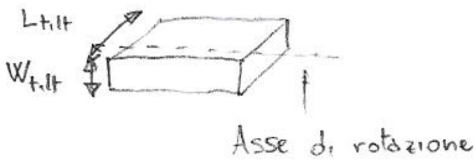
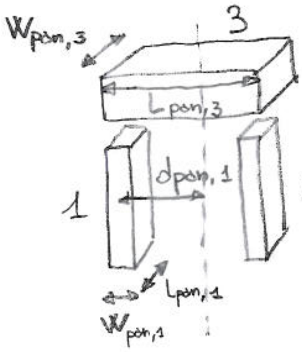
(1) Cominciamo dalla parte del tilt:



$$J_{tilt} = M_{tilt} \cdot \frac{L_{tilt}^2 + W_{tilt}^2}{12}$$

$$\left.\begin{aligned} M_{tilt} &= 750\,g \\ L_{tilt} &= 110\ mm \\ W_{tilt} &= 40\ mm \end{aligned}\right\} \boxed{J_{tilt} = 0{,}00086\ kg\,m^2}$$

Invece per la parte di pan:



$$J_{pan} = J_{pan,1} + J_{pan,2} + J_{pan,3}$$

$$J_{pan,1} = \frac{L_{pan,1}^2 + W_{pan,1}^2}{12} \cdot M_{pan,1} + M_{pan,1}\, d_{pan,1}^2$$

Teorema degli assi paralleli

$$\left.\begin{aligned} W_{pan,1} &= 20mm \\ L_{pan,1} &= 35\,mm \\ M_{pan,1} &= 100\,g \\ d_{pan,1} &= 40\,mm \end{aligned}\right\} J_{pan,1} = 0{,}000174\ Kg\,m^2$$

Inoltre abbiamo:

$$J_{pan,2} = J_{pan,1}$$

ed infine:

$$J_{pan,3} = M_{pan,3} \cdot \frac{L_{pan,3}^2 + W_{pan,3}^2}{12}$$

$$\left.\begin{aligned} M_{pan,3} &= 750\,g \\ L_{pan,3} &= 101\ mm \\ W_{pan,3} &= 110\ mm \end{aligned}\right\} \Rightarrow J_{pan,3} = 0{,}0014\ Kg\,m^2$$

$$\boxed{J_{pan} = 0{,}00174\ Kg\,m^2}$$

(2) + (3) Per il dimensionamento del motore del TILT si utilizzi la seguente relazione (vista a lezione):

$$\tau_{max,tilt} = J_{tilt} \cdot \frac{TR^2}{\eta} \ddot{\theta}_{max,tilt}$$

$\tau_{max,tilt}$: coppia massima erogata dal motore

TR : rapporto di riduzione

η : efficienza motoriduttore

J_{tilt} : carico

$\ddot{\theta}_{max,tilt}$: accelerazione massima del motore

Le quantità note sono:

$$\begin{cases} \ddot{\theta}_{max,tilt} = 900 \ \frac{gradi}{s^2} = 15,7 \ \frac{rad}{s^2} \\ J_{tilt} = 0,00086 \ Kg \, m^2 \end{cases}$$

Ad esempio scegliendo un motoriduttore 14/1 (vedere TR.pdf) con rapporto di riduzione $TR = \frac{1}{3,71}$ ed efficienza $\eta = 0.9$

si ottiene:

$$\tau_{max,tilt} = 1,086 \ mNm$$

Tra i motori, si può quindi prendere il motore con sigla 1319 (motor.pdf) che sviluppa da catalogo una coppia pari a 1.3 mNm.

④ Nel caso peggiore, si ha un massimo consumo di potenza ($P_{max,tilt} = 1\ W$) alla massima coppia ($\tau_{max,tilt} = 1{,}086\ mNm$) per cui il motore dovrebbe muoversi con velocità:

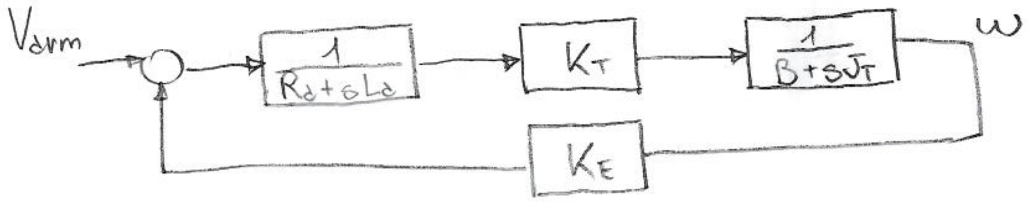
$$\omega_{max,tilt} = \frac{P_{max,tilt}}{1{,}086 \cdot 10^{-3}} = 921{,}02\ rad/s$$

cioè

$$\omega_{max,tilt} = 8795{,}11\ rpm$$

compatibile con la "No-load speed" $n_0 = 13\,100\ rpm$ riportata nel catalogo (motor. pdf)

⑤ Il diagramma visto a lezione è:



$R_a = 8{,}26\ \Omega$ da catalogo: "terminal resistence"

$L_a = 130\ \mu H$ da catalogo: "rotor inductance"

$K_T = 4{,}19\ mNm/A$ da catalogo: "torque constant"

$K_E = 0{,}438\ mV/rpm$ da catalogo: "back-EMF constant"

$J_T = J_{tilt} = 0{,}00086\ Kg\ m^2$

Come specificato dall' esercizio, il calcolo di B richiede di utilizzare la seguente formula

$$\frac{J_m}{B} = \tau_m \qquad J_m = 0,4 \ gcm^2$$ da catalogo: "rotor inertia"

$$\tau_m = 19 \ ms$$ da catalogo "mechanical time constant"

da cui si può ricavare:

$$B = \frac{J_m}{\tau_m} = \frac{0.4 \cdot \cancel{10^{-3}} \cdot 10^{-4}}{19 \cdot \cancel{10^{-3}}} = 2.1 \cdot 10^{-6} \ Kgm^2/s$$

