

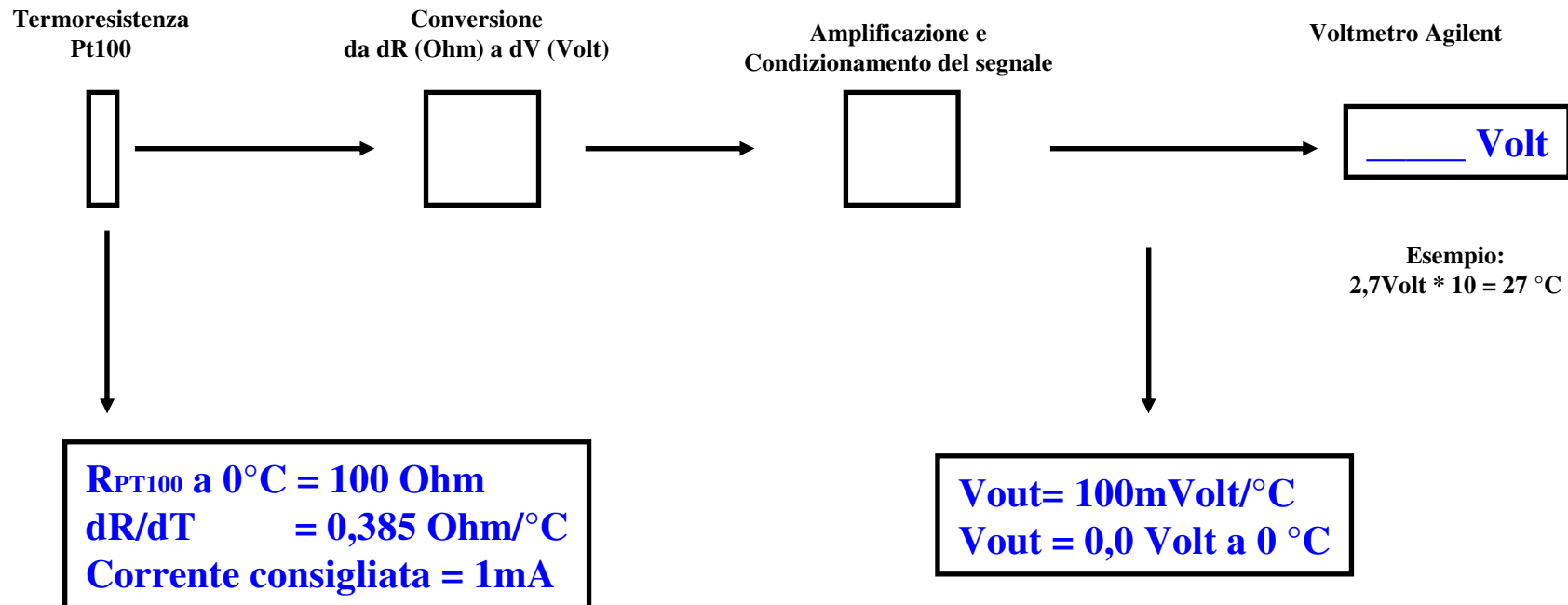
Esperienza Termostatazione

- **Esperienza Termostatazione – 1° Parte:**
Realizzazione di un TERMOMETRO elettronico
- **Esperienza Termostatazione - 2° Parte**
Realizzazione di un sistema di controllo
PROPORZIONALE

