TE849 - Teoria de Sistemas Lineares

Aula 01: Apresentação, Bibliografia, Método de Avaliação, Objetivos, Motivação

Roman Kuiava, Prof. Dr.
kuiava@eletrica.ufpr.br
Website pessoal: http://kuiava.wix.com/roman

Dados gerais

- Disciplina: TE 849 - Teoria de Sistemas Lineares
- Carga Horária: 60 horas (4 créditos)
- Horário das aulas: terças e quintas das 18:30hrs às 20:30hrs
- Local das aulas: sala PL-07
- Pré-requisitos desejáveis: conhecimento de equações diferenciais e modelagem na forma de espaço de estados.

Dados gerais

- Disciplina: TE 849 - Teoria de Sistemas Lineares
- Carga Horária: 60 horas (4 créditos)
- Horário das aulas: terças e quintas das 18:30hrs às 20:30hrs
- Local das aulas: sala PL-07
- Pré-requisitos desejáveis: conhecimento de equações diferenciais e modelagem na forma de espaço de estados.

Dados gerais

- Disciplina: TE 849 - Teoria de Sistemas Lineares
- Carga Horária: 60 horas (4 créditos)
- Horário das aulas: terças e quintas das 18:30hrs às 20:30hrs
- Local das aulas: sala PL-07
- Pré-requisitos desejáveis: conhecimento de equações diferenciais e modelagem na forma de espaço de estados.

Dados gerais

- Disciplina: TE 849 - Teoria de Sistemas Lineares
- Carga Horária: 60 horas (4 créditos)
- Horário das aulas: terças e quintas das 18:30hrs às 20:30hrs
- Local das aulas: sala PL-07
- Pré-requisitos desejáveis: conhecimento de equações diferenciais e modelagem na forma de espaço de estados.

Dados gerais

- Disciplina: TE 849 - Teoria de Sistemas Lineares
- Carga Horária: 60 horas (4 créditos)
- Horário das aulas: terças e quintas das 18:30hrs às 20:30hrs
- Local das aulas: sala PL-07
- Pré-requisitos desejáveis: conhecimento de equações diferenciais e modelagem na forma de espaço de estados.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Bibliografia

- Chi-Tsong Chen. Linear system theory and design. Oxford University Press, 3a Ed., 1999.
- João P. Hespanha. Linear systems theory. Princeton University Press, 2009.
- Luiz Henrique Alves Monteiro. Sistemas Dinâmicos. Editora Livraria da Física, 3a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Alvaro G. B. Palhares. Análise linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2a Ed., 2011.
- José C. Geromel e Rubens H. Korogui. Controle linear de sistemas dinâmicos. Blucher, 2011.
- Materiais da web, artigos, etc.

Método de Avaliação

- A avaliação na disciplina será feita por meio de duas provas (P1 e P2), cada uma valendo 45 pontos, e mais um conjunto de exercícios e trabalhos computacionais (T), valendo no total 10 pontos.
- A nota final (NF) é igual à soma de P1, P2 e T.
- Conceito A: $85 \leq NF \leq 100$; Conceito B: $70 \leq NF < 85$; Conceito C: $50 \leq NF < 70$; Conceito D: $NF < 50$.
- A prova P1 será realizada no dia 28.04 e a prova P2 será realizada no dia 23.06.

Método de Avaliação

- A avaliação na disciplina será feita por meio de duas provas (P1 e P2), cada uma valendo 45 pontos, e mais um conjunto de exercícios e trabalhos computacionais (T), valendo no total 10 pontos.
- A nota final (NF) é igual à soma de P1, P2 e T.
- Conceito A: $85 \leq NF \leq 100$; Conceito B: $70 \leq NF < 85$; Conceito C: $50 \leq NF < 70$; Conceito D: $NF < 50$.
- A prova P1 será realizada no dia 28.04 e a prova P2 será realizada no dia 23.06.

