbagai osilator.
2. Penentu frekuensi dan amplitudo pada pembangkit gelombang non sinusoidal (segitiga).
3. Perbandingan frekuensi yang dihasilkan pada pembangkit sinyal yang dirancang dan diukur.
4. Hubungan penambahan beban kapasitif pada osilator cincin dengan frekuensi osilasinya.
5. Hubungan jumlah inverter dengan frekuensi osilasi osilator cincin.
6. Keterkaitan antara duty cycle dan amplitudo pada perancangan gelombang asimetrik.

Percobaan 6

Informasi mengenai tugas besar akan disampaikan kemudian.

Lampiran A: Analisis Rangkaian dengan Spice

1. Pendahuluan

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasys) adalah program yang digunakan untuk melakukan simulasi dan analisa rangkaian elektronik. SPICE didasari oleh analisa simpul (node) rangkaian. Pada awalnya, SPICE dikembangkan untuk keperluan akademis, dan tersedia sebagai perangkat lunak gratis di UC Berkeley. Pada perkembangannya, tersedia berbagai macam versi SPICE baik yang komersil ataupun yang gratis.

Untuk kuliah di Teknik Elektro, sebaiknya menggunakan Winspice atau Pspice, dengan perbedaan :

- Winspice: dilengkapi kemampuan script matematis
- Pspice: GUI yang lebih baik

Namun pada tutorial ini, hanya akan dibahas mengenai Winspice.

2. Struktur Bahasa (Sintaks) SPICE

Secara umum, definisi rangkaian di SPICE menggunakan deskripsi/sintaks khusus, yang terdiri atas beberapa bagian, yaitu:

1. Baris pertama Judul
2. Blok Uraian Rangkaian
 - a. NamaDevais Simpul Nilai
 - b. Bila dimulai dengan * dianggap komentar
 - c. Bila dimulai dengan + lanjutan baris sebelumnya
3. Blok Perintah Analisis
4. Penutup. Deskripsi rangkaian SPICE harus diakhiri dengan perintah **.END**

Selain itu, ada beberapa kaidah yang sebaiknya diketahui dalam menyusun rangkaian menggunakan SPICE, yaitu:

1. SPICE menggunakan prinsip analisis simpul
 - a. Nama/nomor simpul bebas, nomor 0 untuk rujukan GND
 - b. Arus dapat dibaca bila ada sumber tegangan, gunakan sumber tegangan nol untuk mencari arus pada cabang tanpa sumber tegangan
2. Elemen selalu dihubungkan pada simpul
 - a. Urutan nama devais, simpul-simpul sambungan, dan nilai
 - b. Gunakan rujukan tegangan dan arah arus untuk rujukan tegangan positif dan negatif

3. Deskripsi Sintaks Library di SPICE

Komponen-komponen yang umum digunakan di SPICE telah memiliki definisi-nya yang ada dalam library SPICE. Bentuk Umum 2 terminal: **NamaDevais simpul+ simpul- nilai**

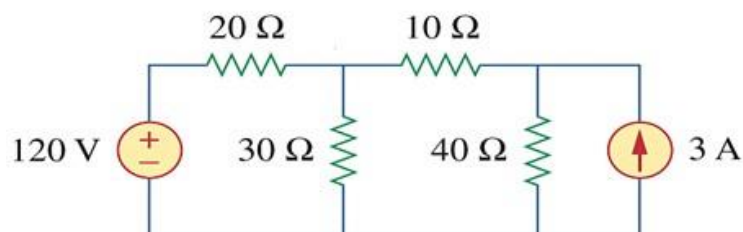
Jenis Komponen	NamaDevais simpul+ simpul- nilai	Keterangan
Sumber tegangan	V.... s+ s- (DC) nilai	tanda DC untuk sumber sebagai variabel analisis DC
Sumber Arus	I.... s+ s- nilai	
Resistor	R.... s+ s- nilai	
Voltage-Controlled Voltage Source	E.... sv+ sv- sc+ sc- nilai	
Voltage-Controlled Current Source	G... sv+ sv- sc+ sc- nilai	
Current-Controlled Voltage Source	H... s+ s- V... nilai	
Current-Controlled Current Source	F... s+ s- V... nilai	

Sedangkan untuk perintah analisis rangkaian, terdapat beberapa perintah yang umum dipakai:

Jenis Analisa	Perintah yang digunakan
Titik kerja DC tunggal	OP
Variabel Nilai DC	DC
Variabel Frekuensi (linierisasi)	AC
Variabel Waktu (transien)	TRAN

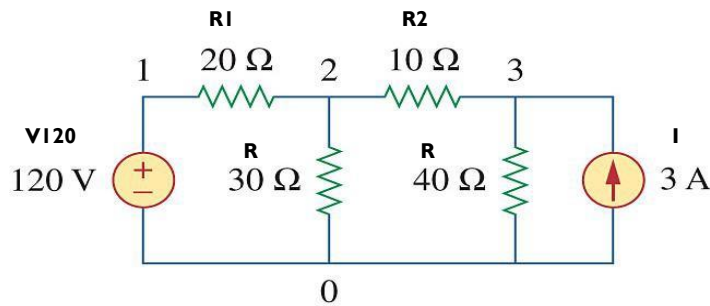
4. Contoh Deskripsi Rangkaian SPICE

Misalkan terdapat rangkaian pada gambar A-1 dibawah yang akan dianalisa menggunakan SPICE



Gambar A-1 Contoh rangkaian yang akan dianalisa SPICE.

Langkah pertama yang perlu kita lakukan adalah memberi nama simpul dan nama devais, seperti yang digambarkan pada gambar 2 dibawah.



Gambar A-2 Pemberian nama node dan komponen di rangkaian.

Sehingga dari rangkaian gambar A-2 itu, dapat dibuat deskripsi rangkaiannya di SPICE sebagai berikut :

```
RANGKAIAN CONTOH
* Komponen Pasif
R12  1      2      20
R23  2      3      10
RA   2      0      30
R3   3      0      40
*Sumber
V120 1      0      120
IB    3      0      3
.control
OP
print v(1)  v(2)  v(3)  v120#branch
.endc
.end
```

Baris ke-1 adalah Judul dari rangkaian itu. Baris ke-2 adalah komentar untuk menjelaskan bahwa beberapa baris dibawahnya adalah deskripsi rangkaian pasif yang ada di rangkaian. Baris ke-3 sampai ke-6 adalah deskripsi komponen resistor, yang diawali dengan nama resistor, nama node yang terhubung dengan kaki-1 resistor, nama node yang terhubung dengan kaki-2, dan nilai resistor itu dalam satuan ohm.

Baris ke-8 adalah definisi sumber tegangan independen, yang dimulai dengan namanya, nama node yang terhubung dengan kaki-positif, nama node yang terhubung dengan kaki-negatif, dan nilai tegangannya dalam satuan volt. Baris ke-9 adalah definisi sumber arus independen, yang dimulai dengan namanya, nama node yang terhubung dengan kaki-positif, nama node yang terhubung dengan kaki-negatif, dan nilai tegangannya dalam satuan ampere.

Baris ke-10 adalah sintaks yang menyatakan bahwa setelah ini adalah sintaks-sintaks kontrol. Baris ke-11 adalah sintaks perintah analisa titik kerja DC (Operating Point) dari rangkaian. Dan baris ke-12 adalah perintah untuk mencetak nilai tegangan di node-1 (v(1)), node-2 (v(2)), node-3 (v(3)), dan nilai arus di cabang V120 (v120#branch).

5. Hasil Analisis SPICE

Setelah di-RUN, SPICE akan menampilkan hasil analisisnya berupa tulisan:

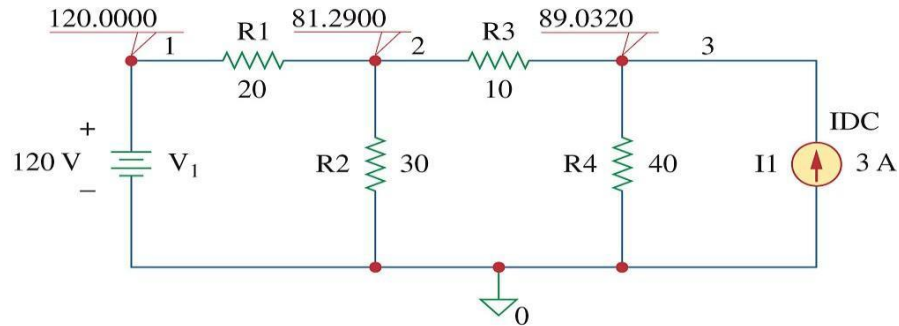
v(1) = 1.200000e+02

v(2) = 3.483871e+01

v(3) = 3.870968e+00

v120#branch = -4.25806e+00

yang artinya dapat dijelaskan melalui gambar A-3 dibawah.



