UNICAMP – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação EA-617 Introdução à Simulação Analógica

Experiência 9: Sistemas ECP com Entrada de Sinais Amostrados 17 de novembro de 2006

Sumário

1	Introdução	1
2	Sistema Retilíneo	3
	2.1 Procedimento Experimental para o Sistema Retilíneo	4
3	Sistema Torcional	6
	3.1 Procedimento Experimental para o Sistema Torcional	7
4	Emulador Industrial	8
	4.1 Procedimento Experimental para o Emulador Industrial	ç
5	Pêndulo Invertido	11
	5.1 Procedimento Experimental para o Pêndulo	12
6	Levitador Magnético	13
	6.1 Procedimento Experimental para o Levitador	14
	Relatório	15

1 Introdução

O objetivo desta experência é ilustrar a validade do teorema da amostragem procedendo-se a filtragem de um sinal amostrado através de um sistema mecânico cuja dinâmica é ajustada para aproximá-lo de um filtro ideal.

Conforme visto na experiência anterior, um sistema de $2^{\underline{a}}$ ordem com $\xi = 1/2$ se comporta aproximadamente como um filtro passa-baixas com frequência de corte igual à frequência natural do sistema ω_n . Cada um dos sistemas mecânicos ECP pode ser configurado desta maneira, com a ajuda de controladores do tipo PD, e ser utilizado como filtro passa-baixas (FPB).

A idéia central desta experiência pode ser resumida como segue. Inicialmente gera-se um sinal com composição espectral limitada em frequência¹. O sinal é então amostrado com uma certa taxa de amostragem e armazenado num arquivo com extensão ".trj" o qual pode ser utilizado como sinal de referência para os sistemas ECP (através da opção "user defined" no menu "trajectory"). Finalmente uma filtragem será realizada pelos sistemas mecânicos ECP configurados como sistemas de segunda ordem, visando recuperar o sinal original. Duas questões relativas a este problema surgem. É possível recuperar o sinal original a partir das amostras? Se sim, como? O teorema da amostragem estabelece condições para que este tipo de sinal possa ser amostrado sem que haja perda de informação. De acordo com os resultados teóricos apresentados na experiência anterior, isto ocorrerá somente se duas condições se verificarem:

- O sinal original for amostrado numa frequência f_s superior ao dobro do limitante superior de seu conteúdo espectral f_0 , ou seja, $f_s > 2f_0$;
- O sinal amostrado for filtrado por um FPB (realizado por um sistema ECP) cuja frequência de corte *f_n* seja delimitada por: *f₀* < *f_n* < *f_n* < *f_n* < *f_n*.

Um exemplo de sinal amostrado e adequadamente recuperado por um FPB de $2^{\underline{a}}$ ordem é dado pelo exercício de simulação B-1-a proposto na experiência 9. A Fig. 1 apresenta o espectro do sinal amostrado e a resposta do filtro para aquele exercício.



Figura 1: Espectro de um sinal amostrado e a resposta de um FPB de segunda ordem.

Em resumo, a presente experiência consistirá em utilizar o sinal amostrado (armazenado no arquivo .trj) como referência para algum sistema ECP configurado como FPB. Deseja-se obter na saída um sinal aproximadamente igual ao sinal original (antes de ser amostrado). Um sinal típico utilizado como referência nesta experiência é dado pela Fig. 2.

¹Sabe-se que um sinal limitado no tempo é necessariamente ilimitado no domínio da frequência. Contudo é possível que o espectro deste sinal seja aproximadamente limitado (isto é, desprezível para frequências acima de um certo valor) e que seu limite superior seja conhecido.







Figura 2: Sinal amostrado armazenado em arquivo ".trj".

Os sinais utilizados tem a forma geral $x(t) = Ke^{-\sigma t} cos(\omega_d t)$ e são amostrados com uma frequência conhecida ω_s . O formato ".trj" é descrito a seguir. A primeira linha deve conter o número correspondente ao número de linhas do arquivo. Cada linha seguinte deve conter um número correspondente a um valor da função desejada. Ao selecionar a opção "trajectory" seguida de "user defined" no software "ECP-Executive" o usuário deve definir um valor "segment time" (expresso em milissegundos) que corresponde ao tempo em que cada valor definido no arquivo será mantido.

