senza errori. Questo sistema è detto: "dare la f.e.m in feed forward"

LIMITI delle BANDE PASSANTI

Banda passante dell'anello i_e:

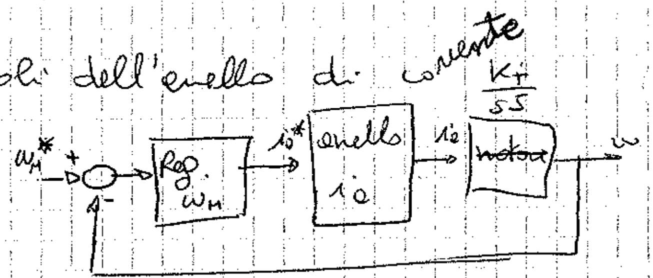
- convertitore $conv(s) = 1$ non ha teoricamente limiti $B = \infty$

- se $conv(s) = \dfrac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1}$. $B = f(\omega_c)$

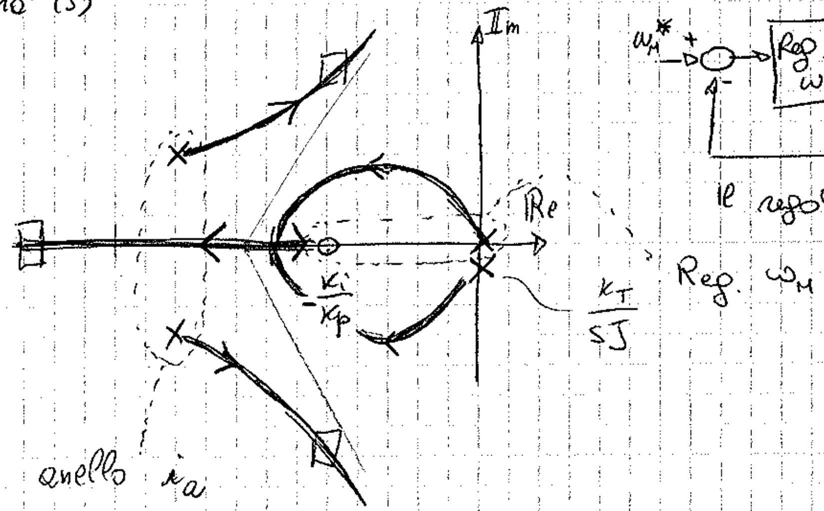
Banda passante anello di velocità:

- $\dfrac{i_e(s)}{i_e^*(s)} = 1$ $\qquad B = \infty$

- $\dfrac{i_e(s)}{i_e^*(s)} = G(s) \neq 1$ $\qquad f$ dei poli dell'anello di corrente



Il regolatore di ω_M è tipo PI



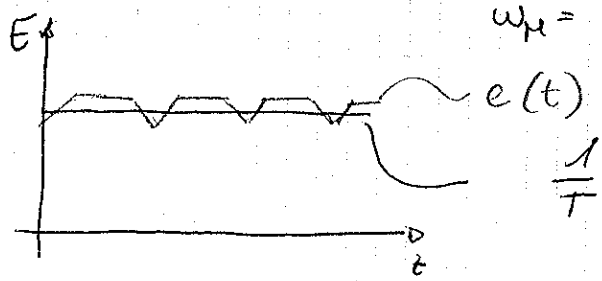
Esistono 2 poli provenienti dall'anello di corrente che tendono ad entrare in zona $\xi < 0{,}5$ all'aumentare di K_p dello anello di velocità.
Se i poli dell'anello di corrente sono molto lontani dall'origine posso avere un K_p alto. Altrimenti avrò un sistema lento.

<u>trasduzione della velocità</u> (come misurare la ω_M)

Consideriamo come trasduttore la dinamo tachimetrica. (generatore DC costruito appositamente per ottenere una f.e.m. $\propto \omega_M$). Utilizzato con $i_e \to 0$)
Nelle spire dell'avvolgimento ho la generazione di tensione alternata $\approx$ sinusoidale. Il collettore più le lamelle fa la somma delle tensioni istantanee > 0 meno la somma delle

istantanee < 0.

