

PERCOBAAN 10

RANGKAIAN DIFFERENSIATOR DAN INTEGRATOR OP-AMP

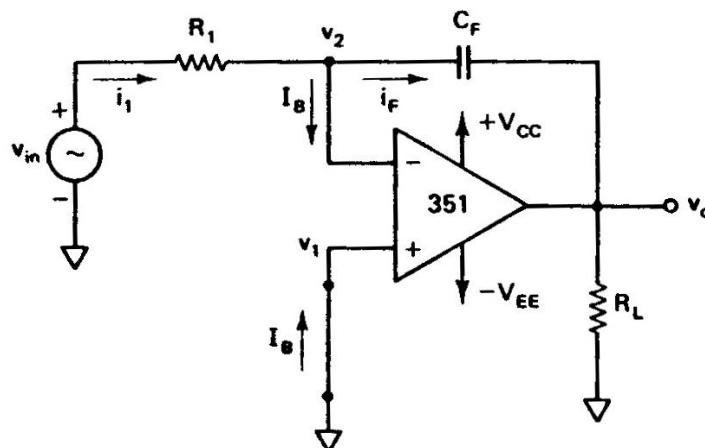
10.1 Tujuan :

- 1) Mendemonstrasikan prinsip kerja dari suatu rangkaian differensiator dan integrator, dengan menggunakan op-amp 741.
- 2) Rangkaian differensiator adalah suatu rangkaian yang menghitung nilai sesaat dari setiap titik pada kemiringan garis bentuk gelombang. Disisi lain integrator menghitung luasan dibawah kurva yang diberikan oleh bentuk gelombang.
- 3) Differensiasi dan integrasi adalah pasangan operasi matematik yang mempunyai efek berlawanan satu sama lain. Sebagai contoh, jika suatu bentuk gelombang diintegrasikan kemudian didifferensiasikan, maka akan didapat bentuk gelombang asalnya.

10.2 Dasar Teori :

10.2.1 Rangkaian Integrator

Suatu rangkaian yang menghasilkan output bentuk gelombang tegangan yang merupakan jumlahan (*integral*) dari bentuk gelombang tegangan input disebut dengan *integrator* atau penguat integrasi, seperti diperlihatkan pada gambar 10.1.



Gambar 10.1 : Rangkaian Integrator

Pernyataan untuk tegangan output (v_o) didapat dengan menggunakan hukum Kirchhoff's arus pada titik v_2 adalah :

$$i_1 = I_B + i_F$$

Karena I_B sangat kecil, maka dapat diabaikan, sehingga

$$i_1 \cong i_F$$

Dari hubungan antara arus dan tegangan pada kapasitor

$$i_C = C \frac{dv}{dt}$$

Maka dapat dituliskan :

