

29/01/2009

IPSIA "Antonio Pacinotti" - Pistoia

Circuiti di condizionamento del segnale

Progettazione e collaudo



Laboratorio di Sistemi

Classe V - Circuiti di
condizionamento

Gualtiero Lapini

Circuiti di condizionamento del segnale

Progettazione e collaudo

Scopo dell'esercitazione: Simulare un caso “reale” di progettazione di un circuito elettronico per il condizionamento del segnale proveniente da un sensore.

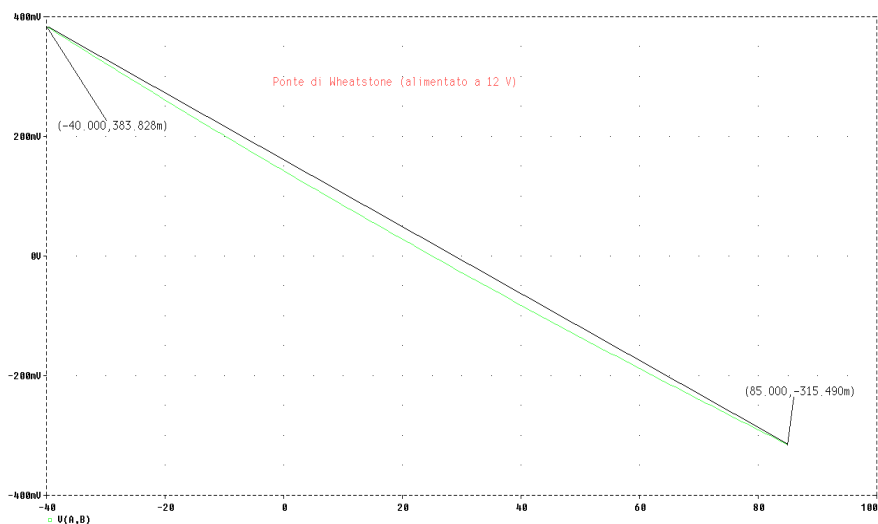
Procedimento: Partendo dai dati di progetto e dall'esperienza precedente, progettare un circuito di condizionamento ed effettuate, tramite simulazione con Pspice, le necessarie misure per la verifica del corretto funzionamento.

Partendo dall'esperienza precedente, disponiamo di un termistore del tipo a risposta lineare (entro un range ristretto di temperatura) di tipo cosiddetto **RTD** (*Resistance Temperature Detector ovvero Termoresistore*) e si vuole realizzare un termometro che indichi su di un display la temperatura misurata dal sensore stesso. La parte di visualizzazione della temperatura è in realtà un voltmetro che indica su di un display la tensione applicata al suo ingresso. Il range di ingresso del voltmetro va da -4,0 volt (che corrisponderanno a -40°C) fino a +8,5 volt (che corrisponderanno a +85°C).

Riprendendo il circuito dell'esperienza precedente vediamo che il range di risposta del ponte di Wheatstone va da circa +700 mV a circa -700 mV, quindi il segnale andrà sicuramente amplificato di circa 10 volte ed inoltre andrà ribaltato come polarità, poiché come avevamo già notato alla temperatura minima corrispondeva la tensione massima.

La prima cosa di cui dobbiamo tenere conto è che, dovendo utilizzare degli amplificatori operazionali, l'alimentazione del ponte di Wheatstone è eccessiva, infatti anche se la d.d.p. tra i punti A e B del ponte è inferiore al volt, in realtà la tensione media è di circa 12 volt (metà della tensione di alimentazione del ponte). Non possiamo inserire in ingresso ad un amplificatore operazionale una tensione vicina alla sua tensione di alimentazione (che in genere è differenziale con valori di +12/-12 volt), altrimenti se ne provocherà sicuramente la saturazione. In questo caso è facile rimediare, basta ridurre l'alimentazione del ponte di Wheatstone da 24 volt a 12 volt, si ridurrà di conseguenza anche la d.d.p. in uscita da esso, ma basta solo raddoppiare l'amplificazione dell'amplificatore per annullare questo effetto.

