



Isidoro KZ (IsidoroKZ)

PROGETTO TERMOSTATO III - DIMENSIONAMENTO E CALCOLI

18 September 2011

Introduzione

In questa sezione si faranno i **calcoli preliminari** per il dimensionamento del termostato, basati sulle relazioni ricavate nel precedente articolo [1]

Si useranno **componenti commerciali** con tolleranze del 5% o in caso di necessit  1%. Quasi necessariamente per termostati a temperatura fissa si user  un potenziometro o di un trimmer per la **taratura** del termostato. Per termostati regolabili in un intervallo di temperatura, il potenziometro di settaggio   invece una parte della specifica. In questo caso potrebbe essere necessario usare degli altri trim per fissare il **campo di regolazione** del potenziometro. Nel progetto che segue ci si limiter  a garantire che il potenziometro copra l'intervallo di temperatura desiderato.

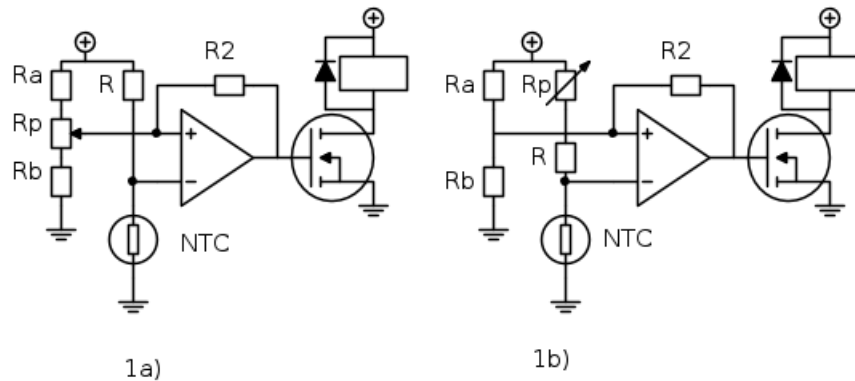
L'alimentazione sara  considerata singola a 12 V, ma lo stesso circuito dovrebbe funzionare anche a 5 V. Usando una misura raziometrica (a ponte) non sara  necessario usare riferimenti precisi di tensione. L'uscita del termostato sara  un transistore per il pilotaggio di un rele', che si attiva quando la temperatura scende al di sotto della soglia minima attivando il riscaldatore, oppure in un'altra versione, si attiva quando la temperatura sale al di sopra di una soglia massima attivando il raffreddamento.

Le altre specifiche: campo di temperatura fra 32  C e 42  C (incubatrice estesa anche per altre uova), isteresi $T_H = .5  C$.

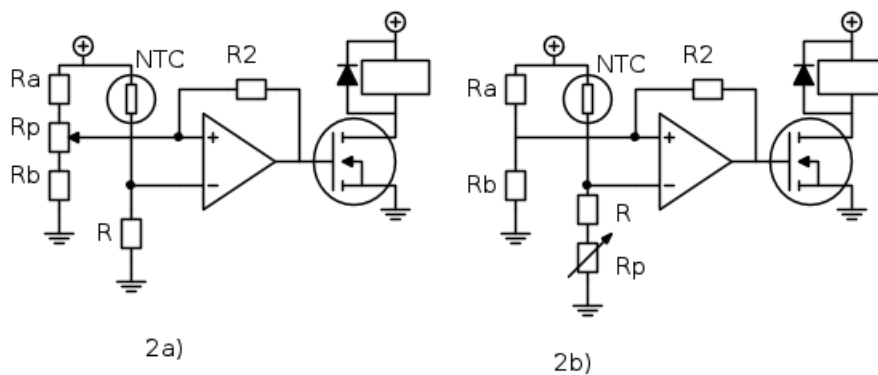
La precisione della temperatura controllata   ottenuta per confronto con un termometro supposto preciso. Si regola per passi successivi il potenziometro per ottenere una precisione sempre migliore, e raggiunta la temperatura voluta si segna sulla manopola del potenziometro la posizione cui corrisponde la temperatura desiderata. La procedura puo  essere ripetuta per piu  temperature.

