Identificação de Sistemas

- Possibilita a construção de modelos matemáticos da dinâmica de um sistema a partir de dados obtidos experimentalmente
- Os modelos matemáticos obtidos são fundamentais para o projeto de um controlador
- Os modelos matemáticos podem ser do tipo:
  - Caixa branca: modelagem que considera apenas as variáveis de entrada e a física do sistema
  - **Caixa preta**: modelagem que considera apenas as variáveis de entrada e a saída do sistema (mais utilizada)
  - Caixa cinza: modelagem que considera tanto as variáveis de entrada e a saída do sistema, como a física do sistema
- Abordagens utilizadas:
  - Domínio do tempo
  - Domínio da frequência

Identificação de Sistemas

- Principais etapas da identificação de um sistema:
  - Testes dinâmicos e coleta de dados
  - Escolha da representação matemática a ser utilizada
  - Determinação da estrutura do modelo
  - Estimação de parâmetros
  - Validação do modelo
- Principais limitações da identificação
  - Modelos são sempre aproximações dos fenômenos reais
  - Quanto mais simples o modelo, mais fácil de ser implementado porém possui maiores erros
  - Não-linearidades exigem modelos complexos

Identificação de Sistemas

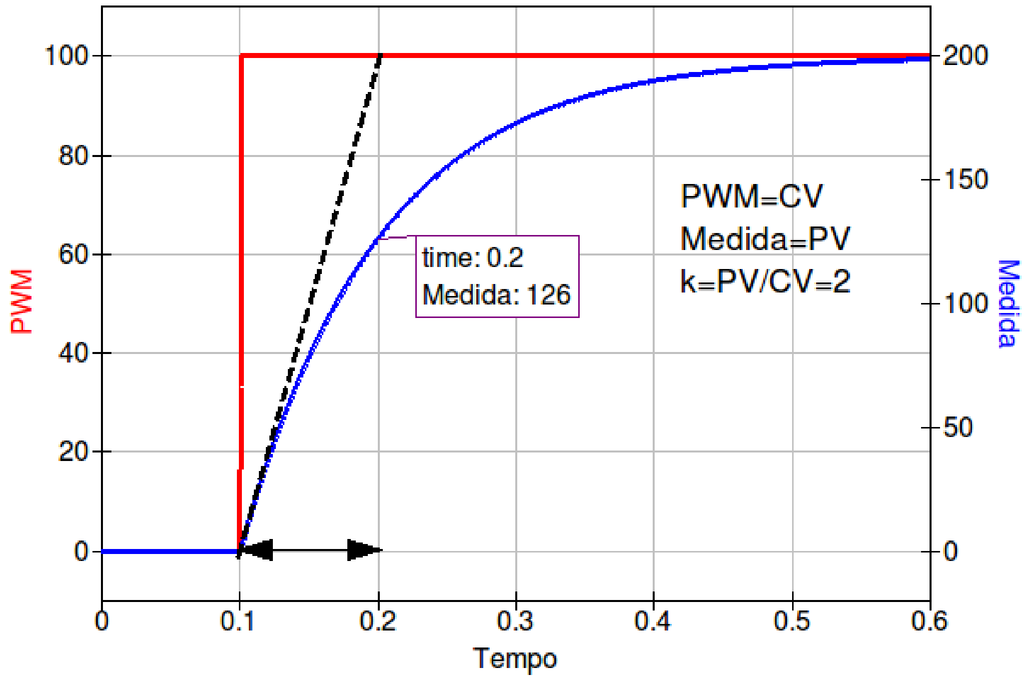
- Abordagem no domínio do tempo:
  - Aplicação de um degrau de entrada (PWM)
  - Aquisição dos dados da saída (medida do sensor)
  - Utilização de modelos exponenciais
  - Estimação de parâmetros
  - Validação do modelo
- Simplificações adotadas:
  - Modelos lineares de 1ª ou 2ª ordem
  - Apenas uma variável de entrada e uma de saída
  - Estimação dos ganhos e das constantes de tempo através da resposta ao degrau

