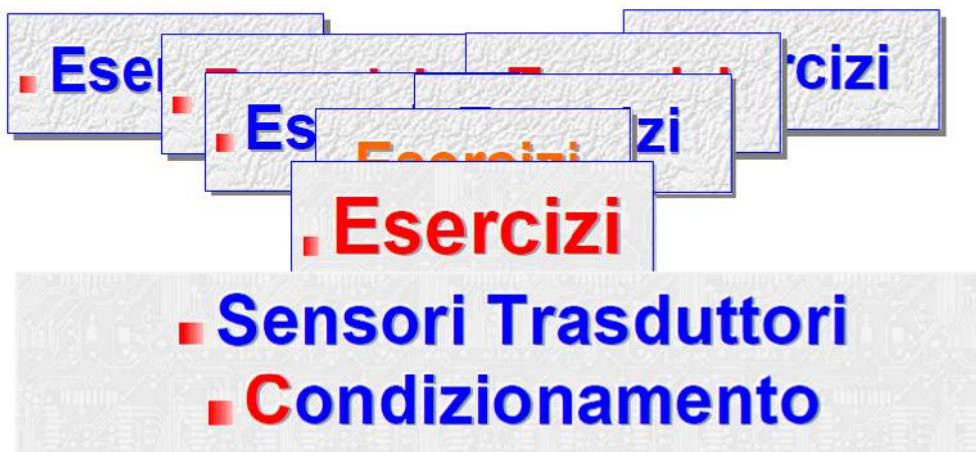


Classe : 4A_IPAI - 5A_IPAI

A.S. : 2020-2021

Docenti : Tufoni Franco -- Enrico Ruggieri

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



Indice

Esercizio	Sensore/Trasduttore	Pagina
1	Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100	3
2	Sensore di temperatura: Termoresistenza rame-nichel	4
3	Sensore di temperatura: Termoresistenza platino	5
4	Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100	6
5	Trasduttore di temperatura: AD590	7
6	Trasduttore di temperatura: LM 35	
7	Sensore di umidità: Capacitivo	8
8	Trasduttore di pressione: RS286-709	9
9	Trasduttore di forza: Estensimetri	10
10	Trasduttore di velocità: Dinamo tachimetrica	12
11	Trasduttore di velocità: Encoder	13
12	Trasduttore di temperatura: Termocoppia	14
13	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	15
14	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	15
15	Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K	16
16	Trasduttore di temperatura: LM 35	17
17	Trasduttore di temperatura: Generico	18
18	Sensore di posizione lineare: Potenzimetro	19
19	Sensore di posizione angolare: Potenzimetro	20
19		
20		
21	Esercizi Condizionamento	21

Esercizio 1 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100)

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

Caratteristiche del PT100:

Materiale	Platino
Resistenza R_0 (0°C)	$100\Omega + 0,1\%$
Coefficiente di temperatura (α)	$3,85 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Range di funzionamento	$-50^{\circ}\text{C} \div 260^{\circ}\text{C}$

Caratteristica di trasferimento:

$$R_T = R_0 \tilde{N}(1 + rT)$$

Soluzione**RT a -20°C**

$$RT(-20^{\circ}\text{C}) = R_0 * (1 + r * T)$$

$$RT(-20^{\circ}\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3} (-20))$$

$$RT(-20^{\circ}\text{C}) = 100 * (1 - 0,077)$$

$$RT(-20^{\circ}\text{C}) = 100 * 0,923 = 92,3\Omega$$

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

RT a $+130^{\circ}\text{C}$

$$RT(+130^{\circ}\text{C}) = R_0 * (1 + r * T)$$

$$RT(+130^{\circ}\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3} (130))$$

$$RT(+130^{\circ}\text{C}) = 100 * (1 + 0,5)$$

$$RT(+130^{\circ}\text{C}) = 100 * 1,5 = 150\Omega$$

$$RT(+130^{\circ}\text{C}) = 150\Omega$$

$T = -20^{\circ}\text{C} \div 130^{\circ}\text{C}$

PT100₁

$RT = 92,3\Omega \div 150\Omega$

Esercizio 2 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza rame-nichel)

Una termoresistenza in rame-nichel con coefficiente di temperatura $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e resistenza $R_0 (0^\circ\text{C}) = 100\Omega$ viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range $-10^\circ\text{C} \div +480^\circ\text{C}$. Calcolare il range della termoresistenza.

Soluzione

Per la termoresistenza si usa sempre la formula $R_T = R_0(1 + \alpha T)$

RT a -10°C

$$RT(-10^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3} (-10))$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 96,15\Omega$$

$$RT(-10^\circ\text{C}) = 96,15\Omega$$

RT a $+480^\circ\text{C}$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = R_0 * (1 + \alpha * T)$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 100 * (1 + 3,85 * 10^{-3} (480))$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 284,80\Omega$$

$$RT(+480^\circ\text{C}) = 284,80\Omega$$



Esercizio 3 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza platino)

Una termoresistenza in platino con coefficiente di temperatura $\alpha = 3,91 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e resistenza $R_0 (0^\circ\text{C}) = 400\Omega$ viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range $-50^\circ\text{C} \div +180^\circ\text{C}$. Calcolare il range della termoresistenza.

Soluzione

Per la termoresistenza si usa sempre la formula

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T)$$

RT a -50°C

$$RT(-50^\circ\text{C}) = R_0 (1 + \alpha T)$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 400 * (1 + 3,91 * 10^{-3} (-50))$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 321,80\Omega$$

$$RT(-50^\circ\text{C}) = 321,80\Omega$$

RT a $+180^\circ\text{C}$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = R_0 (1 + \alpha T)$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 400 * (1 + 3,91 * 10^{-3} (180))$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 681,52\Omega$$

$$RT(+180^\circ\text{C}) = 681,52\Omega$$

$$T = -50^\circ\text{C} \div 180^\circ\text{C}$$



Esercizio 4 - (Sensore di temperatura: Termoresistenza PT100)

In figura è riportato un estratto della tabella di corrispondenza °C → Ohm della termoresistenza PT100.

Determinare la resistenza corrispondente alla temperatura di:

- a) T=-15 °C
- b) T=+48 °C

**Termoresistenze al Platino PT100
TABELLA DI CORRISPONDENZA °C → OHM**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	18,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-190	22,80	22,37	21,94	21,51	21,08	20,65	20,22	19,79	19,36	18,93
-180	27,08	26,65	26,23	25,80	25,37	24,94	24,52	24,09	23,66	23,23
-170	31,32	30,90	30,47	30,05	29,63	29,20	28,78	28,35	27,93	27,50
-160	35,53	35,11	34,69	34,27	33,85	33,43	33,01	32,59	32,16	31,74
-150	39,71	39,30	38,88	38,46	38,04	37,63	37,21	36,79	36,37	35,95
-140	43,87	43,45	43,04	42,63	42,21	41,79	41,38	40,96	40,55	40,13
-130	48,00	47,59	47,18	46,76	46,35	45,94	45,52	45,11	44,70	44,28
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,64	49,23	48,82	48,41
-110	56,19	55,78	55,38	54,97	54,56	54,15	53,74	53,33	52,92	52,52
-100	60,25	59,85	59,44	59,04	58,63	58,22	57,82	57,41	57,00	56,60
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,87	61,47	61,06	60,66
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70
-70	72,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,13	76,73
-40	84,27	83,88	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12

Soluzione

a) T=-15 °C
Rt(-15°C)=94,12 Ω

b) T=+48 °C
Rt(+48°C)=118,62 Ω



Esercizio 5 (Trasduttore di temperatura: AD590)

Il trasduttore di temperatura **AD590** è realizzato in materiale semiconduttore e produce all'uscita una corrente proporzionale alla temperatura (espressa in Kelvin).



Esso è un dispositivo a due terminali e per tensioni di alimentazione nel range $4 \div 30 \text{ V}$ genera una corrente di $1 \mu\text{A/K}$

Caratteristiche del AD590

FEATURES

- Linear current output: $1 \mu\text{A/K}$
- Wide temperature range: -55°C to $+150^\circ\text{C}$
- Probe compatible ceramic sensor package
- 2-terminal device: voltage in/current out
- Laser trimmed to $\pm 0.5^\circ\text{C}$ calibration accuracy (AD590M)
- Excellent linearity: $\pm 0.3^\circ\text{C}$ over full range (AD590M)
- Wide power supply range: 4 V to 30 V
- Sensor isolation from case
- Low cost

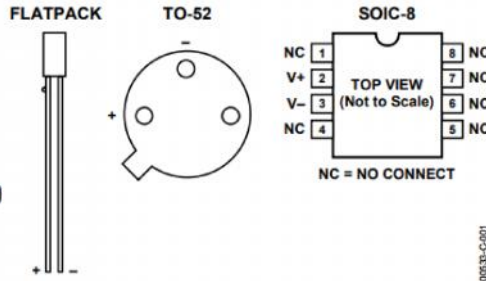


Figure 1. Pin Designations

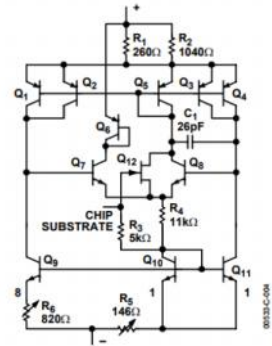


Figure 4. Schematic Diagram

Un trasduttore AD590 viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range $0^\circ\text{C} \div 70^\circ\text{C}$. Calcolare il range della corrente erogata dal trasduttore.

Caratteristica di trasferimento dell'AD590: $I = K * T$

- $T \Rightarrow$ temperatura espressa in K
- $K \Rightarrow 1 \sim \text{A} / \text{K}$ (costante del trasduttore)

Soluzione

Calcolo range della temperatura in K

$T = 0^\circ\text{C} \div 70^\circ\text{C}$



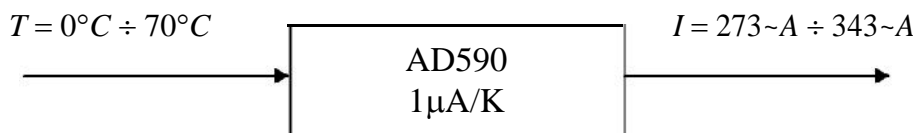
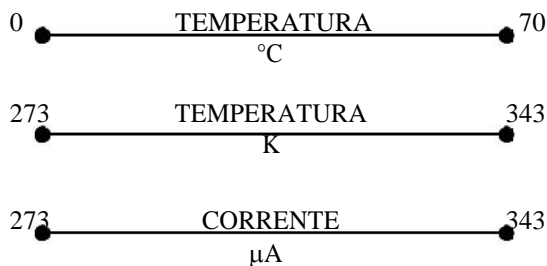
$T_{\min} (K) = 0 + 273 = 273K$

$T_{\max} (K) = 70 + 273 = 343K$

.Calcolo range della corrente erogata dal trasduttore.

$I_{\min} = K * T_{\min} = 1 * 10^{-6} * 273 = 273 \sim \text{A}$

$I_{\max} = K * T_{\max} = 1 * 10^{-6} * 343 = 343 \sim \text{A}$



Esercizio 7 (Sensore di umidità: Capacitivo)

Un sensore capacitivo di umidità viene utilizzato per misurare un'umidità relativa variabile nel range 20%÷80%. Calcolare il range della capacità.

Caratteristica di trasferimento del sensore:

$$C = C_o + A * U_R$$

Dove $C_o = 130 \text{ pF}$, $A = 0,41 \text{ pF}$ ed U_R è l'umidità relativa.

Soluzione

$$C_{\min} = (C_o + A * U_{R \min}) \text{ pF}$$

$$C_{\min} = (130 + 0,41 * 20) \text{ pF}$$

$$C_{\min} = (130 + 8,2) \text{ pF}$$

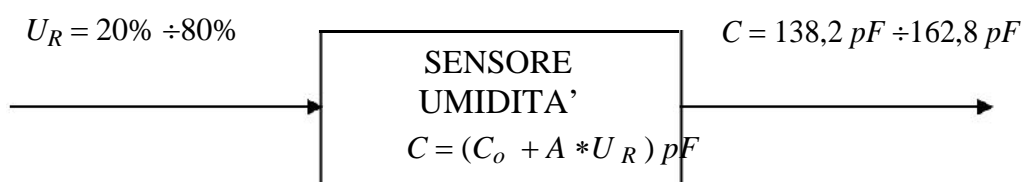
$$C_{\min} = 138,2 \text{ pF}$$

$$C_{\max} = (C_o + A * U_{R \max}) \text{ pF}$$

$$C_{\max} = (130 + 0,41 * 80) \text{ pF}$$

$$C_{\max} = (130 + 32,8) \text{ pF}$$

$$C_{\max} = 162,8 \text{ pF}$$



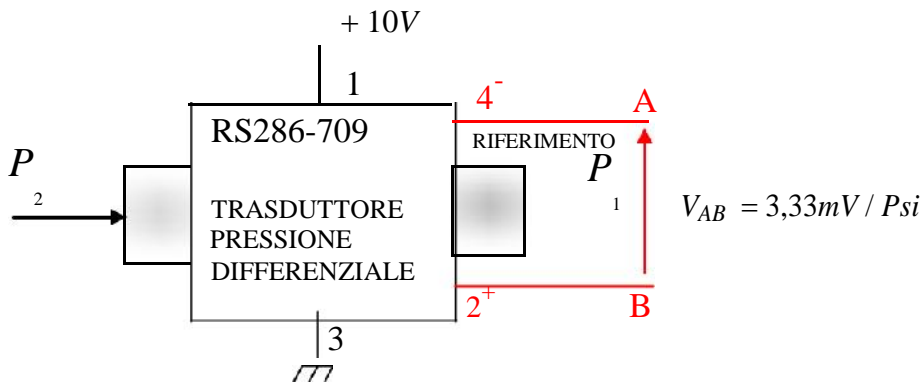
Esercizio 8 (Trasduttore di pressione: RS286-709)

Un trasduttore di pressione differenziale (RS286-709) viene utilizzato per misurare una pressione variabile nel range 0Psi÷20Psi. Calcolare il range d'uscita del trasduttore.

