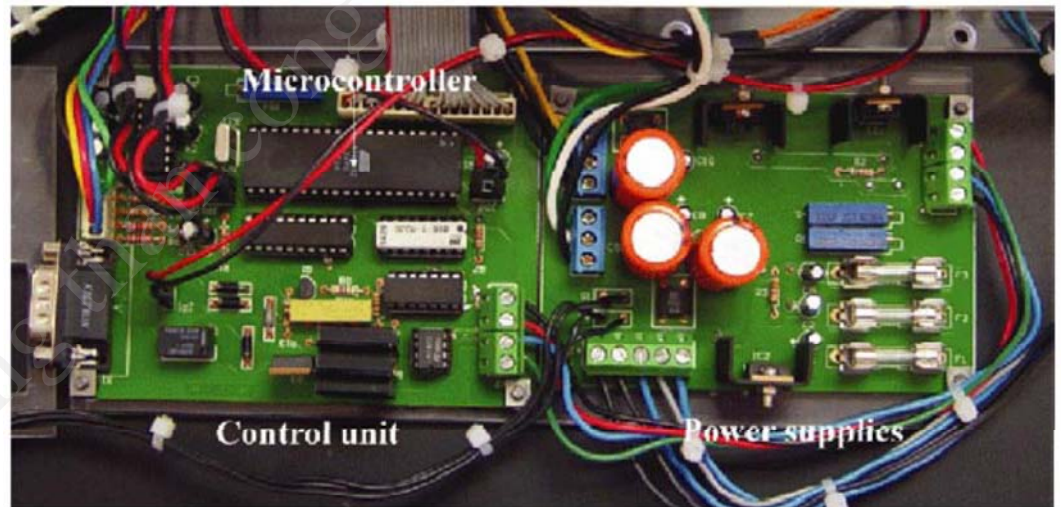


Lý thuyết Điều khiển tự động 1

*Thiết kế bộ
quan sát
trạng thái*



ThS. Đỗ Tú Anh

Bộ môn Điều khiển tự động
Khoa Điện, Trường ĐHBK HN

Bộ quan sát trạng thái

Mục đích

- Để thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái $\mathbf{u} = -\mathbf{K}\mathbf{x}$, vector biến trạng thái \mathbf{x} được giả thiết là có sẵn (đo được)
- Trên thực tế, không phải mọi biến trạng thái đều có thể đo được, nhưng có thể ước lượng được thông qua các tín hiệu vào/ra

Bộ quan sát trạng thái được sử dụng để ước lượng (khôi phục) các biến trạng thái thông qua các tín hiệu vào/ra

Điều kiện cần và đủ

Hệ (1) là quan sát được hoàn toàn

Bộ quan sát trạng thái Luenberger

Xét hệ thống liên tục tuyến tính *một vào-một ra* được mô tả bởi

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \quad (1)$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x} \quad (2)$$

Giả sử $\tilde{\mathbf{x}}$ là ước lượng của vector trạng thái \mathbf{x}

Sử dụng bộ quan sát trạng thái với hai tín hiệu vào là u và y , và các tín hiệu ra là $\tilde{\mathbf{x}}$

