



# TRƯỜNG ĐH CÔNG NGHỆ GTVT

## HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ 1

Giảng viên: TS. Dương Quang Khánh

Bộ môn: Cơ điện tử

Năm học: 2021-2022

# **NỘI DUNG HỌC PHẦN CƠ ĐIỆN TỬ 1**

**Chương 1: CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA CƠ ĐIỆN TỬ (3LT)**

**Chương 2: CÁC CƠ CẤU DẪN ĐỘNG (9LT)**

**Chương 3: CÁC CẢM BIẾN (9LT+3TH)**

**Chương 4: XỬ LÝ TÍN HIỆU (3LT + 6TH)**

**Chương 5: XÂY DỰNG MÔ HÌNH CỦA CÁC HỆ NHIỀU VẬT (9LT+6TH+2KT)**

**Chương 6: LẬP TRÌNH QUỸ ĐẠO (3LT+6TH)**

**Chương 7: ĐIỀU KHIỂN CÁC HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ (9LT+6TH+1KT)**

# ĐÁNH GIÁ HỌC PHẦN CƠ ĐIỆN TỬ

- 1. ĐIỂM CHUYÊN CẦN: 10%**
- 2. ĐIỂM KIỂM TRA: 10%**
- 3. BÀI LUẬN: 10%**
- 4. THI HỌC KỲ: 70%**

# SÁCH, GIÁO TRÌNH THAM KHẢO

## - *Sách, giáo trình chính:*

[1]. B. Heimann, W. Bert, K. Popp (2008), *Cơ điện tử*, NXB Khoa học và Kỹ thuật

## - *Sách tham khảo:*

[2]. Trương Hữu Chí, Võ Thị Ry (2005), *Cơ điện tử - Các thành phần cơ bản*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.

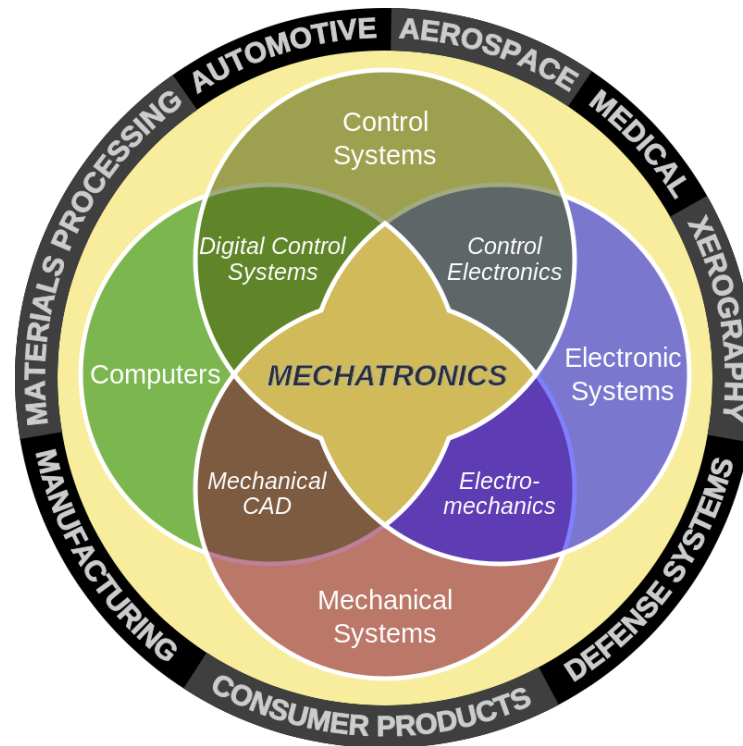
[3]. Clarence W. de Silva (2008), *Mechatronic Systems – Devices, Design, Control, Operation and Monitoring*, NXB CRC – Taylor and Francis Group

# Chương 1 CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA CƠ ĐIỆN TỬ

# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

- Cơ điện tử (Mechatronics): cơ học (mechanics) + điện tử (electronics)
- Bắt nguồn từ tiếng Anh Nhật bởi Tetsuro Mori, kỹ sư của công ty Yaskawa Electric Corporation, đăng ký bản quyền vào năm 1971
- Sau này thuật ngữ Cơ điện tử được công ty nhường bản quyền cho công chúng sử dụng.
- Cơ điện tử là lĩnh vực khoa học, tổng hợp của các lĩnh vực:
  - Cơ khí chính xác (Mechanical Engineering)
  - Kỹ thuật điện tử (Electronics Engineering)
  - Kỹ thuật điện (Electrical Engineering)
  - Kỹ thuật máy tính (Computer Engineering)
  - Kỹ thuật viễn thông (Telecommunication Engineering)
  - Kỹ thuật hệ thống (Systems Engineering)
  - Kỹ thuật điều khiển (Control Engineering)

# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ



**Hình 1.1:** Các thành phần của Cơ điện tử

# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

- **Mechatronics International Journal** cho định nghĩa đầu tiên năm 1991: “Cơ điện tử trong hình thức cơ bản của nó có thể coi là sự kết hợp của kỹ thuật cơ khí và điện trong các quá trình công nghệ hiện đại. Đó là khái niệm tương đối mới với việc thiết kế các hệ thống, thiết bị và sản phẩm nhằm mục đích đạt được sự cân bằng tối ưu giữa cấu trúc cơ học và việc điều khiển tổng thể nó” (*Mechatronics in its fundamental form can be regarded as the fusion of mechanical and electrical disciplines in modern engineering processes. It is a relatively new concept to design of systems, devices and products aimed at achieving an optimal balance between basic mechanical structures and its overall control*)
- Năm 1996, tạp chí **IEEE Transaction on Mechatronics** định nghĩa: “Cơ điện tử là sự kết hợp của kỹ thuật cơ khí với điện tử và điều khiển máy tính thông minh trong việc thiết kế và sản xuất các sản phẩm công nghiệp và các quá trình” (*Mechatronics is the synergetic combination of mechanical engineering with electronics and intelligent computer control in the design and manufacturing of industrial products and processes*).



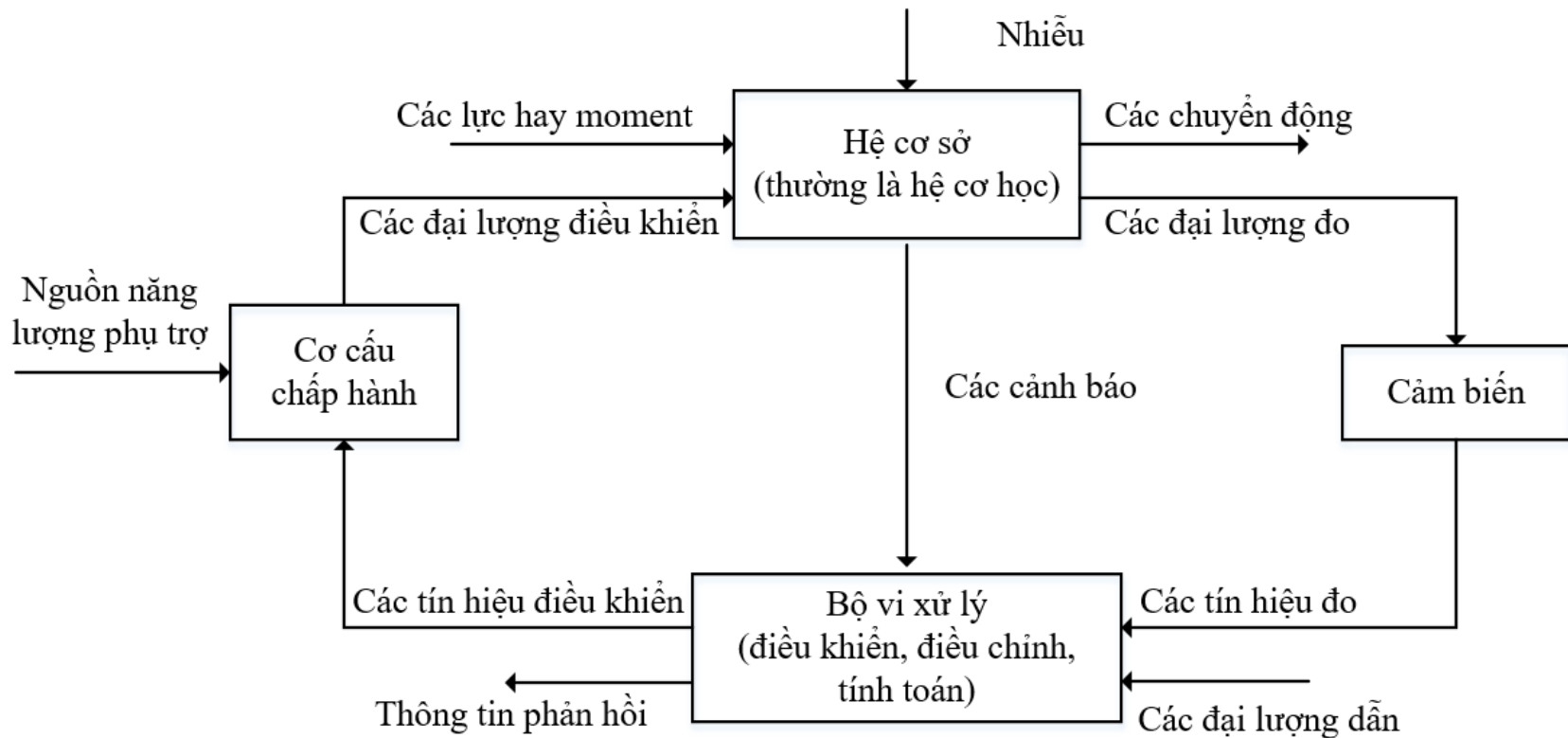
# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

➤ Năm 2000, **IFAC Technical Committee on Mechatronic Systems** định nghĩa: “Rất nhiều các quá trình kỹ thuật và sản phẩm trong lĩnh vực cơ khí và điện chứng minh sự tích hợp tăng lên của cơ học với điện tử và xử lý thông tin. Sự tích hợp này là giữa các thành phần cứng và phần mềm điều khiển thông tin, kết quả cho hệ thống tích hợp được gọi là hệ thống cơ điện tử đã hết hạn

