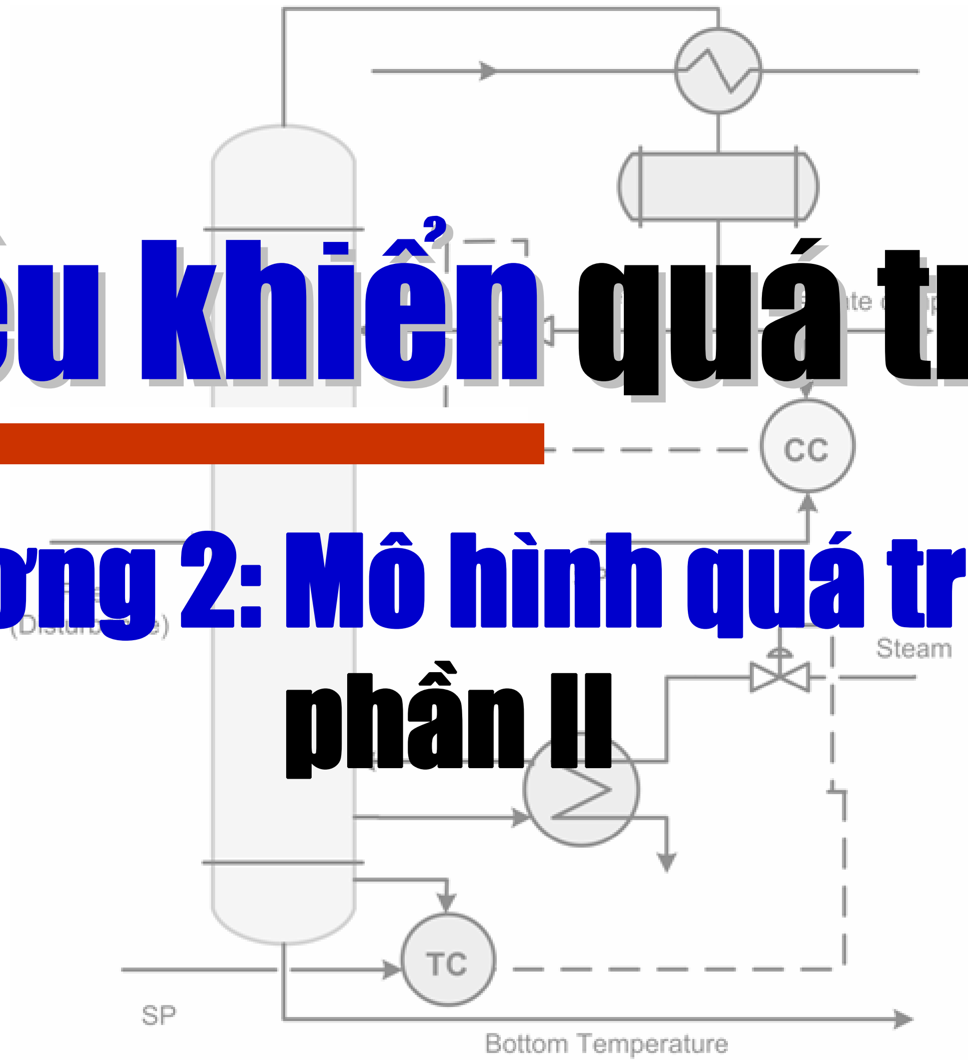
Điều khiển quá trình

Chương 2: Mô hình quá trình phần II



18/08/2006

2.4 Mô hình hóa thực nghiệm

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ y \end{pmatrix} = \left(\begin{array}{c|c} A & B \\ \hline C & D \end{array}\right) \begin{pmatrix} x \\ u \end{pmatrix}$$

$$\ldots$$

Ví dụ minh họa đơn giản

- Giả thiết: $y = a_0 + a_1 u$
- Đặt $\boldsymbol{\theta} = [a_0,\ a_1]^{\mathrm{T}}$
- Dãy số liệu thực nghiệm:

$$\mathbf{u} = [\mathrm{u}_1,\ \mathrm{u}_2,\ \mathrm{u}_3]^{\mathrm{T}}$$

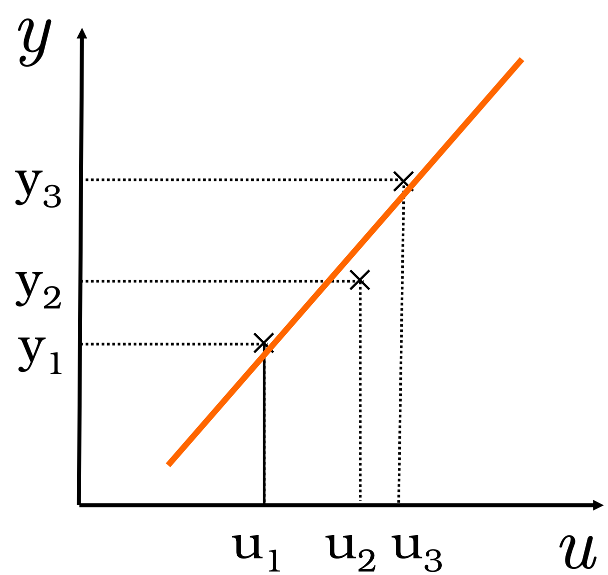
$$\mathbf{y} = [\mathrm{y}_1,\ \mathrm{y}_2,\ \mathrm{y}_3]^{\mathrm{T}}$$

- Hệ phương trình:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & \mathrm{u}_1 \\ 1 & \mathrm{u}_2 \\ 1 & \mathrm{u}_3 \end{bmatrix}}_{\Phi} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{y}_1 \\ \mathrm{y}_2 \\ \mathrm{y}_3 \end{bmatrix}$$

- Nghiệm tối ưu:

$$\boxed{\boldsymbol{\theta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{y}}$$



Chỉ đơn giản là xấp xỉ đa thức?

Có một vài vấn đề trong ví dụ ...

- Tại sao lại lấy 3 cặp số liệu mà không phải là 2, 4, 5, 6, ...?
- Nếu số liệu đo không chính xác thì sao?
- Làm sao biết trước được $y = a_0 + a_1 u$. Nếu là khác thì sao?
- Ta đã bỏ qua yếu tố thời gian. Cái chúng ta cần quan tâm không chỉ là quan hệ tĩnh, mà quan trọng hơn chính là đặc tính động học của hệ thống! (nghĩa là quan hệ giữa $u(t)$ và $y(t)$)
- ...

Định nghĩa nhận dạng

- Phương pháp xây dựng mô hình toán học trên cơ sở các số liệu vào-ra thực nghiệm được gọi là *mô hình hóa thực nghiệm* hay *nhận dạng hệ thống* (*system identification*).
- Theo IEC 60050-351: "*Nhận dạng hệ thống là những thủ tục suy luận một mô hình toán học biểu diễn đặc tính tĩnh và đặc tính quá độ của một hệ thống từ đáp ứng của nó đối với một tín hiệu đầu vào xác định rõ, ví dụ hàm bậc thang, một xung hoặc nhiễu tạp trắng*".
- Theo Lofti A. Zadeh: Trên cơ sở quan sát số liệu vào/ra thực nghiệm, các định các tham số của mô hình từ một lớp các mô hình thích hợp, sao cho sai số là nhỏ nhất.

Các yếu tố cơ bản của nhận dạng

- Số liệu vào/ra thực nghiệm:
  - Xác định như thế nào? Trong điều kiện nào?
  - Dạng nhiễu (nhiễu quá trình, nhiễu đo), độ lớn của nhiễu?
- Dạng mô hình, cấu trúc mô hình
  - Mô hình phi tuyến/tuyến tính, liên tục/gián đoạn hàm truyền đạt/không gian trạng thái, ...
  - Bậc mô hình, thời gian trễ
- Chỉ tiêu đánh giá chất lượng mô hình
  - Mô phỏng và so sánh với số liệu đo như thế nào?
- Thuật toán xác định tham số
  - Rất đa dạng -> thuật toán nào phù hợp với bài toán nào?

