

Esame di Stato di Istituto Tecnico Industriale A.S. 2007/2008

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: ELETTRONICA

Si deve rilevare l'umidità relativa RH% presente in un ambiente, nell'intervallo 10 ÷ 90%, e visualizzarla su di un display numerico. A tale scopo si utilizza un sensore capacitivo le cui caratteristiche sono riportate nelle FIGURE 1 e 2.

PARAMETER	VALUE	UNIT
Humidity range (RH)	10 to 90	%
Capacitance at +25 °C, 43% RH, 100 kHz	122 ±15%	pF
Sensitivity between 12 and 75% RH	0.4 ±0.05	pF/%RH
Frequency	1 to 1000	kHz
Maximum AC or DC voltage	15	V
Storage humidity range (RH)	0 to 100	%
Ambient temperature range:		
operating	0 to +85	°C
storage	-25 to +85	°C
Drop test:		
height of free fall	1	m
Mass	~1.3	g

FIGURA 1

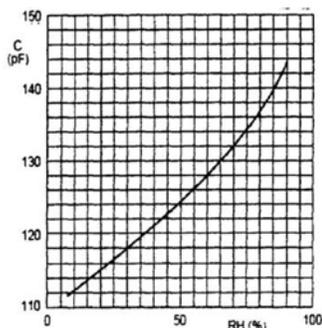


FIGURA 2

Per determinare la tensione V_o , proporzionale alla RH% , si fa riferimento allo schema di FIGURA 3 composto dai seguenti blocchi:

- 1) generatore di onda quadra non alternativa di ampiezza 5 V e frequenza $f = 10$ kHz che fornisce il clock per la commutazione dei monostabili;
- 2) multivibratore monostabile di taratura che fornisce impulsi positivi di ampiezza 5 V e durata determinata dalla capacità corrispondente all'umidità relativa del 10%;
- 3) multivibratore monostabile, nel quale è inserito il sensore capacitivo, che fornisce impulsi positivi di ampiezza 5 V e durata proporzionale al valore di umidità relativa rilevata;
- 4) circuito EX-OR che confronta gli impulsi di taratura V_T con quelli di durata variabile V_S ;
- 5) circuito integratore in grado di rilevare il valore medio della tensione V_C all'uscita dell'EX-OR;
- 6) amplificatore di segnale;
- 7) convertitore analogico digitale.

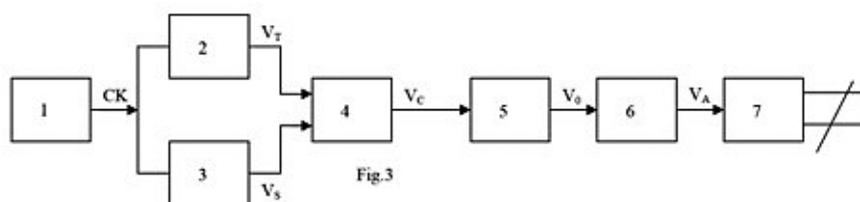


FIGURA 3

Il candidato, formulate le eventuali ipotesi aggiuntive:

- a) dia una spiegazione puntuale del funzionamento dello schema proposto;
- b) progetti e dimensioni il blocco 1;
- c) progetti e dimensioni il blocco 2 utilizzando come capacità di taratura quella corrispondente all'umidità relativa del 10%;
- d) progetti e dimensioni il blocco 3 individuando la durata degli impulsi di uscita V_s per valori di umidità pari al 10% , 50% , 90%;
- e) disegni le forme d'onda all'uscita dei blocchi 1, 2, 3 e 4, per i tre valori di umidità proposti, correlandole fra di loro in opportuna scala;
- f) progetti e dimensioni il blocco 5 calcolando i valori della tensione V_o per le forme d'onda corrispondenti ai tre valori di umidità relativa;
- g) progetti e dimensioni il blocco 6 affinché l'uscita V_A valga 5 V quando è presente l'umidità del 90%.

Per la visualizzazione su un display numerico dell'umidità relativa il candidato scelga un opportuno convertitore ADC e descriva le necessarie interfacce fra ADC e display.

Soluzione

- a) La misura dell'umidità relativa è effettuata confrontando le durate degli impulsi prodotti dai due monostabili: una durata è fissa e corrispondente al caso di umidità del 10%, l'altra è variabile in funzione del valore rilevato dal sensore di umidità relativa di tipo capacitivo. La porta EXOR produce impulsi alla frequenza di 10 kHz, il cui livello è ALTO per un periodo di tempo pari alla differenza tra le durate dei due monostabili: tali impulsi hanno quindi una durata pari a 0 nel caso di umidità 10% e una durata massima nel caso di umidità 90%.

Il blocco 5 ricava una tensione proporzionale al valore medio di tali impulsi; può essere realizzato con un circuito integratore ad amplificatore operazionale o con filtro passa basso con frequenza di taglio molto inferiore a quella di ripetizione degli impulsi.

