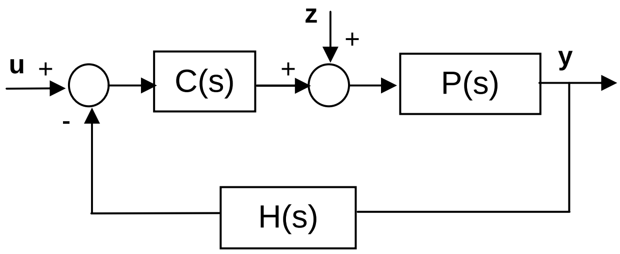
Esame di Elementi di Regolazione
Corso di Laurea Nuovo Ordinamento in Ingegneria Meccanica
31 marzo 2003 – Compito **A**

1. Dato il sistema di controllo raffigurato, con **C(s)=10/s**, **P(s)=1/[(s+3)(s+5)]** e **H(s)=0.25**, determinare:
   a. Se il sistema è stabile a ciclo chiuso con il criterio di Routh
   b. L'uscita permanente con **u(t)=4**
   c. L'uscita permanente con **u(t)=t**
   d. Il tipo di sistema di controllo
   e. Astatismo rispetto al disturbo costante **z**



2. Sia dato un processo **P(s)** descrivibile mediante la funzione di trasferimento

$$P(s) = \frac{4(s/6+1)(1-s/60)}{(s+1)(s/100+1)}$$

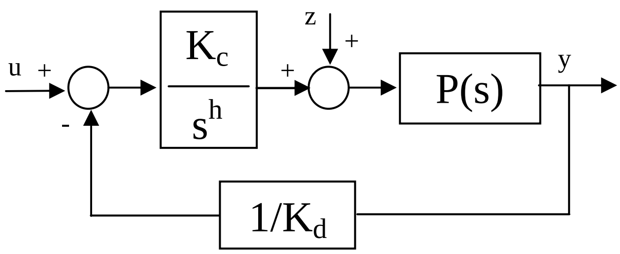
Sintetizzare il sistema di controllo in figura (determinare **h** e $\mathbf{K_c}$) in modo tale che:

- il guadagno a ciclo chiuso sia uguale a **4**
- l'errore per ingresso a rampa **u(t)=2t** sia minore o uguale a **0.16**

Scelto il valore **minimo** di $\mathbf{K_c}$ compatibile con le specifiche, tracciare i diagrammi di **BODE** e **NYQUIST** della funzione a ciclo aperto, e determinare su questi la pulsazione di attraversamento (ω_t) e, in caso di sistema stabile a ciclo chiuso, i margini di stabilità ($\mathbf{m_\phi}$ e $\mathbf{m_g}$).

Infine calcolare:

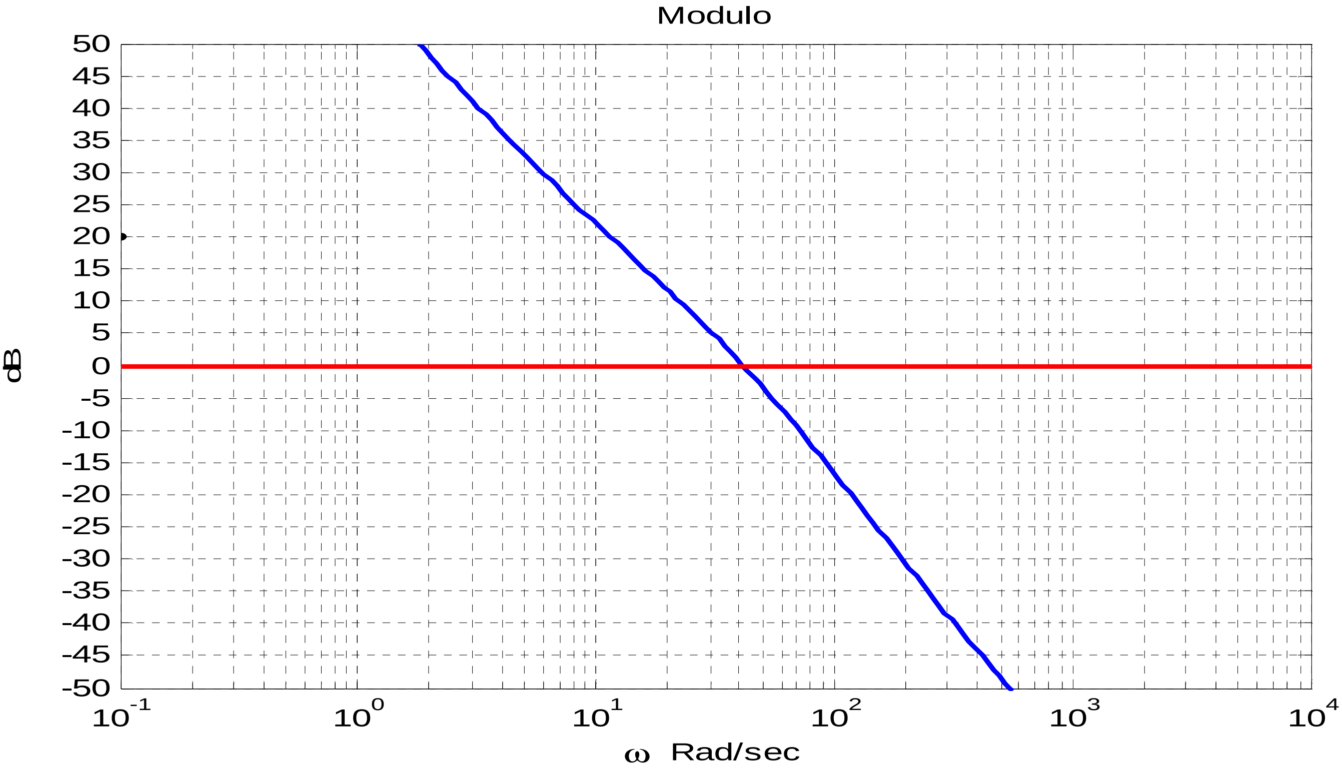
- l'effetto in uscita a regime di un disturbo **z(t)=2t**.
- fino a che pulsazione l'errore di riproduzione di una sinusoide unitaria risulti minore di **0.<u>04</u>**.

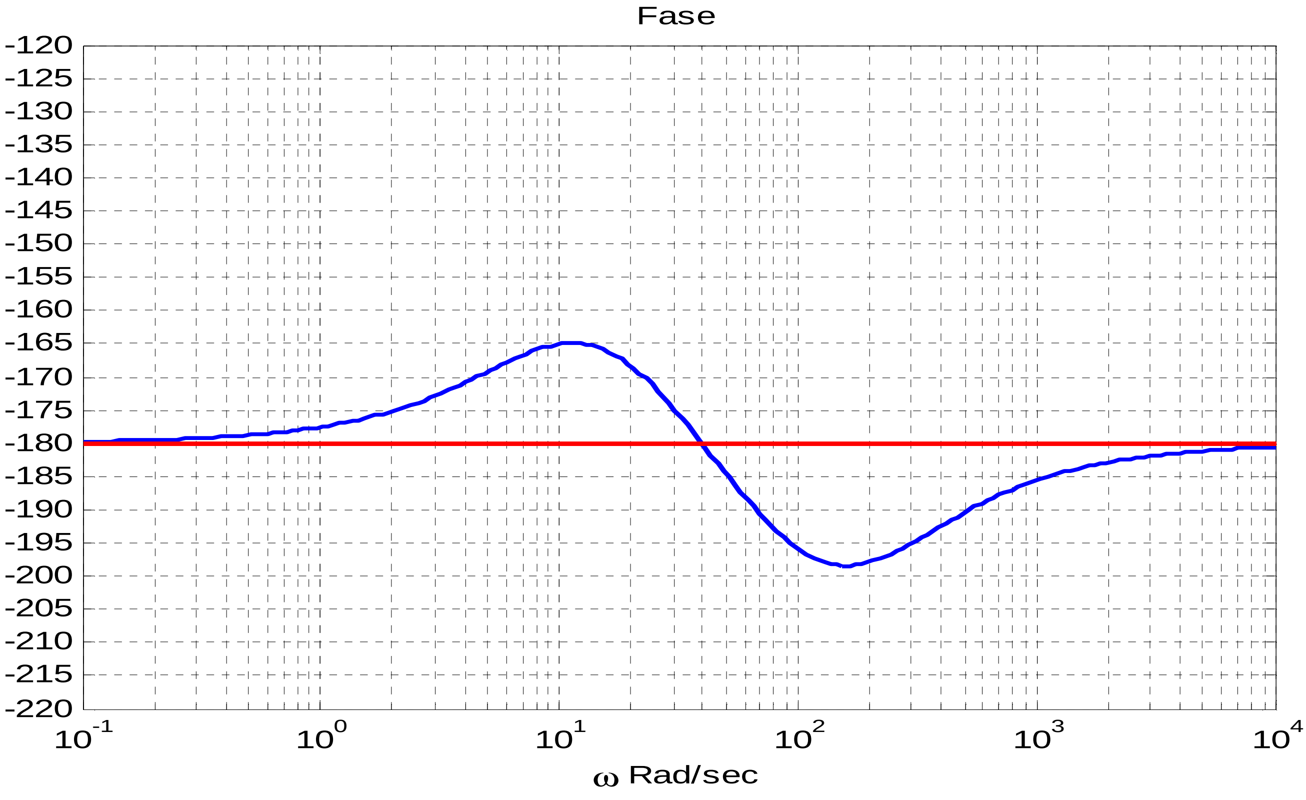


3. Enunciare il Criterio di Nyquist ed illustrare a grandi linee la sua dimostrazione (supporre di non avere poli sull'asse immaginario).

Cognome:	**Nome:**	**Matricola:**	**E-mail**

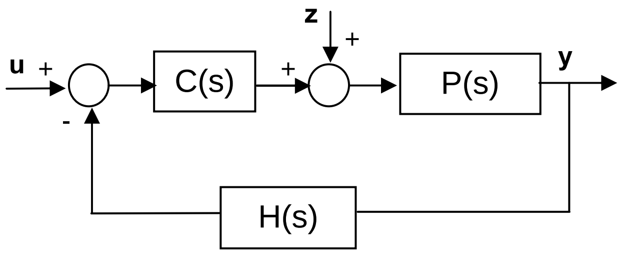
4. Dato il diagramma di **BODE** della funzione di trasferimento a ciclo aperto **F(s)** sotto riportata determinare la rete compensatrice **R(s)** tale da assicurare ω_t**>40** Rad/sec e **m**$_\phi$>30°. Tracciare quindi il diagramma di **NICHOLS** della funzione compensata **F'(s)=F(s)R(s)** e determinare su di esso il modulo alla risonanza **Mr** e la banda passante a –3 Decibel (ω_{-3}).





Cognome:	**Nome:**	**Matricola:**	**E-mail**

1. Dato il sistema di controllo raffigurato, con **C(s)=20/s**, **P(s)=1/[(s+1)(s+4)]** e **H(s)=0.20**, determinare:
    a. Se il sistema è stabile a ciclo chiuso con il criterio di Routh
    b. L'uscita permanente con **u(t)=6**
    c. L'uscita permanente con **u(t)=2t**
    d. Il tipo di sistema di controllo
    e. Astatismo rispetto al disturbo costante **z**



---

2. Sia dato un processo **P(s)** descrivibile mediante la funzione di trasferimento

$$P(s) = \frac{(s/6+1)(s/60+1)}{(s/100+1)^2(s/300+1)}$$

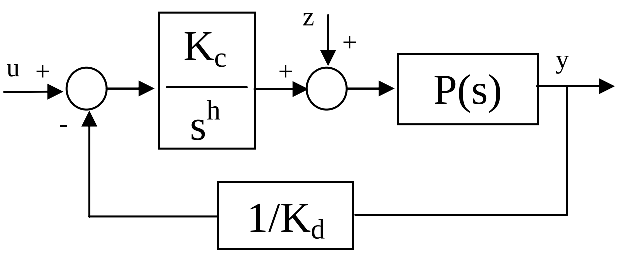
Sintetizzare il sistema di controllo in figura (determinare **h** e $\mathbf{K_c}$) in modo tale che:

- il guadagno a ciclo chiuso sia uguale a **3**
- l'errore per ingresso a rampa **u(t)=0.3t** sia minore o uguale a **0.045**

Scelto il valore **minimo** di $\mathbf{K_c}$ compatibile con le specifiche, tracciare i diagrammi di **BODE** e **NYQUIST** della funzione a ciclo aperto, e determinare su questi la pulsazione di attraversamento (ω_t) e, in caso di sistema stabile a ciclo chiuso, i margini di stabilità ($\mathbf{m_\phi}$ e $\mathbf{m_g}$).

Infine calcolare:

- l'effetto in uscita a regime di un disturbo **z(t)=3t**.
- fino a che pulsazione l'errore di riproduzione di una sinusoide unitaria risulti minore di **0.1**.



---

3. Illustrare il concetto di risposta armonica ed evidenziare il suo utilizzo nello studio della stabilità dei sistemi a controreazione.