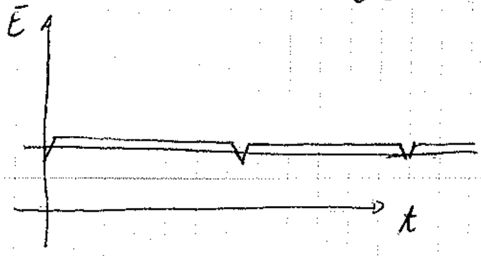
ω_M = costante



$$\frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,d(t)$$ (valore medio delle $e(t)$)

$e(t) = E +$ armoniche.

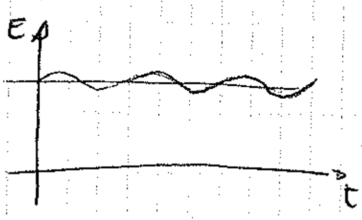
Se rallento l'ondulazione ha frequenza più bassa



I salti sono dovuti al passaggio della spazzola da una lamella all'altra.

Approssimando possiamo dire che

$e(t) = E +$ armoniche $\simeq E +$ armonica fondamentale di ondulazione di $e(t)$



$$e(t) = E + k_e \, h \, \omega_M \sin(K\omega_M t + \varphi)$$

$K_e\omega_M$

Se trascino il motore a ω_M = costante ottengo informazioni sulla velocità non costante, ma è $\omega_{M,mis} = \omega_M + h\,\omega_M \sin(K\omega_M t + \varphi)$

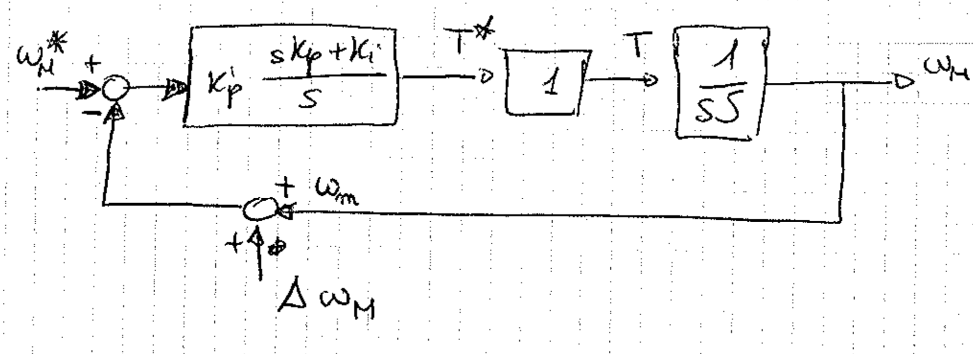
h e K sono parametri della dinamo tachimetrica. In particolare:

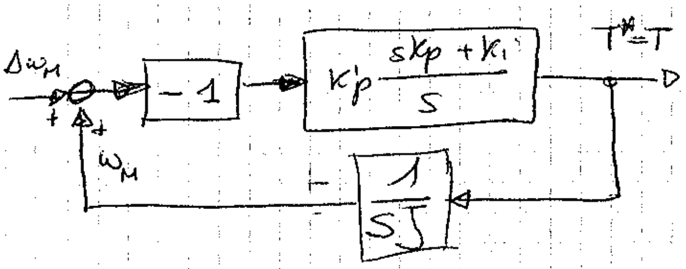
- h dipende dai magneti e dagli avvolgimenti
- K dal n° di lamelle.

Il controllo ha informazione della velocità che arriva dalla dinamo tachimetrica. Cosa comporta questo?

