

Electric Drives
Laboratory
DII - UniPD

Azionamenti Elettrici

Lezioni a.a. 2020-2021

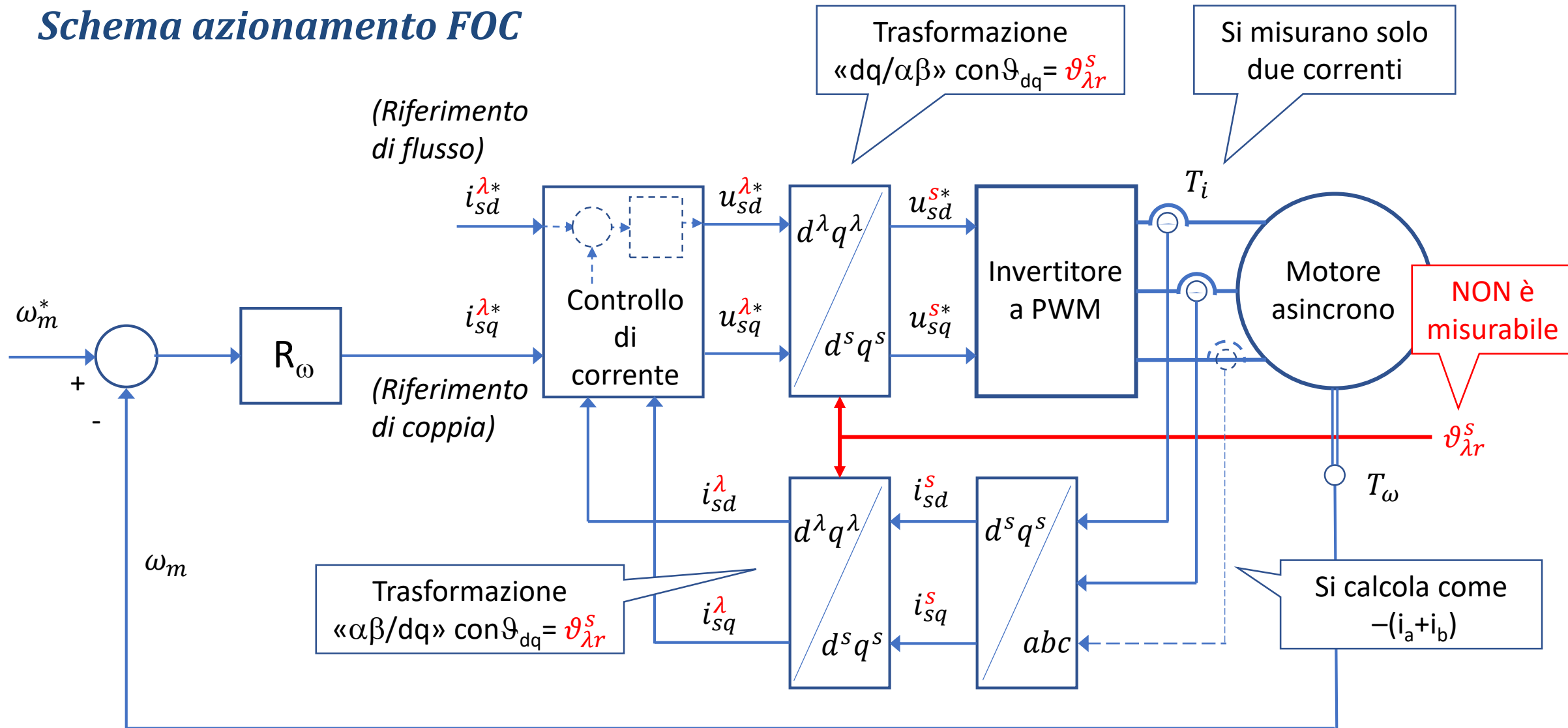
prof. Silverio Bolognani

PARTE IV

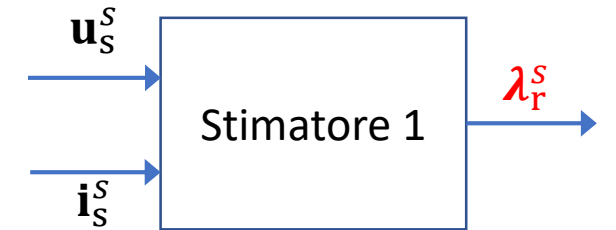
Macchina asincrona (Macchina a induzione)