*(Many technical processes and products in the area of mechanical and electrical engineering show an increasing integration of mechanics with electronics and information processing. This integration is between the components (hardware) and the information driven function (software), resulting and in integrated systems called expired mechatronic systems)*

➤ **Tiêu chuẩn Pháp NF E 01-010** đưa ra định nghĩa sau: “Sự tiếp cận nhằm đạt được sự tổng hợp của cơ khí, điện tử, điều khiển và khoa học máy tính trong sản xuất và thiết kế sản phẩm để cải tiến hoặc tối ưu các chức năng của chúng *(Approach aiming at the synergistic integration of mechanics, electronics, control theory, and computer science within product design and manufacturing, in order to improve and/or optimize its functionality).*

# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

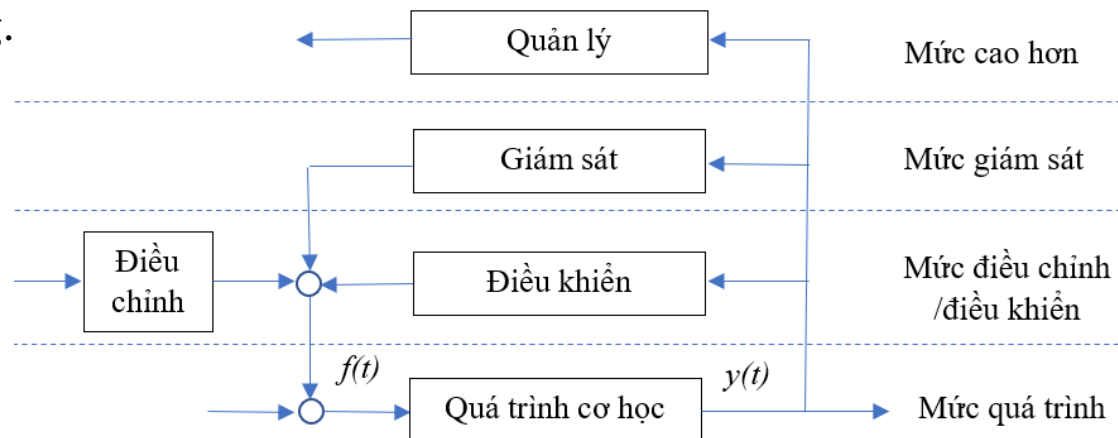


**Hình 1.2:** Tổng hợp hệ thống cơ điện tử

- **Bài toán phân tích** : biết lực tác dụng + các điều kiện ràng buộc → xác định chuyển động của vật thể
- **Bài toán tổng hợp**: biết chuyển động của vật thể → xác định lực tác dụng có quan tâm đến tác dụng nhiễu động

# 1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN TỬ

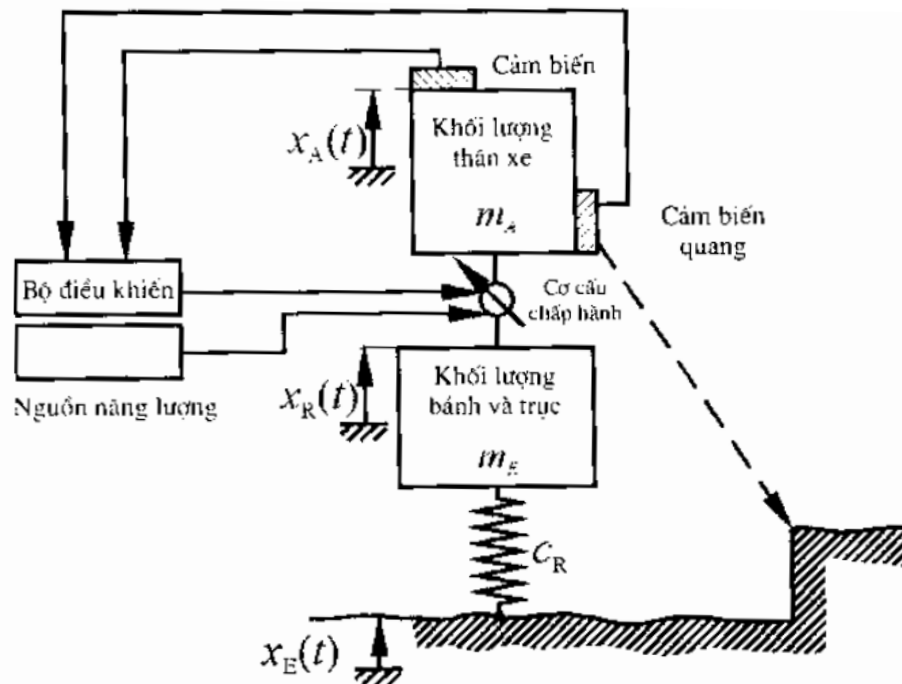
- **Cảm biến:** đo các đại lượng trong hệ thống cơ điện tử:
  - Các đại lượng điện (dòng điện, điện áp, điện trường, mật độ từ thông...)
  - Các đại lượng cơ học (quãng đường dịch chuyển, vận tốc, gia tốc, lực, moment xoắn, nhiệt độ, áp suất...)
- **Bộ vi điều khiển:** bộ nhớ dữ liệu, bộ nhớ chương trình, bộ chuyển đổi tương tự - số (ADC), các cổng vào ra, xử lý ngắt.... Các mức độ xử lý dữ liệu:
  - **Mức 1:** mức quá trình
  - **Mức 2:** Điều khiển, điều chỉnh, phản hồi ở mức quá trình
  - **Mức 3:** Cảnh báo (kiểm tra các giá trị biên), giám sát và chẩn đoán lỗi, đưa ra các giải pháp đơn giản để quyết định dừng hay tiếp tục công việc
  - **Mức 4:** điều phối hoạt động của các hệ con, tối ưu, quản lý quá trình chung.



