

13.8%



Date: 2023-06-29 05:14 UTC

\*All sources 7 | Internet sources 7

<input checked="" type="checkbox"/>	[0]	<a href="#">repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/27512/1/Projetocontroladoressystemas_Dantas_2019.pdf</a> 13.7% 32 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[1]	<a href="#">repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/22330/4/LeonardoRodriguesDeLimaTeixeira_TESE.pdf.txt</a> 1.5% 3 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[2]	<a href="#">www.passeidireto.com/arquivo/121706937/contribuicaoemelhoramntooperacao-souza-2022</a> 0.8% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[3]	<a href="#">repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/48320?mode=full</a> 0.7% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[4]	<a href="#">repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/18089?mode=full</a> 0.3% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[5]	<a href="#">www.passeidireto.com/arquivo/121730387/in-en-qii-a-12</a> 0.3% 1 matches
<input checked="" type="checkbox"/>	[6]	<a href="#">dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6068455.pdf</a> 0.3% 1 matches

16 pages, 2000 words

 A very light text color was detected that might conceal letters used to merge words.

PlagLevel: 13.8% selected / 13.8% overall

33 matches from 7 sources, of which 7 are online sources.

Settings

Data policy: *Compare with web sources, Check against my documents*

Sensitivity: *Medium*

Bibliography: *Consider text*

Citation detection: *Reduce PlagLevel*

Whitelist: 1-149923675



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
MECATRÔNICA



# CONTROLE PID DE VIBRAÇÕES EM SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM COM ATRASO USANDO RECEPTÂNCIA COM ESTABILIDADE ROBUSTA E OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO

JHONAT HEBERSON AVELINO DE SOUZA

ORIENTADOR: Prof. DR. CARLOS EDUARDO TRABUCO DÓREA

CO-ORIENTADOR: Prof. DR.<sup>[01]</sup> JOSÉ MÁRIO ARAÚJO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA  
AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGE-  
NHARIA MECATRÔNICA DA UFRN COMO PARTE  
DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM CIÊNCIAS.

NÚMERO DE ORDEM PEM:<sup>[01]</sup> M018  
NATAL, RN, JULHO DE 2023



---

## RESUMO

---

FENÔMENOS COMO VIBRAÇÕES MECÂNICAS, RESSONÂNCIA E OSCILAÇÕES, PODEM SER CRITOS MATEMATICAMENTE POR SISTEMAS DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE SEGUNDA ORDEM SENDO ESTES SISTEMAS COMUMENTE DESIGNADOS COMO SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM. TRABALHAR COM ESSE TIPO DE MODELO, EM VEZ DOS MODELOS DE ESTADO DE PRIMEIRA ORDEM TRAZ BENEFÍCIOS NUMÉRICOS, MAS HÁ DIFICULDADES INERENTES À DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS. OS DESAFIOS SÃO AINDA MAIS SIGNIFICATIVOS QUANDO SE CONSIDERA A EXISTÊNCIA DE ATRASOS ENTRE AS MEDIÇÕES DOS ESTADOS E OS SINAIS DE ATUAÇÃO, LEVANDO A algumas ABORDAGENS À NECESSIDADE DE UMA PÓS-ANÁLISE PARA DETERMINAR A ESTABILIDADE DAS SOLUÇÕES CALCULADAS. UMA ALTERNATIVA PARA CONTORNAR AS DIFICULDADES DE MEDIÇÃO DE PARÂMETROS É A ABORDAGEM POR RESPOSTA EM FREQUÊNCIA QUE USA MODELOS BASEADOS EM RECEPTÂNCIA. ESTE TRABALHO TRATA DO PROJETO DE CONTROLADORES PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID) PARA SISTEMAS DINÂMICOS LINEARES COM ATRASO, MODELADOS POR EQUAÇÕES DIFERENCIAIS MATRICIAIS DE SEGUNDA ORDEM. E COMO ALTERNATIVA À ABORDAGEM POR RECEPTÂNCIA, QUE, POR SE BASEAR NA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DO SISTEMA, PERMITE TRATAR DA ESTABILIDADE EM MALHA FECHADA DE FORMA EXATA, SEM A NECESSIDADE DE RECORRER A APROXIMAÇÕES DO TERMO DE ATRASO NEM A VERIFICAÇÕES A POSTERIORI. O PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO É FORMULADO PARA A DETERMINAÇÃO DOS GANHOS DO CONTROLADOR QUE GARANTAM ROBUSTEZ, POR MEIO DE UMA MARGEM DE ESTABILIDADE PRÉ-ESTABELECIDO E DESEMPENHO, POR MEIO DA MINIMIZAÇÃO DA INTEGRAL DO ERRO ABSOLUTO RELATIVO AO SEGUIMENTO DE UMA REFERÊNCIA CONSTANTE. UM ALGORITMO GENÉTICO É IMPLEMENTADO PARA RESOLVER O PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO. DIFERENTEMENTE DE TRABALHOS CORRELACIONADOS NA LITERATURA, O MÉTODO PROPOSTO PODE SER APLICADO IGUALMENTE A SISTEMAS COM POLO NA MALHA ABERTA NO SEMIPLANO DIREITO.

PALAVRAS-CHAVE: <sup>[0]</sup> SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM, SISTEMAS COM ATRASO, CONTROLO PID, RECEPTÂNCIA, ALGORITMO GENÉTICO. <sup>[0]</sup>



---

# Abstract

---

PHENOMENA SUCH AS MECHANICAL VIBRATIONS, RESONANCE, AND OSCILLATIONS CAN MATHEMATICALLY DESCRIBED BY SECOND-ORDER DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEMS, WHICH COMMONLY REFERRED TO AS SECOND-ORDER SYSTEMS. WORKING WITH THIS TYPE OF MODEL INSTEAD OF FIRST-ORDER STATE MODELS, BRINGS NUMERICAL BENEFITS, BUT THERE ARE INCONVENIENCES IN DETERMINING THEIR PHYSICAL PARAMETERS. THE CHALLENGES ARE EVEN SIGNIFICANT WHEN CONSIDERING THE EXISTENCE OF DELAYS BETWEEN STATE MEASUREMENT AND ACTUATION SIGNALS, LEADING SOME APPROACHES TO THE NEED FOR POST-ANALYSIS TO DETECT THE STABILITY OF CALCULATED SOLUTIONS. AN ALTERNATIVE TO BYPASS THE DIFFICULTY OF PARAMETER MEASUREMENT IS THE FREQUENCY RESPONSE APPROACH THAT USES MODELS BASED ON RECEPTANCE.