Caratteristiche del trasduttore RS286-709

- Struttura a ponte (Fig.23, pag.16);
- Compensato in temperatura;
- Tensione massima d'uscita 100mV;
- Range di pressione 0Psi÷30Psi;
- Sovrappressione massima 60Psi;
- Tensione di alimentazione 10V.
- Caratteristica di trasferimento (sensibilità/Psi) 3,33 mV/Psi

Soluzione



$$P_{\min} = 0Psi \Rightarrow V_{AB \min} = 0mV$$

$$P_{\max} = 20Psi \Rightarrow V_{AB \max} = 20 * 3,33 * 10^{-3} = 66,6mV$$

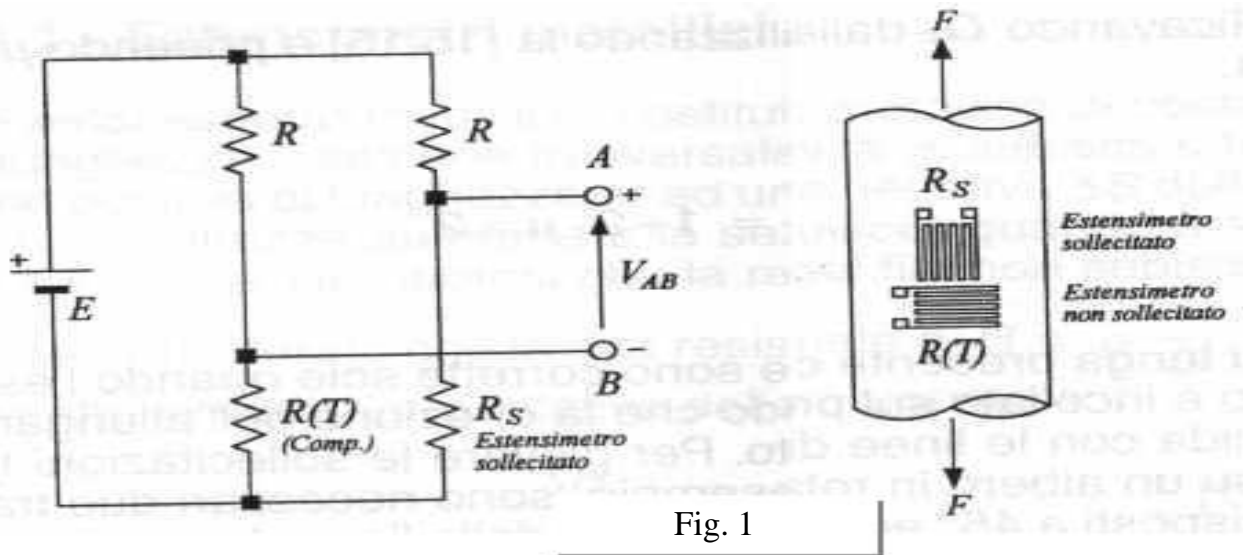


Esercizio 9 - (Trasduttore di forza: Estensimetri)

Su una barra di alluminio, sono stati incollati due estensimetri uguali, R_S (estensimetro sollecitato) R_T (estensimetro utilizzato per la compensazione in temperatura) del tipo Rs 632-180 (Fig. 1).

Supponendo che le variazioni di resistenza subite da R_S è $\Delta R = 0.025\Omega$. Calcolare:

1. la variazione di lunghezza L ;
2. la sollecitazione di trazione F ;
3. la tensione V_{AB} .

Caratteristiche dell'estensimetro R_S

- Deformazione massima dal 2% al 4%
- Resistenza 120 Ω (valore di R)
- Tolleranza resistenza $\pm 0,5\%$
- Fattore di allungamento $G_F = 2,1$
- Range di temperatura -30°C a 180°C
- $\Delta R = 0,025$

Caratteristiche del provino

- Materiale alluminio
- Sezione $S = 400\text{mm}^2$
- Lunghezza $L = 15\text{cm}$
- Modulo di elasticità $E = 6,37 * 10^{10} \text{N/m}^2$

Soluzione**1) Calcolo L**

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\epsilon) \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = G_F \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = \frac{L}{G_F} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{0.15}{0.1} \cdot \frac{0.0025}{120} = 14.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

2) Calcolo sollecitazione di trazione F

$$F = \frac{S \cdot E \cdot \Delta R}{G_F \cdot R}$$

$$F = \frac{400 \cdot 10^{-6} \cdot 6.37 \cdot 10^{10} \cdot 0.025 \cdot 2548 \cdot 10^4 \cdot 0.025}{1202.1120} = 2,52 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F = 2.52 \text{ N} \quad \begin{array}{l} \text{↻} \\ \text{↻} \end{array} \quad \begin{array}{l} L = 14.8 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ R = 0.025 \end{array}$$

3) Calcolo Vab

La tensione V_{ab} , per la forza $F = 2.52 \cdot 10^3 \text{ N}$, $E = 12 \text{ V}$ ed $R = 1.2 \text{ K}$ (Fig.1) risulta :

$$V_{ab} = \left(\frac{R_s}{R + R_s} - \frac{R_{(T)}}{R + R_{(T)}} \right) \cdot E \quad \text{sostituendo si ottiene } V_{ab} = 206 \cdot 10^{-6} \text{ V}$$

$$R_s = 120 + R = 120 + 0.025 = 120.025$$

$$R = 1.2 \text{ K}$$

$$R_{(T)} = 120$$

$$E = 12 \text{ V}$$

 **Esercizio 10 - (Trasduttore di velocità: Dinamo tachimetrica)**

Calcolare la tensione d' uscita prodotta da una dinamo tachimetrica sapendo che la costante K è pari a 5mV/r.p.m. quando la velocità è di 120giri/S.



Caratteristica di trasferimento della dinamo tachimetrica:

$$V = K_t \cdot n$$

V tensione d'uscita continua della dinamo

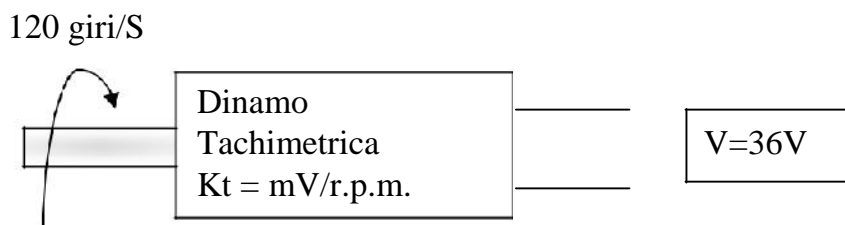
K_t costante tachimetrica

n rotazioni per minuto (r.p.m.)

Soluzione

$$n = 60 \cdot 120 = 7200 \text{ r.p.m.}$$

$$V = K_t \cdot n = 7200 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 36V$$



 **Esercizio 11 - (Trasduttore di velocità: Encoder)**

Quale risoluzione (numeri di impulsi per giro) ha un encoder per la misura di posizione di 0.25° ?
Supponendo che l'encoder sia solidale con un albero di un motore in rotazione alla velocità di 720 r.p.m. (Fig. 1), calcolare il periodo del segnale rilevato dal fototransistor.

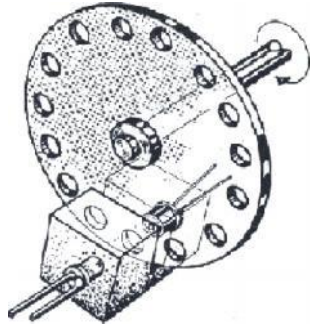
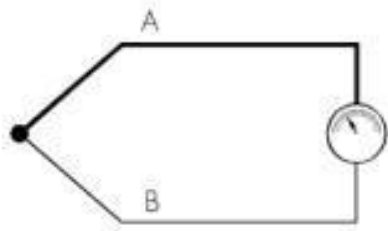


Fig. 1

Soluzione

- Numero impulsi = $360 / 0.25 = 1440$ (impulsi per ogni giro)
- Rotazione al secondo = $720 / 60 = 12$
- Frequenza (impulsi al secondo) = $1440 \cdot 12 = 17280$ Hz
- Periodo = $1 / f = 1 \div 17280 = 57,8 \mu\text{s}$

Esercizio 12 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia)



Una termocoppia viene utilizzata per misurare una temperatura variabile nel range $100\text{ }^{\circ}\text{C} \div +2500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La termocoppia utilizzata presenta le seguenti caratteristiche:

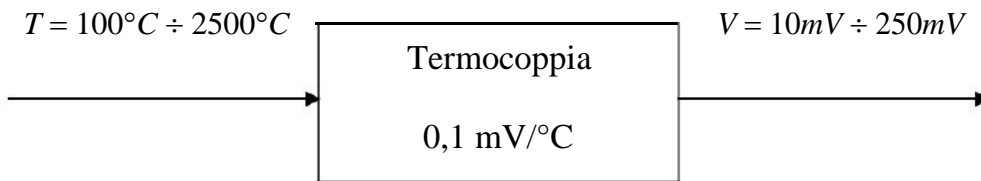
1. caratteristica di funzionamento $V=K*T$
 - a. V = differenza di potenziale in uscita misurata in mV
 - b. K =coefficiente di proporzionalità pari a $0,1\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
 - c. T =temperatura in gradi centigradi
2. Range di funzionamento della termocoppia $0^{\circ}\text{C} \div 3000^{\circ}\text{C}$

Calcolare il range d'uscita della termocoppia

Soluzione

$T=100\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow V=K*T=0,1*100=10\text{ mV}$

$T=2500\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow V=K*T=0,1*2500=250\text{ mV}$



Esercizio 13 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K)

Una termocoppia di tipo K ha il giunto freddo alla temperatura $T_1=20^\circ\text{C}$, determinare la tensione in uscita quando il giunto caldo si trova alla temperatura $T_2=70^\circ\text{C}$ e quando il giunto caldo si trova a $T_2=600^\circ\text{C}$.



Caratteristiche della termocoppia di Tipo K (Chromel (Ni-Cr) (+)/Alumel (Ni-Al) (-))

- Range di funzionamento $-200^\circ\text{C} \div 1260^\circ\text{C}$
- Sensibilità $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Soluzionea) $T_2=70^\circ\text{C}$

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot (T_2 - T_1) = 41 \cdot 10^{-6} \cdot (70 - 20) = 2,05\text{mV}$$

$$V_o(70^\circ\text{C})=2,05\text{mV}$$

b) $T_2=600^\circ\text{C}$

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot (T_2 - T_1) = 41 \cdot 10^{-6} \cdot (600 - 20) = 23,78\text{mV}$$

$$V_o(600^\circ\text{C})=23,78\text{mV}$$

Esercizio 14 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo J)

Una termocoppia di tipo J ha il giunto freddo alla temperatura $T_1=25^\circ\text{C}$; si misura la tensione del giunto caldo ottenendo un valore minimo di 5mV e uno massimo di 30mV. Trovare le corrispondenti temperature.



Caratteristiche della termocoppia di Tipo J ((ferro(+)) costantana(-))

- Range di funzionamento $-200^\circ\text{C} \div 750^\circ\text{C}$
- Sensibilità $51,7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Soluzionea) $V_o=5\text{mV}$

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot T_2 - S \cdot T_1$$

$$T_2 = \frac{V_o + S \cdot T_1}{S} = \frac{5 \cdot 10^{-3} + 51,7 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{51,7 \cdot 10^{-6}}$$

$$T_2 = 121,71^\circ\text{C}$$

$$T_2=121,71^\circ\text{C}$$

a) $V_o=30\text{mV}$

$$S = \frac{V_o}{T_2 - T_1}$$

$$V_o = S \cdot T_2 - S \cdot T_1$$

$$T_2 = \frac{V_o + S \cdot T_1}{S} = \frac{30 \cdot 10^{-3} + 51,7 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{51,7 \cdot 10^{-6}}$$

$$T_2 = 605,27^\circ\text{C}$$

$$T_2=605,27^\circ\text{C}$$

Esercizio 15 - (Trasduttore di temperatura: Termocoppia Tipo K)

In figura è riportato un estratto della tabella di calibrazione di un termocoppia di Tipo K con giunto di riferimento (Giunto freddo) a 0°C. Determinare la tensione di uscita corrispondente alla temperatura di 175 °C.

