



MODUL 2 PENGUAT OP AMP DENGAN UMPAN BALIK

Ahmad Aziz (13220034)

Asisten: Diaz Zaid Abdurrahman (13219028)

Tanggal Percobaan: 27/09/2022

EL3109 - Praktikum Elektronika II

Laboratorium Dasar Teknik Elektro - Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB

Abstrak

Abstrak Praktikum pada modul 2 yaitu Penguat opamp dengan umpan balik dilakukan percobaan pada rangkaian penguat opamp yang menggunakan feedback. Ada dua jenis rangkaian penguat pada percobaan praktikum ini yaitu penguat low-pass filter (LPF) dan high-pass filter (HPF). Pada percobaan ini dilakukan juga pengamatan linieritas pada penguat dengan feedback.

Kata kunci: Op Amp, umpan balik, cut-off, open loop.

1. PENDAHULUAN

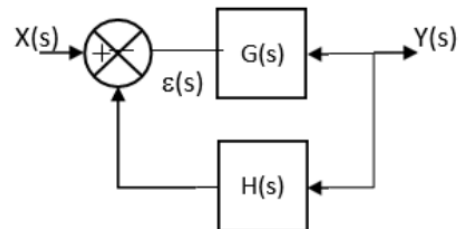
Pada praktikum percobaan modul 1 ini, dilakukan tiga percobaan penguat diferensial, yaitu penguat diferensial dengan bias resistor, penguat diferensial dengan cermin arus, dan penguat pasangan diferensial dengan bias cermin arus dan beban aktif. Tujuan dari percobaan pada modul 1 ini adalah sebagai berikut:

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

2. STUDI PUSTAKA

2.1 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 $\varepsilon(s)$ 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:

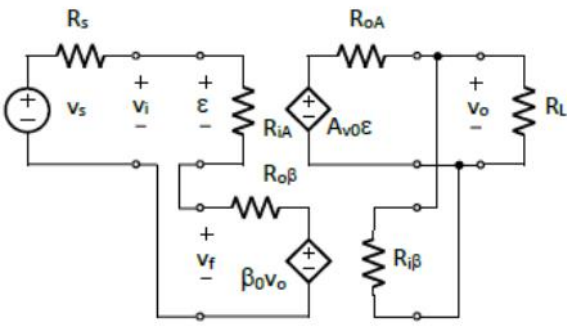
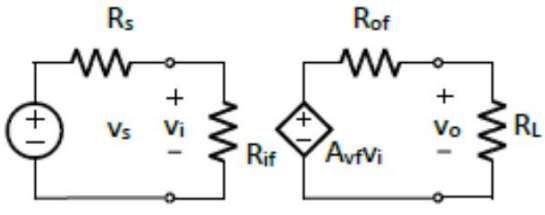
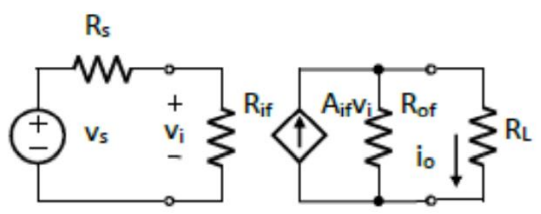
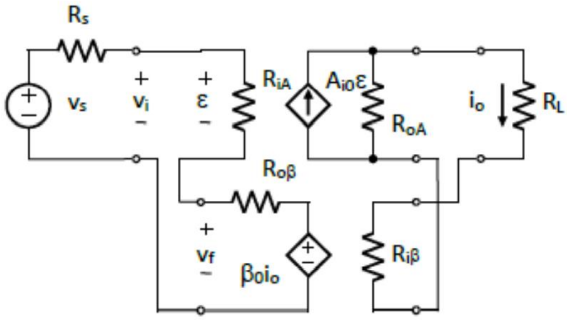
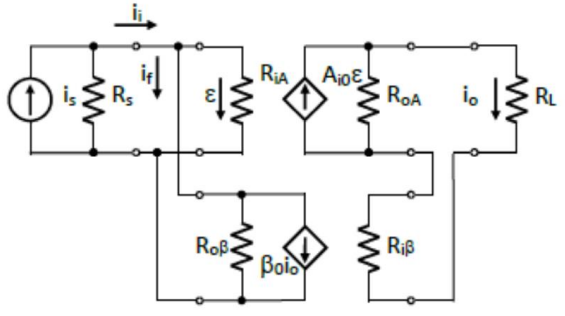
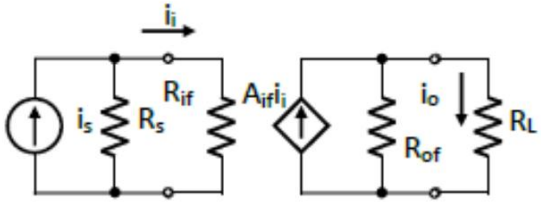
$$G_f(s) \equiv \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

