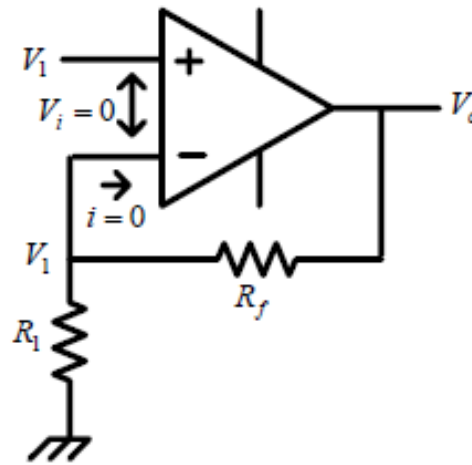
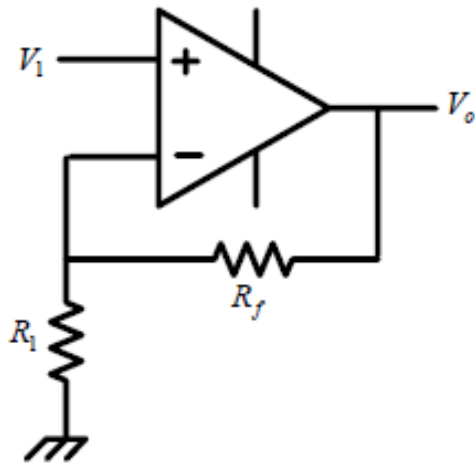


# OP-AMPS WITH NEGATIVE FEEDBACK

# Closed-Loop Voltage Gain, $A_{cl}$

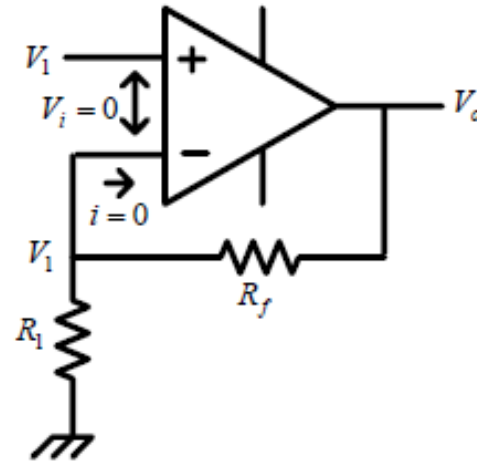
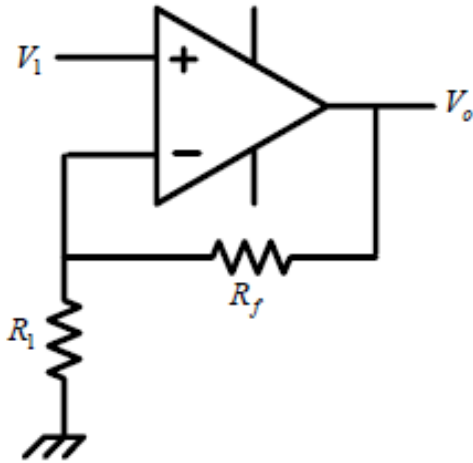
- closed-loop voltage gain adalah
  - Nilai voltage gain dari op-amp yang memiliki feedback.
- Konfigurasi Amplifier terdiri dari
  - op-amp
  - Rangkaian negative feedback yang menghubungkan output pada inverting input.

# Noninverting Amplifier



Gambar 1 : Noninverting amplifier

- Noninverting amplifier adalah
  - Op-amp dihubungkan dengan a closed-loop yang mengontrol seperti gambar 1.
- Sinyal *input* berada pada
  - *noninverting (+) input*.
- *output* di-feedback-kan
  - *inverting (-) input* dihubungkan menjadi rangkaian closed loop dengan input resistor  $R_i$  dan feedback resistor  $R_f$ .



