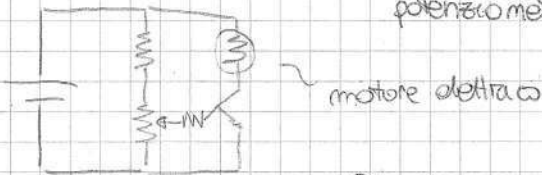


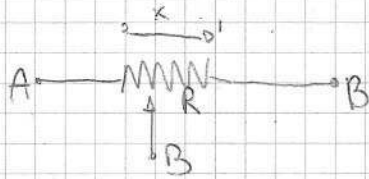
# SENSORI

06-11-2017

potenziometro utilizzato per pilotare un motore elettrico

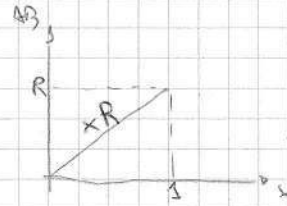


POTENZIOMETRO

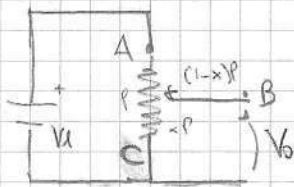
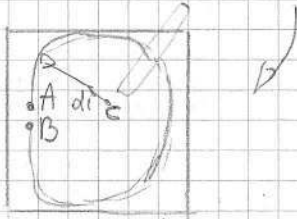


$$R_{AB} = x \cdot R$$

$$R_{BC} = (1-x) \cdot R$$

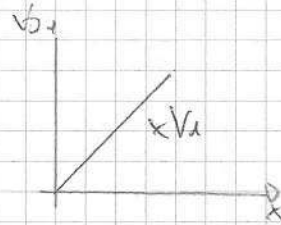


↳ concetto utilizzato per i goniometri ottici: si usa un trasduttore (potenziometro arcobaleno)



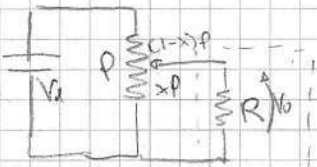
$$V_o = V_i \frac{xP}{xP + (1-x)P}$$

$$V_o = x V_i$$



↳ condizione è che la corrente che passa per il potenziometro sia uguale

↳ lo strumento di misura non deve assorbire corrente

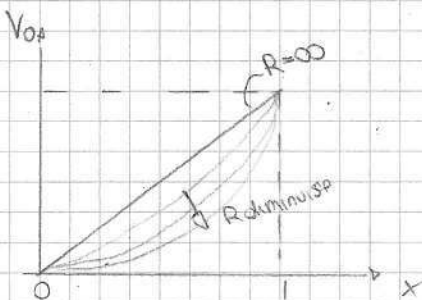


un buon volmetro ha una resistenza d'ingresso infinita

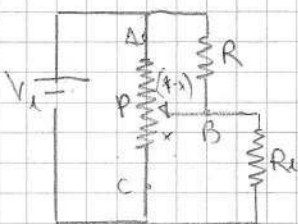
$$V_o = V_i \frac{R \parallel xP}{R \parallel xP + (1-x)P} = V_i \frac{R \cdot xP}{R + xP} \cdot \frac{R + xP}{R \cdot xP + (1-x)P(R + xP)}$$

$$= V_i \frac{xRP}{xRP + PR - xPR + xP^2 - xP^2} = V_i \frac{xRP}{P(R + P - xP)} =$$

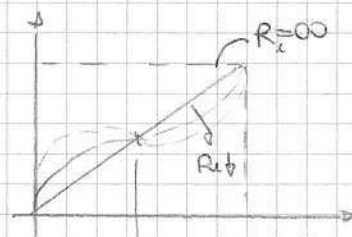
$$= V_i \frac{xR}{R + P - xP} = V_i \frac{xR}{R + xP(1-x)}$$



Per risolvere questo problema, si aggiunge una resistenza



$$V_o = \frac{R_i \parallel xP}{(1-x)P \parallel R + R_i \parallel xP} \cdot V_i$$

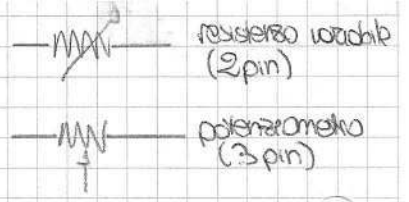
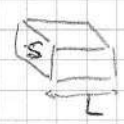


impongo un errore zero o molto dinamico

putto e meto dinamico

ESTENSIMETRI - RESISTENZE VARIABILI

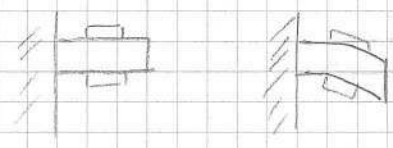
$R = \rho \frac{L}{S}$



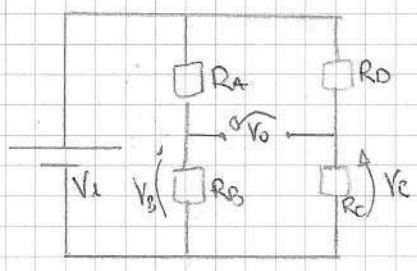
strain gage: pezzo di materiale plastico su cui viene depositato del materiale resistivo (metallo o semiconduttore).  
 → quando dilungo, tiro in una direzione, aumento L e diminuisce S → varia molto R