Método de Avaliação

- A avaliação na disciplina será feita por meio de duas provas (P1 e P2), cada uma valendo 45 pontos, e mais um conjunto de exercícios e trabalhos computacionais (T), valendo no total 10 pontos.
- A nota final (NF) é igual à soma de P1, P2 e T.
- Conceito A: $85 \leq NF \leq 100$; Conceito B: $70 \leq NF < 85$; Conceito C: $50 \leq NF < 70$; Conceito D: $NF < 50$.
- A prova P1 será realizada no dia 28.04 e a prova P2 será realizada no dia 23.06.

Método de Avaliação

- A avaliação na disciplina será feita por meio de duas provas (P1 e P2), cada uma valendo 45 pontos, e mais um conjunto de exercícios e trabalhos computacionais (T), valendo no total 10 pontos.
- A nota final (NF) é igual à soma de P1, P2 e T.
- Conceito A: $85 \leq NF \leq 100$; Conceito B: $70 \leq NF < 85$; Conceito C: $50 \leq NF < 70$; Conceito D: $NF < 50$.
- A prova P1 será realizada no dia 28.04 e a prova P2 será realizada no dia 23.06.

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Objetivos

- Estudar aspectos quantitativos e qualitativos de sistemas físicos descritos (ou aproximados) por modelos matemáticos lineares. Em particular:
  - Representação na forma de espaço de estados
  - Relação entrada-saída de sistemas dinâmicos
  - Cálculo e análise de soluções de sistemas lineares
  - Propriedades de estabilidade, controlabilidade e observabilidade
  - Projeto de sistemas de controle e observadores de estado por realimentação de estados

Ementa

- Programa da disciplina: link.

Motivação

- Muitos sistemas físicos apresentam comportamento linear em certas regiões de operação
- Teoria de sistemas lineares é formalizada e sistematizada usando conceitos matemáticos, especialmente da álgebra linear
- Métodos avançados de análise e síntese utilizam muitos destes conceitos
- Ponto de partida para o estudo de sistemas físicos não lineares
- Uso intensivo do computador para análise e projeto

Motivação

- Muitos sistemas físicos apresentam comportamento linear em certas regiões de operação
- Teoria de sistemas lineares é formalizada e sistematizada usando conceitos matemáticos, especialmente da álgebra linear
- Métodos avançados de análise e síntese utilizam muitos destes conceitos
- Ponto de partida para o estudo de sistemas físicos não lineares
- Uso intensívo do computador para análise e projeto

Motivação

- Muitos sistemas físicos apresentam comportamento linear em certas regiões de operação
- Teoria de sistemas lineares é formalizada e sistematizada usando conceitos matemáticos, especialmente da álgebra linear
- Métodos avançados de análise e síntese utilizam muitos destes conceitos
- Ponto de partida para o estudo de sistemas físicos não lineares
- Uso intensívo do computador para análise e projeto

Motivação

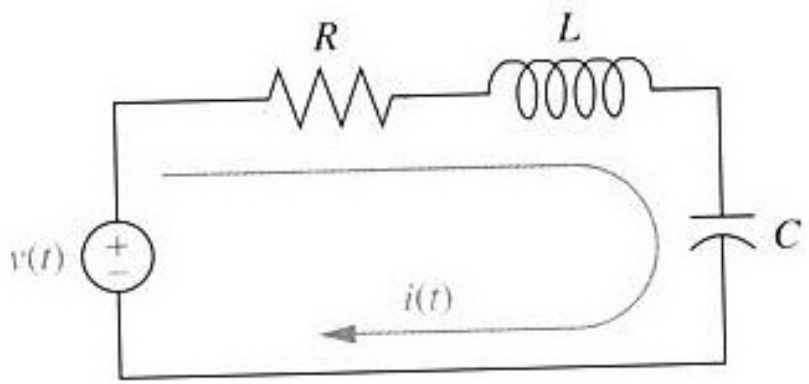
- Muitos sistemas físicos apresentam comportamento linear em certas regiões de operação
- Teoria de sistemas lineares é formalizada e sistematizada usando conceitos matemáticos, especialmente da álgebra linear
- Métodos avançados de análise e síntese utilizam muitos destes conceitos
- Ponto de partida para o estudo de sistemas físicos não lineares
- Uso intensívo do computador para análise e projeto