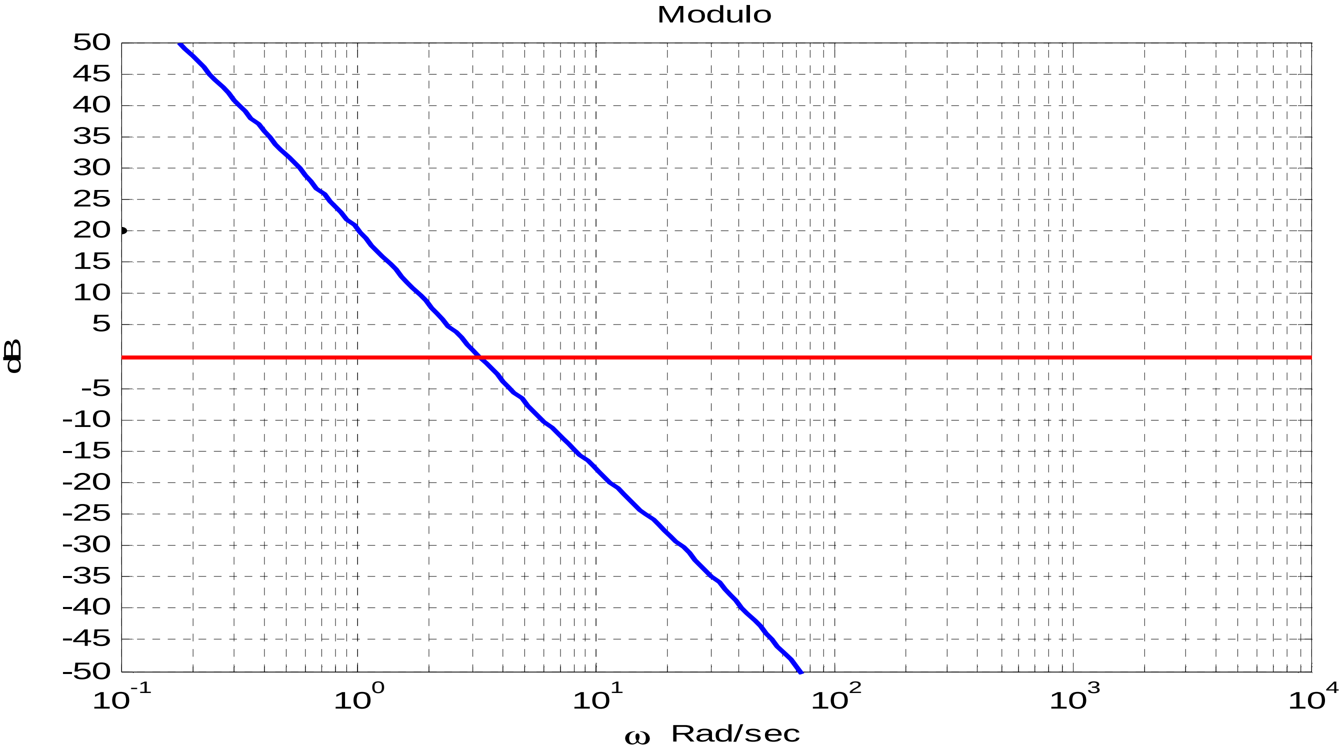
Cognome:	Nome:	Matricola:	E-mail

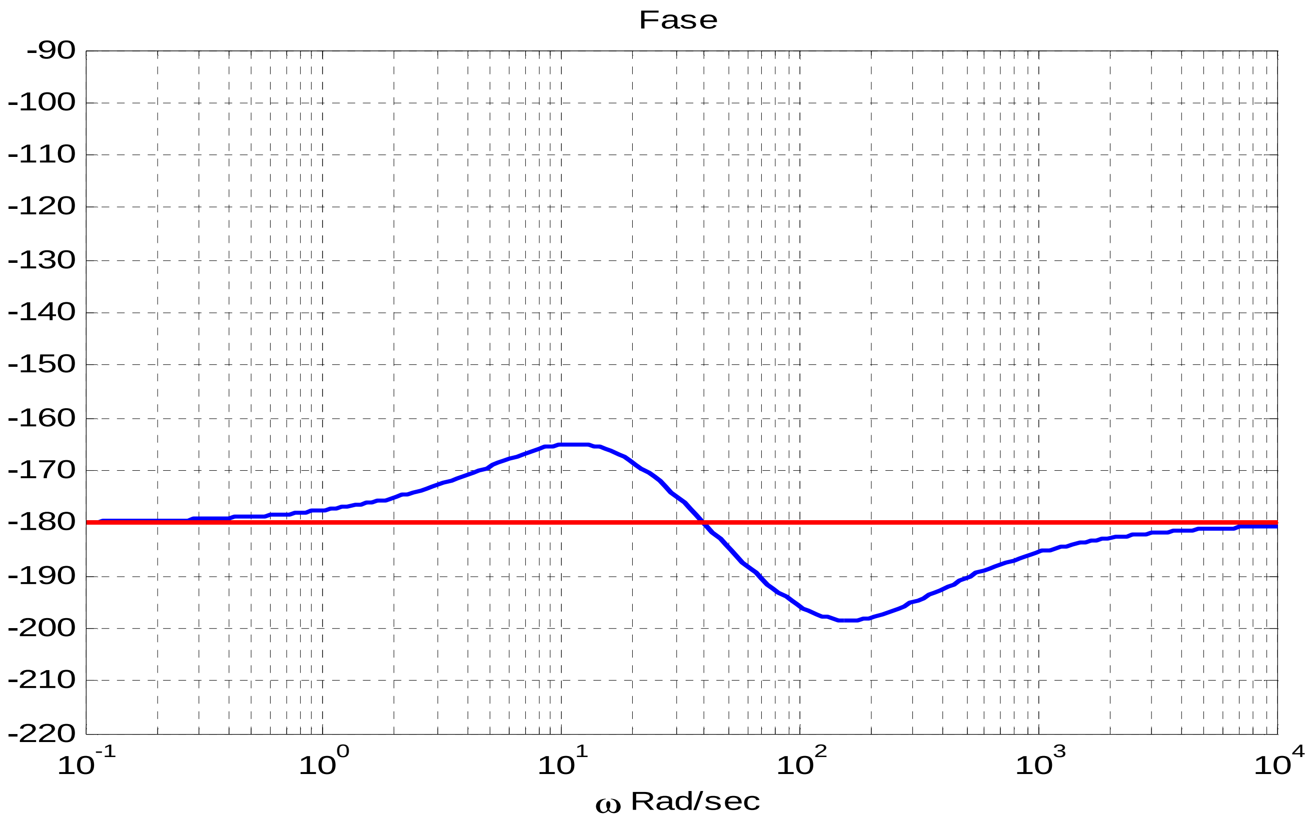
Esame di Elementi di Regolazione

Corso di Laurea Nuovo Ordinamento in Ingegneria Meccanica

31 marzo 2003 – Compito **B**

4. Dato il diagramma di **BODE** della funzione di trasferimento a ciclo aperto **F(s)** sotto riportata determinare la rete compensatrice **R(s)** tale da assicurare $\omega_t \geq 6$ Rad/sec e $m_\phi \geq 60°$. Tracciare quindi il diagramma di **NICHOLS** della funzione compensata **F'(s)=F(s)R(s)** e determinare su di esso il modulo alla risonanza **Mr** e la banda passante a –3 Decibel (ω_{-3}).





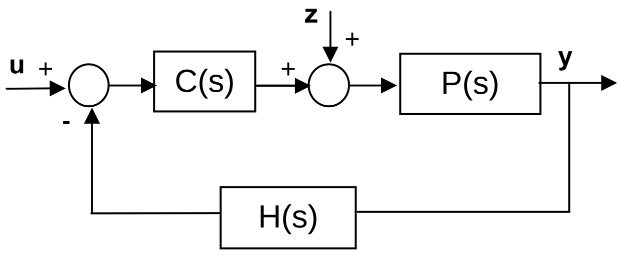
Cognome:	Nome:	Matricola:	E-mail

Esame di Elementi di Regolazione

Corso di Laurea Nuovo Ordinamento in Ingegneria Meccanica

31 marzo 2003 – Compito **C**

1. Dato il sistema di controllo raffigurato, con **C(s)=15/s**, **P(s)=1/[(s+2)(s+3)]** e **H(s)=0.15**, determinare:
    a. Se il sistema è stabile a ciclo chiuso con il criterio di Routh
    b. L'uscita permanente con **u(t)=6**
    c. L'uscita permanente con **u(t)=2t**
    d. Il tipo di sistema di controllo
    e. Astatismo rispetto al disturbo costante **z**



---

2. Sia dato un processo **P(s)** descrivibile mediante la funzione di trasferimento

$$P(s) = \frac{(1 - s/10)(s/100 + 1)^2}{(s/30 + 1)(s/300 + 1)(s/500 + 1)}$$

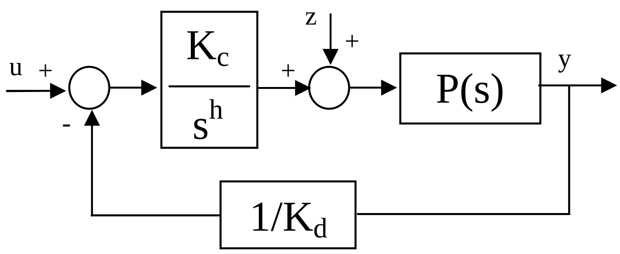
Sintetizzare il sistema di controllo in figura (determinare **h** e $\mathbf{K_c}$) in modo tale che:

- il guadagno a ciclo chiuso sia uguale a **2**
- l'errore per ingresso a rampa **u(t)=0.1t** sia minore o uguale a **0.04**

Scelto il valore **minimo** di $\mathbf{K_c}$ compatibile con le specifiche, tracciare i diagrammi di **BODE** e **NYQUIST** della funzione a ciclo aperto, e determinare su questi la pulsazione di attraversamento (ω_t) e, in caso di sistema stabile a ciclo chiuso, i margini di stabilità ($\mathbf{m_\phi}$ e $\mathbf{m_g}$).

Infine calcolare:

- l'effetto in uscita a regime di un disturbo **z(t)=2t**.
- fino a che pulsazione l'errore di riproduzione di una sinusoide unitaria risulti minore di **0.2**.

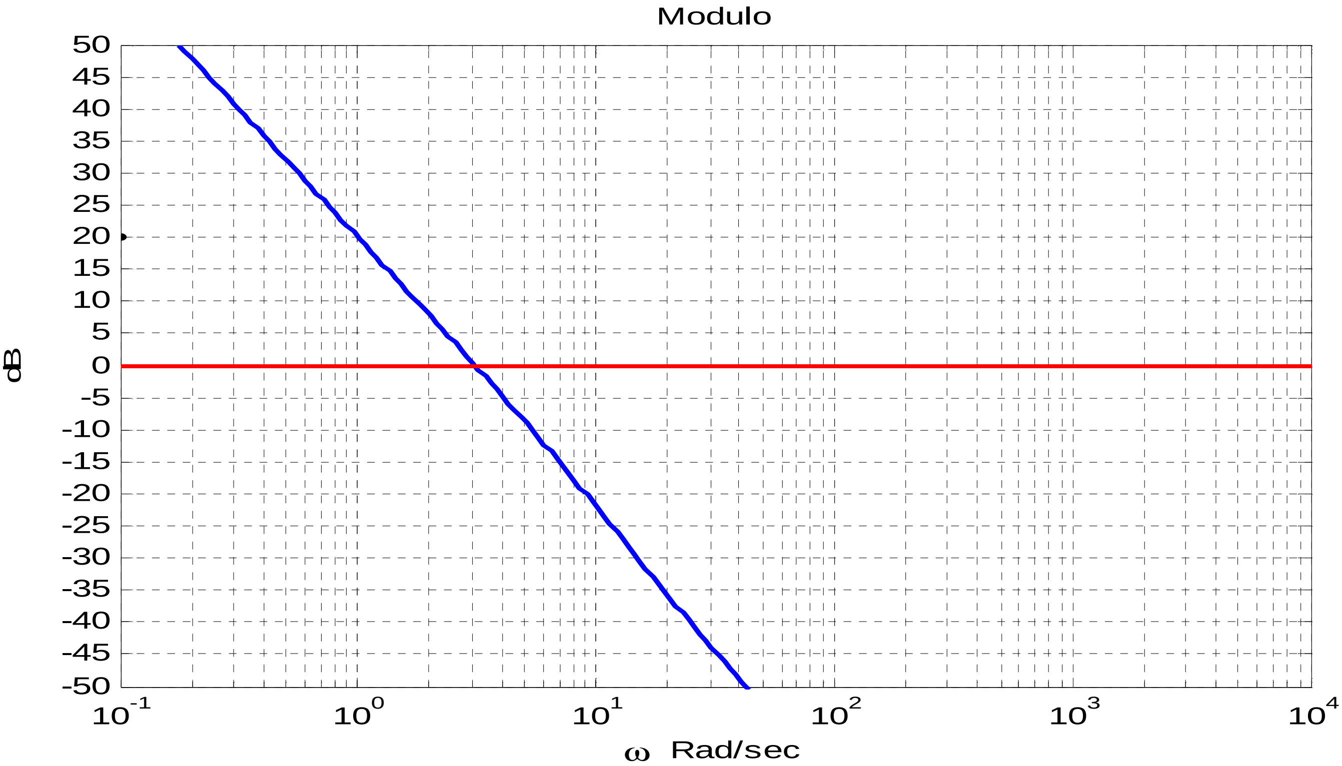


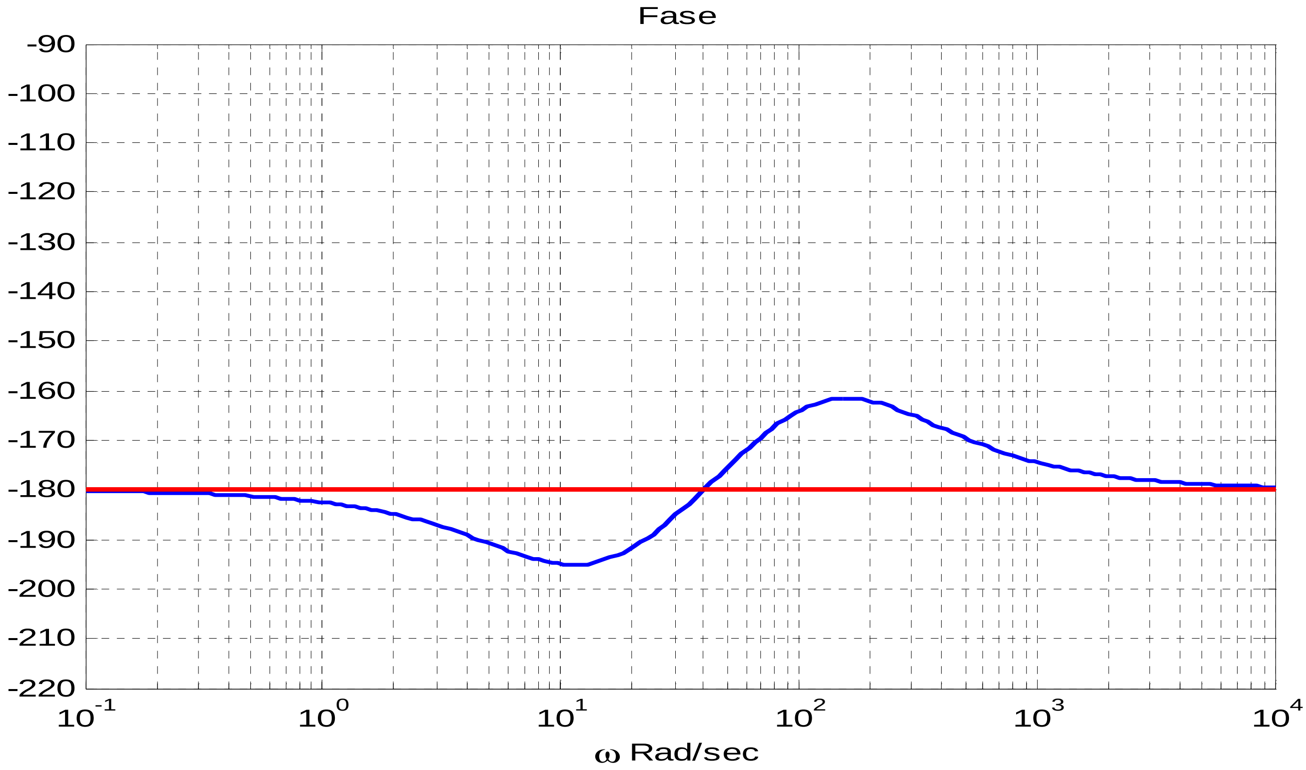
---

3. Definire tipo di ingresso e tipo di sistema di controllo illustrando l'importanza di questi strumenti nella sintesi del regime permanente di un sistema di controllo

Cognome:	Nome:	Matricola:	E-mail

4. Dato il diagramma di **BODE** della funzione di trasferimento a ciclo aperto **F(s)** sotto riportata determinare la rete compensatrice **R(s)** tale da assicurare $\omega_t \geq 4$ Rad/sec e $m_\phi \geq 40°$. Tracciare quindi il diagramma di **NICHOLS** della funzione compensata **F'(s)=F(s)R(s)** e determinare su di esso il modulo alla risonanza **Mr** e la banda passante a –3 Decibel (ω_{-3}).





