



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO

Controle Digital - SEL0620

Controlador Dead-Beat

Relatório das aulas 9 e 10

Matheus Henrique Dias Cirillo - 12547750
Gustavo Moura Scarenci de Carvalho Ferreira - 12547792

Docente responsável: Dr. Valdir Grassi Jr.

São Carlos
2º semestre/2024

Sumário

| | | |
|----------|-----------------------------------|----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Desenvolvimento | 2 |
| 2.1 | Questão 1 | 2 |
| 2.2 | Questão 2 | 3 |
| 2.3 | Questão 3 | 3 |
| 2.4 | Questão 4 | 5 |
| 2.5 | Questão 5 | 5 |
| | Referências Bibliográficas | 7 |

1 Introdução

Este trabalho aborda a implementação e análise de controladores Dead-Beat, conforme as aulas de Controle Digital, ministradas pelo professor Valdir Grassi Jr [1]. O estudo é centrado na configuração de controladores de segunda ordem com períodos de amostragem distintos. Baseado nos critérios específicos de projeto, investigamos o comportamento do erro de regime permanente, tempo de subida, tempo de acomodação e sobressinal, considerando cenários antes e após a introdução de distúrbios no sistema. Através do uso de ferramentas como Simulink e MATLAB, a resposta dos controladores foi avaliada em situações práticas, reforçando conceitos explorados durante as aulas.

2 Desenvolvimento

Neste laboratório o grupo irá implementar dois controladores Dead-Beat conforme a especificação dada pela Tabela 1 de acordo com o último dígito do seu grupo. Os grupos pares implementarão dois Dead-Beats, cada um com um período de amostragem diferente, sendo que o primeiro deve produzir uma ação de controle $u(0)$ ligeiramente inferior a 9.5. Os grupos pares implementarão dois Dead-Beats, sendo que o primeiro é de ordem ν e o segundo de ordem $\nu + 1$, ambos com a mesma taxa de amostragem, sendo que no primeiro caso a ação de controle $u(0)$ deve ser ligeiramente inferior a 9.5.

Se necessário altere a taxa de amostragem T_0 para que seja possível implementar ambos os Dead-Beats.

Tabela 1: Critérios do controlador Dead-Beat.

| Último dígito do Grupo | Critérios |
|------------------------|--|
| 0, 2 e 4 | Dead-Beat de ordem ν para T_0 e para $1.33T_0$ |
| 1, 3 e 5 | Dead-Beat de ordem ν e Dead-Beat de ordem $\nu + 1$ para $u(0)_{DB(\nu+1)} = 0.7u(0)_{DB(\nu)}$ |
| 6, 8 | Dead-Beat de ordem ν para T_0 e para $1.22T_0$ |
| 7 e 9 | Dead-Beat de ordem ν e Dead-Beat de ordem $\nu + 1$ para $u(0)_{DB(\nu+1)} = 0.8u(0)_{DB(\nu)}$ |

2.1 Questão 1

Implemente os controladores Dead-Beats conforme especificação para o seu grupo. Se necessário, altere a taxa de amostragem T_0 para ser possível implementar ambos os Dead-Beats. Coloque no relatório a função de transferência discreta da planta, o período de amostragem T_0 utilizado, o critério de projeto para o seu grupo, e os controladores Dead-Beats discretos projetados.

O critério usado para a implementação dos sistemas foi o de projetar um controlador Dead-Beat de ordem ν para T_0 e para $1,33 \cdot T_0$, dado que esse é o critério para grupos com último dígito igual a 2 e nosso grupo é o 12, conforme Tabela 1.

Para que a ação de controle $u(0)$ seja ligeiramente inferior a 9,5V no caso do primeiro controlador, escolheu-se um período de amostragem igual a 0,51 segundos, que gerou uma ação de controle $u(0) = 9.15V$, conforme Figura 3.

