Controle Automático I

TRABALHO #1

Engenharia Elétrica
Prof. Fernando Passold

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o conhecimento adquirido na primeira parte da disciplina associado com equações diferenciais e transformada de Laplace e seu uso para análise de sistemas.

Execução

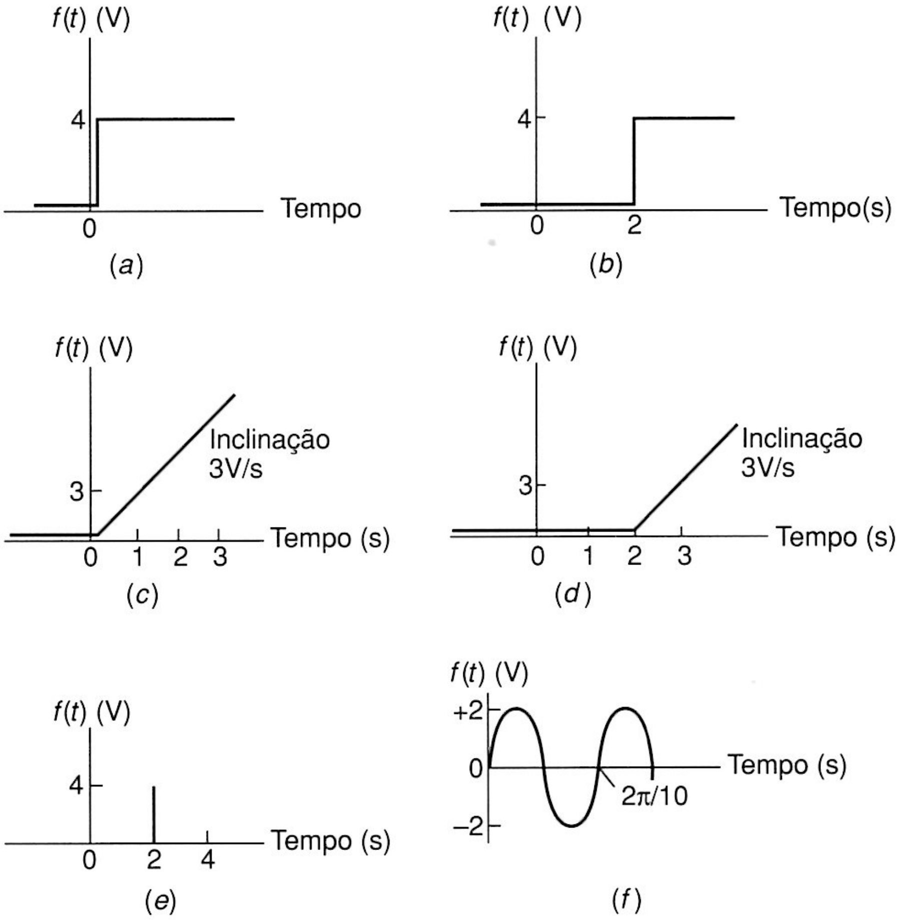
Este trabalho está previsto para ser executado em duplas de alunos ou no máximo, em equipes de 3 alunos. Cada equipe devolve para o professor um arquivo PDF contendo a resolução das questões.
Não se exige nenhuma "capa" para este trabalho, nem nenhuma formatação especial, mas **recomenda-se** uso de fonte tamanho 10 pt, espaçamento 1,1. Os gráficos podem ser traçados usando software como o MATLAB ou Octave.

Data de entrega: 09/05/2025 .

Pontuação
Todos os itens valem a mesma pontuação.

ITENS:

1) A figura abaixo ilustra várias formas comuns de sinais de entrada para sistemas. Com auxílio de tabela, deduza as Transformadas de Laplace para estes sinais.



Obs.: (a) função degrau de amplitude 4 Volts; (b) função degrau atrasada de 2 segundos e amplitude de 4 Volts; (c) função rampa, com razão/taxa de 3 Volts/segundo; (d) função rampa deslocada (atrasada) no tempo em 2 segundos e com razão de 3 Volts/segundo; (e) impulso de amplitude 4 Volts no instante de tempo t = 3 segundos; (f) onda senoidal de amplitude de 2 Volts de pico e frequência de 10 Hz.

2) Determine as **transformas inversas de Laplace** para:

a) $Y(s) = \dfrac{2}{s}$.

b) $Y(s) = \dfrac{3}{2s+1}$.

c) $Y(s) = \dfrac{2}{s+4}$.

3) Use a **transformada de Laplace** para **resolver** a seguinte **equação diferencial**:

$3\dfrac{dx}{dt} + 2x = 4,$

com $x = 0$ em $t = 0$.

