

ESERCIZIO 2

Un'azienda che opera nel settore dei dispositivi medici vuole entrare nel segmento del trattamento delle ferite acute o croniche implementando un sistema elettronico portatile per la Terapia a Pressione Negativa (TPN).

L'applicazione di una pressione negativa ad una ferita può aiutare nel processo di riparazione tessutale consentendo la pulizia continua della ferita in seguito ad una adeguata rimozione chirurgica dei tessuti necrotici, la rimozione continua di fluido interstiziale (essudato) e la riduzione dell'edema interstiziale. La TPN si avvale di una pompa da vuoto (VP), un tubo per il drenaggio che confluisce in un apposito contenitore ed un set di medicazione (garza e film adesivo per sigillare la ferita). Il dispositivo medicale da implementare, utilizzando un sensore di pressione differenziale (DPS) da integrare nel set di medicazione in prossimità della ferita ed un sensore di livello per il contenitore (LS), deve gestire la TPN andando a pilotare la VP in modo da mantenere una data depressione ΔP in prossimità della ferita per tutta la durata del trattamento terapeutico monitorando, al contempo, il livello nel contenitore di drenaggio.

Si progettano e dimensionano un sistema elettronico, secondo la divisione in moduli suggerita, che piloti la VP e fornisca in uscita le tensioni V_{DP} e V_L proporzionali rispettivamente alla ΔP ed al livello nel contenitore di drenaggio, ed i segnali allarme V_{AL1} nel caso in cui ΔP assuma valori anomali, V_{AL2} se il volume dei liquidi drenati abbia raggiunto il 95% della capacità del contenitore di drenaggio, V_{AL3} se le batterie del dispositivo medicale necessitano di essere ricaricate.

Modulo X: circuito che alimenti il sensore DPS ($V_{DPS} = 5V$ e corrente massima assorbita $500\mu A$) e fornisca in uscita la tensione V_{DP} sapendo che la componente differenziale della tensione di uscita dal DPS risulta $V_{DPS} = -K \Delta P + V_{DPS0}$ con $K = 8 \cdot 10^{-5} V/mmHg$ e $V_{DPS0} = 0.1V$, nel caso in cui ΔP assumi valori appartenenti all'intervallo $[-200; 0] mmHg$. La componente di modo comune della tensione di uscita può assumere valori compresi nell'intervallo $[-2; 2]V$.

- Modulo Y:** circuito che a partire dalla tensione V_{DP} piloti la VP con una tensione V_{VP} avente valori compresi nell'intervallo $[0; 5]V$ legata a ΔP secondo la seguente relazione $V_{VP} = V_{VP0} + H \cdot (\Delta P - \Delta P_{SET}) + S \cdot d\Delta P/dt$, con $V_{VP0} = 1V$, $H = 1.5 \cdot 10^{-2} V/mmHg$, $S = 4 \cdot 10^{-2} (V/s)/mmHg$ e $d\Delta P/dt_{max} = 250 mmHg/s$, la massima corrente assorbita dal sistema, proveniente dalla VP non supera i 2 mA. Il valore selezionato per la depressione da generare, ΔP_{SET} , viene fornito da un sistema di elaborazione tramite la tensione $V_{DPS0} = B \cdot \Delta P_{SET}$, essendo $B = 1.5 \cdot 10^{-2} V/mmHg$ e ΔP_{SET} appartenente all'intervallo di valori di interesse per la TPN $[125; -25] mmHg$.
- Modulo Z:** circuito che utilizzando il sensore di livello LS fornisca in uscita la tensione V_L , proporzionale al livello L , nel contenitore di drenaggio, espresso in %, secondo la seguente regola: $V_L (0\%) = 0V$ e $V_L (100\%) = 1V$. Il sensore LS è assimilabile ad una resistenza variabile $R_{LS} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot L)$, essendo L nell'intervallo $[0; 100]\%$, $R_0 = 150\Omega$ ed $\alpha = 0.04$.
- Modulo W:** circuito che a partire dalle tensioni V_{DP} e V_L fornisca in uscita le tensioni richieste V_{AL1} , V_{AL2} e V_{AL3} , normalmente a 0V ed in caso di anomalie a 5V, secondo le seguenti regole: V_{AL1} segnali il fatto che ΔP esca dall'intervallo $[-125; -25] mmHg$, V_{AL2} segnali il fatto che L superi il 95% della capacità del contenitore di drenaggio e V_{AL3} segnali il fatto che la tensione fornita dalle batterie sia inferiore a 21V, in modulo. Le batterie utilizzate sono da $\pm 24V$ e sono disponibili i terminali V_{BAT+} , V_{BAT-} e V_{COM} delle batterie.

