

Classe : **4A MAN - 5A IPAI**

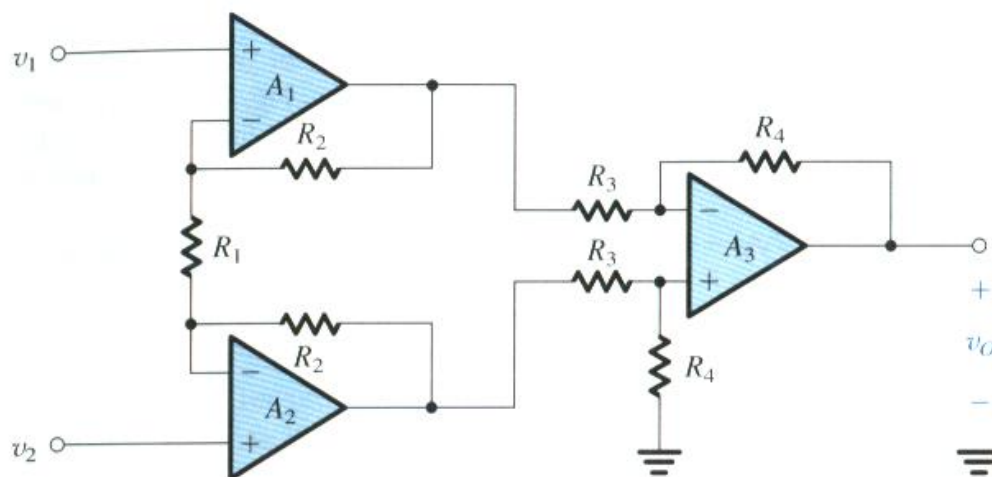
A.S. : 2021-2022

Docente : Prof. Franco Tufoni Codocente: Prof. Enrico Ruggieri

Disciplina : Tecnologie elettriche-elettroniche, dell'automazione e applicazioni

## Amplificatore per strumentazione

### Teoria ed Esercizi



(a)



Vers. 2.0

**Amplificatore per strumentazione - Generalità**

Un amplificatore da strumentazione (in inglese: *Instrumentation Amplifier*) è un amplificatore operazionale particolarmente adatto per amplificare i segnali provenienti dai trasduttori nel campo delle misure elettroniche e nelle strumentazioni professionali (naturalmente le sue prestazioni sono legate all'uso di componenti di elevata qualità: i singoli operazionali che lo compongono devono avere ottime caratteristiche e i resistori devono essere molto precisi).

La sua struttura può pensarsi derivata dall'amplificatore differenziale: rispetto a questo presenta due operazionali in più che migliorano (aumentandola) l'impedenza di ingresso e permettono di variare l'amplificazione del segnale differenziale d'ingresso  $V_{in}=V_2-V_1$  variando un solo componente  $R_G$  ( $R_{Gain}$ ).

Normalmente viene fornito come un unico chip con due pin a cui va connesso il resistore  $R_G$ . In Fig. 1 è riportata la struttura interna.

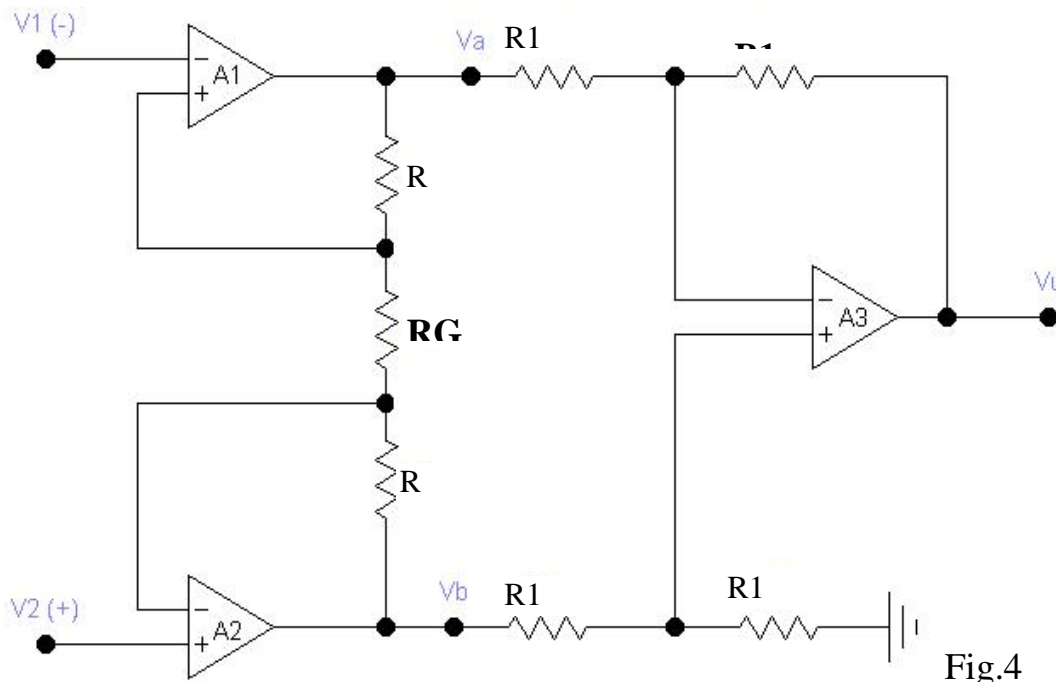


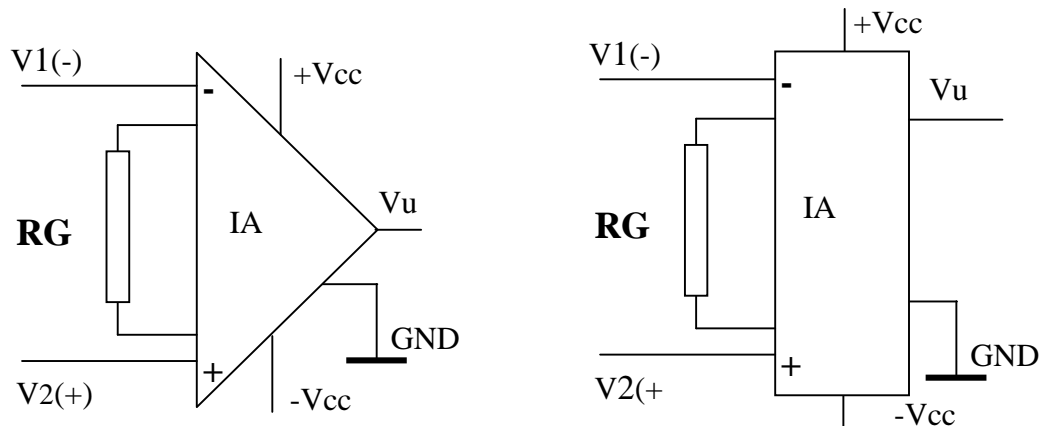
Fig.4

Su

strumentazione di classe elevata, quando le specifiche dei componenti in commercio sono insufficienti per le prestazioni che il costruttore vuole ottenere dallo strumento, il costruttore stesso progetta il circuito, e ne affida la realizzazione a case specializzate, questo tipo di chip prende il nome di custom e pertanto non sarà in commercio. La relazione tra tensione di uscita e tensione differenziale di ingresso è data da:

$$V_u = V_b - V_a$$

**SIMBOLO**



Si dimostra che:

$$V_u = \left(1 + \frac{2R}{RG}\right)(V_2 - V_1)$$

Un amplificatore per strumentazione in genere, è caratterizzato dai seguenti dati:

$$R = 25K\Omega; R_1 = 10K\Omega$$

Dalla formula di  $V_u$  si ricava l'espressione di  $A_v = \frac{V_u}{V_2 - V_1} = 1 + \frac{2R}{RG}$ , relazione che permette di determinare l'amplificazione se è nota  $RG$ ; oppure di scegliere  $RG$ , per avere una determinata amplificazione

$$RG = \frac{2R}{A_v - 1}$$

Gli amplificatori per strumentazione detti anche instrumentation amplifier o IA, sono amplificatori con ingresso differenziale caratterizzati da un amplificatore lineare, con elevata reiezione del rumore di modo comune (alto CMRR).

**Sono particolarmente utili quando, si devono amplificare piccoli segnali in ambiente relativamente rumoroso.**

**Gli amplificatori per strumentazione vengono utilizzati in abbinamento con le strutture a ponte.**

Gli amplificatori più diffusi sono:

- 1) INA 111/114/120;
- 2) PGA 202/203;
- 3) AD 524.

