

Electric Drives  
Laboratory  
DII - UniPD

# Azionamenti Elettrici

Lezioni a.a. 2020-2021

prof. Silverio Bolognani

# Macchina asincrona (Macchina a induzione)

Funzione di trasferimento  $I_q/I_q^*$   
Esempio di progetto di massima dei  
regolatori di corrente e di velocità

***Dati di targa della macchina asincrona e dell'invertitore (in rosso le grandezze derivate)***

<u>Motore</u> asincrono trifase raffreddato ad acqua	
2p=4	
P=875 kW	motore $\Rightarrow$ potenza meccanica (potenza in uscita)
U = 690 V	pari a $\sqrt{3} * 400 = 3*230$
f = 50 Hz	$n_o = 60f/p=1500$ rpm
s= 0.64 %	$n = n_o * (1-0.0064)=1490$ rpm
cos $\varphi$ = 0.89	
$\eta = 0.972$	$P_{ass} = P/\eta = 875/0.972 = 900$ kW $S = P_{ass}/\cos\varphi = 900/0.89 = 1011$ kVA Perdite tot = 900 – 875 = 25 kW Ipotesi: $P_{js} = 11$ kW, $P_{jr} = 8$ kW, $P_{fe+mecc} = 6$ kW

***Dati di targa della macchina asincrona e dell'invertitore (in rosso le grandezze derivate)***

$I = 845 \text{ A}$	<p>Verifica <math>I = S / (\sqrt{3} * U) = 1011 / 1194 = 845 \text{ A OK}</math></p> <p><math>R_s = P_{js} / (3 * I^2) = 5.14 \text{ m}\Omega</math></p>
$I_0 = 210 \text{ A}$ (corrente a vuoto)	<p>Impedenza a vuoto <math>Z_0 = U / (\sqrt{3} * I_0) = 1.9 \Omega</math>  <math>(\gggg R_s)</math></p> <p><math>Z_0</math> è costituita dalla serie della resistenza statorica, dell'induttanza transitoria e dell'induttanza di magnetizzazione.</p> <p><math>L_t + L_\phi \cong Z_0 / (2\pi f) = 6.05 \text{ mH}</math></p>
$I_{cc} = 6170 \text{ A}$ (corrente a rotore bloccato)	<p>Impedenza a rotore bloccato <math>Z_{cc} = U / (\sqrt{3} * I_{cc}) = 64.6 \text{ m}\Omega (\gggg R_s)</math></p>

*Dati di targa della macchina asincrona e dell'invertitore (in rosso le grandezze derivate)*

$Z_{cc}$  è costituita dalla serie della resistenza statorica, dell'induttanza transitoria e dalla resistenza rotorica riportata a statore

$$L_t \cong Z_{cc} / (2\pi f) = 0.21 \text{ mH}$$

$$L_\phi \cong (L_t + L_\phi) - L_t \cong 5.8 \text{ mH}$$

$$\sigma = L_t / (L_t + L_\phi) = 0.21 / 6.04 = 0.035 \quad (3.5\%)$$

$$\tau_s = (L_t + L_\phi) / R_s = 1.18 \text{ s} = 1180 \text{ ms!}$$

$$\tau = \sigma \tau_s = L_t / R_s = 0.0409 \text{ s} = 40.9 \text{ ms}$$

$$1/\tau = 24.5 \text{ rad/s} \quad (\text{circa } 25 \text{ rad/s})$$

*Dati di targa della macchina asincrona e dell'invertitore (in rosso le grandezze derivate)*

$M = 5600 \text{ Nm}$	Verifica $M=P/(2\pi n/60)$ OK
$J_{\text{motore}} = 16.5 \text{ kgm}^2$	
Invertitore	
$U_{\text{DC}} = 1000 \text{ V}$	Compatibile con $U = 690 \text{ V}$
$f_{\text{PWM}} = 4000 \text{ Hz}$	$T_s = 1/f_{\text{PWM}} = 250 \mu\text{s}$ $\tau_c = 1.5T_s = 375 \mu\text{s}$ $1/\tau_c = 1/375 \mu\text{s} = 2670 \text{ rad/s}$
	DISEGNARE LA RISPOSTA IN FREQUENZA DI $\text{GH}_R$