Vediamo quindi la tensione presente all'uscita del ponte di Wheatstone, cioè tra i punti A e B, soprattutto ci interessa conoscere il suo range ovvero la differenza tra il valore minimo e quello massimo ai due estremi della scala delle temperature.



Si va da $-383,8 \text{ mV}$ a -40°C fino a $+315,5 \text{ mV}$ a $+85^\circ\text{C}$, calcoliamo quindi i range di tensione e di temperatura.

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} = 85 - (-40) = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_{ing} = V_{max} - V_{min} = 315,5 - (-383,8) = 699,3 \text{ mV}$$

Consideriamo questa ΔV come segnale di ingresso del nostro amplificatore differenziale, sapendo che il segnale di uscita dovrà essere $-4,0 \text{ V}$ alla temperatura minima e $+8,5 \text{ V}$ alla temperatura massima.

$$\Delta V_{out} = V_{max} - V_{min} = 8,5 - (-4,0) = 12,5 \text{ V}$$

A questo punto possiamo calcolare l'amplificazione che dovrà avere il nostro amplificatore differenziale.

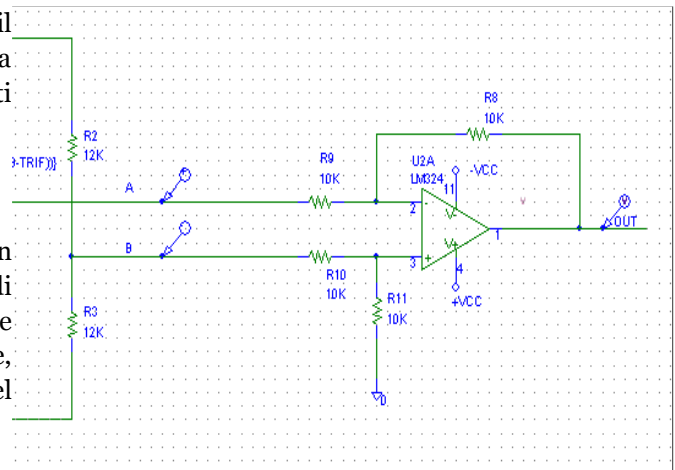
$$A_v = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{12,5}{0,6993} = 17,88$$

Prima però di procedere al calcolo delle coppie di resistenze da applicare all'amplificatore operazionale facciamo questa prova: inseriamo nel circuito un amplificatore differenziale a guadagno unitario utilizzando resistenze da $10\text{K}\Omega$ e vediamo cosa succede. Per adesso non guardiamo cosa succede in uscita dell'amplificatore ma continuiamo a misurare la tensione in ingresso ad esso, ovvero in uscita del ponte di Wheatstone.

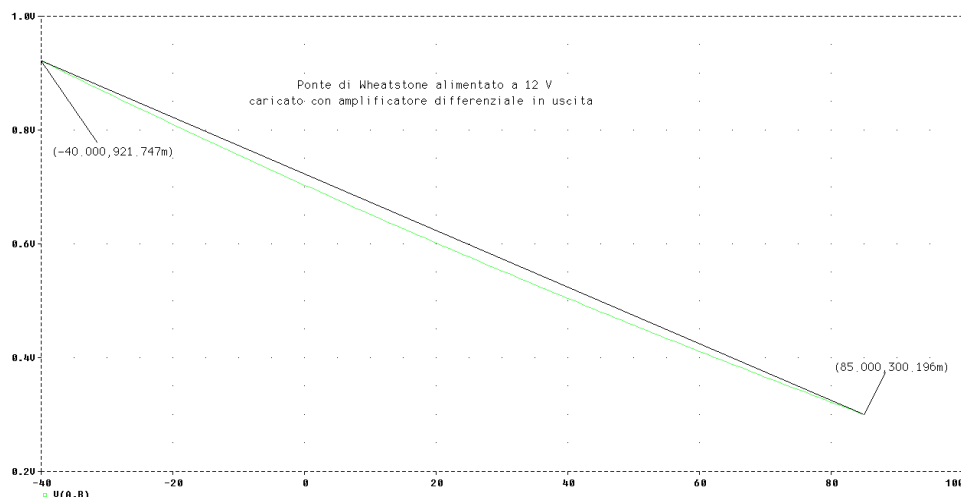
Il range di tensione è cambiato !!! E, soprattutto, il ponte di Wheatstone non è più in equilibrio alla temperatura a cui era stato progettato, infatti adesso la ΔV in uscita è sempre positiva.