Si hanno a disposizione: AD620, OP07 ed una linea di alimentazione DC a $\pm 15V$ fornita da un regolatore di tensione, oltre a componenti attivi e passivi elementari.

$$V_{DP} = G_2 \cdot G_1 \cdot K \cdot \Delta P$$

$$\Delta P \in [-200; \infty] \text{ mmHg}$$

$$G_2 = 6.94$$

$$G_1 = 147$$

$$K = 8 \cdot 10^{-5} \frac{V}{\text{mmHg}}$$

$$V_{DP} = \alpha \cdot \Delta P \in [-13; \infty] V$$

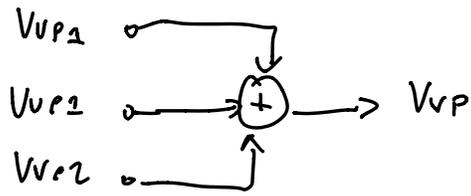
$$\text{con } \alpha = 0.065 \frac{V}{\text{mmHg}}$$

$$\alpha = G_2 \cdot G_1 \cdot K$$

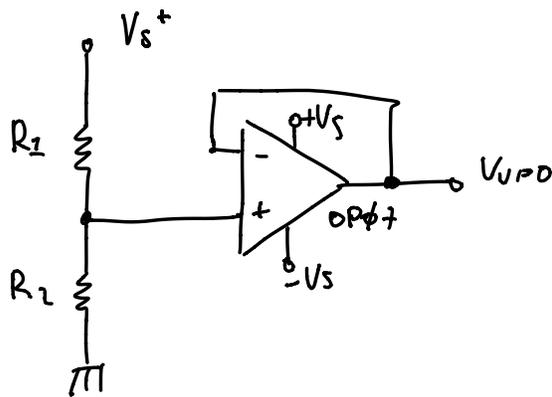
Y:



$$V_{VP} = V_{VP0} + \underbrace{H (\Delta P - \Delta P_{SET})}_{V_{VP1}} + S \cdot \underbrace{\frac{d}{dt} \Delta P}_{V_{VP2}}$$



$$V_{VP0} = 1 \text{ V}$$



$$V_{VP0} = V_s \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

\uparrow \uparrow \uparrow
 1V 15V $\frac{1}{15}$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 140 \text{ k}\Omega$$

$$V_{VP2} = S \cdot \frac{d}{dt} \Delta P$$

$$S = 4 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s} / \text{mmHg}$$

$$\left| \frac{d}{dt} \Delta P \right|_{\text{MAX}} = 250 \text{ mmHg/s}$$

$$V_{VP2 \text{ MAX}} = V_{VP2} \left(\frac{d}{dt} \Delta P = 250 \text{ mmHg/s} \right) = 1 \text{ V}$$

$$V_{VP2 \text{ MIN}} = V_{VP2} \left(\frac{d}{dt} \Delta P = -250 \text{ mmHg/s} \right) = -1 \text{ V}$$

$$\Delta V_{\Delta P} = \alpha \cdot \Delta P \quad , \quad \alpha = 6.5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}$$

$$V_{VP2} = S \cdot \frac{d}{dt} \Delta P = S \cdot \frac{d}{dt} \cdot \frac{V_{DP}}{\alpha} = *$$

