

(21)

SPAZIO DI STATO

Per esempio per la dinamica longitudinale

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{pmatrix}$$

$$u = \delta_E$$

ANGOLO DI ATTACCO



possiamo considerare α invece di w
poiché per piccoli angoli α, β :

$$w \approx v_T \cos \beta \sin \alpha \approx v_T \alpha \quad \text{quindi} \quad \dot{\alpha} = \frac{\dot{w}}{v_0}$$

Come usata ad esempio

$$\gamma = \theta - \alpha = \theta - \frac{w}{v_0} \quad (\text{FLIGHT PATH ANGLE})$$

Per la dinamica laterale

$$u = \begin{pmatrix} \delta_A \\ \delta_R \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} r \\ p \\ z \\ \phi \\ \psi \end{pmatrix}$$

posso considerare

β invece di v



SIDESUP
ANGLE

Infatti per piccoli angoli β :

$$v = V_T \sin \beta \approx V_T \beta \quad \text{e quindi}$$

$$\dot{\beta} = \frac{\dot{v}}{V_0}$$

Posso anche considerare l'altitudine h_{cg}
(al centro di massa)

$$\ddot{h}_{cg} = -a_{zcg}$$

$$a_{zcg} = \sum u u + \sum w w + \sum \delta_E \cdot \delta_E$$

e quindi introduco due nuove variabili
di stato h_g, \dot{h}_g

Dinamica degli attuatori

$$\begin{array}{c} \text{COMANDO DI CONTROLLO (IN GRADI)} \\ \downarrow \\ \frac{\delta(s)}{\delta_c(s)} = \frac{k_A}{\left(1 + \frac{s}{\lambda}\right)} \\ \uparrow \\ \text{COMANDO IN TENSIOE (IN VOLTS)} \end{array}$$

$$\lambda: 5-10 \text{ sec}^{-1}$$

Dinamica dei sensori

$$\begin{array}{c} \text{TENSIOE DI FEEDBACK} \\ \downarrow \\ \frac{v_F}{y} = k_S \\ \uparrow \\ \text{GRANDEZZA IN CONTROREAZIONE} \end{array}$$

CONTROLLO DINAMICA LONGITUDINALE

$$\dot{\delta_E} = -\lambda \delta_E + k\lambda \delta_{EC}$$

DINAMICA ATTUATORE

} realizzazione
della
funzione $\frac{\delta_E(s)}{\delta_{EC}(s)}$

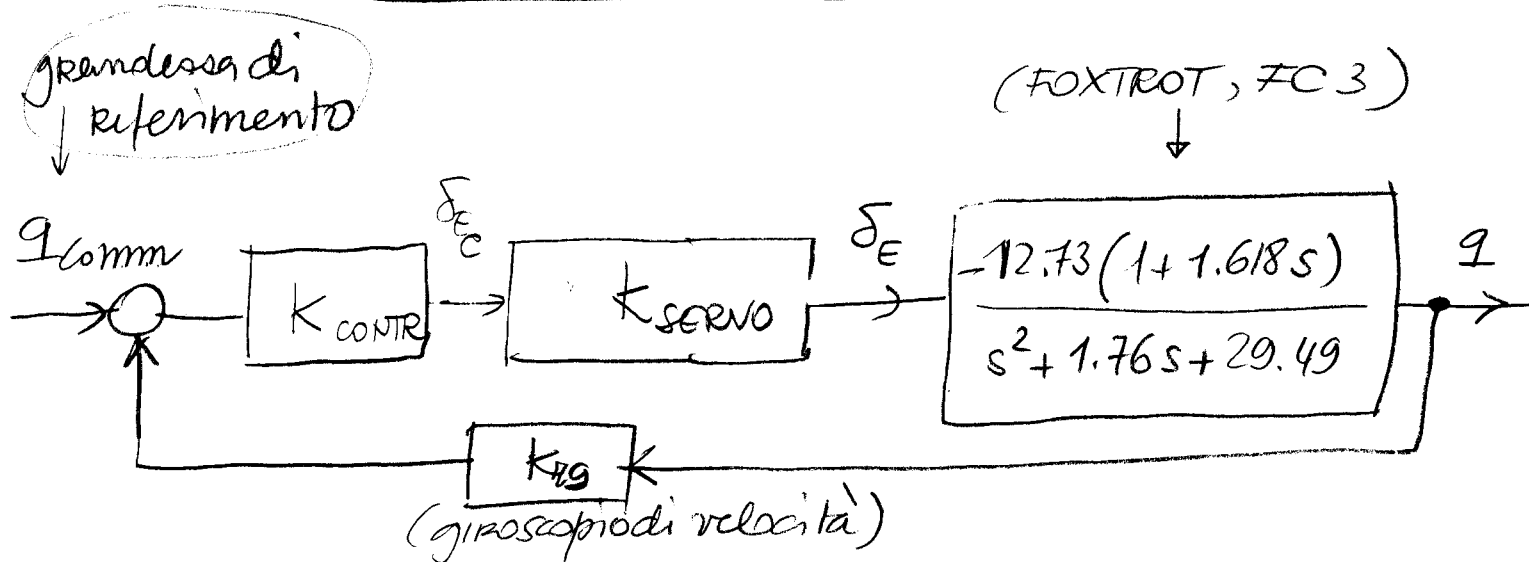
$$\dot{\underline{x}} = \underline{A}\underline{x} + \underline{B}u$$

