

trovare la potenza di idola che minimizza lo scarto quadratico medio tra idola e funzione

→ algoritmo di minimizzazione: ce ne sono molti

d e  $w_0$  possono essere indici quantitativi di spostamento

5-12-12

Se si compime una fibra nervosa → formicaio

I neuroni periferici: se il loro assone viene tagliato hanno la capacità di ricrescere

(uomo → capacità + limitate di altri animali)

↳ si sta cercando di imitare con cellule staminali

chirurgo plastico: tecniche basate sulla ricostruzione e sutura del singolo assone (della guaina mielinica)

Ci va molto perché ricrescono: 0.5-1 mm/giorno → in tutto questo tempo il muscolo si

atrofizza → deve essere impedito: ginnastica passiva, stimolazione elettrica o manipolazione da parte di un robot (queste ultime due sono meno costose come operatori).

⇒ come fare a vedere a che punto sono ricucite le fibre nervose? Difficile: è difficile

leggere il segnale del nervo (rumore), è pericoloso avvicinarsi con un elettrodo ad ago

con il motore che attiva le fibre nervose che attivano le fibre muscolari

→ se non ho le fibre nervose devo stimolare molto di più per attivare le fibre muscolari

• dato che non c'è + lo zero d'immersione, il muscolo è molto + faticato o creare nuove giunzioni neuromuscolari se attivo un nuovo assone

• se è parzialmente denervato si possono creare delle unità motorie giganti

↳ si osserva anche per lesioni di midollo spinale

i pochi neuroni sopravvissuti hanno ramificato le branche creando delle unità motorie giganti

## STIMOLAZIONE RETTIFICA

$$E = \frac{I}{\sigma}$$

se voglio indurre un potenziale d'azione devo cambiare la tensione di membrana.

→ devo creare delle capacità: impulso di stimolazione che dura un certo tempo

(variazione di campo elettrico della membrana cellulare supera una certa soglia)

→  $E_{soglia} = a + \frac{b}{t_i}$   $I = \frac{q}{\Delta t} + b$  per arrivare alla soglia devo applicare un campo o una corrente esterna

↳ CURVA INTENSITÀ TEMPO

Posso stimolare in corrente o in tensione

Nei neuroni, se applico impulsi bassi molto lunghi, la membrana ha tempo di compensare

Se invece impulsi triangolari (rampa) → tendono ad adattarsi, non rispondono o sono lenti a rispondere.

Le fibre muscolari invece non hanno questo adattamento → uso impulsi muscolari lunghi

(10-100 ms) e attivo solo le fibre muscolari e non quelle nervose

Il punto motorio di un muscolo è il punto di maggior eccitabilità (di solito sotto al muscolo, cioè sono + protetti)

↳ tra punto motorio e zero d'immersione possono esserci 1-2 cm, o comunque

Stimolo con un impulso di una certa durata ed aumento via via l'ampiezza o viceversa

↳ raddo a recettore sempre + fibre motorie

↳ ho modalità di reclutamento diverse, o secondo di come sono le curve delle varie fibre


↳ quindi, modulo o l'ampiezza o la durata

↳ forme d'onda diverse: rettangolare monophasica o bifasica

accumulo ioni negativi ( $Cl^-$ ) e positivi ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) in posti diversi  
se  $Cl^-$  si ossida (cedo un elettrone al metallo) e si ottiene  $Cl$  che si unisce con  $H^+$  che trovo  $\rightarrow$  si crea  $HCl$   
dall'altra parte si forma  $NaOH$  e  $KOH$

↳ si creano infiammazioni e irritazioni (anche ustioni chimiche) sotto gli elettrodi

