

**SIMULAZIONE ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE  
SECONDARIA SUPERIORE  
Indirizzo: ITEC - ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA  
ARTICOLAZIONE ELETTRONICA  
Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA**

Si vuole realizzare un sistema elettronico per il controllo e il rilevamento della temperatura di una serra, attivando un elemento riscaldatore o refrigeratore in funzione di soglie prefissate, con le modalità di seguito riportate:

- per  $T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  si deve attivare il refrigeratore;
- per  $T \leq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$  si deve disattivare il refrigeratore;
- per  $T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  si deve attivare il riscaldatore;
- per  $T \geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$  si deve disattivare il riscaldatore.

Il candidato, introdotte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune:

- 1) fornisca una descrizione generale del sistema e un possibile schema a blocchi;
- 2) descriva le funzioni dei singoli blocchi del sistema;
- 3) scelga un adeguato trasduttore di temperatura;
- 4) progetti il circuito di condizionamento definendone tutti i componenti;
- 5) progetti nel dettaglio il circuito di controllo e regolazione della temperatura definendone tutti i componenti.

---

Durata massima della prova: 6 ore. È consentito l'utilizzo di manuali tecnici e calcolatrici scientifiche non programmabili. Non è consentito l'utilizzo di libri di testo e appunti personali.

Non è consentito l'utilizzo di telefoni cellulari, PDA, notebook e apparecchi simili, che devono essere spenti e posti in luogo adatto. Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

## SOLUZIONE

### 1) Descrizione generale del sistema e relativo schema a blocchi

Lo schema a blocchi del sistema proposto è mostrato nella figura 1.

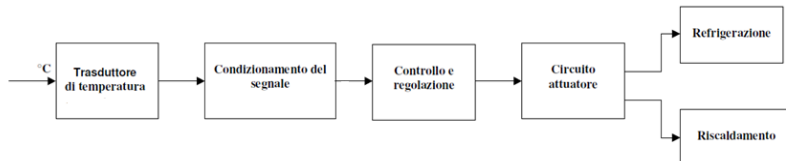


Figura 1 – Schema a blocchi del sistema proposto

È formato da una catena in cui il primo elemento è il trasduttore, che trasforma la temperatura rilevata nella serra in un segnale elettrico (tensione).

Essendo tale segnale piuttosto debole, deve essere opportunamente amplificato mediante il circuito di condizionamento che fornisce in uscita una tensione di adeguato valore, proporzionale alla temperatura rilevata.

Tale tensione viene successivamente confrontata con i livelli di tensione preimpostati che definiscono le temperature di attivazione e disattivazione degli impianti di riscaldamento e refrigerazione (circuito attuatore).

### 2) Descrizione dei singoli blocchi

#### **Trasduttore di temperatura**

In generale, per trasduttore si intende un dispositivo in grado di rilevare una qualsiasi grandezza fisica (temperatura, pressione, umidità ecc.) e di trasformarla in un segnale elettrico (tensione o corrente).

Un trasduttore di temperatura, pertanto, rileva e trasforma una temperatura in un segnale elettrico a essa proporzionale.

#### **Condizionamento del segnale**

In generale i trasduttori forniscono un segnale elettrico di debole intensità, al quale è sovrapposto rumore.

Per tale ragione tra il trasduttore e i circuiti di elaborazione del segnale occorre inserire un'interfaccia elettronica che elabori opportunamente il segnale elettrico generato dal trasduttore, per renderlo idoneo al trattamento dei circuiti successivi della catena: tale operazione è detta condizionamento.

In generale il condizionamento di un segnale può essere definito l'insieme delle operazioni, come per esempio l'amplificazione e il filtraggio, che occorre effettuare su un segnale elettrico generato da un trasduttore per renderlo correttamente utilizzabile dai circuiti successivi.

### **Circuito di controllo e regolazione**

Consente di regolare le temperature per l'attivazione/disattivazione degli impianti di riscaldamento e refrigerazione, fornendo a questi il comando di attivazione/disattivazione.

