

## ESERCIZI NON SVOLTI

Qui di seguito vengono riportati più di trenta esercizi di progetto del front-end analogico di sistemi biomedicali, molti dei quali ispirati da strumenti commercialmente disponibili. Sebbene le specifiche di progetto possano variare significativamente tra i diversi esercizi proposti, la soluzione degli stessi deve essere ispirata dalle metodologie di progetto utilizzate per svolgere gli esercizi riportati nella sezione "Esercizi Svolti" di questo volume.

## ESERCIZIO 1

Un'azienda che produce dispositivi biomedicali indossabili vuole implementare uno smart-glove come ausilio alle terapie riabilitative rivolte al recupero funzionale delle dita, stimolandone, ad esempio, l'escursione articolare (Range Of Movement, ROM).

Nello specifico, il guanto aiuta il paziente a compiere l'esercizio di estensione delle dita, che prevede il raggiungimento della massima estensione possibile ed il mantenimento della suddetta posizione per un tempo non inferiore a 30 s. A tal fine il guanto è munito di estensimetri polimerici (EP) posti a cavallo di ciascuno dei nodi articolari che collegano due segmenti consecutivi del dito. Una rotazione tra due segmenti consecutivi provoca un allungamento del relativo EP con conseguente variazione della sua resistenza elettrica  $R_{EP}$ . Tramite gli EP è quindi possibile valutare, attraverso la misura degli angoli di rotazione tra i segmenti delle dita, l'estensione raggiungibile da ciascun dito della mano. Il guanto è collegato ad una fascia elastica, da posizionare sull'avambraccio, che contiene le batterie flessibili e l'elettronica necessaria alla gestione dello smart-glove.

Si progetti e dimensiona, secondo la divisione in moduli suggerita, un sistema elettronico che gestisca uno degli EP presenti nello smart-glove. In particolare, il sistema elettronico deve fornire in uscita la tensione  $V_{EP}$

proporzionale all'angolo di rotazione tra i corrispettivi segmenti del dito, deve gestire l'inizio dell'esercizio riabilitativo ed infine deve segnalare il raggiungimento dell'obiettivo accendendo una striscia di LED presenti su ciascun dito del guanto.

✓ **Modulo X:** circuito che fornisce in uscita una tensione  $V_{EP}$  proporzionale alla variazione di resistenza dell'EP, rispetto a quella di riposo  $R_{EP0}$ , sapendo che  $R_{EP} = R_{EP0} \cdot [1 + K \cdot (L - L_0)]$ , essendo  $R_{EP0} = 50 \text{ k}\Omega$ ,  $K = 0,2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $L$  lunghezza dell'EP ed  $L_0 = 1,5 \text{ cm}$  lunghezza di riposo dell'EP. La lunghezza dell'EP può assumere valori compresi nell'intervallo  $[1,5; 2,0] \text{ cm}$ .

✓ **Modulo Y:** circuito che ricevendo in ingresso la tensione  $V_{EP}$ , la trasferisce ai moduli a valle solo quando l'esercizio riabilitativo ha inizio. A tal fine è integrato sulla punta del pollice un tasto normalmente aperto che si chiude quando si preme il pollice su una superficie. L'inizio dell'esercizio riabilitativo è segnalato dalla pressione del pollice sulla superficie per un tempo superiore a 3 s.

✓ **Modulo Z:** circuito che a partire dalla tensione  $V_{EP}$  in uscita dal Modulo Y fornisce in uscita la tensione  $V_{Ang}$  sapendo che l'angolo di rotazione  $Ang$  tra due segmenti consecutivi si può esprimere in funzione della variazione di resistenza del relativo EP secondo la relazione:

$$\rightarrow Ang = A(R_{EP} - R_{EP0})^2 + B(R_{EP} - R_{EP0})$$

essendo  $A = -3,6 \cdot 10^{-6} \text{ deg}/\Omega^2$  e  $B = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ deg}/\Omega$ . L'angolo di rotazione  $Ang$  può assumere valori compresi nell'intervallo  $[0; 90] \text{ deg}$ .

✓ **Modulo W:** circuito che a partire dalla tensione  $V_{Ang}$  accende una striscia di 5 LED ( $V_{LED} = 1,8 \text{ V}$  ed  $I_{LED} = 5 \text{ mA}$ ) collegati in parallelo, quando l'angolo risulta stabile per un tempo superiore a 30 s.

Si hanno a disposizione: AD620, OP07, AD835 ed una linea di alimentazione a batterie DC a  $\pm 15 \text{ V}$ , oltre a componenti attivi e passivi elementari.

$$X) \quad V_{EP} = V_{EP}(R_{EP})$$

$$R_{EP} = R_{EP0} [1 + K(L - L_0)]$$

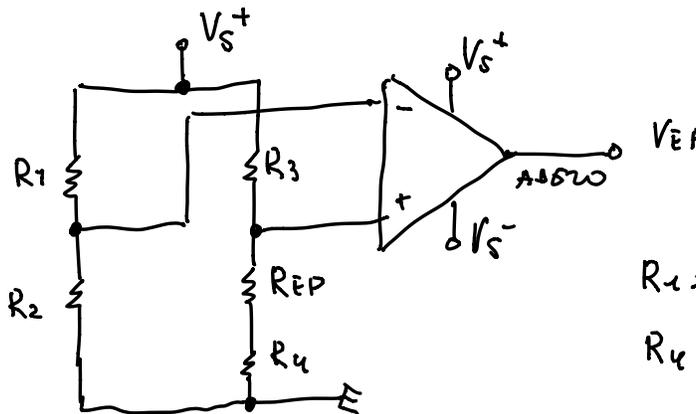
$$R_{EP0} = 50 \text{ k}\Omega$$

$$K = 0,2 \text{ cm}^{-1}$$

$$L_0 = 1,5 \text{ cm}$$

$$L \in [1,5; 2] \text{ cm}$$

$$V_S = \pm 15 \text{ V}$$



$$R_1 = R_2 = R_3 = 500 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 450 \text{ k}\Omega$$

