

PMR3409 Controle II - Experiência 7: Métodos de discretização e implementação de controladores PID

<p>Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____</p> <p>Alunos do grupo</p> <p>1. Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____</p> <p>2. Nome: _____ NUSP: _____ Turma: _____</p> <p>Data: ____/____/____ Reposição? () S () N</p>	<p>NOTA</p>
--	--------------------

O relatório deve ser feito individualmente i.e. cada aluno deve submeter um relatório. Em seguida deve ser escaneado e o arquivo PDF deve ser submetido via Sistema Moodle.

1 Introdução

Nessa experiência será analisado métodos de discretização aplicados a controladores PID. Os controladores obtidos no domínio do tempo discreto serão testados no kit de motor C.C. para controle da posição e da velocidade angular.

Na Experiência 3 foram identificados os parâmetros de tempo contínuo (K_ω, K_θ, T) (Obs: Mudamos a nomenclatura de K_p para K_θ para não confundir com o ganho proporcional do controlador PID) das funções de transferência da velocidade e da posição angular do motor C.C.:

$$G_\omega(s) = \frac{K_\omega}{Ts + 1}. \quad (1)$$

$$G_\theta(s) = \frac{K_\theta}{s(Ts + 1)}. \quad (2)$$

Verifique no seu relatório da Experiência 3 e preencha a tabela abaixo:

	K_ω	K_θ	T
Conj. de dados 1			

Identifique o motor utilizado:

Motor No.	
-----------	--

O projeto de um controlador PID no domínio z consiste na escolha dos mesmos parâmetros do controlador PID no domínio s :

$$H(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{N} \right) \quad (3)$$

O controlador correspondente $H(z)$ no domínio z é obtido utilizando algum método de discretização.

Os controladores PI para controle da velocidade angular e PID para controle da posição angular foram obtidos respectivamente nas Experiências 5 e 6 no domínio z . Os parâmetros no entanto refletem diretamente o controlador no domínio s . Escreva nas tabelas abaixo os parâmetros dos controladores PI e PID que você obteve:

K_p	T_i		

K_p	T_i	T_d	N

2 Discretização do controlador PI

Nessa seção o controlador PI obtido na Experiência 5 será discretizado através de 4 diferentes métodos:

- Forward-Difference
- Backward-Difference
- Transformação Bilinear
- Casamento de pólos e zeros

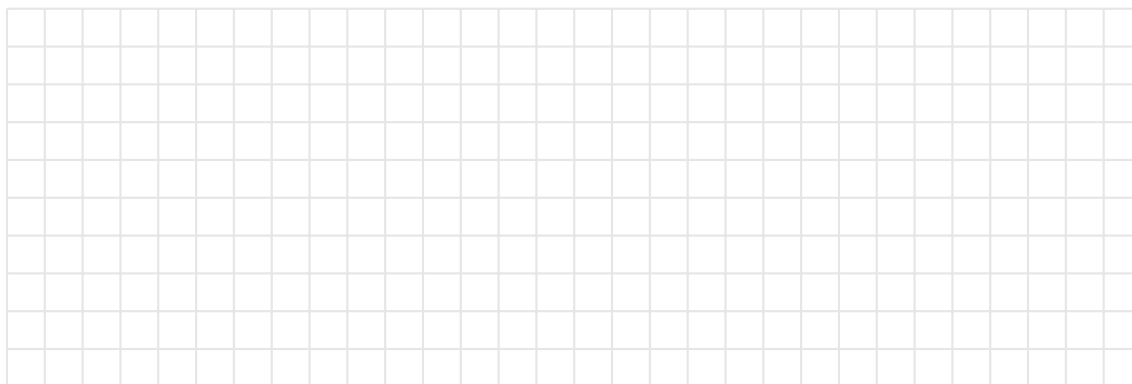
Em geral, os métodos são comparados no domínio da frequência z utilizando o diagrama de Bode.

O script `DiscretizacaoPID.m` realiza a discretização do controlador PID no domínio s dado pela Equação 3. Os diagramas de Bode das funções de transferência $H(z)$ obtidas são comparadas com o diagrama de Bode de $H(s)$.