**Hình 1.3:** Các mức xử lý dữ liệu quá trình

## 1.2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH TRONG CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ

- **Hệ** là một bộ phận của một đối tượng thực. Các hệ mô tả một sự sắp đặt có giới hạn các phần tử cấu thành chịu tác động lẫn nhau → khái niệm hệ chỉ mang tính tương đối. Một hệ bao gồm tập hợp các hệ con.
- **Một quá trình** là một chuỗi các sự kiện hoặc trạng thái xuất hiện nối tiếp nhau theo thời gian trong một hệ. Các trạng thái của hệ được tổ hợp trong một vector trạng thái  $z(t)$ .
- **Nguyên lý giảm xóc chủ động trong oto**



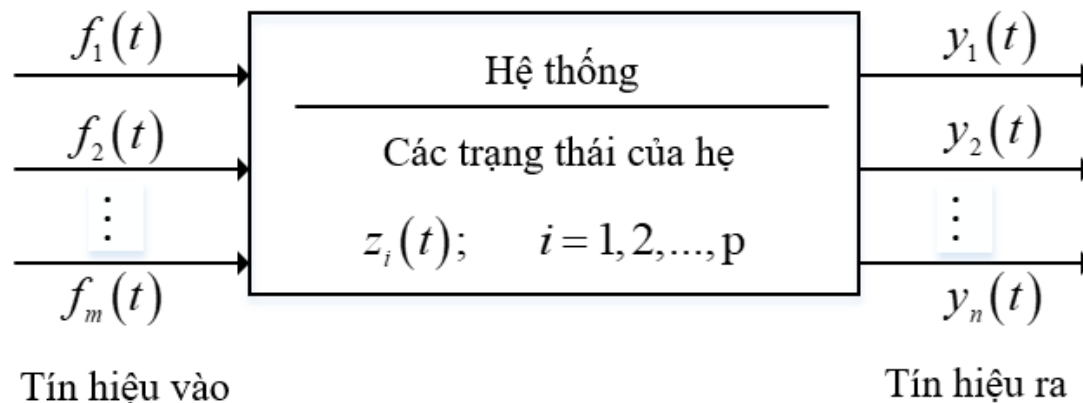
**Hình 1.4:** Nguyên lý giảm xóc chủ động theo mô hình một phần tử xe

## 1.2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH TRONG CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ

- **Hệ lò xo – khối lượng** mô tả dao động theo phương thẳng đứng:
  - cảm biến đo gia tốc thân xe → đánh giá độ êm khi lái
  - cảm biến quang học phát hiện các trước ngại vật phía trước
- **Bộ điều khiển** bằng thủy lực hoặc khí động (cơ cấu dẫn động)
- Các trạng thái của hệ được mô tả bởi vector trạng thái:

$$z(t) = [x_A(t), x_R(t), \dot{x}_A(t), \dot{x}_R(t)]^T$$

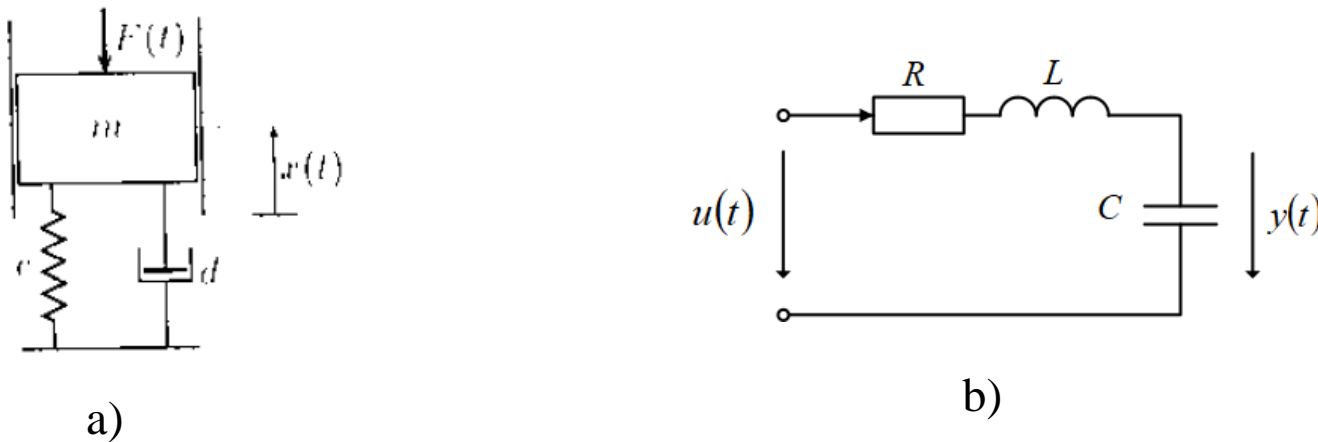
Bao gồm quãng đường và vận tốc dao động của thân xe, của bánh xe