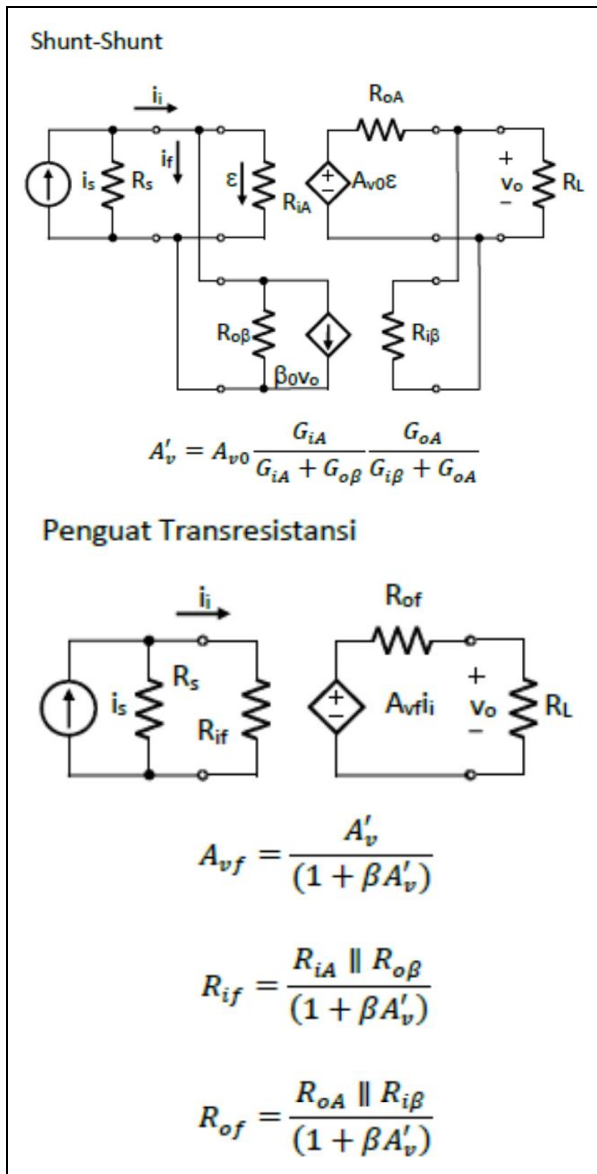
Untuk sistem seperti diatas, baik $G(s)$ maupun $H(s)$ dapat merupakan fungsi yang kompleks atau juga fungsi sederhana. Sistem dengan fungsi kompleks menjadi bagian dari studi bidang kendali. Dalam bidang elektronika sistem dengan umpan balik banyak digunakan dalam penguat dan filter. Sistem seperti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

2.2 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.

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



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.

2.3 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:

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

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:

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

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

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa pada penguat LPF orde satu dengan umpan balik, penguatan akan terskala turun sebesar $(1 + \beta A_m)$ dan sebaliknya frekuensi pole atau frekuensi sudut (corner frequency) akan terskala naik sebesar $(1 + \beta A_m)$. 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:

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

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

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

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

2.4 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. METODOLOGI

Dalam percobaan pada modul ini, ada beberapa peralatan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. DC power supply

