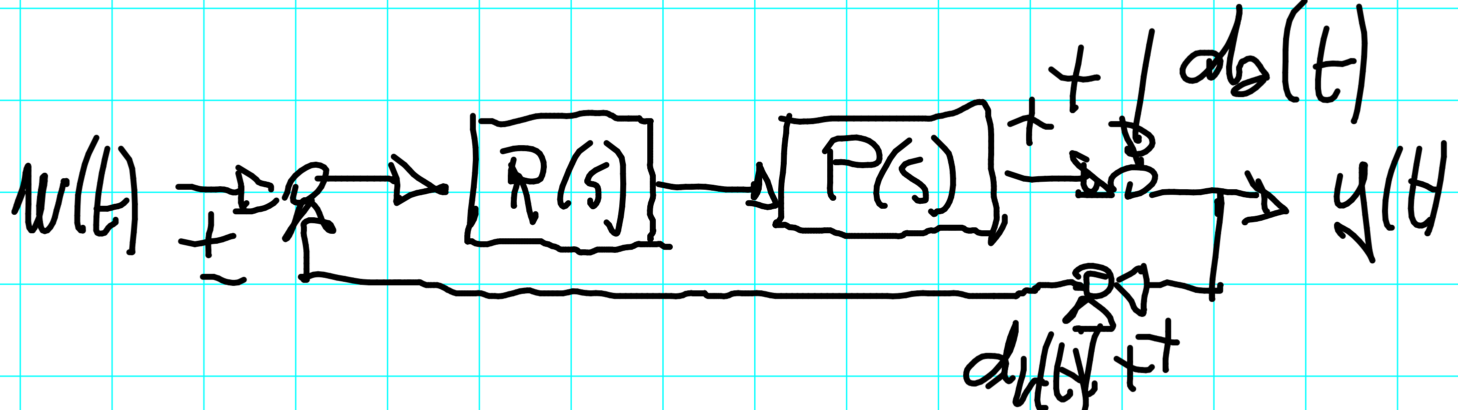
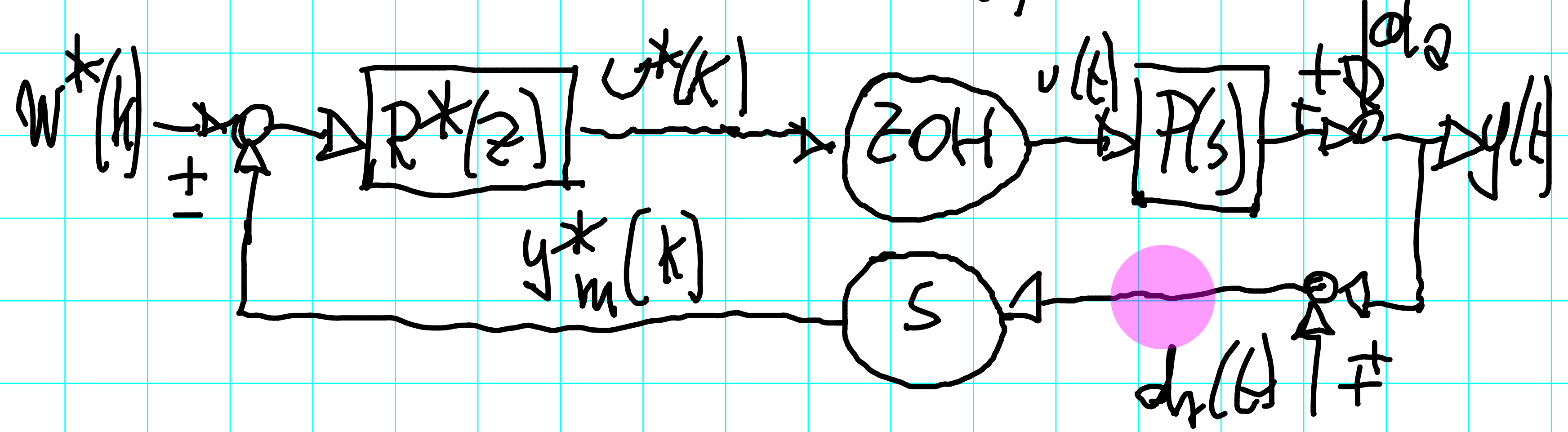
11/05/2020