Esperienza Termostatazione - 1° Parte

Realizzazione di un Termometro

Blocchi funzionali



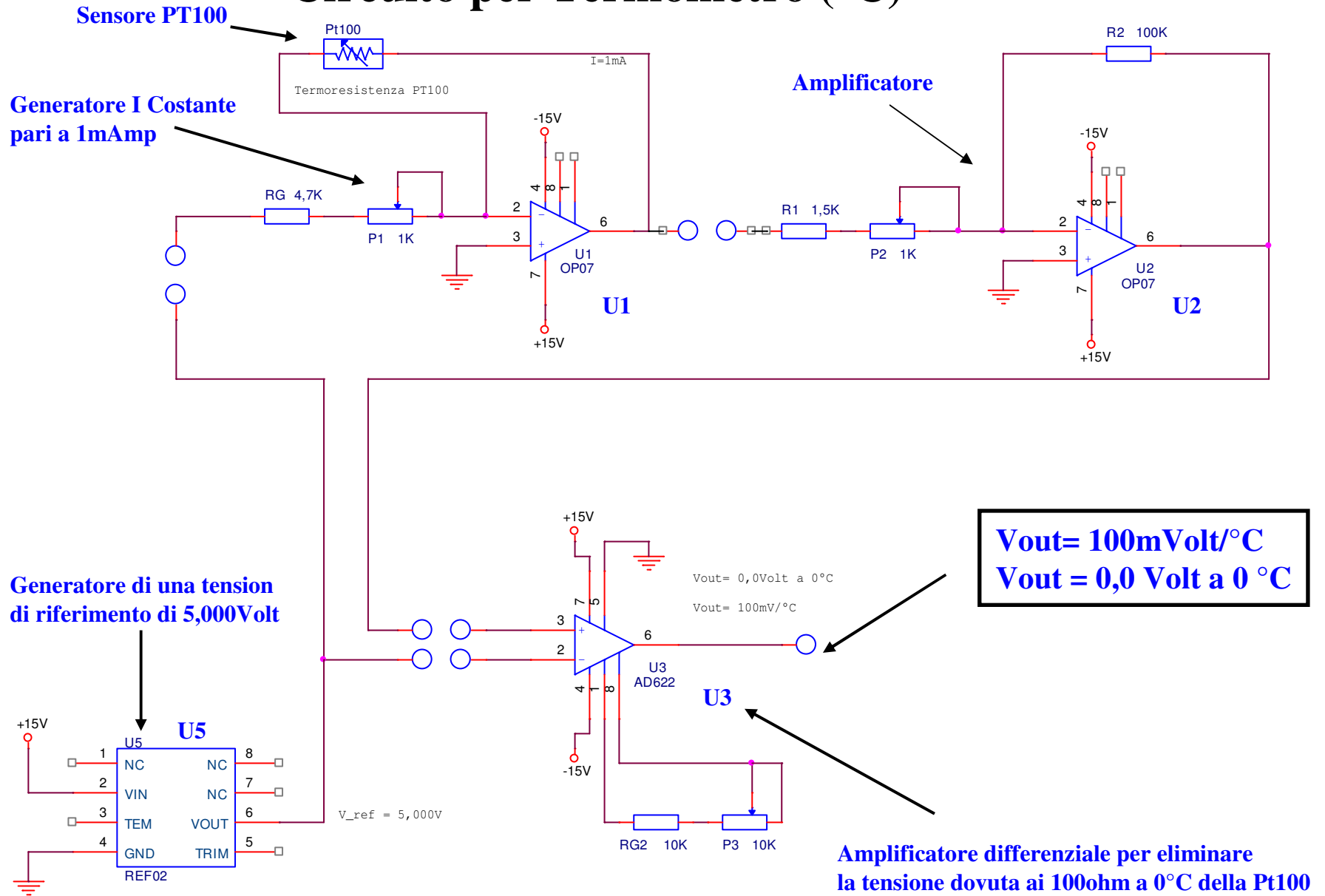
Esperienza Termostatazione - 1° Parte

Realizzazione di un Termometro

Argomenti:

- 1) Sensore temperatura termoresistenza PT100
- 2) Generatore corrente costante con Op-Amp
- 3) Generatore di una tensione di riferimento a 5,000Volt
- 4) Amplificatore del segnale con Op-Amp
- 5) Amplificatore differenziale con INA

Circuito per Termometro ($^{\circ}\text{C}$)



Termoresistenza PT100

E' un sensore di temperatura che sfrutta la variazione della resistività del platino al variare della temperatura.

- Pt100 misura 100ohm a 0°C
- Campo di impiego: -220 / +750 °C
- Corrente di misura e auto-riscaldamento: $R_{PT100} * I^2$
- Tempo di risposta
- Isolamento

Coefficiente di temperatura: $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}$ R100: resistenza a 100°C
R0: resistenza a 0°C

$$\alpha = 0,003850$$

Resistenza R a temperatura t: $R_t = R_0 + R_0 \alpha \cdot t$

Temperatura t a resistenza R: $t = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot \alpha}$

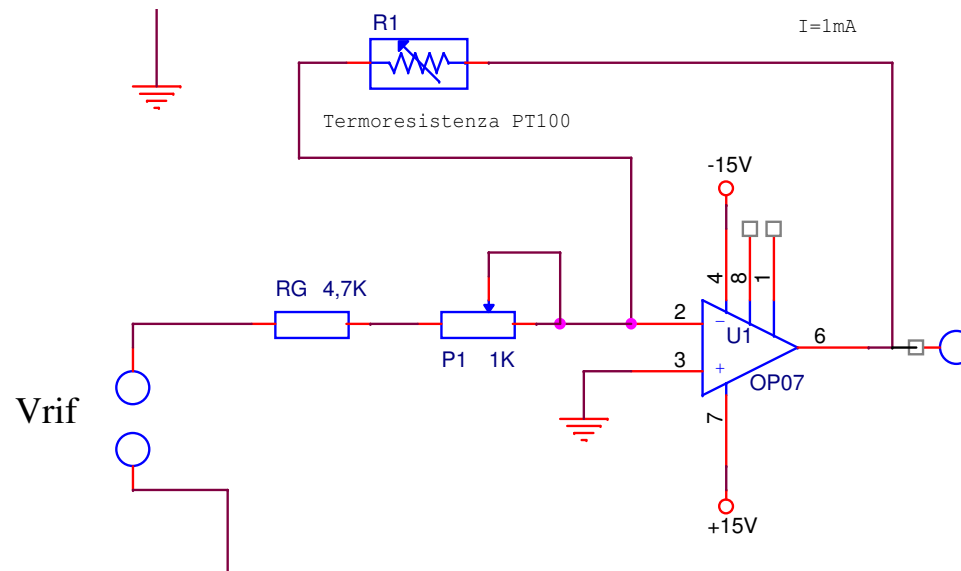
$$\text{Variazione di Resistenza per } 1^\circ\text{C} = 0,3850 \text{ Ohm}/^\circ\text{C}$$

