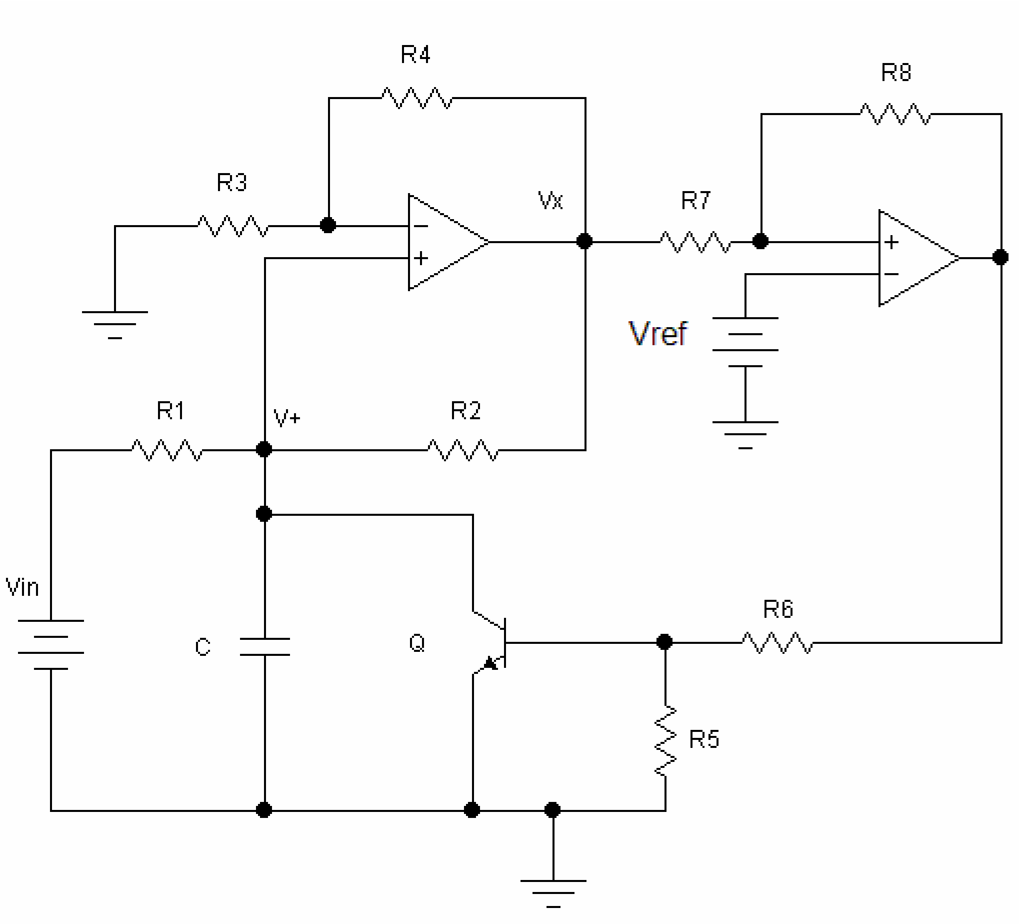
Luigi D’Onofrio – IPSIA di Casacalenda

Proposta di soluzione della seconda prova M049 ESAME DI STATO IPSIA a.s. 2008/2009



Il primo Opamp e la circuiteria annessa rappresentano un integratore il segnale costante Vin viene integrato nel tempo per cui l’uscita Vx cresce in modo lineare.
La f.dT che lega Vin a Vx può essere determinata con il bilancio delle correnti nel nodo V^+

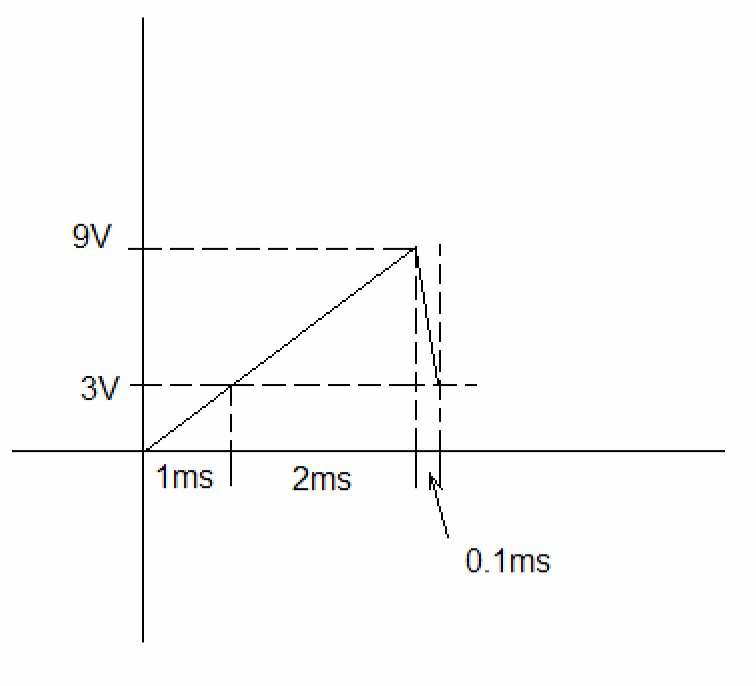
$$\frac{(Vin - V^+)}{R} = \frac{V^+}{\frac{1}{sC}} + \frac{(V^+ - Vx)}{R}$$