Các bước tiến hành

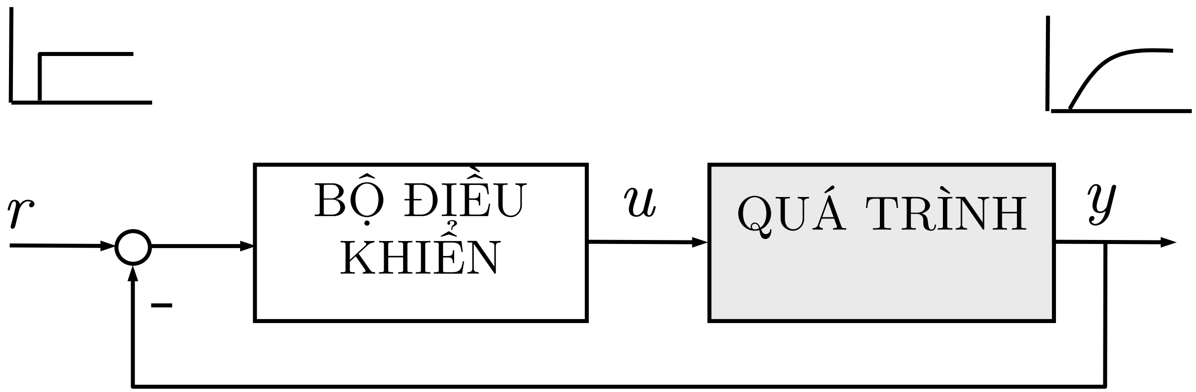
1. Thu thập, khai thác thông tin ban đầu về quá trình (*"apriori" information*)
2. Lựa chọn phương pháp nhận dạng (trực tuyến/ ngoại tuyến, vòng hở/vòng kín, chủ động/bị động, thuật toán nhận dạng, ...).
3. Lấy số liệu thực nghiệm cho từng cặp biến vào/ra, xử lý thô các số liệu nhằm loại bỏ những giá trị đo kém tin cậy.
4. Quyết định về dạng mô hình và giả thiết ban đầu về cấu trúc mô hình
5. Lựa chọn thuật toán và xác định các tham số mô hình
6. Mô phỏng, kiểm chứng và đánh giá mô hình
7. Quay lại một trong các bước 1-4 nếu cần

Phân loại các phương pháp nhận dạng

- Theo dạng mô hình sử dụng: phi tuyến/tuyến tính, liên tục/gián đoạn, mô hình thời gian/tần số
- Theo dạng số liệu thực nghiệm: chủ động/bị động
- Theo mục đích sử dụng mô hình: trực tuyến, ngoại tuyến
- Theo thuật toán ước lượng mô hình:
  - *bình phương tối thiểu* (*least squares*, LS),
  - *phân tích tương quan* (*correlation analysis*), *phân tích phổ* (*spectrum analysis*),
  - *phương pháp lỗi dự báo* (*prediction error method*, PEM)
  - *phương pháp không gian con* (*subspace method*).
- Nhận dạng vòng hở/vòng kín

Nhận dạng vòng hở/vòng kín

a) Nhận dạng vòng hở



b) Nhận dạng vòng kín

Đánh giá và kiểm chứng mô hình

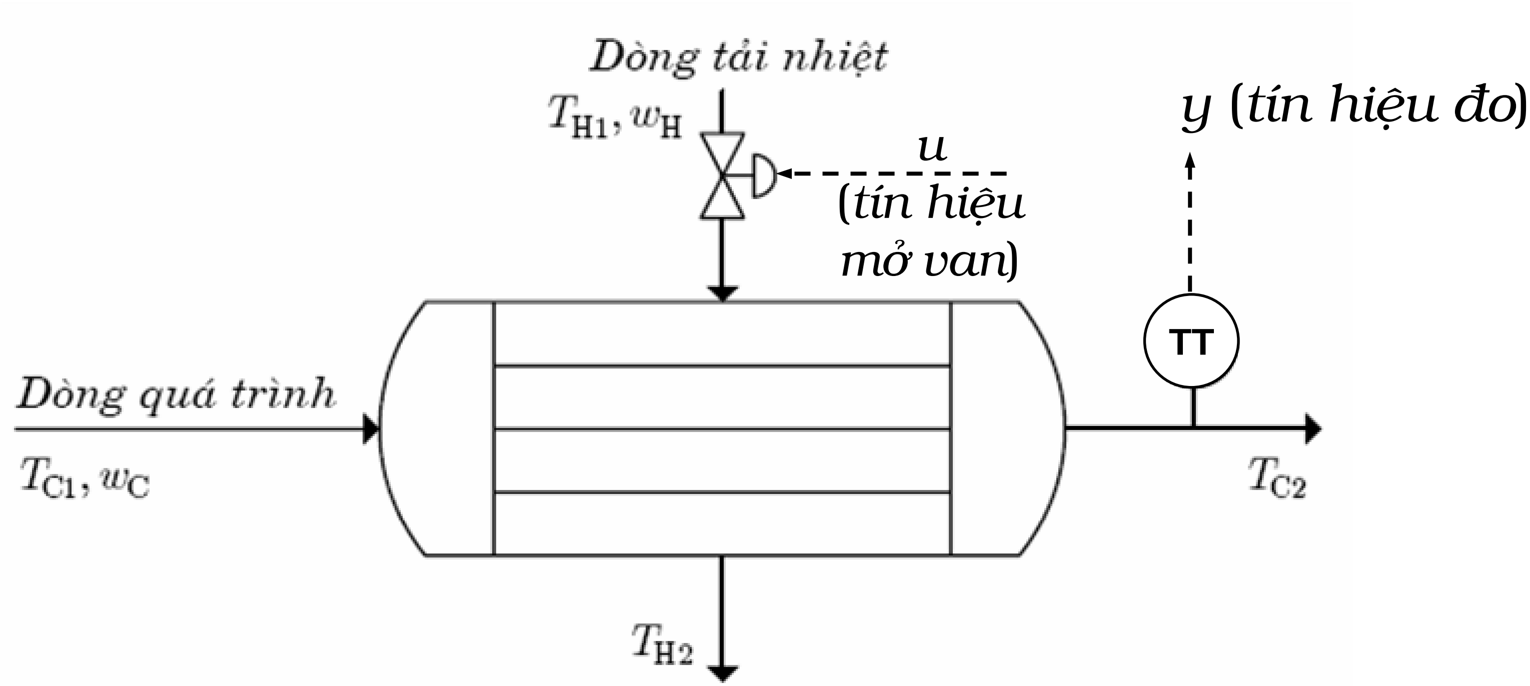
- Tốt nhất: Bộ số liệu phục vụ kiểm chứng khác bộ số liệu phục vụ ước lượng mô hình
- Đánh giá trên miền thời gian:

$$\varepsilon = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}[y(kh) - \hat{y}(kh)]^2$$

  – h là chu kỳ trích mẫu tín hiệu (chu kỳ thu thập số liệu)
  – k là bước trích mẫu tín hiệu (bước thu thập số liệu)
  – y là giá trị đầu ra đo được thực nghiệm
  – $\hat{y}$ là giá trị đầu ra dự báo trên mô hình
- Đánh giá trên miền tần số

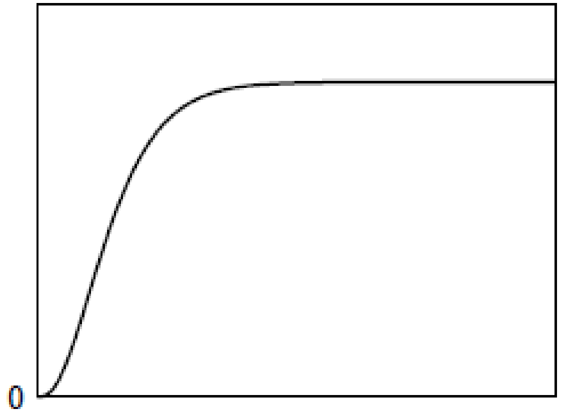
$$E = \max_{\omega \in \mathcal{O}}\left\{\left|\frac{\hat{G}(j\omega) - G(j\omega)}{G(j\omega)}\right| \times 100\%\right\}$$

Chú ý về các đầu vào-ra

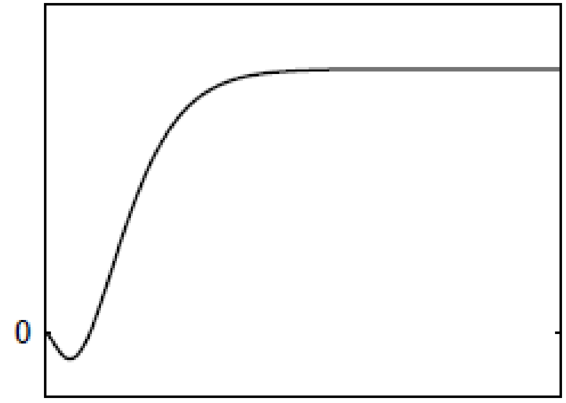


- Mô hình thực nghiệm thể hiện cả đặc tính quá trình, đặc tính thiết bị đo và thiết bị chấp hành (thậm chí cả hệ thống truyền thống)!