1. Utilizando o script `DiscretizacaoPID.m` realize a discretização do controlador PI com os parâmetros (K_p, T_i) obtidos na Experiência 5. Setar a constante derivativa $T_d=0$, frequência de amostragem $f_a=20$ e os parâmetros $fi=-1$, $ff=2$ para a geração da escala logaritmica do diagrama de Bode.
2. Funções de transferência do controlador PI:

Forward-Difference	
Backward-Difference	
Transformação Bilinear	
Casamento de pólos e zeros	

3. Esboce abaixo o Diagrama de Bode (Módulo e Fase) das funções de transferência $H(z)$:





4. Analise os resultados obtidos.

3 Implementação do controlador PI para controle da velocidade angular do kit de motor C.C.

O controlador PI no domínio z pode ser genericamente escrito como:

$$H(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{b_1 z + b_2}{a_1 z + a_2}, \quad (4)$$

A equação de diferenças no domínio do tempo discreto pode então ser escrita como:

$$u(k) = -\frac{a_2}{a_1}u(k-1) + \frac{b_1}{a_1}e(k) + \frac{b_2}{a_1}e(k-1) \quad (5)$$

Você deve utilizar aqui uma das funções de transferência $H(z)$ do controlador PI obtidas no item anterior. Utilize a função que mais se aproxima do controlador no domínio s , $H(s)$.

1. Indique aqui o controlador escolhido:

Método	
$H(z)$	

2. Parte experimental:

- O setup experimental já deve estar pronto.
- O script `SistemaDeControleDigitalPIDV1.m` realiza o controle de velocidade e posição angular do motor C.C. utilizando um timer com frequência f_a .
- Setar no script a frequência de amostragem $f_a=20$, os parâmetros a_1 , a_2 , b_1 , b_2 do controlador $H(z)$ escolhido, e $a_3=0.0$ e $b_3=0.0$.

- Para o controle de velocidade certifique-se que a instrução:
`yk = sample(2)`
 está habilitada. `sample(2)` se refere ao canal 1 que está ligado ao tacômetro para a medida da velocidade angular.
- O gerador de funções deve ser ajustado para uma onda quadrada de amplitude [0V,3V] e frequência $f_g = 0.1\text{Hz}$ (Obs: o gerador de funções já deve estar ajustado com esses parâmetros se não estiver peça ajuda ao Professor).

3. Esboce abaixo o gráfico no domínio do tempo da velocidade $\omega(t)$ e do esforço de controle $u(t)$. Obs: Dois períodos são suficientes.



4. Anote na tabela abaixo os valores obtidos para o tempo de subida t_r , tempo de acomodação t_s , Máximo sobre-sinal M_p . Obs: estimativa deve ser feita pelo gráfico.

t_r	t_s	M_p

5. Compare o resultado obtido experimentalmente com o resultado previsto pelas simulações da Experiência 5.

4 Discretização do controlador PID

Nessa seção o controlador PID obtido na Experiência 6 será discretizado através dos 4 diferentes métodos.

O script `DiscretizacaoPID.m` realiza a discretização do controlador PID no domínio s dado pela Equação 3. Os diagramas de Bode das funções de transferência $H(z)$ obtidas são comparadas com o diagrama de Bode de $H(s)$.