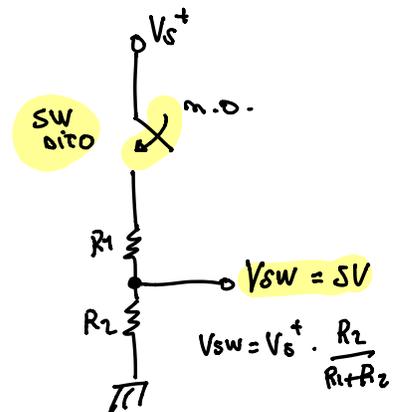
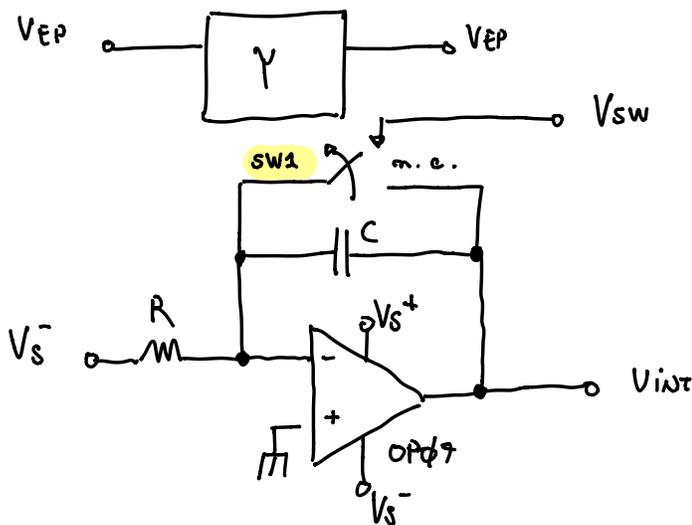
$$V_{EP} = A_d \cdot \frac{V_s^+}{4} \cdot \frac{R_{EP0}}{R_{EP0} + R_4} \cdot k(L - L_0)$$

$$= \alpha \cdot (L - L_0) \quad , \quad [\alpha] = V/cm$$

$$A_d = 325$$

$$V_{EP} \in [\phi; 12, 2] V \quad , \quad L \in [4, 5 \div 2] cm$$

Y)



$$V_{INT}(t) = -\frac{1}{RC} \int_{\phi}^T U_{in}(t) dt = -\frac{1}{RC} \cdot V_s^- \cdot T = \frac{1}{RC} \cdot V_s^+ \cdot T$$

$$V_{INT}(t=3s) = \frac{1}{RC} \cdot V_s^+ \cdot 3s$$

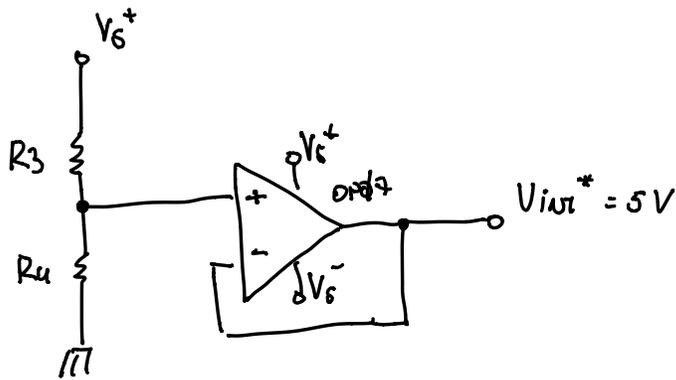
↑  
15V

$$V_s^+ = -1 \cdot V_s^-$$

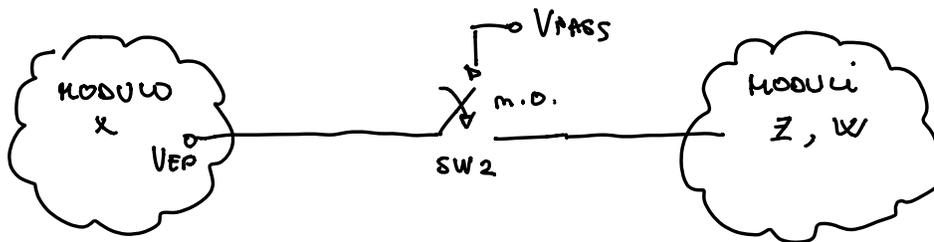
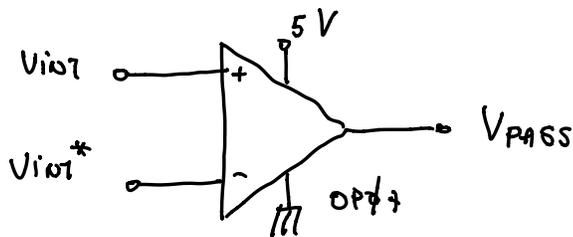
$$\Rightarrow V_{INT}(t=3s) = 5V$$

