

TRASDUTTORI DI UMIDITÀ

I trasduttori di umidità rilevano l'umidità relativa definita come il rapporto tra l'umidità assoluta (quantità di vapore acqueo (massa) contenuta in 1 m³ d'aria) e l'umidità di saturazione (quantità di vapore acqueo massimo contenuto in un metro cubo di aria prima della condensazione):- In formule si ha:

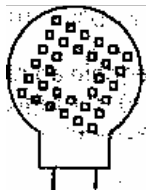
$$U \% = \frac{U_{ass}}{U_{sat}} \cdot 100$$

Il rilievo dell'umidità relativa basa il principio di funzionamento sulla variazione di alcune grandezze elettriche che sono, generalmente la capacità e la resistenza dando luogo, rispettivamente, ai sensori di umidità capacitivi e resistivi.

In commercio si trovano sensori a variazione di resistenza e a variazione di capacità.

Il trasduttore di umidità (capacitivo)

Il trasduttore di umidità capacitivo è realizzato con materiale igroscopico la cui costante dielettrica relativa ϵ_R dipende dal valore dell'umidità relativa. Le facce del dielettrico, **costituito da un polimero termoplastico (ϵ_R dipende dall'umidità relativa) sono ricoperte da un sottile strato di oro e protette da un involucro plastico forato.** Sulle armature del condensatore così formato sono saldati i due reofori. La capacità del sensore è $C_s = C_0 + \Delta C$ dove C_0 è una capacità fissa riferita all'aria secca ($U\% = 0\%$) e ΔC è la variazione di capacità dovuta alla variazione di umidità relativa.



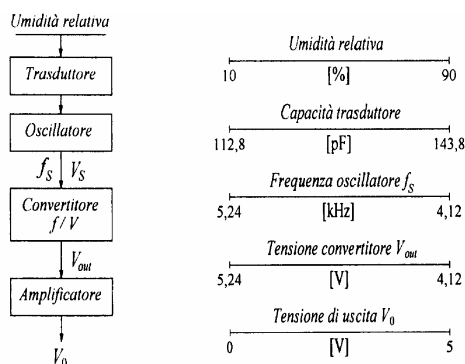
Umidità relativa	Capacità Cs [pF]
10	112,8
20	115,5
30	118,0
40	120,8
50	124,2
60	127,8
70	132,0
80	137,0
90	143,8
100	155,0

Se facciamo riferimento ad un sensore industriale della Philips Elcoma le caratteristiche sono le seguenti:

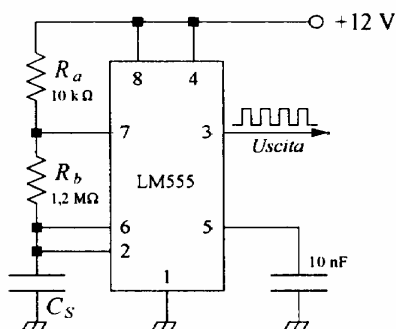
- tensione massima di alimentazione 15V.
- range di umidità variabile dal 10% al 90%.
- campo di temperatura da 0 °C a 60 °C.
- capacità nominale $C_s=122\text{pF}$ con ($U_R= 43\%$ alla $T=25\text{ °C}$ e $f=100\text{kHz}$).
- tipo di risposta lenta $\text{max}<5$ minuti.
- linearità contenuta.
- frequenza di funzionamento variabile tra 1Hz fino a 1MHz.

Vediamo ora come si può utilizzare tale sensore in un circuito di condizionamento. Poiché la grandezza elettrica che varia è la capacità, non possiamo pensare di ottenere un segnale continuo che dipenda dalla umidità ma l'informazione può essere inserita in un segnale che oscilli ad una determinata frequenza. **Se si fa in modo che la frequenza di oscillazione dipenda dalla capacità il problema è risolto. Ci viene in mente di usare un oscillatore che emetta un segnale periodico(tipo onda quadra). Dunque si utilizza un multivibratore astabile realizzato o con operazionali o con il solito multivibratore 555.**