Il blocco 6 amplifica la tensione per adattarla al campo dinamico del convertitore analogico-digitale, il quale produce in uscita una parola binaria che esprime il valore dell'umidità relativa la quale, una volta memorizzata su latch e convertita in BCD, può essere visualizzata su un display numerico a due cifre.

- b) Il blocco 1 è un multivibratore astabile, che può essere realizzato con l'integrato 555 nella configurazione rappresentata in FIGURA 4. Per generare un

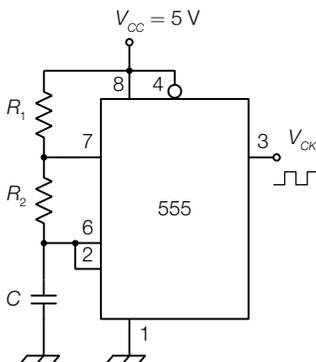


FIGURA 4 Multivibratore astabile 555 (blocco 1).

segnale che commuta tra 0V e 5V si sceglie una tensione di alimentazione di 5 V. La frequenza di oscillazione, che deve risultare 10 kHz, è data dalla formula

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Per ottenere un duty cycle vicino al 50% si sceglie $R_1 \ll R_2$, per esempio $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$; si calcola poi C ricavandola dall'espressione precedente:

$$C = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)f} = \frac{1,44}{(10^3 + 2 \cdot 10^4) \cdot 10^4} = 6,86 \text{ nF}$$

- c) Il monostabile del blocco 2 si può realizzare con un 555 secondo lo schema di FIGURA 5. La coppia $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ e $C_1 = 10 \text{ nF}$ ha la funzione di derivatore, per ricavare degli impulsi a livello basso in corrispondenza dei fronti di discesa dell'onda quadra prodotta dal multivibratore astabile. Questi impulsi, posti all'ingresso trigger del 555, causano l'inizio degli impulsi del monostabile, la cui durata è data da:

$$T = 1,1 \cdot RC$$

Il valore di C deve essere lo stesso del sensore in corrispondenza dell'umidità relativa del 10%; dal grafico fornito si rileva $C_{(10)} = 112 \text{ pF}$. La resistenza R può essere calcolata imponendo una durata degli impulsi pari a 1/10 del periodo di clock ($T_{(10)} = 10^{-5} \text{ s}$):

$$R = \frac{T_{(10)}}{1,1 \cdot C_{(10)}} = \frac{10^{-5}}{1,1 \cdot 112 \cdot 10^{-12}} = 81,2 \text{ k}\Omega$$

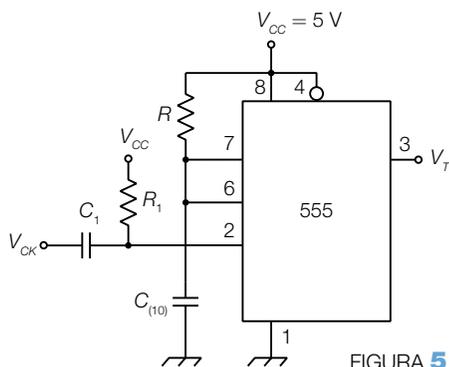


FIGURA 5 Monostabile del blocco 2 realizzato a 555.

- d) Il monostabile del blocco 3 è identico a quello progettato nel punto precedente, con il sensore di umidità al posto del condensatore $C_{(10)}$. Dal grafico, in corrispondenza dei valori di umidità relativa richiesti, si rilevano le seguenti capacità del sensore:

$$10\% \rightarrow 112 \text{ pF}; \quad 50\% \rightarrow 124 \text{ pF}; \quad 90\% \rightarrow 144 \text{ pF}$$

a cui corrispondono le seguenti durate degli impulsi:

$$\begin{aligned} T_{(10)} &= 1,1 \cdot RC = 1,1 \cdot 81,2 \cdot 10^3 \cdot 112 \cdot 10^{-12} = 10 \mu\text{s} \\ T_{(50)} &= 1,1 \cdot RC = 1,1 \cdot 81,2 \cdot 10^3 \cdot 124 \cdot 10^{-12} = 11,07 \mu\text{s} \\ T_{(90)} &= 1,1 \cdot RC = 1,1 \cdot 81,2 \cdot 10^3 \cdot 144 \cdot 10^{-12} = 12,86 \mu\text{s} \end{aligned}$$

- e) La FIGURA 6 rappresenta l'andamento dei segnali all'uscita dei blocchi 1, 2, 3, 4, in corrispondenza di un valore di umidità relativa pari al 50%: V_{CK} (blocco 1), V_T (blocco 2), V_S (blocco 3), V_C (blocco 4). Il segnale V_C è ricavato tenendo conto che l'uscita dello XOR è alta quando i segnali d'ingresso hanno valori differenti; in questo modo la durata degli impulsi in uscita sarà pari alla differenza delle durate degli impulsi di ingresso. Per valori diversi di umidità la durata degli impulsi di V_S e V_C sarà differente, come calcolato.