Nas seções seguintes será mostrado como cada dispositivo ECP pode ser configurado como um sistema de segunda ordem, com função de transferência aproximadamente igual a de um filtro passa-baixas.

2 Sistema Retilíneo

Considere o sistema retilíneo configurado como sistema de segunda ordem, isto é, com apenas um carro ligado ao segundo carro por uma mola e com o segundo carro imobilizado, conforme a Fig. 3.



Figura 3: Diagrama do sistema retilíneo com o carro 2 travado.

A função de transferência deste sistema é dada por:

$$F(s) = \frac{k_{hw}}{m_1 s^2 + c_1 s + k_1} \tag{1}$$

Exp. 9

onde:

m1: é a massa do carro;

 c_1 : é o coeficiente de atrito viscoso do carro;

 k_1 : é a constante da mola;

 k_{hw} : é o ganho de hardware do sistema.

Considere agora, o sistema anterior controlado por um controlador PD com "velocity feedback" com o parâmetro $k_i = 0$, conforme a Fig. 7 e F(s) descrito pela equação (1).



Figura 4: Diagrama de blocos do sistema com controlador PD com "velocity feedback".

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por:

$$\frac{X(s)}{R(s)} = \frac{k_{hw}k_p}{m_1s^2 + (c_1 + k_{hw}k_d)s + (k_1 + k_{hw}k_p)}$$
(2)

Para que este sistema se comporte aproximadamente como um filtro de segunda ordem, deve-se calcular os parâmetros $k_p e k_d$ de modo que o coeficiente de amortecimento seja 1/2 e que a frequência natural de oscilação seja igual à frequência de corte desejada para o filtro. Para que isto aconteça deve-se fazer:

$$k_p = \frac{m_1 \omega_n^2 - k_1}{k_{hw}} \tag{3}$$

e

$$k_d = \frac{m_1 \omega_n - c_1}{k_{hw}} \tag{4}$$

2.1 Procedimento Experimental para o Sistema Retilíneo

Deseja-se analisar o comportamento do sistema retilíneo quando excitado por sinais amostrados com freqüência de amostragem distintas

- 5
- Com o controlador desligado, trave o segundo carro utilizando uma chave apropriada (Fig. 3). Conecte o primeiro e o segundo carro utilizando uma mola de dureza fraca. Importante: não trave o segundo carro utilizando diretamente os conectores nos batentes. Utilize as porcas disponíveis para travá-lo;
- 2. Fixe quatro massas de 500g sobre o primeiro carro;
- 3. Para os valores de $\omega_n = 9,12$ e 20 rd/s, calcule os ganhos k_p e k_d do controlador **PD** with Velocity Feedback, de acordo com as equações (3) e (4) respectivamente. Adote os seguinte valores:

 $k_{hw} = 14732$, $m_1 = 2.778$ kg (com pesos), $c_1 = 3.9189$ N-s/m, $k_1 = 175$ N/m

Importante: Os valores dos ganhos $k_p \in k_d$ devem ser menores do que 0,1 e 0,04 respectivamente.

- 4. Com o controlador ligado, entre na caixa de diálogo **Control Algorithm** do menu **Set**up e defina **Ts=0.00442s** para **Continuous Time**. No menu **Set-up**, selecione **PI with Velocity Feedback** e entre com os valores k_p e k_d calculados no passo anterior ($k_i = 0$). Selecione **Implement Algorithm** e **OK**.
- 5. Entre no menu **Command**, vá para **Trajectory** e selecione **User Defined**. Realize os seguintes ajustes:
 - (a) Selecione Close Loop Trajectory,
 - (b) Selecione Segment Time: 10 (msec),
 - (c) Selecione Trajetory Filename: c:/ea619/fun1_ret.trj Onde o sinal f1 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(10t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 63 \text{ rd/s}$

- (d) Não habilite a opção interpolação por spline.
- 6. Vá para o Set-up Data Acquisition no menu Data e selecione Encoder #1 e Commanded Position como variáveis para aquisição; especifique uma amostragem a cada 2 ciclos. Selecione OK para sair. Selecione Zero Position no menu Utility para zerar as posições dos encoders;
- Selecione Execute no menu Command. No comando Set up Plot selecione Command Position no eixo da direita e Encoder 1 Position no eixo esquerdo. Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP.
- 8. Repita o experimento utilizando agora o sinal no arquivo:

C:/ea619/fun2_ret.trj

Onde o sinal f_2 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(10t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 31 \text{ rd/s}$

Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP. Se necessário refaça o cálculo dos parâmetros do controlador PD.