- Scelta di T_s

Schema di progetto (TC):

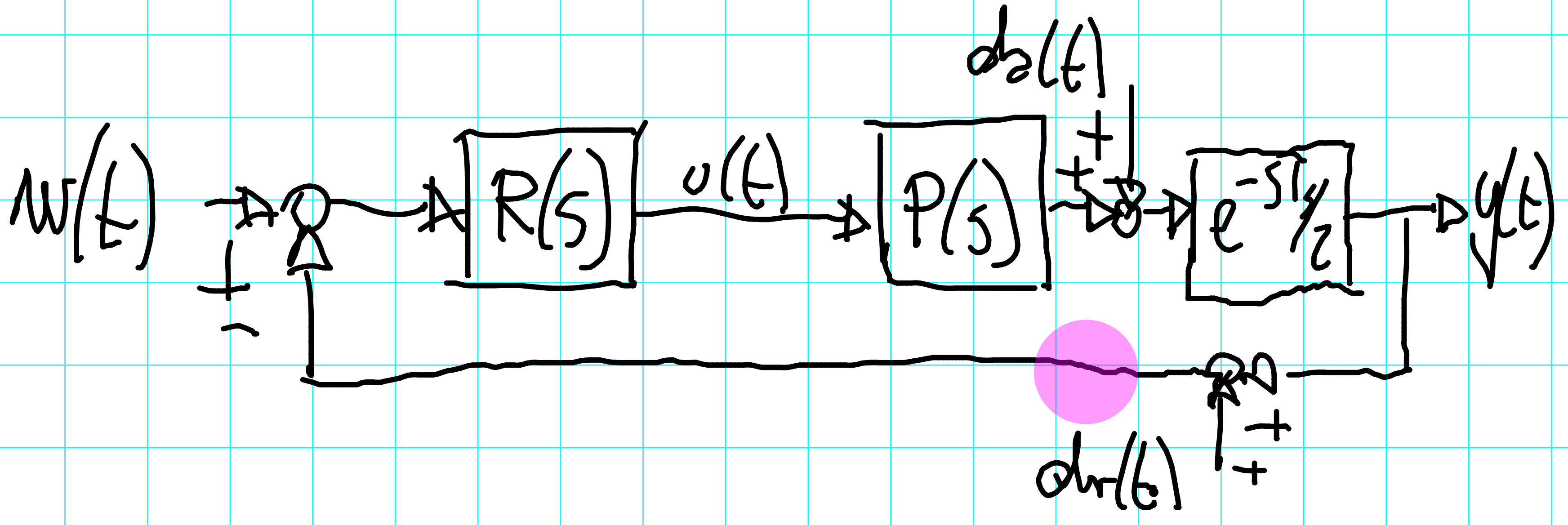


Schema realizzato (IBRIDO):



$S\&H \simeq e^{-sT_s/2}$

Schema di progetto (TC) che tiene conto di S&H:



Nel progetto a TC, quando è noto che si dovrà realizzare il regolatore con tecnologia digitale, si tiene conto di S&H tramite un ritardo aggiuntivo nel loop di entità $T_s/2$

Vediamo quindi i criteri per la scelta di T_s

CRITERIO 1: più ω_c è grande, più il segnale campionato $y(t)$ conterrà componenti in alta frequenza

