

**PNV3324 FUNDAMENTOS DE CONTROLE EM ENGENHARIA**

NOTAS DE AULA\*

Prof. Helio Mitio Morishita

\* Este texto é um mero roteiro de estudo e não substitui as referências bibliográficas indicadas para a disciplina.

## **1 INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE CONTROLE**

### **1.1 Considerações Gerais**

A palavra controle está incorporada no nosso cotidiano e o seu sentido é de realizar um ato para produzir um resultado desejado. Este resultado desejado pode ser a manutenção de uma determinada grandeza física (por exemplo, a temperatura no interior da geladeira), traqueamento, que significa o acompanhamento de uma determinada trajetória (por exemplo, o movimento do braço de um robô ) ou ainda eliminar ou reduzir perturbações indesejáveis (por exemplo, o jogo do navio provocado pelas ondas). Atualmente, um dos focos da aplicação de teorias de controle é no desenvolvimento de veículos autônomos, seja terrestre, aéreo ou aquático.

De um modo geral, para se projetar um sistema de controle é necessário desenvolver o modelo matemático do sistema a ser controlado, ter-se uma ferramenta matemática para manipular convenientemente os modelos e adotar um procedimento para projetar o controlador. A abordagem adotada neste curso é o clássico, isto é, uma vez desenvolvido o modelo matemático da dinâmica do sistema, a análise da dinâmica do sistema bem com o projeto do controlador será baseado na Transformada de Laplace e na Transformada de Fourier.

No curso serão tratados eminentemente problemas de controle da área de engenharia. No entanto, os conceitos abordados podem ser aplicados para outras áreas como a economia, biologia e a sociologia. Como exemplo podem ser citados os controles de/da na seguintes sub-áreas:

- a) Eletrodomésticos
  - a.1) temperatura da geladeira;
  - a.2) aquecimento de alimentos em microondas;
  
- b) Eletrônicos
  - c.1 rotação do disco rígido de um microcomputador;
  - c.2 foco de uma máquina fotográfica;
  
- c) Veículos e sistemas aeroespaciais
  - c.1) trajetória de um foguete;
  - c.2) velocidade e trajetória de um carro;
  - c.3) posicionamento de um navio em alto mar;
  - c.3) piloto automático de navios e aviões;
  - c.4) posicionamento de satélites e telescópios espaciais;

- d) Economia
  - d.1) inflação;
- e) Saúde
  - e.1) propagação de doenças;
  - e.2) engenharia biomédica;

Os exemplos acima são para sistemas artificiais, isto é, aqueles criados pelo homem. No entanto, existem inúmeros exemplos de controle na natureza, sendo que um dos mais complexos é o fisiológico.

## 1.2 Definições

Se examinarmos com algum detalhe o mecanismo de funcionamento destes sistemas é possível perceber que eles têm em comum, um *controlador*, que envia um sinal a um *atuador*, e este age sobre o *sistema a controlar* (“plant”), de modo que este produza o resultado desejado. O sinal do controlador é baseado no *sinal de referência* e, dependendo do sistema, também do *sinal de realimentação*, isto é, do *sinal de saída do sistema* (uma grandeza física) que se deseja controlar. Além disso, alguns destes sistemas podem ter *perturbações* que são sinais externos indesejáveis que tendem a provocar uma mudança permanente na operação. Finalmente, há os *ruídos*, que são sinais aleatórios que tendem a corromper os valores medidos (variáveis de saída) do sistema.

## 1.3 Tipos de controle

Existem dois tipos de sistema de controle:

### 1.3.1 Controle em malha aberta

Neste tipo de sistema o sinal de saída não é comparado com o sinal de referência e, deste modo, não há garantia se a ação de controle produziu o resultado desejado. O controlador atua baseado somente no sinal de referência, conforme é mostrado no esquema deste tipo de controlador na Fig. 3.1. Exemplos deste tipo de controle são o microondas, cafeteira elétrica, máquina de lavar roupa, etc.

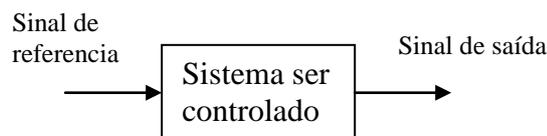


Fig. 1.1 Esquema de um sistema de controle de malha aberta

Obs. (\*) Nesta figura o atuador está incorporado no bloco "Sistema a ser controlado"

### 1.3.2 Controle em malha fechada

Neste tipo de controlador o sinal de saída é realimentado, isto é, comparado com o sinal de referência e, em havendo diferença, o controlador determina um sinal de controle, que é enviado ao atuador de tal modo que este atue no sistema para que o sinal de saída tenha o comportamento desejado. Exemplos deste tipo de controlador

são os controles da temperatura da geladeira, da rotação do disco rígido de um computador, da velocidade de um carro, rotação de motor diesel, etc.