3 Sistema Torcional

A utilização do sistema torcional configurado como sistema de segunda ordem é muito semelhante ao caso anterior. Retire os discos 2 e 3.

A função de transferência deste sistema é dada por:

$$F(s) = \frac{k_{hw}}{J_1 s^2 + c_1 s}$$
(5)

onde:

 J_1 : é o momento de inércia do disco 1;

 c_1 : é o coeficiente de atrito viscoso do disco 1;

 k_{hw} : é o ganho de hardware do sistema.

Considere agora, o sistema anterior controlado por um controlador PD com "velocity feedback" com o parâmetro $k_i = 0$, conforme a Fig. 5 e F(s) dado pela equação (5).



Figura 5: Diagrama de blocos do sistema com controlador PD com "velocity feedback".

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por:

$$\frac{\Theta(s)}{R(s)} = \frac{k_{hw}k_p}{J_1s^2 + (c_1 + k_{hw}k_d)s + k_{hw}k_p}$$
(6)

Para que este sistema se comporte aproximadamente como um filtro de segunda ordem, deve-se calcular os parâmetros $k_p e k_d$ de modo que o coeficiente de amortecimento seja $\frac{1}{2}$ e que a frequência natural de oscilação seja igual à frequência de corte desejada para o filtro. Para que isto aconteça deve-se fazer:

$$k_p = \frac{J_1 \omega_n^2}{k_{hw}} \tag{7}$$

e

$$k_d = \frac{J_1 \omega_n - c_1}{k_{hw}} \tag{8}$$

7

3.1 Procedimento Experimental para o Sistema Torcional

Deseja-se analisar o comportamento do sistema torcional quando excitado por sinais amostrados com freqüência de amostragem distintas

- 1. Fixe quatro massas de 500g sobre o disco inferior na distância de 9 cm;
- 2. Para os valores de $\omega_n = 3,4 \text{ e } 12 \text{ rd/s}$, calcule os ganhos $k_p \text{ e } k_d$ do controlador **PD with Velocity Feedback**, de acordo com as equações (7) e (8) respectivamente. Adote os seguinte valores:

 $c_1 = 0.0076394$ N-s/m, $J_1 = 0.0187$ N/m (com pesos) e $k_{hw} = 17.6$

Importante: Os valores dos ganhos $k_p \in k_d$ devem ser menores do que 0.2.

- 3. Com o controlador ligado, entre na caixa de diálogo **Control Algorithm** do menu **Set**up e defina **Ts=0.00442s** para **Continuous Time**. No menu **Set-up**, selecione **PI with Velocity Feedback** e entre com os valores $k_p \in k_d$ calculados no passo anterior ($k_i = 0$). Selecione **Implement Algorithm** e **OK**.
- 4. Entre no menu **Command**, vá para **Trajectory** e selecione **User Defined**. Realize os seguintes ajustes:
 - (a) Selecione Close Loop Trajectory,
 - (b) Selecione Segment Time: 10 (msec),
 - (c) Selecione Trajetory Filename: C:/ea619/fun1_emu.trj Onde o sinal f₁ é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(4t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 126 \text{ rd/s}$

- (d) Não habilite a opção interpolação por spline.
- 5. Vá para o Set-up Data Acquisition no menu Data e selecione Encoder #1 e Commanded Position como variáveis para aquisição; especifique uma amostragem a cada 2 ciclos. Selecione OK para sair. Selecione Zero Position no menu Utility para zerar as posições dos encoders;
- Selecione Execute no menu Command. No comando Set up Plot selecione Command Position no eixo da direita e Encoder 1 Position no eixo esquerdo. Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP.
- 7. Repita o experimento utilizando agora o sinal no arquivo:

C:/ea619/fun2_emu.trj

Onde o sinal f_2 é o sinal amostrado:

$$f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(4t)$$
, freqüência de amostragem $\omega_s = 16$ rd/s

Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP. Se necessário refaça o cálculo dos parâmetros do controlador PD.