- L'integrato PGA 202/203 è un amplificatore per strumentazione a guadagno programmabile (1, 10, 100, 1000). La programmazione avviene tramite un MULTIPLEXER ANALOGICO interno all'integrato.
- L'integrato INA120 è un amplificatore a guadagno programmabile (1, 10, 100, 1000), in questo caso il MULTIPLEXER è esterno.

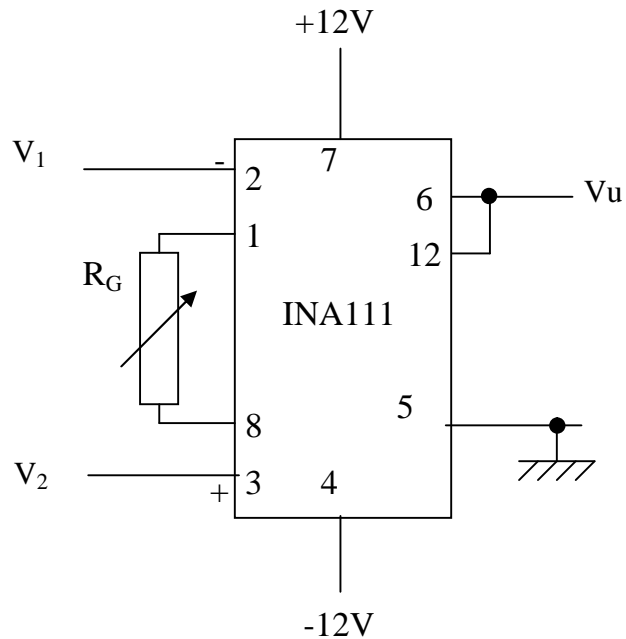
## Esempi di applicazione

### Circuiti di base e Condizionamento sensori

**Esercizio A**

Dato l'INA111 ( $R = 25\text{K}\Omega$ ) dimensionare un amplificatore in grado di avere un guadagno  $A_v = 101$ .

**DATI:**  $A_v = 101$ ;  $R = 25\text{K}\Omega$



$$A_v = 1 + \frac{2R}{R_G} \Rightarrow R_G = \frac{2R}{A_v - 1} \longrightarrow R_G = \frac{2 * 25 * 10^3}{101 - 1} = 500\Omega$$

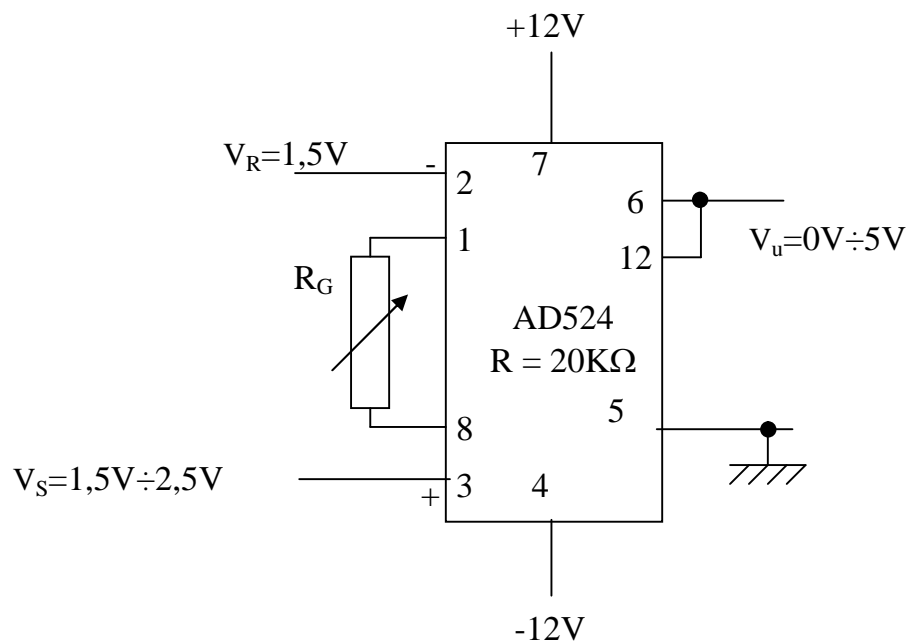
## Esercizio B

Assegnato il circuito di figura determinare:

- 1) L'amplificazione  $A_v$
- 2) Il valore del resistore  $R_G$

### Dati:

- a) Amplificatore per strumentazione AD 524 ( $R = 20\text{K}\Omega$ )
- b) Il valore del resistore  $R_G$



$$A_v = \frac{V_{u \max}}{V_{s \max} - V_r} = \frac{5}{2,5 - 1,5} = 5$$

$$A_v = 1 + \frac{2R}{R_G} \Rightarrow R_G = \frac{2R}{A_v - 1}$$

$$R_G = \frac{2 * 20 * 10^3}{5 - 1} = 10\text{K}\Omega$$

## Esercizio C

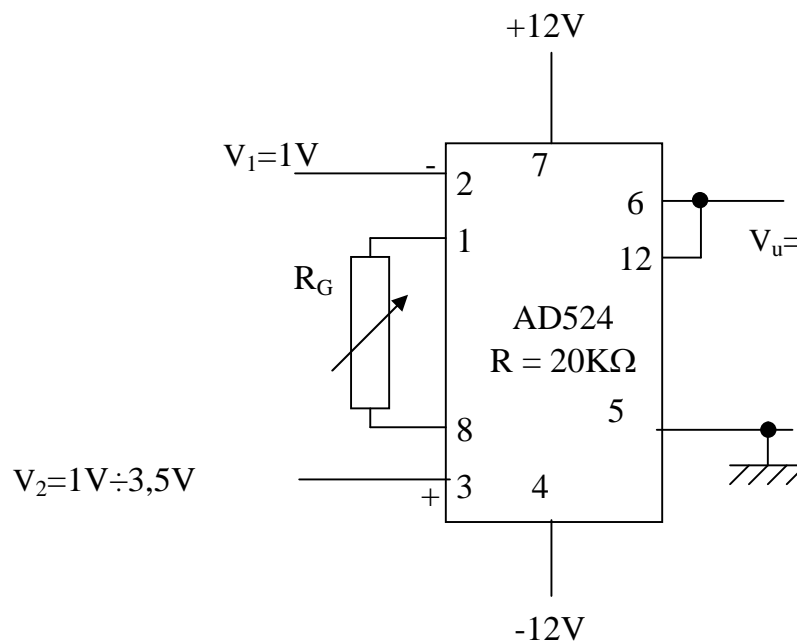
Assegnato il circuito di figura determinare:

1) Il range del segnale di uscita ( $V_u$ )

### Dati:

a) Amplificatore per strumentazione AD 524 ( $R = 20\text{K}\Omega$ )

b)  $R_G = 22\text{K}\Omega$



$$A_v = 1 + \frac{2R}{R_G} = 1 + \frac{2 * 20 * 10^3}{22 * 10^3} = 2,82$$

$$V_u \text{ min} = A_v \cdot (V_2 \text{ min} - V_1) = 2,82 \cdot (1 - 1) = 0V$$

$$V_u \text{ max} = A_v \cdot (V_2 \text{ max} - V_1) = 2,82 \cdot (3,5 - 1) = 7,05V$$

**Range  $V_u = 0V \div 7,05V$**

**Esercizio 1 - Condizionamento sensore di temperatura PT100**

Un trasduttore PT100 (termoresistenza) viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \div +130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Progettare un circuito di condizionamento affinché a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  corrispondano 0V ed a  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  corrispondano 5V

**Caratteristiche del PT100:**

Materiale	Platino
Resistenza $R_0$ ( $0^{\circ}\text{C}$ )	$100\ \Omega + 0,1\ \%$
Coefficiente di temperatura ( $\alpha$ )	$3,85 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Range di funzionamento	$-50^{\circ}\text{C} \div 260^{\circ}\text{C}$
Caratteristica di trasferimento	$R_T = R_0 \cdot (1 + r \cdot T)$
Imax	3 mA

**Soluzione**

Tramite un ponte di Wheatstone, si realizza la conversione  $R \Rightarrow V$  e l'offset, mentre per l'amplificazione si utilizza un amplificatore di precisione per strumentazione AD524 della Analog Devices. In Fig. 1 lo schema del progetto.