Controllo ad orientamento di campo (FOC diretto)

Schema azionamento FOC



Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^S da \mathbf{u}_s^S e \mathbf{i}_s^S



Equazione elettrica di statore nel sistema di riferimento stazionario

$$\mathbf{u}_s^S = \mathbf{R}_s \mathbf{i}_s^S + \frac{d\lambda_s^S}{dt}$$



$$\lambda_s^S = \int_{-\infty}^t (\mathbf{u}_s^S - \mathbf{R}_s \mathbf{i}_s^S) dt$$

Si applica separatamente alle componenti d e q

La R_s varia con la temperatura!

Equazioni dei flussi

$$\begin{cases} \lambda_s^S = L_s \mathbf{i}_s^S + L_M \mathbf{i}_r^S \\ \lambda_r^S = L_M \mathbf{i}_s^S + L_r \mathbf{i}_r^S \end{cases}$$



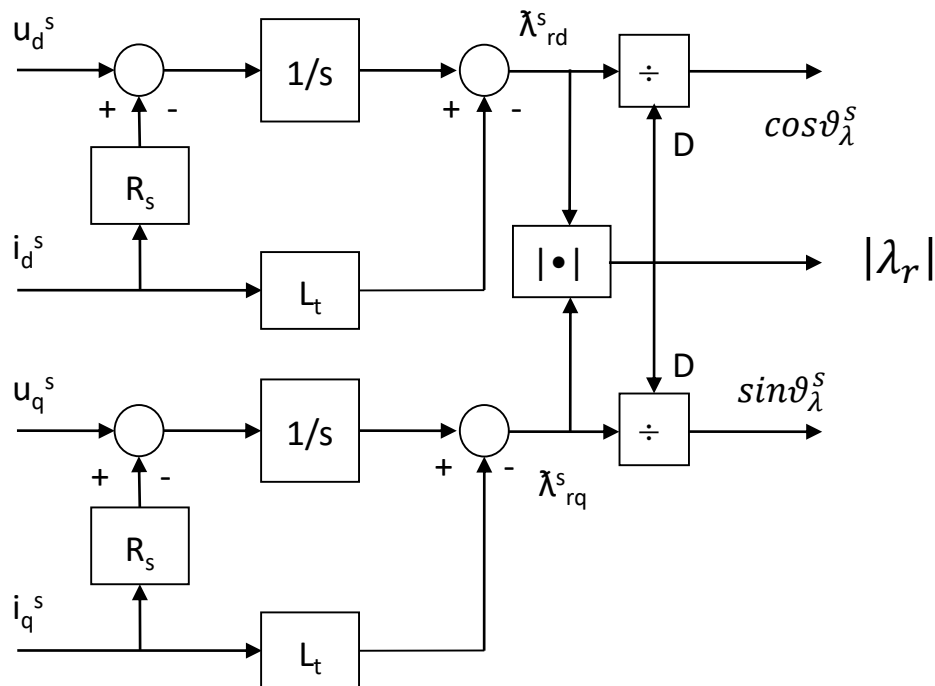
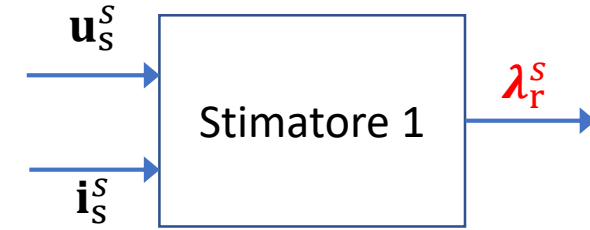
$$\mathbf{i}_r^S = \frac{\lambda_s^S}{L_M} - \frac{L_s}{L_M} \mathbf{i}_s^S$$



Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^s da u_s^s e i_s^s

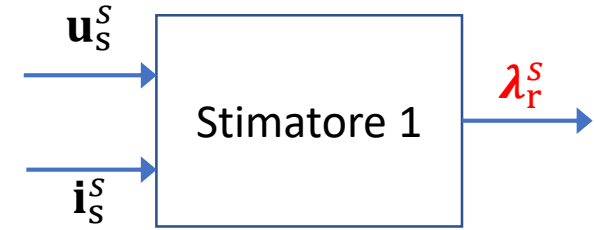
...si ottiene:

$$\lambda_r^s = \frac{L_r}{L_M} \lambda_s^s - \left(\frac{L_r L_s}{L_M} - L_M \right) i_s^s = \frac{L_r}{L_M} \left(\lambda_s^s - \left(L_s - \frac{L_M^2}{L_r} \right) i_s^s \right) = \frac{L_r}{L_M} \left(\lambda_s^s - L_{st} i_s^s \right)$$



Parametri poco influenzati dalle condizioni operative

Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^S da u_s^S e i_s^S



Analisi delle prestazioni

- *Dipendenza dai parametri e sensibilità alle variazioni parametriche:*

R_s varia molto con la temperatura;

$R_s i_s$ incide molto alle basse velocità (=tensioni)

\Rightarrow NON funziona a basse velocità

Le induttanze coinvolte e il rapporto di induttanze variano poco con le condizioni operative

Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^S da \mathbf{u}_S^S e \mathbf{i}_S^S

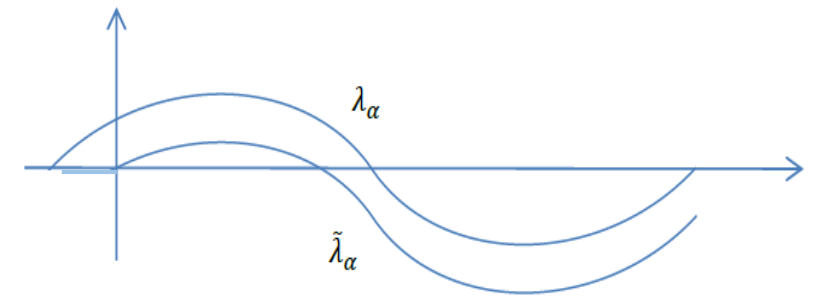
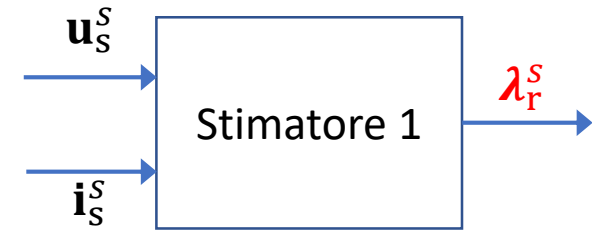
- onerosità computazionale :
 - a) sia $t=0$ l'istante iniziale dell'integrazione

$$\lambda_S^S = \lambda_S^S(0) + \int_0^t (\mathbf{u}_S^S - R\mathbf{i}_S^S) dt \cong \int_0^t (\mathbf{u}_S^S - R\mathbf{i}_S^S) dt$$

Non noto
quindi
ignorato!

Sono soluzione dell'omogenea e
integrale particolare di:

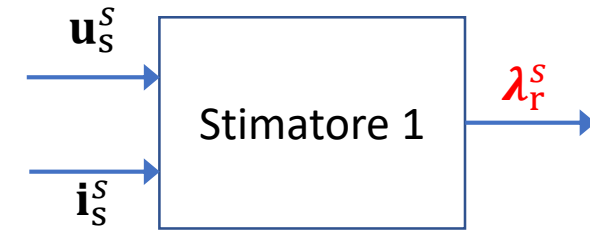
$$\frac{d\lambda}{dt} = (\mathbf{u} - R\mathbf{i})$$



Errore costante dovuto alle condizioni
iniziali non considerate

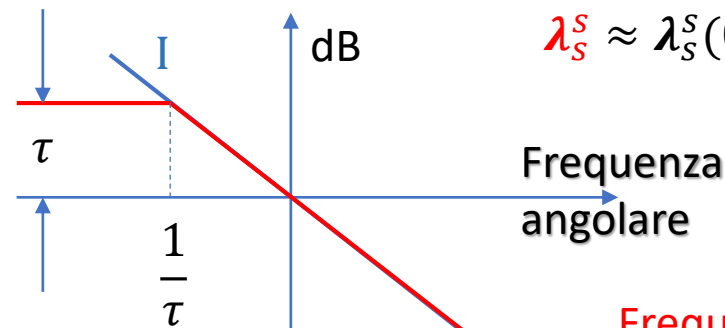
- b) Inoltre un eventuale «disturbo costante all'ingresso dell'integratore puro» produce **Deriva (andamento a rampa) nell'uscita dell'integratore.**

Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^S da \mathbf{u}_S^S e \mathbf{i}_S^S



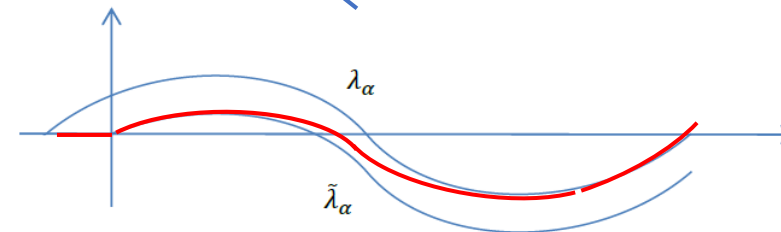
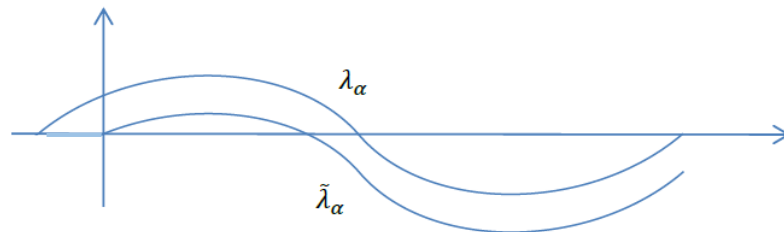
Errore per condizioni iniziali ed eventuali derive si risolvono/attenuano sostituendo l'integratore puro con un **passa basso**

$$\frac{\Lambda(s)}{E(s)} = \frac{1}{s} \approx \frac{\tau}{1 + s\tau}$$

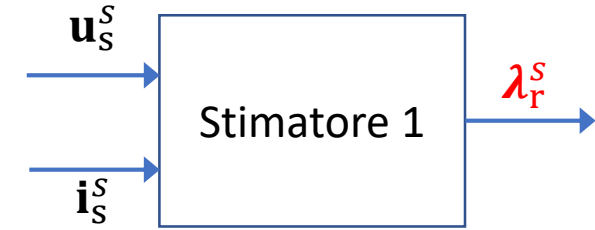


$$\lambda_r^S \approx \lambda_r^S(0)e^{-t/\tau} + \int_0^t (\mathbf{u}_S^S - R\mathbf{i}_S^S) dt$$

Frequenza di lavoro $\omega > \omega_{\min} = 1/\tau$



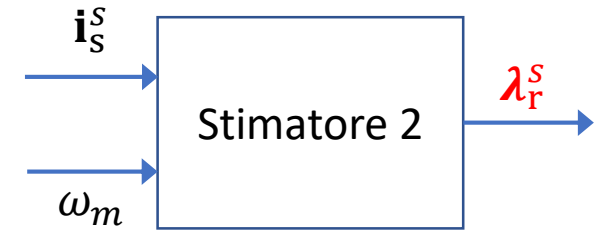
Metodo diretto 1): Stima del vettore λ_r^S da u_s^S e i_s^S



- *Onerosità delle misure: modesta*
 - *Le correnti sono già misurate per gli anelli di corrente*
 - *Per le tensioni si prendono i riferimenti di tensione che comandano l'inverter*

(vedere Parte II - Invertitore)

Metodo diretto 2): Stima del vettore λ_r^s da \mathbf{i}_s^s e ω_m



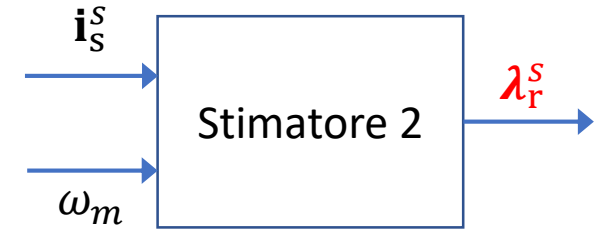
Equazione elettrica di rotore nel sistema di riferimento stazionario

$$\mathbf{0} = R_r \mathbf{i}_r^s + \frac{d\lambda_r^s}{dt} - j\omega_{me} \lambda_r^s$$

