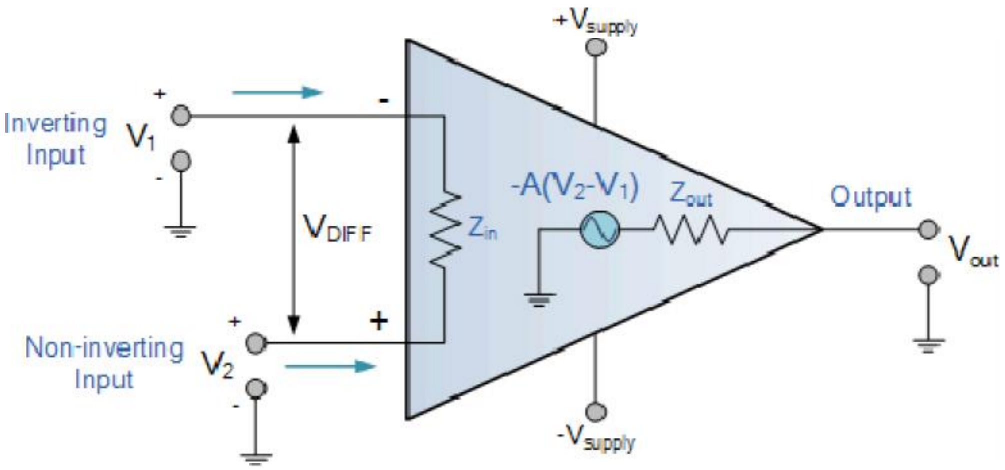
Istituto Professionale per L'industria L'Artigianato
Antonio Guastaferro
63074 SAN BENEDETTO DEL TRONTO (AP)

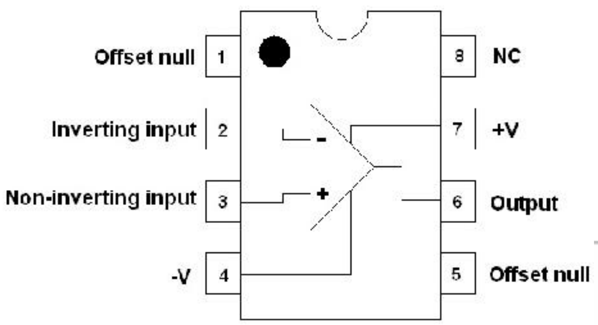
Classe :**4A MAN - 5A IPAI**
A.S. : 2021-2022
Docente : Prof. Franco Tufoni Codocente: Prof. Enrico Ruggieri
Disciplina: Tecnologie elettriche-elettroniche, dell'automazione e applicazioni

Amplificatori Operazionali

Esercizi

Circuiti Lineari Algebrici





UA741

Vers 4.0

Esercizio 1

Data la figura 1, si determini il valore di Ii (corrente d'ingresso), alla quale corrisponde una Vo = -1V (tensione d'uscita).

Dati:
R1=10KΩ
R2=1 KΩ
R3=39KΩ

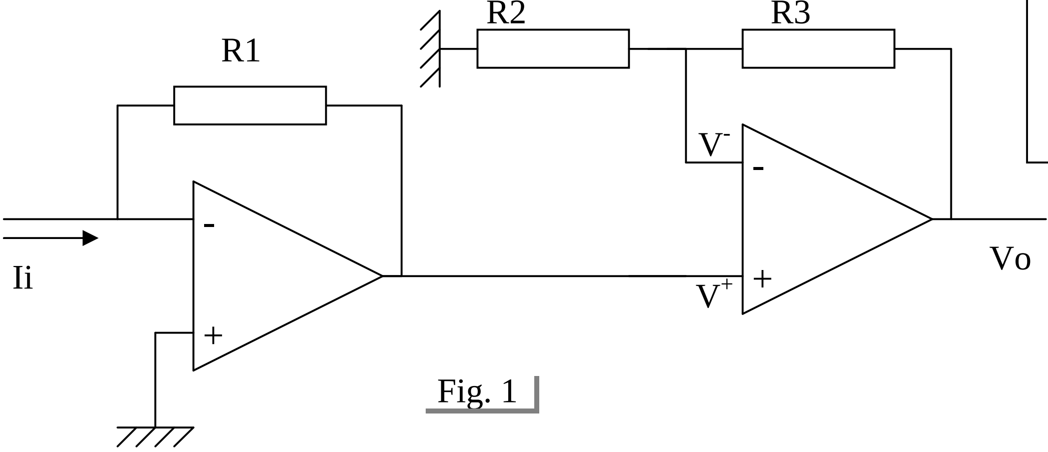


Fig. 1

Soluzione

1) 1° Stadio (Convertitore I/V) (Fig.2)

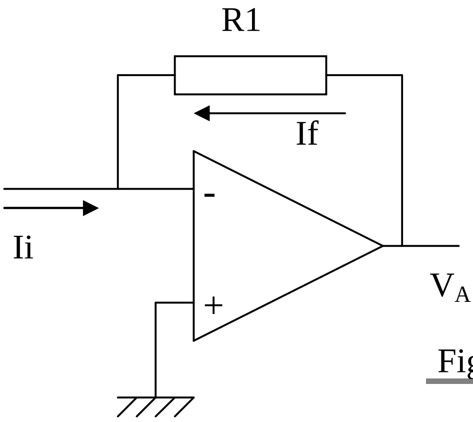


Fig. 2

$$V_A = R1 \bullet If$$
$$If = -Ii$$

$$\boxed{V_A = -R1 \bullet Ii}$$

2) 2° Stadio (Amplificatore non invertente) (Fig. 3)

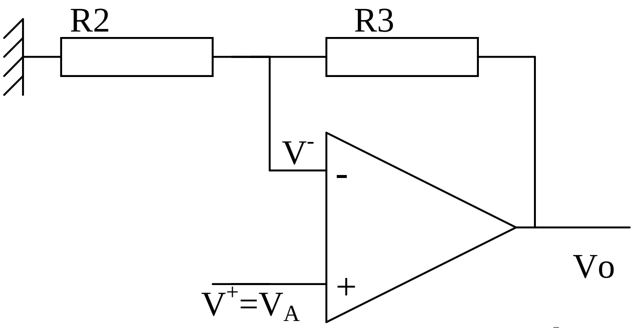


Fig. 3

$$Vo = \left(1 + \frac{R3}{R2}\right) \bullet V^+$$

$$Vo = \left(1 + \frac{R3}{R2}\right) \bullet V_A$$

$$Vo = -\left(1 + \frac{R3}{R2}\right) \bullet R1 \bullet Ii$$

$$-1 = -\left(1 + \frac{39 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3}\right) \bullet 10 \bullet 10^3 \bullet Ii$$

$$-1 = -400 \bullet 10^3 \bullet Ii \qquad Ii = \frac{1}{400 \bullet 10^3} = 2{,}5«A$$

$$\boxed{Ii = 2{,}5«A}$$

$$\boxed{Ii = 2{,}5«A} \longrightarrow \boxed{Vo = -1V}$$

Input — Output

Esercizio 2

Data la rete di fig.1, si determini la relazione tra l'uscita e gli ingressi.

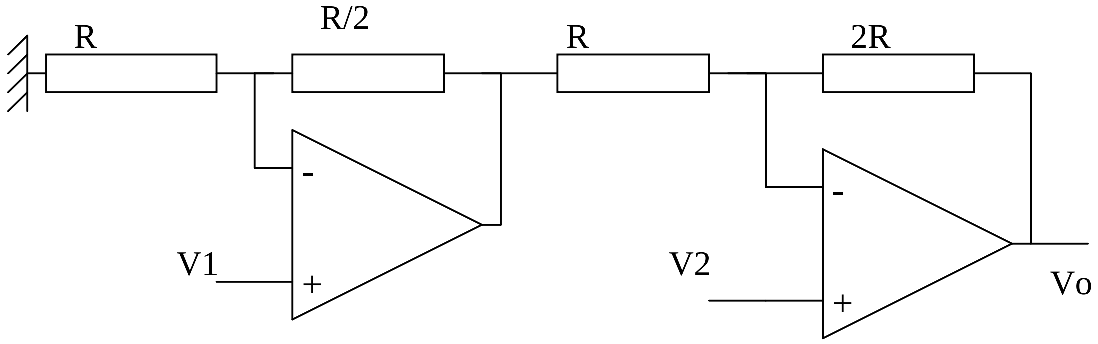


Fig.1

Soluzione

Si osserva che gli ingressi V1 e V2 sono connessi in serie agli ingressi degli A.O. aventi R d'ingresso elevatissima.
Questa connessione evita ai due generatori V1 e V2 di erogare corrente in tal modo sono eliminate perdite di segnale da imputare ad una Ri del generatore stesso, il circuito di fig.1, può essere diviso in due stadi.

1) 1° Stadio (Amplificatore non invertente) (Fig.2)

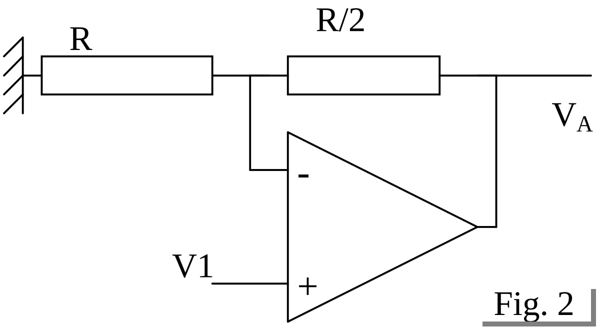


Fig. 2

$$V_A = \left(1 + \frac{R/2}{R}\right) \bullet V^+$$

$$V_A = \left(1 + \frac{\cancel{R}}{2} \bullet \frac{1}{\cancel{R}}\right) \bullet V1$$

$$\boxed{V_A = \frac{3}{2} \bullet V1}$$

2) 2° Stadio (Amplificatore differenziale) (Fig. 3)

Applicando il 3 caso dell'Amplificatore differenziale si ottiene:

$$V_A = \frac{3}{2} \bullet V1$$

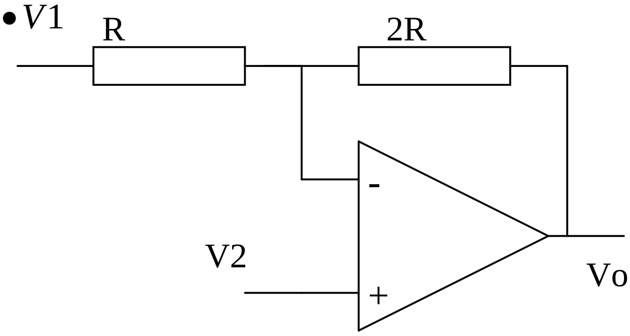


Fig. 3

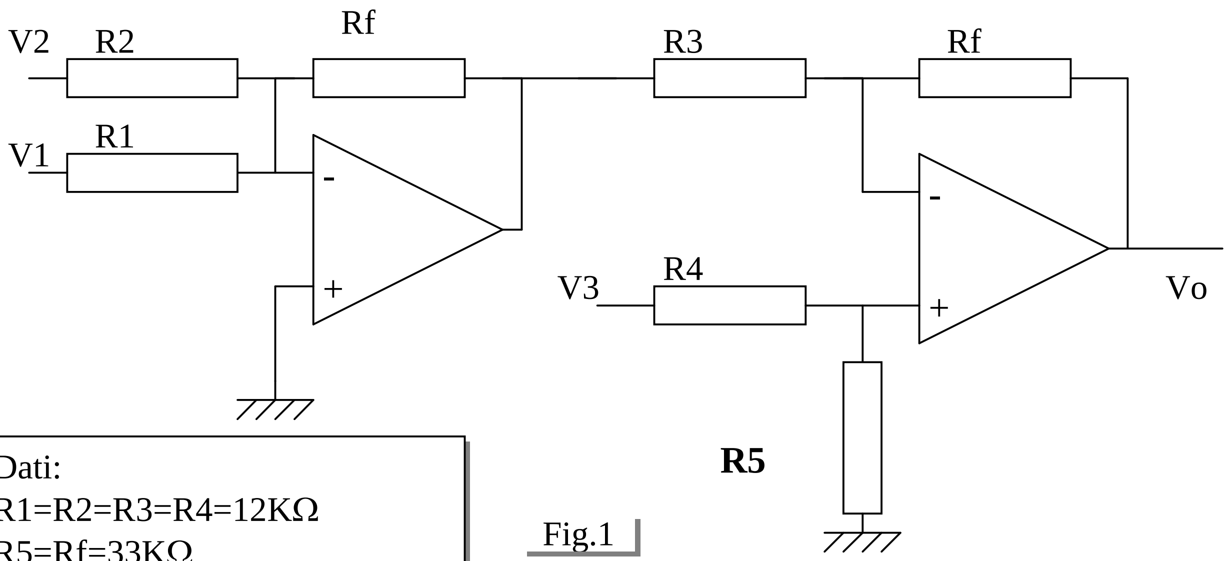
$$Vo = \left(1 + \frac{2R}{R}\right) \bullet V2 - \frac{2R}{R} \bullet \frac{3}{2} \bullet V1$$

$$Vo = 3 \bullet V2 - 3 \bullet V1$$

$$\boxed{Vo = 3 \bullet (V2 - V1)}$$

Esercizio 3

Data la rete di fig.1, si determini la relazione che lega l'uscita con gli ingressi.



Dati:
R1=R2=R3=R4=12KΩ
R5=Rf=33KΩ

Fig.1

Soluzione

1) 1° Stadio (Sommatore invertente) (Fig. 2)

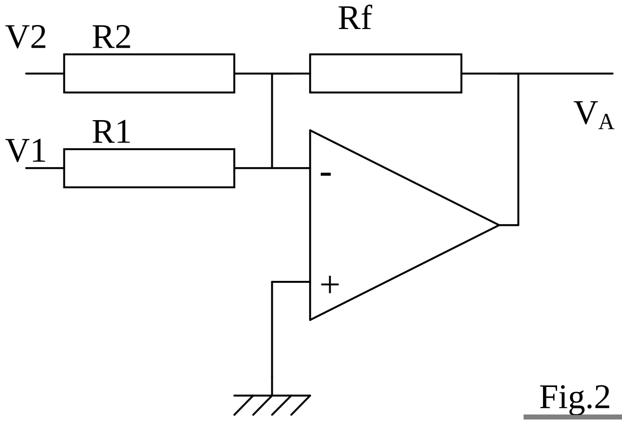


Fig.2

$$V_A = -\frac{Rf}{R1} \bullet V1 - \frac{Rf}{R2} \bullet V2$$

$$V_A = -\frac{33 \bullet 10^3}{12 \bullet 10^3} \bullet V1 - \frac{33 \bullet 10^3}{12 \bullet 10^3} \bullet V2$$

$$V_A = -2{,}75 \bullet (V1 + V2)$$

2) 2° Stadio (Amplificatore differenziale) (Fig.3)

Applicando il 1 caso Amplificatore differenziale pag. 5 si ottiene:

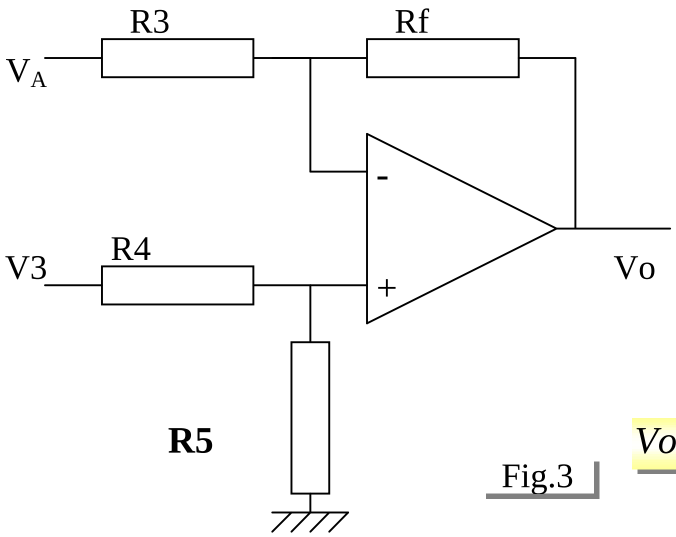


Fig.3

$$Vo = \frac{Rf}{R3} \bullet (V3 - V_A)$$

$$Vo = \frac{33 \bullet 10^3}{12 \bullet 10^3} \bullet (V3 - (-2{,}75 \bullet (V1 + V2)))$$

$$Vo = 2{,}75 \bullet (V3 + 2{,}75 \bullet V1 + 2{,}75 \bullet V2)$$

$$Vo = 2{,}75 \bullet V3 + 7{,}56 \bullet V1 + \bullet 7{,}56 \bullet V2$$

Esercizio 4

Data la rete di Fig. 1, si determini la relazione che lega il valore della Vo al segnale d'ingresso e alla posizione del potenziometro.