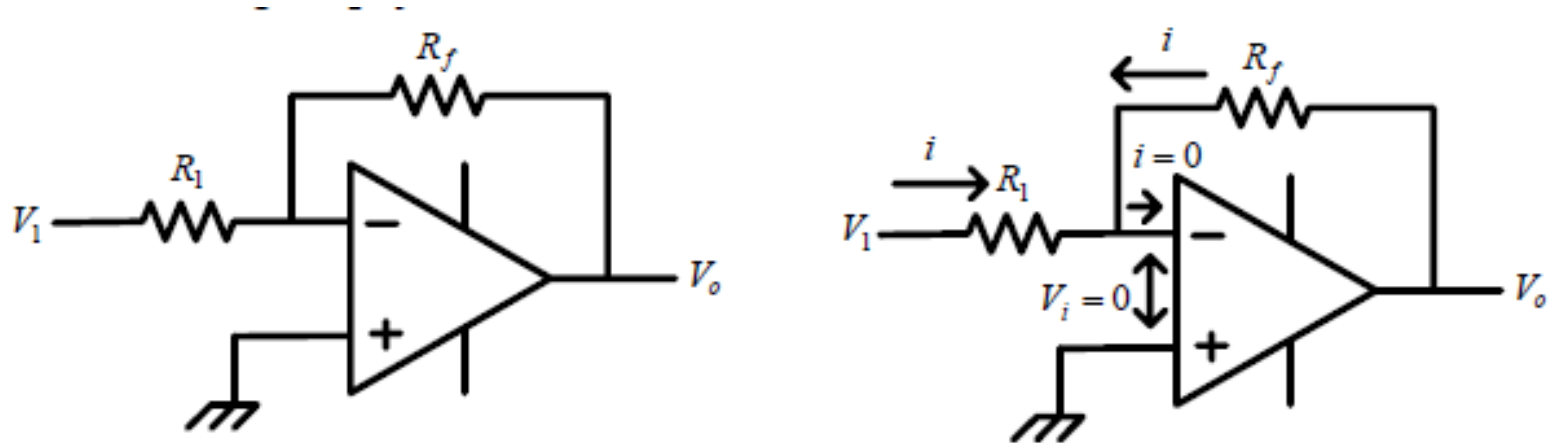
- Jika 
$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_f} V_0$$

- Maka 
$$A_{cl(NI)} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{B} = \frac{R_i + R_f}{R_i}$$

- Karena 
$$B = \frac{R_i}{R_i + R_f}$$

- Maka 
$$A_{cl(NI)} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

# Inverting Amplifier



Gambar 7: Inverting Amplifier

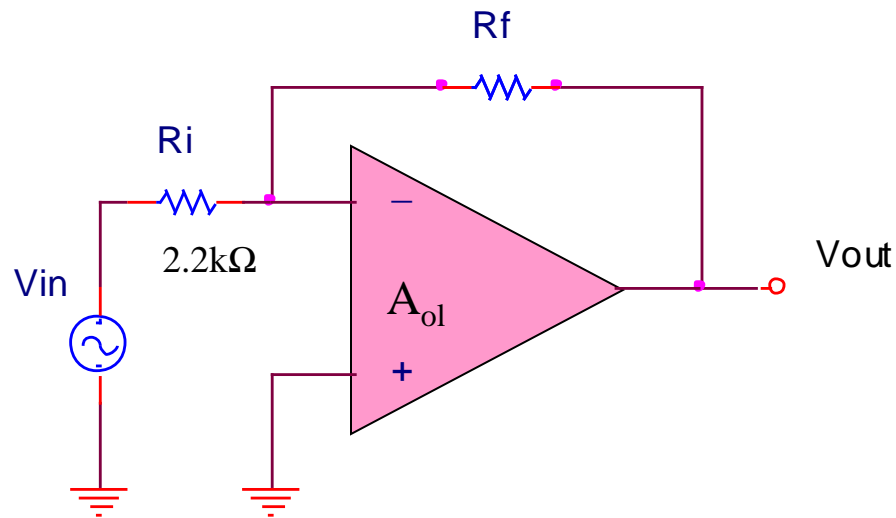
- Karena  $i_1 = -i_f$
- Sehingga  $\frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_o}{R_f}$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$A_{cl} = -\frac{R_f}{R_1}$$

# Contoh

Diketahui konfigurasi op-amp pada gambar dibawah ini, tentukan nilai  $R_f$  yang dibutuhkan untuk menghasilkan closed-loop voltage gain (A) sebesar -100.

