INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGICA DE SANTA CATARINA

câmpus florianópolis

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

ELVIS ROBERTO DE JESUS AVILA CARVALHO FERNANDES

PROJETO DE UM CONTROLADOR DIGITAL UTILIZANDO O MÉTODO DO LUGAR DAS RAÍZES

Disciplina: Sistemas de Controle II

Professor Orientador: Flabio Alberto Batista

FLORIANÓPOLIS, 26 de JULHO de 2021.

Sumário

[1) INTRODUÇÃO 3](#_Toc78156339)

[2) PROJETO DE UM CONTROLADOR DIGITAL NO PLANO Z PELO MÉTODO DO LUGAR DAS RAÍZES 4](#_Toc78156340)

[2.1.1 Metodologia 4](#_Toc78156341)

[2.1.2 Parâmetros extraídos das figuras 1,2 e 3 : 5](#_Toc78156342)

[2.1.3 Cálculo de 5](#_Toc78156343)

[2.1.4 Cálculo do fator de amortecimento zeta 5](#_Toc78156344)

[2.1.5 Cálculo da freqüência não-amortecida da planta 6](#_Toc78156345)

[2.1.6 Função de transferência da planta G(s) 6](#_Toc78156346)

[2.1.7 Cálculo do Tempo de subida da planta 7](#_Toc78156347)

[2.1.8 Cálculo do Tempo de acomodação da planta 7](#_Toc78156348)

[2.1.9 Cálculo do Tempo de pico da planta 7](#_Toc78156349)

[2.1.10 Cálculo do Sobressinal da planta 7](#_Toc78156350)

[2.1.11 Simulação da Função de transferência da planta G(s) 8](#_Toc78156351)

[2.1.12 Comparação de resultados da planta G(s) 8](#_Toc78156352)

[3) PROJETO DO CONTROLADOR DIGITAL 9](#_Toc78156353)

[3.1 Cálculo do fator de amortecimento zeta do controlador 9](#_Toc78156354)

[3.2 Cálculo da frequência não-amortecida do controlador digital 10](#_Toc78156355)

[3.3 Cálculo da freqüência natural amortecida do controlador digital 10](#_Toc78156356)

[3.4 Cálculo do período de amostragem 10](#_Toc78156357)

[3.5 Cálculo da freqüência de amostragem 10](#_Toc78156358)

[3.6 Cálculo do número de amostras 11](#_Toc78156359)

[3.7 Localização dos pólos dominantes de malha fechada no plano z 11](#_Toc78156360)

[3.8 Função de transferência Discreta 12](#_Toc78156361)

[3.9 Projeto de Controlador Digital 13](#_Toc78156362)

[4) EQUAÇÕES RECURSIVAS 15](#_Toc78156363)

[4.1 Equação as diferenças da Planta Discretizada: 15](#_Toc78156364)

[4.2 Equação as diferenças do Controlador: 16](#_Toc78156365)

[4.3 Equação as diferenças do Somador: 17](#_Toc78156366)

[5) COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DO PROJETO 18](#_Toc78156367)

[6) VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL 20](#_Toc78156368)

[7) FLUXOGRAMAS 21](#_Toc78156369)

[6.1 (Fluxograma 1) Implementação do período de amostragem 21](#_Toc78156370)

[6.2 (Fluxograma 2) Saída da ação de controle 22](#_Toc78156371)

[6.3 (Fluxograma 3) Execução das equações recursivas 23](#_Toc78156372)

[8) REFERÊNCIAS 23](#_Toc78156373)

[9) CÓDIGO DO PROJETO 24](#_Toc78156374)

[10) PROJETO DE UM CONTROLADOR ANALÓGICO 28](#_Toc78156375)

[10.1 Definição da Planta a ser Controlada 28](#_Toc78156376)

[10.2 Cálculo do Zeta do controlador analógico () 28](#_Toc78156377)

[10.3 Definição do período de amostragem () 28](#_Toc78156378)

[10.4 Cálculo da frequência de amostragem 28](#_Toc78156379)

[10.5 Número de Amostras () 28](#_Toc78156380)

[10.6 Cálculo da frequência não amortecida () 29](#_Toc78156381)

[10.7 Cálculo da frequência natural amortecida do controlador digital 29](#_Toc78156382)

[10.8 Cálculo do Tempo de Acomodação do controlador analógico 29](#_Toc78156383)

[10.9 Função de transferência Discreta do controlador analógico 29](#_Toc78156384)

[10.10 Determinação do polo dominante no plano s 30](#_Toc78156385)

[10.11 Determinação do módulo de s1 () 30](#_Toc78156386)

[10.12 Valor do ângulo de s1 () 30](#_Toc78156387)

[10.13 Determinação do ângulo de quando s=s1 30](#_Toc78156388)

[10.14 Determinação do módulo de g1 (Mg) 30](#_Toc78156389)

[10.15 Valor do ângulo de g1 () 30](#_Toc78156390)

[10.16 Controlador PID 31](#_Toc78156391)

[10.16.1 Valor de 31](#_Toc78156392)

[10.16.2 Valor de 31](#_Toc78156393)

[10.16.3 Valor de 31](#_Toc78156394)

[10.16.4 Função de Transferência do Controlador 31](#_Toc78156395)

[10.16.5 Função de Transferência em malha aberta (FTMA) 32](#_Toc78156396)

[10.16.6 Função de Transferência em malha fechada 32](#_Toc78156397)

[10.16.7 Resposta ao Degrau 32](#_Toc78156398)

[10.16.8 Resposta ao Degrau Gs e FTMF 33](#_Toc78156399)

[10.16.9 Código 34](#_Toc78156400)

# INTRODUÇÃO

Este relatório tem como principal objetivo demonstrar os conhecimentos obtidos sobre controle digital através de um projeto de controlador baseado no plano z pelo método do lugar das raízes. Serão apresentados todos os métodos aplicados e os resultados obtidos. A estrutura de controle apresentada na Figura 1, sendo mantidos os nomes das variáveis definidas na Figura 1.

