Progetto di *Controlli Automatici – T*, tipologia 3B, gruppo S

**Controllo di un sistema idroelettrico con condotta forzata**

**Immagine che contiene testo, mappa

Descrizione generata automaticamente**

A cura di:

Bernardi Daniel, Chichifoi Karina, Ivan Andrei Daniel, Pizzini Cavagna Hiari

Indice

[1. Introduzione 3](#_Toc31647962)

[2. Linearizzazione del sistema non lineare 4](#_Toc31647963)

[3. Trasformata di Laplace 5](#_Toc31647964)

[4. Shaping di L 7](#_Toc31647965)

[4.1. Prestazioni statiche 7](#_Toc31647966)

[4.2. Prestazioni dinamiche 10](#_Toc31647967)

[5. Test del regolatore sul sistema non linearizzato 13](#_Toc31647968)

# Introduzione

Lo scopo del progetto è quello di creare una rete di controllo che garantisca il rispetto delle specifiche date. Nello svolgimento si andrà a linearizzare il sistema dato, per poi, partendo da un punto di equilibrio, sviluppare la rete di controllo mediante un regolatore per rispettare gli obiettivi imposti:

1. errore a regime nullo con riferimento a gradino ;
2. avere un margine di fase per garantire una certa robustezza del sistema;
3. la sovraelongazione percentuale può essere al massimo del 5%: ;
4. il tempo di assestamento all’ può essere tenuto relativamente basso, .

Passo per passo, verranno calcolate ed applicate le varie componenti del controllo, seguendo le specifiche date.

Sono stati abbattuti i rumori sull’uscita dalla frequenza di ampiezza ed è stato svolto anche il punto opzionale, portando il tempo di assestamento all’ a .

# Linearizzazione del sistema non lineare

Sia una coppia di equilibrio

e . Occorre, , linearizzare il sistema, passando dal modello

alla linearizzazione nell’intorno di :

Date le equazioni dinamiche del sistema,

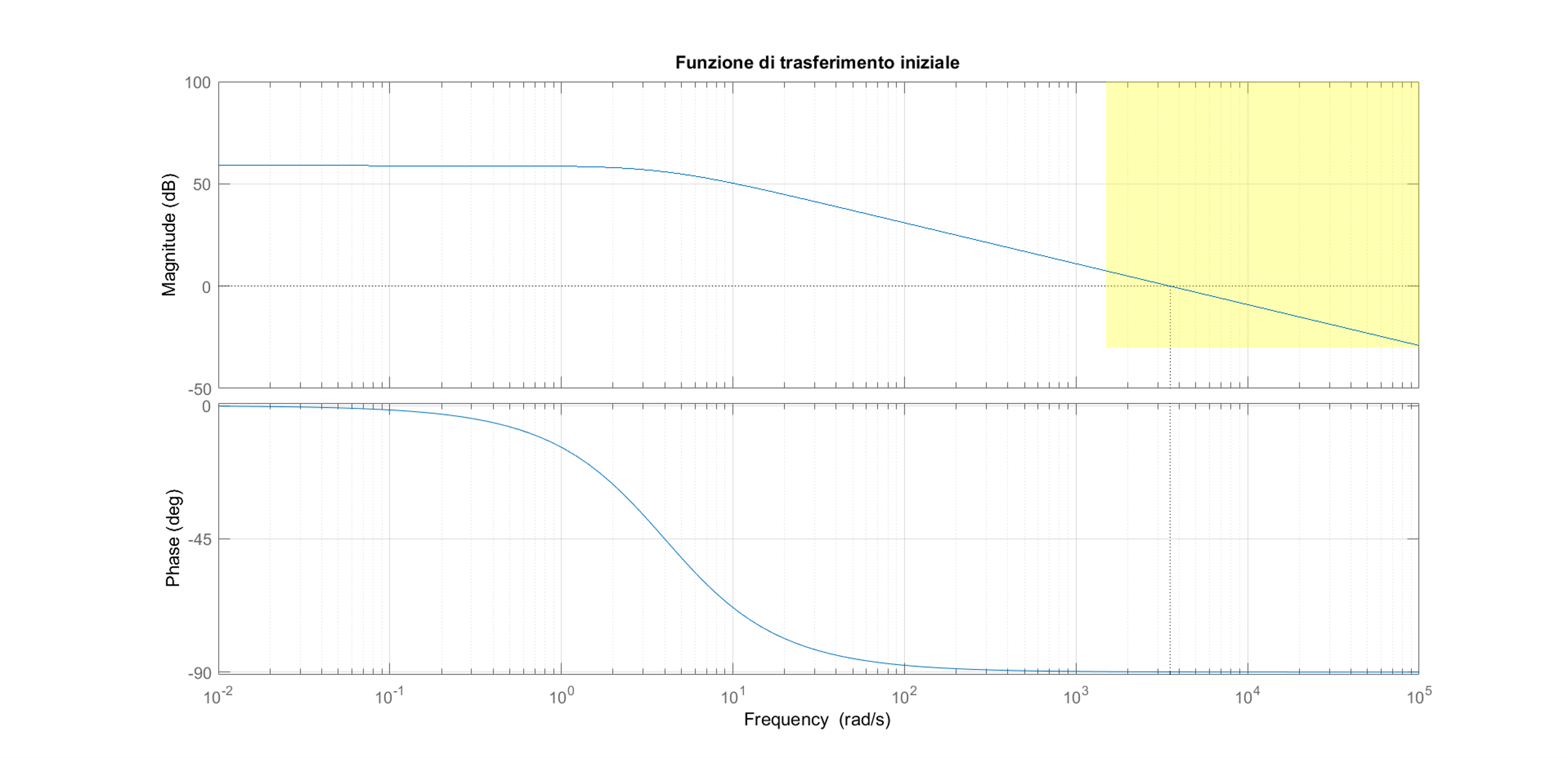
occorre determinare il valore di , , , :