THIS WORK DEALS WITH THE PROJECT OF PID CONTROLLERS - PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE FOR LINEAR DYNAMIC SYSTEMS WITH DELAY, MODELED BY SECOND-ORDER MAKKAY DIFFERENTIAL EQUATIONS. IS ADOPTED THE RECEPTANCE APPROACH, WHICH, BECAUSE IT IS BASED ON THE FREQUENCY RESPONSE OF THE SYSTEM, ALLOWS DEALING WITH CLOSED-LOOP STABILITY EXACTLY, WITHOUT THE NEED FOR RE-RUN ON DELAY TERM APPROXIMATIONS OR BACK-TIME. A PROBLEM OF OPTIMIZATION IS FORMULATED FOR THE DETERMINATION OF THE CONTROLLER THAT GUARANTEE ROBUSTNESS, THROUGH A PRE-ESTABLISHED STABILITY MARGIN, AND PERFORMANCE, THROUGH THE MINIMIZATION OF THE ABSOLUTE ERROR INTEGRAL RELATIVE TO THE TRACKING OF A CONSTANT REFERENCE. A GENETIC ALGORITHM IS IMPLEMENTED TO SOLVE THE PROBLEM OF OPTIMIZATION. UNLIKE RELATED WORKS IN THE LITERATURE, THE PROPOSED METHOD CAN BE APPLIED EQUALLY TO SYSTEMS WITH OPEN-LOOP POLES IN THE RIGHT HALF-PLANE.

**Keywords:** SECOND-ORDER SYSTEMS, TIME-DELAY, PID CONTROL, RECEPTANCE, GENETIC ALGORITHM.<sup>[0]</sup>



---

# SUMÁRIO

---

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM	5
2.1.1 REPRESENTAÇÃO DE PRIMEIRA ORDEM	6
2.1.2 O MÉTODO DA RECEPTÂNCIA	7
2.1.3 A MATRIZ DE RECEPTÂNCIA	8
2.1.4 SISTEMA COM ATRASO	9
2.2 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA	10
2.2.1 O DIAGRAMA POLAR, OU DIAGRAMA DE NYQUIST	10
2.2.2 CRITÉRIO DE ESTABILIDADE DE NYQUIST	12
2.3 CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRATIVO DERIVATIVO	
2.4 ÍNDICES DE DESEMPENHO	16
2.5 MARGEM DE ESTABILIDADE	17
3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	19
3.1 PARÂMETRO DE PROJETO E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	2
3.1.1 CIRCUNFERÊNCIA $M_s$	20
3.1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO	22
4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	27
4.1 SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO	27
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO	32
5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS	41
5.1 EXPERIMENTOS ESTUDADOS	41
5.1.1 EXEMPLO 1	41
5.1.2 EXEMPLO 2	44
5.1.3 EXEMPLO 3	47



5.1.4	EXEMPLO 4 . . . . .	51
5.1.5	EXEMPLO 5 . . . . .	56
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

---

## LISTA DE FIGURAS

---

2.1	SISTEMA MASSA-MOLA-AMORTECEDOR . . . . .	5
2.2 <sup>[0]</sup>	Exemplo de Diagrama de Nyquist para Sistema Modelado por $G(s)$ . . . . .	11
2.3 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist com a Parte Espelhada . . . . .	12
2.4	Diagrama de blocos de $G_{mf}(s)$ . . . . .	13
2.5 <sup>[1]</sup>	Diagrama de blocos do PID . . . . .	15
3.1 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist Exemplo de Circunferência. $M_s$ . . . . .	22
3.2 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist de um Sistema Genérico para Exemplo de um Caso de Instabilidade. . . . .	24
4.1 <sup>[0]</sup>	Simulação criada com MATLAB/SIMULINK® . . . . .	28
4.2 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para $\omega \in [10^{-1}, 10^3]$ . . . . .	33
4.3 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para $\omega \in [10^{-6}, 10^3]$ . . . . .	33
4.4 <sup>[0]</sup>	Exemplificação da contagem de voltas que contem o ponto $-1 + j0$ e o sentido do Diagrama de Nyquist . . . . .	39
5.1 <sup>[0]</sup>	Sistema Massa-Mola-Amortecedor de um grau de liberdade . . . . .	42
5.2 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o Exemplo 5.1.1 . . . . .	43
5.3	Resposta no tempo para uma referência constante do Exemplo 5.1.1 . . . . .	
5.4 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o Exemplo 5.1.2 . . . . .	46
5.5	Resposta no tempo para uma referência constante do Exemplo 5.1.2 . . . . .	
5.6 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o Exemplo 5.1.3 . . . . .	48
5.7	Resposta no tempo para uma referência constante do Exemplo 5.1.3 . . . . .	
5.8	Diagrama de Nyquist com perturbação para o Exemplo 5.1.3 . . . . .	5
5.9	Resposta no tempo para uma referência constante com perturbação do Exemplo 5.1.3 . . . . .	51
5.10 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o caso co-localizado, Exemplo 5.1.4 . . . . .	
5.11	Resposta no tempo para uma referência constante do caso co-localizado, Exemplo 5.1.4 . . . . .	54
5.12	Diagrama de Nyquist para o caso não co-localizado, Exemplo 5.1.4 . . . . .	
5.13	Resposta no tempo para uma referência constante para o caso não co-localizado, Exemplo 5.1.4 . . . . .	56
5.14 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o Exemplo 5.1.5 . . . . .	57
5.15 <sup>[0]</sup>	Diagrama de Nyquist para o Exemplo 5.1.5 . . . . .	58



---

## LISTA DE TAbELAS

---

5.1	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O ExEMPLO 5.1.1 . . . . .	42
5.2	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O ExEMPLO 5.1.2 . . . . .	45
5.3	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O ExEMPLO 5.1.3 . . . . .	48
5.4	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O CASO CO-LOCALIZADO - ExEMPLO 5.1.4 . . . . .	52
5.5	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O CASO NÃO CO-LOCALIZADO - ExEMPLO 5.1.4 . . . . .	56
5.6	GANHOS ÓTIMOS E ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA O ExEMPLO 5.1.5 . . . . .	58



