

COMPITI DI ELETTRONICA PER CLASSE V ITIS INDIRIZZO ET

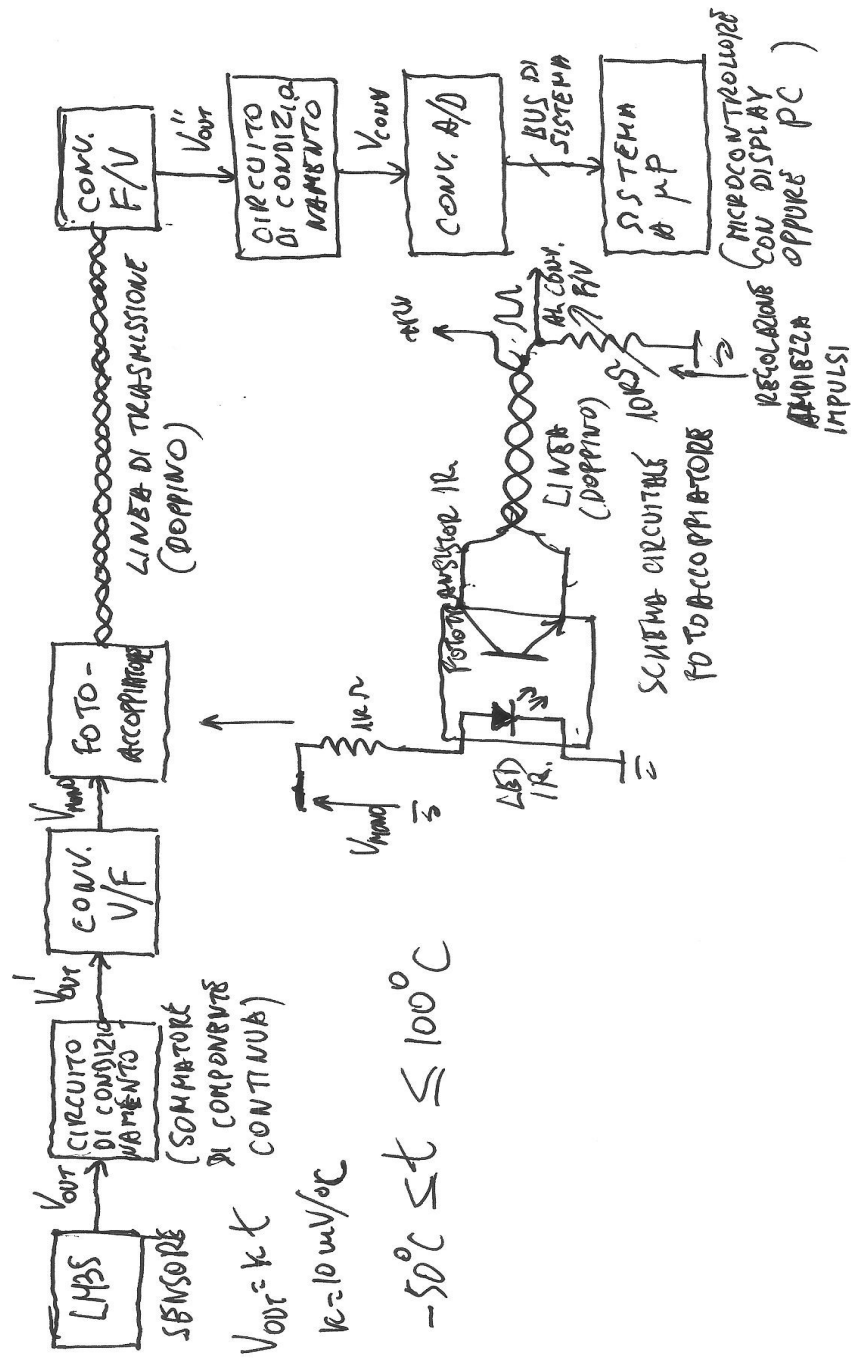
PROBLEMA SULLA TELEMISURA DI GRANDEZZE FISICHE CON CONVERTITORI V/F (TENSIONE-FREQUENZA) E F/V (FREQUENZA_TENSIONE) IN AMBIENTI INDUSTRIALI CON INTENSI SEGNALE DI DISTURBO

Si richiede di telemisurare con un sensore LM35 , avente una costante di trasduzione $k = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, la temperatura di una cella termostatica, nell' intervallo $-50^{\circ}\text{C} \leq t \leq 100^{\circ}\text{C}$ ed alla distanza di 1 km dal sistema di acquisizione dati, impiegando un convertitore V/F collegato al sensore remoto, un convertitore F/V interfacciato con il sistema di acquisizione dati e come linea di trasmissione un doppino schermato. In particolare si richiede, formulate le ipotesi ritenute necessarie, di fornire gli schemi a blocchi, gli schemi circuitali ed il dimensionamento di entrambi i convertitori.

CONVERTITORE V/F

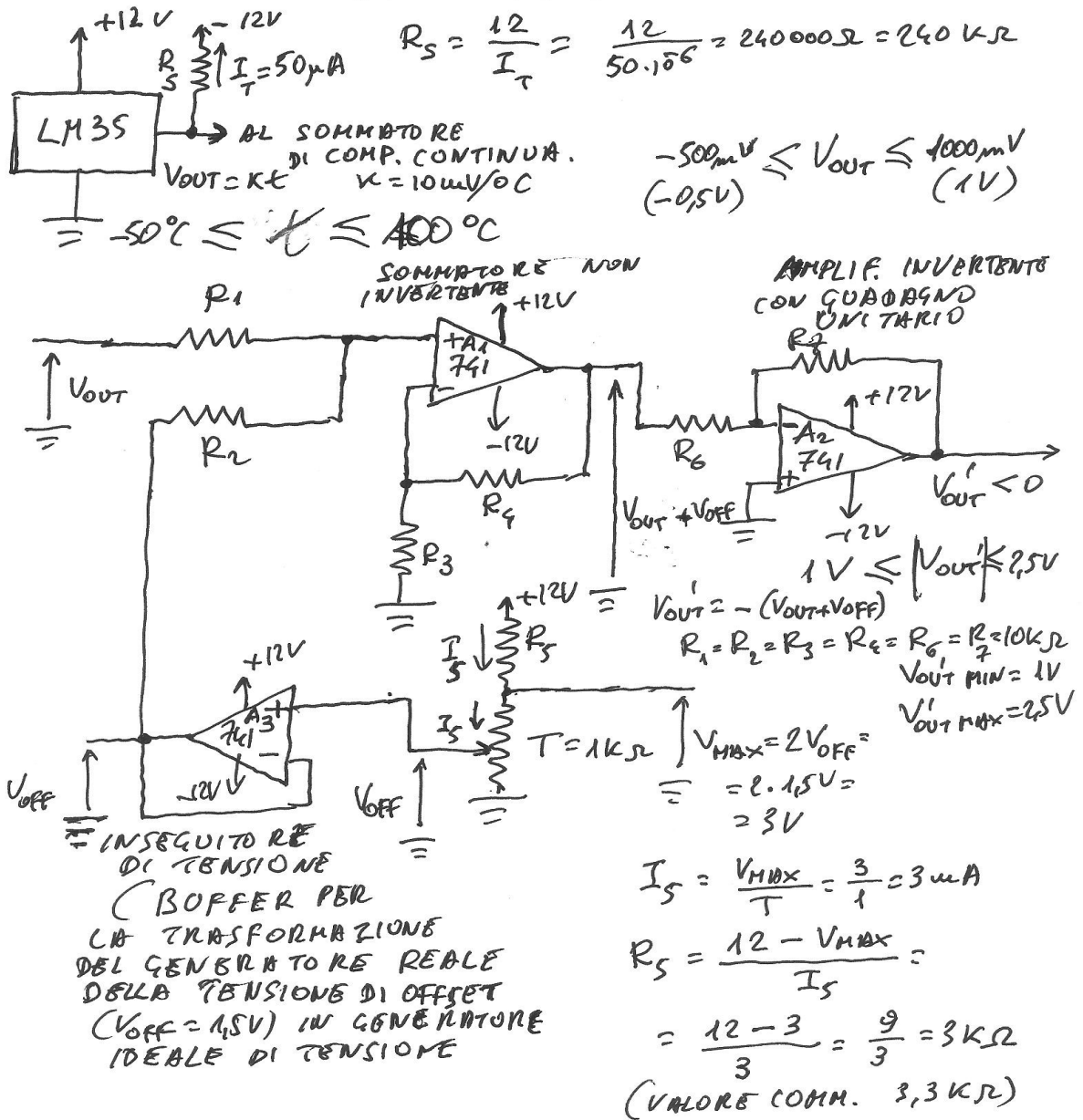
L' intervallo delle tensioni fornite dal sensore nell' intervallo considerato è $-500 \text{ mV} \leq V_{\text{out}}(t) \leq 1000 \text{ mV}$. Pertanto, come si rileva dai datasheets del sensore LM35, per rilevare temperature centigrade negative occorre collegare all' uscita V_{out} un resistore $R_s = V_{\text{cc}}/50 \text{ E-6} = 12/50 \text{ E-6} \Omega = 240 \text{ k}\Omega$, supponendo di disporre per gli amplificatori operazionali che costituiscono il convertitore di un' alimentazione duale di $\pm 12 \text{ V}$. Considerando che il range di variazione di V_{out} è bipolare e che una frequenza negativa è priva di significato fisico, occorre impiegare un opportuno circuito traslatore di livello (sommatore non invertente) per applicare al convertitore V/F una tensione della stessa polarità, indipendentemente dal segno della temperatura centigrada. In particolare, supponendo di realizzare un convertitore V/F in grado di accettare tensioni variabili nell' intervallo $1 \text{ V} \leq V_{\text{out}}' \leq 2,5 \text{ V}$, occorre interfacciare il sensore con il convertitore V/F mediante un sommatore non invertente che aggiunga al segnale V_{out} una componente continua positiva $V_{\text{off}} = 1,5 \text{ V}$.

SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA DI TELEMISURA DELLA TEMPERATURA DI UNA CELLA TERMOSTATICA



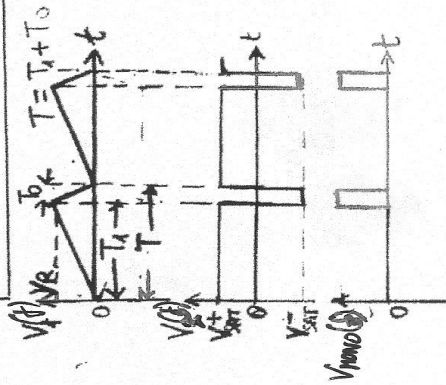
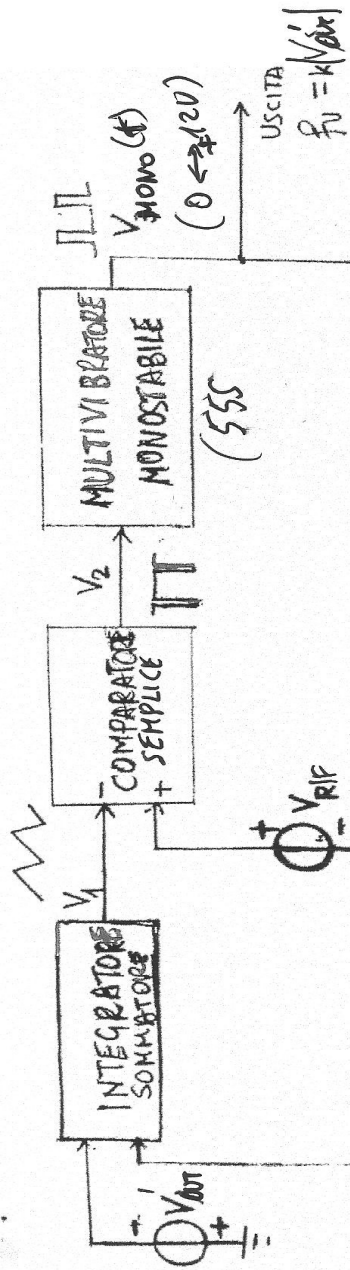
2

SCHEMA CIRCUITALE DEL SOMMATORE
DI COMPONENTE CONTINUA ($V_{OFF} = 1,5V$)
(CIRCUITO DI CONDIZIONAMENTO)
- DIMENSIONAMENTO -



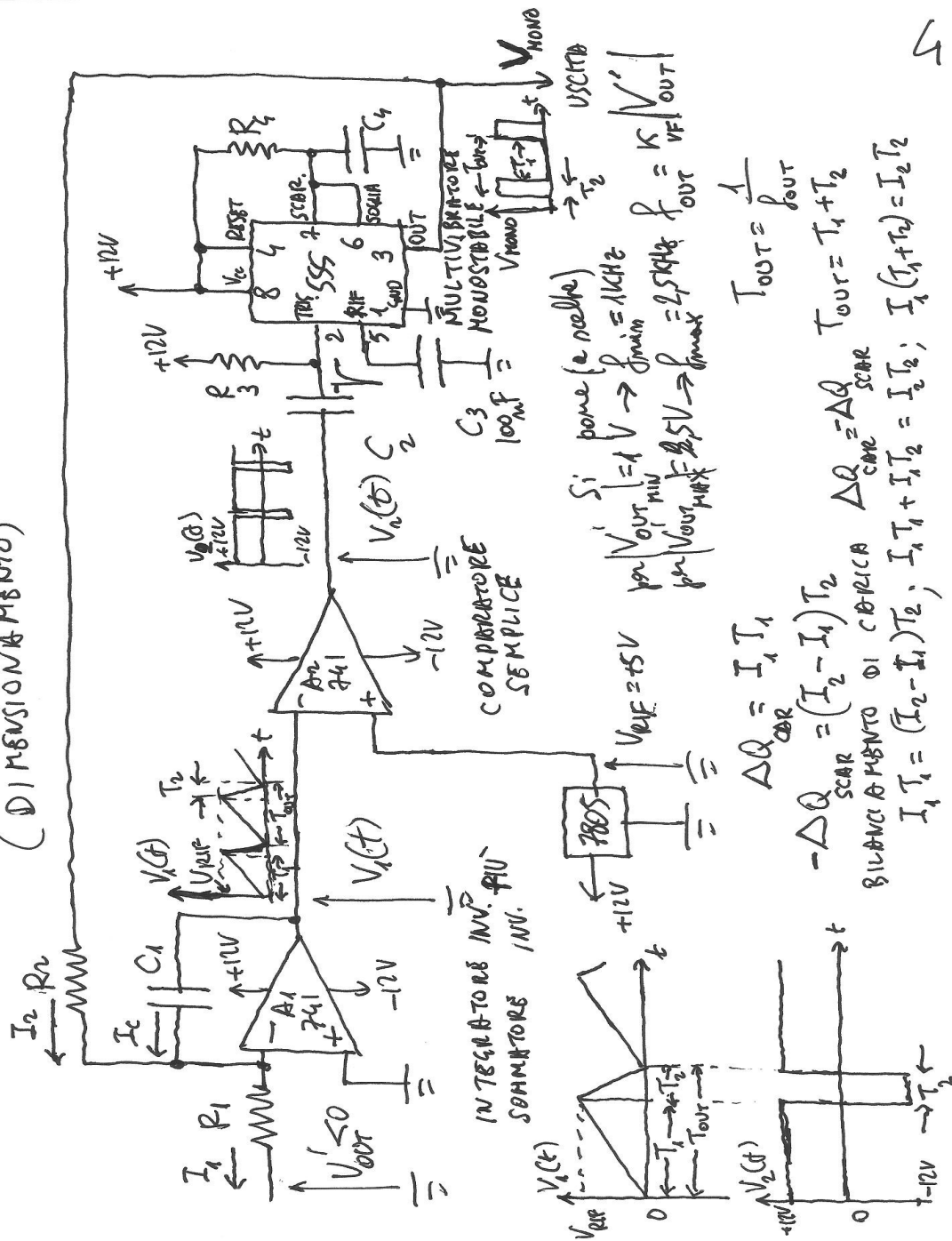
CONVERTITORE

SCHEMA A BLOCCHI DEL CONVERTITORE V/F



Senza nome

SCHEMA CIRCUITALE DEL CONVERTITORE V/F (DIMENSIONAMENTO)



$$\Delta Q_{COR} = I_1 T_1$$

$$-\Delta Q_{SCAR} = (I_2 - I_1) T_2$$

$$BILANCIO ALTERNATO DI CARICA$$

$$I_1 T_1 = (I_2 - I_1) T_2; I_1 T_1 + I_1 T_2 = I_2 T_2; I_1 (T_1 + T_2) = I_2 T_2$$

$$T_{OUT} = \frac{1}{f_{OUT}}$$

$$T_{OUT} = T_1 + T_2$$

$$I_1 = \frac{|V_{out}|}{R_1} ; I_2 = \frac{V_{mono}}{R_2}$$

5

$$\frac{|V_{out}|}{R_1} (T_1 + T_2) = \frac{V_{mono} T_2}{R_2} ; \frac{|V_{out}|}{R_1} T_{out} = \frac{V_{mono} T_2}{R_2}$$

$$T_{out} = \frac{V_{mono} T_2 R_1}{|V_{out}| R_2} ; f_{out} = \frac{1}{T_{out}} = \frac{|V_{out}|}{T_2 V_{mono}} \frac{R_2}{R_1}$$

$$f_{out} = \left(\frac{R_2}{V_{mono} R_1 T_2} \right) |V_{out}| = K_{VF} |V_{out}|$$

$$K_{VF} = \frac{R_2}{V_{mono} R_1 T_2} , \text{ con } V_{mono} \approx 12V$$

Se si neglige $T_2 \ll T_{min} \rightarrow T_2 = 0,1 T_{min}$

$$T_{min} = \frac{1}{f_{out max}} = \frac{1}{25 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-5} s$$

$$T_2 = 0,1 T_{min} = 4 \cdot 10^{-6} s$$

$$T_2 = 1,1 \cdot R_4 C_4 , \text{ Se si neglige } C_4 = 100 nF = 10^{-7} F$$

(SSS)
durata impulsi
monomontabile.

$$R_3 C_2 \ll T_2 ; \text{ Se } C_2 = 10 nF \text{ e } R_3 C_2 = 0,1 T_2$$

$$R_3 = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{10^{-8}} = 400 \Omega \cdot (\text{value comm. } 480 \Omega)$$

Dovendo essere $f_{min} = 1 kHz$
per $|V_{out min}| = 1V$

Si ha: $K_{VF} = \frac{f_{out min}}{|V_{out min}|} = \frac{1}{1} kHz/V = 10^3 Hz/V$