**Hình 1.5:** Sơ đồ khối tổng quát của một hệ thống

# 1.2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH TRONG CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ

## ➤ Hệ dao động cơ điện đơn giản



**Hình 1.6:** Hệ dao động đơn giản: a) cơ b) điện

Trong miền thời gian thực:

$$a_2 \ddot{y}(t) + a_1 \dot{y}(t) + a_0 y(t) = b_0 f(t), \quad y(0) = y_0, \quad \dot{y}(0) = \dot{y}_0$$

Trong miền ảnh Laplace:

$$Y(p) = \frac{(a_2 p + a_1) y_0 + a_2 \dot{y}_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} + \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} F(p)$$

Hàm truyền đạt của hệ:

$$G(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}$$

# 1.2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH TRONG CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ

## ➤ Hệ dao động cơ điện đơn giản

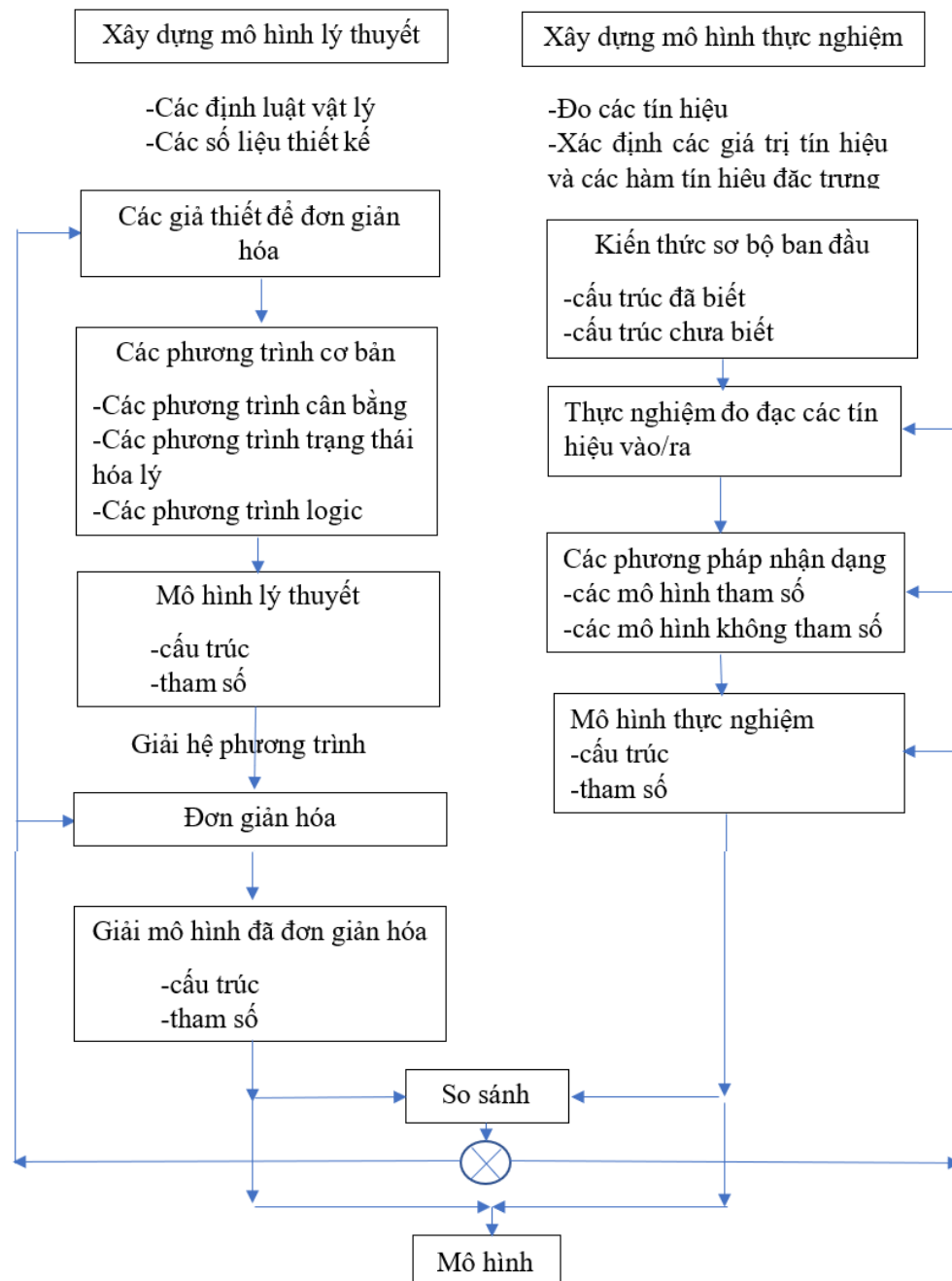
**Bảng 1.1:** So sánh hệ dao động cơ và hệ dao động điện