Desse modo, a função de transferência da planta discreta para o período de 0,51 segundos é mostrada na Equação 2.1 e para o período de $0,51 \cdot 1,33$ segundos é mostrada na Equação 2.2.

$$\frac{0,07414z + 0,05485}{z^2 - 1,276 + 0,4053} \quad (2.1)$$

$$\frac{0,1193z + 0,07991}{z^2 - 1,102 + 0,3008} \quad (2.2)$$

Além disso, a função de transferência do Controlador Dead-Beat para o período de amostragem de 0,51 segundos é mostrada na Equação 2.3 e a para o período de $0,51 \cdot 1,33$ segundos é mostrada na Equação 2.4.

$$\frac{7,752z^2 - 9,894z + 3,142}{z^2 - 0,5747z + 0,4253} \quad (2.3)$$

$$\frac{5,02z^2 - 5,53z + 1,51}{z^2 - 0,5989z + 0,4011} \quad (2.4)$$

2.2 Questão 2

Quais são os polos de malha fechada do sistema para cada um dos controladores?

Conforme esperado pela teoria, podendo ser verificado na prática ao usar a função `pole()` do MATLAB, os sistemas de malha fechada com os controladores Dead-Beat projetados possuem ambos 2 polos em 0.

2.3 Questão 3

Implemente no Simulink o sistema de malha fechada com controlador discreto projetado. Lembre que a planta deve ser mantida como um processo contínuo. Na saída da planta deve ser colocado um bloco de zero order holder (assim como foi feito para o controle proporcional). Mostre no relatório o diagrama Simulink para cada controlador, e as curvas discretas de resposta do sistema (sinal de erro, sinal de controle, e sinal de saída do sistema) para cada controlador.

Devido ao critério de projeto, foi feito somente um diagrama do Simulink, ilustrado na Figura 1, que corresponde aos 2 controladores, mudando somente o T_0 na execução de cada um.

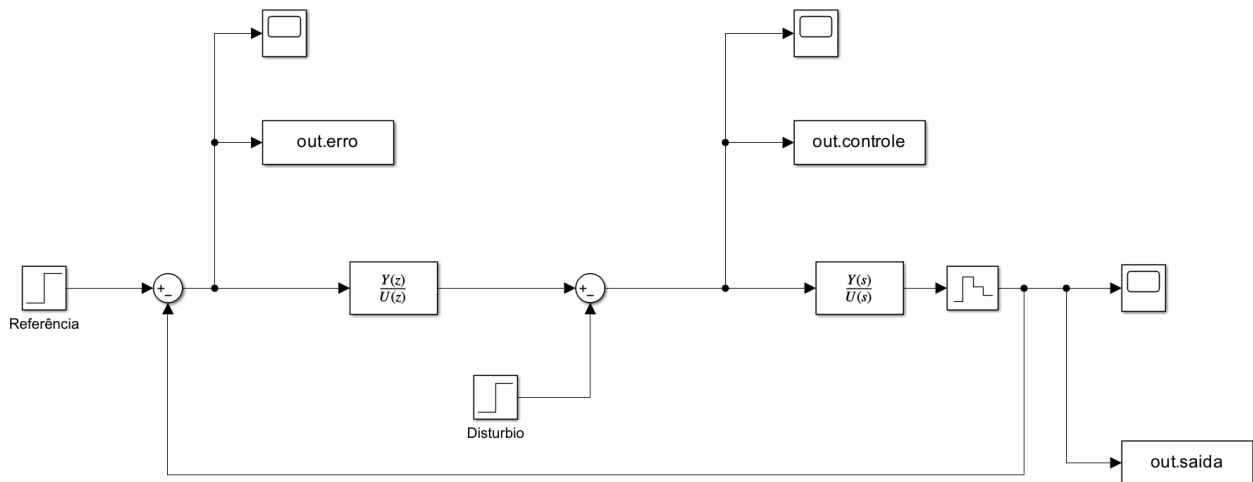


Figura 1: Simulink do sistema de malha fechada com o controlador Dead-Beat.

Além disso, as curvas discretas de resposta do sistema (sinal de erro, sinal de controle e sinal de saída do sistema) podem ser vistas nas Figuras 2 à 4.