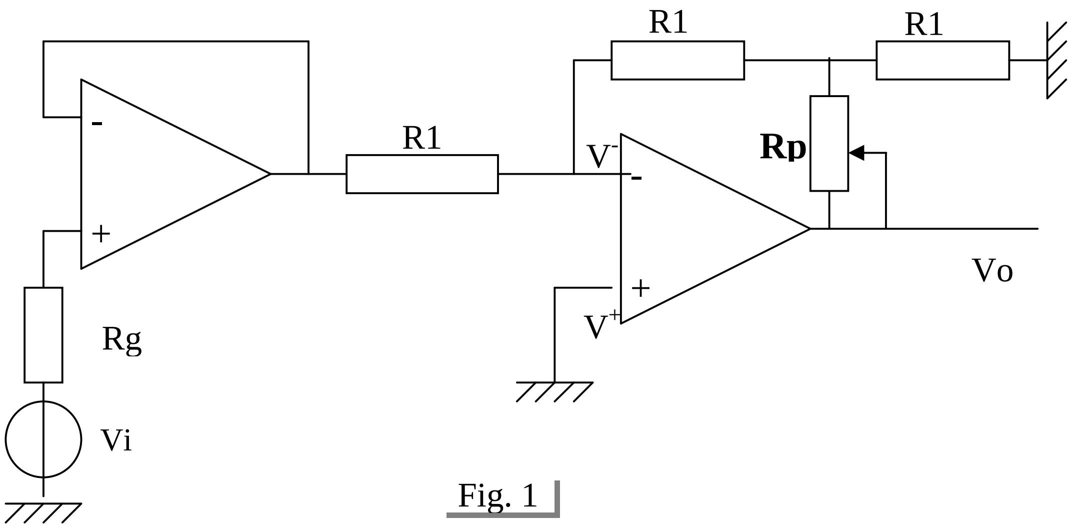
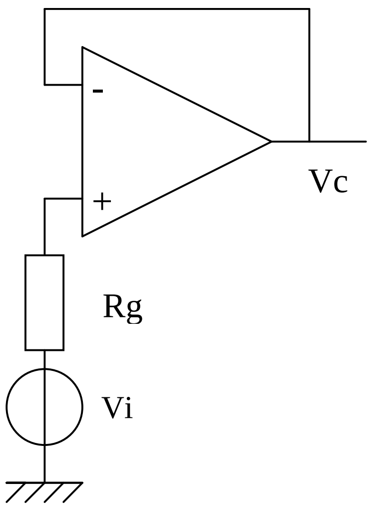


Fig. 1

Soluzione

1) 1° Stadio (Inseguitore di tensione) (Fig.2)



L' A.O. a cui è applicato il generatore di segnale Vi è in configurazione inseguitore di tensione; pertanto essendo la sua resistenza d'ingresso infinita (caso ideale) il generatore Vi non eroga corrente rendendo trascurabile l'attenuazione introdotta dalla resistenza interna Rg.

Quindi **Vc=Vi**

La rete di Fig. 1 può essere ridisegnata come indicata in Fig. 3

Fig. 2

2) 2° Stadio (Fig. 3)

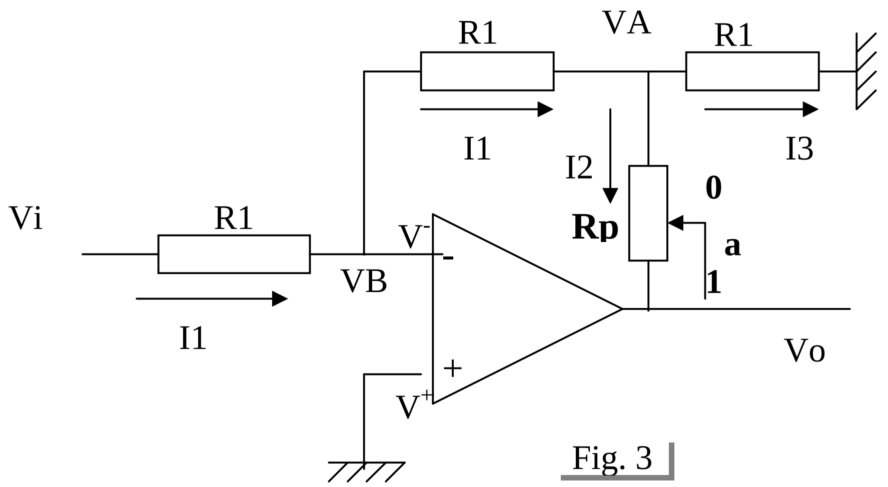


Fig. 3

"a" → posizione del potenziometro Rp "a"=0÷1

I1=I2+I3

$I1 = \frac{VB - VA}{R1}$ $I1 = \frac{Vi}{R1}$ $VB = 0$ quindi **VA=-V**i $I2 = \frac{VA - Vo}{a \bullet Rp}$ $I3 = \frac{VA - 0}{R1}$

$\frac{0-(-Vi)}{R1} = \frac{VA - Vo}{a \bullet Rp} + \frac{VA}{R1}$ $\frac{Vi}{R1} = \frac{-Vi - Vo}{a \bullet Rp} - \frac{Vi}{R1}$ $\frac{Vi}{R1} + \frac{Vi}{R1} + \frac{Vi}{a \bullet Rp} = \frac{-Vo}{a \bullet Rp}$

$Vo = -\left(1 + \frac{2 \bullet a \bullet Rp}{R1}\right) \bullet Vi$ si pone $|G| = 1 + \frac{2 \bullet a \bullet Rp}{R1}$ Guadagno del circuito

Si conclude:

1) $a = 0$ ⇨ $|G| = 1$ ⇨ $V0 = -Vi$

2) $a = 1$ ⇨ $|G| = 1 + \frac{2 \bullet Rp}{R1}$ ⇨ $Vo = -\left(1 + \frac{2 \bullet Rp}{R1}\right) \bullet Vi$

3) $a = \frac{1}{2}$ ⇨ $|G| = 1 + \frac{Rp}{R1}$ ⇨ $Vo = -\left(1 + \frac{Rp}{R1}\right) \bullet Vi$

Esercizio 5

Data la rete di Fig. 1, si determini la relazione tra l'intensità di corrente che scorre nel carico RL e la tensione d'ingresso Vi

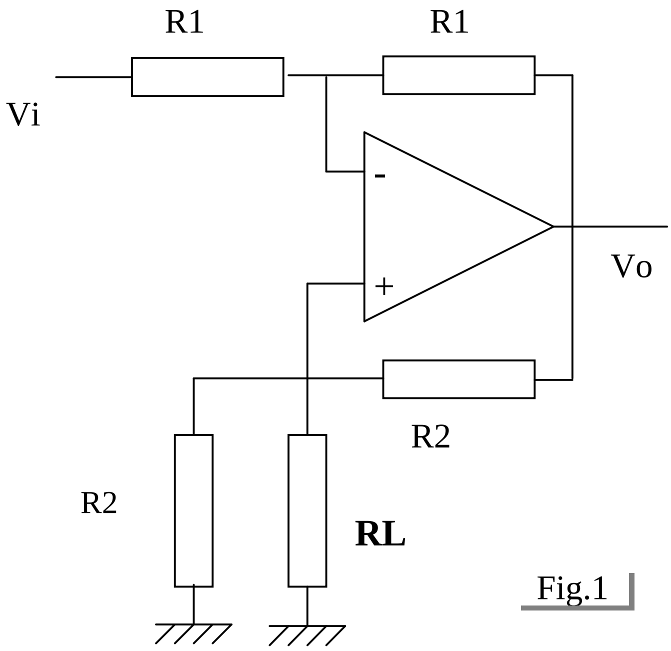


Fig.1

Soluzione

In riferimento alla Fig. 1 si applica l'algoritmo per la soluzione delle reti lineari.

- **Passo 1**: i morseti invertente e non invertente dell'A.O sono allo stesso potenziale, si assegna pertanto ai rispettivi nodi il simbolo di identificazione VA. Al morsetto d'uscita, si assegna il simbolo di identificazione Vo (Fig.2).
- **Passo 2**: In Fig2 è rappresentata la scelta arbitraria dei versi di percorrenza nei rami.

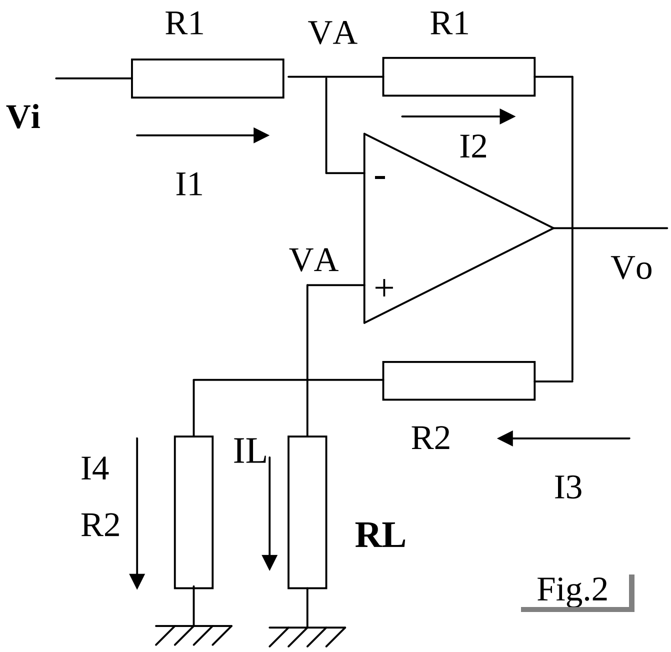


Fig.2

- **Passo 3**: lo scopo è di ricavare la relazione tra IL e Vi, le variabili da eliminare sono Vo e Va; il sistema è composto da tre equazioni.

a) Espressioni delle singole correnti

$$I1 = \frac{Vi - VA}{R1} \qquad I2 = \frac{VA - Vo}{R1} \qquad I3 = \frac{Vo - VA}{R2} \qquad IL = \frac{VA}{RL} \qquad I4 = \frac{VA}{R2}$$

b) Sistema

$$\boxed{\begin{array}{l} IL = \dfrac{VA}{RL} \\[2ex] I1 = I2 \\[2ex] I3 = I4 + IL \end{array}} \qquad \boxed{\begin{array}{l} IL = \dfrac{VA}{RL} \\[2ex] \dfrac{Vi - VA}{R1} = \dfrac{VA - Vo}{R1} \\[2ex] \dfrac{Vo - VA}{R2} = \dfrac{Va}{R2} + \dfrac{VA}{RL} \end{array}} \qquad \boxed{\begin{array}{l} VA = RL \bullet IL \\[2ex] Vi - RL \bullet IL = RL \bullet IL - Vo \\[2ex] \dfrac{Vo - RL \bullet IL}{R2} = \dfrac{RL \bullet IL}{R2} + \dfrac{RL \bullet IL}{RL} \end{array}}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} Vo = 2 \bullet RL \bullet IL - Vi \\[2ex] \dfrac{2 \bullet RL \bullet IL - Vi - RL \bullet IL}{R2} = \dfrac{RL \bullet IL}{R2} + \dfrac{RL \bullet IL}{RL} \end{array}}$$

$$\boxed{\dfrac{RL \bullet IL - Vi}{R2} = \dfrac{RL \bullet IL}{R2} + \dfrac{RL \bullet IL}{RL}}$$

$$\boxed{IL = -\frac{Vi}{R2}}$$

Esercizio 6

Data la rete di Fig. 1, si determini la relazione tra la tensione d'ingresso (Vi) e la tensione d'uscita (Vo)

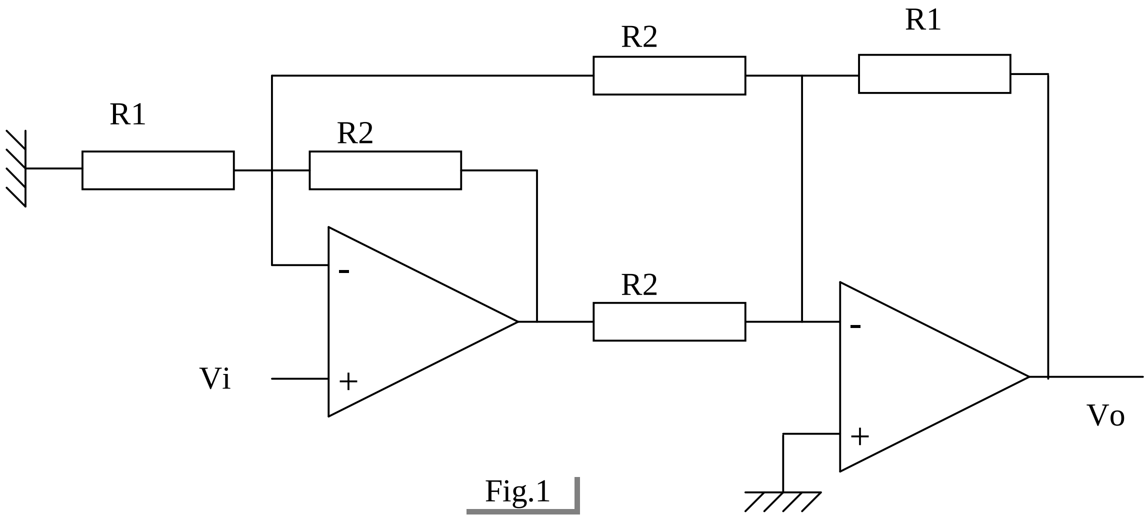


Fig.1

Soluzione

La rete in esame può essere scomposta in due circuiti che rappresentano configurazioni notevoli.

