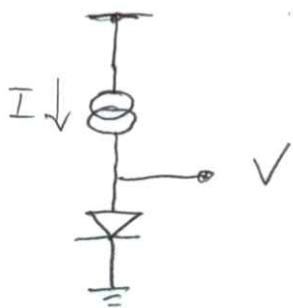


P2 domanda (a)

$$I \approx I_s e^{qV/kT} \quad \text{per } I \gg I_s$$

$$V = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_s}\right)$$

- Principio:

- Corrente a due diversi livelli noti  $I_1$  e  $I_2$  in giunzioni o in giunzioni eguali

$$V_m = V_2 - V_1 = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

- Dissipazione: correnti  $I_1$  e  $I_2 \ll 1 \text{ mA}$

$$V \approx 0,6 \text{ V}$$

$$P_T \approx 0,6 I \text{ [W]}$$

- Auto riscaldamento:

$$\Delta T = P_T R_T \quad \text{con } R_T = 5^\circ\text{C/W}$$

Limitando  $I \leq 50 \mu\text{A}$  si ha  $P_T \leq 30 \mu\text{W}$   
quindi  $\Delta T \leq 0,15 \text{ m}^\circ\text{C}$

Scegliamo  $\begin{cases} I_2 = 50 \mu\text{A} \\ I_1 = 10 \mu\text{A} \end{cases}$

$$V_m = V_2 - V_1 = \frac{kT}{q} \ln(5) = 1,6 \frac{kT}{q}$$

a temperatura ambiente  $T = 300 \text{ K}$ :  $kT/q = 25 \text{ mV}$

$$V_m = 40,2 \text{ mV} \quad V_m = 134 \text{ mV}$$

$$\frac{dV_m}{dT} = \frac{V_m}{T} = 134 \mu\text{V/K} = 134 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Resistenza di giunzione

$$R_D = \frac{dV}{dI} = \frac{kT}{q} \frac{1}{I}$$

Rumore di corrente della giunzione

$$S_i^{1/2} = \sqrt{2qI}$$

Rumore di tensione della giunzione

$$S_v^{1/2} = R_D S_i^{1/2} = \frac{kT}{q} \sqrt{\frac{2q}{I}}$$

Partenti:

$$R_{D1} = 2,5 \text{ k}\Omega$$

$$S_{i1}^{1/2} = 1,8 \text{ pA Hz}^{-1/2}$$

$$S_{v1}^{1/2} = 4,5 \text{ mV Hz}^{-1/2}$$

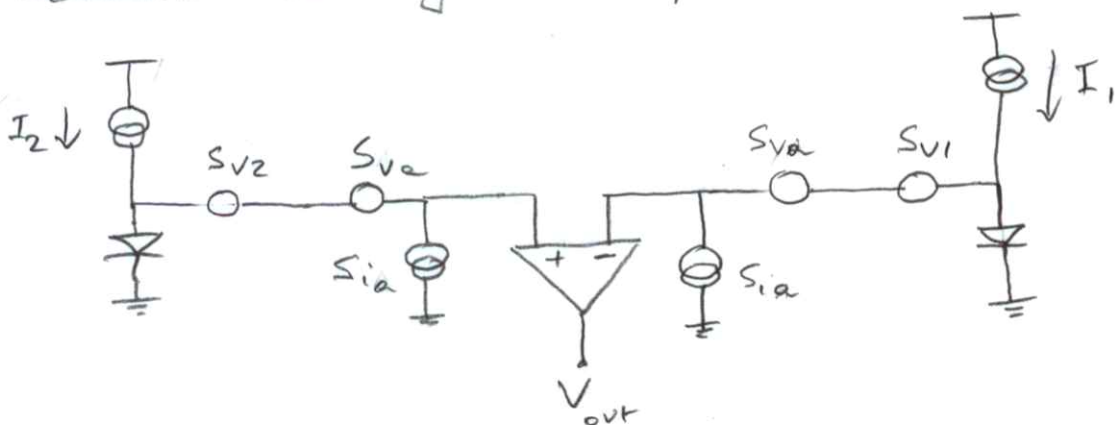
$$R_{D2} = 500 \Omega$$

$$S_{i2}^{1/2} = 4 \text{ pA Hz}^{-1/2}$$

$$S_{v2}^{1/2} = 2 \text{ mV Hz}^{-1/2}$$

P2 domande (b)