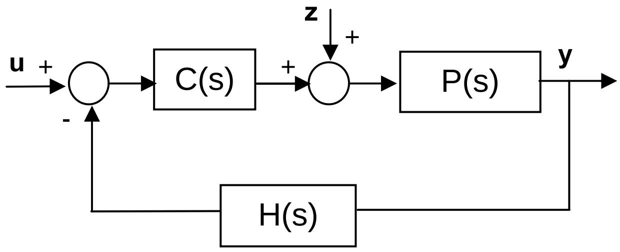
Cognome:	**Nome:**	**Matricola:**	**E-mail**

Esame di Elementi di Regolazione

Corso di Laurea Nuovo Ordinamento in Ingegneria Meccanica

31 marzo 2003 – Compito **D**

1. Dato il sistema di controllo raffigurato, con **C(s)=5/s**, **P(s)=1/[(s+1)(s+5)]** e **H(s)=0.1**, determinare:
   a. Se il sistema è stabile a ciclo chiuso con il criterio di Routh
   b. L'uscita permanente con **u(t)=3**
   c. L'uscita permanente con **u(t)=2.5t**
   d. Il tipo di sistema di controllo
   e. Astatismo rispetto al disturbo costante **z**



---

2. Sia dato un processo **P(s)** descrivibile mediante la funzione di trasferimento

$$P(s) = \frac{10(s/30+1)(s/200+1)}{(s/90+1)(s/700+1)}$$

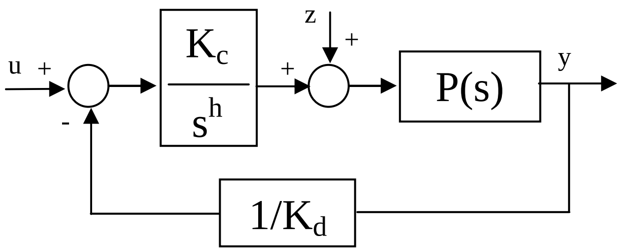
Sintetizzare il sistema di controllo in figura (determinare **h** e $\mathbf{K_c}$) in modo tale che:

- il guadagno a ciclo chiuso sia uguale a **3**
- l'errore per ingresso a parabola $\mathbf{u(t)=5t^2}$ sia minore o uguale a **0.045**

Scelto il valore **minimo** di $\mathbf{K_c}$ compatibile con le specifiche, tracciare i diagrammi di **BODE** e **NYQUIST** della funzione a ciclo aperto, e determinare su questi la pulsazione di attraversamento (ω_t) e, in caso di sistema stabile a ciclo chiuso, i margini di stabilità ($\mathbf{m_\phi}$ e $\mathbf{m_g}$).

Infine calcolare:

- l'effetto in uscita a regime di un disturbo **z(t)=3t**.
- fino a che pulsazione l'errore di riproduzione di una sinusoide unitaria risulti minore di **0.03**.

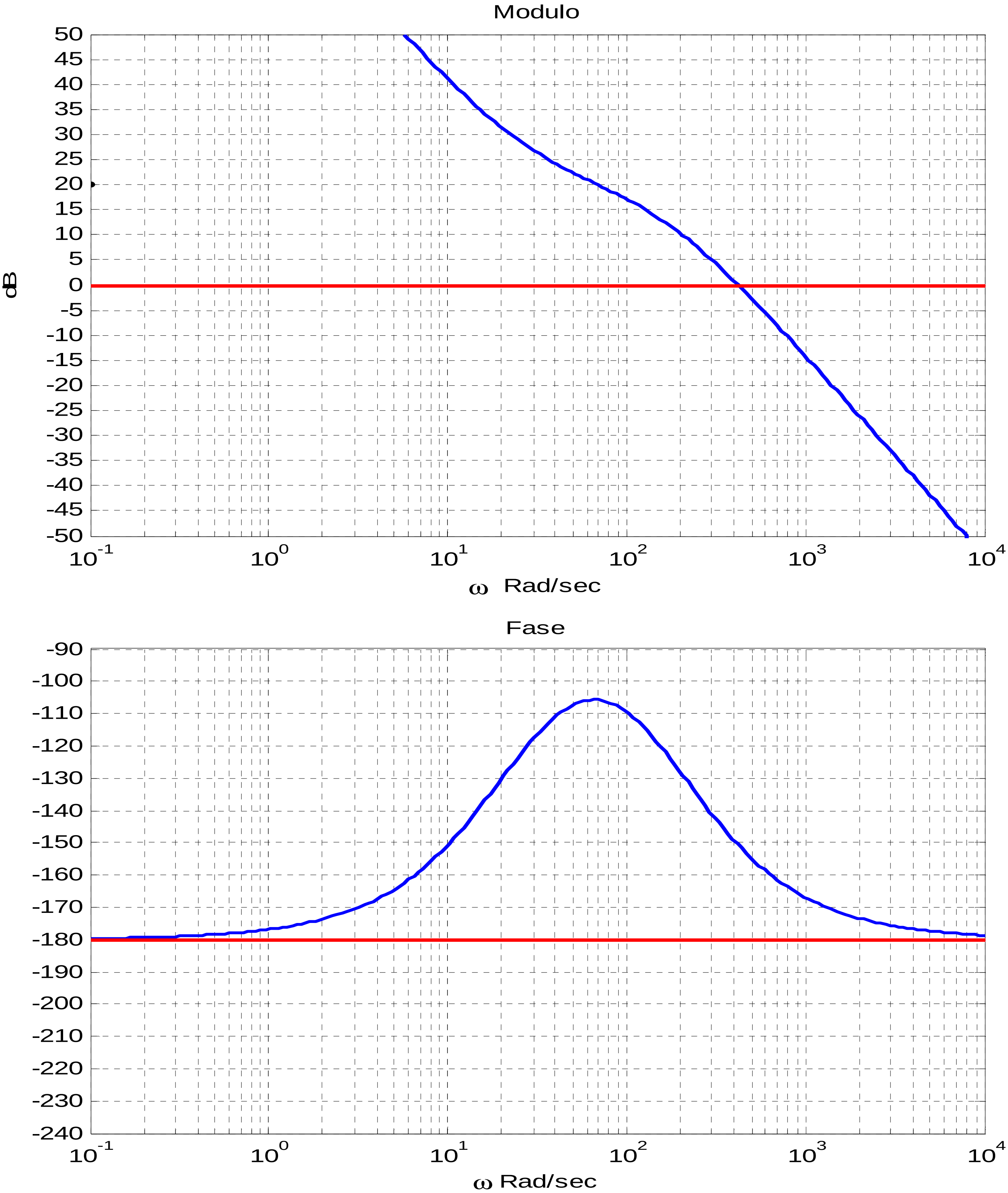


---

3. Definire risposta libera e risposta forzata di un sistema dinamico e mostrare come queste possano essere manipolate utilizzando il metodo della trasformata di Laplace con l'equazione differenziale che rappresenta il sistema stesso.

Cognome:	**Nome:**	**Matricola:**	**E-mail**

4. Dato il diagramma di **BODE** della funzione di trasferimento a ciclo aperto **F(s)** sotto riportata determinare la rete compensatrice **R(s)** tale da assicurare ω_t**<200** Rad/sec e $m_\phi \geq 40°$. Tracciare quindi il diagramma di **NICHOLS** della funzione compensata **F'(s)=F(s)R(s)** e determinare su di esso il modulo alla risonanza **Mr** e la banda passante a –3 Decibel (ω_{-3}).



Cognome:	**Nome:**	**Matricola:**	**E-mail**

La funzione di trasferimento a ciclo chiuso vale

$$W(s) = \frac{20}{2s^3 + 16s^2 + 30s + 5}$$

Scrivendo la tabellina di Routh si scopre che il sistema è stabile.

Il tipo di sistema di controllo è pari ad 1 essendoci solo un polo in catena diretta.

Essendo 1 il tipo di sistema di controllo, ad ingresso unitario costante corrisponderà, a regime permanente, un'uscita costante, pari al guadagno del ciclo chiuso: questo è 4 e quindi u(t)=4 fornisce y(t)=16.

Per calcolare il permanente con u(t)=t, usiamo il metodo dei poli e dei residui limitandoci ai poli dell'ingresso, gli unici i cui modi non si esauriscono nel tempo:

$$u(t) = t;$$

$$U(s) = \frac{1}{s^2}; W(s) = \frac{20}{2s^3 + 16s^2 + 30s + 5}$$

$$Y(s) = W(s)U(s) = \frac{20}{s^2(2s^3 + 16s^2 + 30s + 5)} = Y_{trans}(s) + Y_{perm}(s)$$

$$Y_{perm}(s) = \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s^2}$$

$$R_2 = \lim_{s \to 0} s^2 Y(s) = 4$$

$$R_1 = \lim_{s \to 0} \frac{d}{ds}[s^2 Y(s)] = \lim_{s \to 0} \left(-20 \frac{6s^2 + 32s + 30}{(2s^3 + 16s^2 + 30s + 5)^2} \right) = -24$$

$$y_{perm} = -24\delta_{-1}(t) + 4t$$

- Kd=4 per avere il guadagno a ciclo chiuso richiesto,
- h=1 per avere un sistema di controllo di tipo 1 (errore finito per ingresso a rampa)
- Kc>= 50 in conseguenza della specifica sull'errore.

$$P(s) = K_p \frac{N_p(s)}{D_p(s)}; C(s) = \frac{K_c}{s}; H(s) = \frac{1}{K_d}$$

$$W_z(s) = \frac{P(s)}{1 + C(s)P(s)H(s)} = \frac{sK_d K_p N_P(s)}{sK_d D_P(s) + K_c K_p N_P(s)}$$

$$z(s) = \frac{2}{s^2}$$

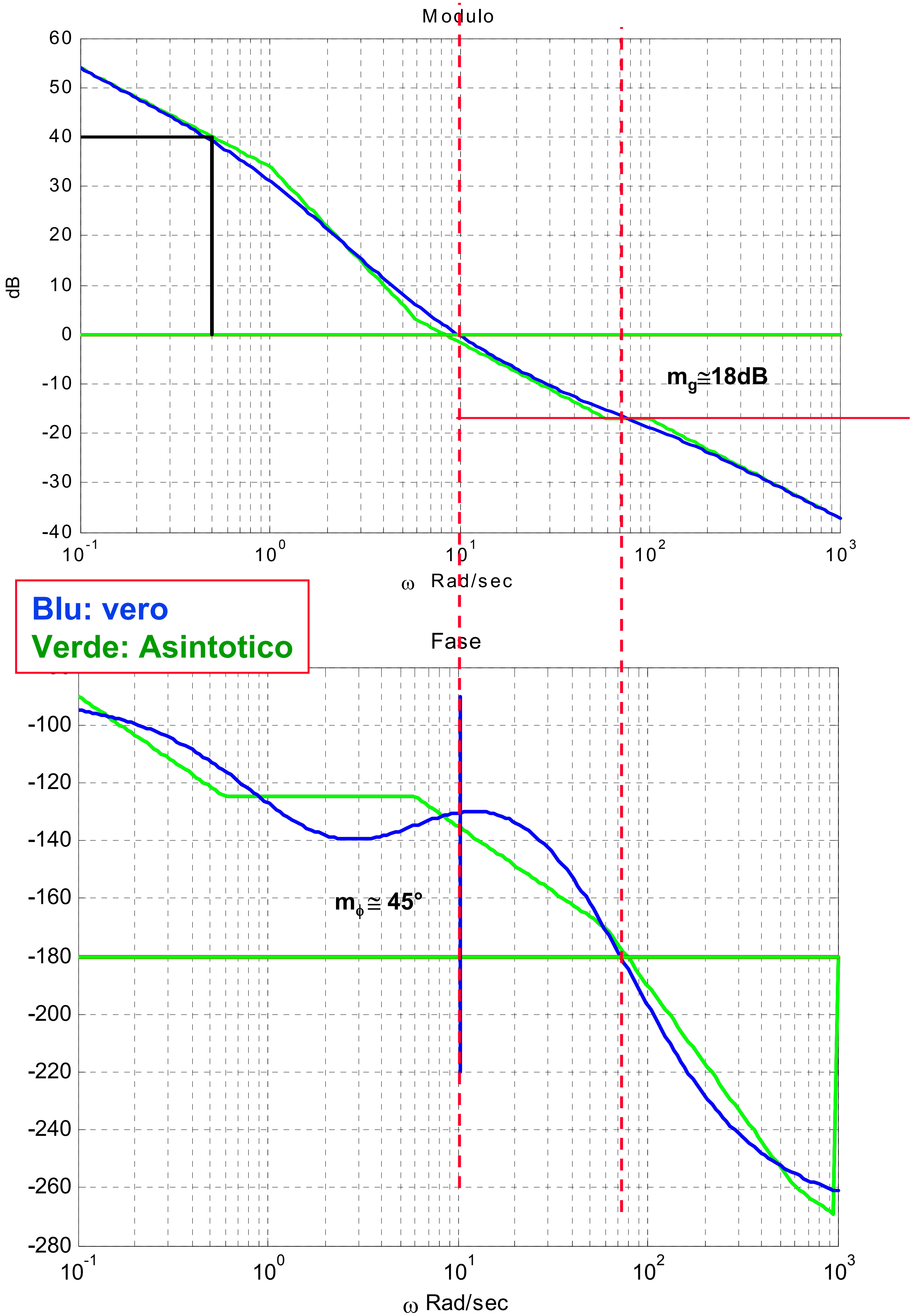
$$z(\infty) = \lim_{s\to 0} sW_z(s)z(s) = \lim_{s\to 0} \frac{K_d}{K_c} 2 = \frac{4}{25}$$

