

## Esami di Stato 2008 - Soluzione della seconda prova scritta

### Indirizzo: Elettronica e Telecomunicazioni – Tema di ELETTRONICA

(A CURA DEL PROF. Giuseppe SPALIERNO – docente di Elettronica presso I.T.I.S. "Modesto PANETTI" di BARI)

#### Risposta al quesito a

Il circuito genera una tensione analogica  $V_A$  di valore massimo 5V quando l'umidità relativa percentuale RH% è del 90% e 0V quando tale percentuale è il 10%. Poiché il sensore è di tipo capacitivo con legge lineare, in prima approssimazione come si evince dal grafico di fig.2, è sufficiente dimensionare i vari blocchi in modo che l'uscita dell'integratore  $V_o$  risulti proporzionale alla capacità  $C_s$  del sensore.

Il generatore di onde quadre a 10KHz (frequenza che cade all'interno del campo di lavoro 1-1000KHz del sensore) pilota simultaneamente due multivibratori monostabili: quello di taratura (blocco 2) genera un identico impulso a quello in cui è inserito il sensore quando RH%=10% per cui, in tal caso l'uscita  $V_c$  dell'OR esclusivo è sempre 0. Dal grafico del sensore si ricava  $C_s=112\text{pF}$  quando RH%=10%,  $C_s=124\text{pF}$  quando RH%=50% e  $C_s=144\text{pF}$  quando RH%=90%. Osserviamo che la legge di variazione non è lineare perché l'incremento capacitivo per RH% che passa dal 10% al 50% è di 12pF (124-112) mentre quello per RH% che passa dal 50% al 90% è di 20pF (144-124).

Per una soluzione che tenga conto della non linearità del sensore si può pensare all'introduzione di un blocco che compensi la non linearità del sensore. La curva caratteristica di quest'ultimo appare di tipo parabolico e quindi è approssimabile ad una funzione di 2° grado; di conseguenza il blocco compensatore dovrebbe possedere una risposta che segue una legge matematica a radice quadrata.

Considerando l'utilizzo di monostabili con legge  $T=0.7 \cdot R \cdot C$  e ricordando che l'X-OR fornisce in uscita 1 se gli ingressi sono diversi e 0 se sono uguali, la tensione  $V_c$  di uscita del blocco 4 è un impulso, per ogni periodo di clock, di durata  $T_c = T_s - T_T$  ove  $T_T$  rappresenta la durata dell'impulso del monostabile di taratura e  $T_c$  rappresenta la durata dell'impulso del monostabile in cui è inserito il sensore.

Il dimensionamento della resistenza del monostabile di taratura dipende dalla durata  $T_T$  che si deve imporre. Tale valore dovrà essere sicuramente inferiore al periodo di clock  $T_{ck} = 1/f = 0.1\text{ms}$  ma non conviene definirlo molto minore di  $T_{ck}$  altrimenti il valor medio dell'impulso  $T_c$  nel periodo  $T_{ck}$  sarebbe di valore troppo basso con notevole riduzione del rapporto S/N. Sembra opportuno dimensionare  $T_s(10\%)$  pari alla metà di  $T_{ck}$  e quindi  $T_s(10\%) = 0.05\text{ms} = 50\mu\text{s}$ .

Il valore medio di un'onda periodica con periodo  $T_{ck}$ , durata del livello alto pari a  $T_c$  e ampiezza  $V_{cc}$ , vale:

$$V_o = V_{cc} \cdot \frac{T_c}{T_{ck}}$$

L'uscita dell'integratore, a transitorio esaurito, fornirà una tensione analogica  $V_o$  data dalla formula precedente. Se  $V_o$  per RH%=90% è inferiore a 5 V è necessario l'introduzione di un amplificatore non invertente allo scopo di rendere l'uscita  $V_A=5\text{V}$ .

Tale tensione si dovrà applicare all'ingresso di un ADC le cui linee di uscita possano pilotare, attraverso una opportuna decodifica, due display a sette segmenti: uno per la visualizzazione della cifra delle decine e l'altro per quella della unità.

## Risposta al quesito b

Il generatore di onda quadra può essere realizzato con numerose soluzioni circuitali: due porte NOT, porta NOT a trigger di Schmitt, amplificatore operazionale, timer 555, ecc.