1) 1° Stadio (Amplificatore non invertente) (Fig. 2)

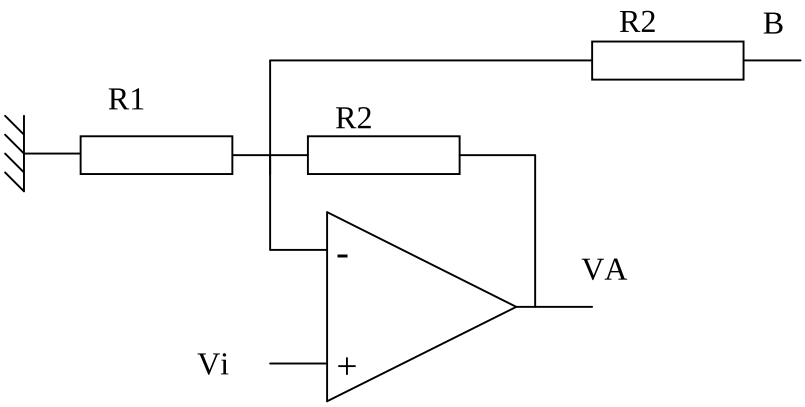


Fig. 2

Il circuito di Fig. 2 si semplifica in quello di Fig. 3

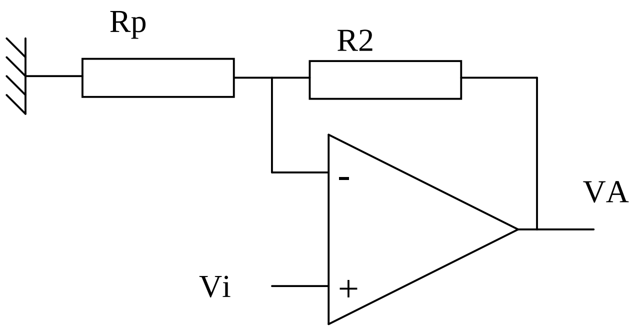


Fig. 3

$$Rp = R1 // R2 = \frac{R1 \bullet R2}{R1 + R2}$$

$$VA = \left(1 + \frac{R2}{Rp}\right) \bullet Vi$$

$$VA = \left(1 + \frac{R2}{\frac{R1 \bullet R2}{R1 + R2}}\right) \bullet Vi$$

$$VA = \left(1 + \frac{R2 \bullet (R1 + R2)}{R1 \bullet R2}\right) \bullet Vi \qquad VA = \left(1 + \frac{(R1 + R2)}{R1}\right) \bullet Vi$$

$$\boxed{VA = \frac{2 \bullet R1 + R2}{R1} \bullet Vi}$$

2) 2° Stadio (Sommatore Invertente) (Fig. 4)

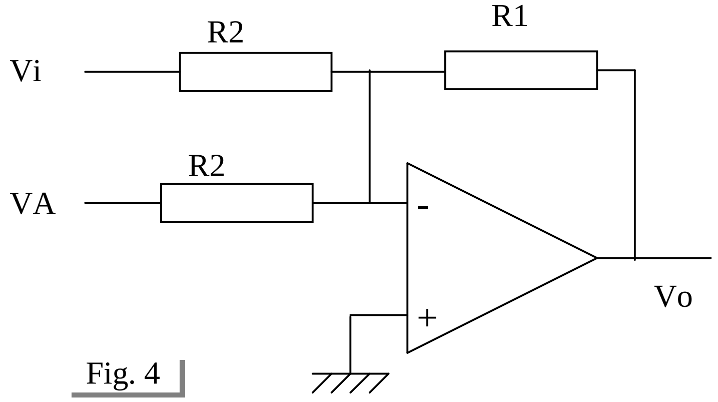


Fig. 4

$$Vo = -\left(\frac{R1}{R2} \bullet VA + \frac{R1}{R2} \bullet Vi\right) \qquad Vo = -\frac{R1}{R2} \bullet \left(\frac{2 \bullet R1 + R2}{R1} \bullet Vi + Vi\right)$$

$$Vo = -\frac{R1}{R2} \bullet Vi \bullet \left(\frac{2 \bullet R1 + R2}{R1} + 1\right) \qquad Vo = -\frac{R1}{R2} \bullet Vi \bullet \left(\frac{2 \bullet R1 + R2 + R1}{R1}\right)$$

$$Vo = -\frac{Vi}{R2}(3 \bullet R1 + R2)$$

$$\boxed{Vo = -\frac{3 \bullet R1 + R2}{R2} \bullet Vi}$$

Esercizio 7

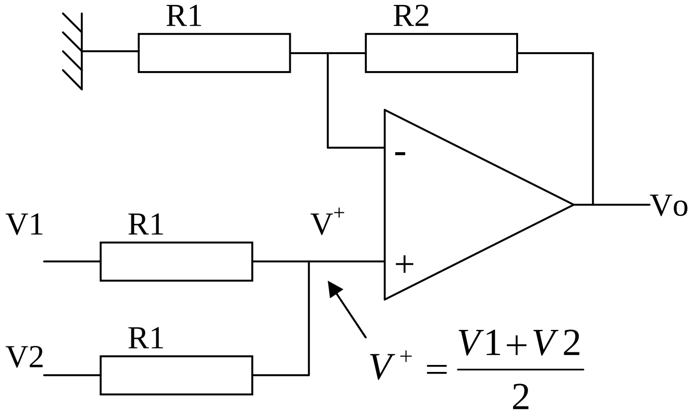
Si progetti una rete con un solo amplificatore operazionale che, ricevendo in ingresso due segnali in tensione V1 e V2 realizzi la seguente espressione:

$$Vo = 8 \bullet (V1 + V2)$$

Soluzione

La configurazione che consente di realizzare l'operazione richiesta è il sommatore non invertente. In Fig. 1 lo schema a blocchi e in Fig. 2 lo schema elettrico.

Fig.1



$$V^+ = \frac{V1 + V2}{2}$$

Fig.2

$$Vo = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet V^+ \qquad Vo = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet \frac{V1 + V2}{2}$$

Imponendo l'uguaglianza tra la funzione data $Vo = 8 \bullet (V1 + V2)$

e la funzione trovata $Vo = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet \frac{V1 + V2}{2}$

si ottiene

$$8 \bullet (V1 + V2) = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet \frac{V1 + V2}{2} \qquad 8 = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet \frac{1}{2} \qquad 16 = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$$

$$15 = \frac{R2}{R1}$$

R2=15 KΩ

R1=1 KΩ

Esercizio 8

Progettare un circuito con un solo amplificatore operazionale in grado di eseguire la media aritmetica dei segnali (V1, V2, V3).

Soluzione

In Fig. 1 lo schema elettrico del circuito

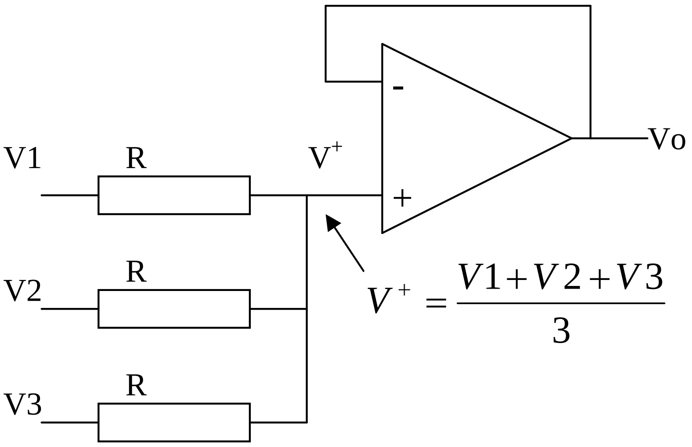


Fig. 1

$Vo = V^+$

$$\boxed{Vo = \frac{V1+V2+V3}{3}}$$

Esercizio 9

Utilizzando degli amplificatori operazionali realizzare lo schema elettrico di un circuito che, a partire da un segnale d'ingesso Vi, fornisca in uscita due segnali V_1 e V_2 che presentano le seguenti caratteristiche:

a) V_1 ha ampiezza doppia rispetto a quella del segnale d'ingresso ma è in opposizione di fase;
b) V_2 ha ampiezza doppia rispetto a quella del segnale d'ingresso ed in fase con il segnale d'ingresso.

Disegnare il circuito e dimensionare i componenti

Soluzione

In Fig.1 è riportato una possibile soluzione.

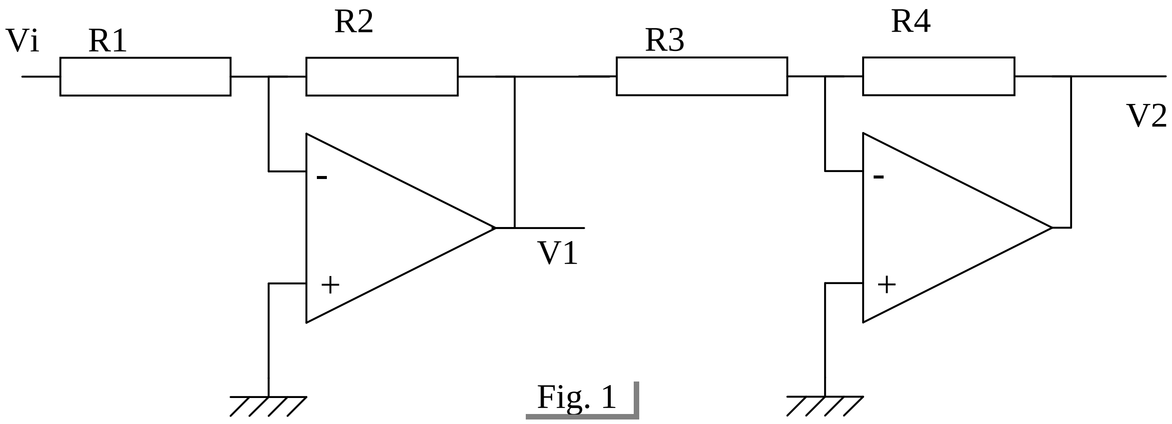


Fig. 1

$$V_1 = -\frac{R2}{R1} \bullet Vi \qquad V_2 = -\frac{R4}{R3} \bullet V_1$$

Il segnale Vi è inviato in ingresso al primo operazionale disposto in configurazione invertente; il segnale in uscita V_1 risulta sfasato di 180° (opposizione di fase) rispetto al segnale d'ingresso, affinché l'ampiezza di V_1 sia doppia di Vi:

$$2 = \frac{R2}{R1}$$

R2=2 KΩ

R1=1 KΩ

Si ottiene il segnale V2 con le caratteristiche richieste inviando il segnale V_1 all'ingesso del secondo amplificatore operazionale disposto anch'esso in configurazione invertente.
Il segnale V_2 risulta sfasato di 180° rispetto al segnale V_1, quindi in fase con il segnale Vi, affinché l'ampiezza di V_2 sia doppia di Vi:

$$1 = \frac{R4}{R3}$$

R4=1 KΩ

R3=1 KΩ

Esercizio 10

Dimensionare i componenti di un circuito realizzato con operazionali in modo tale che il segnale in uscita assuma la seguente espressione:

$$Vu=10(V_1+V_2)+V_3+6V_4$$

Soluzione

Una soluzione può essere quella di utilizzare un sommatore invertente con un amplificatore invertente a guadagno unitario collegato in cascata per l'inversione del segno. In Fig. 1 è riportato lo schema del circuito

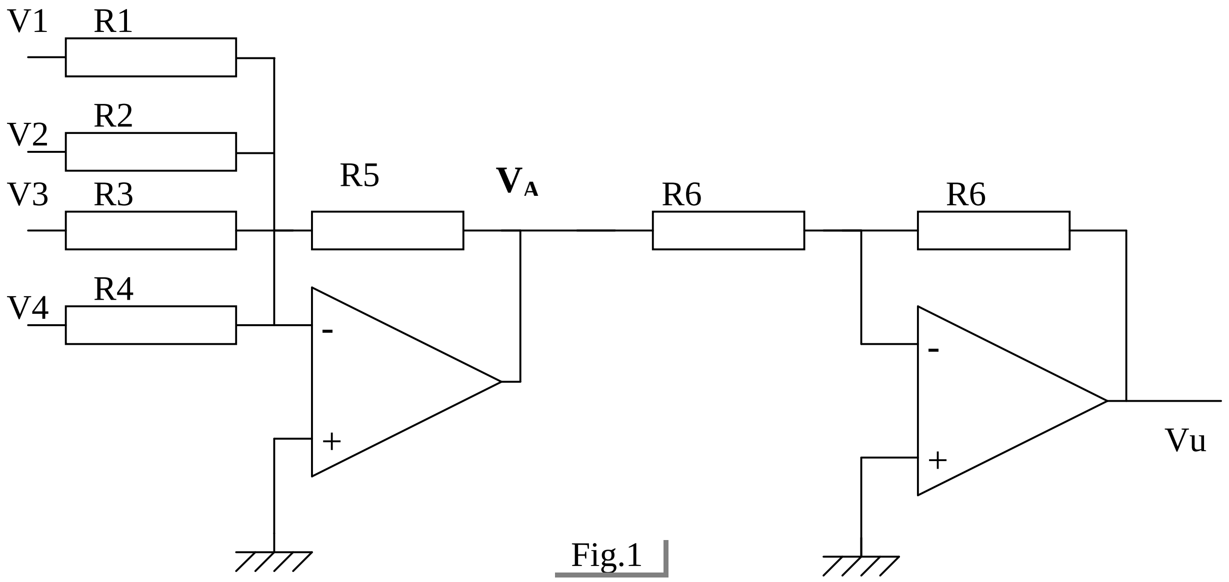


Fig.1

$$V_A=-\frac{R5}{R1}\bullet V1-\frac{R5}{R2}\bullet V2-\frac{R5}{R3}\bullet V3-\frac{R5}{R4}\bullet V4 \qquad V_U=-\frac{R6}{R6}\bullet V_A \qquad V_U=-V_A$$

$$\frac{R5}{R1}=10 \qquad \frac{R5}{R2}=10 \qquad \frac{R5}{R3}=1 \qquad \frac{R5}{R4}=6$$

$$R5=10K\Omega \qquad R1=1K\Omega \qquad R2=1K\Omega \qquad R3=10K\Omega \qquad R4=\frac{10}{6}=1{,}66K\Omega \qquad R6=10K\Omega$$

Esercizio 11

Dimensionare i componenti di un circuito realizzato con un solo amplificatore operazionale in modo tale che il segnale in uscita assuma la seguente espressione:

$$Vo = 2V_2 - 5V_1$$

Soluzione

Il circuito può essere realizzato utilizzando un amplificatore differenziale il cui schema circuitale è riportato in Fig. 1

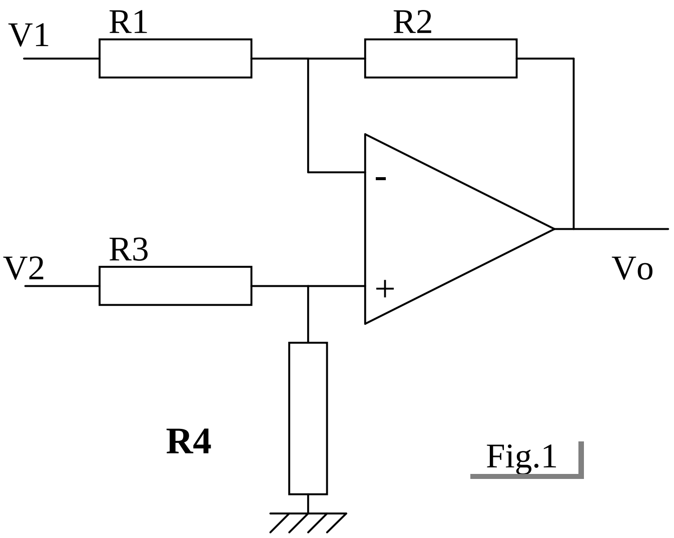


Fig.1

$$Vo = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet V^{+} - \frac{R2}{R1} \bullet V1$$

$$V^{+} = \frac{R4}{R3 + R4} \bullet V2$$

$$Vo = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \frac{R4}{R3 + R4} \bullet V2 - \frac{R2}{R1} \bullet V1$$

$$5 = \frac{R2}{R1}$$

R2=5 KΩ

R1=1 KΩ

$$2 = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \frac{R4}{R3 + R4} \qquad 2 = \left(1 + \frac{5 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3}\right) \frac{R4}{R3 + R4} \qquad 2 = 6 \frac{R4}{R3 + R4}$$

$$\frac{2}{6} = \frac{R4}{R3 + R4}$$

R4=2 KΩ

R3=4 KΩ

Esercizio 12

Si consideri lo schema a blocchi riportato in Fig.1; in ingresso è inviato un segnale sinusoidale con valore massimo pari a 100 mV.

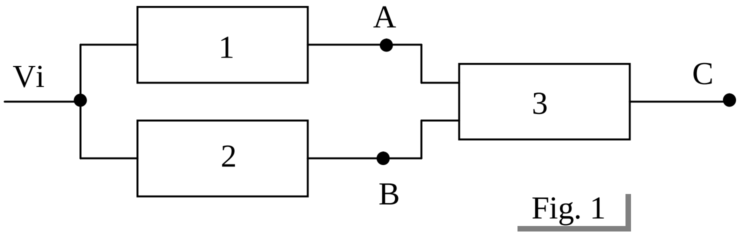


Fig. 1

Si desidera ottenere:

a) nel punto A una tensione di 300 mV in fase con la tensione d'ingresso;
b) nel punto B una tensione di 200 mV in opposizione di fase rispetto alla tensione d'ingresso;
c) nel punto C la differenza tra la tensione prelevata dal punto B e la tensione prelevata dal punto A.

Si richiede:

a) definire lo schema elettrico del circuito;
b) dimensionare i componenti;
c) tracciare i diagrammi temporali delle forme d'onda.

Soluzione

Punto a) : schema elettrico del circuito

Analisi blocco 1: una tensione in fase con la tensione d'ingresso nel punto A si ottiene utilizzando un amplificatore non invertente.

