

## Controle e Servomecanismos T01-2024.2 Notas de Aula

Isaac Kosloski Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Computação

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) Campo Grande – MS – Brazil

**Resumo.** Este fichamento tem por objetivo explicitar os conceitos, exemplos e exercícios, tomados das notas de aula desta disciplina. Os conceitos desenvolvidos incluem, em que se explica os conceitos resumidamente e responde-se alguns exercícios selecionados, propostos pelo docente durante as aulas. A disciplina de Controle e Servomecanismos, na turma T01, é ministrada pelo Prof. Dr. Victor Leonardo Yoshimura, no segundo semestre de 2024.

### 1. Aula 01 - Apresentação da disciplina & Introdução aos sistemas de controle

Parte I - Slides 1 ao 16

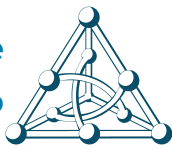
Data: 05.08.2024 - Segunda-Feira

#### O que é um Sistema de Controle?

- ▶ **Sistema de Controle:** Um conjunto de dispositivos de forma a manter uma variável física dentro de especificações de interesse.
- ▶ **Aplicações:** Praticamente toda a área tecnológica envolve algum sistema de controle: fontes de alimentação, equipamentos eletrônicos, projetos aeroespaciais, sistemas industriais para controle de pressão, temperatura, vazão, nível, etc.
- ▶ **Objetivos:** Em geral, garantir o valor de alguma grandeza física, na presença de alguma restrição ou perturbação, com custo mínimo.

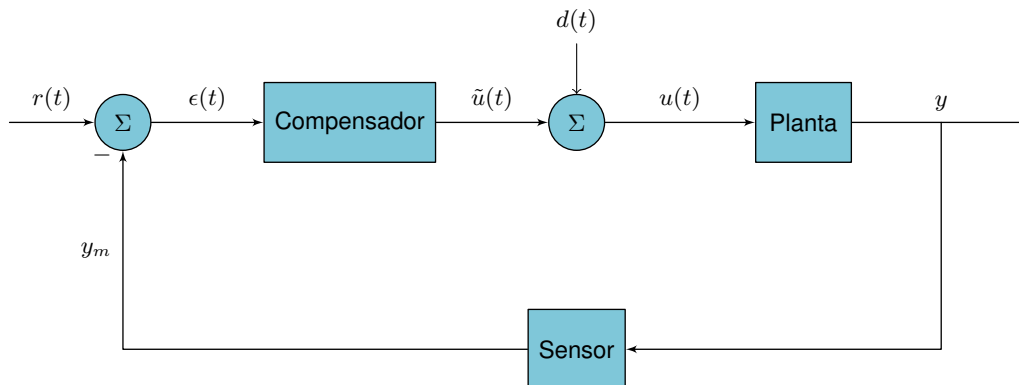
#### Terminologia

- ▶ **Variável controlada:** Grandeza física a ser medida e controlada.
- ▶ **Variável manipulada:** Grandeza física cuja manipulação controla a variável controlada.
- ▶ **Planta:** Qualquer dispositivo físico a ser controlado.
- ▶ **Processo:** Operação progressiva de ações controladas direcionadas a certo resultado.
- ▶ **Sistema:** Componentes que atuam conjuntamente para atingir certo objetivo.



- ▶ **Perturbação:** Sinal que afeta adversamente a saída da planta.
- ▶ **Controle por realimentação:** Controle para uma planta, na presença de perturbações, de tal forma a reduzir o erro presente em sua saída.

### Diagrama de Blocos de um Sistema de Controle



### Sinais envolvidos no sistema:

- ▶ Referência:  $r(t)$
- ▶ Saída:  $y(t)$
- ▶ Medido (da saída):  $z(t)$
- ▶ Erro:  $\epsilon(t)$
- ▶ Erro compensado:  $\tilde{u}(t)$
- ▶ Perturbação:  $d(t)$
- ▶ Atuação:  $u(t)$

Observe que:

- ▶ Supondo sensor perfeito,  $\epsilon = r - y$ ;
- ▶ ou seja, o **erro** é a diferença entre a **referência** e a **saída**;
- ▶  $z \neq y$ , onde  $z$  é *Equação Diferencial* em  $y$ ;
- ▶  $r(t)$  geralmente é fixa;