## Progetto del regolatore di corrente di asse q

Specifiche del controllo di corrente	
$v_{Ai} = 260 \text{ rad/s}$	Frequenza di attraversamento $\cong$ banda passante (41 Hz)
$m_{\phi_i} = 75^\circ$	Margine di fase
GH	$GH = \left( K_{Ii} \frac{1 + s\tau_{Ri}}{s} \right) \frac{1}{R_s + sL_t} \frac{1}{1 + s\tau_c}$
Imposizione margine di fase	$75^\circ = 180^\circ + (\text{atan}(v_{Ai} \tau_{Ri}) - 90^\circ) - \text{atan}(v_{Ai} \tau) - \text{atan}(v_{Ai} \tau_c)$ <p>Risulta <math>\tau_{Ri} = 14.4 \text{ ms}</math>      <math>(1/\tau_{Ri} = 70 \text{ rad/s})</math></p>

## Progetto del regolatore di corrente di asse q

Imposizione frequenza di attraversamento

(DISEGNARE LA RISPOSTA IN FREQUENZA DELLA GH)

$$1 = K_{Ii} \frac{\sqrt{1 + (v_{Ai} \tau_{Ri})^2}}{v_{Ai}} \cdot \frac{1}{\sqrt{R_s^2 + (v_{Ai} L_t)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (v_{Ai} \tau_c)^2}}$$

Risolto fornisce  $K_{Ii} = 3.74$  e  $K_{Pi} = K_{Ii} \tau_{Ri} = 0.054$

Verifica: approssimando GH con  $1/sL_t$  attorno alla frequenza di attraversamento risulta

$K_{Pi} \cong v_{Ai} L_t$  che conferma il risultato ottenuto.



## *Progetto del regolatore di corrente di asse d*

Ripetere per il regolatore di corrente di asse d

- Stesse specifiche del regolatore di asse q
- Usare per il rotore la costante di tempo statorica

Si dovrebbero trovare circa gli stessi valori dei guadagni del regolatore

DISEGNARE LA RISPOSTA IN FREQUENZA DI  $G_{H_R}$  E  $G_H$  di asse d

## *Funzione di trasferimento del controllo di corrente*

$$\frac{I^*}{I} = W_i = \frac{G}{1 + GH} \quad (\text{sia per l'asse di che per l'asse q})$$

