

- data l'ipotesi che sul processo non ci siano poli non visibili e che siano tutti con  $\text{Re}[s] < 0$
- Si avranno quindi, sull'anello aperto,  $n_F^+ = 0$ , quindi per garantire che il S&C sia AS basta che  $m_F > 0$  e  $k_F > 0$  (Criterio di Bode)

Lo scopo del progetto in frequenza è di scegliere la  $G(s)$ , il controllore, tale che  $F(s) = G(s)P(s)$ , in modo che poi, in retroazione, siano verificate le specifiche, scegliendo opportunamente il guadagno (per limitare gli errori a R.P. e per l'AS) e inserendo elementi integratori o risonanti (Astaticismo o attenuazione/eliminazione errori a regime)

Le specifiche sul transitorio anche vengono convertite in CONDIZIONI sul sistema ad anello aperto, e sulla sua risposta  $F(j\omega)$ , con

$$\omega_c \geq \omega_{c \min} \quad \text{e} \quad m_\phi \geq m_{\phi \min}$$

(verranno presi i valori al limite)

il controllore è quindi nella forma

$$G(s) = \frac{K_G}{s^h} R(s)$$

- La costante  $K_G$  serve ad aumentare il guadagno del ramo diretto ( $K_F = K_G K_P$ ) in modo da soddisfare specifiche sull'entità dell'errore a regime o della risposta a disturbi  $\varphi_2$  (canonici e/o sinusoidali)
- i poli nell'origine  $s^h$  ( $h=0,1,\dots$ ) servono per le specifiche di tipo sul SdC (SdC tipo  $k \Leftrightarrow h$  poli in  $F(s)$ ) e sull'astatismo per disturbi a gradino - o eventuale  $s^2+1$  per armonici -
- LA FUNZIONE COMPENSATRICE  $R(s)$  ha il compito di modificare i dB per l'AS e per il transitorio

Si utilizza, se e solo se l'ipotesi per cui tutti i poli siano  $\text{Re} < 0$ , l'algoritmo a pag successiva

$$G(s) = \frac{K_G}{s^h} P(s)$$

1. Si sceglie il **minimo** numero di poli necessari (intero  $h$ ) a soddisfare le specifiche (6-7) di tipo e/o asintotismo

2. Si sceglie  $K_G$ , prima in valore assoluto, in modo che soddisfi, al minimo valore, le specifiche di errore o risposta al disturbo limitate.  $K_G$  dev'essere scelto TALE che  $K_P > 0$  ( $\text{sign}(K_G) = \text{sign}(K_P)$ )

3. Si tracciano i dB di

$$\hat{F}(s) = \frac{K_G}{s^h} P(s)$$

funzione di  
trasferimento  
del processo  
MODIFICATO

Studio del :

- margine di fase  $m_\varphi$
- pulsazione di taglio  $\omega_t$

4. Se  $\omega_t \geq \omega_{t,\min}$  e  $m_\varphi \geq m_{\varphi,\min}$  sono rispettati, si proietta  $R(s) \approx 1$ , altrimenti si proietta  $R(s)$  in modo da garantire le 2 condizioni. per cui  $\omega_t^* = \omega_{t,\min}$  e  $m_\varphi^* = m_{\varphi,\min}$

Esistono quindi delle specifiche funzioni per il punto h, le **FUNZIONI COMPENSATRICI ELEMENTARI**, e sono di 2 tipi:

## ANTICIPATRICE

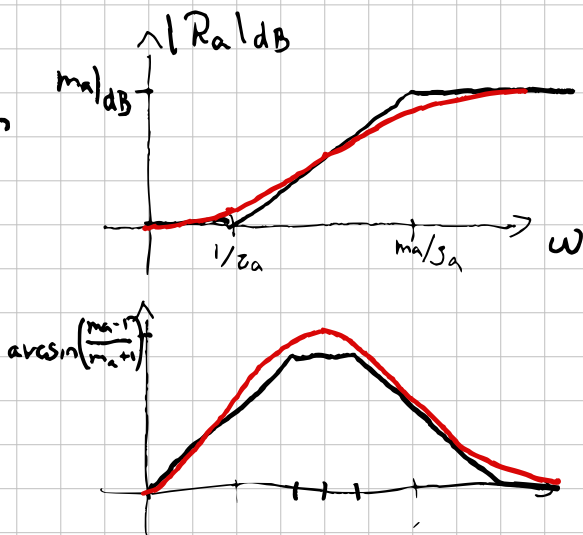
ha guadagno UNITARIO, un polo e uno zero

$$R_a(s) = \frac{1 + \tau_a s}{1 + \frac{\tau_a}{m_a} s}$$

- ha come amplificazione massima  $m_a$
- il suo max anticipo è  $\arcsin(m_a^{-1}/m_a + 1)$