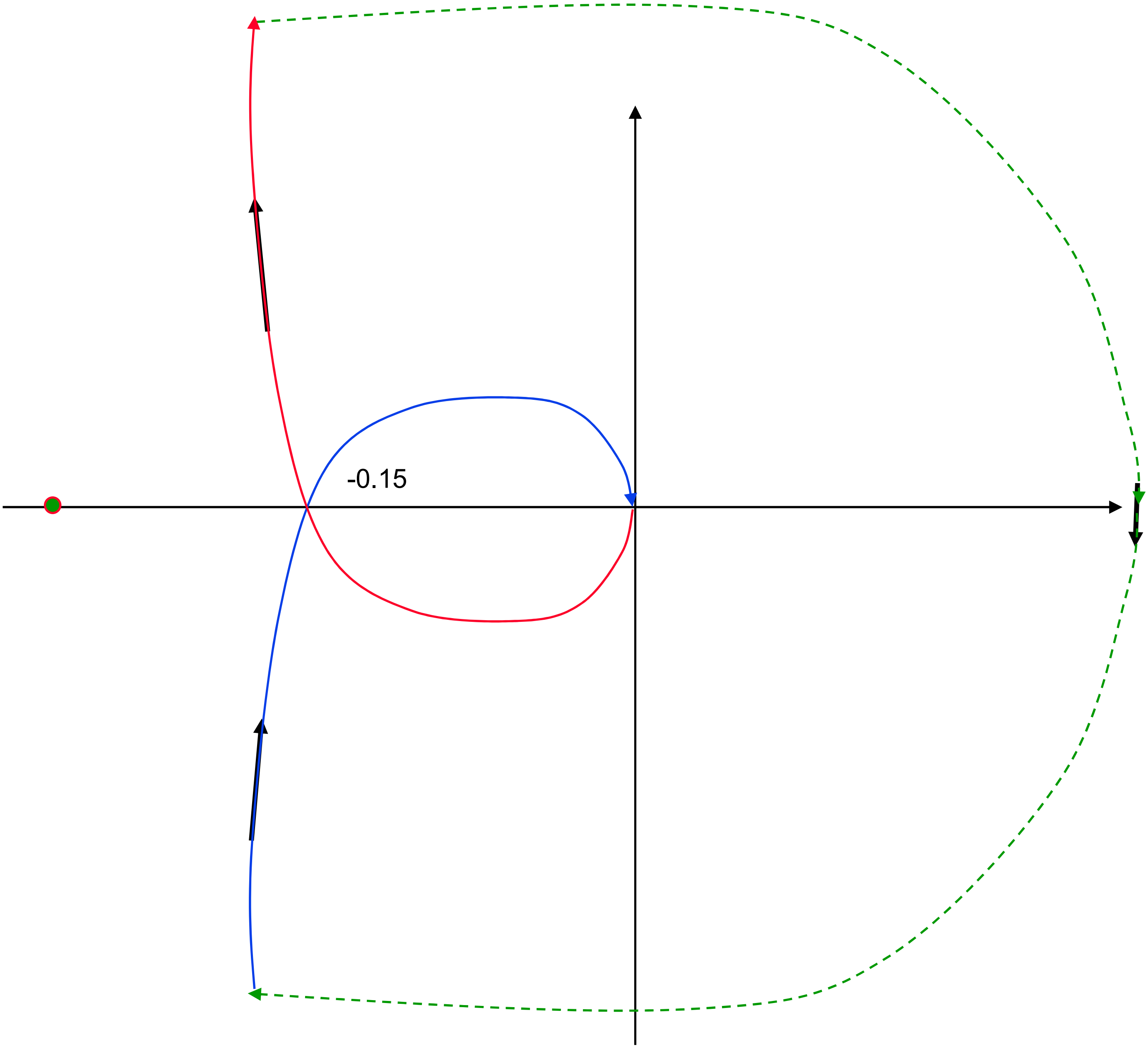
$$\left|\frac{K_d}{1+F(j\omega)}\right| < e$$

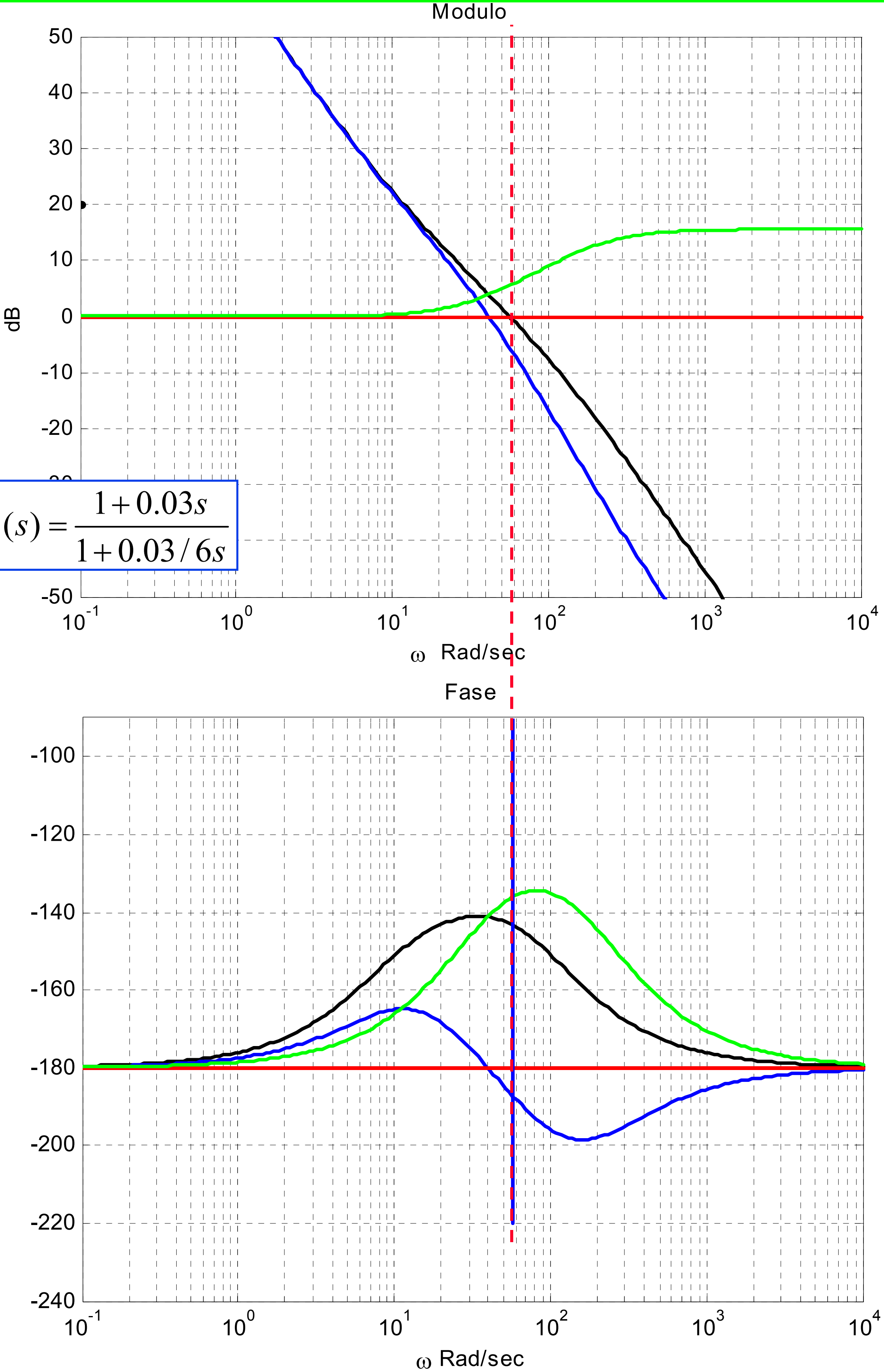
$$|F(j\omega)| > \frac{K_d}{e} = \frac{4}{0.04}$$

$$|F(j\omega)| > 100 = 40dB$$

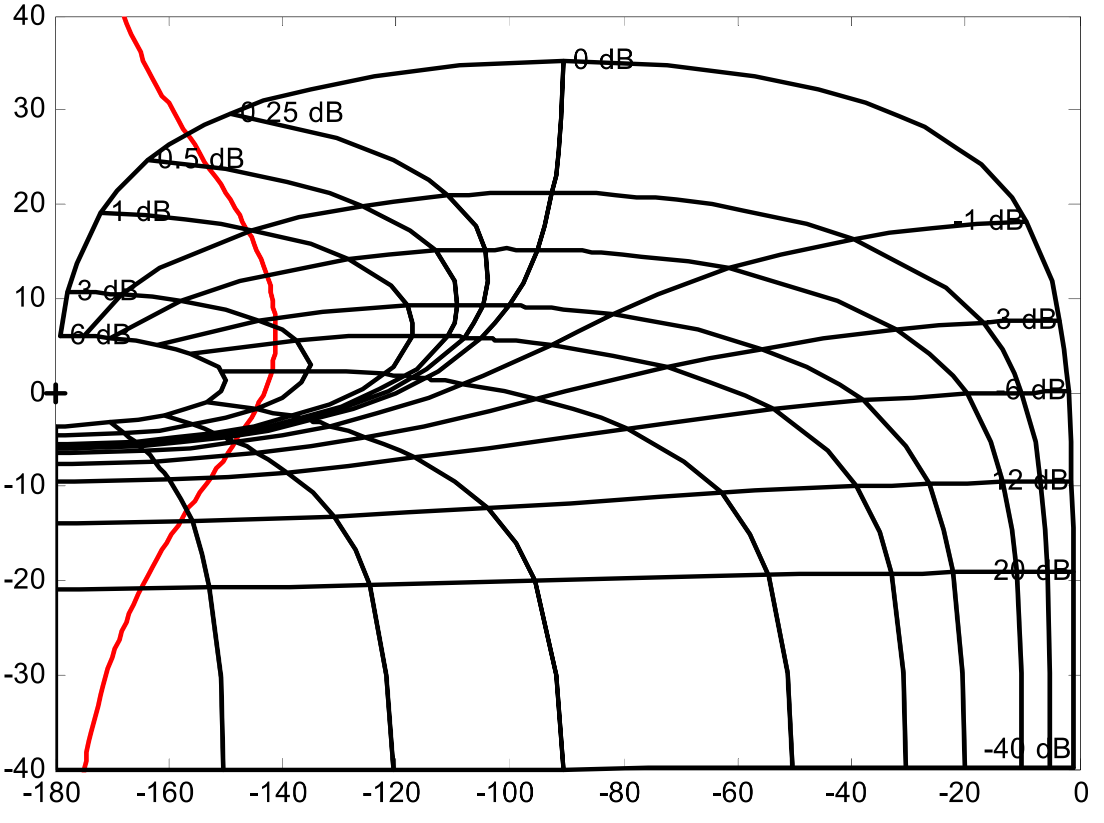
fino a $\omega < 0.5$ rad/sec

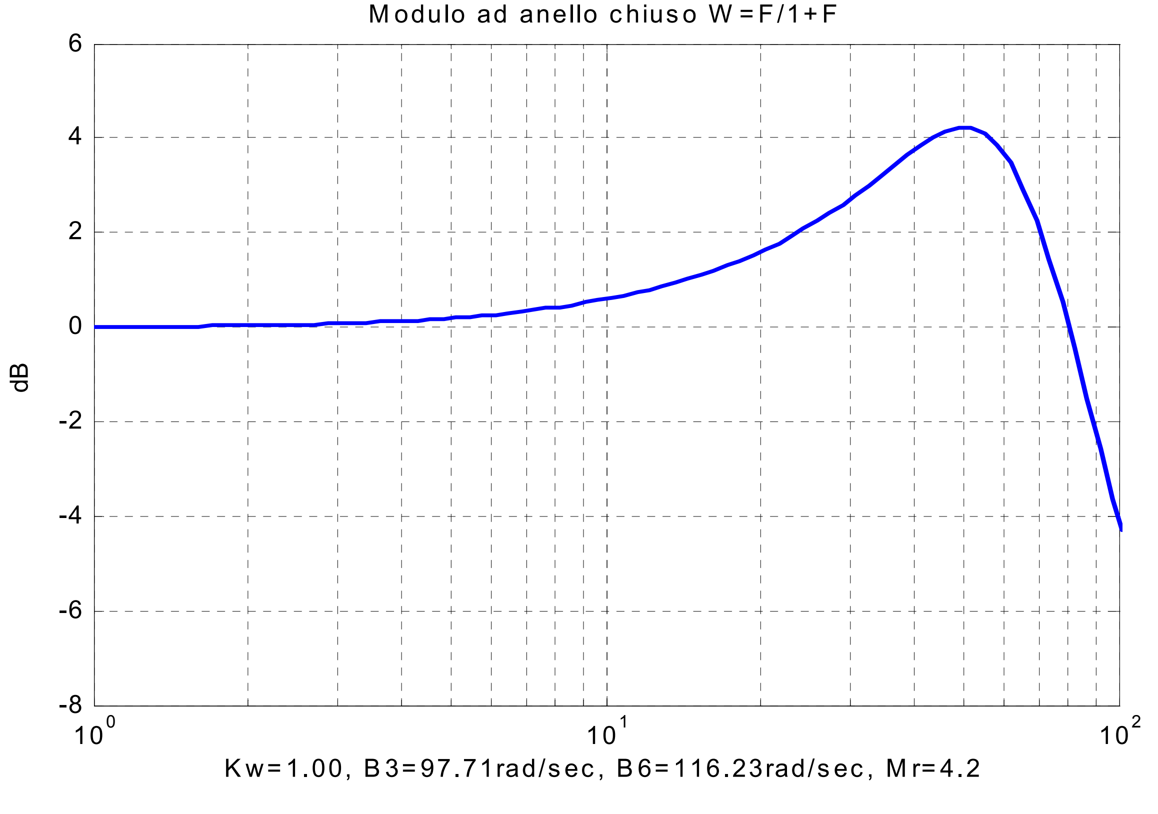

Modulo
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
dB
$m_g \cong 18$dB
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
ω Rad/sec
Blu: vero
Verde: Asintotico
Fase
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
-240
-260
-280
$m_\phi \cong 45°$
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
ω Rad/sec


-0.15



$$R_{ant}(s) = \frac{1+0.03s}{1+0.03/6s}$$


0 dB
0.25 dB
0.5 dB
1 dB
3 dB
6 dB
-1 dB
-3 dB
-6 dB
-12 dB
-20 dB
-40 dB
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-180
-160
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0


Modulo ad anello chiuso W=F/1+F
dB
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
10^0
10^1
10^2
Kw=1.00, B3=97.71rad/sec, B6=116.23rad/sec, Mr=4.2

La funzione di trasferimento a ciclo chiuso vale

$$W(s) = \frac{20}{s^3 + 5s^2 + 4s + 4}$$

Scrivendo la tabellina di Routh si scopre che il sistema è stabile.

Il tipo di sistema di controllo è pari ad 1 essendoci solo un polo in catena diretta.

Essendo 1 il tipo di sistema di controllo, ad ingresso unitario costante corrisponderà, a regime permanente, un'uscita costante, pari al guadagno del ciclo chiuso: questo è 4 e quindi u(t)=6 fornisce y(t)=30.