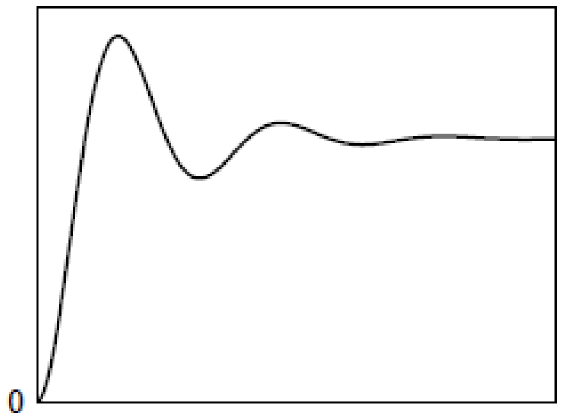
2.4.1 Nhận dạng dựa trên đáp ứng quá độ



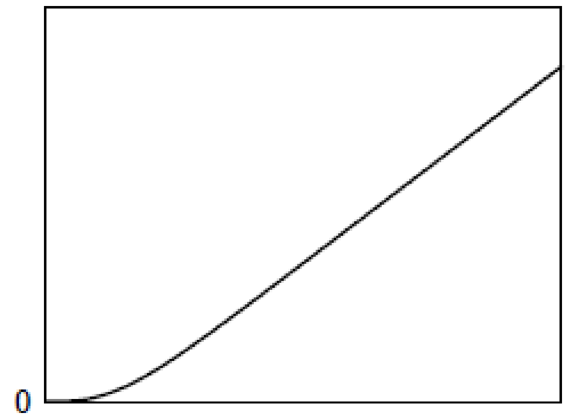
a) Quán tính



b) Quán tính-ngược



c) Dao động tắt dần



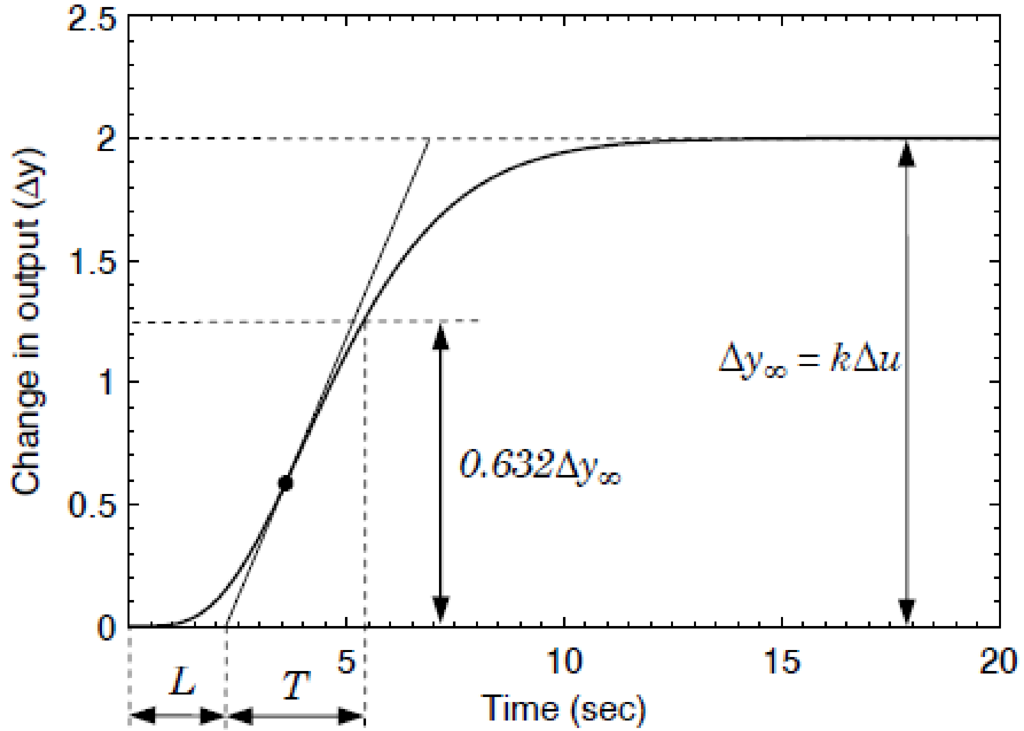
d) Quán tính-tích phân

Xấp xỉ về mô hình đơn giản

- *Đáp ứng quán tính (a)*: có thể xấp xỉ thành mô hình quán tính bậc nhất hoặc bậc hai có trễ
  - FOPDT: first order plus dead-time
  - SOPDT: second order plus dead-time
- *Đáp ứng dao động tắt dần (c)*: có thể xấp xỉ thành mô hình dao động bậc hai (SOPDT).
- *Đáp ứng tích phân (d)*: có thể đưa về xấp xỉ thành mô hình quán tính bậc nhất hoặc bậc hai có trễ cộng thêm thành phần tích phân.
- *Đáp ứng quán tính - ngược (b)*: mô hình có chứa điểm không nằm bên phải trục ảo (hệ pha không cực tiểu) => cần phương pháp chính xác hơn