Ký hiệu/khái niệm	Hệ cơ	Hệ điện
Kích động $f(t)$	Kích động lực $F(t)$	Điện áp vào $U_i(t)$
Đầu ra $y(t)$	Dịch chuyển $x(t)$	Điện áp ra $U_o(t)$
Các hệ số $a_2$ $a_1$ $a_0$ $b_0$	$m$ $d$ $c$ $1$	$L$ $R$ $\frac{1}{C}$ $\frac{1}{C}$
Các đại lượng trạng thái	Dịch chuyển $x(t)$ Vận tốc dao động $\dot{x}(t)$	Điện áp ra $U_o(t)$ Đạo hàm theo t $\dot{U}_o(t)$
Tần số vòng riêng (của hệ có cản) $\omega$	$\omega = \sqrt{\frac{c}{m} - \left(\frac{d}{2m}\right)^2}$	$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ

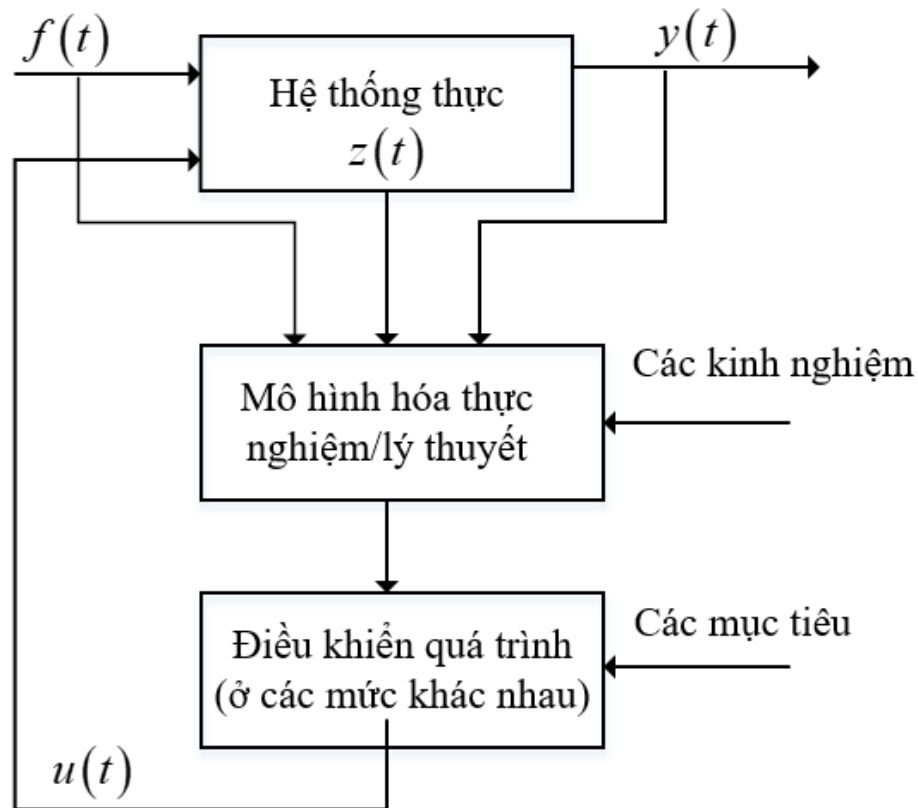
- **Mô hình (model)** là sự mô tả có định hướng về mục tiêu và chức năng hoặc phản ánh các quan hệ cơ bản của vấn đề khảo sát. Các mô hình toán học có thể biểu diễn qua các phương trình toán, các bảng số hoặc các sơ đồ dòng tín hiệu và mô tả sự thay đổi theo thời gian của các tín hiệu.
- Các phương pháp xây dựng mô hình:
  - xây dựng mô hình lý thuyết (Theoretical model)
  - xây dựng mô hình thực nghiệm (Identification model)