$R_s = R(1 \pm \delta)$



PONTE DI WEATHSTONE



$V_B = V_i \frac{R_B}{R_A + R_B}$

$V_C = V_i \frac{R_C}{R_C + R_D}$

$V_o = V_B - V_C$

se  $R_A = R_B = R_C = R_D \rightarrow V_o = 0$  se ponte è bilanciato

se  $R_A = R_C = R_D = R$  e  $R_B = R(1 \pm \delta)$

quando varia  $R_B$  il ponte si sbilancia e ha una tensione  $V_o$

$V_B = V_i \frac{R(1 \pm \delta)}{R(1 \pm \delta) + R}$

$V_C = V_i \frac{R}{2R}$

$V_o = V_i \left[ \frac{1 \pm \delta}{2 \pm \delta} - \frac{1}{2} \right] = V_i \left[ \frac{2 \pm 2\delta - 2 \mp \delta}{2(2 \pm \delta)} \right] = V_i \left[ \frac{\pm \delta}{4 \pm 2\delta} \right] \approx V_i \frac{\pm \delta}{4}$

Ma il valore della temperatura, ha variazioni anche di R.

→ me mette due, uno sopra e uno sotto

se aumento  $R_B$  temp, aumentano entrambi se ho una variazione meccanica, uno aumento e l'altro diminuisce → distinguo i 2 casi

$R_{s1} = R(1 \pm \delta_T \pm \delta_r)$

$R_{s2} = R(1 \mp \delta_T \pm \delta_r)$

se ponte:

$R_A = R(1 \mp \delta)$

$R_C = R_D = R$

$R_B = R(1 \pm \delta)$

↳ quando applico una forza,  $R_B$  aumento,  $R_A$  diminuisce ⇒ varia il ponte

↳ se varia la temperatura, variano entrambi positivi e negativi ⇒ il ponte non cambia

$V_o = V_i \left[ \frac{1 \pm \delta}{1 \pm \delta + 1 \mp \delta} - \frac{1}{2} \right] = V_i \frac{1}{2} [1 \pm \delta - 1] = V_i \frac{\pm \delta}{2}$

Con 4 estensimetri:  $V_o = V_i(\pm \delta)$



$R_B = R_D = R(1 \pm \delta)$

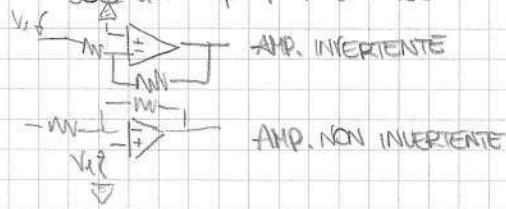
$R_A = R_C = R(1 \mp \delta)$

↳ colto di carico

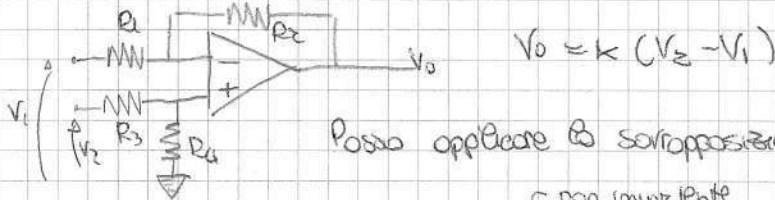
# AMPLIFICATORI

Per amplificare segnali biologici non posso usare un amplificatore invertente o non invertente, perché amplificano rispetto a massa una resistenza

↳ non posso usarlo nel ponte di primo



Devo usare un amplificatore differenziale: ho 4 pin



Posso applicare la sovrapposizione degli effetti:

• effetto  $V_2$ :  $V_0' = V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$  non invertente

• effetto  $V_1$ :  $V_0'' = V_1 \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)$  invertente

$V_0 = V_0' + V_0'' = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} - V_1 \frac{R_2}{R_1}$

se  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = k$

↳  $V_0 = k(V_2 - V_1)$

Il problema è che l'impedenza d'ingresso non è infinita:

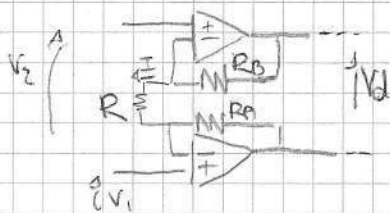
ossia che corrente del ponte (o altro)

⇒ aggiungo all'inizio due voltage followers

( $V_0 = V_2$ , ma hanno un'impedenza d'ingresso dell'operazione infinita)

⇒ questo è un amplificatore per strumentazione

Per avere un  $k$  preciso, deve essere  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = k$  → queste resistenze non si possono fare  
sono nel chip ⇒ non si può variare  $k$ .