Cosa è successo ?

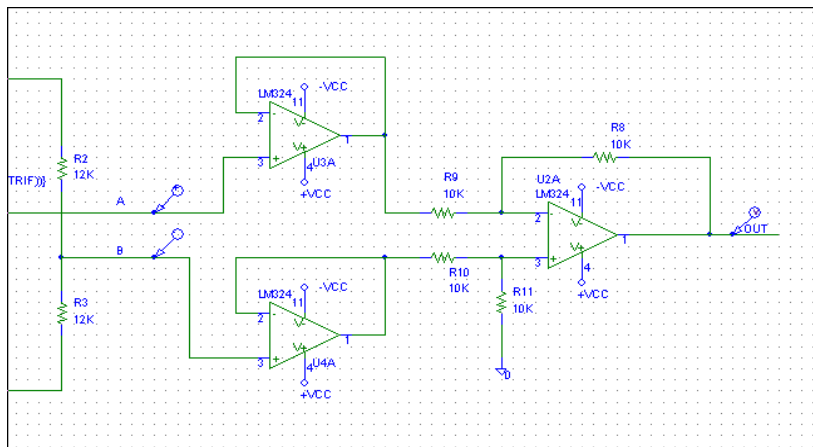
È successo che, dato che il circuito collegato in uscita al ponte di Wheatstone ha resistenze di valore paragonabile a quelle del ponte stesso, le prime si trovano in parallelo alle altre, stravolgendo quindi la condizione di equilibrio del ponte stesso ed anche la sua risposta.



Come si può rimediare a questo problema?



Si potrebbe rimediare utilizzando resistenze di valore elevatissimo nell'amplificatore a valle del ponte di Wheatstone (centinaia di megaohm), però in questo modo difficilmente riusciremo a far funzionare l'amplificatore stesso.



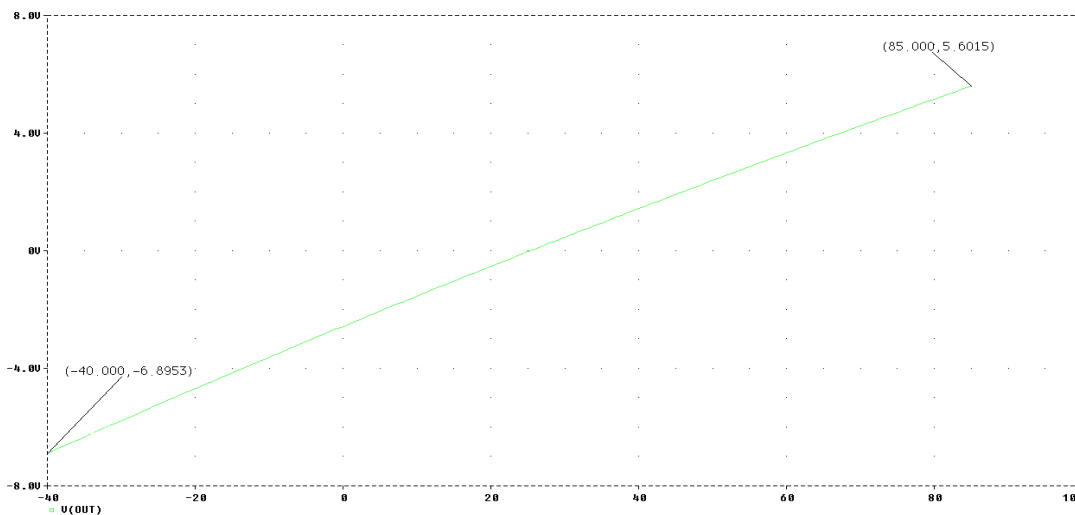
Il modo migliore in realtà è quello di inserire all'uscita del ponte di Wheatstone degli **“inseguitori”** (*follower*), ovvero amplificatori non invertenti a guadagno unitario realizzati con gli stessi amplificatori operazionali. Il guadagno di questa circuitazione è, ovviamente, unitario, l'impedenza di ingresso è virtualmente infinita (non **caricano** quindi il circuito precedente), mentre l'impedenza di uscita è virtualmente zero (non provocano quindi cadute anche se il circuito che segue non ha una impedenza elevatissima, nel nostro caso dell'ordine della decina di kilohm).