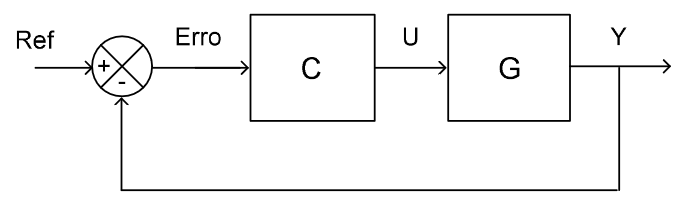


Figura - Diagrama de blocos

Em que:

* Onde: G é a função de transferência da planta;
* C é a função de transferência do controlador;
* U é a ação de controle aplicada na entrada da planta (saída do controlador);
* Y é a saída do sistema;
* Erro é o sinal de erro;
* Ref é o sinal de referência (entrada do sistema);

# PROJETO DE UM CONTROLADOR DIGITAL NO PLANO Z PELO MÉTODO DO LUGAR DAS RAÍZES

**Objetivo:** Projetar e implementar um controlador digital para atingir as seguintes especificações:

**Especificações Mínimas da resposta ao degrau (\*)**

* Degrau de referência de 1,0 V a 1,5 V;
* Ts5% = 42 (ms);
* Erro nulo em regime permanente para resposta ao degrau;
* MP = 10%;
* Estabilidade.
  1. **IDENTIFICAÇÃO DA PLANTA**

### 2.1.1 Metodologia

O controlador digital será projetado através da metodologia denominada lugar das raízes e implementado pela equação a diferenças. Para isso é preciso obter a função de transferência (equação característica) da planta a ser controlada. Através das figuras 1,2 e 3, pode-se extrair as variáveis para calcular o (sobre-sinal) e através de é possível calcular o **zeta** (fator de amortecimento) da planta, também é possível extrair do gráfico o (tempo de pico) e através de é possível calcular o (frequência natural) da planta. E através destes parâmetros pode-se então montar a função de transferência da planta . Por fim, é necessário comparar os resultados calculados / práticos para fazer a correta identificação da planta.



Figura - Valores experimentais 1

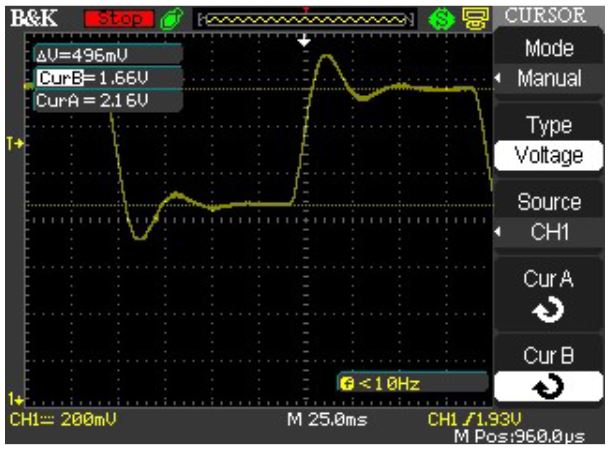


Figura - Valores experimentais 2

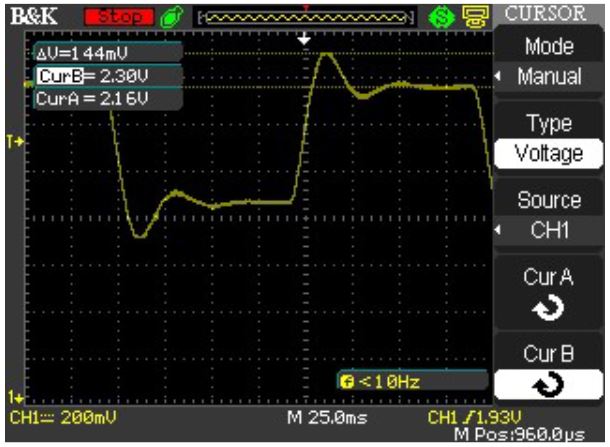


Figura - Valores experimentais 3

### 2.1.2 Parâmetros extraídos das figuras 1,2 e 3 :

### 2.1.3 Cálculo de

### 2.1.4 Cálculo do fator de amortecimento zeta

Para se retirar o da equação, faz-se o logaritmo natural (ln) dos dois lados da equação

### 2.1.5 Cálculo da freqüência não-amortecida da planta

A freqüência não amortecida da planta pode ser dada por:

### 2.1.6 Função de transferência da planta G(s)

É necessário substituir os valores de e de do filtro de segunda ordem Sallen-Key que se refere a planta do projeto da figura 5:

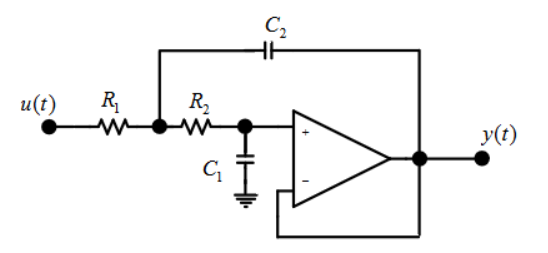


Figura - Filtro de segunda ordem Sallen-Key que se refere a planta do projeto

A função de transferência G(s) é dada por:

### 2.1.7 Cálculo do Tempo de subida da planta

O tempo de subida da planta G(s) é dado por:

### 2.1.8 Cálculo do Tempo de acomodação da planta

O tempo de acomodação da planta G(s) é dado por:

### 2.1.9 Cálculo do Tempo de pico da planta

O tempo de acomodação da planta G(s) é dado por:

### 2.1.10 Cálculo do Sobressinal da planta

O sobressinal da planta G(s) é dado por:

### 2.1.11 Simulação da Função de transferência da planta G(s)

A figura 6 mostra a simulação da função de transferência G(s) no Matlab, portanto é possível extrair os valores dos principais parâmetros a serem comparados (.