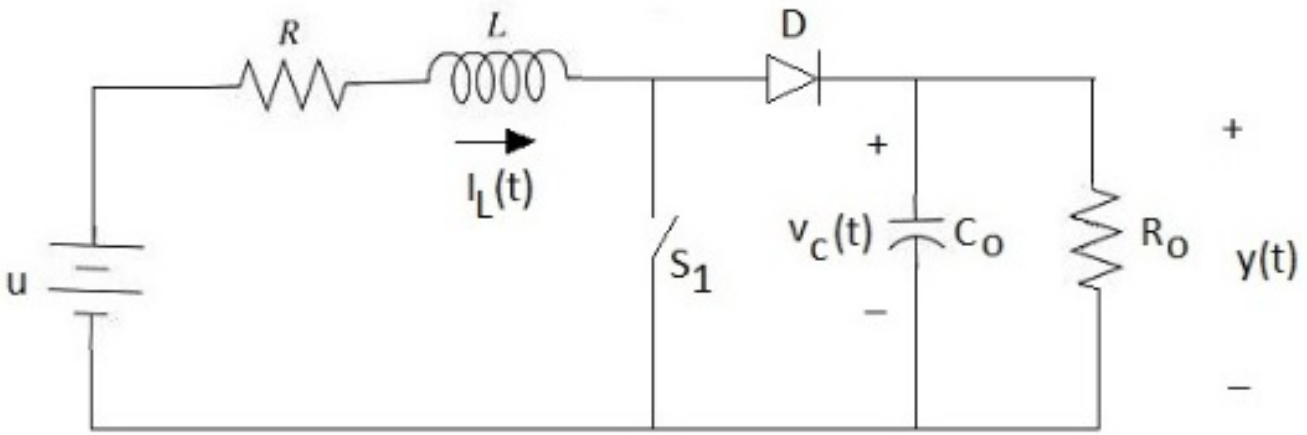
Motivação

- Muitos sistemas físicos apresentam comportamento linear em certas regiões de operação
- Teoria de sistemas lineares é formalizada e sistematizada usando conceitos matemáticos, especialmente da álgebra linear
- Métodos avançados de análise e síntese utilizam muitos destes conceitos
- Ponto de partida para o estudo de sistemas físicos não lineares
- Uso intensívo do computador para análise e projeto

Motivação

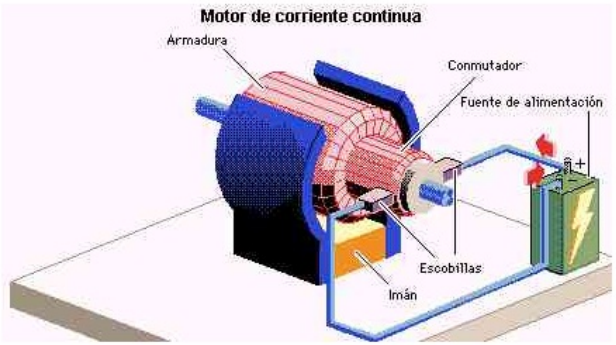
- Exemplos de aplicação:
  - Análise de circuitos elétricos:

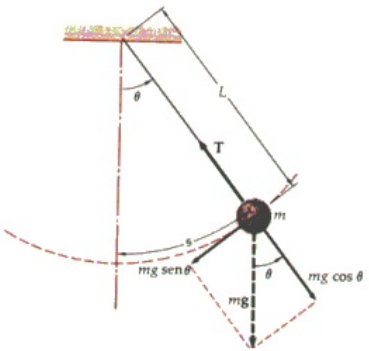


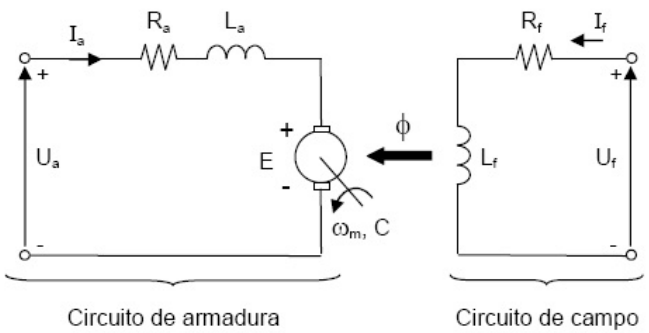


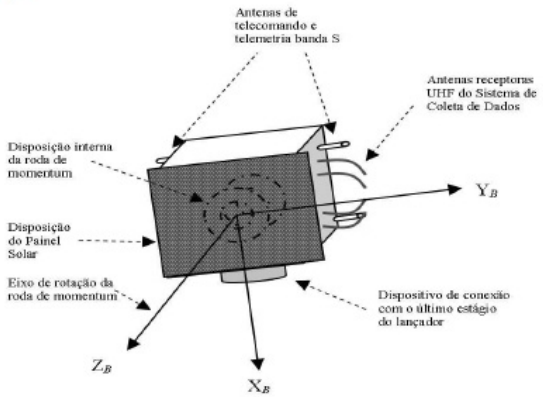
Motivação

- Exemplos de aplicação:
  - Aplicações diversas:



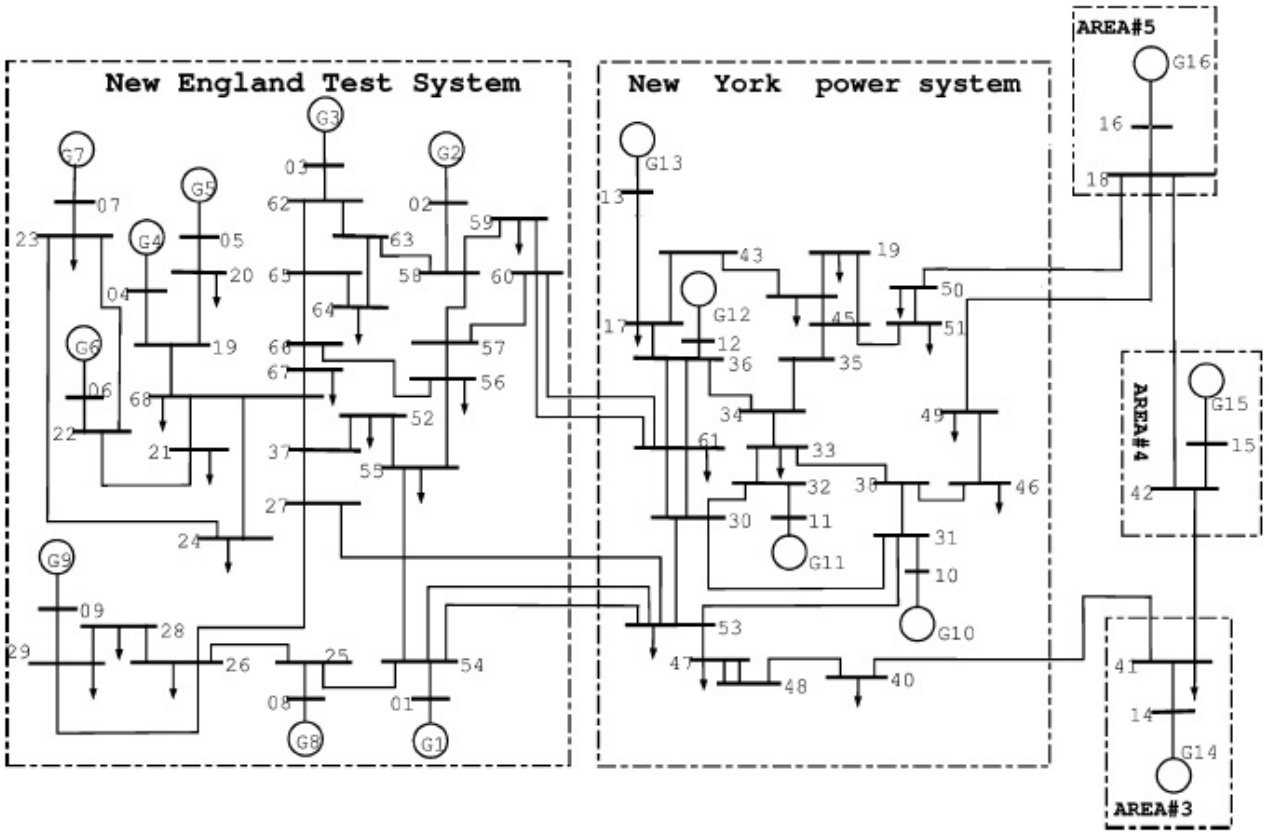






Motivação

- Exemplos de aplicação:
  - Análise e síntese de controladores para sistemas elétricos de potência:



Fundamentação básica

- Estudaremos a classe de sistemas dinâmicos descritos na forma de espaço de estados:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \tag{1}$$

em que $x = [x_1 \ \cdots \ x_n]' \in \mathbb{R}^n$ *é o vetor com as variáveis de estado do sistema,* $u = [u_1 \ \cdots \ u_r]' \in \mathbb{R}^r$ *é o vetor com as variáveis de entrada e* $f = [f_1 \ \cdots \ f_n]'$, *sendo* $f_i : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^r \to \mathbb{R}$, $i = 1, \cdots, n$.

- Escrevendo (1) na forma expandida:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= f_1(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
\dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
&\vdots \\
\dot{x}_n &= f_n(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r)
\end{aligned}$$

Fundamentação básica

- Estudaremos a classe de sistemas dinâmicos descritos na forma de espaço de estados:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \tag{1}$$

em que $x = [x_1 \ \cdots \ x_n]' \in \mathbb{R}^n$ *é o vetor com as variáveis de estado do sistema,* $u = [u_1 \ \cdots \ u_r]' \in \mathbb{R}^r$ *é o vetor com as variáveis de entrada e* $f = [f_1 \ \cdots \ f_n]'$*, sendo* $f_i : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^r \to \mathbb{R}$*,* $i = 1, \cdots, n$*.*

- Escrevendo (1) na forma expandida:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= f_1(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
\dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
&\vdots \\
\dot{x}_n &= f_n(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r)
\end{aligned}$$

Fundamentação básica

- Estudaremos a classe de sistemas dinâmicos descritos na forma de espaço de estados:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \tag{1}$$

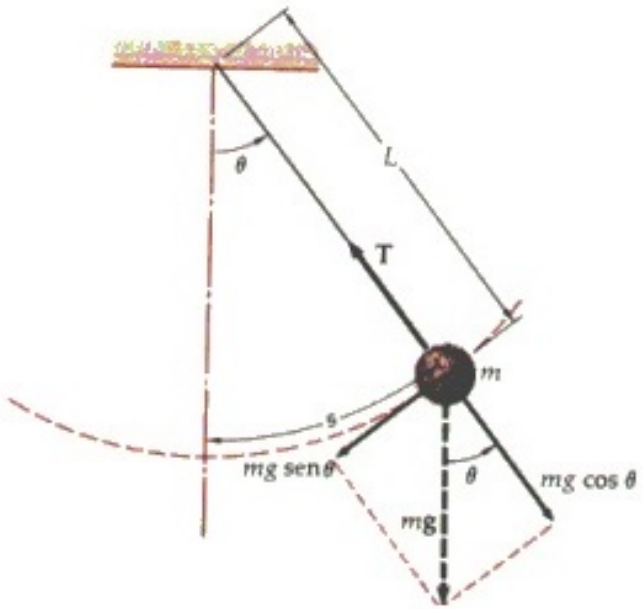
em que $x = [x_1 \ \cdots \ x_n]' \in \mathbb{R}^n$ *é o vetor com as variáveis de estado do sistema,* $u = [u_1 \ \cdots \ u_r]' \in \mathbb{R}^r$ *é o vetor com as variáveis de entrada e* $f = [f_1 \ \cdots \ f_n]'$, *sendo* $f_i : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^r \to \mathbb{R}$, $i = 1, \cdots, n$.