Ripetiamo le misure e vedremo che, anche aggiungendo questi componenti, la risposta del ponte di Wheatstone non cambia, ovvero non viene influenzato dai circuiti a valle.

A questo punto però impostiamo i corretti valori delle resistenze nell'amplificatore operazionale per ottenere il guadagno desiderato e cioè 17,88. Senza fare conti strani posso imporre di lasciare le due resistenze in ingresso a 10Kohm, da cui ne consegue che la resistenza di reazione (e di conseguenza anche la resistenza sull'ingresso non invertente) deve essere di 178,8 Kohm.

$$A_v = 17,88, \text{ ma anche } A_v = \frac{R_F}{R_I} \text{ da cui se } R_I = 10 \text{ K } \Omega \text{ si ha che } R_F = R_I \cdot A_v = 10 \text{ K } \Omega \cdot 17,88 = 178,8 \text{ K } \Omega$$

Modifichiamo lo schema e vediamo cosa otteniamo in uscita del nostro circuito.



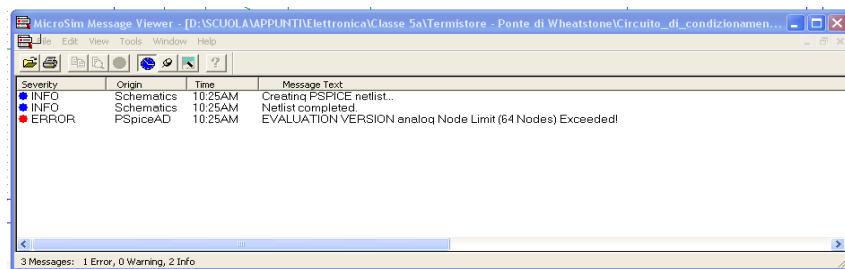
Il risultato forse non è quello che ci aspettavamo, anche se in realtà è corretto. Analizziamo meglio:

	Inizio scala	Fondo scala	Range
Temperatura	- 40°C	+85°C	125 °C
Tensione	- 6,9 V	+ 5,6 V	12,5 V

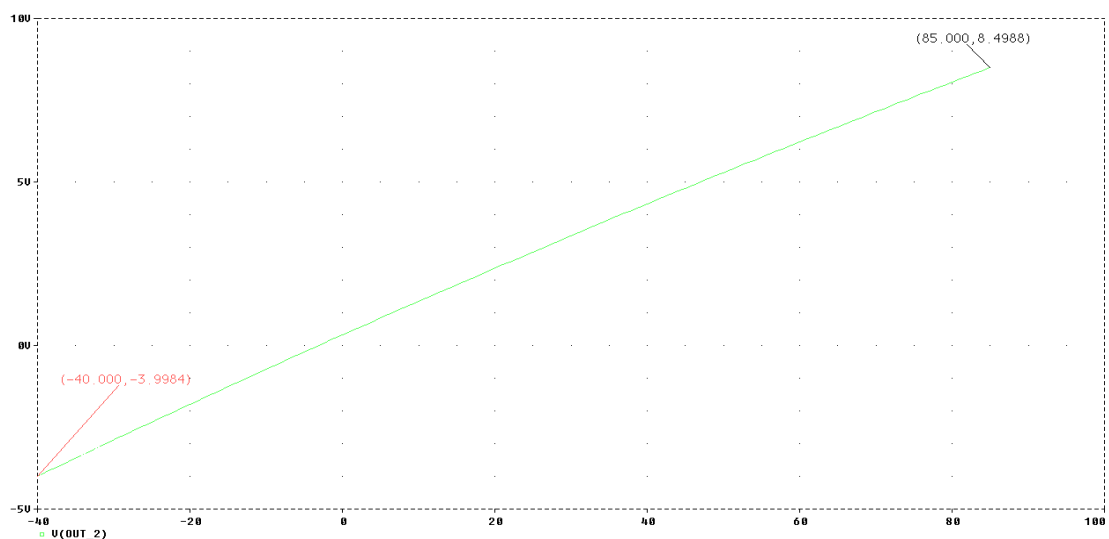
Il range è corretto ! Il problema è che la tensione di uscita doveva variare tra i due estremi di -4,0 V e di +8,5 V, quindi la tensione di uscita va **spostata** di 2,9 V verso l'alto. Esiste quindi un problema di offset (spostamento) della risposta di questo circuito.