$$\frac{v_{in} - v_2}{R_1} = C \frac{d}{dt} (v_2 - v_o)$$

Karena $v_1 = v_2 \approx 0$, maka

$$\frac{v_{in}}{R_1} = C \frac{d}{dt} (-v_o)$$

Tegangan output didapat dengan integrasi terhadap waktu untuk kedua sisi

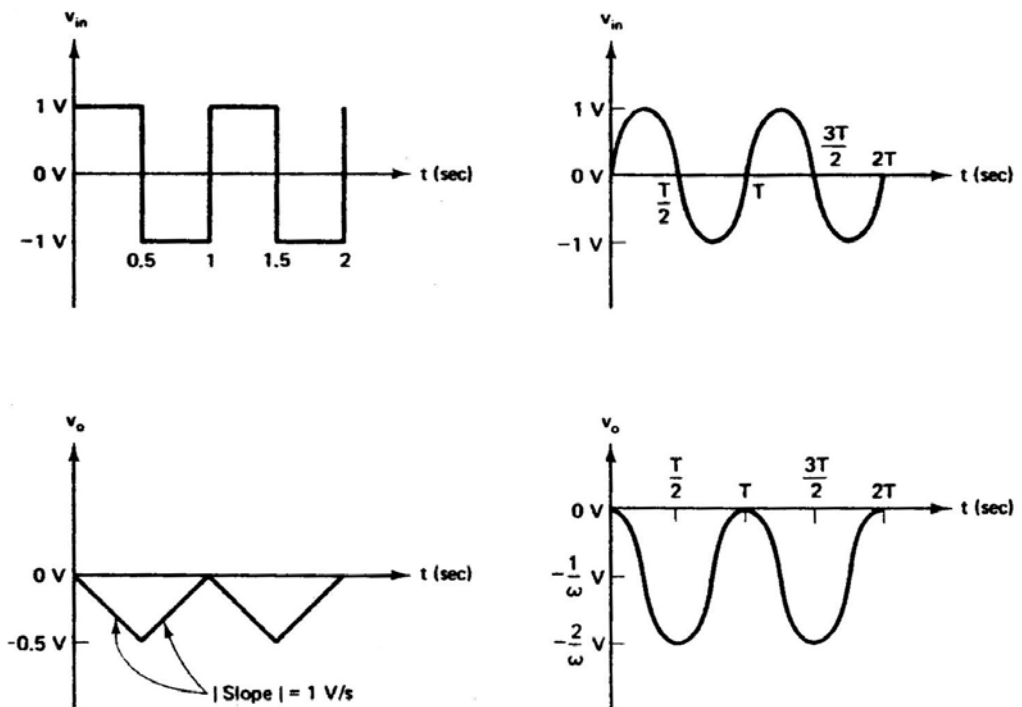
$$\int_0^t \frac{v_{in}}{R_1} dt = \int_0^t C_F \frac{d}{dt} (-v_o) dt = C_F (-v_o) + v_o|_{t=0}$$

atau

$$v_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int_0^t v_{in} dt + C$$

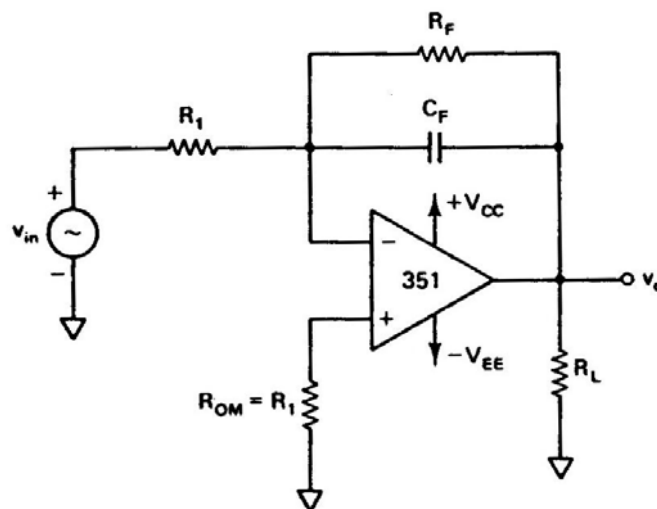
dimana C adalah konstanta integrasi yang proporsional dengan nilai dari tegangan output (v_o) pada $t = 0$ detik.

Persamaan diatas menunjukkan bahwa tegangan output berbanding lurus dengan integral negative dari tegangan input dan berbanding terbalik dengan konstanta waktu $R_1 C_F$. Sebagai contoh, apabila inputnya adalah gelombang sinus, maka outputnya adalah gelombang cosinus; dan apabila inputnya adalah suatu gelombang persegi, maka outputnya adalah gelombang segitiga, seperti diperlihatkan pada gambar 10.2. Sebagai catatan, bentuk gelombang dari gambar 10.2 diatas diasumsikan bahwa $R_1 C_F = 1$ detik dan $C = 0$.



Gambar 10.2 : Bentuk Gelombang Input dan Output Ideal

Untuk mengurangi error yang terjadi pada tegangan output, maka dalam praktek seringkali diberi hambatan R_F parallel dengan kapasitor feedback C_F , seperti ditunjukkan pada gambar 10.3.