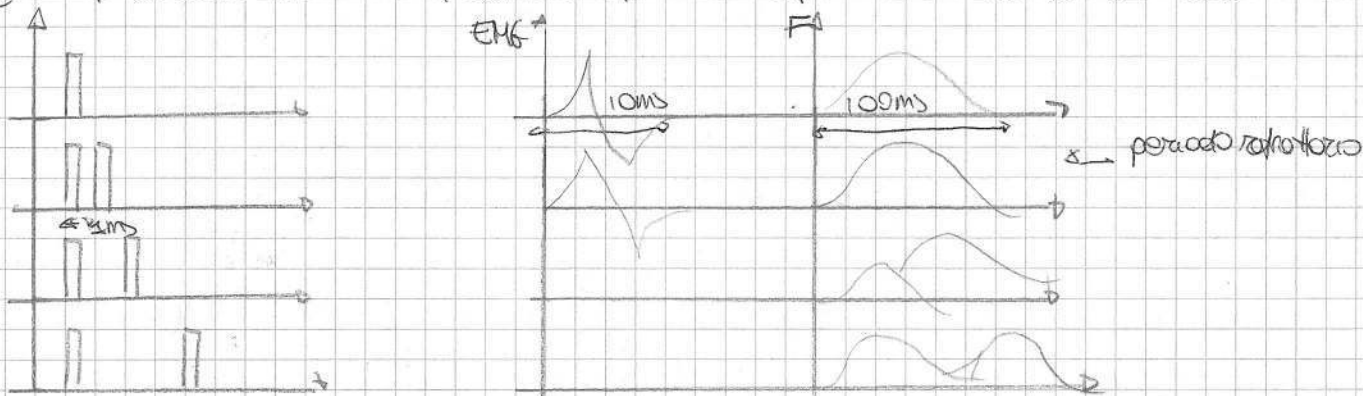
si creano sotto lo stesso elettrodo prima  $HCl$  e poi  $NaOH \Rightarrow NaCl + H_2O$  che non da problemi

$\Rightarrow$  con monophasica e bifasica eccetto lo stesso caso? lo susposto è uguale o no? faccio le due semionde uguali o diverse? es. 

si osserva che lo stimolo negativo stimola cose diverse da quello positivo

Cio' che stimola è la quantità di carica che immetto  $\rightarrow$  tra le varie forme d'onda cambia poco (qualcosa cambia, ma poco)  $\rightarrow$  o pari carica danno lo stesso effetto

Se gli impulsi sono molto vicini, siamo nel periodo refrattario  $\rightarrow$  non succede nulla



Invece di stimolare con un treno d'impulsi posso stimolare con un treno di doppiere  
↳ si usano 2-3-4 nei protocolli di stimolazione (di + si ossida al tetano)  
periodo refrattario  $\rightarrow$  cellula muscolare : 5-10 ms (durata potenziale d'azione)  
 $\rightarrow$  neurone : 1-2 ms

onde M (CMAP)  $\rightarrow$  si sommano in maniera asincrona  $\rightarrow$  processo casuale occasionale  
Impeto a 15-20Hz contrazione tetonica

11-12-2012

stimolazione antidromica : verso il SNC ( $\rightarrow$  è inutile)

ortodromica : verso la periferia

le unita motorie si contraggono insieme  $\rightarrow$  forza

si studiano le frequenze o cui si stimola.

Lo stimolo elettrico causa un transitorio nei tessuti (ha delle caratteristiche capacitive)

$\rightarrow$  si scaricano durante l'impulso e si scaricano dopo (ampiezza di  $V_{est}$ )  $\rightarrow$  artefatto che bisogna eliminare.

La stimolazione può anche avere obiettivo terapeutico → recuperare muscoli inerte

- persona immobilizzata, gesso (→ durante, con delle finestre nel gesso) o dopo, riabilitazione

Applicazione per gli astronauti (usano le braccia per muoversi)

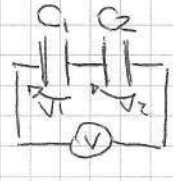
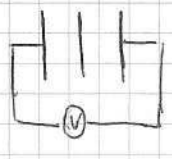
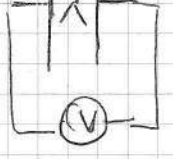
Tecniche di stimolazione elettrica funzionale → x avere una funzione utile: camminare meglio, estendere un arto, ...

⇒ in queste applicazioni il problema dell'attacco non interessa: non devo leggere.

Stimolazione monopolare: un elettrodo attivo + elettrodo di ritorno → la stimolazione vicino all'elettrodo attivo.

→ a 100 microampere di corrente > 1mA

praticamente è un'ottima ammissione



$$V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V$$

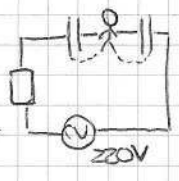
Se questo percorso ha addressi elettrici, amplificatore → hanno addressi una tensione di modo comune che rende il sistema di amplificazione poco sensibile alle tensioni di modo comune

E se l'omino tocca le due elettrodi? Come evitare che si becchi lo scossa?