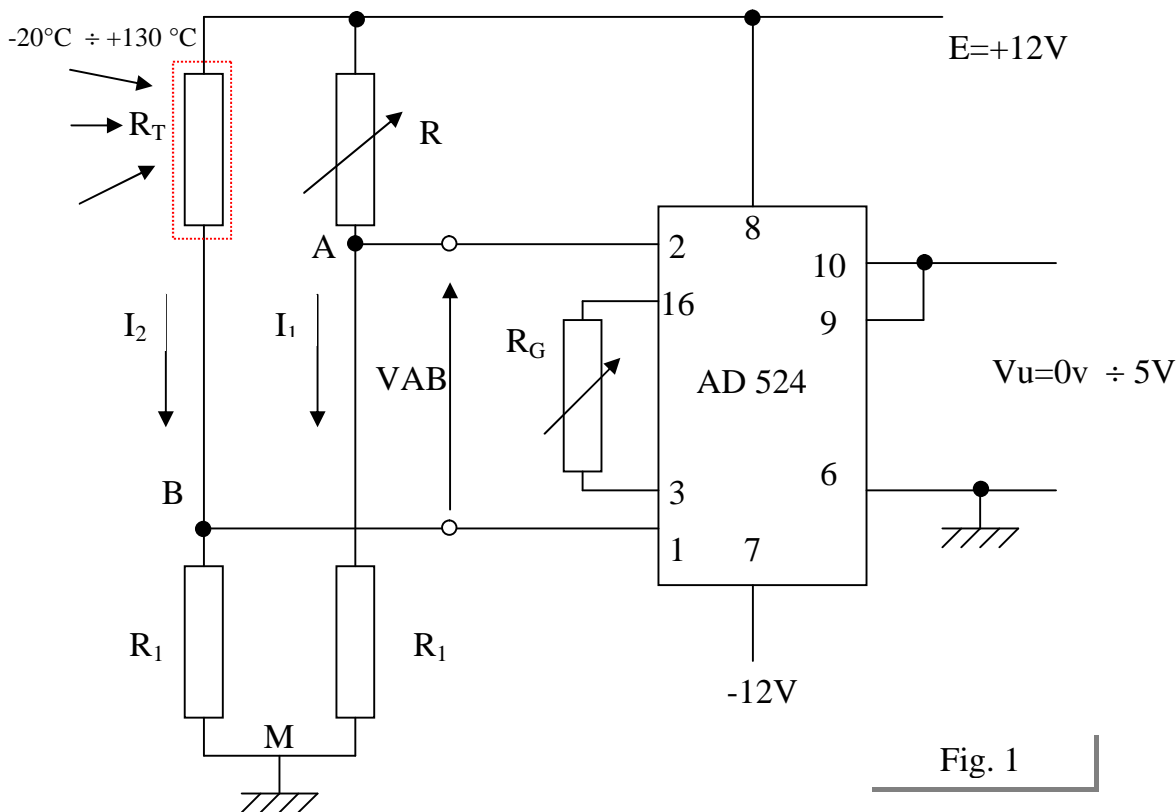


Fig. 1

**Caratteristiche integrato AD524:**

- elevata soppressione di modo comune;
- elevata linearità, basso rumore;
- elevatissima impedenza d'ingresso ( $10^9\ \Omega$ );
- alimentazione duale  $\pm 6\text{V} \div \pm 18\text{V}$ ;
- guadagni fissi (1, 10, 100, 1000) ottenibili senza componenti esterni;
- guadagni compresi tra 1 e 1000 ottenibili con l'utilizzo di un resistore esterno ( $R_G$ );
- $R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1}$        $G =$  guadagno amplificatore, regolabile tramite  $R_G$ .       $R = 20\text{K}$

## ● Calcolo Range di RT

$$T = -20^{\circ}\text{C}$$

$$RT = R_0 (1 + \alpha T) = 100 (1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot (-20)) = 92,3$$

$$T = +130^{\circ}\text{C}$$

$$RT = R_0 (1 + \alpha T) = 100 (1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot 130) = 150,05$$

$$T = -20^{\circ}\text{C} \div +130^{\circ}\text{C} \longrightarrow RT = 92,3 \div 150,05$$

Per l'equilibrio del ponte ( Offset )  $T = -20^{\circ}\text{C} \longrightarrow V_{AB} = 0\text{ V}$  si pone:

$$R = RT (-20^{\circ}\text{C}) = 92,3$$

La resistenza R viene realizzata con un resistore fisso da 47  $\Omega$  con in serie un trimmer da 100  $\Omega$  ( Fig. 2).

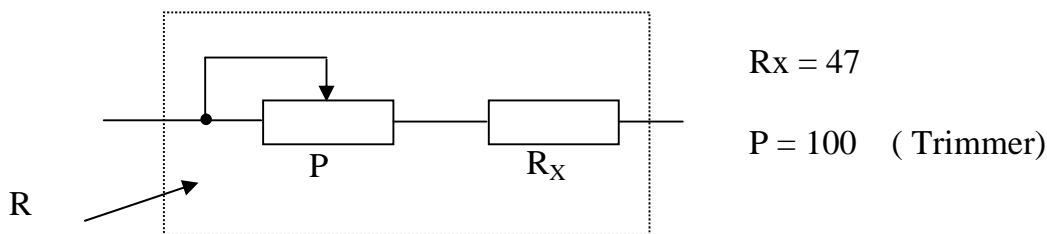


Fig.2

## ● Calcolo R1

Poiché l'amplificatore per strumentazione AD524 non carica il ponte di Wheatstone, il valore della resistenza R1, fissata una intensità di corrente pari a  $I_2 = 3\text{ mA}$  ( per non auto-riscaldare il trasduttore ) si ricava dalla relazione:

$$I_2 = \frac{E}{R1 + RT(-20^{\circ}\text{C})} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ ( Peggior condizione )}$$

quindi:

$$R1 = \frac{E}{I_2} - RT(-20^{\circ}\text{C}) = \frac{12}{3 \cdot 10^{-3}} - 92,3 = 4000 - 92,3 = 3907,7 \text{ ( Valore commerciale. } 3,9\text{ K )}$$

$$R1 = 3,9\text{ K}$$



● **Calcolo Range  $V_{AB}$**

La tensione  $V_{AB}$  viene espressa dalla seguente relazione

$$V_{AB} = V_{AM} - V_{BM} = R_1 \cdot I_1 - R_1 \cdot I_2$$

$$V_{AB} = R_1 \frac{E}{R + R_1} - R_1 \frac{E}{RT + R_1}$$

1. **T = -20° C** →  **$V_{ABmin}$**

$$V_{ABmin} = R_1 \cdot \frac{E}{R + R_1} - R_1 \cdot \frac{E}{RT(-20^\circ C) + R_1}$$

Essendo:  $R = RT (-20^\circ C)$  →

$$V_{ABmin} = 0V$$

2. **T = +130° C** →  **$V_{ABmax}$**

$$V_{ABmax} = R_1 \frac{E}{R + R_1} - R_1 \frac{E}{RT(130^\circ C) + R_1}$$

$$V_{ABmax} = \frac{12}{3900 + 92,3} - \frac{12}{3900 + 150,05}$$

$$V_{ABmax} = 11,72257 - 11,55541 = 0,167153$$

$$V_{ABmax} = 167,153 \text{ mV}$$

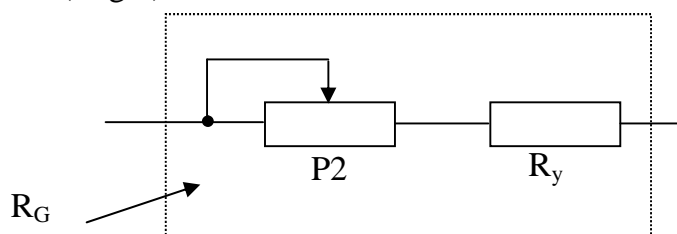
● **Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524**

$$G = \frac{V_{uMAX}}{V_{ABMAX}} = \frac{5}{167,153 \cdot 10^{-3}} = 29,913$$

● **Calcolo  $R_G$**

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{29,913 - 1} = 1383,5\Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa da 680  $\Omega$  con in serie un trimmer da 1,2K ( Fig.3)