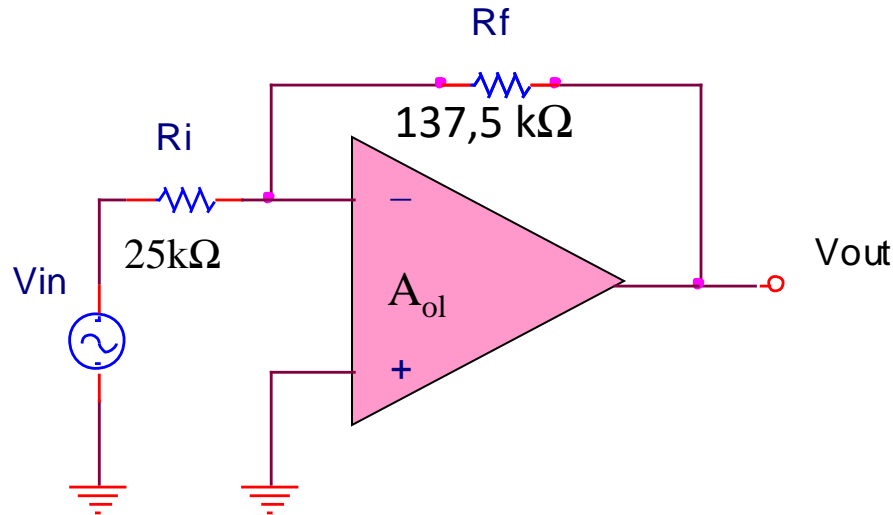


***Jawab:  $220 k\Omega$***

# Contoh

Diketahui konfigurasi op-amp pada gambar dibawah ini, tentukan

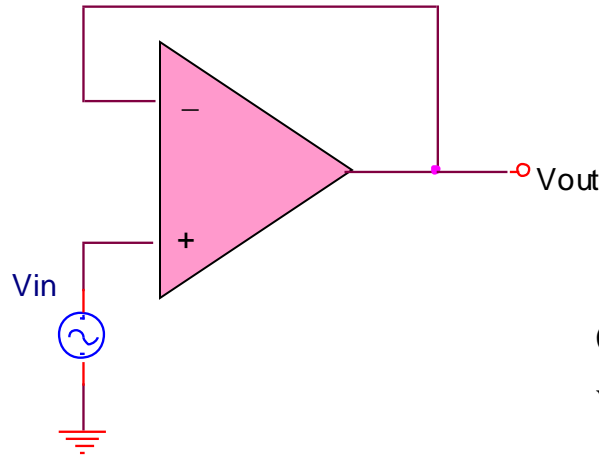
1. Nilai  $V_o$  ketika  $V_i=1,5$  V
2. Nilai arus pada resistor 25 K ketika  $V_i=1,5$  V
3. Tegangan output ketika  $V_i=-0,6$  V



Jawab : 1. 8,25 V, 2. 60  $\mu$ A, 3. 3,3V



# Voltage-Follower



Gambar 3 : Op-amp voltage-follower

- Konfigurasi voltage-follower adalah kasus khusus pada noninverting amplifier
  - Dimana seluruh tegangan output di feedback pada *inverting (-) input dengan garis lurus*. (gambar 3)
- Koneksi feedback langsung memiliki *voltage gain 1* (tdk ada gain).
- Sedangkan *voltage gain* noninverting amplifier adalah  $1/B$ .

- Karena  $B=1$ , untuk voltage-follower,
  - voltage gain of the voltage follower adalah

$$A_{cl(VF)}=1$$

- Konfigurasi voltage-follower memiliki
  - *input impedance sangat tinggi*
  - *output impedance sangat rendah*

# Impedansi Noninverting Amplifier

## ◆ Impedansi Input

$$Z_{in(NI)} = (1 + A_{ol}B) Z_{in}$$

→ Impedansi input pada non inverting dengan negatif feedback lebih besar dibanding internal impedansi input pada op-amp sendiri (tanpa feedback)