Possiamo dire che $\omega_{M,mis} = \omega_M + \Delta\omega_M$ dove $\Delta\omega_M$ è l'ondulazione (ripple)

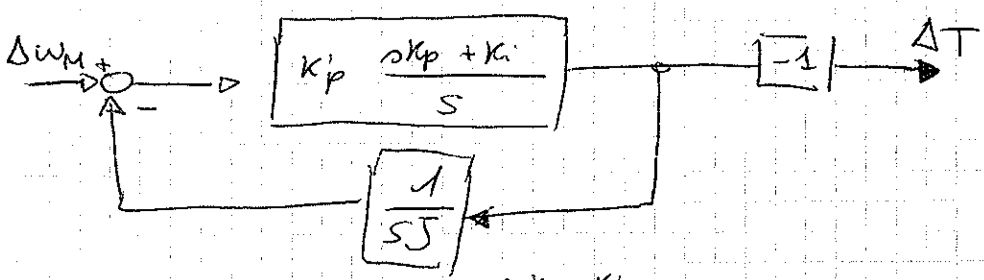
$\Delta\omega_M$ è funzione sinusoidale con ampiezza $h\,\omega_M$, pulsazione $K\,\omega_M$.





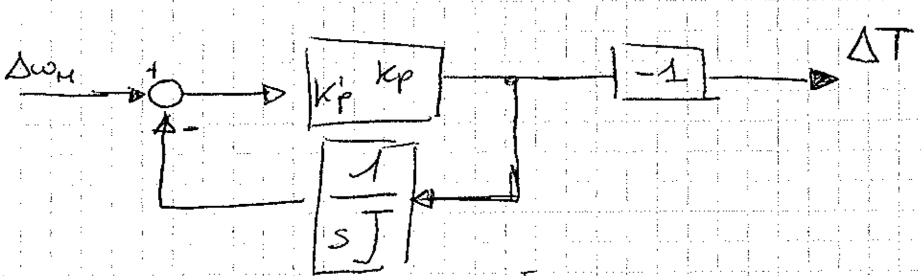
le ΔT è il ripple di coppia

$$\frac{1}{T}\int_0^T \Delta T(t)\,dt = 0$$



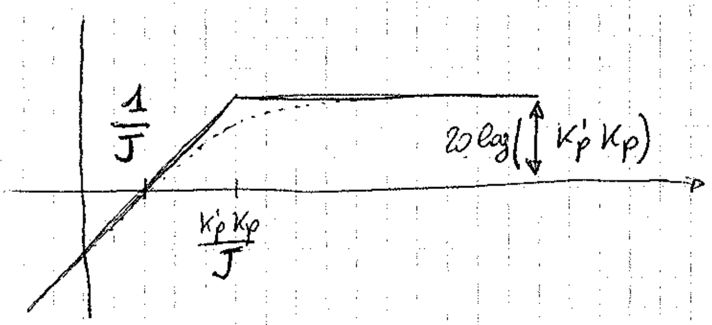
$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta\omega_M(s)} = \frac{K'_p \frac{sK_p+K_i}{s}}{1+\frac{1}{sJ}K'_p\frac{sK_p+K_i}{s}}$$

<u>Studiamo il sistema in caso di solo guadagno proporzionale</u> ($K_i=0$)



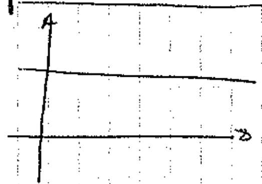
$$\frac{|\Delta T(s)|}{|\Delta\omega_M(s)|} = \frac{K'_pK_p\left(\frac{sJ}{K'_pK_p}\right)}{1+\frac{K'_pK_p}{sJ}\left(\frac{sJ}{K'_pK_p}\right)} = \frac{sJ}{1+\frac{s}{\left(\frac{K_pK'_p}{J}\right)}}$$