**Hình 1.7:** Mối quan hệ giữa mô hình lý thuyết và nhận dạng

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ



**Hình 1.8:** Nguyên lý điều khiển quá trình dựa trên mô hình

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ

- Các chức năng trong hệ cơ điện tử:
  - **Chức năng động học:** xác định trước một hệ phù hợp để thỏa mãn chức năng chuyên động theo yêu cầu. Nhiệm vụ này thuộc vào lĩnh vực động học và bao hàm việc mô tả hình học của bài toán đặt ra.
  - **Chức năng động lực học:** liên quan đến các lực và moment cần thiết cho việc thực hiện các nhiệm vụ đã đề ra. Vấn đề này được giải quyết nhờ các phương trình chuyển động.
  - **Chức năng cơ điện tử:** kết nối với các cảm biến, các cơ cấu dẫn động, các thuật toán điều khiển và các thành phần khác.
- Các khái niệm mô tả chuyển động của hệ cơ điện tử có  $n$  bậc tự do
  - *Hệ quán tính*  $(KS)_0$  (hệ tọa độ cơ sở): thường là hệ tọa độ Decartes, cố định trong không gian.
  - *Hệ tọa độ vật*  $(KS)_k; k = 1, 2, \dots, N$  : là các hệ tọa độ gắn vào vật  $k$ .
  - *Điểm quan sát* (điểm tác động EP): vị trí hình học của hệ mà ứng xử của nó có liên quan đến nhiệm vụ đã vạch ra.
  - *Các tọa độ môi trường của EP* : mô tả vị trí  $(x, y, z)$  và hướng  $(\phi, \psi, \theta)$  của EP trong hệ quy chiếu  $(KS)_0$

$$\mathbf{x} = [x, y, z, \phi, \psi, \theta]^T \in \mathbf{R}^6$$

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ

➤ Các khái niệm mô tả chuyển động của hệ cơ điện tử có  $n$  bậc tự do

- Các tọa độ suy rộng:  $\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T \in \mathbf{R}^n$

Vận tốc suy rộng:  $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T \in \mathbf{R}^n$

Không gian cấu hình:  $\mathbf{Q} = \{q \mid q_{\min} \leq q \leq q_{\max}\}$

Các tọa độ suy rộng bị giới hạn bởi  $q_{\min}$  và  $q_{\max}$

- Không gian làm việc (hay không gian thao tác):

$$\mathbf{X} = \{x \mid x = f(q) \wedge q \in \mathbf{Q}\}$$

- Mô hình động học:  $x = f(q)$

- Mô hình động lực học:

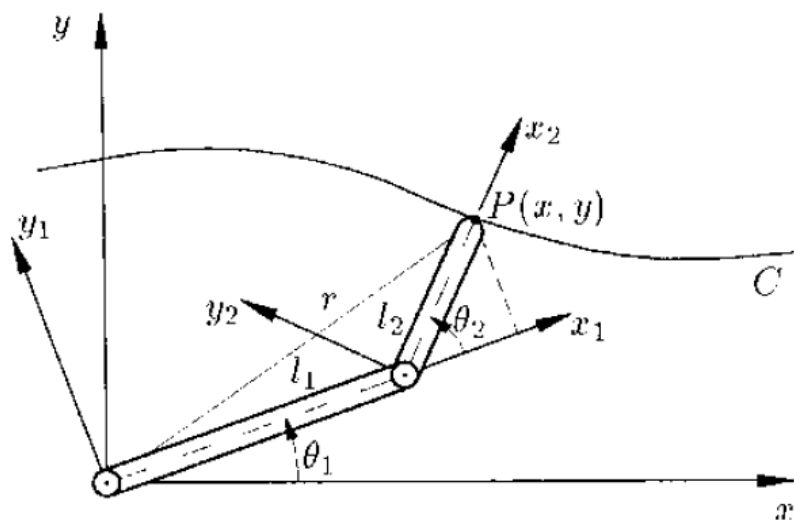
$$f(\ddot{q}(t), \dot{q}(t), q(t)) = Q(t)$$

$$M(q(t))\ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) = Q(t), \quad q(0) = q_0, \quad \dot{q}(0) = \dot{q}_0$$

$Q(t) \in \mathbf{R}^n$  : biểu diễn lực và moment suy rộng

$M(q(t))$  : ma trận quán tính (ma trận khối lượng)

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ



Các tọa độ suy rộng:

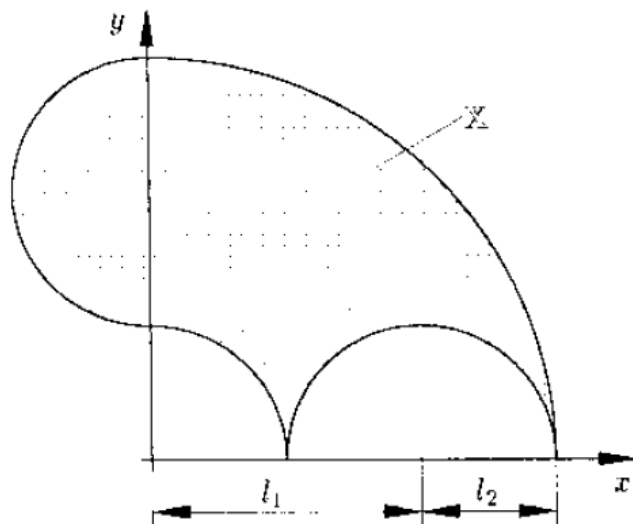
$$\mathbf{q} = [q_1, q_2]^T = [\theta_1, \theta_2]^T$$

Mô hình động học:

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

**Hình 1.9:** Robot hai khâu



**Hình 1.10:** Không gian làm việc khi  $l_1 = 2l_2$

# 1.3. MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐỊNH NGHĨA CHỨC NĂNG TRONG CƠ ĐIỆN TỬ

- Phương trình trạng thái:

$$\dot{z}(t) = f(z(t), u(t), n(t)), \quad z(0) = z_0$$

$$y(t) = g(z(t))$$

$z(t) \in \mathbb{R}^m$     véc tơ trạng thái,

$u(t) \in \mathbb{R}^f$     véc tơ điều khiển,

$n(t) \in \mathbb{R}^m$     véc tơ nhiễu,

$y(t) \in \mathbb{R}^l$     véc tơ đầu ra.