- Escrevendo (1) na forma expandida:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= f_1(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
\dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r) \\
&\vdots \\
\dot{x}_n &= f_n(x_1, x_2, \cdots, x_n, u_1, \cdots, u_r)
\end{aligned}$$

Fundamentação básica

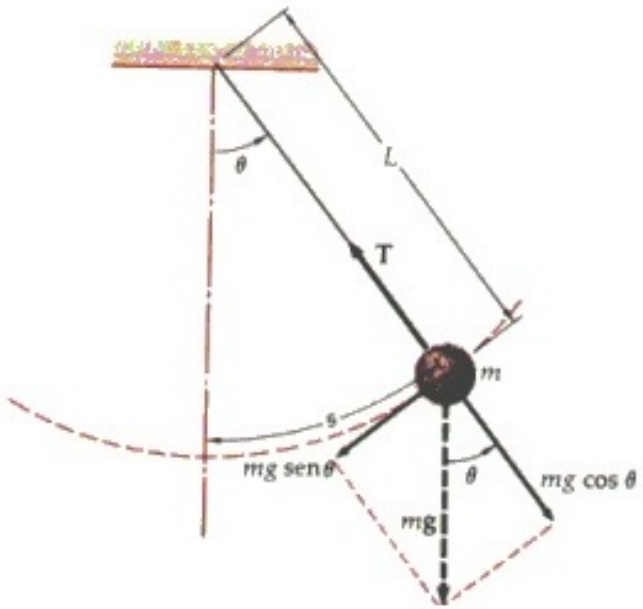
- Exemplo 1: pêndulo simples



- Modelo matemático: $\ddot{\theta}(t) + \frac{k}{mL}\dot{\theta}(t) + \frac{g}{L}\sin(\theta(t)) = 0.$
- Obs:. Determinar o movimento do pêndulo significa determinar como o ângulo θ varia com o tempo, ou seja, significa encontrar a função $\theta(t)$ que satisfaz a equação anterior.

Fundamentação básica

- Exemplo 1: pêndulo simples



- Modelo matemático: $\ddot{\theta}(t) + \frac{k}{mL}\dot{\theta}(t) + \frac{g}{L}\sin(\theta(t)) = 0.$
- Obs:. Determinar o movimento do pêndulo significa determinar como o ângulo θ varia com o tempo, ou seja, significa encontrar a função $\theta(t)$ que satisfaz a equação anterior.

Fundamentação básica

- O modelo matemático do pêndulo simples pode ser escrito na forma de espaço de estados:

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \tag{2}$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{g}{L}\sin(x_1(t)) - \frac{k}{mL}x_2(t), \tag{3}$$

sendo $x_1(t) = \theta(t)$ *e* $x_2(t) = \dot{\theta}(t)$.

- O vetor de estados é $x(t) = [x_1(t) \;\; x_2(t)]'$. O sistema (2)-(3) é classificado como um sistema não-linear, de 2a ordem, homogêneo (ou autônomo) e invariante no tempo.