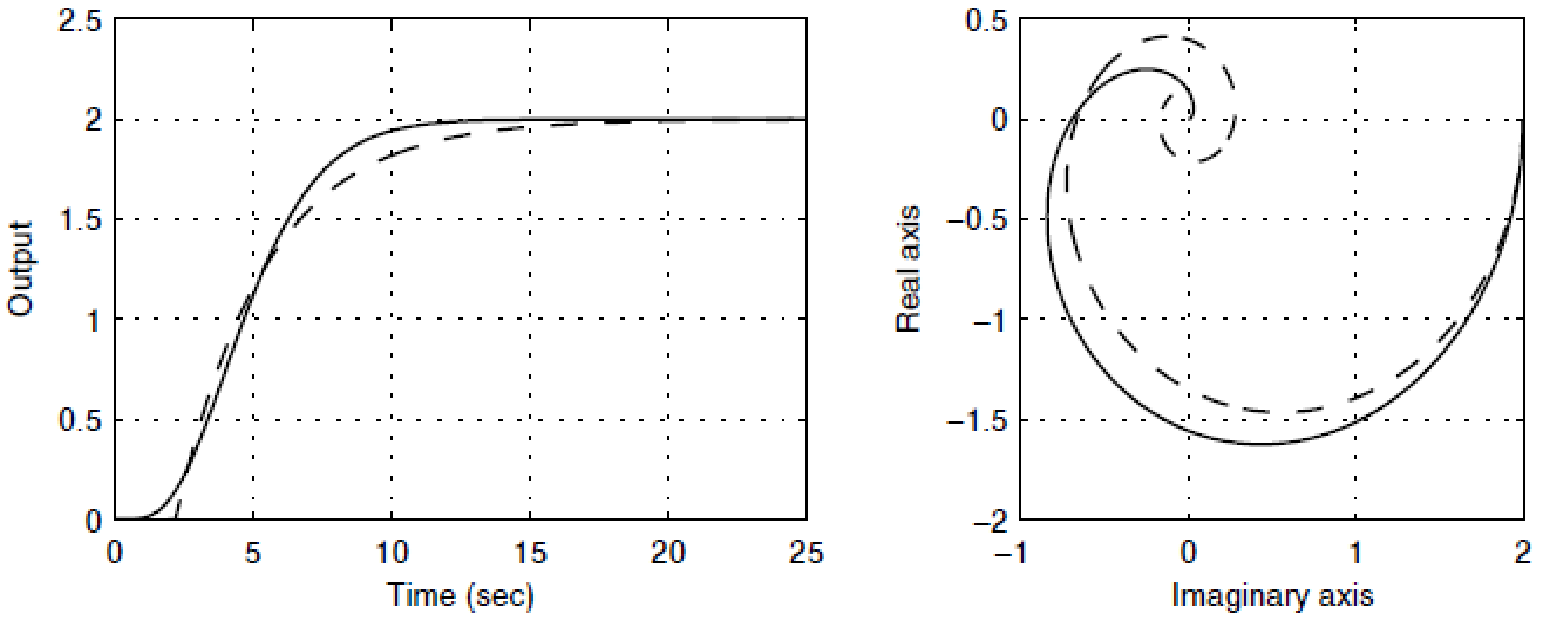
Phương pháp kẻ tiếp tuyến

Mô hình FOPDT: $\hat{G}(s) = \dfrac{k}{1+Ts}e^{-Ls}$



- Ví dụ quá trình có mô hình lý tưởng $G(s) = \dfrac{2}{(s+1)^5}$

- Mô hình ước lượng: $\hat{G}(s) = \dfrac{2}{1+3.25s}e^{-2.2s}$

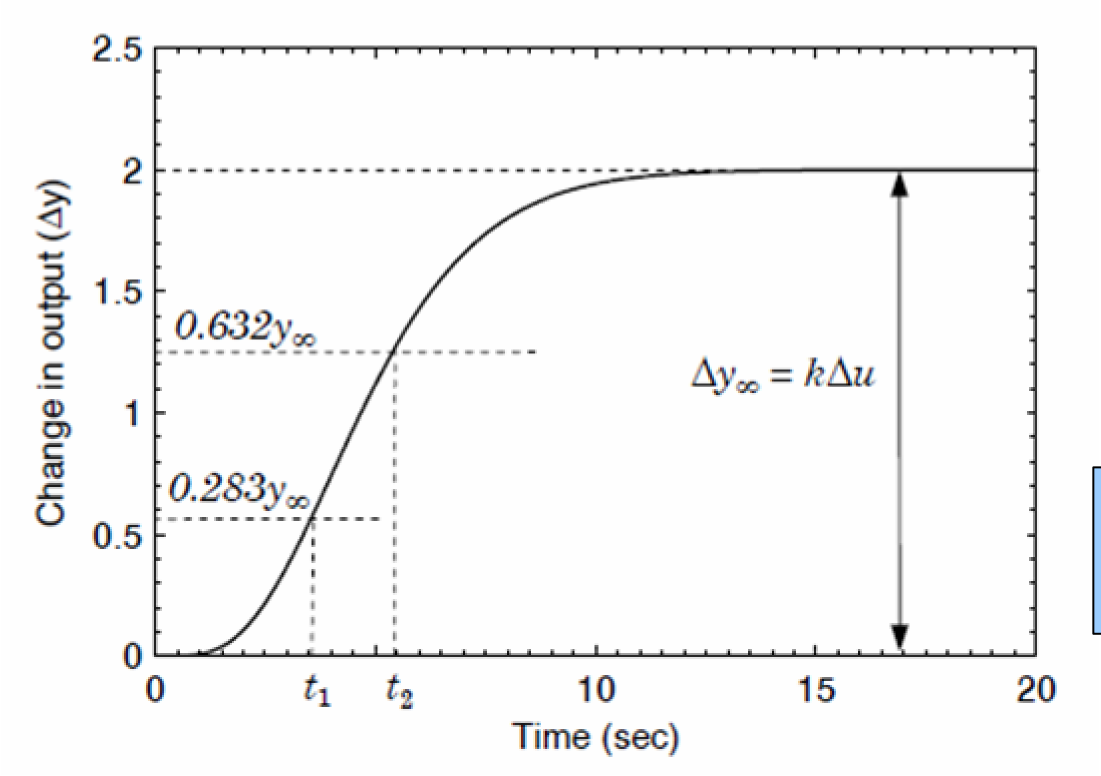


a) Đặc tính thời gian *b) Đặc tính tần số*

—— mô hình lý tưởng, – – mô hình ước lượng

Phương pháp hai điểm qui chiếu

Mô hình FOPDT: $\hat{G}(s) = \dfrac{k}{1+Ts}e^{-Ls}$



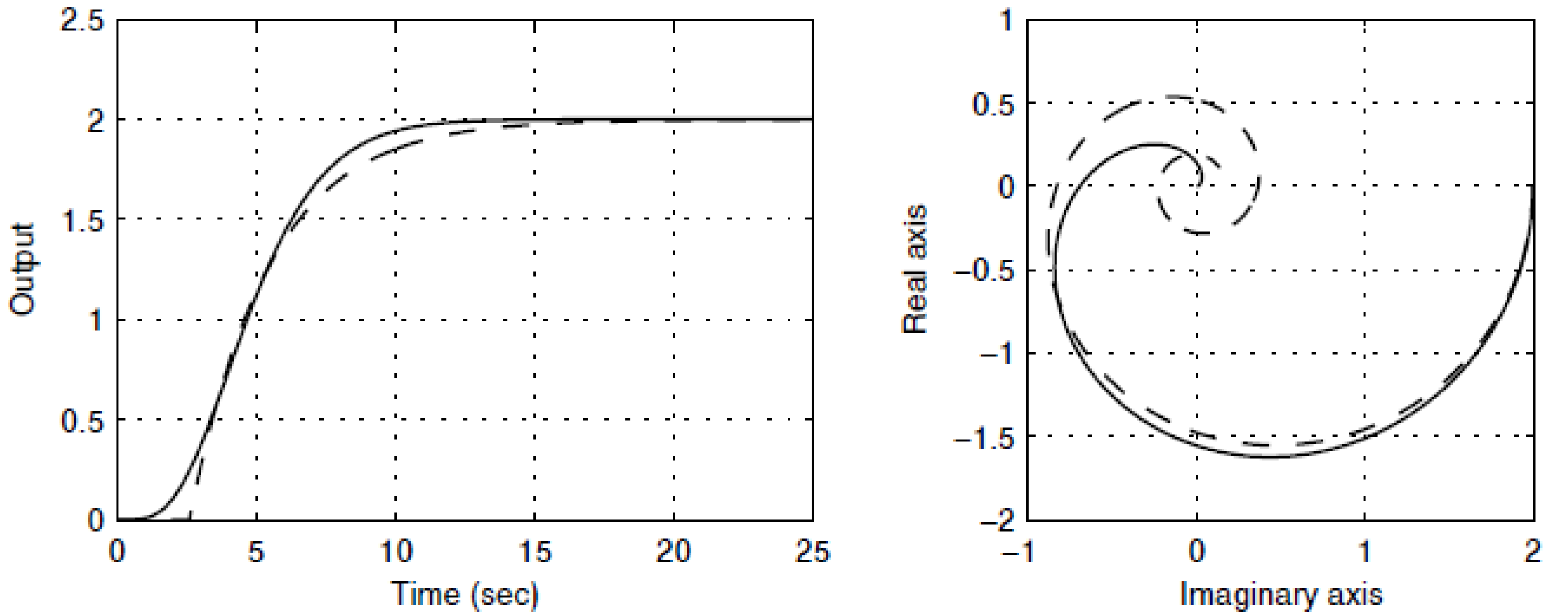
$$T = 1.5(t_2 - t_1)$$
$$L = 1.5(t_1 - t_2/3) = t_2 - T$$

- Ví dụ quá trình có mô hình lý tưởng $G(s) = \dfrac{2}{(s+1)^5}$

  $t1$ = 3.55s, $t2$ = 5.45s

  => T = 1.5(5.4s – 3.5s) = 2.85s và L = 5.45s – 2.85s = 2.6s.