In ciascuna soluzione c'è sempre almeno un circuito di temporizzazione di tipo RC. Si opta per un generatore di onda quadra col timer 555.

Come è noto dalla teoria, il tempo  $T_1$  in cui l'uscita è al livello alto vale:

$$T_1 = 0.7(R_1+R_2)C \approx 0.7R_2C \text{ se si pone: } R_1 \ll R_2.$$

Il tempo  $T_2$  in cui l'uscita è al livello logico basso vale:

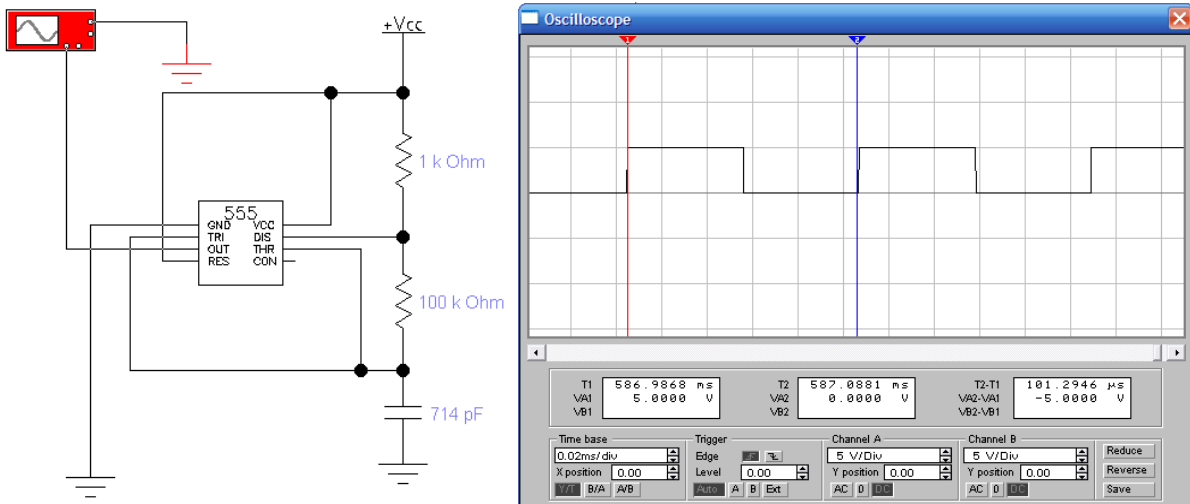
$T_2 = 0.7 \cdot R_2 \cdot C$  e quindi, in tale ipotesi, l'uscita è un'onda quadra con  $T_1 = T_2$  ed il periodo  $T = T_1 + T_2$  vale:

$$T = 1,4 \cdot R_2 \cdot C = 100\mu\text{s}$$

Posto  $R_1 = 1\text{K}\Omega$  e  $R_2 = 100\text{K}\Omega$  si osserva che  $R_1 \ll R_2$  e di conseguenza è possibile dimensionare  $C$ :

$$C = \frac{T}{1,4R_2} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{1,4 \cdot 100 \cdot 10^3} = 714\text{pF}$$

Considerando ideale il timer 555 ed alimentandolo con  $V_{cc} = +5\text{V}$  si ottengono in uscita onde quadre a 10KHz con valori di tensione 0 e 5V.



Nelle due figure si riporta lo schema elettrico dell'astabile col timer 555 ed a destra le forme d'onda in uscita al pin OUT. Da queste ultime è facile dedurre il periodo  $T$  (101,2946μs) e l'ampiezza di 5V.

### Risposta al quesito c

Nello sviluppo del quesito "a" si è detto che la capacità del sensore  $C_s$  con umidità al 10% vale:  $C_s = 112\text{pF}$  e che si vuole un impulso del monostabile di taratura di valore pari a  $T_T = 50\mu\text{s}$ .