⑥ Come visto a lezione, il modello del motore si può semplificare utilizzando un amplificatore:

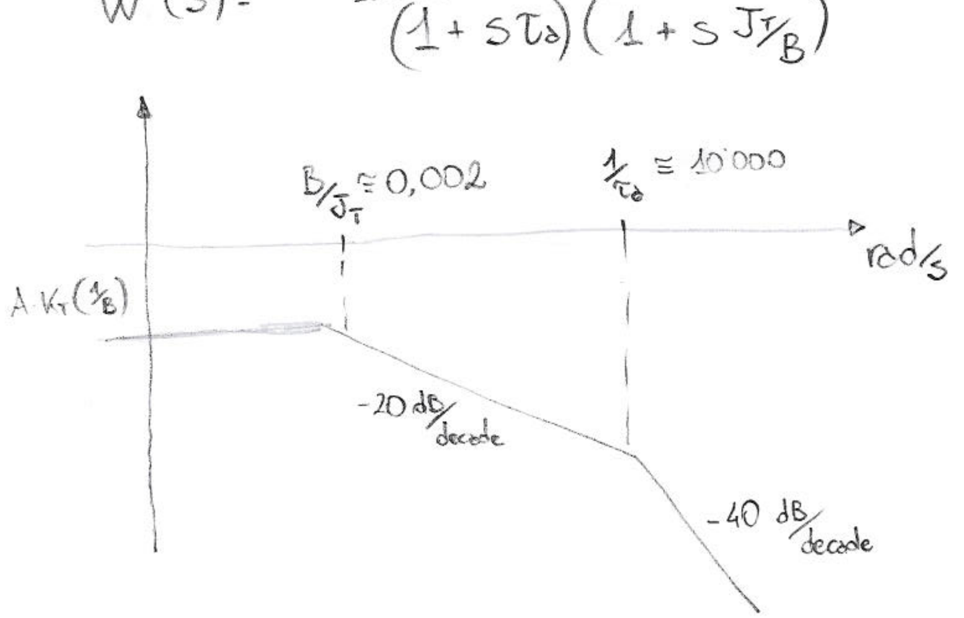
$A = 1$, $\quad \tau_a = 0,1 \ ms = 0,1 \cdot 10^{-3}$

$K_T = 4,19 \ mNm/A$ da catalogo "torque constant"

$B = 2.1 \cdot 10^{-6} \ Kgm^2/s$ come già calcolato

$J_T = 0,00086 \ Kg \, m^2$ come già calcolato

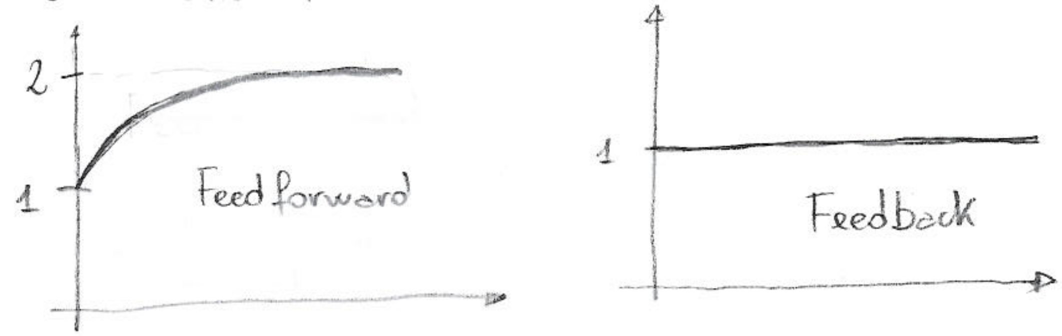
$$W(s) = \frac{A \cdot K_T \cdot (1/B)}{(1 + s\tau_a)(1 + s \, J_T/B)}$$



(1) Poichè il sistema è ipotizzato lineare, in una condizione di catena aperta ("feedforward") la traslazione della condizione iniziale $x(0) \to x(0) + \Delta x$ corrisponde ad una equivalente traslazione dell'intera traiettoria, cioè $x(t) \to x(t) + \Delta x$. Pertanto anche la condizione finale $x = 1$ risulterà traslata della quantità Δx, cosicché il sistema raggiungerà lo stato finale $1 + \Delta x$. Nel caso in figura $\Delta x = 1/2$.

Nella condizione in catena chiusa ("feedback") invece, la retroazione garantisce una certa compensazione dei disturbi. Pertanto la condizione finale non risulta perturbata dall'errore sulla condizione iniziale.

(2)



(3) + (4) Evidentemente il sistema motorio non si comporta nè in maniera puramente feedback nè puramente feedforward. Sembra invece che eventuali errori iniziali vengano compensati riportando il sistema sulla traiettoria che il sistema avrebbe seguito in assenza di disturbi.

Il punto di equilibrio del sistema motorio non viene quindi spostato sulla posizione finale desiderata in maniera istantanea al momento dell'inizio del movimento. Sembra invece che il punto di equilibrio si sposti in maniera continua lungo la traiettoria ideale che il sistema dovrebbe seguire. (in ogni caso si veda l'articolo "Motor learning through the combination of primitives" che si trova sul sito del corso)

(5) L'equilibrio indotto dalla combinazione degli spinal-field non viene spostato in maniera istantanea all'inizio del movimento. I combinatori sono invece scelti in modo muovere il punto di equilibrio stesso con continuità dalla posizione iniziale del sistema alla posizione finale desiderata.