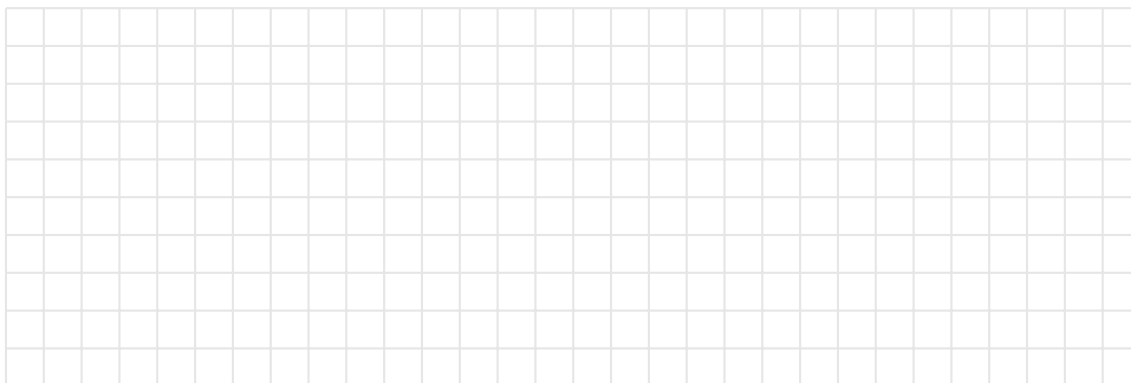
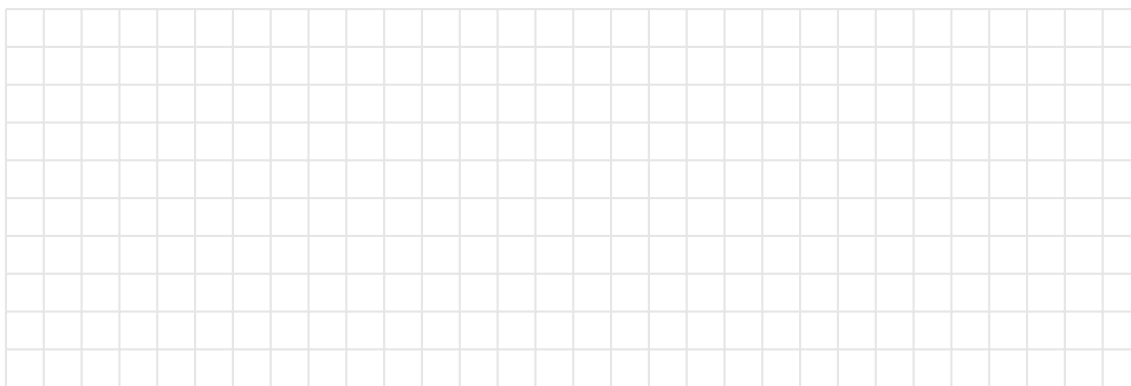
1. Utilizando o script `DiscretizacaoPID.m` realize a discretização do controlador PID com os parâmetros (K_p, T_i, T_d, N) obtidos na Experiência 6. Setar a frequência de amostragem $f_a=20$ e os parâmetros $f_i=-1$, $f_f=2$ para a geração da escala logarítmica do diagrama de Bode.
2. Funções de transferência do controlador PID:

Forward-Difference	
Backward-Difference	
Transformação Bilinear	
Casamento de pólos e zeros	

3. Esboce abaixo o Diagrama de Bode (Módulo e Fase) das funções de transferência $H(z)$:

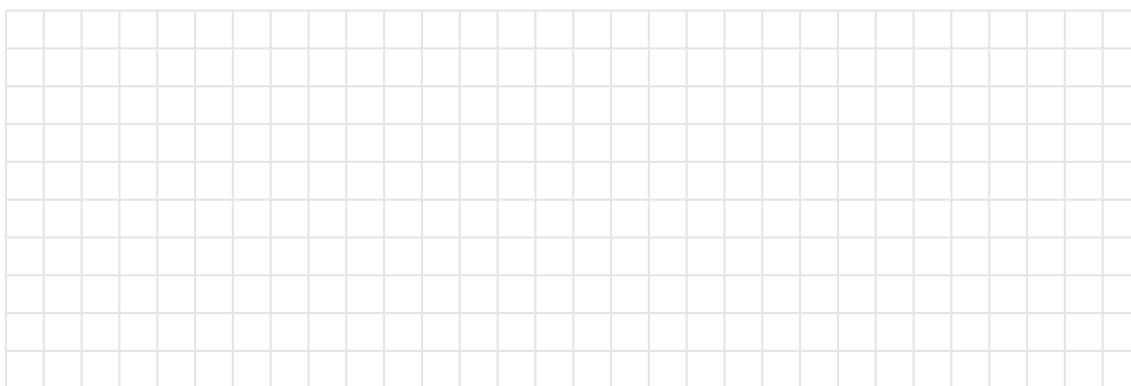


4. Repita o mesmo procedimento com $f_a=10$
Esboce abaixo o Diagrama de Bode (Módulo e Fase) das funções de transferência $H(z)$:



5. Repita o mesmo procedimento com $f_a=200$

Esboce abaixo o Diagrama de Bode (Módulo e Fase) das funções de transferência $H(z)$:



6. Analise os resultados obtidos.

5 Teste do controlador PID utilizando Simulink com modelo realista do motor C.C.

Infelizmente não é possível realizar um teste do controlador PID para o controle de posição angular do kit de motor C.C. A parte derivativa gera picos de tensão de valores muito elevados que facilmente ultrapassam o intervalo [-5V,+5V] do potenciômetro.

Ao invés disso é proposto aqui uma simulação utilizando um modelo em Simulink do sistema de controle em malha fechada. O modelo descrito no arquivo ControladorPID_PosicaoAngular.xls está associado ao diagrama esquemático ilustrado na Figura 1

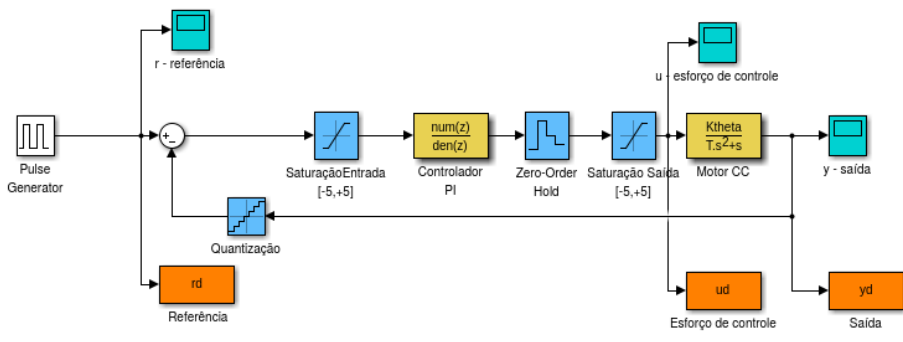


Figura 1: Diagrama esquemático do sistema de controle de posição angular.

O modelo bastante completo tem a planta definida no domínio *s* e o controlador no domínio *z*. São utilizados quantizadores, elementos de saturação e um sample-and-hold de ordem zero

A função de transferência do controlador PID pode ser representada genericamente pela seguinte função de transferência:

$$H(z) = \frac{b_1z^2 + b_2z + b_3}{a_1z^2 + a_2z + a_3} \tag{6}$$

O modelo em Simulink está parametrizado por variáveis que devem ser inicializadas através do script ScriptDeInicializacaoPID_PosicaoAngular.m.

1. Setar nbits=12, A=1, fa=20,
2. Setar os parâmetros da planta que você obteve na Experiência 3: Ktheta e T.
3. Setar os parâmetros do controlador PID: a1, a2, a3, b1, b2, b3 que correspondam ao controlador obtido pelo método de discretização que mais se aproxima do equivalente no domínio *s*. O script deve ser executado antes de executar o modelo em Simulink.
4. Indique aqui o controlador escolhido:

Método	
H(z)	

- Executar o modelo em Simulink. Um gráfico contendo a resposta no domínio do tempo pode ser obtido executando o script `plotgraficoPID_PosicaoAngular.m`
- Esboce abaixo o gráfico no domínio do tempo da velocidade $\theta(t)$ e do esforço de controle $u(t)$. Obs: Dois períodos são suficientes.



- Anote na tabela abaixo os valores obtidos para o tempo de subida t_r , tempo de acomodação t_s , Máximo sobre-sinal M_p . Obs: estimativa deve ser feita pelo gráfico.

t_r	t_s	M_p

- Indique na tabela abaixo os resultados previsto pelas simulações da Experiência 6.

t_r	t_s	M_p

- Analisar e comparar os resultados.