Per calcolare il permanente con u(t)=2t, usiamo il metodo dei poli e dei residui limitandoci ai poli dell'ingresso, gli unici i cui modi non si esauriscono nel tempo:

$$u(t) = 2t;$$

$$U(s) = \frac{2}{s^2}; W(s) = \frac{20}{s^3 + 5s^2 + 4s + 4}$$

$$Y(s) = W(s)U(s) = \frac{40}{s^2(s^3 + 5s^2 + 4s + 4)} = Y_{trans}(s) + Y_{perm}(s)$$

$$Y_{perm}(s) = \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s^2}$$

$$R_2 = \lim_{s \to 0} s^2 Y(s) = 10$$

$$R_1 = \lim_{s \to 0} \frac{d}{ds}[s^2 Y(s)] = \lim_{s \to 0} \left(-40 \frac{3s^2 + 10s + 4}{(s^3 + 5s^2 + 4s + 4)^2} \right) = -10$$

$$y_{perm} = -10\delta_{-1}(t) + 10t$$

- Kd=3 per avere il guadagno a ciclo chiuso richiesto,
- h=1 per avere un sistema di controllo di tipo 1 (errore finito per ingresso a rampa)
- Kc>= 60 in conseguenza della specifica sull'errore.

$$P(s) = K_p \frac{N_p(s)}{D_p(s)}; C(s) = \frac{K_c}{s}; H(s) = \frac{1}{K_d}$$

$$W_z(s) = \frac{P(s)}{1 + C(s)P(s)H(s)} = \frac{sK_d K_p N_P(s)}{sK_d D_P(s) + K_c K_p N_P(s)}$$

$$z(s) = \frac{3}{s^2}$$

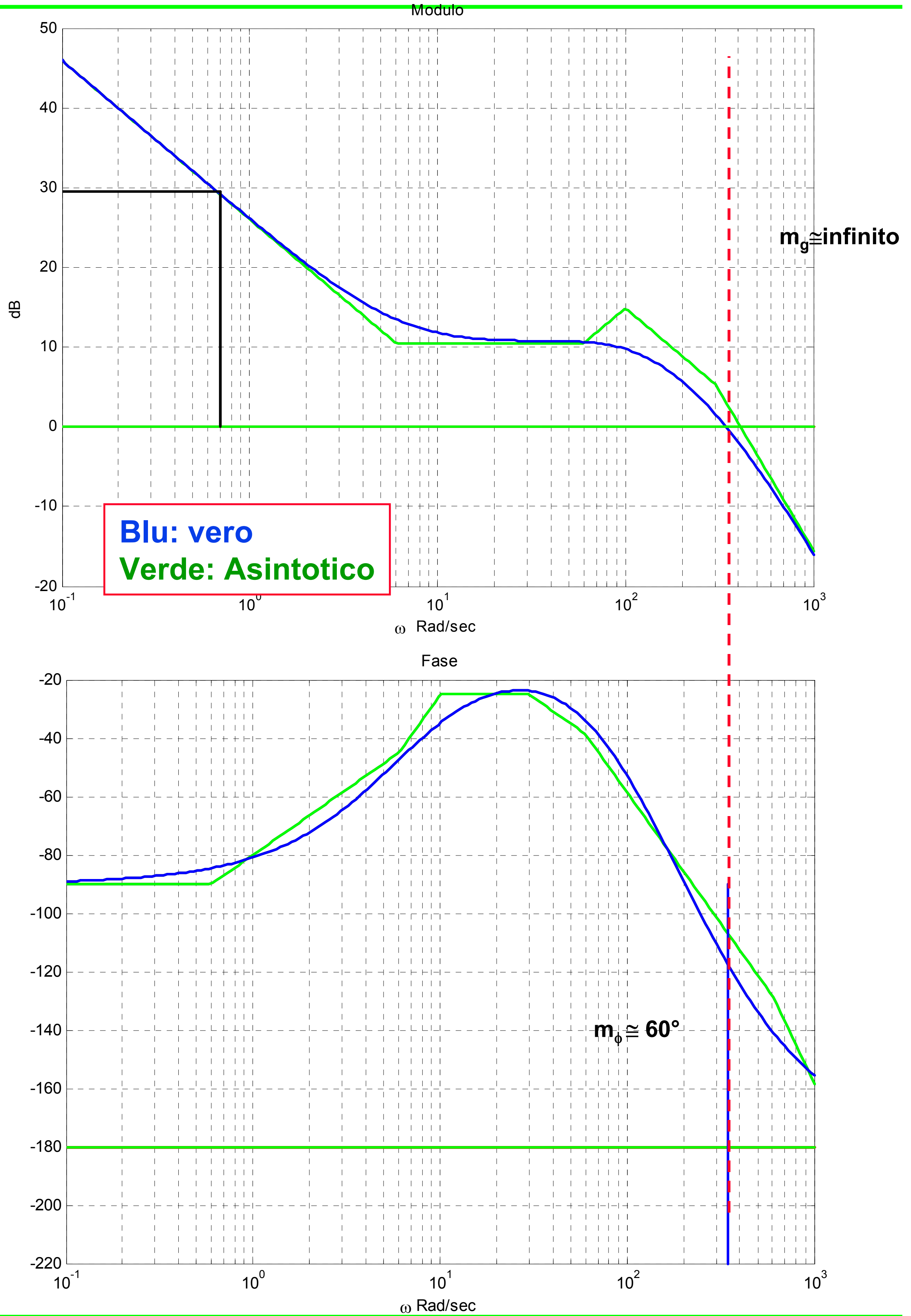
$$z(\infty) = \lim_{s \to 0} sW_z(s)z(s) = \lim_{s \to 0} \frac{K_d}{K_c} 3 = \frac{3}{20}$$

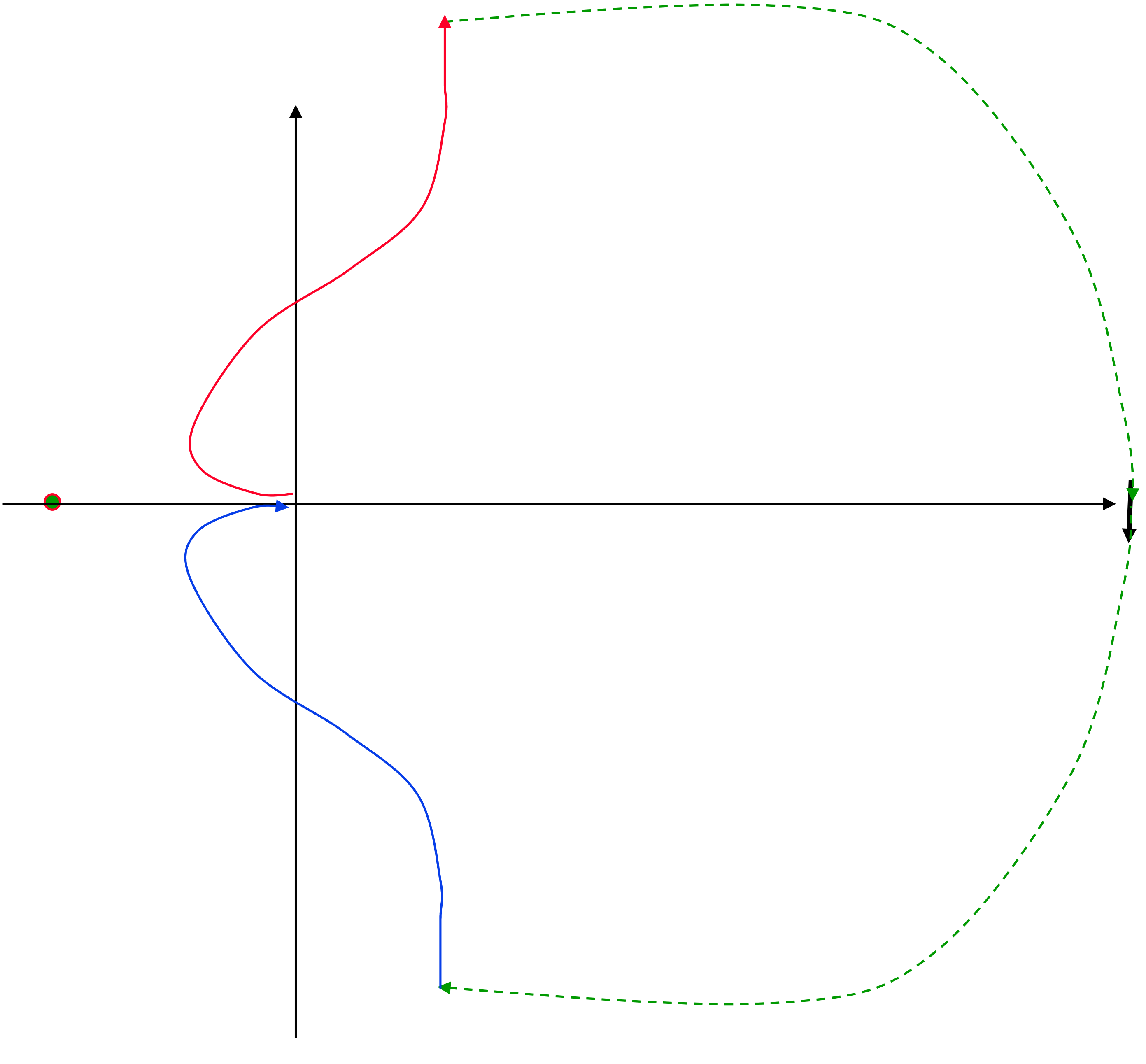
$$\left| \frac{K_d}{1 + F(j\omega)} \right| < e$$

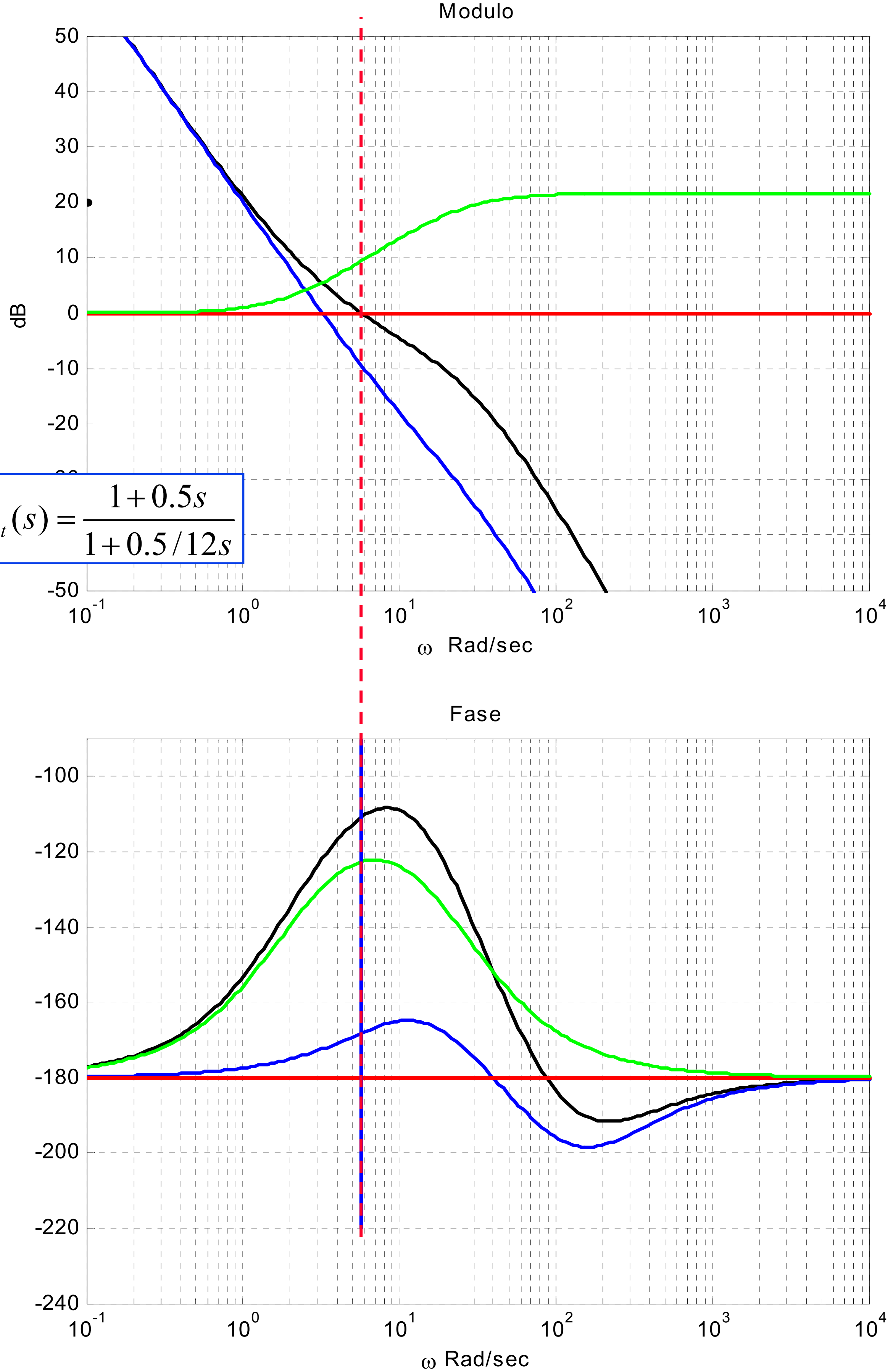
$$|F(j\omega)| > \frac{K_d}{e} = \frac{3}{0.1}$$

$$|F(j\omega)| > 30 = 29.54 dB$$

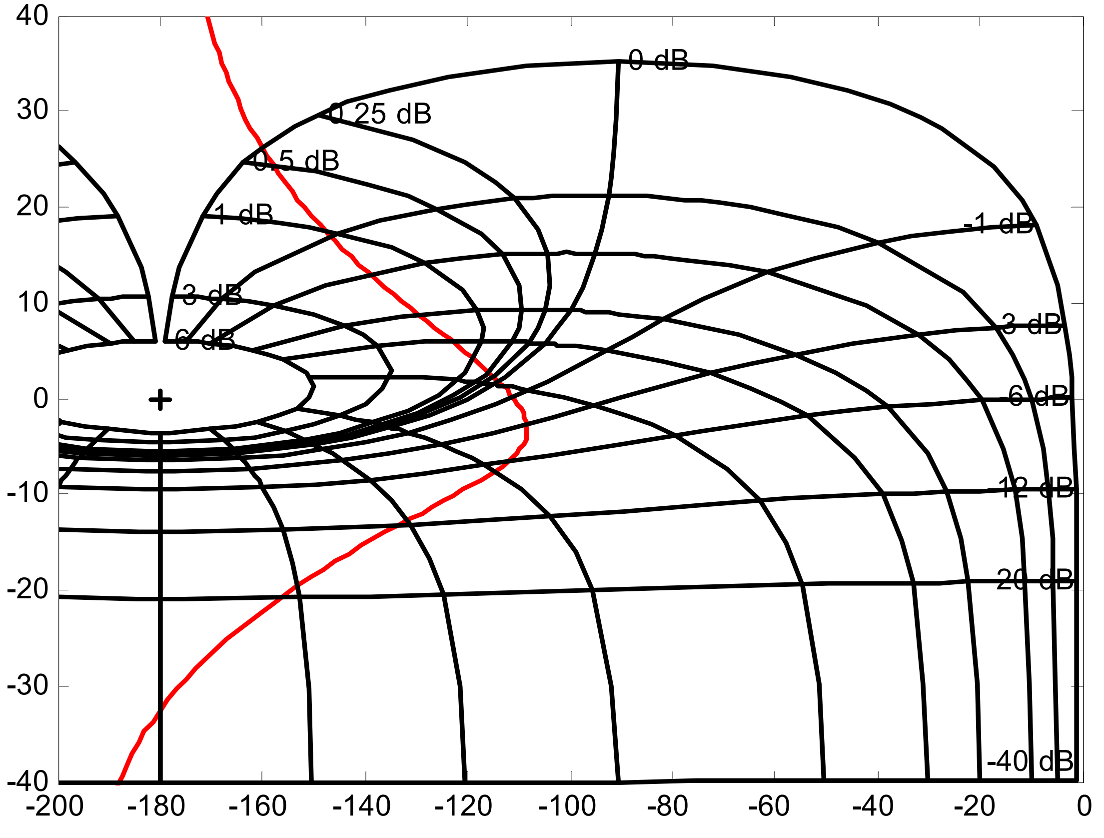
fino a $\omega < 0.7$ rad/sec


Modulo
50
40
30
20
10
0
-10
-20
dB
m_g≅infinito
Blu: vero
Verde: Asintotico
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
ω Rad/sec
Fase
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
m_ϕ≅ 60°
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
ω Rad/sec





$$R_{ant}(s) = \frac{1+0.5s}{1+0.5/12s}$$



0 dB
0.25 dB
0.5 dB
1 dB
3 dB
6 dB
-1 dB
-3 dB
-6 dB
-12 dB
-20 dB
-40 dB
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-200
-180
-160
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0