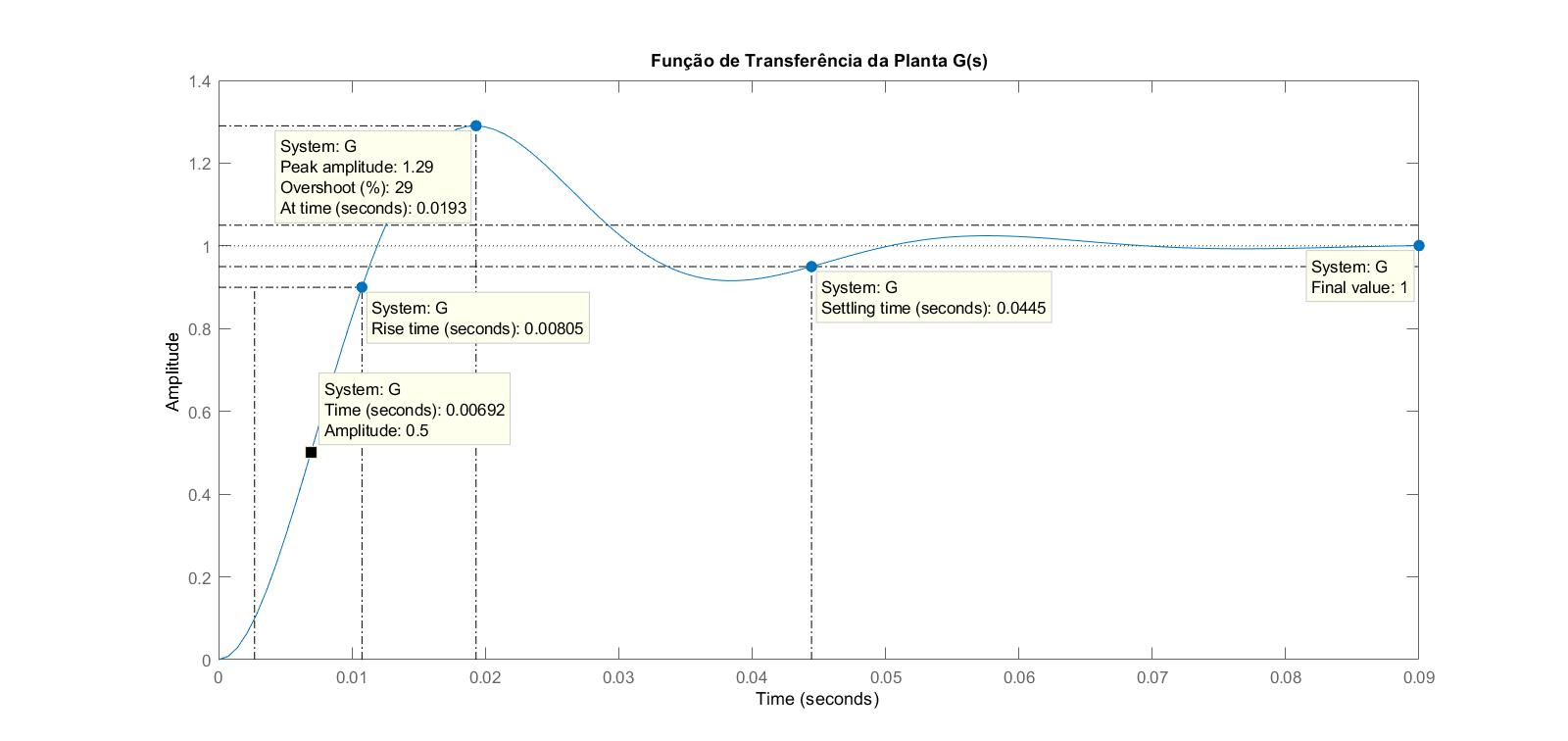


Figura – Simulação Função de transferência da planta G(s

### 2.1.12 Comparação de resultados da planta G(s)

A tabela 1 mostra a comparação de valores teóricos e simulados para a planta G(s). Como os resultados estão de acordo o próximo passo é projetar o controlador digital.

Tabela - Comparação de valores teóricos e simulados para a planta G(s)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parâmetros** | **Valores Calculados** | **Valores Simulados** |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

# PROJETO DO CONTROLADOR DIGITAL

### 3.1 Cálculo do fator de amortecimento zeta do controlador

Como o da especificação é de 10%, com esse valor é possível calcular o zeta do controlador.

Para se retirar o da equação, faz-se o logaritmo natural (ln) dos dois lados da equação

### 3.2 Cálculo da frequência não-amortecida do controlador digital

Como o tempo de acomodação da especificação é de , com esse valor é possível calcular o valor de para termos o valor de Ts5% desejado. Para atender os requisitos de projeto será utilizado um tempo de acomodação de 40 ms, portanto:

Podemos calcular o novo valor de (freqüência natural) para obter o valor de Ts5% desejado:

### 3.3 Cálculo da freqüência natural amortecida do controlador digital

Com o valor de já calculado podemos obter o valor de (freqüência natural amortecida) :

### 3.4 Cálculo do período de amostragem

Como o controle digital é baseado em amostras, o período de amostragem (T) é obtido através de uma regra prática, onde T deve ser de 10 a 15 vezes menor que o Ts5%.

### 3.5 Cálculo da freqüência de amostragem

### 3.6 Cálculo do número de amostras

Para ter o conhecimento de quantas amostras por ciclo utiliza-se o cálculo demonstrado a seguir.

### 3.7 Localização dos pólos dominantes de malha fechada no plano z

O primeiro passo é estabelecer o pólo que satisfaz as especificações desejadas. O valor do módulo de Z do pólo dominante (Z) pode ser dado por:

O valor do ângulo de Z do pólo dominante (Z) em graus pode ser dado por:

Transformando de radianos para graus:

O valor do pólo dominante de malha fechada desejado na forma polar é igual a:

O valor do pólo dominante de malha fechada desejado na forma retangular é igual a:

A figura 7 mostra a localização do o pólo dominante de malha fechada desejado no semiplano superior do plano z:

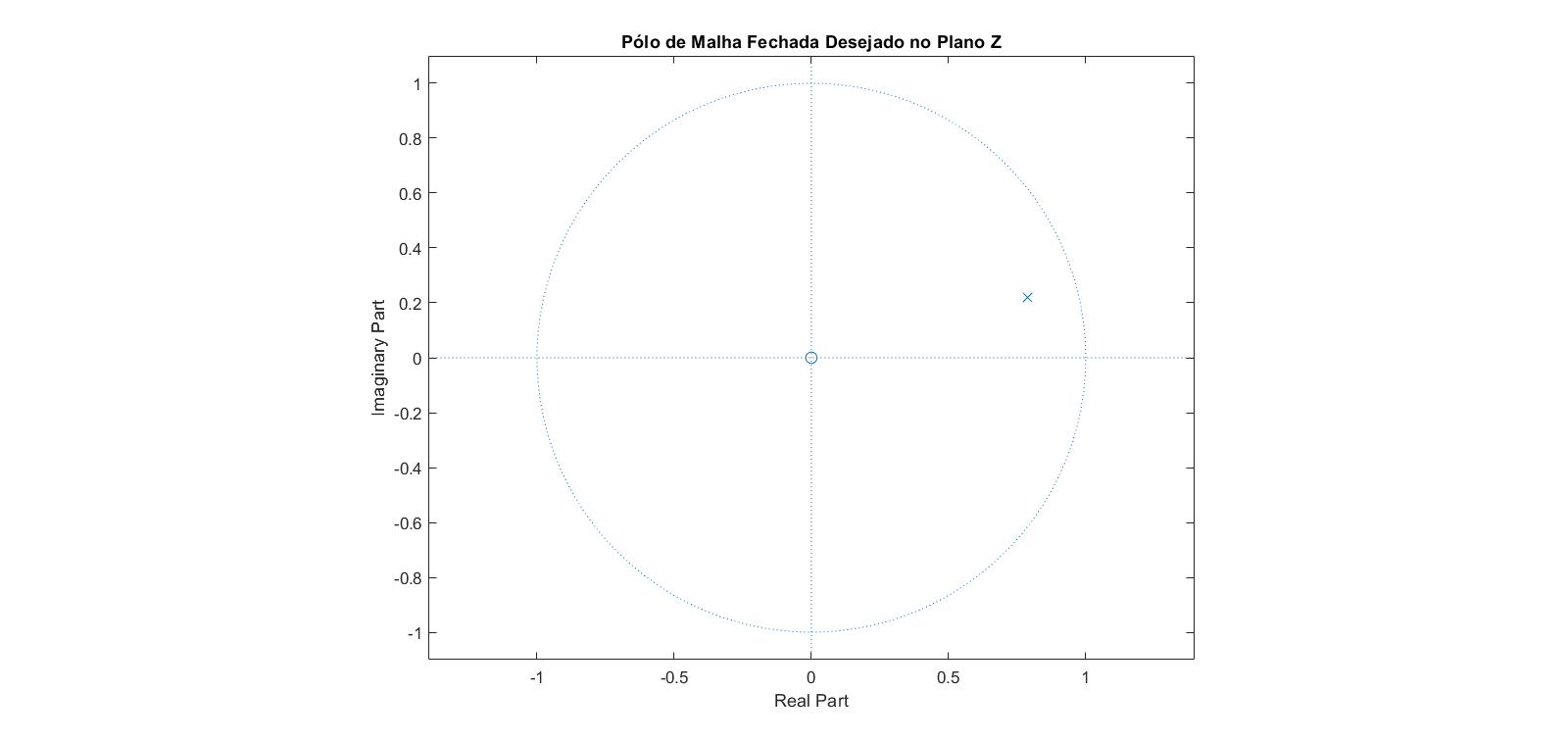


Figura - Pólos de malha fechado desejado no Plano z

Com o valor do pólo desejado o próximo passo é implementar o controlador com a seguinte estrutura:

### 3.8 Função de transferência Discreta

A função de transferência discreta da planta precedida pelo segurador de ordem zero (ZOH) é igual a:

### 3.9 Projeto de Controlador Digital

Se o ponto z1 é o local escolhido para o pólo dominante de malha fechada, então a soma dos ângulos no ponto z1 deve ser igual a . Assim a estrutura do controlador pode ser definida como:

Onde K é o ganho do controlador. O valor de utilizado representa o denominador da planta. Sendo a planta discretizada:

Se decidirmos cancelar o valor de = , :

Depois de cancelado o pólo, o valor de é calculado como sendo a contribuição angular a ser fornecida pelo controlador, :

Portanto a função de transferência em malha aberta sem o ganho K pode ser dada por:

O ganho pode ser determinado a partir da seguinte condição de módulo:

Assim:

Que fornece: K = 1,955379950475663. Eliminando a parte real de z1:

Portanto a função de transferência em malha aberta sem o ganho K pode ser dada por:

A função de transferência em malha fechada (FTMF)

# EQUAÇÕES RECURSIVAS

Para a implementação da equação a diferenças do projeto é necessário calcular as equações recursivas de cada bloco conforme os cálculos abaixo.

### 4.1 Equação as diferenças da Planta Discretizada:

**Equação recursiva da planta discretizada:**

|  |
| --- |
|  |

### 4.2 Equação as diferenças do Controlador:

**Equação recursiva do controlador:**

|  |
| --- |
|  |

### 4.3 Equação as diferenças do Somador:

**Em malha fechada:**

**Equação recursiva em malha fechada:**

|  |
| --- |
|  |

# COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DO PROJETO

A resposta ao degrau sem a ação de controle pode ser vista na figura 8, juntamente com o resultado da resposta da equação recursiva do bloco Gz. **A tabela 2 mostra a comparação das especificações originais com os valores calculados e valores simulados sem a ação de controle, baseados pela figura 8. Para as especificações de projeto é possível concluir que o sobressinal**   
 e o **tempo de acomodação**  não **atingiram as especificações de projeto.**

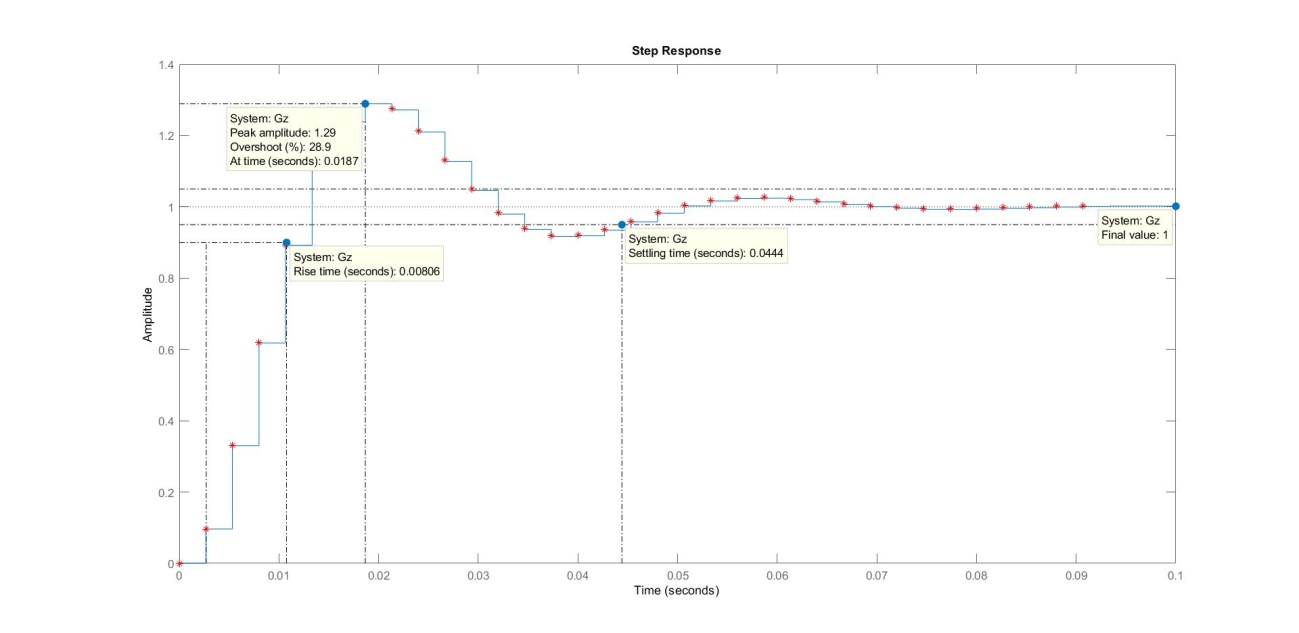


Figura – (Sem ação de controle) - Resposta ao degrau para a planta discretizada Gz