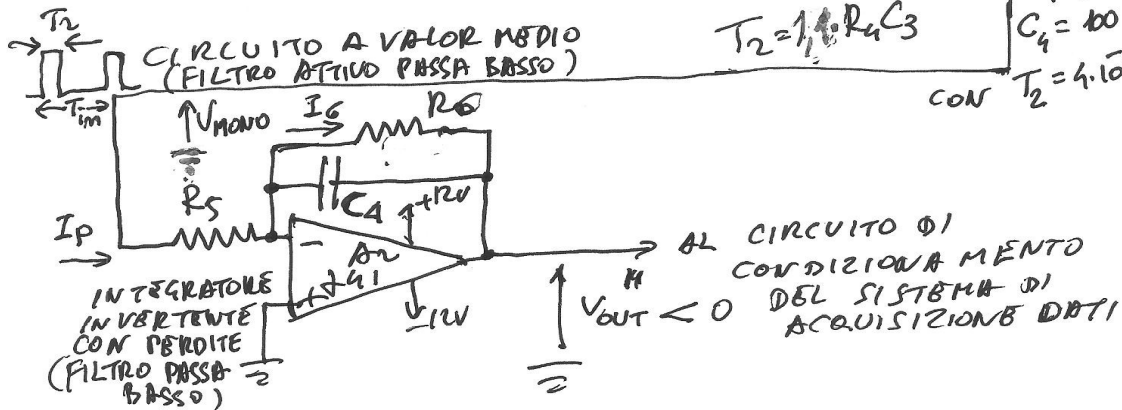
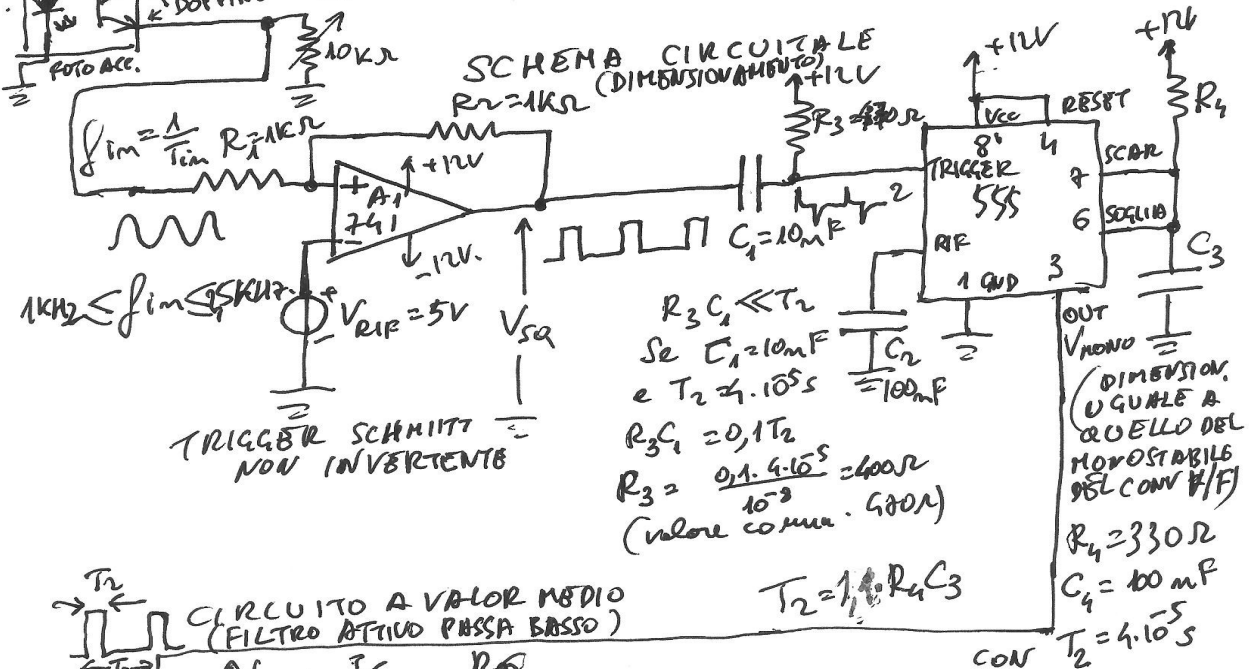
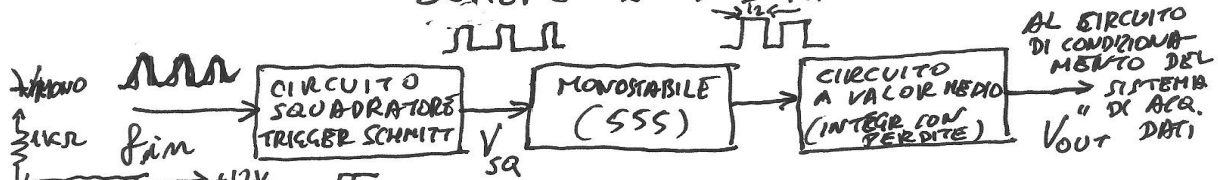
Per tanto $K_{VF} = \frac{R_2}{V_{mono} R_1 T_2} = 1000 Hz/V$ $\frac{R_2}{R_1} = K_{VF} V_{mono} T_2 =$

Se $R_1 = 10 k\Omega$ $R_2 = R_1 \cdot 48 \cdot 10^{-2} = 10^4 \cdot 48 \cdot 10^{-2} = 4800 \Omega$
valore commerciale $R_2 = 4,7 k\Omega$

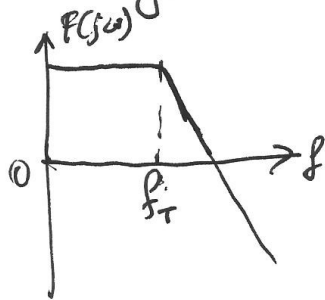
CONVERTITORE F/V (FREQUENZA/TENSIONE)

6

SCHEMA A BLOCCHI



Le frequenze di taglio del filtro
 deve essere molto minore di
 $f_{min} = 1 \text{ kHz}$ affinché vengano eliminate
 tutte le componenti con frequenze
 $f \geq f_{min}$.



funzione di trasferimento del
 filtro attivo:

$$F(j\omega) = - \frac{R_6 // \frac{1}{sC_4}}{R_5} = - \frac{R_6 \cdot \frac{1}{sC_4}}{R_5 + \frac{1}{sC_4}} =$$

$$= - \frac{1}{R_5} \cdot \frac{R_6}{R_6 s + 1} = - \frac{R_6}{R_5} \cdot \frac{1}{1 + R_6 C_4 s}$$

polo: $\frac{1}{R_6 C_4}$

$$f_T = \frac{1}{2\pi R_6 C_4} \ll f_{min}$$

Si pone $f_T = 0,1 f_{min} = 0,1 \cdot 1000 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}$.

$$f_T = \frac{1}{2\pi R_6 C_4} = 100 \text{ Hz}$$

$$2\pi R_6 C_4 \cdot 100 = 1; \text{ se } R_6 = 10 \text{ k}\Omega, \text{ si ha:}$$

$$C_4 = \frac{1}{2\pi R_6 \cdot 100} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^4 \cdot 10^2} = 1,592 \cdot 10^{-7} \text{ F} = 159,2 \text{ nF}$$

$$I_p = \frac{V_{MONO}}{R_5}; \quad \overline{I_{CHSDA}} = I_p \cdot \text{duty cycle} = I_p \frac{T_2}{T_{im}} = \frac{V_{MONO}}{R_5} \cdot \frac{T_2}{T_{im}} = \frac{V_{MONO}}{R_5} f_{im}$$

(VALORE DI
 PICCO DELL'INTENSITÀ
 DI CORRENTE D'INGRESSO)

$$\overline{V_{OUT}^n}_{MEDIA} = - \overline{I_{G_{MEDIA}}} \cdot R_6 = - \boxed{V_{MONO} T_2 \frac{R_6}{R_5}} f_{1m}.$$

↑
 K_{FV}

con $K_{FV} = \frac{1}{K_{VF}} = \frac{1}{10^3 \text{ Hz/V}} = 10^{-3} \text{ V/Hz}$

con $V_{MONO} = 12 \text{ V}$, $T_2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ s}$, $R_6 = 10 \text{ k}\Omega$.

si ha:

$$K_{FV} = V_{MONO} T_2 \frac{R_6}{R_5}$$

$$R_5 = \frac{V_{MONO} T_2 R_6}{K_{FV}} = \frac{12 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4}{10^{-3}} =$$

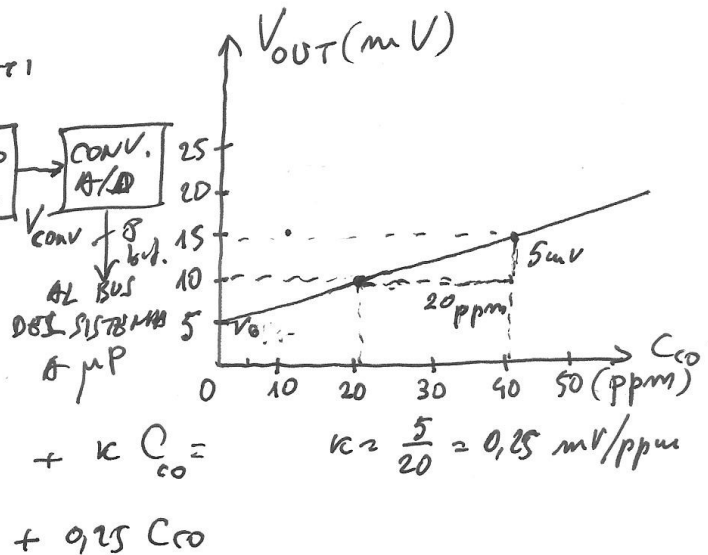
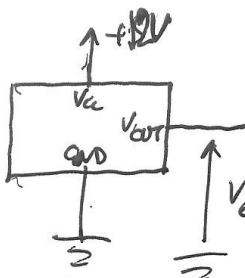
$$= 48 \cdot 10^2 \Omega$$

valore commerciale 4700Ω .

INTERFACCIAMENTO DI SENSORI CON CONVERTITORI A/D

1) SENSORE DI CONCENTRAZIONE CON USCITA IN TENSIONE

CATENA DI ACQUISIZIONE DATI

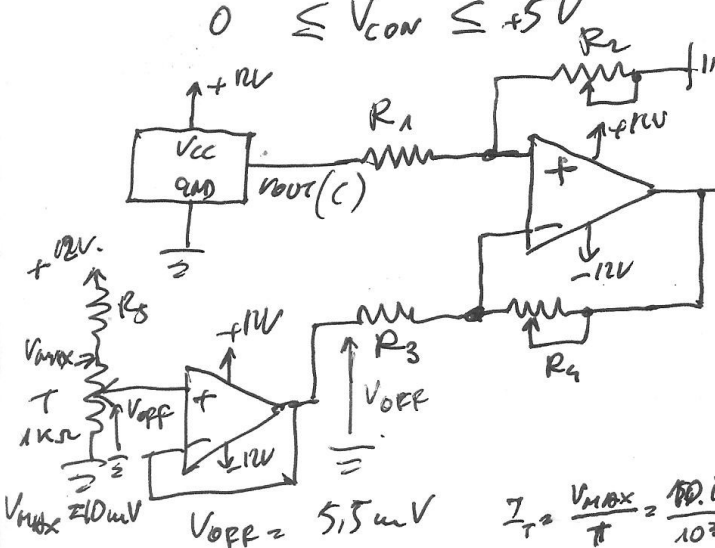


$$2 \text{ ppm} \leq C_{CO} \leq 50 \text{ ppm}$$

$$(5 + 0,25 \cdot 2) \text{ mV} \leq V_{OUT} \leq (5 + 0,25 \cdot 50) \text{ mV}$$

$$5,5 \text{ mV} \leq V_{OUT} \leq 17,5 \text{ mV}$$

$$0 \leq V_{CON} \leq +5 \text{ V}$$



$$V_{CON} = (V_{OUT}(C) - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_1 = R_3, R_2 = R_4$$

$$V_{CON \text{ MAX}} = 5 \text{ V}$$

$$V_{OUT \text{ MAX}} = 17,5 \text{ mV}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{CON \text{ MAX}}}{V_{OUT \text{ MAX}} - V_{OFF}}$$

$$I_T = \frac{V_{MAX}}{R} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10^3} = 10^{-5} \text{ A} = 10 \mu\text{A}$$

$$R_5 = \frac{12}{10^{-5}} = 12 \cdot 10^5 \Omega = 1,2 \text{ M}\Omega$$

$R_1 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = R_4 = 416,668 \text{ k}\Omega$
 (Trimmer de $1 \text{ M}\Omega$
 e $416,668 \text{ k}\Omega$)

Hand-drawn circuit diagram of a two-stage op-amp system. The first stage is an inverting amplifier with input resistance R_1 and feedback resistance R_2 , with a gain of -12 . The second stage is a non-inverting amplifier with input resistance R_3 and feedback resistance R_4 , with a gain of 12 . The overall gain is 1 . The circuit includes a $12V$ supply, a $10k$ resistor, and a $100k$ resistor. The output is labeled V_{out} .