---

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABBREVIATURAS

---

$\ddot{x}$	ACELERAÇÃO DO <b>b</b> LOCO, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$\dot{x}$	VELOCIDADE DO <b>b</b> LOCO, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$C$	MATRIZ DE AMORTECIMENTO, VEJA EQUAÇÃO (2.4), pÁGINA 6
$K$	MATRIZ DE RIGIDEZ, VEJA EQUAÇÃO (2.4), pÁGINA 6
$M$	MATRIZ DE MASSA, VEJA EQUAÇÃO (2.4), pÁGINA 6
$b$	MATRIZ DE ATUAÇÃO, VEJA EQUAÇÃO (2.4), pÁGINA 6
$\omega$	FREQUÊNCIA NATURAL, VEJA EQUAÇÃO (2.10), pÁGINA 8
$\xi$	FATOR DE AMORTECIMENTO, VEJA EQUAÇÃO (2.10), pÁGINA 8
$D$	COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO DOS DASHPOTS, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$k$	COEFICIENTE DE RIGIDEZ DAS MOLAS, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$k_d$	GANHO DERIVATIVO, VEJA EQUAÇÃO (2.18), pÁGINA 9
$k_i$	GANHO INTEGRAL, VEJA EQUAÇÃO (2.18), pÁGINA 9
$k_p$	GANHO PROPORCIONAL, VEJA EQUAÇÃO (2.18), pÁGINA 9
$M$	MASSA DO <b>b</b> LOCO, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$U$	ENTRADA, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
$x$	DESLOCAMENTO DO <b>b</b> LOCO, VEJA EQUAÇÃO (2.2), pÁGINA 5
AG	ALGORITMO GENÉTICO, VEJA EQUAÇÃO (1.0), pÁGINA 2
AVC	ACTIVE Vibration CONTROL, VEJA EQUAÇÃO (2.0), pÁGINA 5
GM	"GAIN MARGIN", VEJA EQUAÇÃO (3.10), pÁGINA 21
IAE	INTEGRATED Absolut ERROR, VEJA EQUAÇÃO (1.0), pÁGINA 2
ISE	INTEGRATED squared ERROR, VEJA EQUAÇÃO (2.28), pÁGINA 16
ITAE	INTEGRATES TIMED Absolut ERROR, VEJA EQUAÇÃO (2.30), pÁGINA 16

ITSE	INTEGRATED TIMED <b>S</b> QUARED ERROR, veja equação (2.31), página 17
PID	PROPORCIONAL INTEGRAL <b>D</b> ERIVATIVO, veja equação (0), página 3
PM	"PHASE MARGIN", veja equação (3.10), página 21
SPD	SEMIPLANO <b>D</b> IREITO, veja equação (2.26), página 13
SPE	SEMIPLANO <b>E</b> SQUERDO, veja equação (2.26), página 13

---

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

UMA DIVERSIDADE DE FENÔMENOS FÍSICOS, A EXEMPLO DA RESSONÂNCIA EM SISTEMAS VIBRATÓRIOS, VIBRO-ACÚSTICOS E ELÉTRICOS, É RICAMENTE REPRESENTADA POR MEIO DE MODELOS DINÂMICOS DE SEGUNDA ORDEM BALAS (1982); VANDERVELDE (1986). OS SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM SÃO AMPLAMENTE ENCONTRADOS EM DIVERSAS ÁREAS, DESDE A ENGENHARIA ATÉ A FÍSICA E A BIOLOGIA, TORNANDO SEU ESTUDO FUNDAMENTAL PARA A COMPREensão DE UMA AMPLA GAMA DE FENÔMENOS NATURAIS E ARTIFICIAIS.

MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAM ESSES SISTEMAS PODEM SER ESCRITOS COMO UM SISTEMA MATRICIAL DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE SEGUNDA ORDEM, ONDE AS CONSTANTES E VARIÁVEIS DAS EQUAÇÕES TÊM RELAÇÕES FÍSICAS DIRETAS COM O MODELO REAL, OU SEJA, FORMADAS EM EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE PRIMEIRA ORDEM. EM DATTA (2004), SÃO APRESENTADAS REPRESENTAÇÕES DE PRIMEIRA ORDEM PARA ALGUNS SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM E DISCUTIDAS ALGUMAS DEFICIÊNCIAS ASSOCIADAS AO USO DO MODELO ORIGINAL.

DEVIDO À SUA RELEVÂNCIA PRÁTICA, O ESTUDO DE SISTEMAS DE SEGUNDA ORDEM TEM GANHADO CADA VEZ MAIS NOTORIEDADE NA COMUNIDADE DE ENGENHARIA, PROPORCIONANDO SOLUÇÕES PARA DIVERSOS DESAFIOS. UMA DAS DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS OBTIDOS A PARTIR DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE SEGUNDA ORDEM É A DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DAS MATRIZES QUE CARACTERIZAM O SISTEMA, COMO MASSA, RIGIDEZ E ELASTICIDADE, VISANDO SIMPLIFICAR O PROCESSO DE MODELAGEM DESSES SISTEMAS, EXISTE UMA ABORDAGEM QUE UTILIZA A IDEIA DE RECEPTÂNCIA, QUE FOI PROPOSTA POR RAM ET AL. (2009) SE BASEIA NO USO DE INFORMAÇÕES EXPERIMENTAIS DO SISTEMA PARA DEFINIR AS MATRIZES.

NOS ÚLTIMOS ANOS, ALGUNS TRABALHOS UTILIZARAM ESSA IDEIA, COMO BASE PARA A MODELAGEM DE SISTEMA DE CONTROLE DE SEGUNDA ORDEM COM ATRASO, COMO EM ARAÚJO AND SANTOS (2018); ARAÚJO (2018a,b); SANTOS ET AL. (2018); DANTAS (2019); DANTAS ET AL. (2020a); MARTINS ET AL. (2020); NUNES (2022); GONTIJO ET AL. (2022).

A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DA RECEPTÂNCIA, É POSSÍVEL ALOCAR OS POLOS DO SISTEMA EM UMA POSIÇÃO SEGURA NO PLANO COMPLEXO E ALCANÇAR UM DESEMPENHO DESEJADO. ENTRETANTO, QUANDO HÁ PRESENÇA DE ATRASO DE TRANSPORTE NO SISTEMA, AO UTILIZAR O MÉTODO, FAZ-SE NECESSÁRIO REALIZAR UM TRATAMENTO POSTERIORMENTE PARA GARANTIR QUE O SISTEMA CONTINUE ESTÁVEL EM MALHA FECHADA, COMO VISTO EM RAM ET AL. (2009) EM ARAÚJO AND SANTOS (2018).

UMA ABORDAGEM FOI PROPOSTA POR DANTAS ET AL. (2020a) PARA ELIMINAR A ANÁLISE



POSTERIOR DO MÉTODO DE RECEPÇÃO NA PRESENÇA DE ATRASO.<sup>[0]</sup> ELES PROPUSERAM UMA ABORDAGEM NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA, UTILIZANDO CONCEITOS COMO ESTABILIDADE DE NYQUIST, MARGEM DE GANHO E FUNÇÃO DE SENSIBILIDADE.<sup>[0]</sup> POR MEIO DESSA ABORDAGEM, FOI POSSÍVEL PROJETAR UM CONTROLADOR ROBUSTO PARA SISTEMA DE SEGUNDA ORDEM COM ATRASO.