- Mô hình ước lượng: $\hat{G}(s) = \dfrac{2}{1+2.85s}e^{-2.6s}$

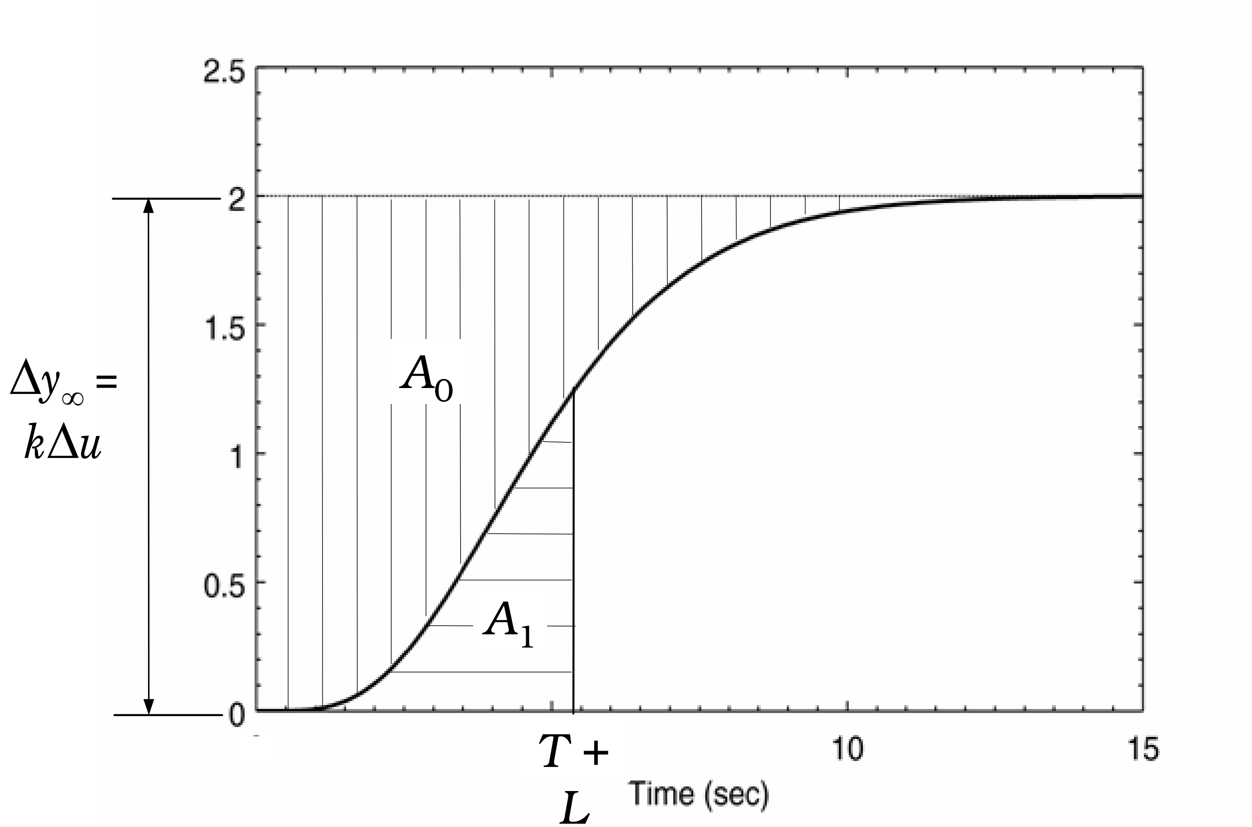


a) Đặc tính thời gian   *b) Đặc tính tần số*

—— mô hình lý tưởng, – – mô hình ước lượng

Phương pháp diện tích

Mô hình FOPDT: $\hat{G}(s) = \dfrac{k}{1+Ts}e^{-Ls}$



$$T + L = \frac{A_0}{k\Delta u}$$

$$= \frac{\int_0^{t_\infty}\left[\Delta y_\infty - \Delta y(t)\right]dt}{k\Delta u}$$

$$T = \frac{eA_1}{k\Delta u} = \frac{\int_0^{T+L}\Delta y\,dt}{k\Delta u}$$

Phương pháp hai điểm qui chiếu

- Mô hình SOPDT $\hat{G}(s) = \dfrac{k}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)} e^{-Ls}$
- Hệ số khuếch đại tĩnh xác định dựa trên giá trị xác lập
- Thời gian trễ xác định dựa trên kẻ tiếp tuyến tại điểm uốn (hoặc phân tích số liệu trên máy tính)
- Chọn hai điểm qui chiếu T_1 và T_2 (ví dụ tương ứng với 33% và 67% giá trị xác lập):

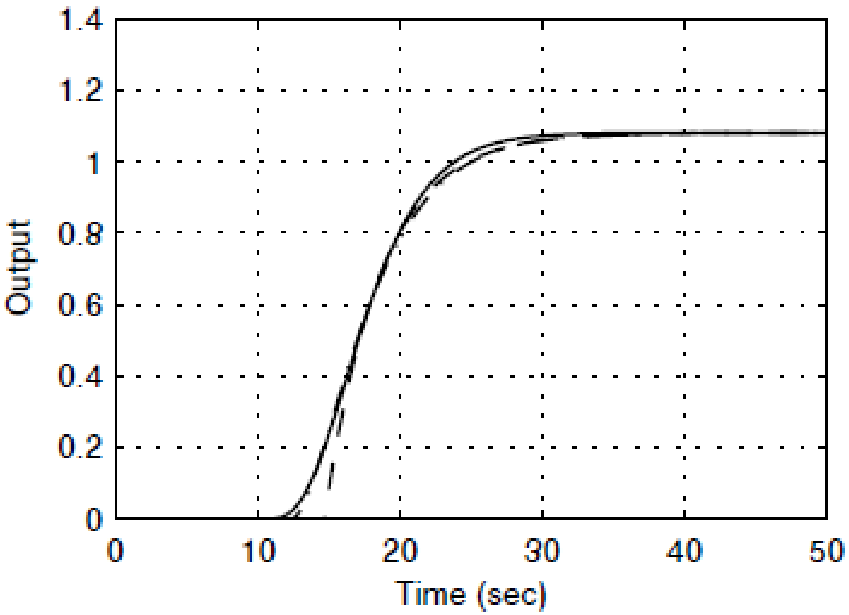
$$1 + \frac{T_2 e^{-\frac{t_i - L}{T_2}} - T_1 e^{-\frac{t_i - L}{T_1}}}{T_1 - T_2} - \frac{\Delta y(t_i)}{\Delta y_\infty} = 0, \qquad i = 1,2$$

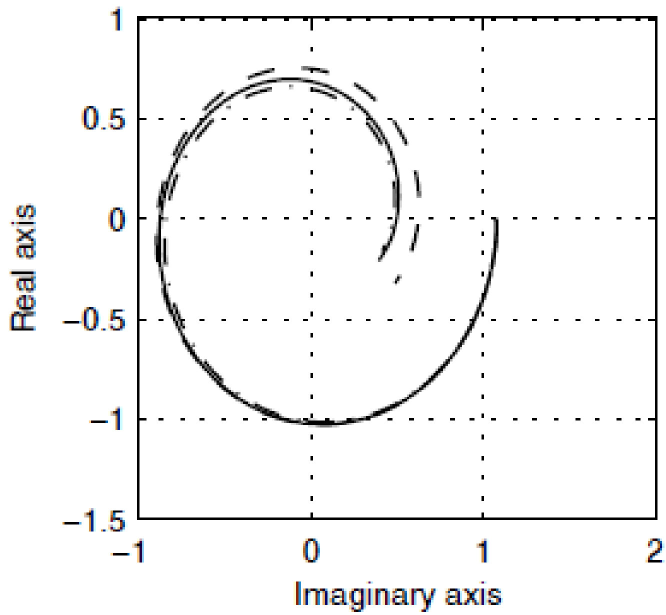
- Giải được bằng phương pháp số, không có gì phức tạp nếu sử dụng các công cụ tính toán như MATLAB (ví dụ hàm `fsolve` trong *Optimization Toolbox*)

- Ví dụ quá trình có mô hình lý tưởng $G(s) = \dfrac{2}{(s+1)^5}$
- Mô hình ước lượng:

  k = 1.08, L = 12.3s

  $T1$ = 2.9985s và $T2$ = 2.9986s





(—— mô hình lý tưởng, – – mô hình FOPDT, –·– mô hình SOPDT)

Mô hình chứa khâu tích phân

- Mô hình hàm truyền:

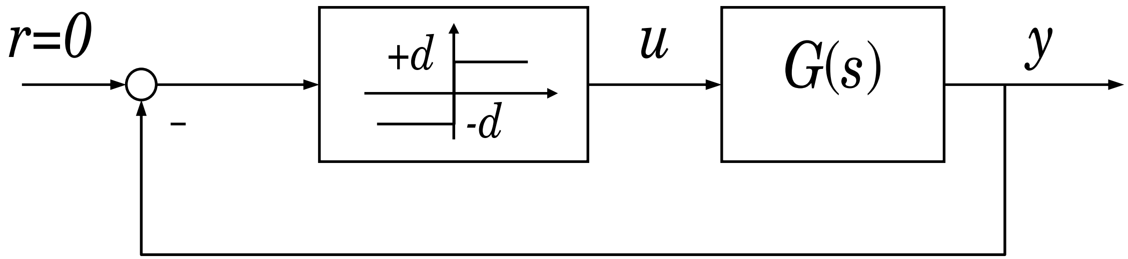
$$G_{IT1D} = \frac{k}{s(1+Ts)}e^{-Ls} \qquad G_{IT2D} = \frac{k}{s(1+T_1s)(1+T_2s)}e^{-Ls}$$

- Có thể đưa về nhận dạng mô hình FOPDT hoặc SOPDT :
  - Sử dụng tín hiệu kích thích dạng xung thay cho tín hiệu bậc thang.
  - Sử dụng tín hiệu kích thích dạng bậc thang, nhưng lấy số liệu là đạo hàm của tín hiệu đầu ra thay cho trực tiếp giá trị đầu ra. Nhược điểm: có thể đưa quá trình ra khỏi phạm vi làm việc cho phép.