a rigore $y(t) + d_r(t)$

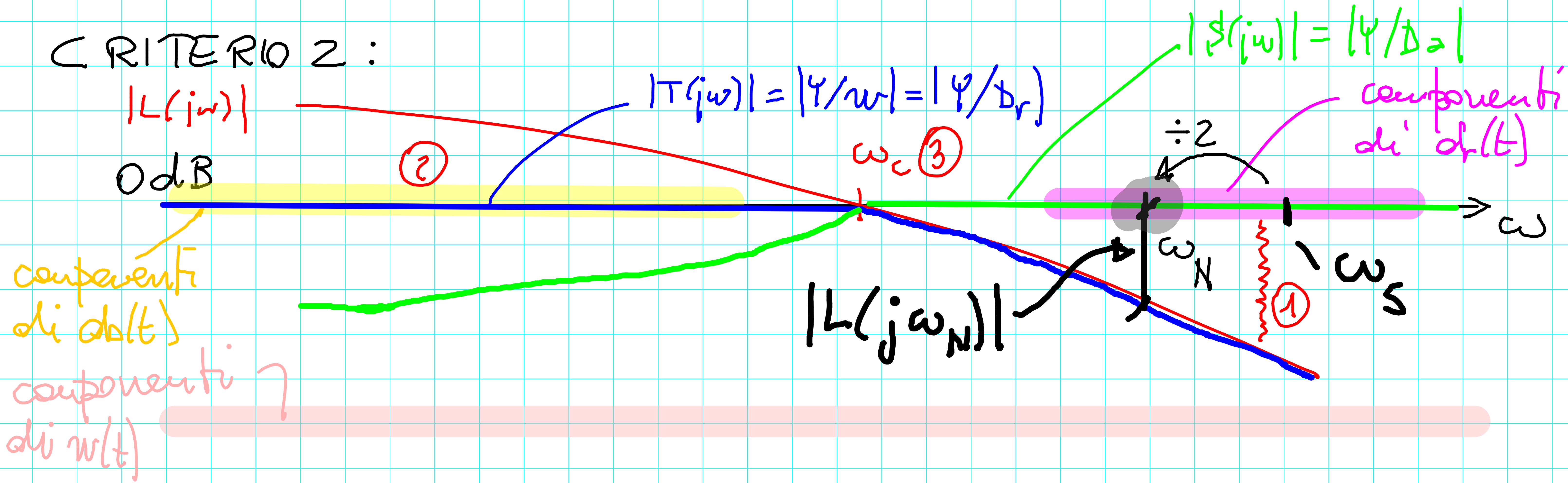
$\Rightarrow$ Facciamo la puls. di campionamento

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s}$$

proporzionale a ω_c:

$$\omega_s = K\,\omega_c \qquad K \sim 10 \div 50$$

CRITERIO 2:



$\omega_N = \omega_s/2$ "Freq. di Nyquist"

max ω rappresentabile con campionamento a passo T_s

In un pb non patologico, alla f. di Nyquist, su y ho d_r ① attenuato !! ☺, d_a ② non c'è !! ☺ e anche w ① attenuato ma ciò mi va bene (vel. risp. ok ③)

⇒ PIÙ $|L(j\omega_N)|$ È PICCOLO, MENO SI HA ALIASING

CRITERIO 3:

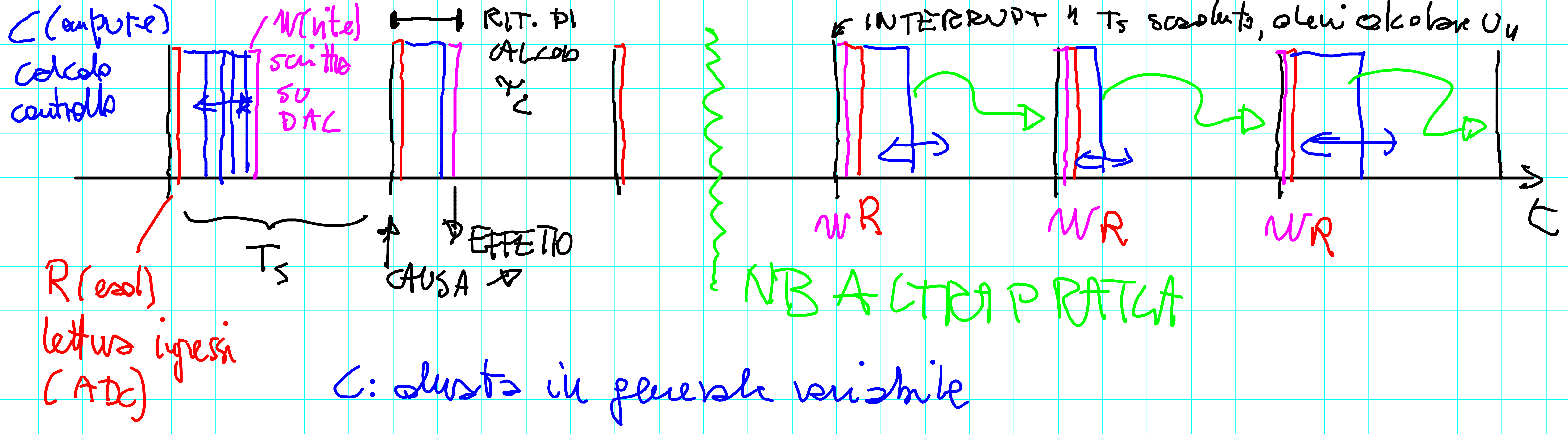
S&H → ritardo di $T_s/2$ ⇒ non cambia ω_c ma riduce φ_m di $\omega_c \frac{T_s}{2}$