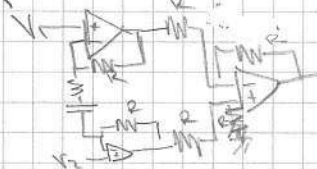


Perciò si transf. i due voltage followers in due invertenti

→ quando  $R_1$  si varia l'amplificazione

$I = \frac{V_2 - V_1}{R}$

$V_0 = I \cdot (R + R_1 + R_0)$



se aggiungo un condensatore ho un filtro passabanda che non amplifica lo DC (ma rinvia R eliminando)

$A_v = 1 + 2 \frac{R}{R_0}$

## INTERFERENZA DI RETE

Due accoppiamenti → magnetico o elettrico

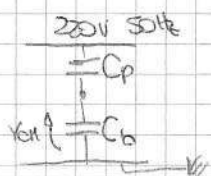
→ creano una corrente sul soggetto: alterano i segnali che vengono prelevati

L'accoppiamento magnetico influenza molto poco



↳ campo magnetico che induce una corrente sui fili (è un ferro)

⇒ risolvo il problema distorcendo i fili



Un qualsiasi punto ha un accoppiamento capacitivo con la rete.

$C_p = 1 \div 10 \text{ pF}$

$C_0 = 10 \div 100 \text{ pF}$

$V_{OH} = 220 \text{ V} \frac{Z_p}{Z_0 + Z_p}$



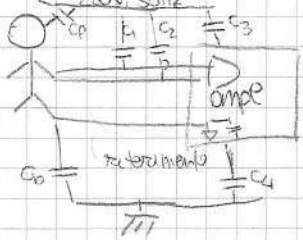
$$|Z_p|_{50Hz} = \left| \frac{1}{j\omega C_p} \right| = 3.2 \text{ G}\Omega \quad (\text{con } C_p = 1 \mu\text{F})$$

$$|Z_b|_{50Hz} = \left| \frac{1}{j\omega C_b} \right| = 32 \text{ M}\Omega \quad (\text{con } C_b = 100 \mu\text{F})$$

$$V_{CH} = 220 \cdot \frac{Z_b}{Z_b + Z_p} = 2.2 \text{ V} \quad \text{valore rms}$$

$$= 220 \cdot \frac{C_p}{C_p + C_b}$$

In condizioni reali



Per risolvere uno scudo si mette il soggetto a terra  
 $\hookrightarrow$  ora non si fa + per sicurezza elettrica

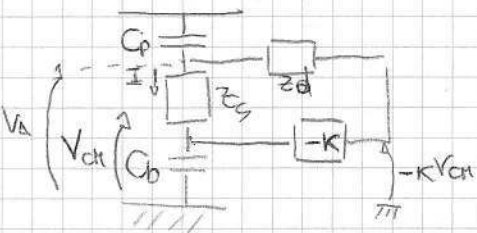
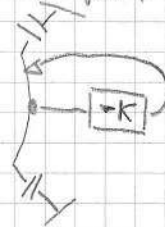
Si elimina  $C_4$  mettendo a terra la scatoletta metallica dello strumento  
 $\rightarrow$  mette anche dell'elettronica oltre sul soggetto: amplificatore attivo

Si riducono  $C_1$  e  $C_2$  schermando i cavi con uno guaina metallica che mette a terra

### • TECNICA DRL (driven right leg)

tramite un elettrodo preleva e' interferenza di rete, e' amplificata, invertita di fase e e' re-iniettata sul soggetto