range. $-50^{\circ} \leq t \leq 140^{\circ}C$

$$-50.10 \leq V_{OUT} \leq 490.10$$

$$-500 \text{ mV} \leq V_{out} \leq 1400 \text{ mV}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{CONV\ MIN} = (V_{OUT\ MIN} - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1} \\ V_{CONV\ MAX} = (V_{OUT\ MAX} - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1} \end{array} \right.$$

$$-5V \leq V_{conv} \leq +5V$$

$$V_{\text{conv min}} = -5000 \text{ mV}$$

$$V_{\text{conv max}} = +5000 \text{ mV}$$

$$\begin{cases} -5000 = (-500 - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1} \\ +5000 = (1400 - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1} \end{cases}$$

3

$$\frac{+5000}{-5000} = \frac{1400 - V_{OFF}}{-500 - V_{OFF}} \quad \text{dW dunda membra 2 membra n h,}$$

$$-1 = \frac{1400 - V_{OFF}}{-500 - V_{OFF}}$$

$$(-1)(-500 - V_{OFF}) = 1400 - V_{OFF}$$

$$500 + V_{OFF} = 1400 - V_{OFF}$$

$$2 V_{OFF} = 1400 - 500;$$

$$V_{OFF} = \frac{1400 - 500}{2} = \frac{900}{2} = 450 \text{ mV}$$

$$-5000 = (-500 + 450) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = - \frac{5000}{-50} = 5,263$$

$$\text{offre } 5000 = (1400 - V_{OFF}) \frac{R_2}{R_1}$$

$$5000 = (1400 - 450) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{5000}{950} = 5,263$$

Verfuer: $V_{CONV} = (V_{OUT} - 450) 5,263$

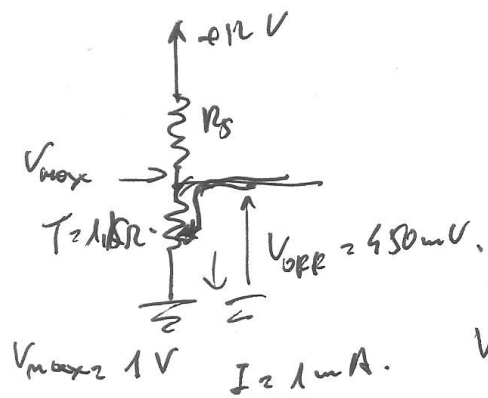
for $V_{OUT} = -500 \text{ mV}$

$$V_{CONV}^{min} = (-500 - 450) 5,263 = -950 \cdot 5,263 = -4999,85 \text{ mV}$$

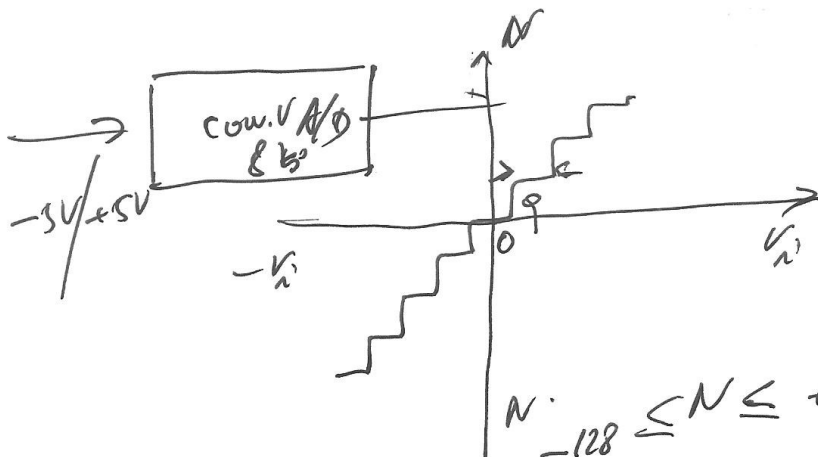
$$= -4,999 \text{ V}$$

for $V_{OUT} = 1400 \text{ mV}$

$$V_{CONV}^{max} = (1400 - 450) 5,263 = 950 \cdot 5,263 = 4999 \text{ V}$$



$$V_{RS} = 12 - 12mV, \quad R_S = \frac{11}{1mA} = 11k\Omega$$



$$N: -128 \leq N \leq +128$$

$$q = \frac{V_{conv MAX} - V_{conv MIN}}{2^8} = \frac{5 - (-5)}{2^8} = \frac{10}{256}$$

$$= 0.039V$$

$$= 39mV$$

3) SENSORE DI TEMPERATURA CON USCITA IN CORRENTE
 AD590 $I_T \propto T$ $T = t + 273,16$
 $k = 1 \mu A / ^\circ K$ ($^\circ K$) ($^\circ C$)

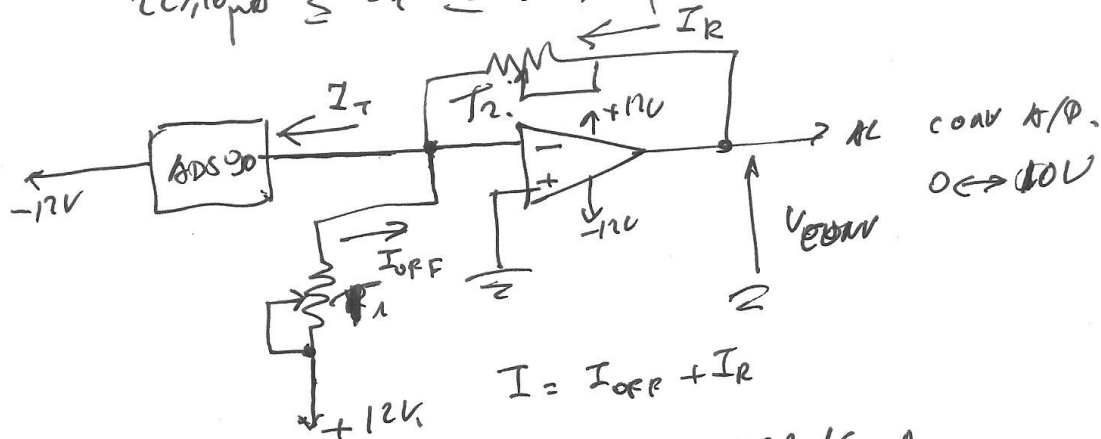
$$-50^\circ C \leq t \leq +100^\circ C$$

$$(-50 + 273,16)^\circ K \leq T \leq (100 + 273,16)^\circ K$$

$$223,16^\circ K \leq T \leq 323,16^\circ K$$

$$223,16 \mu A \leq I_T \leq 323,16 \mu A$$

$$0V \leq V_{CONV} \leq 10V$$



$$I_{OFF} = I_T(223,16^\circ K) = 223,16 \mu A$$

$$\mu - t = -50^\circ C: R_T = \frac{12}{I_{OFF}} = \frac{12}{223,16 \cdot 10^{-6}} = 53223,02 \Omega$$

$100 k\Omega$ $\approx 53223 \Omega$

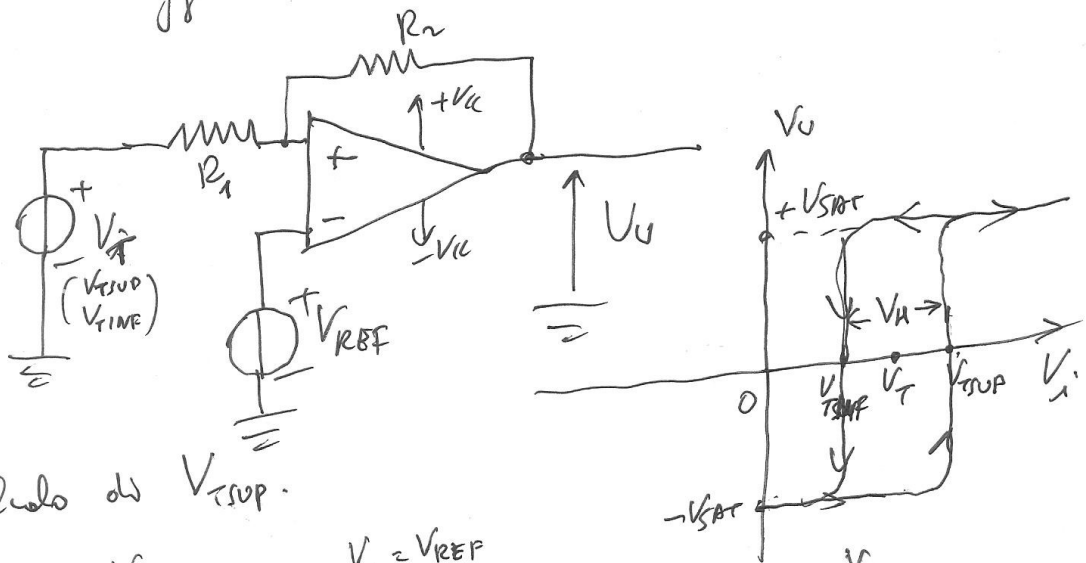
$$\mu - t = 100^\circ C$$

$$I_{R(max)} = I_T(323,16) - I_{OFF} = 323,16 - 223,16 = 100 \mu A$$

$$R_T = \frac{V_{CONV MAX}}{I_{R MAX}} = \frac{10}{100 \cdot 10^{-6}} = 66666,67 \Omega$$

$100 k\Omega$ $\approx 66666,67 \Omega$

Trigger Schmitt non invertente. 1



Calcolo di V_{TSUP} .

$$V_o = -V_{SAT} ; V_+ = V_{REF}$$

$$V_{REF} = \frac{V_{TSUP} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{REF}(R_1 + R_2) = V_{TSUP} R_2 - V_{SAT} R_1$$

$$V_{TSUP} = \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + V_{SAT} \frac{R_1}{R_2}$$

Calcolo di V_{TINF}

$$V_o = +V_{SAT} ; V_+ = V_{REF}$$

$$V_{REF} = \frac{V_{TINF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2} ; V_{REF}(R_1 + R_2) = V_{TINF} R_2 + V_{SAT} R_1$$

$$V_{TINF} = \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - V_{SAT} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_H = V_{TSUP} - V_{TINF} = \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} - \left[\frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} \right]$$

$$V_H = 2 V_{SAT} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_T = \frac{V_{TSUP} + V_{TINF}}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} + \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} \right]$$

$$V_T = \frac{V_{REF}(R_1 + R_2)}{R_2} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Dimensionamento.