Termoresistenza al Platino PT100

Tabella di corrispondenza °C > Ohm

-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

Generatore corrente costante U1



1) $V_{rif} = 5.000V$ (da REF02)

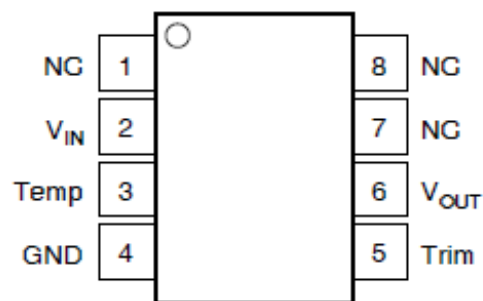
2) $i_{Pt100} = 1mA$ valore consigliato per limitare l'effetto di autoriscaldamento

3) $R_G = V_{rif} / i_{Pt100} = 5K\Omega$

4) Valori scelti: **$R_G = 4,7K\Omega$** **$P1 = 1K\Omega$**

Generatore tensione di riferimento di +5 Volt

Utilizziamo l'integrato REF02 che è un riferimento di tensione a +5 Volt con eccellente stabilità.



FEATURES

5 V output: $\pm 0.3\%$ maximum

Temperature voltage output: $1.96 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

Adjustment range: $\pm 3\%$ minimum

Excellent temperature stability: $8.5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ maximum