Con semplici passaggi si arriva a

$$Vx = \frac{2 \cdot Vin}{sR \cdot C}$$

$$Vx(t) = \frac{2}{R \cdot C} \cdot \int_0^t Vin(t) \cdot dt$$ essendo Vin = 5V costante

(a) $Vx(t) = \frac{2 \cdot Vin}{R \cdot C} \cdot t$ occorre dimensionare opportunamente R e C in modo che il passaggio di Vx da 3V a 9V avvenga in $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{500} = 2ms$



Usando la formula (a) posso determinare il tempo necessario affinché Vx arrivi a un certo livello

$$t^{(3)} = \frac{3}{10} \cdot R \cdot C \quad t^{(9)} = \frac{9}{10} \cdot R \cdot C$$

Il vincolo sulla frequenza impone che

(b) $T = t^{(9)} - t^{(3)} = \frac{6}{10} \cdot RC = 2ms$

Questa formula ci permette di dimensionare R e C. Se scegliamo un condensatore $C = 1nF$
Dalla (b) esplicitando R si ottiene:

$$R = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot C} = \frac{10^{-2}}{3 \cdot 10^{-9}} = 3.3M\Omega$$

Pertanto affinchè Vx passi da 3V a 9V in 2ms sceglieremo $C = 1nF$ e $R = 3.3M\Omega$.
Quando Vx raggiunge la soglia di 9V il condensatore va scaricato attivando il transistor Q e riportando la tensione Vx a 3V, in un intervallo di tempo trascurabile rispetto al periodo di oscillazione e scelto pari a $\frac{1}{20}T$.
La scarica del condensatore avviene quando l'uscita del secondo opamp (Trigger di Schmith) è in saturazione positiva e il transistor in zona lineare con una corrente di base I_B opportuna capace di prelevare da C una corrente I_C costante che in 0.1ms riporti Vx a 3V.
La scarica è lineare a corrente di collettore costante per cui:

$V^+ = \frac{Vx}{2}$ (massa virtuale V^+V^-)

$$V^+(t) = \frac{Vx}{2} - \frac{I_C}{C} \cdot t$$

$$V^+(0.1ms) = \frac{3}{2} = \frac{9}{2} - \frac{h_{FE} \cdot I_B}{C} \cdot t$$

Ipotizzando per il transistor Q un $h_{FE} = 100$, e imponendo $t = 0.1ms$ posso ricavare la corrente di base necessaria:

$$I_B = \frac{6 \cdot C}{2 \cdot h_{FE} \cdot t} = \frac{6 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 0.3 \cdot 10^{-6} = 0.3\mu A$$

La corrente I_B assieme alla corrente I_5 che circola sulla R_5 deve essere erogata dal trigger di schmith I_{OUT} varrà quindi la relazione:

$$I_{OUT} = I_B + I_5$$

$$I_{OUT} = \frac{V_{sat}^+ - V_{be}}{R_6} = \frac{20 - 0.6}{R_6} = \frac{19.4}{R_6}$$

$$I_5 = \frac{V_{be}}{R_5}$$

scelta $R_6 = 10M\Omega$

$I_{OUT} = \dfrac{19.4}{10 \cdot 10^6} = 1.94\mu A$ per le condizioni scarica di C è neccessario che $I_B = 0.3\mu A$ posso determinare il valore di $I_5 = I_{OUT} - I_B = 1.94\mu A - 0.3\mu A = 1.64\mu A$ e quindi dimensionare R_5

$$R_5 = \frac{V_{BE}}{I_5} = \frac{0.6}{1.64 \cdot 10^{-6}} = 366K\Omega$$

Adesso occorre determinare le resistenze del trigger di schmith in modo che la soglia di attivazione $V_T^+ = 9V$ e quella di disattivazione sia $V_T^- = 3V$ le formule da usare sono:

$$V_T^+ = (\frac{R_7}{R_8} + 1) \cdot V_{REF} - \frac{R_7}{R_8} \cdot V_{sat}^-$$

$$V_T^- = (\frac{R_7}{R_8} + 1) \cdot V_{REF} - \frac{R_7}{R_8} \cdot V_{sat}^+$$