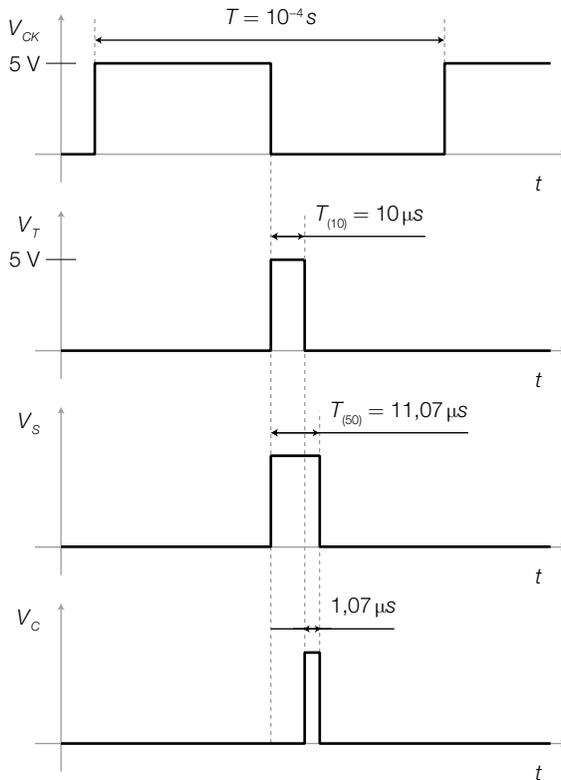


FIGURA 6 Andamento dei segnali all'uscita dei blocchi 1, 2, 3, 4, nel caso di umidità relativa pari al 50%.

- f) L'estrazione del valor medio (blocco 5) può essere realizzata in modo semplice con il filtro passa basso RC del 1° ordine rappresentato in FIGURA 7. La frequenza di taglio del filtro è data dalla formula

$$f_t = \frac{1}{2\pi RC}$$

e deve essere scelta di valore molto inferiore alla frequenza di clock, per esempio 100 Hz. Imponendo un valore di resistenza abbastanza elevato ($R = 100 \text{ k}\Omega$), per non caricare l'uscita della porta logica, si ricava il valore di C:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_t} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 100} = 15,9 \text{ nF}$$

Il valore della tensione V_o all'uscita del filtro nei tre casi richiesti si calcola valutando il valor medio del segnale all'uscita dello XOR, corrispondente ai valori di umidità 10%, 50%, 90%, con la formula:

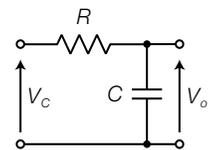


FIGURA 7 Filtro passa basso RC per l'estrazione del valor medio (blocco 5).

$$V_o = \frac{T_{(\%) } - T_{(10)} }{T} \cdot 5$$

dove $T_{(\%)}$ è la durata dell'impulso su V_s corrispondente a un certo valore di umidità percentuale, $T_{(10)}$ è la durata dell'impulso di riferimento corrispondente al 10% di umidità percentuale, T è il periodo del segnale ottenuto come $T = 1/f = 0,1$ ms, mentre 5 V è l'ampiezza degli impulsi. Si ottengono così i tre valori in uscita:

$$V_{o(10)} = \frac{10 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-3}} \cdot 5 = 0 \text{ V}$$

$$V_{o(50)} = \frac{11,07 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-3}} \cdot 5 = 0,0535 \text{ V}$$

$$V_{o(90)} = \frac{12,86 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^{-3}} \cdot 5 = 0,143 \text{ V}$$

- g) Il blocco 6 può essere realizzato con un amplificatore non invertente (FIGURA 8), con un guadagno tale da ottenere in uscita $V_A = 5$ V quando l'ingresso vale $V_{o(90)} = 0,143$ V. Il guadagno risulta quindi

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{0,143} \approx 35$$

per cui ponendo $R_1 = 1$ k Ω si ottiene $R_2 = 34$ k Ω .

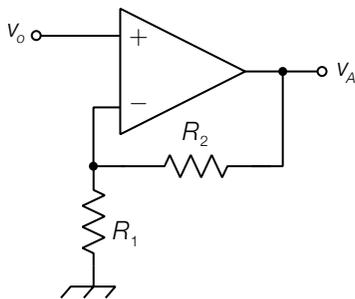


FIGURA 8 Amplificatore non invertente (blocco 6).

Il blocco 7 è costituito da un convertitore analogico-digitale; data la lentezza con cui varia l'umidità, e quindi il segnale V_o , l'ADC può essere del tipo a integrazione, a 8 bit, progettato in modo da produrre il valore 90 quando $V_A = 5$ V e 10 nel caso di $V_A = 0$ V.

L'uscita dell'ADC, dopo essere stata memorizzata in un latch, viene inviata a un convertitore binario-BCD, seguito da un convertitore BCD-7 segmenti e da un display a due cifre.