TAMBÉM EM NUNES (2022) FOI DESENVOLVIDO UM MÉTODO PARA PROJETAR UM CONTROLE UTILIZANDO REALIMENTAÇÃO DERIVATIVA DE ESTADOS, QUE MODIFICA AS MATRIZES MASSA E AMORTECIMENTO. A REALIMENTAÇÃO DERIVATIVA OFERECE VANTAGENS EM RELAÇÃO À REALIMENTAÇÃO DE ESTADOS, COMO O USO DE ACELERÔMETROS COMO SENSORES, QUE SÃO MAIS BARATOS E MAIS APLICÁVEIS NA INDÚSTRIA, MAIOR PRECISÃO NA LEITURA DOS ESTADOS DO SISTEMA ABDELAZIZ AND VALŠEK (2004) E A POSSIBILIDADE DE REGULARIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE SISTEMAS COM MATRIZ DE MASSA SINGULAR. RESULTADOS DESTES MÉTODOS FORAM APRESENTADOS EM UM TRABALHO DE NUNES ET AL. (2021).

NO TRABALHO GONTIJO ET AL. (2022), É APRESENTADO UM MÉTODO ROBUSTO PARA A CONCEPÇÃO DE CONTROLADORES PID PARA SISTEMAS VIBRATÓRIOS DE SEGUNDA ORDEM COM INCERTEZAS PARAMÉTRICAS. DIFERENTEMENTE DE TRABALHOS CORRELATOS BASEADOS EXCLUSIVAMENTE