A valle dell'oscillatore si può predisporre un convertitore frequenza-tensione. Facciamo dunque questa cosa. Il sensore di umidità può essere inserito in un multivibratore astabile per generare un onda quadra la cui frequenza diminuisce all'aumentare dell'umidità secondo una relazione che dipende dal tipo di oscillatore astabile impiegato. Con riferimento al trasduttore della Philips inserito all'interno di un astabile realizzato con un 555 si ha il seguente schema di condizionamento:



$$f = \frac{1}{0,7 \cdot (R_a + 2 \cdot R_b) \cdot C_s}$$



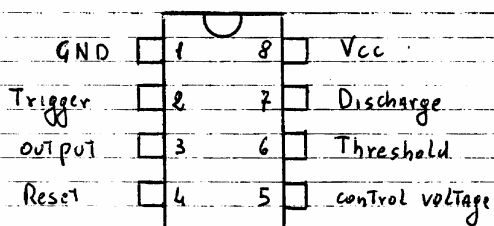
Umidità relativa [%]	C_s [pF]	Frequenza [kHz]
10	112,8	5,24
20	115,5	5,13
30	118,0	5,02
40	120,8	4,92
50	124,2	4,77
60	127,8	4,63
70	132,0	4,49
80	137,0	4,32
90	143,8	4,12

Utilizzando la relazione che fornisce la frequenza di oscillazione in funzione della capacità C_s si ha l'ultima colonna delle frequenze. Se pongo $R_a=10\text{K}\Omega$ ed $R_b=1,2\text{ M}\Omega$ si ha un duty cycle circa il 50%. I valori teorici di frequenza calcolati usando la relazione sono riportati nell'ultima colonna .

Ricordiamo la struttura del timer 555 per completezza anche se dovreste già conoscerlo molto bene.

IL TEMPORIZZATORE INTEGRATO 555

Il circuito integrato 555 è stato progettato appositamente per essere utilizzato come temporizzatore (multivibratore monostabile) e come generatore di onda quadra (multivibratore astabile). Il Timer 555 è il più utilizzato fra gli integrati del suo tipo per la sua versatilità e la sua facilità di impiego, quindi le sue applicazioni sono svariate. In figura è mostrata la piedinatura del timer



- 1) GND Terminale di massa
- 2) Ingresso di Trigger (comando)
- 3) Terminale di USCITA
- 4) Piedino di reset
- 5) Tensione di controllo
- 6) ingresso di soglia Threshold
- 7) Piedino di scarica
- 8) Piedino di Alimentazione $V_{cc} = +5 \div 15V$

Piedinatura Timer 555

[NE 555, SE 555, SE 555C]

Piedino 8 viene collegato all'alimentazione Vcc che può variare tra 5V e 15V.

Piedino 1 è il terminale di massa GND (ground)

Il Timer 555 ha due ingressi: a) Piedino 2 ingresso di Trigger

b) Piedino 6 ingresso di soglia

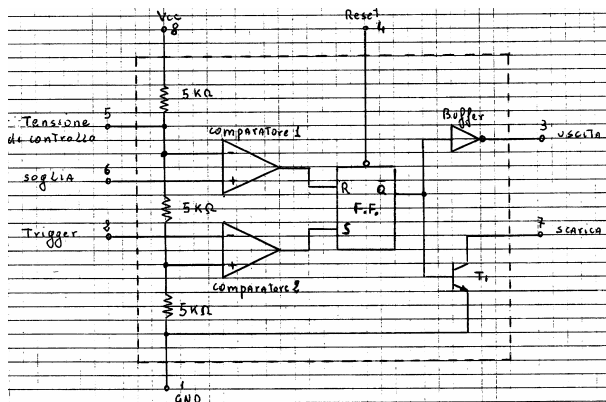
Piedino 3 (output) è il terminale di uscita che, quando l'alimentazione $V_{cc} = 5V$, è TTL compatibile

Piedino 7 (scarica o discharge) è collegato al collettore di un BJT che funziona come interruttore (ON-OFF), quando il BJT è ON collega il PIN 7 a massa, quando è OFF lo lascia fluttuante.

Piedino 4 di RESET, quando il PIN 4 è a livello basso (tensione inferiore o uguale a 0,4V,

$V_{cc} \leq 0,4V$) azzerà il timer, portando il PIN 3 di uscita a livello basso e il BJT T_1 in conduzione (T_1 ON e PIN 7 collegato a massa).

Piedino 5 (tensione di controllo) è collegato direttamente al partitore immediatamente sotto



Le tre resistenze da $5K\Omega$ impongono tensioni fisse pari a $2/3 V_{cc}$ e $1/3 V_{cc}$ rispettivamente sui due piedini invertente e non invertente dei comparatori 1 e 2 rispettivamente.