Si ha zero nell'origine e polo in $\frac{K_pK'_p}{J}$

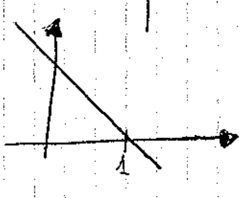


~~Se ho guadagno proporzionale integrale~~

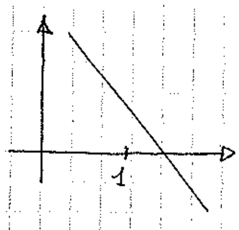
catena diretta



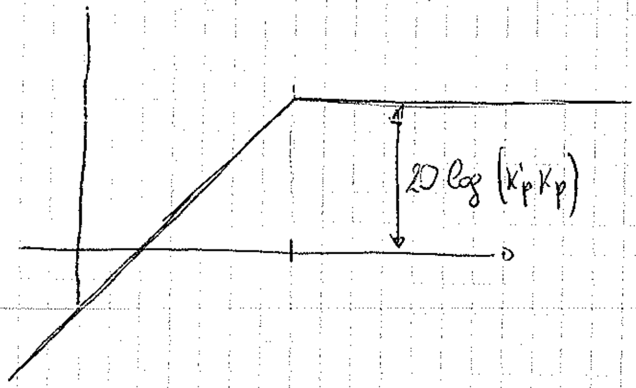
~~ret.~~ retroazione



catena diretta * catena inversa:



$$|G_c| = \frac{|\text{dir}|}{|1 + \text{dir} \cdot \text{retr}|}$$



Se ω_M molto grande il num. non dà problemi (perchè è costante), mentre il denominatore è $\simeq 1$.

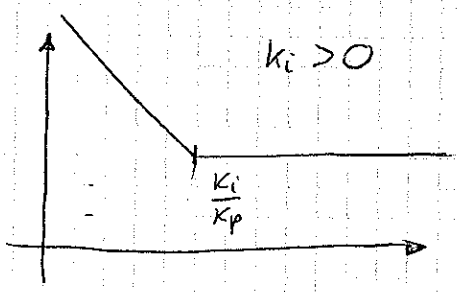
Per $\omega \to 0$ il num è cost., mentre il denominatore è molto grande. Quindi il modulo ~~di~~ di G_c sarà molto piccolo

la ~~puls~~ pulsazione dell'angolo

la retroaz. toccherà 1 se $\left|\frac{1}{J\omega j}\right| = 1 \Rightarrow \omega = \frac{1}{J}$ quindi

la pulsazione d'angolo è $\omega = \frac{K'_p K_p}{J}$

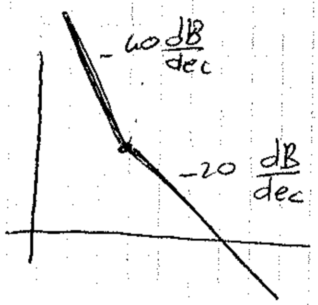
Ora ai diagrammi appena studiati dobbiamo aggiungere ile ~~g~~ variazioni del guadagno integrale.



Catena diretta

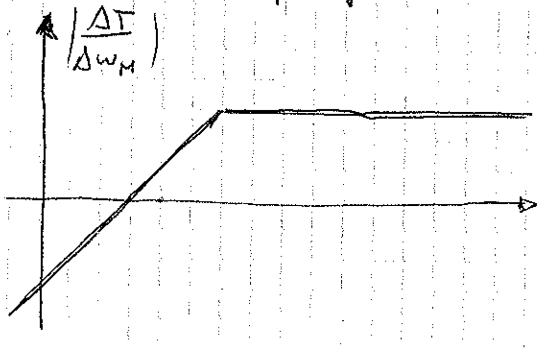
Nota: $\frac{K_i}{K_p} < \frac{K'_p K_p}{J}$ altrimenti il sistema diventa sotto-smorzato.

La catena inversa non cambia.



Catena diretta * retroazione.

Per $\omega \to \infty$ la presenza del PI non fa variare nulla rispetto al solo proporzionale.



Se $\omega \to 0$ ~~cam~~ cambia la dir. * retroazione. ~~Quindi~~ Tuttavia il fatto che ci sia l'integrale non cambia nulla.