$$\Rightarrow RC = V_s^+ \cdot \frac{3s}{5V} = 9s$$

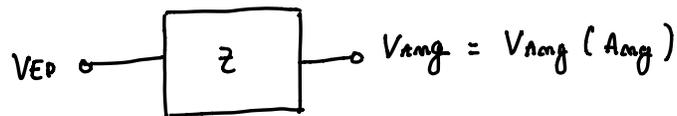
$$C = 470 \mu F, \quad R = 19,148 M\Omega$$



$$V_{int}^* = V_s^+ \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$



2)



$$A_{Ang} = A \cdot (R_{EP} - R_{EP0})^2 + B \cdot (R_{EP} - R_{EP0})$$

$$A = -3.6 \cdot 10^{-6} \text{ } / \Omega^2$$

$$B = 3.6 \cdot 10^{-2} \text{ } / \Omega$$

$$A_{Ang} \in [\varphi \div 90]$$

$$R_{EP} = R_{EP0} [1 + K(L - L_0)]$$

$$R_{EP} - R_{EP0} = R_{EP0} \cdot K(L - L_0)$$

$$V_{EP} = A_d \cdot \frac{V_S^+}{4} \cdot \frac{R_{EP0}}{R_{EP0} + R_u} \cdot K(L - L_0)$$

$$= A_d \cdot \frac{V_S^+}{4} \cdot \frac{1}{R_{EP0} + R_u} \cdot (R_{EP} - R_{EP0})$$

$$= \beta \cdot (R_{EP} - R_{EP0})$$

$$\beta = A_d \cdot \frac{V_S^+}{4} \cdot \frac{1}{R_{EP0} + R_u}$$

$$= 2.4378 \cdot 10^{-3} \text{ V}/\Omega$$

$$R_{EP} - R_{EP0} = \frac{V_{EP}}{\beta}$$

$$\rightarrow A_{mg} = A \cdot \left(\frac{V_{EP}}{\beta}\right)^2 + B \cdot \frac{V_{EP}}{\beta} = \frac{A}{\beta^2} \cdot V_{EP}^2 + \frac{B}{\beta} \cdot V_{EP}$$

$$\left[\frac{A}{\beta^2}\right] = \frac{1/\Omega^2}{V^2/\Omega^2} = 1/V^2$$

$$\left[\frac{B}{\beta}\right] = \frac{1/\Omega}{V/\Omega} = 1/V$$

$$\Rightarrow V_{A_{mg}} = \zeta \cdot A_{mg} \quad [\zeta] = 1/V$$

$$= \zeta \cdot \frac{A}{\beta^2} \cdot V_{EP}^2 + \zeta \cdot \frac{B}{\beta} \cdot V_{EP}$$

$$A_{mg} \in [\phi = 90]^\circ$$

$$V_{A_{mg} \text{ max}} = V_{A_{mg}} \Big|_{A_{mg} = 90^\circ} = 9 \text{ V}$$

← LO IMPOSTO IO DESIGNER DEL CIRCUITO X PRODOTTO!

$$A_{mg} = A \cdot (R_{EP} - R_{EP0})^2 + B \cdot (R_{EP} - R_{EP0})$$

$$R_{EP} - R_{EP0} = x$$

$$\rightarrow A_{mg} = A \cdot x^2 + Bx$$

$$Ax^2 + Bx - A_{mg} = \phi$$

$$\rightarrow x_{1/2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4A A_{mg}}}{2 \cdot A}$$

$$A_{mg} = \phi \Rightarrow x_{1/2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2}}{2A} = \frac{-B \pm B}{2A}$$

$\nearrow \frac{-B+B}{2A} = \phi \Omega$   
 $\searrow \frac{-B-B}{2A} = -\frac{B}{A} = 10 K\Omega$

$$R_{EP} - R_{EP0} = \phi \Omega \Rightarrow A_{mg} = \phi$$

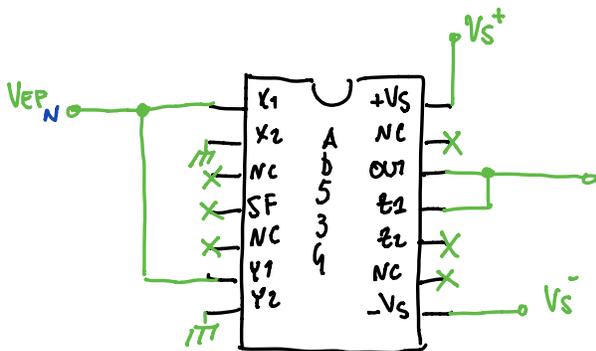
$$A_{mg} = 90 \Rightarrow x_{1/2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4A \cdot A_{mg}}}{2A} = -\frac{B}{2A} = 5 K\Omega$$

$$R_{EP} - R_{EP0} = 5 K\Omega \Rightarrow A_{mg} = 90$$

$$V_{A_{mg}} = G \cdot \frac{A}{\beta^2} \cdot V_{EP}^2 + G \cdot \frac{B}{\beta} \cdot V_{EP}$$

→ Generare  $V_{EP}^2$  partendo da  $V_{EP}$ .