2. Kit percobaan
3. Osiloskop
4. Generator sinyal
5. Kabel BNC
6. Kabel Jumper
7. Multimeter Digital

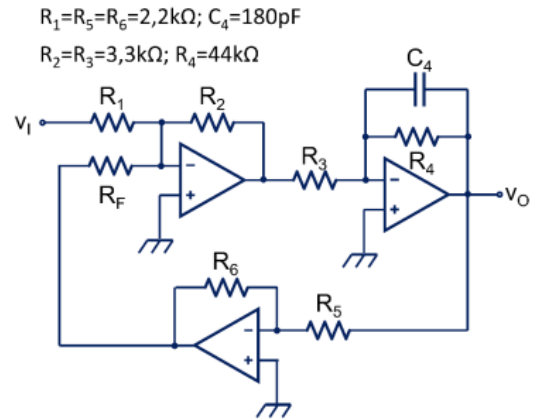
Langkah umum penyettingan alat dalam melakukan percobaan pada modul ini adalah sebagai berikut:

1. Lakukan kalibrasi pada osiloskop yang akan digunakan.
2. Persiapkan power supply atau generator sinyal yang akan digunakan.
3. Pastikan output power supply dalam keadaan mati sebelum rangkaian selesai dibuat.
4. Setting output power supply atau generator sinyal sesuai dengan rangkaian yang akan dibuat.
5. Siapkan kabel jumper dan kit yang akan digunakan pada percobaan.
6. Buatlah rangkaian pada kit sesuai dengan percobaan yang akan dilakukan dengan cara menghubungkan setiap komponen pada kit dengan menggunakan kabel jumper.
7. Setting alat ukur dengan tepat dan skala pengukuran yang sesuai.
8. Setelah rangkaian selesai, hidupkan output power supply dan sinyal generator.
9. Amati hasil pengukuran kemudian catat data yang diamati.

Pada praktikum ini terdapat dua percobaan yang dilakukan sebagai berikut:

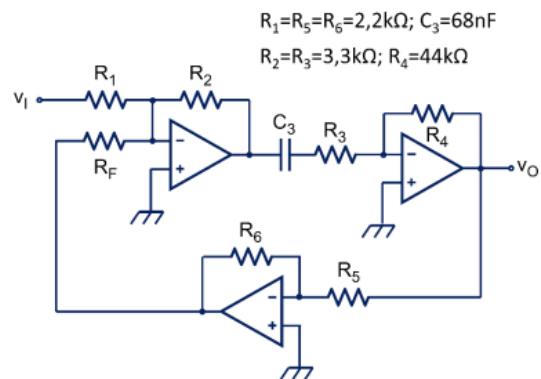
3.1 RESPONS UMUM RANGKAIAN OPAMP DENGAN UMPAN BALIK

Pada percobaan ini, ada dua jenis rangkaian percobaan yang dilakukan, percobaan yang pertama adalah penguat LPF dimana frekuensi input yang digunakan berada pada frekuensi rendah yaitu 1 kHz. Berikut adalah rangkaian LPF yang digunakan:



Gambar 3-1 Rangkaian LPF orde 1 dengan Opamp

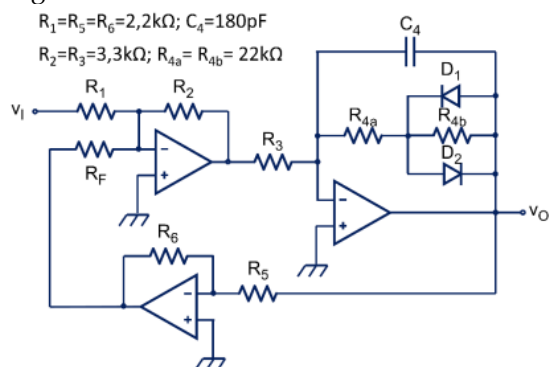
Percobaan selanjutnya menggunakan rangkaian HPF dengan input sinyal pada frekuensi tinggi, frekuensi yang digunakan adalah 14 kHz. Berikut adalah rangkaian yang digunakan pada percobaan ini:



Gambar 3-2 Rangkaian HPF orde 1 dengan Opamp

3.2 LINIERISASI RANGKAIAN OPAMP DENGAN UMPAN BALIK

Pada percobaan ini akan menggunakan rangkaian sebagai berikut:



Gambar 3-3 Rangkaian HPF orde 1 dengan Opamp

4. HASIL DAN ANALISIS

Setelah dilakukan percobaan didapatkan data

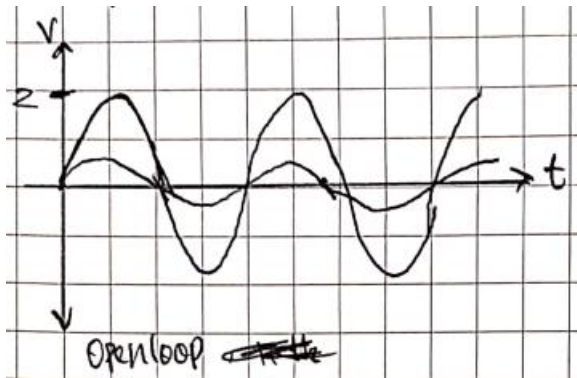
4.1 RESPONS UMUM RANGKAIAN OPAMP DENGAN UMPAN BALIK

Ada dua jenis rangkaian percobaan yang digunakan pada percobaan respon umum

rangkaian opamp dengan umpan balik yaitu penguat dengan low-pass filter dan juga penguat dengan high-pass filter.

4.1.1 PENGUAT LOW-PASS FILTER (LPF)

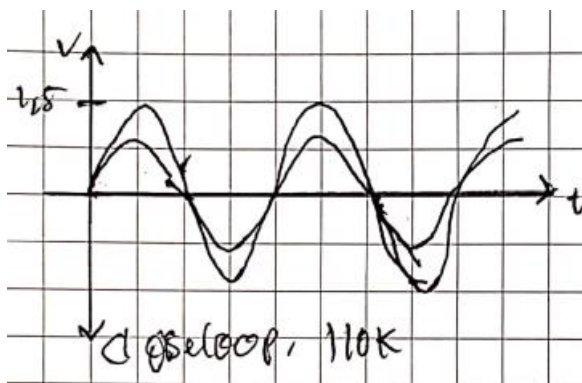
Input yang digunakan pada percobaan ini berupa sinyal sinusoidal dengan amplitude 200mVpp. Untuk rangkaian dengan LPF dengan konfigurasi tanpa filter didapatkan bentuk output dari rangkaian penguat sebagai berikut:



Gambar 4-1 Grafik input-output rangkaian LPF open-loop

Nilai amplitude untuk rangkaian percobaan openloop didapatkan sebesar 4Vpp.

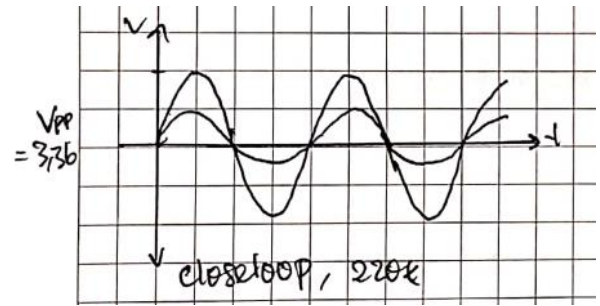
Kemudian, rangkaian ditambahkan dengan umpan balik dengan resistansi feedbacknya sebesar 110k Ohm didapatkan sinyal output yang digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 4-2 Grafik input-output dengan R feedback 110k Ohm

Ketika ditambahkan feedback pada rangkaian, nilai amplitude output menurun dari rangkaian open loop yang sebelumnya sebesar 4Vpp menjadi 2.96Vpp.

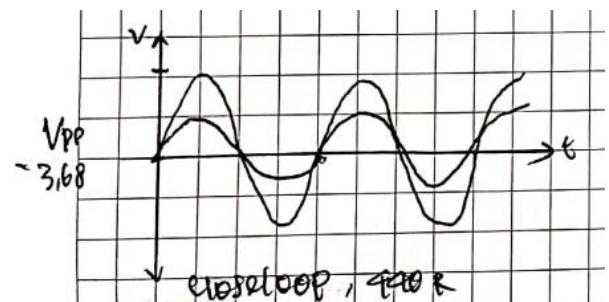
Selanjutnya, percobaan untuk rangkaian dengan resistansi feedback yang lebih besar yaitu sebesar 220k Ohm didapatkan data sinyal penguatan pada output yang digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 4-3 Grafik input-output dengan feedback 220k Ohm

Setelah nilai resistansi feedback rangkaian ditambah besar, hasil penguatan pada sinyal output terukur juga bertambah besar menjadi 3.36Vpp.