Low noise: $15 \mu\text{V p-p}$ maximum

Low supply current: 1.4 mA maximum

Wide input voltage range: 7 V to 40 V

High load-driving capability: 10 mA

No external components

Short-circuit proof

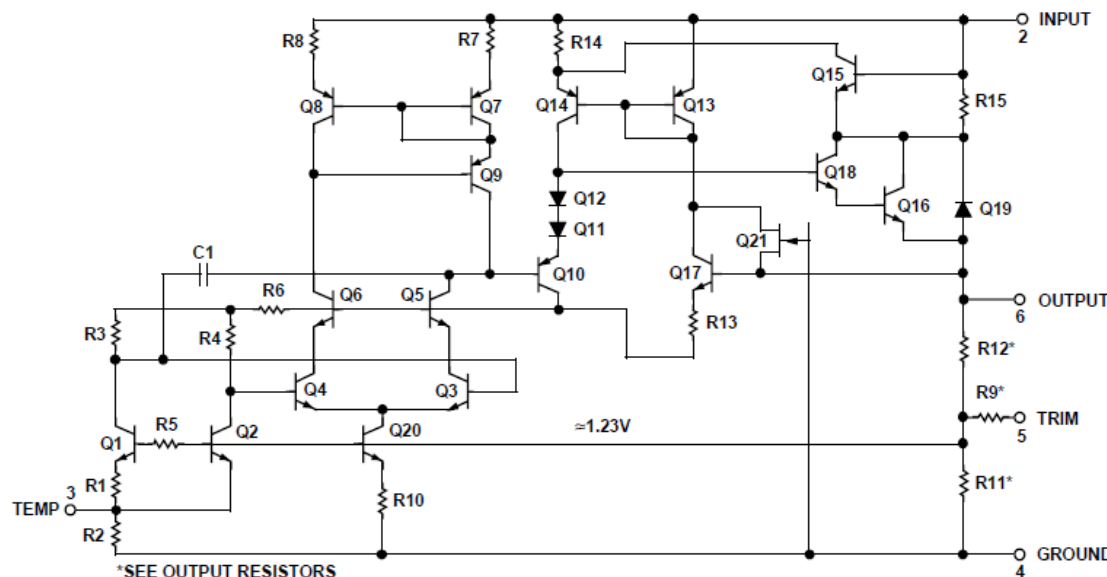
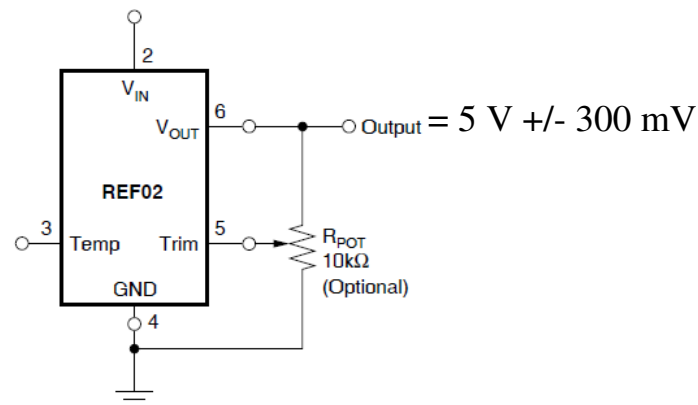
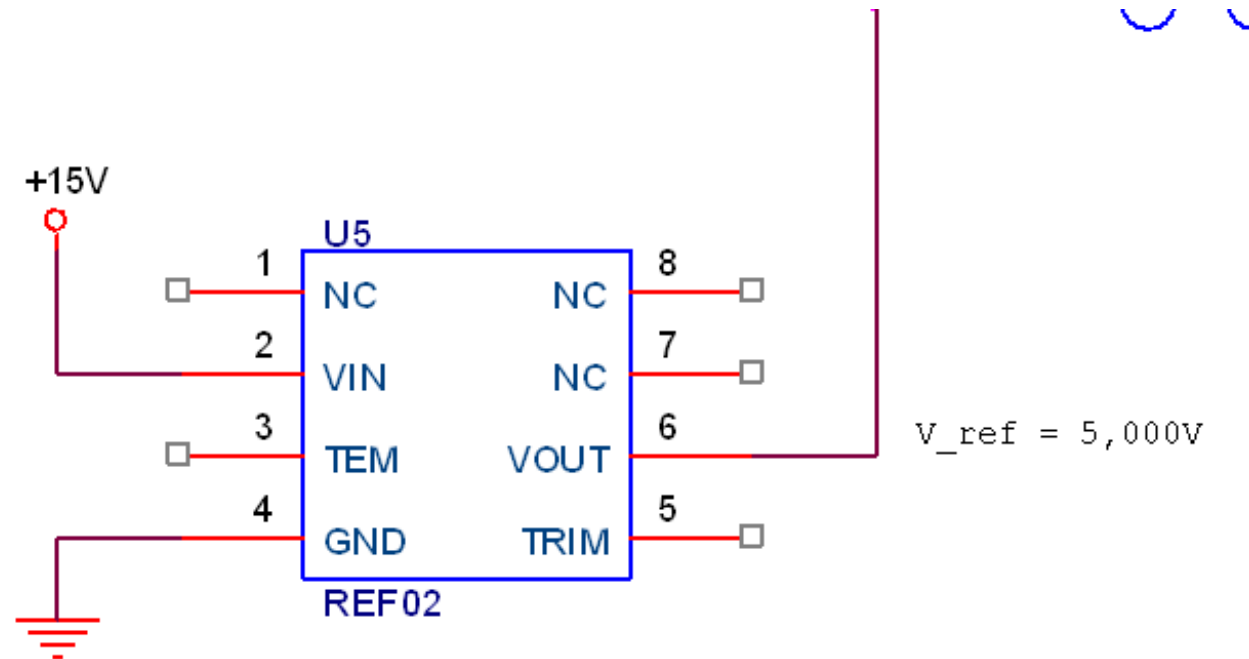


Figure 4. Simplified Schematic



+5V Reference with Trimmed Output

Generatore tensione di riferimento di +5 Volt



Amplificatore U2 e valutazione su U3

1) Pt100 ha **100ohm a 0°C** e variazione di **0,385ohm/°C**

2) U1 presenta in uscita **dV/°C = 0,385 mV/°C & 100mVolt a 0°C**

3) OBIETTIVO per realizzare il termometro in scala Celsius:
desidero in Out da U3 **100mV/°C & 0Volt a 0°C**

4) Quindi **Amplificazione Totale** (U2 e U3) =

$$V_{out} / V_{in} = (100\text{mV/°C}) / (0,385 \text{ mV/°C}) = \mathbf{259,740 \dots}$$

5) Nota su **U3**: **U3** è un Amplificatore Differenziale necessario per eliminare la componente di tensione dovuta alla resistenza di 100ohm a 0°C della Pt100.

Domanda: quale soluzione ottimale posso adottare per eliminare “in modo agevole” questa componente di tensione? Sfrutto la tensione di riferimento di 5.000Volt già disponibile.