## 2. Aula 02 -

Data: 09.08.2024 - *Sexta Feira*

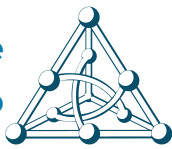
## 3. Aula 03 - Diagramas de Blocos

Slides 45 ao 64

Data: 12.08.2024 - *Segunda-Feira*

### Modelos

- ▶ Um **modelo** é um conjunto de equações que descrevem com um certo grau de precisão um sistema.
- ▶ **Importante!**  
*Um compromisso existe entre: Simplicidade e Precisão*



- ▶ **Sistemas lineares:** Aqueles aos quais o princípio da superposição se aplica;
- ▶ **Sistemas invariantes no tempo:** Aqueles cuja estrutura não se altera ao longo do tempo;
- ▶ Os **SLIT-Cs** são descritos por EDOs lineares com coeficientes constantes.

## Diagramas de Blocos

- **Diagramas de Blocos (DBs):** representações das interações entre os elementos de um sistema.
- Um bloco é a representação para a operação matemática sobre o sinal de entrada que produz a saída.

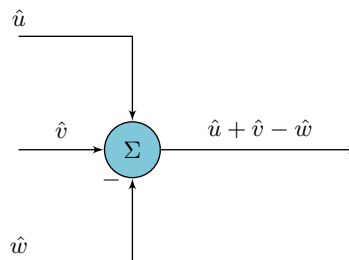


### Observação

- Como as **FTs**, os **DBs** fornecem o comportamento dinâmico do sistema, mas nada falam sobre sua estrutura interna. Diferentes sistemas podem ter o mesmo diagrama de blocos.

Também compõem um diagrama de blocos:

- ▶ Ponto de soma:



- ▶ Ponto de ramificação:



## Exemplo: Sistema em Realimentação Unitária

Note que:

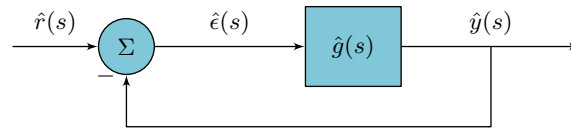
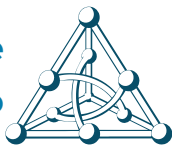
$$\hat{e}(s) = \hat{r}(s) - \hat{y}(s) \quad \text{e que} \quad \hat{y}(s) = \hat{g}(s)\hat{e}(s)$$

Assim:

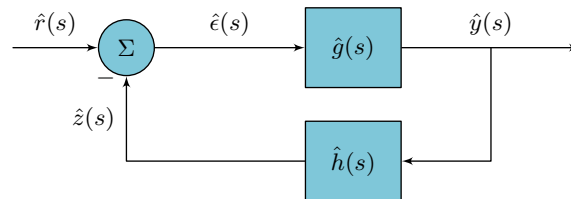
$$\hat{y}(s) = \hat{g}(s)\hat{r}(s) - \hat{g}(s)\hat{y}(s)$$

$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{r}(s)} = \frac{\hat{g}(s)}{1 + \hat{g}(s)}$$

(1)



### Sistema em Malha Fechada



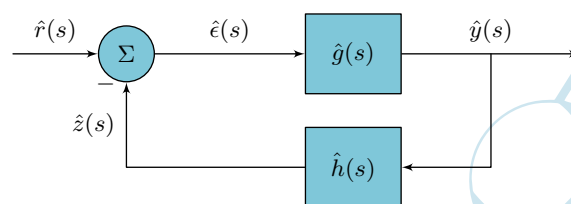
- **Função Transferência de Malha Aberta (FTMA):** É a razão entre o sinal do sensor e o de erro.

$$\hat{z}(s) = \hat{g}(s)\hat{h}(s)\hat{e}(s) \Rightarrow FTMA(s) = \hat{g}(s)\hat{h}(s) \quad (2)$$

- **Função Transferência de Feed Forward (FTFF):** É a razão entre o sinal de saída e o de erro.

$$\hat{y}(s) = \hat{g}(s)\hat{e}(s) \Rightarrow FTFF(s) = \hat{g}(s) \quad (3)$$

### Função Transferência de Malha Fechada



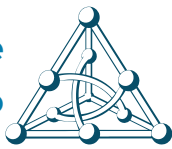
É a razão entre o sinal de saída e o de entrada.