$Z_0$  = impedenza di contatto tra elettrodo e rete



Teorema di Millman:

$$V_A = \frac{I + \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \Rightarrow V_A = \frac{I - \frac{K V_{CH}}{Z_0}}{\frac{1}{Z_s + Z_b} + \frac{1}{Z_d}} = \frac{1}{Z_0} (Z_d I - K V_{CH}) \frac{Z_d (Z_s + Z_b)}{Z_d + Z_s + Z_b}$$

se  $Z_d \ll Z_b + Z_s \Rightarrow V_A \approx Z_d \cdot I - K V_{CH}$

$$V_{CH} = V_A \frac{Z_b}{Z_b + Z_s} = Z_d I \frac{Z_b}{Z_b (K+1) + Z_s}$$

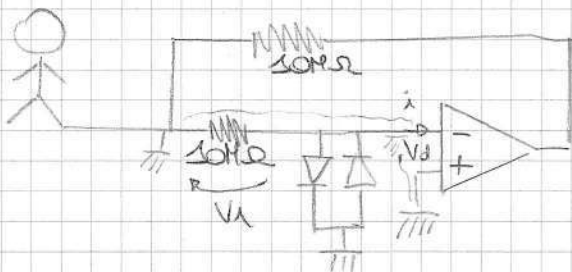
per avere  $Z_s$  alto, metti i due elettrodi sulle due gambe (fontoni) o d'arco  $K$  (amplificatore)

$\rightarrow$  diminuisce  $V_{CH}$

13-11-2012

### • VIRTUAL GROUND

il soggetto e' a terra per i bassi potenziali



sfrutto la proprietà degli operazionali di avere  $V_d = 0$  e  $i = 0$

se  $i = 0$ , anche  $V_d = 0$  (non c'è caduta di tensione)

per bassi potenziali il soggetto e' a terra

Se si tocca 220V, i diodi si aprono e chiudono con l'alternato della

corrente  $\rightarrow$  la corrente sulla persona è  $I = \frac{220V}{5M\Omega} = 44\mu A$

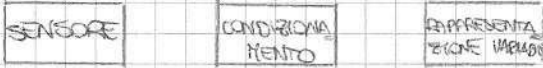
$\bar{E}$  bassa  $\rightarrow$  no problemi.

$\rightarrow$  parallelo tra due resistenze 10M $\Omega$

(i diodi servono per mettere a terra quel punto e creare il parallelo)

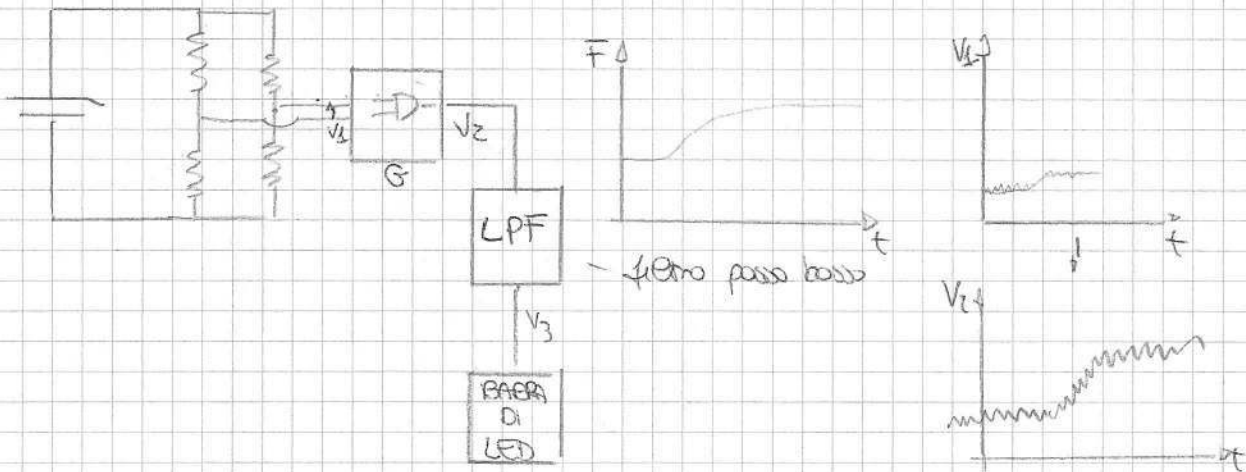
## FEEDBACK

Mostrare al soggetto i suoi parametri (es. la forza che si genera)  $\rightarrow$  è + facile controllarlo.

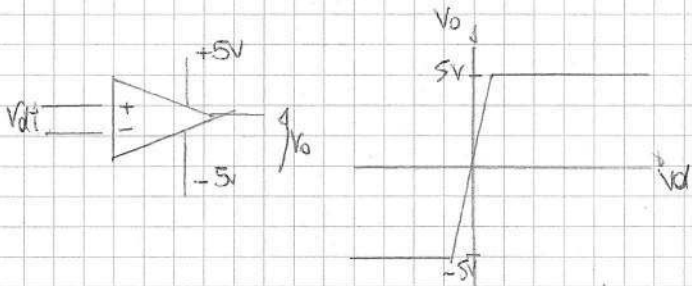


$\rightarrow$  es. barra di led

es. feedback visivo: sistema che avverte chi non ha la percezione della propria eretto