Dall'equazioni dei flussi

$$\mathbf{i}_r^s = \frac{\lambda_r^s}{L_r} - \frac{L_M}{L_r} \mathbf{i}_s^s$$

Metodo diretto 2): Stima del vettore λ_r^s da $e \mathbf{i}_s^s$ e ω_m



...si ottiene

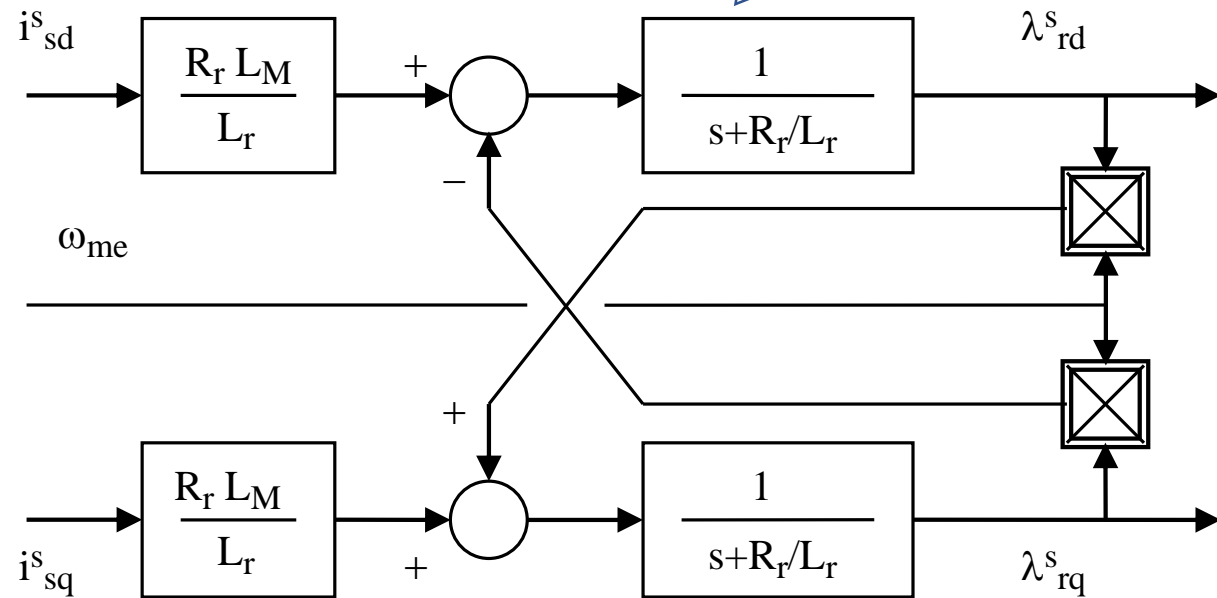
$$\frac{d\lambda_r^s}{dt} = \left(j\omega_{me} - \frac{R_r}{L_r} \right) \lambda_r^s + \frac{R_r L_M}{L_r} \mathbf{i}_s^s$$

...ossia

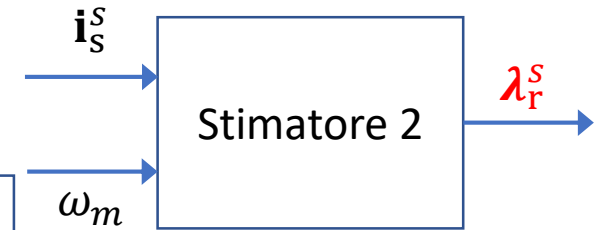
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\lambda_{rd}^s}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \lambda_{rd}^s = -\omega_{me} \lambda_{rq}^s + \frac{R_r L_M}{L_r} i_{sd}^s \\ \frac{d\lambda_{rq}^s}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \lambda_{rq}^s = \omega_{me} \lambda_{rd}^s + \frac{R_r L_M}{L_r} i_{sq}^s \end{array} \right.$$