Sostituendo , , e nelle due formule iniziali si può ottenere il sistema linearizzato:

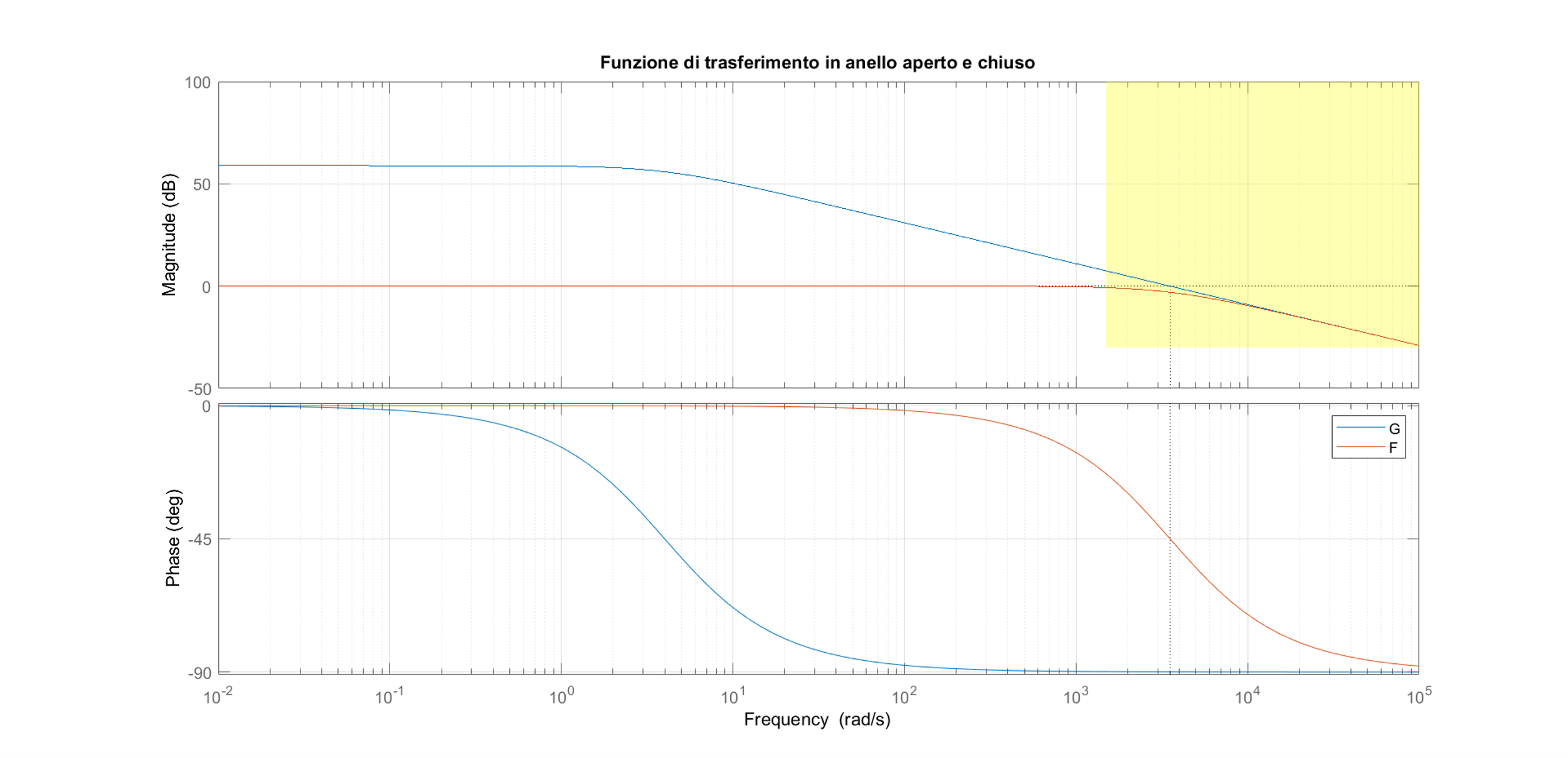
# Trasformata di Laplace

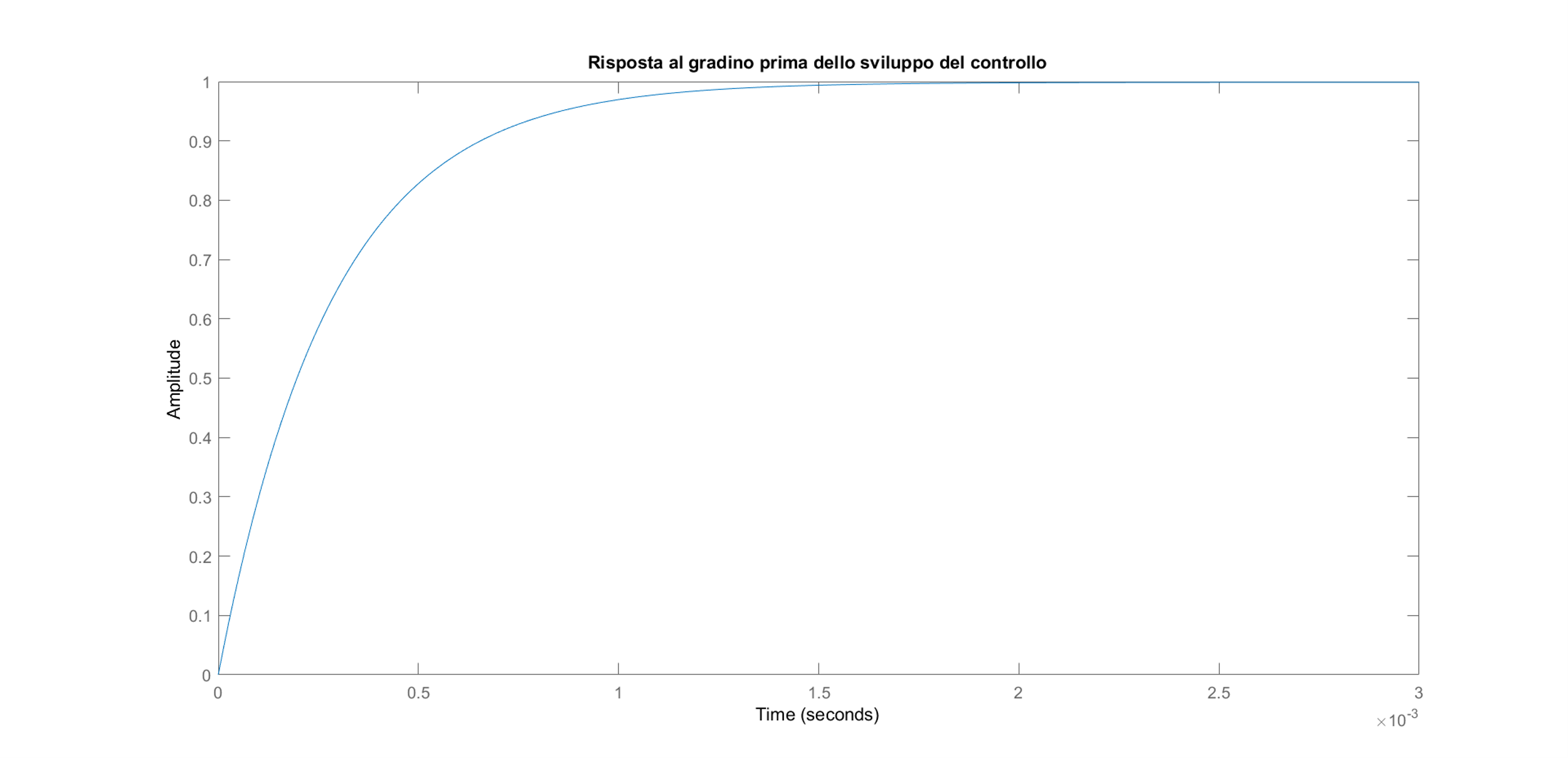
Una volta trovato il sistema linearizzato, è necessario passare dalla rappresentazione nello spazio degli stati alla rappresentazione nello spazio delle frequenze tramite una funzione di trasferimento:

Si ottiene la funzione di trasferimento

e la sua relativa rappresentazione nel seguente diagramma di Bode:

Nel diagramma è anche presente il limite per il disturbo di misura, evidenziato in giallo, e come si nota attraversa la zona proibita.

Nel grafico a seguire è rappresentata, oltre alla funzione di trasferimento, anche la funzione di trasferimento in anello chiuso, definita come

 La risposta al gradino del sistema non regolato è la seguente:

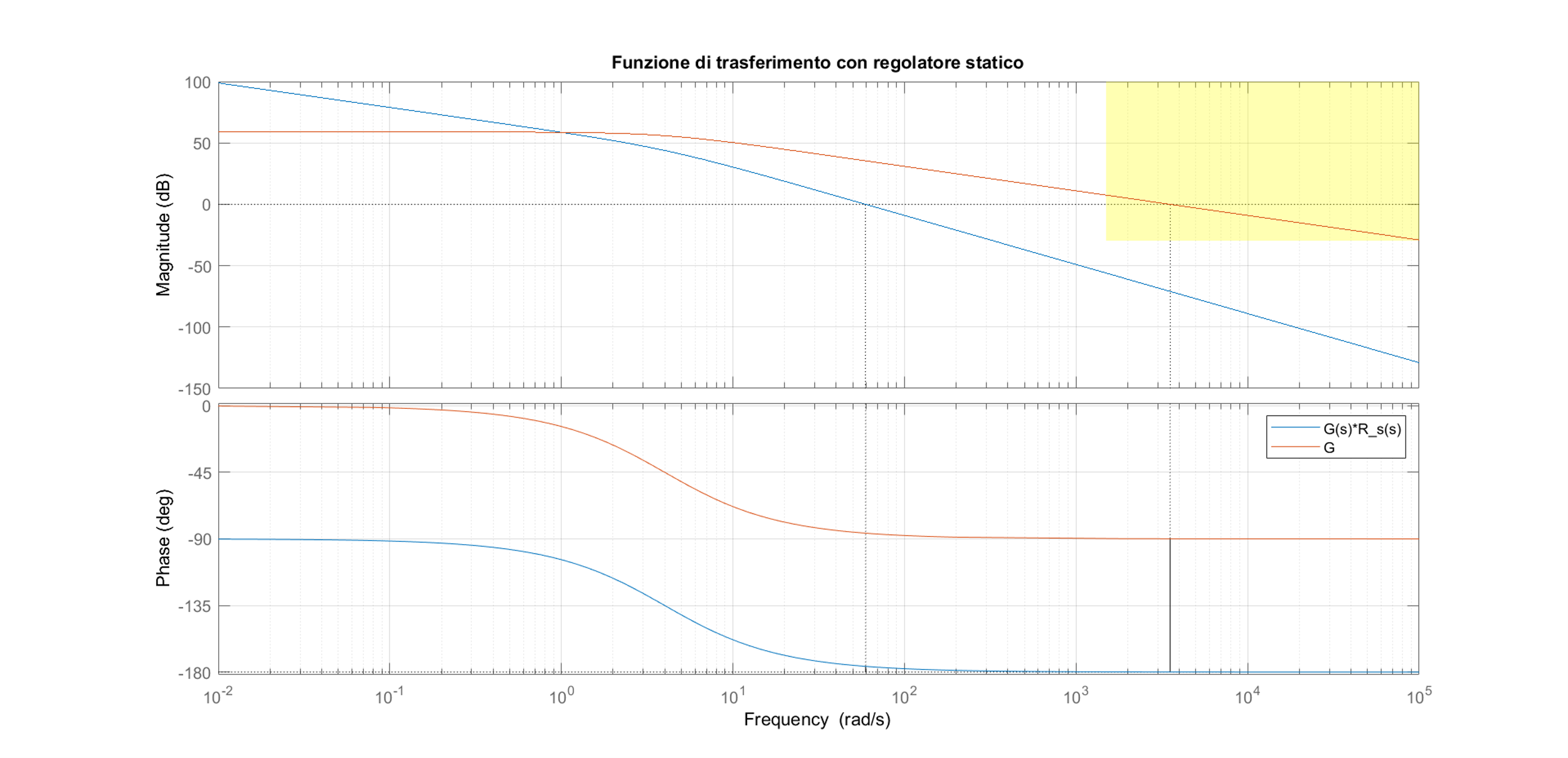
# Shaping di L

La funzione di trasferimento in anello aperto, definita come

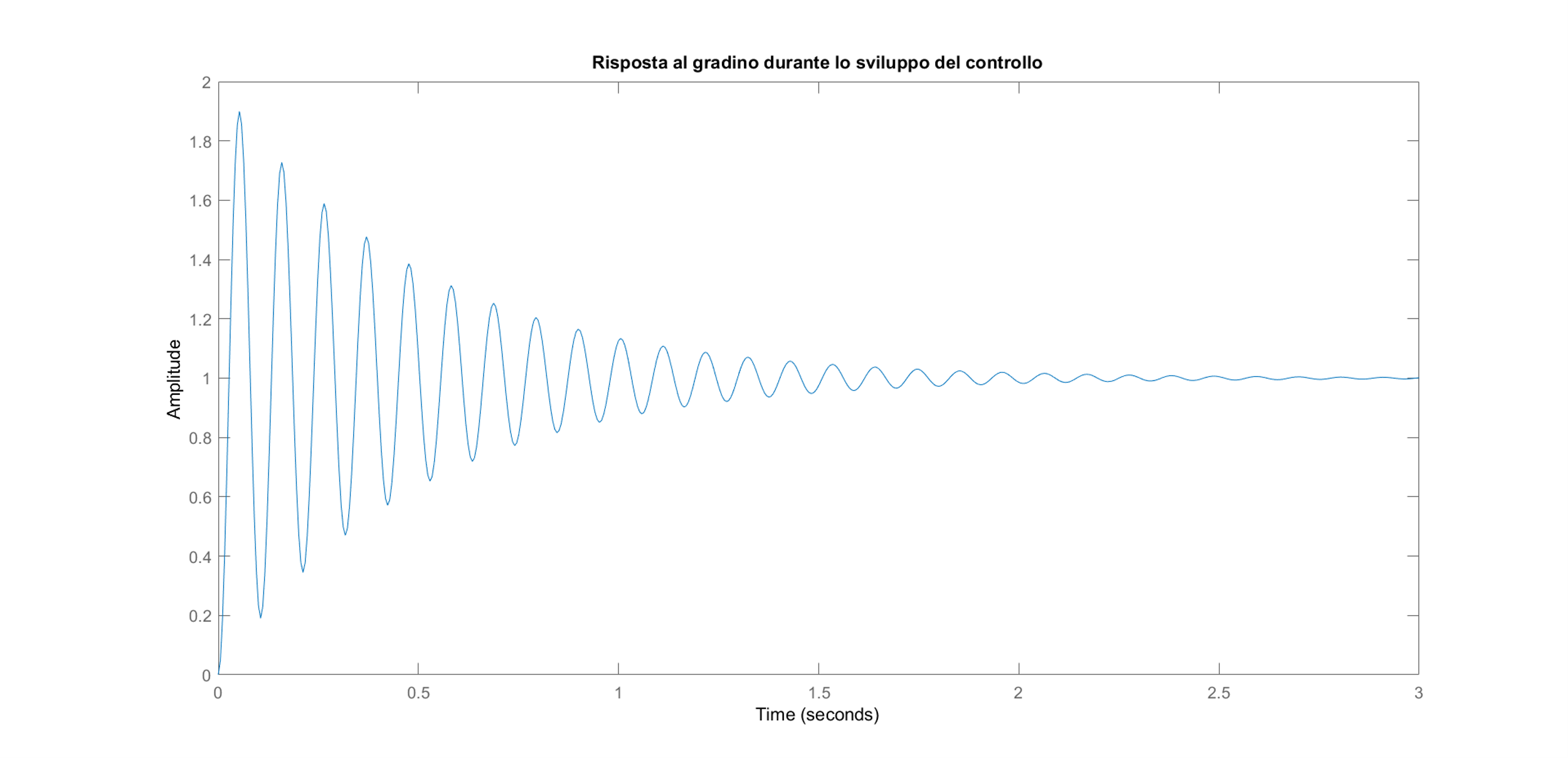
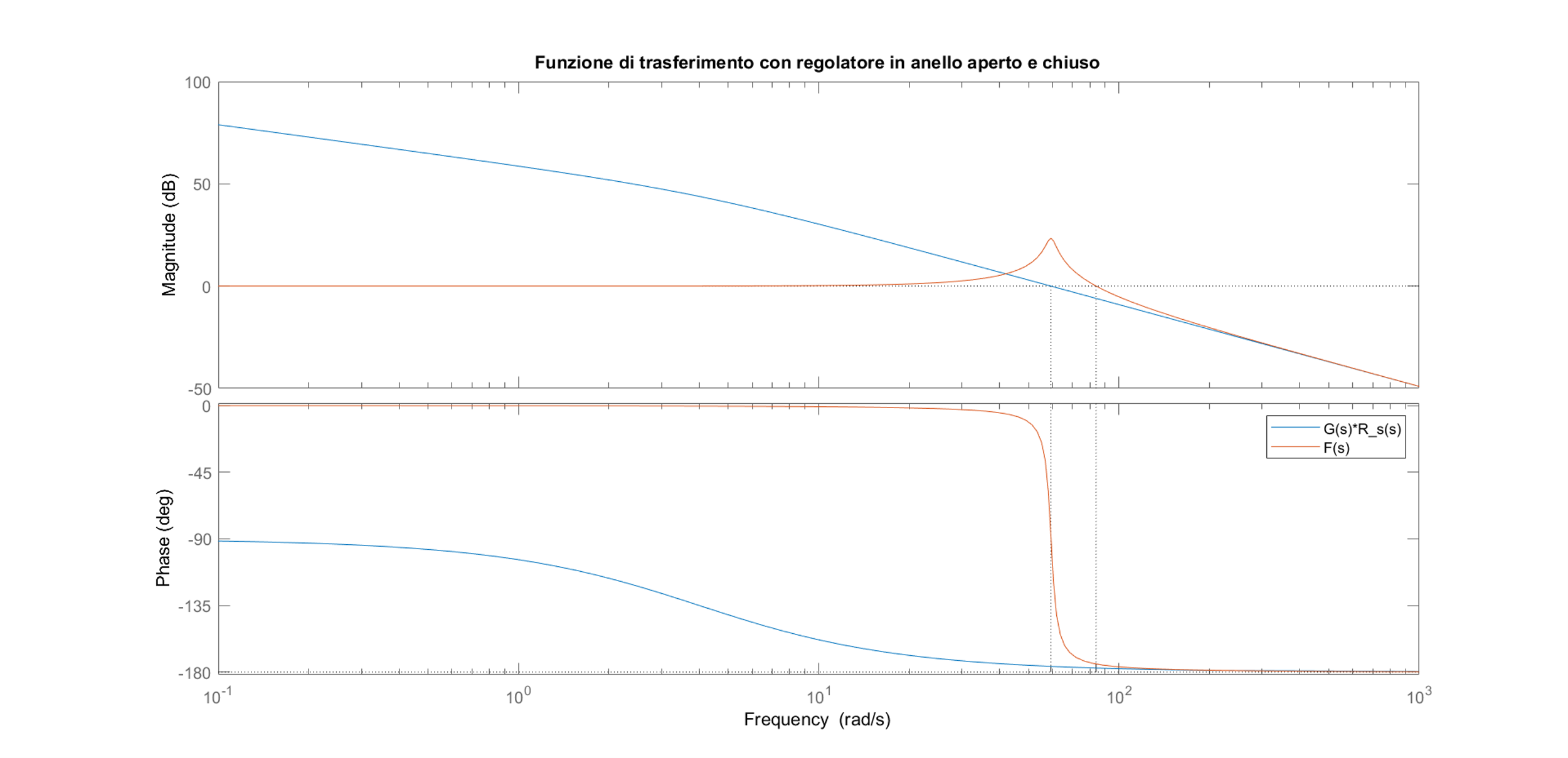
verrà ricavata mediante il calcolo e l’applicazione del regolatore . Quest’ultimo sarà composto dal regolatore statico e da quello dinamico che, rispettivamente, faranno sì che le specifiche statiche e dinamiche siano rispettate.

## Prestazioni statiche

Per ottenere un errore a regime nullo si utilizza un semplice regolatore statico con un polo all’origine e guadagno statico libero. Il polo è necessario poiché la di partenza non ha un polo nell’origine; così facendo il valore di è irrilevante.