A seconda del soggetto e del muscolo devo variare il guadagno G

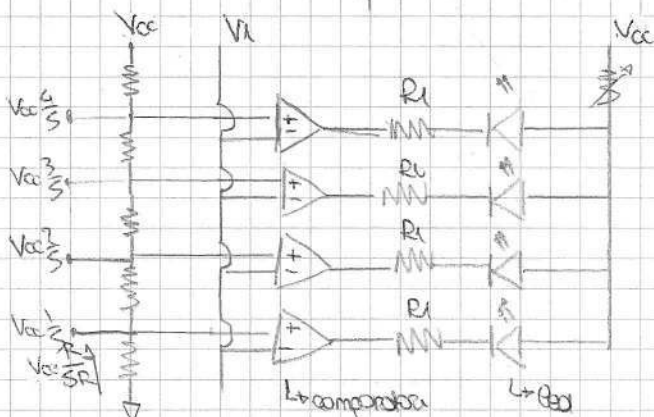
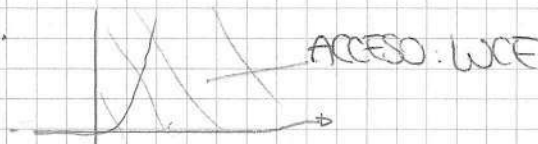
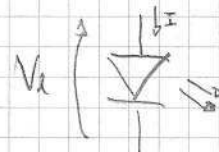


$\rightarrow$  amplificatore operazionale senza retroazione

è comparatore semplicemente



il diodo led quando conduce (potenziale  $V_i$  positivo) emette luce.



1 comparatore confronta i potenziali ai nodi delle resistenze con  $V_i$  (i comparatori non assorbitano corrente)

$\rightarrow$  se questo tensione è  $> V_i$ , all'uscita del comparatore ha  $V_{cc}$

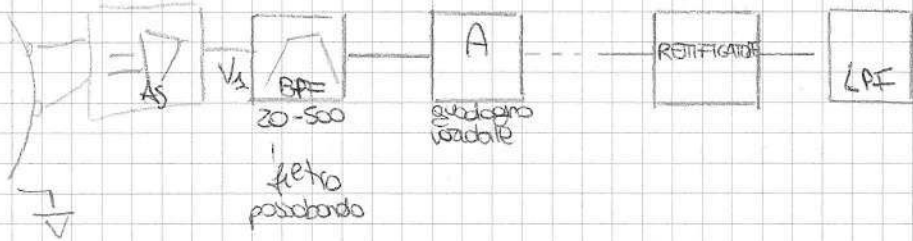
$V_{cc}$  non scende corrente

$\rightarrow$  se questo tensione è  $< V_i$  scende corrente e si accende il LED

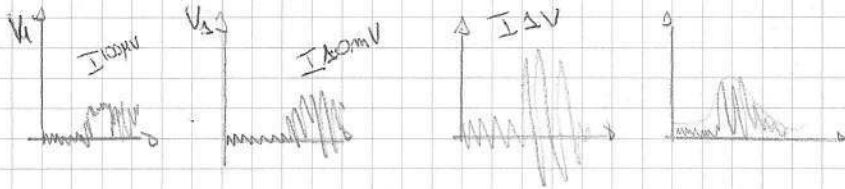
Se non metto  $R_e$ , lavorerò al diodo perché ho resistenza bassa (e scarto  $E_b$  batteria)

↳ correnti di qualche decina di  $\mu A$

Se voglio variare  $E_b$  luminosità metto una resistenza variabile all'inizio.



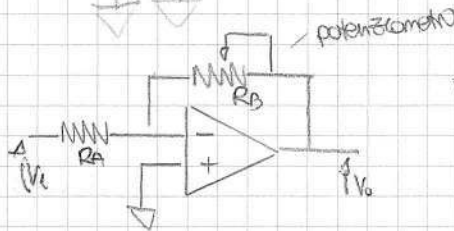
CATENA PER  
ENG  
↓  
PILOTARE



Voglio estrarre il trend, e' un envelope: devo prima rettificare il segnale (prende solo  $E_b$  peak positivo) e poi posso fare un filtro passobanda per estrarre il trend



AMPLIFICATORE  
A GUADAGNO  
VARIABILE

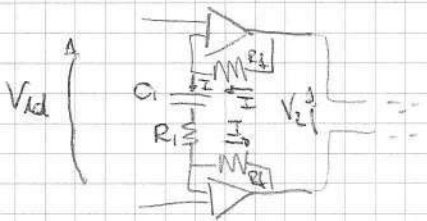


$$V_o = -V_i \frac{R_B}{R_A}$$

↳ è continuo

Prelevando le segnale emg, se ho un potenziale di semiciclo di 10mV e  $E_b$  amplificatore 1000V ho saturazione nel 1° stadio ⇒ devo rimuovere  $E_b$  DC