Gambar A-3 Nilai tegangan di titik-titik yang dianalisa SPICE.

6. Analisis Waktu SPICE

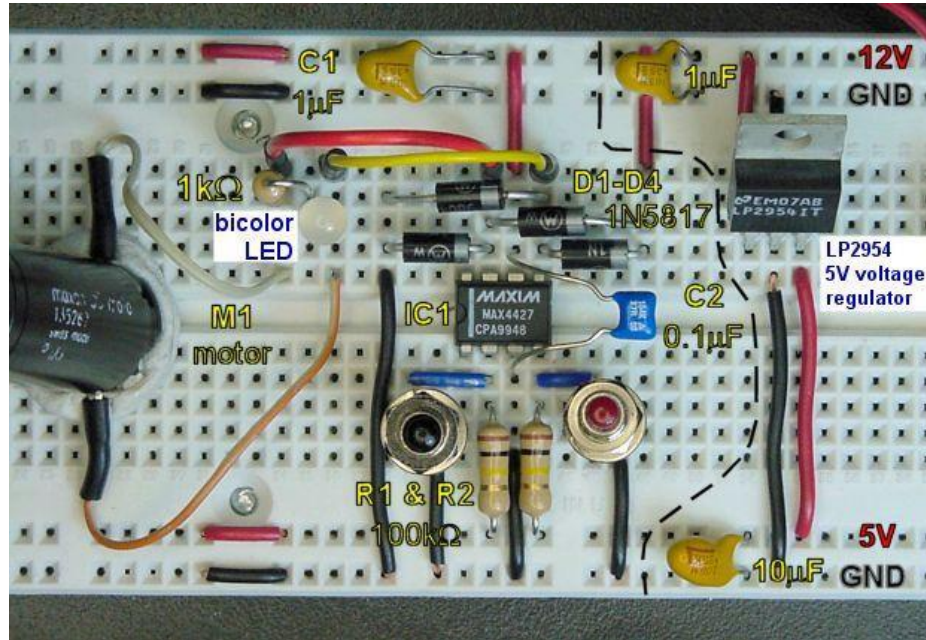
Pada blok kontrol berikan perintah:

TRAN tstep tstop [tstart tmax]

- Perhitungan pada analisis dengan variabel waktu dimulai dari $t=0$ dengan langkah tstep dan berakhir pada tstop.
- Bila hanya diinginkan data pada selang waktu tertentu saja dalam selang 0-stop berikan tstart dan tmax.
- Akan dibahas lebih lanjut setelah Kuliah Bab 8 tentang gejala transien

Lampiran B: Petunjuk Pembuatan Rangkaian Elektronik pada Breadboard

1. Breadboard



Gambar B-1 Implementasi rangkaian joystick motor driver untuk Robot pada breadboard [1]

Breadboard adalah suatu perangkat yang seringkali digunakan untuk melakukan implementasi suatu rancangan rangkaian elektronik secara tidak disolder (solderless, Gambar B-1). Implementasi rancangan yang demikian bertujuan untuk menguji-coba rancangan tersebut yang biasanya melibatkan pasang-bongkar komponen. Bentuk implementasi lainnya adalah implementasi dengan melakukan penyolderan komponen yang dikerjakan pada PCB (Printed Circuit Board).

Tampak pada Gambar B-1 bahwa breadboard memiliki lubang-lubang tempat terpasangnya kaki-kaki komponen dan kawat kabel. Lubang-lubang tersebut adalah sesungguhnya soket-soket dari bahan logam (konduktor) yang tersusun sedemikian sehingga ada bagian lubang-lubang yang terhubung secara horizontal dan ada yang terhubung secara vertikal.