Selanjutnya nilai resistansi feedback dinaikkan lagi menjadi 440k sehingga didapatkan grafik penguatan pada sinyal output sebagai berikut:



Gambar 4-4 Grafik input-output dengan feedback 220k Ohm

Nilai penguatan amplitude pada sinyal output semakin membesar menjadi 3.68Vpp.

Dari keempat percobaan dengan parameter berupa resistansi feedback dapat dilihat bahwa adanya feedback pada rangkaian memengaruhi besarnya penguatan pada rangkaian. Di mana hubungannya berbanding lurus, semakin besar resistansi pada feedback maka penguatan pada output semakin besar. Sehingga jika resistansi feedback terus diperbesar mendekati tak hingga rangkaian akan menjadi open loop dan penguatannya membesar menjadi amplitude pada percobaan pertama pada rangkaian percobaan ini.

Selanjutnya dilakukan percobaan untuk mencari frekuensi cut off dari rangkaian penguat dengan opamp dan juga resistansi input pada rangkaian.

Berdasarkan hasil percobaan, didapatkan data pada tabel berikut ini:

Table 4-1 Respons frkuensi dan resistansi input rangkaian

Kondisi Rangkaian	Frequency Pass-band	Frequency Cut-off	R_{in}
Openloop	1 kHz	16.3 kHz	2.2 k

$R_{FB} = 110k$	1 kHz	25.4 kHz	2.2 k
$R_{FB} = 220k$	1 kHz	20.0 kHz	2.2 k
$R_{FB} = 440k$	1 kHz	17.5 kHz	2.2 k

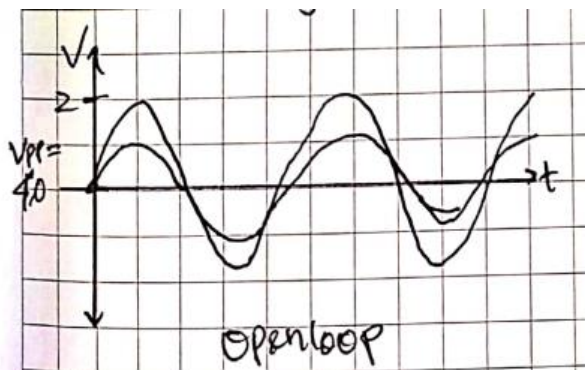
Pada data hasil pengamatan frekuensi pada rangkaian tersebut, dapat dilihat pengaruh feedback pada rangkaian. Nilai frekuensi cut-off rangkaian akan bertambah ketika rangkaian menggunakan feedback. Nilai frekuensi cut-off akan menurun dengan bertambahnya nilai resistansi feedback yang digunakan. Adanya feedback ini pada rangkaian low-pass filter karna menggeser frekuensi pole sebesar $(1+Am\beta)$.

Nilai resistansi input pada rangkaian diukur pada rangkaian openloop didapatkan besarnya sebesar 2.2k Ohm. Besaran nilai terukur ini sama persis dengan perhitungan tangan pada tugas pendahuluan. Besarnya nilai resistansi input akan sama untuk semua variasi rangkaian ini karena besarnya hanya tergantung oleh nilai resistansi R_1 yang dipengaruhi arus input. Hal ini terkonfirmasi pada percobaan ketika dilakukan pada rangkaian dengan feedback resistansi 440k didapatkan nilai yang sama untuk resistansi input yaitu 2.2k Ohm.

4.1.1 PENGUAT HIGH-PASS FILTER (HPF)

Selanjutnya, percobaan dilakukan untuk rangkaian penguat dengan high pass filter. Frekuensi yang digunakan pada percobaan frekuensi tinggi ini adalah 14 kHz, dengan amplitude sebesar 200mVpp.