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \\ \delta_E \end{pmatrix}$$

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} X_u & X_w & 0 & -g & 0 \\ Z_u & Z_w & U_0 & 0 & Z_{\delta_E} \\ M_u & M_w & M_q & 0 & M_{\delta_E} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda \end{pmatrix}$$

$$\underline{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ k\lambda \end{pmatrix}$$

CONTROLLO DI q (velocità di pitch)

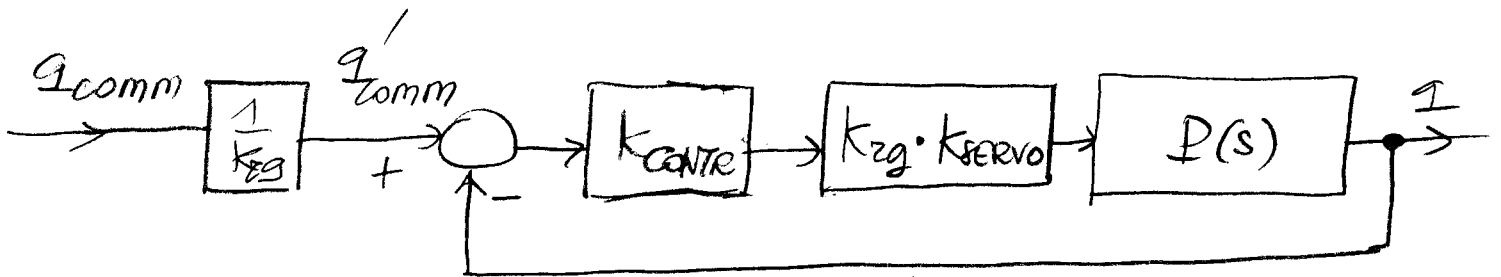


$$k_{SERVO} = 0.01745 \frac{\text{rad}}{\text{V}} \quad (10 \text{ V}^{-1})$$

$$k_{g} = 5.73 \frac{\text{V}}{\text{rad} \cdot \text{sec}}$$

? determinare k_{CONTR} tale che
 a regime permanente $q_{comm} \rightarrow q \cdot \frac{1}{k_{g}}$
 e il sistema ad anello chiuso
 è stabile asintoticamente

Imanzitutto, riportiamo lo schema di controllo di cui sopra ad uno schema in controreazione unitaria



