CONTROLE DIGITAL - SEL0620

Tarefa 9 e 10 - Controlador Dead Beat

Hugo Hiroyuki Nakamura NUSP: 12732037
Isaac Santos Soares NUSP: 12751713

Para atender às especificações do projeto, com um valor $u(0)$ ligeiramente inferior a 9.5, o período de amostragem foi definido para $\mathbf{T_0 = 0{,}377}$ **[s].**

1. **Implemente os controladores Dead-Beats conforme especificado para o seu grupo. Se necessário, altere a taxa de amostragem T_0 para que seja possível implementar ambos os controladores 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.**

A função de transferência discreta da planta com zero-holder é $H_0G_p(z)$:

$$H_0G_p(z) = \frac{0,60z^{-1} + 0,046z^{-2}}{1 - 1,342z^{-1} + 0,451z^{-2}}$$

com

$$\begin{cases} a_1 = -1,342, & b_1 = 0,060 \\ a_2 = 0,451, & b_2 = 0,046 \end{cases}$$

▶ **Dead Beat de ordem 2:**

A partir dela, calcula-se os coeficientes da função de transferência de transferência discreta do controlador Dead Beat de ordem 2:

$$q_{0_{(2)}} = u(0) = \frac{1}{\sum b_i} = 9,467$$

$$q_{1_{(2)}} = a_1 \cdot q_0 = -12,735 \qquad p_{1_{(2)}} = b_1 \cdot q_0 = 0,566$$

$$q_{2_{(2)}} = a_2 \cdot q_0 = 4,268 \qquad p_{2_{(2)}} = b_2 \cdot q_0 = 0,434$$

Dessa forma, a função de transferência para o controlador Dead Beat de ordem 2, $G_{DB_2}(z)$:

$$G_{DB_2}(z) = \frac{9,467 - 12,735z^{-1} + 4,268z^{-2}}{1 - 0,566z^{-1} - 0,434z^{-2}}$$

▶ **Dead Beat de ordem 3:**

Segundo a especificação do projeto, tem-se: $u(0)_{DBv(3)} = 0.8 \cdot u(0)_{DBv(2)}$, ou seja:

$$q_{0_{(3)}} = 0,8 \cdot q_{0_{(2)}} = 7,574$$

Com esse valor de $q_{0_{(3)}}$, calcula-se os outros coeficientes do controlador Dead Beat de ordem 3:

$$q_{1_{(3)}} = q_{0_{(3)}}(a_1 - 1) + \frac{1}{\sum b_i} = -8,295$$

$$q_{2_{(3)}} = q_{0_{(3)}}(a_2 - a_1) + \frac{a_1}{\sum b_i} = 0,868$$

$$q_{3_{(3)}} = a_2\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_0}\right) = 0,854$$

$$p_{1_{(3)}} = q_{0_{(3)}} \cdot b_1 = 0,453$$

$$p_{2_{(3)}} = q_{0_{(3)}}(b_2 - b_1) + \frac{b_1}{\sum b_i} = 0,460$$

$$p_{3_{(3)}} = b_2\left(-q_0 + \frac{1}{\sum b_0}\right) = 0,087$$

Dessa forma, a função de transferência discreta do controlador Dead Beat de ordem 3, $G_{DB_{(3)}}$ é

$$G_{DB_{(3)}} = \frac{7,573 - 8,295z^{-1} + 0,868z^{-2} + 0,854z^{-3}}{1 - 0,453z^{-1} - 0,460z^{-2} - 0,087z^{-3}}$$

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

A função de malha fechada do processo controlado é dada por:

$$G_r(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = P(z)$$

A função $P(z)$ é expressa como:

$$P(z) = p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + p_3 z^{-3} + \cdots + p_m z^{-m}$$

Podemos perceber que temos m polos em zero, pois:

$$P(z) = \frac{p_1 z^{m-1} + p_2 z^{m-2} + p_3 z^{m-3} + \cdots + p_m z^0}{z^m}$$

Para os nossos controladores Dead Beat de ordem 2 e Dead Beat de ordem 3, respectivamente, temos 2 polos em zero e 3 polos em zero.

- **Dead Beat de ordem 2**:

$$P(z) = 1 - 0,566z^{-1} - 0,434z^{-2} = \frac{z^2 - 0,566z^1 - 0,434}{z^2}$$

- **Dead Beat de ordem 3**:

$$P(z) = 1 - 0,453z^{-1} - 0,460z^{-2} - 0,087z^{-3} = \frac{z^3 - 0,453z^2 - 0,460z^1 - 0,087}{z^3}$$

3. Implemente no Simulink o sistema de malha fechada com o 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.**

As Figuras 1 e 2 apresentam o diagrama de blocos de um sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 2 e ordem 3.

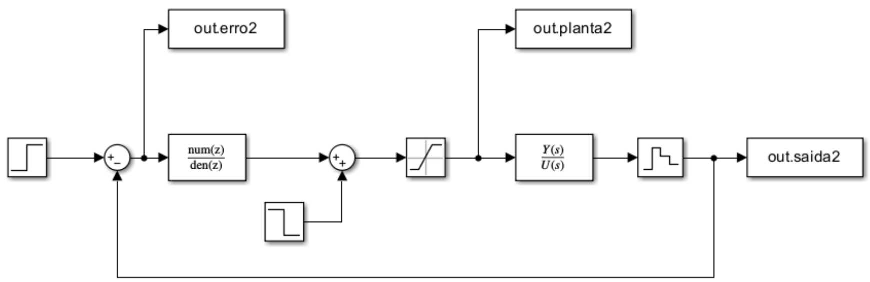


Figura 1: sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 2 no simulink.