Si ottiene una nuova funzione di trasferimento , in serie con il regolatore, rappresentata nel grafico sotto:

La frequenza di taglio, ottenibile dal grafico, è . Il polo aggiunto risolve il problema dell’errore a regime e pone la funzione di trasferimento al di fuori della zona gialla. La risposta al gradino con l’aggiunta del regolatore statico diventa:

Come si vede dal grafico sono presenti delle oscillazioni a causa del polo complesso coniugato e i tempi di assestamento sono ancora alti, intorno ai 3 s. L’obiettivo, da progetto, è di 0,15 s.

Come si può vedere dal diagramma di Bode sopra, vale 0 dB per le frequenze vicino a 0 rad/s, risultato ideale in quanto è l’intervallo che va a incidere sul riferimento , che in questo caso non viene modificato. Intorno alle frequenze di picco di l’ingresso viene enormemente amplificato. Dopo , fissato da specifica a , l’ingresso si abbassa per poter attenuare il disturbo ad alte frequenze. Si noti che essendoci già un’unica frequenza di attraversamento, si rientra nei criteri di Bode.

## Prestazioni dinamiche

Per le prestazioni dinamiche bisogna regolare la sovraelongazione e il tempo di assestamento. I due valori sono legati alla frequenza di taglio, tale che

Il valore 300 corrisponde ad una costante del tempo di assestamento al 5%. Da specifiche bisogna ottenere , il tempo di assestamento, pari a e . La frequenza di taglio attuale di è . Essendoci due poli complessi coniugati dominanti, allora vale la seguente formula:

Partendo dalla formula di e assumendo (dato che da specifica deve essere ) si può ricavare il coefficiente di smorzamento :

Si ricava quindi che

Il valore di trovato è molto più alto di quello stabilito dalla consegna, di 45°, ma lo si terrà per garantire le migliori performance ottenibili. La frequenza di taglio minima sarà quindi

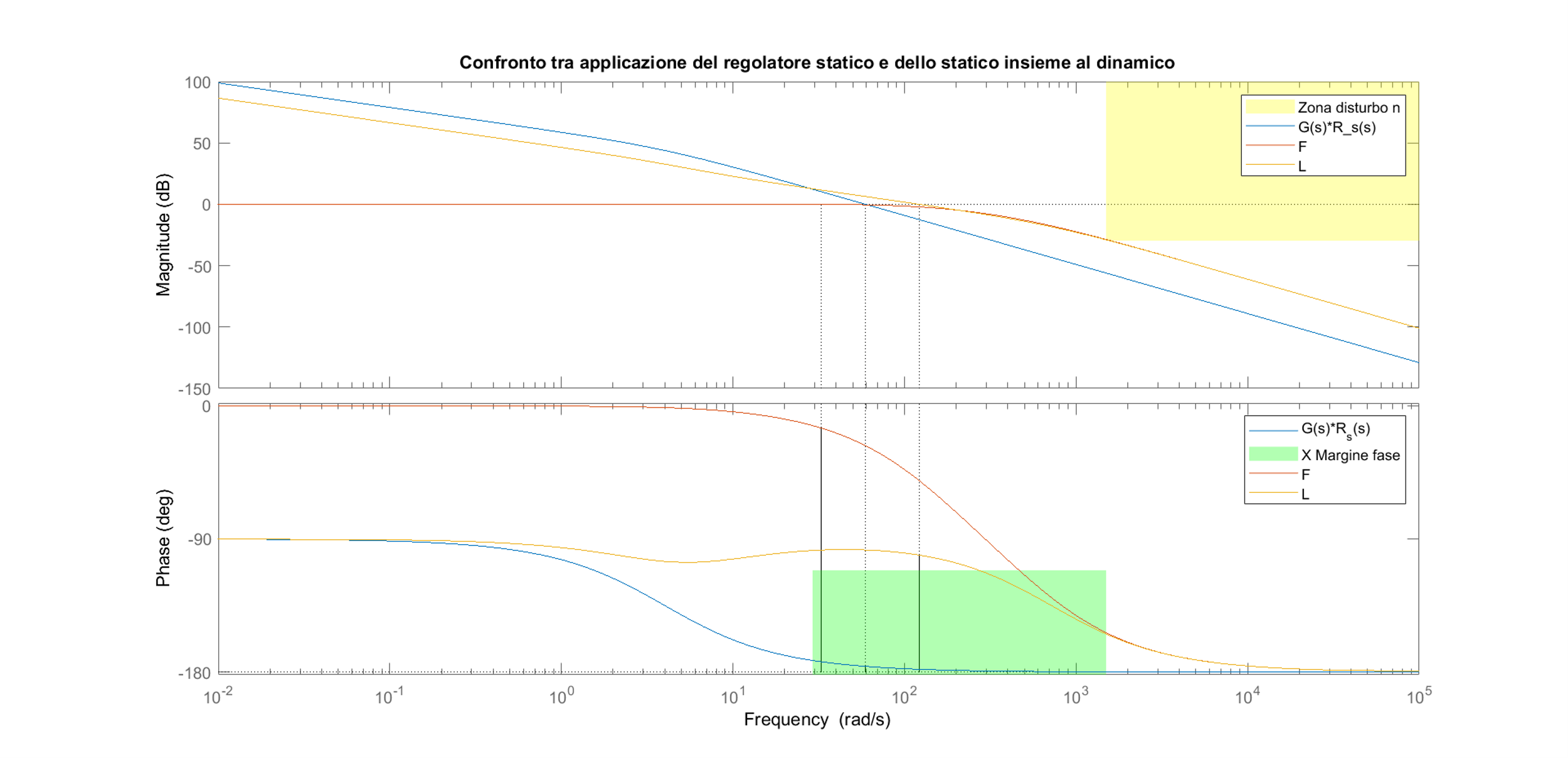
Non venendo specificata nessuna , si assume che

Si tiene come pulsazione di riferimento per il calcolo di , , e la pulsazione .