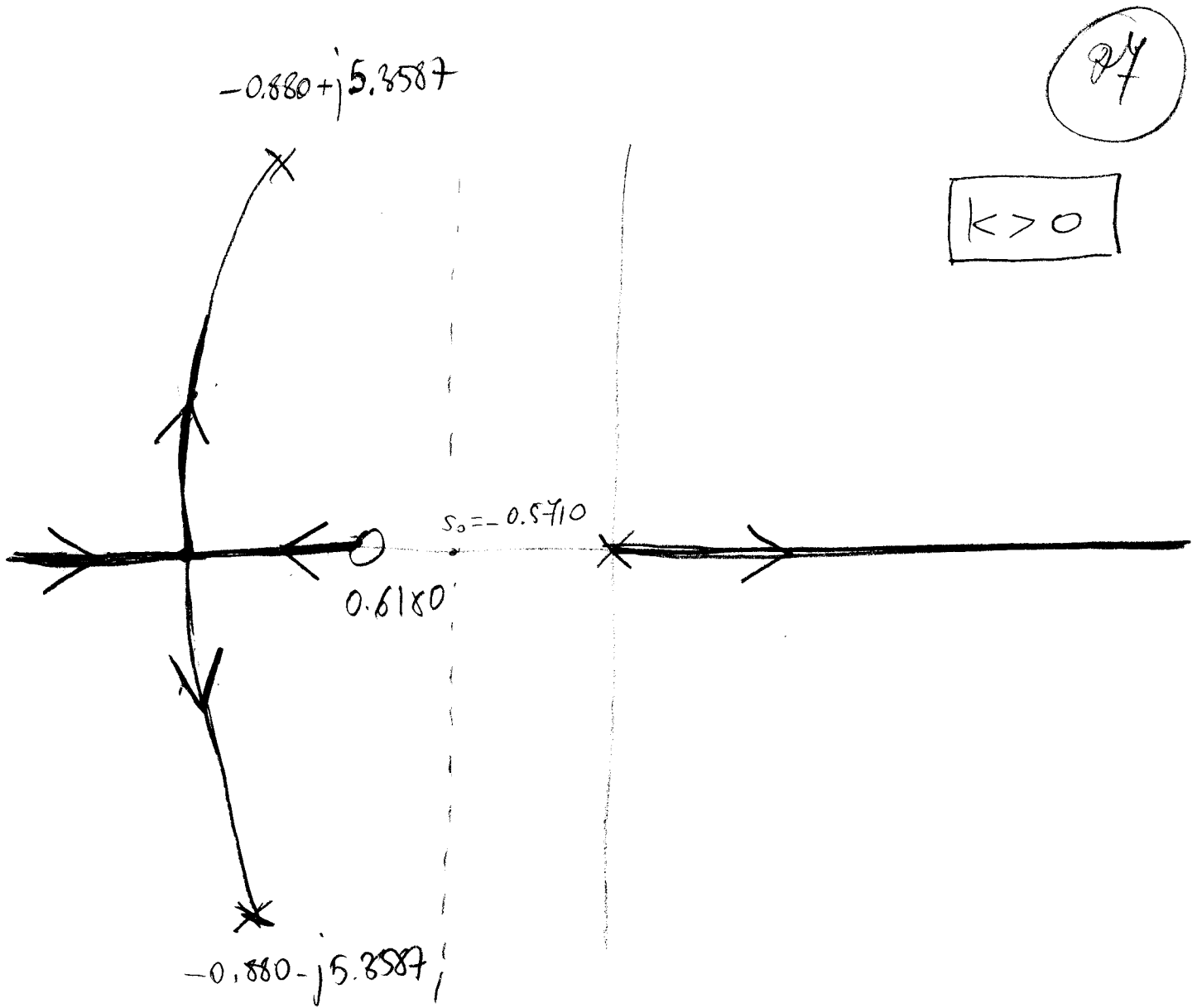
Per le specifiche a regime

$$k_{\text{CONTR}} = \frac{k'_{\text{CONTR}}}{s}$$

Dal luogo delle radici si

$$\frac{1}{12.73 \cdot 1.618} \cdot \frac{P(s)}{s}$$

si ha

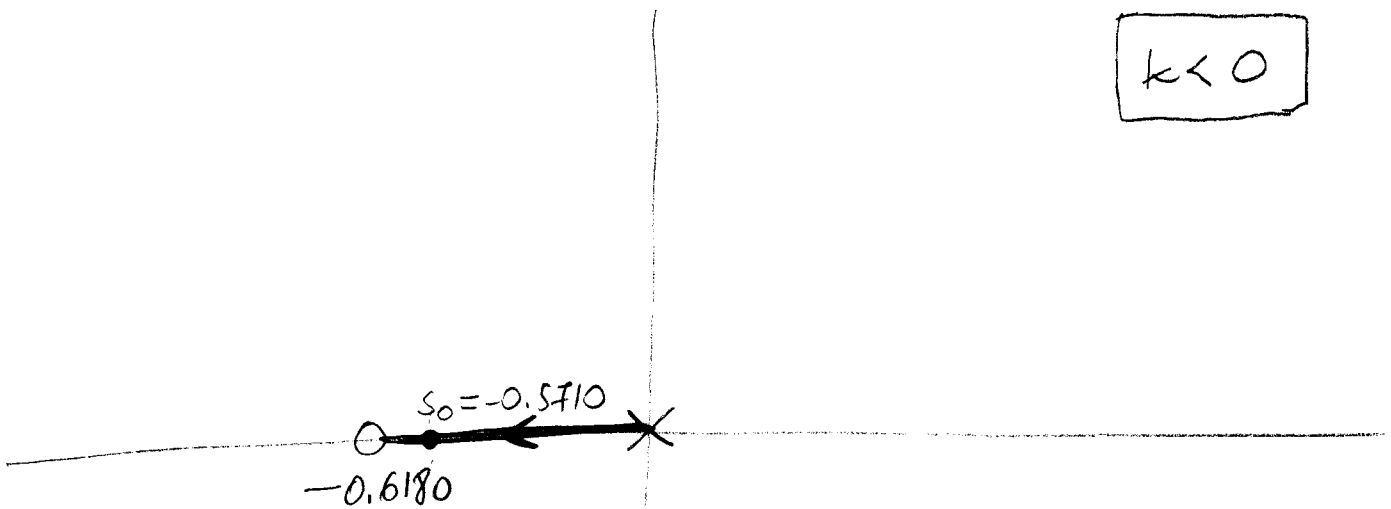


instabilità del sistema ad anello
 chiuso $\forall k > 0$

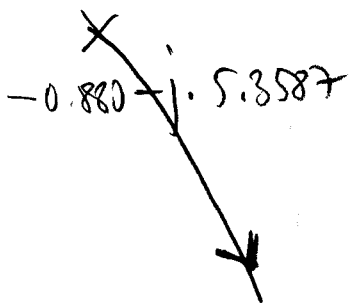
$$-0.880 + j \cdot 5.3587$$

28

$k < 0$



(il luogo è
parametrizzato
in $k = k'_{contro}$
 $k_{reg} \cdot k_{servo}$)