$$R_y = 680$$

$P2 = 1,2 \text{ K (TRIMMER)}$

Fig.3

## **Esercizio 2 – Condizionamento trasduttore di temperatura AD590**

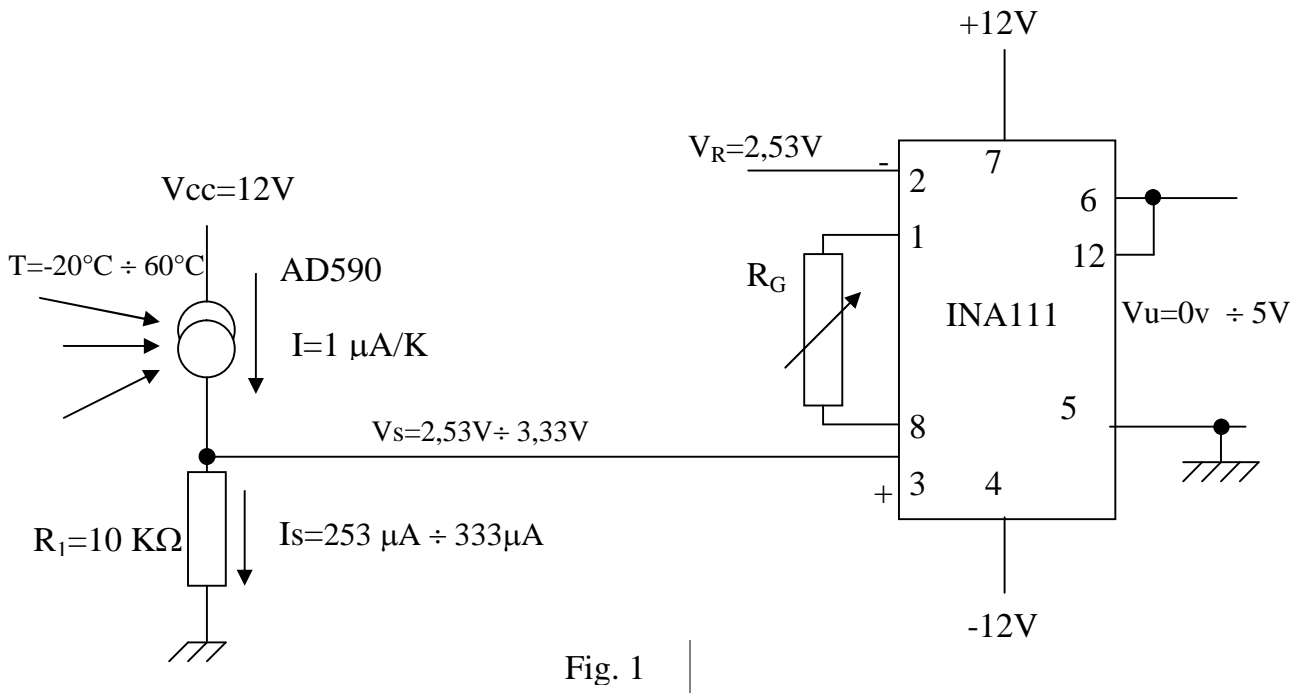
Si progetti un circuito di condizionamento per un trasduttore AD590 in grado di fornire una tensione compresa nel range  $0V \div 5V$ , quando la temperatura varia nell'intervallo  $-20^{\circ}C \div 60^{\circ}C$ .

Per il condizionamento utilizzare l'amplificatore per strumentazione INA111 ( $R=25K\Omega$ )

### Soluzione

Nella Fig. 1 lo schema elettrico del circuito.

La conversione I/V è realizzata con la resistenza  $R_1$ .



#### ● **Conversione range temperatura $^{\circ}C \rightarrow K$**

$$T(^{\circ}C) = -20^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = -20 + 273 = 253K$$

$$T(^{\circ}C) = 60^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 60 + 273 = 333K$$

#### ● **Calcolo range della corrente erogata dal trasduttore AD590**

$$T(^{\circ}C) = -20^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 253K \quad \rightarrow \quad I_s = 253 * 1 * 10^{-6} = 253 \mu A$$

$$T(^{\circ}C) = 60^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 333K \quad \rightarrow \quad I_s = 333 * 1 * 10^{-6} = 333 \mu A$$

#### ● **Calcolo range tensione $V_s$ (si pone $R_1 = 10 K\Omega$ 0,1%)**

$$T(^{\circ}C) = -20^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 253K \quad \rightarrow \quad V_s = R_1 * I_s = 253 * 1 * 10^{-6} * 10 * 10^3 = 2,53 V$$

$$T(^{\circ}C) = 60^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 333K \quad \rightarrow \quad V_s = R_1 * I_s = 333 * 1 * 10^{-6} * 10 * 10^3 = 3,33 V$$

● **Calcolo  $V_R$  (Offset)**

Per realizzare l'offset ( $V_0=0V$  per  $T=-20^\circ C$ ) si pone  $V_R=V_S(-20^\circ C)=2,73V$

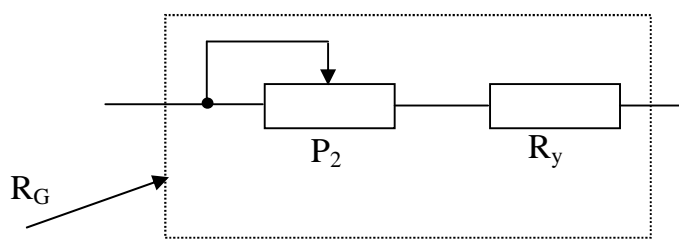
● **Calcolo guadagno  $G$  dell'amplificatore per strumentazione INA111**

$$G = \frac{V_{U_{MAX}}}{V_{S_{MAX}} - V_R} = \frac{5}{3,33 - 2,53} = 6,25$$

● **Calcolo  $R_G$**

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{6,25 - 1} = 9.524 \Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa da 4700  $\Omega$  con in serie un trimmer da 10K ( Fig.3)

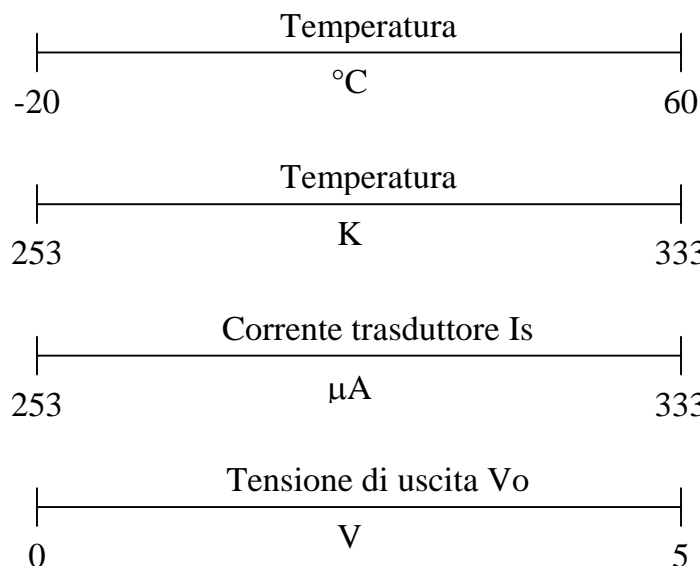


$$R_G = R_y + \frac{P_2}{2}$$

$$R_y = 4700$$

$$P_2 = 10 \text{ K (TRIMMER)}$$

Fig.3



### **Esercizio 3** - Condizionamento trasduttore di **posizione angolare**

Si progetti un circuito di condizionamento per un sensore di posizione angolare (potenziometro) in grado di fornire una tensione d'uscita compresa nel range  $0V \div 5V$  quando la posizione varia nell'intervallo  $0^\circ \div 120^\circ$ .

Caratteristica di trasferimento del sensore:  $R_p = R_0 + K \cdot g$

$R_p$  = resistenza fornita dal sensore in funzione della posizione

$R_0 = 1K$        $K = 10 \text{ } /^\circ$        $g$  = Gradi relativi alla posizione       $I_{\max} < 1,5mA$