Questo problema è facilmente risolvibile sommando 2,9 V alla tensione di uscita, tramite un altro stadio sommatore realizzato sempre con un amplificatore operazionale. La tensione di uscita si sposterà così della quantità voluta, raggiungendo quindi i valori richiesti in fase di progetto.

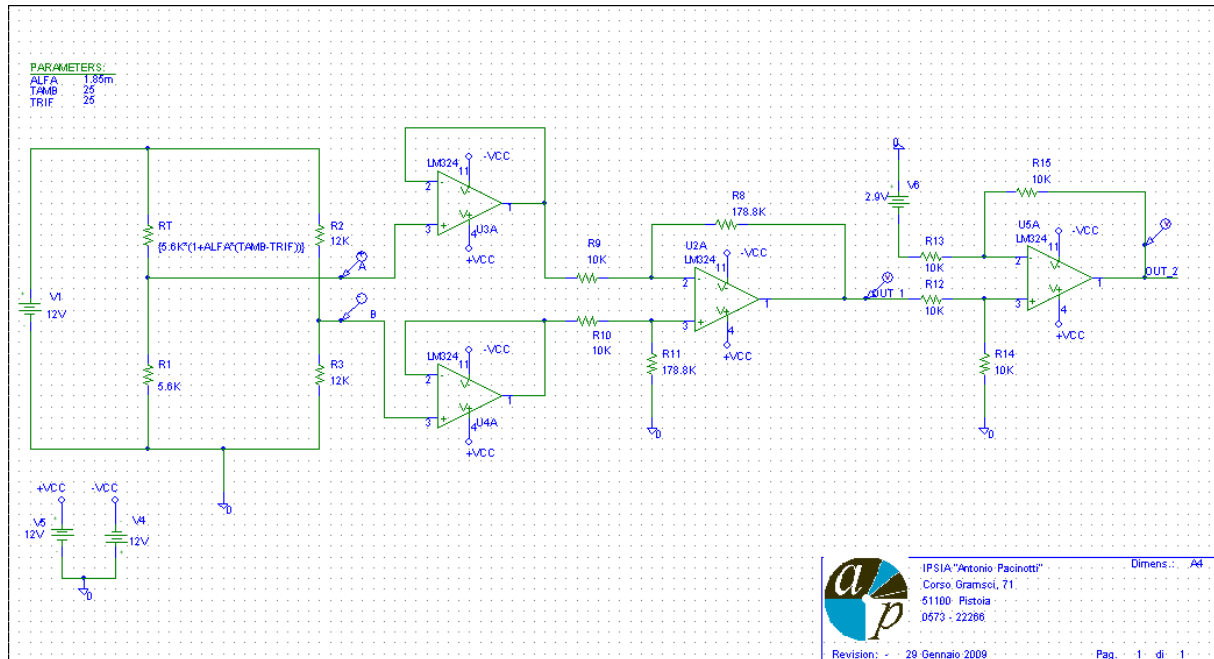
Aggiungendo ancora uno stadio amplificatore però si raggiunge il limite di funzionamento del programma Pspice che, lo ricordiamo, è in versione demo. Il messaggio seguente indica che vi sono troppi nodi nel circuito. Questo perchè utilizzando modelli abbastanza complessi, come sono gli amplificatori operazionali LM324, si supera ben presto il numero massimo consentito di nodi. Questi nodi in realtà sono dei punti nello schema equivalente utilizzato per il calcolo dal programma PSpice e non in quello che si vede a video.