Il circuito è composto da due parti:

- la prima, formata da due comparatori con isteresi (trigger di Schmitt), confronta queste tensioni con quella fornita dal circuito di condizionamento del segnale e fornisce i comandi di accensione/spegnimento degli impianti di riscaldamento e di refrigerazione.
- la seconda fornisce le tensioni di riferimento dei trigger.

### **Circuito attuatore**

È formato da un relè comandato da un transistor il quale, mediante un teleruttore, consente di attivare o disattivare il riscaldatore e il refrigeratore posti all'interno della serra.

### **Refrigeratore**

È il dispositivo che raffredda la serra quando la temperatura sale al di sopra della soglia impostata; deve essere adeguatamente posizionato, in modo da non influenzare la rilevazione del sensore di temperatura.

### **Riscaldatore**

È il dispositivo che riscalda la serra quando la temperatura scende al di sotto della soglia impostata.

Come il refrigeratore, anche il riscaldatore deve essere posizionato in modo da non influenzare la rilevazione del sensore di temperatura.

### **3) Trasduttore di temperatura**

Come trasduttore di temperatura può essere utilizzato, ad esempio, il circuito integrato AD590, che opera nel range di temperatura da 0 °C a 100 °C, più che sufficiente per questo progetto (il range di controllo è compreso tra 20°C e 40 °C).

È un sensore che fornisce una corrente d'uscita proporzionale alla temperatura rilevata, generando 1μA per ogni kelvin di variazione della temperatura (assoluta), cioè:

$$I[\mu A] = 1 \cdot T$$

dove T è la temperatura espressa in [K].

Per avere in uscita una tensione anziché una corrente può essere utilizzato un convertitore corrente/tensione, realizzato ponendo la resistenza  $R_1$  in serie al

trasduttore (figura 2); così facendo ai capi di  $R_1$  è disponibile una tensione proporzionale alla temperatura rilevata.

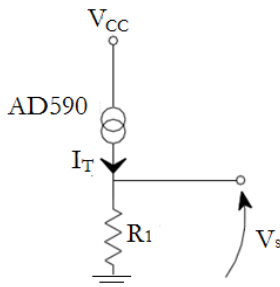


Figura 2–Trasduttore di temperatura AD590

Essendo il range di controllo della temperatura compreso tra 20 e 40°C, occorre definire i livelli che devono assumere le tensioni a queste temperature.

Si può stabilire, per esempio, che a 20°C corrispondano 0 V e a 40°C 5 V.

Essendo:

$$T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow T[\text{K}] = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T = 40^{\circ}\text{C} \Rightarrow T[\text{K}] = 40 + 273 = 313 \text{ K}$$

indicando con  $I_T$  la corrente generata dal trasduttore si ha:

$$T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow I_T = 1\mu\text{A} \cdot 293 = 293 \mu\text{A}$$

$$T = 40^{\circ}\text{C} \Rightarrow I_T = 1\mu\text{A} \cdot 313 = 313 \mu\text{A}$$

Utilizzando, per esempio, una resistenza  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ , la tensione  $V_s$  risulta:

$$T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_s = R_1 I_T = 10000 \cdot 293 \cdot 10^{-6} = 2,93 \text{ V}$$

$$T = 40^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_s = R_1 I_T = 10000 \cdot 313 \cdot 10^{-6} = 3,13 \text{ V}$$

#### 4) Circuito di condizionamento

Nel punto 3) si è visto che per  $T = 20^{\circ}\text{C}$  la tensione  $V_s$  fornita dal trasduttore vale 2,93 V; tuttavia, con le ipotesi fatte, alla temperatura  $T = 20^{\circ}\text{C}$  deve corrispondere una tensione nulla e alla temperatura  $T = 40^{\circ}\text{C}$  una tensione pari a 5V: il circuito di condizionamento deve essere pertanto del tipo indicato nella figura 3.