Metodo diretto 2): Stima del vettore λ_r^s da i_s^s e ω_m

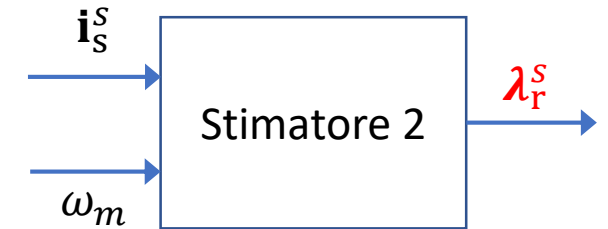
Schema a blocchi (implementativo)



E' un passa-basso: non ci sono i problemi dell'integratore puro



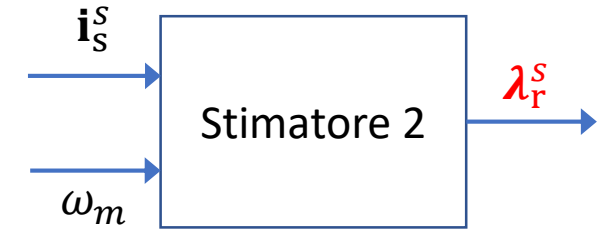
Metodo diretto 2): Stima del vettore λ_r^S da i_s^S e ω_m



Analisi delle prestazioni

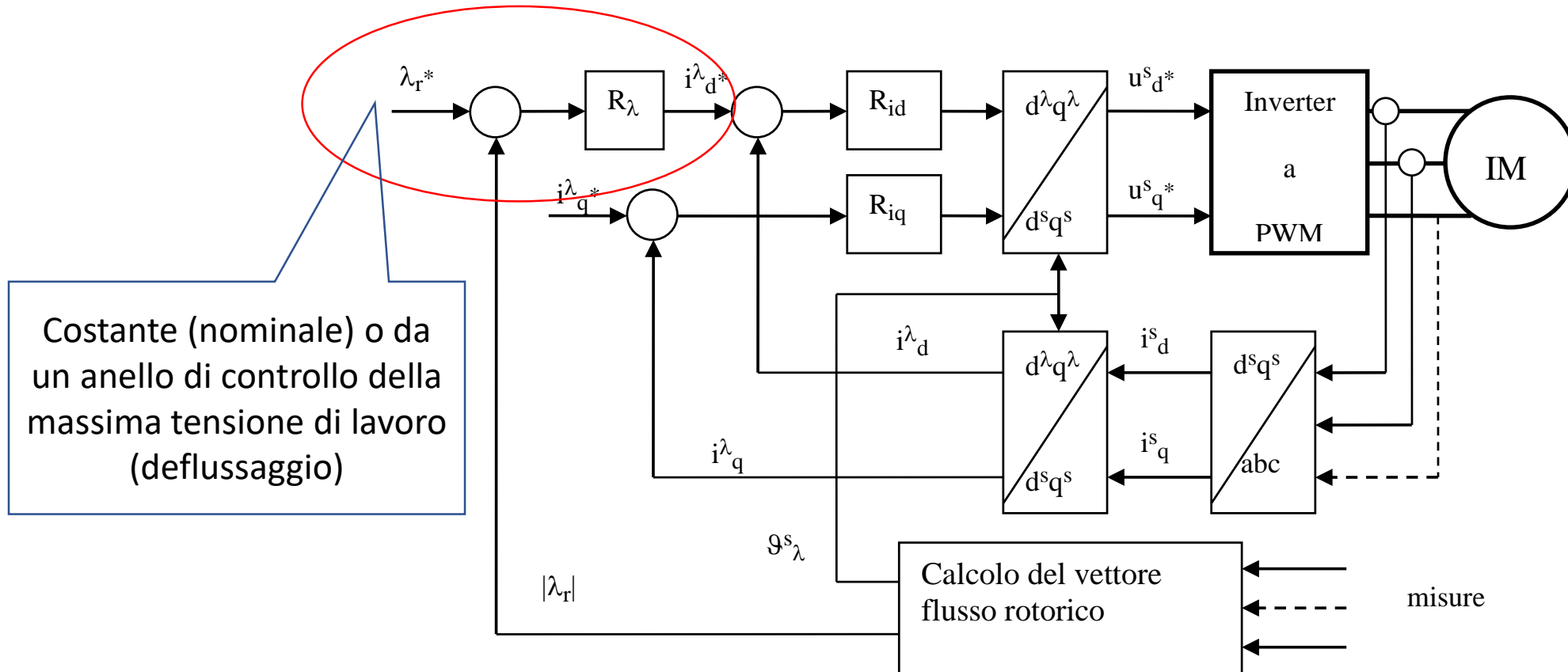
- *dipendenza dai parametri e sensibilità alle variazioni parametriche:*
 - *il parametro che più varia è la resistenza rotorica;*
 - *errori nella resistenza rotorica comportano errori di stima;*
 - *gli errori non si esaltano al diminuire della velocità.*
- ⇒ Lo stimatore funziona anche a velocità basse o nulle!