Tabella di calibrazione per termocoppia tipo K (NiCr-Ni)

FEM termoelettrica in mV - Giunto di riferimento a 0°C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055
100	4,098	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900

Soluzione**V_{out}=7,140 mV**

FEM termoelettrica in mV - Giunto di riferimento a 0°C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055
100	4,098	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900

Esercizio 17 (Trasduttore di temperatura: Generico)

Un trasduttore di temperatura con caratteristica di trasferimento

$V(T)=V_0+K*T$ dove T è la temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$, $V_0=0,45\text{V}$ e $K = 15\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ viene utilizzato per misurare una temperatura variabile nel range $15^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$. Calcolare:

- Range del trasduttore
- La temperatura corrispondente ad una tensione di 845 mV

Soluzione

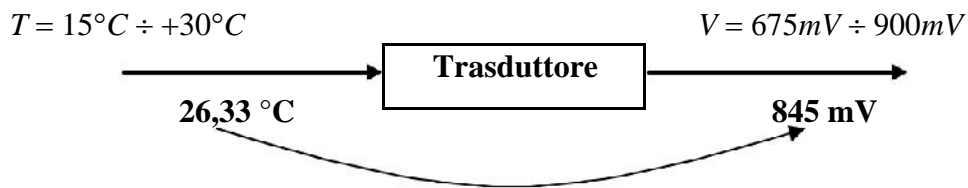
- Range del trasduttore

$$T=15^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad V(15^{\circ}\text{C})=0,45+15*15*10^{-3}=675 \text{ mV}$$

$$T=30^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad V(30^{\circ}\text{C})= 0,45+30*15*10^{-3}=900 \text{ mV}$$

- La temperatura corrispondente ad una tensione di 845 mV

$$V(T)=V_0+K*T \text{ quindi } T = \frac{V(T) - V_0}{K} = \frac{0,845 - 0,45}{15 \cdot 10^{-3}} = 26,33^{\circ}\text{C}$$



Esercizio 18 (Sensore di posizione lineare: Potenzimetro)

Un sensore di posizione lineare (potenziometro), con caratteristica di trasferimento $R_p = R_0 + K \cdot p$, viene utilizzato per misurare la lunghezza di un oggetto nel range $0\text{cm} \div 14\text{cm}$. Determinare:

- 1) il range di uscita del sensore.
- 2) La lunghezza dell'oggetto quando il sensore restituisce $2,7\text{ K}$

**Dati tecnici del sensore:**

Caratteristica di trasferimento: $R_p = R_0 + K \cdot p$

R_p = resistenza fornita dal sensore in funzione della posizione

$R_0 = 2,2\text{K}$

$K = 100 \text{ } /\text{cm}$

p = posizione lineare in cm

$I_{\text{max}} < 2,5\text{mA}$

Soluzione**1) Calcolo range di uscita**

a) $p = 0\text{cm}$ Valore minimo

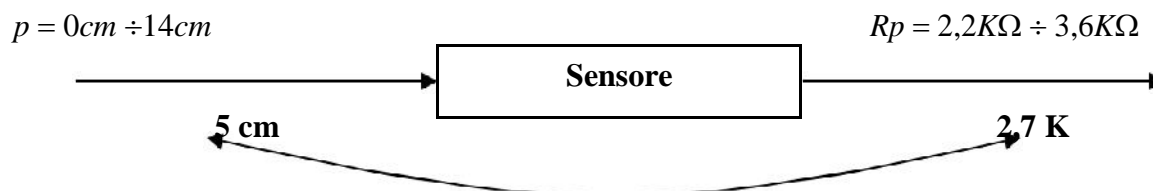
$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad \rightarrow \quad R_p(0\text{cm}) = 2,2 \cdot 10^3 + 100 \cdot 0 = 2,2\text{ K}$$

b) $p = 14\text{cm}$ Valore massimo

$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad \rightarrow \quad R_p(14\text{cm}) = 2,2 \cdot 10^3 + 100 \cdot 14 = 3,6\text{ K}$$

2) Calcolo lunghezza oggetto per $R_p = 2,7\text{ K}$

$$R_p = R_0 + K \cdot p \quad \rightarrow \quad p = \frac{R_p - R_0}{K} = \frac{2,7 \cdot 10^3 - 2,2 \cdot 10^3}{100} = 5\text{cm}$$



 **Esercizio 19 (Sensore di posizione angolare: Potenzimetro)**

Un sensore di posizione angolare (potenziometro rotativo), con caratteristica di trasferimento $R_p=R_0+K*g$, viene utilizzato per misurare uno spostamento angolare nel range $0^\circ \div 180^\circ$. Determinare:

- a) il range di uscita del sensore.
- b) angolo del perno quando il sensore restituisce 30 K



Dati tecnici del sensore:

Caratteristica di trasferimento: $R_p=R_0+K*g$

R_p = resistenza fornita dal sensore in funzione dell'angolo ($^\circ$)

$R_0=20K$

$K=100 \text{ } /^\circ$

p = Angolo ($^\circ$)

$I_{max}<3,5mA$

Soluzione

1) Calcolo range di uscita

a) $g=0^\circ$ Valore minimo

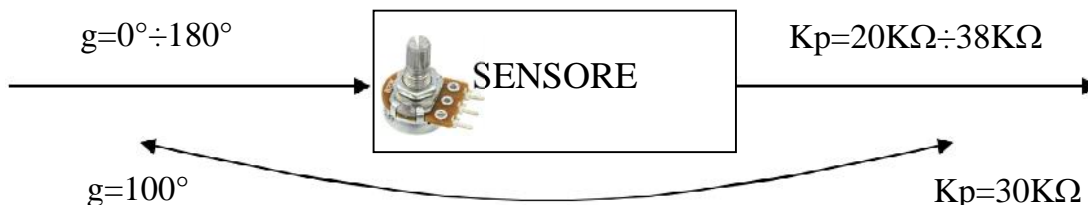
$$R_p=R_0+K*g \qquad R_{p(0^\circ)}=20*10^3+100*0=20 \text{ K}$$

b) $g=180^\circ$ Valore massimo

$$R_p=R_0+K*g \qquad R_{p(180^\circ)}=20*10^3+100*180=38 \text{ K}$$

2) Calcolo angolo perno per $R_p = 30 \text{ K}$

$$R_p=R_0+K*g \qquad g = \frac{R_p - R_0}{K} = \frac{30 \cdot 10^3 - 20 \cdot 10^3}{100} = 100^\circ$$



Istituto **P**rofessionale per L'**i**ndustria L'**A**rtigianato
"Antonio Guastaferra"
63074 SAN BENEDETTO DEL TRONTO (AP)

Classe : 4A_IPAI - 5A_IPAI

A.S. : 2019-2020

Docenti : Tufoni Franco -- Enrico Ruggieri

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

Esercizi

Condizionamento



Esercizio 1 - Condizionamento sensore di temperatura PT100

Un sensore 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°C)	$100\Omega + 0,1\%$
Coefficiente di temperatura (α)	$3,85 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
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.

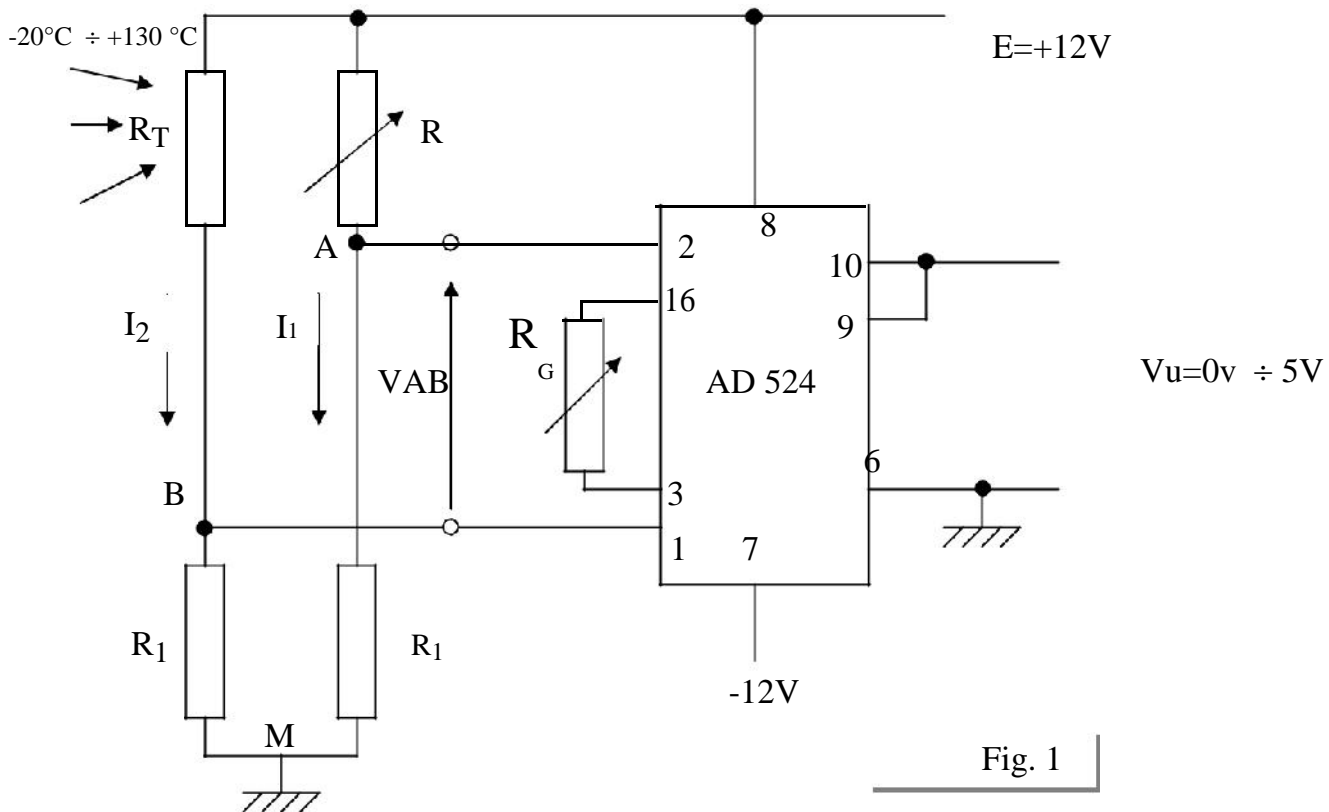


Fig. 1

Caratteristiche integrato AD524:

- χ) elevata soppressione di modo comune;
- δ) elevata linearità, basso rumore;
- ε) elevatissima impedenza d'ingresso ($10^9\Omega$);
- ϕ) alimentazione duale $\pm 6\text{V} \div \pm 18\text{V}$;
- γ) guadagni fissi (1, 10, 100, 1000) ottenibili senza componenti esterni;
- η) guadagni compresi tra 1 e 1000 ottenibili con l'utilizzo di un resistore esterno (R_G);

$$\bullet R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1} \quad G = \text{guadagno amplificatore, regolabile tramite } R_G. \quad R = 20\text{K}$$

● Calcolo Range di RT

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

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

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

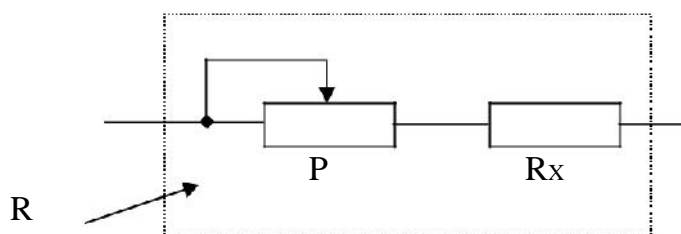
$$RT = R_0 (1 + \alpha T) = 100 (1 + 3.85 \cdot 10^{-3} \cdot 130) = 150,05$$

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

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 Ω con in serie un trimmer da 100 Ω (Fig. 2).



$$R_x = 47$$

$$P = 100 \text{ (Trimmer)}$$

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:

$$I_2 = \frac{E}{R_1 + RT(-20^{\circ}\text{C})} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ (Peggior condizione)}$$

quindi:

$$R_1 = \frac{E}{I_2} - RT(-20^{\circ}\text{C}) = \frac{12}{3 \cdot 10^{-3}} - 92,3 = 4000 - 92,3 = 3907,7 \text{ (Valore commerciale. } 3,9\text{ K)}$$

$$R_1 = 3,9\text{ K}$$

● 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. $T = -20^\circ \text{C} \longrightarrow V_{AB\min}$

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

Essendo: $R = RT(-20^\circ \text{C}) \longrightarrow$

$$V_{AB\min} = 0\text{V}$$

2. $T = +130^\circ \text{C} \longrightarrow V_{AB\max}$

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

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

$$V_{AB\max} = 11,72257 - 11,55541 = 0,167153$$

$$V_{AB\max} = 167,153 \text{ mV}$$

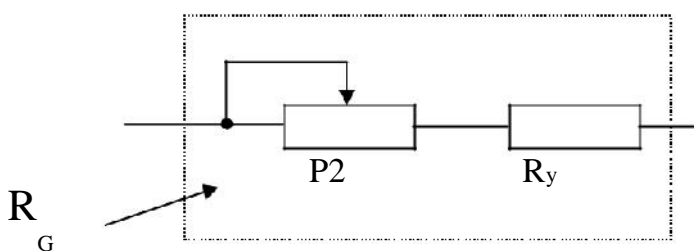
● Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524

$$G = \frac{V_{U\text{MAX}}}{V_{AB\text{MAX}}} = \frac{5}{167,153 \cdot 10^{-3}} = 29,913$$

● Calcolo R_G

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^3}{29,913 - 1} = \frac{40 \cdot 10^3}{28,913} = 1383,5 \Omega$$

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



$$R_y = 680$$

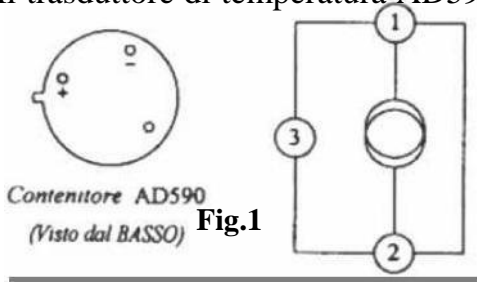
$$P2 = 1,2 \text{ K (TRIMMER)}$$

Fig.3

Esercizio 2 – Condizionamento trasduttore di temperatura AD590

Il trasduttore di temperatura AD590, prodotto dalla Analog Devices in forma integrata, è realizzato con materiale semiconduttore e produce in uscita una corrente proporzionale alla temperatura (espressa in gradi Kelvin).