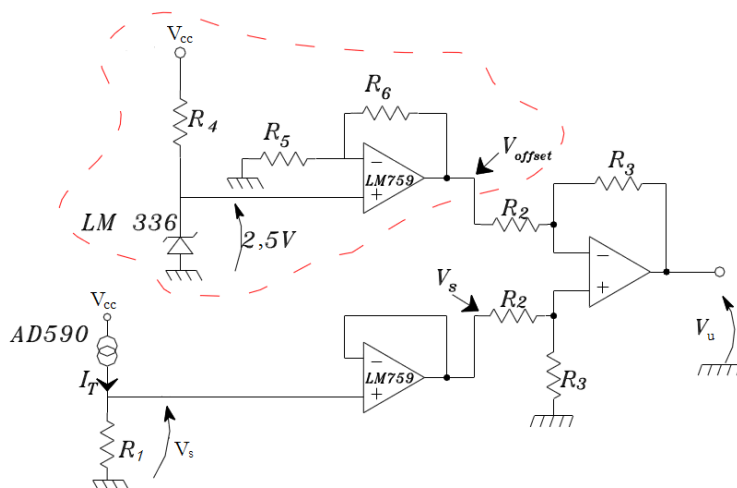


Figura 3— Circuito di condizionamento

La parte di circuito selezionata dal tratteggio ha la funzione di fornire la tensione di 2,93 V, indicata con  $V_{offset}$ , la restante è un amplificatore differenziale che genera in uscita una tensione  $V_u$  nulla quando la temperatura è 20 °C e pari a 5 V quando vale 40°C.

Si procede prima con il dimensionamento del circuito che fornisce la  $V_{offset}$  e poi con quello dell'amplificatore differenziale.

#### Dimensionamento circuito di offset

Il generatore della tensione  $V_{offset}$  è realizzato mediante lo Zener LM 336 polarizzato inversamente, che alimenta con una tensione stabile di 2,5 V l'ingresso "+" dall'amplificatore non invertente, formato dall'operazionale LM759 e dalle resistenze  $R_5$  e  $R_6$ ; tali resistenze devono essere dimensionate in modo che la tensione di uscita  $V_{offset}$  sia pari a 2,93V.

Poiché l'amplificazione di un amplificatore non invertente realizzato con operazionale, vale:

$$A = 1 + \frac{R_6}{R_5}$$

essendo  $V_i = 2,5$  V e  $V_{offset} = 2,93$  V, si ha:

$$V_{offset} = V_i A \rightarrow 2,93 = 2,5 \left( 1 + \frac{R_6}{R_5} \right)$$

dalla quale si ottiene:

$$R_6 = R_5 \left( \frac{2,93}{2,5} - 1 \right)$$

Imponendo, ad esempio,  $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ , si ha:

$$R_6 = 10000 \left( \frac{2,93}{2,5} - 1 \right) = 1720 \text{ } \Omega$$

#### Dimensionamento dell'amplificatore differenziale

L'amplificatore differenziale ha la funzione di amplificare la tensione presente ai suoi ingressi ( $V_s - V_{offset}$ ) fino al valore di 5V quando la temperatura raggiunge i 40°C.

Si ricorda che per un amplificatore differenziale vale la seguente relazione:

$$V_u = V_d A$$

dove:

- $V_u$  è la tensione d'uscita;
- $A$  è l'amplificazione che vale  $A = R_3/R_2$
- $V_d$  è la tensione d'ingresso, che in questo caso coincide con la differenza  $V_s - V_{offset}$ .

Poiché alla temperatura  $T = 40^\circ\text{C}$   $V_s = 3,13 \text{ V}$ , essendo  $V_u = 5 \text{ V}$  e  $V_{offset} = 2,93 \text{ V}$ , si ha:

$$V_u = AV_d = A(V_s - V_{offset}) \rightarrow 5 = \frac{R_3}{R_2} (3,13 - 2,93)$$

da cui si ottiene:

$$R_2 = R_3 \frac{3,13 - 2,93}{5}$$

Imponendo ad esempio  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2$  vale:

$$R_2 = 10000 \cdot \frac{3,13 - 2,93}{5} = 400 \text{ } \Omega$$

e quindi l'amplificazione dell'amplificatore differenziale risulta:

$$A = \frac{R_3}{R_2} = \frac{10000}{400} = 25$$

#### Dimensionamento della resistenza $R_4$

La resistenza  $R_4$  ha la funzione di non collegare a massa l'alimentazione quando lo Zener è in conduzione e di limitare la corrente  $I_z$  che attraversa lo Zener.