Un modo è inserire un condensatore nell'amplificatore x strumentazione

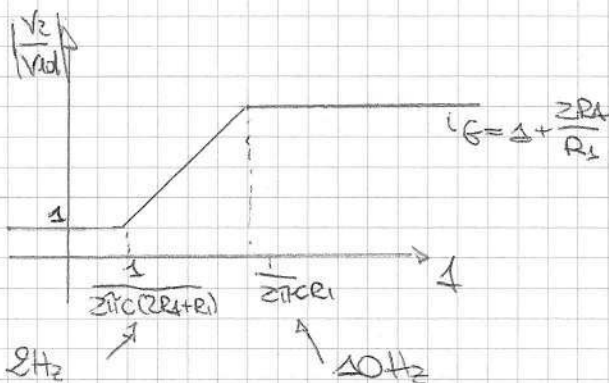


$$I = \frac{V_{id}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = V_{id} \frac{j\omega C_1}{1 + j\omega C_1 R_1}$$

questo corrente può solo scorrere nelle resistenze  $R_1$

$$V_2 = I \left( 2R_2 + R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right)$$

$$V_2 = V_{id} \frac{1 + j\omega C_1 (2R_2 + R_1)}{1 + j\omega C_1 R_1}$$



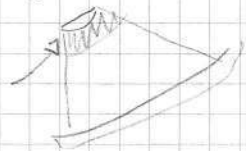
con questo schema,  $E_b$  DC non viene amplificata (ha guadagno 1)

↳ non  $E_b$  elimina



# STIMOLAZIONE ELETTRICA

onda M (EMAP)  $\rightarrow$  onda generata con contrazioni stimolate  $\rightarrow$  somma sincrona dei potenziali genera un cono di corrente via i due elettrodi



$\hookrightarrow$  densità maggiore vicino agli elettrodi di stimolazione; attivo gli assai + vicini (a seconda dell'intensità della corrente di stimolazione)

$\rightarrow$  aumentando il livello di stimolazione, aumento l'onda m.

Stimolazione monopolare: elettrodo piccolo e grande  $\rightarrow$  non stimola, riceve solo la corrente  $\hookrightarrow$  stimolo selettivo

bipolare: due elettrodi piccoli, uno in prossimità del tendine, la corrente di stimolazione muove tutto il muscolo

$\hookrightarrow$   $\ominus$   $\oplus$  usata per stimolare i muscoli

$\Rightarrow$  invece di stimolare il muscolo posso stimolare direttamente il nervo: fa male, ma stimola tutto

unità motorie  $\rightarrow$  5-10 Hz al massimo (fisiologicamente)

$\hookrightarrow$  perché se ne ottengono diverse.

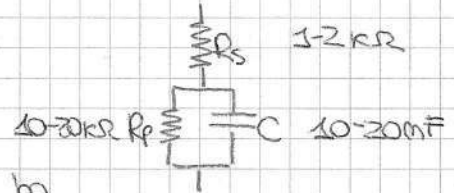
se stimolo a 30-40 Hz (perché voglio il tetano) ho fatica  $\rightarrow$  non è fisiologico

stimolare  $\rightarrow$  generatore di corrente: è meglio

$\rightarrow$  generatore di tensione:

il muscolo può essere modellizzato con un'impedenza

$\hookrightarrow$  dipende dal tipo di elettrodo, dalle caratteristiche del soggetto

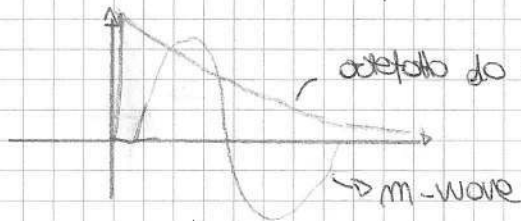


$\Rightarrow$  in funzione dell'impedenza, stimolare in tensione ha correnti diverse.

$\rightarrow$  se invece uso un generatore di corrente, la corrente è indipendente dall'impedenza

es. voglio far passare 100 mA su un carico da 1 k $\Omega$   $\Rightarrow$  il generatore di corrente deve imporre 100 V, (può essere  $>$  dell'alimentazione del generatore)

Artefatto da stimolazione: ho un sistema molto "fine" per registrare il segnale emg, e lo inietta con un campo elettrico di stimolazione molto forte



artefatto da stimolazione (la stimolazione ha caricato il condensatore che si sta scaricando)

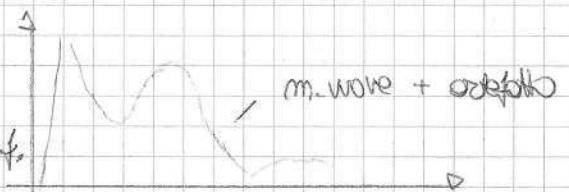
14-11-2012



il campo elettrico che genera la stimolazione (100-200 mV) disturba il segnale che voglio registrare (1-2 mV)



la parte dell'artefatto si somma all'onda m.