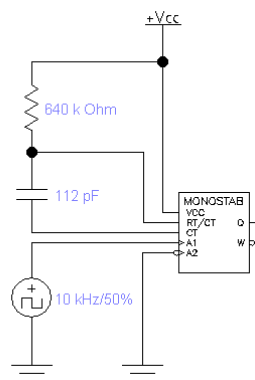
Anche per il monostabile è possibile fare numerose scelte: dalle soluzioni a porte logiche, al timer 555, ad integrati specializzati. Uno di questi è il 74C121, versione C-MOS dell'omologo 74121 TTL. La soluzione a CMOS ci permette di introdurre una resistenza di timing senza vincoli purché maggiore di  $10\text{K}\Omega$ .

Per tale integrato è possibile prelevare l'impulso di uscita (stato instabile) sia a livello alto che basso. L'eccitazione può essere realizzata sia sul fronte di salita che di discesa.

Si decide di pilotare il circuito sul fronte di salita e di utilizzare l'uscita Q che fornisce l'impulso sul livello alto. La durata dell'impulso è:

$T = 0.7 \cdot R \cdot C$  con  $C = 112\text{pF}$  da cui è possibile ricavare R:

$$R = \frac{T_T}{0,7C} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 112 \cdot 10^{-12}} \approx 640\text{K}\Omega$$



Le onde quadre del timer 555, nella figura rappresentate dal simbolo del generatore, pilotano l'ingresso A1 attivo sul fronte positivo purché l'ingresso A2 sia tenuto a livello logico basso e quindi a massa. L'uscita è prelevata sul terminale Q.

### Risposta al quesito d

Lo schema per il monostabile 3 è identico a quello del blocco 2 descritto nel precedente quesito "c" con l'unica differenza che al posto del condensatore C si dovranno inserire i due terminali del sensore di umidità che si comporta da condensatore di capacità  $C_s$ .

Le tre durate dell'impulso di uscita del monostabile 3 per RH% pari al 10%, 50% e 90% sono:

$$T_s(10\%) = 0.7 \cdot R \cdot C_s(10\%) = 0.7 \cdot 640 \cdot 10^3 \cdot 112 \cdot 10^{-12} = 50\mu\text{s}$$

$$T_s(50\%) = 0.7 \cdot R \cdot C_s(50\%) = 0.7 \cdot 640 \cdot 10^3 \cdot 124 \cdot 10^{-12} = 55.6\mu\text{s}$$

$$T_s(90\%) = 0.7 \cdot R \cdot C_s(90\%) = 0.7 \cdot 640 \cdot 10^3 \cdot 144 \cdot 10^{-12} = 64.5\mu\text{s}$$

## Risposta al quesito e

L'OR esclusivo fornisce in uscita il livello logico 1 se gli ingressi sono diversi, 0 se gli ingressi sono uguali.

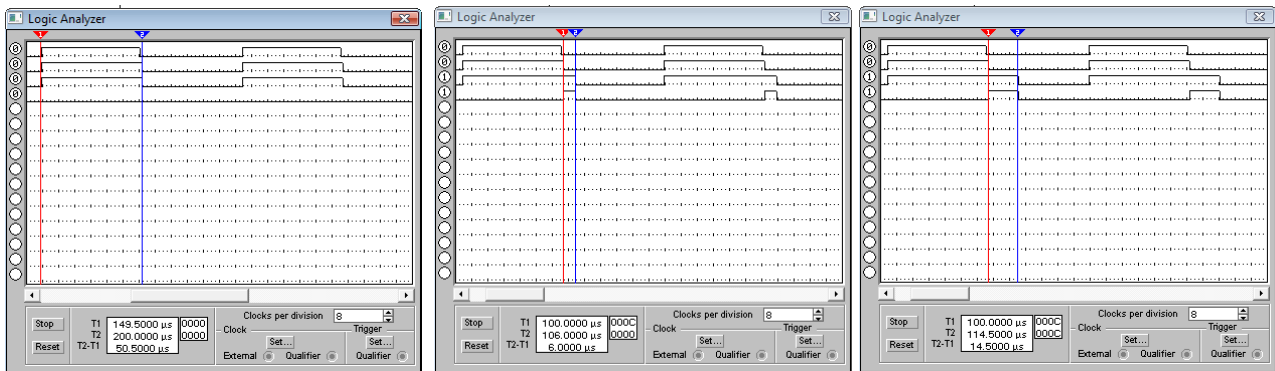
I due monostabili sono pilotati simultaneamente sul fronte positivo del generatore di clock e quindi generano un impulso positivo contemporaneamente con la differenza che l'impulso del monostabile di taratura ha durata  $T_T = 50\mu\text{s}$  mentre il monostabile 3 in cui è inserito il sensore genera un impulso di durata compresa tra  $50\mu\text{s}$  e  $64.5\mu\text{s}$ . Quindi l'OR esclusivo fornisce in uscita un impulso