4 Emulador Industrial

Uma particularidade deste sistema é que o momento de inércia total do sistema é composto pelo momento de inércia do disco de atuação somado ao momento de inércia refletido do disco de carga.

A função de transferência deste sistema é na configuração a ser utilizada é dada por:

$$F(s) = \frac{k_{hw}}{J^* s^2 + c^* s}$$
(9)

onde:

e

 J^* : é o momento de inércia total refletido sobre o eixo do motor;

 c^* : é o coeficiente de atrito viscoso;

*k*_{*hw*}: é o ganho de hardware do sistema.

Considere agora, o sistema anterior controlado por um controlador PD com "velocity feedback" com o parâmetro $k_i = 0$, conforme a Fig. 6 com F(s) dado pela equação (9).



Figura 6: Diagrama de blocos do sistema com controlador PD com "velocity feedback".

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por:

$$\frac{\theta(s)}{R(s)} = \frac{k_{hw}k_p}{J^*s^2 + (c^* + k_{hw}k_d)s + (k_{hw}k_p)}$$
(10)

Para que este sistema se comporte aproximadamente como um filtro de segunda ordem, deve-se calcular os parâmetros $k_p e k_d$ de modo que o coeficiente de amortecimento seja $\frac{1}{2}$ e que a frequência natural de oscilação seja igual à frequência de corte desejada para o filtro. Para que isto aconteça deve-se fazer:

$$k_p = \frac{J^* \omega_n^2}{k_{hw}} \tag{11}$$

$$k_d = \frac{J^* \omega_n - c^*}{k_{hw}} \tag{12}$$



Deseja-se analisar o comportamento do sistema emulador industrial quando excitado por sinais amostrados com freqüência de amostragem distintas.

- 1. Com o controlador desligado, coloque o sistema no Caso Teste #12:
 - (a) $n_{pd} = 24, n_{p\ell} = 36,$
 - (b) Correias: 140 (entre "drive" e pino) e 260 (entre "load e pino),
 - (c) 4 massas de 500gr no disco de carga a 10cm do centro,
 - (d) 4 massas de 200gr no disco de tração a 6cm do centro.
- 2. Para os valores de $\omega_n = 3,4$ e 12 rd/s, calcule os ganhos k_p e k_d do controlador **PD** with **Velocity Feedback**, de acordo com as equações (11) e (12) respectivamente. Adote os seguinte valores:

 $J^* = 0.0053 \text{ N/m}, k_{hw} = 5.77 \text{ e } c^* = 0,0015 \text{ N-s/m}$

Importante: Os valores dos ganhos $k_p \in k_d$ devem ser menores do que 0.2 e 0.05 respectivamente.

- 3. Com o controlador ligado, entre na caixa de diálogo Control Algorithm do menu Setup e defina Ts=0.001768s para Continuous Time. No menu Set-up, selecione PI with Velocity Feedback e entre com os valores k_p e k_d calculados no passo anterior (k_i = 0). Selecione Encoder #2 e OK. Selecione Implement Algorithm e OK.
- 4. Entre no menu **Command**, vá para **Trajectory** e selecione **User Defined**. Realize os seguintes ajustes:
 - (a) Selecione Close Loop Trajectory,
 - (b) Selecione Segment Time: 10 (msec),
 - (c) Selecione Trajetory Filename: C:/ea619/fun1_emu.trj
 Onde o sinal f₁ é o sinal amostrado:
 - $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(16t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 315 \text{ rd/s}$
 - (d) Não habilite a opção interpolação por spline.
- 5. Vá para o Set-up Data Acquisition no menu Data e selecione Encoder #2 e Commanded Position como variáveis para aquisição; especifique uma amostragem a cada 6 ciclos. Selecione OK para sair. Selecione Zero Position no menu Utility para zerar as posições dos encoders;
- 6. Selecione Execute no menu Command. No comando Set up Plot selecione Command Position no eixo da direita e Encoder 2 Position no eixo esquerdo. Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP.

- 7. Repita o experimento utilizando agora o sinal no arquivo:
 - C:/ea619/fun2_emu.trj

Onde o sinal f_2 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \text{cte} \exp(-0, 1t) \sin(16t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 31 \text{ rd/s}$

Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP. Se necessário refaça o cálculo dos parâmetros do controlador PD.