Analisi blocco 2: una tensione in opposizione di fase con la tensione d'ingresso nel punto B si ottiene utilizzando un amplificatore invertente.

Analisi blocco 3: la differenza tra le tensioni si ottiene utilizzando un amplificatore differenziale.

In Fig.2 è riportato lo schema elettrico del circuito

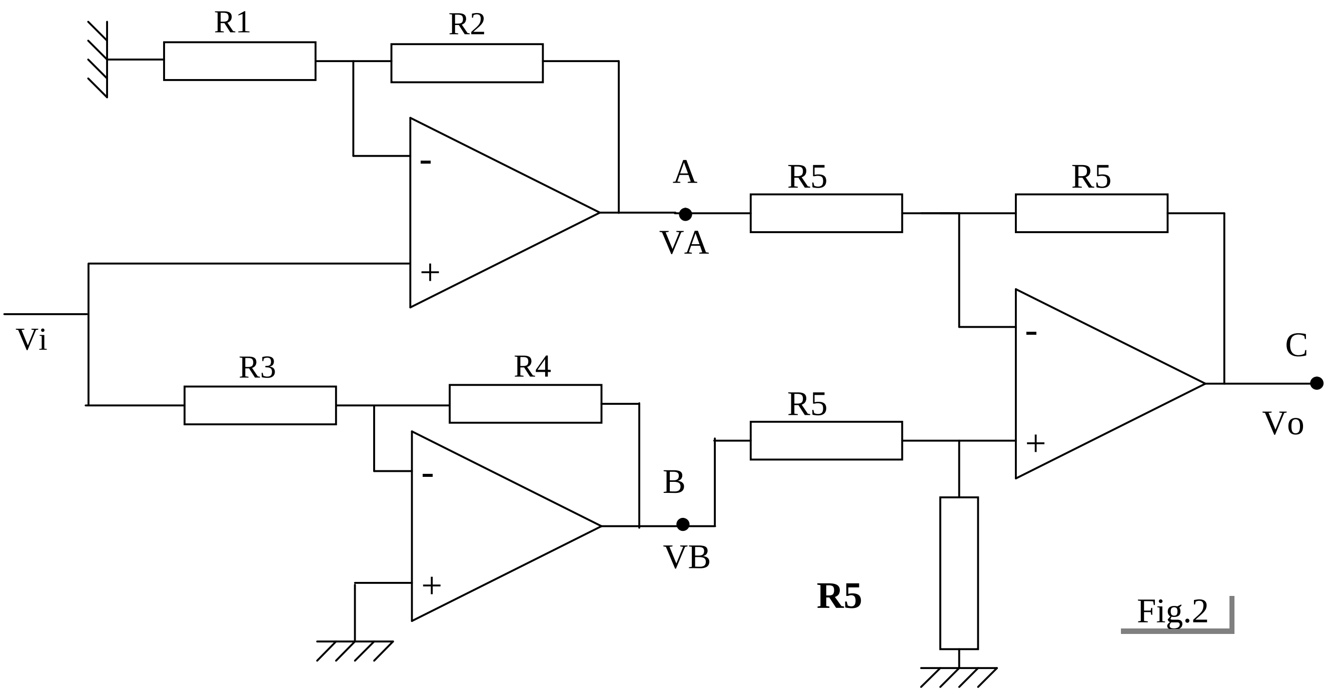


Fig.2

Punto b) : dimensionamento componenti

Dimensionamento blocco 1: amplificatore non invertente

$VA = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \bullet Vi$; dovendo risultare un guadagno pari a 3 $\quad \frac{VA}{Vi} = \frac{300mV}{100mV} = 3$

i resistori dovranno essere dimensionati in modo tale che sia verificata la relazione:

$$3 = 1 + \frac{R2}{R1} \Longrightarrow 2 = \frac{R2}{R1}$$

R2=2 KΩ

R1=1 KΩ

Dimensionamento blocco 2: amplificatore invertente

$VB = -\frac{R4}{R3} \bullet Vi$; dovendo risultare un guadagno pari a 2 $\quad \frac{VB}{Vi} = \frac{200mV}{100mV} = 2$

i resistori dovranno essere dimensionati in modo tale che sia verificata la relazione:

$$2 = \frac{R2}{R1} \Longrightarrow 2 = \frac{R2}{R1}$$

R2=2 KΩ

R1=1 KΩ

Dimensionamento blocco 3: amplificatore differenziale

$Vo = VB - VA$; si pone R5=1 KΩ, il segnale d’uscita assume valore massimo pari a:

$$Vo = -200mV - 300mV = -500mV$$

Punto c) : diagrammi temporali (Fig.3)

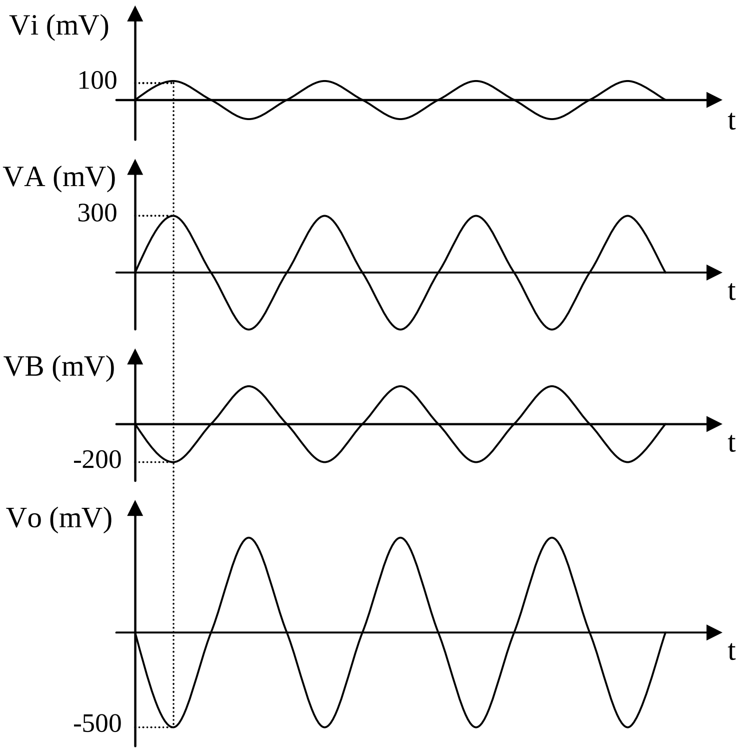


Fig.3

Esercizio 13

Dimensionare i componenti di un circuito realizzato con operazionali in modo tale che il segnale in uscita assuma la seguente espressione:

$$Vu=2V_1-5V_2-3V_3$$

Essendo V_1, V_2 e V_3 i segnali d'ingresso.
Rappresentare inoltre la forma d'onda d'uscita nell'ipotesi che il segnale V_1 sia sinusoidale d'ampiezza pari a 8V e che i segnali V_2 e V_3 siano continui d'ampiezza pari rispettivamente a 200 mV e 500 mV. Supporre che l'operazionale sia alimentato a ±12V con tensione di saturazione V_{sat}=±10V

Soluzione

In Fig.1 è riportato una possibile soluzione.

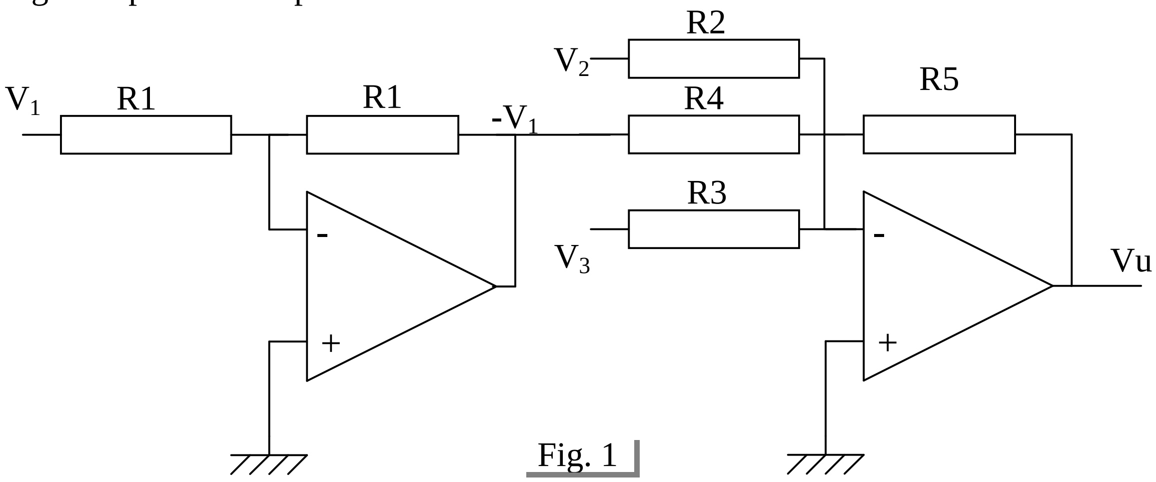


Fig. 1

$$Vu=-\frac{R5}{R4}(-V_1)-\frac{R5}{R2}V_2-\frac{R5}{R3}V_3$$

dal confronto con l'espressione assegnata si ottiene $\frac{R5}{R4}=2$ $\quad \frac{R5}{R2}=5$ $\quad \frac{R5}{R3}=3$
da cui si ricava:

$$R5=20K\Omega \qquad R4=10K\Omega \qquad R2=4K\Omega \qquad R3=6{,}67K\Omega \qquad R1=10K\Omega$$

In Fig. 2 è riportata la forma d'onda d'uscita correlata con le forme d'onda d'ingresso.
Dall'espressione assegnata $Vu=2V_1-5V_2-3V_3$ sostituendo i valori si ottiene

Vu=2õ(8senµt)-5õ0,2-3õ0,5=16senµt-2,5

quando **senµt=1 ➔ Vu= 13,5V** quando **senµt= -1 ➔ Vu= -18,5V**

siccome la tensione di saturazione $V_{sat}=\pm 10V$, è evidente come la forma d'onda sia tagliata a $V_{sat}=\pm 10V$

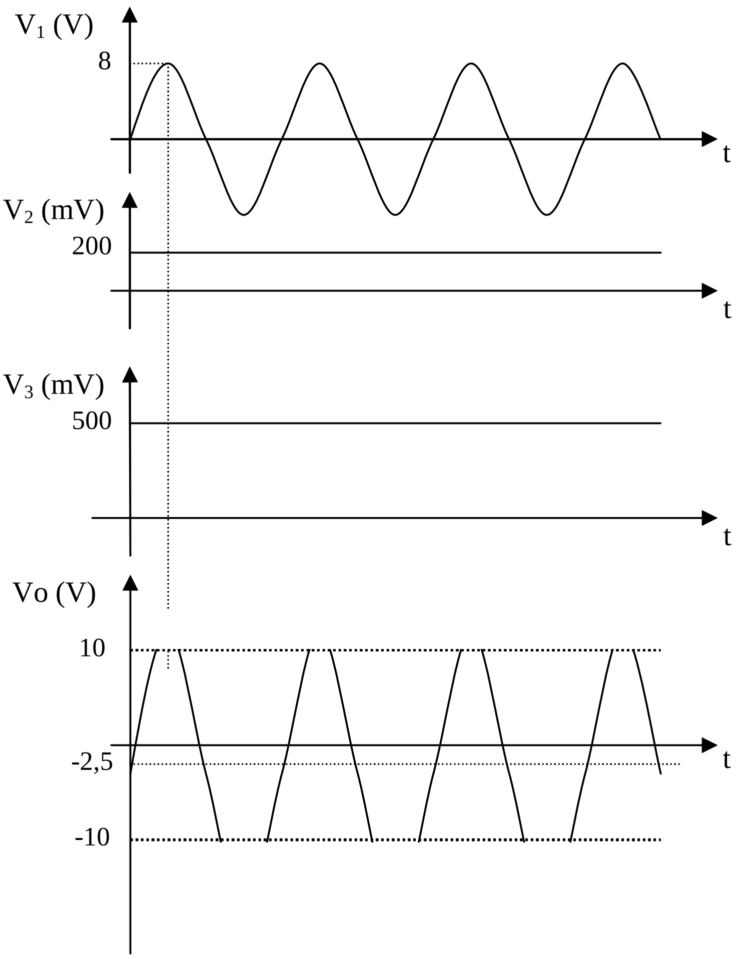
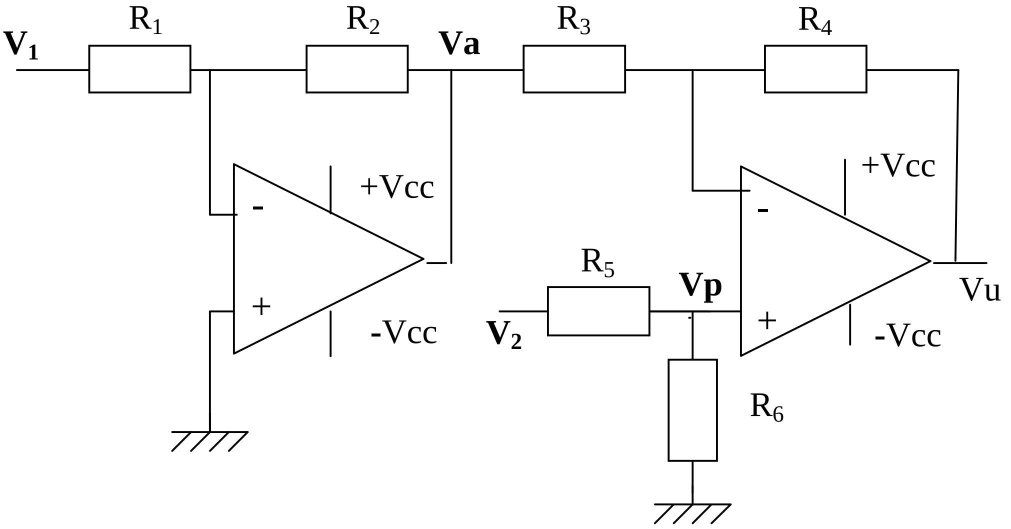


Fig.2

Esercizio 14

Dato il circuito di figura 1, si determini:

1) le tensioni Va e V_p;
2) Il grafico della tensione Vu correlato alla tensione V_1.



Dati:
R_1=10KΩ
R_2=12KΩ
R_3=18KΩ
R_4=10KΩ
R_5=18KΩ
R_6=10KΩ

Vcc=±15V
Vsat=±12V
V_1=3senωt [V]
V_2=5V

Fig. 1

Soluzione

1) 1° Stadio (Amplificatore invertente) (Fig.2)

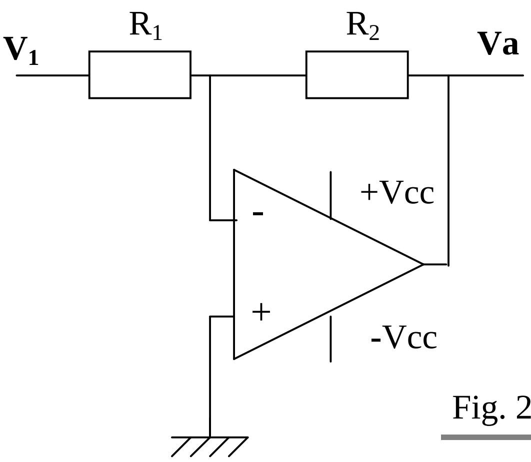


Fig. 2

$$Va = -\frac{R_2}{R_1} \bullet V_1 = -\frac{12 \bullet 10^3}{10 \bullet 10^3} \bullet 3sen\mu t$$

$$Va = -1{,}2 \bullet 3sen\mu t$$

$$Va = -3{,}6sen\mu t$$

2) 2° Stadio (Amplificatore differenziale) (Fig.3)

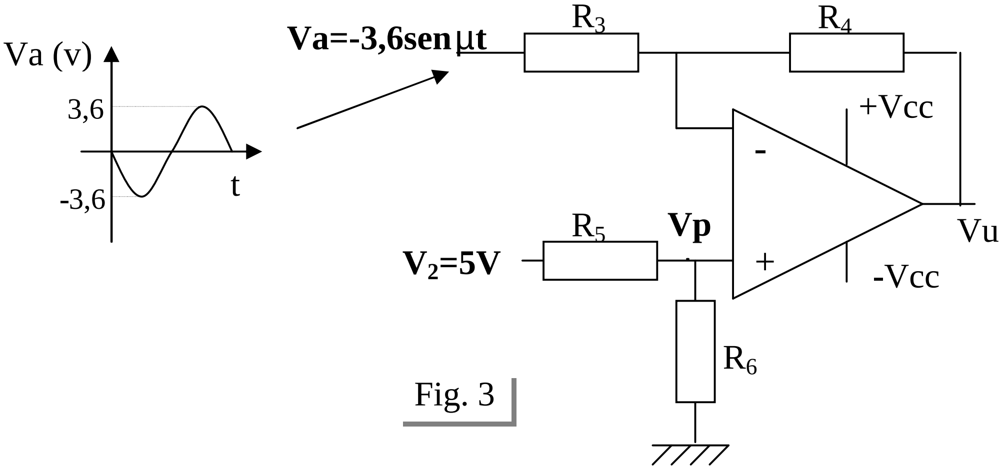


Fig. 3

$$Vp = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \bullet V_2 = \frac{10 \bullet 10^3}{(18+10) \bullet 10^3} \bullet 5 = \frac{10}{28} \bullet 5 = 1{,}786V$$

Siccome R_3=R_5; R_4=R_6

$$Vu = \frac{R_4}{R_3}(V_2 - V_a) = \frac{10 \bullet 10^3}{18 \bullet 10^3}(5-(-3{,}6sen\mu t)) = \frac{10}{18} \bullet 5 + \frac{10}{18} \bullet 3{,}6sen\mu t$$

$$Vu = 2{,}77 + 2sen\mu t$$

In Fig. 4 è riportata la forma d'onda Vu correlata con le forma V_1.
Il valore 2,77 rappresenta il valore medio del segnale d'uscita.