Gambar B-2 Jenis-jenis Breadboard

Gambar B-2 adalah gambar jenis-jenis breadboard yang dimiliki oleh Lab Dasar Teknik Elektro STEI ITB. Setidaknya ada empat bagian penting yang harus diperhatikan sebelum menggunakan breadboard:

Pada bagian ini lubang-lubang breadboard saling terhubung secara vertikal. Tiap set lubang pada bagian ini terdiri dari lima lubang yang saling terhubung.

Pada bagian ini lubang-lubang breadboard saling terhubung secara horizontal. Tiap set lubang pada bagian ini terdiri dari 25 lubang yang saling terhubung. Perhatikan bahwa pada tiap set lubang tersebut terdapat jarak pemisah antar lubang yang lebih besar setiap lima lubang.

Bagian ini adalah pemisah yang menyatakan bahwa bagian lubang-lubang breadboard yang saling terhubung secara vertikal di sebelah atas tidak terhubung dengan bagian lubang-lubang breadboard di sebelah bawah.

Bagian ini adalah pemisah yang menyatakan bahwa bagian lubang-lubang breadboard yang saling terhubung secara horizontal di sebelah kiri tidak terhubung dengan bagian lubang-lubang breadboard di sebelah kanan. Pada banyak jenis breadboard, pemisah ini ditandai dengan jarak pemisah yang lebih besar daripada jarak pemisah antar set lubang pada bagian b.

Breadboard dapat bekerja dengan baik untuk rangkaian ber-frekuensi rendah. Pada frekuensi tinggi, kapasitansi besar antara set lubang yang bersebelahan akan saling berinterferensi.

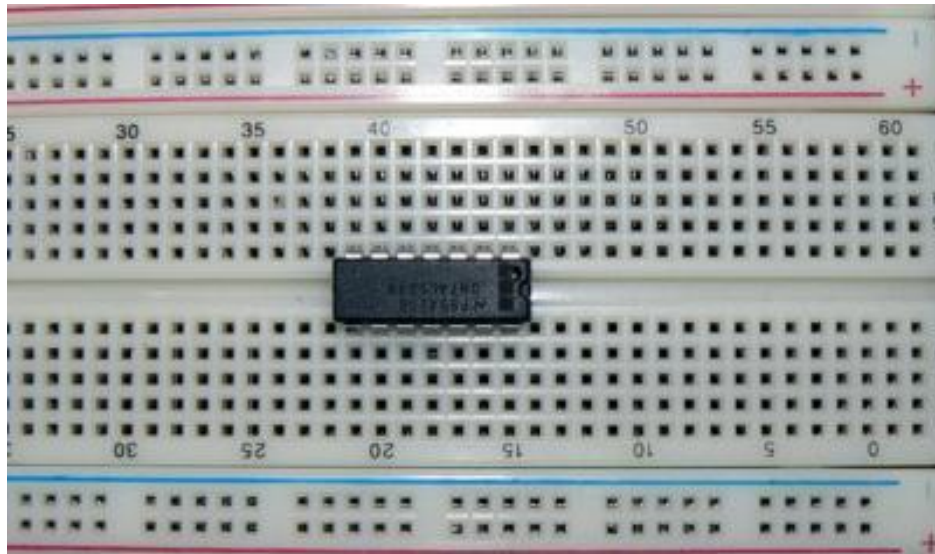
2. Merangkai Kabel, Komponen dan Instrumen Kabel

Kabel yang digunakan untuk membuat rangkaian pada breadboard adalah kabel dengan isi kawat tunggal (biasanya) berdiameter #22 atau #24 AWG. Untuk menghasilkan pemasangan yang baik pada breadboard, kupas kedua ujung kabel sehingga diperoleh panjang kawat (yang sudah terkupas) sekitar 12 mm. Kemudian pastikan seluruh bagian kawat yang sudah terkupas tadi masuk ke dalam lubang breadboard.