Tabela 2 - Comparação entre especificações originais, valores projetados e valores simulados sem a ação de controle.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetros** | **Especificações originais** | **Valores**  **projetados** | **Valores**  **simulados** |
|  | s |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Erro em regime permanente para resposta ao degrau | 0 |  | 0,5 |

A resposta ao degrau com a ação de controle pode ser vista na figura 9, juntamente com o resultado da resposta da equação recursiva da função de FTMF. **A tabela 3 mostra a comparação das especificações originais com os valores calculados e valores simulados com a ação de controle, baseados pela figura 9. Para as especificações de projeto é possível concluir que o sobressinal**   
 e o **tempo de acomodação**  **atingiram as especificações de projeto, chegando a estabilidade (estado final a 1) e com erro de 0,5%.**

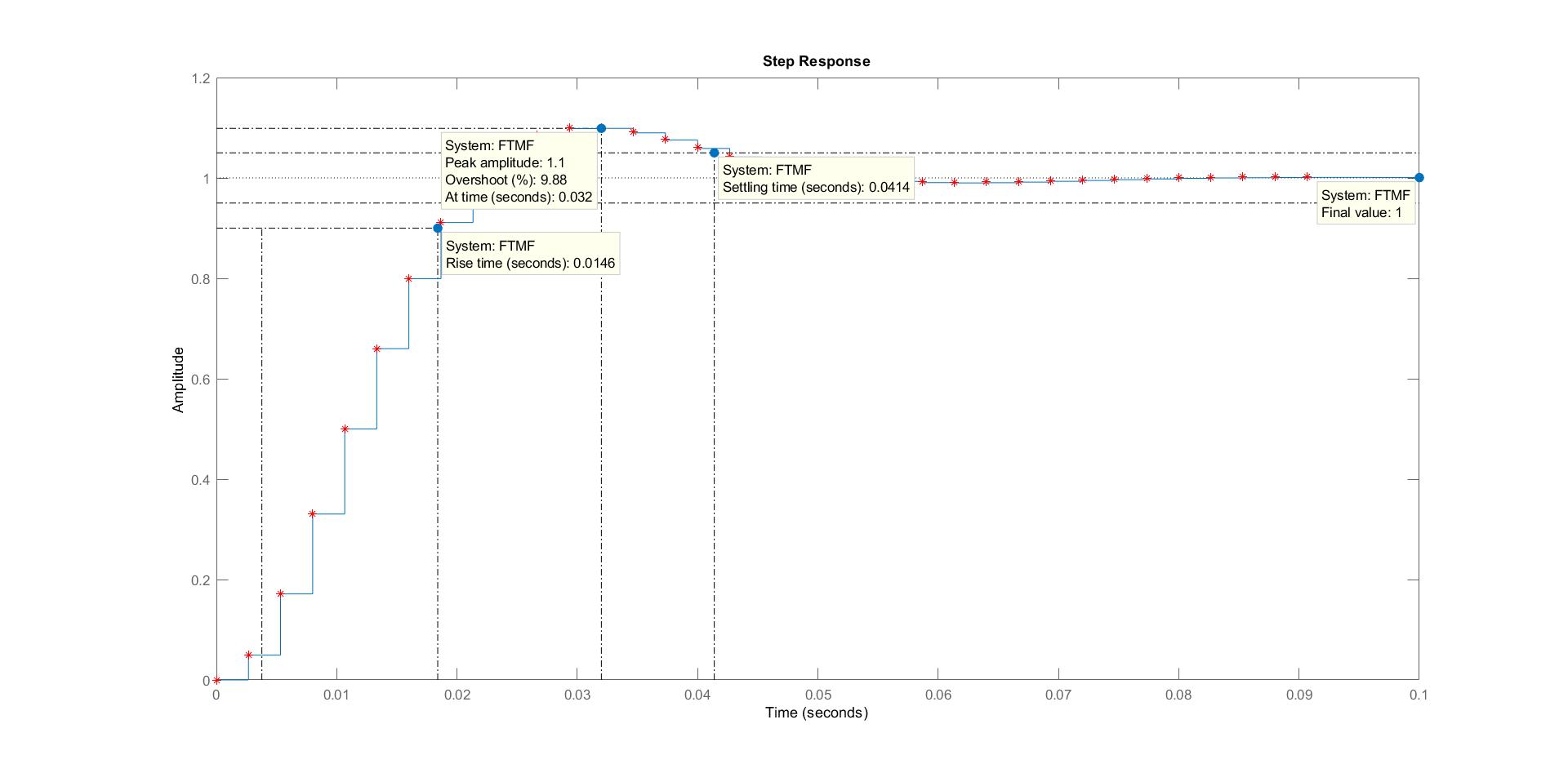


Figura (Ação de controle) - Resposta ao degrau para a FTMF

Tabela 3 - Comparação entre valores de requisito, valores projetados e práticos com ação de controle.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetros** | **Especificações originais** | **Valores**  **projetados** | **Valores**  **simulados** |
|  | s |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  | 0,99 |  |
| Erro em regime permanente para resposta ao degrau | 0 | 0 | 0,5 |

Para as especificações de projeto é possível concluir que os resultados estão de acordo com as especificações da resposta ao degrau e a ação de controle atingiu os requisitos de projeto.

# VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL

A figura 10 apresenta a resposta do sistema em malha aberta juntamente com a resposta do sistema controlado, em um gráfico com escala horizontal de 90 ms.