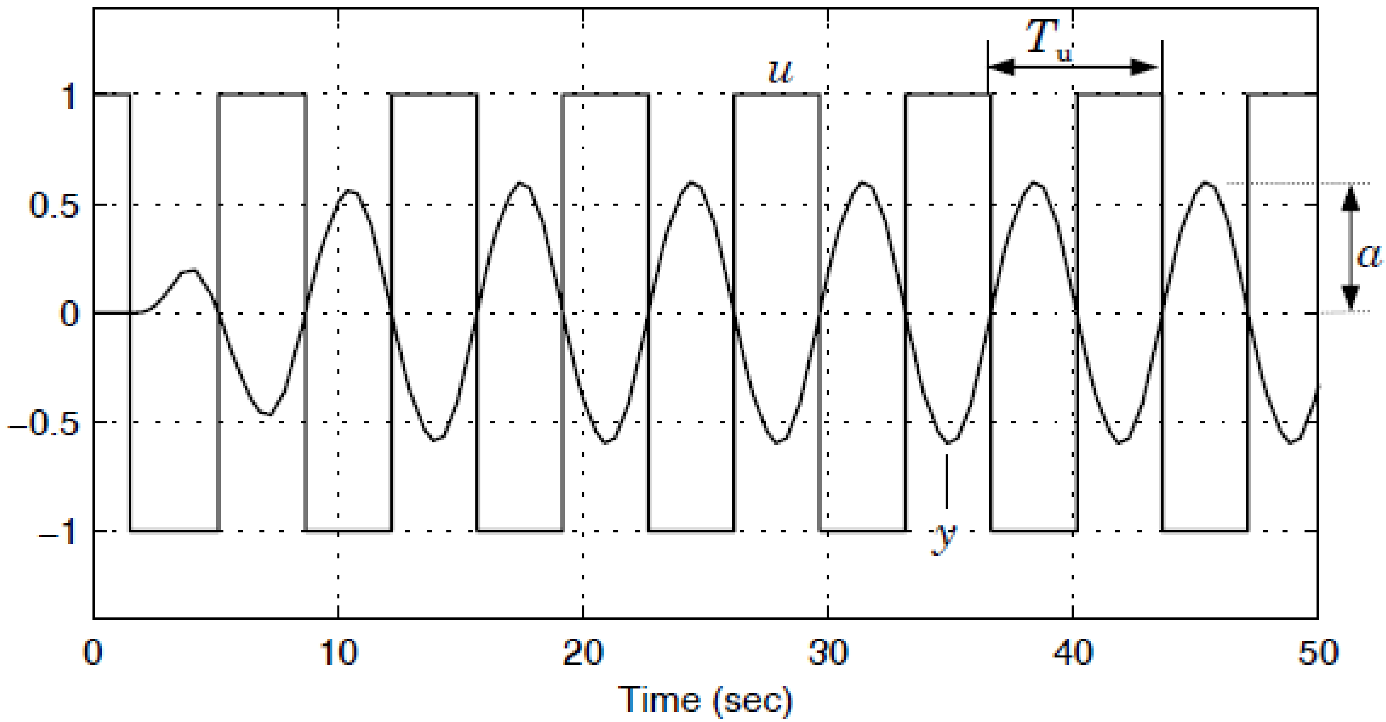
2.4.2 Phương pháp phản hồi rơ-le

- Åström và Hägglund đưa ra năm 1984 để ước lượng *hệ số khuếch đại tới hạn* K_u và *chu kỳ dao động tới hạn* T_u => chỉnh định bộ PID theo phương pháp Ziegler-Nichols 2
- Thực chất là một phương pháp tần số, chỉ nhận dạng được đặc tính tần số tại tần số tương ứng với 180^O của hệ kín
- Một trong những phương pháp nhận dạng hệ kín được sử dụng nhiều nhất bởi các ưu điểm:
  – Đơn giản, dễ tiến hành
  – Ít chịu ảnh hưởng của nhiễu
  – Nhận dạng hệ kín xung quanh điểm làm việc

Cách thức tiến hành



$$K_u = \frac{1}{\left|G(j\omega_u)\right|} = \frac{4d}{a\pi}$$



2.4.3 Thuật toán bình phương tối thiểu

- Giả sử quá trình có thể được mô tả bởi

$$y(t_i) = \varphi_1(t_i)\theta_1 + \varphi_2(t_i)\theta_2 + \cdots + \varphi_n(t_i)\theta_n = \varphi^T(t_i)\theta$$

  – $y(t_i)$ là giá trị của đại lượng quan sát tại thời điểm t_i
  – θ là vector tham số của mô hình cần xác định
  – φ^T là vector hàm biết trước (vector hồi qui)

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_1 & \theta_2 & \ldots & \theta_n \end{bmatrix}^T \quad \varphi^T(t_i) = \begin{bmatrix} \varphi_1(t_i) & \varphi_2(t_i) & \ldots & \varphi_n(t_i) \end{bmatrix}$$

- θ cần được lựa chọn nhằm tối thiểu hóa hàm mục tiêu cho một khoảng thời gian quan sát $[t_1, t_N]$:

$$V(\theta, t_N) = \sum_{i=1}^{N} \left(y(t_i) - \hat{y}(t_i) \right)^2 = \sum_{i=0}^{N} \left(y(t_i) - \varphi^T(t_i)\theta \right)^2$$

- Sử dụng các ký hiệu:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \varphi^T(t_1) \\ \vdots \\ \varphi^T(t_N) \end{bmatrix}, \quad \Phi \in \Re^{N\times n} \qquad \psi = \begin{bmatrix} y(t_1) \\ \vdots \\ y(t_N) \end{bmatrix}, \quad \psi \in \Re^{N\times 1}$$

- Ta có thể viết

$$\Phi\theta = \psi$$

- Đưa về bài toán tìm nghiệm tối ưu toàn phương

$$\hat{\theta} = \arg\min\left[(\psi - \Phi\theta)^T(\psi - \Phi\theta)\right]$$

- Nghiệm tối ưu với $\Phi^T\Phi$ khả đảo và n ≤ N (ĐK kích thích)

$$\hat{\theta} = (\Phi^T\Phi)^{-1}\Phi^T\psi = \Phi^\dagger\psi$$

Ước lượng tham số mô hình FIR

- Mô hình đáp ứng xung hữu hạn (*finite impulse response*, FIR):

$$y(t) = \sum_{i=1}^{n} g_i u(t-i)$$

- Xác định dãy trọng lượng $\{ g_i \}$

- Đặt vector tham số:

$$\boldsymbol{\theta} = [\, g_1 \quad g_2 \quad \dots \quad g_n \,]^T$$

- Vector hồi quy:

$$\boldsymbol{\varphi}^T(t) = [\, u(t-1) \quad u(t-2) \quad \dots \quad u(t-n) \,]$$

- Chọn thời gian quan sát từ (n + 1) đến t, ta có:

$$\boldsymbol{\psi} = \begin{bmatrix} y(n+1) & y(n+2) & \cdots & y(t) \end{bmatrix}^T$$

$$\mathbf{\Phi} = \begin{bmatrix} u(n) & u(n-1) & \cdots & u(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u(t-1) & u(t-2) & \cdots & u(t-n) \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \quad \hat{\boldsymbol{\theta}} = (\mathbf{\Phi}^T\mathbf{\Phi})^{-1}\mathbf{\Phi}^T\boldsymbol{\psi} = \mathbf{\Phi}^{\dagger}\boldsymbol{\psi}$$

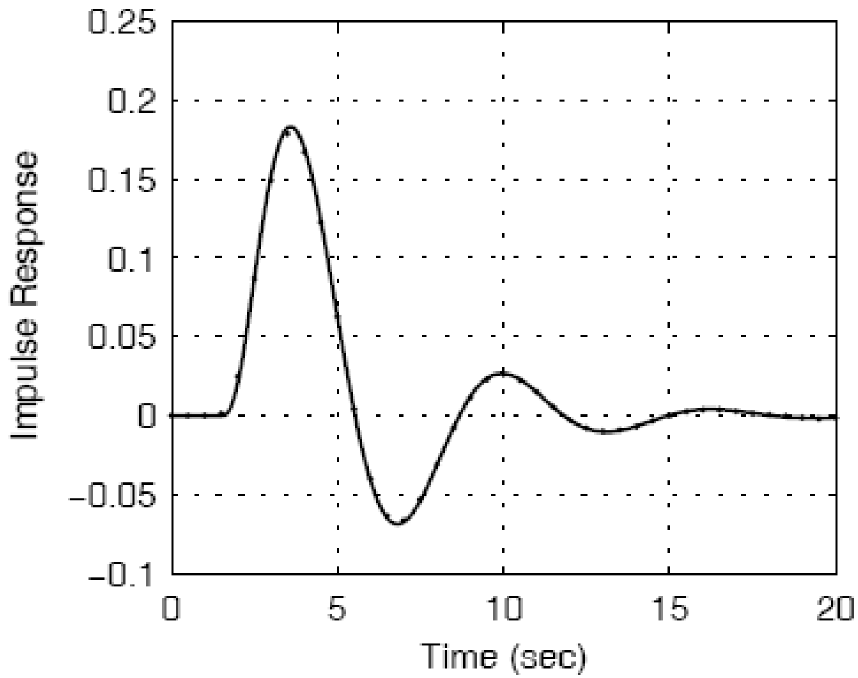
- *u*(*t*) phải đảm bảo điều kiện kích thích. Giả sử tín hiệu bậc thang được chọn, khả năng rất cao là một số cột của Φ sẽ giống nhau hoàn toàn và do đó phụ thuộc tuyến tính.
- => Tín hiệu thích hợp nhất là dạng ngẫu nhiên, ví dụ ồn trắng hoặc PRBS (*pseudo random binary signal*)