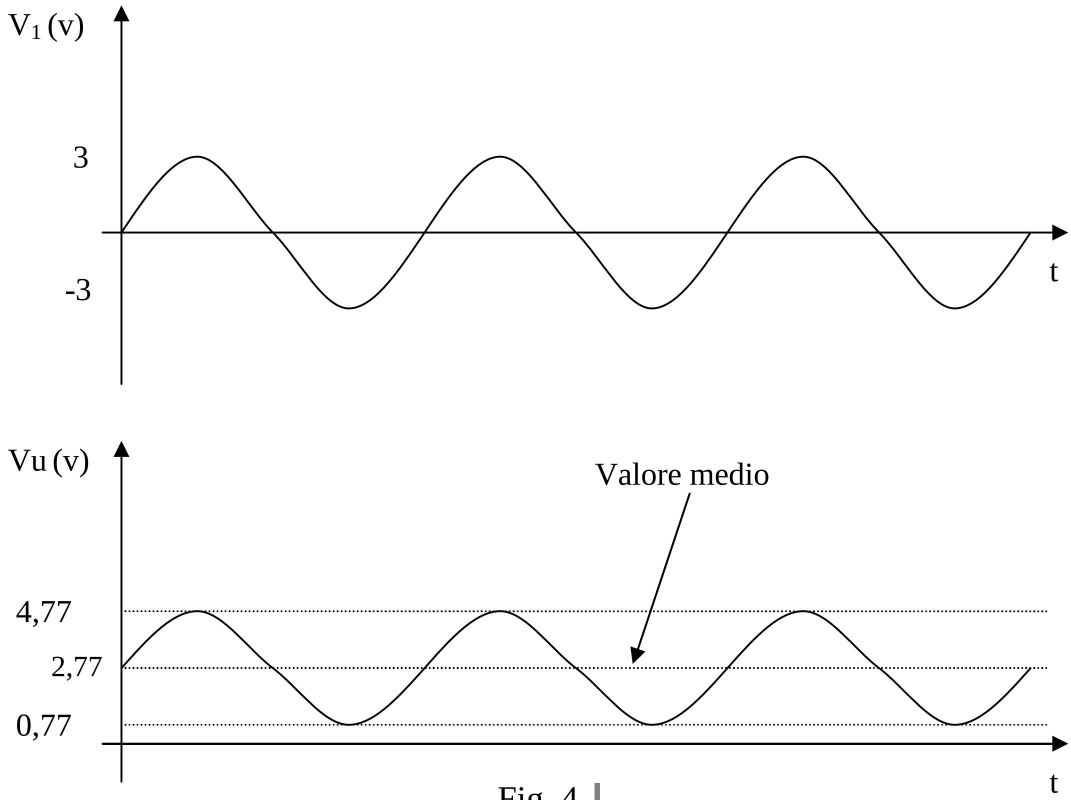


Fig. 4

Esercizio 15

Dato il circuito di figura 1, si determini:

3) le tensioni V_1 e V_u;
4) Il grafico della tensione Vu correlato alle tensioni V_1 e V_2

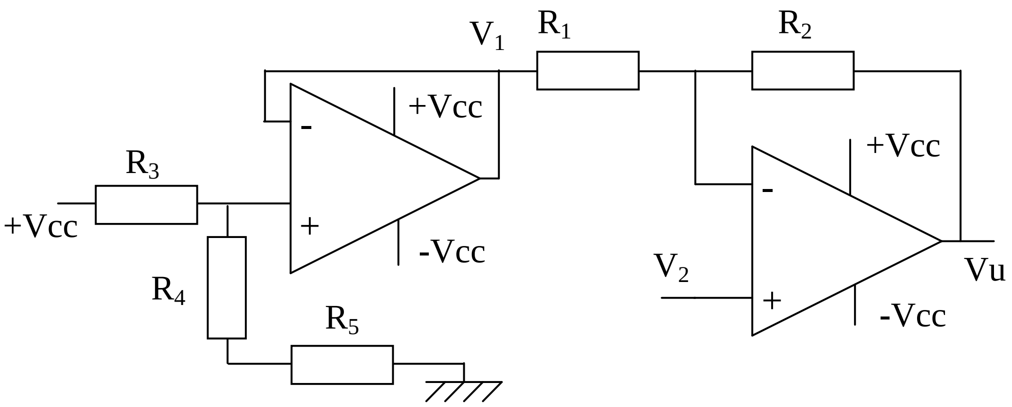


Fig. 1

Dati:
R_1=47KΩ
R_2=47KΩ
R_3=33KΩ
R_4=33KΩ
R_5=33KΩ
Vcc=±12V
Vsat=±10V
V_2=2senωt

Soluzione

1) 1° Stadio (Amplificatore non invertente) (Fig.2)

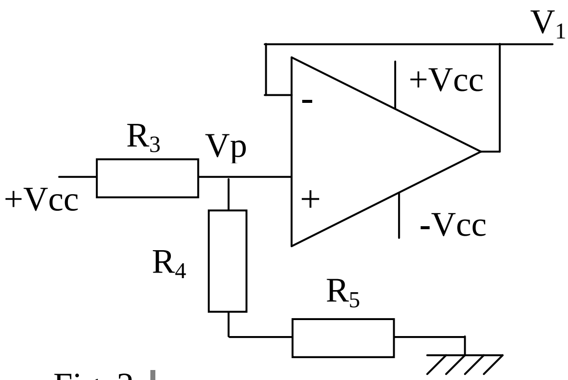


Fig. 2

$$V_1 = Vp = \frac{Vcc}{R_3 + R_4 * R_5} \bullet (R_4 + R_5)$$

$$V1 = Vp = \frac{12}{(33+33+33) \bullet 10^3} \bullet (33+33) \bullet 10^3$$

$$V_1 = 8V$$

2) 2° Stadio (Amplificatore differenziale) (Fig.3)

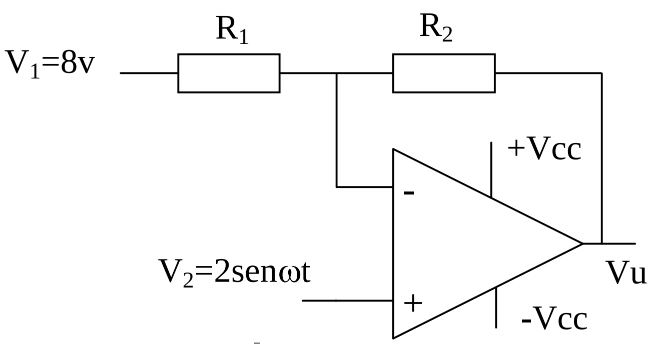


Fig. 3

$$Vu = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \bullet V_2 - \frac{R_2}{R_1} \bullet V_1$$

$$Vu = (1 + \frac{47 \bullet 10^3}{47 \bullet 10^3}) \bullet 2sen\mu t - \frac{47 \bullet 10^3}{47 \bullet 10^3} \bullet 8$$

$$Vu = (1+1) \bullet 2sen\mu t - 1 \bullet 8$$

$$Vu = 4sen\mu t - 8$$

In Fig. 4 è riportata la forma d’onda Vu correlata con le forma V_1.

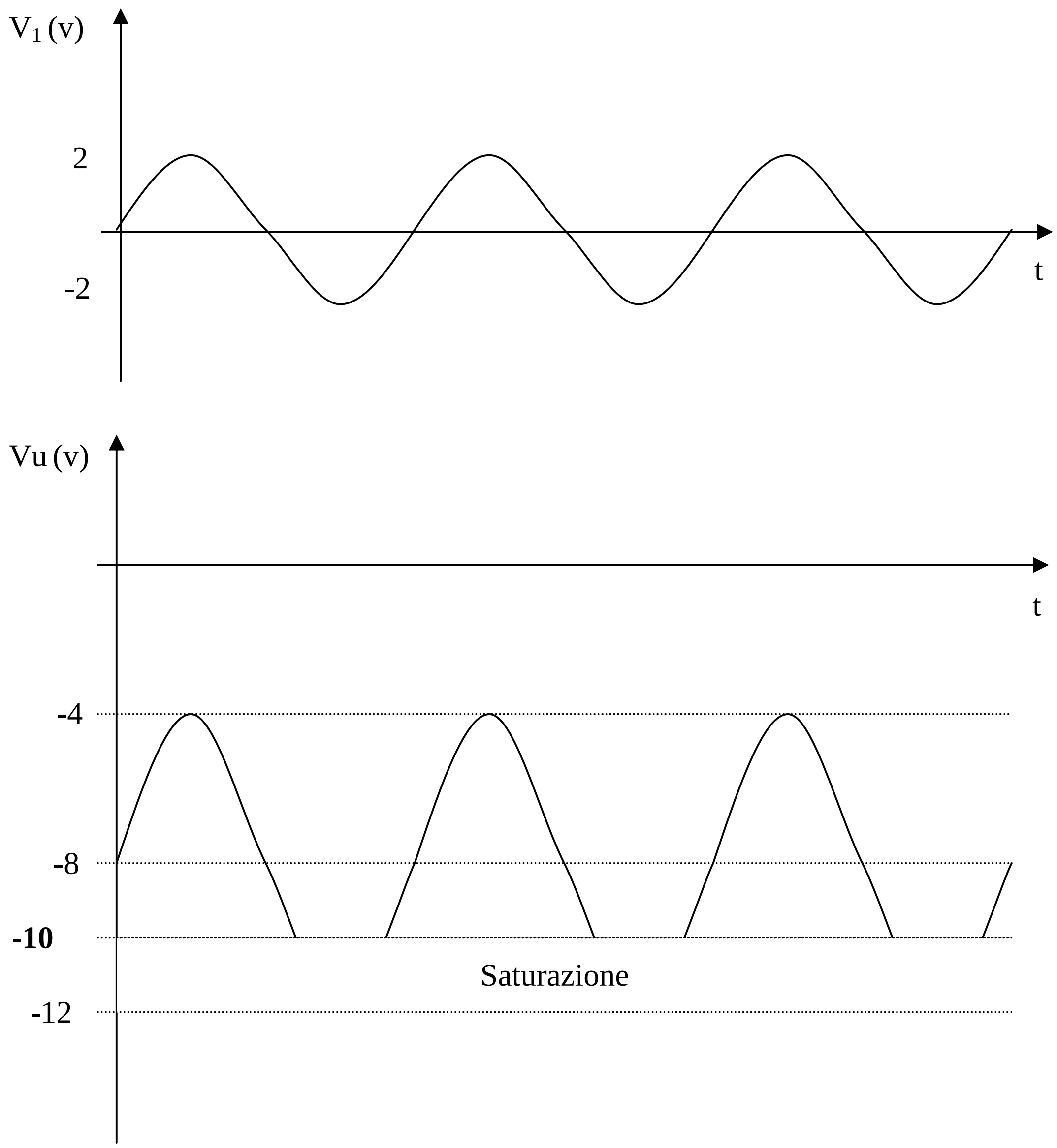


Fig. 4

Esercizio 16

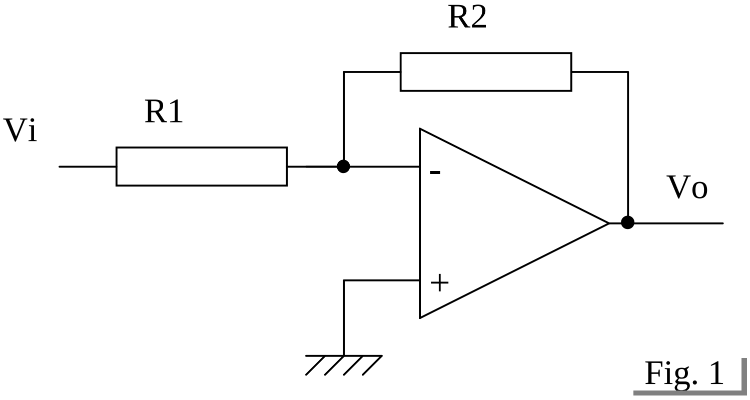
Dimensionare un Amplificatore Invertente con guadagno G=-10

Disegnare l'andamento nel tempo di Vi e Vo, quando all'ingresso e applicata un segnale sinusoidale di ampiezza 1Vp.

Calcolare il massimo valore di picco del segnale d'ingresso che garantisce il funzionamento lineare dell'A.O., sapendo che le tensioni di saturazione valgono ±Vsat=±11V.

Soluzione

In fig. 1 lo schema dell'amplificatore invertente.



$$Vo = -\frac{R2}{R1} \bullet Vi$$

Fig. 1

$G = -10$ $\qquad G = -\frac{R_2}{R_1}$ $\qquad -10 = -\frac{R_2}{R_1}$ $\qquad 10 = \frac{R2}{R1}$

R2=100 KΩ

R1=10 KΩ

$Vop = -10 \bullet Vi$ $\qquad Vop = -10V$

In Fig. 2 è riportata la forma d'onda Vo correlata con la forma d'onda Vi.

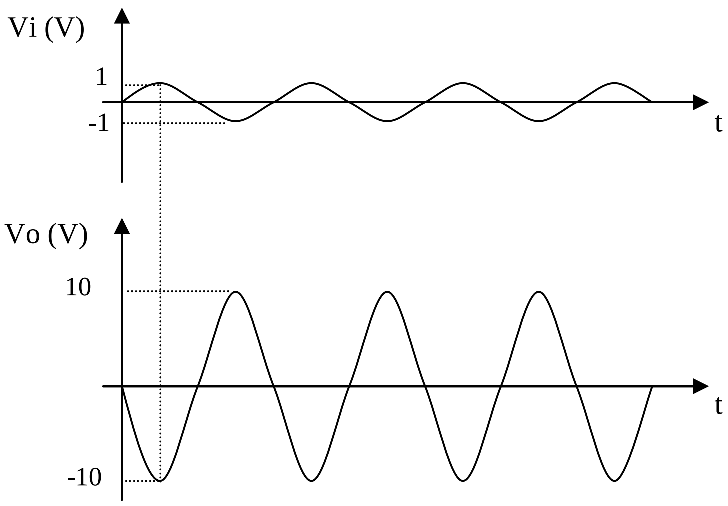


Fig.2

Calcolo massimo valore di picco del segnale d'ingresso che garantisce il funzionamento lineare dell'A.O

$$Vi\max = \frac{Vsat}{G} = \frac{\pm 11}{10} = \pm 1{,}1V$$

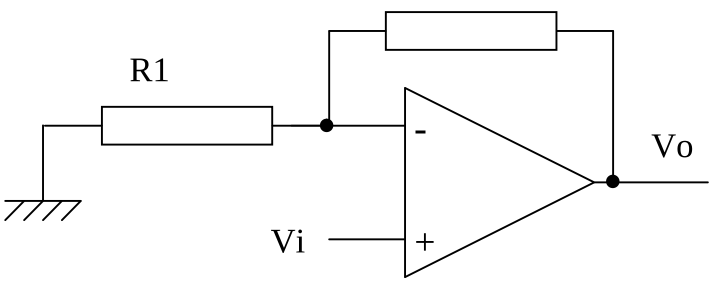
Esecuzione e sviluppo a cura di: *Korra Alban*, 5A_TIEN, A.S. 2010-2011

Esercizio 17

Dimensionare un amplificatore non invertente con guadagno G=5.
Disegnare l'andamento nel tempo di Vi e Vo quando all'ingresso è applicato un segnale sinusoidale di ampiezza 20 mVp.
Calcolare il massimo valore di picco del segnale d'ingresso che garantisce il funzionamento lineare dell'amplificatore, sapendo che le tensioni di saturazione valgono ±Vsat=±10V.

