

TE238 - Modelagem, análise e simulação de sistemas dinâmicos II

Aula 06: Formalização da representação no Espaço de Estados

Roman Kuiava, Prof. Dr.
kuiava@eletrica.ufpr.br
DELT-UFPR

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- É um enfoque mais moderno, que repousa sobre o conceito de **Variáveis de Estado**
- Nesta representação, temos um modelo descrito por um conjunto de EDOs de 1a ordem, cujas variáveis envolvidas são as próprias variáveis de estado e mais os sinais de entrada.
- Características de um modelo na forma de espaço de estados:
 - 1) Modelo no domínio do tempo
 - 2) Considera as condições iniciais do sistema
 - 3) Ampla aplicabilidade (sistemas não-lineares, variantes no tempo, com atraso de tempo, ...)
 - 4) Permite lidar mais facilmente com sistemas que apresentam várias entradas e/ou saídas
 - 5) Muito utilizado na análise e projeto de sistemas de controle

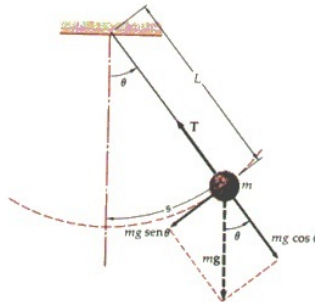
Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- A seguir, apresentaremos no quadro os fundamentos do método a partir de dois exemplos simples
- **Exemplo 1:** Considere o pêndulo simples abaixo, onde L é o comprimento do cabo (metros); m é a massa da bola (Kg); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); k é o coeficiente de atrito do ar e; $\theta(t)$ é o deslocamento angular no instante de tempo t .
- **Exemplo 2:** Circuito elétrico utilizado na Aula 04.



Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Definição de Estado:** menor conjunto de variáveis (denominadas variáveis de estado) tal que o conhecimento dessas variáveis no instante $t = t_0$, juntamente com o conhecimento da entrada para $t > t_0$, determina completamente o comportamento do sistema para $t > t_0$. Usualmente escolhemos $t_0 = 0$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Definição de Estado:** menor conjunto de variáveis (denominadas variáveis de estado) tal que o conhecimento dessas variáveis no instante $t = t_0$, juntamente com o conhecimento da entrada para $t > t_0$, determina completamente o comportamento do sistema para $t > t_0$. Usualmente escolhemos $t_0 = 0$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

■ Duas questões aparecem:

1) Quantas variáveis de estado são necessárias?

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) Quais são as variáveis de estado do problema?

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Duas questões aparecem:

1) **Quantas variáveis de estado são necessárias?**

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) **Quais são as variáveis de estado do problema?**

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Duas questões aparecem:

1) **Quantas variáveis de estado são necessárias?**

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) **Quais são as variáveis de estado do problema?**

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuzava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Duas questões aparecem:

1) **Quantas variáveis de estado são necessárias?**

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) **Quais são as variáveis de estado do problema?**

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiuva,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Duas questões aparecem:

1) **Quantas variáveis de estado são necessárias?**

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) **Quais são as variáveis de estado do problema?**

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuziava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Duas questões aparecem:

1) **Quantas variáveis de estado são necessárias?**

Em circuitos elétricos, a quantidade de variáveis de estado é igual à quantidade de elementos armazenadores de energia; em sistemas dinâmicos gerais, é igual ao número de condições iniciais necessárias para se resolver o conjunto de EDOs do modelo.

2) **Quais são as variáveis de estado do problema?**

Sugestão: utilizar as variáveis correspondentes às condições iniciais do problema. No exemplo 1, as variáveis de estado são $\theta(t)$ e $\dot{\theta}(t)$; no exemplo 2, são $i_L(t)$ e $v_C(t)$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Vetor de estado:** é o vetor $x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \cdots \ x_n(t)]'$ cujas componentes são as n variáveis de estado.
- **Espaço de estado:** é o espaço n -dimensional cujos eixos coordenados são as variáveis de estado x_1, x_2, \dots, x_n .

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuiava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Vetor de estado:** é o vetor $x(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \cdots \ x_n(t)]'$ cujas componentes são as n variáveis de estado.
- **Espaço de estado:** é o espaço n -dimensional cujos eixos coordenados são as variáveis de estado x_1, x_2, \dots, x_n .

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:

1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.

2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.

3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as equações de estado:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

⋮

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuziava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:

1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.

2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.

3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as **equações de estado**:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

⋮

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuziava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:

1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.

2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.

3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as **equações de estado**:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

⋮

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:
 - 1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.
 - 2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.
 - 3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.
- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as **equações de estado**:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\vdots$$

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:
 - 1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.
 - 2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.
 - 3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.
- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as **equações de estado**:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\vdots$$

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- **Equações do modelo:** três tipos de variáveis aparecem na modelagem de sistemas dinâmicos por espaço de estados. São elas:
 - 1) Variáveis de entrada: $u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t)$.
 - 2) Variáveis de saída: $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$.
 - 3) Variáveis de estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.
- Então, o sistema pode ser descrito por n equações diferenciais de 1ª ordem, que são as **equações de estado**:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\vdots$$

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

- As variáveis de saída do sistema são funções das variáveis de entrada, das variáveis de estado e do tempo, constituindo as **equações de saída**:

$$y_1(t) = g_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$y_2(t) = g_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\vdots$$

$$y_m(t) = g_m(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

- Ou na forma compacta, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t))$$

$$y(t) = g(x(t), u(t))$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

- As variáveis de saída do sistema são funções das variáveis de entrada, das variáveis de estado e do tempo, constituindo as **equações de saída**:

$$y_1(t) = g_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$y_2(t) = g_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

$$\vdots$$

$$y_m(t) = g_m(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r)$$

- Ou na forma compacta, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t))$$

$$y(t) = g(x(t), u(t))$$

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Se f e g são lineares, então, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma matricial compacta

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

- Definem-se:

- 1) A é a matriz de estado $n \times n$.
- 2) B é a matriz de entrada $n \times r$.
- 3) C é a matriz de saída $m \times n$.
- 4) D é a matriz de realimentação direta $m \times r$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Se f e g são lineares, então, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma matricial compacta

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

- Definem-se:

- 1) A é a matriz de estado $n \times n$.
- 2) B é a matriz de entrada $n \times r$.
- 3) C é a matriz de saída $m \times n$.
- 4) D é a matriz de realimentação direta $m \times r$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Se f e g são lineares, então, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma matricial compacta

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

- Definem-se:
 - 1) A é a matriz de estado $n \times n$.
 - 2) B é a matriz de entrada $n \times r$.
 - 3) C é a matriz de saída $m \times n$.
 - 4) D é a matriz de realimentação direta $m \times r$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Se f e g são lineares, então, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma matricial compacta

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

- Definem-se:
 - 1) A é a matriz de estado $n \times n$.
 - 2) B é a matriz de entrada $n \times r$.
 - 3) C é a matriz de saída $m \times n$.
 - 4) D é a matriz de realimentação direta $m \times r$.

Formalização da representação no Espaço de Estados

TE238 -
Modelagem,
análise e
simulação de
sistemas
dinâmicos II

Roman Kuliava,
Prof. Dr.

Formalização da
representação no
Espaço de
Estados

- Se f e g são lineares, então, as equações de estado e de saída podem ser escritas na forma matricial compacta

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

- Definem-se:
 - 1) A é a matriz de estado $n \times n$.
 - 2) B é a matriz de entrada $n \times r$.
 - 3) C é a matriz de saída $m \times n$.
 - 4) D é a matriz de realimentação direta $m \times r$.