- è l'interruttore differenziale del cardiaco scotta

↳ se però tocca le due elettrodi non scotta

⇒ • si mette una resistenza in serie che limiti a < 1mA



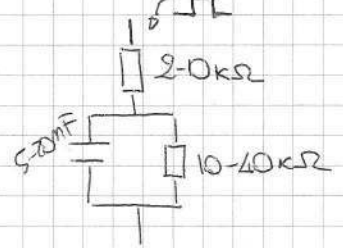
la corrente che fluisce, ⇒ R = 220kΩ

→ devo fare in modo che il campo per il corpo sia ≈ 100 V/m comunque.

quanto + piccola è la tensione sul condensatore per colpo della resistenza.

generatore di corrente e di tensione

il circuito equivalente di un tessuto sottoposto a stimolazione è:



la stimolazione normalmente è fatta in corrente, ma tenuto in tensione

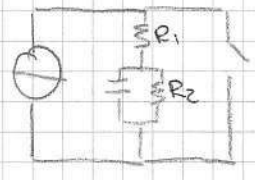
Se cambia l'impedenza, stimolando in tensione, cambia la corrente  
↳ non lo voglio

A noi importa che la corrente sia nota / controllata.

dopo l'impulso ho un transitorio dovuto al condensatore

Posso ricevere:

- combinate i due elettrodi di stimolazione dopo l'impulso e fino al prossimo impulso.



→ la parte del transitorio diventa molto più corta

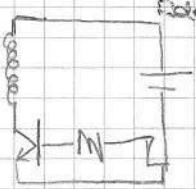
il condensatore non si scarica solo su R2, ma su R1 || R2

che tipo di interruttore? un transistor bipolare? ma quando scatta

ho tensioni ≈ 0.2V → molto maggiore dell'onda M ⇒ non va bene

un role? no, perché non posso far passare nell'induzione un segnale





se applico 5V a un diodo es bruciato  
 ↳ devo mettere una resistenza



se applico una tensione continua ad un'induttanza ...

12-12-2012

se ho una corrente bassa stimolo uno zano minore (vicino all'elettrodo) e raccolto meno fibre

e' artefatto (1-2v) e' molto piu grande dell'onda m (1-10 mV) ↳ perché  $R_1 \ll R_2$  e perciò  $\xi \approx +prec$

se gli elettrodi di prelievo sono lontani da quelli di stimolazione → e' artefatto e' minore

una tecnica per ridurre lo durata dell'artefatto → collocare in serie gli elettrodi

• il rate non e' abbastanza veloce

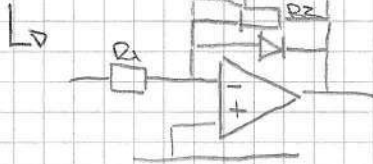
• ⇒ utilizzo transistor ad effetto di campo (non hanno tensione di saturazione) -  
 vanno in resistenza da  $\Omega$  a  $M\Omega$

modalita di ingresso dell'amplificatore se applico 1V questo saturo e poi c'e' un transistoro d'uscita dalla saturazione (in cui l'amplificatore non e' utile, ...)

↳ metto due interruttori che collegano gli elettrodi

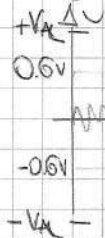
creo un periodo di blanking

↳ metto in cortocircuito gli elettrodi (per le capacità parassite l'impulso di comando passa una m parte)



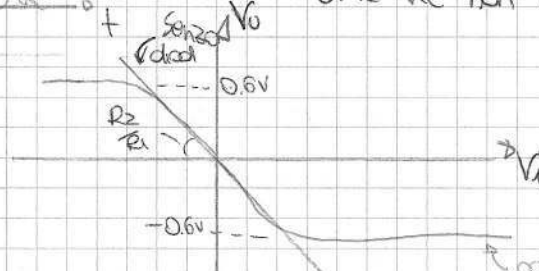
metto due diodi in parallelo: se l'uscita e' < 0.6V non ci sono; se l'uscita e' > 0.6V i diodi conducono e la resistenza di feedback passa da 10-100 k $\Omega$  →  $\Omega$

si crea una specie di saturazione, ma l'amplificatore non saturo



↳ e' una saturazione, ma non saturo l'amplificatore:

↳ utile xk e' non ho il transistoro dopo



se di fuori della banda saturo → clipping

↳ slew rate (es.  $\frac{1V}{\mu s}$ ): c'e' una massima velocita' di variazione dell'uscita che l'amplificatore non puo' superare

il segnale eme arriva fino a 400 kHz → a questa frequenza  $\approx 10 \mu V_p$

$$V = A \cdot \sin(\omega t)$$

ho la massima pendenza



faccio il derivato  $\frac{dV}{dt} = A \omega \cos(\omega t)$

massima pendenza =  $A \omega = A \cdot 2\pi f = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 628 \cdot 400 = 2512 \frac{mV}{s}$

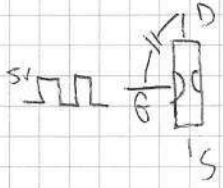
↳ l'amplificatore e' + veloce, io bene

se faccio in modo che la slew rate vada una bene per l'onda m, ma

Sia minore della velocità di variazione dell'adefatto  $\rightarrow$  ho un adefatto + piccolo, che quindi non serve l'amplificatore

$\rightarrow$  è un problema comune degli switch

\* interrottività elettronica: l'impulso di comando passa  $\rightarrow$  non ho ad esempio un corto circuito



perfetto tra gli elettrodi

$\rightarrow$  trasformo il generatore di corrente in uno di tensione fra i due impulsi

$\rightarrow$  stimolo con basse correnti e misura e' adefatto. Suppongo (abbastanza giusto) che l'adefatto sia proporzionale alla corrente  $\Rightarrow$  quando stimolo espongo sottoggea del segnale è stima dell'adefatto

$\rightarrow$  ci sono metodi di signal processing, reti neurali, ...  $\rightarrow$  per conoscere l'adefatto

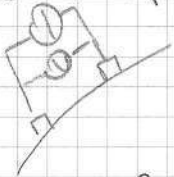
es. volo da 1-50 mA di stimolazione a passi molto piccoli (0.1 mA)

$\rightarrow$  le onde M si differenziano poco: vedo il progressivo aumento di reclutamento di u.m. se faccio la differenza tra un'onda e la vicina (precedente) vedo le caratteristiche delle nuove u.m. reclutate.

Possò fare molti protocolli di stimolazione, per vedere il reclutamento, l'affaticamento, ...

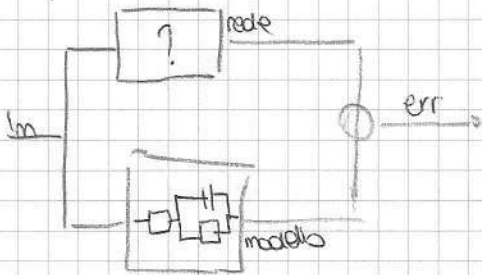
### Stimolazione bipolare

Misurare l'impedenza tra due elettrodi: stimolo in corrente e misura della tensione a vuoto della frequenza.  $I \propto \frac{1}{Z}$   $V \propto Z$   $\rightarrow$  impedenza sottoggea modulo e fase impedenza



Possò farlo a a passi oppure in modo continuo (segnale chirp)

$\rightarrow$  possò ottenere un circuito equivalente



trovare il modello che minimizza l'errore

$\Rightarrow$  stimolo in corrente i con e la tensione? e viceversa

Soggetto con spostamento dell'arto superiore  $\rightarrow$  voglio aprire il mano

sensori per avere un feedback, avere la stimolazione che serve per ottenere ad es. un movimento che voglio.



non hanno avuto molto successo

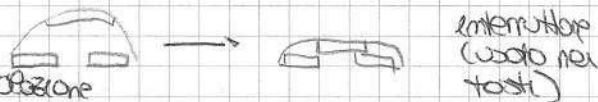
il problema è che questo sistema non è lineare  $\rightarrow$  controllare difficile da progettare (è anche tempo-variabile)  $\rightarrow$  se stimolo ed dopo, non ho il dopo...

persone con piedi sposti: sempre flessi

⇒ STIMOLATORE PERONEALE

→ si mette un interruttore sotto il piede che quando si alza il piede si stimola il peroneo causando una flessione dorsale.