Scheme con 2 giunzioni eguali in continua



E' dominante il rumore di tensione dell'amplificatore

anche considerando solo la componente bianca

$S_{va}^{1/2} = 20 \text{ nV Hz}^{-1/2}$ , che è  $\gg$  degli altri generatori di rumore

$$S_{va}^{1/2} \gg S_{v1}^{1/2}, S_{v2}^{1/2}, R_{D1} S_{ie}^{1/2}, R_{D2} S_{ie}^{1/2}$$

- Filtraggio: passobasso per limitare il rumore a larga banda, ma per poter rilevare variazioni di  $T$  in tempi  $< 1$  s. occorre un limite di banda  $f_s > 1$  Hz. Assumiamo

$$f_s = 10 \text{ Hz}$$

- Se ci fosse solo la componente bianca il rumore sarebbe (tenendo conto dei due ingressi)

$$\sqrt{2} \sqrt{v_{nB}^2} = \sqrt{2} S_{v2}^{1/2} f_s^{1/2} = 90 \text{ mV}$$

corrispondenti a un errore in temperatura

$$\varepsilon_{TB} = \sqrt{v_{nB}^2} / \frac{dV_m}{dT} = 0,7 \text{ m}^\circ\text{C}$$

Pero, c'è anche la componente  $1/f$  con  $f_c = 500 \text{ KHz}$  che è dominante. Per limitare l'effetto facciamo

manualmente ogni 15-20 min ( $\approx 1000$  s) un esseramento delle linee di bias dell'amplificatore.

Si aggiunge così un filtraggio passa-alto con taglio a circa  $f_i = 0,001 \text{ Hz}$ .

Il rumore totale è così

$$\begin{aligned} \sqrt{v_n^2} &= \sqrt{2} \sqrt{v_{nB}^2} \sqrt{1 + \frac{f_c}{f_s} \ln\left(\frac{f_s}{f_i}\right)} = \\ &= \sqrt{2} \sqrt{v_{nB}^2} 678 = 61 \mu\text{V} \end{aligned}$$

corrispondenti a un errore in temperatura

$$\varepsilon_T = \sqrt{v_n^2} / \frac{dV_m}{dT} = 0,46 \text{ }^\circ\text{C}$$

ovviamente non accettabile!

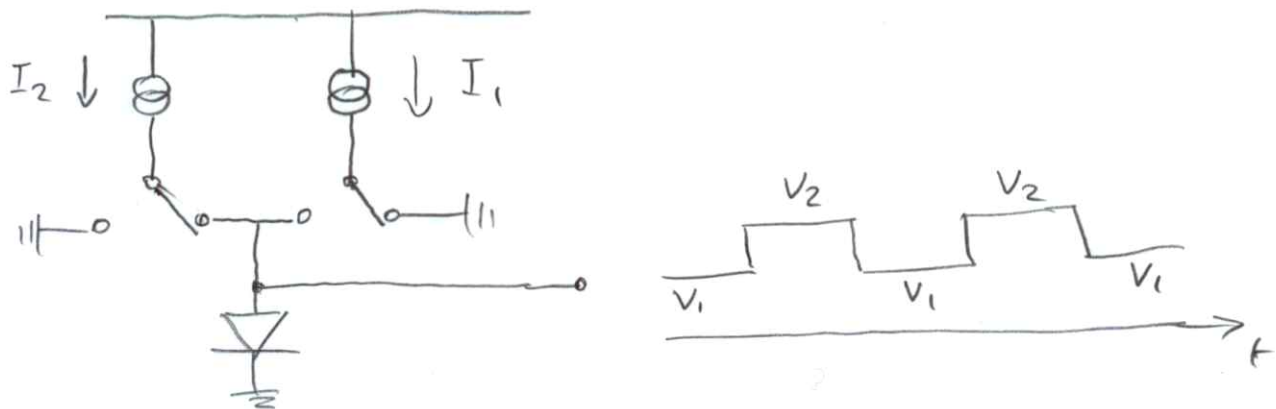
## P2 domande (c)