Schema e dimensionamento

I possibili schemi del termostato consistono di una qualche combinazione dei tre blocchi visti nell'articolo precedente [1]. A seconda che si sia interessati a controllare una temperatura pressoché costante oppure una temperatura variabile in un intervallo abbastanza elevato, può essere conveniente usare un circuito con resistenza fissa in serie all'NTC oppure con una resistenza variabile. In ogni caso, anche per utilizzo a temperatura fissa, a causa delle tolleranze dei componenti, è spesso necessario prevedere un trimmer o un potenziometro di regolazione. Possibili schemi base sono i seguenti:



In questi due schemi viene utilizzato un comparatore con isteresi di tipo invertente: quando la temperatura sale la tensione sull'ingresso invertente del comparatore diminuisce e il comparatore accende il transistor di uscita e attiva il relè: questo è il funzionamento tipico per un raffreddamento. Per ottenere la funzione opposta si può usare la configurazione non invertente, oppure meglio, scambiare di fra di loro l'NTC e la resistenza R (o $R+R_p$)



In questi schemi la tensione di isteresi V_H è fissa (schemi 1b e 2b) o quasi fissa (schemi 1a e 2a).

Passiamo ora al dimensionamento vero e proprio, considerando queste specifiche: tensione di alimentazione $V_{al} = 12\text{ V}$, campo di temperatura fra 32°C e 42°C , isteresi $T_H = .5^\circ\text{C}$, attivazione del rele, che assorbe 100 mA , quando la temperatura scende.

L'ultima specifica richiede l'uso del circuito 2a oppure 2b. Essendo l'intervallo di temperatura non troppo ampio, si puo` scegliere di dimensionare entrambi i circuiti, verificando durante il progetto che la soluzione sia accettabile.

Progetto del circuito NTC

La prima scelta da effettuare e` quella dell'NTC. Da considerazioni sull'autoriscaldamento fatte in precedenza si sceglie di usare una ntc da $R_{25^\circ\text{C}} = 10\text{ k}\Omega$, anche considerando che la temperatura di lavoro non e` troppo elevata. In caso di temperature elevate, e quindi di resistenze effettive minori, e` opportuno salire ulteriormente con il valore dell'NTC.

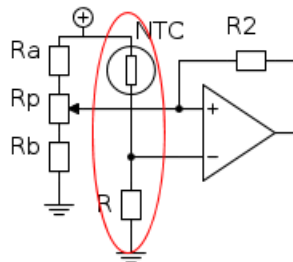
I dati di questa NTC sono gia` stati presentati in precedenza [2], qui basta ricordare il coefficiente $B = 3977\text{ K}$. Il valore nominale dell'NTC alle temperature minima, massima e nominale vale

Temperatura Resistenza

32°C	$7364\ \Omega$
37°C	$5968\ \Omega$
42°C	$4870\ \Omega$

NTC con resistenza fissa

Se l'intervallo di regolazione della temperatura e` piccolo o addirittura si e` a temperatura fissa, si realizza lo schema 2a, ripetuto qui per convenienza evidenziando il partitore da progettare.



Come ricavato in [1], il valore commerciale della resistenza R del partitore deve essere il piu` vicino possibile a quello dell'NTC alla temperatura nominale. In questo caso con $R(37^\circ\text{C}) = 5968\ \Omega$ il valore della resistenza R puo` essere scelto fra i valori commerciali $5.6\text{ k}\Omega$ e $6.2\text{ k}\Omega$ in modo da massimizzare la sensibilita` intorno alla

temperatura centrale. La sensibilità, calcolata in precedenza è di circa 124 mV/K con entrambe le resistenze.

Il calcolo preliminare dell'effetto delle tolleranze di NTC e R sulla tensione V_{out} e sulla sensibilità $\frac{dV_{out}}{dT}$ può essere fatto ad esempio con un foglio Excel, in modo da ridurre il tempo di calcolo (Invece il tempo per mettere a punto il foglio è sempre sottostimato di un fattore almeno 3 : ().

Un esempio di risultati ottenuti in questo modo è mostrato nella figura sottostante dove è riportata la tensione di uscita dal partitore e la sensibilità ottenuta. Per l'NTC non si è distinto fra tolleranza del fattore B e di $R_{25^{\circ}C}$.