11

5 Pêndulo Invertido

Considere o pêndulo invertido com a haste principal travada; a função de transferência deste sistema é dada por:

$$F(s) = \frac{k_{hw}}{m_1 s^2 + c_1 s}$$
(13)

onde:

 m_1 : é a massa da haste deslizante com os pesos "orelha";

 c_1 : é o coeficiente de atrito viscoso da haste deslizante;

 k_{hw} : é o ganho de hardware do sistema, definido pelo produto $k_s k_f k_x$;

Considere agora, o sistema anterior controlado por um controlador PD com "velocity feedback" com o parâmetro $k_i = 0$, conforme a Fig. 7 e F(s) descrito pela equação (13).



Figura 7: Diagrama de blocos do sistema com controlador PD com "velocity feedback".

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por:

$$\frac{X(s)}{R(s)} = \frac{k_{hw}k_p}{m_1s^2 + (c_1 + k_{hw}k_d)s + k_{hw}k_p}$$
(14)

Para que este sistema se comporte aproximadamente como um filtro de segunda ordem, deve-se calcular os parâmetros $k_p e k_d$ de modo que o coeficiente de amortecimento seja 1/2 e que a frequência natural de oscilação seja igual à frequência de corte desejada para o filtro. Para que isto aconteça deve-se fazer:

$$k_p = \frac{m_1 \omega_n^2}{k_{hw}} \tag{15}$$

$$k_d = \frac{m_1 \omega_n - c_1}{k_{hw}} \tag{16}$$

5.1 Procedimento Experimental para o Pêndulo

Deseja-se analisar o comportamento da haste deslizante quando excitada por sinais amostrados com freqüência de amostragem distintas.

- Desligue o controlador fixe os pesos "orelhas"na haste deslizante. Trave a haste principal do pêndulo utilizando um calço no contrapeso. A haste deslizante deve estar na posição central.
- 2. Para os valores de $\omega_n = 20,30$ e 50 rd/s, calcule os ganhos k_p e k_d do controlador **PD** with Velocity Feedback, de acordo com as equações (15) e (16) respectivamente. Adote os seguinte valores:

$$m_1 = 0.216$$
kg, $c_1 = 0.225$ N-s/m, e $k_{hw} = 2088$

Importante: Os valores dos ganhos $k_p \in k_d$ devem ser menores do que 0,4 e 0,04 respectivamente.

- 3. Com o controlador ligado, entre na caixa de diálogo Control Algorithm do menu Set-up e defina Ts=0.00442s para Continuous Time. No menu Set-up, selecione PI with Velocity Feedback e entre com os valores k_p e k_d calculados no passo anterior (k_i = 0). Selecione Encoder #2 e OK. Selecione Implement Algorithm e OK.
- 4. Entre no menu **Command**, vá para **Trajectory** e selecione **User Defined**. Realize os seguintes ajustes:
 - (a) Selecione Close Loop Trajectory,
 - (b) Selecione Segment Time: 10 (msec),
 - (c) Selecione Trajetory Filename: C:/ea619/fun1_pen.trj
 Onde o sinal f₁ é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(8t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 63 \text{ rd/s}$

(d) Não habilite a opção interpolação por spline.

- 5. Vá para o Set-up Data Acquisition no menu Data e selecione Encoder #2 como variável para aquisição; especifique uma amostragem a cada 2 ciclos. Selecione OK para sair. Selecione Zero Position no menu Utility para zerar as posições dos encoders;
- Selecione Execute no menu Command. No comando Set up Plot selecione Command Position no eixo da direita e Encoder 2 Position no eixo esquerdo. Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP.
- 7. Repita o experimento utilizando agora o sinal no arquivo:

C:/ea619/fun2_pen.trj

Onde o sinal f_2 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \sin(8t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 31 \text{ rd/s}$

Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP. Se necessário refaça o cálculo dos parâmetros do controlador PD.