Quindi: *in Input “-” di **U3** : entro con $V_{rif} = 5.000\text{V}$

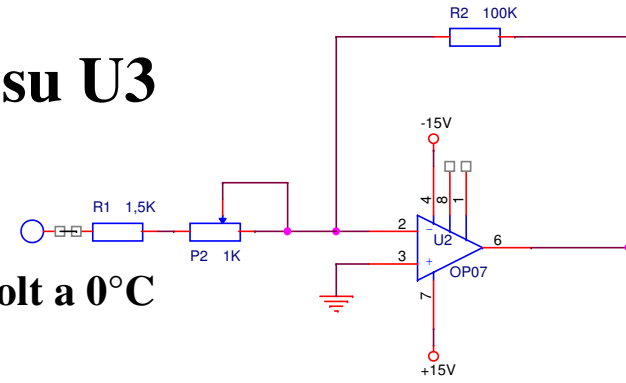
*in Input “+” di **U3**: entro con V_s segnale della Pt100 amplificato da U2. Tale segnale dovrà essere 5,000V quando la sonda si trova a 0°C

$$[V_{out} \text{ U3} = G (V_s - V_{rif})]$$

6) Posso determinare il guadagno di **U2**. **$G_{U2} = 5\text{V} / 100\text{mV}(0^\circ\text{C}) = 50$**

7) Fisso **$R_2 = 100\text{kohm}$** ricavo **$R_1 = R_s / G_{U2} = 2\text{Kohm}$**

8) Scelgo **$R_1 = 1,5\text{Kohm}$** e **$P_2 = 1 \text{ Kohm}$**



Amplificatore differenziale U3

Potrei utilizzare lo schema classico del differenziale che però presenta la problematica della taratura del guadagno e dei rapporti di resistenze che devono essere uguali sui due ingressi del differenziale (vedi lezione precedente).

Poiché si sta realizzando uno strumento di precisione la scelta della tipologia del differenziale cade su un amplificatore INA, come l'AD622, che consente di tarare il GAIN con una sola resistenza esterna.

1) Ora devo determinare il G di U3

2) Sappiamo che : $G_{Tot} = 259,740 \dots$

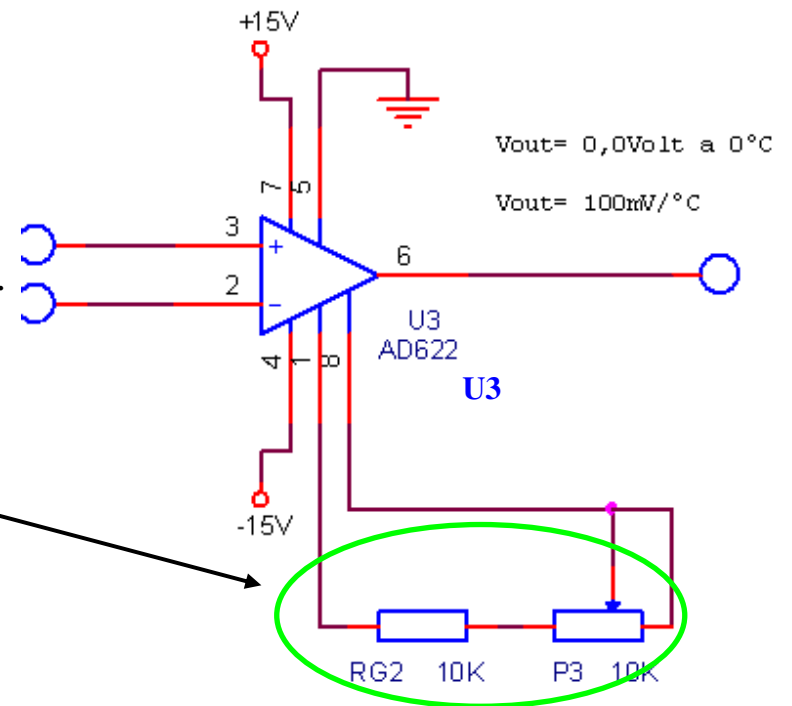
$$G_{Tot} = G_{U2} * G_{U3}$$

3) Quindi : $G_{U3} = G_{Tot} / G_{U2} = 259,740 / 50 = 5,195 \dots$

4) R gain del AD622 $R_G = 50,5Kohm / (G-1)$

$$R_G = 12038 \text{ ohm}$$

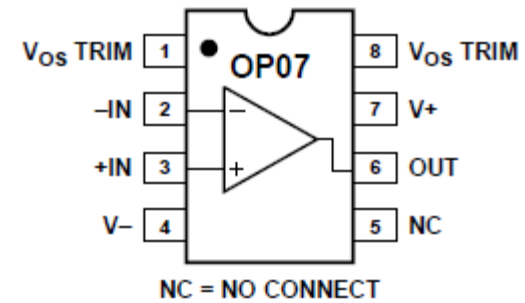
5) Si sceglie $R_G = 10Kohm$ in serie con $P3 = 10Kohm$



Amplificatore operazionale utilizzato

OpAmp OP07

PIN CONFIGURATION



Perché si è scelto l'Op. Amp. OP07 anziché il classico uA741?