Soluzione

In fig. 1 lo schema dell'amplificatore non invertente.



$$Vo = (1 + \frac{R2}{R1}) \bullet Vi$$

Fig. 1

$G = 5$ $\quad G = (1 + \frac{R_2}{R_1})$ $\quad 5 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ $\quad 4 = \frac{R2}{R1}$

R2=40 KΩ

R1=10 KΩ

$Vop = G \bullet Vi$ $\quad Vop = 5 \bullet 20 \bullet 10^3$ $\quad Vop = 100mV$

In Fig. 2 è riportata la forma d'onda Vo correlata con la forma d'onda Vi.

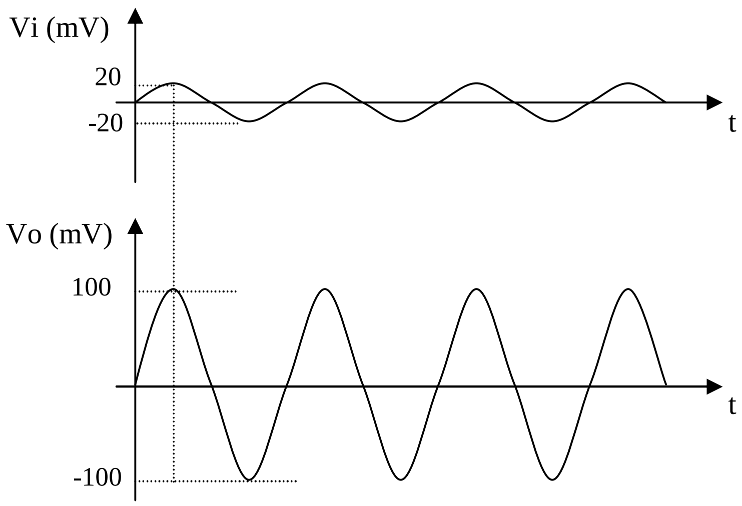


Fig.2

Calcolo massimo valore di picco del segnale d'ingresso che garantisce il funzionamento lineare dell'A.O

$$Vi\max = \frac{Vsat}{G} = \frac{\pm 10}{5} = \pm 2V$$

Esecuzione e sviluppo a cura di: *Neroni Leonardo*, 5A_TIEN, A.S. 2010-2011

Esercizio 18

L'amplificatore invertente di fig.1 è pilotato da un generatore di tensione Vi=1,2 sen ωt [V] avente resistenza interna Rg=50Ω.
L'amplificatore è caricato tra uscita e massa da una resistenza R_L=1 K.Ω.
Imponendo che la corrente massima erogata dal generatore Vi sia di 2 mA e che si desidera una tensione di uscita di ampiezza 4V determinare:

1) Le resistenze R_1 e R_2
2) La corrente I erogata dall'amplificatore operazionale
3) La potenza dissipata su R_L

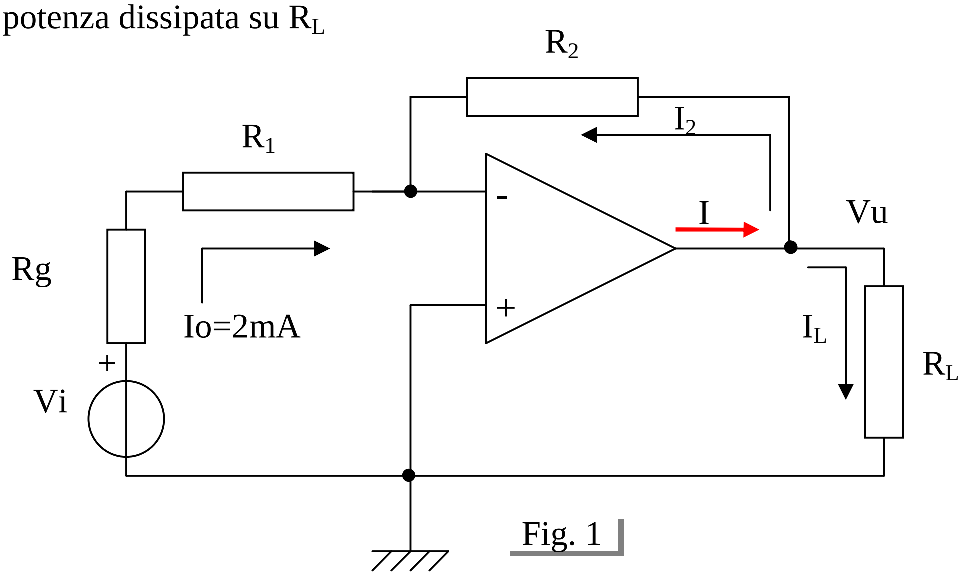


Fig. 1

Soluzione

1) Calcolo resistenze R_1 e R_2

$$Vu = -\frac{R2}{R1+Rg} \bullet Vi \qquad -4 = -\frac{R2}{R1+Rg} \bullet 1{,}2 \qquad \frac{4}{1{,}2} = \frac{R2}{R1+Rg}$$

R2=40 KΩ R1+Rg=12 KΩ R1=12000-50=11950Ω
R1=11,95KΩ

2) Calcolo corrente I erogata dall'amplificatore operazionale

$$IL = \frac{Vu}{RL} = \frac{4}{1 \bullet 10^3} = 4mA \qquad I2 = Io = 2mA$$

$$I = IL + I2 = 4 \bullet 10^{-3} + 2 \bullet 10^{-3} = 6mA$$

3) Calcolo potenza dissipata sul carico RL

$$P_{RL} = V_U \bullet I_L = 4 \bullet 4 \bullet 10^{-3} = 16mW$$

Esecuzione e sviluppo a cura di: *Korra Alban*, 5A_TIEN, A.S. 2010-2011

Esercizio 19

Progettare un amplificatore differenziale con guadagno 24 dB.

Soluzione

In fig. 1 lo schema dell'amplificatore differenziale.

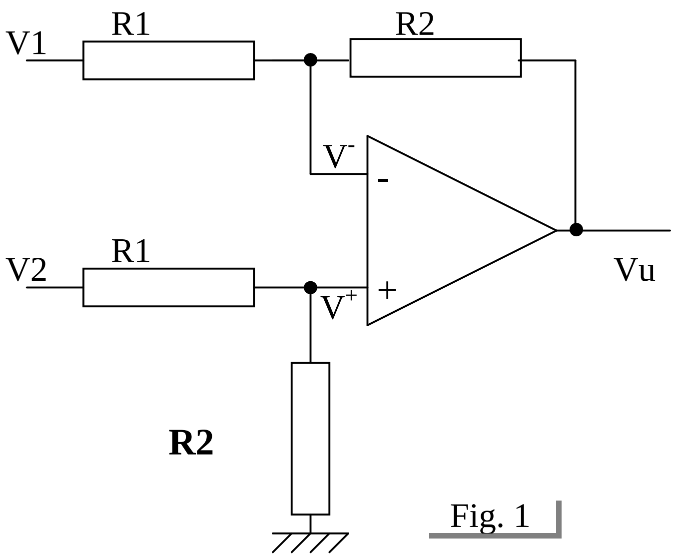


Fig. 1

$$Vu = \frac{R_2}{R_1} \bullet (V2 - V1)$$

$$G = \frac{R_2}{R_1} = 24dB$$

$$G_{dB} = 20 \log_{10} G$$

$$\frac{G_{dB}}{20} = \log_{10} G$$

$$10^{\frac{GdB}{20}} = G$$

$$10^{\frac{24}{20}} = G = 15{,}84$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 15{,}85 \quad \Rightarrow \quad 15{,}85 = \frac{R2}{R1}$$

R2=31,7 KΩ

R1=2 KΩ

Esercizio 20

Con un voltmetro DC da 10Vfs (fondo scala) si vuole misurare una tensione da 0 a 100mV.
Progettare un opportuno amplificatore utilizzando un operazionale.

Soluzione

Per non caricare il circuito si utilizza la configurazione non invertente che presenta una elevata (idealmente infinita) resistenza d'ingresso.
In fig. 1 lo schema dell'amplificatore non invertente.

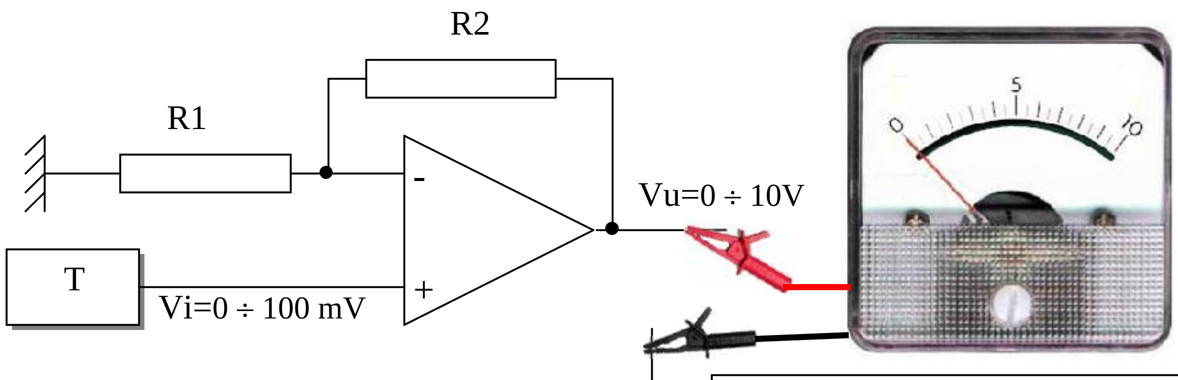


Fig. 1

Per la misura moltiplicare il valore letto per 10.
Es. valore letto 5, Vi=5*10=50mV

$$Vu = \left(1+\frac{R2}{R1}\right)\bullet Vi \qquad G = \left(1+\frac{R2}{R1}\right) \qquad G = \frac{Vu\max}{Vi\max} = \frac{10}{100\bullet 10^{-3}} = 100$$

$$100 = \left(1+\frac{R2}{R1}\right) \qquad 99 = \frac{R2}{R1}$$

R2=99 KΩ

R1=1 KΩ

Per la taratura la resistenza R2 deve essere variabile, si sostituisce la resistenza R2 con il gruppo Rx + P. (Fig.2)

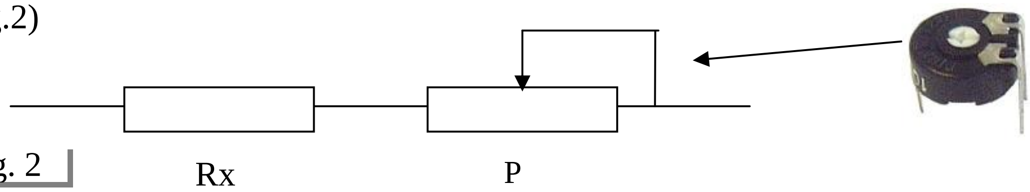


Fig. 2

$R2 = Rx + \frac{P}{2} \cong 99K\Omega$ Si sceglie **P=100K t** $Rx = R2 - \frac{P}{2} = 49K\Omega$ Valore commerciale **47 K t**

Con questa composizione si ottiene una R2 variabile da 47 KΩ a 147 KΩ

In Fig. 3 lo schema completo.

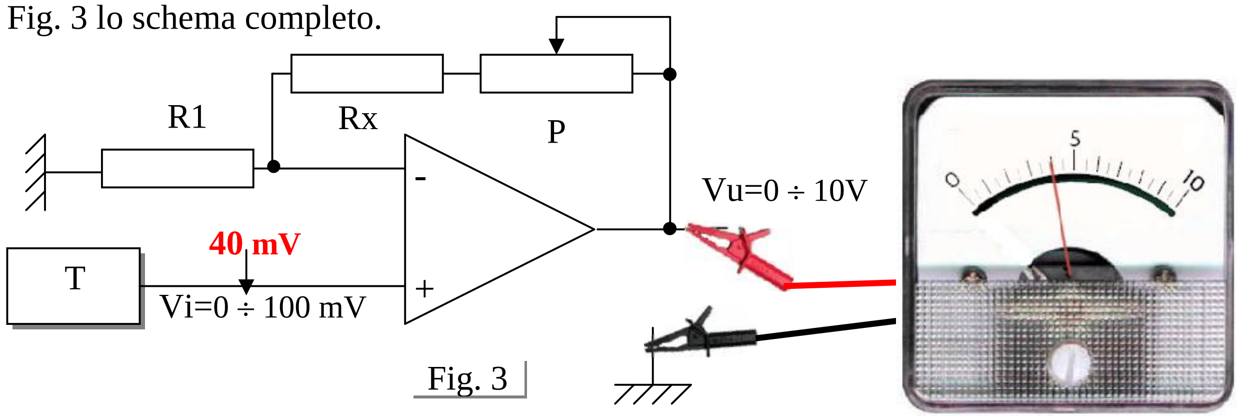


Fig. 3

Esecuzione e sviluppo a cura di: *Di Salvia Walter*, 5A_TIEN, A.S. 2010-2011

Esercizio 21

Dato il circuito di figura 1, determinare:

1. l'espressione matematica del segnale Vp, il guadagno di tensione intrinseco $Av = \frac{Vu}{Vp}$;
2. il guadagno in dB totale del circuito $Avs = \frac{Vu}{Vi}$;
3. la tensione di uscita Vu, la corrente I1 e la corrente Io erogata dall'operazionale;
4. la potenza dissipata sul carico RL;
5. disegnare il grafico del segnale di uscita correlato al segnale Vi.