★ UTILIZZIAMO UN MOLTIPLICAZORE ⇒ AD534.



$$V_{MUX} = \frac{V_{EP} \cdot V_{EP_N}}{SF}, \quad SF = 10 V$$

$$= \frac{V_{EP_N}^2}{SF}$$

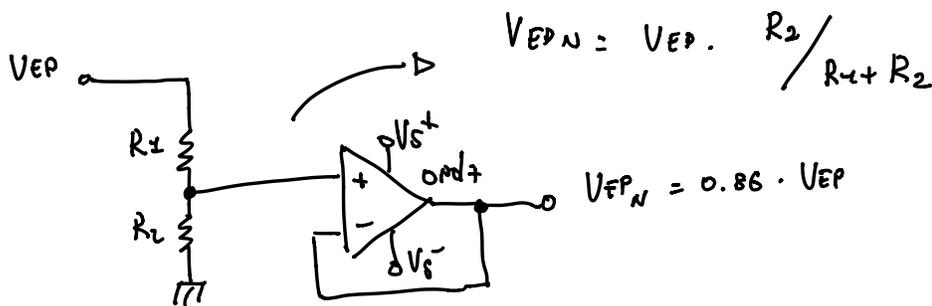
$$V_{EP} \in [0; 12,1875] \text{ V} \Rightarrow V_{MUX} \in [0; 14,8535] \text{ V}$$

\*) CONDIZIONE SU  $V_{MUX}$

$$V_{MUX} \in [-11; 11] \text{ V}$$

$$V_{MUX_{MAX}} = 11 \text{ V} \Rightarrow V_{EP_{MAX}} = \sqrt{V_{MUX} \cdot SF} = 10,49 \text{ V} < 12,1875 \text{ V}$$

$$\frac{10,49 \text{ V}}{12,1875 \text{ V}} = 0,86$$



$$V_{EP} = \beta \cdot (R_{EP} - R_{EP0}) \Rightarrow V_{EP_N} = \beta_N \cdot (R_{EP} - R_{EP0})$$

$$\beta_N = \beta \cdot 0,86 = 2,09625 \cdot 10^{-3} \text{ V}/2$$

● Aggiornamento A0534

$$V_{Amq} = \epsilon \cdot \frac{A}{\beta^2} \cdot V_{EP}^2 + \epsilon \cdot \frac{B}{\beta} \cdot V_{EP}$$

$$V_{MUX} = \frac{V_{EP_N}^2}{SF}$$

$$\Rightarrow V_{Amq} = \epsilon \cdot \frac{A}{\beta_N^2} \cdot \frac{V_{EP_N}^2}{SF} + \epsilon \cdot \frac{B}{\beta_N} \cdot V_{EP_N}$$

LA PRESENZA DI SF CAMBIA LA F.D.Z.

Aggiungo un fattore  $\frac{1}{SF}$  anche al termine  $V_{EP}$ :

$$V_{Ang} = \xi \cdot \frac{A}{\beta_N^2} \cdot \frac{1}{SF} \cdot V_{EPN}^2 + \xi \cdot \frac{B}{\beta_N} \cdot \frac{1}{SF} \cdot V_{EPN}$$

$$V_{Ang} = 9V \quad \text{se} \quad A_{ng} = 90'$$

$$A_{ng} = 90' \Rightarrow V_{EPN} = 10.49V$$

$$A = -3.6 \cdot 10^6 \cdot 1/\Omega^2$$

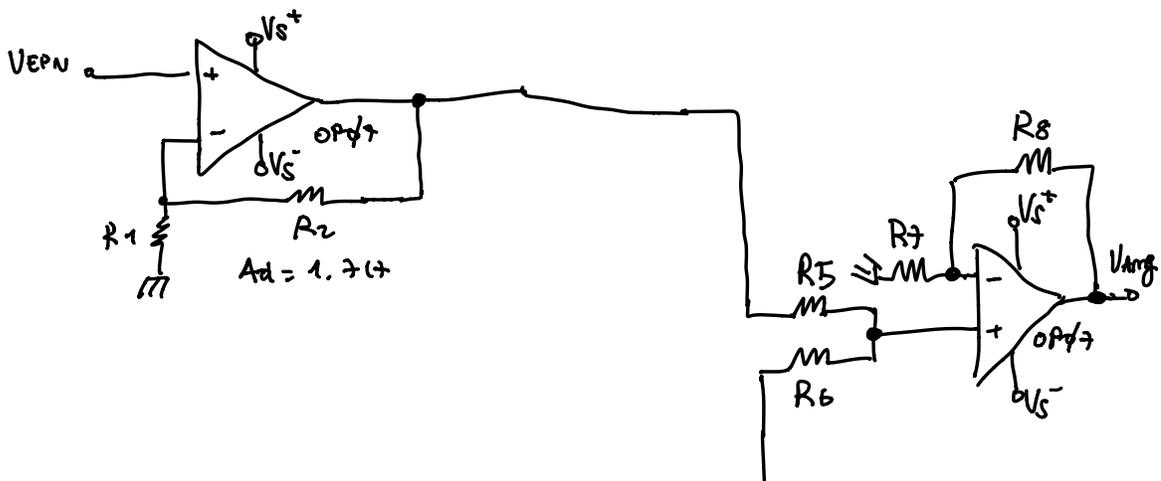
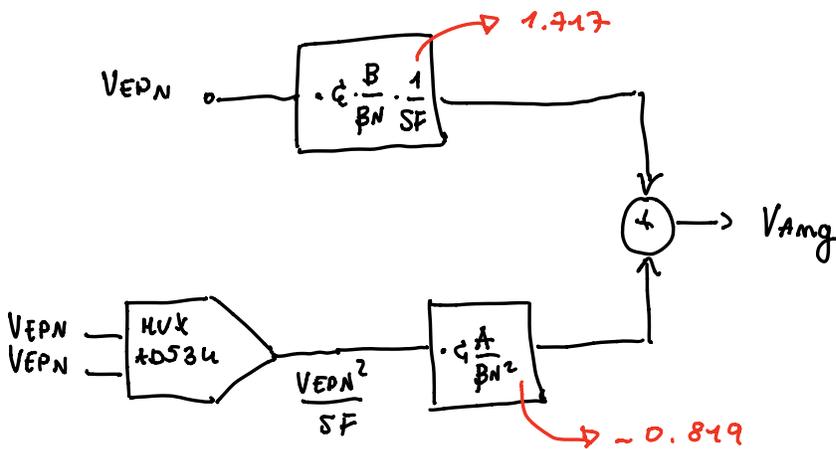
$$B = 3.6 \cdot 10^2 \cdot 1/\Omega$$