se appoggio il piede, l'interruttore blocca la stimolazione



mi servono degli impulsi di stimolazione con tensione debole

STIMOLATORE PERONEALE

18-12-2012

il nervo peroneo innerva la gamba anteriore della gamba (fibule anteriore, ...) peroneo ergo, breve

→ muscoli estensori del piede (flessione dorsale)

Si fissa l'elettrodo sul polpaccio con un velcro dietro il ginocchio da scarpe costa meno

Effetti termopatia sul breve termine: la persona cammina come se fosse acceso per mezz'ora dopo che è stato usato e spento (carry over)

Stimolare in classe con due elettrodi lungo il percorso del peroneo e un sensore sotto il tallone

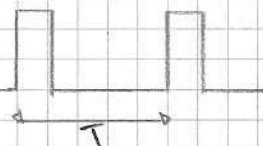
Treno d'impulsi poco dopo che il tallone è scacciato (impulsi crescenti) → la max parte in tensione (è + facile generarli)

impulsi d'ampiezza dell'ordine delle decine di Volt.

Come fare con batteria da 9V?

- DC-DC converter

→ generatore di impulsi } costano simili, ma il }  
 microprocessore }  
 parte logiche } è + comodo

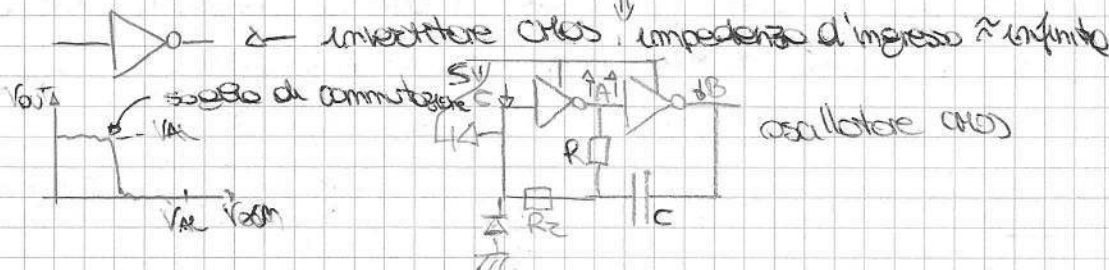


MICROPROCESSORE

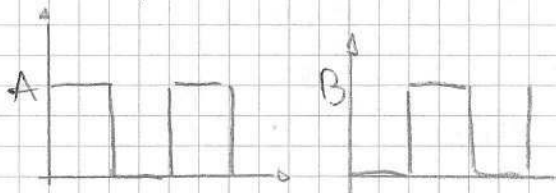
- sono una parte fisica → a quello dato
- fanno parte un controller (clock: 1MHz → 1µs)
- quando raggiungo il valore desiderato debbo essere parte logica (e 0 e uscita) → a quello basso
- il contatore continuo fino a T, dove si riorizzò tutto e ripartì

(stimolatore peroneo: 300-100 Hz)

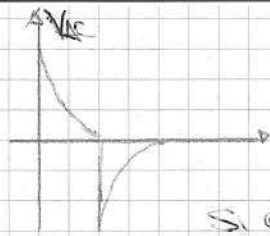
oppure posso usare un oscillatore C-MOS



La tensione d'ingresso del 2° CMOS sale, l'uscita scende → l'ingresso del 1° scende, l'uscita sale, i due CMOS saturano. Il condensatore si carica → la



fibrare nel punto S sale → A si abbassa → B si alza, il condensatore si carica dall'altra parte → riparte dall'inizio



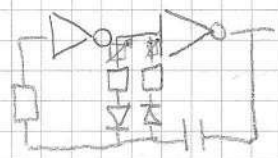
può andare fuori dal range dell'alimentazione → per evitare danni  
dentro le porte CMOS ci sono dei diodi che vincono

si aggiunge una resistenza  $R_2$  per limitare la corrente nei diodi e  
evitare di bruciare

la frequenza degli impulsi è legata da  $\tau = RC$

Non voglio un'onda quadra: voglio l'impulso stretto e lo spazio largo

→ le costanti di tempo di carica e scarica devono essere diverse

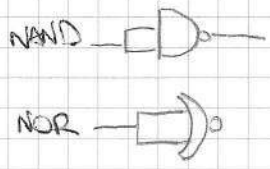


il condensatore si scarica e carica attraverso due  
resistenze diverse

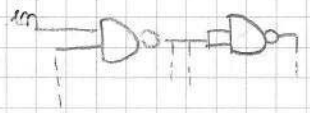
↳ due  $\tau$  diverse

se metto le due resistenze variabili posso modificare  
frequenza e duty cycle

Potrei anche usare porte NAND o NOR come invertitori → se sono in c.c. è uguale a  
primo (con gli ingressi in cortocircuito)