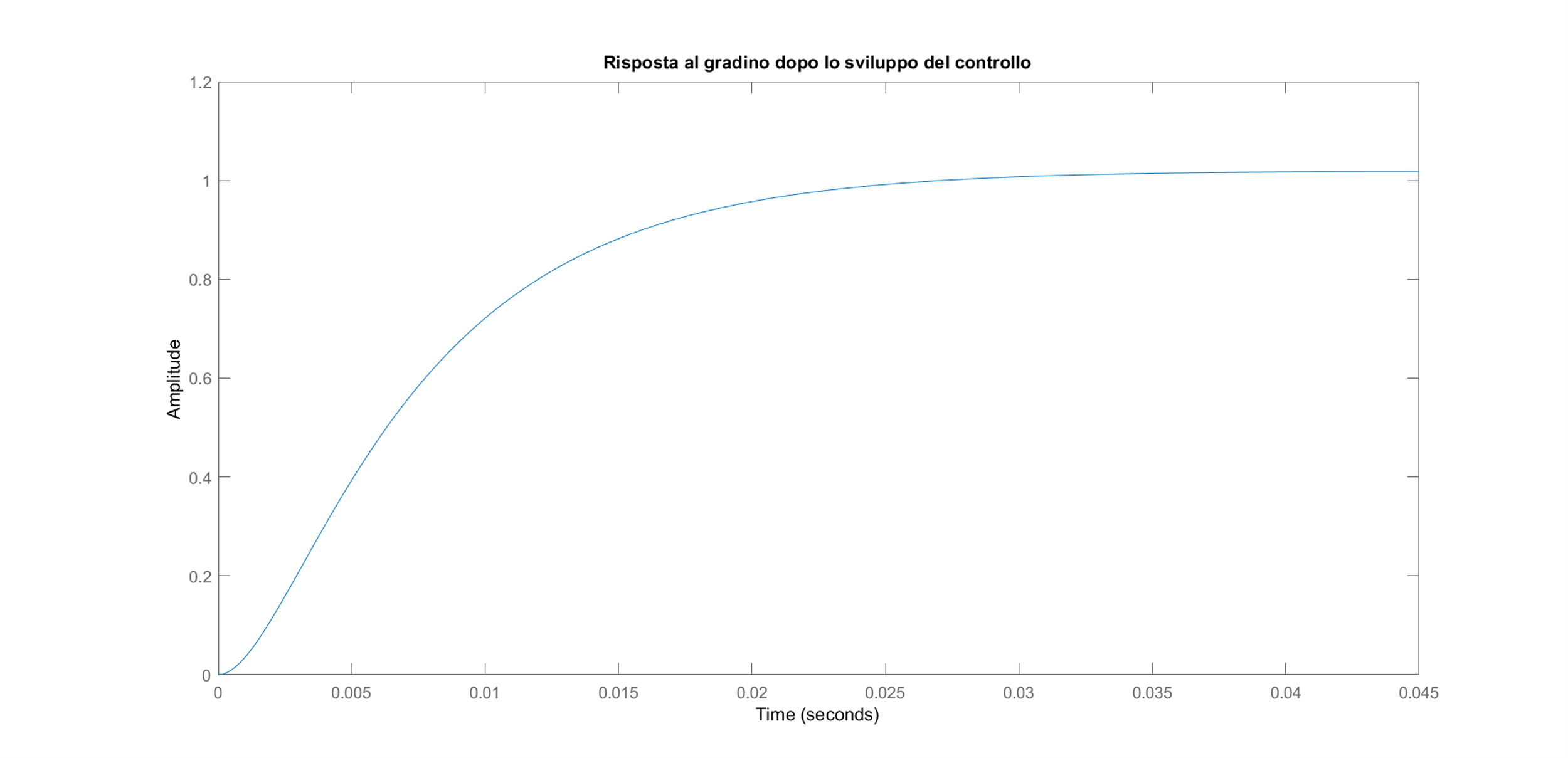
Il regolatore dinamico così progettato non rispetta i requisiti di riduzione del disturbo . Il guadagno statico non è bloccato da , quindi lo si può sfruttare per ridurre l’ampiezza in modo da uscire dalla zona gialla.

Occorre determinare il valore del guadagno del regolatore dinamico :

Ora si può ricavare il regolatore completo, moltiplicando lo statico per il dinamico:

Si ottiene ora , data dall’applicazione del regolatore finale alla iniziale.

Il fatto che per e che per conferma che sia giusto.

I requisiti di sovraelongazione e tempo di assestamento al 5% sono soddisfatti sia per che per ; il margine di fase è rispettato alla frequenza di taglio e dato che l’ampiezza in il requisito di disturbo è rispettato.

# Test del regolatore sul sistema non linearizzato

Con calcolato nel punto di equilibrio:

utilizzando Simulink, è stato ricreato il sistema non lineare ed è stato inserito nel circuito in retroazione. L’ingresso, a cui viene sommato di equilibrio, è stato preso dal regolatore , mentre l’uscita è stata retroazionata e sommata al disturbo , di ampiezza .

L’ingresso del sistema è quindi definito come

con proveniente dal regolatore.