substituindo $\Delta P = \frac{V_{DP}}{\alpha}$

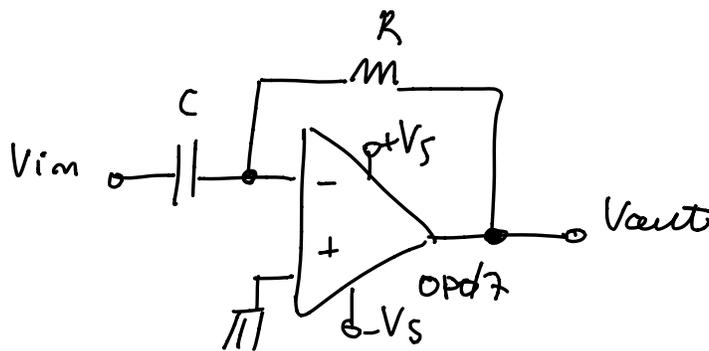
$$* = \left(\frac{S}{\alpha} \right) \cdot \frac{d}{dt} V_{DP} = \gamma \cdot \frac{d}{dt} V_{DP}$$

↑
 γ

$$[V_{VP2}] = V \Rightarrow [\gamma] = S$$

$$\left[\frac{d}{dt} V_{DP} \right] = V/S$$

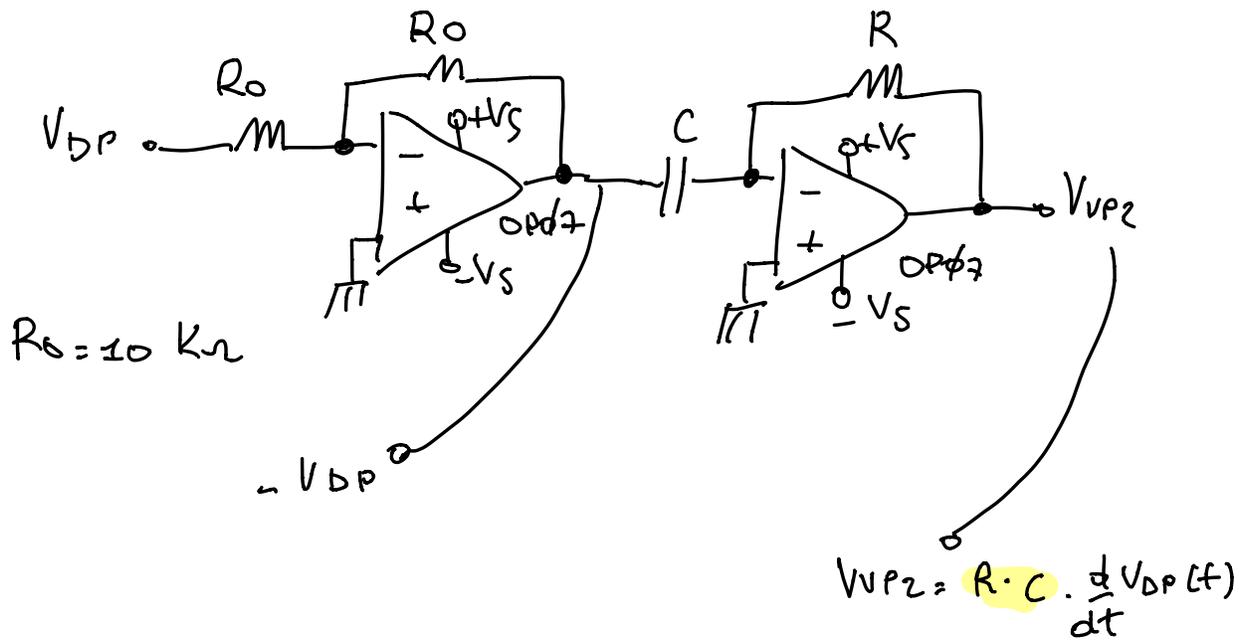
$$\gamma = \frac{S}{\alpha} = \frac{4 \cdot 10^{-31} \text{ V} \cdot \text{S} / \text{mmHg}}{6 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ V} / \text{mmHg}} = 0,061 \text{ S}$$