Se  $H=1$  ed essendo  $GH$  noto, scriviamo

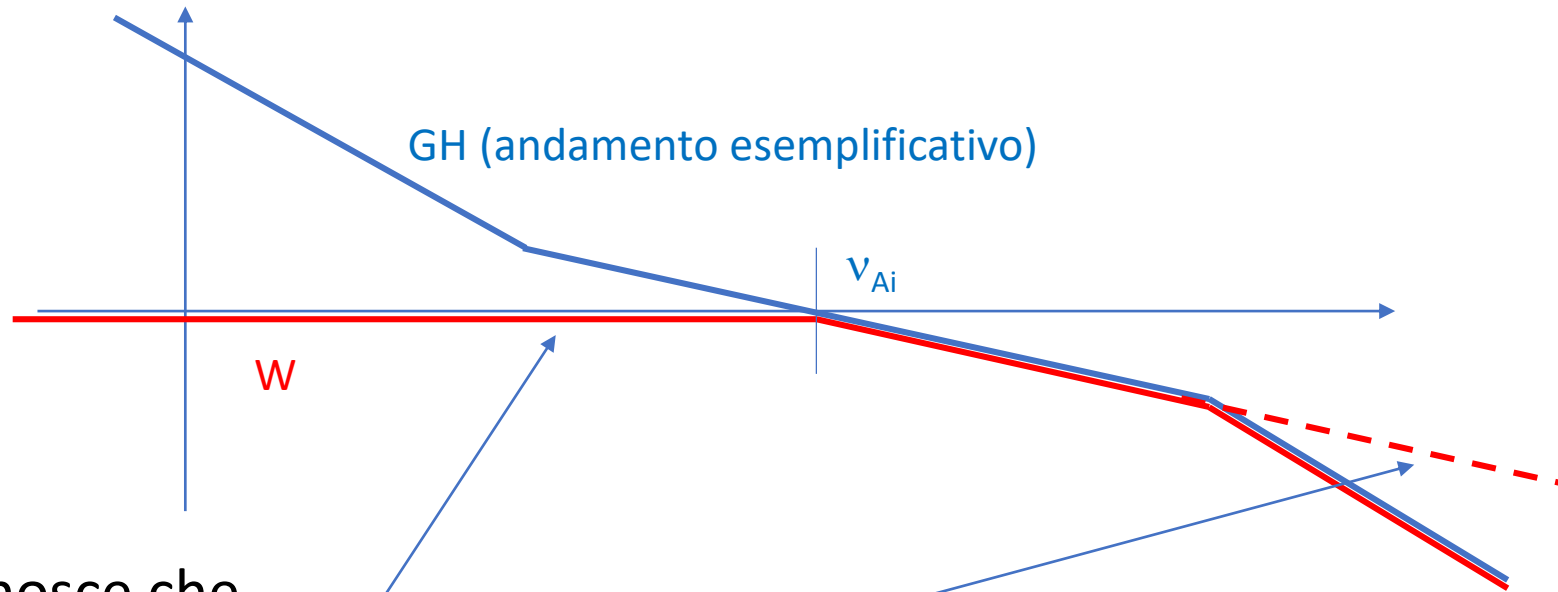
$$W_i = \frac{GH}{1 + GH}$$

la cui risposta in frequenza è quella di

$$W_i=1 \quad \text{ove } |GH|>1$$

$$W_i=GH \quad \text{ove } |GH|<1$$

## Funzione di trasferimento del controllo di corrente

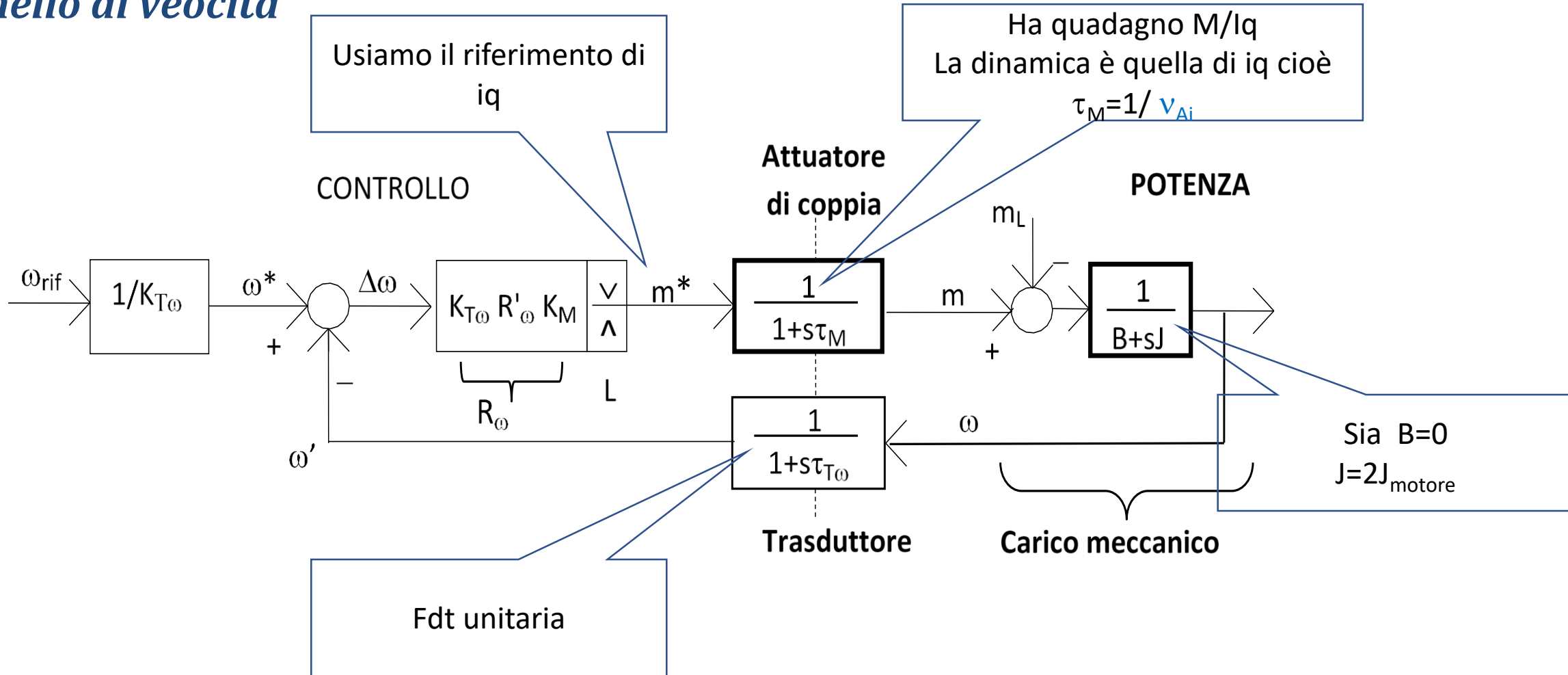


Si riconosce che

$$W_i \cong 1/(1+s/v_{Ai})$$

trascurando il polo a frequenza più alta

# Anello di velocità



## *Calcolo guadagno $M/I_q$*

Si fa riferimento al funzionamento nominale a regime del motore

$$M=5600 \text{ Nm}$$

$$|\bar{I}| = I * \sqrt{2} = 1195 \text{ A}$$

$$I_d \cong I_0 * \sqrt{2} = 210 * \sqrt{2} = 296 \text{ A} \quad (\text{è } I_d^*; \text{ potrebbe essere 3-5 \% in meno})$$

$$I_q = \sqrt{(|\bar{I}|^2 - I_d^2)} = 1158 \text{ A} \quad (\text{è } I_{q, \max} \text{ da impostare nel limitatore di } R_\omega)$$