Dati:
R1= 1 KΩ
R2=10 KΩ
R3=1,2 KΩ
R4=1,8 KΩ
RL= 2 KΩ
Vi=0,5senωt [V]

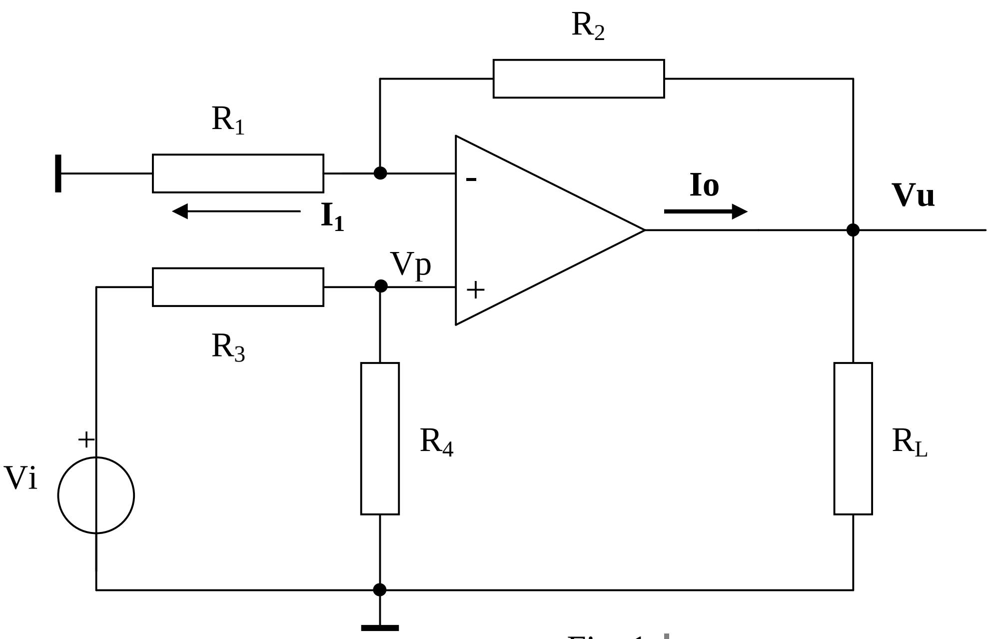


Fig. 1

Soluzione

Calcolo Vp

$$Vp = \frac{Vi}{R_3 + R_4} \bullet R_4 = \frac{0{,}5sen\mu t}{1{,}2 \bullet 10^3 + 1{,}8 \bullet 10^3} \bullet 1{,}8 \bullet 10^3 = 0{,}3sen\mu t \qquad [V]$$

$$\boxed{Vp = 0{,}3sen\mu t \qquad [V]}$$

Calcolo guadagno di tensione intrinseco $Av = \frac{Vu}{Vp}$

$$Vu = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \bullet Vp \qquad Av = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3} \qquad Av = 1 + 10$$

$$\boxed{Av = 11}$$

Calcolo guadagno in dB totale del circuito $Avs = \frac{Vu}{Vi}$

$$Vu = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3 + R_4}Vi \qquad Avs = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{R_4}{R_3 + R_4} \qquad Avs = \left(1 + \frac{10 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3}\right)\frac{1{,}8 \bullet 10^3}{1{,}2 \bullet 10^3 + 1{,}8 \bullet 10^3}$$

$$Avs = (1 + 10) \bullet 0{,}6 = 6{,}6 \qquad Avs = 6{,}6 \qquad Avs_{dB} = 20\log 6{,}6 = 16{,}39dB$$

$$\boxed{Avs_{dB} = 20\log 6{,}6 = 16{,}39dB}$$

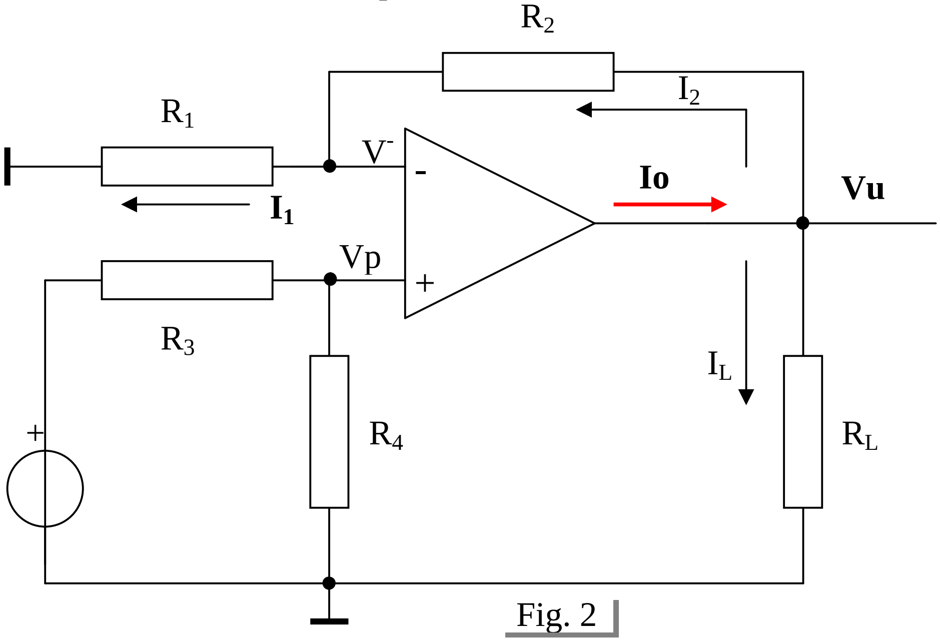
Calcolo Vu

$$Vu = Avs \bullet Vi = 6{,}6 \bullet 0{,}5sen\mu t = 3{,}3sen\mu t \qquad [V]$$

$$\boxed{Vu = 3{,}3sen\mu t \qquad [V]}$$

Calcolo Corrente I_1

In Fig. 2 lo schema elettrico in cui sono riportati tutti i versi delle correnti.



$V^- = Vp$

Fig. 2

$$I_1 = \frac{V^- - 0}{R_1} = \frac{Vp}{R_1} = \frac{0{,}3 sen \mu t}{1 \bullet 10^3} = 0{,}3 sen \mu t \quad [mA]$$

$$I_1 = 0{,}3 sen \mu t \quad [mA]$$

Calcolo Corrente Io (corrente erogata dall'amplificatore operazionale)

$$I_L = \frac{Vu}{R_L} = \frac{3{,}3 sen \mu t}{2 \bullet 10^3} = 1{,}65 sen \mu t \quad [mA]$$

$$I_2 = \frac{Vu - Vp}{R_2} = \frac{3{,}3 sen \mu t - 0{,}3 sen \mu t}{10 \bullet 10^3} = 0{,}3 sen \mu t \quad [mA]$$

$$I_0 = I_L + I_2 = 1{,}65 sen \mu t + 0{,}3 sen \mu t = 1{,}95 sen \mu t \quad [mA]$$

Calcolo potenza massima dissipata sul carico RL

$$P_{RL} = Vu \bullet I_L = 3{,}3 \bullet 1{,}65 \bullet 10^{-3} = 5{,}445 mW$$

Grafico del segnale di uscita correlato al segnale Vi

In Fig. 3 il grafico del segnale di uscita correlato al segnale Vi.

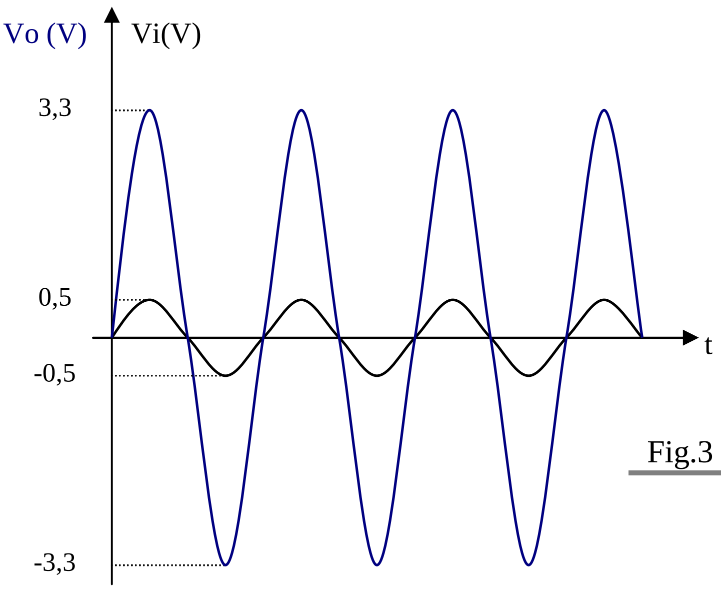


Fig.3

Esercizio 22

Nel circuito di Fig. 1 sono noti:
R_1= 47 kΩ; R_2= 56 kΩ; Vi (t) = 5 sen ωt [V]; V_2 = 15 V.
Determinare i valori delle resistenze R_A e R_B in cui resta diviso il potenziometro R_P=100 kΩ in modo che la tensione di uscita sia positiva con valore minimo V_{om} =0 V.
In tali condizioni si determini, inoltre, il valore massimo della tensione di uscita V_{OM} e il valore massimo della corrente erogata dal generatore Vi.

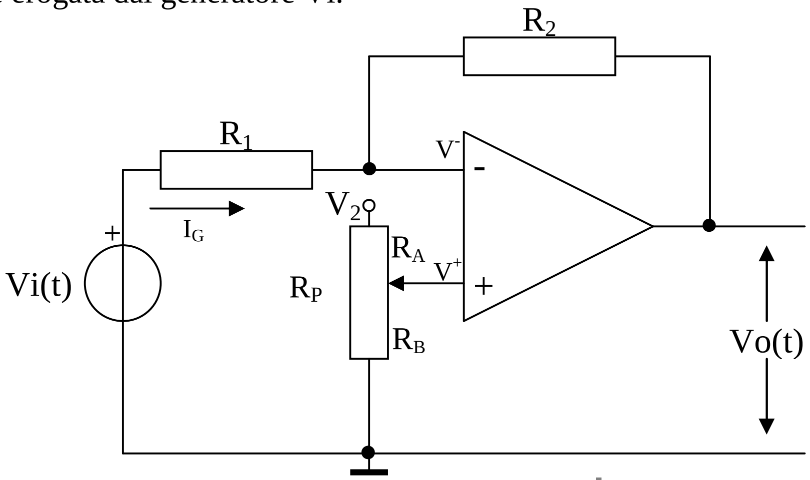


Fig. 1

Soluzione

Calcolo R_B, R_A

Il circuito di Fig. 1 rappresenta una configurazione differenziale, si applica il principio di sovrapposizione degli effetti e si ricava l'espressione di Vo(t).

$$V_0(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \bullet V^+ - \frac{R_2}{R_1} * Vi(t) \qquad V^+ = \frac{V_2}{R_{A+}R_B} \bullet R_B \qquad R_A + R_B = R_P$$

$$V_0(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \bullet \frac{V_2}{R_p} \bullet R_B - \frac{R_2}{R_1} \bullet Vi(t)$$

Affinché la tensione di uscita sia positiva con valore minimo Vom= 0 V, si deve verificare la seguente relazione

$$0 = \left(1 + \frac{56 \bullet 10^3}{47 \bullet 10^3}\right) \frac{15 \bullet R_B}{100 \bullet 10^3} - \frac{56 \bullet 10^3}{47 \bullet 10^3} \bullet 5$$

Si pone Vo(t)=0V per Vi(t)=+5V (valore max di Vi(t)). Si sostituiscono i valori delle resistenze, il valore di V_2, si ricava R_B.

$$0 = (1 + 1{,}191) \frac{15 \bullet R_B}{100 \bullet 10^3} - 1{,}191 \bullet 5 \qquad 0 = \frac{0{,}3287 \bullet R_B}{10^3} - 5{,}9574$$

$$R_B = \frac{5{,}9574 \bullet 10^3}{0{,}3287} \cong 18 K\Omega \qquad R_A + R_B = R_P \qquad R_A = R_P - R_B = (100 - 18) \bullet 10^3 = 82 K\Omega$$

$$\boxed{R_B \cong 18 K\Omega} \qquad \boxed{R_A = 82 K\Omega}$$

Calcolo V_{OM}

$$V_{OM} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\bullet\frac{V_2}{R_p}\bullet R_B - \frac{R_2}{R_1}\bullet Vi(t)$$

Si pone Vi(t)=-5V (valore min di Vi(t)).
Si sostituiscono i valori delle resistenze, il valore di V_2, si ricava V_{OM}.

$$V_{OM} = \left(1+\frac{56\bullet10^3}{47\bullet10^3}\right)\frac{15\bullet18\bullet10^3}{100\bullet10^3} - \frac{56\bullet10^3}{47\bullet10^3}\bullet(-5) \qquad V_{OM} = (1+1{,}191)\frac{270}{100} + 5{,}955 = 11{,}87V$$

$$V_{OM} = 11{,}87V$$

Calcolo valore massimo della corrente erogata dal generatore Vi.

$$I_{GMax} = \frac{Vi_{Max} - V^-}{R_1} \qquad V^- = V^+ = \frac{V_2}{R_P}\bullet R_B = \frac{15}{100\bullet10^3}\bullet18\bullet10^3 = 2{,}7V \qquad V^- = 2{,}7V$$

$$I_{GMax} = \frac{5-2{,}7}{47\bullet10^3} = 48{,}94\text{«}A \qquad I_{GMax} = 48{,}94\text{«}A$$

Grafico del segnale di uscita correlato al segnale Vi (t) = 5 sen ωt e al segnale V_2=15V
In Fig. 3 il diagramma temporale dei segnali.

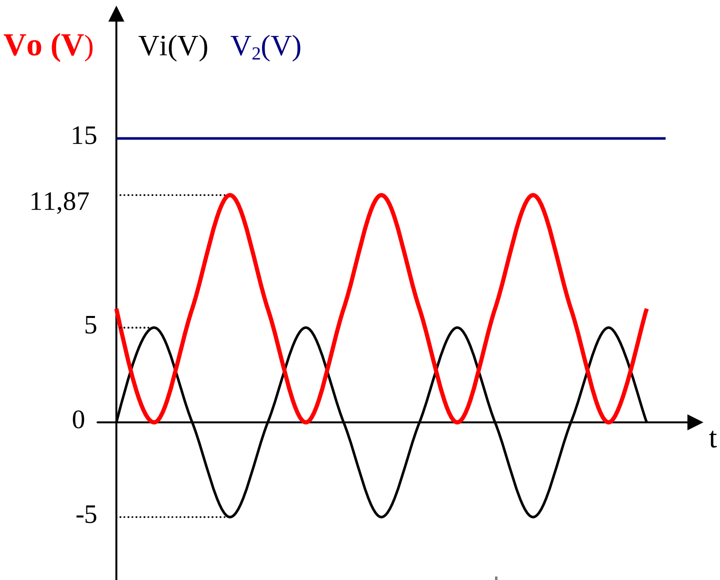


Fig.2

Esecuzione e sviluppo a cura di: *Suli Fatjon*, 5A_TIEN, A.S. 2010-2011

Esercizio 23

Calcolare il valore della tensione presente all'uscita del sommatore invertente di Fig.1.

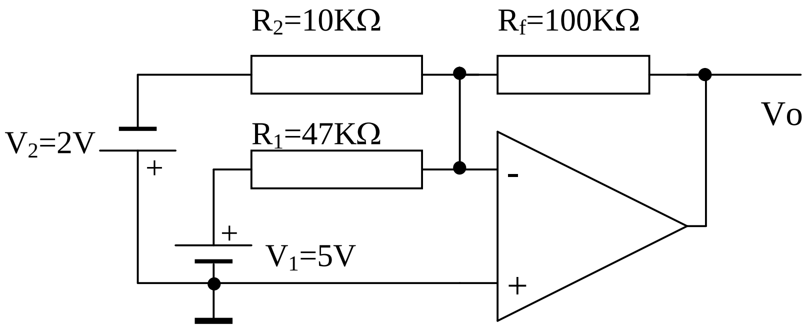


Fig.1

Soluzione

Si ricava l'espressione Vo e si sostituiscono i valori

$$Vo = -\frac{R_f}{R_1} \bullet V_1 - \frac{R_f}{R_2} \bullet V_2 \qquad Vo = -\frac{100 \bullet 10^3}{47 \bullet 10^3} \bullet 5 - \frac{100 \bullet 10^3}{10 \bullet 10^3} \bullet (-2) \qquad Vo = -10{,}64 + 20 \qquad \boxed{Vo = 9{,}36V}$$

Esercizio 24

Determinare l'andamento della tensione di uscita se V_1 è una tensione continua (V_1=0,5V) e V_2 un'onda quadra con escursione da -1V a 0V e frequenza 100Hz.

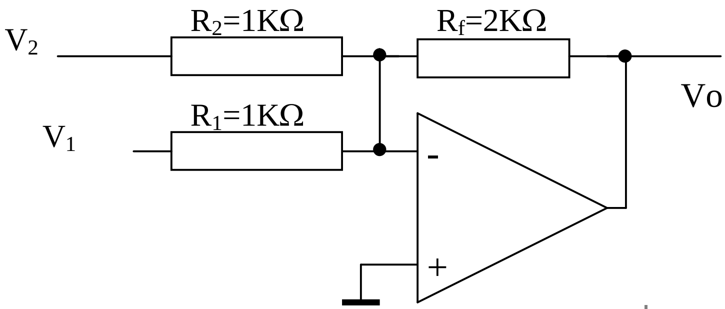


Fig.1

Soluzione

Si ricava l'espressione Vo e si sostituiscono i valori

$$Vo = -\frac{R_f}{R_1} \bullet V_1 - \frac{R_f}{R_2} \bullet V_2 \qquad Vo = -\frac{2 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3} \bullet 0{,}5 - \frac{2 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3} \bullet V_2 \qquad \boxed{Vo = -1 - 2 \bullet V_2}$$

In Fig. 2a il diagramma temporale dei segnali di ingresso, in Fig.2b il diagramma temporale del segnale di uscita.
Il diagramma di Vo è stato disegnato sostituendo i valori di V_2 nell'espressione di Vo.

