Corso di Microcontrollori e DSP
A.A. 2009-20010

Prova scritta del 10-02-2010 – Secondo appello

Cognome e nome: _____

Matricola: _____

Problema

Un programmatore deve realizzare il codice di controllo per una caldaia da riscaldamento domestico. Dispone di un microcontrollore a **32 bit,** con frequenza di clock fissata a **12 MHz** e convertitore A/D a **4 canali** e **10 bit** di risoluzione (fondo scala pari a **3 V**). Il segmento di codice in fase di sviluppo è quello relativo alla lettura del sensore a termocoppia usato per misurare la temperatura dell'acqua all'uscita dell'elemento riscaldante, T_{OUT}. L'algoritmo controlla tale temperatura per portarla ad un valore predefinito, T_{OUT_REF}. La termocoppia presenta un coefficiente di trasduzione pari a **1 mV/°C** e fornisce una misura *assoluta* della temperatura (i.e. riferita a 0°C).

Il valore fissato come riferimento per T_{OUT} viene invece calcolato, da un opportuno algoritmo, a partire dalla lettura di due sensori di temperatura *ambientali*, installati in due punti particolari della zona da riscaldare. Tali sensori trasmettono alla centralina di caldaia, in modalità seriale *analogica* **4-20 mA,** una corrente proporzionale alla temperatura misurata nell'intervallo **10°C** (4 mA) – **50°C** (20 mA).

Quesiti

1. Considerando la termocoppia relativa a T_{OUT} e volendo imporre alla misura un fondo scala di **100 °C,** si richiede di determinare:
   a. il guadagno *A* che l'amplificatore, che adatta il segnale della termocoppia all'ingresso del convertitore A/D, deve avere per *massimizzare* il rapporto segnale rumore della misura;

      $A =$ 30 [V/V]

   b. la *minima* variazione di temperatura, ΔT_{min}, che il microcontrollore è in grado di rilevare.

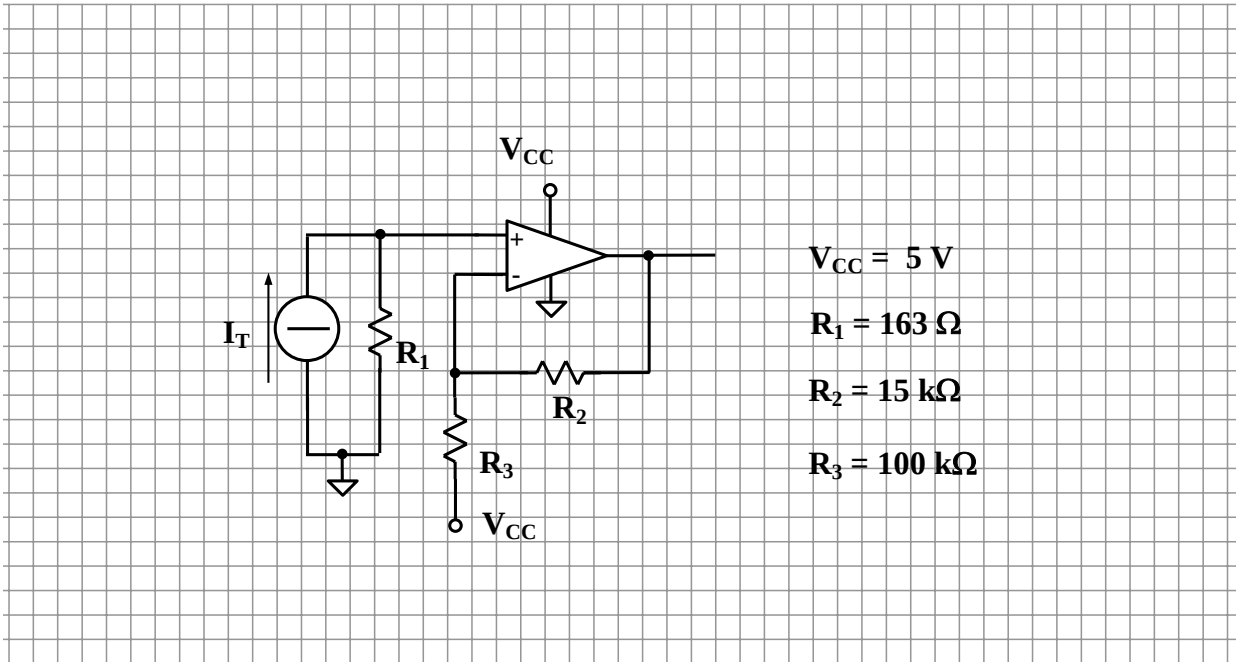
      $\Delta T_{min} =$ 0.097 [°C]