OP07

SPECIFICATIONS

OP07E ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_S = \pm 15$ V, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INPUT CHARACTERISTICS						
$T_A = 25^\circ\text{C}$						
Input Offset Voltage ¹	V_{OS}			30	75	μV
Long-Term V_{OS} Stability ²	V_{OS}/Time			0.5	1.5	$\mu\text{V}/\text{Month}$
Input Offset Current	I_{OS}			0.5	3.8	nA

GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS094B – NOVEMBER 1970 – REVISED SEPTEMBER 2000

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	T_A^\dagger	μA741C			$\mu\text{A741I}, \mu\text{A741M}$			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	$V_O = 0$	25°C		1	6		1	5	mV
			Full range			7.5			6	
$\Delta V_{IO(\text{adj})}$	Offset voltage adjust range	$V_O = 0$	25°C		± 15			± 15		mV
I_{IO}	Input offset current	$V_O = 0$	25°C		20	200		20	200	nA
			Full range			300			500	

Montaggio e taratura

- 1) Montare il circuito facendo particolare attenzione **all'ordine dei componenti** e delle **connessioni**
- 2) Utilizzare **tutto lo spazio** disponibile, MA si deve considerare che poi il circuito verrà ampliato per realizzare il sistema di **termostatazione**
- 3) Iniziare da sinistra e procedere verso destra della breadboard
- 4) Montare U1. Inserire una resistenza da 100ohm al posto della PT100. Con uAmperometro in serie alla resistenza da 100ohm (**perché va inserito qui?**), tarare **P1** in modo da misurare **1mAmp**.
- 5) Su U2 deve essere tarato il guadagno pari a 50. Inserire in IN a U2 una tensione stabile(**Valore?**). Misurarla. Tarare **P2** in modo che il guadagno in tensione sia pari a **50** .
- 6) Su **U3** tarare il trimmer in modo da avere un gain pari a **5,195**.
- 7) **Solo** quando tutto e' verificato inserire la PT100
- 8) **Ricordarsi di verificare una parte di circuito alla volta.**

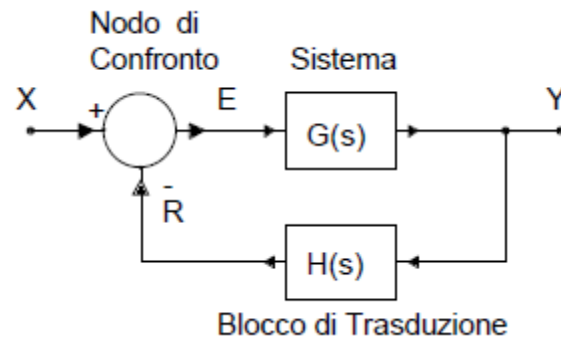
Esperienza Termostatazione - 2° Parte

Realizzazione di un sistema di controllo PROPORZIONALE

Argomenti:

- 1) Utilizza il termometro appena realizzato per la misura della temperatura
- 2) Note su sistemi di controllo retroazionati
- 3) Il circuito differenziale

Sistema di controllo



Forma generale	Caso particolare Esercitazione Termoregolatore
Nodo di confronto	Amplificatore differenziale
Blocco di retroazione	Termoresistenza e circuito di condizionamento del segnale
Sistema	Transistor di potenza e resistenza riscaldante

Nodo di confronto

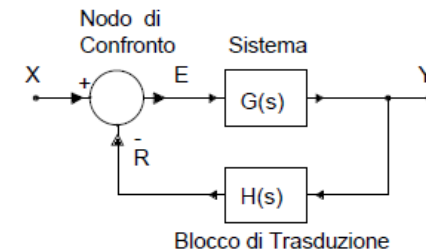
È un blocco funzionale che riceve in ingresso due segnali X ed R e restituisce in uscita la differenza o segnale errore $E=X-R$.

---Nel nostro caso si confronta la **Temperatura_SET** (a cui desidero termostatare) e la **Temperatura_READ** misurata dal sensore PT100.

Blocco di retroazione

Il blocco H o blocco di retroazione preleva, in uscita al sistema, la grandezza Y e fornisce sulla sua uscita la grandezza R **sempre di natura elettrica**. Questo blocco è generalmente un **trasduttore** in quanto spesso il segnale in uscita al sistema non è di natura elettrica ma di altro genere (**temperatura di un corpo**, velocità o posizione di un albero motore, luminosità di un ambiente, pH di una soluzione, pressione e portata di un fluido, ecc.ecc.).

---Nel nostro caso il trasduttore e' la termoresistenza PT100.