E' un dispositivo a due terminali e per tensioni di alimentazioni nel range 4 ÷ 30V genera una corrente di $1 \mu\text{A/K}$ (fig 1).



Nelle applicazioni pratiche si pone il problema di convertire il segnale di uscita dell'AD590 in tensione. Molto spesso è necessario adattare il segnale alle specifiche dei convertitori A/D.

Per effettuare la conversione I/V, si possono utilizzare i circuiti di Fig. 2 e Fig. 3.

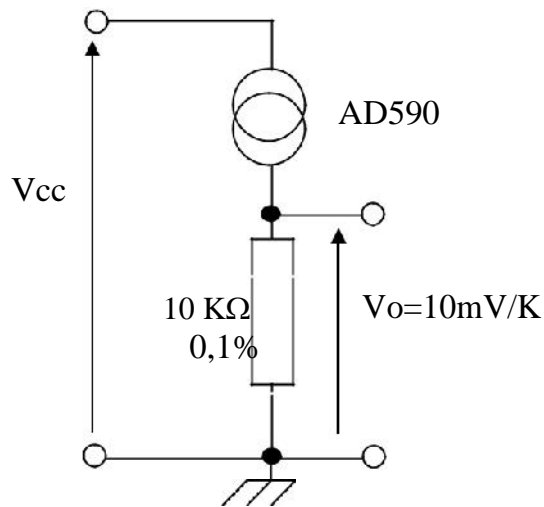
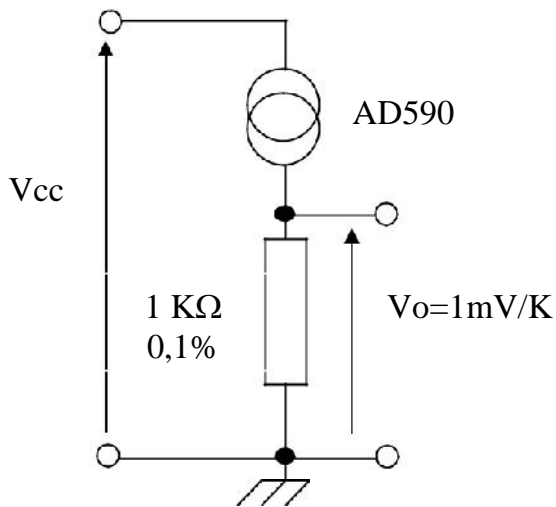


Fig. 2

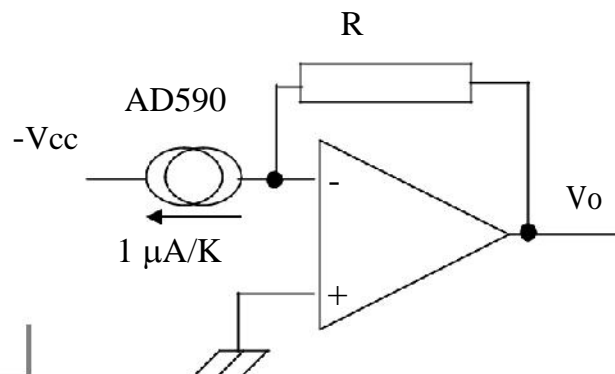
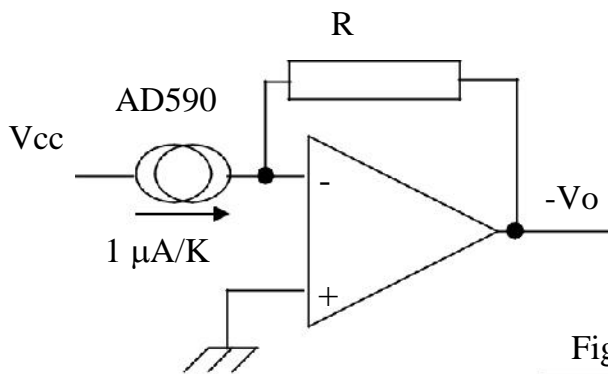


Fig. 3

a) consigliabile la conversione I/V con amplificatore operazionale perché l'operazionale svolge sia la funzione di amplificazione che quella di circuito separatore.

b) Nel condizionamento con amplificatore per strumentazione si utilizza la configurazione di Fig.2 con resistore di 1KΩ oppure 10 KΩ.

Esempio – 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 .

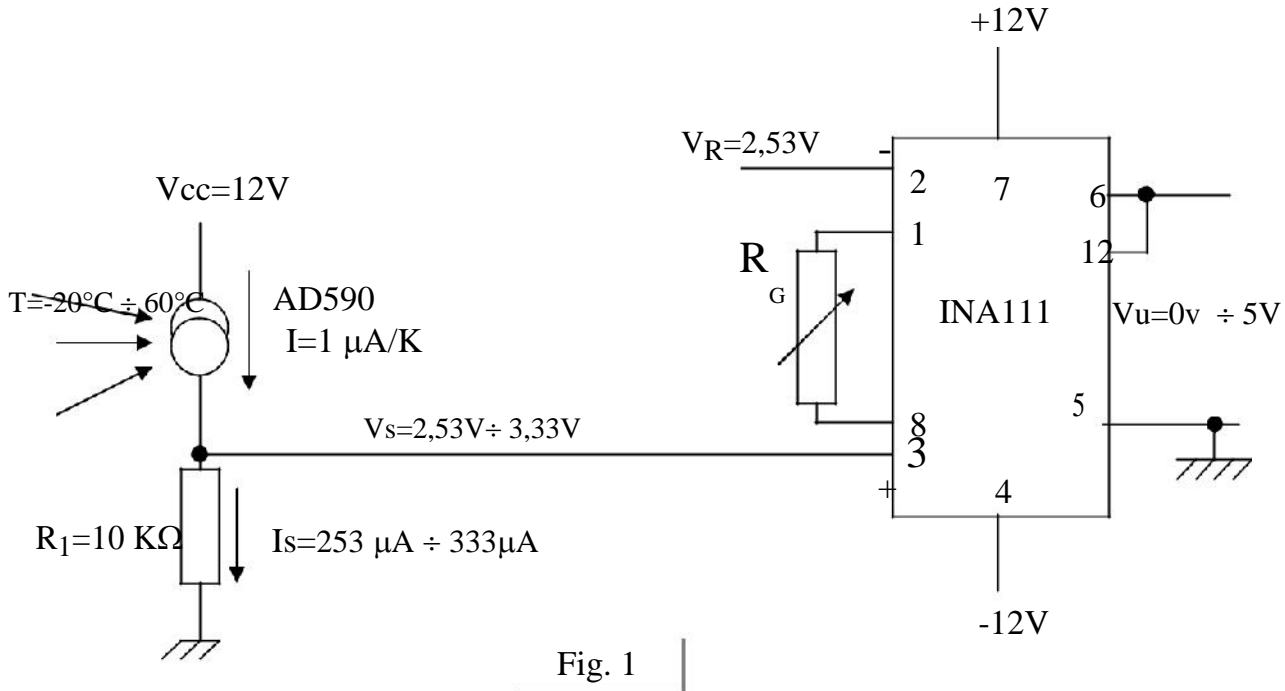


Fig. 1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

● Calcolo V_R (Offset)

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

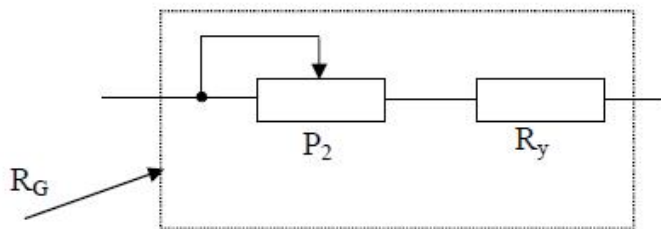
● Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione INA111

$$G = \frac{V_u^{MAX}}{V_s \max - V_R} = \frac{5}{3,33 - 2,53} = 6,25$$

● 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 4700Ω con in serie un trimmer da $10K$ (Fig.3)

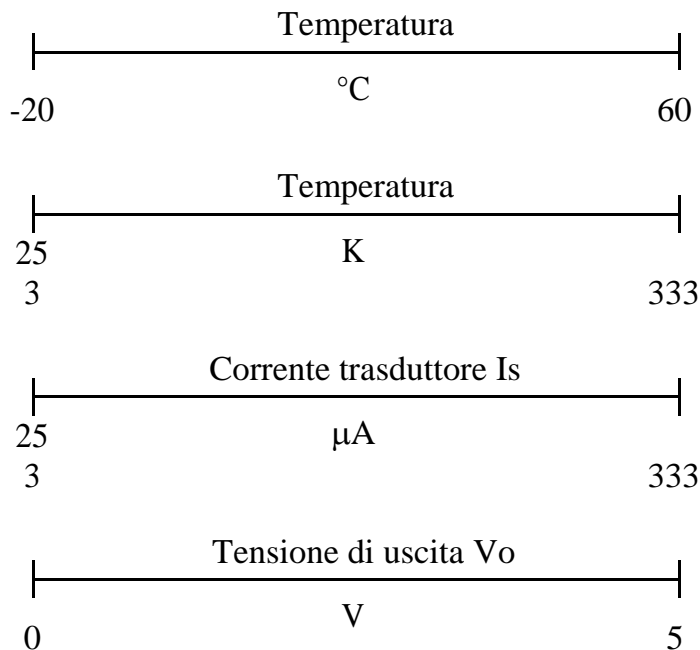


$$R_G = R_y + \frac{P_2}{2}$$

$$R_y = 4700 \Omega$$

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

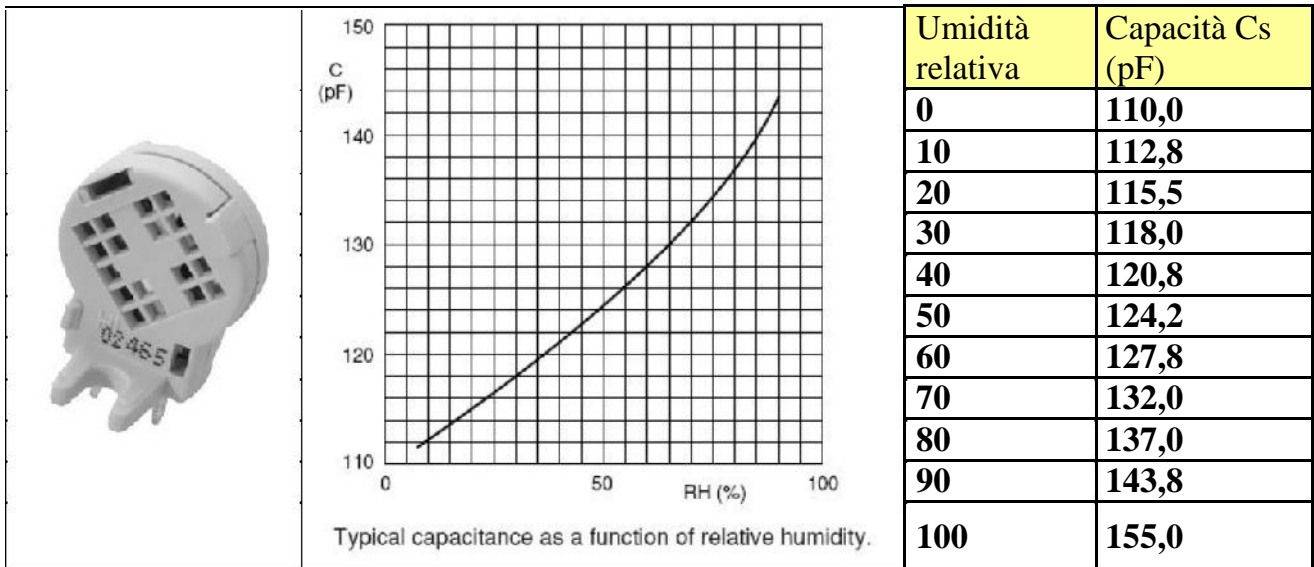
Fig.3



Esercizio 3 **Condizionamento sensore capacitivo di umidità**

Si realizzi un circuito di condizionamento per il rilievo dell'umidità relativa nel range 10%÷90%. La tensione di uscita V_o sia 0V per $U\%=10\%$ e 5V per $U\%=90\%$.

In tabella è riportata la caratteristica di trasferimento del sensore 2322 691 900001 Philips Elcoma.



Soluzione

In figura 1 è riportato lo schema a blocchi del sistema da progettare.

$$C_s = 112,8\text{pF} \div 143,8\text{pF}$$

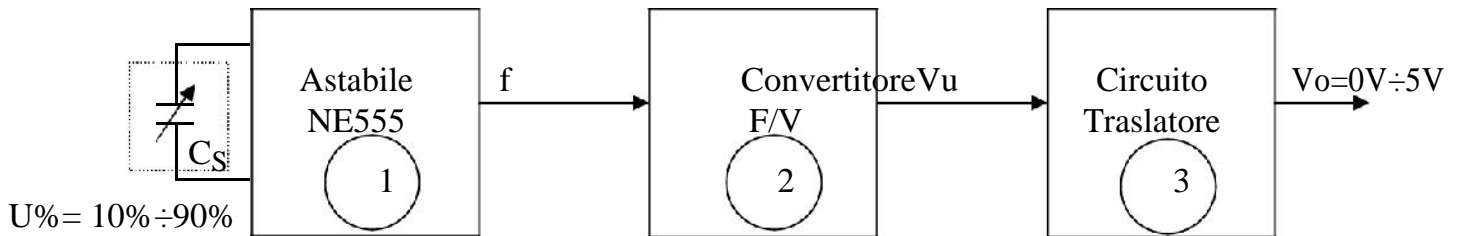


Fig.1

1) Dimensionamento blocco 1 (Astabile con NE555).