2. Considerando ora i sensori *ambientali* di temperatura, si richiede di:
   a. calcolare la *resistenza equivalente,* R_{EQ}, e *l'offset di tensione,* V_{OFF}, che il circuito ricevitore deve presentare affinché l'intervallo di temperatura misurato venga a coincidere con l'intervallo delle tensioni ammissibili per il convertitore A/D (0 V - 3 V);

      $R_{EQ} =$ 187.5 [Ω]

      $V_{OFF} =$ - 0.75 [V]

   b. disegnare e dimensionare uno schema di tale circuito adattatore che, facendo uso di *un solo* amplificatore operazionale (considerato ideale) e partendo da una tensione di alimentazione di **5 V,** realizzi la conversione richiesta;



c. il valore, in °C, dell'LSB di queste due conversioni.

LSB = | 0.039 | [°C]

3. Volendo usare uno dei timer del microcontrollore, funzionante con frequenza di clock pari a **3 MHz,** per avviare le conversioni A/D, con una frequenza di conversione pari a **50 Hz,** determinare:

   a. le configurazioni del registro di prescale, *PSC* (a 5 bit, fattore di divisione), e di quello di match, *MR* (a 32 bit), necessarie per ottenere tale frequenza con la *massima* precisione;

PSC = 0x | 0 | 1 |

MR = 0x | 0 | 0 | 0 | 0 | E | A | 6 | 0 |

   b. la durata di una conversione, sapendo che il convertitore A/D in dotazione è di tipo **SAR,** e lavora con una frequenza di clock pari a **3 MHz;**

Durata conversioni = | 3.667 | [μs]

   c. la banda passante che si dovrebbe imporre all'amplificatore adattatore del segnale per limitare eventuali effetti di *aliasing.*

Bw = | 25 | [Hz]

4. Il controllo della potenza riscaldante avviene intervenendo su una valvola che regola l'ammissione del gas ad un bruciatore. La valvola è regolabile su **32** posizioni, da completamente aperta (massima potenza) a completamente chiusa (nessun riscaldamento). La frazione di apertura è codificata su **5 bit,** usando una porta di uscita del microcontrollore, che viene poi interfacciata all'attuatore della valvola. Il programmatore sceglie un regolatore di tipo proporzionale-integrale (PI), corrispondente al seguente algoritmo:

$$D(k) = k_P \cdot (T_{OUT_REF} - T_{OUT}(k)) + D_{INT}(k)$$

$$D_{INT}(k) = k_I \cdot (T_{OUT_REF} - T_{OUT}(k)) + D_{INT}(k-1)$$

dove D è la frazione di apertura della valvola, $\mathbf{k_P = 2.123}$ è il guadagno proporzionale, $\mathbf{k_I = 0.000236}$ è il guadagno integrale e D_{INT} rappresenta la parte integrale del regolatore. Si risponda ai seguenti quesiti.

a. Qual è la rappresentazione equivalente binaria, in notazione **frazionaria senza segno su 16 bit,** dei guadagni del regolatore che permette la *minimizzazione dell'errore di quantizzazione?* Si indichi anche la *posizione del punto decimale* implicito.

k_P =	1	0 .	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
k_I =	. 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

b. Sapendo che i dati forniti dal convertitore A/D sono posizionati in un opportuno registro, *ADR*, a **32 bit,** occupando le posizioni comprese tra il bit **15** e il bit **6,** quale sarà il contenuto di *ADR* qualora la temperatura misurata dalla termocoppia, T_{OUT}, sia pari a **68°C?**

ADR = 0x	0	0	0	0	A	E	0	0

c. Supponendo che il programmatore decida di rappresentare le temperature nello stesso formato risultante dalla conversione, ovvero **frazionario senza segno su 16 bit,** quant'è *l'errore di temperatura* (i.e. la quantità $T_{OUT_REF} - T_{OUT}$) corrispondente ad un valore del riferimento pari a **0x0000CFC0** e al valore di T_{OUT} del punto precedente?