Ponendo $\rho = \frac{R_7}{R_8}$ e sostituendo nelle due equazioni i valori desiderati per le soglie otteniamo il seguente sistema in 2 incognite ρ e V_{REF} che risolto chiude il compito.

$$(c)\begin{cases}(\rho+1)\cdot V_{REF} + 20\cdot\rho = 9\\(\rho+1)\cdot V_{REF} - 20\cdot\rho = 3\end{cases}$$

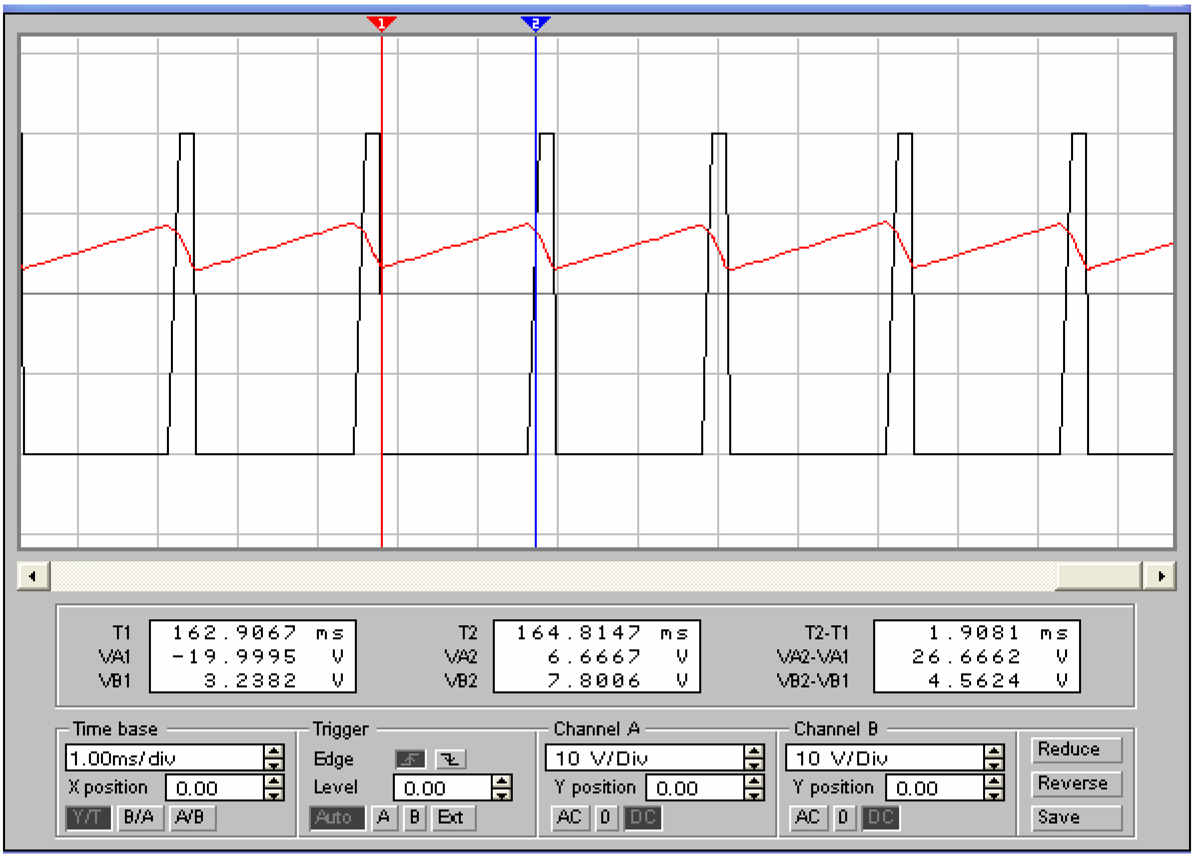
Sottraendo le due equazioni si ottiene:

$40\cdot\rho = 6$ e quindi $\rho = \frac{R_7}{R_8} = \frac{6}{40}$ posso scegliere $R_7 = 6K\Omega$ e $R_8 = 40K\Omega$. Sommando le equazioni (c) si ottiene