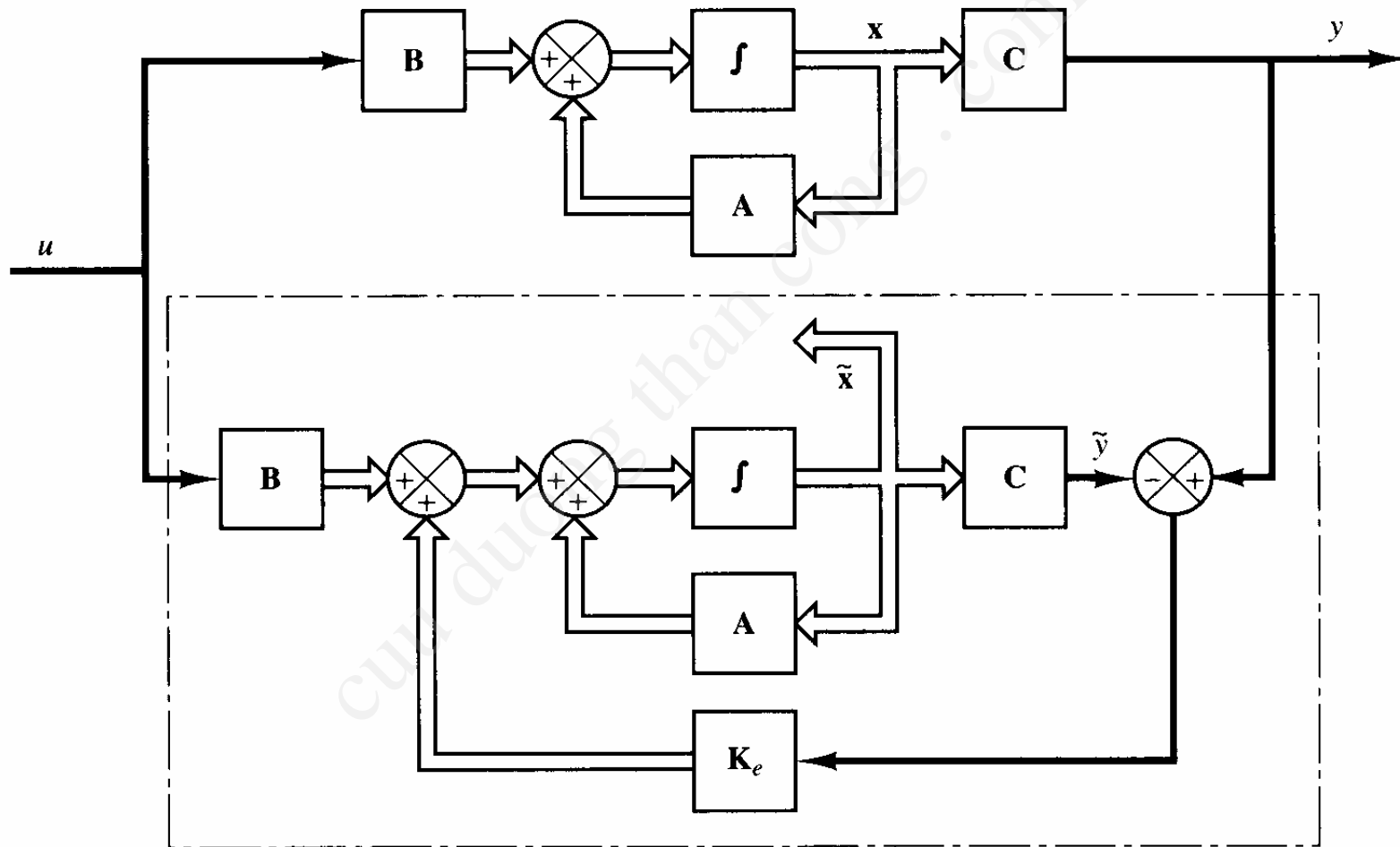
$$\dot{\tilde{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{B}u + \mathbf{K}_e(y - \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}) \quad (3)$$

Thành phần hiệu chỉnh

Bài toán thiết kế bộ quan sát

Tìm ma trận \mathbf{K}_e của bộ quan sát trạng thái để có được sự xấp xỉ $\tilde{\mathbf{x}} \approx \mathbf{x}$ sau một khoảng thời gian T đủ ngắn

Bộ quan sát trạng thái Luenberger (tiếp)



Bộ quan sát trạng thái Luenberger (tiếp)

Lấy phương trình (1) trừ (3)

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} - \dot{\tilde{\mathbf{x}}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} - \mathbf{K}_e(\mathbf{C}\mathbf{x} - \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}) \\ &= (\mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C})(\mathbf{x} - \tilde{\mathbf{x}})\end{aligned}\quad (4)$$

Định nghĩa sai lệch giữa \mathbf{x} và $\tilde{\mathbf{x}}$ là vector sai lệch \mathbf{e}

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \tilde{\mathbf{x}}$$

Khi đó (4) được viết lại thành

$$\dot{\mathbf{e}} = (\mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C})\mathbf{e}$$

➡ Để vector sai lệch $\mathbf{e} \rightarrow \mathbf{0}$ thì ma trận $\mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C}$ phải có các giá trị riêng nằm ở bên trái trục ảo

Nếu các giá trị riêng của $\mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C}$ được chọn sao cho động học của vector \mathbf{e} là ổn định và đủ nhanh thì \mathbf{e} sẽ tiến tới 0 với tốc độ đủ lớn

Bài toán đối ngẫu

Bài toán thiết kế bộ quan sát trạng thái được chuyển thành bài toán xác định ma trận K_e của bộ quan sát sao cho $A - K_e C$ có được các giá trị riêng mong muốn

⇒ Giống như bài toán đặt điểm cực (xem bài giảng 16)

Để ý thêm là các giá trị riêng của $A - K_e C$ cũng chính là các giá trị riêng của $A^* - K_e^* C^*$