Considerando che  $V_z = 12 \text{ V}$ , si ha:

$$12 - R_4 \cdot I_z - V_z = 0$$

da cui:

$$I_z = \frac{12 - V_z}{R_4}$$

Supponendo che la massima corrente sopportabile dallo Zener sia 3 mA, nella precedente equazione è necessario imporre la condizione  $I_z \leq 3 \text{ mA}$ :

$$\frac{12 - V_z}{R_4} \leq 3 \cdot 10^{-3}$$

da cui si può ricavare  $R_4$ :

$$R_4 \geq \frac{12 - 2.5}{3 \cdot 10^{-3}} = 3166 \text{ } \Omega \Rightarrow R_4 \geq 3166 \text{ } \Omega$$

In realtà si adotta  $R_4 = 3300 \text{ } \Omega$ , che rappresenta il valore commerciale più vicino.

## 5) Circuito di controllo e regolazione

Il circuito di controllo e regolazione consente di regolare le temperature degli impianti di riscaldamento e refrigerazione, fornendo i comandi di attivazione/disattivazione.

In particolare:

- per  $T > 40 \text{ } ^\circ\text{C}$  il circuito deve attivare il refrigeratore;
- per  $T \leq 38 \text{ } ^\circ\text{C}$  deve disattivare il refrigeratore;
- per  $T < 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  deve attivare il riscaldatore;
- per  $T \geq 22 \text{ } ^\circ\text{C}$  deve disattivare il riscaldatore.

Il circuito è pertanto formato da due trigger di Schmitt (indicati con 1 e 2), dei quali uno non invertente (trigger 1) e l'altro invertente (trigger 2).

### Dimensionamento del trigger 1 (non invertente)

Il trigger 1 non invertente (figura 4a) esegue il confronto tra la tensione  $V_{in}$  fornita dal circuito di condizionamento (variabile tra 0 e 5 V) e quella di riferimento pari a 5 V (corrispondente a  $40^\circ\text{C}$ ), commutando al livello alto quando la temperatura  $T$  supera  $40 \text{ } ^\circ\text{C}$  (attivando così il refrigeratore) e al livello basso quando scende sotto  $38 \text{ } ^\circ\text{C}$  (disattivando così il refrigeratore).

Alla temperatura  $T = 38^\circ\text{C}$ , essendo:

$$T = 38 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow T[\text{K}] = 38 + 273 \text{ K}$$

la corrente generata dal trasduttore vale:

$$T = 38 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow I_T = 1 \mu\text{A} \cdot 311 = 311 \text{ } \mu\text{A}$$

e quindi la tensione  $V_s$  risulta:

$$T = 38^\circ\text{C} \rightarrow V_s = R_i I_T = 10000 \cdot 311 \cdot 10^{-6} = 3,11 \text{ V}$$

Poiché l'amplificazione  $A$  dell'amplificatore differenziale è pari a 25, considerando che  $V_{offset} = 2,93 \text{ V}$ , la tensione d'uscita  $V_u(38^\circ\text{C})$  vale:

$$V_u(38^\circ\text{C}) = AV_d = A(V_s - V_{offset}) = 25(3,11 - 2,93) = 4,5 \text{ V}$$

La transcaratteristica del trigger risulta allora del tipo indicato nella figura 4b.