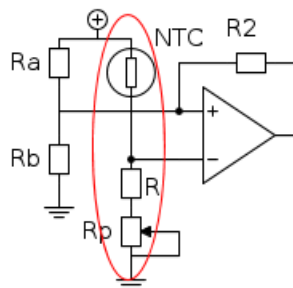
Val	12 V	Toll NTC	5 %					
R25	10 k Ω	Toll R	5 %					
B	3977 K							
R	5.6 k Ω							
Rinf	1.61057E-05 k Ω							
Temp (°C)	R(T) (k Ω)	Nomin		Ntc min, Rmax		Ntc max, Rmin		
		Vout (V)	Sens (mV/K)	Vout (V)	Sens (mV/K)	Vout (V)	Sens (mV/K)	
32	7.364	5.18	125.8	5.48	127.2	4.89	123.8	
37	5.968	5.81	123.9	6.11	124.0	5.51	123.2	
42	4.870	6.42	119.5	6.72	118.4	6.12	120.1	

TABELLA 2

Questa tabella permette di trovare la tensione massima e minima che il comparatore si ritrova all'ingresso, in pratica la tensione di soglia media che deve essere in grado di comparare. La sensibilità serve per calcolare l'isteresi necessaria, e dà una idea di quanto cambia l'isteresi al cambiare delle tolleranze del circuito del sensore.

NTC con potenziometro

Se si realizza lo schema di figura 2b, riportato qui sotto



Il valore della resistenza piu` potenziometro deve essere uguale a quello dell'NTC alle diverse temperature di regolazione. Bisogna scegliere un potenziometro R_p e una resistenza R in modo che possano assumere tutti i valori di resistenza che l'NTC puo` assumere nell'intervallo di temperatura, includendo gli effetti delle tolleranze.

La resistenza minima nominale dell'NTC e` pari a 4870Ω : scegliere $R = 4.7\text{k}\Omega$ e` pero` un errore perche' bisogna considerare l'effetto delle tolleranze su NTC e resistenza.

Assumendo una tolleranza del 5% sia per le resistenze che per l'NTC, la scelta del valore di resistenza diventa $R = 4.3\text{k}\Omega$, in modo che con la resistenza al valore massimo a causa delle tolleranze

$$(1) \quad R_{max} = 4.3\text{k}\Omega \times 1.05 = 4.52\text{k}\Omega$$

e l'NTC al suo valore minimo

$$(2) \quad R_{min}(T_{max}) = 4.87\text{k}\Omega \times .95 = 4.62\text{k}\Omega$$

si abbia sempre il valore della resistenza minore di quello dell'NTC.

Il valore del potenziometro deve essere scelto in modo da coprire il caso peggiore che si ha con NTC di valore massimo e resistenza di partitore di valore minimo:

$$(3) \quad \begin{aligned} R_p &= R_{max}(T_{min}) - R_{min} = \\ &= 7.364\text{k}\Omega \times 1.05 - 4.3\text{k}\Omega \times .95 = 3.65\text{k}\Omega \end{aligned}$$

Anche i potenziometri sono afflitti dalle tolleranze, tipicamente 20% e quando va bene solo 10%. Per questa ragione la scelta va su un potenziometro lineare da almeno

$$(4) \quad R_p \geq 3.65\text{k}\Omega / .8 = 4.5\text{k}\Omega$$

ovvero si prende il valore commerciale di $5\text{k}\Omega$. Da ricordare che spesso i potenziometri hanno valori normalizzati nella sequenza 1-2-5. Talvolta si trovano i valori della sequenza 1-2.2 e 4.7.

Con intervalli di variazione di resistenza dell'NTC relativamente piccoli come in questo caso, si utilizza un potenziometro lineare. Per elevati intervalli di temperatura, ad esempio da 0°C a 70°C un potenziometro lineare puo` dare difficolta` di regolazione all'estremo alto di temperatura dove una grande variazione di temperatura e` concentrata in un piccolo angolo, ed e` necessario considerare potenziometri logaritmici, oppure cambiare radicalmente il circuito.