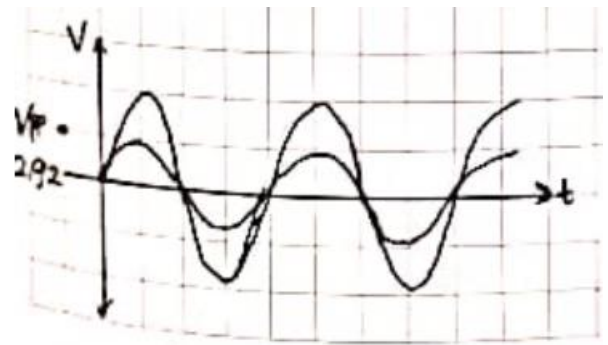
Ketika rangkaian penguat tanpa feedback atau open loop didapatkan sinyal output pada grafik berikut:



Gambar 4-5 Grafik input-output rangkaian HPF open-loop

Besarnya penguatan pada sinyal output sama dengan pada rangkaian LPF openloop yaitu amplitude sebesar 4Vpp.

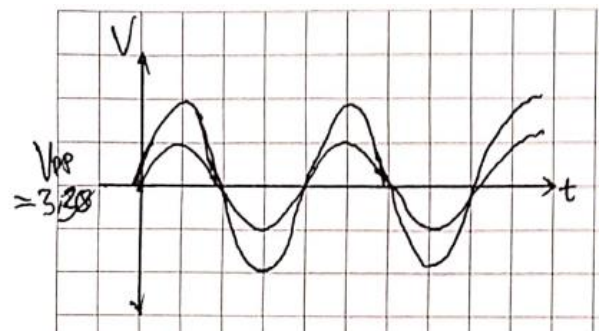
Selanjutnya, rangkaian menggunakan feedback dengan resistansi sebesar 110k maka berikut adalah sinyal output yang didapatkan



Gambar 4-6 Grafik input-output dengan R feedback 110k Ohm

Nilai penguatan pada sinyal output juga menurun menjadi 2.92Vpp

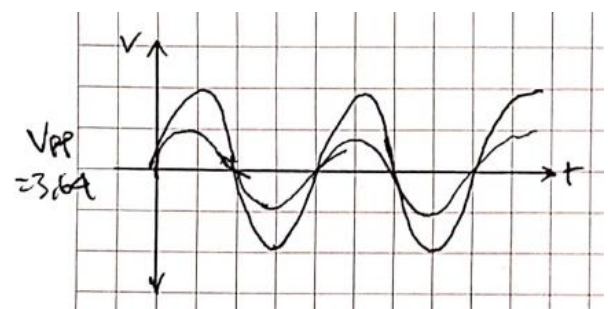
Selanjutnya Output untuk feedback dengan resistansi feedback yang diperbesar menjadi 220k adalah sebagai berikut:



Gambar 4-7 Grafik input-output dengan R feedback 220k Ohm

Nilai penguatan pada sinyal output kembali meningkat dengan meningkatnya resistansi feedback yang dipasang pada rangkaian menjadi 3.38 Vpp.

Dan ketika resistansi feedback yang digunakan ditingkatkan lagi menjadi 440k maka outputnya sebagai berikut:



Gambar 4-8 Grafik input-output dengan R feedback 440k Ohm

Nilai penguatan pada sinyal output juga semakin bertambah menjadi 3.64 Vpp.

Dari data percobaan rangkaian penguat HPF ini, dapat dilihat respon umum pada rangkaian HPF sama dengan LPF untuk pengaruh feedback pada penguatan rangkaian. Nilai penguatan berkurang dengan adanya feedback dan bertambah berbanding lurus dengan besarnya resistansi feedback yang digunakan.

Selanjutnya dilakukan percobaan untuk melihat frekuensi cut-off rangkaian penguat HPF, data yang didapatkan dari percobaan adalah sebagai berikut:

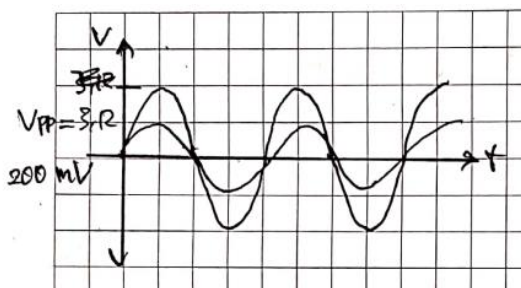
Table 4-2 Respons frekuensi dan resistansi input rangkaian

Kondisi Rangkaian	Frequency Pass-band	Frequency Cut-off	R_{in}
Openloop	14 kHz	700 Hz	2.4 k
$R_{FB} = 110k$	14 kHz	460 Hz	2.4 k
$R_{FB} = 220k$	14 kHz	540 Hz	2.4 k
$R_{FB} = 440k$	14 kHz	640 Hz	2.4 k

Dari data pada tabel diatas, nilai frekuensi cut-off rangkaian HPF akan menjadi turun dengan adanya feedback dan membesar sebanding dengan resistansi feedback yang digunakan.