Gambar 10.3 : Rangkaian Integrator dalam praktek

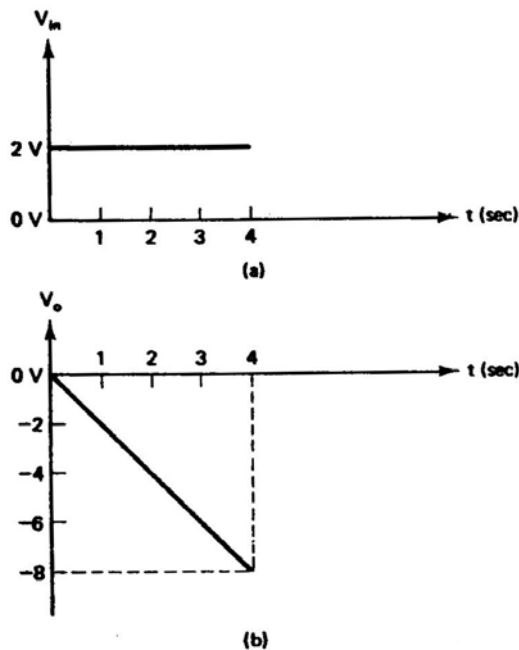
Sebagai contoh, apabila dari gambar rangkaian diatas (gambar 10.1) diberikan : $R_1 C_F = 1$ detik, input adalah suatu unit step (dc), seperti ditunjukkan pada gambar 10.3(a). Tentukan tegangan output dan gambarkan bentuk gelombangnya, dengan asumsi kondisi awal op-amp adalah 0 (nol).

Jawab :

Fungsi dari input adalah konstan, dimulai dari $t = 0$ detik, atau $V_{in} = 2$ Volt untuk $0 \leq t \leq 4$ detik. Sehingga dengan menggunakan persamaan diatas, didapat :

$$v_o = - \int_0^{t=4} 2 dt = -2t \Big|_0^4 = -8 \text{ Volt}$$

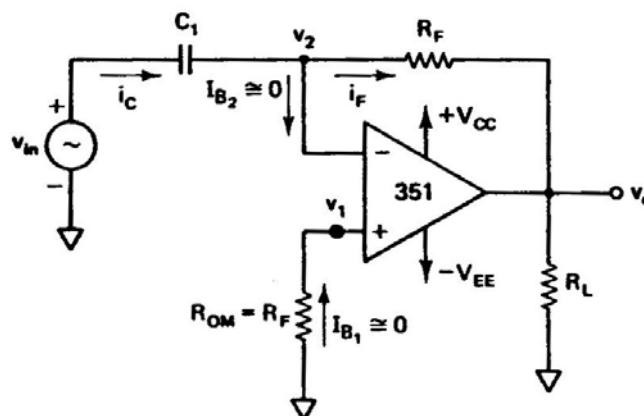
Bentuk gelombang tegangan output yang tergambar disebut sebagai *ramp function*, dengan slope (kemiringan) -2 Volt / detik.



Gambar 10.4 : Bentuk gelombang input dan output

10.2.2 Rangkaian Diferensiator

Gambar 10.4 memperlihatkan rangkaian differensiator atau penguat differensiasi. Seperti namanya, implikasi dari rangkaian tersebut adalah membentuk operasi matematik dari differensiasi, yaitu bentuk gelombang output merupakan derivative (turunan) dari bentuk gelombang input. Rangkaian differensiator dapat dibentuk dari suatu penguat inverting dasar dengan mengganti resistor input R_1 dengan kapasitor C_1 .



Gambar 10.5 : Rangkaian Diferensiator

Pernyataan untuk tegangan output (v_o) didapat dengan menggunakan hukum Kirchhoff's arus pada titik v_2 adalah :

$$i_c = I_B + i_F$$

Karena I_B sangat kecil, maka dapat diabaikan, sehingga

$$i_c \cong i_F$$

Dari hubungan antara arus dan tegangan pada kapasitor

$$C_1 \frac{d}{dt}(v_{in} - v_2) = \frac{v_2 - v_o}{R_F}$$

Karena $v_1 = v_2 \approx 0$, maka :