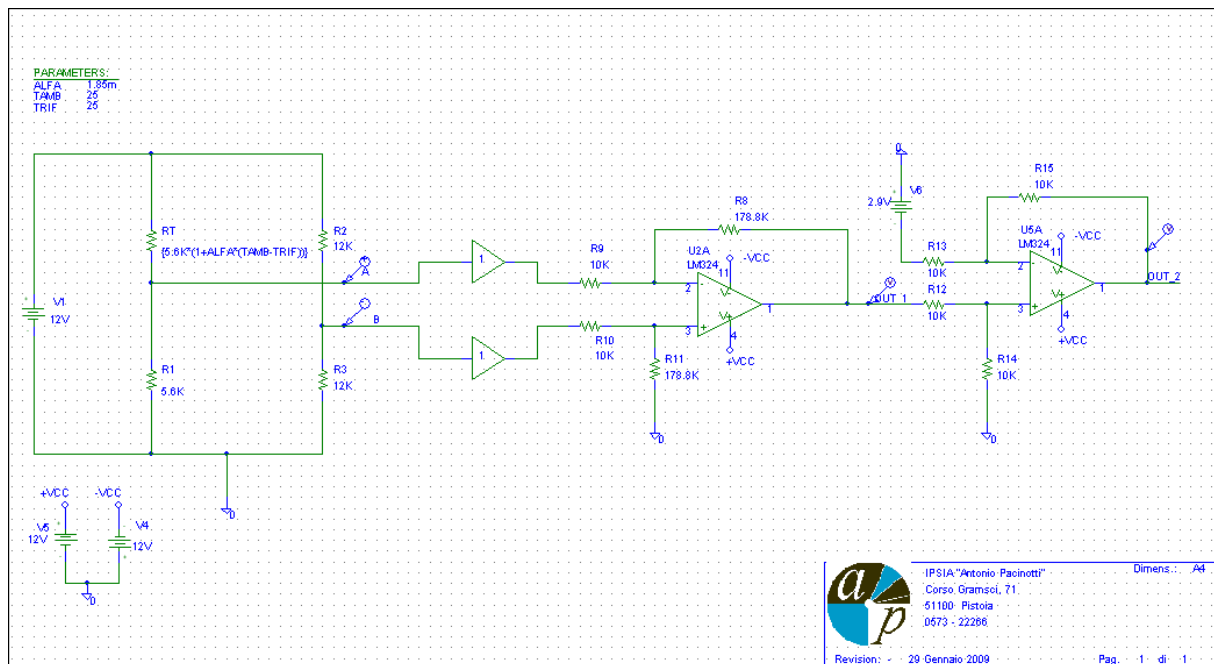
A questo punto però possiamo sostituire i due inseguitori di tensione con un modello molto più semplice, puramente matematico. Tale modello si chiama GAIN e simula un amplificatore ideale, impostiamo quindi il guadagno ad 1 e riproviamo a simulare il circuito.



Il circuito è quindi ormai completato e rispetta completamente i dati impostati dal progetto. Vediamo quindi lo schema completo.



Ricordando però che in realtà lo schema che abbiamo utilizzato per la simulazione definitiva è questo:



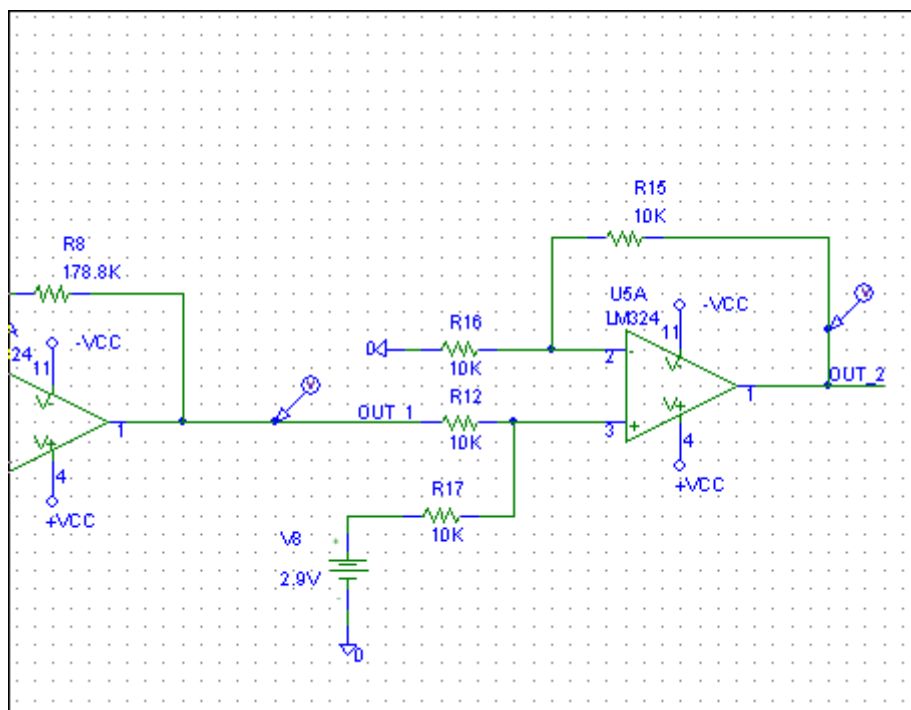
A questo punto dovrebbe essere tutto chiaro e dovrete essere in grado di risolvere qualsiasi sistema di misura con un qualsiasi sensore con risposta in tensione e con qualsiasi richiesta di tensione in uscita, modificando opportunamente i valori di amplificazione e di offset di questa catena di amplificazione.

Ancora qualche puntualizzazione finale. Vi sarete sicuramente accorti che la polarità della risposta in tensione del circuito era corretta, ovvero che alla temperatura minima corrispondeva la tensione

minima e, viceversa, alla temperatura massima corrispondeva la tensione massima, ma se così non fosse stato come si sarebbe dovuto procedere?

Anche in questo caso la soluzione sarebbe stata molto semplice: sarebbe bastato invertire la polarità dell'amplificatore differenziale applicato all'uscita del ponte di Wheatstone. In che modo? Semplicemente incrociando i due fili provenienti dai punti A e B, ovvero il segnale proveniente da A andava applicato all'ingresso non invertente e quello proveniente da B all'ingresso invertente. Provate a fare questa modifica per conto vostro e verificate la risposta.

Vi sarete inoltre accorti che il generatore della tensione di offset è di -2,9 volt ed è stato applicato all'ingresso invertente proprio perchè avevo bisogno di sommare 2,9 volt in uscita. Ma perchè non ho applicato un generatore di +2,9 volt all'ingresso non invertente? Lo ho fatto per semplicità circuitale perchè sull'ingresso non invertente c'era già il segnale proveniente dalla sonda di temperatura. Però si poteva fare lo stesso, in pratica si poteva realizzare un circuito sommatore, lasciando inutilizzato l'ingresso invertente dell'ultimo operazionale, in questo modo:



Attenzione al fatto che, dovendo utilizzare l'amplificatore operazionale come sommatore, la resistenza R14 che si trovava tra ingresso non invertente e massa va eliminata. Provate a simulare anche questo circuito e vedrete che la risposta è identica al precedente. Quale circuitazione va utilizzata alla fine? Dipende dal tipo di sorgente di tensione di riferimento che abbiamo a disposizione, se abbiamo bisogno di una tensione di offset positiva ed abbiamo un generatore di tensione positiva possiamo utilizzare questo schema, altrimenti possiamo utilizzare l'altro, ma a livello di risultato sono perfettamente equivalenti.

Come facciamo però a trovare una sorgente di tensione esattamente da 2,9 volt? Questo è un altro problema e lascio a voi la soluzione, visto che è semplicissima...