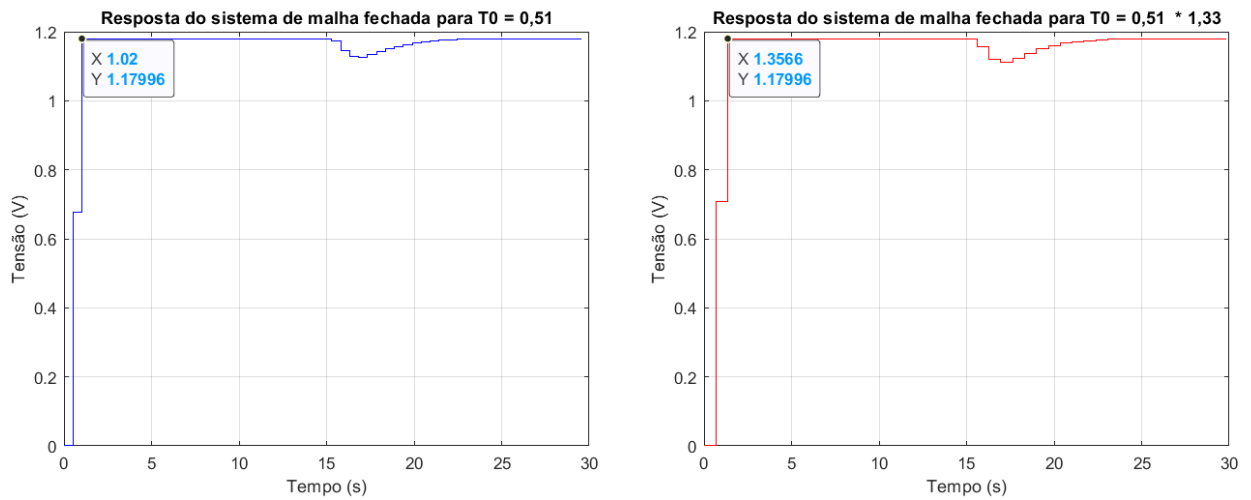


Figura 2: Comparação da resposta para diferentes valores de T_0 .

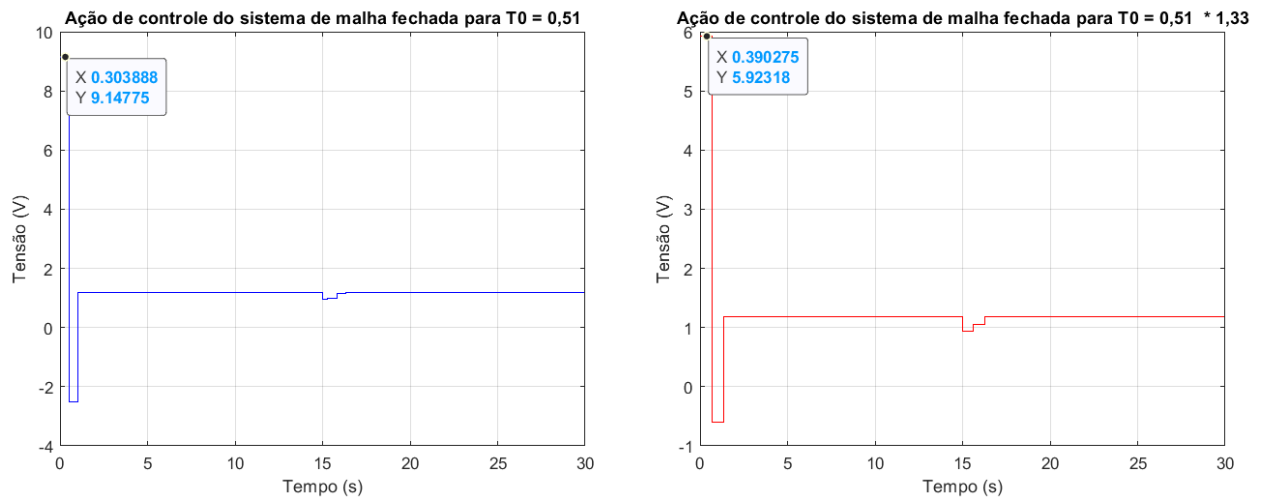


Figura 3: Comparação da ação de controle para diferentes valores de T_0 .