Xét hệ

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

Để thiết kế bộ QSTT, chúng ta sẽ giải bài toán đối ngẫu, đó là bài toán thiết kế bộ điều khiển trạng thái theo nguyên lý đặt điểm cực cho hệ đối ngẫu

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}^*\mathbf{z} + \mathbf{C}^*v$$

$$n = \mathbf{B}^*\mathbf{z}$$

giả sử tín hiệu điều khiển v là $v = -\mathbf{K}\mathbf{z}$ ⇒ $\mathbf{K}_e = \mathbf{K}^*$

Bài toán đối ngẫu (tiếp)

Chú ý

- Như đã đề cập (xem bài giảng 16), điều kiện cần và đủ để tồn tại ma trận điều khiển trạng thái \mathbf{K} cho hệ đối ngẫu

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}^* \mathbf{z} + \mathbf{C}^* \mathbf{v}$$

là hệ phải điều khiển được hoàn toàn, tức là

$$\text{Rank} [\mathbf{C}^* \mid \mathbf{A}^* \mathbf{C}^* \mid \cdots \mid (\mathbf{A}^*)^{n-1} \mathbf{C}^*] = n$$

➡ Đây chính là điều kiện để hệ (1) là quan sát được hoàn toàn

- Có ba cách để xác định \mathbf{K}_e cho bộ QSTT

Cách 1: trực tiếp

Cách 2: sử dụng mô hình dạng chuẩn quan sát

Cách 3: Ackermann

Thiết kế bộ QSTT

Phương pháp Ackermann

Ma trận \mathbf{K}_e của bộ quan sát được xác định như sau

$$\mathbf{K}_e = \mathbf{K}^* = \phi(\mathbf{A}^*)^* \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{CA} \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{n-2} \\ \mathbf{CA}^{n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \phi(\mathbf{A}) \begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{CA} \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{n-2} \\ \mathbf{CA}^{n-1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

trong đó

$$\phi(\mathbf{A}) = \mathbf{A}^n + \alpha_{n-1}\mathbf{A}^{n-1} + \cdots + \alpha_1\mathbf{A} + \alpha_0$$

Ma trận quan sát được

với α_i là các hệ số của đa thức đặc tính mong muốn của bộ QSTT được xác định từ các điểm cực mong muốn của hệ $s = \mu_1, s = \mu_2, \dots, s = \mu_n$.

Thiết kế bộ QSTT (tiếp)



$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 20.6 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [0 \quad 1]$$

Hãy thiết kế bộ QSTT với các điểm cực mong muốn là

$$\mu_1 = -1.8 + j2.4, \quad \mu_2 = -1.8 - j2.4$$

Kết hợp bộ ĐKPHTT và bộ QSTT

Sau khi thiết kế bộ quan sát trạng thái, vector trạng thái ước lượng $\tilde{\mathbf{x}}$ có thể được sử dụng để thiết kế bộ đk phản hồi trạng thái $u = -\mathbf{K}\tilde{\mathbf{x}}$

Điều kiện cần và đủ

Hệ là điều khiển được hoàn toàn và quan sát được hoàn toàn

Xét hệ thống liên tục tuyến tính *một vào-một ra* được mô tả bởi

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

Ta có

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{BK}\tilde{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\mathbf{x} + \mathbf{BK}(\mathbf{x} - \tilde{\mathbf{x}})$$

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\mathbf{x} + \mathbf{BK}\mathbf{e}$$