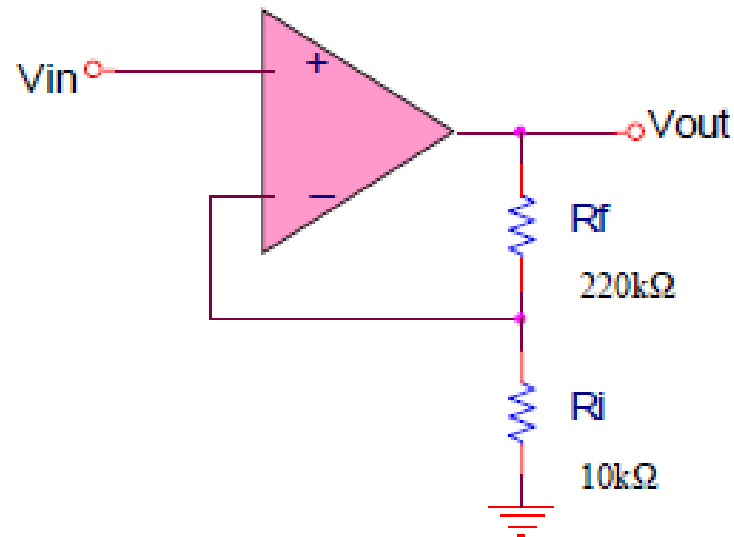
## ◆ Impedansi Output

$$Z_{out(NI)} = \frac{Z_{out}}{1 + A_{ol}B}$$

→ Impedansi output pada non inverting amplifier dengan negatif feedback lebih kecil dari internal impedansi output op-amp sendiri (tanpa feedback) karena  $z_{out}$  dibagi dengan faktor  $1 + A_{ol}B$

## Contoh

- a) Tentukan impedansi input dan output dari amplifier berikut ini. Pada data op-amp memiliki  $Z_{in}=2\text{M}\Omega$ ,  $Z_{out}=75\Omega$  dan  $A_{ol}=200.000$ .
- b) Tentukan closed-loop voltage gain



# Impedansi Voltage Follower

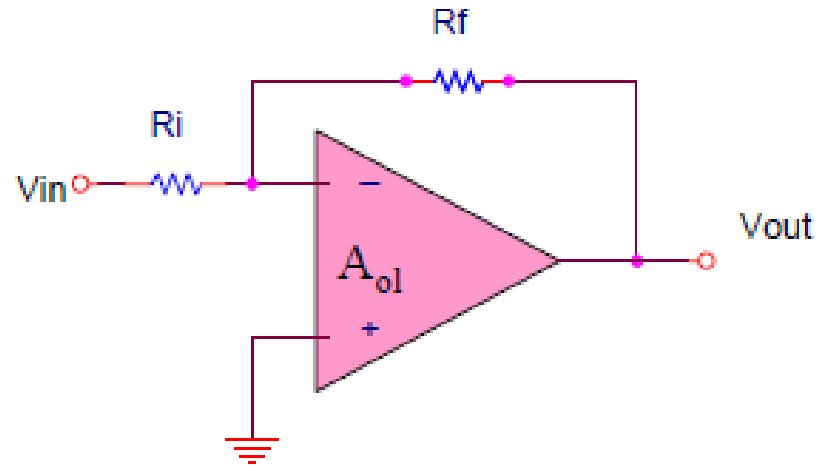
- ❑ Memiliki formula yang sama dengan non inverting amplifier dengan nilai  $B=1$ :

$$Z_{in(VF)} = (1 + A_{ol})Z_{in}$$

$$Z_{out(VF)} = \frac{Z_{out}}{1 + A_{ol}}$$

- ❑ Impedansi input lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi noninverting amplifier dengan negatif feedback.
- ❑ Impedansi output lebih rendah

# Impedansi Inverting Amplifier



□ Impedansi Input

$$Z_{in(I)} = R_i$$

→ Impedansi input pada inverting berda pada ground (0V) sehingga  $Z_{in}$  sama dengan  $R_i$

# Impedansi Inverting Amplifier

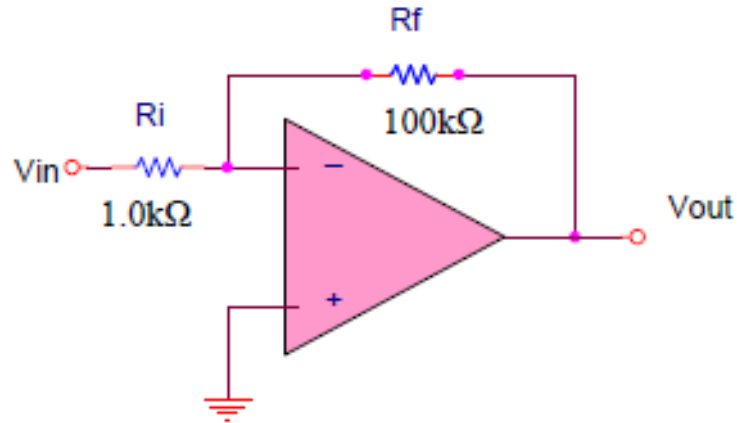
## □ Impedansi Output

$$Z_{out}(I) = Z_{out}$$

→ Impedansi output pada inverting amplifier sama dengan noninverting amplifier dimana impedansi akan bertambah dengan adanya negatif feedback.