si vede che $\forall k < 0$

tutti i poli del sistema ad
anello chiuso sono a parte reale
negativa

$$F(s) = \frac{k_{zg} k_{CONTR} k_{SERVO} P(s)}{s}$$

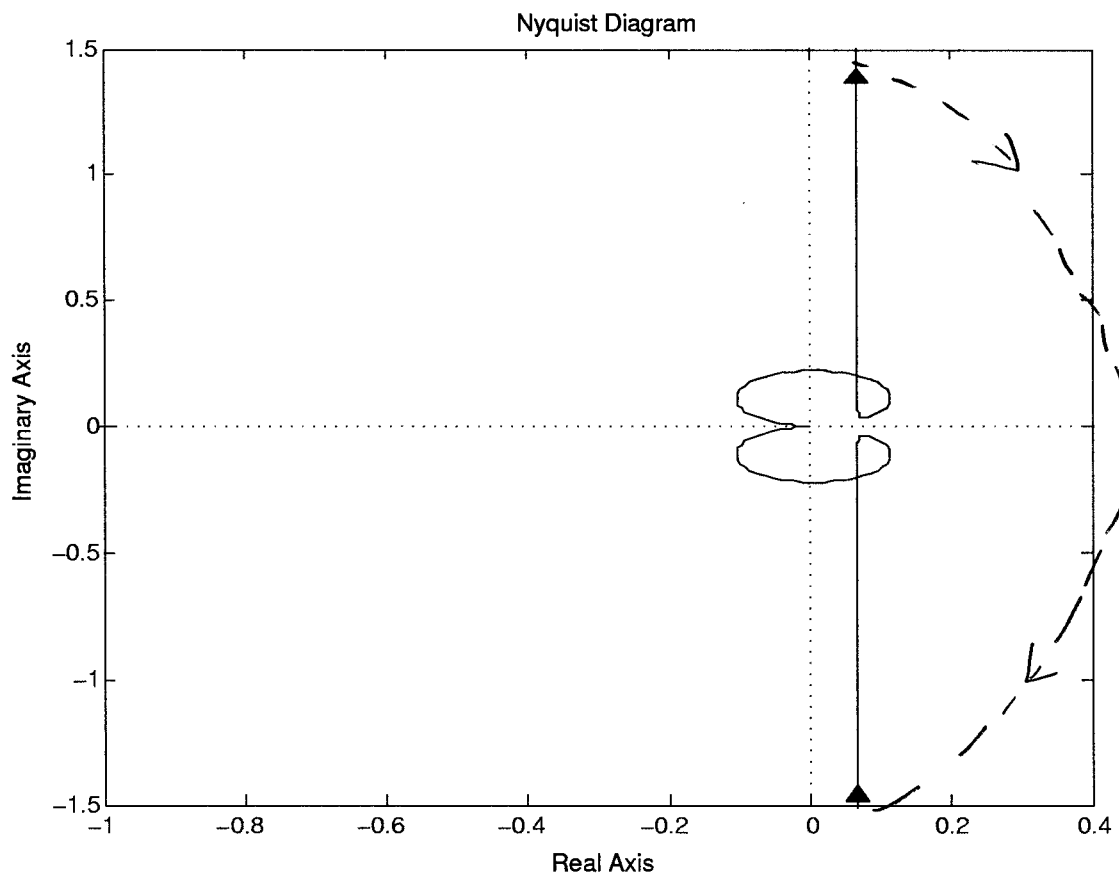
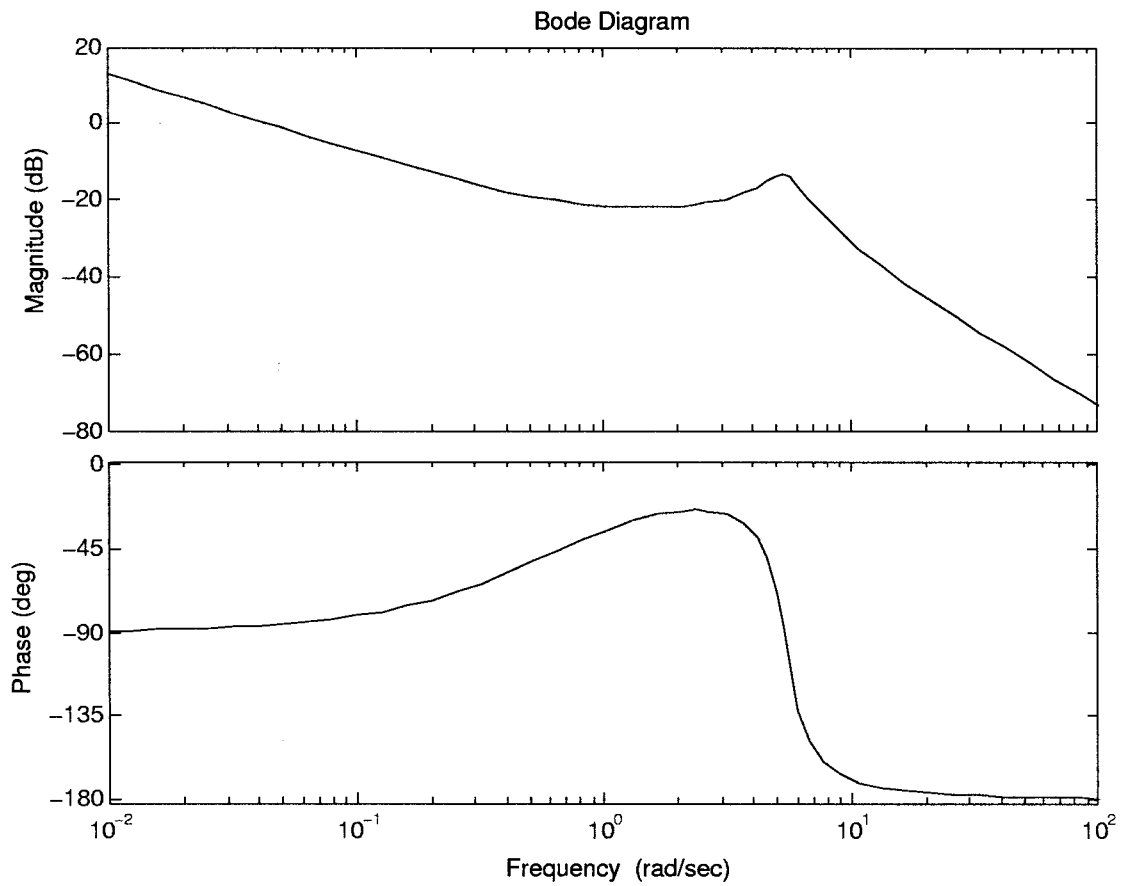
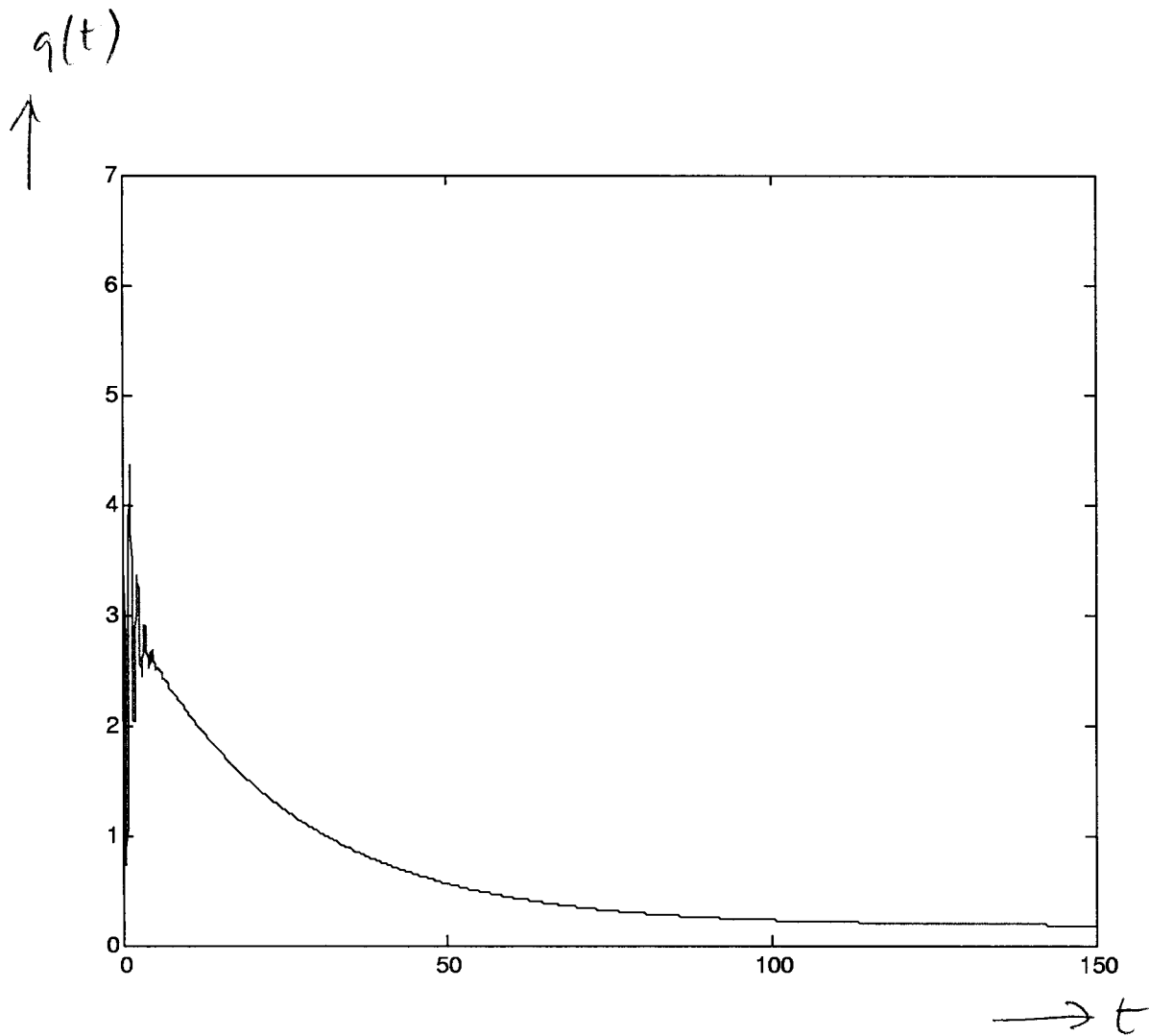