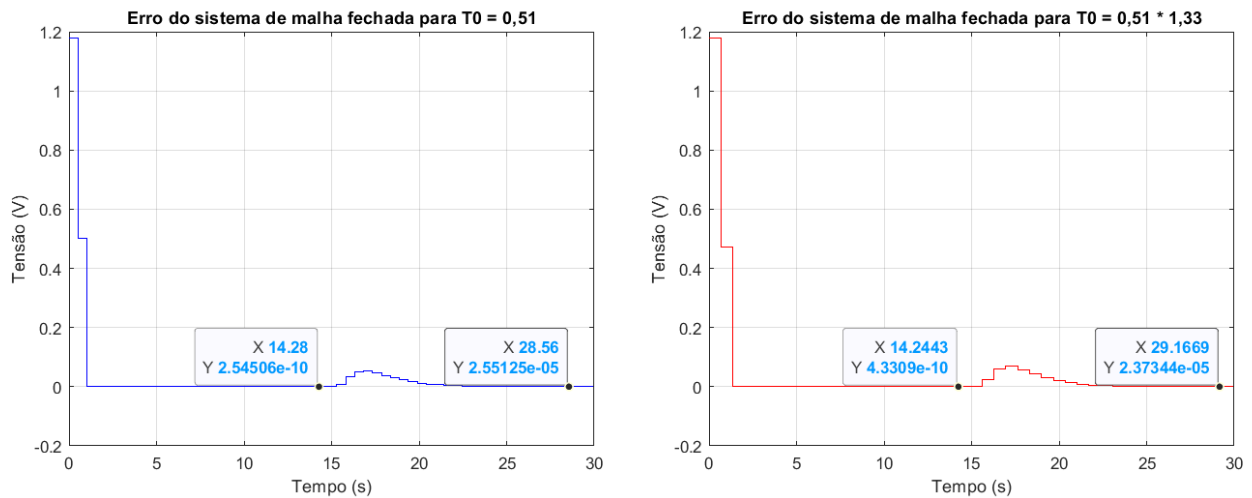


Figura 4: Comparação do erro para diferentes valores de T_0 .

2.4 Questão 4

Quais os valores do erro de regime permanente antes do distúrbio e após o distúrbio para cada controlador?

Para um controlador Dead-Beat idealmente projetado, o erro de regime permanente deve ser zero, tanto antes quanto após a aplicação do distúrbio.

Esse comportamento pode ser validado na prática pelo comportamento do nosso controlador nas situações com os 2 períodos de amostragem, ilustrado nos gráficos da Figura 4 e pelas Tabelas 2 e 3, mostrando um comportamento exatamente como esperado

| Erro de RP antes do distúrbio | Erro de RP após do distúrbio |
|-------------------------------|------------------------------|
| $2,54 \cdot 10^{-10}$ | $2,55 \cdot 10^{-5}$ |

Tabela 2: Erros de regime permanente para $T_0 = 0,51$ segundos

| Erro de RP antes do distúrbio | Erro de RP após do distúrbio |
|-------------------------------|------------------------------|
| $-4,33 \cdot 10^{-10}$ | $2,37 \cdot 10^{-5}$ |

Tabela 3: Erros de regime permanente para $T_0 = 0,68$ segundos

2.5 Questão 5

Quais os tempos de subida e de acomodação (2%) da saída do sistema de malha fechada antes do distúrbio para cada controlador? Qual o sobressinal do sinal de saída do sistema de malha fechada antes do distúrbio para cada controlador?

Para um controlador Dead-Beat ideal, o sobressinal deve ser zero. Assim, como não há sobressinal, o tempo de subida e o tempo de acomodação devem ser iguais. Devido à ordem dois

do controlador Dead-Beat no nosso caso, esses tempos (de subida e de acomodação) devem corresponder a duas vezes o período de amostragem.

Esse comportamento pode ser validado na prática pelo comportamento do nosso controlador na situação com os 2 períodos de amostragem, ilustrado nos gráficos da Figura 2 e pela Tabela 4 com os valores medidos pelo MATLAB, de novo mostrando um comportamento exatamente como esperado.

| | $T_0 = 0,51(s)$ | $T_0 = 0,68(s)$ |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| Tempo de subida | 1.02 | 1.36 |
| Tempo de acomodação | 1.02 | 1.36 |
| Sobressinal | 0% | 0% |

Tabela 4: *Sobressinal e tempos de medida e de acomodação medidos pelo MATLAB para ambos os períodos de amostragem.*

Referências Bibliográficas

- [1] Prof. Valdir Grassi Jr, “Roteiro de prática 6 e aulas teóricas e práticas,” 2024. Disciplina de Controle Digital (SEL0620), Universidade de São Paulo, São Carlos.