---

---









\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



—

—

—

—

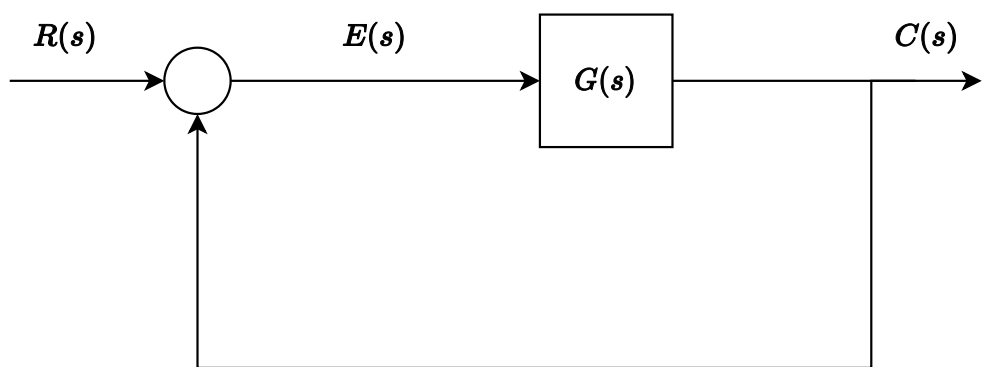
—

—

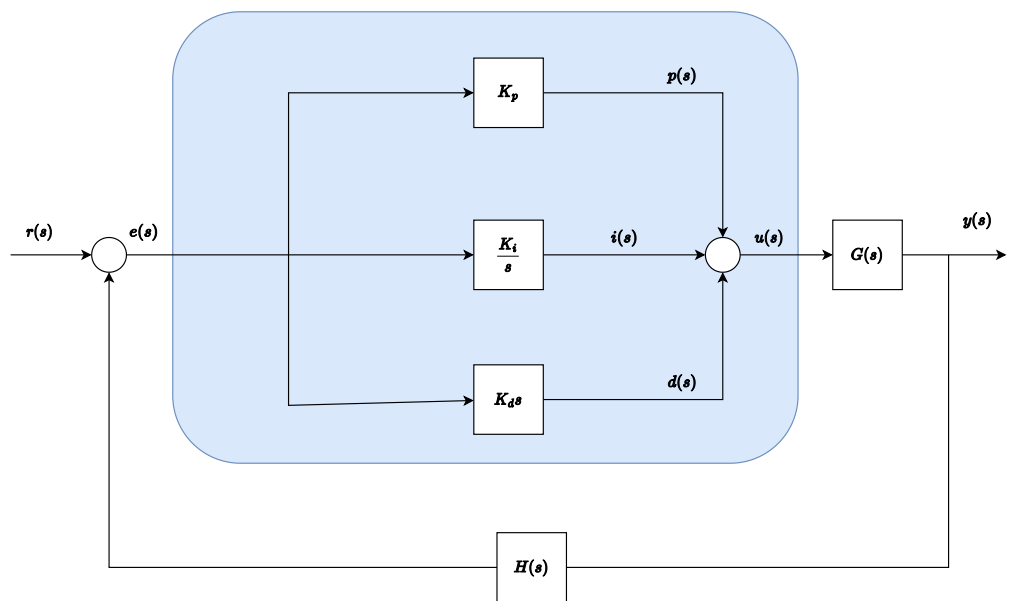
—













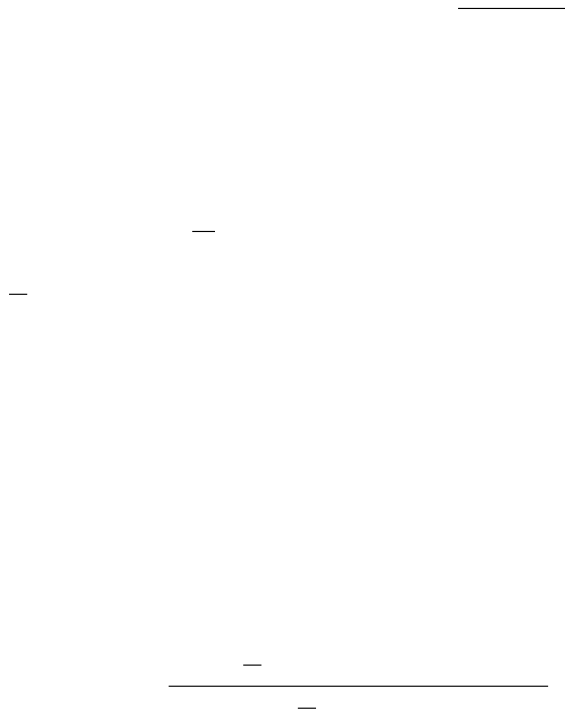






---

---



\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_













---

---

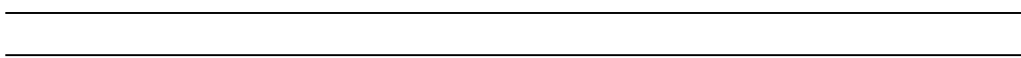
---

---

---









\_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

|