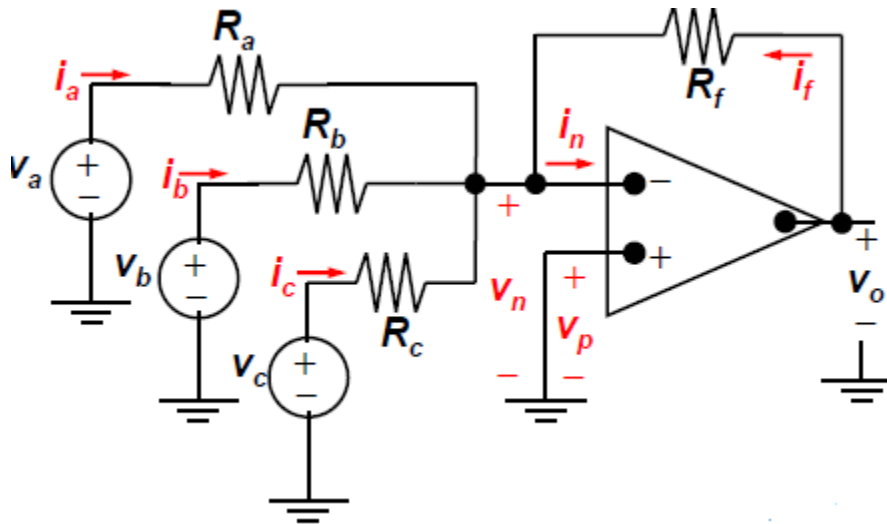
## Contoh

Tentukan nilai impedansi input dan output dan closed loop voltage gain dari gambar berikut , Jika diketahui parameter,  $A_{ol}=50\,000$ ,  $Z_{in}=4\text{M}\Omega$  dan  $Z_{out}=50\Omega$ .





# Summing Amplifier



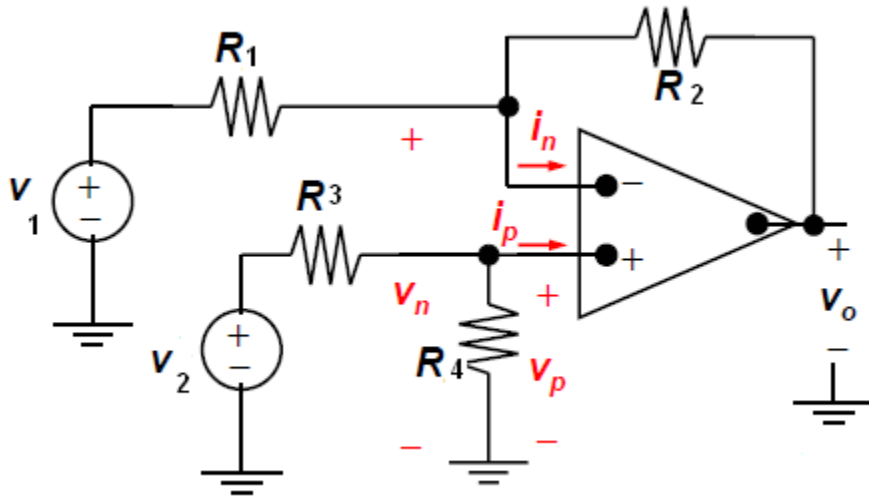
Didapat dari  
teori Superposisi

$$i_n = 0 \Rightarrow i_a + i_b + i_c = -i_f$$

$$v_p = 0 \Rightarrow v_n = 0$$

$$v_o = -\left( \frac{R_f}{R_a} v_a + \frac{R_f}{R_b} v_b + \frac{R_f}{R_c} v_c \right)$$

# Subtractor Amplifier



1.  $V_2 = \text{off}$ :

$$i_p = i_N = 0$$

Rangkaian sbg inverting amplifier

$$v_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1$$

2)  $V_1 = \text{off}$  dan  $V_2 = \text{on}$ :  $v_p = v_n = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$

KCL pada node A:

$$\frac{\frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2}{R_1} + \frac{\frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - v_{o2}}{R_2} = 0 \Rightarrow v_{o2} = \left[ \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] \left[ \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right] v_2$$