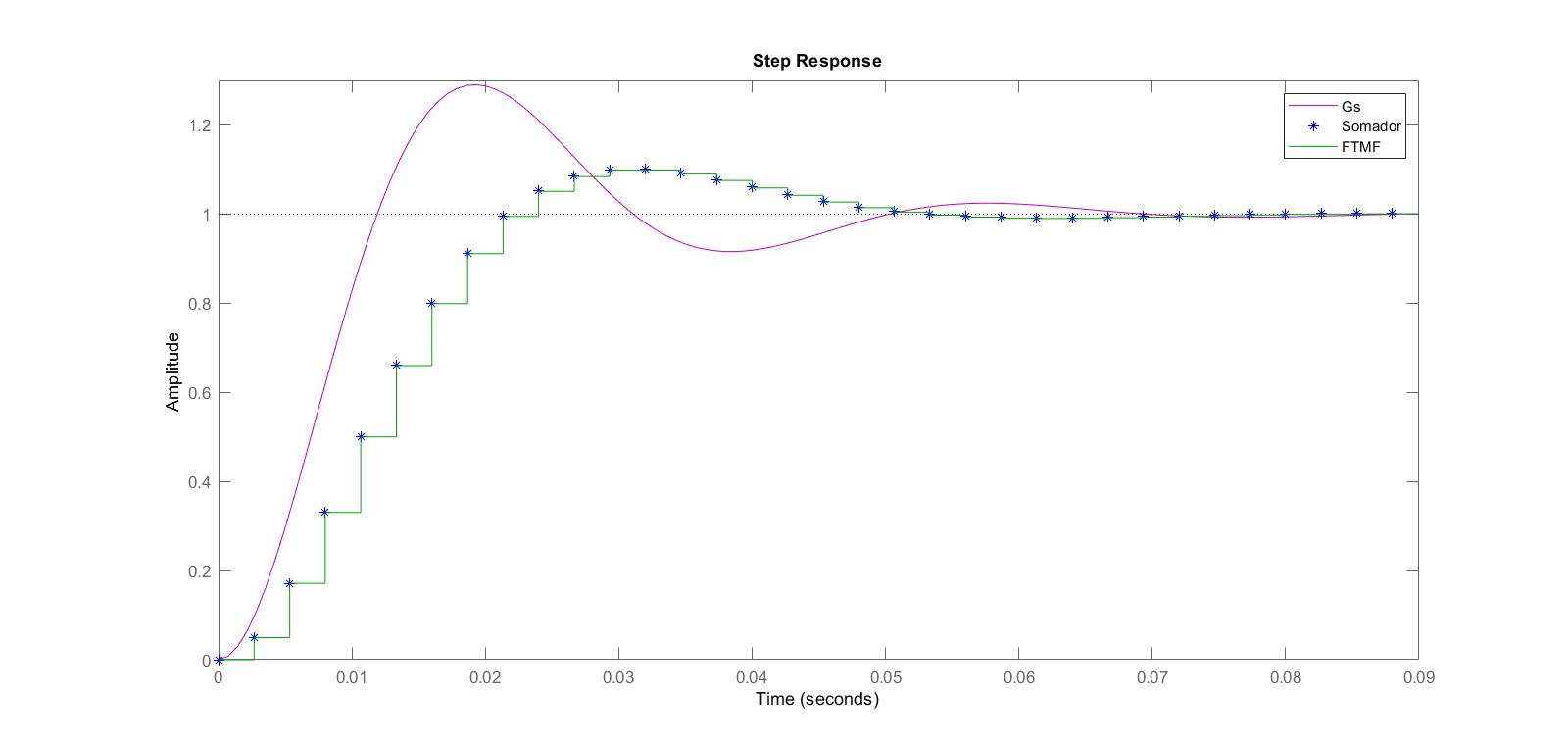


Figura - Formas de onda

# FLUXOGRAMAS

### 6.1 (Fluxograma 1) Implementação do período de amostragem

INÍCIO

Definir o sobressinal (Mp)

Calcular zeta a partir do sobressinal

Definir o tempo de acomodação **(ts5%)**

Calculo da freqüência não amortecida  **a partir de (ts5%)**

Calculo da freqüência não amortecida  **a partir** zeta  **e**

Calcular o período de amostragem como sendo ou ou

Calcular o número de amostras

Calcular a freqüência de amostragem  **a partir do período de amostragem**

### 6.2 (Fluxograma 2) Saída da ação de controle

INÍCIO

Definir os requisitos de projeto: Ts5%, Mp, estabilidade =1, erro = 0, para entrada ao degrau.

Definir a planta Gs.

Implementar o fluxograma 1 para calcular o período de amostragem (T).

Discretizar a planta Gs a partir do período de amostragem (T).

Projetar o controlador digital com ganho, alfa e beta.

Fazer o fechamento da malha (FTMF).

Verificar resposta ao degrau.

Atingiu os requisitos de projeto?

SIM

NÃO

Ir para fluxograma 3.

### 6.3 (Fluxograma 3) Execução das equações recursivas

INÍCIO

Definir as funções de transferência discretizadas de cada bloco.

Aplicar os parâmetros de entrada e saída de cada bloco.

Aplicar a transformada Z para cada entrada e saída de cada bloco.

Aplicar a transformada inversa para cada entrada e saída de cada bloco.

Definir as equações recursivas como sendo uma resposta em função de x(kT) para cada bloco.

Plotar / comparar a resposta ao degrau de cada bloco juntamente com as equações recursivas de cada bloco.

FIM

# REFERÊNCIAS

OGATA, K. Modern Control Engineering. 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010.