In figura 2 è riportato lo schema elettrico del circuito multivibratore con NE555.

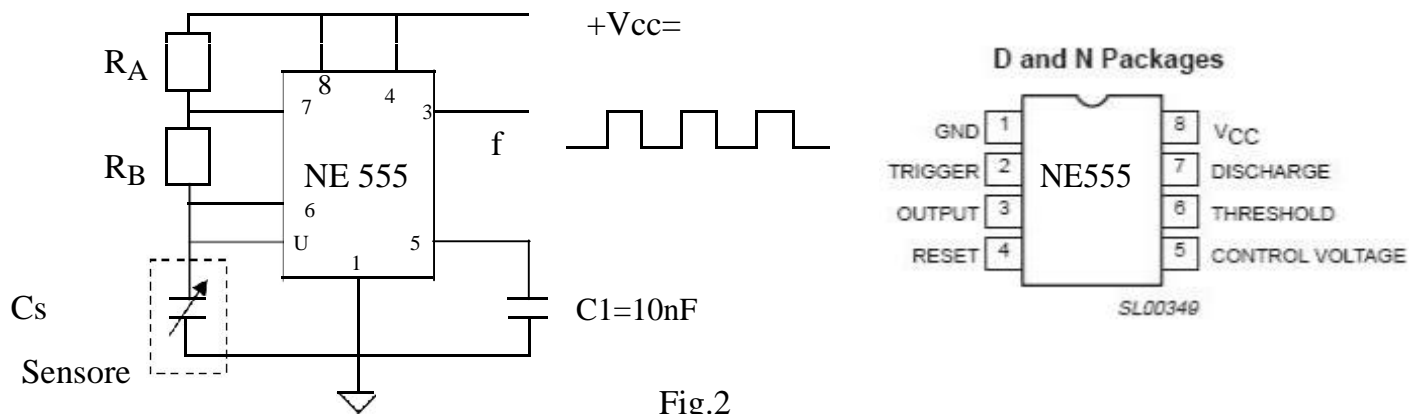


Fig.2

Per il calcolo della frequenza f si utilizza la seguente formula:

$$f = \frac{1}{0,7 \cdot (RA + 2RB) \cdot Cs}$$

Si pone $R_A = 10K\Omega$; $R_B = 1,2M\Omega$, in modo da avere un duty cycle $DC\% = 50\%$.

Dalla precedente formula si ricavano i valori della frequenza f_{max} e f_{min} :

$$D_{max} \rightarrow U\% = 10\% \rightarrow Cs = 112,8 pF$$

$$f_{max} = \frac{1}{0,7 \cdot (RA + 2RB) \cdot Cs} = \frac{1}{0,7 \cdot [10 \cdot 10^3 + 2 \cdot (1,2 \cdot 10^6)] \cdot 112,8 \cdot 10^{-12}} = 5,26 KHz$$

$$\square_{min} \rightarrow U\% = 90\% \rightarrow Cs = 143,8 pF$$

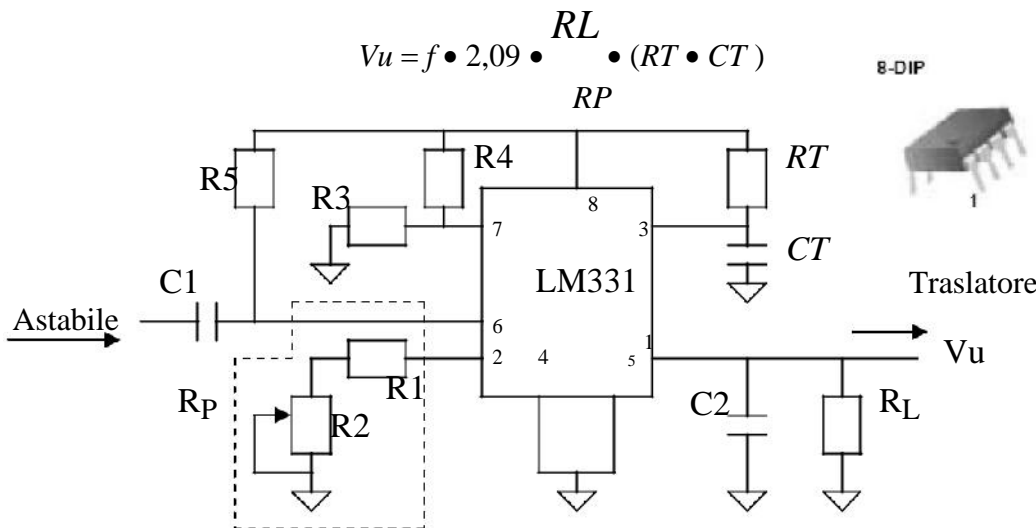
$$f_{min} = \frac{1}{0,7 \cdot (RA + 2RB) \cdot Cs} = \frac{1}{0,7 \cdot [10 \cdot 10^3 + 2 \cdot (1,2 \cdot 10^6)] \cdot 143,8 \cdot 10^{-12}} = 4,11 KHz$$

2) Dimensionamento blocco 2 (Convertitore Frequenza/Tensione).

In figura 3 è riportato lo schema elettrico del circuito convertitore frequenza/tensione basata sull'integrato LM331. Il multivibratore astabile di figura 2 genera un segnale ad onda quadra con frequenza f variabile dipendente dall'umidità relativa.

Il circuito di figura 3 opera la conversione f/V secondo la seguente relazione:

$$Vu = f \cdot 2,09 \cdot \frac{RL}{RP} \cdot (RT \cdot CT)$$



Elenco componenti	
R1	12K
R2	4,7K
R3	68K
R4	10K
R5	10K
R6	6,8K
RL	100K
CT	0,01μ F
C1	470pF
C2	1μ F

Fig.3

Tarando opportunamente la resistenza R_2 , la tensione di uscita V_o aumenta di 1V per ogni KHz della frequenza f generata dall'astabile.

Con il cursore di R_2 circa a metà tutto il termine $2,09 \cdot \frac{RL}{RP} \cdot (RT \cdot CT) \cong 1$; quindi $V_u = f$.

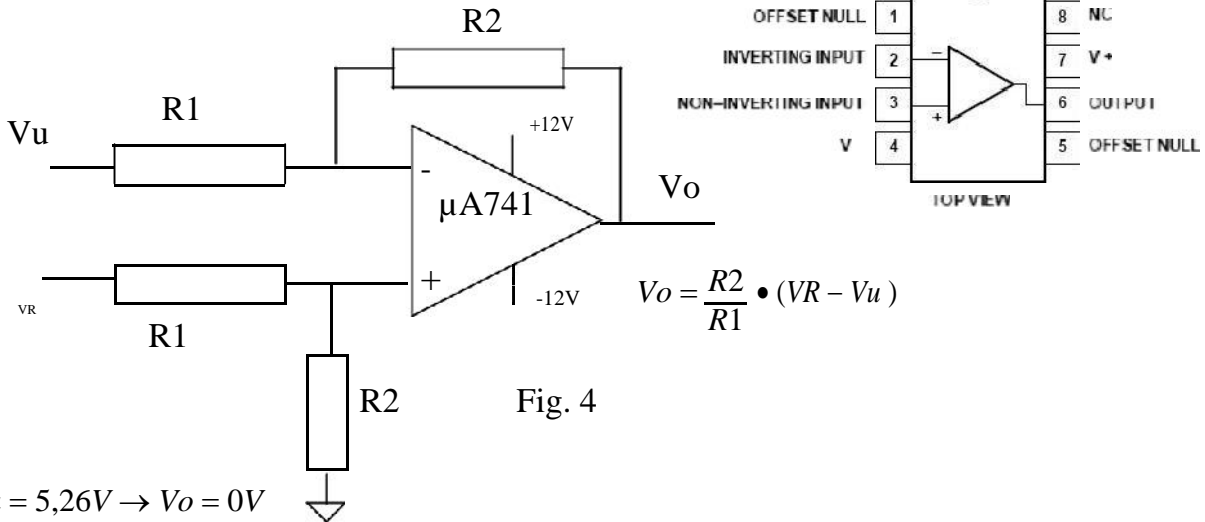
Riassumendo:

$$U\% = 10\% \rightarrow f = 5,26 KHz \rightarrow Vu = 5,26V$$

$$U\% = 90\% \rightarrow f = 4,11 KHz \rightarrow Vu = 4,11V$$

3) Dimensionamento blocco 3 (Circuito traslatore).

In figura 4 è riportato lo schema elettrico del circuito traslatore.



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

Fig. 4

- 1) $V_u = 5,26V \rightarrow V_o = 0V$
 $0 = \frac{R_2}{R_1} (V_R - 5,26) \rightarrow V_R = 5,26V$
- 4. $V_u = 4,11V \rightarrow V_o = 5V$
 $5 = \frac{R_2}{R_1} (5,26 - 4,11) \rightarrow \begin{cases} R_2 = 5K \\ R_1 = 1,15K \end{cases}$

4) Dimensionamento generatore tensione di riferimento.

La tensione di riferimento V_R ($V_R=5,26V$) per il circuito traslatore viene realizzata con il circuito di figura 5.

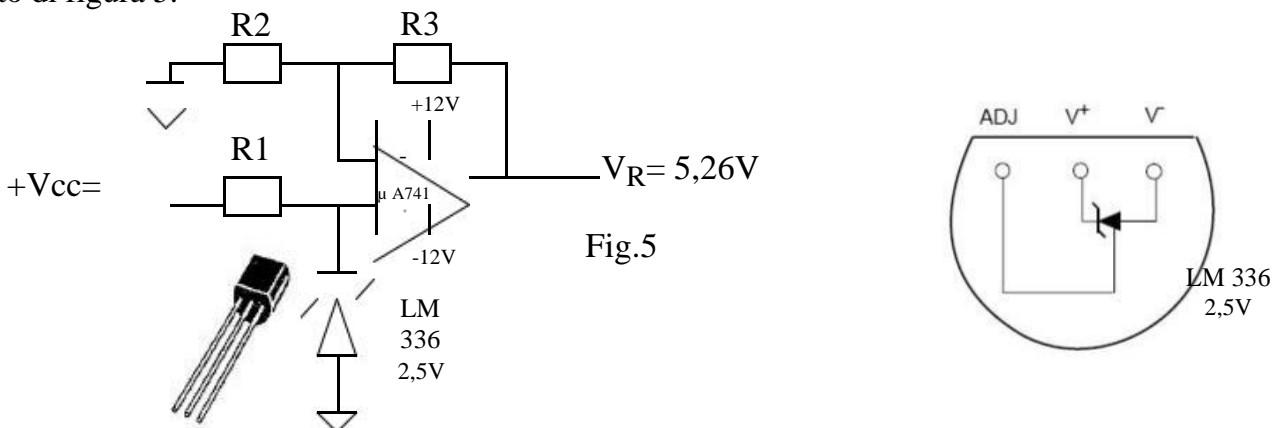
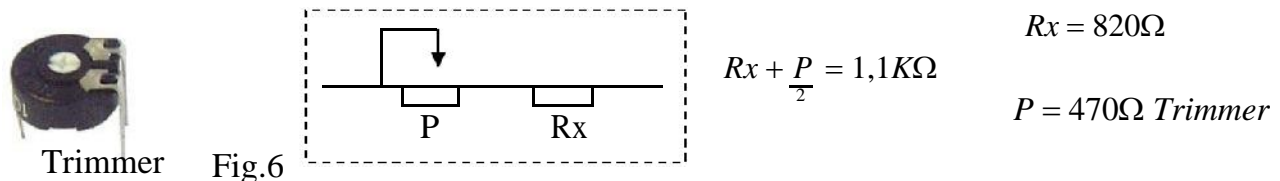


Fig.5

Dimensionamento R_3, R_2 .

$$V_R = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \cdot V_z \rightarrow \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) = \frac{V_R}{V_z} \rightarrow \frac{R_3}{R_2} = \frac{V_R}{V_z} - 1 \rightarrow \frac{5,26}{2,5} = 1,104 \rightarrow \begin{cases} R_3 = 1,1K\Omega \\ R_2 = 1K\Omega \end{cases}$$

Nel circuito di figura 5 deve essere previsto un sistema di regolazione per la taratura di V_R . La resistenza R_3 viene realizzata con una resistenza fissa collegata in serie con un trimmer come indicato in figura 6.