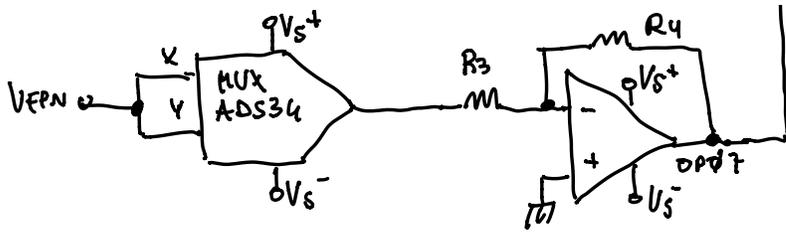
$$SF = 10$$

$$\beta_N = 2.09625 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\Omega$$

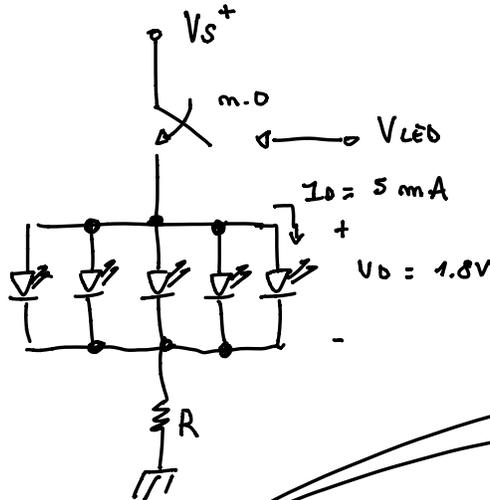
→ QUESTI NUMERI  
CI CONSENTONO DI  
DIMENSIONARE  $\xi$ .

$$\xi = 1 \cdot 1/\Omega$$





w)

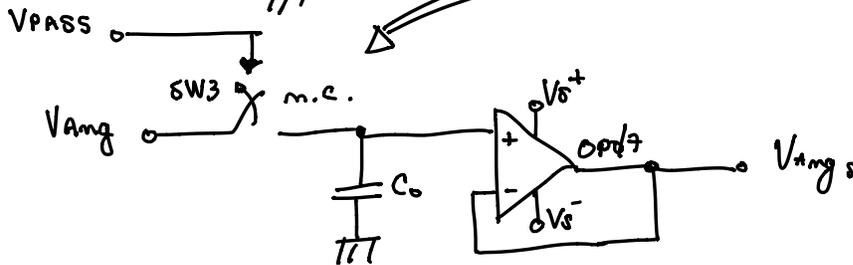


$$-V_S^+ + V_D + R \cdot I_D \cdot s = 0$$

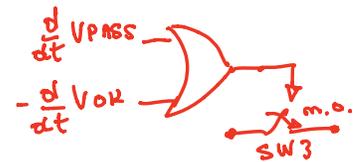
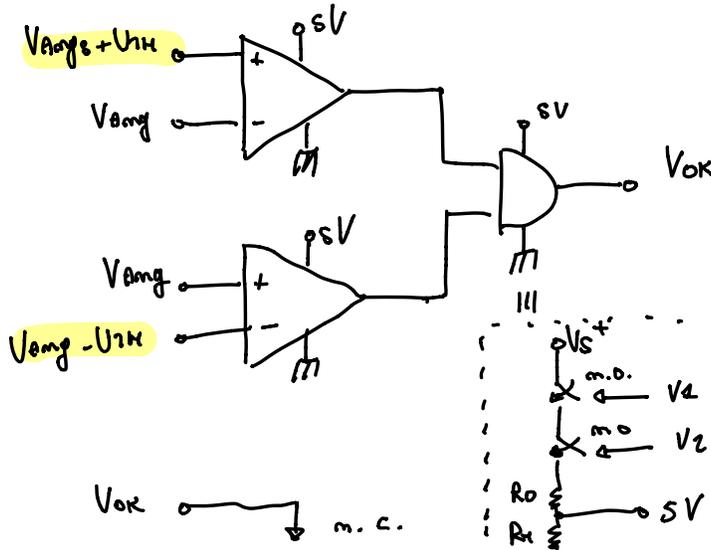
$\uparrow$  15V       $\uparrow$  1.8V       $\uparrow$  5 mA

$$R = 528 \Omega$$

SW3 deve compianare in funzione di  $V_{PASS}$  e  $V_{OK}$ .