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

|

|

|

|

|

|

|

|

|

|

|

|

|

---

---

---

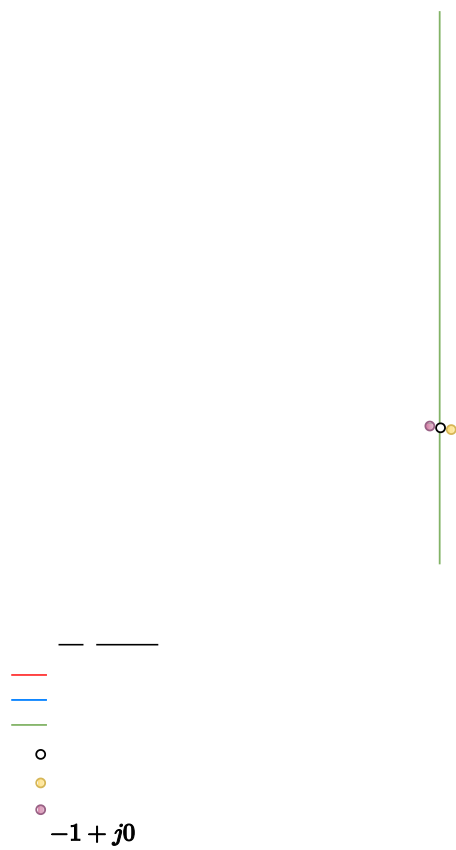
---

---

---

1

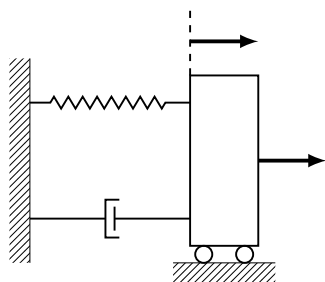
---







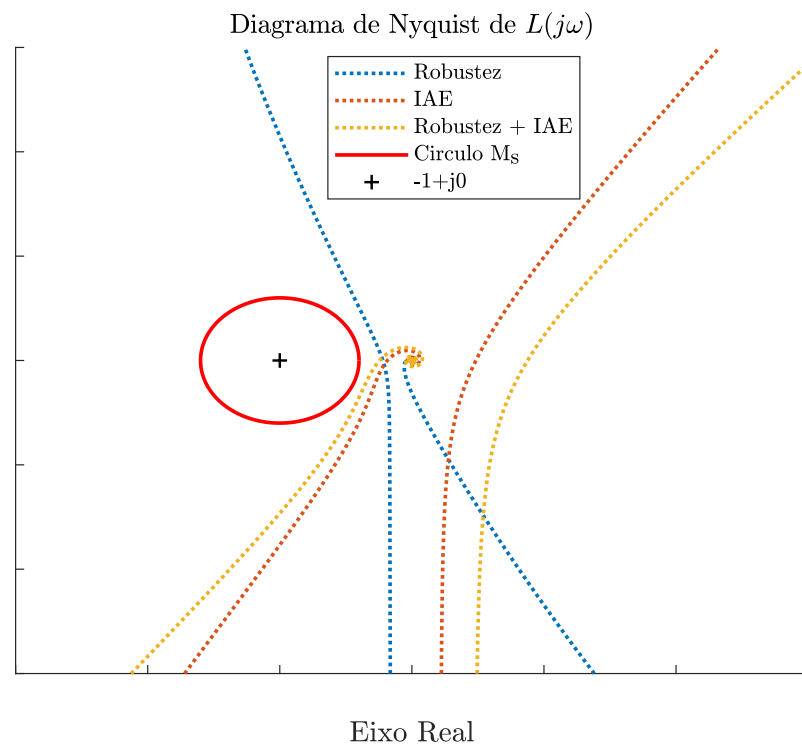


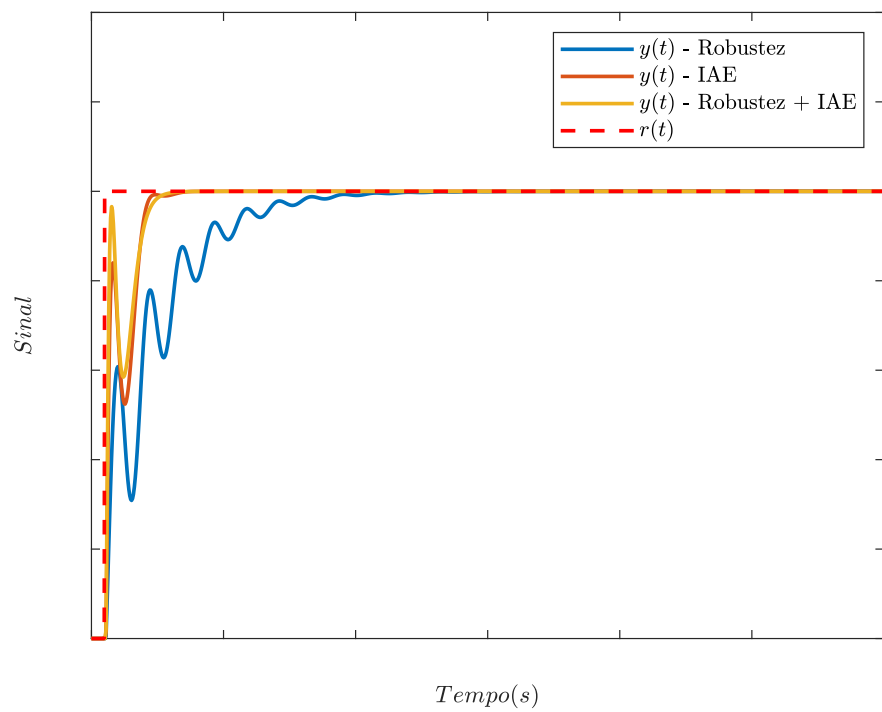


---

---

---

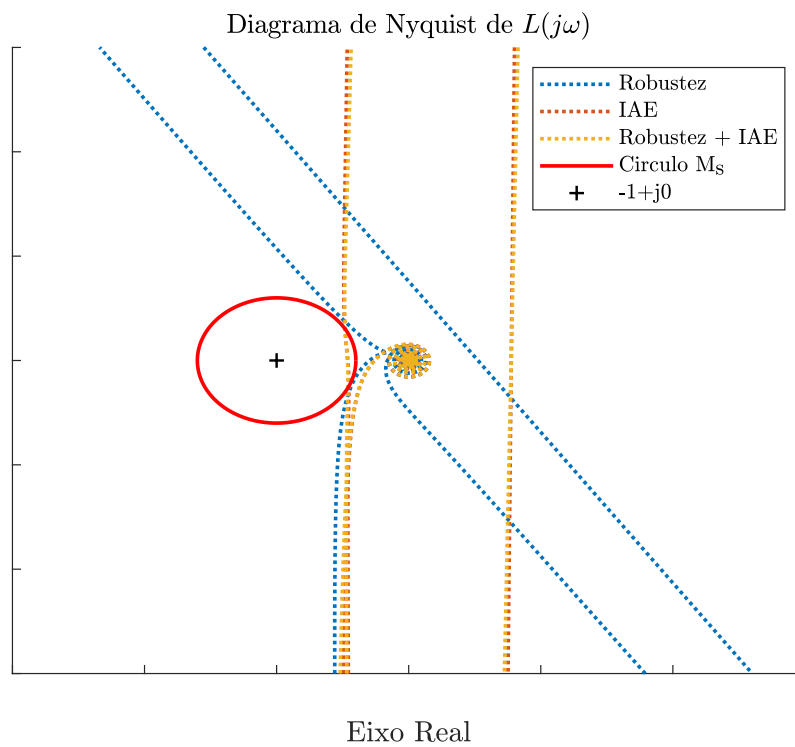


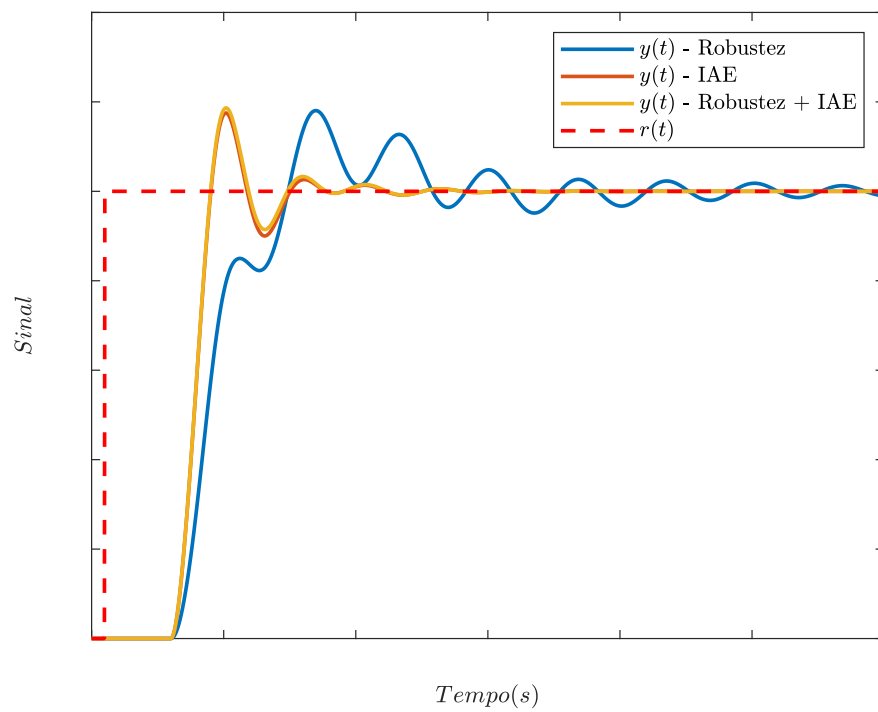


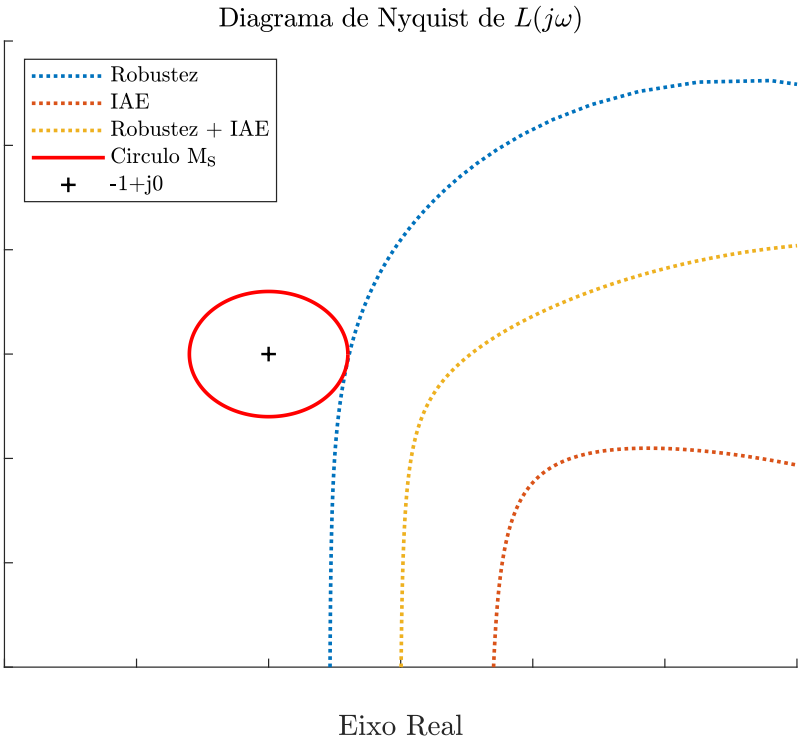
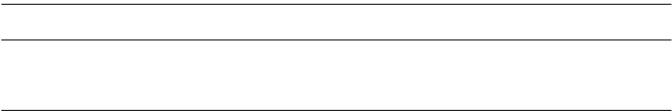
---