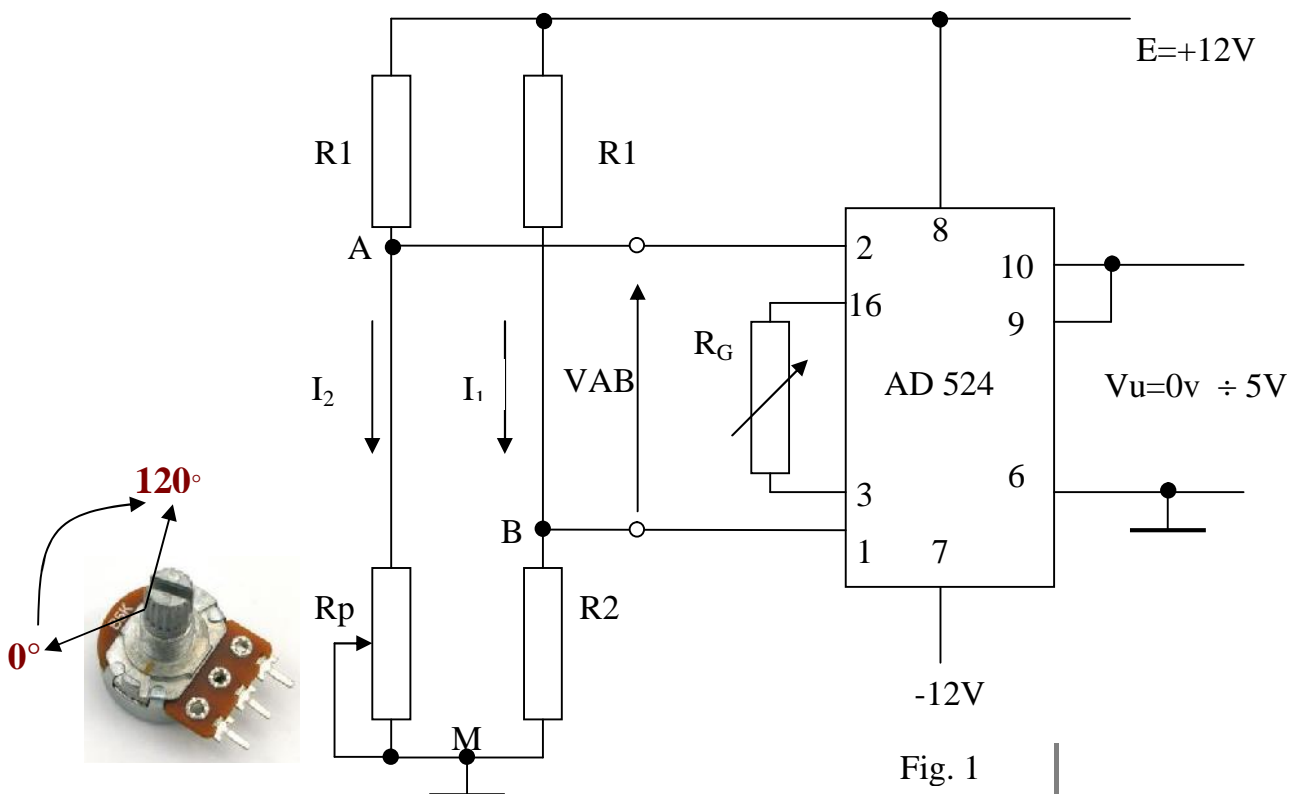
#### Domande:

- 1) disegnare il circuito e dimensionare i componenti;
- 2) calcolare la tensione di uscita corrispondente a  $g = 40^\circ$ ;
- 3) disegnare il grafico Input/Output  $\rightarrow V_u = f(g)$  (tensione di uscita in funzione dell'angolo misurato dal sensore).

### Soluzione

#### D1) – Progetto del circuito

Tramite un ponte di Wheatstone, si realizza la conversione  $R \Rightarrow V$  e l'offset, mentre per l'amplificazione si utilizza un amplificatore di precisione per strumentazione AD524 della Analog Devices. In Fig. 1 lo schema del progetto.



#### Caratteristiche integrato AD524:

- elevata soppressione di modo comune, elevata linearità, basso rumore, elevatissima impedenza d'ingresso ( $10^9 \Omega$ ), alimentazione duale  $\pm 6V \div \pm 18V$ ;
- guadagni fissi (1, 10, 100, 1000) ottenibili senza componenti esterni;
- guadagni compresi tra 1 e 1000 ottenibili con l'utilizzo di un resistore esterno ( $R_G$ );
- $R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1}$        $G$  = guadagno amplificatore, regolabile tramite  $R_G$        $R = 20K$

**● Calcolo Range di Rp**

$$g = 0^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 0 = 1K\Omega$$

$$g = 120^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 120 = 1 \cdot 10^3 + 1200 = 2,2K\Omega$$

Per l'equilibrio del ponte ( Offset )  $g=0^\circ \longrightarrow V_{AB} = 0 \text{ V}$  si pone:  $R_2 = R_P ( 0^\circ ) = 1 \text{ K}\Omega$

**● Calcolo R1**

Poiché l'amplificatore per strumentazione AD524 non carica il ponte di Wheatstone, il valore della resistenza R1, fissata una intensità di corrente pari a  $I_2 = 1,5 \text{ mA}$  ( per non auto-riscaldare il trasduttore ) si ricava dalla relazione:

$$I_2 = \frac{E}{R_1 + R_P(0^\circ)} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ ( Peggior condizione ) quindi:}$$

$$R_1 = \frac{E}{I_2} - R_P(0^\circ) = \frac{12}{1,5 \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^3 = 7K\Omega \text{ (Valore comm. 8,2 K )}$$

**● Calcolo Range VAB**

La tensione  $V_{AB}$  viene espressa dalla seguente relazione

$$V_{AB} = V_{AM} - V_{BM} = R_p \cdot I_2 - R_1 \cdot I_1 \quad V_{AB} = R_p \frac{E}{R_p + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

Dall'analisi dell'espressione si nota che la tensione  $V_{AB}$  non è direttamente proporzionale al valore di Rp. Il termine Rp si trova sia al numeratore sia al denominatore, quindi non c'è una proporzionalità diretta. Affinché la  $V_{AB}$  sia funzione lineare di RP, si deve verificare  $R_1 \gg \gg R_p$ , quindi è preferibile scegliere  $R_1 \gg$  di  $8,2K\Omega$  (esempio  $R_1=220K\Omega$ )

**1)  $g=0^\circ$  siccome  $R_2=R_{pmin}=1K\Omega$   $V_{ABmin}=0V$**

$$V_{ABmin} = 0 \text{ V}$$

**2)  $g=120^\circ$   $R_p=R_{pmax}=2,2 \text{ K}\Omega$ ,  $R_1=220 \text{ K}\Omega$ ,  $R_2=1 \text{ K}\Omega$ ,  $E=12V$**

$$V_{ABmax} = R_p \max \frac{E}{R_p \max + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

$$V_{ABmax} = 2,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{2,2 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3} - 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3}$$

$$V_{ABmax} = 0,118812 - 0,054299 = 0,064513V$$

$$V_{ABmax} = 64,513 \text{ mV}$$

**● Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524**

$$G = \frac{V_{uMAX}}{V_{ABMAX}} = \frac{5}{64,513 \cdot 10^{-3}} = 77,50$$

**● Calcolo RG**

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{77,50 - 1} = \frac{40 \cdot 10^3}{29,13 - 1} = 522,88\Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa da 270  $\Omega$  con in serie un trimmer da 560  $\Omega$  ( Fig.2)

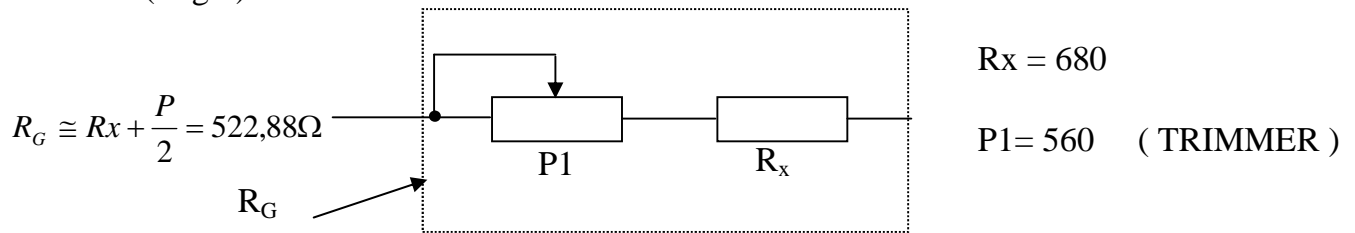


Fig.2

**D2) - Calcolo tensione di uscita corrispondente a  $g=40^\circ$**

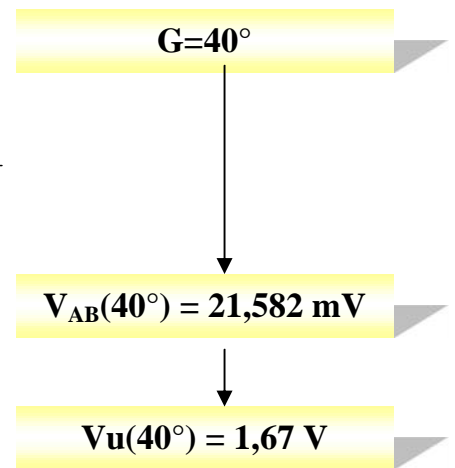
$g = 40^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 40 = 1 \cdot 10^3 + 400 = 1,4 K\Omega$

$$V_{AB}(40^\circ) = R_p(40^\circ) \frac{E}{R_p(40^\circ) + R_1} - R_2 \frac{E}{R_2 + R_1}$$

$$V_{AB}(40^\circ) = 1,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1,4 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3} - 1 \cdot 10^3 \cdot \frac{12}{1 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3}$$

$V_{AB}(40^\circ) = 0,075881 - 0,054299 = 0,021582V$

$V_u(40^\circ) = G \cdot V_{AB}(40^\circ) = 77,50 \cdot 21,582 \cdot 10^{-3} = 1,67V$