Gli errori del comparatore, dovuti alle tolleranze delle sue resistenze, vengono compensati da questo potenziometro, quindi in seconda battuta bisognera` verificare

che questo potenziometro sia in grado di dare un intervallo di tensioni che comprenda anche gli errori del comparatore.

A questo punto e' solo necessario calcolare la sensibilita` del circuito in modo da poter definire l'ampiezza dell'isteresi del comparatore. I valori di sensibilita` in questo caso sono dati dall'equazione (7) dell'articolo precedente [2]

$$(5) \quad \frac{dV_{out}}{dT} = \frac{B}{4T^2} V_{al}$$

e i risultati sono rappresentati in TABELLA 1

Temperatura Sensibilita`

32 °C	128 mV/K
37 °C	124 mV/K
42 °C	120 mV/K

La tensione di uscita nominale per tutti i casi e' $V_{out} = 6\text{ V}$ e bisognera` verificare che la si possa eventualmente variare con il potenziometro in modo da correggere gli errori del comparatore.

Dimensionamento del comparatore

La scelta di utilizzare un transistoro per interfacciarsi al carico richiede di scegliere un operazionale a singola alimentazione, in modo da garantire lo spegnimento del transistoro quando l'uscita va bassa. Da notare che con i criteri sviluppati in [1], la tensione degli ingressi rimane sempre intorno a meta` della tensione di alimentazione e se non ci fosse il problema dell'uscita si potrebbe utilizzare un operazionale anche non a singola alimentazione.

Data pero` la specifica del transistoro di uscita, si puo` scegliere ad esempio un LM358, operazionale a singola alimentazione, la cui tensione di offset, dell'ordine di qualche millivolt, non da` problemi in quanto di per se` trascurabile, viene comunque corretta con la regolazione del potenziometro.

Questo termostato richiede il dimensionamento di un comparatore con isteresi di tipo invertente utilizzando un operazionale a singola alimentazione, le cui equazioni di progetto (17) e (19) dell'articolo [1] sono riportate qui di seguito.

$$(6) \quad \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{\Delta V_o}{V_H} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta V_o}{V_H} - 1$$

$$(7a) \quad V_p = V_{s2} \left(\frac{\Delta V_o}{\Delta V_o - V_H} \right) = V_{s2} \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

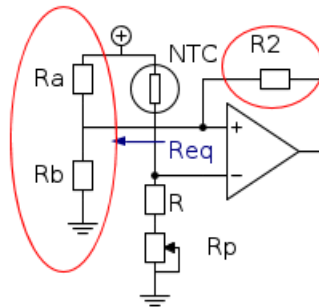
$$(7b) \quad V_p = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_o - V_H} \left(V_{sm} - \frac{V_H}{2} \right)$$

A seconda che si sia scelto il circuito 2a oppure 2b si deve valutare la tensione media di soglia V_{sm} , mentre l'isteresi elettrica V_H è pressoché costante nei due circuiti perché la sensibilità del circuito del sensore non varia di molto. L'ampiezza dell'isteresi elettrica è data dall'isteresi di temperatura moltiplicata per la sensibilità del circuito, praticamente costante nei due casi.

$$(8) \quad V_H = \frac{dV_{out}}{dT} \Delta T = 124 \text{ mV/K} \cdot 0.5 \text{ }^\circ\text{C} = 62 \text{ mV}$$

NTC con potenziometro

Il progetto del comparatore per la configurazione 2b è apparentemente semplice perché la tensione media di soglia è costante e vale $V_{sm} = 6 \text{ V}$.



Utilizzando le formule (6) e (7) si ottengono il rapporto delle resistenze e il valore della tensione V_p .

$$(9) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{10 \text{ V}}{62 \text{ mV}} - 1 = 160$$

Il rapporto delle resistenze è molto elevato e la scelta dei valori richiede un po' di attenzione per non sprecare potenza inutilmente oppure per non utilizzare resistenze di valore troppo elevato. La resistenza R_1 è data dall'equivalente Thevenin di R_a ed R_b come pure la tensione V_p è data dallo stesso equivalente Thevenin. Usando l'equazione (7b) si ha:

$$(10) \quad V_p = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ V} - 62 \text{ mV}} \left(6 \text{ V} - \frac{62 \text{ mV}}{2} \right) = 6.006 \text{ mV}$$

Il partitore formato da R_a ed R_b deve avere $R_a = R_b$ in modo da dividere a metà la tensione di alimentazione. Non ha alcun senso, con resistenze al 5%, o anche all'1%,

andare a preoccuparsi dei 6 mV di differenza rispetto a quanto si ottiene con due resistenze nominalmente uguali: l'errore è dello 0.1%, e scompare nella tolleranza delle resistenze.