$$V_{out} = - R \cdot C \cdot \frac{d}{dt} U_{in}(t)$$

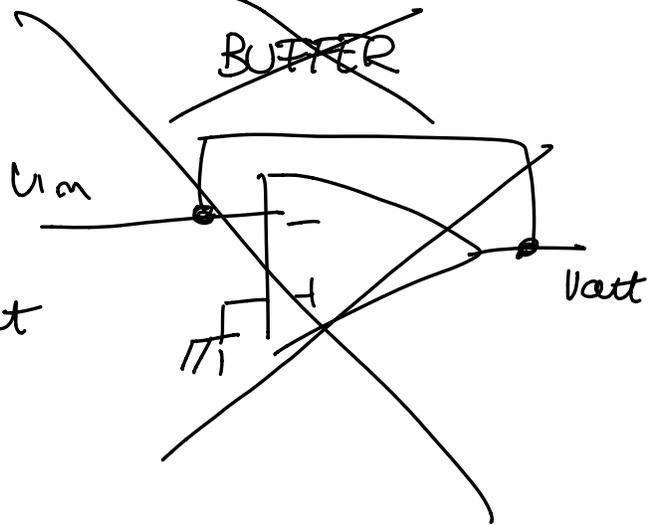
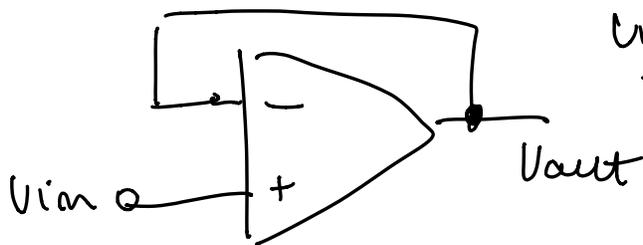
$$\underbrace{[V]} \quad \underbrace{[S]} \quad \underbrace{\left[\frac{V}{S} \right]}$$

$$V_{VP2} = \gamma \cdot \frac{d}{dt} V_{DP}(t)$$



$R \cdot C = \tau = 0,061\text{ s} \quad , \quad C = 1\text{ }\mu\text{F} \quad , \quad R = 61\text{ k}\Omega$

 BUFFER



 (?) $V_{VP3} = Z \cdot \int_{\phi}^{\tau} \Delta P \text{ dt}$

$$V_{VP1} = H (\Delta P - \Delta P_{SET})$$

$$H = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}$$

$$V_{DPSET} = B \cdot \Delta P_{SET}$$

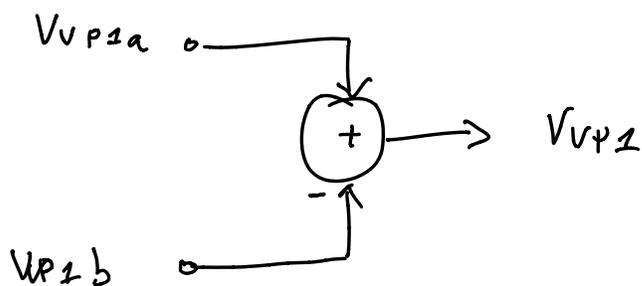
$$B = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}$$

$$\Delta P_{SET} \in [-125; 25] \text{ mmHg}$$

$$V_{DP} = \alpha \cdot \Delta P$$

$$\alpha = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}$$

$$\Rightarrow V_{VP1} = \underset{\substack{\uparrow \\ V_{VP1a}}}{H} \Delta P - \underset{\substack{\uparrow \\ V_{VP1b}}}{H} \Delta P_{SET}$$



$$V_{VP1a} = H \Delta P = H \cdot \frac{V_{DP}}{\alpha} = \left(\frac{H}{\alpha} \right) V_{DP} = \xi V_{DP}$$