ΔT = [13.152] [°C]

d. Quale sarà il formato *più conveniente* per la rappresentazione dell'errore di temperatura?

1.31 [ ] 0.32 [ ] 1.15 [X] 0.16 [ ]

e. Sapendo che i guadagni del PI sono posizionati nella **parte bassa** di una parola a **32 bit,** si determinino il tipo e l'entità dell'operazione di *shift* richiesta per portare il risultato del prodotto $k_P \cdot (T_{OUT_REF} - T_{OUT}(k))$ nel formato **frazionario con segno di tipo 1.15;**

[X] Shift aritmetico a destra n° bit [14]
[ ] Shift logico a destra n° bit [ ]
[ ] Shift logico a sinistra n° bit [ ]
[ ] Nessuna operazione di shift

f. Quali sono invece il tipo e l'entità dell'operazione di *shift* richiesta per portare il risultato del prodotto $k_I \cdot (T_{OUT_REF} - T_{OUT}(k))$ nel formato *corretto,* se la parte integrale del regolatore, D_{INT}, viene rappresentata in modalità **1.31?**

[ ] Shift aritmetico a destra n° bit [ ]
[ ] Shift logico a destra n° bit [ ]
[ ] Shift logico a sinistra n° bit [ ]
[X] Nessuna operazione di shift

g. Qual è il valore assunto dal registro **r1,** dopo che in esso viene caricato il valore di ($T_{OUT_REF} - T_{OUT}$) specificato al punto 4.c, ed espresso nello stesso formato del punto 4.d?

r1 = 0x | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | E | 0 |

h. Qual è il valore assunto dal registro **r3** dopo l'esecuzione delle seguenti istruzioni:

```
MUL r3, r1, r0
MOV r3, r3, shift
```

che rappresentano una moltiplicazione intera del tipo r3 = r0*r1 e uno shift del risultato del tipo determinato al punto 4.e ? (Si consideri che in **r0** sia stato pre-caricato il valore di k_P).

r3 = 0x | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | B | E |

i. Qual è il valore binario, **frazionario su 5 bit,** dell'apertura della valvola corrispondente al precedente calcolo e ad un contributo **nullo** della parte integrale del regolatore?

D = | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

j. Qual è la differenza di temperatura $T_{OUT_REF} - T_{OUT}$ *minima* che è in grado di provocare la variazione di un bit della frazione di apertura della valvola, *indipendentemente* dalla condizione dell'integratore?

ΔT = 1.472 [°C]

k. Volendo dotare il PI di un meccanismo di anti-windup, quale dovrebbe essere il valore della quantità *L*, che rappresenta il limite massimo per l'uscita della parte proporzionale?

L = 0x | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | C | 0 | 0 |

5. Il programmatore ha calcolato che la routine di servizio, *ISR0*, che effettua il calcolo del regolatore PI richiede **5.4 μs.** Invece, la lettura dei sensori ambientali viene effettuata, sempre grazie ad un timer, con una frequenza di **0.0167 Hz** all'interno di un'ulteriore routine di servizio, *ISR1*, nella quale viene anche eseguito l'algoritmo che calcola il riferimento, T_{OUT_REF}, per il PI. Questa routine richiede complessivamente **500 μs.** Sapendo che il sistema di interruzioni non prevede la possibilità di annidamento (nesting) determinare:

a. la percentuale di utilizzo del processore, considerando le sole due routine descritte e considerando *nulli* tutti i tempi di latenza;

Percentuale di utilizzo = $27.8 \cdot 10^{-3}$ [%]

b. supponendo che *ISR0* abbia la massima priorità, di quanto potrà variare, al massimo e percentualmente, la frequenza di campionamento della temperatura regolata, a causa di interferenze con *ISR1*;

Variazione di frequenza = -2.44 [%]

c. quanto potrebbe durare, al massimo, una *terza* routine di servizio, *ISR2*, eseguita con una frequenza di **10 Hz,** senza determinare la mancata esecuzione di alcuna istanza di *ISR1;*

Durata massima ISR2 = 99.972 [ms]

d. quanto potrebbe invece durare *ISR2* senza determinare la mancata esecuzione di alcuna istanza di *ISR0;*

Durata massima ISR2 = 19.495 [ms]