Modulo ad anello chiuso W=F/1+F
dB
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
Kw=1.00, B3=8.12rad/sec, B6=13.67rad/sec, Mr=1.7

La funzione di trasferimento a ciclo chiuso vale

$$W(s) = \frac{60}{4s^3 + 20s^2 + 24s + 9}$$

Scrivendo la tabellina di Routh si scopre che il sistema è stabile.

Il tipo di sistema di controllo è pari ad 1 essendoci solo un polo in catena diretta.

Essendo 1 il tipo di sistema di controllo, ad ingresso unitario costante corrisponderà, a regime permanente, un'uscita costante, pari al guadagno del ciclo chiuso: questo è 1/0.15 e quindi u(t)=6 fornisce y(t)=40.

Per calcolare il permanente con u(t)=2t, usiamo il metodo dei poli e dei residui limitandoci ai poli dell'ingresso, gli unici i cui modi non si esauriscono nel tempo:

$$u(t) = 2t;$$

$$U(s) = \frac{2}{s^2}; W(s) = \frac{60}{4s^3 + 20s^2 + 24s + 9}$$

$$Y(s) = W(s)U(s) = \frac{60}{s^2(4s^3 + 20s^2 + 24s + 9)} = Y_{trans}(s) + Y_{perm}(s)$$

$$Y_{perm}(s) = \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s^2}$$

$$R_2 = \lim_{s \to 0} s^2 Y(s) = 20$$

$$R_1 = \lim_{s \to 0} \frac{d}{ds}[s^2 Y(s)] = \lim_{s \to 0}\left(-180 \frac{12s^2 + 40s + 24}{(4s^3 + 20s^2 + 24s + 9)^2}\right) = -53.333$$

$$y_{perm} = -53.333\delta_{-1}(t) + 20t$$

- Kd=2 per avere il guadagno a ciclo chiuso richiesto,
- h=1 per avere un sistema di controllo di tipo 1 (errore finito per ingresso a rampa)
- Kc>= 10 in conseguenza della specifica sull'errore.

$$P(s) = K_p \frac{N_p(s)}{D_p(s)}; C(s) = \frac{K_c}{s}; H(s) = \frac{1}{K_d}$$

$$W_z(s) = \frac{P(s)}{1 + C(s)P(s)H(s)} = \frac{sK_d K_p N_P(s)}{sK_d D_P(s) + K_c K_p N_P(s)}$$

$$z(s) = \frac{2}{s^2}$$

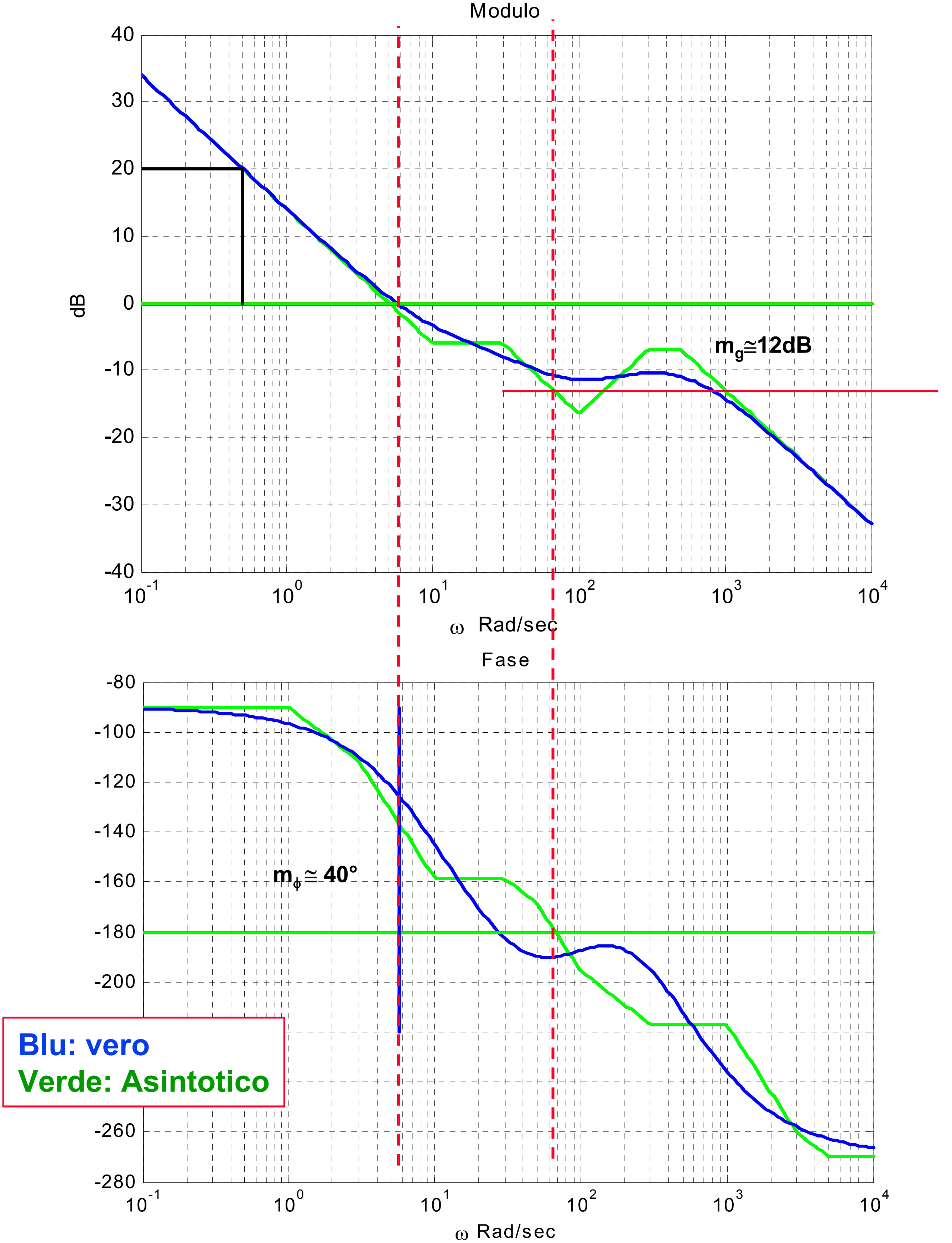
$$z(\infty) = \lim_{s \to 0} sW_z(s)z(s) = \lim_{s \to 0} \frac{K_d}{K_c} 2 = \frac{2}{5}$$

$$\left| \frac{K_d}{1 + F(j\omega)} \right| < e$$

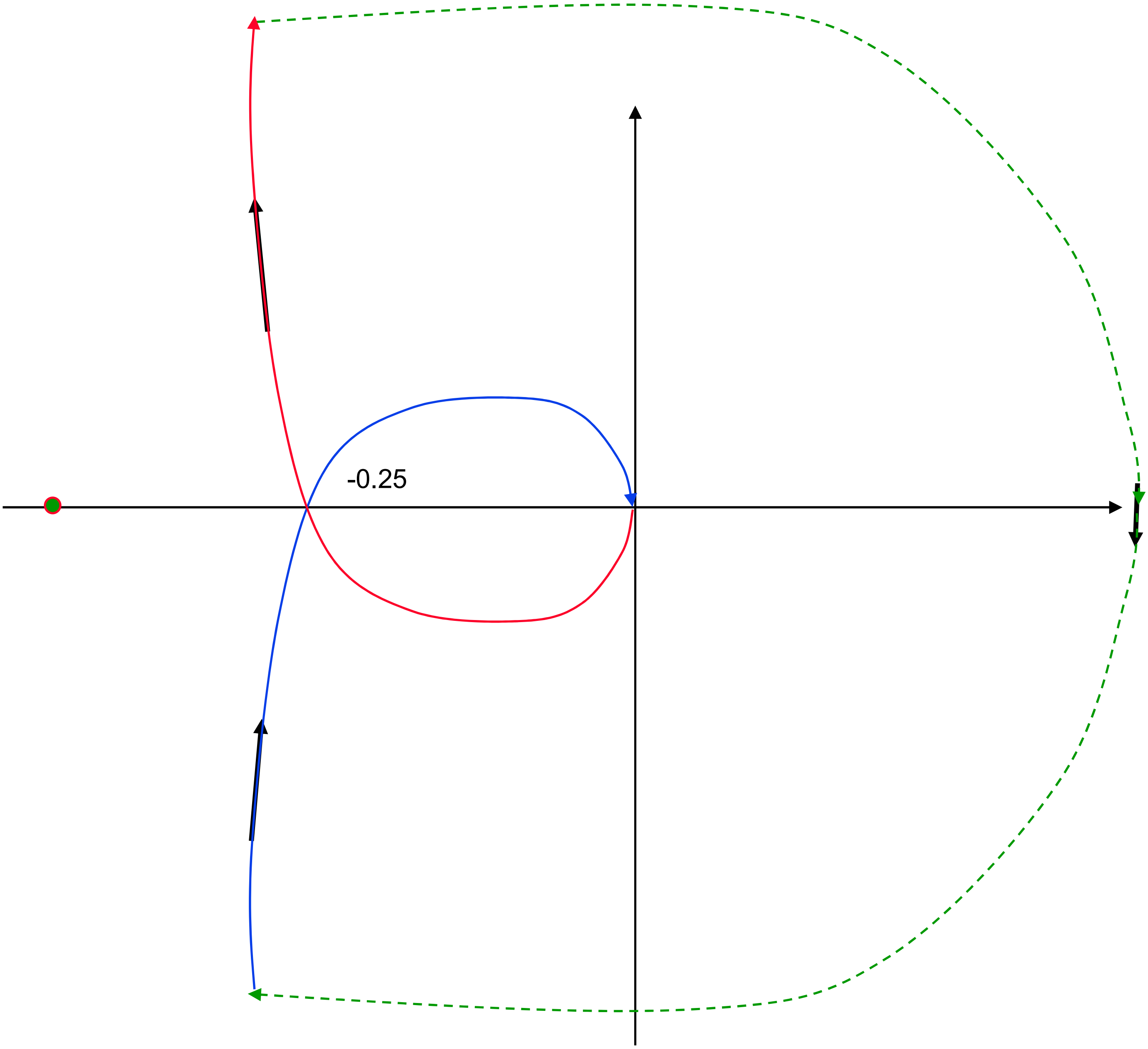
$$|F(j\omega)| > \frac{K_d}{e} = \frac{2}{0.2}$$