Metodo diretto 2): Stima del vettore λ_r^S da i_s^S e ω_m



- *onerosità computazionale:*
 - *Nessuna criticità!*
- *onerosità della misura:*
 - *Richiede la misura della velocità anche se non è previsto un anello di velocità!*
 - *E' molto sensibile agli errori di velocità.*
 - *Esigenza onerosa!*

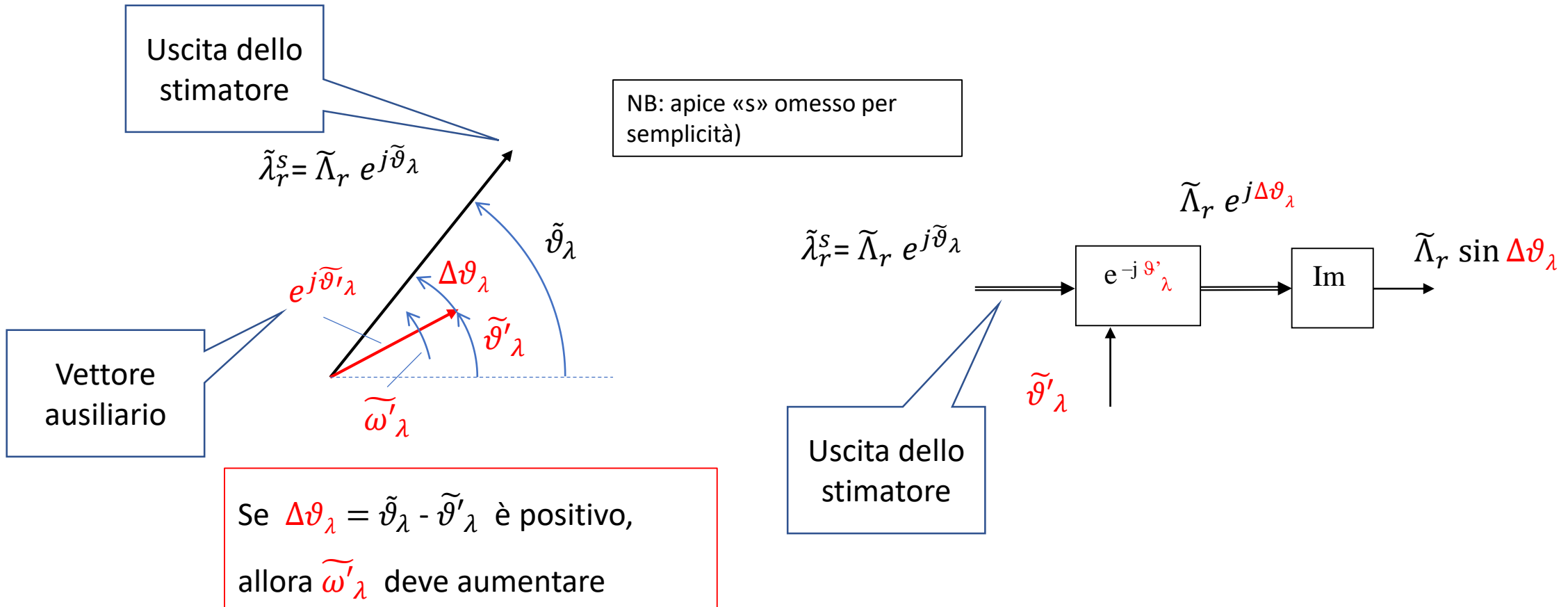
Schema a blocchi di azionamento FOC diretto: particolare dell'anello di flusso