Esercizio 4 - 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

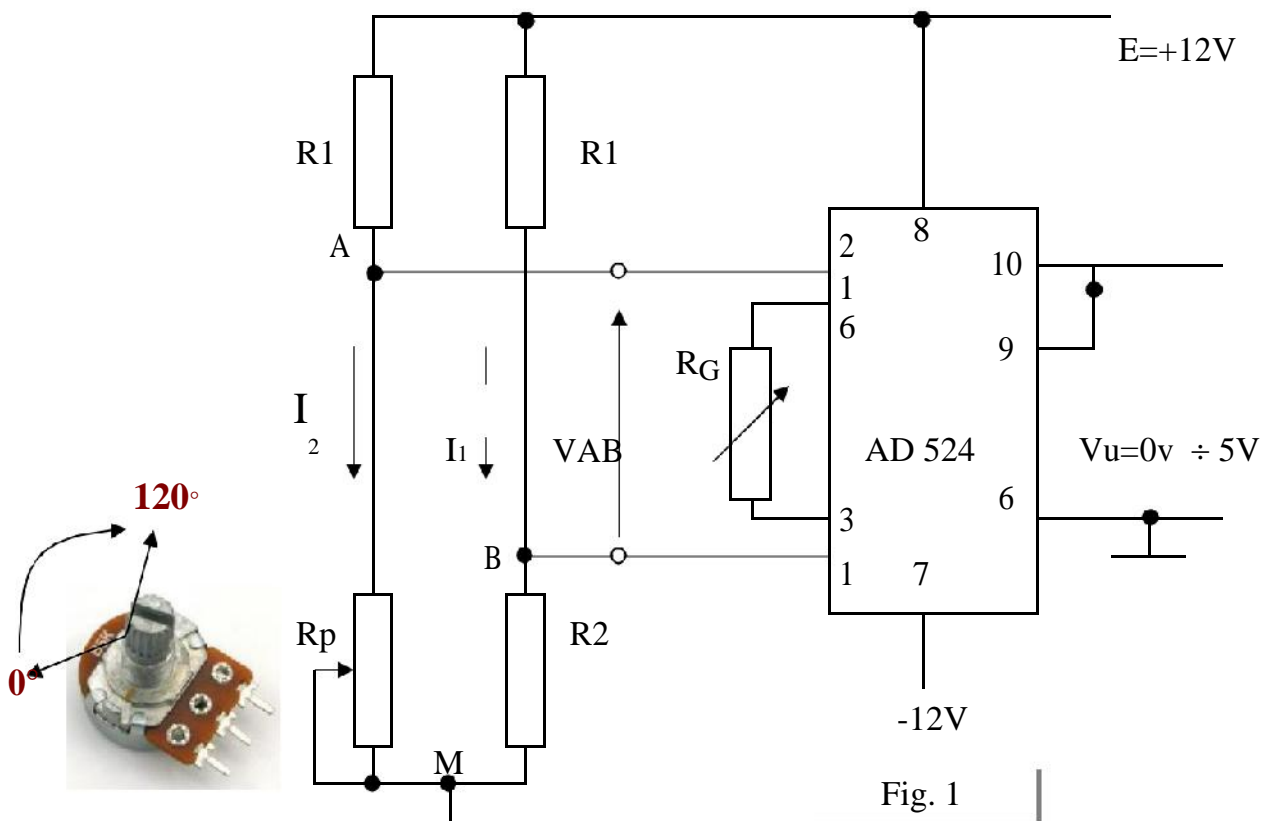
$R_0 = 1K$ $K = 10 \text{ } /^\circ$ g = Gradi relativi alla posizione $I_{max} < 1,5mA$

Domande:

- disegnare il circuito e dimensionare i componenti;
- 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: (Data Sheet completo: <http://didattica2000.altervista.org>)

- 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);

$$R_G = \frac{40 \cdot 10^3}{G - 1} \quad G = \text{guadagno amplificatore, regolabile tramite } R_G. \quad R = 20K$$

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:

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

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

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 R_p . Il termine R_p si trova sia al numeratore sia al denominatore, quindi non c'è una proporzionalità diretta. Affinché la V_{AB} sia funzione lineare di R_P , si deve verificare $R_1 \gg R_p$, quindi è preferibile scegliere $R_1 \gg$ di $8,2K\Omega$ (esempio $R_1=220K\Omega$)

- V_{ABmin} = 0V**
- 1) $g=0^\circ$ siccome $R_2=R_{pmin}=1K\Omega$
- 2) $g=120^\circ$ $R_p=R_{pmax}=2,2 \text{ K}\Omega$, $R_1=220 \text{ K}\Omega$, $R_2=1 \text{ K}\Omega$, $E=12V$

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

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

$$V_{AB \max} = 0,118812 - 0,054299 = 0,064513V$$

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

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

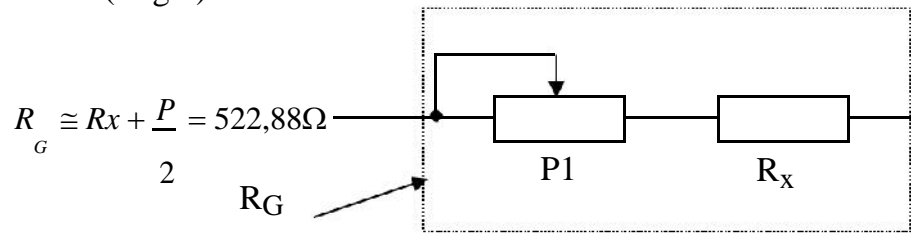
Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione AD524

$$G = \frac{V_u}{V_{AB \max}} = \frac{5}{64,513 \cdot 10^{-3}} = 77,50$$

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 Ω con in serie un trimmer da 560 Ω (Fig.2)



$$R_x = 680$$

$$P1 = 560 \quad (\text{TRIMMER})$$

Fig.2

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

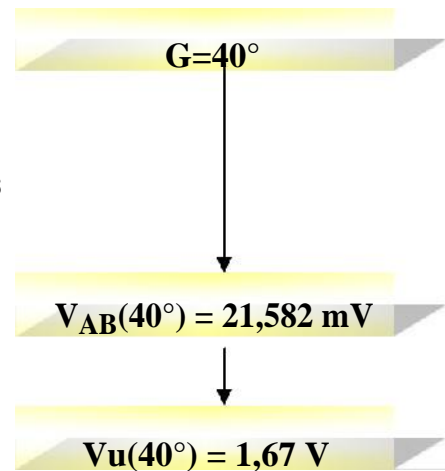
$$g = 40^\circ \quad R_p = R_0 + K \cdot g = 1 \cdot 10^3 + 10 \cdot 40 = 1 \cdot 10^3 + 400 = 1,4 \text{ K}\Omega$$

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

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

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

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



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

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

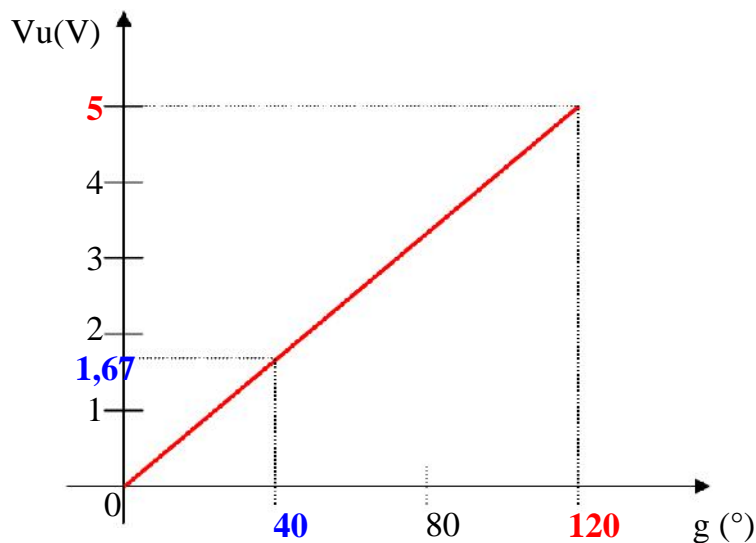


Fig.3

Esercizio 7 - Condizionamento trasduttore fotoelettrico NORP-12

Si progetti un circuito di condizionamento per il fotoresistore 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

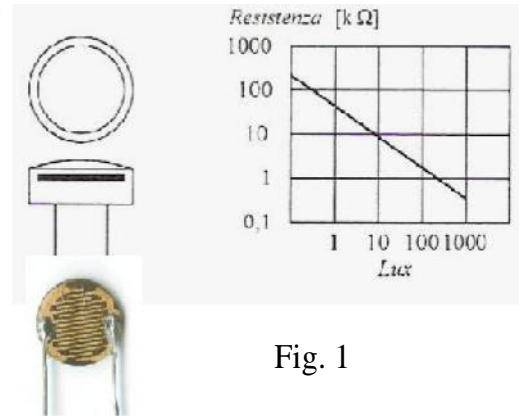


Fig. 1

Soluzione

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

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

Tabella 2

Il fotoresistore NORP-12**Struttura e caratteristiche**

I fotoresistori sono costituiti da materiali semiconduttori leggermente drogati (solfuro di cadmio, solfuro di piombo, ecc..). Quando la superficie sensibile del fotoresistore 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:

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

Dove:

Γ **A** è una costante dimensionale che dipende dalla forma geometrica della superficie esposta alla luce

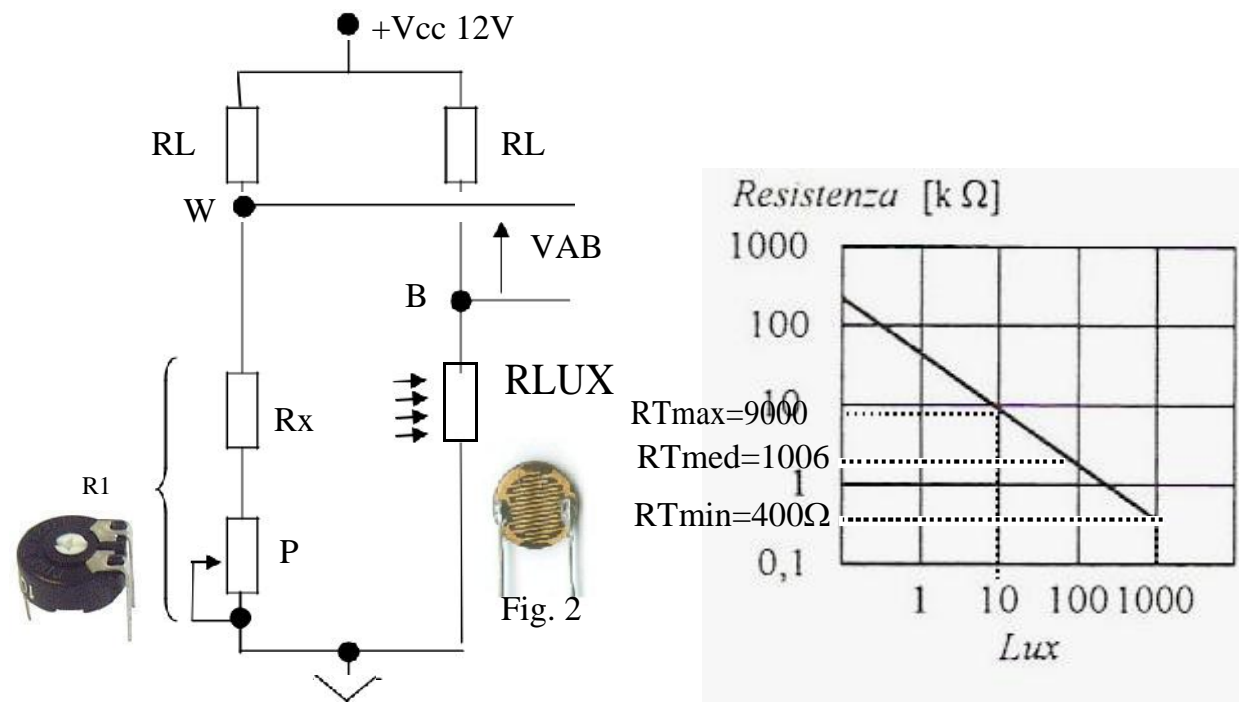
H **E** è l'illuminamento(flusso luminoso incidente per una superficie unitaria);

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

- $LUX=1000L_x$ $RLUX=400\Omega$

$$VAB = \frac{V_{cc} \cdot R1}{VAB=5,0V RL + R1} = \frac{V_{cc} \cdot RLUX (L_x = 1000)}{RL + RLUX (L_x = 1000)}$$