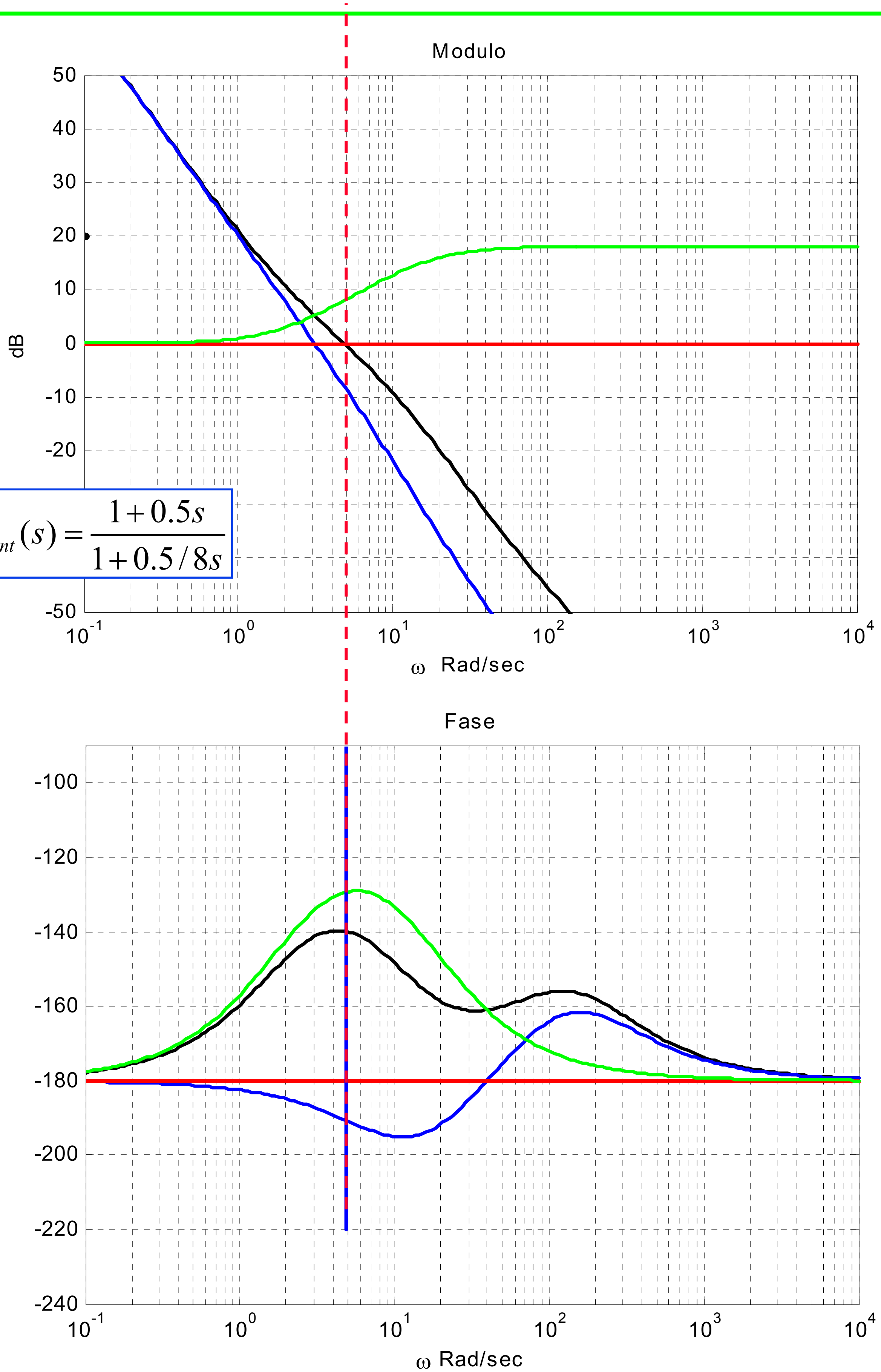
$$|F(j\omega)| > 10 = 20dB$$

fino a $\omega < 0.5$ rad/sec

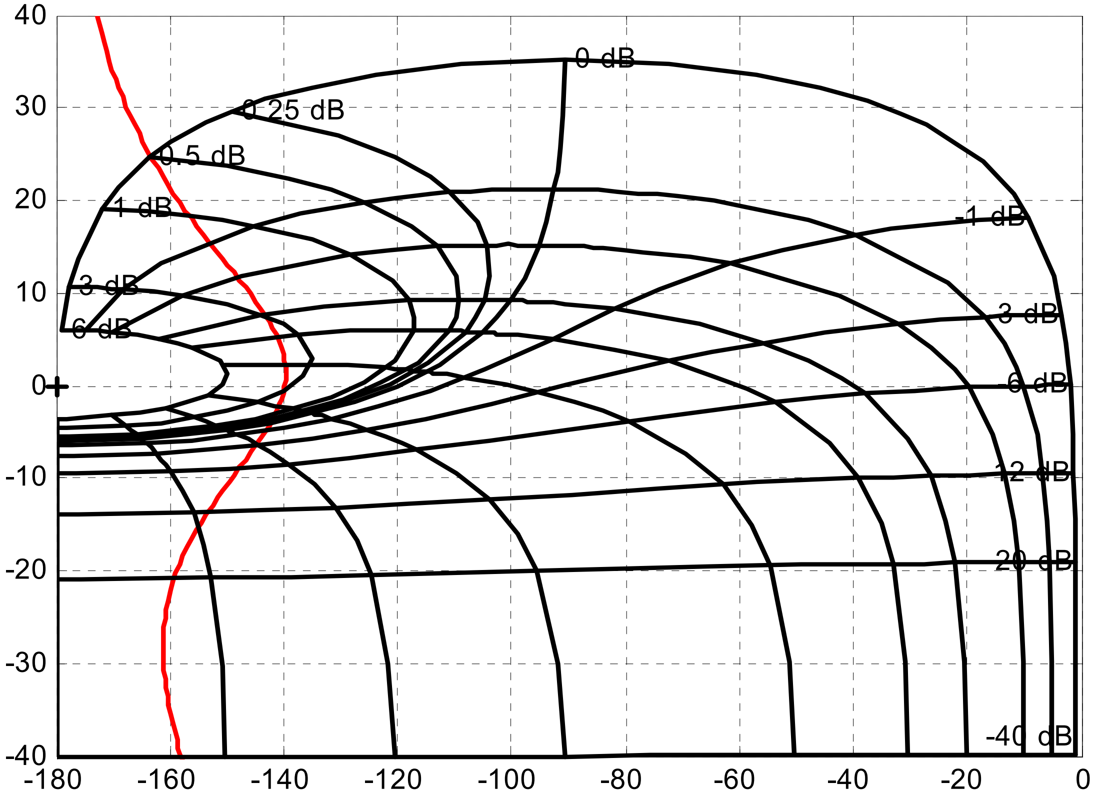


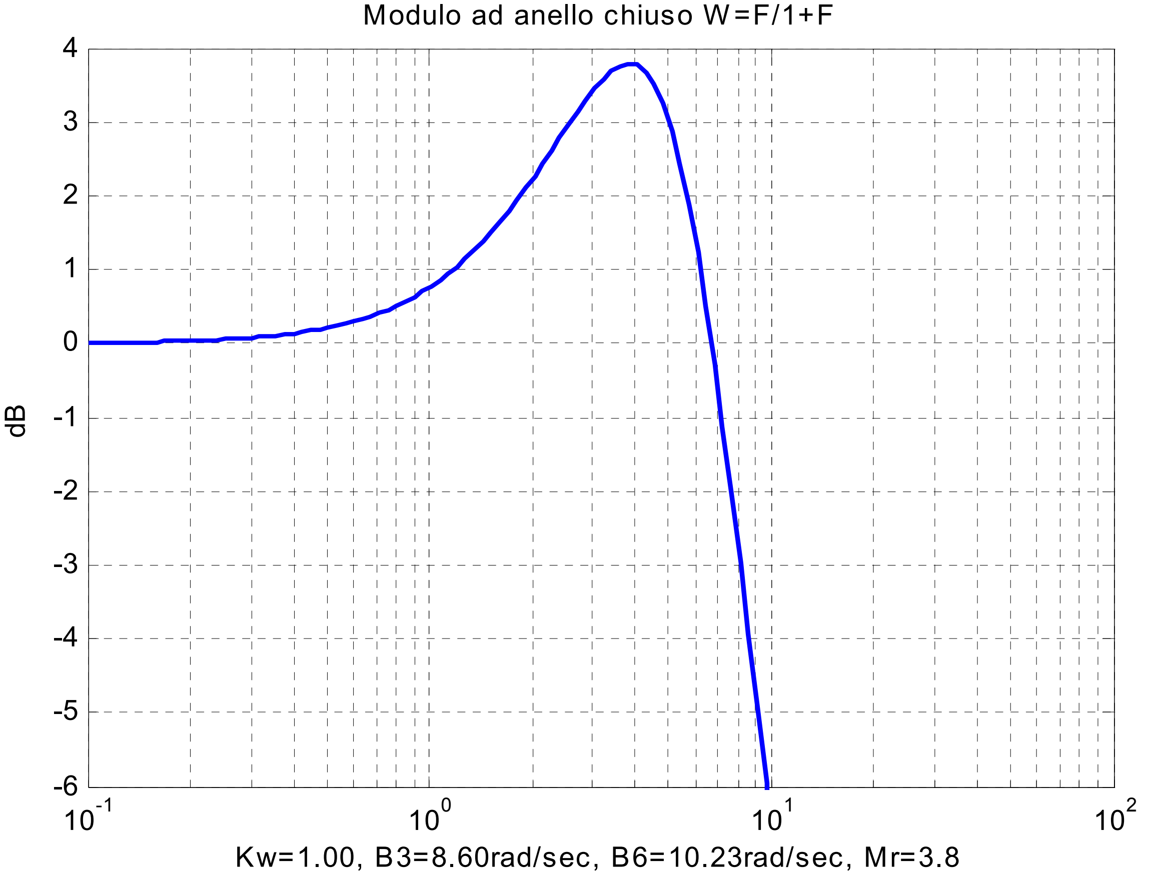
Modulo
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
dB
$m_g \cong 12dB$
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
ω Rad/sec
Fase
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-260
-280
$m_\phi \cong 40°$
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
ω Rad/sec
Blu: vero
Verde: Asintotico


-0.25



$$R_{ant}(s)=\frac{1+0.5s}{1+0.5/8s}$$


0 dB
0.25 dB
0.5 dB
1 dB
3 dB
6 dB
-1 dB
-3 dB
-6 dB
-12 dB
-20 dB
-40 dB
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-180
-160
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0


Modulo ad anello chiuso W=F/1+F
dB
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
Kw=1.00, B3=8.60rad/sec, B6=10.23rad/sec, Mr=3.8

La funzione di trasferimento a ciclo chiuso vale

$$W(s) = \frac{10}{2s^3 + 12s^2 + 10s + 1}$$

Scrivendo la tabellina di Routh si scopre che il sistema è stabile.

Il tipo di sistema di controllo è pari ad 1 essendoci solo un polo in catena diretta.

Essendo 1 il tipo di sistema di controllo, ad ingresso unitario costante corrisponderà, a regime permanente, un'uscita costante, pari al guadagno del ciclo chiuso: questo è 10 e quindi u(t)=3 fornisce y(t)=30.

Per calcolare il permanente con u(t)=2.5t, usiamo il metodo dei poli e dei residui limitandoci ai poli dell'ingresso, gli unici i cui modi non si esauriscono nel tempo:

$$u(t) = 2.5t;$$

$$U(s) = \frac{2.5}{s^2}; W(s) = \frac{10}{2s^3 + 12s^2 + 10s + 1}$$

$$Y(s) = W(s)U(s) = \frac{25}{s^2(2s^3 + 12s^2 + 10s + 1)} = Y_{trans}(s) + Y_{perm}(s)$$

$$Y_{perm}(s) = \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s^2}$$

$$R_2 = \lim_{s\to 0} s^2 Y(s) = 25$$

$$R_1 = \lim_{s\to 0} \frac{d}{ds}[s^2 Y(s)] = \lim_{s\to 0}\left(-25 \frac{6s^2 + 24s + 10}{(2s^3 + 16s^2 + 30s + 5)^2} \right) = -250$$

$$y_{perm} = -250\delta_{-1}(t) + 25t$$

- Kd=3 per avere il guadagno a ciclo chiuso richiesto,
- h=2 per avere un sistema di controllo di tipo 2 (errore finito per ingresso a rampa)
- Kc>= 200 in conseguenza della specifica sull'errore.

$$P(s) = K_p \frac{N_p(s)}{D_p(s)}; C(s) = \frac{K_c}{s^2}; H(s) = \frac{1}{K_d}$$

$$W_z(s) = \frac{P(s)}{1 + C(s)P(s)H(s)} = \frac{s^2 K_d K_p N_P(s)}{s^2 K_d D_P(s) + K_c K_p N_P(s)}$$

$$z(s) = \frac{3}{s^2}$$

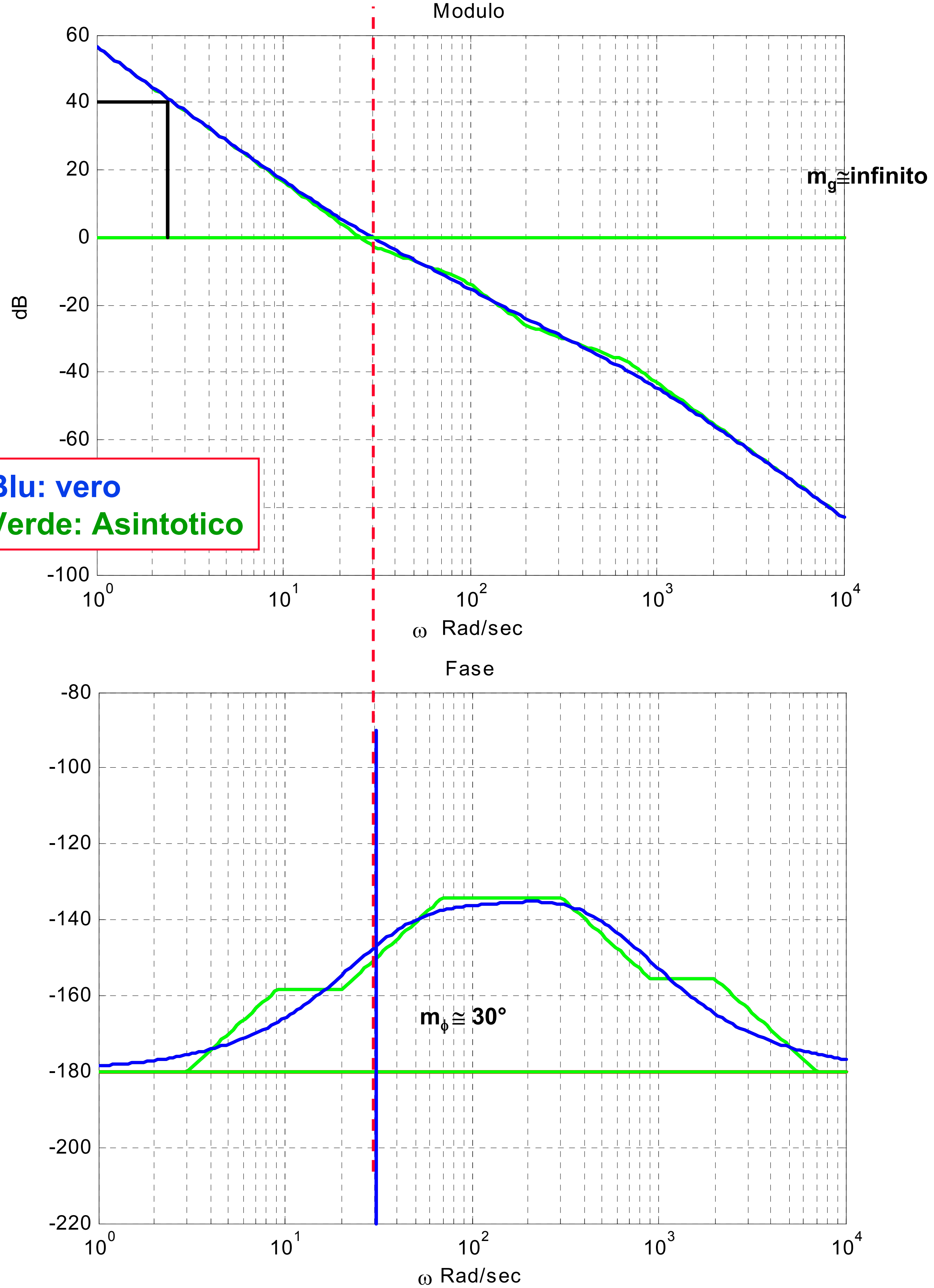
$$z(\infty) = \lim_{s \to 0} s W_z(s) z(s) = 0$$