$$T_c(10\%) = T_s(10\%) - T_T = 50 - 50 = 0$$

$$T_c(50\%) = T_s(50\%) - T_T = 55.6 - 50 = 5.6\mu\text{s}$$

$$T_c(90\%) = T_s(90\%) - T_T = 64.5 - 50 = 14.5\mu\text{s}$$

Nelle seguenti figure si mostrano le forme d'onda del clock, del monostabile 2 di taratura, del monostabile 3 con il sensore e l'uscita della porta OR esclusivo nel caso di RH%=10%, 50% e 90%.



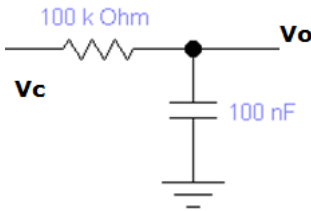
Nella figura a sinistra si vede come la quarta forma d'onda (uscita dell'X-OR) sia sempre a zero.

Nella figura centrale l'uscita dell'X-OR è un piccolo impulso di valore  $6\mu\text{s}$  circa.

Nella figura a destra l'uscita dell'X-OR è di  $14.5\mu\text{s}$ .

## Risposta al quesito f

Il circuito integratore, affinché fornisca alla sua uscita  $V_o$  il valor medio della tensione impulsiva  $V_c$ , deve presentare costante di tempo elevata rispetto al periodo di oscillazione  $T_{ck} = 100\mu s$  e trascurabile rispetto alla velocità di variazione della capacità del sensore.

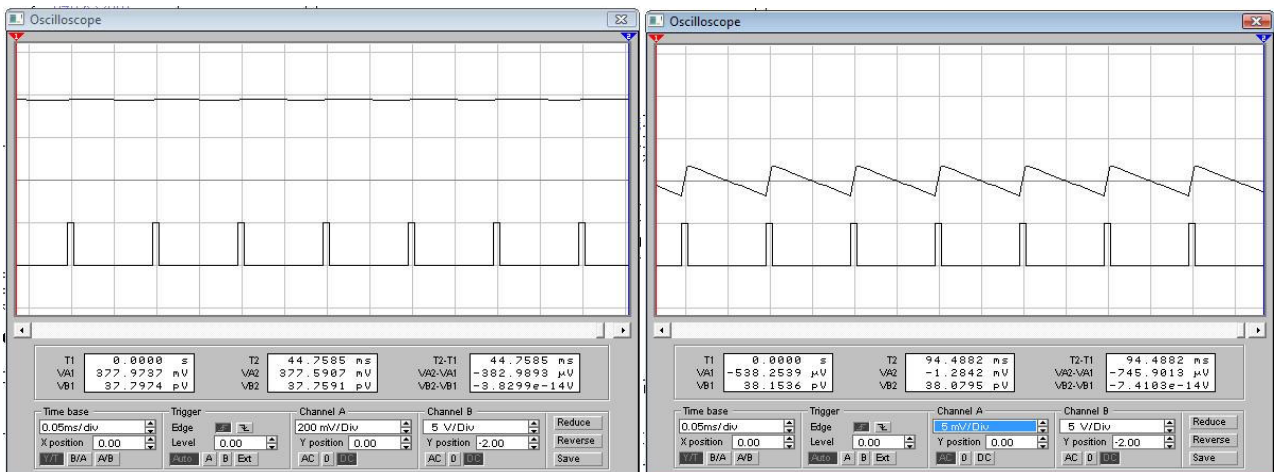


Poiché il sensore di umidità presenta inerzia di almeno alcuni minuti primi, è sufficiente dimensionare:  $\tau = 100T_{ck} = 10ms$ .

Si può utilizzare un semplice circuito RC come nella figura a sinistra.