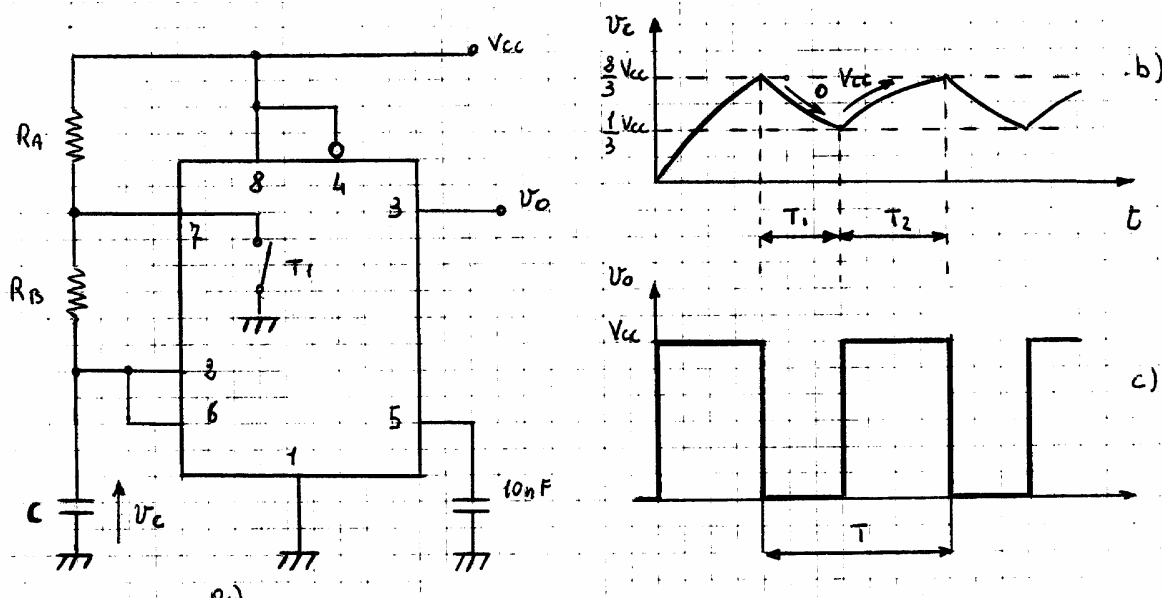
Funzionamento:

1 combinazione . Se accade che la tensione V_2 all'ingresso di trigger é inferiore ad $1/3 V_{cc}$ e contemporaneamente la tensione V_6 all'ingresso di soglia é inferiore a $2/3V_{cc}$ $R=0$ e $S=1$ per cui $\overline{Q}=0$ l'uscita é alta e il BJT è interdetto.

2 combinazione: e V_2 é maggiore di $1/3V_{cc}$ e se V_6 é maggiore di $2/3V_{cc}$ allora $R=1$ e $S=0$. Di conseguenza $\overline{Q}=1$ per cui l'uscita é bassa ed il BJT é in saturazione con uscita bassa.

3 combinazione Se la tensione $V_2 > 1/3V_{cc}$ e $V_6 < 2/3V_{cc}$ allora $S=R=0$ (basso) per cui si rimane nello stato precedente. Questa condizione non produce effetti , lasciando il timer nella condizione precedente.

Lo schema di astabile presenta un ramo temporizzatore costituito da R_a , R_b e C_s al quale sono collegati gli ingressi 2 e 6 in modo che le tensioni di trigger V_2 e V_6 di soglia siano uguali alla tensione V_c presente ai capi del condensatore. Il pin 7 di scarica è collegato nella posizione intermedia tra R_a e R_b . Il pin di controllo 5 é collegato a massa tramite il condensatore da 10 nF in modo che i disturbi captati dal terminale 5 vengono cortocircuitati a massa e non alterino il funzionamento dell'integrato. Lo schema è il seguente e i grafici $v_c=f(t)$ e $v_o=g(t)$ sono riportati a destra.