Ví dụ ước lượng mô hình FIR

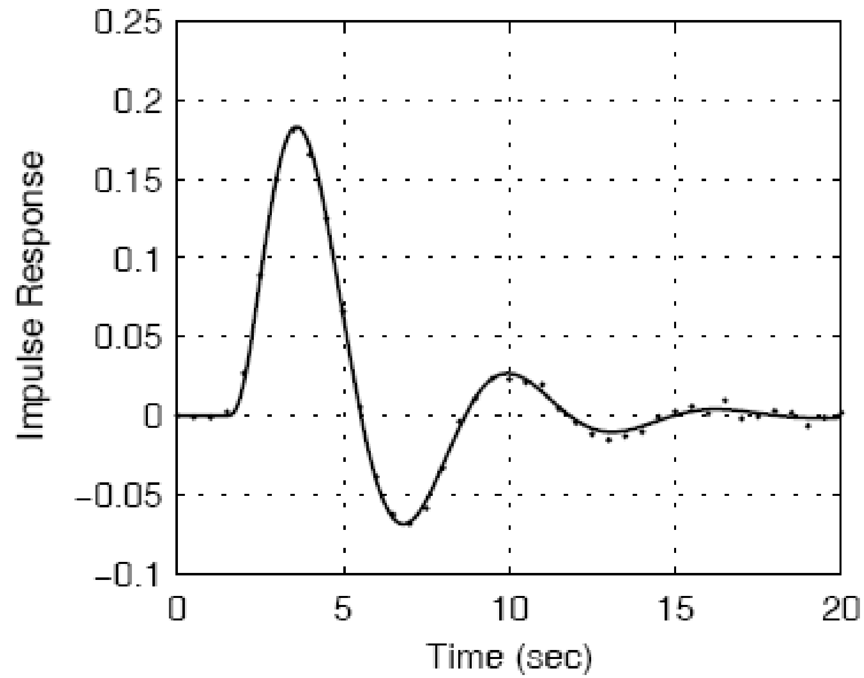
Mô phỏng đáp ứng bậc thang đơn vị của quá trình có hàm truyền:

$$G(s) = \frac{2}{(s+2)(s+3)(s^2+0.6s+1.09)} e^{-1.5s}$$

chu kỳ trích mẫu tín hiệu T = 0.5s, giới hạn quan sát t = 100T, chiều dài dãy trọng lượng n = 40



a) Không có nhiễu đo



b) Có nhiễu ồn trắng

Ước lượng tham số mô hình ARX

Giả sử quá trình được mô tả bởi mô hình ARX:

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t-d) + e(t)$$

trong đó $d > 0$ (cho trước) và

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \cdots + a_{na} q^{-na}$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1 q^{-1} + \cdots + b_{nb} q^{-nb}$$

Phương trình được viết lại dưới dạng

$$\begin{aligned} y(t) = & -a_1 y(t-1) - \cdots - a_{na} y(t-n_a) + \\ & + b_0 u(t-d) + b_1 u(t-d-1) + \cdots + b_{nb} u(t-d-n_b) + e(t) \end{aligned}$$

Đặt vector tham số mô hình cần xác định là

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} a_1 & \cdots & a_{na} & b_0 & \cdots & b_{nb} \end{bmatrix}^T$$

và véc tơ hồi quy

$$\boldsymbol{\varphi}^T(t) = \begin{bmatrix} -y(t-1) & \cdots & -y(t-n_a) & u(t-d) & \cdots & u(t-d-n_b) \end{bmatrix}$$

ta có thể viết

$$y(t) = \boldsymbol{\varphi}^T(t)\boldsymbol{\theta} + e(t) = \hat{y}(t) + e(t)$$

Mô hình tốt nhất được coi là mô hình đưa ra dự báo lỗi nhỏ nhất theo nghĩa bình phương tối thiểu, tức là

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \arg\min \sum_{i=1}^{N} \left(y(t_i) - \hat{y}(\boldsymbol{\theta}, t_i) \right)^2$$

Đặt

$$m = \max(na, nb + d) + 1$$

và chọn thời gian quan sát từ m đến t, ta có

$$\mathbf{\Phi} = \begin{bmatrix} -y(m-1) & \cdots & -y(m-na) & u(m-d) & \cdots & u(m-d-nb) \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ -y(t-1) & \cdots & -y(t-na) & u(t-d) & \cdots & u(t-d-nb) \end{bmatrix}$$

và

$$\psi = \begin{bmatrix} y(m) & \cdots & y(t) \end{bmatrix}^T$$

Dễ thấy rằng ma trận Φ cần phải có số hàng lớn hơn hoặc bằng số cột và vì thế giới hạn quan sát t cần được chọn ít nhất bằng $m + n_a + n_b - 1$

$$\Rightarrow \quad \hat{\theta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \psi = \Phi^{\dagger} \psi$$

- Ví dụ quá trình có mô hình lý tưởng

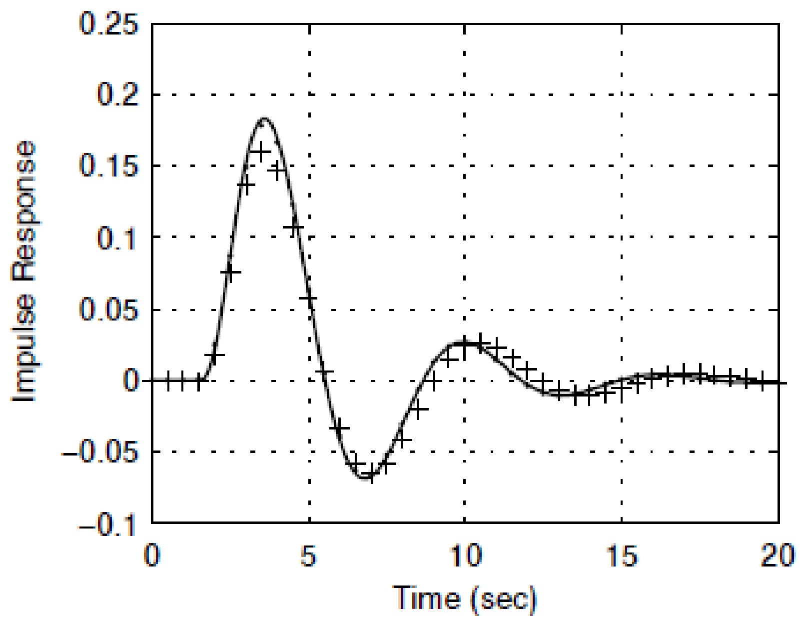
$$G(s) = \frac{2}{(s+2)(s+3)(s^2+0.6s+1.09)} e^{-1.5s}$$

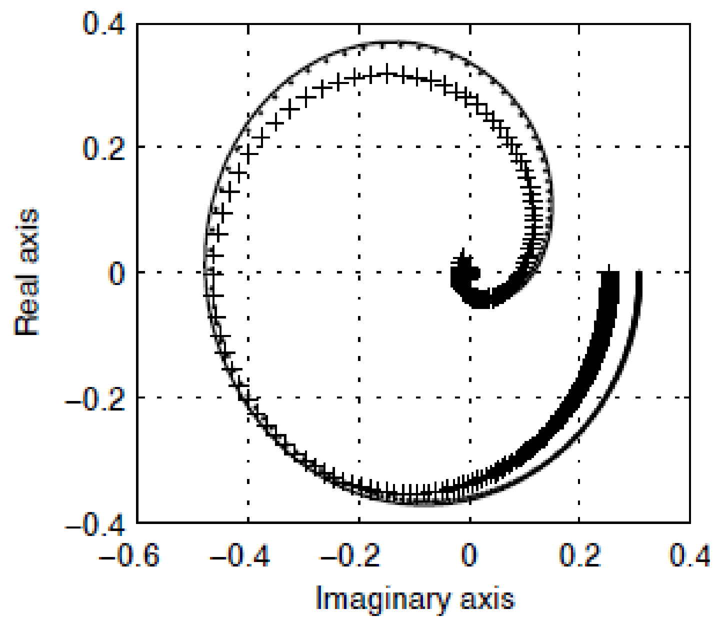
được mô phỏng cho trường hợp không có nhiễu đo và có nhiễu tạp trắng (tỉ lệ NSR 5%) để lấy số liệu

Chu kỳ trích mẫu T = 0.5s, giới hạn quan sát t = 10s (20*T)

Cấu trúc mô hình được chọn: $na = nb = 3$, $d = 3$

- Kết quả kiểm chứng mô hình nhận được





Lựa chọn cấu trúc mô hình

- Thời gian trễ biết trước: chọn na = nb và tiến hành ước lượng tham số theo một quy trình lặp, bắt đầu với một số nhỏ cho đến khi sai lệch mô hình (kiểm chứng dựa trên bộ số liệu thực nghiệm khác) có thể chấp nhận được.
- Thời gian trễ chưa biết trước: tiến hành như trên nhưng sau đó kiểm tra các tham số của mô hình. Những tham số đầu của đa thức tử số có giá trị xấp xỉ không cho biết thông tin về thời gian trễ của quá trình => giảm bậc của cả hai đa thức tử và mẫu (tức na và nb) đúng bằng số tham số của xấp xỉ không, sau đó chạy lại thuật toán ước lượng tham số một lần nữa để tìm ra mô hình có trễ thực.