Costante (nominale) o da un anello di controllo della massima tensione di lavoro (deflussaggio)

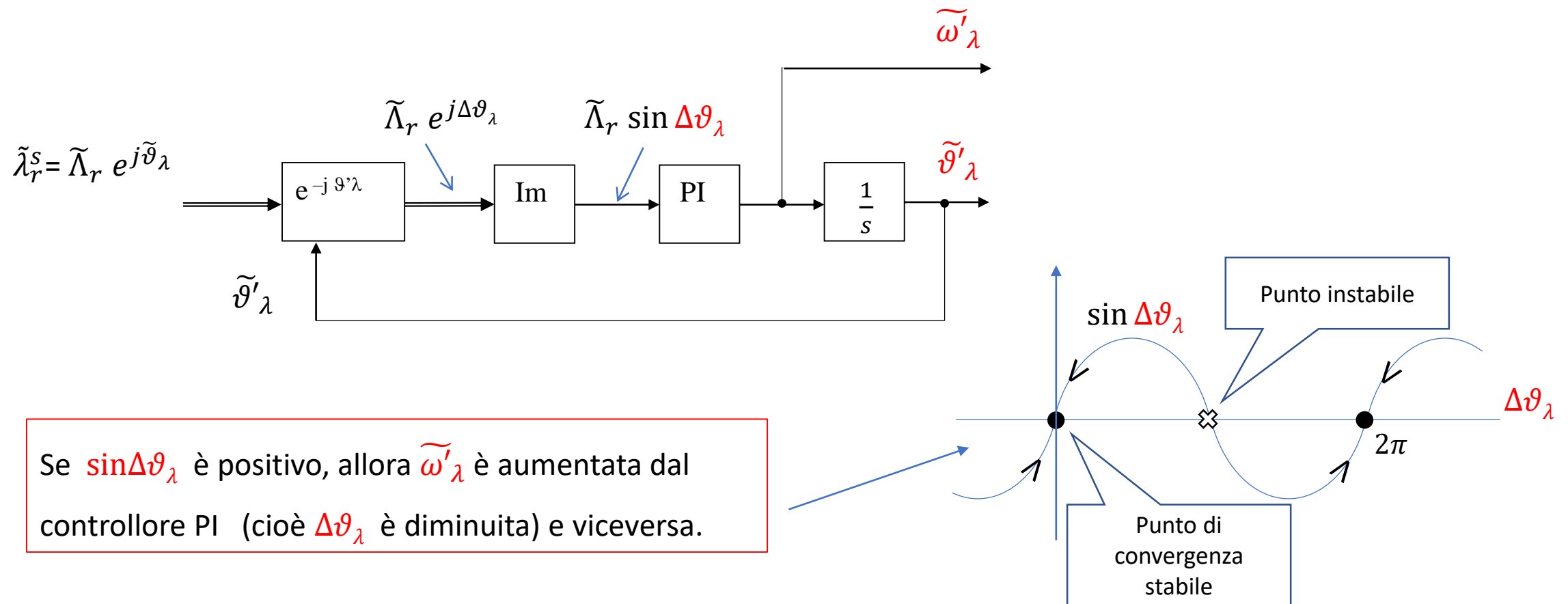
Estrazione della posizione (e della velocità) di λ_r^s

Metodo del PLL (Phase Locked Loop (Anello ad aggancio di fase))



Estrazione della posizione (e della velocità) di λ_r^s

Metodo del PLL (Phase Locked Loop (Anello ad aggancio di fase))



Estrazione della posizione (e della velocità) di λ_r^S

Metodo del PLL (Phase Locked Loop (Anello ad aggancio di fase))

Per il progetto del PI si può fare riferimento al seguente schema valido attorno al punto di convergenza stabile ove $\sin x \cong x$.