A questo punto si possono scegliere le resistenze: utilizzando ad esempio $R_a = R_b = 5.6 \text{ k}\Omega$ si ha una resistenza equivalente, che costituisce anche la resistenza del comparatore pari a

$$(11) \quad R_a = R_b = 5.6 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{eq} = R_1 = R_a // R_b = 2.8 \text{ k}\Omega \text{ e il valore dell'altra resistenza del comparatore risulta}$$

$$(12) \quad R_2 = 160 \times 2.8 \text{ k}\Omega = 448 \text{ k}\Omega \approx 430 \text{ k}\Omega$$

Con questa resistenza di retroazione l'isteresi teorica risulta essere di poco superiore al valore calcolato. In realtà anche l'isteresi subisce l'effetto della tolleranza delle resistenze e della imprecisione della tensione di uscita, assunta pari 10 V per il livello alto e 0 V per quello basso.

La tensione V_p a causa delle tolleranze su R_a ed R_b può variare nell'intervallo

$$(13) \quad 6(1 - 5\%) \text{ V} = 5.7 \text{ V} < V_p < 6(1 + 5\%) \text{ V} = 6.3 \text{ V}$$

e questa variazione, come detto in precedenza, deve essere recuperata dal potenziometro in serie all'NTC.

In pratica il circuito dell'NTC, con una opportuna regolazione del potenziometro, deve essere in grado di fornire sia alla temperatura massima che a quella minima una tensione compresa fra i due valori indicati prima, malgrado tutte le tolleranze possano sommarsi a sfavore

Assumendo una tolleranza del 5% per resistore e NTC e del 20% per il potenziometro, i valori estremi di tensione sono dati maggiorando o minorando opportunamente i valori di resistenze e ntc in questo modo:

$$(14) \quad V_{max} = V_{al} \frac{R_{min} + R_{p,min}}{R_{min} + R_{p,min} + R_{max}(T_{min})}$$

$$(15) \quad V_{min} = V_{al} \frac{R_{max}}{R_{max} + R_{min}(T_{max})}$$

E sostituendo i valori numerici con le tolleranze si ha:

$$(16) \quad V_{max} = \frac{12 \text{ V} \cdot (4.3(1 - 5\%) + 5(1 - 20\%)) \text{ k}\Omega}{(4.3(1 - 5\%) + 5(1 - 20\%) + 7.364(1 + 5\%)) \text{ k}\Omega} = 6.13 \text{ V}$$

$$(17) \quad V_{min} = \frac{12 \text{ V} \cdot 4.3(1 + 5\%) \text{ k}\Omega}{4.3(1 + 5\%) \text{ k}\Omega + 4870(1 - 5\%) \Omega} = 5.93 \text{ V}$$

Entrambe queste espressioni mostrano che il potenziometro non è in grado di recuperare casi con tolleranze di valore massimo e segno più sfavorevole. La probabilità che queste circostanze capitino contemporaneamente è bassa, ma non nulla. Una analisi Montecarlo con un simulatore circuitale può mostrare qual è la probabilità di avere un circuito che non riesce a soddisfare le specifiche. Per trovare una soluzione a questo problema si può utilizzare Excel, provando a ridurre le tolleranze fino a rientrare nelle specifiche.