Diagramma di Bode di

$$\Phi(s) = \frac{k_2 g k_{\text{CONT}} k_{\text{SERVO}} P(s)}{s}$$



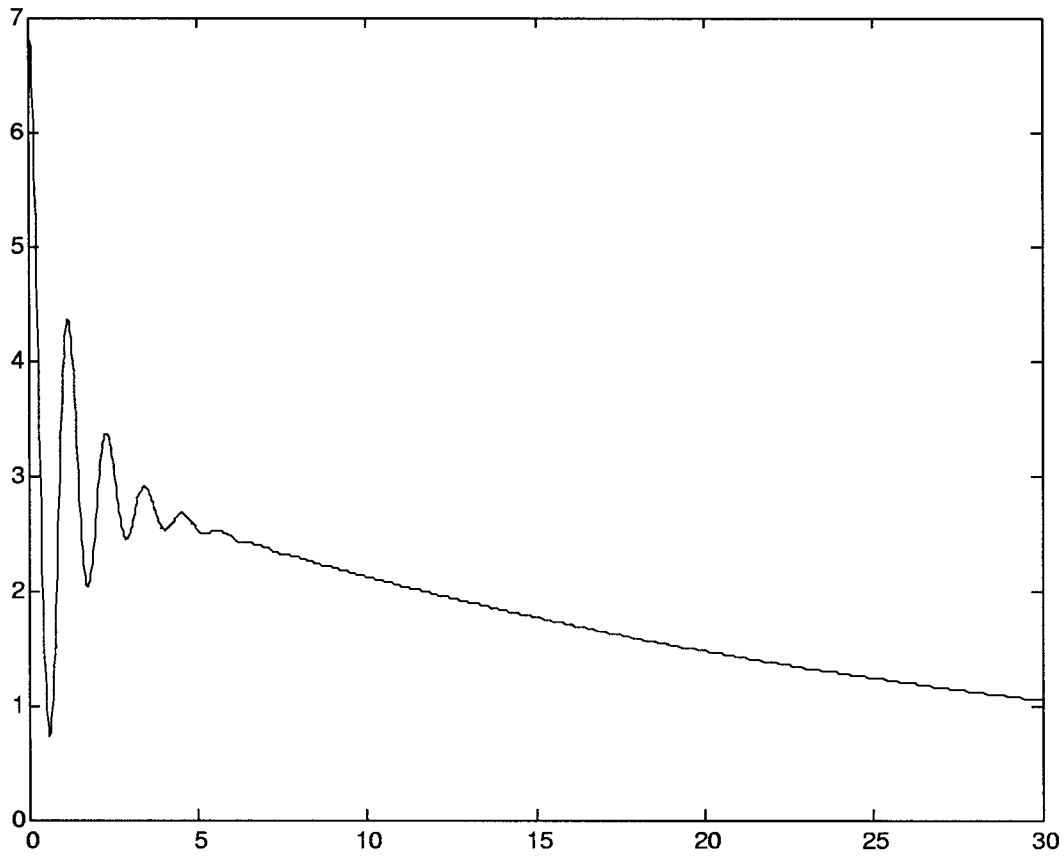


$$q_{\text{comm}}(t) = \delta_{-1}(t)$$

$$q(s) = \frac{0.3594s + 0.22213}{s^3 + 1.76s^2 + 315494s + 1.2728}$$

$$q_{\text{comm}}(s) = \frac{0.3594s + 0.22213}{s^3 + 1.76s^2 + 315494s + 1.2728}$$