# CÓDIGO DO PROJETO

|  |
| --- |
| %Projeto 1 Elvis  clc  clear all  close all    format long;  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  %PLANTA    %Dados de entrada do projeto (delta1,delta2,tp)  delta1 = 0.144; %retirado da figura  delta2 = 0.496; %retirado da figura  tp = 0.0192; %retirado da figura    %Cálculo do sobressinal(Mp)  disp('Mp: Sobre-Sinal da planta:')  Mp\_planta = delta1/delta2    %Calculo de Zeta a partir do Sobre-sinal  disp('Zeta: Fator de amortecimento da planta:')  zeta\_planta = sqrt(((log(Mp\_planta))^2)/(pi^2+(log(Mp\_planta))^2))    % Cálculo da freqüência não-amortecida da planta(Wn)  disp('Wn: Frequência natural não amortecida da planta:')  Wn\_planta = pi/(tp\*sqrt(1-zeta\_planta^2))    %Cálculo do Numerador  num = Wn\_planta^2;    %Cálculo do Denominador  den = [1 2\*Wn\_planta\*zeta\_planta Wn\_planta^2];    %Cálculo da Função de Transferência da Planta  disp('Função de Transferência da Planta G(s)')  G = tf(num,den)    %Cálculo do Tempo de subida da planta (tr)  disp('Tempo de subida da (tr) planta G(s)')  tr\_planta = (2.16\*zeta\_planta + 0.6)/Wn\_planta    %Cálculo do Tempo de acomodação (ts5%\_planta)  disp('Tempo de acomodação (ts5%\_planta G(s)')  ts5\_planta = 3/(zeta\_planta\*Wn\_planta)    %Cálculo do Tempo de pico da planta (tp\_planta)  disp('Tempo de pico (tp) da planta G(s)')  tp\_planta = pi / (Wn\_planta\*sqrt(1-zeta\_planta.^2))    %Cálculo do sobressinal da planta (Mp\_planta)  disp('Sobressinal (Mp%) da planta G(s)')  Mp\_planta=exp(-pi\*zeta\_planta/sqrt(1-zeta\_planta^2))    figure(1)  step(G)  title(' Função de Transferência da Planta G(s)')    % NT = 42 (Elvis Roberto de Jesus Avila Carvalho Fernandes  NT = 0.040;  Ts5 = NT;    % N = 5 (Elvis)  N = 5;  disp('Mp: Sobre-Sinal desejado:')  Mp = 2\*N/100    % Calculo de Zeta desejado a partir do Sobre-sinal do controlador digital  disp('Zeta: Fator de amortecimento desejado do controlador digital')  zeta = sqrt(((log(Mp))^2)/(pi^2+(log(Mp))^2))    % Cálculo da freqüência não-amortecida do controlador digital(Wn)  disp('Wn: Frequencia natural não amortecida do controlador digital:')  Wn = 3/(Ts5 \* zeta)    % Cálculo da freqüência amortecida do controlador digital(Wd)  disp('Wd: Frequência natural amortecida do controlador digital:')  Wd = Wn \* (sqrt(1-zeta^2))    % Cálculo do período de amostragem (T)  % Uma boa prática é adotar o Período de Amostragem igual a  % 10 ou 15 vezes menos que o Tempo de Acomodação Ts5%  disp('Ta: Período de Amostragem:')  T = Ts5 / 15    % Cálculo da freqüência de amostragem (Ws)  disp('Ws: Frequência de amostragem desejada:')  Ws = (2\*pi) / T    % Cálculo do número de amostras (Na)  disp('Na: Número de amostras por ciclo de oscilação:')  Na = Ws/Wd    % Cálculo do Módulo de Z do pólo dominante(Z)  disp(' Módulo de Z:')  z1\_modulo = exp( ((-2 \* pi \* zeta) / sqrt( 1 - zeta^2 )) \* (Wd/Ws) )    % Cálculo do ângulo de Z do pólo dominante em graus(Z)  disp('Ângulo de Z em Graus:')  z1\_angulo = (2 \* pi \* Wd) / Ws  z1\_angulo = rad2deg( z1\_angulo )    % Valor do Pólo desejado  s1 = -zeta\*Wn + Wd\*i  disp('Valor do Pólo desejado:')  z1 = exp ( T \* s1)    % Localização do Pólo desejado no Plano Z  figure(2)  zplane( 0, z1 )  title(' Pólo de Malha Fechada Desejado no Plano Z ')    %Cálculo da Função de Transferência discreta da Planta  disp(' Função de Transferência Discreta G(z) ')  Gz = c2d( G, T)  zpk(Gz)  figure(3)  step(Gz)  title(' Função de Transferência da Planta G(z)')  figure(4)  %rlocus(Gz);  pzmap(Gz)    % considalfaerando que o zero do controlador (alfa) cancela os polos de Gz  [numz,denz]=tfdata(Gz,'v')  alfa = denz    n2=numz;  d2=[1 -1];    % fi2 é o ângulo de G2z quando z=z1  fi2=angle(polyval(n2,z1)/polyval(d2,z1))    display('-----Contribuições angulares: -----')  anguloGz1 = angle(fi2)\*(180/pi)    % fi1 é o ângulo de G1z quando z=z1  fi1=-pi-fi2  beta=(imag(z1)-real(z1)\*tan(-fi1))/tan(-fi1)    num2=[1];  den2=[1 beta];  Cz1=tf(num2,den2,T)    num3=[alfa];  den3=[1 -1]; %integrador  Cz2=tf(num3,den3,T)    Cz=Cz1\*Cz2  zpk(Cz)    FTMA1=minreal(Cz\*Gz)  disp('FTMA sem K')  zpk(FTMA1)  figure(5)  rlocus(FTMA1);  %zplane;    [NFTMA,DFTMA]=tfdata(FTMA1,'v');  K=abs((polyval(NFTMA,z1)/polyval(DFTMA,z1)));  valork=K  K=1/real(K)    FTMA2=minreal(Cz\*Gz\*K)  disp('FTMA2 com K')  zpk(FTMA2)    FTMF=feedback(FTMA2,1)    figure(6)  step(FTMF) %para FTMF  %step(Gz) %para Gz    %step(Cz\*K)      %Resposta ao degrau  [sys,kT]= step(FTMF); %para Gz  %[sys,kT]= step(Gz); %para Gz  %[sys,kT]= step(Gz);  %[sys,kT]= step(Cz\*K);    ck=zeros(1,length(kT));    e(1)=1;  e(2)=1;  c(1) = 0;  c(2) = 0.04941;  y(1)=0;  y(2)=0.09662;  u(1)=0.51141\*e(1);  u(2)=0.5114\*e(2)-0.7807\*e(1)+0.7807\*u(1);    for k=3:length(kT)    c(k)=c(k-1)\*1.577-c(k-2)\*0.6703+0.04941+0.04403 %FTMF  y(k)=y(k-1)\*1.527-y(k-2)\*0.7093+0.09662+0.0861 %Gz  e(k)=ck(k)-y(k); %Somador  u(k)=u(k-1)\*1.626-u(k-2)\*0.6263+e(k)\*0.5114-e(k-1)\*0.7807+e(k-2)\*0.3627 %Cz\*K  end  hold on  plot(kT,c,'\*r'); %para FTMF  %plot(kT,y,'\*r'); %para Gz      hold off    %erro FTMF  [num1,den1]=tfdata(FTMF,'v');  n1 = polyval(num1,1);  d1 = polyval(den1,1);  Valor\_final\_FTMF = n1/d1    erroFTMF = 1/(Valor\_final\_FTMF+1)    %erro Gz  [num2,den2]=tfdata(Gz,'v');  n2 = polyval(num2,1);  d2 = polyval(den2,1);  Valor\_final\_Gz = n2/d2    erroGz= 1/(Valor\_final\_Gz+1) |

# PROJETO DE UM CONTROLADOR ANALÓGICO

**Objetivo:** Projetar e implementar um Controlador Analógico para atingir as seguintes especificações:

**Especificações Mínimas da resposta ao degrau (\*)**

* Degrau de referência de 1,0 V a 1,5 V;
* Ts5% = 42 (ms);
* Erro nulo em regime permanente para resposta ao degrau;
* = 10%;
* Estabilidade.