2.4.4 MATLAB Identification Toolbox

- Biểu diễn số liệu thực nghiệm

  `Data = iddata(y,u,Ts)`

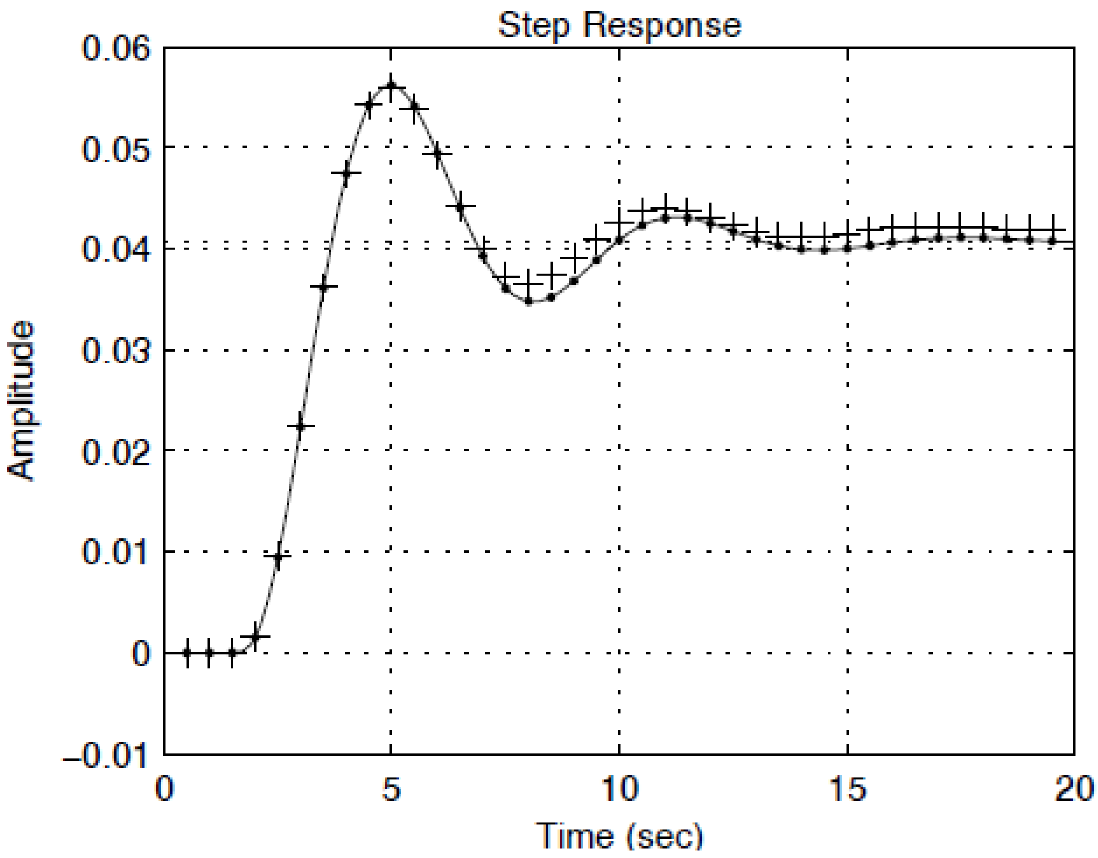
- Dạng mô hình sử dụng:
  - Đáp ứng tần số: tạo mô hình bằng lệnh `idfrd`
  - Các mô hình đa thức (ARX, ARMAX, Box-Jenkins, PE,...): tạo mô hình bằng các lệnh `idpoly, idarx`, ...
  - Mô hình trạng thái: tạo mô hình bằng lệnh `idss`
- Thuật toán ước lượng môhình:
  - Mô hình FIR: hàm `impulse`
  - Mô hình đáp ứng tần số: hàm `spa` và `etfe`
  - Mô hình ARX và AR: hàm `arx, ax, iv4` và `ivx`
  - Ước lượng mô hình ARMAX và ARMA: hàm `armax`
  - Ước lượng mô hình trạng thái: hàm `n4sid`

- Ví dụ quá trình có mô hình lý tưởng

$$G(s) = \frac{2}{(s+5)(s+9)(s^2+0.6s+1.09)}e^{-1.5s}$$

- Mã chương trình

```
% create simulation data
G = zpk([],[-0.3+j -0.3-j -5 -9],2, 'Inputdelay',1.5);
h = 0.5;
time = [0:h:20]';
u = randn(size(time));
y = lsim(G,u,time);
% estimate model parameters
data = iddata(y,u,h);
M1 = arx(data,[3 3 3]);
M2 = arx(data,[4 4 3]);
% plot step responses
step(M1,'k+',M2,'k.',20);
hold on;
step(G,'k-',20);
grid on;
```



Hình 4-30: Kiểm chứng mô hình ARX nhận dạng với MATLAB Identification Toolbox cho ví dụ 4-18 (—— mô hình lý tưởng, · · · mô hình ước lượng cho bậc 4, +++ mô hình ước lượng cho bậc 3)

2.4.5 Lựa chọn phương pháp nhận dạng

- **Quá trình cho phép nhận dạng chủ động và đối tượng có thể xấp xỉ về mô hình FOPDT (hoặc có thể có thêm thành phần tích phân):**
  - Phương pháp hai điểm qui chiếu theo đơn giản và dễ áp dụng trực quan nhất,
  - Nếu có nhiễu đo và thuật toán được thực hiện trên máy tính thì phương pháp diện tích cho kết quả chính xác hơn.
- **Quá trình cho phép nhận dạng chủ động và phương pháp thiết kế điều khiển sử dụng trực tiếp mô hình gián đoạn:**
  - Nên chọn các phương pháp ước lượng dựa trên nguyên lý bình phương tối thiểu áp dụng cho mô hình phù hợp với bài toán điều khiển (FIR, ARX, ARMAX,…).

- **Quá trình không cho phép nhận dạng chủ động vòng hở:**
  - Phương pháp nhận dạng dựa trên phản hồi rơ-le và các phiên bản cải tiến tỏ ra tương đối đa năng và đặc biệt phù hợp cho thiết kế điều khiển trên miền tần số.
  - Nếu chất lượng mô hình cần cao hơn thì nên áp dụng các phương pháp bình phương tối thiểu.
- **Quá trình hoàn toàn không cho phép nhận dạng chủ động:**
  - Nếu phương pháp thiết kế điều khiển sử dụng trực tiếp mô hình gián đoạn thì các phương pháp bình phương tối thiểu là phù hợp nhất.
  - Chỉ nên sử dụng phương pháp phân tích phổ tín hiệu khi phương pháp thiết kế điều khiển hoàn toàn trên đặc tính tần số.

Tóm tắt yêu cầu bài giảng

- Hiểu rõ các yếu tố cơ bản trong xây dựng mô hình bằng phương pháp thực nghiệm
- Nắm được các vấn đề khó khăn, trở ngại trong các bước tiến hành nhận dạng
- Hiểu được nguyên tắc cơ bản và có được kỹ năng tự thực hiện được (bằng mô phỏng) phương pháp ước lượng các mô hình đơn giản dựa trên đáp ứng bậc thang đơn vị/phương pháp phản hồi rơ-le
- Nắm được nguyên tắc cơ bản của phương pháp bình phương cực tiểu, áp dụng được trên hai lớp mô hình FIR và ARX (thông qua mô phỏng)
- Nắm được sơ lược về chọn phương pháp

Phần tự học/tự nghiên cứu

- Đọc thêm
  – Chương 4 cuốn sách giáo trình: Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình.
  – Cuốn sách “Nhận dạng hệ thống điều khiển” (tác giả PGS. Nguyễn Doãn Phước)
  – Cuốn sách “System Identification – Theory for Users” (tác giả: L. Ljung).
- Câu hỏi, bài tập:
  – Các câu hỏi và bài tập cuối chương 4 trong sách giáo trình
  – Sử dụng MATLAB, chạy lại các ví dụ trong bài giảng và trong chương 4 của cuốn sách
  – Tự lấy ví dụ và áp dụng các phương pháp đã học.