$$M/I_q = 5600/1158 = 4.84 \text{ Nm/A} \quad (\text{o un po' maggiore essendo } M \text{ la coppia utile, non la coppia generata})$$

## Progetto del regolatore di velocità

Specifiche del controllo di velocità	
$v_{A\omega} = 25 \text{ rad/s}$	Frequenza di attraversamento $\cong$ banda passante (4 Hz)
$m_{\varphi\omega} = 75^\circ$	Margine di fase
GH  (NB: $J=2J_{\text{motore}}$ )	$GH = \left( K_{I\omega} \frac{1 + s\tau_{R\omega}}{s} \right) \frac{\left( \frac{M}{I_q} \right)}{1 + s/v_{Ai}} \frac{1}{sJ}$

## Progetto del regolatore di velocità

Con la stessa procedura seguita per il regolatore di corrente di asse q si ottiene

$$\tau_{R\omega} = 0.24$$

$$K_{I\omega} = 715$$

$$K_{P\omega} = 170$$

Dimostrare che se  $v_{Ai} > v_{A\omega}$  deve essere  $K_{P\omega} = Jv_{A\omega}/(M/I_q)$

DISEGNARE LE RISPOSTE IN FREQUENZA DI  $GH_R$  E  
GH  
SIMULARE CON SIMULINK