Note que:

$$\hat{e}(s) = \hat{r}(s) - \hat{h}(s)\hat{y}(s) \quad \text{e que} \quad \hat{y}(s) = \hat{g}(s)\hat{e}(s)$$

Assim:

$$FTMF(s) = \frac{\hat{y}(s)}{\hat{r}(s)} = \frac{\hat{g}(s)}{1 + \hat{g}(s)\hat{h}(s)} \quad (4)$$



### Sistema sob Perturbação (Aditiva)

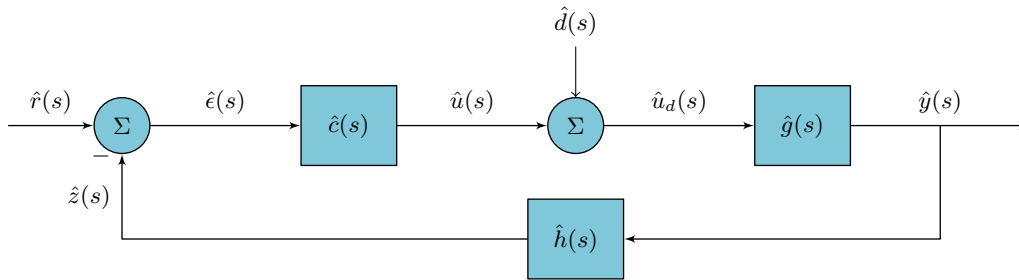


Figura 1. Caption

Como se tem um SLIT-C, fazemos  $\hat{d}(s) \equiv 0$  e com 4:

$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{r}(s)} = \frac{\hat{c}(s)\hat{g}(s)}{1 + \hat{c}(s)\hat{g}(s)\hat{h}(s)} \quad (5)$$

Fazemos  $\hat{r}(s) \equiv 0$  e, usando 4:

$$\frac{\hat{y}(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{\hat{g}(s)}{1 + \hat{c}(s)\hat{g}(s)\hat{h}(s)} \quad (6)$$

Somando 5 e 6:

$$\hat{y}(s) = \begin{bmatrix} \frac{\hat{c}(s)\hat{g}(s)}{1 + \hat{c}(s)\hat{g}(s)\hat{h}(s)} & \frac{\hat{g}(s)}{1 + \hat{c}(s)\hat{g}(s)\hat{h}(s)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{r}(s) \\ \hat{d}(s) \end{bmatrix} \quad (7)$$

- Se  $|\hat{c}(s)\hat{g}(s)\hat{h}(s)|, |\hat{c}(s)\hat{h}(s)| \gg 1$ , então a perturbação é **suprimida**;
- Neste caso, tem-se  $\hat{y}(s) = \frac{\hat{r}(s)}{\hat{h}(s)}$ .

Um sistema em malha fechada pode ser projetado para:

- Rejeitar perturbações;
- Igualar saída e entrada (seguir a referência).

### Simplificação de Diagramas de Blocos

#### Observação

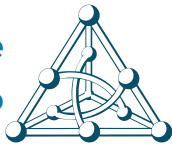
Blocos podem ser postos em série somente se a saída do bloco antecedente não for afetada pelo bloco subsequente.

#### Observação

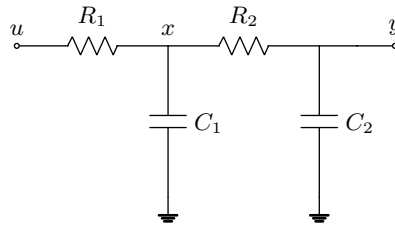
Simplificar o diagrama de blocos implica em tornar mais complexa a FT de cada bloco.

Ao simplificar blocos deve-se:

- Manter o produto das FTs no caminho direto;
- Manter o produto das FTs em torno de cada laço.



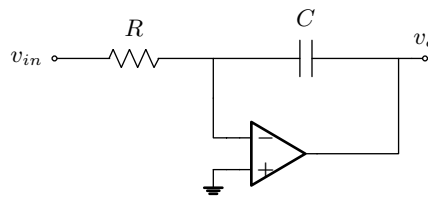
### Exemplo: Carga Afetando Bloco Anterior



- Note que o sinal  $x$  (Tensão em  $C_1$ ) é afetado pela carga ( $R_2$  e  $C_2$ );
- Assim, não é possível fazer uma associação série de blocos com FTs para cada par  $RC$ .

### Operações com Blocos

#### I Associação Série



Tomando o circuito integrador miller, têm-se:

$$v_0 = -\frac{1}{RC} \int v_{in} dt$$

### Referências