Identificação de Sistemas

- Principais variáveis utilizadas na modelagem
  - CV: variável de entrada ou controle (PWM)
  - CV_0: valor inicial da variável de processo (PWM inicial)
  - PV: variável de saída ou processo (medida)
  - PV_0: valor inicial da variável de processo (medida inicial)
  - k: ganho do processo
  - τ : constante(s) de tempo do sistema

Modelos de 1ª ordem

- A resposta temporal é representada por um decaimento exponencial simples:
  - $$PV(t)=k(CV-CV_0)\left(1-e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)}\right)+PV_0$$



$$k=\frac{(PV-PV_0)}{(CV-CV_0)} \qquad t\gg\tau$$

- Resposta em frequência (s):

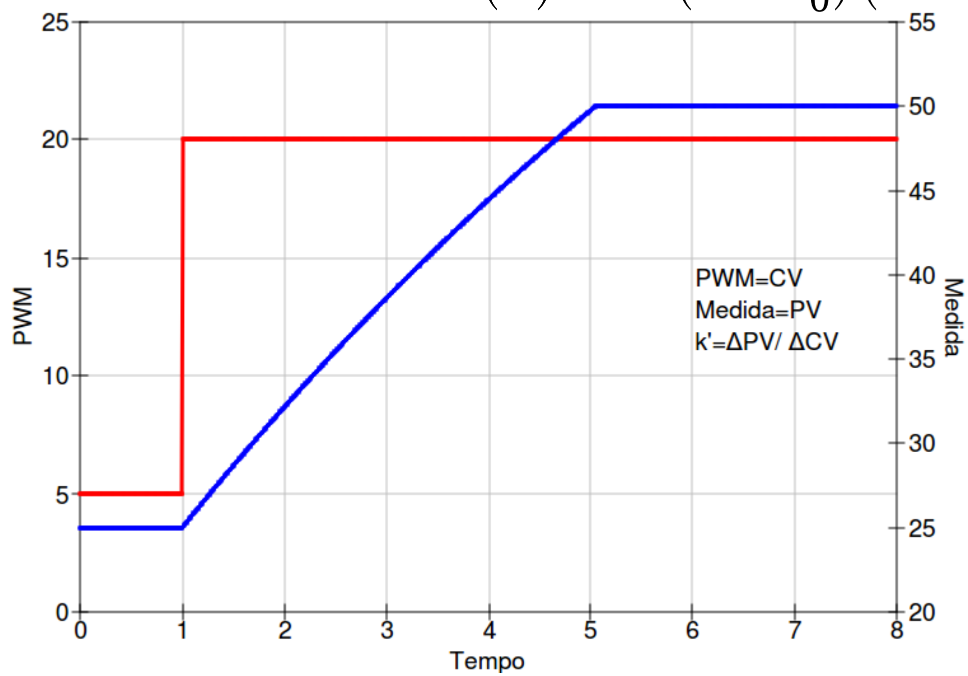
$$PV(s)=\frac{k}{(\tau s+1)}$$

Modelos de 1ª ordem

- Procedimento:
  - Encontrar o valor de τ
  - Encontrar o valor do k para $t \gg \tau$
  - Testar a resposta do modelo encontrado e comparar com os dados experimentais

Modelos de 1ª ordem - Integrativo

- Quando a constante de tempo é muito superior ao tempo analisado, ou o sistema possui região de saturação que impossibilita a obtenção da constante de tempo, o sistema é dito integrativo e a resposta temporal pode ser aproximada por uma função linear (reta):
  - $$PV(t) \approx k'(t-t_0)(CV-CV_0)+PV_0$$