La prima tolleranza da stringere, meno costosa da implementare, è sulle resistenze. Utilizzando resistori all'1% solo per R_a ed R_b , lasciando invariato NTC, R e potenziometro, la tensione V_{out} che deve essere generata dal circuito dell'NTC diventa

$$(18) \quad 6(1 - 1\%) V = 5.94 V \quad \text{e} \quad 6(1 + 1\%) V = 6.06 V$$

e si vede che in questo caso si riesce a regolare. Per tenere conto dell'effetto di R_2 che qui è stato trascurato, e dell'offset dell'operazionale, del fatto che la resistenza minima del potenziometro non va a zero, si può ridurre all'1% anche la tolleranza su R, mantenendo l'NTC al 5% e il potenziometro al 20% di tolleranza. In questo caso ottengono come tensioni massime e minime generabili:

$$(19) \quad V_{max} = \frac{12 V \cdot (4.3(.99) + 5(.8))k\Omega}{(4.3(.99) + 5(.8) + 7.364(1.05))k\Omega} = 6.19 V$$

$$(20) \quad V_{min} = \frac{12 V \cdot 4.3(1.01)k\Omega}{4.3(1.01)k\Omega + 4870(.95)\Omega} = 5.81 V$$

Questi valori coprono comodamente l'intervallo di variazione delle tensioni di soglia del comparatore.

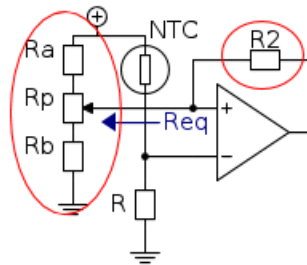
Da notare che non è necessario avere una tensione di alimentazione stabile e precisa, perché i due partitori sono alimentati dalla stessa tensione e il confronto è solo fra i rapporti di resistenza (misura raziometrica).

Con questi valori il consumo di corrente è dell'ordine di 1.1 mA per il ramo formato da R_a ed R_b e circa 1.2 mA per il ramo con l'NTC. A questi livelli di consumo non ci sono problemi se il circuito è alimentato da rete, ma potrebbe essere troppo elevato in caso di circuito alimentato a batterie. In questo caso bisogna aumentare di almeno un ordine di grandezza il valore delle resistenze. La resistenza di retroazione R_2 è quella più critica da questo punto di vista, perché può diventare facilmente troppo grande e difficile da reperire. In questo caso ci sono altre soluzioni circuitali che utilizzano un attenuatore a T sul ramo di retroazione.

La potenza massima dissipata dall'NTC vale circa 7.7 mW e l'autoriscaldamento in aria libera, analogamente a quanto si era calcolato in [1], equazioni (11) e (12), vale circa 1.1 K.

NTC con resistenza fissa

Lo schema con resistenza fissa in serie all'NTC e` il seguente:



In questo circuito bisogna calcolare i valori delle resistenze R_a ed R_b , del potenziometro R_p e della resistenza di feedback R_2 . L'isteresi elettrica richiesta e` sempre la stessa, $V_H = 62 \text{ mV}$, questa volta pero` la tensione da comparare e` quella data dalla tabella Excel mostrata sopra. I valori limite della tensione vanno da 4.89 V fino a 6.72 V.

Un primo calcolo del partitore, al solito trascurando l'effetto della retroazione R_2 , e introducendo le tolleranze dei componenti nel verso che rendono piu` critico il soddisfacimento delle disuguaglianze, porta a questo sistema di disequazioni, al quale si e` aggiunta la condizione di avere una resistenza totale maggiore di 10 k Ω

$$(21) \quad \begin{cases} V_{max} = \frac{12V(R_p 0.8 + R_b 0.95)}{R_a 1.05 + R_p 0.8 + R_b 0.95} > 6.72 \text{ V} \\ V_{min} = \frac{12V(R_b 1.05)}{R_a 0.95 + R_p 0.8 + R_b 1.05} < 4.79 \text{ V} \\ R_{tot} = R_a 0.95 + R_b 0.95 + R_p 0.8 > 10 \text{ k}\Omega \end{cases}$$

Le tensioni massima e minima sono state ricavate in precedenza, e mostrate in TABELLA 2.