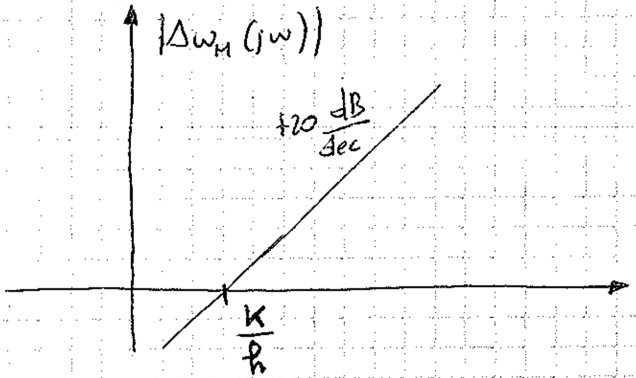
Di conseguenza $\left|\frac{\Delta T}{\Delta \omega_M}\right|$ è uguale sia che vi sia l'integrale, sia che non vi sia.

Ci chiediamo se $|\Delta \omega_M|$ è funzione di ω_M. La risposta è sì, infatti:

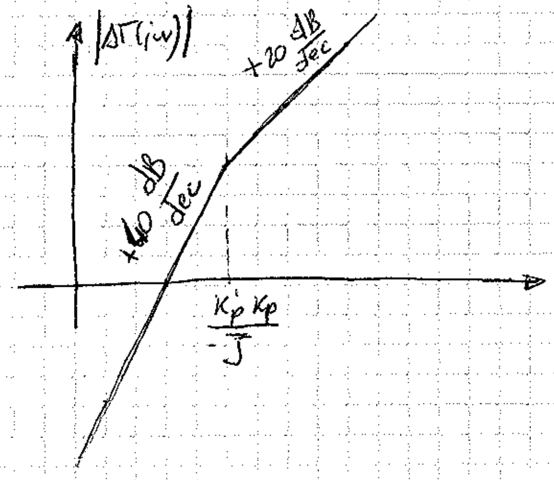
$$\Delta \omega_M = h\,\omega_M \sin(K \omega_M t + \varphi)$$

$$|\Delta \omega_M| = h\,\omega_M = h\,\frac{\omega}{K}$$, ω è pulsazione di $\Delta \omega_M$

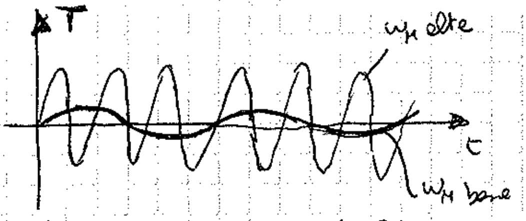
La pulsazione di $\Delta \omega_M(t) = K \omega_M = \omega$



$$|\Delta T(j\omega)| = |\Delta \omega_M(j\omega)| * \frac{|\Delta T(j\omega)|}{|\Delta \omega_M(j\omega)|}$$

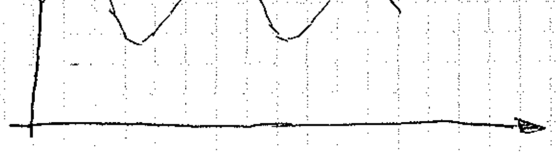


Se il rotore è libero di ruotare, faccio ruotare la macchina a vuoto. Poiché $T_L = 0$ teoricamente $i_a = 0$. Poiché il tachimetro è vero, la coppia in funzione del tempo non è costante. Il motore quindi ogni tanto ruota più velocemente del riferimento, ogni tanto più piano.



Se ho riferimento di velocità alto aumenta la pulsazione e l'ampiezza del ripple di coppia.

Il convertitore dell'azionamento può fornire una corrente variabile nel tempo, ma è tarato che per ogni T $i(t) \leq I_{max}$