**D3) - Grafico Input/Output  $\rightarrow V_u=f(g)$**

In fig. 3 il grafico  $V_u=f(g)$

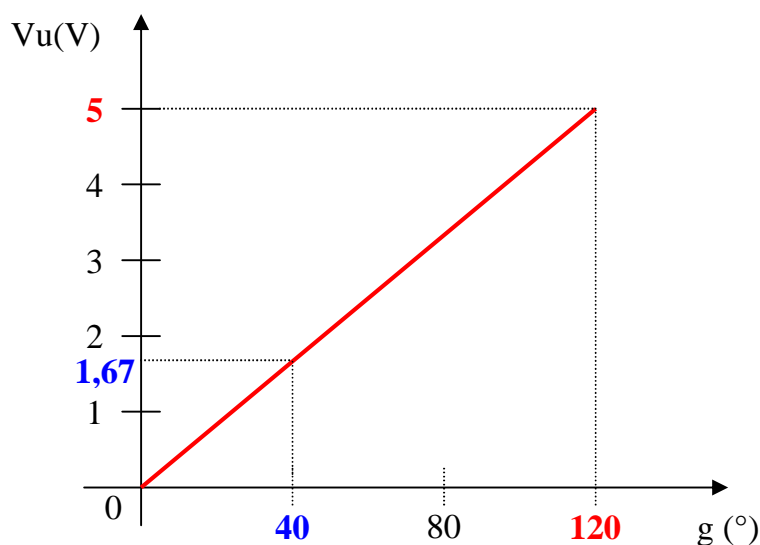


Fig.3

## **Esercizio 4 - Condizionamento trasduttore fotoelettrico NORP-12**

Si progetti un circuito di condizionamento per il fotoreistore NORP-12, in modo da avere una tensione d'uscita variabile linearmente da -5V a +5V quanto l'illuminazione varia tra 10LUX ÷ 1000LUX. In tabella 1 e fig. 1 sono riportati i dati del trasduttore.

Caratteristiche elettriche	Valori	Unità misura
Resistenza di oscurità (min.)	1	M
Resistenza di cella a 10 lux	9	K
Resistenza di cella a 1000 lux	400	
Tensione max di picco (ACe DC)	320	V
Corrente max	75	mA
Potenza max (a 25°C)	250	mW
Range di temperatura	-60÷75	°C
Capacità di oscurità (tipica)	3,6	pF
Reazione spettrale di picco	0,53	µm

Tabella 1

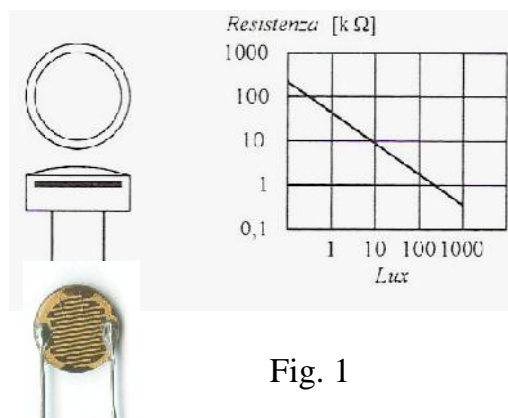


Fig. 1

### Soluzione

Dalla tabella 1 e figura 1 si ricava la tabella 2.

LUX(LX)	10	100	1000
R( )	9000	3000	400

Tabella 2

### Il fotoreistore NORP-12

#### Struttura e caratteristiche

I fotoreistori sono costituiti da materiali semiconduttori leggermente drogati (solfuro di cadmio, solfuro di piombo, ecc.). Quando la superficie sensibile del fotoreistore viene esposta alla luce, l'energia raggiante assorbita provoca la rottura dei legami covalenti generando cariche libere (coppie lacune-elettroni) con l'aumento della conducibilità e una conseguente diminuzione della resistenza del semiconduttore. La variazione della resistenza  $R$  in funzione dell'illuminamento  $E$  è data dalla seguente legge:

$$R = A \cdot E^{-r}$$

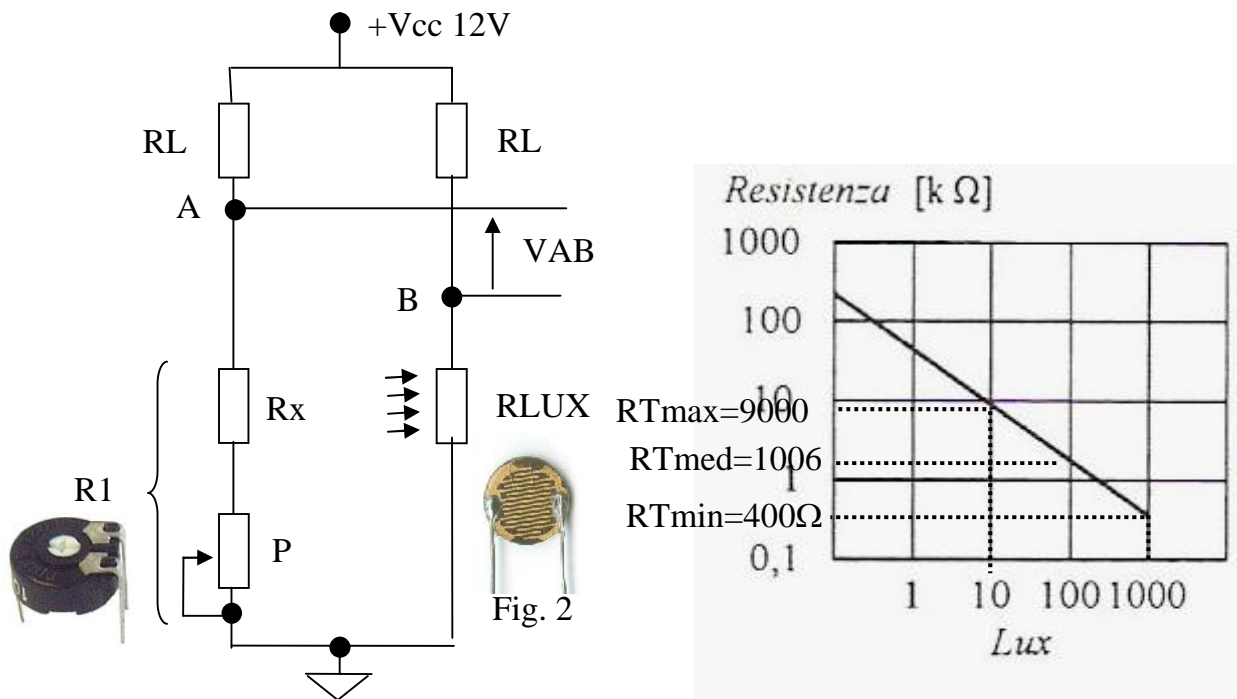
Dove:

- $A$  è una costante dimensionale che dipende dalla forma geometrica della superficie esposta alla luce
- $E$  è l'illuminamento(flusso luminoso incidente per una superficie unitaria);
- $r$  è una costante dimensionale minore di 1 che dipende dalle tecnologie utilizzate per la costruzione del dispositivo.

La caratteristica resistenza/illuminamento del trasduttore presenta un'accentuata non linearità ed una pendenza negativa (fig.1).

**Dimensionamento ponte per la conversione R/V**

In figura 2 è riportato lo schema elettrico della struttura a ponte per la conversione Resistenza/Tensione



La resistenza di linearizzazione RL viene calcolata tramite una seguente formula:

$$RL = \frac{RT_{med} \cdot (RT_{min} + RT_{max}) - 2RT_{min} \cdot RT_{max}}{RT_{min} + RT_{max} - 2RT_{med}} \quad RL=305 \text{ -valore commerciale}=330$$

Oppure si sceglie per RL la resistenza minima, la resistenza corrispondente a 1000LUX quindi dalla tabella 2 RL=400

Nel dimensionare i componenti si suppone che nella condizione di funzionamento più gravosa, corrispondente ad un illuminamento di 1000LUX (RLUX=400 ), il fotoresistore sia attraversato da un'intensità di corrente minore di 75mA (tabella 1). Con i componenti scelti (RL=330 )ed una tensione di alimentazioneVCC=12V, si ha un'intensità di corrente I determinata dalla seguente espressione:

$$I = \frac{V_{cc}}{RL + R_{lux}(100)} = \frac{12}{330 + 400} = 16,04mA$$

Quindi la corrente è minore della corrente massima stabilita dal costruttore I<75mA

La resistenza di bilanciamento di R1 è dimensionata per l'illuminamento di 10 Lux quindi R1=9K .