2

Exemplo: Si richiede un'interfaccia $V_H = 0,5V$
con $V_{SAT} = 10V$

e $V_{TSUP} = 5,25V$ e $V_{TINF} = 4,25V$.

$$V_H = 2V_{SAT} \frac{R_1}{R_2} \quad ; \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{V_H}{2V_{SAT}} = \frac{0,5}{2 \cdot 10} =$$

$$\text{Se } R_2 = 10k\Omega, \quad R_1 = 0,025 \cdot 10^4 \Omega = 250\Omega \approx 0,025$$

$$V_T = \frac{V_{TSUP} + V_{TINF}}{2} = \frac{5,25 + 4,25}{2} = 5V$$

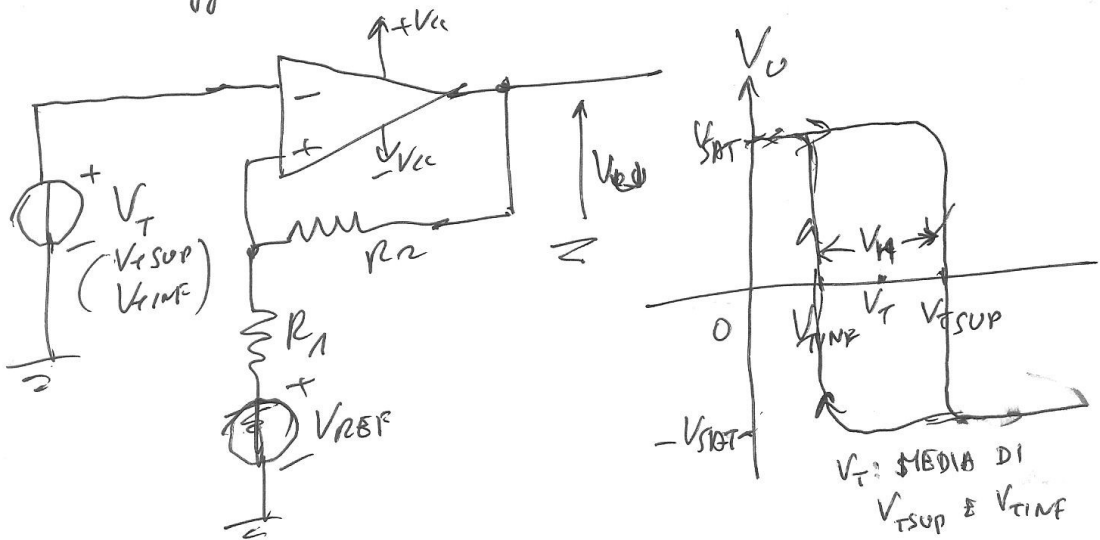
$$V_T = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$V_{REF} = \frac{V_T}{1 + \frac{R_1}{R_2}} = \frac{5}{1 + 0,025} = \frac{5}{1,025} = 4,878V$$

$$\begin{aligned} \text{Verifica:} \quad V_{TSUP} &= V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + V_{SAT} \frac{R_1}{R_2} = 4,878(1 + 0,025) + 10 \cdot 0,025 \\ &= 4,999 + 0,25 = 5,249V \end{aligned}$$

$$V_{TINF} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) - \frac{V_{SAT} R_1}{R_2} = 4,999 - 0,25 = 4,749V$$

Trigger Schmitt invertante.



Calcolo di V_{Tsup}

$$V_O = V_{SAT} ; V_+ = V_{TSUP} ; V_+ = V_{TSUP}$$

$$V_+ = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TSUP} = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

Calcolo di V_{Tinf}

$$V_O = -V_{SAT} ; V_+ = V_{TINF}$$

$$V_+ = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TINF} = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_H = V_{TSUP} - V_{TINF} = \frac{2 V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2} = \frac{2 V_{SAT}}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

ISTERESI

$$V_T = \frac{V_{TSUP} + V_{TINF}}{2} = \frac{1}{2} \frac{2 V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2}$$

Dimensões nominais

Exemplo:

$$V_H = 0,5V$$

$$\text{com } V_{SAT} = 10V$$

$$\text{e } V_{TSUP} = 5,25V \text{ e } V_{TINF} = 4,75V$$

$$V_T = \frac{V_{TSUP} + V_{TINF}}{2} = 5V$$

$$V_H = \frac{2V_{SAT}}{1 + \frac{R_2}{R_1}} ; \quad V_H + V_H \frac{R_2}{R_1} = 2V_{SAT}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2V_{SAT} - V_H}{V_H} = \frac{2 \cdot 10 - 0,5}{0,5} = \frac{19,5}{0,5} = 39$$

$$\boxed{R_1 = 1k\Omega ; R_2 = 39k\Omega}$$

$$V_T = V_{REF} \frac{R_2}{R_1 + R_2} ; \quad V_{REF} = \frac{V_T (R_1 + R_2)}{R_2}$$

$$= V_T \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 5 \left(1 + \frac{1}{39} \right) = 5 \cdot 1,02562 = 5,128V$$

Verifique:

$$V_{TSUP} = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{5,128 \cdot 39}{1 + 39} + \frac{10 \cdot 1}{1 + 39} = 4,9998 + 0,25 = 5,2498V$$

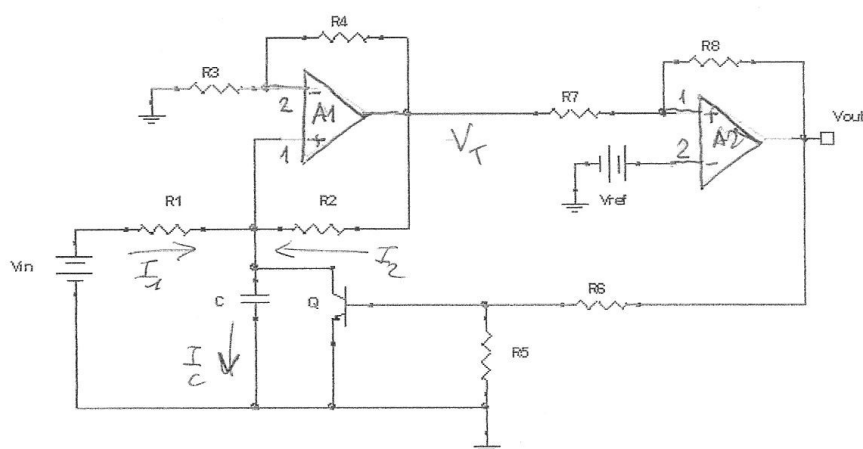
$$V_{TINF} = \frac{V_{REF} R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_{SAT} R_1}{R_1 + R_2} = 4,9998 - 0,25 = 4,7498V$$

M049 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRONICHE**Tema di:** ELETTRONICA, TELECOMUNICAZIONI E APPLICAZIONI

Il candidato, formulando eventuali ipotesi aggiuntive, dimensiona il circuito di figura:



in modo che:

- si abbia un segnale d'uscita a frequenza 500 Hz quando in ingresso viene applicato un segnale pari a 5 V.
- all'uscita del primo amplificatore si abbia un segnale triangolare con ampiezza variabile tra +3 V e +9 V.
- gli impulsi ottenuti all'uscita del secondo amplificatore abbiano durata trascurabile rispetto al periodo del segnale.

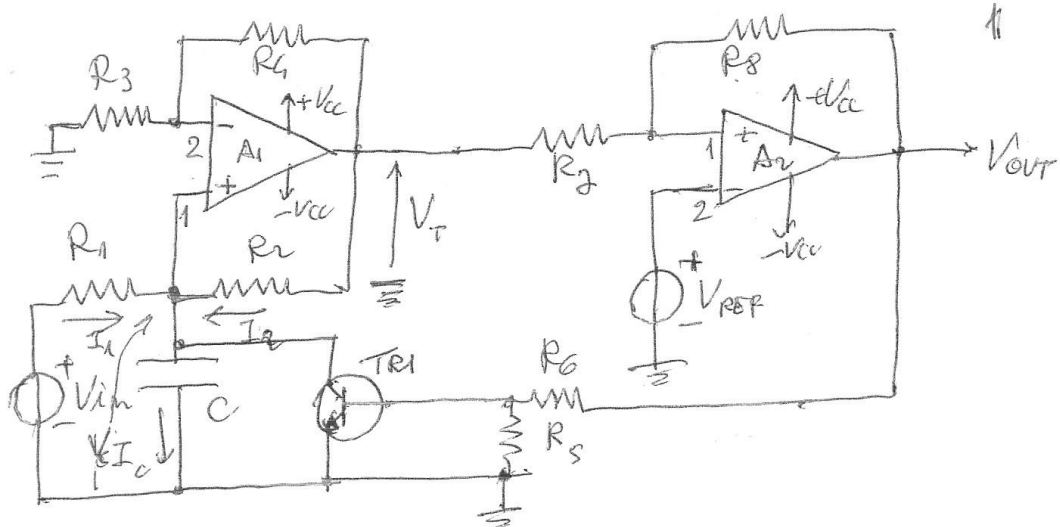
Calcoli, inoltre, i valori estremi della tensione in corrispondenza dell'ingresso non invertente del secondo amplificatore operazionale.