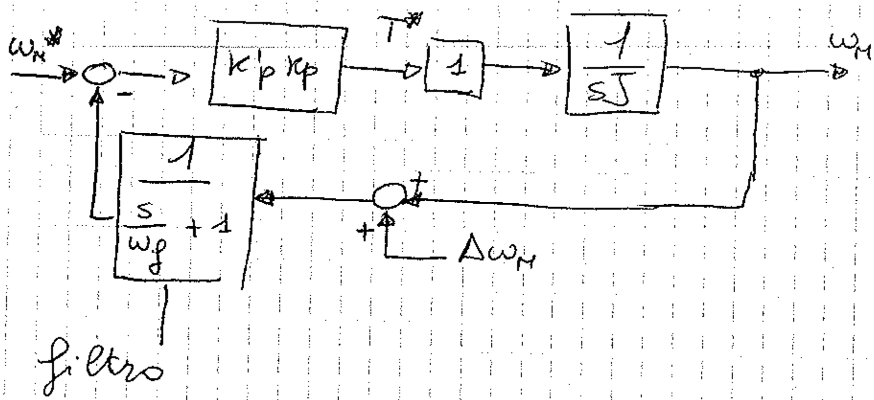


Se ripple di velocità $= 0$ valore massimo di coppia utile fornita al motore è $T_{max} = K_T \cdot I_{max}$.

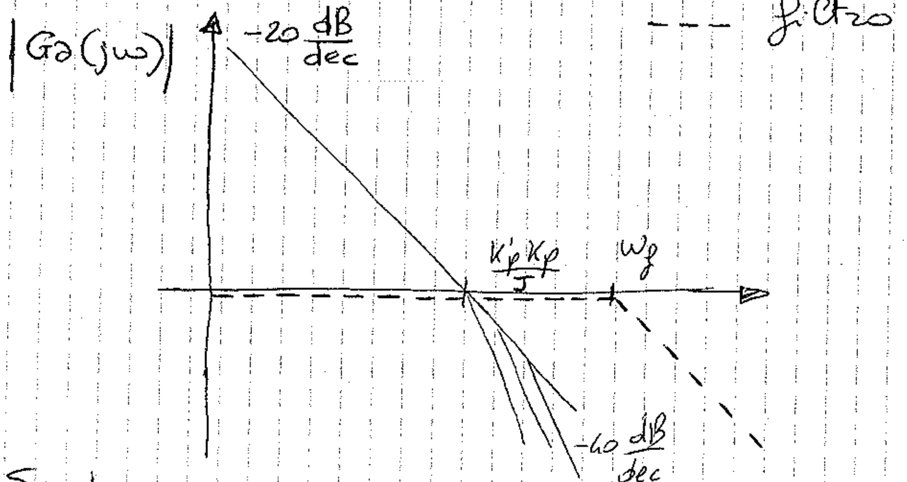
Se il tachimetro è reale il ripple di velocità è $\neq 0$. In questo caso $I_{medio} < I_{max}$. In questo la massima coppia utile è data da $T_{max} = K_T \cdot I_{medio}$

Il tachimetro disturba le prestazioni che posso ottenere dall'azionamento. Inoltre se T_L è costante, mentre T non è costante il motore ogni tanto va un po' più veloce e poi un po' più lento. Si hanno quindi delle vibrazioni.

Per limitare il ripple di coppia bisogna filtrare la ω_M in retroazione ovvero filtrare l'informazione della dinamo tachimetrica.



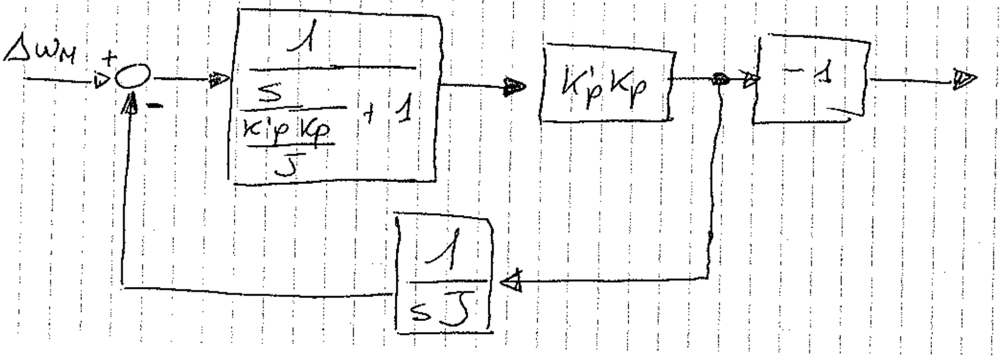
Tutte le volte che si ha un filtro in retroazione bisogna fare attenzione.



