

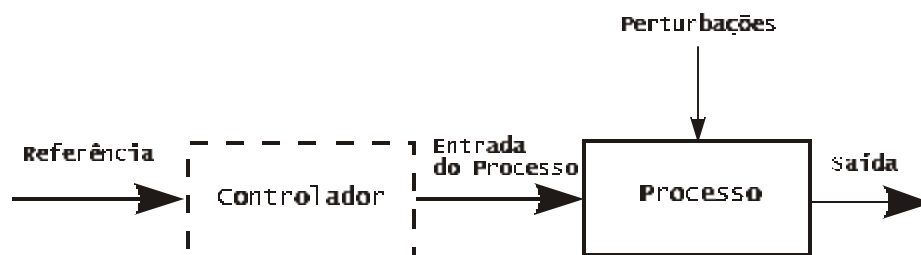
1. Introdução

1.1. Definições Básicas

- ² Sistema: Interconexão de dispositivos e elementos para cumprir um objetivo desejado.
- ² Processo: Um sistema ou dispositivo a ser controlado.
- ² Sistema de controle: Interconexão de componentes formando um sistema que fornecerá uma resposta desejada.
- ² Perturbação: Sinal de entrada indesejado que afeta a saída do sistema;
- ² Realimentação: Operação que visa corrigir (automatica ou manualmente) certas variáveis (grandezas físicas) de um processo. Diminui o efeito de perturbações.
- ² Especificações: Declarações explícitas de critérios de desempenho que um sistema ou dispositivo deve cumprir.
- ² Servomecanismo: Sistema de controle realimentado para controle automático de posição, velocidade ou aceleração. Muito empregado na indústria.
- ² Automação: Controle automático de processos.
- ² Sistemas Reguladores Automáticos: Sistema de controle cujo objetivo é manter constante alguma variável do processo, tais como: nível, posição, velocidade, etc.

1.2. Sistemas de Controle em Malha Aberta

- ² Sistemas em que a variável a ser controlada (saída) não interfere na ação de controle (entrada).



- ² Problemas:
 - a saída é sensível a fenômenos indesejáveis que podem atuar sobre o processo (perturbações, variações nos parâmetros);

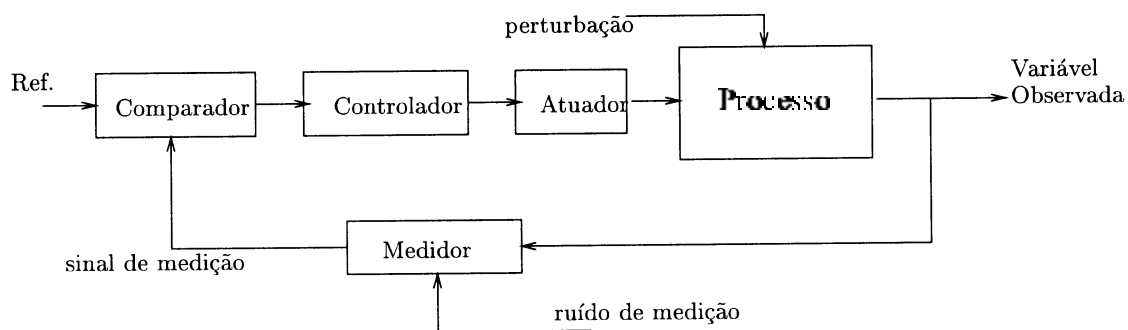
- Degradação de desempenho quando ocorrem perturbações.

² Pontos positivos:

- menor custo de implementação;
- Em geral, não apresentam problemas de estabilidade.

1.3. Sistemas de Controle em Malha Fechada

² Sistemas em que a variável de controle (entrada) depende direta ou indiretamente da variável a ser controlada (saída).