Si consideri $R1 = R2 = R3 = R4 = R$

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito soltanto l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

Intégrateur non inverse

$$V_F = V_T; V_T = \frac{V_T}{2}$$

$$I_C = I_1 + I_2;$$

$$I_C = I_1 + I_2 = \frac{V_{in} - V_T}{R} - \frac{V_T}{2R} + \frac{V_T}{2R} = \frac{V_{in}}{R}$$

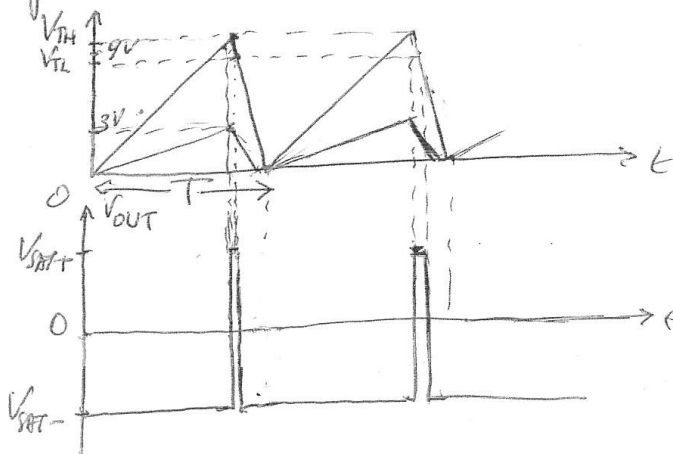
$$I_1 = \frac{V_{in} - V_T}{R} = \frac{V_{in}}{R} - \frac{V_T}{2R}$$

$$I_2 = \frac{V_T - V_T}{R} = \frac{V_T}{R} - \frac{V_T}{2R} = \frac{V_T}{2R}$$

I_C constante car V_{in} est constante

$$V_C(t) = \frac{Q}{C} = \frac{I_C t}{C} = \frac{V_{in}}{RC} t$$

voiture



si fissano le soglie di commutazione del 2° trigger Schmitt non invertente per le ampiezze di 3V e 9V
 se $\pm V_{CC} = \pm 12V$,
 $V_{SAT+} = 11V$
 $V_{SAT-} = -11V$

1° caso 3V: $V_{TH1} = 3,1V$ $V_{TL1} = 2,9V$

2° caso 9V: $V_{TH2} = 9,1V$ $V_{TL2} = 8,9V$
 soglie superiori soglie inferiori

1° caso (ampiezza di 3V)

$$V_+ = \frac{V_{TH1} R_8}{R_7 + R_8} + \frac{V_{SAT-} R_7}{R_7 + R_8}; V_+ = V_{REF1}$$

$$\begin{cases} V_{REF1} = \frac{V_{TH1} R_8}{R_7 + R_8} + \frac{V_{SAT-} R_7}{R_7 + R_8} \\ V_{REF1} = \frac{V_{TH2} R_8}{R_7 + R_8} + \frac{V_{SAT+} R_7}{R_7 + R_8} \end{cases}$$

$V_H = V_{TH1} - V_{TL1}$
 intervallo del trigger

$$\begin{cases} V_{REF1} (R_7 + R_8) = V_{TH1} R_8 + V_{SAT-} R_7 \\ V_{TH1} = \frac{V_{REF1} (R_7 + R_8)}{R_8} - V_{SAT-} \frac{R_7}{R_8} \\ V_{REF1} (R_7 + R_8) = V_{TL1} R_8 + V_{SAT+} R_7 \\ V_{TL1} = \frac{V_{REF1} (R_7 + R_8)}{R_8} - V_{SAT+} \frac{R_7}{R_8} \end{cases}$$

$$V_H = V_{TH1} - V_{TL1} = \left(V_{SAT+} - V_{SAT-} \right) \frac{R_7}{R_8}$$

Se $V_{TH} = (3,1 - 2,9)V = 0,2V$

$$\frac{R_7}{R_8} = \frac{V_H}{V_{SAT+} - V_{SAT-}} = \frac{0,2}{11 - (-11)} = \frac{0,2}{22} = 9,09 \cdot 10^{-3}$$

Se $R_8 = 10 k\Omega$
 $R_7 = 10^4 \cdot 9,09 \cdot 10^{-3} = 90,9 \Omega$

$$V_{REF1} = \frac{V_{TH1} R_8}{R_7 + R_8} + \frac{V_{SAT-} R_7}{R_7 + R_8} = \frac{3,1 \cdot 10^4}{90,9 + 10^4} - \frac{11 \cdot 90,9}{90,9 + 10^4} = 3,072 - 0,009 = 2,973V$$

2° caso
(ampiezza di
9V)

$$V_{TH2} = 9,1V$$

3

$$V_{REF2} = \frac{V_{TH2} R_8}{R_7 + R_8} + \frac{V_{SAT-} R_7}{R_7 + R_8} = \frac{9,1 \cdot 10^4}{999 + 10^4} - \frac{11 \cdot 999}{999 + 10^4} = 8,919V$$

Verifica del
valore di V_{TL2}

$$V_{REF2} \frac{(R_7 + R_8)}{R_8} - V_{REF+} \frac{R_7}{R_8} = 8,919 \left(\frac{999 + 10000}{10000} \right) - 11 \cdot \frac{999}{10000} = 9 - 0,099 = 8,901V$$

Dipendenza di RC dall'ampiezza di V_f :
Per $t = T$ ($f = 500Hz$)
 $V_{in} = 5V$ $3V \leq V_f \leq 9V$

$$V_C = V_T = 3V$$

$$V_T = \frac{V_{in} T}{RC} = \frac{V_{in}}{RCf}$$

$$RC = \frac{V_{in}}{f V_T} = \frac{5}{500 \cdot 3} = 3,33 \cdot 10^{-3} s$$

$$\text{Se } C = 100 nF, \quad R = \frac{3,33 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = 3,33 \cdot 10^4 \Omega$$

$$\text{Se } V_C = V_T = 9V \text{ si ha: } RC = \frac{5}{500 \cdot 9} = 1,11 \cdot 10^{-3} s$$

e fornito da
f. e da V_{in}

$$R = \frac{1,11 \cdot 10^{-3}}{10^{-7}} = 1,11 \cdot 10^4 \Omega$$

Generatore di onde quadre con amplificatore operazionale, $\mu A741$
(multivibratore astabile)

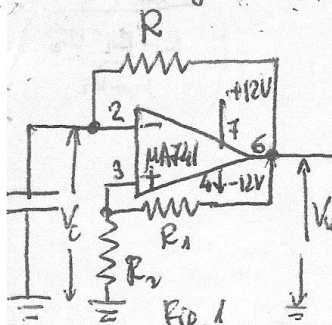


Fig. 1
 $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R = 100 \text{ k}\Omega$
 $C = 10 \text{ nF}$

Supponiamo che V_C si trovi al livello alto $V_{UH} = +12 \text{ V}$ e che V_C sia pari a $V_{SL} = \frac{V_{UL} R_2}{R_1 + R_2}$, dove V_{UL} (livello basso) $= -12 \text{ V}$ e V_{SL} è la tensione di soglia corrispondente al livello basso V_{UL} . Il condensatore C si carica verso V_{UH} secondo la legge:

$$V_C(t) = V_{SL} e^{-\frac{t}{RC}} + V_{UH} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}).$$

Il comparatore con isteresi costituito dall'amplificatore operazionale e delle reti di reazione positiva R_1, R_2 , commuta al livello basso V_{UL} quando $V_C(t)$ raggiunge il valore $V_{SH} = \frac{V_{UH} R_2}{R_1 + R_2}$, essendo V_{SH} la tensione di soglia corrispondente al livello alto. Pertanto si ha per $t = T_1$:

$$V_C(T_1) = V_{SH} = V_{SL} e^{-\frac{T_1}{RC}} + V_{UH} (1 - e^{-\frac{T_1}{RC}}),$$

$$V_{UH} - V_{SH} = (V_{UH} - V_{SL}) e^{-\frac{T_1}{RC}}, \quad e^{\frac{T_1}{RC}} (V_{UH} - V_{SH}) = V_{UH} - V_{SL}$$

$$T_1 = RC \ln \frac{V_{UH} - V_{SL}}{V_{UH} - V_{SH}} \quad \text{a partire dall'istante } t = T_1, V_C = V_{UL},$$

ed il condensatore C , carico alla tensione V_{SH} , si carica verso V_{UL} secondo la legge:

$$V_C(t) = V_{SH} e^{-\frac{t}{RC}} + V_{UL} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}).$$

Il comparatore commuta al livello alto V_{UH} quando $V_C(t)$ raggiunge il valore $V_{SL} = \frac{V_{UL} R_2}{R_1 + R_2}$.
Pertanto si ha:

$$V_C(t + T_2) = V_{SL} = V_{SH} e^{-\frac{T_2}{RC}} + V_{UL} (1 - e^{-\frac{T_2}{RC}}),$$

$$V_{UL} - V_{SL} = (V_{UL} - V_{SH}) e^{-\frac{T_2}{RC}}, \quad e^{\frac{T_2}{RC}} (V_{UL} - V_{SL}) = V_{UL} - V_{SH},$$

$$T_2 = RC \ln \frac{V_{UL} - V_{SH}}{V_{UL} - V_{SL}},$$

$$T = T_1 + T_2 = RC \left[\ln \frac{V_{UH} - V_{SL}}{V_{UH} - V_{SH}} + \ln \frac{V_{UL} - V_{SH}}{V_{UL} - V_{SL}} \right]. \quad (*)$$

Se $V_{UH} = -V_{UL}$ e $V_{SH} = -V_{SL}$ si ha:

$$T = RC \left[\ln \frac{V_{UH} + V_{SH}}{V_{UH} - V_{SH}} + \ln \frac{V_{UH} + V_{SH}}{V_{UH} - V_{SH}} \right] = 2RC \ln \left(\frac{V_{UH} + V_{SH}}{V_{UH} - V_{SH}} \right)$$

$$(*) \frac{V_{UL} - V_{SH}}{V_{UL} - V_{SL}} = \frac{-V_{UH} - V_{SH}}{-V_{UH} + V_{SH}} = \frac{V_{UH} + V_{SH}}{V_{UH} - V_{SH}}$$

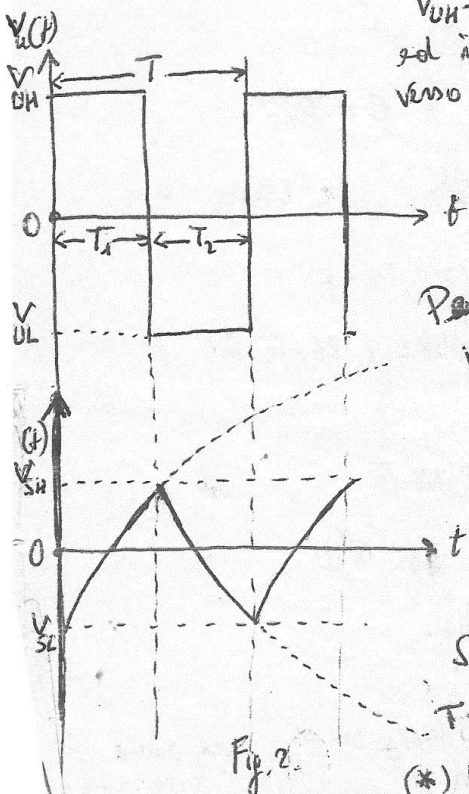


Fig. 2.

$$T = 2RC \ln \left(\frac{1 + \frac{V_{SH}}{V_{UH}}}{1 - \frac{V_{SH}}{V_{UH}}} \right) = 2RC \ln \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2}} \right) = 2RC \ln \left(\frac{\frac{R_1 + R_2 + R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 + R_2 - R_2}{R_1 + R_2}} \right)$$

$$= 2RC \ln \left(\frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right) = 2RC \ln \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Se $R_1 = R_2$ $T = 2RC \ln 3 = 2,197 RC$ $f = \frac{1}{2,197 RC} = \frac{0,455}{RC}$