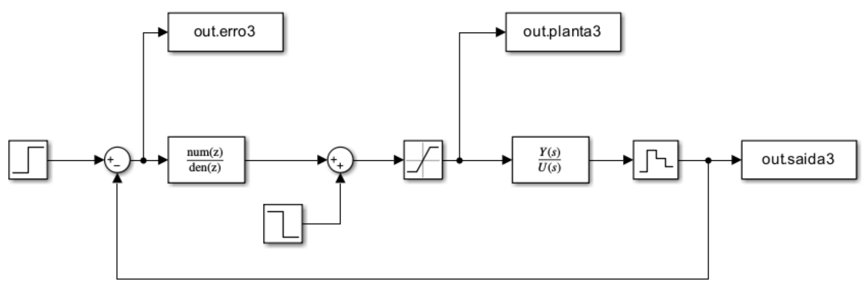
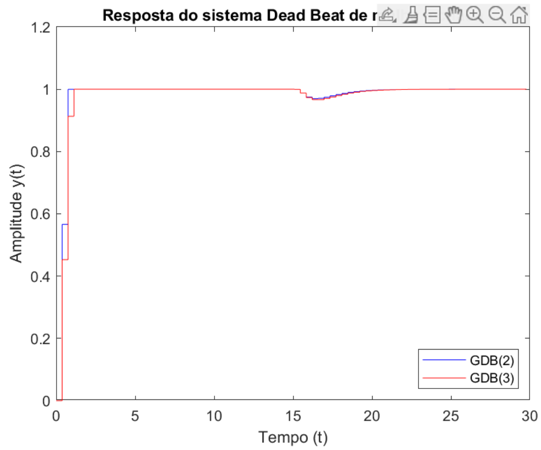
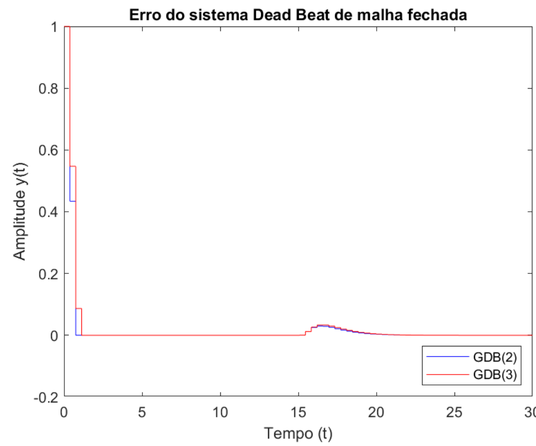


Figura 2: sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 2 no simulink.

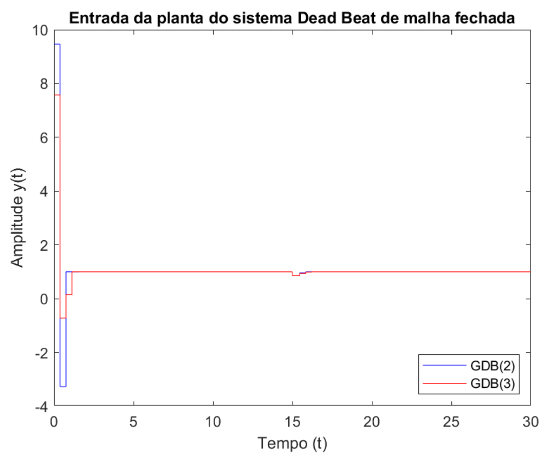
A resposta de ambos os sistemas está apresentado na Figura 3.



(a) resposta ao degrau.



(b) sinal de erro.



(c) entrada da planta.

Figura 3: respostas do sistema utilizando o controlador Dead Beat com GDB(2) (ordem 2) e GDB(3) (ordem 3).

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

Os valores de erro de regime permanente estão na Tabela 1, para o controlador Dead Beat de ordem 2, e na Tabela 2, para o controlador Dead Beat de ordem 3.

Tabela 1: valores de erro em regime permanente do sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 2.

Dead Beat ordem 2	e_{ss}	$e_{ss}(\%)$
Pré distúrbio	$3,401 \cdot 10^{-11}$	0,000
Pós distúrbio	$1,215 \cdot 10^{-6}$	0,000

Tabela 2: valores de erro em regime permanente do sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 3.

Dead Beat ordem 3	$\mathbf{e_{ss}}$	$\mathbf{e_{ss}(\%)}$
Pré distúrbio	$2,233 \cdot 10^{-11}$	0,000
Pós distúrbio	$7,441 \cdot 10^{-7}$	0,000

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 sobresinal do sinal de saída do sistema de malha fechada antes do distúrbio para cada controlador?**

   A Tabela 3 apresenta o tempo de subida, tempo de acomodação e sobressinal para os sistemas com controlador Dead Beat de ordem 2 e 3.

Dead Beat	**Tempo de subida [s]**	**Tempo de acomodação [s]**	**Sobressinal [%]**
Ordem 2	0,601	17,460	0,002
Ordem 3	0,660	17,735	0,001

Tabela 3: características da resposta do sistema com controlador Dead Beat de ordem 2 e 3.