Đã biết

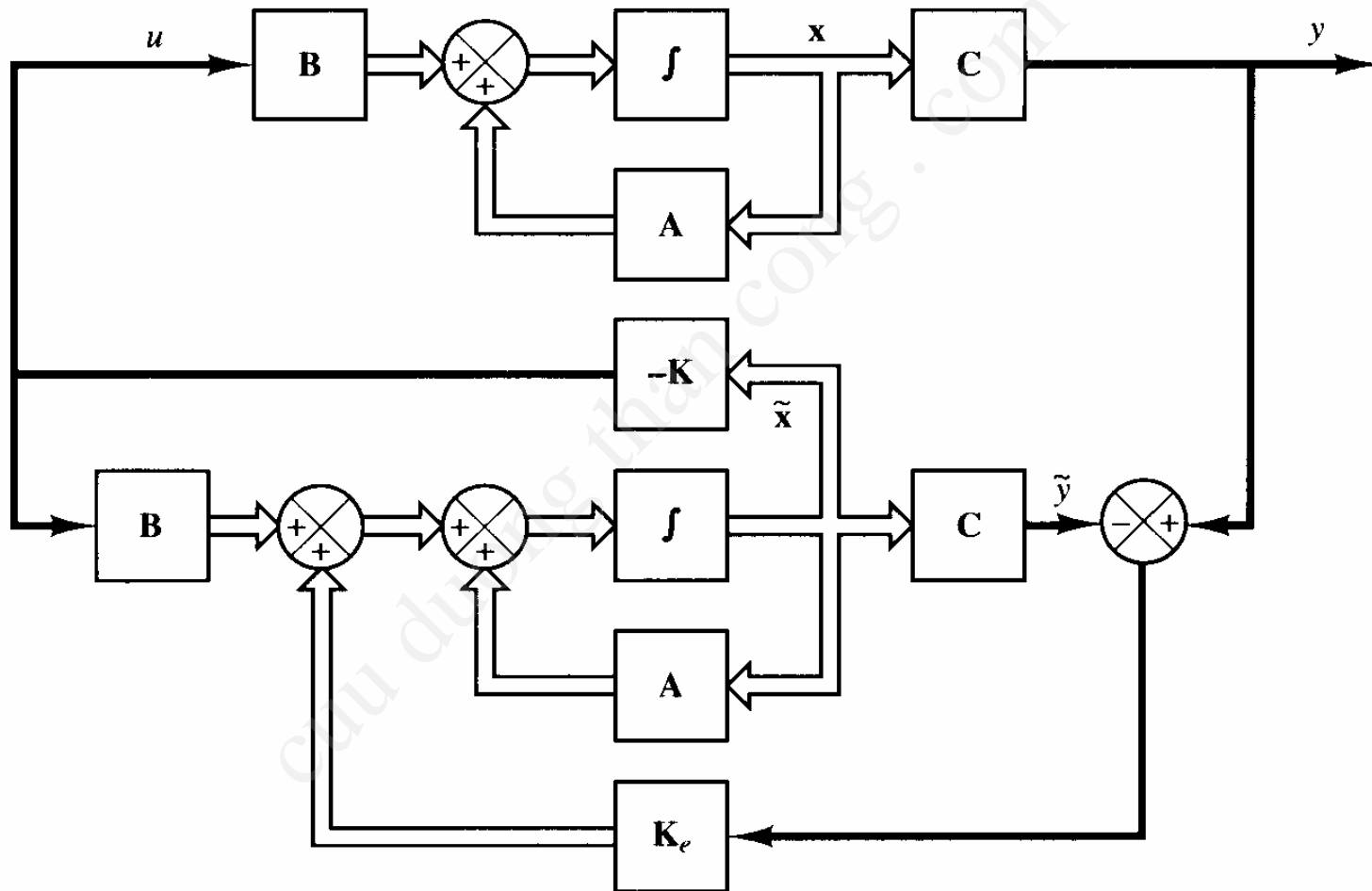
$$\dot{\mathbf{e}} = (\mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C})\mathbf{e}$$

Đã định nghĩa

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \tilde{\mathbf{x}}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\mathbf{e}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} - \mathbf{BK} & \mathbf{BK} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A} - \mathbf{K}_e\mathbf{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix}$$

Kết hợp bộ ĐKPHTT và bộ QSTT (tiếp)



Kết hợp bộ ĐKPHTT và bộ QSTT (tiếp)

Phương trình đặc tính

$$\begin{vmatrix} s\mathbf{I} - \mathbf{A} + \mathbf{BK} & -\mathbf{BK} \\ \mathbf{0} & s\mathbf{I} - \mathbf{A} + \mathbf{K}_e\mathbf{C} \end{vmatrix} = 0$$

hay

$$|s\mathbf{I} - \mathbf{A} + \mathbf{BK}| |s\mathbf{I} - \mathbf{A} + \mathbf{K}_e\mathbf{C}| = 0$$

Điểm cực được
tạo ra khi thiết kế
bộ đk PHTT

Điểm cực được
tạo ra khi thiết kế
bộ đk QSTT

Nguyên lý tách

Bài toán thiết kế hệ thống
đk phản hồi kết hợp quan
sát trạng thái

=

Bài toán thiết kế
bộ đk PHTT

+

Bài toán thiết
kế bộ QSTT

Bộ quan sát trạng thái Luenberger (tiếp)



$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 20.6 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [1 \quad 0]$$

1. Thiết kế bộ đk PHTT với các điểm cực mong muốn là
 $\mu_1 = -1.8 + j2.4$ và $\mu_2 = -1.8 - j2.4$.
2. Thiết kế bộ QSTT với các điểm cực mong muốn là
 $\mu_1 = \mu_2 = -8$
3. Vẽ sơ đồ cấu trúc của cả hệ thống