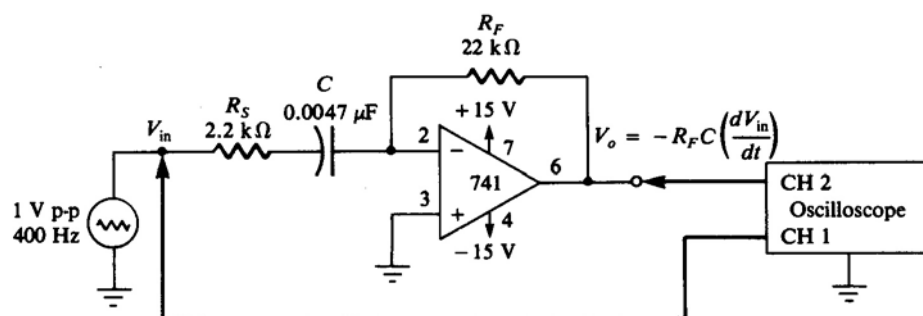
$$C_1 \frac{dv_{in}}{dt} = \frac{-v_o}{R_F}$$

atau

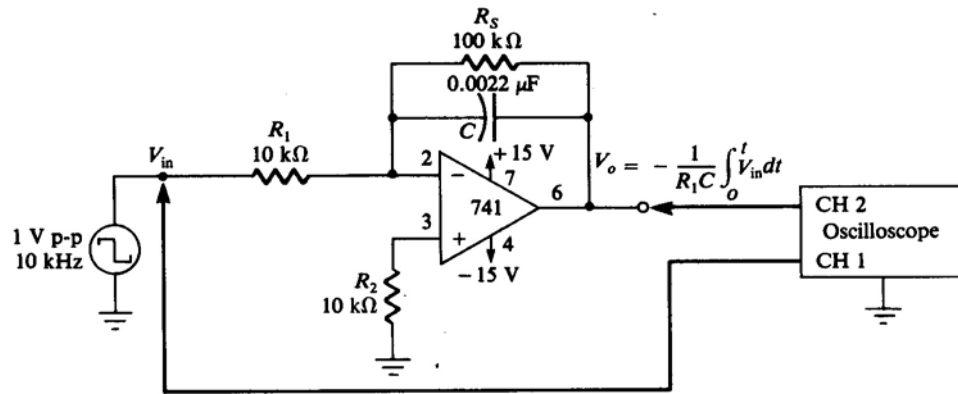
$$v_o = -R_F C_1 \frac{dv_{in}}{dt}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa tegangan output sama dengan $R_F C_1$ kali negative dari laju perubahan sesaat dari tegangan input v_{in} terhadap waktu. Karena differensiator berfungsi kebalikan dari integrator, maka gelombang input cosinus akan menghasilkan gelombang output sinus; atau gelombang input segitiga, maka akan menghasilkan gelombang output persegi.

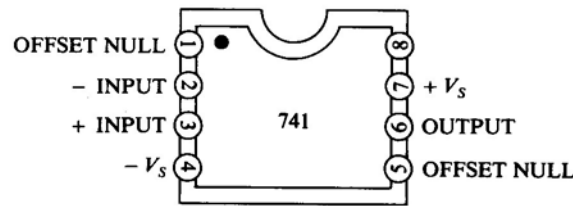
10.3 Rangkaian Percobaan :



Gambar 10.6 : Rangkaian Differensiator



Gambar 10.7 : Rangkaian Integrator



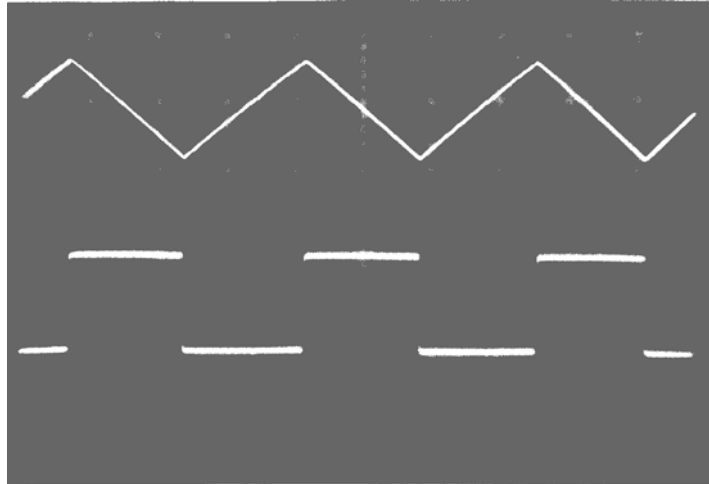
Gambar 10.8 : Pin diagram dari op-amp 741