$$\Delta P = \frac{V_{DP}}{\alpha}$$

$$[V_{VP1a}] = V$$

$$[V_{DP}] = V$$

q : adimensionale

$$q = \frac{H}{\alpha} = \frac{1.5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}}{6.5 \cdot 10^{-2} \text{ V/mmHg}} = 0,23$$

$$V_{VP1b} = H \cdot \Delta P_{SET} = H \cdot \frac{V_{DPSET}}{\beta} = \left(\frac{H}{\beta} \right) \cdot V_{DPSET} =$$

$$\Delta P_{SET} = \frac{V_{DPSET}}{\beta} = \beta \cdot V_{DPSET}$$

$$\beta = \frac{H}{B} \quad [\beta] \text{ adimensionale}$$

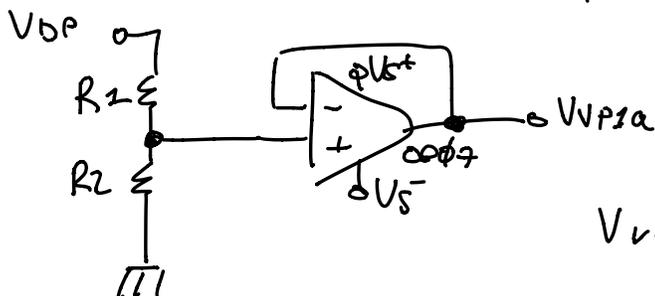
$$\beta = 1$$

$$\Rightarrow V_{VP1b} = V_{DPSET}$$

generazione della V_{VP1a}

$$V_{VP1a} = q \cdot V_{DP}$$

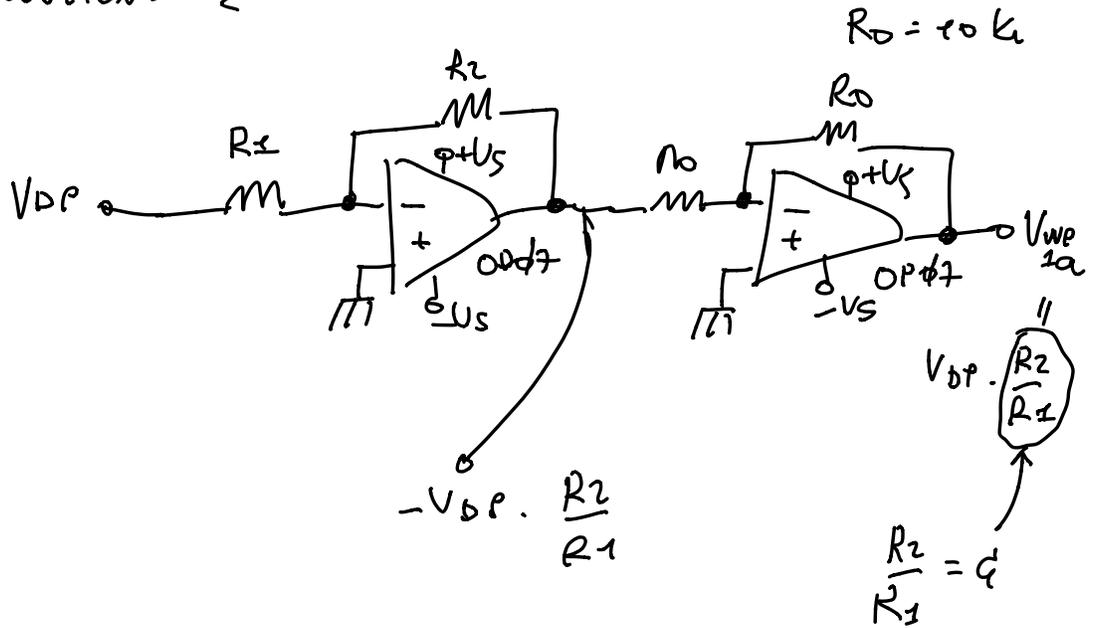
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = q = 0,23$$