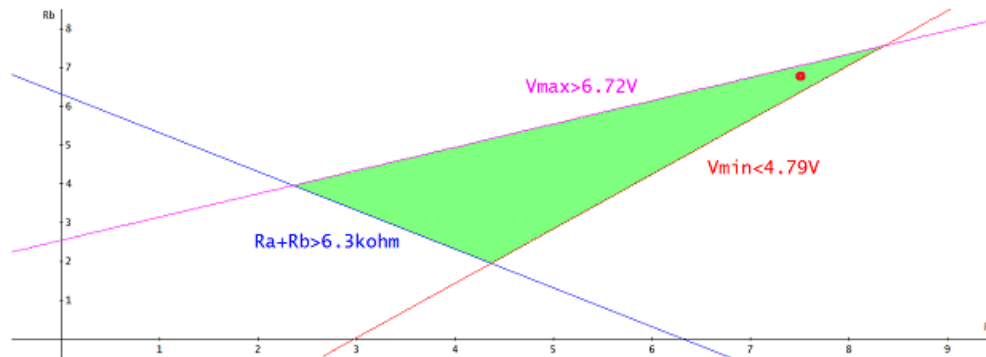
Risolvendo il sistema come se fossero equazioni si ottiene

$$(22) \quad R_a = 4.4 \text{ k}\Omega, R_b = 4 \text{ k}\Omega, R_p = 2.6 \text{ k}\Omega$$

Osservando le disequazioni si nota che il valore del potenziometro puo` essere fatto crescere senza pregiudicare le soluzioni. Questo e` comodo perche' i potenziometri

hanno una risoluzione di valori molto più bassa delle resistenze. Si sceglie quindi inizialmente il valore $R_p = 5 \text{ k}\Omega$. Utilizzando il solito foglio Excel, oppure programmi di soluzione algebrica/grafica di sistemi di disequazioni si ottengono possibili soluzioni al problema.

La regione delimitata dalle tre disequazioni di prima è rappresentata in figura, dove sono stati indicati i confini creati dalle tre disequazioni.



Regione possibili valori di R_a e R_b

Il punto rosso evidenzia la scelta fatta:

$$(23) \quad R_a = 7.5 \text{ k}\Omega, R_b = 6.8 \text{ k}\Omega$$

È conveniente scegliere una coppia di valori vicina al punto di intersezione delle due condizioni date dalla tensione massima e minima, valori elevati di R_a e R_b , perché in questo modo si riduce il campo di controllo del potenziometro praticamente al minimo desiderato, e si ha una maggiore semplicità di regolazione.

Nella scelta delle resistenze non è necessario considerare le tolleranze, perché se ne è già tenuto conto nelle disequazioni per determinare la regione di possibili valori.

La resistenza equivalente massima vista guardando nel cursore del potenziometro, con i valori nominali dei componenti è di

$$(24) \quad R_{eq} = \frac{R_a + R_p + R_b}{4} = \frac{(7.5 + 5 + 6.8) \text{ k}\Omega}{4} = 4.8 \text{ k}\Omega$$

e può scendere fino a circa $R_{eq} = 4.4 \text{ k}\Omega$ con il cursore all'estremo inferiore. Prendendo un valore medio di circa $R_{eq} = 4.6 \text{ k}\Omega$, che comporta una resistenza di retroazione pari a

$$(25) \quad R_2 = R_{eq} \cdot \frac{R_2}{R_1} = 4.6 \text{ k}\Omega \times 160 \approx 750 \text{ k}\Omega$$

Volendo ridurre il valore di questa resistenza, si puo` passare al valore di potenziometro immediatamente piu` basso, $2\text{ k}\Omega$ scalando conseguentemente le altre resistenze,

$$(26) \quad R_a = 3\text{ k}\Omega, \quad R_b = 2.7\text{ k}\Omega, \quad R_p = 2\text{ k}\Omega.$$

La resistenza totale del partitore e` ora di $7.7\text{ k}\Omega$, minore del valore di $10\text{ k}\Omega$ che si era imposto. Questo provoca un consumo di corrente di circa 1.6 mA , ma la resistenza R_2 si riduce a $300\text{ k}\Omega$

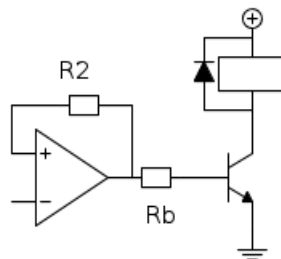
Da notare che in questo circuito l'ampiezza dell'isteresi, oltre che dipendere dalle tolleranze dei componenti e dalla tensione di uscita del comparatore, dipende anche dalla posizione del potenziometro, perche' cambia la resistenza equivalente vista che costituisce il valore R_1 nelle equazioni del comparatore. Questa variazione e` dell'ordine di $\pm 4\%$ e non essendoci specifiche sulla precisione dell'isteresi, puo` essere una variazione accettabile.