# Definição da Planta a ser Controlada

# Cálculo do Zeta do controlador analógico ()

# Definição do período de amostragem ()

# Cálculo da frequência de amostragem

# Número de Amostras ()

# Cálculo da frequência não amortecida ()

# Cálculo da frequência natural amortecida do controlador digital

Com o valor de já calculado podemos obter o valor de (frequência natural amortecida):

# Cálculo do Tempo de Acomodação do controlador analógico

# Função de transferência Discreta do controlador analógico

A função de transferência discreta da planta precedida pelo segurador de ordem zero (ZOH) é igual a:

# Determinação do polo dominante no plano s

O valor do pólo dominante de malha fechada desejado na forma polar é igual a:

# Determinação do módulo de s1 ()

# Valor do ângulo de s1 ()

# Determinação do ângulo de quando s=s1

# Determinação do módulo de g1 (Mg)

# Valor do ângulo de g1 ()

# Controlador PID

# Valor de

|  |
| --- |
|  |

# Valor de

|  |
| --- |
|  |

# Valor de

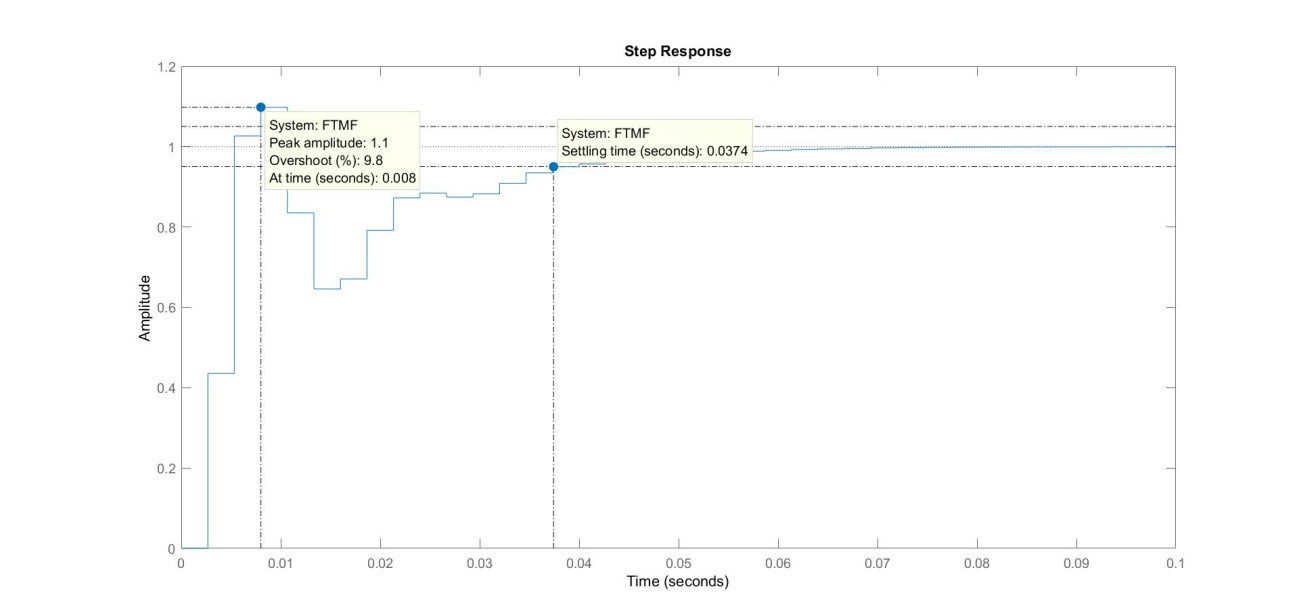
|  |
| --- |
|  |

# Função de Transferência do Controlador

# Função de Transferência em malha aberta (FTMA)

# Função de Transferência em malha fechada

# Resposta ao Degrau



# Resposta ao Degrau Gs e FTMF

# Resposta ao degrau Gs e FTMF.jpg

# Código

|  |
| --- |
| %Projeto 1 Controle II  %Elvis Fernandes  clear;clc;close all;  %G(s)=175,84^2/(s^2 +128,829s +175,84^2)  numG = [0 0 175.84^2]; denG = [1 128.829 175.84^2];  G = tf(numG,denG);    %Requisitos de Projeto:  %ts5%=42ms MP=10% %Ta=2.67ms para entrada degrau de 1 para 1,5  Mp=0.1; Ta = 0.002666666666667;    %Calculo Fator de Amortecimento (Zeta)  Zeta=sqrt(log(Mp)^2/(pi^2+log(Mp)^2))    % Cálculo da freqüência de amostragem (Ws)  Ws = (2\*pi) / Ta    % Cálculo do número de amostras (Na)  Na = 10    % Cálculo da freqüência amortecida Wd)  Wd = Ws/Na    % Cálculo da freqüência amortecida do controlador analógico(Wd)  %Calculo Frequência Natural não amortecida (Wn)  Wn = Wd / (sqrt(1-Zeta^2))    %Calculo Frequência Natural não amortecida (Wn)  Ts5=3/(Zeta\*Wn)    Gz = c2d(G,Ta);  %Determinação do polo dominante no plano s  s1 = -Zeta\*Wn+1j\*Wn\*sqrt(1-Zeta^2)    %Módulo de s1  Ms = abs(s1)    %Angulo de s1  thetaS = angle(s1)    % g1 é o ângulo de G1 quando s=s1  g1 = polyval(numG,s1)/polyval(denG,s1)    %Módulo de g1  Mg = abs(g1)    %Angulo de g1  thetaG = angle(g1)    Ki = 110  Kp = (-sin(thetaG-thetaS)/(Mg\*sin(thetaS))) - (2\*Ki\*cos(thetaS))/Ms  Kd = (sin(thetaG)/(Ms\*Mg\*sin(thetaS))) + Ki/Ms^2    numC = [Kd+(Ki\*Ta^2)+Kp\*Ta -(2\*Kd+Kp\*Ta) Kd];  denC = [Ta -Ta 0];  Cz = zpk(tf(numC,denC,Ta))    %Função de Transferência em malha aberta  FTMA = zpk(minreal(Cz\*Gz))    %Função de Transferência em malha fechada  FTMF = feedback(FTMA,1)    %Resposta ao degrau  figure(2);  step(FTMF)  figure(3);  rlocus(FTMF)  hold off    figure (4)  hold on  step(G)  hold on  step(FTMF)  legend('Gs','FTMF') |