10.4 Peralatan yang digunakan :

- 1) Modul praktikum, breadboard dan komponennya
- 2) Voltmeter dc
- 3) Oscilloscope
- 4) dc power supply
- 5) Function Generator

10.5 Prosedur Percobaan dan Tugas :

- 1) Rangkaikan seperti pada gambar 10.6 (rangkaihan *differentiator*) yang bersesuaian dengan modul praktikum atau dengan menggunakan breadboard.
- 2) Setelah di cek semua hubungan rangkaian dengan benar, hubungkan tegangan supply sebesar +15 Volt dan -15 Volt.
- 3) Dengan menggunakan oscilloscope, hubungkan channel 1 ke input (v_{in}) dan channel 2 ke output (v_o).
- 4) Hubungkan rangkaian percobaan dengan sinyal generator, seperti tertera pada gambar 10.6, pilihlah gelombang segitiga dan aturlah besarnya level tegangan input sebesar 1 Volt peak-to-peak, pada frekuensi 400 Hz.
- 5) Gambarkan bentuk gelombang v_{in} dan v_{out} dari display oscilloscope pada kertas grafik. Yakinkan bahwa sinyal output adalah gelombang persegi (*square wave*) yang berbeda phase 180° dengan sinyal input v_{in} .



- 6) Lepaskan sementara probe oscilloscope yang terhubung ke channel 2, dan aturlah posisi garis lurus pada layar (*ground level*) pada posisi yang sesuai. Hubungkan kembali probe oscilloscope pada posisi semula (output rangkaian *differentiator*), kemudian ukurlah tegangan peak negatif terhadap ground dari gelombang persegi dan catatlah pada table 10.1.
- 7) Ukurlah interval waktu sinyal negatif gelombang persegi (t_1), kemudian catatlah pada table 10.1.
- 8) Hitunglah tegangan peak dari gelombang persegi sebagai hasil dari differensiasi gelombang segitiga, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_o(\text{peak}) = -\frac{2 R_F C V_m}{t_1}$$

dimana V_m adalah tegangan peak dari gelombang segitiga. Catatlah hasilnya pada table 10.1.

- 9) Aturlah frekuensi input dari sinyal generator menjadi 1 kHz, kemudian ulangi langkah (6) sampai dengan (8) dan catatlah hasilnya pada table 10.1. Yakinkan bahwa tegangan output peak dari gelombang persegi akan bertambah.
- 10) Aturlah kembali frekuensi input dari sinyal generator menjadi 30 kHz. Apa yang terjadi dengan sinyal output ?

Catatan:

Sinyal output akan menjadi gelombang segitiga, dengan beda phase 180° . Pada saat frekuensi dinaikkan sampai mendekati 15,4 kHz, rangkaian akan berfungsi sebagai differentiator, karena reaktansi dari kapasitor 0,0047 μF akan lebih kecil dari 2,2 $\text{k}\Omega$ (R_S).

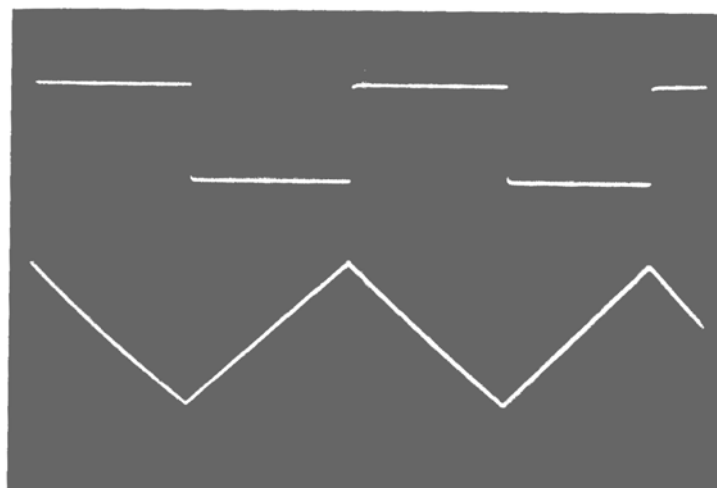
Diatas frekuensi tersebut, rangkaian akan berfungsi sebagai penguat invertng, dengan penguatan tegangan $-R_F/R_S$.