Biasakan memasang kabel pada breadboard dengan rapih sejak awal. Hal ini akan mempermudah penelusuran sebab terjadinya kesalahan akibat salah pasang kabel, misalnya. Berikut ini adalah berbagai petunjuk penting lainnya yang harus diperhatikan dalam membuat rangkaian pada breadboard:

1. Pastikan Power Supply dalam keadaan mati atau tidak terpasang pada breadboard ketika merangkai komponen dan kabel pada breadboard
2. Pahami (jika belum ada, buat) terlebih dahulu skema rangkaian elektronik yang akan diimplementasikan pada breadboard. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya kesalahan akan lebih kecil.
3. Tandai setiap kabel atau komponen yang telah terpasang dengan benar, misalnya dengan spidol.
4. Gunakan kabel sependek mungkin. Kabel yang terlalu panjang berpotensi membuat rangkaian pada breadboard menjadi tidak rapih. Selain itu, kabel yang terpasang terlalu panjang dan berantakan dapat menghasilkan interferensi berupa sifat kapasitif, induktif dan elektromagnetik yang tidak diharapkan.
5. Usahakan kabel dipasang pada breadboard dengan rapih dan, jika memungkinkan, tubuh kabelnya mendatar pada breadboard.
6. Rangkai komponen (hubungkan suatu komponen dengan komponen-komponen lainnya) secara langsung tanpa menggunakan tambahan kabel jika itu memungkinkan
7. Usahakan tidak menumpuk komponen atau kabel (komponen/ kabel yang akan dipasang tidak melangkahi komponen/ kabel lain yang telah terpasang). Hal ini akan menyulitkan pengecekan rangkain yang telah diimplementasikan pada breadboard. Selain itu, akan menyulitkan bongkar-pasang komponen ketika diperlukan.
8. Usahakan menggunakan warna kabel berbeda untuk membuat koneksi yang berbeda. Misalnya menggunakan kabel warna merah untuk koneksi ke Power Supply dan menggunakan kabel warna hitam untuk koneksi ke "ground".

3. Komponen



Gambar B-3 Pemasangan IC pada Breadboard

Pada prinsipnya, komponen-komponen elektronik seperti resistor, kapasitor atau Integrated Circuit (IC) dapat dipasang secara langsung pada lubang breadboard. Khusus untuk resistor, kaki resistor dengan rating daya lebih dari 0.5 W tidak cocok untuk digunakan pada breadboard karena ukuran kakinya yang terlalu besar. Namun ini tidak menjadi masalah karena praktikan hanya menggunakan resistor dengan rating daya 0.25 W di dalam praktikum ini. Di bawah ini adalah beberapa hal penting lainnya yang berkaitan dengan komponen secara khusus:

1. Ingatlah bahwa IC (terutama MOS) dapat rusak akibat listrik statik, termasuk listrik statik di dalam tubuh kita. Di negara subtropis, karena kelembaban sangat rendah, gesekan- gesekan pakaian dengan material lain dapat membangkitkan listrik statik pada tubuh. Listrik statik ini dapat membentuk tegangan tinggi sesaat bila kita menyentuh kaki-kaki komponen dan menyebabkan kerusakan. Tapi, karena kita berada di negara tropis yang berkelembaban tinggi, pengumpulan listrik statik tadi tidak signifikan.
2. Sebelum mencoba dipasang pada breadboard, pastikan kaki-kaki IC lurus. Bila tidak lurus, gunakan tang untuk meluruskan/ memperbaiki kaki-kaki IC tersebut. Demikian juga ketika akan mencopot IC dari breadboard; gunakan pinset dengan cara mencungkil kedua ujung IC tersebut. Usahakan tidak terjadi sudut (antara badan IC dan breadboard) lebih besar dari 10 sehingga dapat meminimalisasi kemungkinan bengkoknya (bahkan patahnya) kaki-kaki IC.
3. Pastikan ikuti Gambar B-5 untuk pemasangan IC pada breadboard. Dengan demikian, kaki- kaki IC tidak saling terhubung.
4. Perhatikan rating tegangan kapasitor. Jika menggunakan kapasitor elektrolit, perhatikan polaritasnya. Pemasangan polaritas yang terbalik akan menyebabkan rusaknya kapasitor.

5. Pastikan kapasitor dalam keadaan discharge sebelum dipasang. Jika ragu, hubungkan kedua kaki kapasitornya. Lakukan dua kali untuk kapasitor yang sama karena ada kalanya kapasitor masih memiliki muatan sisa setelah discharging yang pertama.