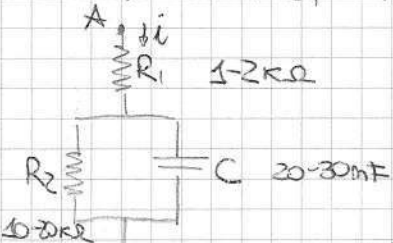
il picco può portare alla saturazione dell'amplif.

$\Rightarrow$  devo riuscire a sfogare i due segnali

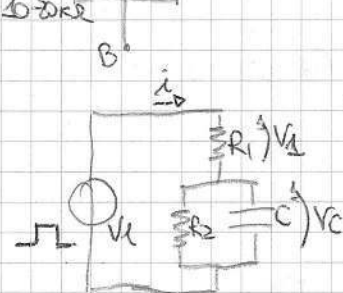
Gi sono dei metodi hardware e software per ridurre l'adattamento da stimolazione:

↳ stimolatore, amplificatore o segnale affilato

per far passare la corrente  $i$  posso usare un generatore di tensione o di corrente

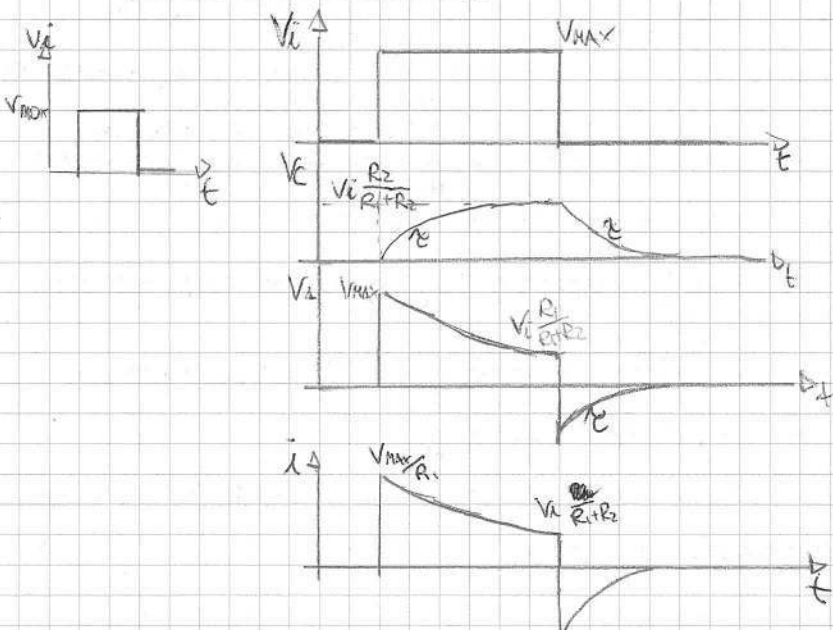


STIMOLATORE IN TENSIONE



$V_i = V_1 + V_c$

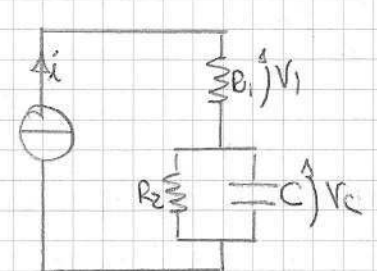
$i = \frac{V_1}{R_1}$



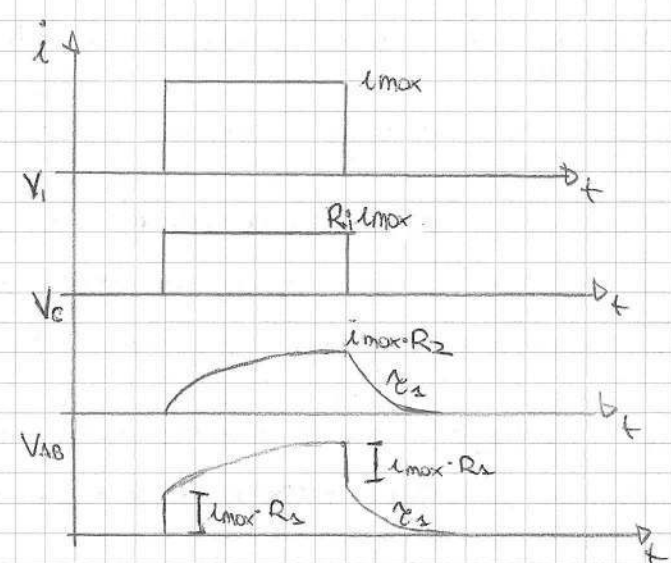
quando non eroga tensione il circuito è chiuso  
le resistenze sono in parallelo