criterio: $\overbrace{\omega_c \frac{T_s}{2}}^{\text{RAD} \,[\,]\, 0} < \text{toll}$

↑

quella ottenuta dal progetto a TC

... e il ritardo dovuto al calcolo di $u^*(k)$?



C: durata in generale variabile

① τ_C variabile ma $<< T_S$ $\Rightarrow$ τ_C trascurabile

② τ_C non trasc. rispetto a T_S ma costante

③ τ_C variabile e non trasc. rispetto a T_S

} consideriamo il caso pessimo

$\tau_C = T_S$

deliberatamente caso "pessimo"
MA ritardo costante e noto

Riassumendo:

criterio (rid. φ_m < tot)

(1) se solo effetto S&H e rit. calcolo trascurabile $\Rightarrow \frac{1}{2}\omega_c T_s < tot$

(2,3) se rit. calcolo non trascurabile $\Rightarrow \frac{3}{2}\omega_c T_s < tot$

CRITERIO 4:

$T_s <<$ (diciamo non oltre 1/5) della più piccola costante di tempo presente nel regolatore

$\boxed{I}$

OSS: tutti i criteri che abbiamo visto conducono a vincoli del tipo $T_s \leq tot$

È sempre vantaggioso usare un T_s "molto piccolo"?
O meglio: più T_s è piccolo e meglio è in assoluto?

NO per (almeno) due ragioni:
- maggior carico computazionale (ovvio)
- ragione numerica che vediamo

Supponiamo che $R(s)$ abbia un polo in $s = \bar{s}$

Idealmente (discr. esatta) $R^*(z)$ ne deve avere uno in $\bar{z} = e^{\bar{s} T_s}$

PERÒ la macchina di calcolo NON ha precisione infinita

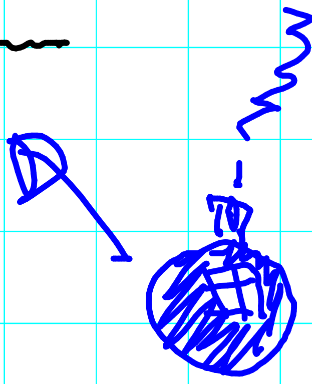
e quindi non calcola $\bar{z}$ ma bensì uno $\hat{z} = \bar{z}(1+\delta)$

dove δ è piccolo ma finito e ovviamente incognito

QUINDI quale polo a TC si sta rappresentando a TD? NON $\bar{s}$ ma

$$\hat{s} = \frac{1}{T_s} \log \hat{z} = \frac{1}{T_s} \log\left(\bar{z}(1+\delta)\right) = \frac{1}{T_s}\log \bar{z} + \frac{1}{T_s}\log(1+\delta)$$

$$= \bar{s} + \frac{\log(1+\delta)}{T_s}$$



$\square$

Quadro complessivo!

$P(s)$
ω_c, φ_m, e_∞ desiderati,
reiezione di d_a e/o d_r

Ip. Bode $\longrightarrow$ $R(s), L(s)$
ω_c, φ_m effettivi

$\longrightarrow$ T_s
$R(s)$
metodo discr.