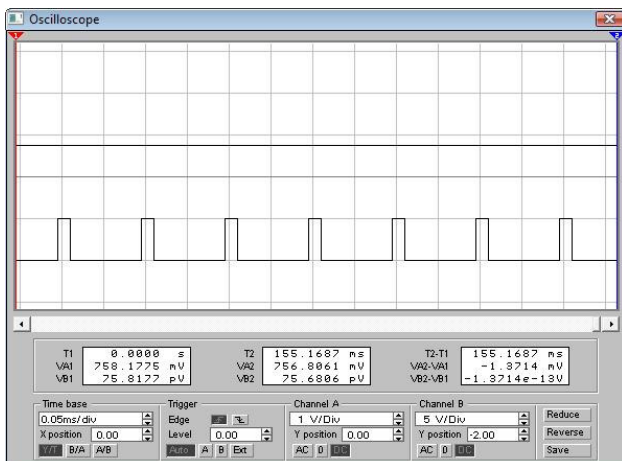
Fissando  $C = 100nF$  si ottiene  $R = 100K\Omega$ .

Nella successiva figura a sinistra si mostrano le forme d'onda di  $V_c$  e  $V_o$  per  $C_s = 124pF$  ( $RH\% = 50\%$ ). Gli impulsi  $V_c$  hanno ampiezza  $+5V$  e durata intorno a  $5\mu s$  e sono regolati sul canale B ( $5V/Div$ ) con Y position impostato al valore  $-2.00$  (lo zero si trova due quadretti in basso rispetto al consueto livello di massa). La tensione quasi costante visualizzata in alto rappresenta  $V_o$ ; essa ha valore di  $370mV$  ed è rappresentata sul canale A ( $200mV/Div$ ) ed Y position pari a 0. Nella figura a destra si evidenzia la componente in AC di  $V_o$  di ampiezza picco picco di  $5mV$  (vedi la sensibilità impostata del canale A).



Il calcolo teorico fornisce il valor medio:

$$V_o = V_{cc} \cdot \frac{T_c}{T_{ck}} = 5 \cdot \frac{5.6}{100} = 0.28V$$



Quando  $C_s = 144pF$  ( $RH\% = 90\%$ ) il valor medio aumenta come si evince dalla successiva figura a sinistra (quasi un quadretto sul canale A impostato a  $1V/Div$ ).

Il calcolo teorico fornisce il valor medio:

$$V_o = V_{cc} \cdot \frac{T_c}{T_{ck}} = 5 \cdot \frac{14.5}{100} = 0.725V$$

### Risposta al quesito g

Il blocco 6 è un amplificatore non invertente che deve fornire  $V_A = 5V$  quando il suo ingresso:

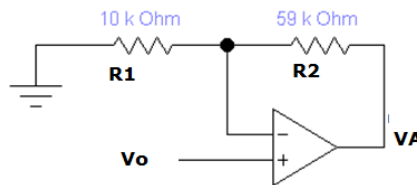
$$V_o = V_{cc} \cdot \frac{T_c}{T_{ck}} = 5 \cdot \frac{14.5}{100} = 0.725V$$

Ove  $T_c = 14.5\mu s$  è la durata dell'impulso di uscita dell'X-OR quando  $RH\% = 90\%$ . Il guadagno dell'amplificatore vale:

$$A = \frac{V_A}{V_o} = \frac{5}{0.725} = 6.9$$

Scegliendo come soluzione quella con operazionale in configurazione non invertente per il quale:

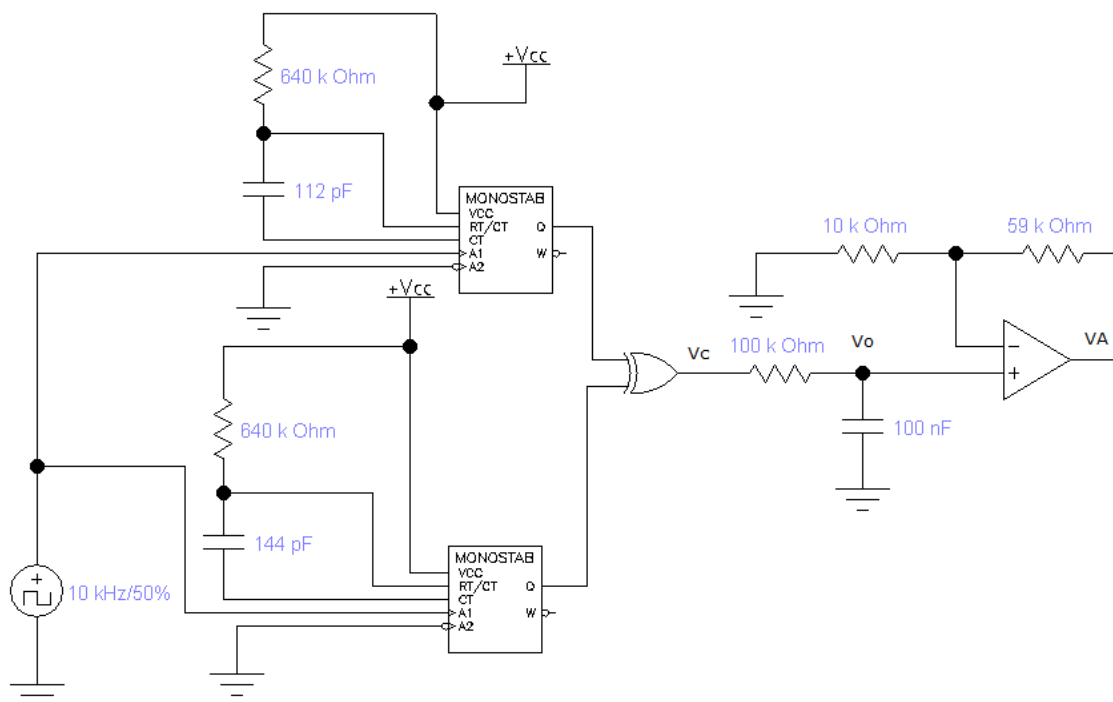
$A = 1 + R_2/R_1$  da cui si ricava:  $R_2 = (A-1)R_1$  Fissando  $R_1 = 10K\Omega$  si ottiene:  $R_2 = 59K\Omega$ .



Si può scegliere un comunissimo amplificatore operazionale alimentato a singola alimentazione con  $V_{cc}$  di valore superiore almeno un paio di volt a 5V, massimo valore previsto per  $V_A$ .

Si mostra nella successiva figura il circuito complessivo che precede l'ADC ed il display. Il generatore di clock inserito nello schema è realizzato con il timer 555 già discusso nel quesito a.

Il monostabile di taratura (blocco 2) è quello indicato nella parte superiore del circuito in cui il condensatore di timing vale 112pF. L'altro monostabile è quello in cui si inseriscono i due pin del sensore al posto del condensatore qui rappresentato col valore di 144pF ( $RH\% = 90\%$ ).



Il convertitore ADC da scegliere dovrà avere un'uscita a 8 bit di tipo BCD: 4 bit per la cifra delle decine e 4 bit per la cifra delle unità. Il range di ingresso potrà essere compreso tra 0 e 5V. Si fa l'ipotesi che il sensore non superi mai il valore capacitivo di 144pF corrispondente a RH%=90% altrimenti l'uscita dell'operazionale si porterebbe ad un valore superiore a 5V. L'ADC non ha vincoli per quanto riguarda la velocità di funzionamento perché, come detto nel punto precedente, il sensore ha inerzia dell'ordine dei minuti.

I 4 bit di ciascuna cifra devono essere inviati ad un decoder per display a 7 segmenti e le 7 uscite di ciascun decoder vanno al relativo display. Quest'ultimo può essere a LED ed in tal caso potrà essere a catodo o anodo comune. I decoder da utilizzare devono avere le uscite attive alte per il pilotaggio dei display a catodo comune ed attive basse per il pilotaggio di quelli ad anodo comune.

L'integrato CA3162E è un ADC a doppia rampa della Intersil con uscita BCD a 4 bit che rappresentano, alternativamente, la cifra meno significativa, la cifra media e la cifra più significativa. Esso, interfacciato al decoder driver CA3161E, consente il corretto pilotaggio di 3 display ad anodo comune.