4. Instrumen

Di bawah ini adalah hal-hal penting yang harus diperhatikan ketika menggunakan/menghubungkan instrumen laboratorium ke rangkaian di breadboard:

1. Gunakan kabel yang tepat untuk menghubungkan suatu instrumen ke breadboard (lihat Kabel Aksesoris). Pegang badan konektor (bukan badan kabelnya) saat memasang dan mencabut kabel.
2. Untuk percobaan yang menggunakan Generator Signal dan Power Supply: nyalakan Power Supply terlebih dahulu, lalu nyalakan Generator Signal. Jika dilakukan dengan cara sebaliknya, akan menyebabkan kerusakan pada IC. Demikian juga ketika mengakhiri: matikan Generator Signal terlebih dahulu, kemudian matikan Power Supply.

5. Daftar Pustaka

1. www.robotroom.com
2. Y. Tsvetkov, A First Lab in Circuits and Electronics, John Wiley and Sons, 2001

Lampiran C: Resistor, Op-Amp, dan Inverter

1. Resistor



Gambar C-1 Resistor

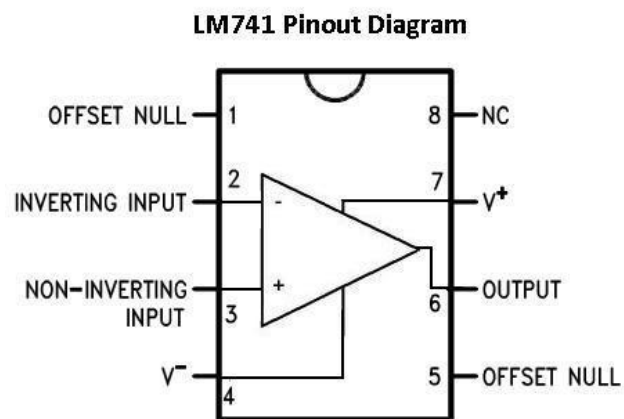
Resistor yang biasa kita jumpai memiliki nilai resistansi yang direpresentasikan oleh kode warna pada badan resistor. Resistor tersebut adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar C-1.

Warna	A Angka pertama	B Angka kedua	C Faktor penggali	D Toleransi
Hitam	-	0	1	
Coklat	1	1	10	$\pm 1\%$
Merah	2	2	102	$\pm 2\%$
Jingga	3	3	103	
Kuning	4	4	104	$\pm 4\%$
Hijau	5	5	105	
Biru	6	6	106	
Ungu	7	7		
Abu-abu	8	8		
Putih	9	9		
Warna emas			10-1	$\pm 5\%$
Warna perak			10-2	$\pm 10\%$
Tanpa warna				$\pm 20\%$

Label kode warna pada badan resistor ada yang berjumlah 4, 5 atau 6 gelang warna. Aturan pembacaan kode warna tersebut adalah sebagai berikut:

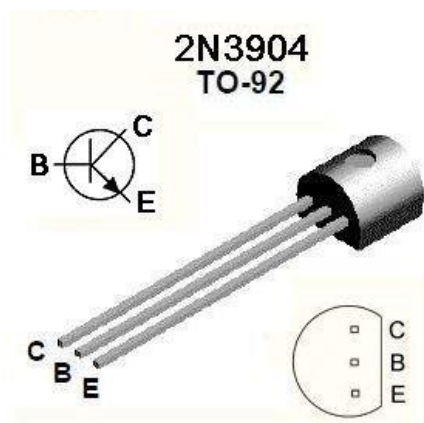
1. warna pertama: angka pertama nilai resistansi (resistor dengan 4, 5 atau 6 gelang warna)
2. warna kedua: angka kedua nilai resistansi (resistor dengan 4, 5 atau 6 gelang warna)
3. warna ketiga: faktor pengali (pangkat dari sepuluh) dengan satuan Ω (resistor dengan 4 gelang warna) atau angka ketiga nilai resistansi (resistor dengan 5 atau 6 gelang warna)
4. warna keempat: toleransi (resistor dengan 4 gelang warna) atau faktor pengali (pangkat dari sepuluh) dengan satuan Ω (resistor dengan 5 atau 6 gelang warna)
5. warna kelima: toleransi (resistor dengan 5 atau 6 gelang warna)
6. warna keenam: koefisien temperatur dengan satuan PPM/OC (resistor dengan 6 gelang warna).

2. Op Amp 741



Gambar C-2 Konfigurasi IC Op Amp LM741

3. Transistor



Gambar C-3 Kaki Transistor 2N3904