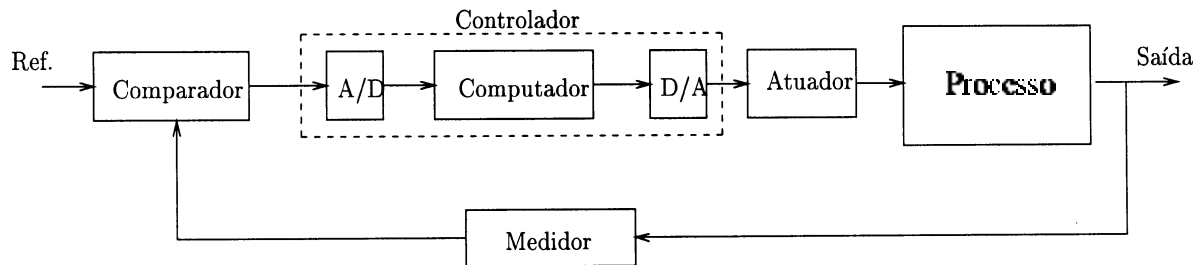
² Vantagens:

- Possíveis distorções na variável controlada provocadas por perturbações são automaticamente corrigidas;
- Menor sensibilidade a variações nos parâmetros do sistema;
- Melhor precisão em regime permanente.

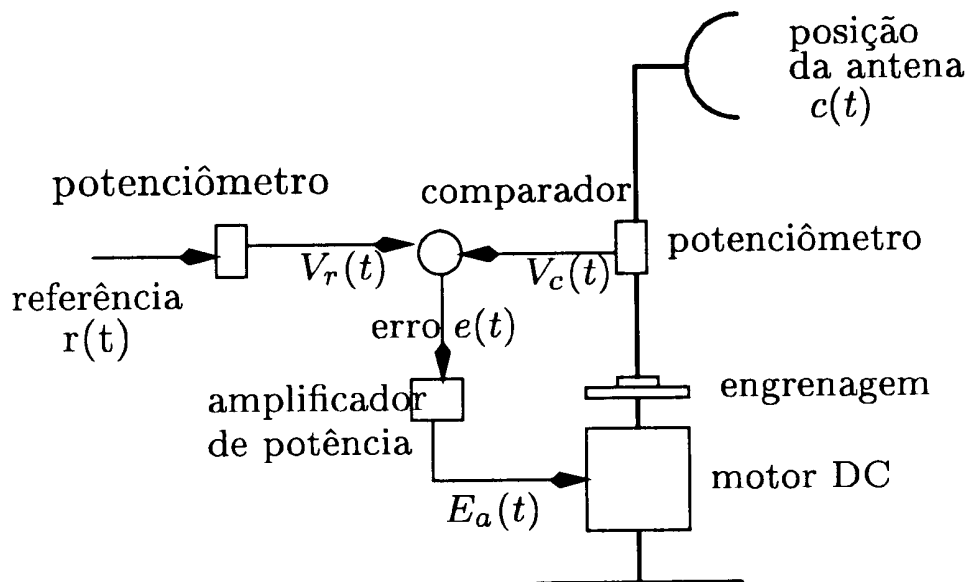
² Desvantagens:

- Sendo mais complexos, têm custo superior aos sistemas em malha aberta;
- Apresentam maior tendência à oscilação e instabilidade.

1.3.1. Sistema Realimentado de Controle por Computador



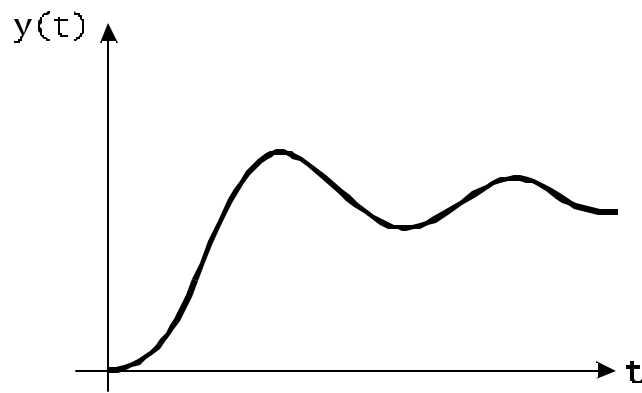
1.3.2. Exemplo de Sistema em Malha Fechada: Servomotor para Posicionamento de Antena