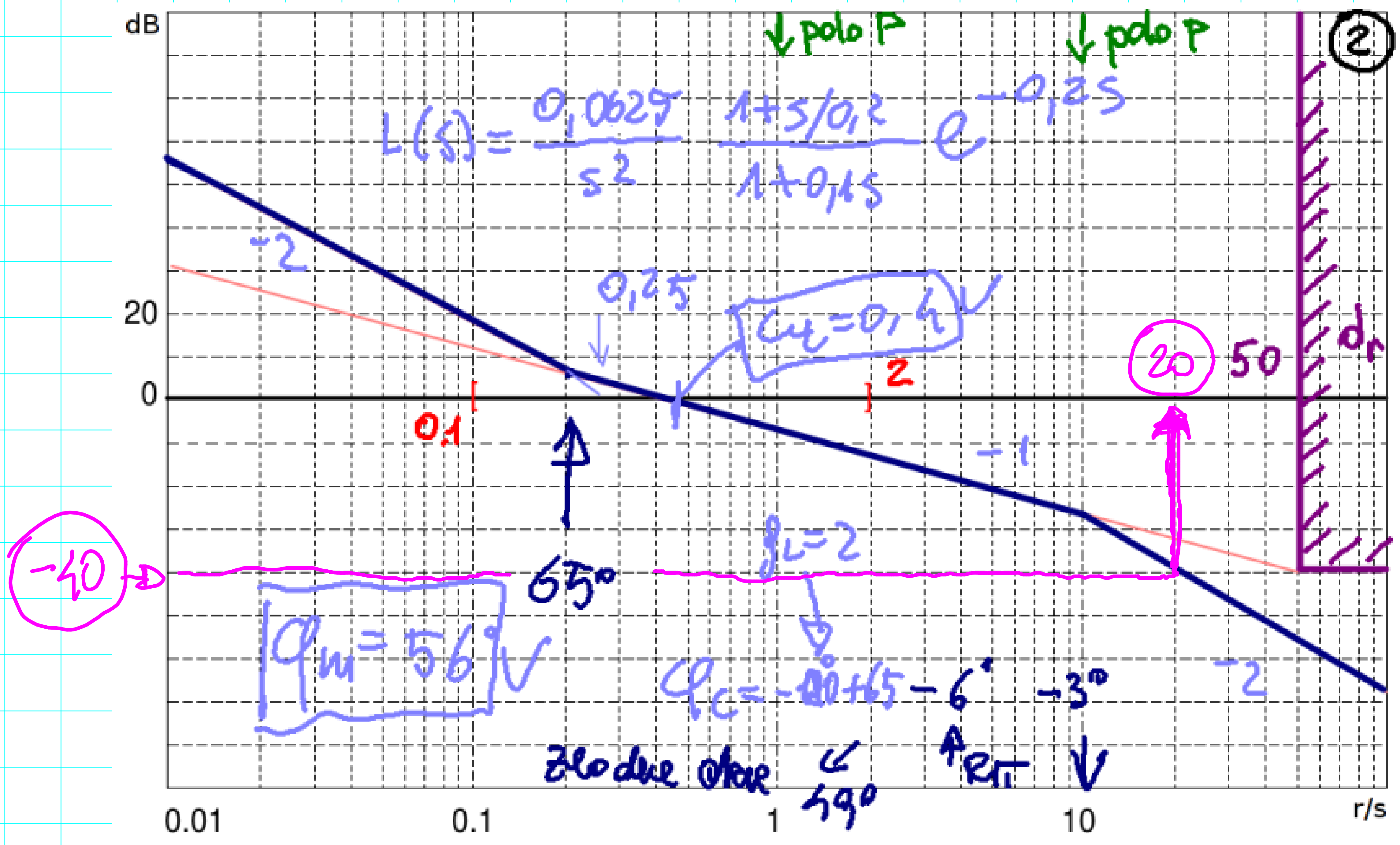
$\longrightarrow$ $R^*(z)$
$\downarrow$
$u^*(k) = \dots$
$\downarrow$
Codice Finale

LTI

LOOP IBRIDO VISTO COME LOOP A TC
CON EFFETTO DI S&H COME RITARDO

NL tipo di antiwindup,
tracking, ...