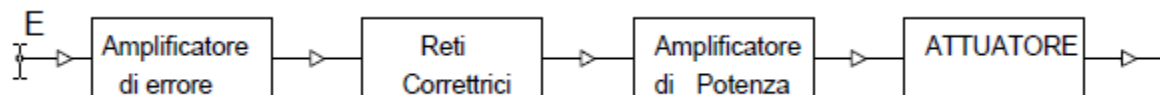


Sistema (vero e proprio)

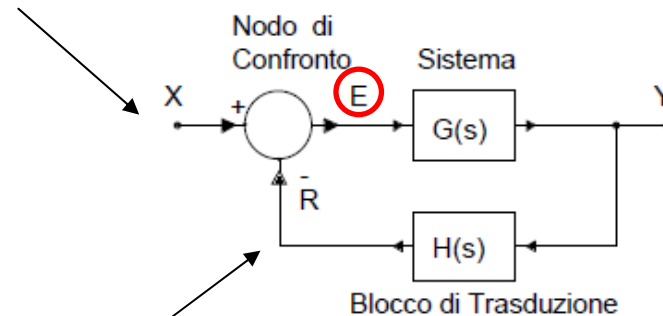
Il blocco G rappresenta il sistema vero e proprio che si vuole **controllare**. Può essere scomposto in vari sottoblocchi.

Amplificatore di Potenza: nel nostro caso Transistor (di potenza).

Attuatore: nel nostro caso resistenza riscaldante.



Set Temperatura desiderata



Temperatura Letta

In un sistema di controllo di temperatura **PROPORZIONALE** si effettua una regolazione continua della potenza erogata dall'elemento riscaldante.

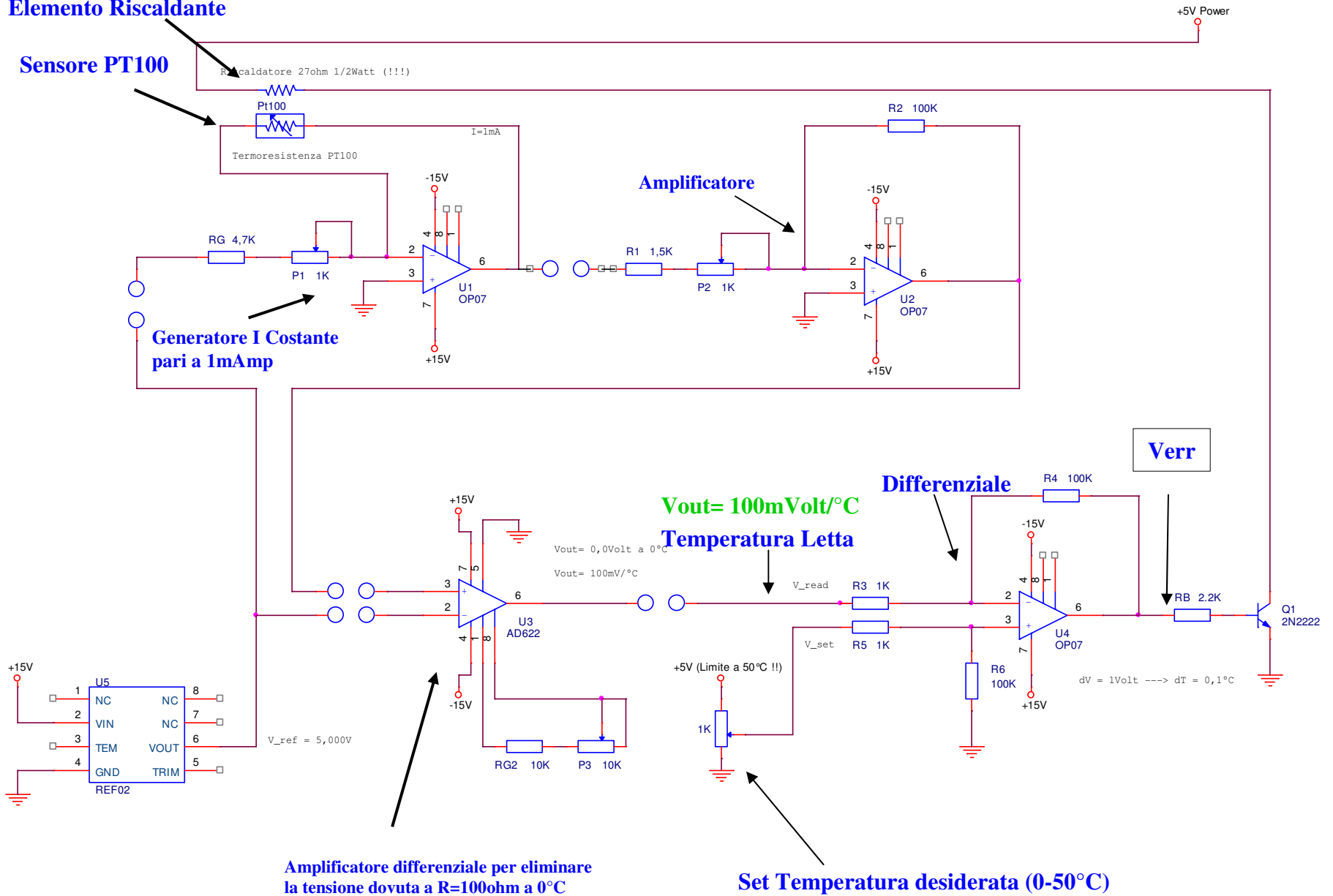
Tale potenza è “**proporzionale**” al valore della differenza tra la temperatura di set-point e la temperatura misurata.