In questo modo si ottiene VAB=0 in corrispondenza di un illuminamento di 10 Lux.per la taratura del ponte la resistenza R1 viene realizzata da una resistenza fissa collegata in serie al trimmer (Fig.2)

$$RX + \frac{P}{2} = 9K\Omega \quad R_x=4,7 K\Omega \quad P=10K\Omega$$



**Calcolo range di VAB**

a)  $LUX=10L_x$        $RLUX=9000\Omega$        $VAB=0V$

b)  $LUX=1000L_x$        $RLUX=400\Omega$

$$VAB = \frac{V_{cc} \cdot R1}{RL + R1} - \frac{V_{cc} \cdot RLUX (L_x = 1000)}{RL + RLUX (L_x = 1000)}$$

; sostituendo i valori si ottiene  $VAB=5,0V$

**$VAB=0V \div 5V$**

**Blocco di condizionamento**

Per riportare la tensione **VAB (0V ÷ 5V)** nel range **-5V +5V** si utilizzano 2 blocchi con 2 amplificatori per strumentazione.

Il primo blocco viene configurato in modo tale che l'uscita sia uguale a 10V (pari all'intervallo richiesto). Il secondo blocco riporta nell'intervallo **-5V ÷ +5V**.

In figura 3 lo schema elettrico

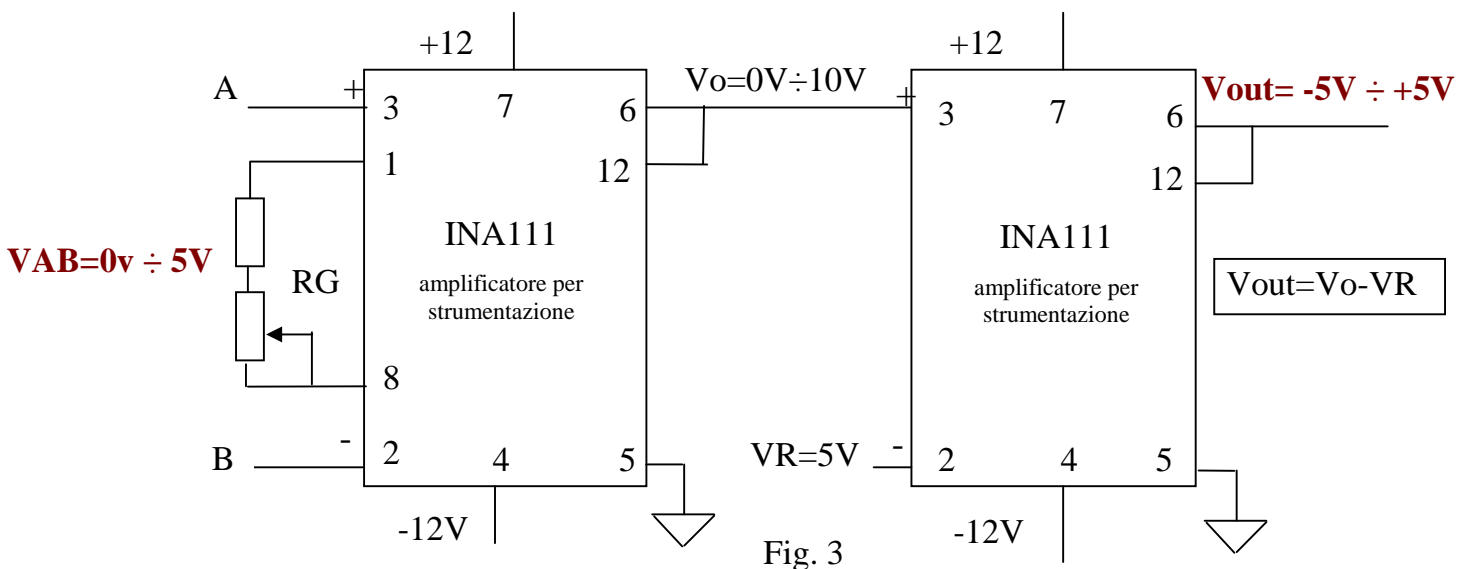


Fig. 3

In figura 4 è riportato lo schema interno e la top view dell'amplificatore per strumentazione INA111

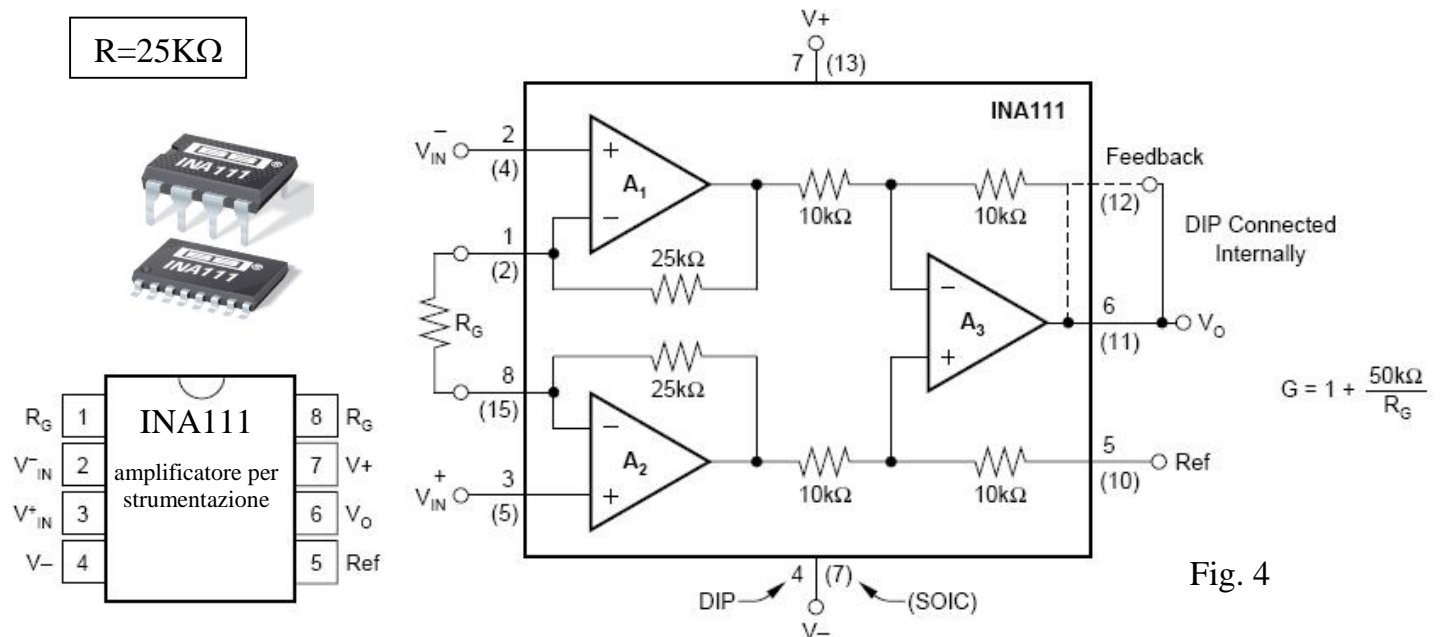


Fig. 4

**Calcolo del guadagno G (primo blocco)**

$$G = \frac{V_o}{V_{AB}} = \frac{10}{5} = 2$$

**Dimensionamento di RG**

$$R_G = \frac{2R}{G-1} = \frac{50.000}{2-1} = 50K\Omega$$

La resistenza  $R_G$  viene realizzata con una resistenza fissa e con in serie un trimmer (fig.5)

$R_G=50k$   
 $R_x=27k$   
 $P=47k$  - Trimmer



Trimmer

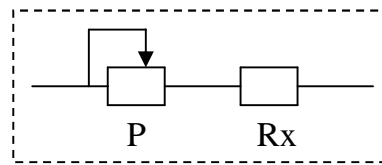


Fig.5

Per il secondo Blocco  $G=1$ , quindi  $V_{out}=V_o-V_R$

$V_R=5V$	$V_o=0$	$V_{out}=0-5$	$V_{out}=-5V$
	$V_o=10V$	$V_{out}=10-5$	$V_{out}=5V$

**Dimensionamento generatore tensione di riferimento.**

La tensione di riferimento  $V_R$  ( $V_R=5V$ ) viene realizzata con il circuito di figura 6 (altro metodo, sempre basato sull'integrato LM336 2,5v).