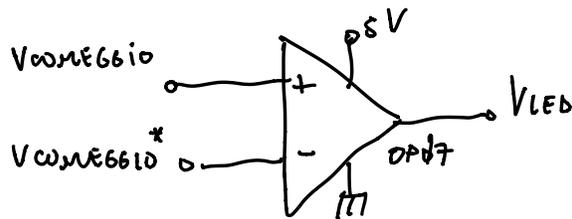
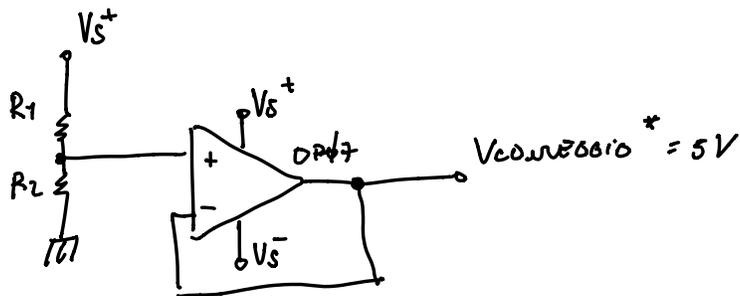
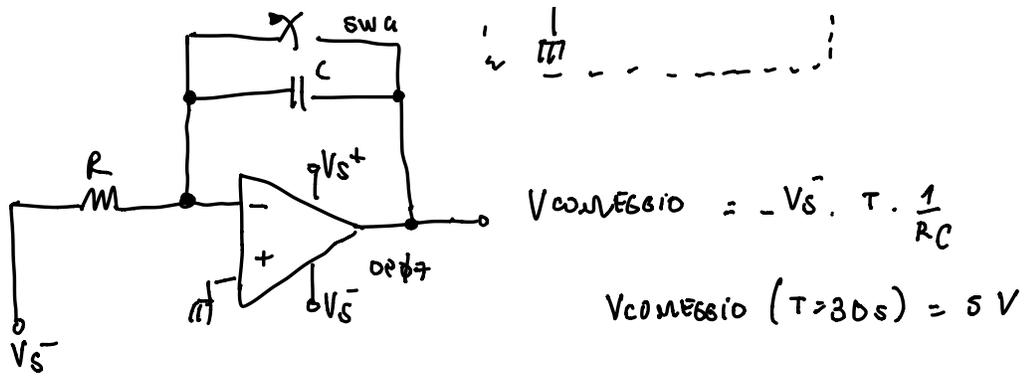
↳ Pilotare SW3, che è uno SW m.o. con  $\frac{d}{dt} V_{PASS}$  e  $-\frac{d}{dt} V_{OK}$  messe in un OR logico.



mi indica se

$$V_{Ang} \in [V_{Ang} - U_{1K}; V_{Ang} + U_{1K}]$$

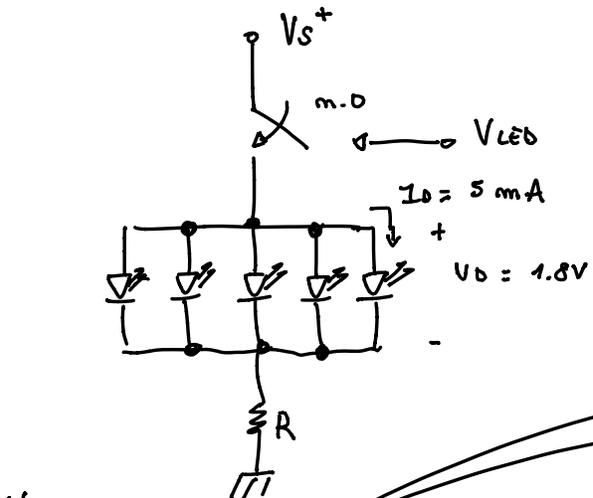




ATTENZIONE: la soluzione proposta non funziona se  $V_{ang}$  esce dal range

$$V_{ang} - V_{th} ; V_{ang} + V_{th}$$

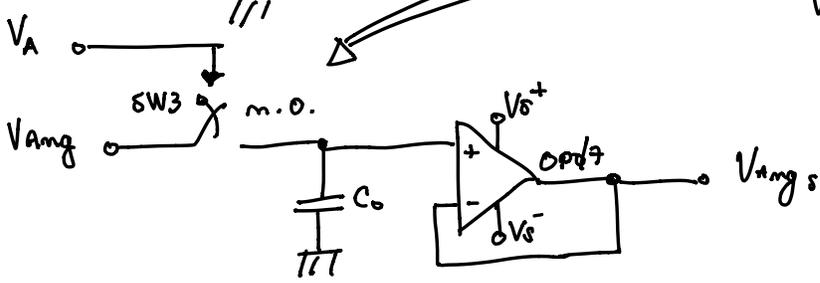
SOLUZIONE FUNZIONANTE ↴



$$-V_S^+ + V_D + R \cdot I_D \cdot s = \phi$$

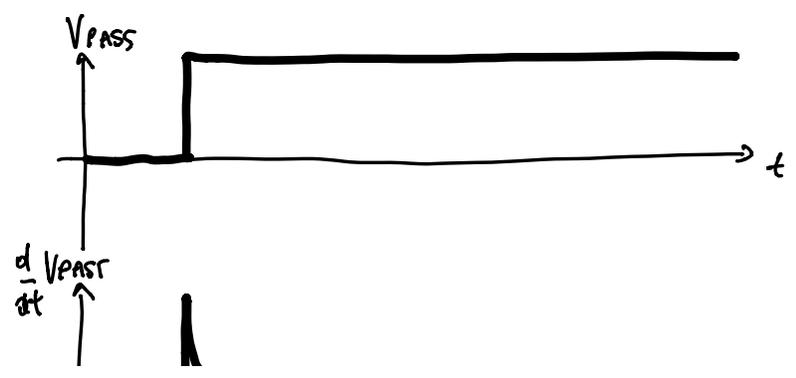
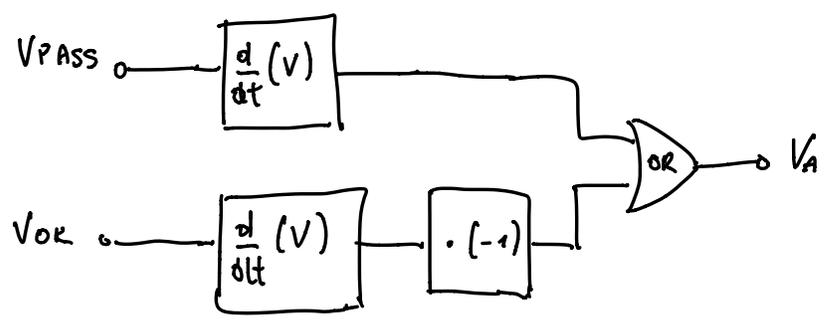
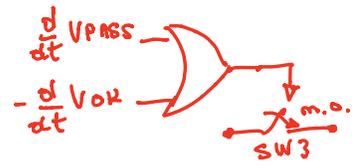
$\uparrow$        $\uparrow$        $\uparrow$   
 15V    1.8V    5 mA