$$k' = \frac{(PV-PV_0)}{(CV-CV_0)(t-t_0)}$$

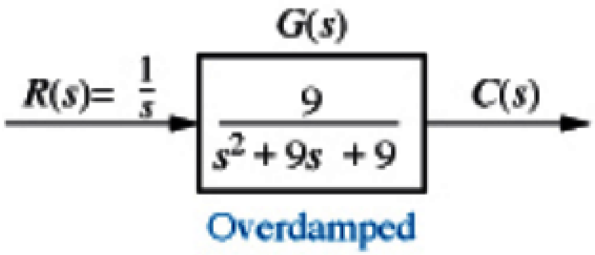
obtidos na região linear

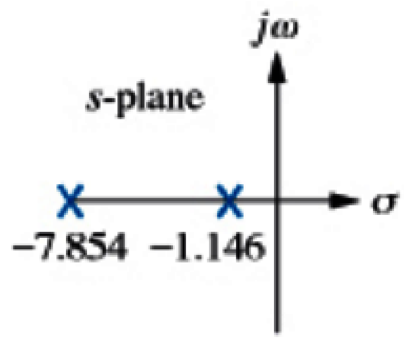
- Resposta em frequência (s):

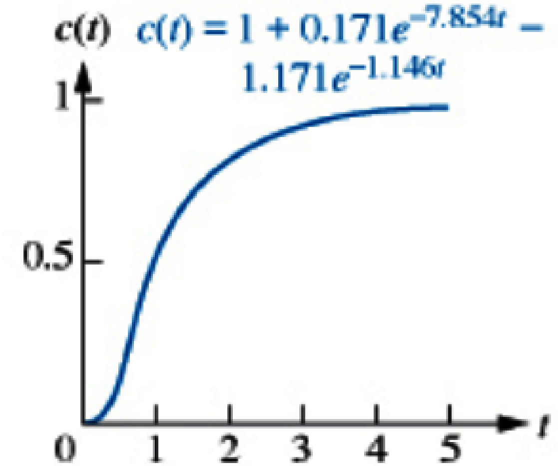
$$PV(s) = \frac{k'}{(s)}$$

Modelos de 2ª ordem

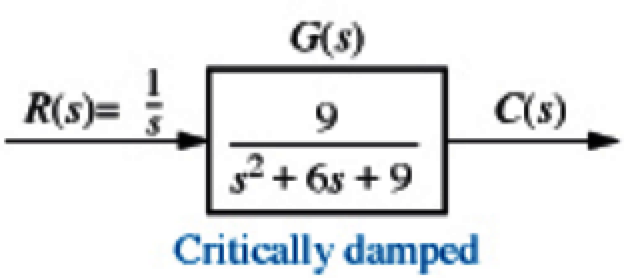
- Superamortecido:

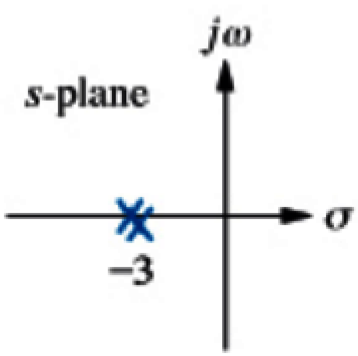


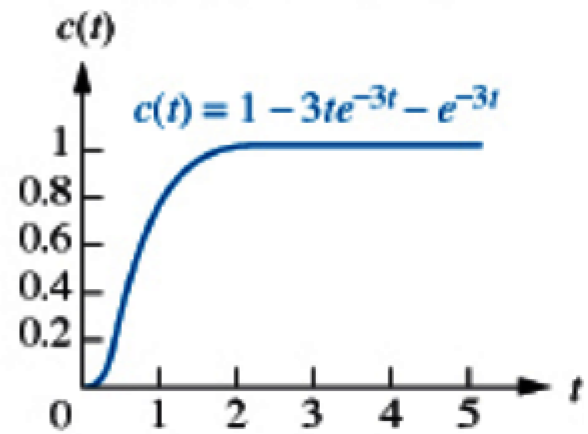




- Criticamente amortecido:

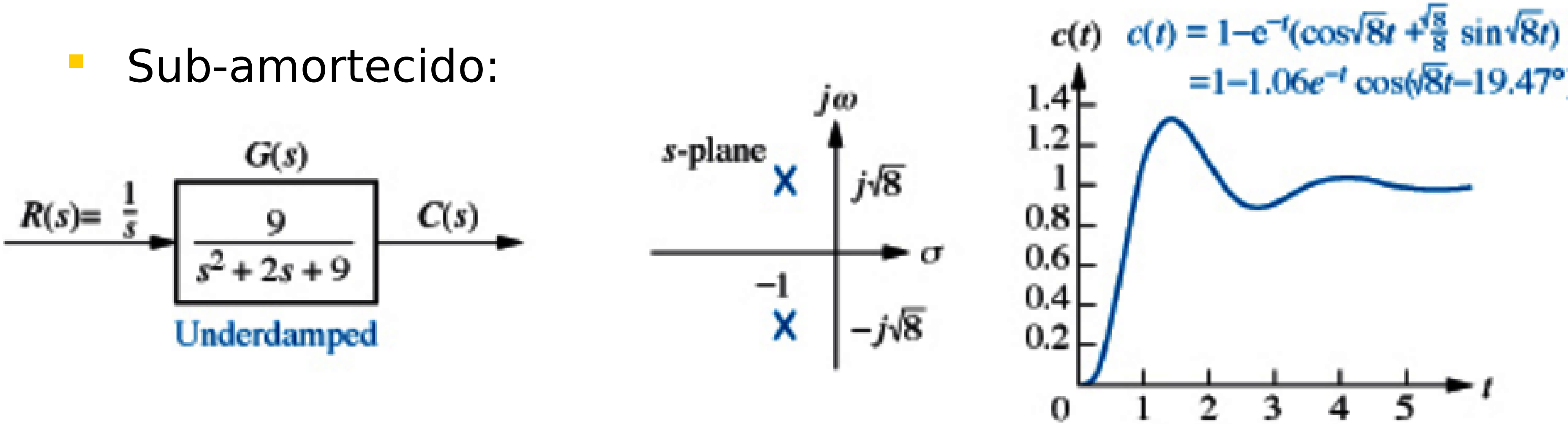




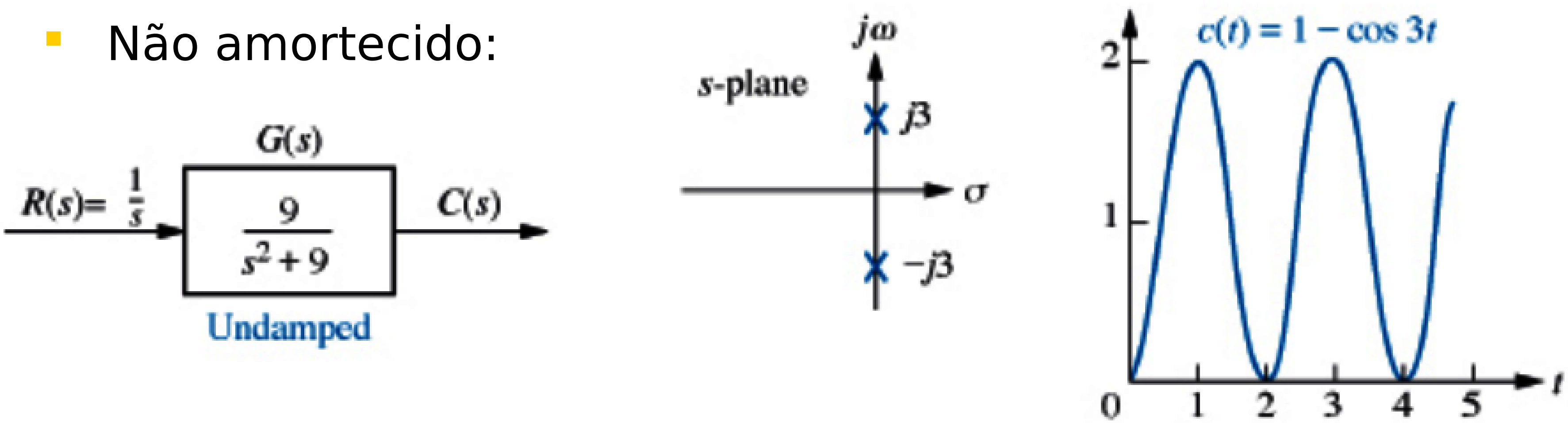


Modelos de 2ª ordem

- Sub-amortecido:

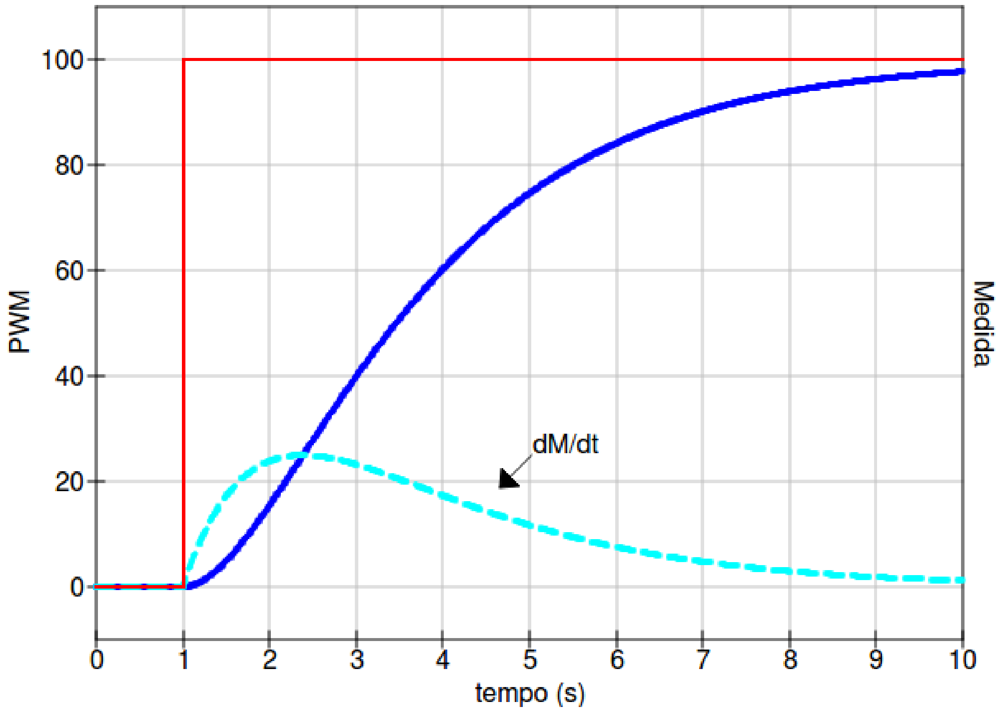


- Não amortecido:



Modelos de 2ª ordem

- A resposta temporal é representada por um decaimento exponencial duplo:
  - $PV(t)=(CV-CV_0)[k_1(1-e^{(\frac{-t}{\tau_1})})+k_2(1-e^{(\frac{-t}{\tau_2})})]+PV_0$



$$k_1+k_2=\frac{(PV-PV_0)}{(CV-CV_0)} \qquad t \gg \tau$$

- Resposta em frequência (s):

$$PV(s)=CV\left[\frac{k_1}{(\tau_1 s+1)}+\frac{k_2}{(\tau_2 s+1)}\right]$$

Modelos de 2ª ordem

- Procedimento: decomposição em duas exponenciais simples
  - Calcular a derivada de PV(t)
  - Encontrar o valor do k1+k2 para t>>τ
  - 1ª exponencial:

$$PV_1(t) = \frac{PV(t) + \frac{dPV(t)}{dt}}{k_2}$$

  - 2ª exponencial:

$$PV_2(t) = \frac{PV_1(t) + \frac{dPV(t)}{dt}}{k_1}$$

  - Testar a resposta do modelo encontrado e comparar com os dados experimentais

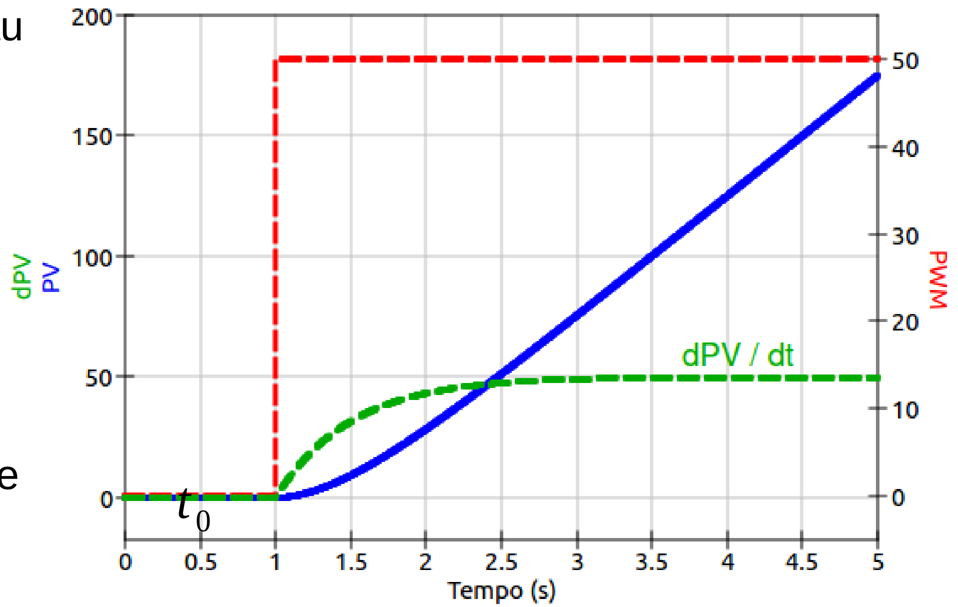
Modelos de 2ª ordem - Integrativo

A resposta temporal ao degrau é do tipo exponencial crescente, dada pela seguinte equação:

- $$PV(t)=k''(CV-CV_0)\left((t-t_0)-\tau\left(1-e^{\frac{t_0-t}{\tau}}\right)\right)+PV_0$$

Onde:

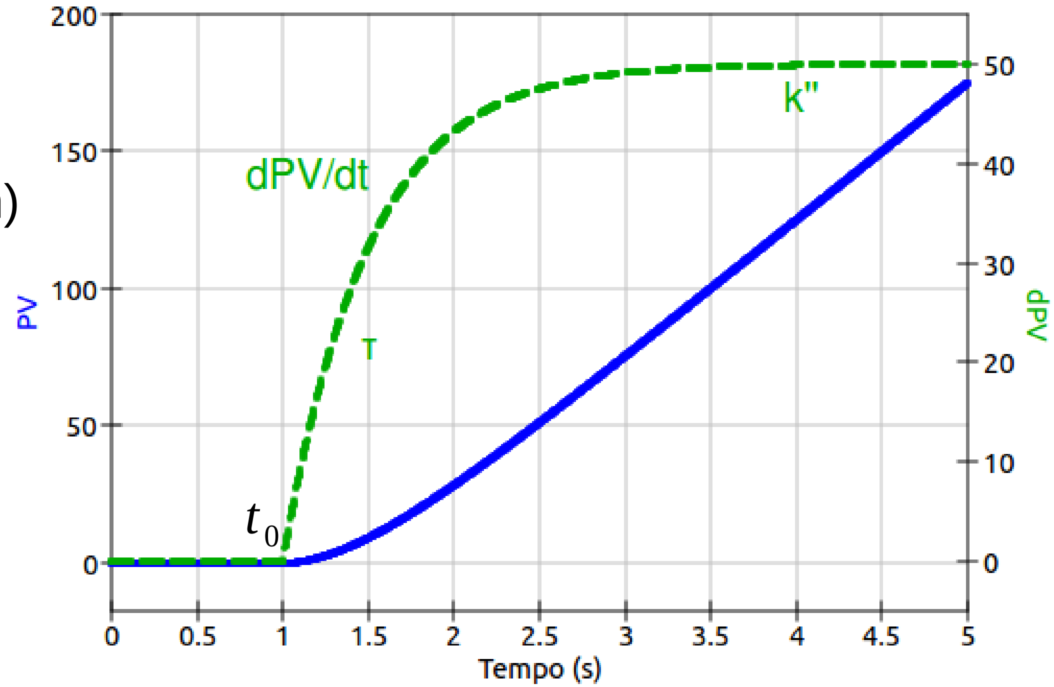
- t: tempo a partir da aplicação do degrau
- t_0: tempo de aplicação do degrau
- τ: constante de tempo do sistema
- PV_0: valor inicial da variável de processo
- k'': ganho do processo
- CV: variável de controle
- CV_0: valor inicial da variável de controle