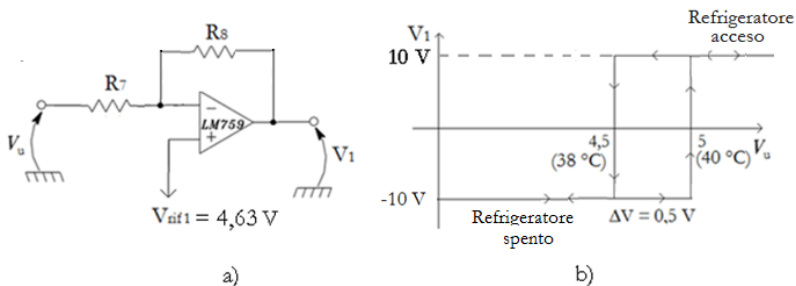


Figura 4—Trigger 1 a) e sua transcaratteristica b)

Con riferimento alla figura 3b, si ha:

- tensione di soglia superiore  $V_{T2} = 5 \text{ V}$ ;
- tensione di soglia inferiore  $V_{T1} = 4,5 \text{ V}$ ;
- isteresi  $\Delta V = V_{T2} - V_{T1} = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ V}$ .

Si ricorda inoltre che per un trigger non invertente risulta:

$$V_{T2} = V_{r1} \frac{R_7 + R_8}{R_8} + V_{SAT} \frac{R_7}{R_8}$$

$$V_{T1} = V_{r1} \frac{R_7 + R_8}{R_8} - V_{SAT} \frac{R_7}{R_8}$$

$$\Delta V = 2V_{SAT} \frac{R_7}{R_8}$$

dove  $V_{r1}$  è la tensione di riferimento necessaria per ottenere l'asimmetria rispetto all'origine degli assi della transcaratteristica. Dalla terza delle precedenti equazioni si ottiene:

$$\Delta V = 2V_{SAT} \frac{R_7}{R_8} \rightarrow \frac{R_7}{R_8} = \frac{\Delta V}{2V_{SAT}} = \frac{0,5}{2 \cdot 10} = 0,025$$

Scegliendo, per esempio,  $R_8 = 10 \text{ k}\Omega$  si ha:

$$R_7 = 0,025 \cdot R_8 = 0,025 \cdot 10000 = 250 \text{ }\Omega$$



Dalla seconda delle precedenti equazioni, si può ricavare la tensione di riferimento  $V_{r1}$ :

$$V_{T1} = V_{r1} \frac{R_7 + R_8}{R_8} - V_{SAT} \frac{R_7}{R_8} \rightarrow$$

$$\rightarrow V_{r1} = \frac{V_{T1} R_8 + V_{SAT} R_7}{R_7 + R_8} = \frac{4,5 \cdot 10000 + 10 \cdot 250}{10000 + 250} = 4,63 \text{ V}$$

#### Dimensionamento del trigger 2 (invertente)

Il trigger 2 invertente (figura 5a) esegue il confronto tra la tensione  $V_u$  fornita dal circuito di condizionamento (variabile tra 0 e 5 V) e quella di riferimento pari a 0 V (corrispondente a 20°C), commutando al livello alto quando la temperatura  $T$  scende a 20°C (attivando così il riscaldatore) e al livello basso quando raggiunge 22°C (disattivando così il riscaldatore).

Alla temperatura  $T = 22^\circ\text{C}$ , essendo:

$$T = 22^\circ\text{C} \rightarrow T[\text{K}] = 2 + 273 = 295 \text{ K}$$

la corrente generata dal trasduttore vale:

$$T = 22^\circ\text{C} \rightarrow I_T = 1 \mu\text{A} \cdot 295 = 295 \text{ } \mu\text{A}$$

e quindi la tensione  $V_s$  risulta:

$$T = 22^\circ\text{C} \rightarrow V_s = R_I I_T = 10000 \cdot 295 \cdot 10^{-6} = 2,95 \text{ V}$$

Essendo l'amplificazione  $A$  dell'amplificatore differenziale pari a 25, considerando che  $V_{offset} = 2,93 \text{ V}$ , la tensione d'uscita  $V_u(22^\circ\text{C})$  vale:

$$V_u(22^\circ\text{C}) = A V_d = A(V_s - V_{offset}) = 25(2,95 - 2,93) = 0,5 \text{ V}$$

La transcaratteristica del trigger risulta allora del tipo indicato nella figura 5b.