Continua…

4) Questão sobre **Respostas de Sistemas Lineares**: Plote a curva (usando MATLAB, Octave, outro software) das seguintes funções no domínio tempo:

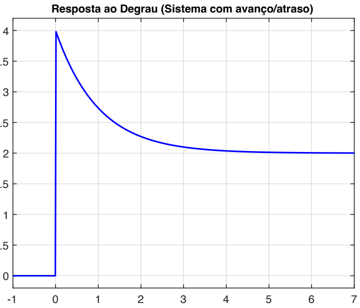
a) $y_1(t) = 5\left(1 - e^{-t}\right)$, com $0 < t < 10$ segundos;

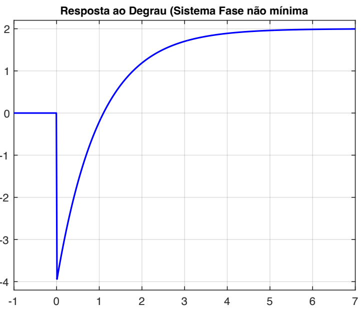
b) $y_2(t) = 5\left(1 - e^{-t/4}\right)$, com $0 < t < 10$ segundos; Compare com (a) e eventualmente mostre no mesmo gráfico (a) e (b).

c) $y_3(t) = A\left[\left(\frac{\tau_1}{\tau_2} - 1\right) \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + 1\right]$

A função transferência (sistema) que gerou esta resposta é do tipo:
$G_3(s) = A\,\frac{(\tau_1 s + 1)}{(\tau_2 s + 1)}$; onde $y_3(t)$ corresponde à resposta temporal deste sistema quando submetido à um degrau unitário ou: $y_3(t) = \mathscr{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s} \cdot G_3(s)\right\}$

Considere neste item: $A = 2$, $\tau_1 = 1$ (segundo) e $\tau_2 = 2$ (segundos); $-1 < t < 7$ segundos. A equação acima só é válida a partir de $t > 0$. Apresente uma figura, onde seu lado direito mostre este pólo e zero no plano-z (pode ser usada a função `pzmap()` e o lado direito a resposta temporal deste sistema quando submetido à uma entrada degrau unitário). Para os valores que foram passados neste item teremos um sistema do tipo: "**avanço/atraso**" (ou *Lead/Lag*) — observe a figura de $y_3(t)$ para compreender isto. Neste caso:
$G_3(s) = \frac{2s + 2}{2s + 1} = 2\frac{(s + 1)}{(2s + 1)} = \frac{(s + 1)}{(s + 0{,}5)}$.





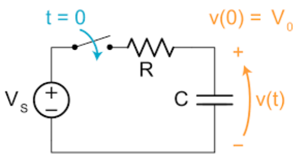
d) Mesma equação geral do item anterior, mas agora: $\tau_1 = -1$. Note que neste caso, teremos um sistema do tipo:
$G_4(s) = \frac{-2s + 2}{2s + 1} = 2\frac{(-s + 1)}{(2s + 1)} = \frac{-(s - 1)}{(s + 0{,}5)}$

Neste caso temos o zero do sistema no semi-plano direito positivo do plano-s (ou o que se poderia tentar chamar de um "zero instável"). Este é um sistema do tipo: **fase não mínima**.

Apresente o mesmo tipo de figura (2 colunas) requerido para o item (c).

Note que tanto no item (c) quanto (d), o sistema converge para $y(\infty) = 2$.

5) Considere um circuito RC série, conforme mostra a figura abaixo:



Pede-se:

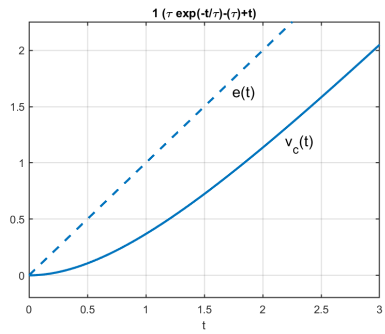
a) Modele o circuito obtendo uma equação diferencial que permita prever a tensão $v(t)$ (d.d.p.) desenvolvida nos terminais do capacitor em função da tensão de entrada V_S.

b) Use a transformada de Laplace para obter a solução para a equação $v(t)$ em função da tensão de entrada V_S. Neste caso, considere que V_S seja um **degrau** de amplitude 5,0 Volts aplicado no instante $t = 0$.

c) Apresente um gráfico mostrando como varia a tensão $v(t)$, depois de aplicada a tensão degrau de amplitude $V_S = 5$ Volts.

d) Ressalte neste mesmo gráfico, o valor de $v(t)$ comparado percentualmente com V_S quando: a) $t = \tau$ (uma constante de tempo), b) $t = 2\tau$ (2 constantes de tempo), e c) $t = 4\tau$ (4 constantes de tempo); Onde o termo $\tau = R \cdot C$, corresponde a constante de tempo deste sistema. Supor neste exercício que: $R = 10$ KΩ e $C = 100$ μF.

6) Considere o mesmo circuito RC anterior, mas agora a tensão de entrada V_S é uma **rampa** que segue uma inclinação (ou taxa) de 1,0 Volt por segundo. Calcule os mesmos items de (a) à (d) requeridos no item anterior, mas considerando agora este novo tipo de entrada. Apenas mude um pouco o gráfico requerido para o item (d): mostre usando uma linha tracejada, como varia a tensão na entrada do circuito e sobreposto no mesmo gráfico, como varia a tensão nos terminais do capacitor (tente obter algo semelhante ao mostrado na figura ao lado).