Spostiamo ω_f a sx.

Se applico il criterio di stabilità secondo Bode $\omega_{f\,min} = \frac{K'_p K_p}{J}$

E' ragionevole mettere ω_f sulla banda dell'anello di velocità.



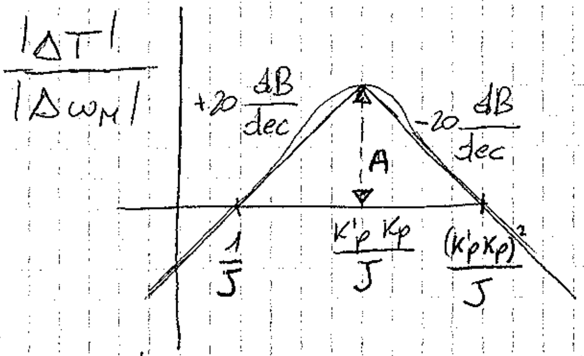
$$\frac{|\Delta T|}{|\Delta \omega_M|} = \frac{\dfrac{1}{\dfrac{s}{\frac{K'_p K_p}{J}}+1} K'_p K_p (sJ)}{1+\dfrac{K'_p K_p}{\dfrac{sJ}{K'_p K_p}+1}\cdot\dfrac{1}{sJ}\,(sJ)} = \frac{\dfrac{K'_p K_p \cdot sJ}{\dfrac{sJ}{K'_p K_p}+1}}{sJ+\dfrac{K'_p K_p}{\dfrac{sJ}{K'_p K_p}+1}} = \frac{K'_p K_p \cdot sJ}{\dfrac{s^2 J^2}{K'_p K_p}+sJ+K'_p K_p} =$$

$$= \frac{sJ\,K'_p K_p}{s^2\dfrac{J^2}{K'_p K_p}+sJ+K'_p K_p} = \frac{s\dfrac{(K'_p K_p)^2}{J}}{s^2+s\dfrac{K'_p K_p}{J}+\left(\dfrac{K'_p K_p}{J}\right)^2} = \qquad \frac{K'_p K_p}{J}=\omega_0$$

$$= \frac{s\dfrac{(K'_p K_p)^2}{J}}{s^2+\underbrace{s\omega_0}+\omega_0^2}$$

$$\Downarrow$$

$2s\omega_0\frac{1}{2} \Rightarrow \zeta = 0{,}5$ complessi coniugati



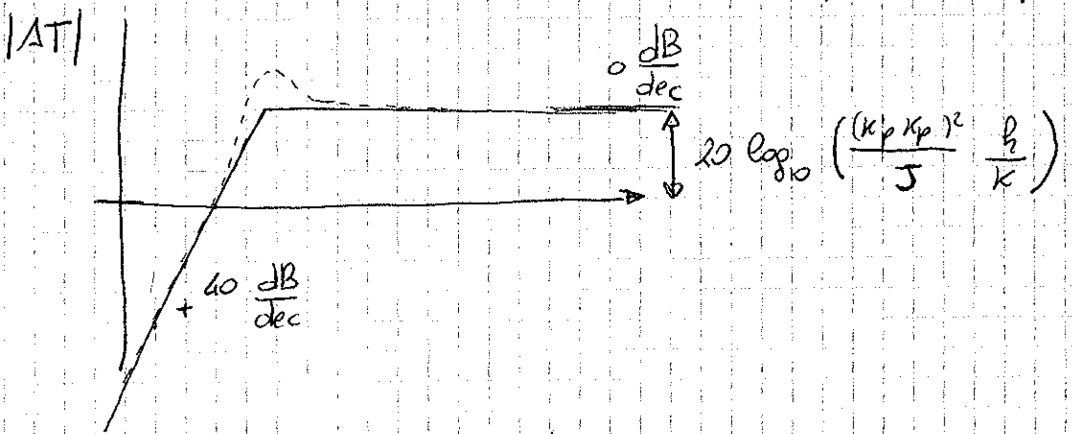
Per $\omega \to 0$ $\qquad \dfrac{\left| j\omega\,\dfrac{K'_p K_p \cdot K'_p K_p}{J}\right|}{\left(\dfrac{K'_p K_p}{J}\right)^2} = 1$

se $\dfrac{\frac{\omega}{J}}{\frac{1}{J^2}} = 1 \Rightarrow \omega J = 1 \Rightarrow \omega = \dfrac{1}{J}$