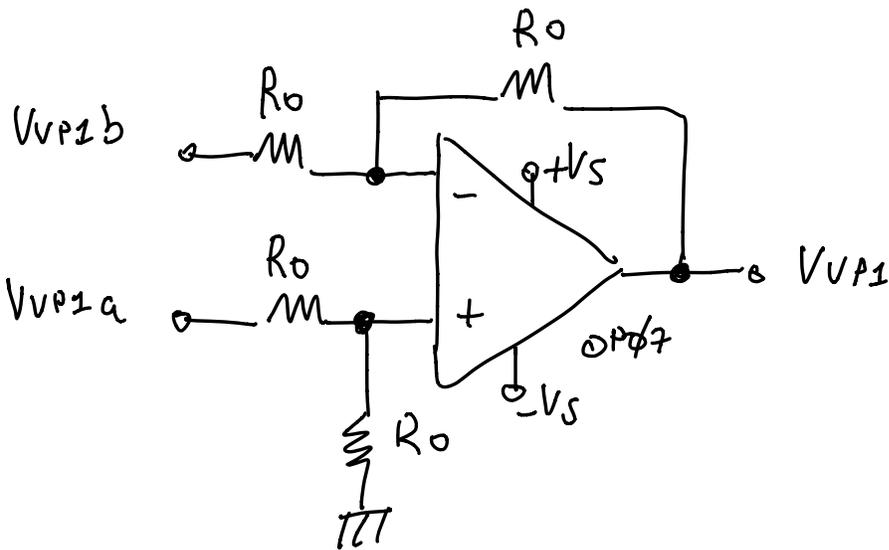
SOLUZIONE 1

$$V_{VP1a} = V_{DP} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot q$$

SOLUZIONE 2

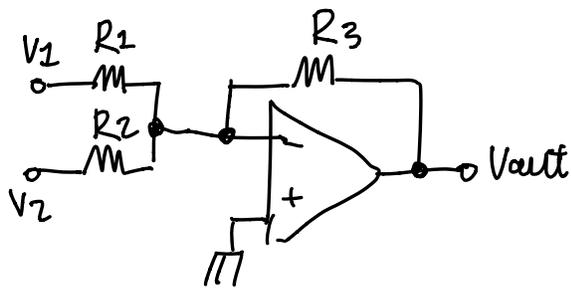


$$V_{VP1} = V_{VP1a} - V_{VP1b}$$

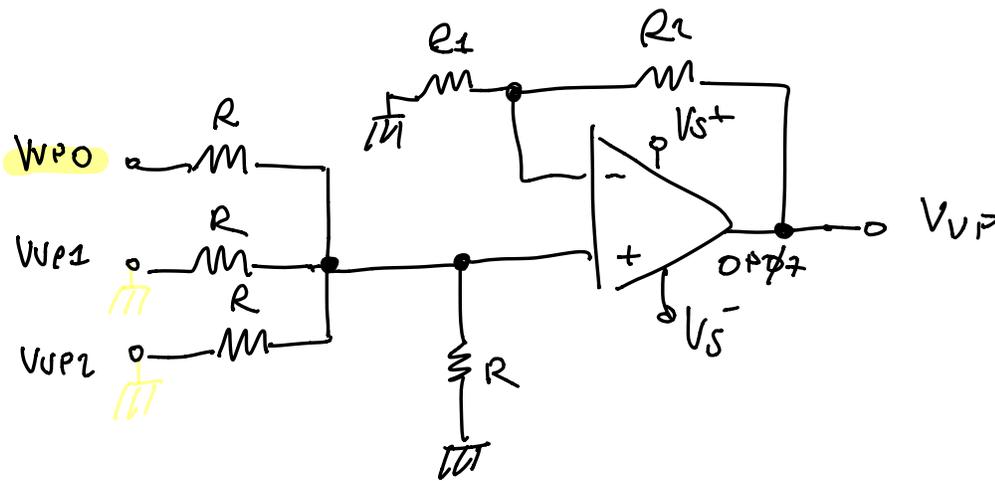
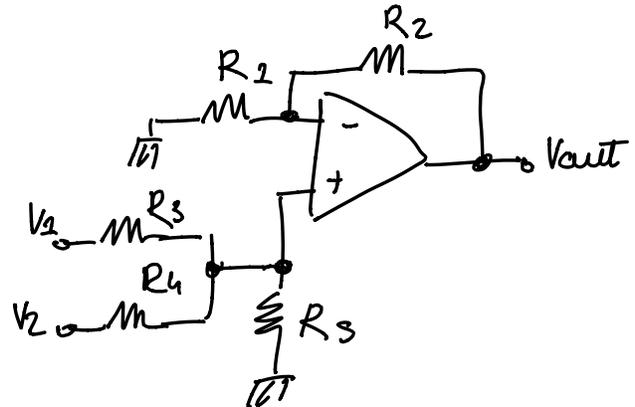