$\gamma(t)$
↑



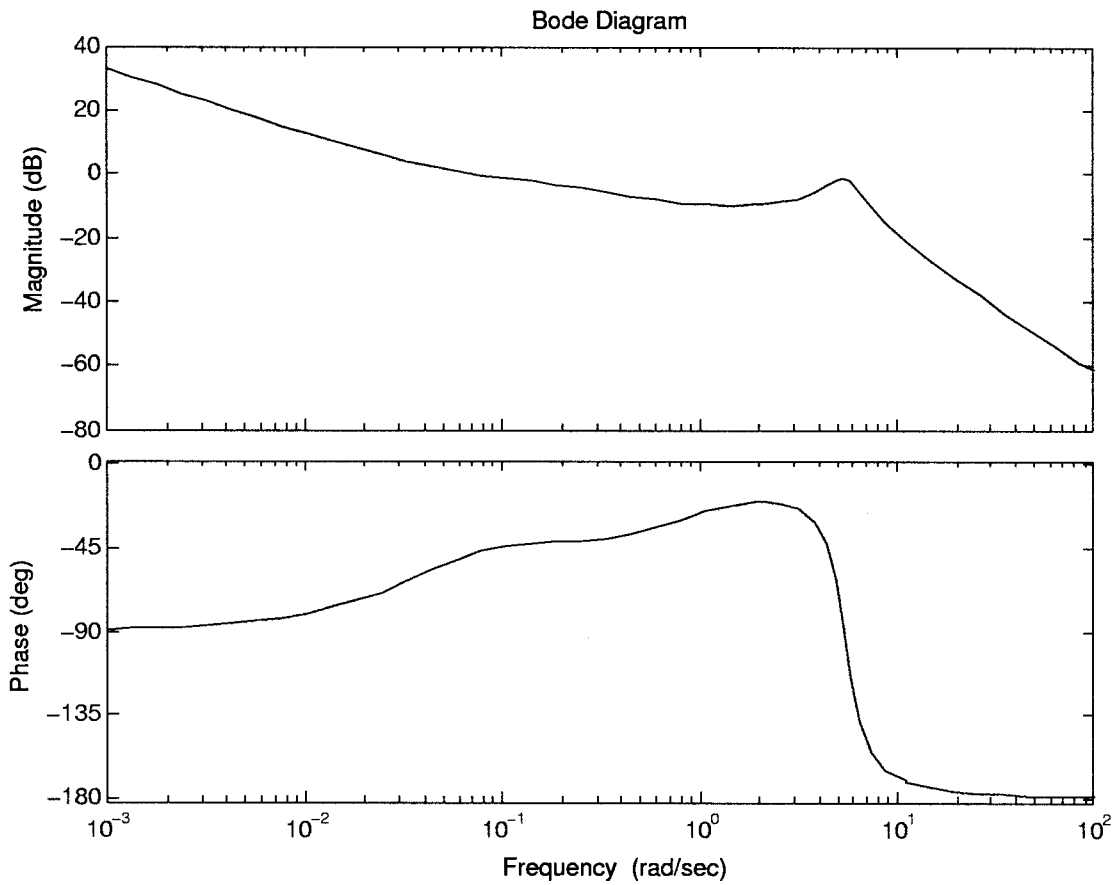
→ t

Diagrammi di Bode di

$$\hat{F}(s) = \frac{k_g k_{\text{CONT}} k_{\text{SERVO}} P(s) R(s)}{s}$$

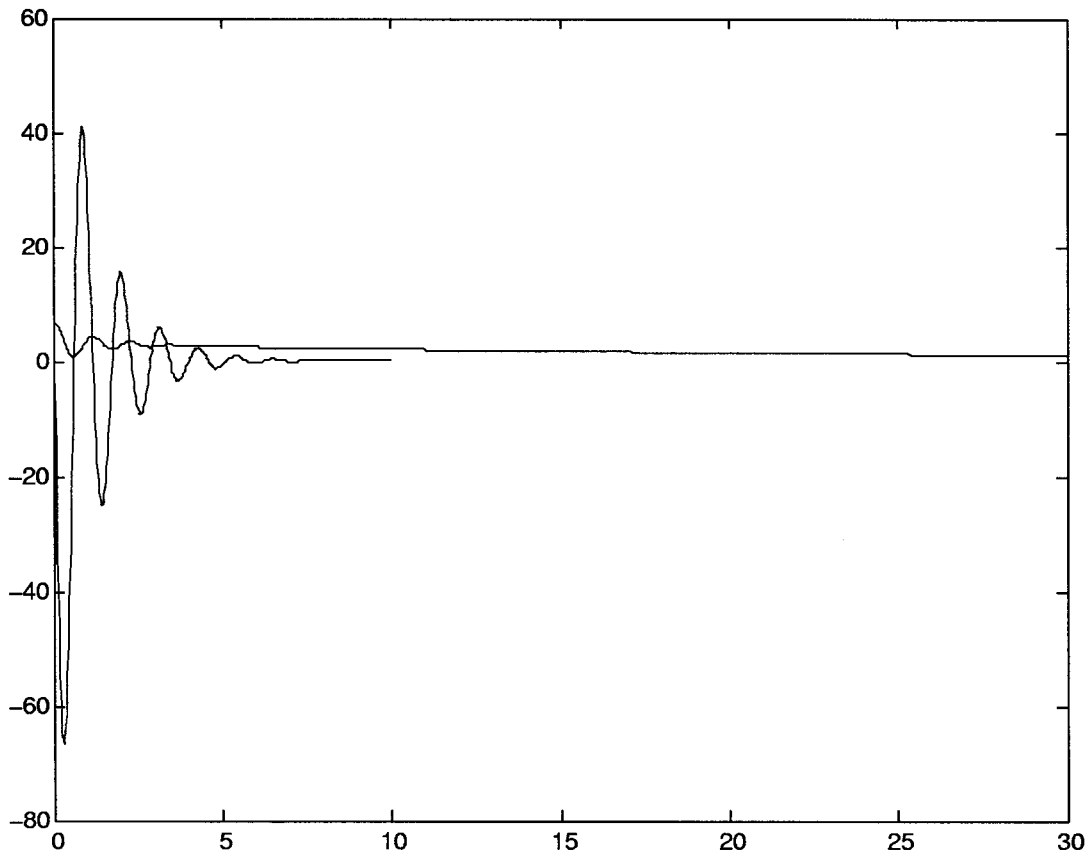
$$R(s) = \frac{1 + 20s}{1 + 4s}$$