7) Realizar a expansão em frações parciais da função abaixo:
$F(s) = \frac{s + 5}{s^2 + 3s + 2}$

Obs.: Você pode usar as funções `roots()` e `residue()` do MATLAB.

Continua…

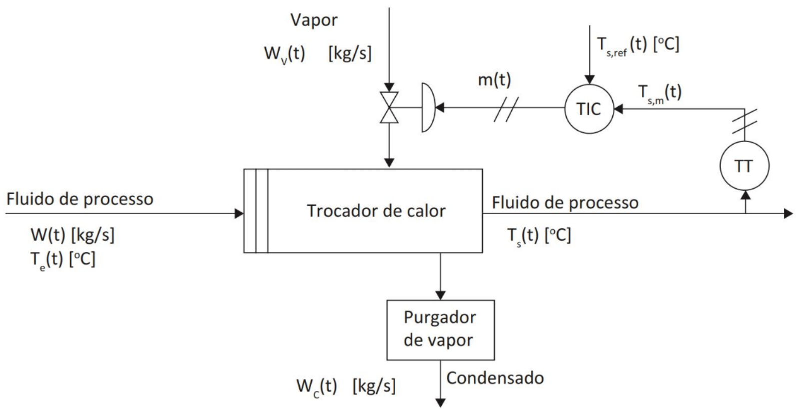
8) Seja um trocador de calor como o mostrado na figura abaixo. Existe um controlador Proporcional (simples ganho K) que tenta manter a temperatura de saída do processo, $T_s(t)$, no valor desejado $T_{s,ref}(t)$ mesmo quando o sistema é confrontado com variações na vazão do fluído do processo, $W(t)$ e variações na temperatura de entrada $T_e(t)$. A vazão de vapor $W_v(t)$ é a variável sendo manipulada. Dados:
- valor desejado da temperatura de saída do fluído de processo: $\overline{T}_{s,ref} = 90$ °C;
- vazão do fluído de processo a ser aquecido em regime permanente nas condições normais de operação: $\overline{W} = 12$ Kg/s;
- temperatura de entrada do fluído de processo em regime permanente nas condições normais de operação: $\overline{T}_e =$ 50 °C;
- vazão máxima pela válvula de vapor: $W_v = 1{,}6$ Kg/s. Considera-se que a válvula tenha característica linear de vazão. Sua constante de tempo é de 3 segundos;
- faixa calibrada do transmissor de temperatura: 50 à 150 °C. Constante de tempo do transmissor de temperatura: 10 segundos. Sinal de saída do transmissor: 3 a 15 psi;
- calor específico do fluído no processo: $c_{P,L} = 3{,}75$ kJ/(Kg °C);
- calor latente do vapor: $\lambda_v = 2250$ kJ/Kg;
- massa do fluído do processo no interior do trocador de calor: $m_L = 360$ Kg.

Pede-se:

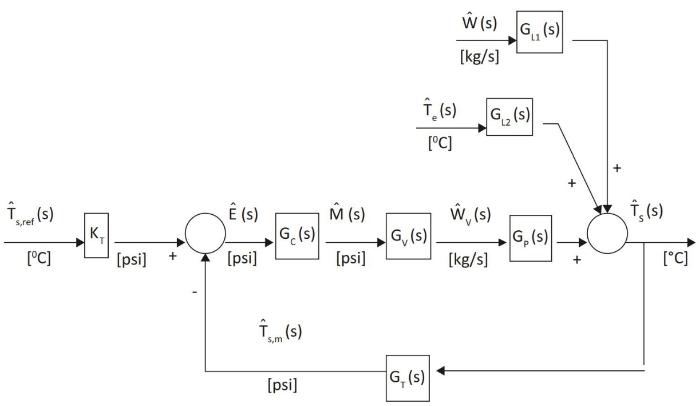
a) Desenhe o diagrama de blocos da malha de controle de temperatura deste sistema, colocando o nome da variável que sai de cada bloco e sua respectiva unidade.

b) Determine as funções transferência do transmissor de temperatura, G_T; da válvula de controle, G_v; do processo, G_p; e das variáveis de carga W (G_{L1}) e T_e (G_{L2});

Segue diagrama P&ID deste processo:



Deve ser obtido um diagrama de blocos semelhante ao mostrado na próxima figura:



Obs.: Esta questão foi baseada no exemplo 4.6.3 (páginas 227 à 234) do livro indicado abaixo:

- GARCIA, Claudio. **Controle de processos industriais**: estratégias convencionais. Editora Blucher, 2017. (temporariamente disponibilizado na pasta: https://drive.google.com/drive/folders/1CuaqSVg3_UKR0p-gEv6nb9NUFS2_edFO?usp=sharing .).

Fim.