00	1
01	1
10	1
11	0



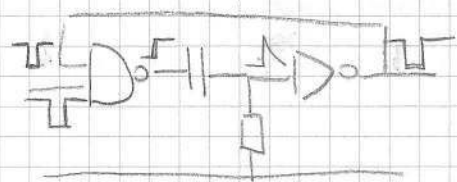
se metto IN a 0, l'oscillatore  
è bloccato → l'uscita è sempre  
1. se metto IN a 1, l'uscita è  
l'opposto dell'altro ingresso → oscillatore  
↳ posso attivare o no l'oscillatore

il bit che lo accende/spegne arriva dall'interruttore sotto il tasto

→ ingresso 0: piede a terra (interruttore chiuso) → oscillatore bloccato

→ " 1: piede in volo ( " aperto) → " acceso.

Ma il segnale IN è ancora troppo complesso → se ci metto poco carico, se mi scordo  
temperatura → usare un MONOSTABILE che dopo un po' lo blocca



~~ovvero un grading~~  
~~ovvero un invertitore~~

se l'impulso su IN è breve si genera un burst 0 sull'uscita, che dura

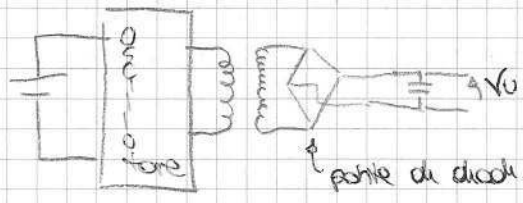
in base a quanto ho scelto  $\tau = RC \Rightarrow$  CIRCUITO MONOSTABILE

→ allora mettere un invertitore perché l'altro circuito funziona con un 1.

### DC-DC CONVERTER

(un induttore in continuo → costo alto → ancora lo bottino)

provare a fare  
tutto con  
oppure:  
• 6 invertitori  
• 4 NAND  
• 4 NOR

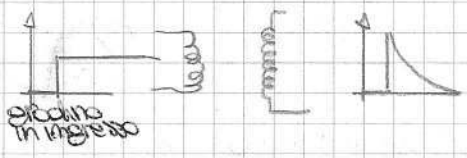


a freq. elevate, il decoupling di tensione è  
elevato e la tensione sul secondario è elevata  
↳ forza un ciclo di isteresi più piccolo → posso  
usare un nucleo di isteresi + piccolo (è + lontano  
da saturazione)

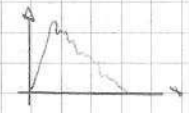
l'oscillatore deve oscillare → alle frequenze: trasformatore molto piccolo.

ma ho altri problemi: capacità eccessive → trovare il compromesso (boh? l'oscillatore?)

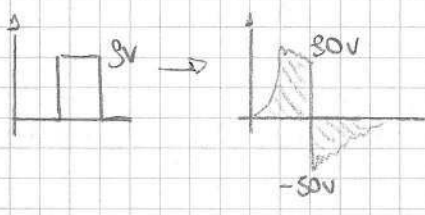
• non posso mandare un treno di impulsi al trasformatore ??



se ci sono capacità  
possibile

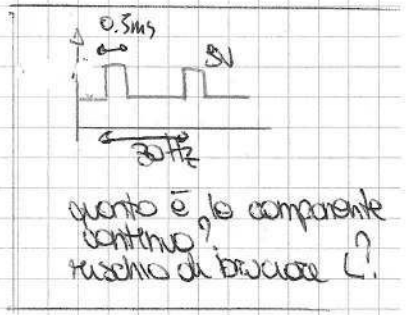


se applico un treno d'impulsi



non ci può essere continuo  
sul secondario

ho un impulso bistosico !!



Possibile problema del ripple con DC-DC conv. → ad alte frequenze è + stabile.

Supponiamo in uscita un treno di impulsi da 100V

trasferisco al carico un'energia che prendo dal condensatore in uscita (→ DC-DC) e dal campo magnetico del trasformatore (2° caso).