---

---







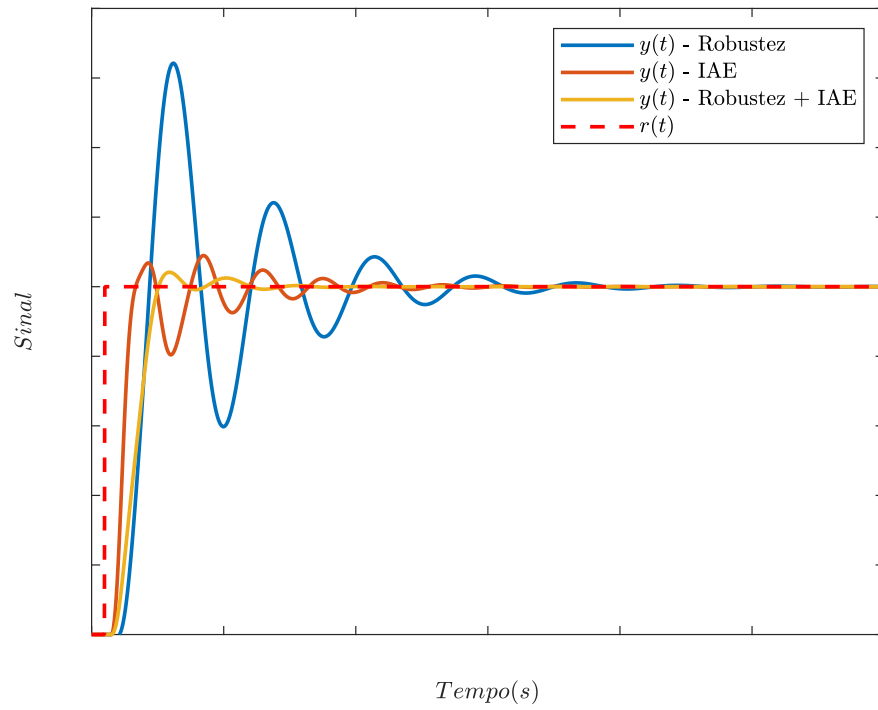
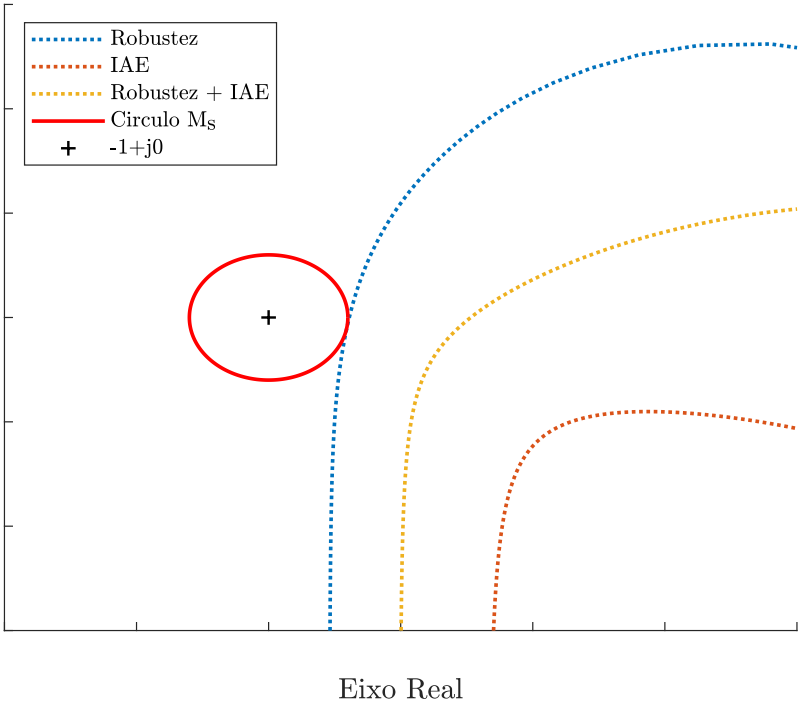
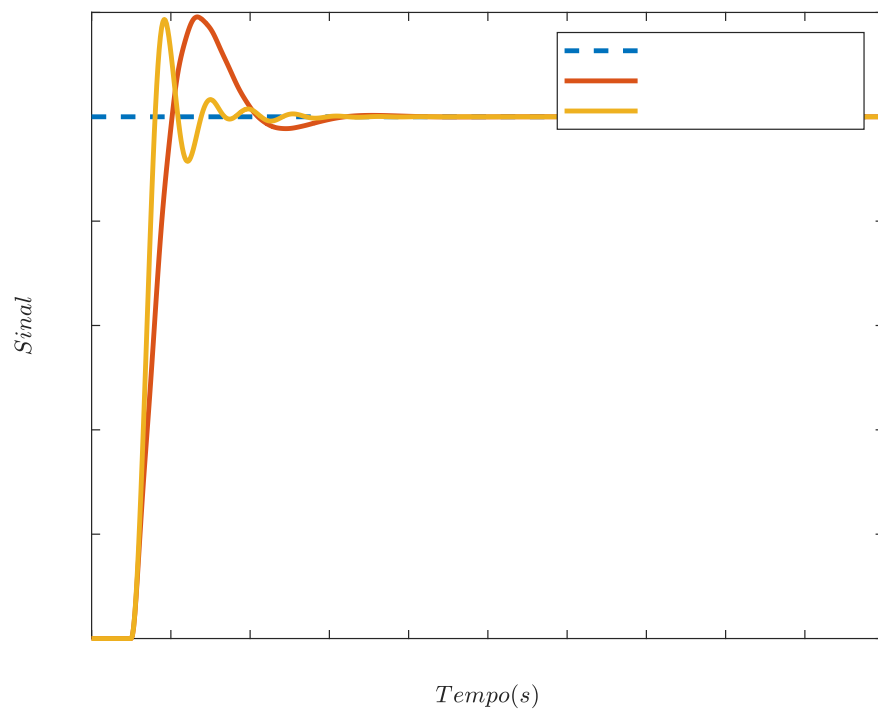