Fundamentação básica

- O modelo matemático do pêndulo simples pode ser escrito na forma de espaço de estados:

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t), \tag{2}$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{g}{L}\sin(x_1(t)) - \frac{k}{mL}x_2(t), \tag{3}$$

sendo $x_1(t) = \theta(t)$ *e* $x_2(t) = \dot{\theta}(t)$.

- O vetor de estados é $x(t) = [x_1(t) \;\; x_2(t)]'$. O sistema (2)-(3) é classificado como um sistema não-linear, de 2a ordem, homogêneo (ou autônomo) e invariante no tempo.

Fundamentação básica

- O foco da disciplina é em sistemas dinâmicos lineares. Na forma de espaço de estados, têm-se:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \tag{4}$$

em que $x(t) \in \mathbb{R}^n$ é o vetor com as variáveis de estado do sistema e $u(t) \in \mathbb{R}^r$ é o vetor com as variáveis de entrada. Além disto, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ é a matriz de estado e $B \in \mathbb{R}^{n \times r}$ é a matriz de entrada.

- **Na disciplina iremos estudar o cálculo e análise das soluções, propriedades de estabilidade (absoluta e relativa) e controlabilidade de (4).**

Fundamentação básica

- O foco da disciplina é em sistemas dinâmicos lineares. Na forma de espaço de estados, têm-se:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \tag{4}$$

em que $x(t) \in \mathbb{R}^n$ é o vetor com as variáveis de estado do sistema e $u(t) \in \mathbb{R}^r$ é o vetor com as variáveis de entrada. Além disto, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ é a matriz de estado e $B \in \mathbb{R}^{n \times r}$ é a matriz de entrada.

- **Na disciplina iremos estudar o cálculo e análise das soluções, propriedades de estabilidade (absoluta e relativa) e controlabilidade de (4).**

Fundamentação básica

- O modelo linearizado do pêndulo simples pode ser escrito na forma (4) da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{g}{L} & -\frac{k}{mL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\dot{x}(t) = Ax(t) \tag{5}$$

- O sistema (5) é linear, homogêneo e invariante no tempo.

Fundamentação básica

- O modelo linearizado do pêndulo simples pode ser escrito na forma (4) da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{g}{L} & -\frac{k}{mL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\dot{x}(t) = Ax(t) \tag{5}$$

- O sistema (5) é linear, homogêneo e invariante no tempo.

Fundamentação básica

- O modelo linearizado do pêndulo simples pode ser escrito na forma (4) da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{g}{L} & -\frac{k}{mL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\dot{x}(t) = Ax(t) \tag{5}$$

- O sistema (5) é linear, homogêneo e invariante no tempo.

Fundamentação básica

- Estudaremos também sistemas lineares com entradas e saídas:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \tag{6}$$
$$y(t) = Cx(t) + Du(t), \tag{7}$$

em que $x \in \mathbb{R}^n$ é o vetor com as variáveis de estado do sistema e $u \in \mathbb{R}^r$ é o vetor com as variáveis de entrada, $y \in \mathbb{R}^m$ é o vetor com as variáveis de saída (ou variáveis a serem observadas). Além disto, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ é a matriz de estado, $B \in \mathbb{R}^{n \times r}$ é a matriz de entrada, $C \in \mathbb{R}^{m \times n}$ é a matriz de saída e $D \in \mathbb{R}^{m \times r}$ é a matriz de realimentação direta.

- **Na disciplina iremos estudar o cálculo e análise das soluções, propriedades de estabilidade (entrada/saída) e observabilidade de (8)-(9). Além disto, será estudo o projeto de $u(t)$ para desempenho desejado de $y(t)$**

Fundamentação básica

- Estudaremos também sistemas lineares com entradas e saídas:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \tag{6}$$
$$y(t) = Cx(t) + Du(t), \tag{7}$$

em que $x \in \mathbb{R}^n$ é o vetor com as variáveis de estado do sistema e $u \in \mathbb{R}^r$ é o vetor com as variáveis de entrada, $y \in \mathbb{R}^m$ é o vetor com as variáveis de saída (ou variáveis a serem observadas). Além disto, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ é a matriz de estado, $B \in \mathbb{R}^{n \times r}$ é a matriz de entrada, $C \in \mathbb{R}^{m \times n}$ é a matriz de saída e $D \in \mathbb{R}^{m \times r}$ é a matriz de realimentação direta.