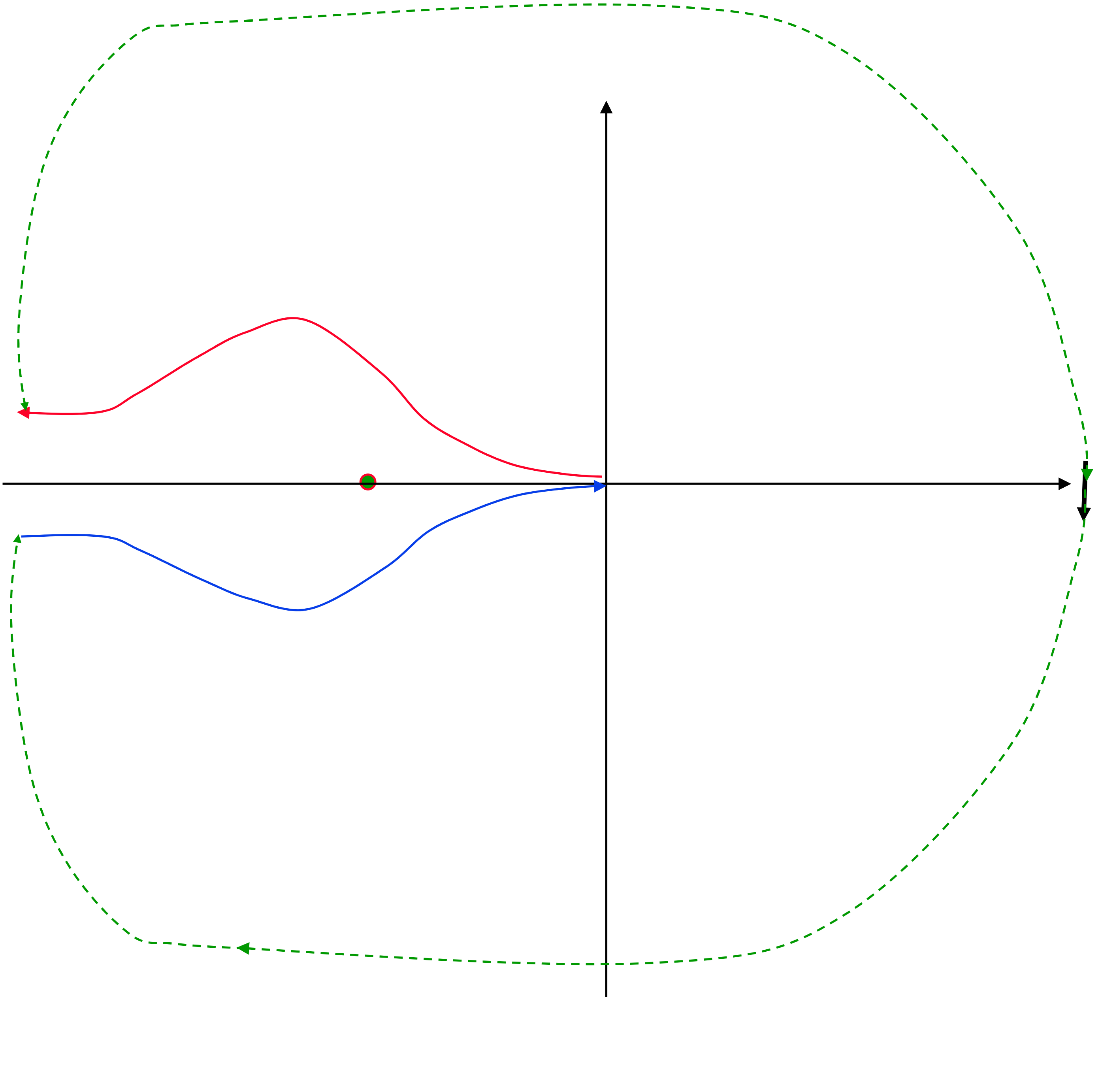
$$\left| \frac{K_d}{1 + F(j\omega)} \right| < e$$

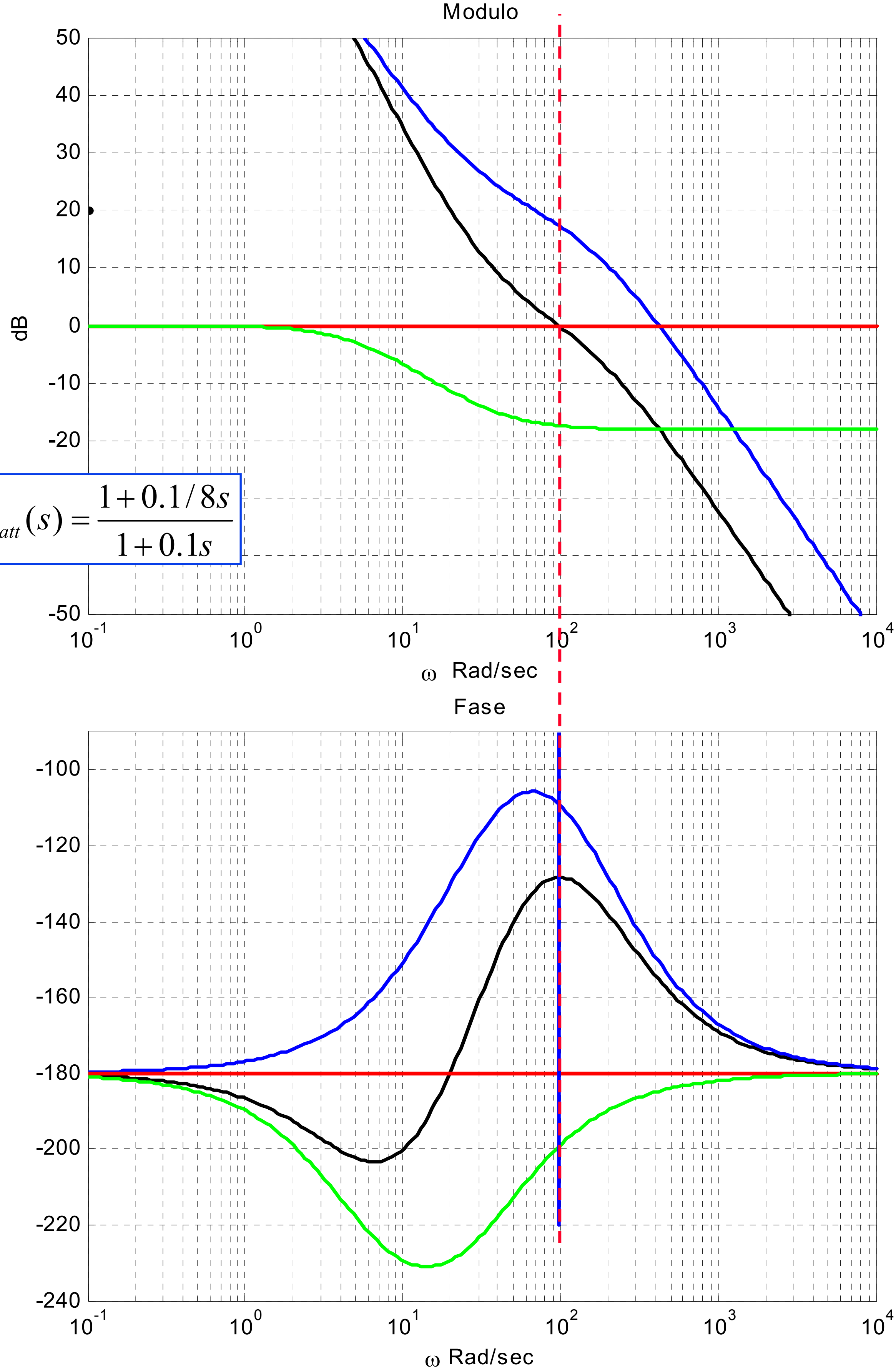
$$|F(j\omega)| > \frac{K_d}{e} = \frac{3}{0.03}$$

$$|F(j\omega)| > 100 = 40dB$$

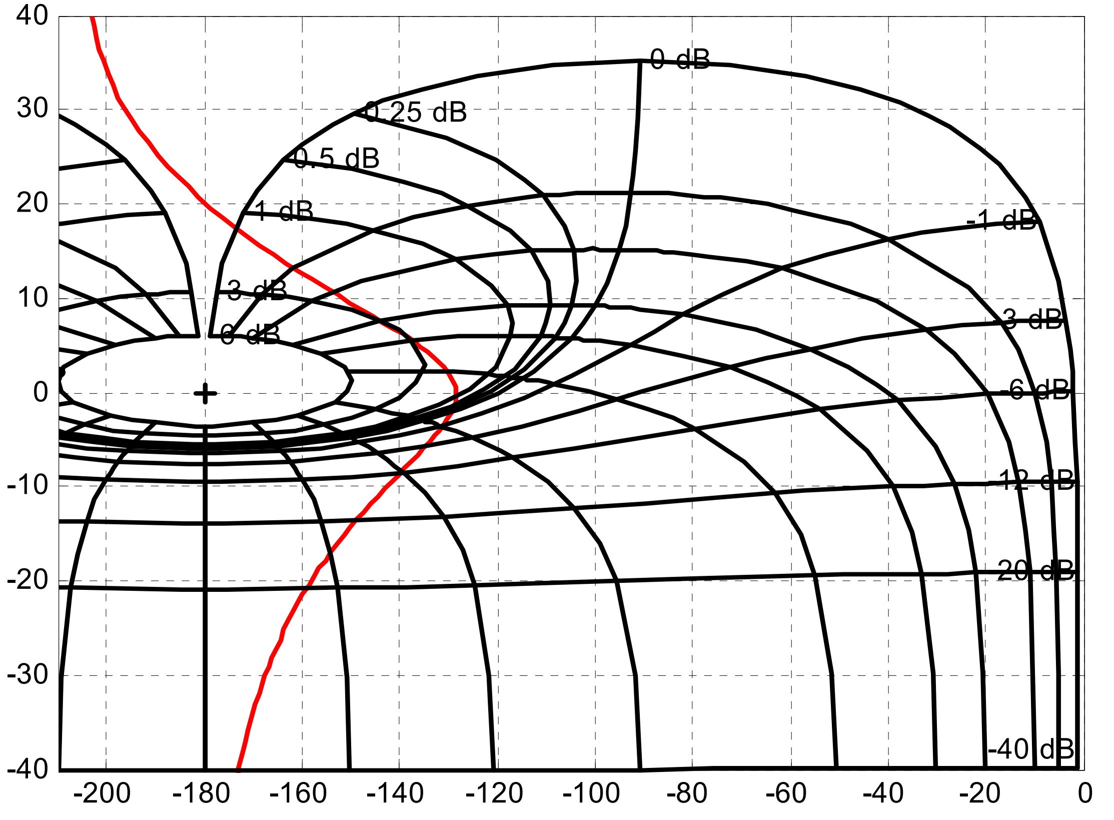
fino a $\omega < 2.4$ rad/sec

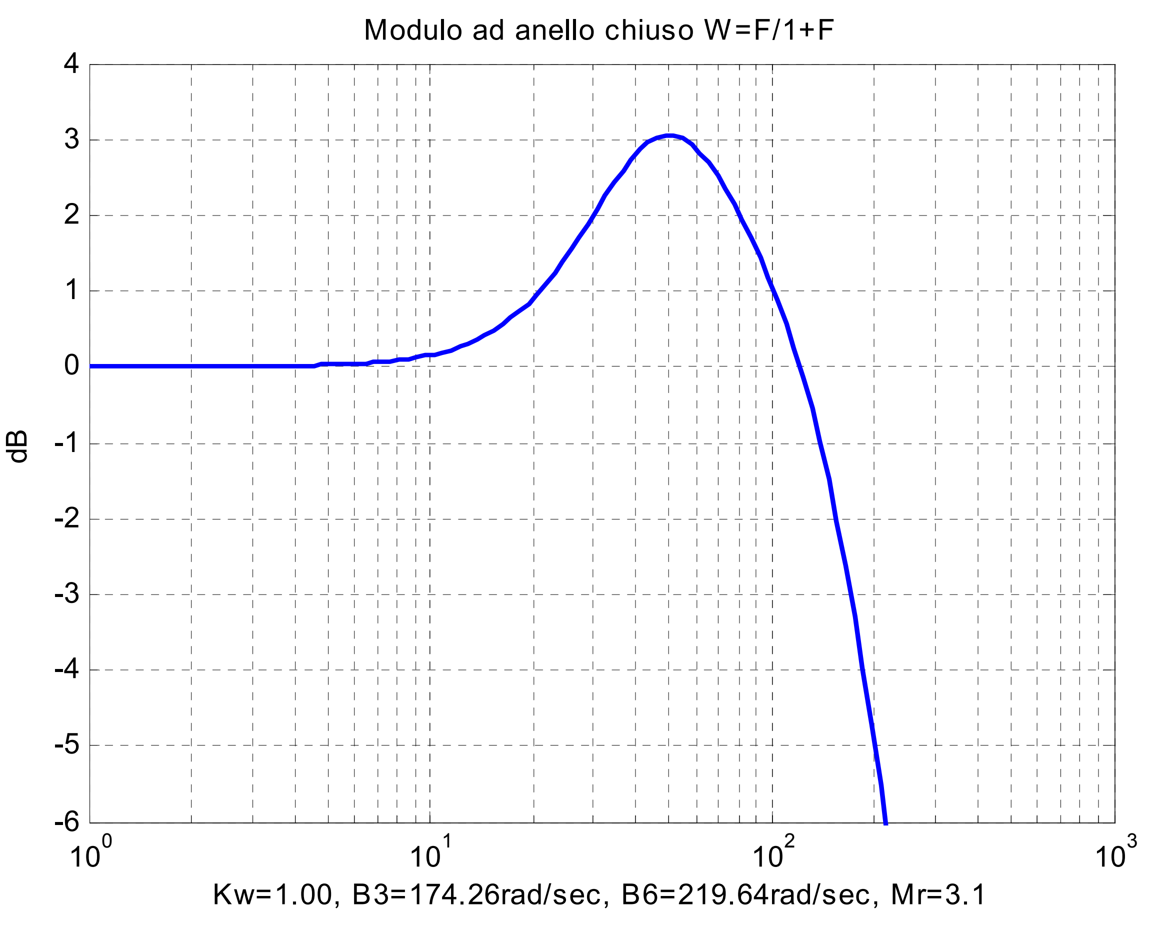

Modulo
60
40
20
0
-20
-40
-60
-100
dB
10^0
10^1
10^2
10^3
10^4
ω Rad/sec
$m_g \cong$ infinito
Blu: vero
Verde: Asintotico
Fase
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
-220
$m_\phi \cong 30°$
10^0
10^1
10^2
10^3
10^4
ω Rad/sec





$$R_{att}(s)=\frac{1+0.1/8s}{1+0.1s}$$


0 dB
0.25 dB
0.5 dB
1 dB
3 dB
6 dB
-1 dB
-3 dB
-6 dB
-12 dB
-20 dB
-40 dB
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-200
-180
-160
-140
-120
-100
-80
-60
-40
-20
0


Modulo ad anello chiuso W=F/1+F
dB
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
10^0
10^1
10^2
10^3
Kw=1.00, B3=174.26rad/sec, B6=219.64rad/sec, Mr=3.1