$$m_a = 5$$
$$\tau_a = 20$$

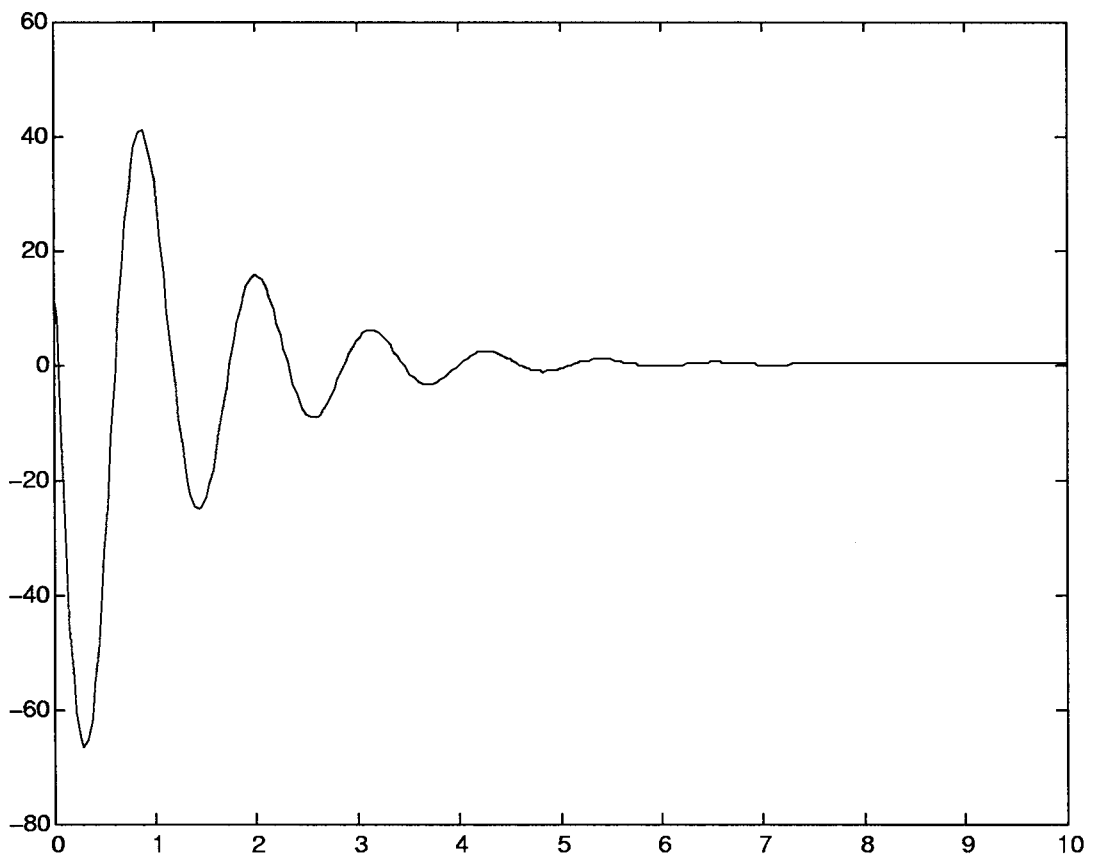


$R(s)$ parte ω_f circa in 1 rad/sec
con un margine di fase $\approx 135^\circ$

$q(t)$ (dopo k_1 compensazione)



$\uparrow \eta(t)$



$\rightarrow t$