Sehingga

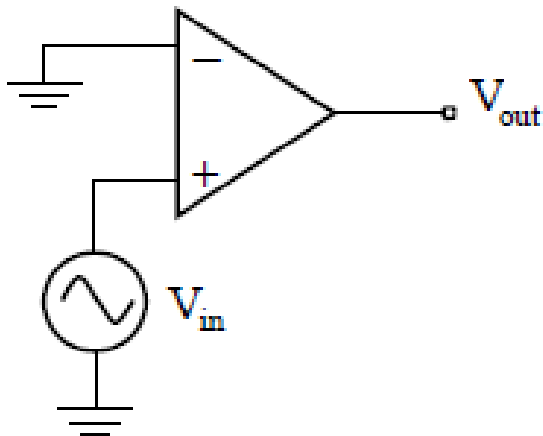


$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = -\left[ \frac{R_2}{R_1} \right] v_1 + \left[ \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] \left[ \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right] v_2$$

# COMPARATOR

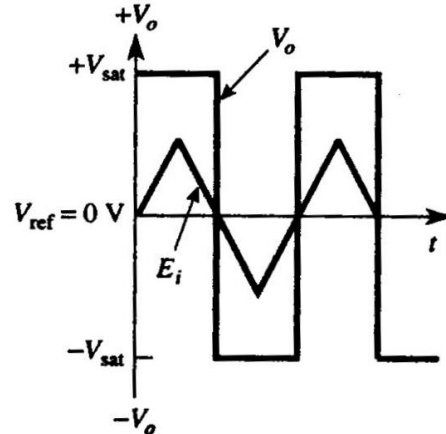
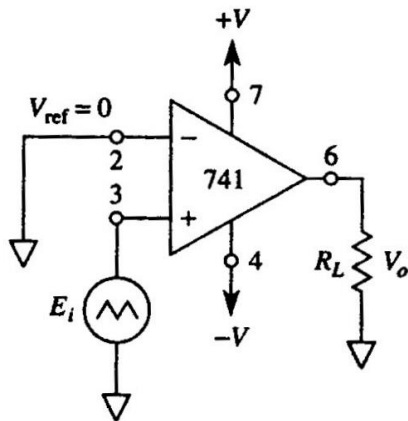
- ❑ Membandingkan antara dua tegangan input yang berbeda
- ❑ Ada dua jenis comparator
  1. Zero level detection
  2. Non-Zero level detection

## ❑ Zero level detection



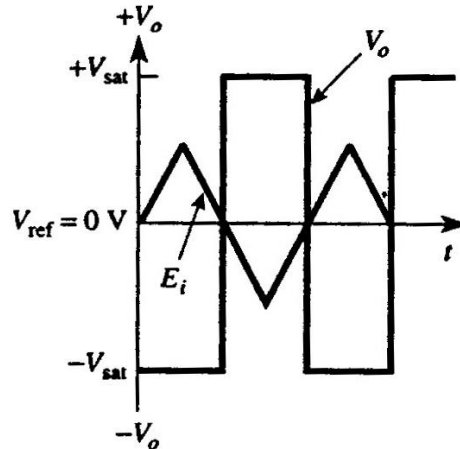
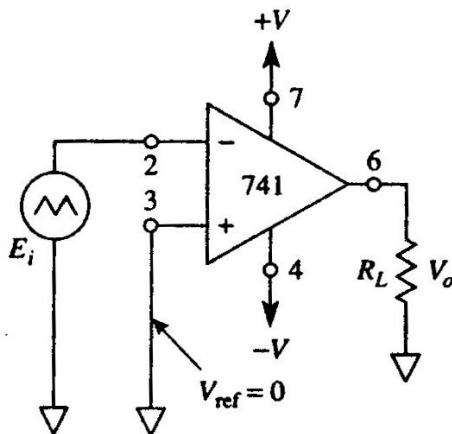
→ membandingkan tegangan input dengan tegangan refferensinya yaitu 0 Volt.

