

# CONTROLE DIGITAL - SEL0620

## Tarefa 9 e 10 - Controlador Dead Beat

Hugo Hiroyuki Nakamura

NUSP: 12732037

Isaac Santos Soares

NUSP: 12751713

---

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  $H_0G_p(z)$ :

$$H_0G_p(z) = \frac{0,0192z^{-1} + 0,017z^{-2}}{1 - 1,618z^{-1} + 0,654z^{-2}}$$

com

$$\begin{cases} a_1 = 1,618, & b_1 = 0,020 \\ a_2 = 0,654, & b_2 = 0,017 \end{cases}$$

### ► 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:

$$q_0 = u(0) = \frac{1}{\sum b_i} = 27,921$$

$$q_1 = a_1 \cdot q_0 = -45,180$$

$$p_1 = b_1 \cdot q_0 = 0,535$$

$$q_2 = a_2 \cdot q_0 = 18,259$$

$$p_2 = b_2 \cdot q_0 = 0,465$$

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

$$G_{DB_2}(z) = \frac{27,921 - 45,180z^{-1} + 18,259z^{-2}}{1 - 0,535z^{-1} - 0,465z^{-2}}$$

### ► 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:

$$q_{0(3)} = 0,8 \cdot q_{0(2)} = 22,337$$

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

$$q_{1(3)} = q_{0(3)}(a_1 - 1) + \frac{1}{\sum b_i} = -30,560$$

$$p_{1(3)} = q_{0(3)} \cdot b_1 = 0,428$$

$$q_{2(3)} = q_{0(3)}(a_2 - a_1) + \frac{a_1}{\sum b_i} = 5,571$$

$$p_{2(3)} = q_{0(3)}(b_2 - b_1) + \frac{b_1}{\sum b_i} = 0,479$$

$$q_{3(3)} = a_2 \left( -q_0 + \frac{1}{\sum b_0} \right) = 3,652$$

$$p_{3(3)} = b_2 \left( -q_0 + \frac{1}{\sum b_0} \right) = 0,093$$

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

$$G_{DB(3)} = \frac{22,337 - 30,560z^{-1} + 5,571z^{-2} + 3,652z^{-3}}{1 - 0,428z^{-1} - 0,479z^{-2} - 0,093z^{-3}}$$

## 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:

$$P(z) = p_1z^{-1} + p_2z^{-2} + p_3z^{-3} + \dots + p_mz^{-m}$$

Podemos perceber que temos "m" polos em zero, pois:

$$P(z) = \frac{p_1z^{m-1} + p_2z^{m-2} + p_3z^{m-3} + \dots + p_mz^0}{z^m}$$

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:

$$P(z) = 0,535z^{-1} + 0,465z^{-2} = \frac{0,535z + 0,465}{z^2}$$

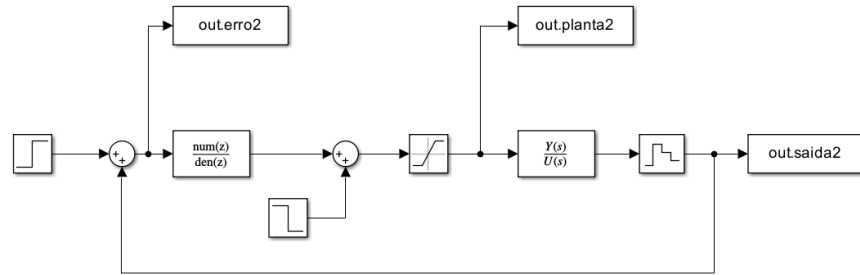
### ► Dead Beat de ordem 3:

$$P(z) = 0,428z^{-1} + 11,901z^{-2} + 0,093z^{-3} = \frac{0,428z^2 + 11,901z + 0,093}{z^3}$$

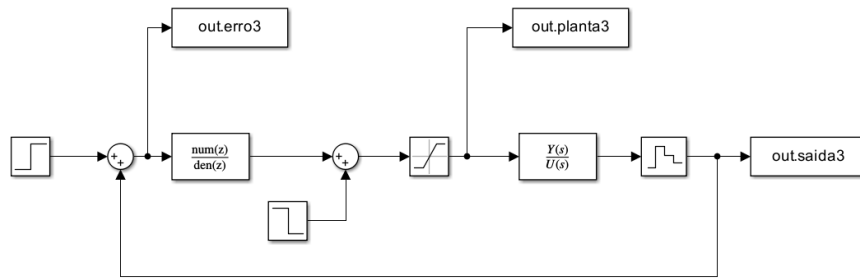
## 3. Implemente no Simulink o sistema de malha fechada com o controlador discreto projetado. Lembre que a planta deve ser mantida como um processo contínuo. Na saída da planta, deve ser colocado um bloco de *zero order holder* (assim como foi feito para o controle proporcional). Mostre no relatório 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.