1.4. Sistemas de Tempo Contínuo e de Tempo Discreto

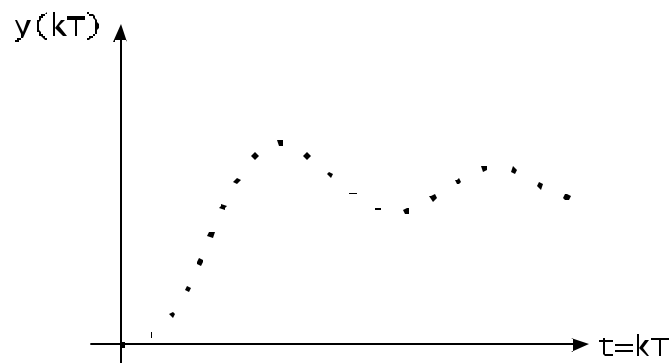
Definição 1. Sistemas de tempo contínuo são sistemas para os quais o tempo e todas as variáveis do sistema podem assumir, a qualquer instante, todos os valores compreendidos em seus intervalos de existência. Isto é, tanto o tempo quanto as variáveis (entrada, saída, variáveis internas) do sistema são contínuas.

A curva abaixo representa uma típica variável de um sistema contínuo.



Definição 2. Sistemas de tempo discreto são sistemas cujas variáveis são definidas somente em instantes discretos de tempo. Por conveniência, estes instantes discretos de tempo são em geral considerados igualmente espaçados, isto é, $t = kT$, onde $k = 0; 1; 2; \dots$, e T é um número real positivo chamado período de amostragem.

A figura abaixo representa uma típica saída de um sistema discreto, em que a variável y é dada por uma sequência de valores discretos.



1.5. Propriedades Básicas de Sistemas: Relaxação, Linearidade, Invariância no Tempo e Causalidade

1.5.1. Relaxação

A grande maioria dos sistemas de interesse prático tem capacidade de armazenamento de energia. Isto quer dizer que o sistema “lembra” de entradas passadas nele aplicadas, isto é, tem memória. Por exemplo, um circuito RLC claramente é um sistema com memória, enquanto um circuito puramente resistivo tem memória zero. Isto significa que a resposta de um circuito resistivo em um certo instante de tempo t_0 a uma certa entrada u depende apenas da entrada aplicada naquele instante, isto é, de $u(t_0)$. Em um circuito RLC, por outro lado, a resposta em um certo instante t_0 depende não apenas de $u(t_0)$, mas também das entradas aplicadas antes de t_0 , que são traduzidas pelas condições iniciais nos indutores e capacitores. Portanto, em qualquer sistema com memória como o circuito RLC, apenas o conhecimento da entrada $u(t)$ aplicada no sistema a partir de t_0 não é suficiente para determinar univocamente a resposta $y(t)$ para $t \geq t_0$: é necessário se conhecer também as condições iniciais em $t = t_0$. Em outras palavras, uma dada entrada pode produzir

um número indeterminado de respostas, uma para cada conjunto de condições iniciais existentes no sistema.

As ferramentas de análise de sistemas baseiam-se em relações funcionais entre os pares entrada e saída. Isto é, pressupõe-se que uma dada entrada produza uma única saída. Sem esta relação funcional, não é possível se determinar as propriedades mais importantes do sistema. Claramente este tipo de relação deixa de existir se for admitida a possibilidade de condições iniciais não nulas. Para contornar este problema, torna-se necessário se supor que o sistema está relaxado no instante t_0 de aplicação da entrada.

Definição 3. Um sistema é dito estar relaxado no instante t_0 se não há nenhuma energia armazenada no sistema naquele instante.

Sob a hipótese da relaxação, é portanto válido se supor uma relação funcional entre saída e entrada.