## ❑ Non-inverting Zero level detection



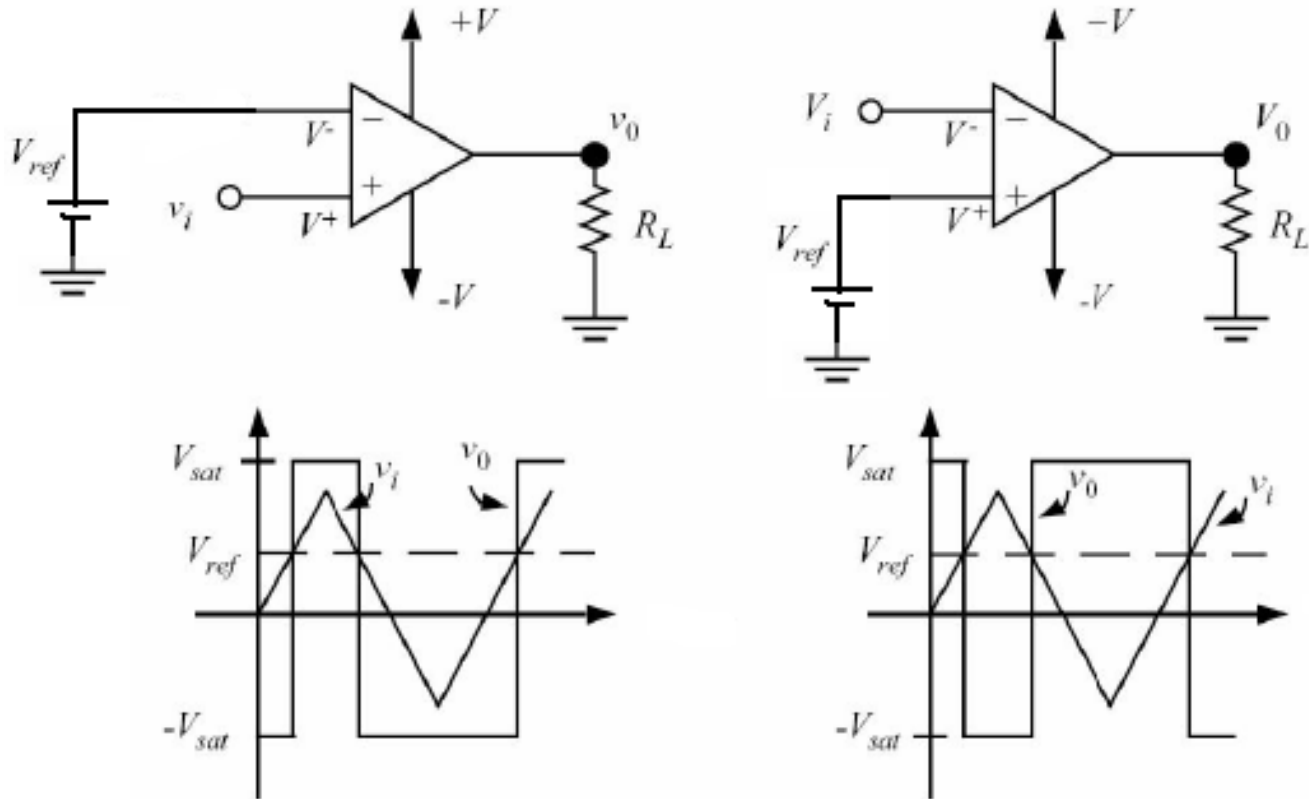
Ketika  $E_i$  diatas  $V_{ref}$ ,  $V_o = +V_{sat}$   
 → Hal ini terjadi karena tegangan pada input (+) lebih positif dibanding tegangan pada input (-).

## ❑ Inverting Zero level detection



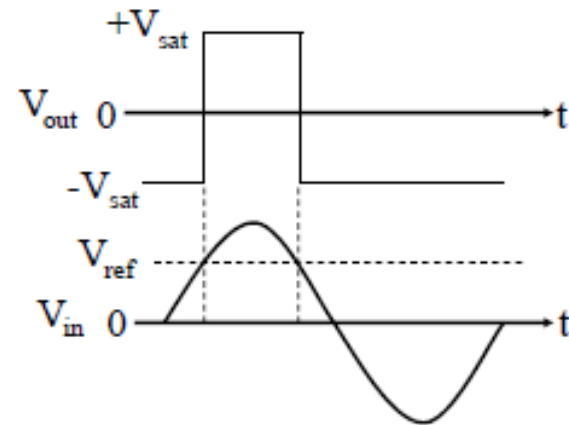
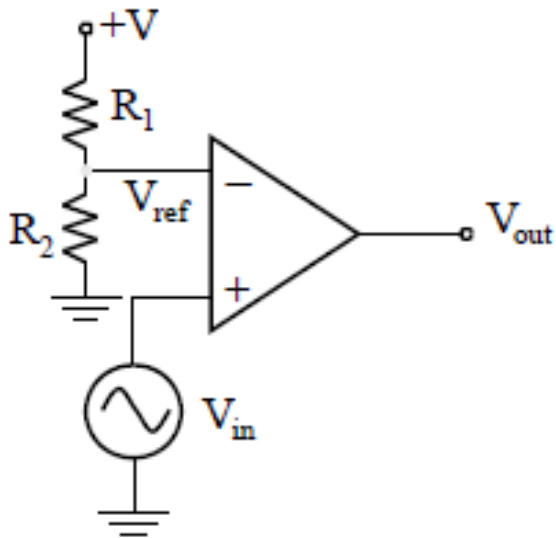
- Ketika  $E_i$  diatas  $V_{ref}$ ,  $V_o$  sama dengan  $-V_{sat}$
- Ketika  $E_i$  melewati tegangan referensi menuju positif, maka tegangan output  $V_o$  menurun dari  $+V_{sat}$  ke  $-V_{sat}$