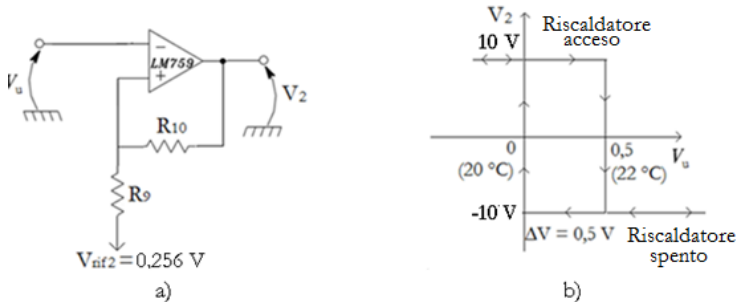


Figura 5 - Trigger 2 a) e sua transcaratteristica b)

Con riferimento alla figura 4b, si ha:

- tensione di soglia superiore  $V_{T2} = 0,5 \text{ V}$ ;
- tensione di soglia inferiore  $V_{T1} = 0 \text{ V}$ ;
- isteresi  $\Delta V = V_{T2} - V_{T1} = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ V}$ .

Si ricordi che per un trigger non invertente risulta:

$$V_{T2} = V_{r2} \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} + V_{SAT} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}}$$

$$V_{T1} = V_{r2} \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} - V_{SAT} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}}$$

$$\Delta V = 2V_{SAT} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}}$$

dove  $V_{r2}$  è la tensione di riferimento necessaria per ottenere l'asimmetria della transcaratteristica rispetto all'origine.

Dalla terza delle precedenti equazioni si ottiene:

$$\Delta V = 2V_{SAT} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} \Rightarrow R_9 = \frac{\Delta V}{2V_{SAT}} (R_9 + R_{10})$$

Ponendo, ad esempio,  $R_9 + R_{10} = 10 \text{ k}\Omega$  si ha:

$$R_9 = \frac{\Delta V}{2V_{SAT}} (R_9 + R_{10}) = \frac{0,5}{2 \cdot 10} \cdot 10000 = 250 \text{ }\Omega$$

Dalla prima delle precedenti equazioni, si può ricavare la tensione di riferimento  $V_{r2}$ :

$$V_{T2} = V_{r2} \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} + V_{SAT} \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} \rightarrow$$

$$V_{r2} = \frac{V_{T2}(R_9 + R_{10}) - V_{SAT}R_9}{R_{10}} = \frac{0,5 \cdot 10000 - 10 \cdot 250}{9750} = 0,256 \text{ V}$$

Dimensionamento del circuito che genera la tensione di riferimento  $V_{r1}$

Per generare la tensione di riferimento  $V_{r1}(4,63 \text{ V})$  si può utilizzare lo stesso circuito usato per  $V_{offset}$  (parte tratteggiata di figura 3), riportato per comodità nella figura 6: lo Zener LM 336 polarizzato inversamente fornisce una tensione stabile di 2,5 V, che viene applicata all'ingresso “+” dall'amplificatore non invertente realizzato con l'operazionale LM759 e le resistenze  $R_{12}$  e  $R_{13}$ , che devono essere dimensionate in modo da avere in uscita una tensione  $V_{offset}$  di 4,63 V.