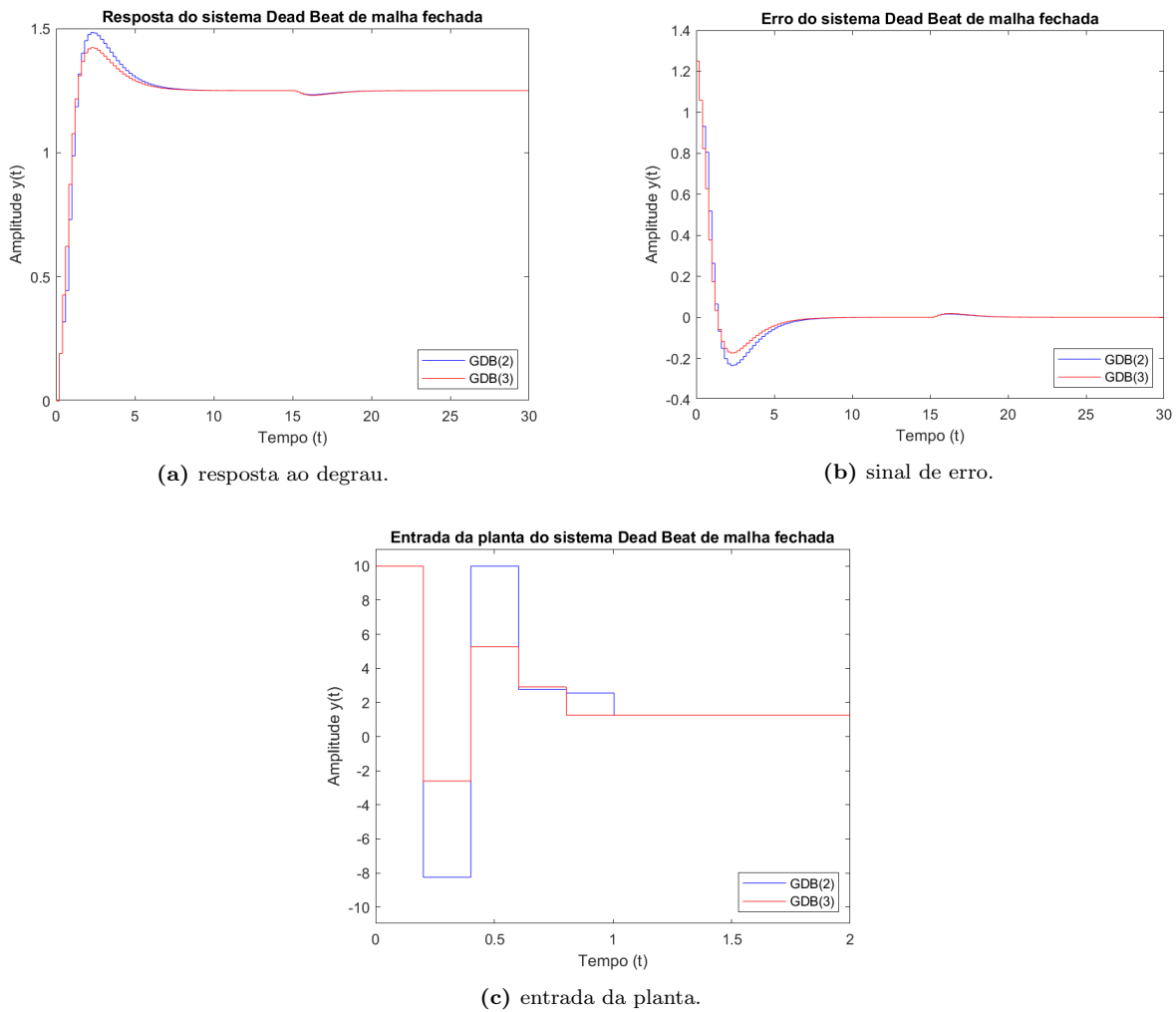


**Figura 1:** sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 2 no simulink.



**Figura 2:** sistema de malha fechada com controlador Dead Beat de ordem 3 no simulink.

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



**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	Degrau	$e_{ss}$	$e_{ss}(\%)$
Pré distúrbio	1,25	$-8,934 \cdot 10^{-6}$	0,001
Pós distúrbio		$4,235 \cdot 10^{-7}$	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	Degrau	$e_{ss}$	$e_{ss}(\%)$
Pré distúrbio	1,25	$-2,259 \cdot 10^{-5}$	0,002
Pós distúrbio		$2,504 \cdot 10^{-5}$	0,002

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?

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	1,014	5,948	18,745
Ordem 3	0,944	5,544	13,871

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