Modelos de 2ª ordem - Integrativo

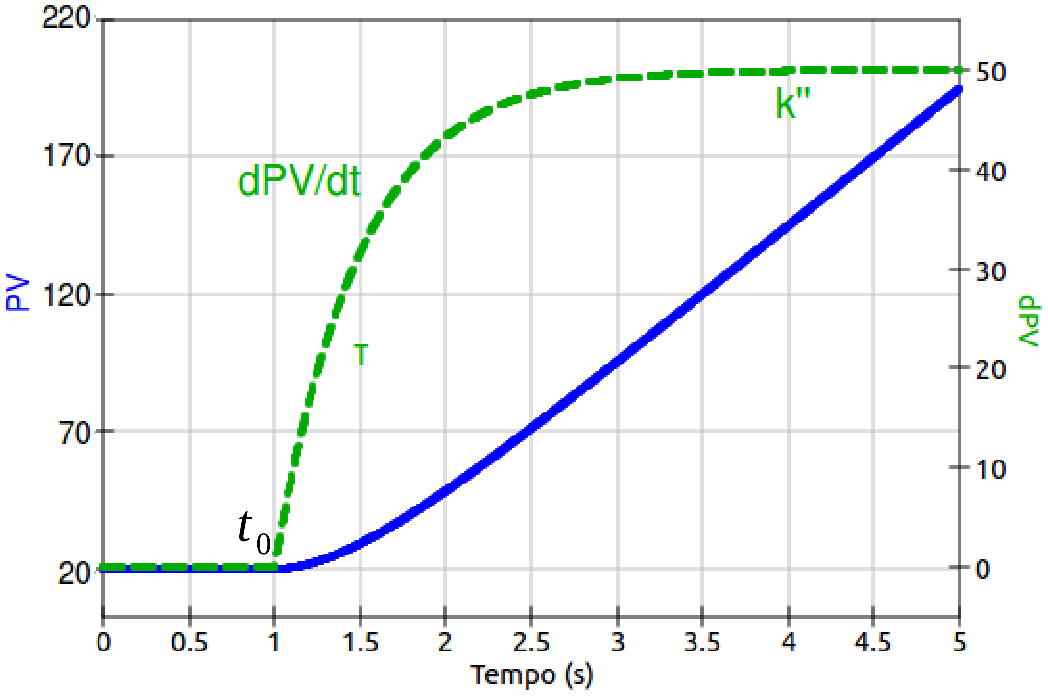
- Resposta em frequência (s): $$PV(s)=CV\left[\frac{k''}{s(\tau s+1)}\right]$$

- Identificação do sistema:
  - Calcular a derivada temporal de PV, que resulta numa exponencial simples (1ª ordem)
  - Encontrar a constante de tempo τ da exponencial obtida pela derivada de PV
  - Encontrar o valor de k'' para t>> τ:
  - $$k''=\frac{dPV/dt}{\Delta CV}$$



Exercício – Identificação de sistemas

- Dado uma resposta ao degrau obtida de um sistema de 2ª ordem integrativo, encontrar o seu modelo no domínio do tempo e da frequência.
- Verifique a validade do modelo para os tempos 2,5 e 4,5 s.



Dados:

$CV_0=20$

$CV=60$