ES] Continuazione es. 2 del 22/04/2020



- Scegliere T_s in modo che
  - $\omega_s > 20\,\omega_c$
  - $|L(j\omega_N)| < -40\,dB$
  - riduzione di φ_m dovuta a S&H e ritardo di calcolo non superiore a 5°
- Legge di controllo a TD usando EE

Scelta T_s

Dal progetto a TC ho $\omega_c = 0,4$

- $\omega_s > 20\,\omega_c = 8$ $\qquad \frac{2\pi}{T_s} > 8 \qquad T_s < \frac{2\pi}{8} \simeq 0,78$
- dal DBM di $L(j\omega)$

  Vedo che $|L|_{dB} < -40$ per $\omega > 20$

  Quindi scelgo $\omega_N > 20 \Rightarrow \omega_s = \frac{2\pi}{T_s} > 40 \qquad T_s < 0,39$
- Considero sia S&H che int. di calcolo

  $$\frac{3}{2}\omega_c T_s < 5^\circ \frac{\pi}{180^\circ} \Rightarrow T_s < \frac{5\pi}{180}\,\frac{2}{3}\,\frac{1}{0,4} \simeq 0,14$$

Scelgo il più restrittivo $\Rightarrow T_s < 0,14 \Rightarrow$ prendo $T_s = 0,1$

Legge di controllo a TD

Dal progetto a TC ho $R(s) = 0{,}0625 \dfrac{(1+s/0{,}2)(1+s)}{s^2}$

Uso EE e ovviamente il T_s sotto

$$R^*(z) = 0{,}0625 \frac{\left(1+5\frac{z-1}{0{,}1}\right)\left(1+\frac{z-1}{0{,}1}\right)}{\left(\frac{z-1}{0{,}1}\right)^2}$$

$$= \frac{0{,}3125\,z^2 - 0{,}5875\,z + 0{,}2756}{z^2 - 2z + 1}$$

Legge di controllo: $e \rightarrow \boxed{R^*} \rightarrow u$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \frac{0{,}3125\, z^2 - 0{,}5875\, z + 0{,}2756}{z^2 - 2z + 1}$$

$$(\text{denom.})\, U(z) = (\text{num.})\, E(z)$$

$$u(k+2) - 2u(k+1) + u(k) = 0{,}3125\, e(k+2) - 0 \;- - - -$$

Scala tempi:

$$u(k) = 2u(k-1) - u(k-2) + 0{,}3125\, e(k) - 0{,}5875\, e(k-1) + 0{,}2756\, e(k-2)$$

Addendum: meglio implementare $R^*(z)$ come serie / parallelo di blocchi del 1°/2° ordine (cfr. Heaviside)

ES

$$R^*(z) = \frac{5\,(1{,}04z-1)\,(4.04-4)}{\underbrace{(z-1)}_{\text{polo in } 1}\,(25{,}04z-25)}$$

polo in 1

$$= \frac{1{,}007z^2 - 1{,}965z + 0{,}958}{z^2 - 1{,}998z + 0{,}998}$$

con 3 cifre decimali anche questo ha una radice in $z=1$

questo si annulla per $z=1$ ✓

⇒ (1) cancellazione circa (sul cerchio) in R

(2) cancello l'integratore (polo in 1)