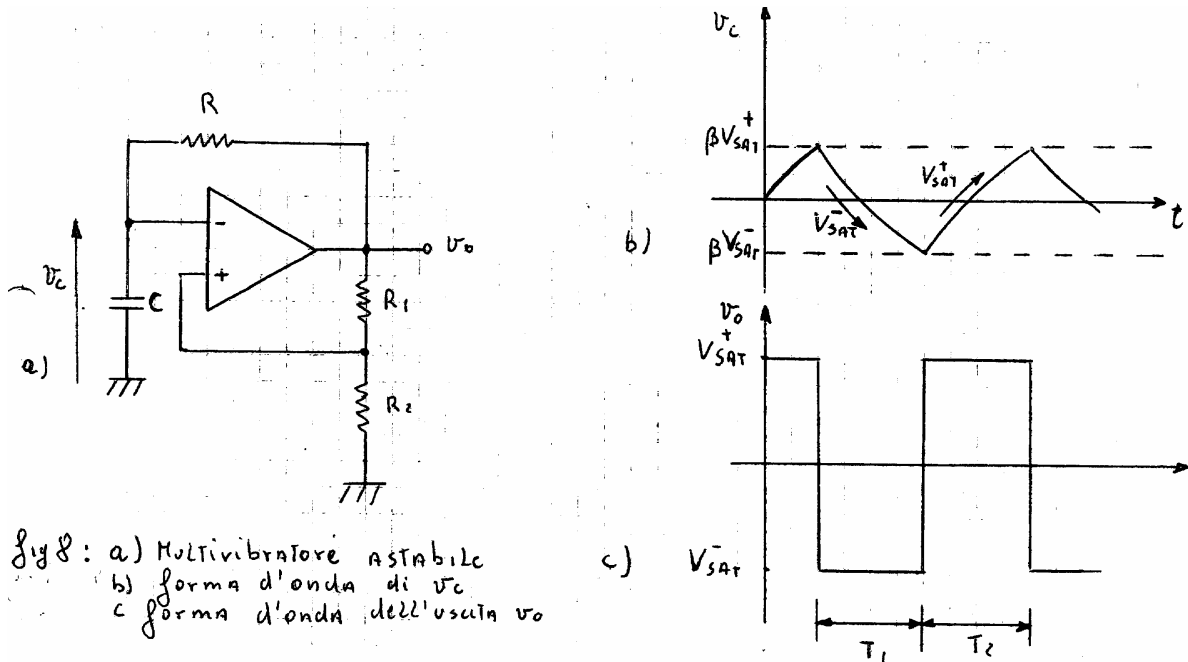


Quando il multivibratore viene acceso il condensatore é scarico $V_c=0$ e di conseguenza le tensioni di trigger e di soglia sono inferiori ad $1/3V_{cc}$ ($V_2=V_6=V_c=0V$). $\Rightarrow R=0$ e $S=1 \Rightarrow \overline{Q}=0$ per l'uscita é alta ed il Bjt é interdetto. Il condensatore si carica con una costante di tempo $\tau_2=(R_a+R_b)C_s$. Quando la tensione sul condensatore V_c raggiunge i $2/3V_{cc}$ si attiva l'ingresso di soglia che porta il $R=1$ ed il $S=0$ e quindi $\overline{Q}=1$ e l'uscita V_o bassa ed il BJT in saturazione. Il condensatore comincia a scaricarsi con legge esponenziale e costante di tempo $\tau_1 = R_b \cdot C_s$ fino a quando la tensione sul condensatore arriva ad $1/3V_{cc}$ In tal caso il flip flop si setta per $S=1$ e $R=0$ e $\overline{Q}=0$ con conseguente variazione dell'uscita allo stato alto e interdizione del BJT. Il condensatore ricomincia a caricarsi con costante di tempo $\tau_2 = (R_a + R_b) \cdot C_s$ ed il ciclo si ripete. Si dimostra che $T_1 = 0,7 \cdot C \cdot R_b$ e $T_2 = (R_a + R_b)C$. Se $R_a \ll R_b$ il duty cycle é circa il 50% poco più.

Concludendo

Il circuito di condizionamento può essere composto da un oscillatore nella configurazione di astabile per la conversione umidità relativa- frequenza, da un convertitore frequenza-tensione e da un amplificatore per strumentazione con regolazione dell'offset.

E' chiaro che la scelta dell'astabile con 555 è una delle possibili scelte. In alternativa si può benissimo usare l'astabile realizzato con operazionale come in figura.



In tal caso il periodo $T=2T_1=2T_2$ si esprime nel seguente modo $T = \frac{1}{f} = 2 \cdot R \cdot C_s \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{1+\beta}\right)$ dove β è il

rapporto di partizione $\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ per cui la frequenza $f = \frac{1}{2 \cdot R \cdot C_s \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{1+\beta}\right)}$. Nel caso in cui $R_1=R_2$ si

ha $\beta = 0,5$ per cui $\ln\left(\frac{1-0,5}{1+0,5}\right) = \ln\left(\frac{0,5}{1,5}\right) = \ln(3) = 1,1$ per cui la formula si specializza nella relazione

$f = \frac{1}{2,2R \cdot C_s}$ che può essere facilmente usata per calcolare la frequenza quando C_s varia essendo

$$C_s = f(U_R \%).$$

Per quanto concerne invece il convertitore frequenza-tensione la scelta ricade essenzialmente su convertitori integrati. Nell'esempio di progetto che faremo sceglieremo un convertitore che fornisce un legame di tipo lineare tra la frequenza e la tensione di uscita.