- 11) Ukurlah tegangan output peak-to-peak kemudian tentukan penguatan tegangannya, dan catatlah hasilnya pada table 10.1. Bandingkan hasil penguatan tegangan yang terjadi dengan suatu penguat invertng.

Tabel 10.1 : Data op-amp differentiator

Frekuensi input	Tegangan output peak terukur	Tegangan output peak yang diharapkan	% Error
400 Hz			
1 kHz			
30 kHz			

- 12) Rangkaikan seperti pada gambar 10.7 (rangkaiian *integrator*) yang bersesuaian dengan modul praktikum atau dengan menggunakan breadboard.
- 13) Setelah di cek semua hubungan rangkaian dengan benar, hubungkan tegangan supply sebesar +15 Volt dan -15 Volt.
- 14) Dengan menggunakan oscilloscope, hubungkan channel 1 ke input (v_{in}) dan channel 2 ke output (v_o).
- 15) Hubungkan rangkaian percobaan dengan sinyal generator, seperti teretera pada gambar 10.7, pilihlah gelombang persegi (*square wave*) dan aturlah besarnya level tegangan input sebesar 1 Volt peak-to-peak, pada frekuensi 10 kHz.
- 16) Gambarkan bentuk gelombang v_{in} dan v_{out} dari display oscilloscope pada kertas grafik. Yakinkan bahwa sinyal output adalah gelombang segitiga (*triangle wave*) yang berbeda phase 180° dengan sinyal input v_{in} .



- 17) Lepaskan sementara probe oscilloscope yang terhubung ke channel 2, dan aturlah posisi garis lurus pada layar (*ground level*) pada posisi yang sesuai. Hubungkan kembali probe oscilloscope pada posisi semula (output rangkaian *integrator*), kemudian ukurlah tegangan peak negatif terhadap ground dari gelombang segitiga dan catatlah pada table 10.2.
- 18) Ukurlah interval waktu sinyal negatif gelombang segitiga (t_1), kemudian catatlah pada table 10.2.
- 19) Hitunglah tegangan peak dari gelombang segitiga sebagai hasil dari differensiasi gelombang persegi, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_o(\text{peak}) = -\frac{V_m t_1}{R_1 C}$$

dimana V_m adalah tegangan peak dari gelombang persegi. Catatlah hasilnya pada table 10.1.

- 20) Aturlah frekuensi input dari sinyal generator menjadi 4 kHz, kemudian ulangi langkah (17) sampai dengan (19) dan catatlah hasilnya pada table 10.2. Yakinkan bahwa tegangan output peak dari gelombang segitiga akan bertambah.
- 21) Aturlah kembali frekuensi input dari sinyal generator menjadi 100 Hz. Apa yang terjadi dengan sinyal output ?

Catatan:

Sinyal output akan menjadi gelombang persegi, dengan beda phase 180° . Pada saat frekuensi diturunkan sampai mendekati 724 Hz, rangkaian akan berfungsi sebagai integrator, karena reaktansi dari kapasitor $0,0022 \mu\text{F}$ akan lebih besar dari $100 \text{ k}\Omega$ (R_S). Dibawah frekuensi tersebut, rangkaian akan berfungsi sebagai penguat inverting, dengan penguatan tegangan $-R_S/R_1$.

- 22) Ukurlah tegangan output peak-to-peak kemudian tentukan penguatan tegangannya, dan catatlah hasilnya pada table 10.2. Bandingkan hasil penguatan tegangan yang terjadi dengan suatu penguat inverting.
- 23) Dari hasil pengukuran dan perhitungan pada tabel 10.1, dan 10.2, berikan kesimpulan yang didapat dari percobaan ini.

Tabel 10.2 : Data op-amp integrator

Frekuensi input	Tegangan output peak terukur	Tegangan output peak yang diharapkan	% Error
10 kHz			
4 kHz			
100 Hz			