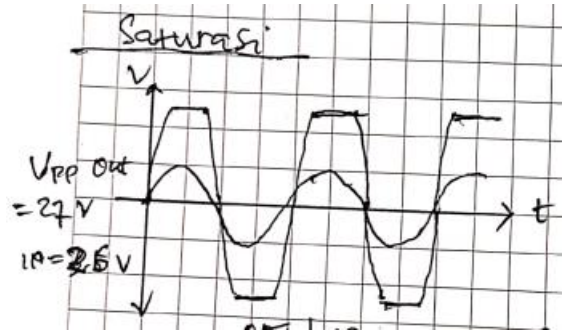
Pada pengaruh frekuensi ini dapat dilihat bahwa adanya feedback memperbesar bandwidth frekuensi penguat dimana pada LPF nilai cut-offnya semakin membesar dan pada HPF nilainya semakin mengecil yang artinya bandwidth semakin lebar.

4.2 LINIERISASI RANGKAIAN OPAMP DENGAN UMPAN BALIK



Gambar 4-9 Grafik input-output rangkaian linierisasi 200mVpp

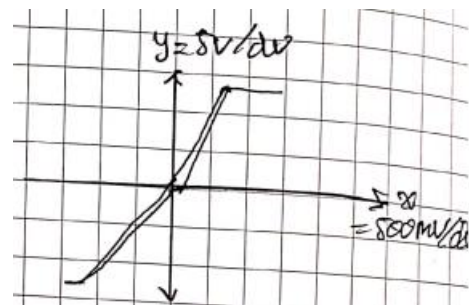
Linearisasi dilakukan dengan feedback. Ketika rangkaian penguat mulai saturasi didapatkan output sebagai berikut:



Gambar 4-10 Grafik input-output rangkaian linierisasi titik saturasi openloop

Rangkaian penguat mulai saturasi pada amplitude input ditingkatkan sampai 2.6Vpp dengan nilai amplitude output sebesar 27Vpp.

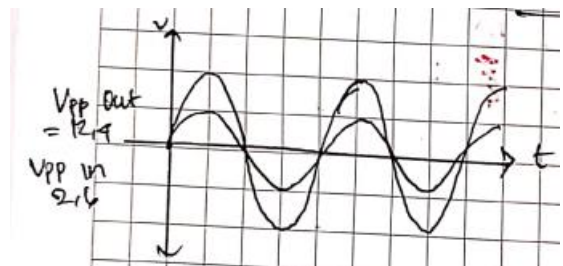
Jika dilihat grafik pada mode X-Y nya sebagai berikut:



Gambar 4-11 Grafik mode X-Y input-output rangkaian linierisasi titik saturasi openloop

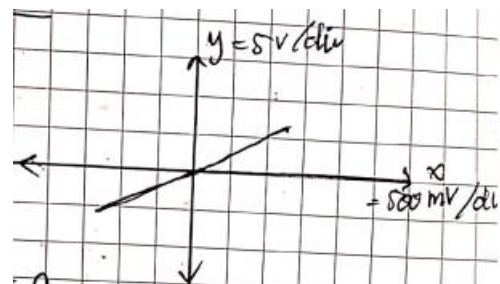
Dapat dilihat bahwa grafik tersebut tidaklah linier.