Se $R = 100 k\Omega$ $C = 10 nF$ $R_1 = R_2 = 10 k\Omega$.

$$T = 2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} \ln(1 + 2) = 2 \cdot 10^{-3} \ln 3 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,098 = 2,196 \cdot 10^{-3} \text{ sec.}$$

$$f = \frac{1}{T} = \underline{455 \text{ Hz}}$$

Se $R = 100 k\Omega$ $C = 1 nF$

$$T = 2,196 \cdot 10^{-4} \text{ sec} \quad f = 4550 \text{ Hz} = 4,55 \text{ kHz}$$

Se $R = 10 k\Omega$ $C = 1 nF$

$$T = 2,196 \cdot 10^{-5} \text{ sec} \quad f = 45500 \text{ Hz} = 45,5 \text{ kHz.}$$

Se $R_1 = R_2 = 10 k\Omega$ & $R = 10 k\Omega$ & $C = 100 nF$

$$T = 2 \cdot 10^4 \cdot 10^{-7} \ln 3 = 2 \cdot 10^{-3} \ln 3 = 2,196 \cdot 10^{-3} \text{ s.} \rightarrow f = 455 \text{ Hz}$$

Se $R_1 = R_2 = 10 k\Omega$, $R = 10 k\Omega$ & $C = 10 nF$

$$T = 2 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8} \ln 3 = 2 \cdot 10^{-4} \ln 3 = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,098 = 2,196 \cdot 10^{-4} \text{ sec.}$$

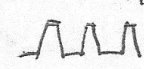
$$f = \frac{1}{T} = 4,55 \text{ kHz}$$

Se $R_1 = R_2 = 2,2 k\Omega$ & $R = 2,2 k\Omega$ & $C = 100 nF$

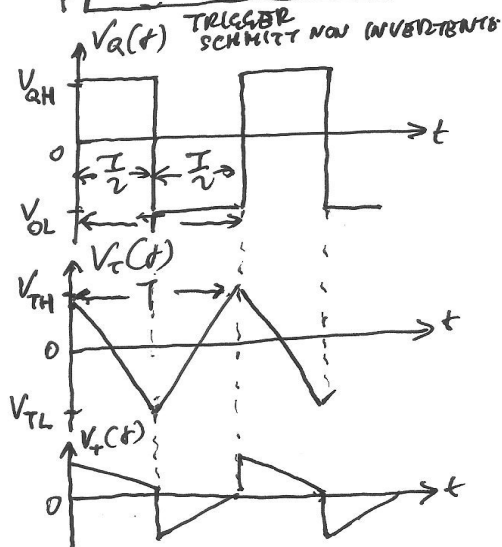
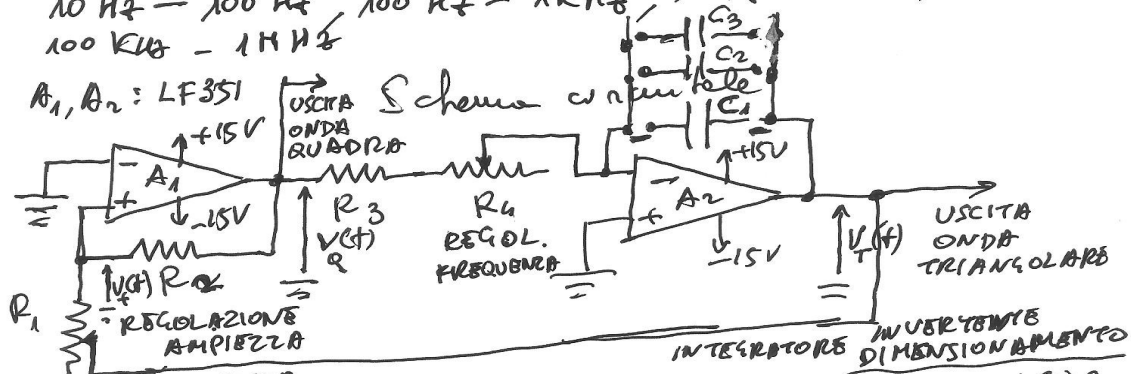
$$T = 2 \cdot 2,2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-7} \ln 3 = 4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1,098 = 4,83 \cdot 10^{-4} \text{ sec.}$$

$$f = \frac{1}{T} = 2,07 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 2 \text{ kHz.}$$

Se $C = 120 pF$ & $R = 100 k\Omega$

$f \approx 15 \text{ kHz} > f_p$ (on some
slew rate


Progettare un generatore di onde triangolari¹ e quadre che fornisca un'onda triangolare con valore di picco di $\pm 7V$ ($V_{TP} = \pm 7V$) ed un'onda quadra con ampiezza di $14V$, supponendo di disporre di un'alimentazione duale di $\pm 15V$ e di amplificatori operazionali con caratteristiche ideali e tensione di saturazione $\pm 15V$ e $\pm 14V$. Le frequenze di frequenza richieste, selezionabili mediante un commutatore rotativo, sono: $0.1Hz - 1Hz$, $1Hz - 10Hz$, $10Hz - 100Hz$, $100Hz - 1kHz$, $1kHz - 10kHz$, $10kHz - 100kHz$, $100kHz - 1MHz$.



$$V_+(t) = \frac{V_Q(t) R_1}{R_1 + R_2} + \frac{V_T(t) R_2}{R_1 + R_2}$$

Nell'intervallo $0 \leftrightarrow \frac{T}{2}$ si ha:

$$V_Q = V_{QH} = V_{SAT} = 14V$$

Le commutazioni del trigger si verificano quando $V_+(t) = 0$ e $V_Q(t) = V_{TL}$:

$$0 = \frac{V_{QH} R_1}{R_1 + R_2} + \frac{V_{TL} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TL} = - \frac{V_{QH} R_1}{R_2}$$

Nell'intervallo $\frac{T}{2} \leftrightarrow T$ si ha:

$$V_Q(t) = V_{QL} = -V_{SAT} = -14V$$

La commutazione del trigger si verifica quando $V_T(t) = 0$ e $V_T(t) = V_{TH}$:

$$0 = \frac{V_{QL} R_1}{R_1 + R_2} + \frac{V_{TH} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TH} = -V_{QL} \frac{R_1}{R_2}$$

L'ampiezza dell'onda triangolare si regola con il trimmer R_1 .

Se si sceglie il valore di 10 k Ω per R_2 , si ha:

$$V_{THMIN} = 0 \quad \text{quando } R_1 = 0 \quad (\text{trimmer escluso})$$

$$V_{THMAX} = V_{QH} = |V_{QL}| = 14V \quad \text{quando } R_1 = R_2 = 10k\Omega \quad (\text{trimmer tutto inserito})$$

Si utilizza pertanto per R_1 un trimmer da 10 k Ω .

I componenti da cui dipende la frequenza sono: R_3 , R_4 e C (selezionabile con un commutatore).

Nell'intervallo $0 \leftrightarrow \frac{T}{2}$, essendo $V_{QH} = V_{SAT}$ la tensione applicata all'ingresso dell'integratore invertente, si ha:

$$V_T(t) = V_{TH} - \frac{V_{QH} t}{RC};$$

Per $t = \frac{T}{2}$ $V_T(\frac{T}{2}) = V_{TL}$, si ha:

$$V_{TL} = V_{TH} - \frac{V_{QH} T}{2RC}; \quad V_{TH} - V_{TL} = \frac{V_{QH} T}{2RC}$$

$$T = 2RC \left(\frac{V_{TH} - V_{TL}}{V_{QH}} \right), \text{ dove}$$

$$R = R_3 + R_4$$

Sostituendo le espressioni ottenute in precedenza per V_{TH} e V_{TL} si ha:

$$\begin{pmatrix} V_{TH} = -V_{QL} \frac{R_1}{R_2} \\ V_{TL} = -V_{QH} \frac{R_1}{R_2} \end{pmatrix} \quad T = 2RC \frac{-V_{QL} \frac{R_1}{R_2} + V_{QH} \frac{R_1}{R_2}}{V_{QH}};$$

Essendo $V_{QH} = -V_{QL} = V_{SAT} = 14V$, si ha:

$$T = 2RC \frac{V_{SAT} \frac{R_1}{R_2} + V_{SAT} \frac{R_1}{R_2}}{V_{SAT}} = 2RC \cdot 2 \frac{R_1}{R_2}$$

$$T = 4RC \frac{R_1}{R_2}$$

Poiché il periodo dipende dal rapporto $\frac{R_1}{R_2}$, se si fissa a $\frac{1}{2}$ il rapporto $\frac{R_1}{R_2}$, ottenendo un'onda triangolare con ampiezza fissa pari alle metà dell'ampiezza dell'onda quadra ($V_{TH} = -V_{TL} = \frac{V_{QH}}{2} = \frac{V_{SAT}}{2} = 7V$), si ottiene.

$$T = 4RC \cdot \frac{1}{2} = 2RC = 2(R_3 + R_4)C$$

Tenendo presente che, per ciascuna pendenza di frequenza, la frequenza minima è un decimo della frequenza massima, si ha:

$$T_{min} = 2R_3C \quad (R_4 \text{ è escluso})$$

$$T_{max} = 2(R_3 + R_4)C \quad (R_4 \text{ è tutto incluso})$$

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{\frac{1}{T_{min}}}{\frac{1}{T_{max}}} = \frac{T_{max}}{T_{min}} = \frac{2(R_3 + R_4)C}{2R_3C} = \frac{R_3 + R_4}{R_3} = 10$$

Se si sceglie per R_4 un trimmer da $10k\Omega$,
 si ottiene il valore di R_3 :

$$R_3 + R_4 = 10 R_3$$

$$9 R_3 = R_4; \quad R_3 = \frac{R_4}{9} = \frac{10000}{9} = 1111,111 \Omega$$

Calcolo dei valori di capacitori:

1^a gamma: $0,1 \text{ Hz} - 1 \text{ Hz}$.

$$T_{\min} = \frac{1}{f_{\max}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ s}$$

Condensatore C_1 :

$$T = 2 R_3 C_1$$

$$C_1 = \frac{T_{\min}}{2 R_3} = \frac{1}{2 \cdot 1111,111} =$$

oppure:

$$T_{\max} = \frac{1}{f_{\min}} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ s}$$

$$4,5 \cdot 10^{-4} \text{ F} = 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \mu\text{F} = 450 \mu\text{F}$$

$$T_{\max} = \frac{2(R_3 + R_4)}{C_1}; \quad C_1 = \frac{T_{\max}}{2(R_3 + R_4)} = \frac{10}{2 \cdot (1111,111 + 10000)} = \frac{10}{2 \cdot 11111,111} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ F} = 450 \mu\text{F}$$