$\tau = C(R_1 || R_2)$

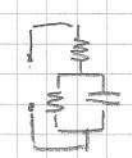
STIMOLATORE IN CORRENTE



$V_1 = R_1 \cdot i$   
 $V_{AB} = V_1 + V_c$



quando non eroga corrente il circuito è aperto



il condensatore si scarica attraverso R2

$\tau_1 = R_2 \cdot C$   
(mezzo + lento)

Con questo circuito sono sicuro che la corrente che impongo è costante → ho la corrente che voglio in nei tessuti → è meglio il generatore di corrente

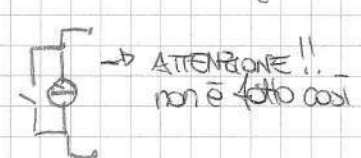
↳ se la tensione VAB la oltre la tensione di alimentazione non ce la fa

Per l'adattamento da stimolazione è meglio il generatore di tensione, poiché lo code duro di meno

⇒ in commercio gli stimolatori sono in tensione: non impasto al terapista dello sforzo di farlo (anche se vuoi molto da pensare o pensano)

Con qualità maggiore ci sono stimolatori di corrente, che non necessitano di prelevare l'imp

⇒ stimolatore che combino le due cose: generatore di corrente quando stimolo, e di tensione dopo



STIMOLAZIONE IBRIDA: generatore di corrente + circuito



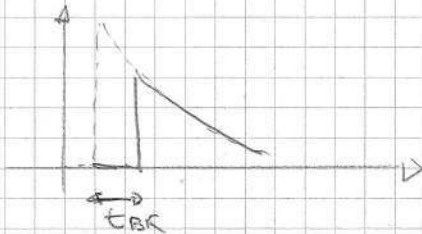
L'imitatore  $\beta$  spike iniziale dell'output da stimolazione

↳ più è alto, più a metà a scendere

↳ se è troppo alto, può saturare in tensione e amplificatore

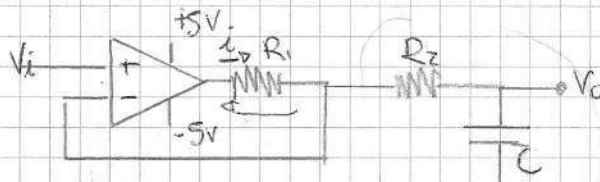
(es. se amplificatore con guadagno = 2000, alimentazione 5V, bastano 2.5mV per farlo saturare → poi a metà tanto o recupero re)

- diminuisca l'amplificazione (guadagno basso)
- circuito di blanking che mette in corto gli ingressi (1ms...) dell'amplificatore e quindi non riceve lo spike, ma solo lo coda



• slew rate limiter

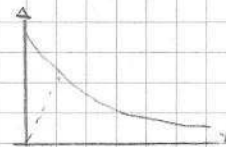
→ diminuisce  $\beta$  velocità di salita, e quindi anche il picco



INSEGUITORE DI TENSIONE

$$i = C \frac{dV}{dt}$$

↳ è un filo ASSASSO?



↳  $\beta$  corrente con cui C si carica esce dall'uscita dell'amplificatore.

questa corrente genera un caduta  $R_1 i$ , che se supera 5V saturo l'operazione

⇒ non riesce a fornire abbastanza corrente per caricare il condensatore in fretta.

→ si limita  $\beta$  velocità di variazione della tensione.

generalmente si inserisce questo circuito in amplificazioni per biopotenziali → non mi aspetto variazioni veloci → quindi se ci sono le elimino, elimino gli difetti.

INTERFERENZA DI RETE

20-11-2017

2 armature: uomo-rete e uomo-terra

↳ tensione di modo comune di  $\approx 10V$  (se l'uomo è equipotenziale)

( $\beta$  tensione di rete non è proprio sinusoidale → distorsioni delle armoniche (soprattutto la 3<sup>a</sup>))

impedenza d'ingresso di  $\approx 1G\Omega$  → in continua, c'è anche una componente capacitiva (10pF)

Questa tensione di modo comune può diventare in parte di modo differenziale

dovuto al postura → EVITARLO!

- DEL: preferire il remote (vicino o lontano o dove preferisci l'emp) ??

↳ ci deve essere spazio!!

- interpolazione dello spettro di ampiezza <sup>ed infine</sup> → sottrarre le righe di 50Hz con la <sup>e multipli</sup> media di parso e dopo (interpos) e poi antialiasing