ha 2 EFFETTI

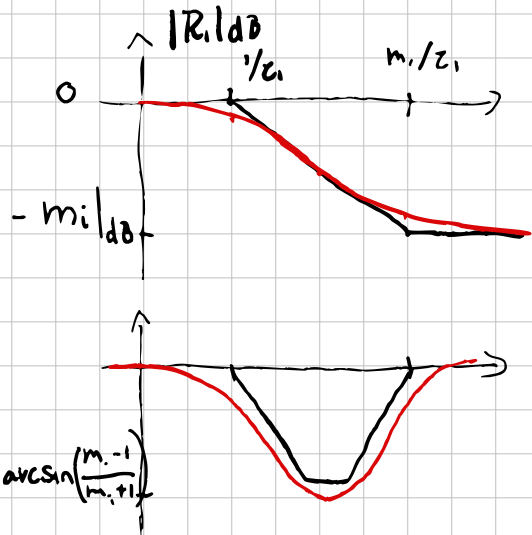
- **ANTICIPO IN BANDA** (benefico per aumentare  $m_\varphi$ )
- **AMPLIFICAZIONE dopo CERTA FREQUENZA** (collaterale, aumenta  $\omega_f$ )



Sì, scegliere  $m_a$  per avere l'anticipo voluto, e poi si sceglie  $\tau_a$  e c.  $\omega = 1/c$

# ATTENUATRICE

$$R_i(s) = \frac{1 + z_i/m_i s}{1 + z_i s}$$



• max attenuazione  $-m_i$

• max ritardo  $-\arcsin\left(\frac{m_i-1}{m_i+1}\right)$

ha 2 effetti:

• **ATTENUAZIONE** oltre **FREQUENZA** (benefico, diminuisce  $\omega_c$ )

• **RITARDO IN BANDA** (collaterale, rischio di andare sotto  $m_p$  n.o)

Per la scelta delle funzioni è possibile usare i diagrammi universali (PdF su doc.ott.)

Rappresentano modulo e fase delle funzioni anticipatrici, al variare di  $m$ , - si noti che le funzioni attenuatrici sono SPECULARI rispetto alle anticipatrici)

• In ASCISSA compaiono le pulsazioni normalizzate  $\omega/\omega_c$

# DIAGRAMMI UNIVERSALI

- $m$  determina l'intensità dell'effetto della funzione compensatrice,  $\tau$  ne stabilisce la collocazione in frequenza.
- In genere, nelle anticipatrici, è buona prassi scegliere un  $\omega_c$  piccolo  $[0.01, 0.1]$  così da poter limitare l'effetto dell'amplificazione, scegliendo un  $m$  tale da "compensare" l'anticipo richiesto.
- nelle attenuatrici, essendo interessati alla maggiore attenuazione possibile, si sceglie un valore  $\omega_c$  grande  $[100]$  così da avere un minore ritardo, pur avendo l'attenuazione necessaria.

per collocare la corrispondente azione compensatrice in  $\omega_c^*$  (che si ricordi è anche per  $m \neq 1$ ) si pone  $\tau = 1/\omega_c^*$

Si possono ASSOCIARE PIÙ FUNZIONI attenuatrici / anticipatrici per avere l'effetto desiderato!

Si vedano esempi su es/slides

# CASI TIPICI + SOLUZIONI

I. Si deve aumentare  $m_p$  senza modificare  $\omega_c$

↳ Si usa funzione anticipatrice con  $m$  in grado di fornire l'anticipo richiesto, e  $\omega_z$  piccola "sufficientemente"

II. E' necessario diminuire  $\omega_b$ , e può ritardare  $m_p$  less.

↳ Si usa una Funzione attenuatrice con  $m$  in grado di fornire l'attenuazione richiesta, e  $\omega_z$  grande a sufficienza da limitare il ritardo

III. e' necessario aumentare  $\omega_c$

↳ Se la fase in  $\omega_c^*$  è già adeguata basta  $K_R = 1/|F(j\omega_c^*)|$ , altrimenti si amplifica il modulo in  $\omega_c^*$ , anticipando la fase del necessario

- Usare funzione anticipatrice con  $m$  in grado di fornire l'anticipo richiesto e  $\omega_z$  tale da fornire l'amplificazione minore o uguale a quella richiesta
- Utilizzare  $K_R \geq 1$  per aumentare guadagno

III. serve diminuire o lasciare inalterata  $\omega_c$

↳ Se la fase è adeguata basta l'attenuatrice, altrimenti si anticipa la fase di quel che serve

- Si usa un ANTICIPATRICE per  $m$  che fornisce l'anticipo richiesto, più un certo margine, che poi verrà usato dall'attenuatrice per fornire l'attenuazione necessaria, limitando il ritardo ENTRO il MARGINE