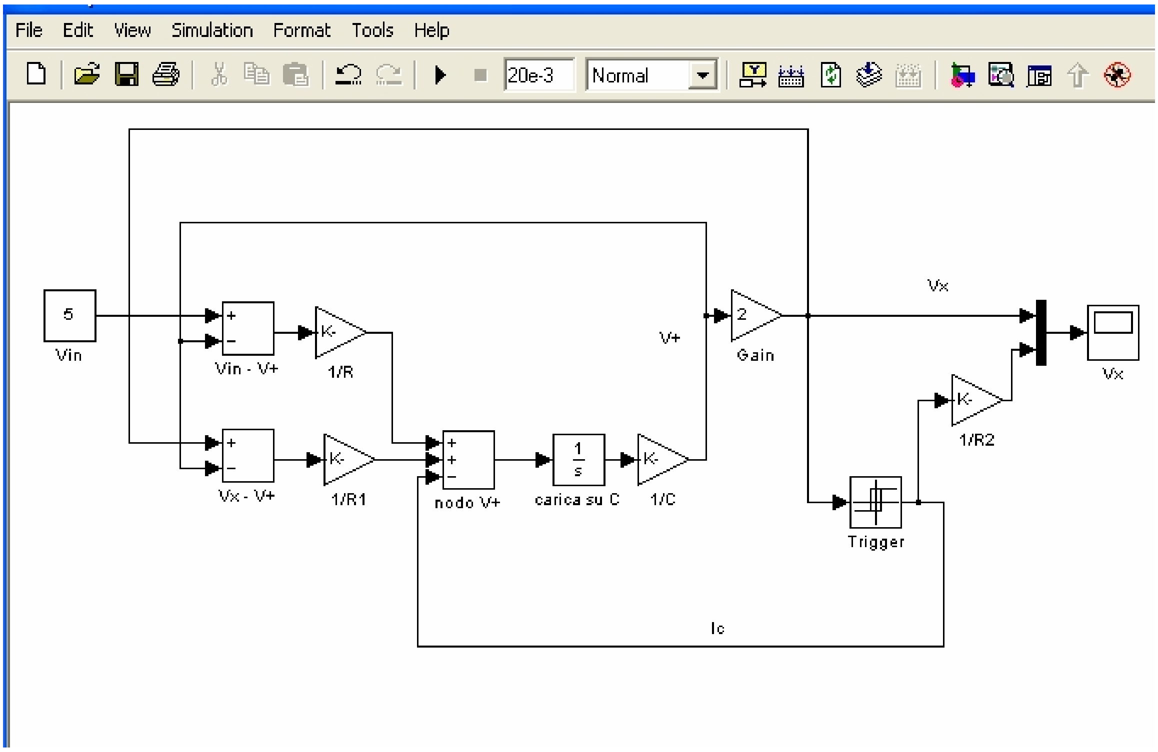
$2\cdot(\rho+1)\cdot V_{REF} = 12$ da cui determino il valore di V_{REF}

$$V_{REF} = 6\cdot\frac{40}{46} = 5.2V$$

Simulazione con i dati determinati.



Modello Simulink del circuito

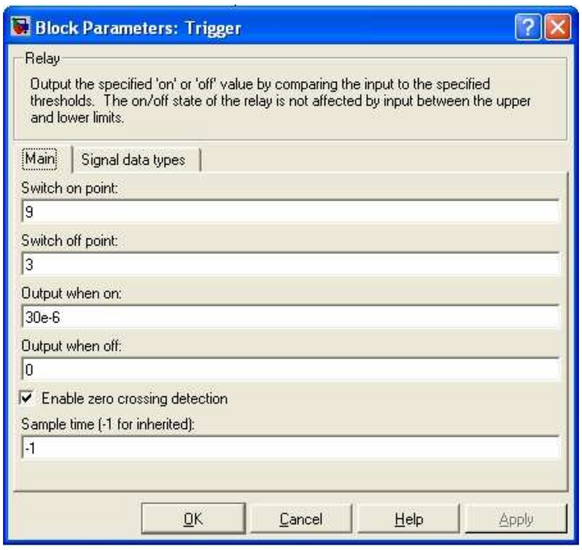


In questo modello le correnti $\frac{V_{in} - V_+}{R}$ e $\frac{V_x - V_+}{R}$ caricano il condensatore, integrando queste correnti ottengo la carica sulle armature del condensatore dividendo tale carica per C si ottiene la tensione ai capi del condensatore $V+$.

Amplificando con guadagno 2 si ottiene V_x che retroazionata assieme a V_+ mi permette di definire le correnti.

I valori inseriti nei componenti per R e C sono quelli determinati nella soluzione proposta nella prima parte.

Il trigger è stato configurato come segue:



Da notare l’Output when on esattamente pari $30\mu A$ ovvero la corrente di collettore I_C necessaria per scaricare il condensatore in 0.1ms. Quando è off l’Output è posto a zero simulando così il transistor Q interdetto.

Risultato della simulazione perfettamente in accordo con la soluzione analitica. Lo Scope mostra la tensione Vx e la corrente del trigger normalizzata.