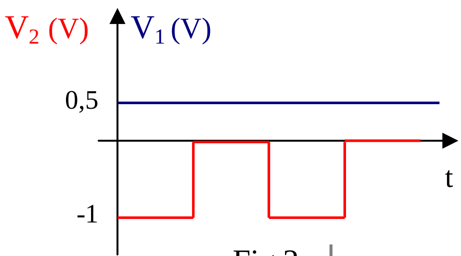


Fig.2a

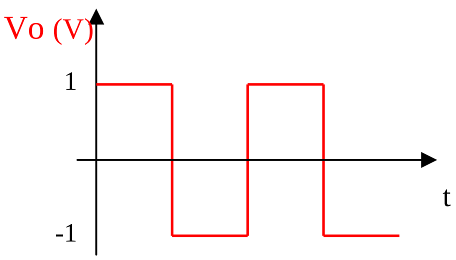


Fig.2b

Esercizio 25

In Fig. 1 si mostra un amplificatore operazionale ideale connesso in configurazione sommatore non invertente.

Calcolare le resistenze affinché:

- $V_u = V_1+V_2+V_3$
- $R_i = 15\ K\Omega$
- $R_1 + R_2 = 10\ K\Omega$ (R_i è la resistenza d'ingresso <<vista>> da ciascun generatore)

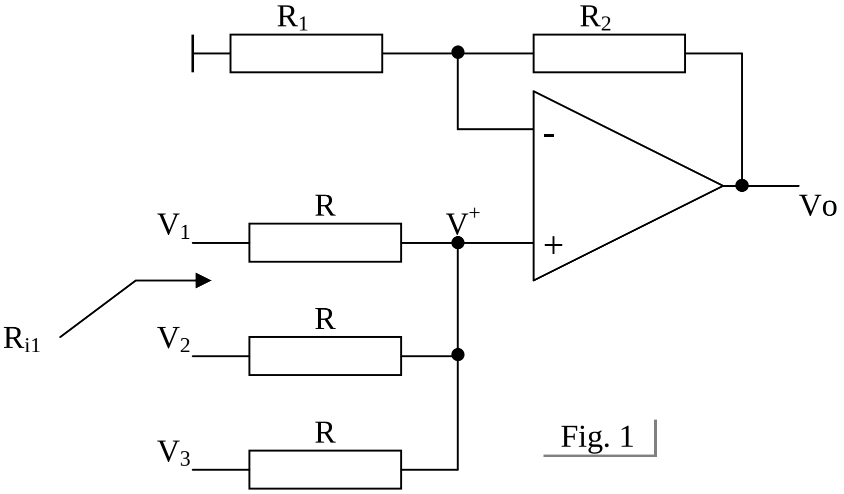


Fig. 1

Soluzione

Calcolo resistenze R_1 e R_2

$$V_0 = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\bullet V^+ \qquad V^+ = \frac{V_1+V_2+V_3}{3} \qquad V_0 = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\bullet \frac{V_1+V_2+V_3}{3}$$

Affinché l'uscita Vo sia uguale alla somma dei tre segnali ($Vo = V_1+V_2+V_3$) , il termine costante dell'espressione trovata deve essere uguale a 1.

$$\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\bullet\frac{1}{3}=1 \qquad 1+\frac{R_2}{R_1}=3 \qquad \frac{R_2}{R_1}=2$$

Per trovare il valore di R_2 e R_1 si imposta il sistema:

$$\begin{cases}\frac{R_2}{R_1}=2\\ R_1+R_2=10\bullet10^3\end{cases} \qquad \begin{cases}R_2=2R_1\\ R_1+2R_1=10\bullet10^3\end{cases}$$

$$R_1=\frac{10\bullet10^3}{3}=3{,}33K\Omega \qquad \boxed{R_1=3{,}33K\Omega} \qquad \boxed{R_2=6{,}66K\Omega}$$

Calcolo valore della Resistenza R

La resistenza d'ingresso Ri di ogni ingresso è la resistenza vista dal generatore d'ingresso quando gli altri ingressi sono collegati a massa.

$R_{i1}=R+R//R=15K\Omega$ R_{i1}=resistenza vista dal generatore V_1

$$R_1=R+\frac{R}{2}=15\bullet10^3 \qquad \frac{3R}{2}=15\bullet10^3 \qquad R=\frac{15\bullet10^3\bullet2}{3}=10K\Omega \qquad \boxed{R=10K\Omega}$$

Esercizio 26

Dall’ amplificatore sommatore invertente mostrato in Fig. 1 sono noti:

- $V_1 = 0{,}2$ sen (6280 t +30°), $V_2 = 2$ V;
- $R_1 = 1$ KΩ, $R_2 = 5$ KΩ, R = 10 KΩ.

Calcolare il valore massimo e minimo della tensione di uscita Vo e l’istante t_1 in cui V_u (t_1) = -5,5V.

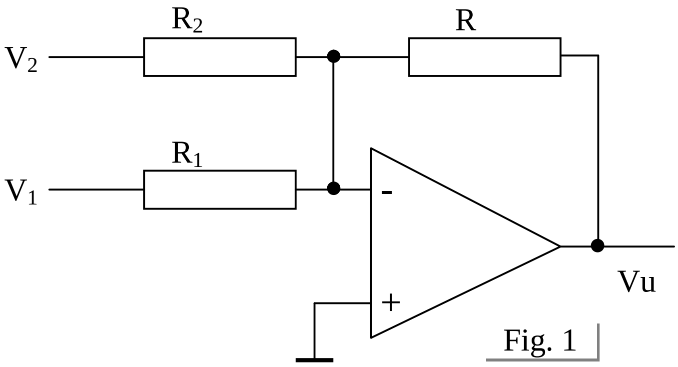


Fig. 1

Soluzione

Calcolo V_{uMax} e V_{umin}

$$V_u(t) = -\frac{R}{R_1} \bullet V_1 - \frac{R}{R_2} \bullet V_2 \qquad V_u(t) = -\frac{10 \bullet 10^3}{1 \bullet 10^3} \bullet 0{,}2 sen(6280t + 30°) - \frac{10 \bullet 10^3}{5 \bullet 10^3} \bullet 2$$

$$V_u(t) = -2 sen(6280t + 30°) - 4$$

Si ottiene V_{uMax} quando $sen(6280t + 30°) = -1$ quindi $V_{u\,Max} = -2(-1) - 4 = -2V$ $\boxed{V_{u\,Max} = -2V}$

Si ottiene V_{umin} quando $sen(6280t + 30°) = 1$ quindi $V_{u\,min} = -2(1) - 4 = -6V$ $\boxed{V_{u\,min} = -6V}$

Calcolo istante t_1 in cui Vu (t_1) = -5,5V

$$V_u(t_1) = -2 sen(6280 t_1 + \frac{\pi}{6}) - 4 \qquad -5{,}5 = -2 sen(6280 t_1 + \frac{\pi}{6}) - 4$$

$$\frac{-5{,}5 + 4}{-2} = sen(6280 t_1 + \frac{\pi}{6}) \qquad \frac{-5{,}5 + 4}{-2} = sen(6280 t_1 + \frac{\pi}{6}) \qquad 0{,}75 = sen(6280 t_1 + \frac{\pi}{6})$$

$$6280 t_1 + \frac{\pi}{6} = arcsen(0{,}75) \qquad t_1 = \frac{arcsen(0{,}75) - \frac{\pi}{6}}{6280} \cong 51{,}66 \mu s \qquad \boxed{t_1 \cong 51{,}66 \mu s}$$

In Fig. 2 il diagramma temporale dei segnali.

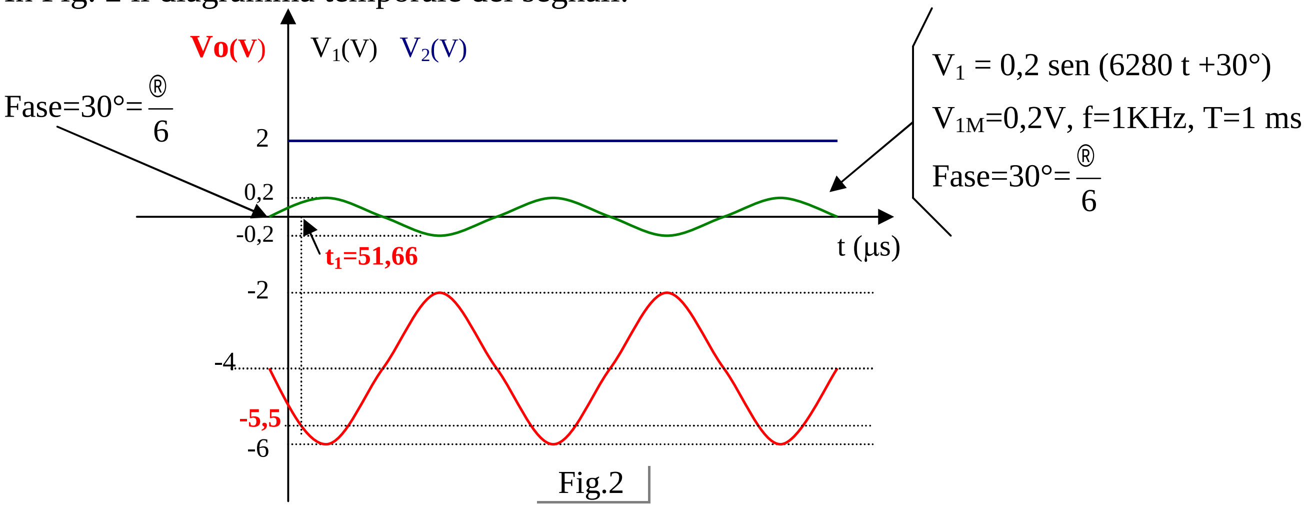


Fig.2

Esercizio 27

Determinare il guadagno di tensione dell'amplificatore invertente di Fig. 1 che fa uso di un operazionale ideale. Sono noti :

- R_1 = 10 KΩ, R_2 = 100 KΩ, R_3 = 1 KΩ, R_4 = 47 KΩ

Determinare inoltre, la tensione del punto A e quella di uscita sapendo che V_i = 20 mV.

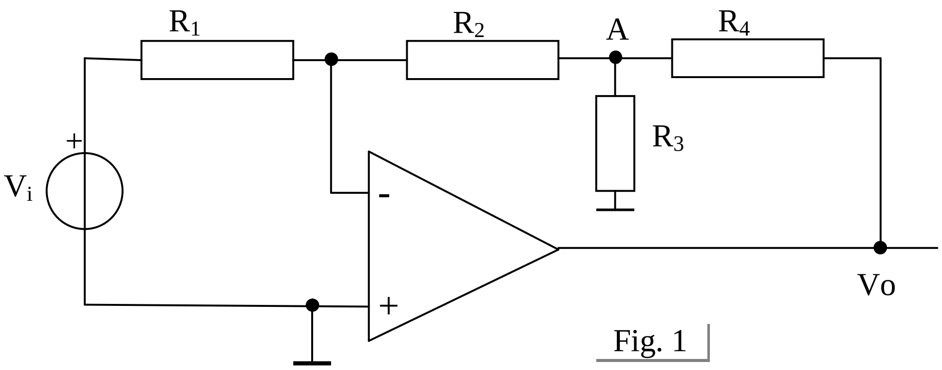


Fig. 1

Soluzione

In Fig.2 lo schema del circuito assegnato con il verso delle correnti.

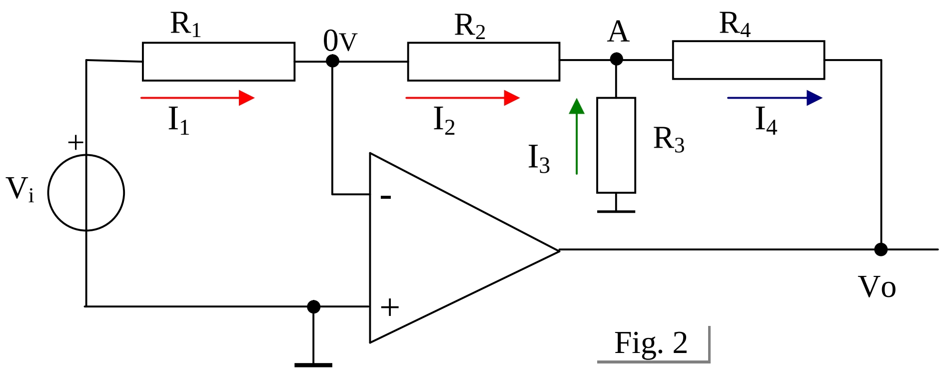


Fig. 2

Calcolo V_A, A_v, V_o

In base ai versi impostati si scrivono le espressione delle singole correnti e si imposta il sistema.

$$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_1} \qquad I_2 = \frac{0 - V_A}{R_2} \qquad I_3 = \frac{0 - V_A}{R_3} \qquad I_4 = \frac{V_A - V_o}{R_4}$$

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_4 = I_2 + I_3 \end{cases} \qquad \begin{cases} \dfrac{V_i}{R_1} = -\dfrac{V_A}{R_2} \\ \dfrac{V_A - V_o}{R_4} = -\dfrac{V_A}{R_2} + \dfrac{-V_A}{R_3} \end{cases} \qquad \begin{cases} V_A = -\dfrac{V_i \bullet R_2}{R_1} = \dfrac{-20 \bullet 10^3 \bullet 100 \bullet 10^3}{10 \bullet 10^3} = -0{,}2V \\ \dfrac{\dfrac{-V_i \bullet R_2}{R_1} - V_o}{R_4} = \dfrac{\dfrac{-V_i \bullet R_2}{R_1}}{R_2} + \dfrac{\dfrac{V_i \bullet R_2}{R_1}}{R_3} \end{cases}$$

$$\boxed{V_A = -0{,}2V}$$

$$-\frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_4} - \frac{V_o}{R_4} = +\frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_2} + \frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_3} \qquad -\frac{V_o}{R_4} = +\frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_2} + \frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_3} + \frac{V_i \bullet R_2}{R_1 \bullet R_4}$$

$$-\frac{V_o}{R_4} = \frac{V_i \bullet R_2}{R_1}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) \qquad V_o = -\frac{R_2 \bullet R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}\right) \bullet V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2 \bullet R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right) \qquad \boxed{A_v = -\frac{R_2 \bullet R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right)}$$

$$A_v = -\frac{100 \bullet 10^3 \bullet 47 \bullet 10^3}{10 \bullet 10^3}\left(\frac{1}{100 \bullet 10^3}+\frac{1}{1 \bullet 10^3}+\frac{1}{47 \bullet 10^3}\right)$$

$$A_v = -\frac{470 \bullet 10^3}{10^3}\left(\frac{1}{100}+\frac{1}{1}+\frac{1}{47}\right)$$

$$A_v = -470\left(\frac{47+4700+100}{4700}\right) \qquad \boxed{A_v = -484{,}7}$$

$$V_o = A_v \bullet V_i \qquad V_o = -484{,}7 \bullet 20 \bullet 10^{-3} = -9{,}69V \qquad \boxed{V_o = -9{,}69V}$$

Riepilogo

$$V_A = -\frac{V_i \bullet R_2}{R_1} \longrightarrow \boxed{V_A = -0{,}2V}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2 \bullet R_4}{R_1}\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}\right) \longrightarrow \boxed{A_v = -484{,}7}$$

$$V_o = A_v \bullet V_i \longrightarrow \boxed{V_o = -9{,}69V}$$

Il circuito di Fig.1 rappresenta un amplificatore invertente ad elevato guadagno, inoltre è possibile avere una resistenza d'ingresso elevata.