; sostituendo i valori si ottiene

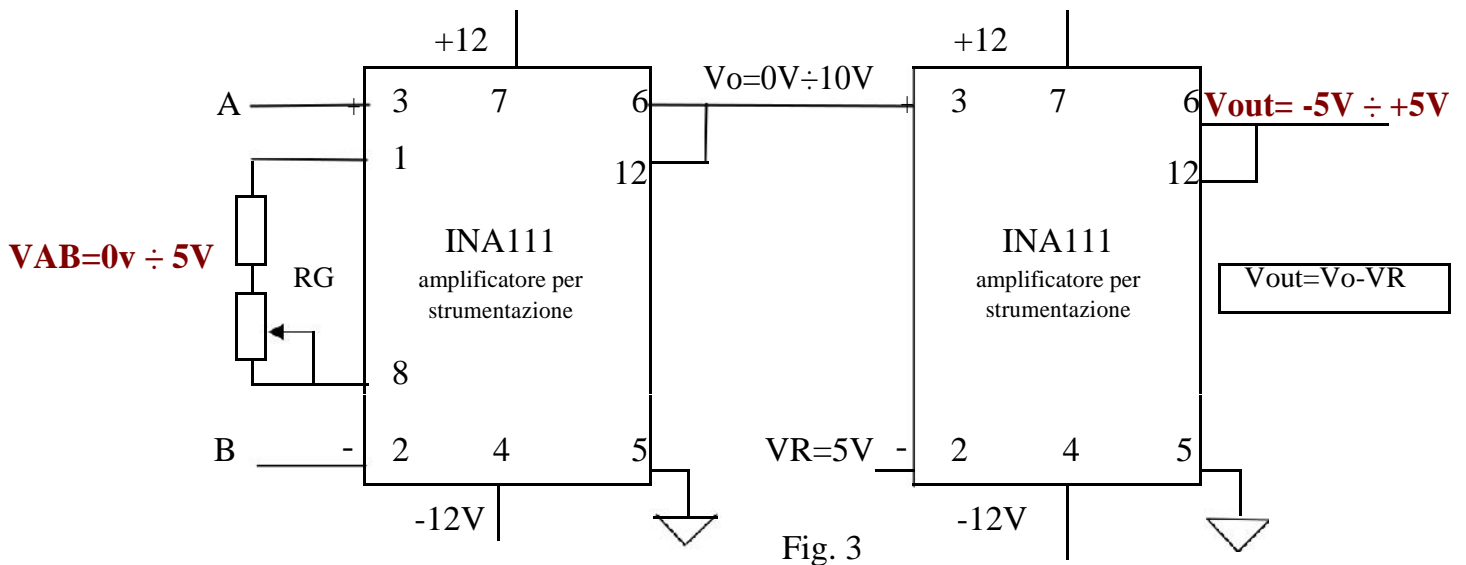
$VAB=0V \div 5V$

Blocco di condizionamento

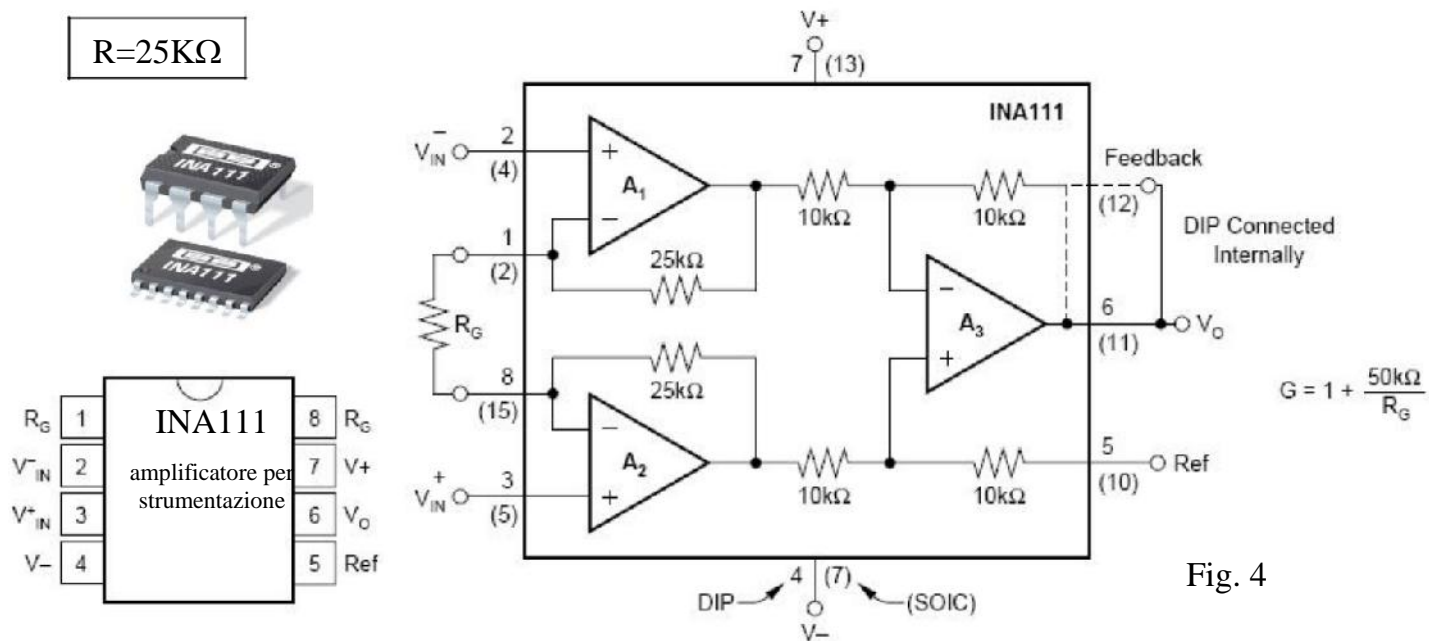
Per riportare la tensione VAB (0V ÷ 5V) nel range -5V +5V si utilizzano 2 blocchi con 2 amplificatori per strumentazione.

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 ÷ +5.

In figura 3 lo schema elettrico



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



Calcolo del guadagno G (primo blocco)

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

Dimensionamento di R_G

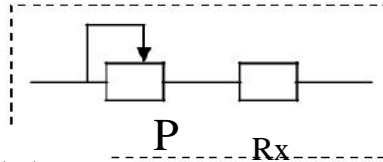
$$R_G = \frac{2R}{G-1} = \frac{50.000}{2-1} = 50K \Omega$$

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).

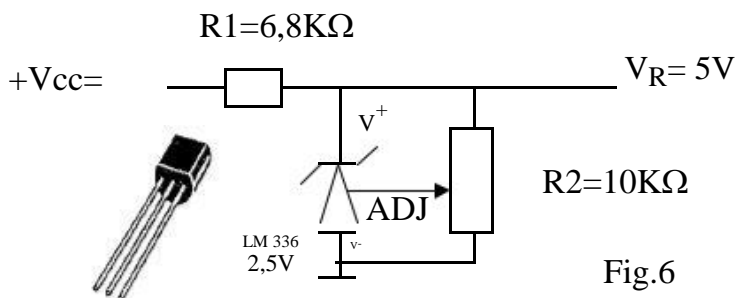
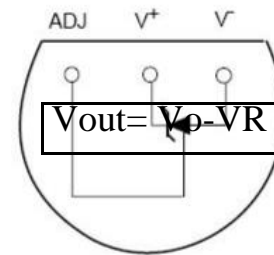


Fig.6



LM 336
2,5V

Esercizio 8 – Condizionamento trasduttore di temperatura **LM35**

Struttura e caratteristiche:

Il circuito integrato LM35 è un trasduttore di temperatura prodotto dalla National e fornisce una tensione d'uscita proporzionale alla temperatura espressa in gradi Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Le sue caratteristiche principali sono:

calibrazione diretta

tensione di alimentazione da 4V a 30V

uscita lineare in tensione 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$ (sensibilità 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$)

corrente di uscita uguale a 10 mA.

Utilizzo:

Per le sue caratteristiche il dispositivo può essere utilizzato direttamente senza componenti aggiuntivi quando il range di funzionamento non prevede temperature $<0^{\circ}\text{C}$

Esercizio 9 – Condizionamento trasduttore di temperatura

Un trasduttore di temperatura fornisce una tensione di 10 mV/K a 0 K la tensione è nulla. Si vuole condizionare il segnale per ottenere una tensione di 100mV/°C e a 0°C la tensione è nulla. Supponendo che la temperatura vari tra $-50^{\circ}\text{C} \div +90^{\circ}\text{C}$, proporre una soluzione e dimensionare i componenti.

Soluzione

Il segnale può essere considerato lentamente variabile e quindi non è critica la risposta in frequenza.

Tensione fornita dal trasduttore a 0°C ($=273,16\text{K}$) $\rightarrow V_s(0^{\circ}\text{C}) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 273,16 = 2,73\text{V}$ Il circuito deve moltiplicare per 10 e sottrarre 2,73V.

Si sottrae 2,73V perché a 0°C la tensione deve essere nulla.

● **Calcolo range del trasduttore:**

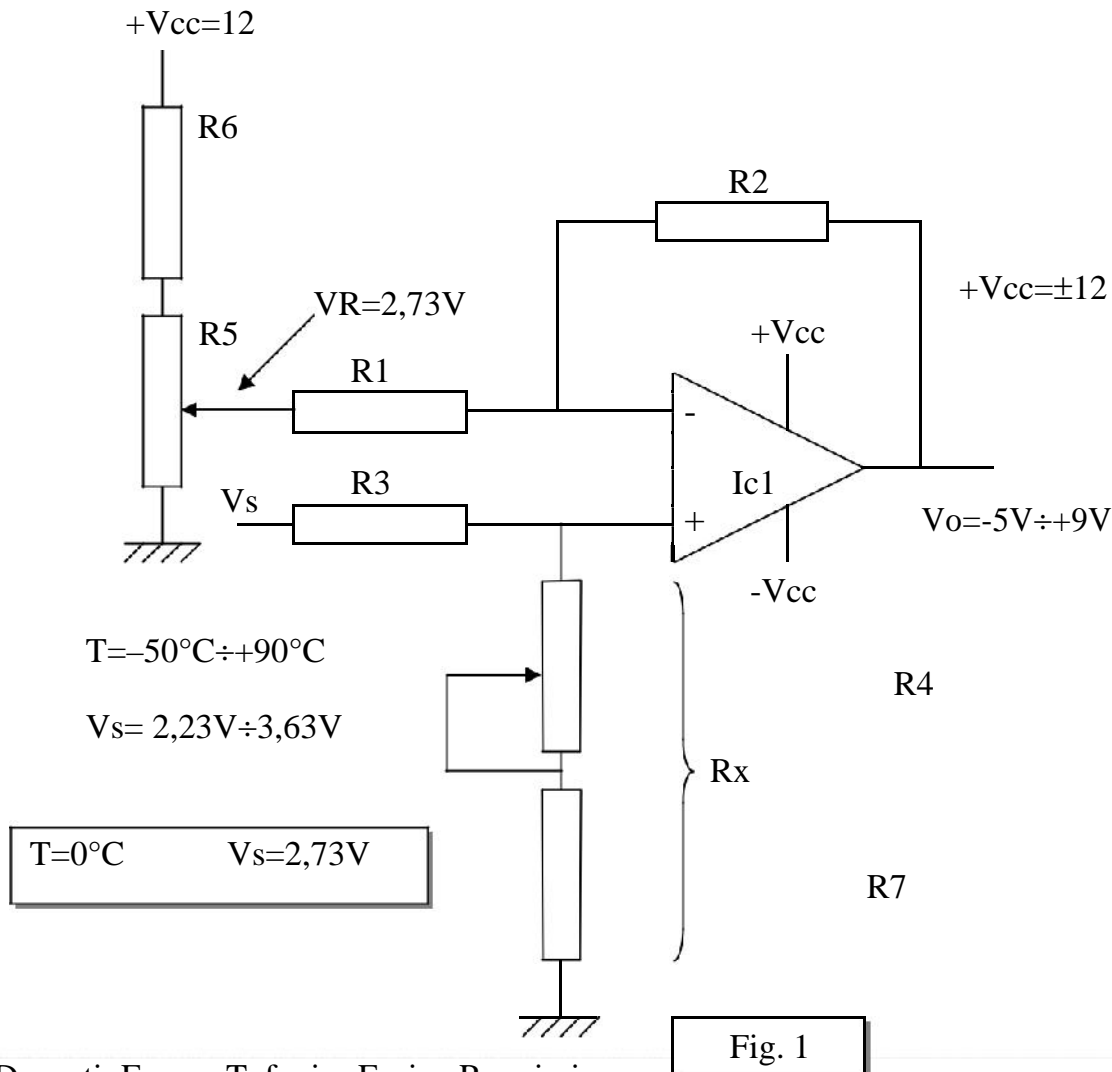
$$-50^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad -50 + 273 = 223\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s(-50^{\circ}\text{C}) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 223 = 2,23\text{V}$$

$$0^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad 0 + 273 = 273\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s(0^{\circ}\text{C}) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 273 = 2,73\text{V}$$

$$+90^{\circ}\text{C} \quad \rightarrow \quad +90 + 273 = 363\text{K} \quad \rightarrow \quad V_s(+90^{\circ}\text{C}) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 363 = 3,63\text{V}$$

Il trasduttore fornisce una tensione compresa tra $2,23\text{V} \div 3,63\text{V}$ nel range ($-50^{\circ}\text{C} \div +90^{\circ}\text{C}$)

In fig.1 è riportato lo schema completo con le regolazioni (amplificatore differenziale)



Se $R1=R3$ e $R2=R_x$

$$V_o = \frac{R2}{R1} \cdot (V_s - V_R)$$

Affinché $V_o=0V$ per $T=0^\circ C$, la tensione $V_R=V_s(0^\circ C)=2,73V$, quindi **$V_R=2,73V$** . La tensione di riferimento V_R ($V_R=2,73V$) si ottiene con il partitore $R5,R6$.

$R5=10K\Omega$ (trimmer lineare), $R6=10K\Omega$ con $V_{cc}=+12V$

● Calcolo escursione di V_R

$$V_{R \min} = 0V; \text{ essendo } R5=R6 \Rightarrow V_{R \max} = \frac{V_{cc}}{2} = 6V \quad V_{R \text{ CENTRO}} = \frac{V_{R \max}}{2} = 3V$$

● Dimensionamento $R2$ e $R1$

Per il dimensionamento si determina la tensione di uscita V_o corrispondente ad un valore di temperatura.