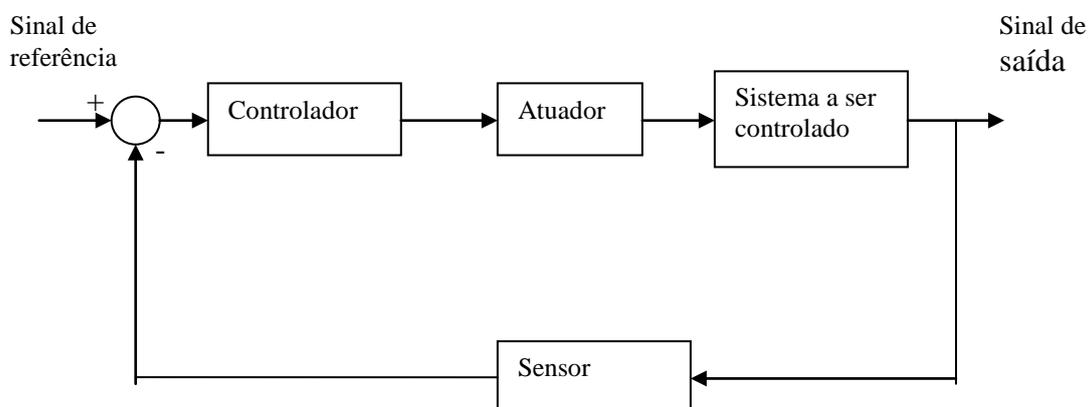


Fig. 1.2 Esquema de controle em malha fechada

Projetar o controlador significa definir uma lei de controle de tal maneira que o sinal de saída tenha as características desejadas tanto no regime permanente como no regime transitório. Uma preocupação que se deve durante o projeto é quanto à estabilidade do sistema em malha fechada pois o controlador pode torná-lo instável.

Para projetar o controlador é necessário ter o modelo matemático da dinâmica de cada componente do sistema em malha fechada. Se o componente tiver dinâmica, o modelo é constituído, em geral, por equação diferencial (ordinária ou parcial). Em caso contrário ele será somente uma constante ou uma curva característica.

#### 1.4 Tipos de sistemas

Antes de iniciarmos o estudo de controle é interessante efetuarmos a classificação de sistemas para se entender de modo claro os limites da teoria. Em termos de controle os sistemas podem ser classificados em:

- a) sistemas contínuos, discretos no tempo e quantificados

Sistemas contínuos no tempo: são sistemas cujas entradas e saídas são capazes de mudar em qualquer instante de tempo.

Vale ressaltar que a denominação contínua no tempo não implica em que todas as variáveis sejam matematicamente contínuas no tempo mas sim que elas são funções de uma variável contínua.

Sistemas discretos no tempo: são sistemas onde as variáveis de entrada e de saída variam discretamente sem se importar com as variações dos sinais durante os intervalos que podem ser regulares ou irregulares

Sistemas quantificados: são sistemas cujas variáveis de entrada e de saída podem assumir somente um número contável de valores mas elas podem variar em qualquer instante de tempo.

- b) sistemas invariantes (fixo) e variantes no tempo

Um sistema é invariante no tempo (fixo, estacionário) se suas relações de entrada e de saída não se modificam ao longo do tempo.

c) sistemas causais

Sistema causal é aquele cuja resposta a uma entrada independe dos valores futuros da entrada.

d) sistemas lineares e não lineares

Um sistema é linear se ele satisfaz o princípio da superposição. Um sistema é linear se, e somente se,

$$y(\alpha x_1 + \beta x_2) = \alpha y(x_1) + \beta y(x_2)$$

onde  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes quaisquer.

Se  $\alpha = \beta = 1$

tem-se a propriedade de aditividade, isto é,

$$y(x_1 + x_2) = y(x_1) + y(x_2)$$

Se  $x_2 = 0$  tem-se:

$$y(\alpha x_1) = \alpha y(x_1)$$

que é a propriedade de homogeneidade.

e) sistemas a parâmetros concentrados e distribuídos

Nos sistemas a parâmetros concentrados considera-se que as excitações se propagam instantaneamente, isto é, concentra-se em determinadas propriedades do sistema em um único ponto. Ao contrário, nos sistemas a parâmetros distribuídos o tempo de propagação dos sinais não pode ser desprezado. Vale ressaltar que:

- Sistemas a parâmetros concentrados recaem em equações diferenciais ordinárias.
- Sistemas a parâmetros distribuídos recaem em equações diferenciais a derivadas parciais.

f) sistemas determinísticos e estocásticos

Um sistema é determinístico se os sinais de entrada e de saída forem dados como funções do tempo, isto é, a um dado valor de tempo  $t$  corresponde um único valor para os dois sinais; se, ao contrário, só for possível fazer afirmações de natureza estatística sobre os sinais o sistema será estocástico.

Neste curso será dada ênfase a sistemas contínuos, invariantes no tempo, causais, lineares, a parâmetros concentrados e determinísticos.