## ❑ Non Zero level detection



(a) Batterai Refferensi

## ❑ Non Zero level detection

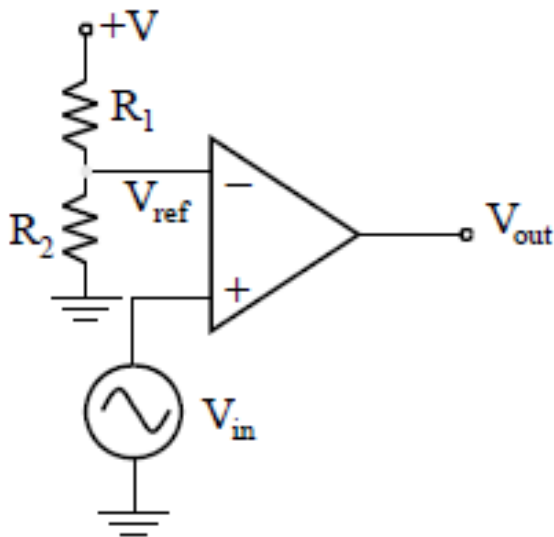


$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V)$$

(a) Voltage- divider Reference

Contoh :

Rangkaian Comparator ditunjukkan dibawah ini memiliki parameter sbb:  
 $R_1 = 4\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 6\text{ k}\Omega$ ,  $+V = 10\text{ V}$ , dan tegangan saturasi output op-amp  
 $V_{\text{sat}} = 13\text{ V}$ . Bila tegangan input  $V_{\text{in}} = 9\sin(2\pi t)$ .  $2\pi t = \text{sudut istimewa}$   
Gambarkan tegangan output ( $V_o$ ) sebagai fungsi waktu.



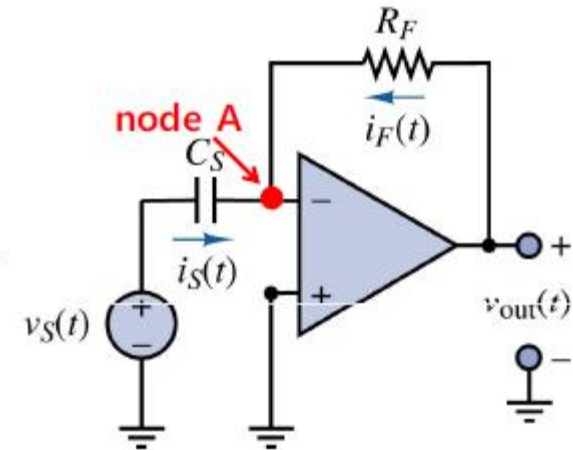
# Differential Amplifier

node A:  $i_S(t) = -i_F(t)$

$$i_F(t) = \frac{v_{out}(t)}{R_F} \quad i_S(t) = C_S \frac{dv_S(t)}{dt}$$

$$C_S \frac{dv_S(t)}{dt} = -\frac{v_{out}(t)}{R_F}$$

$$\Rightarrow v_{out}(t) = -R_F C_S \frac{dv_S(t)}{dt}$$





# Integrator Amplifier

node A:  $i_S(t) = -i_F(t)$

$$i_S(t) = \frac{v_S(t)}{R_S} \quad i_F(t) = C_F \frac{dv_{out}(t)}{dt}$$

$$C_F \frac{dv_{out}(t)}{dt} = -\frac{v_S(t)}{R_S}$$

$$\Rightarrow v_{out}(t) = -\frac{1}{R_S C_F} \int_{-\infty}^t v_S(t') dt'$$