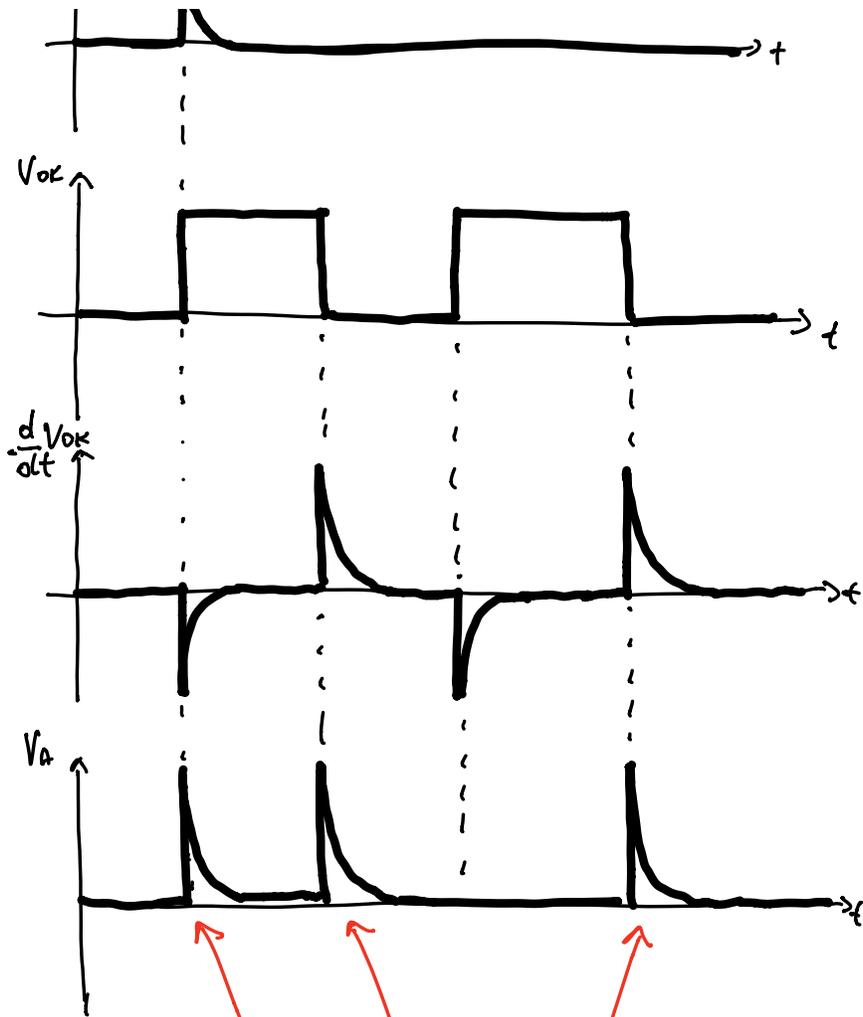
$R = 528 \Omega$



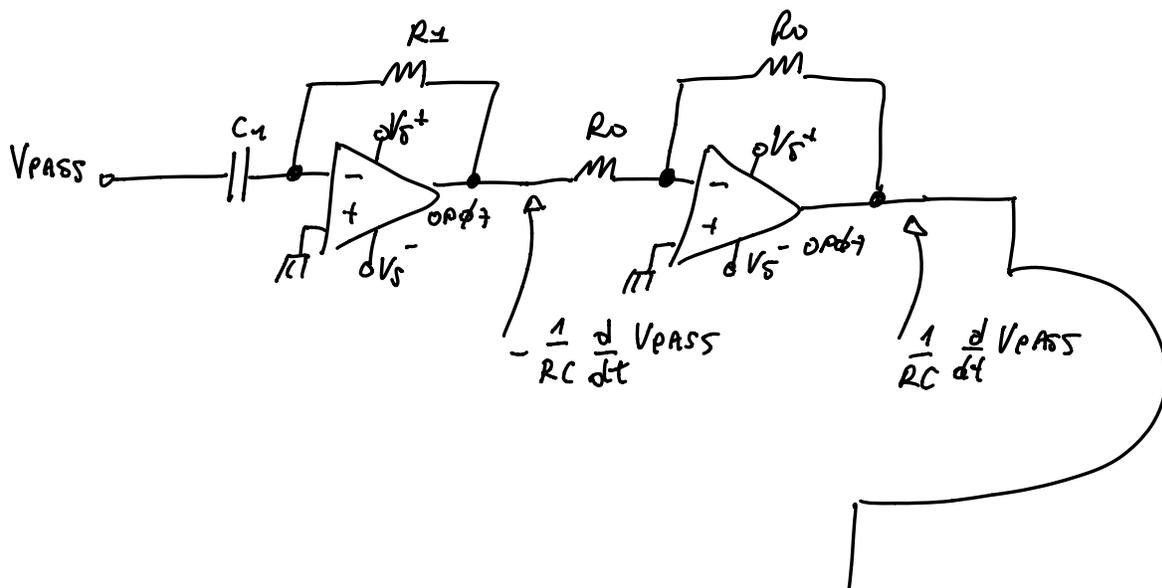
SW3 deve compianare in funzione di \$V\_{PASS}\$ e \$V\_{OK}\$.