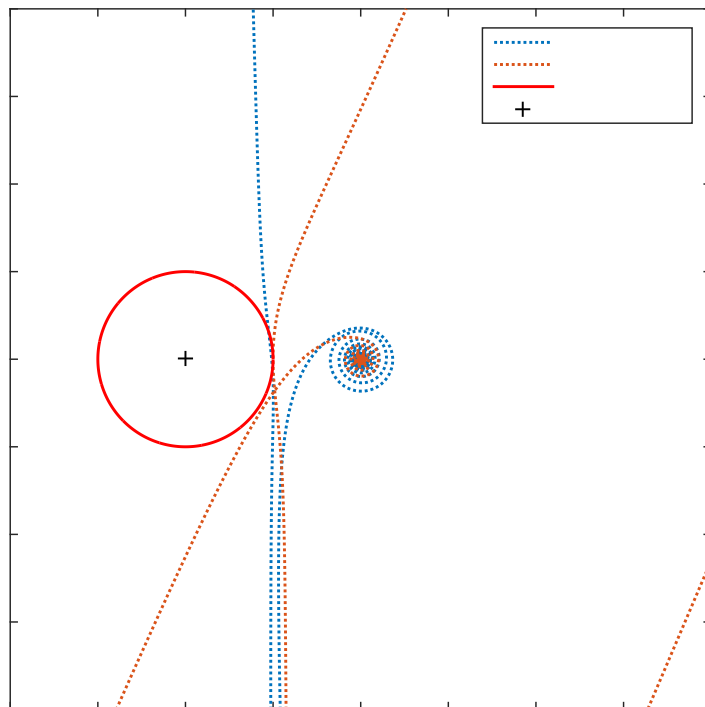


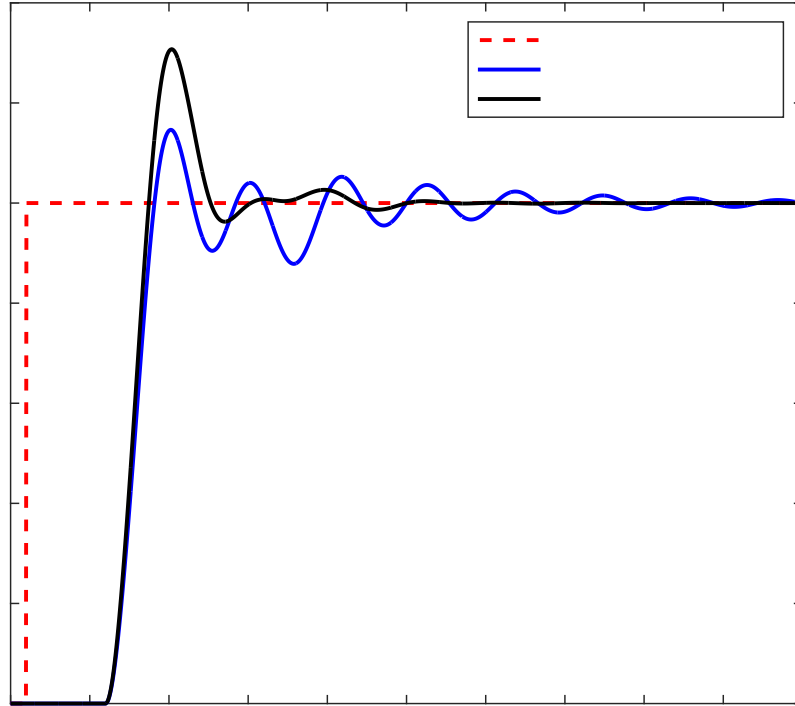
Diagrama de Nyquist de  $L(j\omega)$

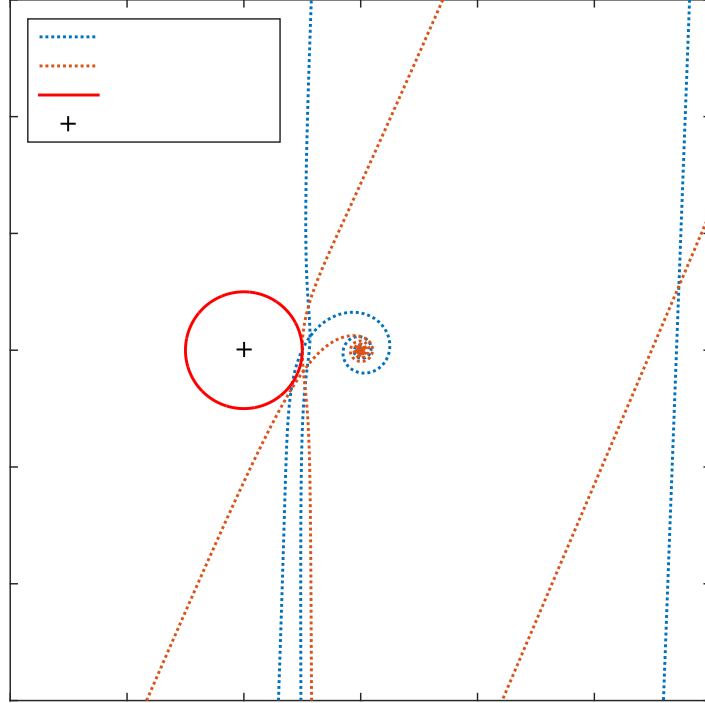


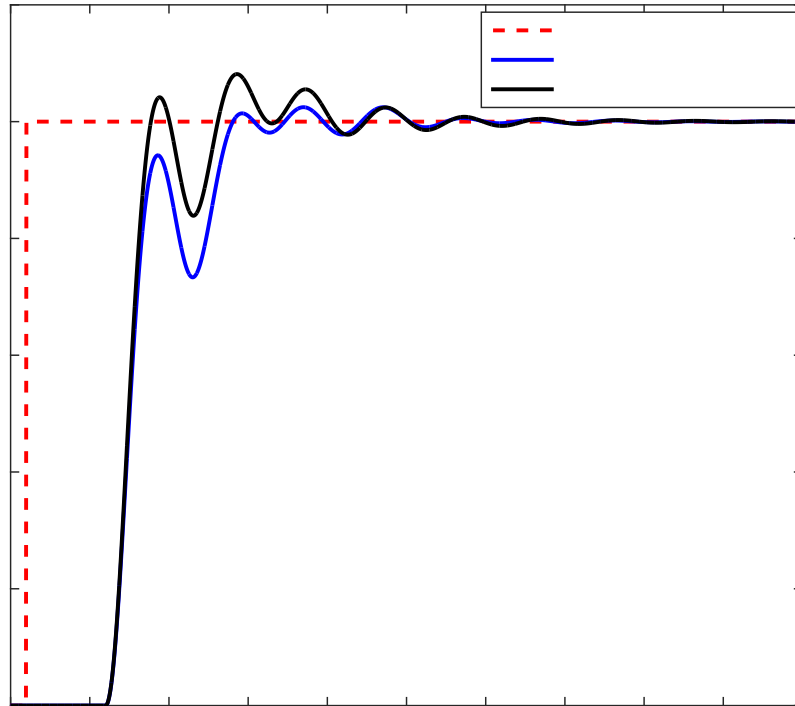








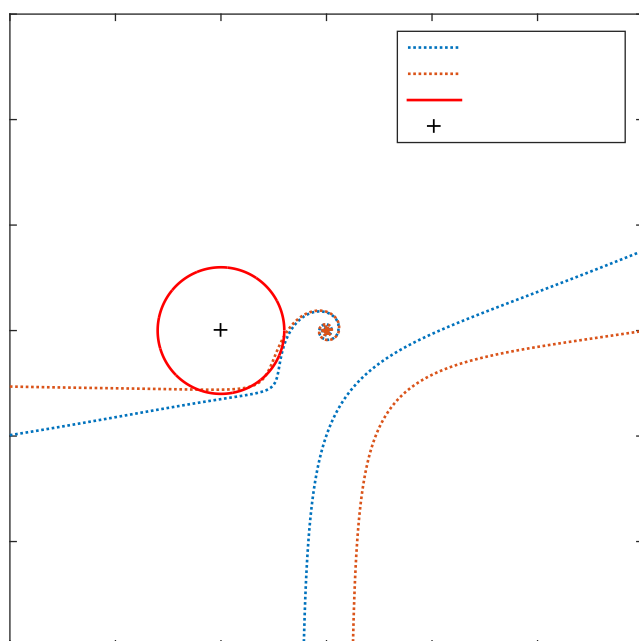




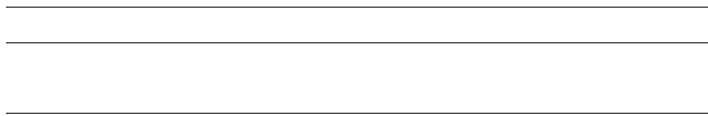
---

---

---







---

---



---

---