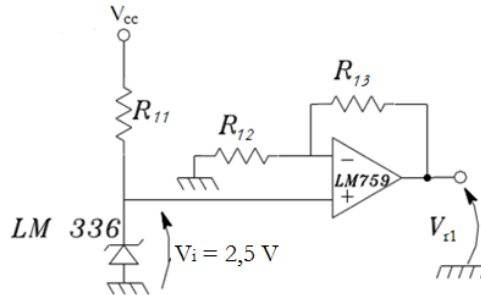


Figura 6 –Circuito per la generazione di  $V_{r1}$

Poiché l'amplificazione di un amplificatore non invertente realizzato con operazionale, vale:

$$A = 1 + \frac{R_{13}}{R_{12}}$$

essendo  $V_i = 2,5$  V e  $V_{r1} = 4,63$  V, si ha:

$$V_{r1} = V_i A \Rightarrow 4,63 = 2,5 \left( 1 + \frac{R_{13}}{R_{12}} \right)$$

dalla quale si ottiene:

$$R_{13} = R_{12} \left( \frac{4,63}{2,5} - 1 \right)$$

Imponendo, ad esempio,  $R_{12} = 10$  k $\Omega$ , si può ricavare  $R_{13}$ :

$$R_{13} = 10000 \left( \frac{4,63}{2,5} - 1 \right) = 8520 \, \Omega$$

La resistenza  $R_{11}$  può essere dello stesso valore della  $R_4$ .

Dimensionamento del circuito che genera la tensione di riferimento  $V_{r2}$

Per generare la tensione  $V_{r2}$  (0,256 V) si può utilizzare il circuito di figura 7.

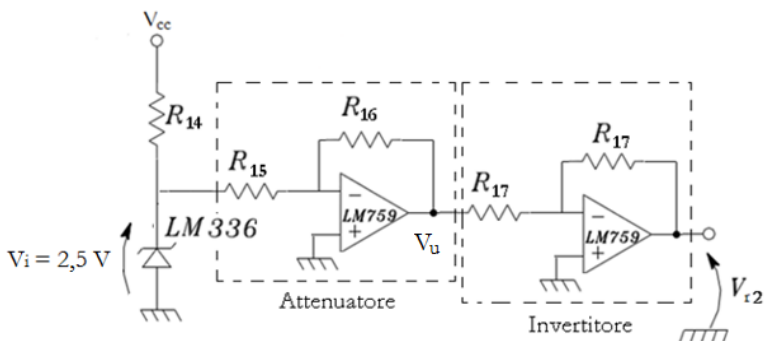


Figura 7– Circuito per la generazione di  $V_{r2}$

Il primo blocco del circuito è fondamentalmente un amplificatore invertente avente amplificazione:

$$A = \frac{V_u}{V_i} = -\frac{R_{16}}{R_{15}}$$

Imponendo  $R_{16} < R_{15}$ , l'amplificazione diventa minore dell'unità ed il circuito di figura 6 non è più un amplificatore, ma diventa un attenuatore. Le resistenze  $R_{16}$  e  $R_{15}$  devono essere dimensionate in modo tale che la tensione all'uscita dell'operazionale sia 0,256 V.

Essendo l'attenuatore invertente e la sua tensione d'ingresso positiva (2,5 V), in uscita si ottiene una tensione negativa (−0,256 V).

Per rendere quest'ultima positiva viene inserito in cascata un altro stadio invertente, avente resistenze di retroazione uguali ( $R_{17}$ ): essendo  $A = -1$  questo stadio diventa un invertitore e quindi rende positiva la tensione  $V_{r2}$  d'uscita.

Dalla precedente equazione si ha:

$$V_u = -\frac{R_{16}}{R_{15}} V_i \Rightarrow 0,256 = -\frac{R_{16}}{R_{15}} 2,5 \Rightarrow \frac{R_{16}}{R_{15}} = \left| \frac{0,256}{2,5} \right| = 0,1024$$

Ad esempio, con  $R_{15} = 10 \text{ k}\Omega$  si ottiene:

$$\frac{R_{16}}{R_{15}} = 0,1024 \cdot R_{15} = 0,1024 \cdot 10000 = 1024 \Omega$$

Si può infine scegliere  $R_{17} = 10 \text{ k}\Omega$ .

Per la resistenza  $R_{14}$  si può scegliere lo stesso valore della  $R_4$ .

Nella figura 8 è infine indicato l'intero circuito di controllo e regolazione.