È + conveniente il primo caso: il condensatore si scarica (parzialmente) quando stimolo e poi si ricarica.

Ho bisogno di una potenza istantanea:  $100V \cdot 1k\Omega \rightarrow 10W$  ( $V^2/R$ )

un trasformatore da 10W è abbastanza grosso e pesante !!

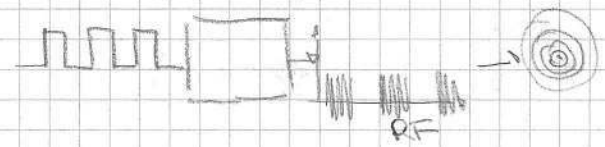
(il transf. DC-DC conv fornisce invece solo una potenza media di  $10W \cdot 0.5ms \cdot 30Hz = 0.15W$  → è molto meglio !!)

⇒ gli elettrodi sulla pelle sono scaldati: difficoltà da posizionare per un'impiegato

• togliere il filo → usare un radio switch (gommone → si vede il filo) **stimolatore impiantato**

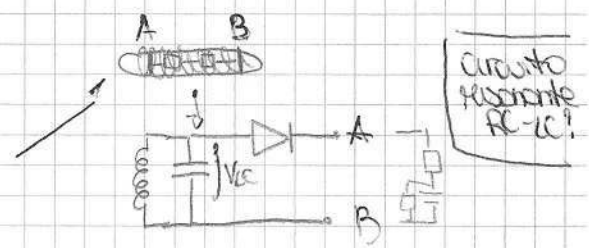
• impiantare un piccolo elettrodo ed avere una bobina dall'esterno

generatore d'impulsi che attiva un generatore RF (1 MHz) → va ad una bobina

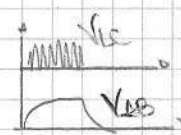


spirale che irradia il campo RF

impiantato c'è un tubo di ceramica con dentro condensatore e diodo e un avvolgimento L → 10 o due elettrodi (perforati con due ossidati)



Circuito risonante LC!



→ impulso che stimola Cooperato nel corso del raddrizzamento

[basta un watt per stimolare su 1kΩ

P ≈ mW]

problemi: impedisce un'operazione chirurgica → anche coste + elettrodi si possono creare dalle interferenze → scegliere frequenze adatte (es. telefonici)

ho problemi di calore

si può danneggiare il nervo se si urta → non è molto usato quindi

⇒ come potrà sussistere? focus in disco di materiale 'gommoso' con una

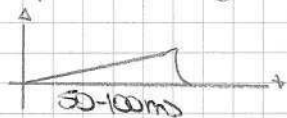
Argomento che causa di nervo



Polso aerea in muscolo parzialmente denervato  $\rightarrow$  stimolare queste fibre.

voglio attivare la parte denervata, per non che si atrofia.

$\rightarrow$  impulsi triangolari, o rampa  $\rightarrow$  lunghi



questo è stimolare le fibre muscolari e non i motoneuroni

Polso stimolare + muscoli in maniera da migliorare il cammino

Ho due tipi di fibre  $\rightarrow$  molto utile stimolare selettivamente

• 2: sono + grosse, neuroni + grossi  $\rightarrow$  soglia di stimolazione + bassa

$\Rightarrow$  atingo "è opposto" del volontario

$\rightarrow$  non riesco ad avere volontariamente le fibre di tipo 2 perché sono attivate per ultime

$\rightarrow$  molte implicazioni (sede) nello sport

a sono molte altre scientifiche in contraddizione tra di loro

$\rightarrow$  se tronco nervoso si dirama a fare le giunzioni con le unità motorie

• densità di corrente

• soglia di stimolazione



$\rightarrow$  dove la densità di corrente è bassa, stimolo solo le fibre + grosse (soglia + bassa)

la distribuzione delle fibre è diversa a seconda della persona

Per recuperare polso stimolare direttamente il nervo  $\rightarrow$  risultati molto + ripetibili

(per un studio) ma creare talvolta imprevedibile

Posso stimolare in modo diverso per avere dei vantaggi?

Neuroprotesi = sistema che stimola diversi gruppi muscolari per produrre movimenti funzionalmente utili  $\rightarrow$  è molto difficile