- **Na disciplina iremos estudar o cálculo e análise das soluções, propriedades de estabilidade (entrada/saída) e observabilidade de (8)-(9). Além disto, será estudo o projeto de $u(t)$ para desempenho desejado de $y(t)$**

Fundamentação básica

- Estudaremos também sistemas lineares com entradas e saídas:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \tag{6}$$
$$y(t) = Cx(t) + Du(t), \tag{7}$$

em que $x \in \mathbb{R}^n$ é o vetor com as variáveis de estado do sistema e $u \in \mathbb{R}^r$ é o vetor com as variáveis de entrada, $y \in \mathbb{R}^m$ é o vetor com as variáveis de saída (ou variáveis a serem observadas). Além disto, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ é a matriz de estado, $B \in \mathbb{R}^{n \times r}$ é a matriz de entrada, $C \in \mathbb{R}^{m \times n}$ é a matriz de saída e $D \in \mathbb{R}^{m \times r}$ é a matriz de realimentação direta.

- **Na disciplina iremos estudar o cálculo e análise das soluções, propriedades de estabilidade (entrada/saída) e observabilidade de (8)-(9). Além disto, será estudo o projeto de $u(t)$ para desempenho desejado de $y(t)$**

Fundamentação básica

- O sistema (8)-(9) anterior é linear e invariante no tempo. Na disciplina também serão estudados sistemas lineares variantes no tempo:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad (8)$$
$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t). \quad (9)$$

em que $A : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{n\times n}$, $B : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{n\times r}$, $C : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{m\times n}$ *e* $D : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{m\times r}$

- Serão estudados também as versões dos sistemas lineares anteriores no tempo discreto.

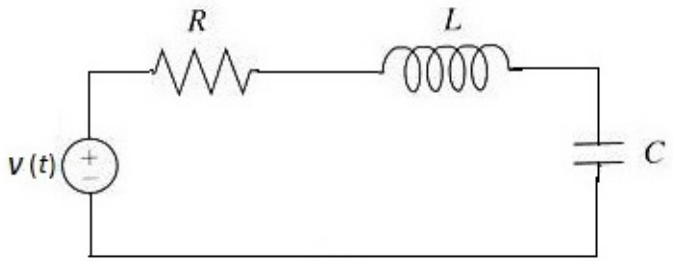
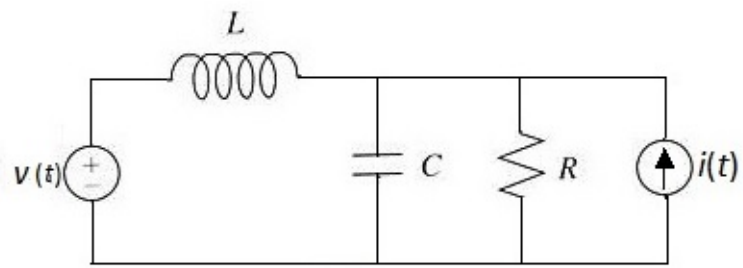
Fundamentação básica

- O sistema (8)-(9) anterior é linear e invariante no tempo. Na disciplina também serão estudados sistemas lineares variantes no tempo:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad (8)$$
$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t). \quad (9)$$

em que $A : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{n\times n}$, $B : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{n\times r}$, $C : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{m\times n}$ *e* $D : \mathbb{R} \mapsto \mathbb{R}^{m\times r}$

- Serão estudados também as versões dos sistemas lineares anteriores no tempo discreto.

Fundamentação básica

- Exemplo 2: Obtenha um modelo em espaço de estados para cada um dos circuitos abaixo.