6 Implementação de controlador P para controle de posição angular do kit de motor C.C.

Obs: Não será possível utilizar o motor no. 4 devido a um problema do potenciômetro.

Embora o controlador PID seja difícil de ser utilizado para esse kit de motor C.C. é possível obter resultados razoáveis para o controlador proporcional já que esse não apresenta esforço de controle com rápidas derivadas e valores máximos elevados.

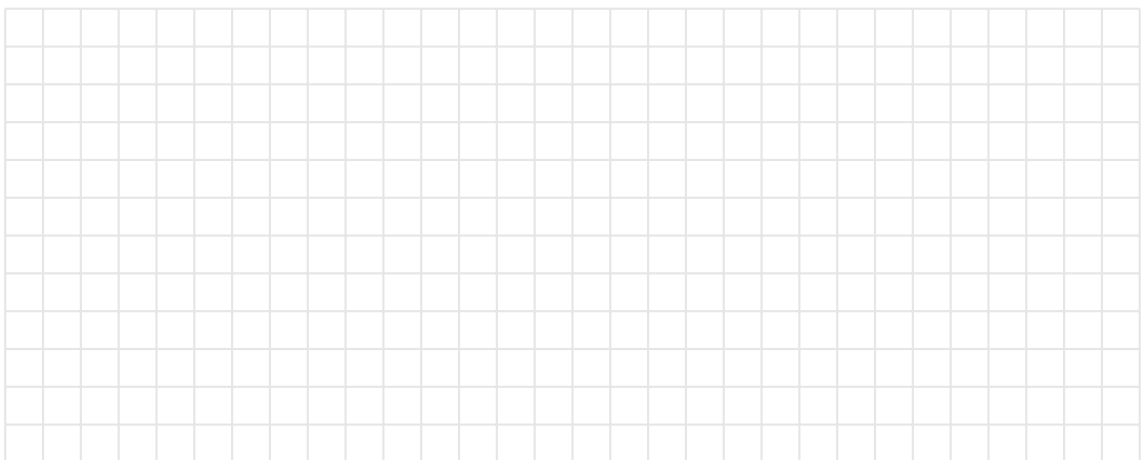
- Para a escolha de um valor adequado de K_p você deve utilizar o script `ControleP_VariacaoP.m` (Obs: o mesmo utilizado na Experiência 6).
- Setar os parâmetros da planta que você obteve na Experiência 3: K_{θ} e T .

3. Setar o intervalo de amostragem $T_a=0.05$.
4. Escolher três valores para a constante proporcional K_{p1} , K_{p2} , K_{p3} . Já estão definidos os valores 0.1, 0.5 e 1.0 mas você pode escolher outros desde que próximos desses.
5. Executar o script.
6. Escolha um valor de K_p e anote na tabela abaixo os valores obtidos para o tempo de subida t_r , tempo de acomodação t_s , Máximo sobresinal M_p .

t_r	t_s	M_p

7. Parte experimental:

- O setup experimental já deve estar pronto.
- Utilizar o script `SistemaDeControleDigitalPIDV1.m`.
- Setar no script a frequência de amostragem $f_a=20$, os parâmetros $a_1=1$, $a_2=0$, $a_3=0$, $b_1=K_p$, $b_2=0$, $b_3=0$
- Para o controle de posição certifique-se que a instrução:
`yk = sample(3)`
 está habilitada. `sample(3)` se refere ao canal 2 que está ligado ao potenciômetro para a medida da posição angular.
- O gerador de funções deve ser ajustado para uma onda quadrada de amplitude [0V,3V] e frequência $f_g = 0.1\text{Hz}$ (Obs: o gerador de funções já deve estar ajustado com esses parâmetros se não estiver peça ajuda ao Professor).
- Esboce abaixo o gráfico no domínio do tempo da posição angular $\theta(t)$ e do esforço de controle $u(t)$. Obs: Dois períodos são suficientes.



- A partir do gráfico estimar as seguintes grandezas

t_r	t_s	M_p

8. Analisar e comparar os resultados de simulação e experimental.

7 Discussões

8 Conclusões