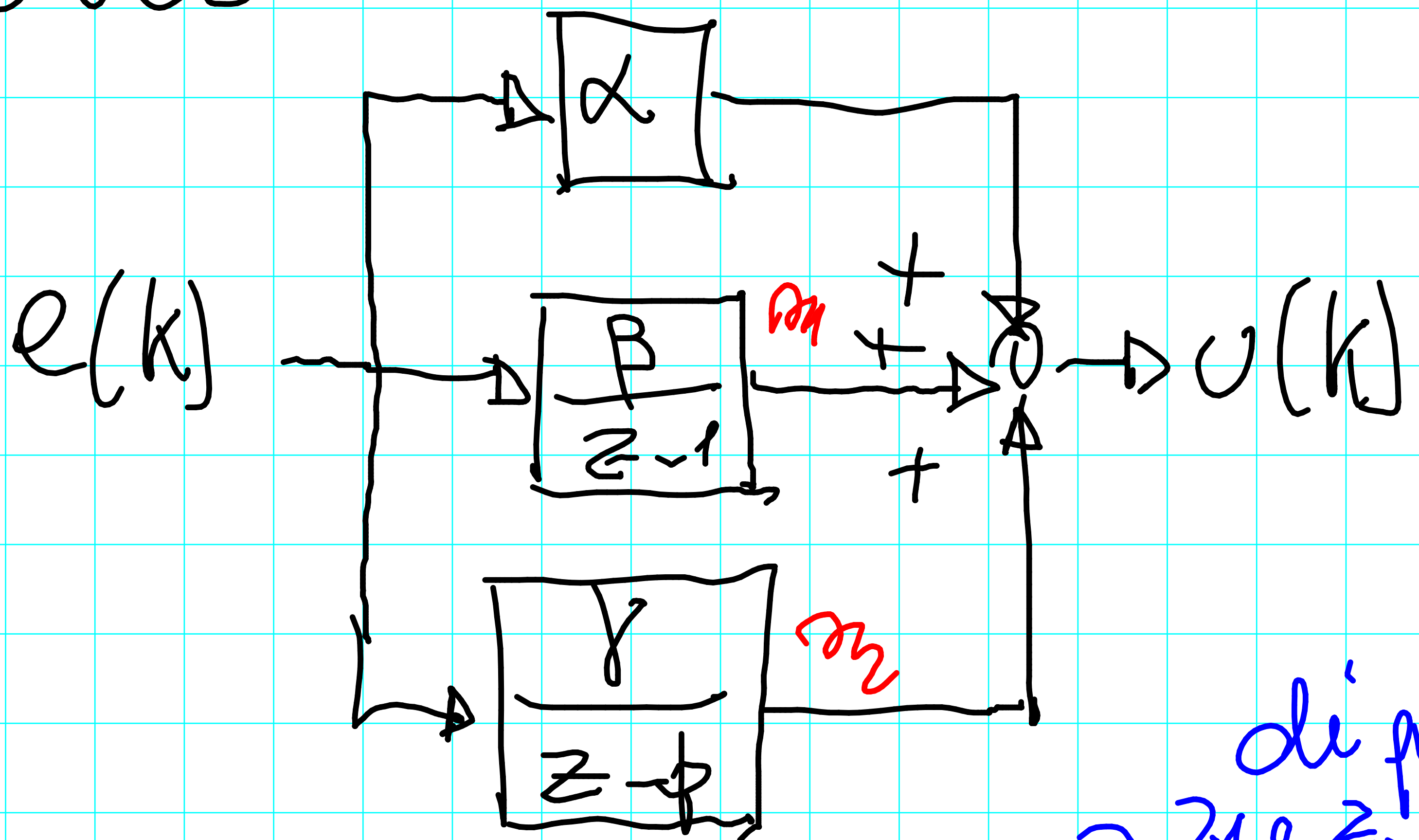
In generale

$$R^*(z) = \frac{\alpha (z-z_1)(z-z_2)}{(z-1)(z-p)}$$

PID a TD

Scrivo $R^*(z) = \alpha + \frac{\beta}{z-1} + \frac{\gamma}{z-p}$ (β, γ da Heaviside)

e realizzo



$$\begin{cases} x_1(k) = 1 \cdot x_1(k-1) + \beta e(k-1) \\ x_2(k) = p\, x_2(k-1) + \gamma e(k-1) \\ u(k) = x_1(k) + x_2(k) + \alpha e(k) \end{cases}$$

devo verificare che gli zeri di questo siano abbastanza vicini a z_1 e z_2 MA NON HO PB PER I POLI