1.5.2. Linearidade

Definição 4. Considere um sistema relaxado em $t_0 = 0$ para o qual entradas quaisquer $u_1(t)$ e $u_2(t)$, $u_1(t) \neq u_2(t)$, aplicadas a partir de $t = 0$ produzem respectivamente saídas $y_1(t)$ e $y_2(t)$. O sistema é dito ser linear se e somente se:

- ² Propriedade da Aditividade: quando submetido a uma entrada $u_1(t) + u_2(t)$, o sistema fornece como resposta $y_1(t) + y_2(t)$, e
- ² Propriedade da Homogeneidade: quando submetido a uma entrada $\alpha u_1(t)$, onde α é um número real, o sistema fornece como resposta $\alpha y_1(t)$.

As seguintes observações se aplicam à definição anterior:

Observação 1. Note que a definição considera, antes de mais nada, que o sistema está relaxado;

Observação 2. As propriedades da aditividade e homogeneidade podem ser condensadas em uma única propriedade, chamada de superposição, segundo a qual um sistema relaxado é linear se e somente se sua resposta uma entrada $\alpha_1 u_1(t) + \alpha_2 u_2(t)$, sendo α_1 e α_2 números reais, é dada por $\alpha_1 y_1(t) + \alpha_2 y_2(t)$.

1.5.3. Invariância no Tempo

A noção de invariância no tempo está intimamente relacionada ao fato de que as características de um sistema não variam com o tempo. A seguinte definição formaliza este conceito.

Definição 5. Seja um sistema relaxado que, quando sujeito a uma entrada qualquer $u(t)$, produz uma saída $y(t)$. O sistema é dito ser invariante no tempo se e somente se, quando a entrada u for deslocada de α unidades de tempo, então a saída y será também deslocada de α unidades de tempo, para qualquer número real α . Em outras palavras, a resposta do sistema à entrada $u(t - \alpha)$ é igual a $y(t - \alpha)$; para todo real α .

A definição implica que, independentemente do instante de tempo em que uma dada entrada é aplicada a um sistema invariante no tempo, a forma de onda da saída será exatamente a mesma. Para que um sistema relaxado seja invariante no tempo, seus parâmetros devem ser constantes.

É possível mostrar que a relação entre saída e entrada de sistemas de parâmetros concentrados de tempo contínuo, lineares e invariantes no tempo pode ser representada por equações diferenciais ordinárias de coeficientes constantes, do tipo:

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y = b_0 \frac{d^m u}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{du}{dt} + b_m u \quad (1.1)$$

1.5.4. Causalidade

Em qualquer sistema físico real, a saída do sistema em um dado instante de tempo t depende apenas de entradas aplicadas antes do instante t . Ou seja, o passado afeta o futuro, mas a recíproca não é verdadeira. Esta propriedade deve ser imposta aos modelos matemáticos correspondentes, para que estes modelos representem corretamente o comportamento real de sistemas físicos.

Definição 6. Um sistema é dito ser causal ou não-antecipativo se a saída do sistema no instante t não depende da entrada aplicada após o instante t , dependendo portanto apenas da entrada aplicada antes de t e no próprio instante t .

Se admitíssemos um sistema não-causal, o fato da saída em t depender de entradas futuras implicaria em que a saída presente conteria informação sobre o futuro. Seria portanto teoricamente viável prever as entradas que seriam aplicadas no futuro a partir da análise da saída presente, o que é claramente impossível para sistemas físicos reais. Portanto, todo sistema físico real é necessariamente causal.

Exemplo 1. Um sistema de atraso unitário perfeito cuja relação entrada-saída é dada por

$$y(t) = u(t - 1)$$

é um sistema causal, sendo portanto fisicamente realizável. Por outro lado, um sistema de avanço unitário perfeito dado por

$$y(t) = u(t + 1)$$

é claramente não-causal, não sendo fisicamente realizável.

A imposição da propriedade da causalidade a sistemas lineares e invariantes no tempo implica em que, na representação por equações diferenciais do tipo da Eq. (1.1), a ordem da maior derivada da entrada deve ser no máximo igual à ordem da maior derivada da saída. Em outras palavras, sistemas lineares, invariantes no tempo e causais são representados por equações diferenciais do tipo da Eq. (1.1) com a restrição adicional de que

$$m \leq n$$