La potenza fornita dall'elemento riscaldante viene continuamente modulata in funzione del segnale di errore “**E**”, differenza tra Temperatura_SET e la Temperatura_READ (**Verr**).

Termoregolazione con controllo PROPORZIONALE

Elemento Riscaldante

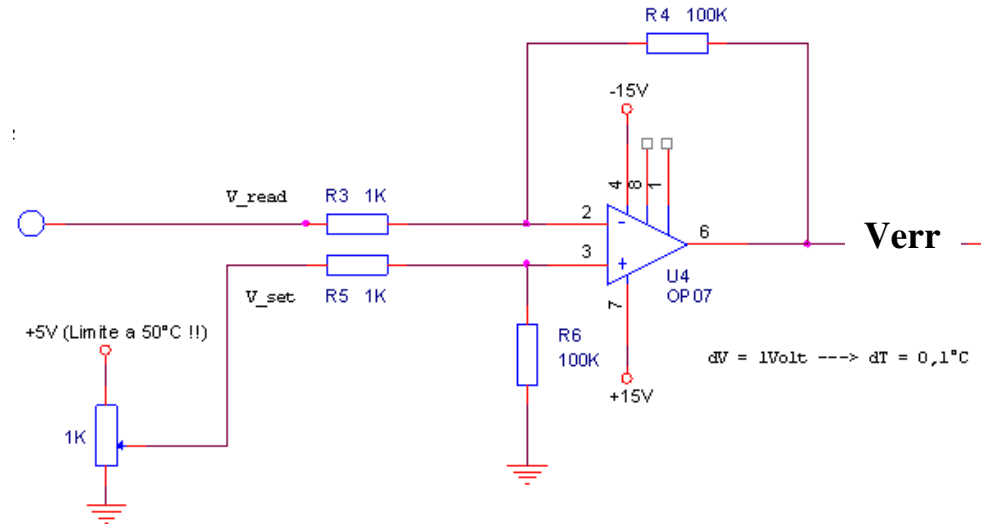
Sensore PT100



Differenziale

$$\mathbf{V_{err} = (V_{set} - V_{read}) * G}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{G} &= R4 / R3 = R6/R5 \\ &= 100\text{Kohm} / 1 \text{ Kohm} = \mathbf{100} \end{aligned}$$



Quindi:

- 1) se in uscita dal differenziale ho una tensione pari a 1Volt
- 2) la dV in ingresso risulta pari a $1/G = 1/100 = 10 \text{ mVolt}$
- 3) poiché il circuito termometro fornisce $100 \text{ mVolt/}^\circ\text{C}$
- 4) **1Volt di Verr = 0,1 °C** di differenza tra la temperatura impostata e quella letta

Quindi:

- Ho una banda proporzionale di 1°C
(dVingresso differenziale = 0,1Volt -> Verr 10Volt -> banda proporzionale = 1°C)

Transistor di potenza

NPN 2N2222:

1) $h_{fe} = \beta = i_c / i_b = 75$

2) $V_{cesat} = 0,4 \text{ Volt}$

3) $V_{be} = 1,3 \text{ Volt}$

La tensione in uscita dal comparatore tra V_{set} e V_{read} varia (nella zona a noi utile per modulare la potenza della resistenza riscaldante) tra 0 e $+V_{sat}$.

Impongo il range proporzionale tra 0 / +10 Volt

A +10 Volt (e per tensioni maggiori) desidero che il transistor di comando della Resistenza riscaldante sia in saturazione (quindi fornisca la massima potenza al riscaldatore).

$$I_c = (+5V_{Power} - V_{cesat}) / R_{riscaldatore} \\ = (5 - 0,4) / 27 = \mathbf{170 \text{ mAmp}}$$

$$I_b = I_c / \beta = 170 \text{ mAmp} / 75 = 2,27 \text{ mAmp}$$

$$R_b = (V_{err} - V_{be}) / I_b = (10 - 1,3) / 2,27 = 3,8 \text{ Kohm} \\ \mathbf{R_b = 2,2 \text{ Kohm}}$$

- 1) Verificare il funzionamento del circuito**
- 2) Con multimetro Agilent monitorare il segnale di errore Verr (annotare valore min e max a regime)**
- 3) Con tester ICE (V oppure I) monitorare le variazioni di V o I sulla resistenza riscaldante**
- 4) Valutare il funzionamento complessivo del circuito di controllo di tipo proporzionale**