— diagramma vero

$A = 20\log_{10}(K'_p K_p)$

Calcoliamo ~~il~~ $|\Delta T(j\omega)| = |\Delta\omega_M(j\omega)|\cdot\left|\dfrac{\Delta T(j\omega)}{\Delta\omega_M(j\omega)}\right|$



$$|\Delta\omega_M(s)|\frac{|\Delta T(s)|}{|\Delta\omega_M(s)|} = \frac{\left|s\,K'_p K_p\,\dfrac{K'_p K_p}{J}\right|}{\left|s^2+\dfrac{K'_p K_p}{J}s+\left(\dfrac{K'_p K_p}{J}\right)^2\right|}\cdot\left|h\,\frac{s}{K}\right|$$

Per $s \to \infty$ $\qquad \dfrac{(K'_p K_p)^2}{J}\cdot\dfrac{h}{K}$

$\dfrac{h}{K} \to$ dipende dal tachimetro

$\dfrac{K'_p K_p}{J}$ dipende dal controllo

Mi interessa il rapporto h/K. Questo rapporto deve essere piccolo.

Se $\frac{K'_p K_p}{J} = \omega_B$ e quello di ω_M ha valore alto allora il sistema ha elevata banda passante (sistema simile a sistema ideale); ma allora anche $\frac{(K'_p K_p)^2}{J}$ è alto e quindi si ha un elevato ΔT.

La banda di velocità è valore di compromesso tra ΔT e ω_b.

Caso 1: - tachimetro assegnato (h e K)
- motore assegnato (J)
- $\frac{\Delta T}{T_n} = A$

$$A = \frac{\Delta T^*}{T_n} = \frac{(K'_p K_p)}{J} K'_p K_p \frac{h}{K} \frac{1}{T_n} = \omega_b \cdot K'_p K_p \frac{h}{K} \frac{J}{J T_n} =$$

$$= \omega_b^2 \frac{h}{K} \frac{J}{T_n}$$

$$\Downarrow$$

$$\omega_b = \sqrt{\frac{A \cdot K}{h} \cdot \frac{T_n}{J}}$$

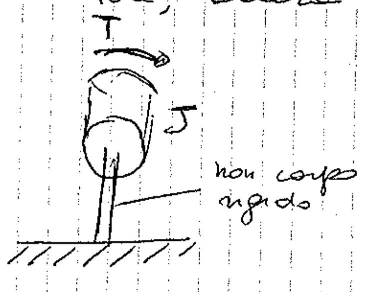
ω_b è tanto più grande tanto più $\frac{T_n}{J}$ è grande.

$\frac{T_n}{J}$ implica l'avere tanta coppia con poco momento d'inerzia.

Il limite della banda è il tachimetro.

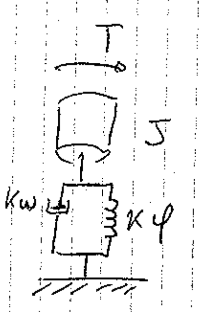
Risonanza torsionale

L'albero motore (colleg. motore-tachimetro) non è un corpo rigido. Se varia la posizione del tachimetro rispetto a quella del motore, allora varia anche la velocità.



Se tutto il sistema fosse un corpo rigido non accade nulla. Invece se l'albero non è un corpo rigido lo si può torcere.

Supponiamo che $J_{albero} \to 0$



Approssimiamo l'albero ad una molla molto rigida con costante elastica $K\varphi$ (φ angolo posizione rotore). Aggiungiamo anche uno smorzatore (con costante $K\omega$).

La molla ha una relazione coppia-posizione

$$T = K\varphi(\varphi - \varphi_0).$$