Selanjutnya ketika kita menambahkan output dengan feedback dengan resistansi FB 15k, output sebagai berikut:



Gambar 4-12 Grafik input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 15k \text{ Ohm}$

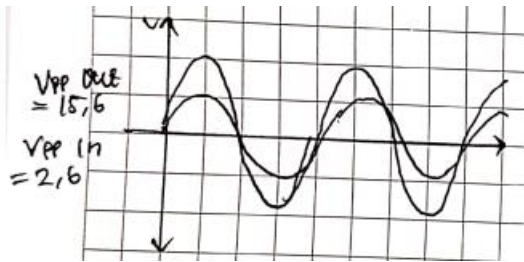
Dan pada grafik mode X-Y sebagai berikut:



Gambar 4-13 Grafik mode X-Y input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 15k \text{ Ohm}$

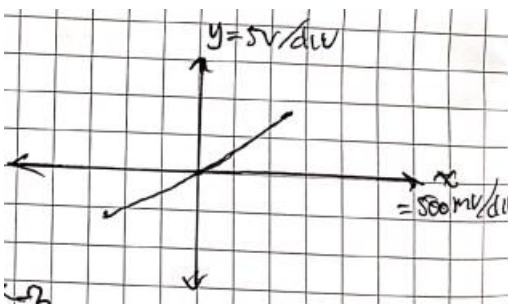
Grafik X-Y tersebut ketika rangkaian ditambahkan feedback menjadi lebih linier dibandingkan dengan openloop tanpa feedback

Selanjutnya dengan amplitude input yang masih sama namun dengan resistansi feedback sebesar 22k, didapatkan output sebagai berikut



Gambar 4-14 Grafik input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 22k \text{ Ohm}$

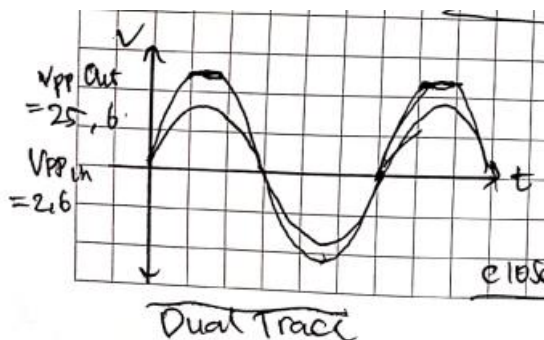
Dengan grafik pada mode X-Y sebagai berikut:



Gambar 4-15 Grafik mode X-Y input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 22k \text{ Ohm}$

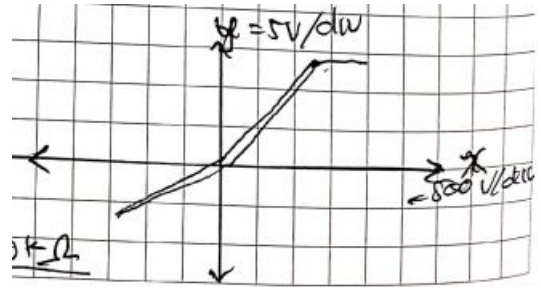
Dapat dilihat linieritasnya yang lebih rendah ketika resistansinya kita naikan.

Selanjutnya ketika resistansi FB nya dinaikkan lagi hingga 110k:



Gambar 4-16 Grafik input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 110k \text{ Ohm}$

Dengan mode X-Y didapatkan output sebagai berikut:



Gambar 4-17 Grafik mode X-Y input-output rangkaian linierisasi titik saturasi $R_{fb} = 110k \text{ Ohm}$

Output rangkaian menjadi semakin tidak linier ketika resistansi feedback semakin membesar.

5. KESIMPULAN

- Pada rangkaian dengan umpan balik, umpan balik mempengaruhi output rangkaian menurunkan besarnya penguatan rangkaian.
- Umpan balik pada rangkaian penguat meningkatkan linieritas rangkaian.
- Pada rangkaian penguat LPF, adanya umpan balik memperbesar frekuensi *cut-off* rangkaian penguat.
- Adanya feedback memperlebar bandwidth frekuensi rangkaian penguat.
- Feedback meningkatkan linearitas rangkaian pada rangkaian penguat dengan opamp dimana semakin kecil resistansi feedbacknya semakin linier rangkaiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutabarat, Mervin T., *Petunjuk Praktikum Elektronika II*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2022.
- [2] Adel S. Sedra dan Kennet C. Smith, *Microelectronic Circuit*, Rinehart and Winston, New York, 1982.