$$V_{VP} = V_{VP0} + V_{VP1} + V_{VP2}$$

SOMMATORI INVERTELENTE



SOMMATORI NON INVERTELENTE



$$V_{vp} = V_{p0} \frac{R // R // R}{R + R // R // R} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) +$$

$$V_{p1} \cdot \frac{R // R // R}{R + R // R // R} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) +$$

$$V_{VP2} = \frac{R // R // R}{R + R // R // R} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\frac{1}{R_{TOT}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}$$

$$R_{TOT} = \frac{R}{3}$$

$$V_{VP} = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R/3}{R + R/3}}_1 \left(V_{VP0} + V_{VP1} + V_{VP2} \right)$$

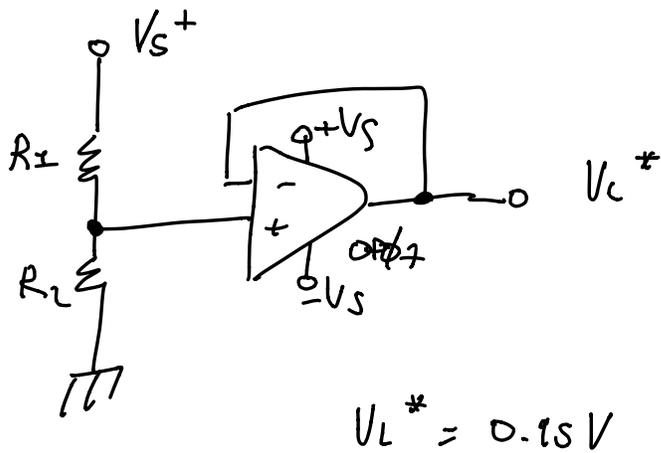
GENERAZIONE di V_{AL2}

$$V_L \in [\phi \div 1] V$$

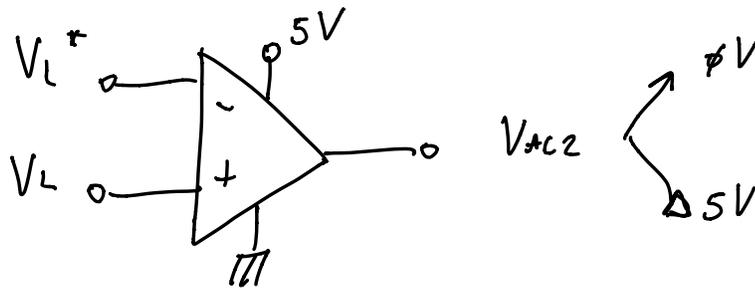
$$V_L = \phi V \quad \text{se} \quad L = \phi \%$$

$$V_L = 1 V \quad \text{se} \quad L = 100 \%$$

$$L = 95 \% \quad ? \quad \Rightarrow \quad V_L = 0.95 V$$



$$V_L^* = V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



$$V_{A12} = \begin{cases} V_{SM}^+ = 5V & \text{se } V^+ > V^- \\ V_{SM}^- = 0V & \text{se } V^+ < V^- \end{cases}$$