- Phương trình trạng thái cho các hệ tuyến tính:

$$\dot{z}(t) = \mathbf{A}(t)z(t) + \mathbf{B}(t)u(t) + \mathbf{R}(t)n(t), \quad z(0) = z_0$$

$$y(t) = \mathbf{C}(t)z(t)$$

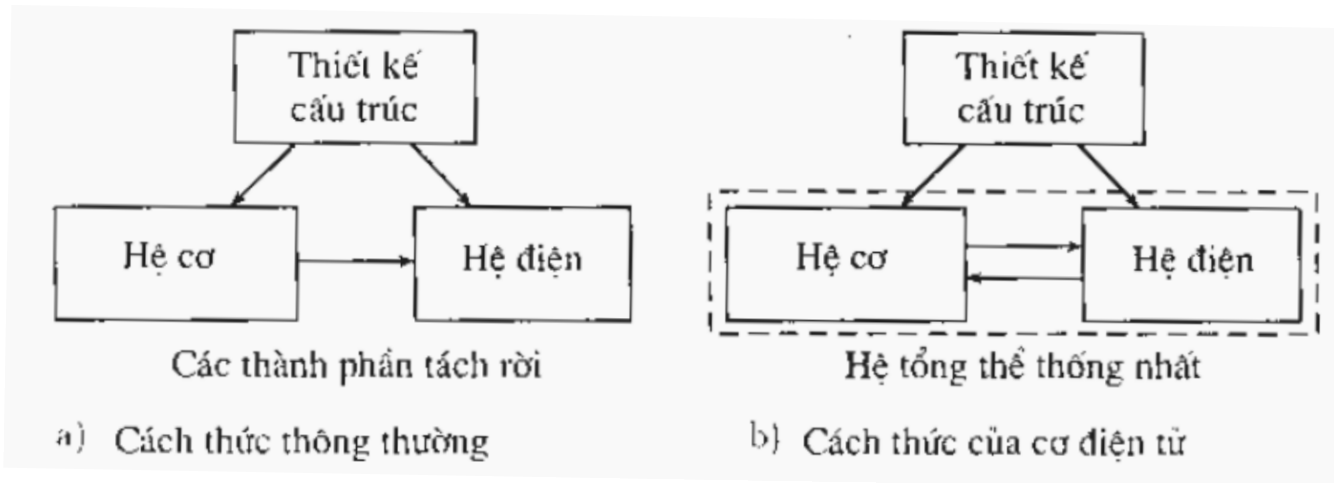
$\mathbf{A}(t)$      $(m, m)$  - ma trận hệ thống,

$\mathbf{B}(t)$      $(m, f)$  - ma trận tác động điều khiển,

$\mathbf{R}(t)$      $(m, m)$  - ma trận tác động nhiễu,

$\mathbf{C}(t)$      $(m, l)$  - ma trận quan sát (ma trận đo).

## 1.4. THIẾT KẾ CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ



**Hình 1.11:** Thiết kế và thực thi hệ cơ điện tử

- Mô hình định hướng theo chức năng:
  - Bao gồm các chức năng cơ bản: chức năng động học, động lực học, cơ điện tử...
  - Phù hợp với việc tính toán offline, minh chứng cho chức năng hoạt động của hệ thống, lập trình quỹ đạo, thiết kế bộ điều khiển...
- Mô hình định hướng theo hình dạng:
  - Cơ sở cho việc kiểm tra bền và cho việc thiết kế cấu trúc của các hệ con của hệ cơ điện tử tổng thể
  - Các công cụ sử dụng: MKS, CAD, FEM

## 1.4. THIẾT KẾ CÁC HỆ CƠ ĐIỆN TỬ

**Bảng 1.2:** Sự khác nhau cơ bản giữa thiết kế thông thường và thiết kế cơ điện tử

<b>Thiết kế thông thường</b>	<b>Thiết kế cơ điện tử</b>
Các thành phần được lắp ráp với nhau và do đó thường là phức tạp về cơ học,	Các bộ phận độc lập, dịch chuyển các chức năng cơ học được dựa vào phần mềm,
độ chính xác nhờ dung sai hẹp,	độ chính xác nhờ đo đạc và phản hồi,
cấu trúc cứng	cấu trúc đàn hồi và do đó kết cấu nhẹ,
hệ thống cấp tín hiệu,	hệ thống giao diện bus,
chuyển động được điều khiển (không phản hồi)	chuyển động được điều khiển có phản hồi, khả trình,
các đại lượng không đo được sẽ không thể tác động được,	tính toán, điều khiển các đại lượng không thể đo được,
giám sát đơn giản	giám sát nhờ chẩn đoán lỗi