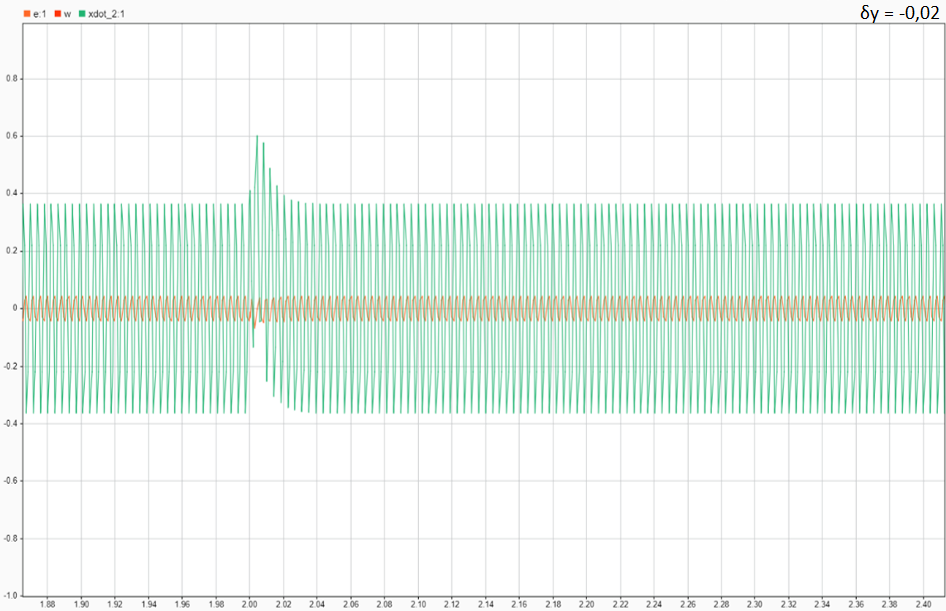
Gli stati e sono stati impostati con la condizione iniziale nel punto di equilibrio del sistema. Pertanto, nell’istante il sistema si trova:

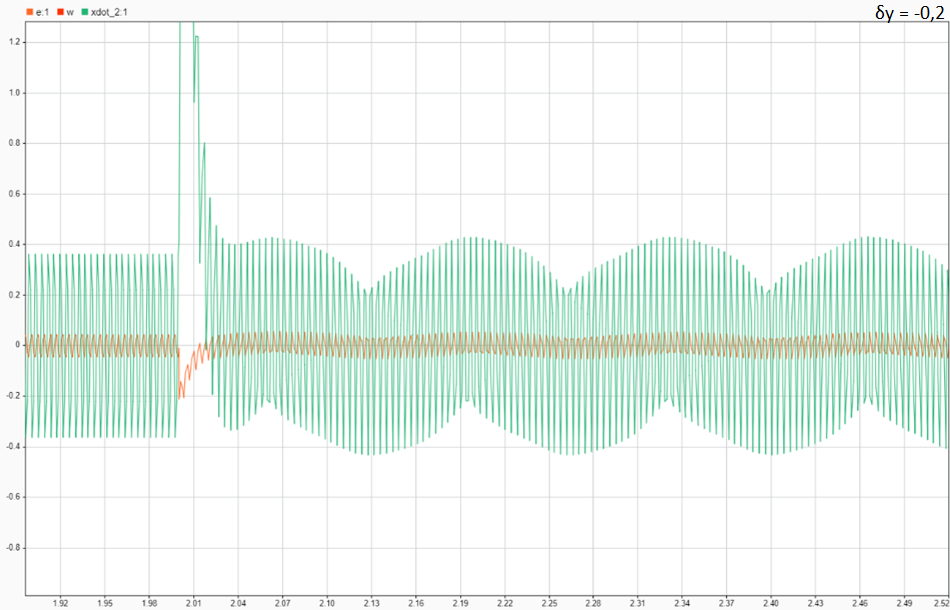
Successivamente si è aggiunto uno step di riferimento che, partendo da , faceva variare questo di un certo nell’istante .

A picture containing screenshot

Description automatically generatedDopo lo step, l’equazione di stato si presenta nella seguente condizione:

Lo scopo di questa aggiunta è quello di perturbare il sistema nel suo punto di equilibrio, per vedere il comportamento di quest’ultimo. In particolare, verrà osservata , in quanto è nulla. Il è stato progressivamente aumentato, partendo da 0 fino ad arrivare a 0,5.

È stato osservato che, nel caso in cui , l’equazione di stato tornava nel punto di equilibrio con oscillazione simile alla situazione precedente allo step.

Invece, con , l’equazione di stato non tornava alla stabilità precedente nell’intorno di 0, subiva infatti una variazione maggiore ed assumeva una forma ondulatoria nel complesso.

Calcolo con come da testo:

Il sistema non lineare è stato testato anche con il riferimento fornito nel testo del progetto. Il riferimento indicato è un valore positivo e il sistema non riesce a fornire un’uscita tale che l’errore sia nullo. L’equazione del sistema non linearizzato di è

Essendo e costanti, dato che , sarà influenzata solo dall’andamento di . Per soddisfare si deve avere .

Studiando la derivata di ,

si può notare che per tendente a 0 la sua derivata sarà e dato che , che è un valore positivo, il sistema non riuscirà mai a porre ad un valore inferiore a 0.

In conclusione, avendo un riferimento positivo e partendo dal punto di equilibrio indicato, l’errore sarà .