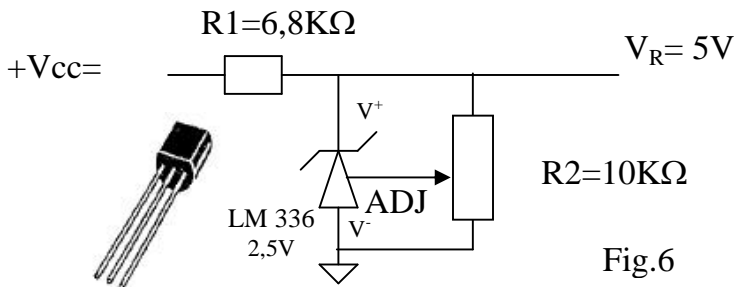
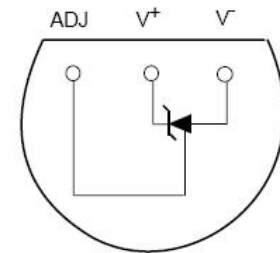


Fig.6



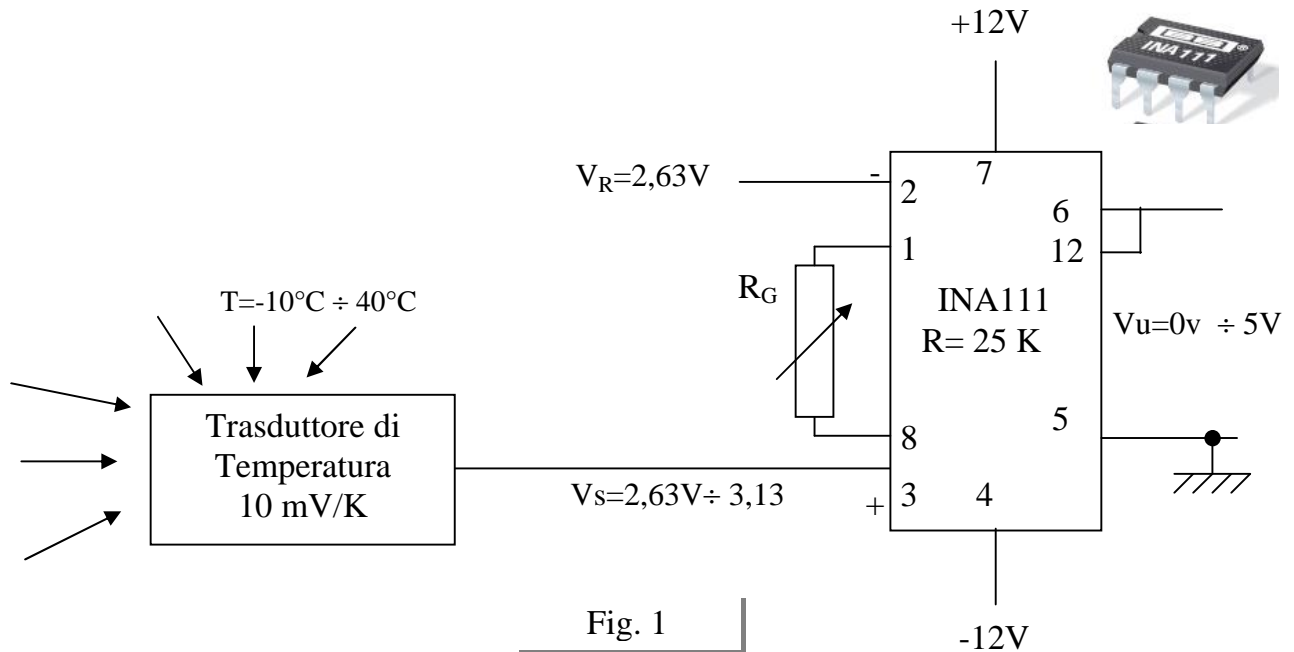
LM 336  
2,5V

## Esercizio 5 – Condizionamento trasduttore di temperatura

Un trasduttore di temperatura fornisce una tensione di 10 mV per ogni grado Kelvin.  
 Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra 0V e +5V quando la temperatura varia tra -10°C e +40°C.

### Soluzione

Nella Fig. 1 lo schema elettrico del circuito con l'amplificatore per strumentazione INA 111



#### ● Conversione range temperatura °C → K

$$T(^{\circ}C) = -10^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = -10 + 273 = 263K$$

$$T(^{\circ}C) = 40^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 40 + 273 = 313K$$

#### ● Calcolo range della tensione fornita dal trasduttore

$$T(^{\circ}C) = -10^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 263K \quad \rightarrow \quad V_s = 263 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 2,63 V$$

$$T(^{\circ}C) = 40^{\circ}C \quad \rightarrow \quad T(K) = 313K \quad \rightarrow \quad V_s = 313 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,13 V$$

#### ● Calcolo $V_R$ (Offset)

Per realizzare l'offset ( $V_0 = 0V$  per  $T = -10^{\circ}C$ )

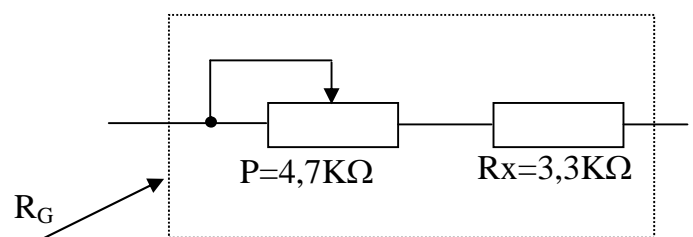
si pone  $V_R = V_s(-10^{\circ}C) = 2,63V$

#### ● Calcolo guadagno $G$ dell'amplificatore per strumentazione INA111

$$G = \frac{V_{u_{MAX}}}{V_{s_{max}} - V_R} = \frac{5}{3,13 - 2,63} = 10$$

#### ● Calcolo $R_G$

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{10 - 1} = 5555,56\Omega$$



Nella Fig. 2 lo schema elettrico del circuito con l'amplificatore differenziale

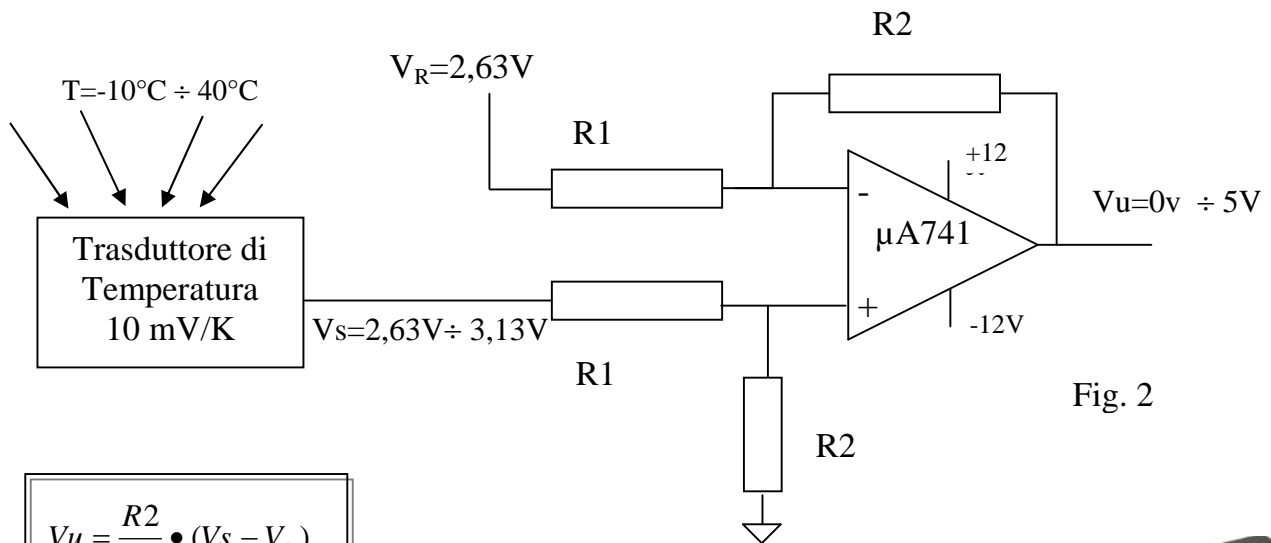


Fig. 2

$$V_u = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_s - V_R)$$

1)  $V_s = 2,63V \rightarrow V_u = 0V$

$$0 = \frac{R_2}{R_1} (2,63 - V_R) \rightarrow V_R = 2,63V$$

2)  $V_s = 3,13V \rightarrow V_u = 5V$

$$5 = \frac{R_2}{R_1} (3,13 - 2,63)$$

$$5 = \frac{R_2}{R_1} \cdot 0,5$$

$$\frac{5}{0,5} = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow \begin{cases} R_2 = 50K\Omega \\ R_2 = 5K\Omega \end{cases}$$

PIN CONFIGURATION