6 Levitador Magnético

Considere o levitador magnético somente com o disco #1. A função de transferência deste sistema é dada por:

$$F(s) = \frac{k_{hw}}{m_1 s^2 + c_1 s}$$
(17)

onde:

*m*₁: é a massa do disco magnético;

 c_1 : é o coeficiente de atrito viscoso;

*k*_{*hw*}: é o ganho de hardware do sistema.

Considere agora, o sistema anterior controlado por um controlador PD com "velocity feedback" com o parâmetro $k_i = 0$, conforme a Fig. 8 e F(s) descrito pela equação (17).



Figura 8: Diagrama de blocos do sistema com controlador PD com "velocity feedback".

A função de transferência do sistema em malha fechada é dada por:

$$\frac{X(s)}{R(s)} = \frac{k_{hw}k_p}{m_1s^2 + (c_1 + k_{hw}k_d)s + k_{hw}k_p}$$
(18)

Para que este sistema se comporte aproximadamente como um filtro de segunda ordem, deve-se calcular os parâmetros k_p e k_d de modo que o coeficiente de amortecimento seja 1/2 e que a frequência natural de oscilação seja igual à frequência de corte desejada para o filtro. Para que isto aconteça deve-se fazer:

$$k_p = \frac{m_1 \omega_n^2}{k_{hw}} \tag{19}$$

e

$$k_d = \frac{m_1 \omega_n - c_1}{k_{hw}} \tag{20}$$

6.1 Procedimento Experimental para o Levitador

Deseja-se analisar o comportamento do disco #1 do levitador quando excitado por sinais amostrados com freqüência de amostragem distintas.

- 1. No menu File carregue os parâmetros de calibração do sensor. Através da opção Load Settings carregue o arquivo "Exp6M.cfg". Entre no menu Setup, Sensor Calibration, selecione a opção Calibrate Sensor $Y_{cal} = a/Y_{raw} + f/sqrt(Y_{raw} + g + h * Y_{raw})$ e habilite a opção Apply Thermal Compesation;
- 2. Para os valores de $\omega_n = 18,25$ e 35 rd/s, calcule os ganhos k_p e k_d do controlador PD, de acordo com as equações (19) e (20) respectivamente. Adote os seguinte valores:

$$m_1 = 0.123$$
kg, $c_1 = 0.45$ N-s/m, e $k_{hw} = 104.6$

Importante: Os valores dos ganhos k_p e k_d devem ser menores do que 2 e 0,04 respectivamente.

- 3. Entre na caixa de diálogo Control Algorithm e defina Ts=0.001768s. Carregue o algoritmo Exp9_ea617.alg através da opção Load from disk. Em seguida selecione Edit Algorithm e ajuste os ganhos kp e kd de acordo com os valores calculados no item anterior. Em seguida selecione Implement Algorithm. O disco irá se mover para a altura de 2.5 [cm] mantendo-se nesta posição;
- 4. Vá para o Setup Data Acquisition no menu Data e selecione Commanded Position e Variable Q10 como variáveis a adquirir, e especifique uma amostragem de dados a cada 2 ciclos;
- 5. Entre no menu **Command**, vá para **Trajectory** e selecione **User Defined**. Realize os seguintes ajustes:
 - (a) Selecione **Trajetory Filename:** C:/ea619/fun1_lev.trj

Onde o sinal f_1 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \cos(20t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 126 \text{ rd/s}$

- (b) Selecione Segment Time: 10 (msec),
- (c) Não habilite a opção interpolação por spline.
- Selecione Execute no menu Command. No comando Set up Plot selecione Command Position no eixo da direita e a variável Q10 no eixo esquerdo. Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP.
- 7. Repita o experimento utilizando agora o sinal no arquivo:

C:/ea619/fun2_lev.trj

Onde o sinal f_2 é o sinal amostrado:

 $f(t) = \operatorname{cte} \exp(-0, 1t) \cos(20t)$, freqüência de amostragem $\omega_s = 32 \text{ rd/s}$

Verifique a qualidade do sinal recuperado na saída do sistema ECP. Se necessário refaça o cálculo dos parâmetros do controlador PD.

15

Relatório

- A. Com base nos resultados e figuras obtidas, estabeleça quando foi possível recuperar o sinal original.
- B. Analise a influência da freqüência de amostragem e a freqüência de corte do filtro no sinal da saída do sistema.
- C. Compare os resultados obtidos com os previstos pela análise.