- 2^a gamma: $1 \text{ Hz} - 10 \text{ Hz}$.

$$\text{Condensatore } C_2 = 0,1 C_1 = 45 \mu\text{F}$$

- 3^a gamma: $10 \text{ Hz} - 100 \text{ Hz}$

$$\text{Condensatore } C_3 = 0,1 C_2 = 4,5 \mu\text{F}$$

- 4^a gamma: $100 \text{ Hz} - 1 \text{ kHz}$;

$$\text{Condensatore } C_4 = 0,1 C_3 = 0,45 \mu\text{F}$$

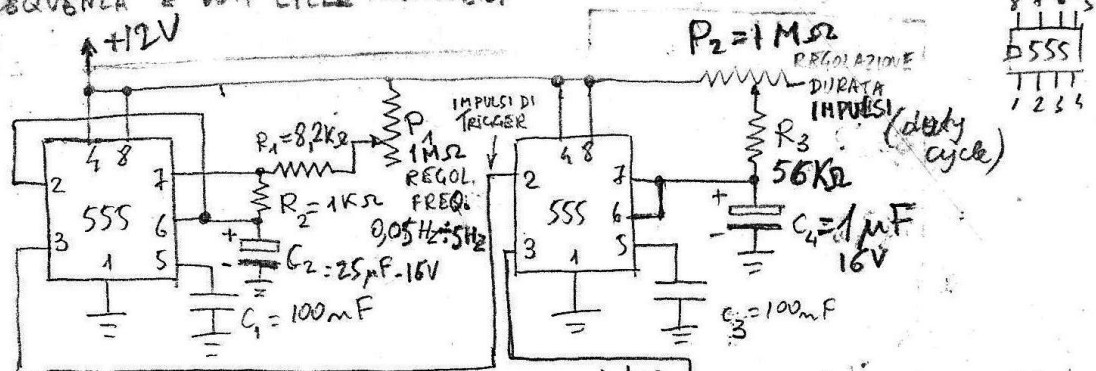
- 5^a gamma: $1 \text{ kHz} - 10 \text{ kHz}$.

$$\text{Condensatore } C_5 = 0,1 C_4 = 0,045 \mu\text{F} = 45 \text{ nF}$$

- 6^a gamma: $10 \text{ kHz} - 100 \text{ kHz}$.

$$\text{Condensatore } C_6 = 0,1 C_5 = 4,5 \text{ nF} \quad \left| \begin{array}{l} 7^{\text{a}} \text{ gamma: } 100 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz} \\ C_7 = 0,1 C_6 = 0,45 \text{ nF} = 450 \text{ pF} \end{array} \right.$$

GENERATORE DI IMPULSI (REALIZZATO CON INTEGRATI 555) CON FREQUENZA E DUTY CYCLE VARIABILI



$$f_{MIN} = \frac{1}{T_{MAX}}$$

$$f_{MIN} = \frac{1}{0,693 (R_1 + P_{1MAX} + 2R_2) C_2}$$

$$f_{MAX} = \frac{1}{0,693 (R_1 + 2R_2) C_2}$$

CON P_1 ESCLUSO
(CURSORE IN CONTATTO
CON IL POLO POSITIVO)

$$T_{1MAX} = 0,693 (R_1 + 2R_2) C_2$$

$$0,05Hz \leq f \leq 5Hz$$

$$\text{duty cycle} = \frac{T_F}{T}$$

Progetto stabile

$$\frac{f_{MAX}}{f_{MIN}} = \frac{R_1 + P_{1MAX} + 2R_2}{R_1 + 2R_2} = \frac{5}{0,05} = 100$$

$$R_1 + P_{1MAX} + 2R_2 = 100 R_1 + 200 R_2$$

$$P_{1MAX} = 99 R_1 + 198 R_2$$

Se si pone $R_2 = 1K\Omega$ $P_{1MAX} = 1M\Omega$, si ha:

$$R_1 = \frac{P_{1MAX} - 198 R_2}{99} = \frac{10^6 - 198 \cdot 10^3}{99} = \frac{8,02 \cdot 10^5}{99} = 8,1 \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_1 = 8,2K\Omega$$

$$T_{1MAX} = \frac{1}{f_{MIN}} = \frac{1}{0,05} = 20s$$

$$C_2 = \frac{T_{1MAX}}{0,693 (R_1 + P_{1MAX} + 2R_2)} = \frac{20}{0,693 (8,2 \cdot 10^3 + 10^6 + 2 \cdot 10^3)} = \frac{20}{0,693 \cdot 101 \cdot 10^3} = 2,857 \cdot 10^{-5} F$$

$$= 28,57 \mu F$$

1 condens. elettrolitico da
25µF - 16V

Progetto monostabile

$$T_I = T_{\text{ON}} \rightarrow 0,1 \text{ s} \div 2 \text{ s}$$

$$T_{I \text{ MAX}} = 1,1 (R_3 + P_{2 \text{ MAX}}) C_4 = 2 \text{ s}$$

$$T_{I \text{ MIN}} = 1,1 R_3 C_4 = 0,1 \text{ s} \quad (P_2^{\text{CON}} \text{ escluso})$$

$$\frac{T_{I \text{ MAX}}}{T_{I \text{ MIN}}} = \frac{R_3 + P_{2 \text{ MAX}}}{R_3} = \frac{2}{0,1} = 20$$

$$R_3 + P_{2 \text{ MAX}} = 20 R_3$$

$$P_{2 \text{ MAX}} = 19 R_3$$

Se si pone $P_{2 \text{ MAX}} = 1 \text{ M}\Omega$, si ha:

$$R_3 = \frac{P_{2 \text{ MAX}}}{19} = \frac{10^6}{19} = 5,26 \cdot 10^4 \Omega$$

Si sceglie

$$R_3 = 56 \text{ k}\Omega$$

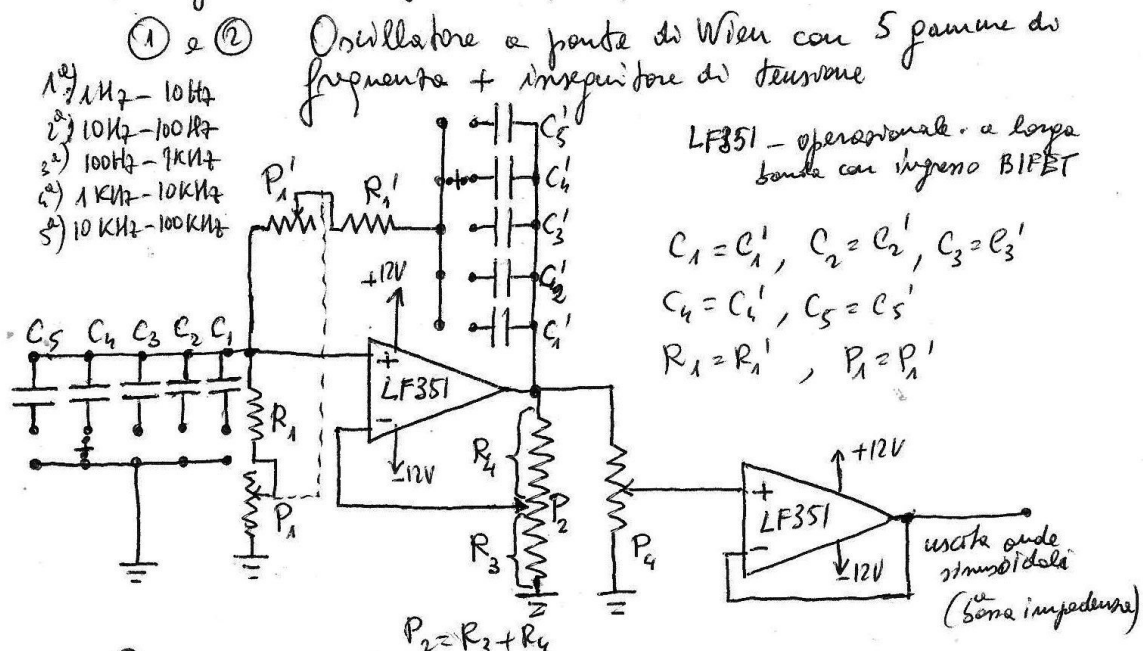
$$C_4 = \frac{T_{I \text{ MAX}}}{1,1 (R_3 + P_{2 \text{ MAX}})} = \frac{2}{1,1 (56 \cdot 10^3 + 10^6)} = \frac{2}{1,161 \cdot 10^6} = 1,722 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 1,722 \mu\text{F}$$

Se si sceglie $C_4 = 1 \mu\text{F} - 16 \text{ V}$,

$$T_{I \text{ MAX}} = 1,16 \text{ s}$$

$$T_{I \text{ MIN}} = 60 \text{ ms}$$

Progetto dei singoli blocchi



Si pone $P_1 = P_1' = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_{AT} = R_1 + P_1, R_{AT}' = R_1' + P_1', R_{AT \text{ MAX}} = R_1 + P_1, R_{AT \text{ MIN}} = R_1$$

Si determina R_1 : $R_{AT \text{ MIN}} = \frac{1}{10} R_{AT \text{ MAX}}$ (per avere in ciascuna gamma una variazione di frequenza tale da $\frac{\Delta f}{f} \approx 10\%$)

1^a gamma 1 Hz - 10 Hz

$$R_1 \left(1 - \frac{1}{10}\right) = \frac{P_1}{10}, R_1 \frac{9}{10} = \frac{P_1}{10}, R_1 = \frac{P_1}{9} = \frac{10000}{9} = 1111 \Omega$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi R_{AT \text{ MAX}} f_{1 \text{ MIN}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 11.111 \cdot 1} = 1.43 \cdot 10^{-5} \text{ F} \rightarrow 14.3 \cdot 10^{-6} \text{ F} \rightarrow 15 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 1.5 \mu\text{F} \text{ (gamma 10 Hz - 100 Hz)}, C_3 = 0.15 \mu\text{F} = 150 \text{ nF} \text{ (gamma 100 Hz - 1 kHz)}$$

$$C_4 = 0.015 \mu\text{F} = 15 \text{ nF} \text{ (gamma 1 kHz - 10 kHz)}, C_5 = 0.0015 \mu\text{F} = 1.5 \text{ nF} \text{ (gamma 10 kHz - 100 kHz)}$$

$$\beta = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \approx \frac{1}{3} \text{ per l'equilibrio del ponte.}$$

Si pone $R_3 + R_4 = 10 \text{ k}\Omega \rightarrow P_2$

$P_4 = 1 \text{ k}\Omega$