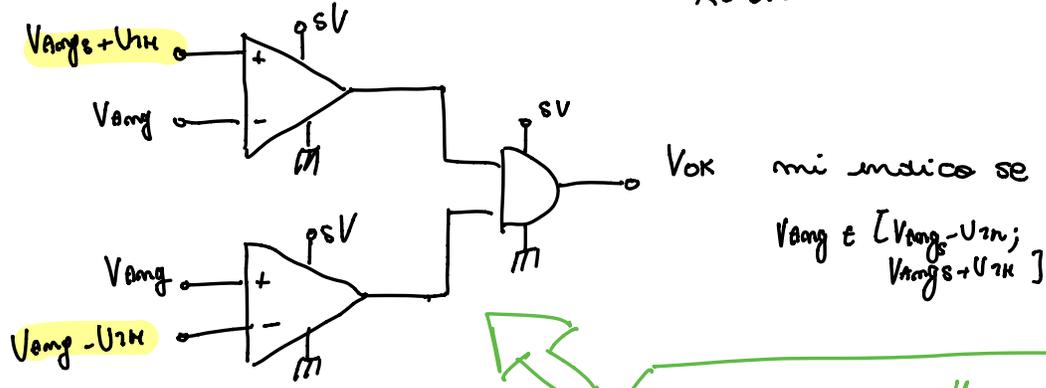
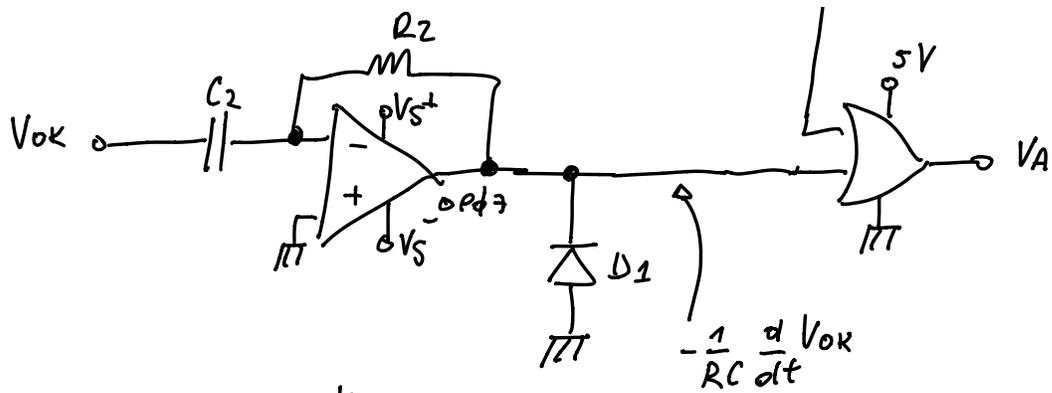
↳ Pilotare SW3, che è uno SW m.o. con  $\frac{d}{dt} V_{PASS}$  e  $-\frac{d}{dt} V_{OK}$  messe in un OR logico.





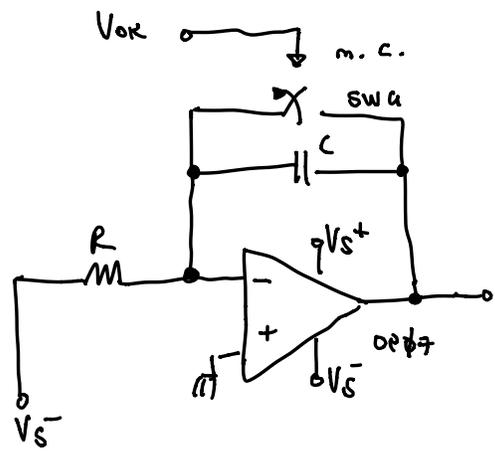
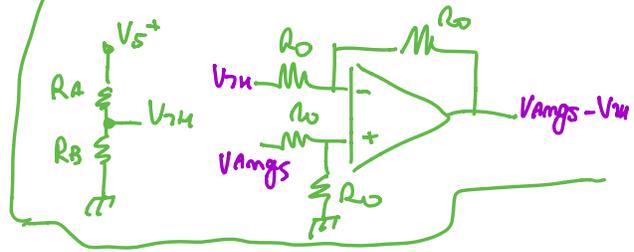
CAMPIONAMENTI!





mi indico se  
 $V_{Ang} \in [V_{Ang} - U_{TH}; V_{Ang} + U_{TH}]$

ES. GENERAZIONE \$V\_{Ang} - U\_{TH}\$



$$V_{COMMISSIO} = -V_{S^-} \cdot \tau \cdot \frac{1}{RC}$$

$$V_{COMMISSIO} (\tau = 30s) = 5V$$