Per ridurre l'effetto del rumore  $1/f$

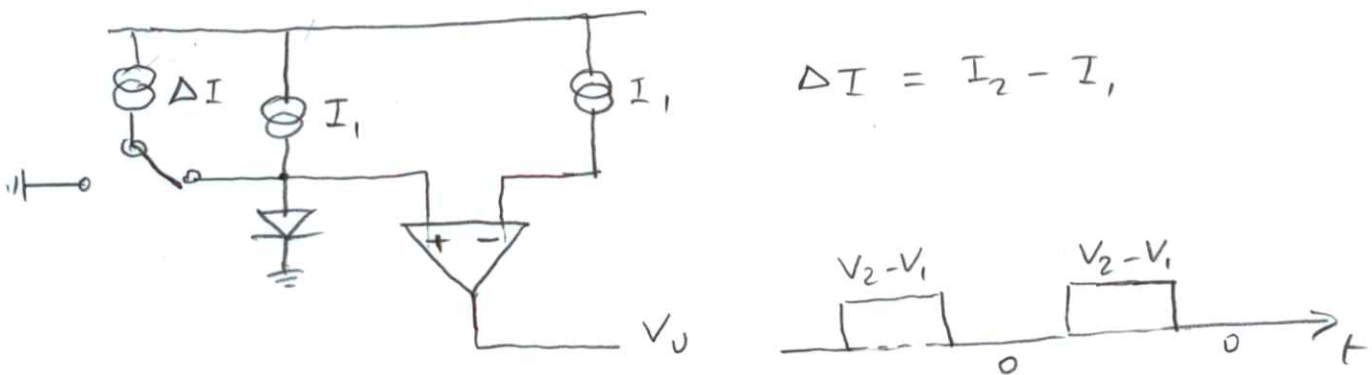
- 1) Modulazione del segnale prima che si avvicina il rumore  $1/f$ .
- 2) Misura del segnale con lock-in

Esempi di schemi circuitali per modulazione:

- Configurazione a 1 giunzione

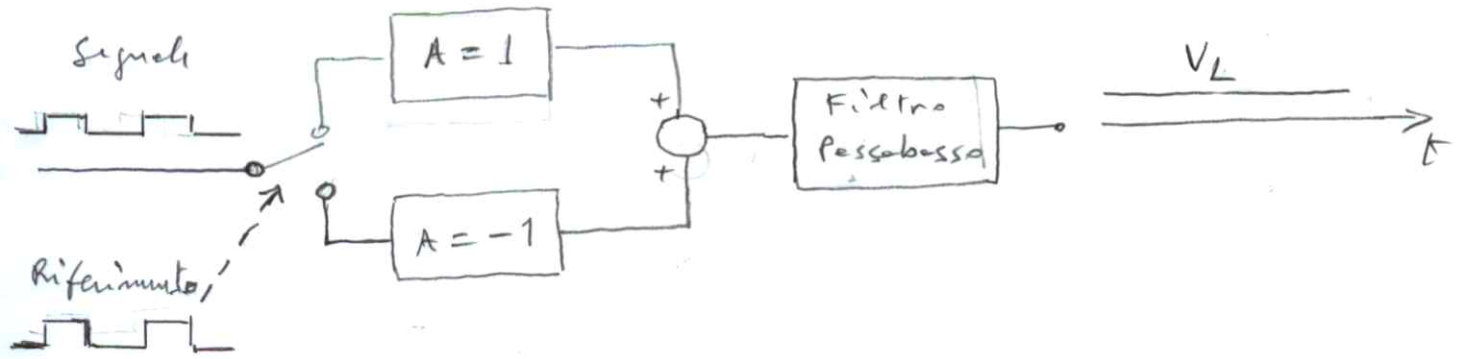


- Configurazione a 2 giunzioni uguali



Usando frequenze di commutazione  $f_m > f_c$   
 si porta il segnale in zone spettrali dove  
 il rumore  $1/f$  è trascurabile rispetto a quello bianco.  
 Assumiamo  $f_m = 5 \text{ MHz}$

Schema di principio di lock-in adottato al caso:



- Riferimento: onda quadra di commutazione a freq.  $f_m$

- Filtro passabasso con limiti di banda  $f_L = f_S$   
cioè come nelle risposte (b)

- Segnali in uscita continua  $V$   
 $V_L = V_2 - V_1$

- Rumore in uscita determinato dalle bande  
passanti del passabasso centrate sulle frequenze  $f_m$

$$\sqrt{N_{ML}^2} = \sqrt{S_n(f_m) f_L} \approx \sqrt{S_{NB} f_L}$$

$L$   $S_{NB}$  = componente bianca dello spettro di rumore...

In configurazioni a 2' giunzioni

$$S_{NB} = 2 S_{va}$$

$$\sqrt{N_{ML}^2} = \sqrt{2} S_{va}^{1/2} f_L^{1/2} = 90 \mu V$$

corrispondenti a errore

$$E_{TL} = \sqrt{N_{ML}^2} / \frac{dV_m}{dT} = 0,7 \text{ m}^\circ\text{C}$$