Siccome deve corrispondere $100mV/^\circ C$, quindi $V_o(-50^\circ C)=100 \cdot 10^{-3} \cdot (-50) = -5V$ $T=-50^\circ C \Rightarrow V_o=-5V$

$$V_o(-50^\circ C) = \frac{R2}{R1} \cdot (V_s(-50^\circ C) - V_R) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -5 = \frac{R2}{R1} \cdot (2,23 - 2,73) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -5 = \frac{R2}{R1} \cdot (-0,5) \Rightarrow \frac{R2}{R1} = \frac{5}{0,5} \begin{cases} R2=10K\Omega \\ R1=1K\Omega \end{cases}$$

● Calcolo tensione d'uscita Per $T=+90^\circ C$

$$V_o(+90^\circ C) = \frac{R2}{R1} \cdot (V_s(+90^\circ C) - V_R) \quad V_o(+90^\circ C) = \frac{10 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} (3,63 - 2,73)$$

$$V_o(+90^\circ C) = 10 \cdot 0,9 = 9V$$

$$V_o(+90^\circ C) = 9V$$

● Dimensionamento di $R4$ e $R7$ ($R_x=10k\Omega$)

Si sceglie $R4=10 K\Omega$ (trimmer lineare), $R7=4,7 K\Omega$

$$R_{x \min} = 4,7K\Omega \quad R_{x \text{ CENTRO}} = R7 + \frac{R4}{2} = 9,7K\Omega \quad R_{x \max} = R7 + R4 = 14,7K\Omega$$

● Elenco componenti circuito fig.5:

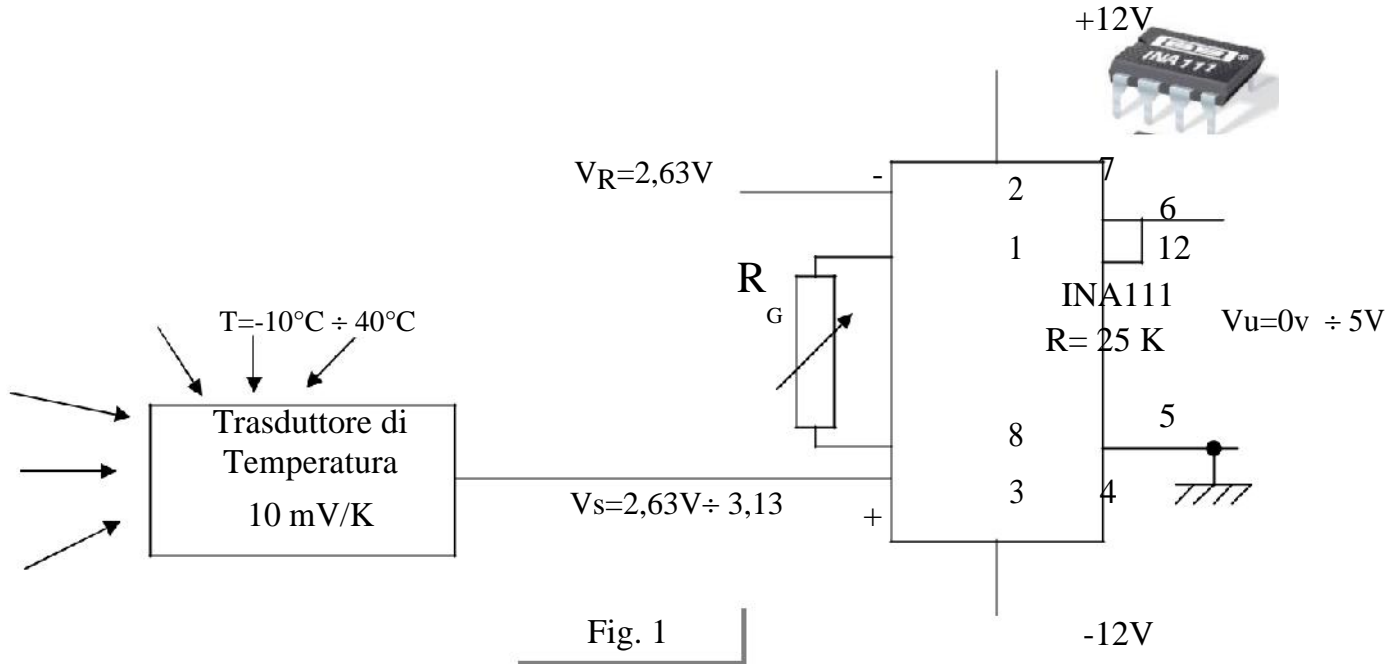
- Ⓟ $R1=1 K\Omega$
- Ⓟ $R2=10 K\Omega$
- Ⓟ $R3=1 K\Omega$
- Ⓟ $R4=10 K\Omega$ (trimmer lineare)
- Ⓟ $R5=10 K\Omega$ (trimmer lineare)
- Ⓟ $R6=10 K\Omega$
- Ⓟ $R7=4,7 K\Omega$
- Ⓟ $I_{c1}=\mu A741$ (14PINDIP)

Esercizio 10 – 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**

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

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

Calcolo range della tensione fornita dal trasduttore

$$T(^{\circ}\text{C}) = -10^{\circ}\text{C} \rightarrow T(\text{K}) = 263\text{K} \rightarrow I_s = 263 * 10 * 10^{-3} = 2,63\text{ V}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 40^{\circ}\text{C} \rightarrow T(\text{K}) = 313\text{K} \rightarrow I_s = 313 * 10 * 10^{-3} = 3,13\text{ V}$$

Calcolo V_R (Offset)

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

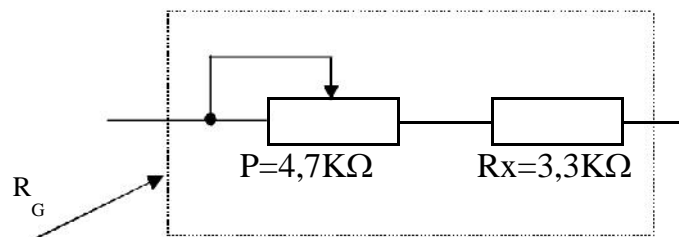
si pone $V_R = V_s(-10^{\circ}\text{C}) = 2,63\text{V}$

Calcolo guadagno G dell'amplificatore per strumentazione INA111

$$G = \frac{V_u}{V_s \text{ max} - V_R} = \frac{5}{3,13 - 2,63} = 10$$

Calcolo R_G

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 110 - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{10 - 110 - 1} = 5555,56\Omega$$



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

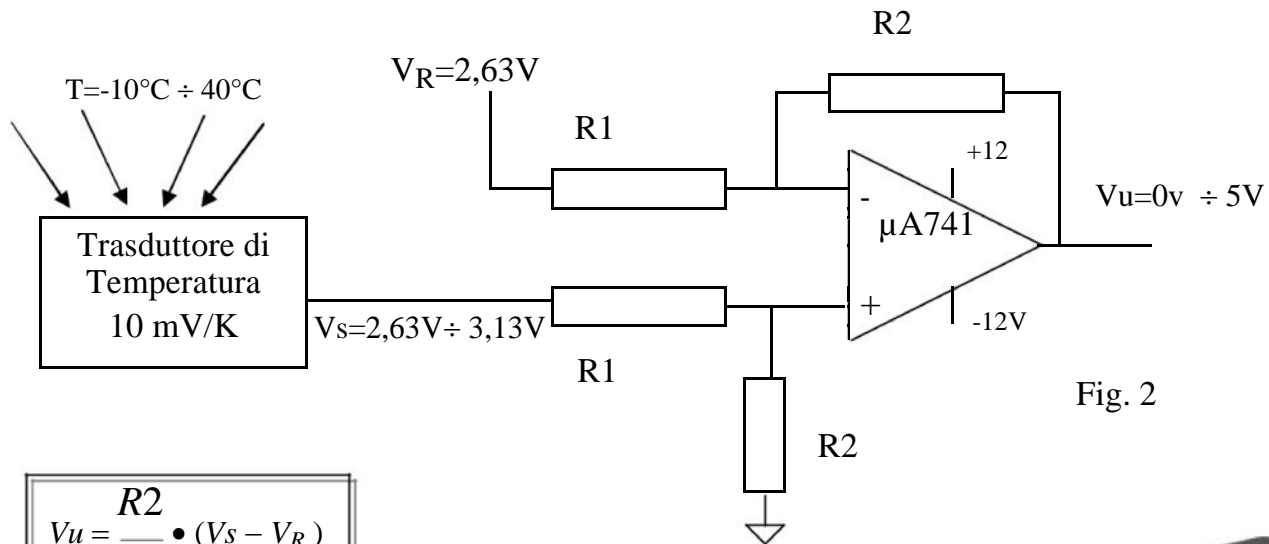


Fig. 2

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

• $V_S = 2,63V \rightarrow V_u = 0V$

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

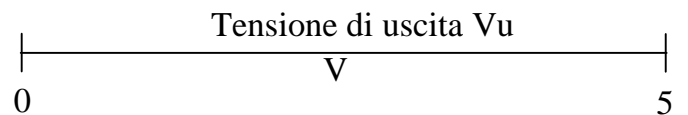
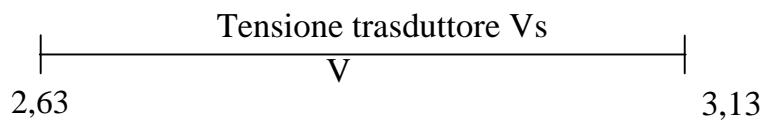
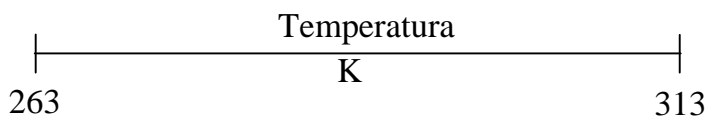
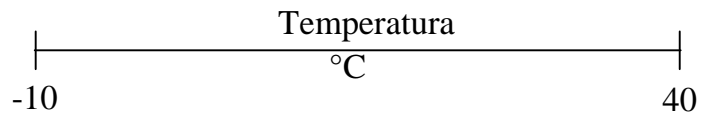
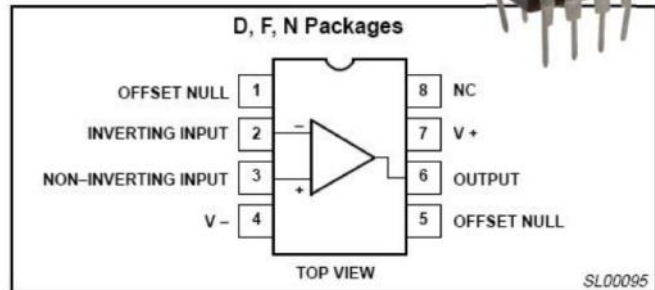
c) $V_S = 3,13V \rightarrow V_u = 5V$

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

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

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

PIN CONFIGURATION

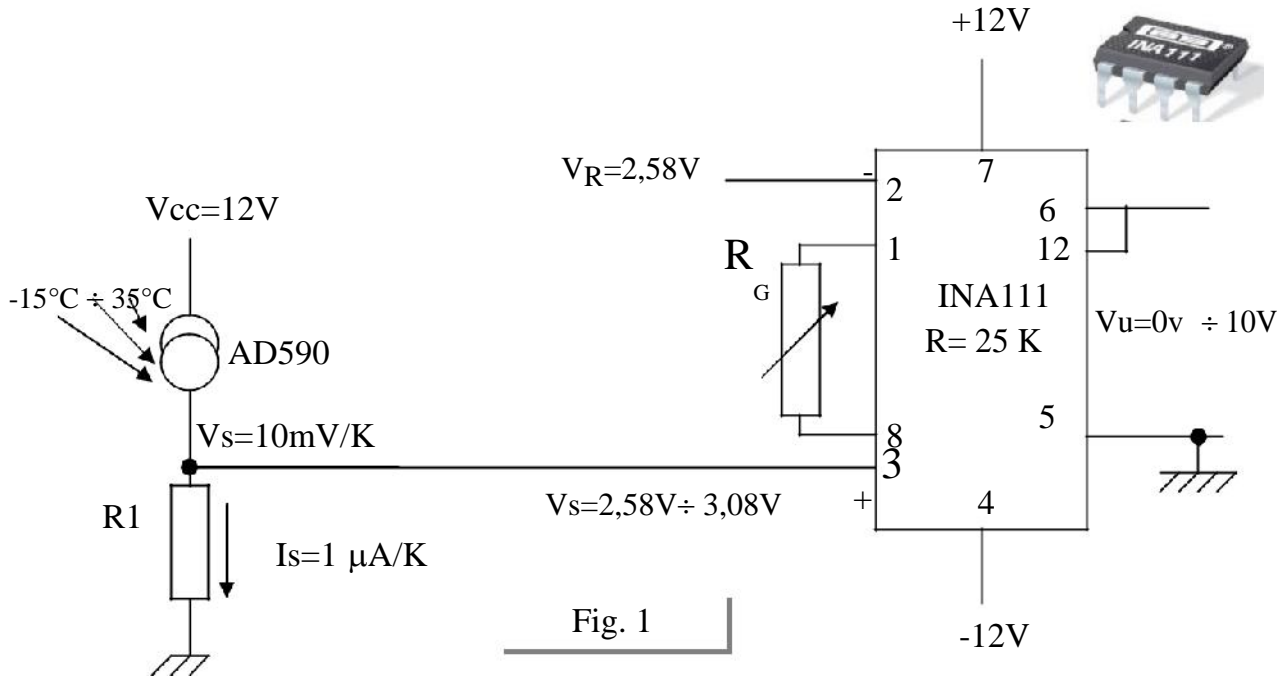


Esercizio 11 – Condizionamento trasduttore di temperatura AD590

Un trasduttore di temperatura fornisce una corrente di $1 \mu\text{A}$ per ogni grado Kelvin. Progettare un circuito di condizionamento in grado di fornire una tensione compresa tra 0V e $+10\text{V}$ quando la temperatura varia tra -15°C e $+35^\circ\text{C}$.

Soluzione

Nella Fig. 1 si propone uno schema di condizionamento con amplificatore per strumentazione.



● **Calcolo V_R (Offset)**

Per realizzare l'offset ($V_0=0\text{V}$ per $T=-15^\circ\text{C}$) si pone $V_R=V_s(-15^\circ\text{C})=2,58\text{V}$

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

$$G = \frac{V_{u_{MAX}}}{V_{s_{max}} - V_R} = \frac{10}{3,08 - 2,58} = 20$$

● **Calcolo R_G**

$$R_G = \frac{2 \cdot R}{G - 1} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{20 - 1} = 2632\Omega$$