Oltre a questa variazione c'e` anche l'errore fisso dovuto alla tolleranza dei componenti, mentre come gia` nel caso precedente le variazioni tensione di alimentazione non danno effetti significativi perche' si fa un confronto fra fattori di partizione applicati alla stessa tensione: su un lato R_a, R_b, R_p , sull'altro resistenza e NTC.

Anche con questo circuito l'autoriscaldamento e` limitato, specie se si ha circolazione forzata di aria o collegamento termico dell'NTC a una struttura termicamente conduttrice. Il calcolo per questo specifico caso, con NTC in aria ferma, era stato fatto nell'articolo precedente e risulta di 0.9 K

Interfacciamento carico

L'analisi di questo stadio e` gia` stata fatta in [1]. Essendo la richiesta di pilotare un rele` a 12 V che assorbe 100 mA , probabilmente la soluzione migliore in termini di costi e` di utilizzare un piccolo transistor bipolare, ad esempio 2N2222A o BC337. Lo schema e` il seguente



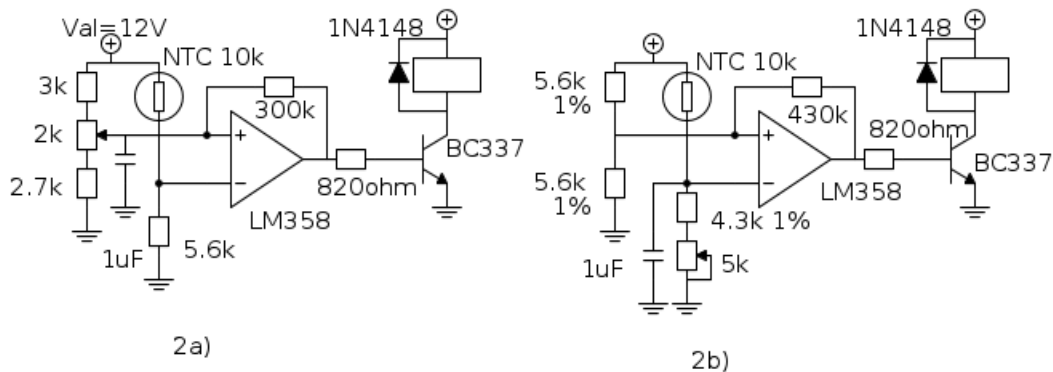
I piccoli transistori bipolari sono spesso fatti lavorare in saturazione con $\beta_{sat} = 10$. In questo caso una corrente di collettore $I_C = 100 \text{ mA}$ richiede una corrente di base $I_B = 10 \text{ mA}$ che l'LM358 puo` tranquillamente fornire, con una resistenza di base calcolata come

$$(27) \quad R_b = \frac{V_o - V_{BE_{sat}}}{I_B} = \frac{10\text{V} - 1\text{V}}{10\text{mA}} = 900\Omega \approx 820\Omega$$

Si sceglie il valore piu` basso in modo da garantire sempre la corrente di base minima. L'LM358 puo` fornire a temperatura ambiente una corrente di uscita fino a 20 mA e quindi non dovrebbero esserci problemi.

Schemi finali

A forza di fare si e` arrivati agli schemi finali, nella figura seguente.



Oltre a tutti i componenti calcolati in precedenza, in ogni circuito e` stato aggiunto un condensatore da $1 \mu\text{F}$ per ridurre gli effetti del rumore introdotto dai contatti del potenziometro. Un altro condensatore ceramico da 100 nF , non indicato in schema, va messo sulle alimentazioni dell'operazionale.

Bibliografia

[1] Isidoro KZ, [Progetto Termostato II - Blocchi base](#), Electroyou Sett. 2011

[2] Isidoro KZ, [Progetto Termostato I - Proprieta` delle NTC](#), Electroyou Sett. 2011

Estratto da ["http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Isidorokz:progetto-termostato-iii-progetto-e-dimensionamento"](http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Isidorokz:progetto-termostato-iii-progetto-e-dimensionamento)